令和６年度

（２０２４年度）

共同利用・共同研究成果報告書

融合研究戦略課題成果報告書

名古屋大学宇宙地球環境研究所
共同利用・共同研究委員会
融合研究戦略室

2024 年度

目 次

Contents

共同利用・共同研究成果報告書

00． ISEE Symposium 1 ～ 2

01． 国際共同研究 3 ～ 44

02． ISEE International Joint Research Program 45 ～ 93

03． 国際ワークショップ 94 ～ 97

04． 一般共同研究 98 ～ 188

05． 奨励共同研究 189 ～ 196

06． 研究集会 197 ～ 295

07． 計算機利用共同研究 296 ～ 307

08． データベース作成共同研究 308 ～ 314

09． 加速器質量分析装置等利用（共同利用） 315 ～ 327

10． 加速器質量分析装置等利用（委託分析） 328

11． SCOSTEP Visiting Scholar (SVS) Program 329 ～ 342

12． 航空機観測共同利用（ドロップゾンデ） 343 ～ 347

13． 若手国際フィールド観測実験 348 ～ 355

14． 国際技術交流（International Technical Exchange Program） 356 ～ 362

15． 国際スクール開催支援（ISEE International School Support） 363 ～ 366

16． 若手国際派遣支援 （海外発表・海外滞在） 367 ～ 377

融合研究戦略課題成果報告書

融合研究戦略課題 378 ～ 401

2024年度 00)ISEE Symposium 目次詳細

2 件

＊所属・職名は2025年3月現在

＊Affiliation and Department displayed are current as of March 2025.

研究代表者 Principal Investigator	所属機関* Affiliation	所属部局* Department	職名* Job title	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
早川尚志	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	特任助教	【2024年度開催】 太陽地球環境の歴史記録のデータレスキューと科学的応用	1	
三好隆博	広島大学	大学院先進理工系科学研究科	助教	【2024年度開催】 予測の科学としての宇宙地球環境研究のフロンティア	2	

（別紙様式00-2）

太陽地球環境の歴史記録のデータレスキューと科学的応用
Data Rescue and Scientific Applications for Historical Solar-Terrestrial Environment Records

早川尚志、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

第 7 回 ISEE シンポジウム「太陽地球環境の歴史記録のデータレスキューと科学的応用」を Space Climate Symposium 9 と共主催し、2024 年 10 月 1 日〜4 日にかけ、Space Climate 9 / ISEE Joint Symposium として本学の坂田平田ホールにて開催しました。当シンポジウムには 25 ヶ国から 161 の参加者が参加登録し、15 セッションで 103 の講演と 77 のポスター発表が行われました。

本シンポジウムでは太陽活動とその地球への影響について、特に激甚現象、長期変動、データの観点を中心に議論が行われました。Space Climate シンポジウムの伝統に則り太陽活動、宇宙環境、地球環境の三部門を中心にセッションが展開した他、宇宙気候の根本データ、歴史文献利用、激甚現象、2024 年 5 月の激甚宇宙天気現象、恒星活動周期、恒星スーパーフレアについてもセッションが組織され、太陽地球環境変動をより多角的に捉えることで、隣接分野間での将来的な共同研究の萌芽となり得るような議論もなされました。

これに関連し、9 月 30 日の参加登録、レセプションに合わせて IAU Inter-Division B-E WG Coordination of Synoptic Observations of the Sun の部会も開催しました。当該部会では宇宙気候関連の長期観測の現状、将来、データ保存について観測当事者やデータ利用者が一堂に会し、活発な議論を取り交わしました。

会全体の各種報告、議論を通し、過去の観測記録に最新の科学知見を当てはめることで、太陽活動、太陽嵐、宇宙環境、地球環境、恒星活動など、宇宙地球環境の各分野での極限状態や長期変動について極めて貴重な知見が得られることが改めて実証される形となりました。また、業界内で行方不明になっていたデータが直接遣り取りされる一幕があるなど、国際共同研究の重要性が改めて認識されました。



図 1：学会の集合写真

（別紙様式00-2）

予測の科学としての宇宙地球環境研究のフロンティア
Frontier of Space-Earth Environmental Research as Predictive Science

三好隆博、広島大学・大学院先進理工系科学研究科

第 8 回 ISEE シンポジウム「Frontier of Space-Earth Environmental Research as Predictive Science（予測の科学としての宇宙地球環境研究のフロンティア)」を 2025 年 3 月 5 日から 7 日にかけ名古屋大学野依記念学術交流館において完全対面形式にて開催した。本シンポジウムには、民間を含む国内 21、国外 19 の機関から 97 名が参加し、分野を跨いだハイレベルな議論や交流が図られ極めて盛会であった。

様々な時空間スケールで変動・進化する宇宙地球環境の予測は、科学研究としてのみならず人類の生活と宇宙に広がる文明の発展にとって極めて重要である。特に、気候変動が世界的な課題となると共に月と火星を目指した本格的な宇宙開発が開始されようとしている現在、宇宙地球環境予測を多角的な視点から議論し、新たな研究の方向性を探ることが喫緊の課題である。そこで、今回の ISEE シンポジウムは、宇宙地球環境予測の現状を関連分野との交流を通して議論すると共に、高度な予測手法と今後必要な研究開発などについて幅広く考察することを目的として企画した。同時に、新学術領域研究「PSTEP: 太陽地球圏環境予測」（代表：草野完也）のフォローアップ会議としても位置付けた。

本シンポジウムは、宇宙地球環境分野および関連分野における予測・予報研究に関する 5 つのセッションで構成した。20 件の招待講演（1 件は急遽キャンセル）を依頼し、最新の予測・予報研究について非常に幅広い話題が提供された。セッションは以下のとおりである。

Session 1: Advanced simulation and numerical experiments for prediction

Session 2: Mathematical science, statistics, and machine learning for prediction

Session 3: Paleo-space climatology as a reference for predictions

Session 4: Disaster mitigation through forecast

Session 5: Perspectives for prediction and interdisciplinary research in various fields

さらに、パネルディスカッション、

Panel Discussion: Exploring the future of predictive science

を企画した。6 名のパネリストとモデレータを中心に、会場を交えて、「予測の科学」の究極目標と科学や社会に与えるインパクト、5 年後・20 年後に実現を目指す課題、各分野における予測可能性の最大の阻害要因とその解決方策について、予定の 1 時間 30 分を超えて活発な議論がなされた（図 1)。また、PSTEP のフォローアップとして、1 件の基調講演が行われた。これらに加え、一般講演として、11 件の口頭発表と 47 件のポスター発表が行われた。プログラムおよび講演概要は下記 URL に掲載した。

https://www.isee.nagoya-u.ac.jp/symp2025/

本シンポジウムを通じて、宇宙地球環境予測の実現に向けて、「予測の科学」の多様性の促進と共に、分野横断的な議論・交流の継続が不可欠との結論を得た。



図 1：パネルディスカッションの様子

2024年度 01)国際共同研究 目次詳細

20 件

＊所属・職名は2025年3月現在

＊Affiliation and Department displayed are current as of March 2025.

研究代表者 Principal Investigator	所属機関* Affiliation	所属部局* Department	職名* Job title	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
横田勝一郎	大阪大学大学院	理学研究科	准教授	BepiColomboフライバイ運用を利用したイオン質量分析器のデータ評価	3	
門叶冬樹	山形大学	理学部	教授	第25太陽活動立ち上がり期における極域から低緯度までの大気中宇宙線生成核種の濃度変動の観測研究	5	
中澤知洋	名古屋大学	KMI/理学研究科	准教授	赤道周回MeVガンマ線観測衛星COSIによる雷ガンマ線観測のデザイン	7	
加藤千尋	信州大学	学術研究院・理学系	教授	改良された汎世界的宇宙線観測ネットワークによる宇宙天気の観測II	9	
能勢正仁	名古屋市立大学	データサイエンス学部	教授	電離圏における電磁流体波動捕捉現象の解明：南北両半球の広い緯度範囲における地上と人工衛星の微小磁場変動観測	10	
西山尚典	国立極地研究所	先端研究推進系	助教	短波長赤外分光器・イメージャとEISCAT Svalbard radarを組み合わせた昼側オーロラの精密計測	13	
大矢浩代	千葉大学	大学院工学研究院	助教	東南アジアにおける雷放電とグローバルサーキットとの関連性の解明	16	
島田幸治郎	琉球大学	理学部	助教	国際共同観測ネットワークによる有機エアロゾルの分解および生成過程の解明	18	
西澤智明	国立環境研究所	地球システム領域	室長	地上ライダーネットワークと衛星観測を融合した南米スモークの観測研究	20	
阿部修司	九州大学	国際宇宙惑星環境研究センター	学術研究員	インドネシア広域地磁気観測網の展開：赤道・低緯度領域の超高層・内部電磁気学現象の解明	22	

研究代表者 Principal Investigator	所属機関* Affiliation	所属部局* Department	職名* Job title	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
土屋史紀	東北大学	大学大学院理学研究科	教授	プラズマ波動による高エネルギー電子降込みと下部電離圏への影響評価の実証的研究	24	
坂野井健	東北大学	大学院理学研究科	准教授	LAMP-2ロケット搭載カメラAICの観測最適化のためのシーボトムにおける地上オーロラ観測	26	
尾花由紀	九州大学	国際宇宙惑星環境研究センター	学術研究員	ディープラーニングによる新しい磁気圏擾乱プロセスモデルの構築	28	
細川敬祐	電気通信大学	大学院情報理工学研究科	教授	国際的短波ドップラー観測網を用いた電離圏擾乱現象の観測的研究	29	
平原靖大	名古屋大学	環境学研究科	准教授	ALMAと実験室分光による太陽系内天体大気の物理化学プロセスの解明	31	
藤原均	成蹊大学	サステナビリティ教育研究センター/理工学部	教授	シアー構造を伴う高速熱圏風の生成機構の研究	33	
平沢尚彦	国立極地研究所	先端研究推進系　気水圏	助教	自動気象観測装置(AWS)の新しいデータ品質管理とデータ公開に関するスキームの構築	37	
纐纈佑衣	名古屋大学	大学院環境学研究科	准教授	Lu-Hf法を用いた三波川変成帯石英エクロジャイトの変成ピーク年代の推定	39	
寺尾徹	香川大学	教育学部	教授	多様な水文気候学的地域特性が駆動するアジアモンスーン変動の予測可能性の研究	41	
成影典之	国立天文台	太陽観測科学プロジェクト	助教	日米共同・太陽フレアX線・集光撮像分光観測ロケット実験 FOXSI-4	43	

（別紙様式01-2）

BepiColomboフライバイ運用を利用したイオン質量分析器のデータ評価
Mass spectrometry data calibration of Mercury's magnetosphere by BepiColombo flyby operations

横田勝一郎、大阪大学大学院・理学研究科

【研究目的】

地球型惑星の中で固有の磁場を持ち磁気圏を形成するものは地球と水星だけである。水星は地球と比べて特徴が大きく異なり、その比較研究は地球型惑星の磁気圏の理解に留まらず系外惑星も含めた磁気圏一般の理解に大きく役立つことが期待される。

水星探査機BepiColomboは2025年末に水星軌道に投入され、直後に電磁場・粒子・プラズマ観測器群によって水星磁気圏観測が開始される。中でも高分解能のイオン質量分析器MSAは、質量分析によってプラズマ密度、速度、圧力を精密に見積もるだけでなく、水星起源イオンを分別し磁気圏や希薄大気（更には表層物質）の情報を獲得する。現在は水星軌道投入のため金星フライバイ運用が2回、水星フライバイ運用が6回と全て実施されており、観測も同時に行われて1回あたり1～2時間の観測データが得られている。また、2026年11月に水星軌道投入が予定されている。フライバイ運用中は観測データも取得しており、2024年度も金星や水星フライバイ中の観測データを利用して4本の誌上発表を行った。

本研究では、BepiColombo搭載MSAのフライバイ観測データを用いて、MSA質量分析機能の健全性確認と観測データの評価を第一の目的とする。観測データ及び機上ソフトウェア機能の解釈や検証のため、スペアモデルを用いた実験室での較正試験を追加で実施する。フライバイ観測は時間や視野が限られているが前例の無い高分解能のイオン質量分析であるため、並行して、十分検証した観測データを用いて水星起源イオンを同定し、水星磁気圏・希薄大気・表層の観測的研究を行う。

【研究方法】

フライバイ観測データの評価、他のイオン電子観測器との観測データの比較から、過剰反応を起こしてSHUTDOWNを発生させる感度自動制御機能や、時刻付けがMSAだけずれが生じるという、機上ソフトウェアに起因する問題が明らかとなった。ソフトウェア改修を目的として、MSAのフライトスペア（フライトモデルと同一）を用いて、JAXA相模原キャンパス(ISAS)のビーム照射試験設備にて機能試験によるソフトウェア改訂版(v4.4E4-v4.4E8)の機能性能試験を実施した。

【研究結果】

2023年度にもフランスのメンバーも参加してISASにて試験キャンペーンを行い、改訂版(v4.4E0-v4.4E4)を評価している。その結果、フライバイ観測時の問題が何れも再現することができたが、ソフトウェア改修による根幹的な解決には至らなかった。

2024年度は、前年の結果を踏まえた議論からソフトウェア改修に必要な情報を増やすため、5月下旬に追加でビーム試験を行い、モードやアジマスCHなど計測状況を増やすことで制約を追加した。これらの結果に基づき、2025年2月にドイツIDAのソフトウェア開発者が次の改修版を準備することができたため、2月頭にISAS試験環境やMSAフライトスペア及び付属治具の動作確認を実施した。2月下旬に更新版(v4.4E5-v4.4E7)によるMSAフライトスペアによるビーム照射試験を簡易的に行い、ソフトウェア改善点に

ついて評価した結果、感度制御直後に0カウントデータの混在する期間残るものの、全体として感度自動制御機能は仕様に沿った動作を示した。

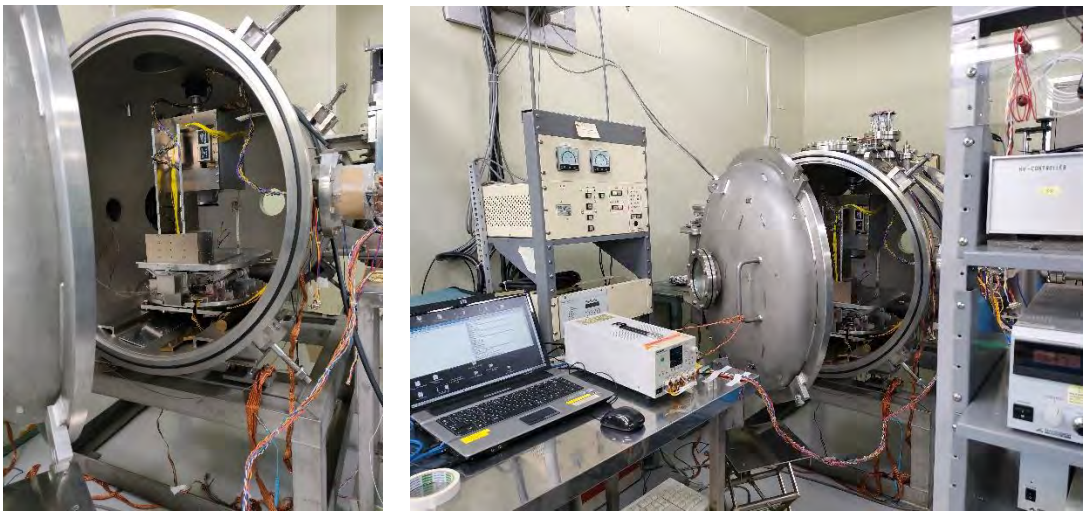


写真1：真空槽にセットしたMSAフライトスペアとデータ取得系

よって2025年3月17日から一週間フランスメンバーも参加して試験キャンペーンを行い（写真1）、ソフトウェア改訂版(v4.4E7, 4.4E8)によって、上述の過剰反応する感度自動制御機能から仕様通り動作する機能を確認することができた。また、時刻付けがずれる問題については、感度自動制御機能によって観測を一時停止した場合に、バッファに溜まった停止時の観測データと復旧時の観測データが混在することで説明できる挙動を示した。改訂版(v4.4E9-v4.4EE)を試行することで問題を解決した（図1）。

その後の議論の結果、今回の改訂版をベースに機上ソフトウェアとして探査機にアップロードする更新版を準備すると結論した。その確認作業の後に、探査機へのアップロード運用を実施する予定である。

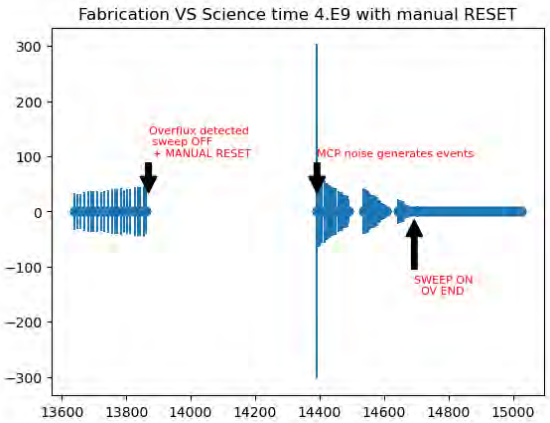


図1: 機上ソフトウェアv4.4E9時の観測時刻と処理時刻の差の収束

（別紙様式 01-2）

第25太陽活動立ち上がり期における極域から低緯度までの大気中宇宙線生成核種の濃度変動の観測研究
Observation of cosmogenic nuclides at high, mid, and low latitude sites during the rising in 25th solar cycle

門叶冬樹、山形大学・理学部

研究目的

本研究の目的は、太陽活動の大きな減少期である第 23 期から第 25 期までの大気中宇宙線生成核種 Be-7 を国際ネットワークにより地球規模で観測し、その 11 年変調と減衰から低エネルギー銀河宇宙線スペクトルと宇宙線生成核種強度との関係を明らかにすることである。本研究は、我々が 2000 年から 25 年間、北半球中緯度（山形）を中心に極域（アイスランド・フッサフェル)、低緯度（タイ・バンコク）の国際サンプリングサイトで継続的に進めている大気中宇宙線生成核種 Be-7 の連続観測をベースとする。現在、太陽は第 24 活動期が終わり、第 25 活動期のピーク期にある。太陽活動の指標である太陽黒点数は、そのピークが第 21 期より 4 期連続で減少しており、第 25 期は 1900 年付近の極小期の繰り返し（Gleissberg 周期 87 年）にあるのか、あるいは活動がさらに減衰するのかの重要な時期にあたる。本研究の 25 年間におよぶ長期観測は、日観測として実施され、各観測地点での捕集エアロゾルの大気季節変動の影響を評価することを可能である。第 23 期から第 25 期の太陽活動の変化に伴う 22 年周期変動を含めた宇宙線生成核種の変動と大気中の複雑な移流拡散の影響を見積ることは重要である。

研究方法

北半球中緯度の山形（北緯38.3°）、高緯度のアイスランド（北緯64.7°）、最高地磁気カットオフ地域であるタイ・バンコク（北緯38.3°）に各々ハイボリューム エアーサンプラー（HV1000F、HV500R,吸引量500L～1000L/分）を設置してガラスろ紙に集塵している。回収したろ紙試料は、山形大学および宇宙線研究所柏地下測定設備にてガンマ線スペクトル測定分析を行い、大気中Be-7濃度およびPb-210濃度の連続観測を行っている。観測データは日変動、季節変動、年変動について大気流跡線シミュレーションと比較して解析を進めている。

研究結果

高緯度、中緯度、低緯度のBe-7濃度年変動

図 1 は、山形、アイスランド、タイ・バンコクにおける 2014 年から 2024 年 10 月までの Be-7 濃度月変動を示しており、春に高濃度で夏に低濃度の明瞭な季節変動を示している。なお平均 Be-7 濃度の緯度による違いは、圏界面高度と Be-7 生成率に依存していることが分かってきた。2021 年～2022 年のアイスランドデータの欠損は、サンプリングサイトの災害事故によるサンプリング休止のためである。2022 年後半から

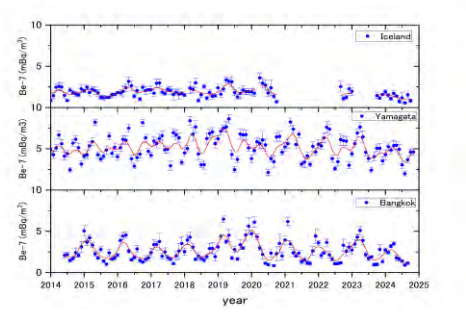


図 1. 2014～2024 の Iceland, Yamagata, Bangkok,の Be-7 濃度の季節変動

サンプリングが再開され 2023 年秋より継続して観測データが得られている。図 2 は、3 地点への大気移流の月毎平均流跡線を示している。山形では春に高緯度を通過してきており夏は中緯度通過しており Be-7 濃度変化に対応している。タイでは夏は赤道方向から流入している。アイスランドの流跡線は局所的である。

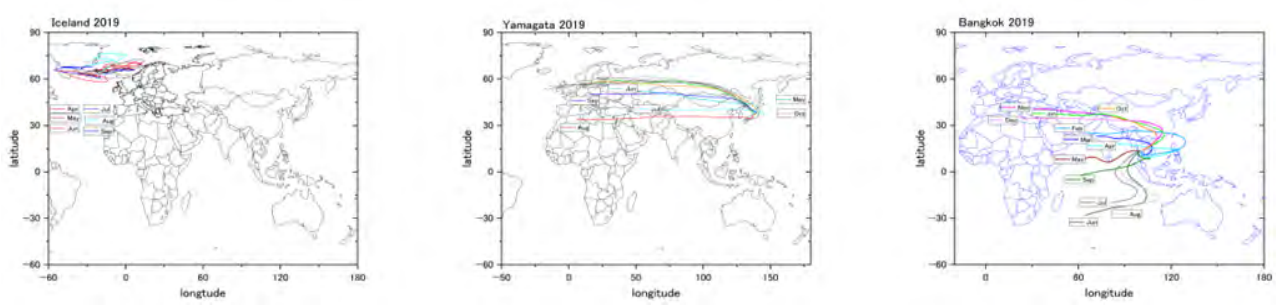


図 2. Iceland, Yamagata, Bangkok の大気流跡線の季節変動

図 3 は、2000 年～2024 年の山形、アイスランド、バンコクの Be-7 濃度の年変動および太陽黒点数（SSN）、oulu（北緯 65.05°cut-off rigidity 0.8 GV）での地上中性子強度の年変動を示している。第 23 期ピークから第 24 期全期そして第 25 期のピーク近くまでの Be-7 濃度の太陽活動のモジュレーションが得られている。山形の Be-7 濃度の 25 期の変動率は 2024 年現在で 28%であり、アイスランド、バンコクでのその変動率は、未確定であるがそれぞれ約 43%,44%と大きい。Be-7 の年変動は緯度に特徴的であり、第 25 期太陽活動全期の観測が必要である。

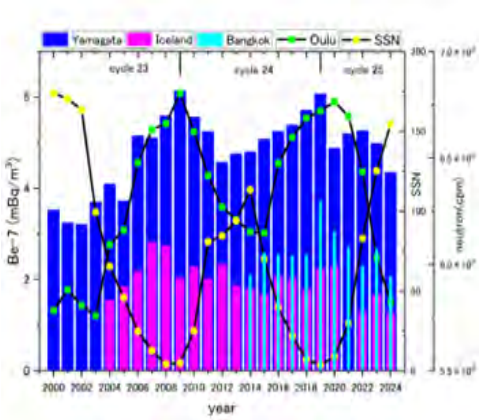


図 3. 2000～2024 の Be-7 濃度、太陽黒点数、中性子数の年変動プロファイル

[参考文献]
1) Solar Influences Data Analysis Center – SIDC, http://sidc.oma.be/
2) https://cosmicrays.oulu.fi/

[成果発表]
「2000 年から 2024 年までの宇宙線生成核種 Be-7 の大気中濃度変動について」
櫻井敬久、門叶冬樹、武山美麗、門倉昭、小財正義、B. Gunnlaugur、D. Ruffolo, W. Mitthumsiri
ISEE「太陽圏・宇宙線関連の共同研究成果報告会」2025.2.20（online）

（別紙様式01 - 2）

赤道周回 MeV ガンマ線観測衛星 COSI による雷ガンマ線観測のデザイン

Designing TGF-detection capability on the COSI MeV observatory

（１行スペース）

中澤知洋、名古屋大学素粒子宇宙起源研究所

（２行スペース）

１：研究目的

雷ガンマ線は、地球大気内で発生する最も高エネルギーな粒子加速現象であり、加速された電子により 30 MeV に達するガンマ線が放射される。人工衛星や地上から観測できる雷放電突発ガンマ線 Terrestrial Gamma-ray Flash (以下 TGF, Fishman+ 1994)や、冬季の日本海岸の地上や高山で観測される雷雲が数分間ガンマ線を放射し続ける Gamma-Ray Glow (以下 GRG, e.g. Torii+ 2002)が知られる。これは地球上で確認されている唯一の静電場粒子加速である。しかし、加速原理が「逃走電子雪崩」(Grevitch+ 1989)という特殊なメカニズムであること以外、雷雲中での加速器の位置、サイズ、電場強度、タネ電子の起源や増幅率も不明で、 定量的な理解には程遠い。

雷ガンマ線研究は始まったばかりの分野で、毎年のように新発見がある(Dwyer+ SSR 2012, Enoto+ Nature 2017、Wada+ PRG 2021 など)。宇宙からの TGF 観測では、Fermi 衛星、AGILE 衛星、ISS 搭載の ASIM が成果を上げているが、既存の数千個もの TGF データでも、ガンマ線放射のビーム開口角とその傾斜角は、基礎情報であるにもかかわらず、分かっていない。これを紐解くには、複数衛星での同時観測が欠かせない。2027 年 NASA が打ち上げ予定の MeV 宇宙観測衛星 COSI は赤道低軌道に投入されるため、赤道付近を周回する AGILE、軌道傾斜角が 21 度の Fermi との、TGF 多点同時観測のデータ数が一気に増える決定打となりうる。

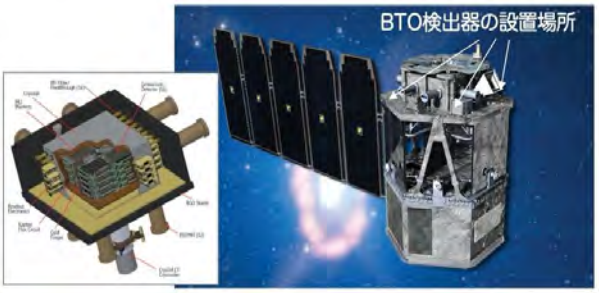


図 1. NASA の COSI-SMEX 衛星。主検出器とは独立に、Background and Transient Observer (BTO、仮称)が 4 台搭載される。

２：研究方法

COSI チームには日本グループが存在し、名古屋大学の中澤と、東大 KavliIPMU の高橋教授を中心に合計 6 名が登録されている。中澤の役割は COSI に搭載される補助検出器 Background and Transient Observer (BTO)の設計サポート、および雷ガンマ線を含んで COSI 衛星のサイエンスの最大化検討である。本研究では BTO のフライト品(FM)の開発を支援し、さらに TGF の観測機能をよくする工夫を実現する。また、地上での雷ガンマ線観測の継続活動も一部実施する。

３：研究結果と考察

FM 候補の回路図・システム設計であるアナログ基板とデジタル基板を用意し、HIMAC での C および Fe の照射試験を、それぞれ 7/18 と 11/20 に実施した。重要なことは、通常のガンマ線信号を 30 keV から 2 MeV の要求範囲できちんと読み出しつつ、C や Fe などの重元素宇宙線の超大信号の影響を除去し、proton と合わせてこれらの高エネルギー粒子を計数できるアナログ回路を実現することである。今回は、NaI+SiPM の検出器に 2 つの出力を用意してもらい、これを用いて通常信号と超大信号の弁別を狙った。実際には trans impedance amp (TIA)のパラメータ設定により回路応答が大きく変わり、これ

を実測することができた。HIMAC での試験は残念ながら今年度が最後となるとされる。そこで、SiPM と初段の TIA を再現した検出器のダミーシステムを構築し、LED を照射することで HIMAC 試験で得られた波形の再現を試みている。これにより、FM 回路のパラメータ調整を重粒子を照射することなく実現できる。

FM 回路の開発はこの 4-7 月で完了する予定であり、環境試験や性能試験を経て、2025 年の 9 月に COSI 衛星システム側にに BTO を引き渡す予定である。並行してコマンドやテレメトリーの監視、データ処理のための地上パイプラインソフトの開発が必要である。このためにも FM システム「相当品」を、日米の双方に持つことが必要であり、その準備も進めている。

地上での雷ガンマ線観測研究については、開口角 θ を下向き TGF について知ることを目指し、チェレンコフ光を用いた独自の指向性 TGF 観測装置を別予算を用いて 2022 年から開発している。これと並行して Si pixel 検出器 Timepix3 を用いた計測も進めている。2024 年度もこの２種の装置を金沢に展開し、TGF の指向性観測に挑戦した。2024/11/29 と 2025/1/28 の２つの TGF の地上での多点観測に成功した。現在データ解析中である。また過去のデータ解析から、「上空向きのマルチパルス TGF の逆行放射（陽電子由来）を捉えた」ことを確認し論文とした。これにより「宇宙向き TGF を、地上側から同時に計測できる」ことが実証された

４：まとめ

COSI 衛星の日本チームとしての参加、特に TGF 観測のための検討は進めており、BTO 検出器の設計も固まりつつある。今後は、実際のデータ保存のための機上ソフトおよび地上ソフトの開発が重要となる。COSI を用いた上空からの衛星による多点 TGF 観測に先んじで、地上観測で TGF の多点観測に成功しているが、やはり地上での TGF は極めて光度が高く、解析は慎重を要する。今後もその解析と継続した観測を進めてゆく。

[成果発表]

・査読論文：Hannah Gulick a b, Hiroki Yoneda c d, Tadayuki Takahashi e f, Claire Chen a b, Kazuhiro Nakazawa g, Shunsaku Nagasawa b e f, Mii Ando h, Keigo Okuma h, Alyson Joens b, Samer Al Nussirat b, Yasuyuki Shimizu i, Kaito Fujisawa i, Takayoshi Kohmura j, Kouichi Hagino k, Hisashi Kitamura l, Andreas Zoglauer b, Juan Carlos Martinez Oliveros b, John A. Tomsick b, "A study of afterglow signatures in NaI and CsI scintillator modules for the background and transient observer instrument on COSI", NIM-B, Vol. 561, https://doi.org/10.1016/j.nimb.2025.165631, 2025

・査読論文：K. Nakazawa, M. Oguchi, T. Wu, Y. Wada, K. Okuma, D. Wang, Y. Tsuji, Y. Omiya, M. Ando, T. Enoto, M. Tsurumi, J. Kataoka, T. Kanda, R. Iwashita, N. Koshikawa, T. Shinoda, G. Diniz, Y. Ikkatai, "An Upward Multi-Pulse TGF Involved With Two Thunderstorm Cells", JGR-Atmospheres, Vol 130, Issue 6, https://doi.org/10.1029/2024JD042303, 18 March 2025

・学会発表：田中 敦也 1、中澤 知洋 1、大熊 佳吾 1、大宮 悠希 1、 安藤 美唯1、大口 真奈里1 、榎戸 輝揚2、和田 有希3、 一方井 祐子4、Ting Wu5、Daohong Wang5、「Si ピクセル検出器 Timepix3 を用いた電子飛跡 トラッキングによる MeV ガンマ線の 指向性計測 と冬季北陸 TGF 観測への応用」、JpGU 2024, 幕張メッセ, 2024/5/29

・国際研究会発表：中澤知洋、「Observations of X-ray and Gamma-ray Line Emissions with XRISM and COSI」 KMI2025シンポジウム、名古屋大学、2025/3/7

（別紙様式01-2）

改良された汎世界的宇宙線観測ネットワークによる宇宙天気の観測 II

Space Weather observations using the upgraded Global Muon Detector Network (GMDN) II

加藤　千尋，信州大学・理学部

ミューオン計による宇宙線強度の汎世界的観測ネットワーク（GMDN: Global Muon Detector Network）を用いた宇宙天気研究を展開し，高エネルギー銀河宇宙線の長大なリーチ（ジャイロ半径～0.05 AU，ピッチ角散乱の平均自由行程～0.1 AU）を活かして，大規模な太陽磁場構造の変動の実態と，その中での宇宙線輸送過程を解明することを目的とする。



昭和基地ミューオン計の拡張作業

本年度は，南極昭和基地にあるミューオン観測システムのフルスペック化を行い，2025年2月から，これまでの１基から２基体制での観測を開始した。観測システムの更新に関しては，ブラジルの一部パーツの更新作業を開始することができた。また，名古屋観測所機器の一部に関して，ISEE共同利用機器装置維持費をつけていただき，更新作業を開始したところである。データ解析では，中性子モニターとミューオン計による観測データの統合解析ならびに解析手法の改善で，解析した宇宙天気現象(StarLink衛星を墜落させたことからStarLinkイベントと呼ばれている)について，フラックスロープの軸推定を行い，先行論文で延べられていた「2本のフラックスロープが時間差で地球に到達した」という説の，少なくとも1本目について南北方向に伸びたフラックスロープが地球を通過したとする解析結果を得，ISEEの研究集会で報告された。その他の解析結果に関してもいくつかのジャーナルに投稿されている。

（別紙様式01-2）

電離圏における電磁流体波動捕捉現象の解明：南北両半球の広い緯度範囲における地上と人工衛星の微小磁場変動観測

Understanding of magnetohydrodynamic waves trapped in the ionosphere: Observations of small-amplitude magnetic field variations on the ground and by satellites over a broad latitudinal range in both hemispheres

能勢正仁、名古屋市立大学・データサイエンス学部

研究目的

この研究では、世界で初めて高緯度から赤道域、かつ南北両半球に誘導磁力計観測をグローバルに展開することに加え、電離圏内を飛翔し直接観測を行っているSwarm衛星との同時観測データを解析し、電磁流体波動の電離圏での捕捉現象であるPc1地磁気脈動および電離圏アルフベン波動共鳴(Ionospheric Alfvén Resonance, IAR)について、その伝搬経路や励起メカニズムを明らかにすることを目的とする。

研究方法

名古屋大学宇宙地球環境研究所で展開している誘導磁力計ネットワークの観測所の位置(赤丸・橙丸)を図1に示してある。日本付近の経度(東経120°-140°)においては、これまで、赤丸で示したロシア(Zhigansk, Magadan, Paratunka)および日本の北海道と九州(Moshiri, Sata)の合計5か所で観測が行われてきたが、新たに日本の沖縄(Kunigami、2022年11月～)、オーストラリア(Kakadu、2023年3月～)、フィリピン(Muntinlupa、2023年6月～)において観測が開始された(**図1**の橙丸)。これにより、南北両半球で高緯度から赤道域までの広い緯度範囲でPc1地磁気脈動およびIARの特性を調べることができるようになった。

そこで、地上観測所のデータからPc1地磁気脈動およびIARが現れているイベントを探し出し、その中でも特にSwarm衛星が近くの経度を飛翔している時に注目し、オーロラ帯から中低緯度・赤道域にわたって、これらの現象がどの様な性質を持っているのかを調べる。地上観測の結果を、Swarm衛星の磁場データと比較することで、電離圏での電磁波動伝搬や定在波動の存在を高い確度で結論付けることができる。また、SataとKakaduは地磁気的に南北共役点近くに位置するため、これらの2か所を重点的に比較することで、伝搬特性や励起エネルギー源について新たな知見が得られると期待できる。

上記のデータ解析と並行して、インドネシアのCangar観測所(**図1**の緑丸)の担当者と連絡を取り、誘導磁力計を設置するための協議を行う。

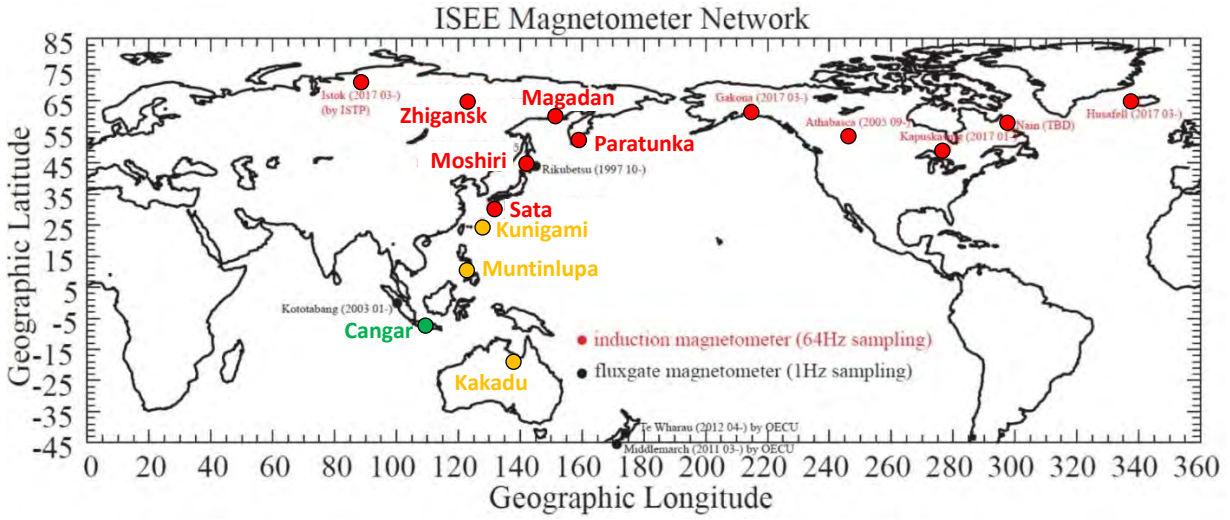


図1: 名古屋大学宇宙地球環境研究所で実施している誘導磁力計磁場観測ネットワークの観測点分布(赤丸・橙丸)と将来的に設置可能性のあるインドネシアCangar観測所の位置(緑丸)。この研究計画では、日本付近の経度(東経120°-140°)に位置する8観測所(Zhigansk, Magadan, Paratunka, Moshiri, Sata, Kunigami, Muntinlupa, Kakadu)で得られたデータを用いる。

研究結果・考察・まとめ

2023年3月23日にSYM-H_{min}=−170 nTに至る比較的大きな磁気嵐が発生した。この磁気嵐の回復相後期にあたる3月25日14:10 UTごろから、ロシア(Paratunka)からオーストラリア(Kakadu)に亘る広い緯度範囲で、14:14 UTおよび14:25 UTに、Pc1地磁気脈動が発生したことが捉えられた(**図2**左・マジェンタ線)。この時、ほぼ同じ経度域をSwarm-B衛星が飛翔しており、14:25 UTに地上でPc1脈動の振幅が増加したのに対応して、Swarm衛星はILAT=30°あたりで、東向き成分の磁場擾乱を観測していた(**図2**右・白色矢印)。また、Swarm衛星が南北のILAT=44°辺りを通過した際にも東向き成分の大きな磁場擾乱が観測されていた(白色矢印)。

この観測から、Pc1脈動が磁気圏から南北の電離圏に伝搬してきている経路およびタイミングは**図3**のように解釈できる。

今年度は、ここに示したようにPc1脈動の解析を主に行ったが、観測を継続し、他のPc1脈動イベントやIARイベントについて解析を進める予定である。

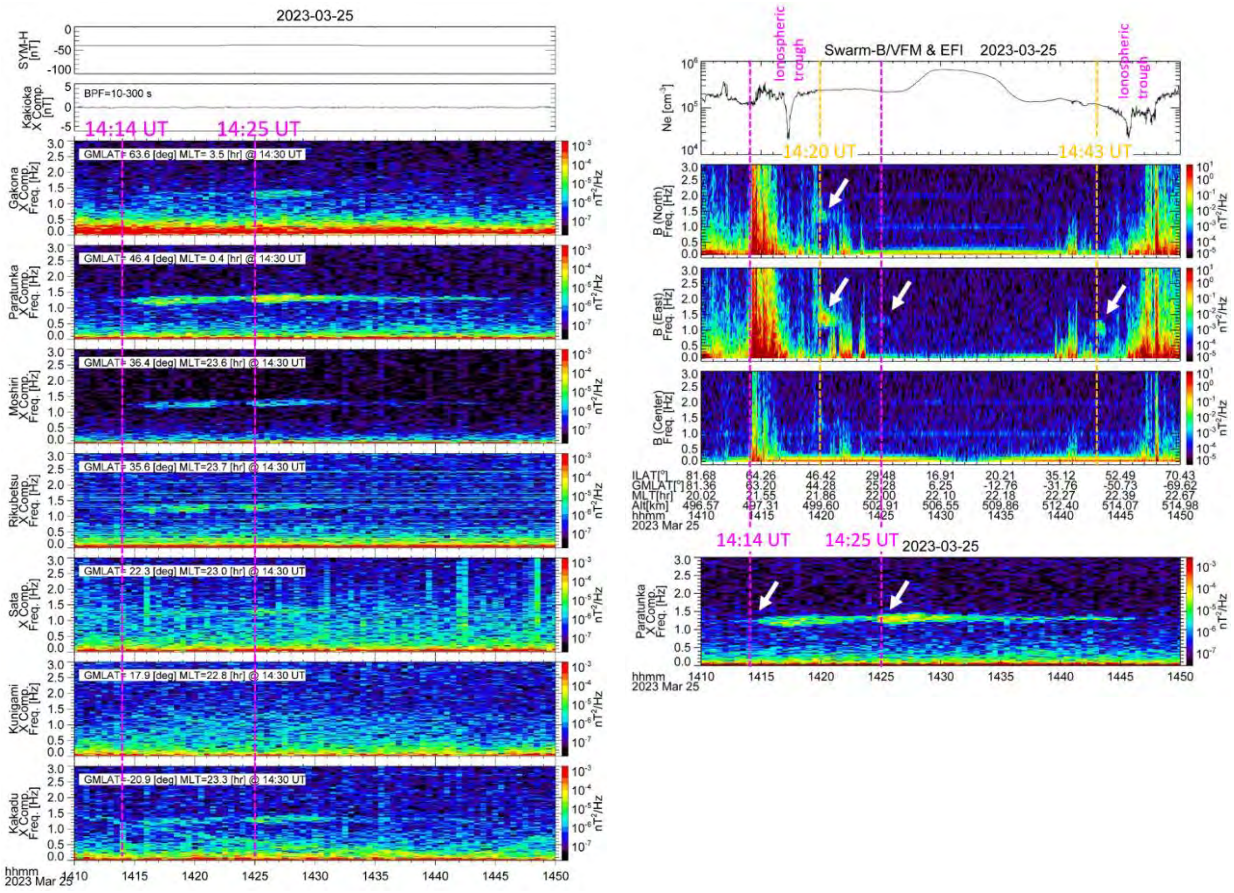


図2: (左)2023年3月25日14:10-14:50 UTにおけるSYM-H指数、柿岡における地磁気変動、カナダ・ロシア・日本・オーストラリアにおける誘導磁力計データのダイナミックパワースペクトル。14:14UTと14:25 UT(マジェンタ線)から、周波数約1.2 HzのPc1地磁気脈動が全ての観測所で観測されている。(右)同じ時間帯におけるSwarm-B衛星の電子密度、磁場のダイナミックパワースペクトル。最下部は比較のためのParatunkaの誘導磁力計データ。南北の共役位置を通過した時(14:20 UT, 14:43 UT・白色矢印)および地上でPc1地磁気脈動の振幅が増大した時(14:25 UT・白色矢印)に東向き成分の磁場擾乱が観測されている。

成果発表

- Nosé M., K. Shiokawa, Y. Otsuka, L. Wang, B. Jones, A. Lewis, M. D. Santos, P. J. Robles, and V. A. Pilipenko, Pc1 pulsations simultaneously observed at the latitudinal induction magnetometer network and by the Swarm satellite, 日本地球惑星科学連合2024年大会, 2024年5月, 千葉県・千葉市 (Poster).
- 能勢正仁, 磁気インピーダンスセンサーによる地磁気微小変動観測, 第48回日本磁気学会学術講演会, 2024年9月, 秋田県・秋田市 (Oral, Invited)

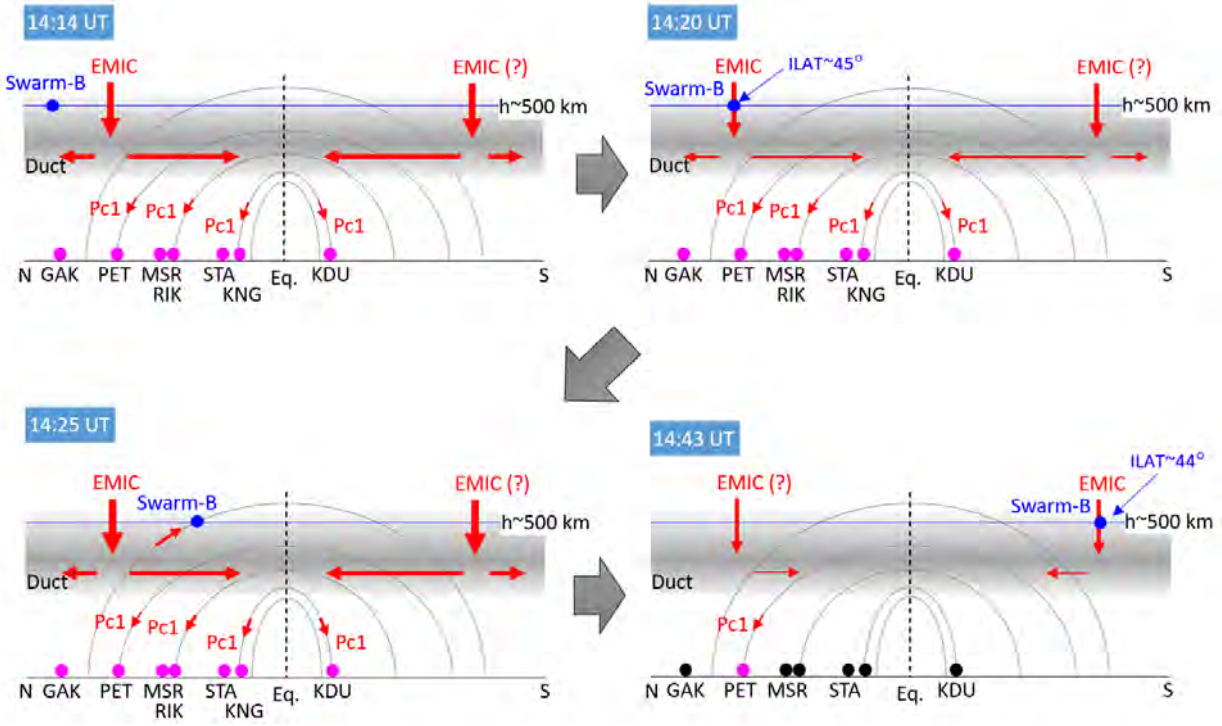


図3: 図2の観測から解釈される14:14 UT, 14:20 UT, 14:25 UT, 14:43 UTにおけるPc1地磁気脈動の伝搬経路。

（別紙様式01-2）

短波長赤外分光器・イメージャとEISCAT Svalbard radarを組み合わせた昼側オーロラの精密計測
Precise measurements of dayside aurora using SWIR spectrograph and monochromatic imager coordinated with EISCAT Svalbard radar

西山尚典、情報・システム研究機構 国立極地研究所・先端研究推進系 助教

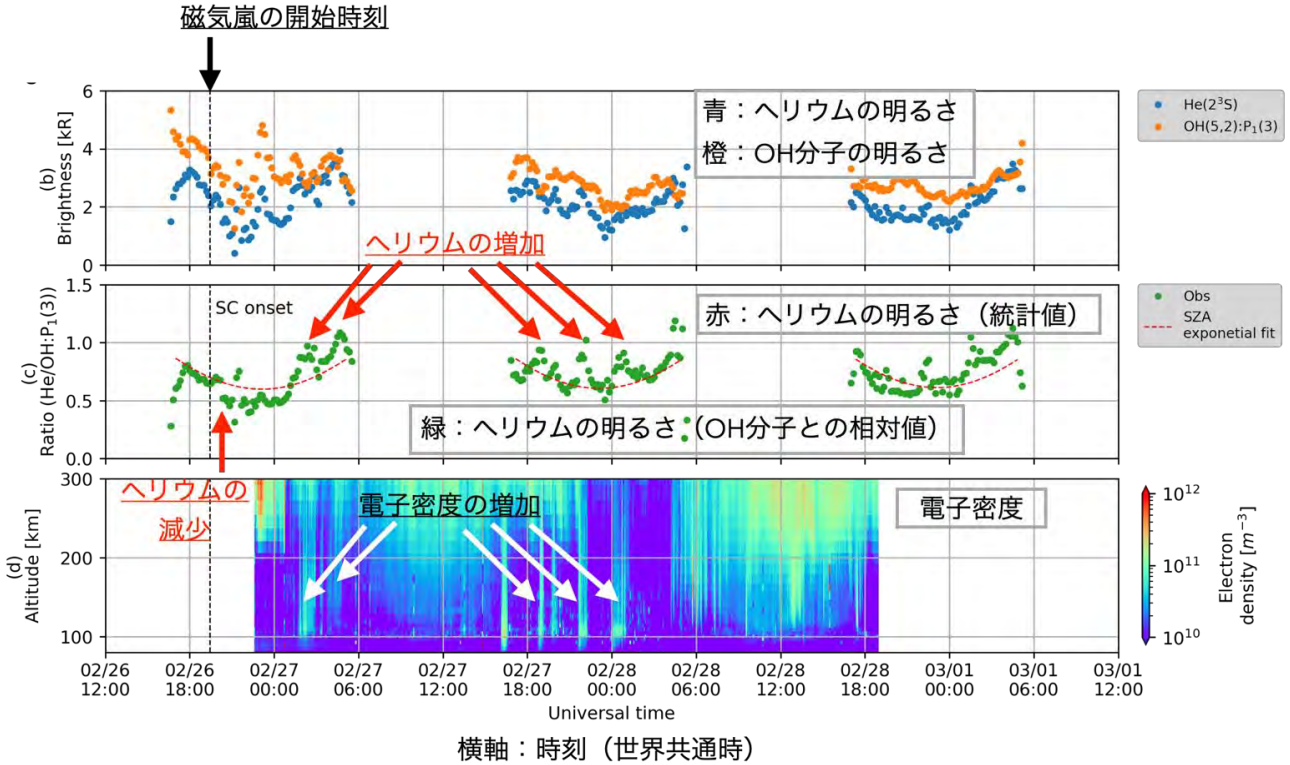
【研究目的】

オーロラの光学観測は，太陽風と地球磁気圏，地球超高層大気の相互作用の理解にとって非常に重要な役割を果たしてきた．近年では，北米や北欧で地上光学観測の多点化が進み，オーロラ出現領域を「地理的には」ほぼカバーしている．しかし，空の明るい「朝–昼側」のオーロラの計測に対して未だ有効な地上から光学観測手段がないのが現状である．本研究の目的は，太陽光の比較的弱くなる短波長赤外(> 1.0 μm)においてオーロラを高分散分光観測することで，光学観測時間帯を拡張し「朝–昼側」の超高層大気へのエネルギー流入を検出し，統計的に理解する事である．スバールバル諸島・ロングイヤービン(78.1°N, 16.0°E)で実施中の分光器及び単色イメージャーを用いた光学観測からは，薄明時/日照時のオーロラの空間範囲そして時間変動などを高分解能で捉え，EISCAT Svalbard radar (ESR)の観測を組み合わせる事で，オーロラ発光高度や降下粒子のエネルギー分布を定量的に推定する．またオーロラと同時に，①OH分子の発光スペクトルを用いた80 km高度の大気温度の導出，②高度300 km - 800 kmに分布する準定常Heの共鳴散乱発光強度の測定も行い，急激に進行する北極高緯度での気候変動の現状把握や，熱圏上部から外圏下部における熱圏-電離圏結合過程及び宇宙天気予報の予測精度向上へ貢献する．

【研究結果】

2023 年 2 月末に発生した磁気嵐 (G2) に対応した準安定 He の時間変化を発見した．2023 年 2 月 26 日世界共通時 19 時頃に磁気嵐が発生し，そのわずか 1 時間以内に He 発光強度の減少が観測され，その後数日程度減少は継続した．この He の発光強度の減少が，①OH 分子（高度 80 km）の発光の明るさと比べても明らかに大きく，すなわち気象条件による減光ではないということと，②2-3 月の観測期間（17 日間）における統計的な日変化では説明できない減少量であることが明らかになった．

一方で，He の減少期間中に数時間程度のスケールで He が急激な増加を示したことも明らかになっ



横軸：時刻（世界共通時）

図 1 磁気嵐直後における光学観測結果（ヘリウムおよび OH 分子の発光）とレーダー観測結果（電子密度）

た．ESR による同時観測から，He の増光に対応して電子密度の増加も発生しており，降下電子によって定常状態の He が準定常状態の He へと励起させられたと考えられる。

また，2023年9月末に検出機の冷却部の故障により短波長赤外分光器の観測は停止していたが，製造メーカーによる修理及び冷却回路の更新ののち，2024年10月より観測を再開させた．2025年3月現在，順調に連続観測を継続しており，極域冬季のHe密度の極大，いわゆるHe winter bulgeの測定に成功し，太陽プロトン現象に対応したHeの突発的な増光も確認された．2025年1月の磁気嵐（G3）では，N_2^+オーロラに加えて，昼側及び真夜中付近でHe共鳴散乱の異常増光が確認され，地磁気擾乱時における準定常Heの生成/輸送機構の解明に向けてUniversity centre in SvalbardやSouthampton Universityと共同研究を進めている．

【考察とまとめ】

He発光強度の減少については，ESRの観測により磁気嵐の発達に伴い高度100 km - 150 kmで強い大気加熱が発生したこと，および，電離圏におけるNegative stormの発生から加熱された窒素分子が少なくとも高度300 kmまで上昇したことが明らかとなった．さらにN_2分子は高度500 km付近まで上昇し，N_2分子と準定常Heとの衝突・エネルギー交換(Penning Ionization)の結果，準定常Heが減少する反応を促進させたと考えられる．これは，下部熱圏付近で生じた大気加熱の結果，鉛直上方に輸送されたN_2が熱圏上部から外圏下部（高度300 km - 800 km）まで1時間程度という想像以上の速さで到達し，その場の大気組成に影響を与える事を示唆した結果である（Nishiyama et al., 2024, Space Weather, in revision）．

また，磁気圏からの降下電子によって準定常Heが生成される可能性を世界で初めて報告した．準定常Heの生成には光電子との衝突が最も重要と考えられてきたが，極域においては降下電子による生成も考慮すべきことが明らかになった．今後は太陽風起源のHe^{++}やリングカレントHe^+といった非電離圏イオンによる電荷交換反応からの準定常Heの生成がどの程度寄与しているのか調査していくことが重要である．

【成果発表】

論文

[1] **(Preprint)** **Takanori Nishiyama**, Masato Kagitani, Tikemani Bag, et al. Thermospheric orthohelium, He(23S), variations associated with a moderate storm in February 2023: the NIRAS-2 observations at the Kjell Henriksen Observatory (78.1° N, 16.0° E), Svalbard. ESS Open Archive . September 27, 2024, DOI: 10.22541/essoar.172745030.03956869/v1

[2] Herlingshaw, K., Partamies, N., van Hazendonk, C. M., Syrjäsuo, M., Baddeley, L., Johnsen, M., Eriksen, N. K., McWhirter, I., Aruliah, A. L., Engebretson, M. J., Oksavik, K., Sigernes, F., Lorentzen, D. A., **Nishiyama, T.,** Cooper, M. B., Meriwether, J. W., Haaland, S., and Whiter, D. K.: Science Highlights from the Kjell Henriksen Observatory on Svalbard, Arctic Science, http://dx.doi.org/10.1139/as-2024-0009, 2024.

[3] Partamies, N., Dayton-Oxland, R., Herlingshaw, K., Virtanen, I., Gallardo-Lacourt, B., Syrjäsuo, M., Sigernes, F., **Nishiyama, T.**, Nishimura, T., Barthelemy, M., Aruliah, A., Whiter, D., Mielke, L., Grandin, M., Karvinen, E., Spijkers, M., and Ledvina, V.: First observations of continuum emission in dayside aurora, 2025, accepted, Annales Geophysicae.

プレスリリース

[1] 地球電磁気・地球惑星圏学会ほか、磁気嵐起源の「下から上」へ伝わった地球大気最上部の変動を発見 ～高度 500 km のヘリウムの観測、宇宙天気予報の改善や拡張に貢献～

https://www.sgepss.org/meeting/SGEPSS_FM2024_Press_Release.pdf

学会発表（主著のみ）

[1] Nishiyama et al., Thermospheric He variations associated with two storms on February and March, 2023: the NIRAS-2 observations at Longyearbyen (78.1°N, 16.0°E), Svalbard., JpGU 2024, Chiba, Makuhari Messe, 29 May 2024

[2] Nishiyama et al., Short-wavelength infrared auroral spectroscopy and imaging observation

s at 1.1 μm in the Kjell Henriksen Observatory, Longyearbyen (78.1°N, 16.0°E), 48th Annual European Meeting on Atmospheric Studies by Optical Methods, Tromsø, 1 August 2024

[3] Nishiyama et al., Thermospheric orthohelium variations associated with a moderate storm on February 2023: the NIRAS-2 observations at Longyearbyen, 2024年SGEPSS秋季大会, 国立極地研究所, 2024年11月24日

[4] Upper thermospheric orthohelium, He (23S), variations associated with a moderate storm in February 2023: the NIRAS-2 observations at Longyearbyen (78.1°N, 16.0°E), Svalbard, The 15th Symposium on Polar Science, NIPR, 4 Dec. 2024

[5] Short-wavelength infrared spectroscopic and imaging observations for aeronomy from the upper mesosphere to the exosphere: He 1083-nm airglow emission observed at Longyearbyen, EISCAT研究集会, 国立極地研究所, 2025年3月28日

（別紙様式01-2）

東南アジアにおける雷放電とグローバルサーキットとの関連性の解明
Relationship between lightning discharges and global electric circuit in Southeast Asia

大矢　浩代、千葉大学・大学院工学研究院

１．研究目的

本研究では、世界三大落雷地域の一つである東南アジアに構築しているAVON（Asia VLF observation network)に、フィールドミル(大気電場計)を新規設置し、雷放電から発生するVLF/ELF帯電磁波と大気電場とを比較することにより、雷放電がグローバル・サーキットの電源としてどの程度寄与しているのかを明らかにすることを目的とする。また気象現象等とグローバル・サーキットとの関連性についても調べる。

２．研究結果

海底火山フンガ・トンガ＝フンガ・ハアパイは 2022 年 1 月 15 日に爆発的に噴火した。本研究ではラム波およびペケリス波によって引き起こされる中性大気と下部電離圏との相互作用を調査し、ペケリス波の音波共鳴により、下部電離圏変動が引き起こされていることを示した（図 1）。これまでペケリス波の共鳴は観測で検出されていなかった。本研究では、下部電離圏と大気電場に焦点を当て、AVON 等の複数の観測点でモニタリングを行った。図 2 および図 3 にペケリス波によって引き起こされた LF 帯標準電波、地上磁場および大気電場の 100～200 s の振動が観測されたことを示す。しかし、地上ではペケリス波による 100～200 s の周期の気圧変動は観測されなかった。中性風のシミュレーションによって、ペケリス波が中間圏界面付近で振動していることが明らかになり、この振動が共鳴を示唆していることが分かった。したがって、大気電場の振動は、下部電離圏の共鳴がグローバル・サーキットを介して地球表面に投影された結果であると解釈される。

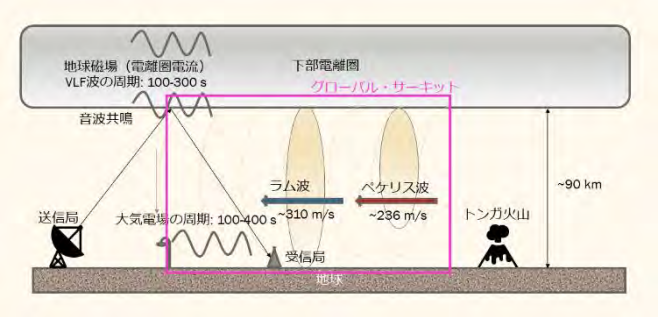


図 1　トンガ噴火によって生じたペケリス波の音波共鳴により下部電離圏変動が起こる模式図。

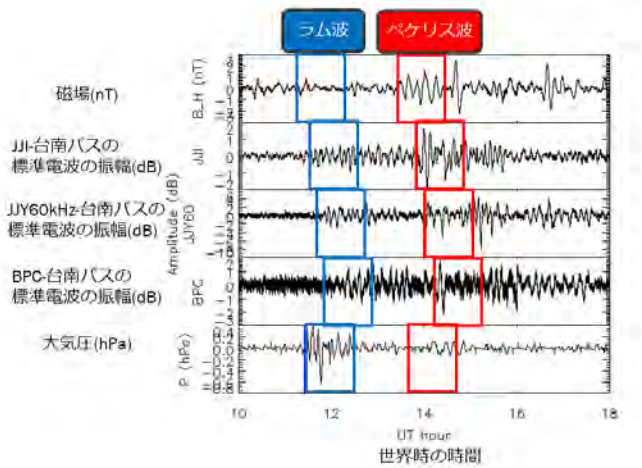


図 2　トンガ噴火によるラム波（青の枠線）とペケリス波（赤の枠線）による下部電離圏変動。

成果発表

【論文】

1. Ohya, H., F. Tsuchiya, M. Nakayama, S. Maruyama, A. Kubota, Y. Takahashi, E. Sungging Mumpuni, La Ode Muhammad Musafar Kilowasid, T. Manik, D-region Ionosphere and Space Weather Phenomena: Latest Research and Impacts in AVON Project, Springer Proceedings in Physics, 153-160, 2025.
2. Furuya, R., H. Ohya, F. Tsuchiya, M.-Y. Yamamoto, H. Nakata, D-Region Ionospheric Variations Induced by a 2023 Fireball in Hokuriku, Japan, Using OCTAVE VLF/LF Transmitter Signals, Springer Proceedings in Physics, 205-212, 2025.

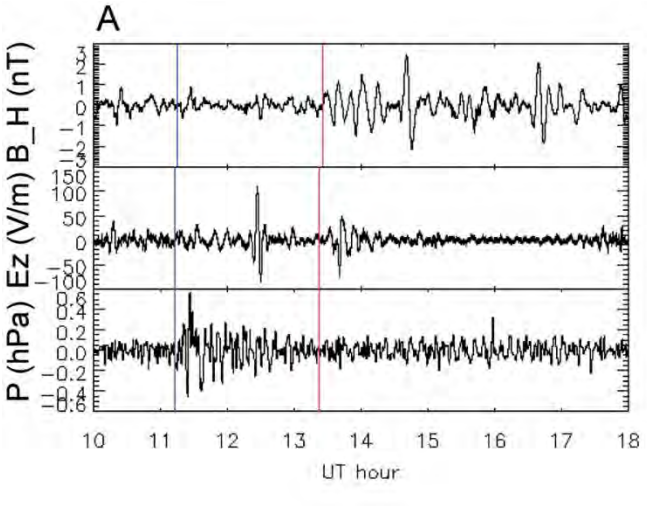


図 1　上からトンガ噴火時の地上磁場、大気電場、気圧。

3. Ohya, H., F. Tsuchiya, T. Takamura, H. Shinagawa, Y. Takahashi, A. B. Chen, Lower ionospheric resonance caused by Pekeris wave induced by 2022 Tonga volcanic eruption, Scientific Reports, 14(1), 2024.
4. Iwashita, H., F. Kobayashi, K. Morotomi, S. Shimamura, A. Higuchi, H. Ohya, T. Takano, T. Takamura, POTEKA Observation/Prediction Technology on the Ground Surface, URSI Radio Science Letters, 5, 2024.
5. Enomoto, R., H. Nakata, S. Rui, K. Hattori, K. Hosokawa, H. Ohya, Analysis of Concentric Traveling Ionospheric Disturbances associated with typhoon Faxai in 2019 using HF Doppler Soundings, Journal of Atmospheric Electricity, 43, 1-7, 2024.

【口頭発表】

1. Ohya, H., D-region ionosphere and space weather phenomena: Latest research and impacts in AVON project, The 10th International Seminar on Aerospace Science and Technology (ISAST) 2024 (Bali, Indonesia), September, 2024 (Invited).
2. Ohya, H., F. Tsuchiya, D-region ionospheric variations associated with the 2024 Noto earthquake using OCTAVE LF transmitter signals, 45th Committee on Space Research (COSPAR) Scientific Assembly (Busan, South Korea), July 2024.
3. Ohya, H., F. Tsuchiya, T. Takamura, H. Shinagawa, Y. Takahashi, A. B. Chen, D-region Ionospheric Resonance Induced by Pekeris Wave associated with the 2022 Tonga Volcanic Eruption, 21st Asia Oseania Geosciences Society (AOGS) Annual Meeting (Pyeongchang, South Korea), June 2024.
4. Ohya, H., F. Tsuchiya, T. Takamura, H. Shinagawa, Y. Takahashi, A. B. Chen, Acoustic resonance in the D-region ionosphere due to Pekeris wave after the Hunga Tonga-Hunga Ha‘apai volcanic eruption using AVON VLF/LF transmitter signals, Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting2024 (hybrid: Chiba, Japan+Online), May 2024.
5. Ohya, H., F. Tsuchiya, D-region ionospheric variations after the 2024 Noto Peninsula earthquake using OCTAVE VLF/LF transmitter signals, Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting2024 (hybrid: Chiba, Japan+Online), May 2024.

（別紙様式01-2）

国際共同観測ネットワークによる有機エアロゾルの分解および生成過程の解明
Elucidation of the degradation and formation process of organic aerosols

島田幸治郎、琉球大学・理学部

【研究目的】

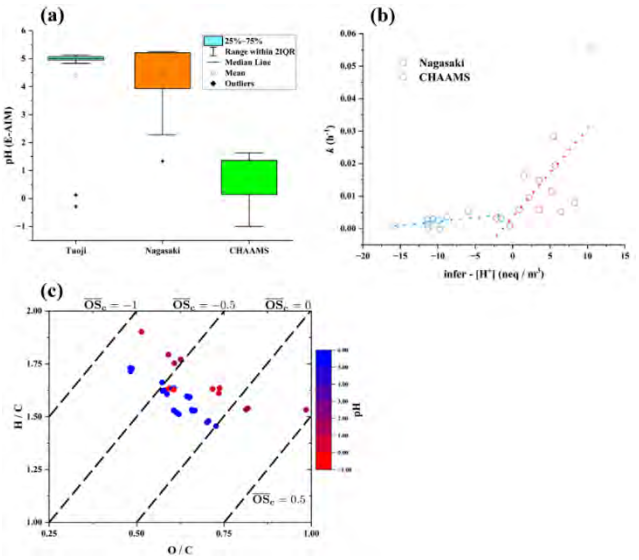
長距離輸送される二次有機生成エアロゾル（SOA：Secondary organic aerosol）の組成は、室内実験の結果から大きく2つの議論にわかれている。1 つは、SOA はオリゴマーやフミン様物質のような比較的分子量の大きい難分解性の有機物が主要成分であり、長距離輸送中に生成される。もう一つは、SOA であるオリゴマーやフミン様物質は長距離輸送される間にオゾンによる酸化や光化学酸化反応によって分解が促進され低分子化し、さらに分解副産物も生成するというものである。上記2つの議論について実態を解明するため本研究では、これまで申請者が構築してきた東アジアの国際共同観測ネットワークを活用し、長距離輸送中の SOA がどのようなタイムスケールで生成や分解を起こすのかを解明する。

【研究方法】

2022年、2023年の冬季と春季に辺戸岬に位置する国立環境研究所 辺戸岬 大気・エアロゾル観測ステーション（CHAAMS）（日本）、Touji 島（中国）、長崎大学（日本）で1日1回のサンプリングを行った（Table 1）。長距離輸送される同一気塊中の SOA を捕集するために、Shimada et al. (2020)を参考にして気塊の輸送経路である中国 Tuoji 島、長崎と沖縄辺戸岬で同時に、2022 年～2023 年の春季と冬季に大気観測(合計 128 試料)を行った。TOC 計で全水溶性有機成分(WSOC)を分析した。全有機物（OC）と元素上炭素（EC）を OC/EC 計で分析し、全疎水性有機成分（WIOC）は OC と WSOC の差分によりを算出した。どの試料が同一気塊の SOA を捕集したか調べるために化学的的変質を起こさない元素状炭素(EC)、衛星と3 次元大気化学モデルを組み合わせた解析手法を用いて同定した。特に、その同定した試料の水溶性で低分子有機物である高極性水溶性有機物（HP-WSOC()と高分子有機物であるフミン様物質 (HULIS)に Zhou et al. (2022)の方法で 2 分画に抽出し、エアロゾル質量分析計で定量した。フィルターのイオン成分分析は、イオンクロマトグラフ（ICS-1600, Thermo Fisher Scientific）を用い、得られた各サンプルのイオン濃度を熱力学平衡モデルである E-AIM （Extended AIM Aerosol Thermodynamics Model）、ISORROPIA Ⅱに入力し、エアロゾルの pH を算出した。

【結果と考察】

長距離輸送における H_2SO_4 の生成に伴う酸性度変化と高分子有機物であるフミン様物質（HULIS）の酸化度（$\overline{OS}_c$）との関係を図 1 に示す。全イオン濃度に占める割合が最も高かったカチオンは、3 地点すべてにおいて NH_4^+であった。一方、アニオンは Tuoji 島で NO_3^- が 27.7%と最も高く、長崎、CHAAMS ではそれぞれ SO_4^{2-} が 30.9%、45.6%と最も高くなり、pH は図 1 (a) に示すように、長距離輸送にかけて大きく低下した。これは、図 1 (b) で示したように、酸性度の増加に伴い SO_2 の H_2SO_4 への酸化速度が上昇したためであった。また、図 1 (c) より、同程度の$\overline{OS}_c$ 値をもつ粒子では、酸性度が高いほど O/C が高くなる傾向が見られたことから、実大気中においても酸性条件下



における SOA の官能基化、高分子化の進行が示唆された。

【引用文献】

1. Shimada, K.; Nohchi, M.; Yang, X.; Sugiyama, T.; Miura, K.; Takami, A.; Sato, K.; Chen, X.;Kato, S.; Kajii, Y.; Meng, F.; Hatakeyama, S. Degradation of PAHs during long-range transport based on simultaneous measurements at Tuoji Island, China, and at Fukue Island and Cape Hedo, Japan. Environmental Pollution, 2020, 260, 113906.

2. Zhou, R.; Chen, Q.; Chen, J.; Ren, L.; Deng, Y.; Vodička, P.; Deshmukh, D. K.; Kawamura, K.; Fu, P.; Mochida, M. Distinctive Sources Govern Organic Aerosol Fractions with Different Degrees of Oxygenation in the Urban Atmosphere. Environ. Sci. Technol. 2021, 55 (8), 4494–4503.

【成果発表】

1. 北條就三, 吉野暢晃, 石川栄作, 持田陸宏, 周瑞辰, 孫銭哲, 魏辰然, 板橋秀一, 高見明憲, 清水厚, 佐藤圭, 中山智喜, 山口真弘, 佐藤啓市, 畠山史郎, **島田幸治郎**, (2024) 中国Tuoji 島から沖縄辺戸岬に長距離輸送される有機エアロゾルの化学的変質の解析, 第65回大気環境学会年会, 口頭発表(慶應義塾大学) (9月).

2. HOJO Shuzo, KOMUTA Nikita, YOSHINO Nobuaki, ISHIKAWA Eisaku, MOCHIDA Michihiro, WEI Chenran, SUN Qianzhe, WEI Chenran, YANG Xiaoyang, TAKAMI Akinori, SATO Kei, SHIMIZU Atsushi, ITAHASHI Syuichi, HATAKEYAMA Shiro, NAKAYAMA Tomoki, YAMAGUCHI Masahiro, and **SHIMADA Kojiro** (2024) Analysis of chemical properties of organic aerosols during long-range transport from Tuoji island, China to Okinawa, Japan. International Symposium on plant phenology and climate feedbacks mediated by BVOCs (PCF2024), Poster presentation (Nagaragawa Convention Center) (October).

3. 小牟田ニキータ, 北條就三, Xiaoyang Yang, 高見昭憲, 佐藤圭, 清水厚, 中山智喜, 山口真弘, Xuan Chen, Fan Meng, 畠山史郎, **島田幸治郎** (2024) 長距離輸送される同一気塊中のエアロゾル酸性度変化の解析. 第65回大気環境学会年会, 口頭発表(慶應義塾大学) (9月).

4. KOMUTA Nikita, HOJO Shuzo, OHO Genki, YOSHINO Nobuaki, MOCHIDA Michihiro, WEI Chenran, SUN Qianzhe, ITAHASHI Syuichi, SHIMIZU Atsushi, SATO Kei, NAKAYAMA Tomoki, YAMAGUCHI Masahiro, SATO Keiichi, HATAKEYAMA Siro, and **SHIMADA Kojiro** (2024) Evaluation of aerosol acidity changes during long range transport based on simultaneous measurements at Tuoji Island, China, Nagasaki University and Cape Hedo, Japan. International Symposium on plant phenology and climate feedbacks mediated by BVOCs (PCF2024), Poster presentation (Nagaragawa Convention Center) (October).

5. 小牟田ニキータ, 北條就三, Xiaoyang Yang, 高見昭憲, 佐藤圭, 清水厚, 板橋秀一, Xuan Chen, Fan Meng, 畠山史郎, 持田陸宏, 周瑞辰, 孫銭哲, 魏辰然, 中山智喜, 山口真弘, **島田幸治郎**, (2024) 中国Tuoji島から沖縄辺戸岬に長距離輸送される エアロゾル酸性度変化の評価. 気象学会2024年度秋季大会, ポスター発表(つくば国際会議場) (11月).

6. **SHIMADA Kojiro**, YOSHINO Nobuaki, ISHIKAWA Eisaku, MOCHIDA Michihiro, WEI Chenran, SUN Qianzhe, TAKAMI Akinori, SHIMIZU Atsushi, SATO Ki, NAKAYAMA Tomoaki, YAMAGUCHI Masahiro, SATO Keiichi, HATAKEYAMA Siro, ITAHASHI Syuichi (2024) Analysis of chemical transformation of organic aerosols transported over long distances from Tuoji Island, China to Cape Hedo, Okinawa. JpGU-AGU Joint Meeting 2026, Oral presentation (Makuhari Messe, Japan) (May)

（別紙様式01-2）

地上ライダーネットワークと衛星観測を融合した南米スモークの観測研究
Observational study of the South American smoke by integrating ground-based lidar network and satellite observation

西澤智明、国立環境研究所・地球システム領域

１　研究目的

本研究では、地球気候や地域環境に影響を及ぼす南米スモーク（主にアマゾンスモーク）の動態および微物理・光学特性の実態把握と新たな知見の創出を目的とした観測研究を行う。アマゾンスモークは、アマゾン熱帯雨林から風下となる南方への長距離輸送がこれまでの観測研究からしばしば報告されている。SAVER-Netプロジェクト等で構築・発展された地上ライダーネットワークは、風下国となるアルゼンチン、チリ、ボリビアに展開されており、本課題に適した観測地点構成となっている。これを最大限活用し、アマゾンスモークの物理特性の高度分布の把握を行う。ライダーネットワークによるスモークの多地点・高度分布計測と共に、スモークの発生域や水平輸送を掌握するために、静止衛星GOES/AHIや極軌道衛星Aqua/MODIS等の衛星観測を併用して用いる。特にGOES衛星は北南米大陸を常時監視していることから、本研究において有用な衛星観測データとなる。また、スモークの移流経路の詳細把握のために、流跡線解析や数値モデルによるシミュレーション解析も用いる。これらを複合的に用い、南米スモークの物理特性と共にその時間経過や経路環境に沿った特性の変質（エイジング効果）についても明らかにする。また、本課題で実施する地上ライダーネットワーク観測やそれを用いたエアロゾル研究は、南米エアロゾル研究の基盤の底上げに資する国際的な共同研究基盤としての意義もある。本課題を通じて、南米の他の観測コミュニティー（地上ライダーネットLALINET (Latin America Lidar Network)など）との連携の強化も推進する。

２　研究方法

先行研究において構築された地上ライダーネットワークを用いてスモークを含むエアロゾルの常時観測を実施する。予想されるアマゾン熱帯雨林からのスモークの移流経路上の観測サイト（ラパス、トゥクマン、コルドバ、ブエノスアイレス)については、重要地点として常時観測体制を強化する。衛星観測として、静止衛星GOESおよび極軌道衛星Aquaの光学センサーからのエアロゾルプロダクトおよび森林火災データを取得し、スモークの発生域や水平動態を検知する。また、地上ライダーデータと衛星観測データの複合解析により、エアロゾルの光吸収性に感度のある消散・後方散乱係数比（ライダー比）や粒径に感度のあるオングストローム係数といった物理量の抽出を試み、スモークのキャラクタリゼーションと共に、そのエイジング効果を掴む。ライダーによる高度分布観測から移流経路について水平方向だけではなく高度方向についても言及できる。流跡線解析や数値モデルによるシミュレーション解析を併用し、３次元的な移流経路の同定を行い、エイジング効果の評価を行う。また、発生したスモークの移流経路上に他の地上観測データ（例えば、AERONETなど）がある場合は、それらも利用する。

３　研究結果

ライダー観測

南米スモークの移流経路上の重要観測サイトとなるラパス（ボリビア）でのライダー観測を昨年度再開し、今年度は継続的に観測を実施することができた。トゥクマン（アルゼンチン）では、レーザーの故障や観測環境の整備のため観測停止を余儀なくされていたが、国立環境研究所で開発した可搬型小型ライダーの搬入を今年度果たし、2024年8月から昼夜連続観測を実施中である。図１にトゥ

クマンにおける2024年8月18日のライダー観測例（波長532nmの後方散乱信号の時間―高度断面図）を示す。高度2km以下において信号強度が高いことからエアロゾルが分布していることがわかる。また、エアロゾル分布の時間変化から混合層の発達の様子を捉えている。

南米スモークの下流側に位置するコルドバおよびブエノスアイレスでのライダー観測は継続中である。コルドバについては、SATREPS課題で導入した高スペクトル分解ライダー（HSRL）がアクティブであることを確認した。スモーク等のイベント中にHSRL観測が実施できるように現地オペレーターに技術指導を行った。

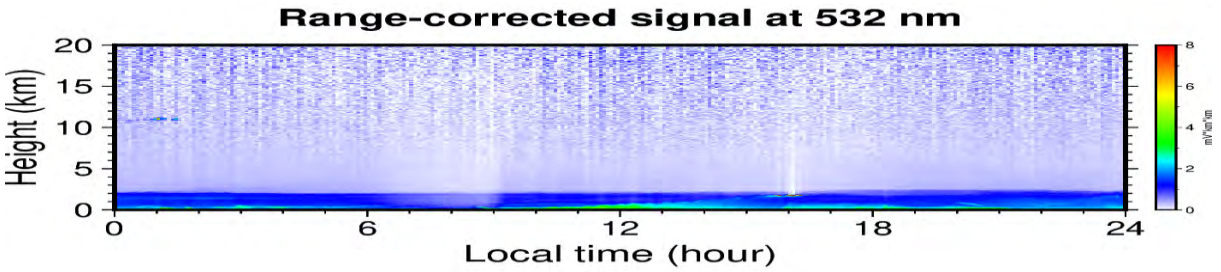


図１　トゥクマンにおける2024年8月18日のライダー観測例

エアロゾル採取計測と化学組成分析

観測地点について南米共同研究者と協議を行い、観測環境や計測設備の優れたコルドバにてエアロゾル採取計測を実施することにした。試料採取に使用するハイボリュームサンプラーや器具類の搬送準備は完了したものの、これらの機器のアルゼンチンへの輸送の手配に関する業者への打診において時間を要しており、今年度中の搬送完了には至らなかった。搬送手続きは可能となり次第進める予定であり、次年度早々の搬送を目指している。

衛星データを用いたスモークイベントの抽出と解析

南北米大陸を網羅する静止気象衛星GOESなどの衛星データの収集・解析およびスモークイベントの抽出を進めている。本研究期間だけではなく、2020年まで遡りその動態の把握を行っている。図２にGOES衛星から推定されたエアロゾル光学的厚さが示されおり、ライダーの地上ネットワーク観測によってスモークの大規模流を捉えられることが示されている（左図）。一方で、その流れを捉えられないケースもある（右図）。衛星観測や他の地上観測データ（AERONET等）も複合的に利用しスモークの性状・動態解析を進めていく。

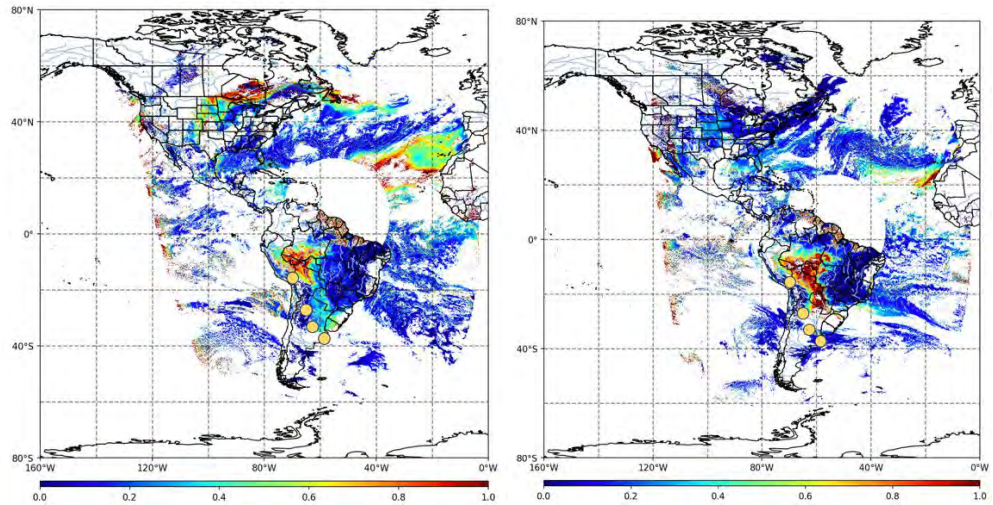


図２　GOES衛星から推定されたエアロゾル光学的厚さ（550nm）

左図）2021年8月18日　右図）2020年9月5日。図中の黄点はライダー観測地点

（別紙様式01-2）

インドネシア広域地磁気観測網の展開：赤道・低緯度領域の超高層・内部電磁気学現象の解明
Investigation of Upper Atmospheric/Internal Electromagnetic Phenomena in Equatorial/Low Latitude by the Indonesian Geomagnetic Observation Network

阿部修司、九州大学・国際宇宙惑星環境研究センター

本共同研究の科学的な目標は、インドネシアのMAGDAS地磁気観測網を経度領域に拡張し、赤道領域の宇宙天気的現象の時空間発展を詳細に調査してその物理メカニズムを解明すること、また、内部電磁気学の観点から、より広域な領域を密度濃くカバーすることで観測精度の向上を促し、局地的な内部電磁気的現象の早期検知をおこなうことである。本目標を達成するため、昨年度、ブラウィジャヤ大学の協力の下、インドネシア・東ジャワ州のチャンガル観測点（CNG）へ3成分フラックスゲート磁力計の設置をおこなった。本磁力計は2024年11月以降に不具合が発生したため、2025年3月にチャンガル観測点へ赴き、メンテナンスを行った[1]。メンテナンス後は、順調に稼働を続けている。あわせて、名古屋市立大学の能勢教授が進めている同観測点へのインダクション磁力計の設置補助をおこなった。また、これらの作業に先立ち、2024年10月にMaryanto教授が九州大学国際宇宙惑星環境研究センターを訪れ、設置作業に関する事前調整、機器メンテナンス・学術交流に関する覚書についての打ち合わせをおこなった[2]。



図1：2024年10月、九州大学国際宇宙惑星環境研究センターでの共同研究打ち合わせ（左）、2025年3月、インドネシアチャンガル観測点の作業メンバー（右）

設置された磁力計を用いた分野横断研究の先駆けとして、九州大学で開催されたThe 10th International Exchange and Innovation Conference on Engineering & Sciences (IEICES 2024) Conferenceにて、共同研究者のMaryanto教授が発表及びプロシーディング論文の出版をおこなった[3][4]。本研究は、インドネシアのチャンガル地域における持続可能な開発を達成するために、地質学的・環境学的研究を実施するとともに、異なる物理学的アプローチの研究を加えることで、当該地域における地熱資源の可能性と、休火山の噴火による脅威を探るものである。論文中では、MAGDASデータを解析することで、磁場の変動に基づくチャンガル地域の地熱および火山システムの地下の変化に関する情報を得られることが言及されている。

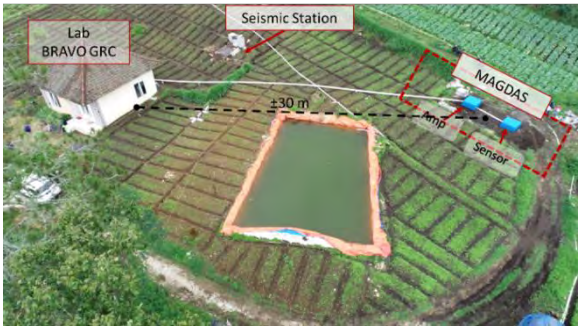


図2：地震計とフラックスゲート磁力計の同時観測（Maryanto et al, 2024）

さらに、2024年12月にブラウィジャヤ大学とオンラインのハイブリッド形式で「i-MAGDAS partnership forum – Workshop on International MAGDAS Series 1」と銘打ったワークショップを開催した[5]。本ワークショップには、先に挙げた能勢教授の他、共同研究者のGirgis博士とTakla博士に加え、マレーシアのMAGDASトレンガヌ観測点の責任者であるUmar博士が登壇した。日本・エジプト・マレーシア・インドネシアの研究者によるハンズオンセッションとインタラクティブなディスカッションを通し、超高層大気物理学や内部電磁気学に関する知識を参加者に提供する国際コラボレーションを実施した。

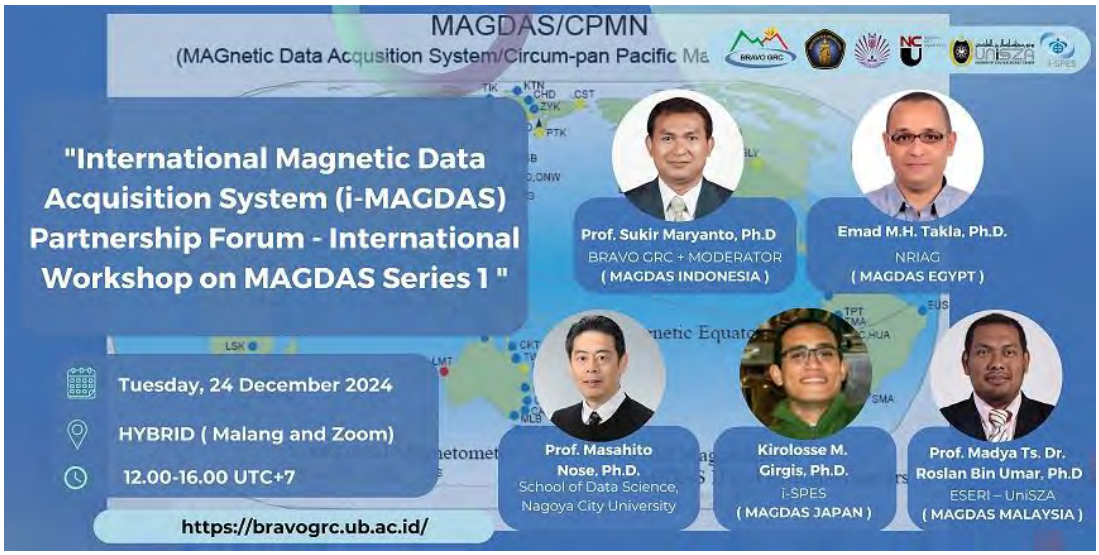


図3：MAGDAS国際ワークショップの案内

以上のように、設置されたMAGDAS磁力計を起点として、複数の機器を用いた観測網の拡充、分野横断的研究の促進、国際ワークショップの開催などが行われた。これらの成果は、本共同研究が目標とする赤道・低緯度領域の超高層・内部電磁気学現象の解明に向けた研究基盤が確かに構築されたことを示しており、これからも数多くの研究・教育成果が導出されることが期待される。

参考文献：

[1] Installation of Induction Magnetometer Instruments in BRAVO GRC Field Lab at ATP Cangar（https://bravogrc.ub.ac.id/installation-of-induction-magnetometer-instruments-in-bravo-grc-field-lab-at-atp-cangar/）

[2] Development of Research Facilities at Cangar Laboratory（https://bravogrc.ub.ac.id/development-of-research-facilities-at-cangar-laboratory-collaboration-with-nagoya-city-university/）

[3] 10th International Exchange and Innovation Conference on Engineering & Sciences (IEICES) 2024（http://www.tj.kyushu-u.ac.jp/en/igses/ieices/common_pdf/Conference%20Program%202020 24.pdf）

[4] Maryanto et al., Multi-method Geophysical Observations in Governing Sustainable Development of a Volcano-Hosted Geothermal Area in Cangar, Indonesia, Proceedings of International Exchange and Innovation Conference on Engineering & Sciences (IEICES) 10:1205-1211, DOI:10.5109/7323410

[5] i-MAGDAS partnership forum – Workshop on International MAGDAS Series 1（https://bravogrc.ub.ac.id/i-magdas-partnership-forum-workshop-on-international-magdas-series-1/）

プラズマ波動による高エネルギー電子降込みと下部電離圏への影響評価の実証的研究
Energetic electron precipitation through plasma waves and its effects on the lower ionosphere

土屋史紀、東北大学・大学院理学研究科

高エネルギー電子が磁気圏から大気へ降下する現象は、放射線帯外帯の損失過程として働くとともに、地球大気の中間圏・下部熱圏の電離源としても重要である。中間圏・下部熱圏では、電離に伴う化学反応によって窒素酸化物や水素酸化物が生成され、これらの触媒反応によりオゾン減少が生じるとされている。これらの一連の現象を観測により実証していくことが課題となっている。本研究は、高エネルギー電子の降込みによる下部電離圏の電離からその中間圏への影響について、観測的な実証を得ることを目的として実施された。以下に、2024 年度の活動と成果を報告する。

高エネルギー電子降下の観測は、北米、北欧、日本国内に展開した VLF 帯標準電波の電波伝搬ネットワークにより実施している。ネットワークの維持のためアラスカ・ポーカーフラットリサーチレンジおよび北海道・陸別観測所においてモノポールアンテナの交換とケーブルの保守を実施した。このネットワークを用いた研究成果として、サブストームに伴って出現する IPDP タイプの EMIC 波に注目し、サブオーロラ帯での IPDP とこれに伴う高エネルギー電子降下の出現特性についての統計解析結果が JGR Space physics 誌に受理された(Hirai et al. 2025)。

高エネルギー粒子の大気への降下によって、中間圏のオゾン濃度が減少することが予想されている。高エネルギー粒子の降込みによる中間圏のオゾン濃度の減少を調べるため、名古屋大学 ISEE が南極・昭和基地で実施しているミリ波分光放射計観測のデータの解析を 2022 年 7 月から 2023 年 3 月、2024 年 5 月の観測に対して実施した。解析対象は 249.8 GHz 帯と 250.0 GHz 帯の O_3スペクトルで、オゾンの濃度の高度分布を推定するリトリーバル手法を用いて中間圏高度のオゾン濃度の変動を導出した。2024 年 5 月に発生した巨大磁気嵐時には、5 月 10 日から 20 日にかけて 10MeV 以上の太陽プロトンフラックスの増大が発生し、夜間の中間圏 O_3カラム量に、夕方から朝方にかけて単調減少の変動傾向が確認された。この傾向は特に 5 月 10 日から 11 日に顕著であった。昭和基地のリオメーターでは、5 月 10 日 LT 20:10 に高エネルギー粒子の強い降込みがあり、LT 21:40 頃まで弱い降込みが確認されたことから、5 月 10 日から 11 日に昭和基地上空に高エネルギー粒子降込が発生し、それに起因して中間圏 O_3 カラム量の減少が引き起こされたと考えられる。5 月 10 日から 11 日は昭和基地が曇天であったため、磁気共役点付近に近いノルウェー・トルムソ上空における rTEC ケオグラムデータを用いてオーロラオーバルの位置の移動を調査した。昭和基地で中間圏 O_3 量減少が観測された 5 月 10 日 LT 19:30 から LT 22:30 の時間帯は、昭和基地はオーロラオーバルの高緯度側（極冠域）に位置していたと考えられることから、中間圏 O_3 量減少は高エネルギー電子ではなく、太陽プロトンによって起こされたと結論した。この観測結果は、地上のミリ波分光放射計で中間圏オゾン濃度の減少を捉えた初めての報告となる。

成果発表

＜論文＞

Hirai, A., Tsuchiya, F., Obara, T., Miyoshi, Y., Katoh, Y., Kasaba, Y., et al. (2025). Properties of EMIC waves and EMIC wave-driven electron precipitation in subauroral latitudes observed at Athabasca, Canada. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 130, e2024JA033357. https://doi.org/10.1029/2024JA033357

＜学会等発表＞

Hikaru Suzuki, et al., Variations in the ozone concentration in the mesosphere observed at Syowa station associated with energetic particles precipitation, 日本地球惑星科学連合 2024 年大会, 2024 年 5 月 26 日, 幕張メッセ

鈴木 ひかる他、高エネルギー粒子降下による南極昭和基地上空での中間圏オゾン濃度変動、第 29 回大気化学討論会、2024 年 10 月 9 日～11 日、神戸大学

水野 亮 他、昭和基地のミリ波多周波超伝導分光計による一酸化窒素(NO)時間変動観測と高エネルギー粒子降り込みの影響、第 29 回大気化学討論会、2024 年 10 月 9 日～11 日、神戸大学

Hikaru Suzuki, et al., Variations in the ozone concentration in the mesosphere observed at Syowa station associated with energetic particles precipitation, The 15th Symposium on Polar Science、2024 年 12 月 3 日～12 月 5 日、国立極地研究所

鈴木 ひかる他、高エネルギー粒子降下による南極昭和基地上空での中間圏オゾン濃度変動、第 22 回 ERG サイエンス会議、2025 年 3 月 11 日、名古屋大学

（別紙様式01-2）

LAMP-2ロケット搭載カメラAICの観測最適化のための シーボトムにおける地上オーロラ観測

Ground-based auroral observation at Skibton for the optimization of auroral camera AIC onboard the --2 rocket

坂野井健、東北大学・理学研究科

【 研究目的と意義 】

日米共同観測ロケット「LAMP-2」は、NASA に申請中のロケット実験であり、脈動オーロラに伴って発生する数 keV から数百 keV～数 MeV にわたる高エネルギー電子降下(Energetic Particle Precipitation; EPP)とその中層大気へ及ぼす影響、ならびに脈動オーロラに伴い加熱された朝方側電離圏から磁気圏へのイオン流出過程を調べる計画である。この解明のために、その場観測と地上 3D レーダーの共同観測が重要な課題となっている。LAMP-2 ロケットでは、2 台のカメラ（AIC1,AIC2）が搭載され、研究代表者は搭載カメラの責任者であり、現在この設計と観測計画を進めている。本研究は、搭載カメラと同じフィルタ・CMOS カメラで構成されるオーロラカメラをシーボトムに設置し、脈動オーロラに対して実測されるカウントとノイズを評価する。これにより、搭載カメラの 2 波長を決定し、ターゲットに最適化した時間・空間分解能などの観測計画を確立させことを目的とする。

【 研究成果 】

2024 年度は、2 台の LAMP-2 ロケット搭載カメラ試験品 AIC1-EM および AIC2=EM（検出器：ZWO 社 ASI-432MM、波長:670nm,845nm）ならびに全天カメラ（検出器：ZWO 社 ASI-483MMpro、魚眼レンズ：Fujinon FE185C086HA-1, f=2.7mm F/1.8、波長：845nm）と狭角カメラ（検出器：ZWO-ASI294MMpro、レンズ：Space 43F2409M-MP C, f=24mm F/0.8, FOV=28x28deg、波長：650nm より長波長）の合計 4 台を開発した。この開発を年度前半に行い、7 月 12-13 日に名大 ISEE にて全系電気試験を行い、正常動作確認を行った後に、Skibton 観測所に輸送した。

Skibton 観測所への設置作業は研究メンバーの名大・大山伸一郎氏が行った。この設置状況を図 1 に示す。9 月時には、狭角カメラの立ち上げ以外の 3 台のカメラについては設置が完了し、その 3 台について 10 月以降に連続自動運用を開始した。その後の運用状況としては、しばしばカメラの動作不良やストレージ（NAS）の不具合等のマイナーな問題により、短期的な観測欠損が生じたものの、日本からリモートアクセスすることで問題解決し、復旧させることができた。



図１．Skibton 観測所（左）への 4 台のカメラ設置状況（中）および運用システム（右）。

取得されるカメラのデータ量は膨大なため、インターネット回線ですべて転送することはできないが、磁気活動度が高かった期間の一部データについてリモートで回収し、データ解析を行った。この結果は、2024 年 11 月の SGEPSS で成果報告された。

2024 年 10 月 7 日の観測例を図 2 に示す。この例も含め、複数のオーロラの発光例に対して、本研究で設置されたカメラにより画像取得が確認された。しかしながら、LAMP-2 ロケットカメラのうち AIC2-EM(845nm)についてはカウント値が低いことが分かった。このため、別な観測波長の候補として N2+428nm の観測検討を行うこととなった。

2025 年 2 月に研究代表者の坂野井健が本経費により Skibton 観測所を訪問し、それまでに観測されたデータの回収および AIC2-EM のフィルターを 845nm から 428nm へ変更した。また、9 月に観測立ち上げができていなかった狭角カメラの運用を開始した。

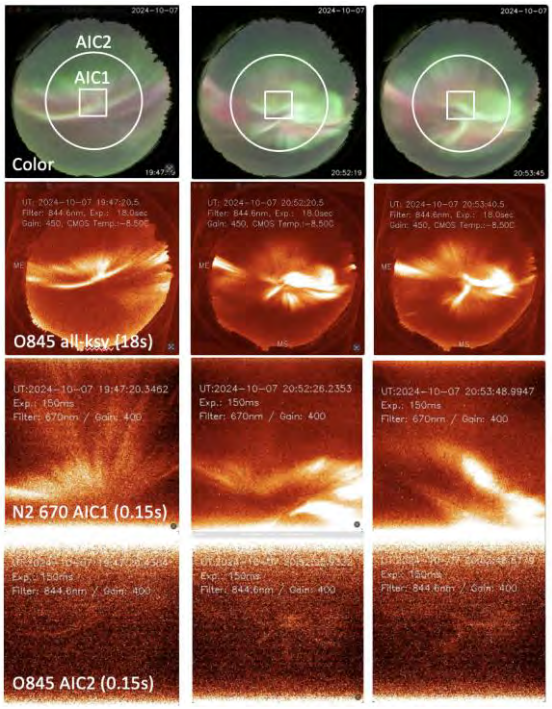


図 2. 2024 年 10 月 7 日の Skibton 観測所におけるオーロラ観測例。上から、カラーカメラ (Kiruna/IRF 南條氏提供)、全天 845nm カメラ、LAMP2 カメラ(670nm と 845nm)。

【今後の課題】

2025 年は、前年度に観測されたデータの解析をすすめるとともに、冬期には同システムの観測を再開し、一定の観測データを取得した後に機器回収を行う予定である。

【 成果発表 】

< 査読論文（合計7件、以下抜粋） >

Hosokawa, K., Y. Miyoshi, M. Mcharg, V. Ledvina, D. Hampton, M. Lessard, M. Shumko, K. Asamura, T. Sakanoi, T. Mitani, T. Namekawa, M. Nose, Y. Ogawa, A. Jaynes, A. Halford (2024), Variation of the Altitude of Auroral Emission During a Substorm Cycle: Stereoscopic Optical Observations During the LAMP Rocket Experiment, J. Geophys. Res..-Space Phys, Vol. 129, 11, doi: 10.1029/2024JA033036.

Hirahara, M. Y. Ebihara, N. Kitamura, T. Sakanoi, K. Asamura, T. Takada, H. Saito (2024), Reimei Satellite Observations of Alfvénic Interaction Modulating Inverted-V Electrons and Filamentary Auroral Forms at the Poleward Edge of a Discrete Arc, J. Geophys. Res.-Space Phys., Vol. 129, 10, doi: 10.1029/2024JA032650.

Oyama, S., H. Vanhamaki L. Cai A. Shinbori K. Hosokawa T. Sakanoi K. Shiokawa A. Aikio I. I. Virtanen Y. Ogawa Y. Miyoshi S. Kurita N. Nishitani (2024), Thermospheric Wind Response to March 2023 Storm: Largest Wind Ever Observed With a Fabry-Perot Interferometer in Tromso, Norway Since 2009, Space Weather, vol. 22, 3, DOI: 10.1029/2023SW003728.

Sakanoi, T., M. Emilioac, S. D. dos Santos, S. V. Berdyugina, Ryan Swindle, M. Kagitani, M. Kurita, K. Takahashi, Y. Hirahara, J. R. Kuhn, K. Lewis (2024), High-contrast imaging and spectroscopy by a low-scattering off-axis telescope PLANETS; current status of the development and future plan, SPIE proceedings, ADVANCES IN OPTICAL AND MECHANICAL TECHNOLOGIES FOR TELESCOPES AND INSTRUMENTATION VI, Vol. 13100, doi: 10.1117/12.3019510.

< 学会発表>

・本研究に関する国際学会：8件（うち坂野井筆頭が3件）、国内学会6件（うち坂野井筆頭が4件

< 著書 >

坂野井健, オーロラ研究者が歩んだ道：南極から木星まで, 特集「太陽活動極大期のオーロラの魅力に迫る」, 極地～南極と北極の総合誌～, 第120号, 2025年3月（印刷中）.

（別紙様式01-2）

ディープラーニングによる新しい磁気圏擾乱プロセスモデルの構築

Construction of a new model of magnetospheric disturbance process by deep learning

尾花由紀・九州大学・国際宇宙惑星環境研究センター

本研究は、ディープラーニングを太陽地球系科学分野に導入することで、多種・大量の観測データに潜む本質的な物理過程を抽出する枠組みを構築することを最終目的とする。特にプラズマ波動スペクトルの自動解析と、磁気圏擾乱を引き起こす未知の太陽風パターンの探索について重点的に取り組みために、以下の2つの短期的（2023年－2025年度）研究課題を設定している。

■課題１■　地磁気データを用いた磁力線共鳴振動現象の自動検出手法の確立

■課題２■　低エネルギープラズマの極端枯渇をもたらす太陽風の未知のパターンの探査

2024年度は、課題1、２について、以下の研究を行った。

課題1に対する取り組み

まず、ニュージーランドに設置された3地点（MDM, EYR, TEW）における1秒サンプリング地磁気データを用い、中緯度における磁力線共鳴（FLR）現象の検出に適した教師データを整備した。これに基づき、畳み込みニューラルネットワーク（CNN）、特にResNet18をベースとした転移学習モデルを構築し、FLRが明瞭に観測されるか否かの二値分類モデルを開発した。

開発したモデルでは、入力として地磁気データから作成された振幅比法および位相差法に基づくダイナミックスペクトル画像を使用し、FLRの有無を分類する。学習には2012-2022年の10年間に取得された4987枚のスペクトル画像を用い、F1-score 0.88、正解率（Accuracy）0.84を達成した。また、Grad-CAM（Gradient-weighted Class Activation Mapping）による可視化技術を併用することで、モデルがFLRのどの特徴に着目して判別しているかを明示し、解釈性の高いモデル設計に成功した。

さらに、FLRが検出された場合にその共鳴周波数を自動で抽出する手法として、Grad-Cam マスクの適用による注目領域の抽出、モルフォロジー変換、時間軸方向の移動平均処理、画素値の差分抽出によるエッジ検出を組み合わせたFLR抽出モデルも構築し、一定の性能を確認できた。しかしながら、磁力線共鳴の有無の判定、共鳴周波数の抽出、いずれも過学習の典型的な兆候が表れるなど改善の余地が残されており、2025年度は改善と論文執筆を重点的に行う予定である。

課題2に対する取り組み

地磁気擾乱インデックス(Dst, Kp, AE)との関係解析を実施した。LppとEyの相関を磁気地方時（MLT）別に調査した結果、22-2 MLT（深夜～早朝）領域で最も高い相関が確認された。また、最適なEyの平均化時間にはMLT依存性が見られ、夜側（22-6 MLT）では約45時間と極めて長い平均化時間が必要だったのに対し、昼側(6-14 MLT)では約10時間と近く的短い平均化時間のEyが高い相関を示した。このことは、対流によるプラズマ圏の収縮が夜側から開始されることを考えると奇妙な結果であり、今後、一般的理解との整合性や物理的背景について、詳細な検討が必要である。

（別紙様式 01 - 2）

国際的短波ドップラー観測網を用いた電離圏擾乱現象の観測的研究

Observational studies of ionospheric disturbances
using international network of HF Doppler sounding systems

細川敬祐 電気通信大学 大学院情報理工学研究科

1. 研究目的

電離圏の乱れは，電離圏の内部で不安定性などによって生成されるものに加え，1）上方からグローバルに伝達される太陽活動起源の電磁エネルギー，2）下層大気起源の波動が下方から輸送するエネルギーの入力によって発生する．これらの 2 つの起源の異なる電離圏擾乱を理解するには，その変動要因を切り分けたうえで，電離圏の応答過程を調べる必要がある．しかし，局地的な観測では，観測領域が限られるためにこの切り分けを行うことができず，電離圏擾乱の理解に制限をかけてきた．申請者らは，このボトルネックを国際協力によって解消することを目指し，「チェコ科学アカデミー大気物理研究所」と「電気通信大学を中心とする日本のグループ」がそれぞれ行ってきた短波ドップラー（HFD）法による電離圏観測を相互補完的に融合することでグローバルなネットワーク観測を実現する．特に，日本国内に展開されている HFD 観測網と，チェコのグループが欧州，南米，アフリカに展開している HFD 観測を組み合わせ，これまでにない広い経度帯での同時観測を実現する．さらに，日本で行っている HFD 観測に周波数変調（FM-CW）機能を持たせることによって，電波の伝搬距離を導出し，電波の反射高度を観測することにも取り組む．

2. 研究方法

東京都調布市の電気通信大学調布キャンパスにおいて，5.006, 8.006 MHz の 2 周波の短波帯電波の送信局を運用し，国内 10 地点におけるネットワーク観測を継続した．各観測点では，調布から送信している 2 つの周波数だけでなく, 千葉県の長柄, 北海道の根室からそれぞれ送信されている 6.055, 3.925 MHz のラジオ日経の電波も受信しており，合計 4 周波数における HFD 観測を行うことができている．ただし，藤沢観測点，杉戸観測点の 2 局では，GPS 基準信号発生器に問題があるために周波数にオフセットが見られており，2025 年度には，これらの観測点で稼働しているソフトウェア受信機を置き換える予定である．

通常の HFD 観測に加える形で，2024 年 3 月から，周波数変調した信号を送信することによる電波の伝搬距離の計測を開始した．調布から通常の連続波（CW 波）に重畳する形で周波数変調をかけた連続波（FM-CW 波）の送信を行い，千葉において FM-CW 波の受信を行った．受信点で観測された周波数から電波の伝搬遅延を求め，電波の反射高度を導出することが可能になっている．この FM-CW 機能を付与した HFD 観測システムについては，日本地球惑星科学連合（JpGU）2024 年大会，および地球電磁気・地球惑星圏学会において合計 3 件の発表を行い，現在，観測システムの概要をまとめた論文を準

備しているところである．

HFD 観測のデータベースを構築するために，本共同研究の予算を用いてハードディスクを購入し，50 TB の容量を持つストレージを導入した．これにより，冗長性を持った状態でデータベースを構築することができている．本観測によって得られたデータやプロットは全て HFD Project のウェブページ（http://gwave.cei.uec.ac.jp/~hosokawa/public/~hfd）において公開されている．また，ウェブページからダウンロードすることができるバイナリ形式の生データ（.bin 形式），および，ドップラースペクトルから抽出された受信電界強度およびドップラーシフトの時系列データ（.hf2 形式）を読みこんでプロットすることができる python script を公開することによって，関連研究者にデータを活用してもらえる仕組みを導入している．

プロジェクトの推進のために，定例オンライン打ち合わせを月に 1 回のペースで実施し，国内の HFD 観測機器の運用に関する情報共有を行うだけでなく，得られたデータの解析結果や論文執筆状況などの共有・議論を行ってきた．また，海外共同研究者の Chum が 2024 年 5 月に開催された JpGU に参加した際に，対面での打ち合わせを行い，本共同研究の進捗について共有する機会を持った．その打ち合わせにおいては，チェコと日本のグループの共同で申請を行ってきた科研費二国間共同研究の申請書の内容について議論を行うだけでなく，2024 年 5 月に発生した大規模な磁気嵐の際にチェコと日本において得られたデータについての吟味を行い，今後のデータ解析の方針を相談することができた．

3. 研究成果

太陽活動起源の電離圏変動に関しては，2023-2024 年に発生した中規模，大規模の 5 つの磁気嵐事例（2023 年 3 月 23-24 日，2023 年 4 月 23-24 日，2024 年 5 月 10-12 日，2024 年 10 月 10-11 日，2025 年 1 月 1-2 日）について，HFD，イオノゾンデ，GNSS-TEC を組み合わせた解析を進めている．直接的に中緯度に侵入する電場に伴う電離圏の上下動と，大規模伝搬性電離圏擾乱（LSTID）に伴う波動的変動を切り分けながら，海外共同研究者 Chum からチェコのグループによる HFD 観測データの提供を受けてグローバルな変動の解析を行っているところである．

下層大気起源の変動に関しては，台風に伴う電離圏変動について，HFD を用いて高精度で解析した結果を論文として発表した（Enomoto et al., 2024）．この研究に関しては，GNSS-TEC を組み合わせた研究に発展させており，2025 年度はその成果を論文として公表することを予定している．さらに，2024 年 1 月に発生した能登地震に伴って観測された電離圏変動についても，HFD と GNSS-TEC を組み合わせた解析を進めており，2024 年の JpGU で発表を行った．さらに，浅間山の噴火に伴って発生した電離圏変動を HFD と GPS-TEC のデータを用いて解析し，その成果を EPS 誌に投稿している（Nakata et al., in revision）．

HFD に FM-CW 機能を付与して観測高度を同定する取組については，2024 年夏季の夜間に得られたデータの解析を集中的に進め，スポラディック E に伴って，ドップラー周波数の遷移，および電波の伝搬距離に特徴的な変動が現れることを示した．特に，スポラディック E の水平移動に伴って，HFD データに準周期的な構造が見られることを FM-CW 観測によって実証し，HFD 観測によってスポラディック E の微細構造の可視化が可能であることを示した．

（別紙様式 01-2）

ALMAと実験室分光による太陽系内天体大気の物理化学プロセスの解明
Elucidation of physical and chemical processes in atmospheres of solar system bodies by ALMA and laboratory spectroscopy

平原　靖大　名古屋大学・環境学研究科

(1) 冥王星・トリトン環境を模擬した低温 N_2O 固体の変性と中間赤外線分光イメージング測定

一酸化二窒素(N_2O)は、生命前駆体アミノ酸を生成する際の重要物質であり、その低温固体は N_2O 分子の大きな分極のため、強い静電相互作用による分子結晶となる。N_2O は太陽系外縁天体の冥王星や海王星衛星トリトン大気中では太陽紫外線の照射により N_2 と O_2 を出発物質として生成しうる。探査機 Voyager 2 や New Horizons が各天体で氷火山噴火の観測から、38 (表面)－120 K (高度百数十 km)での N_2O の昇華・凝縮循環の成立が示唆されている。観測、実験、理論にまたがる先行研究から、これらの低温天体での微粒子の成長と変成、及び UV による N_2O 氷の光解離過程により、赤外線領域に現れる N_2O 氷の振動スペクトルは複雑な応答を示すことが予想される。

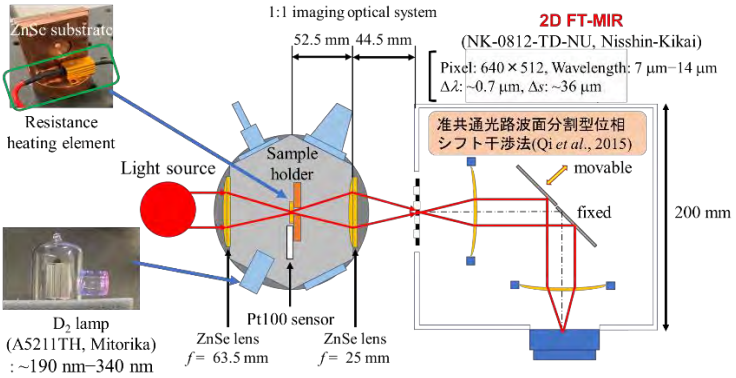


図 1. 開発した低温固体 *in-situ* 赤外分光イメージング測定装置。本年度において、低温固体微粒子のアニーリング用加熱機構と、紫外線光源をサンプルステージ近傍に配置し、実験を行った。

本研究では、これらの N_2O 氷の化学進化過程の解明を目的とし、図 1 に示す装置を用いて低温微粒子の *in-situ* 中間赤外スペクトル測定を行った。上記(1)と同様に、パルスノズルを用いて N_2O ガスを噴出させ、N_2O 氷を ZnSe 基板に堆積させた。分光撮像の結果、波長 7.75 μm (N_2O 分子の ν_1 振動モード付近) に強い吸収バンド、及び 8.60 μm (N_2O $2\nu_2$) と 7.27 μm (N_2O ν_1+92 (torsion):David A. Dows 1957) に弱い吸収バンドがそれぞれ観測された (図 2 (a))。続いて、光解離反応を再現するため、D_2 lamp を用いて 8.5 時間の紫外線照射 (190－340 nm) を行った。その結果、N_2O 凝結試料中心部で、照射開始から 2 時間で N_2O の全ての振動モードの吸収強度が減少した (図 2 (b))。照射した紫外線の波長が N_2O 分子の N-O 結合の解離極限波長 (741.5 nm)より短いため、凝縮相中の分子が解離し、O 原子が生成したと考えられる。また、N_2O 凝結試料外縁部で N_2O_3 (ν_3)もしくは NO_2 に相当する波長 7.66 μm に新たな吸収ピークを確認し (図 2 (c))、N_2O 氷の光解離過程は堆積厚みや結晶構造に依存すると考えられる。これらの多数の振動スペクトル線の吸光度の時間変化をもとに、窒素酸化物を含む 17 化学種に対する化学反応ネットワーク計算を行い、ν_1 振動モードのピーク吸光度の減少レートをもとに反応速度定数を見積もったところ、解離定数 : $3.6 \times 10^{-4}/s$ 》生成定数 : $4.3 \times 10^{-23}/s$ となり、今回の実験においては光解離反応が支配的であったと考えられる. 以上の実験と解析結果を、学術誌 Earth, Planets and Space に投稿した。

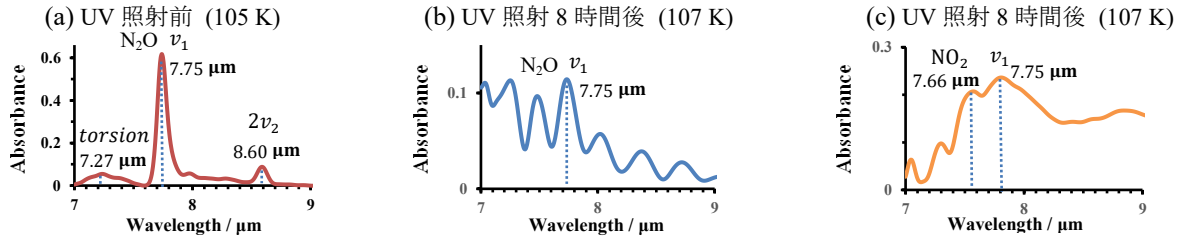


図 2: N_2O 氷の UV 照射前後の中間赤外スペクトル (a), (b):ZnSe 基板中心付近、(c):外縁部

(2) 新型広帯域 2D FT-IR の開発

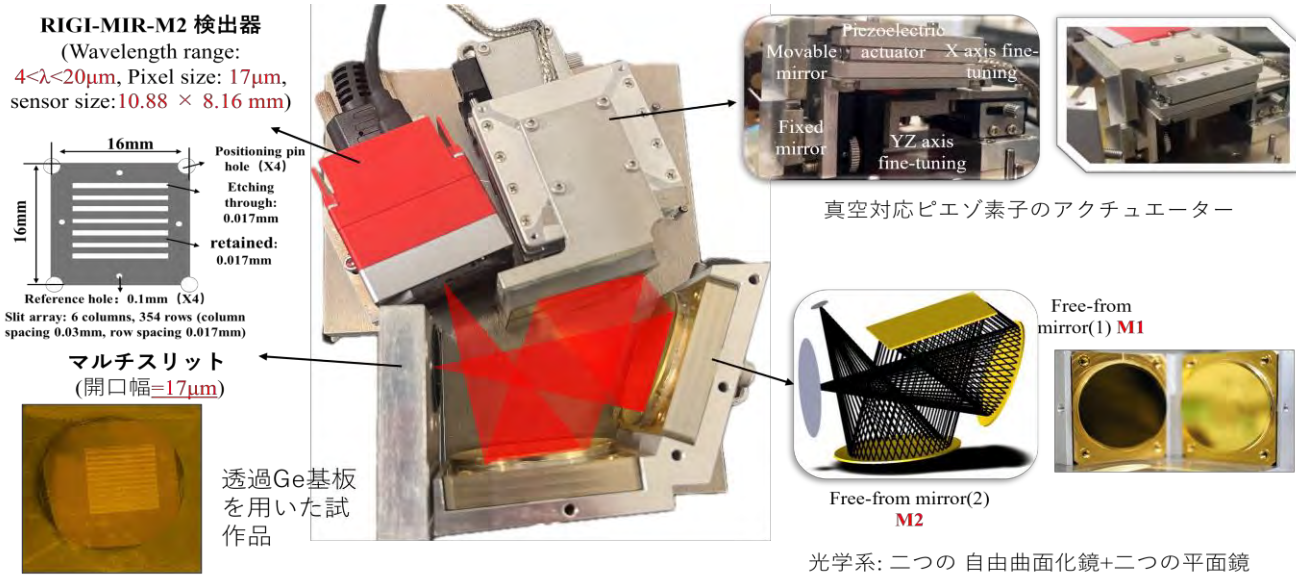


図 3：製作が完了した広帯域赤外線イメージング分光器本体　サイズ：122 x 155 mm
自由曲面鏡(M1, M2, 形状精度＜1 μ m)＋平面鏡（上部可動、下部固定）による純反射光学系

先に述べた低温固体微粒子の赤外スペクトルイメージング測定には、市販品の准共通光路波面分割型位相シフト干渉法に基づく広帯域赤外線分光器を用いてきた。このイメージング分光法では，対物面からの赤外光はまず結像面に置かれた一次元マルチスリットに結像し，それを透過した赤外光は再び平行光とし，ピエゾアクチュエーターで駆動される可変位相シフター (± 1 mm) で反射されたのち，広帯域赤外線カメラに結像される．一次元多重スリットは，対物面において隣接する 2 つの輝点からの光の、アレイ検出器上での破壊的干渉の抑止のため，そのピクセルサイズと同一の開口幅 (17μm) とする必要がある。本年度において、このマルチスリットを Ge 基板上に蒸着した金のフォトリソグラフィによって製作した．また，広帯域な赤外線領域での結像の実現のために,2 つの自由曲面鏡 (~40 mmφ) を用いた 3 反射光学系(M1, M2, FM1)の設計を行い、超精密金属加工法による特注製作を行った。それらの開発と中間赤外線量子カスケードレーザーを用いた精密な光学微調整を行った結果、これまでに前例のない、反射光学系のみによって構成された広帯域赤外線イメージング分光器(測定可能波長帯 4＜λ＜20 μm, 波長分解能 $R_{14\mu m}$=λ/Δλ～100，入射視野角~1.3°，空間分解能 34 μ m≒2×pixel size)の開発が完了した(Biao Zhao(趙彪) et al. Proc. SPIE, doi:10.1117/12.3019640)。

このイメージング分光器は、前頁(1)に示した低温固体窒素酸化物およびその紫外線解離生成物(イオンやラジカルおよび会合体) の多様な振動スペクトルの測定に適用可能なほか、小型・軽量・耐振動特性を活かした次世代の小型衛星搭載観測装置への展開が可能である。

（別紙様式01-2）

シアー構造を伴う高速熱圏風の生成機構の研究
Generation mechanisms of high speed thermospheric winds and strong sheers

藤原 均、成蹊大学・サステナビリティ教育研究センター/理工学部

共同研究者

野澤悟徳(名古屋大学・宇宙地球環境研究所), 三好勉信(九州大学・大学院理学研究院), 小川泰信(国立極地研究所), Johnsen Magnar Gullikstad (ノルウェー北極大学), 堤雅基 (国立極地研究所)

研究の目的

本研究グループでは,EISCAT レーダー・各種光学観測と GCM シミュレーションに基づく研究により, 極域電離圏・熱圏領域, 特に極冠域での中性大気・プラズマの時空間変動や、それらを引き起こすエネルギー源について理解することを目指してきた。申請者らのこれまでの EISCAT レーダー観測によれば、極冠域にて高速熱圏風の駆動源と考えられる超高速プラズマ流(>1000 m/s)がしばしば観測されている(例えば、2018 年 3 月 20 日の ESR 観測)。本研究では, 特に, シアー構造を伴う高速熱圏風の生成機構と, その駆動源と考えられる超高速プラズマ流、局所的な電離圏・熱圏加熱を観測とモデリング・シミュレーションの双方から理解することを目的とする。

EISCAT レーダーシステムによる昼側極域電離圏観測

１．2024年度観測

2024年度EISCAT特別実験(EISCAT-SP)に採択された昼側電離圏観測を、2025年3月21日にEISCAT VHF、UHFレーダーを用いて実施した(08:00-12:00 UT) 。ESRによる観測を現地スタッフに依頼予定であったが、同システムが稼働不能となり、EISCAT UHF、VHFレーダーによる観測に変更した。これまでや今後の観測データとの比較を可能とするため、北向きに仰角30° での観測を行った。空間的な電離圏変動の違いを見るため、VHF、UHFレーダーの方位角をそれぞれ0° 、345° とした。本観測では、太陽活動極大期(F10.7=195)、地磁気活動はほぼ静穏時(Kp＝2+)のデータを取得することができた。これまでに、同様の昼側電離圏観測データとしてF10.7の大きさが70～160程度の地磁気静穏時のデータが取得できており、今回、更にF10.7の大きなコンディションでの電離圏変動のデータが付け加わった。観測時間帯の中で、> 500m/sのイオン流が何度か観測され、それに伴うイオン温度の上昇が見られた。VHF、UHFレーダー観測結果を比較すると、概ね同様の変動(日変化＋イオン流増大に伴う変動)が見られたが、例えば、高度400kmにおけるイオン温度では、変動の振幅に顕著な違いが見られた。

２．これまでの観測例１(地磁気静穏時でイオン加熱の無い場合)

2018年3月20日のEISCAT-SP観測では、F10.7=69, Kp=0、2023年3月27日のEISCAT-SP観測では、F10.7=158, Kp=0での観測データが取得された。両者ともに極めて地磁気活動度の静穏な時間帯での観測であり、太陽活動の影響が支配的な状況での電離圏と考えることが出来る。これら２つの観測では、ESR 42mアンテナによる観測データが取得されており、両データ、及び経験モデルとの比

較が可能である。

図１に、2023年3月27日のEISCAT-SP観測(ESR42mアンテナ観測)から導出されたイオン、電子温度の平均値と経験モデルIRI-2016における値を示す。

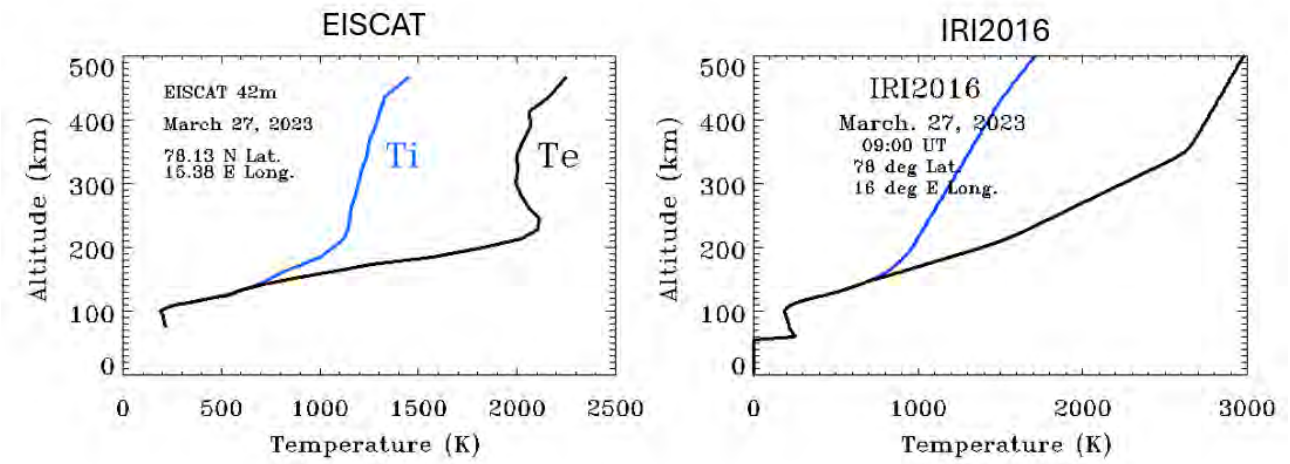


図１．2023年3月27日のEISCAT-SP観測(ESR 42mアンテナ観測, 08:00-12:00 UT)から導出されたイオン、電子温度の平均プロファイル、及び経験モデルIRI2016から得られたイオン、電子温度プロファイル.

EISCAT観測とIRIでは、プロファイルの傾向は一致しているものの、詳細な形や、特に高高度での値に大きな食い違いが見られる。一方、電子密度に関しては概ね一致している(図２参照)。

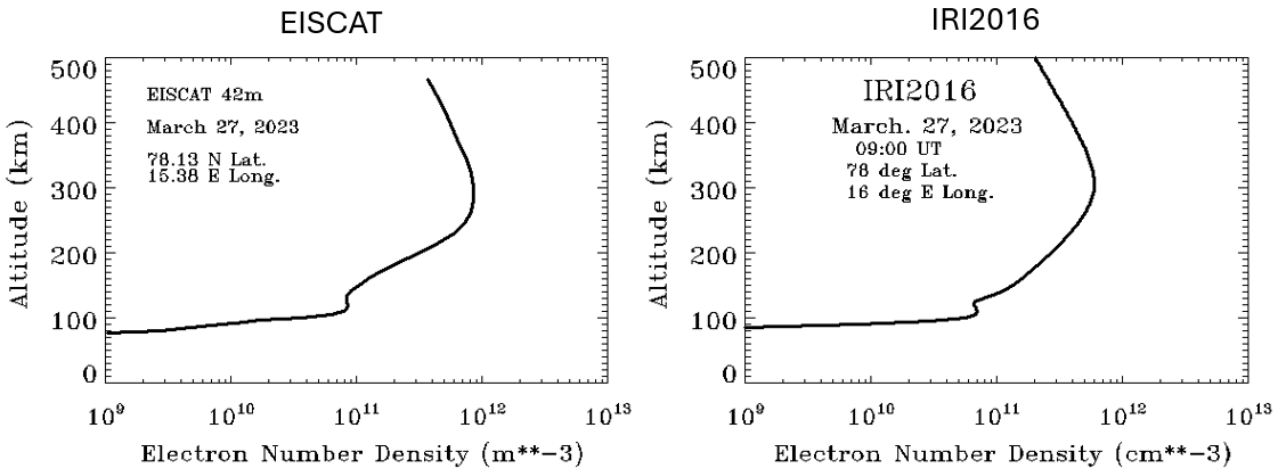


図２．　図１と同様。ただし、ここでは電子密度プロファイルを示す。

プラズマや中性大気温度の計測は限られた手段でしか実施できないことから、上記の結果は、高緯度域では特に温度観測データが十分には蓄積されておらず、実際の温度が経験モデルに反映されていないことを示している。電子密度に関しては、温度に比べデータ量が豊富であり、また数値モデルによる再現性も高いことにより、上記のような一致が見られたものと考えられる。

2018年観測と2023年観測では、極めて地磁気静穏時であったことから、200kmより下方のイオン温度(Ti)は、中性温度に近いものと思われる。以下に両者の値の比較例を示す(表１)。

表１．2018年EISCAT-SP観測と2023年EISCAT-SP観測(ともにESR42mアンテナ観測)における高度150km付近、200km付近でのイオン温度の平均値.

	2018 (F10.7=69)	2023(F10.7=158)
Ti at 212, 213 km	808 K	1118 K
Ti at 149, 152 km	642 K	751 K

３．これまでの観測例２(地磁気静穏時でイオン加熱のある場合)

2018年3月20日のEISCAT-SP実験では、ESR42mアンテナ観測に加え、ESR32mアンテナを用いて、北向き(仰角30°)観測を行い、地理緯度およそ83°のF領域観測を実施した。ESR32mアンテナ観測データでは、42mアンテナ観測データとは異なり、高速イオン流が観測されている。図４にイオン温度、イオン流の観測結果を示す。

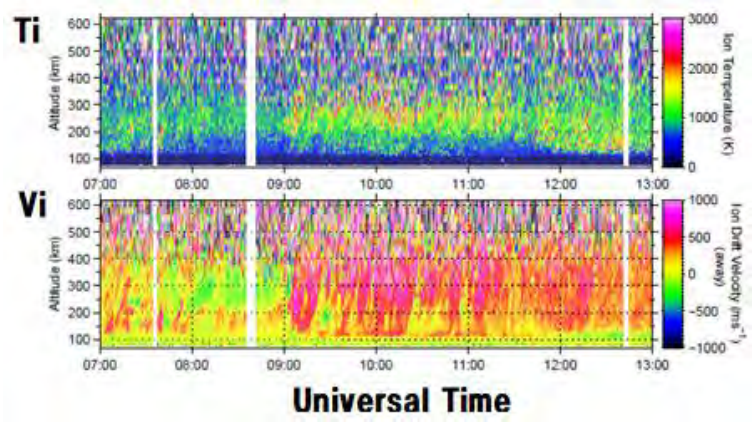


図４．2018年3月20日EISCAT-SP(ESR32mアンテナ観測，北向き仰角30°におおよそ地理緯度83度を観測)による、イオン温度、イオンドリフト速度観測結果。

図５にESR観測時間帯における、SuperDARNによるポーラーキャップポテンシャル、イオン流観測を示す(https://superdarn.ca/convection-maps)。

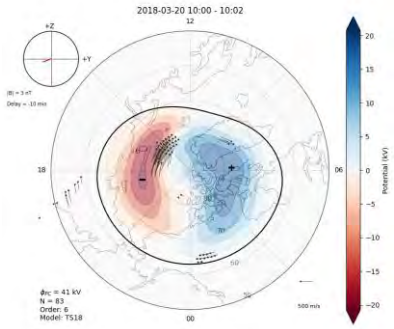


図5. SuperDARN観測による2018年3月20日10:00-10:02UTにおけるポーラーキャップポテンシャル、イオン流観測結果。



図6. 図5から想定される高速イオン流とESRとの位置関係。

ESR42mアンテナ(ESRサイトの沿磁力線方向を観測)では高速イオン流は観測されず、ESR32mアンテナ(ESRサイトの北方を観測)では高速イオン流が観測されたことから、図5のSuperDARN観測から図６のような高速イオン流を観測していたと考えられる。高速イオン流が観測された際、高度200km付近で、ESR42mアンテナ観測と比べ、例えば10:15UT付近では500～1000Kの温度上昇が見られた。

今後の課題

現在まで、地磁気静穏時の電離圏のリファレンスデータとなりうるデータが、F10.7=69～195の太陽活動度において蓄積されてきた。データ間の比較、及び経験モデルとの比較により電離圏の基本状態の理解や、モデルの再現性について議論が可能となり、今後、詳細な比較を行っていく必要がある。

EISCAT観測により、高速イオン流、及びそれに伴うイオン温度上昇がいくつかのケースにおいて観測された。高速イオン流に伴う加熱により、電離圏の基本状態から500～1000Kまでイオン温度が上昇する際の時間スケールや、加熱の割合等について詳細なデータ解析を実施する予定である。

本研究課題に関連した主な成果発表

学術論文

Tikemani Bag, Ryuho Kataoka, Y Ogawa, Hitoshi Fujiwara, Zheng Li, Vir Singh, V. Sivakumar, S. Sridharan, P. Pirnaris, S. Tourgaidis (2024), Thermospheric Nitric Oxide Energy Budget During Extreme Geomag-netic Storms: A Comparative Study, Front. Astron. Space Sci., 15 May 2024, Sec. Space Physics Volume 11 - 2024 | https://doi.org/10.3389/fspas.2024.1273079.

学会発表

Hitoshi Fujiwara, Satonori Nozawa, and Yasunobu Ogawa, Basic structures of the polar ionosphere at higher latitude than the auroral zone during periods of the solar minimum and maximum, 地球惑星科学関連学会連合大会, 5月, 幕張/オンライン, 2024.

陣 英克・安藤 慧・垰 千尋・三好 勉信・品川 裕之・藤原 均, 大気圏・電離圏モデル GAIA を用いた電離圏データ同化の構築, 地球惑星科学関連学会連合大会, 5月, 幕張/オンライン, 2024.

小泉 海・中川 広務・寺田 直樹・藤原 均・津田 卓雄・田中 今日子・木村 勇気・笠羽 康正・青木 翔平・Ann Carine Vandaele・Ian Thomas・Bojan Ristic・Frank Daerden・Zachary Flimon・Yannick Willame・Jonathon P Mason8・Manish Patel・Giuliano Liuzzi・Giancarlo Bellucci・Jose Juan Lopez-Moreno, TGO 搭載分光器 NOMAD を用いた火星中間圏水氷雲における核生成機構の研究, 地球惑星科学関連学会連合大会, 5月, 幕張/オンライン, 2024.

垰 千尋・陣 英克・新堀 淳樹・品川 裕之・三好 勉信・藤原 均, GAIA 極域変動版を用いた中規模磁気嵐イベント時の電子密度分布の特徴, 地球惑星科学関連学会連合大会, 5 月, 幕張/オンライン, 2024.

藤原均・野澤悟徳・小川泰信, EISCAT レーダーで観測された地磁気静穏時の昼側極域電離圏変動の特徴について, 第 156 回地球電磁気・地球惑星圏学会, 11 月, 立川, 2024.

藤原 均, 昼側極冠域・オーロラ帯電離圏変動の研究, EISCAT 研究集会, 立川/オンライン, 2024 年 3 月 28 日.

（別紙様式01-2）

自動気象観測装置（AWS）の新しいデータ品質管理とデータ公開に関するスキームの構築

Establishment of a scheme for data quality control and data release for Automatic Weather Station (AWS)

平沢尚彦、国立極地研究所・先端研究推進系・気水圏

【研究目的】

地球温暖化の増幅によって南極氷床の質量が減少し海水準を上昇させることが懸念されている。最新の知見では、西南極の温暖化及び氷床質量の減少と東南極の温暖化の停滞と氷床質量の増加が認識されている。しかし、この知見の形成に際して現地の観測データは極めて少ない。最近、世界気象機関（WMO）は、極域の気象の把握の重要性を認識し、南極域では南半球極域観測年（Year of Polar Prediction in the Southern Hemisphere: YOPP-SH）が実施された。日本はゾンデ観測の強化と氷床上の自動気象観測装置（AWS）のデータの即時配信を実施した。広大な南極氷床上の観測データを充実させ、国際的に共有することは、地球の日々の天気予報や気候変動のモニタ、或いは気候モデルの検証にとって今後も必要である。南極内陸域の気象の通年観測にとってAWS観測の充実が最も現実的、有力な方法である。

本研究は、これまで南極域のAWS観測をリードしてきたウィスコンシン大学との協力関係をより深め、観測方法の改良とデータ品質管理方法の改良を共同で行うことを目的とする。ウィスコンシン大学が構築するAWS（ウィスコンシン大AWS）については、より高精度の日本仕様の測器への置き換え及び電源設備を供給する。極地研究所が構築するAWS（極地研AWS）については、ウィスコンシン大学が持つデータ品質管理技術の適用し、日本独自のアルゴリズムを開発し共有する。ここで達成された成果は、南極の広域に設置されている他のAWSへの適用が可能であり、また、過去のデータの補正も可能であることから、南極の気候変動の新たな知見を得る可能性がある。

【研究方法】

1．ウィスコンシン大AWS更新：みずほ基地のAWSの更新の準備として、耐低温バッテリーの調達、温湿度計への強制通風機能付加を行い、昭和基地に輸送した。2025年11月以降の設置を目指す。

2．データ品質管理：ウィスコンシン大学で運用されている品質管理の自動化、及び極地研AWSの品質管理方法の開発に取り組んだ（温湿度、積雪深、風向風速）。気温の月平均データの公開を実施した。

3．過去データの品質改善：ウィスコンシン大及び極地研の過去のAWSの気温データについて、Kurita et al. (2024)が提案した方法によりデータの均質化を行い、月平均データを作成した（出版2）。

4．成果発表：出版2件、投稿1件があった。日本気象学会、日本雪氷学会、JpGU、極域科学シンポジウム（極地研）、JAXA-EORA3シンポジウム（東京）、南極気象気候WS（オハイオ州立大学）、SCAR OSC（チリ）等において発表した。

【研究結果・考察】

過去に共有したAWSデータを使った国際共同研究の論文が出版された（論文1）。気温の品質管理を過去に遡って実施したことによって、東南極氷床上の長期の気温変動のメカニズムの解析が可能となり、インド洋の大気循環パターンとリンクしたシステムを提案し、国際ジャーナルに投稿した（口頭発表5, 出版3）。積雪深計の観測値から堆積イベント及び地吹雪の再配分イベントを抽出するアルゴリズムを開発し、氷床表面の堆積に関する新しいデータセットを構築する見込みとなった（口頭発表1）。このア

ルゴリズムはウィスコンシン大学 AWS にも適用可能である。積雪深計の暖候期のデータは気温の日周期変化に同期したドリフトがあること、それが計測精度と同等の大きさであることが分かった。この特性はこれまでに取り上げられておらず、原因は特定されてはいない。最も起こり得る原因を仮定してその補正に取り組んだ（口頭発表 4)。補正が成功すれば観測精度は数倍向上する見込みである。そのために国内の実験観測を含めて今後の調査が必要である。風向風速計の低温や霜付着に起因する動作不良をデータから判断することについて検討を進めた（口頭発表 2)。

【まとめ】

ウィスコンシン大学の AWS の設置について、日本南極地域観測隊の内陸観測のスケジュールに組み込んでおり、2025 年 11 月に出発する第 67 次隊での設置が計画されている。また、ウィスコンシン大学の AWS について、日本との共同観測地域以外においても強制通風機能付きの温湿度計に置き換える構想が持たれるようになった。今後、データの品質管理や高次データの構築についても日本側のアイデアを活用する。

【文献リスト】

引用文献

1. Kurita, N., et al. (including Hirasawa, N., Lazzara, M. A.) (2024). Near-Surface Air Temperature Records over the Past 30 Years in the Interior of Dronning Maud Land, East Antarctica. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 41(2), 179–188. https://doi.org/10.1175/JTECH-D-23-0092.1（査読有）

成果：出版

1. Bromwich, D. H., et al. (including Hirasawa, N., Lazzara, M. A.) (2024). Winter Targeted Observing Periods during the Year of Polar Prediction in the Southern Hemisphere (YOPP-SH). Bull.Amer. Meteor. Soc., 105, E1662–E1684, https://doi.org/10.1175/BAMS-D-22-0249.1（査読有）
2. Kurita, N. (2025). JARE-AWS dataset: Bias-corrected surface air temperature data (1993-2022). National Institute of Polar Research. https://doi.org/10.17592/002.2025010413
3.（投稿中）Kurita, N., et al. (including Hirasawa, N., Lazzara, M. A.) (2025). Anthropogenic summer warming in the East Antarctic interior.

成果：口頭発表

1. Hirasawa, N., et al. (including Nakazawa, F., Kurita N.) (2024): Introduction of Antarctic meteorology and climate data - Meteorology, Glaciology and Satellite -, The 15th Symposium on Polar Science, NIPR, Tokyo, December 3, 2024.
2. Sugiura, K. and N. Hirasawa (2024): Trend analysis of blowing snow occurrence in Antarctica using the ICESat-2 dataset from November 2018 to October 2023, The 15th Symposium on Polar Science, NIPR, Tokyo, December 4, 2024.
3. Nakazawa, F., N. Hirasawa, et al. (2024): Automated snow depth measurements at multiple points along the Antarctic inland route and its device development, The 15th Symposium on Polar Science, NIPR, Tokyo, December 4, 2024.
4. 齋藤圭祐, 平沢尚彦, 他 (2024): 南極AWSに搭載した超音波積雪深計データの補正方法の検討ー特に暖候期の日変化に着目してー, 日本雪氷学会2024年度秋季大会, 長岡, 2024年9月16-19日.
5. Kurita, N. et al. (including Hirasawa, N., Lazzara, M. A.) (2024): Warming in the interior of East Antarctica driven by the Mascarene high variability, 19th Workshop on Antarctic Meteorology and Climate (WAMC), Byrd Polar and Climate Research Center, The Ohio State University, Columbus, OH, USA, June 10-13, 2024.

（以下略）

（別紙様式01-2）

Lu-Hf法を用いた三波川変成帯石英エクロジャイトの変成ピーク年代の推定
Estimation of the metamorphic peak age of quartz eclogite in the Sanbagawa metamorphic belt using Lu-Hf method

纐纈佑衣、名古屋大学・大学院環境学研究科
Naomi Tucker, The University of Western Australia
加藤丈典、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

【はじめに】

三波川変成帯は関東から九州にかけて帯状に分布する低温高圧型の変成帯であり，世界中で最もよく研究されている沈み込み型変成帯の一つである(e.g. Banno & Sakai, 1989; Enami et al., 1994)．その中でも最も深部まで沈み込んだと考えられている石英エクロジャイトが四国別子地域に産出しており，年代や温度圧力推定などがされてきた（Okamoto et al., 2004; Miyamoto et al., 2008; Enami et al., 2019）．年代についてはジルコンのU-Pb年代から約120 Maという値が報告されており，このデータを元にして三波川変成作用のピーク年代であると解釈されてきたが（Aoki et al., 2014），近年の研究では三波川変成帯の多くの岩石のピーク変成作用時の年代は約90 Maという年代値が報告されており（Wallis et al., 2009; Knittel et al., 2024），三波川変成帯のピーク変成年代についての議論が巻き起こっている．三波川変成帯の年代を議論する上で鍵となる石英エクロジャイトには，累進変成作用時に成長した粗粒なざくろ石が多数含まれているため，この鉱物が成長した年代をLu-Hf年代法を用いて測定することで，三波川帯の変成履歴を明らかにできると考えられる．

【手法】

本研究では，四国別子地域の東赤石山の峰である権現越付近に露出する石英エクロジャイトを採取し，薄片を作成してLu-Hf年代測定を行った．分析は共同研究者であるTucker博士が所属する西オーストラリア大学で実施した．分析にはLaser–Ablation Split–Stream (LASS) Inductively Coupled Plasma–Mass Spectrometry (ICP–MS)を用い，分析手順はKylander-Clark et al. (2013)に従った．

【結果】

今年度は予察的に1つの薄片中に含まれるざくろ石１粒子に対してコアからリムを横断する24点の分析を行い図1のような結果を得た．アイソクロンから得られた年代値は131±191 Maとなった．誤差が大きい理由は，ざくろ石中に含まれるLuやHfの濃度が低い可能性が考えられる．

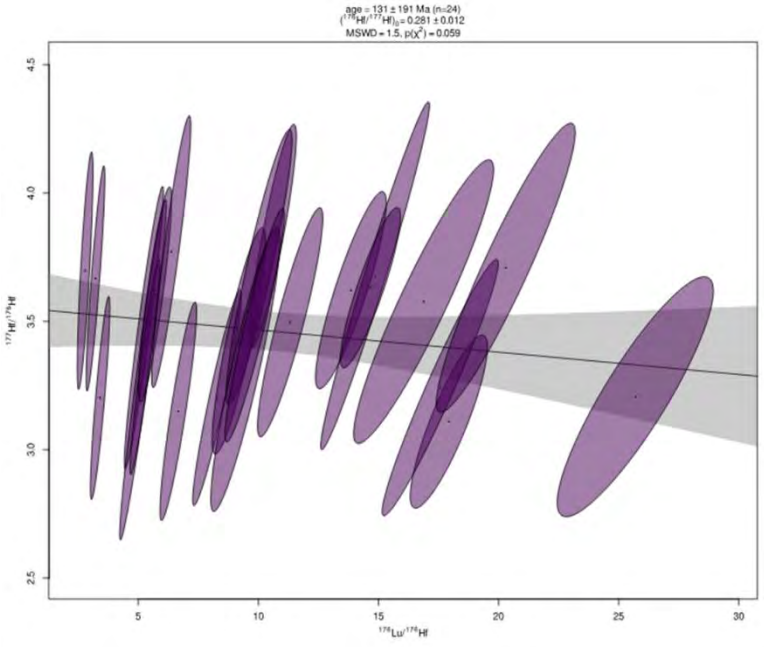


図１　四国別子地域石英エクロジャイトの Lu-Hf 年代測定結果

【議論】

現在得られている年代値は誤差が大きいため精度の高いデータとは言えないが，平均値である131 Maは先行研究で得られているジルコンのU-Pb年代と同様に古い値を示した．この値が正しい場合，石英エクロジャイト中に含まれるざくろ石は白亜紀前期の早い段階で沈み込み帯の深部において成長したと解釈される．石英エクロジャイトが産する東赤石山には，大陸地殻深部の斑レイ岩起源である東五良津岩体と海洋地殻の玄武岩起源である西五良津岩体が産する．それぞれの岩体では，東五良津岩体に隣接する石灰岩起源の変成岩中に含まれるチタン石のU-Pb年代が約200 Ma（Yoshida et al., 2021），西五良津岩体のエクロジャイトに含まれるざくろ石のLu-Hf年代が116 Ma（(Endo et al., 2009)）という古い年代値が報告されている．Endo et al. (2009)では，116 Maという値は，イザナギプレートの沈み込み開始年代であると解釈しているが，それよりも古い131 Maという値は，イザナギプレートがより古い年代から沈み込みを開始していた可能性を示唆している．

しかし，今回の測定結果は誤差が大きいため，今後分析点を増やして誤差を小さくして年代値を慎重に議論する必要がある．また，Endo et al. (2009)では，ざくろ石のコア部分にLuが濃集していることを報告しており，石英エクロジャイト中に含まれるざくろ石も同様にLuの濃度が場所によって不均質である可能性が高い．今後は，LuやHfの濃度マッピングを行った上で適切な分析場所や分析時間を決めることで，精度の高い年代データが得られる事が期待される．

引用文献

Banno, S., & Sakai, C. (1989). Geology and metamorphic evolution of the Sanbagawa metamorphic belt, Japan. *Geological Society, London, Special Publications*, *43*(1), 519–532.

Enami, M., Kimura, J. I., Tsuboi, M., Kouketsu, Y., Nagaya, T., & Huang, S. (2019). Coexisting different types of zoned garnet in kyanite-quartz eclogites from the Sanbagawa metamorphic belt: Evidence of deformation-induced lithological mixing during prograde metamorphism. *Island Arc*, *28*(1).

Enami, M., Wallis, S. R., & Banno, Y. (1994). Paragenesis of sodic pyroxene-bearing quartz schists: implications for the P-Thistory of the Sanbagawa belt. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, *116*, 182–198.

Endo, S., Wallis, S., Hirata, T., Anczkiewicz, R., Platt, J., Thirlwall, M., & Asahara, Y. (2009). Age and early metamorphic history of the Sanbagawa belt: Lu-Hf and P-T constraints from the Western Iratsu eclogite. *Journal of Metamorphic Geology*, *27*(5), 371–384.

Knittel, U., Tokiwa, T., Tsutsumi, Y., Endo, S., & Wallis, S. R. (2024). Geochronology of the Sanbagawa Belt: Younger and Faster than Before. *Elements*, *20*(2), 89–95.

Kylander-Clark, A. R. C., Hacker, B. R., & Cottle, J. M. (2013). Laser-ablation split-stream ICP petrochronology. *Chemical Geology*, *345*, 99–112.

Miyamoto, A., Enami, M., Tsuboi, M., & Yokoyama, K. (2008). Peak conditions of kyanite-bearing quartz eclogites in the Sanbagawa metamorphic belt, central Shikoku, Japan. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, *102*(6), 352–367.

Okamoto, K., Shinjoe, H., Katayama, I., Terada, K., Sano, Y., & Johnson, S. (2004). SHRIMP U-Pb zircon dating of quartz-bearing eclogite from the Sanbagawa Belt, south-west Japan: Implications for metamorphic evolution of subducted protolith. *Terra Nova*, *16*(2), 81–89.

Wallis, S. R., Anczkiewicz, R., Endo, S., Aoya, M., Platt, J. P., Thirlwall, M., & Hirata, T. (2009). Plate movements, ductile deformation and geochronology of the Sanbagawa belt, SW Japan: Tectonic significance of 89-88 Ma Lu-Hf eclogite ages. *Journal of Metamorphic Geology*, *27*(2), 93–105.

Yoshida, K., Niki, S., Sawada, H., Oyanagi, R., Hirata, T., Asakura, K., & Hirajima, T. (2021). Discovery of the Early Jurassic high-temperature pre-Sanbagawa metamorphism recorded in titanite. *Lithos*, *398–399*, 106349.

（別紙様式01-2）

多様な水文気候学的地域特性が駆動するアジアモンスーン変動の予測可能性の研究
Study on predictability of the Asian monsoon variability
driven by diverse regional hydroclimatological characteristics

寺尾　徹、香川大学・教育学部

１．研究目的
本研究は、アジアの水文気候学研究プロジェクトであるAsiaPEX (Terao et al. 2023)の戦略的観点に立脚して、アジア各地域の研究コミュニティと連携し、複雑な大気陸面海洋相互作用と結びついたアジアモンスーンのプロセスの多様性の理解を推進することを通じて、多様な特性を持つ諸地域における観測プラットフォームの構築に資することを目的としている。現時点で存在するデータと観測機器を用いて、それぞれの地域でカギとなるプロセスを仮説的に見いだして解析し、その仮説的プロセスの重要性や妥当性、観測的課題を明らかにする研究が重要となる。特に2024年度は、南アジア・東アジア・東南アジアのAsiaPEXの主要な研究者と連携し、先導的検討を行った。

２．研究方法
2024年度は、南アジア・東アジア・東南アジアからAsiaPEXの主要な研究者を日本に招いて研究集会を開催した。GEWEX OSC (Open Science Conference, 2024年7月, 札幌) の機会に開催することにより、多くのAsiaPEX参加の研究者との議論が可能となった。研究集会における、南アジア・東アジア・東南アジアに各一つ以上の典型的な観測プラットフォームを構築することを展望した議論を進めるとともに、その立案に必要な背景となる基礎研究を展開した。東アジア・東南アジアでもそれぞれの観測プラットフォームに基づき、2024年の研究集会等で研究課題を明確化しつつ、基礎研究を論文成果、更に統合連携観測計画に発展させる研究を進めた。

３．研究結果
GEWEX/OSC (Open Science Conference, 2024年7月, 札幌) の機会に研究集会を開催することにより、多くのAsiaPEX参加の研究者との議論を行った。研究集会では、南アジア・東アジア・東南アジアに各一つ以上の典型的な観測プラットフォームを構築することを展望し、その立案に必要な基礎研究を開始した。東南アジア・北東アジア諸国を主な対象として”Workshop on AsiaPEX activities over SE & NE Asia”を開催した。このワークショップにはタイ・ベトナム・フィリピン・モンゴル等の国々から参加があり、降水の推定に関する課題や、気候変動ダウンスケーリング、国連のファンドを用いた洪水の農業被害に関するプロジェクトの展開、CORDEX等modelのキャリブレーションの推進の期待、レーダー・nowcasting・季節予報等の気象予報の改善に関する取組等について交流があった。南アジアからは30人を超える研究者の参加を得て”Workshop on modeling severe local storms over NE Indian subcontinent”を開催し、観測とモデリングの統合を目指す研究デザインについて議論した。われわれのグループによるGEWEX/OSCのセッション”Observational and modeling initiatives for the Asian monsoon field campaign (AsiaPEX and AMY-II)”には、東アジアからも新たな参加があった。例えば韓国国立気象研究所からの研究発表は、アジアモンスーン降水変動に関して西部北太平洋の亜熱帯高気圧の動向に関する観測と予報の不確実性に大きな問題があり、観測を含む共同研究の発展を呼びかける研究発表であった。これは新しい共同研究の発展のきっかけとなった。
こうした研究交流を推進する傍ら、アジア水文気候学の基礎研究を推進した。南アジアでは、インド亜大陸北東部の雷予測とそのモデルによる再現性の検証(Mondal et al. 2024)、人工衛星による降水推定のディスドロメーターによる検証(Murata et al. 2024)、ヒマラヤ山脈南斜面の豪雨に関するモデル研究(Fujinami et al. 2025)などの基礎研究を推進。東アジアでは、日本の雪に対する気候変動の影響の解析(Tamura et al. 2024)、東南アジアでも、フィリピンに影響を与えた2021年の台風(Rai)の特性の研究(Petila et al. 2024)、東南アジアの秋季の降水に対するENSOのテレコネクションの解析(Nguyen-Le et al. 2024)などが実施された。観測プロジェクトも進められ、インド亜大陸北東部の観測プラットフォームでは、観測機器・データを動員して大気下層の高湿潤静的エネルギー大気の生成プロセスを解析するための高層気象強化観測が展開された。ヒマラヤ山脈南斜面の観測プラットフォームでは、降水日変化プロセスの精緻化と周辺の総観場との関連性の解析やモデリングの研究がすすめられた。
これらの基礎研究を背景に、AsiaPEXサイエンスプランをアップデートするとともに、6つのサイエンス

パネルメンバーへの研究者の組織化が開始されている。

４．考察とまとめ

これらの基礎研究の到達点から、本研究の今後の発展方向の一つとして、東南アジアにおける多様な大気陸面海洋相互作用に焦点を当てることが重要であることが示された。これは第１に、東南アジアは、複雑な地形と海陸分布のもと、地域ごとにまた季節ごとに異なるモンスーンの様相を持つ興味深い地域であること。特に、台風や季節変化する風系、ENSOなどのシステムがマルチスケール構造をもって相互に関係し、東アジア・南アジア・西部北太平洋をつなぐ複雑性を持つ地域であり、この地域の気候水文学的なシステムの変動メカニズムの解明の重要性が高いこと。第２に、東南アジアには日本の強い影響力の下で発展してきた比較的小さいけれども高いポテンシャルを持ち始めている研究コミュニティが集まっており、日本側との国際共同研究の推進による研究の一層の推進が求められる地域であることが、GEWEX/OSCの過程でも明確になったこと。が理由である。とりわけ、南西モンスーンの影響を受けるタイ、冬季の北東モンスーンの影響も含むベトナム、夏季と冬季で大きく異なる降水分布を示し海洋に囲まれたフィリピンの東南アジア諸国における降水過程に大気陸面海洋相互作用が与える影響の重要度が高い。

Fujinami, H., Sugimoto, S., Ueno, K. (2025). Dynamics of rainstorms over southern Himalayan slopes and foothills and their simulation by numerical models. In: Das, S., Tao, WK. (eds) Severe Storms. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-7075-5_13

Mondal U., Panda S.K., Terao T., Kumar M. and Sharma D. (2024): Evaluating the performance and detection efficiency of Weather Research Forecasting model with lightning parameterization schemes for identifying lightning hotspots over Northeast region in India. Clim. Dyn., 62, 10381-10404. 10.1007/s00382-024-07457-y

Murata F., Terao T., Yamane Y., Fukushima A., Kiguchi M., Tanoue M., Kamimera H., Syiemlieh H.J., Cajee L., Ahmed S., Choudhury S.A., Bhattacharya P., Bhagabati A.K., Dutta S. and Hayashi T. (2024): Validation of spaceborne precipitation radar data by rain gauges and disdrometers over the complex topography of the Northeastern Indian subcontinent. J. Meteor. Soc. Japan, 102, 309-329. 10.2151/jmsj.2024-014

Nguyen-Le, D., Ngo-Duc, T. and Matsumoto, J. (2024): The teleconnection of the two types of ENSO and Indian Ocean Dipole on Southeast Asian autumn rainfall anomalies. Clim. Dyn., 62, 5283-5305 https://doi.org/10.1007/s00382-024-07163-9

Petilla, C. E. R., Olaguera, L. M. P., Gruz, F. A. T., Villarin, J. R. T., Fudeyasu, H., Yoshida, R. and Matsumoto, J. (2025). The unique features of Typhoon Rai (2021): an observational study. Natural Hazards https://doi.org/10.1007/s11069-025-07138-x

Tamura, K. and T. Sato, 2024: Evaluating how historical climate change affected a heavy snowfall event in northern Japan in mid-December 2021 using two pseudo global warming methods. J. Geophys. Res. -Atmos., 124, e2024JD041553, DOI:10.1029/2024JD041553.

Terao, T. S. Kanae, H, Fujinami, S. Das, K-J. Ha, M. Kiguchi, T. Sato, J. Matsumoto et al. (2023): AsiaPEX: Challenges and Prospects in Asian Precipitation Research. BAMS, 104, E884-E908.

（別紙様式01-2）

日米共同・太陽フレアX線・集光撮像分光観測ロケット実験 FOXSI-4
Promotion of the U.S.-Japan Joint Sounding Rocket Experiment FOXSI-4 for Solar Flare X-ray Focusing Imaging Spectroscopic Observation

成影 典之、国立天文台・太陽観測科学プロジェクト

研究目的

本研究では、米国NASAの観測ロケットを用いて**世界初となる太陽フレアに対するX線集光撮像分光観測（観測ロケット実験 FOXSI-4）**を実施し、磁気再結合が引き起こす磁気エネルギーの解放とそれによって生じるエネルギー変換機構の追究に必要な観測技術および研究手法の実証と、研究基盤の構築を行う。具体的な目的は下記になる。

【1】 世界初となる太陽フレアのX線集光撮像分光観測を成功させる。
【2-1】 観測から、太陽フレア領域全体の温度構造を精確に評価する。
【2-2】 観測から、太陽フレア領域全体にわたって加速された電子(非熱的成分)を探索する。
【2-3】 観測から、太陽フレアで解放されたエネルギーや加速された電子の伝搬を追跡する。
【2-4】 観測と数値計算の両輪で、太陽フレアにおけるエネルギー解放・変換過程を精査する。
【3】 取得した観測データや解析用ソフトを公開し、この新しい観測手法を普及させる。

FOXSIで実施するX線集光撮像分光観測とは、X線帯域において「空間・時間・エネルギーに対する3つの分解能」と「高いダイナミックレンジ(明るい場所も暗い場所も同時に観測できる能力)」という4つの観測能力を同時に達成することができる観測手法で、太陽高エネルギープラズマ(熱的成分と非熱的成分の両方)に関する情報を、これまでにない質と量でもたらしてくれる。なお、既存の太陽X線観測においてこれら4つの能力を同時に達成するものはなく、我々の国際連携グループが世界に先駆けてこの観測を実現し、世界第一級の科学成果を出してきた。FOXSI-4では、いよいよ太陽フレアの観測に挑む。

研究方法

本研究では、FOXSI-4で取得する観測データから科学成果を創出するための準備に主眼を置く。本計画は3年計画で、下記のように進めていく。
【2022年度(計画1年目)】 過去のFOXSIで得られたデータの解析、および、粒子の運動も取り込んだ新しい数値計算モデルの構築を推進する。
【2023年度(計画2年目)】 2024年春に予定されているFOXSI-4の実施に向けた打ち合わせ(観測プラン、フレア予測、装置開発、試験手順、スケジュールなどに関する議論)を実施する。
【2024年度(計画3年目)】 2024年春に打ち上げるFOXSI-4で得られた太陽フレア観測データの解析を実施し、初期成果の創出を行う。

研究結果

世界標準時 2024年4月17日22時13分、日米共同の観測ロケット実験 FOXSI-4 は打ち上げられ、世界初の太陽フレアX線集光撮像分光観測に成功した（図1）。打ち上げは、米国アラスカ州の Poker Flat Research Range にて、観測ロケット実験によるフレア観測という NASA でも初の試みとして実施した。

観測ロケットによる観測時間は弾道飛行中の約5分間に限られることと、太陽フレアの発生を分単位で予測することは現状不可能であるため、決まった時刻に打ち上げるという従来の打ち上げ方法では太陽フレアを観測することはできない。そこで今回は、ロケットを打ち上げ可能状態で待機させ、米国の気象衛星GOESが計測している太陽X線フラックスをリアルタイムに近い形でモニタし、太陽フレアの発生を検知後、直ちに打ち上げるという手法を取った。一方、観測成果を高めるために、できるだけ規模の大きなフレアを観測するという要求と、複数の活動領域がある場合、どの領域でフレアが起きるかを事前に予測しておくという要求があった。前者は、大きなフレアほどエネルギーの解放や粒子の加速が長く継続し、それらを観測できる可能性が増えるためである。後者は、打ち上げ後、フレアの発生場所を探すことなく直ちにフレアの観測を開始するためである。そこで、打ち上げオペレーションに対する日本からの貢献として、草野教授（名古屋大学・宇宙地球環境研究所）が開発し、伴場博士（情報通信研究機構）が宇宙天気予報への実用化を進めている κ スキームを FOXSI-4 の打ち上げに活用し、フレ

ア規模とフレア発生場所の事前予測を行った。これらの入念な準備の上に行われた打ち上げによって、FOXSI-4 は、観測ロケットによる世界初の太陽フレア観測を成功させた。観測したフレアの規模はMクラスフレア（ピーク時は、M1.6）で、発生場所も含め、事前予測と合致していた。これにより、観測開始とともにフレアが観測でき、フレアのピークは過ぎていたものの、Mクラスレベルのフラックスを保っている期間から観測を開始することができた（図2）。

ここから観測したデータを紹介する。FOXSI-4 は、太陽フレア領域を約4.5分間（図3）、活動領域を約1分間観測した。日本から提供した6台のカメラ（軟X線用CMOSカメラ2台と硬X線用CdTeカメラ4台）は全て正常に動作し、軟X線帯域（10keV程度まで）で1千万個以上の、硬X線帯域（10keV程度以上）で2万個以上のX線光子を計測した。

FOXSI が取得したデータの特徴は、これらの光子を自由に配分してプラズマ診断が行えることである。例えば、あるエネルギーのX線の空間分布を調べること、X線スペクトルの時間変化を追うこと、領域ごとのX線スペクトルを精査すること、などができる。軟X線帯域では、1千万度以上の超高温プラズマが生成する鉄の輝線なども検出されており（図4）、これまでの太陽観測では行えなかった超高温プラズマの精密診断を可能とした。

観測時間中には、フレアだけでなく、マイクロフレアが発生する様子やプラズモイドの噴出も捉えており、下記のようなサイエンスが期待できる。

- ✓ フレア領域における非熱的成分の調査
- ✓ マイクロフレアにおける熱的・非熱的成分の時間変化の追跡（エネルギー解放の開始時点から追跡可能）
- ✓ フレアループ、プラズマ噴出領域周辺、非フレア活動領域などのプラズマ加熱の調査
- ✓ 恒星フレアとの比較

現在、取得したデータの較正、観測装置の較正、解析ソフトウェアの整備、データ公開の準備などを日米協力のもと進めている。このように2024年度は、先に述べた FOXSI-4 の目的の【1】を達成、それに続く【2】【3】のための準備を進め、観測データの分析（初期成果）までを終えており、2024年度(計画3年目)の計画を予定通り遂行した。

なお、FOXSI計画に関連する研究と開発は、本研究メンバーとメンバーが指導する学生らによって推進されており、若手育成にも大きく役立っている。

成果発表

2024年度は、本研究に関して、博士論文1篇と収録6篇を発表した。

学会発表は、25件行った。内訳は、口頭発表が18件（うち招待講演3件）、ポスター発表が7件で、国際発表が9件ある。そして大学院生による発表が10件、学部学生による発表が2件である。

2024年6月に横浜で開催された国際光工学会（SPIE）主催のシンポジウム SPIE ASTRO 2024 では、大学院生2名が SPIE ASTRO 2024 Paper Prizes を受賞した。

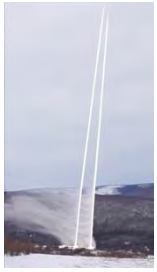


図1. FOXSI-4 の打ち上げの様子(左の飛行軌跡)。FOXSI-4 打ち上げの1分後にHi-C FLAREも打ち上げられた(右)。

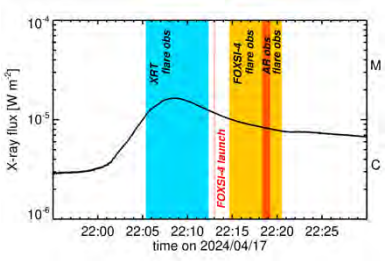


図2. GOES衛星によるX線フラックスの時系列データ。FOXSI-4 の観測時間帯はオレンジ(フレア領域)と赤(活動領域)の帯で示している。フレアのピーク(M1.6)を7分ほど過ぎての観測開始となったが、Mクラスレベルを保っている期間から観測を開始した。

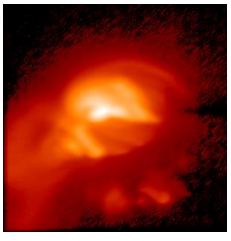


図3. FOXSI-4 搭載の軟X線装置で観測した太陽フレア像。

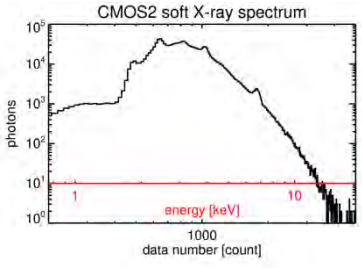


図4. FOXSI-4 搭載の軟X線装置で取得した軟X線帯域のスペクトル。
連続光成分に加え、1千万度以上のプラズマが生み出す輝線成分も検出されている。

2024年度 02)ISEE International Joint Research Program 目次詳細

2024 02)ISEE / CICR International Joint Research Program List

23 件

＊所属・職名は2025年3月現在

＊Affiliation and Department displayed are current as of March 2025.

研究代表者 Principal Investigator	所属機関* Affiliation	所属部局* Department	職名* Job title	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
HajiHossein AZIZI	University of Kurdistan, Iran	Mining Engineering	Professor	Dating and chemical analysis of garnet in S-type granites for discriminating magma sources in western Iran	45	
Andrzej Rakowski	Silesian University of Technology, Poland	Institute of Physics – CSE	Professor	Reconstruction of intense ENSO variability from dendrochronological records from Peru	47	
Kazue Takahashi	The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory, USA	Space Exploration Sector	Principal Professional Staff	Magnetoseismic investigation of heavy ions in the inner magnetosphere	49	
Rangaiah Kariyappa	Indian Institute of Astrophysics, India	Solar & Space Physics	Retired Professor	Dynamics & Heating of the Solar Corona at the Sites of Small Scale Features(Campfires and Bright Points) Observed from Solar Orbiter/EUI and SDO/HMI	51	
Chih-Chien Tsai	National Science and Technology Center for Disaster Reduction (NCDR) , Taiwan	Meteorology Division	Associate Researcher	Evaluation of different techniques for deriving 3D wind fields from the PAWR observations and deriving precipitation from satellite observations	54	
Xueqiang Lu	Nankai University, China	College of Environmental Science and Engineering	Professor	Identification of Avian Dietary Change and Its Implications Using Isotopic Technology	56	
Jih-Hong Shue	National Central University, Taiwan	Department of Space Science and Engineering	Professor	Comparative studies on Earth's and Mercury's dynamic magnetospheres	58	
Prayitno Abadi	Indonesian National Research and Innovation Agency (BRIN) , Indonesia	Research Center for Climate and Atmosphere	Senior Researcher	Effects of Ionospheric Scintillation on the Precision of GNSS Precise Point Positioning (PPP) Technique at Low-latitude region	60	

研究代表者 Principal Investigator	所属機関* Affiliation	所属部局* Department	職名* Job title	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
Gary Verth	The University of Sheffield (TUoS) , United Kingdom	School of Mathematics and Statistics	Senior Lecturer	Vortical plasma and magnetic structures in the solar atmosphere and beyond	62	
Grandhi Kishore Kumar	University of Hyderabad, India	Centre for Earth, Ocean and Atmospheric Sciences (CEOAS)	Assistant Professor	Estimation of quasi 2-day wave Momentum flux in the high latitude middle atmosphere	64	
Jing Liao	University of New Hampshire, USA	Space Science Center	Research Scientist	Nightside auroral outflows as source of the warm plasma cloak	68	
Stepan Poluianov	University of Oulu, Finland	Sodankylä Geophysical Observatory and Space Physics and Astronomy Research Unit	Senior Researcher	Solar and terrestrial effects in the 70-year long tritium and beryllium-10 record from the Dome Fuji in East Antarctica	70	
Seiji Yashiro	The Catholic University of America, USA	Physics Department	Researcher	Relationship between Gamma-Ray Flares and White Light Flares	73	
Yukinaga Miyashita	Korea Astronomy and Space Science Institute, Korea	Heliophysics Research Center	Principal Researcher	Feasibility study of in situ and remote observations of the heliosphere and the Sun at the L4 point	75	
Ondrej Santolik	Institute of Atmospheric Physics of the Czech Academy of Sciences (IAP) , Czech Republic	Department of Space Physics	Professor	Investigation of electromagnetic waves in the Earth's magnetosphere using spacecraft and ground-based measurements	77	
VISWANATHAN Lakshmi Narayanan	Krea University, India	Environmental Studies	Assistant Professor and Discipline Coordinator	On the impact of geomagnetic disturbances in the gravity wave and tidal dynamics of the mesosphere in the auroral region	79	
Jyrki Manninen	University of Oulu, Finland	Sodankyla Geophysical Observatory	Deputy Director	Conjugate observations of magnetospheric whistler-mode waves by KAN, PWING, and ERG/ARASE	81	
Noé Lugaz	University of New Hampshire, USA	Space Science Center	Research Professor	Comparing Remote Observations, In-Situ Measurements and Simulations of the Variation of the Properties of Coronal Mass Ejections Over 1-10° in Longitude.	83	

研究代表者 Principal Investigator	所属機関* Affiliation	所属部局* Department	職名* Job title	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
Sergey Koldobskiy	University of Oulu, Finland	Sodankylä Geophysical Observatory & Space Physics and Astronomy RU	Postdoc	Reconstruction of physical properties of historical solar energetic particle events	85	
Neethal Thomas	University of Oulu, Finland	Sodankylä Geophysical Observatory	Postdoctoral Researcher	EISCAT - Arase study of energetic electron precipitation	87	
Nada Al-Haddad	University of New Hampshire, USA	Space Science Center	Research Associate Professor	Investigating Helicity Transformation in Coronal Mass Ejections using Numerical Simulations	89	
Nariaki Nitta	Lockheed Martin Solar and Astrophysics Laboratory, USA	Solar and Astrophysics Laboratory	Senior Staff Physicist	Linking Coronal Mass Ejections Observed Near the Sun and at 1 AU	91	
Sae Aizawa	LPP, CNRS, France	Space Plasma Group	CNRS researcher	Analysis of radial propagation of the solar wind in the inner heliosphere with multi space missions and SUSANOO propagation model.	92	

(Form02-2)

Dating and chemical analysis of garnet in S-type granites for discriminating magma sources in western Iran

HajiHossein AZIZI (University of Kurdistan, Iran)

Firstly, I would like to express my deep gratitude to the ISEE members during my two-month stay at ISEE in the summer of 2024.

The genesis of S-type granites is one of the most important processes involved in the continental crust evolution of the Earth. In this research, we focused on chronological and geochemical analysis on S-type granites and their minerals in western Iran, which is a plate boundary. During my stay at ISEE, we did the following:

1. Study on the thin sections for the metamorphic rocks and the granites in western Iran.
2. Separation of garnet and minerals related to both granite and metamorphic rocks.
3. Sampling from different parts of a single garnet grains using the microdrill.
4. Digestion of the garnet grains in HF and HNO_3 for quantitative analysis of trace elements and Sr-Nd isotope analysis.
5. Discriminating the inclusions in the garnet grains using XRD.
6. Measuring the whole rock major oxides by XRF.
7. Measuring trace elements for 56 whole rock samples by ICP-MS.
8. Chemical separation of Sr-Nd isotope fractions for 56 samples (analysis in progress).
9. Zircon U-Pb dating for the granitic rocks using the LA-ICP-MS.
10. Discussion on our preliminary data and manuscript.
11. One-day field trip with ISEE members to see the Precambrian Rock Museum.

Furthermore, during my stay, we continued our ongoing collaboration to complete our papers and to start writing some new ones. This year, two of our papers were published in high-quality journals (First Quarter): ***Lithos and International Geology Review.*** These papers mainly focus on the whole-rock chemistry and isotope ratios to elucidate the magma sources in western Iran. The abstracts of our papers, supported by ISEE 2022−2024, are listed below.

1. **Azizi, H.,** Nouri, F., **Asahara, Y., Minami, M.,** Tsuboi, M., Takahashi, H. A. and Whattam, S. A. (2024). *Ultrapotassic rocks in the Saray Peninsula, Northwest Iran: An example of carbonate peridotite melts in a post-collision system in the late Miocene.* ***Lithos,*** *488, 107788*. With this abstract; Late Miocene ultrapotassic rocks are widely exposed in the Saray Peninsula of northwestern Iran. These rocks are mainly classified as tephrite-tephritic phonolite with some trachyte and lamprophyre dikes with porphyritic textures. Ca-rich pyroxene and leucite are the main phenocrysts. Olivine and phlogopite with some sodic amphiboles occur locally as phenocrysts. Chemically, the rocks are characterized by low contents of SiO_2 (45.4–47.3 wt%), with high contents of K_2O (3.4–6.6 wt%), K_2O/Na_2O (1.2–5.7), MgO (5.6–9.1 wt%), CaO (10.3–12.7 wt%) and Sr (826–2020 ppm) with low P_2O_5/Al_2O_3 (0.08–0.14). Chondrite normalized REE and primitive mantle-normalized patterns indicate the involvement of a LREE (La, Ce)

and LILE (Cs, Ba, Pb) enriched mantle, and weak negative Ti-Nb-Ta anomalies are observed. Isotopically, the rocks show high $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratios (0.7071–0.7084) and low εNd(t) values (–3.8 to –1.8). Their $\delta^{13}C$ values show a variation from –13.4‰ to –6.5‰, confirming some organic carbon recycling in the subduction zone, and the absence of Ce/Ce* and Eu/Eu* negative anomalies confirm the redox system melting. The Sr-Nd isotopic values, higher contents of incompatible elements, and lower $\delta^{13}C$ values suggest a continental crustal material involvement for the sources of these rocks. The presence of calcite in the matrix, the inclusion of melt droplets with some calcite, and the carbonation of leucite and pyroxene grains confirm the high CO_2 content during magmatic evolution and/or the late stages of reaction of CO_2-fluid rocks with earlier minerals. Due to the situation of the Saray ultrapotassic rocks near the junction of the Van microplate and the NW Iran block, dragging of the Van microplate beneath NW Iran is likely to have transported some carbonate rocks and biogenetic organic carbon into the mantle and converted the primitive mantle to carbonate peridotite. A very low rate of partial melting at a pressure of less than 3 GPa around the garnet-spinel stable zone produced ultrapotassic melts. The correlation with some neighboring ultrapotassic rocks shows that this process is a dominant factor to generate the kamafugite and/or interval of kamafugite-Roman type ultrapotassic series in a collision system, without considering the role of mantle phlogopite present in the deep metasomatized mantle. This work shows why most of the ultrapotassic rocks in Iran have developed near the suture zone after the closure of Neotethys.

2. **Azizi, H.,** Nouri, F., **Asahara, Y., Minami, M.** and Whattam, S. A. (in press). *Continental crust variance between post-collisional compressional and extensional domains controlled magmatic activity at Damavand volcano, Northern Iran.* ***International Geology Review***, pp.1-23. With this abstract; The Quaternary Damavand stratovolcano, with an elevation of 5670 m, is the highest mountain in Iran and is the subject of this study. The main rocks are trachyandesite and trachybasalt, and Sr-Nd isotope ratios of whole rock samples show small variations in εSr (+3.2 to + 6.4) and εNd (−1 to + 1). Overall, rock chemistry and Sr-Nd isotope ratios support a metasomatic asthenospheric mantle with minor pelagic sediments from the oceanic subducted slab and/or carbonatite melts from the deep mantle as sources. Collision of the Arabian and Eurasian plates compressed the Iranian plateau between them, resulting in compressional and extensional domains in different regions. As a result of continuous pressure from the Arabian plate, thrusting and folding in compressional domains increased crustal thickness while thinning occurred in extensional areas. These processes cause thermal gradient perturbations at the boundaries between the two, leading to the melting of the mantle and/or lower crustal mafic rocks and production of alkaline rocks. Damavand volcano is located at the junction of compressional and extensional regimes, and its activity has been influenced by the variation of crustal thickness along the Alborz Mountain in the southern Caspian Sea. Therefore, the variation of crustal thickness can be suggested as a main mechanism for the generation of magmatic activity along the entire Iranian plateau in a post-collision system.

We are also eager to continue our research in 2025, focusing specifically on xenoliths and enclaves within granite, and correlating them with some of our ongoing projects (ISEE) such as apatite chemistry in granite and the results of the present project on garnet in granite. We believe the combination of these research would be much useful for the understanding of S-type granites in Iran. Ultimately, we aim to develop a model for S-type granites, which are the main components of continental crusts.

Reconstruction of intense ENSO variability from dendrochronological records from Peru

Andrzej Rakowski (Silesian University of Technology, Poland)

The aim of our study was to compile a floating chronology for algaroba from the Casma Region of Peru and to establish absolute dating based on radiocarbon analyses of single annual growth rings that had been relatively dated dendrochronologically (wiggle-matching). In doing so, we sought to create a chronological framework for the ancient civilisation that once colonised this area and inhabited the Cerro Laguna archaeological site. The Cerro Laguna archaeological complex is in the Ancash region of Peru, characterised by semiarid climatic conditions. The maximum temperature reaches 34°C in summer and 15°C in winter. Annual precipitation totals range from 48 to 208 mm, with rainfall concentrated in the summer months (January to April), followed by a long, cool, dry period for the remainder of the year. Preliminary archaeological studies suggest that Cerro Laguna dates to the Late Intermediate Period, approximately 600 to 1300 CE (Ghezzi, pers. comm.). From the Cerro Laguna archaeological complex (Fig. 1), ten cross-sections were collected from different trunks. The relatively small number of samples analysed was due to conservation guidelines aimed at protecting the remains of historical settlements. For absolute dating, five tree rings were selected from sample CL9. α-cellulose was extracted from the wood following the protocol of Green (1963). This method was modified by employing an ultrasonic bath (Pazdur et al. 2005) and using HCl instead of acetic acid to avoid any potential acetylation (Nemec et al. 2010). After pretreatment, approximately 4 mg of α-cellulose extracted from each sample (one ring per trunk) was combusted to CO_2 and subsequently reduced to graphite (Krąpiec et al. 2018; Wiktorowski et al. 2020). The resulting graphite–iron mixture was then pressed into a target holder for AMS ^{14}C measurements. Because the wood, initially dated using dendrochronological methods, needed an independent age verification, the wiggle-matching method was applied. Wiggle-matching, together with its underlying mathematical assumptions, is described by Bronk Ramsey et al. (2001). In this study, the wiggle-matching analysis was carried out using OxCal v4.4 (Bronk Ramsey 2009) and the calibration curve SHCal20 (Hogg et al. 2020). This finding suggests that **the CLAA1** sequence covers the period **1253–1322 (±8) CE**, thereby confirming Cerro Laguna's designation within the Late Intermediate Period. Importantly, it may also facilitate the creation of a multi-decade calibration curve with annual resolution. This is particularly relevant for the Southern Hemisphere, where calibration curves still contain uncertainties due to limited data, and the findings here could help refine those curves. Statistical dendrochronological analyses of the Neltuma spp. samples showed promising results for a tropical archaeological context, given their distinctly recognisable ring boundaries (Ferrero et al., 2014). Despite the relatively small number of samples (10 trees), our results align with earlier studies of modern populations, particularly in terms of mean sensitivity (0.62), autocorrelation (−0.13), and mean correlation (0.42) (López et al., 2006; Rodríguez et al., 2005). This suggests that even a limited

archaeological dataset can capture a dendrochronological signal reflecting climatic information. The high standard deviation was expected and mirrors the findings of other algaroba studies, where growth is influenced by **ENSO** (López et al., 2006). Recording these events can help validate dates in dendrochronological sequences, especially those of shorter duration. The presence of pronounced ENSO events suggests that the Cerro Laguna site was established around 1300 CE, coinciding with climatic shifts in the Pacific region noted in several archaeological studies. At least four **ENSO events** are recognisable across the Cerro Laguna sequences due to a significant (2.5-fold) increase in tree-ring width relative to normal years. This points to a notably dry period, with low rainfall occurring both during ENSO and non-ENSO seasons, which may explain the relatively narrow mean tree-ring widths compared with other algaroba records. Constructing the **CLAA1** chronology for the Cerro Laguna site, spanning **1253–1322 CE**, confirms its affiliation with the Late Intermediate Period, strengthening the historical narrative of the region. Despite a relatively small sample (10 trees), Neltuma spp. provided robust dendrochronological signals, indicating that these trees can reliably reflect climatic variations. Comparable mean sensitivity and autocorrelation values to previous research underscore this method's validity in tropical archaeological settings. Significant increases in tree-ring width point to strong **ENSO events around 1300 CE**, revealing marked climate shifts that likely affected both vegetation and human settlement. These results offer a pathway towards creating a multi-decade calibration curve with annual resolution in the Southern Hemisphere, addressing existing data gaps and improving understanding of regional climate trends. The identified **ENSO** events and associated climate conditions shed light on how ancient communities at Cerro Laguna may have responded to environmental stresses, highlighting the interplay between climate variability and human development. The findings encourage expanded dendrochronological studies using a wider array of species and sites in the region, enabling further exploration of past climate fluctuations and their implications for historical societies. These conclusions underscore the central insights gained from the research, underscoring the importance of dendrochronological methods for reconstructing historical climatic conditions, and elucidating their influence on human civilisation.

Articles:

M. Krąpiec, P. Salazar, A. Rakowski, J. Pawlyta, I. Gezzi, R. Rodriguez, A. R. M. Navarro Cerrillo, A. Mabres, D. Wiktorowski, M Minami - **Annual rings of algaroba (Neltuma pallida) tree from northern Peru. Radiocarbon - in review.**

Successive publication of articles is planned after the elaboration of the measurement results. The results will be presented during the **25th Radiocarbon** Conference in Kraków June 2025, **3rd CLARA** Conference in Chile August 2026, and during **Radiocarbon and Archaeology** Conference in Brazil, August 2026.

Period of stay in ISEE:

22.02.2025 – 21.03.2025 – Nagoya University

(Form02-2)

Magnetoseismic investigation of heavy ions in the inner magnetosphere

Kazue Takahashi (The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory)

Objective: The objective of the research project is to understand how and where ionospheric O^+ feeding (outflow) to the magnetosphere occurs. O^+ ions control various magnetospheric processes such as reconnection and wave-particle interactions, and it is necessary to know their density in quantitatively understanding the processes. The problem is that the total O^+ number density is largely determined by the low energy (< 10 eV) population, which is difficult to directly measure with particle instrument. We use an alternative approach, magnetoseismology, to evaluate the O^+ density.

Method: In magnetoseismology, we estimate the total ion mass density from the observed frequencies of standing Alfven waves. The waves are driven by disturbances in the solar wind and are ubiquitous in the magnetosphere. The frequencies depend on the background magnetic field and the mass density. Because we have good magnetic field models, we can solve the standing Alfven wave equation using the magnetic field models to estimate the mass density. The mass density can be combined with the electron density determined from plasma wave spectra to derive the O^+ density when we make an assumption on the He^+ to H^+ density ratio, which is fairly small and stable.

Results: We have applied magnetoseismology to data from the Van Allen Probes spacecraft covering 2012-2019. The spacecraft had apogees at $L \sim 6$ and their elliptical orbits completed four rotations in magnetic local time (MLT). This enabled us to statistically generate L-MT maps of the O^+ density using observations made during 102 storms. The main result is that the O^+ density in the plasmatrough is enhanced during the main and early recovery phases of the storms (see Figure 1). The density is higher on the morning side during the main phase, but this morning/afternoon asymmetry disappears during the early recovery phase. The joint research activity occurred when this work was in the final stage. The participants discussed the significance of the data analysis results.

Period of stay: 7-11 October 2024

Publication:

Takahashi, K., Denton, R. E., & Chi, P. (2025). Stormtime Evolution of the O+ Density: Magnetoseismic Analysis of Van Allen Probes Data. *Journal of Geophysical Resaerch: Space Physics*. doi:10.1029/2024JA033657

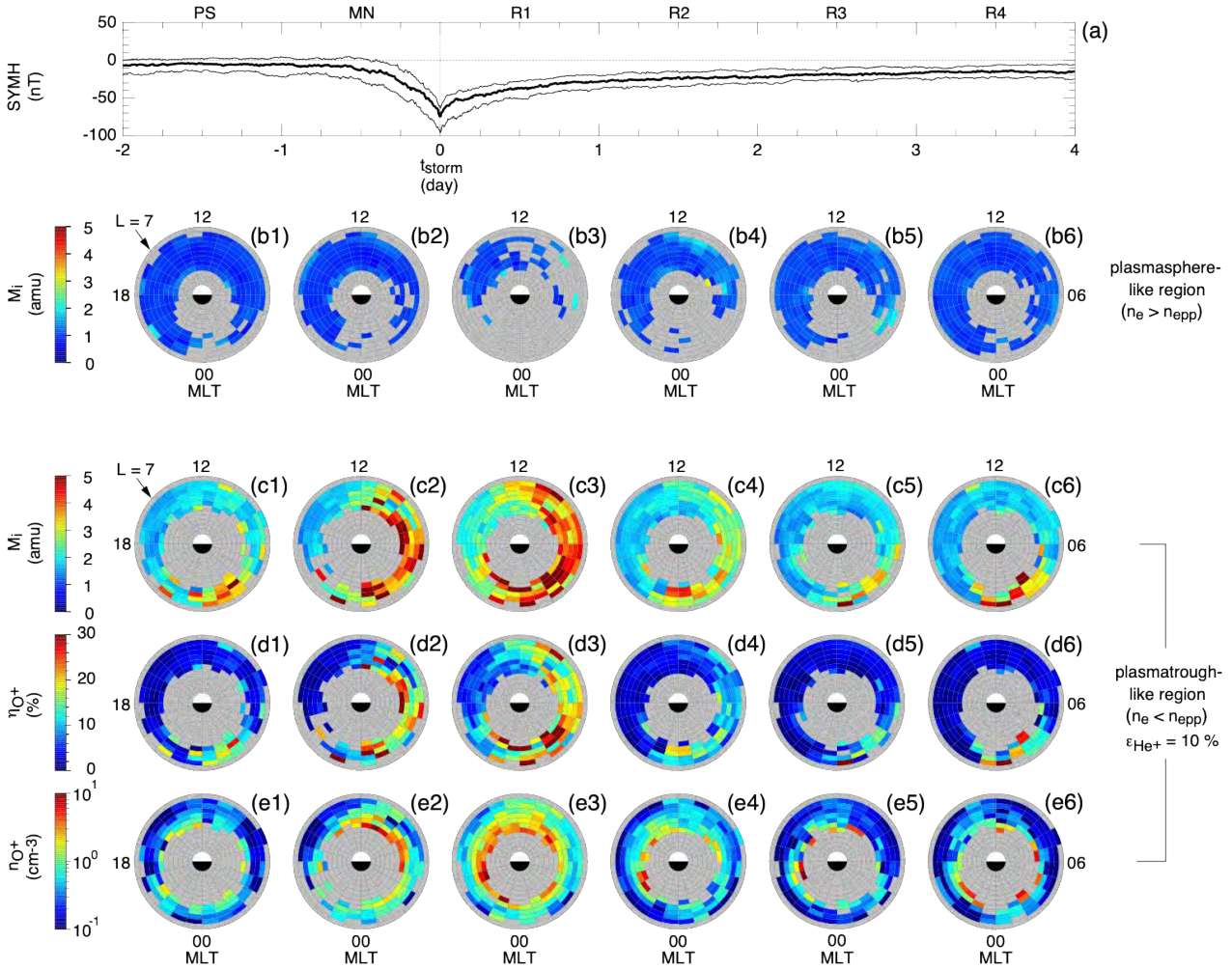


Figure 1. Figure 9 of Takahashi et al. (2025). (a) Superposition of SYMH for the selected 102 storms plotted versus t_{storm}, where t_{storm} = 0 corresponds to the SYMH minimum of each storm. The heavy and light black lines indicate the median and the upper and lower quartiles, respectively. (b1-b6) *L*-MLT maps of the average ion mass in the plasmasphere-like region. (c1-c6, d1-d6, e1-e6) *L*-MLT maps of the average ion mass, the O^+ concentration, and the O^+ number density in the plasmatrough-like region.

(Form02-2)

Project Title:

Dynamics & Heating of the Solar Corona at the Sites of Small Scale Features (Campfires and Bright Points) Observed from Solar Orbiter/EUI and SDO/HMI

Principal Investigator Name (Affiliation):

Rangaiah Kariyappa, Indian Institute of Astrophysics, Bangalore 560034, INDIA, kari.hemi@gmail.com

Co-Investigators:

S. Masuda (ISEE/NU), J. Zender (ESA/ESTEC), T. Matsumoto (ISEE/NU)

Under this approved project, Kariyappa had visited ISEE/NU from July 11 - 30, 2024 and had a detailed discussion with Masuda and Matsumoto and done preliminary results. During this period he had also attended the COSPAR meeting in South Korea to present a paper on Solar X-ray Irradiance Variability. The preliminary results of the approved research project are presented below.

Preliminary Results:

We have conducted a preliminary analysis on a sample of time sequence observations made on March 17, 2022 with ***EUI/HRI*** of Solar Orbiter observed in 174A & 1216A. The time series plots are shown below:

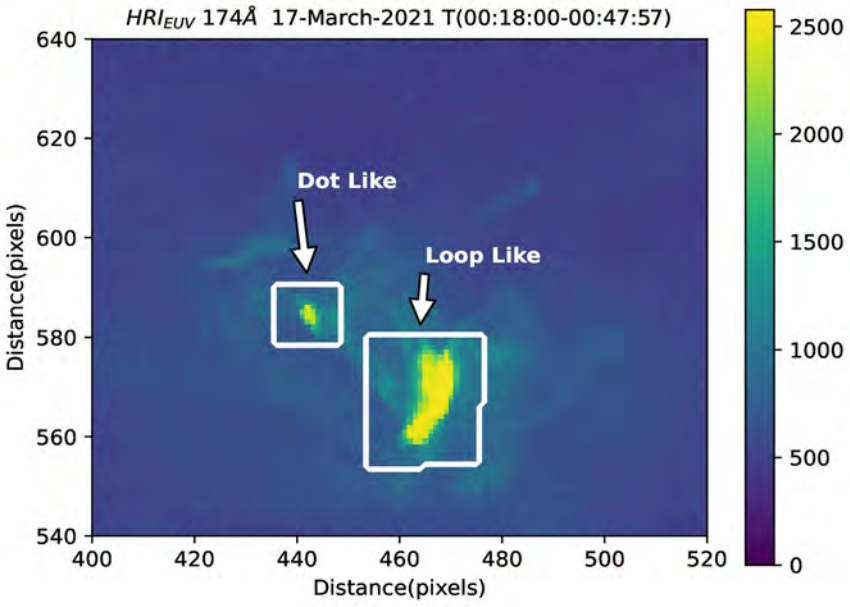


Figure 1: A sample i*mage showing campfires (roundish - dot like & loop like structures) observed on March 17, 2022 with EUI/HRI of SolO (174A).*

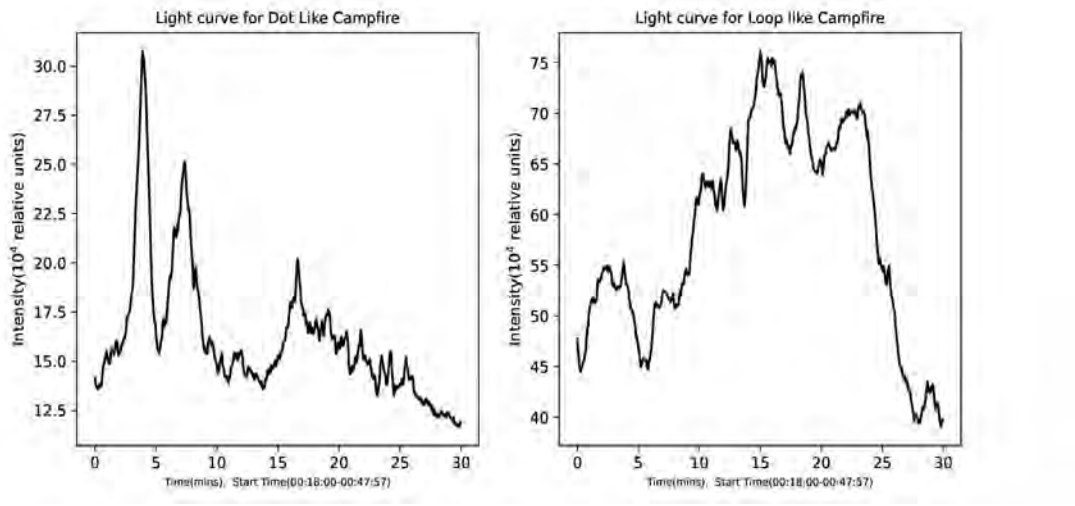


Figure 2: *Showing brightness oscillations of Campfires 1 (roundish - dot like structure) and 2 (loop like structure (174A).*

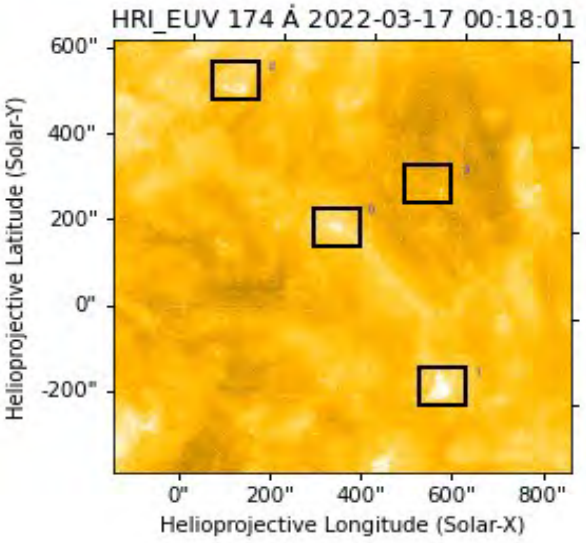
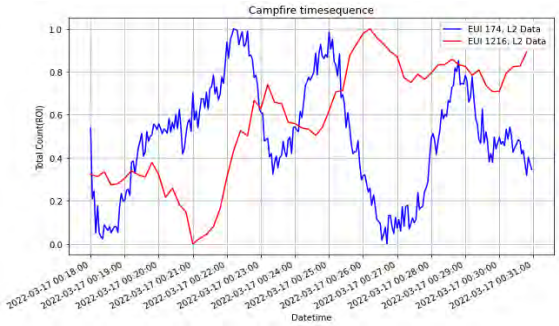
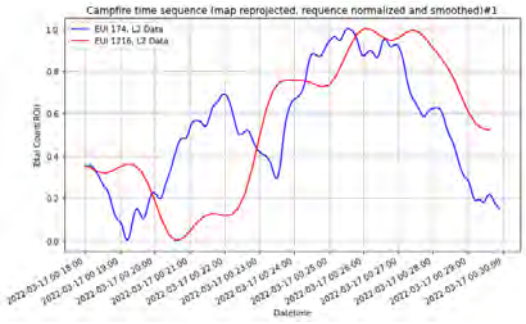
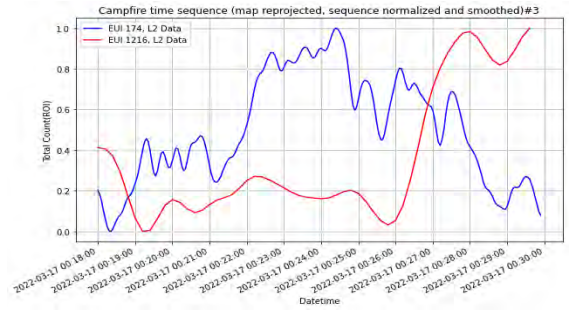
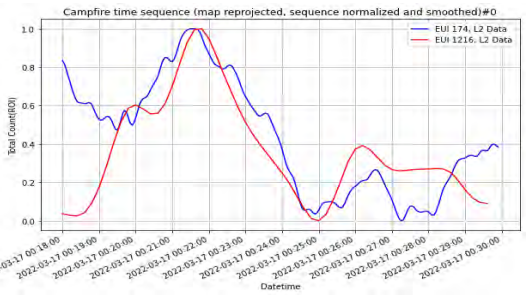


Figure 3: *A sample of an image observed on 17-3-2022 in 174 A (EUI) showing Campfires*









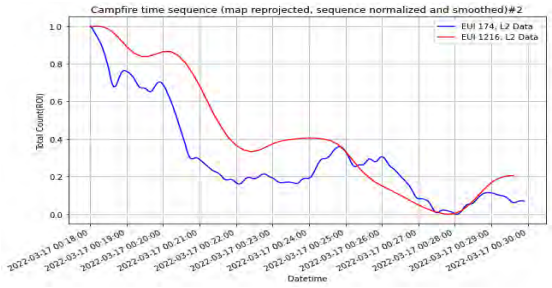


Figure 4: *Intensity variations (time series) in 5 campfire locations observed* ***in 174 A & 1216 A*** *from Solar Orbiter, EUI on March 17, 2022.*

In addition we analyzed the time sequence images observed by SO/EUI on March 17, 2022 in 174 A & 1216A. We derived the intensity values in all the five campfire locations (shown the campfires in Figure 3) observed on March 17, 2022 in 174 A and 1216 A – Lyman Alpha. Their time series plots are shown in Figure 4. It is seen that the intensity variations in all the campfires over the total observed period. We noticed a phase delay (time shift) of around 2-min between 174 A and 1216 A in campfire time series. It looks from these five samples that the campfires are more diverse and dynamic in nature. It is difficult to come to any conclusion from these samples, hence we propose to select a large number of campfires and bright points observed simultaneously in SO/EUI, Hinode/XRT and SDO/HMI to study their intensity oscillations, their periods, to bring out the differences among the campfires, the phase delay/time shift, heating mechanism in all the cases, energy budget, determine the role magnetic field in the heating of these features etc.

Paper presented at the COSPAR meeting:

R. Kariyappa, H.N. Adithya, S. Masuda et al. EUV, UV & X-ray Irradiance Variability over the Solar Cycle 24 and their Impacts on Earth's Climate & Space Weather, July 13-21, 2024, Busan, South Korea

(Form02-2)

Evaluation of Different Techniques for Deriving 3D Wind Fields from the PAWR Observations and Deriving Precipitation from Satellite Observations

Chih-Chien Tsai (National Science and Technology Center for Disaster Reduction)

1. Purpose

Following the successful technical exchange in 2023, Prof. Nobuhiro Takahashi extended a second invitation to the National Science and Technology Center for Disaster Reduction (NCDR) in Taiwan to apply for the 2024 Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE) International Joint Research Program. This continued collaboration aims to strengthen international cooperation between the two institutions. The NCDR delegation consists of five members: Drs. C.-C. Tsai, Y.-C. Chen, H.-H. Lin, S.-C. Huang, and Ms. D.-R. Chen. In addition to the previous year's focus on phased array radar data processing, this year's exchange expanded to include satellite data applications, heterogeneous disaster prevention data visualization, and disaster prevention product applications. Through this ongoing international exchange, NCDR staff can absorb the latest research capabilities from abroad and further explore potential future collaborative projects between the two organizations.

2. Methods (five topics)

The NCDR delegation embarked on a seven-day academic exchange visit to Nagoya University on October 20, 2024. Japanese scholars participating in the discussions included Profs. N. Takahashi, K. Tsuboki, T. Shinoda, and Dr. S. Lestari from ISEE, Prof. T. Ushio from Osaka University, and Dr. N. Yoshida from the Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA). The exchange covered the following five topics:

(a) Dual-polarization phased array radar hardware, data processing, product demonstration, and severe weather diagnostic analysis.
(b) Satellite data processing, product development, and visualization.
(c) Visualization techniques and disaster prevention product applications.
(d) Visits to Kyoto University's Middle and Upper Atmosphere (MU) radar and Osaka University's Multi-Parameter Phased Array Weather Radar (MP-PAWR).
(e) Discussion of Memorandum of Understanding (MoU) for future collaboration.

3. Results (of the five topics)

(a) Dr. Tsai delivered a lecture on "An Update of Radar-related Research Progress in NCDR", with key achievements on dual-polarization radar quantitative precipitation estimation and severe weather monitoring applications. Prof. Takahashi delivered an introduction to Japan's MP-PAWR systems. Following the 2023 exchange, NCDR successfully conducted Wind Synthesis System Using Doppler Measurements (WISSDOM) three-dimensional (3D) wind field retrieval tests using the MP-PAWR data, establishing a solid foundation for future collaboration. Prof. Takahashi provided clarification on technical issues and committed to sharing additional data for comparative analysis.

(b) Dr. Yoshida presented on Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) algorithms and products. NCDR delegation members successfully registered as GSMaP members and downloaded valuable rainfall data for drought response and severe weather analysis. Dr. Chen delivered a lecture on "Applications of Meteorological Satellite Data in Disaster Prevention by NCDR," with key achievements on real-time monitoring systems, cloud parameter retrieval, and 3D satellite cloud visualization platform development.

(c) Prof. Takahashi presented MP-PAWR observations of severe rainfall events, demonstrating how integrating radar, lightning, and camera data enhanced understanding of convective storm lifecycles. Dr. Lestari shared findings on Typhoon Jongdari (2018), revealing how convective rainfall proportion increased as the typhoon approached. Dr. Lin delivered a lecture on "Application of Big Data and Visualization Technique on Disaster Warning System," showcasing NCDR's meteorological database and visualization products. Both parties exchanged views on developing 3D radar echo profile visualization modules using the MP-PAWR data and discussed animation capabilities.

(d) During the visit to Kyoto University's MU radar facility, the NCDR delegation observed one of the world's largest atmospheric radar systems, featuring 475 Yagi antenna modules that enable continuous 3D wind monitoring. The delegation also toured Osaka University's MP-PAWR, upgraded in 2023. This advanced system achieves 10–30 second temporal resolution through 12 transmitting and 128 receiving antennas, significantly enhancing monitoring of small-scale severe weather phenomena.

(e) The NCDR delegation actively discussed establishing an MoU with Profs. Takahashi and Tsuboki. The proposed collaboration framework focuses on natural disaster prevention cooperation, data exchange, visualization tool sharing, and professional development opportunities. ISEE agreed to the partnership but suggested expanding beyond visualization tools to include other technologies. Rather than annual alternating symposiums, both parties agreed to emphasize exchanges between young scientists. NCDR has drafted the MoU, and coordination for a signing ceremony is currently underway.

4. Periods of stay

Oct. 21 (Mon) @617 bldg. I
10:30-12:00 Lecture by Dr. Tsai (in "Radar Meteorology" class)
12:00-13:30 Lunch
13:30-17:00 MP-PAWR/WISSDOM discussion (I)
17:00-19:30 MoU discussion

Oct. 22 (Tue) @617 bldg. I
09:00-12:00 GSMaP discussion (I)
12:00-13:30 Lunch
13:30-15:00 Lecture by Dr. Chen
15:30-17:00 GSMaP discussion (II) including wrap-up

Oct. 23 (Wed) @617 bldg. I
09:00-12:00 (not decided yet because ISEE's Faculty meeting)
12:00-13:30 Lunch
13:30-17:00 Lecture by Dr. Lin

Oct. 24 (Thu) Visit to MU radar (Kyoto U.) and MP-PAWR (Osaka U.) sites
08:00 Nagoya (pick you up at the hotel)
10:00 MU radar site
11:30 Lunch at Shigaraki
14:30 MP-PAWR radar site (Osaka U.)
16:00 leave MP-PAWR site
18:30 Nagoya

Oct. 25 (Fri) @409 bldg. II
09:00-12:00 MP-PAWR/WISSDOM discussion (II) and wrap-up
12:00-13:30 Lunch
13:30-17:00 Wrap-up the meeting.

5. Publication

Hsu, L.-H., Chiang, C.-C., Lin, K.-L., Lin, H.-H., Chu, J.-L., Yu, Y.-C. and Fahn C.-S. (2024) Downscaling Taiwan precipitation with a residual deep learning approach. *Geoscience Letters*, 11, 23.

(Form02-2)

Identification of Avian Dietary Change and Its Implications Using Isotopic Technology

Xueqiang Lu (Nankai University)

1) Purpose

Evaluating the composition of avian diets has been a focus of ornithological inquiry for over a century. Understanding the dietary niche of a species allows researchers to quickly describe important life-history traits as well as the complex interactions that birds have with their environments and, in turn, provides essential information for the management and conservation of avian species and their habitats. the objective of this study is to identify temporal changes in bird diet compositions over nearly a century. This will be accomplished through the measurement of stable isotopes (specifically δ13C and δ15N) in feathers collected at different ages, spanning almost 100 years.

2) Methods

Feathers of bird specimens with different collection time from Tianjin Nature Museum will be used in this study. Meanwhile, feathers of the same birds will be also collected as the sample of the present time. The samples will cover different ecological groups. Meanwhile, the information on ecological status at the specimen collection sites will be recorded and analyzed. All the collected feathers will be rinsed and dried. Subsequently, Nitrogen-15 and Carbon-13 will undergo further analysis via Isotope Ratio Mass Spectrometry (IRMS) at ISEE.

3) Results

The sample measurement results are listed in Table 1. It should be noted that all the measurement has not been finished yet and the sample measurement is still ongoing.

Table 1 Sample measurement results.

Sample Name	Weight (mg)	Carbon Content (mg)	Percentage (%)	$\delta^{13}C_{PDB}$ (%)	Nitrogen Content (mg)	Percentage (%)	$\delta^{15}N_{AIR(N1)}$	$\delta^{15}N_{AIR(N2)}$	$\delta^{15}N_{AIR}$ (%)
L3_P	1.284	0.63	49.45	-19.14	0.17	13.45	8.99	9.09	9.04
L4_B	0.542	0.31	56.48	-23.27	0.07	12.76	8.94	9.04	8.99
L4_P	1.017	0.51	50.60	-26.16	0.13	13.14	7.72	7.82	7.77
L7_P	1.42	0.69	48.35	-20.72	0.21	15.09	8.53	8.63	8.58
L10_P	1.348	0.73	54.40	-23.36	0.17	12.50	4.88	4.98	4.93
L12_P	1.012	0.58	57.38	-28.93	0.11	11.22	12.38	12.48	12.43
L15_P	0.936	0.48	50.79	-22.93	0.13	13.77	4.17	4.27	4.22
L14_P	1.072	0.52	48.06	-24.36	0.15	14.17	7.02	7.12	7.07
L16_P	0.782	0.37	47.72	-22.92	0.11	14.57	6.36	6.46	6.41

L17_P	1.608	0.78	48.26	-18.17	0.25	15.76	7.51	7.61	7.56
L18_P	1.637	0.79	48.09	-27.22	0.25	15.06	8.49	8.59	8.54
L19_P	1.343	0.64	47.29	-26.91	0.19	14.00	12.17	12.28	12.23
L3_B	1.175	0.54	45.86	-17.70	0.17	14.11	11.15	11.25	11.20
L7_B	1.003	0.49	48.91	-21.99	0.14	13.52	8.97	9.07	9.02
L10_B	1.011	0.50	49.02	-21.60	0.15	14.67	5.26	5.36	5.31
L12_B	1.486	0.71	47.99	-30.20	0.23	15.41	12.53	12.63	12.58
L13_B	1.482	0.71	48.22	-18.04	0.22	15.06	8.25	8.35	8.30
L14_B	1.043	0.51	48.91	-21.84	0.16	15.16	7.94	8.04	7.99
L15_B	1.104	0.53	48.08	-22.46	0.16	14.35	4.40	4.50	4.45
L16_B	0.827	0.40	48.97	-24.32	0.11	13.16	5.31	5.41	5.36
L17_B	1.096	0.54	49.60	-19.57	0.14	13.15	8.87	8.97	8.92
L20_B	1.179	0.56	47.58	-16.22	0.17	14.63	4.79	4.89	4.84
L21_B	1.009	0.47	46.34	-22.77	0.15	14.56	7.07	7.18	7.13
L21_P	1.135	0.53	46.97	-24.56	0.17	14.93	8.48	8.58	8.53
L1_B	1.066	0.51	47.60	-25.57	0.15	14.37	7.94	8.04	7.99
L2_B	1.245	0.57	45.39	-22.75	0.18	14.13	6.10	6.20	6.15
L5_B	0.951	0.44	45.80	-14.67	0.13	13.96	13.44	13.54	13.49
L8_B	0.979	0.46	46.94	-21.22	0.13	13.60	7.39	7.49	7.44
L9_B	1.238	0.48	38.50	-19.85	0.14	11.29	7.20	7.30	7.25
L11_B	0.938	0.37	39.88	-23.62	0.11	11.28	21.07	21.17	21.12

4) Periods of stay in ISEE

I visited ISEE twice and each time I stayed about one week.

5) Publications

Because the measurement is still ongoing, there is no paper published yet. Hopefully, we may publish one co-authored paper in 2025.

(Form02-2)

Comparative studies on Earth's and Mercury's dynamic magnetospheres

Prof. Jih-Hong Shue (National Central University, Taiwan)

The main goal of our visit (including my students Mr. Pai-Sheng Wang and Ms. Wun-Jyun Lin) to Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE) of Nagoya University is to perform an international joint project on planet Mercury and to consolidate an international relationship with some researchers from ISEE and Nagoya City University. We collaborated with the researchers on the dynamics of planet Mercury's magnetosphere as compared to Earth's. We intended to work together on some topics during the visiting period and publish papers on either Mercury or Earth in the future. With the travel budgets supported from ISEE and our own, the visit was finally realized in the two periods: One was the period of April 1-15, 2024 and the other was October 31 - December 2, 2024.

During the first visit, I interacted with Profs. Masafumi Hirahara, Akimasa Ieda, and Tomoaki Hori on some research topics, including plasma and magnetic fields just outside the subsolar magnetopauses and the structure of the current sheet of the magnetotail around substorm onsets for both Mercury and Earth. I also presented a seminar [Pre1], entitled "A comparative study on the compressibility of Earth and Mercury's dayside magnetospheres," reporting their differences in the compression ratio and the location of the subsolar magetopause. During the seminar, I fully interacted with the ISEE researchers attended, receiving valuable comments from them. Meanwhile, I took some time to discuss Prof. Masahito Nosé of Nagoya City University about which IMF condition is for the quietest direct-driven geomagnetic activity. We submitted a paper to Earth, Planets, and Space near the end of this project [Pub1].

Under an arrangement by Prof. Hirahara, I went to Institute of Space and Astronautical Science (ISAS) of the Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) for one day on April 10, 2024, visiting Profs. Yoshifumi Saito, Iku Shinohara, Hiroshi Hasegawa, and Go Murakami. I presented a seminar about a comparative study on Mercury and Earth's magnetospheres there [Pre2]. Under my interaction with them, they understood more about my new results and I knew more about the BepiColomo mission. For examples, due to the planned orbits of BepiColomo, the region near the subsolar magnetopause will not be traversed. Therefore, I need to modify my research ideas of using data from BepiColombo.

During the second visit, two of my students, Mr. Pai-Sheng Wang and Ms. Wun-Jyun Lin, came to ISEE with me. We worked closely with Profs. Masafumi Hirahara, Tomoaki Hori, Akimasa Ieda, Masahito Nose, and Yoshizumi Miyoshi. We made some progress in the research, including establishing the magnetic profile of the magnetosheath, developing a technique in fitting both single and bifurcated current sheets of the magnenetotail, understanding more about the FTE and ULF near the magnetopause of Mercury, and studying the properties of magnetospheric chorus subelements.

In addition to visiting ISEE, we made two business trips: One was to the Institute of Advanced Energy (IAE) on the Uji campus of Kyoto University on November 6, 2024, and the other was to ISAS on November 13-14, 2024. During our visit to IAE, we met with Profs. Shigeru Inagaki, Yasuhiro Nariyuki, Yuto Katoh, and Yikai Hsieh. We drew an analogy between magnetospheric chorus waves and currents generated in a fusion device in a repetitive manner. I presented a talk there [Pre3]. After the meeting on Bursty Phenomena in Space and Experimental Plasmas was ended, Prof. Inagaki took us a tour to see his Heliotron-J fusion device. During our visit to ISAS, we intensively discussed with Profs. Iku Shinohara, Yoshifumi Saito, Hiroshi Hasegawa, and Go Murakami on our research progress on Mercury's magnetosheath profiles and Earth's current sheets of the magnetotail. The questions and comments they gave us help improve the quality of the results in the future. They also updated our knowledge on the BepiColombo mission in the aspects of future flybys and a delay of inserting Mercury's orbit.

In summary, the outcome received from our two visits is considered substantial. We have made some progress in the research on Mercury and Earth. Both sides understood better to each other through the interactions. Although the results derived from the research are not published yet [Pub2, Pub3], both sides are willing to keep in touch afterward. We will discuss any research progress, problems, or difficulties via email, or plan another scholar exchange for further collaboration. For examples, Prof. Masafumi Hirahara helped us (me and Dr. Shu-Hua Lai) to apply for the memberships of the MPPE team for the BepiColombo mission in February of 2025. We will be delighted to work on data obtained from BepiColombo when available. Moreover, Prof. Hiroshi Hasagawa has planned to visit National Central University in April 9-23, 2025. We will work together on magnetic reconnection related topics on Mercury and Earth.

Publications:

[Pub1] Shue, J.-H., and M. Nosé, Which interplanetary magnetic field condition is for the quietest direct-driven geomagnetic activity?, Submitted to Earth, Planets, and Space, 2025.

[Pub2] Chiu, I-H., J.-H. Shue, H. Hasegawa, J. Zhong, and M. Hirahara, A survey of the anomalous reconnection layer on Mercury, Submitted to EGU General Assembly, April 27 – May 2, 2025.

[Pub3] Lin, W.-J., J.-H. Shue, X. Tao, Y. Miyoshi, Y. Omura, H.-W. Shen, and Y.-K. Hsieh, Invariant distributions of magnetospheric chorus subelements, To be submitted to Geophysical Research Letters, 2025.

Presentations:

[Pre1] Shue, J.-H., A comparative study on the compressibility of Earth and Mercury's dayside magnetospheres, ISEE Seminar, Nagoya University, 2024/03/27.

[Pre2] Shue, J.-H., A comparative study on the compressibility of Earth and Mercury's dayside magnetospheres, JAXA/ISAS Seminar, 2024/04/10.

[Pre3] Shue, J.-H., Bursty phenomena in space: Magnetospheric chorus waves, IAE Workshop, Kyoto University, 2024/11/06.

(Form02-2)

Effects of Ionospheric Scintillation on the Precision of GNSS Precise Point Positioning (PPP) Technique at Low-latitude region

Prayitno Abadi (Research Center for Climate and Atmosphere, BRIN)

I stayed at the Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE) at Nagoya University from October to November 2024. I studied the performance of GNSS positioning techniques affected by ionospheric scintillation in low-latitude regions. In this study, the occurrence of ionospheric scintillation is represented by an increase in the Total Electron Content (TEC) change index (ROTI), observed from a Global Navigation Satellite System (GNSS) receiver in Indonesia. In low-latitude areas like Indonesia, scintillation events and ROTI enhancements are primarily associated with the nocturnal Equatorial Plasma Bubble (EPB) phenomenon, which refers to a localized depletion of plasma density in the F region of the ionosphere. Both scintillation and ROTI enhancements reflect the ionospheric irregularities (plasma density fluctuations) within the EPB. During my stay at ISEE, I investigated the performance of two precise positioning techniques, namely the Real-Time Kinematic (RTK) and precise point positioning (PPP) techniques, during EPB presence. After I return to my country, Indonesia, I continue to conduct the experiments of ionospheric effects on PPP technique since my focus on this topic, and this report to present the results of investigating the effects of EPB on the PPP technique

I used the Canadian Spatial Reference System PPP (CSRS-PPP) to compute precisely positioning the P14P GNSS station (a priori position: Longitude: 119.836°, Latitude: -0.905°) in Indonesia, both during EPB occurrences and non-occurrences. I collected the Receiver Independent Exchange Format (RINEX) data from the P14P station between March and April 2023 (54 days). CSRS-PPP is a free online PPP service that allows us to submit RINEX files from specific GNSS stations to obtain positioning outputs in cm levels. PPP requires ambiguity resolution (AR), which can significantly enhance accuracy and reduce initialization time by identifying and correcting integer biases in carrier-phase measurements. Therefore, the performance of PPP can be assessed by the percentage of fixed ambiguities, which indicates how much the CSRS-PPP achieves AR in calculating the precise position of the station. Furthermore, the ROTI enhancement is used to determine the presence of EPB. We calculated the root mean square (RMS) of ROTI values from 10 to 24 UT to represent the strength and duration of ROTI enhancement on each observation night.

Figure 1 presents the results of PPP performance during EPB occurrence (ROTI enhancement). Fig. 1(a) provides an example of ROTI enhancement during nighttime on March 10, 2023, indicating the presence of EPB that night. On the other hand, Fig. 1(b) displays the output of CSRS-PPP, showing the number of available satellites and the percentage of ambiguity resets on the night of March 10, 2023. Fig. 1(b) highlights that the CSRS-PPP performed ambiguity resets coinciding with the period of ROTI enhancement, as indicated by the ambiguity resets feature (red "×"). On that night (from 10 to 24 UT), the percentage of fixed ambiguities (PPP-AR) achieved was 87.58%. Fig. 1(c) importantly illustrates our experiment on PPP performance during EPB

occurrences. The EPB occurrences were quantified by the RMS ROTI enhancement at night, while the performance of PPP was quantified by the percentage of AR achieved. Fig. 1(c) indicates that the percentage of AR tends to decrease as the RMS ROTI increases. Here, we conclude that the ionospheric irregularities present during EPB can influence the performance of the PPP technique in low-latitude regions. Stronger ionospheric irregularities associated with EPB can degrade PPP performance by reducing the fixed ambiguity resolution.

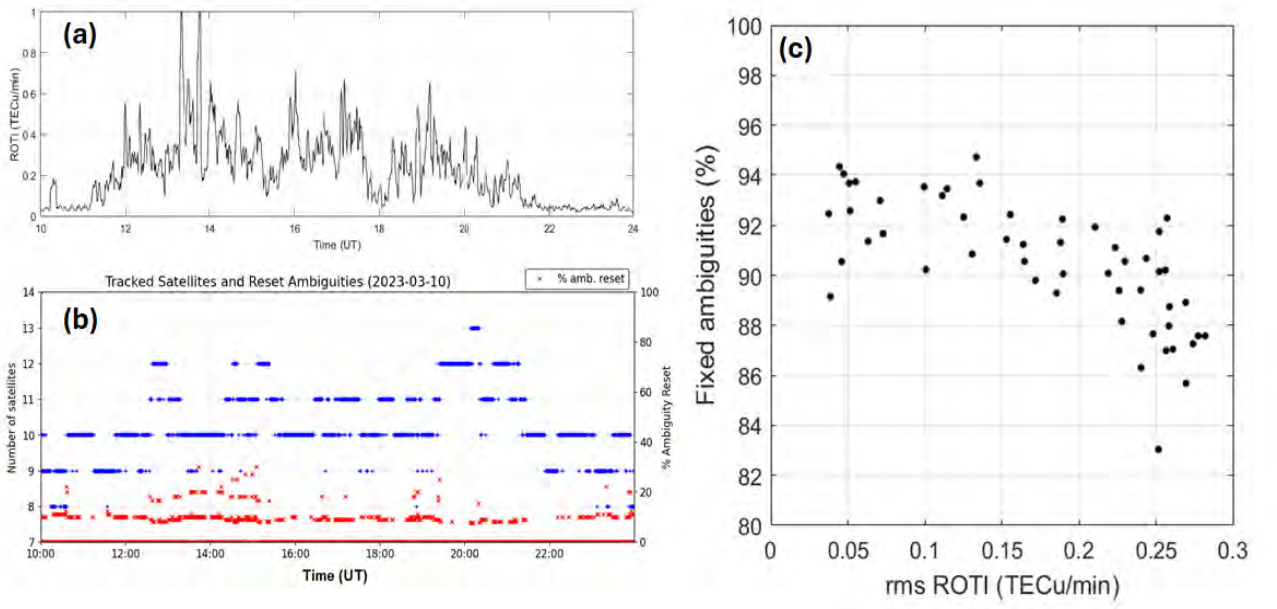


Figure 1. (a) ROTI enhancement obtained from P14P station on 10 March 2023. (b) The output from CSRS-PPP showing the number of satellites (blue dots) and ambiguity resets (red crosses). (c) The performance of PPP (percentage of fixed ambiguities) as a function of RMS ROTI enhancement from the experiment in this study.

List publications:

I have not published any material from this report in a peer-reviewed international journal, but I plan to do so in the future. I plan to focus on the performances of the PPP technique under the EPB presence in low-latitude regions.

(Form02-2)

Vortical plasma and magnetic structures in the solar atmosphere and beyond

Dr Gary Verth, The University of Sheffield,
School of Mathematical and Physical Sciences
Hicks Building, Hounsfield Road
Sheffield, S3 7RH

Within this project we investigated the dynamical physical properties of the vortical coherent plasma motions in the solar atmospheric plasmas. It includes the identification of the vortical motions, energy transfer within vortical structures, wave excitation and propagation, interaction and life cycles of K and M vortex tubes (Silva et al, 2021). For the analysis we utilised the data obtained from magneto-hydrostatic simulations (with presence of the rotational flow, PLUTO code (Mignone et al. 2007, 2012, 2018)), the magnetoconvection numerical data obtained with use of MURaM (Vogler et al., 2005), RAMENS (Iijima & Yokoyama, 2017) and R2D2 (Hotta et al., 2019; Hotta and Iijima, 2020) codes and observational data. In magneto-hydrostatic simulations we investigate the contribution from MHD waves to the Poynting flux in a 3D realistic solar atmosphere, modelling a solar vortex tube in the presence of different plasma rotational flow configurations. These simulations feature a closed magnetic loop system where a rotational flow is imposed at one foot-point in addition to photospheric perturbations acting as a wave driver mimicking those of p-modes. It was found that variety of MHD waves exist within the vortex tube, including sausage, kink and torsional Alfven waves, owing to the photospheric wave driver and the nature of the rotational flow itself. Comparison of simulations with and without the rotational plasma flow, shows that the Poynting flux increases in the presence of the rotational flow as the waves transport increased magnetic energy. It was also demonstrated that a vortex tube considerably increases the effectiveness of magnetic wave energy flux transport into the corona. For the analysis of the magnetoconvection data and recovering plasma flow velocities and therefore vortical motions we trained DeepVel neural network on the R2D2 radiative MHD simulation depicting the emergence and decay of a magnetic flux tube. DeepVel achieved strong correlations with flows from an unseen MURaM simulation. We have shown that DeepVel is able to capture the detailed topology well, e.g., the structure of vortical and diverging structures across all scales present in the flows. DeepVel performed slightly less well in the umbra, this is likely explained by magnetic field suppression and reduced contrast. We demonstrate for the first time that the DeepVel-recovered velocities accurately (in comparison to the FLCT and coherent structure tracking) reflected the flow's transport barriers. These findings highlight the precision and reliability of the DeepVel and its ability to emulate plasma flows surrounding and within active regions.

Dr Suzana Silva visited ISEE between 14-20th of March 2025. During her visit she presented our work on vortex detection with use of PCA techniques and Gamma method, discussed an analysis of vortical motions within active regions as well as analysis of data previously provided to the Plasma Dynamics Group (Iijima et al., ApJL, 2023). In the framework of this project Prof Viktor Fedun visited ISEE between 23-31st of March 2025. He updated ISEE colleagues with the project results, discussed plans for future collaboration and

required data transfer for future work. In particular, there is a new data available from simulations (RAMENS) that build upon the framework of the paper published in Iijima et al., ApJL, 2023, with the aim of exploring the connection between surface dynamics and processes in the solar wind. The primary objective of the proposed analysis is to study the plasma flow vortical behaviour (within horizontal slices) and energy transfer varying initial conditions. While the box size remains consistent across all simulations, each one incorporates different boundary conditions, specifically varying the strength of the small-scale dynamos. A key focus of our future work will be to analyse the distribution of coherent structures across 16 simulations (h=0-20 solar radius). Given that these simulations are initialised with different small-scale dynamo configurations, we aim to investigate how these variations impact the formation and evolution of plasma coherent flow structures and wave propagation. It is also important to highlight that the collaboration within this joint research supported establishing of the Solar Physics International Network for Swirls (an international initiative devoted to study all kind of vortices in the Sun and their role in the solar plasma dynamics and successful ISSI application: "Opening new avenues in identifying coherent structures and transport barriers in the magnetised solar plasma", ISSI Team led by S. Silva & V. Fedun, Dr Haruhisa Iijima is a member of the Team. Currently we are working on preparation of two papers: "Solar Vortex Communities and their Interactions" (with use of RAMENS data) and "Identification and Tracking of the Coherent Flow Structures within Active Regions" (based on the analysis of R2D2 data).

Publications

Recovering Coherent Flow Structures in Active Regions using Machine Learning, Lennard, M., Silva, S., Tremblay, B., Ramos, A. A., Verth, G., Ballai, I., Iijima, H., Hotta, H., Rempel, M., Park, S-H., Fedun, V., MNRAS, 2025 (Accepted)

Skirvin, S., Fedun, V., Verth, G., Ballai, I., 3D MHD wave propagation and energy transport in a simulated solar vortex, ApJ, 2025 (Submitted)

Skirvin, S., Fedun, V., Goossens, M., Silva, S.S.A., Verth, G., Poynting flux of MHD modes in magnetic solar vortex tubes, ApJ, 975,176, 2024

Silva, S. S. A., Verth, G., Ballai, I., Rempel, E., Shelyag, S., Schiavo, L. A. C. A., Gomes. T. F. P., Fedun, V., Solar Vortex Tubes III: Vorticity and Energy Transport, ApJ, 975, 118, 2024

Schiavo, L. A. C. A., Gordovskyy, M., Browning, P., Silva, S. S. A., Verth, G., Ballai, I., Shelyag, S., Ruzheinikov, S., McLaughlin, J., Fedun, V., Modeling the effects of a lightbridge on properties of MHD waves in solar pores, ApJ, 975, 45, 2024

Jafarzadeh, S., Schiavo, L.A.C., Fedun, V., Solanki, S.K., Stangalini, M., Calchetti, D., Verth, G., Jess, D.B., Grant, S.D.T., Ballai, I., Gafeira, R., Keys, P.H., Fleck, B., Morton, R.J., Browning, P.K., Silva, S.A., Appourchaux, T., Gandorfer, A., Gizon, L., Hirzberger, J., Kahil, F., Orozco Suarez, D., Schou, J., Strecker, H., del Toro Iniesta, J.C., Valori, G., Volkmer, R., Woch, J., Sausage, kink, and fluting MHD wave modes identified in solar magnetic pores by Solar Orbiter/PHI, Astronomy & Astrophysics, 2024

Berretti, M., Stangalini, M., Verth, G., Jafarzadeh, S., Jess, D., Berrilli, F., Grant, S. D. T., Duckenfield, T. and Fedun, V. Unexpected frequency of horizontal oscillations of magnetic structures in the solar photosphere, Astronomy & Astrophysics Letters, 687, L21, 2024

(Form02-2)

Estimation of quasi 2-day wave Momentum flux in the high latitude middle atmosphere

Dr. Grandhi Kishore Kumar (Centre for Earth, Ocean and Atmospheric Sciences, University of Hyderabad)

Summary and purpose:

The mesosphere and lower thermosphere (MLT) region act as a critical transition zone for wave dynamics and dissipative processes. Energetically, the MLT is primarily influenced by waves propagating from the lower atmosphere, ranging from short-period gravity waves to long-period planetary waves. The quasi-2-day wave (QTDW) is a global-scale planetary wave with variable periodicity. This study focuses on understanding QTDW characteristics, along with its seasonal and interannual variability over polar latitudes. These waves play a key role in coupling the MLT with the upper atmosphere, as their effects extend into the ionosphere. Estimating QTDW momentum flux and quantifying its forcing on the mean flow will provide insights into its impact on MLT dynamics and the broader atmospheric circulation.

Database and Methodology

To accomplish our objectives, we utilized extensive observations from meteor radars strategically positioned around the Arctic Circle. Table 1 provides detailed information regarding these observations, while Figure 1 illustrates the radar locations. The long-term enabled a comprehensive investigation of the quasi-2 day wave over polar latitudes.

Table 1: Details of the meteor radar observations

Station Name	Location	Time period	Reference
Alta	69.97°N, 23.24°E	08/09/2015-31/12/2022	Stober et al., 2021
Tromsø	69.97°N, 19.2°E	19/11/2003-26/08/2021	Hall et al., 2001
Svalbard	78°N,15.99°E	14/03/2001-31/12/2022	Hall et al., 2002

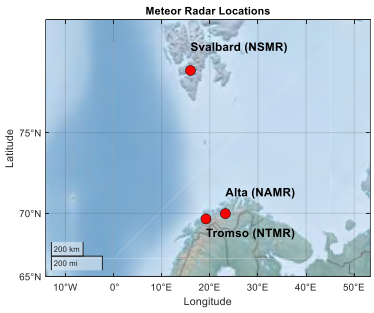


Fig. 1. Locations of the Meteor radar observations

In the present study, we utilized hourly mean winds in the altitude region of 80-100 km with 2 km resolution. We also used the meteor decay time (τ) observations, which are related to the ambipolar diffusion coefficient (D).

$$D = \frac{\lambda^2}{16\pi^2\tau}$$

Where 'τ' is meteor decay time, and 'λ' is the radar wavelength

Further, the ambipolar diffusion coefficient can be related to the other atmospheric parameters as

$$D \propto \frac{KT^2}{p} \propto \frac{KT}{\rho}$$

Where 'K' is the zero-field reduced mobility of ions, 'T' is atmospheric temperature, 'p' is pressure and 'ρ' is density (*McDaniel and Mason*, 1973).

Tsutsumi et al. (1996) demonstrated that $\frac{D\prime}{D_0} \sim 2\frac{T\prime}{T_0}$ under the assumption of valid Boussinesq approximation, where the factor '2' ranges anywhere between 2 and 2.2, as per *Ellis et al*. (1984). Based on this relation, we used $\frac{D\prime}{D_0}$ to estimate heat fluxes.

To determine the quasi-2 day wave, we used a least square fit with variable periodicities ranging from 44 to 55 hours, in conjunction with tidal components (8hr, 12hr and 24hr). We consider the selected period of QTDW, which exhibited maximum amplitude. The least-square fit equation is listed below

$$u(t) = u_0 + \sum_{k=1}^{3} u_k \cos\left(\frac{2\pi k}{T}(t - \emptyset_k)\right) + u_q \cos\left(\frac{2\pi}{T_q}(t - \emptyset_q)\right)$$

Where u_o stands for mean wind, 't' stands for time, 'T' stands for Time period, u_k stands for amplitudes of diurnal tide, semidiurnal tide, and terdiurnal tide for k=1,2,3, respectively. Similarly, ϕ_k stands for Phase. 'u_q' stands for QTDW amplitude and ϕ_k stands for QTDW phase.

The extracted wave amplitudes and phases of zonal, meridional and ambipolar diffusion coef. are used to estimate horizontal momentum flux, zonal heat flux and meridional heat flux following *Devara and Ahmed (1986)* and using the following equations:

Horizontal Momentum Flux $\overline{u'v'} = 0.5 * u'_q v'_q cos(\emptyset_{uq} - \emptyset_{vq})$

Zonal Heat Flux $\overline{u'D'} \sim 0.5 * u'_q \frac{D'_q}{D_0} cos(\emptyset_{uq} - \emptyset_{Dq})$

Meridional Heat Flux $\overline{v'D'} \sim 0.5 * v'_q \frac{D'_q}{D_0} cos(\emptyset_{vq} - \emptyset_{Dq})$

Where $u'_q, v'_q \; and \; \frac{D'_q}{D_0}$ represents the amplitudes of the wave in zonal, meridional and Ambipolar diffusion, respectively, of quasi-2 day wave. Similarly, $\emptyset_{uq}, \emptyset_{vq} \; and \; \emptyset_{Dq}$ denote the corresponding phases.

To address the variations of QTDW, we extracted the QTDW amplitudes and phases using a 5-day window shifted by 1 day. By applying this technique, we could effectively capture and analyze the temporal evolution of QTDW. Further, we computed monthly means of QTDW to understand the interannual variability of QTDW.

Results

QTDW amplitudes exhibit clear seasonal and interannual variations, with larger amplitudes during winter and summer. Both zonal and meridional components show nearly equal QTDW amplitudes. For the first time, we have extracted momentum and heat fluxes over polar latitudes

using meteor radar observations, revealing distinct seasonal variations. Our current work focuses on the interannual variability of QTDW and uncovering the underlying mechanisms driving these variations, contributing to a deeper understanding of MLT dynamics and coupling between different atmospheric layers.

Period of Stay and Interactions

From May 31 to July 2, 2024, I participated in the ISEE International Joint Research Program at the Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE). My visit was hosted by Associate Professor Satonori Nozawa from the Division of Ionospheric and Magnetospheric Research. During my stay, I closely collaborated with Prof. Masaki Tsutsumi from the National Institute of Polar Research (NIPR), Tokyo.

As part of my visit, I delivered a talk on June 27, 2024, titled *"Characteristics and Momentum Flux of the Quasi-2-Day Wave in the MLT Region,"* presenting insights from our research conducted over the low-latitude station in Tirupati, India. After returning to India, I continued my research in close communication with Dr. Nozawa. One of my PhD students has actively engaged in this work, demonstrating a strong interest and contributing significantly. Recently, we submitted an abstract to AOGS-2025, Singapore, which has been accepted for presentation.

The collaborative experience at ISEE was invaluable in advancing our understanding of atmospheric dynamics. I sincerely thank Dr. Nozawa and his colleagues at ISEE for their warm hospitality and support, which made my visit both productive and enjoyable. Their generosity, expertise, and dedication have greatly enriched our research efforts and laid the foundation for continued collaboration. I look forward to furthering our joint scientific pursuits in the future.

References

Devara, P. C. S., & Ahmed, M. I. (1986). Momentum flux variations at lower thermospheric levels as seen from mid-latitude meteor wind observations. *Meteorology and Atmospheric Physics*, *35*(4), 236–241. https://doi.org/10.1007/bf01041816

Ellis, H. W., Pai, R. Y., McDaniel, E. W., Mason, E. A., & Viehland, L. A. (1976). Transport properties of gaseous ions over a wide energy range. *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, *17*(3), 177–210. https://doi.org/10.1016/0092-640x(76)90001-2

Hall, C. M., The Ramfjordmoen MF radar (69N, 1E): Application development 1990–2000, J. Atmos. Sol. Terr. Phys., 63, 171–179, 2001.

Hall, C. M., T. Aso, and M. Tsutsumi, An examination of high latitude upper mesosphere dynamic stability using the Nippon/Norway Svalbard Meteor Radar, Geophys. Res. Lett., 29(8), 1280, doi:10.1029/ 2001GL014229, 2002.

McDaniel, E. W., & Mason, E. A. (1973). *The mobility and diffusion of ions in gases*. *Wiley eBooks*. Retrieved from http://ci.nii.ac.jp/ncid/BA06958868

Nozawa, S., Hall, C.M., Tsutsumi, M., Brekke, A., Ogawa, Y., Tsuda, T.T., Oyama, S., Fujii, R., 2012. Mean winds, tides, and quasi-2 day waves above Bear Island. J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 90-91, 26–44.

Stober, G., A. Kozlovsky, A. Liu, Z. Qiao, M. Tsutsumi, C. Hall, S. Nozawa, M. Lester, E. Belova, J. Kero, P. J. Espy, R. E. Hibbins, and N. Mitchell, Atmospheric tomography using the Nordic Meteor Radar Cluster and Chilean Observation Network De Meteor Radars: network details and 3DVAR retrieval, Atmospheric Measurement Techniques, 14, 6509–6532, 2021, https://doi.org/10.5194/amt-14-6509-2021

Tsutsumi, M., Tsuda, T., Nakamura, T., & Fukao, S. (1996). Wind velocity and temperature fluctuations due to a 2-day wave

observed with radio meteor echoes. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, *101*(D5), 9425–9432. https://doi.org/10.1029/95jd03579

(Form 2-2)

Warm Plasma Cloak and Cross-Calibration Project

Jing Liao (University of New Hampshire)

Period of stay at ISEE: From 6 Oct. 2024 to 21 Oct. 2024.

Project Summary:

My visit at ISEE in the Nagoya University was both a pleasant and productive trip. During the period of visiting, I presented my work on the plasma cloak including the statical study itself, and the cross-calibration work, participated weekly meeting with Prof. Miyoshi's team and students, discussed various interesting research topics with ISEE physicists.

Purpose:

The term "warm plasma cloak" refers to a population of bidirectional field-aligned ions, H+ and O+, bouncing along the magnetic field near the Earth. The warm energy ranges (a couple of eVs to the order of keV) and the signature bidirectional pitch angle distribution separates this population from the cold dense plasmasphere (< a few eV), and the energetic ring current (~ 1 keV to 300 keV), both of which are isotropic or "pancake" (pitch angle peaked at 90°). Earlier studies showed the population in observations. Recent work has shown that the warm plasma cloak population has a crucial impact on physical processes within the magnetosphere [Fuselier et al. 2019], influencing the solar wind / magnetosphere coupling. However, much is still unknown about this population. We are still in need of a full statistical picture of the bidirectional population with an energy range from eV to keV, as well as its dependence on the solar and geomagnetic activities. However, the source of the warm plasma cloak is still an open question.

Data Analysis and Methodology:

To understand the origin of the population, the generation mechanism of the bidirectional pitch angle and the reason behind the particular range of their energy, we performed a statistical study of this population throughout the inner magnetosphere using data from the Magnetospheric Multiscale (MMS), the Van Allen Probes missions, and the Exploration of energization and Radiation in Geospace (ERG). This allows us to characterize the origin of the warm plasma cloak ions, their transport pathways and drivers.

To utilize flux data measured by instrument onboard different satellite, we will perform a task of cross-calibration between ion spectrometers: MMS / HPCA, ERG / LEP-i, ERG / MEP-i, and Van Allen Probes / HOPE, using Cluster / CODIF, which has been verified with pressure balance, as a yard stick.

Preliminary Results:

During the investigation, we have identified a newer, yet not released, version of HOPE data. Will be using this version data in the cross-calibration work. Figure 1 shows how we compare the energy flux of LEP-i and MEP-i, and decided that there is factor between energy flux measured by LEP-i (MEP-i) and HOPE onboard Van Allen Probe B data.

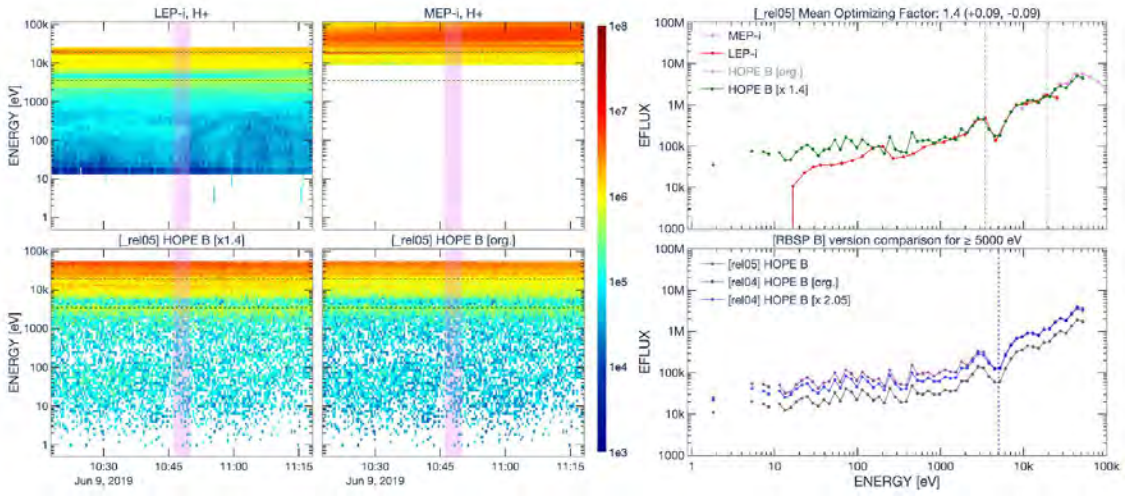


Figure 1. This conjunction event for cross-calibration around 10:45 Jun 9th, 2019. Left 4 spectra panels from top left to bottom right: energy spectra of LEPi, MEPi, HOPE B (rel05 multiplying a factor of 1.4), HOPE B (original rel05). The conjunction event (~4 minutes) marked as the highlighted regions, is the time periods that were used to produce the flux line spectra (on the right). The 2 line-plots on the right are: top panel, the energy flux vs energy for MEP-i, LEP-i, and HOPE B during the conjunction time, and bottom panel energy flux verse energy for HOPE data in different release version.

From the visual inspection of the line-plot on the top, MEP-i and LEP-i data have a smooth transaction, indicating that good agreement between the two instruments. The agreement stays true for many other events as we. To calibration these two instrument with the HOPE, we minimized the Mean Squared Difference (MSD) of time-averaged and energy-step-interpolated energy flux between HOPE and MEP-i and LEP-i, and determine that the factor 1.4 will is needed when comparing the flux data of HOPE to the MEP-i and LEP-i, showed by the agreement between the green line and the red/pink line in top line-plot.

Publications:

We are currently wrapping up both the early warm plasma cloak work and the cross-calibration work and preparing two manuscripts. We are aiming to submit both publications by the end of this summer.

(Form02-2)

Solar and terrestrial effects in the 70-year long tritium and beryllium-10 records from the Dome Fuji in East Antarctica

Principal Investigator: Stepan Poluianov (University of Oulu, Finland)

Past intense solar eruptions are thought to have been recorded as positive anomalies of cosmogenic isotopes (e.g., ^{10}Be) in paleoarchives, such as ice cores. However, the reconstruction using the cosmogenic isotope method is uncertain because the cosmogenic isotopes archived in the ice cores reflect not only changes in the production of cosmogenic isotopes in the upper atmosphere but also the atmospheric transport and deposition processes at the site. Therefore, to reconstruct the past solar eruptions, it is essential to understand the sensitivity of ice-core records to variations in the production of cosmogenic isotopes in the upper atmosphere. Here, we experimentally examine the sensitivity of cosmogenic isotopes in the ice cores to variation in past solar activities. We collected a snow-pit sample from a depth of 5.4 m Dome Fuji in December 2022. Subsequently, we measured ^{10}Be concentrations with 3-cm intervals and obtained a ^{10}Be profile with a high temporal resolution. Additionally, we analyzed several properties of the chemistry and determined the age of the snow pit samples from volcanic signals recorded and tritium peaks from past bomb tests. The age of the deepest sample corresponds to the early 1950s.

Theoretically, we expect the observed ^{10}Be record to show a good agreement with the variations in ^{10}Be production owing to solar cycles. Here, we calculated the time series of the ^{10}Be production rate at Dome Fuji over the past 70 years using the model developed by Poluianov et al. (2016) and then compared it with the observed ^{10}Be record (Fig. 1a-b). However, observed ^{10}Be variations related to solar cycles were unclear, although multi-year variations in ^{10}Be were evident. This result suggests that the variability of ^{10}Be associated with atmospheric circulation may be as large as or even larger than the variability of ^{10}Be production associated with the solar cycle. Reconstructing a reliable history of past solar eruptions from ice core records requires removing or reducing the influence of atmospheric circulation.

The ISEE group has been intensively studying the spatio-temporal variability of tritium (^{3}H) in response to changes in atmospheric circulation. They reported that water vapor transport from the coastal region is characterized by a lower tritium concentration. In contrast, tritium concentrations increase as water vapor travels from the interior. This supports that atmospheric circulation contributes significantly to the cosmogenic isotopic variability at Dome Fuji. In addition, this suggests that tritium can be used as an indicator of changes in atmospheric circulation. However, because anthropogenic tritium was injected into the upper atmosphere by bomb tests until the early 1970s, we cannot use tritium as a tracer further back than the 1980s. Thus, an additional tracer is needed to cover the entire period of our snow pit samples. Interestingly, the temporal variability of the decay-corrected tritium concentrations in the snow-pit samples at Dome Fuji corresponded well to that of isotopic content of deuterium. In addition, the temporal variability of deuterium shows a good correlation with that of ^{10}Be. Here we calculated the ^{10}Be anomaly from the regression line between deuterium (^{2}H) and ^{10}Be and defined it as the ^{10}Be-anomaly proxy. As can be seen in Fig. 1c, the ^{10}Be-anomaly proxy shows a clear cycle associated with the solar cycle, although they cannot reproduce the amplitude. This is a rough attempt, but this result indicates that we can reasonably reduce the influence of changes in atmospheric circulation using deuterium.

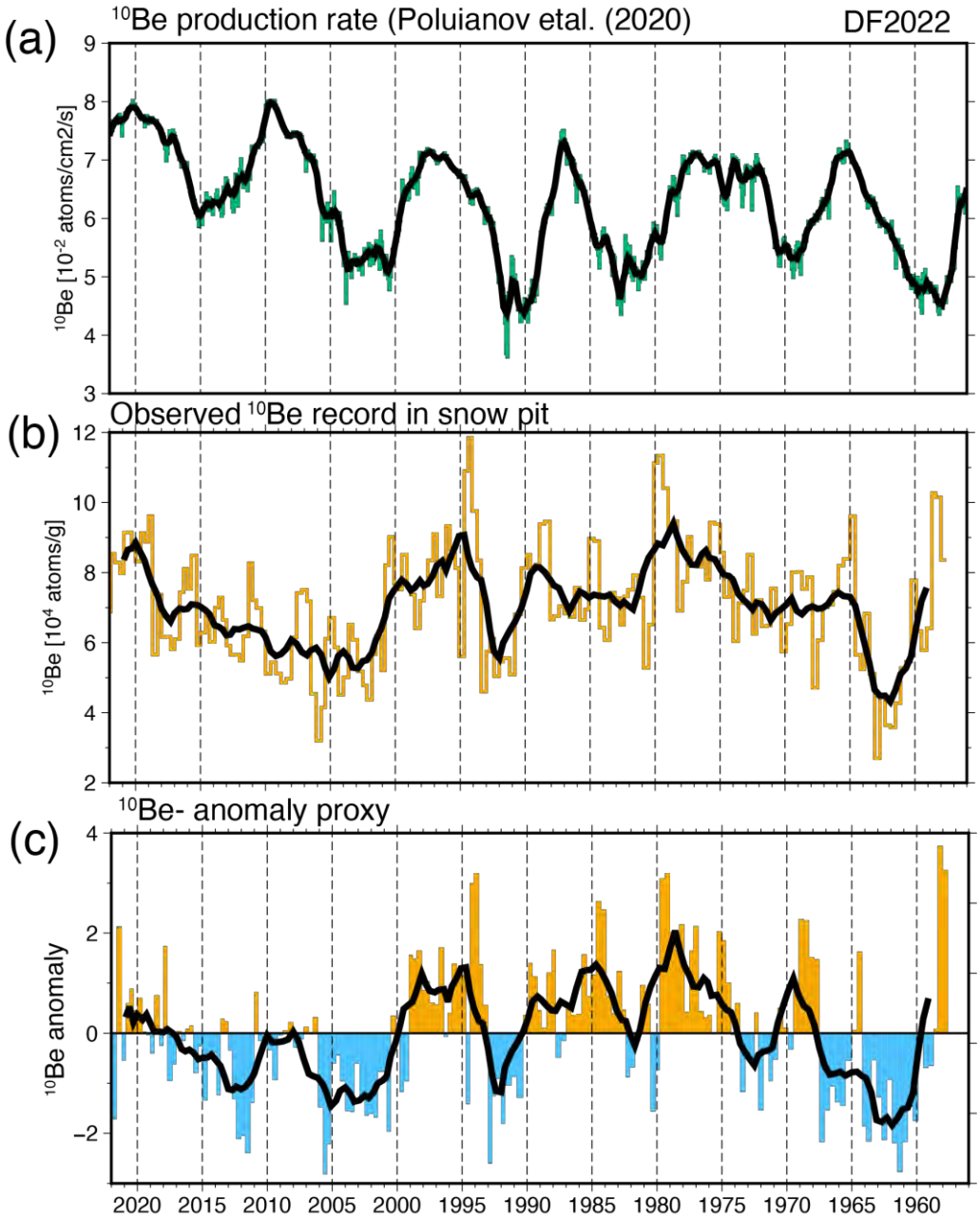


Figure 1. Time series of (a) simulated ^{10}Be production rate (green line), (b) observed ^{10}Be in snow pit (orange line) and (c) ^{10}Be-anomaly proxy (blue and orange bar) at Dome Fuji from 1950s. Solid line represents the 8-year running mean.

References

Poluianov, S. V., G. A. Kovaltsov, A. L. Mishev, and I. G. Usoskin (2016), Production of cosmogenic isotopes ^{7}Be, ^{10}Be, ^{14}C, ^{22}Na, and ^{36}Cl in the atmosphere: Altitudinal profiles of yield functions, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121, 8125–8136, doi:10.1002/2016JD025034.

List of presentations:

N. Kurita et al., Development and evaluation of new ^{10}Be anomaly proxy for past solar activity, the 9th

space climate symposium/ISEE symposium, ISEE, Nagoya, Japan, 02/10/2024

N. Kurita et al., Warming in the Dome Fuji region of East Antarctica driven by strengthening Indian Ocean subtropical front, The 15th Symposium on Polar Science, NIPR, Tokyo, Japan, 03/12/2024

(Form02-2)

Relationship between Gamma-Ray Flares and White Light Flares

Seiji Yashiro (The Catholic University of America)

Gamma-rays (GRs) are produced during the pion decay (Lingenfelter and Ramaty, 1967, in High-Energy Nuclear Reactions in Astrophysics, p.99), whose pions are produced by accelerated protons (> 300 MeV) colliding with hydrogen and heavier elements in the solar atmosphere. Forrest et al. (1985, Proc. 19th ICRC, 4, p. 146) found solar GRs have two components, namely the prompt and the late-phase components. Although the source of the protons producing late-phase GRs are still in question, the source of protons producing prompt GRs is believed to be due to flare's magnetic reconnection. White-light (WL) emission of the WL flares is produced by accelerated electrons which reach the photosphere. Accelerated protons are also considered as a candidate of the energy carrier. The WL enhancement is well correlated with hard X-rays, so both are emitted by high energy electrons accelerated by flare's magnetic reconnection. Common mechanisms in both phenomena are the emitting region (photosphere) and the particle acceleration site (flare's magnetic reconnection). The difference is that the accelerated energy-carrier particles are the protons for GR and the electrons for the WL flares. In general, both GR and WL flares are the energetic populations of solar flares, but ordinary flares, e.g. M1-class, rarely produce both emissions. The scientific goal of the project is to understand the origin of GR and WL flares.

The Large Area Telescope (LAT) on board Fermi satellite observes gamma-rays from the astronomical objects by scanning the entire sky every 3 hours. The GR from solar flares can be observed when the Sun is in the LAT field of view (40% of the time). Fermi/LAT identified 45 solar flares during solar cycle 24, and the First Fermi-LAT Solar Flare Catalog was released (Ajello et al. 2021, ApJS, 252, 13; https://doi.org/10.3847/1538-4365/abd32e). In order to investigate the WL emission from the 45 GR flares, continuum intensity data from the photosphere obtained by Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) on board Solar Dynamic Observatory (SDO) were used. SDO/HMI has observed the photosphere in WL continuum with the cadence of 45 seconds. The WL emissions were examined around the flaring active region. For three behind-the-limb events, the WL emissions from the entire Sun were checked. We found that out of the 45 Fermi GR flares, 28 had clear WL emissions and 13 lacked WL emissions. The remaining 4 events had faint WL emissions. For the 28 flares who had clear WL emission, their WL intensities were examined. In order to perform the analyses described above, the PI visited the ISEE/Nagoya University during October 21-25, 2024, and the National Defense Academy of Japan on October 28 and 29.

Table 1: White-Light Emissions in the 45 Fermi Gamma-Ray Flares

Clear WL Emission	Faint WL Emission	No WL Emission	Total
28	4	13	45

The results obtained by this project are as follows: (1) Out of the 45 Fermi GR flares, 28 (or 71%) had WL emissions while 13 (or 29%) lacked WL emissions (Table 1). (2) All WL emissions were found at the flare ribbons during the impulsive phase of the solar flares. No WL emission was identified when the late-phase (or sustained) GRs were emitted. (3) No WL emission was identified for three behind the limb GR flares. (4) All but one flares (17/18) with the prompt GR component had the corresponding WL emission; (5) However, no clear relation was found between the prompt GR fluxes observed by Fermi/LAT and the WL intensities observed by SDO/HMI. (6) An X3.2 flare on 2013-05-14 did not have the prompt GR component but the flare had clear WL emissions. The results (1), (2), (3), and (4) suggest that the protons producing late-phase (or sustained) GRs are accelerated by different mechanisms from ones producing prompt GRs. Because the source of the proton producing prompt GRs are thought to be due to flare's magnetic reconnection, the results support the idea that late-phase GRs are due to protons accelerated by shocks driven by coronal mass ejections. The results (5) and (6) support the idea that WL emissions are due to accelerated electrons. The good correspondence between the prompt-GR and the WL flares (the result #4) is possibly due to the big flare syndrome. The conclusion is that the prompt GR, late-phase GR, and WL have different origins; flare-accelerated protons, CME-accelerated protons, and flare-accelerated electrons, respectively.

The PI visited the ISEE/Nagoya University on March 10 and 11, 2025 to discuss the obtained results and the future plan. In order to build firm and comprehensive pictures of the GR and the WL flares, the hard X-ray data should be involved because the hard X-rays are known to be due to accelerated electrons. Unfortunately the results obtained have not been presented yet, but the updated results including hard X-ray analysis will be presented in the refereed journals.

(Form02-2)

Feasibility Study of In Situ and Remote Observations of the Heliosphere and the Sun at the L4 Point

Yukinaga Miyashita (Korea Astronomy and Space Science Institute, South Korea)

Members

Yukinaga Miyashita, Kyung-Suk Cho, Jongdae Sohn, Sung-Hong Park (KASI), Kwangsun Ryu (KAIST), Yoshizumi Miyoshi, Kazumasa Iwai, Hideyuki Hotta (ISEE, Nagoya University)

Introduction: The Korea-Led L4 Mission Plan

Solar eruptions cause huge ejection of magnetized plasma, often including high-energy particles from the solar atmosphere into the heliosphere. When they arrive at Earth, modern technologies are exposed to severe threats, such as power outage and communication disruption.

The Sun-Earth Lagrange point L4 is considered as a unique place where the solar activity and heliospheric environment can be observed in a continuous and comprehensive manner. The Korean space science community, including Korea Astronomy and Space science Institute (KASI), is preparing the development of a heliospheric observatory equipped with remote-sensing and in situ instruments at the L4 point with international collaborations. Currently we are carrying out a feasibility study for the L4 mission, which will significantly contribute toward advancing the heliophysics science, improving the capability of space weather forecasting, and extending space weather studies far beyond near-Earth space, together with comprehensive and coordinated multi-point observations of the heliosphere by other existing and planned L1 and L5 missions. The L4 spacecraft will have a large-class weight and be targeted to launch in 2035.

The L4 mission affords a clear and wide-angle view of the Sun-Earth line for the study of the Sun-Earth and Sun-Moon connections from the perspective of remote-sensing observations by a photospheric vector magnetograph, an Hα imaging spectrograph, an extreme ultraviolet imager, a white-light coronagraph, a heliospheric imager, and an X-ray spectrometer. In situ measurements of the solar radiation, solar wind, and heliospheric magnetic field by a solar wind plasma analyzer, a high-energy particle detector, a fluxgate magnetometer, a search coil magnetometer, a radiation monitor, and a radio and plasma wave detector are critical components necessary for monitoring and forecasting the radiation environment, since it relates to the issue of safe human exploration of Moon and Mars. Furthermore, a dust detector on the ram side of the spacecraft allows for an unprecedented detection of local dust and its interactions with the heliosphere.

Purpose and Results of Joint Research with ISEE

As described above, we are planning to propose the L4 mission for the comprehensive in situ and remote observations with the 13 instruments. To realize the mission, not only domestically developed instruments but also advanced instruments from international cooperation are essential. Hence, we have been seeking for

international partners. ISEE, which covers the entire solar and heliospheric sciences, is considered as an important partner for the L4 mission.

In this fiscal year's joint research program, we had two in-person meetings at ISEE and two online meetings to discuss and elaborate the scientific objectives and specifications of the in situ and remote instruments for the L4 mission, mainly focusing on the radio and plasma wave detector. In particular, we discussed future potential collaboration on the wave instrument with Japanese developers and strategies for securing the instrument. In addition, we discussed the scientific objectives and specifications of the radiation monitor as well as future potential collaboration on research on solar energetic particles. These discussions largely help us prepare a report of the feasibility study of the L4 mission that will serve as a mission proposal to the Korean government.

Visits to ISEE

(1) October 31, 2024: Y. Miyashita and K.-S. Cho

(2) March 24-25, 2025: Y. Miyashita and J.-D. Sohn

Presentations

- Miyashita, Y., The Korea-led L4 mission, Solar Orbiter RPW 31st Consortium Meeting, Athens, Greece and online, 2024/11/26 (oral, invited).
- 宮下幸長、The Korea-led L4 mission、2024 年度名古屋大学宇宙地球環境研究所研究集会「太陽地球惑星圏の研究領域における将来衛星計画検討会」、宇宙科学研究所/online、2025/03/21 (口頭).

(Form02-2)

Investigation of electromagnetic waves in the Earth's magnetosphere using spacecraft and ground-based measurements

Principal Investigator: Ondrej Santolik, Department of Space Physics, Institute of Atmospheric Physics of the Czech Academy of Sciences, Prague, Czechia
Project period : Start date : 2024/4/1 End date : 2025/3/31
ISEE researcher : Prof. Yoshizumi Miyoshi

This international collaborative research project aimed at innovative joint research of whistler-mode electromagnetic waves in the plasma environment of the Earth proposed by scientists form the Institute of Atmospheric Physics of the Czech Academy of Sciences in cooperation with colleagues from the Nagoya University and Kanazawa University. We focused on the analysis of the actual data from the Japanese Arase (ERG) and European Cluster spacecraft mission complemented with data from other spacecraft missions (NASA's Van Allen Probes and Themis, Japanese Geotail and Akebono) and with ground based measurements from the Japanese PWING and Czech VLF and HF stations.

Our investigation was devoted to research of electromagnetic waves generated in space plasmas in a direct connection with wave particle interactions in the region of Van Allen radiation belts and electromagnetic waves generated by lightning discharges. This research not only contributed to fundamental understanding of the physics of radiation belts, but also to improvements of their models, with Space Weather applications, including radiation protection of spacecraft on the geostationary orbit. High-energy particles are trapped in the Earth's magnetic field and form the Van Allen radiation belts. During huge magnetic storms, the radiation belts are largely deformed, and significant flux enhancements are observed in the slot region and the inner belt. The outer belt electrons fluxes decrease significantly during the main phase of storms and then recover to, or often increase over, the prestorm level during the recovery.

The program contributed to a part of the airfare of IAP researchers visiting ISEE on 10-14 March 2024 and actively participating in the Arase SWT meeting. Another part of airfare, and entire accommodation and per-diem costs were funded by IAP Prague. This brief visit was consecrated to seminars with University of Nagoya students, analysis and interpretation of PWING and Arase data with a special attention to chorus waves, equatorial noise waves and lightning whistlers, comparison with measurements of CLUSTER and Van Allen Probes, and discussions about the recently launched ESA mission JUICE to Jupiter and the Comet Interceptor mission project.

List of publications in journals with referees

1. I. Kolmašová, O. Santolík, A. Kolínská, S. Pédeboy, R. Lán & L. Uhlíř, (2025) Rapid evolution of energetic lightning strokes in Mediterranean winter storms. npj climate and atmospheric science 8:71. https://doi.org/10.1038/s41612-025-00965-6
2. A. Masters, R. Modolo, E. Roussos, ..., O. Santolík, ..., (2025) Magnetosphere and Plasma Science with the Jupiter Icy Moons Explorer. Space Science Reviews 221:24. https://doi.org/10.1007/s11214-025-01148-8
3. Grison, B., Darrouzet, F., Maggiolo, R., Hajoš, M., Dvořák, M., Švanda, M., Jeřábková, A., Taylor, M.G.G.T., Herment, D., Masson, A., Souček, J., Santolík, O., De Keyser, J. (2025), Localization of the Cluster satellites in the geospace environment. Sci Data 12, 327. https://doi.org/10.1038/s41597-025-04639-z
4. Němec, F., Santolík, O., & Albert, J. M. (2025). VLF transmitter signals observed by the cluster spacecraft over a wide range of latitudes. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 130, e2024JA033621. https://doi.org/10.1029/2024JA033621
5. J.-E. Wahlund, J. E. S. Bergman, L. Ahlén, W. Puccio, B. Cecconi, Y. Kasaba, I. Müller-Wodarg, H. Rothkaehl, M. Morawski, O. Santolik, J. Soucek, ..., B. Grison, J. Jansky, I. Kolmasova, R. Lan, D. Pisa, U. Taubenschuss, L. Uhlir, ... (2025) The Radio & Plasma Wave Investigation (RPWI) for the JUpiter ICy moons Explorer (JUICE). Space Sci Rev 221, 1. https://doi.org/10.1007/s11214-024-01110-0
6. Vratislav Krupar, Oksana Kruparova, Adam Szabo, Lynn B. Wilson III, Frantisek Nemec, Ondrej Santolik, Marc Pulupa, Karine Issautier, Stuart D. Bale, and Milan Maksimovic (2024). Radial Variations in Solar Type III Radio Bursts, The Astrophysical Journal Letters 967, L32, DOI 10.3847/2041-8213/ad4be7
7. Kolmašová, I., Santolík, O. & Manninen, J. (2024). Whistler echo trains triggered by energetic winter lightning. Nat Commun 15, 7166. https://doi.org/10.1038/s41467-024-51684-0
8. Kašpar, P., Marshall, T., Stolzenburg, M., Kolmašová, I., & Santolík, O. (2024). Electromagnetic model of K-changes. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 129, e2023JD040503. https://doi.org/10.1029/2023JD040503
9. Santolík, O., Shprits, Y., Kolmašová, I., Wang, D., Taubenschuss, U., Turčičová, M., & Hanzelka, M. (2024). Strong effects of chorus waves on radiation belts expected for future magnetic superstorms. AGU Advances, 5, e2024AV001234. https://doi.org/10.1029/2024AV001234
10. Němec, F., Santolík, O., Hospodarsky, G. B., & Kurth, W. S. (2024). Magnetospheric line radiation: Temporal modulation corresponding to a bouncing wave. Geophysical Research Letters, 51, e2024GL111477. https://doi.org/10.1029/2024GL111477
11. Linzmayer, V., Němec, F., Santolík, O., and Kolmašová, I. (2024). Lightning-induced energetic electron precipitation observed in long-term DEMETER spacecraft measurements. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 129, e2024JA032713. https://doi.org/10.1029/2024JA032713

(Form02-2)

Project Title

Dr. Viswanathan Lakshmi Narayanan (Krea University, India)

Please write your research summary including purpose, methods, and results, periods of stay in ISEE, and list of publications in maximum two pages.

On the impact of geomagnetic disturbances in the gravity wave and tidal dynamics of the mesosphere in the auroral region

Purpose of proposed research:

Mesosphere responds to forcing from below and above, particularly in the high latitudes. While many sources are identified for the gravity waves (GWs) in the mesosphere, their relative importance are not known. It is not clearly known how deep the waves generated by the geomagnetic disturbances and auroral activity penetrate. Recently, using SABER/TIMED data for over 18 years, Narayanan et al., (2024, https://doi.org/10.1029/2023JA032157) found that within the mesosphere GWs forced by geomagnetic activity are identified only in the high latitudes for about half of the geomagnetically disturbed periods and they are unambiguous only above 80 km. However, since that study was using satellite measurements having poor spatio-temporal resolution, local time response and finer variations in the GW activity within a day could not be investigated. Further, it is not known if GWs are forced only in a restricted geographical extent. In addition, how the background temperature and winds change in the mesosphere during geomagnetic activity in high latitudes is not well studied. Here, we proposed to study this complicated problem using ground based measurements from Tromsø (69.6◦ N, 19.2◦ E).

Objectives: 1. To investigate GW and tidal variabilities immediately following geomagenetic disturbances in the auroral region, 2. Understanding the changes in the background mesospheric temperatures and winds and their influence on gravity wave variabilities, and 3. Cross-comparison of winds measured by sodium lidar, Fabry-Perot interferometer (FPI), medium frequency (MF) and meteor radars during the identified events.

Methods

We identified that the sodium lidar at Tromsø [Kawahara et al., 2017, https://doi.org/10.1364/OE.25.00A491; Nozawa et al., 2023, https://doi.org/10.1186/s40623-023-01771-1] is the most suitable instrument for the study of GWs following intense geomagnetic activity in the auroral latitudes since it is least affected by intense auroral emissions. In the case of radars, the electrodynamics may affect the electron drifts that are utilized to measure the neutral winds. Nevertheless, we proposed to use other coincident airglow and radio measurements available with sodium lidar for the work. We planned to carryout analysis in two different ways: (i) we will identify events using Tromsø magnetometer recordings and AE indices, within the interval of 2011 – 2023, and execute detailed case studies, (ii) we will make a statistical study of mesospheric GW and tidal response to geomagnetic activity using lidar and radar datasets.

Results

Since sodium lidar data is intermittent owing to cloudy sky and nocturnal conditions, we selected some windows of long lidar data availability. For example, Figure 1 shows background temperature and wind observations during disturbed conditions. Such comparisons have not given conclusive results regarding change in the background parameters so far. At present we are attempting case studies by identifying observations when Tromsø K indices are very high, i.e. above 7, indicating extremely disturbed geomagnetic conditions. We could identify only about three promising cases with probably a couple of more insightful ones. The analysis is underway at present.

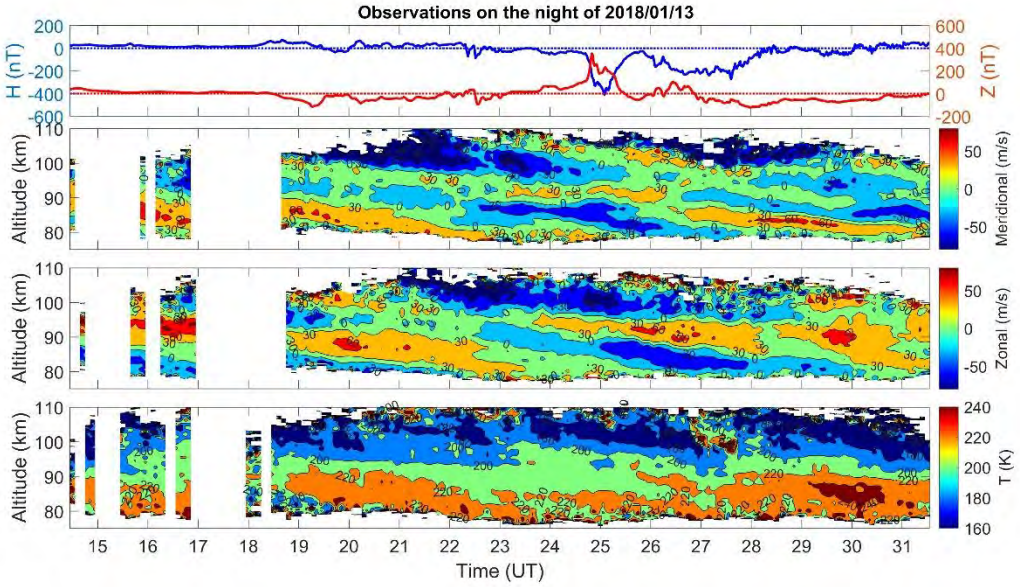


Figure 1. Observations on the night of 13 January 2018. (Top) Deviations in magnetic H and Z components from monthly mean for Tromsø magnetometer measurements, (second and third from top) Meridional and zonal winds respectively, from sodium lidar, (bottom) Temperature from sodium lidar observations.

Periods of Stay in ISEE:

PI visited ISEE, Nagoya University during 21 June 2024 – 13 July 2024 and 21 July 2024 – 24 July 2024

Research Outcomes:

The project will continue through this summer to get conclusive results and peer reviewed publications. However, we have submitted another proposal under the Indo-Japan Cooperative Science Program call by DST, India and JSPS, Japan. Details of the submitted proposal for which the motivation is derived from this project, and discussions were based on preliminary work done herein are given below.

Title: Investigation of vertical and lateral coupling in the mesosphere – thermosphere – ionosphere region for forcings from space weather and stratospheric polar vortex disturbances

Indian PI: Viswanathan Lakshmi Narayanan, Japanese PI: Satonori Nozawa, Indian co-PI: Sathishkumar Sundararaman, Japanese co-PI: Yuichi Otsuka

Though there is delay due to unanticipated teaching and administration commitments of the PI, we expect to get peer reviewed publications later this year and ISEE Joint Research support will be duly acknowledged in those papers.

(Form02-2)

Conjugate observations of magnetospheric whistler-mode waves by KAN, PWING, and ERG/ARASE

Jyrki Manninen (SGO, University of Oulu, Finland)

Periods of stay in ISEE

Adj. Prof. Jyrki Manninen (SGO, University of Oulu) 18 October – 18 November 2024

Purpose of the visit

We used ground-based data obtained by KAN and PWING stations to determine the spatiotemporal variability of measured electromagnetic waves and to better understand their propagation from the source region down to the ground. We focused particularly on not yet well-understood emission types (e.g., quasiperiodic emissions (QP), magnetospheric line radiation (MLR)). We used data from ATH, GAK, IST, KAP, and MAM for the year 2020. In addition, as of now, solely the station pair KAN-OUJ can be used for studying latitudinal propagation, meaning that this station pair data will be analyzed from October 2022 to September 2023 as well.

Science questions we addressed

1) *What is the spatial extent of analyzed emissions and respective source dimensions?*
   During the visit to ISEE, event listings and the identification of relevant events from receivers at ATH, GAK, IST, KAP, and MAM was started. The KAN listings were already available.
2) *What are the properties and formation mechanisms of the fine inner structure of QP/MLR emissions?*
   These events from different PWING receivers have been listed, and the preliminary research has started.
3) *What is the relative importance of wave ducting and how do the emissions reach the ground?*
   This study has been started, but it still requires some satellite data and a more elaborate analysis.

Data

KAN, operated by the Sodankyla Geophysical Observatory in Northern Finland, was arguably the most sensitive receiver in the world. Unfortunately, a lightning discharge hit the antenna mast on 28 May 2024 and destroyed it. However, KAN data before 28 May 2024 is available and has good quality. It is greatly complemented by data from other PWING stations operated by ISEE. Notably, in October 2022 a new PWING receiver was established in Oulujarvi (OUJ), Finland, less than 400 km southward of KAN. Furthermore, the newest PWING receiver was installed in August 2024 at Angeli (ANG), Finland, some 150 km north of KAN. All these stations are equipped with direction-finding capabilities. ERG/ARASE spacecraft data are used in conjunction with ground-based measurements to observe the respective wave phenomena at larger distances and determine respective spatial scales.

Methodology

Extensive lists of quasiperiodic emissions and magnetospheric line radiation were compiled and expanded to include the latest available data. Conjugate events, observed by several different ground-based stations were identified. The ERG/ARASE spacecraft data analysis is in progress.

Two different approaches are used:

i) Direct evaluation of spatial extents and durations of events through analysis of times and locations at which individual instruments observed a given emission. This greatly benefits from the fact that both QP emissions and MLR exhibit a very characteristic frequency-time structure, allowing for unique identification of whether two instruments are observing the same emission or not.

ii) High-resolution measurements are used to investigate detailed frequency-time structures of the emissions and their relation to wave propagation through the magnetosphere and bouncing between hemispheres. Lightning-generated whistlers observed in conjunction with the events, their dispersions, and corresponding propagation paths are used for comparison. This approach further incorporates detailed timing analysis, wave analysis of ERG/ARASE measurements, and ray tracing calculations. The aim is to characterize and understand the short time delays between the moments when a given wave packet arrives at different observation points. This inherently allows us to assess the importance of wave ducting for the event formation and propagation to the ground, as well as to estimate the wave source dimensions and experimentally confine possible generation mechanisms.

Presentations & Publications

Nemec, F., K. Drastichova, **J. Manninen**, C. Martinez-Calderon, K. Shiokawa, and M. Connors (2024). Comparison of very low frequency wave intensities measured by a low-altitude spacecraft and on the ground. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 129, 7, e2024JA032655.

Two additional manuscripts are under preparation.

The team has made in total 9 presentations at various conferences (EGU, URSI AT-RASC, VERSIM Workshop, CHAMOS Workshop, ISEE Seminar, SGO Observatory days, etc.). These presentations are listed in Form 02-1.

(Form02-2)

Comparing Remote Observations, In-Situ Measurements and Simulations of the Variation of the Properties of Coronal Mass Ejections Over 1°–10° in Longitude

Noé Lugaz (University of New Hampshire)

Purpose

The goal of the project is to investigate the variations of the properties of coronal mass ejections on intermediate scales (~10°, corresponding to about 0.17 au in arclength). This is a new area of research that has recently opened up thanks to the availability of multi-spacecraft measurements by combining ACE, or Wind at L1, STEREO-A in 2022-2024 and Solar Orbiter when it is close to the Sun-Earth line. This is critical to understand coronal mass ejections, the major drivers of intense space weather at Earth but also to advance our space weather forecasting capabilities, as differences of a few degrees are likely between Earth and future sub-L1 monitoring platforms. A key question for the stay at ISEE is to determine whether any differences measured *in situ* between different spacecraft is due to ***propagation*** effects or to ***eruption*** effects**.**

Methods

It was decided during the stay at ISEE to focus on a single event rather than performing a more statistical approach. This was decided to be the best way to combine various methods. It was decided after meeting with collaborators at ISEE that the 2023 April 23 CME was a good candidate. Four other events were considered but there were no good solar observations of the erupting CME for these events. In order to answer the question highlighted above, one needs to perform reconstruction of the CME and its active region near the Sun, which can then be compared with the measurements *in situ.* This is done using non-linear-force-free field (NLFFF) interpolations.

List of Other CMEs Considered:

- 2023/09/24 at Earth: 2023 September 21 M-class flares
- 2023/07/16 at Earth: Unclear source, potentially from the 2023 July 13-14 flares
- 2023/09/12 at Earth: unclear eruption potentially on September 9
- 2023/08/01 at Earth: July 28 filament eruption (~21 UT)

Results

The NLFFF interpolation of the active region that erupted and generated the 2023 April 23 CME is shown below (Figure 1, left). As can be seen from the images, the active region magnetic field was relatively diffuse and the NLFFF reconstruction may not be extremely reliable. In-situ measurements of the CME by STEREO-A and Wind are also shown below (Figure 1, right). The spacecraft were separated by 10.6°. It shows both significant similarities (the overall rotation of the magnetic field, speed profile in the magnetic cloud, etc.) as well as clear differences (the duration of the sheath, the magnetic field strength profile, etc.). Minimum variance analysis on the magnetic field profile inside the magnetic cloud indicate that it can be understood as a similar orientation but with a non-straight axis (results not shown here due to space limitations and further

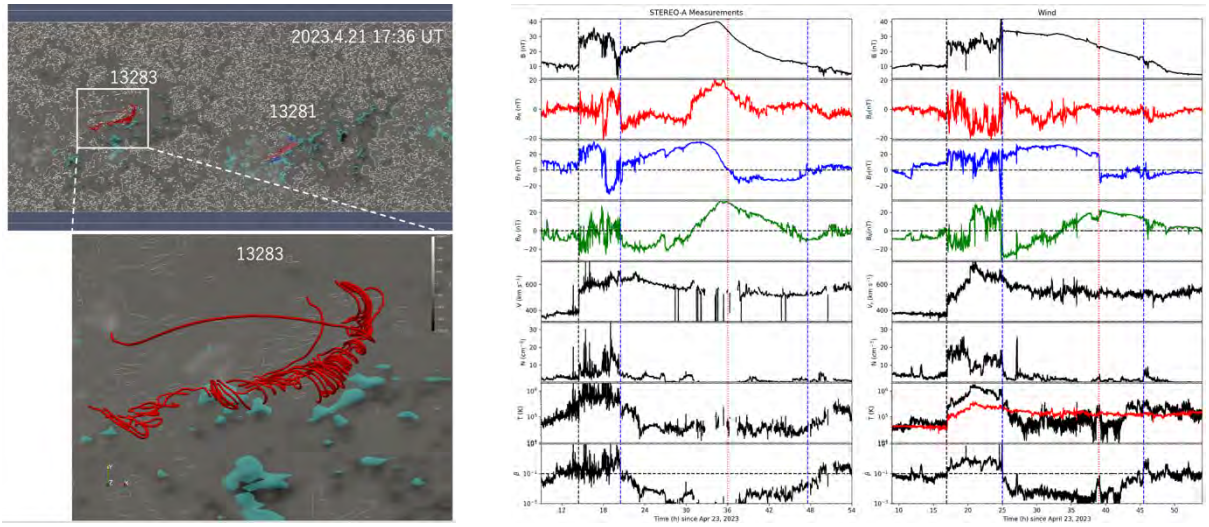


Figure 1: Left; NLFFF extrapolation of active region 13283 that resulted in the CME that was measured at 1 au on 2023 April 23. Right: STEREO-A and Wind measurement of the CME. From top to bottom, total magnetic field, magnetic field component (radial, tangential, normal), proton velocity, density, temperature (expected following Lopez et al., 1987 in red), beta.

analysis is in progress). Further work is needed to determine if thjs is consistent with the variation in angle along the polarity inversion line in AR13283, which would indicate that the differences measured in the magnetic cloud between STEREO-A and *Wind* are due to differences that occur right from the eruption stage of the CME. Additional follow-up work will also continue through numerical simulations to better understand the solar wind and interplanetary magnetic field between the Sun and Earth/STEREO-A at the time of the eruption to determine if there could be variations that would explain the differences in the CME measurements due to propagation effects.

Publications/Talks

No publication yet during the time period. N. Lugaz will continue analyzing this event and a joint publication is expected some time in 2025.

N. Lugaz did two talks and participated in a panel during his stay at ISEE:

Lugaz, N., Predictive Space Weather Research: Steps Forward, Panel during the 2025 ISEE Symposium, U. Nagoya, 7 March 2025.

Lugaz, N. et al., The Need for Sub-L1 Space Weather Research Missions: Current Knowledge Gap, 2025 ISEE Symposium, U. Nagoya, 7 March 2025.

Lugaz, N., Simultaneous Multi-Point Measurements of CMEs: Physical Insights and Consequences for Future Heliophysics and Space Weather Missions, Solar Seminar, ISEE, U. Nagoya, 10 February 2025.

(Form02-2)

Reconstruction of physical properties of historical solar energetic particle events

Sergey Koldobskiy (University of Oulu, Finland)

The ISEE International Joint Research Program Project “Reconstruction of physical properties of historical solar energetic particle events” led by Dr. Sergey Koldobskiy aimed at:

1. Analysis of historical ground-level enhancement events that were recorded in the 1940s – 1950s by different kinds of ground-based and balloon-borne detectors. Within this project, we aim to search for contemporary sources of the data of these events, systemize the found data, and perform the physical analysis to reconstruct the fluxes of solar energetic particles (SEPs) during these events.
2. Analysis of extreme solar particle events imprinted in cosmogenic isotope archives. These events represent the most hazardous space weather phenomena that we know. Using modern modeling techniques, it is possible to estimate the expected SEP flux capable of producing the observed cosmogenic isotope records. We will work on the reconstruction of the new data (if any data will appear) as well as the estimation of extreme solar particle event (ESPE) SEP flux and duration.
3. Discussion on the possible space-weather and terrestrial effects of strong and extreme SEP events.

During the project, one visit of Dr. Koldobskiy to ISEE was planned for autumn 2024. During the visit, Dr. Koldobskiy planned to collaborate with scientists from ISEE on the abovementioned topics as well as participate in the Space Climate 9 / ISEE Joint Symposium as well as Sunspot Number Workshop that were scheduled in Japan in October 2024.

Throughout the project, we successfully collaborated on the activities listed above.

Within aim 1, we started to study and systemize data from non-standard detectors, which recorded solar particle events on ground level (GLE events) in the 1940s – 1950s. For now, we spent efforts on finding, digitizing, and verifying records from contemporary detectors for GLE #5 (23-Feb-1956), a GLE with the greatest flux and the hardest spectrum, which was also recorded by neutron monitors. For now, we found, digitised, and verified about 50 records, part of which had been completely unknown to the scientific community. We are planning to analyse these new records, follow the data publication. This will allow us to better reconstruct the spectral characteristics of solar energetic particles for GLE #5 and to bridge modern statistics to the early GLEs #1—4 that were recorded exclusively by non-standard detectors.

Within aim 2, we were discussing possible ways to proceed with the analysis of extreme solar particle events imprinted in cosmogenic isotope records. Among other opportunities, we were thinking of considering a separate representation of galactic cosmic ray (GCR) and SEP-produced Be10 signal to test if this will change the resulting reconstruction of SEP flux for ESPEs.

Within aim 3, we were thinking on the importance of consideration of disturbed geomagnetic conditions accompanied by the registration of SEP events – for both instrumental records and cosmogenic isotope data. We agreed, that further simulations are needed to answer this question quantitatively.

We also were working together on an analysis of modern GLE events, including GLE 74, which occurred on

11 May 2024.

During the project, Dr. Sergey Koldobskiy had 1 visit (17 days, 26 September to 12 October) to Japan to work on project and participate in following events organized by ISEE: Space Climate 9 / ISEE Joint Symposium (solicited talk: “Solar energetic particle events: bridging direct observations and imprints in cosmogenic isotopes”) and Sunspot Workshop (solicited talk: “Possible extension of the Sunspot Number with Proxy Data. Sunspot Number Workshop”).

Within the project, up to date, we have published one joint research paper:

Hisashi Hayakawa, Yusuke Ebihara, Alexander Mishev, Sergey Koldobskiy, Kanya Kusano1, Sabrina Bechet, Seiji Yashiro, Kazumasa Iwai1, Atsuki Shinbori, Kalevi Mursula, Fusa Miyake, Daikou Shiota, Marcos V. D. Silveira, Robert Stuart, Denny M. Oliveira, Sachiko Akiyama, Kouji Ohnishi, Vincent Ledvina, and Yoshizumi Miyoshi “The Solar and Geomagnetic Storms in 2024 May: A Flash Data Report,” Astrophys. J., vol. 979, no. 1, p. 49, Jan. 2025.

(Form02-2)

EISCAT – Arase study of energetic electron precipitation

Neethal Thomas (SGO, University of Oulu, Finland)

Purpose of visit: The visit aimed to conduct a study on Energetic Electron Precipitation (EEP) events utilizing EISCAT measurements, Arase satellite plasma data, and various ground-based measurements. During the visit, I worked with Prof. Yoshizumi Miyoshi on a case study of an EEP event observed in the EISCAT-VHF measurements during a recent geomagnetic storm on 10-11 October 2024. This event was observed during the onset of the storm in conjunction with the sudden storm commencement. Strong electron precipitation down to 60 km was observed in the EISCAT electron density data. This EEP event is studied with a focus on understanding the energy and flux of the precipitating electrons and its magnetospheric sources. As a first step, we estimated the energy-flux spectrum of this EEP event by inverting the EISCAT-VHF measurements. The study is ongoing, and the future steps to proceed with this study are discussed during the visit.

Methods used:

a) Firstly, the EISCAT VHF raw data is analysed to estimate the spectral parameters such as backscattered power (electron density) in the D region altitudes ranging 50-100 km. The incoherent scatter spectral parameters are obtained by performing the pulse-to-pulse fitting of the backscattered signal autocorrelation function. The fitted backscattered power (which is proportional to electron density, Ne) is then inverted to energy-flux spectrum using the forward model utilizing (i) the parameterization by Fang et. al., [2010] to calculate the ionization profile Q and (ii) then to turn the ionization profile (Q) into the electron density (Ne) using Sodankylä Ion and neutral Chemistry model. The precipitation flux spectrum is then estimated by matching the modelled Ne(h) to the EISCAT Ne(h).

b) KAIRA imaging riometer data is checked to understand the spatial distribution of the EEP event and is under further investigation.

c) We have estimated the plasmapause location for this event using the O'Brien and Moldwin [2003] model. According to the model results, the EISCAT was located outside the plasmapause during the event. This is important for identifying the possible wave sources responsible for this intense electron precipitation.

d) Pulsation magnetometer and riometer absorption data from different PWING stations are also checked to look for the EEP and the associated signatures.

e) Arase was in the morning sector and was not co-located with EISCAT during this event; hence, a direct comparison was not possible. However, Arase data will be studied to understand the possible EEP signatures in the morning side.

Results: The inversion of EISCAT data showed **relativistic electron precipitation with energies close to 1 Mev.** We are further investigating this event to understand its global extent using various ground-based measurements, including a global network of magnetometer and riometer measurements and satellite observations.

Periods of stay in ISEE: One week from 9-15 February 2025

A manuscript of this study will be prepared and submitted once the work is completed. During the visit, a seminar presentation on the EISCAT-VHF measurements in the Mesosphere Lower Thermosphere altitude was given.

References:

Fang, X., et al., (2010), Parameterization of monoenergetic electron impact ionization, GRL., doi:10.1029/2010GL045406

O'Brien, T. P., and M. B. Moldwin, (2003) Empirical plasmapause models from magnetic indices, GRL, doi:10.1029/2002GL016007.

(Form02-2)

Investigating Helicity Transformation in Coronal Mass Ejections using Numerical Simulations

Nada Al-Haddad (University of New Hampshire)

The key goal of the joint research project at ISEE is to **study the helicity transformation in CMEs from SUSANOO-CME** at Nagoya. Dr. Al-Haddad arrived at ISEE on January 6th 2025, and left on March 19th 2025, totaling 2 months and 13 days.

a. Upon coming to ISEE, Dr. Al-Haddad shared more details about the techniques that were developed through a collaboration with Dr. Mitchell Berger to derive the magnetic helicity from numerical simulations. This was done through meetings with Prof. Kusano and Prof. Iwai. This technique is a unique technique to quantify the magnetic helicity of coronal mass ejections (CMEs) in interplanetary space by analyzing their 3D magnetic topology using numerical simulations. Unlike traditional methods that focus solely on twist, our approach incorporates quasi-separatrix layers (QSLs) to divide the CME volume into sub-regions and calculates self-helicity (including twist and writhe) and mutual helicity between regions.
b. During the stay at ISEE, Dr. Al-Haddad gave a seminar to introduce her research project. After that seminar, Dr. Al-Haddad and collaborators discussed various techniques to extract the SUSANOO-CME in a manner to allow for proper extraction of the magnetic helicity using the technique developed by Al-Haddad & Berger, 2025, *In revision*. Several meetings and discussions have been made in order to come up with a method that allows for such extraction, accounting for the continuous evolution of the CME and resolving the different coordinates problem. A simulation that propagates to 2 AU was selected for applying the analysis technique.
c. Over the subsequent 2.5 months, extraction of the simulation files different solar radial distances has been performed while the helicity analysis technique was adapted to perform the analysis on the simulation data.
d. By the end of her stay, a plan for drafting a manuscript of the analysis was ready. This investigation will continue until conclusion.
e. Drs. Al-Haddad and Hayakawa continued their discussions and deepened their collaboration on the history of solar and space physics, which had started at IUGG in Berlin in 2023 and continued at the European Space Weather Week in Toulouse later that year. Drs. Al-Haddad and Hayakawa served as chair and co-chair of the inter-divisional commission on History of IAGA starting in 2023.
f. The “ISEE Symposium Frontier of Space-Earth Environmental Research as Predictive Science” took place March 5th – March 7th 2025, during the this collaboration. Dr. Al-Haddad gave an oral presentation on March 7th 2025 entitled “Technique for Extracting the Total Magnetic Helicity of CMEs” highlighting the current and future collaboration with ISEE.

g. During her stay, and to further collaboration with ISEE members from different division, Dr. Al-Haddad established collaborations with Professors Fusa Miyake, Hisashi Hayakawa and Kasumasa Iwai, designing a multi-faceted project on the "Investigations of Extreme Geomagnetic Storms", through:

    1. The development of Celestial Phenomena in Historical Records Database
    2. 14C Analysis for Case Studies
    3. Analyses and Simulations of Extreme CME Events

This project plan was submitted as a proposal for the ISEE designated professor position by Dr. Al-Haddad.

(Form02-2)

Linking Coronal Mass Ejections Observed Near the Sun and at 1 AU

Nariaki Nitta (LMSAL)

The main purpose of this investigation is to accumulate knowledge of the relation between the properties of eruptions on and near the Sun and those of the solar wind at 1 AU disturbed by CMEs. It is critical to employ realistic numerical simulations to fill the gap of observations between 0.1 AU and 1.0 AU. Another valuable information comes from IPS observations. For the first time, we started to make detailed comparison of AWSoM simulations with CMEs at large distances (e.g., 0.4 AU –0.7 AU) from the Sun as detected in ISEE IPS observations.

As planned, we studied two contrasting events, one associated with a large eruption and intense flare, and another one that left very weak signatures in the solar corona (i.e., a stealthy CME). To our surprise, the latter event was detected in the IPS observations. The ISEE IPS data are routinely interpreted using the SUSANOO simulations as developed at the National Institute of Communication Technology. (NICT). To understand the CME propagation, the steady-state ambient solar wind has to be properly modeled. Therefore, we compared the steady state solutions of SUSANOO and AWSoM, and found good agreement for the period of the stealthy CME if we choose one magnetic map as the inner boundary conditions for AWSoM. For the CME associated with a major flare, we already had AWSoM simulations extended to 1 AU that were consistent with in situ observations such as the shock arrival time. We experimented with the initial CME parameters for SUSANOO so that it also reproduces the shock arrival time reasonably well.

Drs. Nitta and Jin visited ISEE for a week, following the Space Climate 9 Symposium.

We have not produced publications directly from this investigation, but plan at least to write a short note to report on the IPS observations of the stealthy CME that will include the discussion on why this particular CME was responsible for a very strong geomagnetic storm.

(Form02-2)

Analysis of radial propagation of the solar wind in the inner heliosphere with multi space missions and SUSANOO propagation model

Sae Aizawa (LPP, CNRS, France)

Introduction and Purpose of the project

The solar wind propagates approximately radially through interplanetary space, shaping the extent of the heliosphere. As it travels outward from the Sun, it interacts with planetary bodies, creating distinct plasma environments around each one. Understanding the behavior of the solar wind and the solar activity that drives it is therefore essential.To investigate the characteristics of the solar wind at its source, numerous space missions are dedicated to solar and heliospheric physics. The combination of data from these missions enables a more comprehensive understanding of plasma processes and its propagation throughout the heliosphere. Among recent missions, BepiColombo—a joint Mercury exploration mission by ESA and JAXA currently en route to Mercury—has demonstrated its capability to detect a variety of solar events in addition to the , making it a valuable probe for studying the inner heliosphere in addition to other space missions such as Solar Orbiter and Parker Solar Probe.However, to accurately interpret multipoint measurements and interconnect data from different spacecraft, comprehensive modeling is required. In this project, we analyze solar wind propagation using a global MHD simulation called SUSANOO, incorporating magnetic field data obtained by in-situ observations from BepiColombo, PSP, Solar Orbiter, MESSENGER. We focus on assessing the timing errors of heliospheric current sheet crossings as a proxy for typical solar wind propagation behavior.

Method

In SUSANOO, it is possible to extract the solar wind information such as the magnetic field, plasma parameters as a time series at any objects in space. We have first extracted the magnetic field data at BepiColombo, MESSENGER, Parker Solar Probe, Solar Orbiter points, and compared it with the observed magnetic field. We have checked its radial component or clock/cone angles, binarized them where it reverses the sign which is a proxy to identify the heliospheric current sheet (HCS) crossings and compared the time of those reversals between the outputs from SUSANOO and in-situ observations to understand the large structure of the solar wind from the Sun in the inner heliosphere.

Results

We first have developed the method to identify the HCS crossings with noisy in-situ observations. Since in-situ observations can capture small variations in the data but we would like to focus on the large structure, we have smoothed out and binarize them. Figure 1 shows an example of those steps with Parker Solar Probe (PSP) observations. This method is validated by comparing already published HCS crossings shown in Szabo et al. (2019). The results have been compared with 5-min SUSANOO data, and then calculate the time shift between them. The same method is applied to Solar Orbiter data, and found that about 45% of HCS crossings detected by PSP or Solar Orbiter are missed in the SUSANOO. Average and median offsets are about 2.3 days and 1.6 days. Those values are similar to the values reported by Want et al. (2019) which has used other Solar Wind propagation model.

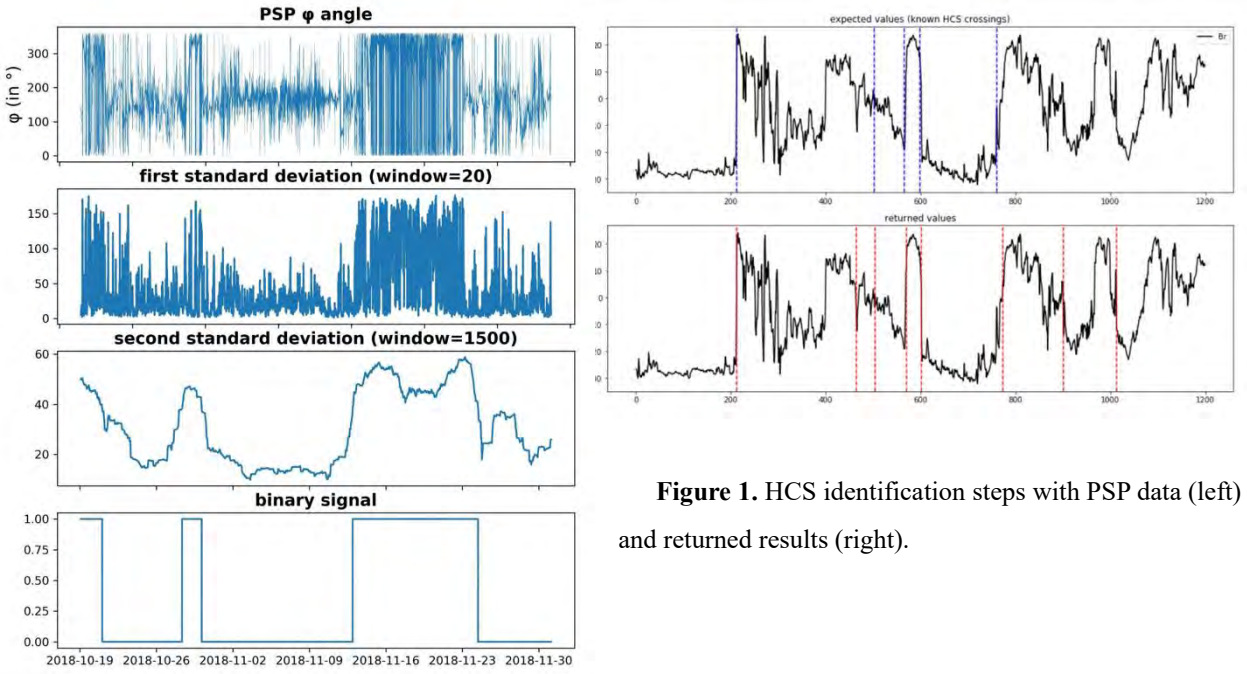


Figure 1. HCS identification steps with PSP data (left) and returned results (right).

Interestingly, missed HCS crossings are less frequently reported when the Earth–Sun–probe angle is small (see Figure 2). This aligns with our expectations, as SUSANOO utilizes synoptic maps based on Earth-based observations. The number of missed HCS crossings in SUSANOO increases as this angle widens, but appears to stabilize beyond 180 degrees. However, a greater number of HCS crossing observations from other satellites is still needed, as the current dataset remains statistically limited. To improve this point, we started including other data sets from MAVEN, MESSENGER, BepiColombo. Meanwhile, SUSANOO itself gets further developed in parallel. New boundary conditions will bring us better prediction of HCS crossings and our statistical results can get better.

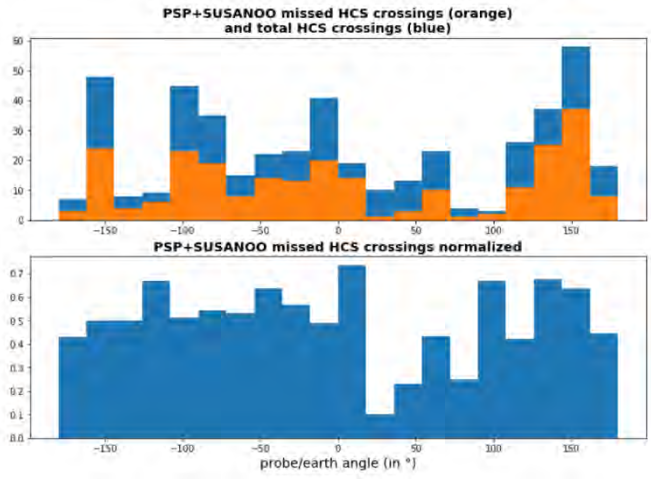


Figure 2. Missed HCS crossing with respect to the Earth–Sun–probe angle.

Periods of stay in ISEE: Mar 17th – Mar 21nd, 2025

Publications:

A manuscript is in preparation. Once it is ready, it will be submitted to a peer-reviewed journal. Furthermore, I am in constant discussion with my collaborators to continuously work on this project.

2024年度　03)国際ワークショップ　目次詳細

2024　03)ISEE / CICR International Workshop
List

3 件

＊所属・職名は2025年3月現在

＊Affiliation and Department displayed are current as of March 2025.

研究代表者 Principal Investigator	所属機関* Affiliation	所属部局* Department	職名* Job title	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
Monica Laurenza	Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF), Italy	Istituto di Astrofisica e Planetologia Spaziali (IAPS)	Research Scientist	Next Scientific Program (NSP) Committee meeting of the Scientific Committee on Solar-Terrestrial Physics (SCOSTEP)	94	
Jean Francois Ripoll	Commissariat à l'Energie Atomique (CEA), France	Physics division	Director of research	Multi-satellite Observations and Modeling of the Earth's Radiation Belts (MOMERB 1)	95	
Pekka Verronen	Finnish Meteorological Institute/Oulu University, Finland	Sodankylä Geophysical Observatory	Professor	Chemical Aeronomy in the Mesosphere and Ozone in the Stratosphere (CHAMOS) 2024 Workshop	97	

(Form03-2)

Next Scientific Program (NSP) Committee meeting of the Scientific Committee on Solar-Terrestrial Physics (SCOSTEP)

Monica Laurenza (Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF))
Kazuo Shiokawa (Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya Uni.)

This workshop was held by the Next Scientific Program (NSP) committee of the Scientific Committee on Solar-Terrestrial Physics (SCOSTEP) on 18-21 June 2024 at the Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE), Nagoya University. SCOSTEP formed the NSP committee in 2024 to identify the SCOSTEP's next scientific program after PRESTO (2020-2024). The members of the Next Scientific Committee are: Carine Briand, Maria Graciela Molina, John Bosco Habarulema, Natalie Krivova, Kanya Kusano, Hanli Liu, Monica Laurenza (chair), Hilde Nesse, Jana Šafránková, Jie Zhang, Qiugang Zong. The SCOSTEP Representatives, Kazuo Shiokawa (President), Bernd Funke (Vice President), and Nat Gopalswamy (Past President) also joined the committee.

Eighteen on-site participants and seven on-line participants were joined in this workshop. The participants discussed the scientific program based on participants' expertise in the solar-terrestrial physics (STP) and the inputs received from the STP community. Finally, the work plan for the next (final) workshop in October 2024 was also discussed. Based on these two workshops, the NSP committee identified the next program as COURSE: Cross-scale cOUpling pRocesses in the Solar-tErrestrial system. The COURSE program is organized in three main scientific Focus Areas: 1) Sources of Space Weather and Space Climate: 2) Solar wind, Magnetosphere, and Ionosphere coupling; 3) External impacts and internal dynamics of the Earth atmosphere. For each Focus Area the NSP committee has identified: 1) long-standing goals, i.e., key questions persistent through SCOSTEP scientific programs; and 2) objectives, i.e., precise outcomes that can be addressed over the 5-year program duration, which contribute to achieving the goals over the long term. In addition, the committee envisions the implementation of the program through identified novel methods, including machine learning (ML) and Artificial Intelligence (AI) techniques; integrated models; new missions; the combination of multipoint in-situ data with ground observations; improved metadata; and adoption of Findable, Accessible, Interoperable, and Reusable (FAIR) principles.

(Form03-2)

MOMERB 1: Multi-satellite Observations and Modeling of the Earth's Radiation Belts

Jean-François Ripoll (CEA, France)

We organized the "Multi-satellite Observations and Modeling of the Earth's Radiation Belts" (MOMERB 1) workshop at the Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE) of Nagoya University the week from February 27 to February 31 2025. We were 17 scientists with 9 from Nagoya, 3 from Japan universities, and 4 from foreign universities and national laboratories (Europe and America) with 5 young scientists among us. Our goal was to conduct observationally-oriented studies to investigate the dynamic processes that govern relativistic electrons and energetic ions in the near-Earth space environment. Some of these studies would be supported by state-of-the-art simulations. A fundamental question that remains unanswered is how energetic particles are distributed along the magnetic field lines from one hemisphere to the other. This broad knowledge has great value for practical space weather applications which seek to know and predict the radiation environment for thousands of satellites evolving in the near-space Earth.

More specifically, we looked for a global description of the energetic particle and electromagnetic wave distributions by combining datasets from two main satellite missions observing the radiation belts: JAXA's Arase (ERG) mission (Japan) and NASA's Van Allen Probes (RBSP) mission (USA). Each mission brings a different and complementary latitudinal view of the electromagnetic wave environment and radiation belts to deliver a full description along the field line. Eventually, we also compared these radiation belts fluxes with the ones measured by the Low Earth Orbit ELFIN cubesat.

During the week of the workshop, we had 20 presentations from the workshop members related to the main problematics above. These presentations were made in targeting the questions which had to be addressed by our group during the week and following months. Work sessions were organized in parallel in order to either work together to bring specific answers or to think and plan future actions to solve as longer-term studies that will be performed by the workshop team members within the coming year. This required looking at particular satellite dataset or simulations. For the most advanced studies for which most of the results were gathered during the week, we organized article design sessions at the end of the workshop, during which we assembled the main results we had identified for a given study in order to form the skeleton of the upcoming article. Three science articles were advanced that way. We summarize in following the main studies that were covered at MOMERB-1, gathering them in three main themes

A major study and achievement of MOMERB-1 has been to assemble and compare electron radiation belt fluxes measured by both Arase and Van Allen Probes for the 2018 year, the year during which both satellites were in operation. New statistics and distributions, with various dependences, were computed for the two satellites, with a transfer of the methods from the Van Allen Probes to Arase. The comparison of these flux shows very good agreement between Arase and Van Allen Probes in most of the high flux regions of the radiation belts, particularly in the dynamic outer radiation belt. This result has great implications for the JAXA

mission and its operation planned till 2032. In the region of very-low flux, Arase has a tendency to saturate at a high level of low flux, which was interesting to find out and to characterize. Some energy channels behave better than others, which knowledge will facilitate future analysis. In addition, the formalism for computing the total radiation belt content from the flux measurements was presented with the goal to apply it in the future to Arase data. This could become a global index for the radiation belt strength classification.

A second successful subject of importance during MOMERB-1 was the study of electromagnetic whistler-mode waves, in particular as observed from Arase. The question of noise and power is central, with a vast statistical characterization attempted. A modelling effort was made for developing a new generation of wave models for hiss-mode waves and chorus waves, both waves being determinant for acceleration and loss processes in the radiation belts. These models will be done with/without coupling with the Van Allen Probes data and will allow to cover higher latitudes thanks to Arase orbit. A key feature, which consists in accounting for the wave occurrence rate directly embedded in the model has been discussed, with special concerns on the how-to. Another study we could finish is the determination of power and propagation properties of the electromagnetic signals emitted by the NWC Naval transmitter in Australia and measured by Arase. This study has important applications for the validation of wave propagation models such as ray tracing technics.

The third subject of great importance during MOMERB-1 has been the study of the Gannon storm that occurred on May 10 2024. This is the strongest geomagnetic storm in Earth space since the last 20 years, with aurorae seen at latitudes of south of France. This major storm generated persistent radiation belts at ultra-relativistic energies (> 1 MeV), which some of us saw for the first time at MOMERB-1 thanks to the Arase presentations. We could analyze these unique measurements during the workshop. The first simulation of this storm with the VERB-3D code was also presented. More simulations will be ran during the upcoming months. MOMERB-1 served to discuss how to improve these upcoming simulations and decide which models to use, for instance, with the new wave models in development. Another key required parameter is the ambient plasma density of 1 to 10 eV electrons, highly dynamic during storm times, and rebuilding the following days. Impacting results deduced from Arase cold plasma density measurements were presented. We also worked on gathering that quantity for the upcoming simulations. Different types of simulations will be conducted with some focusing on the high-energy tail and others on the long-term persistence of the radiation belts. For ultra-relatisvistic electrons, the knowledge of EMIC waves is central to the flux decay so that we engaged research actions to obtain satellite or ground-based measurements of these electromagnetic waves and build a new model that can be used. During the Gannon storm, there was some acceleration of energetic ions observed by Arase and associated with the sudden storm commencement. Preliminary results were presented and discussed. More generally, the structure of the radiation belts in (space, energy) is extremely informative of the physical processes and we started to build such flux statistics from the Arase data.

The MOMERB-1 workshop has been a successful, efficient, productive, and engaged workshop, which all participants enjoyed participating to.

(Form03-2)

CHAMOS Workshop 2024

Prof Pekka Verronen (Sodankylä Geophysical Observatory, University of Oulu, Finland)

Please write your workshop summary including purpose, period, place, results, and list of (planned) publications in maximum two pages.

CHAMOS Workshops have been organized for more than 20 years to support scientific research on solar energetic particle precipitation (EPP) and its impact on the Earth's atmosphere and climate. CHAMOS activity (https://chamos.fmi.fi) involves institutes in Finland, Japan, Norway, United Kingdom, New Zealand, Spain, and Sweden.

The CHAMOS Workshop 2024 was held from 28th of October to 1st of November, 2024, at the Institute of Space-Earth Environmental Research (ISEE), University of Nagoya, Japan. Attended by 19 scientists from Japan, Finland, and New Zealand, the Workshop provided the forum for exchange of latest scientific results and ideas. On-going and future collaboration were discussed in detail. The Workshop addressed topics from characterisation of EPP atmospheric forcing to its ionospheric and atmospheric impacts. Status of current and planned instrumentation and satellite missions was presented, as well as new results from analysis of both measurement and model simulation data. The CHAMOS publications currently under work are:

Verronen, P.T., A. Mizuno, Y. Miyoshi, T. Nakajima, S.-I. Oyama, T. Nagahama, S. Nozawa, M.E. Szeląg, A. Kero, and E. Turunen, **EEP-Driven Variability of the Upper Atmospheric Nitric Oxide Column Over the Syowa Station in Antarctica**, Ann. Geophys., in preparation, 2024.

Schneider, H., V. Wendt, M. Banys, M. Hansen, M.A. Clilverd, and P.T. Verronen, **Impact of Sudden Stratospheric Warming and Elevated Stratopause Events on the Very Low Frequency Radio Signal**, J. Geophys. Res. Space, in review, 2024.

Seppälä, A., N. Kalakoski, P.T. Verronen, D.R. Marsh, A.Yu. Karpechko, and M.E. Szeląg, **Polar mesospheric ozone loss initiates downward coupling of solar signal**, Nature Comm., in review, 2024.

Häkkilä, T., Grandin, M., Battarbee, M., Szeląg, M.E., Alho, M., Kotipalo, L., Kalakoski, N., Verronen, P.T., and Palmroth, M., **Atmospheric odd nitrogen response to electron forcing from a 6D magnetospheric hybrid-kinetic simulation**, Ann. Geophys. Discuss. [preprint], in review, 2024.

2024年度 04)一般共同研究 目次詳細

54 件

＊所属・職名は2025年3月現在

＊Affiliation and Department displayed are current as of March 2025.

研究代表者 Principal Investigator	所属機関* Affiliation	所属部局* Department	職名* Job title	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
湯口貴史	熊本大学	大学院先端科学研究部(理学系)	教授	石英の内部構造と微量含有元素が示すアダカイト質マグマの貫入・定置プロセス	98	
松原豊	中部大学	ミュオン理工学研究センター	客員准教授	太陽中性子を用いた太陽高エネルギー粒子加速機構の研究	102	
岸田拓士	日本大学	生物資源科学部	教授	古代DNAによる近代以前の日本の生物多様性の解明	103	
梅田隆行	北海道大学	情報基盤センター	教授	ポストエクサ時代に向けた革新的プラズマシミュレーション技術の開発	104	
徳丸宗利	名古屋大学		名誉教授	327MHz電波望遠鏡の観測データを用いた太陽風速度予測モデルの改良	106	
赤田尚史	弘前大学	被ばく医療総合研究所	教授	福島県浜通り地域における降水の水素酸素安定同位体比	108	
浅村和史	宇宙航空研究開発機構	宇宙科学研究所	准教授	電離圏イオン流出機構の解明を目指した超熱的イオン質量分析器の開発	109	
村木綏	名古屋大学宇宙地球環境研究所	宇宙線研究部	名誉教授	宇宙線ミューオン強度と高層大気変動の相関研究	111	
佐藤正樹	東京大学	大気海洋研究所	教授	衛星シミュレータを利用したglobal storm-resolving modelの比較実験	112	
小島正宜	名古屋大学		名誉教授	IPSスペクトル解析-異なる観測所データの比較	114	
横田勝一郎	大阪大学大学院	理学研究科	准教授	あらせ搭載MEP-i質量分析データからの窒素イオン抽出手法の開発	116	
笠羽康正	東北大学	理学研究科 惑星プラズマ・大気研究センター	教授	Arase衛星DC・低周波電場波動による衛星帯電・内部磁気圏の研究促進:その3	118	

研究代表者 Principal Investigator	所属機関* Affiliation	所属部局* Department	職名* Job title	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
天野孝伸	東京大学大学院	理学系研究科地球惑星科学専攻	准教授	非線形プラズマ波動に伴う粒子加熱・加速の研究	120	
宗像一起	信州大学	理学部	特任教授	宇宙線観測データの解析による宇宙天気研究	121	
栗田怜	京都大学	生存圏研究所	准教授	高感度・高速オーロラ撮像データ解析によるフリッカリングオーロラの特性の統計解析	123	
村田功	東北大学	大学院環境科学研究科	准教授	フーリエ変換型分光計を用いた地上分光観測によるメタン同位体導出手法の開発	125	
下条圭美	自然科学研究機構 国立天文台	アルマプロジェクト	准教授	豊川・野辺山強度偏波計の観測データベースによる恒星磁気活動の研究	127	
近藤文義	海上保安大学校	基礎教育講座	准教授	外洋域における海上波しぶき光学粒子計を用いた渦相関法による海塩粒子放出量の直接評価	128	
河野光彦	関西学院大学	理学部	研究員	高校生とともに行う都市大気中CO_2濃度の継続測定方法の開発	130	
苅谷愛彦	専修大学	文学部　環境地理学科	教授	大起伏山地における大規模斜面崩壊の発達過程解明に向けた高精度年代測定	132	
馬場賢治	酪農学園大学	農食環境学群	教授	稠密観測に基づく冬季石狩平野の筋状対流雲下の大気場変動の把握とその人体への影響についての研究	134	
坂下卓也	気象衛星センター	データ処理部解析課	課長	ひまわり8号/9号雲プロダクトの高度化	136	
能勢正仁	名古屋市立大学	データサイエンス学部	教授	稠密地磁気観測ネットワークによる宇宙プラズマ環境マップの作成	138	
中島英彰	国立環境研究所	地球システム領域	特命研究員	フーリエ変換赤外分光器を用いた地上分光観測によるHFC-134aの解析	140	
勝田哲	埼玉大学	理工学研究科	准教授	X線天文衛星で探る2022年トンガ海底火山の大噴火による超高層大気密度の変動	142	
保田浩志	広島大学	原爆放射線医科学研究所	教授	東南極地域における宇宙線中性子観測とその解釈	144	
加藤雄人	東北大学	大学院理学研究科地球物理学専攻	教授	グローバル・素過程モデル連成計算と科学衛星観測による地球内部磁気圏での波動粒子相互作用の研究	145	

研究代表者 Principal Investigator	所属機関* Affiliation	所属部局* Department	職名* Job title	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
野澤恵	茨城大学	理工学研究科理学野	教授	衛星軌道データ(TLE)の解析によるCMEを含む宇宙天気現象の解明	147	
宮本祐介	福井工業大学	工学部電気電子情報工学科	教授	次世代マルチビームシステム Phased Array Feedの基礎開発	148	
谷水雅治	関西学院大学	生命環境学部	教授	海藻資料を用いた北海道周辺海域^{14}C量の分布と変遷の把握	150	
森澤征一郎	沖縄工業高等専門学校	機械システム工学科	准教授	台風付近を飛行する飛行機の位置情報を用いた気象情報の抽出	151	
今田晋亮	東京大学	理学系研究科	教授	太陽周期活動予測に関する研究	153	
河野英昭	九州大学	国際宇宙惑星環境研究センター	准教授	SI 時の中緯度 SuperDARN ground/sea backscatters と FLR の関係	154	
山本一清	名古屋大学	大学院生命農学研究科	教授	UAV空撮画像による森林伐採後の植栽・生育状況AI診断技術の開発	156	
五味高志	名古屋大学	大学院生命農学研究科　森林水文・砂防学研究室	教授	積雪が卓越している山地上流域における水貯留および流出プロセス解明：流出観測および安定同位体比分析	158	
渡邉堯	情報通信研究機構	ナレッジハブ	特別研究員	流星によるVLF帯電波放射の観測的研究	160	
小島浩司	中部大学	天文台	客員教授	宇宙線で探る内部太陽圏 IMF 磁場擾乱の空間構造	162	
寺本万里子	九州工業大学	大学院工学研究院宇宙システム工学研究系	准教授	あらせ衛星とSuperDARNレーダーを用いた地磁気脈動の観測研究	163	
山本常夏	甲南大学	理工学部	教授	半導体光検出器SiPMの20 GeV帯域ガンマ線観測への応用と紫外分光性能の評価	165	
三澤浩昭	東北大学	大学院理学研究科	准教授	高分解電波スペクトルと太陽大気画像解析に基づく太陽高エネルギー粒子生成起源の究明	166	
土屋史紀	東北大学	大学院理学研究科	教授	低周波超長基線電波干渉計観測における電離圏の影響評価	167	
西村竜一	国立研究開発法人情報通信研究機構	ネットワーク研究所 レジリエントICT研究センター	研究マネージャー	映像IoT技術とインフラサウンド観測による火山（桜島）モニタリング技術開発	168	

研究代表者 Principal Investigator	所属機関* Affiliation	所属部局* Department	職名* Job title	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
浅井歩	京都大学	大学院理学研究科附属天文台	准教授	長時間持続ガンマ線イベント(Sustained gamma-ray emission)の太陽大気応答	170	
佐々木聡史	群馬大学 共同教育学部	理科教育講座	講師	南極における第四紀の海成化石と堆積物を用いた古環境復元	172	
久保雅仁	自然科学研究機構 国立天文台	SOLAR-Cプロジェクト	助教	「ひので」太陽極域磁場ISEEデータベースを用いた極域近傍の磁場の研究	173	
中西利典	ふじのくに地球環境史ミュージアム	学芸課	教授	沖積層に含まれる砕屑物を用いた堆積年代の高精度解析	175	
松田昇也	金沢大学	理工研究域	准教授	あらせ衛星による6年間の観測で得られた低周波プラズマ波動の網羅的解析	177	
中野佑樹	富山大学 学術研究部 理学系	物理プログラム	助教	太陽模型構築と日震学理論に基づく太陽ニュートリノを用いた太陽 g-mode 振動探索	178	
渡邉恭子	防衛大学校	地球海洋学科	教授	横須賀太陽電波強度偏波計で行う宇宙天気研究	180	
中村亨	高知大学	理工学部	教授	太陽圏における銀河宇宙線伝播の研究	182	
堤雅基	国立極地研究所	宙空圏研究グループ	教授	北極域の中層大気から熱圏大気への大気重力波エネルギー・運動量輸送の定量評価	184	
関華奈子	東京大学	大学院理学系研究科	教授	実証的グルーバルモデリングに基づく固有磁場強度と領域間結合が内部磁気圏ダイナミクスに与える影響の研究	186	
林政彦	福岡大学	理学部	教授	無人航空機を用いた雲・エアロゾル・水蒸気の時空間分布観測	187	
松岡彩子	京都大学	理学研究科　地磁気世界資料解析センター	教授	あらせ磁場長期データの精度評価と特性改善の検討	188	

石英の内部構造と微量含有元素が示すアダカイト質マグマの貫入・定置プロセス

Intrusion and emplacement processes of adakitic magma deduced from internal structures and minor components within quartz in the pluton.

湯口貴史　熊本大学大学院先端科学研究部
小北康弘　山形大学大学院　理工学研究科
城﨑陽太　熊本大学理学部理学科
加藤丈典　名古屋大学　宇宙地球環境研究所

1. 研究目的

石英は珪長質深成岩中に普遍的に含有される鉱物である。石英の内部構造や温度条件などの結晶化の際の情報は，マグマの貫入・定置に関する情報を保存する。既存研究において石英の結晶化プロセス推定は，カソードルミネッセンス（CL）像およびチタン（Ti）濃度を組み合わせる方法が提案されている（例えば，Drivenes et al., 2016）。CL 像は，結晶構造の乱れや結晶中の微量な含有成分（不純物）を反映するため，結晶成長の様式と関連付けることが可能である。一方，石英中の Ti 濃度は石英の結晶化温度の推定に利用できる（Wark and Watson, 2006）。しかし，石英に含有される Ti 濃度はごく微量であるため，電子プローブマイクロアナライザ（EPMA）分析での一般的な分析条件では定量が困難であった。そこで，石英の微量含有元素（特にチタン濃度）の定量分析に関する一連の共同研究が，2016 年度から 2023 年度の間，名古屋大学宇宙地球環境研究所「一般共同研究」として実施された。2016 年度から 2018 年度の共同研究によって EPMA 分析に基づき石英中のチタン濃度を高精度で定量する分析手法を構築した。また，2019 年度から 2023 年度の共同研究は適用する岩体を広げるとともに，石英を対象にチタン濃度だけでなく，アルミニウム濃度の定量分析を実施し，分析手法の高度化を図った（その成果は Yuguchi et al. (2020)として国際誌 Journal of Asian Earth Sciences にて公表）。特に，2022・2023 年度は石英の真のコアを定量分析するため，石英粒子の段階的な研磨を行い，それぞれの段階ごとにカソードルミネッセンス像観察を行い三次元的な内部構造を取得し，結晶化温度との関連について解明した（その成果は Yuguchi et al. (2024)として国際誌 Journal of Asian Earth Sciences にて公表）。

これまでの共同研究で構築した分析手法を踏まえ，2024 年度はアダカイト質の化学的特徴を有するマグマの石英の結晶化プロセスの解明を図る。著者らはアダカイト質岩を産出する北上山地の遠野複合深成岩体と堺ノ神深成岩体の年代学的研究を進めている。また，九州肥後変成帯に産する白石野花崗閃緑岩もアダカイト質岩の特徴を有する。今年度の共同研究では，遠野複合深成岩および白石野花崗閃緑岩体を研究対象とし，それらの岩体に普遍的に産する石英に対してデータの拡充を図り，石英の内部構造の解析と微量含有元素の定量分析から，アダカイト質岩中の石英の結晶化プロセスの解明を実施した。

2. 試料と研究方法（使用した共同利用装置・施設）

石英の CL 像取得は，山形大学の SEM-CL 装置（JEOL IT100A+Gatan mini CL）を用い，石英中の Ti 濃度定量は名古屋大学 ISEE の EPMA（JCXA-733）を用いた。Ti 濃度定量の分析条件は，4 つの分光結晶（PET）を Ti の検出に割り当て，もう 1 つの分光結晶（TAP）を Al の検出に割り当てた。加速電圧 15 kV，照射電流 60 nA，ビーム径 20 μm，1 回の測定時間を 200 s（ピーク：100 s，バックグラウンド：50 s）とし，同一地点で 8 回（計 1600 s）カウントした値を積算することにより 1 点の定量値を得る。その結果として，2 σ の誤差が約 10%の高精度な定量分析を実施した。Ti 濃度と Al 濃度の検出限界はそれぞれ 14 ppm および 39 ppm である。このような高精度な分析は，石英結晶の内部構造に応じた Ti 濃度と Al 濃度の変動傾向を高精度に評価できる。また，石英へのダメージの評価は，EPMA 分析終了後に偏光顕微鏡ならびに SEM にて破壊程度の評価を行った。破壊が生じた分析データに関しては，議論に採用しない。

3. 研究結果・考察

白石野花崗閃緑岩体の石英は波動消光とグラノブラスティク（Granoblastic）組織を有する（図 1）。これらの組織は岩体に応力がかかったことによる歪によって説明されている（De Toni and Costa, 2024）。CL 像観察より，石英は粒子内で輝度の漸移的な変化を示す Gradual zoning（GZ）（図 2A），輝度の変化がない Homogeneous patten（HP）（図 2B）を有する。それに加え GZ や HP の分布を横断するように定方位や網目状の「CL 低輝度分布（図 2C）」を有する。GZ および HP の CL 輝度パターンを示す領域は Ti 濃度と CL 輝度に正の相関を有するのに対して（図 3），CL 低輝度分布領域においてはこの関係を持たない。先にも述べたように CL 像は，結晶構造の乱れや結晶中の微量な含有成分（Ti 濃度）を反映する。このため，GZ および HP の CL パターンは Ti 濃度の含有量の大小に由来し，CL 低輝度分布は結晶構造の乱れに由来すると考えることができる。これは歪により生じる波動消光とグラノブラスティク組織が観察されることと整合する。GZ および HP の CL パターン領域から得られた石英の Ti 濃度から，Wark and Watson (2006)の TitaniQ 温度計を用いて温度を導出したところ 638±41～812±22℃の温度条件を得た。

上記より①と②を解釈することができる：①冷却するマグマの中で， GZ および HP パターンを有する石英がマグマから約 800℃から 650℃の間の温度条件で晶出したこと。②CL 低輝度分布は岩体固結後のサブソリダス期に岩体への応力が加わることにより生じた組織であること。

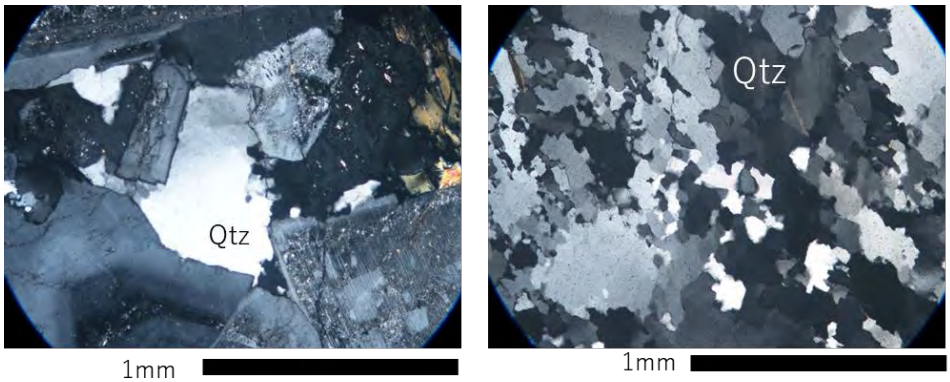


図 1　白石野花崗閃緑岩体の石英の偏光顕微鏡像
（左図：波動消光を示す石英，右図：グラノブラスティク組織を示す石英）

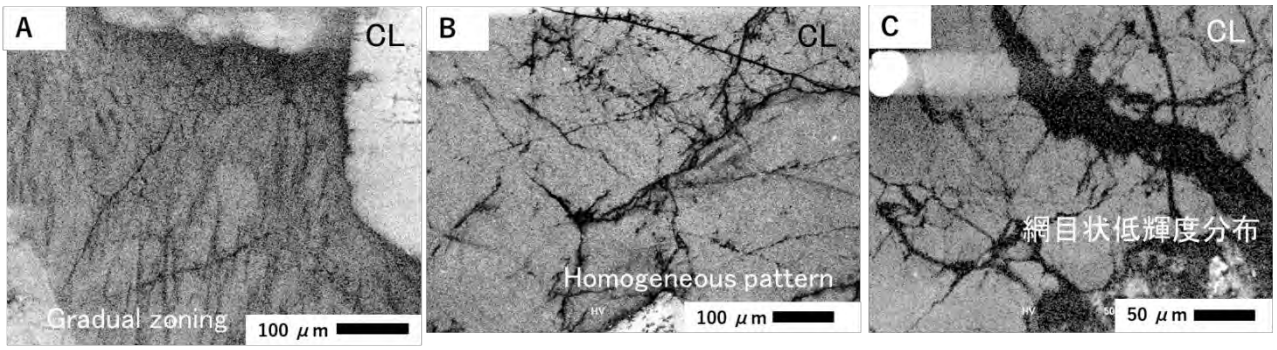


図 2　白石野花崗閃緑岩体の石英のカソードルミネッセンス像

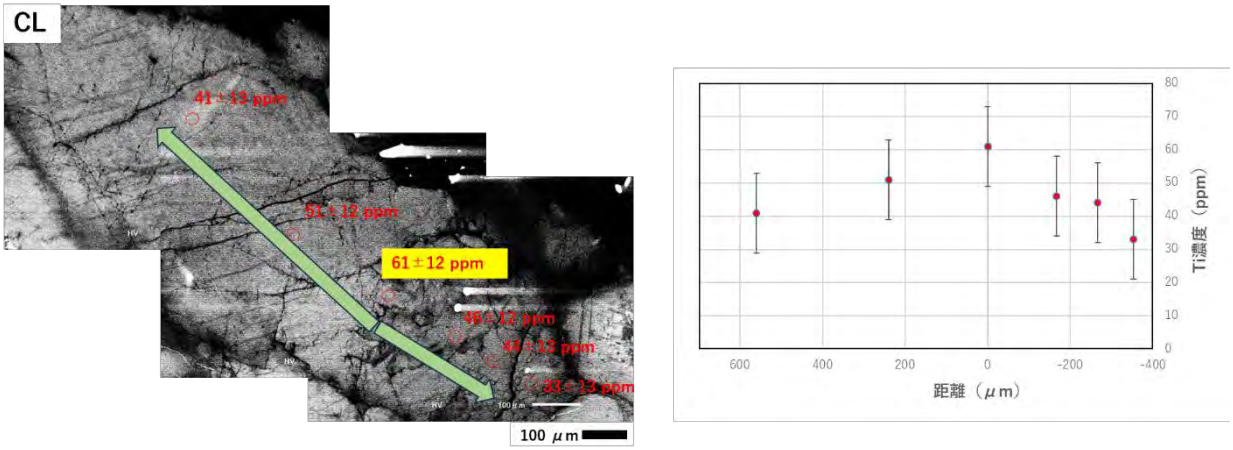


図 3　白石野花崗閃緑岩体の石英のカソードルミネッセンス像と Ti 濃度のラインプロファイル

遠野複合深成岩においては，135 地点の Ti 濃度の分析を実施した。結果として，22 ± 18 ppm から 593 ± 13 ppm の幅のデータを得た。これは Wark and Watson (2006)の TitaniQ 温度計を用いた場合，593 ± 65 ℃から 1018 ± 21 ℃の温度に相当する。遠野複合深成岩において，特徴的な CL 構造を見出した。それは，輝度の変化の帯が狭い領域で繰り返し，低輝度と高輝度の帯の境界は曲線を呈する（図 4）。一見すると「しわ」のように見える組織である。今回，その領域を密な頻度での分析を実施した。

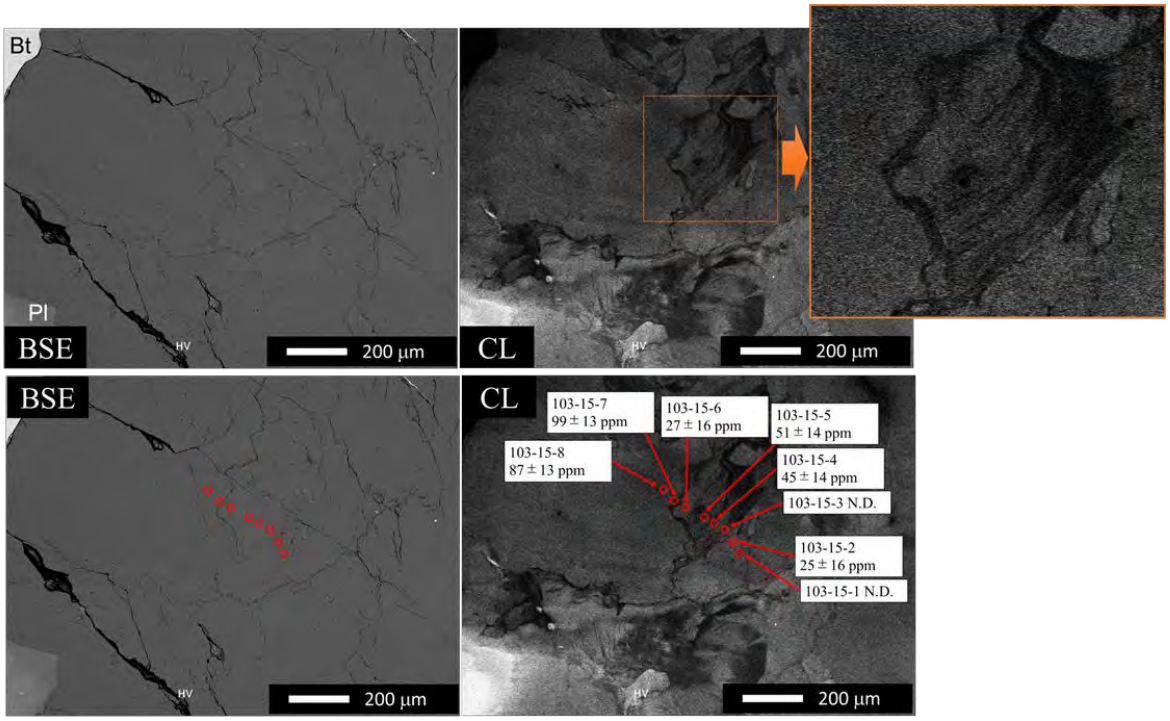


図 4　遠野複合深成岩の石英に観察される高輝度と低輝度帯のしわ状構造
Ti 濃度のラインプロファイル（sample No. 103 (中心部相), grain No.15）

この構造を持つ領域（約 300 μm）で 25 ± 16 ppm から 99 ± 13 ppm の幅の Ti 濃度の急激な変化が認められる（図 4）。この Ti 濃度の変動は CL の輝度とおおむね正の相関を示す。このような傾向は，マグマ溜り中の局所的な TiO_2 活動度や温度の偏りを示している可能性を持ち，今後も詳細な解析を実施する。

4. 引用文献

De Toni, G.B., Costa, J.A.L., 2024. Kinematic analysis of the Caçapava do Sul Granitic Complex, southern Brazil: Ediacaran syntectonic magmatism and strain partitioning during inclined ductile extrusion along a transpressional shear zone, Dom Feliciano Belt. Journal of South American Earth Sciences 143, 104996.

Drivenes, K., Larsen, R., Muller, A., Sorensen, B. 2016. Crystallization and uplift path of late Variscan granites evidenced by quartz chemistry and fluid inclusions: Example from the Land‘s End granites, SW England. Lithos, 252-253, 37-75.

Wark, D., Watson, E. 2006. TitaniQ: a titanium-in-quartz geothermometer. Contributions to Mineralogy and Petrology, 152, 743-754.

Yuguchi, T., Ogita, Y., Kato, T., Yokota, R., Nishiyama, T., 2020. Crystallization processes of quartz in a granitic magma: Cathodoluminescence zonation pattern controlled by temperature and titanium diffusivity. Journal of Asian Earth Sciences, 192, 104289.

Yuguchi, T., Kato, T., Ogita, Y., Watanabe, M., Yamazaki, H., Kato, A., Itoh, D., Yokoyama, T., Sakata, S., and Ohno, T., 2024. Crystallization processes of quartz in a granitic magma: Implications for the magma chamber processes of Okueyama granite, Kyushu, Japan. Journal of Asian Earth Sciences, 265 106091.

（別紙様式04-2）

太陽中性子を用いた太陽高エネルギー粒子の研究
Study on the acceleration mechanism of solar energetic particles using solar neutrons

松原豊、中部大学・ミュオン理工学研究センター

本研究は、太陽表面で加速された高エネルギーイオンと太陽大気との相互作用で生成される中性子（>100 MeV）を検出することにより、太陽高エネルギー粒子加速機構を解明することを目的とする。これまでの太陽中性子観測から、太陽表面での高エネルギーイオン加速は、太陽表面での中性子生成時間を、加速電子が生成する電磁波と同じであると仮定すれば、高加速効率のショック加速ではなくて、統計加速であることがわかっている。中性子は電磁波と違い、質量を有するので、エネルギーによって太陽地球間の飛行時間が異なるので、エネルギーを測らないと、太陽表面での生成時間がわからない。これまでエネルギー情報が得られたイベントは1イベントだけであるので、加速機構が統計加速であることを結論づけるためには、太陽表面での中性子の生成時間を仮定しなくてよいイベントをもっと検出する必要がある。

現在、太陽中性子の観測は、ボリビアのチャカルタヤ山（5,250m）とメキシコのシェラネグラ山（4,600m）に設置された検出器によって継続されており、現地研究者によって観測が維持されている。観測されたデータはボリビアのサンアンドレス大学のサーバーと、メキシコ自治大学のサーバーに保存されている。これらのデータは、名古屋大学宇宙地球環境研究所の計算機サーバーにコピーされ、保存されている。本共同利用研究は、宇宙地球環境研究所の計算機を使用させていただくという意味での共同利用研究である。

メキシコの太陽中性子検出器には、SNT と呼ばれる検出器と、SciCRT (SciBar Cosmic Ray Telescope) と呼ばれる検出器がある。後者は、宇宙線ミューオン検出器としても利用される。データ収集においては、2024年度が始まった当初、SciCRT による太陽中性子観測は、データ収集装置の問題からストップしていたが、2024年秋には現地研究者の努力により、データ取得が再開された。SNT の方は問題なく運用されている。チャカルタヤの太陽中性子観測も問題なく運用されている。一方太陽活動は、2024年に極大期を迎えたと言われ、その状況は現在（2025年3月3日）も続いている。太陽フレアの強度を軟X線フラックスで分けたときの、もっとも高い段階を X クラスと呼ぶが、Xクラスのフレアの数は、第24太陽活動期の49回の2倍以上をすでに超えている。残念ながら、2024年度のデータを用いた解析では、太陽中性子イベントは検出されていない。軟X線の強度は、GOES とよばれる衛星で測定されているが、GOES のデータはリアルタイムで見ることができるので、大きな太陽フレアの発生有無については、随時チェックしている。今のところ、検出できませんでした、という報告であるが、研究自体は粛々と継続している。

論文

Monterde-Andrade, F., L. X. Gonzalez, Y. Matsubara, et al., Detection Response of the active com, ponents of SciBar Cosmic Ray Telescope at Sierra Negra, Eur, Phys. J. C. (2024) 84:981, 10.1140/epjc/s10052-024-13325-0

学会・研究会発表

神谷晏那、小井辰巳、松原豊他、乗鞍観測所における宇宙線複合観測に向けた準備研究、日本物理学会第79回年会、北海道大学、2024年9月16日

松原豊、SciCRT プロジェクトの現状、太陽地球環境と宇宙線モジュレーション（ISEE研究集会）、名古屋大学宇宙地球環境研究所、2025年2月21日

（別紙様式04-2）

古代DNAによる近代以前の日本の生物多様性の解明
Revealing genetic diversity of premodern fauna in Japan using the ancient DNA techniques

岸田拓士、日本大学生物資源科学部

現在の生物多様性の健全性を評価し、将来に向けた保全を考える上で、過去の多様性の理解は欠かせない。しかしながら、ニホンオオカミやヒグマなど陸棲メガファウナに比べて、海棲メガファウナの過去の遺伝的多様性に関する研究報告は極めて少ない。

本研究では、道東釧路に位置する二つの縄文遺跡（東釧路貝塚［縄文早期～中期］、幣舞遺跡［縄文晩期～続縄文］）を中心に、先史時代捕鯨の跡が残る3地域6サイトの先史時代遺跡から出土したイルカ類の骨からコラーゲンおよびDNAを抽出して、放射性炭素年代測定とミトコンドリア塩基配列解読を行った。その結果、東釧路貝塚から出土したイルカ類、特にカマイルカの遺伝構成は、同じ場所に存在するが時代の異なる幣舞遺跡出土のイルカ類とは大きく異なることが示された。また、東釧路貝塚で最も若いサンプル（およそ4000年前）と幣舞遺跡で最も古いサンプル（およそ3000年前）の間の1000年間に関して、当該年代を示すイルカの骨が発見されない、釧路地方における捕鯨の空白期が見つかった。この空白期のはじまりは全地球規模の寒冷化、いわゆる4200年前イベントと同期しており、当時の気候変動によって陸上だけでなく海洋環境も大きな影響を受けたことが示唆された。

本研究成果の詳細に関しては、代表者の所属部局よりプレスリリースを行った。

https://hp.brs.nihon-u.ac.jp/~NUBScommon/release/20250124.pdf

発表文献

Kishida T, Sawada K, Namigata S, Takabatake T, Suzuki M, Takezoe N, Yamamoto T, Nakanishi T, Kitagawa H. (2025) Hidden population turnover of small odontocetes in the northwestern North Pacific during the Holocene. ***Biology Letters*** 21, 20240525. (https://doi.org/10.1098/rsbl.2024.0525)

岸田拓士（2024）古代DNAで探る縄文時代の鯨類の遺伝的多様性. *In*: 種生物学会 編, タイムカプセルの開き方. 文一総合出版. pp.79-94. ISBN: 978-4-8299-6212-1.

（別紙様式04-2）

ポストエクサ時代に向けた革新的プラズマシミュレーション技術の開発
Advanced numerical schemes for plasma simulations on post-Exa era

梅田隆行、北海道大学・情報基盤センター

研究目的

スーパーコンピュータ「富岳」は、「京」コンピュータに対して、ノードあたりの性能が約26倍、全体性能が約54倍となった。一方で、ノードあたりのメモリ容量は2倍、全体のメモリ容量は3.7倍に止まっている。この事実は、「富岳」を用いても「京」で行われていた大規模シミュレーションとほとんど変わらない計算サイズのシミュレーションしか行えないこと、またこれから5年以上(「富岳」の運用停止まで)はメモリサイズで5ペタバイト以下のシミュレーションが世界最大サイズとなることを意味している。従って、これまでの「大規模シミュレーション」からパラダイムシフトし、メモリ消費を抑えた新たな計算機シミュレーションについて考える必要がある。そこで本研究では、宇宙プラズマに関する電磁流体、電磁粒子(PIC)、電磁Vlasovおよび、これらのハイブリッドシミュレーション手法に関して、計算時間の短縮と計算精度の向上を両立させる新たな研究開発を行う。

研究方法

電磁界シミュレーションの標準的な数値スキームであるFDTD法について空間差分の高次精度化を行う。従来の計算機シミュレーションでは格子点数を増やすことによって空間解像度を上げていたが、空間差分の誤差を減らすことによって格子点数が少ない構造や波動でもより精度よく解けるように改良を行う。また、プラズマ粒子PICシミュレーションへ実装を目指す。

さらに、磁気流体力学方程式に圧力テンソルおよび熱輸送テンソルの時間発展式を導入した、新たな拡張電磁流体シミュレーションの手法について検討を行う。

研究結果

電磁界シミュレーションの標準的な数値スキームであるFDTD法について、1次元3階差分および5階差分演算子を導入することにより、空間精度を6次に拡張した新たな手法を前年度した(Sekido & Umeda PIER M 2024)。これに、Sekido & Umeda (EPS 2024)のLaplacianを考慮した3階差分および5階差分演算子を導入したが、精度の改善にはあまりつながらないことを示した。また、空間4次精度のFDTD法(Sekido & Umeda EPS 2024)をプラズマ運動論コードに実装する際に生じる電荷保存則の数値誤差を除去するための検討を行った。

流速ベクトル分離法に基づいた新たな流体コードについて、特性変数と特性速度を用いた時間発展式を再導出し、その差分化についての検討を行った。

成 果 発 表

学会発表

関戸 晴宇, 梅田 隆行, 三好 由純, 陽的時間領域有限差分法のクーラン条件の緩和および数値誤差の低減, 日本地球惑星科学連合 2024 年大会 (JpGU2024), 2024/05/30, 幕張メッセ, ポスター.

葛 心雨, 梅田 隆行, 関戸 晴宇, 三好 由純, 有限差分時間領域法（FDTD）シミュレーションの改良: 電流源を含む高次精度手法における数値誤差の改良, 日本地球惑星科学連合 2024 年大会 (JpGU2024), 2024/05/30, 幕張メッセ, ポスター.

尾﨑 理玖, 梅田 隆行, 三好 由純, オーロラ加速領域における電気２重層の計算機シミュレーションのための高精度手法の研究, 日本地球惑星科学連合 2024 年大会 (JpGU2024), 2024/05/30, 幕張メッセ, ポスター.

梅田 隆行, 尾﨑 理玖, 溝口 英一郎, A new fourth-order leap-frog integrator for relativistic equations of motion for charged particles, 日本地球惑星科学連合 2024 年大会 (JpGU2024), 2024/05/30, 幕張メッセ, ポスター.

H. Sekido, T. Umeda, Y. Miyoshi, Relaxation of the courant condition and reduction of numerical errors in the explicit finite-difference time-domain method for plasma kinetic simulations, 15th International School/Symposium for Space Simulation (ISSS-15), 2024/08/05, Garching, Poster.

T. Umeda, R. Ozaki, E. Mizoguchi, New integrator for relativistic equations of motion for charged particles, 15th International School/Symposium for Space Simulation (ISSS-15), 2024/08/06, Garching, Oral.

H. Sekido, T. Umeda, Y. Miyoshi, Relaxation of the courant condition and reduction of numerical errors in the explicit finite-difference time-domain method for plasma kinetic simulations, 21st International Congress on Plasma Physics (ICPP2024), 2024/09/10, Ghent, Oral.

T. Umeda, R. Ozaki, E. Mizoguchi, New integrator for relativistic equations of motion for charged particles, 21st International Congress on Plasma Physics (ICPP2024), 2024/09/10, Ghent, Oral.

関戸 晴宇, 梅田 隆行, 三好 由純, ラプラシアン演算子を用いた陽的時間領域有限差分法のクーラン条件の緩和および数値誤差の低減, 地球電磁気・地球惑星圏学会 2024 年秋季年会, 2024/11/26, 国立極地研究所, 口頭.

葛 心雨, 梅田 隆行, 関戸 晴宇, 三好 由純, 電流源を含む高次有限時間差分領域法における数値誤差の改良, 地球電磁気・地球惑星圏学会 2024 年秋季年会, 2024/11/25, 国立極地研究所, ポスター.

尾﨑 理玖, 梅田 隆行, 三好 由純, オーロラ加速領域における電気二重層の計算機シミュレーションのための高精度手法の研究, 地球電磁気・地球惑星圏学会 2024 年秋季年会, 2024/11/26, 国立極地研究所, 口頭.

梅田 隆行, Performance evaluation of relativistic particle integrator with conditional branching statements inside a loop for PIC simulations, 地球電磁気・地球惑星圏学会 2024 年秋季年会, 2024/11/25, 国立極地研究所, ポスター.

（別紙様式04-2）

327MHz電波望遠鏡の観測データを用いた太陽風速度予測モデルの改良
Improvement of the solar wind speed prediction model using observations with 327-MHz radio-telescopes

徳丸宗利、名古屋大学・名誉教授

１．研究目的

太陽から超音速で吹き出す太陽風は地球周辺の宇宙環境に大きな影響を与えるため、地球に到来する太陽風を正確に予測することが宇宙天気予報における重要課題となっている。太陽風の加速メカニズムが未だ謎であるため、太陽風の数値シミュレーションでは経験則に基づいて太陽風速度を予測するモデル（太陽風速度モデル）が用いられる。太陽風速度モデルの例として、コロナ磁場の磁力線拡大率との逆相関関係に基づくWSモデル（Wang & Sheeley, 1990, Arge et al., 2000）、コロナホール境界からの角度距離(DCHB)に対する依存性に基づくモデル(Riley et al., 2001)、両者を統合したWSAモデル（Arge et al., 2003, 2004）などがある。これらのモデルは飛翔体観測データを使って最適化されているが、その精度はあまりよくない（Riley et al., 2015）。その原因の一つとして、モデルの最適化に用いた飛翔体観測は黄道面付近で行われており、黄道面の太陽風は太陽活動サイクルを通じて低速風が支配的であるため、最適化されたモデルが低速風に偏ったものになっていることが考えられる。ISEEで実施している多地点IPS観測からは高緯度を含めた全球について太陽風速度データが得られる。本研究では、この利点を活かしてIPS観測を用いて太陽風速度モデルを最適化することで、精度良く太陽風速度を予測するモデルの開発を目指す。その結果から太陽風速度をより精度よく決定するコロナ磁場パラメータについて検討し、太陽風加速メカニズムを探る手掛かりを得る。

２．研究方法

本研究では、ISEEのIPS観測から得られた太陽風速度データと太陽磁場データのプテンシャル磁場解析データを用いてDCHBモデルとWSモデルについて最適化を行った。解析期間はサイクル23における異なる太陽活動に対応した６つのCarrington Rotation: CR1913, CR1963, CR2005, CR2021, CR2061, CR2083とし、太陽磁場データはAir Force Data Assimilative Photospheric Flux Transport (ADAPT) Modelによって極磁場の補正が行われたものを用いた。ADAPTデータのポテンシャル磁場解析（藤木助教担当）の結果からDCHBと磁力線拡大率fを計算し、その計算結果とIPS観測を比較することで、太陽風速度モデルを最適化するパラメータを決定した。最適化は次の３つの方法で行った。①Synoptic mapの各点（360x180）について観測とモデルの相関をとり、相関係数（PCC）が最大となるパラメータを求める、②DCHBまたはfに対する太陽風速度のプロットを作成し、その空間上でモデルと観測の偏差χ^2が最小となるパラメータを求める。③Synoptic mapの各点（360x180）について観測とモデルの偏差χ^2が最小となるパラメータを求める。これら３つの最適化法で得られたモデルについてIPS観測に対するPCCや速度差（バイアスおよびrms）を評価し、どの最適化モデルがよいかを検討した。PCCやχ^2の計算においては、Synoptic mapの緯度効果の補正を行っている。

３．研究結果

DCHBモデルでは極大期（CR1963）を除くすべての期間でIPS観測に対して相関係数が0.5以上の有意な相関が見られ、相関係数の平均値は0.7であった。極大期においては有意な相関が見られなかったが、その原因として極大期におけるコロナ磁場や太陽風分布が短時間で変化することが考えられる。WSモデルでも同様に極大期を除くすべての期間で相関係数は0.5以上の相関が見られたが、その値はDCHBより全体的に低く、平均値は0.6であった。この傾向は３つの最適化でほぼ同じであるが、DCHBモデルでは方法②、WSモデルでは方法③が最もIPS観測を再現できるモデルを生んだ。本研究で得られた結果は先行研究（Riley et al., 2015）と概ね一致している。ただし、最適化されたパラメータは先行研究と大きく異なっていた。この違いは全球的なデータでモデルを最適化したことによると考えられる。特に本研究で得られたDCHBモデルのパラメータεはほぼゼロであ

り、コロナホール境界が最も低速で、そこから離れるにつれて直ちに（オフセットなく）速度が増加することを示している。ε=0のとき、既存のDCHBモデルでは低速風の速度V_{slow}よりも高い速度で下限値が制約されてしまう。この問題を避けるため、本研究ではDCHBモデルの修正版を提案した。修正DCHBモデルはεを含ます、V_{slow}が速度の下限値を与える。本研究では方法②を使って修正版DCHBモデルをIPS観測に最適化した。最適化した修正版DCHBモデルは、既存のDCHBモデルと同程度の性能を示した。さらに本研究では、極大期を除く期間の最適化パラメータの平均値を使ってDCHBおよび修正DCHBモデルの性能を評価をした。その結果、各期間について最適化したパラメータを用いた場合に比べて遜色ない性能（PCC、速度差）が得られることがわかった。

４．まとめ

本研究では、極大期を除く期間についてIPS観測で得られた太陽風速度データを高い精度で再現できるDCHBモデルを決定した。最適化したDCHBモデルはWSモデルよりもより良い性能を示した。このことはfに比べDCHBが太陽風加速をよりよく説明するパラメータであること示している。DCHBとfの関係を調査した結果、両者には一対一の対応関係は見られなかったが（小さいDCHBに大きなfと小さなfが対応し、小さなfには小さなDCHBと大きなDCHBが対応）、我々はDCHBがfと同様に磁力線拡大率を表現するパラメータであると考えている。この点は今後の研究で明らかにしてゆきたい。また、パラメータを固定した場合でも様々な太陽活動の時期について良好な性能を発揮する太陽風速度モデルが得られたことは、宇宙天気予報への応用の観点から意義がある。

本研究で得られた成果はSolar Physics誌に投稿・出版されている（Tokumaru et al., 2024a）。また、本研究で作成したデータを用いてpseudostreamerと低速風の関係について調査する研究課題を2025年度のISEE共同研究（一般）に申請した。

５．引用文献

- Arge, C.N., and V.J Pizzo, Improvement in the prediction of solar wind conditions using near-real time solar magnetic field updates, Journal of Geophysical Research, 105, A5, 10,465-10,479, 2000.
- Arge, C.N., D. Odstrcil, V.J. Pizzo, and L.R. Mayer, Improved Method for Specifying Solar Wind Speed Near the Sun, AIP Conf. Proc., 679, 190–193, 2003.
- Arge, C.N., J.G. Luhmann, D. Odstrcil, C.J. Schrijver, and Y. Li,, Stream structure and coronal sources of the solar wind during the May 12th, 1997 CME, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 66, 1295-1309, 2004.
- Riley, P., J. A. Linker, and Z. Mikic, An empirically-driven global MHD model of the solar corona and inner heliosphere, Journal of Geophysical Research, 106, A8, 15,889-15,901, 2001.
- Riley, P., J.A. Linker, and C.N. Arge, On the role played by magnetic expansion factor in the prediction of solar wind speed, Space Weather, 13, 154–169, 2015.
- Wang, Y.-M., and N.R. Sheeley, Solar wind speed and coronal flux-tube expansion, Astrophysical Journal, 355, 726-732,1990.

６．成果発表

- Tokumaru, M., K. Fujiki, and H. Watanabe, Optimization of solar-wind speed models using interplanetary scintillation observations, Solar Physics, 299, 110, 2024a (https://doi.org/10.1007/s11207-024-02356-1).
- Tokumaru, M., and K. Fujiki, Coronal magnetic-field configuration associated with pseudostreamer and slow solar wind, Solar Physics, 299:160, 2024b (https://doi.org/10.1007/s11207-024-02398-5).
- 徳丸宗利、「太陽風速度をよりよく決定するコロナ磁場パラメータの探索：Pseudostreamerと低速風」、ISEE研究集会「太陽圏・宇宙線関連の共同研究成果報告会」、名古屋大学・研究所共同館Ⅱ 409室（名古屋市）、2025/2/20

（別紙様式04-2）

福島県浜通り地域における降水の水素酸素安定同位体比
Stable hydrogen and oxygen isotope composition in rain at seaside area of Fukushima Prefecture

赤田尚史、弘前大学・被ばく医療総合研究所

福島県浜通りでは、福島第一原子力発電所の廃炉作業が進められ、2023年8月には廃炉作業に伴い発生するトリチウムを含む処理水の海洋放出が開始された。地域住民にとって、海洋放出による身近な環境への影響の有無は、関心の一つである。その地域で生活する住民にとって最も身近な環境水は河川水等の陸水であり、河川や浅層地下水から取水される水道水である。この地域における陸水の特徴を明らかにするためには、水の供給源となる降水のトリチウム濃度だけでなく水素酸素安定同位体の特徴も明らかにし、その変動傾向を把握することは重要である。これまでの研究により、福島県浪江町を流れる請戸川の集水域を対象に、水同位体の特徴を明らかにした。一方、浪江町の帰還困難区域である津島地区におけるトリチウム濃度については、既に論文として発表している（Yamada et al. 2024）。本研究では、福島県浜通り地域における降水の水素酸素安定同位体比を測定し、トリチウム濃度も加えた降水の同位体地球化学的特徴を把握する。

本研究における降水の採取地点は福島県富岡町である。富岡町は福島第一原子力発電所が立地する大熊町の南に位置し、令和6年11月1日現在、1,799世帯、2,556人が町内に居住している。降水試料は、富岡町役場敷地内にある食品検査所の裏に設置した降水採取装置（RS-1D, Palmex, Croatia）に3Lのポリエチレンボトルを取り付けて毎月採取した。採取した試料は実験室に持ち帰り、重量を測定することで降水量を求めた。その後、pHとECを測定した後、一部の試料はシリンジフィルター（DISMIC 25C 045AS, ADVANTEC, Japan）を用いてろ過した後、宇宙地球環境研究所の設備である水同位体アナライザー（L2130-i, Picarro Inc., USA）を用いて水素酸素安定同位体比の測定を行った。残試料は蒸留した後に固体高分子膜電解濃縮装置（Tripure XZ001, DerNora Permelec, Japan）を用いて水素の放射性同位体であるトリチウムを濃縮した後、再蒸留した。その後、試料の50mLを145mLのポリエチレンバイアル内で同量の液体シンチレーター（UltimaGold LLT, PerkinElmer, USA）と混合し、低バックグラウンド液体シンチレーション計数装置（LSC-LB5, Aloka, Japan）を用いてトリチウムの測定を行った。トリチウム濃度は採取期間の中間日に半減期補正を行った。

ここでは図に月間降水中トリチウム濃度を示す。2023年1月から2024年12月までの富岡町の降水量は1から269mmであり、2024年12月が最小であった。同期間のトリチウム濃度は検出下限値以下から0.84 Bq/Lの範囲であり、明瞭な季節変動は認められなかった。日本では、一般的に春季に高く夏季に低くなる季節変動傾向を示すことが知られている。本調査では、2023年には2月に最大値を示し、2024年は6月に最大値を示した。月間降水中トリチウム濃度は、降水を生成する水蒸気の供給源に支配される。本研究期間で少し異なる傾向を示したことから、更なる長期連続観測によりその特徴を把握する必要があるといえる。本調査を継続し水素酸素安定同位体比データと組み合わせることで、福島県浜通りの降水の水同位体の特徴を明らかにしたい。

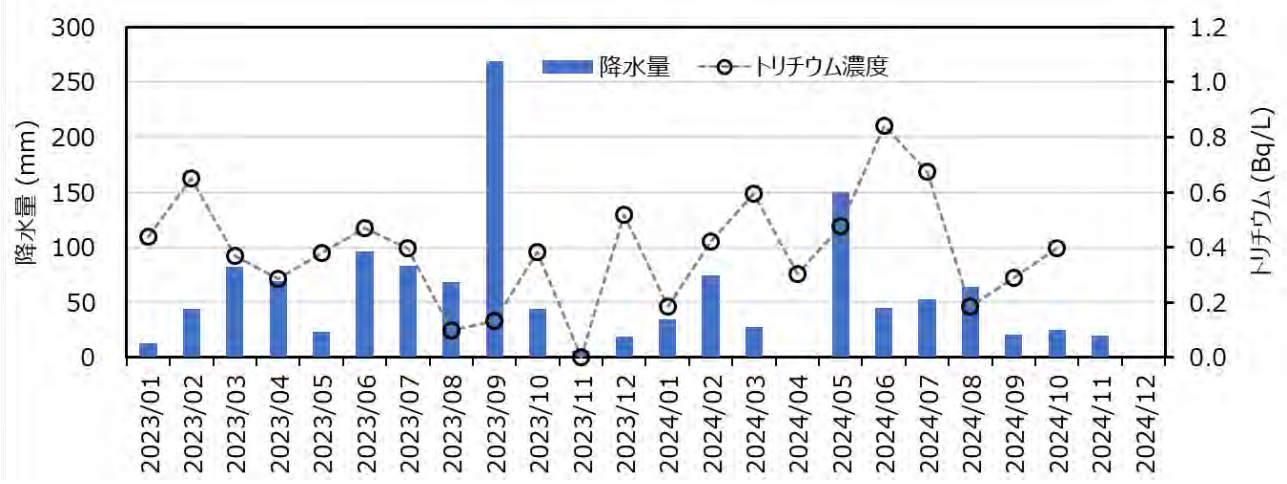


図　福島県富岡町に置ける月間降水中トリチウム濃度

（別紙様式04-2）

電離圏イオン流出機構の解明を目指した超熱的イオン質量分析器の開発

Development of a supra-thermal ion energy-mass spectrometer for study of ion outflow processes in the ionosphere

浅村和史、宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所

地球の電離圏からは酸素イオンなどの重粒子が流出し、磁気圏に供給されている。これらの粒子はカスプ領域やオーロラ帯上空で磁力線垂直方向に加熱されたイオンとして観測されてきており、その場合、広帯域なプラズマ波動（BBELF）と同時に観測されることが多い。このため、流出機構として電離圏の冷たいイオンがプラズマ波動によって加熱され、磁気ミラー力によって上昇速度を得るメカニズムが考えられている。しかし、どのようなプラズマ波動が実際のイオン加熱を起こしているのかは未解明のままである。イオン加熱を引き起こすプラズマ波動を同定するためには、プラズマ環境の直接観測を行い、あらせ衛星などで用いられている波動粒子相互解析器（WPIA）の手法を適用することが有効と考えられる。しかし、WPIA解析を行うためには一つ一つのイオン検出イベントに対して時刻付けを行うとともに、確実なイオン種同定が必要であり、統計的手法を用いたイオン組成比の同定では難しい。このため、電離圏における流出イオンの観測への適用は実現していない。私たちは 1〜数100eV 程度までのエネルギー帯をカバーし、一つ一つの粒子検出イベントに対して代表的な流出イオンである酸素イオンと窒素イオンの分離が可能な質量分析性能を持つ超熱的イオンエネルギー質量分析器の実現を目指すこととし、観測機器開発を進めている。

私たちはこれまで、超熱的イオンエネルギー質量分析器 (TSA) を開発してきた。そして 2021 年 11 月に打ち上げられた観測ロケット SS520-3 に搭載し、成功裏に観測を行った。本研究ではこの開発をさらに進め、現在 NASA に提案中である脈動オーロラ現象の解明を目指した観測ロケット計画 LAMP-2 やワーキンググループとして活動している FACTORS 衛星計画への搭載を念頭に、~1eV/q 〜 100eV/q をカバーし、円盤状の視野と視野方向変更機能 (仰角方向への変更機能)、さらに質量分析機能をもったイオン観測器を開発する。

本年度は昨年度までに行った観測器設計をさらに進め、20eV/q 程度以下の入射イオンに対し、電極電圧制御を用いて感度を相対的に 1/10000 以下にできるようにした。これは FACTORS 衛星への搭載を念頭においたものである。FACTORS 衛星は近地点高度 350km 程度、遠地点高度 4000km 程度の軌道においてプラズマ直接観測を計画しているが、近地点付近では衛星速度の効果により、背景の高密度熱的プラズマが超熱的エネルギーとなって観測器に入射し得る。このため、観測器の処理能力以上に入射フラックスが大きくなることが予想され、感度低減が必要となる。一方、高エネルギー粒子を観測する場合や、低密度の高高度域では十分な感度を持たなくてはならない。このため感度変更専用の電極を配置し、印加電圧による感度変更機能を持つこととしている。図1(左) は ~10eV/q の入射イオンに対する観測器感度を示したものである。観測器の入射口近くに設けた感度変更電極とエネルギー分析部出射部付近に設けた感度変更メッシュの 2電極を用いることにより、印加電圧制御精度を大きく高めることなく 1/10000 以下の相対感度変更を実現することができている。なお、質量分析については N^+と O^+を分離する能力を維持している (図1(右))。

また、本年度は計算機シミュレーション結果を基に、観測器試験モデルの設計を行った。図2は設計した試験モデルの形状を示している。現在このモデルの試作を行っており、部品試作後、組み上げとイオンビーム照射などによる性能確認を進める予定である。

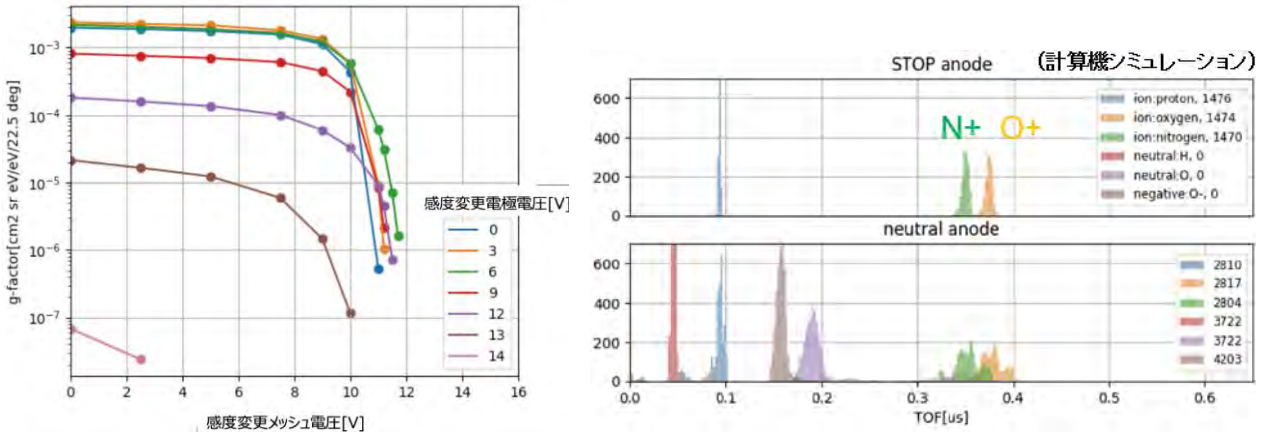


図1: 計算機シミュレーションによって求めた（左）電極電圧制御による感度変更性能。（右）~10eV/q の入射イオンに対する質量分析結果。観測器内で粒子の飛行時間を計測することで、速度を分析し質量を導出するため、計測飛行時間に対するヒストグラム表示となっている。STOP アノードを用いた計測を行うとN^+と O^+を分離することができる。

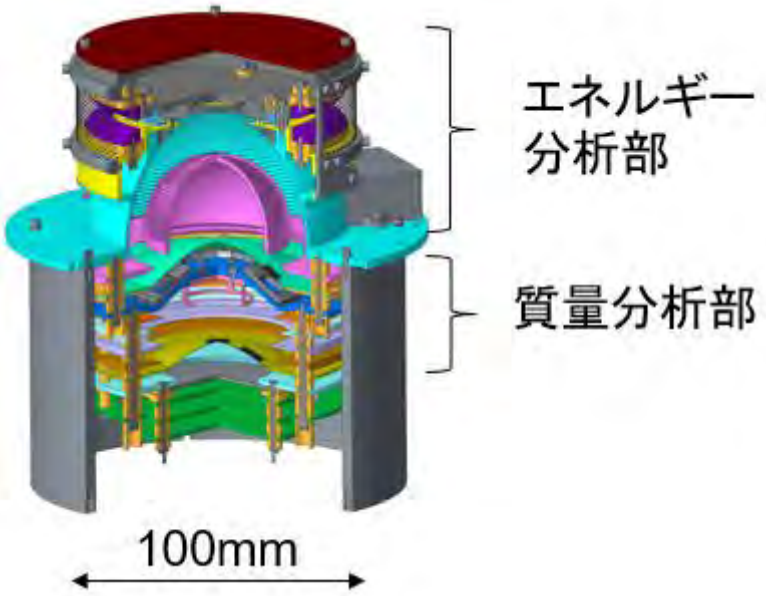


図2: 設計した観測器試験モデルの形状

宇宙線ミューオン強度と超高層大気変動の相関研究

Variability study between cosmic ray muon intensities and upper atmosphere

研究代表者:　　村木　　綏　　(名古屋大学名誉教授)

共同研究者 : 柴田祥一、大嶋晃敏、小井辰己(中部大)、長田和男 (名大環境学科)

2024 年度は第 25 太陽活動期が最盛期を迎え、太陽宇宙線加速過程に係る重要なイベントが乗鞍観測所や Bolivia の Chacaltaya 観測所で受信された。我々はそのイベント解析に集中したため、超高層大気変動の研究に割く時間がなかったことを始めにお断りしておく。代わりにどのようなイベントが日本やボリビアの高山で得られ、何が今までに分かったのかを報告する。

乗鞍観測所は、冬季観測所が閉鎖され発電機からの電力は得られないので、 独自に太陽光発電によって、電力を賄い装置を動かしている。そのため冬期に観測できる機器は限定される。2023 年 7 月に乗鞍観測所に中部大学のスタッフが乗鞍観測所に出かけ、断線していた太陽光発電パネルからの結線をつなぎ直した。また長期に亘る電力の未供給状態で使えなくなっていたバッテリーを除去し、新たに 3 台新規に購入し取り換えた。これらの努力の結果、中性子モニター12NM64 は冬季も data をとり続けた。そのため 2024 年 5 月 8 日、11 日、27 日と 10 月 24 日の巨大な太陽フレアに伴って発生した太陽中性子の信号受信に成功した。2025 年 3 月現在、詳細な解析を進めている。

2024 年 5 月 11 日のイベントは巨大な Forbush decrease の回復時に、中性子の信号が乗鞍で観測され、また少し遅れた時刻に、カナダの Calgary に設置されている中性子モニターにも信号増加が観測された。カナダ現地は 18 時なので、太陽中性子が入射しこの増加を作ったのではなく。太陽中性子崩壊陽子が崩壊して入射し陽子が作ったものであろう。これは観測史上 6 例目の太陽中性子崩壊陽子イベントといえる。

また 2024 年 5 月 27 日には、Bolivia Chacaltaya 山 (5,250m)に設置されている名大太陽中性子観測装置に 11.5σ の増加が観測された。フレアの発生時刻は 0 7 時 UT であり、現地時刻は朝の 4 時なので、このイベントの増加は太陽中性子が作り出したものではなく、太陽中性子崩壊陽子によるものと考える。もしそうならこれは観測史上 6 例目の太陽中性子崩壊陽子の例である。また Lagragian point にいる SOHO 衛星の EPHIN 装置に太陽中性子崩壊陽子と電子が観測された。その時間は 07 時 UT である。太陽中性子崩壊電子の観測は観測史上 3 例目である。Chacaltaya のイベントは荷電陽子が日照側から入射し地磁気で曲げられ早朝の Chacaltaya 山に入射したことを鬼頭による軌道計算が示唆している。非常に重要なイベントである。まずは 2025 年 7 月に Geneva で開催される宇宙線会議で報告するよう現在準備中である。

（別紙様式04-2）

衛星シミュレータを利用したglobal storm-resolving modelの比較実験
Intercomparison of global storm-resolving models using the satellite simulators

佐藤正樹、東京大学・大気海洋研究所

研究目的

global storm-resolving modelの出力を「観測シミュレータ」(Joint Simulator for Satellite Sensors：東京大学・JAXA・NASAの共同開発）にかけて、GPM、EarthCARE衛星などのデータと比較することで数値モデルの精度向上を目指す。特にいまだ不確定要素の多い雲物理過程の精度向上が期待できる。

研究方法

EarthCARE衛星の打ち上げが2024年5月に実施された。本課題では、GPM、EarthCARE衛星の観測データを用いて、global storm-resolving modelの結果を観測シミュレータを通して観測結果と比較し、数値モデルの改良をすることを目標に、地上設置の雲レーダー等の観測を利用し、特に雲物理スキームの高度化により雲解像モデルの予測精度の向上を図る。EarthCARE衛星の観測データを念頭において、NICT雲レーダーCPRによる radar reflectivity およびDoppler速度を利用する。東京大学大気海洋研究所ではEarthCARE衛星による検証を念頭において、Joint Simulator for Satellite Sensorsの開発を継続しており、数値モデルの検証・改良に利用が可能である。global storm-resolving modelでは、雲降水過程について、大気中の水物質を雲水、雲氷、雨、雪、あられといったカテゴリーに分類した雲物理スキームを用いる。データ取得や取扱方法などの情報取得のための費用などが見込まれる。

研究結果

地上に設置した雲レーダーによって得られた「ドップラー速度」データを用いて、雲と降水の粒子を詳細に分析した。ドップラー速度は粒子の速度を測定する技術であり、これにより雲の中の粒子がどのくらいの速度で動いているかを知ることができる。このデータを利用して、雲氷/雪、霰/雹、雨、雲水/霧雨に分類し、この分類方法を用いて数値モデルと比較し、モデルが実際の観測とどれだけ一致するかを評価した。

本研究では、全球非静力学モデルNICAMによる数値計算結果に「観測シミュレーター」を適用し、雲レーダーの観測に相当するデータを得た。2つの雲微物理スキームNSW6とNDW6を利用して数値シミュレーション結果を評価した。これらのスキームは、それぞれ異なる仮定に基づいて雲の微物理過程をシミュレートしている。図に示すように、ドップラー速度の各高度の頻度分布から、雲の分類を試みた。シミュレーション結果では、氷と水粒子によるドップラー速度の差が高度5km付近で明確に現れた。また、氷粒子は落下速度が速い霰と遅い雪に相当する粒子に分類できる。さらに、ドップラー速度が上向きの粒子は上昇流域に対応していると考えられる。

NSW6スキームの場合、観測に比べてドップラー速度の範囲が狭く表現されているのに対し、NDW6スキームは雪の終末速度を過大評価していることが判明した。具体的には、NDW6スキームは観測データと比較して、雪の粒子がより速く降下する傾向を示していた。この結果、実際には雪であるにもかかわらず、モデル上では霰や雹と誤認される場合があった。この問題は、特に強い対流が発生している地域で顕著である。

本研究では、EarthCARE衛星で想定されるシグナルノイズ等の条件を使用してNSW6とNDW6によるシミュレーション結果の解析を実施した。人工衛星の速度が非常に速いため、ドップラー速度にエラーが生じる可能性があるが、そのエラーが上記の方法にどの程度の誤差を与えるかについても検討した。

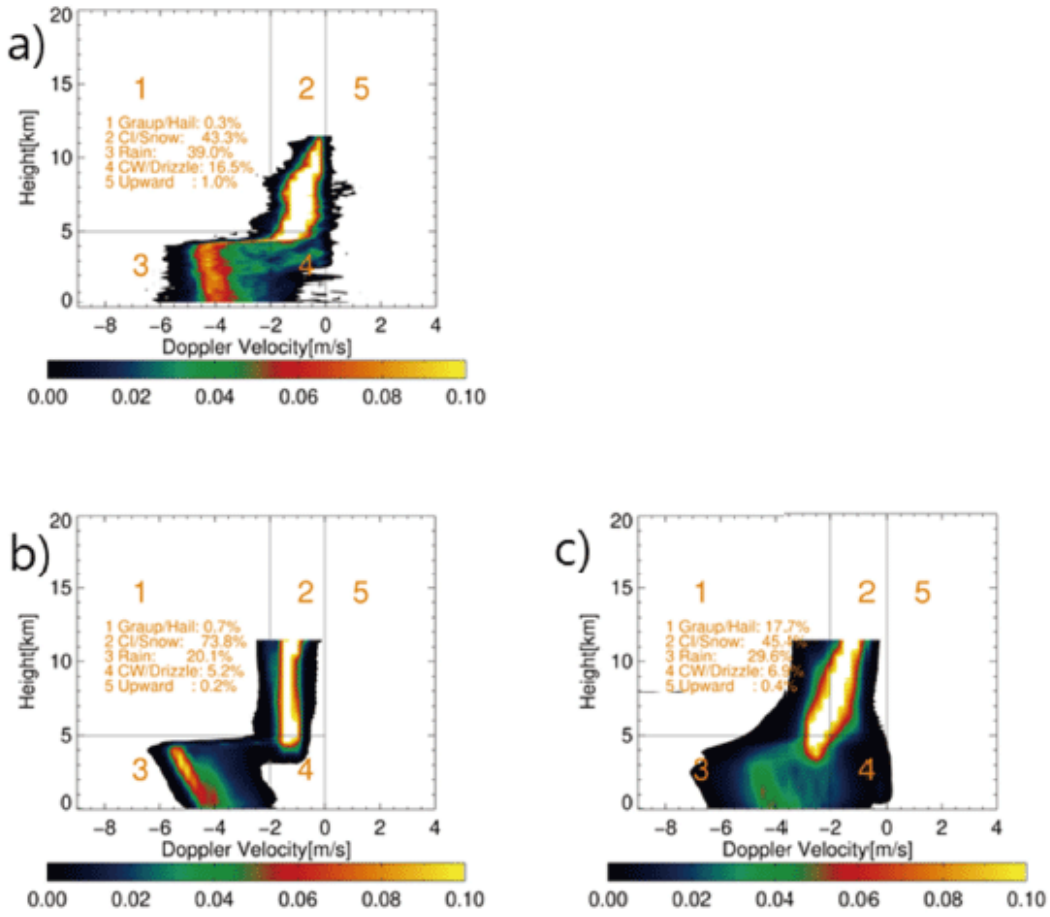


図 : 地上レーダー観測(a)と数値モデル NSW6(b)、NDW6(c)によるドップラー速度分布の比較。各図は、ドップラー速度と高度の関係を示し、水物質の分類（霰/雹、雲氷/雪、雨、雲水/霧雨、上昇気流）を色分布で表示している。地上レーダー観測と比較すると、NSW6 と NDW6 のモデルには雪や雨粒子の降下速度に違いが見られ、特に NDW6 モデルでは霰/雹の割合が過大評価されていることが確認できる。

（別紙様式04-2）

IPS spectrum 解析の model fitting 法とData bank 法
Two IPS spectrum analysis methods: model fitting method and data bank method

小島正宜　　名古屋大学

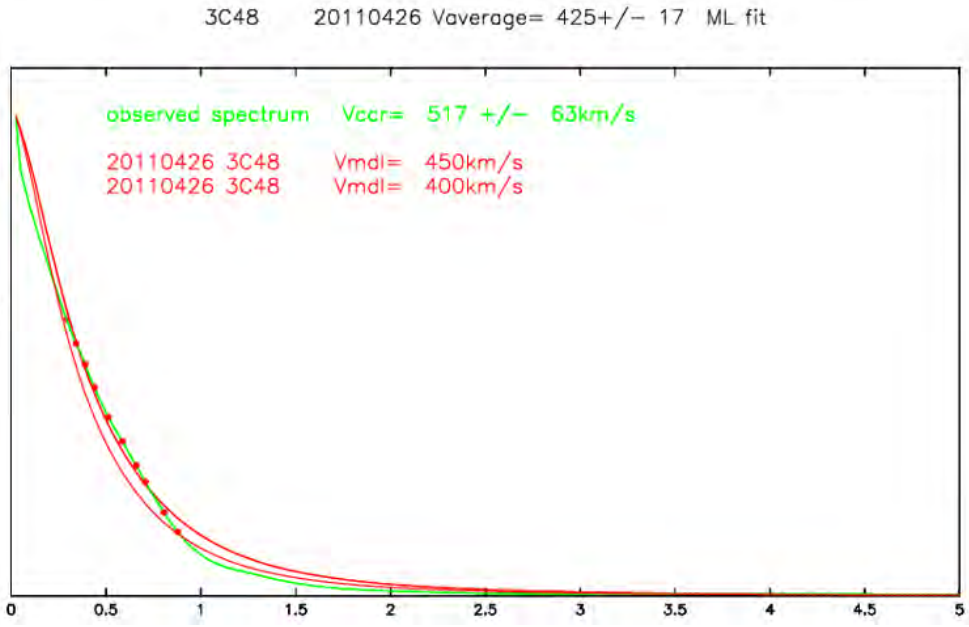
IPS観測に複数の remote antenna が利用できるときは、それらにより受信された IPS 信号の相互相関解析を行うことにより太陽風速度を求めることができる。この方法を用いれば太陽風プラズマのスペクトル形状にバイアスされない信頼度の高い速度値を得ることが出来る。しかし複数アンテナによる観測が不可能なときは単一アンテナで観測されたIPSスペクトルのみから太陽風速度を推測する必要がある。スペクトル解析では、太陽風による電波散乱モデルを作りスペクトル解析を行う。その場合モデルはpower law 型の太陽風擾乱を仮定して行う。しかし実際に観測されるスペクトルにはこのようなモデルで近似できない場合が多々ある。

ISEEにはSTE研時代からのIPS 3点観測のデータが多くある。このデータは相互相関解析により得られた速度値と各アンテナで観測されたスペクトルデータをセットとして構成されている。そこで2011 年から2019年までに観測された 3C48, 3C147, 3C161, 3C273, 3C298 の５IPS電波源の観測データから速度値とスペクトル形状をセットとするData bank を作った。

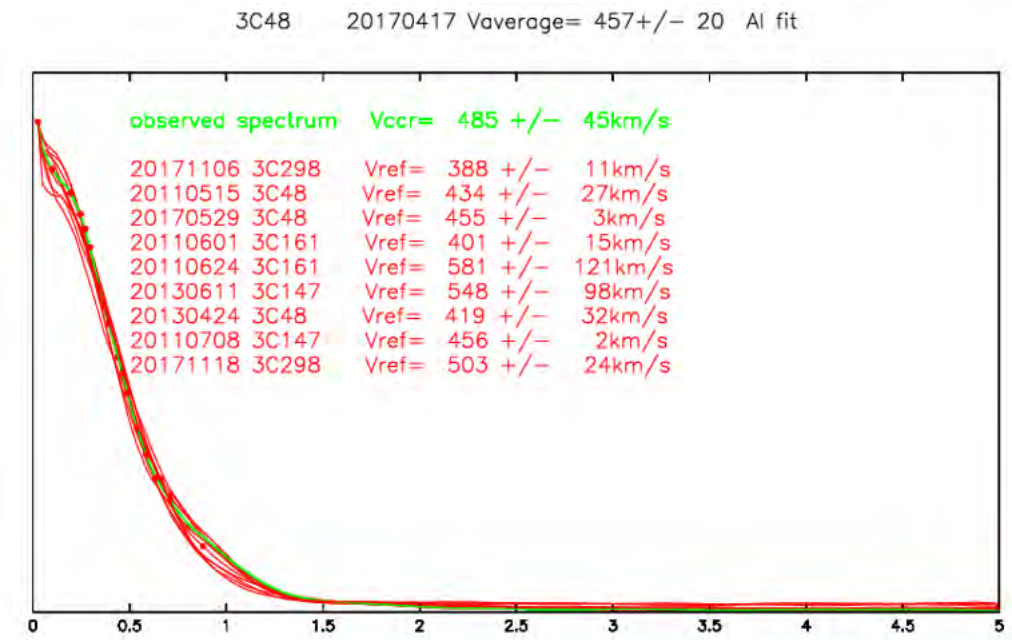
そして次に、個々の観測スペクトルをdata bank の全てのスペクトルと比較し、良い一致の見られるものを探し、そのdata bankの速度値を観測された太陽風の速度とする。許容範囲内で複数のデータから良い一致が得られるのでそれらを平均した値を求める速度値とする。

IPS スペクトルは電波源構造（大きさや異方性）の影響を受けるので電波源毎にスペクトル形状が異なる可能性がある。そこで Data bank 法の解析では先ず電波源構造の依存度を調べた。例えば3C48のIPS解析には 3C48のみからなるData bank を用い解析を行った。次に上記の５電波源のData bankを一体にしたものをData bank として解析を行った。この両者の結果を比較した結果、一体化した Data bank を用いても大差ないことを確認した。

最終的にはmodel fitting 法とData bank 法の両者を用いる Hybrid 法を開発した。観測されたスペクトルをmodel で良い近似が得られる場合はmodel fitting 法による速度値を採用し、近似に難がある場合にはData bank 法をもちる。このHybrid 法の方が、model fitting 法、Data bank 法を個々に独立に用いた場合よりも良い結果が得られた・



2011年4月26日の3C48の解析。これは model fitting で上手くスペクトル形状が近似できている例。このIPSは、相関法では 517±63 km/sの速度が、model fitting では 425±17 km/sが得られた。



2017年4月17日の3C48の解析。観測されたスペクトル（緑線）は0.1-0.2Hzの低周波域で励起があり単純なpower law モデルで近似できない。しかし data bank 中には類似のスペクトルが多々あり、図ではそれらの９例を重ね表示している。このIPSは、相関法では 485±20 km/sの速度が得られており、data bank 法では 平均457±20 km/sのスペクトルが良い一致を示している。赤字はdata bank 中の良い一致を示したデータの IPS source 名と相関法で得られた速度値である。

（別紙様式04-2）

あらせ搭載MEP-i質量分析データからの窒素イオン抽出手法の開発
Development of a method for extracting nitrogen ions from ARASE/MEP-i mass spectrometry data

横田勝一郎、大阪大学・理学研究科

【研究目的】

本研究の本研究の目的は、あらせ衛星搭載の中間エネルギーイオン分析器（Medium-Energy particle Experiments-ion mass analyzser, MEP-i）(Yokota et al., 2017, EPS)の質量分析/飛行時間（TOF）モード観測データからN+を抽出する手法を確立し、地球上層大気の散逸ダイナミクスについて観測的研究から制約を加えることである。MEP-iの質量分解能から、TOFモード観測データではH+, He++, He+などの主要成分だけでなく、O+や分子イオンが分別できているが、N+はO+のTOF分布に取り込まれ、詳細な解析を必要とする。そこで実験室で取得した較正試験データと合わせてイオンと物質との相互作用を計算するソフトウェアStopping and Range of Ions in Matter（SRIM）を利用して、精度の高いN+とO+のTOF分布較正プロファイルを作成し、TOFモード観測データからフィッティングによるN+の分離を目指す。あらせ衛星の全期間の観測データについてN+, O+, 分子イオンを精度良く分別するスキームを構築し、地球起源の重イオン観測から地球の磁気活動前後の地球上層大気散逸を精査することを、最終的な目的とする。

O+だけの観測の場合、地球上層大気の散逸について得られる情報は散逸量の時間変化のみであった。N+や分子イオンの観測が加わると組成比の時間変化を見ることができ、これは散逸大気の起源領域（緯度、高度）の時間変化に対応する(Takada, ..., Yokota et al., 2021, JGR)。本研究成果から、散逸のダイナミクスについて理論モデルとの比較材料を追加することが期待できる。

【研究方法と結果】

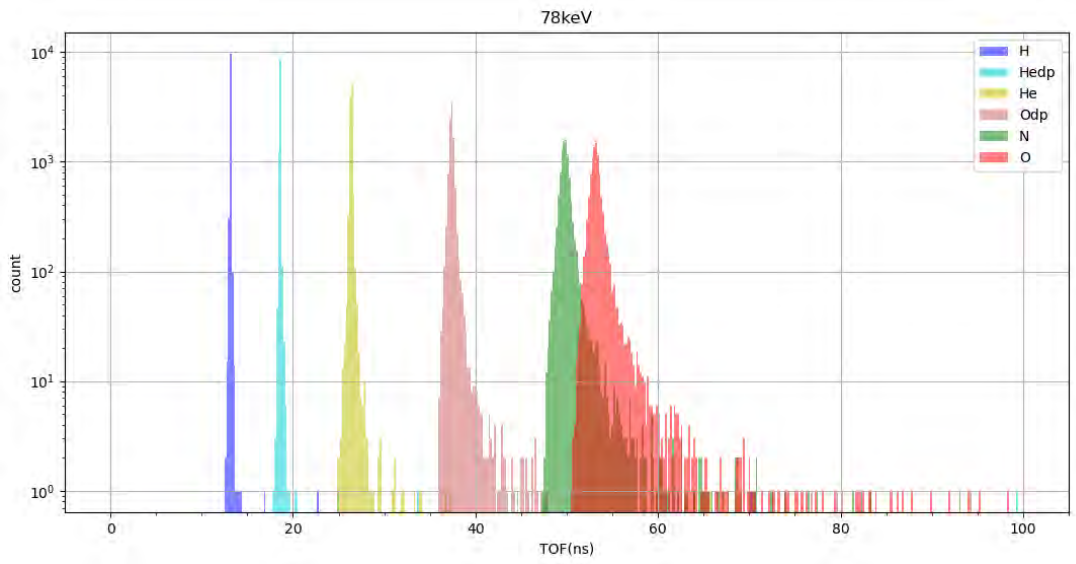


図1：78keVイオンの入射に対してMEPiで取得されるTOF分布（SRIM計算結果）

10-180keVイオンを観測対象とする「あらせ」搭載MEPiの飛行時間(TOF)取得モード下での観測データに対して、較正データであるTOFプロファイルを使ったフィッティングからイオン種の検出量を評価す

る。MEPiにて計測する飛行時間Tはイオン種の質量に対応する。一価の荷電粒子のエネルギーKに対して $T = L/\sqrt{2K/m}$ と一意に決まるが、実際には入射する荷電粒子がMEPi内にある超薄膜炭素を通過する際にエネルギー・角度分散を受ける。そのためTOF分布には広がり$\Delta T(K)$が生じる。$\Delta T(K)$の原因となるエネルギー・角度分散はSRIMの計算から取得することができる。加えて、MEPiは上半部のエネルギー分析器によるエネルギー分別において、エネルギー分解能ΔEに対応する分散も生じている。較正データとして既に得られているΔEを今回はskew normal関数$f(K)$で近似した。

図2は磁気嵐中の2017年9月7日にMEPiで得られたTOFデータのうち、78keVに相当するエネルギーステップのみ示している。観測データ（青点）に対して色付きのヒストグラムの較正データでフィッティングを行った。$\sum_K \Delta T(K)\cdot f(K)$としてTOF分布に幅を与えた。またTOF計測ではCFD回路を組んで高精度に努めているが、それでも1ns程度の不定性は生じるため、その効果も追加した $\sum_K \Delta T(K)\cdot f(K)\cdot f_{1n}$。$f(K)$はエネルギー分析器の特性上、エネルギーで規格化すると同一になる。一方でf_{1n}はイオン種に依らず、あくまで1nsというスケールで分布に幅を与える。

78keVに相当するエネルギーステップでのTOF分布に対して、SRIM計算に基づいた較正データはTOF分布に対して一致を得ることができた。N^+とO^+の分離も期待通り実現でき、存在比N/Oは20%程度と磁気嵐中の低下を示した。OH^+左側に不一致が見られるが、TOF計測が短い時間範囲においては線形性から外れることが原因と考えられる。

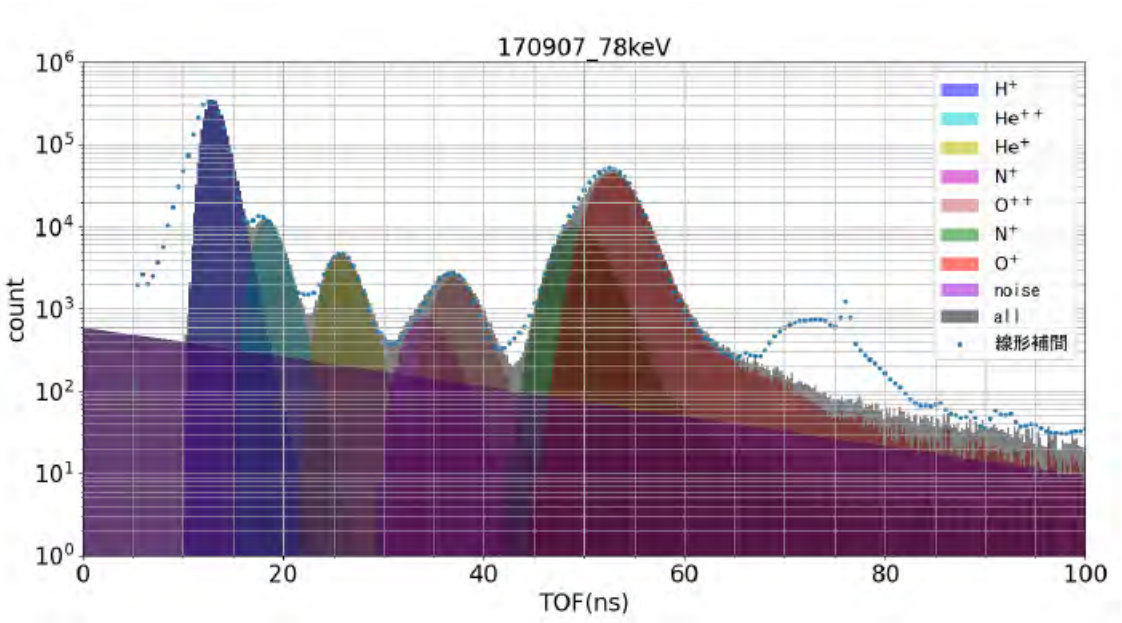


図2：2017年9月7日にMEPiで取得された78keVイオンTOF分布に対する較正データでのフィッティング

【まとめ】

本研究ではRIM計算に基づいた較正データからあらせ衛星搭載MEPiのTOFデータの評価を行い、N/Oの分離を行った。その結果、物理モデルに裏付けされた手法によって、MEPiのTOFデータからN/O比を得ることができた。同手法にて15ステップ全てに対して同様の評価はできている。今後は一つのイベントについて時系列でN/O分別を求めていく予定である。

（別紙様式04-2）

Arase衛星DC電場・低周波電場波動による衛星帯電および内部磁気圏の研究促進：その３

Enhancement of the Spacecraft Charging and Inner Magnetospheric Researches by Arase DC and low frequency E-field: #3

笠羽　康正、東北大学 惑星大気・プラズマ研究センター

１．研究目的

本研究は，磁気圏構造変動とプラズマ輸送の情報を握るDC電場・低周波電場波動の校正で明らかになってきた衛星帯電影響の検討、およびそれらの定量評価と物理的役割の解明を促進を目的として活動した。名大ERGサイエンスセンターメンバーとの協力により，Araseを軸とする内部磁気圏研究の重要な一翼を支える。また、本申請メンバーが並行して進めるBepiColombo Mio探査機搭載のPlasma Wave Investigation（PWI）による水星電場観測準備にも重要な基盤を提供する。

このご支援により2024～2027年度の基盤B「電磁波動による初の水星磁気圏探査：その基盤構築と初動観測活動」の採択を得ており、御礼申し上げたい。次年度からはこの経費による活動へ移行する。

２．研究方法・結果

(1) データパイプライン設定・更新および校正

サイエンスセンターのメンバーとともにLevel-2データの公開・メンテナンス作業を順調に進めた。データ校正は「センサー電気性能の反映」までとし、周辺plasma環境に依存した校正は含めない。以下のスキームは、2024年度から本格構築を開始した「BepiColombo PWIデータ方式」の原型となっている。

[PWE/EFD Wiki]　https://ergsc.isee.nagoya-u.ac.jp/mw/index.php/ErgSat/Pwe/Efd
[観測データ]　https://ergsc.isee.nagoya-u.ac.jp/data_info/erg.shtml.ja

- スピン周期データ
  - スピンフィット(～8sec分解能)の電場波形　(double probe, EFD E spin-fit)
  - スピン平均(～8sec分解能)の衛星ポテンシャル　(single probe, EFD pot)
- 波形データ
  - 256Hzおよび64Hz電場波形　(double probe, E 256HzおよびE 64Hz)
  - 8Hzポテンシャル波形　(single probe, pot 8Hz)
- 電場スペクトル：1-sec分解能　(1～>200Hz, EFD spec)
- SWPIA（ソフトウェア波動-粒子相互作用解析機能）に伴う短時間バーストデータ
  - 電場波形データ　(double probe, E 512Hz)
  - ポテンシャル波形データ　(single probe, pot 128Hz)

(2) 電場の評価

電場導出の基礎となるポテンシャル・電場波形のスピン依存変動は、衛星形状に依存する光電子放出量の変化（衛星potentialの変動）と、その放出方向が太陽方向に偏りを持つこと（衛星周辺空間のpotential変動）とが絡み合う。これらがspin時間内に変動することで起きることがわかってきたが、磁場方向等の影響も相まって単純には排除不能である。

衛星電位とスピン位相・磁場方向・プラズマ密度との関係を解析し、太陽方向に衛星から離れた光電子雲のモデル計算と比較を実施することで、スピンに伴うSine変動から外れる成分は衛星起因光電子の非等方分布および磁場方向を入れるとある程度説明が可能であることを見出した。とはいえ、電場の補正に至るにはまだ電子雲モデルのさらなる定量化を要することもみえている。

[関連成果]

中川朋子，堀智昭，笠羽康正，松田昇也，笠原禎也，三好由純，土屋史紀，熊本篤志，新堀淳樹，松岡彩子（2025）．人工衛星「あらせ」DC電場観測波形への光電子の影響．東北工業大学紀要 45，1-9

今野 翼、伊藤 穂尚。眞野 航平、あらせ衛星が観測した電場波形にツノ状ひずみが生じる条件、東北工業大学 工学部 情報通信工学科2024年度卒業研修論文、2025年3月.

[関連講演]

Nakagawa, T., T. Konno, H. Ito, K. Mano, T. Hori, Y. Kasaba, Y. Miyoshi, S. Matsuda, Y. Kasahara, I. Shinohara. Photoelectron extent estimated from spacecraft potential at electric-field waveform distortion, SGEPSS 2024 Fal meeting, 2024/11

中川朋子, 今野翼, 伊藤穂尚, 眞野航平, 堀智昭, 笠羽康正, 三好由純, 松田昇也, 笠原禎也, 篠原育, 電場計測プローブと衛星本体間の光電子のやり取りによる電場観測への影響, 惑星圏シンポジウム2025, 2025/3

(3) 衛星ポテンシャルの評価

衛星電位は、光電子流出量・二次電子放出量が衛星表面材および衛星形状・姿勢に依存すること、流入電流量が周辺電子温度に影響されることなどから、その電子密度の決定精度は低い。しかし、目視決定や仮定に依存せず 1-spin (8sec 程度)の分解能で観測量を取得できるため、ある程度の信頼性+連続性を持った電子密度の指標となる。2024 年度に UHR 周波数による電子密度決定情報が大幅に改良され、また 2024 年秋まで提供期間が延びたこともあり、この評価を急速に確立する必要がある。

PWI による衛星電位計測は、ワイヤアンテナ先端のプローブ電位で、バイアス電流を供しこれを周辺プラズマ電位に近づけることで成立する。とはいえ、BepiColombo 設計を流用した Arase 衛星のワイヤアンテナは長さ 15-m と短い。プラズマポーズ外での低密度・高温域では デバイ長 $\lambda_D[\mathrm{m}] = \left(\frac{\varepsilon_0 kT}{ne^2}\right)^2 \sim 7.4(T[\mathrm{eV}]/n[1/\mathrm{cc}])^2$ は 15-m を大きく越えることはありえる。この場合、両プローブは衛星電位の影響下となり、その電位は実プラズマ電位から外れうる。この状態は、計測電場が実際よりも小さくかつ大きなエラーを含むことを意味するので、(2)の評価に直接影響する。実際、あらせで計測されるプローブ計測による衛星電位は、低密度では他衛星よりも低電圧側にずれることがわかっており、また LEP 低エネルギーイオンのカットオフエネルギーから演繹される衛星電位より低密度域で低めにでることも示された。この評価は、BepiColombo 水星観測時の計測精度にも関わる喫緊課題である。低密度域における 10Hz 以下電磁波の E/B 比等の評価も含め、早々に補正方法に目処をつけたい。なお、このずれはデバイ長の評価を通して、電子温度の導出による熱的プラズマ分布評価につながる可能性もある。

[関連講演] Kawagata, K., Y. Kasaba, F. Tsuchiya, Y. Kazama, K. Tachi, Y. Katoh. Examination of electron density in the Earth's magnetosphere and ionosphere using the satellite potential observed by the Arase, Japan, JpGU 2024, 2024/5

(4) Arase衛星による電場計測を用いた成果創出のサポート

引き続き、プラズマ圏・磁気圏電場観測・密度評価、EMICなど低周波波動や電離圏電場対応に絡み、あらせ電場観測結果の量的基礎と信頼性評価を与えた。査読論文としては以下が出版され、また関連口頭講演を支えている。

・従来想定よりも高高度域における沿磁力線加速電場の評価： Imajo, S., Y. Miyoshi, Y. Kazama, K. Asamura, I. Shinohara, K. Shiokawa, Y. Kasahara, Y. Kasaba, A. Matsuoka, S.-Y. Wang, S. W. Y. Tam, T.-F. Chang, B.-J. Wang, C.-W. Jun, M. Teramoto, S. Kurita, F. Tsuchiya, A. Kumamoto, K. Saito, T. Hori (2024). Precipitation of auroral electrons accelerated at very high altitudes: Impact on the ionosphere and a possible acceleration mechanism, J. Geophys. Res. Space Phys. 129, e2024JA032696. https://doi.org/10.1029/2024JA032696

・オーロラ電子と磁気圏密度ダクトとの関連に絡むあらせ衛星・地上同時観測： Ito, Y., K. Hosokawa, Y. Ogawa, Y. Miyoshi, F. Tsuchiya, M. Fukizawa, Y. Kasaba, Y. Kazama, S. Oyama, K. Murase, S. Nakamura, Y. Kasahara, S. Matsuda, S. Kasahara, T. Hori, S. Yokota, K. Keika, A. Matsuoka, M. Teramoto, I. Shinohara (2024). On the factors controlling the relationship between type of pulsating aurora and energy of pulsating auroral electrons: Simultaneous observations by Arase satellite, ground-based all-sky imagers and EISCAT radar. J. Geophys. Res. Space Phys. 129, e2024JA032617. https://doi.org/10.1029/2024JA032617

（別紙様式04-2）

非線形プラズマ波動に伴う粒子加熱・加速の研究
Particle Heating and Acceleration Associated with Nonlinear Plasma Waves

天野孝伸、東京大学大学院・理学系研究科）

本研究では主に地球バウショック近傍または磁気シース領域で見られる高周波ホイッスラー波の励起機構やそれにともなう電子の散乱，さらに非熱的電子の加熱に着目して研究を行っている．2024年度は（１）MMS衛星観測を用いたバウショックにおけるホイッスラー波の統計解析，（２）理論的な波動励起機構の検討，（３）Particle-In-Cell（PIC）シミュレーションによる波動の再現，について研究を進めた．得られた成果はそれぞれに以下の通りである．

（１）MMS衛星で観測された91例の衝撃波イベントに対して，衝撃波遷移層内部において観測されるホイッスラー波動強度を周波数ごとに定量化し，そのパラメータ依存性を調べた．その結果，de Hoffmann-Teller系におけるAlfvenマッハ数とよい相関があることが分かった．この結果と統計的衝撃波ドリフト加速（Stochastic Shock Drift Acceleration; SSDA）の理論を総合すると，準垂直衝撃波において効率の良い非熱的電子加速が見られるという既存の統計解析の結果を説明することができる．この結果はPhysics of Plasmas誌から出版済みである．

（２）衝撃波上流および下流の電子速度分布関数からVlasov-Liouvilleマッピングによって衝撃波遷移層の速度分布関数をモデル化し，この分布に対して近似的な不安定性の線形解析を行った．Oka et al.（2017）で報告されたイベントについてこの手法を適用したところ，サイクロトロン共鳴によってホイッスラー波が不安定になることが分かった．また，この解析によって予測される波動の周波数は観測と整合的であることも分かった．

（３）地球バウショックの典型的なパラメータを用いて無衝突衝撃波の2次元のPICシミュレーションを実施した．その結果，背景磁場に平行伝播する高周波ホイッスラー波が再現された．また同じAlfvenマッハ数であってもより背景磁場が垂直に近い場合にはベキ型に加速された電子のエネルギースペクトルが見られた．加速された電子の起動を解析したところ，衝撃波遷移層においてピッチ角散乱が起こっていることが確認され，これにはホイッスラー波が寄与していることが示唆される．

査読付き論文

[1] Amano, T., Masuda, M., Oka, M., Kitamura, N., Le Contel, O., & Gershman, D. J. (2024). Statistical analysis of high-frequency whistler waves at Earth's bow shock: Further support for stochastic shock drift acceleration. Physics of Plasmas, 31(4), 042903. https://doi.org/10.1063/5.0196502

学会発表

[1] Wang, R., Amano, T., Linear theory of oblique whistler wave generation at collisionless shocks, 日本地球惑星科学連合2024年大会，幕張，2024年5月

[2] Wang, R., Amano, T. Investigating wave generation mechanisms driven by shock-reflected electrons at quasi-perpendicular shocks, 第156回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会，立川，2024年11月

[3] 天野孝伸，統計的衝撃波ドリフト加速による非熱的電子の加速，高エネルギー宇宙物理学研究会，仙台，2024年10月

（別紙様式04-2）

宇宙線観測データの解析による宇宙天気研究
Space weather study with cosmic ray data analyses

宗像一起　信州大学・理学部

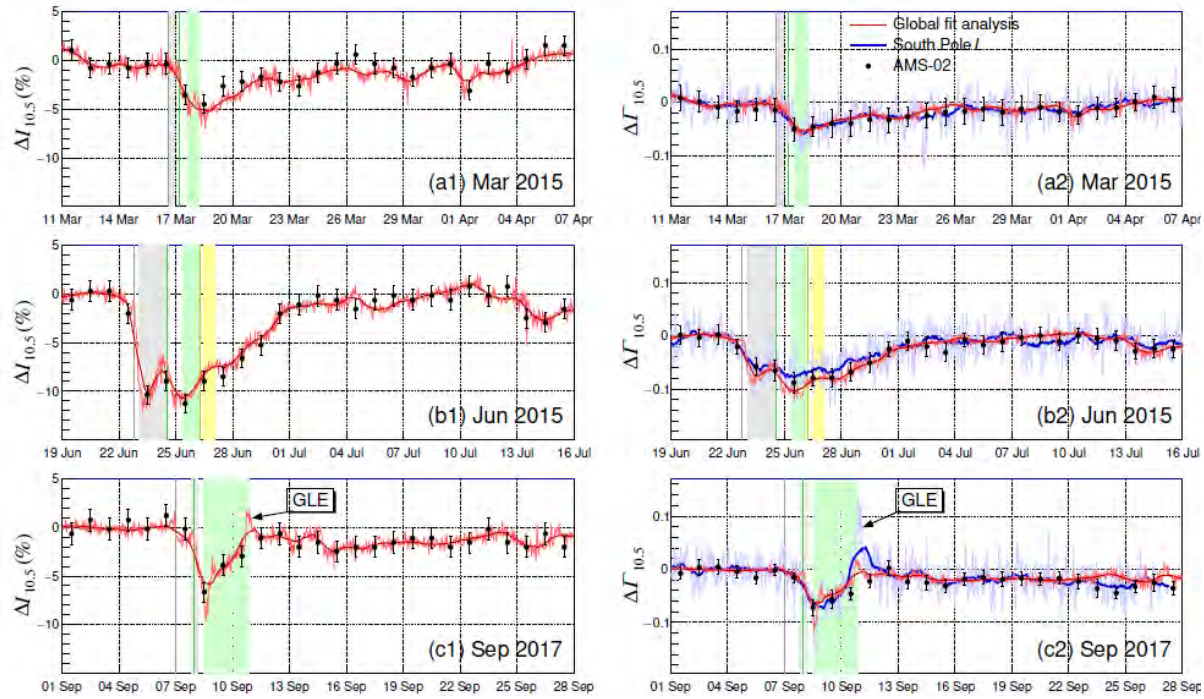
中性子計と地表ミューオン計のグローバル・ネットワークによる観測データを統合して解析し、大気圏外の宇宙空間における宇宙線強度変動とそのリジディティー依存性を導いた。

地磁気カットオフ・リジディティーや標高の異なる地点に設置された中性子計は、平均リジディティーが約10－35 GVの一次宇宙線を観測する。一方、地表ミューオン計は約50－100 GVの一次宇宙線を観測する。したがって、両者を統合して解析することにより宇宙線強度変動のリジディティー依存性をより広いリジディティー範囲にわたって調べることができる。

地上で観測される宇宙線強度変動は気圧変動の影響を受けるが、ミューオン計による観測データは気圧変動に加えて宇宙線計上空の気温変動の影響も被る。この気温効果の補正が困難であったため、ミューオン計による観測データは、中性子計データに比べて従来余り解析されていなかった。我々は、衛星観測による気温の鉛直分布（GDAS）を用いた気温効果の補正法を開発し（Mendonça+, 2016）、それにより上記の統合解析が初めて可能となった。Munakata+ (2022)は、Global Fitting Analysis (GFA)と呼ばれるこの解析手法を2021年11月のForbush Decrease (FD)に適用し、Magnetic Flux Ropeの中で大振幅の2次異方性が卓越してMunakata+ (2022)いることを導くとともに、そのリジディティー依存性を明らかにした。これがGFAによる世界初の解析結果である。

本共同研究ではGFAを2012年1月と7月に観測されたFDに適用した。これらのFDは、連続して発生した太陽面爆発の影響で数週間という長期間にわたって観測された特異なイベントである。ただし、すべての太陽面爆発の兆候が地球周辺の衛星観測データ（OMNI data）に見られるわけではない。特に7月のイベントでは同期間のOMNI dataに兆候が見られないにも関わらず、宇宙線のFDだけが観測されている。このことからこのイベントは”Phantom FD”と呼ばれ、太陽面爆発で地球から離れた空間に引き起こされた擾乱に起因すると考えられていた（Thomas+, 2015）。我々はGFAによる解析結果から、”Phantom FD”では宇宙線強度変動のリジディティー・スペクトラムが大きく変動していることを明らかにし、遠方の衝撃波面と地球を繋ぐ磁力線上の磁場揺らぎが変化することによるものであることを示唆した（Munakata+, 2024）。

大気圏外の宇宙空間における宇宙線強度変動とそのリジディティー依存性がGFAで正しく導かれていることを確かめるため、AMS-02による観測データと同じリジディティーでの比較を行った。その結果、FD中の強度変動の様子とそのリジディティー依存性が、ともにAMS-02による観測結果と極めて良い一致を示すことが判った。リジディティー依存性については、SOPO中性子計で観測されたLeader Fractionとも良い一致を示している（下図参照）。これらの結果は、地上観測の有効性を示す世界で初めての結果である（Mitthumsiri+, 2025, submitted to ApJL）。



Temporal variations of cosmic ray flux and spectral index (right) relative to a reference interval (first 3 days of each plot), based on two ground-based observing techniques, GFA (red) and South Pole L (blue) [hourly data: thin, light curves; 24-hour running averages: thick, dark curves] and, when available, space-based daily AMS-02 proton data (black). Each panel displays values for rigidity 10.5 GV during 27-day solar rotation periods including five FDs starting in (a) March 2015, (b) June 2015, (c) September 2017. FDs are associated with interplanetary shock arrival at Earth (vertical line) and/or passage of an ICME (shading of the same color). There is very good consistency between all measures of GCR flux and spectral variations. A GLE (solar energetic particle enhancements) in (c) September 2017 was observed by ground-based detectors but excluded from published AMS-02 data.

業績論文：

1. **K. Munakata** et al., “Global analysis of the extended cosmic-ray decreases observed with world-wide networks of neutron monitors and muon detectors; temporal variation of the rigidity spectrum and its implication”, *Astrophys. J.*, 974, 283, 2024 (October 20) (doi: 10.3847/1538-4357/ad7466).
2. Kittiya, **K. Munakata** et al., “Cosmic-Ray Flux Correlation between MCMU and JBGO Neutron Monitors”, *Astrophys. J.*, 975, 274, 2024 (November 10) (doi: 10.3847/1538-4357/ad8577).
3. M. Kozai, **K. Munakata** et al., Y “Cosmic ray north-south anisotropy: rigidity spectrum and solar cycle variations observed by ground-based muon detectors”, *Astrophys. J.*, 977, 160, 2024 (December 20) (doi: 10.3847/1538-4357/ad8577).

学会発表等：

1. **K. Munakata**, “Extended cosmic-ray decreases observed with global networks of neutron monitors and muon detectors in 2012”, COSPAR 2024 (Busan), D1.7, oral, July 20, 2024.
2. **K. Munakata** et al., “Global analysis of the cosmic-ray rigidity spectrum during extended Forbush decreases and its implication”, SGEPSS 2024 (NIPR), R007-02, oral, November 25, 2024.
3. **K. Munakata** et al., “Global analysis of the cosmic-ray rigidity spectrum during extended Forbush decreases and its implication”, 15th Symposium on Polar Science (NIPR), OSo9, oral, December 4, 2024.
4. **K. Munakata** et al., “Rigidity dependence of galactic cosmic ray modulation observed with the ground-based and space-borne detectors, JSPS spring (online), 19aW2-4, oral, March 19, 2025.

（別紙様式04-2）

高感度・高速オーロラ撮像データ解析によるフリッカリングオーロラの特性の統計解析
Statistical investigation of properties of flickering aurora observed by the high-sensitivity and high-temporal resolution auroral camera

栗田怜、京都大学・生存圏研究所

【研究目的】
本研究では、アラスカ・ポーカーフラットに設置されている、高感度かつ高速でオーロラを撮像可能なSCMOSカメラによって長期間取得されたデータを用いて、ディスクリートオーロラ中に見られる微細構造「フリッカリングオーロラ」の特性を統計的に明らかにすることを目指す。
フリッカリングオーロラは、ディスクリートオーロラ中においてパッチ状の構造が数Hz程度で明滅を繰り返す現象である。パッチの空間スケールは、発光高度で1-10 km程度であり、1 km以下の大きさの構造も報告されている。典型的な明滅の周波数は5-15 Hz程度と言われているが、20 Hz以上の高速輝度変調を示す事例も報告されている。これまでにおいて、フリッカリングオーロラの観測事例は非常に限られており、その統計的な様相、例えば、時空間発展の様子は明らかになっていない。
フリッカリングオーロラは、オーロラ電子加速領域近傍で励起された数-数十Hz帯の低周波のプラズマ波動の電界成分が、降下電子のエネルギーに時間的・空間的に変調を与えることにより発生していると考えられている。フリッカリングオーロラの時空間発展は、このプラズマ波動の周波数と波長を反映していると考えられており、時空間発展を明らかにすることにより、フリッカリングオーロラの励起メカニズムに制約を与えることができる。

【研究方法】
本研究では、名古屋大学ISEEのグループにより長期間運用されているSCMOSカメラのデータからフリッカリングオーロラの撮像に成功した事例を抽出し、その時空間発展の様子を画像データの解析から明らかにする。明滅周波数や空間構造のサイズがプラズマ波動の周波数と波長に対応するという仮定のもと、フリッカリングオーロラを生成するプラズマ波動に対し、観測結果から制約を与える。まず、画像データの各画素のおける、ある時間幅での時系列データに対して周波数分析を行い、発光輝度変動が同じ周波数成分をもつ空間領域をフリッカリングオーロラのパッチ一つとみなし、周波数と空間スケールのペアとする。この解析を、フリッカリングオーロラが観測されている時間帯の画像全体に対して適用する。空間スケールに関しては、フリッカリングオーロラを引き起こしている波動の波数と対応しているとみなして、周波数と空間スケールのペアから、分散関係を導出する。これにより、フリッカリングオーロラを引き起こしていると考えられる波動に対して成約を与える。

【研究結果と今後の方針】
フリッカリングオーロラがディスクリートオーロラ近傍に出現することから、SCMOSの視野内にディスクリートオーロラがみられる時間帯を調査し、その後、該当する時間帯にフリッカリングオーロラが観測されているかを調査した。その結果、2016年2月8日の観測において、ディスクリートオーロラが1時間程度にわたってSCMOSカメラの視野内に存在し、それに伴い、フリッカリングオーロラが長時間観測されているイベントを発見した。このイベントにおいて、ディスクリートオーロラは南北方向には狭く、東西方向にはSCMOSカメラの視野全域にわたりみられ、フリッカリングオーロラはこのディスクリートオーロラに沿って広く観測された。SCMOSカメラの視野は高度100kmにおいて200km四方であることから、このイベントにおいては、フリッカリングオーロラがディスクリートオーロラに沿って少なくとも200km程度の範囲に出現していたことになる。周波数分析の結果、2-10Hz程度の明滅周波数をもつフリッカリングオーロラがディスクリートオーロラに沿って広くみられ、低周波ほど空間スケールが大きいパッチサイズとなる傾向がみられた。ディスクリートオーロラの一部では、20Hz程度の明滅周波数をしめす部分も存在し、高周波成分は局在化している可能性を示唆している。また、オーロラアークを複数の領域に分割してその発光輝度のフーリエ変換を行い、周波数分析を行ったところ、5-10Hzの周波数で明滅するオーロラが、アークの様々な領域で同時に出現している様子が明らかになり、フリッカリングオーロラの原因となるプラズマ波動が、アークに沿って広く分布していることを示唆している。さらに、5-10Hz付近に輝度変動ピークをもつ場合に加えて、2-20Hzにわたる比較的広い周波数帯域で輝度変調を示す時間帯も確認された。これは、フリッカリングオーロラの中には、狭帯域の輝度変調を有し

ている場合と、広帯域の輝度変調を示すといった、周波数変調の複雑さを示唆する。輝度変調の周波数構造は、フリッカリングオーロラを励起させるプラズマ波動の周波数を反映していると、様々なモードが寄与していることが考えられる。

現在、2016年2月8日のイベントに加えて、sCMOSの視野内でオーロラアークが見られた複数日のデータ解析を進めている。その結果、フリッカリングオーロラが複数の日にちで観測されていることがわかってきており、統計的な解析が可能であると考えている。現状の解析から、オーロラアークの発光強度よりも、発光領域が移動して速度シアーが発生するのに伴いフリッカリングオーロラが発生する傾向が見えてきている。

今後は、2016年2月8日のイベントに対してオーロラの発光高度を仮定し、パッチの大きさを定量的に導出することを目指す。パッチサイズを導出した後には、周波数の情報とあわせて分散関係を導出し、フリッカリングオーロラに寄与しているプラズマ波動のモード推定を目指す。この事例解析に加えて、他のフリッカリングオーロライベントを同定し、同様の解析を展開していく。

【成果報告】

- 栗田怜、三好由純、Long-lived and wide-spread flickering aurora、脈動オーロラ研究集会、名古屋大学、2025年1月23日

（別紙様式04-2）

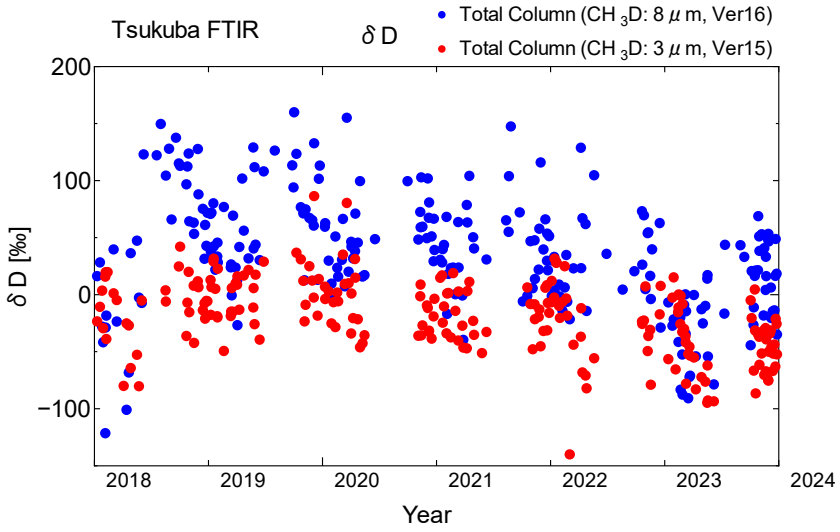
フーリエ変換型分光計を用いた地上分光観測によるメタン同位体導出手法の開発
Development of the retrieval of methane isotopes observed with Fourier transform spectrometer

村田　功、東北大学大学院環境科学研究科

東北大学と国立環境研究所では、つくばでの Network for the Detection of Atmospheric Composition Change (NDACC) 観測規約に基づくFTIR観測を1998年から行っている。これまでにHCl、O_3など多くの成分を解析してきたが、本研究ではメタン同位体の解析を行っている。同位体比は発生源や化学反応によって変化するため、大気中の同位体比を測定することでこれらの情報が得られる。ただし、一般的には同位体比を求めるには高精度な観測が必要である。赤外分光では絶対量の少ない同位体でも吸収強度の強い吸収線を用いれば解析は可能であるが、吸収線の強度などに数%程度の不確定性があることが多く、‰単位の微少な絶対値を精度よく求めることは難しい。本研究でも昨年度は$^{13}CH_4$の解析を試みたが、$^{13}CH_4$の大気中での変動幅は1‰以下のため赤外分光では相対変動を求めるのも難しいと判断した。しかし、現在解析している$^{12}CH_3D$の場合は相対的な変動が%オーダーであり、吸収線強度の不確定性は相対変動には影響しないため、解析誤差を%程度に抑えられれば相対的な変動から発生源等に関する議論は可能ではないかと考え、本年度は$^{12}CH_3D$の解析を進めた。

赤外スペクトルの解析には、NDACC/InfraRed Working Group (IRWG) で共通して用いられている、ロジャーズ法を用いたスペクトルフィッティングプログラムSFIT4 (v1.0.21) を使用している。メタンは3um帯および8um帯に多くの吸収線を持つため、$^{12}CH_3D$の解析では3um帯、8um帯それぞれで複数の吸収線を同時に解いている。当初は、過去の他の解析で用いられた波数領域などを参考にして解析を試行したが、いずれも吸収のピークが数%以下の吸収線しかなく、近くにある他の成分(干渉成分)の吸収線がうまくフィッティングできていないなどの影響もあって解析誤差が比較的大きく、3um帯、8um帯それぞれから導出した$^{12}CH_3D$を用いて別途解析している$^{12}CH_4$との比からδDを求めてみると、その経年変化の傾向が異なるといった問題があった。その後、HITRANデータベースから吸収線強度のなるべく大きな吸収線を選び出し、実際のつくばでの観測スペクトルで干渉成分の影響などをチェックしながら解析波数領域の変更やフィッティングパラメータの変更などを行い、3um帯と8um帯での経年変化の傾向はほぼ一致するようになった。ただし、結局のところ数%以上吸収のある吸収線で解析に使えるものはなく、個々のスペクトルからの$^{12}CH_3D$の導出精度の向上はこれ以上は難しそうである。

導出した$^{12}CH_3D$と$^{12}CH_4$それぞれの日平均値からδDを求めたものの時系列を図に示す。これを見ると近年の減少傾向が見えており、この傾向はサンプリングによる地上観測の結果と整合的である。ただし、個々のスペクトルからの$^{12}CH_3D$の導出精度からはこの経年変化が有意といえるかどうかは難しく、今後統計処理等を行って信頼性を調べる予定である。



図．3μm帯および8μm帯のCH_3Dの吸収線からそれぞれ導出したδDの経年変化

【成果発表】

村田　功、長浜　智生、森野　勇、中島　英彰、つくばFTIRで観測されたメタン同位体比の経年変化、日本地球惑星科学連合2024年大会, 幕張, 2024年5月.

Murata, I, T. Nagahama, I. Morino, H. Nakajima, Temporal variation of CH_3D observed with FTIR at Tsukuba, NDACC/IRWG-TCCON-COCCON Annual Meeting 2024, Boulder, U.S.A., July 8 - 12, 2024.

村田　功、長濱智生、森野　勇、中島　英彰、つくばFTIRで観測されたCH_3Dの経年変化、第7回地上赤外分光観測による大気組成変動検出に関する研究集会, 仙台, 2024/9/10-11.

村田 功、長濱智生、森野 勇、中島英彰、つくばFTIRで観測されたCH_3Dの経年変化、第29回大気化学討論会、神戸、2024年10月9-11日.

（別紙様式04-2）

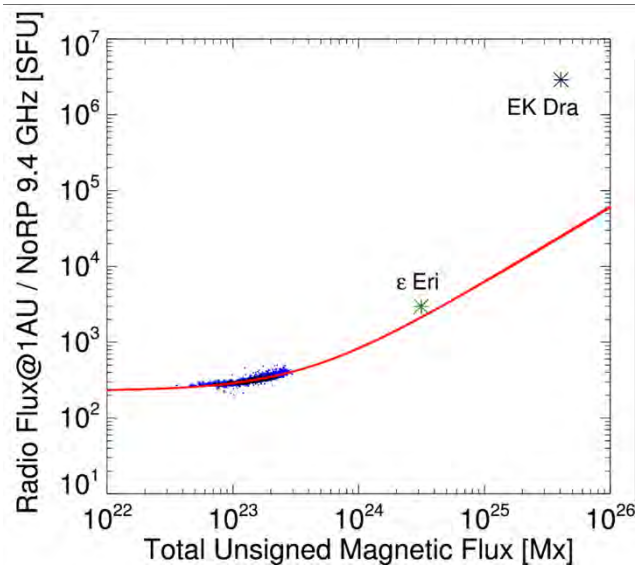
豊川・野辺山強度偏波計の観測データベースによる恒星磁気活動の研究
Study of stellar magnetic activity based on the databases of Toyokawa and Nobeyama Radio Polarimeters

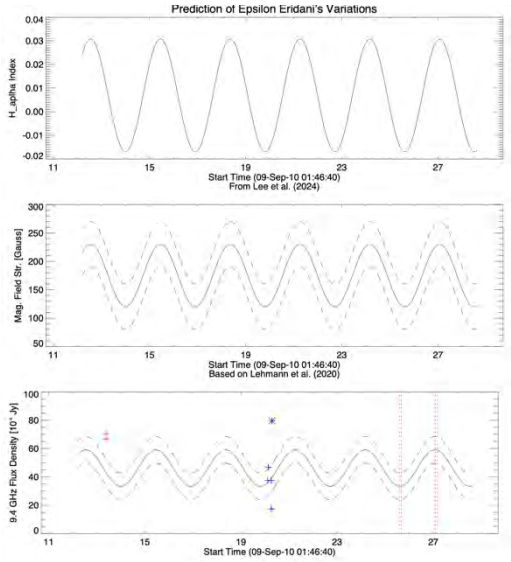
下条圭美、国立天文台・アルマプロジェクト

1951年に名古屋大学 豊川キャンパスで開始され、国立天文台 野辺山キャンパスで継続されている太陽マイクロ波強度・偏波観測は、2025年で74年目を迎えた。6太陽周期以上の強度・偏波データにより、太陽の長周期活動を捉え[1]、宇宙天気の極限状態を探る手掛かりにもなっている [2]。特に長期偏波データは唯一無二のデータである。一方JVLA・ALMAなどの大型電波干渉計により、恒星フレアで加速された非熱的電子からのマイクロ波だけでなく、静穏時の熱的プラズマからの恒星マイクロ波が検出されはじめている[3]。そのデータの解釈には、太陽マイクロ波観測で得られた知見を応用する必要がある。

本研究では、2023年に出版した、豊川・野辺山強度偏波計の長期観測データを整備・調査結果[4]を基に、長期間の太陽マイクロ波強度・偏波データと太陽全面の磁束・紫外線強度・X線強度など各種太陽指標との関係を明らかにした[5]。この関係を、マイクロ波帯での熱的放射が唯一検出・確認されている星 ε Eri[3]に応用したところ、図１のように太陽で明らかにした全磁束密度と電波強度の関係と同じ傾向を見ることができた。ただし、この図では星の活動周期が考慮されていないため、Hα線の強度で明らかになった活動周期[6]、Zeeman broadeningで平均磁場を長期に測定したデータ[7]と我々が明らかにした全磁束密度と電波強度の関係を使って推定される電波強度と、実際のJVLAによる観測を比べた（図２）。これによれば、フレア時以外は推定が正しそうであることがわかった。さらに推定の確度を上げるため、 ε Eriの次の極小期・極大期をJVLAでの観測を提案し、極小期である2025年8月に観測時間を得ることに成功した[8]。

今後は、JVLAで得られたデータを基に推定精度を上げるとともに、ε Eri以外の星でマイクロ波帯での熱的放射のサーベイを行い、恒星のタイプによる太陽から導き出される関係からのズレを調べ、恒星大気・磁気活動の理解に繋げていきたいと考えている。





左：図１ 9.4GHzの電波強度と全磁束量の関係。青が太陽データ、赤線が太陽データからの推定。緑のアスタリスクが ε Eri（熱的電波放射）、青のアスタリスクがEK Dra(非熱的電波放射)

右：図２ 上段 Hα線の強度で明らかになった活動周期、中段 Zeeman broadeningの測定と上段の活動周期から推定した平均磁場の長期変動、下段 中段のデータを基に推定した ε Eriの電波放射強度。＋はJVLAによる観測。＊はフレア時の観測。ピンクの波線は次回の極小・極大期を示す。

Reference [1] Shimojo etal. (2017) ApJ 848, 62 [2] Cliver et al. (2020) ApJ 903, 41 [3] Suresh et al. (2020) ApJ 904, 138 [4] Shimojo and Iwai (2023) GDJ 10, 114 [5] Shimojo et al. (2024) ApJ 965, 170 [6] Lee et al. (2024) PASJ 76 ,27 [7] Lehmann et al. (2015) A.N. 336, 258 [8] https://library.nrao.edu/proposals/catalog/21814

（別紙様式４－２）

外洋域における海上波しぶき光学粒子計を用いた渦相関法による海塩粒子放出量の直接評価

Direct evaluation of sea salt particle flux by eddy covariance using sea-spray spectrometer probe over the open ocean

近藤文義　海上保安大学校・基礎教育講座

はじめに

海塩粒子は海面から大気中へ放出され浮遊し、放射や雲物理、物質循環など様々な分野において重要な物質である。しかしながら、海塩粒子の海面からの生成率を現場で直接測定された例はあまりなく、その見積りには未だオーダーレベルのばらつきがある。さらに除去過程も複雑であるために、大気中の濃度を精度よく推定することも出来ていない現状がある。

所内担当教員の相木教授は、台風のような強風・高波発生時におけるエアロゾルの粒径分布と、それらと海面波砕や白波との関係を計測できるような海上波しぶき光学粒子計（波しぶき計）を試作して、海洋観測塔や湾内に係留したブイに試作機を設置し、海上でエアロゾルの濃度変動の実観測試験を行ってきた。その結果、台風通過に伴う海塩粒子の劇的な増加を観測することに成功している。

本申請では、これまで試験観測を行ってきた沿岸域から外洋域での実観測へと展開するため南極観測船「しらせ」に乗船、航行する船舶上において洋上大気乱流による濃度変動を10Hzの時間分解能で計測、渦相関法により海面から放出される海塩粒子の放出量を直接評価することを目的とした第66次南極地域観測航海における観測結果を報告する。

研究方法

本研究では、貴所の共同利用機器である波しぶき計を用いて観測を実施した。設置した観測システムは波しぶき計の他に、超音波風速温度計、オープンパス型CO_2/H_2Oガス分析計、船体動揺計測装置からなる（図１）。これらから大気乱流により生じる３次元風速、音仮温度、粒子数密度、CO_2とH_2O密度の変動に加えて、３次元加速度と角速度を10Hzの時間分解能で計測した。粒子数密度は、0.3、0.5、0.8、1.0、3.0、5.0、10、15μmの８粒径別で毎時55～35分の40分間、他は常時連続計測した。また観測システムは２セット、第１甲板の左舷と右舷にそれぞれハンドレールを利用して設置した。波しぶき計の大気試料の吸引口として漏斗を用い、長さ18cm・内径5mmのユニチューブを波しぶき計本体上部から折れ曲がらないように波しぶき計の試料取込口まで伸ばし、本体内蔵のポンプにより大気試料を吸引した。吸引量は2.83L/minである。



図１　しらせの第１甲板船首側に設置した乱流フラックス観測システム

研究結果

図２は第66次南極地域観測のレグ１航海期間中における、波しぶき計によって計測された1~3μmの粒径区分における粒子数密度の30分平均の観測結果を示す。12月9日の豪州フリーマントル出港後から12月28日の昭和基地着岸まで、南極観測船「しらせ」が南下するにつれて粒子数密度が減少、一方で2月9日の昭和基地離岸から2月21日のフリーマントル沖までの北上中は粒子数が増加する傾向がみられた。この南下による減少と北上による増加の傾向は、しらせが陸域から遠ざかって、徐々に清浄となっていく空気試料中の粒子数密度を計測したことによるものであると考えられる。また、昭和基地着岸から離岸までの期間は降雪による粒子数密度の増加がみられるものの、昭和基地滞在中の粒子数密度は概ね一定であった。左舷と右舷に設置した波しぶき計は３ヵ月の長期にわたって連続稼働したが、両舷での粒子数密度の計測数は絶対値と変動値ともに同様の傾向であることから、図に示す1~3μmの粒径を含め全粒径区分において波しぶき計の計測感度は変わらなかったと考えられる。

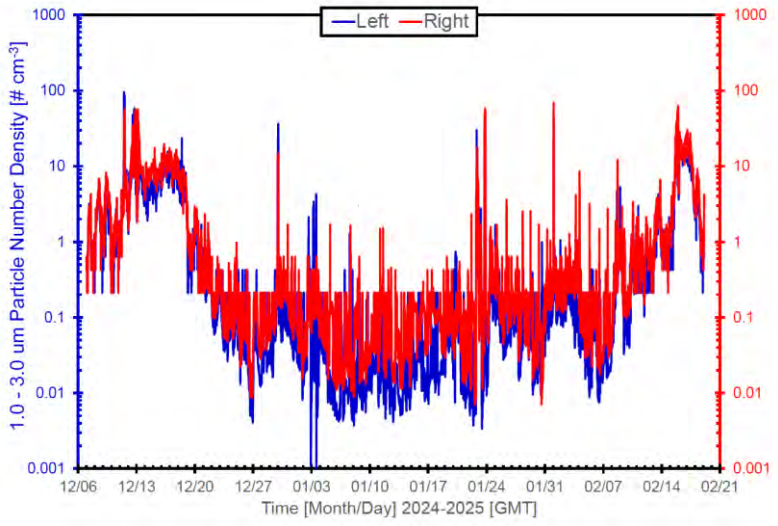


図２　左舷（青）と右舷（赤）に設置した波しぶき計による1~3μmの粒径区分における粒子数密度の計測数の時系列変動

まとめ

本研究は、宇宙地球環境研究所の共同利用機器「海上波しぶき光学粒子計」を利用し、航行する船舶を利用して外洋域における海塩粒子の放出量を渦相関法により直接評価するための観測を南極観測船「しらせ」の船上で実施した。第66次南極地域観測のレグ１航海期間中は、南緯40度から60度にかけて暴風圏と呼ばれる海域を航行したが、往路と復路ともに海面から海塩粒子が生成されるような波しぶきがみられる荒天にまでは至らなかった。続くレグ２では、往路の暴風圏と、強く冷たい滑降風であるカタバティック風が吹き抜けるトッテン氷河沖において、荒天により海塩粒子が海面から生成されるような波しぶきが頻繁にみられるとの報告を受けている。レグ１では、運動量と熱の海面フラックスは渦相関法により直接評価できていることが確認しており、しらせが日本を帰国する次年度において観測データを回収した後に解析に着手し、渦相関法による海塩粒子も含めた海面フラックスの直接観測結果を報告する予定である。

成果発表

・Fumiyoshi KONDO, Toshio FUJITA, Hidenori AIKI: Direct Measurements of Sea–Spray Particle Fluxes using High Temporal Resolution Optical Particle Counter over the Coastal Ocean, Coastal Engineering Journal, Vol. 66(3), pp. 467–478, https://doi.org/10.1080/21664250.2024.2359160, 2024

（別紙様式04-2）

高校生とともに行う都市大気中CO_2濃度の継続測定方法の開発

Development of a Method Performed with High School Students to Measure Changes in the Urban CO_2 Concentration

河野 光彦、関西学院大学・理学部

【序】

地球温暖化の主要な原因である二酸化炭素（CO_2）の排出源を特定し，その排出量と空間的な広がりを正確に把握することは，CO_2の動態解析や高精度な気候シミュレーションを行う上で極めて重要である。しかし従来の観測手法では，コストや可搬性の問題で詳細な空間分布や時間変動を捉えることが困難であった。本研究では，これらの課題を克服するため，小型で可搬性に優れたCO_2カラム混合比観測装置を開発している。

今年度は，日中のCO_2傾斜カラム平均混合比（簡単にするため以後はCO_2濃度と呼ぶことにする）について，大阪府箕面市（関西学院千里国際キャンパス：SOIS）における継続観測と，大阪国際空港（伊丹空港：ITM）周辺の４か所における３回の同様の観測を実施した。さらに南半球（豪州首都キャンベラ：ANU）における２日間の短期観測も行った。本報告では，これらの観測結果を通じて，この観測手法の有効性を検証した。さらに，航空機の影響、都市部の生活環境、地形、気象条件などがCO_2濃度の時間変動や季節変動に与える影響について考察を試みた。

【方法】

詳しい観測方法については昨年度の報告書にあるので，ここではITM周辺での観測方法について述べる。ITMの滑走路は南東から北西に伸びている。観測地点は４地点であり，滑走路の南西（SW）と北東（NE）に位置する滑走路から約1km離れた２地点，および着陸方向の滑走路端から約0.5kmの南東（SE）地点と，離陸方向の滑走路端から約0.5kmの北西（NW）地点である。

観測は，秋季（9月7,16,23,28日），冬季（12月1,7,15,22日）、春季（3月19,20,21,22日）の各季節において１地点ずつ実施した。各日の観測は，日中の６時間以上（午前９時頃～午後４時頃）にわたってデータを取得した。また，気温・気圧などの気象データも同時に取得した。

すべての期間において，SOISでも同様の観測を継続的に行いその観測データとの比較により，ITM周辺におけるCO_2濃度の特徴を分析した。一方，ANUでの観測については，可搬性である特徴を生かして Australian National University に装置を持ち込み，Research School of Physics の建物屋上で8月6～7日（現地の冬季）に実施した。

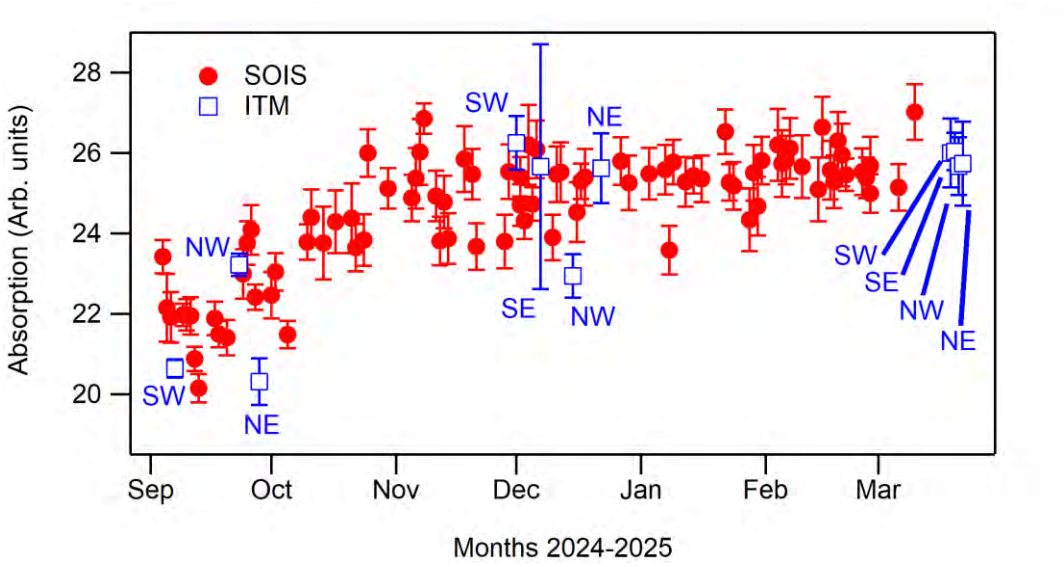


図 １．ITM 周辺および SOIS における CO_2 濃度（任意単位）

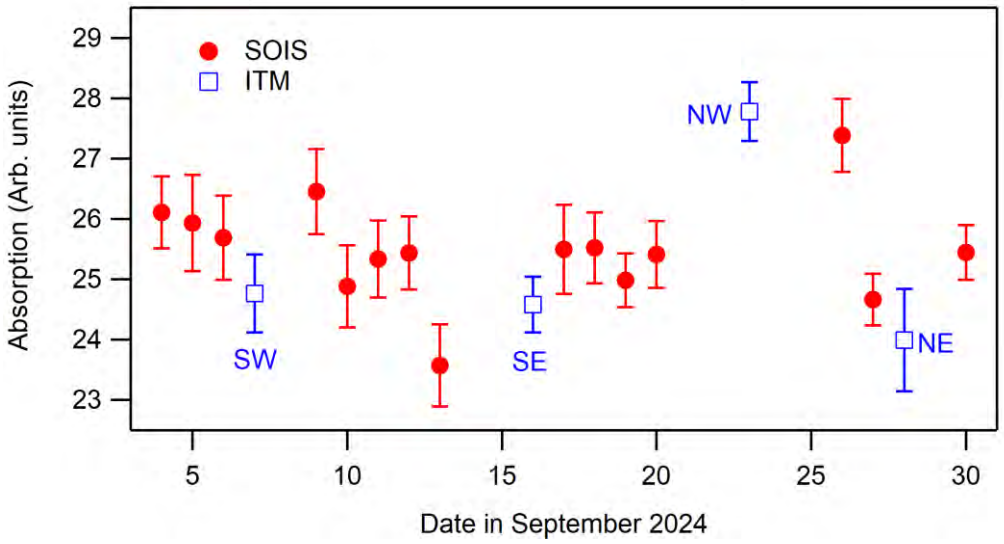


図 2．9月の ITM 周辺および SOIS における CO_2 濃度（任意単位）

【結果】

冬季におけるANUのCO_2濃度は同時期（夏季）のSOISのそれに比べて10%程度低いことがわかった。季節の違いにより，年平均のCO_2濃度はANUのほうが明確に低くなっていると予想できる。また，相対的な計測値については問題なく分析できたことにより，この観測手法の有効性と信頼性を検証できたと結論付けられる。

ANU以外での観測データを図１に示す。太陽高度が31.0～31.5°である時の平均値を示し，エラーバーは変動している値の標準偏差を表す。白抜き四角（□）がITM 周辺の観測データで，赤丸（●）がSOISのそれとなっている。白抜き四角に添えられているSW，SE，NW，NEは，ITM滑走路からみた観測地点の方位を表している。

図２は９月における観測データで，太陽高度が51.9～52.6°である時の平均値を示している。秋季において，SOISで観測したCO_2濃度よりもITMでの観測値のほうがNWの値を除いて低いことがわかる。その一方で，飛行機が離陸する方向はNWであり，その事実を考えると飛行機からのCO_2排出が原因でNWの値が高くなっているとも考えられる。別の見方として，飛行機からのCO_2排出とは関係なく，９月23日前後がなんらか他の原因でITMおよびSOISでともにCO_2濃度が高くなってしまっていた時期であったのかもしれない。

ところが，冬季と春季での観測では，上記の観測のような顕著な濃度の傾向はみられなかった。冬季のNWでは，むしろSOISでのCO_2濃度のほうがITMのそれより高いぐらいであったし，春季のITM周辺の観測地点によるCO_2濃度の違いもあまりみられなかった。冬季から春季にかけての観測結果は全体的にCO_2濃度が高いのは，光合成の寄与が小さくなったことによると考えられる。

【考察と展望】

ANU周辺は，湖と山など自然環境に恵まれており，工場や住宅もなくCO_2排出源が幹線道路を通る車両の排気ガスなどに限られている。さらに，植物園や森林が近くにあり日射量も多いので，冬季であっても光合成が活発であると考えられる。そのため，年平均のCO_2濃度はANUのほうが明確に低いことが推論できる。しかし，それを検証するためには，年間を通じた観測は必要になるだろう。

SOIS周辺では光合成によるCO_2吸収がもともと秋季においても少なかったことにより，その影響がほとんど出なかったのではないかと考えられる。ITM周辺はSOIS周辺に比べ比較的自然が残されている一方で，SOIS周辺は住宅開発によって比較的住宅が密集している。そのうえ，ITM周辺は平地が広いのに対して，SOIS周辺は山が接近していることも影響しているのかもしれない。ITM周辺の秋季では比較的光合成が活発であり，CO_2吸収されることによって全体のCO_2濃度が抑えられていると考えられる。それによって，飛行機からのCO_2排出が顕著に見えたのではないかと推論できる。これに対し冬季から春季にかけては，光合成によるCO_2吸収が弱まったことによる，全体的なCO_2濃度の押し上げがあったと考えられる。このことによって，飛行機からのCO_2排出が見えにくくなったと考察できる。

本研究の最終年度となる2025年度は，上記の推論を検証するための詳細な観測が必要となる。特に，１年を通した継続観測を完了させて，光合成の活発さと航空機の影響について明確にさせる予定である。

（別紙様式04 - 2）

大起伏山地における大規模斜面崩壊の発達過程解明に向けた高精度年代測定
High precision ^{14}C dating for reconstructing large-scale rockslides in high relief mountains

研究代表者　苅谷愛彦　専修大学・文学部

(1) 研究目的・研究方法（使用した共同利用装置・施設等を含む）

日本各地の大起伏山地には、地質時代・歴史時代に発生した大規模斜面崩壊（以下、崩壊）の痕跡が存在する。それらの崩壊がどのような発達過程を経てきたのか、編年を含めて、その全容は十分に解明されていない。大起伏山地における低頻度・突発的・大規模な土砂移動現象の復元は第四紀地形学・地質学のみならず、山地土砂災害の減・防災に関連して砂防学にも、また強震動や極端気象に関連して古地震学や古気候学にも資する重要な課題である。2023 年度から開始した本研究の主目的は、大起伏山地における崩壊発達史の精密な復元と、それに必要な高精度年代資料の獲得である。2023 年度は AD1707 宝永地震に関連深いとされる安倍川源流の大谷崩（静岡県）を対象として ^{14}C 年代測定用試料の採取と年代測定を行い、この著名な大規模崩壊が通説とは異なり複数回の地形変化で生じたことや、発生年代が必ずしも AD1707 に収れんしないことを示す重要な知見を得た（苅谷ほか 2023）。

2024 年度は大谷崩での試料探索を続ける一方、赤石山脈南半の静岡県北部～長野県南部地域の大規模崩壊地でも試料採取を行い、崩壊と誘因の関係を探ることをめざした。特に、この地域で記録の残る歴史地震（例：AD715 遠江地震）や歴史豪雨との関連性について探求することとした。

本研究では、試料調整室で物理的・化学的前処理を行い、グラファイト・ターゲットを準備した。そして加速器質量分析装置を用いて、^{14}C 年代測定を実施する計画とした。

(2) 研究結果・考察・まとめ

2024 年 3 月、安倍川源流地域において、安倍川本流の河床上昇を原因として支流タチ沢に形成された堰き止め湖沼堆積物（苅谷ほか 2023）の地質調査と試料採取を行った。本流の河床上昇は、大谷崩を供給源とする多量の岩屑供給に惹起されたものである。試料は露頭と簡易ボーリングコアの双方から、微細木片や葉片、樹皮など合計 29 点得た（写真 1）。

同年 11 月には天竜川支流の長野県飯田市遠山川において、堰き止め湖沼堆積物の地質調査と試料採取を行った。試料は露頭から、微細木片や葉片など 6 点を得た（写真 2）。また 2025 年 2 月には赤石山脈の東に存在する山梨県身延町の天守山地において、崩壊堆積物に含まれる木片 2 点を採取した。以上の試料の前処理は完了している。加速器質量分析装置が調整中であるため、年代測定は保留している。

現在のところ新規の年代値は得られていないが、昨年度までの成果もふまえると、大谷崩の初期発生は 14～15 世紀に遡り、16 世紀までに複数回の突発的土砂流出があったことが明らかになりつつある（苅谷ほか 2024）。また遠山川では、本研究に先行して成された別の研究により、AD715 とは異なる 2 つの時期（13・14 世紀）に大規模崩壊が発生したことを示唆する年代値が得られた（山田ほか 2024）。今後、このことを裏付ける、もしくは新たな崩壊イベントを示す年代値が本研究によって得られる見込みが立ってきた。

(3) 引用文献

苅谷愛彦・木村恵樹・山田隆二（2023）：大谷崩（斜面崩壊）は CE1707 に突発したシングル・イベントか？　2023 年度日本地理学会春季学術大会，発表要旨集，https://doi.org/10.14866/ajg.2023s.0_213
苅谷愛彦・中西利典・木村恵樹・山田隆二・木村　誇・村松　武・青島　晃・北川浩之（2024）：堰き止め湖沼堆積物の^{14}C年代から探る大谷崩の発達過程．日本第四紀学会2024年研究大会発表要旨集．
山田隆二・村松　武・寺岡義治・苅谷愛彦・木村　誇（2024）：遠山川上流・矢筈山くずれによって形成された堰止湖の痕跡．日本地すべり学会 2024 年度研究大会要旨集．

(4) 成果発表

苅谷愛彦・中西利典・木村恵樹・山田隆二・木村　誇・村松　武・青島　晃・北川浩之（2024）：堰き止め湖沼堆積物の^{14}C年代から探る大谷崩の発達過程．日本第四紀学会2024年研究大会発表要旨集．



写真１　安倍川上流タチ沢における試料採取状況



写真２　遠山川に存在する三角州性の堰き止め湖沼堆積物

稠密観測に基づく冬季石狩平野の筋状対流雲下の大気場変動の把握とその人体への影響についての研究

Research on understanding atmospheric field fluctuations under convective snow clouds and their effects on human health based on dense observations of the Ishikari Plain in winter.

馬場賢治,　酪農学園大学 酪農学研究科/農食環境学群環境共生学類

【研究目的】

冬季札幌圏においては，日本海から季節風に伴って筋状対流雲が流入し易く，降雪がもたらされ，時折大雪となる．Shirooka and Uyeda(1990)はこの地域における観測網を展開し，地上観測や写真撮影からスノーバーストによる短時間での気温低下を報告した．馬場ら（2016）は稠密な地上観測から，筋状対流雲付近の気温低下と気圧上昇を捉え，周期的な変化で減衰することを示した．札幌圏の石狩平野では，冬季の季節風に伴って筋状対流雲が流入し，それらにより降雪がもたらされる．同地域においてShirooka and Uyeda(1990)は，地上観測や写真撮影から，スノーバーストによる数十分での急激な気温低下を報告した．一方，馬場ら(2016他)は，筋状対流雲付近での地上気温低下のみならず，気圧上昇を伴うことを明らかにし，一定周期のもと減衰することを示した．気圧変化による健康影響としてSato　et al.(2019)などにより，内耳の不安定化が自律神経を刺激することを指摘しているが，総観規模擾乱を想定した実験である．そこで本研究では，大気による共振共鳴が内耳に影響を調査する．

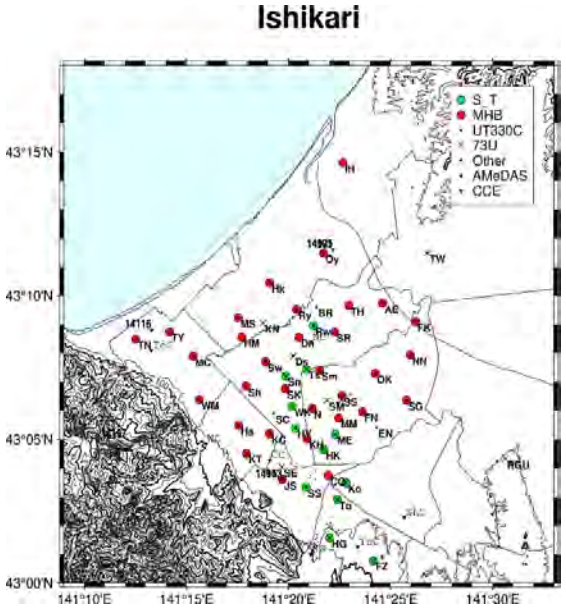


図 1　2022－23 年の観測網．S_TB から Other までは観測機器の設置箇所，AMeDAS は気象庁，および CCE は札幌市土木センターの気象観測地点を表す．

【研究方法】

対象地域の札幌圏の小学校と札幌管区気象台にデータロガーを設置し，気温と気圧，湿度（一部）を5分毎に計測した．2024年度は4月上旬迄観測する予定であるため，今回の報告は昨年度の観測地点データ（図1）を用いる．また，地上データとして，札幌土木センターとAMeDASの気象データも利用した．さらに，気象庁気象レーダーと気象衛星画像も使用した．これらからスノーバーストが生じているか否かを判断した．これをもとに気象モデルのCReSSを用いてシミュレーション解析を行った．計算領域は138～142E，42.5～46.4Nであり，624×880×66格子，およそ格子間隔500mとした．2024年2月21日12UTC（21JST）を初期値として，24時間積分を行った．概ねほぼ同時刻に日本海から筋状対流雲が繰り返し流入していることが再現されたため，この結果を基にメカニズムの理解を行う．

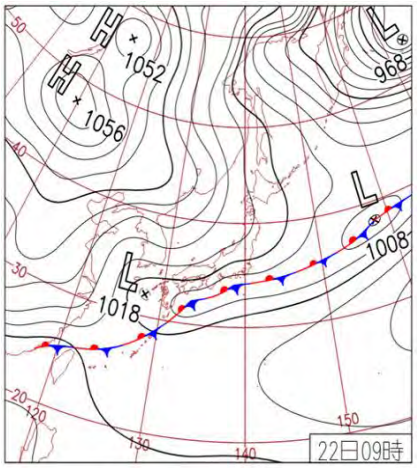


図 2　2024 年 2 月 22 日 9 時（JST）の天気図（気象庁）

一方，小学校の養護教員に子供の体調に関するアンケートを依頼した．アンケートは個人情報が特定されないように，頭痛やめまい，倦怠感，イライラ，鬱など，内耳が影響されたと考えられる発症者の人数を午前と午後に分けて記載する形式にした．これらの情報を基に両者の関係性について言及を行う．

【結果と考察】

40校中10校の小学校養護教員からアンケート回答を得た．データとしては疎であるが，これらから，

比較的多くの小学校で不調者数が現れた2月22日について調査を行った．この日の北海道付近は西高東低の気圧配置のもとで等圧線が南北に密になり（図2），寒気移流が南下しやすい状況であった．同10時（JST）の気象庁気象レーダー（図３）からも石狩湾から当該地域に筋状対流雲が流入していることが分かる．ところどころに降水強度の大きい個所が散在しており，筋状対流雲が相当していることが推測できる．図4には屯田北小学校（Dn）の9時（JST）から14時の気温と気圧の時系列変化を示す．11時以降において気圧は低下傾向であり，その中で0.1～0.3hPa程度の範囲で10～20分程度の周期変化がみられる．一方，21日21時（JST）を初期値としたCReSSのシミュレーション結果をもとにした125m（z=2）での気温，気圧，風，および地上霰積算量の5分間変化量を図5に示す．空間的に気温の低下（上昇）領域と気圧の上昇（低下）領域，および，霰積算量が少しずれて存在している．地上観測を行っていない風と霰積算量を除けば，概ね観測と同様の結果が得られた．昨年までに報告したように降水物質の混合比が上層から下層へ移動し，地上付近では気温低下と気圧上昇が生じている様子が解析された．これらは，降水物質が下降する際に，周囲の熱を奪い蒸発し，周囲の気温を低下させながら地上に達し，かつ，その冷やされた空気塊が下降流となり気圧を上昇させていることが推測できる．Shirooka and Uyeda (1990)の地上で気温を降下させたスノーバースト，およびYamada et al.(2004)のRwタイプと解釈することが出来る．これが気圧変動を引き起こした一つであることが推測され，この変化により症例数が増えた可能性がある．

今後も引き続き症例データを蓄積し，これらと気象変化との関係を調査する．特に，国交省Xバンドレーダーを用いて，霰の挙動を観測し，下降流の規模と広がりについて着目をしたい．

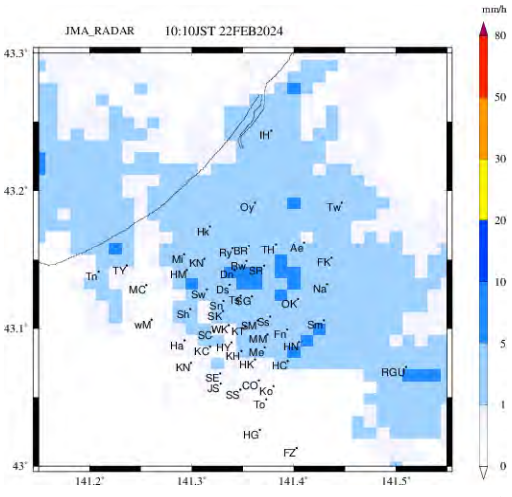


図 3　2024 年 2 月 22 日 10 時（JST）のレーダー画像．カラーは降水強度(mm/h)を表す．



図 4　2024 年 2 月 22 日（JST）の屯田北小学校の気温（青 :℃）と気圧（橙:hPa）の時系列．

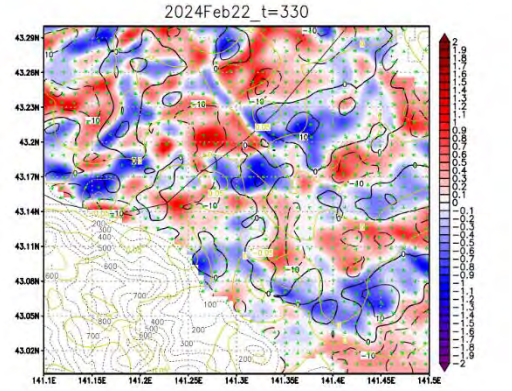


図 5　2024 年 2 月 21 日 21 時（UTC）初期値とした 125m の t=330 の気温（カラー），気圧（太線），風（ベクトル）および地上霰積算値（黄色）の 5 分間変化．

【引用文献】

・馬場　賢治，冬季石狩平野における筋状雲性降雪が齎す地上気温と気圧の短時間変動，日本生気象学会，55(3) 39-39，2018年10月．

・馬場賢治，伊藤花好，上田博，2016：冬季石狩平野における筋状雲による降雪がもたらす地上気温と気圧の変化について，日本気象学会大会講演予稿集，(110)，194.

・Baba, K., 2018: Temporary Variation of Surface Air Temperature and Atmospheric Pressure Under Convective Clouds in Winter Monsoon, Asia Oceania Geosciences Society, 15.

・Sato, J., Inagaki, H., Kusui, M., Yokosuka, M., and T. Ushida, 2019: Lowering barometric pressure induces neuronal activation in the superior vestibular nucleus in mice. PloS one, 14(1), e0211297.

・Shirooka, R., and H. Uyeda, 1990: Morphological structure of snowburst in the winter monsoon surges. J. Meteor. Soc. Japan, 68, 677-686.

・Yamada, H., H. Uyeda, K. Kikuchi, M. Maki, and K. Iwanami, 2004: Dual-Doppler radar observations on factors causing differences in the structure of snow clouds during winter monsoon surges. J. Meteor. Soc. Japan, 82, 179-206.

（別紙様式04-2）

基本雲プロダクトの高度化
Improvement of Fundamental Cloud Products

坂下卓也（気象衛星センターデータ処理部解析課）

気象衛星センターが運用する基本雲プロダクト（FCP）は、静止気象衛星「ひまわり」に搭載されたイメージャ（AHI）の観測値と数値予報データ等から推定した雲の有無（雲マスク）や雲物理量（雲頂高度など）を含み、高分解能雲情報や海面水温など、気象庁が作成する様々な衛星プロダクトで利用されている。しかしながら、FCP の雲マスクは、特定の雲判定テストに依拠し、また、衛星観測以外の入力データの精度に依存するといった課題がある。これらの課題に対し、雲マスクの精度やデータの独立性を高めることを目的として、機械学習を利用した、可能な限りひまわり観測データのみから雲の有無を識別する手法の開発を行っている。

昨年度まで行った主成分分析や CLAUDIA3(Ishida et al., 2018)から教師データを抽出して学習したモデルと FCP からそれぞれ推定された雲マスクを、Aqua/MODIS を利用した雲マスク（MYD35_L2）と比較して一致率を検証した結果では、陸上では FCP のプロダクトよりも一致率が高い一方で、海上では低いことを示した。また、機械学習のアルゴリズムを検討することで、一致率を向上できることを示した。

本年度の開発計画では、プロダクトのプロトタイプの作成まで開発を進める予定であったが、プロダクトの作成までは至らなかった。今年度の進捗を以下に示す。

本年度に行った開発は、基本雲プロダクトの雲マスクを教師ラベルとして機械学習を行うことで、基本雲プロダクトとの一致率が MYD35_L2 に比べて向上するかを評価した。ここでは、機械学習の手法として、ランダムフォレスト（RF）、ニューラルネットワーク（NN）を採用した。また 2023 年の各月 1 日、それぞれの 03、09、15、21UTC のひまわりデータの全 16 バンドを用いて学習し、判別結果は-1（晴れらしさ）から 1（曇りらしさ）の値で出力するようにモデルを作成した。

まず各学習モデルの判別結果と FCP 雲マスクの一致率の検証を行った。最も一致率の低かった 15UTC の結果においても、RF のモデルでは通年で約 90%程度の一致率を示しており、FCP 雲マスクに近いモデルができた。また、RF の方が NN よりも高い一致率を示したものの NN においても、各時間帯で 80%以上の一致率が得られた。

次に学習モデルの判別結果と MYD35_L2 との比較検証を行った。図 1 は各学習モデル、FCP 雲マスクと MYD35_L2 の各月の一致率を示したものである。陸上日中の結果を見てみると、6 月以外の月において、RF モデルが FCP 雲マスクよりも高い一致率を示しており、この条件においては汎化したモデルができたといえる。一方で、海上日中においては、FCP 雲マスクが各学習モデルよりも高い一致率を示した。夜間については、RF と FCP 雲マスクは同程度の一致率を示していた。

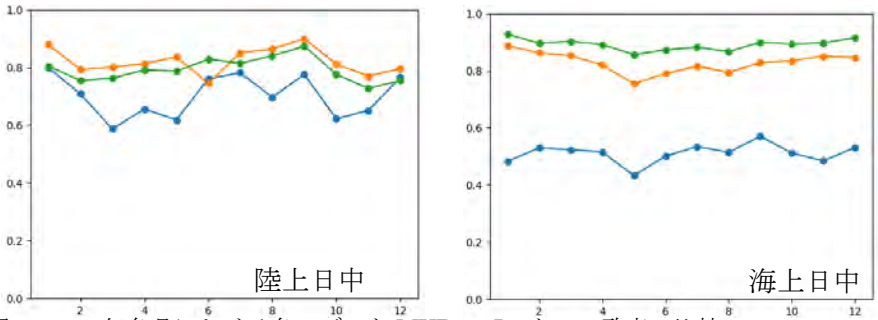


図 1. 2022 年各月における各モデルと MYD35_L2 との一致率の比較

横軸：各月、縦軸：MYD35_L2 との一致率。緑：FCP 雲マスク、橙：RF、青：NN。

上記検証では、出力値の中央である 0 を閾値にして、それ以下を晴れ、それ以上を曇りとラベル付けして MYD35_L2 のラベルとの一致率を比較していたが、その閾値を調整してラベル付けおよび一致率の計算をすることで、最適な閾値を検証した。図 2 ではその結果を示す。陸上日中（左図）では RF では閾値-0.7 から 0.3 までで FCP 雲マスクの一致率を上回っており、-0.3 で一致率の最大 82.8%であった。また、海上日中（右図）では閾値を-0.6 に設定することで、FCP 雲マスクの一致率 87.6%に対し、RF の一致率 87.3%まで近づけることができた。また、夜間についても地表面の種類ごとに同様の傾向を示した。

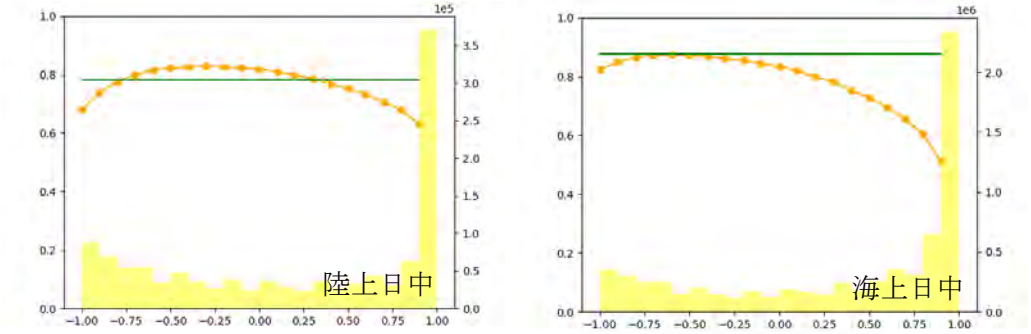


図 2. 閾値を調整した一致率の検証。横軸：調整後の閾値、縦軸左：MYD35_L2 との一致率（緑：FCP 雲マスク、橙：RF）、縦軸右：値に属するデータ数（黄ヒストグラム）。

図 3 では、2023 年 3 月 1 日 03UTC のひまわり観測領域の判別結果を示す。学習モデルの傾向としては、RF は曇りを多く、NN は晴れを多く判定する傾向にある。また、緑枠のベンガル湾海上に着目すると、赤外バンドでは晴れているように見えるが、FCP や RF では曇りと判定してしまっている一方で、NN は正しく判別できている。このように、FCP が誤判別している領域も RF は模倣してしまっている可能性があるため、今後は目視での検証も行う必要があると考えられる。

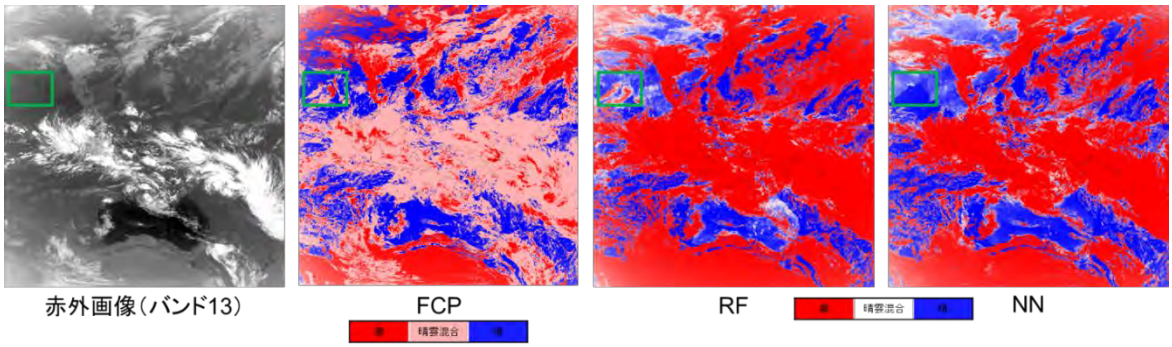


図 3. ひまわりバンド 13（10.4μm）輝度温度画像と各モデルの判別結果との比較

最後に、海上の一致率を向上させることを目的として、説明変数に海面水温を追加して学習を行った。この学習についても上述と同様に閾値調整を行い一致率の検証を行った結果、NN の一致率が上昇し、RF と同程度の一致率を示したほか、海上夜間の領域について、RF の一致率は 87.6%（閾値-0.5）と、FCP 雲マスクの一致率 87.4%を上回る結果が得られた。

今後は教師データである FCP を目視で確認し、誤判別と考えられるデータのラベルを修正して再学習することでさらなる精度向上を目指す。また NN のモデルを改良して検証することを計画している。

参考文献： Ishida, H., et al., 2018. Remote Sens. Environ. 205, 390-407.

Ackerman, S., et al., 2017. MODIS Atmosphere L2 Cloud Mask Product. NASA MODIS Adaptive Processing System, Goddard Space Flight Center, USA: http://dx.doi.org/10.5067/MODIS/MYD35_L2.061

成果発表： 半田太郎、丸山拓海、山田裕里佳、坂下卓也「基本雲プロダクトの高度化」、GPM および衛星シミュレータ合同研究集会、名古屋大学、2025 年 3 月

（別紙様式04-2）

稠密地磁気観測ネットワークによる宇宙プラズマ環境マップの作成
Dense geomagnetic observation network for creating space plasma environment map

能勢正仁、名古屋市立大学・データサイエンス学部

研究目的

宇宙防災上、プラズマの質量密度は特に重要な物理量である。プラズマは宇宙空間の背景媒質であり、その質量密度は宇宙で生起する現象にすべて関わってくるためである。宇宙の一点に留まってプラズマ密度を計測し続けることは不可能であるが、宇宙空間には地球の持つ磁場(地磁気)が張り出しているため、地表で地磁気を計測することでプラズマ密度の継続的な推定が可能となる。地磁気観測を多点で稠密に行えば、宇宙空間の広い範囲におけるプラズマ密度を高い空間分解能で可視化できる。この研究では、廉価な地磁気観測装置を用いて、関東から東北・北海道に亘る地域に、世界的にも類を見ない稠密地磁気観測ネットワークを構築し、そこからのリアルタイムデータを解析して、「宇宙プラズマ環境マップ」をオンラインで配信するシステムの開発に挑戦する。

研究方法

現在までに、名古屋大学宇宙地球環境研究所・国土交通省国土地理院・気象庁地磁気観測所の協力の元、**図1**に示したような稠密地磁気観測ネットワークを構築してきた。協力機関では、橙色で示した9か所の観測所において、フラックスゲート磁力計による地磁気の連続観測を行っている。そこで、これらの観測所の間を埋めるように、磁気インピーダンス(Magneto-impedance, MI)センサーを利用した廉価な地磁気観測装置を4台、赤色で示した観測所(苫小牧・むつ・白神・川渡)に設置した。これら合計13か所の観測ネットワークは、観測所間緯度間隔が平均して約0.8°であり、これまでに実現されたことがない稠密なものである。

各観測点において得られた地磁気1秒データを解析し、周期が数10秒から200秒程度の地磁気振動が同時観測されている事例を選び出す。こうした地磁気振動は、その観測所を通る地球の磁力線に定在波が生じたためと解釈されており、その定在波の周波数から、磁力線に沿ったプラズマ質量密度を計算できる。計算結果を元に、非常に高い空間分解能で、内部磁気圏(プラズマ圏およびプラズマ圏界面付近)におけるプラズマの質量密度の微細構造を可視化した「宇宙プラズマ環境マップ」を作成する。



図1: 現在までに構築した稠密磁場観測ネットワークの観測点分布

研究結果・考察・まとめ

図2は、2022年11月28日22:00-22:30 UTに稠密磁場観測ネットワークで観測された地磁気変動の一例である。左上から右下にかけて観測所の地磁気緯度の降順で並んでいる。ただし、むつ観測所と苫小牧観測所においては、この時にはまだ観測が始まっていなかったため、掲載していない。MIM-Piのデータ(川渡観測所、白神観測所)については、生データに対して100 mHz以下を通過させるローパスフィルタをかけ、その後1 秒ごとの移動平均をとったものを用いている。鹿野山測地観測所を除く10観測所のX成分において周期約50秒のPc4地磁気脈動が観測されていることがわかる。鹿野山測地観測所のデータについては、観測所が比較的都市部に位置するため、電車等による人工ノイズが大きく、発生した波動がノイズに埋もれてしまっていると予想される。これらのデータから、地磁気脈動の周波数を同定し、モデル計算を行うことにより、地球周辺のプラズマ質量密度分布を推定した。

図3は、推定したプラズマ質量密度の緯度分布を示している。地磁気緯度が増すごとにプラズマ質量密度が減少する様子がわかる。引き続き、こうしたイベントを選び出し、特に継続して地磁気脈動が表れている例について、宇宙プラズマ環境マップを作成することを目指す予定である。

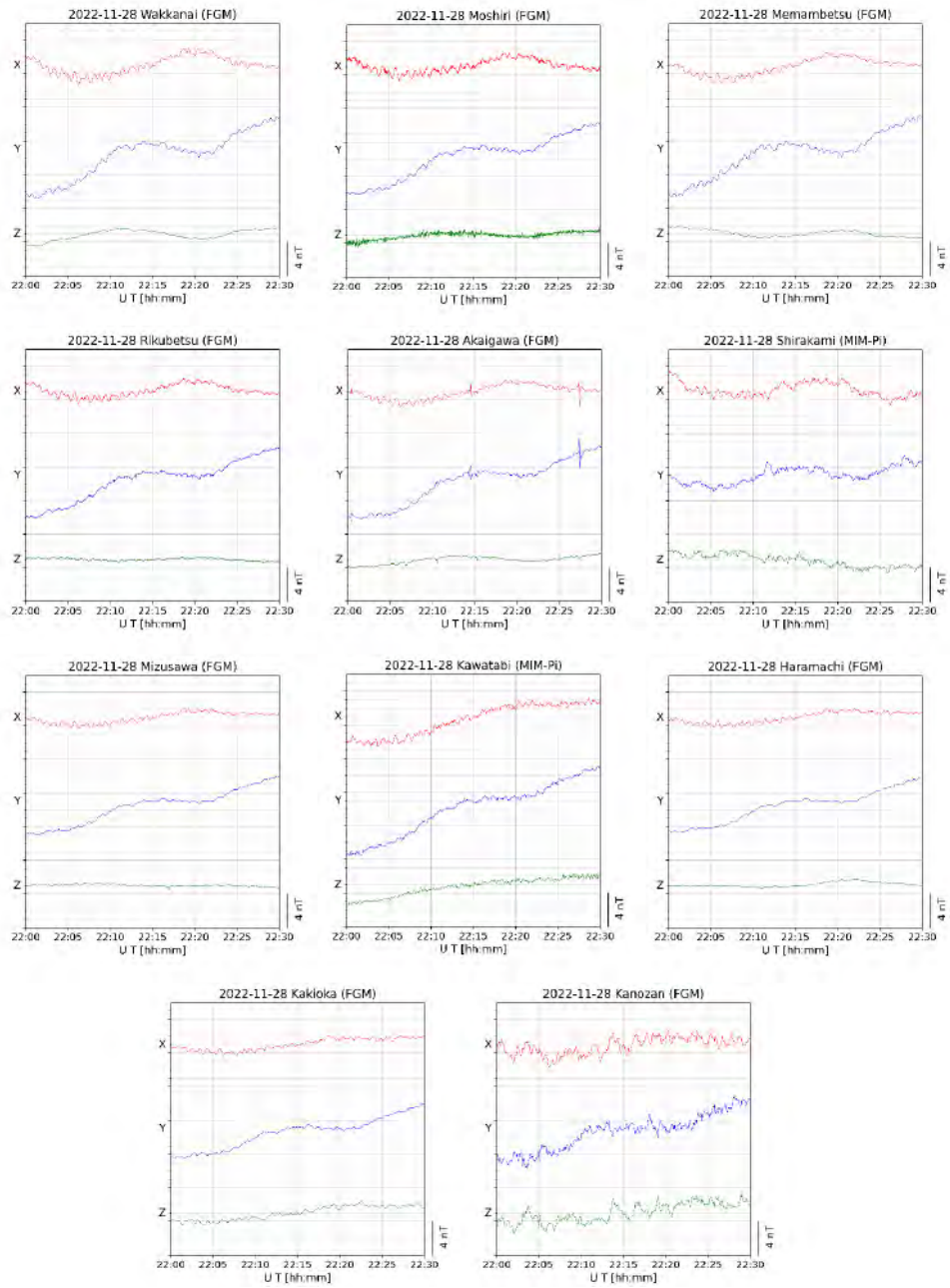


図2：稠密磁場観測ネットワークによる観測例。2022年11月28日22:00-22:30 UTの30分間に、鹿野山測地観測所以外のすべての観測所で同様の地磁気脈動が観測されている。

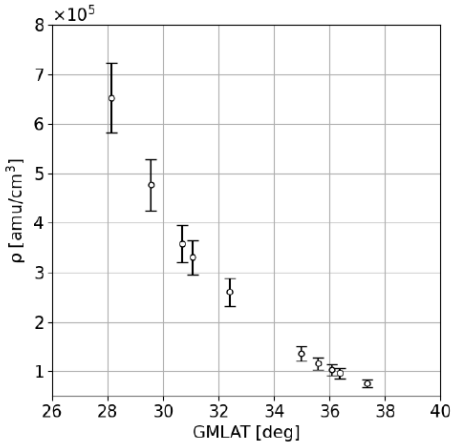


図3：図2に示した地磁気脈動の周期から推定したプラズマ質量密度の緯度分布。

（別紙様式04-2）

フーリエ変換赤外分光器を用いた地上分光観測によるHFC-134aの解析
Analysis of HFC-134a using ground-based infrared spectra taken with Fourier transform infrared spectrometers

中島英彰、国立環境研究所・地球システム領域

＜研究目的＞

フーリエ変換赤外分光器（FTIR）を用いて、太陽光を光源に赤外分光観測を行うと、上空の様々な大気微量成分の鉛直カラム量や高度分布を導出することが可能となる。名古屋大学宇宙地球環境研究所では、1995年より北海道・陸別町においてFTIRを用いた大気微量成分の観測を行ってきており、長年の観測スペクトルの蓄積がされている。国立環境研究所と東北大学でも、1998年よりつくばにおいて同様の観測を行ってきており、ともに20年以上にわたる長期観測データがある。本研究では、つくばで観測された分光スペクトルを用い、SFIT4と呼ばれる解析プログラムを用いて、日本上空のHFC-134aのカラム全量及び高度分布を導出し、その変動の様子を調べ、AGAGE等の地上観測結果やACE-FTSなどの衛星観測結果と比較することを目的とした。

＜研究手法＞

今回の解析では、FTIRコミュニティーにより継続的に共同で開発されている共通の解析ツールであるSFIT4 Ver. 1.0.18を利用した。HFC-134aの解析にはMCTディテクターの観測領域である1104-1106 cm^{-1}と、1182-1187 cm^{-1}の2つのMicro-Window（MW）領域をfitting領域として利用した。HFC-134aの吸収線には、G. C. Toonによる疑似吸収線データを利用した。その他の干渉気体のラインパラメータには、HITRAN 2000とATM 2000によるline parameterを利用した。HFC-134aの初期プロファイルとしては、ACE-FTS衛星によるL2 v4.0の2018年の高度分布（Harrison et al., 2021）を利用した。つくばのIFS-125HR FTIRによるMCT領域での観測がある2014年から最近の2023年までのデータの解析を行った。その他の解析パラメータを、表1にまとめた。

＜結果と考察＞

SFIT4によるHFC-134a吸収線のフィッティングの結果、一部に未知の吸収物質による残差が見受けられたが、MW-1, MW-2ともに全般的に残差~0.5%以内でうまくフィッティング出来た。解析では、OEM（最適推定法）と、Tikhonov規則化法という2つの解法を試みた。つくばにおけるFTIR観測スペクトルは、観測パラメータ設定の関係で、2014年～2017年のMCTチャンネルの観測データは、それ以降の観測データと比べてSNRが悪いという特徴がある。2017年以前の期間に関しては、OEMの方がTikhonov法よりも安定して解を得ることが出来た。図1に、OEM解析で得られたHFC-134aの気柱全量日平均値の経年変化を示す。また図2に、FTIR解析による年増加率と、他の観測やモデルによる増加率との比較を示す。FTIRによる増加率（OEM:+5.3%/y, Tikhonov: +5.9%/y）は、TOMCAT CTMや、ACE-FTSによる増加率に比べて若干大きめの値となった。これは、アジア特に中国における最近のHFC-134aの放出量の増加を反映している可能性があると考えている。

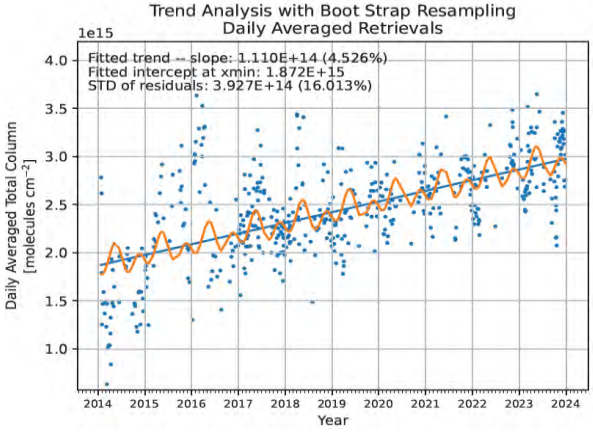


図１　SFIT4による日平均HFC-134aの解析結果

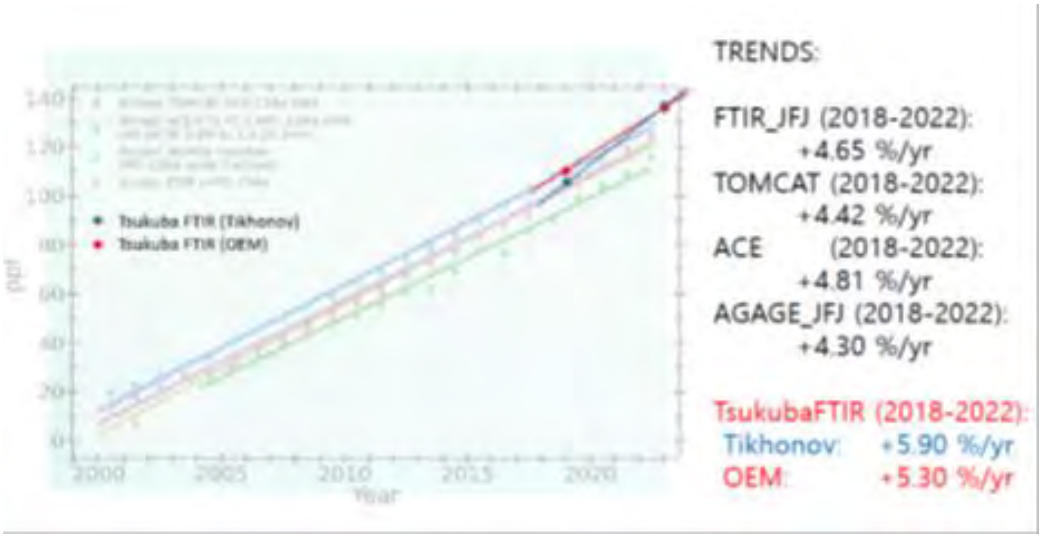


図２　FTIR による HFC-134a のトレンドと、他の観測やモデルによるトレンドとの比較

＜成果発表＞

・中島英彰、村田　功、森野　勇、G. C. Toon、「つくばの地上設置FTIRによるHFC-134aの観測と解析」、日本地球惑星科学連合 2024年大会、幕張メッセ（千葉）＆オンライン、2024年5月27日

・Nakajima, H., I. Murata, I. Morino, and G. C. Toon, “Observation of HFC-134a at Tsukuba, Japan”, NDACC-IRWG-TCCON-COCCON Annual Meeting 2024, Boulder, U.S.A., July 11, 2024.

・中島英彰、村田　功、森野　勇、G. C. Toon、「つくばのFTIRによるHFC-134aのトレンド解析」、第29回大気化学討論会（神戸）、2024年10月9日.

（別紙様式04-2）

X線天文衛星で探る2022年トンガ海底火山の大噴火による超高層大気密度の変動

X-ray study of the upper atmospheric density disturbance caused by the explosive eruption of the 2022 Tonga's volcano

勝田哲、埼玉大学・理工学研究科

2022年1月15日にトンガで海底火山の大噴火が発生した。この大噴火が上空100~200 kmの超高層大気にどのような影響を与えたのか、X線天文衛星を用いて調査した。高度100 km付近は中間圏から熱圏下部に位置し、太陽活動や大気波動など、上下からの影響を受けて変動すると考えられている。しかしこの高度の大気観測（特に中性大気の密度計測）は難しく、観測研究が非常に乏しい。近年、我々はX線天文衛星による大気えんぺいを通じたリモートセンシングにより、この領域の密度を測定する新手法を開拓してきた(参考文献1, 2)。本課題では、この手法を用いて大噴火が与えた超高層大気への影響を調査した。

トンガ海底火山の噴火時には、米中のX線天文衛星Insight-HXMT, NuSTARがそれぞれCassiopeia A, Cen X-3という明るいX線天体を観測していた。噴火の数時間後には、これらの天体が火山上空で大気掩蔽現象を起こした。このうち、Cen X-3は天体自身のX線強度変動が激しく観測結果の解釈が難しかったため、本研究では、Insight-HXMTによるCassiopeia Aの観測データ解析に注力した。

Insight-HXMTは、噴火3.4時間後、5時間後、5.1時間後、6.6時間後、8.2時間後、9.8時間後に、それぞれ火山から~500 km、~2000 km、~2500 km、~4000 km、~6500 km、~9000 km離れた地点で大気えんぺいを捉えていた。この位置を図1(上)に示す。我々は各えんぺいを解析し、高度90~150 kmにおける中性大気密度を計測し、これを、GAIAおよびNRLMSIS2.0による大気密度のシミュレーションの結果と比較した。観測とシミュレーションの密度比を図1(下)に示す。この図から、噴火の直後、火山から1000 km以内の範囲において、観測した大気密度はシミュレーション予想に対して0.1~0.5程度と著しく減少していること、一方で噴火後5時間以降たった遠方地点では、比較的緩やかな密度減衰を示すことが判明した。さらに、測定した密度分布は波打った構造を持ち、その波長は、鉛直方向に20 kmないし水平方向に1000 km程度であった。これは噴火に伴うラム波や大気重力波による擾乱の可能性がある。本研究成果は、論文発表(参考文献3)するとともに、日本惑星科学連合の年会JpGU2024および名古屋大学で開催した「第1回アルベドの融合科学ワークショップ」にて口頭発表を行った。

[参考文献]

1. Katsuda, S., Fujiwara, H., Ishisaki, Y., Maeda, Y., Mori, K., Motizuki, Y., et al. (2021). "New measurement of the vertical atmospheric density profile from occultations of the Crab Nebula with X ray astronomy satellites Suzaku and Hitomi", Journal of Geophysical Research, 126(4), e28886. https://doi.org/10.1029/2020JA028886
2. Katsuda, S., Enoto, T., Lommen, A. N., Mori, K., Motizuki, Y., Nakajima, M., et al. (2023). "Long-term density trend in the mesosphere and lower thermosphere from occultations of the Crab Nebula with X-ray astronomy satellites", Journal of Geophysical Research, 128(2), e2022JA030797. https://doi.org/10.1029/2022JA030797
3. Katsuda, S., Shinagawa, H., Fujiwara, H.,Jin, H., Miyoshi, Y., Miyoshi, Y., et al. (2024). "X-raying neutral density disturbances in the mesosphere and lower thermosphere induced by the 2022 Hunga-Tonga volcano eru

ption-explosion." Geophysical Research Letters, 51, e2024GL112025. https://doi.org/10.1029/2024GL112025

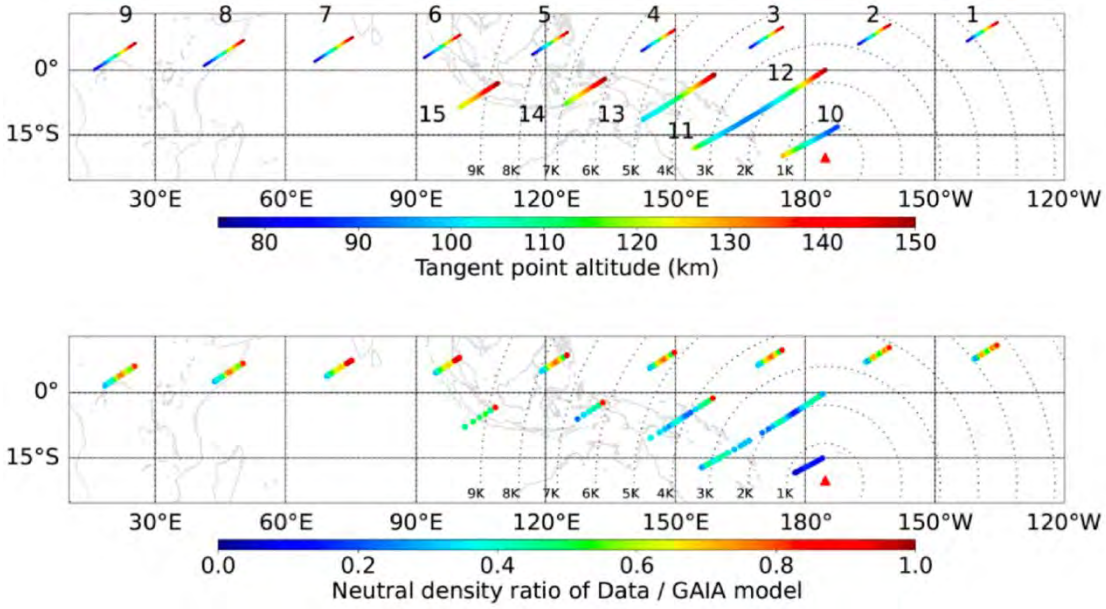


図 1 (上): トンガの噴火前後(2022 年 1 月 14 日、15 日)、Insight-HXMT による Cassiopeia A 観測時の大気えんぺいの場所。接線高度(衛星の視線が地表に最も近く場所の高度)をカラーで示す。トンガ火山を赤の三角で示す。図 1(下): 上図のえんぺいで計測した大気密度。噴火の影響を考慮しない GAIA モデルによる予想値との密度比をカラーで示す。

（別紙様式04-2）

東南極地域における宇宙線中性子観測とその解釈
Analysis of cosmogenic neutron doses measured over the east Antarctica

保田浩志　広島大学・原爆放射線医科学研究所
栗田直幸　名古屋大学・宇宙地球環境研究所

大気中の宇宙線強度を推定するための数学モデルは、宇宙線生成核種の生成速度の予測、大気組成と気候の変化の予測、航空機乗務員の宇宙線被ばくの評価、精密電子機器への影響評価等に関する多くの研究分野で用いられている。一方、宇宙線強度が最も高くなる極域では実測データがほとんどなく、モデル結果の信頼性については不明なままである。そこで本研究では、共同研究者（栗田）が南極域で観測した結果と数値モデル結果を比較し、現在のモデルの性能を評価する。

申請代表者（保田）は、全球規模で宇宙線被ばく線量を予測できるモンテカルロシミュレーションに基づく解析モデル（PARMA）を開発している。宇宙線被ばく線量に尤も寄与する高エネルギー粒子は中性子線であるため、モデルの性能評価には中性子線量計測データを利用するのが一般的である。そこで、栗田が第60次南極地域観測隊(JARE60)に参加して実施した、昭和基地近傍の南極沿岸域（S16）から内陸のドームふじ基地（DF）に至るルート上での中性子線計測とモデルの相互比較を実施した。その結果、PARMAは観測結果を適切に再現できていることが確認された(Yasuda et al., 2023)。

また栗田は、中性子線計測に加えて、ドームふじ基地に向かうルート上で積雪試料採取も行っている。そして、帰国後に宇宙線生成核種であるトリチウム分析を行い、中性子線計測結果と同様に、沿岸域から内陸域にむかってトリチウム濃度が高くなるという地理的特徴を明らかにした。そこで、今年度の一般共同研究では、この計測結果を使ったモデル評価に取り組んだ。

本研究で利用するPARMAは、宇宙線の入射に伴う高エネルギー粒子群（空気シャワー）による放射線量を予想するモデルであり、現段階ではトリチウム生成量を直接予測することはできない。そこで今年度は、Poluianov et al. (2020)で報告されたモデル結果（大気中トリチウム生成量データ）を利用してモデルと観測値の比較を行った。大気中のトリチウム濃度は生成量と除去量（降水量）のバランスで決まる。また、生成量の時間変化は相対的に小さいことから、除去量の増減がトリチウム濃度変化に大きく影響する。ここでは、除去量の増減を気塊の滞留時間の関数と仮定し、滞留時間ごとにトリチウム分布を計算し、観測値と比較を行った。比較結果を図1に示す。南極地域では、氷床の堆積により内陸に向かって地表面気圧が減少するため、気圧に対するトリチウム濃度分布を示している。また、積雪採取は往路（S16⇒DF）と復路（DF⇒DF）で実施したため、それぞれ別の色で区別している。南極周辺域の大気中トリチウムの生成量を黒線で示し、灰色線は南極大陸上での滞留時間の違いを表す。図をみると、沿岸域から氷床斜面域では、南極周辺大気のトリチウム濃度付近に分布しているが、頂上部付近ではその濃度が急激に高くなっている。これは、トリチウムの除去過程が弱まり、トリチウムの滞留時間が長くなっていることを示している。Poluianov et al.(2020)のモデルやPARMAはトリチウム生成量を予測するが、観測データは、大気中トリチウムの濃度は生成量よりも除去過程に大きく依存していることを示しており、その予測ではモデルの性能よりも南極水循環の正確な把握が重要といえる。

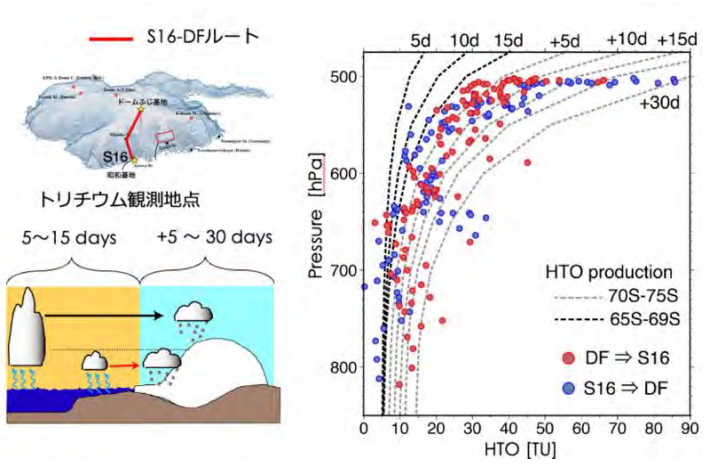


図1.　南極大陸におけるトリチウム観測地点（左上）、トリチウムモデル計算概念図（左下）、そして南極大陸におけるトリチウム観測データとPoluianovら(2020)のモデルにより計算した推定値の比較（右）.

引用文献
Poluianov, S.V. et al. *J. Geophys. Res. Atmos.* 125, e2020JD033147 (2020).
Yasuda, H. et al. *Appl. Sci.* 13(5), 3297 (2023).

（別紙様式04-2）

グローバル・素過程モデル連成計算と科学衛星観測による地球内部磁気圏での波動粒子相互作用の研究

Study of wave-particle interactions in the inner magnetosphere by global-PIC cross-reference simulations

加藤雄人、東北大学　大学院理学研究科

・研究目的

地球磁気圏・放射線帯外帯における相対論的電子の加速機構において、赤道領域を起源とするホイスラーモード・コーラス放射が重要な役割を担うとされる。近年の理論・シミュレーション研究により、コーラス放射との波動粒子相互作用においては、コヒーレントな波動による捕捉を基本とする非線形相互作用の重要性が指摘されている。放射線帯電子の生成過程を理解する上で、内部磁気圏のどの領域で、どのようなタイミングで電子加速過程が生じるかを定量的に明らかとすることは重要である。そのためには、高エネルギー電子の磁気圏内での輸送を扱うグローバルモデルが有用なツールとなるが、コーラス放射との波動粒子相互作用で本質的に重要となる非線形効果をどのように取り入れるかが課題として残されている。本研究課題は、コーラス励起過程を再現する素過程シミュレーションとグローバルモデルとの連成計算手法を確立し応用して、内部磁気圏でのコーラス放射の発生領域とその時間・空間変化を明らかにすることを目的とする。

・研究方法

内部磁気圏赤道領域におけるkeV帯の電子のダイナミクスを解くグローバルモデルと、PIC法を用いて波動粒子相互作用を解き進める素過程シミュレーションとの連成計算を実施する。具体的な連成計算としては、素過程シミュレーションの結果に基づいて得られた非線形相互作用の閾値計算モジュールをグローバルモデルに組み込む方法（連成計算１）と、素過程シミュレーションの初期条件にグローバルモデルの結果を用いる方法（連成計算２）とを検討する。さらに、モデルの計算結果を衛星観測結果と比較することにより、本手法の有効性を検証する。本課題で提案する手法により、内部磁気圏においてコーラス放射の励起過程ならびに相対論的電子加速の生じる領域の時間・空間発展を定量的に議論することが可能となる。

・研究結果

2024年度における研究課題の成果は以下の通りである。

連成計算１について、前年度に引き続き2017年3月に発生した磁気嵐を対象に実施したグローバルモデルによる計算結果の解析を進めた。グローバルモデルの計算結果に示される高エネルギー電子の速度分布関数を用いた連成計算２により、コーラス放射が発生する条件のサーベイ計算を実施した。特に背景磁場強度の空間勾配の変化がコーラス放射発生条件に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、同イベント時のあらせ衛星による観測結果に基づいた素過程計算を実施した。素過程計算結果に基づいたコーラス放射の発生条件に関する考察から、あらせ衛星による観測結果が説明できることを示した。また、あらせ衛星による観測結果に見出されたホイッスラーモード波動の強度がULF波動と同期して変動するイベントを複数同定して、ULF波動に起因する全磁場強度の変動がホイッスラーモード波動の伝搬過程にULF波動がもたらす影響を考察した。空間２次元のレイトレース計算の結果と比較することで、

同定されたイベントではULF波動がダクト構造を形成している可能性が高いことを示した。以上の成果を国内外の学会・研究会で報告した。本申請に関連する科研費・基盤B課題（代表：三好、分担：加藤他）が2023年度より開始し、あらせ衛星とモデル計算結果との詳細比較が進められた。

共同研究により開発された連成計算手法を、あらせ衛星を始めとする衛星観測結果との比較・考察に活用することにより、放射線帯領域での電子加速過程ならびに波動励起過程における非線形効果の定量的な究明が可能となる。本申請は3年計画の3年次にあたるが、2025年度の一般共同研究課題として新規申請を行なっており、引き続き宇宙天気現象時の内部磁気圏におけるコーラス放射発生条件に関する探究と非線形波動粒子相互作用の発生領域の時間・空間発展を明らかにすることを計画している。

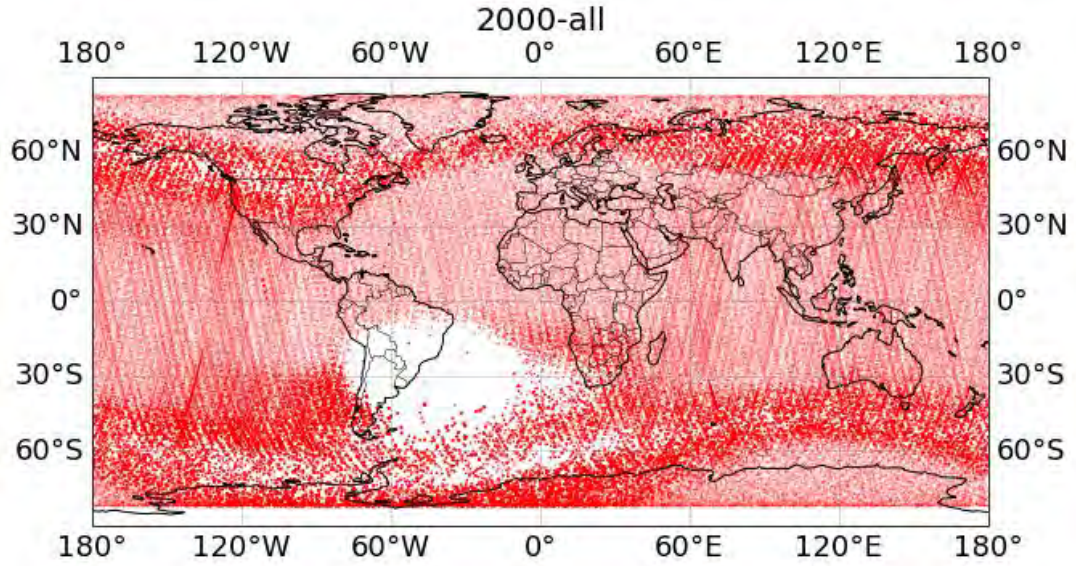
（別紙様式04-2）

衛星軌道データ(TLE)の解析によるCMEを含む宇宙天気現象の解明
Study of CME and Space Weather Phenomena by TLE analysis

野澤恵、茨城大学、理工学研究科理学野

地球を周回する人工衛星などの宇宙物体は地球・月・太陽の重力だけでなく、太陽光による放射圧などを受け、絶えず衛星軌道は変化している。超高層大気は太陽紫外線や磁気圏のオーロラ粒子の影響を受け、加熱を受け、大気温度や密度が変化することは知られている。特に高度 1000km 以下の低軌道では、希薄な地球大気にも関わらず大気抵抗が働き、宇宙物体は落下を続ける。太陽紫外線を始めとする太陽活動現象や、地球磁気活動が地球環境に与える影響は宇宙天気現象と呼ばれる。現在まで、宇宙物体と宇宙天気現象の関係性について、軌道降下の解析を行なってきた。

今回は特に高エネルギー粒子の影響について注目した。エネルギー帯を決め、粒子の振込を計測する装置を組込んだ衛星観測は実用化されているが、ここでは太陽撮像観測を行なう衛星に着目し、撮像するセンサーに高エネルギー粒子が降り込み、白い点(ブライトポイント)として画像に記録される現象を利用する。通常はエラーと考えこの白い点を排除するのだが、逆に宇宙天気現象に繋るものと考え、簡易検出器として利用するものである。過去に太陽フレアが発生したときに「ひので」衛星で観測された白い点がフレア強度との相関を行ない、ある程度の相関が確認できた。今回は TRACE 衛星



(1998/04/02-2010/06/21)を用いた。全観測期間の極端紫外線 171A の画像に写る白い点を数えた。

図は 2000 年の結果である。点が検出された衛星の場所で、点の大きさがその画像の検出数を示す。南米や南大西洋で点が無いのは SAA(南大西洋異常帯)で高エネルギー粒子が顕著に降り込む領域なため TRACE 衛星は観測を停止するためである。しかし、その周辺では数多くの粒子が検出され、SAA が広がっていることを示唆している。また極域に帯状が確認できる。SAA もこの帯も地球磁場に高速された高エネルギー粒子の放射線帯である。またその外側にも帯が確認できるが、これはオーロラ帯の影響と考えることができる。全期間の解析結果では、太陽極小期に高エネルギー粒子の降り込みが多くなっていることが確認できた。この太陽活動との逆の相関の定量的な解析をすることで、宇宙天気現象の長期的な影響も明かにできると考えている。

（別紙様式04-2）

次世代マルチビームシステム Phased Array Feedの基礎開発
Development of the Next-Generation Multibeam System: Phased Array Feed

宮本祐介　福井工業大学・工学部 電気電子情報工学科

【研究目的】

星形成の母体である分子雲の形成過程は未解明であり、その解明には広域に分布する低密度分子雲の特性を把握することが不可欠である。近年の研究により、大量の低密度分子雲が銀河系に広く存在する可能性が指摘されており、本研究では銀河系全体の低密度分子雲の分布と量を解明することを目的とする。そのために、福井工業大学の10mパラボラアンテナに搭載する次世代マルチビームシステムPhased Array Feed（PAF）の基礎開発を進める。PAF はパラボラアンテナの一次焦点前面に並べた素子アンテナの信号位相を電気的に制御してビームを形成し、異なる指向方向のビームを容易に同時形成できるため、複数の固定フィードを並べた従来型のマルチビームシステムのような空間的制約を受けることなく柔軟な拡張が可能である。一方で、天文観測への応用には合成ビームの安定化や較正手法の確立といった課題が残されている。本研究では、PAF を搭載する10mアンテナの整備および10mアンテナ光学系を用いたPAFシミュレーションの実施、その結果に基づいたダイポールアレイを作成し、PAFの基礎技術である合成ビームの形成およびその制御等について知見を得ることを目的とする。

【研究方法（使用した共同利用装置・施設等を含む）】

本研究では、デジタルPhased Arrayシステムの基礎技術研究と福井工業大学10mアンテナに搭載するPAF試作機の開発検討を並行して実施する。

1. デジタルPhased Arrayシステムの基礎技術研究
   Phased Arrayで形成される合成ビームの評価試験を行う。観測中心周波数は327 MHzとし、16台の長さ約50 cmの半波長ダイポールアンテナを素子アンテナとしたアンテナアレイによる太陽観測を実施する。測定系としては、半波長(およそ50 cm)間隔で16台のダイポールアンテナを東西方向に並べ、また地面には金属反射板を敷き、30 cmの高さにアンテナを設置する。これにより、東西方向に約6度の角度分解能の合成ビームが形成される。合成器で結合した16素子の信号を、低雑音・高利得増幅器(LNA)、バンドパスフィルター(BPF)を介し、スペクトラムアナライザ(SA)に導く。太陽の南中時の出力変動と前後１時間前に測定したノイズレベルとの比較から、アンテナおよびアナログ受信系の性能を評価する。
2. 福井工大10mアンテナに搭載するPAF試作機の開発検討
   PAF搭載予定の福井工大10m アンテナは現在電気系・駆動系が故障しており、その改修を進めている。電気系については、システム図面を基にメガテスターを用いた測定により不具合箇所を特定する。また駆動系は、これまで使用されてきたACモーターからDCモーターへの変更可能性について検討する。これら改修作業と並行し、10m アンテナに搭載するダイポールアンテナおよびアレイのシミュレーションを実施する。これらをもとに試作機の作成・性能評価を実施する。

【研究結果】

1. デジタルPhased Arrayシステムの基礎技術研究
   名古屋大学 宇宙地球環境研究所共同館Ｉの屋上にて東西方向に並列した16台のダイポールを用いたPhased Array測定実験を実施した(**エラー！ ブックマークが自己参照を行っています。**)。まず、全16アレイをアナログ信号のまま結合し、南中時の太陽検出を試みたが、無線周波数干渉が非常に強く、結合器直下のLNAが飽和してしまった。そのため、多少システム雑音を悪化させてしまうものの、LNAの前に低損失BPFを挿入するこ



図 1：Phased Array 試験測定の様子

とで飽和問題を解決した。また、今回のシステムは太陽がビーム内に入ることで期待される増加量は1dBであるため、安定なノイズレベル測定が重要であるものの、測定当初、不安定であった。これは測定者自身や屋上に設置されている金属収納箱等の干渉によることが大きいと結論付けられたため、場所を宇宙地球環境研究所共同館Ⅰ前駐車場に移して実施した。しかしながら屋上と比べ低地では無線干渉の影響が大きくなり、太陽の明確な検出は困難であった。一方で、予備のダイポールアンテナと信号発信機を繋ぎ、送信アンテナとすることで、ダイポールアレイの近傍でのビームパターンを測定した。

2. 福井工大10mアンテナに搭載するPAF試作機の開発検討

10m アンテナの電気系調査を実施し、アンテナ主鏡裏にあるハブ内の端子ボックスの水没が漏電の主因であることがほぼ特定でき、主要箇所の防水対策処理を行った。駆動系については現在使用されていない中古DCモーター設置のためのアダプタの作成および取り付け、また対応するモーターコントローラーが情報通信研究機構で使用されているためその接続試験を実施し、問題なく動作することを確認した。また、プロトタイプPAFとして搭載するダイポールアレイについての検討を進めた。ダイポールアレイは先行研究(Nagel 2006)を参考に、７つのダイポール素子アンテナを採用し、銅張積層板のグランドプレートから1/4波長の高さを持つバランフィードタイプとし、またアレイ配置は入射電界を十分サンプリングし、相互結合も低減できる間隔(0.6λ）を確保した。当初、既製のダイポールアンテナを用いてアレイを構築予定であったが、本共同研究予算を超過したため、セミリジッドケーブル等を調達し、これらを加工・組み合わせることで自作アンテナの作成を進めている。今後は、これらの性能評価を実施予定である。

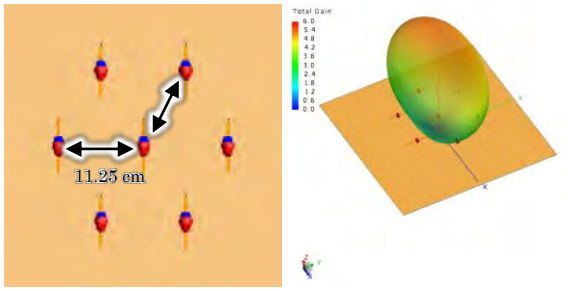


図 2：７素子ダイポールアンテナの合成ビームシミュレーション

【考察】

Phased Arrayシステムの測定実験から、300GHz帯は無線周波数干渉が非常に強いため、LNA前段にBPFを挿入する必要があることがわかった。しかしながら、初段での損失はシステム雑音の悪化に直結する。今回太陽を用いた連続波観測を用いたアナログ受信系の性能評価を目指したが、明確な検出はできなかった。今後、アレイを増やすことでアンテナゲインを稼ぐことに加え、初段に組み込むBPFの低損失化、またLNAの低雑音化により、システムの高感度化を図ることで天体を用いたシステム評価の実現を目指す。PAFの開発検討においては、10mアンテナのシステム整備と並行し、ダイポールアンテナのシミュレーションおよびダイポール試作機の作成を進めている。また、7素子ダイポールアレイによるPAFシミュレーションを実施した。ダイポールアンテナ作製後、性能評価およびデジタルPhased Arrayシステムで形成されるビーム特性の測定・評価が必要である。安定したビームパターンの制御および較正手法の開発・実証試験について受入教員の協力を仰ぎ検討する。

【まとめ】

東西方向に並列した16台ダイポールアレイを用いたアナログ受信系の性能試験を行った。測定周波数帯(350MHz)ではRFIが強く、またシステム感度に制限があったものの、ダイポールアンテナと信号発生器を用いた測定により、合成ビームの感度応答を確認した。精密な測定は未実施であるが、感度応答自体は期待通りの反応であった。また、PAF開発のため、10mアンテナの整備を進めている。今後、10mアンテナ搭載に向けたシステムの整備と7素子プロトタイプ PAFの開発・評価試験をを実施し、実用化に向けた技術の確立を目指す。

（別紙様式04-2）

海藻資料を用いた北海道周辺海域^{14}C量の分布と変遷の把握

Spatial and temporal variation of seawater ^{14}C around Hokkaido area reconstructed from seaweed samples

（１行スペース）

谷水雅治、関西学院大学・生命環境学部

（２行スペース）

【はじめに】

海水中の元素濃度の計測は環境評価のために重要であるが、海水採水時の濃度のみの把握となる。近年、生物濃縮を用いたバイオモニタリング手法による水環境の汚染評価が注目されている。生物濃縮とは、生物の組織に汚染物質が蓄積して、環境中の濃度よりも高くなることであり、バイオモニタリング手法ではこの生物濃縮を利用し、生物中の元素濃度を測定することによって間接的に海水中の元素濃度を把握することができる。バイオモニタリングに用いられる生物は生物指標と呼ばれ、近年、生物指標として海藻を用いる研究が盛んにおこなわれている。生物濃縮には、主に食物を取り込むことに基づくプロセスと大気や水から直接取り込むプロセスが含まれ、海藻は後者のプロセスによって海水中から直接栄養や水分を吸収する。このため、海藻中の元素濃度は生育環境をそのまま反映していると考えられる。1950 年代から 1960 年代にかけての大気核実験により、人為的な ^{14}C が大量に生成され、環境中に拡散した。サンゴ骨格は季節によって形成する密度が異なるため年輪模様が観察でき、これを利用した大気核実験以降の ^{14}C の時間変動の研究が日本でも進められている（三ツロ, 2004）。1960 年代前半には大気中の ^{14}C 濃度は大気核実験前の 1.7~2 倍になったが、その後、^{14}C 濃度は指数関数的に減少し、2000 年には実験前の 1.1 倍ほどとなった。しかし、サンゴは熱帯～亜熱帯の浅瀬にしか生息していないため、本研究では褐藻類の一種であるコンブを用いて ^{14}C 量の時系列変化を評価した。

【試料と分析法】

試料には、博物館が所蔵する北海道道東産コンブの標本資料 3 試料を利用した。希塩酸で洗浄後の試料約 10 mgを石英管内で完全燃焼させ、ガラスラインによりCO_2を精製した後、還元してグラファイトとして、名古屋大学のタンデトロン加速器質量分析計（AMS: General Ionex）に導入し、$^{14}C/^{12}C$比を測定した。

【結果と考察】

道東産コンブの^{14}C量は、大気核実験が盛んであった1955年よりも1966年の試料で高く、対して1994年では減少した。ピーク時期が大気核実験時期より遅れているのは、大気と海洋表層が平衡に近づくまでに時間がかかるためであり、その後の減少は深層水などの^{14}C量の少ない海水との混合や放射壊変の結果であると考えられる。この傾向は先行研究と同様であるため、コンブは海水の^{14}C量の情報を保存しており、海洋トレーサーとして利用できる可能性が示唆された。

【引用文献】

三ツロ丈裕, 2004, サンゴ骨格年輪の ^{14}C 分析による海洋環境研究, 地球化学, 38, 287-301

（別紙様式04-2）

台風付近を飛行する飛行機の位置情報を用いた気象情報の抽出
Extraction of weather information using location data of airplanes flying near typhoons

（１行スペース）
森澤　征一郎、沖縄工業高等専門学校・機械システム工学科
（２行スペース）

1. 研究目的

沖縄県は東西に約 1,000 ㎞，南北に約 400 ㎞に及ぶ広大な海域に多くの島々が点在し，他県と比べて台風の接近回数が多い．そのため，悪天候によって公共交通機関の欠便や遅延などが生じ，県内の交通手段に大きな影響を与える．特に，台風接近による暴風域や時化によって船舶の運航は制限され，離島への物資や人の輸送手段は航空機のみとなる．一方，台風付近において多くの飛行機が運航されており，例えば伊藤ら[1]によると台風中心から 100 km 以内においても 1 万便以上の飛行機が観測されている．一方，飛行機によって計測された温度や風などはエアラインの所有データであり，一般にデータ提供はなされていない．

このような背景のもと，私たちのグループでは、台風の進路や強度の予測に貢献するため航空機の位置情報から乱気流の発生状況など局地的な気象情報を取得し研究を行うことを目指している．本研究では，この前段階として必要な飛行機の位置情報を抽出し，航跡データに変換することで台風が沖縄県に接近した年とそうでない年の那覇空港に離発着する飛行機の進路を比較する．そして，台風の有無で航跡データにどのような違いが生じた調査したので報告する．

2. 研究方法

航空機の航跡データには，国土交通省が提供する CARATS Open Data[2]を用いる．本データは，航空管制用レーダーから獲得したデータである．対象範囲は日本が管轄する福岡飛行情報区であり，本データは時刻，仮想便名，航空機の位置（緯度，経度，高度），型式の順に約 10 秒間隔の時系列データが記録され，それらの 1 日のデータが 0 時から 12 時，12 時から 18 時，18 時から 24 時の 3 分割で保存されている．なお，この調査対象の型式は Boeing737-400 に絞る．理由は 2015 年，2016 年当時において県外便と県内間の離島便の両方が存在するのは Boeing737-400 に限られためである．

一方，気象データには，気象庁の数値予報 GPV データに含まれる Lsurf[3]を用いる．Lsurf には地上から高度 10 m での気圧，風速値，気温，相対湿度，時間降水量，雲量，日射量などの物理量が約 4.2km(緯度)，約 7 km(経度)間隔で格子状に格納されている．検討した日は，2016 年 9 月 17 日とした．この日を選択した理由は，台風の最低中心気圧が 930 hPa の最小値を示したことにある．さらに，図 1 で示すように 2016 年 9 月に発生した台風 16 号[3] が，進行方向の右側より沖縄県に接近し，その影響もより大きいためである．一方で，同日で台風が発生していない年の 2015 年のデータを利用する．

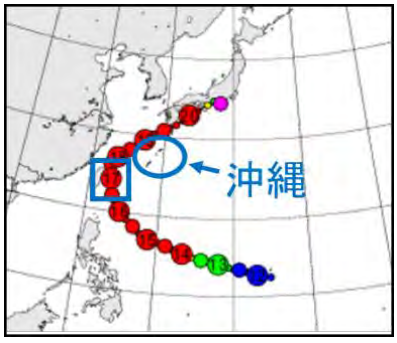
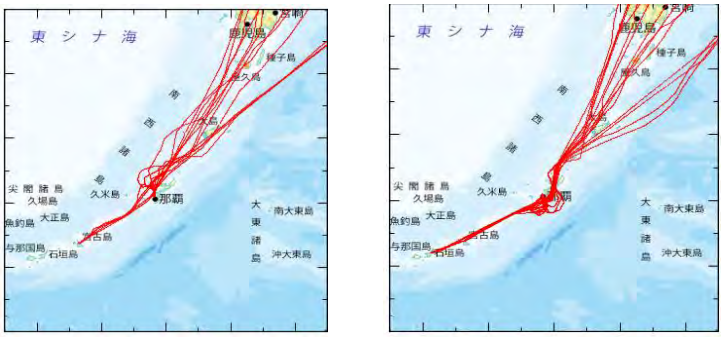


図 1　台風 16 号の進路[3]

3. 研究結果・考察

飛行機の位置情報を抽出した航跡データを図 2 に示す．図 2 より台風の発生した 2016 年には石垣島に着陸する航跡データが存在しない．この原因は台風の影響で欠便になったと考えられる．加えて，台

風が接近した場合，那覇空港に着陸する進路は北側の進路を取っているのに対して，台風が存在しない場合は逆の進路を取っている．特に，台風の発生した際の航跡データは南西諸島にある大島から沖縄本島付近の上空でばらついている．これは，那覇空港の南側から着陸していたものが，台風の存在によって飛行機の進路が乱されたためと考えられる．



(a)台風が接近した年　　(b)台風が発生していない年

図 2　航跡データの抽出結果

4.　まとめと今後に向けて

本研究で用いた航跡データによって台風の有無による飛行機の位置情報が確認できた．しかし，議論するなかで CARTAT Open Data から気象情報を抽出するにはサンプリング時間間隔が大きいことがわかった．今後は ADS-B 信号を直接受信できる環境を構築し，信号を共有するサービス(Filghtrader24)と連携させることで，広範囲かつサンプリング時間間隔が短い飛行機の位置情報を得ることで，より精緻な航跡データの分析を進める．

5.　引用文献

[1] K. Ito and R. Yamamoto, “Thermodynamic and kinetic structure of tropical cyclones in the western North Pacific based on ACARAS/AMDAR,” Frontier in Earth Science, Vol. 10, 2022, https://doi.org/10.3389/feart.2022.1058262

[2] 国土交通省，航空交通，CATATS Open Data，https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk13_000015.html

[3] デジタル台風 - 最新の台風情報と過去 40 年間画像データベース，台風 16 号, 2016 年. https://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/summary/wnp/s/201616.html.ja

6.　研究成果

1）成果論文リスト

なし

2）国際会議・国内学会・研究会・口頭発表等

森澤 征一郎，菊地亮太, 髙橋 暢宏，″航空運航データを用いた離発着解析と気象情報抽出，″ 航空機観測研究集会，オンライン，2024 年 12 月 20 日

3）その他の成果リスト（著者、特許等）

なし

（別紙様式04-2）

太陽周期活動予測に関する研究
Study on solar cycle prediction

今田晋亮、東京大学・理学系研究科

太陽活動は通常、黒点数に顕著に現れているように 11 年周期で盛衰を繰り返しているが、数百年のスケールで、黒点数が極端に少ない、すなわち極度に太陽活動が低下した時期（グランドミニマム）が存在することが知られている。このような太陽活動の低下が 17 世紀のヨーロッパの寒冷化ように過去に地球に小氷期などの気候変動をもたらした可能性も示唆されており、グランドミニマムがどのようにして生じるのかを理解することは、ダイナモの物理そのものの理解を深める上でも、また宇宙天気の観点からも重要である。

太陽活動は前サイクルの極磁場と強い相関があり、極磁場は観測から出現した黒点が移流や拡散により輸送されることで変動すると考えられている。出現する黒点は太陽内部のダイナモによって生成されるが、出現黒点には、数、緯度、面積、距離、傾斜角等のパラメータがあり、これらのパラメータには統計的な不定性があるため、黒点数が同程度のサイクルであっても極磁場変動の振る舞いが著しく異なることがある。本研究では、出現した黒点から極磁場を計算する表面磁束輸送モデル(SFT モデル)を用いて極磁場の変動を確率的に予測することで、グランドミニマムすなわち極端に低調な極磁場が黒点の統計的不定性のみによって発生しうるのか、またグランドミニマムを引き起こす物理や黒点の性質を明らかにすることを目的として研究をおこなった。従来の観測から理解されている黒点パラメータの不定性のみを考慮して、数値実験を1000太陽周期分行ったところ、グランドミニマム程度の極度に太陽活動が低下した時期はほとんど生じず、観測で議論されている確率ではグランドミニマムにはならないことがわかった。続いて、黒点パラメータの不定性に加えて、サイクルの活動度によって黒点数のピークの時間が異なるというWaldmeier効果の有無、および磁場からのフィードバックにより子午面環流速度が変化する非線形効果を考慮した結果、グランドミニマムが引き起こされる確率は観測と同程度となる結果を得た。

本研究では、太陽全球磁束輸送モデルを用いて、1000サイクル（1万年分）の全球磁場のアンサンブル計算を2次元で行った。この計算により、極端に低調な太陽活動時の全球磁場から極端に活発な太陽活動時までの様々な太陽活動における大局的な磁場を得る事ができた。この磁場をもとに、電磁流体シミュレーションを行うことで、フレアの非線形発展を計算し太陽フレア・CMEがどの規模まで発展しうるかを見積もる。この計算により、太陽活動が低調な場合、大局的な磁場による閉じ込め効果があまり働かず、結果として巨大フレアが起こりやすい状況になっているかどうか理論的に明らかにする。本年度はこのMHD計算を行う準備を行なった。その結果は、鈴木他の講演で報告した。

SI時の中緯度 SuperDARN ground/sea backscatters と FLR の関係
SI-time ground/sea-backscatters of mid-latitude-SuperDARNs and their relation with FLR

研究代表者：河野英昭、九州大学・国際宇宙惑星環境研究センター
研究所担当教員・共同研究者：西谷　望、名古屋大学・宇宙地球環境研究所
共同研究者：堀　智昭、名古屋大学・宇宙地球環境研究所
行松　彰、国立極地研究所・共同研究推進系
田中良昌、情報・システム研究機構・データサイエンス共同利用基盤施設

【研究目的】

SI (Sudden Impulse) は地上磁場強度の急増現象であり、太陽風動圧の急増がその原因であると考えられている。SIは圧縮性波動fast mode wavesとして磁気圏内を伝わる。それが近地球磁気圏の磁場・プラズマを(座標原点=地球として)動経方向に振動(poloidal-mode oscillation)させうる事、そしてそれが磁力線固有振動(Alfven modeでの振動)と共鳴(Field Line Resonance, **FLR**)しうる事が報告されている [e.g., *Southwood and Kivelson*, 1990]。しかしFLRにおいてこれまで主に注目されていた磁力線固有振動はtoroidal mode (東西方向の振動)であった。地上磁場ではこの成分が頻繁に観測されるためである。

一方高緯度SuperDARN radars (以下 **SD** と記す) においては、その受信信号から得られる電離圏プラズマの**LOSV** (視線方向速度)のうち ground/sea backscattered signals (以下 **GSBS** と記す)のLOSV中に 長期間(4-5時間)継続する単一周期の波動が頻繁に観測されている [e.g., *Ponomarenko et al*., 2005]。GSBSのLOSVは電離層の鉛直運動によってしか時間変化しないので、磁気圏の動経方向のglobalな振動が上記波動の成因と考えられる。また、上記のGSBS長時間振動期間中にFLRが観測された例も報告されており [e.g., *Ponomarenko et al*., 2005]、それにより生じる磁力線固有振動は poloidal mode (動経方向の振動)とされている。上記論文中のeventsでは SI との関連は見られなかった。

一方、中緯度(高緯度より磁力線が鉛直方向から傾いている。また沿磁力線プラズマ質量総和がより大きい為固有振動しにくい)の GSBS も同じ特徴を示すか否かはまだ調査されていない。そこで、地上中低緯度を通る近地球磁気圏の “重い” 磁力線を振動させる為の駆動源として最も強力な SI の発生期間においてそれを調査し、またFLRが観測された場合について その固有振動周波数から近地球磁気圏プラズマ密度を推定するのが本研究の主目的である。

【研究方法】

出来るだけ多くのeventsを集めるために、SuperDARN Hokkaido East and West radars(中緯度に位置)を中心とするが それ以外の多くのSDのデータも見る。まずSIの事例を集め、それらについて GSBS-LOSV 中に波動が見られているか調べ、見られている場合は更にFLR現象が見られているか調べ、見られている場合はその固有振動周波数から近地球磁気圏内プラズマ密度を推定する。そしてその値を太陽風動圧値、太陽風速度・密度、磁気圏活動度指標、等と比較する。

【研究結果】

この研究は本報告書の対象年度 (2023 年度) より前に、名古屋大学・宇宙地球環境研究所・修士課程(2019 度修了)・飯田剛平氏 (指導教員：西谷准教授) が発見した SI イベント 1 例の解析から開始した。このイベントは Hankasalmi, Finland (以下 HAN と記す) の SD でも Pykkvibaer, Iceland (以下 PYK と記す) の SD でも観測されており、特に HAN Beam#1 において明瞭だった。すなわち、～14hr UT 以降 GSBS が定常的に観測されていたのだが、その観測緯度範囲内において、～15:10UT 開始の SI とほぼ同時に LOSV の強い波動現象が開始し ～30 分継続した。その LOSV の振幅と位相は FLR に典型的にみられる緯度依存性を持っていたので、この波動現象は FLR により生じたと考えられる。ただ、LOSV の最大値が 100m/s を超えていたため、GSBS 領域内ではあるが ionospheric backscattered signals が混在していたと考えるに至った。そうすると本研究の研

究目的からはやや外れる事になるが、興味深い現象であるので解析を続ける事にし、この event の HAN と PYK の他の beams の解析に進んだ。しかし、データ量が大変多く、当時は目視でイベント同定していた為、解析の進行が遅かった。

本研究では多数の SI events について大量の SD のデータの解析を行う事を目指しているが、目視同定では時間がかかりすぎて目標達成が難しい事が確実であった。そこで、FLR を自動同定する方法の開発に着手した。そして、2020 年度前半までに、FLR events を SD LOSV データ中から自動同定する functions/procedures 一式は既に出来ていた。しかしそれらの functions/procedures は、4 つのコンピュータ言語で作った(過去の自作プログラムの活用)ものが混在しており、実行手順に沿って別言語プログラム間でデータをやり取りするのは手動で行っていた。これでは完全な自動化には至っておらず、大量のデータの解析は難しい。

そこで、完全自動化の為、2020年度後半から上記functions/proceduresを全てIDL言語で書きかえて統合する作業を開始した。しかし、技術的問題が多数発生し、また、書き換えるだけでなくアルゴリズムの改良の余地がある部分(下記)も発見し、2023年度末にもこの作業は継続中だった。

それと並行して、2021 年度には HAN の全ての beams 中の FLR events を既存の codes で自動同定し、その結果、目視では同定できなかった events も複数同定され、その中には ionospheric backscattered events も sea-backscattered events も含まれていた。そして、同定された全ての FLR events について対応する磁気圏プラズマ密度を推定したところ、電離層反射点は近くても ionospheric backscattered events と sea-backscattered events とで密度が大きく異なる傾向があった。この原因として、1 分値で 30 分間のデータを解析した為データ数は 30 で FFT 結果の周波数間隔が 0.56mHz と大きくなっている事が影響しているのではないかと考え、2022 年度には周波数分解能を上げるため zero-padding を行った (60 分間のゼロデータをイベントデータの後に加えて FFT を行った)。その結果周波数分解能が 3 倍となった FFT'ed data を用いて FLR 周波数同定と密度推定を行った結果、ionospheric backscattered events と sea-backscattered events での密度はより近い値となった。

2022 年度の時点では、2023 年度には zero-padding より高度な Lomb-Scargle 法により周波数分解能を上げる方法も検討したいと考えていた。そして、2023 年度にその検討を行った結果、Lomb-Scargle 法は時刻が等間隔でないデータの解析も可能な方法だが、宙空圏の観測データの大半は時刻等間隔であり その解析に Lomb-Scargle 法ほどの高性能は無くても良いと考え得る事、また Lomb-Scargle 法で振幅と位相の 2 つを計算する open-source の IDL procedure は見つけられず、アルゴリズム(特に位相を求める部分)が複雑なため自作するのには時間がかかりそうな事、が判った。そこで、時刻等間隔のデータについて同じ目的を達成することができ、また自作がより簡単と予想できる他の方法を探し、Discrete-time Fourier transform (DTFT) [e.g., Oppenheim et. al] という方法を知った。そこで、その IDL procedure の作成とテストを行い、予想と異なりプログラミング上の技術的問題が生じ時間を要してしまったが、2024 年度中に実用可能なレベルのものにした。また、並行して、上記の、複数の言語で作られた functions/procedures を全て IDL 言語で書きかえて統合する作業も継続し進展させた。

【引用文献】

Ponomarenko, Menk, Waters, and Sciffer, Ann. Geophys., p1271, 2005.
Southwood and Kivelson, JGR, p2301, 1990.
Oppenheim, Schafer, and Buck, Discrete-time signal processing (2nd ed.), 1999.

【成果発表】

Hideaki Kawano, Akira Sessai Yukimatu, Nozomu Nishitani, Yoshimasa Tanaka, Tomoaki Hori, Estimation of the FLR frequency and the magnetospheric density from the SuperDARN VLOS data using the Discrete-Time FT, Japan Geoscience Union Meeting 2024, 幕張メッセ国際会議場（千葉市）, 2024.05.26-05.31

（別紙様式04-2）

UAV空撮画像による森林伐採後の植栽・生育状況AI診断技術の開発
Development of AI diagnosis technique for planting and growth conditions after deforestation using UAV images

山本一清、名古屋大学・大学院生命農学研究科・教授

研究目的

日本の森林の約4割を占める人工林の多くが、現在成熟期を迎えている。また、花粉症等への対策等もあいまって、国内時人工林の整備等が進められている。しかし、これらの森林整備事業などの補助事業では、行政による竣工検査に多大な労力と時間を要することとなる。そのため、UAV空撮画像による検査も認められているが、現状では目視判読による検査が主体となっている。そこで、UAV空撮画像による検査の自動化及び定期的な状況把握が可能となれば、UAV画像検査が進み、植栽検査における行政コスト・所有者の申請コストの削減が可能となり、その効果は大きいものと考えられる。そこで、本研究ではUAV空撮画像からの間伐を自動抽出するアプローチについて検討した。

研究方法

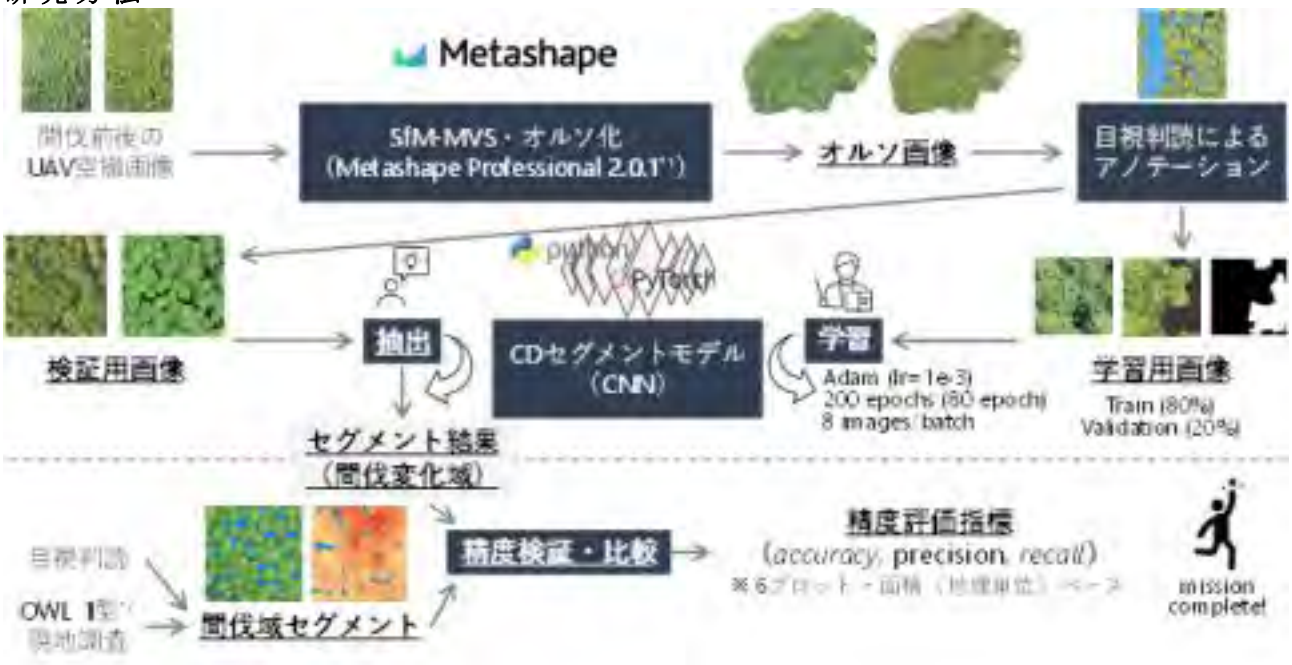


図１．本研究のアプローチ概要

表１．試験地の概要

Field	Pref. & City	Lat, Lon	UAV	Flight Altitude [m]	Area Size [ha]	Acquired Date	
						Before	After
Train Data (4Fields 7Areas)							
南	三重県熊野市	33.9063N, 136.0666E	Mavic2Pro (DJI)	145	7.9	2019/10/4	2020/1/24
三多気-1	三重県津市	34.5236N, 136.2260E	Mavic2Pro (DJI)	140	20.6	2020/8/5	2021/4/12
三多気-2			Mavic2Pro (DJI)	95	23.9	2020/8/5	2021/4/12
島谷-1	三重県大台町	34.3103N, 136.3004E	Mavic2Pro (DJI)	120	8.9	2022/3/28	2022/10/6
島谷-2			Mavic2Pro (DJI)	140	8.5	2021/2/19	2021/4/9
島谷-3			Mavic2Pro (DJI)	50	11.2	2020/12/17	2021/4/9
横谷	三重県大台町	34.3589N, 136.3084E	Mavic2Pro (DJI)	120	7.1	2019/10/9	2020/3/17
Test Data (1Field 1Area)							
稲武	愛知県豊田市	35.2049N, 137.5723E	Evo2Pro (Autel Robotics) Phantom4RTK (DJI)	130 100（対地高）	8.6 （共有部）	2021/4/1	2024/9/2

本研究では、間伐の自動抽出という課題に対して、以下の方針のもと

- 単木単位の把握は不可能なので、間伐領域の抽出（セグメント）をメインタスクにする
- DEMや形状特徴は安定しないので、オルソ画像を活用する

表１に示した試験地を対象に、間伐抽出手法として図１に示したアプローチを検討した。

結 果 及 び 考 察

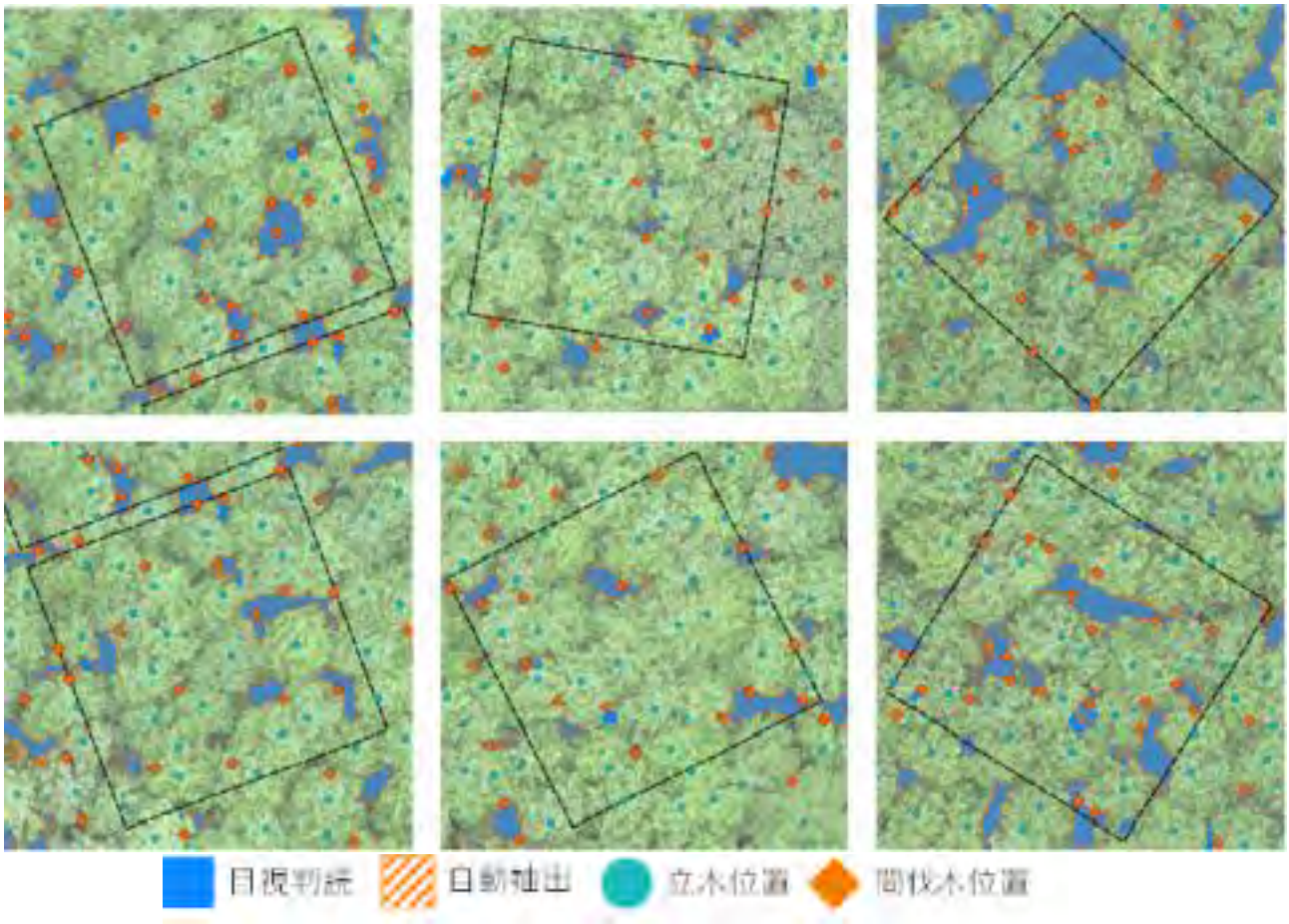


図２．検証画像に対する間伐域の抽出結果（精度評価）

本研究で提案したアプローチにおいては、図２に示したとおり間伐を個体レベルの変化ではなく、間伐領域の変化抽出として捉えるという新たな方法で、その精度についてはaccuracy：98.58%、recall：86.17%、precision：95.25%という高い検出精度が得られた。このように、UAV空撮画像を用いた間伐領域の抽出は目視判読と同等の水準で自動化可能であることが示唆された。

（別紙様式04-2）

積雪が卓越している山地上流域における水貯留および流出プロセス解明：流出観測および安定同位体比分析

Evaluating Water Storage and Runoff Processes in Snow-Dominated Mountain Headwaters: Runoff Observations and Stable Isotope Ratio Analysis

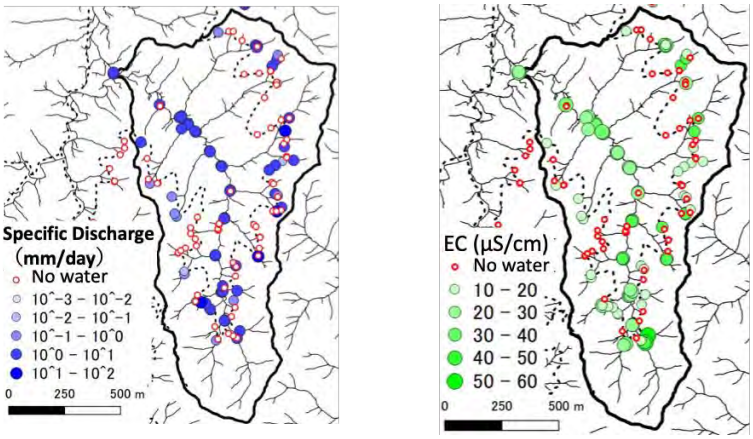
五味高志、名古屋大学・生命農学研究科

1.はじめに

山地流域へ浸透した雨水は、土壌や岩盤のさまざま流出経路を経て、その一部は流出するとともに、岩盤や土壌への貯留、さらには深部浸透をもたらす。土壌や岩盤への水の貯留は、崩壊や土石流の発生にも関連している。既往研究からでは森林源流域の水流出量は地質や地形などにより、隣接流域でも流出量が異なり不均質であることが報告されている。たとえば、Asano and Uchida (2012)では多地点における水質調査から流出に影響を与える土壌や岩盤層が表面地形や滞留時間と関連があることを示した。Egusa et al.(2013)では多複数地点による水質調査から複数の地質が存在する流域においても、その流域の代表的な流域面積である（Representative Elementary Area: REA）が存在することを示した。一方で、流出量は時間的にも変動することが示されており、それらは地質や地形条件により異なる。たとえば、地頭薗ら（2004）は地質調査と水文観測から100mm程度の降雨に対する直接流出率は6%未満であり、逓減の減衰が小さいことを示してしめている。Katsuyama et al. (2008)は花崗岩流域と堆積岩流域のハイドログラフの比較から、堆積岩流域における逓減は大きく、貯留量が小さいことを示した。これらの点から空間的にも多様な地形や地質において、降雨量の季節変化等により流量が時間的にどのように変化することが検討が重要であることが示されている。そこで本研究では、①流量やECなどの簡易多地点調査から流出特性を把握し、②安定同位体比分析とシリカなどの水質分析から山体での滞留や流出過程を評価し、③山地上流域での水流出プロセスの時空間的変動を考察することを目的とした。

2.研究方法

調査は岐阜県郡上市の木曽川水系長良川支流亀尾島川上流内ヶ谷流域内に位置する山地上流域（C流域：面積100 ha）を対象とした（図−1）。流域の地質は中生代堆積岩による砂岩泥岩互層であり、流域の層向傾斜は一様であり西に約75°傾斜している。C流域内に位置する源流域の抽出には航空機LiDARの1mDEMを用いた。その中から調査流域141地点（面積0.02〜100ha、高低差25〜330m）を選定した。現地踏査において流路の存在、流水の有無、湧水点を確認し、緯度・経度を記録した。流水が有る場合は流量、電気伝導度（EC）、水温を計測し、50〜100mlの水サンプルを採取した（図−1）。安定同位体比（$\delta^{2}H$および$\delta^{18}O$）は、名古屋大学宇宙地球環境研究所に設置のPicarro L2130-i 同位体分析装置を用いて測定した。分析対象は渓流水、降水、浅層土壌水（深さ5cmおよび30cm）である。シリカ（SiO_2）濃度は、モリブデン黄法により定量され、試料中のSiO_2がモリブデン酸と反応して生成する黄色錯体の吸光度を測定することで濃度を算出した。シリカの分析は、株式会社地球科学研究所の協力により実施した。



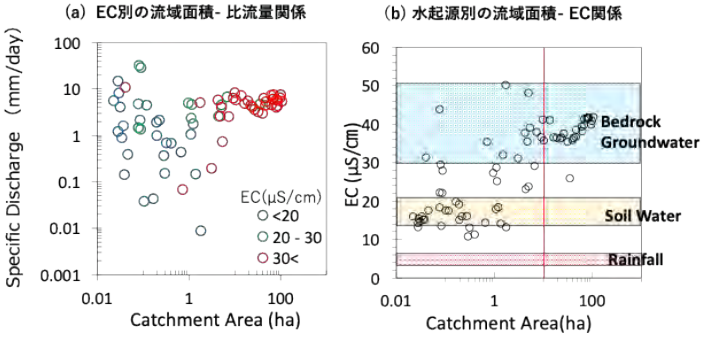
図−1 調査流域の比流量とECの分布

3. 結果と考察

堆積岩地域における源流域141地点を対象に、基底流の流出特性を多地点かつ時系列で評価し、その空間的変動を明らかにした。比流量には0.01mm/日から10mm/日の4オーダーの違いがあり、電気伝導度（EC）には10〜50µS/cmの違いが見られた。小規模流域（＜10ha）では、透水性の高い岩盤（例：風化した砂岩）では、降水が深層まで浸透することで流量・ECともに低下し、逆に低透水性岩盤（例：未風化の泥岩）では、地下水が基岩沿いに流下・滞留することで流量（1〜10 mm/day）やEC（40〜50µS/cm）

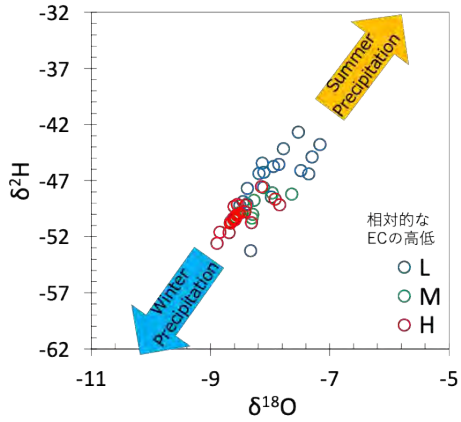
が高くなる傾向が示された。大規模流域（＞10ha）では、透水性の異なる層が交互に存在し、水が低透水層に沿って集約されることで、安定した流量と高いECの流出が確認された（図−2）。

さらに、2024年6月に採取された水試料の安定同位体比（δ^2Hおよびδ^{18}O）分析では、ECが高い地点では、冬季降水に近い同位体比（δ^2H=-10、δ^{18}O=-60）を示しており、これらの地点では冬季に浸透した水が基岩内に貯留され、遅延して流出している可能性があることが示唆された（図−3）。一方、ECが低い地点では、夏季降水に近い同位体比（δ^2H=-4、δ^{18}O=-28）が見られ、表層近くの浅層水の影響が強いと考えられる。加えて、シリカ（SiO_2）濃度の分析では、ECが高く同位体比が冬季降水に近い地点でシリカ濃度も高く（10〜15mg/L）、これらの地点では風化度の低い基岩との接触が長く、ミネラルの溶出が進んでいることが推測された。このように、安定同位体比およびシリカ濃度の情報は、流出水の起源や滞留時間、通水経路の深さに関する有力な指標となった。



図−2（a）EC 別の流域面積と比流量関係、(b）水起源別の流域面積と EC の関係

本研究により、堆積岩地域における基底流の流出特性が、地質構造や風化の程度によって大きく左右されることが明らかとなった。具体的には、風化泥岩や未風化基岩の存在が流路の深さや貯留時間に影響し、それが比流量や電気伝導度（EC）に反映された。高ECの流域では、基岩に沿った長期的な遅延流が流出に寄与しており、同位体比の低さからも冬季降水の貯留水が関与している可能性が示唆された。一方で、透水性の高い岩盤では水が深層に浸透して流出量が少なく、ECも低かった。さらに、大規模流域では異なる透水性を持つ地層を経て水が集約され、安定した高ECの基底流が生じと考えられた。また、流域東側では流域西側と比較して比流量が高くECが低くなる傾向が見られ、異なった点は、亀裂や走向傾斜などの岩盤構造が影響していると考えられた。砂岩泥岩互層からなる堆積岩流域においては、層理面や節理面に沿った水の移動が確認されている（Inaoka et al. 2020）。走向傾斜は一様であっても、堆積岩の層構造の傾斜方位および層に形成される亀裂の有無により、水の移動方向は異なる可能性がある。今後、流域の土壌の湿潤度の違いと流出の違いについてより詳細に検討する必要もある。山地上流域での水流出プロセスの時空間変動を把握し、その要因として、降水による流域の湿潤状態の変化や、走向傾斜などの岩盤構造などを検討する必要もある。



図−3 サンプル地点の EC の違いと安定同位体比分析結果

引用文献

Asano & Uchida, (2012) Flow path depth is the main controller of mean base flow transit times in a mountainous catchment. *Water Resources Research* 48(3): 3512.

Egusa et al., (2013) Relationship between catchment scale and the spatial variability of stream discharge and chemistry in a catchment with multiple geologies. *Hydrological Research Letters* 7(2): 12-17.

Inaoka et al., (2020) Effects of geological structures on rainfall-runoff responses in headwater catchments in a sedimentary rock mountain. *Hydrological Processes* 34(26): 5567-5579.

地頭薗ら, (2004) 鹿児島県出水市針原川流域の水文地形的特性と深層崩壊. 砂防学会誌 56(5): 15-26.

Katsuyama et al., (2008) Comparison of rainfall-runoff characteristics in forested catchments underlain by granitic and sedimentary rock with various forest age. *Hydrological Research Letters* 2: 14-17.

（別紙様式04-2）

流星による VLF 帯電波放射の観測的研究

Observation of Meteoric VLF Radio Emission

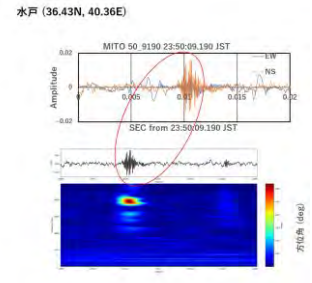
渡邉　堯（情報通信研究機構）、大矢浩代（千葉大）、塩川和夫（名古屋大）、小林美樹（NMS）、加藤泰男（名古屋大）、鈴木和博（NMS）

この研究は、地球上層大気圏に突入する流星や宇宙機の周辺で発生することが示唆されている、VLF領域における電波放射の存在の確認を、主な目的としている。流星については、1981年8月におけるペルセウス流星群に属する火球（特に明るい流星）について、初めてVLF電波放射の存在を示唆する観測結果が得られているが、引き続き各国で行われている同様の観測においては、雷起源の空電との判別が明確で無く、この種の電波放射の存在については、未だに意見が分かれている状態にある。宇宙機再突入については、2020年の「はやぶさ2」再突入において、電波放射の存在を示す観測結果が得られ、特に2023年のOSIRIS-REXについては、方向探知（方探）解析によって、VLF電波放射の存在がほぼ確認されたと言える（詳細な解析は継続中）。電波放射の発生は、波形やスペクトル等の特性により、地球超高層大気圏を秒速数十kmで運動する物体の周辺に形成される、高温のプラズマ領域における放電現象が、主要な電波発生源であることが推測される。以上の研究成果を踏まえ、VLF電波放射と流星関連現象との関連を推定する上で、有効性が確認された方探観測技術を、本年度に発生した流星群や宇宙機再突入イベントに適用することにより、以下のような結果が得られた。

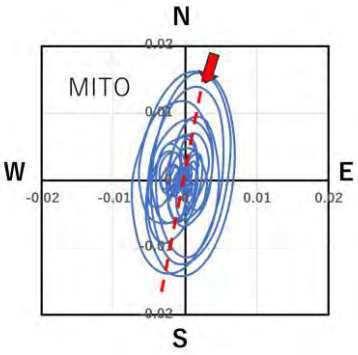
（1）2024年8月12日23時50分09秒に発生した流星に伴うVLF電波の方探観測



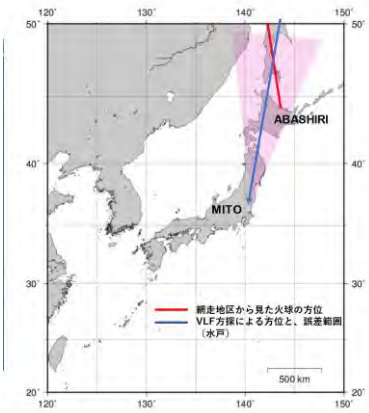
この流星は、ペルセウス流星群の活動極大期に、北海道や北日本で見られた低緯度オーロラをバックにして発生した明るい流星（0等級）として、注目を集めた（左図、網走市能取湖で撮影。提供：陸別銀河の森天文台・津田浩之氏）。この時、母子里観測所におけるVLF電波データは、観測装置の不具合のため欠測であったため、水戸市近郊で得られたVLF観測データの方探解析を行った（NS/EWループ＋垂直アンテナを使用）。この流星の発生時刻に検出された、連続性VLFノイズの波形と動スペクトルを下図aに示す。この波形の方探解析（リサージュ表示）の結果を下図bに示す。垂直アンテナによる入射電波の極性測定の結果、このシグナルは水戸から見て、ほぼ真北の方向から来ていることが分かった。この結果は、上記の流星写真による流星の発生方位と、誤差の範囲内で良い一致が見られ、流星はサハリン南部で発生したことが分かる（下図c）。当該方向には雷雲活動も見られず、流星出現時刻との対応も良いため、流星起源のVLF電波放射が観測されたものと思われる。



（a）：2024年8月12日23時50分09.1秒（JST）、水戸市近郊で観測された連続性VLFノイズの波形、下：上記波形の動スペクトル（Wavelet解析）



（b）VLF電波のNS/EW各成分のリサージュ表示による方探解析。電波の入射方向は垂直アンテナ出力により決定。



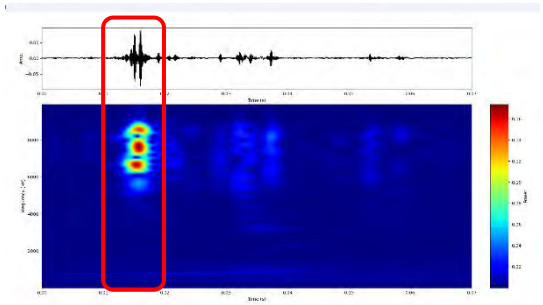
（c）VLF帯電波の方位（青線）と誤差範囲（ピンク）、能取湖（網走）より撮影された写真（上掲）による流星発生の方位（赤線）。

(2) 2024 年 12 月 5 日 01 時 09 分に北海道東方で発生した大火球に伴う VLF 電波放射の方探観測

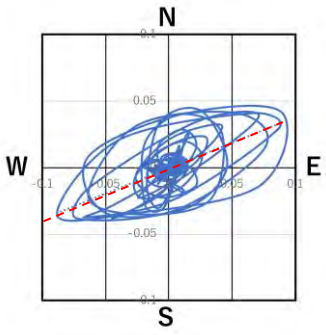
母子里観測所における VLF 電波観測データの方探解析の試行として、表記のイベントの解析を行った。この火球は満月クラスの明るさを持ち、オホーツク海沿岸地域から道南地域にかけて広く観測されたが、ライブカメラの映像が多く、方位測定は映り込んだ地物によって行った。紋別市で撮影されたライブカメラ映像を下図 a に示す。この大火球発生の時間帯について、母子里観測所で得られた VLF 電波観測データを調べたところ、12 月 5 日 01 時 9 分 42.15 秒 (JST)に、下図 b にある波形と動スペクトルに見られるような、前述のケースと同様の、継続性を持ったノイズが発生していることが分かった。そこで下図 c にあるように、NS/EW 成分のリサージュ解析を行ったところ、このシグナルは母子里観測所における東西線から、東北東（+21 度）もしくは西南西（-21 度）の方向から来ていることが示された。母子里では垂直アンテナによる観測が行われていないため、入射方向の判別は出来ないが、西南西の方向には雷雲活動が殆ど見られないことと、火球発生時刻との整合性の観点から、この VLF シグナルが大火球の発生に起因することが、強く示唆される。そこで紋別と士幌の 2 ヶ所のライブカメラによる映像から推定した方位と、母子里における VLF 方探観測による方位を比較すると、下図 d にあるように、この大火球は南千島地域で発生したことが分かる。



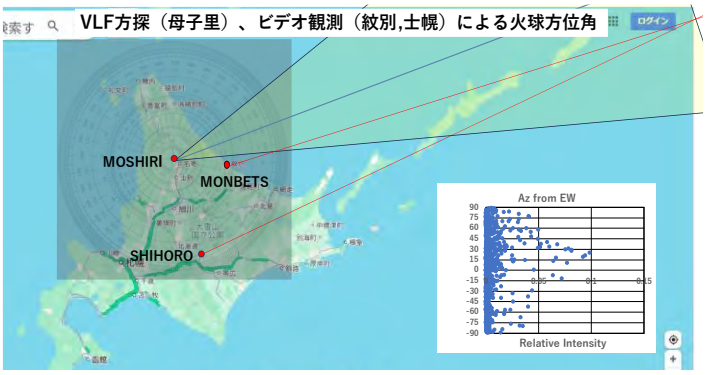
(a) 2024 年 12 月 5 日 01 時 09 分(JST)頃、紋別市において撮影された大火球。カメラ視野は東向き。



(b)大火球発生時に母子里観測所で観測された VLF 電波シグナルの波形と動スペクトル。



(c) NS/EW 成分のリサージュ表示による方探解析。



(d)紋別、士幌の2地点におけるビデオ映像から求めた火球の方位（赤線）と、母子里から見たVLF電波シグナルの入射方向と誤差範囲。

(3) まとめ

本年度に観測された2件の明るい流星について、VLF放射の存在が、方探解析によってほぼ確認されたと解される。日本周辺で発生した2件の大型宇宙機再突入については、VLF電波放射の存在が認められたため、現在解析が進行中である。今後は更に方探観測の信頼性向上のため、複数観測点での方探観測により、電波放射の「位置」の確定を目指す。また、楕円偏波の特性を示すケースが多く、直線偏波近似による解析の場合は誤差が大きいため（入射高度角がゼロでは無いことによる）、波動解析による精度の向上を図りたい。

（別紙様式04-2）

宇宙線で探る内部太陽圏IMF磁場擾乱の空間構造

Exploring the spatial structure of inner heliosphere IMF magnetic field disturbances using cosmic rays

小島　浩司、中部大学・天文台

研究目的

我々は2018年度まで、名古屋大学太陽地球環境研究所の「地上ネットワーク観測大型共同研究」において、「日印両国に設置した超大型ミュオン望遠鏡(GRAPES-3ミュオン望遠鏡)による宇宙線強度の空間変動と惑星間空間におけるCMEの素過程の研究」という課題で助成を受け、平常時の宇宙線強度と太陽風速の関連性についての研究を継続してきました。これまでの解析により、宇宙線強度と太陽風速が負の相関関係にあることを示し、その結果として地球近傍の惑星間空間における約70GVの宇宙線の平均自由行程が約1auであることを明らかにした[Phys. Rev. D 98, 022004 (2018)]。2024年太陽活動は最盛期を迎えX線強度Xクラスの大規模フレアも多発していて、フレアに伴うフォルッブシュディクリーズ(FD)と呼ばれる宇宙線強度の急激な変動も多く見られた。このFDの時系列変動をGRAPES-3ミュオン望遠鏡の特長である空間方向の高分解能及び時間的高統計精度な機能を利用した精密な解析により、FDの原因と思われるIMFの空間構造との関係性を明らかにする。

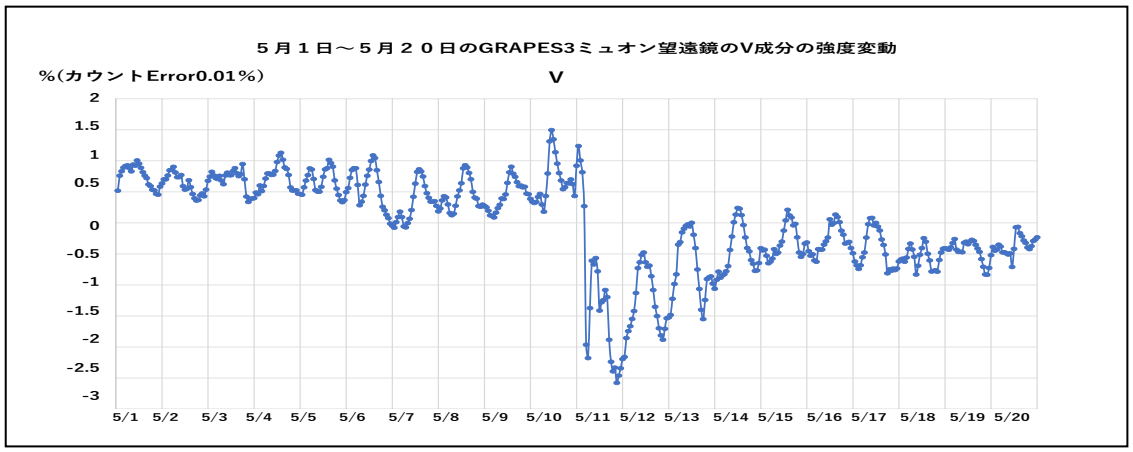
結果

2024年5月８日から１５日にかけて太陽面で大規模フレアが連続して発生した。この期間中の宇宙線の強度変動で典型的な形のFDによる宇宙線強度変動が5月10日から14日かけて見られた。この時系列強度変動には全方向同時の等方性の変動と空間的に特定の方向に異方性を持つ変動が混在している状況が示唆される。そこで我々は宇宙線の異方性解析によく用いられる「E(東)-W(西)メソッドを利用して等方性成分と異方性成分の分離する事が出来た。しかしこの結果について異方性成分の抽出においてその振幅の大きさの見積の精度が十分とは言えない。ゆえに、今後解決すべき課題とした。

まとめ

今後は、等方性成分と異方性成分のそれぞれの振幅を定量的に明らかにすると共にそれらの量とサテライトによるIMF測定との間の具体的に関連付ける必要がある。

以下に5月1日から20日までのGRAPES-3ミュオン望遠鏡の垂直方向(V)成分の強度変動を示す



あらせ衛星と SuperDARN レーダーを用いた地磁気脈動の観測研究

Analysis of Ultra Low Frequency waves using the Arase satellite and SuperDARN data

寺本万里子、九州工業大学工学研究院

【研究目的】

地磁気で観測される地磁気脈動と呼ばれる低周波波動は、放射線帯電子の加速や高周波波動の励起に関わる現象であることが知られている。本研究では、あらせ衛星の観測と中緯度 SuperDARN レーダーの観測を組み合わせることにより、地磁気脈動のモードを決定しその空間構造を明らかにする。

【研究方法】

昨年度に引き続き、2022 年度に実施した SuperDARN と Arase の磁力線共役キャンペーン観測期間に夕方側で観測された 2.3mHz の周波数をもつ地磁気脈動について、イベント解析を行った。このイベントは Arase が位置する磁力線の footprint が北米大陸上空にあるため、北米の地磁気ネットワーク、SuperDARN 観測網、TEC、による地上観測データと、Arase 衛星の電場・磁場の観測データを組み合わせた解析が可能となった。また、地磁気静穏期に発生している。SuperDARN の 2 次元の観測によって地磁気脈動の伝搬方向の同定と波数の同定を行った。また、地磁気観測における地磁気脈動の位相と振幅の緯度変化から磁力線共鳴の同定を行った。さらに、Arase 衛星の電場磁場観測から地磁気脈動の Poynting Flux を計算し、地磁気脈動の特性について調べた。上記の解析は、共同研究として行っており、申請者は主に衛星データの解析を担当した。

【研究結果と考察】

北米 SuperDARN の観測によって、地磁気脈動は地磁気緯度 62 度から 72 度・経度 280 から 340 度の広範囲で観測され、反太陽方向の東向き伝搬の特性を持つことが明らかになった。また、この ULF 波の経度方向の波数を SuperDARN の観測を用いて推定したところ 12 と小さいことがわかった。SuperDARN と地上磁場両者の観測から、地磁気緯度 68 度付近で地磁気脈動の位相と振幅が変化することもわかった。一方 Arase 衛星では、電場・磁場の toroidal 成分に地上で観測された地磁気脈動と同周期の波動が卓越している。スペクトル解析によって電場・磁場の位相差を計算したところ 2mHz において 45 度であった。この電場と磁場の位相差から、この地磁気脈動が定在波と進行波が混在した波動であることと解釈される。また Arase の電子密度の観測に基づいてイオン密度を仮定し、地磁気脈動の共鳴周波数を導出したところ、周波数は南北半球の電離圏の電気伝導度の違いによって起きる quarter wave を支持する結果となった。以上の解析から、本研究は、quarter wave mode によって引き起こされた地磁気脈動を地上と衛星観測で初めて捉えたことを示している。

【今後の展望】

本研究で得られた成果は、現在、国際誌への投稿に向けて準備を進めている。今回は 2022 年の静穏時に発生した地磁気脈動を解析したが、2023 年にも同様のキャンペーン観測を実施しており、この期間には磁気嵐を含む擾乱時のデータも含まれている。今後は、静穏時と擾乱時のイベントを比較し、地磁気脈動の経度方向の波長構造や伝搬方向の違いなどの特徴を詳しく調べる。

【成果発表】

[1] N. Nishitani, K. Hosokawa, T. Hori, M. Teramoto, P. V. Ponomarenko, A. Shinbori, Y. Obana, A. S. Yukimatu, Y. Miyoshi, I. Shinohara, “Preliminary report of special time measurements in support of Arase conjunctions in Fall 2022”, SuperDARN Workshop 2023, May 30, 2023, University of KwaZulu-Natal, and SANSA, South Africa

[2] 西谷 望，細川 敬祐，堀 智昭，寺本 万里子，Ponomarenko Pavlo, 新堀 淳樹，尾花 由紀，行松 彰，三好 由純，松岡 彩子，熊本 篤志，土屋 史紀，松田 昇也，笠原 禎也，中村 紗都子，篠原育 “2022 年秋の SuperDARN とあらせ衛星共役 観測によって捉えられたイモムシ型 ULF 波動について”、SGEPSS Fall Meeting 2023、2023 年 9 月、仙台、日本

[3] 新堀 淳樹、細川 敬祐、堀 智昭、寺本 万里子、Pavlo Ponomarenko、尾花 由紀、西谷 望、行松 彰、大塚 雄一、西岡 未知、Perwitasari Septi、熊本 篤志、土屋 史紀、松田 昇也、笠原 禎也、松岡 彩子、三好 由純、篠原 育、“超低周波波動によって駆動される高緯度電離圏振動：SuperDARN レーダーと GNSS-TEC 法を用いた同時観測結果”、JpGU 2024、2024 年 5 月、幕張

[4] Atsuki Shinbori, Keisuke Hosokawa, Tomoaki Hori, Mariko Teramoto, Pavlo V. Ponomarenko, Yuki Obana, Nozomu Nishitani, Akira Sessai Yukimatu, uichi Otsuka, Michi Nishioka, Septi Perwitasari, Atsushi Kumamoto, Fuminori Tsuchiya, Shoya Matsuda, Yoshiya Kasahara, Ayako Matsuoka, Yoshizumi Miyoshi, Iku Shinohara “Periodic oscillations of the high-latitude ionosphere driven by ultralow frequency waves: simultaneous measurements using SuperDARN radars and GNSS-TEC technique” , SuperDARN Workshop 2024, May 23, 2024, NSSC/CAS

（別紙様式04-2）

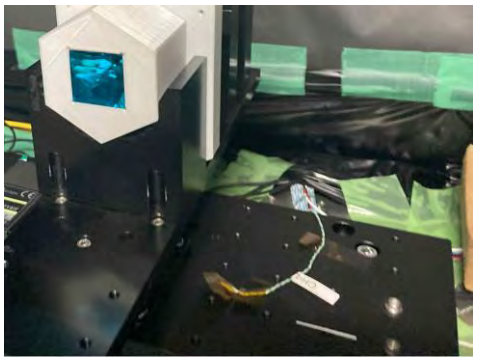
半導体光検出器SiPMの20 GeV帯域ガンマ線観測への応用と紫外分光性能の評価
Application of silicon photomultipliers for 20 GeV gamma-ray observations and evaluation of their UV sensitivity

山本常夏、甲南大学・理工学部

【作成要領】

本計画により20 GeV帯域ガンマ線観測で使うSiPM検出器の開発を行っている。この検出器は将来、ガンマ線観測計画CTAの大口径望遠鏡に搭載することを考えている。

CTA計画は口径4～23 m の複数の種類の望遠鏡を合計約100台建設し宇宙で起こっている高エネルギー現象を高精度で測定する国際共同研究である。特に大口径望遠鏡は口径23mの主鏡と1885本の光電子増倍管からなるカメラを搭載している。20 GeV以上のエネルギーのガンマ線が大気中で生成した空気シャワーから発せられる大気チェレンコフ光を高効率で集光し観測している。この大口径望遠鏡のカメラに搭載されている光電子増倍管を半導体検出器SiPMに置き換えることを検討している。それにより、画素数を4倍にして空間分解能を上げることと、光検出効率を上げることにより、観測精度が高くなることが期待される。一方SiPMは光電子増倍管に比べ赤外線への感度が高い。チェレンコフ光は紫外線領域で強く、赤外線に感度があると夜光などのノイズが増え観測精度の低下が懸念される。それに加え、SiPM自体が赤外線を発光する。光子電子をアバランシュにより増幅させたときに赤外線が発生し、それが光電面に届くことが確認されている。赤外線を吸収し紫外線を透過させるようなフィルターは作れず、赤外線は反射させるか透過させるしかない。このため光電面に赤外線フィルターを置くとSiPM内部で発生した赤外線が戻され周辺の画素に入射することによりクロストークが生じる。そこでSiPMに赤外線の反射率を下げた集光器を取りつけることを検討している。



開発中の SiPM を使った検出器。赤外線を除去する集光器を取り付けている。

こういったガンマ線観測用の焦点面検出器を開発するには、検出器の感度を入射光の波長と入射角の関数で計れる装置が必要になる。本計画では、遠隔から自動制御できる分光装置を搭載したキャリブレーションシステムの開発を行っている。右図に開発中のSiPM検出器を示す。SiPMに赤外線の反射率を下げた鏡で作った集光器を取りつけている。この検出器を治具に取り付け暗室の中のキャリブレーション装置に装着している。これまではLEDやPhotdiodeなどを使い測定をしていた。この方法だと測定できる波長が限られるうえに、波長を変えるごとに検出器にかけている電圧を下げ、手動で光源を取り換える必要があった。それをコンピュータにより遠隔操作しながら自動測定ができるように改良している。まず光源はHAMAMATSU Photonics社製E7536を使ったキセノンランプを使い、それをSIMADZU社製 SPG-120UVという分光器に通して190～700 nmの波長領域で分光し、検出器に照射するようにした。左図に開発した光源を示す。この分光器導出により波長と入射角を同時に遠隔制御することできるようになり、検出器の検出性能を効率よく測定できるようになった。2025年4月に光学系の制作が完了する予定で、本格的な測定ができるようになるはずである。



キセノンランプと分光器を組み合わせた光源。遠隔操作により自動測定ができるようになっている。

今後この装置によりSiPMを使った光検出器の感度を測定し、最適化を行っていく予定である。

（別紙様式 04-2）

高分解電波スペクトルと太陽大気画像解析に基づく太陽高エネルギー粒子生成起源の究明

Investigations on origin of solar energetic particle (SEP) phenomena
based on the analyses of high-resolution radio spectra and coronal images

代表者：三澤浩昭（東北大学大学院理学研究科）

1．研究目的

フレアやコロナ質量放出(CME)の発露に伴い多様な電波バーストが出現する。この中で CME 発生時に頻出する負の緩やかな周波数ドリフトを示すⅡ型と呼ばれる電波バーストがある。Ⅱ型バーストの出現は太陽高エネルギー粒子(SEP)現象の出現と関係があることが知られているが、両者の具体的な関係は不明である。申請者らは数 100MHz 帯電波の観測から、Ⅱ型バーストには大きな周波数ドリフト率を持つ微細構造が含まれていることを明らかにし、顕著な粒子加速の存在可能性を示してきたが、この現象が SEP にどのように関わっているかは未解明の課題である。本研究は、広帯域Ⅱ型バーストの高分解スペクトルと太陽大気画像の解析に基づき、①電波微細構造導出による電波発生高度～粒子加速域高度の推定、②大気構造変動導出による粒子加速域の同定 から、SEP 生成起源の究明を行うことを目的とする。

2．研究内容・進行状況

3 年計画の初年となる本年度は、電波観測・解析面では東北大学のメートル波帯太陽電波分光装置(IPRT/AMATERAS)で観測された高時間・高周波数分解偏波スペクトルデータを用いて、太陽サイクル 24 に出現したⅡ型バースト 13 イベントの出現特性の解析を進めた。全イベントで微細構造を示すことは既に確認済みであったが、本解析により新たに、イベント毎に微細構造を示す時間帯と示さない時間帯が混在している場合があること、その混在度合いは各イベントで様々であることを見出した。13 イベントのうち 1 例は、豪州のアレイアンテナ(MWA)での電波源探索も同時に行われており、このⅡ型バーストは磁気ループのトップ付近で発生し、プラズマの複雑な動きを伴う現象であったことが報告されている（Bhunia+, 2023）。このプラズマ変動の検出は、スペクトル微細構造と粒子加速との関連性を誘起させる結果として興味深いが、著者らは、プラズマの動きは電波散乱による見掛けの現象と述べている。電波散乱では、散乱の有無で偏波特性に差異が生じることが想定される(ex. Ledenev+, 2002)。そこで IPRT/AMATERAS の偏波スペクトルデータを用いて、このⅡ型バーストの偏波解析を行った結果、微細構造と非微細構造で偏波に有意な差異はないことを見出した。このことは微細構造の有無は電波出現後の散乱による見掛けの現象ではない可能性を示しており、Ⅱ型バースト生成に寄与する粒子加速の特徴を示す結果として重要である（学術誌投稿準備中）。本結果に基づき、微細構造の有無は電波生成域固有の特徴として、現在は今太陽サイクルに出現したⅡ型バーストのデータも加えて粒子加速域の特徴の精査を進めている。また、電波観測面では、SEP 現象との関連性が高いとされる低周波帯(数 10～数 100MHz)の高分解電波スペクトル計測を可能にするため、アレイ型アンテナと高時間分解能偏波分光受信系の開発も新たに進めている。本開発計画では 2025 年度内に 2 素子アンテナでの観測開始を目指しており、立ち上げ後は、IPRT/AMATERAS との組み合わせで 20～500MHz 帯の太陽電波の高精細観測（電波生成域として大凡 1.05～3 太陽半径相当）が可能になる見込みである。

一方、太陽大気撮像データとⅡ型バーストデータの照合解析については、撮像間隔が短く、電波データとの比較・照合を行う面でメリットのある、SDO 衛星(NASA)の EUV 撮像装置 AIA の連続撮像データを用いて、上述した 13 のⅡ型バーストイベントから照合解析対象に適した時間帯を抽出し、微細スペクトル構造から想起されるプラズマ様相変動の関係の精査を進めている。

3．報告済成果等

①三澤他, 日本地球惑星科学連合 2024 年大会, 幕張メッセ, 2024 年 5 月、②三澤他, 太陽研連シンポジウム, 宇宙科学研究所, 2025 年 2 月

低周波超長基線電波干渉計観測における電離圏の影響評価
Evaluation of ionospheric effects on Low-Frequency VLBI Observations

土屋史紀、東北大学・大学院理学研究科

本研究は、低周波(300MHz 帯)での超長基線電波干渉計(VLBI)観測における電離層の効果の定量的評価及びその補正方法の確立を目的として、名古屋大学の多地点 IPS 太陽風観測システムの豊川局と東北大学の飯舘観測所及び蔵王観測所に設置されている電波望遠鏡の間で VLBI 実験を実施する。大口径の大型電波干渉計 Square Kilometre Array (SKA) の建設が開始され、2020 年代後半より SKA と他の電波望遠鏡間の VLBI 観測を通した天文学、惑星科学研究の大きな進展が見込まれる。一方、地球の電離圏を電波が通過する際に受ける群遅延は周波数の二乗に反比例するため、低周波の VLBI 観測では、電離圏の遅延効果の評価・補正がより重要となる。電波が地球電離圏を通過する時に受ける群遅延や電離圏の空間非一様によって生じる屈折の効果は電波源を２つの電波望遠鏡で観測して受信波形の相関処理を行うことにより、電波の到達遅延時間として検出される。電波源の位置を精密に決定するためには電離圏で生じる遅延時間の評価が必須となり、本研究では 300MHz での遅延時間の定量評価と補正方法の確立を目標とする。

本研究は 2023 年度に開始し、1 年目は VLBI 観測に必要なデータ収録システムを豊川局に設置した。その後、データ収録システムを構成しているサンプラ（日本通信機 VSSP32）や PC に不具合がでたため、2 年目の本年度はサンプラや PC の交換などを実施し、2025/2/6 に３つの電波源(0019-00、0056-00、および 3C144)の観測を、3/25 に１つの電波源(1938-15)の観測を名古屋大学豊川局と東北大学飯館観測所で実施した。2/6 の観測では相関処理の結果有意なフリンジの検出ができなかったが、観測設定を改めた結果 3/25 の観測結果から有意な相関結果を得ることに成功した（図１）。今後は、このような観測を積み重ねて電離層の遅延量変動の成分を取り出すとともに、名古屋大学富士局と木曽局、東北大学蔵王観測所との VLBI 観測の実施体制を整備し、電離層の遅延量の補正方法の確立を進める。

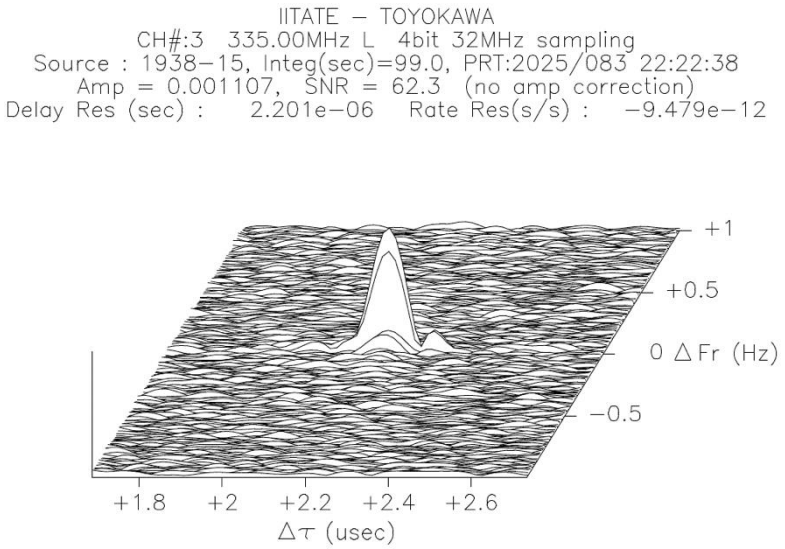


図１：2025/3/25 に名古屋大学豊川局と東北大学飯館観測所で実施した 325MHz における電波源 1938-15 の相関処理結果。横軸が遅延時間Δτ、縦軸が遅延時間変化率ΔFr、高さ軸が相関関数を示す。

（別紙様式04-2）

映像IoT技術とインフラサウンド観測による火山（桜島）モニタリング技術開発
Monitoring of a volcano (Sakura-jima) via visual IoT technology and infrasound observation

西村竜一、国立研究開発法人情報通信研究機構・レジリエントICT研究センター

１．研究目的

情報通信研究機構レジリエントICT研究センターでは、これまで、映像IoT技術開発およびインフラサウンドセンサー開発を進めてきた。本共同研究課題では、長期間に及ぶ常時データ取得、モニタリング性能評価、システム改良のサイクルにより、これらの技術を火山モニタリングに用いる際の問題点の抽出とその解決のための技術開発を行う。これにより、遠隔地点からの実用的な火山モニタリングの実現可能性について研究する。

２．研究内容

名古屋大学宇宙地球環境研究所（ISEE）の鹿児島観測所に火山監視カメラおよびインフラサウンド観測装置を設置し、映像と音波（インフラサウンド）による桜島モニタリング実験を行う。取得データは、名古屋大学統合データサイエンスセンター計算機システムのネットワークを経由し、情報通信研究機構のデータサーバーへ転送される。

① 鹿児島観測所はネットワーク的に安定してデータ送付が可能なことから、これまではクラウド上のサーバーで実行できる映像解析の技術開発を進めてきた。しかし、画角的に望ましい火山監視カメラの設置場所がデータ通信的にも都合が良い場所とは限らない。そこで、通信環境が厳しいケースを想定し、必要なデータ送信量を削減することを目的に、噴火（噴煙）監視のための映像解析をエッジとクラウドの両方で連携して実施する手法について2023年度に検討を開始した。本年度は、エッジでの噴煙検出手法を発展させ、さらに定量的な削減効果の評価を実施した。

② 火山噴火の際に発生する比較的高い周波数のインフラサウンドを高S/Nで観測すべく、鹿児島観測所で常時観測を継続しているインフラサウンド観測装置を、従来の静電容量型MEMS気圧センサー単体を用いたものから、MEMS気圧センサーと小型超低周波音マイクロホンの両方を併用し2023年度に開発したファームウェアを搭載した新しい複合型の観測装置に交換し、常時観測を継続した。また、取得したデータを基に、火山噴火の自動検出手法に係る検討を開始した。

３．研究結果

上述の研究内容の各項目に対し、それぞれ下記の研究成果を得た。

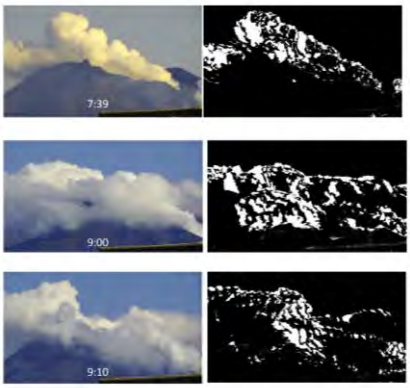
① 2023年度にエッジ・クラウド連携として、クラウドではOptical Flowによる隣接フレーム間の物体の動きを追跡した手法で噴煙を検出し、エッジではフレーム間差分による軽量な計算により噴煙を検出する手法を提案した。エッジにおける単純なフレーム間差分による画像では、噴煙以外の雲や映像中に映り込む車を誤検出する可能性がある（図1左）。そこで、その悪影響を低減するためのマスキングの適用を新たに考案した。エッジにおいて噴火（噴煙）の発生の可能性のあるフレームをスクリーニングし、対象となるフレームのみをクラウドのサーバーへ送信して検出することで、全映像データをクラウドへ送付して検出する場合と比較して、データの送信量を90%以上削減できることが確認された。

② 複合型の新しいインフラサウンド観測装置（図2左）によるインフラサウンド観測波形（図2右）は、ノイズフロアが 0.1 Pa に満たない程度の低自己雑音を実現していることが確認された。図中観測波形に3回現れる大きな振幅の信号は、気象庁が発表する桜島の爆発的噴火の時刻に対応しており、従来よりも高いS/Nで噴火由来のインフラサウンドが観測できている。さらに、振幅が数 Pa レベルの信号も複数回見られており、これらは必ずしも噴火由来というわけではなく、近くの道路を通

過する車の風圧など、別起源の可能性も考えられる。しかし、複合型観測装置の観測性能の高さは示唆しており、適切な設置場所で運用することで火山活動の観測に役立てられる可能性がある。

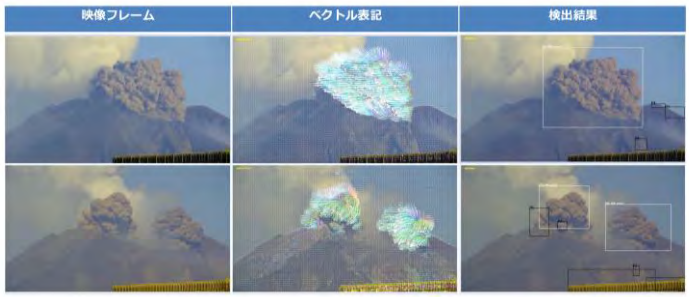
４．成果発表

[1] 菊田和孝、村田健史、西村太志、“映像IoT技術と画像解析による桜島モニタリング”、日本火山学会2024年度秋季大会、2024年10月



エッジでのフレーム間差分による検出

（単純なフレーム間差分では上図のように雲が誤検出されるため、明度に基づきマスキングすることで検出対象領域を制限する。）



クラウドでの Optical Flow による検出

図１：エッジとクラウドでの連携映像解析による噴火（噴煙）検出



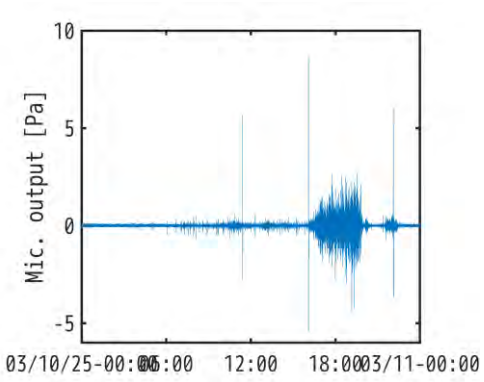


図２：複合型観測装置による火山噴火のインフラサウンド観測例

（別紙様式04-2）

長時間持続ガンマ線イベント（Sustained gamma-ray emission）の太陽大気応答

Chromospheric/Coronal Response to Sustained Gamma-Ray Emission (SGRE)

浅井　歩、京都大学・大学院理学研究科附属天文台

【研究目的】

Fermi衛星搭載のLarge Area Telescope（LAT）などにより、大規模なフレア/CMEイベントに付随して、しばしば長時間持続ガンマ線放射（Sustained Gamma-Ray Event; SGRE）が検出されることが知られている（Ajello et al. 2021）。100MeV以上もの高エネルギー帯ガンマ線放射が、フレアのインパルシブ相をはるか越え数時間続いて検出されることもある。SGREをもたらす300MeV以上の陽子の起源については議論があるが、フレアでの磁気リコネクション領域とコロナ質量放出（CME）前面の衝撃波面の両方が加速の場所として示唆されている。SGREの放射は、このような加速された高エネルギー陽子が太陽大気（彩層・光球）に突入することによると考えられているが、その際に太陽大気（コロナ・彩層・光球）がどのように応答するか（例えば増光を伴うのかなど）は全く分かっていない。特に、インパルシブ相よりも十分に後の太陽大気応答であるため、これまでそもそも興味の対象となることが少なかった。そこで本研究では、SGREに対する太陽大気の応答を、太陽コロナ・彩層・光球などの観測データを用いて、特にインパルシブ相以降の時間帯での様子を調査することとした。

【研究方法】

Fermi/LATにより、2011年から2022年の間に40件程度のSGREイベントが報告され、そのイベントリスト[1)]が整備されている。これらのイベントについて、SDO衛星AIAによる極端紫外線撮像データや京都大学飛騨天文台SMART望遠鏡などによる彩層データ、国立天文台野辺山電波ヘリオグラフによるマイクロ波データを用いて、コロナ・遷移層・彩層など太陽大気の応答、特に増光などがないかを調べる。SGREは、フレアループやリボンではなく、フレアを生じた活動領域の端の付近から放射されている可能性や、時間によって放射位置が移動することも報告されている（Ajello et al. 2021）ことから、フレア後の長時間にわたってフレア領域および周辺領域を広く調査する。本研究は、申請者およびISEE受け入れ教員が参加した国際ワークショップ「Origin of High-Energy Protons Responsible for Late-Phase Pion-Decay Gamma-Ray Continuum from the Sun2)（2023年10月に名古屋大学ISEEで開催）」での議論に着想を得てさらに発展させたものである。

【研究結果・考察】

2024年度には、重点イベントとして、2012年3月7日のX5.4フレアをピックアップし、集中的に太陽大気について調査を行った。野辺山電波ヘリオグラフによるマイクロ波データや、飛騨天文台SMART望遠鏡によるHα線画像ではSGREに伴う目立った増光などは活動領域周辺では確認できなかった。今後より調査範囲を広げてみる必要がある。一方で、AIAによる極端紫外線画像では、フレア直後に生じた短時間コロナホール（CMEに伴って発生したと考えられる）が消失する様子がとらえられた。これらとSGREとの関係について、より詳細な解析が必要である。

【まとめ】

本研究では、2012年3月7日に発生したX5.4フレア/CMEイベントに付随して、発生した長時間持続ガンマ線放射SGREについて、その太陽大気（コロナ・遷移層・彩層）の応答を調査した。マイクロ波やHα線では目立った増光などは検出されなかったが、極端紫外線画像での短時間コロナホールの形成消失過程と関連する可能性が見いだされた。SGREはこれまでに興味を引いてこなかった現象を調査する新規性の高いものであり、太陽大気の応答が発見された場合・されなかった場合のいずれも、SGRE生成メカニズム、ひいては太陽地球間での粒子加速機構に大きなインパクトを与えると期待され、今後も継続課題として推進を希望する。

1) https://cdaw.gsfc.nasa.gov/meetings/2023_SGRE/sgre_eventlist.html
2) https://www.isee.nagoya-u.ac.jp/SGRE2023/

（別紙様式04-2）

南極における第四紀の海成化石と堆積物を用いた古環境復元
Quaternary paleoenvironment reconstruction using marine fossils and sediments in the Antarctic region.

佐々木聡史、群馬大学・共同教育学部 理科教育講座

【研究目的】

本研究の目的は，東南極沿岸域の堆積物中に含まれる貝形虫や有孔虫などの石灰質微化石を用いた放射性炭素年代測定（^{14}C）を行い，高精度な年代モデルを構築し，古環境や相対的な海水準の変化を復元することで，南極氷床の融解の時系列変化を明らかにすることである．

【研究内容・計画】

本研究は，宗谷海岸地域における海浜堆積物や湖沼堆積物に含まれている貝形虫や有孔虫などの石灰質微化石を対象にAMS法による放射性炭素年代測定を行い，より高精度の年代推定を行う．分析試料は，ふるい分けられた粗粒堆積物から石灰質微化石を約5 mg抽出する為，多くの時間が必要である．そのため，複数回に分けてISEEに訪れ，分析を行う．

【研究結果】

名古屋大学ISSE年代測定研究部において放射性炭素を測定の試料作から分析までを行った．各層準から貝形虫化石とゴカイ化石を抽出し，合計4試料の年代測定試料を作成したが，まだ測定はできていない．

【成果発表】

該当なし

（別紙様式04-2）

「ひので」太陽極域磁場ISEEデータベースを用いた極域近傍の磁場の研究
Study of vector magnetic fields close to the solar poles using the Hinode database at ISEE

久保雅仁、自然科学研究機構国立天文台・SOLAR-Cプロジェクト

【作成要領】

1. 研究目的

太陽極域磁場の精密な測定は、太陽活動の11年周期変動を理解する上で不可欠であり、太陽風の発生源を特定する上で重要な境界条件を提供する。本研究の目的は、太陽極域の中でも緯度75度以上の極点近傍の磁場の振る舞い・特徴を理解することである。太陽極域磁場に関連する重要な課題として、極域の光球磁場から外挿した惑星間空間の磁束量と比べて、地球近傍で観測される磁束量が3-4倍大きいというオープンフラックス問題がある。太陽極小期の極点付近はほぼ単極の磁場で占められ、オープンフラックスになっていると考えられており、その磁束量の見積もりに直結する。極点付近の磁場の平均強度や傾きといった特徴を精度よく理解することは、オープンフラックス問題の原因が太陽極磁場の測定にあるかを切り分けることにつながる。また、極点近傍の磁場の長期変動を詳細に調べることで、極点付近の子午面還流の振る舞いやそれに伴う磁束輸送を理解する手掛かりにもなる。極点近傍の磁場情報を得られるのは、シーイングの影響を受けずに高解像度・高精度のベクトル磁場観測が可能な「ひので」衛星のデータのみである。ただし、「ひので」データでも極点付近の磁場を精度よく導出するのは挑戦的な課題である。

2. 研究結果

本研究では、2017年から2021年にかけて「ひので」衛星で行われた太陽極域パノラママップキャンペーン（HOP206）で得られた名古屋大学宇宙地球環境研究所で公開中のデータベース（doi: 10.34515/DATA.HSC-00001）を使用して（図1）、超高緯度域における磁束の減少の原因を調べた。過去の研究（Petrie 2017,Yang et al. 2024）で太陽の75度以上の高緯度では磁束が減少することが指摘されていたが、本研究で75度以上の高緯度における減少傾向は緯度の関数ではなく、heliocentric angleの関数であることを示した（図2）。つまり、太陽リム付近の磁束が過小評価されていることを意味する。リム付近で太陽面に対する磁場の傾き角のばらつきが大きくなり、マイナーな極性の磁場が増えることで極域の正味の平均磁束が小さくなっている。磁場の傾き角のばらつきが大きくなる要因として、リム付近でS/N比が低いためではないかと考えたが、空間的なピクセルビニングによってS/N比を向上させても極域磁束の過小評価は解決されなかった。極域の強い磁場に対してはS/N比を向上させることで、極性の偏りが大きくなったが、極域の平均磁束は主に弱い磁場によって決定されることが原因と考えられる（図3）。一方で、極域の磁束の過小評価が改善したと仮定しても、緯度70度以上の極域全体の平均磁束は測定値に対して約1.2 倍にしかならず、オープンフラックス問題解決には不十分であることも分かった（成果発表I, IV, V）。

3. 成果発表

I. 藤森愛梨沙、「ひので」衛星観測を用いた太陽極域磁場の導出方法に関する研究」、東京大学大学院理学系研究科天文学専攻修士論文、2025年
II. M. Kubo, D. Shiota, Y. Katsukawa, M. Shimojo, D. Orozco Suarez, N. Nitta, M. DeRosa, R. Centeno, H. Iijima, T. Matsumoto, S. Masuda, ″Comparison of polar magnetic fields derived from MILOS and MERLIN inversions with Hinode/SOT-SP data″, Solar Physics, 2025, submitted.
III. D.Shiota, M. Kubo, Y. Katsukawa, M. Shimojo, A. Iijima, T. Matsumoto, S. Masuda, ″Hinode observation of long-term variation of magnetic fields in the Sun’s polar regions during Cycle 24-25″, Hinode-17/IRIS-15/SPHERE meeting, Montana State University, July 23-27, 2024
IV. 藤森愛梨沙、勝川行雄、久保雅仁、「太陽極域におけるリム付近での平均磁束密度の過小評価について」、日本天文学会2025秋季年会、関西学院大学、2024年9月11-23日
V. 藤森愛梨沙、勝川行雄、久保雅仁、「「ひので」衛星観測を用いた太陽極域磁場の導出方法に関する研究 」、太陽研究者連絡会シンポジウム 2024、JAXA/ISAS、2025年2月17-19日

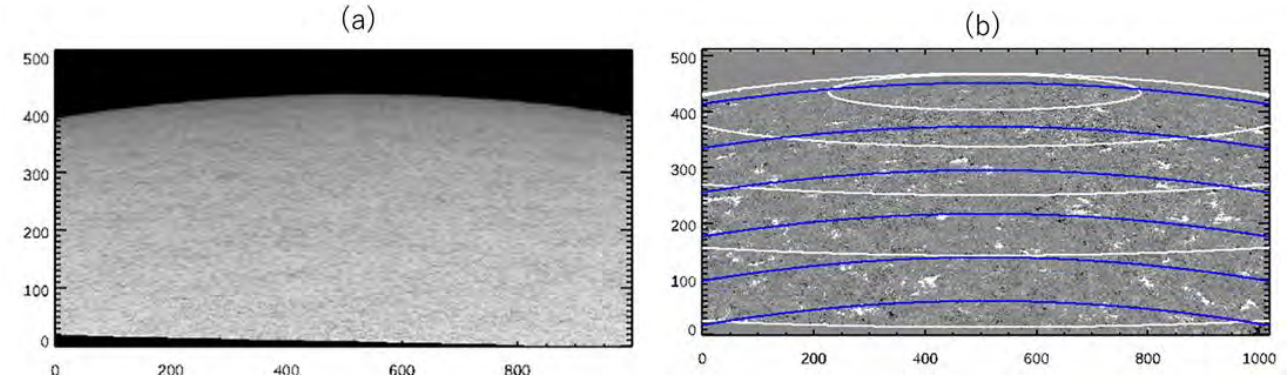


図1. 「ひので」衛星で2021 年 9 月22日に取得した北極域の連続光強度マップ(a)と磁束密度のマップ(b)。白線は緯度、青線は太陽面中心からの距離のコントアを示す。緯度は65度から5度刻み、距離は825秒角から25秒角刻み。成果発表Iから抜粋。

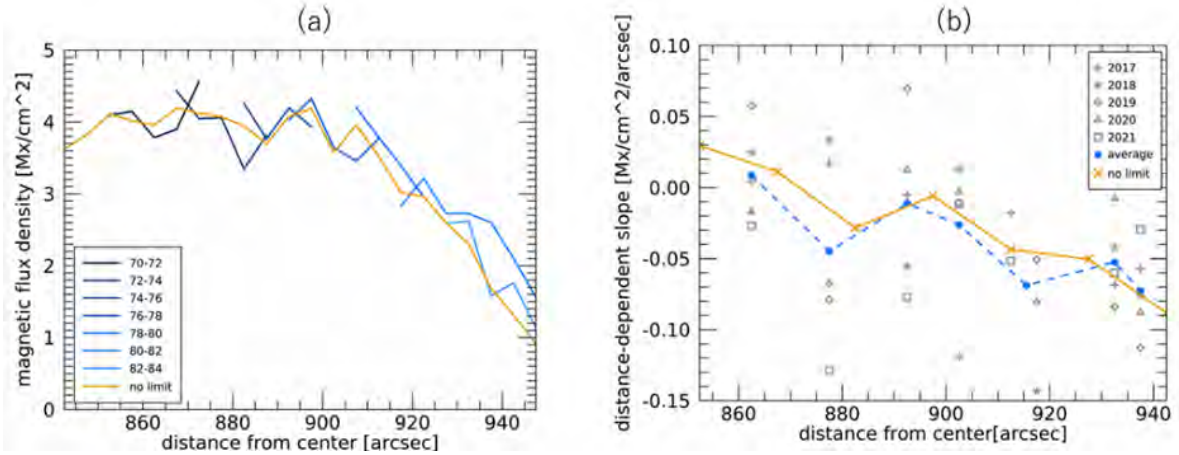


図2. (a) 平均磁束のheliocentric angle依存性（オレンジ線）。青線は緯度を固定した場合の各緯度でのheliocentric angle依存性を示す。(b) (a)図のオレンジ線及び青線の傾き。成果発表Iから抜粋。

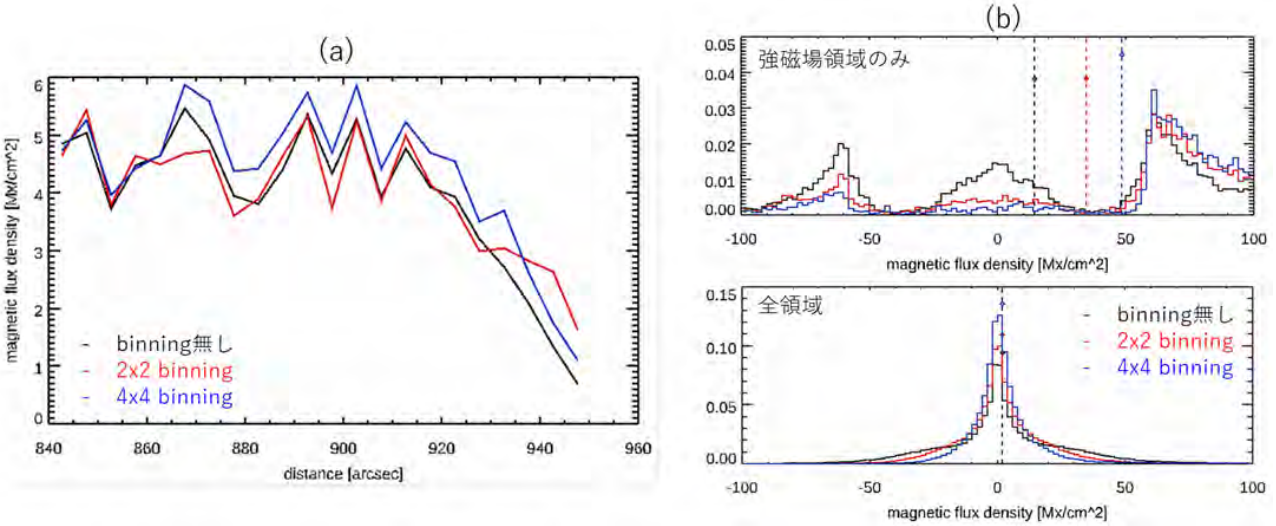


図3. (a) 異なる空間binningにおける平均磁束のheliocentric angle依存性。黒線がbinning無し、赤線が2x2 binning、青線が4x4 binningの場合。(b)太陽面中心からの距離が840秒角～940秒角の領域の磁束密度のヒストグラム。線の色の意味は(a)と同じ。上図は磁場が強い領域のみで、下図は磁場の強弱に関わらず全ピクセルを使った場合。縦点線は分布の重心を表す。成果発表Iから抜粋。

（別紙様式04-2）

沖積層に含まれる砕屑物を用いた堆積年代の高精度解析
High resolution analysis of the depositional ages from coastal sediments after the Last Glacial Maximum

中西利典、ふじのくに地球環境史ミュージアム・学芸課

研究目的

プレート収束～衝突帯の島弧である我が国の沿岸低地には，「沖積層」と呼ばれる最終氷期最盛期以降に形成された河川成および海成堆積物が分布している．沖積層が比較的厚く分布する大規模河川の河口周辺には，人口が集中する京浜や阪神などの大都市圏が構築されている．そのため，それらの地下構造や形成履歴を調査することは，過去の海水準変動や地殻変動等の解明に資するだけでなく，地震や津波，火山噴火等による自然災害の防災・減災対策を実施する上でも重要である．こうした研究を遂行する際に，沖積層に含まれる植物片や貝化石を用いて放射性炭素(^{14}C)年代測定をおこない堆積年代が推定されてきた．ただし，植物片や貝化石の年代を同等に使うためには，海洋リザーバー効果の定量が必要となる．本研究では堆積学的な観点から，堆積年代の推定で不確定要素となる古い試料の混入（再堆積）やアナジャコなどによる掘り込み（生物擾乱）を明確にした上で，海洋リザーバー効果等を定量的に評価することを目的とする．

研究方法（使用した共同利用装置・施設等を含む）

ふじのくに地球環境史ミュージアムにおいて，堆積年代の古精度解析に適したボーリングコア試料を選定して，超音波洗浄機と篩を用いて植物片や貝化石等を抽出する．植物片は酸―アルカリ―酸処理，貝化石は薄い酸で不純物を除いた後で，再堆積の影響が少ないと考えられる植物片3mg程度と貝10mg程度を選定して分取する．それらの試料を名古屋大学宇宙地球環境研究所（ISEE）の高真空のガラスラインで封入した後で，二酸化炭素を発生させて水素還元法でグラファイトを精製する．これらを同様な方法で調整したNIST OxⅡやIAEA C-7などの標準試料とブランク試料と個別にカソードに詰めて，同施設の加速器質量分析装置（AMS）を用いて^{14}C年代測定を実施する．上記の方法で，阿蘇カルデラで掘削されたボーリングコア（MTI）から保存状態の良い植物片を合計19試料分取・選定して，ISEEのAMSで^{14}C年代測定を依頼した．微量な試料が多かったので，正確な年代値が期待できるのは12試料程度の見込みであり，必要に応じて追加の年代測定を実施する予定である．

研究結果

阿蘇カルデラで掘削されたMTIコア試料の年代測定結果が届いたら，再堆積を示す試料の含有率とその期間を検討する予定である．それらの結果をカルデラ形成以後の湖成堆積物から河川成堆積物へと移り変わる古環境変化に関する微化石群集組成やCNS分析結果などと合わせて総合的に検討して，国際学会で発表した後でSCI誌に公表したいと考えている．

一方，本研究課題に関連する釧路市春採湖および丹那盆地，小浜低地，紀伊半島ゆかし潟の成果が学術誌（酒井ほか，2024；木村ほか，2024；堀ほか，2024；Fujiki et al., 2025）に公表され，富士川扇状地および斐伊川河口の成果をRadiocarbon国際学会で発表した（Nakanishi et al., 2024a,b）．

引用文献

Toshiyuki Fujiki, Toshimichi Nakanishi, Kazuyoshi Yamada, Kaoru Tabata, Haruhiro Ikeda, Pollen analysis of sediment core from Yukashigata Lagoon, western Japan: revealing human induced paleovegetation changes during the past 1500 years. Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences, 36, 4. 2025, https://doi.org/10.1007/s44195-025-00088-8

堀 和明・岡田篤正・中西利典・洪 完・中島 礼．小浜低地の地下地質．季刊地理学，**76**(4)，181-189，2024年

木村治夫・堤 浩之・稲荷絢音・谷口 薫・中西利典．地中レーダ探査からみた丹那断層田代地点の極浅部左横ずれ構造．第四紀研究，63(2)，p.65-75，2024年，doi: 10.4116/jaqua.62.220756

酒井恵祐・中西利典・七山 太・藤木利之・大串健一．北海道東部春採湖の花粉分析による過去9,500年前から3,200年前にかけての古植生変遷．LAGUNA，31，p.1-13，2024年

成果発表

Toshimichi Nakanishi, Tatsuya Ishiyama, Ki-suck Sung, Wan Hong, Holocene sediments reveal accumulation rates across an onshore subduction thrust in northeastern Nankai Trough. The 4th International Radiocarbon in the Environment Conference, Lecce, 2024a

Toshimichi Nakanishi, Koji Seto, Kota Katsuki, Toshiaki Irizuki, Yoshiki Saito, Wan Hong, Holocene sediments reveal accumulation rates across an onshore subduction thrust in northeastern Nankai Trough. The 4th International Radiocarbon in the Environment Conference, Lecce, 2024b

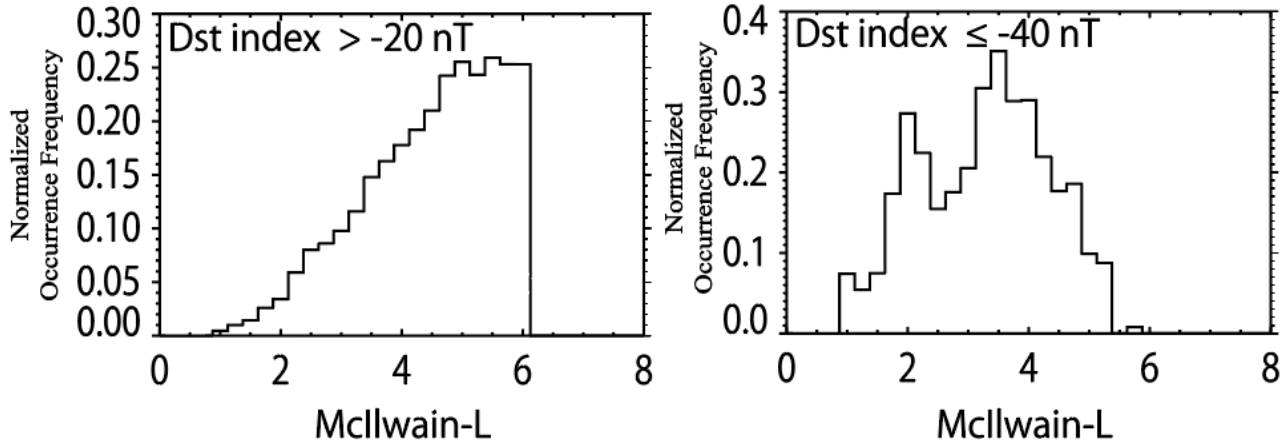
（別紙様式04-2）

あらせ衛星による6年間の観測で得られた低周波プラズマ波動の網羅的解析
Comprehensive study on the low frequency plasma waves using Arase data

松田昇也　金沢大学理工研究域

地球内部磁気圏で観測されるプラズマ波動のうち, 磁気音波は数十～数百Hz以下の比較的低周波数帯で観測される現象である．近年の研究によって，磁気音波が内部磁気圏のプラズマを加熱させることで電磁イオンサイクロトロン波を間接的に励起させるなど，内部磁気圏の波動粒子相互作用を紐解くうえで重要な存在であることが認識されつつある．あらせ衛星は2016年の打ち上げ以降，長期に渡って低周波プラズマ波動を連続観測している．特に内部磁気圏の低～中緯度帯における連続観測データは世界的に見ても貴重であり，磁気音波をはじめとする低周波波動の3次元的分布を解明するために有用なデータセットであると言える．本研究では，あらせ衛星の観測データを網羅的に解析し，2年計画の1年目では磁気赤道域～中緯度域に渡る磁気音波の空間分布を明らかにした．2年目にあたる今年度は，磁気音波の特徴的な周波数上昇パターンに着目して現象を分類したうえで，領域毎の観測頻度分布が地磁気活動度に対してどのように依存するかを主に調査した．

あらせ衛星に搭載されたプラズマ波動・電場計測器のEFD（Electric Field Detector）によって2017年3月から6年間に観測された磁気音波を，周期的な振幅変調を有する「Rising tone磁気音波」と，変調を有さない「Structureless磁気音波」に分類した．このうちStructureless磁気音波に着目し，観測された時間帯のDst指数で地磁気静穏時（Dst指数>-20 nT）と地磁気擾乱時（Dst指数<-40 nT）に分類したうえで，観測位置（McIlwain-L）毎の観測頻度分布を調査した（下図）．図から，地磁気静穏時ではStructureless磁気音波の発生頻度が高L値側ほど高く，地磁気擾乱時では観測頻度のピークが低L側に移動する傾向がみられた．この結果は，Structureless磁気音波の励起領域が地磁気擾乱度に応じて変化することを示唆していると考えられる．磁気音波はプロトンリング分布によって励起すると考えられており，地磁気擾乱時にはプラズマシートからのイオンの流入が活発化することで，プロトンリング分布がより内側のL値に広がることが示されている．今後はStructureless磁気音波の発生頻度分布とプロトンリング分布との位置関係を定量的に評価するとともに，Rising tone磁気音波の地磁気活動度依存性を明らかにしていく．



図：Structureless 磁気音波の L 値分布（左：地磁気静穏時，右：地磁気擾乱時）

（別紙様式04-2）

太陽模型構築と日震学理論に基づく太陽ニュートリノを用いた太陽g-mode振動探索
Search for solar g-mode oscillation using solar neutrinos based on solar model construction and helioseismic theory

中野 佑樹、富山大学 学術研究部 理学系

[研究の背景]

太陽はもっともよく調べられた恒星であるが、内部の密度構造、元素組成構造には不定性が残っている。太陽自身の重力に由来する太陽g-mode 振動は、太陽内部構造を解明する１つの決め手である。しかし、太陽表面における振幅が極めて小さいため、光学的な探索では発見に至っていない。

[研究の目的]

本研究では、太陽ニュートリノを用いて太陽g-mode振動探索が可能か検討した。特に、いくつかの太陽模型構築と、星震学の手法を利用して、太陽ニュートリノの生成量が太陽g-mode振動によってどの程度変化するかを解析した。この解析により、ニュートリノ振動の周期と振幅を見積もり、ニュートリノ検出器での探索可能性を明らかにする。

[本研究の成果]

先行研究として、Astrophys. Lett. 792, L35 (2014)が17%程度の振幅を持って太陽ニュートリノが増減することが指摘されていた。本家級では、最近の太陽模型に対して、先行研究と同等の物理解析を実施した。図1に、本研究の解析で得られた太陽g-mode振動によって引き起こされる^{8}B太陽ニュートリノフラックスの変動予想を示す。太陽^{8}Bニュートリノ場合、1.5時間の周期に対してフラックスは最大で1.8%程度変動することがわかった。これは、先行研究に比べて1/10程度の結果であった。また、先行研究から発展して、他の太陽ニュートリノの場合も、変動の大きさを網羅的に評価した。

また、2次の振動の項の計算も実施し、将来のニュートリノ検出器を用いた場合に、太陽g-mode振動の実験的な探索が可能かに関して議論を継続している。2025年度に論文を投稿予定である。

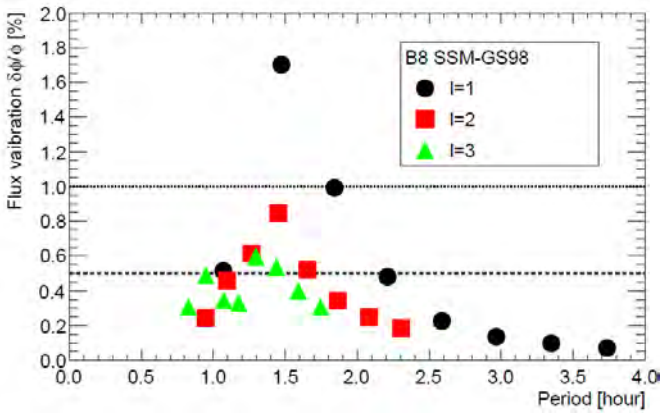


図 1: 太陽 g-mode 振動によって期待される太陽 ^{8}B ニュートリノの周期的な変動

[研究成果]

(1) 中野 佑樹, 國友 正信, 八田 良樹, 伊藤 博士、「太陽ニュートリノを用いた太陽g-mode振動探索の検討」 日本物理学会、北海道大学、2024年9月16日

(2) 中野 佑樹, 八田 良樹, 國友 正信, 伊藤 博士、「太陽ニュートリノを用いた太陽g-mode振動探索の検討」 日本物理学会北陸支部大会、金沢大学、2024年11月30日

(3)八田 良樹, 國友 正信, 中野 佑樹, 伊藤 博士、「線形断熱振動理論に基づく、重力波モードにより生じる太陽ニュートリノフラックス変化の予測」 日本天文学会、水戸、2025年3月20日

(4) 中野 佑樹, 八田 良樹, 國友 正信, 伊藤 博士, 須釜 祥、「太陽ニュートリノを用いた太陽g-mode振動探索の検討(2)」 日本物理学会、オンライン開催、2025年3月21日

（別紙様式04 - 2）

横須賀太陽電波強度偏波計で行う宇宙天気研究
Yokosuka Radio Polarimeter (YoRP) and its application to space weather research

渡邉恭子、防衛大学校・地球海洋学科

地球圏環境に影響を与えている主な太陽放射はX線や極紫外線（EUV）であるが、これらの放射は地上までは届かず、観測データも衛星観測に限られている。一方、マイクロ波放射は地上観測でき、またマイクロ波放射と太陽EUV放射は相関が良いことが知られている。そのため、これまではEUV放射の代替スペクトルとして、地上観測しているF10.7（周波数：2.8 GHz）というマイクロ波観測を用いて、擬似的なEUV放射スペクトルを適用する手法が用いられてきた。しかし実際は、F10.7とEUVの放射起源は場所もメカニズムも異なっているため、このような単一周波数のマイクロ波のみで全波長のEUV放射スペクトルを正確に導出することは難しい。そこで我々はこれまでに、野辺山太陽電波強度偏波計（NoRP）の多周波マイクロ波データを用いて太陽EUV放射スペクトルを機械学習の手法を用いて推測する研究を行ってきた。その結果、太陽の平穏時（フレアが発生していない時）には1-2 GHz程度の低周波数のマイクロ波が、太陽フレア時には10 GHz以上などの高周波数のマイクロ波がEUV放射スペクトルの再現に寄与していることがわかってきた。

上記の研究で用いたNoRPでは７周波数のみを観測しているため、NoRPで観測していない周波数とEUV放射スペクトルとの関係はNoRPの観測データだけでは分からない。そこで申請者は、自身の所属する防衛大学校内に2-10 GHzの太陽電波を観測することができる横須賀太陽電波強度偏波計（YoRP）を2023年度に建設した。本研究では、YoRPの観測データを宇宙天気研究に活用するための事前検証研究を行っている。特に2-10 GHzのマイクロ波データとEUV放射スペクトルとの関係を明らかにすることで、いろいろな宇宙天気現象の予測に有用なマイクロ波周波数を同定することができれば、YoRPの観測データを宇宙天気予報へ活用することができると期待できる。

本研究の１年目である2024年度においては、まずNoRP観測データとEUV放射スペクトルの関係を詳細に調べた。EUV放射スペクトルの観測データは、本研究を実行するために必要な波長分解能がある Thermosphere • Ionosphere • Mesosphere • Energetics and Dynamics (TIMED)/Solar Extreme ultraviolet Experiment (SEE)（太陽活動周期変動）とSolar Dynamics Observatory (SDO)/EUV Variability Experiment (EVE)（フレア時）のデータを用いた。その結果、マイクロ波放射とEUV放射の関係は、主にそれぞれの放射の起源に寄っていた。特にEUV放射の中でも彩層からの放射ラインは、コロナ放射が主な起源であるマイクロ波との相関があまり良くなかった。この点については、いろいろな周波数のマイクロ波や他の彩層起源の放射を用いて補正できるか、今後検討してゆく必要がある。しかし、ほとんどのコロナ起源のEUV放射はどの周波数のマイクロ波放射とも相関が良かった。今後は、今回調べたNoRPのマイクロ波放射とEUV放射の関係が、YoRPの観測データ、特にNoRPが観測していない周波数においても同様に成り立っているかについて確認してゆく。

また、NoRPの観測データによるYoRPの観測データの較正も進めた。まず、NoRPとYoRPで同時に観測を行っている2, 3.75, 9.4 GHzの３周波数について、NoRPの太陽フラックスとYoRPの観測データからチョッパー・ホイール法を用いて導出した太陽の輝度温度をそれぞれ比較した。その結果、高い周波数になるにつれてYoRPデータのばらつきが大きくなるものの、３周波数についてNoRPフラックスとYoRP輝度温度との比例係数を求めることができた。NoRPが観測していない周波数についても内挿することでこの比例計数を求め、YoRPの観測スペクトルの導出を行った。これにより、来年度の比較研究に用いるためのYoRPの観測スペクトルの導出を行うことができた。しかし、このYoRP観測スペクトルには大きなばらつきが見られた。これには温度の測定などが影響していることが考えられるため、今後はばらつきの起源とその補正方法についても考察してゆく。

成 果 発 表

1. Kyoko Watanabe, Masumi Shimojo, Kazumasa Iwai, "A New Solar Radio Polarimeter in Yokosuka - Yokosuka Radio Polarimeter (YoRP)", JpGU Meeting 2024, Makuhari Messe, Chiba, Japan, 2024 May 30

2. Kyoko Watanabe, Seiji Yashiro, Satoshi Masuda, "Solar Flare Impulsivity and Its Relationship with White-light Flares and with CMEs", AOGS2024 21st Annual Meeting, Singapore, 2024 Jun 24

3. Kyoko Watanabe, Masumi Shimojo, Kazumasa Iwai, Nariaki V. Nitta, "Introduction of Yokosuka Radio Polarimeter (YoRP) and Its Observation", AOGS2024 21st Annual Meeting, Singapore, 2024 Jun 26

4. 渡邉恭子, 前田護, 下条圭美, 行方行介, 増田智, "機械学習を用いた多周波太陽電波放射からのEUV放射スペクトルの予測とその宇宙天気予報への活用", ISEE研究会「情報科学技術との融合による太陽圏物理学の新展開」, 名古屋大学 宇宙地球環境研究所, 2024年9月10日

5. 渡邉恭子, "太陽フレア放射とその電離圏・熱圏への影響", 令和6年度「中間圏・熱圏・電離圏 (MTI) 研究集会」, 九州工業大学 戸畑キャンパス, 2024年9月18日

6. Kyoko Watanabe, Satoshi Masuda, "Characteristics of white-light flares and their relationship to space weather", Joint Symposium of Space Climate 9 Symposium and ISEE Symposium, Nagoya University, Nagoya, Japan, 2024 Oct 3

7. Kyoko Watanabe, Masumi Shimojo, Kazumasa Iwai, "Introduction of New Solar Radio Polarimeter in Japan; Yokosuka Radio Polarimeter (YoRP)", Joint Symposium of Space Climate 9 Symposium and ISEE Symposium, Nagoya University, Nagoya, Japan, 2024 Oct 3-4

8. 渡邉恭子, 下条圭美, 岩井一正, 増田智, "横須賀太陽電波強度偏波計による太陽マイクロ波観測", 第156回SGEPSS総会および講演会, 国立極地研究所, 2024年11月25日

9. Kyoko Watanabe, Masumi Shimojo, Kazumasa Iwai, Satoshi Masuda, "Solar Microwave Observations with New Solar Radio Polarimeter in Japan", 2024 AGU fall meeting, Washington D.C., USA, 2024 Dec 13

10. 渡邉恭子, 城河内涼佳, 安居賢生, 下条圭美, 岩井一正, 増田智, "横須賀太陽電波強度偏波計（Yokosuka Radio Polarimeter; YoRP）による太陽マイクロ波スペクトル観測", 2024年度太陽研連シンポジウム, 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所, 2025年2月17-19日

11. Kyoko Watanabe, Ryoka Shirogauchi, Kensho Yasui, Masumi Shimojo, Kazumasa Iwai, Satoshi Masuda, "Observations of solar microwave spectra by the Yokosuka Radio Polarimeter (YoRP)", 第8回 ISEEシンポジウム "Frontier of Space-Earth Environmental Research as Predictive Science"（予測の科学としての宇宙地球環境研究のフロンティア）, Nagoya University, Nagoya, Japan, 2025 Mar 5-7

（別紙様式04-2）

太陽圏における銀河宇宙線伝播の研究
Study on Galactic Cosmic Ray Propagation in the Heliosphere

中村亨、高知大学・理工学部

【研究目的】

本研究はインドに設置された日印共同実験GRAPES-3の大面積比例計数管型ミューオン観測装置（面積560 m^2）と日本の東山、および明野観測所のミューオン望遠鏡を用いて、太陽地球間距離程度の磁気旋回半径（0.3～1 AU）をもつ銀河宇宙線をプローブとして惑星間空間の電磁場環境の観測を行い、宇宙線強度変動と太陽活動との関係、および宇宙線異方性と惑星間磁場（IMF）の構造との関係について調べることを目的とする。さらに、これにより惑星間磁場中における宇宙線の加速・伝搬機構の理解を深めることも目指す。

【研究方法】

地球上で観測される宇宙線の強度はほぼ等方的である。しかし比較的エネルギーの低い銀河宇宙線は、内部太陽圏において太陽活動の影響を受け、惑星間磁場（IMF）との相互作用などにより複雑な流れを形成している。これは地球上で宇宙線の異方性として観測される。こうした宇宙線の流れは、惑星間磁場中における宇宙線の加速・伝搬現象を反映しているので、地球上に展開される多数の宇宙線観測装置から得られるデータに対して異方性やモジュレーション解析を施すことによって、宇宙線の加速・伝搬機構の理解を深めることができる。我々が用いるミューオン望遠鏡は、およそ数十GV程度のrigidityの宇宙線を観測することができる。これは約0.4 AUの旋回半径に相当する空間領域を観測することになり、IMFの構造の観測にもつながる。

本研究では、GRAPES-3実験（インド）、本研究所（東山）、および東京大学宇宙線研究所明野観測所の各ミューオン望遠鏡を用いて、銀河宇宙線の連続観測を実施する。GRAPES-3と明野観測所のミューオン望遠鏡は、ともに４層の比例計数管の方向を交互に90度ずらして配置したホドスコープ型の望遠鏡であり、我々のグループにより運用されている。インドと日本では経度で約60度の差異があり、この差異と地球の自転を利用した連続観測により、広範囲の同時観測が実現できる。

【研究活動報告】

今年度も昨年と同様に，明野ミューオン観測において３基の内１基を使い継続的に観測しており、共同研究者である中部大学の大嶋晃敏氏が時々明野観測所に行き保守を行っている。残り２基も同様にデータが取得できるよう整備作業を続けている。また東京大学宇宙線研究所乗鞍観測所で中性子モニターを稼働することを目指し、共同研究者である中部大学の小井辰巳氏を中心に太陽電池システムのテストを行っている。無人になる冬季でも安定して稼働できる電力を賄うため、バッテリーの状態をモニターし続けており，データが蓄積されている。降雪により発電できなくなる機関があり，対処法を考慮中である。

インドとの共同研究では、大嶋氏が２月の研究ミーティングの後１０日間ほどインドに滞在し、２０２５年宇宙線国際会議に向けての議論を行っている。

また拡張した比例計数管型ミューオン観測装置の立ち上げ等に関し、共同研究者である大阪公立大学名誉教授の林嘉夫氏の長期インド滞在（ビザ等の関係で遅れており，来年度になる予定）など活発に交流ができるようになっている。

本年度は太陽活動が極大期に近づいており，本州でオーロラが見られるなどの現象が続いたが，

GRAPES－３の大規模ミューオン観測装置でも５月に大きなフォーブッシュ減少が見られた。それらを到来方向別（剛度別）に解析し，予備的な結果を求めた。

【研究成果】

本研究に関する成果として、Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physicsに１篇の論文と、秋季、春季での日本物理学会で計５件の発表を行った。

【成果論文リスト】

１．”Observation of thunderstorm-induced muon events in GRAPES-3 experiment”, et. al., P.K. Nayak, M. Chakraborty, S.R. Dugad, S.K. Gupta, B. Hariharan et. al., Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics 258 (2024) 106231

【日本物理学会発表リスト】

1. 「大面積高精度muon望遠鏡による方位別宇宙線強度変動の研究(33)(太陽フレアによる惑星間空間における宇宙線強度空間分布の急激な変化)」、小島浩司他、日本物理学会７９回年次大会、北海道大学（札幌キャンパス）、2024.9.16
2. 「太陽活動下における宇宙線の軌道計算」、鬼頭浩志他、日本物理学会７９回年次大会、北海道大学（札幌キャンパス）、2024.9.16
3. 「GRAPES-3空気シャワー実験の全体報告2024」、大嶋晃敏他、日本物理学会第７９回年次大会、北海道大学（札幌キャンパス）、2024.9.18
4. 「大面積高精度muon望遠鏡による方位別宇宙線強度変動の研究(34)(フォルブッシュディクリーズ振幅の剛度別スペクトル)」、小島浩司他、日本物理学会2025年春季大会、オンライン、2025.3.19
5. 「太陽活動下における宇宙線の軌道計算Ⅱ」、鬼頭浩志他、日本物理学会2025年春季大会、オンライン、2025.3.19

（別紙様式04-2）

北極域の中層大気から熱圏大気への大気重力波エネルギー・運動量輸送の定量評価
Quantitative evaluation of energy and momentum flux transportation of atmospheric gravity waves from middle atmosphere to thermosphere in the Arctic

堤　雅基、国立極地研究所・宙空圏研究グループ

研究目的

性格を異にする中層大気と熱圏大気の境界に位置する下部熱圏領域において、特に運動量輸送の担い手として背景風速場に大きな影響を与える大気重力波の振る舞いを定量的に探る。MSTレーダーによる中間圏域観測法は最有力手法であるが、90km程度より上部では信頼に足る観測例は稀である。さらに極域の下部熱圏域は、オーロラなどに代表される高エネルギー粒子による上からのエネルギー輸送も重要となる領域である。本研究では、光学（ナトリウムライダー）および電波観測（流星エコー観測）を元にした解析手法開発を行い、これまで解析困難であった北極域下部熱圏域の大気重力波の、特に運動量輸送量について解析を試みる。

研究方法

ISEEとノルウェーUiTが北極域Altaにおいて運用する流星レーダー、および極地研がTromsøにおいて運用する流星レーダーを用いて、大気重力波および大気乱流の解析を行った。併せて、MFレーダーで受信される流星エコーを利用した新開発解析手法[Tsutsumi et al., 2024など]を、ISEEとUiTがTromsøにおいて運用するMFレーダーにも適用する検討を行った。

研究結果

中間圏・下部熱圏域の大気大循環維持に重要な役割を果たす大気重力波の解析のためには、観測精度および分解能の高い観測が必要となる。対象とする高度域の観測には、従来からVHF帯の流星レーダーが広く使用されている。しかし、スケールの小さな大気重力波観測のために十分な時間高度分解能を有していたとは言い難い。そのため、本年度は、2つのアプローチ方法により、レーダーによる大気重力波研究をこれまで以上に推進するための取り組みを行った。

1つには、VHF帯流星レーダーを複数組み合わせたネットワーク観測により、1台のみの運用よりも飛躍的に分解能を高める手法である。ドイツおよびノルウェーの研究者らと共同で研究を進め、運動量流束などの推定を試みて、国際学会で発表した[Conte et al., 2024]。

もう1つは、研究代表者が南極において開発したMFレーダーによる流星エコー観測手法の、北極域MFレーダーへの応用である。VHF帯に比べて流星エコーが100倍以上に長寿命化することを利用したもので、VHF帯流星レーダーに比べて飛躍的に高い分解能を持つ。本手法を北欧域の2台のMFレーダー（１つはISEEの運用するTromsø、もう1つは100kmほど西に位置し独IAPが運用するSaura）にも応用することで分解能をさらに高め、大気光イメージングにも迫るような高分解能を有する大気重力波観測研究がレーダーで可能となりうる。本ISEE共同研究をベースとしたこのアイディアに基づく研究計画が、科研費基盤B（代表：堤、分担者：野澤他）として本年度から採択された。国際学会などで検討内容を報告すると共に[Tsutsumi et al., 2024]、Tromsø MFレーダーで流星観測が容易となるような外付け受信システムの開発を行った。

まとめ

高度100 km前後からそれ以上の領域における大気重力波の解析、とりわけ運動量流速の推定はほぼ前例がないほど困難である。ISEEが北極域TromsøとＡｌｔａで運用する観測装置に、極地研および独IAPが運用する各種レーダーを組み合わせた観測研究と開発を行った。本課題は本年度が最終年度となるが、来年度からは本課題を発展させた課題として実施予定である。MFレーダー2台を組み合わせたネットワーク流星風速観測からは、レーダーとしては飛躍的に高い時間空間分解能（時間：数分程度、水平：5－10km程度）で空間構造を調べることができると見込まれ、大気重力波の詳細研究が期待できる。

成果論文

Dissipation Rates of Mesospheric Stratified Turbulence From Multistatic Meteor‐Ra

dar Observations, J. Vierinen, F. L. Poble, J. L. Chau, V. Avsarkisov, H. L. Pécseli, **M. Tsutsumi**, **S. Nozawa**, M. G. Johnsen, R. Latteck, N. Gulbrandsen, Geophysical Research Letters, https://doi.org/10.1029/2023GL105751, 2024.

Gravity waves generated by the Hunga Tonga-Hunga Ha′apai volcanic eruption and their global propagation in the mesosphere/lower thermosphere observed by meteor radars and modeled with the High-Altitude general Mechanistic Circulation Model, Gunter Stober 他、全32名. 堤、野澤はそれぞれ、23および25番目

成果発表（学会）

High resolution wind observations based on advanced MF radar meteor echo measurements, **Masaki Tsutsumi**, Toralf Renkwitz, Jorge Chau, Juha Vierinen, MST16/iMST3, Rostock, Sep. 2024.

Almost one decade observing the MLT over Europe using multi-static specular meteor radars, Federico Conte, Jorge Chau, Ralph Latteck, Christoph Jacobi, **Masaki Tsutsumi**, Njål Gulbrandsen, MST16/iMST3, Rostock, Sep. 2024.

High resolution wind observations based on network MF radar meteor echo measurements, **Masaki Tsutsumi**, Toralf Renkwitz, Jorge L. Chau, Juha Vierinen, SGEPSS, Tachikawa, Nov. 2024.

High resolution mesopause region wind observations based on common-volume MF radar meteor echo measurements in the Arctic Norway, **Masaki Tsutsumi**, Toralf Renkwitz, Jorge L. Chau, Juha Vierinen, Njål Gulbrandsen, **Satonori Nozawa**, JPGU, Makuhari, May 2025（予定）.

本課題活動を通じて獲得した科研費

基盤研究(B)（一般）、 流星エコーを利用した新規手法による極域中間圏界面領域の風速・温度・乱流の精密観測、**堤雅基**（代表）、**野澤悟徳**他３名（共同研究者）、2024-2026年度

（別紙様式04-2）

和文課実証的グローバルモデリングに基づく
固有磁場強度と領域間結合が内部磁気圏ダイナミクスに与える影響の研究

Effects of the intrinsic magnetic field and regional couplings on the inner magnetospheric dynamic based on combination of global numerical modeling with observations

関 華奈子、東京大学･大学院理学系研究科

研究計画の概要：

地球磁気圏における最大規模の変動現象である磁気嵐時には、環電流が発達し、静穏時には双極子磁場がしっかりしていてあまり変動のない内部磁気圏に至るまでダイナミックな変動が引き起こされる。磁気嵐時の環電流の発達は、磁気圏の磁場構造を変化させるだけでなく、Pc5 波動などに代表される ULF 波動を励起することで、放射線帯電子の変動にも寄与すると考えられているが、電離圏と磁気圏の間の領域間結合の影響や ULF 波動の空間分布の支配要因には不明な点も多く、定量的な理解を得るには至っていない。また、この数百年にわたり地球の固有磁場が現象傾向にあるが、固有磁場強度が弱まった際に磁気嵐の発達がどのように変化するかについてもよくわかっていない。

本研究の目的は、独自のドリフト運動論近似に基づく 5 次元内部磁気圏グローバルモデルと観測との比較に基づき、現在の地球磁気圏における磁気嵐時の内部磁気圏ダイナミクスに電離圏-磁気圏結合がはたす役割を明らかにすることにある。さらに現在の地球磁気圏で実証的に検証されたモデルを、固有磁場が弱い場合に応用し、固有磁場強度が磁気嵐の発達に与える影響も調べられると考えている。具体的には２つの課題に焦点をしぼって研究を進めている。１つめの課題は、上述のグローバル内部磁気圏モデルを用いて、宇宙嵐時に環電流によって励起される ULF 波動の励起機構や、励起条件、モード等を明らかにすることである。この課題は、内部磁気圏での粒子と電磁場を自己無撞着に記述可能な GEMSIS-RC モデルの特徴を活かしたもので、電磁場を経験モデルや平衡モデルで仮定する従来の環電流モデルでは記述的ない現象であり、世界的にみても独自性を持った取り組みである。特に電離圏-磁気圏結合を含めた場合と含めない場合の比較を行い、結果を観測と比較することで、ULF 波動の空間分布に領域間結合が果たす役割を調べるとともに、モデルの現象記述能力を高める計画である。２つ目の課題は、現象記述能力を高めたモデルを応用して、固有磁場強度が現在よりも弱い場合の内部磁気圏ダイナミクスを明らかにすることである。外部境界条件としては、グローバル MHD シミュレーション結果を用いるとともに、電離圏の電気伝導度や沿磁力線電流を変化させた計算を行い、固有磁場強度が磁気嵐の発達に与える影響を系統的に調べる計画である。

2024年度の主な成果：

本研究では、これまで私たちが開発してきた、内部磁気圏における電磁場と粒子の変動を自己無撞着に解くことが可能な環電流モデル(GEMSIS-RC)と全球で電場ポテンシャルを説くポテンシャルソルバー(GEMSIS-POT)を結合させプラズマ圏モジュールを加えた新しいグローバル内部磁気圏モデル [Yamakawa et al., JGR, 2023]を用い、境界条件設定などにあらせ衛星等の衛星観測や地上観測データを用いるとともに、結果を衛星観測と比較することにより、実証的に研究を進めている。計画初年度の 2024 年度には、課題１については磁気嵐のイベント研究を行い、あらせ衛星が観測した ULF 波動の一部再現に成功し、投稿論文としてまとめて投稿した。２については、MHD 計算結果をインプットとして固有磁場を現在の 2/3 にした場合のシミュレーションを行い初期結果を得た。またこれらの初期結果について、SGEPSS 秋学会や AGU fall meeting などで成果発表を行った。現在、結果を学生が主著者の投稿論文としてまとめようとしているところである。

（別紙様式04-2）

無人航空機を用いた雲・エアロゾル・水蒸気の時空間分布観測
Observation of cloud/ aerosol/ water distributions using Unmanned Aerial Vehicles

林政彦（福岡大学・理学部）

１．目的

カイトプレーン、マルチコプタを用いてエアロゾル、凝結核、気象要素等の観測を行い、リモート地域、都市部などにおける雲，エアロゾル動態と変動課程を明らかにする。カイトプレーンについては安定した自動制御システムの構築を行い、実観測運用を目指す。マルチコプタについては、久住、福岡平野などにおける観測を行い、超微小粒子の動態とその機構を明らかにする。

２．観測と結果

1)福岡都市部から陸風により流出する人為起源超微小粒子

2024年11月4日に博多湾と外湾の境界に位置する志賀島（沿岸から約7km）と福岡大学間の車載観測、志賀島で7:00～13:00まで、地上及び凝結核計数装置搭載マルチコプタ（DJI社製Inspire２）による、高度140mまでの超微小粒子鉛直分布観測を行った。

未明からの陸風下の志賀島に7:00頃に高さ140mの接地超微小粒子高濃度層が到達した。その後、陸風下の60～100mの接地汚染層と前日の残余弱汚染層の2層構造が、西風によって海洋の清浄大気に置き換わる11:00頃まで維持されていた（図１）。

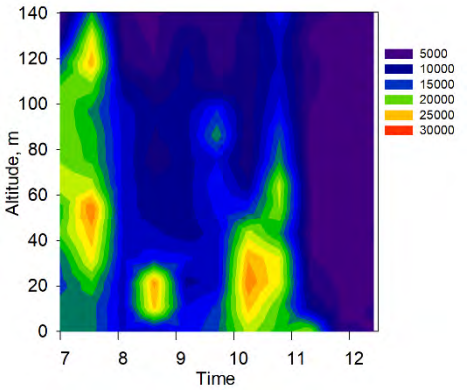


図１ 2024 年 11 月 4 日の志賀島上空の超微小粒子数濃度（個/㎤）の高度時間断面

2)野焼き近傍の燃焼プリューム中のエアロゾル、CO/CO_2観測

久住高原において野焼きが行われた2025年3月 9日に、久住グライダー滑空場（大分県竹田市白丹、標高810m）にて、凝結核計数装置、CO/CO_2モニタ（総ペイロード4.5kg）を搭載した中型マルチコプタで、9:00～16:00に、対地高度150mまで上昇速度0.5m/secの鉛直分布観測を30～40分ごとに実施した。1フライトの所要時間は、7～10分で滑空場周辺の野焼きが行われた13:00～15:00の間のフライトを中心として、野焼きプリューム中の高度10mの厚さの層別のエアロゾルの採取にも成功した（図2）。サンプルの分析は、福岡大学のSEM/EDXによって行う。



図２ 2025 年 3 月 9 日野焼きで霞む久住連山を背景にした超微小粒子のマルチコプタ観測

3)カイトプレーンへのPixhawk搭載と大気中水銀観測

2024年の試験フライトを踏まえ、インジェクション式エンジンの制御を含め、より平易で機動的にカイトプレーンのオペレーションを行えるように、自動制御装置をポピュラーなPixhawkに変更し、調整試験フライトを行った。

Pixhawk搭載カイトプレーンを用いて、久住高原の2025年3月9日の野焼き時の国立水俣病総合研究センターによる大気中水銀のサンプリング観測に協力を行った。観測は、エンジン停止が一度起こることがあったが、全体としては、順調に観測を行い、対地高度100m程度の水銀サンプリングに成功した（図３）。本観測により、カイトプレーンとマルチコプタの同時オペレーションが可能であることも示された。

今後は、長崎県福江島での越境大陸汚染気塊中の新粒子生成機構解明のための観測等にも用いることを検討している。



図３ Pixhark を搭載し大気中水銀観測を実施したカイトプレーン（右）と超微小粒子観測を実施したマルチコプタ（左）
2025 年 3 月 9 日 16 時半。久住連山が野焼きのエアロゾルにより霞んでいる。

（別紙様式04-2）

あらせ磁場長期データの精度評価と特性改善の検討
Evaluation and improvement of long-term magnetic field data of Arase

松岡彩子、京都大学・理学研究科

【研究目的】

あらせ衛星は地球放射線帯における相対論的電子の消長など、ジオスペースで起こる様々なプラズマ現象の解明を目指して2016年12月に打ち上げられた。2017年3月の定常観測開始以降約8年間データの取得をほぼ連続的に継続し、貴重なデータベースが構築されつつある。現在太陽活動が増大するフェーズにあり、異なる太陽活動間の比較も可能となり、今後は蓄積された長期データを使った研究に重点が移行していくものと期待される。従来の衛星観測による結論を超える成果を得るためには、観測した磁場データの精度向上およびその維持が重要である。

あらせで得た磁場データを高精度で較正するには、地上較正試験の結果だけでなく、軌道上のデータの評価が必要である。長期間のデータを継続的に評価することにより、経年変化を含んだ較正パラメータを導出する作業が可能となる。軌道上データの高精度の評価と較正を行うことにより、ロスコーンに降り込むプラズマ粒子の詳細な観測、電流の方向や量の同定、EMIC波動、ULF波動などのサイエンス課題で詳細な議論が可能となる。較正したデータは、名古屋大学宇宙地球環境研究所あらせサイエンスセンターのデータサーバによってあらせチーム内外の研究者に提供され、多くのサイエンス成果をうみだしている。今後も、あらせが目指してきた、放射線帯や内部磁気圏の研究の発展への貢献が期待される。

【研究方法】

軌道上のあらせ磁場データの較正方法の妥当性の検討、経年変化の評価を行い、磁場分解能、時間分解能、周波数特性、クオリティフラグによるデータ品質分別などの、データ特性の向上をはかる。データの評価は、あらせ衛星の特性、磁場観測器の性能や、内部磁気圏で観測される磁場データの特徴について高度な知見を持つ専門家によって行われることが望まれる。磁場計測機器PIである研究代表者が、衛星によって観測された磁場データの評価に豊富な経験を持ち、かつ、内部磁気圏の磁場変動現象に造詣の深い研究者と協同して行う。それぞれの専門を生かす役割分担を行い、結果を元に議論する機会を定期的に持つことにより研究を進める。データ較正やデータベース作成に関する意見交換は主にオンラインで行うが、年に１度程度の頻度で対面にて議論するための旅費が必要となる。また、小型のデータ保存媒体を用いデータの保管や交換を行う。

【研究結果】

2024年度には、あらせ衛星磁場データのオフセットやアライメントの経年変化の評価を行い、大きな変化が起きていないことを確認した。また、良質のデータを迅速にプロジェクトチームや一般の研究者に提供するためのパイプライン整備について、定期的にオンラインの打ち合わせを行った。更に、2025年3月10日～12日のあらせサイエンス会議には、研究組織の大部分のメンバが対面で参加し、磁場データを用いた研究に関する議論を行った。

【考察とまとめ】

太陽活動度が上昇し放射線環境の厳しさが増している昨今も、磁場観測器はじめあらせ搭載の観測機器が正常に稼働しており、活発な放射線帯を直接観測する好機を迎えている。今後引き続き磁場データの評価とより良い較正方法の検討に尽力し、科学成果の創出に貢献することには高い価値がある。

2024年度 05)奨励共同研究 目次詳細

4 件

＊所属・学年は2025年3月現在

＊Affiliation and Year of graduate school displayed are current as of March 2025.

研究代表者 Principal Investigator	所属機関* Affiliation	所属部局* Department	学年* Year of graduate school	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
寺田雄亮	東京大学	理学系研究科 地球惑星科学専攻	博士後期課程3年	エネルギーフラックス解析の海洋大循環モデルへの適用	189	
北島慎之典	防衛大学校	理工学研究科	博士後期課程2年	太陽フレア放射による地球電離圏への影響評価と地球大気電離モデルの構築	191	
大窪遼介	防衛大学校	理工学研究科	博士前期課程2年	太陽におけるライマン線放射の特徴とその地球電離圏への影響	193	
溝手雅也	甲南大学	理工学部	博士後期課程2年	半導体検出器SiPMに搭載する集光器の開発	195	

（別紙様式05-2）

エネルギーフラックス解析の海洋大循環モデルへの適用
Application of Seamless Energy Flux Analysis to Ocean General Circulation Model

寺田雄亮、東京大学理学系研究科地球惑星科学専攻、博士後期課程3年
升本順夫、東京大学理学系研究科地球惑星科学専攻、教授

研究目的

赤道海洋の中層(深さ約500-2000m)ではEquatorial Deep Jets (EDJs)と呼ばれる東向きと西向きの流れが縦に積み重なった特徴的な流速場の構造が知られている。EDJsは数年から十数年の周期でゆっくりと変動しており、赤道上を東西に伝搬する波動として解釈されている[1]。しかしながら海面や海底から離れている海洋中層にはこのような波動を直接励起できるエネルギー源は存在しないため、EDJsの形成を考えるためには離れた場所からのエネルギー供給プロセスを考慮する必要がある。近年、東赤道太平洋において海面付近で励起された数ヶ月周期の波動が下向きにエネルギーを輸送していることが報告され[2]、EDJsの主要なエネルギー源である可能性が示唆された。そこで本研究では数値シミュレーションを用いてEDJsと表層起源の数ヶ月周期波動を再現し、両者の関係を定量的に評価する。

実施内容

太平洋赤道域におけるEDJsおよび表層起源の数ヶ月周期波動を再現するため、MITgcm[3]を用いて理想化海洋モデルを構築した。計算領域は太平洋の20°Sから20°Nとし、海岸線を側面境界として与えた。海面に貿易風を強制として与えた数値実験の結果、海面付近で励起された数ヶ月周期波動による、下向き・東向きのエネルギー輸送が海盆東部で再現された(図1)。加えて赤道中層では東向きと西向きのジェットが数百メートルごとに縦に積み重なった構造が現れ、EDJsの特徴が再現された(図2)。また再現されたEDJsの周期は約15年であり、観測から推定された周期[1]と矛盾しないものであった。

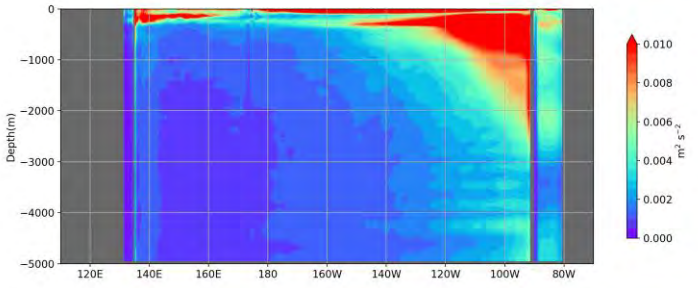


図 1 積分開始後 50-100 年目の赤道上、深さ-経度断面における数ヶ月周期波動のエネルギー分布。

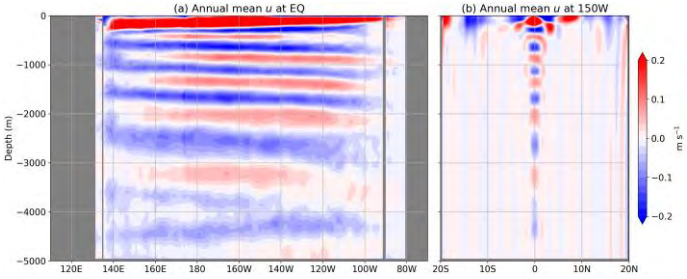


図 2 積分開始後 61 年目の(a)赤道および(b)150°W における東西流速の年平均値。

次に数ヶ月周期波動とEDJsの関係を評価するため、計算結果に対して75日の時間フィルターを用いて両者を分離し、EDJsのエネルギー収支を評価した(図3)。EDJsの主要なエネルギー源は数ヶ月波動との相互作用項($-\bar{u}\partial(\overline{u^*v^*})/\partial y$)であり、これは大西洋に注目した先行研究で提案された、数ヶ月周期波動によるEDJsの維持メカニズム[5]が赤道太平洋東部でも有効であることを示唆している。ただ、EDJsへのエネルギー供給は東部に局在しているのに対して、EDJsの振幅は西岸から東岸までほぼ一定であり(図2)、表層起源の波動からのエネルギー供給のみではEDJsの構造を説明することができな

い。ここでEDJsは十数年周期の波動であると解釈することができるため[1]、EDJs自身がエネルギーを東西方向へ再分配している可能性がある。

この仮説を検証するため、名古屋大学宇宙地球環境研究所の相木秀則教授が提案したエネルギーフラックスの定式化[3]を用いてEDJsを構成する波動のエネルギーフラックスを評価した。この仮説を検証するため、名古屋大学宇宙地球環境研究所の相木秀則教授が提案したエネルギーフラックスの定式化[3]を用いてEDJsを構成する波動のエネルギーフラックスを評価した。計算結果はEDJsがエネルギーを東西方向に輸送していることを示し、特に西向きのエネルギー輸送は140°W以西で顕著であった(図4)。この経度帯は表層起源の数ヶ月周期波動が形成するエネルギーのビーム(図1)の西側に対応し、海盆東部で数ヶ月周期波動からEDJsに供給されたエネルギーが西側に分配されていることを示唆している。また、エネルギーフラックスポテンシャルもEDJsの正味のエネルギー源が140°W付近にあることを示しており、140°Wから東西にエネルギーが再分配されていることがわかる(図5)。

以上の結果から、表層起源の数ヶ月波動が太平洋東部においてEDJsにエネルギーが供給し、その後EDJs自身により西岸から東岸まで海盆全域にエネルギーが分配される、という一連のエネルギーサイクルが示唆された。各実験結果の解釈については相木教授と議論を行い、得られた成果について2024年12月に開催された2024年度名古屋大学宇宙地球環境研究所共同利用集会インド洋/太平洋域における海洋循環/環境応用に関する研究集会で口頭発表を実施した。

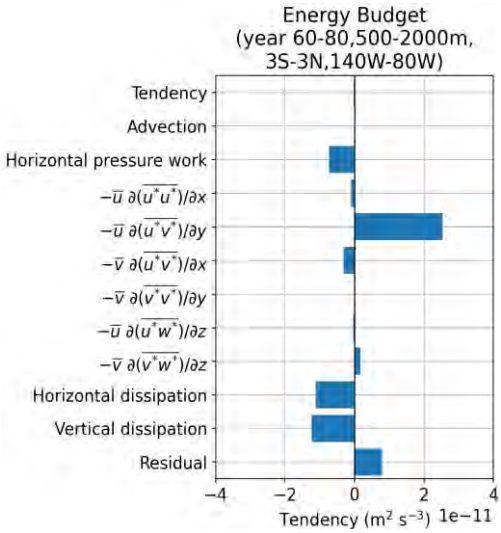


図 3 積分開始後60-80年目の海盆東側で評価された EDJs のエネルギー方程式の各項の寄与。正の値が EDJs へのエネルギー供給を示す。

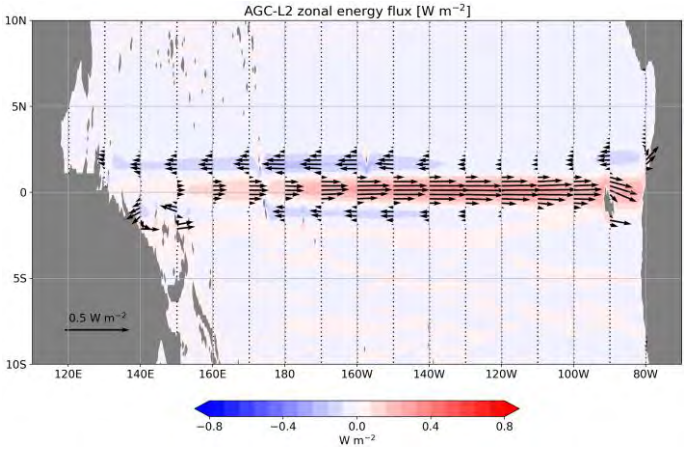


図 4 深さ 1000m における EDJs のエネルギーフラックスベクトル(矢印)と東西成分(色)。

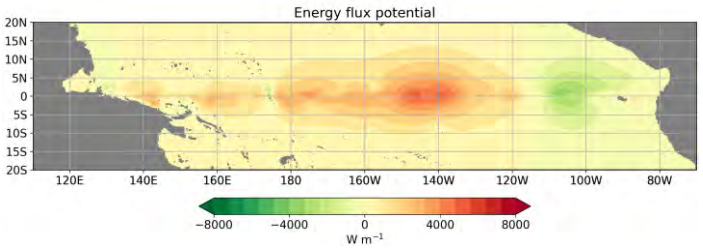


図 5 深さ 1000m における EDJs のエネルギーフラックスポテンシャル。

引用文献

[1] Youngs & Johnson (2015), *Journal of Physical Oceanography,* 45, 2134-2148.
[2] Terada & Masumoto (in preparation). Source of the intra-seasonal current variability and its interannual modulation at 1000 m depth in the eastern equatorial Pacific Ocean.
[3] Marshall et al. (1997), *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 102(C3), 5753-5766.
[4] Aiki et al. (2017), *Progress in Earth and Planetary Science,* 4(1), 1-18.
[5] Greatbatch et al. (2018), *Geophysical Research Letters*, 45, 1923-1929.

（別紙様式05-2）

太陽フレア放射による地球電離圏への影響評価と地球大気電離モデルの構築
The evaluation of the response in the Earth's ionosphere during the solar flares and development of a model of Earth's atmospheric ionization

北島慎之典、防衛大学校・理工学研究科・後期課程２年
指導教員：渡邉恭子、防衛大学校・理工学研究科・教授

研究目的

宇宙領域を利用した現在のインフラシステム社会において、安全かつ安定した通信環境は必要不可欠である。航空機無線や船舶無線は短波を使用しているため、太陽フレア放射、その中でも電離圏下部の電離に大きく影響を与えるX線放射が原因と言われている短波通信障害（SWF; Short-wave fadeout）の影響がある。しかし、現在開発されている世界各国の全地球大気シミュレーションモデル（e.g. WAM-IPA, WACCM, IRI）には、通信障害に関係している太陽フレア中の電離圏下部の電離を計算するモデルが含まれていない。これは、本研究で用いている大気圏-電離圏結合モデルGAIA(1)についても同様である。そこで、高エネルギーの放射や粒子の地球大気内の伝播を計算できるPHITS(2)を導入することで、太陽フレア放射による電離圏下部の電離について計算可能なモデルの構築を行う。

研究方法

本研究では、GAIAによるシミュレーション結果とPHITSによる電子密度を用いてイオノゾンデのパラメーターを再現し、PHITSが電離圏下部の電子密度をどの程度評価できるかを評価した。PHITSでは、GOES/XRSから得られるX線のエネルギースペクトルを入力として地球大気中の電離率を計算し、それに基づき再結合係数を用いて再現した。まず、2010年以降にEISCATが観測したフレア時の電子密度とPHITSで導出した再結合係数(α_{eff})をGledhill (1986) (3)と比較した。次に、2010年から2014年にかけて発生したM3クラス以上の太陽フレアおよび2024年5月に発生したXクラスフレアの際に観測されたイオノゾンデのf_{min}値を再現し、観測値との比較を行った。

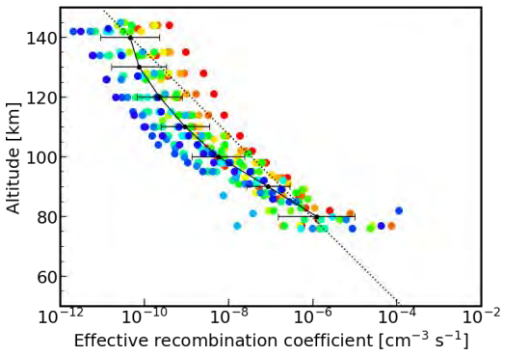


図１　EISCATの電子密度とPHITSによる電離率から導出したα_{eff}の高度分布。実線は、PHITSによるα_{eff}の平均値と標準偏差。点線は、Gledhill (1986) によるα_{eff}の値。

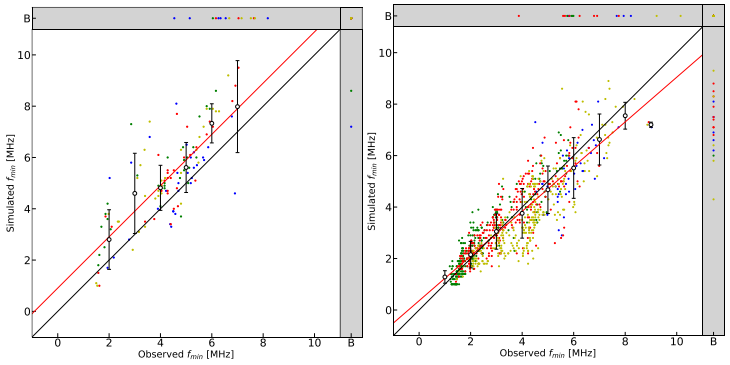


図２　f_{min}値の予測値と実測値の比較。赤実線は最小二乗法による近似直線。図中の“B”はブラックアウトを示す。左図は、2024年5月、右図は2010-2014年のf_{min}値

研究結果

PHITS と EISCAT により得られたフレアピーク時のα_{eff}を Gledhill (1986) と比較した（図１）。PHITS によるα_{eff}は Gledhill (1986) とほぼ一致した。PHITS で算出した電離圏下部の電子密度は、80 km 付近で最大 30%、90 km 付近で最小 18%の範囲で再現した。PHITS は、GAIA の計算範囲外となる 100 km 以下の電子密度を再現できることがわかった。次に、PHITS と GAIA の電子密度を用いてイオノゾンデの f_{min} 値を再現し、比較検証した（図２）。線形回帰分析の結果、2024 年 5 月の相関係数は 0.78 であり、2010 年から 2014 年では 0.88 の精度で f_{min} 値を再現でき、２値分類を用いたブラックアウトの TSS は 2024 年 5 月では 0.75、2010 年から 2014 年では 0.70 の精度でブラックアウトを再現できた。これらの結果より、PHITS はフレア発生時の電離圏下部の電子密度変動を再現でき、モデルへの適応が可能であることがわかった。

引用文献

（１）Jin, H., Miyoshi, Y., Fujiwara, H., et al., 2011, JGR, 116, A01316
（２）Sato, T., Iwamoto, Y., Hashimoto, S., et al., 2024, J. Nucl. Sci. Technol. 61, 127-135
（３）Gledhill, J. A., 1986, Radio Science, 21, 3, 399-408

成果発表

成果論文

1. Kitajima, S., K. Watanabe, H, Jin, C, Tao and M, Nishioka, Estimation of the impact of solar flare spectra on the Earth's ionosphere using the GAIA model, J. Space Weather Space Clim., https://doi.org/10.1051/swsc/2025008, 2025

学会発表

1. Kitajima, S., et al., Validation of electron density in the ionospheric D- and lower E-region during solar flares using PHITS and GAIA models, JpGU Meeting 2024, 幕張メッセ, R6.5.28.
2. Kitajima, S., et al., Reproduction of Electron Density in the Ionospheric D Region During Solar Flares Using PHITS and GAIA Models, AOGS2024, 平昌, 韓国, R6.6.24.
3. Kitajima, S., et al., Reproduction of electron density in the lower ionosphere during solar flares using PHITS models, Space Climate 9 Symposium, 名古屋大学, R6.10.3-4.
4. Kitajima, S., et al., Evaluation of electron density variation using PHITS and GAIA models during solar flares in May 2024, 第 154 回 SGEPSS 総会および講演会, 国立極地研究所, R6.11.24.
5. Kitajima, S., et al., Reproduction of electron density in the lower ionosphere during solar flares by PHITS code, 第 154 回 SGEPSS 総会および講演会, 国立極地研究所, R6.11.27.
6. Kitajima, S., et al., Reproduction of electron density variation in the lower ionosphere due to flare X-ray emission using PHITS, AGU24, Washington D.C., USA, R6.5.28.
7. Kitajima, S., et al., Evaluation of electron density variation using PHITS and GAIA models during solar flares in May 2024, , Washington D.C., USA, R6.5.28.
8. 北島慎之典他, PHITS を用いた太陽フレア時の電離圏下部の電子密度の再現・評価, 2024 年度太陽圏連シンポジウム, 国立天文台, R7.2.17-19.
9. Kitajima, S., et al., Electron density in the lower ionosphere during solar flares using PHITS, 7th ISEE Symposium, 名古屋大学, R7.3.6-7.

（別紙様式05-2）

太陽におけるライマン線放射の特徴とその地球電離圏への影響

Characteristics of Lyman-series emission in the Sun and its effect to the Earth's ionosphere

大窪遼介、防衛大学校・理工学研究科・前期課程2年
指導教員：渡邉恭子、防衛大学校・理工学研究科・教授

研究目的

太陽からの極端紫外線(EUV)放射は地球電離圏に作用し、通信障害や地磁気変動を引き起こすことが知られている。中でも、ライマンα線（Lyα，121.6 nm）は太陽大気から放射される水素線の中でも最も強いため、地球高層大気の電離に影響していると考えられており、宇宙天気の観点からも多くの観測衛星によって監視されている。しかし、Lyα線は地球大気中に豊富に存在している酸素や窒素分子をイオン化するのに十分なエネルギーを持っておらず、地球電離圏の下層に少量存在しているNOしか電離できない。一方、ライマンβ線（Lyβ，102.6 nm）はLyα線より波長が短いため、地球大気中に豊富に存在している酸素分子をイオン化するエネルギーを持っている。このことより、実際に地球高層大気の電離に影響しているのはLyβであることが示唆される。

一方、Milligan et al. (2020)[1]は、太陽フレア時において観測された地球電離圏E領域の変動がフレアのX線放射に先行してみられていたことから、X線に先行して放射が見られたLyα線放射が地球電離圏E領域に影響を与えている可能性を示した。また、Lemaire et al. (2012)[2]は第23太陽活動周期におけるLyα/β比を調べ、太陽活動極小期よりも極大期の方がLyα/β比が小さくなり、LyαよりもLyβの方が増加率が大きいことを示していた。本研究はこれらの先行研究を元に、第24太陽活動周期と太陽フレア時におけるLyαとLyβの振る舞いを調べた。また、フレア時における電離圏E領域の電子密度変動をもたらしているEUV放射を同定するために、フレア時のライマン線やその他のEUV放射の時間変動を調べ、地球電離圏のシミュレーションモデルであるGAIAモデル[3]を用いて検証を行った。

以上より、本研究では宇宙天気への影響が考えられるLyαとLyβの関係を明らかにし、これらのライマン線が地球電離圏に与える影響を評価した。

研究方法

ライマン線の太陽活動周期変動については、Lemaire et al. (2012)[2]と同様にThermosphere, Ionosphere, Mesosphere Energetics and Dynamics (TIMED) 衛星に搭載されているEUV Grating Spectrograph (EGS) - Solar EUV Experiment (SEE) の日次データを用いた。フレア時のLyαのデータはGeostationary Operational Environmental Satellite (GOES) 衛星に搭載されているExtreme Ultraviolet Sensors (EUVS) のEチャンネルを用い、LyβはSolar Dynamics Observatory (SDO)に搭載されているExtreme ultraviolet Variability Experiment (EVE) のデータを用いた。太陽フレア放射の地球電離圏への影響については、柿岡磁力計[4]の地磁気データを観測値として用い、影響を見積もるための数値計算モデルとしてはGAIAモデル[3]を用いた。また、太陽フレアイベントを同定するために、CIDASシステムのひのでフレアカタログを用いた。

研究結果

まず第24太陽活動周期におけるLyα/β比の変動を調べたところ、第23太陽活動周期のLyα/β比の変動と大きく変わらなかった。このことから、異なる太陽活動周期であってもLyα/β比の変動パターンは変わらず、太陽活動極小期よりも極大期の方がLyα/β比が小さくなり、LyαよりもLyβの方が増加率が大きいことが分かった。太陽フレアにおいては、Lyβの放射照度増加率がLyαの増加率に比べて平均して2.5倍高く、Lyα放射照度増加に伴うLyα/β比減少の割合も太陽活動周期変動によるものよりも大きかった。これらの放射が地球電離圏に与える影響についてGAIAモデルと柿岡磁力計のデータを用いて調べたところ、LyαではなくLyβが電離圏E領域下部（高度100-110 km）のO_2イオンの生成に寄与しているために電離圏の電子密度変動が引き起こされている可能性が示唆された。

引用文献

（1）Milligan et al., 2020, Space Weather, 18(8).
（2）Lemaire et al., 2012, A&A, 542, L25.
（3）Jin, H., Miyoshi, Y., Fujiwara, H., et al., 2011, JGR, 116, A01316
（4）Kakioka Magnetic Observatory. (2013)., Kakioka Magnetic Observatory Digital Data Service

成果発表

1. Ryosuke Okubo, Kyoko Watanabe, Shinnosuke Kitajima, Satoshi Masuda, Akimasa Ieda, Hidekatsu Jin, Chihiro Tao, Michi Nishioka,“Characters of Lyman lines and their influences on the Earth’s ionosphere”, JpGU Meeting 2024, 幕張メッセ, 2024 年 5 月 27 日
2. Ryosuke Okubo, Kyoko Watanabe, Shinnosuke Kitajima, Satoshi Masuda, Akimasa Ieda, Hidekatsu Jin, Chihiro Tao, Michi Nishioka,“Characteristics of Lyman Lines in Solar Cycles and Their Influences on the Earth's Ionosphere”, AOGS2024, 平昌, 2024 年 6 月 24 日
3. 大窪遼介、渡邉恭子、北島慎之典、増田智、家田章正、陣英克、垰千尋、西岡未知、“太陽における水素ライマン線の放射変動とその地球電離圏への影響”、日本天文学会 2024 年秋季年会、関西学院大学、2024 年 9 月 15 日
4. Ryosuke Okubo, Kyoko Watanabe, Shinnosuke Kitajima, Satoshi Masuda, Akimasa Ieda, Hidekatsu Jin, Chihiro Tao, Michi Nishioka,“Solar hydrogen Lyman lines and its effect on the Earth's ionosphere”, 9th Space Climate Symposium, 名古屋大学, 2024 年 10 月 1-2 日
5. 大窪遼介、渡邉恭子、北島慎之典、増田智、家田章正、陣英克、垰千尋、西岡未知、“太陽フレアにおける太陽水素ライマン線放射とその地球への影響”、第 156 回 SGEPSS 総会および講演会、国立極地研究所、2024 年 11 月 27 日
6. Ryosuke Okubo, Kyoko Watanabe, Shinnosuke Kitajima, Satoshi Masuda, Akimasa Ieda, Hidekatsu Jin, Chihiro Tao, Michi Nishioka,“Solar hydrogen Lyman lines and their influences on the Earth's ionosphere”, AGU24, Washington D.C., 2024 年 12 月 9-13 日
7. 大窪遼介、渡邉恭子、北島慎之典、増田智、家田章正、陣英克、垰千尋、西岡未知、“太陽放射の変動における水素ライマン線放射の特徴とその地球電離圏への影響”、2024 年度太陽研連シンポジウム、JAXA 宇宙科学研究所、2025 年 2 月 17-19 日
8. Ryosuke Okubo, Kyoko Watanabe, Shinnosuke Kitajima, Satoshi Masuda, Akimasa Ieda, Hidekatsu Jin, Chihiro Tao, Michi Nishioka,“Evaluation of the effect of solar flare emission on the Earth's ionosphere using the Kakioka magnetometer ”, 7th ISEE Symposium, 名古屋大学, 2025 年 3 月 5-7 日

（別紙様式05-2）

半導体検出器SiPMに搭載する集光器の開発
Development of a light guide for the SiPM

溝手雅也、甲南大学・自然科学研究科・博士2年

【作成要領】

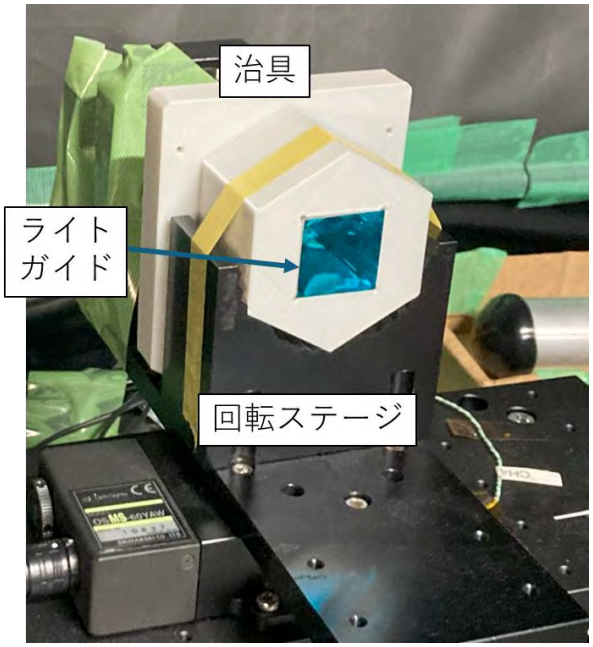
1. 研究目的

次世代高エネルギーガンマ線観測計画CTAでは、大口径望遠鏡の焦点面検出器に光電子増倍管を使用している。この望遠鏡の感度の向上を目指し、この望遠鏡に半導体検出器SiPMを導入することを検討している。画素数を4倍に増やし空間分解能を向上させると同時に光検出効率を上げ望遠鏡の感度を飛躍的に上げることを期待している。SiPMには集光鏡を取り付け、主鏡から届く光のみを検出するように設計している。本計画ではこの新しい検出器の開発と性能評価を行った。

2. 研究結果

CTAの望遠鏡は高エネルギーガンマ線が大気中で生成した空気シャワーから放出されるチェレンコフ光を検出している。チェレンコフ光は紫外線領域で明るく、赤外線領域は大気中の酸素の輝線などのノイズが主な成分になる。SiPMは光電子増倍管とくらべ赤外線領域の感度が高い。このためそのままではノイズが増えてしまい、微弱なチェレンコフ光の検出を妨げることが考えられる。そこで集光鏡に赤外線反射を低減させたコールドミラーを使うことを検討している。

コールドミラーは名古屋大と東海光学(株)が共同で開発した鏡で、反射面に多層膜のコーティングをしている。多層膜で増反射すると同時に、膜の間にやく3 nm程度の薄いアルミ層を導入することにより赤外線の反射を軽減している。この鏡によりチェレンコフ光を効率よく検出しながら赤外線を除去する検出器の開発を目指している。



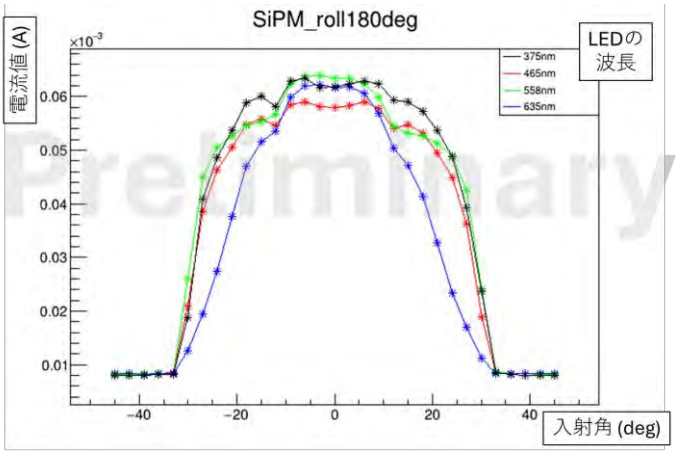
集光器の本体は、3Dプリンターで試作し開発コストを抑えた。樹脂製の複数のパーツを組み合わせてコーンの形を作り、コールドミラーをその内側に張り付け、SiPM用の集光器を製作した。本計画によりこの集光器を性能を評価している。左図に示すように、集光器を測定装置に固定し、LEDで単波長の光を照射する。集光器にはSiPMを装着しており、オシロスコープで信号を測定している。この測定はISEEの設備である大型暗室を利用した。検出器の角度を変えることにより集光効率を入射角の関数で測ることができ、光源のLEDを変えることにより波長も変えることができる。

下図は入射角度-45～45度における、検出効率の相対値を示している。望遠鏡のカメラから主鏡を見たとき入射角は27度程度になるため、27度以上の光は除去する設計になっている。また長波長ほど検出効率が下がっていることも確認できる。

3. 考察

本年度はSiPMに集光器を取りつけた検出器を試作し、その信号を測定することができるところまで進んだ。入射角度を一定の大きさに制限できていることや長波長の入射光がある程度軽減できることが確認できた。

今後、コールドミラーの膜厚最適化、集光器改良などを行い集光効率の高い検出器の開発を進める予定である。



4. まとめ

- CTAチェレンコフ望遠鏡に搭載する検出器について、高分解能化のためにSiPMの採用を検討している
- 赤外線を低減するためにコールドミラーを開発し、集光器を試作した
- この集光器の波長特性を測定するために分光器を使ったキャリブレーションシステムを開発している。

2024年度 06)研究集会 目次詳細

49 件

＊所属・職名は2025年3月現在

＊Affiliation and Department displayed are current as of March 2025.

研究代表者 Principal Investigator	所属機関* Affiliation	所属部局* Department	職名* Job title	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
本多嘉明	千葉大学	環境リモートセンシング研究センター	准教授	将来の衛星地球観測に関する研究集会	197	
佐藤永	海洋研究開発機構	地球環境領域　北極環境変動総合研究センター	副主任研究員	iLEAPS-Japan 研究集会 2024　大気–陸面プロセスの研究の進展：観測とモデルによる統合的理解	198	
久保田拓志	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構	第一宇宙技術部門地球観測研究センター	研究領域主幹	衛星による高精度降水推定技術の開発とその利用の研究企画のための集会	214	
村山泰啓	情報通信研究機構	NICTナレッジハブ	研究統括	科学データ研究会	216	
永岡賢一	自然科学研究機構核融合科学研究所	メタ階層ダイナミクスユニット	教授	実験室・宇宙プラズマ研究の融合による物理的運動論の深化	217	
南雅代	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授	第36回(2024年度)名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定研究シンポジウム	218	
三澤浩昭	東北大学	大学院理学研究科	准教授	第 26 回 惑星圏研究会	220	
村田功	東北大学	大学院環境科学研究科	准教授	地上赤外分光観測による大気組成変動検出に関する研究集会	222	
金谷有剛	国立研究開発法人海洋研究開発機構	地球環境部門　地球表層システム研究センター	センター長	第29回大気化学討論会	224	
山本衛	京都大学	生存圏研究所	所長・教授	MUレーダー40周年記念国際シンポジウム	226	
加藤千尋	信州大学	学術研究院・理学系	教授	太陽地球環境と宇宙線モジュレーション	228	
坂井亜規子	名古屋大学	大学院環境学研究科	准教授	山岳氷河の融解を加速する光吸収性不純物に関する研究集会	229	

研究代表者 Principal Investigator	所属機関* Affiliation	所属部局* Department	職名* Job title	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
鳥海森	宇宙航空研究開発機構	宇宙科学研究所	准教授	太陽研連シンポジウム2024	231	
野澤悟徳	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	准教授	EISCAT研究集会	232	
浅村和史	宇宙航空研究開発機構	宇宙科学研究所	准教授	次期極域探査衛星計画研究集会	234	
細川敬祐	電気通信大学	大学院情報理工学研究科	教授	脈動オーロラ研究集会	235	
小林進二	京都大学	エネルギー理工学研究所	准教授	実験室における統計加速を利用した新しい共同研究体制構築の検討	237	
本多牧生	国立研究開発法人海洋研究開発機構	地球環境部門　地球表層システム研究センター　物質循環・人間圏グループ	上席研究員（シニア）	CO_2除去に関わる海の生物炭素ポンプ研究の現状と将来展望	238	
前澤裕之	大阪公立大学	大学院理学研究科物理学専攻 宇宙・高エネルギー物理学講座	准教授	第25回ミリ/テラヘルツ波受信機技術に関するワークショップ	240	
今城峻	京都大学	大学院理学研究科附属地磁気世界資料解析センター	助教	太陽地球環境データ解析に基づく超高層大気の空間・時間変動の解明	242	
飯田佑輔	新潟大学	工学部	准教授	情報科学技術との融合による太陽圏物理学の新展開	243	
齋藤義文	宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所	太陽系科学研究系	教授	太陽地球惑星圏の研究領域における将来衛星計画検討会	244	
西谷望	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	准教授	極域・中緯度SuperDARN研究集会	246	
尾形友道	海洋研究開発機構	付加価値情報創生部門　アプリケーションラボ	研究員	インド洋/太平洋域における海洋循環/環境応用に関する研究集会	255	
寺本万里子	九州工業大学	工学研究院　宇宙システム工学研究系	准教授	超小型衛星を利用した超高層大気研究の将来ミッションの検討	257	
田村仁	港湾空港技術研究所	海洋利用研究領域	上席研究官	海洋波および大気海洋相互作用に関するワークショップ	258	
諫山翔伍	九州大学総合理工学研究院	環境理工学部門	助教	宇宙プラズマと高強度レーザー実験における非線形波動とプラズマの相互作用	260	
藤波初木	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	講師	モンスーン研究集会	261	

研究代表者 Principal Investigator	所属機関* Affiliation	所属部局* Department	職名* Job title	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
阿部修司	九州大学	国際宇宙惑星環境研究センター	学術研究員	STE研究連絡会現象報告会および現象解析ワークショップ(第二回: 磁気圏・電離圏プラズマ、超高層大気変動の相互作用)	263	
田中将裕	自然科学研究機構 核融合科学研究所	研究部 可知化センシングユニット	准教授	水素同位体の環境挙動と計測および同位体分離技術に関する研究集会	264	
富田裕之	北海道大学大学院	地球環境科学研究院	准教授	大気海洋相互作用に関する研究集会	266	
岩井一正	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	准教授	シンポジウム-太陽地球環境研究の現状と将来	268	
新堀淳樹	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	特任助教	中間圏・熱圏・電離圏研究会	270	
岩井一正	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	准教授	太陽圏・宇宙線関連の共同研究成果報告会	272	
尾花由紀	九州大学	国際宇宙惑星環境研究センター	学術研究者	ジオスペースの低エネルギープラズマ研究集会	273	
村上豪	宇宙航空研究開発機構	宇宙科学研究所　太陽系科学研究系	助教	BepiColomboが拓く太陽圏システム科学の新展開	274	
寺田直樹	東北大学	大学院理学研究科	教授	STEシミュレーション研究会：次世代太陽地球惑星系探査に向けて	275	
鷲見貴生	国立天文台	重力波プロジェクト	助教	宇宙素粒子若手の会 第9回 秋の研究会	276	
久保勇樹	情報通信研究機構	電磁波研究所	副室長	STE研究連絡会現象報告会および現象解析ワークショップ(第一回:宇宙天気現象の予測精度向上に向けて)	277	
水野亮	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授	陸別・母子里観測所ユーザーズミーティング2025	278	
篠原育	宇宙航空研究開発機構	宇宙科学研究所	教授	2020年代の太陽圏システム科学における「あらせ」の観測	280	
松田昇也	金沢大学	理工研究域	准教授	多地点観測による内部磁気圏プラズマ波動の観測と将来構想検討会	282	
今田晋亮	東京大学	理学系研究科地球惑星科学専攻	教授	SOLAR-C時代およびその先の次世代太陽圏研究の検討(その2)	283	
塩田大幸	情報通信研究機構	電磁波研究所電磁波伝搬研究センター	研究マネージャー	太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望	285	

研究代表者 Principal Investigator	所属機関* Affiliation	所属部局* Department	職名* Job title	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
加藤雄人	東北大学	大学院理学研究科地球物理学専攻	教授	衛星・地上観測とモデル・シミュレーションによる内部磁気圏波動粒子相互作用の統合研究検討会	287	
纐纈佑衣	名古屋大学	大学院環境学研究科	准教授	日本鉱物科学会年会2024名古屋大会	288	
篠田太郎	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	准教授	航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進	290	
桂華邦裕	東京大学	大学院理学系研究科	助教	グローバルシステムとしての近地球磁気圏ダイナミクスおよび将来多点観測に関する研究会	292	
田島宏康	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授	宇宙プラズマにおける粒子加速ワークショップ	294	

（別紙様式06-2）

衛星地球観測シナリオ研究会
Satellite Earth observation scenario study group

本多嘉明、千葉大学環境リモートセンシング研究センター

衛星地球観測の世界動向は、約130の新しいミッションが検討され、着実に実施の方向で動いている。これまでこの分野で日本は米国、欧州に比肩する位置を確保していた。しかるに、昨今の日本の将来計画が未定でこの位置を確保することが難しくなっている。

本研究会は2024年5月9日、5月23日、7月2日、8月20日、9月6日、9月19日、12月17日、2025年2月10日、3月10日の8回および2023年8月30日のTFのワークショップ及び2023年9月11日、11月15日、2024年1月10日、2月22日に開催したミッション検討会合を通して、日本の衛星地球観測計画をボトムアップから構築する枠組みを議論し、実践を通して構築することを目指している。2022年度は第3回衛星地球観測ミッションの公募(TF)を実施の上、最終審査会においてカテゴリごとの採択を決定した。さらに第3回試行公募（追加）を発出し、2023年度のJpGUと連携したレビュープロセスを進めている。

一昨年度から公募サイクルを2年ごととしたが、JpGUの開催は継続している。2022年度に第3回衛星地球観測ミッション公募（追加）を発出し、5月のJpGUで提案ミッションの更新とブラッシュアップを実施した。また、8月のワークショップでそれぞれのミッション提案の内容について議論を深めた。昨年度末に第3回衛星地球観測ミッションの公募(TF)の追加公募を発出し、JpGUへの参加を通じて提案ミッションの更新とブラッシュアップを実施した。今年度はJpGU2024に合わせて第4回衛星地球観測ミッションの公募(TF)の公募を発出し、来年度もJpGUへの参加を通じて提案ミッションの更新とブラッシュアップを実施する計画である。また、これらの活動については、日本リモートセンシング学会の秋季学術講演会で特別セッションを企画し、報告した。

本研究会は日本の衛星地球観測のあり方をボトムアップで構築する枠組みを検討するものである。検討中の枠組みではJpGUのセッションを利用し公開の場で議論をすることを検討し、来年度のJpGUにおいても実施予定で進めている。さらに最終的な結果も今後の宇宙開発体制のあり方に関するタスクフォース会合・リモートセンシング分科会から公表する方法を検討中であり、本研究からの直接的な公表は考えていない。なお、日本学術会議のこの分野に対する提言の中にも本研究会の成果が反映される予定である

なお、本年度はグランドデザインのC改訂版を発出することができた。本グランドデザインには本共同研究の支援を受けたことを記載した。

（別紙様式06-2）

iLEAPS-Japan 研究集会 2024
大気-陸面プロセスの研究の進展：観測とモデルによる統合的理解
Integrated Land Ecosystem-Atmosphere Processes Study (iLEAPS)-Japan 2024
Advances in Atmosphere-Land surface processes: Comprehension on observation and modeling

佐藤　永（海洋研究開発機構・地球環境部門）

本研究集会は、2024 年 9 月 26 日(木)から 27 日(金)の 2 日間、名古屋大学研究所共同館Ⅱ・409 室にて開催された。10 件の話題提供が行われ、それに対する質疑応答が実施された。参加者数は主催者・話題提供者を含め約 21 名であった。集会後には懇親会も開かれ、関連研究者間の交流が深まった。参考資料として、集会の要旨集を添付する。

本研究集会の目的は、大気－陸域プロセスに関心を持つ研究者が、小規模で議論のしやすい会合を開き、各自の最新の研究成果を報告し、それらの統合的理解に向けた情報共有と議論を行うことである。その結果、大気－陸域プロセスに基づく気候変動予測研究をさらに推進するためには、今後、観測とモデルの統合を一層深める必要があるという共通認識が得られた。

また、研究集会終了後、同じ会場で日本学術会議第 26 期・第 2 回 iLEAPS 小委員会が開催された。この会合では、研究集会で得られた共通認識を基に、iLEAPS 日本委員会が第 26 期においてどのような活動を行うべきかについて議論が行われた。

iLEAPS-Japan 研究集会 2024

大気－陸面プロセスの研究の進展：観測とモデルによる統合的理解

要旨集*

開催日　：2024 年 9 月 26 日(木)・27 日(金)

場所　　：名古屋大学　研究所共同館 II ・409 室

主催　　：名古屋大学宇宙地球環境研究所・日本学術会議 iLEAPS 小委員会

※(兼)
名古屋大学宇宙地球環境研究所
令和 6 年度共同利用・共同研究（研究集会）
報告書

開催趣旨

iLEAPS（Integrated Land Ecosystem-Atmosphere Process Study：統合陸域生態系―大気プロセス研究計画）は、大気と陸域の境界で発生する物理的、化学的、生物学的な過程についての理解を深めることを目的とした国際的な研究計画です。iLEAPS は、持続可能な社会構築を目指す国際研究プラットフォーム「Future Earth (FE)」のグローバルリサーチプロジェクト（GRP）の一部として位置づけられています。日本においては、日本学術会議の環境学委員会・地球惑星科学委員会による FE・WCRP 合同分科会の下部組織として、iLEAPS 小委員会が設けられています。

このプロジェクトでは、野外観測、広域モニタリングデータの解析、数値モデル開発など、様々な手法を用いて研究が行われています。これにより、個葉レベルの環境応答から地球規模の変動に至るまで、多様な時間・空間スケールでの理解が進められています。iLEAPS の目標は、これら多岐にわたる研究手段から得られた知見を統合し、より深い理解を目指すことです。

本研究集会では、大気－陸域プロセスに関心を持つ研究者が集まり、各自の最新の研究成果を共有し、統合的な理解を深めるための議論を行います。特に、観測データと数値モデルを組み合わせたアプローチによる理解の進展に焦点を当て、気候変動予測研究の推進に向けて今後必要な取り組みについて議論する予定です。

文責：佐藤永（海洋研究開発機構）

iLEAPS-Japan2024 研究集会　プログラム

9 月 26 日（木）

14:00〜14:05 主催者挨拶と主旨説明（佐藤永、本大会実行委員長）

14:05〜14:10 ロジ説明（檜山哲哉、本大会会場係）

セッション 1、座長：佐藤永（JAMSTEC/東京大学）

14:10〜14:30 渡辺泰士 [Yasuto WATANABE] (気象庁気象研究所) ほか 5 名
Trend and variability of the land carbon cycle simulated by the MRI-LPJ dynamical global vegetation model

14:30〜14:50 中川樹 [Tatsuki Nakagawa] (北海道大学) ほか 2 名
Rice yield reconstruction in the Asian region over the past 100 years through optimizing parameters in the process-based crop model MATCRO

14:50〜15:20 佐藤永 [Hisashi SATO] (JAMSTEC) ほか 2 名
Reconstructing spatiotemporal dynamics of mixed conifer and broad - leaved forests with a spatially explicit individual - based dynamic vegetation model

15:20〜15:35 休憩

セッション 2、座長： 近藤雅征（広島大学）

15:35〜16:00 伊藤昭彦 [Akihiko ITO] (東京大学)
A near-real-time global simulation system of land-atmosphere gas fluxes: a prototype of VISIT-JRA3Q

16:00〜16:20 田口琢斗 [Takuto TAGUCHI] (国環研) ほか 2 名
Understanding the impact of high-temperature events on carbon balance in northern mid-to-high latitude regions

16:20〜16:40 近藤雅征 [Masayuki KONDO] (広島大学)
Seeming weakening of land CO_2 uptake due to climate and land-use changes

16:40〜16:50 第一日目・総括

18:00〜20:00 懇親会 (レストラン花の木 052-783-8707) 懇親会担当者：高梨聡（森林総研）

9 月 27 日（金）

セッション 3、座長：伊勢武史（京都大学）

09:00〜9:20 内藤千尋 [Chihiro NAITO] (東京大学) ほか 1 名

Detecting satellite SIF time series change as resilience metrics over 20 years in Malaysia and Indonesia

9:20〜9:40 魏辰然 [Chenran WEI] (名古屋大学) ほか 7 名

Characteristics of the Fluorescence of Water-Soluble Organic Matter in Atmospheric Aerosols in Wakayama

9:40〜10:00 CHEN Zhanzhuo (北海道大学) ほか 8 名

Process-Based modeling of BVOC emissions from forest ecosystem with validation at two monoterpene observation sites.

10:00〜10:20 伊勢武史 [Takeshi ISE] (京都大学) ほか 2 名

Detecting graminoids in wetlands: a method with UAV and deep learning

10:20〜10:30 第二日目・総括、閉会の挨拶

10:45〜11:30 第 26 期・第 2 回 iLEAPS 小委員会（小委員会メンバーのみ参加・非公開）

※発表は、各議題質疑込み 20 分 or 25 分 or 30 分

会場のご案内

名古屋大学東山キャンパス 宇宙地球環境研究所 研究所共同館 II・409 号室(地球水循環共用室)
https://www.isee.nagoya-u.ac.jp/directions.html

発表要旨

Trend and variability of the land carbon cycle simulated by the MRI-LPJ dynamical global vegetation model

Yasuto Watanabe[1*], Makoto Deushi[1], Seiji Yukimoto[1], Yukimasa Adachi[1], Masahiro Hosaka[1], Hiroyuki Tsujino[1]

[1] Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency
[*] Corresponding author (e-mail: ywatanabe@mri-jma.go.jp)

Background

The land ecosystem responds to the anthropogenic climate change and increase of atmospheric *p*CO2, so it is fundamentally important in estimating future carbon budget and climate change. It also responds to the interannual climate variability related to the El Niño-Southern Oscillation (ENSO), which would help constrain the response of the land carbon cycle to future climate change (Cox et al., 2013). In the Meteorological Research Institute, the Meteorological Research Institute Earth System Model MRI-ESM2.0 has been developed and contributed to the CMIP6 model intercomparison (Yukimoto et al., 2019). MRI–ESM2.0 is superior in reproducing the surface air temperature, and the model also includes the land carbon cycle model. However, it tended to overestimate the gross primary production (GPP) and leaf area index (LAI), leading to the net land carbon absorption being higher than other models.

Methods

In this study, we developed a dynamical global vegetation model MRI-LPJ model, which is developed based on the LPJ-LMFire model (Pfeiffer et al. 2013), for improving the land carbon cycle coupled to the MRI-ESM2.0 (Yukimoto et al., 2019). We drive the offline version of the MRI-LPJ model by daily meteorological data based on JRA-3Q (Kosaka et al., 2024), which is an up-to-date reanalysis data of the Japan Meteorological Agency, and simulate the variability of the land carbon cycle from 1948 to 2015. We also run the model with and without the changes in the atmospheric *p*CO2 to elucidate the impact of the CO2 fertilization effect on the modern land carbon cycle.

Results

Using the MRI-LPJ model, the reproduction of the present GPP and LAI was improved especially in the tropics when compared with the previous land carbon cycle model employed in the MRI-ESM2.0. On the other hand, the GPP and LAI at the high-latitude regions of the northern hemisphere exhibited values higher than observation-based estimations (e.g., Zhao and Running 2010). The GPP estimated using JRA-3Q meteorological data increased by nearly 20% from 1948 to 2015, which is associated primarily with CO2 fertilization effect in the tropic regions. The interannual variations of the net ecosystem productivity (NEP) was consistent with the results of the previous studies (Sitch et al. 2008; Zhang et al., 2016). When El Niño events occur, NEP decreases primarily in the northern part of South America, resulting in the net CO2 supply to the atmosphere. When La Niña events occur, on the other hand, the opposite pattern of the case of El Niño events was observed in South America, while the responses in Africa were similar to the pattern of the case of El Niño.

Discussion

In this study, the variability of the modern land carbon cycle was reproduced using the MRI-LPJ model. The MRI-LPJ model has already been coupled to MRI-ESM 2.0 and the next-generation Earth system model that is currently under development at the Meteorological Research Institute. These Earth-system models include the atmospheric ozone chemistry model, and thus this would allow us to investigate the interaction between land vegetation, global carbon cycle, and tropospheric ozone chemistry in the future.

References

Cox et al. (2013). *Nature*, 494(7437), 341-344.; Kosaka et al. (2024). *J. Met. Soc. Japan. Ser. II*, 102(1), 49-109.; Pfeiffer et al. (2013). *Geosci. Model Dev.*, 6(3), 643-685.; Sitch et al. (2008). *Global Change Biology*, 14(9), 2015-2039.; Yukimoto et al. (2019). *J. Met. Soc. Japan. Ser. II*, 97(5), 931-965.; Zhang et al. (2016). *Geophys. Res. Lett.*, 43(4), 1607-1614.; Zhao and Running (2010). *Science*, 329(5994), 940-943.

Rice yield reconstruction in the Asian region over the past 100 years through optimizing parameters in the process-based crop model MATCRO

Tatsuki Nakagawa[1*], Tomomichi Kato[2], Yuji Masutomi[3]

[1] Graduate School of Global Food Resources, Hokkaido University [2] Research Faculty of Agriculture, Hokkaido University
[3] National Institute for Environmental Studies
[*] Corresponding author (e-mail: nakagawa.tatsuki.s3@elms.hokudai.ac.jp)

Abstract

Rice yield in Asia have more than doubled over the past 100 years (Teng, Paul P. S., et al. 2016). Meanwhile, since the Industrial Revolution, the global mean surface temperature has increased by approximately 1.26℃, and atmospheric CO2 concentration has risen by over 100 ppm since the post-war period (IPCC, 2021). These changes in climate conditions have had various impacts on rice production (Zhao et al., 2016; McGrath & Lobell, 2013). At the same time, crop improvements have been a significant factor in increasing yields (Miflin, 2000). However, the precise contribution of these improvements to yield increase has not been clearly quantified.

The aim of this study is to quantify the impact of climate change and breeding improvements on rice yield in Asia. Using the process-based crop model MATCRO (Masutomi et al., 2016), we reconstructed regional rice yield over the past 100 years and evaluate the contributions of these factors.

We have collected paddy rice yield statistics at the prefectural level in the Asian region from various references. Based on these datasets, we optimized seven parameters in MATCRO related to leaf thickness, temperature tolerance, and photosynthetically assimilated carbon allocation for reconstruction. We used the Bayesian Optimization method, conducting the optimization in 20-year windows, going back in 10-year intervals. The objective function was set as follows:

$$objective\ function = \frac{RMSE}{Var_{obs}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{20}\sum_{i=year\_st}^{year\_ed}(sim_i - obs_i)^2}}{\frac{1}{20}\sum_{i=year\_st}^{year\_ed}(obs_i - \overline{obs})^2}$$

where Var_{obs} is the variance of observation, RMSE is derived from the difference between simulation and observation, and year_st and year_ed are the starting and ending years for each optimization window, respectively.

The optimization result for Gyeonggi-do in South Korea is shown in Figure 1. Challenges remain in reconstructing the yield during the periods when the transition from rain-fed to irrigated farming occurred. Moreover, while single-cropping regions allow for more accurate reconstruction by optimizing phenological parameters, multi-cropping regions, particularly those with three crops per year, present difficulties due to the lack of specific yield data per cropping cycle, as yields are typically recorded on an annual basis.

Our study is still in the experimental phase, and we are considering which regions to target for optimization.

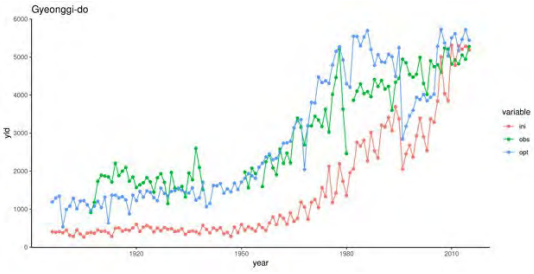


Figure 1. Optimization result for Gyeonggi-do, South Korea.

Reconstructing spatiotemporal dynamics of mixed conifer and broad‐leaved forests with a spatially explicit individual‐based dynamic vegetation model

Hisashi SATO[1,3*], Masato SHIBUYA[2], Tsutom HIURA[3]

[1] Research Institute for Global Change (RIGC), Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Yokohama, Japan
[2] Research Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo, Japan
[3] Department of Ecosystem Studies, The University of Tokyo, Tokyo, Japan
[*] Corresponding author (e-mail: hsato@jamstec.go.jp)

A dynamic vegetation model was adapted to a mixed forest of deciduous broad-leaved trees and evergreen conifers in Hokkaido, the northernmost main island of Japan, located within a transition zone between cool temperate and sub-boreal forest ecosystems. In this forest, elevation and a terrestrial-wetness index affect tree biomass and the percentage of conifers. We maximized agreement between this observed pattern and model output by calibrating parameters that control drought and excessive soil-moisture tolerance, establishment rate, and background mortality rate. In the simulation, biomass increased as a single peak curve with simulation year, while the percentage of conifers increased until the end of 200 simulation years. The 75-year simulated forest was most comparable to the adapted forest, consistent with the average frequency of catastrophic storm disturbances in Hokkaido. The model also reconstructed a reasonable succession pattern based on temperature and soil moisture. Therefore, the model mechanistically reconstructed the mixed forest via spatial niche segregation and succession after catastrophic disturbances. However, the model did not reconstruct the percentages of broad-leaved trees and conifers of forests prior to the disturbance in independent validation plots, demonstrating that additional processes should be considered in future models.

Reference

H. Sato, M. Shibuya and T. Hiura (2023) Reconstructing spatiotemporal dynamics of mixed conifer and broad‐leaved forests with a spatially explicit individual‐based dynamic vegetation model. Ecological Research 2023 Vol. 38 Issue 3 Pages 465-478

Acknowledgments

We acknowledge funding provided by the Arctic Challenge for Sustainability II (ArCS II) JPMXD1420318865 and the Japan Society for the Promotion of Science KAKENHI (Grant Numbers 22H02378, 21H05316, and 26292076).

A near-real-time global simulation system of land-atmosphere gas fluxes: a prototype of VISIT–JRA3Q

Akihiko Ito[1*]

[1] The University of Tokyo, Tokyo, Japan
[*] Corresponding author (e-mail: akihikoito@g.ecc.u-tokyo.ac.jp)

A near-real-time analysis becomes increasingly important not only for short-lived climate forcers including air pollutants but also for long-lived greenhouse gases. For example, a quick analysis of the high CO_2 growth rate in 2023 was conducted by the GCP task force using available observational data and model simulations, implying the importance of anomalous land budgets such as surge emissions from mega-fires. Such a quick analysis is also effective for policy-relevant issues to detect the footprint of human activities.

In this study, a prototype of a near-real-time simulation system of land fluxes is presented. Atmosphere-land ecosystem fluxes of CO_2 and CH_4 are simulated using a process-based model, VISIT (Vegetation Integrative SImulator for Trace gases), at a 1-hour time step. Meteorological data are derived from the third-generation reanalysis of the Japan Meteorological Agency covering three-quarters of a century from September 1947 to the present (JRA-3Q; Kosaka et al., 2024). Note that there are alternative choices of meteorological data, the ERA5 and MERRA2. The present prototype system has a spatial resolution of a quarter degree for consistency of land-use data (LUH2) and therefore the JRA-3Q data originally produced using a TL479 data assimilation system are converted into the land model grid system.

Several technical issues should be solved. First, the JRA-3Q data is provided in wgrib2 format from the DIAS and the University of Tsukuba. Alternatively, the data is also provided in NetCDF format, which is more flexible and widely used, from the U.S. National Center for Atmospheric Research. The prototype system adopts the NetCDF data and then requires a corresponding interface to directly read it. Second, to realize near-real-time analysis beginning from an arbitrary time (typically from the end of the previous analysis), a restart routine is required to be implemented. This is also necessary to avoid conducting a spin-up simulation, which demands a heavy computational cost for each analysis run. At present, it was implemented by a routine of writing and reading whole structure variables of the VISIT. The prototype system aims at conducting a land simulation within a latency of 1 month.

There remain several technical issues. First, it is challenging to obtain satellite-derived biomass burning emissions within 1 month, although several fire products (e.g., QFED, CAMS, and GFED) are available. Similarly, satellite-derived inundation products, which are used for wetland CH_4 emissions, have a latency longer than 6 months, and model-estimated inundation is still highly uncertain. Finally, the system is expected to make a contribution to the Global Greenhouse Gases Watch by the World Meteorological Organization (WMO-G3W), as well as the 2nd UNFCCC Global Stocktake.

References

Ito, A. (2019), Disequilibrium of terrestrial ecosystem CO_2 budget caused by disturbance-induced emissions and non-CO_2 carbon export flows: a global model assessment, *Earth System Dynamics*, *10*, 685–709, doi:10.5194/esd-10-685-2019.

Kosaka, Y., et al. (2024), The JRA-3Q reanalysis, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, *102*, 49–109, doi:10.2151/jmsj.2024-004.

Acknowledgments

The study was partly supported by the Digital Biosphere Project (JSPS KAKENHI Grant No. 21H05318:) and the Environmental Research Fund S-22 of the ERCA/MOE (JPMEERF24S12200).

Understanding the impact of high-temperature events on carbon balance in northern mid-to-high latitude regions

Takuto Taguchi[1*], Masayuki Kondo[2], Kazuhito Ichii[3]

[1] Earth System Division National Institute for Environmental Studies
[2] The IDEC Institute, Center for Peaceful and Sustainable Futures (CEPEAS), Hiroshima University
[3] Center for Environmental Remote Sensing (CEReS), Chiba University

[*] Corresponding author (e-mail: taguchi.takuto@nies.go.jp)

Seasonal variations in the terrestrial carbon balance across northern mid-high latitude zones are closely associated with the location, timing, and duration of temperature increases. In recent years, the frequency of high-temperature events has been reported to increase due to climate change, with predictions suggesting a further rise in the future. In the spring and summer of 2020, large parts of middle to northern Eurasia experienced an unprecedented temperature increase, recording nearly +6°C above the climatological average. However, its effect did not significantly contribute to changes in the net carbon balance of the region. This study compares high-temperature events that occurred in the regions of North America and Eurasia situated above 45°N latitude from 2001 to 2020 and evaluates their impact on the carbon balance. Monthly temperature from ERA5 reanalysis data and precipitation data from MSWEP were employed to assess high-temperature events, while FLUXCOM-RS data on gross primary production (GPP) and terrestrial ecosystem respiration (TER) were utilized to analyze the carbon cycle. Despite widespread increases in temperatures, no substantial impact on the carbon balance was identified in northern Eurasia during January-April of 2002, 2007 and 2020, because temperature increases were insufficient to activate carbon cycles in boreal regions. Although appearing less extensive, noticeable changes in carbon balance were found in a high-temperature event that occurred from May to August 2010 in western Eurasia. The high-temperature event coincided with a reduction in precipitation and a decline in the vegetation index, causing a significant reduction in GPP. The results of this study suggest that the magnitude of high-temperature events does not necessarily directly affect the carbon balance but varies greatly depending on the location, timing, and duration of events.

Seeming weakening of land CO_2 uptake due to climate and land-use changes

Masayuki Kondo[1]

[1] The IDEC Institute - Center for Peaceful and Sustainable Futures (CEPEAS), Network for Education and Research on Peace and Sustainability (NERPS), Seto Inland Sea Carbon Neutral Research Center (S-CNC), Graduate School of Humanities and Social Sciences International Economic Development Program (IEDP), Graduate School of Innovation and Practice for Smart Society (SmaSo), Hiroshima University, Higashi-Hiroshima, Hiroshima 739-8529, Japan

[*] Corresponding author: Masayuki Kondo (e-mail: redmk92@gmail.com)

The rate of CO_2 uptake by land has increased since the 1960s. The “top-down” atmospheric inversions and “bottom-up” biogeochemical models that calculate the land CO_2 exchange agree that its sink strength has increased until the end of the 2000s but weakened for 2000−2022. Integrating multiple model and observational estimates, here we provide evidence that the recent weakening of global land CO_2 uptake is a spurious phenomenon, caused by decadal changes in anthropogenic forest disturbances and natural climate that coincidentally occurred during the 2000s. We find that activities of land-use, land cover changes, and forestry (LULUCF) were largely reduced for tropical ecosystems in Amazon and Southeast Asia between the 1990s and 2000s owing to national regulations but slightly increased in the 2010s. In the past 100 years of the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) cycle, there have been two long periods without strong El Niño events, one of which was in the 2000s. The coincidental and simultaneous changes in these different processes made the 2000s a favorable environment for land CO_2 uptake. These results indicate that it only appears that land CO_2 uptake since th2000s has weakened due to a coincidental large increase in CO_2 uptake in the 2000s. Similar to the case of the land, we found that an increased ocean CO_2 uptake in the 2000s due to reduced CO2 outgassing from the ocean surface due to weakened ocean circulation is found caused by the decadal variability in ENSO. These results suggest that an over-focus on the anthropogenic impact on the carbon cycle has led to an underestimation of the impact of natural variability on land and ocean CO_2 uptake.

Detecting satellite SIF time series change as resilience metrics over 20 years in Malaysia and Indonesia

Chihiro Naito[1,2*] and Wataru Takeuchi[2]
[1] The Graduate School of Engineering, the University of Tokyo
[2] Institute of Industrial Sciences, the University of Tokyo
* chihiro-naito807@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

Introduction

Palm oil is globally used in various products and industries, mostly produced in Malaysia and Indonesia across millions of hectares. However, climate change is projected to impact oil palms due to water stress negatively. Therefore, it is important to identify vulnerable areas to prioritize adaptation actions across the countries. Vulnerability can be generally described by measuring resilience. Particularly, ecological resilience refers to the ability of an ecosystem to persist to disturbances, which can be observed as the change in the trend and stochastic fluctuations of time series data[1]. This study aims to measure the resilience of vegetation including oil palm areas in Malaysia and Indonesia using resilience indicators analyzed from 20-year satellite vegetation products.

Methodology

Global dataset of solar-induced chlorophyll fluorescence (GOSIF)[2] was selected as vegetation productivity data for its high spatial and temporal resolutions. GOSIF was resampled to a 0.1° grid, and the monthly sum from 2002 to 2022 was used. The resilience metrics in this study included changes in the mean values of SIF, seasonal standard deviation representing fluctuation, and spectral signal. For changes in standard deviation, the study period was divided at the midpoint of the entire study period, then the standard deviation was calculated from seasonal data, which was derived from the decomposing of the original time series data into trend and seasonality. For changes in SIF mean value and seasonal spectral, change points were identified in the 20-year SIF time series using the Pruned Exact Linear Time (PELT)[3] method. The mean values were calculated if a significant trend existed in the time segments. Seasonal spectral analysis was conducted using Fourier Transforms to obtain amplitude and frequency domains. These changes in mean, standard deviation, and spectral properties were compared between the first and later periods.

Results

Change points were mostly observed in the Malay Peninsula, Borneo, and Sumatra islands, indicating that vegetation in these regions has been changing its response to climate. An increase in standard deviation was observed in these regions. In contrast, amplitude changes were more pronounced in other areas, suggesting that the response of seasonal signals varied among regions. Negative changes in mean SIF values were seen in the Malay Peninsula, Sumatra islands, and the northeast of Borneo islands, while positive changes were present in other regions. These results suggest that the Malay Peninsula and Sumatra islands may be less resilient at present. However, differences in vegetation types might lead to varying responses to climate disturbances and time series data.

Conclusion and Future Work

The analysis of changes in trend and seasonal fluctuation suggested that the Malay Peninsula and Sumatra may be less resilient in this study. In future studies, other resilience metrics such as recovery capacity and autocorrelation will be investigated. Additionally, focusing on areas specific to oil palm cultivation areas may provide detailed insights into oil palm resilience. Furthermore, validation of the analysis, particularly concerning palm yield, is needed.

References

[1] M. Scheffer, S. R. Carpenter, V. Dakos, and E. H. van Nes, 'Generic Indicators of Ecological Resilience: Inferring the Chance of a Critical Transition', Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, vol. 46, no. Volume 46, 2015, pp. 145–167, Dec. 2015.
[2] X. Li and J. Xiao, 'A Global, 0.05-Degree Product of Solar-Induced Chlorophyll Fluorescence Derived from OCO-2, MODIS, and Reanalysis Data', Remote Sensing, vol. 11, no. 5, Art. no. 5, Jan. 2019.
[3] R. Killick, P. Fearnhead, and I. A. Eckley, 'Optimal detection of changepoints with a linear computational cost', Journal of the American Statistical Association, vol. 107, no. 500, pp. 1590–1598, Dec. 2012.

Characteristics of the Fluorescence of Water-Soluble Organic Matter in Atmospheric Aerosols in Wakayama

Chenran Wei[1], Sonia Afsana[1], Yange Deng[1], Hikari Yai[1], Hiroaki Fujinari[1], Yuzo Miyazaki[3], Eri Tachibana[3], Michihiro Mochida[1,2*]

[1] Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University,
[2] Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University,
[3] Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University
* Corresponding author (e-mail: mailto:mochida@isee.nagoya-u.ac.jp)

The fluorescence properties of atmospheric aerosols show variability according to their chemical composition such as oxygenation state. Excitation-emission matrix (EEM) fluorescence spectroscopy is becoming an important method for analyzing the chromophores of water-soluble organic aerosol. The fluorescence characteristics of the chromophores were reported widely in recent years; however, how environmental conditions (e.g., humidity and temperature) affect the fluorescence properties of water-soluble organic aerosol are not yet fully understood. In this study, the fluorescence of water-soluble components in forest aerosol samples is studied to understand their characteristics and their temporal variations, and to infer the underlying processes.

Forest aerosol samples collected in Wakayama during 2015 summer were subjected to the analysis of EEM for water-soluble extracts. Parallel factor analysis (PARAFAC) was used to identify fluorescence characteristics. The result shows that water-soluble organic aerosol in this study was consist with low-oxygenated species (LOS), highly-oxygenated species (HOS), and protein-like substances (PRLIS). The relative contribution of the fluorescence of LOS showed significant positive correlation with SO42- ($r=0.78$; $p<0.001$) and NH4+ ($r=0.80$; $p<0.001$), while PRLIS showed strong negative correlation with them ($r=-0.72$ and $p<0.001$ for both). A possible explanation is that LOS may have been influenced by regional/long-range transport, while the influence is smaller on PRLIS. Nine meteorological variables including temperature, solar radiation, relative humidity, wind speed, and precipitation, were used for the comparison with fluorescence characteristics. The relative contribution of PRLIS showed a positive correlation with relative humidity ($r=0.36$; $p<0.001$), which may be explained by the humidity-dependent emission of bioaerosol.

The temporal variation of the fluorescence within a day was also analyzed. The fluorescence volume was relatively high in the daytime, especially in the afternoon (around 12-18 LT). The fluorescence of LOS showed a similar variation pattern with the minimum between around 0-6 LT and the maximum during around 12-18 LT. A possible explanation is that biogenic emissions were high during midday because of high temperature and strong solar radiation and contributed to the increased LOS. Comparison between inorganic ions and total fluorescence volume showed that the increase in the chromophores from nighttime to daytime was more prominent, which may relate to photochemical reactions.

Process-based modeling of BVOC emissions from forest ecosystem with validation at two observation sites for monoterpene

Zhanzhuo Chen (1, 2), Tomomichi Kato (3), Akihiko Ito (4, 5), Tatsuya Miyauchi (3), Yoshiyuki Takahashi (4), Jing Tang (2), Zhiyang Zhang (2), Riikka Rinnan (2), Ross Petersen (6), Cheng Wu (7)

(1) Graduate School of Global Food Resources, Hokkaido University, Sapporo, Hokkaido, 060-0809, Japan

(2) Center for Volatile Interactions (VOLT), Department of Biology, University of Copenhagen, DK-2100, Copenhagen, Denmark

(3) Research Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo, Hokkaido, 060-8589, Japan

(4) Earth System Division, National Institute for Environmental Studies (NIES), 11 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki, 305-8506, Japan

(5) Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8657, Japan

(6) Department of Physical Geography and Ecosystem Science, Lund University, Lund, Sweden

(7) Department of Chemistry and Molecular Biology, University of Gothenburg, 41296, Gothenburg, Sweden

Abstract. Globally, the emission of biogenic volatile organic compounds (BVOC) by plants represents the dominant source of volatile organic compounds emitted to the atmosphere. Monoterpene (MT), as one of the major BVOCs, can contribute significantly to the formation of secondary organic aerosols and thus influence cloud properties. In this study, first, we developed a process-based MT module in the Vegetation Integrative Simulator for Trace Gases (VISIT) model, considering the production, storage, and emission of MT as three main processes. We evaluated the modeled MT emissions against ecosystem-level observation data at a half-hour scale from a Japanese larch (Larix kaempferi) forest site on Mt. Fuji, Japan. The VISIT model demonstrated relatively high accuracy, with Willmott's index of agreement of 0.61, a mean bias error (MBE) of 0.29, and a root mean squared error (RMSE) of 0.43. These results were comparable to those of the Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature (MEGAN) model, which had Willmott's index of agreement of 0.63, an MBE of 0.40, and an RMSE of 0.54. In a long-term simulation under high CO2 emission scenarios, the ratio of MT emission to gross primary production exhibited a stronger correlation with CO2 concentration than with temperature. Second, after completing vegetation-based BVOC simulations for the FHK site, we applied laboratory-based litter emission capacity data to simulate MT emissions at the Swedish Norunda site, dominated by Scots pine (Pinus sylvestris L.) and Norway spruce (Picea abies L.), using the Lund-Potsdam-Jena General Ecosystem Simulator (LPJ-GUESS) model. By comparing Norunda BVOC validation data with the simulation incorporating litter MT emissions, we found that including this process enhanced the model's accuracy. Our study provides a process-based modeling approach for more accurately simulating MT emissions from Japanese larch and highlights the importance of including a process-based scheme of litter BVOC emissions for improved model performance.

Detecting graminoids in wetlands: a method with UAV and deep learning

Takeshi Ise[1*], Hiyori Takagi[2], Noriko Kurata[2]

[1] Kyoto University
[2] Yamaguchi Prefectural University
[*] Corresponding author (e-mail: ise.takeshi.5e@kyoto-u.ac.jp)

極域の陸上生態系は、気候変動の影響が特に大きくなると懸念されている。極域に広がる永久凍土は、気候変動によって大規模な融解が生じる恐れがある。永久凍土の融解により、それまでは森林が成立していた場所の地表面が陥没し、地下水位が上昇する。これは、森林から fen（低層湿原）への変化であり、植生は木本中心から草本中心へと大きく変わることとなる。Fen の草本は特に graminoids（本研究ではイネ科型草本と呼ぶ。イネ科にくわえ、カヤツリグサ科など形態の似た草本を含む）に特徴づけられる。

広大な極域で生じるこのような変化を効果的に見つけ出すため、本研究では UAV とディープラーニングを用いて graminoids の検出を行う。将来の極域での実用化を目指し、今回は日本国内の湿原における研究結果を示す。画像識別 AI の一種であるこま切れ画像法（Chopped Picture Method: CPM）は、クラス分類（classification）を応用したモデル作成の高速化が特徴であり、湿原内における graminoids の検出を行うことに成功した。

（別紙様式06-2）

衛星による高精度降水推定技術の開発とその利用の研究企画のための集会
Research project meeting for development and application of high-accuracy satellite precipitation retrieval technique

久保田　拓志　宇宙航空研究開発機構・第一宇宙技術部門 地球観測研究センター

集会の概要：

全球的な降水情報は、大気、海洋、陸面などの間の様々な時間・空間スケールの相互作用の理解のために不可欠なパラメータの１つである。全球的にある程度の時間・空間分解能の降水情報を与える観測手段として、衛星リモートセンシング技術の有用性が広く知られている。全球降水観測計画（GPM）主衛星には、日本が開発した世界初の衛星搭載二周波降水レーダである DPR が搭載されている。また GPM のプロダクトとして、日本で開発した GSMaP アルゴリズムは、ある程度の時間・空間分解能と精度をもつ降水データを作るために、各種リモートセンシングの情報を組み合わせて使うアルゴリズムの１つである。

米国の Decadal Survey 2017 では大気科学分野の重要課題として Aerosols and Clouds, Convection and Precipitation (ACCP)が挙げられ、2030 年頃の衛星打ち上げを目指した Atmosphere Observing System (AOS) ミッション検討が行われている。宇宙航空研究開発機構（JAXA）でも米国の AOS ミッションへの参画を前提とした Ku 帯ドップラー降水レーダを搭載する降水レーダ衛星のプロジェクトチームが 2023 年 6 月に設置された。さらには、世界初の衛星搭載雲ドップラー計測となる雲プロファイリングレーダ（CPR）を搭載する雲エアロゾル放射ミッション「EarthCARE」が 2024 年 5 月に打上げられ、雲降水過程に関わる新たな観測データを蓄積しつつある。

本研究集会の目的は、DPR や GSMaP のアルゴリズム開発や衛星降水プロダクトの利用に関連した研究について、現状のまとめを行い、今後の中期的な課題を明確にし、研究の取り組み方を考えることである。

研究報告：

研究集会を 2025 年 3 月 11 日（火）～12 日（水）に、名古屋大学　環境総合館レクチャーホールとオンライン（Zoom）のハイブリッド形式で開催した。今回は 72 名が参加した。これまでと同じく、衛星シミュレータ研究会との合同研究集会の形をとった。表１にこれまでの研究集会の発表者数と参加者数の変化を示す。本年度は昨年度に引き続き、ハイブリッド形式であったが、発表者数や参加者数は若干、減少したものの、近年と同等の規模を維持している。

表１：これまでの研究集会の発表者数と参加者数の変化

年度	2018	2020	2021	2022	2023	2024（今回
開催形式	名大	オンライン	オンライン	名大 & オンライン	名大 & オンライン	名大 & オンライン
発表数	25	30	29	43	38	34
参加者	59	78	81	81	81	72

今回、現地参加が 54 名、オンライン参加が 18 名で、現地で活発な議論を行いつつも、またオンラインからの質問も見られ、現地参加とオンライン参加の人数割合も適切と感じた。また発表者が急遽、現地参加できなくなった場合に、オンラインから発表に切り替えることで対応できた。オンラインは、今後も継続する方がよいと考えられる。

また、衛星シミュレータを使った衛星、数値モデル、及びデータ同化コミュニティ間の交流が広がっている。衛星搭載雲降水レーダの鉛直情報は、降水プロセスの理解の向上に有用で、衛星シミュレータと組み合わせることで、気候モデルの雲・降水過程の評価に役立つ。特に EarthCARE の雲レーダ観測は新規性が高く、GPM のみならず、気象衛星ひまわりとのシナジーも考えられ、衛星ミッションの垣根を越えて開催されるこのような研究集会は交流の場として今後も重要であると考えている。

成果：

今回の研究会で示された研究成果を概観すると、以下の 3 点が特徴として挙げることができる。

1. DPR データ等を用いた長期解析

   DPR データを用いた研究成果としては下記の 3 点が特徴として挙げられる。

   （ア）DPR の二周波観測による降水粒子判別や雨滴粒径分布の解析

   （イ）DPR の高感度観測による降水（特に降雪）解析

   （ウ）DPR で初めて実現した中緯度観測による降水に関する新たな知見

   2014 年 2 月の GPM 主衛星の打上げ後、約 10 年間の蓄積があり、本研究集会では、上記に関する発表が示され、特に、「GPM/DPR の二周波観測を活用した降雪微物理特性の推定と検証（大畑･京都大）」や「GPM/DPR を用いた雪・霰・雹の識別可能性（辻･富山大）」の発表は、降水粒子判別や降雪推定を示し、非常に興味深かった。

2. GSMaP の降水推定手法の改良･プロダクト検証

   本研究集会では、特に、「雲タイプ別降水強度補正手法の GSMaP_MVK への適用実験（広瀬･大阪大）」による、雲クラスターの検出により雲タイプ別に降水推定を行う手法は興味深かった。

3. 生成 AI や AI 気象モデルなど、AI を用いた研究成果

   近年、利用が進みつつある AI（人工知能）や機械学習を用いた研究成果では「陸面データ同化とデータサイエンスによる全球衛星降水マップ GSMaP の高度化（小槻･千葉大）」で、非常にインパクトがある成果を示していた。特に拡散モデル（生成 AI）による成果や AI 気象モデル（ClimaX）の内容は、発表後も参加者間で活発な議論があった。

4. EarthCARE による新たな観測を用いた研究成果

   近年、雲エアロゾル放射ミッション「EarthCARE」に関する発表が増える傾向があったが、2024 年に 5 月打上げられたことにより、今回、観測データが初めて研究会で登場し、大きな注目を集めた。特に、「EarthCARE - GPM 同時観測データセットの開発」（青木･JAXA）は、興味深い結果を示し、発表後も議論があるなど注目を集めた。また EarthCARE の実際の観測データにより気象･気候モデルデータを評価した結果も興味深かった。このような研究課題は、現在、検討が進められている AOS で注目されている雲・エアロゾル粒子と降水の関係に関するプロセス研究にもつながることが見込まれる。

以上

（別紙様式06-2）

科学データ研究会
Science Data Symposium

村山泰啓・国立研究開発法人情報通信研究機構・NICTナレッジハブ

【集会の概要】

科学データ研究会は、名古屋大学宇宙地球環境研究所の共同研究事業の一環として、広く科学データの保全・共有態勢の構築活動に関する国内外の情報の共有を基に、Open Data に向けた国際連携への取り組みに向けた議論を行うことを目的とし、2024 年 3 月 24 日午後 1 時より、オンラインで開催された。今回は、日本学術会議・情報学委員会の WDS (World Data System) 小委員会が主導する、WDS 国内シンポジウムとの共同開催とし、科学データ共有に関わる国際動向に関する情報の共有に加えて、2025 年 9 月に開催される予定の、WDS Asia-Oceania Conference 2025 -Developing a New Frontier of Open-Data への対応に関する情報交換と議論を行った。中でも最近国際学術会議（ISC）のアジア・太平洋地域の活動拠点である Regional Focal Point for Asia and the Pacific によって、当地域におけるデータや諸情報の公開や共有を目指す態勢の整備に関する報告があり、WDS 小委員会が推進して来た、アジア・オセアニア地域におけるデータ関連組織の、ネットワークの構築に向けた活動との連携が期待される。また太陽地球系現象の観測データの総合的な解析システムである IUGONET と、旧オーロラ世界資料センター(WDC for Aurora) を源流とする、情報・システム研究機構データサイエンス共同利用基盤施設(ROIS-DS) の 2 組織が、夫々WDS の Network Member として認定された経緯に関する情報を共有出来たことは、今後我が国の研究データ問題の国際的な共有・議論を進めて行く上で、重要なステップと思われる。研究会のプログラムを以下に示す。また講演資料は、WDS 小委員会 Web サイトより公開されている（https://takashiwatanabe.wixsite.com/wds-japan/blank-i1dia）。

割当時間	タイトル	講演者（所属）
13:00-13:15	研究会趣旨およびオープンサイエンス動向	村山泰啓（NICT）
13:15-13:30	CODATA 関連活動報告	芦野俊宏（東洋大）
13:30-13:50	Asia-Pacific における ISC RFP-AP との連携に向けて	氷見山幸夫（ISC RFP-AP Strategic Advisory Council 委員）
13:50-14:10	ISC 大型国際公募採択プロジェクト Meta-Network Hub for Sustainability in Asia の概要と Synergetic Data/Knowledge Infrastructure（仮称）構築に向けて	灘岡和夫（Future Earth アジア地域委員会共同議長）
14:10-14:30	日本学術会議の第 7 期科学技術・イノベーション基本計画への提言について	林　和弘（文部科学省・科学技術学術政策研究所）
14:30-14:50	核融合実験データのオープン化の取り組み状況と国内連携・海外動向	中西秀哉（核融合研）
14:50-15:00	休憩	
15:00-15:20	ROIS-DS の WDS ネットワークメンバー加盟について	門倉　昭（ROIS-DS）
15:20-15:40	IUGONET（WDS Network Member）の国際連携活動	田中良昌（ROIS-DS）、IUGONET プロジェクトチーム
15:40-16:00	DSWS 2023 - Building an Open Data Collaborative network in the Asia-Oceania area の成果と今後への展開	金尾政紀（ROIS-DS）
16:00-16:20	WDS Asia-Oceania Conference 2025 に向けた論点の整理	渡邉　堯（NICT）
16:20-17:00	コメント、ディスカッション	

（別紙様式 6-3）研究集会の参加状況

（別紙様式 6-4）研究集会の参加者リスト（Participants List）

（別紙様式06－2）

実験室・宇宙プラズマ研究の融合による物理的運動論の深化

Workshop on progress of physical kinetics due to interdisciplinary discussion between laboratory and space plasma research

永岡賢一　核融合科学研究所

【研究集会の目的】

実験室プラズマと宇宙プラズマでは，波動粒子相互作用が関与するプラズマ物理の素過程の研究が進展している．特にあらせ衛星などによる高精度なその場観測データや実験室プラズマの計測技術の進展により速度分布関数を高精度に分解することが可能にあり，運動論的なアプローチによる現象の素過程の理解，またそれを通じた非線形現象の理解が新たな展開を迎えている．一方で実験室プラズマでは，波動入射により粒子の位相空間構造に直接働きかけ，効率的な加熱や不安定性の制御などの研究が進展している．研究のモチベーションや研究手法が異なる両研究分野の最先端の研究に関する情報交換の場を提供し，シナジー効果による研究の加速や新たな研究展開を開くことを目的として，本研究集会を開催した．

【研究集会の概要】

本研究集会は「第22回ERGサイエンス会議」および名古屋大学宇宙地球環境研究所 研究集会「多地点観測による内部磁気圏プラズマ波動の観測と将来構想検討会」，「衛星・地上観測とモデル・シミュレーションによる内部磁気圏波動粒子相互作用の統合研究検討会」，「実験室・宇宙プラズマ研究の融合による物理的運動論の深化」，「実験室における統計加速を利用した新しい共同研究体制構築の検討」との合同で開催した．会期は2025年3月10日から12日までの3日間で，名古屋大学宇宙地球環境研究所とオンラインのハイブリッド形式として，国内外21機関から75名（3日間で延べ197名）の参加者を集めた．

【分野融合の成果等】

磁場閉じ込めプラズマ実験に関する研究者から7件の研究発表があった．そのうち5件は，トーラスプラズマ中の高エネルギー粒子による波動励起，粒子加速，粒子輸送等関する研究であり，磁気圏プラズマ中の波動粒子相互作用との共通点の多い発表が行われ，活発な質疑が交わされた．また，これまで本研究集会を継続してきたことにも関連して行われている共同研究を含む発表が2件あった．一つは，加速器で生成されるエネルギー分散の大きい荷電粒子群に対して，波動粒子相互作用を駆使して，粒子の位相空間上に局在構造を作るために，EMICと電子の相互作用にヒントを得た波動の空間構造と荷電粒子の軌道の共鳴現象を用いる試みである．シミュレーションによる検証と実験による原理実証の検討が報告された．もう一つは，トーラスプラズマの分光計測と解析手法をオーロラ発光分光に応用する研究である．すでに観測は開始されており，今後解析等により新しい結果が得られることが期待される．あらせ衛星による最新成果の報告や，3日目に開催された．IDL/SPEDASとPySPEDASを用いた科学データ解析ワークショップは，実験室プラズマに関する研究者にとって貴重な機会となった．

（別紙様式 6-2）

第 36 回（2024 年度）名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定研究シンポジウム

The 36th Symposium on Chronological Studies at the Division for Chronological Research, ISEE, Nagoya University

南　雅代、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定研究部は、タンデトロン加速器質量分析法（Accelerator Mass Spectrometry: AMS）による放射性炭素（^{14}C）測定と電子プローブマイクロアナライザ（EPMA）による CHIME 年代測定及び高精度極微量元素定量分析により「時間」あるいは「年代」をキーワードとして、人類を含む地球システム、太陽地球システムの理解を目指した幅広い学術的な共同利用と共同研究を推進している。そして、毎年、シンポジウムを開催し、AMS 装置と EPMA の稼働状況および利用実績の年次報告、これらの分析装置を用いた共同研究成果の報告など、さまざまな分野の共同利用・共同研究者と年代測定に関して意見交換を行っている。本年度は、この年代測定研究シンポジウムを 2025 年 2 月 28 日（金）に、名古屋大学 研究所共同館 II 2 階の年代測定研究部セミナー室及びオンライン（Zoom）のハイブリッドにて開催した。参加者は 27 人（そのうち、学生 8 名）、現地参加者は 17 名、オンライン参加者は 10 名であった。今回は、以下の講演リストに示すように、湖沼・海洋堆積物、花粉、大気エアロゾル、樹木年輪など、さまざまな試料を用いた地球化学、環境化学、地質学、文化財科学などの幅広い分野における共同利用・共同研究成果に関する 13 件の発表が行われ、セッション終了度には交流会が開催された。専門分野も研究対象も異なる参加者が一同に集まり、それぞれの知識に基づいて議論することで、非常に内容の濃い時間になった。プログラムの最後に、本年度から宇宙地球環境研究所を中核として始動した文部科学省共同利用・共同研究システム事業〜学際領域展開ハブ形成プログラム〜「宇宙地球環境科学と歴史学・考古学を結ぶ超学際ネットワーク形成」の内容紹介もなされた。

年代測定研究部の活動を概観するとともに、今後の展開を見据え、共同利用・共同研究者との活発な意見交換を行うことができた、有意義なシンポジウムであった。来年度は上記の学際領域展開ハブ形成プログラムと連携したシンポジウムを開催する予定であり、今後さらに新たな共同利用・共同研究に発展が期待できる。

———————

＜講演リスト＞

一般講演　セッション 1

Lithium potential in the Urmia Lake sediment, Northwest Iran

海洋堆積物中の鉄マンガン酸化物成分の化学組成と Sr-Nd 同位体組成を用いた成因解析

湖沼堆積物の元素組成と粒径分析に基づくモンゴル高原南西部・オルゴイ湖の環境変動解析

秋田県湯沢市，コケ沼湿原のコア試料層序と年代

一般講演　セッション 2

太平洋最北端のアリューシャン列島海域の海洋炭素リザーバー効果の評価と海産物試料の暦年較正

北海道西南部狩場山域の森林植生と推移　―花粉分析と AMS^{14}C 年代測定

北海道西南部ニセコ火山群における過去 10000 年（間）の古植生の推移

十和田八戸火砕流の埋没樹幹の年輪計測結果と今後の研究計画

一般講演　セッション 3

船舶重油規制が名古屋の大気エアロゾル中の硫黄および微量元素濃度に及ぼす影響

土岐市における 2014-2024 年の大気エアロゾル及び降下量の ^{7}Be と ^{210}Pb の季節変動

ウラン-トリウム-鉛年代測定法に関する開発方針

CHIME の現状と利用（2024）

共同利用・共同研究システム事業～学際領域展開ハブ形成プログラム～「宇宙地球環境科学と歴史学・考古学を結ぶ超学際ネットワーク形成」

なお、本シンポジウムのプログラム・要旨は、年代測定研究部で編集・発行している「名古屋大学年代測定研究」の Vol. 9 に掲載する。

（別紙様式06-2）

第26回 惑星圏研究会
The 26th Symposium on Planetary Science

三澤浩昭，東北大学・大学院理学研究科

概要：

本研究会は惑星・衛星の諸現象について、その特徴や物理過程、研究手法、将来計画等々について、最新の研究紹介と議論を行う場として2000年に開始され、今回で26回目の開催となった。この研究領域では、現在、日本の研究者も深く関わっている諸惑星の探査ミッションが継続中であるとともに、地上や地球軌道上からの遠隔惑星観測や数値シミュレーションに基づく研究も精力的に進められている。現在、水星探査機BepiColomboと木星探査機JUICEが惑星周回軌道投入を目指し惑星間空間の航行を継続する中、2026年度に打上を予定する火星衛星探査機MMXの最終開発とともに、次代の惑星探査に向けた議論も進められつつある。これらのミッションでは水惑星・氷衛星、また、外圏大気天体探査が重要なターゲットとして挙げられているが、空間的視点では惑星・衛星の表層下迄も含めた領域とその外層領域とを結んだ研究、時間的視点では惑星・衛星系の起源や惑星圏・衛星圏の進化に関わる研究という新しい視点でのサイエンスへの挑戦であり、諸探査のタイムラインが示される中、具体的議論が重要になってきている。こうした背景の下、本研究会では、惑星・衛星の外層～表層～下層の結合を意識した研究や比較惑星学的視点での研究について、研究者間の相互理解と国際展開を行ってゆくことを念頭に研究紹介・情報共有と議論を行ってきた。

今回の研究会では、これまでの惑星圏研究会に引き続き、近未来の探査ターゲットとして4種の天体群（小天体、月/水星、金星、火星）に横断的なサイエンスに関わる以下のセッションを設け、ハイブリッド方式で講演と議論を行った；①創造：天体形成・物質輸送、②みず：水進化・変動、③おひさま：外界からの惑星・衛星への影響、④かぜ＆つち：大気、地殻、内部およびそれらの結合と相互影響。また、議論を深化させ、次代の将来探査に接続させることを念頭に実施した(将来探査技術も含む検討・議論は、夏季開催の惑星探査WSで継続議論することとしている)。MMXの打上が来年に予定される火星に関しては、講演に加えて30分間の議論を設けた（スプリンターとして実施）。一方、外惑星研究については最終日午後にワークショップ形式で開催し議論を行った。

本研究会は、名古屋大学宇宙地球環境研究所研究集会の他、東北大学大学院理学研究科惑星プラズマ・大気研究センター・同研究科太陽惑星空間系領域、JAXA（JUICE-Japanプロジェクト、着陸機による火星環境探査RG、LAPYUTAプリプロジェクト候補チーム）の共催の下で実施された。

参加者数：170名（一般: 93名，大学院生・学部生: 77名 / 対面参加: 134名，オンライン参加: 36名）

内容：

2025年3月3日(月)～5日(水)に実施した本研究会のプログラム概要を以下に記す。今回の研究会では口頭講演52件（基調講演・招待講演26件、一般講演36件）、ポスター講演45件（このうちShort talk(5分 or 3分)併用講演29件）の計97件の研究等紹介と議論が行われた。尚、招待講演のうち半数の12件は博士課程学生による講演であり、また、若手研究者による研究の講演も招待講演も含めてSOCで特に意識して口頭講演に選出した。これらは申請時に掲げた、将来を担う若手研究者の研究に積極的にスポットライトを当てていく考えの下でプログラムしたものである。本研究会の内容・プログラムは研究会HPで公開している(https://pparc.tohoku.ac.jp/sympo/sps/wp-content/uploads/2025/03/SPS2025_program.pdf)。

[2025年3月3日]

10:30-12:05 「創造#1・つち#1」セッション：基調講演「惑星地震学の観点から考える太陽系探査ーApollo, InSight」川村太一（パリ地球物理研究所）他　一般講演4件、ポスター併用5分講演1件

13:00-14:45「つち#2・みず#1」セッション：招待講演「固体天体での地中レーダー（GPR）運用に向け

た取り組み」小林真輝人(東京大) 他　招待講演2件、一般講演3件
15:00-16:40「みず#2」セッション：招待講演「Argyre盆地におけるSinuous Ridgesの成因と古火星水循環への示唆」庄崎弘基(東京科学大)他　招待講演3件、一般講演1件、ポスター併用5分講演1件
16:55-19:00 ポスター関連セッション 全45件（ポスター3分紹介19件＋Poster Viewing）

[2025年3月4日]
9:00-10:25「かぜ＃1」セッション：招待講演「金星雲頂における二酸化硫黄分布の紫外画像からの導出とその時空間変動に関する研究」岩中達郎(東京大)他　一般講演3件、ポスター併用5分講演1件
10:40-11:55「かぜ＃2･おひさま#1」セッション：一般講演 5件
13:00-14:50「つち#3･おひさま＃2」セッション：招待講演「火成活動とマントル対流による月の内部進化のモデリング」于 賢洋(東京大)他　招待講演1件、一般講演4件
15:05-17:00「つち#4･おひさま＃3」セッション：招待講演「UZUMEの目指すサイエンスとそのミッションプログラム」野澤仁志(総研大)他　招待講演2件、一般講演3件、ポスター併用5分講演2件
17:15-18:48「創造#2･かぜ#3･共通#1」セッション：招待講演「GREX-PLUS高分散分光器実現に向けた要素開発：イマージョングレーティング材料の極低温中間赤外線屈折率測定」榎木谷 海(総研大･JAXA)他　一般講演4件、ポスター併用5分講演3件
18:55-19:55 ポスター関連セッション 全45件（Poster Viewing）

[2025年3月5日]
9:00-10:00「創造#3･つち#5」セッション：一般講演4件
10:15-11:40「おひさま#4･共通#2」セッション：招待講演「The Mars Aurora and dust Camera (M-AC) onboard MMATISSE mission」中川広務(東北大)他、ポスター併用5分講演1件
11:40-12:10「火星スプリンター」ミーティング
13:10-17:30「外惑星ワークショップ」：招待講演「巨大ガス惑星形成理論と起源への制約」小林 浩(名古屋大)他 招待講演7件、一般講演4件

成果等：

今回の研究会もハイブリッド形式で行われたが、参加者総数は 170 名、講演数も 97 件に上り、何れも過去最大数であった。今回の参加者の特徴の一つとして学部生の参加が多かったことが挙げられる。日本の惑星･衛星探査ミッションへの参画が本格化していること、その報道が増え注目度が上がっていることも一因と考えられるが、SOC で特に意識して進めてきている、広領域の研究課題の認識と各領域間の相互理解および解決に向けた将来研究への結実化と、将来を担う若手研究者・学生の研究内容・議論を通してのコミュニティとしての育成の機会提供への取組との両立が更にプログラムにも反映され、講演者･参加者にも理解頂け、浸透してきていること、また、研究者各位による学生の育成や学生をリードする取り組み等の努力も挙げられるかと思われる。

今回の研究会は、出来るだけ研究発表･議論が対面で行われるよう、旅費支援面で共催先から多くの支援を頂いた（共催各位に深く御礼申し上げます)。ただ、限りある原資を有効に活かすため、3 日間の研究会として開催を行ったが故に、各日の終了時間も遅めの“詰め込んだ”日程になった。先回同様に、ポスター講演の short talk の機会を設け、研究内容を参加者が共有出来る機会を設けた効果もあったと思われるが、遅い時間の開催となったポスターセッションも盛況であり、また、最終日午後の外惑星ワークショップにも多くの方が最後まで参加された。今回の研究会の内容が出席者にどのように受け取られたか、課題は何か、について参加者に年度末〆切でアンケートを依頼している。次回の本研究会については、次年度の名古屋大学宇宙地球環境研究所研究集会プログラムにも申請させて頂いている。アンケートの結果は次回の改善に向けた資料にして参りたい。

未筆ながら、本研究会の開催をご支援頂いた名古屋大学宇宙地球環境研究所研究集会プログラムに改めて御礼申し上げます。

[研究会集録] 研究会 HP (https://pparc.tohoku.ac.jp/sympo/sps/)にて 2025 年 4 月にオンライン公開予定。

（別紙様式06-2）

第7回地上赤外分光観測による大気組成変動検出に関する研究集会
7th Workshop on detection of atmospheric composition change with a ground-based infrared spectroscopy

村田　功、東北大学・大学院環境科学研究科

地上赤外分光観測による大気微量成分の研究は、太陽を光源とすることで地表付近のみならず成層圏など上層大気の変動も捉えることが出来る。特に高分解能フーリエ変換型分光計（FTIR）を用いた観測は多成分同時観測や吸収線型からの高度分布情報導出などの利点がある。またオゾン層破壊や温室効果気体の変動のような全球的な大気環境問題に対しては国際的な協力が不可欠であることから、世界的なネットワークである Network for the Detection of Atmospheric Composition Change/Infrared Working Group（NDACC/IRWG）や Total carbon column observing network（TCCON）を中心に各国の研究グループが協力して研究を進めている。日本でも、1995 年に陸別で観測を開始した名古屋大学宇宙地球環境研究所をはじめ、国立環境研究所、東北大学などが NDACC/IRWG や TCCON に参加し観測・解析を協力して進めてきたが、本研究集会は今後の研究の方向性も含めて日本の FTIR 研究グループの研究成果についてまとまった議論を行うことを目的としている。

本研究集会は今回で 7 回目となるが、初の仙台での開催となった。実は 2020 年に仙台での開催を予定していたがコロナ禍で中止となり、その後オンライン開催等を経て改めて仙台開催となったものである。前年度の第 6 回会議以降の各グループの研究の進捗状況の報告や新しい解析ソフトウェアに関する情報交換など、有意義なものとなった。今回の研究集会には、名古屋大学、国立環境研究所、東北大学で FTIR 観測を進めてきた研究者 4 名が参加し、2 日間にわたり議論を行った。ただ、今回は学生や FTIR 観測に直接関わっていない者の参加がなかったのは残念であった。プログラムを次ページに示すが、初日はまず日本の観測地点（陸別、つくば、Burgos 他）での観測の経緯や現状についての報告を行い、その後 TCCON や NDACC の現状報告、さらに GOSAT 衛星に関連したトピックの報告と議論を行った。二日目は個別トピックと NDACC の新しい解析パラメータを使った解析（IRWG2023）、解析ソフト<SFIT4>の新バージョン関する情報交換、新規の観測プロジェクトの議論等を行った。

今回も対面開催となり、個別の相談等が出来たのは有意義であった。また、各観測地点で蓄積されてきた長期データを使って IRWG や TCCON のネットワークにも貢献していることが再確認され、都市大気質や代替フロンの解析が進んでいることが示された。研究集会後、それぞれの発表資料は国立環境研究所のサーバーに集めて情報共有を行っている。次年度以降も研究の進展状況や具体的な手法についての情報交換を行うための研究集会を是非行いたいと考えている。

名古屋大学宇宙地球環境研究所（ISEE）研究集会
「第7回 地上赤外分光観測による大気組成変動検出に関する研究集会」

東北大学大学院環境科学研究科 本館1階 展示スペース3
（仙台市青葉区荒巻字青葉468-1）
及びZoomによるハイブリッド方式
（接続情報は個別にお伝えします）

2024/9/2 v1.0

9月10日

13:00-13:10	5	開会あいさつと趣旨説明	村田 功（世話人：東北大院環境）
		日本の観測地点の観測概要	
13:10-13:30	20	つくばFTIR(NDACC観測)の状況	○村田 功（東北大院環境）
13:30-13:50	20	陸別FTIRの状況、名古屋FTIRの状況	○長濱智生(ISEE)、○森野 勇(NIES)
13:50-14:10	20	NIESが運用するTCCONサイトの状況	○森野 勇(NIES)
14:10-14:30	20	NIESが運用するCOCCON観測サイトの状況	○森野 勇(NIES)
14:30-15:00	30	議論	
15:00-15:30	30	休憩	
		NDACC, TCCON, COCCONの現状と最近の成果	
15:30-15:40	10	IRWG2024のまとめ	○中島英彰(NIES)
15:40-15:50	10	QOS2024のまとめ	○中島英彰(NIES)
15:50-16:00	10	NDACC/SCmeetingへ向けて	○中島英彰(NIES)
16:00-16:15	15	TCCON/COCCON meeting 2023の報告	○森野 勇(NIES)
16:15-16:30	15	GOSATシリーズの状況	○森野 勇(NIES)
16:30-17:00	30	議論	
17:00		1日目終了	

9月11日

		個別観測トピックス	
9:00-9:20	20	HCFC22+HFC23の再解析update	○長濱智生（ISEE）
9:20-9:40	20	つくばFTIRで観測されたCH3Dの経年変化	○村田 功（東北大院環境）
9:40-10:00	20	HFC-134aの解析状況	○中島英彰(NIES)
10:00-10:20	20	イソプレンの日変化観測	○長濱智生(ISEE)
10:20-10:30		休憩	
		解析手法I SFIT4	
10:30-11:30	60	解析ソフトSFIT4、その周辺の状況	
11:30-12:00	30	その他	
12:00-13:00		昼食	
		解析手法II IRWG2023	
13:00-13:30	30	IRWG2023 O3, HCl, HF, ClONO2, C2H6	○村田 功（東北大院環境）
13:30-13:45	15	IRWG2023対応（ISEEの例）	○長濱智生(ISEE)
13:45-14:00	15	議論・その他	
		将来計画	
14:00-14:30	30	インドにおける温室効果ガス観測	○森野 勇(NIES)
14:30-15:00	30	小型FTIRによるイソプレンカラム観測	○長濱智生(ISEE)
15:00-15:30	15	議論・その他	
15:30-16:00	30	まとめと今後	
16:00		2日目終了	

（別紙様式06-2）

第29回大気化学討論会
29th Symposium on Atmospheric Chemistry

金谷　有剛、海洋研究開発機構・地球表層システム研究センター

第29回大気化学討論会を、2024年10月9日（水）～11日（金）の3日間にて、神戸大学統合研究拠点コンベンションホール(兵庫県神戸市ポートアイランド内)にて開催した。（主催：名古屋大学　宇宙地球環境研究所・日本大気化学会、共催：神戸大学大学院海事科学研究科、近畿大学理工学部）

大気化学討論会は対流圏と成層圏における大気物質の発生・輸送・消滅に関わる化学・物理過程、さらに、大気圏と他圏（生物圏・水圏・海洋・陸面など）との相互作用に関する最新の研究成果や今後の研究計画について参加者が発表し、十分な時間をかけて討論や意見交換を行う場として毎年秋に開催されている。また、討論会では、学生を含む若手からシニアまでの国内の大気化学研究者が一堂に会し、シングルセッションでの口頭講演やポスターセッションで研究成果を発表し、参加者が自由に議論・意見交換が行える場となっている。

大気化学討論会は学会員が大会実行委員会を持ち回りで担当し、日本各地で開催することが通例となっている。今年度は、近畿圏や当地にゆかりのある学会員が中心となって実行委員を務め、神戸市内の会場にて口頭講演とポスターセッションの対面開催を実施した。同時に、口頭講演のみオンラインの配信を行い、現地参加が難しい参加者に対する利便性も図った。

参加者は149名、口頭発表件数46件（招待講演・受賞記念講演を含む）、ポスター発表件数64件と盛況であった。招待講演は、関連分野の3名の先生をお招きし、それぞれ、「鉱物エアロゾルが関わる有機化合物の大気反応」、「領域化学輸送モデルを用いた日本におけるO_3および$PM_{2.5}$汚染の解析」、「Studies of short-lived climate forcers using a chemistry-climate model」について、ご講演いただいた。口頭発表のセッションは、大気化学に関して、反応素過程/室内実験、VOC/炭素性エアロゾル、エアロゾル/二酸化炭素、発生源/水蒸気/雲、モデリング、NOx/VOC/PFAS、反応素過程/不均一反応/SOA、極域/氷晶核/長寿命気体、と多岐にわたる形で設定され、多分野にわたる講演と活発な質疑応答が行われた（図1）。

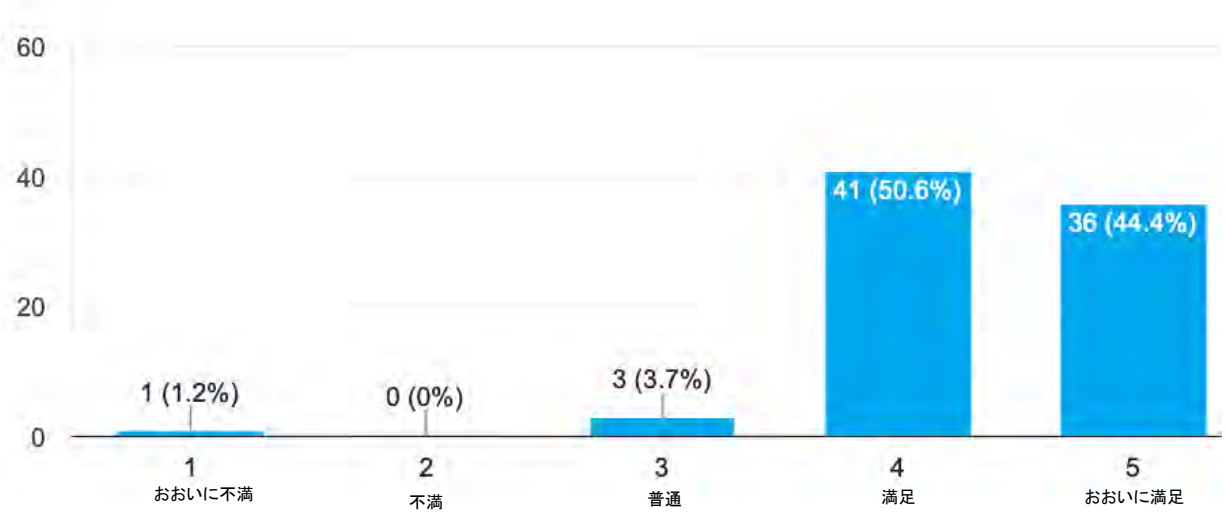


（図1）会場での集合写真

参加者が各発表の要旨を確認しやすいよう、要旨集の印刷冊子を作成し、配布した。本冊子作成にあたっては、名古屋大学ISEEの共同利用・共同研究の補助金を使用させていただいた。討論会終了時に行ったアンケートでは、全体の満足度が高く、充実した討論会が実施できたものと考えられる（図2）。会期中には若手懇親会や女性会員の集いを開催し、交流の機会を多く設けた。また、希望者向けには、オプション企画として隣接する理化学研究所計算機センター「富岳」の見学会を実施し、最先端の計算機科学に触れる機会を提供した。

日本大気化学会奨励賞1件の表彰に加え、大気化学討論会学生優秀発表賞6件を口頭・ポスター発表から選定して授与することで、キャパシティービルディングに努め、若手研究者を鼓舞した。会員集会では、2026年に開催予定のiCACGP-IGAC合同会議（Crete, Greece）やJpGU-AGU Joint Meetingについてアナウンスし、国際的な場での発表に対する意識向上を図った。

以上により、当初目的としていた大気化学分野での最新の学術研究交流、地球システムや地球観測衛星利用などの融合的・萌芽的な研究発表の議論、若手や世代を超えた相互交流を達成することができた。



（図 2）今回の大気化学討論会の満足度

（別紙様式06-2）

ＭＵレーダー４０周年記念国際シンポジウム
International Symposium on the 40th Anniversary of the MU Radar

山本衛、京都大学・生存圏研究所

【研究集会の実施概要】

MUレーダー(中層・超高層大気レーダー: Middle and Upper atmosphere radar)は、1984年に滋賀県甲賀市信楽町の国有林内に設置されたアジア域最大級の大気観測用大型レーダーであり、対流圏から超高層大気に至る大気の運動、大気循環を観測している。完成以来全国・国際共同利用に供され、超高層物理学、気象学・大気物理学、天文学・宇宙物理学、電気・電子・通信工学、宇宙工学など広範な分野にわたって多くの成果を上げてきた。MUレーダーの完成から40周年を記念した、「International Symposium on the 40th Anniversary of the MU Radar (MUレーダー40周年記念国際シンポジウム)」を開催し、MUレーダーによる研究成果のほか、大気科学に関連する研究成果や計画、レーダー観測技術の開発、今後のMUレーダー研究の推進など、広く研究発表・議論が展開された。本シンポジウムでは、61件の口頭発表及び10件のポスター発表が行われた。参加者は11ヵ国から計120名（国外60名、国内60名）であり、参加機関は計40（国外25、国内15）であった。宇治おうばくプラザとZoomによるハイブリッド開催としたが、現地参加者数は半数以上の68名(国内41名、国外27名)であった。

本シンポジウムの開催により、大気レーダー・ISレーダーに関連するハードウェア・信号処理技術から観測科学成果までの発表・議論・情報交換が達成された。特に、京大宇治キャンパスと遠隔会議システムZoomを用いたハイブリッド開催とし、発表内容をMUレーダーに限定せず広くレーダー工学、大気科学としたことから、これまでMUレーダーを利用していなかった研究者が新たに参加したケースもあり、新たな共同研究への発展、コミュニティの拡大に繋がることができた。

本研究集会においては、限られた日数でより多くの一般発表を行うため、基調講演の時間は設けず、多くの時間を口頭発表の時間に割り当てた。オンライン発表では、多くはリアルタイムに画面共有して発表したが、時差の問題やネットワーク事情が良くないケースにも対応するため、事前に作成・送付したビデオを配信する方法も採用した。また、ポスター発表は、特にオンライン参加では限られた時間内で全ての発表を聴くことが難しいため、各3分の時間を取り、口頭発表により概要を紹介してもらった。ポスターはホームページ上に掲載するとともに、現地では全期間に渡って掲示可能とし、コアタイム以外でも、コーヒーブレーク中などにも活発な議論が行われていた。

京都大学、国立極地研究所、名古屋大学、九州大学では、大型研究計画「太陽地球系結合過程の研究基盤形成」の将来計画を有している。本計画は、日本学術会議のマスタープラン2014・2017・2020の重点大型研究計画、未来の学術振興構想(2023年版)に選定された。本計画は、地球に太陽エネルギーが流入する過程、ならびに、それに対する地球周辺環境の応答を解明することを目的としており、太陽光エネルギーが最大となる赤道域に「赤道MUレーダー」、太陽風に起因する電磁エネルギーが集中する北極域に「EISCAT_3Dレーダー」の、いずれも世界最先端の大型大気レーダーを設置することを目指している。

本シンポジウムでは、各国の現状・将来計画についても情報共有することができ、計画推進に大いに役立った。



International Symposium on the 40th Anniversary of the MU Radar集合写真

（別紙様式06-2）

研究集会 太陽地球環境と宇宙線モジュレーション
Space weather and cosmic ray modulation

加藤 千尋、信州大学・理学部

本研究集会は例年，宇宙線を軸に太陽圏・宇宙天気に関わる話題を扱っている。本年度は，「太陽圏・宇宙線関連の共同研究成果報告会」と合同で2月20日，21日の2日間開催した。会は対面＋オンラインのハイブリッド形式で行ない，国内20の研究機関から45人の参加があった。5件の招待講演を含む合計21件の講演があり，太陽圏物理や宇宙天気研究，宇宙線モジュレーション研究等について活発な議論が行われた。この研究集会には，太陽圏，地球磁気圏等の各分野の研究者が広く参画しており，多岐に渡る話題についての貴重な意見交換の場になったと思われる。以下は本研究集会と成果報告会のプログラムである。

・プログラム
2025年2月20日
13:00 村木 綏 2024年の太陽フレアに伴う太陽中性子及び太陽中性子崩壊陽子の観測
13:15 野澤 恵 衛星軌道データの解析による宇宙天気現象の解明
13:30 森川 雅博 太陽-地球系における1/f揺らぎの伝播とその痕跡
13:45 山本 常夏 半導体光検出器SiPMの20 GeV帯域ガンマ線観測への応用と紫外分光性能の評価
14:00 Break
14:15 溝手 雅也 多層膜技術を用いた半導体検出器SiPMの光検出性能向上の研究
14:30 櫻井 敬久 2000 年から2024 年までの宇宙線生成核種Be-7 の大気中濃度変動について
14:45 加藤 千尋 GMDNの現状について
15:00 Break
15:15 徳丸 宗利 太陽風速度をよりよく決定するコロナ磁場パラメータの探索：Pseudostreamerと低速風
15:30 岩井 一正 ISEE次世代太陽風観測装置の開発状況
15:45 小財 正義 アイスランドでの宇宙線ミューオン観測へ向けた装置開発
16:00 渡邉 堯 WDC for Cosmic Raysの現状と今後の方向
2025年2月21日
10:00 松原 豊* SciCRT プロジェクトの現状
10:25 大嶋 晃敏* 日印共同GRAPES-3による宇宙天気研究
10:50 Break
11:05 小林 兼好* ISS 搭載 CALET による９年間の軌道上観測の成果
11:30 川田 和正* チベット空気シャワーアレイによるsub-PeVガンマ線の観測と宇宙線起源の探索
11:55 藤田 慧太郎* 南半球ですすめるガンマ線観測: ALPACA実験
12:20 Lunch Break
14:20 大辻 賢一 チェレンコフ光検出器によるミューオンモニタリングで観測された2024年5月11日のフォーブッシュ減少イベント
14:35 宗像 一起 Ground-based Observations of Temporal Variation of Cosmic Ray Spectrum during Forbush Decreases
14:50 増田 吉起 2022年2月のStarlinkイベントの解析
15:05 松本 瑞生 長期データを用いた宇宙線強度変動のリジディティー依存性の解析
15:20 小島 浩司 宇宙線で探る内部太陽圏IMF磁場擾乱の空間構造

（別紙様式06-2）

山岳氷河の融解を加速する光吸収性不純物に関する研究集会

坂井亜規子、名古屋大学・環境学研究科

【概要】

氷河の融解は気温のみではなく、日射の影響も受ける。特に氷河表面の黒色炭素や鉱物ダストなどの光吸収性不純物が日射の反射率（アルベド）を低下させ、日射の吸収を促進し融解を加速させることが知られている。先行研究では、グリーンランドにおいて「雪」面に光吸収性不純物が含まれる場合のアルベドについて放射伝達モデルを使用した研究が進んでいるが、中緯度の山岳氷河が融解する消耗域表面は雪でなく氷が露出しており、鉱物ダストや黒色炭素などの蓄積量が多いことが特徴である。さらに近年の温暖化により消耗域、つまり氷面領域が上流へ拡大しており、氷面における不純物によるアルベド低下の量的な関係を明らかにすることは重要である。

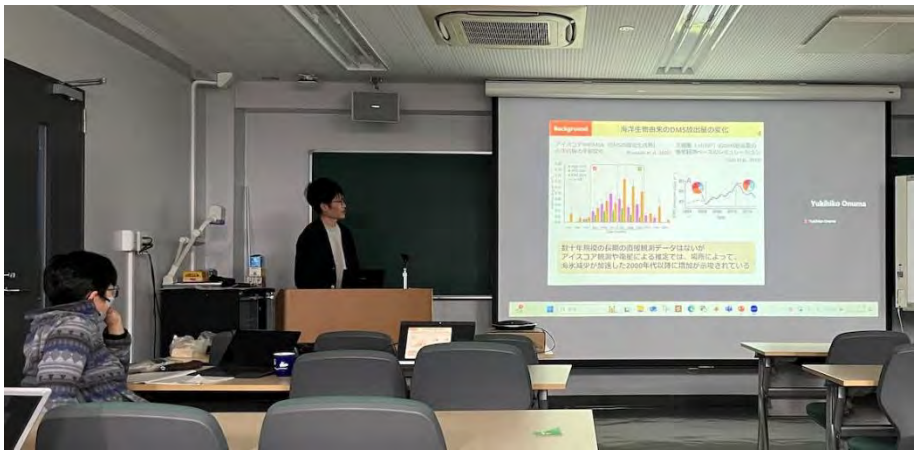
氷河の融解を促進すると考えられる光吸収性不純物に、鉱物粒子、黒色炭素、火山灰、雪氷微生物がある。これらが氷河上に蓄積される要因として、不純物の大気輸送後の沈着、氷河内部からの露出等があり、さらには氷河表面での生物活動による有機物量の増減もあり単純ではない。よって、本研究集会は氷河水文、雪氷、氷コアの専門家、大気輸送、雪氷微生物などの専門家が一堂に会し、観測結果をもとに氷河表面の不純物の沈着や輸送プロセスなどについて議論、また氷河表面アルベドに関わる不純物量や氷の変化プロセスに関し取得した観測データを元に相互に意見交換する場とする。

【参加者数】

25名（1日目：22名、2日目：23名）

【研究集会報告】

研究発表は13件あった。ポターニン氷河のクリオコナイトホールについてUAV（無人航空機）により取得したオルソ画像を用い、機械学習によりクリオコナイトホールを判定し、分布を解析する発表があり、これまで時系列変化などが着目されてきたクリオコナイトホール研究について一石を投じる発表があった。また氷河上のアルベドと不純物の関係については、氷河表面の栄養塩や同位体に関する分析手法の開発に関する研究について発表があり、今後現場でのサンプル取得が比較的容易にできるように工夫された方法が説明された。また観測で取得した浅層コアのサンプルについて、新たに別の成分を分析する試みなど研究集会であるからこその議論が進められた。今後サンプルの発送と分析が行われる予定である。また氷河上の不純物についてSEM（走査型電子顕微鏡）による分析が進められ、不純物中の有機物量割合が極端に多いところに鉄が多い可能性が示唆された。まだ採取ポイントが少ないため、今後空間分布が描けるような密なサンプル採取が期待される。また氷河上の不純物の腐植に関する発表、またスペクトルアルベドについて、放射伝達モデルから計算したスペクトルアルベドと、観測値の比較についての議論があった。今後放射伝達モデルによって計算されるスペクトルアルベドについて、さらなる改善に関するアドバイスもあった。科研費としては最終年度の研究集会ではあったが、今後の改善、さらなる分析、議論が残された研究集会となった。



研究集会の様子

【成果】

Onuma, Y., K. Yoshimura, T. Nitta, H. Tatebe, and M. Watanabe, 2024: Sensitivity of the Northern Hemisphere Warming Trend to Snowpack Variability. J. Climate, 37, 5751–5768, https://doi.org/10.1175/JCLI-D-23-0496.1.

（別紙様式06-2）

太陽研連シンポジウム2024
Japan Solar Physics Community (JSPC) Symposium 2024

鳥海森、宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所

太陽研連シンポジウムは、太陽・太陽圏物理学を中心とした最新成果の報告や将来ミッションの議論を目的とし、毎年1回の頻度で定期的に開催されている。例年、本シンポジウムでの議論は太陽研連の目指す方向性を決定する上で重要な役割を果たしており、現在進行中の各ミッションは、いずれも本シンポジウムの議論・検討の成果として立ち上げられている。

2024年度シンポジウムは2025年2月17日から19日までの3日間、宇宙科学研究所大会議場（JAXA相模原キャンパス）にて開催された。Zoomによる同時配信も実施することで、遠隔地からのオンライン参加も可能とした。「最新成果の報告」「2024年5月巨大太陽フレアとその影響」「多点太陽観測によるサイエンス」「宇宙科学を取り巻く状況」と題したセッションを設定し、招待講演を中心に据えつつ、一般口頭講演・ポスター講演を広く募集するプログラムを編成した。

ISEE研究集会によるご支援のもと広く参加者を募集した結果、合計で154名、うち大学院生41名（および学部生4名）の参加登録があった。これらは太陽研連の会員だけでなく、地球電磁気・地球惑星圏学会（SGEPSS）や惑星科学会、さらには宇宙工学研究者や民間企業関係者までをも含む、非常に広範なコミュニティからの参加であった。登録者数が150名を超えるのは、これまでの太陽研連シンポジウムでも最大規模と思われる。

「最新成果の報告」セッションでは、ISEEにもサイエンスセンターの設置がなされた次期太陽観測衛星SOLAR-C計画の開発進捗や、大気球・ロケット実験・地上太陽望遠鏡観測を用いた共同観測など、多様なプログラムの成果報告が行われた。「2024年5月巨大太陽フレアとその影響」セッションでは、ISEEから草野完也教授および三好由純教授、情報通信研究機構から津川卓也室長に登壇いただき、太陽面爆発やそれに伴う宇宙嵐とジオスペース変動、さらには社会影響にまで及ぶ幅広い議論が展開された。「多点太陽観測によるサイエンス」セッションでは、太陽-地球系L1・L4・L5の各ラグランジュ点や太陽極域など、地球近傍を脱出しての観測とそのサイエンスが議論された。これらは本シンポジウムのテーマである「『太陽圏システム科学』時代の太陽研究」を象徴する講演であり、リモート観測による太陽研究と「その場」観測によるプラズマ研究とを組み合わせる新たな分野間横断の幕開けを予感させるトピックであった。さらに、「宇宙科学を取り巻く状況」セッションでは、國中均宇宙研所長による特別講演や、笠羽康正東北大教授による太陽系GDIの現状と課題に関する講演などを中心に、太陽研連としてSOLAR-C時代のさらに先を展望する議論が展開された。いずれのセッションにおいても幅広い世代から活発な質疑応答がなされていたのが印象的である。また、本シンポジウムでは、博士後期課程3年生に招待講演を依頼したほか、修士課程2年生には一般口頭講演を優先的に割り当てるなど、若手世代に脚光が当たるよう措置を講じた。全34件からなるポスター講演についても、ポスターセッションを中心に絶えず活況を呈していた。

一連の議論から、太陽研連「太陽・太陽圏研究領域の目標・戦略・工程表」、太陽系GDI「統合RFI」、国立天文台「サイエンスロードマップ」、さらには「日本天文学白書」など、2025年度にかけての期間に多数の将来計画文書の執筆・改訂が必要であることが会員間に認識共有された。これらの文書は、太陽コミュニティとしてSOLAR-Cより先の将来ビジョンを描くことに直結する。

最後に、本シンポジウムをISEE研究集会に採択いただき、旅費支援拡充を実現できたことに謝意を表する。将来計画に対する議論はいつになく白熱したものとなったが、この種の議論は継続実施することでその火を絶やさないことが重要である。その観点から、次年度もISEE研究集会に応募させていただき、太陽コミュニティのより一層の活性化と、隣接コミュニティとの垣根を越えた交流を活発化させていきたい。

（別紙様式06-2）

EISCAT研究集会
EISCAT meeting

野澤悟徳、名古屋大学宇宙地球環境研究所

目的：本研究集会では、新大型電離圏レーダーであるEISCAT_3Dの建設状況・準備状況・今後の展望、およびEISCATレーダー等を用いた北極域中間圏・熱圏・電離圏の研究成果発表を、国内共同研究者で情報を共有・議論し、EISCATレーダーを中心に用いた観測研究を効率的に推進することを目的とした。

研究集会内容：国立極地研究所(NIPR)のEISCAT集会と合同で、2025年3月28日（金）に午前9時30分から午後5時まで実施した。ハイブリッド方式（NIPRおよびZOOM）にて行い、37名が参加した。午前中は、EISCAT科学協会の組織改編、EISCAT_3Dレーダーシステムの現状、EISCAT_3D共同利用に向けた国内準備状況、EISCAT_3Dが目指す科学のまとめ、EISCAT_3Dデータ公開等について、紹介され、議論を実施した。国内共同研究者とEISCAT_3Dの現状および今後の予定を共有できた。

午後前半には、EISCATレーダーや光学観測機器を用いた研究成果の講演、およびNASAで計画されている磁気圏探査衛生CINEMA計画について紹介された。午後後半には、2024年度におけるEISCAT SP共同利用の紹介と、各PIからの実験成果の報告がなされた。最後にそれを踏まえた総合討論を行なった。

成果：EISCATおよびEISCAT_3Dシステムに関する現状の説明および今後の見通し、それを踏まえた議論により、国内共同研究者に有益な情報共有ができた。日本の研究者が、EISCAT_3Dを用いてどのようなサイエンステーマを行うかについて、まとめていくことが確認された。EISCATレーダーや光学観測機器を用いた研究発表を通して、EISCATレーダーを用いた研究内容、および今後の発展についても、議論ができた。現有EISCATレーダーからEISCAT_3Dレーダーへの過渡期においても、国内研究者は、EISCATrレーダーを中心として、各種レーダーおよび光学観測等捕捉・補完的な観測装置を併用して、独自の成果を挙げ続けることが出来ると期待できる。

集会プログラム

09:30-09:35 趣旨説明と事務連絡（小川泰信・野澤悟徳）
今後の EISCAT_3D 共同利用（座長：橋本大志）：
09:35-09:50 EISCAT の組織改編について（小川泰信）
09:50-10:15 EISCAT_3D レーダーシステムの進捗状況（橋本大志）
10:15-10:35 EISCAT_3D 共同利用に向けた国内準備状況（小川泰信）
10:35-10:50 休憩
10:50-11:15 EISCAT_3D が目指す科学のとりまとめについて（細川敬祐）
11:15-11:35 EISCAT データベースと今後の EISCAT_3D を含むデータ共有・公開の検討
（橋本大志・小川泰信）
11:35-11:45 EISCAT_3D 計画に関する全体質疑・討論

11:45-13:00 昼休み
研究発表（座長：吹澤瑞貴）：
13:00-13:25 Suppression of ion heating in the cusp during plasma flow burst
（田口聡他）
13:25-13:50 Derivation of the two-dimensional distribution of low-energy electron precipitation from 630-nm all-sky auroral images and its application to the polar cap boundary near midnight（八島和輝他）
13:50-14:15 CINEMA Mission (NASA/SMEX Phase-A): A new Approach to Mesoscale Nightside Processes（大谷晋一）
14:15-14:40 Short-wavelength infrared spectroscopic and imaging observations for aeronomy from the upper mesosphere to the exosphere: He 1083-nm airglow emission observed at Longyearbyen（西山尚典他）
14:40- 14:55 15 分 休憩

2024 年度の EISCAT 共同利用（座長：西山尚典）：
14:55-15:05 2024 年度の EISCAT 特別実験の全体概要説明（野澤悟徳）
15:05-16:25 2024 年度の EISCAT 特別実験報告：
・オーロラトモグラフィ法によるディスクリートオーロラの入射電子エネルギー時空間変動の研究（代表：田中 良昌）
・熱圏測定精度の向上のための SDI-3D スタートライン観測実験 （代表：大山 伸一郎）
・あらせ衛星および地上光学観測との同時観測による磁気圏高エネルギー電子降り込み観測（代表：三好 由純）
・あらせ衛星・地上光学との同時観測による脈動オーロラに伴う高エネルギー電子降下の観測 （代表：伊藤 ゆり）
・サブストームオンセット直後の脈動オーロラに伴う低高度電離現象の観測 （代表：細川 敬祐）
・オーロラ擾乱の上部中間圏への影響 （代表：野澤 悟徳）
・昼側極域電離圏変動の研究 （代表：藤原 均）
・地球磁気圏への分子イオン流出とその太陽風変動応答の研究 （代表：関 華奈子）
・破砕事象に基づく人工物体分類と未知物体同定を目的とする観測 （代表：藤田 浩輝）

16:25-16:30 2025 年度の EISCAT 共同利用について（小川泰信）
16:30-16:45 総合討論
16:45 閉会

（別紙様式06-2）

次期極域探査衛星計画研究集会（FACTORS 研究集会）
Future magnetospheric - ionospheric satellite mission workshop

浅村和史、JAXA・宇宙科学研究所

次期ジオスペース探査計画として検討を進めている FACTORS 計画について、検討の現状を報告するとともに、観測戦略や地上観測網との連携計画などについて、今後の進め方を含め議論した。衛星のバスシステムについては、現在 JAXA と共同で検討を行っているアークエッジ・スペース社から 4名の参加をいただき、報告いただいた。また、工学の研究者 2名にも参加いただき、空力を用いた編隊飛行維持の手法とその検討状況について報告いただいた。このほか JAXA へのミッション提案までに実現性のめどを立てておく必要があると考えられる観測機器技術について、検討・開発状況を各機器担当者が報告した。

また、FACTORS 計画では地上観測網との連携観測も重要となる。重要な地上観測システムの一つである EISCAT_3D の準備・開発状況と、FACTORS との共同観測を実現する際に必要となる準備項目（観測に必要となる技術開発のほか、観測時間の確保のための準備を含む）について EISCAT_3D の日本側担当者と認識を共有した。地上との連携観測を用いた科学検討の観点では、地上光学観測網に加え、FACTORS に搭載するオーロラカメラが取得するオーロライメージも用いたオーロラトモグラフィの可能性・有用性などが議論された。

このほか宇宙天気研究の観点での FACTORS ミッションの重要性や、FACTORS の主要な科学課題の一つであるイオン流出機構に関するレビューや未解明問題、現在の研究の状況などについて議論を交わした。さらに、観測ロケットに FACTORS 搭載予定機器の要素技術を用いた観測機器を搭載し、宇宙実証を行うとともにイオン流出機構に関する準備研究を行う提案などもあり、建設的な議論を行うことができた。

研究集会は 2025年3月27日（1日間）に名古屋大学宇宙地球環境研究所 研究所共同館Ⅱ3階ホールおよびオンラインのハイブリッド形式にて行い、国内外から50名が参加した。

（別紙様式 06 - 2）

脈動オーロラ研究集会

The Pulsating Aurora Meeting

細川敬祐（電気通信大学大学院情報理工学研究科）

★ 研究集会の目的と概要

脈動オーロラ（Pulsating Aurora，以下 PsA と略する）は，オーロラサブストーム現象の回復相において，朝側のローカルタイム領域に必ず出現する普遍的な現象である．PsA およびそれに伴う磁気圏・電離圏の変動を研究することは「地球近傍の宇宙空間におけるプラズマ波動の特性」や「高エネルギー粒子の降下に伴う地球大気の変動」の理解に繋がるという点において普遍的な意義を持っている．しかし，その形状の多様性，時間変化の複雑さ，地上・衛星同時観測の困難さなどから，脈動の時間変動を引き起こすプロセスや，構造の形態・時間発展を決定する要因などに関して，未だに十分な理解を得るには至っていない. 本研究集会は, PsA およびそれに関連する宇宙空間プラズマの諸現象についての地上観測・衛星観測・数値シミュレーション研究に関する講演を広く募集し，それぞれの研究成果の発表を通じて PsA に関する深い理解を共有することを目的として開催してきた.

★ 参加者と講演の内容

昨年に引き続き，対面で研究集会を開催し，計 33 名の参加者があった．例年テーマとして掲げている「脈動オーロラの時間変動を作り出す要因」や「脈動オーロラ発生時の相対論的高エネルギー電子降下」に関する発表が行われた．計 18 件の研究発表を通じて，活発な議論が行われた．そのうちの半数にあたる 9 件の発表は，修士学生，博士学生，博士号取得後間もない若手研究者によるものであり，本研究集会を継続的に開催してきたことが人材育成に貢献してきた（している）ことが分かる．また，2022 年に実施された LAMP ロケット実験に続く形で検討が進んでいる LAMP2 に関する議論や地上観測・衛星観測の将来計画（EISCAT_3D，SDI，FACTORS）についても意見交換を行うことができた．特に LAMP2/EISCAT_3D については 30 分程度の時間を設け，取り組むべき科学課題の整理を行った．発表者は全て現地参加であったため，密な議論を行うことができたと考えている．

★ 成果

今回で 13 度目の開催となる本研究集会を継続することによって，衛星観測・ロケット観測・地上観測・シミュレーションなどの少しずつ異なるバックグラウンドを持つ研究者が密に意見交換をすることができる PsA 研究コミュニティを形成し，維持することができている．このような流れに端を発して，本申請者（細川，三好）が，2014 年の AOGS において脈動オーロラのセッションを企画し，国内外から多くの参加者を得ることができた．さらに 2015 年には，Journal of Geophysical Research 誌に「Pulsating

Aurora and Related Magnetospheric Phenomena」というタイトルの Special Issue を組み，計 14 件の PsA に関する論文が出版された．また，本研究集会の参加者を母体として研究グループを組織し，科研費基盤研究 S に申請を行い，平成 27 年度から 5 年間の期間について採択されている（名古屋大学，藤井良一名誉教授代表，コロナ禍のために 2021 年度末まで期間延長）．平成 28 年度からは，International Space Science Institute (ISSI) のチームとして PsA の研究チームが採択（Leader: 三好，Co-Leader: 細川）され，2016 年 6 月，2018 年 7 月の 2 度にわたってチームミーティングが開催されるに至っている．あらせ衛星打ち上げ後の最初の衛星・地上キャンペーン観測（2017 年 3 月）では，本研究集会での議論をベースにコンジャンクション観測の計画が練られ，複数の良好な観測事例を得ることができた．これらの同時観測事例のいくつかについては，Nature 系のオープンアクセスジャーナルである Nature Communications (Ozaki et al., 2019) , Scientific Reports (Hosokawa et al., 2020; Miyoshi et al., 2021) に成果が掲載されている．

これまでの国際学会でのセッション開催や，学術雑誌における特集号の企画，大型研究資金の獲得は，本研究集会を継続的に開催することによって初めて実現したものであると考えている．また，研究集会において，あらせ衛星（ERG）と地上ネットワークの連携による PsA のキャンペーン観測について詳しい打ち合わせを行ったことで，打ち上げ後に，衛星・地上キャンペーン観測をスムーズに行うことができたと考えている．今後は，この研究集会を母体として構成されるグループで，基盤 S の後継となる大型外部資金の獲得を目指していく予定である．なお，地上からの観測に特化した科研費国際共同加速 B 課題 2 件，および，科研費基盤 A の課題 2 件を，本研究集会での議論に基づいて申請し，それぞれ 2021 年度，2022 年度から 5 年間の計画で採択されている．2025 年度からは，さらに 1 件の基盤 A 課題が採択されている．このような外部資金の獲得は，本研究集会において将来計画の議論を密に行ってきたことの成果であると考えている．さらに，本研究集会，および関係する研究プロジェクトの推進が，若手研究者の育成に貢献していることも伺える．

本研究集会での議論が発端となって計画・提案されてきた PsA 観測ロケットが NASA の複数のロケットプログラムによって採択され, 2019 年 1 月に 1 機がノルウェーのアンドーヤから打ち上げられた．さらに，2022 年 3 月にも，アラスカのポーカーフラットから成功裏にロケットが打ち上げられた（LAMP ロケット実験）．このように 2 度にわたるロケット実験機会が得られ，どちらも実験を成功裏に終えることができたことは，本研究集会によってロケットによって行うべきサイエンスを検討してきた結果であると考えている．特に，LAMP ロケットについては，本研究集会において，サポートのための地上観測や打ち上げ条件の議論を繰り返し行ってきたことによって，実験の実施を円滑に行うことができたと考えている. これらのロケット実験に搭載する機器は PARM というパッケージとして構成されており，将来的にシリーズ化して，他のロケット実験に搭載することも念頭に置かれている．具体的には，北欧において建設が進められている EISCAT_3D との同時観測を企図して NASA のロケットを用いた LAMP2 実験の実施が検討されており，米国の研究グループとの話し合いが進められている．さらに，EISCAT_3D プロジェクトに関しては，本研究集会での議論に基づいて，レーダー稼働後に取り組むべき科学課題の整理が進んでおり，現在，本研究集会参加者を中心として，文書化が行われているところである．

（別紙様式06-2）

「実験室における統計加速を利用した新しい共同研究体制構築の検討」
Construction of collaboration research framework for experimental simulation of stochastic acceleration in laboratory

代表：小林　進二　京都大学・エネルギー理工学研究所

概要

地上での衝撃波統計加速は高強度レーザーを固体やガスターゲットに照射して実現され、実験・理論研究が盛んに行われている。近年、高強度レーザーとは異なる手法で統計加速現象が磁場閉じ込め核融合プラズマで観測された。大きな特徴として、レーザー実験と比べると1/100以下の非常に弱い規格化ベクトルポテンシャル（電界による運動量を光速の運動量で規格化した値）でも統計加速が実現できており、新しい統計加速模擬実験の展開が期待される。一方で宇宙線加速や磁気圏の衝撃波統計加速とは背景プラズマの密度・電磁界の波数分布等、条件が大きく異なっている。従って、宇宙・磁気圏との連携をはかり新たな模擬実験の体制を構築するためには、両者の境界条件を理解し、共通の物理課題として昇華させる必要がある。本研究集会では宇宙・磁気圏・レーザーによる粒子加速現象との共通点・相違点を見いだし、どういった分野で連携が可能かを探ることを目的とする。なお、磁場閉じ込めにおける統計加速現象を広く紹介する目的で、前半（3/10-12）および後半（3/26,27）の二回に分けて合同で研究会を開催した。

参加者数

・前半（3/10-12）　：国内外21機関から75名（3日間でのべ197名）
・後半（3/26-27）　：国内外14機関から44名（2日間で述べ85名）

研究報告

前半（3/10-12）の研究会は名古屋大学宇宙地球環境研究所（ハイブリッド形式）において開催した。本研究集会は主に衛星観測に基づいた内部磁気圏における波動粒子相互作用を明らかにすることが主な目的で、あらせ衛星による太陽活動極大期の内部磁気圏観測と地上連携観測に関する速報や、世界各国に展開する地上観測網の整備・運用状況が共有され、今後の観測戦略立案に関する議論が交わされた．プラズマ核融合の分野からは核融合プラズマで開発された分光装置のオーロラ観測の適用や、ミューオン生成のための加速器開発、統計加速現象の研究に関して報告された。なお前半の研究集会は「第22回ERGサイエンス会議」および名古屋大学宇宙地球環境研究所 研究集会「多地点観測による内部磁気圏プラズマ波動の観測と将来構想検討会」，「衛星・地上観測とモデル・シミュレーションによる内部磁気圏波動粒子相互作用の統合研究検討会」，「実験室・宇宙プラズマ研究の融合による物理的運動論の深化」，「実験室における統計加速を利用した新しい共同研究体制構築の検討」と合同で行った。

後半（3/26-27）は京都大学エネルギー理工学研究所（ハイブリッド形式）において開催した。本研究会では宇宙・天文プラズマに関して9件、レーザー・実験室プラズマに関して14件、合計23件の講演が行われた。宇宙分野では、衝撃波による荷電粒子加速や、高速電波バースト現象に関する理論・シミュレーション、および惑星磁気圏におけるコーラス放射やオーロラ現象に関する講演がなされた。加えて高強度レーザーを用いた衝撃波生成・荷電粒子加速に関する実験・数値解析の結果、および磁場閉じ込めプラズマを用いたトーラス型プラズマにおける統計粒子加速現象に関する講演も行われた。これらの講演は天体・磁気圏における波動粒子相互作用との共通点も多く、天体・磁気圏・レーザー・磁場閉じ込め分野の研究者が、お互いの研究成果を理解する良い機会となった。

（別紙様式06-2）

CO_2除去に関わる海の生物炭素ポンプ研究の現状と将来展望
Current status and future prospects of marine biological carbon pump research related to CO_2 removal

本多牧生（海洋研究開発機構・地球表層システム研究センター）

【研究集会の概要】
海洋は人為起源二酸化炭素（CO_2）を1/3〜1/4吸収するとともに、大気の50〜60倍のCO_2を貯蔵する天然のCO_2吸収・貯蔵庫である。そのメカニズムとして、植物プランクトンの光合成活動を起点とし主に沈降大型粒子として海洋内部にCO_2が輸送される生物炭素ポンプ（Biological Carbon Pump, 以下BCPと略す）がある。人為起源CO_2の年間放出量と同等量の二酸化炭素がBCPによって海洋内部へ隔離されていると推定されているが、±50%の不確定さを含んでいる。また人類活動による地球環境の変化に伴い、将来的にBCP機能が低下することが懸念されている。このため、BCPの現状把握と将来予測を検討するための観測技術的、理論的な研究発展が求められている。本研究集会は、海洋へのCO_2除去に関わる最新のBCP研究について様々な専門家を招聘し、研究成果の発表を通じて情報共有や課題整理を行い、それらの解決に向けた研究立案などについて意見交換することを目的として開催した。

【集会報告と成果】
2025年3月14日（09:30-18:00）に東京の日本橋ライフサイエンスビルディングLSB-313会議室で開催され、国内の39の大学・研究機関から現地参加16名とオンライン参加84名のもと、海洋BCPに関する14件の研究発表が行われた。午前は代表者（本多）による集会趣旨の説明から始まり、BCPフラックスの現場観測法に関する発表が続いた。午後の発表内容は、粒子挙動や粒子特性に関する数値実験や装置開発、新規パラメータの提案、進行中の大型研究計画の概要など多岐にわたり、活発な議論が交わされた。本集会を通して参加者間で観測技術・理論の相互理解が深まり、それらの組み合わせがBCP機能の評価および将来予測には不可欠であることの共通認識が得られた。そのための計画立案に向けて今後も同研究集会を継続していくことを合意しました。



研究集会の様子

以下は、本集会のプログラムである。

【プログラム】
2025 年 3 月 14 日（金）
09:30–09:45　　本多牧生（JAMSTEC）
「研究集会の主旨説明」

09:45–10:15　　鋤柄千穂（JAMSTEC）
「後方散乱計を用いた海洋中の粒子状有機炭素の分布と時間変化について」

10:15–10:45　　脇田昌英（JAMSTEC）
「西部北太平洋亜寒帯域と亜熱帯域における溶存炭素の年収支から見積もった有機炭素輸送フラックスの比較」

10:45–11:15　　乙坂重嘉（東京大学）
「生物ポンプ観測のための天然放射性核種の有効性をふたたび考えてみる」

11:15–11:45　　福田秀樹（東京大学）
「現場型粒径粒度分布測定装置（LISST）を用いた春季三陸沖のフロントにおける粒子の分布特性」

13:00–13:30　　三野義尚（名古屋大学）
「沈降粒子 δ15N を利用した生物的炭素隔離効率の季節変動の検討」

13:30–14:00　　津旨大輔（筑波大学）
「海洋鉄散布実験の数値シミュレーション」

14:00–14:30　　西野圭佑（電力中央研究所）
「外洋表層の乱流による凝集・分裂が凝集体粒子の粒径に及ぼす影響に関する数値実験」

14:30–15:00　　高橋一生（東京大学）
「鉛直移動性生物群が関与する炭素隔離–変動要因と生態系フィードバック機構の解明に向けて–」

15:00–15:30　　林靖人（JAMSTEC）
「マリンスノー研究へのイベントカメラの適用」

15:40–16:10　　山田洋輔（JAMSTEC）
「原子間力顕微鏡による海洋微粒子の機械的特性測定」

16:10–16:40　　小杉如央（気象研究所）
「BGC フロートは生物ポンプの大きさを測れるか？」

16:40–17:10　　重光雅仁（JAMSTEC）
「長期温暖化に伴い溶存有機物が海洋中の溶存酸素に及ぼす影響」

17:10–17:40　　山口凌平（JAMSTEC）
「溶存酸素収支に基づく全球生物炭素ポンプの推定」

17:40–18:00　　本多牧生（JAMSTEC）
「まとめ」

（別紙様式06-2）

第25回ミリ/テラヘルツ波受信機技術に関するワークショップ
25th Workshop on mm/THz-wave band receiver technology

前澤 裕之、大阪公立大学・大学院理学研究科物理学専攻

【集会の概要】

本研究集会は、ミリ/サブミリ/テラヘルツ波の超高感度受信機に関わる最先端テクノロジーの創出・革新的応用・基礎技術の拡充を目指し、研究者、大学院生、民間企業が産官学の壁を越えて集い、最新の情報を自由闊達に幅広く議論する場を提供することを目的としている。アジア・欧州・北米で競争が激化するこの分野の将来の展開を見据え、我国の国際競争力・推進力のさらなる向上と、開発の効率化・基礎技術力の裾野拡充/継承とともに、ジオスペースおよび惑星間空間の環境理解や、より一般的な系外の惑星系環境まで含めた観測的研究の推進力となることを目指す。

本ワークショップでは、国内・外の研究機関職員、大学教員、大学院生はもちろん、ミリ-テラヘルツ波技術に携わる民間企業の関係者が集結し、最先端の技術や研究の進捗・成果、今後の展開について報告・議論を行う。内容としては、①検出器、②局部発振器、③低雑音増幅器、④冷却低温技術、⑤分光計、 ⑥受信機評価システム、⑦アンテナ・伝送光学系、⑧地球大気観測および電波天文観測に関わるプロジェクトの進捗（ISEEとの融合ミッションを含む）、⑨観測成果、⑩宇宙利用における科学・産業分野への新たな萌芽的な取り組みを扱う。その他にも、さらなる次世代の超低消費化・超小型化の取り組みや、そのための新機能デバイスの開発、海外に頼って律速となる希少デバイスの国内開発の展開など、基礎技術の開発から応用、サイエンスまで、関連トピックスを幅広く取り上げる。

【集会の報告及び成果】

2024年11月21日～22日の2日間、福井工業大学(福井キャンパス・あわらキャンパス)において「第25回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ」と「2024年度理研-NICT合同テラヘルツワークショップ」のジョイントワークショップとして開催した（Zoom meetingを併用したハイブリッド形式での開催）。29の機関・企業から計96名の参加があり、口頭講演22件（うち招待講演3件）、ポスター講演31件という盛況な内容となった。

一般講演では、アタカマ大型ミリ波・サブミリ波干渉計（ALMA）、南極サブミリ波望遠鏡プロジェクト、野辺山45m電波望遠鏡、VERAなどの電波望遠鏡プロジェクトに関連する講演が行われた。また、検出器・デバイス、光学系、分光計関連など多岐にわたるテーマが取り上げられた。ポスター講演では、テラヘルツ帯における発振・検出デバイスや回路の基礎技術開発に関する発表が多く、活発な議論が交わされた。招待講演では、福井工業大学の宇宙研究の取り組みの紹介に加え、近年進展している宇宙開発や探査分野（月面での水資源探査など）また天文学のディスカバリースペースとして注目されるテラヘルツ帯に焦点を当てた研究成果が紹介された。具体的には、テラヘルツ帯での信号源の高出力化とその制御、さらにテラヘルツ帯が生体組織に及ぼす影響についての講演があった。

これらの講演を通じて、この分野を活性化させるためには研究者視点にとどまらず、積極的に民間企業を巻き込んだ応用・展開が重要であることが共有された。本ワークショップは、大学での科学研究にとどまらず、産官学連携による研究成果の社会還元や応用を重視している。今年度は関連企業やメーカー5社から5名が参加した。また、参加者の約40%が35歳以下で、そのうち大学院生・

学部学生が26名を占めていた。総発表数53件のうち18件が学生による発表であり、国内唯一のミリ/テラヘルツ波受信機技術に関する若手研究者の発表・交流・教育の促進を図る重要な機会となっていることを再認識した。

（別紙様式06-2）

太陽地球環境データ解析に基づく超高層大気の空間・時間変動の解明
Investigation of temporal and spatial variations in the upper atmosphere, based on comprehensive analysis of solar-terrestrial environment data

今城　峻、京都大学大学院理学研究科附属地磁気世界資料解析センター

研究集会の概要

地球の超高層大気研究は、複数の領域にまたがる多様なデータを利用する分野横断型研究・融合研究であるため、効率的な研究の遂行には使い易いデータベースやデータを検索、描画、解析できるツールを積極的に活用することが重要である。本研究集会では、太陽地球系物理学分野の最新研究テーマ、解析手法、データベースや解析ツール等について情報共有・議論を行うことを目的する。本研究集会は、2017年度以降毎年「MTI研究集会」、「STE現象報告会」、「宇宙空間からの地球超高層大気観測に関する研究会」と合同で開催してきた実績がある。本年度も、これら密接に関連した研究集会を同一期間（9月17-20日）に合同開催することにより、参加者数の増加、関連研究の相互理解といった相乗効果を図った。また、諸事情により現地参加の難しい参加希望者に配慮し、九州工業大学戸畑キャンパスでの現地参加とZoomを用いたオンライン参加のハイブリッドで開催した。

研究集会の報告、及び、成果

本研究集会は、学生・若手研究者による最新の研究成果およびデータ公開・解析基盤の開発・運用について発表する「講演セッション」、他の合同研究集会の参加者と共にポスターを掲示し、参加者と自由に議論する「ポスターセッション」、学生や若手研究者が主体的にデータ解析手法を学べるように、Pythonで記述された最新の解析ツール「PySPEDAS」を用いた「データ解析講習セッション」の3部構成で実施され、32機関の133名が参加した。

17,18日に行われた講演セッションでは、大学間連携プロジェクト「超高層大気長期変動の全球地上ネットワーク観測・研究（Inter-university Upper atmosphere Global Observation NETwork：IUGONET）」の概要とデータ公開・解析基盤の開発・運用、プロジェクト活動を通じた国際ネットワークの構築とサイエンス成果、メタデータ可視化向上とDOI付与、将来計画などについて講演が行われた。また、プロジェクト発足当時に活躍されていた先生・開発員から、当該分野におけるデータ体制整備の歴史や、IUGONETの発足の背景、メタデータフォーマット選定の経緯、今後のIUGONETへの期待、などの講演があった。さらに、様々な分野で活躍されている研究者や学生から、それぞれの分野の最先端の研究成果に加えて、データサイエンスへの取り組みの現状と今後に関して講演があった。上記の講演は、当該分野におけるデータ科学の活動方針を決める上で大いに参考になると思われる。

20日午前には4つの研究集会の合同ポスターセッションが開催され、非常に盛況であった。また、20日午後には、Pythonベースの解析ツール「PySPEDAS」を用いたデータ解析講習セッションを開催した。このセッションでは、PySPEDASに加えて、大学間連携プロジェクト「IUGONET」で開発を進めているPySPEDASのプラグインソフトウェア「PyUDAS」も参加者各自のPCに実際にインストールしてもらい、2024年5月の巨大磁気嵐イベントを題材としてデータのロード、プロットを体験してもらった。また、google colab上のサンプルコードを共有することで各自のOS、python環境によってインストール時に問題が生じた場合にも対応した。これにより、各々の学生や若手研究者が最新のツールを使って多様な太陽地球物理学分野のデータを総合的に解析できる手段を習得したことが、本講習会の重要な成果の一つである。他方で、ツールの使い方だけでなく、データの見方やその物理的解釈についても講習した方が良いという意見もあった。これらは、次回以降の講習会の改善点としたい。

なお、本研究集会のプログラムはIUGONETウェブサイトに記載されている（http://www.iugonet.org/workshop/20240917?lang=ja）。

（別紙様式06-2）

情報科学技術との融合による太陽圏物理学の新展開
Exploring new directions in heliophysics based on the recent development of information science

飯田佑輔、新潟大学・工学部

【概要】

2024年9月9-10日に，名古屋大学東山キャンパス研究所共同館I 301室/Zoomにて，ハイブリッド形式で太陽圏物理学と情報科学の融合研究に関する研究会を行った．太陽圏物理学の研究者のみならず，情報科学分野の研究者や企業からの参加を合わせて６５名の参加登録が見られ，新しい分野の人々からの高い関心が感じられた．講演内容について，情報科学分野と太陽圏物理学分野の研究者からそれぞれの視点で講演いただき，これまでにない新しい話題に富んだ研究会であった．これらの萌芽的な内容を継続して共有していきたい．

【参加者】

対面・オンライン合わせて65名の参加登録．現地参加者は25名ほど．

【研究会報告】

講演申し込みに伴い，以下の４つのセッションで，全てを口頭講演の形式で行った．すべての講演では質疑が行われ，異分野の研究者間でも活発な議論が行われた．

１．情報科学技術

融合研究を行うにあたって重要であろう情報技術の最新の話題を，情報科学分野の研究者から講演いただいた．富士通株式会社の穴井氏からはLLMモデルの応用について，大阪大学の福井氏からはニューラル演算子と法則発展について，物理分野の研究者がわかりやすい形で講演をいただいた．

２．数値シミュレーション・観測に関する技術

数値シミュレーションや観測装置への情報科学技術の最新の応用例，また物理学分野の研究者からの視点での講演が行われた．機械学習による数値シミュレーションの高速化やディープラーニングを用いた装置ハードウェアの較正など新しい視点の研究テーマが見られた．

３．宇宙天気

宇宙天気分野に関する融合研究が紹介された．宇宙天気現象の予測モデルの現況や，機械学習モデリングに関する実際が，密に議論された．



４．太陽圏物理学

情報科学技術を新しい形で応用して，太陽圏現象のより基礎物理分野を明らかにしようという講演が行われた．特に，トポロギー解析やAI Feynmanなどのデータからの法則発見技術など，データ駆動型の発見技術に関して活発に議論された．

（別紙様式06-2）

太陽地球惑星圏の研究領域における将来衛星計画検討会
Workshop on Future Satellite Mission Planning in the Field of Solar-Terrestrial Physics

齋藤　義文
宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・太陽系科学研究系

太陽地球惑星圏の研究領域では、地球電磁気地球惑星圏学会（SGEPSS）・将来構想検討分科会の下に設置された将来衛星計画ロードマップ策定タスクチームが中心となって、2020 年代以降の将来衛星計画検討を進めている。2019 年 10 月から 2020 年 11 月まで全 16 回に渡って、月 1 回程度のペースで、太陽地球惑星圏の研究領域の将来ロードマップ作成に向けた勉強会をインターネット上の会合の形で開催した後、勉強会で取り上げられた将来衛星ミッションに関するアイデアや、勉強会の終了後に募集した将来衛星ミッションに関するキーワードを元に、研究分野の大目標とそこに至るまでのステップを含む 2020 年代以降 2040 年代までの期間をカバーする将来衛星計画ロードマップの策定を進めている。この活動の中間成果として、2022 年 11 月には、2030 年前半までの具体的な衛星計画を含む新しい将来衛星計画ロードマップを記載した「太陽地球惑星圏の研究領域の目的・戦略・工程表」の改訂版を宇宙理学委員会に提出するに至った。本研究集会の目的は、目まぐるしく変化する宇宙科学を取り巻く状況の変化に関する情報を共有した上で、1）2023 年度までの検討で策定した 2020 年代以降 2040 年代までの期間をカバーする太陽地球惑星圏の研究領域の将来衛星計画ロードマップについて、作成後に生じた変更を反映して分野の共通の理解を得る事　2）ロードマップ上の並列する複数のミッションに関してどのようなミッションカテゴリでどのような順番で実施するべきかについて議論して共通の理解を得る事　3）宇宙理学委員会の下に作られた「太陽系科学 GDI」が進める、太陽系科学の複数分野を統合した RFI に関する情報を共有し、その中に、太陽地球惑星圏の研究領域の将来衛星計画ロードマップをどのように反映すべきか議論する事であった。

本研究集会は zoom を併用したハイブリッド会合として 3 月 21 日に開催し現地参加 8 名、オンライン参加 30 名の計 38 名の出席者があった。本研究集会は、現在進行中・検討中の将来衛星ミッションの現状を紹介するセッション、太陽系科学 GDI・将来フレームワーク検討委員会・宇宙研経営課題対応 TF などの将来ミッションを取り巻く状況に関する情報を共有するセッション、現在進行中・検討中の将来衛星ミッションの一歩先のミッションコンセプトの最新の検討状況について共通の理解を得るセッション、NASA Heliophysics Decadal Survey の報告内容や今後の国際共同ミッションへの対応について議論するセッションと、その後のまとめと全体議論のセッションの５つのセッションの構成で開催した。

「現在進行中・検討中の将来衛星ミッションの現状を紹介するセッション」では、公募型小型ミッションの公募で選定され 2026 年度に予定されているダウンセレクションに向けた活動を進めている LAPYUTA ミッションについての現状と今後の見通しについての講演があった他、2027 年度以降に予定されている次期公募型小型ミッションの公募に対してミッション提案をする可能性のある、FACTORS WG の現状と今後の見通しについての講演、金星探査検討 RG による金星周回軌道における

衛星間電波掩蔽観測計画CROVAミッションに関する現状と今後の見通しについての講演などがあり、次期公募型小型ミッションの公募に提案する可能性のあるミッションについての共通理解を得ることができた。更に、戦略的火星探査およびMars Ice Mapperミッションの現状と今後の見通しに関する講演の他、ESA M7候補としてPhase-A Studyを実施しているミッションで、日本のグループが参加している２つのミッションPlasma ObservatoryとM-MATISSEについての現状の紹介と今後の予定についての講演があった。

「太陽系科学GDI・将来フレームワーク検討委員会・宇宙研経営課題対応TFなどの将来ミッションを取り巻く状況に関する情報を共有するセッション」では、太陽系科学GDI・将来フレームワーク検討委員会・宇宙研経営課題対応 TF それぞれの活動を行っている太陽地球惑星圏の研究領域のメンバーから現在の活動状況の報告があり、変化しつつある、将来ミッション実現に向けての枠組みや、次回公募の発出次期、太陽地球惑星圏の研究領域を含むより広い太陽系科学としてのロードマップの検討状況などについて共通の理解を得ることができた。

「ミッションコンセプト検討状況の紹介」のセッションでは、研究分野の大目標とそこに至るまでのステップを含む2020年代以降2040年代までの期間をカバーする将来衛星計画ロードマップについて、現在 WG 活動を始めているミッションより一歩先のミッションについての検討状況の紹介があった。

「NASA Heliophysics Decadal Surveyの報告内容や今後の国際共同ミッションへの対応について議論するセッション」では、少し前に公開された、NASA HelioPhysics Decadal Surveyの報告内容について、特に太陽地球惑星圏の研究領域に関連する部分の紹介があった他、国際的な宇宙天気ミッションとそれに対する日本の対応状況についての報告、海外主導の将来の外惑星探査ミッションへの参加に関する検討状況の報告などがあり、今後日本独自の将来ミッションを考えていく上でも考慮する必要のある海外ミッションに関して情報を共有した。

この後の全体議論では、次期公募型小型ミッション公募に太陽地球惑星圏の研究領域から提案する可能性のあるミッションが、FACTORS、CROVA、(2026年度のダウンセレクションの結果次第で)LAPYUTAの３つのミッションであることを確認した他、次期STP衛星ミッションの検討を実施するResearch Groupについて2025年度中の設立を目指すことを確認した。また、本年度から開催している、年４回程度のSTP分野の将来ミッション検討会合については、2025年度も引続きオンラインまたはハイブリッドで開催することを確認した。

（別紙様式06-2）

極域・中緯度SuperDARN研究集会
SuperDARN meeting

西谷　望、名古屋大学、宇宙地球環境研究所

令和6年度宇宙地球環境研究所研究集会「極域・中緯度SuperDARN研究集会」は2025年3月19-21日、2研究機関(名古屋大学宇宙地球環境研究所・国立極地研究所)共催の研究集会「極域・中緯度SuperDARN研究集会」として、プラズマ圏研究集会(代表: 尾花由紀)と第二回STE現象報告会(代表: 阿部修司)との合同開催の形式で、九州大学西新プラザで開催された。この研究会は前進の中緯度短波レーダー研究会を含めて今回で22回目となり、2015年度から中緯度に加えて極域関連事象も対象とすることとして、国立極地研究所(および2015-2020年度は情報通信研究機構)との共催で極域・中緯度SuperDARN研究集会として開催している。今年度は昨年に引き続き名古屋大学宇宙地球環境研究所が担当であり、昨年度と同様に対面およびオンラインのハイブリッド形式で開催された。今回は磁気圏・電離圏物理から熱圏・中間圏にいたるまで様々な専門分野の計69名の研究者が参加した(対面43名、オンライン26名)。

世界約10ヶ国以上の国際協力に基づくSuperDARN(Super Dual Auroral Radar Network)は、現在南北両極域に合わせて約38基の大型短波レーダーを運用しており、電離圏・磁気圏・熱圏物理を中心とした研究成果を上げている。19番目・34番目のレーダーとして2006年11月および2014年10月に北海道-陸別第一・第二HFレーダー(SuperDARN Hokkaido East radar)が完成し、稼働を開始してから当研究会までに約10年にわたるデータの蓄積が行われており、論文等の成果も上がりつつある。また北海道-陸別第一・第二レーダーを始めとする中緯度SuperDARNによる研究成果を網羅したレビュー論文が2019年3月に出版されており、2025年3月25日までで13kダウンロード、224回の被引用(google scholar)がなされ、2021 PEPS Most Cited Paper Awardを受賞している。

今回の研究会においては北海道や昭和基地における各SuperDARNレーダー運用の昨年以来の経緯、現状が報告された。また海外のSuperDARNレーダーの動向に関する報告も行われた。続いて、レーダーの観測データから得られた研究結果ならびに今後期待されるサイエンス等に関する報告ならびに議論が行われた。今回はタイミングが合わず外国人研究者の講演発表はなかったが、合同研究集会全体で外国人研究者・海外機関所属日本人研究者が12名(オンサイト6名、オンライン6名)参加し、活発な議論が行われた。具体的な研究成果の研究テーマとして、あらせ人工衛星とSuperDARNの観測データの比較によるSAPS・ULF波動現象の解析結果、低緯度オーロラに関連した電離圏対流の特性の研究、データ同化による電離圏対流特性の研究、アメリカアマチュア無線家によるSuperDARN北海道-陸別第一レーダーの電波受信状況の解析等が挙げられる。サイエンスの結果だけではなく、現在名大にて開発中のイメージング受信システムのデジタルフィルター改善に関する取組等に関する講演も行われた。またレーダー観測の研究成果だけではなく、磁気圏reconnectionのモデリング、地上磁場データ・FM/CWレーダーデータによるサブストーム時の全球の電場分布等に関する講演が行われた。上記に加えて大型短波レーダー計画を進める上での課題、特に運用体制についても充実した議論を行った。

会議中にはSuperDARNレーダーグループとしての将来計画、および今後の戦略の議論も行った。今後も名古屋大学・国立極地研究所を中心として極域・中緯度を総合的に議論する研究会として開催していくことを決定した(来年度は国立極地研究所が担当)。

名大 ISEE・京大 RISH・極地研・九大 i-SPES 共同主催　「ジオスペースの低エネルギープラズマ研究集会」「2024 年(令和 6 年度)・第 2 回 STE(太陽地球環境)現象報告会」「令和 6 年度極域・中緯度 SuperDARN 研究集会」合同研究集会

会場:　九州大学西新プラザ（福岡市早良区西新 2-16-23）

zoom:　https://us02web.zoom.us/j/81626012232?pwd=4o8BzKhsBF5Cb1SgRVvzV8HAh8hKTM.1

ミーティング ID: 816 2601 2232

パスコード: 084020

日付	研究集会名	開始	終了	タイトル	著者
3月19日		12:30	12:35	Opening	
	SuperDARN	12:35	12:55	SuperDARN HOP radars 現況報告	西谷望（名大 ISEE）、堀智昭（名大 ISEE）
		12:55	13:15	昭和 SENSU レーダーの現状と今後	行松 彰(極地研)
		13:15	13:35	孤立型サブストームに伴う全球電磁場応答	林 萌英（九大），吉川 顕正（九大 i-SPES），Ohtani Shinichi（APL），藤本 晶子（九工大）
		13:35	13:55	模擬磁気圏から直接求めるダンジー循環の磁力線再結合率： 極冠横断電位差に対応する磁気圏側の物理量	畠山将英(九州大学)，渡辺正和(九州大学 大学院理学研究院)，藤田茂(情報・システム研究機構統計数理研究所)，田中高史(九州大学国際宇宙惑星環境研究センター)
	現象報告会	14:10	14:30	宇宙天気長期変化の概況報告	篠原学（鹿児島高専）
		14:30	14:50	REPPU コードレベル 7 による昼間側沿磁力線電流の再現	上西園健太(九州大学理学府) 渡辺正和(九州大学理学府) 田中高史(九州大学国際宇宙惑星環境研究センター)
		14:50	15:10	宇宙線中性子観測デー	渡邉 堯（WDC for

				タ報告（2024 年 9 月ー2025 年 3 月）	Cosmic Rays）
		15:10	15:30	EE-index に基づく赤道域の地磁気変動の報告	ギルギス キロロス（九大 i-SPES）、魚住 禎司（九大 i-SPES）、藤本 晶子（九工大）、阿部 修司（九大 i-SPES）、吉川 顕正（九大）
	低エネルギープラズマ	15:45	16:05	低エネルギーイオン Trunk 構造の統計解析	三好由純（名大)、井岡翔馬(名大）、浅村和史（ISAS）
		16:05	16:45	[Invited] Dynamics in the boundary region of plamaspher	Fei He(IGGCAS, China)
		17:00	17:20	Effects of intrinsic magnetic field strength on ULF Wave Excitation related to the plasmapause	長田知大(東大理)，関華奈子(東大理)，山川智嗣(名大 ISEE)，山本和弘(名大 ISEE)，海老原祐輔(京大生存圏)，天野孝伸(東大理)，三好由純(名大 ISEE)，桂華邦裕(東大理)
		17:20	17:40	Effects of cold plasma on the excitation of ULF waves in the inner magnetosphere based on the magnetosphere-ionosphere coupled model	山川智嗣(名古屋大学 ISEE)
3 月 20 日	低エネルギープラズマ	9:05	9:45	[Invited] Cross-Energy Coupling Between Low-Energy Plasma and Energetic Particles in Earth's Inner Magnetosphere	Qianli Ma(UCLA, USA)

		9:45	10:05	Indian Institute of Geomagnetism, Field Aligned Low Energy Oxygen (FALEO) events analysis based on Arase LEPi observations from 2020-2023	Trunali Anil Shah(Indian Institute of Geomagnetism)
		10:05	10:25	磁気嵐時のカスプからのイオン流出の季節、太陽活動依存性のモデリング	北村成寿(名大 ISEE)、Glocer Alex(NASA/GSFC)
	低エネルギープラズマ	10:40	11:00	内部磁気圏における低エネルギー(<300 eV)O+プラズマの空間分布・ピッチ角分布	能勢正仁(名古屋市立大学データサイエンス学部)
		11:00	11:20	2024 年 5 月磁気嵐中のプラズマ質量密度増加について	尾花由紀(九大 i-SPES)，北村成寿（名大 ISEE)，新堀淳樹(名大 ISEE)，山本和弘(名大 ISEE)，土屋史紀(東北大惑星プラズマ大気)，熊本篤志　東北大地球物理)，笠原禎也(金沢大)，松岡彩子(京都大学)，三好由純(名大 ISEE)，篠原育(JAXA/ISAS)
		11:20	11:40	2024 年 5 月の巨大磁気嵐時におけるプラズマ圏・電離圏の電子密度の時間・空間変動の特異性について	新堀淳樹（名大 ISEE)、北村成寿（名大 ISEE)、山本和弘（名大 ISEE)、熊本篤志（東北大)、土屋史紀(東北大)、松田昇也（金沢大)、笠原禎也（金沢大)、寺本万里子（九工大)、松岡彩子（京大 WDC)、惣宇利卓弥（京大 RISH)、大塚雄一（名大 ISEE)、西岡未知（NICT)、Septi

					Perwitasari (NICT)、三好由純（名大 ISEE)、篠原育 (ISAS/JAXA)
		11:40	12:00	Estimation of ion composition during the May 2024 super geomagnetic storm by using magnetoseismology technique	山本和弘（名大 ISEE）、三好由純（名大 ISEE）、松岡彩子（京大）、寺本万里子（九工大）、笠羽康正（東北大）、笠原禎也（金沢大）、堀智昭（名大 ISEE）、新堀淳樹（名大 ISEE）、熊本篤志（東北大）、土屋史紀（名大 ISEE）、尾花由紀（九大）、篠原育（宇宙研）
	現象報告会	13:30	13:50	2024 年に観測された流星・宇宙機再突入に伴う VLF 電波放射：（1）低緯度オーロラと明るい流星（2024 年 8 月 12 日 JST）、（2）北海道東方で発生した大火球（2024 年 12 月 5 日 ）、（3）九州南方で発生した宇宙機（神舟 SZ-17 MODULE ）再突入（2024 年 12 月 19 日 ）	渡邉 堯（NICT)、塩川和夫（名古屋大 ISEE)、大矢浩代（千葉大）、加藤泰男（名古屋大 ISEE)、小林美樹（NMS）、鈴木和博（NMS）、津田浩之（陸別町銀河の森天文台）
		13:50	14:10	地磁気現象概況報告 2024 年 9 月～2025 年 2 月	松浦大輔(気象庁地磁気観測所)
		14:10	14:50	[Invited] Ground Magnetic Response to an extraordinary IMF BY Flip During the May 2024 Storm	S. Ohtani[1], Y. Zou[1], V. G. Merkin[1], M. Wiltberger[2], K. H. Pham[2], S. Raptis[1], M. Friel[1], and J. W. Gjerloev[1] (1:JHU/APL;

					2: NCAR/HAO)
	現象報告会	15:05	15:25	現象報告期間(2024.09-2025.03)における HOP radars/SuperDARN 観測報告	西谷 望（名大 ISEE), 堀 智昭（名大 ISEE), 新堀 淳樹（名大 ISEE), 細川 敬祐（電通大), 尾花 由紀(九大), 寺本 万里子（九工大), SuperDARN PIs
		15:25	15:45	2024 年 5 月 10 月磁気嵐時の中緯度電離圏変動－HF Doppler 観測－	菊池崇(名大 ISEE)、橋本久美子(電通大 DCEI)、細川敬祐(電通大 DCEI)、冨澤一郎(電通大 DCEI)、坂井純(電通大 DCEI)、海老原祐輔(京大 RISH)、電通大 HFDOPE グループ
		15:45	16:05	2024 年磁気嵐時の短波ドップラー観測の紹介	橋本久美子、坂井純、細川敬祐（電通大）、中田裕之（千葉大）、菊池崇（名古屋）、野崎憲朗、並木紀子、冨澤一郎（電通大）
		16:05	16:25	HF ドップラ測距機能で見た磁気嵐時の電離層変動	野崎憲朗、並木紀子、細川敬祐(電通大)
	現象報告会	16:40	17:00	電離圏シンチレーション準リアルタイム可視化モニタリングシステムの開発	中村駿仁(九工大), 阿部修司(九大), 加藤彰紘(九大理),牛王悠輝(九工大), 吉野郁海(九工大), 成合秀飛(九工大), 藤本晶子(九工大)
		17:00	17:20	地上磁場データを用いた台風がもたらす電離圏擾乱の定量的解析	西村美紀（九大）、吉川顕正（九大）、魚住禎司（九大）
		17:20	17:40	VLF/LF 帯標準電波観測に基づく D 領域電離圏変動：太陽フレア・火球・人工衛星再突入・能登半島地震の影	大矢浩代（千葉大）、古谷凌汰（千葉大）、久保田朱音（千葉大）、福田夢斗（千葉大）、土屋史紀（東北大 PPARC), 山本真行

				響	（高知工科大），鷲見貴生（国立天文台），中田裕之（千葉大），渡邉堯（茨城大），小林美樹（日本流星研究会）
3月21日	低エネルギープラズマ	9:05:00	9:45:00	[Invited] Plasmaspheric Plumes Observed by MMS Near the Dayside Magnetopause	Cristian Ferradas(NASA,USA)
		9:45	10:05	Dipolarization Events With Inductive, Radial Electric Fields in the Inner Magnetosphere	松井洋（UNH）
		10:05	10:25	プラズマ圏再充填の数値計算	丸山奈緒美, Jaden Fitzpatrick（コロラド大）、Kausik Chatterjee
	SuperDARN	10:40	11:00	磁気圏エミュレータとSuperDARN データによる極域電離圏環境の再現	中野慎也(統数研), S. Reddy (極地研), 片岡龍峰(極地研), 中溝葵(NICT), 藤田茂(DS 施設)
		11:00	11:20	夕方側に見られる ULF 波動を含むレーダーエコーの統計解析	細川敬祐（電気通信大学），堀智昭（名大 ISEE），尾花由紀（九大 i-SPES），西谷望（名大 ISEE），新堀淳樹（名大 ISEE），寺本万里子（九工大），三好由純（名大 ISEE），行松彰（極地研）
		11:20	11:40	Initial results of the Fall 2023 SuperDARN-Arase conjunction campaign: SAPS and related magnetospheric features	T. Hori (ISEE), K. Hosokawa (UEC), N. Nishitani (ISEE), A. Shinbori (ISEE), Y. Miyoshi (ISEE), M. Teramoto (Kyutech), Y.

					Obana (Kyushu U), A. S. Yukimatu (NIPR), K. Keika (U. of Tokyo), S. Kasahara (U. of Tokyo), S. Yokota (Osaka U), Y. Kasaba (Tohoku U), A. Kumamoto (Tohoku U), F. Tsuchiya (Tohoku U), S. Matsuda (Kanazwa U), Y. Kasahara (Kanazawa U), A. Matsuoka (Kyoto U), Y. Kazama (ASIAA, Academia Sinica), S.-Y. Wang (ASIAA, Academia Sinica), S. W. Y. Tam (NCKU), C.-W. Jun (ISEE), and I. Shinohara (JAXA/ISAS)
		11:40	12:00	IMF 北向き時に現れる夜側電離圏対流の起源	渡辺正和，蔡東生，藤田茂，田中高史
	SuperDARN	13:30	13:50	SuperDARN 北海道陸別第一レーダーにおけるノイズ除去とデータ処理過程について	早水翔大、西谷　望、濱口佳之、堀　智昭、新堀　敦樹（名大 ISEE）
		13:50	14:10	アメリカ西海岸のアマチュア無線家による SuperDARN 北海道-陸別レーダーの電波受信データを用いた電波伝搬特性の解析―地磁気活動、太陽活動、気象条件の影響―	橋爪隼平、西谷望、堀智昭、新堀淳樹(名大 ISEE)
		14:10	14:30	低緯度オーロラに関連した中緯度電離圏対流: SuperDARN HOP radars 観測を中心に	西谷 望（名大 ISEE), 堀智昭（名大 ISEE), 新堀淳樹（名大 ISEE), 細川敬祐（電通大), 尾花 由紀(九大), 寺本 万里子（九工大), 塩川和夫(名大 ISEE),

					片岡龍峰(極地研)
		14:30	14:50	総合討論	
	現象報告会	15:05	15:25	2024 年磁気嵐にともなう中国地方の地磁気誘導電流	橋本久美子（電通大）、北村健太郎（九州工大）、菊池崇（名古屋大）、池田将晃、藤本浩（徳山高専）、海老原祐輔（京大）、細川敬祐（電通大）
		15:25	15:45	南向き太陽風磁場に基づく夜側オーロラオーバル磁気緯度下限値推定モデル	儘田龍一(九工大)，古川瑠晟(九工大)，竹川明雅(九工大)，藤本晶子(九工大)
		15:45	16:05	極大期付近のコロナホールについて	亘 慎一（NICT）
		16:05	16:25	太陽サイクルを考慮した超小型人工衛星の軌道寿命の定式化～国際宇宙ステーションから放出されるサイズ 1U の人工衛星について～	井上一成（九工大），福田創士（九工大），江本茉由莉（九工大），藤岡琉雅(九工大)，藤本晶子（九工大）
	現象報告会	16:40	17:00	ドロネー三角形分割に基づく高フレームレートなイオノグラム動画像生成	吉野郁海（九工大）,中村駿仁（九工大）,牛王悠輝（九工大）,成合秀飛（九工大）,藤本晶子（九工大）
		17:00	17:20	Evening CEJ に対する月潮汐効果と E-F 層間電場について	加藤彰紘(九大理),吉川顕正(九大理),藤本晶子(九工大)
		17:20	17:40	期間概況報告、全体まとめ	阿部修司（九大 i-SPES）

※発表スライドは以下の website を参照(2025/03/25時点で準備中):

https://cicr.isee.nagoya-u.ac.jp/hokkaido/site1/workshop/r06.html

（別紙様式06-2）

インド洋/太平洋域における海洋循環/環境応用に関する研究集会

Approaches for Hydrospheric-Atmospheric Environmental Studies in Asia-Oceania

尾形 友道（海洋研究開発機構・アプリケーションラボ）

令和 6 年度名古屋大学宇宙地球環境研究所研究集会として、**「インド洋/太平洋域における海洋循環/環境応用に関する研究集会」**を 2024 年 12 月 11 日（日）～12 日（月）にオンラインと現地とのハイブリッド形式で開催した。インド洋/太平洋域における海洋関連の研究集会を開催することにより、大気水圏域における地球変動予測に関する海洋の重要性を議論し、衛星観測/海洋観測/モデリングの相補的な研究や、環境/防災分野への貢献を促す事を目的に、14 人の発表と約 20 人の集会参加者が集まり、活発な議論がなされた。今年度も日本人の研究者/大学院生だけでなく、アジア域の研究者/（留学生を含む）大学院生も参加・発表し、インドネシア多島海や黒潮、熱帯波動を中心とする様々な研究テーマと国際的な諸問題について活発な議論がなされた。また、他の地域における大気海洋研究においても様々な分野からの発表があった。長めの発表時間もあり、従来の学会では聞けない学際的なトピックに関する貴重な意見交換の場になった。

集会 1 日目（12 月 11 日）:

まず、中緯度の海洋変動と生態系の相互作用に関する研究発表として、尾形友道（JAMSTEC）は渦解像の海洋モデルに生態系を組み込んだ OFES2（水平 1/10 度）を用いた北西太平洋亜熱帯域における生態系の年々変動に関するシミュレーション結果と海洋力学との関係について発表した。Florence Mila Purnomo Sie（東北大）は衛星観測データを用いたインドネシア域の海洋変動の研究結果について、サブ海におけるローカルな海面水温（SST）とクロロフィル a の季節変動・年々変動について紹介した。原野早陽花（東北大）は海洋生態系の変数も観測できる BGC Argo フロートの観測結果や衛星観測・シミュレーションの結果を用いて、北西太平洋における台風通過時の植物プランクトンの短期的な応答について事例解析の結果を発表した。また、熱帯太平洋における海洋力学の解析研究として、穴見武司（東大）は赤道太平洋における「subtropical cell」と呼ばれる南北循環に着目し、海洋モデルのシミュレーション結果を用いてその変動のメカニズムと、太平洋十年変動との関係性について紹介した。

多メンバー（~100 メンバー）アンサンブルによる極端気象の予測可能性に関する研究例として、土井威志（JAMSTEC）は大気海洋予測システムである SINTEX-F2 を用いた北西太平洋の台風頻度の予測可能性、および ENSO や IOD などの気候変動モードとの関連性について紹介した。Tengfei Xu（First Institute of Oceanography, China）は、インドネシア多島海における通過流の観測結果を紹介し、赤道インド洋の変動が海洋応答を通してインドネシア多島海に海洋ケルビン波として伝播し、Makassar 海峡を通過する可能性について紹介した。岩佐優輝（東大）は、インド洋東部域での海洋上層の貯熱量変動におけるインドネシア通過流の役割について、主に十年スケールに着目した研究結果を紹介した。Ardiansyah Desmont Puryajati（東北大）は多島海域であるインドネシア周辺（西部赤道太平洋・東部赤道インド洋域）における海洋熱波についての解析事例を紹介し、長期的に高水温状態が持続するケースについての特徴などについて発表した。

集会２日目（12 月 12 日）:
２日目の午前は、佐々木克徳（北大）は発表者が提案している「thin-jet theory」を北西太平洋の海面水位変動、特に 2017 年における黒潮続流域におけるローカルな風応力の役割について解析結果を紹介した。熱帯海洋における海洋波動のエネルギー解析例の既往研究をベースに、相木秀則（名大）は大気循環における波動の役割を解析するフラックス形式を提案し、その適用例について紹介した。Kaiwen We（名大）は、相木（名大）により新しく定式化されたエネルギーフラックスを用いて、太平洋域に見られた対流圏下層に見られる下向きのエネルギーフラックスついて議論した。海洋力学における波と平均流の相互作用に関するテーマとして、寺田雄亮（東大）は赤道太平洋における縞状の東西流について海洋モデルのシミュレーション結果を紹介し、季節内スケールの海洋波動の重要性を指摘した。Borui Wu（名大）は、エルニーニョ/ラニーニャ時における海洋波動のエネルギーの深層への下方伝播についての診断結果を発表した。吉田慎之助（北大）は、南極域における海氷形成域に見られる循環である「Weddel gyre」について、年々変動および長期変動に注目した解析結果を紹介した。

今回も参加者の都合も考慮し、全面的な対面形式ではなく、オンライン開催と一部参加者の現地参加のハイブリッド形式となった。参加者は院生や若手研究者が多く、発表の合間に各テーマ間での問題共有や、若手研究者と中堅以上の研究者との間の情報交換が活発になされた。特に院生たちが英語でのコミュニケーションを積極的に取る姿は印象的であり、院生やポスドクなどの若手研究者も話しやすい雰囲気を提供できたと考えている。また、休憩中にもハイブリッドで参加している研究者と現地参加の発表者との間に活発な意見交換がなされていたのは、ハイブリッド開催の良い面が現れていたと思う。海外の研究者からの話題提供や情報交換が気軽にできるようになったのは、この数年のコロナ禍でのハイブリッド形式の導入による大きな変化であり、現地参加による情報収集との両立は、ハイブリッド形式の大きなメリットであると感じている。来年度も今年度の経験を生かし、現地とオンラインの混合形式など、柔軟な対応をしながら継続していきたい。

（別紙様式06-2）

超小型衛星を利用した超高層大気研究の将来ミッションの検討
Examination of Future Missions for Solar Terrestrial Physics Utilizing Nano-Satellites

寺本万里子、九州工業大学・工学研究院

令和5年度に引き続き２回目の開催となる今回は、人工衛星の低高度にあたる電離圏・熱圏・中間圏などの専門家を交え議論を行うため、「STE現象報告会」「MTI研究集会」「太陽地球環境データ解析に基づく超高層大気の空間・時間変動の解明 ～ IUGONET プロジェクト15年の歩みとその将来～」の合同研究集会として実施した。合同研究集会は、令和6年9月17日から20日の4日間にわたり九州工業大学戸畑キャンパスにて開催されたが、本研究集会はその初日である9月17日に実施された。本研究集会では国内の研究機関・ニュースペース企業の超小型衛星の開発状況、超高層分野が現状取り組んでいる課題を併せて共有し、超小型衛星を利用した超高層分野における将来ミッションの立案を目的としている。当日は、対面での参加者が60名、オンラインでの参加者が45名、合計105名の参加があった。

国内のニュースペース企業における超小型衛星関連の取り組みを広く共有することを目的として、株式会社インフォステラ、SpaceBD株式会社、株式会社ArkEdge Spaceの3社を招き、講演を実施した。各社からは、超小型衛星の開発・運用に関する最新事例、技術動向、ならびに今後の展望について紹介があり、参加者にとって有意義な情報交換の機会となった。

また、超小型衛星を活用した先進的な科学ミッションの一例として、東北大学が主導する「PCUBEプロジェクト」の紹介が行われた。本プロジェクトは、電磁波を用いた高効率な放射線帯消失機構の解明と、それに基づく放射線帯物理モデルの構築を目的としており、宇宙空間における放射線環境の理解を深める上で重要な科学的意義を有する。加えて、東京大学の研究者からは、超小型衛星の編隊飛行技術を活用した理学ミッションの最新動向についての紹介があり、今後の宇宙科学観測における超小型衛星群の可能性に関する具体的な展望が示された。一方、全国8高専が共同で開発した「KOSEN-2」については、海洋観測データ収集に関するIoT技術の宇宙環境下での有効性を検証することを目的とした技術実証ミッションとして紹介された。

さらに、本研究集会は九州工業大学において開催されたことから、同大学がこれまでに実施してきた超高層物理に関連する超小型衛星ミッションの紹介に加え、現在整備されている超小型衛星開発環境および将来計画に関する講演も行われた。

また、本合同研究集会の期間中には、参加者を対象に、九州工業大学戸畑キャンパス内に設置されている超小型衛星試験センターの見学も実施され、環境試験設備や運用設備など、実際の開発・運用体制に関する紹介が行われた。これらの講演および見学を通じて、参加者は超小型衛星の最新の開発動向や、それを科学観測に応用するための実践的な環境・体制についての理解を深めることができた。

（別紙様式06-2）

海洋波および大気海洋相互作用に関するワークショップ
Workshop on ocean surface waves and air-sea interaction

田村仁　港湾空港技術研究所・海洋利用研究領域

本ワークショップは令和５年度名古屋大学宇宙地球環境研究所研究集会として採択され（代表：田村仁）下記のとおり開催された.

開催日時：2024年3月3日，4日
会場：名古屋大学東山キャンパス・環境総合館レクチャーホール
（zoomによるオンライン会議とのハイブリッド方式）
コンビーナー：田村仁（港湾空港技術研究所）
相木秀則（名古屋大学）

【研究集会の内容および成果】

本年度の研究集会はZoomによるオンライン会議と現地開催のハイブリッド方式として執り行った。集会では海洋波を中心に大気海洋相互作用に関連する広範囲の研究テーマを対象として議論を行った。特に、本年度は波と流れの相互作用研究に関して，神戸大学・藤原泰助教から基調講演として話題提供を頂き，様々な研究分野の研究者間で活発な意見交換が行われた。

【講演プログラム】

2025年3月3日 月曜日
13:00-14:00
藤原泰（神戸大学）
海洋物理分野における波と流れの相互作用

14:00-14:30
松葉義直（東京大学）
沿岸長周期波の方向スペクトル推定と応用

14:45-15:00
相木秀則（名古屋大学）
強風下における波浪境界層の鉛直構造の数値実験

15:00-15:15
眞岩 一幸（日本エヌ・ユー・エス）
海洋拡散シミュレーション業務の紹介

15:15-15:45
岩野耕治（岡山理科大学）
高風速下の海表面を通しての熱輸送に及ぼす吹送距離の影響―室内実験による検討―

15:45-16:15
中谷温希（兵庫県立大学）
水槽内加圧時の風波気液界面を通しての運動量フラックスの測定

16:30-17:00
片山裕之（五洋建設技術研究所）
日本沿岸の海流鉛直分布とそのモデル化

17:00-17:30
田村仁（港湾空港技術研究所）
新たな小型波浪津波計開発と観測網構築の取り組み

2025年3月4日 火曜日

09:00-09:30
久木幸治（琉球大学）
自由波の非線形分散関係の外洋域における検証

09:30-10:00
筒井壽博（弓削商船高専）
開放型下掛け水車を搭載する浮体水路形状の検討―回流水槽での実験例―

10:15-10:45
吉川浩一朗（京都大学）
夏季田辺湾における乱流と混合層深度の観測および水面波による影響

10:45-11:15
片岡智哉（愛媛大学）
深層学習モデルを用いた短波海洋レーダ波浪観測

（別紙様式06-2）

合同研究集会

「宇宙プラズマと高強度レーザー実験における
非線形波動とプラズマの相互作用」

代表：諫山　翔伍、九州大学

及び、「実験室における統計加速を利用した新しい共同研究体制構築の検討」

代表：小林　進二、京都大学

概要

無衝突プラズマと磁場が支配する宇宙では、大振幅非線形波動と磁化プラズマ中の荷電粒子との相互作用によって高エネルギー宇宙線が生成されると考えられる。近年、レーザーの高強度化に伴い、大振幅プラズマ波動で速度が光速に近い電子を励起や強磁場の生成が可能となり、宇宙における極限環境を地上実験で再現することが期待され、宇宙線加速機構の新たな検証手段として注目されている。これにより、宇宙で起こる相対論的な粒子加速法の研究分野における新しい知見を共有することを目的とする。

参加者数

１日目：現地27名＋オンライン14名
２日目：現地30名＋オンライン14名

研究報告

本会議では、宇宙・天文プラズマに関する9件、レーザー・実験室プラズマに関する14件、合計23件の講演が行われ、予想を大きく上回る参加者を迎えて、活発な議論が展開されました。宇宙分野からは、衝撃波による電子加速、高エネルギー天体周辺でのガンマ線放射や粒子加速に関するシミュレーション、さらに地球および火星周辺でのコーラス放射や理論・ラり現象に関する講演があり、実験室プラズマとの関連性の高い話題も多く取り上げられました。これらの講演を通じて、実験研究者との間で活発な意見交換が行われ、将来の実験に繋がるような建設的な議論もなし深まりました。一方、生成レーザー・実験室プラズマ分野からは、宇宙プラズマと関係の深い衝撃波による電子加速、磁気リコネクション実験、イオン加速型プラズマ実験、人工磁気圏による波動粒子相互作用、レーザー誘起放電プラズマ実験、ヘリカル型・トーラス放射、さらにはプラズマ波動と粒子加速に関する講演が行われました。これらの話題は宇宙プラズマ物理と実験室プラズマ物理に共通点も多く、宇宙分野の研究者と有意義な意見交換が行われました。これらを通じて、将来の宇宙実験に向けた連携と議論が深まり、大変実りある会議となりました。

成果

本研究会では、宇宙・天文・実験室プラズマの各分野に携わる研究者が一堂に会し、最新の研究成果や課題を共有することで、分野横断的な新たな理解と連携が深まりました。活発な意見交換を通じて、今後の共同研究の発展に向けた具体的な計画へと展望が開かれるとともに、分野間の橋渡しとなる研究課題も浮き彫りとなりました。これらの成果は、将来的な研究の重要なステップとなるものであり、本研究会は非常に有意義な機会となりました。

（別紙様式06-2）

モンスーン研究集会
Research meeting on monsoons

藤波初木、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

世界人口の約６割が居住するアジアの水資源の変動予測および洪水や干ばつなどの災害予測の精度向上が社会的に求められるなか、アジアモンスーンに伴う極端気象や気候変動の形成・変動機構の解明は重要な課題となっている。本研究集会は、1)日本国内で実施されているモンスーンに関する多岐にわたる研究成果を共有する機会を提供しモンスーンの統合的理解の向上と国内の共同研究を推進すること、2)学生・若手研究者の参加・発表を奨励し研究ネットワーク形成とコミュニティー全体を活発化することを目的に本年度初めて開催した研究集会である。世話人代表は藤波初木(名古屋大学)，共同世話人は植田宏昭(筑波大学)、寺尾徹(香川大学)、小坂優(東京大学)、横井覚(海洋研究開発機構)、高谷祐平(気象研究所)である。

研究集会は令和７年2月27日と28日に現地参加の形式で名古屋大学環境総合館1Fレクチャーホールにて開催された。参加者は42名で、約4割が35歳以下であり、学生は13名であった。研究発表は22件で、学生から7件の発表があった。発表は熱帯–中緯度–高緯度相互作用系、降水特性・降水過程・降水変動、気候変動影響・将来予測、大気–海洋相互作用系および観測的研究・観測影響評価と多岐にわたり、現地観測、数値モデルおよびデータ解析を駆使して研究された最新のモンスーン研究の成果の発表やレビューが行われた。集会では活発な議論と建設的なコメントがあり、非常に内容の濃い有意義な研究集会となった。また、現地参加で実施したことで、様々な世代間の交流が対面でできたことも本研究集会の成果である。以下に研究集会のプログラムを添付する。

2月27日(木) 13:00–17:40

13:00-13:10　はじめに　座長　藤波初木(名古屋大)

13:10-13:30　熱帯・中高緯度結合系の観点から探るモンスーンの形成メカニズムと変動特性　植田宏昭(筑波大)

13:30-13:50　熱帯－中高緯度相互作用による対流ジャンプ発生メカニズムの更新　中西亮太(筑波大)

13:50-14:10　夏季ユーラシア極前線ジェットに沿うテレコネクションによる東アジアの天候への影響の評価　坂井彩織(東京大)

14:10-14:30　東アジア冬季気温の年々変動に対する予測スキルの検証とその要因の理解　坂本玲奈(筑波大)

14:30-14:45　休憩

座長　横井 覚(JAMSTEC)

14:45-15:05　梅雨期における東アジアの降水の日変化　藤波初木(名古屋大)

15:05-15:25　亜熱帯・中緯度沿岸域における降水日周期の海陸風線形理論に基づく考察　青木俊輔(JAXA/EORC)

15:25-15:45　総観場の出現頻度が梅雨期の極端降水頻度に与える影響　若尾和哉(北海道大)

15:45-16:05　降水システムの変化に対する湿潤絶対不安定層（MAUL）領域の寄与　篠田太郎(名古屋大)

16:05-16:20　休憩

座長　植田宏昭(筑波大)

16:20-16:40　モンスーンにおける地上気温に対する陸面影響　高谷祐平(気象研)

16:40-17:00　東アジア夏季モンスーン降水の将来予測不確実性における北ユーラシア大陸昇温の影響

遠藤洋和(気象研)

17:00-17:20　地球温暖化はアジアの季節変化をどう変化させるか　安成哲三(地球研)

17:20-17:40　モンスーンアジアを縦断するツバメの渡りは気候変動の影響を受けるか　高田久美子(麻布大)

18:00-20:00　懇親会　レストラン花の木

2月28日(金) 9:30–15:15

座長 寺尾 徹(香川大)

09:30-09:50　寒気と暖水は互いに引きつけ合う？どこで？　立花義裕(三重大)

09:50-10:10　秋雨前線帯の形成における北西太平洋の海面水温の役割　大久保遥斗(筑波大)

10:10-10:30 冬季亜熱帯ジェット上の波列における北大西洋振動と熱帯インド洋・西太平洋の対流活動の複合影響

朝妻勇貴(筑波大)

10:30-10:45 休憩

座長 高谷祐平(気象研)

10:45-11:05　Different ENSO Teleconnections over East Asia in Early and Late Winter

Ma Tian Jao (The University of Tokyo; Yunnan University)

11:05-11:25　2022年のパキスタンの洪水に関わる南アジアモンスーントラフ上の熱帯擾乱活動と年々変動

高橋洋(都立大)

11:25-11:45　フィリピン諸島の対流に対する地形と解像度の影響　梶川義幸(理研・神戸大学)

11:45-13:00　昼食・休憩

座長　高橋 洋(都立大)

13:00-13:20　衛星降水観測データを用いた夏季モンゴルの降水特性に関する研究　藤井ひな子(名古屋大)

13:20-13:40　熱帯アジアモンスーン沿岸域における降水日変化の観測的研究　横井 覚(JAMSTEC)

13:40-14:00　EFSO で推定される夏季アジアモンスーン域の観測インパクトの分布と全球影響　山崎 哲(JAMSTEC)

14:00-14:20　アジアモンスーン科学とAsiaPEXフィールドキャンペーンの意義　寺尾 徹(香川大)

14:20-14:40　総合討論

（別紙様式06-2）

STE研究連絡会現象報告会および現象解析ワークショップ(第二回: 磁気圏・電離圏プラズマ、超高層大気変動の相互作用)
STE events report and analysis workshop (2nd meeting, focus on magnetosphere-iososphere-upper atmosphere coupling)

阿部修司、九州大学・国際宇宙惑星環境研究センター

令和 7 年 3 月 19 日から 21 日にかけて、「STE 研究連絡会現象報告会および現象解析ワークショップ(第二回: 磁気圏・電離圏プラズマ、超高層大気変動の相互作用)」を、九州大学西新プラザ及び Zoom ミーティングによるハイブリッドで開催した。本研究集会は、太陽-地球結合系における一連の擾乱現象=宇宙天気を、主に磁気圏・電離圏プラズマ、超高層大気変動の相互作用の観点から、一つの太陽地球系複合システムの流れとして理解することをテーマのひとつとした。現地参加が難しい研究者や学生のため、九州大学での現地開催に加え、Zoom を用いたオンラインのハイブリッド研究集会とした。また、分野を横断する共同研究、研究者コミュニティの形成を目指し、「ジオスペースの低エネルギープラズマ研究集会」「極域・中緯度 SuperDARN 研究集会」との合同集会とし、全日程で各研究集会に関連する講演があるようプログラムを作成した。3 日間延べで 158 名が参加した。研究集会では、極大期となり活発な活動を続ける最近の宇宙天気現象について複数の機関から報告がおこなわれた。また、2024 年 5 月に発生した巨大宇宙嵐の解析結果や、多数の興味深いイベントについての講演がおこなわれた。参加者は学部生からシニアまで、さらには研究職以外の方を含み、それぞれの立場から活発な議論がおこなわれた。



研究集会の様子（現地会場）

（別紙様式06-2）

水素同位体の環境挙動と計測および同位体分離技術に関する研究集会
Workshop on environmental behavior and measurement of hydrogen isotopes and on technologies for isotope separation

田中将裕、核融合科学研究所・研究部

【集会の概要】

宇宙線生成核種であるトリチウムは、地下水の年代決定や大気中水循環のトレーサーとして環境科学・地球化学分野の研究に利用されており、名古屋大学 宇宙地球環境研究所でも環境中のトリチウムや重水素といった水素同位体計測や同位体を対象とした研究が行われている。一方、水素同位体に関わる学術分野は、環境学だけでなく、理学や工学、薬学や生命科学など学術分野を横断する学際的な研究テーマを包含している。本研究集会は、水素同位体をキーワードに、様々な学術分野で同位体に係る研究課題に取り組んでいる研究者が集い、研究分野の垣根を超えた交流を目的として実施した。具体的には、NIFS一般共同研究: 研究会との共催のもとで、水素同位体のフィールド観測や大気物質移動シミュレーションによる環境中の物質挙動解明に取り組む研究、原子力施設周辺での環境トリチウム挙動に関する研究、細胞レベルでのトリチウムや低線量・低線量率放射線の生物影響に関する研究、科学技術を対象としたパブリックコミュニケーションに関する社会科学研究などを専門とする研究者から講演を得て、研究集会を企画した。

【研究報告】

研究集会は、NIFS 一般共同研究 研究会「核融合技術の社会受容にむけたトリチウムの環境動態・生体影響評価研究」(代表: 笹谷めぐみ (広島大))との共催とし、2024 年 6 月 20 日(木)～21 日(金)に核融合科学研究所 福利・管理棟 第一会議室およびリモート(zoom)でのハイブリッド形式で開催した。参加者(共催に該当する 6 月 20 日のみを集計)は 74 名(内、学生 9 名(社会人大学院生 2 名を含む)、女性 19 名)であった。他研究会との共催およびハイブリッド形式とすることで多くの参加者が得られ、また学協会のメーリングリストを活用して研究集会の開催案内を送付したこともあり、39 の大学・学術機関・民間企業から参加者を得た。参加者は、環境科学分野から生命科学分野、放射線科学分野、計算科学分野、社会科学分野など多岐にわたる研究者・学生であり、講演に対してさまざま観点から議論、意見交換が行われた。

研究会プログラムの内、ISEE が行っている環境科学研究に関連するセッションを ISEE 研究集会として実施した。具体的には、、トリチウム環境動態・挙動研究(総合解説)、環境トリチウム計測手法と近年のフィールド観測結果、大気環境動態シミュレーションモデルに関する発表を含めて合計 4 件の講演を実施した。

ISEE 研究集会として実施した講演のプログラム(共催部分のみ)と概要を以下に掲載する。

研究集会プログラム(6 月 20 日(木) 共催部分):

13:05-13:30 柿内 秀樹 (環境科学技術研究所 トリチウム研究センター)
「これまでの環境トリチウム研究と現状について」

講演概要: トリチウムは宇宙線生成核種として天然に存在するものと人為的に生成するものが存在し、後者は大気核実験に由来するものや原子力関連施設内で生成するものや将来のエネルギー源として期待されている核融合の燃料として使用されることが見込まれている。トリチウムは半減期 12.3 年で β 壊変する水素の放射性同位体であり、生物への影響は少ない放射性核種とされているが、トリチウムは水素とほとんど同じ挙動をすることから、環境中では水や分子状水素、メタンなどの単純な分子から複雑な高分子化合物まで広く分布している。

環境トリチウムでは水素を含む物質についてトリチウム濃度を評価し、その挙動について調査研究している。その濃度レベルは宇宙線と大気との相互作用により定常的に存在するトリチウム及び原子力関

連施設の定常または異常放出されたトリチウムの影響を受ける。講演では環境トリチウムの濃度推移や原子力関連施設周辺のモニタリングの概説及びその現状に関する詳細が紹介された。

13:30-13:50 赤田 尚史 (弘前大学 被ばく医療総合研究所)
「トリチウム計測技術と日本におけるバックグラウンド濃度計測」

講演概要: 天然起源のトリチウムは、その 99%が大気中の水蒸気や雨水、陸水･海水に水(HTO)として存在し、水循環過程に伴い地球表層を移動している。地表面付近におけるトリチウム濃度は、極低濃度ではあるが、高緯度地域ほど(緯度効果)また内陸地域ほど高い(大陸効果)ことが知られており、HTO を追跡することで水蒸気を含む気塊のトレーサーとしても利用されている。

一方、福島第一原子力発電所事故を経験した日本では、トリチウムに対して社会的関心が高い。講演者の研究グループは、日本における環境トリチウム濃度レベルとその変動傾向を明らかにすることを目的に、日本各地において降水を採取し、トリチウム濃度を測定している。講演では、水試料中に低濃度で存在するトリチウムの濃縮技術に関する紹介と、濃縮技術を用いて測定した近年の日本における降水中トリチウム濃度レベルとその特徴について報告された。

13:50-14:10 横山 須美 (長崎大学 原爆後障害医療研究所)
「環境動態モデルの紹介」

講演概要: 核融合施設外に放射性物質が放出された場合の環境影響評価を行う上で特に重要となる放射性核種はトリチウムである。これはトリチウムが、核融合炉の燃料として大量に取り扱われるということだけではなく、その挙動が特徴的であるためである。トリチウムは線量への寄与は小さいものの、大気中に放出された元素状トリチウム(トリチウムガス)が土壌表面に沈着すると速やかに酸化される。そして、元素状と水、有機物の線量寄与に著しい違いがある。このようなトリチウムの挙動を考慮した環境影響評価コードとして代表的なものに、ドイツ・カールスルーエ工学研究所(現在、カールスルーエ工科大学)が開発した事故時評価コードの UFOTRI や、定常放出時評価コードの NORMTRI がある。わが国でも、国際熱核融合実験炉: ITER の誘致に向け、日本原子力研究所(現在の日本原子力研究開発機構)により事故時評価コードの ACUTRI 等が開発された。近年、量子科学技術研究開発機構では、大気拡散予測にガウスパフモデルを用いるとともに地形を考慮したシミュレーションコードが開発されている。講演では大気環境中に放出されたトリチウムの安全性評価のためのシミュレーションコードに使用されるいくつかの環境動態モデルの特徴と、新しく開発しているガウスパフモデルを用いた ROPUCO の概要について報告された。

14:10-14:30 太田 雅和 (日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究センター)
「陸面トリチウム移行モデルの開発と応用」

講演概要: 日本原子力研究開発機構が開発した陸面水循環モデルを基に、植生のトリチウム濃度を計算する陸面トリチウム移行モデルを構築した。モデルの予測性能は、葡萄の葉のトリチウム水へのばく露実験における葉の自由水および有機物中のトリチウム濃度の再現計算により検証された。モデルの応用研究として、本モデルをトリチウム放出施設近傍で別途実施された野外放出実験に適用することで、トリチウムの大気放出と地下漏洩の影響下とでは、葉の自由水及び有機物のトリチウム濃度の変動の仕方が異なることを明らかにした。

【研究集会の成果】

研究集会を他の研究会と共催としたことで、環境から生物研究、社会科学を含む幅広い研究課題を対象として研究集会を開催することができた。また、リモートも併用することで、参加者は 70 名以上となり、大学・研究機関だけでなく、民間企業からの参加も得て、活発な議論、意見交換と異分野間の相互理解が進んだ。特に、フィールド観測・計測手法とシミュレーションモデル研究を研究集会の課題として総合的に議論したことで、それぞれの研究分野が有する技術や知識の共有化、新しい研究課題への取り組みにつながった。本研究集会を通じて得た知見を基に、連携した研究活動が活発となるよう継続した活動を展開していきたい。

（別紙様式06-2）

大気海洋相互作用に関する研究集会
Research Meeting for the Study of Air-sea Interaction

富田裕之・北海道大学大学院・地球環境科学研究院

【集会の概要】

大気海洋相互作用に関する研究集会が2024年12月19～20日に名古屋大学にて開催された。本研究集会の目的は、大気海洋相互作用に関する研究を実施する多様な研究者・学生が集まり、最新の研究成果の発表やその内容の議論を行うことで、研究コミュニティーの形成・育成をすることである。特に学生を含めた若手の研究者の発表を奨励し、研究に新しい指針を与えるための議論を行うことを重視している。12機関より38名の参加があり、昨年よりも多数・多様な参加者が集まった。特に学生の割合が高く（6割以上）、研究集会の趣旨に沿う形で開催できた。多くの発表申し込みがあったが個々の発表の時間が長めに確保し、参加者同士のコミュニケーションが親密になる様に努めた。会場ではリラックスした雰囲気で発表の議論が行われた。

【研究集会の内容】

下記のプログラムに従って研究発表が行われた。人名は敬称略，*印は学生を表す。

12 月 19 日	発表者	所属	タイトル
13:00	趣旨説明		
	座長: 富田裕之		
13:10	桂将太	東北大学	BGC-Argo による亜熱帯モード水の生物地球化学に関する研究
13:40	上山竜輝*	東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻海洋物理学分野	北太平洋中央モード水(CMW)の領域・密度面別解析
14:10	横田健*	東京海洋大学大学院	大気海洋結合モデル CFES における熱帯低気圧と北太平洋亜熱帯モード水の関係
14:40	中田英太朗*	北海道大学大学院環境科学院	北西太平洋における熱帯低気圧の通過に伴う海洋の熱吸収量の Argo float による見積もり
15:10-	休憩 & ポスター		
	座長: 趙寧		
15:40	坂上輝展*	三重大学大学院生物資源学研究科	日本近海の水温分布が令和３年８月に九州北部で発生した大雨に及ぼす影響
16:10	中室早希*	三重大学大学院生物資源研究科	五島灘における水蒸気フラックスと九州における降水の関係-男女群島での水蒸気連続観測-
16:40	喬煜翔	東北大学・理学研究科	Role of Kuroshio Warming in Intensifying the Mei-yu-baiu Rainband: A Quantitative Study
17:10	浦嶋朋哉*	京都大学 理学研究科 海洋物理学教室	インド洋の水温モードがインドモンスーンに与える影響
19:00-	懇親会（栄，会費制）		

2 日目プログラム

12 月 20 日	発表者	所属	タイトル
	座長: 藤原泰		
9:00	趙寧	海洋研究開発機構	Satellites Reveal Different Stories of the Marine Heatwaves in the Arctic
9:30	澤悠夏*	筑波大学	領域海氷海洋結合モデルを用いたオホーツク海の海氷生成・移動・融解に関する理想化実験
10:00	KIM Jeongho*	名古屋大学大学院環境学研究科	中規模渦の統計解析に基づく北西太平洋の大気海洋相互作用の理解
10:30	安田愛志*	東海大学大学院海洋学研究科海洋学専攻	北太平洋東部海域の表層混合層と風
11:00	休憩 & ポスター		
	座長: 牛島悠介		
11:30	田村優樹人*	東京大学理学系研究科	500 年間の渦解像 CESM 実験に基づく黒潮大蛇行の持続性に関する研究
12:00	西平楽*	東北大学大学院理学研究科	Increasing wintertime sea surface temperature around the subarctic front region in the western North Pacific
12:30	中村充喜*	北海道大学　環境科学院	可視光による蒸発量の全球推定と全球海面熱収支推定への影響
13:00	総合討論		

ポスター発表

P1. 小橋史明　（東京海洋大学）　AMSR2 海面水温の水平分解能と精度について

P2. 京野祐大*（北海道大学環境科学院）　GPM/GMI とDPR データの融合による海上大気比湿推定アルゴリズムの開発



写真. 2024年12月20日，名古屋大学東山キャンパス 環境総合館レクチャーホールにて

（別紙様式06-2）

シンポジウム-太陽地球環境研究の現状と将来
Symposium on the current and the future of Solar-Terrestrial Environment Research

岩井一正、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

本研究集会は、名古屋大学宇宙地球環境研究所に所属する理学研究科理学専攻宇宙地球物理学コース・工学研究科電気工学専攻の大学院生を幹事とし、2024年9月4日から9月6日の3日間に開催された。今年度は対面型の合宿形式にて、愛知県知多郡美浜町に位置する紅葉屋で開催した。本研究集会は宇宙地球惑星科学若手の会の「夏の学校」としても機能し、本年度は太陽地球環境に関する研究を行う学部生・大学院生・若手研究者計39名が参加した。太陽地球環境研究においてその物理現象の包括的な理解には、各研究の練度を高めるのみならず、関連分野や異なる研究手法にわたる協力関係を気づくことが肝要である。そこで、本研究集会はその実現を目指し、異なる研究領域の若手研究者に対し十分な議論・交流の場を提供した。

本研究集会では2件の招待講演に加え、3つのセッションに分かれた口頭発表およびポスター発表が行われた。以下に、本研究集会のスケジュールとすべての発表者を示す。予稿集等の詳細な情報は宇宙地球惑星科学若手会の2024年度夏の学校ホームページにて公開している。

＜スケジュール＞

9月4日(水)
14:00 - 15:00 チェックイン
15:00 - 15:15 開校式
15:15 - 15:30 ISEE大学院生支援制度の紹介　岩井一正（名古屋大学）
15:30 - 16:30 招待講演①
「国際協力で行われる地磁気観測」
能勢正仁(名古屋市立大学)
16:40 - 17:40 招待講演②
「文明進化型の「宇宙天気災害」に備える～宇宙天気防災をリードする人材の役割と育成～」
17:40 - 17:50 集合写真撮影
17:50 - 18:30 自由時間・入浴
18:30 - 19:30 夕食
19:30 - 20:30 自由時間・入浴
20:30 - 屋内レクリエーション・懇親会

9月5日(木)
07:30 - 08:30 朝食
09:00 - 09:45 口頭セッション part1
09:45 - 10:00 議論・休憩
10:00 - 10:45 口頭セッション part2
10:45 - 11:00 議論・休憩
11:00 - 11:45 口頭セッション part3
12:00 - 13:00 昼食
13:30 - 15:00 ポスターセッション
15:30 - 16:30 室内レクリエーション
16:30 - 17:00 移動

17:00 – 19:30 夕食(BBQ, BAMBOO RESORT MIHAMA 繋にて)
19:30 – 20:00 移動
20:00 – 21:00 入浴
21:00 – 懇親会

9月6日(金)
07:30 – 08:30 朝食
08:30 – 09:00 チェックアウト
09:00 – 09:30 閉校式

〈セッション〉
研究集会2日目に、下表に示す様に口頭発表とポスター発表を実施した。参加者はそれぞれ自身の発表を行うとともに、質疑応答や議論を通して、専門的な知識を深めた。

口頭セッション

A. 磁気圏分野

樋口 颯人	09:00 – 09:15	太陽風-磁気圏プラズマシミュレーションの量子コンピュータ応用と展望
式守 隆人	09:15 – 09:30	あらせ衛星のイオンデータの解析
川上 航典	09:30 – 09:45	2次元ideal MHDシミュレーションを用いたIAR構造解析
竹内 直之	10:00 – 10:15	火星夜側電離圏の上流太陽風・IMF及び地殻磁場依存性に関する統計的研究
齋藤 幸碩	10:15 - 10:30	地球磁気圏におけるKinetic Alfvén waveによる電子加速過程の理論・数値的考察
林 萌英	10:30 - 10:45	孤立型サブストーム中の全球電磁場応答: FACの遮蔽効果と電場侵入

B. 電離圏・大気圏分野

高山 久美	09:00 – 09:15	半球間沿磁力線電流（IHFACs）における準6日波の緯度構造と季節変動
米田 匡宏	09:15 – 09:30	電離圏中性大気観測に向けた中性質量分析器の開発
菊池 大希	09:30 – 09:45	ファブリ・ペロー干渉計を用いたイオン上昇流観測の挑戦
~~遠藤 哲歩~~	~~10:00 – 10:15~~	~~南極域における夜光雲の地上観測計画~~
川上 莉奈	10:15 - 10:30	南極昭和基地における夜光雲観測のための小型係留気球往還飛翔試験
加藤 彰紘	10:30 - 10:45	南米におけるCEJ発生時のプラズマバブルイベント
杉浦 美優	11:00– 11:15	全星極域大気の対流圏界面高度と大気重力波の変動

注１

口頭セッション

C. 太陽・惑星圏分野

森島 啓太	09:00 – 09:15	活動領域の端で観測されるプラズマ上昇流と低速太陽風の流源の関係
竹原 大智	09:15 – 09:30	次世代太陽風観測装置用ディジタルマルチビームフォーマの開発
沖山 太心	09:30 – 09:45	モンテカルロモデルとMAVEN観測に基づく火星周辺磁場のディフューズオーロラ発光に与える影響の研究
亀井 りま	10:00 – 10:15	太陽活動イベント発生時における火星大気散逸率の推定
佐藤 礼一	10:15 - 10:30	1次元光化学モデルを用いた metal ablation による火星中間圏CO2雲核形成
生方 颯真	10:30 - 10:45	金星類似条件でのNO2の酸化によるSO2の硫酸液滴への取り込み
矢倉 昌也	11:00 – 11:15	太陽フレアに伴って発生する粒子加速
~~荻野 晃平~~	~~11:00 – 11:15~~	~~かぐや低高度観測データを用いた太陽風-月ミニ磁気圏相互作用の研究~~
磯貝 拓史	11:15 – 11:30	SUSANOO-CMEを用いたCME地球到達時刻における初期条件特性の評価
中嶋 瑞穂	11:15 – 11:30	地上望遠鏡で探るタイタン大気の時間変動
加藤 正久	11:15 – 11:30	大気を持たない天体の昼側から放出される電子のエネルギー分布に関する研究

注２

ポスターセッション

A. 磁気圏分野

磯野 航	13:30 – 15:00	地球磁気圏における、磁力線構造の解析手法の開発
八島 和輝	13:30 – 15:00	極冠域境界付近での低エネルギー降下電子の時間変動
関戸 晴宇	13:30 – 15:00	陰的時間領域有限差分法のクーラン条件の緩和および数値誤差の低減
松岡 桃伽	13:30 – 15:00	サブストームオンセット直後に見られるオーロラ形態とオンセット位置からの距離依存性に関する研究
宮下 隼輔	13:30 – 15:00	Cluster、あらせ衛星の共役観測に基づくEMIC波動の伝搬過程に関する研究

C. 太陽・惑星圏分野

八木 優人	13:30 – 15:00	外核上部安定成層の表皮効果による磁場減衰を考慮した新たな惑星ダイナモ半径推定の可能性
渡部 温	13:30 – 15:00	次世代太陽風観測装置におけるアナログ信号受信系の開発
佐口 隼斗	13:30 – 15:00	太陽コロナにおけるパラメトリック崩壊不安定性の温度異方性を考慮した線形解析と膨張の影響について
金野 直人	13:30 – 15:00	MF-HF帯スペクトル観測結果に基づく太陽電波II型バースト発生源の移動速度の研究
神田 恵太朗	13:30 – 15:00	嫦娥4号搭載地中レーダー観測による月地下の岩石サイズ推定

注１：欠席の為発表なし
注２：当日急病のため発表なし

（別紙様式06-2）

中間圏・熱圏・電離圏研究会
Mesosphere, thermosphere, and ionosphere workshop

（1行スペース）

新堀淳樹、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

（2行スペース）

1. 集会の概要

我々との生活に深く関わりがある大気圏と太陽系空間のはざまに存在する中間圏・熱圏・電離圏（Mesosphere, Thermosphere and Ionosphere; MTI）領域は、太陽や宇宙からやってくる荷電粒子、高エネルギー粒子及び電磁エネルギーの流入による影響に加え、下層大気から伝搬する大気波動などによって激しく変動する。また、同領域に含まれる電離圏プラズマ密度の時間・空間変化は衛星測位に対する誤差要因を生むため、MTI領域の研究は現代の社会基盤の維持といった実用的な観点からも注目されている。本研究集会は、上記のようなMTI 領域における特異な物理・化学的性質に着目し、この領域で生じている物理・化学過程の理解を深めること、および他の研究領域や社会への応用を俯瞰的に捉えることを目的とする。昨年度に引き続き今回の集会でも、MTI分野の学生・若手研究者を育成する観点から、顕著な研究成果を上げている若手研究者や大学院学生を中心とした口頭発表枠を設け、修士課程や学部4年生に対しては、ポスター形式による研究発表と質疑応答の場を提供した。また、最新の研究成果の理解、今後の研究の方向性について十分に議論できるようなプログラム構成にした。本研究集会を通じて彼らの研究の視野を広げるとともにMTI分野並びに関連分野(宇宙天気、磁気圏物理学、気象学・大気力学)の研究に対する理解度を深めることにつながった。さらに、昨年度に引き続いて、地球だけでなく太陽分野の研究者や産学官連携という観点からソフトバンク社員による招待講演を取り入れることによって、太陽地球結合系におけるMTI結合過程の理解を深めることができた。

一方、本研究集会は昨年度と同様にMTI分野と関係の深い「STE現象報告会」「超小型衛星を利用した超高層大気研究の将来ミッションの検討」「太陽地球系物理学分野のデータ解析手法、ツールの理解と応用に関する研究集会」と共同開催し、1. 太陽地球環境の概況と現象の理解、2. 太陽地球環境データ処理技術の習得、3. 太陽地球大気環境変動に関するサイエンス成果創出を目指した。国内のMTI分野では、地上観測を得意とする研究者が多いことから、衛星観測の将来計画に関する議論に加わることで、より幅広い視点から現在のプロジェクトの遂行、SGEPSS将来構想文章の改定案に関する議論を行った。なお、昨年度と同様に本年度も多くの方に参加していただけるように九州工業大学での現地開催に加え、Zoom会議システムを用いたオンライン形式での参加・発表をできるようなハイブリッド形式を実施した。

2. 参加者数

本研究集会は、令和6年9月17日から20日までの4日間の日程で「STE現象報告会」「超小型衛星を利用した超高層大気研究の将来ミッションの検討」「太陽地球系物理学分野のデータ解析手法、ツールの理解と応用に関する研究集会」との合同で開催した。本中間圏・熱圏・電離圏研究会に参加した人数は以下のとおりである。なお、最終日の合同ポスターセッションは、現地のみの開催であったため、参加人数は現地参加のみを記載している。

9月18日：61名（現地）、77名（オンライン）
9月19日：63名（現地）、20名（オンライン）
9月20日：54名（現地）

3．研究報告

1で述べた本研究集会の目的に従ってまず、MTI分野における最新の国内外の研究動向・プロジェクトを研究集会に参加した学生・若手研究者に知ってもらうとともに若手研究者育成のために6つの招待講演(太陽フレア放射とその電離圏・熱圏への影響、データ圧縮手法を用いた太陽大気現象での深層学習モデリング、金星大気の GCM 研究の紹介、新観測手法で拓く南半球および中緯度帯における夜光雲の動態研究、全国 3,300 点以上の GNSS 独自基準点を運用するソフトバンクの取り組みについて、Generation of Equatorial Plasma Bubbles by Marapi Volcano Eruption)を取り入れ、これらの内容に関連した学生・若手研究者による研究発表を配置するプログラム構成にした。その結果、MTI分野だけでなく、周辺分野における様々な研究成果を発表と質疑応答を通じて共有することで、若手研究者が様々な分野で活躍できるようなキャリアプランを、若手自身とプロジェクトを推進する研究者の双方で考える場となった。また、現地＋オンラインというハイブリッド形式の研究集会開催中において、画面共有ができないといった接続上の問題もなく、現地参加者とオンライン参加者との間に特に大きな差が生まれるなどの不利益はなかった。

4．成果

本研究集会では、MTI分野の学生・若手研究者の発表に関して参加者から多くの質問や議論が活発に行われ、各発表者が今後、研究を進めていく上での方針や新たな研究テーマを設定していくための重要な助言等を得ることができた。Sその結果、2ケ月後に開催された地球電磁気・地球惑星圏学会において本研究集会に参加した学生による研究発表を聴講した結果、研究結果にそれなりの進展があり、学生にとって学会発表前のステップアップの機能を果たしたと考えられる。今後の学会発表での進展や学術論文での成果報告を期待したい。以下、これまでMTI研究集会で発表された研究者､学生の中で学術誌として最近出版された代表的なものを以下に列挙しておく。

1. Sugimura, R., K. Shiokawa, Y. Otsuka, S. Oyama, A. Oksanen, M. Connors, A. Kadokura, I. Poddelsky, N. Nishitani, S. G. Shepherd, J. M. Ruohoniemi, C. Smith, H. Spence, G. Reeves, H. O. Funsten, Y. Miyoshi, I. Shinohara, Y. Kasahara, F. Tsuchiya, A. Kumamoto, A. Shinbori, K. Asamura, S. Yokota, Y. Kazama, C.-W. Jun, S.-Y. Wang, S. W. Y. Tam, T.-F. Chang, B.-J. Wang, S. Kasahara, K. Keika, T. Hori, and A. Matsuoka, Multi-event analysis of STEVE, SAR arc, and red/green arc at subauroral latitudes using data from ground optical and radio instruments and the Arase and Van Allen Probes satellites, J. Geopys. Res., 130, e2024JA032793, doi: 10.1029/2024JA032793, 2025.

2. Nanjo, S., G. A. Hofstra, K. Shiokawa, A. Shinbori, S. Nozawa, and K. Hosokawa, Post-midnight purple arc and patches appeared on the high latitude part of the auroral oval: Dawnside counterpart of STEVE?, Earth Planets Space, 76, 55, doi:10.1186/s40623-024-01995-9, 2024.

3. Sato, M., K. Shiokawa, S. Oyama, Y. Otsuka, A. Shinbori, and A. Oksanen, Statistical analysis of low-latitude boundary of polar-type medium-scale travelling ionospheric disturbances observed by a 630-nm airglow imager at Nyrola, Finland, J. Geophys. Res., 129, doi: 10.1029/2023JA032077, 2024.

4. Fu, W., Y. Otsuka, A. Shinbori, M. Nishioka, and S. Perwitasari, Performance of the double-thin-shell approach for studying nighttime medium-scale traveling ionospheric disturbances using two dense GNSS observation networks in Japan, Earth Planets Space, 76, 7, doi: 10.1186/s40623-023-01956-8, 2024.

（別紙様式06-2）

太陽圏・宇宙線関連の共同研究成果報告会
Meeting for collaborative research on heliosphere and cosmic rays

岩井一正、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

・研究会の概要

本研究集会は太陽圏・宇宙線分野の研究課題について、その成果や進捗状況を報告し、議論することを主目的とし、また関連する研究を行っている研究者にも広く周知し、太陽圏・宇宙線分野の共同研究を今後更に広げていくことも目的として毎年開催されている研究集会である。例年通り他の太陽圏宇宙線分野の研究集会「太陽地球環境と宇宙線モジュレーション」と合同で開催した。太陽圏と宇宙線の研究課題は深く関連する一方、天文学・地球電磁気学・物理学を中心とした各分野の研究者が広く参画しており、所属学会が多岐に渡る。本研究集会を含む太陽圏宇宙線の合同共同研究集会は、様々な分野出身の参加者が相互理解を深め、所属する学会の講演会だけでは得られない新しい知見を得ることや、新しい融合研究課題を萌芽させることも期待される。本年度は2025年2月20日から21日にかけての2日間、名古屋大学宇宙地球環境研究所とオンラインのハイブリッド形式で開催した。国内20の研究機関から45人の参加があった。5件の招待講演を含む合計21件の講演があり、活発な議論が展開された。特に2024年中に発生した顕著な宇宙天気現象に関する太陽圏・宇宙線関連の観測・研究成果が報告され、研究会での議論が今後の共同研究や成果創出につながることが期待される。プログラムを以下に示す。

・プログラム

2025年2月20日

13:00 村木 綏　2024年の太陽フレアに伴う太陽中性子及び太陽中性子崩壊陽子の観測
13:15 野澤 恵　衛星軌道データの解析による宇宙天気現象の解明
13:30 森川 雅博　太陽-地球系における1/f揺らぎの伝播とその痕跡
13:45 山本 常夏　半導体光検出器SiPMの20 GeV帯域ガンマ線観測への応用と紫外分光性能の評価
14:00 Break
14:15 溝手 雅也　多層膜技術を用いた半導体検出器SiPMの光検出性能向上の研究
14:30 櫻井 敬久　2000 年から2024 年までの宇宙線生成核種Be-7 の大気中濃度変動について
14:45 加藤 千尋　GMDNの現状について
15:00 Break
15:15 徳丸 宗利　太陽風速度をよりよく決定するコロナ磁場パラメータの探索：Pseudostreamerと低速風
15:30 岩井 一正　ISEE次世代太陽風観測装置の開発状況
15:45 小財 正義　アイスランドでの宇宙線ミューオン観測へ向けた装置開発
16:00 渡邉 堯　WDC for Cosmic Raysの現状と今後の方向

2025年2月21日

10:00 松原 豊*　SciCRT プロジェクトの現状
10:25 大嶋 晃敏*　日印共同GRAPES-3による宇宙天気研究
10:50 Break
11:05 小林 兼好*　ISS 搭載 CALET による９年間の軌道上観測の成果
11:30 川田 和正*　チベット空気シャワーアレイによるsub-PeVガンマ線の観測と宇宙線起源の探索
11:55 藤田 慧太郎*　南半球ですすめるガンマ線観測: ALPACA実験
12:20 Lunch Break
14:20 大辻 賢一　チェレンコフ光検出器によるミューオンモニタリングで観測された2024年5月11日のフォーブッシュ減少イベント
14:35 宗像 一起　Ground-based Observations of Temporal Variation of Cosmic Ray Spectrum during Forbush Decreases
14:50 増田 吉起　2022年2月のStarlinkイベントの解析
15:05 松本 瑞生　長期データを用いた宇宙線強度変動のリジディティー依存性の解析
15:20 小島 浩司　宇宙線で探る内部太陽圏IMF磁場擾乱の空間構造

(別紙様式06-2)

「プラズマ圏の観測とモデリング」研究集会
Workshop on Observation and Modeling of the Plasmasphere

尾花由紀・九州大学・国際宇宙惑星環境研究センター

2025年3月19-21日に、九州大学西新プラザ(福岡市早良区西新2-16-23)において標記の研究集会を行ったので、その概要を報告する。

【概要】

本研究集会は、研究ターゲットが比較的近い「STE(太陽地球環境)現象報告会」、「極域・中緯度SuperDARN研究集会」との共同開催の形をとり、かつ現地参加とオンライン参加のハイブリッド形式で開催した。低エネルギープラズマ研究集会独自の取り組みとしては、国外から３名の招待講演者をオンラインで招聘し、国内研究が手薄なトピックについて、最新の研究成果に関する知見を高める機会を設けた。３日間の会期中に、３研究集会で合計43件の講演が行われた。

【研究集会の目的】

ジオスペースにはeVからMeVに及ぶ幅広いエネルギー帯に属すプラズマが存在しており、プラズマ波動を介して互いに影響を及ぼしあっている。本研究集会では、その中でも低エネルギーのプラズマをターゲットとする。磁気圏プラズマのうち、エネルギーの高い環電流や放射線帯は、宇宙機や宇宙飛行士等へ及ぼす直接的な害があり、注目され研究が進んでいる。しかし、低エネルギーのプラズマ圏(く数eV)やcloak (eV~100eV)は、粒子計測機による直接計測が難しく、研究が進んでいない。一方で、これらは磁気圏において最も質量の大きなプラズマ群であり、波動-粒子間の共鳴条件や、波動の成長速度を決定づけるなど、磁気圏ダイナミクスにおいて重要な役割を担っている。よって磁気圏の低エネルギープラズマに関する最新の知見を持ち寄る場をつくり、我が国のこの分野のコミュニティを発展させることを目的として、本研究集会を開催した。

【研究集会の内容】

様々な研究発表が行われたが、特に招待講演者による講演内容を中心に報告する。Fei He博士（中国科学院）には「Dynamics in the boundary region of plamasphere」と題した、プラズマ圏界面に時折見られる「うねり」構造とその原因と言われているプラズマ圏界面表面波に関する講演を行っていただいた。またQianli Ma博士(UCLA)には、「Cross-Energy Coupling Between Low-Energy Plasma and Energetic Particles in Earth's Inner Magnetosphere」と題した、コールドプラズマの密度勾配が大きい領域で起こるプラズマ波動とそれによる高エネルギー荷電粒子の加熱に関する講演を行っていただいた。さらに、Cristian Ferradas博士(NASA)には「Plasmaspheric Plumes Observed by MMS Near the Dayside Magnetopause」と題した、太陽風パラメーターや地磁気活動度インデックスの履歴とプラズマプリュームの形成の関係、またプリュームにより引き起こされる磁気再結合の鈍化等に関する講演を行っていただいた。さらに、能勢正仁教授（名古屋市立大学）や、Trunali Anil Shah博士（Indian Institute of Geomagnetism）による低エネルギー酸素粒子の流出と磁気圏内での軌道に関する研究発表など、さまざまな研究発表が行われ、参加者間の活発な議論が展開された。

（別紙様式06-2）

BepiColomboが拓く太陽圏システム科学の新展開
Contribution of the BepiColombo mission to heliosphere system science

村上豪、宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所

【概要】
研究集会：「BepiColomboが拓く太陽圏システム科学の新展開」を2025年2月5日～6日に名古屋大学宇宙地球環境研究所及びZoomにてハイブリット形式で開催した。今回はJAXA/ISAS：磁気圏電離圏シンポジウムと共催として本研究集会を開催した。

【参加者数】
合計のべ84名、うち若手研究者8名、大学院生24名。

【研究報告】
太陽圏システム科学は太陽・太陽風と惑星磁気圏・惑星圏の各領域を横断的に理解することが求められる。国際水星探査計画 BepiColombo の観測領域はその全てにまたがっており、各領域をつないで日本の太陽圏システム科学を牽引するべきミッションである。2018 年 10 月に打ち上げられ、2026 年 11 月の水星到着を目指して惑星間空間の航行を続けている。2020 年以降多数にわたり太陽風及び太陽高エネルギー粒子の観測に成功しており、水星到着までの間にも内部太陽圏システム科学の推進に十分貢献できることを示してきた。また水星スイングバイでは史上初となる低エネルギーイオン及び電子の同時観測に成功したほか、水星磁気圏に関する新たな知見が得られるなど貴重な観測データが蓄積されつつあり、2026 年の水星到着に向けて内部太陽圏における惑星環境研究を加速させる好機が訪れている。

本研究集会では、BepiColombo による水星スイングバイ時の観測結果を中心に、惑星宇宙天気や惑星磁気圏物理の観点から研究発表と議論を行った。特に、太陽風と惑星間の相互作用に焦点を当て、BepiColombo の観測結果に加えて、他衛星との共同観測データや数値シミュレーションとの比較研究について議論を深めた。招待講演を主とすることで広い範囲の議論をカバーすることができ、太陽圏システム科学研究に関する全体像の理解とベピコロンボ水星探査計画が貢献しうる課題について活発な議論がなされた。特にベピコロンボ「みお」観測機器チームの PI を招へいし最新観測状況やデータ処理状況を共有したことにより、ベピコロンボ観測データの有用性を日本の研究者コミュニティに周知できたとともに、コミュニティを超えた融合研究推進への戦略・方向性を見出せた。

また、太陽圏サイエンスセンターで準備中の「みお」科学データファイルや関連ツールの紹介・チュートリアルを実施し、それらの科学目的に基づく開発方針についても議論した。若手研究者を中心としたセッションを開催し、ベピコロンボが切り拓く太陽圏システム科学への参加を促進することができた。これらの成果は、将来的に太陽圏システム科学分野を牽引できる人材の育成につながる。

（別紙様式06-2）

STEシミュレーション研究会：次世代太陽地球惑星系探査に向けて

STE Simulation Workshop: Simulation Studies of Solar-Terrestrial-Planetary Complex System

寺田直樹、東北大学 大学院理学研究科

2024年12月23日～12月25日の日程で、東北大学・青葉山北キャンパス・理学合同C棟青葉サイエンスホールにおいて「STEシミュレーション研究会：次世代太陽地球惑星系探査に向けて」を開催した。本研究集会では、3日間で15件の発表及び、延べ79名の参加があった。

太陽地球惑星系は様々な領域や非線形物理過程が競合した複合システムであり、これを総合的に理解するために、計算機シミュレーションが果たしてきた役割は極めて大きい。特に惑星圏の研究においては、探査機によりもたらされる限られた情報を時間空間的に補完して、観測される現象を支配する物理過程を明らかにする上で、計算機シミュレーションは必要不可欠な方法論となっている。本研究集会では、宇宙地球環境研究所の計算機共同利用研究の成果発表の場として、太陽地球系科学・プラズマ科学シミュレーションの最新の研究成果・展望を議論することや、計算科学や天文学、流体力学などの異分野との交流を活発化させることを目的としている。今回は特に、惑星圏において各天体特有の現象が広範なパラメータ空間において生起しており、計算機シミュレーションで用いる基礎方程式や数値解法を適切に選択し用いる必要がある点に着目してセッションを構成した。特異なパラメータ環境下で生じる現象を再現するためには、新たな数値解法の開発はもとより、複数コードを結合した連成シミュレーションの活用も想定される。本研究集会では、理学・工学の諸分野で極端パラメータを対象とした計算機シミュレーション研究を推進している専門家による招待講演を企画して、惑星圏研究に応用可能性を探る場を提供した。

本研究会の招待講演として、非散逸かつ安定・高忠実な圧縮性流体スキームについて河合宗司氏、東北大学サイバーサイエンスセンターAOBA-Sについて滝沢寛之氏、メソ・マイクロスケールの極端気象のシミュレーションについて伊藤純至氏と東北大学所属の研究者の方々にご講演いただいた。一般講演としても、宇宙プラズマや磁気圏・電離圏環境のシミュレーション研究の最新成果が多数報告された他、近年主流となりつつあるメニーコア型計算プロセッサに対応した高性能プラズマ計算手法や新数値解法の開発の進捗も紹介された。通常の学会と異なり、一件あたりの講演時間を30分確保することができ、STEシミュレーション研究における問題意識の議論、共有が大いに進展した。研究会二日目には東北大学サイバーサイエンスセンターのご協力をいただき、AOBA-Sの見学会も企画した。

なお本研究会の講演資料はhttps://cidas.isee.nagoya-u.ac.jp/simulation/meeting2024/に公開されている。

（別紙様式06-2）

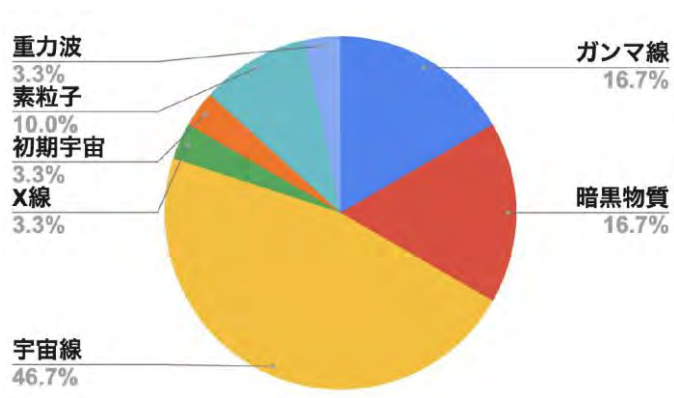
宇宙素粒子若手の会 第9回 秋の研究会
The 9th YMAP symposium

鷲見貴生、国立天文台重力波プロジェクト

【作成要領】

本研究集会は、2016 年 3 月に発足した宇宙素粒子若手の会(Youth Meeting for AstroParticle:YMAP)が運営を担い、2024 年 11 月 7 日から 9 日にかけて、東大宇宙線研 神岡宇宙素粒子研究施設で開催された。本研究集会の目的は若手研究者と宇宙素粒子関連分野の多岐にわたる研究について議論し、交流を深めることである。なお本研究集会は、できる限り多くの参加者に旅費を支給するために宇宙線研究所(ICRR)および宇宙線研究者会議(CRC)の支援も受けている。

本研究集会の内容は、参加者による口頭発表、招待講演、神岡坑内見学(SK, KamLAND, KAGRA)、エクスカーション(ひだ宇宙科学館カミオカラボ見学)、懇親会である。参加者は 32 名(うち招待講師 1 名)で、全員が口頭発表を行った。発表題目については、研究会ページで公開している(https://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/YMAP/event/conf2024/program.html)。例年通り多岐にわたる分野の若手研究者が領域を分断して交流する良い機会となった。今回は 2022 年度に続いて 2 度目となる神岡開催である。前回は坑内見学が好評であった一方、スケジュールが非常に逼迫していたという反省点があった。今回はこれを踏まえ、3 日間開催・神岡町の旅館を貸し切った合宿形式・見学用バスのチャーターなどの改善により十分な議論・交流の時間を確保することができた。











（別紙様式 6-2）

STE現象報告会および現象解析ワークショップ（第一回：宇宙天気現象の予測精度向上に向けて）
STE events report and analysis workshop (1st meeting, focus on space weather prediction)

久保勇樹、情報通信研究機構

●開催日時および開催場所

2024 年度・第 1 回 STE（太陽地球環境）現象報告会*1（2024 年 9 月 18-19 日、九州工業大学及び ZOOM によるハイブリッド開催）

*1 「MTI 研究集会」、「超小型衛星を利用した超高層大気研究の将来ミッションの検討」、「太陽地球データ解析に基づく超高層大気の空間・時間変動の解明～IUGONET プロジェクト 15 年の歩みとその将来～」との連続開催

世話人：

阿部 修司（九州大学 国際宇宙惑星環境研究センター）、西谷 望（名古屋大学 宇宙地球環境研究所）、久保 勇樹（情報通信研究機構 電磁波研究所）、海老原 祐輔（京都大学 生存圏研究所）

●参加者数：113 名

●研究集会概要と成果

本研究集会は、「MTI 研究集会」、「超小型衛星を利用した超高層大気研究の将来ミッションの検討」、「太陽地球データ解析に基づく超高層大気の空間・時間変動の解明～IUGONET プロジェクト 15 年の歩みとその将来～」との連続開催で行われた。本年度も、対面と ZOOM を併用したハイブリッド開催とした。本研究会では、太陽活動が極大期に入り、大きな太陽フレアや地磁気嵐などが頻発しており、太陽地球環境が一つの系であるということを改めて感じさせる研究会となった。また、ハイブリッド開催であることのメリットを生かし、米国機関の所属研究者からの講演などもあり、非常に活発な議論が行われた。本研究会は宇宙天気現象の予測精度向上に向けた議論を目的の一つとしているが、今回、実際に宇宙天気予報を発信している NICT から、発信している情報の詳細な内容に関する講演があり、純粋なサイエンスとは違った、宇宙天気予報精度の向上のための研究という観点での議論を行うにも良い機会になったと思われる。参加者は学部生からシニアまで、さらには研究者以外の民間企業の方なども含み、それぞれの立場から活発な議論がおこなわれ、有意義な研究会であった。

（別紙様式06-2）

陸別・母子里観測所ユーザーズミーティング2025
Users’Meeting for Rikubetsu and Moshiri observatories 2025

水野亮、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

【概要】

本研究集会は、名古屋大学宇宙地球環境研究所陸別観測所、国立環境研究所地球環境研究センター陸別成層圏総合観測室、および名古屋大学宇宙地球環境研究所母子里観測所で観測装置を運用している研究者を中心に、観測所ユーザーおよび観測データユーザー、将来のユーザ候補が集い、観測装置の稼働状況、観測所で得られた観測成果の報告、観測所の運用上の課題、将来計画に関する意見交換を行うことを目的に開催される研究集会である。本研究集会の前身は、1997 年の陸別観測所（当時は観測室）の開所以降、毎年国立環境研究所とともに陸別町で実施していた観測所運営会議であるが、観測所のユーザーが他研究機関にも広がり、議論の内容も観測所の運営だけでなく研究成果や共同研究の可能性などについても議論するようになったため、2019 年度からより広い分野の研究者を講演者に招き、研究のさらなる深化と新たなテーマの開拓を目指して ISEE の研究集会として開催するようになった。さらに 2020 年度以降は、新たなエアロゾル観測を構想して再整備をはじめた母子里観測所も加え、合同のユーザーズミーティングとして開催することとなった。今年度も昨年、一昨年度と同様に名古屋大学の地域貢献事業の一環として開催された陸別町社会連携連絡協議会と時期を合わせ、その翌日の 2 月 15 日に陸別町役場の大会議室で、対面とオンラインを併用したハイブリッド形式で開催した。14 名の現地出席者と 3 名のオンライン出席者の計 17 名の参加を得た。

【研究集会の内容・成果】

研究集会は午前から午後にかけて行い、対流圏および成層圏の大気微量成分、温室効果ガス、エアロゾル関連、電離圏/磁気圏／オーロラ/雷関連の話題についての講演と議論を行った。また、途中の昼休み前にりくべつ宇宙地球科学館の活動報告および観測所運営に関する議論の時間を設けた。特に今回は、ISEE に招聘教員として来日していた Matthias Foerster 先生に参加していただき、”Ionospheric drift observations from ground and satellite orbits”のタイトルで、陸別の短波レーダーが一角を占める SuperDARN レーダー網と人工衛星を組み合わせた観測結果について講演していただいた。

集会は、陸別観測所と母子里観測所の両観測所長からの当該年度の活動概要報告から始まった。陸別観測所では、ここ数年来苦労してきた観測室の雨漏りについて、陸別町が 1 億円以上を投じてりくべつ宇宙地球科学館の建物全体に対する大規模な防水工事を実施し大幅に環境が改善された旨の報告があった。母子里観測所では、残置されていた古い機器の処分が完了しエアロゾル観測の整備が進められていることが報告された。個々の観測装置に関しては、昨年度の集会でもオーロラ・大気光関係で観測装置の老朽化が報告されたが、現地の契約職員の横関氏と連絡をとりながら運用を継続し、6 回の低緯度オーロラの観測データが取得でき、それらの中で 2024 年 5 月と 2025 年 1 月のイベントの観測データが紹介された。ミリ波オゾン分光計は昨年見つかった極低温冷凍機ヘリウムガス漏れの対応がメーカー製造中止のため実施できず、今年度 1 年間観測データが取得できなかった旨の報告があった。ただし、2025 年度前半に名古屋大学の実験室で稼働中の冷凍機コンプレッサを陸別に輸送し、観測を再開する計画であるとの説明がなされた。国立環境研究所と名古屋大学とで共同で進めている赤外線フーリエ分光計では、今年度は旧装置から新装置に切り換える移行期間に相当し、その作業に伴うトラブルで観測の欠損が例年より多かったが、基本的には新装置への移行がほぼ完了したことが報告され、森林火災の影響と考えられる CO の変動や HCFC、HFC、イソプレンなどの新しい解析結果についての報告があった。短波レーダーに関しては、ソフトウェアラジオを用いたイメージング化の改良が順調に進んでいることが示された。東北大学が進めている長波の標準電波を用いた電離圏観測では、今回の会議に合わせて観測装置の受信用アンテナの交換を行い、交換の経緯と同装置による下部電離圏観測の概要についての説明があったのち、同装置を用いて千葉大学で進めている火球によって励起される大気波動による下部電離圏の変動の最新の観測例が報告された。また、6 月に NHK ニュースでも取り上げられた観測所駐車場でのヒグマ出現について、経緯とその後の対応等についてりくべつ宇宙地球科学館の津田館長から報告があり、観測所への来訪および周辺での作業を行う研究者に対しての注意喚起があった。

今年度は昨年度に比べ、若手および学生の参加が無かった。次回は若手の参加に期待したい。

以下に研究集会のプログラムを添付する。

陸別・母子里ユーザーズミーティング2025　プログラム					
日時	2025/2/15（土）				
会場	陸別町役場会議室＋ zoom				
	https://us02web.zoom.us/j/89783196075?pwd=eIB3a0h1Q3oxVEgraHM2MXNLRmxIZz09				
	ミーティングID: 897 8319 6075		パスコード: 726284		
	発表時刻	発表時間	発表者	所属	演題
はじめに					
	9:00 - 9:05	(0:05)	水野 亮	（名大ISEE）	陸別観測所の状況報告
	9:05 - 9:10	(0:05)	持田 陸宏（オンライン）	（名大ISEE）	母子里観測所の状況報告
電離圏・磁気圏/オーロラ（その１）					
	9:10 - 9:30	(0:20)	塩川 和夫	（名大ISEE）	陸別・母子里観測所におけるオーロラ・大気光と電磁場観測の現状報告
	9:30 - 9:50	(0:20)	西谷 望	（名大ISEE）	SuperDARN北海道-陸別第一・第二HFレーダー2024年度報告
	9:50 - 10:10	(0:20)	Matthias Foerster	(GFZ Potsdam)	Ionospheric drift observations from ground and satellite orbits
休憩	10:10 - 10:25	(0:15)			
対流圏・成層圏/温室効果ガス/エアロゾル/オゾン（その１）					
	10:25 - 10:45	(0:20)	森野 勇 [代理講演：町田 敏暢]	（国環研）	(陸別FTIRによる温室効果ガス観測)
	10:45 - 11:05	(0:20)	長濵 智生	（名大ISEE）	陸別FTIRによる対流圏・成層圏微量分子観測の現状と今後
天文台報告					
	11:05 - 11:25	(0:20)	中島 克仁	（りくべつ宇宙地球科学館）	天文台報告
	11:25 - 11:45	(0:20)	津田 浩之	（りくべつ宇宙地球科学館）	ヒグマ来館報告
陸別・母子里観測所運用に関する議論、および次年度のミーティングについて					
	11:45 - 12:00	(0:15)			
昼休み	12:00 - 13:30	(1:30)			
電離圏・磁気圏/オーロラ（その２）					
	13:30 - 13:50	(0:20)	土屋 史紀	（東北大）	2024年5月の大磁気嵐時の陸別におけるVLF標準電波観測
	13:50 - 14:10	(0:20)	大矢 浩代（オンライン）	（千葉大）	陸別における標準電波観測に基づく下部電離圏変動：火球・人工衛星再突入・能登半島地震の影響
対流圏・成層圏/温室効果ガス/エアロゾル/オゾン（その２）					
	14:10 - 14:30	(0:20)	神 慶孝（オンライン）	（国環研）	陸別におけるライダー観測の状況報告
	14:30 - 14:40	(0:10)	水野 亮	（名大ISEE）	ミリ波分光計の運用状況報告

（別紙様式06-2）

2020年代の太陽圏システム科学における「あらせ」の観測
Workshop on the 2020s' heliospheric system science by the Arase

篠原育，宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所

共催
SGEPSS内部磁気圏分科会，SGEPSS波動分科会，SGEPSS粒子加速研究分科会，
電子情報通信学会URSI日本国内委員会H小委員会，
ERGプロジェクト/太陽圏サイエンスセンター
科研費・基盤研究(S)「惑星放射線帯消失モデルの実証と能動的制御方法の開拓」

概要

「あらせ」衛星は第25太陽活動サイクル全体をカバーすることを目指して科学観測を継続しており，単一衛星としてはじめて太陽活動サイクル全体の放射線帯を中心とする内部磁気圏観測を達成することが期待されている．2020年代は，太陽・STP分野の観測衛星が充実した期間であり，「あらせ」が太陽活動一周期という長期変動を視野に入れて観測を続ける中，太陽から内部太陽圏を経て地球内部磁気圏に至るまでの観測データも日本の衛星から入手できる．また，水星探査機BepiColomboの水星軌道投入まであと2年と迫り，水星磁気圏の本格的な観測データを目にする日も近い．これらのこれまでにない恵まれた好機を活かして，太陽圏システム科学の広い視点からあらためて，「あらせ」衛星の観測の可能性を議論し，太陽科学や惑星科学との接点なども含めた，新しい研究の視点を見出すことを本研究会の目的とした．
今回の研究集会でも，昨年度の研究集会に引き続き，あらせ衛星の観測および取得データの最新状況を共有し，約8年に亘って蓄積された内部磁気圏直接観測データを活用する研究や，グローバル変動を俯瞰的に捉えることを得意とする地上観測網との連携観測，更に太陽圏システム科学や宇宙天気予測において内部磁気圏が担う役割に関して議論を行った．名古屋大学ISEE研究集会「太陽風磁気圏電離圏グローバルシステムにおける内部磁気圏の役割」（代表者：東京大学大学院理学系研究科・桂華邦裕）と共催することで，多くの地球内部磁気圏研究者に太陽圏システム科学として共通する問題意識や方向性について議論することができた．

実施内容

2024年9月10日(火)から9月12日(木)までJAXA宇宙科学研究所にて，Zoomアプリケーションを用いたハイブリッド形式で実施した．対面では各日約30名，オンラインでは約30名が参加した．10日は，あらせ衛星搭載観測機器の最新状況の報告と将来観測計画の紹介，衛星地上連携観測の報告，太陽圏での太陽風伝搬および月周辺でのプラズマ環境に関する招待講演があった．また，本年5月に発生した巨大磁気嵐の期間中に取得されたデータと初期解析の結果が報告された．11日は，あらせ衛星や地上の観測データを用いた研究から，数値シミュレーションや機械学習を用いた研究まで，大学院生による成果発表も含めて，幅広い内容が発表された．また，次期磁気圏観測衛星などの将来構想や磁気圏ダイナミクスの未解決問題に関する発表と議論を行った．7月に開催された，ジオスペース環境の現在の理解と未解決問題を議論するISSI-BJ workshopも紹介された．12日は，太陽圏サイエンスセンター主催のデータ解析講習会を実施した．

成果

(1) 昨年度に引き続き，2020 年代後半から 2030 年代前半にかけての地球電磁気圏観測網のさらなる充実に向けて，EISCAT_3D や SuperDARN とあらせ衛星の共同観測について検討し，それらを用いた新規研究について議論することができた.

(2) 宇宙天気予測について，太陽圏での太陽風伝搬や月周辺での放射線環境の議論を行えたこと，また，2024 年 5 月に発生した巨大磁気嵐の議論を行えたことで，太陽圏－地球磁気圏－月周辺の宇宙天気予測研究を相互に連携して進めることの重要性をあらためて確認できたとともに，今後急速に発展が見込まれる月面の有人活動に向けて，宇宙天気予測研究を進める雰囲気の醸成を深めることができた.

(3) 内部磁気圏・磁気圏-電離圏結合の研究集会と合同開催することで，太陽圏全体の俯瞰しながら地球磁気圏で発生する宇宙プラズマ現象を議論し，コミュニティー間の連携の重要性を再確認することができた.

(4) 大学院生や若手研究者の多くが，対面で最新の研究成果を発表することができた．大学院生の発表をまとめることで，大学院生の研究の進捗を幅広い分野の専門家間で共有することができた.

研究集会プログラムウェブサイト

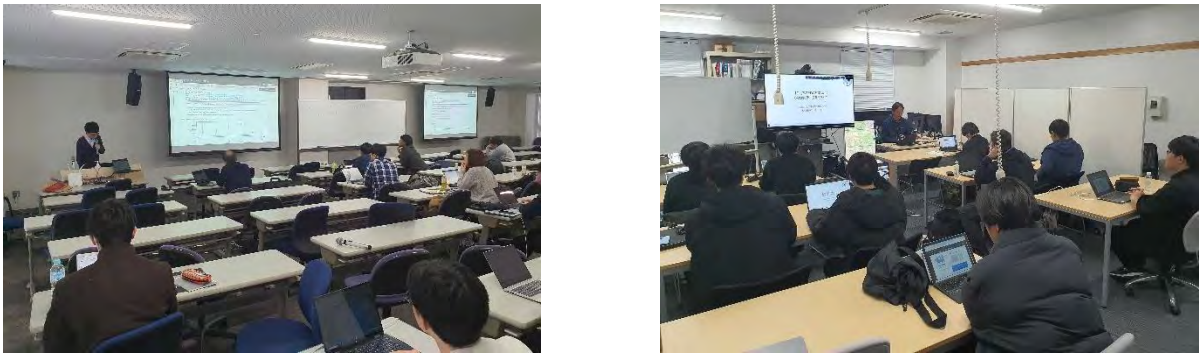
https://ergsc.isee.nagoya-u.ac.jp/meeting/past/20240910.shtml.ja

（別紙様式06－2）

多地点観測による内部磁気圏プラズマ波動の観測と将来構想検討会
Workshop on the multipoint plasma wave measurements and future prospects in the inner magnetosphere

松田昇也　金沢大学理工研究域

放射線帯外帯の消失・再形成過程をはじめとした宇宙嵐時に地球内部磁気圏で生じる諸現象には，プラズマ波動の電磁気学的な役割が主体的に寄与すると考えられている．ホイッスラーモード波動や電磁イオンサイクロトロン波動，地磁気脈動など広範な時間・空間スケールで生じるプラズマ波動の役割の理解には，内部磁気圏でのプラズマ波動を衛星や地上観測によって同時多地点観測するなどの方策が有効である．本研究集会は，昨今注目されている多地点観測技術等に着目し，内部磁気圏におけるプラズマ波動の役割・励起/伝搬過程の理解を深めることを目的として開催した．会期は2025年3月10日から12日までの3日間で，名古屋大学宇宙地球環境研究所とオンラインのハイブリッド形式として，国内外21機関から75名（3日間で延べ197名）の参加者を集めた．あらせ衛星による太陽活動極大期の内部磁気圏観測と地上連携観測に関する速報や，世界各国に展開する地上観測網の整備・運用状況が共有され，今後の観測戦略立案に関する議論が交わされた．また，複数の衛星観測データを組み合わせることによる自然現象を用いたinter-calibrationの取り組みが紹介され，観測データの較正精度向上に繋がる議論などが見られた．会期3日目の午後には，多地点観測データを統合的に解析するために必要な解析ツールの開発・活用についても集中的に議論する機会として，IDL/SPEDASとPySPEDASを用いた科学データ解析ワークショップを開催し，多数のデータを組み合わせた統合解析技術の向上に貢献した．本研究会の資料等は，太陽圏サイエンスセンターのホームページ（https://ergsc.isee.nagoya-u.ac.jp）に掲載されている．なお，本研究集会は「第22回ERGサイエンス会議」および名古屋大学宇宙地球環境研究所 研究集会「多地点観測による内部磁気圏プラズマ波動の観測と将来構想検討会」，「衛星・地上観測とモデル・シミュレーションによる内部磁気圏波動粒子相互作用の統合研究検討会」，「実験室・宇宙プラズマ研究の融合による物理的運動論の深化」，「実験室における統計加速を利用した新しい共同研究体制構築の検討」との同時開催とし，関連する研究者らを一堂に集めることで相互のテーマに乗り入れた融合的研究の議論促進にも貢献した．



図．科学データ解析ワークショップの様子（左：PySPEDAS コース，右：IDL/SPEDAS コース）

（別紙様式06-2）

SOLAR-C時代およびその先の次世代太陽圏研究の検討（その２）
Examination of next-generation heliosphere research in the SOLAR-C era and beyond (Part2)

今田晋亮、東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻

2025年3月3日（月）の日程で、「SOLAR-C 時代およびその先の次世代太陽圏研究の検討(その2)」を「2024年度太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望」と合同開催しました。現在太陽物理学の分野ではSOLAR-Cという極端紫外線分光撮像装置を2028年の夏に打ち上げるべく準備をしており、SOLAR-Cの先のミッションの１つとして、黄道面脱出衛星計画というのを検討している。いずれのミッションにとっても太陽風加速、乱流、惑星間空間衝撃波・CME、SEP加速・伝搬、宇宙線輸送、といったいわゆる太陽圏研究は重要であると考えられる一方、いわゆる太陽物理分野の人間だけでこの議論をしていても十分な成果は出せないと認識しており、両分野を通じた議論が必要である。いわゆるブレインストーミング的な議論をSGEPSS分野の研究者と太陽物理分野の研究者の間で行うことが重要であると考えられ、そのような会を開催する必要がある。太陽圏研究の未解明問題の明確化、何を観測すればその未解明問題を解明できるのかを理解した。昨年度研究会で得られた知見に基づいて、具体的にどのような観測装置を搭載すべきかを議論する事を目的としている。本年度は特に太陽圏のモデル研究の観点から議論を進めるべく、研究集会「2024年度太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望」と合同開催しました。ハイブリッド形式での開催とし、対面の会場は名古屋大学宇宙地球環境研究所 研究所共同館II 3Fホール、オンラインはZoomにて開催いたしました。

午前中のセッションでは、主に「2024年度太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望」からの講演で、これまで議論がされてきた予測モデルの情報通信研究機構の宇宙天気予報の現場における実運用事例を紹介する講演のほか、太陽の観測画像と深層学習を用いた最先端のCIR型磁気嵐予測の研究開発の紹介についてご講演いただき、IPS観測を用いた太陽圏研究とモデリングについて研究分野のレビューをしていただきながら今後の太陽衛星観測の展望についてご議論いただきました。午後の前半には、磁気圏の観測とモデル研究の最先端の成果の報告のほか、MHDとPICを結合した連結階層シミュレーションの取り組みの紹介がありました。午後の後半には、次世代の太陽観測の方向に関する講演、宇宙天気研究と衛星観測の将来など、観測・モデルの双方から議論を行いました。さらに、太陽風形成過程について、3次元輻射MHDシミュレーションを用いた最先端の研究成果を紹介いただく招待講演なども行いました。

最後の議論の中では、これまでの講演の総括する中で、太陽・太陽風・磁気圏・電離圏・大気圏にわたって、今後太陽衛星観測で何をすべきか議論し、今後は、これまでと同様に関連深い研究集会との連携開催を予定しつつ、太陽観測衛星開発者との連携をよりサポートできるような実施方法を検討して準備を進めることを確認しました。

2024年度ISEE合同研究集会「太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望」
「SOLAR-C 時代およびその先の次世代太陽圏研究の検討(その2)」プログラム

開催日時：2025年3月3日（月）10:00 - 17:00

対面開催場所：名古屋大学宇宙地球環境研究所 研究所共同館II 3Fホール

開始時刻	終了時刻		著者	タイトル
10:00	10:05		塩田大幸（情報通信研究機構（NICT））	趣旨説明
10:05	10:25		塩田大幸（NICT）	SUSANOOによる太陽嵐到来予測の現状と展望
10:25	10:45		伴場由美（NICT）、草野完也（名古屋大学）、塩田大幸（NICT）	物理モデルに基づくフレア警報システムの開発
10:45	11:20	招待講演	高橋直子、西塚直人（NICT）	深層学習を用いたCIR型磁気嵐予測の研究
11:20	11:55	招待講演	岩井一正（名古屋大学）	IPS観測を用いた太陽圏研究とモデリングの展望
11:55	12:00			議論

開始時刻	終了時刻		著者	タイトル
13:20	13:40		三好由純（名古屋大学）、齋藤慎司（NICT）、栗田怜（京都大）、松田昇也（金沢大）、加藤雄人（東北大）、笠原禎也（金沢大）、篠原育（JAXA)	あらせ衛星観測にもとづく放射線波動粒子相互作用シミュレーション
13:40	14:00		芥川慧大、今田晋亮、庄田宗人（東京大学）	マルチスケール現象への連結階層シミュレーションの応用
14:00	14:20		S. Fujita (ISM), M. Watanabe (Kyushu U.), T. Tanaka (Kyushu U), and D. S. Cai (Tsukuba U)	Interaction between the magnetic field topology and plasma dynamics in the solar wind-magnetosphere system - northward IMF case -
14:20	14:40		中溝葵（NICT）	グローバルモデル結合について
14:40	14:45			議論

開始時刻	終了時刻		著者	タイトル
15:00	15:20		今田晋亮（東京大学）	SOLAR-C時代およびその先の次世代太陽圏研究
15:20	15:55	招待講演	飯島陽久 (名古屋大学)	太陽風形成の輻射磁気流体モデリング: 現状と将来展望
15:55	16:15		戸頃響吾、庄田宗人、今田晋亮（東京大学）	中間高度の磁束管形状が太陽風速度に与える影響
16:15	16:35		千葉 翔太（名古屋大学）	電波掩蔽観測とMHDシミュレーションデータの統合解析による太陽風中のMHD波動の研究
16:35	16:45		鈴木　亮、今田 晋亮（東京大学）	Influence of the Global Solar Magnetic Field on CME
16:45	17:00			議論

（別紙様式06-2）

太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望
Prospects of modeling for Sun-Earth environment prediction

塩田大幸、国立研究開発法人情報通信研究機構・電磁波研究所所

2025年3月3日（月）の日程で、「2024年度太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望」を、「SOLAR-C 時代およびその先の次世代太陽圏研究の検討(その2)」と合同開催しました。本研究集会「太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望」は、2016年度～2019年に新学術領域研究「太陽地球圏環境予測(PSTEP)」(2015-2019, 代表:草野完也)と宇宙地球環境研究所の共催から始まり、PSTEP推進の一助としての役割を果たした後、2020年度以降は、広く太陽地球圏環境にわたる現象の再現と予測にむけて、各モデルの課題・予測に関する集中した議論を行う会として企画し、開催しています。本年度は主に太陽圏のモデル研究の観点から関連の深い研究集会「SOLAR-C 時代およびその先の次世代太陽圏研究の検討」との合同での会さを企画しました。ハイブリッド形式での開催とし、対面の会場は名古屋大学宇宙地球環境研究所 研究所共同館II 3Fホール、オンラインはZoomにて開催いたしました。

午前中のセッションでは、これまでの本研究会で議論がされてきた予測モデルの情報通信研究機構の宇宙天気予報の現場における実運用事例を紹介する講演のほか、太陽の観測画像と深層学習を用いた最先端のCIR型磁気嵐予測の研究開発の紹介についてご講演いただき、IPS観測を用いた太陽圏研究とモデリングについて研究分野のレビューをしていただきながら今後の展望についてご講演いただきました。午後の前半には、磁気圏の観測とモデル研究の最先端の成果の報告のほか、MHDとPICを結合した連結階層シミュレーションの取り組みの紹介がありました。午後の後半には、太陽風形成過程について、3次元輻射MHDシミュレーションを用いた最先端の研究成果を紹介いただく招待講演のほか、観測・モデルの双方を用いた最新の研究成果の講演がありました。

最後の議論の中では、これまでの講演の総括する中で、太陽・太陽風・磁気圏・電離圏・大気圏にわたって、各々のモデル研究者が強みを生かし且つ各々にメリットのある形で、日本のモデル結合/統合モデル開発をより活性化できないかとの問題提起がありました。次年度は、これまでと同様に関連深い研究集会との連携開催を予定しつつ、モデル開発者の連携をよりサポートできるような実施方法を検討して準備を進めることを、関係者一同で確認しました。

2024年度ISEE合同研究集会「太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望」
「SOLAR-C 時代およびその先の次世代太陽圏研究の検討(その2)」プログラム

開催日時：2025年3月3日（月）10:00 - 17:00

対面開催場所：名古屋大学宇宙地球環境研究所 研究所共同館II 3Fホール

開始時刻	終了時刻		著者	タイトル
10:00	10:05		塩田大幸（情報通信研究機構（NICT））	趣旨説明
10:05	10:25		塩田大幸（NICT）	SUSANOOによる太陽嵐到来予測の現状と展望
10:25	10:45		伴場由美（NICT）、草野完也（名古屋大学）、塩田大幸（NICT）	物理モデルに基づくフレア警報システムの開発
10:45	11:20	招待講演	高橋直子、西塚直人（NICT）	深層学習を用いたCIR型磁気嵐予測の研究
11:20	11:55	招待講演	岩井一正（名古屋大学）	IPS観測を用いた太陽圏研究とモデリングの展望
11:55	12:00			議論

開始時刻	終了時刻		著者	タイトル
13:20	13:40		三好由純（名古屋大学）、齋藤慎司（NICT）、栗田怜（京都大）、松田昇也（金沢大）、加藤雄人（東北大）、笠原禎也（金沢大）、篠原育（JAXA)	あらせ衛星観測にもとづく放射線波動粒子相互作用シミュレーション
13:40	14:00		芥川慧大、今田晋亮、庄田宗人（東京大学）	マルチスケール現象への連結階層シミュレーションの応用
14:00	14:20		S. Fujita (ISM), M. Watanabe (Kyushu U.), T. Tanaka (Kyushu U), and D. S. Cai (Tsukuba U)	Interaction between the magnetic field topology and plasma dynamics in the solar wind-magnetosphere system - northward IMF case -
14:20	14:40		中溝葵（NICT）	グローバルモデル結合について
14:40	14:45			議論

開始時刻	終了時刻		著者	タイトル
15:00	15:20		今田晋亮（東京大学）	SOLAR-C時代およびその先の次世代太陽圏研究
15:20	15:55	招待講演	飯島陽久 (名古屋大学)	太陽風形成の輻射磁気流体モデリング: 現状と将来展望
15:55	16:15		戸頃響吾、庄田宗人、今田晋亮（東京大学）	中間高度の磁束管形状が太陽風速度に与える影響
16:15	16:35		千葉 翔太（名古屋大学）	電波掩蔽観測とMHDシミュレーションデータの統合解析による太陽風中のMHD波動の研究
16:35	16:45		鈴木　亮、今田 晋亮（東京大学）	Influence of the Global Solar Magnetic Field on CME
16:45	17:00			議論

（別紙様式06-2）

衛星・地上観測とモデル・シミュレーションによる内部磁気圏波動粒子相互作用の統合研究検討会
Workshop on the wave-particle interactions in the inner magnetosphere by satellite/ground-based observations and by modeling/simulation studies

加藤雄人、東北大学・大学院理学研究科

1. 概要

本研究集会では、内部磁気圏において波動粒子相互作用が果たす役割を究明するために、衛星・地上観測結果の解析およびモデル・シミュレーションとの連携について議論した。地球内部磁気圏で発生するプラズマ波動粒子相互作用の衛星観測・地上観測ならびにシミュレーション研究を専門とする研究者に参加いただき、あらせ（ERG）衛星をはじめとする地球内部磁気圏を飛翔する衛星で得られたデータを用いた、放射線帯粒子および内部磁気圏ダイナミクスに関する観測的および理論的研究の成果報告をいただいた。また、あらせサイエンス会議ならびにISEE研究集会「多地点観測による内部磁気圏プラズマ波動の観測と将来構想検討会」（代表者：金沢大学・松田昇也）、「実験室・宇宙プラズマ研究の融合による物理的運動論の深化」（代表者：核融合科学研究所・永岡賢一）、「実験室における統計加速を利用した新しい共同研究体制構築の検討」（代表者：京都大学・小林進二）と共同開催し、あらせ衛星に搭載されている観測機器および取得データの最新状況の共有とプラズマ波動粒子相互作用に関する学際的議論の場を提供した。

2. 実施内容

３日間の日程で名古屋大学宇宙地球環境研究所を会場として、ハイブリッド形式により開催された本研究集会には、国内外から延べ197名の研究者・学生が参加した。本研究集会に特に関連する、衛星・地上観測とモデル・シミュレーションの融合をテーマとしたセッションを研究集会二日目に企画して、プラズマ波動のダクト伝搬に関するシミュレーション結果と衛星観測結果との比較や、波動粒子相互作用の非線形効果がオーロラ電子加速過程に及ぼす影響など、観測・モデル研究の成果が報告された。複数の研究集会との合同開催となった利点を活かして、波動粒子相互作用の基礎理論に基づいて宇宙・実験室プラズマの様々な現象が理解されることを参加者間で共有するとともに、両分野で研究が進む観測・シミュレーション研究への理解を深めた。本研究会の資料等は、太陽圏サイエンスセンターのホームページ（https://ergsc.isee.nagoya-u.ac.jp）に掲載されている。

3. 成果

(1) あらせ衛星と地上光学・電波・レーダー観測網とのキャンペーン観測に関する最新の成果や将来の観測戦略・運用計画について議論した。
(2) 波動粒子相互作用に関わる宇宙科学とプラズマ科学各分野での最新研究成果が共有され、融合研究に繋がる有意義な議論や活発な意見交換が行われた。
(3) 学生や若手研究者が研究成果や初期解析の状況を発表し、解析の手法や方針等について観測器PIと直接議論した。

（別紙様式06-2）

日本鉱物科学会年会2024名古屋大会

纐纈佑衣、名古屋大学・大学院環境学研究科

【集会の概要】

日本鉱物学会は鉱物や岩石およびそれらをキーワードとした様々な分野の学問の発展と普及を目的とした学術団体である。毎年開催される年会・総会は、日本国内、および世界の鉱物や岩石についての最新研究成果の発表を行い、研究者同士の情報交換の場としている。2024年は名古屋大学がホストとして現地開催委員会（LOC）を結成し， ES総合館において2024年9月12日から14日の3日間の日程で実施した。名古屋大会では，レギュラーセッションとして，R1：鉱物記載・分析評価　[宝石学会(日本)との共通セッション]，R2：結晶構造・結晶化学・物性・結晶成長・応用鉱物，R3：高圧科学・地球深部，R4：地球表層・環境・生命，R5：地球外物質，R6：深成岩・火山岩及びサブダクションファクトリー，R7：岩石・鉱物・鉱床一般 [資源地質学会との共催セッション]，R8：変成岩とテクトニクスを開催した．またスペシャルセッションとして，S1:火成作用のダイナミクス，S2:岩石−水相互作用，S3:マントル・地殻のレオロジーと物質移動を実施した．さらに，資源地質学会との共催セッションとして，T1:アジアの地殻進化と資源開発に関する総合的理解というシンポジウムを特別開催した．名古屋大会では若手からシニアまで多様な世代が参加しやすい学会を目指して，オンライン会議システムの導入と一時保育の斡旋を行った。

【参加者】

名古屋大会では，335名の参加登録があり，うち現地参加者が303名，オンライン参加者が32名であった．日本国内の大学や民間企業だけでなく，韓国やモンゴルからの参加もあり，活発な意見交換がなされた．

【研究報告・成果】

コロナ禍が明けて２年目となる対面での学会開催となり，参加者は前年度の255名を大きく上回る300名超の研究者や学生が参加した．前年度よりも参加者が増えた理由ははっきりしないが，名古屋というどこからでもアクセスしやすい地の利が有利に働いた要因であると考えられる．予想よりも大幅に参加者が増えたことから，大変活気のある大会となったが，一方で収容人数が想定よりも多かったため，講義室の席やポスター会場がやや手狭となってしまった点が残念であった．それぞれのセッションの内容と成果は下記の通りである．

R1：鉱物記載・分析評価 [宝石学会(日本)との共通セッション]　口頭発表12件，ポスター17件

鉱物の記載･評価およびそれらを可能にする分析手法に関する研究を広く募集し，鉱物の様々な特徴（産状・形態・内部組織・結晶構造・組成・流体包有物・固相包有物・結晶欠陥など），新鉱物記載，宝石鑑別，およびそのための鉱物の分析手法・解析手法の開発についての発表・意見交換を行った．

R2：結晶構造・結晶化学・物性・結晶成長・応用鉱物　口頭発表16件，ポスター13件

天然および人工鉱物の原子配列および微細構造，鉱物合成，結晶成長や溶解，相転移や物性，および鉱物の応用に焦点を当てた研究を広く募集した．物性では，磁気的性質，光学性質，熱力学的性質，吸着特性などの基本的性質に焦点をあて,その応用についても広く議論を行った．

R3：高圧科学・地球深部　口頭発表13件，ポスター8件

超高圧高温実験，計算機実験，地球深部起源鉱物の記載などを通じ，地球深部の鉱物科学を広く議論した。対象は鉱物だけではなく，アナログ物質，非晶質，メルトの研究発表も行われた．

R4：地球表層・環境・生命　口頭発表6件，ポスター7件

地球表層を構成するナノ鉱物の結晶構造・化学組成・溶解析出および変質反応，生体鉱物の構造・組織

や生成条件，水-鉱物界面の構造や化学現象，無機-有機相互作用など，地球表層鉱物全般および生物作用と環境への影響に関する発表を募集し，意見交換を行った。

R5：地球外物質　口頭発表16件，ポスター5件

プレソーラー粒子，宇宙塵，隕石，月岩石，リターンサンプルなど地球以外を起源とする固体惑星物質の鉱物科学的な研究発表を募集し，意見交換を行った．

R6：深成岩・火山岩及びサブダクションファクトリー　口頭発表14件，ポスター13件

深成岩及び火山岩を対象にした研究発表（サブダクションファクトリー関連を含む）を広く募集し，発生から定置・固結に至るまでのマグマの物理・化学的挙動や，テクトニック環境について，岩石学・鉱物学・火山学・地球化学・年代学など様々な視点からの活発な議論を行った．

R7：岩石・鉱物・鉱床一般［資源地質学会との共催セッション］　口頭発表12件，ポスター13件

岩石学，鉱物学，鉱床学，地球化学などの分野をはじめとして，地球・惑星物質科学全般にわたる岩石及び鉱物に関する研究発表を広く募集した．地球構成物質についての多様な研究成果の発表の場となった。

R8：変成岩とテクトニクス　口頭発表10件，ポスター11件

プレート収束境界における地殻・マントルのダイナミクスを理解するため，岩石学，構造地質学，年代学的アプローチだけでなく，流体包有物分析や各種モデル計算，同位体地球化学など様々なアプローチを用いた研究成果を広く募集し，意見交換を行った．

S1：火成作用のダイナミクス　口頭発表７件，ポスター３件

火成作用のダイナミクスに関する最新の研究成果の相互交流を通して，本研究分野の発展に寄与することを目的とした。火成作用のダイナミクスの理解に繋がる野外観察・観測，天然試料の分析，高温高圧実験，理論モデリングなど各分野からの研究発表が行われた．

S2：岩石−水相互作用　口頭発表10件，ポスター5件

「岩石－水相互作用」に関わる分野横断的な研究発表，情報交換を推進すべく，「みず」をキーマテリアルにして，地殻流体のキャラクタリゼーション，変成岩，火成岩との反応プロセス，熱水変質，鉱床，熱水実験，さらに流体の発生や移動プロセス，地殻内での流体の存在形態など基礎理論と実験に関する講演を広く募集した。研究の方法も，野外観察，実験，数値計算，モデリングなど多様な発表があり，地球プロセスにおける「みず」の役割を学際的に検討した．あわせて，除染の鉱物科学，放射性廃棄物地層処分，二酸化炭素の地層隔離，島弧システムと地熱エネルギーなどの地下利用に関する講演も行われた．

S3：マントル・地殻のレオロジーと物質移動　口頭発表13件，ポスター8件

地球を動かす原動力であるマントルや地殻の動的な現象は，岩石鉱物学と地球物理学の融合により近年目まぐるしい進歩を遂げている。本セッションでは，マントル・地殻のレオロジーや物質移動に関わるフィールドでの観察，岩石試料の微細組織，変形実験や反応モデリングなど，幅広い研究発表を募集し，意見交換を行った．

T1：アジアの地殻進化と資源開発に関する総合的理解　［資源地質学会との共催セッション］　口頭発表6件，ポスター2件

特にクリティカルミネラルに関する，鉱物科学的，地質学的そして国際的な協働体制の確立といった観点から，日本およびアジアの資源問題について議論した．

（別紙様式06-2）

航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進
Progress of climate and earth system sciences by an aircraft observation

篠田太郎（名古屋大学宇宙地球環境研究所）

日本気象学会は、地球惑星科学連合（JpGU）の海洋、陸上植性、固体地球など様々な分野の学会の研究者、航空宇宙学会、さらには防災に関わる諸学会の研究者と連携して、学術大型研究計画マスタープラン 2020 に、「航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進」計画を提案し、重点領域課題に採択されている。本研究集会は、これまでの研究集会の議論を踏まえて、航空機観測を軸とした幅広い分野の連携促進や実施状況などの共有を目的として開催している。各分野の航空機観測研究の科学的な問題意識や国内外の動向、観測の目的、希望実施計画、期待される成果などをお互いに紹介し、相互理解を促進することを目的としている。

この研究集会は2014年度以降毎年開催しており、今年度で11回目を数える。今年度は12月20日（金）午後にオンラインで開催した。昨年度までと同様に、航空機観測に興味のある研究者が気軽に参加できるようにオンラインで開催している。研究集会には、22機関から44名の参加があった。参加者数は昨年度（49名）より5名減少したが、概ね同程度であった。

研究集会では、海洋起源エアロゾルの航空機観測、民間航空機のフライトデータを利用した離着陸時の航空機の挙動、無人航空機（ドローン）を用いた藻類生育の監視、台風の航空機観測などの紹介があったほか、JAXAの試験機「飛翔」の紹介やダイヤモンドエアサービス社での航空機観測実施までの手順などについて合計で６件の講演が行われた。実際の観測事例の紹介としては、有人航空機を用いた観測の事例が２件、無人航空機を用いた観測の事例が１件であった。実際の観測事例のみならず、民間航空機のフライトデータを利用することで気象予測の向上への試みが紹介されるなど、いろいろな新しい技術開発が行われていることを実感できた研究集会であった。来年度以降も引き続き同研究集会を継続していくことで、航空機観測の計画や観測測器、実施体制や課題などの情報共有を行っていくつもりである。

以下、研究集会の講演題目と講演者のリストを掲載しておく。

１．14:00 ～ 14;20　小池真（東大）・大畑祥（名大）・茂木信宏（都立大）・足立光司（気象研）・松井仁志（名大）・AF2022 観測チーム
2022年夏の航空機観測から推定された海洋起源エアロゾルのCCNへの寄与

２．14:20 ～ 14:40　森澤征一郎（沖縄高専）・菊地亮太（名古屋大学）・髙橋暢宏（名古屋大学）
航空運航データを用いた離発着解析と気象情報抽出

３．14:40 ～ 15:00　安田篤史（ダイヤモンドエアサービス技術部）
航空機観測の実施に向けて

４．15:00 ～ 15:15　溝部和宏（JAXA 航空技術部門）
JAXA 実験用航空機“飛翔“の紹介

５．15:15 ～ 15:35　菊地亮太（名古屋大学）・石坂丞二（名古屋大学）

ドローン観測と人工衛星のリモートセンシングデータの統合の初期的検討

６．15:35 ～ 15:55　坪木和久（名古屋大学）

2024 年度台風観測について

（別紙様式06-2）

グローバルシステムとしての近地球磁気圏ダイナミクス および将来多点観測に関する研究会
Workshop on the dynamics of near-Earth magnetosphere as a global system and future multi-point observations

桂華邦裕，東京大学大学院理学系研究科

共催
SGEPSS内部磁気圏分科会，SGEPSS波動分科会，SGEPSS粒子加速研究分科会，
電子情報通信学会URSI日本国内委員会H小委員会，
ERGプロジェクト/太陽圏サイエンスセンター
科研費・基盤研究(S)「惑星放射線帯消失モデルの実証と能動的制御方法の開拓」

概要

ジオスペースと呼ばれる地球近傍磁気圏（主に地球半径の約10倍より地球側）は、太陽風や磁気圏尾部といった外部領域の変動に影響を受け，また地球電離圏と電磁気的に結合することで，グローバルシステムとしてダイナミックに変動している．このグローバルダイナミクスは磁化惑星電磁気圏システム科学における最重要課題の一つである．惑星大気に最も近い磁気圏領域を起点に磁気圏システム全体を理解することは，他の磁化惑星の電磁気圏システムを理解することにも繋がる．ジオスペースで発生している普遍的なプラズマ物理現象の理解は，宇宙プラズマ分野にも大きく貢献し得る．

本研究集会では，ジオスペースにおけるプラズマダイナミクスを主要テーマとして，2024年5月の巨大磁気嵐も含めた最新の研究成果を共有し，7年以上にわたって蓄積されたジオスペース直接観測データを活用する研究や将来観測について話し合った．特に，周辺領域とのグローバルな結合・相互作用に関して，ジオスペースダイナミクスの未解決問題をレビューし，それらを解明するために必要な将来磁気圏多点観測を議論した．また，グローバル変動を俯瞰的に捉えることを得意とする地上観測網との連携も議論した．さらに，合同開催として，観測データの有効活用を促進するため，名古屋大学ISEE太陽圏サイエンスセンターと連携してデータ解析ツールSPEDAS/PySPEDASの講習会を実施した．また，名古屋大学ISEE研究集会「2020年代の太陽圏システム科学における「あらせ」の観測」（代表者：JAXA宇宙科学研究所・篠原育）と連携し，地球磁気圏にとどまらず太陽から太陽圏全体を俯瞰し，太陽風構造の伝搬・発展や月周辺プラズマ環境の理解を目指すための地球内部磁気圏研究の役割や方向性を議論した．

実施内容

令和 6 年 9 月 10 日(火)から 9 月 12 日(木)まで JAXA 宇宙科学研究所にて，Zoom アプリケーションを用いたハイブリッド形式で実施した．対面では各日約 30 名，オンラインでは約 30 名が参加した．10 日は，あらせ衛星搭載観測機器の最新状況の報告と将来観測計画の紹介，衛星地上連携観測の報告，太陽圏での太陽風伝搬および月周辺でのプラズマ環境に関する招待講演があった．また，本年 5 月に発生した巨大磁気嵐の期間中に取得されたデータと初期解析の結果が報告された．11 日は，あらせ衛星や地上の観測データを用いた研究から，数値シミュレーションや機械学習を用いた研究まで，大学院生による成果発表も含めて，幅広い内容が発表された．また，次期磁気圏観測衛星などの将来構想や磁気圏ダイナミクスの未解決問題に関する発表と議論を行った．7 月に開催された，ジオスペース環境の現在の理解と未解決問題を議論する ISSI-BJ workshop も紹介された．12 日は，太陽圏サイエンスセンター主催のデータ解析講習会を実施した．

成果

(1) 地球電磁気圏観測網のさらなる充実に向けて，EISCAT_3D や SuperDARN と磁気圏衛星（あらせ衛星など）の共同観測について検討した．

(2) STP 分野将来検討も含め，共同観測や協同研究の立案，新規衛星ミッションの提案に繋がる土台を築くことができた．

(3) 太陽圏システム科学の研究集会と合同開催することで，太陽圏全体の俯瞰しながら地球磁気圏で発生する宇宙プラズマ現象を議論し，コミュニティー間の連携の重要性を再確認することができた．特に，今年 5 月に発生した巨大磁気嵐について活発な議論が交わされた．

(4) 大学院生や若手研究者の多くが，対面で最新の研究成果を発表することができた．大学院生の発表をまとめることで，大学院生の研究の進捗を幅広い分野の専門家間で共有することができた．

(5) データ解析講習会では，IDL SPEDAS および PySPEDAS 解析ツールを用いたデータ解析に取り組んだ．現地での参加に加えてオンラインからの参加もあり，特に Python を用いた新たなデータ解析プラットフォームを学ぶことができた．

研究集会プログラムウェブサイト

https://ergsc.isee.nagoya-u.ac.jp/meeting/past/20240910.shtml.ja

（別紙様式06-2）

研究集会名 宇宙プラズマにおける粒子加速ワークショップ
研究集会名英文 Workshop for particle acceleration in space plasma

田島宏康、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

本ワークショップは次の趣旨のもと、カブリ数物連携宇宙研究機構（東京大学・柏キャンパス）にて2025年3月21日に開催しました。

【開催趣旨】
太陽系最大の爆発現象である太陽フレアは、磁気再結合による突発的な磁気エネルギーの解放によって駆動され、様々な高エネルギー現象を引き起こしており、宇宙の活動の縮図と言っても過言ではない大変興味深い研究対象です。
この様な太陽フレアで起きている高エネルギー現象の理解のために、観測・理論の両輪で研究が進むとともに、現在、次世代の観測としてX線集光撮像分光観測の検討や実証実験が進んでいます。この実証実験の一つが、2024年春に打ち上げられ、世界初の太陽フレアX線集光撮像分光観測に成功した観測ロケット実験FOSXI-4です。
本研究集会では、太陽フレアを含む宇宙プラズマにおける高エネルギー現象の理解に向けた研究と、その研究をさらに推し進めるために検討が続いているX線集光撮像分光観測に焦点をあて、議論を行います。

ワークショプの構成は、「観測ロケット実験 FOXSI シリーズの紹介」「観測ロケット実験 FOXSI-3 の研究紹介」「観測ロケット実験 FOXSI-4 が観測した太陽フレア」「X線天文学における研究」「数値計算による研究」「FOXSI-4 のデータ解析に向けて」という6つのセッションで、5件の招待講演を含む合計14件の講演と、全体議論の時間を配しました。

参加者は、太陽物理学分野から5名（研究者と大学院生）、X線天文学分野から11名（研究者と大学院生）、これらの分野への進学を検討している学部学生が4名、研究に関心を持ってくださったメーカーから1名の合計21名でした（現地参加17名、オンライン参加4名）。



今回のワークショップの特徴は、分野間連携と若手の勢いが挙げられます。

分野間連携については、太陽物理学分野とX線天文学分野の連携を強めることができました。特に、太陽フレア研究と恒星フレア研究は、プラズマ物理（磁気再結合、プラズマ加熱、粒子加速）や惑星系への影響（宇宙天気、ハビタビリティー）などの観点でシナジーが強く、X線天文分野からは、空間分解して観測できる太陽のアドバンテージに期待が集まりました。一方、X線天文分野では、XRISM衛星が活躍しており、広帯域でのX線精密分光観測が可能となっています。また、太陽フレアよりも高エネルギーの磁気再結合現象が観測されています。太陽物理学分野からは、それらを用いた高エネルギープラズマ研究に対する期待と、精密分光データの診断方法に関心が集まっていました。今回のワークショップを契機に、さっそく共同研究が萌芽し始めています。

また、本ワークショップには、大学院生に加え、大学院への進学を考えている学部学生の参加がありました。大学院生の招待講演、学部学生による発表は、議論を盛り上げ、今後の研究および分野の発展を期待させるものとなりました。本ワークショプシリーズは、プログラムの時間構成にとらわれず活発な議論を行うことを推奨してきましたが、今回は例年以上に盛り上がり、マージンを設けていたにも関わらず全てのプログラムを終えることができませんでした。時間切れで行えなかったセッション「数値計算による研究」「FOXSI-4 のデータ解析に向けて」については、来年度早々に、別の機会を設けることを考えています。

今回も盛り上がりを見せたワークショップを開催できましたのは、名古屋大学宇宙地球環境研究所「研究集会」の助成のおかげであり、深く感謝申し上げます。

研究会のホームページ：https://xray-sun.jp/meeting-20250321

2024年度 07)計算機利用共同研究 目次詳細

6 件

＊所属・職名は2025年3月現在

＊Affiliation and Department displayed are current as of March 2025.

研究代表者 Principal Investigator	所属機関* Affiliation	所属部局* Department	職名* Job title	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
梅田隆行	北海道大学	情報基盤センター	教授	ポスト富岳に向けたプラズマシミュレーション手法の開発	296	
関戸晴宇	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	大学院生	非MHD効果を扱う新たな電磁流体力学によるグローバル地球磁気圏シミュレーション	298	
齊藤慎司	国立研究開発法人情報通信研究機構	電磁波研究所電磁波伝搬研究センター 宇宙環境研究室	主任研究員	プラズマ波動による放射線帯電子の散乱に関するシミュレーション研究	300	
千葉翔太	名古屋大学宇宙地球環境研究所	統合データサイエンスセンター	特任助教	宇宙機による電波掩蔽観測と数値シミュレーションの比較による、太陽コロナとコロナ質量放出中の磁場擾乱の研究	302	
戸頃響吾	東京大学	大学院理学系研究科地球惑星科学専攻	博士前期課程1年	スードストリーマに関する1次元太陽風シミュレーション	304	
鈴木亮	東京大学	大学院理学系研究科地球惑星科学専攻	博士前期課程1年	太陽近傍におけるCMEの伝播シミュレーション	306	

（別紙様式07-2）

ポスト富岳に向けたプラズマシミュレーション手法の開発
Numerical schemes for plasma simulations on post-Fugaku supercomputer systems

梅田隆行、北海道大学・情報基盤センター

研究目的

スーパーコンピュータ「富岳」は、「京」コンピュータに対して、ノードあたりの性能が約26倍、全体性能が約54倍となった。一方で、ノードあたりのメモリ容量は2倍、全体のメモリ容量は3.7倍に止まっている。この事実は、「富岳」を用いても「京」で行われていた大規模シミュレーションとほとんど変わらない計算サイズのシミュレーションしか行えないこと、またこれから5年以上(「富岳」の運用停止まで)はメモリサイズで5ペタバイト以下のシミュレーションが世界最大サイズとなることを意味している。従って、これまでの「大規模シミュレーション」からパラダイムシフトし、メモリ消費を抑えた新たな計算機シミュレーションについて考える必要がある。そこで本研究では、宇宙プラズマに関する電磁流体、電磁粒子(PIC)、電磁Vlasovおよび、これらのハイブリッドシミュレーション手法に関して、計算時間の短縮と計算精度の向上を両立させる新たな研究開発を行う。

研究方法

電磁界シミュレーションの標準的な数値スキームであるFDTD法について空間差分の高次精度化を行う。従来の計算機シミュレーションでは格子点数を増やすことによって空間解像度を上げていたが、空間差分の誤差を減らすことによって格子点数が少ない構造や波動でもより精度よく解けるように改良を行う。

また、粒子および電磁場の時間積分を高精度化し、時間刻みdtを大きくできるようにする。これにより計算時間を短縮するとともに、より長時間のシミュレーションを目指す。

研究結果

前年度までに新たに開発した相対論的運動方程式の数値スキーム（Umeda & Ozaki EPS 2024）をPICコードに実装した。新たに開発した数値スキームは相対論的E×Bドリフトの理論解に基づいており、ドリフト速度が光速を超える・同じ・超えないの3通りで計算手順が異なるアルゴリズムとなっていた。本研究では、ハイパフォーマンスコンピューティング（HPC）分野のプログラム最適化に用いられているマルチストリーム法に基づき、3通り全てを計算したのちにフラグにより1つを選択することにより、IF文を用いた条件分岐よりも高速化できることを示した。

さらに、相対論的ドリフト速度を持つマックスウェル分布に対して乱数生成を行う手法について検討を行った。

成 果 発 表

学会発表

関戸 晴宇, 梅田 隆行, 三好 由純, 陽的時間領域有限差分法のクーラン条件の緩和および数値誤差の低減, 日本地球惑星科学連合 2024 年大会 (JpGU2024), 2024/05/30, 幕張メッセ, ポスター.

葛 心雨, 梅田 隆行, 関戸 晴宇, 三好 由純, 有限差分時間領域法（FDTD）シミュレーションの改良: 電流源を含む高次精度手法における数値誤差の改良, 日本地球惑星科学連合 2024 年大会 (JpGU2024), 2024/05/30, 幕張メッセ, ポスター.

尾﨑 理玖, 梅田 隆行, 三好 由純, オーロラ加速領域における電気２重層の計算機シミュレーションのための高精度手法の研究, 日本地球惑星科学連合 2024 年大会 (JpGU2024), 2024/05/30, 幕張メッセ, ポスター.

梅田 隆行, 尾﨑 理玖, 溝口 英一郎, A new fourth-order leap-frog integrator for relativistic equations of motion for charged particles, 日本地球惑星科学連合 2024 年大会 (JpGU2024), 2024/05/30, 幕張メッセ, ポスター.

H. Sekido, T. Umeda, Y. Miyoshi, Relaxation of the courant condition and reduction of numerical errors in the explicit finite-difference time-domain method for plasma kinetic simulations, 15th International School/Symposium for Space Simulation (ISSS-15), 2024/08/05, Garching, Poster.

T. Umeda, R. Ozaki, E. Mizoguchi, New integrator for relativistic equations of motion for charged particles, 15th International School/Symposium for Space Simulation (ISSS-15), 2024/08/06, Garching, Oral.

H. Sekido, T. Umeda, Y. Miyoshi, Relaxation of the courant condition and reduction of numerical errors in the explicit finite-difference time-domain method for plasma kinetic simulations, 21st International Congress on Plasma Physics (ICPP2024), 2024/09/10, Ghent, Oral.

T. Umeda, R. Ozaki, E. Mizoguchi, New integrator for relativistic equations of motion for charged particles, 21st International Congress on Plasma Physics (ICPP2024), 2024/09/10, Ghent, Oral.

関戸 晴宇, 梅田 隆行, 三好 由純, ラプラシアン演算子を用いた陽的時間領域有限差分法のクーラン条件の緩和および数値誤差の低減, 地球電磁気・地球惑星圏学会 2024 年秋季年会, 2024/11/26, 国立極地研究所, 口頭.

葛 心雨, 梅田 隆行, 関戸 晴宇, 三好 由純, 電流源を含む高次有限時間差分領域法における数値誤差の改良, 地球電磁気・地球惑星圏学会 2024 年秋季年会, 2024/11/25, 国立極地研究所, ポスター.

尾﨑 理玖, 梅田 隆行, 三好 由純, オーロラ加速領域における電気二重層の計算機シミュレーションのための高精度手法の研究, 地球電磁気・地球惑星圏学会 2024 年秋季年会, 2024/11/26, 国立極地研究所, 口頭.

梅田 隆行, Performance evaluation of relativistic particle integrator with conditional branching statements inside a loop for PIC simulations, 地球電磁気・地球惑星圏学会 2024 年秋季年会, 2024/11/25, 国立極地研究所, ポスター.

（別紙様式07-2）

非MHD効果を扱う新たな電磁流体力学によるグローバル地球磁気圏シミュレーション
Global simulation of Earth’s magnetosphere with new electromagnetic-fluid-dynamics including non-MHD effects

関戸晴宇、名古屋大学宇宙地球環境研究所

研究目的

地球磁気圏全体の時間発展を第一原理運動論方程式によって解くことができれば、磁気圏内で観測される物理過程をより精密にシミュレートすることができる。しかし、10^5 km スケールという広い計算領域を運動論で解くには膨大なメモリが必要になるため、現代の計算機の能力では計算することができず、20 年後においても実現の見込みは薄いと考えられる。そのため、計算負荷を抑えられる流体シミュレーションが有効であると考えられる。しかし、MHD 単一流体近似では慣性効果やジャイロ粘性効果が切り落とされており、空間解像度を高くしても慣性効果やジャイロ粘性効果等の詳細な物理過程を再現できない。これにより、磁気圏では 100 km オーダーが MHD 近似の空間解像度の限界であるが、既存の磁気圏 MHD シミュレーションではほぼ限界に達している（Sorathia et al. 2020)。流体シミュレーションをより運動論シミュレーションに近づけるためには、高次モーメント量（Umeda 2020）とともに、Ohm の法則における慣性項が必要である。このうち、高次モーメント量の導入は、世界的にもほとんど研究が行われていない。そこで本研究では、電磁流体力学シミュレーションに関して、以下の 2 つを目的とした。

1. 磁気流体力学シミュレーション手法に対し、4 次までの高次モーメント量を導入する。磁気流体力学方程式系の保存則およびモーメント量の時間発展を解く方程式は、Vlasov 方程式のモーメントをとることで導出される。高次モーメント量の導入により磁気流体力学にジャイロ粘性効果を反映させることができる。また、開発した手法について、MHD シミュレーション手法として現在広く用いられている HLLD 法（Miyoshi & Kusano 2005）との比較を行う。

2. 新手法の開発の後、Kelvin-Helmholtz 不安定性、Rayleigh-Taylor 不安定性および磁気リコネクションの発達について、運動論シミュレーションとの比較を行うとともに、地球磁気圏の数値シミュレーションを行う。ジャイロ粘性効果および慣性効果の導入により空間解像度の制限を取り払うことができるため、従来のグローバル磁気圏 MHD シミュレーションよりも高解像度で計算を行う。

本研究の完成により、磁気圏における物理現象をより正確かつ詳細に再現することが可能となる。これにより、地球周辺の宇宙物理の解明や宇宙天気予報の精度向上に資することが見込まれ、将来の宇宙開発への貢献が予想される。

研究結果

1 次元 MHD 方程式について、1 次精度風上法および 2 次精度 FDTD 法を用いて差分化を行った。この際、1 次精度風上法を適用した部分においては、Roe & Balsara (1996) に基づき 3 個の特性速度を用いて正方向に流れる流束と負方向に流れる流束を分離した。特性速度の導出にあたっては質量保存則、運動方程式、圧力および磁場の時間発展式を用いて行列を作り、その固有値を求め特性速度として用いた。差分化した式についてシミュレーションコードへの実装を行った。この際、staggered 格子系に基づいて磁場をその他の物理量から半格子分ずらして配置した。これは、2 次元以上に拡張した際に磁場発散

の抑制を図るためである。

引用文献

1. T. Umeda, “Evaluating higher moments in the transverse Kelvin–Helmholtz instability by full kinetic simulation”, Physics of Plasmas, Vol. 27, 032112, 2020
2. K. A. Sorathia et al., “Ballooning-interchange instability in the near-Earth plasma sheet and auroral beads: Global magnetospheric modeling at the limit of the MHD approximation”, Geophysical Research Letters, Vol. 27, No. 14, e2020GL088227, 2020
3. T. Miyoshi and K. Kusano, “A multi-state HLL approximate Riemann solver for ideal magnetohydrodynamics”, Journal of Computational Physics, Vol.208, No. 1, pp. 315–344, 2005
4. P. L. Roe and D. S. Balsara, “Notes on the eigensystem of magnetohydrodynamics”, SIAM Journal on Applied Mathematics, Vol. 56, No. 1, pp. 57–67, 1996

成果発表

出版済みの査読付き論文 3 篇（Sekido & Umeda, IEEE TAP, 2023; EPS, 2024; PIER M, 2024）に基づき博士学位論文を執筆した。

以下の国際学会および国内学会で研究発表を行った。

- The 15th International Symposium for Space Simulations and the 16th International Workshop on the Interrelationship between Plasma Experiments in the Laboratory and in Space, Garching near Munich, Germany (Gold Student Poster Award 受賞)
- The 21st International Congress on Plasma Physics, Ghent, Belgium
- Japan Geoscience Union Meeting 2024, 千葉県（学生優秀発表賞受賞）
- 第 156 回 地球電磁気・地球惑星圏学会（SGEPSS）総会・講演会, 立川市

（別紙様式07-2）

プラズマ波動による放射線帯電子の散乱に関するシミュレーション研究
Simulation study for scattering of radiation belt electrons by waves in plasmas

齊藤慎司、国立研究開発法人情報通信研究機構・宇宙環境研究室

【研究目的】

地球磁気圏に捕捉された放射線帯電子フラックスは、CMEやCIRによる磁気嵐の影響で大きく変動することが知られている。フラックス変動を起こす要因の1つとして注目されているのが、磁気圏中に励起される波動と放射線帯電子の間で起こる「波動粒子相互作用」である。特に電子とサイクロトロン共鳴が可能なwhistler mode波動による非線形過程を含んだ散乱過程が、放射線帯電子のフラックス変動に重要な役割を担っていると考えられている。このため、放射線帯変動を予測するためには非線形作用を含んだ物理過程を再現したモデルが必要となるが、計算コストが高いことが問題となっている。実観測をもとにリアルタイムで放射線帯の変動予測を行うためには、高速に結果を返すモデルが必須となる。

本研究ではwhistler mode波動による非線形過程を含んだ散乱過程を、確率散乱テーブルを構築することで高速に運動量変化を得る手法の開発を進めている。

【研究方法】

GEMSISプロジェクトのもとで開発された1次元テスト粒子モデルであるGEMSIS-RBWを用いて、1つのコーラス波動のエレメントによる散乱を示すテーブルを構築した。コーラス波動は背景磁場に対して並行に磁気緯度40度まで伝搬すると仮定している。初期パラメータをL、背景密度、波動強度、電子の運動エネルギー、電子の赤道ピッチ角として、1つのコーラス波動による散乱の結果得られるエネルギー・赤道ピッチ角の分布をテーブルとして構築した。構築されたテーブル数は約98万（L：15グリッド、背景プラズマ密度：8グリッド、コーラス振幅：8グリッド、エネルギー：32グリッド、赤道ピッチ角：32グリッド）であり、これらのテーブルを参照することで、その都度数値計算で散乱を計算するより高速に個々の電子の運動量変化を推定することが可能となった。

【研究結果】

図1は以下初期パラメータでひとつのコーラス・エレメントによる散乱を再現した結果となる。

エネルギー	赤道ピッチ角	L	背景プラズマ密度	コーラス振幅	エレメント長	エレメント周波数
約500 keV	約58度	5.7	5/cc	150 pT	300 ms	0.1-0.4 $\Omega_{e,eq}$

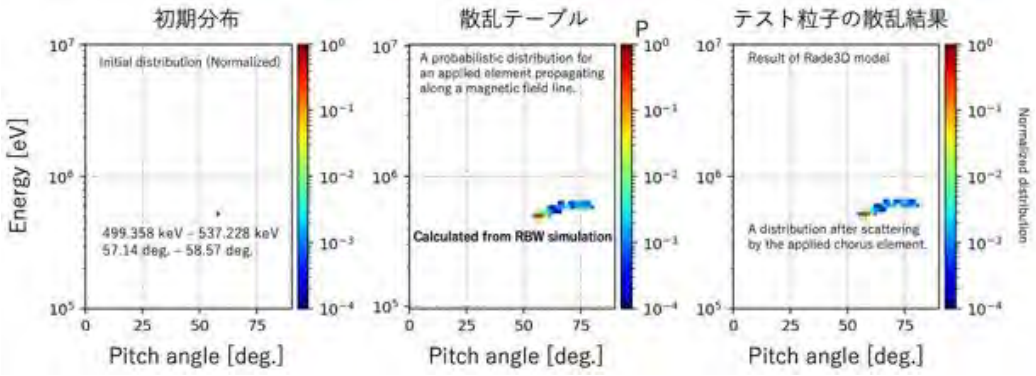


図1：確率散乱テーブルとこれを用いたテスト粒子散乱結果の比較。（左図）初期の電子分布。（中央図）事前に計算された確率散乱テーブル。（右図）確率散乱テーブルを用いて得られたテスト粒子の散乱結果。

事前に計算されている初期分布（図1：左）に対する確率散乱テーブル（図1：中央）をもとに、テスト粒子にエネルギーとピッチ角の変化を与える。図1で見られるように、確率散乱テーブルと、確率散乱テーブルを用いたテスト粒子の散乱結果がほぼ一致することが確認され、確率散乱テーブルに従うことでテスト粒子の散乱が再現されていることがわかる。

【まとめ】

本研究では確率散乱テーブルを構築することで、非線形を含んだwhistler mode波動による散乱を低計算コストで再現する手法の開発を進めている。今後、複数のwhistler mode chorusのエレメントによる散乱結果が、RBW（運動方程式を直接解いて計算するモデル）で計算した結果とどの程度一致するのかを検証するとともに、グローバルな散乱過程である動径方向拡散モデルと組み合わせることで、whistler mode chorusによる非線形過程を含んだ局所加速プロセスが、放射線帯変動にどのように寄与しているのかについて研究を進める。

【引用文献】

1. Saito, S., Y. Miyoshi, and K. Seki (2012), Relativistic electron microbursts associated with whistler chorus rising tone elements: GEMSIS-RBW simulations, J. Geophys. Res., 117, A10206, doi:10.1029/2012JA018020.

【成果発表】

1. Kurita, S., Miyoshi, Y., Saito, S. et al. Detection of ultrafast electron energization by whistler-mode chorus waves in the magnetosphere of Earth. Sci Rep 15, 992 (2025). https://dod.org/10.1038/s41598-024-80693-8
2. 齊藤慎司、栗田怜、三好由純, ″リアルタイム運用を視野に入れた低コスト放射線帯物理モデルの開発″, 宇宙環境シンポジウム, 大阪公立大学, 2024年7月29日
3. 齊藤慎司、三好由純、栗田怜, ″A LOW-COST MODELING FOR RADIATION BELT ELECTRONS WITH NON-LINEAR LOCAL SCATTERING BY LOWER-BAND WHISTLER CHORUS MODE WAVES″, 45th COSPAR Scientific Assembly 2024, Busan Korea, 2024年7月19日
4. 齊藤慎司、三好由純、栗田怜, ″Development of a low-cost radiation belt model including processes of nonlinear local electron scattering concurrent with quasilinear radial diffusion″, AT-RASC, Gran Canaria Spain, 2024年5月22日

宇宙機による電波掩蔽観測と数値シミュレーションの比較による、太陽コロナとコロナ質量放出中の磁場擾乱の研究

代表者 千葉翔太、名古屋大学宇宙地球環境研究所

- 研究目的

太陽風やコロナ質量放出(CME)などの太陽から吹き出すプラズマ現象は太陽・惑星間空間・地球・惑星を包括した太陽圏システム科学における最も重要な要素の一つである。本研究では、電波掩蔽観測に加え、数値シミュレーションや関連する地上観測、光学観測から得られるデータを統合的に解析し、太陽風や CME、太陽高エネルギー粒子などの太陽近傍から惑星間空間までの空間発展を明らかにすることを目的とする。

- 研究方法

電波掩蔽観測は、地球から見て宇宙機が太陽の反対側を通るときに宇宙機から送信され、コロナを通過し地上の受信局で記録される信号を用いるリモートセンシング手法で、加速領域を網羅的に観測できる。特に、電波掩蔽データのうち両円偏波の位相差から磁場変動に伴う Faraday 回転を導出し、CME や太陽コロナ中の磁場構造を推定できる。しかし、電波掩蔽観測で得られえる観測量は視線方向の積分量なので、直接観測の観測データと統合するためには局所的な物理量に変換する必要がある。そこで、MHD シミュレーションによる 4 次元データから Faraday 回転の模擬観測データを生成し、掩蔽データと比較することで、掩蔽データで得られた Faraday 回転から磁場の変動を見積もる。

本研究では、金星探査機「あかつき」による電波掩蔽観測の観測データのうち Faraday 回転変動とプラズマ密度変動の時系列データを使用する。また、Shiota et al. (2010), 代田真輝(2016)で用いられた 3 次元 MHD シミュレーションコードも利用し解析を行う。このシミュレーションは太陽表面から 15 R_S までの全球のコロナ領域をグリッド数(512×128×384×2)のインヤン格子で解く 3 次元 MHD シミュレーションで、定常状態の背景の太陽風を計算した後、CME の発展過程を計算する。

さらに、これらの解析と並行して、惑星間空間の太陽風モデルである Space-weather-forecast-Unstable System Anchored by Numerical Operations and Observations (SUSANOO; Shiota et al. 2014)のデータ公開に向け、SUSANOO の計算結果を STP 分野で広く使われている CDF 形式へ変換する作業も行う。

- 研究結果とまとめ

研究初年度である 2024 年度では、電波掩蔽観測のデータ解析と上述した MHD シミュレーションの解析を独立して行った。まず、電波掩蔽データの解析については、「あかつき」の観測によって得られた 2016 年の掩蔽データから、CME/ジェット由来と考えられる Faraday 回転変動を検出した。同時に得られたプラズマ密度変動との比較から、磁場の変動に伴う Faraday 回転変動を同定した。さらに、背景のプラズマ密度と磁場を経験モデルから仮定し、磁場擾乱の振幅を推定した。

また、上述した MHD シミュレーションについて、まずはインヤン格子の解像度を落とし、グリッド数(101×128×384×2)とグリッド数(256×128×384×2)の 2 種類のセットアップについて、定常太陽風の計算を行った。グリッド数(101×128×384×2)のケースについては長時間太陽風を吹かせると計算が破綻してしまうことを確認した。一方で、グリッド数(256×128×384×2)のセットアップでは長時間太陽風を吹かせても計算が破綻しないことを確認した。次年度ではグリッド数(256×128×384×2)のセットアップにて、CME の計算を行い擬似観測データを作成、実際の観測データと比較する予定である。

さらに、SUSANOO のデータ公開に向けての取り組みについては 2006 年 10 月–2014 年 12 月, 2018 年 1 月–2024 年 8 月までの CDF ファイルを生成し、それ以外のデータについても現在作成中である。

参考文献

Shiota, D., Kusano, K., Miyoshi, T., and Shibata, K. (2010), MAGNETOHYDRODYNAMIC MODELING FOR A FORMATION PROCESS OF CORONAL MASS EJECTIONS: INTERACTION BETWEEN AN EJECTING FLUX ROPE AND AN AMBIENT FIELD, ApJ, 718, 1305–1314, doi: 10.1088/0004-637X/718/2/1305

Shiota, D., R. Kataoka, Y. Miyoshi, T. Hara, C. Tao, K. Masunaga, Y. Futaana, and N. Terada (2014), Inner heliosphere MHD modeling system applicable to space weather forecasting for the other planets, Space Weather, 12, 187–204, doi:10.1002/2013SW000989.

代田真輝, (2016), コロナ質量放出の形成過程における磁場構造の変動に関する 3 次元電磁流体力学シミュレーション研究, 修士論文

（別紙様式07-2）

和文課題名 スードストリーマに関する 1 次元太陽風シミュレーション

英文課題名 One-dimensional simulation on solar wind like pseudostreamer

戸頃響吾、東京大学 大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻

【作成要領】

研究目的

太陽風は宇宙天気及びその予報における重要なファクターの一つである。予報数値モデルにおける太陽風速度は、計算コスト緩和のために経験則を用いて与える手法が広く用いられている。そのような経験則のなかでも古典的なモデルとして Wang-Sheeleyモデルがある (Wang & Sheeley 1990 ; Arge & Pizzo 2000)。これは特徴量として、太陽風の磁束管のコロナ底部からsource surfaceへの断面積拡大率(expansion factor) f_∞を用いており、磁束管が単調に拡大する一般的なコロナホール太陽風に対しては有効である。

しかしこのモデルはスードストリーマという太陽風では速度を過大評価することが示唆されている(Riley+ 2015;Tokumaru+ 2024)。スードストリーマは磁束管が非単調に拡大しexpansion factorが極大を持つことが知られており、これが過大評価の要因の可能性がある。また拡大率ではなく拡大高度が重要だとする観測的研究もある(Dakeyo+ 2024)。これらを踏まえるとコロナ底部とsource surfaceの中間領域の磁束管形状が太陽風速度に重要であることが示唆される。本研究の目的は数値シミュレーションによってこれらの影響を定量的に評価することである。

研究方法

コロナ中間領域の磁束管形状が遠方の太陽風速度に与える影響を包括的に評価するために本計算機等を用いて数値シミュレーションを行った。本シミュレーションモデルは、ある1本の磁束管についてエネルギー源として光球面から人工的なAlfven波を入射し、惑星間空間(太陽中心距離$r = 70R_{sun}$)まで1次元MHDを時間発展させている。その磁束管のfを様々に変えてパラメトリックスタディを行った。

研究結果

第一に、Wang-Sheeleyモデル速度を保ったままコロナ中間領域の磁束管形状を変化させたときの結果を示す。

図1は最終的な拡大の大きさ$f_\infty = 10$を保ったまま拡大の高度を変化させたときの図である。左パネルにおいて低高度で拡大するほど、右パネルにおいて速度が低下していることが分かる。このときの速度差は約200 km/s である。図2は最終的な拡大の大きさ$f_\infty = 10$を保ったまま途中で極大を持つような非単調拡大させたときの図である。左パネルにおいて極大が大きいほど、右パネルにおいて速度が低下していることが分かる。このときの速度差は約300 km/s である。

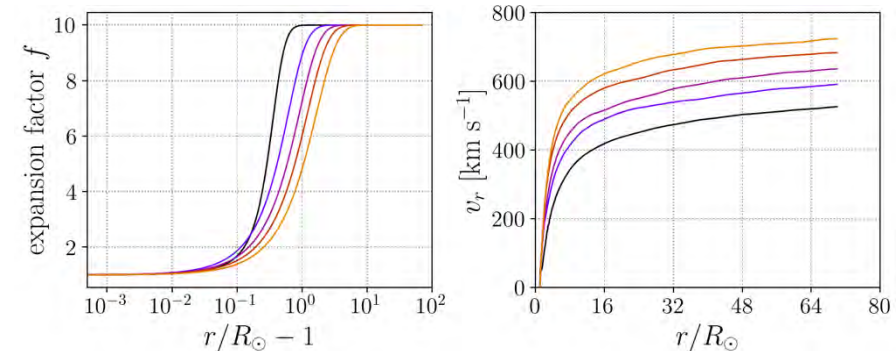


図 1. 拡大高度を変化させたときの速度変化の様子

左パネル：設定した expansion factor fの値。

右パネル：左パネルにて示したfに対応する太陽風速度の結果。

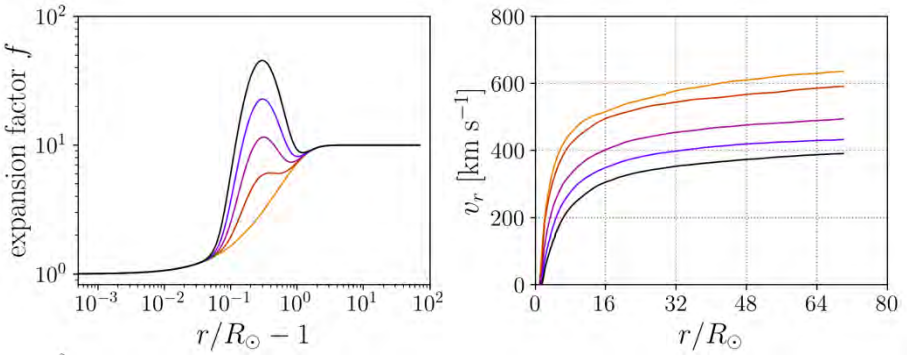


図 2. 非単調拡大による速度変化の様子(形式は図 1 と同様)

以上の結果から太陽風速度はexpansion factor f の十分遠方の収束値f_∞以外の要素を含めて評価する必要があることが示唆される。これを踏まえてより良い特徴量を求めた結果が図3である。

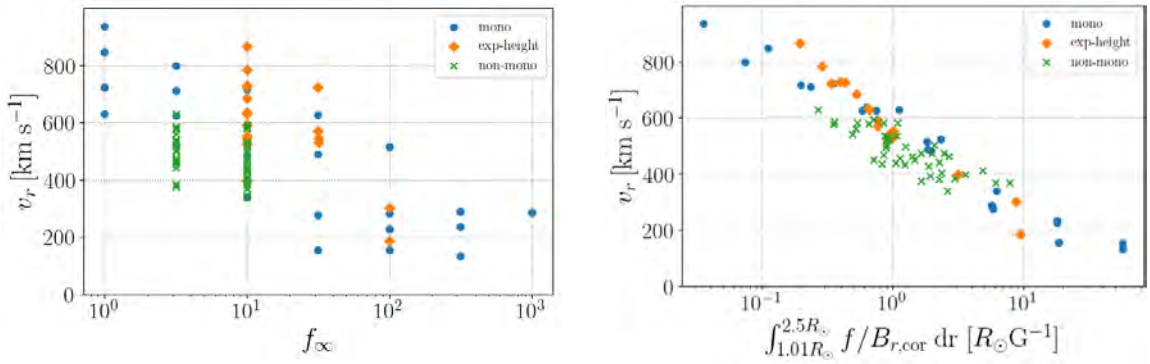


図 3. 各特徴量と太陽風速度の相関図(左パネル：Wang-Sheeley モデル　右パネル：新特徴量)
プロットのグループはfの変え方に対応する。”exp-height”（橙四角形)が拡大高度を変化させ、”non-mono”(緑十字)が非単調拡大をさせたものであり、”mono”(青丸)がそれらをせずただ倍率の大きさを変化させたものである。

図3左パネルのWang-Sheeleyモデルに比べ、右パネルの特徴量の方が太陽風速度と強い相関を持っていることが分かる。これは新しい特徴量が、前述のコロナ中間領域の磁束管形状を反映できているからだと考えられる。

引用文献

Wang, Y. M., & Sheeley Jr, N. R. (1990). Solar wind speed and coronal flux-tube expansion. Astrophysical Journal, Part 1 (ISSN 0004-637X), vol. 355, June 1, 1990, p. 726-732. Research supported by the US Navy., 355, 726-732.

Arge, C. N., & Pizzo, V. J. (2000). Improvement in the prediction of solar wind conditions using near‐real time solar magnetic field updates. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 105(A5), 10465-10479.

Riley, P., Linker, J. A., & Arge, C. N. (2015). On the role played by magnetic expansion factor in the prediction of solar wind speed. Space weather, 13(3), 154-169.

Tokumaru, M., Fujiki, K. I., & Watanabe, H. (2024). Optimization of solar-wind speed models using interplanetary scintillation observations. Solar Physics, 299(8), 110.

Dakeyo, J. B., Rouillard, A. P., Réville, V., Démoulin, P., Maksimovic, M., Chapiron, A., ... & Louarn, P. (2024). Testing the flux tube expansion factor-Solar wind speed relation with Solar Orbiter data. Astronomy & Astrophysics, 691, A77.

成果発表

戸頃響吾 庄田宗人 今田晋亮、Pseudostreamerの1次元数値シミュレーションと経験則の構築、日本天文学会2024年秋季年会、兵庫、2024年9月12日

戸頃響吾 庄田宗人 今田晋亮、One-dimensional numerical simulation and empirical construction of Pseudostreamer、地球電磁気・地球惑星圏学会 2024年秋季年会（第156回総会）、東京、2024年11月27日

戸頃響吾 庄田宗人 今田晋亮、中間高度の磁束管形状が太陽風速度に与える影響、日本天文学会2025年春季年会、茨城、2025年3月20日

（別紙様式07-2）

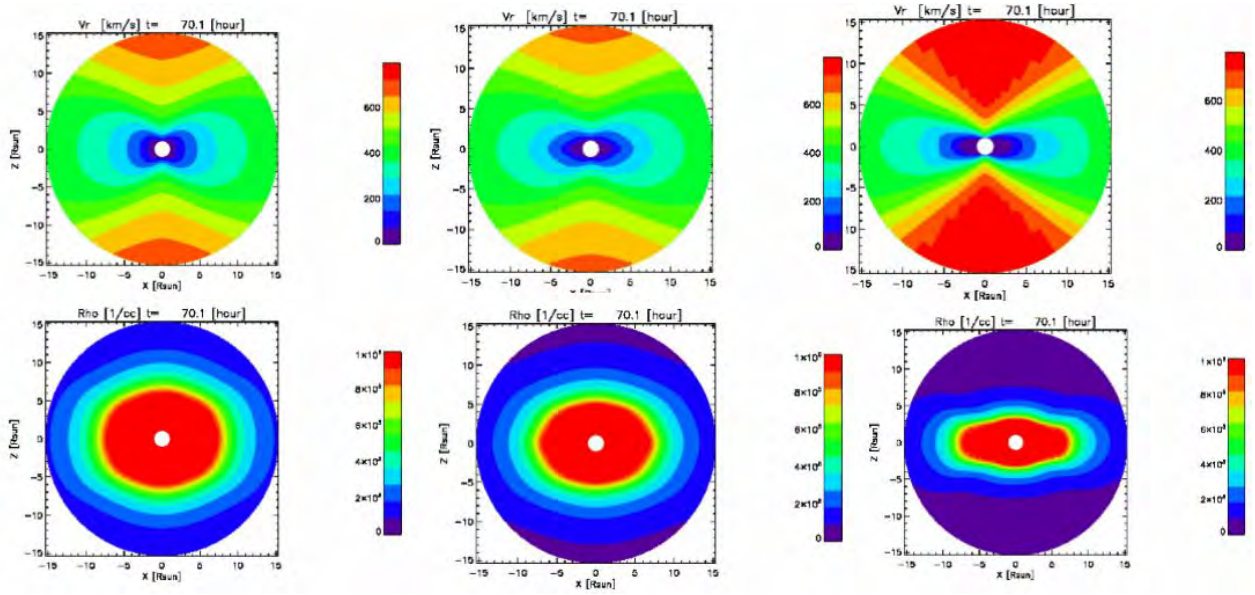
太陽近傍におけるCMEの伝播シミュレーション
A simulation of CME propagation near the sun

鈴木　亮、東京大学 大学院理学系研究科地球惑星科学専攻

研究目的　宇宙空間は人類の活動の場の一つになっており、太陽地球環境がどのように変動するか社会的な関心・需要が高まってきている。一方で、特に太陽フレアに伴う CME の発生機構の解明及びその予測は全く実現されていないのが現状で ある。本研究の目的は太陽フレアに伴う CME の発生機構を解明し、未だ達成されていない CME の発生・伝搬予測研究 を行う事である。具体的には、これまで確立されてきた黒点周辺の磁場のみを用いたフレア予測シミュレーションを超え、フレア予測シミュレーションを太陽全球の磁場を考慮したグローバルなシミュレーションに発展させることを目標とする。

研究方法　CIDAS の計算機システムを利用し、宇宙地球環境研究所所属の教員に計算アルゴリズムの中身やその実行方法に関するアドバイスを受けつつ、申請者が CME の伝播に関するシミュレーションを行う。初期条件として、太陽の大局的磁場の強度、またはフラックスロープの位置や磁場強度を変えながらシミュレーションを行い、伝播の様子がどう変わっていくのかを調べる。CME の形状や初期条件は Shiota et al.[2010]、太陽風の条件については Manchester et al.[2004]に準じる。

研究結果　現在までに、CMEの伝播シミュレーションの前段階として太陽の周囲15太陽半径までの計算領域に定常に達するまで太陽風を吹かせるシミュレーションを行い、その計算結果が太陽磁場の値によって異なるということが確かめられている。



上図はそのプロットを表している。第1行は太陽近傍の速度分布、第2行は太陽近傍の密度分布を示す。太陽磁場強度それ自体だけではなく、それにより生じる上に示したような速度分布・密度分布の違いもまたCMEの伝播に影響を与えると考えられる。

学会発表　鈴木　亮(東京大学)、今田　晋亮(東京大学) 「Influence of the Global Solar Magnetic Field on CME」 2024年度ISEE合同研究集会「太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望」 2025年3月3日 名古屋大学宇宙地球環境研究所　研究所共同館Ⅱ 3Fホール

出典

Manchester, Ward, B., Gombosi, T. I., Tamas I., Roussev, I., Ilia, R., De Zeeuw, D. L., Sokolov, I. V., Powell, K. G., Tóth, G., & Opher, M. 2004, Res.: Space Phys, 109, A01102

Shiota, D., Kusano, K., Miyoshi, T., & Shibata, K. 2010, ApJ, 718, 1305

2024年度 08)データベース作成共同研究 目次詳細

4 件

＊所属・職名は2025年3月現在

＊Affiliation and Department displayed are current as of March 2025.

研究代表者 Principal Investigator	所属機関* Affiliation	所属部局* Department	職名* Job title	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
山崎貴之	気象庁 地磁気観測所	技術課	主任研究官	アナログ時代に遡る高時間分解能地磁気デジタルデータベース	308	
青木陽介	東京大学	地震研究所	准教授	超稠密GNSS受信機網を用いた電離圏イメージング観測に向けてのデータベース構築	310	
渡邉恭子	防衛大学校	地球海洋学科	教授	横須賀太陽電波強度偏波計データベース構築	311	
Kirolosse Girgis	九州大学	国際宇宙惑星環境研究センター	学術研究員	MAGDAS/CPMNデータのデータベース化	313	

（別紙様式08-2）

アナログ時代に遡る高時間分解能地磁気デジタルデータベース
Database of high-time-resolution geomagnetic field back to the analog era

山崎貴之　気象庁地磁気観測所技術課

１．目的

現在、地球電磁気学・宇宙空間物理学の分野で広く使われているデジタル収録のデータはそのほとんどが1970年代以降のものであり、それ以前は紙媒体によるアナログデータである。気象庁地磁気観測所には、アナログマグネトグラムと呼ばれる地磁気の変動を印画紙に記録したデータが保管されており、国際地球観測年以降については日本国内の3観測点（柿岡、女満別、鹿屋）における観測記録が揃っている。このような記録は少なくとも1924年以降アナログ形式で残存しており、特に最近の研究から、1930～1950年代には現代観測でなかなか捉えられないような巨大磁気嵐が起きていたことも明らかになりつつある。このような激甚宇宙天気現象の理解にあたり、高時間分解能地磁気デジタルデータベースの構築は極めて価値が高い。

本共同研究では、この紙媒体に記されたアナログデータをスキャナで取り込むことで高解像度のデジタル画像に変換し、計算機で利用可能な高時間分解能のデータにすることを目的とする。このデータベースの作成により、1分値あるいは更に高時間分解能のデータを抽出することができ、現存のデジタルデータよりさらに数十年間、過去に遡ったデータが利用可能になる。

太陽活動に起因する短周期の地磁気変動を、1地点だけでなく3地点について長期間にわたり詳しく解析することが可能になり、地磁気変動の空間分布の解明や、相互比較によるデータの信頼性の検討に役立つことが予想される。アナログ時代に遡ることにより、将来的に、太陽活動の11年／22年周期に比して長期的なデータベースを得ることが可能となり、太陽活動の地球環境への影響を解明することに資する。

２．研究方法と研究結果

2024年度は、女満別の1960～1961年と鹿屋の1961年（合計3年分）のアナログマグネトグラムについてデジタル画像化を行った。

気象庁地磁気観測所の職員が、1日毎に記録されているアナログマグネトグラムをすべてチェックし、日付に抜けがないか、欠測や異常値が含まれていないか、また、感度測定のための人為的信号が含まれる時刻等を確認した。その後、マグネトグラム1,185枚の高精度スキャニング作業（光学解像度600dpi）を外注した。得られたデジタル画像は、既に稼働しているWWWサーバ（地磁気観測所ホームページ「デジタルデータサービス」）から提供している。デジタル画像の例を図1に示す。

なお、デジタル画像からの数値化（毎分値、7.5秒値）も進めており、順次公開している。

３．まとめ

2012年度から2024年度にかけて、本共同研究（名古屋大学太陽地球環境研究所の共同研究を含む）に加え、科研費補助金や気象庁予算を用いて、アナログマグネトグラムのデジタル化を進めてきた(図2)。地磁気観測データの利活用に当たっては太陽活動の周期と比べて長期間のデータがあると有用性が高まるため、今後もデータベース作成を着実に進めていきたいと考えている。

４．成果発表

(1)N.Mashiko, S.Nagamachi, K.Morinaga, S.Asari,J.Oogi, T.Araki, M.Nose 、Digitization project of historical analogue magnetograms in Japan、Joint Symposium of Space Climate 9 Symposium and ISEE Symposium、Nagoya University、October 1-4, 2024

(2)山崎貴之、アナログ時代に遡る高時間分解能地磁気デジタルデータベース、2024年度ISEE共同利用・共同研究　コミュニティ・ミーティング、オンライン、2024年11月8日

(3)北山拓、地磁気精密観測、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第3次）」令和6年度成果報告シンポジウム、東京大学武田先端知ビル内・武田ホール、令和7年3月6日

５．その他

アナログマグネトグラムのチェックには多大な手間がかかるため、本共同研究に明示的には関わっていない地磁気観測所職員も多数参加した。

地磁気観測所ホームページ「デジタルデータサービス」において、本共同研究に関連する日本語ペー

ジ（「地磁気：アナログ印画紙記録画像」及び「地磁気：毎分値の一部と7.5秒値」）では、下記の共同研究の成果を含むことを表示している。

・平成26, 27年度　名古屋大学太陽地球環境研究所　所外データベース作成共同研究

・平成28, 29, 30, 令和元, 2, 3, 4, 5, 6年度　名古屋大学宇宙地球環境研究所　データベース作成共同研究

また、同サイトの本共同研究に関連する英語ページでは、「the Joint Research Program of the Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE), Nagoya University」の成果を含むことを表示している。

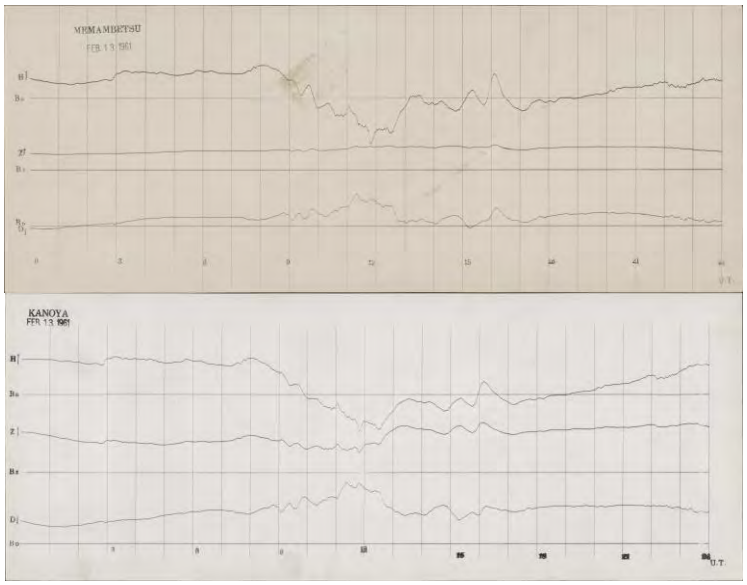


図1　デジタル画像化されたアナログマグネトグラムの例（上：女満別、下：鹿屋）
水平成分(H)、鉛直成分(Z)、偏角(D)の変化が記録されている。日時はUTC。

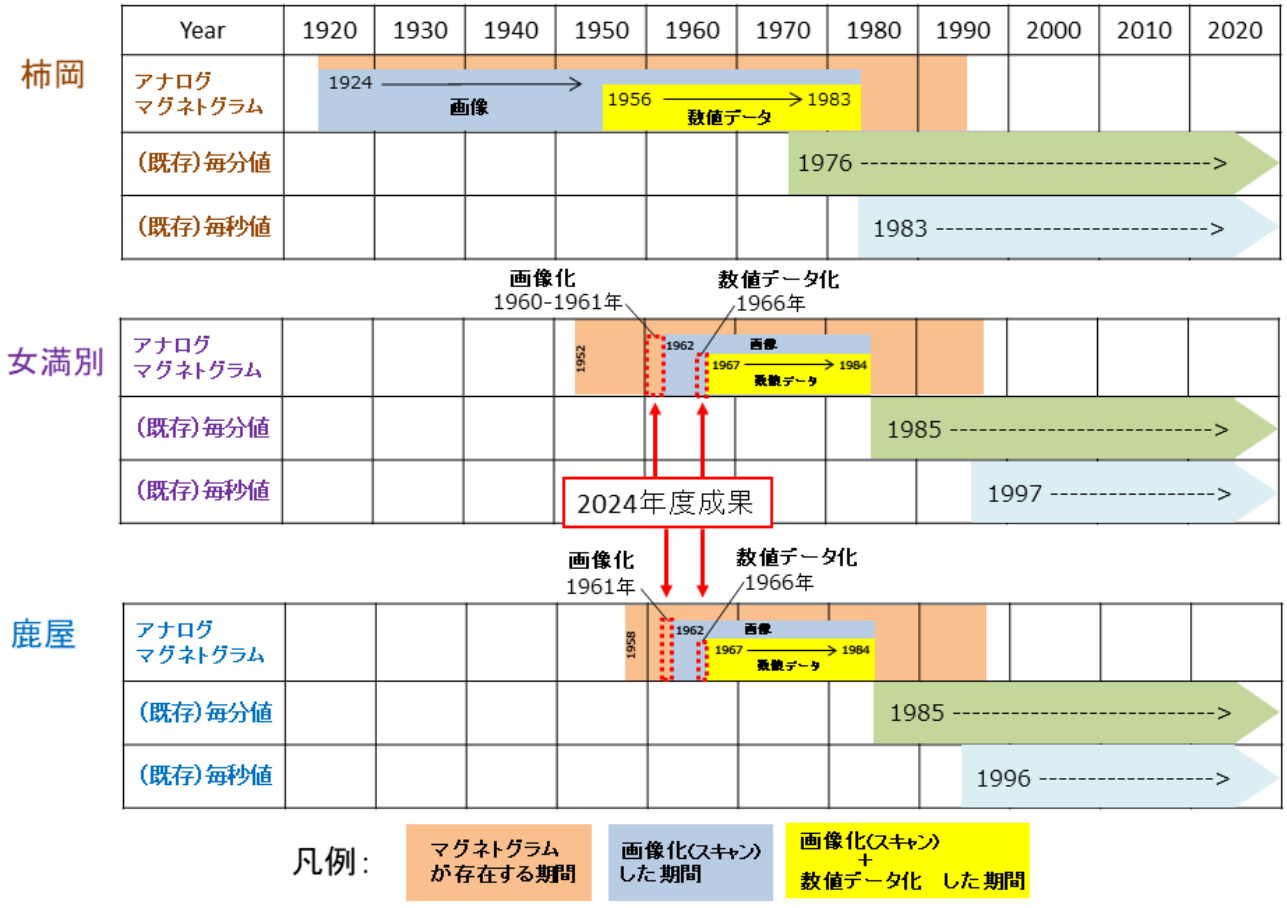


図2　2024年度までに実施されたアナログマグネトグラムのデジタル化成果のまとめ
デジタル画像及び数値化（毎分値、7.5秒値）したデータは全て公開している。

（別紙様式08-2）

超稠密GNSS受信機網を用いた電離圏イメージング観測に向けてのデータベース構築

Database for imaging ionosphere with super-dense GNSS network

青木 陽介、東京大学・地震研究所

GNSS観測は観測点の座標の高精度な測位を本来の目的とするが，測位のためにはノイズとなる電離圏の電子密度擾乱をシグナルとして用いることもでき，これまでに磁気嵐・日食・地震・火山噴火などにともなう電離圏擾乱が研究されてきた．電離圏擾乱を正確にイメージングするためには稠密なGNSS観測網が不可欠であるが，近年のソフトバンク（株）によるGNSS観測網の整備は，その空間密度により電離圏イメージングに革新をもたらそうとしている．従来日本列島では，世界でも最も稠密な国土地理院によるGEONET観測（観測点密度15—20 km）が存在していたが，ソフトバンク（株）による観測網は観測点密度5—10 kmとGEONETのそれをはるかに凌駕するからである．

そこで我々は、このように充実した観測網から得られる情報を余すことなく活用することを目的としてデータベースを構築した.それを用いて，Fu et al. (2024)は夜間の中規模電離圏擾乱(Medium-scale traveling ionospheric disturbance: MSTIDs)を，ソフトバンク（株）によるGNSS観測網およびGEONETを用い，電離圏トモグラフィによりイメージングした．その結果，夜間のMSTIDによる電子密度変動は，磁力線に沿った構造をもち，最初に低高度で形成され，その後高高度まで広がり大きな振幅と空間スケールへと発達することを示した．加えて、モデル計算を行い，本手法により電子密度変動を80%以上復元できることを確認している．

このMSTIDの三次元構造から得られた結果は，夜間のMSTIDの生成に分極電場が重要な役割を果たしているという理論と一致しており，本研究で開発したトモグラフィ技術が電離圏電子密度の3次元構造の変動を明らかにする上で有効なことを示している．

参考文献

Fu, W., Otsuka, Y. & Ssessanga, N. (2024), High-resolution 3-D imaging of electron density perturbations using ultra-dense GNSS observation networks in Japan: an example of medium-scale traveling ionospheric disturbances, Earth Planets Space, 76, 102. doi:10.1186/s40623-024-02051-2

（別紙様式08-2）

横須賀太陽電波強度偏波計データベース構築
Yokosuka Radio Polarimeter (YoRP) Database

渡邉恭子、防衛大学校・地球海洋学科

太陽放射は宇宙天気環境に大きな影響を与えていることが知られているが、その中でも地球上層大気に影響を与えているのは太陽極紫外線（EUV）と X 線である。太陽 EUV 放射と X 線の観測は衛星観測に限られているが、マイクロ波放射は EUV 放射と X 線量の指標となり地上の装置で観測できるため、手軽に宇宙天気研究に活用できるデータとして広く用いられてきた。日本では、名古屋大学空電研究所や国立天文台が運用してきた太陽電波強度偏波計（Toyokawa Radio Polarimeters (ToRP), Nobeyama Radio Polarimeters (NoRP)）において、70 年以上にわたる電波放射の観測が現在まで継続されている。しかし、NoRP は 2028 年度末で観測の終了を予定しており、また、NoRP の観測周波数は 1, 2, 3.75, 9.4, 17, 35, 80 GHz と 7 周波数に限られている。これらのマイクロ波放射について、2028 年度以降も継続的な観測を行うだけでなく、NoRP の観測周波数を含むマイクロ波放射のダイナミックスペクトルを取得するために、2-10 GHz の太陽電波放射を観測する装置として、防衛大学校内に 2m 級のパラボラアンテナを用いた横須賀太陽電波強度偏波計（Yokosuka Radio Polarimeter; YoRP）を 2023 年度に構築した。

YoRP は 2024 年 4 月からの観測を予定していたが、太陽追尾システムが本格的に起動できたのは 2024 年 9 月であった。その後、パラボラアンテナからの信号をスペクトラルアナライザで取得する手法による観測方法を確立し、10 月中旬より手動による観測を開始した。毎日、正午近くの時間において観測を行い、チョッパー・ホイール法を用いてその日の太陽の輝度温度を導出した。これを NoRP の daily flux と比較することで、YoRP のマイクロ波スペクトルを導出した。このような手法で導出した YoRP のマイクロ波スペクトルの例を図 1 に示す。図 1 に黄点で示しているのは 2025 年 1 月 9 日のスペクトル、青点は 2025 年 1 月 20 日のスペクトルであるが、傾きが異なっていることがわかる。2025 年 1 月 20 日の方が太陽表面上にある黒点数・黒点面積が多かったことから、このスペクトルの傾きの違いは、黒点起源のジャイロレゾナンス放射の影響であることがわかる。

一方、YoRP の観測は手動で行っているため、太陽フレア放射のデータの取得は難しかった。しかし、15 秒毎に手動でスペクトラムアナライザを用いてスペクトルを記録することで、2025 年 1 月 23 日 1:56 UT に発生した C9.1 クラスフレアの観測に成功した。この時に観測された 2.8-10 GHz のマイクロ波のダイナミックスペクトルを図 2 に示す。11:00 JST（2:00 UT）頃に 4.6 GHz をピークとするフレア放射を観測することができた。

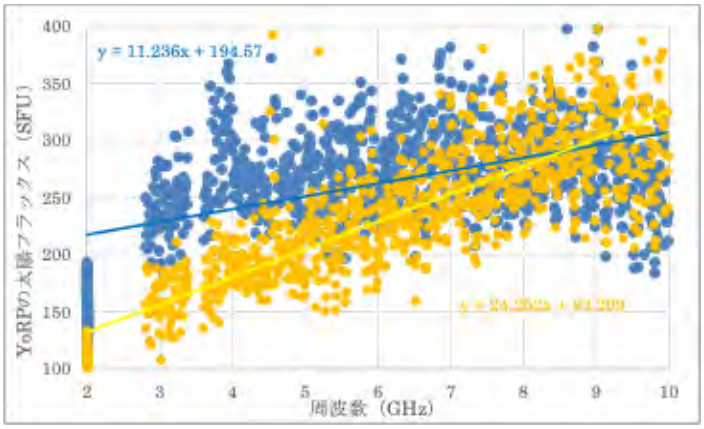


図 1　2025 年 1 月 9 日（黄点）と 2025 年 1 月 20 日（青点）に YoRP で取得したマイクロ波のスペクトル。太陽表面にある黒点面積によってスペクトルの傾きが変わっている。

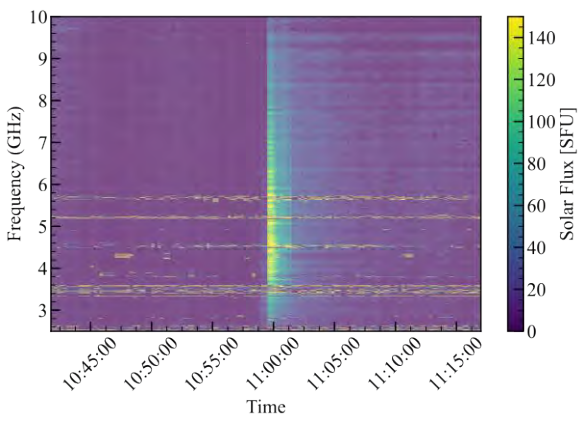


図 2　2025 年 1 月 23 日 1:56 UT に発生した C9.1 クラスフレア時に観測された 2.8-10 GHz のマイクロ波のダイナミックスペクトル。

成 果 発 表

1. Kyoko Watanabe, Masumi Shimojo, Kazumasa Iwai, "A New Solar Radio Polarimeter in Yokosuka - Yokosuka Radio Polarimeter (YoRP)", JpGU Meeting 2024, Makuhari Messe, Chiba, Japan, 2024 May 30

2. Kyoko Watanabe, Seiji Yashiro, Satoshi Masuda, "Solar Flare Impulsivity and Its Relationship with White-light Flares and with CMEs", AOGS2024 21st Annual Meeting, Singapore, 2024 Jun 24

3. Kyoko Watanabe, Masumi Shimojo, Kazumasa Iwai, Nariaki V. Nitta, "Introduction of Yokosuka Radio Polarimeter (YoRP) and Its Observation", AOGS2024 21st Annual Meeting, Singapore, 2024 Jun 26

4. 渡邉恭子, 前田護, 下条圭美, 行方行介, 増田智, "機械学習を用いた多周波太陽電波放射からのEUV放射スペクトルの予測とその宇宙天気予報への活用", ISEE研究会「情報科学技術との融合による太陽圏物理学の新展開」, 名古屋大学 宇宙地球環境研究所, 2024年9月10日

5. 渡邉恭子, "太陽フレア放射とその電離圏・熱圏への影響", 令和6年度「中間圏・熱圏・電離圏 (MTI) 研究集会」, 九州工業大学 戸畑キャンパス, 2024年9月18日

6. Kyoko Watanabe, Satoshi Masuda, "Characteristics of white-light flares and their relationship to space weather", Joint Symposium of Space Climate 9 Symposium and ISEE Symposium, Nagoya University, Nagoya, Japan, 2024 Oct 3

7. Kyoko Watanabe, Masumi Shimojo, Kazumasa Iwai, "Introduction of New Solar Radio Polarimeter in Japan; Yokosuka Radio Polarimeter (YoRP)", Joint Symposium of Space Climate 9 Symposium and ISEE Symposium, Nagoya University, Nagoya, Japan, 2024 Oct 3-4

8. 渡邉恭子, 下条圭美, 岩井一正, 増田智, "横須賀太陽電波強度偏波計による太陽マイクロ波観測", 第156回SGEPSS総会および講演会, 国立極地研究所, 2024年11月25日

9. Kyoko Watanabe, Masumi Shimojo, Kazumasa Iwai, Satoshi Masuda, "Solar Microwave Observations with New Solar Radio Polarimeter in Japan", 2024 AGU fall meeting, Washington D.C., USA, 2024 Dec 13

10. 渡邉恭子, 城河内涼佳, 安居賢生, 下条圭美, 岩井一正, 増田智, "横須賀太陽電波強度偏波計（Yokosuka Radio Polarimeter; YoRP）による太陽マイクロ波スペクトル観測", 2024年度太陽研連シンポジウム, 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所, 2025年2月17-19日

11. Kyoko Watanabe, Ryoka Shirogauchi, Kensho Yasui, Masumi Shimojo, Kazumasa Iwai, Satoshi Masuda, "Observations of solar microwave spectra by the Yokosuka Radio Polarimeter (YoRP)", 第8回 ISEEシンポジウム "Frontier of Space-Earth Environmental Research as Predictive Science"（予測の科学としての宇宙地球環境研究のフロンティア）, Nagoya University, Nagoya, Japan, 2025 Mar 5-7

（別紙様式08-2）

MAGDAS/CPMNデータのデータベース化
MAGDAS/CPMN Database

Kirolosse Girgis、九州大学・国際宇宙惑星環境研究センター

① 研究目的

九州大学ではMAGDASプロジェクト（MAGnetic Data Acquisition System (MAGDAS)/Circum-pan Pacific Magnetometer Network(CPMN)）を継続実施している。これは、磁気経度210度沿い、96度沿い、及び磁気赤道領域を中心に汎世界的に展開されたフラックスゲート型地上磁力計及びFM-CWレーダー、インダクション磁力計による地上観測網である。本申請課題では、MAGDASデータのデータベース化を実施する。本課題の成果は、太陽風-地球磁気圏相互作用、電離圏・磁気圏ダイナミクス、電離圏-熱圏におけるプラズマ中性大気相互作用、太陽活動ならびに大気圏運動の短・長周期変動特性などについての国内・国際共同研究や、九州大学大学院生の教育の一貫に利用される。

② 研究方法

MAGDAS/CPMNにて運用されているフラックスゲート磁力計で観測された地磁気3成分1秒、1分値、並びに、10Hzサンプリングの高時間分解能データについてデータベース化をおこなう（担当：Kirolosse）。また、FM-CWレーダーによる電離層観測データ（イオノゾンデ並びにドップラー観測）（担当：藤本）、及びインダクション磁力計による50Hz地磁気観測データ（担当：池田）についてデータベース化を進める。データベース化された地磁気データを用いてEE-index[Uozumi et al, 2008、Fujimoto et al.,2016]を算出し、公開する。データベース化された電離層観測データを用いてイオノグラムを作成し、イオノグラム各観測パラメータ自動読み取りを実施する。また、これらを効率的に比較解析できるウェブインターフェースを構築する（担当：修士学生）。作成されたデータは、大学間連携プロジェクトIUGONETで開発されたメタデータ・ データベース（IUGONET Type-A）及び解析ソフトウェアで利用できるよう、メタデータ、QLプロット、データ読み込みプログラムの作成と登録を行なう。関連研究者へインターネットを通じて公開するためのMAGDAS/CPMNデータベースのウェブサイト運用をおこなう(担当：阿部)。

③ 研究成果考察

九州大学国際宇宙惑星環境研究センターの大型特別設備：MAGnetic Data Acquisition System(MAGDAS)をデータ収集の基幹システムとして運用した。これまでにデータベース化されたMAGDAS/CPMNデータは、九州大学国際宇宙惑星環境研究センター、ERGサイエンスセンターから公開した。また、CDF及びIAGA-2002形式のデータを、SPEDAS経由でダウンロード可能にした。MAGDASに関連するメタデータ等をIUGONET Type-Aから公開した。また、九州大学図書館と連携し、本データベースのDOI取得を進めた。

④ 結果論文

1. Zhang, R., Liu, L., Yang, Y., Li, W., Zhao, X., Yoshikawa, A., et al. (2024). Ionosphere responses over Asian-Australian and American sectors to the 10-12 May 2024 superstorm. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 129, e2024JA033071. https://doi.org/10.1029/2024JA033071
2. Zhou, X., Chen, G., Yue, X., Zhang, R., & Yoshikawa, A. (2024). Intraseasonal variability of the equatorial ionosphere responses to the Madden-Julian oscillation. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 129, e2024JA033342. https://doi.org/10.1029/2024JA033342
3. Vazifehkhah Hafteh, M., Mahmoudian, A., Yoshikawa, A., & Girgis, K. (2024). Mid-latitude study of ionospheric variation over Iran associated with equatorial ionization anomaly (EIA), and artificial neural networks model development. Space Weather, 22, e2024SW004032. https://doi.org/10.1029/2024SW004032
4. Nasurudiin, S., Yoshikawa, A., Elsaid, A., & Mahrous, A. (2024). Prediction of Ionospheric Scintillations Using Machine Learning Techniques during Solar Cycle 24 across the Equatorial Anomaly. Atmosphere, 15(10), 1213, https://doi.org/10.3390/atmos15101213
5. Pilipenko, V., Martines-Bedenko Valery A., Yoshikawa, A., Girgis, K. (2024), Critical analysis of the ULF power depression as a possible Tohoku earthquake precursor, Earthquake Science, 37(5), 407-414, https://doi.org/10.1016/j.eqs.2024.06.003
6. Takla, E. M., Yoshikawa, A., Uozumi, T., Girgis, K. M.& Abdelkader, A. (2024) Daily geomagnetic variations under variable IMF/solar conditions and their connection with underground conductivity changes in Japan, Annals of Geophysics, 67(1), https://doi.org/10.4401/ag-9021
7. Shah, R., Shazana, H., Abdullah, M., Annuar, A., Sarudin, I., Kamarudin, F., & Yoshikawa, A. (2024), A case study on the impact of geomagnetic storms events with Dst ≤ 350nT in May 2024, J. Phys.: Conf. Ser. 2915, 012007, https://doi.org/10.1088/1742-6596/2915/1/012007 A41
8. Zafar, SNA Syed; Umar, R; Hazmin, SN; Jusoh, MH; Yoshikawa, A; Abe, S; Uozumi, T; Afandi, NZM; Mahiddin, NA (2024) Modelling of ULF Pc4-Pc5 Pulsations with solar winds and geomagnetic storm for ULF earthquake precursor, Advances in Space Research,3,1814-1830, 2024, https://doi.org/10.1016/j.asr.2023.10.036
9. Pappoe, Justice Allotey; Yoshikawa, Akimasa; Kandil, Ali; Mahrous, Ayman (2024) A machine learning approach combined with wavelet analysis for automatic detection of Pc5 geomagnetic pulsations observed at geostationary orbits, Advances in Space Research,74, 12, 6277-6291, https://doi.org/10.1016/j.asr.2023.11.001
10. Tariq, M Arslan; Liu, Libo; Shah, Munawar; Yang, Yuyan; Sun, Wenjie; Shah, M Ali; Zhang, Ruilong; Yoshikawa, Akimasa (2024) Longitudinal variations of ionospheric responses to the February and April 2023 geomagnetic storms over American and Asian sectors, Advances in Space Research,73,6,3033-3049, https://doi.org/10.1016/j.asr.2023.12.039
11. Pappoe, Justice Allotey; Akimasa, Yoshikawa; Kandil, Ali; Mahrous, Ayman (2024) Machine learning techniques for estimation of Pc5 geomagnetic pulsations observed at geostationary orbits during solar cycle 23, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 260,106258, https://doi.org/10.1016/j.jastp.2024.106258
12. Shah, Raja Adibah Raja Halim; Hamid, Nurul Shazana Abdul; Abdullah, Mardina; Annuar, Adlyka; Sarudin, Idahwati; Radzi, Zahira Mohd; Yoshikawa, Akimasa (2024) A Comprehensive Classification and Analysis of Geomagnetic Storms Over Solar Cycle 24, Research in Astronomy and Astrophysics, 24,8,85007, IOP Publishing, https://doi.org/10.1088/1674-4527/ad5b34
13. Zainuddin, Aznilinda; Hairuddin, Muhammad Asraf; Yoshikawa, Akimasa; Hashim, Mohd Helmy; Abd Latiff, Zatul

Iffah; Yassin, Ahmad Ihsan Mohd; Jusoh, Mohamad Huzaimy (2024) Comparative Analysis of dB/dt Response Towards dH/dt as Proxies for Geomagnetically Induced Currents (GICs) in Low-Latitude Region, 2024 IEEE Symposium on Wireless Technology & Applications (ISWTA),235-240, IEEE, https://doi.org/10.1109/ISWTA62130.2024.10651826

14. Hairuddin, Muhammad Asraf; Zainuddin, Aznilinda; Abd Latiff, Zatul Iffah; Anuar, Nornabilah Mohd; Ashar, Nur Dalila Khirul; Hamidi, Zety Sharizat; Nordin, Abu Hassan; Yassin, Ahmad Ihsan Mohd; Yoshikawa, Akimasa; Jusoh, Mohamad Huzaimy (2025) An overview of 33 years of trends in space weather research: a bibliometric analysis (1988-2021), Bulletin of Electrical Engineering and Informatics,14,1,234-249, http://dx.doi.org/10.11591/eei.v14i1.8159

15. Zafar, SNA Syed; Umar, R; Sabri, NH; Jusoh, MH; Yoshikawa, Akimasa; Abe, Shuji; Uozumi, Teiji (2024) The Intense Geomagnetic Storm on March 24, 2023, Associated with Halo CMEs and Solar Flares, 2024 International Exchange and Innovation Conference on Engineering & Sciences, Kyushu University, http://dx.doi.org/10.5109/7323401

16. Maryanto, Sukir; Widyaminudiin, Masdukhan A; Suaidi, Daeng A; Perwita, Cholisina A; W.i, Sri D; Abe, Shuji; Yoshikawa, Akimasa; Takla, Emad MH; Girgis, Kirolosse M; Sari, Rendi PH (2024) Multi-method Geophysical Observations in Governing Sustainable Development of a Volcano-Hosted Geothermal Area in Cangar, Indonesia, 2024 International Exchange and Innovation Conference on Engineering & Sciences, Kyushu University, http://dx.doi.org/10.5109/7323410

17. Abbas, M; Mukhtar, IF; Moh., BK; Jusoh, MH; Yoshikawa, A (2024) Longitudinal Morphology of the Morning Counter Equatorial Electrojet during Low Solar Activity, International Astronomy and Astrophysics Research Journal, 81-92, https://doi.org/10.9734/iaarj/2024/v6i1106

⑤ 学会発表

◆ European Geosciences Union (EGU) ：2024年5月14-19日

1. Hayashi, M., Yoshikawa, A., and Fujimoto, A.: Mid-latitude Electric Field Response during Isolated Substorms: Effects of SCW Location and Shielding, EGU General Assembly 2024, Vienna, Austria, 14-19 Apr 2024, EGU24-13795, https://doi.org/10.5194/egusphere-egu24-13795, 2024.
2. Girgis, K., Hada, T., Yoshikawa, A., and Matsukiyo, S.: A multi-disciplinary approach to investigate particle dynamics in the South Atlantic Magnetic Anomaly, EGU General Assembly 2024, Vienna, Austria, 14-19 Apr 2024, EGU24-1630, https://doi.org/10.5194/egusphere-egu24-1630, 2024.

◆ Japan Geoscience Union (JpGU) ：2024年5月26-31日

1. Moe Hayashi, Akimasa Yoshikawa, Yukitoshi Nishimura, Akiko Fujimoto, Mid-latitude Electric Field Response during Isolated Substorms: Effects of SCW Location, Shielding, and Aurora Activity, [PEM10-10]
2. Kentarou Kitamura, Akiko Fujimoto, Mariko Teramoto, Yushuke Zushi, Teiji Uozumi, Akimasa Yoshikawa, Shuji Abe, Inconsistent Seasonal Variations of the IHFAC at the MorningSector Observed by the Satellite and Ground Observations, [PEM10-P03]
3. Kochaku Taisuke, Akimasa Yoshikawa, Spatial Analysis of Pi2 Pulsations to Explore the Initial Phase of Substorm M-I Global Coupling System, [PEM10-P07]
4. Akiko Fujimoto, Shuji Abe, Akimasa Yoshikawa, Akihiro Ikeda, Yuu Hiroshige, Hayato Nakamura, Yuki Goou, Latest activities of i-SPES & Kyutech FM-CW project: 2023, [PEM15-03]
5. Shuji Abe, Kirolosse M. Girgis, Akiko Fujimoto, Akihiro Ikeda, Yuki Obana, Teiji Uozumi, Akimasa Yoshikawa, Update of MAGDAS project in FY2023, [PEM15-P14]
6. Nishimura Miki, Akimasa Yoshikawa, Yuki Obana, Quantitative analysis of ionospheric disturbances caused by typhoons using Total Electron Content maps and magnetic field data, [PEM12-P23]
7. Takayama Kumi, Akimasa Yoshikawa, Yasunobu Miyoshi, Seasonal Variation and Latitudinal Structure of the Quasi-6-Day Wave on the Inter-Hemispheric Field-Aligned Currents (IHFACs), [PEM12-P26]

◆ Society of Geomagnetism and Earth, Planetary and Space Sciences (SGEPSS) ：2024年11月24-27日

1. Kumi Takayama, Akimasa Yoshikawa, Yasunobu Miyoshi, Seasonal Variation and Latitudinal Structure of the Quasi-6-Day Wave on the Inter-Hemispheric Field Aligned Currents (IHFACs), R005-18
2. Miki Nishimura, Akimasa Yoshikawa, Teiji Uozumi, Analysis of Ionospheric Disturbances Caused by Typhoons Using Ground Magnetic Field Data, R005-21
3. Akihiro Kato, Akimasa Yoshikawa, Akiko Fujimoto, An investigation into Plasma Bubble events on CEJ occurrence days in South America, R005-P24
4. Haruka Ura, Hideaki Kawano, Alexey Moiseev, Dmitry Baishev, Teiji Uozumi, Shuji Abe, Akimasa Yoshikawa, Statistical analysis of magneto-ionospheric currents using automatically identified magnetic perturbations from QZS-1 and MAGDAS, R006-P05
5. Shuji Abe, Takuya Ashikita, Yuko Hori, Akimasa Yoshikawa, Research data distribution activities in cooperation with Kyushu University Library, R011-P02
6. Moe Hayashi, Akimasa Yoshikawa, Shinichi Ohtani, Akiko Fujimoto, Statistical analysis of electromagnetic field response during substorms on day/night sides using global magnetic and radar data, R010-15

◆ American Geophysical Union (AGU) ：2024年12月9-13日

1. Kumi Takayama, Akimasa Yoshikawa and Yasunobu Miyoshi, Quasi-6-Day Wave Modulation on the Inter-Hemispheric Field-Aligned Currents (IHFACs) using the Principal Component Analysis, SA51C-2716
2. Moe Hayashi, Akimasa Yoshikawa, Shinichi Ohtani, Toshi Nishimura, Akiko Fujimoto, Global electric and magnetic field response during isolated substorms: FAC remote effects and electric field penetrations, SA53D-08

⑥ 引用文献

1. Yumoto, K., and the 210MM Magnetic Observation Group, The STEP 210 magnetic meridian network project, J. Geomag. Geoelectr.,48, 1297-1310., 1996.
2. Yumoto, K. and the CPMN Group, Characteristics of Pi 2 magnetic pulsations observed at the CPMN stations: A review of the STEP results, Earth Planets Space, 53, 981-992, 2001.
3. Yumoto K. and the MAGDAS Group, MAGDAS project and its application for space weather, Solar Influence on the Heliosphere and Earth's Environment: Recent Progress and Prospects. Edited by N. Gopalswamy and A. Bhattacharyya, ISBN-81-87099-40-2, pp. 309-405, 2006.
4. Yumoto K. and the MAGDAS Group, Space weather activities at SERC for IHY: MAGDAS, Bull. Astr. Soc. India, 35, pp. 511-522, 2007.

⑦ まとめ（データベースの成果）

今年度、MAGDASデータを用いた学術論文は**17**本出版されている。リクエストベースで処理・提供したMAGDASデータ及び指数データは**20**件延べ**119**観測点である。

2024年度 09)加速器質量分析装置等利用(共同利用) 目次詳細

13 件

＊所属・職名は2025年3月現在

＊Affiliation and Department displayed are current as of March 2025.

研究代表者 Principal Investigator	所属機関* Affiliation	所属部局* Department	職名* Job title	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
窪田薫	海洋研究開発機構	海域地震火山部門	研究員	温暖化アナログとしての縄文海進最盛期の北海道沿岸部の水温・栄養 塩循環・海流の定量的復元	315	
岸田拓士	日本大学	生物資源科学部	教授	近代以前の生物の遺伝的多様性の解明のための解析試料の年代測定	316	
勝田長貴	岐阜大学	教育学部	教授	湖沼堆積物を用いた最終氷期以降のモンゴル高原の古環境復元	317	
苅谷愛彦	専修大学	文学部　環境地理学科	教授	赤石山脈における大規模斜面崩壊の発達過程解明に向けた高精度年代測定	318	
髙橋浩	産業技術総合研究所	活断層・火山研究部門	主任研究員	水試料の放射性炭素濃度測定における生物活動の影響除去に関する新手法開発	319	
池盛文数	名古屋市環境科学調査センター	環境科学室	研究員	放射性炭素を用いた大気エアロゾルの発生起源解析	320	
谷水雅治	関西学院大学	生命環境学部	教授	海藻資料を用いた北海道周辺海域^{14}C量の分布と変遷の把握	321	
北川淳子	福井県年縞博物館		学芸員	福井県三方五湖周辺遺跡の編年	322	
植村立	名古屋大学	環境学研究科	准教授	鍾乳石の放射性炭素年代測定前処理の検討	323	
奥野充	大阪公立大学	大学院理学研究科地球学専攻	教授	湿地堆積物の堆積過程の高精度復元	324	
奥野充	大阪公立大学	大学院理学研究科地球学専攻	教授	火山噴火史を高精度化する年代学的研究	325	
佐々木聡史	群馬大学 共同教育学部	理科教育講座	講師	南極域における第四紀の海成化石と堆積物を用いた古環境復元	326	
中西利典	ふじのくに地球環境史ミュージアム	学芸課	教授	沖積層に含まれる砕屑物を用いた堆積年代の高精度解析	327	

（別紙様式09-1） 2025年度名古屋大学宇宙地球環境研究所 「加速器質量分析装置等利用（共同利用）」 報告書	
報告年月日	2025年3月31日
代表者氏名	窪田薫（くぼた かおる）
所属機関	海洋研究開発機構
部局	海域地震火山部門
職名	研究員
E-mailアドレス	kubotak@jamstec.go.jp
下記の共同研究について、別紙のとおり報告します。	
記	
1. 研究課題名	
和文	温暖化アナログとしての縄文海進最盛期の北海道沿岸部の水温・栄養 塩循環・海流の定量的復元
英文	Quantitative reconstruction of water temperature, nutrient cycles, and ocean currents during the Holocene Climatic Optimum as an analogue of the future

2. 研究体制（宇宙地球環境研究所の受入責任教員を含めてください）

氏名	所属機関、部局	職名	具体的な役割
窪田薫	海洋研究開発機構　海域地震火山部門	研究員	有孔虫や貝殻試料の地球化学分析全般
南雅代	名古屋大学　宇宙地球環境研究所	教授	放射性炭素分析全般
白井厚太朗	東京大学　大気海洋研究所	准教授	貝殻の切断や成長線解析
大串健一	神戸大学大学院　人間発達環境学研究科	教授	厚岸湾／湖の堆積物採取

3. 研究成果の概要（400字程度でまとめてください）

地球温暖化に伴う北海道沿岸部の将来の生態系変化の正確な予測に繋げるため、比較的最近の地質学

4. 成果論文リスト（著者名、タイトル、雑誌名、巻号、ページまたはDoi、年、順番は入れ替え可）

5. 学会発表リスト（著者名、タイトル、学会名、開催場所、年月日）

6. その他の成果リスト（著書、特許等）

（別紙様式09-1） 2024年度名古屋大学宇宙地球環境研究所 「加速器質量分析装置等利用（共同利用）」 報告書	
報告年月日	2025年2月21日
代表者氏名	岸田拓士
所属機関	日本大学
部局	生物資源科学部
職名	教授
E-mailアドレス	taku.kishida@gmail.com

下記の共同研究について、別紙のとおり報告します。

記

1. 研究課題名

和文	近代以前の生物の遺伝的多様性の解明のための解析試料の年代測定
英文	Radiocarbon dating of specimens for revealing premodern genetic biodiversity

2. 研究体制（宇宙地球環境研究所の受入責任教員を含めてください）

氏名	所属機関、部局	職名	役割
岸田　拓士	日本大学生物資源科学部	教授	研究総括・DNA抽出・遺伝データ解析
中西　利典	ふじのくに地球環境史ミュージアム	教授	年代測定試料処理
北川　浩之	名古屋大学宇宙地球環境研究所	教授	年代測定

3. 研究成果の概要（400字程度でまとめてください）

道東釧路に位置する二つの縄文遺跡（東釧路貝塚 [縄文早期～中期]、幣舞遺跡 [縄文晩期～続縄文]）を中心に、先史時代捕鯨の跡が残る3地域6サイトの先史時代遺跡から出土したイルカ類の骨からコラーゲンおよびDNAを抽出して、放射性炭素年代測定とミトコンドリア塩基配列解読を行った。その結果、東釧路貝塚から出土したイルカ類、特にカマイルカの遺伝構成は、同じ場所に存在するが時代の異なる幣舞遺跡出土のイルカ類とは大きく異なることが示された。また、東釧路貝塚で最も若いサンプル（およそ4000年前）と幣舞遺跡で最も古いサンプル（およそ3000年前）の間の1000年間に関して、当該年代を示すイルカの骨が発見されない、釧路地方における捕鯨の空白期が見つかった。この空白期のはじまりは全地球規模の寒冷化、いわゆる4200年前イベントと同期しており、当時の気候変動によって陸上だけでなく海洋環境も大きな影響を受けたことが示唆された。

4. 成果論文リスト（著者名、タイトル、雑誌名、巻号、ページまたはDoi、年、順番は入れ替え可）

Kishida T, Sawada K, Namigata S, Takabatake T, Suzuki M, Takezoe N, Yamamoto T, Nakanishi T, Kitagawa H. (2025) Hidden population turnover of small odontocetes in the northwestern North Pacific during the Holocene. ***Biology Letters*** 21, 20240525. (doi: 10.1098/rsbl.2024.0525)

5. 学会発表リスト（著者名、タイトル、学会名、開催場所、年月日）

岸田拓士, 日本沿岸におけるイルカ類の集団構造の変遷, 日本進化学会26回神奈川大会, 東海大学（神奈川県平塚市）, 2024年8月21日.

岸田拓士・澤田恭平・波形早季子・高畠孝宗・鈴木美和・竹添七海・山本拓実・中西利典・北川浩之, 日本沿岸における先史時代のイルカ類の遺伝的多様性, 第72回日本生態学会大会, 札幌コンベンションセンター（北海道札幌市）, 2025年3月15日.

毛防子璃奈・瀬川高弘・波形早季子・澤田恭平・李何萍・三谷曜子・北川浩之・豊田敦・岸田拓士, ニホンアシカは北海道のトドの中で生きている？縄文時代のニホンアシカのゲノム解析から探るトド・アシカ類の集団史, 第72回日本生態学会大会, 札幌コンベンションセンター（北海道札幌市）, 2025年3月18日.

6. その他の成果リスト（著書、特許等）

岸田拓士 (2024) 古代DNAで探る縄文時代の鯨類の遺伝的多様性. In: 種生物学会 編, タイムカプセルの開き方. 文一総合出版. pp.79-94. ISBN: 978-4-8299-6212-1.

（別紙様式09-1） 2024年度名古屋大学宇宙地球環境研究所 「加速器質量分析装置等利用（共同利用）」 報告書	
報告年月日	2025年2月21日
代表者氏名	勝田長貴（かつた ながよし）
所属機関	岐阜大学
部局	教育学部
職名	教授
E-mailアドレス	katsuta.nagayoshi.e9@f.gifu-u.ac.jp

下記の共同研究について、別紙のとおり報告します。

記

1. 研究課題名

和文	湖沼堆積物を用いた最終氷期以降のモンゴル高原の古環境復元
英文	Paleoenvironmenal reconstruction of Mongolian Plateau since the last glacial period

2. 研究体制（宇宙地球環境研究所の受入責任教員を含めてください）

氏名	所属機関、部局	職名	役割
勝田長貴	岐阜大学、教育学部	教授	解析
益木悠馬	岐阜大学、連合農学研究科	D2	前処理、解析
板山由依	岐阜大学、自然科学技術研究科	M2	前処理、解析
高野真子	岐阜大学、教育学部	B4	前処理、解析
河村侑哉	岐阜大学、教育学部	B4	前処理、解析
南　雅代	名古屋大学、宇宙地球環境研究所	教授	グラファイト作製、測定

3. 研究成果の概要（400字程度でまとめてください）

放射性炭素年代測定に関しては、昨年度作成したモンゴル湖沼堆積物のグラファイト試料は、分析装置の故障のため、本年度は測定結果をえることができなかった。また、追加として、数試料の分析前処理を実施した。

4. 成果論文リスト（著者名、タイトル、雑誌名、巻号、ページまたはDoi、年、順番は入れ替え可）

Masuki, Y., Katsuta, N., Naito, S., Murakami, T., Umemura, A., Fujita, N., Matsubara, A., Minami, M., Niwa, M., Yoshida, H., Kojima, S., 2025. Redox control in arsenic accumulation with organic matter derived from a varved lacustrine deposit in the Jurassic acrretionary complexes. Journal of Hazardous Materials 485, 136843.

5. 学会発表リスト（著者名、タイトル、学会名、開催場所、年月日）

益木悠馬・板山由依・南 雅代・丹羽正和・由水千景・陀安一郎・勝田長貴: 安定同位体比と有機元素組成に基づく姉川湖成層のヒ素の起源と堆積過程. JpGU 2024, 幕張メッセ, 2024年5月29日

板山由依・益木悠馬・南 雅代・落合伸也・由水千景・陀安一郎・丹羽正和・勝田長貴: モンゴル高原東部ブイル湖の湖底堆積物を用いた過去89年間の環境変動解析. JpGU 2024, 幕張メッセ, 2024年5月29日

益木悠馬・長瀬美羽・Davaasuren Davaadorji・板山由依・千由水景・陀安一郎・勝田長貴: オルゴイ湖堆積物の安定同位体組成に基づく最終退氷期以降の古環境変動解析. 地球研シンポジウム, 総合地球環境学研究所, 2024年12月20日.

板山由依・Davaadorj Davaasuren・落合伸也・南 雅代・益木悠馬・由水千景・内田真緒・丹羽正和・陀安一郎・長尾誠也・Niiden Ichinnorov・勝田長貴：モンゴル東部ブイル湖・湖底堆積物の安定同位体比分析による近過去の環境変動推定. 地球研シンポジウム, 総合地球環境学研究所, 2024年12月20日.

6. その他の成果リスト（著書、特許等）

（別紙様式09-1） 2024年度名古屋大学宇宙地球環境研究所 「加速器質量分析装置等利用（共同利用）」 報告書	
報告年月日	2025年3月15日
代表者氏名	苅谷（かりや） 愛彦（よしひこ）
所属機関	専修大学
部局	文学部
職名	教　授
E-mailアドレス	kariya@isc.senshu-u.ac.jp

下記の共同研究について、別紙のとおり報告します。

記

1．研究課題名

和文	赤石山脈における大規模斜面崩壊の発達過程解明に向けた高精度年代測定
英文	High precision ^{14}C dating for reconstructing large-scale rockslides in the Akaishi Range

2．研究体制（宇宙地球環境研究所の受入責任教員を含めてください）

氏名	所属機関、部局	職名	役割
苅谷　愛彦	専修大学・文学部	教授	研究計画・試料採取・研究総括
山田　隆二	防災科学技術研究所	上席研究員	試料採取・データ評価・研究総括
中西　利典	ふじのくに地球環境史ミュージアム	教授	試料採取・年代測定・データ評価
北川　浩之	名古屋大学・宇宙地球環境研究所	教授	年代測定・データ評価

3．研究成果の概要（400字程度でまとめてください）

2024年3月、安倍川源流地域の支流タチ沢に形成された堰き止め湖沼堆積物の地質調査と試料採取を実施し、露頭やボーリングコアから試料29点を得た。堰き止めは大谷崩由来の岩屑供給による安倍川本流の河床上昇を原因とする。同年11月には遠山川で同様の調査を行い、試料6点を得た。2025年2月には天守山地で崩壊堆積物から木片2点を採取した。全試料の前処理は完了したが、加速器質量分析装置が調整中のため年代測定は未実施である。これまでの成果から、大谷崩の発生は14～15世紀に遡り、16世紀までに複数回の土砂流出があった可能性が高まっている。遠山川ではAD715とは異なる13・14世紀の崩壊イベントが示唆されており、本研究による新たな年代値の取得が期待される。

4．成果論文リスト（著者名、タイトル、雑誌名、巻号、ページまたはDoi、年、順番は入れ替え可）

（準備中）

5．学会発表リスト（著者名、タイトル、学会名、開催場所、年月日）

苅谷愛彦・中西利典・木村恵樹・山田隆二・木村　誇・村松　武・青島　晃・北川浩之（2024）：堰き止め湖沼堆積物の^{14}C年代から探る大谷崩の発達過程．日本第四紀学会2024年研究大会、東北大学（仙台市）、2024年8月31日．

6．その他の成果リスト（著書、特許等）

日本地すべり学会研究助成（2023～2025年度）「埋もれ木の年代測定に基づく歴史的大規模土砂災害の再検証：池口崩れの事例」を活用した現地討論会の開催〔2024年11月：案内者として苅谷・山田・中西が参加し、試料採取も実施〕。

（別紙様式09-1） 2024年度名古屋大学宇宙地球環境研究所 「加速器質量分析装置等利用（共同利用）」 報告書	
報告年月日	2025年3月13日
代表者氏名	髙橋浩（たかはしひろし）
所属機関	産業技術総合研究所
部局	活断層・火山研究部門
職名	主任研究員
E-mailアドレス	h.a.takahashi@aist.go.jp

下記の共同研究について、別紙のとおり報告します。

記

1. 研究課題名

和文	水試料の放射性炭素濃度測定における生物活動の影響除去に関する新手法開発
英文	Development of a new inhibition method for influence of microbial activities on the radiocarbon measurement in water sample

2. 研究体制（宇宙地球環境研究所の受入責任教員を含めてください）

氏名	所属機関、部局	職名	役割
高橋浩	産業技術総合研究所	主任研究員	全体統括・手法評価
南雅代	名古屋大学	教授	ろ過併用手法評価
垣内田滉	名古屋大学	大学院生	塩類影響評価

3. 研究成果の概要（400字程度でまとめてください）

塩化ベンザルコニウム（BAC）の添加では、海水や汽水試料では生物活動の影響を排除できないことがわかっているが、昨年度までの研究で、塩類によるBACの殺菌効果の阻害を原因として指摘した。今年度は、生物活動の阻害に対する塩類の種類や濃度、塩類添加からの経過時間といった条件を検証するために、あらかじめ塩類を添加したBAC溶液を用いた実験を行ったが、塩類による阻害効果が認められなかった。水試料に対するBAC溶液の濃度を規定以上に保つためには、あらかじめ準備するBAC溶液の濃度を高くする必要があることから、塩類による阻害が溶液全体のBACに及ばなかったためと思われる。また、低い塩濃度で実験する必要があることから、地下水試料を用いたが、含まれる微生物種や量が海水等と比較してBACによる殺菌効果が出やすかったという可能性も考えられた。

一方、BACが汚泥によって分解されることが知られていることから、その検証のために、海水試料を採取した地点の海底泥を添加して、BACの効果を検証した。海底泥を滅菌の有無や泥の添加の有無を比較した。実験では泥の添加そのものの影響を分離することが難しく、泥の添加によるBACの生物活動の阻害効果に及ぼす影響の有無について判断できていない。

4. 成果論文リスト（著者名、タイトル、雑誌名、巻号、ページまたはDoi、年、順番は入れ替え可）

なし

5. 学会発表リスト（著者名、タイトル、学会名、開催場所、年月日）

垣内田滉・南雅代・髙橋浩「海水の炭素同位体分析における塩化ベンザルコニウム(BAC)の殺菌効果:塩濃度とBAC濃度による違い 」日本地球化学会、金沢大学、2024年9月18日

Takahashi, H. A., Kakiuchida, K., Minami, M. ″Why does the bactericidal effect of benzalkonium chloride diminish in ^{14}C analysis of seawater?″, 4th International Conference on Radiocarbon in the Environment Conference, Castle of Charles V, Lecce, Italy, Sep. 24, 2024

垣内田滉・南雅代・髙橋浩「海水試料の塩化ベンザルコニウム(BAC)による殺菌効果:泥への吸着の影響」質量分析学会同位体比部会、ホテルサンバリー、2024年11月19日

垣内田滉・南雅代・髙橋浩「海水試料の塩化ベンザルコニウム(BAC)による殺菌 」2024年度地球化学若手会「春の研究会」、信州大学、2025年3月3日

6. その他の成果リスト（著書、特許等）

なし

（別紙様式09-1） 2024年度名古屋大学宇宙地球環境研究所 「加速器質量分析装置等利用（共同利用）」 報告書	
報告年月日	2025年3月31日
代表者氏名	池盛　文数
所属機関	名古屋市環境科学調査センター
部局	環境科学室
職名	研究員
E-mailアドレス	fumikazu.ikemori@gmail.com

下記の共同研究について、別紙のとおり報告します。

記

1．研究課題名

和文	放射性炭素を用いた大気エアロゾルの発生起源解析
英文	Source analysis of atmospheric aerosols using radiocarbon

2．研究体制（宇宙地球環境研究所の受入責任教員を含めてください）

氏名	所属機関、部局	職名	役割
池盛　文数	名古屋市環境科学調査センター	日本	研究員
南　雅代	名古屋大学宇宙地球環境研究所	日本	教授
中田実希	名古屋大学大学院環境学研究科	日本	博士前期課程2年
夏目 花	名古屋大学理学部	日本	学部4年

3．研究成果の概要（400字程度でまとめてください）

2018年に捕集した名古屋の総大気粉じんについて、硫黄（S）及び金属元素分析を行い、前年に分析した2019年と2020年のデータと合わせて解析を行った。2018年の名古屋市TSP中のS濃度は、1月から3月末にかけて上昇傾向が見られ、7月に高濃度となり、6～8月(夏期)の濃度の平均値は1.22 μg/m3(n=18)であった。2019年、2020年夏期のS濃度の平均値は1.50 μg/m3(n=18)、1.10 μg/m3(n=18)であり、3年間では2020年が最低濃度であった。また、2018 年、2019 年夏期はS 濃度とV 濃度の相関が高い(R=0.93、R=0.76)が、2020年夏期はそれらと比べて低く(R=0.37)、Ni濃度についてもV濃度と同様の相関関係が見られた。これらは2020年1月に施行された、船舶の排ガス規制の影響によるものと考えられた。こ本研究は、本研究所年代測定研究部の学生（夏目花氏）の卒業研究として実施された。

4．成果論文リスト（著者名、タイトル、雑誌名、巻号、ページまたはDoi、年、順番は入れ替え可）

5．学会発表リスト（著者名、タイトル、学会名、開催場所、年月日）

夏目 花、南 雅代、池盛文数、片岡賢太郎、淺原良浩、船舶重油規制とCOVID-19が2020年の名古屋市の大気エ
アロゾル中の硫黄および微量金属濃度に与えた影響、日本地球化学会 第71回年会、金沢大学、2024年9月

夏目 花、南 雅代、池盛文数、片岡賢太郎、淺原良浩、船舶重油規制が名古屋の大気エアロゾル中の硫黄および微量元素濃度に及ぼす影響、2024年度地球化学若手会「春の研究会」、信州大学、2025年3月

6．その他の成果リスト（著書、特許等）

（別紙様式09-1） 2024年度名古屋大学宇宙地球環境研究所 「加速器質量分析装置等利用（共同利用）」 報告書	
報告年月日	2025年3月30日
代表者氏名	たにみずまさはる 谷水雅治
所属機関	関西学院大学
部局	生命環境学部
職名	教授
E-mailアドレス	tanimizum@kwansei.ac.jp

下記の共同研究について、別紙のとおり報告します。

記

1．研究課題名

和文	海藻資料を用いた北海道周辺海域14C量の分布と変遷の把握
英文	Spatial and temporal variation of seawater 14C around Hokkaido area reconstructed from seaweed samples

2．研究体制（宇宙地球環境研究所の受入責任教員を含めてください）

氏名	所属機関、部局	職名	役割
谷水雅治	関西学院大学生命環境学部	日本国	教授
野津亜莉紗	関西学院大学理工学研究科	日本国	M2大学院生
石橋歩果	関西学院大学生命環境学部	日本国	学部4年生
南雅代	名古屋大学	日本国	教授

3．研究成果の概要（400字程度でまとめてください）

14Cは、1950年代から1960年代にかけて行われた大気核実験により、人為的に太平洋の中心部から全球へと大量に拡散された。本研究では、これらの人為的な核種の海洋への混入が海藻に記録されているかを評価するため、コンブにおける14C量の変動について、博物館資料から3点採取し調査した。厚岸産コンブの14C量は、大気核実験が盛んであった1955年よりも1966年の試料で高く、対して1994年では減少した。ピーク時期が大気核実験時期より遅れているのは、大気と海洋表層が平衡に近づくまでに時間がかかるためであり、その後の減少は深層水などの14C量の少ない海水との混合や放射壊変の結果であると考えられる。この傾向は先行研究と同様であるため、コンブは海水の14C量の情報を保存しており、海洋トレーサーとして利用できる可能性が示唆された。

4．成果論文リスト（著者名、タイトル、雑誌名、巻号、ページまたはDoi、年、順番は入れ替え可）

5．学会発表リスト（著者名、タイトル、学会名、開催場所、年月日）

6．その他の成果リスト（著書、特許等）

（別紙様式09-1） 2025年度名古屋大学宇宙地球環境研究所 「加速器質量分析装置等利用（共同利用）」 報告書	
報告年月日	
代表者氏名	きたがわじゅんこ 北川淳子
所属機関	福井県年縞博物館
部局	
職名	学芸員
E-mailアドレス	junkokit3810@gmail.com

下記の共同研究について、別紙のとおり報告します。

記

1. 研究課題名

和文	福井県三方五湖周辺遺跡の編年
英文	Determining the chronology of archaeological sites of Five Lakes of Mikata area, Japan

2. 研究体制（宇宙地球環境研究所の受入責任教員を含めてください）

氏名	所属機関、部局	職名	具体的な役割
北川淳子	福井県年縞博物館	学芸員	総括、データ整理、前処理
小島秀彰	若狭三方縄文博物館	学芸員	測定試料選定、データ整理
清水孝之	福井県教育庁埋蔵文化財センター	次長	測定試料選定
松本泰典	福井県教育庁埋蔵文化財センター	主任	測定試料選定
鰺本眞友美	福井県立若狭歴史博物館	学芸員	測定試料選定
北川浩之	名古屋大学宇宙地球環境研究所	教授	指導，年代測定

3. 研究成果の概要（400字程度でまとめてください）

三方五湖周辺の重要拠点となる縄文時代の遺跡の遺物を中心に、土器の付着物38点、木製品48点、縄と種子各1点の合計88点の測定を行った。すでに測定されている遺物の年代と併せて若狭湾沿岸の縄文時代の重要拠点の年代を議論できるだろう。また、中部日本海側の土器型式の年代について明らかになり、年代測定結果のない多くの遺跡の年代がこの地方での年代に基づいて決定されることが期待できる。さらに、当地域の文化変遷の時系列を確定するため、これまで型式学と層位学のみで年代が決定されていた弥生時代以降についても測定を行った。

これらの結果から、堆積物や、他の地域の遺跡との共通の年代決定の手法で当該地域の年代が決定でき、他地域との文化変遷や、湖沼堆積物の分析結果と比較検討できるようになることが期待できる。今後、三方五湖の花粉分析などの結果と、遺跡での人間活動について比較検討する予定である。

4. 成果論文リスト（著者名、タイトル、雑誌名、巻号、ページまたはDoi、年、順番は入れ替え可）

5. 学会発表リスト（著者名、タイトル、学会名、開催場所、年月日）

6. その他の成果リスト（著書、特許等）

（別紙様式09-1） 2024年度名古屋大学宇宙地球環境研究所 「加速器質量分析装置等利用（共同利用）」 報告書	
報告年月日	2025年3月31日
代表者氏名	植村立（うえむら りゅう）
所属機関	名古屋大学
部局	環境学研究科
職名	准教授
E-mailアドレス	ryu.uemura@nagoya-u.jp
下記の共同研究について、別紙のとおり報告します。	
記	
1. 研究課題名	
和文	鍾乳石の放射性炭素年代測定前処理の検討
英文	

2. 研究体制（宇宙地球環境研究所の受入責任教員を含めてください）

氏名	所属機関、部局	職名	役割
植村立	名古屋大学、環境学研究科	准教授	実験
南雅代	宇宙地球環境研究所	教授	実験指導

3. 研究成果の概要（400字程度でまとめてください）

文献調査により最新の試料採取方法などについて議論は行った。しかし、検討に時間を要したため実試料を用いた実験は来年度に延期した。

4. 成果論文リスト（著者名、タイトル、雑誌名、巻号、ページまたはDoi、年、順番は入れ替え可）

特になし

5. 学会発表リスト（著者名、タイトル、学会名、開催場所、年月日）

特になし

6. その他の成果リスト（著書、特許等）

特になし

（別紙様式09-1） 2024年度名古屋大学宇宙地球環境研究所 「加速器質量分析装置等利用（共同利用）」 報告書

報告年月日	2025年3月31日
代表者氏名	奥野（おくの） 充（みつる）
所属機関	大阪公立大学
部局	大学院理学研究科
職名	教授
E-mailアドレス	okuno326@omu.ac.jp

下記の共同研究について、別紙のとおり報告します。

記

1. 研究課題名

和文	湿地堆積物の堆積過程の高精度復元
英文	Accurate reconstruction of deposition process of wetland sediments

2. 研究体制（宇宙地球環境研究所の受入責任教員を含めてください）

氏名	所属機関、部局	職名	役割
奥野 充	大阪公立大学大学院理学研究科	教授	立案および総括
南 雅代	名古屋大学宇宙地球環境研究所	教授	受入責任教員
藤木利之	岡山理科大学理学部	准教授	現地調査，花粉分析
大下愛央	大阪公立大学大学院理学研究科	修士2年	現地調査，試料調製
西川 空	大阪公立大学大学院理学研究科	修士2年	現地調査，試料調製

3. 研究成果の概要（400字程度でまとめてください）

湿地堆積物の記録特性（連続堆積の有無）を評価するには，複数地点でコア試料を採取し，空間的な広がりを把握する必要がある．この研究では，秋田県湯沢市のコケ沼湿原5点，新潟県佐渡市の杉池5点，石川県白山市の南竜ヶ馬場1点，福井県勝山市の池ヶ原湿原2点，山口県阿武町の宇生賀盆地3点，佐賀市の樫原湿原3点，計19点の14C年代を得た．これらは，それぞれ口頭発表しており，コケ沼湿原と杉池については「年代測定研究」に投稿中である．または，池ヶ原湿原と宇生賀盆地はついては，それぞれ西川と大下の修士論文としてまとめられており，順次，学術論文として公表いていく予定である．また，樫原湿原も現在，投稿準備を進めているが，南竜ヶ馬場については得られた1点がModernであり，さらなる年代測定が必要である．これらの湿原の調査から，湿原拡大の要因として，地すべりや堤の構築などが考えられた．

4. 成果論文リスト（著者名、タイトル、雑誌名、巻号、ページまたはDoi、年、順番は入れ替え可）

林 蓮太郎・藤木利之・奥野 充・中西利典・林田 明・南 雅代・ホン ワン（2025）佐渡島赤玉地区の杉池周辺のコア試料の層序と年代．名古屋大学年代測定研究，印刷中．

黒木 瞭・林 優樹・平田竣也・奥野 充・藤木利之・中西利典・林田 明・南 雅代・ホン ワン（2025） 秋田県湯沢市、コケ沼湿原のコア層序と年代．名古屋大学年代測定研究，印刷中．

5. 学会発表リスト（著者名、タイトル、学会名、開催場所、年月日）

西川 空，大下愛央，黒木 瞭，奥野 充，藤木利之，中西利典，林田 明，鳥井真之，洪 完，鹿島 薫，南 雅代，複数地点 のコア層序による湿原の堆積環境史：八丁平湿原と池ケ原湿原を例として．国際火山噴火史情報研究集会 2024-2（福岡大，ハイブリット），2025/2.

大下愛央，西川 空，黒木 瞭，奥野 充，藤木利之，中西利典，林田 明，鳥井真之，洪 完，鹿島 薫，南 雅代，複数地点 ボーリング調査による湿原形成史：蛇石大池湿原と宇生賀盆地を例として．国際火山噴火史情報研究集会 2024-2（福岡大，ハイブリット），2025/2.

黒木 瞭，林 優樹，平田竣也，奥野 充，藤木利之，中西利典，林田 明，南 雅代，秋田県湯沢市，コケ沼湿原のコア試料層序．国際火山噴火史情報研究集会 2024-2（福岡大，ハイブリット），2025/2/9.

林 蓮太郎，奥野 充，中西利典，林田 明，南 雅代，佐渡島赤玉における地すべりの地形区分と堆積物層序

鹿島 薫，Liang Chi Wang，奥野 充，大下愛央，西川 空，林田 明，中西利典，Ericson Bariso，Robjunelieaaa Lim，Danikko John Rivera，Marie Thess Quilalang，Raymond Patrick Maximo，Valerie Shayne Olfindo，Jason Edward Cochon，Arian Paul D. Norcio，Aljhon Q. Marco，Cheska Joi G. Vergara，パイタン湖 50 mコアから得られた珪藻遺骸群集（予報）．国際火山噴火史情報研究集会 2024-2（福岡大，ハイブリット），2025/2/9.

平田竣也，黒木 瞭，奥野 充，藤木利之，中西利典，林田 明，南 雅代，白山火山，南竜ヶ馬場湿原のコア試料層序．国際火山噴火史情報研究集会 2024-2（福岡大，ハイブリット），2025/2/9.

黒木 瞭，林 優樹，平田竣也，奥野 充，藤木利之，中西利典，林田 明，南 雅代，秋田県湯沢市，コケ沼湿原のコア試料層序と年代．第36回（2024年度） 名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定研究シンポジウム（名古屋大，ハイブリット），2024/2/28.

6. その他の成果リスト（著書、特許等）

なし

（別紙様式09-1） 2024年度名古屋大学宇宙地球環境研究所 「加速器質量分析装置等利用（共同利用）」 報告書	
報告年月日	2025年3月31日
代表者氏名	奥野（おくの） 充（みつる）
所属機関	大阪公立大学
部局	大学院理学研究科
職名	教授
E-mailアドレス	okuno326@omu.ac.jp

下記の共同研究について、別紙のとおり報告します。

記

1．研究課題名

和文	火山噴火史を高精度化する年代学的研究
英文	Chronological research to improve the accuracy of volcanic eruption history

2．研究体制（宇宙地球環境研究所の受入責任教員を含めてください）

氏名	所属機関、部局	職名	役割
奥野 充	大阪公立大学大学院理学研究科	教授	立案および総括
南 雅代	名古屋大学宇宙地球環境研究所	教授	受入責任教員
黒木 瞭	大阪公立大学大学院理学研究科	修士2年	現地調査，試料調製
平田竣也	大阪公立大学大学院理学研究科	修士1年	現地調査，試料調製
林 優樹	大阪公立大学大学院理学研究科	修士1年	現地調査，試料調製

3．研究成果の概要（400字程度でまとめてください）

十和田八戸テフラ（To-H）の埋没樹幹（1-A，1-B，1-Cの3つに分かれる）を採取して，その年輪を計測した．1-C試料の256枚目年輪から13,156 ± 56 BPの14C年代を得た．この値はvan der Plicht et al.（2012）が報告した14C年代とよく一致したが，木村未公表データ（年輪幅）とのクロスデーティングはt = 4.37で，十分な有意性が得られなかった．今後，δ18Oによるクロスデーティングを行って，さらなる照合を進める予定である．それらに基づいてこの樹幹が記録している14C濃度変動を明らかにする．暦年較正曲線IntCal2020では，樹木年輪以外で構成されているこの年代域でそれらを補完する役割を果たすことを考えている．

4．成果論文リスト（著者名、タイトル、雑誌名、巻号、ページまたはDoi、年、順番は入れ替え可）

林 優樹・木村勝彦・南 雅代・ホン ワン・奥野 充（2025）十和田八戸テフラの埋没樹幹の年輪計測．名古屋大学年代測定研究，投稿中．

5．学会発表リスト（著者名、タイトル、学会名、開催場所、年月日）

林 優樹，奥野 充，木村勝彦，南 雅代，十和田八戸火砕流の埋没樹幹の年輪計測．国際火山噴火史情報研究集会 2024-2（福岡大，ハイブリット），2025/2.

林 優樹，奥野 充，木村勝彦，南 雅代，十和田八戸火砕流の埋没樹幹の年輪計測結果と今後の研究計画．第36回（2024年度）名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定研究シンポジウム（名古屋大，ハイブリット），2024/2/28.

6．その他の成果リスト（著書、特許等）

なし

（別紙様式09-1） 2025年度名古屋大学宇宙地球環境研究所 「加速器質量分析装置等利用（共同利用）」 報告書	
報告年月日	2025年3月31日
代表者氏名	ささきさとし 佐々木聡史
所属機関	群馬大学 共同教育学部
部局	群馬大学 共同教育学部
職名	講師
E-mailアドレス	satoshi-ssk@gunma-u.ac.jp

下記の共同研究について、別紙のとおり報告します。

記

1. 研究課題名

和文	南極域における第四紀の海成化石と堆積物を用いた古環境復元
英文	Quaternary paleoenvironment reconstruction using marine fossils and sediments in the Antarctic region.

2. 研究体制（宇宙地球環境研究所の受入責任教員を含めてください）

氏名	所属機関、部局	職名	具体的な役割
佐々木聡史	群馬大学 共同教育学部理科教育講座	講師	年代測定試料作成
北川　浩之	名古屋大学ISEE 年代測定研究部	教授	年代測定
南　雅代	名古屋大学ISEE年代測定研究部	教授	年代測定

3. 研究成果の概要（400字程度でまとめてください）

名古屋大学ISSE年代測定研究部において放射性炭素（^{14}C）を測定の試料作から分析までを行った.
各層準から貝形虫化石とゴカイ化石を抽出し，合計4試料の年代測定試料を作成したが，まだ測定はできていない.
同層準で産出した貝形虫化石とゴカイ化石の放射性炭素量を求め，南極における年代と古環境を復元する予定である.

4. 成果論文リスト（著者名、タイトル、雑誌名、巻号、ページまたはDoi、年、順番は入れ替え可）

該当なし

5. 学会発表リスト（著者名、タイトル、学会名、開催場所、年月日）

該当なし

6. その他の成果リスト（著書、特許等）

該当なし

（別紙様式09-1） 2024年度名古屋大学宇宙地球環境研究所 「加速器質量分析装置等利用（共同利用）」 報告書	
報告年月日	2025年3月30日
代表者氏名	中西利典
所属機関	ふじのくに地球環境史ミュージアム
部局	学芸課
職名	教授
E-mailアドレス	mid24t@gmail.com

下記の共同研究について、別紙のとおり報告します。

記

1. 研究課題名

和文	沖積層に含まれる砕屑物を用いた堆積年代の高精度解析
英文	High resolution analysis of the depositional ages from coastal sediments after the Last Glacial Maximum

2. 研究体制（宇宙地球環境研究所の受入責任教員を含めてください）

氏名	所属機関、部局	職名	役割
中西利典	ふじのくに地球環境史ミュージアム、学芸課	教授	試料選定と処理
北川浩之	名古屋大学、ISEE	教授	年代測定

3. 研究成果の概要（400字程度でまとめてください）

今年度は堆積年代の高精度解析に適した試料が得られなかったので、新たな検討を実施しなかった。前年度に依頼した阿蘇カルデラの測定結果が届き次第、カルデラ形成以後の湖成堆積物から河川成堆積物へと移り変わる古環境変化に関する微化石群集組成やCNS分析結果と合わせて、植物片の再堆積について検討したい。この研究成果については、国際学会で発表して、SCI誌で公表する予定である。一方、本研究課題に関連する釧路市春採湖および丹那盆地、紀伊半島ゆかし潟の成果が学術誌に公表され、富士川扇状地および斐伊川河口の成果を学会発表した。

4. 成果論文リスト（著者名、タイトル、雑誌名、巻号、ページまたはDoi、年、順番は入れ替え可）

酒井恵祐・中西利典・七山 太・藤木利之・大串健一. 北海道東部春採湖の花粉分析による過去9,500年前から3,200年前にかけての古植生変遷. LAGUNA, 31, p.1-13, 2024年

木村治夫・堤 浩之・稲荷絢音・谷口 薫・中西利典. 地中レーダ探査からみた丹那断層田代地点の極浅部左横ずれ構造. 第四紀研究, 63(2), p.65-75, 2024年, doi: 10.4116/jaqua.62.220756

Toshiyuki Fujiki, Toshimichi Nakanishi, Kazuyoshi Yamada, Kaoru Tabata, Haruhiro Ikeda, Pollen analysis of sediment core from Yukashigata Lagoon, western Japan: revealing human induced paleovegetation changes during the past 1500 years. Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences, 36, 4. 2025, https://doi.org/10.1007/s44195-025-00088-8

5. 学会発表リスト（著者名、タイトル、学会名、開催場所、年月日）

Toshimichi Nakanishi, Tatsuya Ishiyama, Ki-suck Sung, Wan Hong, Holocene sediments reveal accumulation rates across an onshore subduction thrust in northeastern Nankai Trough. The 4th International Radiocarbon in the Environment Conference, Lecce, September 2024

Toshimichi Nakanishi, Koji Seto, Kota Katsuki, Toshiaki Irizuki, Yoshiki Saito, Wan Hong, Holocene sediments reveal accumulation rates across an onshore subduction thrust in northeastern Nankai Trough. The 4th International Radiocarbon in the Environment Conference, Lecce, September 2024

6. その他の成果リスト（著書、特許等）

中西利典・石山達也・ソン キソク・ホン ワン, 群列ボーリング調査による森本断層の活動履歴の検討. 国際火山噴火史情報研究集会講演要旨集, 2024 (2), p.120-122, 2025年

8件の申請が有り、そのうち8件(187個の放射性炭素分析)が完了済みである。

報告書については割愛。

2024年度　11）SCOSTEP Visiting Scholar (SVS) Program (in ISEE)　目次詳細

2024　11）SCOSTEP Visiting Scholar (SVS) Program in ISEE
List

6 件

＊所属・職名は2025年3月現在

＊Affiliation and Department displayed are current as of March 2025.

研究代表者 Principal Investigator	所属機関* Affiliation	所属部局* Department	職名* Job title	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
Dipjyoti Patgiri	Indian Institute of Technology Roorkee, Uttarakhand, India		graduate-course student	To Investigate the Role of Storm/Substorm time Penetrated Electric Fields on Triggering Mechanism of Nighttime Electrified MSTIDs	329	
Ayushi Nema	Sardar Vallabhbhai National Institute of Technology Surat, Gujarat, India		graduate-course student	Characteristic behavior of SAR arc, STEVE and Red-Green arc during HILDCAA events	331	
Moheb Yacoub Saad	Egypt-Japan University of Science and Technology (E-JUST), Egypt		graduate-course student	Automatic detection of equatorial plasma bubbles in airglow images using two-dimensional principal component analysis and explainable artificial intelligence	334	
Huiting Feng	Tongji University - Shanghai, China and GFZ, Potsdam Germany		graduate-course student	Research on Magnetospheric Processes Corresponding to Special Dayside Auroral Structures	336	
Karla Franchesca Lopez Araujo	Center for Radioastronomy and Astrophysics, Mackenzie Presbyterian University, Brazil		graduate-course student	Pre-flare Conditions of Active Regions and Dynamics of the Solar Flares	338	
Luiz Fillip Rodrigues Vital	National Institute for Space Research, Brazil	DICEP	graduate-course student	INVESTIGATION OF POST-MIDNIGHT EQUATORIAL PLASMA BUBBLES: OBSERVATION AND SIMULATION	340	

To Investigate the Role of Storm/Substorm time Penetrated Electric Fields on Triggering Mechanism of Nighttime Electrified MSTIDs

Dipjyoti Patgiri
Research Scholar
Department of Physics, Indian Institute of Technology Roorkee, Uttarakhand, India

Aim & purpose of the visit

The work carried out in ISEE focuses on the investigation of nighttime medium-scale traveling ionospheric disturbance (MSTID) generated during geomagnetic storms over mid-latitudes. Previously, only a few studies reported observations of nighttime MSTIDs during geomagnetic storms over mid and high latitudes (Kelley et al., 2023; Liu et al., 2020; Nishioka et al., 2009; Zhang et al., 2019, 2022). The present work conducted investigations of an atypically aligned (northeast-southwest) MSTID observed on 17 March 2003 during the recovery phase of a moderate geomagnetic storm. The alignment of the observed MSTID was unusual compared to typical nighttime MSTIDs during geomagnetic quiet nights and has not been observed in the previously reported studies. Effects of substorm-induced electric fields on the MSTID perturbations were also investigated.

Datasets and methods

Primarily, detrended total electron content (DTEC) maps have been used to study spatiotemporal evolution of TEC perturbations caused by MSTID on 17 March 2003. TEC data are obtained from over 1000 dual-frequency (1.57542 and 1.22760 GHz) GPS receivers in Japan operated by the Geospatial Information Authority of Japan. Different ionospheric parameters were obtained from ionosonde stations, Wakkanai (45.39°N, 141.69°E), Kokubunji (35.71°N, 139.49°E), Yamagawa (31.20°N, 130.62°E), and Okinawa (26.68°N, 128.16°E) which are located in Japanese sector. Data from a geomagnetic conjugate ionosonde station, Townsville (19.3°S, 146.7°E), Australia were also utilized in this study. Additionally, cross-track wind data of CHAMP and vertical ion drift measurements by ROCSAT-1 were utilized to examine the background thermospheric wind and vertical ion drifts, respectively.

Results

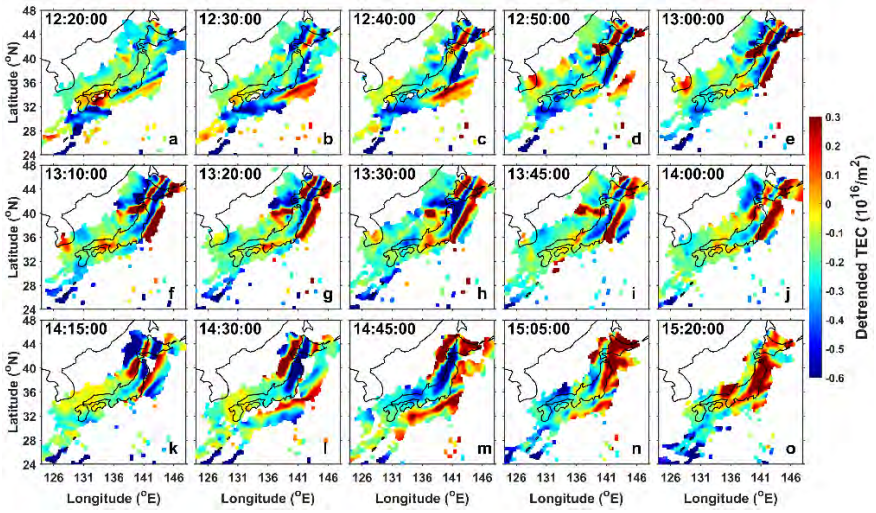


Figure 1: (a-o) DTEC maps over Japan on 17 March 2003.

Figures 1a-o represent the DTEC maps on 17 March. TEC perturbations caused by MSTID with the northeast-southwest alignment of the wavefronts were evident from Figures 1b-n. MSTID was observed during the recovery phase of the storm.

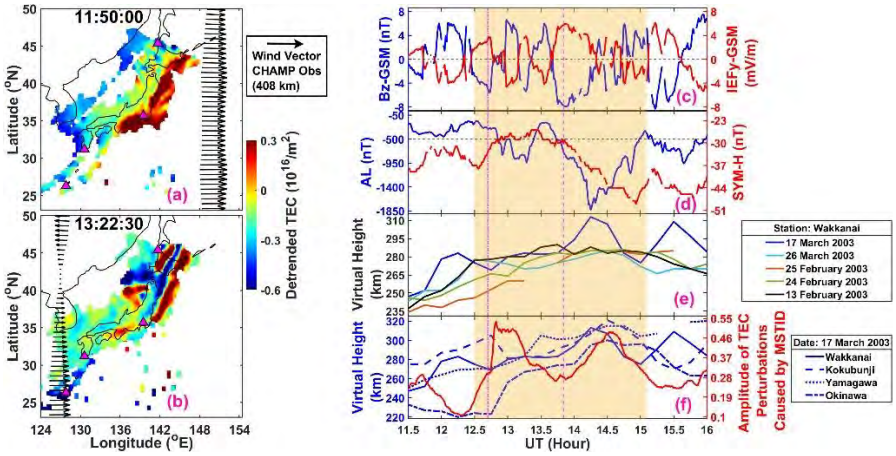


Figure 2: (a-b) Arrows over DTEC maps represent wind direction measured by CHAMP. Temporal variations of (c) IMF-Bz (blue) and IEFy (red), (d) AL (blue) and SYM-H (red), (e) h'F from Wakkanai on 17 March (blue), 23, 24, and 25 February (cyan, orange, & green), and 26 March 2003 (black), (f) h'F from Wakkanai (solid), Kokubunji (dashed), Yamagawa (dotted), & Okinawa (dashed-dotted), and MSTID perturbations amplitude (red-solid), respectively. Triangles in (a-b) & vertical lines and shaded area on (c f) represent the locations of four ionosondes & onset times of two substorms and duration of MSTID observation, respectively.

During the expansion and recovery phases of the second substorm, h'F at Wakkanai on 17 March significantly enhanced and decreased, respectively, compared to other quiet nights (Figures 2d-e). Additionally, h'F at four stations and TEC perturbations amplitude caused by MSTID showed enhancement and decrement concurrently during the expansion and recovery phases of the substorm (Figures 2f).

Period of Stay at ISEE, Nagoya University: From 23 December 2024 to 22 March 2025

References

Kelley, I. J., Kunduri, B. S. R., Baker, J. B. H., Ruohoniemi, J. M., & Shepherd, S. G. (2023). Storm time electrified MSTIDs observed over mid-latitude North America. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 128(3), e2022JA031115.

https://doi.org/10.1029/2022JA031115 Liu, Y., Li, Z., Fu, L., Wang, J., & Zhang, C. (2020). Studying the ionospheric responses induced by a geomagnetic storm in September 2017 with multiple observations in America. GPS Solutions, 24, 3. https://doi.org/10.1007/s10291-019-0916-1.

Nishioka, M., Saito, A., & Tsugawa, T. (2009). Super-medium-scale traveling ionospheric disturbance observed at midlatitude during the geomagnetic storm on 10 November 2004. Journal of Geophysical Research, 114(A7), A07310. https://doi.org/10.1029/2008JA013581.

Zhang, S.-R., Erickson, P. J., Coster, A. J., Rideout, W., Vierinen, J., Jonah, O. F., & Goncharenko, L. P. (2019). Subauroral and polar traveling ionospheric disturbances during the 7–9 September 2017 storms. Space Weather, 17, 1748–1764. https://doi.org/10.1029/2019SW002325.

Zhang, S.-R., Nishimura, Y., Erickson, P. J., Aa, E., Kil, H., Deng, Y., et al. (2022). Traveling ionospheric disturbances in the vicinity of storm-enhanced density at midlatitudes. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 127, e2022JA030429. https://doi.org/10.1029/2022JA030429.

(Form11-1)

Report

Characteristic behavior of SAR arc, STEVE and Red-Green arc during HILDCAA events

Ayushi Nema
Sardar Vallabhbhai National Institute of Technology, Surat, Gujarat, India
Principal Investigator: Dr. Kazuo Shiokawa,
Professor, Director of ISEE
ISEE, Nagoya University, Japan

1. Purpose

To identify the characteristic behavior of SAR (Stable Auroral Red) arcs, STEVE (Strong Thermal Emission Velocity Enhancements) and Red-Green arcs during HILDCAA (High-Intensity Long-Duration Continuous AE Activity) events during the recovery phase of a geomagnetic storm, using all-sky imagers located at Athabasca (magnetic latitude: 61.1 °N; magnetic longitude: 307.8°W) Canada, Kapuskasing (magnetic latitude: 58.7°N; magnetic longitude: 347.6°W), Canada and Nyrölä (magnetic latitude: 59.4°N; magnetic longitude: 114.9°E), Finland.

2. Methods

HILDCAA events are periods of sustained geomagnetic activity caused by high-speed solar wind streams (HSSs) originating from coronal holes on the Sun. These events are identified by their intensity and extended duration, making them significant for understanding space weather effects on Earth. There are possibilities that HILDCAA events maybe closely linked to various optical and thermal phenomena in the Earth's upper atmosphere, such as SAR arcs, STEVE and Red-Green auroral arcs. We used auroral images from [1] all-sky camera no. 7 in Athabasca, Canada, which was installed on September 3, 2005, [2] all-sky camera no. 16 in Kapuskasing, Canada, which was installed on February 25, 2017, and [3] all-sky camera no. 18 in Nyrölä, Finland, which was installed on January 24, 2017. To identify HILDCAA events, we followed the procedure defined by Tsurutani and Gonzalez in 1987.

S. No.	HILDCAA Start	Start Time (UT)	HILDCAA End	End Time (UT)	Stations
1.	2011/04/30	18:04	2011/05/03	04:56	ATH
2.	2012/05/08	21:22	2012/05/11	06:35	ATH
3.	2015/12/10	00:13	2015/12/12	00:28	ATH
4.	2016/11/24	00:00	2016/11/26	12:03	ATH
5.	2016/12/21	09:41	2016/12/24	18:57	ATH
6.	2017/01/31	08:34	2017/02/04	01:01	ATH
7.	2017/07/24	03:26	2017/07/26	19:06	KAP, ATH
8.	2017/08/17	07:28	2017/08/21	10:24	KAP, ATH, NYR
9.	2018/05/08	14:44	2018/05/11	12:43	ATH, KAP
10.	2019/02/01	02:38	2019/02/03	09:48	KAP, NYR
11.	2019/02/28	05:50	2019/03/02	21:25	KAP, ATH

Table 1. List of HILDCAA events used to observe the occurrence of SAR, STEVE and Red-Green arc

3. Results

Using 630-nm all-sky airglow imagers at Athabasca (Canada), Kapuskasing (Canada) and Nyrölä (Finland), we present the first statistical analysis of the Stable Auroral Red (SAR) arcs, STEVE, and Red-Green (RG) arcs during High-Intensity Long-Duration Continuous AE Activity (HILDCAA) events from 2011 to 2019. These optical phenomena are unique and relatively faint auroral phenomena observed in the Earth's upper atmosphere at subauroral latitudes. We discovered 25 auroral phenomena (SAR arc, STEVE, and Red-Green arc) after analyzing all-sky images taken over a 9-years period from 2011 to 2019. The arc detachments from the auroral oval typically occur in the premidnight sector, indicating ring current ion drift to the dusk sector. We found that more than 90% of HILDCAA events were accompanied by some of these auroras. We also found that these auroras occur predominantly during midnight hours. The occurrence rate of these auroras found to be much higher during HILDCAA events reaching to approximately 45%, compared to previous statistical studies, including non-HILDCAA times.

We prepared keograms and movies of all auroras during these HILDCAA events to study their behavior with and without HILDCAA events by estimating occurrence count. The occurrence count in Fig.1 has been estimated by reading data from its start hour to end hour, excluding cloudy hours when there was no visibility. Before estimations, the recorded hours of each aurora in UT were converted to LT. Each hour was then incremented by 1 count if any of the arc detachment occurred in that hour bin. Total occurrence count was then estimated by summing all the counts in each hour bin. The vertical axis displays the aggregate counts of all auroras in a given time bin, while the horizontal axis displays the local time. The steep rise in occurrence counts during the late evening hours reflects a stronger coupling between solar wind energy.

Fig.2 shows occurrence rate in categorized manner to show the local time distribution of the three types of auroras separately. SAR dominates most time slots, especially during 20-03 LT. RG peaks significantly around 22-00 LT. STEVE occurrences are relatively low but peak around 21-01 LT. The numbers above each bar denotes the total number of observation hours for all phenomena combined with clear sky during that time bin.

This study shows that more than 90% of the analyzed HILDCAA events are associated with at least one of these optical features-SAR arcs, Red-Green auroral arcs, or STEVE. This high correlation underscores the critical role that HILDCAA events may play in creating the magnetospheric and ionospheric conditions necessary for the formation of these visually striking and scientifically significant phenomena. Such results not only affirm the dynamism of HILDCAA events but also highlight their importance in shaping the near-Earth space environment.

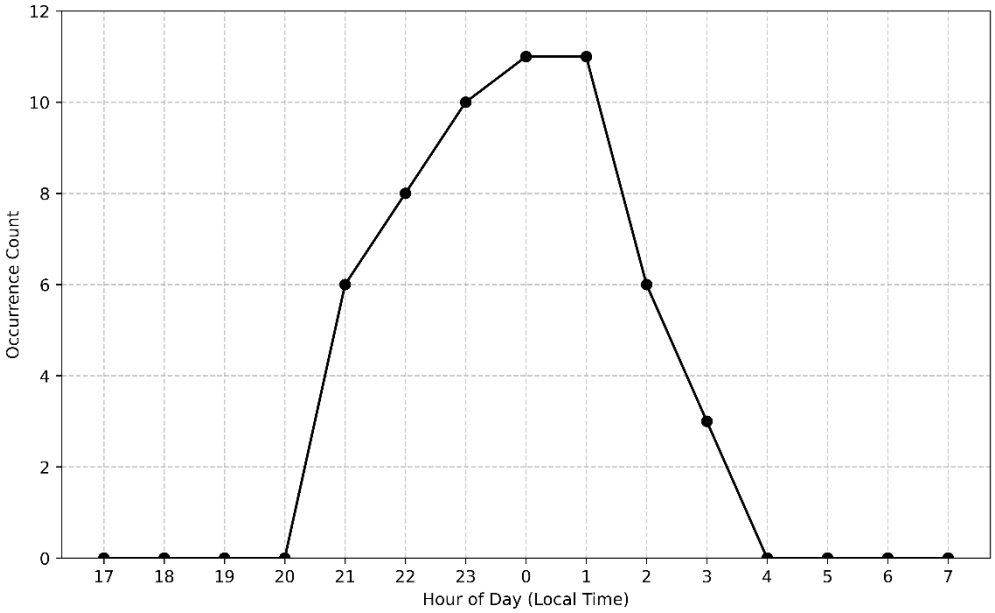


Fig. 1: Occurrence count (in unit of hours) of the observation of SAR, STEVE and Red-Green arcs as a function of local time.

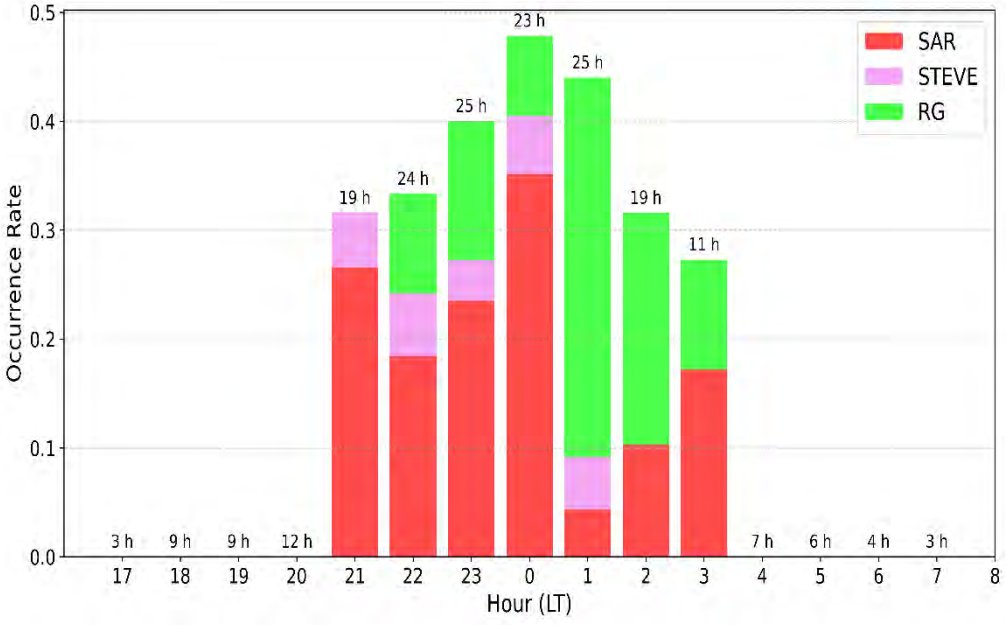


Fig. 2: Occurrence rate variation of SAR, STEVE and Red-Green arcs as a function of local time. Temporal distribution of each auroral event is shown along the bars with red color for SAR arc, purple for STEVE and green for Red-Green arc. The numbers above bars indicate the total hours of available image data with clear sky.

4. Period of stay in ISEE

3 months: 30/09/2024 to 27/12/2024.

5. List of publications

Manuscript under preparation.

(Form11-1)

Automatic detection of equatorial plasma bubbles in airglow images using two-dimensional principal component analysis and explainable artificial intelligence

Moheb Yacoub, Egypt-Japan University of Science and Technology (E-JUST), Researcher

Purpose

During my three-month stay at the Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE), Nagoya University, under the SCOSTEP Visiting Scholar (SVS) Program, I conducted research under supervision of Professor Kazuo Shiokawa on the automatic detection of equatorial plasma bubbles (EPBs) using Explainable Artificial Intelligence (XAI). EPBs are nighttime ionospheric irregularities that significantly affect satellite-based communication and navigation systems. This project aimed to develop a low-computational-cost, accurate, and interpretable model for real-time EPB detection in all-sky imager (ASI) data.

Methods

To achieve these objectives, a novel detection framework was proposed that combines image processing, dimensionality reduction, and machine learning. The main components of the method include:

1. **Dataset Preparation:**

A dataset of 2,458 ASI images were manually classified into two classes “Event” (with EPBs) and “Empty” (without EPBs). The dataset was split into two subsets: 80% for training and 20% for testing.

2. **Dimensionality Reduction:**

Images were transformed using the Radon transform to reduce dimensionality and computational cost.

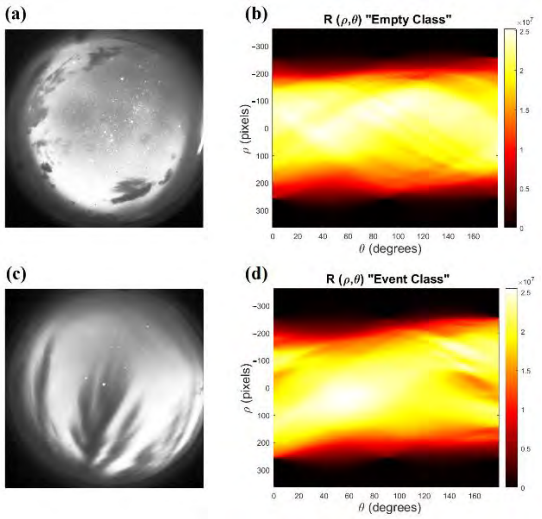


Figure 1. Example of original images and their corresponding Radon-transformed images for samples from each class.

3. **Features Extraction:**

Two-Dimensional Principal Component Analysis (2DPCA) was used to extract significant features from both raw and Radon-transformed images.

4. Model Construction with Explainable AI:

Recursive Feature Elimination (RFE) combined with a Random Forest classifier was applied to rank the most relevant principal components for classification. An ante hoc XAI model was then constructed using only the top contributing components, maximizing performance while minimizing model size.

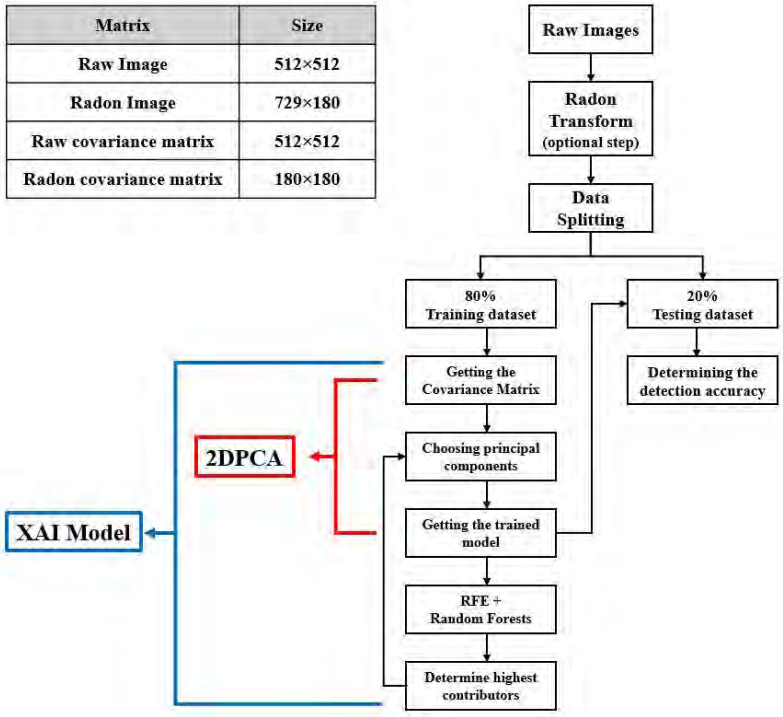


Figure 2. Flowchart of the XAI model with a table of matrix sizes shown in the upper-left corner.

Results

The proposed XAI model achieved excellent performance in detecting equatorial plasma bubbles while maintaining low computational requirements. The model reached a detection accuracy of 98.17% with raw images by combining 2DPCA, RFE, and a Random Forest classifier. A second version, using Radon-transformed images, achieved 97.35% accuracy while reducing the model size and training time by 70%, making it more suitable for real-time and resource-constrained environments. Notably, the explainable design revealed that principal components with smaller eigenvalues could contribute more significantly to classification than expected. The proposed model offered both higher accuracy and significantly faster training compared with another baseline deep learning models, demonstrating its potential for practical deployment in space weather monitoring systems specially in resource-constrained environments.

Publication

Yacoub, M., Abdelwahab, M., Shiokawa, K., & Mahrous, A. (2025). Automatic detection of equatorial plasma bubbles in airglow images using two-dimensional principal component analysis and explainable artificial intelligence. Machine Learning and Knowledge Extraction, 7(1), 26. https://doi.org/10.3390/make7010026.

Research on Magnetospheric Processes Corresponding to Special Dayside Auroral Structures

Principal Investigator Huiting Feng

Affiliation GFZ, Potsdam, Germany

Position Postdoc

Period of Stay in ISEE: 06 April 2025 - 19 April 2025

Research Summary

1. **Purpose of the Research**

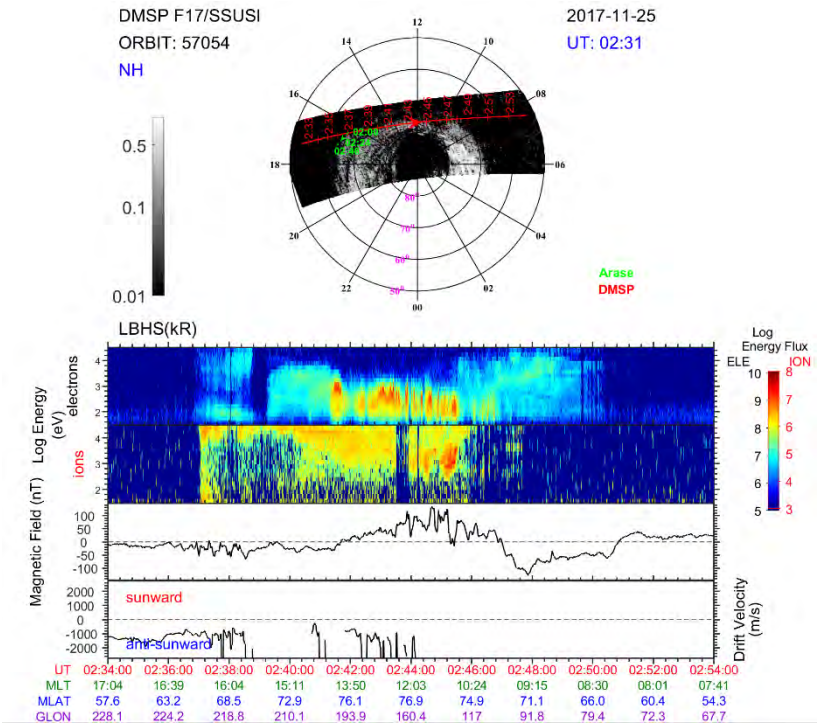
In this study, we aim to conduct a systematic analysis of the possible physical process of afternoon auroral structure by combining data from the Arase satellite, ground-based geomagnetic observations, and auroral and particle precipitation measurements from the Defense Meteorological Satellite Program (DMSP).

2. **Methods**

To achieve this aim, we first need to select suitable auroral observations from the DMSP/SSUSI data, specifically those in which clear afternoon auroral structures can be identified at the low-latitude boundary of the auroral oval. From these events, we will further select cases where the Arase satellite crosses the afternoon auroral arc. In addition, we will incorporate geomagnetic observations from appropriate ground-based magnetometer stations. By integrating these multi-source observations, we aim to conduct a comprehensive, magnetosphere-to-ionosphere analysis of the afternoon auroral events.

3. **Results**

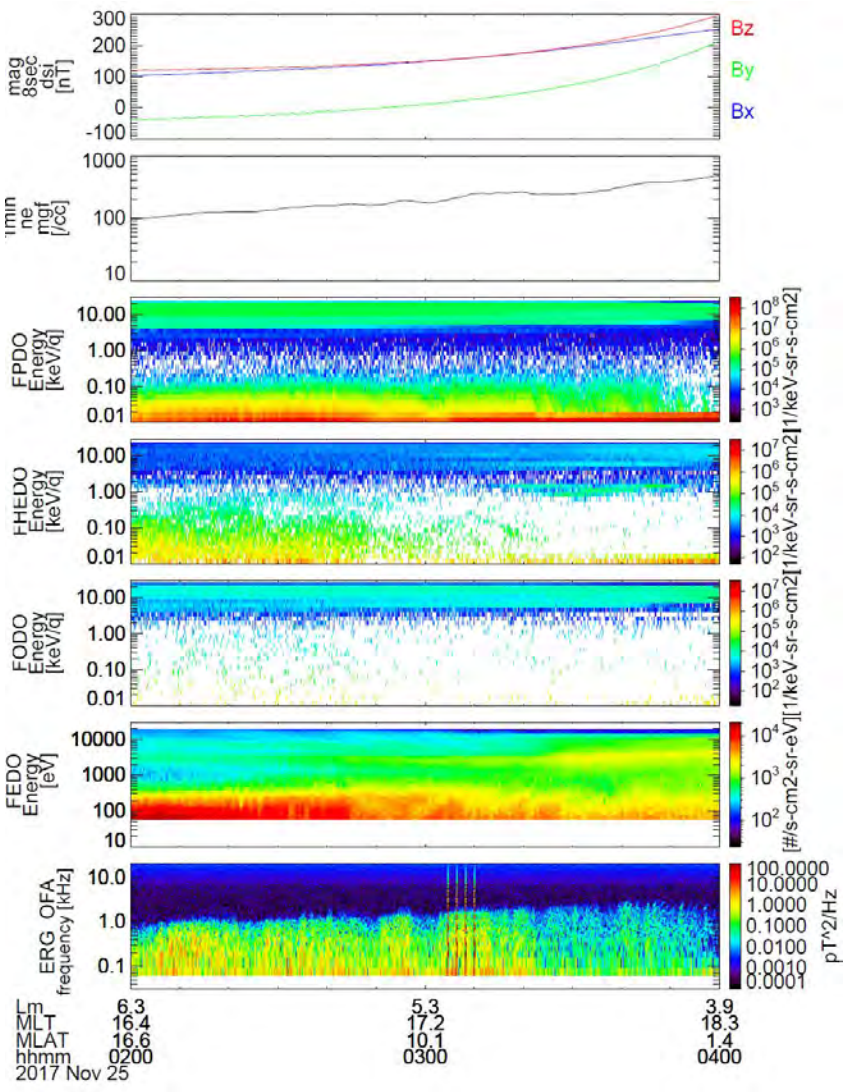
In this section, we present the analysis results from one of events identified in our study. As shown in Figure 1(a), this event occurred on November 25, 2017, between 02:00 and 03:00 UT. During this period, DMSP/SSUSI observed an auroral emission enhancement in the low-latitude region of the postnoon auroral oval, and Arase happened to pass through this low-latitude region, as shown in green arrow line. Figures 1(c) - (d) show the precipitating



particle distribution and magnetic field variations recorded by DMSP. In this region, we observed precipitating electrons and particles with energies around ~10 keV.

We also plot the magnetic field variations, plasma density, particles and waves distributions from Arase satellite, as shown in Figure 2. From top to bottom, the panels show the magnetic field variations, electron number density, proton, helium, and oxygen electron energy flux distributions, and OFA wave observations.

In addition, we have identified numerous suitable observational events and plan to carry out detailed analyses of selected cases in future work, with the aim of gaining deeper insights into auroral phenomena in the postnoon region.



4. Stay at ISEE, Nagoya University

During my visit to Nagoya University, I joined the weekly group meeting of Professor Miyoshi's team and gave a presentation on the conjugate observation event I focused on. I discussed the results with Arase instrument experts and received valuable suggestions, which helped guide the next steps of my research. Based on this collaboration, we plan to write a paper and submit it to a peer-reviewed journal. I also attended academic seminars and exchanged ideas with other group members, which gave me a better understanding of their ongoing research and provided useful perspectives for my own work.

(Form11-1)

Pre-condition of an X1.0 class flare observed on 28 October 2021

Karla Franchesca Lopez Araujo
Mackenzie Presbyterian University, São Paulo - Brazil
Master course ending in December 2024
Supervisors at ISEE: Prof. Kanya Kusano and Prof. KD. Leka

Research Summary:
Solar active regions are areas with high concentrations of magnetic fields, which sometimes can be activated producing solar flares or other eruptive events (e.g., Kazachenko & Hudson 2020). Solar flares consist of sudden explosions that release large amounts of magnetic energy that is converted to other forms, such as bulk motion, plasma heating, and acceleration of particles (Shibata & Magara, 2011; Benz, 2017; Sijie Yu et al., 2020). The dissipation of energy results in the emission of electrons and protons over a wide range of the electromagnetic spectrum extending from radio, infrared, visible, ultraviolet and extreme ultraviolet, X-rays to γ-rays. Solar flares and eruptive events can affect the conditions of the near-Earth environment. Therefore, it is important to understand how active regions evolve and under which conditions produce solar flares.
In this work, I focused on studying an X1.0 class flare that occurred on October 28, 2021 at 15:38:59 UT (peak). The X1.0 class flare was associated with a filament eruption and a coronal mass ejection (CME) as it is shown in Figure 1. During my stay at ISEE, Nagoya University from January 9 to March 25, 2025 guided by Prof. Kusano I studied the pre-flare conditions for the occurrence of the X1.0 class flare. The study was conducted using the **κ**-scheme model (Kusano et al., 2020) applied to the HMI Active Region Patch (SHARP) data remapped to a Lambert Cylindrical Equal-Area projection (SHARP CEA) recorded by SDO/HMI spacecraft (Bobra. et al., 2014). The **κ**-scheme model is based on the nonlinear force-free field (NLFFF) approximation, extrapolated from the vector magnetograms observed by HMI. This model is able to predict large solar flare through considering a "critical condition" of magnetohydrodynamic instability. The critical condition occurs on (or near) the Polarity Inversion Line (PIL) when the magnetic field lines are reconnected producing the double-arc instability (DAI). In other words, the magnetic field becomes unstable with respect to the DAI when a parameter **κ** exceeds a threshold κ_0~0.1. The parameter **κ** is related to the magnetic twist flux density, the area of the reconnection region, and the magnetic flux overlying the double-arc, by which the **κ**-scheme evaluates the critical length scale (r_c) for the region where the trigger-reconnection may happened along the PIL, also it can estimate the magnetic free energy (E_r). This energy means the minimum energy available to be released by the DAI and magnetic reconnection when DAI grows, see more details in Kusano et al., 2020.

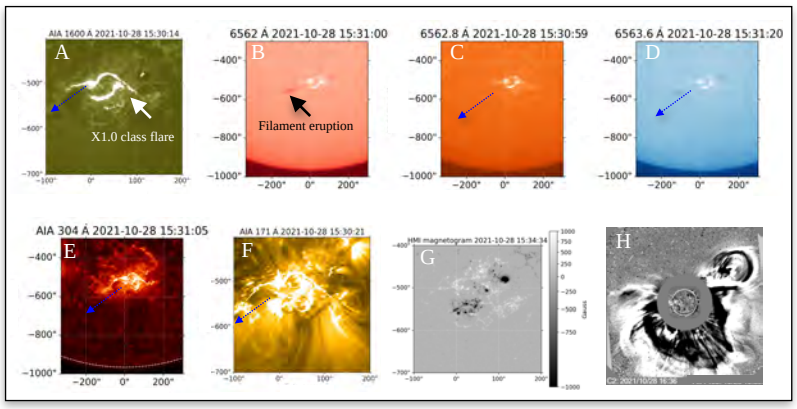


Fig. 1. Multiple wavelengths observation of the active region NOAA-12887 where the X1.0 class flare, filament eruption, and coronal mass ejection (CME) occurred on 28 October 2021. From panel A to F: observations of the solar flare (white arrow) and the filament eruption (black and blue arrow) at 15:30 UT at 1600 Å, Hα -0.8 Å (6562 Å), Hα center (6562.8 Å), Hα +0.8 Å (6563.6 Å), 304 Å, 171 Å taken by the SDO/AIA satellite, the Flare monitoring telescope (FMT), and AIA, respectively.
Panel G: Line of sight (LOS) magnetogram, where the black structures correspond to the negative polarity and the white structures to the positive polarity of the active region NOAA-12887. Panel H: CME observed by LASCO C2 at 16:36 UT.

In this study we address two questions:

1. **Where is the main PIL located?** Figure 2 displays HMI dataset of the active region NOAA-12887 identified as HARP ID 7798 observed on 28 October 2021 at 15:00 UT. From panel A to panel E, we have SHARP data product: Doppler velocity in the Line of Sight (LOS) [m/s], bitmap [dimensionless], disambiguation confidence map [dimensionless], continuum [DN/s], and Line of Sight Magnetogram

$[Mx/cm^2]$, while Panel F displays SHARP CEA data of the radial (out of photosphere) component of the CEA vector magnetic field [SHARP CEA]. Using the data product SHARP and the SHARP CEA data of the radial component (Br), we try to find the main PIL (Figure 2G, white arrow).

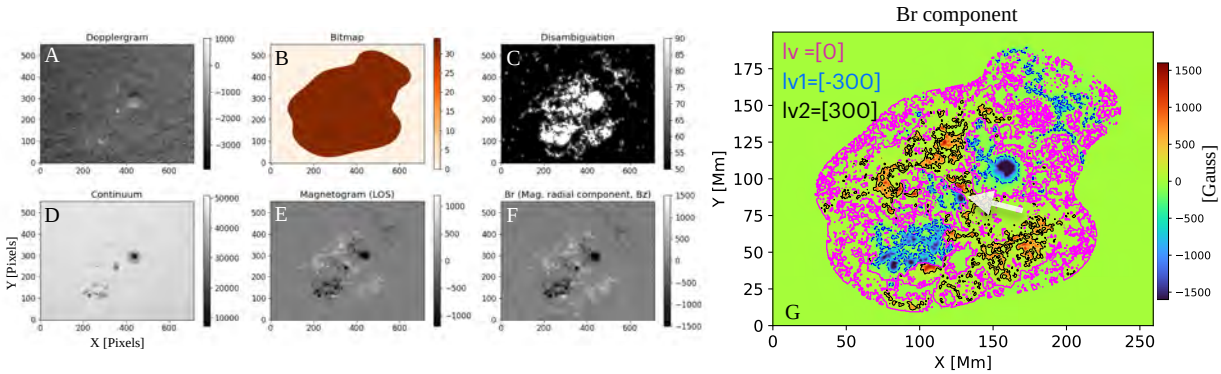


Fig. 2. SHARP and SHARP CEA data product from HARP ID 7798 (NOAA-12887) at 2021.10.28.15_00.00.00 from the hmi_sharp_cea_720s series. Panels from A to E depict the SHARP product: LOS Doppler velocity, bitmap, disambiguation, continuum, and LOS Magnetogram. Panel D: SHARP CEA data of the Br component. Panel G: the "active region pixels" map limited by the bitmap contour level 32 (showing full extent of HMI) of the Br component. The contour maps with level = 0 (magenta) indicate the PIL, which separates the positive and negative polarity, level = -300 (blue) shows the negative magnetic field of 300 Gauss, and level = 300 (black) displays the positive magnetic field of 300 Gauss. The main PIL is point out by the white arrow.

2. **Where does the trigger-reconnection occur during the X1.0 class-flare?** Using the **κ**-scheme model, we found the critical parameters for the region of the trigger-reconnection to become unstable to the DAI along the PIL; the critical length scale r_c and the high free-energy regions HiFERs (E_r), see Figure 3A. In figure 3B is shown the region of the trigger reconnection/HiFER region (pink arrow), which it is located in the main PIL and the high non-potential magnetic field region (1; blue contours) overlaid on the high magnetic twist flux density map on the solar surface. The HiFER region present a twist flux density $T_W \approx 0.75$. Moreover, figure 3C displays the magnetic topology of the active region NOAA-12887 using nonlinear force-free field (NLFFF) extrapolation reproduce in ParaView software, where we observed a quadrupolar active region (light grey tubes) and maybe two filaments/magnetic flux ropes (dark grey and yellow tubes) extended bellow the null-point topology of the quadrupole active region, a similar magnetic characteristics was described by Qiao Song et al., 2023. Furthermore, the magenta contour maps with level = 700 overlaid on the Br component map indicate the high regions of non-potential magnetic field (Bnp), it is also observed in Figure 3B (blue contour maps with same level).

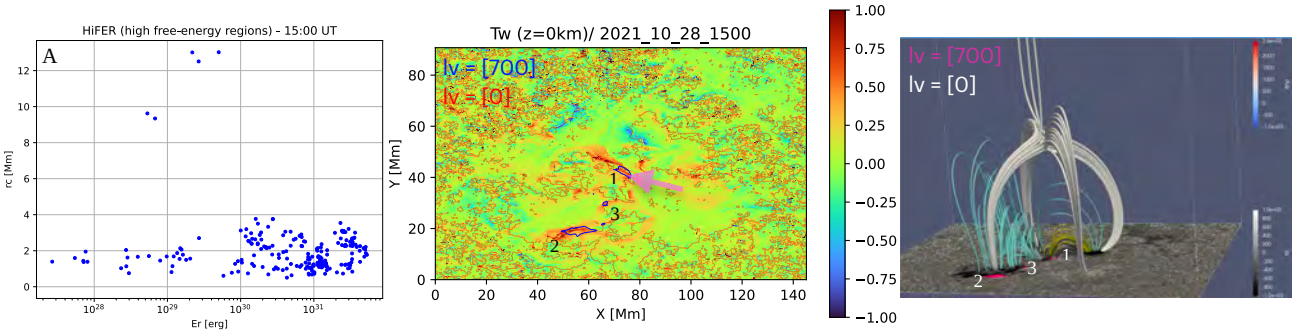


Fig 3. Region of the trigger-reconnection (HiFER region) and the magnetic configuration of the extrapolated coronal magnetic fields of the active region NOAA 12887 at 15:00 UT. Panel A shows the critical parameters r_c and the E_r. Panel B displays the hypothetical HiFER region point out with the pink arrow. Panel C depict the 3D quadrupolar magnetic fields (light grey tubes) above the two filaments or magnetic flux ropes (yellow and dark grey tubes), and the large scale arcades (cyan tubes).

References

Kazachenko M. and Hudson H., 2020. *ApJ* 901 64
Shibata, K. and Magara, T., 2011. *Living Rev. Sol. Phys.* 8, 6
Benz A., 2017. *Living Reviews in Solar Physics,* 5, 1
Yu S., Chen B., Reeves K., Gary D., Musset S., Fleishman G., Nita G., and Glesener L., 2020. *ApJ* 900 17
Bobra M., Sun X., Hoeksema, J., Turmon Y., Liu Y., Hayashi K., Barnes G., and Leka K., 2014. *Sol Phys* 289, 3549–3578
Kusano K., Iju T., Bamba Y., and Inoue S., 2020. *Science* 369, 589-591
Qiao Song, Jing-Song Wang, Xiaoxin Zhang, Hechao Chen, Shuhong Yang, Zhenyong Hou, Yijun Hou, Qian Ye, Peng Zhang, Xiuqing Hu, 2023, ApJ 959 53

(Form11-1)

Report Form of SVS Program

Luiz Fillip Rodrigues Vital, National Institute for Space Research, Brazil

The internship conducted at the Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE) at Nagoya University, under the supervision of Dr. Yuichi Otsuka, was fundamental for the development of my PhD thesis, which examines the probability of occurrence of equatorial plasma bubbles (EPBs). EPBs are large-scale ionospheric irregularities that form in the equatorial and low-latitude regions during the nighttime. In addition to observing EPBs using the rate of total electron content index (ROTI) technique, the Rayleigh-Taylor instability growth rate (γ_{RT})—the main parameter indicating the development of such irregularities—was also calculated.

In this context, the primary objective of my stay at ISEE was to investigate the underlying phenomena driving the occurrence of equatorial plasma bubbles around the local midnight over Brazil. One of the objectives outlined in the initial proposal was to run the GAIA model data to model the γ_{RT} and analyze the results regarding the probability of occurrence. Unfortunately, due to the limited time available to run the analyses, this task was not completed during the internship.

In a second phase, an in-depth analysis was conducted on the effects of post-sunset EPBs, focusing on how the asymmetry of zonal thermospheric winds influences the development of these irregularities. This discussion proved crucial for understanding why the EPB occurrence rate is higher during the September equinox compared to the March equinox. This finding constitutes a new contribution to the literature, as the prevailing theory predicts similar occurrence rates for both equinoxes.

Post-Midnight EPB Event

To investigate the mechanisms associated with the generation of post-midnight EPBs, the night of July 25, 2025, was selected, during which a Medium-Scale Traveling Ionospheric Disturbance (MSTID) likely contributed to the formation of an EPB over northeastern Brazil. Dr. Yuichi Otsuka provided valuable insights into the EPB's development, highlighting its potential interaction with the MSTID, which enhanced the understanding of the mechanisms involved in this specific phenomenon.

The Figure 1 shows a time sequence ofthe 630-nm airglow map observed at (I) São João do Cariri and (II) Bom Jesus da Lapa on the night of July 25, 2022, in Brazil. The original all-sky images were linearized and mapped into geographical coordinates under the assumption that the airglow layer was at an altitude of 250 km. The images cover a horizontal scale of 1536 km, corresponding to a zenith angle of ~75°, with the zenith at the center. The letters 'B' and 'M' markes the plasma bubbles and MSTID, respectively.

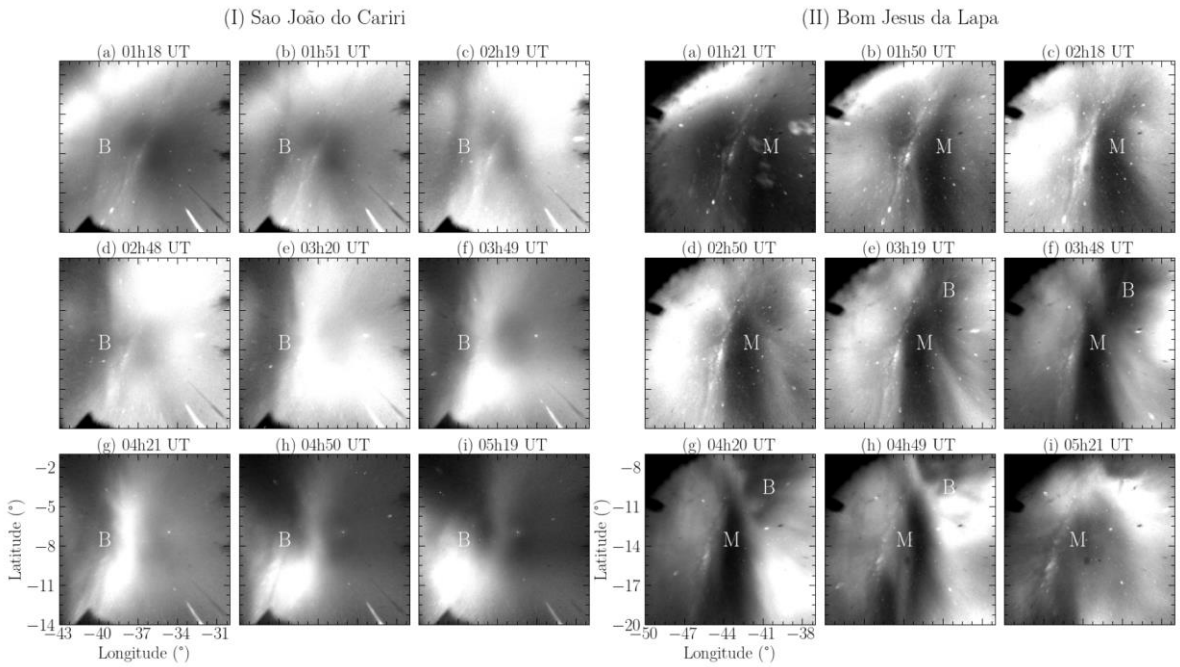


Figure 1 Sequence of unwrapped OI 630,0 nm images obtained at (I) São João do Cariri and (II) Bom Jesus da Lapa show the EPBs ('B' letter) and the MSTID ('M' letter).

This work is still in progress and is expected to be submitted for publication in the coming months. In addition to the analyses of the imager, anomalous signatures in ionospheric parameters obtained from ionosonde data, thermospheric winds through Fabry-Perot interferometer measurements, and satellite data were also investigated.

Seasonal Asymmetry of Post-Sunset EPBs over South America

In this second topic, we benefited from the collaboration of Dr. Balan and Dr. Abadi, whose discussions significantly enriched the scientific results obtained. Both researchers have extensive experience in investigating the seasonal asymmetry of EPBs and thermospheric winds in Southeast Asia, and their substantial contributions were pivotal in interpreting the physical phenomena observed over South America, which form the central focus of my PhD research.

The main result is presented in **Figure 2**, which shows: (a) the occurrence rate of EPBs and (b) the mean γ_{RT} calculated for each season of the year. This analysis considered only geomagnetically quiet periods (Dst > -30 nT), and the June solstice was excluded due to the relatively rare occurrence of EPBs after sunset during this period. The right axis of **Figure 2** (a) and (b) highlights the difference between the September equinox (SE) and the March equinox (ME). The occurrence rate was determined as the ratio of the number of observed EPBs to the total number of days in each season.

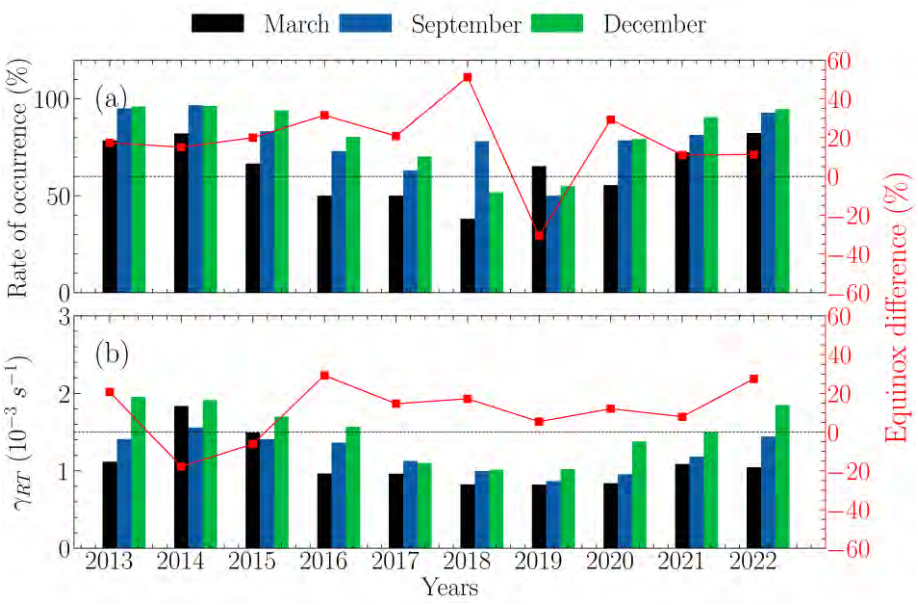


Figure 2 The annual evolution of (a) the post-sunset EPB occurrence rate and (b) the mean γ_{RT} for geomagnetically quiet periods (Dst > -30 nT) in the longitudinal sector of São Luís, Brazil from 2013 to 2022. The black, blue, and green bars represent the Mar.

This latest result was published in my doctoral thesis, which was defended in August 2024. A manuscript based on these findings will soon be prepared and submitted to a journal, with the involvement of all the aforementioned researchers.

Other activities

- During my stay in Japan, I had the opportunity to present the results of my research at COSPAR in Busan, South Korea, in an oral presentation format.
- I conducted seminars for Dr. Otsuka's research group on my research and participated in discussions with other members of the division.
- A significant portion of my time was also dedicated to writing my doctoral thesis, which was in its final stages.
- We made a visit to the MU Radar in Shigaraki.

2024年度 12)航空機観測共同利用(ドロップゾンデ) 目次詳細

3 件

＊所属・職名は2025年3月現在

＊Affiliation and Department displayed are current as of March 2025.

研究代表者 Principal Investigator	所属機関* Affiliation	所属部局* Department	職名* Job title	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
平野創一朗	京都大学	防災研究所	特任助教	台風の北東側に存在する前線の構造	343	
川村隆一	九州大学	大学院理学研究院	教授	ドロップゾンデ観測による黒潮から台風への水蒸気輸送の評価・検証	345	
榎本剛	京都大学	防災研究所	教授	ドロップゾンデ観測のアンサンブル同化	346	

（別紙様式12-2）

台風の北東側に存在する前線の構造
The structure of a front located to the northeast of a typhoon

平野創一朗、京都大学・防災研究所

・研究目的

台風が北上して日本に接近する際、台風の東側で吹く南風により、台風の北東側にしばしば前線が形成される。このような前線は、風・気温・湿度などの物理量の観測がほとんど行われていない海上で形成されることが多い（図1）。そのため、再解析やモデルにおける台風北東側の前線が、どの程度再現されているか確かめる手段がほとんどないのが現状である。台風北東側の前線周辺の物理量を観測するには、航空機によるドロップゾンデ観測は数少ない手段の一つである。そこで、本研究は台風北東側に存在する前線の構造を観測的に明らかにし、再解析やモデルでどの程度再現されているか評価することを目的とする。

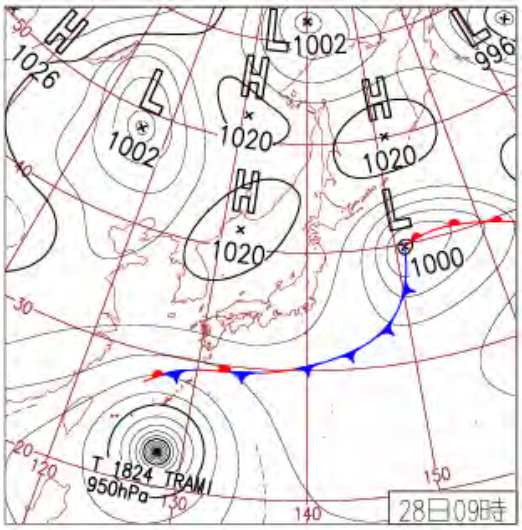


図 1：2018 年 9 月 28 日の地上天気図。台風第 24 号 Trami に対する航空機観測を行った。

・研究方法

台風観測を行う航空機を用いて、名古屋空港と台風の間に存在する前線を横切ってドロップゾンデを投下する。投下場所として想定しているのは、台風北東側の前線がよく形成される以下の2つの航空路上である。1つは、串本VOR（KEC、潮岬付近）からBUBDO（紀伊半島南方海上のウェイポイント）を経由して南大東島に向かう航空路上である。この経路は名古屋空港から南大東島に向かう際に使用する航空路である。航空機が台風の眼の貫通飛行を行う前には、ラジオゾンデとドロップゾンデの観測結果を比較するために南大東島でドロップゾンデを投下する。もう1つは、台風の中心付近から北上した後、BUBDOを経由して串本VORに向かう航空路上である。この経路は、航空機が台風観測を終え名古屋空港に戻る際に使用する航空路である。2018年9月に台風第24号Tramiに対する航空機観測を行った際には、これらの経路上に前線が形成された（図1）。

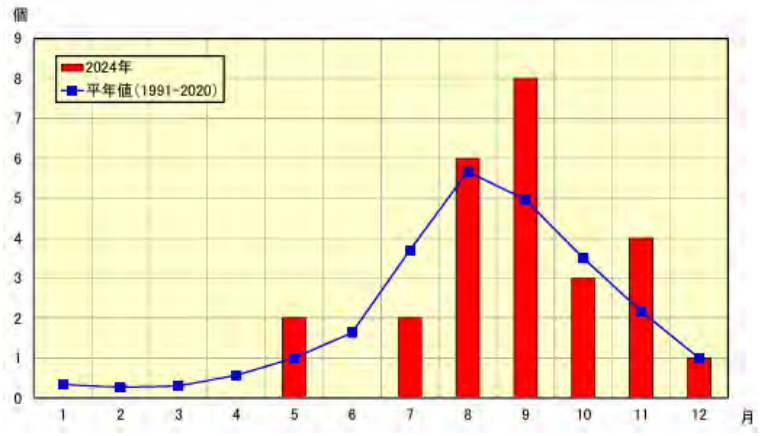


図 2：2024 年の月別台風発生数（赤棒）。青線は 1991～2020 年の平均値を表わす。https://www.jma.go.jp/jma/press/2503/26b/2024kakutei.pdf より出典。

・今年度の観測結果

2024年9月は、平年より多い9個の台風が発生したが（図2）、いずれの台風も観測可能領域に入らないか、もしくは観測可能領域に入っても発達しなかった。結果として、観測可能期間が終わる直前の10月に航空機観測を行った。このときは、前線の位置が陸に近く（図3）、前線を超えてからドロップゾンデを投下し始めたため、前線を横切ってドロップゾンデを投下することができなかった。

・まとめ、今後の展望

今年度の航空機観測では、前線の位置が陸に近く、前線を横切ってドロップゾンデを投下することができなかった。2024年度は、ドロップゾンデデータの検証が進み、特に相対湿度のデータの質が向上し、正確に前線の構造を明らかにするための土台ができつつある。来年度以降も、前線を横切ってドロップゾンデを投下することを狙う。

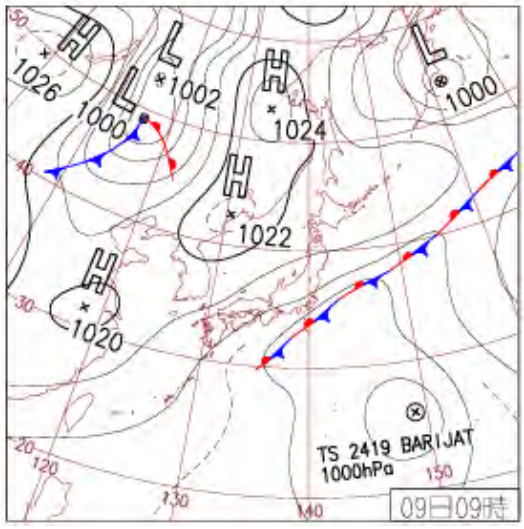


図 3：2024 年 10 月 9 日の地上天気図。台風第 19 号 Barijat に対する航空機観測を行った。

（別紙様式12-2）

ドロップゾンデ観測による黒潮から台風への水蒸気輸送の評価・検証
Estimation and validation of moisture import from the Kuroshio to a typhoon using dropsonde observations

川村隆一、九州大学・大学院理学研究院

【研究目的】
日本に接近する秋台風の中で、黒潮からの水蒸気が内部コアに流入している事例が少なくない。領域気象モデルを用いた各種感度実験から、水蒸気の流入を介した黒潮の遠隔影響が台風の強度に影響を与えていることが示唆されている。しかしながら、海上での水蒸気輸送に係る数値シミュレーション結果を観測で検証する所まで至っていない。ドロップゾンデ観測は貴重な検証データとなり、今後の台風強度予測における黒潮の遠隔影響のインパクトを定量的に評価できることが期待できる。

【研究内容・計画】
台風観測へ向かう航空機の往路または復路において、黒潮流軸近傍の測線に沿ってドロップゾンデを５発程度投下する。黒潮から台風本体への水蒸気輸送の鉛直構造を捉えると同時に、大気境界層内の気流の気団変質過程や鉛直安定度を評価するための検証データを得る。

【研究結果】
航空機ドロップゾンデ観測が実施された2024年10月10日において、台風Barijatは平年より約2℃高い海面水温の黒潮続流域を北上していた。そのような平年より温かい黒潮続流域が台風Barijatの境界層過程に与える影響を明らかにするために、WRFシミュレーション（CNTL）を実施した。シミュレートされた台風は、観測された台風の経路および中心気圧をよく再現した。本事例は、直接観測データのない海上を通過している台風のシミュレーションとは異なり、ドロップゾンデ観測データを用いて再現性を確認することができるというアドバンテージを持っている。ドロップゾンデ観測データより作成した水蒸気混合比の鉛直断面図とCNTLシミュレーションによる鉛直断面図を比較することにより、台風西側で水蒸気混合比17g/kg以上の湿潤層が地表から約950hPa高度まで達している境界層の水蒸気分布がWRFシミュレーションによって見事に再現されていることが確認された。
平年より温かい黒潮続流域が台風Barijatの境界層過程に及ぼす影響を調べるため、Barijatが通過する周辺の黒潮続流域の海面水温を平年値に置き換えたシミュレーション（CLM）を実施した。CLMシミュレーションでは、台風西側境界層の17g/kg以上の湿潤層は浅くなり、台風の発達も抑制された。このことは、平年より温かい黒潮続流域が台風西側の境界層水蒸気分布を変化させ、台風発達を促進させたことを示唆している。

【成果発表】
なし

（別紙様式12-2）

ドロップゾンデ観測のアンサンブル同化
Ensemble assimilation of Dropsonde Observations

榎本剛、京都大学・防災研究所

研究目的

台風や線状降水帯に代表される局地的大雨の予測には、必要な解像度を確保するため、全球モデルに領域モデルを埋め込んだネスティングが行われている。ネスティングされた領域モデルで観測を同化すると、全球モデルの力学的ダウンスケーリングよりも精度が下がることが知られている。その原因は、領域モデルの計算範囲が限定されているため、領域外の観測を含む大規模場の情報が反映されないためであると考えられている。この問題に対処するため、台湾や英国では、解析の際に大規模場の情報を混合するブレンディングと呼ばれる手法が用いられているが、大規模場と領域解析とを一定の割合で混合するため、解析値の力学的バランスが損なわれる。また、大規模場を観測のように扱うネスト3次元変分法（Guidard and Fischer, 2008）も提案されているが、背景誤差共分散が気候値に固定されているため、時空間的に変化が激しいメソスケール循環を適切に同化できない。そこで、本研究では、アンサンブル予報を利用して、動的に背景誤差共分散を推定し、ブレンディングを行うことにより、台風やメソ対流系の再現性を向上させ、ドロップゾンデ観測を効果的に行う手法を確立する。

研究方法

数値最適化にニュートン法を用いた最尤法アンサンブルフィルタに基づく、アンサンブル変分法データ同化システム（Nakashita et al. 2024, Enomoto and Nakashita, 2024）を構築した。これをLorenz (2005)のカオスモデルに適用した。Model IIIを用いた積分を真値とし、真値の1/4の解像度のModel IIを全球モデル、1/4周に真値と同じ解像度のModell IIIを領域モデルとした。領域モデルに様々な分布の観測とModel IIの情報を同化し、ダウンスケーリングと比較した（Nakashita and Enomoto 2025）。

研究結果

考案したネストアンサンブル変分法は、大規模場の情報を考慮しないアンサンブル変分法及びネスト3次元変分法よりも顕著にスキルスコアが改善する（表1）。既存の二つの手法では、スキルスコアに対して低波数（波数24以下）が精度を低下させている。高波数（波数24超）の寄与は、大規模場の情報の有無にかかわらずアンサンブル変分法が3次元変分法よりもやや大きく、流れに依存してメソスケールの再現性が向上していることを示唆している。

表1・密な移動観測を同化した場合の解析値の平均二乗誤差のスキルスコアとそれに対する低波数（波数24以下）及び高波数（波数24超）の寄与（Nakashita and Enomoto 2025のTable 4より抜粋）

手法	スキルスコア	低波数	高波数
アンサンブル変分法	0.15	−0.15	0.29
ネスト3次元変分法	0.13	−0.15	0.27
ネストアンサンブル変分法	0.40	0.11	0.29

考察

ネストアンサンブル変分法の精度が大幅に改善したのは、波数2～60までにわたる幅広い空間スケールで誤差が低下したためである。これは、ネストアンサンブル変分法が観測から得られる小スケールの情報だけでなく、大規模場を混合することにより得られる大スケールの情報を活用できていることを示している。

まとめ

ネストアンサンブル変分法では、ネスト3次元変分法と比べて、大規模場を混合することにより、解析に伴って領域モデルにおける低波数成分の精度が低下することを防ぐことができるだけでなく、流れに依存した予報誤差共分散を考慮することにより、領域モデルに与えられる観測から効果的に情報を得て、高波数の精度も向上させることができる。実際のモデルに適用するためには、インフレーションや局所

化について検討する必要があるが、領域モデルの低波数成分を改善することにより、メソ対流系の位置や強度を改善することが期待できる。

引用文献

Enomoto, T., and S. Nakashita, 2024: Application of exact Newton optimisation to the maximum likeliho od ensemble filter. *Tellus A*, **76**, 42–56.

Guidard, V., and C. Fischer, 2008: Introducing the coupling information in a limited-area variational assi milation. *Quar. J. Roy. Meteor. Soc.*, **134**, 723–735.

Lorenz, E. N., 2005: Designing chaotic models. *J. Atmos. Sci.*, **62**, 1574–1587.

成果発表

論文

Nakashita, S., T. Enomoto, and S. Ishii, 2024: Multi-scale uncertainty of mesoscale convective systems in the Baiu frontal zone: A case study from June 2022. *J. Meteor. Soc. Japan*, **102**, 599–631.

Nakashita, S. and Enomoto, T. 2025: Flow-dependent large-scale blending for limited-area ensemble data assimilation. *Tellus A*, **77**, 1–19.

口頭発表

Nakashita, S. and T. Enomoto, Introduction of global error covariance to nested ensemble variational assimilation., 12th Workshop on Meteorological Sensitivity Analysis and Data Assimilation, 23 May 2024, Lake George, NY, USA.

Nakashita, S. and T. Enomoto, MGI24-03 Introduction of global error covariance to nested ensemble variational assimilation（領域アンサンブル変分法への全球誤差共分散の導入）. M-GI24 Data assimilation: A fundamental approach in geosciences, Japan Geoscience Union Meeting 2024, 30 May 2024, Makuhari Messe, Chiba, Japan.

Nakashita, S. and T. Enomoto, AS47-A018 Introduction of Global Error Covariance to Nested Ensemble Variational Assimilation, AS47 - 17th Sasaki Symposium on Data Assimilation for Atmospheric, Oceanic and Hydrologic Applications, Asia Oceania Geosciences Society 2024, 26 June 2024, Pyeongchang, Korea, poster.

Nakashita, S. and T. Enomoto: Flow-dependent large-scale blending for limited-area ensemble data assimilation. Second IMT-Atlantique & Kyoto University & RIKEN Joint Data Assimilation Workshop, 29 October 2024, Kyoto, Japan.

中下早織・榎本剛, P-3 Flow-dependent large-scale blending for limited-area ensemble data assimilation. 第 15 回データ同化ワークショップ, 2025/2/28, JAMSTEC 横浜研究所, 神奈川県横浜市.

Nakashita, S. and T. Enomoto, Flow-Dependent Large-Scale Blending for Limited-Area Ensemble Data Assimilation, ISDA online, 13 March 2025, online.

2024年度 13)若手国際フィールド観測実験 目次詳細

2024 13) International travel support for field and laboratory experiments by students and early-career scientists List

4 件

＊所属・職名あるいは学年は2025年3月現在

＊Affiliation and Job title or year of graduate school displayed are current as of March 2025.

研究代表者 Principal Investigator	所属機関* Affiliation	所属部局* Department	職名か学年* Job title or year of graduate school	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
CHEN Liwei	名古屋大学宇宙地球環境研究所	電磁気圏研究部	博士後期課程3年	カナダ・アサバスカにおけるカラー全天カメラによるサブオーロラ帯オーロラ発光の二地点同時観測	348	
菊池大希	名古屋大学	宇宙地球環境研究所電磁気圏研究部	博士前期課程2年	ノルウェー、シーボトンにおけるファブリ・ペロー干渉計を用いた窒素分子イオンの発する427.8nmの波長のドップラーシフトを利用したイオン上昇流の分光観測	350	
伊藤ゆり	総合研究大学院大学	先端学術院・極域科学コース	博士後期課程1年	ノルウェーにおける全天カメラ, EISCAT レーダー, あらせ衛星を用いた脈動オーロラ発生時の電離圏 – 磁気圏同時観測	352	
木下凌太	東北大学	理学研究科	博士前期課程2年	ハワイ・ハレアカラ東北大望遠鏡における木星赤外オーロラのファーストライト観測	354	

カナダ・アサバスカにおけるカラー全天カメラによるサブオーロラ帯オーロラ発光の二地点同時観測

Two-point simultaneous observation of subsuroral optical emissions at Athabasca, Canada, using all-sky color cameras

CHEN Liwei、名古屋大学宇宙地球環境研究所・電磁気圏研究部

From August 28th to September 6th, 2024, our group went to Athabasca, Canada and made a campaign observation of aurora. Our members set up two ZWO all-sky cameras camera with all-sky lens at Athabasca University Geophysical Observatory II (AUGO-II, 54.60°N, 246.36°E) and one camera at AUGO-I (54.71°N, 246.69°E) for the campaign observation during our stay. I set up a Sony a7s camera at AUGO-II to test the color aurora observation at a higher speed. We restored the ZWO cameras before we come back to Japan, and leaved the Sony a7s camera at AUGO-II to replace the Nikon camera for continuous two-point observation with another Nikon camera at AUGO-I. During our stay, we successfully observed an intense auroral substorm, and several small auroral activities.

We left for Athabasca from Tokyo on August 28th and arrived at AUGO-II, Athabasca in the afternoon of local time. I tested the Sony a7s camera outside of AUGO-II on the first night. Compared with the images with 30 s exposure time simultaneously taken by the Nikon camera inside of AUGO-II, Sony camera successfully took the all-sky images with 5 s exposure time at a frame rate of 4 frames per sec. With a shorter exposure time, we expect that the Sony camera will be able to perform better in identifying the fine structure and fast motion of the subauroral emissions. In the evening on August 31st, we were fortunate to observe a strong substorm event, during which the Sony camera was operated in the AUGO-II and captured a complete development of the substorm aurora. I leave the Sony camera at AUGO-II after we return to Japan, as we expect this camera will be able to work for a longer lifetime with electric shutter.

I would like to give my special thanks to the PBASE project and the traveling support program from ISEE for supporting us in making field observations. I want to give thanks to Graduate school of engineering, Nagoya University for financial support on instrumentation purchase. I sincerely appreciate my supervisor for his navigation and valuable introductions. I also want to thank the local faculties, Prof. Martin Conners and Dr. Raju Aryal, for giving us places to set up instruments and other help.

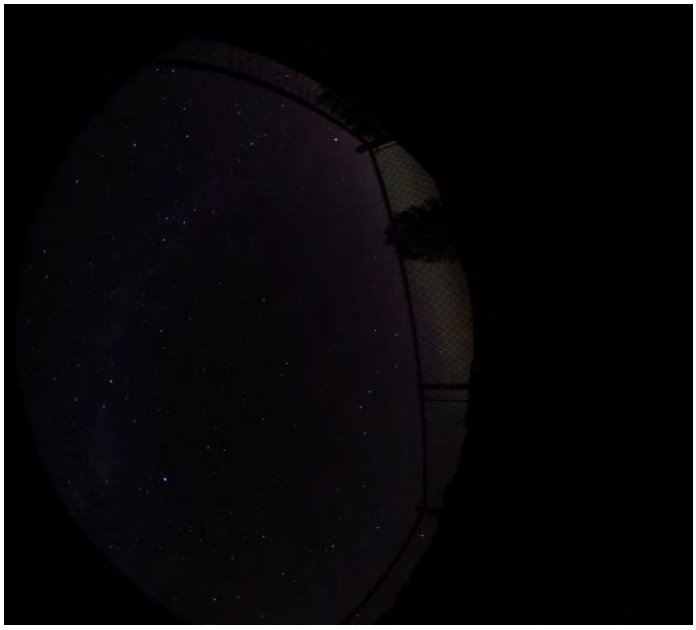


Figure 1. Test image taken by Sony A7S camera at 0711 UT on Aug 29, 2024 at AUGO-II



Figure 2. Image from Nikon camera at 0711 UT on Aug 29, 2024 at AUGO-II

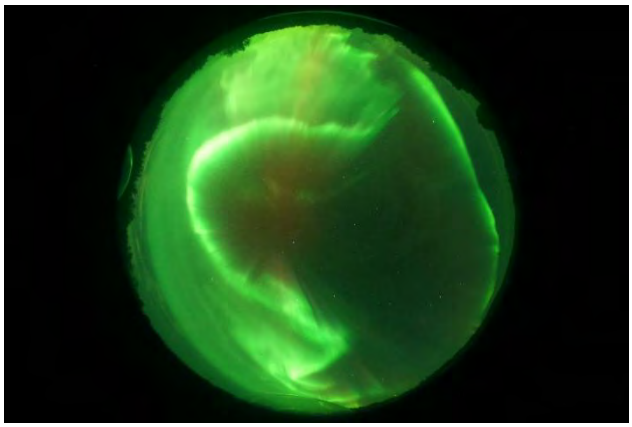


Figure 3. Image of the substorm auroral arc taken by the Sony A7S camera at 0630 UT on Aug 31, 2024 at AUGO-II

ノルウェー、シーボトンにおけるファブリ・ペロー干渉計を用いた窒素分子イオンの発する 427.8nm の波長のドップラーシフトを利用したイオン上昇流の分光観測

Spectroscopic measurement of ion upflow through Doppler shift of auroral 427.8-nm molecular nitrogen ion emission using a Fabry-Perot interferometer at Skibotn, Norway

研究代表者：菊池大希、名古屋大学　宇宙地球環境研究所

研究目的

極域において、窒素分子はオーロラ粒子の降り込みによってイオン化され、一部のイオンは加熱されて上向きの流れが生じ、地球大気の流出が発生している可能性がこれまでの人工衛星の観測などから指摘されている。しかし、重い窒素分子イオンがどのように高高度まで輸送されるかのメカニズムは完全には解明されていない。本研究では、世界で初めて、窒素分子イオンがオーロラ発光や太陽光の共鳴散乱光として発する波長 427.8nm 付近の N_2^+(1NG)の発光を、ノルウェー・シーボトンに設置されているファブリ・ペロー干渉計を用いて計測し、その発光波長のドップラーシフトから、窒素分子イオンの上向き速度を計測に挑戦する。この計測により、窒素分子イオンの上昇流の発生過程の解明に貢献する。

SCOSTEP/PRESTO の Pillar 2 の Question 2.4 では、What is the chemical and dynamical response of the middle atmosphere to solar and magnetospheric forcing? という科学課題が設定されており、本研究はこの科学課題の解明に寄与する。

観測実験

カメラの焦点が合っていないため検出される干渉縞の数が少なくなっていることがモデル計算により示された。2023 年 10 月の渡航で焦点を合わせた観測を行った。焦点の調整の効果を確実に検証するためにオーロラの出やすい北の空の観測を 2 晩行い、実際にフリンジの数の大幅な増加を確認することができた。しかしながら、2023 年 10 月の観測では、通常のオーロラによる 427.8nm の発光を観測・解析しており、本研究の観測対象である共鳴散乱によるオーロラは観測されず、さらに 2 方向掃天観測による運動速度の計測もできなかった。本研究で利用するファブリ・ペロー干渉計は波長 557.7 nm、630.0nm の大気光およびオーロラの観測に主に使われているため、帰国時にカメラの焦点を波長 630.0 nm に合わせており、現在は波長 427.8 nm の観測では焦点が合っていない状態にある。そこで今回の訪問で、もう一度カメラの焦点を手動で波長 427.8 nm に合わせ、共鳴散乱による窒素分子イオンオーロラの 2 方向掃天観測を実施し、窒素分子イオンの運動速度の計測を狙った。

結果

2024 年 9 月 28-29 日の晩の結果を図 1 に示す。上のパネルから順に、同じ場所に設置されている 427.8 バンドパスフィルターを搭載した全天カメラのケオグラム（上が北、下が南)、各フリンジへガウシアンフィッティングしたときのフィッティングエラー、 各フリンジピークのカウント値、各時刻におけるN_2^+の磁力線方向の運動速度である。フィッティングエラーは、フィッティングカーブと観測値のカウント差をフリンジのピークカウントで割った割合のフリンジごとの平均値を示している。太線が 11 個のフリンジの測定結果の平均を示しており、細線のエラーバーは 11 個の測定結果から計算される 90%信頼区

間である。

この晩は概ね快晴で地磁気変動があり、min DST = -20 nT、AE 指数の最大値は約 350 nT であった。この晩の明け方に初めて、N_2^+の波長 427.8 nm の共鳴散乱光を FPI で直接観測することに成功し、N_2^+の運動速度を推定した。図 1(a)のケオグラムを見ると、02:00 UT から明け方にかけて空全体でカウントが上昇し、それに伴って図 1 (c)のフリンジの高さも大きくなった。太陽高度の上昇に伴ってフリンジのカウントも上昇していることは、主に共鳴散乱によるオーロラが出現していたことを示唆する。この間、4 分の時間分解能でガウシアンフィッティングに十分なカウントが得られ、最大 560 m/s の磁力線下向きの運動速度が、標準偏差 80-360 m/s で得られている。この時間帯のフリンジのピークカウント値は最大で 1400 カウント程度であった。02:00-03:00 UT 頃は特に精度よくN_2^+運動速度を計測することができ、100–300 m/s 程のドップラー速度が、40-110 m/s の 90%信頼区間で観測された。

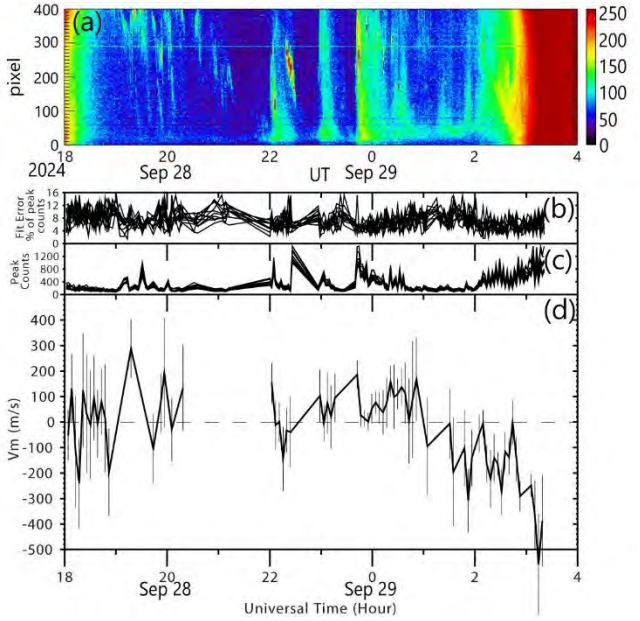


図 1　N_2^+運動速度

下降流という結果は、N_2^+の共鳴散乱によるオーロラはN_2^+の上昇流によって引き起こされるという IAGA Atlas (1963)の記述と逆行する結果となった。また、Yamazaki et al. (2017) はトロムソで EISCAT を使って磁力線方向のイオン速度の統計解析を行ったが、その結果は 02:00-03:00 UT は高度 300 キロまで最大 30m/s ほどの上昇流、高度 300 キロより上ではほぼ 0 であるという傾向が見られ、今回の FPI の観測は逆となった。一方で、Endo et al. (2000) では、1990 年 3 月にトロムソの EISCAT VHF レーダーで 69 時間の集中観測を行っており、期間中の下降流の最大値は高度 410 キロで 300 m/s、高度 300 キロで 260m/s、高度 180 キロで 200m/s ほどだった。今回 FPI で偶発的に、稀少な規模の下降流を観測できたという見方もできるが、今後、イオンの水平運動の影響を評価する必要もある。今回のような明け方の共鳴散乱光の観測例を増やしていくことで、このような下降流がどのくらいの頻度で観測されるか、明らかにできると考えられる。

成果発表

Kikuchi, T., Shiokawa, K., Oyama, S., Ogawa Y., Kurihara, J., Measurement of N2+ upflow through auroral 427.8-nm emission by a Fabry-Perot interferometer in Norway: Campaign observations and model calculations, AGU24 Annual Meeting, Washington D.C., Dec. 2024

Kikuchi, T., Shiokawa, K., Oyama, S., Ogawa Y., Kurihara, J., ファブリ・ペロー干渉計による波長 427.8nm のオーロラを通した N2+アップフローの計測：測定誤差のモデル計算, SGEPSS, 立川, 2024 年 11 月

謝辞

本研究は名古屋大学宇宙地球環境研究所の塩川和夫教授の指導の下に行われております。また、同研究所の大山伸一郎講師、国立極地研究所の小川泰信教授、北海道情報大学の栗原純一教授との共同研究です。また、トロムソ、シーボトンの観測では名古屋大学宇宙地球環境研究所の野澤悟徳准教授、名古屋大学全学技術センターの川端哲也様に大変お世話になりました。ここにお礼申し上げます。

（別紙様式13-2）

ノルウェーにおける全天カメラ，EISCAT レーダー，あらせ衛星を用いた脈動オーロラ発生時の電離圏 - 磁気圏同時観測
Simultaneous ionospheric - magnetospheric observations during pulsating aurora in Norway using the all-sky camera, EISCAT radar, and Arase satellite

伊藤ゆり、総合研究大学院大学先端学術院 極域科学コース

【研究目的】

数秒から数十秒の輝度変調を伴う脈動オーロラは，真夜中から朝側にかけて頻繁に発生する普遍的なオーロラである．脈動オーロラの発生時には，発光に寄与する 10 keV 程度のエネルギー電子に伴って数十 keV から数 MeV の準相対論的/相対論的電子が同時に降下していること，それらが中間圏および上部成層圏においてオゾン減少を誘発していることが示されている [Miyoshi et al., 2021]．そのため，脈動オーロラに関連した電離圏・磁気圏の物理プロセスを理解することが重要である．これまで行ってきた研究では，「磁気圏における“ダクト”と呼ばれる電子密度の管状構造がコーラス波動を管内に閉じ込めて高磁気緯度まで伝搬させ，その結果，脈動オーロラの斑（パッチ）状構造化と相対論的電子の降下を引き起こす」という物理モデルを提唱した [Ito et al., 2024]．しかし，このモデル（脈動オーロラの形状，降下電子のエネルギー，波動の伝搬の関係）の観点における統計的な調査は行われていない．そこで，脈動オーロラとダクト伝搬するコーラス波動の同時観測を目指した実験を複数回行い，それらのデータを含む統計解析を行うことによって，上記モデルの定量的な評価やより詳細な物理プロセスの理解を目指す．

【観測実験の実施状況と結果】

2024 年 11 月 28 日から 12 月 14 日にかけて，EISCAT トロムソ観測所（ノルウェー）に滞在し，自身が実験代表者である EISCAT レーダー特別実験を実施してきた．この実験は，地上と衛星の連携観測によるオーロラ，高エネルギー粒子降下，およびコーラス波動の同時観測を目的としており，名古屋大学 ISEE の三好教授が実験代表である特別実験との共同運用であった．また，電気通信大学の細川教授が中心となって同時に運用される，あらせ衛星との共役観測を目的とした EISCAT 科学協会全加盟国による特別実験（AA 実験）のオペレーションも実施した．

○ 2024 年 12 月 4 日

特別実験として VHF レーダーを 22:00–30:00 UT（計 8 時間），AA 実験として UHF レーダーを 22:00–28:00 UT（計 6 時間）運用した．EISCAT レーダーでは，25:30 UT 以降に 80–90 km 高度での強い電離が観測された（図 1）．この時，あらせ衛星は磁気緯度 30 度以上に位置していたが，コーラス波動は観測されなかった．また，トロムソは曇ってしまっていたが，その他の光学観測を行っている地点では晴れてパッチ状脈動オーロラが観測されていた．

○ 2024 年 12 月 6 日

特別実験として VHF レーダーを 24:00–26:00 UT（計 2 時間）運用した．EISCAT レーダーでは，100 km 高度における強い電離が観測された．あらせ衛星は磁気緯度 30 度以上の高緯度に位置していたが，コーラス波動は観測されなかった．また，トロムソ上空は曇っていたが，トロムソに近いシーボトン（ノルウェー）において，少し雲がかかるものの，脈動オーロラが観測されていた．

○ 2024 年 12 月 11 日

UHF レーダーがパネル故障により使用不可となったため， AA 実験を VHF レーダーで運用するように実験内容を一部変更した．しかし，レーダー立ち上げ中に電力供給の不具合が生じたため実験全体が中止となった．

○ 2024 年 12 月 13 日

UHF レーダーのパネル故障の影響で，AA 実験として VHF レーダーを運用した．22:00–29:00 UT（計 7 時間）の運用のうち，22:00–27:00 UT において，80–100 km 高度での強い電離が観測された．あらせ衛星は磁気緯度 30 度以上の高緯度域に位置していたが，コーラス波動は観測されなかった．また，この日は月が出てしまっていたが，ディフューズオーロラをトロムソ上空で観測できていた．

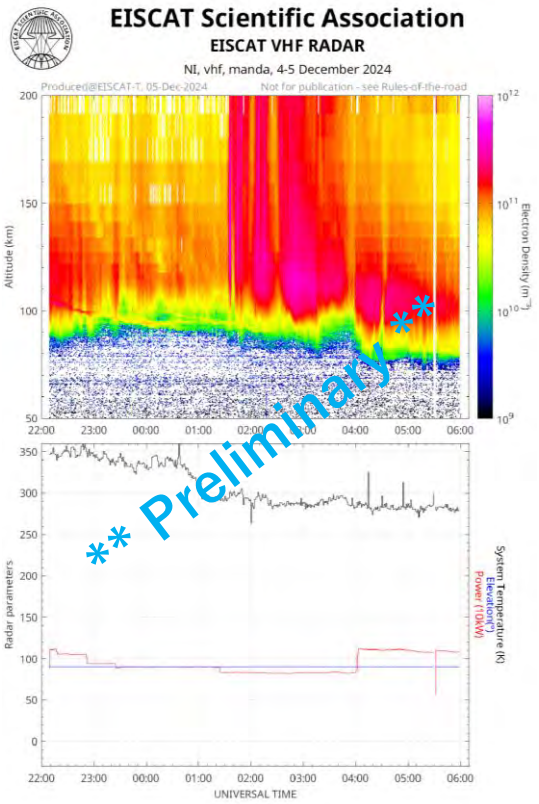


図 1: 2024 年 12 月 4 日に EISCAT VHF レーダー実験において観測された電子密度の高度分布．

今回実施された計 3 回の EISCAT 実験では，トロムソ上空でのオーロラの様子が分かる事例が一例のみであったが，他の光学観測拠点では脈動オーロラを含むディフューズオーロラが観測された．一方，あらせ衛星はコーラス波を観測していなかった．これは磁気緯度 30 度以上の非常に高い緯度に位置していたことも原因ではないかと推測している．しかし，今回得られたデータは，自身が現在取り組んでいる「地上-あらせ衛星の同時観測に基づく脈動オーロラとコーラス波高緯度伝搬に関する統計研究」に組み込むのに十分なものが取得できており，本課題の目的のうち観測の部分は概ね達成できたと考えている．

また，本研究の目的とは異なるが，実施した 3 回の実験において高度 90–100 km でスポラディック E と思われる電子密度が増大している層が観測された．今回のフィールド観測では，本研究とは別の観点においても興味深いデータが取得できたと言える．

【関連成果発表】

Ito, Y., Y. Ogawa, Y. Tanaka, A. Kadokura, M. Fukizawa, K. Hosokawa, Y. Miyoshi, T. Hori, Y. Kasahara, S. Matsuda, I. Shinohara, Statistical analysis of pulsating auroras and ducted chorus waves, The 15th Symposium on Polar Science, December 4, 2024

Ito, Y., Y. Ogawa, Y. Tanaka, A. Kadokura, M. Fukizawa, K. Hosokawa, Y. Miyoshi, T. Hori, Y. Kasahara, S. Matsuda, I. Shinohara, Statistical Analysis of Relationship between Pulsating Auroras and Ducted Chorus Waves, AGU Chapman Conference on Particle Precipitation, February 19, 2025

【引用文献】

Miyoshi, Y., Hosokawa, K., Kurita, S. et al. Penetration of MeV electrons into the mesosphere accompanying pulsating aurorae. Sci Rep 11, 13724 (2021). https://doi.org/10.1038/s41598-021-92611-3

Ito, Y., Hosokawa, K., Ogawa, Y., Miyoshi, Y., Tsuchiya, F., Fukizawa, M., et al. (2024). On the factors controlling the relationship between type of pulsating aurora and energy of pulsating auroral electrons: Simultaneous observations by Arase satellite, ground-based all-sky imagers and EISCAT radar. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 129, e2024JA032617. https://doi.org/10.1029/2024JA032617

（別紙様式13-2）

ハワイ・ハレアカラ東北大望遠鏡における木星赤外オーロラのファーストライト観測

First light of Jupiter’s infrared aurora with the Tohoku University telescope at Haleakala, Hawaii

木下凌太、東北大学、理学研究科

[研究目的]

大気の発光の小さいハレアカラからの連続観測により、イオ火山ガスと木星オーロラの相関を明らかにすることは木星磁気圏の理解に有意義である。東北大学で現在開発中の高分散近赤外分光撮像装置ESPRITを完成させたのち、ハレアカラ山頂観測所に東北大学が持つ惑星専有望遠鏡T60に取り付け長期連続観測を行うことが本研究の目的である。

[実施状況]

2025/3/5～3/9の5日間、東北大学のハワイ・ハレアカラ観測所に滞在し、ドーム内の寸法を計測することで、ESPRIT及びESPRITに外付けされる校正用光源光学系と黒体炉がT60のくーで焦点に取り付け可能かどうかを検証した。また、取り付け方法についても検討した。

[結果]

ドーム内の寸法を計測し、設計図と相違ないことを確認した。また、設計図に基づいた3D CADデータ上において、真空冷却用ホース以外のESPRIT及び周囲のユニットが設置可能なことから、実際のドームにおいても設置可能であると判断した。ホースに関しては、ESPRITからホースを取り出す向きを変更することで対応可能である。

設置方法に関しては、ドーム入り口からT60のクーデ焦点までの導線が悪いため人力でESPRITを運ぶことは困難だが、ドーム開口部にクレーンを取り付けた鉄材を渡し、上から吊るすことで設置可能であると判断した。この方法については今滞在中に、過去東北大学が使用していた40cm望遠鏡を同様の手順で取り外すことで確認済みである。



図１．ESPRIT 設置において最も懸念されていたドーム内の梁。この梁の間に ESPRIT のコールドヘッド（図 2）が収まる配置設計となっている。メジャーで計測した梁間のスペースの床からの高さは 2670~2830mm で、設計図に基づいて設定した CAD 上の梁間のスペース（2655~2855mm）より若干狭いが、実測に基づいて再設計した CAD データにおいてコールドヘッドが入るには十分であることが確認された。

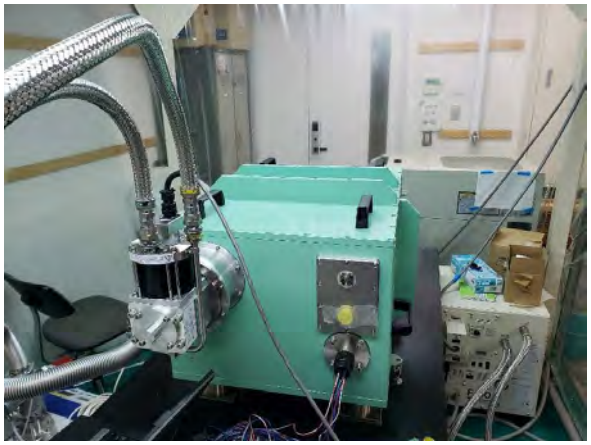


図２．ESPRIT。写真左下の銀色のコールドヘッド先端がドーム内の梁の間に収まる。現在ホースは上向きに取り付けられているが、ドームが回転した際の干渉を考慮し、下向きに取り付ける必要がある。

2024年度 14)国際技術交流 目次詳細

2024 14)International Technical Exchange Program List

4 件

＊所属・職名は2025年3月現在

＊Affiliation and Department displayed are current as of March 2025.

研究代表者 Principal Investigator	所属機関* Affiliation	所属部局* Department	職名* Job title	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
Siti Aminah Binti Bahari	Universiti Kebangsaan, Malaysia	Space Science Centre, Institute of Climate Change	Research Officer	Development of High Temporal Resolution TEC Database and Plasma Bubble Detection Method	356	
Shin'ichiro Asayama	SKA Observatory, United Kingdom		SKAO System Scientist	Exchange program in technical-knowledge and expertise in the field of Digital Phase Array and Signal Processing	358	
Manabu Shimoyama	Swedish Institute of Space Physics (IRF), Sweden	Solar System Physics and Space Technology	Senior Scientist	粒子分析器開発のための低エネルギーイオン・中性ビームラインの技術開発と特性試験	359	
淺原良浩	名古屋大学大学院環境学研究科	地球環境科学専攻	准教授	岩石・堆積物試料の高精度同位体分析のための化学前処理技術および測定技術に関する国際交流	361	

(Form14-2)

Project Title : Development of High Temporal Resolution TEC Database and Plasma Bubble Detection Method

Principal Investigator Name (Affiliation)
Dr. Siti Aminah Binti Bahari
Space Science Centre, Institute of Climate Change
Level 3, Research Complex, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia

Please write your research summary including purpose, methods, periods of stay in ISEE / International stay, achievements obtained from the program, and list of publications in maximum two pages.

In this project, we utilized GPS data from the Malaysian Real-Time Kinematic Network (MyRTKnet) and the Sumartran GPS Array (SuGAr) to study ionospheric irregularities, specifically focusing on phenomena such as equatorial plasma bubbles (EPBs). Data in RINEX format were processed using the methodology developed by Assoc. Prof. Dr. Yuichi Otsuka, the corresponding researcher from ISEE in this project. Data processing was conducted on 1 March 2022 and 15 January 2022 to verify and validate the method. 1 March 2022 is for a geomagnetic quiet day, and 15 January 2022, is for geomagnetic disturbance day which was also triggered by the Hunga Tonga volcanic eruption. From the processed data, TEC maps were generated using Spherical Cap Harmonic Analysis (SCHA) of order 4, degree 2, and a spherical cap radius of 10°. ROTI maps were created to analysis the EPB. Previous studies by Buhari et al. (2014, 2017) demonstrated the capability of MyRTKnet to detect EPB over Southeast Asia. In this work, EPBs were analyzed through TEC, ROTI, and detrended TEC plots. TEC was calculated at the effective height of 300 km with maximum zenith angle of 60°. ROTI maps were produced using a 0.25° x 0.25° latitude and longitude grid, applying a 5x5 boxcar averaging method. Methodologies outlined by Nishioka et al. (2008), Buhari et al. (2014), Shinbori et al. (2023), and Abadi et al. (2025) were employed to identify EPB occurrences. During a research stay at ISEE from 15 January to 28 March 2025, a discussion with Dr. Otsuka facilitated improvements in data processing methods and better characterization of EPB features. Outputs of this project include the developed programs for mapping TEC, ROTI, detrended TEC, and determining poleward expansion velocity, as illustrated in Figure 1 and Table 1. Currently, no publications have been finalized from this research; however, efforts are underway to publish these findings in peer-reviewed journals.

Table 1 : Latitudinal extension of EPB on 15 January 2022

EPB	Onset time (UT)	Maximum Time (UT)	Initial Lon	Final Lon	Initial Lat	Final Lat	Extension Lat	Velocity
A	10.40	11:10	118 °E	114 °E	8 N	-0.25 °N	8.25 °	330.54 m/s
B	12:10	12:40	99.25 °E	100 °E	10.75 N	1.25 °N	9.50 °	583.66 m/s
C	12:20	12.40	103 °E	98 °E	9.5 N	1 °N	8.5 °	783.31/s

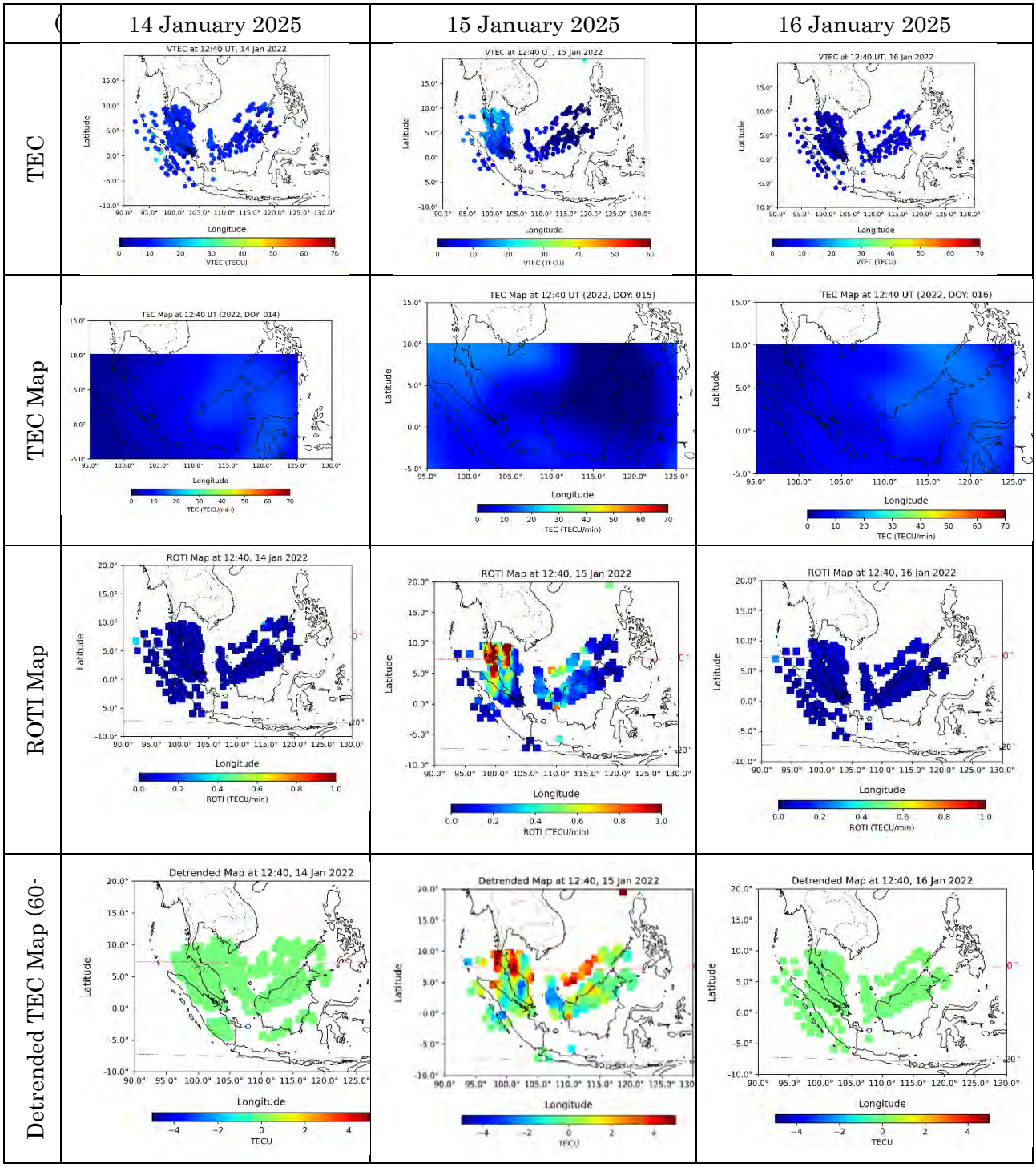


Figure 1 TEC, TEC map, ROTI map and Detrended TEC map (60-minutes windows) for 14 to 16 January 2022

(Form14-2)

Exchange program in technical-knowledge and expertise in the field of Digital Phase Array and Signal Processing

Shin'ichiro Asayama (SKA Observatory)

The corresponding ISEE researcher is constructing the next-generation digital phased array IPS observation system, which consists of 1,024 sub-arrays of 16 dipole antennas aligned in a straight line.

The PI visited ISEE from December 23-24, 2024. Fukui University of Technology (FUT) professor Yusuke Miyamoto and his students also visited and participated in an experiment to detect the Sun at 327 MHz using an antenna array consisting of 16 dipole antennas and an analogue signal receiver system. The PI prepared a Sun drift scan observation script with an SDR receiver, which was used in the experiment. It was confirmed that the antenna array formed a tied array beam as expected.

Array layouts for the next-generation digital phased array system were discussed after the experiment. Mutual coupling effects among the antennas and grating lobes are known to harm phased array systems. A trade-off between avoiding grating lobes and containing mutual coupling is a challenging task for planar-phased array layout design. The PI introduced the OSKAR simulator, which simulates digital beamforming for the aperture array of an SKA-sized phased array. The ISEE students shared the status of the impact of mutual coupling between antennas estimated by electromagnetic simulators. The participants also exchanged views on the requirements of the analogue RF signal system for the next-generation IPS observation system. As a result, it was found that the current baseline system does not meet some of the requirements, and design improvements need to be made. The PI and Prof. Iwai also discussed the construction strategy of the phased array instrument in the field.

The PI and the students continued their collaboration via emails and an online meeting. The PI visited ISEE again on January 29, 2025, and participated in the students' practice master's thesis presentations, providing feedback on them.

The outcomes were presented as poster presentations at the Japan Solar Physics Community Symposium on February 17-19, 2025.

(Form14-2)

粒子分析器開発のための低エネルギーイオン・中性ビームラインの技術開発と特性試験 -- 機械式粒子コリメータの特性試験 --

下山　学　（スウェーデン宇宙物理研究所）

目的

現在，将来の地球及び惑星超高層大気・プラズマ観測に向けた様々な粒子分析器の開発が進められている．これらの分析器の開発・較正にはビームラインが不可欠であるが，分析器の高性能化や測定パラメータレンジの拡大に伴い，ビームラインの開発や改良の必要が求められている．そこで本技術交流では，各研究機関が有するビームライン技術の交換を通して，今後必要となるビームライン技術や開発方針について議論する．特に ISEE 滞在期間中には，スウェーデン宇宙物理研究所（IRF）において開発中の機械式粒子コリメータの特性試験を ISEE 所有のイオンビームラインを用いて行う．機械式粒子コリメータは粒子の方向を機械的に制限し平行化する技術であり，粒子分析器をはじめビームラインの特性改良にも用いられることが計画されている．以下，特に機械式粒子コリメータの特性試験について報告する．

機械式粒子コリメータ

今回設計したコリメータは，粒子軌道と垂直に配置された複数（12 枚）の金属ブレード（厚さ 50 μm）からなる（図 1）．各ブレードは同一サイズ・形状（58 x 6 mm^2）で，複数の粒子入射口が設けられている．図 2 の断面図に示したように，ブレード間の距離を調整することで通過可能な粒子の方向を制御する．この設計では，コリメータ内部の粒子軌道（+z 方向）に平行なブレード断面（YZ 及び ZX 面）の面積を小さく保てることから，粒子のコリメータ内での前方散乱を最小限に抑えることが出来る．図 3 にレイトレーシングシミュレーションの一例を示した．上図がコリメータを通過した粒子軌道，下図がブレードによって遮断された粒子軌道である．+Z 軸に対して-50° < az < 50°の速度を持つ等方的な入射粒子を仮定した場合のコリメータの角度分布特性を図 4 に示す．az=0°を中心として FWHM~7°のメインピークに加え，az=±40°付近にサイドローブが存在している．このサイドローブは，コリメータのサイズ，ブレードの枚数，ブレード厚等の制限に対して，角度応答や粒子透過率を最適化した結果生じたもので

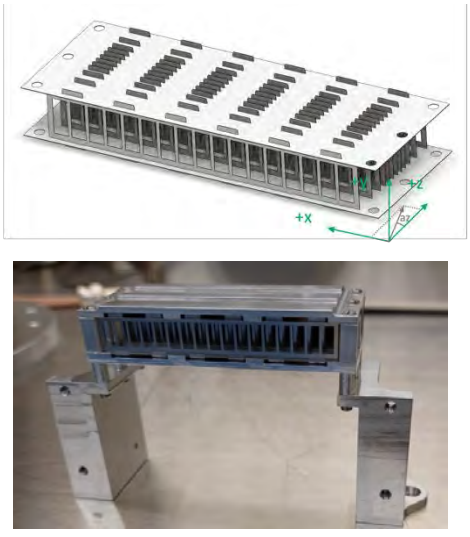


図 1．（上）機械式粒子コリメータの CAD モデルと（下）そのプロトタイプモデル

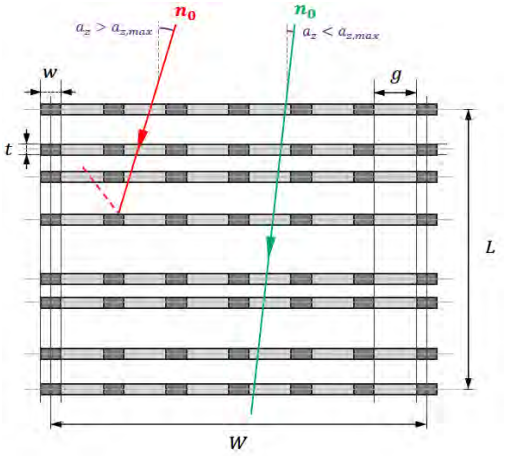


図 2. 機械式粒子コリメータの断面図．（緑線）通過粒子の軌道，（赤線）遮断される粒子の軌道 (Maynadie, Master thesis, 2023).

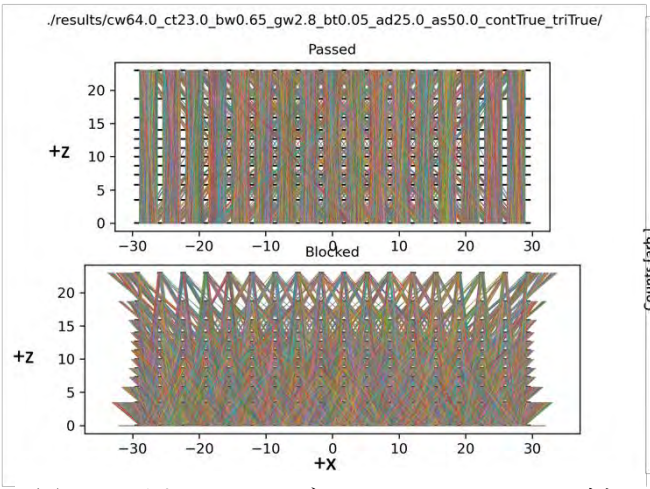


図 3. レイトレーシングシミュレーションの一例. （上）コリメータを通過した粒子の軌道，（下）コリメータブレードにより遮断された粒子の軌道. 黒実線はコリメータブレードを表している．粒子は z=0 面から入射し+z 方向に進む.

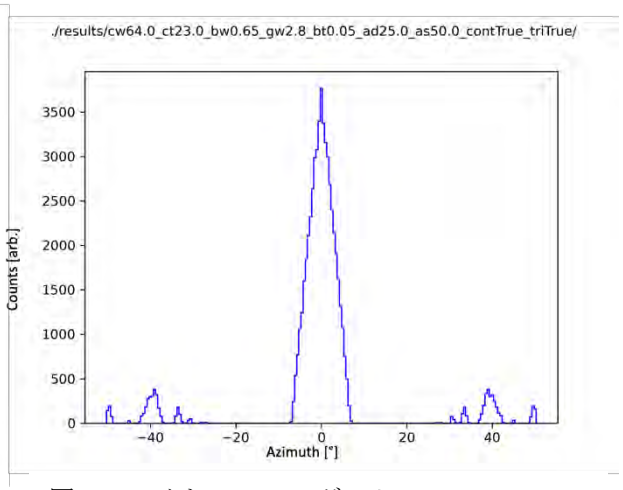


図 4. レイトレーシングシミュレーションで得られたコリメータの角度応答特性.

ある．またシミュレーションからは，ブレードのアライメントが角度分布特性に大きく影響することが分かっているため，ブレードの保持構造も適切に設計する必要があり，試作機を用いた粒子ビームに対する応答試験が不可欠であると考えられる．

特性試験

ISEE 出張期間：2024 年 11 月 15 日～2024 年 11 月 24 日（ISEE 滞在は 11 月 18 日～2024 年 11 月 22 日）
試験方法と成果：設計・製作したコリメータを ISEE 所有の低エネルギーイオンビームラインに設置し，イオンビームを照射してその角度応答特性を計測した（図 5）．粒子検出機には，ISEE 所有のシングルアノード MCP 及び位置検出アノード付き MCP を使用した．図 6 が計測された角度応答特性である．0°付近に FWHM~7°のメインピークが存在し，±40°付近にサイドローブがみられる．この特性は図 4 に示したシミュレーション結果とよく一致する．シミュレーション結果に見られるサイドローブの小さな構造（例えば±35°付近）は試験結果でははっきりと確認は出来ない．これは計測の角度ステップが十分に密でなかったことが主な原因であると考えられる．さらに計測結果には角度応答の非対称性が見られるが，真空槽内の構造体によるイオンビームの反射・散乱による可能性が高く，コリメータの特性ではないと推測される．以上の結果から，製作されたコリメータは設計通りの角度応答特性を示したと結論付けられる．コリメータブレードの設計手法やブレードの保持機構等，今回得られた知見は，粒子分析器やイオンビームラインの改良に即時に活用可能である．

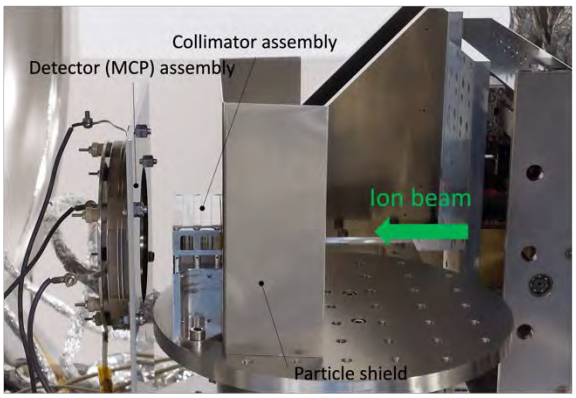


図 5. イオンビームライン真空槽中のターンテーブル上に設置された粒子コリメータ．ターンテーブルを回転させコリメータのイオンビームに対する角度を変化させる.

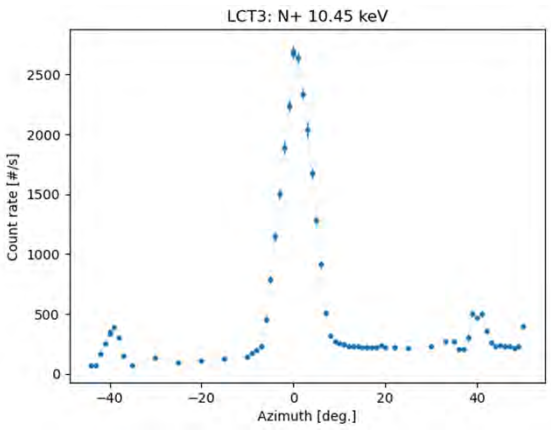


図 6. 粒子コリメータの N^+イオンビームに対する角度応答特性.

(Form14-2)

International exchange on chemical pretreatment and measurement techniques for high-precision isotope analysis of rock and sediment samples

Yoshihiro Asahara (Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University)

1. Purpose of this project

In this international technical exchange, researchers specializing in isotope geochemistry from Nagoya University and the Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM) share chemical preparation techniques and measurement techniques using mass spectrometers. The objective of this exchange is twofold: first, to improve the accuracy of isotope analysis of geological samples such as rocks, sediments and ore minerals; and second, to improve the technical skills of researchers, including young researchers, through face-to-face exchanges. This project focuses on the analysis of isotopes of lithium (Li) and rare earth elements (REE) in a variety of geoscience samples, with an emphasis on the advancement and development of isotope analysis techniques.

2. Methods

The project members are Dr. Seung-Gu Lee, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), Korea; Dr. Narges Daneshvar, Institute for Space–Earth Environmental Research (ISEE), Nagoya University; Mr. Kazuma Wakayama, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University; Masayo Minami, ISEE, Nagoya University; and myself.

In this project, the chemical pre-treatment of the samples was performed at the clean room chemistry laboratory of the Graduate School of Environmental Studies of Nagoya University and at the clean room chemistry laboratory of KIGAM. In addition, the following mass spectrometers were used in the project:

(a) Thermal ionization mass spectrometer (TIMS), GVI IsoProbe-T, with 9 Faraday cups (Nagoya University),

(b) Multi-collector inductively coupled plasma mass spectrometer (MC-ICP-MS), ThermoFisher Scientific Neptune Plus, with 9 Faraday cups (KIGAM), and

(c) Inductively coupled plasma mass spectrometers (ICP-MS), Perkin Elmer NexION350 (KIGAM) and Agilent 7700x (Nagoya University).

3. Periods of stay in ISEE / International stay

(i) Stay in KIGAM, Korea

From 16/3/2025 to 21/3/2025, Asahara, Y., Wakayama, K.

From 19/3/2025 to 21/3/2025, Minami, M.

(ii) Stay in ISEE, Nagoya University, Japan

From 24/3/2025 to 29/3/2025, Lee, S.-G.

4. Achievements obtained from the program

4-1 Isotope ratio measurement of trace amounts of Nd by TIMS (Jul. 2024~Mar. 2025)

The concentration and isotopic composition of REEs can provide reliable insights into the source material and chemical conditions of geological samples. Neodymium (Nd) in particular is a prominent REE, and its analysis is crucial for understanding the REE composition in various geologic contexts. The general Nd isotope ratio measurement ($^{143}Nd/^{144}Nd$) at TIMS requires about 100 ng of Nd separated and extracted from geological samples. However, only a few ng to 20 ng of Nd can be recovered from ultrabasic rocks originating in the Earth's mantle by the conventional chemical pretreatment. Daneshvar and Asahara enhanced the ionization efficiency of Nd in TIMS by fine-tuning the ion source of TIMS (e.g., adjusting the spacing of filaments used to apply the sample) for 10–20 ng of Nd sample extracted from the ultrabasic rocks, thereby attaining near-normal levels of analytical accuracy and precision in isotope ratio. Subsequent to the collection of these data, Lee, Daneshvar and Asahara engaged in a

discussion on the fine-tuning of the ion source and the underlying mechanisms that enhanced ionization efficiency.

4-2 Isotope ratio measurement of Li by MC-ICP-MS (Dec. 2024~Mar. 2025)

Lee, Wakayama, Asahara, and Minami performed lithium (Li) isotope ratio ($^{7}Li/^{6}Li$) measurements on Li fractions chemically separated from volcanic rock samples at a laboratory in Nagoya University by MC-ICP-MS at KIGAM. The study revealed that the recovery of Li from the samples was nearly 100%, and the separation from homologous elements such as sodium (Na) and potassium (K) was almost perfect. However, it was observed that the Li fraction contained impurities, including group 4 elements, zirconium (Zr), and titanium (Ti). These impurities led to a degradation in the isotope ratio measurement due to their contamination. Addressing this challenge will require the development of methods to purify the Li fraction after chemical pretreatment by removing impurities such as Zr and Ti. Furthermore, Li isotope ratio measurements by MC-ICP-MS are typically performed in static mode (i.e., the collectors, that is Faraday cups, receiving the ^{6}Li and ^{7}Li ion beams are fixed), however, the MC-ICP-MS at KIGAM is equipped with more ion counting detectors than a conventional instrument, and the Faraday cups could not be positioned in the standard location to receive the ^{6}Li and ^{7}Li ion beams simultaneously. Consequently, an attempt was made to execute the measurement in dynamic mode (one detector receives ^{6}Li and ^{7}Li ion beams alternately), which has been found to be sufficiently accurate. In the future, we plan to establish a Li isotope ratio measurement method in dynamic mode for MC-ICP-MS at KIGAM.

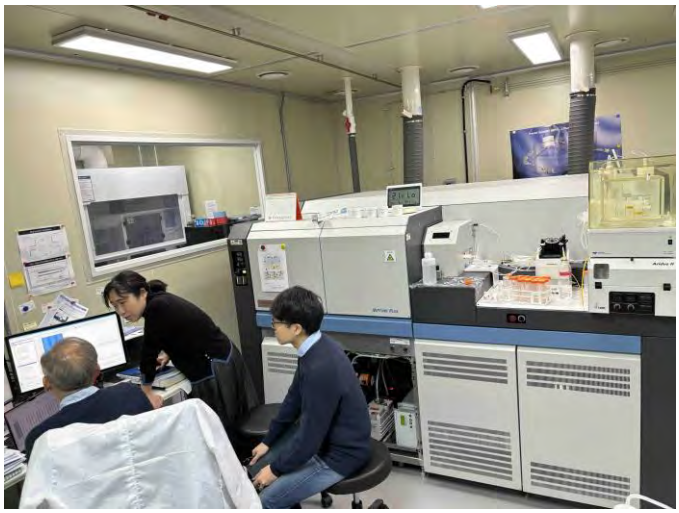


Fig. 1 Li isotope analysis by MC-ICP-MS at KIGAM.

4-3 Confirmation of the accuracy of quantitative Eu analysis by two ICP-MS instruments (Dec. 2024~Mar. 2025)

The concentration and isotopic composition of europium (Eu), which can exhibit a different valence (+2, +3) than that of other REEs (+3), can provide significant constraints on the process of magma differentiation and the recovery of the redox state. Magma differentiation and redox state affect the degree of europium (Eu) abundance, and in the case of samples with extremely low Eu concentration, isobaric interference effects may appear in the Eu concentration, significantly reducing the accuracy of the quantitative values. Therefore, Lee, Daneshvar, Wakayama, Minami and Asahara performed quantitative analysis using KIGAM and Nagoya University ICP-MS, which have different basic performance such as molecular ion generation rates, and contrasted the two measurement results. The results showed no difference in Eu concentrations between the two measurements, confirming that the correction for molecular ions during the measurement was accurate.

5. List of publications

(1) Azizi, H., Nouri, F., Asahara, Y., Minami, M., Tsuboi, M., Takahashi, H.A., Whattam, S.A. (2024) Ultrapotassic rocks in the Saray Peninsula, Northwest Iran: An example of carbonate peridotite melts in a post-collision system in the late Miocene. *Lithos* **488-489**, 107788.

(2) Azizi, H., Yara, I., Ali, S.A., Mohammad, Y.O., Asahara, Y., Minami, M., Shin, K.C., Anma, R., Whattam, S.A. (2025) The Penjween gabbro, northeastern Iraq, revealing a forearc hyperextension regime with a slow spreading ridge center in the Late Cretaceous. *Geochemistry* **85**, 126241.

(3) Lee, S.-G. (2024) Optimization of separation and MC-ICP-MS methods for determining Eu isotopic ratios in Si- and Ba-rich fractionated igneous rocks and other natural materials. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy* **218,** 106991

2024年度　15)国際スクール開催支援　目次詳細

2024　15)ISEE International School Support List

2 件

＊所属・職名は2025年3月現在

＊Affiliation and Department displayed are current as of March 2025.

研究代表者 Principal Investigator	所属機関* Affiliation	所属部局* Department	職名* Job title	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
Jorge L. Chau	Leibniz Institute of Atmospheric Physics, Germany	Radar Remote Sensing	Head of Department	School on technical and scientific aspects of iMST radar and lidar	363	
Babatunde Rabiu	Convener - ICELLI, National Space R & D Agency, Nigeria		Professor	International Colloquium on Equatorial and Low Latitude Ionosphere (ICELLI)	365	

iMST Radar and Lidar School

Jorge L. Chau
Leibniz Institute of Atmospheric Physics at the University of Rostock, Germany.

The 16th **International Workshop on Technical and Scientific Aspects of iMST Radar and Lidar (MST16/iMST3)** held in person on September 9-13 2024 in Rostock, Germany, was preceded by a three-day school. The school was held at the Leibniz Institute of Atmospheric Physics in Kühlungsborn on September 6-8, 2024.

The school brought together the world's experts in atmospheric soundings by radar and lidar. The school was attended by 35 students from 13 countries. The lectures were given by 15 experts on their respective topics. Group photos from participants and lecturers are in Figures 1 and 2, respectively.

The lectures included theoretical and hands-on sessions. These were:

1. Atmospheric Dynamics: Mesocales and less by Dr. David Fritts (USA).
2. Atmospheric Dynamics: Synoptic to Planetary scales by Prof. Huixin Liu (Japan).
3. Introduction to iMST Lidar by Prof. Alan Liu (USA)
4. Introduction to iMST Radar by Dr. David Hooper (UK)
5. Hands-on lidar lab by Michael Gerding (Germany)
6. Hands-on radar lab by Prof. Wayne Hocking (Canada) and MSc. Nico Pfeffer (Germany).
7. Data standards and networks by Dr. David Hooper (UK).
8. Phased Arrays and Radar Imaging by Prof. Jorge Chau (Germany)
9. Instrument applications for studies of the atmosphere: Pros and Cons by Prof. Gerd Baumgarten (Germany) and Prof. Jorge Chau (Germany)
10. Hands-on signal analysis 1 by Dr. Irina Strelnikova (Germany) and Dr. Robin Wing (Germany).
11. New advances in iMST radar by Prof. Juha Vierinen (Norway).
12. New advances iMST Lidar by Dr. Bernd Kaiffler (Germany).
13. Hands-on signal analysis 2 by Dr. J. Miguel Urco (Germany) and MSc. Matthias Clahsen (Germany).
14. Out of the Box Topics
    a. Using existing knowledge in profoundly new ways by Prof. Wayne Hocking
    b. Use of atmospheric lidar on non traditional topics by Dr. Bernd Kaiffler.
    c. Out of the box radar stuff by Prof. Juha Vierinen

Thanks to the support provided by the Scientific Committee On Solar-Terresrial Physics (**SCOSTEP**), the Institute for Space Earth Environmental Research (**ISEE**) Solar, and **IAP**, 13 students and 3 lecturers received support. The support consisted of one of the following forms: (a) partial transportation costs, (b) lodging in

Kühlungsborn, and (c) registration costs. Table 1 summarizes the support provided according to each category. The specific external funding received is summarized in Table 2. The difference was supported by IAP.

Table 1. Support provided to MST16/iMST3 participants.

Description	Quantity	Euros
Partial transportation	11	5,530.00
Lodging	14	2,850.00
Registration costs[1]	13	1,300.00

Table 2. Summary of external funding.

Institution	Amount	Currency	Approx. Euros
SCOSTEP	5,000.00	US Dollars	4,600.00
ISEE[2]	383,650.00	Yens	2,330.00



Figure 1. School group picture in front of the main venue, i.e., the Leibniz Institute of Atmospheric Physics.



Figure 2. Lecturers at radar and lidar school.

[1] School dinner costs are not included.
[2] ISEE funding was used to support the airline ticket of Prof. H. Liu, and paid directly.

(Form15-2)

International Colloquium on Equatorial and Low Latitude Ionosphere (ICELLI 2024)

Babatunde Rabiu (Convener – ICELLI, National Space R & D Agency, Nigeria)

Preamble: The International Colloquium on Equatorial and Low Latitude Ionosphere (ICELLI 2024) is an annual capacity building workshop geared towards understanding of the Sun and its impact on space weather; the dynamics of the equatorial ionosphere, its complexities and high level of dynamics which results in phenomena such as spread F, ionospheric anomaly, equatorial electrojet, equatorial plasma fountain, etc; and how space weather impact on telecommunications, navigation, satellite operations, and other space-based technologies. The Colloquium metamorphosed from a summer school-like programme tagged International School on Equatorial and Low Latitude Ionosphere (ISELLI) which held in Abuja and Ota, Nigeria in 2015 and 2017 respectively. This 2024 edition of the colloquium was the 8th edition of this capacity building gathering in Nigeria.

Date: 29 July - 2 August 2024

Venue: Mountain Top University, Prayer City, Ibafo, Ogun State Nigeria, & Everywhere online

Achievements: The International Colloquium on Equatorial and Low-Latitude Ionosphere (ICELLI), was held at Mountain Top University, Prayer City, Ibafo, Ogun State Nigeria between 29th July and 2nd August 2024. At prime, 25 physical and 49 virtual participants from 19 countries participated in the Colloquium. The 8th edition like others, featured lectures, tutorials and hand on sessions on topics geared towards understanding of the Sun and its impact on space weather; the dynamics of the equatorial ionosphere, and how space weather impact on space-dependent technologies. Physical participants were taken on a tour to the proposed site for the installation of the SKiYMET radar expected to be deployed in collaboration with our partners from the Institute of Physics, Germany. We also had the privilege of being taken on a tour of the University's Music laboratory and we were treated to some fine music and rendition.

Opening Day to day activity of the workshop

The workshop was declared open by the Vice Chancellor, Mountain Top University, Prof. Elijah Ayolabi, on Monday 30th July 2024. Thereafter, an introductory speech was made by Professor Babatunde Rabiu FAS (National Space Research and Development Agency, Nigeria) and the convener of ICELLI. Goodwill messages were delivered by Prof. Kazuo Shiokawa President-SCOSTEP, ISEE, Nagoya University, Japan, Prof. Christine Amory Mazaudier, Sorbonne Universities, Paris, France; as well as Professor Sandro Radicella and Dr Bruno Nava of the Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, Trieste, Italy. Other speakers that delivered goodwill messages are Professor Wojciech J. Miloch, University of Oslo, Norway; Prof Olivier Obrou, President, African Geophysical Society; Dean, College of Basic and Applied Science, MTU; Dr Daniel Okoh – UN-ARCSSTE-E; Dr Gopi Seemala - Indian Institute of Geomagnetism (IIG), Mumbai,

India; Dr John Bosco Habarulema, South African National Space Agency (SANSA), Hermanus, South Africa; and Dr. Claudio Cesaroni - Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia (INGV), Rome, Italy.

The day-to-day activity of the workshop followed a well-structured schedule attached as Appendix 1 to this report. The 2024 ICELLI workshop featured lectures and training by leading experts on the following topics: Space Weather, Irregularities, Machine Learning Applications for Ionospheric Studies, Ionospheric Modelling in Africa, Connections of the Upper and Lower Atmosphere, as well as Panel session focusing on Research trends & cooperation in ionospheric studies. This year's colloquium featured two special sessions will included: the International Meridian Circle Program (IMCP) session with a focus on Africa, Europe and the Pacific; as well as the AfriTEC model session. Prof Babatunde Rabiu delivered a lecture on the Status of Ground based instruments in Africa during the CONGA meeting which was incorporated into the colloquium; the zoom audience of CONGA was looped with the google meet audience of ICELLI. In all 29 papers were delivered by experts and the papers are available at https://arcsstee.org.ng/
international-colloquium/. Some participants also presented contributed papers. The workshop ended on Friday 2nd August 2024 with a technical tour.

Attendance: A total of 74 participants from 19 countries participated in the Colloquium with breakdown as follows:
Total of number of physical participants: 25
Total number of online participants: 49 (Including 15 Experts that gave lectures online)

Participants Countries: Italy, France, China, Algeria, Nigeria, Egypt, Uganda, India, Brazil, Ethiopia, Kenya, Ghana, Côte d'Ivoire, USA, Tunisia, Morocco, Japan, Pakistan, and Norway (19)

No of participants by Country:

Algeria- 1
Brazil - 3
China- 2
Côte d'Ivoire - 4
Egypt - 3
Ethiopia -1
France- 3
Ghana - 1
India - 3
Italy- 2
Japan - 1
Kenya - 2
Morocco – 1
Nigeria – 41
Norway- 1
Pakistan - 1
Tunisia -1
Uganda - 1
USA- 2

2024年度 16)若手国際派遣支援（海外発表・海外滞在） 目次詳細

2024 16) International travel support for students (International presentation / Institutional stay) List

7 件

＊所属・学年は2025年3月現在

＊Affiliation and Year of graduate school displayed are current as of March 2025.

研究代表者 Principal Investigator	所属機関* Affiliation	所属部局* Department	学年* Year of graduate school	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
後藤悠介	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	博士後期課程2年	雲降水に関する国際会議における固体降水粒子の粒径差推定に関するポスター発表及び雲微物理学とレーダ観測に関する短期講習への参加	367	
西井章	名古屋大学	大学院環境学研究科地球環境科学専攻	博士後期課程3年	第21回アジア・大洋州地球科学学会(AOGS)における四国東部で発生した地形性線状対流系維持機構に関する研究発表	369	
作田皓基	名古屋大学	理学研究科	博士後期課程2年	太陽観測ロケット FOXSI-4 搭載 X線望遠鏡の詳細地上較正試験のためのNASA/GSFC 滞在	370	
北島慎之典	防衛大学校	理工学研究科	博士後期課程2年	AGU24 Annual Meetingにおける太陽フレアによる下部電離圏の電子密度変動の再現・評価についての発表	372	
木下岳	東京大学大学院	理学系研究科地球惑星科学専攻	博士前期課程2年	American Geophysical Union annual meeting 2024における「フォーブッシュ減少の多点比較で迫るICMEの時空間発展に関する研究」の発表	373	
Borui Wu	Nagoya University	Earth and Environmental Studies	博士後期課程2年	エルニーニョおよびラニーニャ現象時における太平洋中西部の赤道外域の深層に届く波動エネルギーフラックスの考察	375	
林萌英	九州大学	理学府地球惑星科学専攻	博士後期課程3年	AGU Fall Meeting 2024における「孤立型サブストーム時の全球電磁場応答」の発表	377	

2025年1月9日

雲降水に関する国際会議における固体降水粒子の粒径差推定に関するポスター発表及び雲微物理学とレーダ観測に関する短期講習への参加

Poster presentation on estimation of size difference in solid precipitation particles at the International Conference on Clouds and Precipitation and participation in A Short Course on Cloud Microphysics and Radar Observations

後藤悠介・名古屋大学・宇宙地球環境研究所・D2

本海外渡航支援を受け、2024年7月14日から7月19日に大韓民国の済州で開催されたInternational Conference on Clouds and Precipitation (ICCP) 2024、及び2024年7月20日に同じく済州で開催された A Short Course on Cloud Microphysics and Radar Observations（Short Course）に参加した。ICCP2024では、Ice-Phase Clouds セッションにて、Estimation of Size Difference in Solid Precipitation Particles Based on Satellite and Ground-Based Radars というタイトルでポスター発表を行った（図1）。

ISEEの共同利用機器の1つである地上Ka-band雲レーダ（名大Ka）は、過去に様々な地点で観測を実施しており、降雪雲を対象にした観測データも蓄積されている。私は、名大Kaが石川県立大学（石川県）、及び酪農学園大学（北海道）に設置されていた期間において、地上で降雪を確認でき、かつ衛星レーダ（GPM/KuPR）が名大Kaの観測範囲をオーバーラップした事例を抽出し、GPM/KuPRと名大Kaのレーダ反射強度データを組み合わせることで、二周波比（*DFR*）を得た。*DFR*は、レーダの観測体積内の降水粒子の粒径に関するパラメータであり、一般的に*DFR*が大きいほど粒径の中央値が大きいと言える。本研究で得たGPM/KuPRのレーダ反射強度と*DFR*の関係を地点別で解析したところ、石川県の方が北海道よりもレーダ反射強度に対する*DFR*の値が大きくなった。これは、石川県の方が固体降水粒子の大きさが大きくなりやすいことを示唆しており、その原因として石川県の方が上空の気温や相対湿度が高いことから、氷晶がより凝集成長しやすく、比較的大きな粒径を持つ雪片に成長できること（Hosler et al., 1957; Hobbs et al., 1974）を挙げた。

ポスター発表内では8名の方から質問やコメントを受け、コーヒーブレイク中にも数名の方から質問やコメントを受けた。本研究では、観測から得られた*DFR*の値が、散乱シミュレーションから得られた理論的な*DFR*の値と離れている部分が一部あり、このような観測誤差の原因に関する議論を多く行った。この議論の内容は、現在再投稿準備中の論文にも反映させている。また、数値モデルの雲物理パラメタリゼーションにおいては、粒径の他に数濃度も重要であり、数濃度に関する議論も行うとさらに良いというコメントも頂いた。観測と数値モデルをつなぐことは数値モデルの精度向上などに貢献できると考えられ、これまで観測データを主に扱ってきた私にとって、観測と数値モデルの関係性を考える良い機会となった。

ICCP2024では、他者の発表も多く聴講した。その中で印象的だったのは、航空機観測で用いられるプローブと呼ばれる測器から

得た氷晶の形状（晶癖）と、レーダデータを組み合わせた解析の発表である。レーダ観測のみでは氷晶の晶癖までは分からないが、航空機観測と組み合わせることで、より強固な考察ができる。ISEEではドロップゾンデを用いた航空機観測を行っているので、航空機観測時にプローブを設置することはできないかと思いを膨らましている。

ICCP2024は、私にとって初めての海外での国際会議であった。出国前は不安があったが、海外の研究者や学生らと様々な議論や交流ができ、参加及び発表をして良かったと思っている。また、様々な国の方々の研究を直接聞くことができ、研究に対する刺激を受けることができた。

Short Course では、レーダ観測の基本原理から最新の研究紹介まで、幅広い内容が扱われ、私は聴講参加した。その中で、3つの周波数を組み合わせ、*DFR*を2つ算出し、それらの値から雲粒捕捉成長の程度を推定するという話が特に印象的であった。また、雲生成チェンバーを用いた最新の研究内容の紹介もあり、有意義であった。

最後に、本支援を行って下さったISEE国際連携研究センターの皆様、指導教員であるISEE飛翔体観測推進センターの篠田太郎准教授、共著者であるISEEの民田晴也博士、久島萌人さん、高橋暢宏教授、坪木和久教授、石川県立大学の皆巳幸也准教授、酪農学園大学の馬場賢治教授に御礼申し上げます。

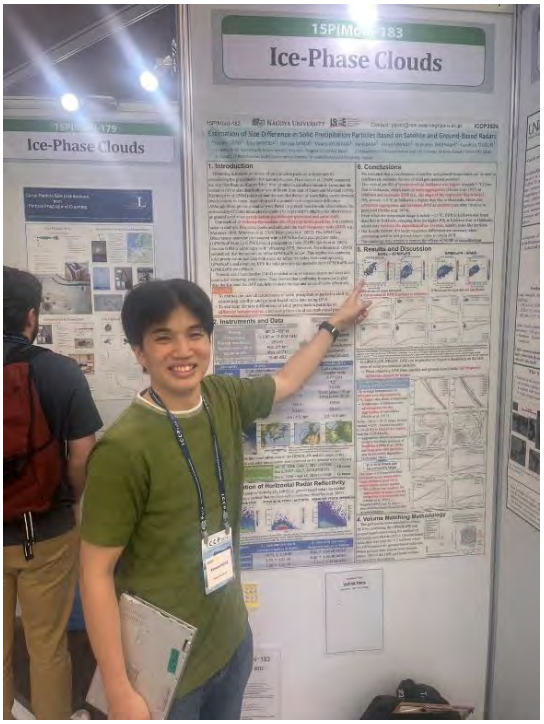


図1　ポスター発表の様子。

●参考文献

・Hosler et al., 1957, https://doi.org/10.1175/1520-0469(1957)014<0415:OTAOIC>2.0.CO;2.
・Hobbs et al., 1974, https://doi.org/10.1029/JC079i015p02199.

2025年3月19日

第21回アジア・大洋州地球科学学会(AOGS)における四国東部で発生した地形性線状対流系維持機構に関する研究発表
Presentation on the maintenance mechanisms of an orographic quasi-stationary convective band formed over the eastern part of Shikoku, Japan at the Asia Oceania Geosciences Society 21st Annual Meeting

西井章・名古屋大学・宇宙地球環境研究所・D3

私は本海外渡航支援を受け、2024年6月23日から28日にかけて大韓民国・ピョンチャンで開催された第21回アジア・大洋州地球科学学会(AOGS)に参加した。私はこの学会において、”Mesoscale and Orographic Effects on Airflow, Precipitation and Weather Systems”セッションで口頭発表をした。このセッションは地形による気流の変質(地形効果)に伴って発生・発達をする降水(地形性降水)を主なテーマとしており、私の研究内容と合致していた。また、地形性降水を専門に扱うセッションは日本国内では近年開催されていないため、より専門性の高い議論ができることを期待して発表することにした。

私の発表題目は”Orographic Effects on the Maintenance of Quasi-stationary Convective Band Formed Over the Complex Terrain in the Eastern Part of Shikoku, Japan”であった。地形性線状対流系(orographic quasi-stationary convective band)は地形性降水の一形態であり、山地のほぼ同じ場所に繰り返し長時間にわたり大雨をもたらす特徴を持つ降水システムである。地形性線状対流系の維持に寄与する地形効果は山地の形状や大気環境場によって多様であるため、各地域で発生した地形性線状対流系を詳しく解析することがその維持に好ましい条件の統一的な理解に重要である。本発表では、維持機構に未解明な点が多い四国東部で発生した北に延びる地形性線状対流系に注目し、2事例について主に観測データを用いて解析した結果を紹介した。なお、本発表の詳細はJournal of the Meteorological Society of Japanに先日出版された原著論文を参照されたい[1]。

質疑では四国東部の地形が複雑であるため発表で議論した地形効果以外も維持に寄与した可能性を指摘されるなど、専門性の高い有意義な議論ができた。

最後になりましたが、本国際学会への参加を支援してくださったISEE国際連携研究センターの皆さま、指導教員であるISEE飛翔体観測推進センターの篠田太郎准教授、そして共同発表者である高知大学の佐々浩司教授に深く御礼申し上げます。



図1　口頭発表の様子

引用文献

[1] Nishii et al. 2025. https://doi.org/10.2151/jmsj.2025-014

＜指導教員：篠田太郎＞

（別紙様式16-2）

太陽観測ロケット FOXSI-4 搭載 X線望遠鏡の詳細地上較正試験のためのNASA/GSFC 滞在
Visit to NASA/GSFC for ground calibration tests of X-ray telescopes onboard a solar sounding rocket FOXSI-4

作田皓基，名古屋大学大学院・理学研究科

本出張は，ISEE 若手国際派遣支援プログラムの支援を受け，Focusing Optics X-ray Solar Imager: FOXSI の4回目の打ち上げであるFOXSI-4ロケットに搭載されたX線望遠鏡の地上較正試験を米国 NASA Goddard Space Flight Center にて実施した．

[背景]

FOXSI-4 では，2024 年 4 月に打ち上げと世界初の太陽フレアの軟・硬X線による撮像分光観測に成功した．本プロジェクトは太陽フレアで解放されたエネルギーの分配を定量化することを目的としている．太陽フレアは，宇宙における普遍的な物理を内包する他，宇宙天気の主役でもあり，広い分野において，その機構の解明が求められている．その解明には太陽フレアの詳細な空間構造の理解が必須であったため，我々は高角度分解能宇宙 X 線望遠鏡を開発し，太陽フレアの詳細観測に大きく貢献した．一方，その角度分解能の高さから，非常に高い観測データ較正の精度を求められる．我々は，高精度の観測データ較正を実現するために，打ち上げ後のサンプルに対し，再度地上較正試験を実施することで，特に低エネルギー側の X 線に対する応答を調査した．また，後継機となる FOXSI-5 も採択され，2025 年 11 月頃の打ち上げを予定している．本サンプルのリフライトの可否の判断材料としての試験も，本出張に含められている．また，NASA/GSFC は軟 X 線による大面積照射が可能な数少ない実験施設を所有していることから，本出張でのNASA/GSFCとの関係の確立は，我々の開発にとって非常に得るものが大きい．さらに，我々の開発する望遠鏡は，現在 NASA へ提案中のオーロラ観測ロケット実験 LAMP2 への搭載を予定していることから，本試験は太陽観測のみならず，太陽地球系物理分野への貢献も期待できるものである．

[試験内容]

本出張では，NASA 側のアクシデントにより，実験が4日遅れで始まってしまったものの，計画していた FOXSI-4 に搭載された軟 X 線観測用望遠鏡（SXR）と硬 X 線観測用望遠鏡（HXR）の2 台に加え，FOXSI-5 搭載候補品の性能評価は完遂することができた．具体的には，アライメントを行った後，望遠鏡光軸に平行な on-axis 光と望遠鏡光軸に非平行な off-axis 光におけるPSF（Point Spread Function）の調査を1.4 keV（Al-Kα），4.5 keV（Ti-Kα），6.4 keV（Fe-Kα），8.1 keV（Cu-kα）のエネルギーで実施した．加えて，HXR 入射部に取り付けられた太陽光による加熱を防ぐためのサーマルブランケットの X 線透過率も評価した．特に，FOXSI-5 搭載候補品については，5 mm x 5 mm のペンシルビームを用いて望遠鏡開口面積に対して 5 % 程度の局所領域ごとの性能も評価した．

その結果，SXR と HXR について，打ち上げ後の性能の劣化は確認されず，後続機のリフライトが性能の観点からは可能であることを確認した．また，それぞれについて，軟 X 線帯域の応答関数作成が可能となり，観測データの較正の準備が整った．検出器側の観測データ較正が完了次第，科学成果の創出に向けた観測データ解析に取り組む．また，新たなサンプルについて，その結像性能は 1.5 keV の HPD（Harf Power Diameter）で ～10 秒角と過去のサンプルを上回る性能であることを確認した．サーマルブランケットの透過率測定の結果は，FOXSIチームで作成された透過率モデルとよく一致することが確認でき，この結果を元に望遠鏡の較正データを作成した．この較正データは，FOXSIの検出器チームに提供しており，検出器チームの博士論文にも用いられた．さらに，今回初めて評価項目として露光

時間を大幅に上げることで，中心は検出器がサチュレーションを起こし評価不能になるものの，散乱成分をより高精度に見積もる試験を実施したところ，結像点から 〈1mm の範囲内で干渉縞が見られた．これは結像性能の劣化の主要因と考えている表面粗さのパターンが見積もることができることを意味する．照射試験の結果から，反射鏡へのフィードバックが得られる新たな試験の確立ができた上，新たなサンプルがこれまでの実績より良い結像性能であることを確認できたため，非常に有意義な出張になったと実感している．

[今後の展望]

本出張で，NASA/GSFC のスタッフと議論し，我々の望遠鏡開発に今後も多大なご協力が得られる良好な関係を構築できた．実際に，我々の開発チームは FOXSI-5 搭載候補品の試験を 2025 年 6 月に NASA/GSFC にて試験することを予定している．自身のキャリアを考える上でも，非常に良い経験であった．今後，超小型衛星に向けた開発も進めていきたいと考えており，引き続き NASA/GSFC のスタッフと議論を重ねていきたいと考えている．

[最後に]

本出張は，新たに制作したサンプルの用意の遅れにより，FOXSI-4 打上サンプルの発送手続きも間に合わなかったため，サンプルが保管してあった University of California, Berkeley へ直接取りに行かなければならなかったなど，出発以前にいくつか問題があり，出張期間の大幅な遅れと渡航内容の変更を申請した．これらの手続きを全て滞りなく進めていただいた高橋早苗氏に感謝申し上げます．また，本出張は開発にとっても私のキャリアにとっても非常に良いものであり，そのような機会を実現してくださった名古屋大学宇宙地球環境研究所国際連携研究センターの若手国際派遣支援プログラム関係者の皆様，受け入れしていただいた三好由純教授に感謝申し上げます．

指導教員：三石 郁之 先生

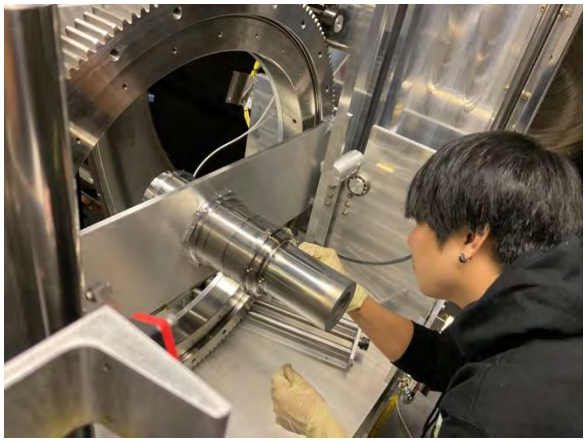


図 1. SXR 取り付けの様子．

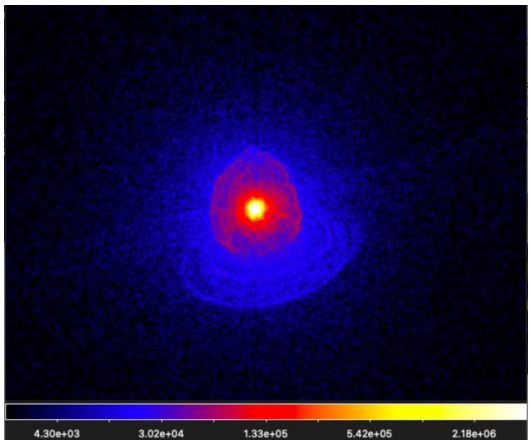


図 2. 新たなサンプルにより得られた結像イメージ

（別紙様式16-2）

AGU24 Annual Meetingにおける太陽フレアによる下部電離圏の電子密度変動の再現・評価についての発表
Presentations on the reproduction and evaluation of electron density variations in the lower ionosphere due to solar flares

氏名：北島　慎之典
所属機関：防衛大学校
部局：　理工学研究科

国際連携研究センターによる若手国際派遣支援プログラムの支援を受け、2024年12月9-13日にWashington, D.C.のWalter E. Washington Convention Centerで行われたAGU24 Annual Meetingへ参加した。奨励共同研究で採択されている「太陽フレア放射による地球電離圏への影響評価と地球大気電離モデル」に関連して得た研究成果2件を12月9日にポスター発表した。

奨励共同研究で採択されている研究は、太陽フレアに起因する宇宙天気現象であるデリンジャー現象に着目した研究である。デリンジャー現象とは、太陽フレアによる電離圏下部の電子密度の急増が原因となり発生する短波通信障害である。AGU24では、太陽フレア放射による地球電離圏下部の電子密度変動を再現したモデルの評価に関する発表をした。電離圏下部の電子密度は、物質中における放射線挙動を模擬することができるモンテカルロ計算コードであるPHITSを用いて再現した。これをEISCATとNICTが運用しているイオノゾンデで観測した観測データと比較することで、モデル計算を評価した。本発表の一つでは、2024年5月8-15日に10回以上発生したXクラスフレアに伴うデンリンジャー現象のイベントについて調べた結果を報告した。特に5月11日のX5.8クラスフレアに伴って発生したデリンジャー現象は、上記期間中でデリンジャー現象の規模が最も大きく、1時間以上ブラックアウトが継続していた。この結果に関して、太陽や電離圏を主に研究している研究者の方々と議論することができ、幅広い知見を得ることができた。多くの議論を通して、太陽フレア時の電子密度変動と電離圏中の電波伝搬強度の推定の重要性やシミュレーションとの結合の必要性を再認識することができた。

自身の発表以外にも、太陽フレアや2024年5月を含む電離圏嵐に関する研究の口頭発表を聴講し、ポスターでの議論をすることができた。日本だけではなく、世界各国の研究者と現地で直接議論することで、最新の学術情報を得ることができた他に、イオノゾンデによる観測データの新しい視点からの研究を知ることができ、多くの知見を得た。

AGU24への参加は、同じ分野の研究者と議論ができる良い機会となった。AGU24を通じて、自身の研究への重要性を理解でき、新しい視点からの研究に取り組みたい気持ちが高まり、より高い向上心を持って研究に取り組むことができ、非常に良い経験となった。国際学会で得た知見を自身の研究にフィードバックし、2024年5月のデリンジャー現象の結果をEarth, Planets and Space誌に投稿予定である。

最後に、AGU24への参加する機会をくださり、支援してくださった名古屋大学宇宙地球環境研究所国際連携研究センターの若手国際派遣支援プログラム関係者の皆さま、名古屋大学担当教員である増田智准教授、指導教員の渡邉恭子教授、並びに議論を含む様々なサポートをしてくださった関係者の皆さまに深く感謝申し上げます。

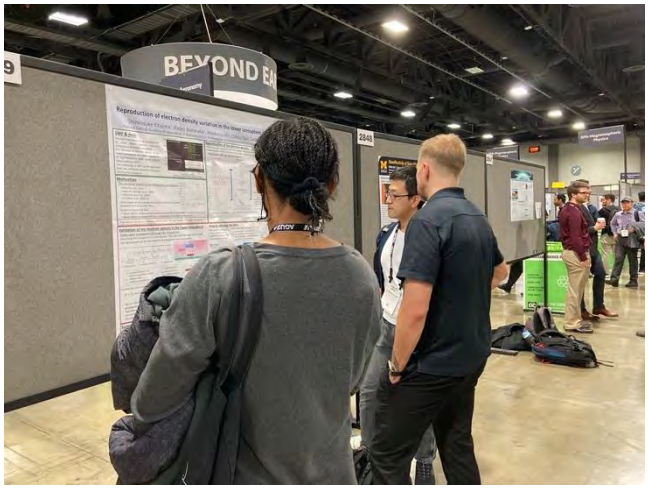


図１　ポスター発表の様子

〈指導教員：渡邉恭子〉

令和7年(2025年) 2月16日

AGU2024における「フォーブッシュ減少の多点比較で迫るICMEの時空間発展に関する研究」の発表
Presentation of “Study on the spatio-temporal evolution of ICME approached by a multi-point comparison of Forbush decreases” at the 2024 Annual Meeting of the AGU2024

氏名：木下岳
所属：東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻 修士2年
滞在期間：令和6年12月8日-12月15日
滞在先：アメリカ合衆国、ワシントンD.C.

私は本海外渡航支援により、2024 年 12 月 9 日から 13 日にかけてワシントン D.C. にて開催された American Geophysical Union Fall meeting 2024 にてポスター発表をしたので、内容について報告する。

本研究では、惑星間空間コロナ質量放出物(ICME)の伝搬特性の解明のため、ICME がバックグラウンドの銀河宇宙線を遮蔽する Forbush Decrease（FD：図 1）の物理的特性を解明する。ICME は太陽から噴出する磁束とプラズマの集合体であり、磁気嵐の主因であるため、ICME の伝搬中進化の追跡は宇宙天気において重要である。FD は簡易な粒子観測器であっても観測可能な現象ながら、その振幅、形状などは通過する ICME の物理情報を反映する指標となる。そこで複数探査機による ICME の多点観測イベントを解析し、FD の変化と比較することで両者の対応を明らかにし、FD による ICME 進化の追跡を目指した。

本研究では 2022/3 の BepiColombo、Solar Orbiter、地球における多点 ICME 連続観測イベントから、FD・ICME の太陽系動径・方位角方向の変化を追跡した。詳細な結果については論文執筆中であるため割愛するが、太陽高エネルギー粒子（SEP）など他の観点から同イベントを解析している研究者と出会い、ポスター会場で議論することができ、認識を共有したり、新たな知見を得たりして大変有意義であった（図 2）。また NASA の Parker Solar Probe の粒子観測器チームの研究者ともつながりができ、現在協調観測等について協議中である。以上のように、本派遣事業で自身の研究の向上や、国外の研究者との関係構築を図れた。

本研究の一部である、BepiColombo の放射線観測機器の較正手法開発については、Journal of Geophysical Research にて発表した（Kinoshita et al., 2025, JGR）。BepiColombo が観測した FD の解析については、BepiColombo の内部太陽圏探査における活躍を概観した論文で共著として発表予定である（Sánchez-Cano et al., under review）。複数探査機の多点観測の詳細なイベントスタディについては、主著論文を執筆中である。

末筆となるが、名大側の担当教員の三好由純教授と、申請書の添削をしてくださった東大の指導教員の吉岡和夫准教授、そして初めての海外学会参加にあたりお世話になったすべての方に厚く御礼申しあげて、本報告書の結びとさせていただく。

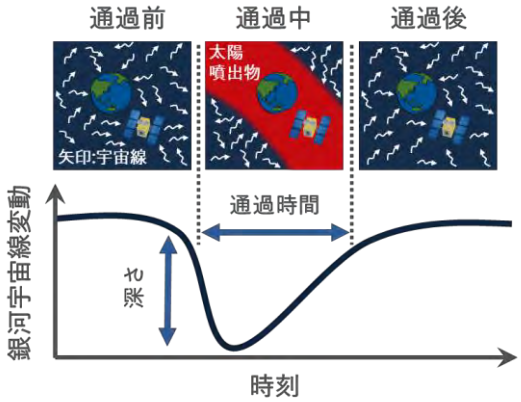


図 1：Forbush Decrease の概念図

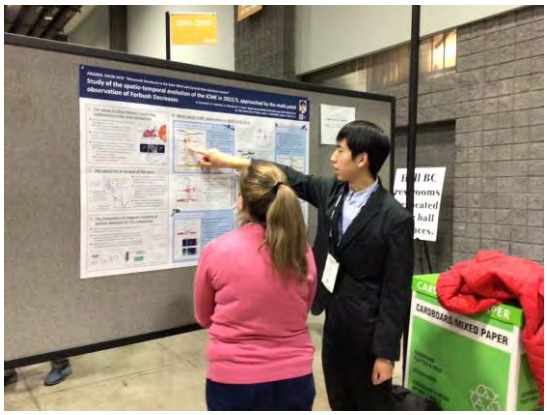


図 2：ポスター発表中の議論の様子

＜指導教員：東京大学　吉岡和夫＞

（Form16-2）

エルニーニョ・ラニーニャ現象にともなって太平洋の赤道の傍の深海に到達する波動のエネルギーのフラックス

Deep reaching wave energy-flux in the off-equatorial Pacific Ocean during the El Niño and La Niña events

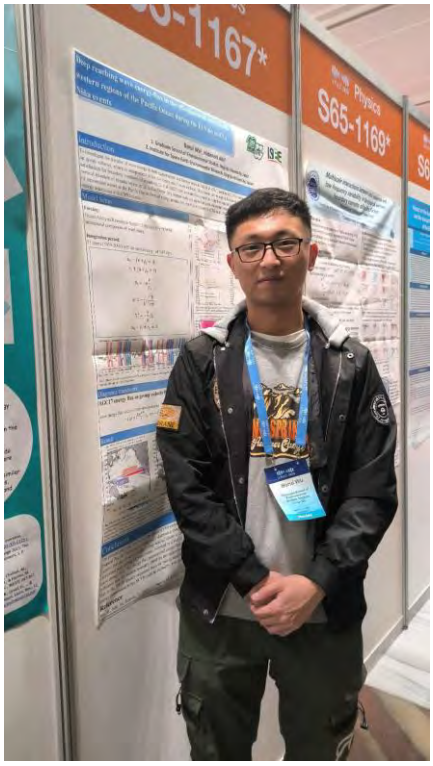
Borui Wu, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University
Hidenori Aiki, Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University

I attended the international academic conference, The Xiamen Symposium on Marine Environmental Sciences (XMAS 2025), held in Xiamen, China during January 13 to 17 in 2025. This prestigious event brought together leading researchers, scholars, and students to discuss various aspects of marine sciences, fostering collaboration and innovation. My participation included presenting a poster in Session 65, "Oceanic-Atmospheric Processes Over the Indian and Western Pacific Oceans," as well as engaging in the "Mentor Meets Mentee Program." These experiences enriched my academic understanding and provided invaluable networking opportunities in the field of physical oceanography.

Session 65 focused on exploring the dynamic processes in the Indian and Western Pacific Oceans, which is a hot spot region for scientific research. This region connects the Pacific Ocean and Indian Ocean and is associated with major climate variations including El Niño Southern Oscillation (ENSO) and Indian Ocean Dipole (IOD). My poster presentation introduced a novel method for tracing wave energy flux based on group velocity in a three-dimensional framework, as proposed by Aiki et al. (2017) and extended by Li et al. (2021). This method represents a significant advancement in understanding energy transfer mechanisms in oceanic waves. It departs from traditional ray theory and Fourier analysis, offering a seamless diagnostic that can be applied across varying latitudes and depths while satisfying coastal boundary conditions. My poster highlighted how this approach can provide insights into the vertical and horizontal structures of wave energy transfer in the Pacific Ocean, particularly in relation to phenomena like ENSO events and other interannual oscillations. This study is an extension of Wu et al. (2025), which focus on the horizontal wave energy transfer in the surface layer of Pacific Ocean. During the poster session, I received constructive feedback and engaged in stimulating discussions with fellow researchers. Additionally, I had the opportunity to learn about various studies conducted by other students and scholars. I note that artificial intelligence (AI) is now widely applied in scientific research, including oceanography, and is likely to become a significant focus of future research.

Participating in the "Mentor Meets Mentee Program" was one of the most rewarding aspects of the conference. This program provided a platform to connect with esteemed professors from top universities around the world. I had the opportunity to present my research to these mentors and gain their perspectives on the applicability and potential impact of the three-dimensional wave energy flux diagnostic. They offered suggestions and comments on expanding the method's scope, such as the prediction of ENSO events. These conversations not only broadened my academic horizons but also motivated me to explore interdisciplinary approaches to my research.

My participation in XMAS 2025 was a highly enriching experience that significantly contributed to my academic and professional development. I am grateful for Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE) to give me the chance to attend this conference and look forward to applying the knowledge and connections gained to further my research in physical oceanography.



References

Aiki H, Greatbatch R J, Claus M (2017) Towards a seamlessly diagnosable expression for the energy-flux associated with both equatorial and mid-latitude waves. Prog Earth Planet Sci 4(1): 11. https://doi.org/10.1186/s40645-017-0121-1

Li Z, Aiki H, Nagura M, Ogata T (2021) The vertical structure of annual wave energy flux in the tropical Indian Ocean. Prog Earth Planet Sci 8(1): 1–19. https://doi.org/10.1186/s40645-021-00432-9

Wu B, Aiki H, Toyoda T, Ogata T, Nagura M (2025) Energy circulation associated with interannual waves in the tropical-subtropical Pacific. Clim Dyn 63(1): 84. https://doi.org/10.1007/s00382-024-07530-6

令和7年(2025年)1月21日

AGU Fall Meeting 2024における「孤立型サブストーム時の全球電磁場応答」の発表
Presentation of “Global electromagnetic field response during isolated substorms” at the AGU Fall Meeting 2024

氏名：林　萌英
所属：九州大学理学府地球惑星科学専攻
滞在期間：令和6年12月8日～12月15日
滞在先：ワシントン D.C.
滞在国：アメリカ合衆国

私は本海外渡航支援を受け、2024年12月9日から13日にアメリカ・ワシントンD.C.で開催されたAmerican Geophysical Union (AGU) Fall Meeting 2024に参加し、12月13日にMagnetosphere-Ionosphere-Thermosphere Coupling During Disturbed Timesセッションにおいて、「Global electric and magnetic field response during isolated substorms: FAC remote effects and electric field penetrations」というタイトルで口頭発表を行った。AGU Fall Meetingは、地球物理学に関する世界最大級の学会であり、100以上の国から約25,000人が参加する大規模なイベントである。現地のWalter E. Washington Convention Centerにおいて、対面形式で発表を行った（図1）。

本研究の目的は、Region 1 (R1)/Region 2 (R2)タイプ電流とサブストームカレントウェッジ (SCW)の遠隔効果に焦点を当て、孤立型サブストーム時の全球電場・磁場応答を明らかにすることである。極域の電離圏には、磁気圏対流に関連するR1電流と、内部磁気圏の圧力勾配に関連するR2電流が存在する。サブストーム中には、これらに加えてプラズマ注入によってSCWが生成される。これらの電流の発達に伴い、中低緯度、赤道域に電場が侵入すると考えられてきた。これまでの研究では、R1電流の発展により昼夜両方において朝側から夕側に向かう電場が強められる一方、R2電流によってその電場が遮蔽されるとされていたが、その様相はイベントごとに異なり、全体像は未解明のままであった。本研究では、2010年から2013年の孤立サブストームを対象に、AMPEREデータ、多点地上磁場観測、レーダーによる電場観測を組み合わせて、R1/R2電流およびSCWが中緯度から赤道域の電磁場応答に与える影響を統計的に調査した。その結果、昼側では、中低緯度、赤道域において磁場のH成分が減少する傾向が示された。これはSCWの沿磁力線電流が作る磁場の遠隔効果を示唆している。また、赤道と低緯度の変動を比較すると、赤道での顕著な振幅増強が観測されなかった。これは孤立型サブストーム時においては、多くのイベントにおいて電場侵入が観測されなかったことを示唆している。一方で、一部のイベントでは赤道域で振幅の増幅が観測され、これはAMPEREによる昼側R1/R2電流の発展と一致した。夜側では、電場変動のタイミングがAE指数で捉えたサブストームオンセットとは必ずしも一致せず、夜側のR1/R2電流の発展と一致することが明らかになった。また、SCW位置やR1/R2電流の強度比が夜側電場侵入の向きに影響していることが確認された。これらの結果は、サブストーム中の電場侵入メカニズムの解明に貢献し、磁気圏-電離圏結合の理解に繋がるものである。

今回のAGUでの口頭発表では、世界中の研究者に研究成果を知ってもらうとともに、直接議論する良い機会となった。議論や質疑応答を通して、研究に対する貴重なフィードバックを得ることができた。今回の発表、学会参加で得られた知見も含めて、本研究の内容はGeophysical Research Lettersに投稿予定である。



図１：口頭発表の様子
＜指導教員：吉川顕正＞

2024年度 融合研究戦略課題 目次詳細

13 件

＊所属は2025年3月現在

＊Affiliation displayed are current as of March 2025.

整理番号 No.	研究代表者 Principal Investigator	所属機関* Affiliation	所属部局* Department	受入責任教員 Responsible Faculty	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
1	門脇 誠二	名古屋大学	博物館	南 雅代	元寇金属器の地球化学分析・年代測定:「コンクリ―ション考古学」の展開に向けて	378	
2	松尾 太郎	名古屋大学	理学研究科	三野義尚	緑の海仮説における検証: 薩南諸島硫黄島海域における光環境と光合成生物分布の計測	380	
3	田中 幸恵	名古屋大学	附属図書館	三好 由純	デジタルデータを活用した文理融合研究の可能性検討	382	
4	中澤 知洋	名古屋大学	素粒子宇宙起源研究所	三好 由純	アルベドの融合科学～国際宇宙ステーションから探るアルベドX線・ガンマ線・中性子線～	384	
5	富田 英生	名古屋大学	工学研究科	南 雅代	レーザー分光による放射性炭素同位体分析の定量性評価に関する研究	386	
6	持田 陸宏	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	持田 陸宏	宇宙開発に伴う大気汚染評価	387	
7	菅野 里美	名古屋大学	高等研究院	伊藤好孝 →田島宏康	CMOSイメージセンサーを利用した生細胞内元素トレーサイメージングシステムの構築	389	
8	内海 志典	岐阜大学	教育学部	檜山哲哉	不確かな社会を生き抜くための意思決定能力の育成を志向した気候変動のカリキュラム開発	390	
9	MENDEZ Carlos	名古屋大学	国際開発研究科	高橋 暢宏	持続可能な開発のモニタリングのための衛星データと社会経済データの統合	392	
10	渡邊 誠一郎	名古屋大学	環境学研究科	加藤 丈典	太陽系年代学の進展と放射線環境変動研究との融合	394	
11	渡邉 智彦	名古屋大学	理学研究科	三好 由純	核融合理論と磁気圏プラズマの高性能計算モデリングの融合研究	396	
12	村岡裕由	岐阜大学	流域圏科学研究センター	檜山哲哉	アジアグリーンベルトにおける環境―社会共生体化の実現に向けたフューチャー・アース研究ニーズの分析・課題の抽出	398	
13	砂田 茂	名古屋大学	工学研究科	菊地 亮太	観測業務におけるヘリコプタ利用の可能性検討	400	

（別紙様式-2）

元寇金属器の地球化学分析・年代測定：「コンクリ―ション考古学」の展開に向けて

Geochemical analysis and radiocarbon dating of metal weapons from Mongol invasions to Japan: Towards the establishment of "concretion archaeology"

門脇誠二、名古屋大学・博物館

研究目的

本申請課題は、考古遺物を内包するコンクリ―ションを分析対象として、その形成プロセス、及び内包する遺物保存メカニズムの解明を目指す。石器や金属器などの考古遺物がコンクリ―ションに内包される現象は以前から知られていたものの、考古学者からは単に「埋没後の二次的形成物」と済まされることが多く、詳しい研究はこれまで限られていた。しかし、化石コンクリーション形成に関する近年の研究をふまえると、こうした考古遺物は、コンクリ―ションの形成プロセスに関する理解を深める貴重な研究素材であることが分かってきた。例えば、コンクリ―ションに覆われた遺物の年代が歴史記録などから明らかな場合、コンクリ―ションの形成速度を正確に見積もる情報源となる。また逆に、考古遺物のコンクリ―ション化過程が詳しく解明されれば、内包されている遺物の年代が未知の場合はコンクリーションの放射性炭素年代を測定することでその年代を推定できる。例えば、鉄器中の炭素から汚染炭素を完全に除去することは難しく、鉄器から得られる放射性炭素年代は信頼性に欠ける場合が多いと言われてきた。しかし、コンクリーション部分の年代を測定することにより、内包された鉄器遺物の年代を正確に決定できる可能性がある。

研究体制

本研究の基礎となるコンクリ―ション形成過程に関する研究は、共同研究者の吉田英一教授（名古屋大学博物館）が世界をリードする成果を達成しており、その研究プロジェクトに南雅代教授（宇宙地球環境研究所）も参画してきた。金属器を覆うコンクリ―ションの形成プロセスを明らかにするために、コンクリ―ションの年代測定や化学組成測定、元素マッピング、鉱物同定、顕微鏡観察などを行う。放射性炭素年代は名古屋大学宇宙地球環境研究所のタンデトロン加速器質量分析装置で行い、元素マッピングや鉱物同定、顕微鏡観察は名古屋大学博物館に設置されている機器（XGT, SEM, XRD）を使用する。コンクリーション化を応用した史跡・文化遺産等劣化抑制・修復技術開発研究を吉田教授と南教授が開始し、考古学を専門とする門脇誠二（名古屋大学博物館）が文化財への適用という点に関して参画している。また日本の文化財への適用という点において、奈良文化財研究所で保存科学を専門とする脇谷草一郎博士と柳田明進博士も共同研究者として加わっている。そして今年度から、コンクリ―ション形成における微生物の関りを検討するため、その専門家である天野由記博士が研究メンバーとして加わった。

進捗状況

上記の目的の下、鎌倉時代の元寇の際に海底に沈んだ金属器を覆うコンクリ―ションの形成過程を解明するための分析を2023～2024年度の2年にわたり行ってきた。元寇は日本史でも有名な蒙古襲来の出来事で、1274年（文永の役）と1281年（弘安の役）という2回の年代が歴史記録から分かっている。元の船団が沈んだ長崎県鷹島神崎遺跡（たかしまこうざきいせき）は、水中の国史跡として日本初の指定を受けたことで有名である。本遺跡の海底に沈んだ様々な遺物のうち、金属器の表面がコンクリーションで覆われていることがこれまで知られている。そのCT撮像によると、コンクリ―ションで覆われた内部

は金属が腐食し、金属器の形のみが「鋳型」のように残されていることが分かっているが、その形成過程については不明であった（文化庁文化財第二課 2022, p. 167）。

2023年度は研究メンバーが松浦市立埋蔵文化財センターを訪問し、金属器コンクリ―ションなどの遺物を観察すると共に、松浦市教育委員会文化財課の担当者と面会し、研究方針や分析資料の取り扱い等に関する打合せを行い、連携協定の締結に至った。また、この協定の下で金属器コンクリ―ションを採取・分析することができ、年代測定や元素マッピング、鉱物同定、顕微鏡観察などを開始した。

さらに金属器コンクリ―ションが形成された海底の環境を調べるため、2024年度の10月5～7日に鷹島神崎遺跡の海底発掘調査に参加し、海底に沈んだ元寇船直上の堆積物コアや周辺の海水を採取した。これらのサンプリングの目的と方法についてダイバーの方と事前に打ち合わせを行い、発掘時には研究メンバーも海上に出向き、船上でサンプルを受け取った（図1）。その後、松浦市立埋蔵文化財センターにて堆積物コアや海水サンプルの処理を行った。堆積物コアは長さが約60cm程であり、2cmの間隔でpHや酸化還元電位の測定および連続サンプリングを行った（図2）。後者のサンプルから、年代測定や微生物調査などを現在進めており、コンクリ―ションの形成プロセスや環境の解明を期待している。

今後の予定と本研究の意義

今後は、1年目の分析（金属器コンクリ―ション）と2年目の分析（海底遺跡環境）の結果をふまえ、金属器コンクリ―ションの形成プロセスの観点から総括する予定である。文化財の研究は様々な許可や手続きが必要であり、特に海底遺跡の調査は専門的なスキルや大きな予算が本来は必要である。松浦市と名古屋大学博物館のあいだで連携協定を結んだことにより、これらの条件をクリアし、金属器コンクリ―ションの実物とその海底埋没環境に関する堆積物と海水サンプルを得ることができた。現在進めている分析の結果を今後総括して得られる知見は、ISEE「融合研究戦略課題」から生まれたオリジナルの学術貢献になることが期待される。



図 1　長崎県鷹島神崎遺跡の海底発掘にて、元寇船直上の堆積物コアを受け取った様子。

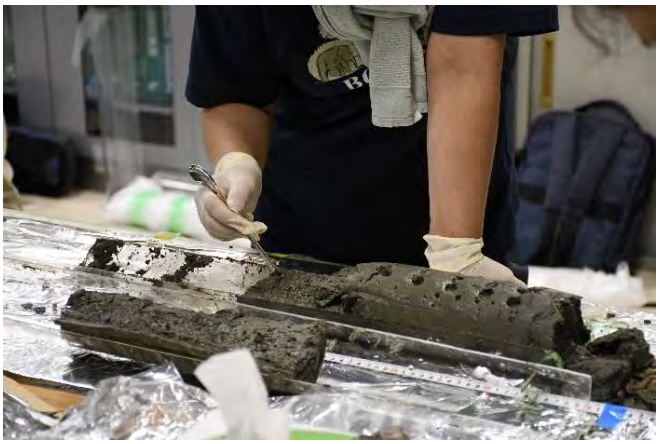


図 2　元寇船直上の堆積物コアを分割し、年代測定や微生物調査のために 2cm ごとのサンプリングをする様子。

引用文献

文化庁文化財第二課（2022）『水中遺跡ハンドブック』、文化庁文化財第二課。

（別紙様式-2）

緑の海仮説における検証：薩南諸島硫黄島海域における光環境と光合成生物分布の計測
Green sea hypothesis: Measurement of light environment and phototrophs under water around Iwo island

松尾太郎、名古屋大学・理学研究科

・研究目的

本研究は2025年に発表した、24億年前の大酸化イベント以前における光合成生物と地球表層の共進化を記述した「緑の海仮説」（文献1）を検証すべく、太古代の海洋と類似環境にある鹿児島県薩南諸島硫黄島の周辺海域においてフィールド調査を実施するものである。大酸化イベント以前に水中で誕生したシアノバクテリアによって水中での酸化が始まり、当時、水中に豊富に含まれていた還元的な鉄も酸化された。その後、酸化鉄の青色光の吸収によって光環境が緑に変化し、それに伴って緑の光が自然選択圧となって緑の光を利用する現在のシアノバクテリアが太古代の海で優勢になった、というものである。本仮説の検証において鍵となるのが、水中の酸化鉄によって形成される緑の光環境である。当時の光環境が再現されている場所が薩南諸島の硫黄島海域である。この海域では、浅瀬に熱水噴出孔が発見され、そこに水酸化鉄が降り積もっていることが確認されている。そこで、水中の透過光の光スペクトルと光合成生物の色素を水深ごとに計測し、光環境と色素の関係を検討する。現代の古環境と類似した光環境と光合成生物の分布に基づいて、大酸化イベント以前の光合成生物の進化に対して重要な示唆を与え、緑の海仮説を検証することを目指す。

・研究方法：

鹿児島大学との協力に基づいて、鹿児島大学の調査船および地元の漁船を利用して、薩南諸島の硫黄島周辺海域の複数地点において、水深ごとの透過光スペクトルを計測した。この複数地点は、水酸化鉄が含まれる緑の海域だけでなく、近傍の青の海域も含む。同時に採水を行い、酸化鉄の濃度分布と水に含まれる光合成生物の色素の種類を測定した。青と緑の海域における光合成色素の分布を比較することによって、光スペクトルと色素の相関の有無を調べた。

・研究結果：

2024年9月17日から20日の予定でフィールド調査を実施したが、台風接近に伴う天候不順のため日程を2日間に短縮して実施した。調査時間は非常に限られていたものの、水酸化鉄が非常に濃い茶色の海域における水深ごとのスペクトルと、青・青緑・茶色の海域における表層水を採取することに成功した。この表層水を濾過して、フローサイトメトリを実施することで緑の光を吸収する色素タンパク質（フィコエリスリン）の割合を明らかにすることに一部成功した。その結果、青→緑→茶色の順に緑の光を吸収するフィコエリスリンの割合が増加することが確認され、光環境と相関していることが明らかになった。特に、青色の海域にはフィコエリスリンを保有するシアノバクテリアの割合は全体の数%しかいないのに対し、茶色の海域では90%以上を占めており、その差が顕著であった（図1）。これらの海域は百メートルしか離れておらず、これが正しい場合には光環境によって種の選択が顕著に起こっていることを示す初めての例になり得るだろう。2025年度にはより網羅的なデータを取得して、論文として報告することを目指す。なお、フローサイトメトリーでは龍谷大学の協力を得て実施した。

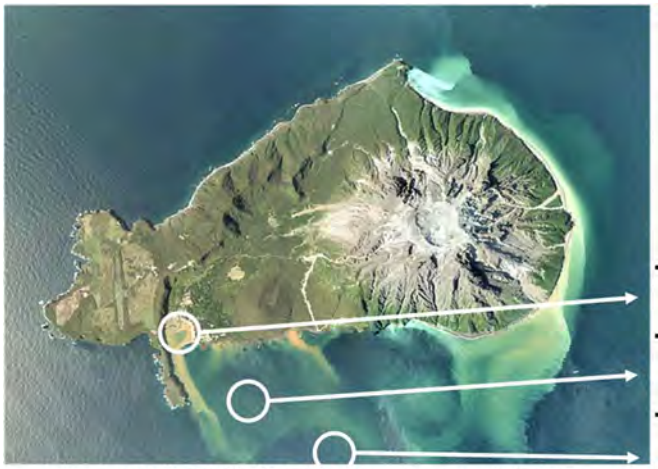
・成果発表

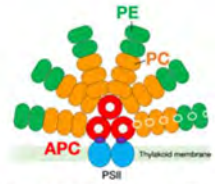
文献1:

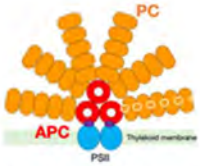
T. Matsuo, K. Ito-Miwa, Y. Hoshino, Y. I. Fujii, S. Kanno, K. J. Fujimoto, R. Tsuji, S. Takeda, C. Onami, C. Arai, Y. Yoshiyama, Y. Mino, Y. Kato, T. Yanai, Y. Fujita, S. Masuda, T.

Kakegawa & H. Miyashita, Nature Ecology & Evolution, 2025.

DOI: https://www.nature.com/articles/s41559-025-02637-3







	フィコエリスリンの割合	フィコシアニンのみの割合
茶色	65 – 90 %	10 – 35 %
青緑	40 %	60 %
青	4 – 8 %	92 – 96 %

図1. 青・青緑・茶色の海域における、緑から橙の光を吸収する色素タンパク質を持つシアノバクテリアの割合と橙の光のみを吸収する色素タンパク質を持つシアノバクテリアの割合.

デジタルデータを活用した文理融合研究の可能性検討
Investigation of the possibility of fusion research of humanities and sciences using digital data

田中幸恵，名古屋大学・附属図書館

1. 背景と目的

東海国立大学機構では，名古屋大学附属図書館を中心として「東海国立大学機構学術デジタルアーカイブ（以下，「機構デジタルアーカイブ」）」を構築し，2024年6月24日に一般公開を開始した。



図1. 機構デジタルアーカイブのトップ画面
（URL: https://da.adm.thers.ac.jp/）

機構デジタルアーカイブ構築は，東海国立大学機構デジタルユニバーシティ構想基本計画ならびに名古屋大学学術データ基盤整備基本計画における取組みの一つである。機構の構成員が収集・作成した画像や動画のデータセットを共有・公開し，研究者や一般市民の利活用に供するためのプラットフォームとして位置づけられている。

収載するコンテンツは，古文書など紙資料をデジタル化したものや標本画像，種々の写真や動画など，あらゆる分野のデータが対象となる。それらのコンテンツを元の研究領域に捉われず幅広く利用してもらうことで新たな研究が生み出されることが期待されている。

また，2024年4月1日に，名古屋大学において，「デジタル人文社会科学研究推進センター（以下，「DHSSセンター」）」が設立された。そのミッションの1つであるデジタルデータの積極的な公開と相互利活用に関しては，附属図書館も連携・協力予定である。また，学内他部局との連携も視野に入れており，この点で宇宙地球環境研究所融合研究戦略課題・DHSSセンター・機構デジタルアーカイブは文理融合研究を志向している。そこで，デジタルデータの利活用について立場の異なる三者間で意見交換等を実施し，新たな研究テーマの創出やデータ利活用のアイディアや学術基盤としての機構デジタルアーカイブの発展につながる種々の活動を行うこととした。

2. 実施内容概要

2-1. DHSSセンター教員会議での説明

日時：2024年9月6日（金）9:00-9:15
場所：Microsoft Teamsによるオンライン会議
内容：附属図書館より，「宇宙地球環境研究所「融合研究戦略課題」ご協力のお願い」と題し，機構デジタルアーカイブの宣伝を行うとともに，融合研究戦略課題遂行にあたり，協力をお願いする可能性がある旨説明を行い，質疑応答・意見交換を行った。主に次のような意見があった。
・デジタルコンテンツを研究素材として提供するだけでなく，資料の現物を美術館等に貸し出すなど，まずはシンプルに親しむ・楽しむ機会を設けられるとよいと思う。

2-2. DHSSセンター教員との意見交換会

日 時 ：2024年9月27日（金）16:00-17:00
場 所 ：DHSSセンター
参加者：日比嘉高教授（DHSSセンター/人文学研究科兼任），岩田直也准教授（DHSSセンター），田中幸恵，冨岡達治，小嶋悦子，眞野博和，我喜屋累（附属図書館）
内 容 ：附属図書館から，融合研究戦略課題の概要と現在の構想，機構デジタルアーカイブについて簡単に説明した後，意見交換を行った。意見交換では，主に次のような意見があった。
・テキスト化されていない画像データはその資料の専門外の人間には扱いづらいため，利用対象を広げるためにはまずはテキスト化に取り組むことが必要である。

・テキスト化の際にAIを活用できるとよいユースケースになるのではないか。
・人文社会系の最近の傾向として，電子化したいデータや公開したいデータベースの公開場所やメタデータの付け方，整理方法に悩みを抱えている人が多い。この点を，データ共有の知識が豊富な宇宙地球環境研究所教員と考えてみることも興味深く思う。

2-3. Joint Symposium of Space Climate 9 Symposium and ISEE Symposiumでの発表
日 時 ：2024年10月2日（水）12:25-12:40
場 所 ：名古屋大学理学南館　坂田・平田ホール
報告者：田中幸恵，我喜屋累（附属図書館），三好由純教授，森康則学術主任専門職（宇宙地球環境研究所）
発表タイトル：Exploring the potential uses of digital archive for the development of interdisciplinary research：based on the Tokai National Higher Education and Research System (THERS) Academic Digital Archive
内 容 ：「データレスキュー」を取り扱うセッションに登壇し，機構デジタルアーカイブと融合研究戦略課題について，英語で紹介した。

2-4. 学術研究・産学官連携推進本部URAとの意見交換会
日 時 ：2024年10月23日（水）14:30-15:30
場 所 ：TOIC NAGOYA（Tokai Open Innovation Complex）
参加者：沖原理沙，堤良恵，坂口菜朋子（学術研究・産学官連携推進本部），三好由純教授，森康則学術主任専門職（宇宙地球環境研究所），田中幸恵，冨岡達治，小嶋悦子，眞野博和，我喜屋累（附属図書館）
内 容 ：機構デジタルアーカイブを今後，学内外に宣伝しつつ，学内の学術資産を研究基盤として利用できるようにするための広報企画について，情報交換を行った。

2-5. 機構デジタルアーカイブ利用者アンケート
機構デジタルアーカイブの利用のされ方・今後の改善点の抽出などを主な目的とし，以下の要領でアンケート調査を実施した。
実施期間：2025年1月15日（水）～2025年3月2日（日）
対　象　：機構デジタルアーカイブの全利用者
方　法　：Microsoft FormsによるWebアンケート
総回答数：28件
主な回答内容：調査や研究に利用する教員・研究者からの回答が最も多かった。サイトそのものは見やすいが，検索システムの絞り込み機能等の細かい操作性については改善要望があった。また，今後の搭載コンテンツの充実に期待する意見もあった。

2-6. その他
本課題が目指すデジタルデータの利活用促進に関連する活動として，以下の取り組みを行った。
・情報戦略室の青木学聡教授を中心として，各種デジタルコンテンツ等の管理・流通のためのDOI利活用に関する意見交換を，情報戦略室・宇宙地球環境研究所・機構統括技術センター（コアファシリティプログラム）・附属図書館で不定期に実施した。
・名古屋市立大学の能勢正仁教授を中心として，研究データの被検索性の向上のため，太陽地球物理学分野の専門スキーマ（SPASEスキーマ）で記述されたメタデータを汎用メタデータスキーマ（JPCOARスキーマ）に変換して名古屋大学学術機関リポジトリに登録する取組みを宇宙地球環境研究所と附属図書館で実施した。

3. 今後の展望

機構デジタルアーカイブが分野を超えた融合研究に資するために，AIを活用したコンテンツのテキスト化など，具体的な取組みに着手していきたい。また，アンケート結果を精査して機能改善の検討と予算確保に努めるとともに，広報活動についてもURAと連携しながら実施の検討を進め，さらなる利用・活用範囲の拡大につなげていきたい。

また，宇宙地球環境研究所を中核拠点，DHSSセンターなどを参画機関とした，文部科学省共同利用・共同研究システム形成事業「学際領域展開ハブ形成プログラム」が2024年に採択された。同プログラムでは，歴史文献などのデータアーカイブ化を目指すなど本融合研究戦略課題との親和性も高いことから，本課題の発展的展開のために同プログラムとの連携も視野に入れる。

（別紙様式-2）

アルベドの融合科学〜国際宇宙ステーションから探るアルベドX線・ガンマ線・中性子線〜

Space-Earth Science fusion on Albedo X/Gamma rays and Neutrons observed from ISS

中澤知洋、名古屋大学素粒子宇宙起源研究所

１：研究目的

本研究は、２つの国際宇宙ステーション（ISS）搭載ミッションで、2026-2027年に相次いで打ち上げ予定の、「MoMoTarO-ISS実証」および「SUIM（旧名 XRPIX-MISSE)」で計測されるアルベドX線、ガンマ線、中性子線のデータ、さらに天体X線の地球大気吸収を、ISEEの磁気圏データと組み合わせる連携を軸として、高エネルギーアルベドの融合研究を行うことを目的とする。

地球大気の高エネルギーアルベドは、MeVガンマ線と高速中性子および熱中性子が強い。似たエネルギーの荷電粒子と異なり、この2 (or 3)種の粒子の計測、とくに他の粒子との弁別は容易ではないが、それぞれが異なる相互作用を通じて、X線およびMeVガンマ線の天文衛星のバックグラウンド源となる。荷電粒子由来のバックグラウンドを徹底的に除去する技術が進展しており、これらの成分が感度を支配する時代になっているため、高エネルギーアルベドの理解が重要であるが、そのモデル化はシンプルなものに止まり、時間変動なども取り込まれていない。

高エネルギーアルベドは宇宙線と物質の相互作用に起因するが、月面からの放射は銀河宇宙線や太陽フレア高エネルギー粒子の遠隔観測を可能とし、月面で水が多い地域では熱中性子が増えるなど月面探査の鍵も握る。バンアレン帯などの trapped proton/electron の起源ともされる。高エネルギーアルベドの生成は高層大気の状態が関わるはずであるが、高度100 km付近の大気の密度や組成、時間変化は、観測の難しさからよく分かったいない。これをX線の吸収というリモセンで探る研究が始まったところである。宇宙線と大気の相互作用は、もちろん大気ニュートリノのモデル化とも密接に関わるため、素粒子研究にもつながる。

これとは独立に大気中で30 MeV電子が生まれる雷ガンマ線現象も存在する。これは雷雲中で電子が電場加速されるもので、雲中で継続的にガンマ線が放射されるGlow、雷放電と同期する突発放射 Terrestrial Gamma-ray Flash (TGF)や電子ビーム Terrestrial Electron Beam (TBE)、そして2024年になって発見されたFlickering gamma-ray flashes (FGF)や極めて弱い Weak TGFなど多様な高エネルギー現象が観測される。スプライトやブルージェットなどの上層大気の transient luminous event (TLE) も雷放電に伴って観測される。いずれもその存在は確立したものの物理プロセスの解明には至っていない。

本研究の目的は、低軌道衛星や大気球実験における、大気ガンマ線・中性子計測、軌道上からのX線吸収計測、雷ガンマ線計測などを統合し、地球磁気圏や宇宙天気予報の研究分野と連携することで、いままでX線・ガンマ線天文系のミッションで「バックグラウンドとして捨てていた信号」「見えていたけれども、観測目的と関係ないための無視してきた信号」の中から、磁気圏および高層大気研究に寄与するサイエンスを抽出すること、そして後者の知見から天文系のバックグラウンド推定精度の革新的な向上や、上層大気高エネルギー粒子のモデルの高精度化を狙う。

２：研究方法

この分野は、「MoMoTarO-ISS実証」、「SUIM」のコラボレーション、「X線天文衛星の地食データを用いた上層大気密度測定」のコラボレーション、そして「雷ガンマ線測定」のコラボレーションを、それぞれISEEを巻き込む形で連携して立ち上げることが最初の一歩である。2024年度はこれらのコラボレーション各々の研究を進めるのと並行し、名古屋大学のGRAINE sub-GeVガンマ線気球実験、京都大学のSMILE MeV気球実験のチームにも積極的に声かけして、12/17にISEEにて最初の小ワークショップを開催した。「月面ガンマ線のMeV衛星COSIおよびGeV衛星Fermiによる遠隔計測の見積もり及び解析」という新しい視点も導入した。この結果が、上記の研究目的にまとめたものである。その内容は1年前よりも進展しており、今後もこの連携を通じて「地球大気の高エネルギーアルベド」の融合研究の定義を進める。

３：研究結果と考察

「MoMoTarO-ISS実証」実験は来年の打ち上げへ向けてハードウェアの開発が着々と進められ、すでにフライト品(FM)の設計を固めたBBM/EMの環境試験、性能試験が精力的に進められている（別予算）。一方で検出器システムの軌道上実証が主目的であることと、開発の忙しさもあり、実際にISS軌道からアルベド中性子（とガンマ線）がどのように見えるのか、そこにどのようなサイエンスが含まれるのかの

具体的な検討は大きくは進展していない。FMの準備が重要な時期でやむを得ないが、打ち上げを迎えて装置の動作実証に成功しデータが出てくれば、熱中性子を含めた軌道上中性子の良いサイエンスが期待できる。2025年度へ向けてその連携を進めることが必要である。

大気中性子のフラックスモデルには大きな不定性があるが、12/17に小ワークショップで、SMILEやGRAINE気球実験のデータの中に大気中性子の信号が含まれることが確認された。これらの信号は今は除去しているためしっかりと解析をしていないが、原理的には大気中性子を地上から大気球高度30-40 kmまでより高精度に連続して計測できる可能性が示された。MoMoTar0実験によるISS軌道からのデータと組み合わせることで、大気中性子モデルが刷新できる可能性がある。

「X線天文衛星の地食データを用いた上層大気密度測定」では、トンガフンガ火山噴火時の上層待機の密度低下が観測された成果が論文となった。論文執筆の中で、噴火などの突発現象に対しては高層大気の運動・時間変動が重要なことが示され、ますますISEEとの連携の必要性が示された。同様のサイエンスを狙う「SUIM」実験は、国際宇宙ステーションから上層大気ごしの宇宙X線背景放射の吸収を測定するもので、これも2027年のフライトへ向けてハードウェア開発に全力をかけているところである(別予算)。

「月面ガンマ線のMeV衛星COSIおよびGeV衛星Fermiによる遠隔計測の見積もり及び解析」では、2027年打ち上げのMeV観測衛星COSIの開発はNASA予算および国内の別予算で進められている。本研究のなかで、赤道軌道上から月面を遠隔観測することで、銀河宇宙線のガンマ線アルベドと、太陽フレア高エネルギー粒子(SEP)によるアルベドが観測できる可能性が高いことが示された。開発中の他の検出器によるSEPその場観測を組み合わせてどのようにサイエンスを得るか、さらなる検討が必要である。

雷ガンマ線関連では、名大のグループがTGFの地上多点観測に成功するなど個別の研究は大きく進展した（別予算）。なおISEEの気象研究者とはすでに連携している。別予算で進めてきた過去データの解析では、「上空向きのマルチパルスTGFの逆行放射（陽電子由来）を捉えた結果」をまとめ論文としたが、これにより「宇宙向きTGFを、地上側から同時に計測できる」ことが実証された。雷ガンマ線関連では、2025年2月ごろに２回目の小ワークショップで議論する予定であったが、日程調整ができず2025/4 or 5月に実施する方向で進めている。宇宙からの観測と組み合わせつつ、地上観測でこそ実現する観測と組み合わせて、雷ガンマ線の「物理」に迫るアプローチの重要性が確認された。原理がわかることで、将来的には金星や木星、土星での観測可能性も検討したい。

2024年度の大きな反省として、ISEEの気象分野、磁気圏分野と深く連携するところまで推進できなかった点が挙げられる。一方で本研究の方向性に多様なサイエンスが見えることが確認でき、高層大気や低軌道における高エネルギーアルベド計測の横の連携は立ち上がりつつあることから、2025年度は、本研究の意義と可能性をしっかり広報・共有し、秋に予定するワークショップをより大きくして融合研究の立ちあげを推進する。天文衛星が検出器バックグラウンドを検討するときに、月面探査計画での被曝や高エネルギーアルベドを研究するときに、宇宙天気予報と絡んで高層大気の理解を深めたいときに、そして雷ガンマ線やTLEと上層大気との関わりを知りたいときに、国内の研究者が情報共有をする場を提供できると良いと考えている。また、オーロラのX線計測を目指すLAMP2実験の関係者とも連携を確認したところであり、今はまだ連携できていない分野との連携を広げてゆきたい。

[成果発表]

・査読論文：Satoru Katsuda1，Hiroyuki Shinagawa2，Hitoshi Fujiwara3, Hidekatsu Jin4，Yasunobu Miyoshi5，Yoshizumi Miyoshi6，Yuko Motizuki1,7, Motoki Nakajima8, Kazuhiro Nakazawa9，Kumiko K. Nobukawa10, Yuichi Otsuka6，Atsushi Shinbori6，Takuya Sori6，Chihiro Tao4，Makoto S. Tashiro1,11，Yuuki Wada12，and Takaya Yamawaki, “X‐Raying Neutral Density Disturbances in the Mesosphere and Lower Thermosphere Induced by the 2022 Hunga‐Tonga Volcano Eruption‐Explosion”, GRL Vol. 51, 26 October 2024

・学会発表：大口 真奈里ら「2023年11月18日に北陸で発生した TGFのチェレンコフ検出器による 指向性観測」、JpGU 2024, 幕張メッセ, 2024/5/29

・学会発表：伊藤耶馬斗 (近畿大学)ら「超高層大気を観測する ISS 曝露部搭載 X 線カメラ SUIM の非 X 線バックグラウンドのシミュレーション」、日本天文学会 2025春の年会、水戸市、2025/3/19

・学会発表：大熊佳吾 (名大理)ら「COSI 衛星による月面 MeV ガンマ線観測: 宇宙線と Solar Energetic Particle イベントの間接観測の検討」、日本天文学会 2025春の年会、水戸市、2025/3/19、など

（別紙様式-2）

レーザー分光による放射性炭素同位体分析の定量性評価に関する研究
Study on quantitative evaluation of radiocarbon analysis based on laser spectroscopy

富田英生、名古屋大学・大学院工学研究科総合エネルギー工学専攻

【本研究の背景と目的】

放射性炭素（^{14}C）は生体を構成する元素の同位体の中で唯一、長半減期の放射性核種であるため、生体や環境トレーサーとして活用されている。樹木年輪等に記録された過去の大気^{14}C濃度の僅かな変動を解析することで、気候変動や過去の太陽活動を明らかにする研究がなされているが、大気の^{14}C濃度はおおよそ一定であるため、現代に育成された植物を用いて作られたバイオマス資源と太古の植物由来の化石燃料（を元に作られた資源）では、^{14}C濃度が大きく異なる。このため、有機資源の^{14}C濃度を測定することにより、バイオベース度を評価することができる。また、^{14}Cは薬物動態評価や農薬挙動の評価などにも応用されている。これまで、これらの分析には加速器質量分析（AMS）が用いられてきたが、その分析コストが普及を妨げる要因の一つとなっている。本課題代表者らは、超高感度レーザー吸収分光（CRDS）に基づく新しい^{14}C分析法（^{14}C-CRDS）を開発している。本手法が確立されれば、年代測定ほどのアバンダンス感度が必要ない試料の分析に適用でき、^{14}Cを用いた応用の普及を促すブレークスルーになりえる。そこで、本研究では、^{14}C-CRDSによる定量性を評価することを目的とした。

【実施項目】

^{14}C-CRDS分析による定量分析のための分析装置改良

前年度の研究において、定量分析のためには測定ガスの温度制御が必要であることが示唆された。そこで、工学研究科所有の中赤外 CRDS 装置を用いて、システムの温度変化が同位体測定結果へ与える影響の検討を行った。CO_2 サンプルガスを導入し、吸収スペクトルより同位体分子の分子数密度を測定する際、分光セル、試料導入部、室温などの温度変化を同時に取得し、測定結果と温度変化の相関を求めた。その結果、分子数密度の測定結果は、分光セルの温度を安定化すると相関がなくなることが確認できた。一方で、試料導入系の温度と強い相関があることが示された。バッファガスの温度を安定化することで、分光システムとしての安定性が改善され、適切な積分時間を設けた場合、$4\times10^3\ s^{-1}$ の吸収ピークについて 0.1‰の精度で吸収量を測定可能なシステムとなることが示された。また、後述の共同研究先において、^{14}C-CRDS と AMS の相互比較に向けた検証用試料の ^{14}C 分析を行った。

【今後の展望】

本研究を発展させた共同研究が開始され、さらなる検討を進めることとなった。今後、本手法を用いた放射性炭素同位体分析の定量性を示すとともに、様々な分野への応用展開が望まれる。

【成果発表】

Kota Tsuge, Erika Takayama, Momo Mukai, Osamu Abe, Ryu Uemura, Hideki Tomita, “Development of cavity ringdown spectrometer using optical feedbacked quantum cascade laser for clumped CO_2 measurement”, FLAIR 2024（Field Laser Applications in Industry and Research）（イタリア・アッシジ、2024年 9 月）.

柘植紘汰, 高山恵理佳, 橋本大輝, 植村立, 阿部理, 富田英生, 「中赤外キャビティリングダウン分光に基づく多重置換同位体分子分析法の開発」, 第22回同位体科学研究会（芝浦工業大学、2025年3月）.

（別紙様式-2）

宇宙開発に伴う大気汚染評価
Investigation of Air Pollution Associated with Space Developments

持田 陸宏，名古屋大学・宇宙地球環境研究所

【研究の背景・目的】

運用を終了した人工衛星などの宇宙ゴミは，大気再突入によりエアロゾル粒子を発生する．衛星コンステレーションの構築等にともなう将来の宇宙ゴミの爆発的増加は，エアロゾルの発生・輸送を通して大気環境に影響を及ぼすことが考えられるが（図1），その影響を把握するための科学的知見は乏しい．そこで本融合研究では，

(1) 大気圏再突入環境模擬装置の構築と評価を行い（市原），アブレーション微粒子捕集装置を作製して微粒子の捕集実験と得られた試料の解析を行う（市原・上田・持田）．

(2) 化学気候モデルを用いるアプローチで，宇宙ゴミの発生を通した長期的な宇宙開発が及ぼす気候影響を推定するための基礎的知見を取得する（須藤）．

(3) 環境影響の抑制が期待できる人工衛星の構造材料や，再突入地点と気候影響との関係など，人工衛星の材料・運用に関わる考察の可能性を議論する（市原・上田・持田・長濵）．

の3つの取り組みを構想し，この実施のための予備的な成果の獲得や，研究指針の具体化を目指している．なお，本研究は市原が代表を務めて進めてきたが，所属機関の変更に伴い持田が代表者を引き継いだ．現在までの室内実験に基づく検討は，引き続き市原の主導により進めている．

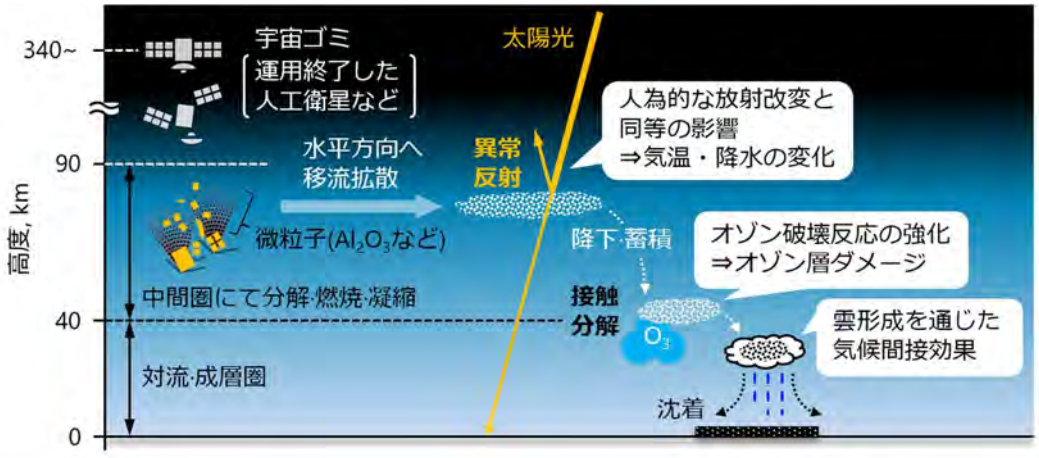


図1. 宇宙ゴミ由来のエアロゾルが地球大気に及ぼす影響

【今年度の活動および成果】

高エンタルピー気流生成部（図2）を有する大気圏再突入環境模擬装置を用いた粒子生成実験を実施した．この実験では，大気圏再突入時に生じる加熱環境を模擬すべく，直径1 m，直胴部長さ2.6 mの真空チャンバーの上流端フランジにアークプラズマ源を設置した．コンプレッサーより供給された作動ガス（空気，流量30 slm）はノズル型陽極とハフニウム陰極との間で生じるアーク放電（投入電力1.9 kW）により加熱され，設計Mach数5.7の超音速ノズル（出口直径20 mm）を介して加速・排気される．宇宙ゴミを模した供試体（純アルミ製球体，直径6 mm）はノズル出口から下流5 mmの位置にノズルと同軸上となるよう設置した．アークプラズマ源作動時のチャンバー内圧力および供試体表面温度はピ

ラニ真空計と放射温度計を用いてそれぞれ測定した．発生した粒子は供試体下流端より10 mmの位置に設置した銅板（実効捕集面積38 mm², 厚さ0.2 mm）に捕集し，電子顕微鏡観察およびエネルギー分散型X線分光法による元素分析を行った．

アークプラズマ源作動時のチャンバー内圧力を123 Paとした場合のある時刻におけるサーモカメラによる供試体表面温度測定結果と元素分析を含む捕集粒子の電子顕微鏡画像とをそれぞれ図3,4に示す．アークプラズマ源が作動すると同時に供試体表面温度は上昇し，純アルミの融点を上回る最高1504℃となった．捕集されたアルミ粒子は銅や酸素原子と混在して離散的に検出され捕集版上でアルミ粒子が堆積する様子は見られなかった．

【まとめと展望】

これまで，大気圏再突入環境模擬装置の構築からエアロゾル粒子の発生と捕集，形態および組成の解析まで進んでいる．次年度以降は九州工業大学における粒子生成と捕集，名古屋大学での粒子分析とに分担し研究を進める予定である．また，学内外の関連研究者を交えたミーティングによる意見交換等を通し，宇宙ゴミ生成における太陽活動の影響や宇宙開発に係る複合的な環境影響の評価などを対象に発展させるプロジェクトの可能性について検討したい．

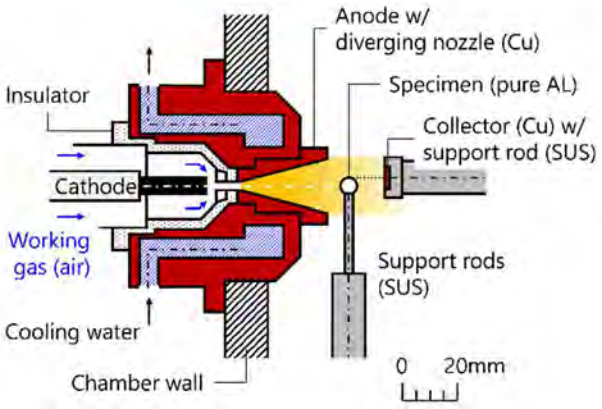


図 2. アーク源及び供試体･捕集板の概要図

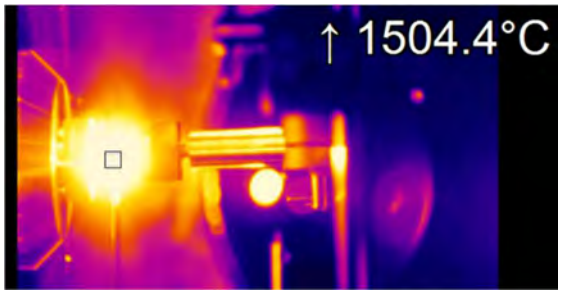


図 3. サーモカメラによる供試体表面温度の測定

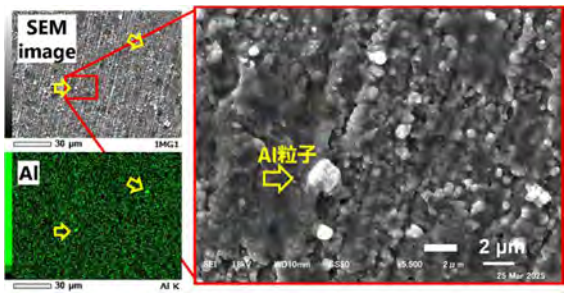


図 4. SEM-EDS による捕集粒子解析

（別紙様式-4）

CMOSイメージセンサーを利用した生細胞内元素トレーサイメージングシステムの構築英文課題名

菅野里美、名古屋大学・高等研究院

【研究目的】
生物の構成成分である元素は、生体内で適材適所に輸送・蓄積されることで生命活動が維持される。また、元素は生体内のさまざまな反応を引き起こすシグナルでもある。そのため、その局在や挙動を理解することは生命科学分野において重要である。近年の分子生物学的手法の発展により、生きた細胞内の遺伝子、タンパク質の局在や挙動の解析技術の発展は目覚しい。しかしながら、元素輸送を担う遺伝子やタンパク質の生体内の局在が分かっても、実際の輸送基質（元素）挙動をリアルタイムに検証するためのイメージングツールはなく、元素解析はサンプルを固定、分解して測定する破壊的解析が中心である。そのため、私たちは先行研究において生体での放射性元素トレーサ挙動をイメージングする独自のシステムを立ち上げ、生きた植物での元素輸送解析を進めてきた。システムは、放射線をシンチレータで変換し高感度カメラで検出するもので0.5-数分の積算画像を連続取得でき、その空間分解能は、組織間（数細胞の塊間の差異）のトレーサ挙動を検出できる世界で唯一の実験系である。しかしながら、細胞内の挙動を解析できるレベルには達していない。そのため、空間分解能、検出感度を向上させて生細胞内の元素挙動をイメージングし、分子生物学の蛍光ツールと融合できればユニークな実験系となり、生物学的に新しい発見に繋がることが期待できる。これまでの実験ではシンチレータを介することでシグナルがぼやけることが問題であった。放射線の種類によってはCMOSイメージセンサでの直接検出が可能であり、空間分解能が高められることが考えられたことから、本研究は、植物一細胞内に取り込ませた放射性核種をCMOSイメージセンサでの細胞内放射線直接検出実験系を立ち上げ、細胞内のトレーサ挙動イメージングへ応用できるか検証することを目的とする。

【方法】
半導体に厚みのあるActive pixcel typeのCMOSエリアイメージセンサ、浜松ホトニクスS14501（画素サイズ7.4 x 7.4 μm）、小さな画素サイズの製品を展開しているGpxcel社のCMOSイメージセンサGSENSE2020BSI（画素サイズ6.5 x 6.5 μm）でのβ線の検出を試みる。P-32（1.71MeV, オルトリン酸溶液）10 kBqをろ紙にスポットしたものを線源とした。

【結果】
本共同研究以前（2020年）に「CMOSイメージセンサーで直接検出することができれば、Pixelサイズが小さなもの（数μm）を使うことで生細胞内（約20μm x 10μm）の元素分布が観られるのではないか？」というアイディアについて、浜松ホトニクスの協力によりデモ機での検出を試したことがあったが、専門知識の不足から十分な検証ができずに実験を打ち切っていた。そこで本実験では、上記の浜松ホトニクスCMOSイメージセンサーについて2020年当時のデモ評価装置を再度お借りして検出を試み、P-32のβ線のシグナルが取れていることを確認することができた。しかしながら、浜松ホトニクスCMOSイメージセンサー読み取りの回路を独自製作することが容易ではなかったため、同様のCMOSセンサのうち評価ボードが一体となったGpxcel社の製品についても検討し、CMOSイメージセンサGSENSE2020BSI（画素サイズ6.5 x 6.5 μm）を購入、納品されたところである。次年度は引き続き検出テストを進め、CMOSセンサ前に設置されているガラスの有無の検証、生体サンプルでの検出検証を行いたい。

【成果発表】
1) 菅野里美、Phosphate transport and response mechanisms revealed by micro-regional tracer imaging、第66回日本植物生理学会年会シンポジウム”Toward Elucidating PHYTOCOSM: Multiscale Symbioses Between Photosynthetic and Heterotrophic Organisms on Earth” 2025年3月14日金沢大学
2) 菅野里美、微小領域のベータ線イメージングからわかるリン酸輸送・応答機構、第72回応用物理学会春季学術講演会シンポジウム「植物RIイメージング技術の開発と農業への応用」 2025年3月17日 東京理科大学
3) 特開202501476（2025年1月30日）放射線の画像化器具、画像化装置および画像化方法並びに光学顕微鏡

（別紙様式-2）

不確かな社会を生き抜くための意思決定能力の育成を志向した気候変動のカリキュラム開発

Development of a climate change curriculum oriented to the development of decision-making skills to survive in a uncertain society

内海　志典　岐阜大学教育学部

【研究目的】

本研究の目的は，気候変動に関するカリキュラム開発を行い，２年後に，中学校理科教員が授業実践できる中学校理科において使用される気候変動の教材・教具の作成をすることである。

【研究方法】

2024年度は，理科教員養成課程大学生（以下，大学生とする）を対象としたカリキュラム開発を行い，地球環境の研究者の実践を含む講義を試行する。講義の中で，大学生に気候変動を取り扱った中学校理科の授業の簡易版カリキュラムを作成させることで，中学校理科における授業構想力を育成する。

2025年度は，大学生への実践の成果を基に，中学生を対象として，カリキュラム開発を行い，中学校において，授業実践を行う。2026年度には，カリキュラム開発や大学生の講義から得られた知見を基に，中学校の理科教員が使用できる気候変動の教材・教具を作成する。

【調査/実践内容】

1. Ｉ SEE Project（将来への足場かけのスキル開発のカリキュラム）についての調査

内海がイタリアのボローニャ大学 Levrini 教授を訪問し，インタビュー調査を含め，I SEE Projectのカリキュラムについて調査を，2024年7月10日（水）～12日（金）の４日間行った。

２.講義の実践

大学生を対象としたカリキュラム開発を行い，岐阜大学教育学部２年次生を対象として講義を実践した。大学生は，表１の講義の流れに沿って，各実践の終了後に，ワークシートの該当箇所と，その時点での未来について，「明るい：暗い」の割合を10%刻みで表し，「明るい」と「暗い」割合の合計が計100%になるように回答させた。

表１講義と課題

実　践	実践日/提出日	実 践 者	ワークシート
講義Ⅰ	10月7日　（月）	内海 志典	A 現段階の自分が描く未来
課題Ⅰ	10月13月（日）	内海 志典	B 調べたこと
講義Ⅱ	10月15日（火）	内海 志典	C 気候変動の要因（フィッシュボーン図） D 因果関係 E 気候変動の対策についての自分の考え F 気候変動の対策についての他者の考え
講義Ⅲ	10月28日（月）	檜山 哲哉 / 内海 志典	G-1 専門家の講義を聞いて考えたこと
講義Ⅳ	11月6日　（水）	菊地 亮太 / 内海 志典	G-2 専門家の講義を聞いて考えたこと
講義Ⅴ	11月11月（月）	内海 志典	H 気候変動の対策についての他者の考え I 気候変動の対策についての自分の考え J 未来の見方 K 最終的に自分が描いた未来
課題Ⅱ	11月13月（水）	内海 志典	L 気候変動の要因（フィッシュボーン図） M 因果関係
課題Ⅲ	11月16月（土）	内海 志典	N 単元指導計画の作成 O 学習指導案の作成

【研究結果】

1. I SEE Project（将来への足場かけのスキル開発のカリキュラム）についての調査

I SEE Projectは，気候変動の学習を通して，「将来への認識」を深め，将来への足場かけとして機能するスキルの育成を目指していることを明らかにした。このカリキュラムでは，気候変動の学習を通して，「可能性がある未来（possible futures）」，「もっともらしい未来（plausible futures）」，「確からしい未来 （probable futures）」といった未来を考える教育を行っていることを明らかにした。

2.大学生への講義実践

（1）気候変動の観点から学生が描く未来

講義実践／課題の開始段階と最終段階において，学生が描く未来が「明るい」と考えている割合を図１に示す。

（2）実践後の学生の意識

講義実践／課題実施後の学生の意識について，肯定的な考えの割合を表２に示す。肯定的な考えの割合は，「全くそうだと思う」と「そうだと思う」の割合の合計とした。

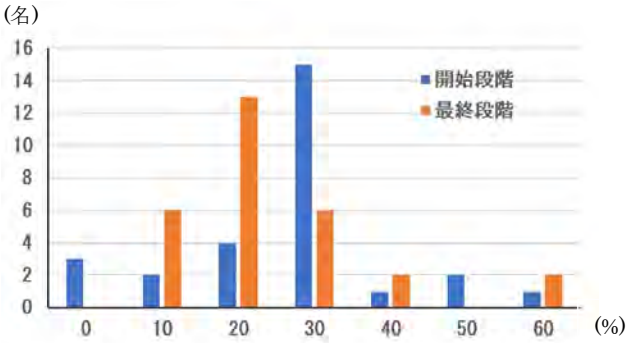


図１ 学生が描く未来が「明るい」と考えている割合
（*N*＝28）

表２ 講義実践／課題後の学生の意識 （*N*＝28）

質　問	肯定的な考えの割合(%)
Q1.専門家の講義は，自分の未来についての考えに影響したと思いますか。	96.4
Q2.講義は，あなたの現在からの行動に影響したと思いますか。	85.7
Q3.講義は，自分の未来についての考えについて，影響したと思いますか。	75.0
Q4.答えが１つではない（気候変動の）問題について，どのように考えたらよいか，理解できましたか。	92.9

【考察】

講義の開始段階と最終段階において，学生が描く未来が「明るい」と考えている割合の平均値は，それぞれ26.6%，26.0%で，必ずしも「明るい」ものではない。学生が描いた未来は，気候変動について考えることで，未来が「明るい」と考える割合は減少している。これは，学生が気候変動の観点から未来を考えることが，容易ではないと認識したからではないかと考えられる。

専門家の講義は，自分の未来についての考えに影響したと思うと回答した学生の割合は，96.4%でかなり高い。また，講義の効果については，講義が自分の未来についての考えについて影響したと思うと回答した学生の割合は75.0%，講義があなたの現在からの行動に影響したと思うと回答した学生の割合は85.7%であった。今回の実践において，気候変動の観点から未来についての考えることで，自分の未来についての考えや，現在からの行動について影響を与えたと考えられる。さらに，答えが１つではない（気候変動の）問題についてどのように考えたらよいか理解できたかについての肯定的な考えの割合が92.9%であったことから，答えが１つではない問題についてどのように対応していけばよいか理解をさせることができた。以上のことから，今回の実践は，一定の効果があったと考えられる。

【まとめ】

実践により，気候変動の観点から学生に「明るい」未来を描かせることは容易ではない。しかしながら，講義実践や課題の実施を行うと，学生に自分の未来についての考えや，現在からの行動について考えさせることにつながり，より良い未来にしなければならないといった意識を持たせることができることが示唆される。

【成果発表】

特になし。

（別紙様式-2）

持続可能な開発のモニタリングのための衛星データと社会経済データの統合
Integrating satellite data with socioeconomic data for monitoring sustainable development

MENDEZ Carlos, 名古屋大学 大学院国際開発研究科

研究目的

この研究プロジェクトの目的は、データに乏しい国々における持続可能な開発の取り組みを監視・評価するために、衛星データと社会経済データを統合する学際的な枠組みを調査・開発することです。リモートセンシングデータと社会経済指標のギャップを埋めることで、環境変化と経済発展の間の複雑な相互作用の理解を深めることを目的としています。

研究方法（使用した共同利用装置・施設等を含む）

2024年11月2日、名古屋大学のアジアサテライトキャンパス研究所（ASCI）、国際開発研究科（GSID）、宇宙地球環境研究所（ISEE）が、カンボジアの国連開発計画（UNDP）および宇宙航空研究開発機構（JAXA）と協力して、「カンボジアにおける持続可能な開発を監視するための衛星データと社会経済データの統合」というテーマで国際的かつ学際的な研究セミナーをカンボジア・プノンペンにて開催しました。

研究結果、考察、まとめ

このセミナーでは、衛星画像、社会経済調査、行政データを統合してカンボジアにおける持続可能な開発を監視する革新的なアプローチが取り上げられました。プログラムでは、名古屋大学、UNDP カンボジア、JAXA（宇宙航空研究開発機構）などのさまざまな機関からの著名な講演者が講演を行い、社会経済的な調査と人工衛星観測を用いた経済モニタリングによる貧困脆弱性マッピングの作成、さらにはこの分野における人工知能の応用に関する研究成果が発表されました。

特に共同研究の機会を促進することに焦点を当て、学際的なパートナーシップを促進するための専用ネットワーキングセッションも開催しました。このセミナーでは、参加者間の積極的な交流を促進し、新しい研究イニシアチブの発展や国際的な長期的な専門的関係の確立を目指しており、このような交流の場が新たな共同研究につながりました。

イベントの最終セッションでは、名古屋大学の Carlos Mendez がモデレーターを務め、「地理空間的社会経済開発を研究するための学際的ネットワーク構築」に関するパネルディスカッションが行われました。この議論では、UNDP、名古屋大学（GSID および ISEE）、JAXA の専門家が一堂に会し、機関間の協力や持続可能な開発研究における地理空間技術の実際的な応用に重点を置いたセミナーのテーマが強調されました。

これらの活動を通じて、衛星観測と社会経済学調査と行政・国際機関の連携が社会問題の解決に重要な役割を果たせることが共通の認識となり、セミナー後も JAXA からは様々な衛星データのカンボジア

における社会問題解決への利用の検討と提案がなされた。特に、カンボジアでは大きな問題となっている地雷除去とその効果の評価などへの衛星データの利用についての議論へと発展しており、多くのステークホルダーを巻き込んだ大きな研究へと発展する可能性があります。

成果発表

- Mendez Carlos, Monitoring Economic Development from Outer Space, International and interdisciplinary research seminar ASCI-GSID-ISEE-JAXA-UNDP Cambodia 2024: Integrating satellite and socioeconomic data for monitoring sustainable development in Cambodia, Hotel Emion Phnom Penh, Cambodia. 2024-11-02.

- Mendez Carlos, Building an Interdisciplinary Network to Study Geospatial Socioeconomic Development (Panel Discussion), International and interdisciplinary research seminar ASCI-GSID-ISEE-JAXA-UNDP Cambodia 2024: Integrating satellite and socioeconomic data for monitoring sustainable development in Cambodia, Hotel Emion Phnom Penh, Cambodia. 2024-11-02.

- Takahashi Nobuhiro, Building an Interdisciplinary Network to Study Geospatial Socioeconomic Development (Panel Discussion), International and interdisciplinary research seminar ASCI-GSID-ISEE-JAXA-UNDP Cambodia 2024: Integrating satellite and socioeconomic data for monitoring sustainable development in Cambodia, Hotel Emion Phnom Penh, Cambodia. 2024-11-02.

セミナーの記録 URL: https://lu.ma/78ycejv0



セミナーの写真



（別紙様式-２）

太陽系年代学の進展と放射線環境変動研究との融合
Advances in Solar System Chronology and Integration with Studies of the Radiation Environmental Changes

（代表者）渡邊 誠一郎、東海国立大学機構名古屋大学・大学院環境学研究科

【研究メンバー】渡邊の他、城野 信一、日高 洋、橋口 未奈子、齊藤 天晴（以上、環境学研究科）
三好 由純、加藤 丈典、岩井 一正（左記3名、宇宙地球環境研究所）

【研究目的】太陽系年代学と太陽系放射線環境の変動研究を融合させ、太陽系進化を理解することを大目的とする。「はやぶさ2」が持ち帰った小惑星試料の分析から、太陽系年代学には、いくつか検討すべき課題があることがわかった。太陽系の初期同位体比の空間分布、母天体の水質変成年代の相互矛盾、事後の年代擾乱の可能性、銀河宇宙線生成核種の深度依存性などである。これらの課題は同位体計測の高精度化によって顕在化してきた側面があり、太陽系進化の各種年代をより精密に決定していくためにはその解明が求められる。よって、これらの問題を解決するための新たな年代測定法、年代較正法、年代をリセットする過程などを検討する。さらに、宇宙線生成核種を使った宇宙線照射年代の精確な理解についても検討することで、太陽系における放射線環境の変動などを知る方法論を議論する。

【研究方法】2024年度は4回（4月21日、8月28日，12月6日、2月28日）研究会を開催し、3人の講師を招聘した。第1回「宇宙線生成核種：月からRyugu」西泉 邦彦（UC Berkeley）、第2回「若い太陽型星の恒星風やCMEから知る太陽圏進化」行方 宏介（京都大学）、第3回「LA-ICP-MSを用いた同位体比分析」仁木 創太（名古屋大学ISEE）。それぞれの講演の後に、議論を行った。さらに研究メンバーのみによる第4回研究会を含めて、既存の太陽系の年代測定法を整理・比較し、その問題点や誤差を再検討するとともに、新たな年代測定法の適用の可能性や宇宙試料での放射線環境変動の検出、さらには45億年にわたる太陽圏の進化などをテーマに幅広く議論を行った。また、日本惑星科学会秋季講演会などの場で、関係する研究者と討議を重ねた[4－9]。

【研究結果】すでに進めていたリュウグウ試料の鉱物構成を説明する水質変成条件を明らかにする化学平衡計算に、本課題の年代学的成果を加味して、研究をまとめ出版した[1]。また、本課題の議論を踏まえた「はやぶさ2」帰還試料の制約条件を満たす太陽系形成論に関する講演・学会発表を行った[4, 6]。さらにアモルファス氷粒子の焼結による成長を調べ[2, 7, 8]、それを二段階の微惑星形成モデルにつなげる研究も進めている。また、太陽系での同位体比分布に見られる三分性（太陽系物質は，同位対比から、NC, CC, CIと呼ばれる3つのカテゴリーに分けられる）を、ダストから惑星への成長過程から明らかにする研究は、本課題での議論も一つの土台として、渡邊が代表者の科研費基盤研究(B)として2024年度から進めている。今年度の成果としては、サブミクロンサイズのダスト（固体微粒子）から巨大惑星コア（地球質量の10倍程度）までをシームレスに計算できるコードに各領域・時刻の天体が材料物質として初期にどこにあったダストを集めたかを追跡できる機能を付加した。これにより、日心距離と天体質量の二次元図上に天体の材料物質質量平均された初期位置を面密度とともに表示する動画を作成した（Kobayashi & Watanabe 2025,投稿準備中. 図1に動画のスナップショットを示す）。この動画からは、連続的な面密度分布を持つ原始惑星系円盤で、初期ダストが動径方向に同位体比勾配を持っていたなら、集積天体の同位体比は、動径位置よりも、天体質量に強く依存することが明らかになり、太陽系年代学との比較を進めている。他にも、太陽風の三次元構造・時間変動を加味した太陽圏モデルでの銀河宇宙線量を推定手法の検討や、宇宙線照射に伴う中性子捕獲反応による月面試料のYb同位体変動検出のための増幅回路による同位対比測定高感度化、地球外有機物の年代測定法の各種検討、惑星物質の中性子エネルギースペクトルの化学組成依存性の検討などが、今年度、研究メンバーによって行われた。

【今後の展望】本課題は今年度が2年目のため終了するが、本課題を通じて集約された１つのテーマとして「隕石観察による過去～現在の宇宙環境および太陽活動の変動の理解と暗黒物質の探索」を、橋口を代表者として、2025年度の融合研究戦略課題ストラテジー型として申請を行った。これはパラサイト隕石（石鉄隕石の一種）中のかんらん石中に銀河宇宙線（GCR）トラックを探し、GCRフラックスの変動や太陽活動の変動について制約を与えるという野心的な計画である。トラック検出手法の確立やバックグラウンドの評価など課題は多いが、ぜひとも成果につなげたい。

【成果論文リスト】

[1] T. Shibuya, Y. Sekine, S. Kikuchi, H. Kurokawa, K. Fukushi, T. Nakamura, S. Watanabe (2024), "Aqueous alteration in icy planetesimals: The effect of outward transport of gaseous hydrogen", *Geochimica et Cosmochimica Acta* **374**, 264－283.

[2] S. Sirono (2025), “Growth of amorphous ice grains by sintering in a protoplanetary disk”, *Icarus* **427**, 116370.

[3] T. Yuguchi, T. Kato, Y. Ogita, M. Watanabe, H. Yamazaki, A. Kato, D. Itoh, T. Yokoyama, S. Sakata, T. Ohno, “Crystallization processes of quartz in a granitic magma: Implications for the magma chamber processes of Okueyama granite, Kyushu, Japan”, Journal of Asian Earth Sciences, **265**, 106091.

【学会・ワークショップ・講演会等発表リスト】

[4] 渡邊 誠一郎，「はやぶさ2が明らかにした太陽系形成過程」，CPSセミナー，神戸大学惑星科学研究センター（神戸市），2024/07/24.

[5] 加藤 丈典，「電子プローブマイクロアナライザー（ＥＰＭＡ）による極微量元素定量分析の測定条件決定：電流と計数時間」，一般社団法人日本鉱物科学会2024年年会，名古屋大学東山キャンパス（名古屋市），2024/09/12.

[6] 渡邊 誠一郎，「はやぶさ2探査と帰還試料分析から得られた制約条件を満たす太陽系形成論」，日本惑星科学会秋季講演会，九州大学医学部百年講堂（福岡市），2024/09/25.

[7] 城野 信一，「アモルファス氷粒子の焼結による成長」，日本惑星科学会秋季講演会，九州大学医学部百年講堂（福岡市），2024/09/26.

[8] S. Sirono, “Thermal evolution of icy dust aggregates through the growth of ice particles”, Pebbles in planet formation, 国立天文台（三鷹市），2025/02/10.

[9] 加藤 丈典，「質量吸収係数の闇」，変成岩などシンポジウム2025，東北大学青葉山キャンパス（仙台市），2025/3/12-14.

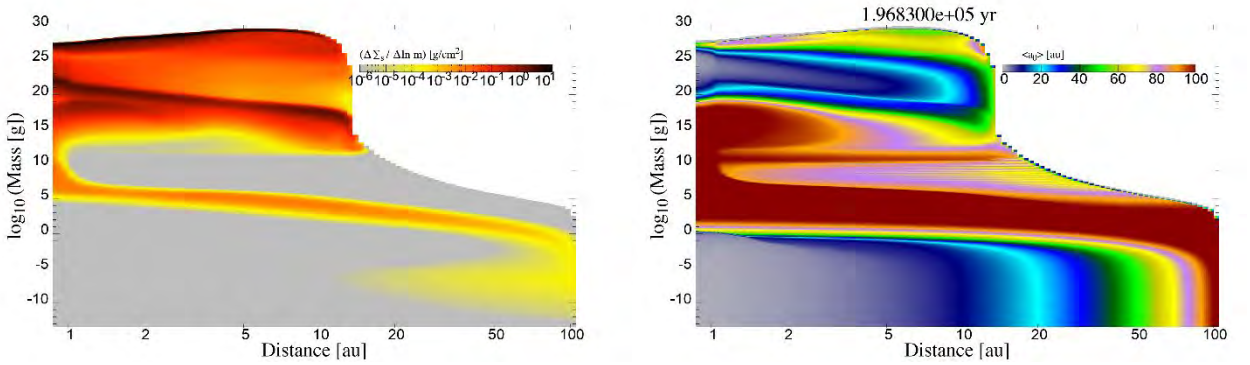


図1：太陽系同位体比分布を探る惑星成長過程シミュレーション例（Kobayashi & Watanabe, 2025, in preparation）固体天体（ダスト・惑星）の太陽からの距離 r（横軸）と天体質量 m（縦軸）に対する質量毎の固体面密度$\Delta\Sigma_s/\Delta\ln m$（左図）と質量平均された材料物質の初期位置〈$a_0$〉（右図）を示す。簡単のため、この例では、原始惑星系円盤ガス面密度はr^{-1} に比例、初期ガス・固体（氷+岩石）比は氷蒸発は無視して一定としている。ダスト成長開始から19.7万年後のスナップショット。左図で水平からやや左上がりに伸びた高面密度帯は，下（低質量側）から（太陽方向へ落下する）ペブル（ダスト集合体），微惑星，原始惑星（巨大惑星固体コア）に相当する。

（別紙様式-2）

核融合理論と磁気圏プラズマの高性能計算モデリングの融合研究
Interdisciplinary Research on Nuclear Fusion Theory and HPC Modeling of Magnetospheric Plasma

渡邉智彦　名古屋大学・大学院理学研究科

【研究目的】

地球や木星などの固有磁場を持つ惑星は磁気圏を形成し、高温プラズマをその内部に閉じ込めるとともに、プラズマ波動や荷電粒子の振り込みを介して惑星電離層との結合系を形成している。一方、磁場閉じ込め核融合装置は、磁場により高温プラズマをその内部に保持する点で、磁場強度やプラズマ温度に数桁の違いはあるが、磁気圏プラズマと多くの共通した物理現象を内包している。磁気核融合研究では、強い非平衡状態にあるプラズマが引き起こす多様な不安定性を回避し安定な閉じ込め状態を実現するために、精緻なプラズマ理論が構築されてきた。その中でも、簡約化磁気流体理論とジャイロ運動論は、プラズマの安定性と緩和現象、微視的乱流輸送などの問題に定量的にアプローチするための有用な手法として幅広く研究が進められてきた。本課題では、高性能計算科学の手法を援用し、核融合プラズマ理論を磁気圏・電離圏プラズマ研究に応用することで、これらの融合研究の推進を目的とする。

【研究方法】

課題2年目である令和6年度には、当初計画に沿ったテーマとして、(1) 非局所簡約化磁気流体モデルを用いた磁気圏-電離圏結合系におけるオーロラ発達の非線形シミュレーション、(2)バルーニングモードを含めた磁気圏-電離圏結合のための局所簡約化磁気流体シミュレーションコードの開発、(3)ジャイロ運動論を用いたオーロラ発達と電子加速の非線形シミュレーション研究、(4)ジャイロ運動論的シミュレーションコードの双極子磁場配位への拡張、の課題に取り組んだ。

上記(1)に挙げたオーロラ発達の非線形シミュレーションについては、本課題で進めてきた研究をもとに、2024年度名古屋大学HPC計算科学連携研究プロジェクトにおいてHPC人材育成枠で課題が採択されており（代表者・榊剛志）、情報基盤センター、ISEE、ならびに物理学教室の協力のもとで実施された。当該プロジェクトについては、2025年度も引き続き採択されており、若手研究者育成の視点からも有意義な成果が得られている。

上記(3)に挙げた課題については、スーパーコンピュータ「富岳」の利用申請が再度採択され、大規模なジャイロ運動論的シミュレーションを用いた解析を継続的に進めている。

項目(4)では、ジャイロ運動論的シミュレーションコードGKVを双極子磁場配位へと拡張し、同時に生じた数値的困難を克服するための新たな数値手法を考案するとともに、コードへの実装とベンチマークテストを実施した。より詳しい内容について次の【研究成果】の項にまとめる。

また、今年度の新たな取り組みとして、(5)磁気圏プラズマやオーロラの衛星観測を専門とする研究者（ISEE・平原、東北大・坂野井）との共同研究として、「れいめい」衛星が観測したオーロラ動画像の解析を開始した。シミュレーションとの比較の上で、興味深い成果が得られつつある。さらに、(6)磁気圏-電離圏結合におけるオーロラ発達の理論モデルから得られる予測と磁気圏観測との比較についても課題メンバーで議論を開始している。

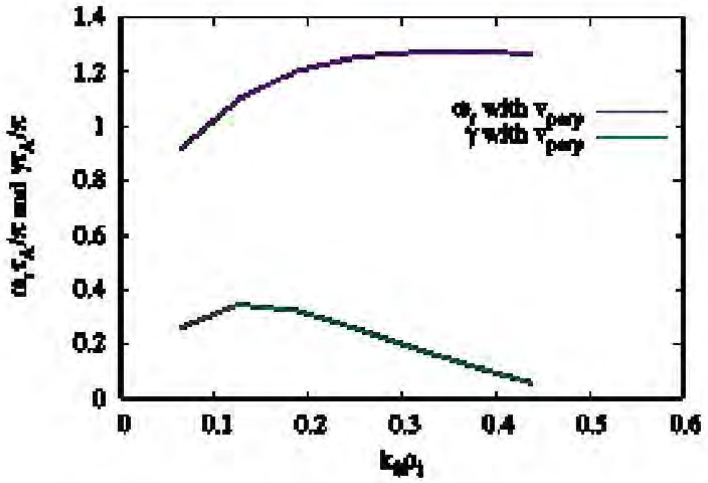
以上の研究テーマについては、本課題終了後も共同研究として継続的に進めていく予定である。

【研究成果】

(4)ジャイロ運動論的シミュレーションコードの双極子磁場配位への拡張

これまでに、開発した電離圏モジュールをジャイロ運動論的シミュレーションコードGKVに組み込むことで、磁気圏-電離圏結合系の運動論的解析を実現してきた。これはオーロラ構造の発達と乱流遷移、

粒子加速を同時に扱うことのできる独自性の高いアプローチであるが、これまでの解析は直線磁場形状の場合に限られていた。磁場ドリフトや磁気ミラー力などを含めて、実際の磁気圏プラズマをより正確に取り扱うには、双極子磁場配位への拡張が必要となる。しかし、従来のコードでは、平行方向速度と磁気モーメントを速度空間座標として採用しているため、双極子磁場のように強い磁場強度不均一性を持つ系においては磁気ミラー力が非常に大きくなり、時間積分を数値的に実行する際に厳しい制約が課されるため、オーロラ領域への適用に大きな困難があった。この問題点を克服するために、速度空間座標として磁気モーメントの代わりに磁場垂直方向速度成分を座標として用いることができるようにGKVコード拡張した。従来の手法とは、入力パラメータひとつで切り替えが可能であり、ベンチマークと保守が容易に実施できるように実装されている。



上図は、新しいコードを用いて行った磁気圏-電離圏結合系におけるフィードバック不安定性の線形解析の結果から、周波数と成長率の波数依存性をプロットしたものである。新しいコードを用いることで、従来は解析不可能であった電離層高度で磁気緯度60度のサブオーロラ領域においても、安定な解析を実行することができた。その結果、直線磁場の場合に比べて成長率の低下が認められるが、強い磁場不均一性とミラー力を伴う双極子磁場配位においても、オーロラ領域に近い磁気緯度でフィードバック不安定性が存在することを確認できた。

本研究の成果については、日本物理学会およびプラズマ・核融合学会で発表した。

【成果発表】

本課題で令和5年度より進めてきた非局所簡約化磁気流体モデルを用いた磁気圏-電離圏結合系におけるオーロラ発達については、その成果の一部をJournal of Geophysical Research誌に発表した。

Sakaki, T., T-H. Watanabe, and S. Maeyama, “Convective growth of auroral arcs through the feedback instability in a dipole geometry”, *Journal of Geophysical Research: Space Physics* **129**, 12 (2024): 32 023JA032407.

さらに、従来から進めてきた局所簡約化磁気流体モデルを用いたフィードバック不安定性の非線形発展と乱流遷移についても論文として取りまとめ学術雑誌に投稿中である。

（別紙様式-2）

アジアグリーンベルトにおける環境―社会共生体化の実現に向けたフューチャー・アース研究ニーズの分析・課題の抽出

Visioning workshop on Future Earth research challenges for environmental and societal sustainability in the Asian Green Belt

村岡裕由、東海国立大学機構岐阜大学・高等研究院環境社会共生体研究センター

【目的】

本応募課題（継続）は，気候変動が顕在化している「人新世」の日本を含むアジアグリーンベルトにおいて，森林・河川流域からなる自然環境と人間の社会・産業・経済的活動の相互作用系としての「流域圏」の持続可能性を支える姿を『環境と社会の共生体（自然環境と人間社会の相利的関係）』として仮定し，科学と社会による共創を支える学術的課題を検証することにより，地球システム科学，生態学，応用生態工学，水文学，環境経済学，エネルギー工学，建築学などから構成される『総合知』の姿を創出することを目的としている。本応募課題では，東海国立大学機構カーボンニュートラル推進ビジョン『地球温暖化時代の課題解決への貢献に向けて』（2023年7月）の研究戦略の実現に貢献する。

2023年度（1年次）に開催したワークショップにより，①地球温暖化と社会変化のもとで自然環境，自然資本，社会・経済活動がモザイク状に混在する「流域圏」の持続可能性に資する総合知の創出には，curiosity drivenな研究と，解決すべき具体的な課題から想起されるバックキャスト型研究の結合が重要であること，②学術分野や研究対象（自然，都市，社会）によって「将来」が指す時間スケールが異なり，社会の課題や目標設定に応じたデザインが必要であること，③将来の環境と社会の在り方の検討には，データマイニングを通じて過去から学ぶことが有効であること，④環境に関する多様な学問を自然と共生した持続可能な社会に役立てるには，市民社会や行政，産業が必要とするデータ・知見の在り方をアカデミアが理解するとともに，社会・経済活動による自然環境の内部化が不可欠であること，⑤科学と社会を繋ぐ人材の育成が重要であることなどが示唆された。

2024年度（2年次）には，環境に関する多様な科学的アプローチ間の結合による新たな手法・観点の創出，モデル地域を対象とした科学と社会のステークホルダーの協働による具体的課題の抽出，社会による環境科学データ・知見の有効活用を促すオープンサイエンスの在り方，将来の地球温暖化社会に求められる人材像に関する検討を行うことにより，東海国立大学機構における環境―社会分野連携型の研究・人材育成ビジョンの構築を目指す。

【方法】

「気候変動，及び社会・経済が変化する現代・未来における環境と社会の共生体化」の実現には，地域特有の自然環境を背景とした気候変動の影響，社会・経済・文化を支える自然資源の利活用，人口と社会構造の変化，エネルギー需要・供給の変化など，多くの対処すべき問題がある。2023年度の検討では，これらの問題に共通する課題として「グリーンインフラ」としての森林流域の機能と利活用が研究課題として注目された。そこで2024年度には，特に伊勢湾流域圏に着目し，社会の具体的な環境課題の抽出，各分野の研究アプローチの結合による総合知の創出の方法の検討を行う。総合知の創出方法については，機構における異分野間の知見の結合を実現できる「システムダイナミクスモデル」の構築を試みる。これらの検討を，名大・岐阜大の合同ワークショップ（2024年10月22日，岐阜大学）の開催を通じて実施した。

【結果】

本課題では伊勢湾流域圏を想定したワークショップを開催し，特に「システムダイナミクスモデル」の構築を念頭においた勉強会とディスカッションを実施した。ディスカッションの目標は以下のとおりである。

①. システムダイナミクスモデルに関する事例紹介により，基礎・応用・社会の繋がりを再確認，再認識する
②. 伊勢湾流域圏における環境を対象に，社会の具体的な環境課題の抽出を行う。
③. 国内，他地域での研究活動，国際的な状況を知ることで，地域のエンゲージメントをより明確にすることを目指す。

ワークショップ中の検討会では，流域圏を上流，中流，下流に分けて，水環境や森林，社会の関わりについて課題抽出およびステークホルダーとの関係性の議論を進めた（図１）。その後，流域圏全体の課題およびステークホルダーの関係性を総合的に検討した（図２）。

健全な流域圏の保全と管理，持続可能な資源利用については，地域社会の林業従事者や生態系サービスの受益者の関わりも深く，経済的な便益と自然環境の恵みのバランスを支える科学的知見の創出の必要性，及び，流域圏を構成する多様な要素（森林，河川，炭素，水，サービス，人，気候）の関係性を定性的・定量的に可視化することの必要性が認識された。これらの課題に対応していくためには，分野横断的な研究の推進，ならびにステークホルダーとのコミュニケーションが不可欠である。

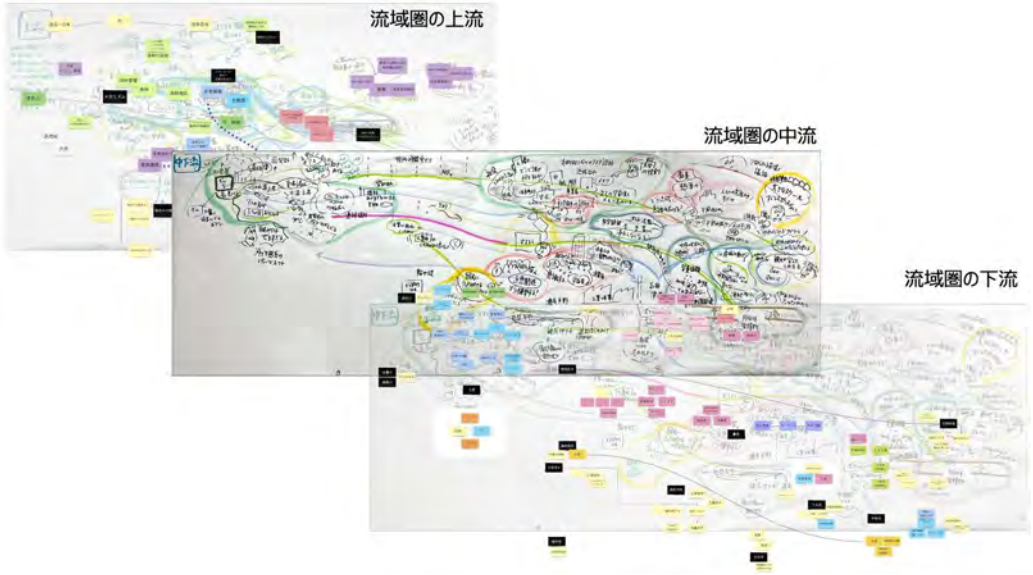


図１　流域圏の上流，中流，下流域における課題の抽出

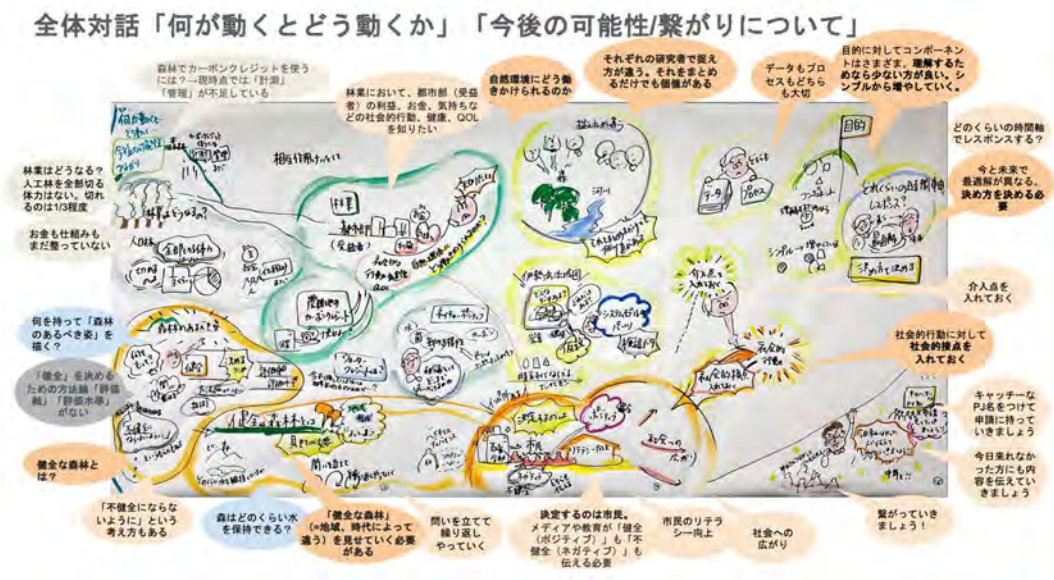


図２　流域圏全体の課題間の関係性，及びステークホルダーとの関係性の整理

（別紙様式-２）

観測業務におけるヘリコプタ利用の可能性検討
Investigation of possibility of usage of a helicopter for monitoring

砂田　茂、名古屋大学大学院・工学研究科航空宇宙工学専攻

［研究目的］

本研究はヘリコプタによる大気観測に関する、以下の２つの目的を有する。

ヘリコプタは飛行機と異なりホバリングを含めた低速飛行が可能で、局所的観測に適している。また、研究機関近辺に着陸可能で、サンプリング後、直ちに試料を化学分析できる利点を有する[1]、[2]。よって、ヘリコプタをこれまで以上に大気観測に用いることで、航空機による大気観測の有効性を拡大できる可能性がある。そこで本研究では、高度によるエアオゾル濃度の変化を実測し、大気観測業務におけるヘリコプタ利用の有効性を示す実施例を獲得する。

ヘリコプタに気象観測や環境観測などのセンサを搭載し科学技術的なミッションを実施する際、機体の振動を抑制できると高精度でのデータ取得や精密なセンサによる計測が可能となる。よって、ヘリコプタの低振動化は、科学技術ミッションの幅を広げることに貢献できる。本研究では我々の研究グループが提案する重心移動によるシングルロータヘリコプタの低振動化手法の効果を、実機ヘリコプタを用いた飛行試験で確認する。

［飛行試験］

（日時）2025年3月28日

（機体）朝日航洋㈱所有：シコルスキーS-76C（JA6901）。4枚ブレードのロータは上方から見て反時計回りに回転（この回転方向は4P振動を抑える機体重心の左右位置に関係する。）

（搭載機器）　加速度センサ（機体のZ（機体に対して上下）方向の加速度を測定する。サンプリング周波数=500Hz、測定レンジ＝±10g）。図１に示す大気センサ（TSI Optical Particle Sizer Model 3330）

（飛行場所）東京ヘリポートから10分間程度、北上し、旋回し東京ヘリポートに引き返す。高度1800feet。

（加速度計測時の飛行速度）120kias、130kias。（大気計測は飛行中常時、行う。）

（飛行方法）

（飛行１）バランスウェイトを左前方に搭載し、搭乗者は左側の座席に位置し、燃料が少ない状態で飛行し、機体重心が可能な限り機体前方左側に位置する様にする。機体の4P振動が大きくなることが予想される重心位置である。各飛行速度で20秒間の測定を5回行う。

（飛行２）バランスウェイトを右後方に搭載し、搭乗者は右側の座席に位置し、燃料が多い状態で飛行し、機体重心が可能な限り機体後方右側に位置する様にする。機体の4P振動が小さくなることが予想される重心位置である。各飛行速度で20秒間の測定を5回行う。

（取得データ）

・各飛行での重心位置が運航会社より提供される。
・加速度センサによる、機体Z方向の振動の時間履歴。
・大気センサによる、飛行領域における高度1800ftまでのエアロゾル濃度。

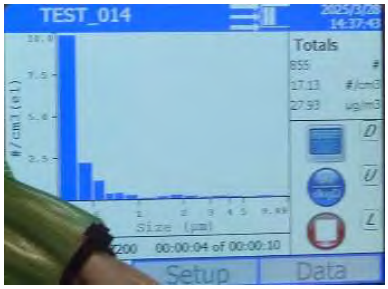


図１　大気センサ

[結果]
（振動測定）
加速度の時間変化履歴をFFT処理した結果の1例を、図２に示す。4P振動の周波数は20.9Hzである。

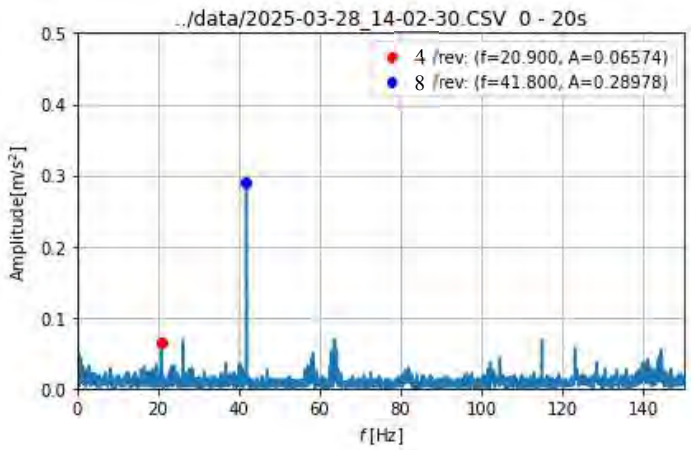


図２　加速度の時間変化履歴をFFT処理した結果の1例

飛行１と飛行２における 4P 振動加速度に大きな差は見られなかった。しかし、燃料補給によって総重量が飛行１よりも飛行２において約１割増加したことを考慮すると、重心移動による低振動化実現のエビデンスが得られたと判断できる可能性もある。今回の試験では前後に 6.5cm、左右に 2.5cm 程度の重心移動であり、この程度の重心移動距離で有意な 4P 振動の低減が可能であるかどうか、詳細な分析を継続する。

（大気中粒子濃度測定）
ヘリコプタは機内に外気を取り込むことが可能で、エアロゾル濃度計測が実施できた。データ分析はこれからである。ヘリコプタによる大気観測の１実績とし当該研究分野の研究者に報告し、大気観測におけるヘリコプタの有効性を広く周知する。

[まとめ]
ヘリコプタでのエアロゾル濃度測定、ヘリコプタの提案振動低減手法の有効性確認を、実機ヘリコプタで実施した。実施結果の検討作業で明確化する問題点をクリアし、ヘリコプタの低振動化の実現、及び大気観測でのヘリコプタの利用拡大を目指す。

[参考文献]
[1]渡辺幸一、江田奈希紗、青木美貴子、ヘリコプターを利用した富山県上空の微量気体成分の観測、天気、2010、77-82.
[2]渡辺幸一、角山沙織、宋笑晶、金美佳、市川夢子、江尻遼介、ヘリコプターを利用した晩秋季の富山県上空における大気中の過酸化水素濃度の測定：山岳域における雪氷化学との比較、日本雪氷学会誌雪氷、80巻6号、2018、531-539.