

令和 5 年度
(2 0 2 3 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

目次

Contents

共同利用・共同研究成果報告書

00 .	ISEE Symposium	1
01 .	国際共同研究	2 ～ 42
02 .	ISEE International Joint Research Program	43 ～ 74
03 .	国際ワークショップ	75 ～ 82
04 .	一般共同研究	83 ～ 188
05 .	奨励共同研究	189 ～ 194
06 .	研究集会	195 ～ 277
07 .	計算機利用共同研究	278 ～ 281
08 .	データベース作成共同研究	282 ～ 287
09 .	加速器質量分析装置等利用（共同利用）	288 ～ 299
10 .	加速器質量分析装置等利用（委託分析）	300
11 .	SCOSTEP Visiting Scholar (SVS) Program	301 ～ 314
12 .	航空機観測共同利用（ドロップゾンデ）	315 ～ 318
13 .	若手国際フィールド観測実験	319 ～ 330
14 .	国際技術交流（International Technical Exchange Program）	331 ～ 336
15 .	国際スクール開催支援（ISEE International School Support）	337 ～ 343
16 .	若手国際派遣支援（海外発表・海外滞在）	344 ～ 351

融合研究戦略課題成果報告書

	融合研究戦略課題	352 ～ 370
--	----------	-----------

2023年度 00)ISEE Symposium 目次詳細

1 件

*所属・職名は2024年3月現在
*Affiliation and Department displayed are current as of March 2024.

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
石坂丞二	名古屋大学	宇宙地球環境研究所国際連携研究センター	教授	【2023年度開催】 リモートセンシングと数値モデルによる海洋と大気陸域の相互作用	1	

(別紙様式00-2)

リモートセンシングと数値モデルによる海洋と大気陸域の相互作用
Interaction of Ocean, Atmosphere, and Land by Remote Sensing and Numerical Model

石坂丞二、宇宙地球環境研究所・国際連携研究センター

【概要】

2023年12月17日から19日にかけて、第6回ISEEシンポジウム「リモートセンシングと数値モデルによる海洋と大気・陸域相互作用」を、坂田平田ホールとネオレックスプレイス、一部オンラインで開催した。このシンポジウムは、これまで主にISEEの海洋分野で行ってきて、今回JAMSTECから申請のあった「第20回日本韓国海色ワークショップ・第11回アジア海色ワークショップ」と「インド太平洋域の海洋ダイナミクス」、九州大学と北海道大学から申請のあった「小型飛翔体による海洋観測」と「大気海洋相互作用」の4つの研究集会を、統合した形で開催された。主にリモートセンシングと数値モデルを利用した研究を中心に、海洋だけではなく、海洋と大気・陸域の相互作用に焦点があてられ、発表と今後の研究協力等についての議論がなされた。

【参加者数】

国内からは32機関（73名）、韓国（26名）、中国（5名）、台湾（4名）、インドネシア（7名）、タイ（6名）、US（4名）、マレーシア（3名）、インド（3名）、パキスタン（1名）の29機関から計132名が参加した。現地とオンラインのハイブリッド形式で行われたが、ほとんどの参加者が現地で参加した。

【研究報告】

主にリモートセンシングと数値モデルを利用した海洋物理場と生物生産について話し合われ、海色リモートセンシングのミッションの状況などが説明され、また航空機・小型衛星・ドローンなどの小型飛翔体での観測についても報告された。また、インド太平洋域の物理過程については複数のセッションが設けられ、熱帯アジア域の生物過程との関連について多く議論された。一方、南極・北極域での大気・陸域との相互作用についても取り上げられた。さらに、基礎生産、赤潮、光学、漁業などに関するセッションも設けられた。また、大気陸域相互作用に関しては、日本語のセッションも行った。12月18日には、コロンビア大学ラモントドハティ地球観測所のJoaquim Goes博士とHelga Gomes博士にISEE Awardが贈呈され、Goes博士から「Harnessing the Power of Earth Observations for Ocean Ecosystem Monitoring and Resource Management under Climate Change」の受賞記念講演が行われた。またシンポジウムに続く12月20日と21日には関連して、北海道大学の大気・海洋フラックスデータセット、および環日本海環境協力センターとアメリカ大気海洋局のリモートセンシング解析システムに関して、国際スクールが開催された。

会議の詳細については以下のURLを参照

<https://sites.google.com/view/iseesymposium06>

【成果】

日韓海色ワークショップ・アジア海色ワークショップに関しては、来年はインドネシアのバリ島が候補地として挙げられ、今後詳細を検討することとなった。「インド太平洋域の海洋ダイナミクス」と「大気海洋相互作用」の2つの研究集会に関しては、来年度以降も継続してISEEの共同利用に申請することとなった。

2023年度 01) 国際共同研究 目次詳細

21 件

*所属・職名は2024年3月現在
*Affiliation and Department displayed are current as of March 2024.

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
笠羽康正	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	教授	ハワイ展開する小口径光赤外望遠鏡群によ 惑星上下結合研究および新規望遠鏡の展 開:その2	2	
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	4	
笠原慧	東京大学	大学院理学系研究 科 地球惑星科学 専攻	准教授	Comet Interceptorミッション搭載機器および フライバイ運用検討	6	
中澤知洋	名古屋大学	KMI	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	8	
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	10	
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	12	
島田幸治郎	琉球大学	理学部	助教	長距離輸送中における有機エアロゾルの分 解および生成の評価の開発	13	
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観測II	15	
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	17	
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	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	19	

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
小井辰巳	中部大学	工学部	教授	最高精度宇宙線ミュオン望遠鏡による宇宙 天気観測	21	
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による赤道・低緯度領域の超高層・内部電磁気 学現象の解明	23	
横田勝一郎	大阪大学	理学(系)	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	25	
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	27	
成影典之	自然科学研究機構 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	29	
松岡彩子	京都大学	理学研究科	教授	内部太陽圏探査のための BepiColombo 磁 場観測	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	32	
土屋史紀	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	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	35	
野中敏幸	東京大学	宇宙線研究所	助教	僻地へ展開可能な多方向宇宙線モニター による惑星間擾乱観測	37	
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	39	
川原琢也	信州大学	学術研究院工学系	准教授	Naライダー受信系に導入する磁気光学フイ ルタの透過率計測手法の確立	41	

(別紙様式 01-2)

ハワイ展開する小口径光赤外望遠鏡群による惑星上下結合研究および新規望遠鏡の展開：その2
Investigation of vertical atmospheric couplings in planets by Hawaiian small telescope with
the deployment of the new telescope：2

笠羽 康正、東北大学・大学院理学研究科・地球物理学専攻

1. 研究目的

東北大は、ハワイ大の協力を得てハワイ・マウイ島のハレアカラ高高度観測施設（標高約3,000m）に60cm可視赤外カセグレン反射望遠鏡（T60）を整備してきた。この活用を軸に、木星では紫外線望遠鏡衛星Hisaki（2023年度で活動終了）・米探査機Juno（Galileo衛星群のフライバイをextended missionとして実施中）、火星では米探査機MAVEN・欧探査機ExoMars Trace Gas Orbiter（TGO）、金星では日Akatsuki探査機との連携観測で、これらの対流圏～電離圏に連なる大気垂直輸送・結合の研究を力学面（時間変動・大気波動）・物質面（時間変動・各種生成/消失/輸送機構）で進めるべく、現地での観測・試験、およびハワイへの将来展開を目指した国内での開発・試験を行ってきた。なお、同じくハレアカラ山頂で運用を行ってきた40cm可視シュミットカセグレン望遠鏡（T40）は、その機能をT60に移している。東工大グループが「突発天体追跡観測用」へ転換を検討しているが、2023年度末現在、ハワイ大との協議途上にある。

2. 研究方法・結果

東北大が主要時間を使用でき（85%）、惑星探査機との連携に必須の「柔軟で集中的な運用」が常時可能な、この世界的に貴重な望遠鏡により、可視光観測では、カメラ・分光器によって、木星系ではイオ火山活動およびその噴出ガスからなるイオトーラス・広域ナトリウム雲のモニター、水星では地表から供給されるナトリウム大気といった、時間変動のある広がった大気の観測を継続実施した。

また、昼間の水星可視補償光学観測装置を展開して遠隔試験・開発を行った。また、ハワイに装置の一部を残置していた中間赤外ヘテロダイン分光器のファイバー化改装開発にも取り組んだ。ハワイ大等と共同による惑星・系外惑星専用1.8-m望遠鏡PLANETSの開発を名大・京大の協力を得て取り組んでいる。

(1) 本学望遠鏡を用いた他機関共同を含む観測・開発成果

ハレアカラ施設を用いた観測としては、水星Na大気発光および木星・イオトーラスS+発光の変動観測を引き続き実施した。前者は、2025年末に軌道投入されるBepiColombo、特にMio探査機に搭載されるNa発光観測装置MSASIの準備・協調観測を目指して遂行している。後者は、2023年12月に運用終了したHisaki紫外線望遠鏡衛星、およびGalileo衛星flyby観測phaseにある米Juno探査機との協調観測を意図してきた。前者においては、Hisaki・地上観測の結合による太陽風影響電場によって生成されたとみられるIo torus変動を主題とした修士論文に至っている（近藤，東北大修士論文、2024）（図1）。

また、2022年度に展開した可視補償光学装置の遠隔試験および制御ソフトウェア開発に取り組んで来た。これは、BepiColomboの到着が2025年末に迫る水星の外圏大気を昼間の大気擾乱が大きな状況でも1 arcsec程度の空間分解能で変動モニター可能とすることを主目標とするものである。本経費の支援も得て現地に赴き、現地における装置光学系の換装および各種試験を行うことができた。この開発は、吉野によるSGEPSS学生発表賞（オーロラメダル）の獲得および修士論文に至っている（吉野，東北大修士論文、2024）（図2）。

<学位論文>

近藤大泰, Solar wind response of dawn-dusk asymmetry in Io plasma torus with the Haleakala T60 and HISAKI satellite observations. 東北大学大学院理学研究科 修士論文, 2024/2

吉野富士香, 昼間の水星ナトリウム外圏大気観測に向けたハレアカラ東北大60cm望遠鏡に搭載する可視補償光学装置の開発. 東北大学大学院理学研究科 修士論文, 2024/2

<主な発表>

大畑元, 中川広務, 笠羽康正, 村田功, 片桐崇史, 平原靖大, 松浦祐司, 山崎敦. ファイバーとファイバーカップラーを用いた惑星大気観測用中間赤外ヘテロダイン分光器の開発. 地球電磁気・地球惑星圏学会2023年会. 仙台. 2023/9

吉野富士香, 鍵谷将人, 笠羽康正. 水星の日中連続観測などに向けたハワイ・ハレアカラ東北大 60cm 望遠鏡に搭載する補償光学装置の開発. 地球電磁気・地球惑星圏学会2023年会. 仙台. 2023/9 (学生優秀発表賞)

大畑元, 中川広務, 笠羽康正, 村田功, 片桐崇史, 平原靖大, 松浦祐司, 山崎敦. ファイバとファイバカップラを用いた惑星大気観測用中間赤外ヘテロダイン分光器の開発. 惑星圏シンポジウム2024. 仙台. 2024/2

吉野富士香, 鍵谷将人, 笠羽康正. 昼間の水星ナトリウム外圏大気観測に向けたハレアカラ 東北大60 cm望遠鏡に搭載する可視補償光学装置の開発. 惑星圏シンポジウム2024. 仙台. 2024/2

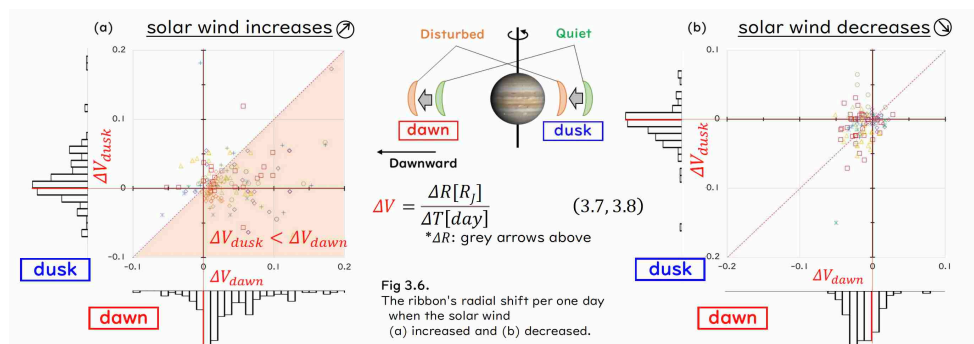


図1: 地上観測で得た太陽風影響電場によるIo torus位置変動 (近藤, 東北大修士論文, 2024)。

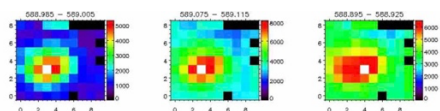


図 5.2 波長毎の水星二次元イメージ。左から波長a) 588.995 ± 0.010 [nm]、b) 589.045 ± 0.020 [nm]、c) 588.914 ± 0.020 [nm] (水星Na輝線を含む帯域) の1ファイバーの波長帯域平均カウント値。1"/fiberであるのでこの図では1"/pixとなる。(2.1節参照)

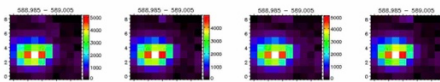


図 5.3 AO/ON 時の連続光の水星二次元像 (2023/12/08 16:03から4分連続)

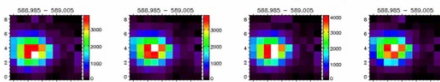


図 5.4 AO/OFF の連続光の水星二次元像 (2023/12/08 16:12から4分連続)

図2: T60補償光学試験観測で得られた水星 2 次元イメージ (吉野, 東北大修士論文, 2024)。

(2) 本学望遠鏡の将来展開に要する開発作業

T60望遠鏡の復旧・維持を含めた遠隔運用を支えるとともに、一部をハワイ現地に残したままであった中間赤外線レーザーヘテロダイン分光器の整備・開発に要する機器の国内持ち帰りを進めた。装置の安定化・小型化に要するファイバーOpticsの援用における技術的基礎が確立し、2024年度での地球大気組成観測および火星大気同位体観測を目指す装置再構築に入っている。

ハワイ大等と建設を進める1.8m惑星/系外惑星望遠鏡PLANETSでは、名大・京大と共同しての主鏡研磨作業を引き続き進めた。ただし、ハワイ州のマウナケア・ハレアカラを巡る山頂利用問題、およびハワイ大の財政問題から、この望遠鏡のハレアカラ山頂への展開は難しくなっており、大西洋・カナリア諸島を代替立地として検討するという苦しい状況となっている。

<主な発表>

Kagitani, M., K. Nagata, Y. Hirahara, K. Takahashi, M. Kurita, Y. Morimoto, Y. Hanamura, T. Sakanoi, Y. Kasaba. Profilometry and Polishing of primary mirror for the PLANETS telescope. Japan Geoscience Union Meeting 2023. Makuhari, 2023/5

(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年変動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24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活動期の立ち上がり期にある。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23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、高緯度（アイスランド：北緯 64.47°）、中緯度（山形市：38.25°）および低緯度（バンコク：13.1°）の大気中 Be-7 濃度、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について2000年から2023年までの年変動を示している。ただし、アイスランドサンプリングサイトが事故により休止したため、2021年のアイスランドデータは得られなかった。2022年9月からサンプリングが再開された。図1のアイスランドの2022と2023年の値は10月から12月の3か月平均値である。

第 25 太陽活動期は 2020 年から始まっている。
 oulu 中性子強度のピークは 2020 年にあり、ピーク後の 3 年間（第 25 期）の平均強度はピーク前の 3 年間（第 24 期）に比べて約 4%減少している。Be-7 濃度は、中緯度の山形ではピークが 2020 年にあり、ピーク後の 4 年間（第 25 期）の平均強度はピーク前の 4 年間（第 24 期）に比べて $2 \pm 2\%$ の変動である。低緯度のバンコクにおいてもピークが 2020 年にあり、ピーク後の 4 年間（第 25 期）の平均強度はピーク前の 4 年間（第 24 期）に比べて $5 \pm 6\%$ の変動である。また、低緯度（バンコク）の中緯度（山形）の比はピーク前の 4 年間（第 24 期）が約 $47 \pm 2\%$ 、ピーク後の 4 年間（第 25 期）が約 $51 \pm 2\%$ でほぼ同様である。しかし、2019 年のピークでは低緯度（バンコク）の中緯度

（山形）の比は約 $62 \pm 5\%$ と大きい。今後、2019 年の前後の大気移流の流跡線解析を進め、緯度効果について調べる予定である。また、第 25 期の太陽黒点数のピークへ向かう 2024 年の観測データを蓄積する。

[参考文献]

- 1) Solar Influences Data Analysis Center – SIDC, <http://sidc.oma.be/>
- 2) <https://cosmicrays oulu.fi/>

[成果発表]

「第 25 太陽活動初期の宇宙線生成核種 Be-7 濃度の季節変動」、櫻井敬久、門叶冬樹、武山美麗、門倉昭、B. Gunnlaugur 他、ISEE「太陽圏・宇宙線関連の共同研究成果報告会」2024.3.7（online）

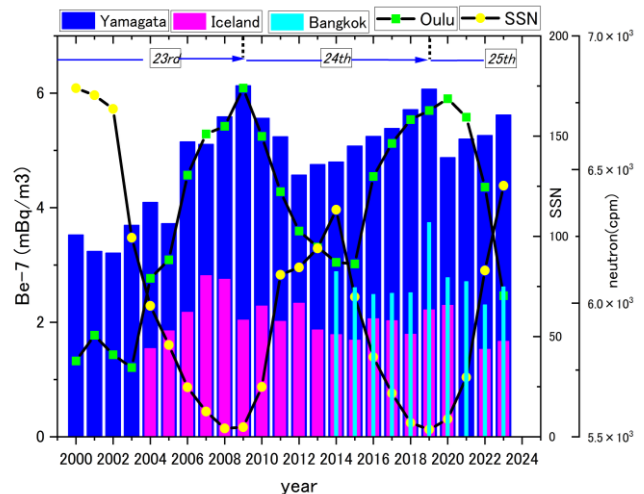


図 1. 2000 年から 2023 年までの高緯度、中緯度および低緯度の大气中 Be-7 濃度、太陽黒点数 (SSN)、oulu での中性子強度の年変動

(別紙様式 1-2)

Comet Interceptor ミッション搭載機器およびフライバイ運用検討

Study of science payloads and a flyby sequence for the Comet interceptor mission

笠原 慧、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

彗星の核から放出される大気は太陽の紫外線や周辺プラズマによって部分電離され、太陽風プラズマと相互作用する。1986年の国際的なHalley彗星フライバイ探査や、ESAによる2014-2015のChuryumov-Gerasimenko彗星のランデヴー探査は、このプラズマ-大気相互作用に関する知見を提供した一方で、新たな謎を投げかけている。今後、彗星における衝撃波や接触層といったプラズマ不連続境界の生成・維持・消滅や、太陽風-彗星部分電離大気間の相互作用の理解を進めるためには、コマ活動度(=彗星大気生成率)が桁で異なるようなパラメタ空間での観測が有効である。これは、これまでの短周期彗星のような表面付近のガスが枯れた彗星ではなく、オールト雲に長く滞在した、より始原的な彗星をターゲットとすることで実現できる可能性が高い。ESAのComet Interceptorミッションでは、そのような長周期彗星(Long-Period Comet, LPC)をターゲットとしてフライバイ探査を行う。このミッションは、ESAのFast class missionの第一候補として選ばれ、システム・観測器の検討が進められている。日本による子機1台の提供が想定されており、日本でもISAS/JAXAのプロジェクトとすべく検討を進めている。国内では、WG活動を経て2020年度からISAS所内検討チームとして検討を続けている。2023年度の大きなマイルストーンは基本設計審査であり、探査機システム・観測器それぞれの設計、そしてフライバイ運用の計画立案が進行中である。

研究方法

本申請では、Comet Interceptor ミッション搭載機器開発およびフライバイ観測の詳細検討を実施した。内容は、

- 1) 各観測器のプロトタイプ試験および基本設計
- 2) 探査機システムの基本設計
- 3) フライバイの観測シーケンスとそれを実施するための地上系システムに関する国内外の議論
- 4) 国内サイエンス会合
- 5) 国際Science Working Team会合

である。国内では毎週のハードウェア定例会に加え、サイエンス会合を実施した。ミッションをリードする欧州側とはbi-weeklyのシステム会合の他、ESTECでのScience Working Team会合が開催された。

研究結果

上記のように高頻度・高密度の打ち合わせを通じてシステム・観測器ともに設計を進め、搭載機器のPS, HI, および探査機システム全体の基本設計審査会が開催された。この後、PSとHIはエンジニアリングモデルの製造を開始した。システムは構造評価モデルおよび電気機能モデルの製造を開始した。

一方、欧州側でもシステムメカによる設計および日本側とのインタフェース要求の調整が進められ、電気機能モデルの製造・試験などが進んでいる。

フライバイ運用についてはESA側がScience Working Teamの傘下にScience Operation Working groupを設置し、日本側のメンバーも交えてシーケンスの原案を用意した。この原案は、今後もESA側のシステム設計の詳細化に伴って洗練されていく予定である。

国内のサイエンス会合は、Comet Interceptor ミッションとは異なる彗星サンプルリターン計画のWGと共同開催し(9/12-13, 於・東京大学本郷キャンパス)、サイエンスの内容が相補的であってお互いの成果が重要であること、また、Comet Interceptorで育成された人材がサンプルリターンミッションで活躍することが期待されること、などが議論された。

成果発表

- Kasahara, S., R. Tao, E. Yoshida, and S. Yokota, "A two-stage deflection system for the extension of the energy coverage in space plasma three-dimensional measurements", *Earth, Planets and Space*, doi:10.1186/s40623-023-01845-0, 2023.
- De Keyser, J., et al., "In situ plasma and neutral gas observation time windows during a comet flyby: Application to the Comet Interceptor mission", *Planetary and Space Sci.*, doi:10.1016/j.pss.2024.105878, 2024.
- Jones, G., et al., "The Comet Interceptor Mission", *Space Sci. Rev.*, doi:10.1007/s11214-023-01035-0, 2024.
- 笠原慧, 船瀬龍, 吉岡和夫, 坂谷尚哉, 亀田真吾, 松岡彩子, 村田直史, 原田裕己, 河北秀世, 杉田精司, Comet Interceptor science team, "The Comet Interceptor mission: Preliminary design", 日本惑星科学会 2023年秋季講演会, ポスター発表, virtual, 2023年10月11日.
- Kasahara S., R. Tao, E. Yoshida, and S. Yokota, "A two-stage deflection system for the extension of the energy coverage in space plasma 3D measurements", SGEPPS, 口頭発表, 仙台, 2023年9月26日.
- Kasahara, S. et al., " The Comet Interceptor mission: pre-project activities in 2022-2023", 地球惑星科学連合2023年大会, 口頭発表, 幕張, 2023年05月22日.

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

中澤知洋、名古屋大学素粒子宇宙起源研究所

1 : 研究目的

雷活動から 30 MeV に達するガンマ線が放射されることがある。1990 年代に人工衛星で発見された雷放電と同期する突発ガンマ線 Terrestrial Gamma-ray Flash (TGF, Fishman+ 1994)と、冬季の日本海岸の地上や高山で観測される、雷雲そのものが数分間ガンマ線を放射し続ける Gamma-Ray Glow (e.g. Torii+ 2002)が知られており、雷雲中の静電場により電子がなだれ増幅しながら約 30 MeV まで加速される現象である。自然界で確認されているに唯一の静電場粒子加速器で、大変興味深い現象であるが、加速原理が「逃走電子雪崩」(Grevitch+ 1989)という特殊な電場加速であることが分かっているのみで、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。最新の TGF 発生理論モデルでは発生点から 100 m における被曝量は人体に有害な 1 Sv に達するとされ、その実態の解明が重要となってきた (e.g. Melody et al, JGR 2021)。

日本海岸の冬季雷は雷ガンマ線観測に最適で、我々は 2006 年から地上ガンマ線観測を続け世界の先端に立っている (Wada+ PRL 2019, Enoto+ Nature 2017, Hisadomi, Nakazawa+ JGR-A 2021, Tsurumi+ GRL 2023)。宇宙からの TGF 観測では、Fermi 衛星、AGILE 衛星、ISS 搭載の ASIM 検出器が成果を上げている。しかし既存の数千個もの TGF データでも明らかにできていないのが、ガンマ線放射のビーム開口角とその傾斜角である。TGF 宇宙観測でこれを紐解くには、

複数衛星での同時観測が欠かせない。開口角は加速の物理そのものにも直接影響するため、観測的に決定することが重要である。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 多点同時観測の実現性が一気に高まり、ビームの性質を観測的に決定する決定打となりうる。

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 5 名が登録されている。このなかで、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。これまでの研究により、BTO のシンチレータとして NaI と CsI を比較検討した。HIMAC 加速器でヘリウムや炭素を照射して大信号の応答を調べ、アフターグローの長さから CsI ではなく NaI を選定した(Gulick+ 2024 submitted)。今年度はアナログ回路の設計を固めるべく、さらにエネルギーデポジットの大きい鉄イオンを照射した。また、COSI の TGF 観測と対をなす、金沢市での雷ガンマ線観測も継続した。

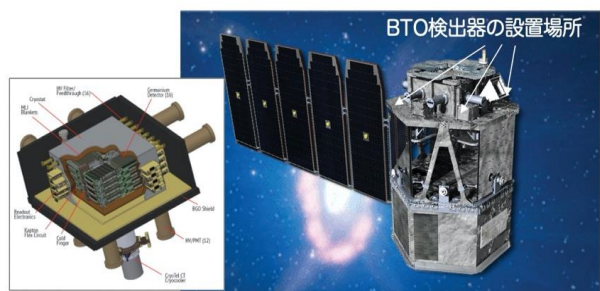


図 1. NASA の COSI-SMEX 衛星。主検出器とは独立に、Background and Transient Observer (BTO、仮称)が 4 台搭載される。

3：研究結果と考察

COSI BTO 検出で採用する SCIONIX 社の NaI+SiPM 検出器は、平常のガンマ線入力に対しては高性能を発揮し、目標の 30 keV の lower threshold は余裕を持って達成できる。しかし、軌道上で重粒子宇宙線に晒された時に、そのアナログ出力は激しく飽和する。2023 年 6 月 19-20 日に量子科学技術研究開発機構(旧放医研)HIMAC にて、BTO 試作機に高エネルギー鉄イオンを当て、フライト候補検出器のアナログ出力を確認した(図 1)。

本来、負の exponential decay 信号が出るはずであるが、大信号が検出器内のアンプを飽和させて「貫通」してきた信号が見え、その後負となった後は、 $\sim 20 \mu\text{s}$ もの以上の時間をかけてゼロレベルに戻ってゆく。これを受けて、極めて大信号なイベントには専用の VETO 信号を得る必要があると判断した。検出器から SiPM のアンプ出力に加えて、直接出力も得る設計に変更した。現在その改造回路を開発中である。

地上での雷ガンマ線観測研究については、下向き TGF の指向性観測に挑戦している。全く新しいチェレンコフ検出器システムを開発し、2023 年 11 月 18 日に金沢市で下向き TGF の観測に成功した。精度 ± 10 度程度で、仰角と回転角を測定することに成功し、電波での放電計測と一致することを確認した。これは世界初の地上での TGF 指向性観測の成功例で、現在詳細解析中である。

4：まとめ

COSI 衛星 BTO 検出器の開発では、HIMAC の試験データが非常に有効に生かされている。2024 年度は改良型の NaI 検出器を用いた衛星搭載品相当のアナログ・デジタルカイロの総合試験を予定しており、衛星搭載品の製造を年内に開始する。また、下向き TGF の地上観測でも指向性観測に成功し、詳細解析を始めている。

[成果発表]

- ・ Gulick, Hannah et al. "The Background and Transient Observer: A Gamma-ray Detector System for Time-Domain Astrophysics", American Astronomical Society Meeting #241, id. 120.08., the Seattle Convention Center, 8-12 January 2023
- ・ 大口真奈里 et al. "[MIS24-P04] 2021 年 12 月 30 日に金沢市で観測された 5 連続 TGF のガンマ線と電波解析", 日本地球惑星科学連合 2023 年大会, 幕張, 2023 年 5 月 22 日
- ・ 安藤美唯 et al. "TGF 電子加速域の位置測定のための指向性チェレンコフ検出器開発", 日本物理学会, 第 78 回年次大会 (2023 年), 東北大学, 2023 年 9 月 13 日
- ・ 大口真奈里 et al. "雷雲ガンマ線グローと下向き TGF の電子加速域の簡易的な高度測定の試み", 日本物理学会, 第 78 回年次大会 (2023 年), 東北大学, 2023 年 9 月 13 日
- ・ 安藤美唯 et al., "突発雷ガンマ線 TGF の到来方向計測のためのチェレンコフ検出器開発", 日本物理学会, 2024 春季大会, オンライン, 2023 年 3 月 18 日

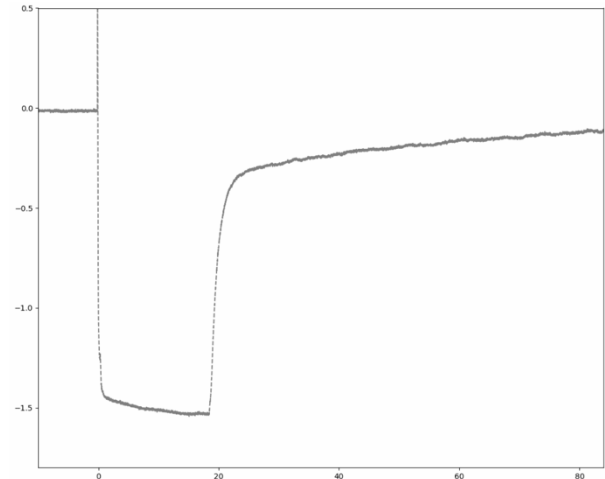


図 1: HIMAC における Fe イオン照射時に、NaI を SiPM で読み出した信号出力。激しくサチュレーションをしている。

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（地上ライダーネットワーク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ー化と共に、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

今年度は主に地上ライダーネットワーク観測の再開を進め常時観測体制を整えた。本研究課題の開始時点で、南米スモークの移流経路上の観測サイトのうち、アルゼンチン・トゥクマンとボリビア・ラパスにおけるエアロゾルライダーがレーザー等のトラブルにより観測を停止していた。上記サイトにおけるエアロゾル観測を再開させるため、2023年7月から8月にかけて国立環境研究所の神が南米に出張し、エアロゾルライダーの整備・改良および新システムの導入を

試みた。

アルゼンチン・トゥクマンのエアロゾルライダーはその故障状況から観測再開に時間を要することから、国立環境研究所で開発された可搬型ライダーシステムをトゥクマンに導入することを企図した。アルゼンチン気象局の都合により、2023年7月末に観測用コンテナをトゥクマン気象観測所からトゥクマン国立大学に移設された。そのため、南米出張時にはコンテナ周辺のインフラ整備が未完了であった。また、通関の問題で可搬型ライダーを9月末に日本に再輸入した。今後は2024年のスモークシーズン（7月～10月）での観測に向けてアルゼンチンへの再輸出とライダー設置の準備を進めている。

トゥクマンに設置する予定だった可搬型ライダーは、ブエノスアイレスの気象局本部において、既設のライダーシステムと並べて9月末まで大気観測実験を行なった（図1参照）。対流圏におけるエアロゾルの高度プロファイルについて、高品質の観測データを取得することに成功している。また、同ライダーデータを用いて既設のSAVER-Netライダーシステムの評価も行なった。既設ライダーは可搬型ライダーと比べて望遠鏡の口径が4倍であるにも関わらず、信号対雑音比はほぼ同レベルだった。この実験により、既設ライダーのレーザー出力が可搬型ライダーと比べて1桁以上小さいことによることが判明した。レーザー出力低下の原因はQスイッチ高圧回路の劣化である可能性が高く、来年度に部品交換を行う予定である。

開発された可搬型ライダーには、小型のレーザーと望遠鏡が使われている。既設のライダーと比べると体積が約100分の1と非常にコンパクトである。レーザーは空冷式のレーザーダイオード励起レーザーであるため、既存の大型の水冷式フラッシュランプ励起レーザーと比べて取り回しが格段に良くなり、且つ長寿命である。可搬型ライダーではエアロゾルの偏光解消度も測ることができるため、非球形のダストと球形の大気汚染粒子の成分を分離できる。今後、南米において品質の高いエアロゾル観測データを取得するための新型ライダーとして、プロトタイプを示すことができた。

ボリビア・ラパスでは、既存のシステム（波長532nmの後方散乱強度を測定する簡易的なライダー）に、偏光解消度の測定機能を持つモジュールを導入した。同モジュールは過去の国際共同利用研究（2019年度～2021年度：地上ライダーネットワークによる南米エアロゾル観測研究の強化）で開発されたものである。2023年8月の南米出張で設置し、運用を開始した（本出張に合わせて他の故障箇所も修理）。同モジュールの導入によりエアロゾルの球形・非球形を測定することが可能となった。

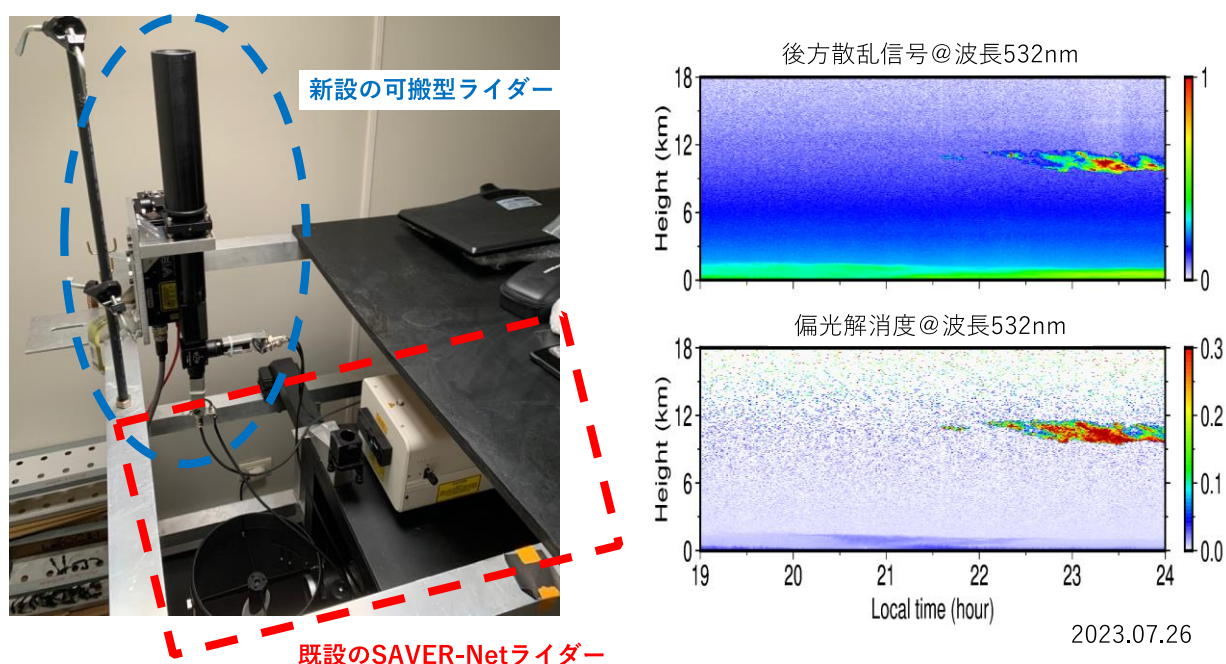


図1 (左) ブエノスアイレスにおける大気観測実験の様子、(右) 可搬型ライダーの観測データ例

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

今年度は、トンガ火山噴火時にVLF/LF帯標準電波および大気電場に珍しい現象が観測され、その現象について調べた。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。ただし、これまでペケリス波による共鳴はこれまで報告されていなかった。本研究では、下部電離

圏と大気電場に焦点を当てた多点観測を実施した。図1に、磁場および大気電場の100 - 1000 sの振動を示す。しかし、地上では、ペケリス波による大気圧の対応する変化は見られなかった。VLF帯標準電波の複数パスにも同様の振動が見られた。中性風のシミュレーションにより、高度90 km付近で中性風速度が振動しており、ペケリス波による共鳴が示唆される。この大気電場の振動は、下部電離圏の振動がグローバルサーキットを介して地表に投影されたものと思われる。

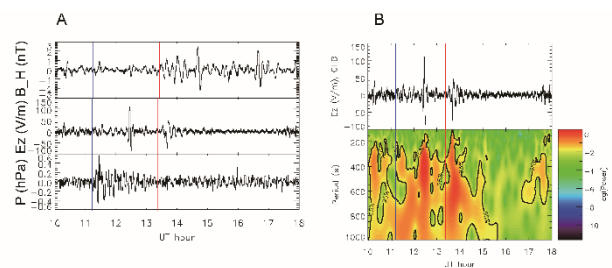


図1 A (上) 2022年1月15日トンガ噴火時の(上)柿岡での磁場H成分(HPF: >1.67 mHz)、(中)千葉での大気電場、(下)千葉での大気圧、B (上) 千葉での大気電場、(下) 大気電場のウェーブレット・スペクトル。青線および赤線は、それぞれラム波とペケリス波の観測点での到着時刻を示す。

成果発表

論文

[1] H. Ohya, T. Suzuki, F. Tsuchiya, H. Nakata, and K. Shiokawa, Variation in the reflection height of VLF/LF transmitter signals in the D-region ionosphere and the possible source: a 2018 meteoroid in Hokkaido, Japan, Radio Science, DOI:10.1029/2023RS007801, 2024.

口頭発表

[1] Hiroyo Ohya, Takeru Suzuki, Fuminori Tsuchiya, Kazuo Shiokawa, Hiroyuki Nakata, D-region Ionospheric Response to a Fire Ball Using VLF/LF Transmitter Signals, XXXVth URSI General Assembly and Scientific Symposium, G12-2, Sapporo (Japan), August 2023.

[2] H. Ohya, F. Tsuchiya, M. Kamogawa, T. Suzuki, J. Chum, T. Takamura, H. Shinagawa, Effects of Lamb and Pekeris waves on the D-region ionosphere associated with the 2022 Tonga volcanic eruption using AVON VLF/LF transmitter signals, The 28th International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) General Assembly, IUGG23-0953, Berlin (Germany), July 2023.

[3] Ohya, H., F. Tsuchiya, M. Kamogawa, T. Suzuki, J. Chum, T. Takamura, Coupling between the D-region ionosphere and atmosphere due to Lamb and Pekeris waves associated with the 2022 Tonga volcanic eruption based on observations of AVON VLF/LF transmitter signals, Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting2023, PEM12-02, Hybrid (Chiba (Japan)+Online), May 2023 (invited).

[4] Ohya, H., F. Tsuchiya, M. Kamogawa, T. Suzuki, J. Chum, T. Takamura, H. Shinagawa, Variations in the D-region ionosphere after the 2022 Tonga volcanic eruption using AVON VLF/LF transmitter signals, SGEPS Fall Meeting2023, R05-35, Sendai (Japan), September 2023.

(別紙様式01-2)

長距離輸送中における有機エアロゾルの分解および生成の評価の開発
Elucidation of the degradation and formation process of organic aerosols during long range transportation

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変質を起こさない元素炭素(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。

【結果と考察】

本研究で同一気塊中に分類された WSOC の分解と生成を調べるために、EC で規格化により定式化(生成及び分解率=WSOC/EC(Hedo or Nagasaki)/ WSOC/EC(Tuojii)×100)した。その結果、Tuoja 島から長崎への輸送時の WSOC/EC の平均値は130%の生成率を示した。長崎から辺戸岬への輸送時の WSOC/EC の平均値は130%の生成率を示した。このことより、WIOC が酸化され水溶性化したことが考えられた。次に、WSOC 中の低分子である HP-WSOC と高分子である HULIS のどちらの割合が増加しているか調べるため、上記の式と同様に HP-WSOC と HULIS を EC で規格化し定式化した。Tuoja 島から長崎大学への輸送時の、HP-WSOC/EC の平均値は 80%となり分解を示し、HULIS/EC は120%を示し生成を示していた。長崎から辺戸岬への輸送時の HP-WSOC/EC と HULIS/EC の平均値は130%と140%となり共にとも生成を示した。このことより、HP-WSOC と WIOC の酸化により HULIS の生成量が多くなっていることがわかった。

【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. 吉野暢晃, 島田幸治郎, 石川栄作, 持田陸宏, 周瑞辰, 孫錢哲, 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, 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解析, 第24回 大気環境学会 九州支部研究発表会 第17回 室内環境学会 九州支部研究発表会, 福岡, 2024年3月8日

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。現在太陽活動は第25サイクルに入り, 宇宙天気現象の増加が予想される。



クウェート大学の新キャンパスと宇宙線観測局

本年度は, 基地局の一つであるクウェート大学のキャンパス移転に伴い検出器の移動を行った。また, ネットワークセキュリティ向上のため順次行っている観測用PCの更新について, 今年度はオーストラリア局で更新を行うことができた。残っている局のPCについても順次更新していく予定である。並行して行っているデータ解析では, 中性子モニターとミュ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一定の成果が得られた。暫定結果ではあるが, 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, 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」という説を補強する結果が得られている。これを含む解析結果は昨年名古屋で開催された宇宙

線国際会議等で報告された。

- Y. Masuda, et al.; Galactic cosmic ray variations associated with February 2022 “Starlink” magnetic storms observed with global networks of neutron monitors and muon detectors, Proc. ICRC(Nagoya), 2023
- Y. Hayashi, et al.; Cosmic ray variation caused by coronal mass ejections without direct impact on Earth, Proc. ICRC(Nagoya), 2023
- K. Munakata, et al.; Analysis of temporal variation of cosmic ray intensity observed with global networks of neutron monitors and muon detectors, Proc. ICRC(Nagoya), 2023
- 増田吉起「地上宇宙線観測による Starlink イベントの解析」, ISEE 研究集会「太陽地球環境と宇

宇宙線モジュレーション」2024. 3

- 宗像一起「Cosmic ray observation using global detector network」, ISEE 研究集会「太陽地球環境と宇宙線モジュレーション」2024. 3

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) SO₂ 木星衛星イオ環境を模擬した低温 SO₂ 固体の変性と中間赤外線分光イメージング測定

木星衛星イオは、太陽系内で最も活発な火山活動を有しており、火山噴火によって二酸化硫黄 (SO₂) を主成分とするガスが供給される。夜や木星蝕中において表面は約 90 K まで冷却され、大気中の SO₂ ガスが凝華 (凝縮) することで霜状の SO₂ 固体が表面に堆積する。一方で、昼になると太陽光によって表面が約 120 K まで加熱されることで SO₂ 固体は昇華し、10⁻³ Pa 程度の希薄な大気が形成される。

イオにおける SO₂ の大気および表面の固体については、観測と実験により様々な知見が得られてきた。ALMA によるサブミリ波観測では、木星蝕前後でスペクトル線強度が大きく変化したことからプルーム内で SO₂ ガスの凝縮が発生した可能性が示唆されている

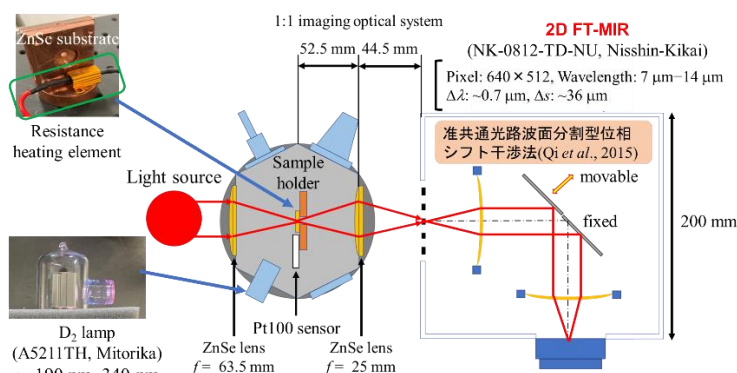


図1. 開発した低温固体 *in-situ* 赤外分光イメージング測定装置。本年度において、低温固体微粒子のアニーリング用加熱機構と、紫外線光源をサンプルステージ近傍に配置し、実験を行った。

(Koga *et al.* 2021)。しかしながら、純回転遷移に対応する電波領域では、分子の回転運動が制約される固体を観測することは原理的に不可能である。一方で、振動-回転遷移に対応する赤外領域では、ガスに加えて凝縮後の固体を観測することも可能である。Voyager I 探査機は大気の熱赤外スペクトルを観測し、~8.7 μm に SO₂ ν₁ 振動 (対称伸縮振動) の弱いバンドを、~7.4 μm に SO₂ ν₃ 振動 (逆対称伸縮振動) の強いバンドを検出した (Pearl *et al.*, 1979)。表面の SO₂ 固体については、Galileo 探査機がイオ表面の近赤外線を分光観測し、SO₂ 固体の大きさや疎密がイオ表面の場所によって異なることが判っている (Douté *et al.*, 2001)。

本研究では、図1に示す自作の実験装置を用い、イオ表面の低温低圧な環境を再現して SO₂ 固体を堆積し、アニーリングや紫外線照射を行った。液体窒素クライオスタットの真空チャンバー内 (≥ 80 K, ≥ 10⁻⁴ Pa) にパルスノズルを用いて SO₂ ガスを噴出し、100 K 程度に冷却された加熱体付サンプルホルダーの貫通穴上 (φ3 mm) に固定した ZnSe 基板に SO₂ 固体を堆積した。そこへ光源の中間赤外線を垂直照射させ、准共通路波面分割型位相シフト干渉法 (Qi *et al.*, 2015) に基づく、イメージングフーリエ変換中間赤外線分光器 (2D FT-MIR) を用いて 360 μm 四方の間隔で縦横 11×11 の透過吸収イメージングスペクトルを取得した。その結果、図2に示すとおり ~7.5 μm (SO₂ ν₃ 領域) に強いバンドが、~8.7 μm (SO₂ ν₁ 領域) に弱いバンドが観測された。そして、アニーリング: ~105 K ⇄ ~120 K を行うと ν₁ 領域のバンド強度 $I(\nu_1)$ が不可逆的に約 1.5 倍増強した。この不可逆的なバンド強度の増強は、イオ表面の SO₂ 固体の熱履歴の指標となる可能性がある。その後、重水素ランプの紫外線: 190–340 nm を 3 時間程度照射すると、三酸化硫黄 (SO₃) ν₃ 領域 (縮重伸縮振動) に相当する 7.2 μm にピークが出現し、その強度は照射時間とともに増大することを見出した。SO₂ 分子の結合解離エネルギーが 218.7 nm であることから、解離・再結合反応と、電子励起 (B←X バンド) にともなう項間交差で獲得する余剰エネルギーによって引き起こされる協奏反応 (Ito *et al.*, 2023) との競合反応で SO₃ が生成したと考えられる。

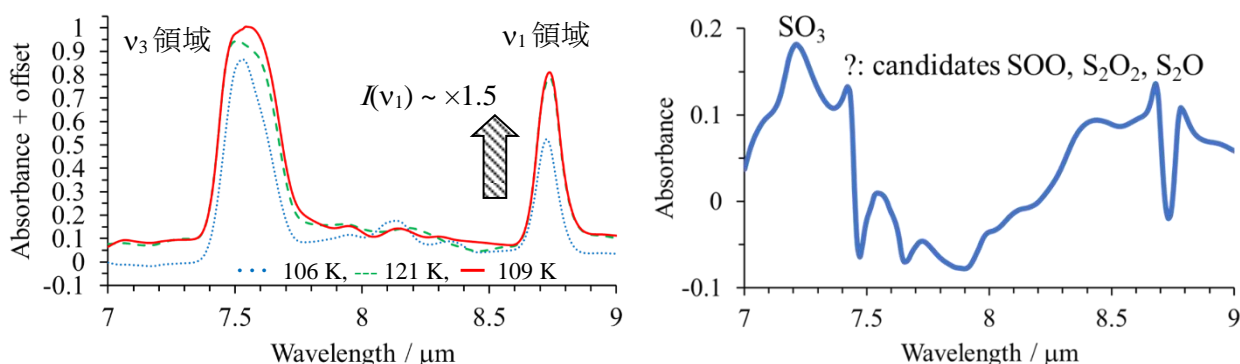


図 2(a) SO_2 固体のアニーリングによるスペクトル変化。 v_3 領域ではバンド形状とバンド幅がわずかに変化したのに対し、 v_1 領域ではバンド強度 $I(v_1)$ が不可逆的に 1.5 倍ほど増強した。

図 2(b) SO_2 固体に 184 分間、紫外線を照射した前後の差スペクトル。 SO_3 v_3 領域に相当する $7.2 \mu\text{m}$ にピークが出現した。また、 $7.4 \mu\text{m}$ 付近に他の解離生成物によるピークが出現した。

(2) 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。

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 $7.75 \mu\text{m}$ (N_2O 分子の v_1 振動モード付近) に強い吸収バンド、及び $8.60 \mu\text{m}$ (N_2O $2v_2$) と $7.27 \mu\text{m}$ (N_2O v_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 3 (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 ($190\text{--}340 \text{ nm}$) 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 3 (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 NO_2 (v_3)もしくは NO_2 に相当する波長 $7.66 \mu\text{m}$ に新たな吸収ピークを確認し (図 3 (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。 v_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： $3.6 \times 10^{-4}/\text{s}$ 》生成定数： $4.3 \times 10^{-23}/\text{s}$ 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。

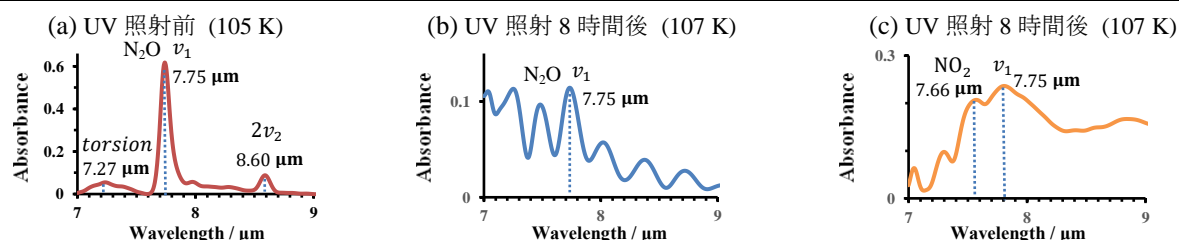


図 3: N_2O 氷の UV 照射前後の中間赤外スペクトル (a), (b):ZnSe 基板中心付近、(c):外縁部

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($> 1.0 \mu\text{m}$)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観測するOH分子の発光スペクトルから80 km高度の大気温度の導出も行い、急激に進行する北極高緯度での気候変動への現状把握や本質的理解、電離圏への影響、そして将来予測精度向上へ貢献する。

【研究結果】

2023年1月21日にNIRAS-2及びNIRACで観測された $\text{N}_2^+ \text{Meinel } (0,0)$ バンド（以下、 $\text{N}_2^+ \text{M}$ と表記）の時空間変動とESRで同時に観測された電子密度の変動を比較した。図1にこのイベントのサマリープロットを示す。(a)ロングイヤービンの地磁気H成分と同期するように(b)NIRAS-2及びNIRACで計測された $\text{N}_2^+ \text{M}$ の強度が上昇している。特にNIRAS-2においては40 kRを超えるような増光が確認された。(d)ESRで計測された電子密度も $\text{N}_2^+ \text{M}$ の上昇に合わせて、高度100 km付近までの増大が明らかで10 keV程度の降下電子の存在が示唆される。図2はNIRAS-2で測定した $\text{N}_2^+ \text{M}$ の強度とESRで計測された高度110 kmの電子密度の散布図で、両者に相関係数0.86と非常に高い正の相関が確認できた。また図2中の赤線は $\text{N}_2^+ \text{M}$ 強度が電子密度の1/2乗に比例すると仮定した場合の曲線フィッティングの結果で、この仮定がよく成り立っていることを示している。

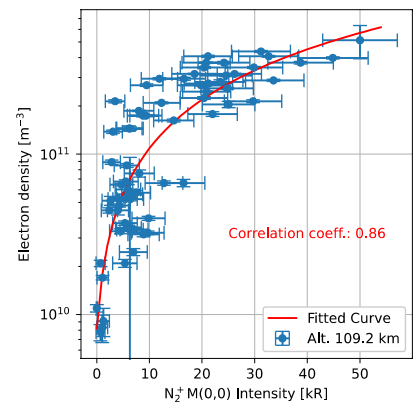
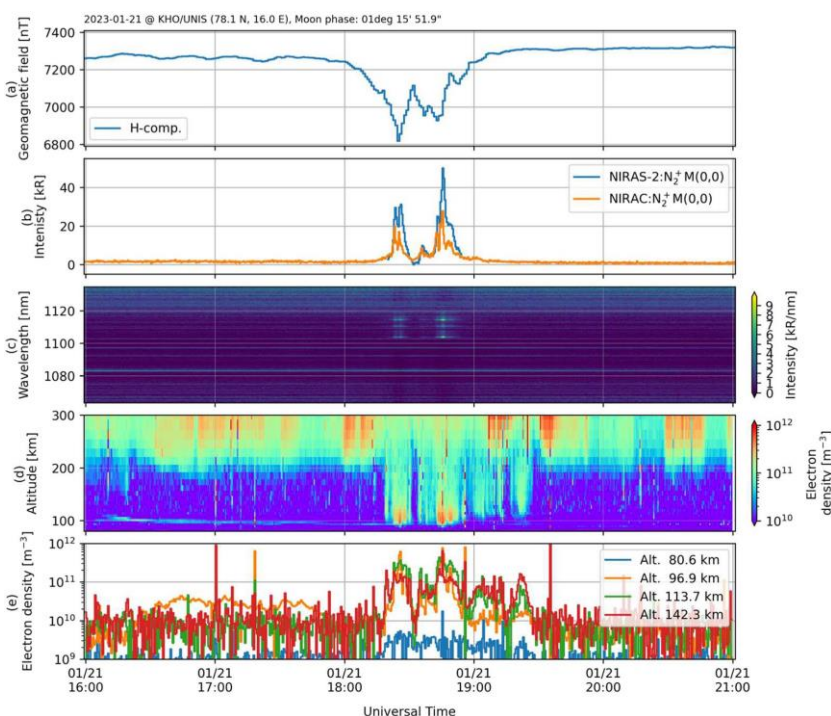


図1 (左) 2023年1月21日16-21 UTのロングイヤービンでのサマリープロット

図2 (上) NIRAS-2で計測した $\text{N}_2^+ \text{M}$ 強度とESRで計測された高度110 kmの電子密度の散布図

(共に出典は下記、主著論文[1])

その他にも、NIRAS-2の分光観測によって、波長1.1 μm のOH Meinel (5, 2) bandのOH回転温度の導出と温度の検証を実施し、2023年11月の磁気嵐時にはNIRACを試験的に5秒サンプリング（露光4秒）で運用し、ブレイクアップに伴うオーロラの微細構造（図3）の撮像に成功した。

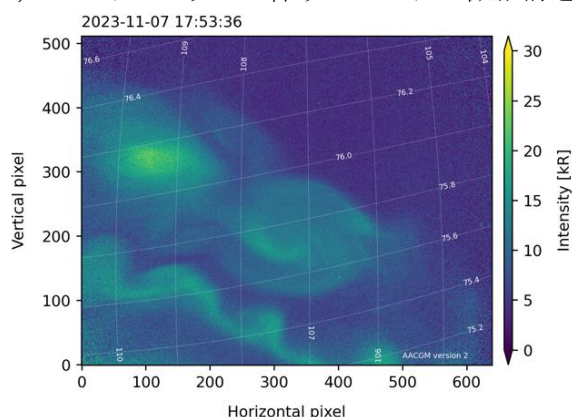


図3 2023年11月7日17:53:36 UTに撮像されたブレイクアップ直後のオーロラ微細構造。
K-H不安定性に起因すると思われる渦構造（画面中央）や波状構造（画面下側）が確認できる。
視野は110 km高度を仮定して200 km × 100 km、空間分解能は視野中心で0.3 km。

【考察】

2023年1月のESR同時観測の結果は、今まで十分に検証されてこなかった N_2^+M の発光過程に重要な観測的事実をもたらした。電子の生成-消滅が準平衡状態であるならば、電子の生成率は電子密度自身の1/2乗に比例するため、 N_2^+M の発光強度と電子生成率は比例関係であると言える。これは N_2^+M の発光過程において降下電子による N_2 分子への直接衝突による励起が支配的であることを示す。またESRの観測からは N_2^+M の発光層が100 km - 120 kmに位置することも明らかになった。

【まとめ】

NIRAS-2及びNIRACによる N_2^+M の光学観測とESRの同時観測によって、未だ詳細が不明であった N_2^+M の発光過程に重要な観測的提言をもたらした。また、OH大気光による中間圏上部の温度導出手法も確立され、今後は他波長によるOH回転温度や流星レーダーによる風速との比較や科学的議論を進める。NIRACについては、5秒サイクルにおける N_2^+M オーロラ撮像の有用性が示し、今後ますますの増加が予想される磁気嵐に向けて、オーロラ用の特別運用のモデルを確立できた。

【成果発表】

主著論文

[1] Nishiyama, T., Kagitani, M., Furutachi, S. et al. The first simultaneous spectroscopic and monochromatic imaging observations of short-wavelength infrared aurora of Meinel (0, 0) band at 1.1 μm with incoherent scatter radar. *Earth Planets Space* 76, 30 (2024). <https://doi.org/10.1186/s40623-024-01969-x>

プレスリリース

[1] 国立極地研究所ほか、「ヒトの目には見えないオーロラを初撮像」
<https://www.nipr.ac.jp/info2023/20240314.html>

学会発表（主著のみ）

- [1] Nishiyama et al., Initial results of NIRAS-2 and NIRAC installed at KHO/UNIS, Longyearbyen, Svalbard (78.1° N, 16.0° E), JpGU 2023, Chiba, Makuhari Messe, 26 May 2023
- [2] Nishiyama et al., Initial results of short-wavelength infrared imaging spectrograph and monochromatic imager, NIRAS-2 and NIRAC, installed at KHO/UNIS, Longyearbyen, Svalbard (78.1° N, 16.0° E), IUGG 2023, Berlin, 18 July 2023
- [3] Nishiyama et al., Temperature diagnostics for the upper mesosphere and lower thermosphere region estimated by the NIRAS-2 and the NIRAC at Longyearbyen (78° N, 16° E), 2023年SGEP SS秋季大会, 東北大学, 2023年9月24日
- [4] Nishiyama et al., Temperature diagnostics for the winter mesopause region estimated from N_2^+ (0, 0) Meinel band at 1.1 μm observed by the NIRAS-2 and the NIRAC, The 14th Symposium on Polar Science, NIPR, 16 Nov. 2023
- [5] Nishiyama et al., 短波長赤外分光及びイメージングによる高緯度朝側オーロラの観測, 脈動オーロラ研究集会, 名古屋大学, 2024年1月11日

最高精度宇宙線ミュオン望遠鏡による宇宙天気観測

Space Weather observation by the highest accuracy cosmic-ray muon telescope

小井 辰巳、中部大学・理工学部

【研究目的】

惑星間空間磁場における磁気旋回半径が0.1~1AU程度という銀河宇宙線を利用した宇宙天気研究の進展が目的である。

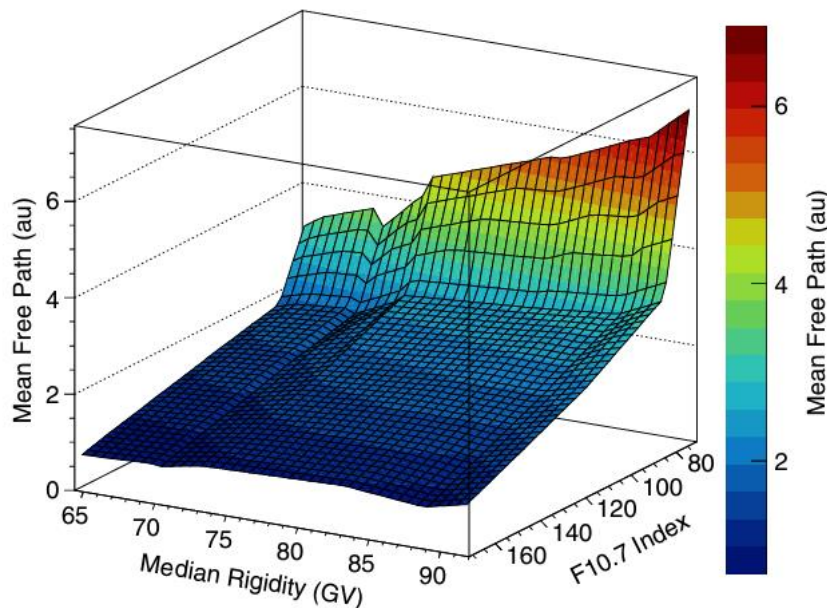
【研究方法】

日印共同宇宙線実験GRAPES-3のミュオン望遠鏡は、大面積による高精度、広視野でありながら、他の宇宙線地上観測装置に比べて圧倒的な高方向分解能を持っている。このGRAPES-3のミュオン望遠鏡の22年間、2太陽周期に亘る観測結果を解析することによって、静穏時の銀河宇宙線の太陽圏内での伝播にかかわる基礎的な物理量を導くとともに、その変動を調べることによって、宇宙天気に関わる地球近傍での突発的な現象についても、惑星間空間磁場や太陽風プラズマの速度などといった他の測定量との関係性を探る。またGRAPES-3のミュオン望遠鏡と同様の方向分解能をもつ装置を日本国内に建設することによって、地球近傍における宇宙天気の突発的な現象の多点同時観測を目指している。

【研究結果】

GRAPES-3のミュオン望遠鏡の高方向分解能は、宇宙線の地球磁場との相互作用と相成って、異なる剛度、すなわち、エネルギーの銀河宇宙線の測定を行っていることに通じる。23年度は、インドのタタ基礎研究所から、Gupta氏とBalakrishnan氏を22年度に引き続き招聘し、GRAPES-3のミュオン望遠鏡の22年間2太陽周期に亘る長期間のデータを、太陽電波強度に基づいて、太陽活動度別に分類して、それぞれにおける、太陽宇宙線強度変動と、太陽風速度の関係についての論文作成し、Physical Review Dに投稿し出版された。

以下、簡潔にこの論文についてまとめる。太陽圏内において、太陽風中の乱流磁場が銀河宇宙線(GCRs)の等方的分布に対して半径方向の密度勾配を形成することが知られている。移流拡散モデルにおいては、GCRの強度の変動と太陽風速度(VSW)の間に反相関関係が存在すると予想されている。この研究では、2000年から2021年までの22年間のGRAPES-3データを用いて、これらの測定値を詳細に分析した。太陽風速度の変化率とGCR強度の変化率の比率の絶対値として定義される「HK」パラメータを導入し、これがGCRsの剛度(64~92 GV)、および太陽活動度(F10.7 71~172 s.f.u.)にどのように依存するかを定量的に評価した。得られた結果から、HKパラメータはGCRsの剛度と太陽活動との両方に依存していることが明らかになりました。また、いくつかの仮定に基づいて、HKを用いて得られた情報から、太陽圏内のGCRの拡散と伝播を特徴づけるパラメータ、the radial diffusion coefficient κ_{rr} と the parallel mean free path λ_{\parallel} を推定し、その結果、磁力線に平行方向の平均自由行程 λ_{\parallel} がGCRsの剛度に対して正の



勾配を持つことが示され、太陽活動の上昇に伴いこの勾配が急速に減少する傾向が観察された。
滞在中に、Balakrishnan氏は、名古屋大学で開かれた宇宙線国際会議で、GRAPES-3の宇宙天気予報に関する潜在能力についての発表を行った。この他に、本研究に関して二つの研究発表がこの国際会議で行われた。

【成果発表】

[1]The dependence of parallel mean free path of high-energy galactic cosmic rays in the heliosphere on their rigidity, and solar activity as measured by the GRAPES-3 experiment. H. Kojima
Phys. Rev. D 109, 063011 – Published 8 March 2024

【日本物理学会】

[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(31) 小島浩司, 柴田祥一, 大嶋晃敏他, 2023 年:「日本物理学会・第 78 回年次大会」: 16aS32-3

[2]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(32) 小島浩司, 柴田祥一, 大嶋晃敏他, 2024 年:「日本物理学会・2024 春期大会」: 23pW2-3

[3]地上ミューオン観測のための地球磁気圏における宇宙船の軌道計算 鬼頭浩志, 2024 年:「日本物理学会・2024 春期大会」: 23pW2-3

【宇宙線国際会議】

[1] Solar wind velocity dependence of the flow of galactic cosmic rays perpendicular to the ecliptic plane on the polarity of the interplanetary space magnetic field H.Kojima, S.Shibata, A.Oshima et al., 2023 年:「宇宙線国際会議 (名古屋大学)」: PSH3-22

[2] Dependence of solar diurnal variation on solar wind speed T. Koi, H.Kojima, S.Shibata et al., PoS(ICRC2023)1340

[3] The potential role of GRAPES-3 experiment in space weather forecasting B. Hari haran, 2023 年:「宇宙線国際会議 (名古屋大学)」: PSH1-04

(別紙様式 01-2)

インドネシア広域地磁気観測網の展開による赤道・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的は、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の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は、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。

本目的を達成するため、今年度は、ブラウイジャヤ大学の協力の下、インドネシア・東ジャワ州へ3成分フラックスゲート磁力計の設置をおこなった。設置に先立ち、ブラウイジャヤ大学本部(マラン市)を訪問し、学長への挨拶を行った。来年度以降、共同研究に関する覚書を締結する予定である。

その後、バトゥ市チャンガル地区にあるブラウイジャヤ大学火山地熱研究センター(Brawijaya Volcano and Geothermal Research Center)へ移動し、2024年から3月18-22日にかけて設置作業を行った。また、取得したデータをインターネット経由で九州大学へ伝送し、リアルタイムで状況を確認できるようにした(http://magdas2.i-spes.kyushu-u.ac.jp/realtime/fig/mag9_CNG.png)。

設置直後の2024年3月22日(インドネシア気象気候地球物理庁によると、2024-03-22 15:52:58 WIB(UT+7hour))に、設置地点に近いジャワ島東部を震源とするM6.5の地震が発生した。リアルタイムプロットの同時刻頃に磁場データに大きな乱れがあったため、データを確認したところ、センサー傾斜計データのX,Y成分が15:53:30(08:53:30UT)過ぎから振動を捉えていたことが分かった。他方で、磁場データの大きな乱れはこの振動開始からはずれており、この変動は、同時期に地震計設置場所補修に伴う作業が実施されていたための人的ノイズであると推察される。今後、同観測点に設置されている地震計データとも比較し、より詳細な解析をおこなう予定である。

また、同年3月23日(0130UT頃)のX1.1LDEフレアに伴って発生したFull-Halo型CMEが2024年3月24日(1430UT頃)に地球に到達し、急始型磁気嵐が発生した。これに伴う磁気嵐急始部(SC)等が捉えられた。

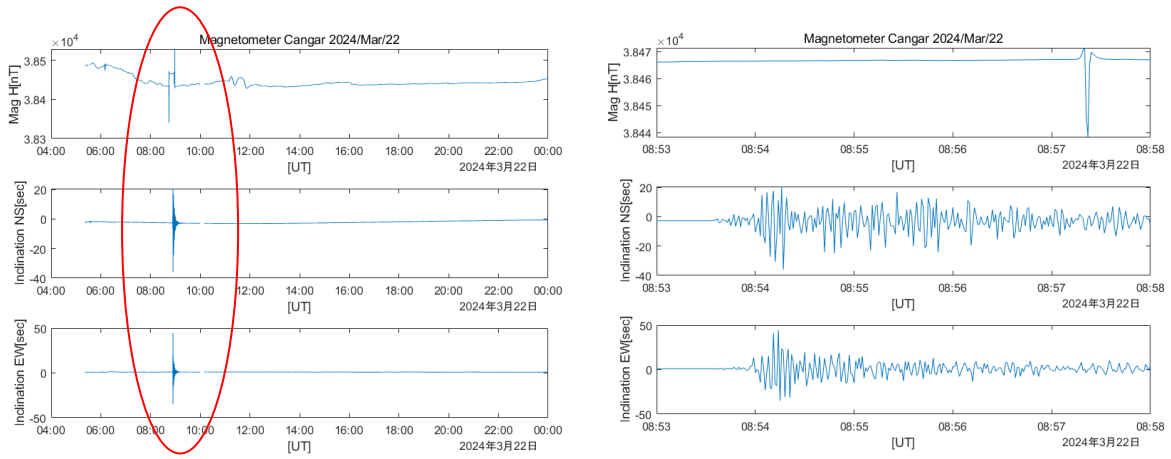
このように、本共同研究にて設置された磁力計は、直後から地震・火山活動・宇宙天気活動の大きな変化を捉えている。今後も興味深いデータを取得し、分野横断的な共同研究が発展することが示唆される。



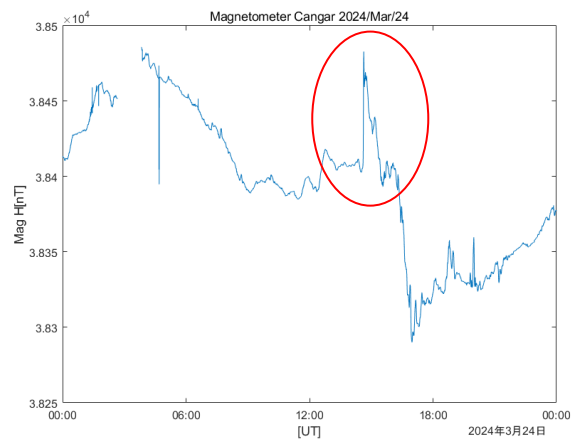
ブラウイジャヤ大学本部にて：左よりDr. Girgis(Kyushu Univ.), Prof. Sukir(Brawijaya Univ.), Prof. Widodo(Brawijaya Univ.), 阿部(Kyushu Univ), Dr. Takla(NRIAG, Egypt)



(左) 設置状況、(中) 磁力計センサー、(右) データ記録伝送装置



取得データ1 : (左)2024年3月22日 チャンガル観測点の磁場変動H成分、センサー傾斜X成分、センサー傾斜Y成分。時間は1日分。(右) 同日0853-0858UTの拡大図。磁場と傾斜のピークはずれている。



取得データ2 : 2024年3月24日 チャンガル観測点の磁場変動H成分。磁気嵐急始部 (SC) が確認できる。

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2回実施されており、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。今後の水星軌道投入まで水星フライバイ観測は更に4回予定されている。

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の不具合や、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。そこで機上ソフトウェアの更新に必要な情報を増やすため、MSAのフライトスペア（フライトモデルと同一）を用いて、2024年1月下旬から2月上旬にかけてI SASのビーム照射試験設備にて機能試験を実施した。写真1は真空槽にセットしたものである。イオンビームへの機能追加作業を行った。周期的にビームをON/OFFする機能が追加で必要となったため、事前準備として、ファンクションジェネレータをイオンビーム制御用の電源構成に追加した。その後、フランスからの開発メンバー3名が合流し、およそ1週間に渡ってデータ取得作業に従事した。ドイツの機上ソフトウェア開発者とは毎日メールで連絡を取り、幾つかの版で都度ソフトウェアの更新を行い、その機能を試験した。



写真1：真空槽にセットしたMSAフライトスペア

【研究結果】

不具合の再現までは試験中に実現できたが、取得したデータの詳細解析は現時点で終了しておらず、原因特定は今後の課題である。BepiColomboは2024年9月に次の水星フライバイを予定しているため、それまでにソフトウェア改訂版を準備する要請がある。更新版を探査機にアップロードするには、そのビーム試験が必要であるため、同様の試験を次年度にも行うことを予定している。

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 characteristic

寺尾 徹、香川大学・教育学部

研究目的

本研究の科学的な目的は、WCRPおよびGEWEXとの連携のもとでのアジアの水文気候学的プロジェクトAsian Precipitation Experiment(AsiaPEX) の発展を軸に、2021-2023年度の期間に南アジアの研究者と当該地域の諸プロジェクトの連携を強めることを通じて、アジアモンスーン変動の解析・モデリング研究を重点的に推進することである。アジアモンスーン理解の最も重要なカギを握っている陸面と大気のカップリング、日変化から総観規模・季節内変動・季節進行（モンスーンオンセットを含む）・年々変動・十年周期・数十年周期に至る多重スケール間相互作用に着目した共同研究を展開した。特に陸面過程と日変化はアジアモンスーン理解の基盤にあるが、気候モデル等での再現が難しい問題であり、説明が求められている。

アジアモンスーン域は、日変化においても季節内変動においても季節進行においても顕著な対流活動と循環系の変動がみられる。インド亜大陸の東側から北側にかけてのこの地域の変動を一体としてとらえ、アジアモンスーンにおける役割を解明する。プレモンスーン期とモンスーン期、ポストモンスーン期の違いと遷移、日変化の観測およびモデルによる再現、熱帯低気圧やモンスーン低気圧などの総観規模擾乱の特性の記述、降水変動をもたらす循環場の季節内変動の解明を目指す。

研究方法

上記の目的に沿って、AsiaPEXを中心とした国際共同研究を進めるため、特にアジアの水・エネルギー循環と気候変動影響の解明や衛星データの評価のためのデータ解析を主たる研究方法として推進した。同時に、国際的なフィールドキャンペーンのプランニングのための研究者の協議を深めるための研究者のGEWEXとの協議を積み重ねた。

研究結果

ユーラシア大陸から東アジアにかけての、夏季・冬季モンスーン期における陸面過程が重要な役割を持つ年々変動、季節内変動にまたがるタイムスケールの変動に着目し、そのメカニズムをデータ解析によって調べた(Li et al. 2023; Zhou et al. 2023; Tamura and Sato 2023)。Tamura and Sato (2023)は、日本付近の最近の気候変動影響について解析し、日本の北海道のオホーツク海沿岸域において、海水の後退による顕著な高温化、湿潤化トレンドが、特定の気圧配置のケースに関連して起こっていることを見いだした。このことは、従来の気候変動影響評価の手法であるpseudo-global warming (PGW) approachの問題点を示唆するものとなっており重要である。

また、インド亜大陸北東部の複雑地形域において、自前で設置した雨量計データと雨滴粒度計データを用いた、衛星による降水量推定の評価を行い、当該地域における衛星による降水量推定値の顕著な過小評価を検出し、降水特性との関係を論じた (Murata et al. 2024)。複雑地形上の衛星による降水量推定の精緻化のインパクトは大きく、重要な研究成果となった。

2024年に実施予定のバングラデシュ2か所 (Dhaka, Sylhet)、インド1か所 (Guwahati) での同期したインド亜大陸北東部での高層気象強化観測を念頭に、2023年9月にテスト観測を成功裏に実施した。自動気象観測装置もこれらの3地点に設置し、データ取得もほぼ順調に進んでいる。2024年度にむけて活用する予定の陸面モデルの候補を検討している。

これらの成果を背景として、5月に日本・中国・韓国・インドなどの30人以上の研究者の協調によるレビューペーパー (Terao et al. 2023) の出版にこぎつけた。更に本年度は、7月5-7日にIrelandのMaynoothにて行われたGEWEX Hydroclimatology Panel (GHP) ミーティングに研究者を派遣し、AsiaPEXの最近の研究成果を報告するとともに、AsiaPEXのサイエンスプランの策定に向けた最終の協議を行った。この協議に基づくサイエンスプランの策定を経て、AsiaPEXは2023年12月、正式にGHP枠気味のもと、Regional Hydroclimatological Project (RHP) のひとつとして承認された。レビューペーパ

ーは、2019年度のISEE「国際ワークショップ」に支援を受けた国際ワークショップを基盤に執筆されたものである。

南アジアにおいては特に、藤波らによるヒマラヤ南縁域のHiPRECSプロジェクト(Hirata et al. 2023)や、Das・寺尾らによる極端降水現象予測プロジェクトESSDMS、寺尾・村田らによるインド亜大陸北東部におけるSOHMONプロジェクト等が推進されており、観測装置を維持し、観測データを取得する活動を展開している。

東アジアにおいては、AsiaPEXと並ぶアジアのRHPとして、チベット高原及びその周辺地域において活動を推進しているThird Pole Environment (TPE) プロジェクトとも良好な関係を発展させてきた。今年度も、7月30日～8月4日にかけて開催されたAsia Oceania Geosciences Society (AOGS) 2023において、TPEとの協働のセッション” HS03 - The Third Pole Environment and High Mountains of Central Asia - Hydrometeorological Processes and Human Dimension”を開催し、研究交流を実施した。

考察と課題

ひとつの課題は、研究課題やプロジェクト上の重要事項に即したAsiaPEXの組織的な研究体制の構築である。もうひとつの課題は、南アジア・東アジアに比べて東南アジアにおける共同研究の積み重ねが十分ではないことである。これらの課題は、次年度2024年7月に札幌で開催されるGEWEX Open Science Conferenceを契機に解決を図っていく検討を進めている。

参考文献

Hirata, H., H. Fujinami, H. Kanamori, Y. Sato, M. Kato, R. B. Kayastha, M. L. Shrestha, and K. Fujita (2023): Multiscale Processes Leading to Heavy Precipitation in the Eastern Nepal Himalayas. *Journal of Hydrometeorology*, 24, 641-658. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-22-0080.1>

Li, S., T. Sato, T. Nakamura, and W. Guo (2023): East Asian summer rainfall stimulated by subseasonal Indian monsoonal heating, *Nature Communications*, 14, 5932. DOI: 10.1038/s41467-023-41644-5

Murata, F., T. Terao, Y. Yamane, A. Fukushima, M. Kiguchi, M. Tanoue, H. Kamimera, H. J. Syiemlieh, L. Cajee, S. Ahmed, S. A. Choudhury, P. Bhattacharya, A. K. Bhagabati, S. Dutta, and T. Hayashi (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. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2024-014>

Tamura, K. and T. Sato (2023): Localized strong warming and humidification over winter Japan tied to sea ice retreat, *Geophys. Res. Lett.*, 50, e2023GL103522, DOI:10.1029/2023GL103522

Terao, T., S. Kanae, H. Fujinami, S. Das, A. P. Dimri, S. Dutta, K. Fujita, A. Fukushima, K.-J. Ha, M. Hirose, J. Hong, H. Kamimera, R. B. Kayastha, M. Kiguchi, K. Kikuchi, H. M. Kim, A. Kitoh, H. Kubota, W. Ma, Y.-M. Ma, M. Mujumdar, M. I. Nodzu, T. Sato, Z. Su, S. Sugimoto, H. G. Takahashi, Y. Takaya, S. Wang, K. Yang, Satoru Yokoi, P. van Oevelen, and J. Matsumoto (2023): AsiaPEX: Challenges and Prospects in Asian Precipitation Research. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 104, E884-E908. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-20-0220.1>

Zhou, X., T. Sato, and S. Li, (2023): Interannual Variation of the Warm Arctic-Cold Eurasia Pattern Modulated by Ural Blocking and the North Atlantic Oscillation under Changing Sea Ice Conditions. *Progress in Earth and Planetary Science*, 10, 59. DOI:10.1186/s40645-023-00591-x

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、2024年春に、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を行うことで、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、これまでにはない質と量でもたらししてくれる。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

2024年4月打ち上げ予定のFOXSI-4のために、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行なった。

観測プランは、ひので衛星との共同観測をアレンジした。FOXSI-4は、X線帯域の集光撮像分光観測という世界初の観測を行う。一方で、ひので衛星搭載のX線望遠鏡はこれまでのX線観測のスタンダードであるフィルターを用いたX線撮像観測(分光能力なし)を行う。これらを比較することで、FOXSI-4で実施する観測の新規性について定量的な評価を行うことができる。

フレア予測については、草野教授(名古屋大学ISEE)に協力を仰ぎ、光球磁場をもとにした事前フレア規模予測を実施する枠組みを構築した。観測ロケット実験であるFOXSI-4の観測時間は、弾道飛行中の約5分間に限られるため、太陽の状況をGOES衛星のX線強度データを使ってリアルタイムでモニタし、太陽フレアの発生とともに打ち上げるという世界初の打ち上げ方式をとる。これはフレアキャンペーンと呼ばれ、リアルタイムモニタの仕組みの構築と、そのデータをもとにした打ち上げ判断基準の策定は米国チームが中心となり実施した。そして日本の貢献として、大規模なフレアを観測する確度を高めるために、先に述べた事前フレア規模予測を行うこととした。大規模なフレアが観測できれば、粒子加速現場の観測など、科学成果の最大化が期待できるためである。これまでにフレアキャンペーンのリハー

サルを複数回行っているが、日本から提供した事前フレア規模予測の結果は、複数ある活動領域（フレアを起こす領域）のどれを観測ターゲットとするかの順位付けにおいて、極めて重要な役割を果たしている。

観測装置については、日本が提供する装置（X線望遠鏡、プリコリメータ、可視光除去およびX線光量調整フィルタ、CMOSカメラ、CdTeカメラ）の評価を実施したのちに、米国に輸送、2023年7月から12月にかけてカリフォルニア大学バークレー校にて装置全体の組み立てと評価試験を行った。2024年1月から2月にかけてはニューメキシコ州ホワイトサンズの観測ロケット試験場にて観測装置の最終試験を行い、ロケットへの組み込みを行った。3月からは、射場のあるアラスカ州ポーカーフラットリサーチレンジにて、最終の打ち上げ準備を行っている。

一方、FOXSI-4の観測結果を理論的に解釈するための取り組みとして、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行っている。太陽フレア（磁気再結合）時のプラズマ環境をMHDで計算し、そこにテスト粒子を導入することで粒子の運動を調査するという取り組みである。この研究は、本研究メンバーのサポートと指導のもと、大学院生の研究課題として推進している。

このように、FOXSI-4の打ち上げに向けた準備は順調に進んでおり、2023年度（計画2年目）の目標は十分に達成できた。

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

学会発表を19件行った。内訳は、口頭発表が16件、ポスター発表が3件である。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。

また、FOXSI計画に関連する内容で、修士論文4篇、博士論文1篇が執筆された。



組み上げた観測装置(ロケット)を背景にホワイトサンズで撮影したFOXSI-4チームの集合写真

内部太陽圏探索のための BepiColombo 磁場観測
Study of inner heliosphere by BepiColombo magnetic field experiment

松岡彩子、京都大学・理学研究科

【研究背景・目的】

日欧共同の水星探査ミッションである BepiColombo は 2018年10月に打ち上げられた。2025年12月の水星到着までの約7年間、日本で JAXA 宇宙科学研究所によって開発・製造された「みお」および ESA が担当した Mercury Planetary Orbiter (MPO)、推進モジュール(MTM)がスタックした状態で惑星間空間を巡行する。これまで1回の地球フライバイ、2回の金星フライバイ、3回の水星フライバイを行い、最接近時刻を中心として観測データを取得している。3回目の水星フライバイは、2023年6月に行われた。

2つの探査機のそれぞれに2式ずつ磁場観測器が搭載され、惑星間空間の磁場の観測を行っている。MPO に搭載された磁力計のブームは伸展されているが、「みお」の磁力計マストは水星周回軌道投入まで収納された状態である。このため特に「みお」搭載の磁場観測器は探査機が出すノイズの影響を受けやすく、フライバイ時の惑星周辺磁場や惑星間空間磁場を精密に測定する万全の状況とは言えない。更に、スタック状態であることが要因となり MPO に搭載された磁力計のデータについてもノイズの分離など慎重な評価が必要となっている。現在 BepiColombo の磁場チームでは、計4式の磁場観測器のデータを組み合わせることにより探査機が出すノイズを適切に評価し、惑星周辺や太陽風を研究する目的を満足する精度を持つデータを出すことが出来るという認識を持っている。困難な条件にあるデータの較正、ノイズ除去を行い、惑星周辺の磁場構造に関する研究を推進する。

【研究方法と結果】

本研究では、(1) BepiColombo「みお」磁場データ処理・解析と、水星周回軌道投入後のデータをコミュニティで利用されるようにデータベース化するための準備作業(2)「みお」および MPO 惑星フライバイ時の磁場データによる、惑星周辺の磁場構造の研究の推進 を行っている。

(1) は、「みお」搭載磁場観測器の2式のセンサの位置の違いによる探査機磁場ノイズの影響の違い、MPO 搭載磁場観測器のセンサ位置における探査機磁場ノイズの影響を評価することによって、自然界の磁場と人工的なノイズを分離する手法を開発した。また、水星周回軌道投入後に速やかにデータを BepiColombo および関連する研究者コミュニティに提供するために、「みお」磁場観測器のテレメトリデータを処理して較正するパイプラインの準備作業を行った。ノイズ分離の手法の開発とパイプライン準備作業は、David Fischer 博士が中心となって行っているが、そのためには宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所のテレメトリデータストレージから適切にデータを読み出す方法や、磁場観測器のセンサ温度および環境温度の評価が必要であり、「みお」搭載磁場観測器の実験責任者である松岡(代表者)が適切に情報の整理と提供を行いながら作業を進めてきた。Werner Magnes 博士は磁場観測器ハードウェアの観点からのデータ評価、Daniel Heyner 博士は MPO による磁場観測器データの解析を担当した。

(1) で開発した手法により、2023年6月の水星フライバイ時のデータからノイズを除去し、磁場観測チームで共有した。これにより、水星フライバイ時の水星近傍・周辺におけるプラズマ・電磁環境の理解を進めることが出来た。

新型コロナウイルスの影響がかなり緩和された結果、2023年9月の BepiColombo サイエンスワーキングチーム会合および「みお」サイエンスワーキンググループ会合に松岡(代表者)が対面参加することが可能となった。また、研究メンバーの成田博士、Schmid 博士と松岡(代表者)が2023年11月23日に宇宙地球環境研究所を訪問した。これらの機会に、「みお」の磁場データ解析について綿密な打合せを行うことが出来た。

【考察とまとめ】

水星の3回目のフライバイデータからノイズを除去し、科学研究への使用が可能な質を持つデータを生成できたことは大きな成果であった。2023年は海外での対面による打ち合わせ機会が可能となっただけでなく、オンラインによる打ち合わせの機会の頻度も増しており、BepiColombo の水星到着に向けてデータベース整備の準備が着実に進行している。

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 shears

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

2023年度EISCAT特別実験に申請・採択された昼側電離圏観測を、2024年3月12日にEISCAT UHFレーダーを用いて実施した(08:00-12:00 UT)。ESR42mアンテナによる同時観測を現地スタッフに依頼していたが、電力不足による不可抗力によりESRが稼働不能となり、EISCAT UHFレーダーのみの観測となった。太陽活動度は、F10.7=128、地磁気活動度は、 $A_p=6$ であり、地磁気静穏時のデータを取得することが出来た。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、電離圏変動の比較が可能となっている。

図1に観測されたイオン温度とイオン速度を示す。イオン温度には極域加熱の効果は見られていない。

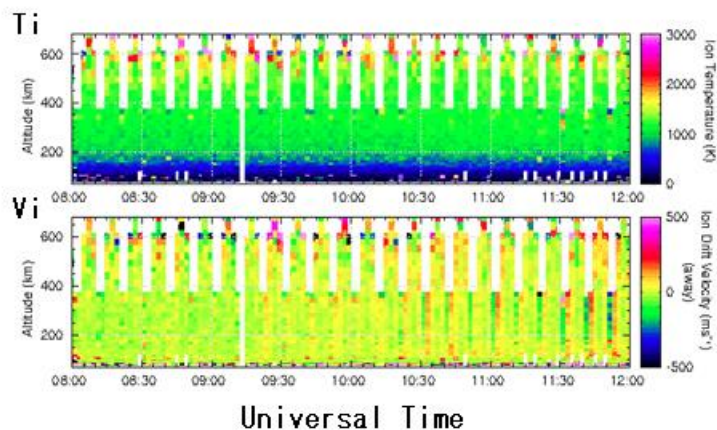


図1. 2024年3月12日にEISCAT UHFレーダーで観測されたイオン温度(上段)とイオン速度(下段)。

超音速熱圏風の可能性について

図2に全大気領域における音速の高度分布を示す。音速の計算に際してはMSISE-00の大気パラメータを使用した。温度の高度分布と組成分布の影響により、高度100 km から高度300 kmにかけて高度とともに大きく音速が増加していることがわかる(約260 m/s から約800 m/sに変化している)。

例えば、高度400 kmにおいて、熱圏温度を $T=1000$ Kとしてみると、音速は929 m/s、 $T=1200$ Kとしてみると、音速は1018 m/s、 $T=1500$ Kとしてみると、音速は1138 m/sと計算される。

図3に図2の音速を計算した際に用いた温度の高度分布を示す。音速の分布は、温度分布に大きく依存していることがわかる。ただし、高度210 kmから高度300 kmでは、ほぼ一定の温度となっているが、組成の違いにより高度が低いほど音速が小さいことがわかる。

以上により、高度200 kmから高度250 kmくらいの領域で、大規模な大気加熱を伴うことなく熱圏風を(600–800 m/s 程度にまで)加速することができれば、そこで超音速風が生じる可能性があると考えられる。

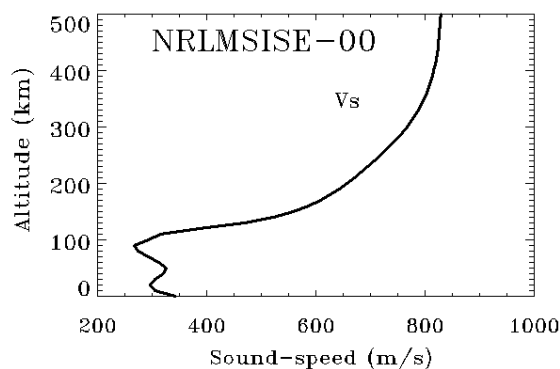


図2. モデル大気を用いて計算された全大気領域の音速の高度分布。

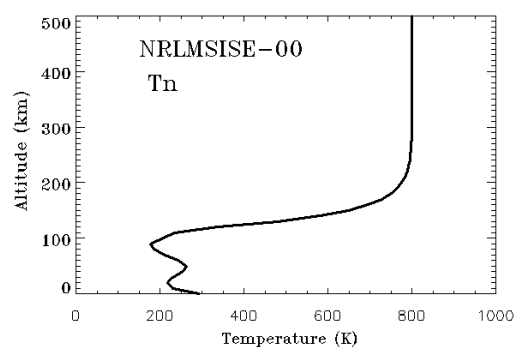


図3. 音速の計算に用いたモデル大気温度の高度プロファイル。

これまでのEISCATレーダーシステムによる観測から、高緯度昼側電離圏において高速イオン流が頻繁に発生していることが確かめられてきた。この高速イオン流とともにイオン温度の増大が見られる場合と、そうでない場合があった。後者の場合、高速イオン流による熱圏風の加速が起こる一方で、大規模な大気加熱は起こっていないと考えられる。例えば、2017年3月27日の場合がそれに該当する。図4に、ESR32mアンテナによるイオン温度とイオン流の観測結果を示す。

09:00–11:00 UTの間、高度200–300 km においてイオン温度は800–1000 K程度であり、イオン流速は、500–1000 m/sに増大している。中性大気温度は、イオン温度と同等かそれ以下と考えられる。熱圏風もイオン流速よりも低速と思われるが、イオン流の何%程度の速さになるかは状況によって大きく異なり、EISCAT観測期間中の熱圏風の大きさは、今のところ推定できていない。仮に熱圏風がイオン流と同程度にまで加速されていれば、それは

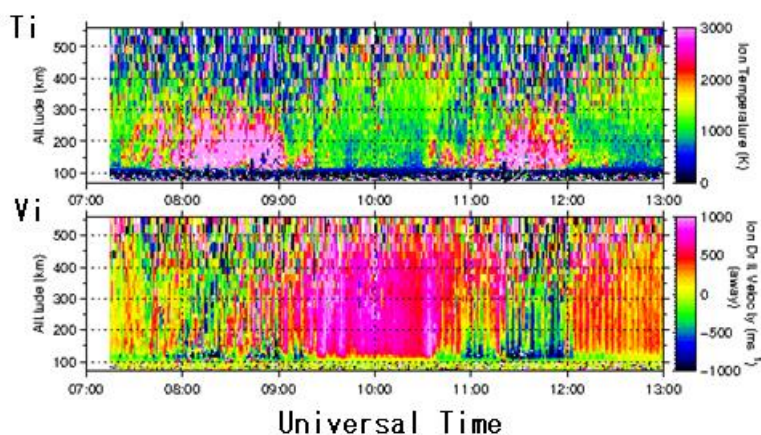


図4. ESR32mアンテナによるイオン温度(上段)とイオン流(下段)の観測結果。

超音速風となっていたはずである。

今後の課題

昼側電離圏領域において、高度200-300 kmでの熱圏風の観測が重要であるが、現状では実現は期待できない。過去の観測や、数値シミュレーションから熱圏風の大きさや、特に、イオンドラッグによる中性風加速(イオン流の何%程度に熱圏風が加速されるか?)についての知見を得ることが重要と考えられる。

本研究課題に関連した主な成果発表 (学会発表等)

Hitoshi Fujiwara, Yasunobu Miyoshi, Ryoho Kataoka, Daiki Shiota, Hidekatsu Jin, Chihiro Tao, Hiroyuki Shinagawa, Impacts of thermospheric variations on Low Earth Orbit satellites, AOGS 2023, July 30-august 4, Singapore, 2023. (Invited)

藤原 均・三好 勉信・片岡 龍峰・塩田 大幸・陣 英克・埜 千尋・品川 裕之, Effects of Thermospheric Mass Density Fluctuations on LEO Satellites, 地球惑星科学関連学会連合大会 (JpGU-AGU Joint Meeting), 5 月, 幕張/オンライン, 2023.

藤原 均・野澤 悟徳・小川 泰信・三好 勉信・堤 雅基, High-speed thermospheric winds with strong shear driven by fast ion flows in high-latitude polar regions, 地球惑星科学関連学会連合大会 (JpGU-AGU Joint Meeting), 5 月, 幕張/オンライン, 2023.

埜 千尋, 陣 英克, 品川 裕之, 三好 勉信, 藤原 均, 能勢 正仁, 村山 泰啓, 新堀 淳樹, 田中 良昌, 阿部 修司, 西岡 未知, 安藤 慧, GAIA シミュレーションデータの IUGONET・DOI 登録に向けて—DOI 登録システムの更新計画, 第 154 回地球電磁気・地球惑星圏学会, 仙台, 2023 年 9 月.

埜 千尋, 陣 英克, 品川 裕之, 三好 勉信, 藤原 均, GAIA 極域変動版を用いた大規模磁気嵐中の NmF2 と TEC の異なる振舞の調査, 第 154 回地球電磁気・地球惑星圏学会, 仙台, 2023 年 9 月.

陣 英克, 三好 勉信, 埜 千尋, 安藤 慧, 品川 裕之, 藤原 均, モデルパラメタ等による大気・電離圏シミュレーションの不確定性の評価, 第 154 回地球電磁気・地球惑星圏学会, 仙台, 2023 年 9 月.

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 7 日-8 日.

(別紙様式 01-2)

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。本研究では、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する。

本研究で特に対象とする現象は、ホイッスラーモード波動の電子ピッチ角散乱により生じる高エネルギー電子降下である。高エネルギー電子降下の観測は、申請者らが北米・北欧に展開したVLF帯受信機の電波伝搬を用いる。2023年度はKevo(フィンランド)、Athabasca(カナダ)、Poker flat research range(米国アラスカ)に設置された受信機の保守を行い、Athabascaではモノポールアンテナ、Poker flat research rangeではモノポールアンテナとデータ記録PCを更新した。また、ロングイヤービーエン(ノルウェー)には西山他によって開発され近赤外オーロライメージャが設置され、ニーオルセン(ノルウェー)に設置したVLF帯受信機により観測する高エネルギー電子降下現象と比較する準備が整った。

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は、名古屋大学が昭和基地で実施してきたミリ波分光放射計の観測データを用いて中間圏でのオゾン濃度変動の定量的解析を開始した。中間圏でのオゾン体積混合比(VMR)を推定する準備として、リトリバル手法の検証を実施した。その結果、中間圏オゾンのVMRを2%程度の精度で推定できることを確認した。今後は磁気嵐時に発生する高エネルギー電子降下現象と中間圏オゾン変動の関係について解析を進める。

ホイッスラーモード波動は電子とのサイクロトロン共鳴を通して電子の軌道を散乱する。共鳴エネルギーが高くなるためには磁場が強い高緯度域にホイッスラーモード波動が伝播する必要がある、そのメカニズムとして有力視されているダクト伝搬についてあらせ衛星によるプラズマ波動観測データの解析を行った。理論的に存在が予測されていた4つのダクト伝搬モードの同定に成功した。

成果論文リスト

- Hirai, A., Tsuchiya, F., Obara, T., Katoh, Y., Miyoshi, Y., Shiokawa, K., et al. (2023). Spatio-temporal characteristics of IPDP-type EMIC waves on April 19, 2017: Implications for loss of relativistic electrons in the outer belt. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 128, e2023JA031479. <https://doi.org/10.1029/2023JA031479>
- Tanaka, K., H. Ohya, F. Tsuchiya, K. Nozaki, M. Teramoto, K. Shiokawa, Y. Miyoshi, M. Connors, and H. Nakata (2022). Ultra Low Frequency Modulation of Energetic Electron Precipitation in the D-Region Ionosphere in a Magnetically Quiet Time Using OCTAVE Very Low Frequency and Low Frequency (VLF/LF) Observations. *Special Section on URSI-JRSM2022, Radio Science Letters* (volume 4). DOI:10.46620/22-0049
- Nishiyama, T., Kagitani, M., Furutachi, S. et al. The first simultaneous spectroscopic and monochromatic imaging observations of short-wavelength infrared aurora of Meinel (0,0) band at 1.1 μm with incoherent scatter radar. *Earth Planets Space* 76, 30 (2024). <https://doi.org/10.1186/s40623-024-01969-x>

学会発表リスト

- 西山 尚典, 鍵谷 将人, 小川 泰信, 津田 卓雄, 岩佐 祐希, 古舘 千力, Dalin Peter, Partamies Noora, 土屋 史紀, 野澤 悟徳, Sigernes Fred, A multi-event study of auroral intensifications in N2+ (0,0) Meinel band at 1.1 μm observed by the NIRAS-2 and the NIRAC, 地球電磁気・地球惑星圏学会2023 年秋季年会, 2023/9/25
- Nishiyama, T., M. Kagitani, S. Furutachi, T. T. Tsuda, Y. Iwasa, Y. Ogawa, N. Partamies, P. Dalin, S. Nozawa, F. Tsuchiya, F. Sigernes, Simultaneous Millimeter-wave Multi-line Observation at Syowa: Results in the First Year of Regular Observation, The 14th Symposium on Polar Science, Tachikawa, 2023/11/15
- Ampuku, Y., F. Tsuchiya, S. Kurita, Y. Kasaba, Y. Katoh, M. Fukizawa, Y. Kasahara, S. Matsuda, A. Kumamoto, M. Kitahara, Y. Miyoshi, S. Nakamura, A. Matsuoka, I. Shinohara, Ducted propagations of whistler mode waves in density enhanced and depression ducts observed by the Arase satellite, JPGU 2023, Makuhari, May 21 2023.
- 水野亮、中島拓、長濱智生、溝口玄真、後藤宏文、片岡龍峰、田中良昌、小池陸斗、江尻省、富川喜弘、鈴木ひかる、土屋史紀、村田功、笠羽康正, 高エネルギー粒子降下の大気影響理解のための昭和基地における多輝線ミリ波同時観測の現状と今後の計画, 地球電磁気・地球惑星圏学会2023 年秋季年会, 2023/9/25
- Mizuno, A., H. Goto, T. Nakajima, T. Nagahama, G. Mizoguchi, R. Kataoka, Y. Tanaka, R. Koike, M. K. Ejiri, Y. Tomikawa, H. Suzuki, F. Tsuchiya, I. Murata, K. Y., I. E. I. R. Consortium, Simultaneous Millimeter-wave Multi-line Observation at Syowa: Results in the First Year of Regular Observation, The 14th Symposium on Polar Science, Tachikawa, 2023/11/15
- 土屋史紀, VLF帯・LF帯伝搬伝搬を用いた高エネルギー電子降下による熱圏下部・中間圏電離現象の観測, 名古屋大学 宇宙地球環境研究所 融合研究プロジェクト「Energetic Particle Chain -高エネルギー荷電粒子降り込みが中層・下層大気に及ぼす影響-」ミニワークショップ, 2023/4/20

僻地へ展開可能な多方向宇宙線モニターによる惑星間擾乱観測
Observation of Interplanetary Disturbances with a Multi-
directional Cosmic Ray Monitor Deployable to Remote Areas
研究代表者 野中敏幸、所属：東京大学・宇宙線研究所

研究背景・目的

地上の宇宙線観測装置を用いた、低エネルギーの銀河宇宙線の強度変動と異方性の観測を通して太陽活動による惑星間空間の状態の変化を観測する手法が存在する。[1,2,3,4] 現在、展開されているミュオン計は、信州大学グループによる GMDN、インドタミルナド州に設置されている GRAPES-3 ミュオン望遠鏡[5]、長期にわたって安定して稼働している名古屋大学ミュオン望遠鏡が主な装置として存在する。

私たちは米国ユタ州の高地に約 700 平方キロの面積に展開された 1 台 3 平米の 2 層式シンチレーション粒子検出器 508 台を 1.2km 間隔で設置し平均稼働率 95%を維持しながら 2008 年から 13 年間運用している。本研究の目的はこれまでの $1500m^2$ の検出器での時系列での強度変動の測定を継続しつつ、現存する地上での宇宙線ネットワーク観測網の過疎地である北米大陸に、方向分解能を加えた装置を安価に Off-Grid で安定稼働させる方法を確立する事である。

研究方法

前述した本研究の目的にあるように、Off-Grid に装置を設置し、既存の宇宙線モニター装置と同等なデータが得られた場合のデータを想定する事、検出器を構成するものに必要な部分を試作するなどを進めている。今年度は以下の事について進めた。

1. 明野観測所での試験に用いるための比例計数管について制作業者と検討を行った。制作と納品は次年度に持ち越す事となった。
2. 米国ユタ州にある、コンクリートシールドを備えたシンチレーション検出器の動作チェックを行い、エレクトロニクスの不具合を確認した。
3. インド GRAPES-3 実験での多方向計の応答関数のシミュレーションと同等なものの再制作を進めている。

研究結果

米国ユタ州に設置している既存の装置（方向分解能が無い）で取得しているデータ解析を継続している。本年度、いくつかの太陽フレアによる Forbush decrease を検出している。

本年度、公表できる研究成果を得る事ができなかった。

研究予算を全額未使用のまま返納する結果となった。

期待される成果：

僻地で運用可能な方向弁別機能を持つ宇宙線計によって、方向毎の情報を持つ観測点が北米に確保する事ができる。これにより、全球的に展開された観測網による事象の再構成での異方性振幅の評価精度が向上すると期待される。これによりこれまでの観測にかかる閾値に満たなかった振幅の前兆現象、その他の減少を GRAPES-3、GMDN 検出器などの検出器によってとらえる事が可能になると期待される。

成果発表(2022 年度)

学会報告

今年度学会報告を行うことはできなかった。

参考文献:

- [1] K. Munakata et al. Butsuri-Tansa Vol.65 No. 3 (2012) pp. 173-179
- [2] Kozai et al. Earth, Planets and Space 66:151 (2014)
- [3] K. Munakata, J. Geophys. Res., 105(A12), 27457– 27468
- [4] K. Nagashima and K.Fujimoto et al.,Planet space sci (1992) 40 1109
- [5] T. Nonaka PhD thesis Osaka City University (2005)
- [6] T.Nonaka et al. Proceedings of 37th international cosmic ray conference, PoS(ICRC2021)1255

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

2023年度は、課題1について、以下の研究を行った。

ニュージーランドのMDM-EYR観測点ペア ($L = 2.5 - 2.8$)、EYR-TEW観測点ペア ($L = 2.2 - 2.5$)の地磁気変動データを用いて、畳み込みニューラルネットワーク (Convolutional Neural Network: CNN) による機械学習を実施し、磁力線共鳴振動の自動検出・プラズマ密度推定を行う手法を開発した。先行研究 (2019 - 2022年 名古屋大学ISEE国際共同研究) においてCNNのClass Activation Mapping (CAM)を利用してBerube et al., (2003)のアルゴリズムによる誤検出を大幅に削減することに成功した。今年度の新しい試みとしては、画像処理におけるエッジ検出手法 (図1) を応用して、磁力線共鳴振動の自動検出を行う手法の開発に着手した。一方で、当初今年度に取り組む予定であったSolar Tsunami プロジェクトの地磁気観測データ ($L = 1.8 - 2.9$) に拡張する研究は、データ提供元であるニュージーランド側の諸般の事情により、データ提供が遅れたため、行うことができなかった。この問題に関しては、2024年2月に研究代表者がニュージーランドを訪問し、共同研究者と協議を行った。来年度はデータ提供が行われる予定であり、提供され次第、この課題に取り組む。

画像処理のエッジ検出手法を利用したFLRの検出

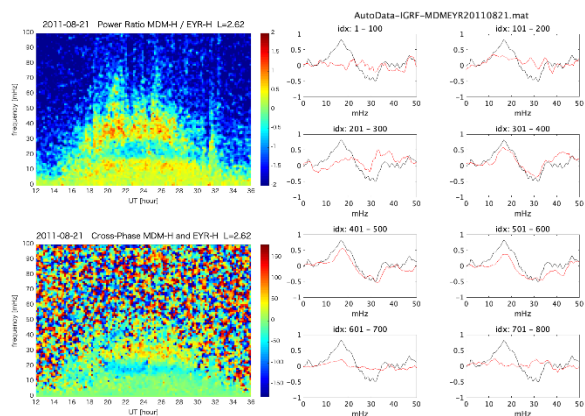
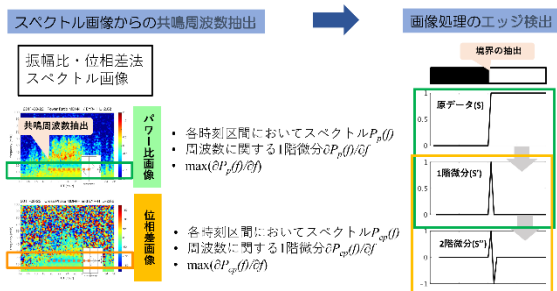


図1 エッジ検出の概念図 (左) とMDM-EYR観測点ペアの観測データを用いた解析例 (右)。

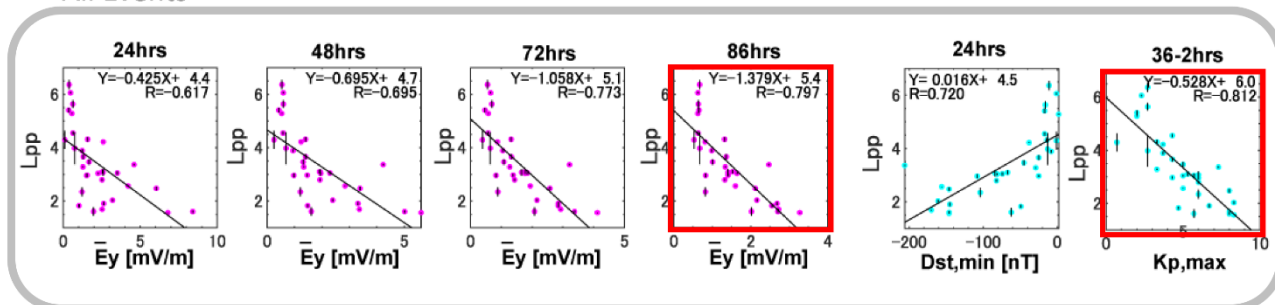
また課題2に対しては、以下の研究を行った。

磁気嵐中にプラズマ圏がどのように侵食されるかを調べるために、あらせ衛星が夜側 ($MLT=18\sim6$) の磁気圏で観測した33のプラズマ圏界面crossing イベントについて、プラズマポーズの位置 (L_{pp}) を3つの地磁気指標、太陽風が駆動する電場の東西成分: E_y の平均値、SYM-H極小値、Kp極大値と比較した (図2)。その結果、 E_y の履歴がプラズマポーズをより深い内部磁気圏に押し進めるために重要であることが示唆された。今後、より多くのプラズマポーズ交差事象をピックアップし、プラズマポーズの位置を

推定する新しい経験モデルを提案する予定である。

Plasmapause Location (Lpp) vs 3 Geomag. Indicators

All Events



Lpp<3 Events Only

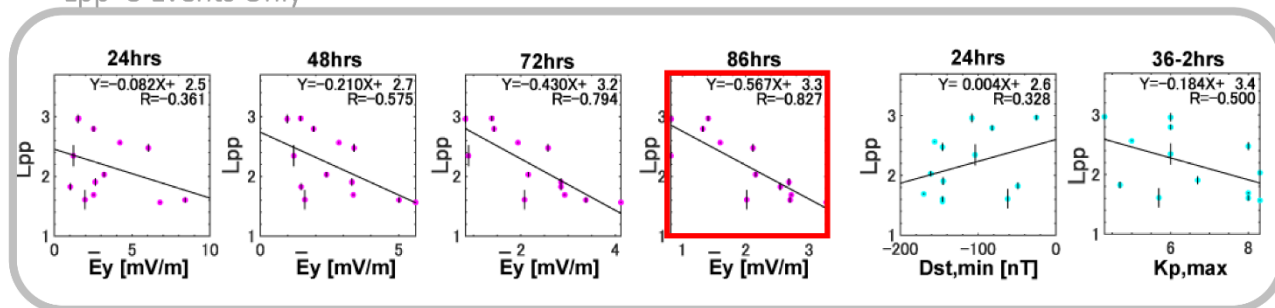


図2 プラズマポーズ位置(Lpp)とさまざまな磁気圏擾乱インデックスとの比較

【引用文献】

Berube, D., M. B. Moldwin, and J. M. Weygand, An automated method for the detection of field line resonance frequencies using ground magnetometer techniques, J. Geophys. Res., 108(A 9), 1348, doi:10.1029/2002JA009737, 2003.

【成果発表】

Obana, Y., Sakaguchi, K., Nosé, M. et al. New observational projects in New Zealand for studying radiation belt loss processes in the deep inner magnetosphere: instrumentation, operation by solar power and initial results. Earth Planets Space 76, 42 (2024). <https://doi.org/10.1186/s40623-024-01990-0>

Yuki Obana, Satoko Saita, Akiko Fujimoto, Tanja Petersen, Marijn Thornton, Malcolm Ingham, Craig J. Rodger, 'Automated detection of Field Line Resonances using Machine Learning Algorithms', SGEPS fall meeting, 26 Sep 2023, Sendai, Japan.

尾花由紀, 海老原祐輔, 土屋史紀, 熊本篤志, 笠原禎也, 松岡彩子, 堀智昭, 三好由純, 篠原育, 'プラズマ圏の極端縮小はどのようにして起きるか ～あらせ衛星観測に基づく磁気嵐時の夜側プラズマポーズ位置の解析～', 05 Feb 2024, 磁気圏の低エネルギープラズマ研究集会, 福岡, 日本.

(別紙様式1-2)

Na ライダー受信系に導入する磁気光学フィルタの透過率計測手法の確立

Establishment of the ultranarrow-band measurement for the Na lidar optical filter

川原琢也、信州大学・工学部

□ 研究目的

本研究は、ノルウェーEISCAT レーダートロムソ観測所に設置し観測を継続しているナトリウム (Na)ライダーの (1) 観測高度領域を熱圏(200 km)まで拡大し、これまで観測の空白領域だった高度領域(115-200 km)にて、大気温度と風速の定常観測を行うこと、(2) 夏季観測 (昼間観測) にまで観測期間を延ばすこと、を最終目標とする。その課題として背景光を除去する超狭帯域光学フィルタ (ファラデーフィルタ) の開発を進め、ライダー観測による温度風速パラメータの導出に最も重要な透過プロファイル計測手法を確立するのが本課題の目的である。

□ 概要

ファラデーフィルタは、直交配置した偏光子の間に強磁石と Na セルを配置し、磁気光学効果により透過帯域が約 2 pm (市販品の帯域の約 100 分の 1) という超狭帯域を実現するフィルタである。ファラデーフィルタを Na ライダーの受信系に配置する場合、観測時のフィルタ透過プロファイルデータが温度風速解析に必須の極めて重要な情報となる。本研究では超高分解能 ($\sim 0.001\text{pm}$) でのフィルタの計測手法を確立する。

□ 研究経過・手法

[磁気光学フィルタの透過率計測システム]

本研究のシステムは、理化学研究所に構築した。2 台の DFB レーザ (1064 nm と 1319 nm) からの光を PPKTP 結晶で和周波をとり、589nm 光を発生させる (Fig.1)。1064 nm の DFB レーザ結晶に印加する電流をスキャンすることで周波数変調を行い、発生する和周波で Na D₂ 線ピークを中心とする 30 pm の範囲をスキャンする。フィルタ透過率計測と同時に、Na 飽和吸収分光計測を行い、絶対波長の指標を記録し、補正に使用する。計測にはプロトタイプファラデーフィルタ (磁場強度 245mT, セル長 18mm) を使い、シミュレーションと比較して計測手法の検証を行った。

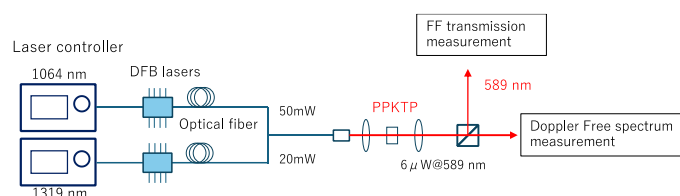


Fig.1 DFB レーザ光源と、和周波発生した 589nm を用いた
飽和分光システムとファラデーフィルタ計測システム。

[透過率計測結果]

透過率計測は、レーザ結晶に流すスキャン電流に対してフィルタを透過する光の強度で計測される。セル温度のみが設定値となる。これを、あらかじめ計測したデータを用い、横軸周波数、縦軸透過率に変換した。磁場強度とセル温度、セル長で計算される透過プロファイルと比較した (Fig.2a, 2b, 2c)。フィルタの透過プロファイルは計算予測とかなり良い一致を示している。ただし、セルの温度が数°C異なるなどの違いを見せており、今後の計測で検証を行なっていく。観測用望遠鏡に搭載するフィルタの実機が 2023 年度に完成した。今後はそれを用いた透過率計測と、セルを一定温度で保持した時の投下プロファイルの時間的安定性に関して計測を行なっていく。

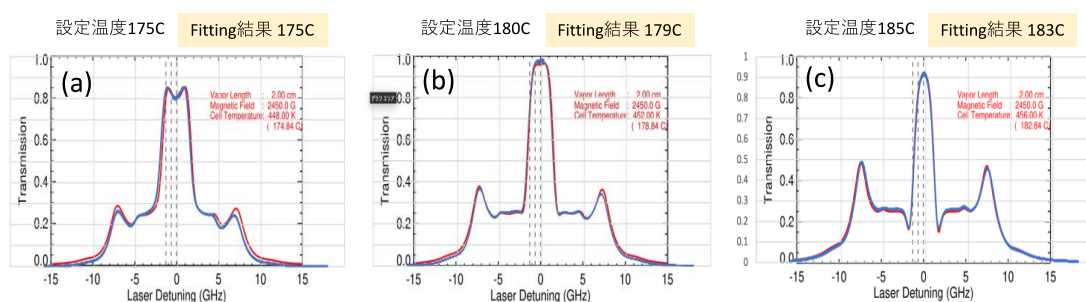


Fig.2 セル温度を(a) 175°C、(b)180°C、(c)185°Cに設定した時の透過率（赤線）と
もっとも一致する計算プロファイル（青線）。数°Cの食い違いが見られる。

□ まとめ

Na ライダー用狭帯域フィルタであるファラデーフィルタと、それを組み込む受信系の開発を進めてきた。フィルタの透過率は良い一致を示したが、微妙に異なる温度に関しては今後の検討が必要である。フィルタ透過率の時間安定性に関して今後の実験で検証を行う。

2023年度 02)ISEE International Joint Research Program 目次詳細

2023 02)ISEE / CICR International Joint Research Program
List

17 件

*所属・職名は2024年3月現在
*Affiliation and Department displayed are current as of March 2024.

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
Lazzara Matthew	University of Wisconsin-Madison, USA	Space Science and Engineering Center	Senior Scientist	Creation of a new high-quality dataset of East Antarctic meteorological observations	43	
Teh Wai-Leong	Universiti Kebangsaan Malaysia	Institute of Climate Change	Lecturer	Ion physics and energy budget in reconnection region	45	
Kishore Kumar Grandhi	University of Hyderabad, India	Centre for Earth, Ocean and Atmospheric Sciences (CEOAS)	Assistant Professor	Understanding the impact of solar proton events on middle atmospheric dynamics	46	
Shin'ichiro Asayama	SKAO, United Kingdom		SKA System Scientist	Development of a calibration scheme for the next-generation digital phased array system	49	
AZIZI HajiHossein	University of Kurdistan, Iran	Department of Mining, Faculty of Engineering	Professor	Geochronology and geochemistry of apatite grains in granitic rocks as a new method for discrimination of tectonic setting	50	
Johan Muhamad	National Research and Innovation Agency, Indonesia	Space Research Center	Researcher	Advancing Predictability of Coronal Mass Ejection Occurrence by Combining Photospheric Observations and Coronal Modeling	52	
Benny N Peter	Kerala University of Fisheries and Ocean Studies, India	Physical Oceanography	Adjunct Faculty	Impact of Indian Ocean dipole on South Indian Ocean surface circulation and productivity- Remote sensing perspective	54	

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
Chih-Chien Tsai	National Science and Technology Center for Disaster Reduction (NCDR), Taiwan	Meteorology Division	Associate Researcher	Academic exchange of weather radar research and application experiences between ISEE and NCDR	56	
Takuya Hara	University of California Berkeley, USA	Space Sciences Laboratory	Assistant Research Physicist	Multipoint spacecraft investigations on the solar wind and solar erupted magnetic flux ropes propagating from the solar surface to the inner heliosphere	58	
Dang Xuan Phong	Vietnam Academy of Science and Technology, Vietnam	Department of Planning and Finance	Associate Professor	Reconstructing Atmospheric ^{14}C across the Inter Tropical Convergence Zone Using Vietnamese Tree Rings	60	
Petr Vodička	Institute of Chemical Process Fundamentals, Czech Academy of Sciences	Department of Chemistry and Physics of Aerosols	Scientist	Relationship between natural fine aerosol chemical composition investigated by application of online and offline mass spectrometry techniques	61	
Aizawa Sae	LPP, CNRS, France	Department of Physics	Research Fellow	Cross-calibration of low-energy electron measurement obtained by Mio/BepiColombo with Solar Orbiter on the 10th of August 2021 and its solar wind property	63	
Nariaki Nitta	LMSAL, USA	Solar and Astrophysics Laboratory	Senior Staff Physicist	Diagnosing the Origin of Solar Energetic Particles in the Solar Corona	65	
Santolik Ondrej	Institute of Atmospheric Physics of the Czech Academy of Sciences, Czech Republic	Department of Space Physics	Professor	Analysis of whistler-mode waves in the Earth's magnetosphere using spacecraft and ground-based measurements	67	
Beatriz Sanchez-Cano	University of Leicester, UK	School of Physics and Astronomy	Lecturer and Ernest Rutherford Fellow	Influence of Large-scale Interplanetary Coronal Mass Ejections (ICMEs) Structures on the Propagation of Solar Energetic Particles (SEPs)	69	
Jyrki Manninen	University of Oulu, Finland	Sodankyla Geophysical Observatory	Deputy Director	Unique observations of ELF-VLF waves at OIJ, KAN, and other PWING locations	71	

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
Buranaprathepr at Anukul	Burapha University, Thailand	Aquatic Science, Faculty of Science	Assistant Professor	The influence of Indian Ocean Dipole on sea surface temperature and sea surface chlorophyll-a variations in the Andaman Sea based on satellite imageries	73	

Creation of a new high-quality dataset of East Antarctic meteorological observations

Principal Investigator: Matthew A. Lazzara (University of Wisconsin-Madison, USA)

Abstract:

Antarctic climate change has been studied using temperature data at staffed stations. The stations, however, are mainly located on the Antarctic Peninsula and in the coastal regions. Climate change is largely unknown in the Antarctic plateau, particularly in the western sector of the East Antarctic Plateau in areas such as the interior of Dronning Maud Land (DML). To fill the data gap, this study presents a new dataset of monthly mean near-surface climate data using historical observations from three automatic weather stations (AWSs). This dataset allows us to study temperature variability and change over a data-sparse region where climate change has been largely unexplored.

Motivation:

The interior DML in East Antarctica is one of the most data-sparse regions of Antarctica for studying climate change. To fill in the gaps, multiple AWSs have been installed along the route to Dome Fuji since the 1990s, and observations have continued at three stations (Mizuho, Relay Station and Dome Fuji) to the present day. Several concerns need to be addressed, however, before the AWS observations can be used for the wider study of climate change. One concern is that the use of passive-ventilated radiation shields for the temperature sensors at the AWSs may have caused a warm bias in the temperature measurements due to insufficient ventilation in the summer, when solar radiation is high and winds are low. A second concern is the change in the sensor height due to snow accumulation. Due to the strong surface temperature inversions in the remote interior, gradual decreases in the sensor height lead to a cold bias. A third concern is the possible occurrence of systematic errors in the records stemming from changes in the instrumentation at the stations. All of these factors make it difficult to detect the true signals of climate change. In this study we quantify the errors associated with these factors to create a corrected dataset that is available for the study of climate variability and change in the DML interior. The primary goal of our study is to recompute the monthly mean climate data from all of the available AWS observations in the DML interior.

Results:

Figure 1 shows the time series of corrected temperatures from the AWS observations at Mizuho, Relay Station, and Dome Fuji over the past 30 years. The remoteness and harsh climatic conditions in the interior of Antarctica prevented frequent maintenance visits. As we were unable to correct for instrumental failures and power failures, the observations could not be captured as a continuous record. The percentage of missing data was 21% at Relay Station, and 28% at Dome Fuji due to the even harsher environment. The rate of missing data at Mizuho, where no UW-AWS temperature data were available until January 2014, was about 49%, or about double the rate at the other two stations. Missing observations can be estimated using

temperatures from various global reanalysis data, which do not use any AWS observations in their data assimilation system. ERA5 is one of the candidates, as the monthly 2-m temperature data from ERA5 do not respond to the systematic biases that affect the original AWS observations and appear to be independent of the respective datasets analyzed. The reconstructed continuous records allow us to study temperature variability and change over the western sector of the East Antarctic Plateau, where climate change has so far been unexplored.

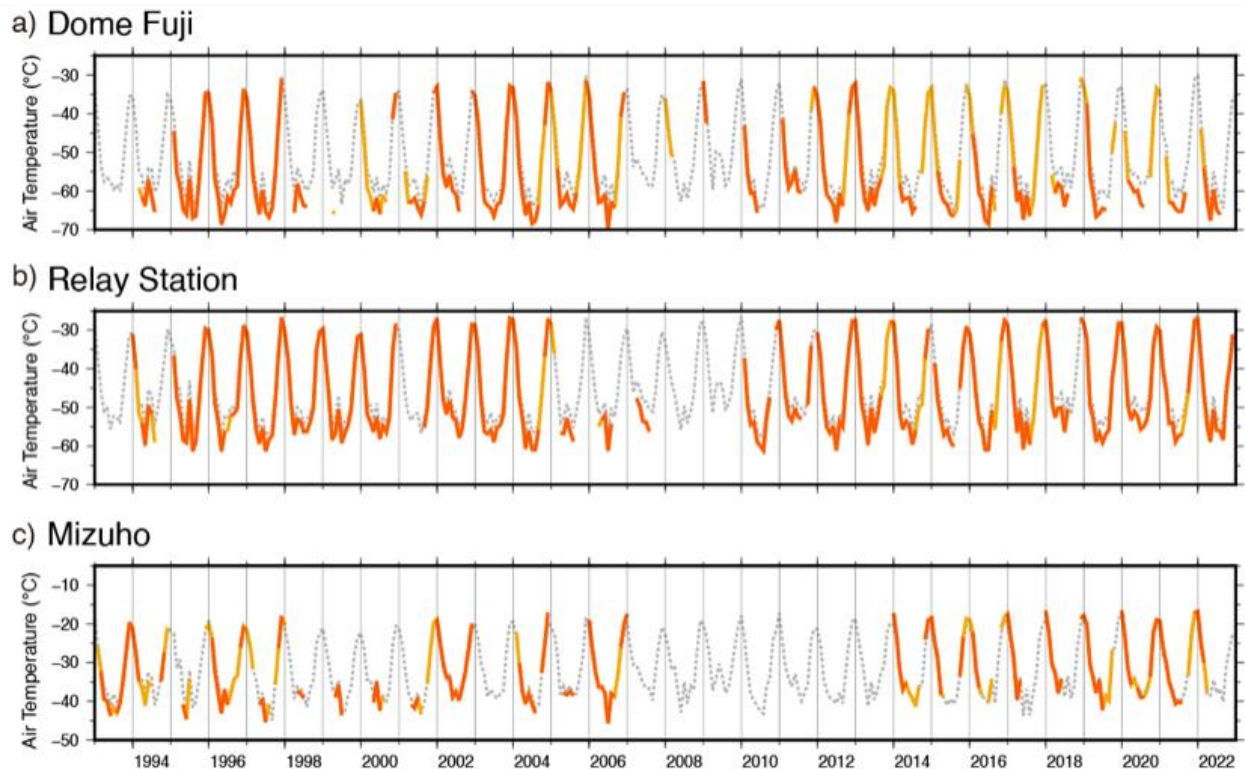


Figure 1. Monthly mean temperature time series from the corrected AWS observations (red line) and monthly mean 2-m temperature from ERA5 (dashed gray) at a) Dome Fuji, b) Relay Station, and c) Mizuho. The orange line is the corrected AWS observations, with a cut-off percentage of 70% for the computation of the monthly mean.

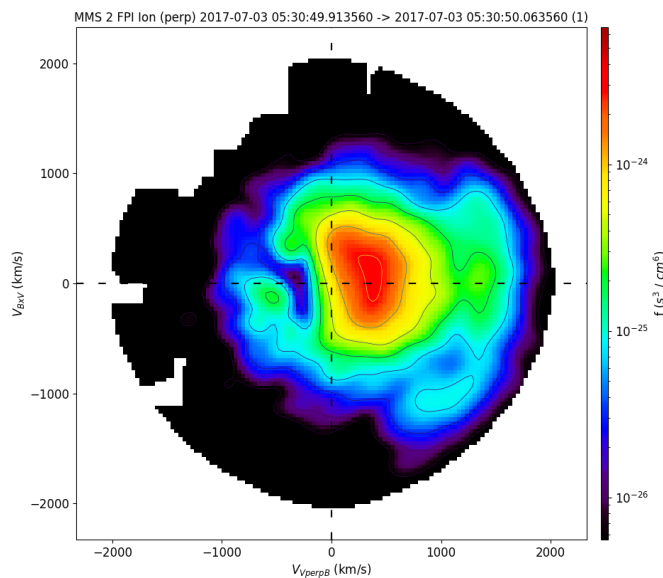
List of publication:

Kurita, N., T. Kameda, H. Motoyama, N. Hirasawa, D. Mikolajczyk, L. M. Keller, L. J. Welhouse, G. Weidner, M. A. Lazzara, Near-surface air temperature records over the past thirty years in the interior of Dronning Maud Land, East Antarctica, *J. Atmos. Ocean Technol.*, 41, doi:10.1175/JTECH-D-23-0092.1, 2024

Ion physics and energy budget in reconnection region

Wai-Leong Teh (Universiti Kebangsaan Malaysia)

This research project aimed to search for multiple crescent-shaped ion velocity distribution functions (VDFs) in the magnetotail reconnection region observed by Magnetospheric Multiscale Mission (MMS). Such ion features have not been reported yet in the reconnection region. The multiple crescent-shaped ion VDFs have been successfully identified in a reconnection event in the Earth's magnetotail (see figure). This ion dynamics was observed in the ion diffusion region.



The results have not been published or presented at the conference. We do not have a physical meeting at ISEE due to the limited budget. Our regular meetings were in the Zoom platform, one time in two months.

Understanding the impact of solar proton events on middle atmospheric dynamics

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

Summary and purpose:

The mesosphere and lower thermosphere (MLT) region serve as a crucial transition zone for wave dynamics and dissipative processes. Energetically, the MLT region is primarily influenced by waves originated in the lower atmosphere. Moreover, it is frequently subject to upper atmospheric forcing, predominantly driven by energetic particle precipitation. Despite its transient nature, the impact on the MLT region is significant due to its pivotal role as a transition zone between the lower and upper atmosphere.

In this study, our focus is directed towards understanding the effects of solar proton events on the MLT region. These events manifest in variations in meteor counts and horizontal winds, highlighting the intricate relationship between solar activity and MLT dynamics. By delving into these phenomena, we aim to elucidate the complexities of MLT variations under different forcing mechanisms, thereby contributing to a deeper understanding of atmospheric dynamics.

Database and Methodology

To accomplish our objectives, we leveraged extensive observations from meteor radars strategically positioned around the Arctic Circle. Detailed information regarding these observations is outlined in Table 1. The long-term nature of our dataset allowed us to comprehensively investigate the impact of solar proton events on the MLT region.

Station Name	Location	Time period	Reference
Alta	69.97°N, 23.24°E	08/09/2015-31/12/2022	Stober et al., 2021
Bear Island	74.5°N, 19°E	07/10/2007-21/04/2013	Nozawa et al., 2012
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

Given the abundance of solar proton events (SPEs) spanning from 2001 to 2022, we implemented a threshold condition to focus our analysis on events deemed significant in their impact on the MLT region. Specifically, we set a criterion requiring solar proton events to exhibit an Integral Flux of ≥ 10 MeV exceeding 1000 pfu. Through this filtering process, we identified approximately 21 events warranting further examination. This approach ensures that we concentrate our efforts on events with substantial potential to influence MLT dynamics, thereby maximizing the relevance and impact of our study. The meteor radar observations presented an additional avenue for analysis, particularly by examining meteor counts.

To address the dynamical variations in MLT winds and tides, we employed a least square fitting approach. This method involved fitting mean wind, diurnal, semidiurnal, and terdiurnal

components using a 5-day window shifted by 1 day. By applying this technique, we were able to effectively capture and analyze the temporal evolution of MLT wind and tide dynamics, providing valuable insights into their complex behavior and variability during SPE.

Results

Meteor echo intensity is intricately linked to background ionization levels, with heightened ionization during SPEs leading to decreased meteor counts. Additionally, our analysis revealed elevated noise levels during these events. Further analysis on a diurnal scale pinpointed the exact timing of the meteor count drop. Moreover, horizontal winds exhibited variations during SPEs, albeit with dynamic and case-specific impacts. These variations appear closely tied to localized circulations, potentially influenced by excessive Joule heating from strong electric fields and enhanced ionization. Efforts are underway to consolidate these findings based on long-term observations. Furthermore, enhanced semidiurnal tidal amplitudes were observed during SPEs, highlighting the complex interplay between solar activity, ionization levels, and atmospheric phenomena. These findings provide valuable insights into the effects of SPEs on MLT dynamics.

Currently, our work is focused on unravelling the underlying mechanisms driving these observed variations, thus contributing to a deeper understanding of the complex dynamics within the MLT region during solar proton events.

Period of Stay and Interactions

From 2nd June 2023 to 11th July 2023, I participated in the ISEE International Joint Research Program at the Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE). Associate Professor Satonori Nozawa from the Division of Ionospheric and Magnetospheric Research at ISEE hosted my visit. Throughout my stay, I collaborated closely with Prof. Masaki Tsutsumi from the National Institute of Polar Research (NIPR), Tokyo. In addition to regular engagement with my team members, Dr. Satonori Nozawa and Prof. Masaki Tsutsumi, I also engaged in scientific discussions with Prof. Mizuno and Dr. Nakajima, all of whom contributed valuable insights to our research efforts.

Dr. Satonori Nozawa provided an insightful overview of the working principles of the EISCAT radar and its associated observation datasets. Furthermore, I had an opportunity to attend an informal seminar conducted by Mr. Koyama, a PhD scholar working under Dr. Satonori Nozawa, on semidiurnal tide dynamics in the polar lower thermosphere.

As part of my visit, I delivered a talk titled “Mesosphere Lower Thermosphere Region: The Gateway between Atmosphere and Space” on 29th June 2023, sharing insights and findings from our research endeavors. I continued my research after returning to India and was also in constant touch with Dr. Satonori Nozawa. One of my PhD students is actively engaged and demonstrated a keen interest in this topic and actively contributing to our research efforts. Recently, some of our results were presented at the National Space Science Symposium-2024 held in Goa, India. The

collaborative experience at ISEE was invaluable in furthering our understanding of atmospheric and space science dynamics.

I want to express my sincere gratitude to Dr. Satonori Nozawa and his colleagues at the ISEE for their warm welcome and hospitality during my stay in Nagoya. Their generosity and support made my visit both enjoyable and productive. I am grateful for the opportunity to collaborate with such talented individuals and the knowledge and insights they shared during our discussions. Their expertise and dedication have undoubtedly enriched our research endeavors and laid the foundation for fruitful collaborations now and in the future. Thank you once again to Dr. Satonori Nozawa and the entire team at ISEE for opening the door to valuable opportunities and their hospitality throughout my stay. I look forward to continued collaboration and mutual growth in our scientific pursuits.

References

- 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.
- 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>

Development of a calibration scheme for the next-generation digital phased array system

Shin'ichiro Asayama (SKA Observatory)

The low frequency component of the Square Kilometre Array (SKA1-LOW) will be an aperture phased array in Western Australia. It will be composed of 512 stations, each of them consisting of 256 log-periodic dual polarized antennas, and will operate in 50 MHz - 350 MHz.

ISEE, Nagoya University have operated ground-based radio telescopes at 327 MHz for more than 30 years. Dr. Kazumasa Iwai at ISEE developed a next generation digital phased array IPS observation system at the same frequency band. The signal processor of the digital phased array can process 8 inputs and form 4 beams simultaneously. The quality of the beams produced by the new digital beamformer is crucial for its performance, and proper calibration steps are essential to avoid calibration artefacts. The various factors affecting the quality and stability of the beams, such as electronic stability, calibration errors and the element beam patterns of the individual antennas should therefore be studied.

The aim of this international joint research program was to explore a calibration scheme for the next-generation digital phased array system of ISEE.

The PI visited ISEE in 6th to 9th September 2023 and had several discussions with Prof. Iwai and his student. The PI introduced the calibration method used in the SKA-Low telescope. A detail of the calibration method and data reduction procedures were explained to the student. The system configuration and observation plan for the commissioning of the prototype system were discussed. The PI also visited ISEE in 11th to 13th March 2024. During the stay at ISEE, the PI joined the commissioning activities of the digital phased array prototype. Collaborators from the Osaka Metropolitan University (OMU) and Fukui University of Technology (FUT) were also participated. It was confirmed that the prototype system worked as expected. After the experiments, the PI and the students discussed openly data the status of the research activities. Further discussions on the construction strategy of the phased array instrument were also made.

This collaboration was presented on 4th March 2024 at the Japan Radio Astronomy Forum Symposium 2024. Another related research for a Phased Array Feed (PAF) was reported on 15th December 2023 by FUT prof. Yusuke Miyamoto at the Japan VLBI Consortium Symposium 2023.

Geochronology and geochemistry of apatite grains in granitic rocks as a new method for discrimination of tectonic setting

HajiHossein AZIZI (University of Kurdistan, Iran)

First of all, I would like to express my deep gratitude to the ISEE members during my stay at the ISEE for two months in the summer of 2023.

During my stay at ISEE, we did the following:

- 1-1. We separated apatite and zircon grains from more than 50 samples of different granitoid rocks in Iran Plateau.
- 1-2. As for the 50 samples for the host granitoid, we measured chemical compositions by ICP-MS and Sr-Nd isotope ratios by Thermal Ionization Mass Spectrometer (TIMS).
- 1-3. We chemically decomposed about 20 samples of apatite grains to measure trace elements including rare earth elements (REEs) by ICP-MS and Sr isotope ratios by TIMS.
- 1-4. We prepared 30 polished thin sections of the apatite samples to measure REE of the apatite grains by LA (laser ablation)-ICP-MS.
- 1-5. We did zircon U-Pb dating by LA-ICP-MS for the samples.
- 2-1. We did the chemical separation of ^{10}Be for twenty samples of young volcanic rocks recently measured at the University of Tokyo.
- 2-2. We did mineralogical analysis using XRD for sediment samples in NW Iran.
3. We discussed with our team in this project about our results in these two years.
4. I went on a one-day field trip with members of the ISEE Chronological Research to see the Shinshiro Tonalite and the Median Tectonic Line in the Japanese Islands.

During my stay, we continued our previous collaboration to write and complete our previous papers and to start writing some new ones. Two of our papers have been published in high-quality journals (First quarter), *Lithos* and *Journal of Petrology*, which focus mainly on the whole rock chemistry and isotope ratios. Now we are continuing our work on zircon and apatite chemistry, and we are looking to publish this year for some papers.

The abstracts of our papers, which are supported by ISEE 2022–2023, are listed below.

- (1) Azizi, H., Daneshvar, N., Rafat, G., Asahara, Y., Horie, K., Takehara, M., Kon, Y., Minami, M. and Anma, R., 2024. O–Hf isotope ratios of Alvand S-type granite, western Iran, reveal crustal melting in an extensional regime. *Lithos* **464**, 107437.

Abstract: There are a few intrusive bodies in the central Sanandaj-Sirjan Zone (C-SaSZ), which is parallel to the Zagros suture zone, in western Iran. The Alvand batholith in the Hamedan area is one of these bodies and consists of rock types with large variation, in particular, two-mica garnet-bearing granite with an S-type signature. Zircon U-Pb dating gives

crystallization ages of 170–163 Ma for the S-type granite. The $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ ratios in the zircon grains vary from 0.282001 to 0.282780 (rim), with low $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ ratios (0.002 to 0.018). The $\varepsilon\text{Hf}(t)$ values (rim) are clustered into two main groups: a negative $\varepsilon\text{Hf}(t)$ group (–6.9 to 0.0, $n = 39$), with some highly negative $\varepsilon\text{Hf}(t)$ values (–25.8 to –21.9, $n = 3$), and slightly positive $\varepsilon\text{Hf}(t)$ values (+0.3 to +2.9, $n = 14$) of inherited grains. The $\delta^{18}\text{O}$ values for the zircon grains are positive and range from +10.4‰ to +11.8‰. The high $\delta^{18}\text{O}$ (positive) and mostly negative $\varepsilon\text{Hf}(t)$ values are more consistent with continental crustal sources for these rocks, and the Hf model ages ($T_{\text{DM}2}$) show a wide range from 2.7 to 0.8 Ga, suggesting the heterogeneity of the crustal components. The long incubation time (2089 to 544 Ma) indicates a long history of crustal residence and crustal reworking. The incubation age of the zircon grains, >300 Ma, confirms the recycling of crustal material by partial melting. The simultaneous occurrence of S-type granites with mafic bodies, such as gabbro and diorite members with tholeiitic signatures, suggests that the injection of mafic magma increased the geothermal gradient from the bottom and sides along the major faults, which was the trajectory for the injection of hot mafic melts to shallow depths. These processes abnormally increased the geothermal gradients locally, and the partial melting of crustal and supracrustal materials produced S-type granites and migmatization among the hot blade-shaped mafic bodies. Therefore, the partial melting of crustal material in an extensional tectonic regime and/or in a thin continental crust occurred in a continental rift and/or in the Neo-Tethys passive margin. The present work concludes that the passive margin can be suggested as the tectonic setting for the generation of S-type granites, without the collisional regime that has been widely considered for the sources of this type of granite in the world.

(2) Azizi, H., Daneshvar, N., Asahara, Y., Minami, M., and Anma, R. 2023. The generation of Eocene mafic dike swarms during the exhumation of a core complex, Biarjmand area, NE Iran. *Journal of Petrology* **64**, egad039.

Abstract: Several swarms of parallel E–W dikes cuts late Neoproterozoic- to early Paleozoic (540 Ma) basement in the Biarjmand area, NE Iran. The microgabbroic to doleritic dike are several hundred meters long and 0.5 to 3 meters wide. U–Pb dating of their zircon grains yields a crystallization age of 46.0 ± 7.1 Ma for the dike swarms. The dikes have SiO_2 contents of 46.0–49.3 wt%, and Fe_2O_3 contents of 9.80–14.8 wt% with variable MgO (4.92–9.16 wt%), TiO_2 (1.47–2.65 wt%), and K_2O contents (0.33–1.13 wt%). The dikes have low contents of high field strength elements (HFSEs), and have some similarities to transitional mid-ocean ridge basalts (T-MORB) based on their chemical composition. Positive $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ values of +5.2 to +6.0 for the dike samples imply that the basaltic magma was generated from depleted lithospheric mantle. After the closure of the Sabzevar ocean and obduction of the large mantle peridotite body over the continental crust in the late Cretaceous-Paleocene, the gravitational instability in the central Iran/Eurasia plate collision zone triggered exhumation of old basement coeval with injection of the mafic magma. During exhumation, mylonitic deformation with brittle-ductile structures affected the basement metagranite and the host rocks. The metagranite and dike swarms cut the Cretaceous Sabzevar ophiolite, and the disparting of ophiolite members probably occurred during basement exhumation in the Cenozoic. The similar ages of the mafic dike swarms and other Eocene magmatic rocks of the Urumiah (Urmia) Dokhtar magmatic arc (UDMA), western Iran, is consistent with a rapid extensional regime over the Sabzevar suture zone on an earlier collision zone in NE Iran. This process provided a suitable setting for the exhumation of the old basement, the emplacement of the parallel dike swarm, and the development of shallow basins in this area.

Advancing Predictability of Coronal Mass Ejection Occurrence by Combining Photospheric Observations and Coronal Modeling

Principal Investigator

Johan Muhamad (National Research and Innovation Agency)

Purpose

In this research proposal, we propose to investigate several parameters on flare eruptive and non-eruptive (confined) ARs. Our main focus is to investigate the electric current and magnetic energy distributions on the ARs, because we believe that these parameters should be related with the reconnected flux and the magnetic topology of the ARs. This research is intended to complement the previous works done by Toriumi et al. (2017) and Lin et al. (2020, 2021) on the study of flare eruptivity by expanding the investigation more on the magnetic topology of ARs in addition to the measurement of some quantities derived from the photospheric magnetogram.

Methods

We started the investigation with 51 events in the flare event list by Toriumi et al. (2017) that has also been extensively studied by Lin et al. (2020, 2021). In our study, further investigation is conducted on several parameters that have not been covered by the previous studies, such as calculating electric current neutralization, analyzing the decay indexes above the ARs, and estimating magnetic energy and current density distributions. To correctly analyze the electric current distribution, we use 3-D coronal magnetic field extrapolations in the ISEE NLFFF databases that can provide 3 components of vector magnetic field in the photosphere. By doing this, we differentiate our study with other studies that only calculate vertical current densities and proxies of magnetic energies from the magnetogram data that have shortcomings in the vertical direction of spatial distribution. Comparisons between our results and the previous studies are conducted by examining quantities of various parameters and also comparing various maps of the different parameters to find the essential characteristics of the eruptive flare events.

Results

Re-investigation of the flare eruptivity events listed in the previous works resulted that several events are misclassified. These misclassified events were often unexplainable because they did not fit to established models used to classify eruptive and non-eruptive flare events. This discovery is important to bring a more accurate understanding about the mechanism that governs flare eruptivity. We found that using the corrected classification, we were able to achieve a more refined discrimination between eruptive and non-eruptive flares. We used the new arranged list to assess several parameters extracted from the photospheric magnetogram and the NLFFF data in relation to flare eruptivity.

The main parameter that we attempted to evaluate is the neutrality of electric current in the selected active regions. To estimate this parameter, we used SHARP photospheric magnetogram data (B_x , B_y , and B_z) and calculated vertical current densities in every pixel of the data. Some conditional filters were applied regarding the quality of the confidence level of the data at each pixel by using the `conf_disambig` parameters in the SHARP database. Then, the electric current neutrality of each magnetic polarity is calculated by finding the ratio between the direct electric current and the return current. After calculating the electric current neutralization for all the ARs in the data set, we compared the characteristics of these values between the non-eruptive and eruptive flares. Comparisons of the electric current neutralization between the eruptive and non-eruptive flares are shown in Figure 1.

In general, most of the eruptive ARs deviated from the current neutralization state, i.e., the ratio between the direct current and the return current was far from unity. These characteristics are consistent with the initial assumption that the non-eruptive ARs tend to be neutral. However, some events are inconsistent with this hypothesis. Our detailed investigation of these events shows that many of these ARs were very large in size, but the flaring regions were only limited to certain regions. As a result, the calculated current neutralization ratio is sometimes irrelevant to the eruptivity behavior of the AR because the interested region is significantly smaller than the whole region. This problem should be treated by selecting relevant magnetic fluxes that are related to the flaring sites. In order to do this, we evaluated the connectivity of the magnetic field lines from the NLFFF data and separated the relevant fluxes for a more accurate calculation. This work is still ongoing and the updated results will be published as soon as the work has been completed. We also try to develop a new parameter that can better describe and discriminate flare eruptivity based on this electric current neutralization and some undecided spatial parameters to consider the area of the relevant regions.

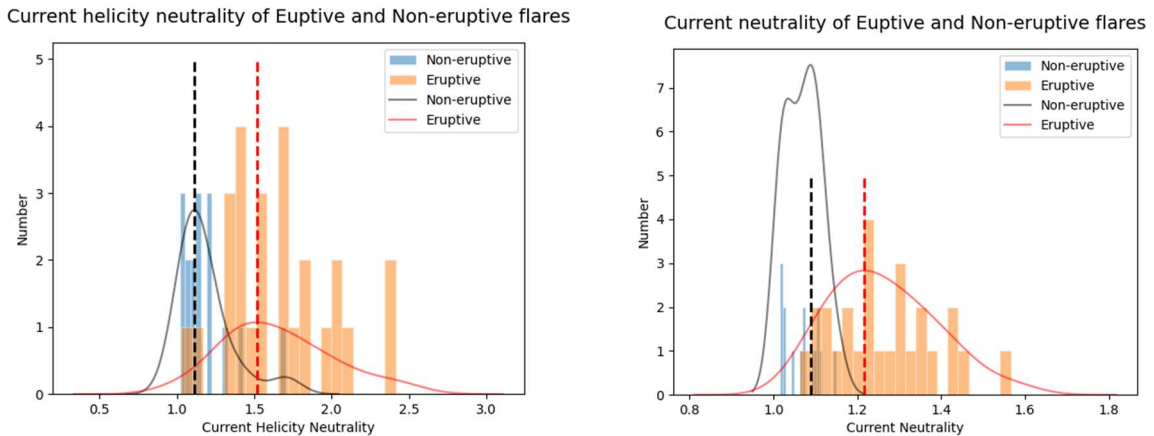


Figure 1. Calculated electric current and current helicity ratios of eruptive and non-eruptive flares.

Publication

The work is still in progress, and the results will be published as soon as the work has been completed.

Impact of Indian Ocean dipole on South Indian Ocean surface circulation and productivity- Remote sensing perspective

Benny N Peter

Kerala University of Fisheries and Ocean Studies, India

Purpose

The Indian Ocean Dipole (IOD) is the major climate mode occurring in the Indian Ocean region. It is significantly influencing the oceanic and atmospheric circulation and associated monsoon system. The oceanic ecosystems are strongly controlled by a wide range of Physical processes including temperature changes, horizontal and vertical transports and upwelling and mixing of deep water. All these physical processes are controlled by ocean dynamics. In addition to inter-annual variation, significant changes in ocean circulation are found on time scales from decades to centuries and on spatially from regional to basin scale. Such changes will result in modification of both the mean state and spatial and temporal variability of marine environment and ecosystems. Hence, the present study is carried out to understand the effect of IOD events on South Indian Ocean (SIO) circulation and biological productivity.

Method

The present study employed remote sensing observations from different platforms to derive the mean velocity field. The surface drifter data used in this study comes from the Global Drifter Program. The satellite altimetry data used were Maps of Sea Level Anomaly produced by the Collect Localization Satellites, France. Maps had been produced with a resolution of $1/3^\circ$ latitude and $1/3^\circ$ longitude and weekly since September 1992. The weekly mean ocean surface wind fields derived from the scatterometers on board ERS-1/2, QuikSCAT and ASCAT, generated by CERSAT, France (<http://cersat.ifremer.fr/>) were used to estimate the wind-driven Ekman velocity. The merged Chlorophyll Concentration obtained from GlobColor was used to study productivity.

The components of geostrophic velocity anomaly had been computed from altimeter sea level anomaly data using the conventional geostrophic relation. The time series maps of instantaneous geostrophic velocity field had been prepared by combining the time series MSLA with the estimated mean velocity field. The spatial and temporal variability of the zonal velocity component was determined employing EOF analysis. The monthly current field was superimposed over the Chlorophyll maps to find the influence of mesoscale dynamic features on Chlorophyll distribution and hence the productivity. Monthly winds and photosynthetically available radiation (PAR) were also compared with Chlorophyll distribution.

Results

Merging satellite altimetry and satellite tracked surface drifter observations the present study brings out the mean and seasonal variability of South Indian Ocean circulation. The mean field depicts the major currents of south Indian Ocean. The westward flowing South Equatorial Current (SEC) is prominent, and it spans between 8°S and 20°S . The South Equatorial Counter Current is well developed in the western side. The mean velocity

field displays strong western boundary currents in the South Indian Ocean. The SEC attains its maximum speed and branches towards the west and south as it reaches the Madagascar Coast. The SEC branches as southward flow along the Mozambique Channel and northward as East African Coastal Current when it impinges into the east coast of Africa. The Leeuwin Current (eastern boundary current) is not obvious in the mean field. Mesoscale variability is dominant along the Mozambique Channel and south off Java. The seasonal changes of Indonesian Throughflow, South Java Current and the SEC are playing significant roles in the mesoscale variability of the south Indian Ocean.

Significant changes are observed on the surface circulation of tropical south Indian Ocean during Dipole events. In positive Dipole period, the Indonesian Throughflow (ITF) is strong, and it takes a north-westward turn towards the equator. The equatorial Jet is absent and zonal westward flow prevails during the monsoon transition period. Strong circulation occurs in the eastern part compared to the west. During negative Dipole, the circulation is weak in the eastern side, whereas strong currents are observed in the west. Energetic mesoscale eddies present in the Mozambique Channel. The ITF is weak and is directed towards the SEC and SECC towards east is obvious near the equator.

Significant changes are observed in Chlorophyll distribution also between positive and negative dipole events. During positive dipole, enhanced Chlorophyll was found in the eastern side whereas, high Chlorophyll was during negative dipole in the western side between equator and 10 °S. Low Chlorophyll waters were occupied in the eastern part during negative dipole period. The significant mesoscale activity associated with surface circulation of the eastern region during positive dipole period influences the Chlorophyll distribution. During negative dipole the eastern region was not showing any significant mesoscale activity and hence diminished Chlorophyll distribution. The southeasterly wind was blowing along the coast of Java and Sumatra region during positive Dipole was favorable for upwelling. But, during negative Dipole the wind is mostly perpendicular to the coast. This causes different Chlorophyll distribution during positive and negative dipole periods of eastern part.

The distribution of PAR displayed higher intensity in eastern part in the ITF region and south of Java, while western side is cloudy During positive IOD. Just the opposite condition of PAR is found in negative IOD. Hence, the insolation is also favorable for higher Chlorophyll in the eastern side. The precipitation pattern is also shown corresponding to the PAR, thus increased rainfall in the eastern side during negative Dipole in the east south of Java, while the rainfall is comparatively stronger in the west during positive Dipole.

Thus, the IOD events are significantly influencing the SIO circulation. Both temporal and spatial changes are evident. The Chlorophyll distribution is considerably controlled by the mesoscale features of SIO circulation. Besides, the PAR also modifies the Chlorophyll enhancement of the SIO.

Period of stay in ISEE: Stayed at ISEE Nagoya 16-21st December 2023

list of publications: None so far, manuscript preparation is underway

Academic Exchange of Weather Radar Research and Application Experiences between ISEE and NCDR

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

1. Purpose

For the purpose of exchanging experiences in weather radar research and applications between the Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE) in Japan and the National Science and Technology Center for Disaster Reduction (NCDR) in Taiwan, Associate Researcher Dr. Chih-Chien Tsai from NCDR was granted the 2023 ISEE International Joint Research Program to visit Prof. Nobuhiro Takahashi at ISEE. Additionally, Assistant Researcher Ms. Jia-Chyi Liou and Associate Technologist Mr. Hsin-Hao Liao from NCDR joined the visit to facilitate substantive technical exchanges alongside academic discussions. The visit not only fosters friendship between the two parties but also enhances understanding of advanced remote sensing technologies and disaster prevention products.

2. Methods (six topics)

Dr. Tsai, Ms. Liou, and Mr. Liao visited Prof. Takahashi during November 20–24, 2023. Japanese scholars who also participated in the discussions included Prof. Taro Shinoda from ISEE, Prof. Yuuki Wada from Osaka University, and Dr. Nao Yoshida from the Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA). The academic exchange covered the following six main topics:

- (a) Introduction to the hardware and data processing of the multi-parameter phased array weather radar (MP-PAWR).
- (b) Overview of the Laboratory of Meteorology at ISEE.
- (c) Visit to the MP-PAWR at Osaka University.
- (d) Introduction to the JAXA Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP).
- (e) Data processing and preliminary demonstrations of the MP-PAWR.
- (f) Dr. Tsai's lecture: Overview of Recent Radar- and Satellite-related Achievements in NCDR.

3. Results (of the six topics)

- (a) The MP-PAWR is a radar system that utilizes phased array antennas for detection. By adjusting the phase difference of the antennas, it can take advantage of simultaneous multi-angle observations and conduct rapid scanning observations. In addition to introducing the basic observational principles, hardware structure, and experiences in data calibration, Prof. Takahashi highlighted the rapid scanning strategy of the MP-PAWR for monitoring the generation and development of precipitation systems. He also shared the status of Japan's spaceborne precipitation radar mission and participation in the Atmosphere Observing System (AOS) of the National Aeronautics and Space Administration (NASA).
- (b) Prof. Shinoda introduced the relevant achievements of the laboratory. Among them, the Ka-band radar has the capability to detect smaller raindrops and cloud droplets, enabling it to provide early warning

for convective systems with development potential up to 15 min in advance. The analysis results indicate that compared to the variation of vertical height over time in convective systems, the variation of area over time exhibits higher sensitivity to convective systems with development potential.

- (c) Under the guidance of Profs. Takahashi and Wada, the NCDR crew entered the radome of the MP-PAWR and closely observed the radar's structural components, as well as the computer hardware and software equipment established for processing large volumes of radar data. Two different scanning strategies were demonstrated on-site. Compared to traditional radar observations, both scanning modes provide more comprehensive information of precipitation systems in shorter time frames.
- (d) Dr. Yoshida introduced six different products available on the JAXA GSMaP website, each varying in latency, accuracy, and calibration against rain gauge stations. Users can select rainfall products of different characteristics according to their specific purposes. The GSMaP product integrates rainfall estimates from active sensors such as the dual-frequency precipitation radar (DPR), which includes Ku- and Ka-band precipitation radars, along with passive observations from instruments like the Global Precipitation Measurement (GPM) microwave imager (GMI) and infrared imagery.
- (e) The compilation of data decoding programs was completed on the NCDR workstation, and raw data files were successfully accessed. A test was conducted using a case on July 28, 2018. The test spanned from 19:54 to 19:59 JST. Preliminary distributions of various variables (Z_H , ρ_{HV} , K_{DP} , Z_{DR}) at different altitudes were plotted using GrADS. Through radar observations with high temporal resolution, the process of convection systems moving eastward and gradually developing could be clearly observed.
- (f) Dr. Tsai delivered a lecture titled “Overview of Recent Radar- and Satellite-related Achievements in NCDR” to the professors and students at ISEE, as well as several individuals on line. The topics included radar data assimilation, quantitative precipitation estimation, demonstrations of wind retrieval products, historical case studies, and applications of the Formosat-7 satellites.

4. Periods of stay

Face to face meeting on Nov. 20-24, 2023					
	20 (Mon)	21 (Tue)	22 (Wed)	23 (Thu)	24 (Fri)
9:00-10:30	Welcome Self introduction Logistics	Visit to MP-PAWR site at Osaka Univ. Meet 10:15 at the Shinkansen gate	Discussion and data processing of MP-PAWR	OFF (discussion/utilization of ISEE's room is available)	Discussion and data processing of MP-PAWR
10:30-12:00	Introduction of Met. Lab (Prof. Shinoda)				
13:30-15:00	MP-PAWR lecture Overview Hardware Calibration	13:30 Arrival at Osaka U. 15:30 end of meeting Return to Nagoya	GSMaP lecture (Dr. Yoshida/JAXA) On the use of GSMaP data for disaster prevention		Discussion about the report and future collaboration and next year's plan
15:00-16:30	Application Presentation by NCDR of their web system				Lecture by Dr. Tsai @410 of building II

5. Publication

Tsai, C.-C., Liou, J.-C., Liao, H.-H., Yu, Y.-C.*, Chen, Y.-C., Lin, C.-Y., Chung, K.-S. and Jou, B.J.-D. (2023) Strategy analysis of the extrapolation adjusted by model prediction (ExAMP) blending scheme for rainfall nowcasting. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 34, 16.

Multipoint spacecraft investigations on the solar wind and solar erupted magnetic flux ropes propagating from the solar surface to the inner heliosphere

Takuya Hara (Space Sciences Laboratory, University of California Berkeley, Berkeley, CA, USA)

Purpose of Project:

This project is two different topics to be addressed: One is to investigate the multipoint spacecraft measurements at the different heliospheric radial distances and longitudes to understand the ICME structure propagating from the solar surface through the inner heliosphere. The other is to compare of the solar wind plasma and interplanetary magnetic field (IMF) properties between the MAVEN observations at Mars and the SUSANOO simulation ([Shiota and Kataoka, 2016](#)), because there is no continuous solar wind monitor upstream from Mars, although Mars' plasma environment is highly variable depending on the upstream solar wind conditions (see, [Brain et al., 2017](#), and references therein). It is thus important to determine the solar wind conditions at Mars among those who studying the solar wind interaction with Mars.

Methods and Results:

Since FY2022, we have investigated the ICME event erupted in October 2021, which was simultaneously observed by BepiColombo (at ~ 0.33 AU *en route* to Mercury), Solar Orbiter (at ~ 0.68 AU), near-Earth spacecraft, and STEREO-A (at ~ 0.96 AU). Interestingly, a smooth rotation together with the dip-like structure in the normal component of the magnetic field in the sheath of the interplanetary shock was commonly observed by all the four spacecraft, despite that they were located at different radial distances and longitudes in the inner heliosphere. We initially considered a possibility that the magnetic feature of interest is a kind of small-scale flux rope (e.g., [Ruohotie et al., 2022](#)) embedded in the CME-driven sheath. We thus attempted to reproduce the flux rope geometry at each spacecraft location by a cylindrical model fitting (e.g., [Marubashi and Lepping, 2007](#)). However, our first attempt was not very much successful in providing reliable and consistent parameter settings among multiple spacecraft.

We next considered a possibility that this structure is corresponding to a planar magnetic structure (PMS) (e.g., [Nakagawa et al., 1989](#)). PMS is a characteristic magnetic field structure in which the magnetic field is oriented approximately along a single plane. One of the specific regions where PMSs are detected is the CME-driven sheath. Based on the minimum variance analysis, we confirmed that the magnetic field observed by all spacecraft is well aligned to the plane perpendicular to the minimum variance direction, which is consistent with an interpretation that a PMS passed through the spacecraft as proposed by the previous studies (e.g., [Palmerio et al., 2016](#); [Ruan et al., 2023](#)). We further examined the angle between the shock normal and the minimum variance directions at each spacecraft to discuss the distribution of the PMS relative to the global ICME structure. We then found that the PMS tends to be formed along the shock surface shown as Figure 1 below:

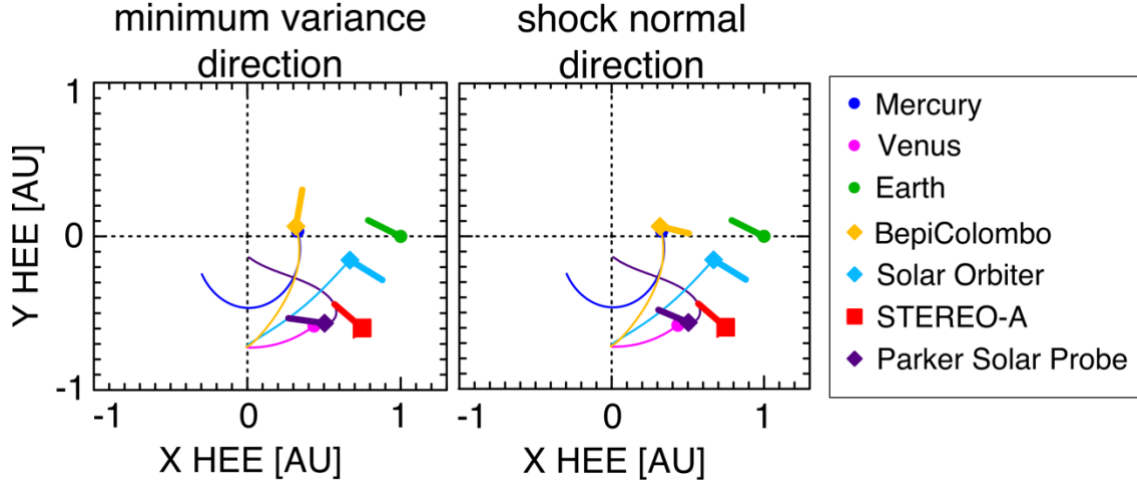


Figure 1: (Left) The minimum variance and (Right) shock normal directions projected onto the XY plane in the HEE (Heliocentric Earth Ecliptic) coordinates. Each planet and spacecraft symbols are summarized in the legend (*Bamba and Hara et al., in prep.*).

Regarding the comparison of the solar wind plasma and IMF properties between the MAVEN observations around Mars and the SUSANOO simulation, we first used the SUSANOO simulation results without the interplanetary scintillation (IPS) observations. We then examined how reasonable the SUSANOO simulation w/o IPS can predict the upstream solar wind condition at Mars' orbit (~ 1.52 AU). The correlation coefficients between the MAVEN observations at Mars and the SUSANOO simulation w/o IPS turn out to be ~ 0.14 (solar wind density), ~ 0.16 (solar wind velocity) and ~ 0.25 (IMF strength), respectively. We also found that this correlation weakly depends on the elongation between Earth and Mars. Moreover, the IMF strength predicted by SUSANOO w/o IPS tend to be sometimes extremely weaker than that observed by MAVEN at Mars, that is consistent with the pre-known issue for the SUSANOO prediction.

Next, we are planning to use the SUSANOO simulation with the IPS observations used as a simulation inner boundary. However, unfortunately, the SUSANOO w/ IPS results are not ready to share by the end of FY2023. Once these results are ready to use, we will evaluate how the SUSANOO simulation w/ IPS is improved to retrieve the actual upstream solar wind conditions at Mars observed by MAVEN.

Periods of Stay in ISEE, Nagoya University:

In FY2023, I visited at Nagoya University twice between 26 and 28, July 2023, and between 24 and 28, November 2023. When I stayed in Japan, I had several in-person meetings with colleagues to discuss the ICME event erupted in October 2021, and the comparisons of the solar wind plasma and IMF properties observed by MAVEN around Mars with the SUSANOO simulation.

Publications:

As of the end of FY2023, we are still actively struggling to finalize a manuscript on the ICME event erupted in October 2021, because our main interpretation shifted from the solar erupted magnetic flux ropes to the PMS. Our manuscript is anticipated to be submitted to either *Journal of Geophysical Research (JGR): Space Physics*, or the special issue on the *Earth, Planets and Space (EPS)* journal. The call for papers on this special issue is also delayed in FY2024.

Reconstructing Atmospheric ^{14}C across the Inter Tropical Convergence Zone Using Vietnamese Tree Rings

Dang Xuan Phong (Institute of Geography, Vietnam Academy of Science and Technology (VAST))

This international joint project aims to develop a historical record of atmospheric radiocarbon (^{14}C) in subtropical regions by using calendrically dated tree rings in Vietnam. These new ^{14}C data will be used to constrain the spatial pattern around the equator, where the temporal variations in atmospheric ^{14}C concentrations have not been sufficiently elucidated, potentially influenced by air masses from the northern and southern hemispheres. Additionally, we will measure the stable isotope compositions of oxygen and carbon from the tree rings to investigate factors that can cause spatial and temporal variations in ^{14}C concentrations. These factors include the seasonality of tree growth and the source of rainwater, which reflects atmospheric circulation dynamics. The combined proxies aim to improve:

1. Regional and local features of past changes in atmospheric circulations.
2. Predictions of the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) shifts in response to anthropogenic forcings.
3. ^{14}C calibration curve for the subtropical zone in the Northern Hemisphere.
4. Our results should contribute to a better understanding of paleoclimate and archaeological evidence.

In the first year of this project, we developed an efficient method for oxygen and carbon isotope analysis and radiocarbon dating of many tree ring samples. We collaborated with Mr. Nguyen Tran Quoc Trung of the Southern Institute of Ecology, Vietnam Academy of Science and Technology (VAST), to collect tree ring samples from subtropical zones in the Northern Hemisphere. In the national forest reserve on the outskirts of Dalat, Lam Dong Province, located in the mountain area of southern Vietnam (108.7E, 12.2 N), we successfully collected tree ring samples using increment borers from large trees of *Fokienia hodginsii* and *Pinus krempfii*, which may be several hundred years old (see photo 1). The tree rings of *Fokienia hodginsii* are clear, with approximately 800 rings marked in the 473 mm (longest) core. Although the tree rings of *Pinus krempfii* are not visible to the naked eye, microscopic observations revealed variations in cell size ranging from 0.2 to 0.3 mm, which appear to be annual rings. Further verification is needed to confirm that these variations represent annual rings. However, if confirmed, the 390 mm (longest) core would contain a record of atmospheric ^{14}C and hydrological changes spanning over the past 1000 years. We are currently conducting a comparative analysis of multiple cores collected from *Fokienia hodginsii* and *Pinus krempfii* to estimate the formation ages of each tree ring.



Photo: Sampling of tree ring cores from the giant *Fokienia hodginsii* trees (Cypress family) in Lam Dong Province, Vietnam

Relationship between natural fine aerosol chemical composition investigated by application of online and offline mass spectrometry techniques

Petr Vodička (ICPF, Czech Academy of Sciences, Prague, Czech Republic)

Introduction:

Atmospheric aerosols impact Earth's climate by interacting with solar and longwave radiation. Aerosol chemical composition influences their role as cloud condensation nuclei (CCN), connecting aerosols to climate dynamics. As air pollution sources like SO₂ and NO_x decrease, organic aerosol (OA) is expected to play a more significant role. Understanding potential interactions between climate change and OA composition is crucial for further research. The main objective of this study was to characterize atmospheric OA at a Central European site in the context of its sources and transport. The aim of the study was to analyze atmospheric OA at a Central European site, focusing on fine aerosol sources and their transport during summer when biogenic OA dominates. Using aerosol mass spectrometry (AMS), provided detailed insights into OA properties for better representation in atmospheric and climate models.

Project preparation, methods and measurements:

The project officially started in April 2023. For the first two months, we installed samplers to collect fine aerosols on filters for subsequent offline analysis. For this purpose, we purchased and annealed the required number of quartz fiber filters (47 mm and 150 mm diameter), weighing the smaller ones for gravimetry analyses. We also performed online calibrations of the instruments used for the measurements, in particular the AMS (measurements of OA, SO₄²⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, and Cl⁻), the aethalometer (model AE-33, measurement of equivalent black carbon (eBC)) and semi-online analyzer of elemental and organic carbon (EC and OC).

Summer sampling and parallel online measurements were carried out at the National Atmospheric Observatory Košetice (NAOK, 49° 34' 24.13" N, 15° 4' 49.67" E, 534 m a.s.l.), which is officially classified as a Central European background station. Fine aerosol (PM₁) filter sampling was conducted from 23 June to 30 August 2023, with a 24-h time resolution and sampling on every second day.

Part of the aerosol samples collected for offline analysis were analyzed for water-soluble ion content using ion chromatography (Dionex ICS-5000) in a Czech laboratory during August and September 2023. These results were then combined with OC, BC and online measurements from AMS for a basic overview of the measured variables.

Visit in Japan and analyses at Nagoya University:

The Czech visit at the Nagoya University (NU) was carried out in October and November 2023. Specifically, Petr Vodička from 17 October to 2 November 2023 and Radek Lhotka from 17 October to 29 November 2023.

The main subject of the visit were the off-line analyses of samples using High Resolution Time-of-Flight AMS (HR-ToF-AMS) in Prof. Mochida's laboratory. We performed analyses of water-soluble organic matter (WSOM) and then water-insoluble organic matter (WISOM). With the exception of two samples damaged during storage, all planned analyses were carried out. The data measured at the NU were evaluated after the return of Radek Lhotka from Japan.

Data evaluation and results:

We used the measured online and offline AMS data as input to the SoFi modeling program to determine the sources/state of organic aerosol.

Modeling on the online AMS data resulted in the identification of 4 sources/states of OA. Specifically, we identified the following factors: more oxidized and less oxidized organic aerosols (MO-OOA and LO-OOA), biomass burning OA (BBOA), and hydrocarbon like OA (HOA).

Modelling based on offline analyses on WSOM identified only 2 factors, MO-OOA and LO-OOA. However, PMF

analysis of WISOM measurements provided 3 factors characterizing OA. These were differentiated by the degree of oxidation, with OOA having the largest abundance, followed by the two factors partially oxidized (C_xH_yO) and non-oxidized (C_xH_y) aerosol.

Overall, oxidized OA completely dominated, which can be assumed to be more hydrophilic and thus more easily works as condensation cores.

Future work:

Although this project on the Japanese side ends on 30 March 2024, the work on data processing will continue on the Czech side thanks to the subsequent support from the ACTRIS network infrastructure. Thanks to this, a presentation of the results at the European Aerosol Conference (EAC) is also planned. The abstract for the EAC has already been submitted and approved (Lhotka et. al., 2024).

In the following work, we will focus on analyses of two summer periods (8-16 July and 15-25 August) with elevated aerosol concentrations when heat waves occurred but the air masses were from different directions.

Since the data show good quality with interesting results, a preparation of a publication is also planned.

References:

Lhotka, Radek; Vodička, Petr; Zhou, Ruichen; Wei, Chenran E.; Pokorná, Petra; Zíková, Naděžda; Mbengue, Saliou; Schwarz, Jaroslav; Mochida, Michihiro; Ždímal, Vladimír: On the origin of summer organic aerosol at a background site in Central Europe. EAC 2024 (<https://www.eac2024.fi>), 25.8 - 30.8.2024, Tampere, Finland, conference abstract, submitted 6 Feb 2024.

Cross-calibration of low-energy electron measurement obtained by Mio/BepiColombo with Solar Orbiter on the 10th of August 2021 and its solar wind property

Sae Aizawa (LPP, CNRS)

Introduction and Purpose of the project

BepiColombo, ESA/JAXA joint mission to send two spacecraft to Mercury, was launched in October 2018, is en route to Mercury. Until its orbit insertion which is planned for December 2025, BepiColombo is in the cruise phase and conducts solar wind and planetary flyby observations. Because the BepiColombo flies as a single spacecraft during the cruise phase, two spacecraft is in stack configuration and one of two satellite, Mio, is located within the sun shield to protect the instruments from harsh conditions in the inner heliosphere. Such condition limits the field of view of instruments onboard Mio and does not allow us to observe the plasmas with full capabilities of the instruments but with a few windows open to space. However, electrons are more gyrotropic than ions, we can access to the information more easily than ions. Thus, those observations are good opportunities for the instrument team to cross-calibrate the data of low-energy electrons from the Mercury Electron Analyzer (MEA) with data from other space missions.

During the cruise phase of BepiColombo, there are several coordinated observations identified among several space missions (Hadid et al., 2021). In particular, the second Venus flyby of BepiColombo on the 10th of August 2021 was the greatest case among them since Solar Orbiter was just 200 Venus radius away upstream of BepiColombo just right after Solar Orbiter's Venus flyby, and both magnetic field data show they are observing the same solar wind. Taking this rare opportunity, we cross-calibrate the low-energy electron data from BepiColombo and Solar Orbiter. In addition, with intensive collaboration with the colleagues from Mio Science Center which is the part of heliospheric science center at ISEE, Nagoya University, we advance the preparation of official data product from the Mio project which will be publically open in coming years.

Method

From the 2nd Venus flyby of BepiColombo, several data products are available. Two MEA sensors provide us the 4 seconds time resolution omni energy spectra from a few eV to 3 keV (26 keV) for MEA1 (MEA2), onboard moments (density), and three-dimensional energy spectra for MEA1 but only every 10 min. Because of its very limited field of view, two windows are only open to space to properly observe electrons resulting in the onboard calculated density less accurate. However, Solar Orbiter has electron analyzers (EAS) is available with the collaboration with the team, thus we compare them and see the differences. In particular, we focus on the effect of the sun shield and evaluation of photoelectrons. On the other hand, such data from any space mission has to be collected and opened to public. For the case of BepiColombo, the cruise science was not planned at the beginning of the mission, thus we use this opportunity as a preparation time for data archiving, such as preparing a pipeline, contact between the instrument team and Mio science center, content of the files.

Results

Figure 1 shows an example of comparison obtained for the 2nd Venus flyby. Preliminary comparison between BepiColombo and Solar Orbiter is shown for both magnetic field data and low-energy electron data (Rojo et al., 2024). In Rojo et al. (2024), statistically speaking, we have concluded that correction to the electron moments due to the sun shield does not necessarily give the better data, and even with two spacecraft measurements, it is always difficult to properly evaluate the effect of photoelectrons when the field of view is limited. Thus, we have also used the data from MEA2 which has wider energy range but with the same 16 energy steps to better estimate the plasma moment. Especially, different energy range with the same energy steps allows us to have better energy resolution when both are combined, which may lead in better fitting results of energy distribution and in better correction factor to be applied. In addition, in this project we try kappa distribution function rather than the Maxwellian one. Analysis is still ongoing because every single scan we need to make sure we fit them properly. After discussion with collaborators, other data than the Venus flyby will also be taken into account.

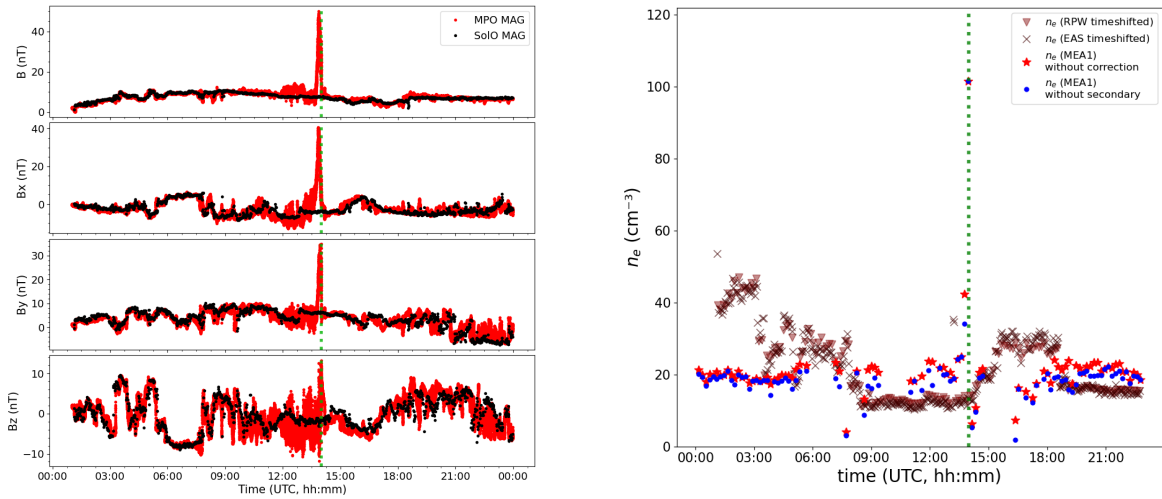


Figure 1. Comparison between BepiColombo and Solar orbiter on the 10th of August, 2021. Left panel is for magnetic field and right panel is for the electron density (Rojo et al., 2024).

In addition, preparation of the data products of MEA which will be open to public is ongoing. The instrument team has worked on the Level-2 data products, pipelines, meta-data together with the colleagues from Mio Science Center. The data will be open to public sometimes in 2025-2026 once its all settled as the project.

Periods of stay in ISEE: Jan 22 – Jan 26, 2024

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.

Rojo et al., Electron moments derived from the Mercury Electron Analyzer during the cruise phase of BepiColombo, A&A, 2024, <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202347843> (Main part of this work has been done before this project started.)

Diagnosing the Origin of Solar Energetic Particles in the Solar Corona

Nariaki Nitta (Lockheed Martin Advanced Technology Center)

Solar Energetic Particles (SEPs) observed in the heliosphere represent one of the primary space weather threats, including the health of astronauts and airline passengers and the electronics parts of satellites in various orbits. These adversary effects are caused by high particle fluxes from the so-called "gradual" (as opposed to "impulsive") SEP events, whose main acceleration agent is thought to be the shock wave driven by a fast coronal mass ejection (CME) (Reames, 1999; 2013; Desai and Giacalone, 2016). Impulsive SEP events, on the other hand, are generally attributed to magnetic reconnection that fuels solar flares and jets. The flux of energetic protons in impulsive SEP events usually do not reach the level of NOAA's radiation storms, but that of energetic electrons can be high.

Our goal is to understand the origin of energetic electrons in gradual SEP events. Are they produced in reconnection processes as in impulsive SEP events (with open field lines nearby that give them the pathway to the heliosphere)? Or are they shock-accelerated like protons? If so, as suggested in a recent study (Dresing et al., 2022) for relativistic electrons, do they come from the same part of the shock surface as protons, or are the shock conditions different for electrons and protons? One possibility may be that protons mostly come from the shock nose, where the shock angle is in the quasi-parallel range and protons undergo diffusive shock acceleration, and that electrons come from shock flanks, where shock drift acceleration in quasi-perpendicular geometry may be more efficient.

The methodology is to analyze remote-sensing data for eruptions that result in SEP events that have widely different behaviors of protons and electrons in terms of peak fluxes, start times and fluence spectra. We chose ~10 such events, and examined EUV, X-ray, radio and coronagraph data. Our hypothesis was that SEP events with high electron to proton (e/p) ratios may be highly correlated with strong EUV waves that may signal quasi-perpendicular shock conditions.

The PI visited ISEE in May 2023 and January 2024. Apart from giving a seminar to the ISEE solar group about topics that included this project, the PI discussed the selected events

- with Prof. Masuda (ISEE) and Dr. Watanabe (NDAJ) in relation to flare properties including hard X-ray, microwave and white-light emissions,
- with Dr. Kawate (NIFS) from the perspective of the presence of a flux rope and particle acceleration,
- with Prof. Asai (Kyoto University) in terms of observations of filament eruptions,
- with Dr. Cabezas (ISEE) concerning the characterization of the accompanying EUV waves,
- with Prof. Iwai about the possible effect of large-scale heliospheric structures on the propagation of electrons and protons.

During the May trip, the PI also attended the JpGU meeting and visited the University of Tokyo to discuss

with Prof. Imada and Prof. Hoshino and their team members how to link observations with theory of acceleration of protons and electrons at shock waves with various spatial scales, emphasizing the need to model shock waves with structures.

In addition to the above scheduled sessions, the PI benefitted from discussions with scientists both in and outside ISEE (e.g., those working on Arase at ISEE and presenters at JpGU) about the magnetospheric processes relevant for electron acceleration such as whistler waves. During the January visit, the PI was encouraged to participate in a focused meeting at ISEE to discuss the BepiColombo cruise-phase science, where he developed new collaborations with the team members by making contributions to the solar origin of some of their campaign SEP events.

We are still preparing papers that investigate how the particular solar origin can be related to different behaviors of protons and electrons in SEP events. The problem is made more complex because of the issues of magnetic field connectivity between the solar source regions of SEP events and the observer, the difficulty of estimating the shock angle, and the uncertainty in modeling large-scale heliospheric structures, etc. But we plan to report a summary of our finding in a peer-reviewed journal. Good news is that the PI's three-year proposal on a similar topic was selected by NASA, which allows him to continue the research.

Analysis of whistler-mode 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 : 2023/4/1 End date : 2024/3/31

ISEE researcher : Prof. Yoshizumi Miyoshi

This project aimed at innovative joint 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 contributes 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 pre-storm level during the recovery. The physical processes which control the dynamics of the inner magnetosphere including radiation belts and ring current have been studied for decades by different spacecraft missions. In spite of this fact, the cross-energy coupling which leads to the relativistic electron acceleration in the radiation belts, the processes that lead to depletion and loss, and dynamics of space storms is still a subject of active research.

The travel of Dr. Kolmasova and Dr. Santolik to the University of Nagoya was organized from February 24th 2024 to March 1st 2024. The ISEE International Joint Research Program funded the accommodation of the two foreign researchers on the University of Nagoya campus, on-site expenses and flight ticket of O. Santolik. Owing to insufficient funding from the program the return flight ticket of I. Kolmasova was purchased with funding from the Czech sources. 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. Jones, G.H., Snodgrass, C., Tubiana, C.,... Santolik, O.,..., et al. (2024) The Comet Interceptor Mission. Space Sci Rev 220, 9. <https://doi.org/10.1007/s11214-023-01035-0>
2. Němec, F., Santolík, O., Hospodarsky, G. B., & Kurth, W. S. (2024). Quasiperiodic emissions: Fine structure corresponding to a bouncing wave. Geophysical Research Letters, 51, e2023GL106459. <https://doi.org/10.1029/2023GL106459>
3. Kletzing, C. A., Bortnik, J., Hospodarsky, G., Kurth, W. S., Santolík, O., Smith, C.W., Christopher, I. W., Hartley, D. P., Kolmašová, I., Sen Gupta, A. (2023). The Electric and Magnetic Fields

- Instrument Suite and Integrated Science (EMFISIS): Science, Data, and Usage Best Practices, *Space Science Reviews*, 219, 28. doi: 10.1007/s11214-023-00973-z
4. Kurth, W. S., Wilkinson, D. R., Hospodarsky, G. B., Santolík, O., Averkamp, T. F., Sulaiman, A. H., et al. (2023). Juno plasma wave observations at Europa. *Geophysical Research Letters*, 50, e2023GL105775. Doi:10.1029/2023GL105775
 5. Fletcher, L. N., Cavalié, T., Grassi, D., (...), Santolík, O., Kolmašová, I., et al. (2023). Jupiter Science Enabled by ESA's Jupiter Icy Moons Explorer. *Space Sci Rev* 219, 53. <https://doi.org/10.1007/s11214-023-00996-6>.
 6. Taubenschuss, U., Fischer, G., Piša, D., Santolík, O., Souček, J. (2023). Classification of the spectral fine structure in auroral kilometric radiation, C. K. Louis, C. M. Jackman, G. Fischer, A. H. Sulaiman, P. Zucca, Dublin Institute for Advanced Studies (Eds.), *Planetary, Solar and Heliospheric Radio Emissions IX*. <https://doi.org/10.25546/103089>.
 7. Hospodarsky, G. B., Milne, A. J., Kurth, W. S., Imai, M., Kolmasová, I., Santolík, O., Connerney, J. E. P., Bolton, S. J. (2023), Jupiter Long Dispersion Lightning Whistlers that propagate through the Io torus: Juno Observations., Fischer, G., Jackman, C. M., Louis, C. K., Sulaiman, A. H., Zucca, P., Dublin Institute for Advanced Studies (Eds.), *Planetary, Solar and Heliospheric Radio Emissions IX*. <https://doi.org/10.25546/103686>
 8. Sulaiman, A. H., Santolík, O., Allegrini, F., Kurth, W. S., Lysak, R. L., Elliott, S. S., Menietti, J. D., Bolton, S. J. (2023), Electron densities in Jupiter's polar regions from the identification of Ordinary-mode wave cutoffs., C. K. Louis, C. M. Jackman, G. Fischer, A. H. Sulaiman, P. Zucca, Dublin Institute for Advanced Studies (Eds.), *Planetary, Solar and Heliospheric Radio Emissions IX*, 2023. <https://doi.org/10.25546/103098>
 9. Brunet, A., Dahmen, N., Katsavrias, C., Santolík, O., Bernoux, G., Pierrard, V., et al. (2023). Improving the electron radiation belt nowcast and forecast using the SafeSpace data assimilation modeling pipeline. *Space Weather*, 21, e2022SW003377. <https://doi.org/10.1029/2022SW003377>
 10. Hanzelka, M., Santolík, O., Theories of Growth and Propagation of Parallel Whistler-Mode Chorus Emissions: A Review (2023), *Surveys in Geophysics*, <https://doi.org/10.1007/s10712-023-09792-x>
 11. Nemec, F., Manninen, J., Santolík, O., Hospodarsky, G. B., & Kurth, W. S. (2023). Magnetospheric Line Radiation Observed Close to the Source: Properties and Propagation. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 128, e2023JA031454. <https://doi.org/10.1029/2023JA031454>
 12. Kolmasová, I., Santolík, O., Imai, M., Kurth, W. S., Hospodarsky, G.B., Connerney, J. E. P., Bolton S. J., Lán, R., Lightning at Jupiter pulsates with a similar rhythm as in-cloud lightning at Earth. *Nat Commun* 14, 2707 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41467-023-38351-6>
 13. Kolmasová, I., Scholten, O., Santolík, O., Hare, B. M., Zacharov, P., Lán, R., et al. (2023). A strong pulsing nature of negative intracloud dart leaders accompanied by regular trains of microsecond-scale pulses. *Geophysical Research Letters*, 50, e2023GL103864. <https://doi.org/10.1029/2023GL103864>
 14. Hartley, D. P., Christopher, I. W., Kletzing, C. A., Kurth, W. S., Santolik, O., Kolmasova, I., et al. (2023). Chorus wave properties from Van Allen Probes: Quantifying the impact of the sheath corrected electric field. *Geophysical Research Letters*, 50, e2023GL102922. <https://doi.org/10.1029/2023GL102922>

(Form 2-2)

Influence of Large-scale Interplanetary Coronal Mass Ejections (ICMEs) Structures on the Propagation of Solar Energetic Particles (SEPs)

Beatriz Sanchez-Cano (University of Leicester, United Kingdom)

In the new era of planetary and heliophysics missions transiting the very inner heliosphere, such as BepiColombo, Solar Orbiter, or Parker Solar Probe, a new and unique opportunity to perform combined multi-point observations of the interplanetary medium is presented. This is of the particular interest when combined with other assets at larger distances, such as at 1 AU (i.e. Earth, STEREO-A), or even at further distances such as Mars (~ 1.52 AU) or even Jupiter (5.2. AU). We know that interplanetary coronal mass ejections (ICME) are known to drive strong dynamics in the solar wind and have an effect on the propagation of Solar Energetic Particle (SEP) events as they modify the magnetic connectivity of the solar wind. Recent observations from BepiColombo, STEREO-A, and Solar Orbiter of an ICME-SEP event in October 2021 by Lario et al., (2022) have shown that although these spacecraft were connected to the same region of the Sun, their connectivity at further distances (between 0.33 AU and 1 AU) was rather different as particles were trapped between a stream interaction region (SIR) and the ICME-driven shock. This configuration allowed movement of SEP particles in directions not previously expected or considered on solar wind models, such as SUSANOO.

The 2023 ISEE International Joint Research Program visit took place from January 22 until January 26 2024, together with the international workshop “Study of interplanetary coronal mass ejections propagation in the inner heliosphere combining MHD modeling, ground based observations, and in-situ multi-spacecraft data” at ISEE, in Nagoya, Japan. The discussions during this meeting as well as the workshop were a great success with 22 participants between online and in-person participants from well-known institutes across different countries: South West Reasearch Insitute/USA, Lockheed Martin Solar and Astrophysics Laboratory/USA, University of Helsinki/Finland, University of Turku/Finland, European Space Agency/Spain, Space Physics Institute/Austria, Laboratory of Plasma Physics/France, Laboratory of Astrophysics, Bordeaux/France, University of Leicester/UK, University of Tokyo/Japan, University of Nagoya

ISEE/Japan and ISAS/JAXA/Japan.

During this time, we discussed and work together on both numerical simulations and data analysis to investigate the characteristics of the solar wind propagating from the Sun and how solar transients (i.e.. ICMEs, SIRs) affect the propagation of SEPs, such as in the particular case of 12 March 2022 and 28 March-2 April 2022 events. We discussed data from several instruments onboard BepiColombo, Solar Orbiter, Parker Solar Probe, STEREO, Earth-based satellites, Hinode, Arase, and Akatsuki, as well as from the IPS (ISEE) technique, and solar wind simulations from the SUSANOO model. A paper covering this results is being prepares as a result, which will be part of the planned special issue product of the workshop.

Unique observations of ELF-VLF waves at OUI, KAN, and other PWING locations

Jyrki Manninen (SGO, University of Oulu, Finland)

Periods of stay in ISEE

Adj. Prof. Jyrki Manninen (SGO, University of Oulu) 4 October – 2 November 2023

Assoc. Prof. Frantisek Nemec (Charles University, Prague, Czechia) 12 – 20 October 2023

Purpose of the visit

We proposed to use available ground-based data obtained by OUI, KAN, and other PWING stations to determine the spatiotemporal variability of measured electromagnetic waves and to understand better their propagation from the source region down to the ground. We focused particularly on not yet well-understood emission types (e.g., quasiperiodic emissions, magnetospheric line radiation). Due to the current unfortunate war situation in Europe, we cannot have access to IST and MAM data after 2021. Because of this, we selected the year 2020 for detailed investigation and are using data from the PWING stations of ATH, GAK, IST, KAP, and MAM. In addition, while OUI started operation just in October 2022, only the station pair KAN-OUI can be used for studying latitudinal propagation, and thus this station pair data will be analyzed from October 2022 to September 2023 as well.

Science Questions planned to be solved

- 1) *What are the characteristic longitudinal scales of the analyzed emission types?*

Event listings and identification of relevant events from receivers at ATH, GAK, IST, KAP, and MAM were started during the visit to ISEE. The KAN listing was available slightly earlier.

- 2) *What are the respective ionospheric exit points and anticipated source L-shells?*

This work will be done after 1) is completed.

- 3) *What similarities and differences are observed in latitudinal observations (KAN-OUI)?*

Several events with similarities as well as differences have been found. Detailed analysis is in process.

Methodology

Two different approaches are used: i) Global correlation of the wave activity as observed by individual ground-based stations, and ii) Identification and detailed analysis of selected wave events of particular interest. In the first approach, correlations of the wave intensity measured by individual stations in selected frequency bands will be analyzed as a function of their spatial separation (L-shell and geomagnetic longitude differences) and relevant magnetospheric conditions (magnetic local time, geomagnetic activity characterized by Kp/AE geomagnetic indices). We will determine characteristic correlation lengths of the emissions at different frequencies and investigate how these vary as a function of geomagnetic activity (and empirical model plasmapause location).

In the second approach, significant wave events will be identified and subjected to further analysis. The event identification will strongly benefit from formerly prepared event lists, which will be further extended within this project frame. For each of the events, a detailed frequency-time structure will be investigated to confirm that the stations indeed observe the same event. Directions of the wave arrival at individual stations will then be determined, allowing us to estimate the locations of ionospheric exit points. Backward raytracing analysis, started from the respective locations will be performed to determine source locations and dimensions of the respective wave sources.

Presentations & Publications

The results obtained were presented in two contributions at the American Geophysical Union (AGU) 2023 Annual Meeting (11-15 December 2023):

C. Martinez-Calderon, J. Manninen, K. Shiokawa, M. Ozaki, D. Pisa, V. Vuolteenaho: Latitudinal propagation of VLF emissions from multi-point observations in Finland: First results from the Oulujärvi ground station

F. Nemec, K. Drastichova, J. Manninen, C. Martinez-Calderon, K. Shiokawa: Properties and characteristic scales of whistler-mode waves as observed by ground-based VLF stations and a low-altitude spacecraft

Two manuscripts are under preparation.

The influence of Indian Ocean Dipole on sea surface temperature and sea surface chlorophyll-a variations in the Andaman Sea based on satellite imageries

Anukul Buranapratheprat (Burapha University)

Purposes:

The Andaman Sea is a marginal sea, located in the northeastern part of the Indian Ocean. It is bordered by the coasts of Myanmar, Thailand, and Malaysia in the east. It is connected to the Bay of Bengal and the Indian Ocean through the straits of the Andaman and Nicobar Islands, respectively. The northeast (November to February) and the southwest monsoons (May to October) are the main environmental drivers over this region creating the variability of the marine ecosystem. The Indian Ocean Dipole (IOD) is a large-scale phenomenon developed in the Indian Ocean. This phenomenon changes in ocean and climate conditions in the Bay of Bengal, Arabian Sea and Andaman Sea. The positive phase/negative of IOD causes stronger/weaker upwelling, lower/warmer sea surface temperatures (SST) and less/high precipitation in the eastern Indian Ocean. However, the impact of IOD on marine ecosystems and SST in the Andaman Sea has rarely been investigated. This study aims to explore spatial and temporal variations of SST and surface chlorophyll-a (Chl-a) driven by monsoons and the IOD.

Methods:

Satellite-derived chl-a and SST data from the MODIS-Aqua Level 3 monthly product from 2003 to 2022 were used in the analysis. The missing data was filled in by Data Interpolating Empirical Orthogonal Functions (DINEOF) method. The Empirical Orthogonal Function (EOF) was used to analyze the patterns of Chl-a variability. The monthly mean data in each pixel was removed before applying EOF analysis. This technique leads to capturing in dominant mode of interannual time scale in both spatial pattern and corresponding temporal pattern.

Results:

The first and second mode contains 20% and 8% of total variances, respectively. The first mode shows the difference of two anomalies between northern and southern Andaman Sea with higher and lower than normal (Figure 1a). The second mode indicates lower SST near Malacca straits and northern part (Above 12° N) and higher in middle of Andaman Sea (Figure 1b). These two modes show the interannual variation over the time scale (Figure 1c, 1d). The first principal component shows less correlation with IOD but a more similar pattern with El Niño-Southern Oscillation (ENSO) that create colder SST and warmer SST in the southern and northern area, respectively. Meanwhile, the second principal component shows the same peak as the IOD. Positive/negative IOD leads to lower/higher SST near Sumatran and Malacca Strait.

For surface Chl-a, the first mode contains 12% of total variances (Figure 1). This highlights Chl-a variability in the southern Andaman Sea, Malacca strait, northern Sumatra, and western Nicobar Islands with peaks during the positive IOD (2006, 2008, 2012, 2016 and 2019) and troughs in the negative IOD (2011 and 2017). Chl-a in the northwest Andaman Sea shows negative/positive anomaly during positive/negative IOD events. Surface Chl-a in this area can be separated by two responses under the same event.

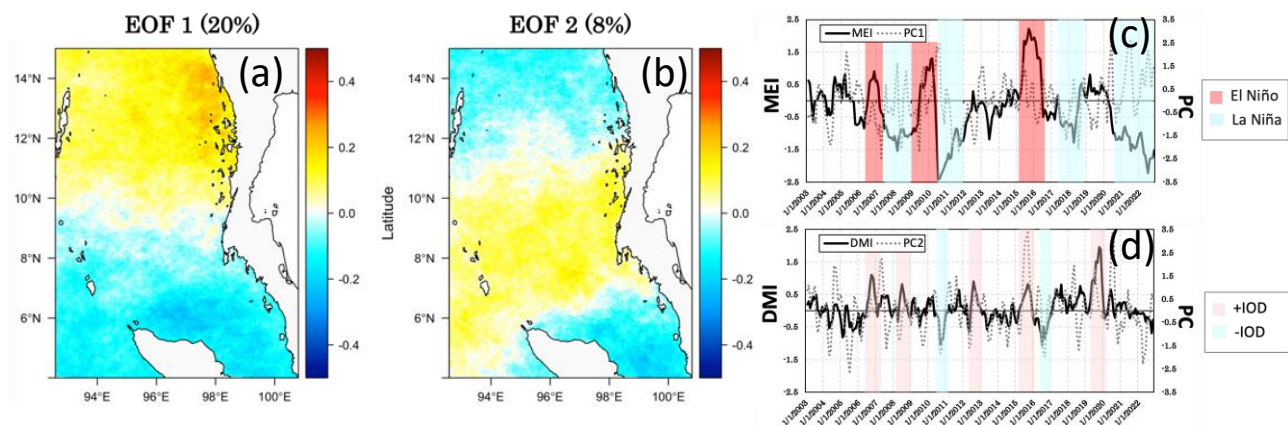


Figure 1 The first (a) and second (b) mode of EOF and principal component time series (c,d) of SST in the Andaman Sea after removing the monthly mean signal.

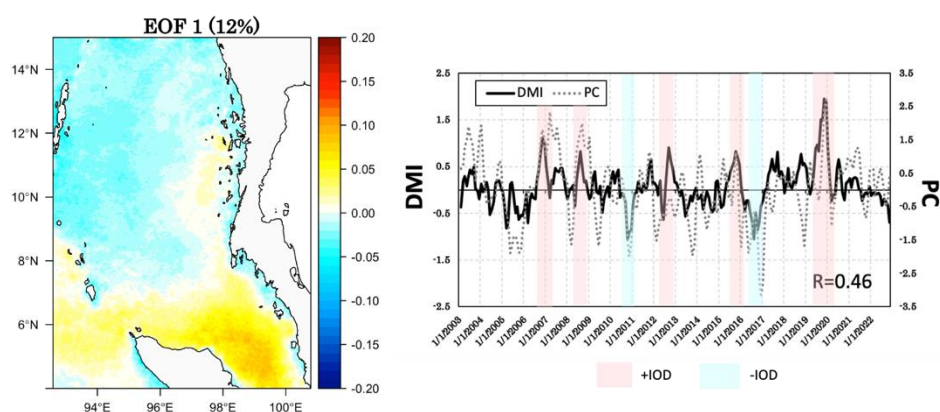


Figure 2 The first mode of EOF (left) and principal component time series (right) of surface chl-a in the Andaman Sea after removing the monthly mean signal.

In summary, the impact of the IOD is generally stronger in the southern part of the Andaman Sea. A positive/negative IOD may create stronger/weaker upwelling near the north of Sumatra and the Malacca Strait, inducing nutrients from the deep layer and supporting phytoplankton growth in the southern part of the Andaman Sea.

Periods of stay in ISEE: 16 – 26 December 2023

Presentation: Leenawarat, D., Buranapratheprat, A., Ishizaka, J., Intacharoen, P., Luang-on, J. & Tongudom, S., Spatial and Temporal Variations of Surface Chlorophyll-a in the Andaman Sea: Monsoons and Indian Ocean Dipole Influence. *In 11th AWOC / 20th KJWOC / 6th ISEE Symposium, Nagoya, Japan, 17 – 19 December 2023.*

List of publications: The paper is in preparation.

2023年度 03)国際ワークショップ 目次詳細

2023 03) ISEE / CICR International Workshop List

4 件

*所属・職名は2024年3月現在

*Affiliation and Department displayed are current as of March 2024.

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
Lina Hadid	CNRS – LPP- École Polytechnique – France	Space plasma physics	Researcher	Study of interplanetary coronal mass ejections propagation in the inner heliosphere combining MHD modeling, ground based observations, and in-situ multi-spacecraft data	75	
Gopalswamy Nat	Goddard Space Flight Center, USA	Heliophysics	Astrophysicist	Origin of High-Energy Protons Responsible for Late-Phase Pion-Decay Gamma-Ray Continuum from the Sun	77	
Shinsuke Imada	University of Tokyo, Japan	Earth and Planetary Science	Professor	Science Objectives of SOLAR-C and Numerical Modeling Workshop	79	
Leka KD	NorthWest Research Associates, USA		Senior Research Scientist	What is a Magnetic Flux Rope? Do we know it when we have one?	81	

(Form 3-2)

Study of interplanetary coronal mass ejections propagation in the inner heliosphere combining MHD modeling, ground based observations, and in-situ multi-spacecraft data

Lina Hadid (Laboratory of Plasma Physics, CNRS, École Polytechnique, France)

Our Sun emits continuously a supersonic wind of charged particles called the solar wind. This solar wind plasma, flowing at speeds ranging from 300 to 700 km/s, extends far beyond Earth's orbit. Fortunately, Earth's magnetic field acts as a shield, deflecting most of the solar wind away. However, some solar wind particles still manage to sneak in, especially during intense bursts of activity called Coronal Mass Ejections (CMEs). CMEs are giant clouds of plasma and magnetic field erupting from the Sun. They can significantly impact Earth's magnetosphere, triggering spectacular auroras and potentially disrupting satellites, power grids, and other technology. To predict and prepare for these space weather events, we need a deeper understanding of the solar wind and its dynamic relationship with CMEs. While we have spacecraft and ground observatories monitoring the solar wind, there are still significant gaps in our knowledge. We especially lack information about how CMEs evolve and interact with the solar wind close to the Sun. This limited understanding hinders our ability to predict space weather accurately and protect our technology from its harmful effects.

From January 22 until January 26 2024, we held the international workshop “Study of interplanetary coronal mass ejections propagation in the inner heliosphere combining MHD modeling, ground based observations, and in-situ multi-spacecraft data” at ISEE. The workshop was a great success as 19 participants could join the discussions (online and in-person) - including Professors, researchers and students - from renowned institutes across different countries: South West Research Institute/USA, Lockheed Martin Solar and Astrophysics Laboratory/USA, University of Helsinki/Finland, University of Turku/Finland, European Space Agency/Spain, Space Physics Institute/Austria, Laboratory of Plasma Physics/France, Laboratory of Astrophysics,

Bordeaux/France, University of Leicester/UK, University of Tokyo/Japan, University of Nagoya ISEE/Japan and ISAS/JAXA/Japan.

During the workshop we could discuss CME events in the inner heliosphere observed by multi-spacecraft at different heliocentric distances and cover additional various topics including: updated results of BepiColombo cruise observations (both Mio and MPO), coordinated observation with other spacecraft (e.g., Akatsuki, Parker Solar Probe, and Solar Orbiter), ground based observation (interplanetary scintillation), and simulation (SUSANOO). We have also discussed the collaborative studies across the above topics which were initiated during the first edition of ISEE workshop we had in November 2022. We have also updated the list of potential publications and discussed the submission plan of our special issue to *Earth, Planets, and Space*. Moreover, we continued working on the overview paper, which we are planning to submit by Fall 2024. Additional dedicated papers are planned to be submitted in the special issue: e.g., cross calibration between Mio's and MPO's radiation monitors, solar wind measurements by BepiColombo, heliospheric current sheet in comparison between BepiColombo and SUSANOO, coordinated observation by BepiColombo, Akatsuki, and Hinode, and multi-spacecraft observation of each SEP and CME event. The follow-up meetings will be held approximately every two months online. Finally we plan to hold a final workshop in 2025 before the orbit insertion of BepiColombo around Mercury, a good timing to close the science observations during the cruise phase of BepiColombo.

Origin of High-Energy Protons Responsible for Late-Phase Pion-Decay Gamma-Ray Continuum from the Sun

Nat Gopalswamy (NASA Goddard Space Flight Center)

The Fermi mission's large area telescope (LAT) has accumulated a wealth of data on the Sustained Gamma Ray Emission (SGRE) from the Sun. These data have resurrected the debate on the origin of >300 MeV protons responsible for SGRE. The Fermi/LAT SGRE events have a perfect combination of related data from SOHO, STEREO, SDO, Wind, and GOES to help perform in-depth analysis. In addition, there are numerical modeling and theoretical efforts that are brought to bear on the issue at hand. Many publications in the past few years indicate the significance of the science behind the SGRE events. The ISEE international project on SGRE builds upon these results involving particle acceleration at, and transport from, CME-driven shocks.

The international workshop "Origin of High-Energy Protons Responsible for Late-Phase Pion-Decay Gamma-Ray Continuum from the Sun" was organized from 16 – 20 October 2024 at ISEE (Research Institute Building 2) for analyzing Fermi/LAT data. We had 19 participants who are active researchers with diverse background and expertise (solar physics, heliospheric physics, plasma physics, high energy physics, radio astronomy). The participants had a combined expertise in observations, theory, and modeling suitable for tackling the problems involved in the production of SGRE on the Sun.

The primary purpose of this workshop is to understand the origin of SGRE from the Sun that last for hours, and sometimes almost a day after the end of the impulsive phase of the associated flare. The scientific objectives of this workshop are: (i) to determine why all large solar energetic particle events are not associated with SGRE, (ii) to determine why all type II radio bursts in the decameter-hectometric wavelengths are not associated with SGRE; (iii) to check if the spatial distribution of SGRE with respect to the source active region is compatible with the interplanetary shock source for the required high-energy protons; (iv) to come up with a realistic model of particle acceleration and transport to the Sun that accounts for the physical conditions in the ambient medium (turbulence, seed particles, magnetic mirroring). In order to achieve these objectives we analyzed Fermi/LAT data (<https://umbra.nascom.nasa.gov/fermi/lat/>) in conjunction with data on hard X-rays from RHESSI, and low-energy gamma rays from Fermi Gamma-ray Burst Monitor (GBM), interplanetary type II radio bursts from Wind/WAVES and STEREO/WAVES (https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/radio/waves_type2.html), CME data from SOHO/LASCO, and STEREO/SECCHI (https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/), and GOES solar energetic particle (SEP) data (https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/sepe/). Type II bursts at higher frequencies (metric) were used to identify shock formation closer to the Sun. The modeling experts (theory and numerical

simulation) worked with the team to develop a realistic model noted above. One of the important outcomes of the workshop is the development of an annotated SGRE catalog that has links to plots, movies, and images of the related phenomena.

The workshop discussed the flare and shock sources of energetic particles responsible for the SGRE. One of the issues that received significant attention was the relation between the number of protons involved in the gamma-ray event derived from the gamma-ray flux and that derived from the observed SEP event. The correlation between these two numbers has been questioned. However, the correlation need not be perfect because there is a third population of particles trapped in the shock. It was decided to revisit the number problem making use of the new observations and properly taking into account of all SEP populations. Another problem that received attention was the importance of CME interactions. We decided to investigate whether the presence of the preceding CMEs enhances the likelihood of the following CME to produce an SGRE event at the Sun. In order to understand the source extent of SGRE events, it was decided to investigate the chromospheric response of energetic particle precipitation that may be able to distinguish the precipitation of flare and shock particles based on the extent of such signatures. Finally, most of the problems involving shock particles can be revisited using sophisticated MHD simulations that capture the propagation of shocks. It was decided to publish a review paper and several research papers in the Springer Journal Solar Physics.

Science Objectives of SOLAR-C and Numerical Modeling Workshop

Shinsuke Imada (University of Tokyo)

SOLAR-C Mission is designed to comprehensively understand the energy and mass transfer from the solar surface to the solar corona and interplanetary space, and to investigate the elementary processes that take place universally in cosmic plasmas. The proposed mission is a fundamental step for answering how the plasma universe is created and evolves, and how the Sun influences the Earth and other planets in our solar system. The two primary science objectives for Solar-C are : I) Understand how fundamental processes lead to the formation of the solar atmosphere and the solar wind, II) Understand how the solar atmosphere becomes unstable, releasing the energy that drives solar flares and eruptions. Solar-C will, A) seamlessly observe all the temperature regimes of the solar atmosphere from the chromosphere to the corona at the same time, B) resolve elemental structures of the solar atmosphere with high spatial resolution and cadence to track their evolution, and C) obtain spectroscopic information on the dynamics of elementary processes taking place in the solar atmosphere. In this workshop, we will first discuss the science target of the Solar-C and summarize to the journal paper.

SOLAR-C simultaneously observes the photosphere, chromosphere, and the coronal region. The chromosphere from the photosphere is optically thick, and it is necessary to consider radiative transfer in order to interpret the motion of these plasmas. It has been suggested that comparison with numerical calculations including radiative transfer is effective for the interpretation of these observations, and collaboration with numerical calculations is very important in the SOLAR-C project. In this workshop, we plan to discuss how to link each science objective with numerical calculation and summarize it in a paper. In addition, we plan to discuss the necessary functions of the SOLAR-C Science Center to be established at ISEE/Nagoya University.

Program of Science Meeting:

Day1 (3/5)

Mission Status (10:00-10:30)

10:00-10:15 Toshifumi Shimizu (Remote), "Mission Status"

10:15-10:30 Hirohisa Hara (Remote), "Instrument development status"

Coronal Heating and Solar Wind acceleration (10:30-11:45)

10:30-10:55 Patrick Antolin, "Synthetic EUVST observations from coronal rain modeling"

10:55-11:20 Clara Froment, "Thermal nonequilibrium and coronal rain"

11:20-11:45 Munehito Shoda, "Synthetic observations of the Alfvén-wave turbulence in the coronal hole"

Solar Flare & Eruptions (11:45-17:00)

11:45-12:10 Xudong Sun, "Late-phase solar/stellar flares" (Remote)

12:10-13:30 Lunch
 13:30-13:55 Andy To, "Spatially Resolved Plasma Composition Evolution in a Solar Flare" (Remote)
 13:55-14:20 Kazumasa Iwai, "IPS observation and Solar-C"
 14:20-15:00 Break
 15:00-15:25 Krzysztof Barczynski, "SoSpIM measurements: affects of Solar Radiations to the Earth atmosphere"
 15:25-15:50 Kyoko Watanabe, "SoSpIM Science"
 15:50-16:15 Marie Dominique, "How can we use SoSpIM to help calibrate EUVST?"

Day2 (3/6)

MUSE & Ground-Based Observation Collaboration (09:00-15:15)

09:00-09:15 Bart DePontieu (Remote), "MUSE status"
 09:15-09:40 Cosima Alexandra Breu (Remote), "MUSE observations of small-scale heating events"
 09:40-10:05 Tiago Pereira, "MUSE Synthesis tools"
 10:05-10:30 Peter Young (Remote), "CHIANTI and SOLAR-C"
 10:30-11:00 Break
 11:00-11:25 Ayumi Asai, "Ground-Based Observation Collaboration with SOLAR-C"
 11:25-11:50 Yusuke Kawabata, "Observation with GREGOR/GRIS"
 11:50-12:15 Yamasaki Daiki, "TBD"
 12:15-14:00 Lunch
 14:00-14:25 Dipankar Banerjee (Remote), "ADITYA update and possible collaboration"
 14:25-14:50 Milan Goscic (Remote),

Numerical Simulation and Other technique

14:50-15:05 Yukio Katsukawa, "Application of the persistent homology to the solar data"
 15:05-15:30 Break
 15:30-15:45 Yokoyama, "Japanese strategy for virtual observation in SOLAR-C"
 15:45-16:10 Takayoshi Oba (Remote), "EUV synthesis study of the solar transition region for SOLAR-C"
 16:10-16:35 Hidetaka Kuniyoshi, "Quiet Sun small-scale brightening initiated by a magnetic tornado"
 16:35-17:00 Haruhisa Iijima, "Radiative MHD modeling of magnetically open corona"

Day 4-5 (3/7-8)

SOLAR-C SWG Board meeting (Buisness meeting)

We are going to submit the paper discussing the Science Objectives of SOLAR-C to PASJ. The paper will discuss not only the Science Objectives of SOLAR-C but also the comparison of observational data and numerical modeling. We are also willing to submit several papers discussing the comparative study of observations and numerical modeling for specific topics of each science objective.

What is a Magnetic Flux Rope?
Would we know one if we saw it?

Dr. KD Leka (NWRA, US)

Dr. Bernhard Kleim (Potsdam U., Germany)

Prof. Kanya Kusano (ISEE/Nagoya U., Japan)

A group of approximately 20 scientists and graduate students gathered 29 May -- 02 June at the Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE), Nagoya University to participate in an International Workshop sponsored by the Center for International Collaborative Research. The goal was to address the topic of solar magnetic flux ropes, specifically whether we could establish a theoretical definition and describe unique expected observational diagnostics of their presence and evolution.

We prepared 4 data sets from numerical and analytic models for participants to examine as if they represented observational data. We also identified and curated data for 3 observational cases, for which we also provided nonlinear force free models of the solar coronal magnetic field. We asked each participant to prepare a short presentation answering specifically:

- Who are you and why are you here? (relevant interest & expertise)
- Your personal definition of a magnetic flux rope, and why/how you came to it?
- An example that demonstrates why your definition is the best
- An example that demonstrates why your definition maybe “needs some thinking...”

where ‘example’ above could be either an observational or theoretical case.



Figure 1:

The emergence and formation of a (possible) magnetic flux rope from a numerical simulation

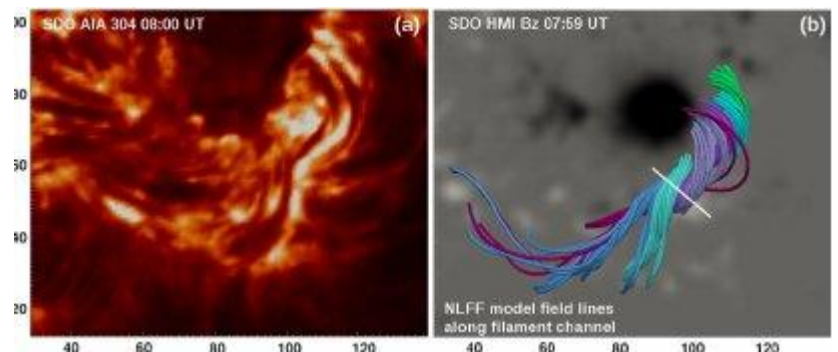


Figure 2: Observations of a proposed magnetic flux rope (left) and a

As the presentations progressed, each sparked new discussion; the theoretical presentations were first, and essentially occupied the majority of the first three meeting days. There was significant discussion focused on the differences between a sheared magnetic arcade and a magnetic flux rope, including the implications of

each for solar euptive events, and what (if any) observational signatures could distinguish between them.

The goal of defining “sufficient and necessary conditions” for a flux-rope formation and detection was an overall focus – with most participants agreeing that “twisted magnetic flux” was required, and that the presence of “photospheric magnetic bald patches along a polarity inversion line” were a strong indication, possibly a sufficient condition, but not a necessary condition (as evidenced by the evolution of multi-height observations of some active regions discussed briefly at the workshop). But questions remain regarding whether a single magnetic axis is required (and how to detect such a thing, observationally – with some tests proposed by participants that they may pursue), and the morphological structure of associated electric current systems theoretically providing some tests for observational investigations.

Most participants felt that we simply “did not finish”. The observational-focused discussions were initiated late in the workshop, and insufficient time was available to bring the discussion to any detailed analysis questions. There was similarly no time to examine any of the prepared data-sets by the full group, although a few side-discussions were initiated and small sub-group analysis ensued.

The group did initiate an outline of a potential paper and what needed to be done for progress. Unfortunately, three things have conspired to inhibit progress:

1. Kliem and others on the team have been working very hard on a Review paper that was initiated by a separate ISSI Team, which has significant overlap with regards to the science and analysis, albeit somewhat indirectly. The topic is “coronal dimmings”, but the magnetic topology implied by dimmings can be one of a magnetic flux rope. As such, those participants have not had time for MFR analysis per se, but have been working on related physics.
2. A Space Science Reviews paper by Patsourakos et al 2020 included a discussion of MFRs; however, few of our team found the definition proposed in that paper satisfactory. Still, we realized that it will take significant work to establish a more robust definition.
3. It was generally recognized that multi-height observational data of the solar magnetic field (which is not readily available) is required in order to constrain and test models of the coronal field that are such a key part of this question.
4. The group did discuss avenues for a follow-up workshop, and these may be pursued at some point. However, given point #1 and other commitments by the lead scientists, and the work involved, a funding source for support of the required effort (outside of the immediate workshop or meeting) is also needed.

The group does share a google-group “task and paper outline” file, and some of the early-career scientists are establishing investigations based on, or informed by, the discussions at our workshop. This workshop and CICR’s support will be acknowledged in any follow-up publication that is produced.

2023年度 04) 一般共同研究 目次詳細

57 件

*所属・職名は2024年3月現在
*Affiliation and Department displayed are current as of March 2024.

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
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	83	
湯口貴史	熊本大学	先端科学研究部理学系	教授	石英の三次元的な内部構造と微量含有元素が示す花崗岩質マグマの貫入・定置プロセス	84	
赤田尚史	弘前大学	被ばく医療総合研究所	教授	福島県請戸川集水域における同位体地球化学的研究	88	
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の研究	89	
徳丸宗利	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	招聘教員(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	90	
山崎了	青山学院大学	理工学部	教授	高強度レーザーで生成された無衝突衝撃波での波動励起過程の研究	92	
伴場由美	情報通信研究機構	電磁波研究所宇宙環境研究室	テニユアトラック研究員	物理モデルに基づくフレア・CME警報システムの開発	94	
小島正宜	名古屋大学		名誉教授	IPSスペクトル解析の改良	96	
村木綏	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	名誉教授	宇宙線データによる太陽圏現象の研究	98	
笠羽康正	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	教授	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2	101	

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
Siswanto Eko	海洋研究開発機構	Earth Surface System Research Center	Researcher	GCOM-C/SGLIによる赤潮検出アルゴリズム開発	103	
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	111	
深沢圭一郎	京都大学	学術情報メディアセンター	准教授	連成計算フレームワークを利用したMHDシミュレーションの重合格子化の研究	113	
中西利典	ふじのくに地球環境史ミュージアム	学芸課	准教授	沖積層に含まれる碎屑物を用いた堆積年代の高精度解析	114	
伊達謙二	気象庁気象衛星センター	データ処理部解析課	課長	基本雲プロダクトの高度化	116	
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CO2濃度の継続測定方法の開発	118	
渡邊恭子	防衛大学校	地球海洋学科	准教授	太陽放射スペクトルの地球圏環境への影響評価	119	
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	121	
山田広幸	琉球大学	理学部物質地球科学科地学系	教授	台風観測ドロップゾンデデータを用いた円筒座標データセットの開発	123	
今田晋亮	東京大学	理学系研究科地球惑星科学専攻	教授	太陽周期活動予測に関する研究	124	
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	
大矢浩代	千葉大学	大学院工学研究院	助教	VLF/LF帯電磁波を用いた太陽フレアによる下部電離圏変動の観測的研究	126	
山田和芳	早稲田大学	人間科学学術院	教授	「トトロの森」の形成・発達史解明	127	

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
今山武志	岡山理科大学	フロンティア理工学 研究所	准教授	石英チタン地質温度計のヒマラヤ高温変成 岩類への適用	129	
堤雅基	情報・システム研 究機構 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	130	
中島英彰	国立環境研究所	地球環境研究セン ター	主席研究員	フーリエ変換赤外分光器を用いたCO及び HCNの観測	131	
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	133	
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	135	
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	137	
佐藤正樹	東京大学	大気海洋研究所	教授	二重偏波レーダーのデータを利用した雲解 像モデルの改良(継続)	139	
宮本祐介	福井工業大学	工学部電気電子工 学科	教授	次世代マルチビームシステム デジタル Phased Array Feedの開発	141	
加藤雄人	東北大学	大学院理学研究科	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	143	
荻谷愛彦	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	145	
野澤恵	茨城大学	理工学研究科理学 野	教授	公開された衛星軌道データ(TLE)の解析に よる宇宙天気現象の解明	146	
横田勝一郎	大阪大学	理学(系)	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	147	
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	149	

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
松岡彩子	京都大学	理学研究科	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	150	
関華奈子	東京大学	大学院理学系研究科	教授	数値モデリングおよびデータ解析に基づく環電流が内部磁気圏ダイナミクスに果たす役割の研究	151	
北川淳子	福井県年縞博物館		学芸員	福井県三方五湖地域の遺跡から出土した土器付着物の年代決定	152	
天野孝伸	東京大学	理学系研究科	准教授	非線形プラズマ波動に伴う粒子加熱・加速の研究	154	
小島浩司	中部大学	天文台	客員教授	GSE座標系における宇宙線強度分布解析によるIMF磁気中性面のトランジェントな構造変動の推定	155	
土屋史紀	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	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	156	
眞部広紀	佐世保工業高等専門学校	基幹教育科	准教授	ドローンと小型センサを利用した大気微量気体とエアロゾルの3次元計測	158	
今井雅文	新居浜工業高等専門学校	電気情報工学科	講師	四国中山間地域から切り拓く広帯域低周波電波望遠鏡:木星電波観測	162	
山本一清	名古屋大学	大学院生命農学研究科	教授	空撮及び林内撮影画像解析による森林空間3次元モニタリング	164	
寺本万里子	九州工業大学	大学院工学研究院	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	166	
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	168	
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	170	
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・水蒸気観測の高度化	172	

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
奥野 充	大阪公立大学	大学院理学研究科	教授	湿地堆積物の堆積過程の高精度復元	174	
三澤浩昭	東北大学	大学大学院理学研究科	准教授	太陽Ⅱ型電波バースト微細構造の成因の究明	178	
芳原容英	電気通信大学	大学院情報理工学研究科	教授	複合電波観測を用いたシビア現象の超高層への結合過程に関する研究	179	
村田健史	情報通信研究機構	レジリエントICT研究センター	研究統括	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	181	
鈴木臣	愛知大学	地域政策学部	教授	5方向ライダー観測による小規模大気重力波の鉛直伝搬構造	183	
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	184	
渡邊堯	情報通信研究機構	ソーシャルイノベーションユニット戦略的プログラムオフィス	招聘専門員	流星によるVLF帯電波放射の観測的研究	185	
坂野井健	東北大学	大学院理学研究科	准教授	衛星搭載イメージング・分光光学系の設計と開発	187	

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。特に、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。しかし、そもそも、日本の近代化の直接的原因となったペリー艦隊の来航目的が捕鯨船の補給基地確保にあったように、近代捕鯨の影響、ひいては近代以前の海棲メガファウナの遺伝的多様性の理解は、近代化に伴う日本の動物相の変化を理解する上で欠かすことができない。

本研究では、東京湾に位置する縄文時代後期の称名寺貝塚から出土した鯨類骨からDNAを抽出してミトコンドリアDNAの塩基配列解読を行った。DNA解析の結果、遺跡から出土した骨は4種のハクジラ類（ハンドウイルカ *Tursiops truncatus*、ミナミハンドウイルカ *T. aduncus*、カマイルカ *Lagenorhynchus obliquidens*、オキゴンドウ *Pseudorca crassidens*）に分類された。また、放射性炭素年代測定の結果、これらの骨はいずれも3500～5000年前の年代を示しており、遺跡の年代と矛盾が無いことを確認した。さらに、遺跡から出土した鯨類と遺伝的に近い個体群が現在も東京湾近辺に生息していることから、これらのハクジラ類は過去4000～5000年間にわたって母系集団の生息地がほとんど変わらなかった可能性を示唆している。また、特にミナミハンドウイルカにおいて、称名寺貝塚出土個体の遺伝的多様性は現在の東京湾近辺に生息する個体群の遺伝的多様性よりも高いことが示唆された。以上の結果を論文にまとめて発表した。

発表論文

Kishida T, Namigata S, Nakanishi T, Niiyama Y, Kitagawa H (in press) Dolphins from a prehistoric midden imply long-term philopatry of delphinids around Tokyo Bay. *Biological Journal of the Linnean Society*. <https://doi.org/10.1093/biolinnean/blad159>

石英の三次元的な内部構造と微量含有元素が示す花崗岩質マグマの貫入・定置プロセス
Intrusion and emplacement processes of granitic magma deduced from three-dimensional internal structures and minor components within quartz in the granite.

湯口貴史 熊本大学大学院先端科学研究部
加藤あすか 山形大学大学院 理工学研究科
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。このため、石英の内部構造や温度条件などの結晶化の際の情報は、花崗岩質マグマの貫入・定置に関する情報を保存する。特に、1つの珪長質の深成岩体において、その岩体内部での岩相が異なっても石英はしばしば共通して産出する。例えば、研究で対象とした岩手県の遠野複合深成岩体では3岩相（主岩相、中心部相、周辺部相）に共通して石英が観察される。このため、複数の岩相の石英から温度条件などの結晶化の際の情報を取得し、結晶化プロセスを解明することは、深成岩体全体の形成プロセスの把握へと発展可能である。

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。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](#)）。しかしながら、石英に含有される Ti 濃度はごく微量で、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る。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2022年度の間名古屋大学(加藤丈典准教授)と報告者との間で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2021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（土岐花崗岩体における成果は [Yuguchi et al. \(2020\)](#) として国際誌 *Journal of Asian Earth Sciences* にて公表）。これまでの共同研究により得た知見から、石英の正確な結晶化温度を導出するためには、石英の「真のコア」における定量分析が必要であることを見出した。また同時に、石英の産状（どのような鉱物に接するのか？包有されるのか？）の情報も重要となる。そこで2023年度は、久喜花崗岩の石英に対して、石英の三次元的な内部構造の解析と微量含有元素の定量分析から、石英の結晶化プロセスの理解の高度化を行った。一方、遠野複合深成岩体に対しては、薄片試料を用い、周辺鉱物の情報に基づき、石英の結晶化温度条件の決定の高度化を図った。これらの2つのアプローチに基づく石英の結晶化プロセスの理解は、花崗岩質マグマの貫入・定置プロセスに関する精緻な議論を可能にする。

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 ずつ）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。また、石英へのダメージの評価は、EPMA 分析終了後に 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。この手法により、Ti 濃度の検出限界は 16 ppm, Al 濃度の検出限界は 17 ppm, それぞれの分析誤差は約 10%の精度で定量値を取得することが可能となる。このような高精度な分析は、石英結晶の内部構造の Ti 濃度と Al 濃度の高精度な比較を可能にする。

3. 研究結果・考察

久喜花崗岩体においては、石英を岩石から分離し、研磨と CL 像撮影を繰り返し、複数断面の CL パターンを取得した。観察した久喜花崗岩体の石英では、顕著なオシラトリゾーニングを持たないものの、断面ごとの輝度の変化から、その成長様式を評価することができた。15 粒子の中央断面に対してチタン濃度とアルミニウム濃度の定量分析を実施した。チタン濃度のデータでは、80 点が検出限界濃度以上の値を持ち、 $31 \pm 14 \sim 224 \pm 11$ ppm の幅を持つ。図 1 は石英粒子の CL 像とチタン濃度のラインプロファイルを示す。この結果、Ti 濃度と CL 像の輝度には正の相関が見て取れる（高輝度において高 Ti 濃度を有する）。

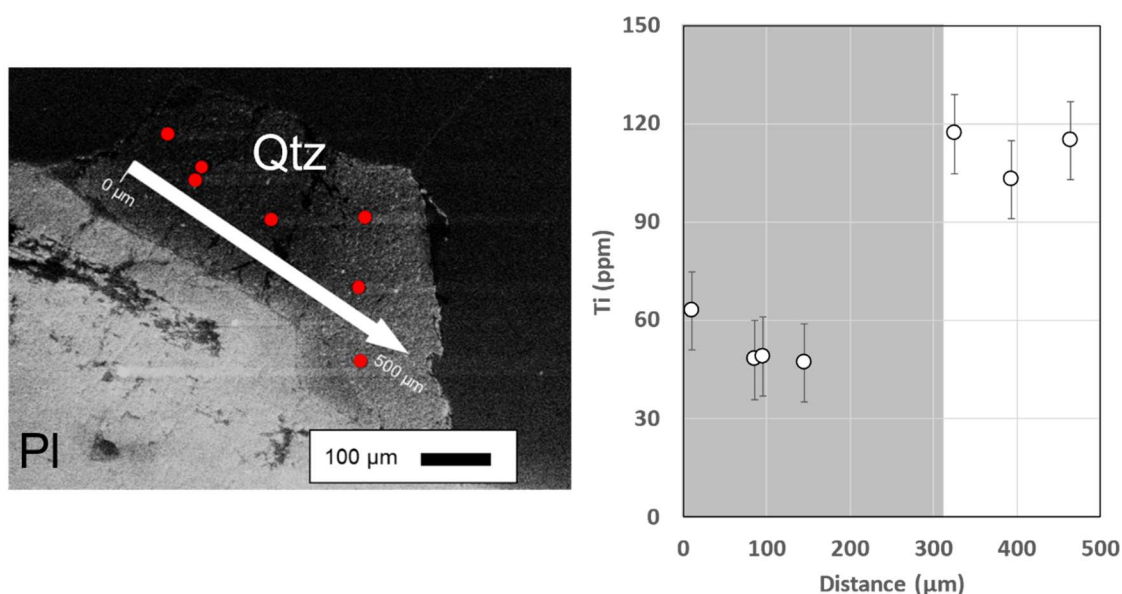


図 1 久喜花崗岩体の石英の CL 像とチタン濃度のラインプロファイル（サンプル No.4-101）

Thomas et al. (2010)の地質温度計を用いて計算を行うと 31 ± 14 ppm の値は結晶化温度 $522 \pm 28^\circ\text{C}$ となり、 224 ± 11 ppm の値は結晶化温度 $815 \pm 5^\circ\text{C}$ を示す。結晶化温度導出の際に必要な TiO_2 活動度は全岩化学組成から Rhyolite_MELTS プログラム(Gualda et al., 2015)を用いて導出した。一方、Al 濃度は大半の分析地点で検出限界濃度以下となり、12 点の分析点で検出限界濃度以上の値が得られた。その結果は $152 \pm 72 \sim 267 \pm 21$ ppm の分布を有する。検出限界を超えるデータが少なく、アルミニウム濃度と CL 像の輝度の関連性、および Ti 濃度と Al 濃度の関連性の把握は未到達な課題として残された。これを可能にするために、同一領域の Ti 濃度と Al 濃度の対となるデータの拡充が今後の課題となる。

遠野複合深成岩体においては、薄片中の石英結晶（22 粒子）に対して、122 点の Ti 濃度の定量分析を実施した。チタン濃度のデータでは、113 点が検出限界濃度以上の値を持ち、 $22 \pm 19 \sim 283 \pm 25$ ppm の幅を持つ。図 2 は遠野複合岩体の主岩相の岩石から産するジルコンを包有する石英の BSE 像と CL 像を示す。図中の石英に包有されるジルコンに対して、LA-ICP-MS による Ti 濃度の定量分析を実施した。図 2 中の石英に包有されたジルコンの Ti 濃度は 13.1 ± 0.9 ppm であり、石英粒子の Ti 濃度は 43 ± 4 ppm から 283 ± 25 ppm の幅（ $N=7$ ）を持つ。ジルコンを包有する石英の産状は、産出の順番としてジルコンの結晶化が先に生じ、その後石英の結晶化が生じたことを示す。冷却するマグマ溜り内での鉱物の晶出を考えた場合、ジルコンの結晶化温度は石英のそれと比べて低いことを示す。この晶出順・晶出温度の関係から、遠野複合岩体の石英の晶出温度の導出に最も妥当な TitaniQ 温度計を選定する。ジルコンの結晶化温度は Ferry and Watson (2007)の温度計から $815 \pm 89^\circ\text{C}$ となる（ TiO_2 活動度=0.82）。Yuguchi et al. (2020)では、石英粒子個々の結晶化温度条件を導出する

には、局所的な TiO_2 活動度の低下を加味し、粒子中の CL の最高輝度域の Ti 濃度を用いることが妥当であることを述べている。このため、 223 ± 21 ppm の Ti 濃度と TiO_2 活動度=0.82 を石英の結晶化温度の決定に用いた。また TitaniQ 温度計の検討には、Wark and Watson (2006), Thomas et al. (2010), そして Haung and Audétat (2012)の温度計を用いた。それぞれの温度計は、 884 ± 29 °C, 702 ± 61 °C, そして 899 ± 13 °C の値をもたらした。先にも述べたように、石英の結晶化温度は、ジルコンのそれよりも低くなる必要がある。このため、Thomas et al. (2010)の TitaniQ 温度計の利用が、遠野複合岩体において最も妥当な石英の結晶化温度をもたらすことを見出した。

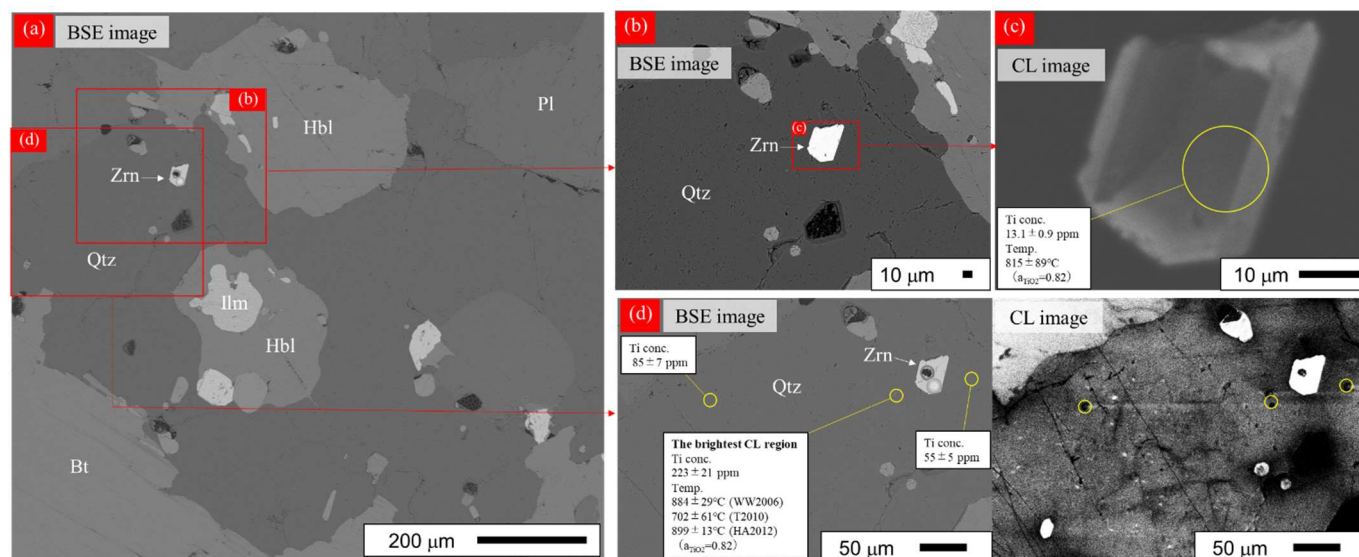


図2 遠野複合深成岩体の石英（サンプル No. 021-01）と包有されるジルコンの BSE 像、CL 像、Ti 濃度および結晶化温度

前年度までに構築した手法で、久喜花崗岩体および遠野複合深成岩体の石英において、チタン濃度データの拡充とアルミニウム濃度データの取得を行った。また、岩石試料から分離した石英を用い、結晶内の三次元的な内部構造を評価するための手法の構築を行った。加えて、薄片中の石英と石英に包有されるジルコンを用いて、石英の妥当な結晶化温度を導出するための手法を構築した。今後の課題として、異なる深成岩体における CL 像の輝度と微量含有元素との関連の解明のために、また、石英の結晶化プロセスから、マグマ溜りの冷却を評価する手法を高度化するために、データの拡充を続ける。

4. 引用文献

- 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.
- Ferry, J.M., Watson, E.B., 2007. New thermodynamic models and revised calibrations for the Ti-in-zircon and Zr-in-rutile thermometers. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 154, 429–437.
- Gualda, G. A. R., and Ghiorso, M. S. (2015). MELTS_Excel: A Microsoft Excel-based MELTS Interface for Research and Teaching of Magma Properties and Evolution. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 16, 315–324.
- Huang, R., Audétat, A., 2012. The titanium-in-quartz (TitaniQ) thermobarometer: A critical examination and re-calibration. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 84, 75–89.
- Thomas, J.B., Watson, E.B., Spear, F.S., Shemella, P.T., Nayak, S.K., and Lanzirrotti, A. 2010. TitaniQ under pressure: the effects of pressure and temperature on the solubility of Ti in quartz. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 160, 743-759.
- 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.

福島県請戸川集水域における同位体地球化学的研究

Isotope Geochemistry in the Small Catchment of the Ukedo River, Fukushima Prefecture, Japan

赤田尚史、弘前大学・被ばく医療総合研究所

福島県浪江町を流れる請戸川は、流域面積428.2 km²の2級河川である。この請戸川は、福島第一原子力発電所事故により避難を余儀なくされた町民にとっても町を象徴する存在でもある。請戸川の上流は、現在でも住民が避難している帰還準備区域であり、下流域は町民が帰還している区域である。そのため、請戸川が町全体を繋いでいる状況にある。近年は、河川水中放射性セシウム濃度も低下傾向にあり、町民の請戸川への関心が高まっているものの、震災後の請戸川集水域における同位体地球化学的特徴についての報告は限られている。本研究では、請戸川の上流から下流までの定点において降水と河川水を採取するとともに、集水域にある地下水の物理観測および定期採取を実施し、水素酸素安定同位体比およびトリチウムの測定を行い、気象データも含めた集水域における同位体地球化学的特徴を明らかにすることを目的とする。

請戸川源流に近い津島地区、下流のなみえ創成小・中学校において気象観測を実施すると共に月毎の降水試料を採取した。また、請戸川の上流である津島地区と下流である幾世橋地区において河川水の採取を実施した。さらに、下流域の加倉地区の井戸を利用して水位や電気伝導度の物理計測を行うとともに、河川水試料の採取に合わせて井戸水の採取を行った。得られた試料については、pHおよび電気伝導度 (EC) のち、共同利用装置である水安定同位体分析装置 (L2130-i) を用いて水素酸素安定同位体比の測定を行った。更に、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, 日立) を用いて水素の放射性同位体であるトリチウムの分析を行った。トリチウムについては、低濃度であることが想定されることから、固体高分子膜電解濃縮装置 (トリプユアXZ-001, デノラペルメレック) を用いて濃縮操作を行ったのちに測定を実施した。

ここでは津島地区で採取された月間降水のトリチウム濃度を示す。福島第一原子力発電所事故から約1年半経過した2012年10月から2021年12月までの月間降水中トリチウム濃度は0.10 – 0.85 Bq/Lの範囲であり、春季に高く夏季に低くなる季節変動傾向が認められた。2013年から2021年の年平均濃度は0.39 – 0.48 Bq/Lであり、日本で観測されるバックグラウンド濃度と同程度であった。津島地区は2023年より特定復興再生拠点に指定され、今後住民が帰還することが想定されている。一方、2023年8月より福島第一原子力発電所構内に保管されていた汚染水は、トリチウム以外の放射性核種を基準値以下まで取り除いたのちに、沖合1km地点に海洋放出が開始されている。今後、本研究で得られたデータを地域住民に対する放射線リスクコミュニケーション資料の一つとして活用する予定である。

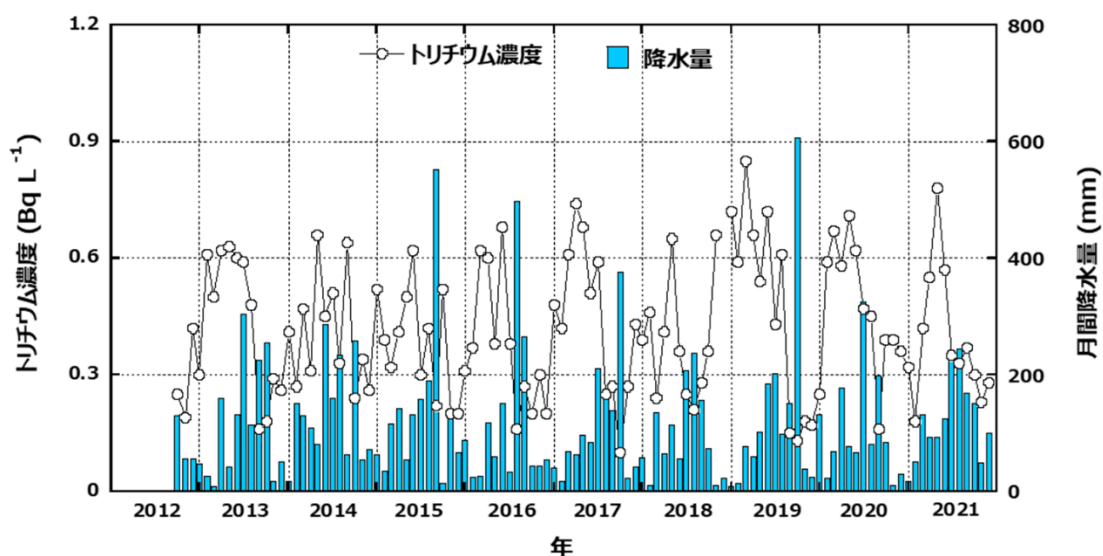


図 福島県浪江町の津島地区で採取された月間降水中トリチウム濃度と降水量の時系列変動

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
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

研究目的

本研究は、太陽表面で起こるフレアと呼ばれる大規模なエネルギー解放現象に伴い加速される高エネルギーイオンと、太陽大気との相互作用によって生成される中性子 ($> 100 \text{ MeV}$) を赤道付近の高山で観測することにより、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している。太陽中性子が地上で検出されるのは稀で、これまでに十数イベントしか検出されていない。それでもこれまでの研究で以下の3つのことがわかっている。(1) 太陽表面での中性子の生成が電磁波と同時であると仮定すると、太陽高エネルギー粒子の加速は、統計加速とよばれる効率のよくない加速である。(2) 太陽中性子の生成時間が硬X線 ((1) の電磁波に含まれる) に比べて長いイベントが 1 イベントある。(3) 太陽フレアで中性子がもらうエネルギーは軟X線のエネルギーの 0.1 % を超えない。(2) で述べた電磁波よりも中性子の生成時間が長いイベントの場合でも、(1) の統計加速で説明できる。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の今後の焦点は、太陽表面での中性子の生成時間を電磁波と同じと仮定しなくてもよいイベントを取得して、やはり統計加速なのかどうかを確認することである。

研究方法

現在稼働中の太陽中性子検出器は、ボリビア・チャカルタヤ (5,250 m) で 30 年以上、メキシコ・シェラネグラ (4,600 m) で 20 年以上稼働している 2 観測点である。この 2 箇所にある検出器は現地研究者により保守され、データは、それぞれのサーバーに保存されている。本共同研究は、それぞれのデータを、宇宙地球環境研究所宇宙線研究部のサーバーにコピーし、太陽中性子イベントの探索を行うものである。代表者は 2023年3月まで宇宙線研究部に所属し、世界各地の太陽中性子検出器の観測データはすべて、宇宙線研究部に保存されている。また、解析のためのプログラムも整備されている。シェラネグラには別に SciCRT (SciBar Cosmic Ray Telescope) という大型の検出器もあるが、データ量が巨大で、そのコピー・解析は本共同利用ではできないので、メキシコの研究者が解析している。

2023年度の研究結果

まず、ボリビアの検出器は、2023年度、若干の欠測があるものの、ほぼ順調にデータ収集が行われている。2024年2月末までのデータは、本共同利用により、宇宙線研究部のサーバーにコピーした。また、軟X線強度で M5 以上の太陽フレアの際に、太陽がボリビアの頭上にあった場合に太陽中性子が検出されていないかどうか探索したが、太陽中性子イベントは検出されていない。M5 というのは、GOES 衛星 (高度 35,800 km) の軟X線 (0.1 nm - 0.8 nm) 検出器で、 $5 \times 10^{-5} \text{ watts/m}^2$ を検出するレベルの太陽フレアのことである。一方、メキシコの検出器は、2023年6月に、シェラネグラ山の研究施設全体に電力を供給している変圧器が、雷のため破壊され、長い間電力供給がされない状況となった。2024年2月後半になってようやく修理された変圧器がシェラネグラに搭載される運びとなり、まもなく電量供給が再開される予定である。メキシコの太陽中性子観測装置のデータは 2023年6月4日まででストップしているが、それまでのデータについての解析は行っている。ボリビアと同じく M5 以上の太陽フレアの際に、太陽がメキシコの頭上にあった場合に、太陽中性子検出の有無を調べたが、太陽中性子イベントは検出されていない。太陽活動は 2020 年に始まり、現在極大に向け活発になっている状況である。太陽中性子検出は今後に期待したい。

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、名古屋大学宇宙地球環境研究所・招聘教員（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、太陽風を正確に予測することが宇宙天気予報において重要な課題となっている。これまでの研究から太陽風の加速は太陽コロナ磁場によって強く支配されていることがわかっているが、詳細は未だ謎である。現在、太陽コロナ磁場の特性から太陽風速度を予測するモデルとしてWSAモデル (e.g. Arge et al., 2003, 2004) が広く使われているが、この精度はあまりよくない。そこで、本研究ではISEEが実施している多地点IPS観測より求めた太陽風速度と太陽コロナ磁場のポテンシャル磁場解析結果を比較することで、精度良く太陽風速度を予測するモデルの開発を目指す。既存の太陽風速度モデルは地球近傍での飛翔体観測データ対して最適化されている。しかし飛翔体観測が行われた黄道面付近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は低速風に偏ったものになっている。IPS観測との比較では高緯度を含めた全ての領域に対して比較が可能であり、精度の改善が期待できる。

2. 研究方法

本研究ではコロナ磁場と太陽風速度の関係を説明するパラメータとしてコロナホール境界からの角距離 (DCHB) に注目して解析を行う。コロナホールは開いた磁場領域であり、ここがすべての太陽風の流源と考えられる。DCHBが小さい時には低速風、大きい時には高速風が吹き出すというモデルがRiley et al. (2001)によって提案された。一方、磁力線拡大率と太陽風速度の間に反相関があることがWang & Sheeley (1990)によって指摘され、Arge & Pizzo (2000)によってモデルが提案されている (通称、WSモデル)。Riley et al.(2015)によると、DCHBモデルはWSモデルより太陽風加速をよく説明できることが報告されており、IPS観測による最適化からはさらに精度よいモデルの開発が期待できる。本研究では、太陽磁場観測データのポテンシャル磁場解析からDC HBおよび磁力線拡大率を計算し、それを使ったDCHBおよびWSモデルの計算から得られる値とIPS観測のトモグラフィー解析から求めた太陽風速度を比較することで同モデルのパラメータの最適化を行う。また、既存のパラメータを使ってWSAモデルとIPS観測の比較も行い、WSAモデルの性能を評価する。

3. 研究結果 (途中経過)

計画の初年度にあたる2023年度では、サイクル23の異なる活動度に対応した6つのCarrington Rotationを選び、IPS観測を最もよく再現できるモデルのパラメータを決定した。WSAモデルとIPS観測の比較では、WSAモデルがDCHBモデルと同程度の精度を持っていることがわかった。さらに、これらの解析で明らかとなったDCHBモデルの問題点について同モデルの改良版について検討している。解析は主に自宅からリモートでISEEの計算機にログインして行っており、受入教員の藤木助教がADAPTデータをポテンシャル磁場モデルで解析した結果を利用している。解析の途中経過について適宜、共同研究者の藤木・渡部と議論した。2023年10月3-5日には研究打ち合わせのためISEEを訪れている。本研究で得られた成果はISEE研究集会 (2024年3月7日) で報告するとともに、論文にまとめてSolar Physics誌に投稿した。共同研究の経費は、先述したISEEへの出張に使った他、自宅での解析環境を整備するためPC周辺機器を購入した。

4. 今後の予定

2024年度では、これらの解析で得られた結果をまとめた論文をSolar Physics誌に出版する。このため2024年度の研究計画では論文校閲料とプリンターインクの費用を必要経費として計上している。また、2023年度同様にISEEに訪れて、解析結果のまとめ方や今後の共同研究の課題などについて議論する予定である。なお、共同研究者だった渡辺温は大学院進学後、別な研究課題に取り組むことになったので、次年度以降は共同研究者に含まれない。

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., M. Nagai, K. Fujiki, and K. Iwai, East-west asymmetry in interplanetary scintillation level variation associated with solar wind disturbances, *Solar Physics*, 298:127, 2023 (<https://doi.org/10.1007/s11207-023-02220-8>).
- 徳丸宗利、永井美帆、藤木謙一、岩井一正、「太陽風擾乱イベントにおいて観測される惑星間空間シンチレーション強度の東西非対称性」、第154回 SGEPPS総会および講演会、東北大学青葉山北キャンパス（仙台市）、太陽圏セッション、R007-02、2023/9/24-27(発表日9/25)
- 徳丸宗利、「惑星間空間シンチレーション観測による太陽風速度モデルの最適化」、ISEE研究集会「太陽圏・宇宙線関連の共同研究成果報告会」、2024/3/7、名古屋大学・研究所共同館Ⅱ 409室（名古屋市）
- Tokumaru, M., K. Fujiki, and H. Watanabe, “Optimization of Solar-Wind Speed Models using Interplanetary Scintillation Observations”, Submitted to *Solar Physics*, 2024.

高強度レーザーで生成された無衝突衝撃波での波動励起過程の研究
Study of wave excitation mechanism in laser-produced collisionless shocks

山崎 了、青山学院大学・理工学部

研究目的：地球磁気圏や惑星間空間、さらには若い超新星残骸などに普遍的に存在する無衝突衝撃波において、プラズマ波動励起・粒子の散逸過程・非熱的成分の生成過程等の詳細は未解明である。近年、高出力レーザーによる無衝突衝撃波の生成実験（実験室宇宙物理学）が本格化し、それにより無衝突衝撃波近傍の電磁場や粒子分布関数の直接計測が可能となった。山崎を代表とするグループでは、2015年から2022年まで、大阪大学レーザー科学研究所の共同利用の実験提案を行って連続して採択され、毎年、3～4日間のマインタイムを獲得し、実験データを蓄積してきた。現在、世界的に盛んなのは、外部磁場の存在下でプラズマを生成し、磁化プラズマ中を伝播する無衝突衝撃波（MS=Magnetized shocks）を生成することである。その際、得られた実験データから本当にMSが生成されているのか明確に判断できないことが多いため、実験データの解釈はプラズマ電磁粒子(PIC)シミュレーションとの比較を通じて行われることが必須となっている。そこで、我々のグループでも、実際の実験に近いパラメータで外部磁場の強度をいろいろかえた1次元PICシミュレーションを行う。これにより、これまでの実験結果の解釈だけでなく、今後の実験に対する指針を得ることも目指す。

研究方法：我々は高効率の計算手法を取り入れた1次元の電磁粒子コードを新たに開発し、従来の計算方法とは異なって、衝撃波の発展を衝撃波静止系で追うことで長時間の計算機実験を行ってきた。本研究では、現実の電子・イオン質量比を採用し、背景磁場の強さをいろいろかえて計算を行い、得られたデータから、実験で予想されるプラズマ制動放射や電子温度・イオン温度の空間プロファイルの時間発展を計算した。さらにシミュレーション結果と実験結果を比較した。

研究結果：レーザーをアルミ(Al)ターゲットに照射した際に生じるAlプラズマの性質がよくわかっておらず、また、それによりMSの振る舞いが異なることがわかってきた。そこで、今年度はAlプラズマのイオン密度やプラズマ注入時間をいろいろ変えた計算を行い、プラズマ自発光計測の実験結果と比較した。その結果、プラズマ注入をレーザーのパルス幅程度に短くしたものよりも、連続的に注入したもののほうが実験結果に近いことがわかった。つまり、Alプラズマは十分長い時間、ある程度の運動量フラックスをもって注入され続けることを示唆する。また、トムソン散乱計測と磁場計測結果のデータ解析を行い、衝撃波遷移層で励起された波動と考えると矛盾のない結果を得ることができ、その起源について考察した。また、[1]～[8]の成果発表を行なった。

学会発表：

- [1]「磁化プラズマ中を伝播する無衝突衝撃波の生成実験の現状と今後の展望」，山崎 了，日本物理学会
2024年春季大会（2024年3月18日-21日，オンライン開催）
- [2]「大型レーザー激光XII号を用いた磁化プラズマ中を伝播する無衝突衝撃波の生成実験(6)：2022年度
までの進捗状況」，山崎 了，田中 周太，河村 有志郎，正治 圭崇，富谷 聡志他71名，
日本物理学会 第78回年次大会（2023年9月16日-19日，東北大学）
- [3]「大型レーザー激光XII号を用いた磁化プラズマ中を伝播する無衝突衝撃波の生成実験(7)：粒子シミュレーションを用いた2020-2022年度実験デザインの決定」，塩田 珠里，山崎 了，田中 周太他13名
日本物理学会 第78回年次大会（2023年9月16日-19日，東北大学）
- [4]「大型レーザー激光XII号を用いた磁化プラズマ中を伝播する無衝突衝撃波の生成実験(8)：パルス磁場装置開発」，竹崎 太智，小口 拓哉，松山 隼，重田 宗明，伊藤 弘昭，山崎 了他18名，
日本物理学会 第78回年次大会（2023年9月16日-19日，東北大学）
- [5]「大型レーザー激光XII号を用いた磁化プラズマ中を伝播する無衝突衝撃波の生成実験(9)：衝撃波の長時間発展と数値シミュレーションの比較」，諫山 翔伍，松清 修一，森田 太智，長野 鉄矢他30名
日本物理学会 第78回年次大会（2023年9月16日-19日，東北大学）
- [6]「大型レーザー激光XII号を用いた磁化プラズマ中を伝播する無衝突衝撃波の生成実験(10)：衝撃波遷移領域における不安定性の直接計測と同定」，前之園 凱夫，森田 太智，松清 修一他29名，
日本物理学会 第78回年次大会（2023年9月16日-19日，東北大学）
- [7]「大型レーザー激光XII号を用いた磁化プラズマ中を伝播する無衝突衝撃波の生成実験(11)：磁場の向きと弧状衝撃波の形状」，田中 周太，田中一詳，境 健太郎，蔵満 康浩，當真 賢二他43名，
日本物理学会 第78回年次大会（2023年9月16日-19日，東北大学）
- [8]「大型レーザーを用いた磁化プラズマ中を伝播する無衝突衝撃波の生成実験」，山崎 了，研究会「宇宙プラズマの活動性～天体形成から高エネルギー現象まで～」（2023年8月21日-23日，千葉大学）

物理モデルに基づくフレア・CME警報システムの開発 Development of imminent flare/CME warning system based on physics model

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
伴場 由美

1. 研究目的・方法

太陽フレアが発生すると、短波伝搬通信への影響等が懸念される。情報通信研究機構（NICT）における宇宙天気予報では、今後24時間以内に発生するフレアの最大規模（降水確率のようなイメージ）を予報しているが、例えば線状降水帯の発生予測や緊急地震速報のように、差し迫って数時間以内にフレアが発生することを警報することは実現できていない。太陽から数日かけて地球に到来するコロナ質量放出の影響とは異なり、地球からフレアを観測した時点ですでにその影響（デリンジャー現象など）は現れているため、通信障害などを回避・軽減するための対策を取る時間を確保するためには、フレア発生警報が必要である。このため本研究では、物理モデル（Ishiguro & Kusano 2017, Kusano et al. 2020）に基づく新しいフレア予測システムを開発し、フレア発生のおおくとも数時間前の警報を実現することを目指す。太陽フレアの発生には、活動領域のエネルギー蓄積とトリガの2つの要因が必要であるため、本研究計画ではそれぞれを検出するスキームの開発を行う。

2. 研究成果・考察

本年度は、Kusano et al. 2020による κ スキームに基づき活動領域のエネルギー蓄積を定量的に算出するスキームの開発を行った。今年度の開発の成果は以下のとおりである。

[1] 活動領域のエネルギー蓄積を検出するスキームの基礎を構築

SDO衛星による太陽面磁場データから非線形フォースフリー磁場（NLFFF）モデリングにより活動領域のエネルギー蓄積を算出するスキームの基礎部分の構築を完了した。これにより、活動領域の中でも特に高いエネルギーが蓄積されている領域（すなわち、フレア発生の危険性が高い領域）である「フレア発生危険領域」、その中でも最も効率的にダブルアーク不安定性（Ishiguro & Kusano 2017）によりフレアを駆動できる点である「フレア予測点」、さらにフレア予測点からフレアが発生した場合の「解放可能エネルギー」の3つの情報を定量的に算出可能にした。

[2] NLFFFモデリングの高速化

上記[1]において、NLFFFモデリングはスパコンを用いても1観測データあたり2時間程度の時間を要する。一方でフレア警報システムのリアルタイム運用のためには、1観測データあたり長くとも30分以下で数値モデリングを行う必要がある。このため、低解像度化および計算ステップ数の削減によりNLFFFモデリングを高速化し、1観測データあたり10分程度で計算を完了し、かつKusano et al. 2020と同様の傾向の解析結果を得られるようにした。

[3] 「フレア発生危険領域」の可視化

活動領域中の「フレア予測点」や「解放可能エネルギー」を算出するためには計算コストの大きいNLFFFモデリングが必須であるが、「フレア発生危険領域」だけであればSDO衛星による太陽面ベクトル磁場データさえあれば算出が可能である。したがって、「フレア発生危険領域」を可視化することで、現在太陽面上に存在する活動領域の中でも大規模フレア発生の危険性が高い領域を特定することが容易になると期待できる。そこで、SDO衛星による活動領域磁場の準リアルタイムデータを定期的に取り得し、磁場データ上にフレア発生危険領域の空間分布を自動的に描画するプログラムを開発した。併せて、活動領域全体あるいはフレア発生危険領域ごとの蓄積エネルギーを定量的に算出した。これらの情報を比較しながら参照できるようwebビューワを作製し、フレア予報の参考情報として利用できるよう、NICTにおける宇宙天気予報業務を行う担当者らに提供した。

[4] フレア発生の判別可能性に関する評価

上記[1]で構築したエネルギー蓄積評価・検出スキームにより、Kusano et al. 2020で解析された活動領域（Xフレア発生あり領域9例、Xフレア発生なし領域190例）について解析を行った。これにより、① Xクラスフレアの発生の有無、② Xクラスフレア発生前におけるフレア予測点の磁気リコネクションの臨界半径の変化、について、Kusano et al. 2020の傾向を再現できることを確認した。

3. 成果発表

- [1] 伴場由美、塩田大幸、久保勇樹、草野完也、
”物理モデルに基づくフレア警報システムの開発”、
第154回 地球電磁気・地球惑星圏学会、2023年9月24日、オンライン、口頭発表
- [2] 伴場由美、塩田大幸、久保勇樹、草野完也、
”物理モデルに基づくフレア警報システムの開発：進捗状況”、
太陽研連シンポジウム、2024年2月20-22日、東京、ポスター発表
- [3] 伴場由美、塩田大幸、久保勇樹、草野完也、
”物理モデルに基づくフレア警報システムの開発：フレア発生領域の判別について”、
日本天文学会春季年会、2024年3月15日、オンライン、口頭発表
- [4] Y. Bamba, D. Shiota, Y. Kubo, and K. Kusano, “Development of a large-flare warning system based on κ -scheme: correlation between flare index and high free energy regions”, Japan Geoscience Union Meeting, May 26-31, 2024, Chiba, Japan, (採択済)

IPSスペクトル解析の改良 On IPS spectrum analysis to derive solar wind speed

小島正宜 名古屋大学

惑星間空間シンチレーション(IPS)は、1 つまたは複数の天体電波観測点を使用して太陽風速度を求めることが出来る技術である。IPSを使えば、視線方向に沿った太陽風の速度と密度の変動を推測することができる。手法には、単一時系列のスペクトルを解析する方法と、離れた複数サイトのデータの相互相関を解析する方法がある。このスペクトル解析法の開発と評価を行ってきたが一応の成果に達したので以下概要を報告する。

解析方法

厚みのある電波散乱媒質である太陽風を弱散乱の薄い散乱層の積み重ねとしてモデル太陽風を仮定してIPSをBorn散乱近似でシミュレートして解析する。

Solar wind spectrum の power law index について

太陽風密度ゆらぎのスペクトルは基本的にはKolmogorovスペクトルで近似できるが、実際のIPS観測で報告されているpower law index値は様々で先ずはこれについて考察した。その結果スペクトルのflatteningや下記のフィルター効果などを考慮してKolmogorov indexの $-11/3$ でなく、 -3 を用いることにした。

電波源視直径

電波源視直径の影響はスペクトルの高周波成分を減衰させる。実際に観測されているIPS sourceの視直径については不明なものが多く、spectral fitting解析への視直径の影響と最適視直径を考察し、 0.1 arcsecを用いることとした。

inner scale

スペクトルはcyclotron dampingによりwave energyが粒子へ移り、共鳴波長の辺りからスペクトルは崩れていきIPS観測の周波数域に影響をあたえる。 100 太陽半径以内の距離でinner scaleの太陽からの距離依存性は調べられているが速度依存性についての情報が無い。それらを考察した結果、IPSスペクトルの高周波域の減衰は、inner scale、電波源視直径、スペクトルindexの3要素を合わせ考慮すれば良いので解析ではinner scaleの影響は無視することとした。

密度擾乱度 $\delta N/N$ 距離と速度の依存性

Heliosの観測は波数 10^{-5} km^{-1} 以下でKolmogorovのpower lawを示し、擾乱の度合いは低速風が高速風を勝るが、太陽からの距離でそれは変わらない、しかし高速風は太陽から遠くなるほど擾乱度が増

える。そして $2 \times 10^{-5} \text{ km}^{-1}$ より大きな波数領域で、高速風の power level が低速風を勝る傾向にある。IPS の観測する 10^{-2} km^{-1} の波数では擾乱度の速度依存性を考察し $\delta N_e(r) \propto r^{-2} V^{-\gamma(r)}$ として $\gamma = 0.5$ を用いることとした。

Fresnel knee による速度

Fresnel knee を速度推定に用いる方法はスペクトルのモデルフィッティングをしなくてよいので簡便な方法であるので解析結果の評価を行った。しかしこの方法はデータの s/n の良否に結果が大きく左右されることが分かった。

spectrum anisotropy

スペクトル解析にて異方性は解析結果に有意な影響を与えると思われるのでそれを考察し軸比 1.7 の楕円近似が良いことを見つけた。

fitting parameter 数と速度推定の精度

スペクトル形状のフィッティングには、複数のパラメーターを用いた方が良いが、パラメーターの自由度が増えるほど速度値推定の精度は悪くなることを見つけ、速度のみを自由パラメーターとしてスペクトルフィッティングした方が Vccr に近い速度が得られることを見つけた。

IPS 時系列データの処理

スペクトルフィッティングの前処理として、時系列データ中のノイズ除去が不可欠であるがどのような除去方法が良いかを考察した。移動平均を掛けすぎると white noise レベルの推定に影響を与えるので median mean を先ず使い、次に振幅分布をとり、大きなスパイクノイズを除去する方法とした。

スペクトルの評価

時系列データのノイズ除去処理を行った後、データの FFT 処理を行いスペクトルを求める。求めたスペクトルは観測状況によりモデルフィッティングに使えるような理想的な形状を必ずしも示さない。そこでフィッティングに許容できるスペクトルの評価方法を開発した。

残された課題

① 観測されたスペクトルの形状と比べ十分満足できるスペクトルがシミュレート出来たのに相関法で求めた速度と比べスペクトルフィッティングでは 100 km/s 以上低い速度値が必要な事例が幾つか見つかった。この原因と対策を調べる。

② IPS 時系列データの処理に開発した方法が豊川以外の観測点の受信信号にも適用できるかの検討。例えば豊川では都市雑音、富士観測所では電気牧柵からの放電ノイズなど。

宇宙線データによる太陽圏現象の研究

Study of Heliosphere phenomena by Cosmic ray database

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、高丸尚教(中部大)
三宅晶子 (茨城高専)

我々は 2023 年度 ISEE との共同利用研究で、名大ミュオン望遠鏡が 48 年間取得したデータ中に (125±45) 年の周期が存在することを突き止め、国際会議 ICRR2023)及び on-line journal Universe 9, 357, (2023), universe9090387 に発表した。この周期に近い先行研究を調べたところ、1984 年、GRS 衛星が取得した 300keV 以上のガンマ線 data の中にこの周期が存在するとの報告が Nature 誌に掲載されていることが判明した。また、1985 年には京大天文台の一本や黒川らが太陽の H α 線観測 data 中に、同様の長周期が存在することを Nature に報告している。この周期の存在に最初に気付いたのは NASA の Charles Wolff で、彼は太陽中心部の g-mode 振動が原因であると解釈しており、その高調波の証拠を 1983 年に ApJ 誌に発表している。しかしこの解釈は太陽振動学の研究者にまだ広く受け入れられているわけではない。一方 g-mode 振動を Kamiokande の太陽 neutrino の検出 data の中に見出そうという試みもなされている。

今回この周期が見つかったのは、長嶋、宗像らが用いた”east-west 法”による大気厚変動を起源の影響を取り除く方法を用いず、規則正しく年変動している muon data を各年毎に、サイン、コサイン関数で fitting してその年周変動を取り除き、その data に対して wavelet 解析をかけたためである。言い換えれば生 data に対してその中に含まれている主要波動(第一 harmonics) を取り除いた data を解析したため第 2、第 3 の振幅が見えてきたことになる。Wavelet 解析結果を図 1 に示す。

また同じ 48 年間の観測データを wavelet 解析したところ、数日の周期で宇宙線ミュオン強度が変動していることを見出した。特にこの変動は冬季に顕著である。宇宙線ミュオンは地球の外部から飛来する宇宙線が大気上空約 100hPa 高度で衝突し、パイオンを生成し、それが短時間で崩壊してミュオンを作る。そこで輪島上空から毎日ゾンデを上げて成層圏の状況を調べている気象庁の data を解析し、数日間の変動が、成層圏の総観変動とどう関係しているのか、2024 年度は名大の大気 group と共同研究で進める。このような解析から

太陽活動が成層圏の大気に与える長期変動の手がかりが得られるかもしれない。

今季までに分かったことを整理すると、輪島上空の 100hPa の高度が冬と夏で約 1km 程度変動するということ（図 2）。夏は大気が膨張して入射宇宙線が 1 回目の核衝突をする高度が約 1km 上昇するということである。衝突点が上空に移動すると、衝突によって作られた pion が崩壊してできる muon の走行距離が増加するので、muon の崩壊する確率が増大する。従って夏 muon の counting rate が下がることにつながっている。一方 wavelet 解析をしてみると、輪島のゾンデ data に対しては図 3 のように冬季に 5 日程度の周期性が存在する。一方名古屋 muon data に対しても、図 4 に示したように、同じような周期性が見られる。これが北極振動に由来するか否か、2024 年度共同研究課題である。

次に今年度の研究として、我々はメキシコ、ボリビアの高山に太陽中性子望遠鏡(Solar Neutron Telescope)を設置してきたが、その中に太陽中性子が崩壊して作り出した陽子 (Solar Neutron Decay Protons) の信号を見出した。これは 2004 年 11 月 7 日にメキシコの Sierra Negra 山(4,600m)に設置されていた SNT で検出された。この内容は MDPI(Universe 2024,10,16) 誌にて発表した。またこの信号は同時に Finland の Oulu に設置されている中性子モニターにも検出された。これは Oulu が北極圏に近く、低エネルギーの SNDP が地球の磁場ではねられず地上まで到達したからである。同じようなイベントがもう一例見つかった。1990 年 5 月 24 日のイベントは太陽中性子が作り出した GLE event として有名であるが、その 4 日前に同じようなイベントが見つかった。このイベントに対して詳細な解析を 2024 年度の共同研究にて進めたい。

図 1. 名古屋 muon data 1970.10-2018.12 Wavelet analysis

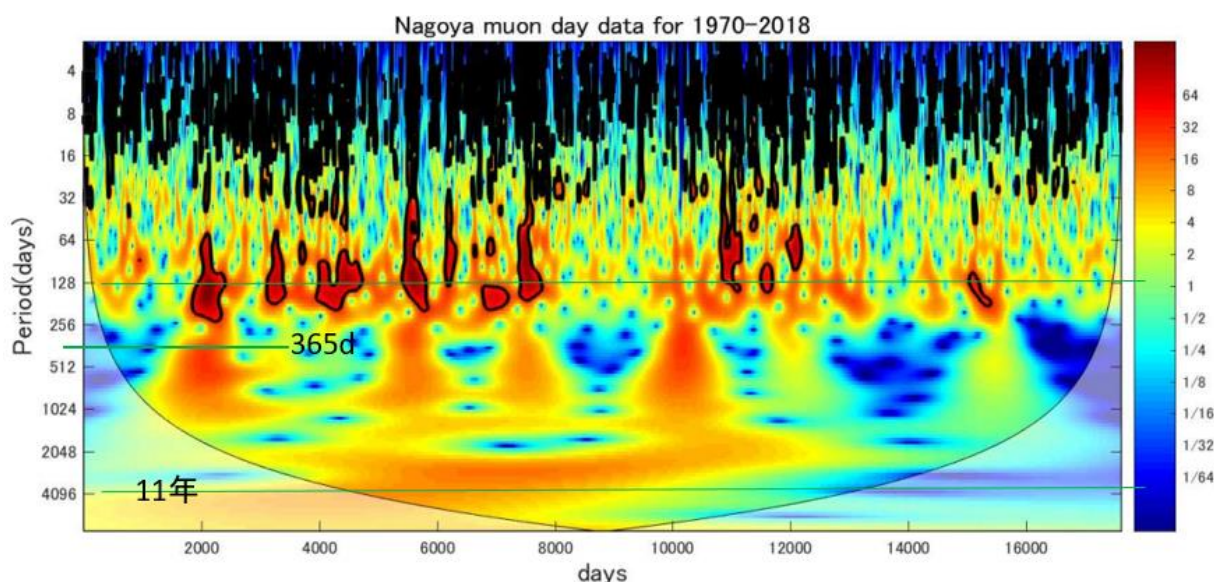


図 2. 輪島上空 100hPa 地点の日変動 (2016.1 – 2019.6)

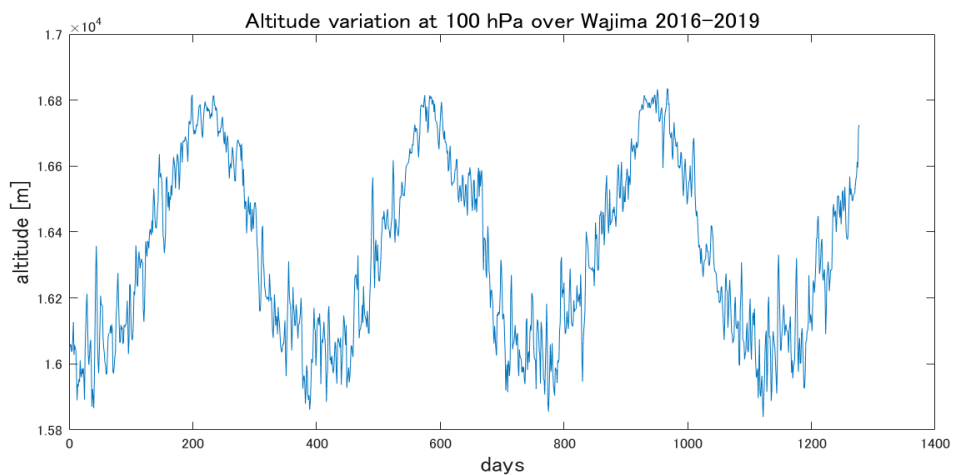


図 3. ゾンデデータに対する wavelet 解析結果(2016.1 -2019.6)

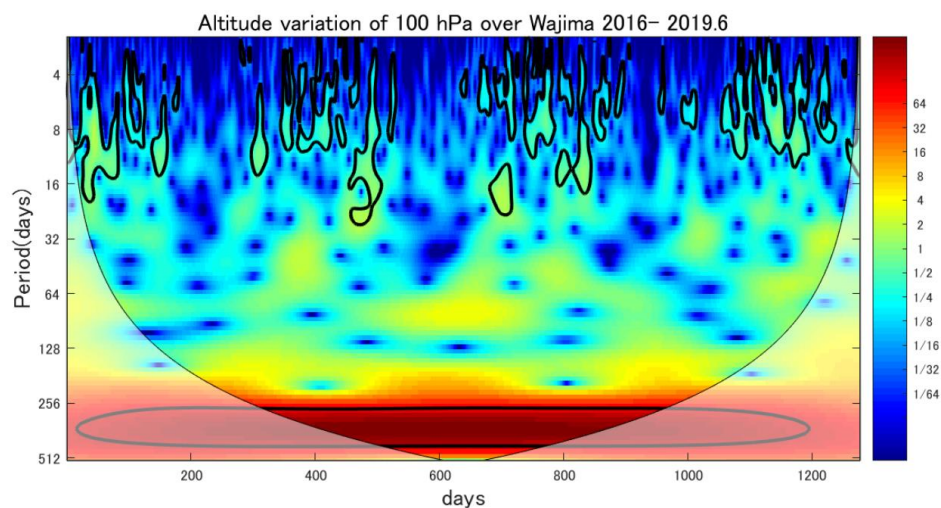
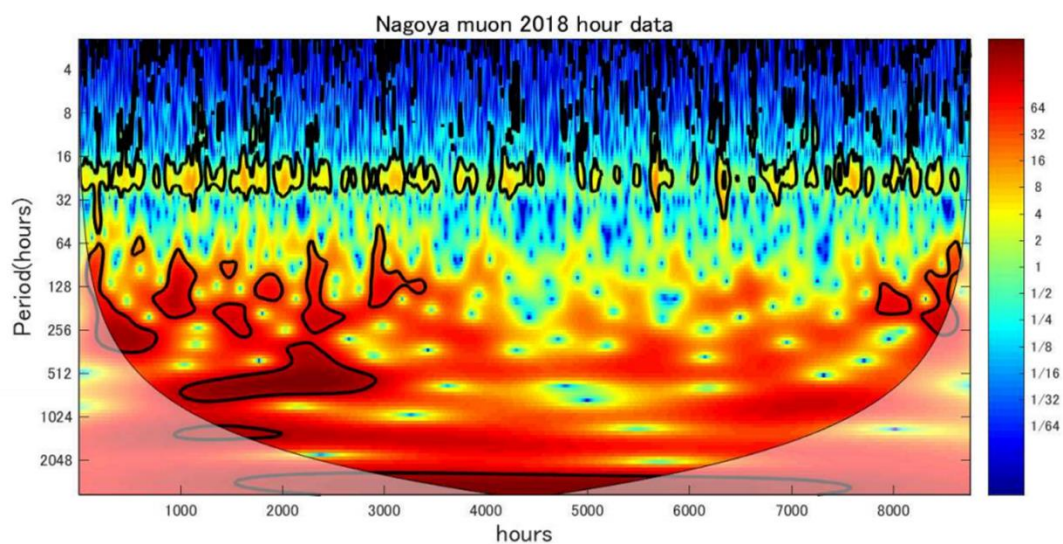


図 4. ミューオンデータに対する周期性 (2018 年度のみ)
(注意, both axes are presented by hours, not by day)



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2
Enhancement of the Spacecraft Charging and Inner Magnetospheric Researches by Arase DC and
low frequency E-field: #2

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

Arase衛星搭載電場・プラズマ波動計測器PWEは、地球内部磁気圏のプラズマ波動-粒子相互作用を的確に検出し、磁気圏内のグローバルなエネルギー収支・交換・伝搬を定量評価する手段を提供してきた。本申請は、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。

本研究は名大ERGサイエンスセンターメンバーとの協力によるもので、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。

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

サイエンスセンタのメンバーとともに以下のLevel-2データの公開・メンテナンス作業を順調に進めた。適用するデータ校正は「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想定する「BepiColombo PWIデータ方式」の原型としても想定するものである。

[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分布を入れるとある程度説明が可能であることを見出した。今後はこの電子雲モデルのさらなる定量化を行い、実際の電場データ補正に適用することを目指したい。

Combination of +Q, -q and d produce various waveforms

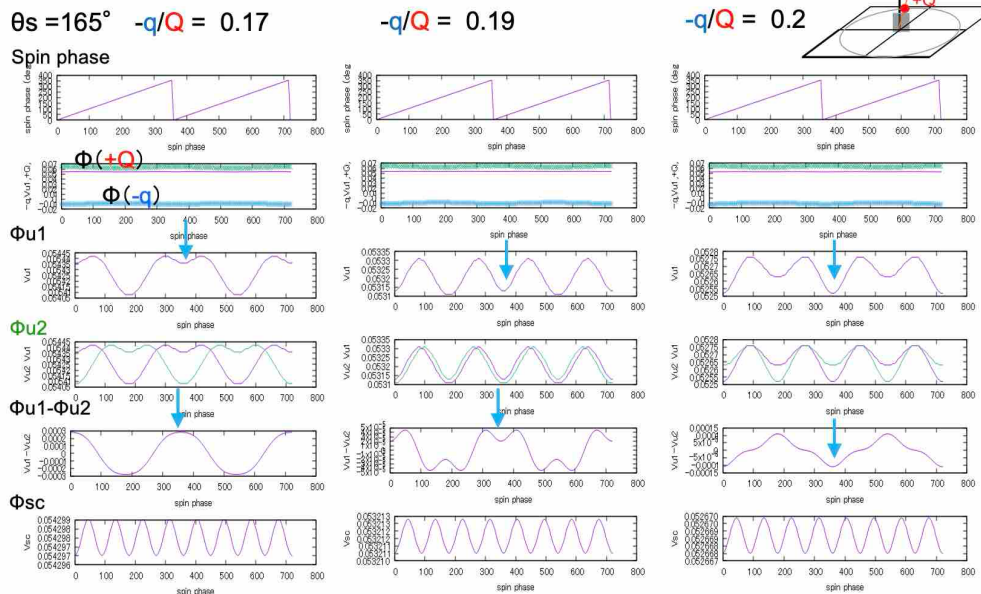


図. The distorted electric waveform model with photoelectron cloud in the sunward of spacecraft (Nakagawa+, Modeling Electric Potential Produced by Photoelectrons and Spacecraft charging: A case of the Arase satellite, URSI GA 2023, Sapporo, 2023年8月)

(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料に依存すること、衛星形状・姿勢にも依存すること、周辺電子温度にも影響されることなどから、その密度決定精度は低い。しかし、目視決定や仮定に依存せず、容易に 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データを導出することが潜在的に可能である。UHR 周波数による電子密度決定情報が存在する 2017 年 4 月～2022 年 4 月で UHR 周波数-衛星電位との相関解析を行い、その軌道依存性・経年変化の評価を行いつつある。Geotail・Cluster 事例で見られる「電子密度 $\propto \exp(\text{衛星電位})$ 」関係から外れる原因を、LEPe・LEPi のデータ等も参照して探る予定である。

衛星電位計測の基準点は、ワイヤアンテナ先端のプロープ電位である。プロープにはバイアス電流を供給し、流出光電子量と流入周辺電子量のアンバランスを補正して周辺プラズマ電位に近づけている(差: $< 0.1\text{--}0.2\text{ V}$)。低密度域でみられる衛星電位のゆらぎはプロープ電位の安定度に起因する可能性もあるが、この場合、衛星電位精度は直接 Arase の電場計測精度につながる問題となる。

また、衛星ポテンシャルの検討を通して、衛星周囲の電子と温度を導出することで、プラズマ圏の熱的プラズマ分布の情報を導出できる可能性が示された。

(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、ISEEメンバーを始めとした以下の論文成果創出に代表されるプラズマ圏・磁気圏電場観測、EMICなどの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。引き続き、Araseの成果創出を支えていく。査読論文としては、2023年度は以下が出版された。

・Pi2 パルセーション (7~25 mHz)に伴うサブストームオーロラにおける Arase ($L \sim 5$) での電場・磁場と Poynting flux と荷電粒子フラックスの準周期変動: Chen, L., et al. (2023). Correspondence of Pi2 pulsations, aurora luminosity, and plasma flux fluctuation near a substorm brightening aurora: Arase observations. *J. Geophys. Res. Space Phys.* 128, e2023JA031648. <https://doi.org/10.1029/2023JA031648>

・長寿命を持つプラズマ圏ヒスについて: Wu G. et al.(2024), Long lifetime hiss rays in the disturbed plasmasphere, *Geophys. Res. Lett.*, 51, <https://doi.org/10.1029/2023GL107825>

GCOM-C/SGLI による赤潮検出アルゴリズム開発 Development of red tide algorithm based on GCOM-C/SGLI

エコ シスワント、国立研究開発法人海洋研究開発機構
地球表層システム研究センター

1. Introduction and Objectives

Currently, about 40% (60%) of Asia's population lives within 100 km (400 km) of the coast. The concentration of human settlements in the coastal zone is caused by the economic benefits that can be gained from coastal industries/activities such as mariculture, tourism, and recreation. However, population density and economic growth in the coastal zone increase the pressures on the coastal ecosystems. Some environmental pressures are the increasing rate of organic and inorganic material loads that lead to red tide, an unusual phytoplankton bloom of a dominant species (Anderson, 1994). Red tides cause ecosystem/biodiversity destructions, fish mortality, livelihood/economic losses, and adverse societal impacts (severe illness and fatalities to humans). Red tide, due to dead phytoplankton cells, frequently ends up with coastal water hypoxia.

Red tide are also associated with climate changes, as climate changes modify precipitation, upwelling, and atmospheric deposition patterns that introduce a large number of nutrients into marine environments. Many Asian coastal waters undergo long-term and periodic nutrient enrichments, and hence they are suffering from red tide as these coastal waters are surrounded by densely populated countries and vulnerable to climate changes owing to their location which are between the Pacific Ocean and the Indian Ocean.

Jakarta Bay, Manila Bay, the upper Gulf of Thailand, Sepangan Bay, and Malacca Strait are among the coastal waters or embayments in the Southeast Asian waters that frequently suffer from red tide and hypoxic/anoxic waters. Dinoflagellates (*Alexandrium*, *sp.*, *Gymnodinium* *sp.*, *Noctiluca* *sp.*, *Peridinium* *sp.*, etc.) are the main phytoplankton group causing red tide in the Southeast Asian waters (e.g., Yñiguez, et al., 2021; Luang-on et al., 2023). Among the Japanese coastal waters, the Ariake Sea and Tokyo Bay are the waters frequently affected by red tides. Recently in October 2021, a devastating red tide also occurred in the waters southeast of Hokkaido caused by dinoflagellate *Karenia selliformis* (Kuroda et al., 2022).

Rapid coastal water monitoring of red tide is thus required. However, in situ monitoring is expensive and impossible for long-term observation with a high spatiotemporal scale. Such a large-scale and rapid observation can only be carried out by satellite remote sensing. To fully exploit remote sensing technology establishing satellite-derived red tide algorithms is a prerequisite. In this report, case studies on red tide detection algorithm developments for the upper Gulf of Thailand (uGoT) and for the waters off southeast Hokkaido will be described.

3. Methodology

For the waters off southeast Hokkaido, we used the SGLI Level-2 dataset of the normalized water-leaving radiance (NWLR, $\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$) and chlorophyll-a concentration (chl-*a*, mg m^{-3}) at a spatial resolution of 250 m which were obtained from the JAXA Satellite Monitoring for Environmental Studies website (JASMES, <https://www.eorc.jaxa.jp/JASMES/>). We divided the NWLR by the top-of-atmosphere solar irradiance (F_0 , $\text{W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$) for each SGLI wavelength (λ) adopted for the GCOM-C mission (https://suzaku.eorc.jaxa.jp/GCOM_C/data/prelaunch/index.html) to convert into remote sensing reflectance (R_{rs} , sr^{-1}).

The criteria for selecting the 3×3 pixel areas representative of optically different types of water were based mainly on SGLI red-green-blue (RGB) composites, SGLI high-chl-*a* pixels, and previous studies. This study used *K. selliformis* density maps generated by Kuroda et al. (2022) and selected

locations characterized by high cell densities of *K. selliformis* and high SGLI-retrieved chl-*a* as pixels where there were *K. selliformis* blooms. The method to classify clear- and turbid-non bloom waters followed Siswanto et al. (2023). Figure 1 shows the locations where the SGLI-derived R_{rs} for different water types were collected.

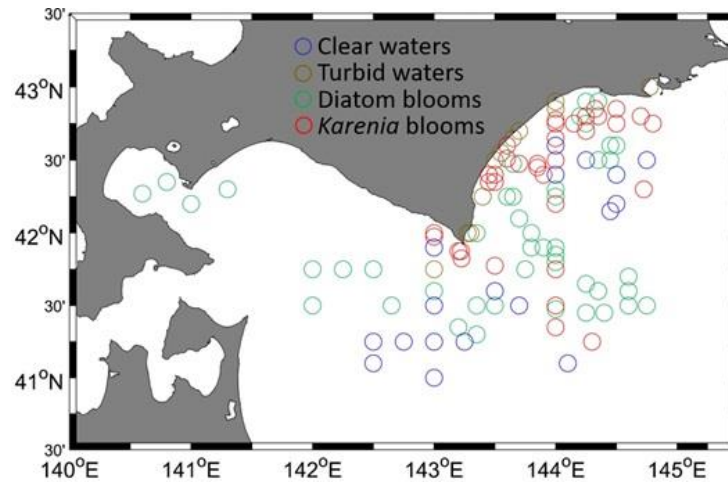


Figure 1. Locations from which remote sensing reflectance data were collected. The locations that were indicated as diatom blooms, *K. selliformis* blooms, clear waters, and turbid waters are indicated by green, red, blue, and brown circles, respectively.

We investigated whether optical properties can be used to separate diatom bloom from *K. selliformis* bloom. We used R_{rs} to calculate total absorption coefficient (a) using the quasi-analytical algorithm (QAA) of Lee et al. (2002). The QAA version 5 which uses a green band ($\lambda = 565$ nm) as the reference instead of a red band ($\lambda = 670$ nm) was used. We made this choice because most $R_{rs}(670)$ values during both diatom and *K. selliformis* blooms were below 0.0015 sr^{-1} (Lee et al., 2009).

The same method was applied to derive R_{rs} in the uGoT except that the SGLI data were acquired from the Global Portal System website (<https://gportal.jaxa.jp/gpr/>) and were corrected employing the *in situ* R_{rs} data collected within the period from 2018 to 2023. A local chl-*a* algorithm was also developed to derive chl-*a* in the uGoT more accurately. The method applied here followed MODIS-based red tide detection proposed by Luang-on et al. (2023) except it used SGLI bands.

2. Results and Discussion

2.1. Red tide off southeast Hokkaido

The spectral shapes of R_{rs} obtained from clear waters exhibited peaks at wavelengths shorter than 565 nm (Figure 2a), exclusive $\lambda = 380$ nm and 412 nm because we found that $R_{rs}(380)$ and $R_{rs}(412)$ were unexpectedly high during *K. selliformis* blooms, which might be inaccurate (e.g., Ishizaka et al., 2022; Murakami et al., 2022). The R_{rs} from turbid waters, diatom blooms, and *K. selliformis* blooms exhibited peaks at 565 nm (Figure 2b–d).

To distinguish turbid waters from phytoplankton-dominated waters, following Siswanto et al.'s (2013) approach, we plot R_{rs} slope between 443 nm and 565 nm ($R_{rs_slope}(443_565)$) against chl-*a* (Figure 3a). The variation of $R_{rs_slope}(443_565)$ was uncorrelated with chl-*a* in turbid waters but strongly correlated ($r = 0.869$, $p < 0.0001$) with chl-*a* in the waters spanning from clear to phytoplankton bloom waters (Figure 3a). We therefore defined an approximate threshold expressed by the equation 1 (gray line in Figure 3a): $R_{rs_slope}(443_565) = 9 \times 10^{-6} + 7 \times 10^{-6} \times \ln(\text{chl-}a)$, to differentiate turbid waters from waters associated with blooms of diatoms and *K. selliformis*.

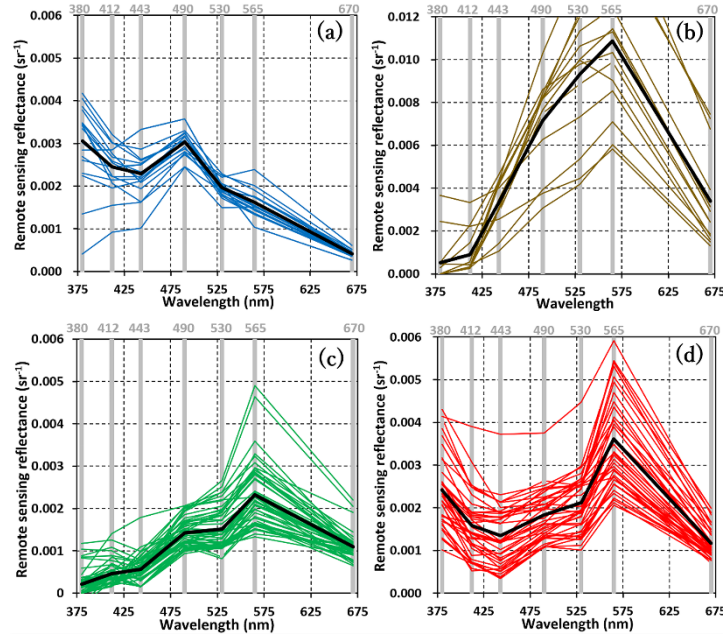


Figure 2. The average remote sensing reflectance (R_{RS}) calculated from 3×3 pixel areas at the locations shown in Figure 1. The R_{RS} values for clear waters, turbid waters, diatom blooms, and *K. selliformis* blooms are shown in (a), (b), (c), and (d), respectively.

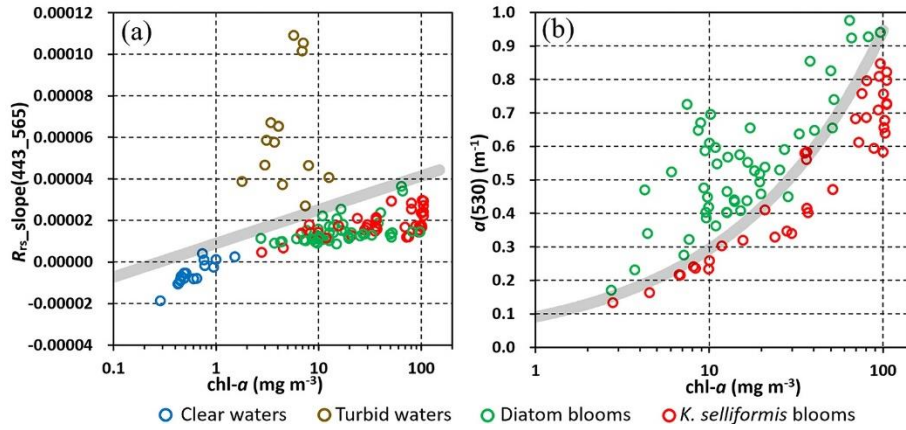


Figure 3. (a) Scatter plots of the relationship between the remote sensing reflectance (R_{RS}) slope between the 443 nm and 565 nm bands ($R_{RS_slope}(443_565)$) and the concentration of chlorophyll-a ($chl-a$). Turbid waters, clear waters, diatom bloom waters, and *K. selliformis* bloom waters are represented by brown, blue, green, and red circles, respectively. The grey regression line (equation 1: $R_{RS_slope}(443_565) = 9 \times 10^{-6} + 7 \times 10^{-6} \times \ln(chl-a)$) serves as the boundary separating the turbid water class from the other water classes. (b) Scatter plot showing the relationship between the total absorption at 530 nm ($a(530)$) and $chl-a$. Data points during diatom blooms and *K. selliformis* blooms are depicted by green and red circles, respectively. The grey line is a regression line (equation 2: $a(530) = 0.0852 \times chl-a^{0.5146}$) that distinguishes diatom blooms from *K. selliformis* blooms.

The primary challenge is to discriminate between blooms of diatoms and *K. selliformis*. Applying QAA v5, we computed $a(\lambda)$ for most SGLI wavelengths (443 nm, 490 nm, 530 nm, 565 nm, and 670 nm) and investigated whether these values could be used to differentiate blooms of diatoms and *K. selliformis* by relating them to $chl-a$. Generally, within the same range of $chl-a$, $a(\lambda)$ tended to be higher during diatom blooms than *K. selliformis* blooms (not shown). However, $a(530)$ (Figure 3b) provided better separation between blooms of diatoms and *K. selliformis* than other wavelengths. Thus, we used the natural logarithmic regression line, as expressed by equation 2 (gray line in Figure 3b): $a(530) = 0.0852 \times chl-a^{0.5146}$, to distinguish between blooms of diatoms and *K. selliformis*, i.e., if $a(530)$ was more (less) than the value predicted by equation 2, the bloom was attributed to diatoms (*K. selliformis*).

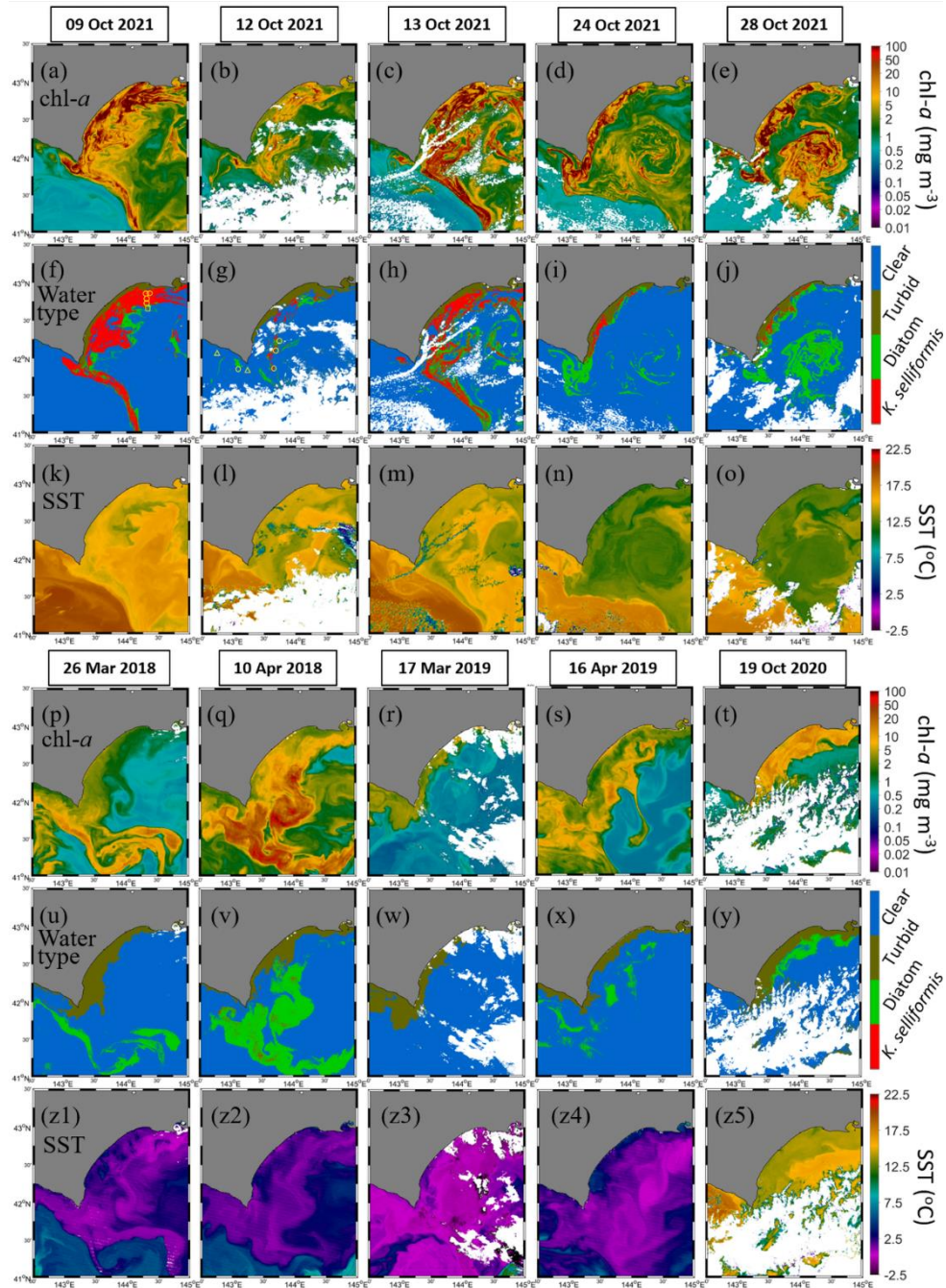


Figure 4. Maps showing the distribution of SGLI chl-*a* (a–e) and the corresponding water types (f–j) classified using the method employed in this study during the 2021 red tide event. Maps that show SGLI-retrieved SSTs (k–o) during the 2021 red tide are also mentioned. Maps (p–t), (u–y), and (z1–z5) depict the same information as (a–e), (f–j), and (k–o), respectively, but for the non-red-tide spring and fall seasons. In panels (f) and (g), open circles, squares, and triangles represent 92%, 40%, and 5% contributions of *K. selliformis* to the phytoplankton community, respectively (Yamaguchi et al., 2022).

We used the following procedures to discriminate blooms of *K. selliformis* from other types of water: 1) excluding λ of 380 nm and 412 nm, a peak of the R_{rs} spectral shape at a wavelength shorter than 565 nm implies clear water; 2) an $R_{rs_slope}(443_565)$ above the borderline defined by equation 1 implies turbid waters; 3) a value of $a(530)$ above the borderline defined by equation 2 implies a diatom bloom; and 4) otherwise, there is a bloom of *K. selliformis*. The borderline defined by equation 2 also effectively separates blooms of diatoms and *K. selliformis*, even at chl-*a* less than 10 mg m^{-3} (Figure 3b), but we consider this distinction less important because red tides are typically accompanied by chl-*a* higher than 10 mg m^{-3} (e.g., Yunus et al., 2015; Kuroda et al., 2022; Luang-on

et al., 2023). We therefore added the fourth criterion of chl-*a* > 10 mg m⁻³ to identify waters with blooms of diatoms or *K. selliformis* before separating them into different types of blooms.

Figure 4 shows maps of the SGLI standard product of chl-*a* (a–e, p–t) and water types (f–j, u–y) classified using the procedures described above. During the mature phase of *K. selliformis* blooms, areas with chl-*a* > 10 mg m⁻³ (a–c) were predominantly classified as *K. selliformis* blooms (f–h). Our methodology also classified the seasonal spring and fall phytoplankton blooms, indicated by high chl-*a* (Figure 4p–t), as typical diatom blooms (Figure 4u–y).

During the mature *K. selliformis* blooms, limited spatial areas were also classified as diatom blooms. This classification of diatom blooms is reasonable because in-situ observations have also detected diatom blooms alongside larger blooms caused by *K. selliformis* (Kuroda et al., 2022; Yamaguchi et al., 2022). Examination of Figure 2c and 2d reveals that the most distinctive feature in the spectral shape of R_{rs} that differentiates blooms of diatoms and *K. selliformis* is the slope of R_{rs} between 380 nm and 412 nm ($R_{rs_slope}(380_412)$). However, it should be noted that R_{rs} retrievals in the UV-blue band may be less precise than retrievals in the green bands (e.g., Ishizaka et al., 2022; Murakami et al., 2022). We therefore do not currently recommend using apparent optical properties between 380 nm and 412 nm to discriminate between blooms of diatoms and *K. selliformis*.

During the later stages of *K. selliformis* blooms on 24 and 28 October 2021, we detected *K. selliformis* blooms in high-chl-*a* areas primarily in coastal waters (Figure 4d–e, i–j). High-chl-*a* areas associated with diatom blooms were apparent in offshore regions, especially south of 42.5°N and east of 143.75°E. Although there are no available in-situ data or previously published studies supporting these diatom blooms, their occurrence can be expected based on the cooling of sea surface temperature (SST) (Figure 4n–o). A decrease of SST indicates an upwelling of subsurface nutrients that generally stimulate the growth of diatoms more than dinoflagellates (e.g., Malviya et al., 2016; Lampe et al., 2021). In contrast, Yamaguchi et al. (2022) have suggested that relatively high SSTs (Figure 4k–m), stratified water columns, and low nutrient concentrations favour the occurrence of *K. selliformis* blooms.

2.2. Red tide in the uGoT

The uGoT red tide has a greater diversity of species than off the coast of Hokkaido. It is often caused by green *Noctiluca scintillans*, cyanobacteria, and mixed-species blooms, in addition to dinoflagellates and diatoms. A localized algal bloom classification method has been developed for MODIS based on *in situ* hyperspectral R_{rs} measured during the algal blooms in the uGoT before applying to the satellite data (Luang-on et al., 2023). This algorithm works well with MODIS data to identify the red tides and discriminate green *Noctiluca* blooms from the other red tides. It is because each red tide contains unique algal pigments, and these differences in pigments affect their ability to absorb light at different wavelengths, especially in the blue, green, and red regions (Clementson and Wojtasiewicz., 2019). This allowed us to make a modification of the MODIS method for red tide detection using SGLI data.

For SGLI, we modified the regional classification algorithm by utilizing the same *in situ* hyperspectral R_{rs} dataset (Figure 5a). Nevertheless, the SGLI wavelengths at 490, 531, and 670 nm normalized by 565 nm were considered due to their potential to separate between algal-bloom and non-bloom waters (Figure 5b–c). The normalized R_{rs} at 490 nm (i.e., R_{rs490}/R_{rs565}) covaries with chl-*a* concentrations in the uGoT discriminated relatively high chl-*a* waters ($\geq 1,500$ mg m⁻³) of super green *Noctiluca* blooms from other algal blooms in lower chl-*a* levels (≥ 10 mg m⁻³) and non-bloom in coastal (≥ 1 mg m⁻³) and oceanic (< 1 mg m⁻³) waters. The normalized R_{rs} at 531 nm and 670 nm (i.e., R_{rs531}/R_{rs565} and R_{rs670}/R_{rs565}) then were used to classify algal-bloom waters in the medium-to-high chl-*a* levels of green *Noctiluca* of 50% to 80% dominant waters, other dinoflagellates, diatoms, cyanobacteria, and mixed species.

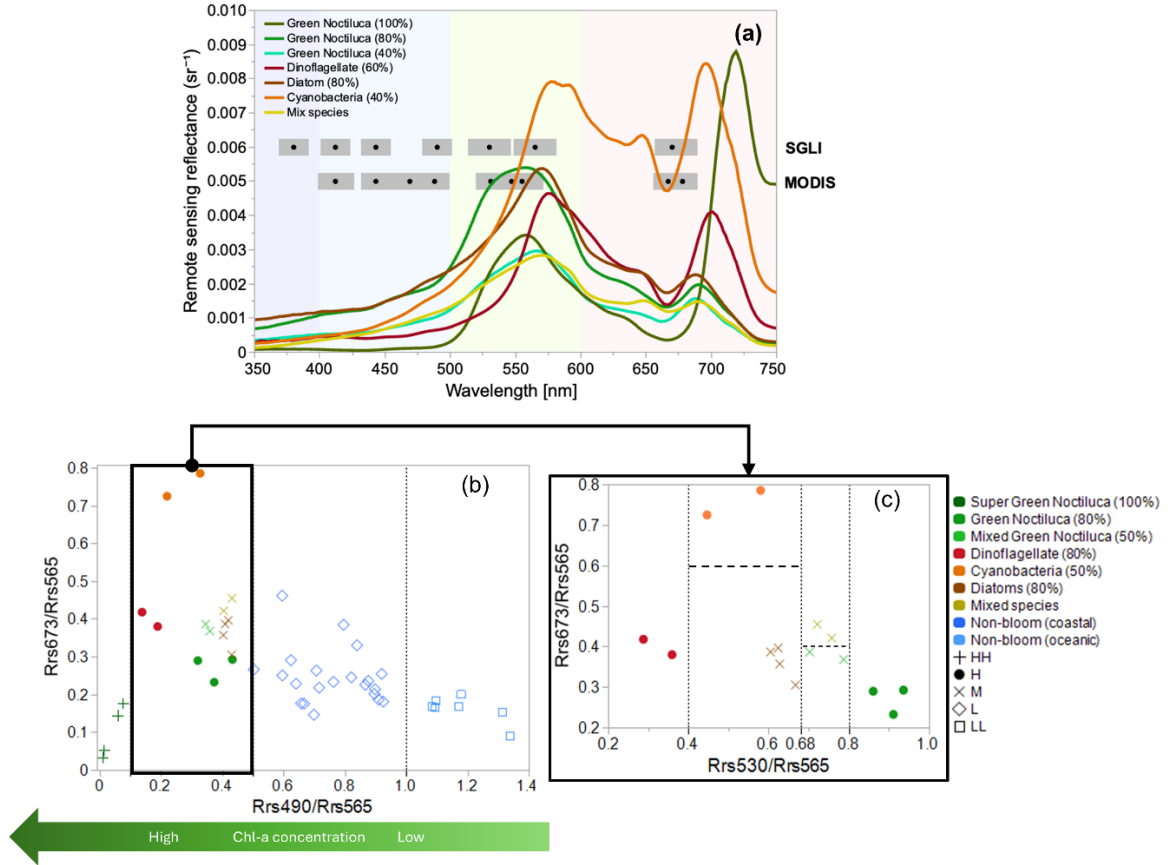


Figure 5. Modified local algorithm for classifying algal blooms by GCOM-C/SGLI data, based on the *in situ* hyperspectral Rrs dataset (a) from Luang-on et al. (2023). Cluster analysis was performed on *in situ* Rrs490/Rrs565 and Rrs673/Rrs565 (b) and Rrs530/Rrs565 and Rrs673/Rrs565 (c). Rrs673 is denoted as Rrs670 in SGLI data.

Before applying the modified local algal-bloom algorithm to SGLI data, we verified the accuracy of SGLI Rrs using the matches-up between SGLI and *in situ* data (Figure 6). However, discrepancies exist between SGLI and *in situ* data (Feng et al. 2023; Ishizaka et al. 2022; Matsuoka et al. 2022), and our results support these findings. To enhance the SGLI accuracy, we used reduced major axis (RMA) regression fitting between *in situ* and SGLI data for each Rrs and Rrs ratios. As a result, the ratios of Rrs443/Rrs565 , Rrs530/Rrs565 , and Rrs673/Rrs565 exhibited a substantially high coefficient of determination ($R^2 > 0.9$) and can be considered reliable for utilization with the local empirical algorithm to detect the red tides.

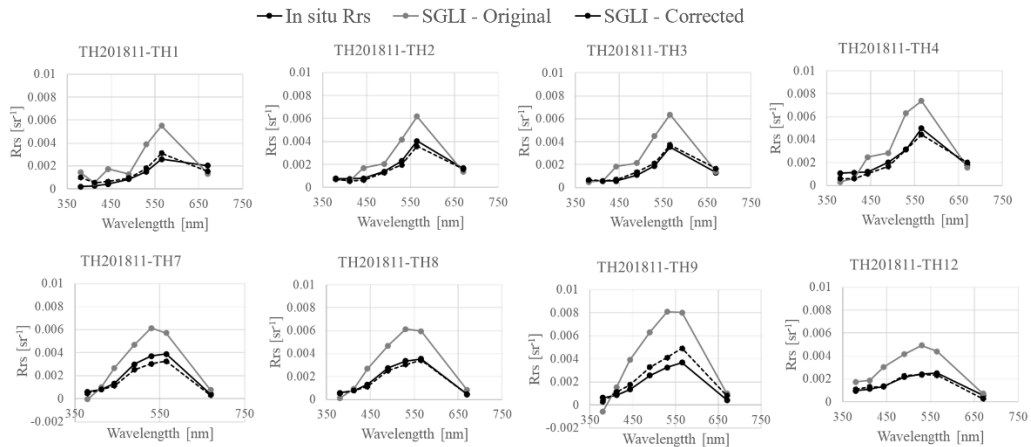


Figure 6. Comparisons of matched-up Rrs spectra for ± 24 h between *in situ* (black lines) and 3-by-3-pixel-averaged SGLI data before (grey lines) and after (dotted black lines) correction at wavelengths 380, 412, 443, 490, 530, 565, and 673 nm.

The enhanced SGLI Rrs ratios of Rrs490/Rrs565, Rrs531/Rrs565, and Rrs670/Rrs565 were then used with the modified local algal-bloom algorithm to investigate the red tides on daily SGLI images (Figure 7). To validate the algorithm performance on the SGLI data, we compared the SGLI images with red tide reports from the Department of Marine and Coastal Resources in Thailand. On cloudless days, SGLI algal bloom images revealed red tide areas in high chl-a over than 10 mg m⁻³ corresponding to red tide reports of green *Noctiluca*, diatoms, and the dinoflagellate *Karenia* sp. (Figure 7a-c) demonstrating the performance of SGLI in red tide detection.

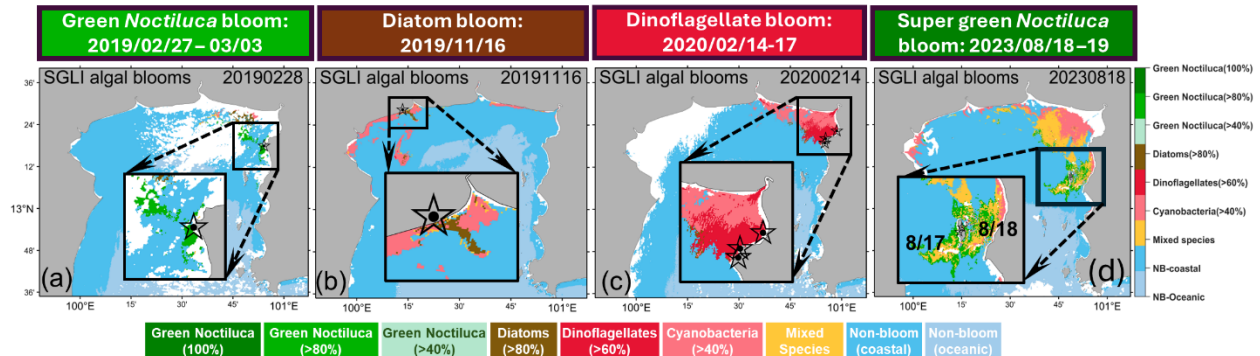


Figure 7. Comparison of SGLI red tide detection and occurrences of red tides caused by green *Noctiluca scintillans* (a), diatoms (b), and other dinoflagellates (c) reported by the Department of Marine and Coastal Resources, Thailand, as well as super green *Noctiluca* blooms reported with massive fish mortality by local people (d). Stars mark locations where red tides have been reported.

On 18 August 2023, the SGLI failed to detect the presence of super green *Noctiluca* (Figure 4d). An atmospheric correction warning was issued due to the presence of moderate glint, negative normalized water-leaving radiance in one or more bands, and gamma out-of-bounds on the day. Toratani et al. (2021) estimate SGLI atmospheric correction in the visible bands using satellite-observed aerosol reflectance in the near-infrared bands. We expected that the specific atmospheric conditions and the highly reflectivity of the sea surface during the super green *Noctiluca* blooms (Luang-on et al. 2023) would lead to a significant rise in near-infrared reflectance and a noticeable change in the visible spectrum of the SGLI. Regrettably, the available data were inadequate to validate this hypothesis due to limited chances to observe the red tide and the obstruction caused by cloud cover on SGLI data. Additional data and future red tide incidents could potentially enhance our red tide algorithm.

3. Summary

For the waters off southeast Hokkaido, we proposed a method that uses an optical model, quasi-analytical algorithm (QAA), and GCOM-C/SGLI data to detect *K. selliformis* blooms. We relied on R_{rs} spectral shape to differentiate phytoplankton bloom waters and non-bloom waters. It revealed that, at the same chl-*a*, $a(530)$ values were typically lower during *K. selliformis* blooms than during diatom blooms. The $a(530)$ could thus serve as an optical property for distinguishing *K. selliformis* blooms from diatom blooms. However, continuous verification and validation will be necessary to identify the optimal borderline or threshold used for detecting *K. selliformis* blooms in the future.

For the uGoT, a local algal bloom classification algorithm, previously developed for MODIS data, was proposed to discriminate green *Noctiluca* blooms from other red tides. This local algorithm for GCOM-C/SGLI was developed utilizing the same *in situ* hyperspectral Rrs dataset and applied into enhanced SGLI Rrs ratios of Rrs490/Rrs565, Rrs531/Rrs565, and Rrs670/Rrs565. The GCOM-C/SGLI successfully detected red tides of green *Noctiluca* blooms, diatoms, and dinoflagellates, but not super green blooms under specific atmospheric conditions. Our algorithms can be improved with the availability of additional *in situ* data and red tide incidents in the future.

References

Anderson, D.M.. 1994. "Red tide". Scientific American 271(2): 62–68. <http://www.jstor.org/stable/24942803>.

- Clementson L. A., Wojtasiewicz B. (2019). Dataset on the absorption characteristics of extracted phytoplankton pigments. Data Brief 24, 103875. doi: 10.1016/j.dib.2019.103875
- Feng, C., Y. Zhu, A. Shen, C. Li, Q. Song, B. Tao, and J. Zeng. 2023. "Assessment of GCOM-C Satellite Imagery in Bloom Detection: A Case Study in the East China Sea." *Remote Sensing* 15 (3): 691. doi: 10.3390/rs15030691.
- Ishizaka, J., M. Yang, N. Fujii, T. Katano, M. Hori, T. Mine, K. Saitoh, and H. Murakami. 2022. "Use of AERONET-OC for Validation of SGLI/GCOM-C Products in Ariake Sea, Japan." *Journal of Oceanography* 78: 291–309. doi:10.1007/s10872-022-00642-9.
- Kuroda, H., T. Azumaya, T. Setou, and N. Hasegawa. 2021. "Unprecedented Outbreak of Harmful Algae in Pacific Coastal Waters off Southeast Hokkaido, Japan, during Late Summer 2021 after Record-Breaking Marine Heatwaves." *Journal of Marine Science and Engineering* 9: 1335. doi:10.3390/jmse9121335.
- Kuroda, H., Y. Taniuchi, T. Watanabe, T. Azuyama, and N. Hasegawa. 2022. "Distribution of Harmful Algae (*Karenia* spp.) in October 2021 Off Southeast Hokkaido, Japan." *Frontiers in Marine Science* 9: 841364. doi:10.3389/fmars.2022.841364.
- Lampe, R. H., G. Hernandez, Y. Y. Lin, and A. Marchetti. 2021. "Representative Diatom and Coccolithophore Species Exhibit Divergent Responses Throughout Simulated Upwelling Cycles." *mSystems* 6: e00188–21. doi:10.1128/mSystems.00188-21.
- Lee, Z. P., K. L. Carder, and R. A. Arnone. 2002. "Deriving Inherent Optical Properties from Water Color: A Multiband Quasi-Analytical Algorithm for Optically Deep Waters." *Applied Optics* 41: 5755–5772. doi:10.1364/AO.41.005755.
- Lee, Z. P., B. Lubac, J. Werdell, and R. Arnone. 2009. "An Update of the Quasi-Analytical Algorithm (QAA_v5)." *IOCCG software report* (2009). (https://www.ioccg.org/groups/Software_OCA/QAA_v5.pdf).
- Luang-on, J., J. Ishizaka, A. Buranapratheprat, J. Phaksopa, J. I. Goes, E. R. Mau're, E. Siswanto, Y. Zhu, Q. Xu, P. Nakornsantiphap, H. Kobayashi, and S. Matsumura. 2023. "MODIS-Derived Green *Noctiluca* Blooms in the Upper Gulf of Thailand: Algorithm Development and Seasonal Variation Mapping." *Frontiers in Marine Science* 10: 10.1031901. doi:10.3389/fmars.2023.1031901.
- Malviya, S., E. Scalco, S. Audic, F. Vincent, A. Veluchamy, J. Poulain, P. Wincker, D. Ludicone, C. de Vargas, L. Bittner, A. Zingone, and C. Bowler. 2016. "Insights into Global Diatom Distribution and Diversity in the World's Ocean." *PNAS* 113(11): E1516–E1525. doi:10.1073/pnas.1509523113.
- Matsuoka, A., J. W. Campbell, S. B. Hooker, F. Steinmetz, K. Ogata, T. Hirata, H. Higa et al. 2022. "Performance of JAXA's SGLI Standard Ocean Color Products for Oceanic to Coastal Waters: Chlorophyll A Concentration and Light Absorption Coefficients of Colored Dissolved Organic Matter." *Journal of Oceanography* 78 (4): 187–208. doi: 10.1007/s10872-021-00617-2.
- Murakami, H., D. Antoine, V. Vellucci, and R. Frouin. 2022. "System Vicarious Calibration of GCOM-C/SGLI Visible and Near-Infrared Channels." *Journal of Oceanography* 78: 245–261. doi:10.1007/s10872-022-00632-x.
- Siswanto, E., J. Ishizaka, S. C. Tripathy, and K. Miyamura. 2013. "Detection of Harmful Algal Blooms of *Karenia mikimotoi* Using MODIS Measurements: A Case Study of Seto-Inland Sea, Japan." *Remote Sensing of Environment* 129: 185–196. doi:10.1016/j.rse.2012.11.003.
- Toratani, M., K. Ogata, and H. Fukushima. 2021. "SGLI Algorithm Theoretical Basis Document: Atmospheric Correction Algorithm For Ocean Color - Version 3." https://suzaku.eorc.jaxa.jp/GCOM_C/data/ATBD/ver3/V3ATBD_O2AB_NWLR_toratani.pdf.
- Yamaguchi, A., Y. Hamao, K. Matsuno, and T. Iida. 2022. "Horizontal Distribution of Harmful Red-Tide *Karenia selliformis* and Phytoplankton Community along the Pacific Coast of Hokkaido in Autumn 2021." *Bulletin of the Japanese Society of Fisheries Oceanography* 86(2): 41–49. doi:10.34423/jsfo.86.2_41.
- Yñiguez, A.T., P.T. Lim, C.P. Leaw, S.J. Jipaning, M. Iwataki, G. Benico, and R.V. Azanza. "Over 30 years of HABs in the Philippines and Malaysia: What have we learned?" *Harmful Algae* 102: 101776. doi:10.1016/j.hal.2020.101776.
- Yunus, A. P., J. Dou, and N. Sravanthi. 2015. "Remote Sensing of Chlorophyll-a as A Measure of Red Tide in Tokyo Bay Using Hotspot Analysis." *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 2: 11–25. doi:10.1016/j.rsase.2015.09.002.

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の大面积比例計数管型ミュオン観測装置（面積560 m²）と日本の東山、および明野観測所のミュ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】

明野ミュオン観測では3基のミュオン観測装置のうち1基が継続的に観測可能であり、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継続中である。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いる。

インドとの共同研究では、2020年3月にインド側の研究者2名（S. K. Gupta氏、P. K. Mohanty氏）を招聘し明野観測所で研究ミーティングを行ったが、新型コロナが急激に蔓延し、オンラインでの交流以外できなくなった。比例計数管型ミュオン観測装置の拡張（検出面積を2倍の1,120 m²にする）や実験装置の保守も滞ることになったが、コロナも収まってきた2023年3月にインドからGupta氏等2名を招き、中部大学にて研究ミーティングを行った。

本年度2024年2月の中部大学での研究ミーティングには夏の名古屋大学での宇宙線国際会議（ICRC2023Nagoya）での来日から月日がそれほど経っていないこともありインドからの出席は割愛したが、2月のこの研究ミーティングの後、大嶋氏が1週間インドに滞在し、また拡張した比例計数管型ミュ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市立大学名誉教授の林嘉夫氏の長期インド滞在が予定されているなど活発に交流ができるようになっている。

【研究成果】

本研究に関する成果として、Physical Review D に1篇の論文が受理され、名古屋大学で開催された宇宙線国際会議（ICRC2023）で3件の発表を行い、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. "Dependence of the parallel mean free path of high-energy galactic cosmic rays in the heliosphere on their rigidity, and solar activity as measured by the GRAPES-3 experiment", H. Kojima, T. Koi, A. Oshima, S. Shibata et. al., Physical Review D 109, 063011 (2024)

宇宙線国際会議での発表は Conference Proceedings として以下の論文になっている。

【宇宙線国際会議2023名古屋（ICRC2023Nagoya）発表リスト】

1. "The Akeno Muon Observation: A Joint Research for Near Earth Space by Japan-India Collaboration", A. Oshima et. al., Proceedings of Science PoS(ICRC2023)1313
2. "Solar wind velocity dependence of the flow of galactic cosmic rays perpendicular to the ecliptic plane on the polarity of the interplanetary magnetic field", H. Kojima et. al., Proceedings of Science PoS(ICRC2023)1339
3. "Dependence of solar diurnal variation on solar wind speed", T. Koi et. al., Proceedings of Science PoS(ICRC2023)1340

【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(31)」、小島浩司他、日本物理学会78回年次大会、東北大学、2023.9.16
2. 「地上ミュオン観測における気圧変動の効果2」、小河蒼太、大嶋晃敏他、日本物理学会78回年次大会、東北大学、2023.9.16
3. 「GRAPES-3実験における大型NaI検出器の導入について(7)」、青石知樹、…、田中公一他、日本物理学会2024年春季大会、オンライン開催、2024.3.18
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(32)」、小島浩司他、日本物理学会2024年春季大会、オンライン開催、2024.3.19
5. 「地上ミュオン観測のための地球磁気圏における宇宙線の軌道計算」、鬼頭浩志、小島浩司他、日本物理学会2024年春季大会、オンライン開催、2024.3.19

連成計算フレームワークを利用したMHDシミュレーションの重合格子化の研究
Development of Nested Grid for MHD Simulation with Cross-Reference Simulation Framework

深沢圭一郎、京都大学・学術情報メディアセンター

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、また、巨大な領域の中で様々なスケールの現象は起きている。この様なシステム全体を計算機シミュレーションで扱うことは、計算量の多さから未だに不可能であり、現在は各領域や扱いたい現象に特化した計算機シミュレーションが行われ、それぞれがその物理を理解するために大きな役割を果たしている。一方で、近年計算機システムの演算性能が飛躍的に向上してきており、これまでに不可能だった複数の領域や現象のスケールを結合するシミュレーションも可能となってきた。しかしながら、他人の開発したシミュレーションコードを理解することが難しく、簡単に様々なコードを結合させて連成計算をさせることは技術的に困難であった。このような問題に対し、我々は結合するコードの理解を最小限にとどめて結合を可能とする連成計算フレームワークCoToCoAを開発している。本研究ではこの連成計算フレームワークCoToCoAを応用した時空間スケールの異なるMHDシミュレーション同士の結合、つまり重合格子化を目指している。

重合格子は単純に時空間スケールが異なる格子を結合させるシミュレーションも可能だが、MHDとHall-MHDを結合するなど結合相手が異なるシミュレーションモデルであっても取り扱いが簡単である。一方で結合に際し、元々のシミュレーションコードに大規模な変更を加える必要があるなど、技術的な負担が大きい。CoToCoAを利用することで、元のコードにほとんど改変を加えずに簡単に重合格子結合が可能となる枠組みを開発できれば、太陽地球惑星系科学の様々なシミュレーションに適用が可能である。さらに、その結果、独立した領域や現象を解くだけでは分からなかった物理の理解が進むことが期待される。また、CoToCoAはシミュレーションコードの結合専用ではなく、データに何らかの処理を行うコードであれば、結合でき、シミュレーションと可視化や、観測データ取得と機械学習などにも適用できるため、CoToCoAの活用事例拡大も目指す。

本研究では、申請者のMHDシミュレーションコードに対しCoToCoAを利用し、重合格子化することを目指している。シミュレーション対象としては、木星磁気圏とし、全体をシミュレーションするグローバル領域と木星周辺を細かな時空間スケールでシミュレーションするローカル領域を結合することで重合格子化とする。CoToCoAには、複数のシミュレーションコードを簡単に結合するために準備された関数が多数ある。しかし、CoToCoAの当初の開発思考が、太陽-太陽風-磁気圏のような一方通行の結合であり、重合格子などで必要な相互作用を対象としていない。CoToCoAのVersion2において、相互作用機能が一部実装されたが、これだけでは重合格子化は簡単にはできないため、相互参照が可能なバッファ機能を2022年度に開発をした。

本年度では、このバッファ機能を拡張し、重合格子実現に必要なタイムステップや格子間隔の違いを上手く処理する機能の開発を進めたが、バッファ機能にバグがあり、その解決に時間を要した。そのため、修正版のバッファ機能の実装テストと評価までが進捗となった。評価によりバッファの正常な動作、性能は確認出来ており、今後の利用に問題は無い。

・学会発表

深沢圭一郎、全システムが稼働した京都大学新スーパーコンピュータシステムの性能評価、「太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望」「STEシミュレーション研究会：計算科学とデータ科学の融合に向けて」 合同研究集会、兵庫、2023年12月19-22日

三宅洋平、砂田洋平、田中唯逸、深沢圭一郎、南里豪志、加藤雄人、コード間結合フレームワークに基づく宇宙環境変動-衛星帯電現象連成解析プラットフォームの開発、地球電磁気・地球惑星圏学会 第154回総会及び講演会、宮城、2023年9月24日-27日

沖積層に含まれる碎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 (Nakanishi et al., 2023abc ; 中西ほか, 2023) 。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

仙台平野と阿蘇カルデラで掘削された沖積層ボーリングコアから保存状態の良い植物片を合計25試料を分取・選定した。それらを測定限界を評価するための阿蘇4火砕流の埋もれ木と共に、ふじのくに地球環境史ミュージアムにおいて1規定の塩酸と水酸化ナトリウムを用いて化学前処理を実施して二次的な汚染を除去した。それらを酸化銅と共に名古屋大学宇宙地球環境研究所 (ISEE) の実験室で石英管に封緘・燃烧させて、発生した CO_2 を液体窒素とエタノールの冷却トラップで分離して、水素還元法でグラファイト精製を実施した。それらをISEEの加速器質量分析装置で ^{14}C 年代値を測定した。

研究結果

仙台平野の氾濫原で採取されたボーリングコア試料からは合計6試料の年代測定を実施して、 $82\pm 49\sim 2071\pm 52\text{BP}$ の年代値を得た。一方、阿蘇カルデラのカルデラ湖～河川堆積物からは19試料の植物片を選定・洗浄したが、微量なものが多くて正確な年代値が期待できるのは12試料程度になる見込みである。

考察

仙台平野の氾濫原で得られた試料から計算される再堆積を示した試料の含有率は4/6個 (67%) であり、その期間は54～1894年程度であった。一方、阿蘇カルデラのコア試料から採取した植物片の年代値が届いたら、上記のように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。

まとめ

今年度は上質なボーリングコア試料を採取するための研究助成が採択されなかったため、仙台平野と阿蘇カルデラで予察的な検討を実施した。仙台平野では氾濫原堆積物に含まれる植物片の再堆積について検討した。一方、阿蘇カルデラではカルデラ形成以後の湖成堆積物から河川成堆積物に含まれる植物片の再堆積について検討中である。

引用文献

Nakanishi T., Niwa Y., Hong W. Radiocarbon age offsets of plant and shell in the Holocene sediments from the Sanriku coast, Northeast Japan. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*, **538**, p.95-102, 2023a, doi: 10.1016/j.nimb.2023.02.032

Nakanishi T., Nanayama F., Kondo Y., Yamada K., Sakai K., Yamaguchi T., Shigeno K., Katsuki K., Oda H., Furukawa R., Hong W. Radiocarbon ages and tsunami deposits in laminated mud layers from the Lake Harutori, Pacific coast of Hokkaido, Northeast Japan. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*, **538**, p.173-178, 2023b, doi: 10.1016/j.nimb.2023.02.015

成果発表

中西利典・瀬戸浩二・香月興太・入月俊明・齋藤文紀・ホン ワン, 放射性炭素年代測定による斐伊川河口の完新統の堆積速度と海洋リザーバー効果. 日本第四紀学会, P-05, 早稲田大学所沢キャンパス, 2023年

Nakanishi T., Ishiyama T., Sung K.S., Hong W. Accumulation rate in the Holocene sediments across an onshore subduction thrust, northeastern Nankai Trough. The 9th East Asia Accelerator Mass Spectrometry Symposium (EA-AMS 9), P29, Seoul, 2023c

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

伊達謙二、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作成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雲の有無（雲マスク）や雲物理量（雲頂高度など）を推定し、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、雲マスクの精度を向上させるため、Ishida et al.（2018）の CLAUDIA3 と呼ばれるサポートベクタマシン（SVM）を利用した雲マスク手法を FCP に導入するための開発を行っている。

昨年度に実施した Aqua/MODIS の雲マスク（MYD35_L2）を利用した検証は、陸上では CLAUDIA3 の方が現行 FCP より MYD35_L2 との一致率が高い一方で、海上では低いことを示した。そこで、今年度は海上の雲マスクの精度向上を目指し、夜間の海上のデータを対象に、主成分分析を用いて、地表面の状態ごとのグループ分け（地表面グループ）や教師データを選定する手法を検討した。

今年度はまず地表面グループの見直しを行った。地表面グループは「晴れであれば観測できる地表面の状態」を指し、陸上は植生、砂漠、雪氷域など、放射特性の異なる地表面ごとに分類している。一方、海上は海氷の有無と緯度帯という大まかな指標により分類しているため、地表面グループの細分化により海上の雲マスクの精度向上が図れないか検討した。

図 1 は、AHI の赤外バンド 10 種の輝度温度とバンド間の輝度温度差分を用い、主成分分析と k-means 法により緯度帯ごとに MYD35_L2 で晴れのデータをクラスタ分けした結果を示す。冬半球の高緯度域では、海面と海氷の放射特性の差異により有意な二つのクラスタに分離できた。また、他の緯度帯はデータが第一主成分の平均値付近で二分され、有意なクラスタに分離できなかった。したがって、各緯度帯の海面、冬半球の海氷域という現行のグループ分けが海上では妥当であると考えられる。

冬半球の高緯度を除き地表面の状態は「海面」のみであるため、晴れ（海面）と曇りを主成分分析で分離する方法を考えた。赤外バンド 10 種類の輝度温度と各バンド間の輝度温度差分から成る主成分空間における晴れ（海面）と曇りデータの分布を調査した結果、どの緯度帯も、第一主成分で晴れ/曇りが

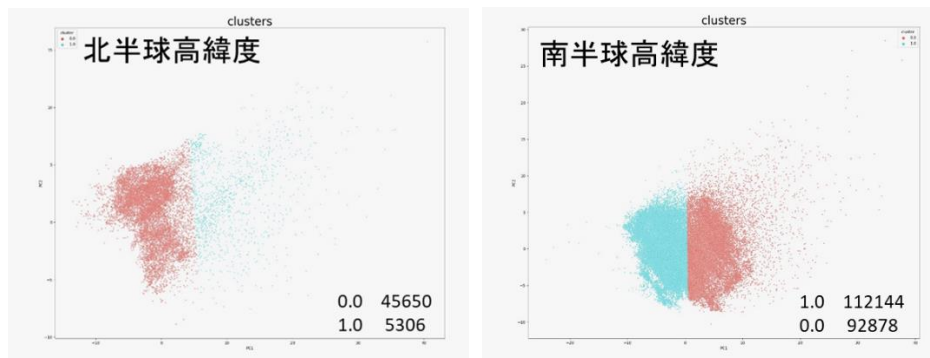


図 1. 晴れた海上の AHI のデータを用いたクラスタリングの結果（2022 年 12 月 1 日から 2022 年 12 月 15 日）。

横軸：第一主成分、縦軸：第二主成分。左：北半球高緯度、右：南半球高緯度

おおむね分離できることが分かった（図 2）。そこで、第一主成分を基に晴れの教師データの候補を抽出した後、明らかに曇りと判断できるデータを除外し、晴れの教師データを作成した。曇りの教師データは、前述の手法で晴れと判断されなかったデータから抽出した。作成された教師データの教師ラベルと MYD35_L2 との一致率は 88.7%であった。

MYD35_L2 を基準とした現行 FCP、SVM およびニューラルネットワーク（NN）による雲マスクの精度（一致率）は、それぞれ 88.7%（現行 FCP）、86.2%（SVM）、90.3%（NN）であり、NN が最も高かった。また、晴天の空振り率（誤って晴れに分類する割合）は NN が最も低く（25.9%）、NN の導入を検討すべきことを示す。図 3 は

2023 年 2 月 1 日におけるオーストラリア大陸の南東海上の雲判別結果を示す。現行 FCP は衛星画像から推定される範囲より広く曇りと分類した一方で、SVM や NN は晴れ域を適切に分類した。一方、北半球低緯度域の太平洋海上の低い雲が点在すると考えられる領域では、SVM や NN はほぼすべての領域が曇りと分類された（図略）。このような領域の誤分類の調査をする必要がある。

今後は主成分で晴れ候補データを抽出する際の最適な閾値を検討するとともに、NN のパラメータを調整し、更なる精度の向上に取り組む。また、実際の利用に向けたプロトタイプの実行も行う予定である。

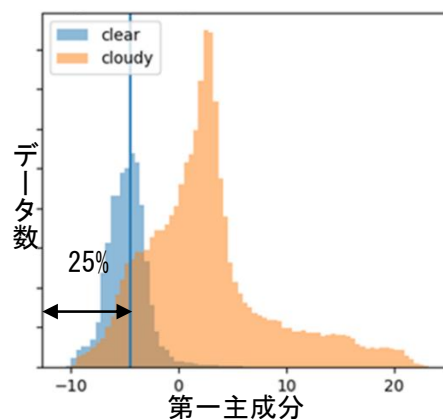


図 2. 南半球中緯度における第一主成分の分布
（2022 年 12 月 1 日から 2022 年 12 月 15 日）
青：MYD35_L2 で晴れ、橙色：MYD35_L2 で曇り

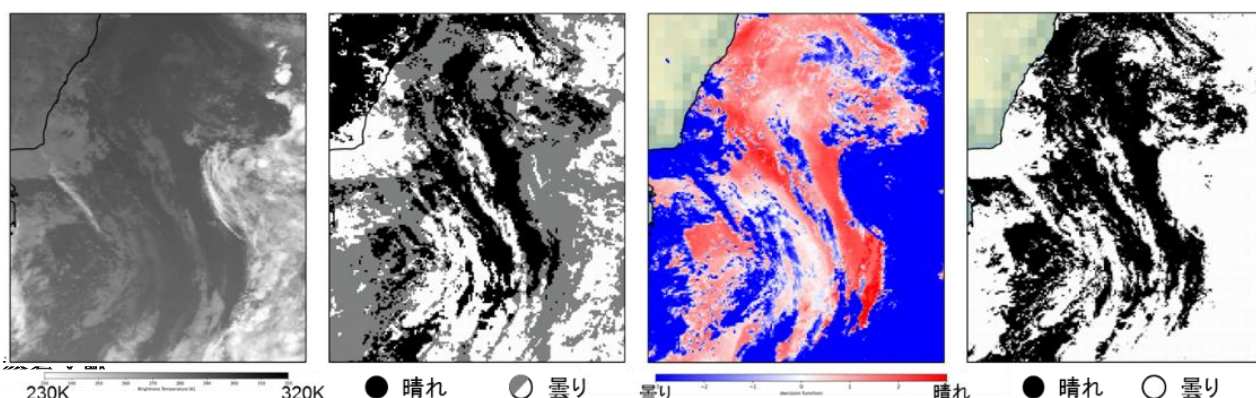


図 3. 2023 年 2 月 1 日 23:50JST におけるオーストラリア大陸南東海上領域の比較。左から 10.4 μm 輝度温度、現行 FCP、SVM 学習による分類（決定関数）、NN 学習による分類。

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、佐伯悠樹、山田裕里佳、伊達謙二「ひまわり 8/9 号の基本雲プロダクトの高精度化」、GPM および衛星シミュレータ合同研究会、名古屋大学、2024 年 3 月

高校生とともに行う都市大気中CO₂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 CO₂ Concentration

河野 光彦、関西学院大学・理学部

大規模なCO₂排出実態が予想される都市域において、発生源の発生・拡散・消滅の動態解析は未だ完全な解明に至っていない。解明のために必要なCO₂の発生源の正確な位置情報と排出量を特定するには、その濃度を継続的にモニタリングが不可欠である。本研究の目的は、CO₂カラム混合比の2次元分布を継続してモニタリングする手法を開発し、都市域でのCO₂排出量を詳細に把握し時間変動の特徴を捉えることである。

昨年度、小型可搬式CO₂カラム計測装置の試作に成功し、関西学院千里国際キャンパスにおいて、試験観測を行った。この装置はOCO-2などの温室効果ガス観測衛星に搭載されている観測機と同じ原理を採用して開発した。太陽を光源とした赤外線スペクトルを観測することで、大気CO₂の光吸収からそのカラム平均濃度を分析する。今年度は、この装置の改良とえられたスペクトルの分析を試みた。

小型エタロン分光器を用いて波長 1350-1650 nm の赤外領域を観測できるが、特に 1600 nm 付近のCO₂の吸収バンドを観測する。高性能光センサーによる太陽の自動追尾によって常に同じ向きで太陽光を光ファイバーに導く。光フィルターと光ファイバーを通った赤外線は分光器に導入され、観測されたスペクトルデータは1秒ごとに小型PCで収集される。この小型PCはWi-Fiを用いてリモートコントロールされている。

開発した小型可搬式CO₂カラム計測装置によって観測された典型的な赤外スペクトルを図1に示す。観測日は2023年6月13日で観測場所は大阪府箕面市の関西学院千里国際キャンパスである。波長1580 nm 付近に大気CO₂の強い赤外吸収バンドが現れているのがわかる。この日の観測は、時刻11:30~14:30にかけて時間間隔 1s で行なわれた。波長 1470 nm 付近には水蒸気の吸収バンドも観測することができるので、CO₂ と H₂O の同時観測も可能であることがわかる。

観測された CO₂赤外吸収バンドの形状を解析し、CO₂濃度の高度分布からCO₂カラム混合比を導き出すプログラムを開発中である。また、観測は昨年6月から現在まで毎月行われており、上記データの季節変動を捉えることができるだろうと期待している。今後は、この装置をさらに改良のうえ多数作成し平面展開してゆく計画である。

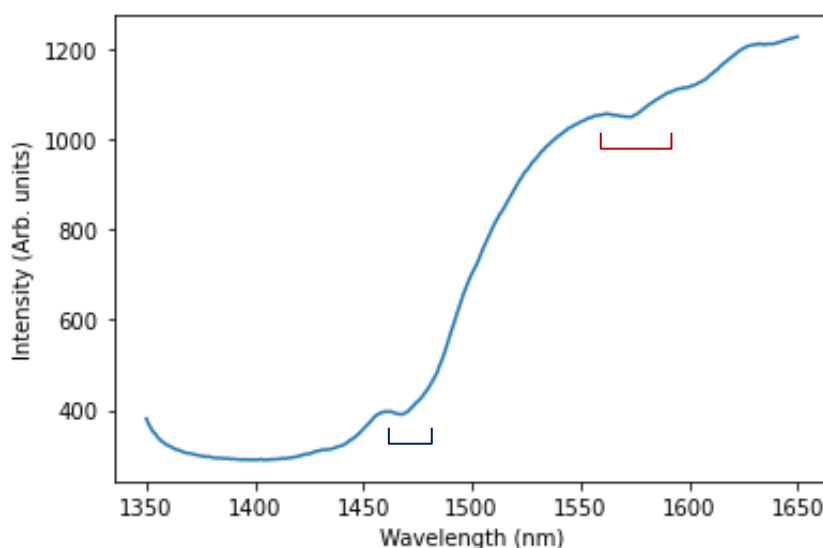


図1. 観測された太陽赤外線スペクトル
1580nm 付近に CO₂ 吸収帯が確認できる

太陽放射スペクトルの地球圏環境への影響評価
Impact of solar irradiance spectra on the terrestrial environment

渡邊恭子、防衛大学校・地球海洋学科

太陽からのX線や極紫外線（EUV）放射は太陽地球圏環境に大きな影響をもたらしていることが知られており、これらの放射が太陽フレア現象などによって急激に変化すると、デリンジャー現象（通信障害）などの宇宙天気現象が発生することが知られている。これらの地球圏環境変動への太陽放射の影響を正しく見積もるためには、太陽放射スペクトルの観測値が定常的に必要である。しかし、X線もEUV放射も地上までは届かないため、観測データは衛星が観測を行っていた期間に限られている。このため、地球圏環境への太陽放射の影響を見積もる時には、地上観測できる F10.7 という波長 10.7 cm（周波数 2.8 GHz）のマイクロ波観測が用いられてきた。F10.7 は太陽コロナからの熱制動放射と黒点磁場の磁気共鳴放射が元となっている放射で、太陽活動度を示す相対黒点数と良い相関があることが知られている。これより、F10.7 は太陽活動度を示す良い指標とされてきたが、近年の衛星によるX線やEUV放射の詳細な観測により、F10.7 は実際に地球圏環境に影響している太陽放射（EUV放射スペクトル）とは正確には一致していないことが分かってきた。

一方、地上観測されている電波放射からEUV放射を人工ニューラルネットワーク（Artificial Neural Network; ANN）を用いて再現する研究が近年行われている（Zhang & Paxton, 2018）。この先行研究では1つのEUV波長バンド（26-34 nm）がANNを用いて再現されたが、地球電離圏へのEUV放射の影響は波長により異なるため、EUV放射スペクトルの再現が求められている。

そこで本研究では、太陽活動周期変動におけるEUV放射スペクトルの変動を複数周波数の電波放射からANNを用いて再現する研究と、太陽フレア時における同様の研究を行うことで、野辺山強度偏波計（NoRP）のデータを用いて紫外線放射スペクトルを推測するアルゴリズムの構築を目指した。本研究では、名古屋大学宇宙地球環境研究所の「ひのでサイエンスセンター@名古屋」と「CIDASシステム」を使用した。また、データ解析の進め方やその解釈などについて議論を行うために、名大ISEEへ数回訪問した。

まず、太陽放射の活動周期変動について NoRP の4つの周波数（1, 2, 3.75, 9.4 GHz）のマイクロ波観測データと衛星による太陽EUV放射観測データの比較を行った。太陽EUV放射観測データは、スペクトル分解能の良いTIMED/SEEの衛星観測データを用いた。これらのマイクロ波と紫外線放射スペクトルを比較した結果、低周波数（1, 2 GHz）の方が紫外線放射との相関が良いことが分かった。また、ANNを用いてEUV放射スペクトルを再現し、実測値と比較したところ、ほとんどのEUV放射波長で電波とEUV放射の観測値の相関係数を上回った。複数周波数の電波放射とANNを用いることにより、太陽からのEUV放射スペクトルをよりよく再現することができた。また、EUV放射スペクトルの再現に寄与したマイクロ波周波数を調べたところ、EUV放射の再現には1, 2 GHzが主に寄与していたことがわかった。

次に、太陽フレア時の放射について NoRP の6つの周波数（1, 2, 3.75, 9.4, 17, 35 GHz）のマイクロ波観測データと衛星による太陽EUV放射観測データの比較を行った。太陽フレア時において、マイクロ波とEUV放射は時間変動が異なるため、本解析においては太陽フレア開始時間から終了時間の間の放射を積分した値を用いた。太陽EUV放射観測データは、スペクトル分解能と時間分解能の良いSDO/EVEの衛星観測データを用いた。これらのマイクロ波と紫外線放射スペクトルを比較した結果、高周波数（17, 35 GHz）の方が紫外線放射との相関が良いことが分かった。また、ANNを用いてEUV放射スペクトルを再現し、実測値と比較したところ、30 nmより短い波長においてのほとんどのEUV放射波長で電波とEUV放射の観測値の相関係数を上回った。複数周波数の電波放射とANNを用いることにより、太陽からのEUV放射スペクトルをよりよく再現することができた。

本研究より、太陽活動周期変動および太陽フレア時におけるEUV放射スペクトルを、ANNを用いることで精度良く再現することができるアルゴリズムの構築ができた。今後、フレア放射EUVスペクトルの時間変動についても再現できるようになれば、地球電離圏への影響も高い時間分解能で予測できるため、本研究の結果をよりよく宇宙天気予報に活用できると考えられる。

成 果 発 表

1. 前田護, "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", 防衛大学校理工学研究科 修士論文, 2024 年 3 月
2. Mamoru Maeda, Kyoko Watanabe, Shohei Nishimoto, Shinnosuke Kitajima, Masumi Shimojo, Kosuke Namekata, Satoshi Masuda, "Prediction of solar cycle variation in solar EUV spectra using multi-frequency radio fluxes", JpGU Meeting 2023, Makuhari Messe, Chiba, Japan, 2023 May 26
3. Kyoko Watanabe, Mamoru Maeda, Masumi Shimojo, Kosuke Namekata, Satoshi Masuda, "Relationships Between Microwave and EUV Spectra in Solar Flare and Their Estimation by Machine Learning", AOGS2023 20th Annual Meeting, Singapore, 2023 Aug 3
4. 前田護, 渡邊恭子, 西本将平, 北島慎之典, 下条圭美, 行方宏介, 増田智, "機械学習を用いた太陽フレア時の太陽EUV放射スペクトル予測", 第154回SGEPSS総会および講演会, 東北大学青葉山北キャンパス, 2023年9月24日
5. 渡邊恭子, 北島慎之典, 大窪遼介, Harra Louise, Büchel Valeria, 今田晋亮, 原弘久, 清水敏文, 三好由純, 西谷望, 堀智昭, 家田章正, 陣英克, 埜千尋, "SOLAR-C/SoSpIM が観測する太陽放射の地球上層大気への影響", 第154回SGEPSS総会および講演会, 東北大学青葉山北キャンパス, 2023年9月24日
6. 大窪遼介, 渡邊恭子, 北島慎之典, "太陽フレア時における $\text{Ly } \alpha$ と $\text{Ly } \beta$ 放射の関係", 第154回SGEPSS総会および講演会, 東北大学青葉山北キャンパス, 2023年9月26日
7. Kyoko Watanabe, Shinnosuke Kitajima, Ryosuke Okubo, Louise Harra, Valeria Büchel, Shinsuke Imada, Hirohisa Hara, Toshifumi Shimizu, Yoshizumi Miyoshi, Nozomu Nishitani, Tomoaki Hori, Akimasa Ieda, Hidekatsu Jin, Chihiro Tao, "Effects of solar radiation on the Earth's upper atmosphere", Hinode-16/IRIS-13, Toki Messe, Niigata, Japan, 2023 Sep 25-28
8. Kyoko Watanabe, Louise Harra, Valeria Büchel, Silvio Koller, Leandro Meier, Daniel Pfiffner, Krzysztof Barczynski, Nils Janitzek, Samuel Gissot, Marie Dominique, Dana Talpeanu, David Berghmans, Toshifumi Shimizu, Hirohisa Hara, Shinsuke Imada, Säm Krucker, "SoSpIM overview", Hinode-16/IRIS-13, Toki Messe, Niigata, Japan, 2023 Sep 29
9. 渡邊恭子, "GHz帯太陽強度モニター観測の現状と将来", 太陽研究者連絡会2023年度将来計画シンポジウムー太陽スペース観測シンポジウムー「SOLAR-C時代に向けた太陽地上観測の現状と将来」, JAXA宇宙科学研究所相模原キャンパス, 2023年11月20日
10. Kyoko Watanabe, Mamoru Maeda, Masumi Shimojo, Kosuke Namekata, Satoshi Masuda, "Relationship between multi-frequency microwave and EUV spectra in solar cycles and solar flares and their prediction by machine learning", 2023 AGU fall meeting, San Francisco, USA, 2023 Dec 11
11. 前田護, 渡邊恭子, 西本将平, 北島慎之典, 下条圭美, 行方宏介, 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", 2023年度太陽研連シンポジウム, 国立天文台三鷹キャンパス, 2024年2月21日
12. 大窪遼介, 渡邊恭子, 北島慎之典, "太陽活動周期変動と太陽フレア時における $\text{Ly } \alpha$ と $\text{Ly } \beta$ 放射の特徴と地球電離圏への影響", 2023年度太陽研連シンポジウム, 国立天文台三鷹キャンパス, 2024年2月20-22日
13. Kyoko Watanabe, Louise Harra, Valeria Büchel, Silvio Koller, Leandro Meier, Daniel Pfiffner, Krzysztof Barczynski, Nils Janitzek, Samuel Gissot, Marie Dominique, Dana Talpeanu, David Berghmans, Toshifumi Shimizu, Hirohisa Hara, Shinsuke Imada, Säm Krucker, "Observation and Science with SoSpIM", SOLAR-C Science meeting, ISEE Nagoya Univ., Nagoya, Japan, 2024 Mar 5
14. 前田護, 渡邊恭子, 西本将平, 北島慎之典, 下条圭美, 行方宏介, 増田智, "機械学習を用いた太陽電波放射からのEUV放射スペクトルの予測II", 日本天文学会2024年春季年会, 東京大学(オンライン), 2024年3月15日
15. 大窪遼介, 渡邊恭子, 北島慎之典, "太陽活動周期変動と太陽フレア時におけるライマン線放射について", 日本天文学会2024年春季年会, 東京大学(オンライン), 2024年3月15日

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

1. 研究目的

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おり、それらの研究で得られた結果の信頼性をするうえで、用いたモデルの正確さが定期的に検証されていることが望ましい。一方、影響評価上重要な極域における広範囲の宇宙線線量率分布については、現地での詳細な実測を行うことの困難さなどから、モデルの精度を常時十分に検証できているとはいえない。そこで、本研究では、極域における宇宙中性子強度を、独自に設計した可搬型の中性子計測システムを用いて広い範囲で測定し、当該システムの有効性を確認すると共に、得られた実測結果とモデルによる計算結果の比較を行った。

2. 研究方法

南極大陸における宇宙線中性子の測定には、申請代表者（保田）らが航空機や山頂での宇宙線測定に整備した、拡張エネルギー範囲中性子モニタ（WENDI-II）と独自に開発した小型データロガー（NM-10）で構成されるポータブルな中性子モニタリングシステムを採用した。共同研究者（栗田）は、第60次南極観測（2018年11月-2019年3月）において、このシステムにより南極の東南部の広い高度範囲（30m～3762m）において中性子計測を行った。そして、栗田らが取得した実測結果と、保田らがモンテカルロシミュレーションに基づく解析モデル（PARMA）を用いて計算した結果を比較し、モデルの精度検証に採用した中性子モニタリングシステムの有効性について論じた。

3. 研究結果および考察

実測で得られた大気圧と中性子強度（線量率）の間には明瞭な関係が見られ、大気厚みが増えればそれに応じて中性子強度が低下する現象が再現性よく観測できた。移動したルートに沿って約2ヶ月にわたり実測された中性子強度とモデル（PARMA）による予測値とを比較したところ、往路・復路ともに広い範囲で両者には良い一致が観られ、この結果から、本研究で採用した携帯型中性子計測システムは、気温の低い極域や高山のような場所においても、モデルの検証に有効に使用できると考えられた¹⁾。

一方、中性子強度の高い／大気圧の低い場所では、往路と復路（測定時期が異なる同じ地点）で多少の不一致（～10%）が観察された。測定を実施した期間（2018年12月下旬から2019年1月）には大きな宇宙気象現象は報告されておらず、これまでの実測やモデル計算で得られた知見から、宇宙線中性子のエネルギー分布の形状は大気の厚みに依存しないことが分かっているため、雲や降雪などの有無が宇宙線中性子のエネルギー分布に影響した可能性は低い。例として、今回の実測で長時間の測定を行った3地点について、PARAにより計算した宇宙線中性子のエネルギー分布を図1に示す。

これらの知見から、実測とモデル計算の結果に観られた不一致は、主にモデル側の要因（気圧を除く大気パラメータの誤差、太陽風の銀河宇宙線強度への影響、実測地点での地磁気レベルの変動等）によるものと考えられる。今後は、トリチウム濃度を含めた実測・予測データの総合的解析を進めつつ、極域での宇宙線線量率の推定値に潜在する誤差の定量化とその低減に取り組む。

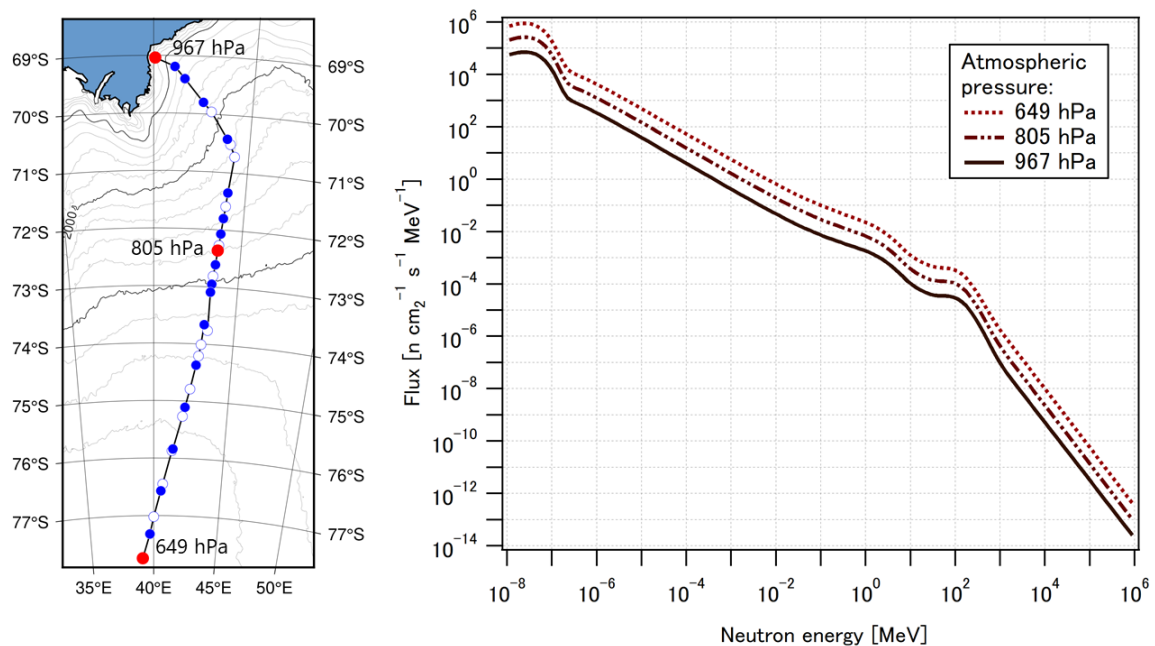


図1. 南極大陸において2018年11月から2019年1月までに携帯型中性子モニター（WENDI-II）を用いて宇宙線中性子の測定を行った地点（左）と、比較的長い期間観測を行った3地点（左図の赤色の場所）について、大気圏内における宇宙線線量率を計算するモデルPARMA²⁾を使用して計算した中性子のエネルギースペクトル（右）。

引用文献

- 1) Yasuda, H., Kurita, N. and Yajima, K. Verification of Estimated cosmic neutron intensities using a portable neutron monitoring system in Antarctica. Appl. Sci. 13, 3297, 2023.
- 2) Sato, T., Yasuda, H.; Niita, K.; Endo, A.; Sihver, L. Development of PARMA: PHITS-based Analytical Radiation Model in the Atmosphere. Radiat. Res. 170, 244-259, 2008.

(別紙様式04-2)

台風観測ドロップゾンデデータを用いた円筒座標データセットの開発
Development of a cylindrical coordinate dataset using typhoon reconnaissance dropsonde data

山田広幸、琉球大学・理学部

研究目的

台風航空機観測プロジェクトT-PARCIでは、これまで4つの非常に強いまたは猛烈な勢力の台風(Lan, Trami, Mindulle, Nanmadol)について、台風の中心を通過する飛行を実施し、ドロップゾンデを台風の中心から外側までの範囲で投下して、力学的、熱力学的なデータを取得することに成功している。このデータを用いて、台風の回転中心を原点とする円筒座標(距離、方位角、高度)のデータセットを作成し、公開することを目的とする。円筒座標は台風の力学的、熱力学的構造を調査するうえで使われており、このデータセットの提供により解析作業を容易にすることができるので、台風研究の発展と、航空機利用研究での利用拡大が期待される。特に、数値モデルや客観解析データなどで、台風の中心位置が実際からずれている場合にも、台風の回転中心に対する相対位置でデータを同化できるので、台風構造の再現性を改善すると期待される。

研究方法

データセットの品質を左右するのは、台風中心位置の精度の良い定義方法である。本研究では、気象庁や米軍合同台風警戒センターが提供するベストトラックの位置情報に加え、衛星画像を用いて中心位置を同定する複数の客観手法を検討する。目の形状が同心円に近い場合、Yamada et al. (2021)で行った方法を用いることができるが、形状が複雑になる場合は、北海道大学で開発が進み Tsukada and Horinouchi (2023)として報告されている手法を取り入れることも検討する。また、位置同定の不確定性による動径風・接線風の誤差情報もデータセットに含める計画である。

研究結果

3年計画の1年目である2022年度は、Yamada et al. (2021)にて実績のある方法で中心位置の同定を行い、2021年第台風16号(Mindulle)についてデータセットを作成した。その結果、位置の同定は概ね問題ないことを確認し、解析に使用して成果を発表した。これをもとに本年度は全ての観測事例についてデータセットの作成を行った。ただし、GPS信号の受信強度によって高度の精度が非常に悪くなる問題が無視できないことがあるので、気圧を用いて高度を補正する方法を検討し、データセットの再作成を行った。

引用文献

Tsukada, T., and T. Horinouchi, 2023: Strong Relationship between Eye Radius and Radius of Maximum Wind of Tropical Cyclones. *Mon. Wea. Rev.*, 151, 569-588, <https://doi.org/10.1175/MWR-D-22-0106.1>.
Yamada, H., K. Ito, K. Tsuboki, T. Shinoda, T. Ohigashi, M. Yamaguchi, T. Nakazawa, N. Naga-hama, and K. Shimizu, 2021: The double warm-core structure of Typhoon Lan (2017) as observed through the first Japanese eyewall-penetrating aircraft reconnaissance. *J. Meteor. Soc. Japan*, 99, 1297-1327. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jmsj/99/5/99_2021-063/_article

成果発表 (一部のみ)

Yamada H., K. Ito, S. Hirano, and K. Tsuboki, Relationship Between the Warm Core and Typhoon Intensity Based on in Situ Measurements, International Conference on Mesoscale Convective Systems, Colorado State University, United States, 23 May 2023.

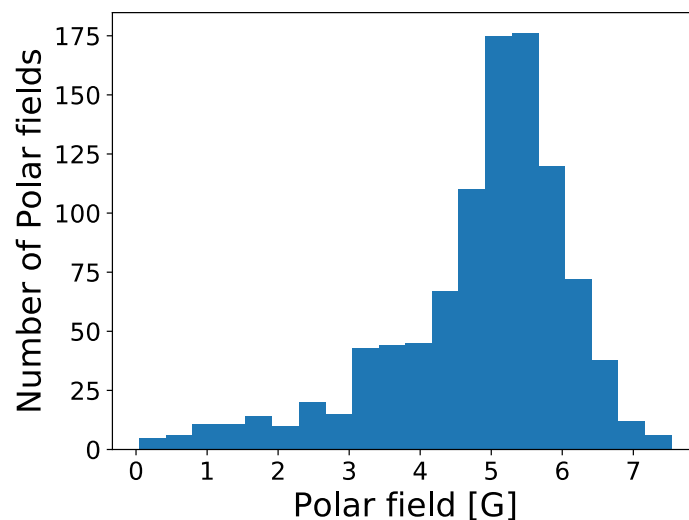
太陽周期活動予測に関する研究
Study on solar cycle prediction

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мум）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の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мум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、また宇宙天気の見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мум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мум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мум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мум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мум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。

本研究は、グランドミニмумが生じる確率が磁場と速度場の非線形相互作用を加える事で説明できること、グランドミニмумに突入した際にWaldmeier効果が弱まる事でグランドミニмумを継続しうる事を示した。



1000 太陽サイクル分数値実験を行った際の極小機局磁場のヒストグラムグランドミニмум(極磁場 2.4G 以下)の確率は(63/1000)。Waldmeier 効果は極磁場 2.4G 以上のサイクル（グランドミニмумでないサイクル）時のみ有効。磁場の強さによって子午面循環流が遅くなる効果を含む。

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 NDACC(Network for the Detection of Atmospheric Composition Change)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、O₃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。同位体比は一般的にパーミル(‰)オーダーの微少な値のため高精度な観測が必要であるが、相対的な変動はパーセントオーダーのものもあるため、赤外分光観測からでも相対変動は捉えられるのではないかと考え、この研究を始めた。

昨年度は比較的強い吸収線のある¹³CH₄の解析から始め、¹²CH₄との比から比較的サンプリングの結果に近い $\delta^{13}\text{C}$ を導出することは出来たが、 $\delta^{13}\text{C}$ は相対的な変動が1‰前後と非常に小さく赤外分光観測の精度ではこの相対変化を議論するのは難しいことがわかった。一方、 δD については経年変化や地域差が10‰以上あるため、現在はCH₃Dについて解析パラメータの検討を行っている。ただ、CH₃Dの吸収線の強度は¹²CH₄や¹³CH₄の吸収線より一桁以上弱いものしかなく、その分S/Nが悪くなるので分光観測的には不利である。また、メタンの分光パラメータにはまだ精度のよくないものも多いようで、HITRANやATMOSといったデータベースを使っても、複数の吸収線を同時に含む波数領域を解析するとどこかにうまくフィッティング出来ない吸収線がある、といった状況で、これは分光パラメータの精度改善を待つしかない。現状ではまだ最適な解析パラメータのセッティングは得られていないが、図に3 μm 帯と8 μm 帯のそれぞれで複数の波数領域を使って解析した結果から出した δD のこの10年間の経年変化を示す。青で示した8 μm 帯の結果は2018年6月以前は観測パラメータを入射光量を抑えるセッティングにしていた関係でばらつきが大きいが、2018年以降の部分で比べても3 μm 帯の結果は減少傾向なのに対し8 μm 帯の結果では増加傾向であり、季節変化の様子も異なるなど、二つの結果が一致していない。吸収線パラメータの精度を考えると絶対値が一致しないことはあり得るのだが、相対変動は一致すべきであるので、やはりまだ解析パラメータのセッティングに問題があると考えられる。今後もパラメータの検討を進める予定である。

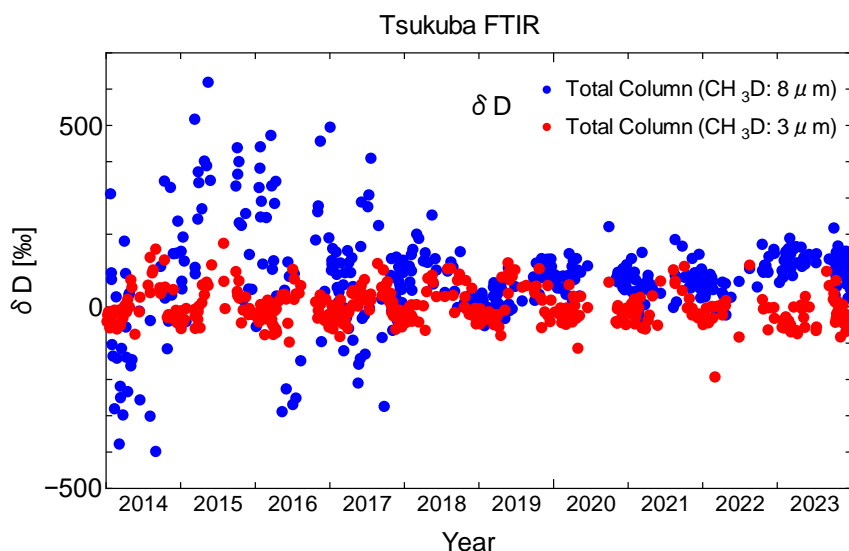


図. 3 μm 帯および8 μm 帯のCH₃Dの吸収線からそれぞれ導出した δD の経年変化

【成果発表】

I. Murata, T. Nagahama, H. Nakajima, I. Morino, Retrieval of methane isotopes at 3 and 8 micron regions from the spectra observed at Tsukuba, Japan, NDACC-IRWG/TCCON/COCCON Annual Meeting 2023, Spa, Belgium, June 12 - 16, 2023.

VLF/LF帯電磁波を用いた太陽フレアによる下部電離圏変動の観測的研究

Observations of variations in the lower ionosphere due to solar flares using VLF/LF electro magnetic waves

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、名古屋大学宇宙地球環境研究所の鹿児島観測所で受信されたVLF/LF帯の標準電波を解析することで、太陽フレアが下部電離圏に与える影響を定量的に明らかにすることを目指している。また、複数の伝搬経路を用いることで、太陽フレアによる下部電離圏の変動の水平分布を捉えることができる。本研究では、ISEEのVLF/LFデータを活用し、太陽フレアが下部電離圏に及ぼす影響を定量的に評価する。

2. 研究方法

本研究では、VLF/LF帯標準電波の振幅・位相データからウェーブホップ法を用いて反射高度変動を推定し、太陽フレアのクラスと下部電離圏変動との関連性を明確にすることで、太陽フレアによる変動の水平分布について明らかにする。

3. 結果

本研究では、2014年から2022年までに発生した4つのXクラス太陽フレア発生時の下部電離圏変動と反射高度の水平分布を調査した。電離圏の反射高度変動 (Δh) と太陽天頂角 (χ) の相関を調べたところ、X4.9クラスとX2.7クラスの太陽フレアでは正の相関が見られ、一方、X2.25クラスとX2.2クラスの太陽フレアでは負の相関がみられた。正の相関の場合、背景の電子密度が低いため、太陽フレアに対する応答が大きくなる可能性がある。一方、負の相関の場合、X線フラックス入射量による電離の変化が関連していると考えられる。さらに、電子密度増加率の最大値 (ΔN_{\max}) とVLF/LF波の伝搬方位角 (ϕ) の相関を調査したところ、すべての太陽フレア発生時に、 ΔN_{\max} と $|\phi|$ の間に負の相関が見られた。この結果から、南北伝搬では ΔN_{\max} が低く推定される可能性が示唆される。また、東西方向の伝搬における電離圏反射係数 (R) を計算した結果、西→東伝搬の方が東→西伝搬よりも R が大きい傾向が見られた(図1)。したがって、VLF/LF波の到来方位による減衰差を考慮し、太陽フレア時の下部電離圏変動量を推定する必要があることが示唆された。

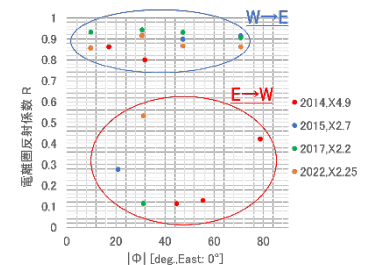


図1 電離圏反射係数 R の方位角依存性

成果発表

論文

[1] Masaharu Nakayama, Hiroyo Ohya, Fuminori Tsuchiya, Kenro Nozaki, Kazuo Shiokawa, Hiroyuki Nakata, Horizontal Inhomogeneity in the D-Region Ionosphere During an X-Class Solar Flare Determined by OCTAVE VLF Observations, URSI Radio Science Letters, 4, DOI:10.46620/22-0050, 2022.

口頭発表

[1] Masaharu Nakayama, Hiroyo Ohya, Fuminori Tsuchiya, Kenro Nozaki, Kazuo Shiokawa, and Hiroyuki Nakata, Horizontal inhomogeneity in the D-region ionosphere due to X-class solar flares by OCTAVE VLF/LF observations, Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting2023, Chiba, 21-26 May, 2023.

[2] Masaharu Nakayama, Hiroyo Ohya, Fuminori Tsuchiya, Kenro Nozaki, Kazuo Shiokawa, and Hiroyuki Nakata, Horizontal Inhomogeneity in the D-region Ionosphere During a X-class Solar Flare Using OCTAVE VLF/LF Observations, XXXVth International Union of Radio Science (URSI) General Assembly and Scientific Symposium (GASS) 2023, G02-2, SPC, Sapporo, 22-26 August, 2023.

[3] 中山雅晴、大矢浩代、土屋史紀、野崎憲朗、塩川和夫、中田裕之、Horizontal inhomogeneity of the D-region ionosphere detected by OCTAVE VLF/LF observations network during X-class solar flares, 地球電磁気・地球惑星圏学会2023年秋季年会, R005-26, 宮城県仙台市, 2023年9月24-27日.

「トトロの森」の形成・発達史解明
Geographical study on the formation and development history
of the urban forest "Totoro's Forest"

山田和芳、早稲田大学・人間科学学術院

1. はじめに

関東山地から孤立した丘陵である狭山丘陵は、東京都と埼玉県にまたがる総面積3500 haの都市近郊の豊かな自然が残存する場所である。丘陵の中央部は多摩湖や狭山湖とよばれるダム湖が存在している。周囲は開析が進んだ谷が発達しており、谷頭部において湧水湿地が形成されていることが特徴である。1988年に公開されたアニメーション映画「となりのトトロ」のモデルとなったのが狭山丘陵北麓である。映画「となりのトトロ」では豊かな自然が描かれており、なかでもトトロが棲むコナラの大木が印象的で、狭山丘陵は大部分がコナラを中心とした雑木林で形成されている。映画公開以降、狭山丘陵は「トトロの森」としてコナラ二次林の保全運動が行われてきた(奥田、1997)。

これまで狭山丘陵の谷津湿地の形成や「トトロの森」に関する植生変遷における先行研究はなく、同丘陵において里山景観がいつからどのように形成されたかは不明である。そこで、今回は狭山丘陵北麓に位置する三ヶ島湿地にて、湿地堆積物を採取して、その堆積物試料の放射性炭素年代測定とともに、CNS元素分析や花粉分析を通じて、湿地の形成時期や「トトロの森」と称される二次林の植生発達史を明らかにすることを目的とした。

なお、本研究は岡山理科大学理学部基礎理学科水野末衣加氏、および早稲田大学人間科学部人間環境科学科常峰拓真氏の2023年度卒業論文としてそれぞれまとめることができた。また、共同研究者である岡山理科大学の藤木利之准教授、ふじのくに地球環境史ミュージアムの中西利典准教授、名古屋大学宇宙地球環境研究所の北川浩之教授とともにおこなった共同研究である。

2. 方法

2022年12月に三ヶ島湿地の上流から下流にかけての4地点においてロシア式サンプラーを用いて基盤まで達する泥炭質堆積物の採取を行った(図1)。採取した堆積物は層相観察を行ったのち、年代測定用、CNS元素分析、花粉分析用にそれぞれ分割した。年代測定用試料は、良好な植物片が残っていた21試料について、酸-アルカリ-酸処理をおこなった上で、名古屋大学宇宙地球環境研究所所有の加速器質量分析計を用いて放射性炭素(^{14}C)年代測定を実施した。実際に年代測定した試料は10試料である。求めた ^{14}C 年代値は、Int Cal20のデータセット(Reimer et al., 2020)を用いて暦年較正をおこなった。暦年較正は、Calib8.2プログラム(Stuiver and Reimer, 1993)を用いて 2σ (95.4%)信頼度区間で表し、その中央値を年代値(西暦)として採用した。

CNS元素分析用試料は、凍結乾燥させたのちメノウ乳鉢にて粉末化させた。この乾燥粉末試料10mgを用いて、全層準について全炭素(TC)、全窒素(TN)含有率の測定及びC/N比を算出した。

花粉分析用試料は、水酸化カリウム処理、塩化亜鉛比重分離処理、アセトリシス処理をおこない花粉化石のみを抽出した試料をスライドガラスに封入して、顕微鏡下において木本花粉が200個以上かつ、木本花粉、草本花粉の合計が500個以上になるように測定して、その出現率を求めた。

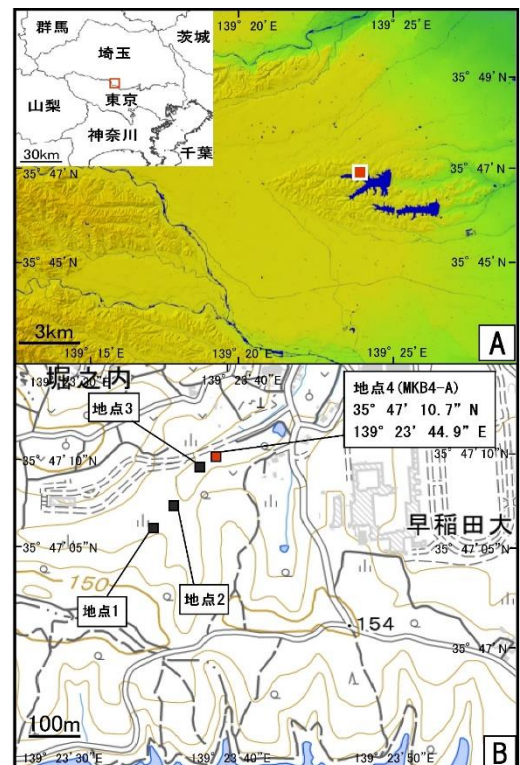


図1 三ヶ島湿地での調査地点地図

3. 結果・考察

(1) ^{14}C 年代測定による堆積年代の推定

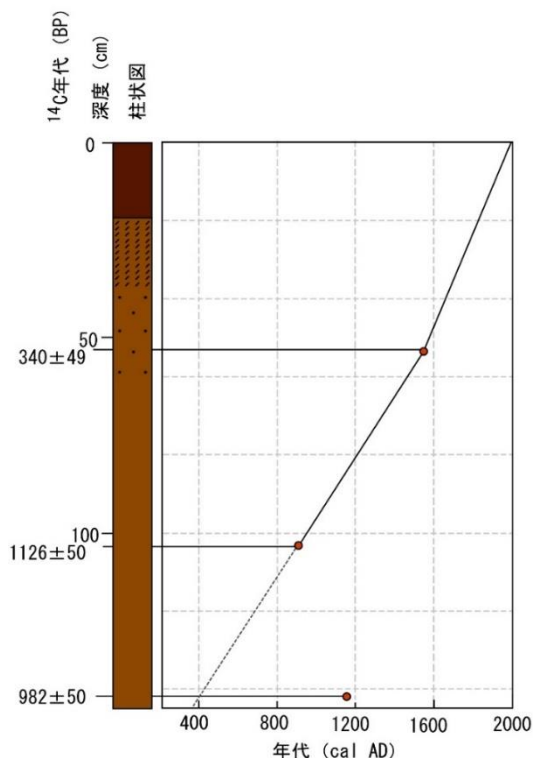


図2 MKB4 コアの深度-年代関係図

表1 MKB4 コアの ^{14}C 年代測定結果

深度 (cm)	^{14}C 年代 (BP)	較正暦年代 (cal AD) 2 σ での確立 (%)	較正暦年代中央値 (cal AD)
50 - 55	340 \pm 49	1456 - 1644 (100.0)	1555
105 - 110	1126 \pm 50	774 - 790 (5.4) 802 - 811 (1.3) 819 - 996 (89.6) 1002 - 1020 (3.8)	921
140 - 145	982 \pm 50	980 - 982 (0.2) 990 - 1179 (98.7) 1191 - 1203 (1.2)	1086

採取した4本のコアは層序対比が可能であり、最下流に位置するMKB4コアが最も堆積年代を遡っていることが推定された。同コアの ^{14}C 年代測定による堆積年代値は深度140～145 cmで982 \pm 50 BP (較正中央値:1086 cal AD)、深度105～110 cmで1126 \pm 50 BP (921 cal AD)、深度50～55 cmで340 \pm 49 BP (1555 cal AD)であった(図2、表1)。堆積速度は0.79～1.12 mm/yrであった。深度140～145 cmの年代値は試料採取時に上層から混入した植物根試料を測定した可能性があるため除外した。以上の年代測定結果から、三ヶ島湿地は約1,700年前には形成しており、現在まで湿地環境が維持されていることが示された。

(2) CNS分析・花粉分析による古環境の推定

CNS分析および花粉分析(図3)の結果から以下の3点について明らかにすることができた。

- ・ 三ヶ島湿地は約1,700年前に形成した。また、現在まで湿地環境が維持されていた。
- ・ 約500 cal ADよりコナラを主体とするコナラ二次林「トトロの森」が成立したと考えられた。また、約850 cal AD頃から湿地を人為的に調整することで稲作をはじめたことが示唆された。
- ・ 約1800 cal ADよりコナラ二次林、アカマツ二次林の管理の放棄が始まり、照葉樹林へ森林が回復したとともに、湿地周辺ではスギの植林が開始された。

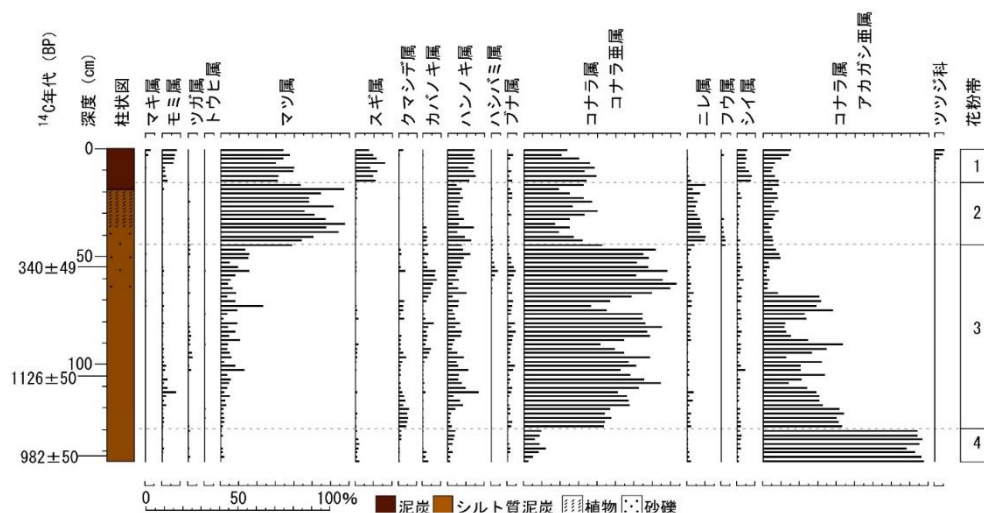


図3 MKB4 コアの花粉分析による木本花粉変遷図

引用文献

奥田重俊 (1997) 狭山丘陵の植生 (1), 奥田重俊編著, 日本野生植物館, 226-229, 小学館。

Reimer, P.J. *et al.* (2020) The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0-55 cal kBP). *Radiocarbon*, 62, 725-757.

Stuiver, M., and Reimer, P.J. (1993) Extended ^{14}C Data Base and Revised CALIB 3.0 ^{14}C Age Calibration Program. *Radiocarbon*, 35, 215-230.

(別紙様式 4-2)

石英チタン地質温度計のヒマラヤ高温変成岩類への適用(継続課題)
Application of Ti-in-quartz geothermometer to high-temperature metamorphic rocks in the Himalaya

今山武志、岡山理科大学フロンティア理工学研究所・准教授

【研究目的】

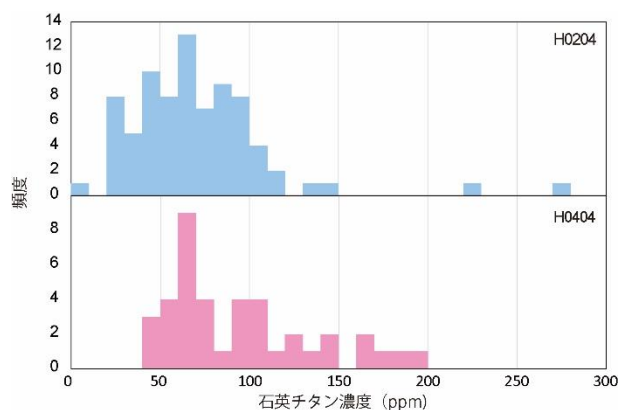
石英中のチタン量は温度依存性が強く、変成岩・火成岩類の地質温度計に利用されてきた(Wark & Watson, 2006)が、高温変成岩の石英は複数ステージで成長する場合があります、組織やステージごとに区分して詳細に検討した研究例は限られている。また、石英のカソードルミネッセンス(CL)の発光強度は、チタン量と正の相関を示す場合が多い(Muller et al., 2003)ものの、結晶中に内在する構造欠陥にも強く依存する。これらの複数回成長や構造欠陥は、メルトの生成中あるいは冷却中に関連する可能性があるが、その具体的なメカニズムは不明である。申請者は、詳細な組織観察と合わせて石英のチタン量を測定する。また、CL発光強度とチタン量を比較するとともに、CLスペクトル解析により石英の結晶化学的性質を理解する。本研究により、ミグマタイト中の石英が結晶化した変成温度を読み取り、黒雲母のチタン温度計による変成温度と比較することにより、各組織における石英がどのようなステージで結晶化したのかを理解する。また、石英の結晶化学的性質を明らかにすることによって、ヒマラヤ造山帯の地殻溶融過程の解明に貢献する。

【研究方法】

研究試料は、ヒマラヤ造山帯における極東ネパールの部分溶融で生成した優白質岩を用いて、昨年度の同地域の高温変成岩(溶け残り岩)についての結果と比較した。具体的には、1) ヒマラヤ優白質岩の薄片観察を行ない、石英の詳細な組織を記載する。2) 石英のCL像を確認して、発光強度によりそのスペクトルを得る。3) 石英の組織ごとにチタン量を測定し、結晶化温度を推定する。4) 黒雲母のチタン温度計により変成温度を推定して、石英の結晶化温度と比較する。

【研究結果・考察】

2023年12月に名古屋大学宇宙地球環境研究所で優白質岩中(試料H0204, H0404)の石英のチタン量を測定した。その結果、1) 石英のCL発光は中心部ではほぼ一定で、石英粒間でわずかに暗くなる、2) 石英のチタン濃度は約50-70 ppmでピークを示し(図)、高温変成岩中の石英のチタン濃度(約140-200 ppm)に比較すると顕著に低いことがわかった。このことは、優白質岩の石英はマグマが冷却する際に成長しており、高温変成岩中の顕著なCL累帯構造を示す昇温期からピーク変成時に成長した石英とは区別される。本研究により、部分溶融を被ったミグマタイトには、溶け残り岩と優白質岩において複数のステージ(昇温期、ピーク変成時、冷却時)で石英が結晶化することが示され、CLを用いた組織観察や石英中のチタン濃度はその指標になることが示された。今後は、黒雲母の結晶温度と比較することにより、黒雲母脱水溶融反応におけるチタン成分の挙動が明らかになることが期待される。



【引用文献】

Muller et al., 2003.Eur. J. Mineral, 15, 747-763.

Wark & Watson, 2006.CMP, 152, 743-754.

(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が北極域Tromsøにおいて運用するナトリウムライダー観測データを使って大気重力波のエネルギーおよび運動量輸送の統計解析を行い、極域熱圏域に注入されるこれらの諸量を高度域80-105kmにおいて定量的に評価する。併せて、流星エコーのレーダー観測データに、新開発解析手法(Tsutsumi, 2023; 堤他, 2023)を施して得られた高空間・時間分解能データを元にした相補的な重力波解析も行う。

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。ナトリウムライダーは狭い空間領域を高い分解能で観測する能力を持ち、2分値の温度観測データを元にしたスペクトル解析から、短周期重力波が良好に観測されていることを確認できた。一方、レーダーの流星エコーを利用した従来の観測手法は分解能においてライダーに遠く及ばない。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(Tsutsumi, 2023)は飛躍的に高い分解能を持ち、北欧域のMFレーダー(1つはライダーの設置されているTromsø、もう1つは100kmほど西に位置するSaura)にも応用できれば、ライダーデータと併用することで昼夜を問わず高品位な重力波解析が可能となる。そのため、まずは受信干渉計設備の整ったSauraレーダーに流星観測手法を応用し、短周期重力波解析に耐える風速観測が可能であることを確認した(堤他, 2023)。続いて、この結果を元に、Tromsøレーダーの受信干渉計整備計画を検討した。それらをまとめたライダー・レーダーによる大気重力波観測研究計画を、科研費基盤B(代表: 堤、分担者: 野澤他)として申請し、2024年度から3年間の計画で採択された。

まとめ

100 km前後からそれ以上の高度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り、ISEEがTromsøで運用する光学・電波観測装置を中心とした装置群による実現方法を検討した。その検討結果を元とした申請が2024年度から科研費基盤Bとして採択された。北欧のMFレーダー2台を組み合わせたネットワーク風速観測からは、レーダーとしては飛躍的に高くライダーとも比肩しうる時間空間分解能(時間: 数分程度、水平: 5-10km程度)が期待される。ライダー観測との直接比較も含む高品質重力波解析が期待される。

成果発表

High time and spatial resolution meteor wind observations using an MF radar at Syowa station (69S, 39E), Antarctic, Masaki Tsutsumi, URSI GASS 2023 2023年8月23日

中波レーダーを使った流星エコー観測に基づく高分解能風速観測, Masaki Tsutsumi, Toralf Renkwitz Jorge, L. Chau, 地球電磁気・地球惑星圏学会 2023年秋季年会 2023年9月24日

フーリエ変換赤外分光器を用いたCO及びHCNの観測
Observation of CO and HCN with Fourier-transform Infrared Spectrometer

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、北海道・陸別及び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CO及びHCN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る。また、COとHCNの相関解析、火災データ、粒跡線解析を用い、つくば上空のCOの発生源及び発生地域の推定を行う。

＜研究手法＞

2010年4月－2019年5月の期間について、つくばのFTIR観測スペクトルによるCOおよびHCNの高度分布の導出を行った。観測スペクトルの解析にはロジャーズの最適推定法を基に開発されたインバージョン解析プログラムSFIT4を使用した。また同期間について、CO、HCN高度分布の相関解析、火災データ、粒跡線解析を用いて、つくば上空のCOの発生源および発生地域の推定を行った。発生地域の推定には人工衛星Terra/Aqua搭載のMODISセンサによる火災データと、環境研METEXによる後方粒跡線解析の結果を使用した。

＜結果と考察＞

リトリーバルで得られたCOの高度分布について、高度0-5km、5-18kmの二層に分解し、同じ日時・高度に対応するHCNとの相関解析を行った。解析の結果、春季のCOとHCNのパーシャルカラムにおいて、高度5-18kmにおけるそれぞれの値の間に、有意な相関関係が確認された。また高度0-5kmにおいては有意な相関関係が認められなかった。相関解析から得られたCO/HCN比から、高度5-18km春季について、大気中のCOパーシャルカラムにおけるバイオマス燃焼起源COの存在量の割合を求めた。高度5-18kmの3-5月において、バイオマス燃焼起源のCOの割合は平均で70%程度であると推測できた。この値は、つくば上空の大気に牧草や残渣の燃焼によるCOが含まれている場合、過剰に見積もられている可能性がある。火災データと後方粒跡線解析の複合解析の結果、有意な相関関係が見られた春季の高度5-18kmにおいて、中国北東部、ユーラシア大陸の緯度50-60°N帯の地域の林野火災を起源とするCOである可能性が示された

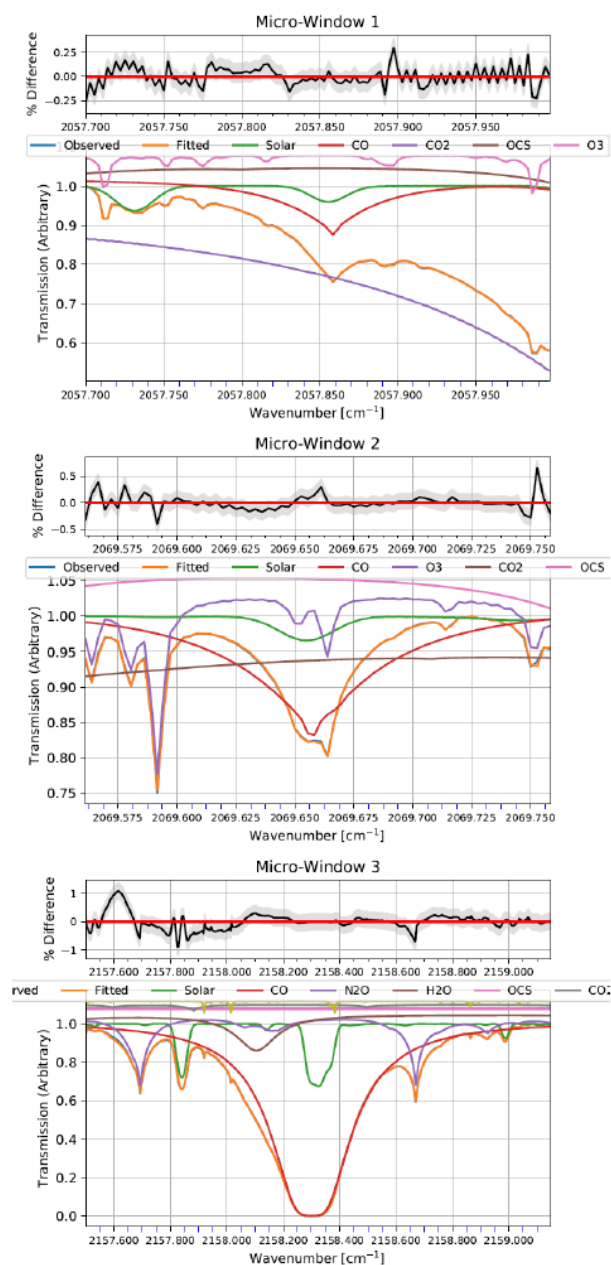


図1. SFIT4によるCOのフィッティング結果

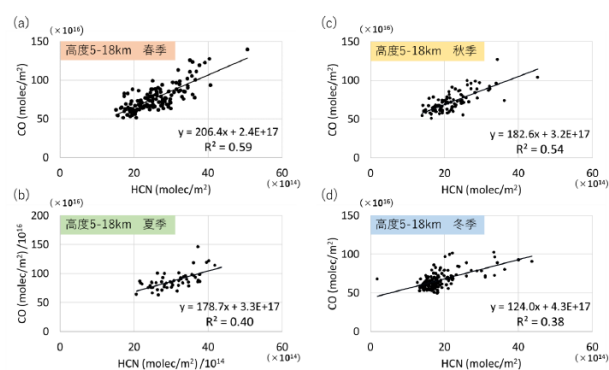


図2. 高度5-18kmの季節別CO-HCNパーシャルコラレーション

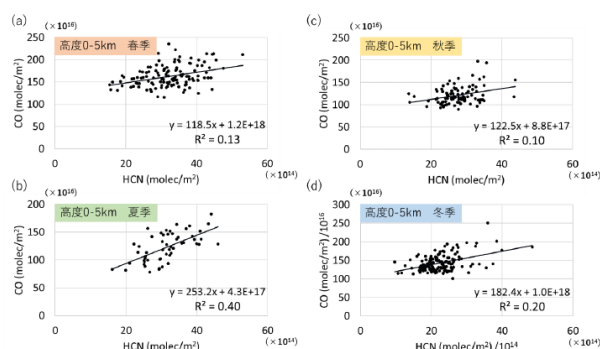
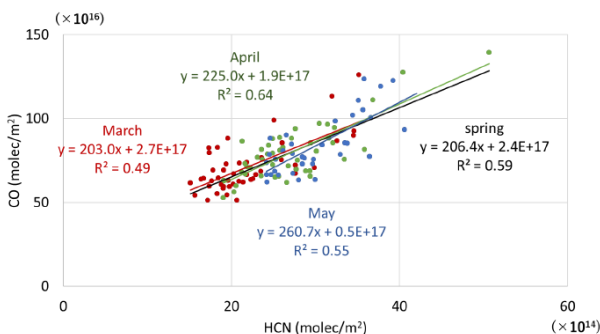


図3. 高度0-5kmの季節別CO-HCNパーシャルコラレーション



高度5-18kmにおける3-5月のCO, HCN相関

<成果発表>

- ・中島英彰、小川美宇、北 和之、M. C. Pitts、「CALIPSO観測データに基づく2011年と2020年の北極上空PSC出現状況の違いとオゾン破壊の関係」、日本地球惑星科学連合 2023年大会、幕張メッセ（千葉）＆オンライン、2023年5月22日
- ・Nakajima, H., “The history of previous NDACC-IRWG-TCCON meetings”, NDACC-IRWG-TCCON-COCCON Annual Meeting 2023, Spa, Belgium, June 14, 2023.
- ・中島英彰、「WMO/UNEP 2022 O3 Assessment Report の概要について」、オゾン研究連絡会・日本気象学会（仙台）、2023年10月23日
- ・中島英彰、村田 功、森野 勇、G. C. Toon、「つくばの FTIR による HFC-134a の観測」、第28回大気化学討論会（長崎）、2023年11月21日
- ・Nakajima, H., M. Ogawa, K. Kita, and M. C. Pitts, “Relationship between appearance of polar stratospheric clouds and ozone destruction over Northern polar region in 2011 and 2020 based on CALIPSO observations”, AGU 2023 Fall Meeting, San Francisco, U.S.A., December 12, 2023.

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】

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。

【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(図1)、気温と気圧、湿度(一部)を5分毎に計測した。2023年度は4月上旬迄観測する予定であるので、今回の報告は昨年度のデータを用いる。また、地上データとして、札幌土木センターとA MeDASの気象データも利用した。また、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確認する。さらに、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。2020年2月19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。

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】

コロナ禍ということもあり、小学校の養護教員からアンケート回答は少なかった。その中で、比較的多くの小学校で不調者数が現れた2月20日について調査を行った。この日は西高東低の気圧配置で北海道付近は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り、日本海側を中心に筋状の対流雲が繰り返し流入していた。図3は2月20日15時(JST)気象レーダーエコーを示しており、筋状雲と解釈できる帯状レーダーエコーが観測できる。この時間の地上気温(カラー)と地上気

Ishikari

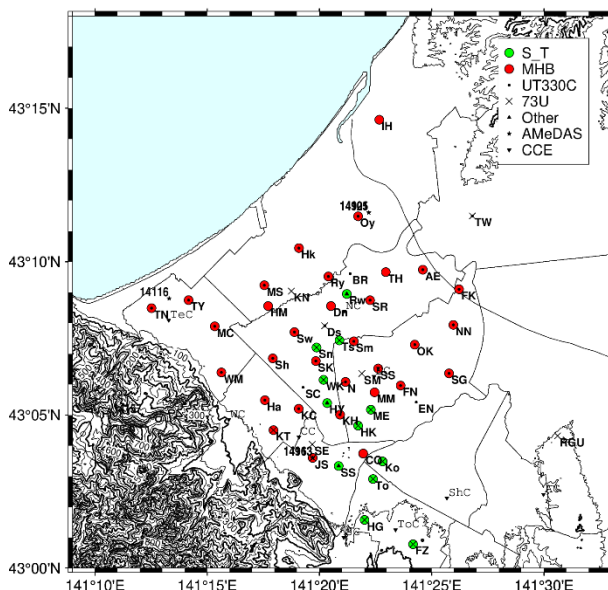


図1 2022-23年の観測網。MHBからOtherまでは観測機器の設置箇所、AMeDASは気象庁、およびCCEは札幌市土木センターの気象観測地点を表す。

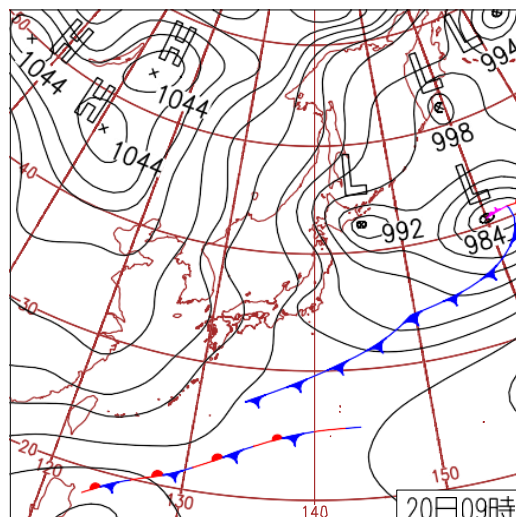


図2 2023年2月20日9時(JST)の天気図(気象庁)

庄(実線)の10分間の変化を図4に示す. 図3のTN地点から南東のKC付近まで筋状の対流雲があり, この前面(東側)で気温の負領域が拡がり, 同時に気圧の正領域が分布している(図4). この筋状対流雲が東進すると, 気温と気圧の変化領域も移動し, やがて衰退していく様子が見られた. CReSSによるシミュレーション解析からは, 帯状のセルが確認され, 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あ. Shirooka and Uyeda(1990)の地上で気温を降下させたスノーバーストと矛盾が無く, Yamada et al.(2004)のRwタイプと解釈することが出来る.

この日の観測点において, 10分間差分値が 2σ 以上の変動(気温 -0.5°C , 気圧 0.5hPa)を超えた事例は, 延べ36件あった(冬季全体で約400件). これらの過程で気圧変動が狭い範囲で生じていることから, 体調を崩す生徒が増えた可能性がある. 今後, 研究協力者の医師らと関連性について協議する予定である.

【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, 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 2016年9月.
- ・馬場賢治, 野田真由, 上田博, 北海道における2007/08~2017/18の冬季落雷の傾向, 日本気象学会大会講演予稿集, (114) 290, 2018年10月.
- ・Baba, K., Temporary Variation of Surface Air Temperature and Atmospheric Pressure Under Convective Clouds in Winter Monsoon, Asia Oceania Geosciences Society, 15, 2018年6月.
- ・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.

【成果発表】

馬場賢治, 三樹圭亮, 上田博, 気象モデルを用いた冬季石狩平野における筋状対流雲によるスノーバーストの再現実験, 日本気象学会大会講演予稿集 (124) 2023年10月25日

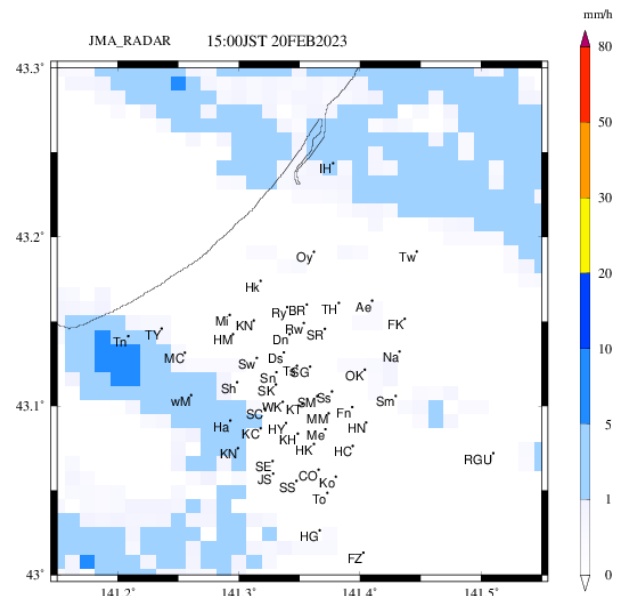


図3 2023年2月20日15JSTのレーダー画像. カラーは降水強度(mm/h)を表す.
230220 15:00(10min)

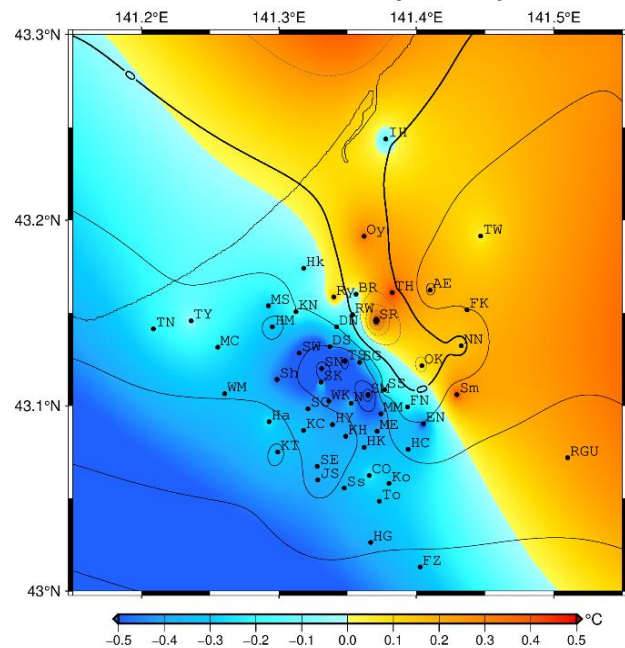


図4 2023年2月20日15時(JST)における気温($^{\circ}\text{C}$)と気圧(hPa)の10分間変動

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徴の統計解析
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以上の高速輝度変動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における、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。今後は、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】

- 森井雄大，三好由純，栗田怜，細川敬祐，大山伸一郎，小川泰信、光学2波長観測によるオメガバンドオーロラの降下電子エネルギー特性の推定、地球電磁気・地球惑星圏学会，2023年9月
- Y. Morii, Y. Miyoshi, S. Kurita, R. Nakamura, K. Hosokawa, S. Oyama, Y. Ogawa, S. Imajo, S. Saito, K. Asamura, Two-wavelength optical measurements on the omega band aurora, AGU Fall Meeting 2023, 2023年12月

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

地球上層大気・磁気圏に存在するプラズマは、数 eV 以下から数 MeV 以上の広いエネルギー範囲にわたって存在している。この中で、数 eV 程度以下のイオンは、地球から 20Re (Re: 地球半径) 程度離れた領域で観測されるなど、地球電離圏外にも広く分布することが分かっている。また、磁気圏では、極域電離圏起源と考えられる重イオン (N^+ 、 O^+ 、分子イオンなど) が観測される。電離圏におけるイオンの典型的エネルギーは 0.1eV 程度であり、磁気圏へと流出するためには何らかの加速・加熱が必要である。しかし、諸説あるものの、イオン流出機構の解明には未だ至っていない。この加速・加熱過程の解明には 1eV 程度以下から 100eV 程度にわたるイオンの直接観測が望まれる。ところが、数 eV 程度以下のイオンをエネルギー・質量・到来方向弁別を行って観測することは簡単ではないため、観測例は限定的にしか存在しない。また、数 eV 程度以下のイオンを観測する場合、衛星速度の影響が無視できない。一方でプラズマ粒子の計測においては全ピッチ角をカバーした観測が重要となる。衛星速度方向と磁場方向の関係は軌道運動に伴って変化するため、効率の良い観測を行うためには観測器側に視野方向を変更でき、さらにはイオン種弁別を行う機能が必要となる。

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、 $\sim 1\text{eV}/q \sim 100\text{eV}/q$ 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。

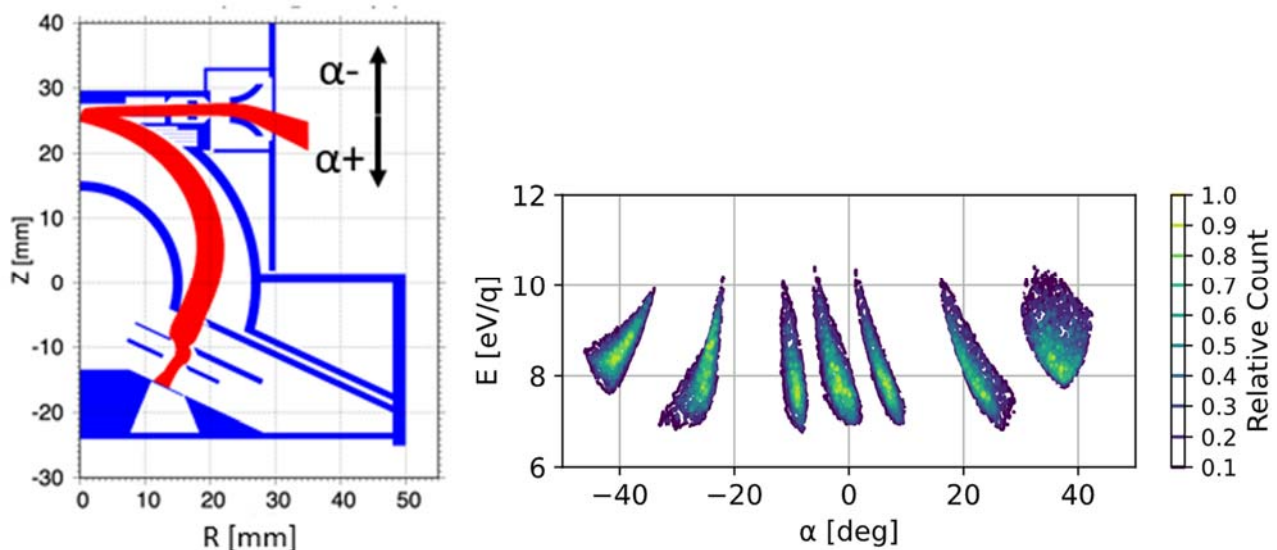


図1: (左) 設計した計測器エネルギー分析部の断面図。機器は Z 軸 ($R=0$) 周りに対称な形状となっている。赤はイオンの軌道例を示している。(右) 計算機シミュレーションによって得たエネルギー分析部のイオン入射パラメータ (入射時のエネルギーおよび仰角) に対する応答。視野方向変更電極について、異なる電圧設定での計算結果を重ねてプロットしている。仰角 (α) について、 -40 度から $+40$ 度の範囲で制御できていることが分かる。

本年度は計算機シミュレーションを用いて観測器形状の設計を行った。本観測器は全ピッチ角を同時にカバーできるようにするため、エネルギー分析部にトップハット型の静電分析器を採用する。通常のトップハット型分析器は円盤状の視野を持っており、全ピッチ角をカバーする場合には磁場方向が視野内に含まれている必要がある。一方、数eV程度以下の低エネルギーイオンを計測する場合には衛星速度方向もカバーすることが望まれる。このため、観測器の入射口部に電極を配置し、印加電圧を変更することによって到来方向を変更する機構を新たに設けることとした。図1(左) は設計した観測器の断面図、図1(右) は計算機シミュレーションによって得たイオンの入射パラメータ（入射時のエネルギーおよび仰角）に対するエネルギー分析部の応答を示している。粒子の入射仰角（ α ）について、-40度から+40度の範囲をカバーした上で 10度程度の角度分解能を実現できていることが分かる。

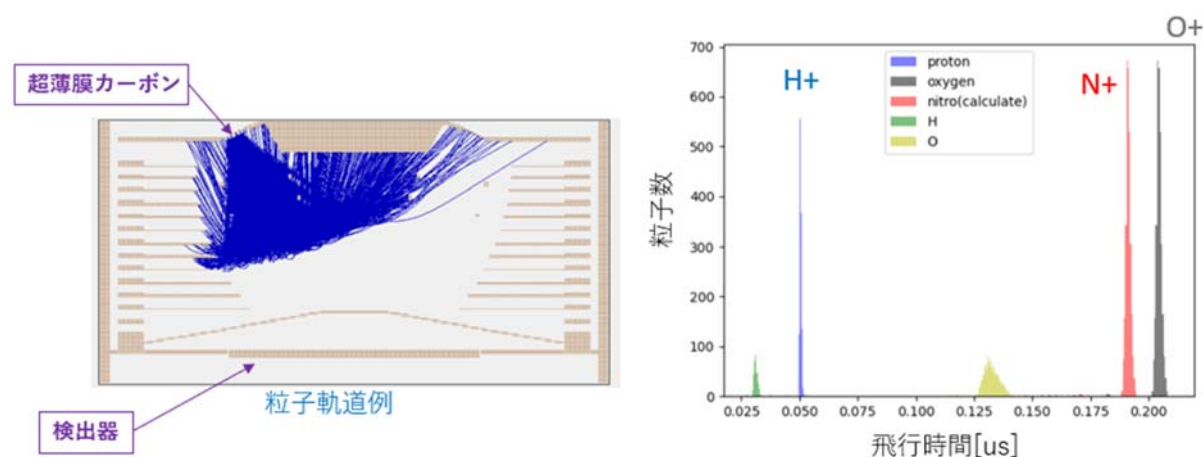


図2: (左) 飛行時間分析部（質量分析部）の断面図。青色は長白各カーボンから出射したイオンの軌道例を示す。(右) 計算機シミュレーションによって得た飛行時間分布例。N+ と O+ がクリアに分離できている。

エネルギー分析部を出射した粒子は質量分析部に導入する。質量分析部には LEF (Linear Electric Field) 型飛行時間分析法を用いることとした。飛行時間分析法は分析器内で粒子の飛行時間を計測する手法の一つである。また、LEF 法は距離に比例して電界強度が強まるポテンシャル構造を用いることにより、入射粒子のエネルギーや入射角のばらつきが飛行時間に与える影響を抑制することができる手法である。図2(左) は設計した質量分析部の断面形状である。LEF 法を用いることにより、 $M/\Delta M \sim 20$ 程度の高い質量分解能を実現することができた (図2(右))。

今後、センサー設計の最適化、観測器試験モデルの設計・試作を行い、イオンビーム照射試験などでセンサー性能の確認などを進めていく。

成果発表

- 寺澤他, Development of suprathermal ion energy-mass spectrometer for observations in the polar ionosphere, SGEPS 2023年秋季年会, R006-P11, 仙台, 2023年9月23-27日
- 寺澤他、電離圏起源低エネルギーイオンの観測を目指したイオンエネルギー質量分析器の開発、低エネルギープラズマ研究集会、福岡、2024年2月5日
- 寺澤他、電離圏起源低エネルギーイオンの観測を目指したイオンエネルギー質量分析器の開発、あらせサイエンス会議、金沢、2024年3月13-15日

二重偏波レーダーのデータを利用した雲解像モデルの改良
Improvement of cloud-resolving model by using data of polarimetric radar

佐藤正樹、東京大学・大気海洋研究所

研究目的

雲解像モデルの精度向上、特にいまだ不確定要素の多い雲物理過程の精度向上を目指す。

研究方法

雲解像モデルの出力を「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、二重偏波レーダーのデータと比較する。東大に設置したディストロメータによる雨滴粒径分布の観測結果との比較も行う。

研究結果

低気圧の影響で東日本から東北にかけて降水があった2021年12月8日を例に、雲解像のモデルNICAMのシミュレーション結果、それを用いて観測シミュレータで計算した二重偏波レーダーのシミュレーション結果を解析した。

図1はNICAMのシミュレーション結果を用いて観測シミュレータで計算した二重偏波レーダーのレーダー反射因子を、柏の二重偏波レーダーの観測値と比較したものである。ディストロメータが設置されている東大柏キャンパスの地点での比較である。概ね似た時間変化を示しているが、シミュレーション結果の方が少し大きい値をとっている。また図2にこの両者の反射因子差から導出した雨滴のmedian volume diameter D_0 を比較したもの示す。ディストロメータで直接観測した D_0 も合わせて示す。ディストロメータで直接観測した D_0 と柏の二重偏波レーダーで観測された反射因子差から導出した D_0 はよく一致している。NICAMのシミュレーション結果から導出した D_0 も多少の時間差があるものの概ね近い値になっている。但しNICAMのシミュレーション結果から導出した D_0 の方が大きい。このことは図3の相関図からもよくわかる。NICAMのシミュレーション結果の雨水量は観測値とよく合っているものの、雨滴数密度は観測値と比較すると一桁程小さいことから、雨滴の直径が観測より大きくなっていることがわかる(図4)。そのため降水強度およびレーダー反射因子が過大評価されたものと思われる。NICAMで設定されている雨滴の平衡半径の値の検討が必要と思われる。

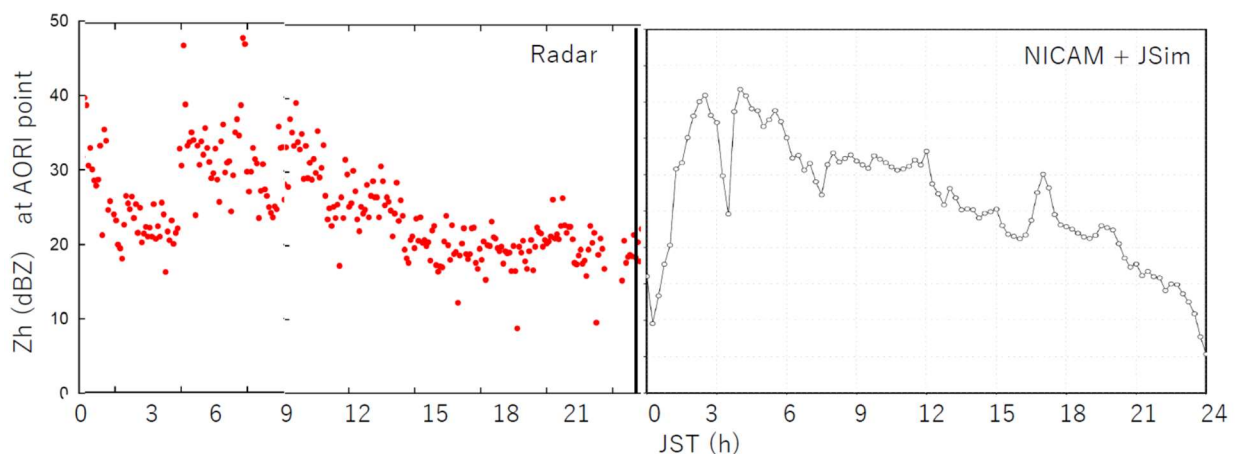


図1 2021年12月8日東大地点のレーダー反射因子の時間変化。左図はレーダーの観測値。右図はNICAMのシミュレーション結果から導出したもの。

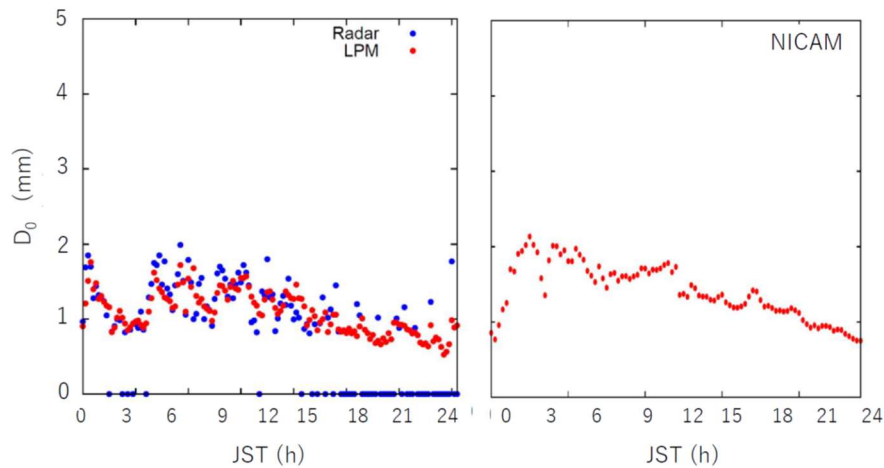


図2 2021年12月8日東大地点の雨滴のmedian volume diameter。左図はレーダーの観測値から導出したもの（青）とディストロメータで観測されたもの（赤）。右図はNICAMのシミュレーション結果から導出したもの。

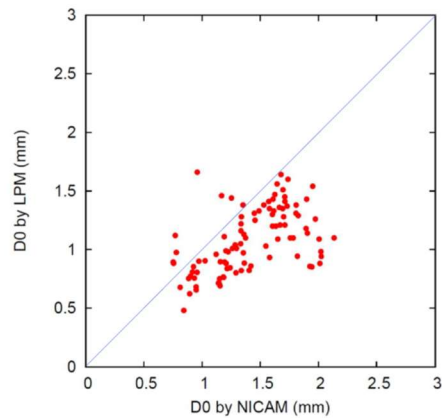


図3 2021年12月8日東大地点の雨滴のmedian volume diameter の相関図。ディストロメータで観測されたもの（縦軸）とNICAMで導出したもの（横軸）。

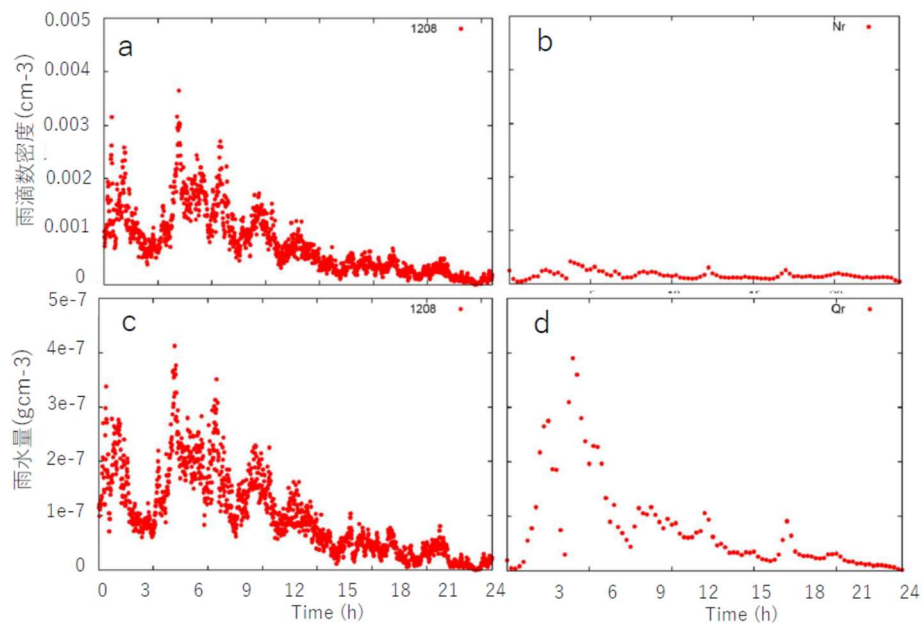


図4 2021年12月8日東大地点の雨滴数密度（aとb）と雨水量（cとd）の時間変化。ディストロメータで観測されたもの（aとc）とNICAMで導出したもの（bとd）。

次世代マルチビームシステム デジタルPhased Array Feedの開発
Development of Digital Phased Array Feed as the Next-Generation Multi-Beam System

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

天の川銀河全域に広く分布するとされる低密度分子ガスは宇宙における物質循環、特に星の母体である分子ガスが原子ガスからどのように形成されるかを解明する鍵である。本研究の最終目標は次世代マルチビームシステム Phased Array Feed (PAF) を福井工業大学10mパラボラアンテナに搭載することで従来の2桁以上広域な天の川銀河掃天観測を行い、低密度分子ガスの全容を明らかにすることである。本課題ではPAFを天文観測に展開するための基礎開発、特にデジタルPhased Arrayシステムの基礎研究および福井工大10mアンテナに搭載するPAF試作機の開発検討を進める。

研究方法 (使用した共同利用装置・施設等を含む)

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350MHzとし、16台の長さ約50 cmのダイポールアンテナを素子アンテナとする。東西方向に半波長(およそ50 cm)間隔で8台のダイポールアレイを並べ、さらに同じ配列で南北方向に50 cm離して並べる2次元アレイを構築することで東西方向に約14度の角度分解能の合成ビームを形成する。8×2素子アレイのうち南北に並ぶ2素子の出力をアナログ信号のまま結合し、これをADCに入力する。8つのデジタル出力を合成器に導き、受入教員が開発した制御プログラムで各出力の位相を調整することで合成ビームの方向を制御する。

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10 mアンテナは現在駆動系が故障しており、その改修を進めている。PAF開発を遅滞なく進めるため、PAF開発のテストベッドとして小型アンテナシステムの導入を検討する。基礎開発ではPAFを搭載するフロントエンド部の頻繁な調整が必要となるため、直接手が届き、試験・評価を気軽に行うことができる人の大きさ(2 m)程度のアンテナが適している。小型アンテナを導入し、システムの整備および、この光学系を用いたPAFシミュレーションおよび開発試験を実施する。

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16台(2台×8)のダイポールを用いたPhased Array測定実験を実施した(図 1)。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、感度不足のため未検出であった。次に、南北方向の2つのダイポールの出力をアナログで結合後、デジタル変換した。東西方向の計8つのデジタル出力を合成器に入力し、各出力の位相を調整することで合成ビームの方向を天頂から水平方向に±15度刻み(EL=90°, ±75°, ±60°, ±45°, ±30°(東方向が+))でビームを傾け、得られるパワースペクトルを確認した。300MHz帯ではどのELでも強い無線周波数干渉(RFI)がみられるが、ELを低くしていくにつれRFIが強くなり、さらにEL=30°に比べEL=-30°でRFIが強くなることが確認された。これは、測定地の東側に住宅地、西側には名古屋駅含む繁華街が広がっていることから、人口密度の高い名古屋駅方面からより強い人工電波が出ていると解釈できる。この結果から、定性的ではあるがPhased Arrayの合成ビームを計算通りに変化させることができたと考えられる。

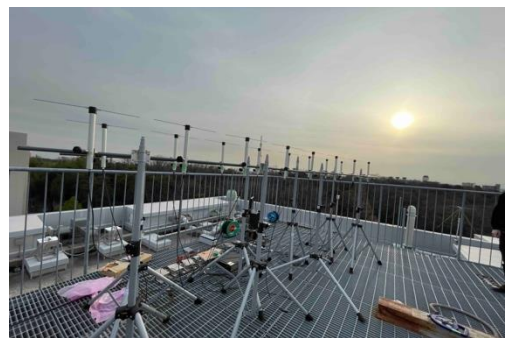


図 1: Phased Array 試験測定の様子

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開発のテストベッドとして、2.4mアンテナシステムを情報通信研究機構より譲り受ける手続きを

進めた(図 2)。2.4m は副鏡に搭載するPAF フロントエンド部の調整が容易であり、PAF 開発の迅速化が見込める。2.4mアンテナの移設が令和6年3月末となったことに加え、AZモーターでの不具合が報告され現在メーカーによる原因調査中であるため、システムの整備までは至っていないが、2.4m図面を入手し、プロトタイプPAFとして搭載するダイポールアレイの検討を始めた。先行研究(Nagel 2006)を参考に、プロトタイプアレイとして7つのダイポール素子アンテナを採用する。ダイポールアンテナは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) とする方針である。今後これをベースにシミュレーション評価を実施し、最終調整をしたのち作製に取り掛かる。

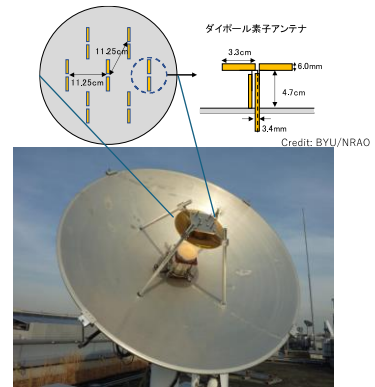


図 2: 2.4m アンテナ

考察

デジタルPhased Arrayシステムの測定実験から、合成ビームのELを低くしていくにつれRFIが強くなり、さらにEL=30°(東側)に比べEL=-30°で(西側)でRFIがより強くなることを確認した。測定地の東側に住宅地、西側には名古屋駅含む繁華街が広がっていることから、人口密度の高い名古屋駅方面からより強い人工電波が出ていると解釈でき、Phased Array合成ビームの方向の制御に成功したと考えられる。ただし、RFIは様々な場所から出ており、現時点では定性的な議論に留まっている。そのため、今後太陽を用いた連続波観測を行い、太陽の有無による(ベースラインの)出力変化を確認する必要がある。ただし、現状システムノイズが高く、太陽を検出できないため、ダイポールアンテナ直後にLNAを搭載するなどシステムの高感度化が必要である。

PAF試作機の開発検討においては、2.4mアンテナのシステム整備と並行し、7素子ダイポールアレイによるPAFシミュレーションの実施およびシミュレーション結果に基づいた7素子ダイポールアレイを作成する。作成後、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

16台(8×2)の2次元ダイポールアレイを用いた合成ビームの制御試験を行った。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、合成ビームのELを低くしていくにつれRFIの電波強度が強くなり、さらに方向によっても周囲環境と矛盾しない強度変化を示したことから、Phased Arrayのビーム制御に成功したと考えられる。また、PAF開発迅速化のため小型2.4mアンテナの整備を進めた。今後、2.4mアンテナシステムの整備と7素子プロトタイプ PAFの開発・評価試験を進める予定である。

引用文献

Nagel, J., R., 2006, A Prototype Platform for Array Feed Development, (Thesis of Brigham Young University)

成果発表

宮本 祐介, 「福井工業大学宇宙観測研究室の立ち上げ状況とVLBIコミュニティへの期待」 VLBI懇談会シンポジウム招待講演, 2024年12月15日

(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ッスラーモード・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に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

2023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、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。さらに、コーラス放射発生条件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keV帯高エネルギー粒子計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keV電子フラックスおよび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について、ULF波動に起因するホイッスラーモード波動の発生条件の変動に加えて、ホイッスラーモードの伝搬過程にULF波動がもたらす影響を考察することにより説明できることを明らかにし

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。2024年度は引き続きコーラス放射発生条件に関するサーベイ計算と、衛星観測結果を初期条件として行った連成計算 2 の結果から、宇宙天気現象時の内部磁気圏における非線形波動粒子相互作用の発生領域とその時間・空間発展を明らかにすることを計画している。

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 荻谷愛彦 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）

赤石山脈のような大起伏山地には、地質時代・歴史時代に発生した大規模斜面崩壊（以下、崩壊）の痕跡が各地に存在する。それらの崩壊がどのような発達の過程を経てきたか、編年を含めて、その全容は全国的に十分解明されていない。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。

本研究の主たる目的は、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 宝永地震が主因だったと広く信じられている赤石山脈・安倍川源流の大谷崩を対象として、その通説の妥当性を検証した。そのために、この崩壊で形成された支流性堰き止め湖沼堆積物中の微小植物片を年代測定に供試した。

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計を用いて、 ^{14}C 年代測定を実施した。

(2) 研究結果・考察・まとめ

赤石山脈南部を南北に縦貫する安倍川の源流地域において、安倍川本流の河床上昇を原因として支流（ヨモギ沢、タチ沢、コンヤ沢）に形成された堰き止め湖沼堆積物（荻谷ほか 2023 など）の地質調査を行った。各支流の堰き止め湖沼堆積物に含まれる微細な木片や植物片を採取し、それらを試料として合計 20 点の AMS ^{14}C 年代値を得た。

年代値は支流ごとに一定の範囲に集中し、なおかつ支流ごとに範囲がずれることが判明した。安倍川本流の河床上昇は大谷崩（巨大斜面崩壊地）を供給源とする過剰な土砂供給が主因であり、崩壊の発生時期は西暦 1707 年・宝永地震時と広く考えられてきた（建設省静岡河川工事事務所 1988 など）。しかし今回の測定で最古の年代範囲を示したコンヤ沢の場合、校正暦年の確率分布は AD1300~1450 に集まる。この結果は、支流を堰き止めるような本流の顕著な河床上昇、すなわち大谷崩からの過剰な土砂供給は従来の推定より 250~400 年古い時代にすでに始まっていたことを示唆する。日本有数の大規模斜面崩壊地である大谷崩の初生時期に関して、年代学的・層序学的観点での再検討が必要なことが明らかとなった。

(3) 引用文献

荻谷愛彦・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
建設省静岡河川工事事務所（1988）「安倍川砂防史」

(4) 成果発表

発表準備中

公開された衛星軌道データ (TLE) の解析による宇宙天気現象の解明
Study of Space Weather Phenomena by TLE analysis

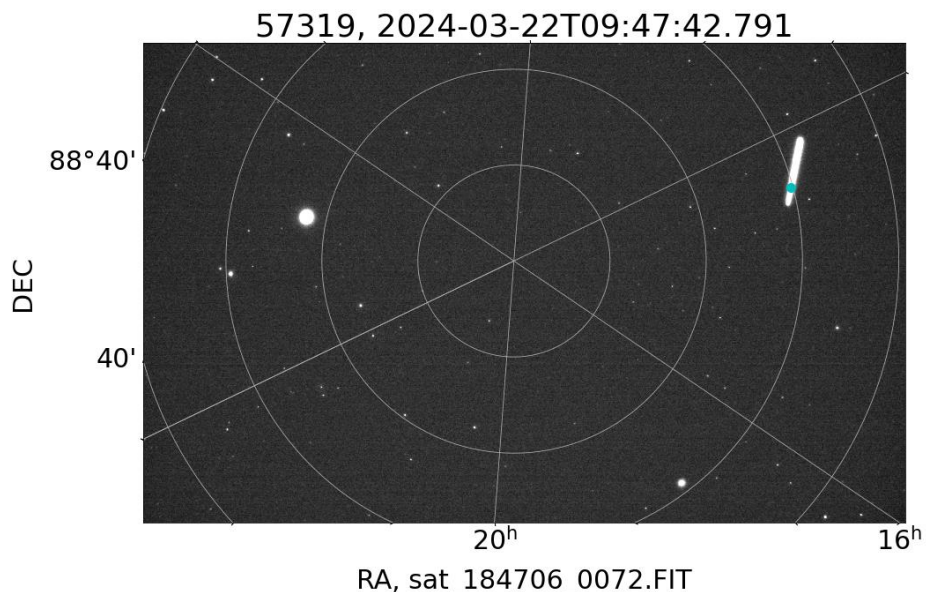
野澤恵、茨城大学、理工学研究科理学野

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。2022 年 2 月に、多数のスターリンク衛星が地球磁気圏の小規模な磁気嵐により大気圏に落下し消失した。宇宙物体の軌道については JAXA の衛星では独自に軌道計算を行い軌道予測しているが、大学発の超小型衛星などでは、アメリカ合衆国宇宙軍(USSF)の提供する TLE(Two Line Element)を使用している。また運用停止となった人工衛星やスペースデブリなども、TLE を用いた軌道計算により、衝突などの回避が行なわれている。

そこで TLE を用いて宇宙物体の約 50 年に渡る軌道高度率と太陽電波 F10.7 の関係を解析し、非常に高い相関となった。この相関からの関係式は F10.7 の観測値を得たときの、高度降下率を経験的に示すもので、ある時間の F10.7 の値が観測から提供されると、高度降下率が計算されることを意味し、宇宙天気現象の影響による軌道の簡易的な予測、すなわち宇宙天気予報の一つと考えることもできる。

そこである宇宙物体を観測し、軌道予測と sgp4 の誤差程度で時刻の一致をみた。このときは太陽フレアの前で急激な大気抵抗の増大がないため、予測と大幅にずれなかったが、アマチュア天文家の公開している画像では、太陽活動の増大のため通常の軌道のずれより大きなものがあつた。そこで思考実験として、公開されている TLE のパラメータを操作して軌道予測を行うことを試みた。これは sgp4 に宇宙天気現象の効果を取り入れることで、これも宇宙天気の予報の一つとしての軌道予測に繋がる試みであり、TLE の最後の平均運動だけ値を変化させ sgp4 で予測軌道を生成する方法である。ただし注意すべき点は、TLE は実際の観測結果から軌道 6 要素と、高度の一次変化率、二次変化率を B*(ビースター、抗力係数)とい

うパラメータにより
リセットで推定しているため、軌道要素だけを変化させたとしても軌道予測の精度を上げるわけではない。将来的に sgp4 に宇宙天気現象の効果を取り入れた新しいモデルの構築が望まれる。



【研究目的】

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 analyzer, MEP-i) (Yokota et al., 2017, EPS) の質量分析 (TOF) モード観測データからN⁺を抽出する手法を確立し、地球上層大気の大気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分布較正版を作成し、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、地球上層大気の大気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)。本研究結果から、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】

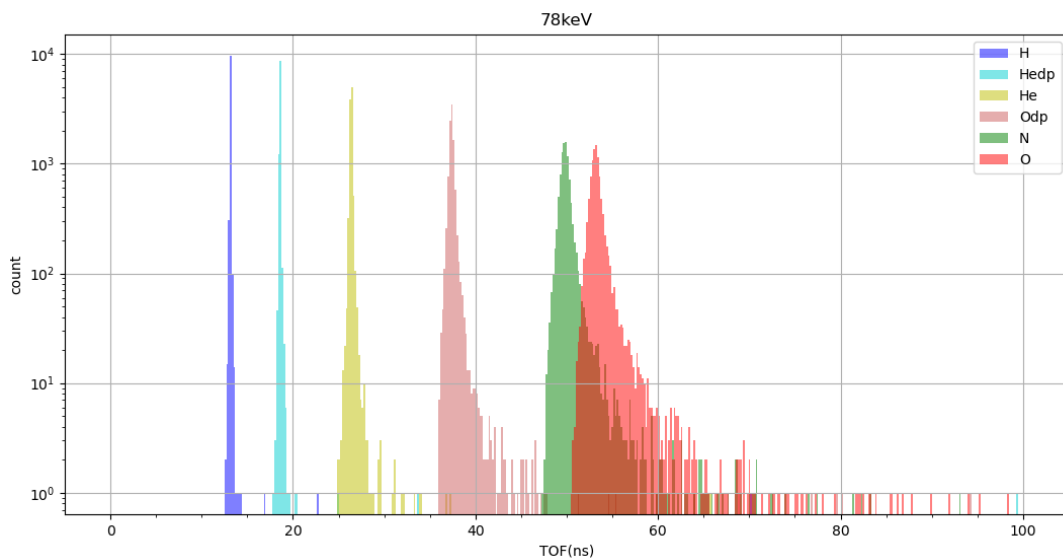


図1：78keVイオンの入射に対してMEPiで取得されるTOF分布 (SRIM計算結果)

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。TOFはイオン種の質量に対応する。単一エネルギー K の入射イオンの飛行時間は $T = L/\sqrt{2K/m}$ と一

定になるが、実際はMEPi内にある超薄膜炭素を通過するためにエネルギー・角度分散を受ける。そのため結果としてTOF分布には広がり $\Delta T(K)$ が生じる。この $\Delta T(K)$ はSRIMを用いた計算によって取得できる。

図2は磁気嵐中の2017年9月17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のものである。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。MEPiでのエネルギー分析は半値幅で10%未満の幅があり、その応答は正規分布 f で近似できるため、 $\sum_k \Delta T(K) \cdot f(K)$ 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じ大きさになる。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特にTOF分布の左側への広がり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。 O^{++} や H^+ 左側に不一致が見られるが、超薄膜炭素通過後に負イオンとなったものの影響が考えられる。

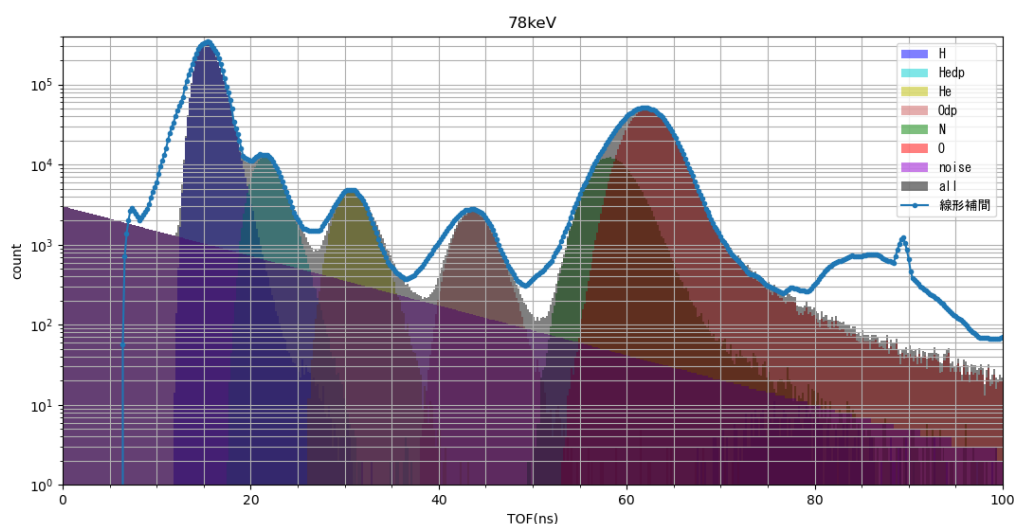


図2：78keVイオンの入射に対してMEPiで取得されるTOF分布（SRIM計算結果）

【まとめ】

本研究ではSRIM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。今回は一つのエネルギーステップのみの評価であるが、同手法にて15ステップ全てに対して評価を行う予定である。

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年の打ち上げ以降約6年間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6年間の観測データを網羅的に解析し、磁気赤道域～中緯度域に渡る低周波波動の空間分布とプラズマ波動の特徴解析を行った。

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抽出し、周期的な振幅変調の有無で分類した。図1および図3は、周期的な振幅変調が見られるRising tone磁気音波の観測頻度分布であり、図2および図4は周期的な振幅変調が見られないStructureless磁気音波の観測頻度分布である。これらの解析結果から、Rising tone磁気音波は主に $L>4$ の領域に限って観測され、一方でStructureless磁気音波は $L<4$ でも観測されることが分かった。次に、現象が観測されたときのプラズマポーズ位置をHFA(High Frequency Analyzer)によるUHR周波数の計測結果から求め、プラズマポーズからの距離で現象を分類したところ、Rising tone磁気音波の観測頻度はプラズマポーズの内外で有意に変化する傾向が見られた。この結果は、Rising tone磁気音波が周期的な振幅変調を伴ったままプラズマ圏内に伝搬できないことを示唆する。レイトレーシングを用いた研究では、通常磁力線に対してほぼ垂直に伝搬する磁気音波が、プラズマポーズ近傍では伝搬角を大きく変えることが報告されている。今後は個々の観測例について、伝搬方向解析やレイトレーシングによる調査を進め、2種類の磁気音波の伝搬メカニズムの違いを議論する。

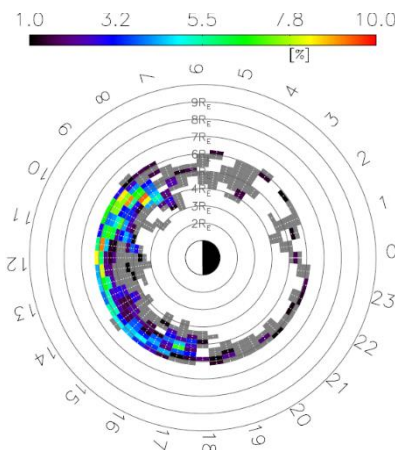


図1 Rising tone磁気音波の観測頻度分布

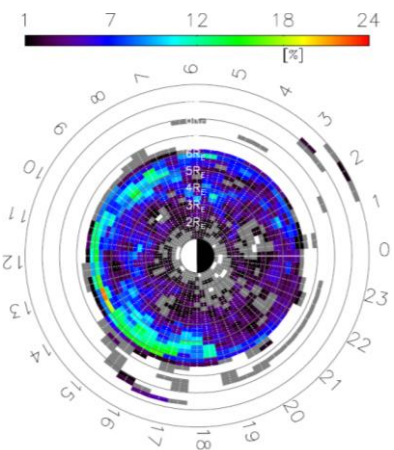


図2 Structureless磁気音波の観測頻度分布

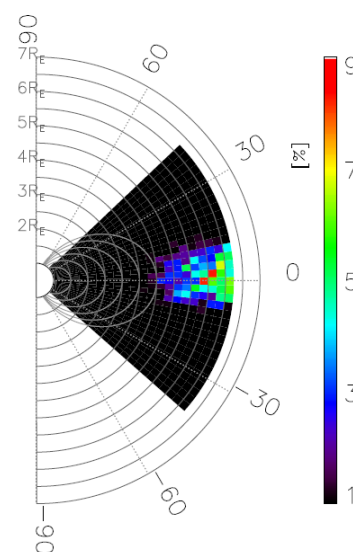


図3 Rising tone磁気音波の観測頻度分布 (磁気子午面)

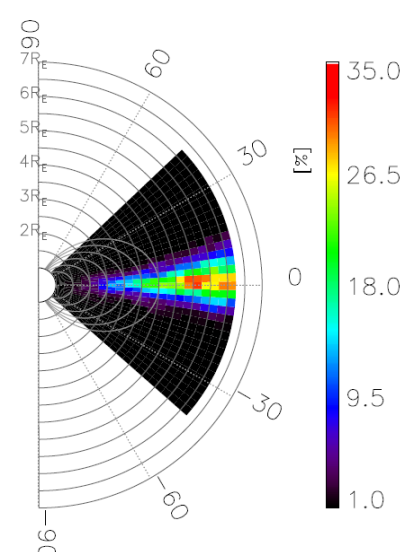


図4 Structureless磁気音波の観測頻度分布 (磁気子午面)

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

【研究背景・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。あらせ衛星の磁場データはJAXA宇宙科学研究所のデータサーバ及び処理専用マシンで処理、評価、校正されている。軌道上のあらせ衛星の磁場データを評価してアライメントやオフセット、時刻補正係数等、校正に必要なパラメータを導出している。校正したデータは、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プロジェクトチーム内外の研究者に提供され、多くのサイエンス成果があがっている。従来の衛星観測による結論を超える成果を出していくためには、観測した磁場データの精度向上が重要である。あらせ衛星で得た磁場データを高精度で校正するには、地上校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。

2017年3月の定常観測開始以降約7年間磁場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。軌道上データの高精度の評価と校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っている。あらせプロジェクトが目指してきた、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。太陽活動の極大期を迎えていることから、今後は異なる太陽活動フェーズ間の比較も可能となり、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。長期間のデータを継続的に評価することにより、経年変化を含んだ校正パラメータを導出する作業が可能となる。校正パラメータは機器の素材の物性や部品の経年変化によって変化していくが、打ち上げ前の地上における試験の範疇を超えるために、その要因を特定したり今後の変化を予想したりすることは容易ではない。本研究では校正パラメータの長期変化を調査し、その要因を類推して今後あらせ衛星が取得する磁場データや、将来の長期ミッション（遠い天体の探査等）への影響を探ることを目的としている。

【研究方法】

衛星が軌道上で長期放射線環境にあり、また高温と低温を繰り返すと、センサの機械的変形や回路の素子の特性変化が起きる可能性がある。これらの機会的変形や特性変化は磁場データのオフセットやアライメントの変化として影響に現れる。軌道上のあらせ衛星磁場データのオフセットやアライメントの誤差は、科学成果に直結し、慎重に評価、校正を行う必要がある。オフセットは軌道上の衛星のスピント、スピン軸方向の磁場が微小になったタイミイングのデータを利用することによって校正パラメータを求めている。アライメントは、地上校正試験における軸間角度の情報と、軌道上の衛星のスピンを利用して校正パラメータを求めている。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必要がある。磁場計測機器PIである研究代表者が、あらせサイエンスセンターメンバー、磁場データを主に用い内部磁気圏の研究を行う研究者と協同して検討を行った。進捗状況は、ローカルなオンライン打ち合わせやあらせサイエンス会議で共有した。

研究経費は、出張等の外出中であってもデータ評価のためにデータサーバと通信を行うポータブルWi-Fiや、データ評価作業の際に用いるPCの操作に必要なドッキングステーション、変換アダプタ等の購入に使用した。

【研究結果・考察】

2023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。今後引き続き評価とより良い校正方法の検討に尽力する。

(別紙様式 4-2)

数値モデリングおよびデータ解析に基づく環電流が内部磁気圏ダイナミクスに果たす役割の研究
Study of role of the ring current in the inner magnetospheric dynamics based on numerical
modeling and data analysis

関 華奈子、東京大学・大学院理学系研究科

研究計画の概要：

ジオスペース最大規模の変動現象である宇宙嵐(geomagnetic storm)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あまり変動のない内部磁気圏に至るまで、磁気圏全域にダイナミックな変動が引き起こされる。環電流が内部磁気圏ダイナミクスに果たす役割は、磁気圏の形状そのものを変化させるだけでなく、磁気嵐時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、環電流によるULF励起機構等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。世界的なジオスペース環境変動の理解を目指した動きの中で、データ解析・モデリング・シミュレーションの観点からは、観測と数値モデリングとの連携が重要となってきた。

宇宙嵐時のジオスペースのダイナミックな変動機構を理解するために、本研究では、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) [Amano et al., 2011]を改良して用いる。この環電流モデルの特徴は、ULF波動を含む電磁場の変動と環電流イオンのダイナミクスを同時に物理方程式に基づき記述可能にした点である。本研究では、このモデルを基軸として、環電流によって引き起こされる磁場変形やPc5帯のULF波動の励起が放射線帯粒子加速に果たす役割を明らかにすることを目的としている。また、蓄積されつつある、あらせ衛星の観測データを用いて、環電流によるPc5波動の励起機構や励起条件、および、電離圏からの環電流へのプラズマ供給機構などを明らかにすることを目指している。

2023年度の主な成果：

本研究計画では、2つの課題に焦点をしばって研究を進めている。1つめの課題は、上述のGEMSIS-RC(環電流)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。今年度は、昨年度開発した磁気圏電離圏結合モデル(GEMSIS-RC & POT)とプラズマ圏低温プラズマモジュールを用いた研究を推進し、内部で駆動されるfundamental Pc4-5波動が、地球起源低エネルギーイオンプラズマのつくる急激な密度勾配にともなって、プラズマ圏流出プリュームおよびプラズマポーズ近傍の2箇所で局所的に励起されることを明らかにした。また、これらのPc4-5 ULF波動は、イオン位相空間密度の速度空間での正の勾配によるドリフト共鳴によって発生することが示された。

2つ目の課題は、電離圏から内部磁気圏へのイオン供給機構に関する、あらせ衛星と地上レーダー観測に基づいた研究である。今年度は、昨年度から行っている1996年から2015年にかけてのEISCATの長期観測データの統計解析結果の考察をさらに深め、低高度(≤ 350 km)のイオン上昇流は主に磁気嵐中の夜側と朝側に発生することが示された。また、この低高度イオン上昇流を引き起こすメカニズムは主に2つあり、そのうち摩擦加熱は、CME駆動磁気嵐時と北緯 75° 朝側以外でCIR磁気嵐時のイオン上昇流に寄与するのに対し、電子降り込みは主に朝側と夜側でのCIR磁気嵐中、および北緯 66° の夜側でのCME磁気嵐中のイオン上昇流に寄与していることが明らかとなった。

福井県三方五湖地域の遺跡から出土した土器付着物の年代決定
Determining the ages of deposits on pottery unearthed from archaeological sites
in Five Lakes of Mikata area, Japan

福井県年縞博物館 北川淳子・若狭三方縄文博物館 小島秀彰・名古屋大学 北川浩之

研究目的

本研究は、福井県三方五湖周辺の縄文時代遺跡の年代を放射性炭素年代測定で比定し、同一地域内の堆積物の環境復元の結果と年代対比を可能にするものである。近年、放射性炭素年代の較正曲線が精緻化し、高精度な年代に基づいた環境復元が可能となってきた。三方五湖地域では水月湖の年縞堆積物を中心に環境復元の研究が進んでいる。しかし、未だに多くの遺跡では型式学と層位学により年代が比定され、堆積物で明らかになった環境変化と遺跡から明らかにされた人々の活動状況の対比が十分に行われていない。三方五湖周辺の鳥浜貝塚においては、縄文時代草創期・早期から前期にかけての年代測定は多数実施されてきたが、その後の拠点遺跡となるユリ遺跡や北寺遺跡は、土器編年により時代が比定され、年代学的な曖昧さがのこされている。土器編年の手法を用いることで精度よく相対年代を知ることができるが、その年代は地域による違いがある可能性がある。三方五湖周辺での土器型式の年代を比定しておくことは、遺跡を中心とした環境への働きかけの時間軸を知ることにもつながる。そのためにも、多数の遺物の出土する鳥浜貝塚後の拠点遺跡の土器の年代を比定し、遺跡での活動時期を推定する。

材料と方法

三方五湖周辺の鳥浜貝塚以降の重要な縄文時代の拠点遺跡である北寺遺跡とユリ遺跡から出土し、若狭三方縄文博物館収蔵庫の保管資料を使用した。土器型式で縄文時代中期から晩期までと時期不明の縄文土器片を20点と弥生時代の土器片1点を選択した。その内、9点については土器の内面と外面から別々に年代測定試料を採取した。

試料は名古屋大学宇宙地球環境研究所において、土器片全体を蒸留水にひたして超音波洗浄をし、表面に二次的に付着した汚染物を除去した。その後、1N塩酸、約2.5%水酸化ナトリウム溶液、1N塩酸の順に化学的に洗浄（AAA処理）を行い、二次的に混入した可能性のある汚染物を除去した。その後、蒸留水で十分洗浄、乾燥した後、名古屋大学宇宙地球環境研究所の加速器分析装置で¹⁴C年代測定を行った。得られた放射性炭素年代測定の結果は、OxCal4.4 (Bronk Ramsey, 2009) を利用し、IntCal20 (Reimer et al., 2020) で暦年代に較正した。

結果

¹⁴C年代測定結果は表1に示す。

縄文土器の放射性炭素年代は約6000年前から約3000年前の結果が得られた。土器の内面から採取した試料の年代のほうが古く出る傾向が認められるが、例外的に外面のほうが年代の古い土器試料（CY R07）や、有意年代の違いがない土器試料（CKT13, CKT18）もあった。

考 察

当該地域は海に近く、海産物を煮炊きに利用していた可能性が考えられ、海洋リザーバー効果 (Yoneda et al. 2001) によって内面が古く出ると予期をしていたが、必ずしもそうでなかった。土器試料の年代や土器も内・外の違いを評価するためには、同じ層準から出土した種子などの遺物も併せて推定していく必要があると考えられる。

遺跡での活動時期であるが、両遺跡とも、縄文時代前期の終わり、約5800年前ごろ、鳥浜貝塚が土砂災害で利用されなくなった頃から利用されている可能性が高い。縄文時代中期の土器はほぼ中期相当の年代が得られたが、後期の土器では、中期相当の年代が得られたものが複数みられた。若狭地方の土器の年代については、さらに精査が必要である。

引用文献

Bronk Ramsey, C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, 51(1), 337–360.
Reimer PJ, Bard E, Bayliss A, Beck JW, Blackwell PG, Bronk Ramsey C, Buck CE, Cheng H, Edwards RL, Friedrich M, Grootes PM, Guilderson TP, Haflidason H, Hajdas I, Hatté C, Heaton TJ, Hoffmann DL, Hogg AG, Hughen

KA, Kaiser KF, Kromer B, Manning SW, Niu M, Reimer RW, Richards DA, Scott EM, Southon JR, Staff RA, Turney CSM, van der Plicht J (2013) IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0-50,000 years cal BP. Radiocarbon 55 (4), 1869-1887.

Yoneda, M., Hirota, M., Uchida, M., Uzawa, K., Tanaka, A, Shibata, Y., Morita, M. (2001) Marine radiocarbon reservoir effect in the western north Pacific observed in archaeological fauna. Radiocarbon 43 (2A),465-471.

表1 福井県若狭町北寺遺跡とユリ遺跡出土土器の放射性炭素年代測定結果

土器 試料	土器の 内外別	遺跡	土器型式	測定結果 ¹⁴ C BP	較正年代 cal BP	測定番号 NUTA2-
CYR16	外	ユリ	縄文中期前葉	4747±53	5576-5510 (79.1%), 5485-5479 (16.3%)	31061/31062
CYR16	内	ユリ	縄文中期前葉	5039±91	5986-5976 (0.7%), 5938-5595 (94.7%)	31083
CYR20	内	ユリ	縄文中期前葉	4939±67	5896-5804 (13.8%), 5798-5781(1.2%), 5770-5582 (79.8%), 5502-5492 (0.7%)	31094
CYR09	外	ユリ	縄文中期後葉	4344±67	5280-5169 (8.9%), 5136-5103 (2.0%), 5072-4823 (84.0%), 4747-4734 (0.6%)	31075
CYR07	外	ユリ	縄文後期初頭	4079±48	4816-4753 (16.5%), 4717-4666 (9.2%), 4657-4425 (69.8%)	31063/31064
CYR07	内	ユリ	縄文後期初頭	3979±47	4574-4292 (94.9%), 4267-4259 (0.5%)	31084/31085
CYR02	内	ユリ	縄文後期前葉	4313±66	5269-5188 (3.5%), 5124-5112 (0.4%), 5055-4800 (84.4%), 4760-4696 (5.4%), 4677-4647 (1.7%)	31093
CYR01	外	ユリ	縄文後期末葉	3460±79	3958-3954 (0.2%), 3921-3549 (91.7%), 3541- 3492 (3.5%)	31057
CYR29	外	ユリ	弥生中期	1897±70	1993-1695 (91.5%), 1665-1695 (3.9%)	31073
CYR32	外	ユリ	縄文晩期	2911±65	3324-3311 (0.3%), 3236-2868 (95.2%)	31059
CYR32	内	ユリ	縄文晩期	3522±103	4091-3559 (94.5%), 3521-3511 (0.7%), 3504-3496 (0.3%)	31081
CYR08	外	ユリ	不明(縄文)	3774±69	4405-4367 (3.7%), 4360-3976 (91.2%), 3942-3935 (0.5%)	31058
CYR08	内	ユリ	不明(縄文)	3847±66	4424-4083 (94.1%), 4033-4008 (1.4%)	31080
CYR15	外	ユリ	不明(縄文)	3957±76	4790-4765 (1.2%), 4620-4153 (94.2%)	31060
CYR15	内	ユリ	不明(縄文)	4195±70	4865-4526 (95.4%)	31082
CKT10	内	北寺	縄文中期前葉	5194±68	6185-6140 (7.5%), 6123-5860 (77.4%), 5828-5753 (10.6%)	31079
CKT05	外	北寺	縄文中期末葉	4094±68	4825-4426 (95.4%)	31068
CKT05	内	北寺	縄文中期末葉	4469±68	5309-4956 (87.6%), 4940-4879 (7.9%)	31090
CKT13	外	北寺	縄文中期末葉	4373±77	5286-5161 (17.7%), 5143-4834 (77.8%)	31069
CKT13	内	北寺	縄文中期末葉	4393±67	5284-5163 (19.5%), 5141-5097 (5.6%), 5090-4846 (70.3%)	31091
CKT27	外	北寺	縄文中期末葉	3580±87	4148-4117 (1.8%), 4099-3682 (91.5%), 3671- 3640 (2.2%)	31070
CKT03	外	北寺	縄文中期	4206±69	4871-4466 (95.4%)	31072
CKT23	内	北寺	縄文後期初頭	4205±47	4855-4612 (92.3%), 4604-4581 (3.2%)	31095/31096
CKT18	外	北寺	縄文後期前葉	3885±70	519-4475 (4.3%), 4448-4144 (88.2%), 4126-4094 (2.9%)	31067
CKT18	内	北寺	縄文後期前葉	3885±68	4517-4479 (3.8%), 4446-4146 (89.2%), 4123-4096 (2.5%)	31087
CKT28	内	北寺	縄文後期中葉	3835±95	4519-4472 (2.9%), 4449-3976 (92.3%), 3941-3936 (0.2%)	31086
CKT24	外	北寺	縄文後期中葉	3590±86	4150-4112 (2.5%), 4102-3686 (91.6%), 3666-3643 (1.4%)	31071
CKT24	内	北寺	縄文後期中葉	3745±66	4352-4331 (1.3%), 4298-3901 (94.2%)	31092
CKT14	外	北寺	縄文後期中葉	3690±66	4235-4198 (3.9%), 4185-3844 (91.6%)	31074
CKT21	外	北寺	縄文後期中葉	3650±72	4228-4204 (1.3%), 4158-3824 (90.9%), 3795-3768 (1.8%), 3750-3727 (1.3%)	31078

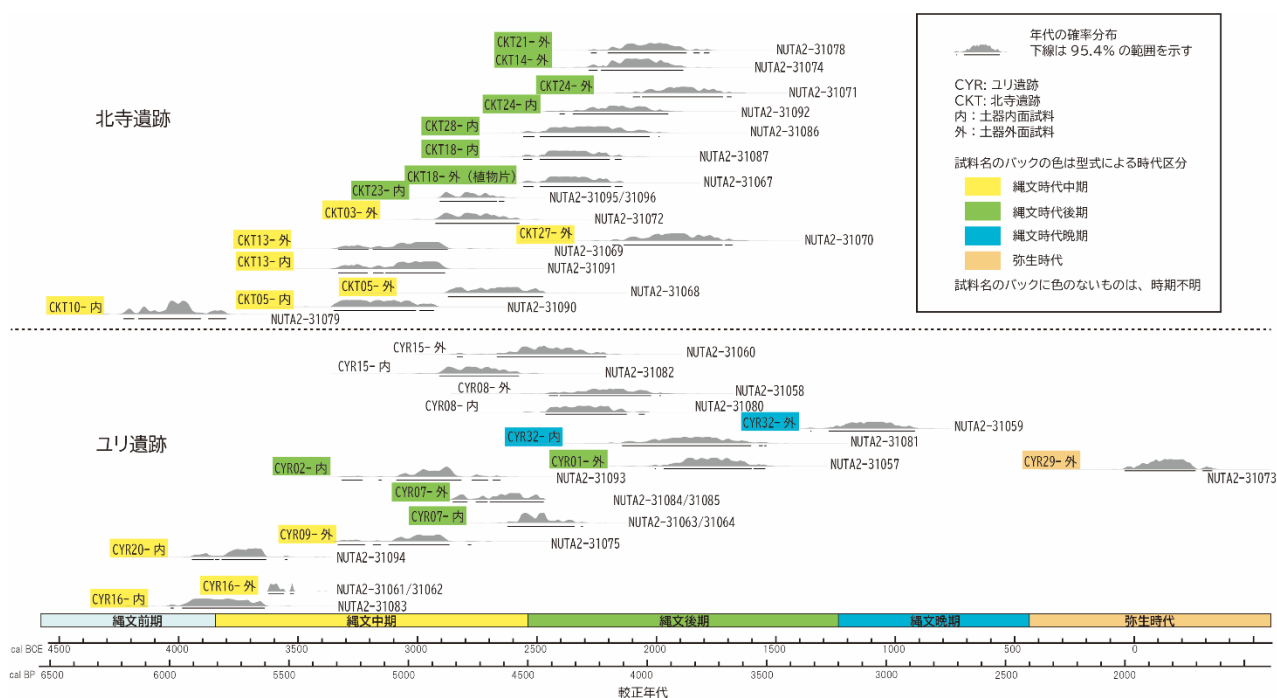


図1 福井県若狭町北寺遺跡とユリ遺跡出土土器の放射性炭素年代測定結果

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、東京大学理学系研究科

本研究では、MMS衛星のデータ解析を通じて、衝撃波近傍における高周波ホイッスラー波動の統計的性質を調べた。その結果、衝撃波遷移層におけるホイッスラー波動の強度は、Alfvenマッハ数の増加とともに増大する傾向が見られた。特に、de Hoffmann-Teller系における Alfvenマッハ数との相関が顕著であった。このことは、衝撃波における波動の励起が、衝撃波の強さや伝播速度に大きく依存していることを示唆している。

また、本研究では、確率的衝撃波ドリフト加速 (SSDA) 理論との比較を行った。その結果、de Hoffmann-Teller系での Alfvenマッハ数が30-60を超えると、ホイッスラー波動の強度がSSDAによる電子加速に必要な閾値を上回ることが明らかになった。この結果は、地球のバウショックにおける高エネルギー電子のスペクトル指数に関する先行研究の結果とよく一致しており、SSDAが電子加速の主要なメカニズムであることを支持するものである。

さらに、本研究ではホイッスラー波動の励起機構についても議論を行った。その結果、高ベータのプラズマ環境がホイッスラー波の励起に適している可能性が示唆された。これは、銀河団衝撃波や太陽フレアの終端衝撃波といった天体物理学的環境における電子加速を考える上で重要な示唆を与えるものである。高ベータプラズマ中では、温度異方性に起因する自由エネルギーが大きくなるため、ホイッスラー波の励起が起りやすくなると考えられる。ただし、この点についてはさらなる理論的・観測的な研究が必要である。

以上の成果から、SSDAは地球のバウショックにおける電子加速の主要なメカニズムであり、高マッハ数の天体衝撃波における電子の注入過程としても重要な役割を果たしていると考えられる。ただし、SSDAの開始には高周波ホイッスラー波動が重要であるが、より高エネルギーの電子の散乱・加速には低周波の揺動が必要となる。また、熱的なエネルギー以下の電子の加熱には静電的な波動が支配的である可能性がある。したがって、衝撃波における電子加速の包括的な理解のためには、静電的・電磁的な波動の両方について、幅広い周波数帯での活動を調べる必要がある不可欠である。

今後は、本研究で得られた知見を基に、磁気圏内の様々な領域で見られる波動現象との比較検討を進めていく予定である。特に、磁気シースや磁気圏界面における波動の励起・伝播過程や、それに伴う粒子の散乱・加熱・加速過程について、詳細な解析を行いたい。また、本研究の成果は、数値シミュレーションによる理論モデルの構築にも活用していく予定である。シミュレーションでは、衝撃波や磁気シースのような非一様な環境における波動の励起・伝播過程を再現し、観測との比較を通じてモデルの検証を行う。これらの研究を通じて、非線形プラズマ波動に伴う粒子加熱・加速の物理機構の理解を深めていきたい。

査読付き論文

- [1] Lindberg, M., Vaivads, A., Amano, T., Raptis, S., & Joshi, S. (2024). Electron Acceleration at Earth's Bow Shock Due to Stochastic Shock Drift Acceleration. *Geophys. Res. Lett.*, 51(5), e2023GL106612. <https://doi.org/10.1029/2023GL106612>

国際会議

- [2] Amano, T. et al., Mach number dependence on the shock dynamics and non-thermal electron acceleration efficiency, 65th Annual Meeting of the APS-DPP, Denver, USA, Nov. 2023
- [3] Amano, T. et al., Statistical Analysis of Whistler Wave Intensity at Earth's Bow Shock, AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, Dec. 2023

GSE座標系における宇宙線強度分布解析によるIMF磁気中性面のトラン
ジェントな構造変動の推定

Estimating transient structural fluctuations of the IMF
magnetic Neutral Sheet by cosmic ray intensity distribution analysis in the GSE
coordinate system

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、[Phys. Rev. D 98, 022004 (2018)] で公表してきました。また、この解析の過程で、IMFセクターの極性が変化する境界付近で太陽風速が減少することが明らかになり、これを学会講演等で公表してきました。この事実は、宇宙線強度と太陽風速の関係をより広い視点で解析すると、IMF極性を分ける磁気中性面（ニュートラルシート）の空間構造を観測的に示すことが可能であることを示唆している。

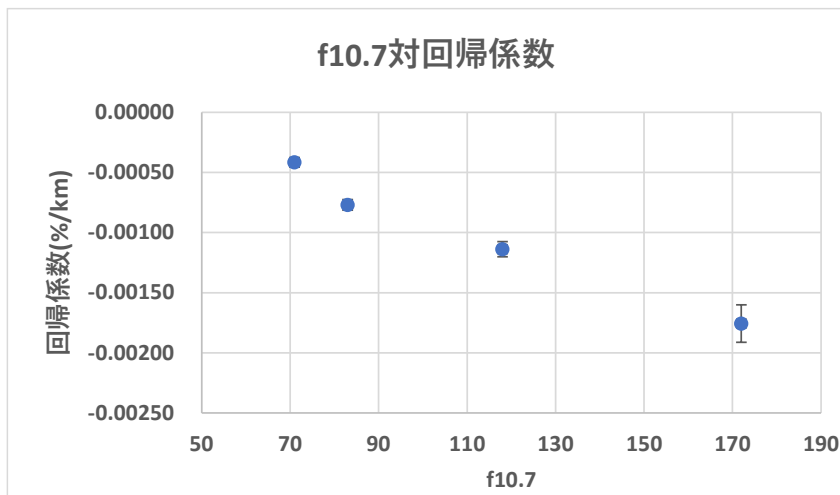
結果

IMF磁気中性面は、太陽面におけるHCS（カレントシート）が太陽風によって惑星間空間に引き出されることで形成されていると考えられます。このため、IMF磁気中性面の波状構造は、HCSの太陽面上での傾き角（チルトアングル）によって明確になると考えられます。この傾き角は太陽活動に関連した変化を示しています。そこで、宇宙線強度と太陽風速の負の相関関係について、太陽活動をf10.7の値により4つの期間に分けて負相関とf10.7の関連度を調査し、[PHYSICAL REVIEW D 109, 063011 (2024)] で論文として公表した。

まとめ

今後は、負相関関係とHCSの傾き角との関連付けを試みると同時に、今後より高エネルギーの宇宙線観測による宇宙線を太陽が遮蔽する太陽の影等の結果と比較してIMF磁気中性面の空間的形狀を明らかにしたい。

以下に、4期間に分けたf10.7対太陽風速・宇宙線強度回帰係数のグラフを示します。



(別紙様式04-2)

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

低周波(300MHz帯)での超長基線電波干渉計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研究目的とする。大口径の大型電波干渉計**Square Kilometre Array (SKA)**の建設が開始され、2020年代後半より低周波数帯の電波観測を通じた天文学、惑星科学研究の大きな進展が国際的に見込まれる。本研究では、SKAと日本国内を含む他局との低周波超長基線干渉計(VLBI)観測を通して、系外惑星系の恒星、惑星の検出を視野に入れた研究開発を進める上で課題となる地球電離圏での群遅延の定量評価と補正方法の開発を行う。

名古屋大学の多地点IPS太陽風観測システムと東北大学の飯舘惑星電波望遠鏡(IPRT)の間でVLBI実験を実施するために、2023年度は、名古屋大学の多地点IPS太陽風観測システムの豊川局にIPRTと同スペックのVLBI受信機の設置を2024/1/10-11に実施した。図1に設置した受信システムの写真を図1に、受信信号のスペクトルを図2に示す。受信帯域内にRFIはなく、受信状態が良好であることを確認した

観測は、設置したPCを東北大からリモート制御することにより実施するが、PCと豊川局のルータ間の通信に不具合がある。2024年度にこの問題を解消した上でIPRTとのVLBI実験を行い、相関フリンジの取得を目指す。観測対象はIPS観測で使用されているコンパクトな電波源0531+194を想定している。2つの電波望遠鏡で観測された信号の相関フリンジから電離圏由来の時間遅延を測定し、GNSS-TECのデータを活用して検証する予定である。



図1:設置したVLBI用ベースバンド受信機(左上赤枠)とPC(右側赤枠)

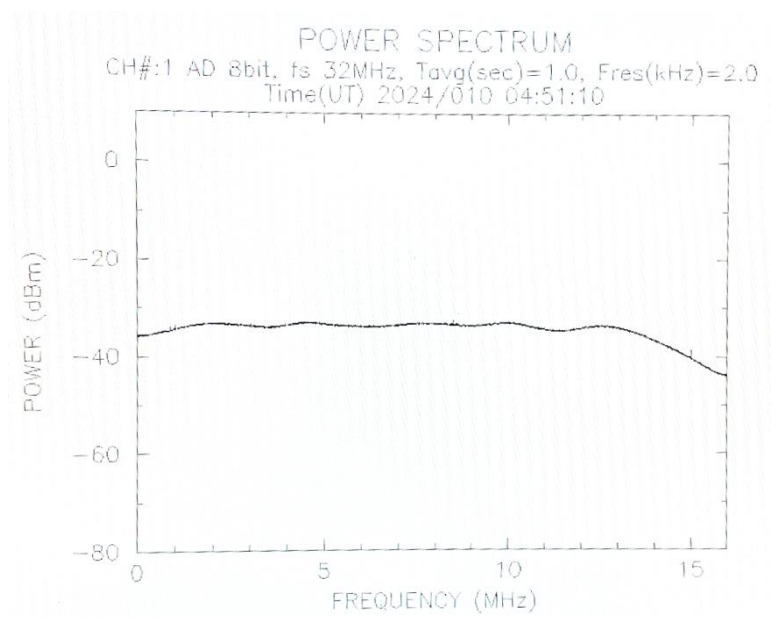


図2: 受信信号のスペクトル

成果発表

- Kita, H., , H. Misawa, F. Tsuchiya, T. Kondo, K. Takefuji, Low-frequency VLBI observation with Iitate and Zao observatory, URSI GASS 2023, Sapporo, 2023/8/21
- 北元, 三澤浩昭, 土屋史紀, 近藤哲朗, 岳藤一宏, 飯舘・蔵王観測所を用いた低周波VLBI実験, 惑星圏研究会2024, 仙台, 2024/2/20
- 北元, 三澤浩昭, 土屋史紀, 近藤哲朗, 岳藤一宏, 飯舘・蔵王観測所を用いた低周波VLBI実験, 地球電磁気・地球惑星圏学会2023年秋季年会, 2023/9/25
- 岳藤一宏, 日本における低周波VLBIの進捗について, 2023年度 VLBI懇談会シンポジウム, 新潟, 2023/12/15
- 岳藤一宏, 徳丸宗利, 三澤浩昭, 土屋史紀, 北元, 日本国内における327MHz 帯VLBI について, 日本天文学会2023年秋季年会, 名古屋, 2023/9/20
- 土屋史紀, 三澤浩昭, 北元, 安田陸人, 桑山陽次, 木村智樹, 藤井友香, 小林秀行, GMRTによる連星矮星2MJ0746+20観測計画, 2023年度 VLBI懇談会シンポジウム, 新潟, 2023/12/15
- 小林秀行, P-band VLBIの提案, 2023年度 VLBI懇談会シンポジウム, 新潟, 2023/12/15
- 桑山陽次, 三澤浩昭, 土屋史紀, 北元, 氏原秀樹, メートル波太陽・惑星電波観測用広帯域フィードシステムの開発, 2023年度 VLBI懇談会シンポジウム, 新潟, 2023/12/15
- 桑山陽次, 三澤浩昭, 土屋史紀, 北元, 氏原秀樹, 太陽・惑星電波観測用広帯域フィードシステムの開発, 惑星圏研究会2024, 仙台, 2024/2/20
- 桑山陽次, 三澤浩昭, 土屋史紀, 北元, 氏原秀樹, メートル波太陽・惑星電波観測用広帯域フィードシステムの開発, 日本天文学会2023年秋季年会, 名古屋, 2023/9/20
- 桑山陽次, 三澤浩昭, 土屋史紀, 北元, 氏原秀樹, メートル波太陽・惑星電波観測用広帯域フィードシステムの開発-II, 日本天文学会2024年春季年会, 駒場 (オンライン), 2024/3/15
- 三澤浩昭, 土屋史紀, 熊本篤志, 北元 小林秀行, 寺澤敏夫, 岳藤一宏, 木坂将大, 低周波数電波観測による太陽～恒星・惑星科学, 日本天文学会2023年秋季年会, 名古屋, 2023/9/20
- 三澤浩昭, 土屋史紀, 北元, 桑山陽次, 小林秀行, 低周波(系外)惑星電波観測に向けた準備状況, 惑星圏研究会2024, 仙台, 2024/2/20

(別紙様式04-2)

ドローンと小型センサを利用した 大気微量気体とエアロゾルの3次元計測

Three Dimensional Measurements of Atmospheric Trace Gas and Aerosol
using UAV and Compact Sensors

眞部 広紀、佐世保工業高等専門学校・基幹教育科

【本研究の目的と方法】前年度に続き、ドローン（図1左上、共同利用装置）による写真測量、小型低重量 PM_{2.5} 測定装置の性能検証を行った。さらに、IR カメラを搭載したドローンによる近赤外線撮影を行った。

【1：ドローンによる地形計測実験】

本研究では、複数機ドローンによる空中 PM_{2.5} 観測の基盤データとして、地形効果の詳細な観測・検証を目指す。第一段階として、自律飛行中に一定の対地高度をドローンに維持させるため、当該地形の3次元標高データを取得する。2019年では山口県「秋吉台」の南側エリアでドローン写真測量実験を行い、3次元モデルを作成したが、2023年度は「秋吉台」の北側エリアでドローン写真測量を行った（図1）。「秋吉台」の山焼きから1か月後（地表面が草木によって覆われていない時期）で撮影を行った。



図1. 「秋吉台」北部のドローン写真測量

上左：使用ドローン、 上右：北側エリア撮影のための東 HP 下：北側エリア撮影のための北 HP

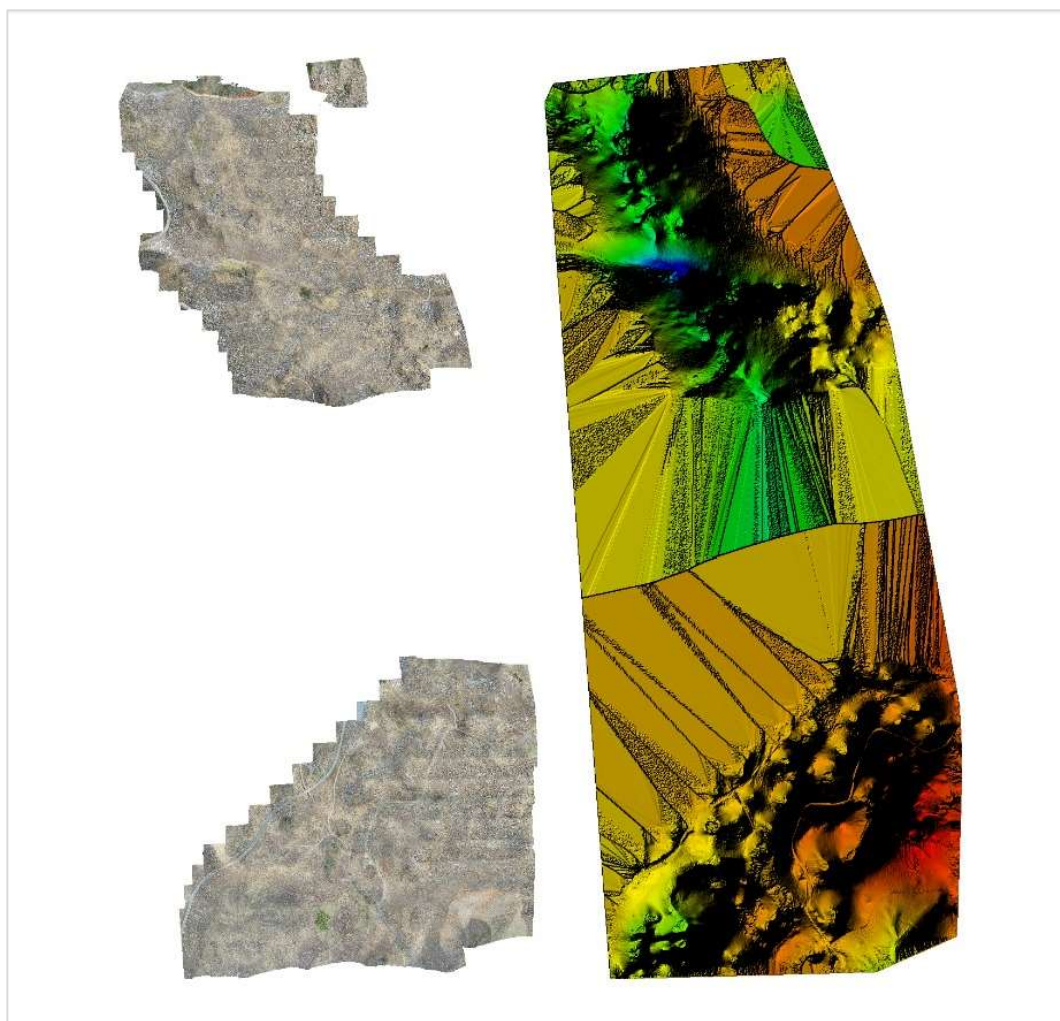


図 2. 「秋吉台」北部の 3 次元モデル（左側：スクリーンショット、 右側：標高段彩表示）

【2：PM_{2.5} 観測実験】ドローン搭載型測定システムの筐体はペットボトルを使用していたが、2023 年度はセンサを露出させた状態（籠の中に回路を置く）で使用した。



図 3. 携行型 PM_{2.5} 観測装置

【3：ドローン IR カメラ撮影】通常の光学カメラ画像と近赤外線カメラ画像を同時撮影できる機種のだローンを使用した（図 4）。)



図 4. IR カメラ搭載ドローン（Robotix Japan 社製）

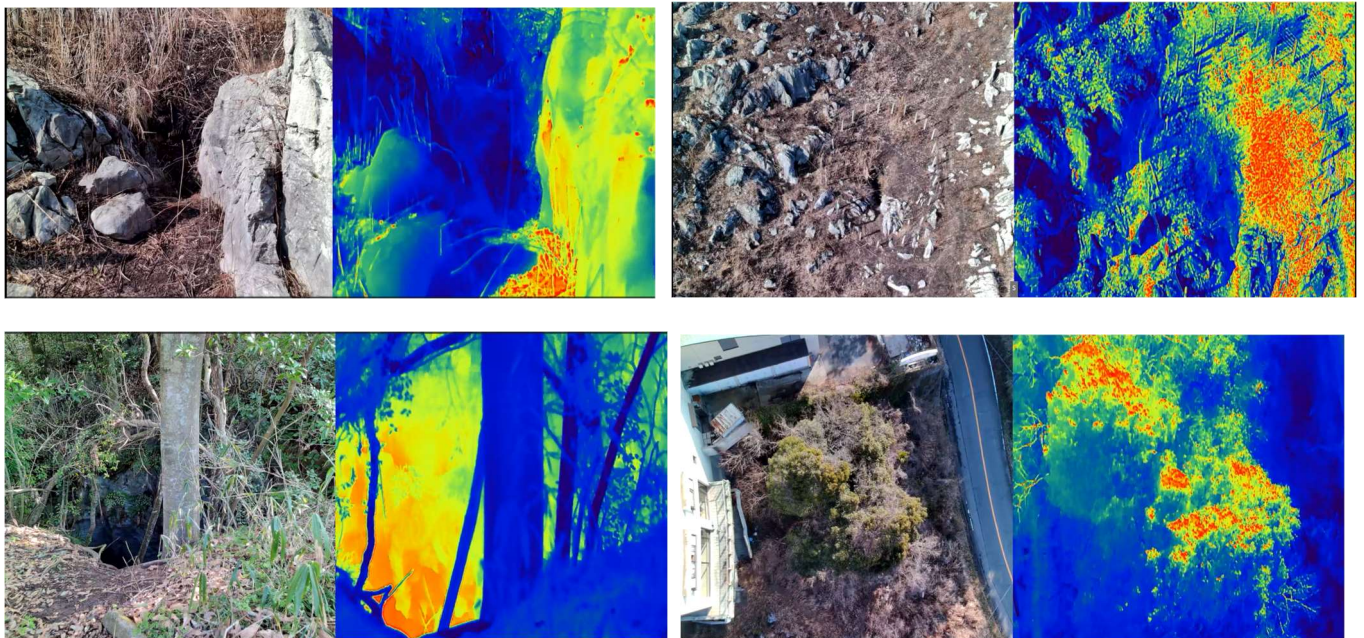


図 5. 可視光（通常のカメラ）撮影画像と近赤外線（IR カメラ）撮影画像

上：秋吉台「恵藤穴」 上左（手持ちカメラ撮影）、上右（ドローン搭載カメラ撮影）
下：秋吉台「無名穴」 上左（手持ちカメラ撮影）、上右（ドローン搭載カメラ撮影）

【まとめと課題】

- [1 の実験]撮影に使用した小型ドローンの性能限界と法規による制約（目視操縦範囲に限定）により、予定した北エリア全域を撮影・測量することができなかった。
→今後、共同研究により目視外飛行可能なドローンの開発を行い、北エリア全域の測量を行う。
- [2 の実験]回路の不具合により精度を上げたときの観測は出来なかった。
- [3 の実験]ドローン搭載 IR カメラの撮影が有効な調査手法であることが確認できた。
→今後、共同研究によりマルチスペクトルカメラ搭載ドローンを開発して、マルチガスのイメージ観測を行う。[2 の実験]の装置は比較対象用として使用する。

【参考文献（URL）】

- 1) 眞部広紀, 岡本渉, 久間英樹, 堀井樹, 堀江潔
火星の縦孔への UAV 接近飛行を模擬する UZUME 実験サイトの検討,
佐世保工業高等専門学校研究報告第 60 号 pp52-59 (2024 年 01 月)
- 2) 眞部広紀, 堀井樹, 兵藤悠二, 岡本渉, 松広航, NuNuWin, 根本雅樹, 春山純一
UZUME 実験サイト群における溶岩洞窟,
佐世保工業高等専門学校研究報告第 60 号 pp60-70 (2024 年 01 月)
- 3) 眞部広紀, 堀井樹, 岡本渉, 松広航, NuNuWin, 根本雅樹, 春山純一
UZUME 実験サイト群から構成された縦孔-地下空洞の多段階模擬計測探査プログラム,
佐世保工業高等専門学校研究報告第 60 号 pp71-77 (2024 年 01 月)
- 4) 眞部広紀, 堀井樹, 岡本渉, 松広航, NuNuWin, 根本雅樹, 春山純一
富士宮の溶岩洞窟「万野風穴」における UZUME 計測探査の模擬実験,
佐世保工業高等専門学校研究報告第 60 号 pp78-82 (2024 年 01 月)

(別紙様式04-2)

四国中山間地域から切り拓く広帯域低周波電波望遠鏡:木星電波観測
Wideband low-frequency radio telescope in Shikoku: Jupiter radio observations

今井雅文、新居浜工業高等専門学校・電気情報工学科

1. 研究目的

木星からのデカメートル波帯における自然電波放射である木星電波は、6億km離れた地球でも受信されるほど強力で、その放射機構の解明は惑星磁気圏で発生するエネルギーの物理過程の核心を理解する上で極めて重要な情報である。木星電波は米国・LWAやヨーロッパ・LOFARのような広帯域低周波電波望遠鏡でプロポーザル形式での観測が行われている。一方、日本のようなアジア地域には狭帯域低周波電波望遠鏡でしか木星電波観測は行われず、広帯域低周波電波望遠鏡は存在していない。本研究では、四国中山間地域に新たな広帯域低周波電波望遠鏡を立ち上げ、地上多地点での電波干渉計を用いて、木星電波のビーム幅を測定し、これらの新たな情報をもとに木星電波放射機構解明に取り組む。また、2021年11月にJAXAのイプシロンロケット5号機で打ち上げられ、現在地球を周回している国立高専初の木星電波観測技術実証衛星KOSEN-1(2Uキューブサット)との連携観測も試みる。令和5年度は広帯域低周波電波望遠鏡の電波環境と設置を行った。

2. 研究方法

図1のような四国中山間地域である高知県吾川郡仁淀川町に新たな広帯域低周波電波望遠鏡を設置するため、電波受信領域の可視化を行った。具体的には、KOSEN-1衛星の430MHzのCW電波を用いて、全天球マップを作成する⁽¹⁾。また、令和3年度から蝶ネクタイ型アンテナ3台を設置しているが、令和5年度は8台まで拡張して電波干渉計を建設する。

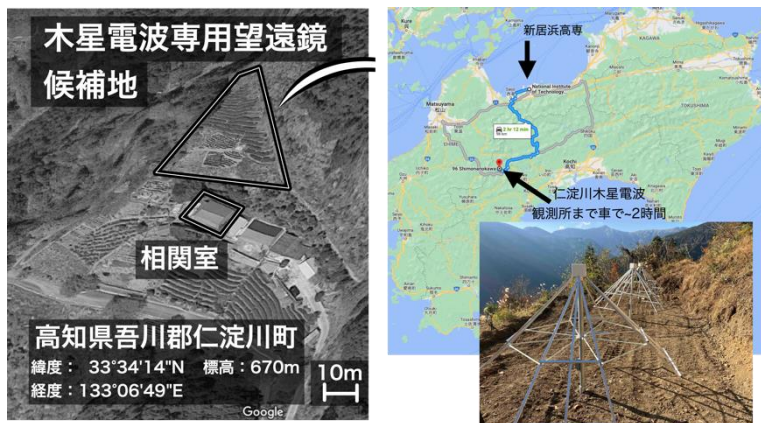


図1 高知県吾川郡仁淀川町に設置する観測サイト

3. 研究結果と考察

KOSEN-1衛星から常に430MHz帯のCW電波が送信されており、2022年12月から2023年8月まで観測サイトに設置したQFHアンテナで受信した結果を図2に示す。上下が北南、右左が東西に対応している。また、紫色の領域が電波を受信した時のKOSEN-1衛星の位置であり、オレンジ色の点はCW電波を受信できた時のKOSEN-1衛星の位置をそれぞれ示している。図2より、観測サイトは西側に電波的に開けた観測を行うことができることがわかった。また、図3のように地元の協力者の全面協力のもと、蝶ネクタイ型アンテナ8台の設置やケーブルの配線は完了している。

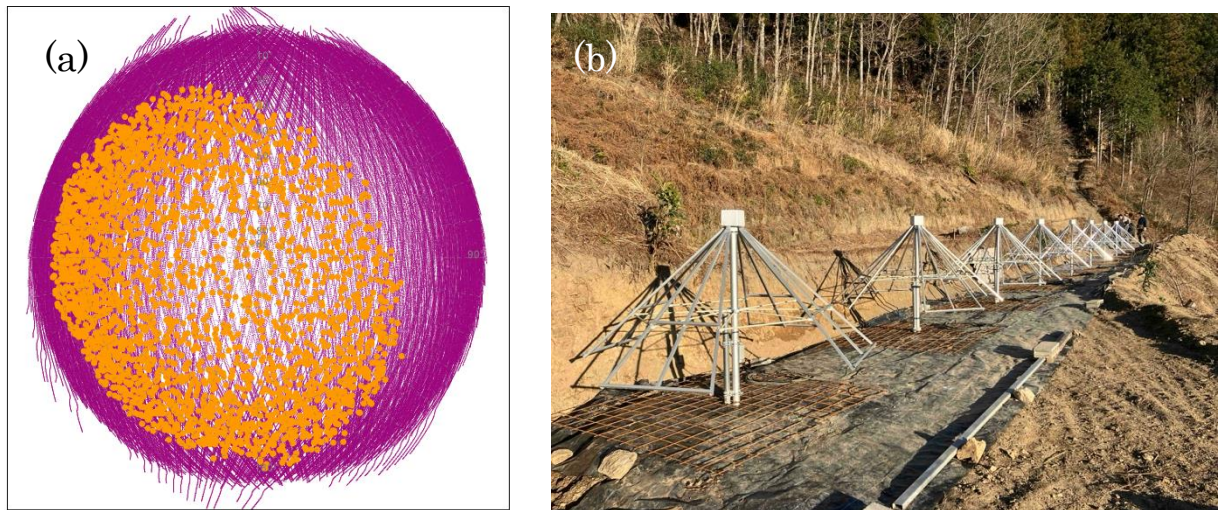


図2 (a) 高知県吾川郡仁淀川町から見た430MHz帯の全天球マップと (b) 蝶ネクタイ型アンテナ8台を設置した様子

4. まとめ

本研究では、KOSEN-1衛星の430MHz帯CW波を受信することで、全方向の電波環境マップも作成し、観測可能が西側に開けていることを特定することができた。また、米国・LWAで使用されている蝶ネクタイ型アンテナを四国中山間地域に設置し、新たな広帯域低周波電波望遠鏡を立ち上げた。蝶ネクタイ型アンテナ1台では広帯域周波数(5-90MHz)の範囲で銀河背景雑音から5-14dBの感度があり、偏波成分も分離可能である。令和5年度は8台の蝶ネクタイ型アンテナを設置することができた。また、名古屋大学で開発された汎用フェーズドアレイ装置を用いて、木星電波を含む自然電波の観測を予定していたが、研究開発に時間が要したため、今年度の実施は難しくなった。その代わりに、現在、8チャンネルの電波合成器を2台用いてアナログビームを生成して、低周波電波干渉計の初期観測を開始している。

引用文献

- (1) Imai, M., K. Imai, N. Hirakoso, M. Nishio, T. Takada, K. Kitamura, J. Nakaya, Y. Murakami, M. Tokumitsu, K. Fukai, and KOSEN-1 team (2023), One-Year Operation of Technology Demonstration CubeSat KOSEN-1 (Oral), Join Symposium: 34th ISTS & 12th NSAT, Kurume, Japan, June 3-9.

成果発表
なし

空撮及び林内撮影画像解析による森林空間3次元モニタリング

3-D monitoring of forest space by aerial photography and analysis of images taken in the forest

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

近年、UAV（無人航空機、通称ドローン）とSfM（Structure from Motion：複数枚の画像から対象の3次元形状を復元する技術）を併用した測量技術（以下UAV-SfM測量とする）を利用した森林計測技術の開発が進められてきた。しかし、森林を構成する樹木は、人工林においてさえ幹が完全な鉛直方向に成立しているとは限らず、根元位置と上空から視認できる梢端位置が一致しない場合も多い。そのため、森林内と上空からの3次元計測データの連結を考えた場合、両者を少なくとも個体レベルで結合する技術が不可欠である。以上のことから、本研究では個体レベルでの空撮及び林内計測データの連結技術について検討を行った。

研究方法

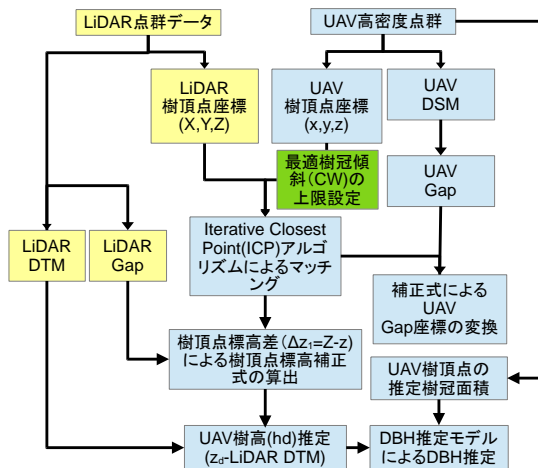


図1. 開発した UAV 樹頂点補正手法

三重県内の6地区に設置したプロットを対象とした。プロットを含む森林において2019年度～2023年度にかけてUAV（Marvic2 Pro、DJI社製）により得られた空撮画像を用いた。空撮画像から、SfMソフトウェアMetashape Professional ver. 1.8（Agisoft社製）により、空撮範囲内の3次元点群を生成し、点群解析システムにより3次元点群から樹頂点（梢端位置）を抽出した。次に、同地域の航空レーザ測量成果を利用し、新たに開発した樹頂点位置補正手法（図1）によりUAV点群から抽出した樹頂点の位置補正を行い、現地調査結果との比較を行った。なお、3次元点群の生成においては、各撮影時の画像からSfM処理により点群を生成する方法（従来法）に加え、近年複数時期の空撮画像をまとめてアラインメントを行い相対位置統合を行うco-alignment手法（CA手法）とCA手法により立木検出率(%)及び樹高・DBHの平均誤差(ME)・RMSEに差が生じるかについて検討を行った。

結果

表1に示したように、立木検出率(%)の分散及び樹高の各項目については、CA処理の有無で有意な差が認められたが($p < 0.05$)、DBHに関しては何れの項目も有意な差は認められなかった($p > 0.05$)。DBHはDBH推定式による推定値であるため、推定式自体の誤差も含まれるが、樹高については高密度点群から算出された計測値であるため、CA処理は一定の有効性を持つものと考えられた。

表1. 従来法（CA処理無）とCA処理による立木検出率(%)及び樹高・DBHのME・RMSEの比較結果

CA処理	立木検出率(%)		樹高(m)				DBH(cm)				N
			ME		RMSE		ME		RMSE		
	平均	分散	平均	分散	平均	分散	平均	分散	平均	分散	
無	96.68099	28.26211	0.49830	1.18285	1.29536	0.60515	1.17263	6.17712	4.60932	2.39839	733
有	96.89942	23.55427	0.34461	1.01175	1.21669	0.46559	1.33078	5.82049	4.54477	2.40590	733
P値	n.s.	p < 0.05	p < 0.05	p < 0.05	p < 0.01	p < 0.01	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	

成果発表（学会発表）

山本一清. 2023. GIS、リモセン技術と森林計画学の振り返りと今後の方向性 森林GISフォーラム30

周年記念大会 静岡県男女共同参画センター「あざれあ」 2023/10/10

大槻峻介・山本一清. 2024. 植栽地時系列比較のためのUAV 空撮画像の相対的位置統合 第135回日本森林学会大会 東京農業大学 2024/3/8

成果発表（論文：査読有）

大槻峻介, 山本一清. 2024. 深層学習を用いたUAV空撮画像からの植栽木自動確認手法の開発—撮影時期ごとの検出精度の検討—. 日本森林学会誌106(2). 印刷中

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】

地磁気に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。地磁気脈動の空間構造を理解することは、放射線帯電子の加速領域、高周波波動の励起領域などの理解につながることから、重要な研究課題であると言える。地磁気脈動の研究においては、人工衛星によって観測された電場・磁場データを用い、地磁気脈動のモード決定するという方法がある。しかし、衛星観測は一点観測であることから衛星観測のみを用いて、地磁気脈動の空間構造を特定することは難しい。一方、SuperDARNレーダーは電離圏で引き起こされた地磁気脈動を、二次元的に捉えることができるという利点があるため、地磁気脈動の空間構造を理解する上で重要な観測であると言える。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】

今年度は2022年9月から12月にかけて実施したあらせ-SuperDARNのキャンペーン観測期間を中心にあらせのデータ解析を実施した。あらせ衛星およびSuperDARNの観測データは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が提供しているCDFファイルを用い、解析にはサイエンスセンターが提供しているツールを用いた。また解析は研究協力者と分担して行い、研究代表者は主に衛星のデータの解析を担当した。

【研究結果】

北米SuperDARNが夕方側に位置しているときに、電離圏エコーに見られるRange-Timeダイアグラム(RTダイアグラム)に特徴的な縞模様が見られるイベントについて解析を行った。SuperDARNのRTダイアグラムに縞模様は、地磁気脈動によって作られる電離圏の電場の変化を反映していることが知られている[e.g., Ponomarenko et al., 2003]。Footprintが北米SuperDARNに位置するあらせ衛星の電場・磁場観測から、内部磁気圏にはtransverseな地磁気脈動が発生していることがわかった。またあらせ衛星のfootprintに位置する地上磁場の特定の緯度の地磁気ステーションでは、あらせ衛星で観測された地磁気脈動が観測されていた。あらせ衛星および、地上で観測された地磁気脈動は高い相関を示していた。SuperDARNの解析によって、この地磁気脈動は東向きに伝播していること、この地磁気脈動の経度方向の波数は10程度と小さいことがわかった。

【考察】

小さな波数を持つ地磁気脈動は、主に磁気圏外に駆動源があり、太陽風の動圧変化[Eriksson et al., 2006]や高速太陽風により引き起こされるケルビンヘルムホルツ不安定性[Rae et al., 2005]などが候補として挙げられる。あらせ衛星に近い経度に位置し太陽風にいるMMS衛星の観測を確認したところ、イベント時に太陽風動圧の変化が観測されていた。よって今回観測した地磁気脈動は太陽風動圧の変化によって引き起こされる可能性がある。

【今後の展望】

今回の研究で示したように、SuperDARNは電離圏の広範囲をカバーしており、地磁気脈動の伝播方向や波数などの波動の性質を特定する上で大変有効である。あらせ-SuperDARNの共役観測は2023年も実施している。2023年は2022年に比べ地磁気活動度がより高く、今回研究した地磁気脈動とは異なる性質を持つ地磁気脈動を観測している可能性がある。今回の解析を踏まえ、さらに別の地磁気イベントを解析する予定である。

【参考文献】

Ponomarenko, P. V., Menk, F. W., and Waters, C. L., (2003) Visualization of ULF waves in

SuperDARN data, *Geophys. Res. Lett.*, 30,
Rae, I. J., Donovan, E. F., Mann, I. R., Fenrich F. R., Watt C. E. J., Milling D. K., et
al. (2005) Evaluation and Characteristics of Global Pc5 ULF Waves during a High Solar Wind
Speed Interval, *J. Geophys Res.*, 110.
Eriksson, P. T. I., Blomberg, L. G., Shaefer, S., and Glassmeier, K. -H., (2006) On the
excitation of ULF waves by solar wind pressure enhancements, *Ann. Geophys.*, 24., 3161-3172.

(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准教授らは、これまで台風のような強風・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、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し、渦相関法によって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て実施した南極観測船「しらせ」の第64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CO₂/H₂O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、CO₂とH₂O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甲板の中央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26cm・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甲板中央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64次南極地域観測の航海期間中における、大気乱流によって生じる気温、水蒸気とCO₂の密度、1~3 μ mの粒径区分における粒子数密度の変動の観測例を示す。気温変動は最大0.6°C程度の振幅、水蒸気密度は最大0.5g/m³程度の振幅で気温変動と正の相関がみられた。CO₂密度は最大0.02mmol/m³程度の振幅で気温や水蒸気密度とは負の相関がみられた。これらから顕熱と潜熱は海面から大気へ放出、CO₂は大気から海面へ吸収されていることが分かる。また粒子数変動は最大60個程度の振幅、気温や水蒸気密度とは正の相関がみられ、粒子が海面から大気へ放出されている様子が観測された。粒子数濃度の絶対値と変動ともに沿岸域における観測値よりも小さいが、他の物理量と相似変動がみられた。また海塩粒子が卓越した沿岸域同様に1~3 μ mの粒径区分の乱流変動がみられ、本観測においても放出された海塩粒子を捉えているものと思われる。

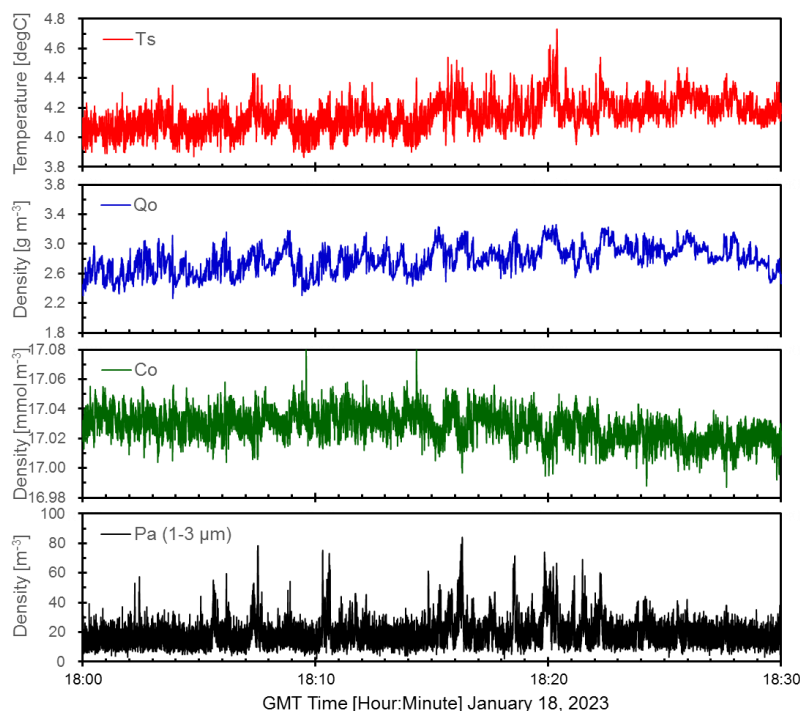


図2 大気乱流による気温 (Ts) ・水蒸気 (Qo) とCO₂ (Co) の密度
・1~3 μ mの粒径区分における粒子数密度 (Pa) の乱流変動の観測例

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た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実施した。航行する船舶上での観測では、これまでにオープンパス型CO₂/H₂Oガス分析計で計測されるCO₂とH₂O密度の計測値が船舶動揺の影響を受けることで、算出されるフラックス値に誤差を生じさせることが分かっているが、波しぶき計による粒子数密度の計測値は生の乱流変動値からみられていないことも確認できた。また研究代表者は来年度の第64次南極地域観測に夏隊員としてしらせに乗船し観測を実施する予定である。

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, 2024 (revised)
- 相木秀則, 近藤文義, 民田晴也: 産業用ミリ波レーダーと光学式粒径別計数装置を用いた海面砕波観測システムの開発, Japan Geoscience Union Meeting 2023, MIS12-P05, 幕張 (オンライン), 2023年 5月

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、国立極地研究所・共同研究推進系
才田聡子、北九州工業高等専門学校・生産デザイン工学科

【研究目的】

SI (Sudden Impulse) は太陽風動圧の急増現象で、地上では磁場強度の急増として観測される。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VLOS (視線方向速度)のうち ground/sea backscattered signals (以下 **GSBS** と記す)のVLOS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VLOS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-VLOS 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年度修了)・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 VLOS の強い波動現象が開始し ~30 分継続した。その VLOS 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、VLOS 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 VLOS 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である。

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 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おり、2022 年度報告書にもそのように記した。そして、今年度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 Lomb-Scargle 法はオーバースペックである事、また Lomb-Scargle 法で振幅と位相の 2 つを計算する IDL procedure は存在せず、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、他の方法を探し、Discrete-time Fourier transform という方法を知った。そこで、その IDL でのプログラミングを行い、テストしたところ、興味深い結果が得られたが、プログラム中の bug が残っている可能性も発見され、現在それを調査中である。

【引用文献】

Ponomarenko, Menk, Waters, and Sciffer, Ann. Geophys., p1271, 2005.
Southwood and Kivelson, JGR, p2301, 1990.

【成果発表】

Hideaki Kawano, Akira Sessai Yukimatu, Nozomu Nishitani, Yoshimasa Tanaka, Satoko Saita, Tomoaki Hori, Improving the resolution of the FLR frequency in SuperDARN VLOS to improve the magnetospheric density estimation, Japan Geoscience Union Meeting 2023, online 参加, 2023.05.21-05.26
Hideaki Kawano, Akira Sessai Yukimatu, Nozomu Nishitani, Yoshimasa Tanaka, Satoko Saita, Tomoaki Hori, Methods to increase the precision of the frequency of FLR in SuperDARN VLOS and the magnetospheric density, 地球電磁気・地球惑星圏学会 第 154 回 総会・講演会, 仙台, 2023.09.23-09.27
Hideaki Kawano, Akira Sessai Yukimatu, Nozomu Nishitani, Yoshimasa Tanaka, Satoko Saita, Tomoaki Hori, Magnetospheric-density estimation from SuperDARN VLOS data to identify magnetospheric regions, by using FLR events in ionospheric or ground/sea backscatters, The 14th Symposium on Polar Science, 立川, 2023.11.14-17

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。

2. 方法

福岡都市部における凝結核（超微粒子）の動態を明らかにするため、2023年6月29日～11月15日まで福岡大学18号館における連続観測、および、11月3日に福岡市生の松原において凝結核計数装置搭載マルチコプタ（DJI社製Inspire 2）による、高度120mまでの鉛直分布観測を行った。また、久住高原において野焼きが行われた2024年3月3, 9, 10日に、久住グライダー滑空場（大分県竹田市白丹）にて、超微粒子粒径分布計測装置(SMPS)を小型ロガロ翼無人航空機（カイトプレーン）および、中型マルチコプタ（ツバサフロンティア製）に搭載し、実証観測を行った。

3. 観測結果と考察

1) 福岡における凝結核数濃度時空間変動

Figure 1に、生の松原で観測された11月3日9～16時、140mまでの凝結核の時空間変動を示す。10時20分の観測において高度60～130mに高濃度層が見られた。過去の福岡大学、生の松原、田村花立公園のような都市辺縁部における観測においても、午前中に高度60mを境に、高濃度層が、下層や上層に見られることがあった。福岡は市内に空港があるため、建築物等の高度制限があり、繁華街である博多地区、天神地区の大部分は、60m以上の高さの建物を建てることできない。このような建築物は都市キャノピーを形成し、混合層の発達途中には、都市キャノピー内外での汚染物質濃度に違いが生じる。こうして、高度60mを境界とした構造が移流流出すると風下に都市キャノピーの構造を反映した層行動が形成され、高度約60mを航海とする層構造が形成されるものと推測された。

11月3日は11時半に濃度上昇、午後に15時くらいにかけて急に濃度が低下した。新粒子の付加による濃度上昇、凝集による濃度減少の可能性を検討したが、いずれも想定される時間スケールが現象の時間スケールより短いため、汚染物質を高濃度で含む気塊の水平移流によって起きた現象と考えられた。

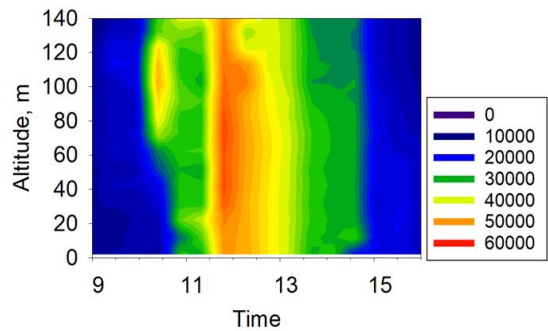


Fig.1 博多湾沿岸の生の松原における 2023年 11 月 3 日 9～16 時の高度 0～140m の超微小粒子数濃度(個/cc) (小型 UAV による観測)

2) 久住高原における野焼き時の超微小粒子観測

久住高原では、例年3月の第1, 2日曜日に広域の野焼きが行われる。野焼きの際に発生するエアロゾルの組成や粒径分布、その空間分布を観測し、バイオマス燃焼による大気環境への影響について検討することを予定している。Fig.2に野焼きの際には、0.01～0.1 μ mの超微小粒子が大量に発生するため、この粒径領域の粒径分布を観測するため、カイトプレーン及びマルチコプタにSMPS（走査型移動度粒径スペクトルメータ）を搭載し、試験観測を行った。また、福岡で実施した凝結核計数装置搭載マルチコプタによる観測も行った。

2024年は主には3月3, 10日に野焼きがおこなわれ、3, 9, 10日に観測を行った。地上連続観測結果をFig. 2に示す。3/3の10時前の高濃度

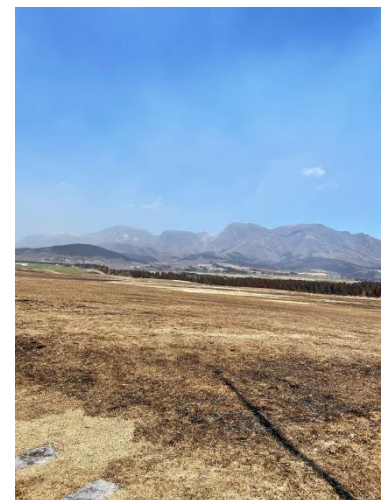


Fig.2 野焼きによる煙で霞む久住山系(グライダー滑空場より、3月10日12時に撮影)

は、草刈り機などのコンタミネーションである。3/3の14時の変動の激しい高濃度減少が、近傍の野焼きに伴うものである。3/9の午前、3/10の午後の高濃度はやや遠方の野焼きに伴う濃度上昇と考えられる。3日や10日の朝の濃度からバックグランド状態では1000~2000個/cc程度と考えられる。近傍の野焼き時の濃度は200,000個/cc程度まで上昇する。

小型マルチコプタによる観測は間欠的に行われ、近傍と遠方の野焼きの影響の違いが、時空間変動の大きさの違い良しとすることができた。また、近傍の野焼きの影響は、対地高度80m程度までであった。対流混合層の発達に伴って上空へ輸送されるものと考えられる。

カイトプレーンによる観測は、カイトプレーンのトラブル等により実施できなかった。株式会社ツバサフロンティア製マルチコプタに重量約4kgのPAMS (KANOMAX社製) を搭載し、高度140mで3分間のホバリング飛行を行い、粒径分布を取得した。解析は、これからである。

4. まとめ

- 1) 福岡都市辺縁部の粒径10nm以上の凝結核数濃度の鉛直分布には、福岡中心部の都市キャノピーの構造を反映した、海拔高度約60mを境界とする層構造が形成されることがあった。また、昼前後の凝結核高濃度ピークを形成する午前の濃度上昇、午後の濃度低下は、移流により形成されると推測された。
- 2) 久住グライダー滑空場で凝結核数濃度の鉛直分布の観測及び粒径分布の試験観測を行った。バックグランド状態で数千個/cc、野焼きの影響を受けた気塊では10万个/cc近い高濃度が観測された。
- 3) マルチコプタによる4kg規模のペイロードによる観測は可能であるが、フライト時間が10分程度と身近痛め、オペレーションの工夫などが必要になると考えられた。

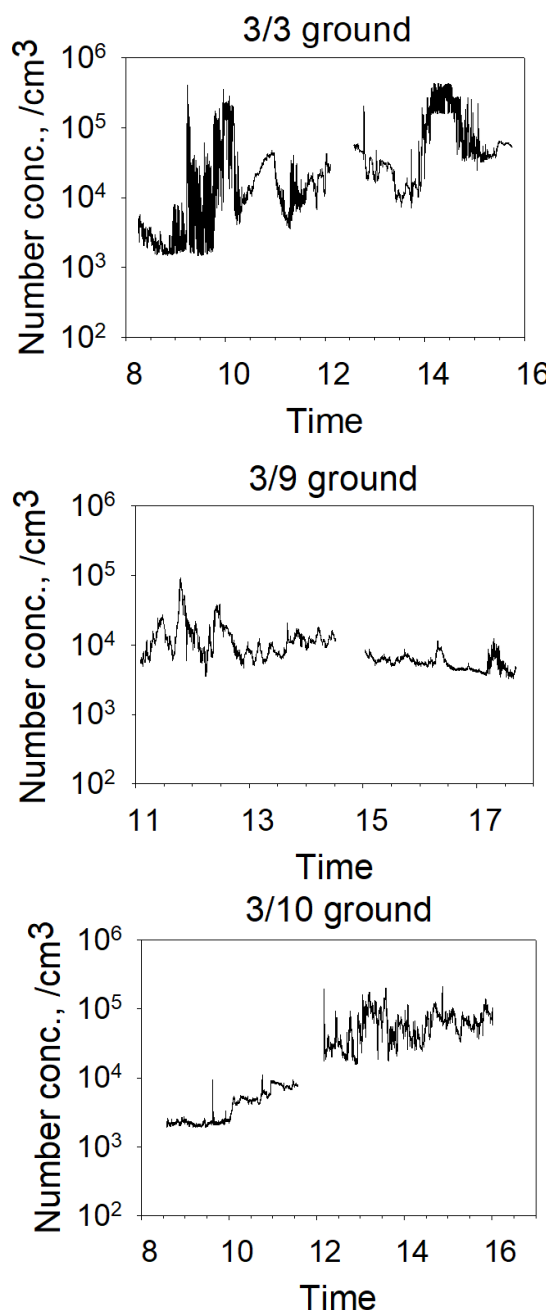


Fig.3 野焼き実施日の久住グライダー滑空場における凝結核数濃度の時間変化

湿地堆積物の堆積過程の高精度復元
Accurate reconstruction of deposition process of wetland sediments

奥野 充、大阪公立大学・大学院理学研究科

【研究目的】

湿原堆積物は、花粉化石の保存が良好であるために、コア試料を用いた花粉分析による古植生研究がこれまで盛んに研究されてきた。古植生研究では、湿原のなかでも連続的に堆積しており、できるだけ長期間の植生変遷が復元されることが期待できる地点（湿原中央部）においてコア試料が採取される。湿原内におけるコア試料を採取地点が、これまでの論文に記載されていないことも多かった。そのため、湿原は単なる「点」として捉えられ、湿原堆積物の空間分布（空間的堆積・層序）については考慮されていなかったと考えられる。

代表者らも、これまで花粉分析やテフラの精密年代決定を目的として、佐賀県の檜原湿原（奥野ほか，2011; Fujiki *et al.*, 2013），山口県の宇生賀盆地（大下ほか，2023），京都府の八丁平湿原（西川ほか，2023）でコア試料を採取して研究してきた。これらの湿原の形成には、火山噴火や地すべりによる堰き止めなどの自然要因、ため池を造成するための堤体の構築などの人為的要因があり、これらの要因によって地下水位が上昇することで、湿原となる範囲が拡大したことが想定される。すなわち、湿原の拡大に関与したイベントの年代を推定するには、これまであまり顧みられることがなかった湿原縁辺部におけるコア試料の採取が重要になってくる。本研究では、様々な要因で拡大したと考えられる上記の湿原に、福井県勝山市の池ヶ原湿原（高原，2018）と静岡県蛇石大池湿原（叶内，2012）も加えて、それぞれで複数地点からコア試料を採取した（奥野ほか，2024）。このことによって、湿原環境をよりダイナミックに復元して、その形成・拡大に関わるイベント年代を精密推定することを試みる。

【研究方法】

上記した5つの湿原や盆地（Fig. 1A）においてピートサンプラーならびにルートオーガー（共に Royal Eijkelpkamp 社製）によるコア試料を採取し、コア試料の層相観察およびデジタル写真とエックス線撮影（イメージテック株式会社製，X 線検査装置 ITX-S40T），初磁化率（Bartington 社製，磁化率計 MS2）や含泥率，堆積物密度などの試料分析を行った。火山ガラスの主成分化学組成分析（エネルギー分散型 X 線マイクロアナライザー JEOL 社製，JSM-7001F と Oxford 社製，X-Max Aztec）を行った。植物片の加速器質量分析（AMS）法による ^{14}C 年代測定を行い、 ^{14}C 年代-暦年代データセット IntCal20 (Reimer *et al.*, 2020) とコンピュータープログラム Calib8.2 (Stuiver *et al.*, 2021) を用いて ^{14}C 年代を暦年較正した。

【研究結果と考察】

脊振山地に位置する檜原湿原では、今回4地点でコア試料を採取した（Fig. 1B）。植物質に富むシルト層に複数の砂層が挟まっており、これまでのコア試料の層序（奥野ほか，2011; Fujiki *et al.*, 2013）と調和的である。東側の地点3では、シルト層が比較的薄く、ため池を整備するために堤体が構築された影響により江戸時代に湿原域が拡大された可能性がある。この湿原は、ため池とそのための堤体の整備に密接に関連するので、それらをさらに検討したい。

阿武火山群の宇生賀盆地は、南側の権現山（約 0.31 Ma）、北側の高牟礼山（約 0.18 Ma）、東側の西台・

東台 (約 0.04 Ma), 鍋山スコリア丘・堀越溶岩 (-0.08 Ma) に取り囲まれている (角縁ほか, 2000). コア試料の花粉分析 (畑中・三好, 1980) や埋没林 (Hakozaki *et al.*, 2012) の研究などがある. 完新世の広域テフラである鬼界アカホヤ (K-Ah) テフラが, 大下ほか (2023) により泥炭層から検出された. この泥炭層の分布は, 宇生賀盆地の埋積過程と密接に関わると考えられるため, この研究では分布範囲を追跡するため 13 地点でコア試料を採取した (Fig. 1C).

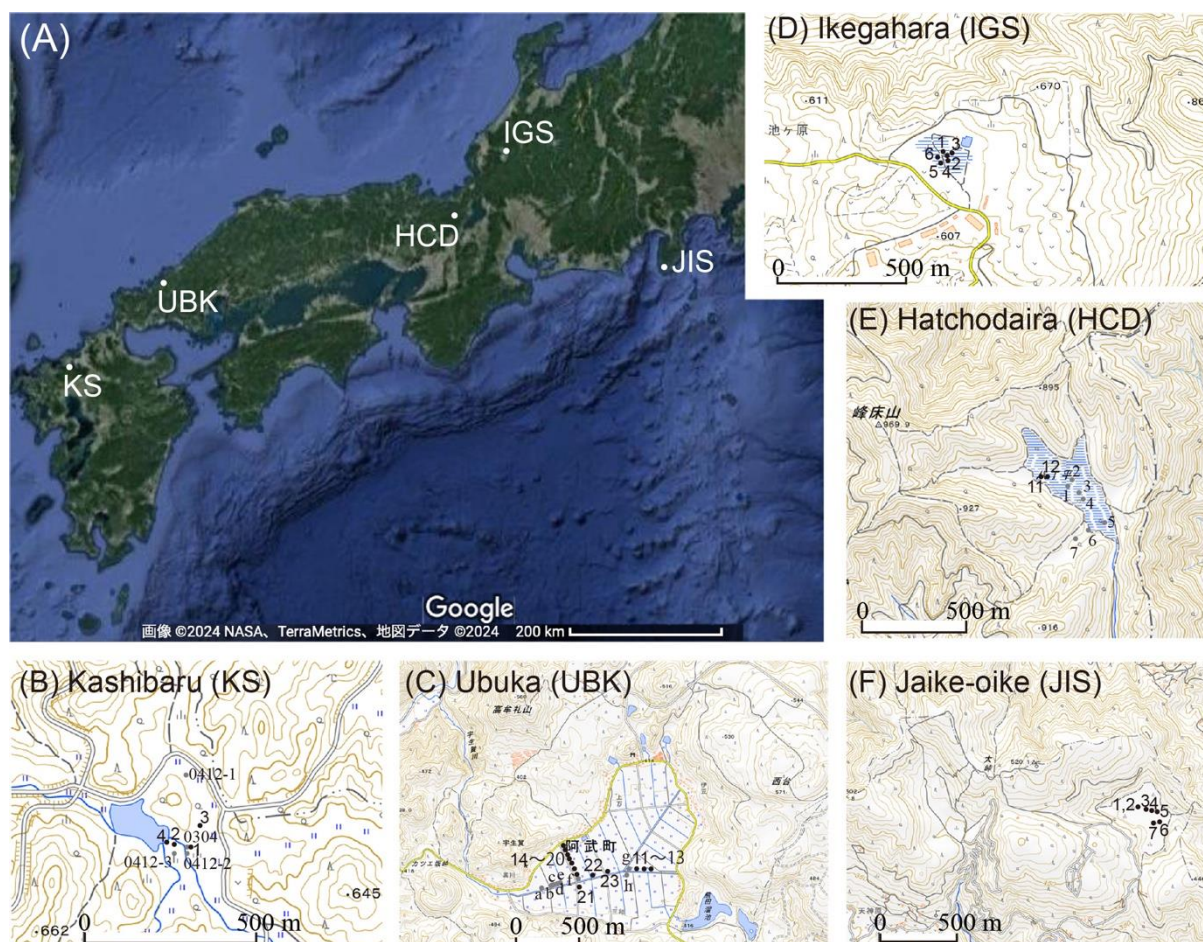


Fig. 1 Index maps of study sites. (A) Location map of the five study sites in Central-Western Japan. Google satellite images were used as the base map. (B) Sampling sites in Kashibaru Wetland (KS), northern Kyushu on the GSI map. The numbers 1 to 4 are the locations where core samples were collected in this study, and “0304”³⁾ and “0412”⁴⁾ indicate the sampling locations in previous studies. (C) Sampling sites in Ubuka Basin (UBK) within Abu monogenetic volcanic group on western tip of Honshu Island on the GSI map. The numbers 11 to 23 are the locations where core samples were collected in this study, and “a” to “f” indicate the sampling locations in previous study⁵⁾. (D) Sampling sites in Ikegahara Wetland (IGS) in Katsuyama City, Fukui Prefecture, Hokuriku Region on the GSI map. The numbers 1 to 6 are the locations where core samples were collected in this study. (E) Sampling sites in Hatchodaira Wetland (HCD) in Kitayama, Kyoto City on the GSI map. The numbers 1 to 7 indicate the locations where core samples were collected in previous study, and in this study core samples were collected at three locations: locations 11 and 12, as well as location 5. (F) Sampling sites in Jaishi-oike Wetland (JIS) at the southern tip of the Izu Peninsula on the GSI map. The numbers 1 to 7 are the locations where core samples were collected in this study.

福井県勝山市の池ヶ原湿原では、6 地点でコア試料を採取した (Fig. 1D). コア試料は暗褐色の植物質シルト～泥炭層を主体とし、灰白色シルト～砂層を挟む。この層は過去の洪水を記録している可能性がある。地点 1 では既報告 (高原, 2018) の始良 Tn (AT) テフラの純層を確認したが、その他のテフラは今のところ検出できていない。

京都北山の八丁平では、AT, K-Ah, 鬱陵隠岐 (U-Oki) の火山ガラスなどが検出され、その多くが再堆積であると考えられている (高原・竹岡, 1986). 西川ほか (2023) でも約 7300 cal BP より下位の層準から AT に由来する火山ガラスを検出したが、この他のテフラは検出できなかった。再堆積テフラは、地震による液状化によって吹き上がった可能性があり、その分布を追跡するため、地点 5 に加えて地点 11 と 12 の計 3 地点でコア試料を採取した (Fig. 1E).

伊豆半島南端の蛇石大池湿原では、叶内 (2012) が、34°42'38"N (日本測地系)、標高 385 m の地点からコア試料 (Jai91-1～3) を採取し、そのうち、最大深度 6.3 m の Jai91-3 で AT, K-Ah, Kg (カワゴ平) の各テフラを報告している。今回の調査では、7 地点でコア試料を採取した (Fig. 1F). 泥炭層中にテフラ層が検出され、そのうち径 2 mm 程度の軽石粒は Kg に対比されることが考えられる。

【まとめ】

本研究では、5 ヶ所の湿地および盆地において複数地点からコア試料を採取した。基本的に完新世の堆積物は有機 (植物) 質で氷期に入ると乏しくなることから、概ね気候変動を反映していると考えられる。しかし、厳密には層相の変化と同時間面は斜交することが多く、層相による対比は適当ではないと考えられる。

テフラは時間指標層として極めて強力なツールであり、¹⁴C 年代値との組み合わせで、精密な対比を確立する必要がある。さらなる分析を進めて、湿原堆積物の時空分布から湿原の形成史 (拡大縮小) を精緻なものにしていきたい。

【引用文献】

- Fujiki, T. *et al.* (2013) Radiocarbon chronology and pollen analysis of core KS0412-3 from Kashibaru Marsh in northern Kyushu, southwest Japan. *Radiocarbon*, **55**, 1693–1701.
- 角縁 進・永尾隆志・長尾敬介 (2000) 阿武単成火山群のK-Ar年代とマグマ活動史. 岩石鉱物科学, **29**, 191–198.
- 叶内敦子 (2012) 伊豆半島南部, 蛇石大池湿原堆積物の花粉分析. 駿台史学, No. 125, 119–130.
- Hakozaki, M. *et al.* (2012) Tree-ring study of a lake Holocene forest buried in the Ubuka basin, Southwestern Japan. *IAWA Journal*, **33**, 287–299.
- 畑中健一・三好教夫 (1980) 宇生賀盆地 (山口県) における最終氷期最盛期以降の植生変遷. 日本生態学会誌, **30**, 239–244.
- 西川 空・奥野 充・大下愛央・藤木利之・中西利典・林田 明・鳥井真之・洪 完 (2023) 京都北山, 八丁平湿原から採取したコア試料の層序と年代. 名古屋大学年代測定研究, **7**, 36–42.
- 奥野 充・森 勇一・藤木利之・杉山真二・此松昌彦・上田恭子・長岡信治・中村俊夫・鮎沢 潤 (2011) 中世の人間活動と土砂災害: 北部九州・檜原湿原のボーリングコア分析. 中條利一郎・酒井英男・石田 肇 編「考古学を科学する」, 臨川書店, 79–98.

- 奥野 充・大下愛央・西川 空・黒木 瞭・藤木利之・中西利典・林田 明・鳥井真之・洪 完 (2024) 湿原堆積物の空間分布から推定される湿原形成イベント. 令和5年度自然災害研究協議会西部地区部会会報・論文集, No. 48, 29-32.
- 大下愛央・奥野 充・西川 空・藤木利之・中西利典・林田 明・鳥井真之・洪 完 (2023) 阿武単成火山群, 宇生賀盆地から採取したコア試料の層序と年代. 名古屋大学年代測定研究, **7**, 43-49.
- Reimer, P. *et al.* (2020) The IntCal20 northern hemisphere radiocarbon age calibration curve (0-55 cal kBP). *Radiocarbon*, **62**, 725-757.
- Stuiver, M. *et al.* (2021) CALIB 8.2 [WWW program] at <http://calib.org>.
- 高原 光 (2018) 解き明かされる池ヶ原湿原周辺の植生の移り変わり (特集: 池ヶ原湿原の自然再生). ナチュラリスト, **29** (1), 3-4.
- 高原 光・竹岡政治 (1986) 京都市八丁平湿原周辺における最終氷期最盛期以降の植生変遷. 日本生態学会誌, **46**, 339-347.

【成果発表】

- 奥野 充, 高精度古環境復元に対する放射性炭素年代測定の役割. (招待講演) 日本地球惑星科学連合2023年大会, ハイブリッド開催 (千葉), 2023/5.
- 西川 空, 奥野 充, 大下愛央, 藤木利之, 林田 明, 中西利典, 鳥井真之, 洪 完, 京都北山, 八丁平湿原における完新世の堆積環境史. 日本地球惑星科学連合2023年大会, ハイブリッド開催 (千葉), 2023/5.
- 大下愛央, 奥野 充, 西川 空, 藤木利之, 林田 明, 中西利典, 鳥井真之, 洪 完, 阿武単成火山群, 宇生賀盆地の埋積過程. 日本地球惑星科学連合2023年大会, ハイブリッド開催 (千葉), 2023/5.
- Oshita M., Nishikawa K., Maximo R.P.R., Lim R.B., Gemal M.T.Q., Cochon J.E.A., Marco A.Q., Norcio A.P.D., Vergara C.J.G., Hayashida A., Nakanishi T., Katsuki K., Seto K., Fujiki T., Tomiyasu T., Murao S., and Yamada K., and Okuno M., Analysis of core samples from Balungbong maar in the San Pablo volcanic group, Luzon Island, Philippines. 第33回社会地質学シンポジウム, ハイブリッド開催 (東京), 2023/11.
- Nishikawa K., Oshita M., Maximo R.P.R., Lim R.B., Gemal M.T.Q., Cochon J.E.A., Marco A.Q., Norcio A.P.D., Vergara C.J.G., Hayashida A., Nakanishi T., Katsuki K., Seto K., Fujiki T., Tomiyasu T., Murao S., and Yamada K., and Okuno M., Analysis of core samples from Paitan Lake in the Amorong volcanic group, Luzon Island, Philippines. 第33回社会地質学シンポジウム, ハイブリッド開催 (東京), 2023/11.
- 黒木 瞭, 奥野 充, 藤木利之, 中西利典, 林田 明, 佐賀県唐津市, 檜原湿原の形成史. 国際火山噴火史情報研究集会 2023-2, ハイブリッド開催 (福岡), 2024/2.
- 西川 空, 黒木 瞭, 奥野 充, 藤木利之, 中西利典, 林田 明, 福井県勝山市, 池ヶ原湿原の堆積環境変化の復元. 国際火山噴火史情報研究集会 2023-2, ハイブリッド開催 (福岡), 2024/2.
- 大下愛央, 黒木 瞭, 奥野 充, 藤木利之, 中西利典, 林田 明, 伊豆半島南部, 蛇石大池湿原の形成史の高精度復元. 国際火山噴火史情報研究集会 2023-2, ハイブリッド開催 (福岡), 2024/2.
- 奥野 充, 大下愛央, 西川 空, 黒木 瞭, 藤木利之, 中西利典, 林田 明, 鳥井真之, 洪 完, 湿原堆積物の空間分布から推定される湿原形成イベント. 令和5年度自然災害研究協議会西部地区部会研究発表会 (福岡), 2024/3.

太陽Ⅱ型電波バースト微細構造の成因の究明

Investigations on origin of the fine structures forming solar type II bursts

代表者: 三澤浩昭(東北大学大学院理学研究科)

1. 研究目的

太陽嵐(～フレア/コロナ質量放出(CME))の発露に伴い、kHz～GHz 帯に多様な電波バーストが出現する。この中で数 100MHz 帯で数分にわたって出現し、緩やかな負の周波数ドリフトを示すⅡ型バーストがある。Ⅱ型バーストに対する申請者らによる数 100MHz 帯での高時間・周波数分解のスペクトル観測から、ほぼ全てのバーストは継続時間が約 100msec 程の微細構造から形成されており、微細構造は大きな周波数ドリフト率を示すこと、また、ドリフト率には無視出来ない”揺らぎ”が含まれることが明らかになっている。この周波数ドリフト率の解析から、微細構造の起源について、解釈①: 一般的なコロナ密度より数倍濃密なプラズマ中を光速に漸近する速度を持つ電子が移動して放射、解釈②: 一般的なコロナ密度中を光速の 3～4 割の速度を持つ電子が移動して放射、の 2 つの可能性が考案されているが、その観測的査定が課題となっている。本研究は、太陽コロナ域についての光学・電波観測に基づき、微細構造で構成されるⅡ型バーストの生成域を同定し、その生成過程の究明を行うことを目的とする。

2. 研究内容・進行状況

太陽電波については東北大の高時間・高周波数分解能(10msec, 61kHz)の 150～500MHz 帯スペクトル観測装置 AMATERAS の電波データ、生成域探査については科学衛星による EUV イメージデータを用いて、Ⅱ型バースト出現のタイミングに対応する太陽コロナ変動様相を精査する計画を持ち、研究を進めてきた(メートル波帯の電波は太陽から概ね 1.5 太陽半径以内で生成される)。発生域について、Ⅱ型バースト生成に関わる粒子加速域としてコロナ磁場ループ(CME 等)のフロントやフランク域が候補と目されるが、本年度は電波干渉計データも併用した電波生成域～粒子加速域の場所と変動に着目し、Ⅱ型バーストの微細構造の成因を考察した。

これまで AMATERAS で 2010～2022 年に取得した 30 余例のⅡ型電波バーストのうち、本年度は特に、SDO の EUV イメージデータ、電波干渉計 MWA(豪)が取得した電波イメージデータが揃っている 2014 年 9 月 28 日 02:45UT 頃に出現した微細構造を持つⅡ型バーストを対象とした解析を行った。このⅡ型バーストは M5.1 のフレアに伴って出現し、明確な CME の出現が認められない現象であったが、幸運にも MWA による電波源探索が行われていた(Bhunia+, A&A, 2023)。この探索結果も併用すると、その電波源はループトップ域付近にあること、piston-driven 型衝撃波起因である可能性が示唆された(この現象の場合、電波源に明確なプラズマ密度増加域を伴わないことから、微細構造の起源については1で記した②の可能性がある)。一方、微細構造に含まれる周波数ドリフトの”揺らぎ”については、その特性解析時間が微細構造個々の継続時間に対応する程短時間ではないものの、電波源変動解析からは電波発生後の”プラズマ散乱”による見掛けの現象である可能性も示唆されている。今回の研究で適用した電波源変動探索データは、微細構造が判然としていたバーストの出現時刻・周波数とは完全には一致していないこともあり(電波源変動探索データが AMATERAS の観測周波数外であったため)、“揺らぎ”が”プラズマ散乱”に依るのか、発生源固有の高エネルギー粒子運動に依るのかは断定は出来ない。このため、微細構造成因の完全な理解は今後の課題となるが、申請者らは 2025 年完成予定で AMATERAS の観測周波数拡大のための機器開発も並行して進めており、近未来に電波源イメージングとの共同計測の機会を拡大し、更なる課題究明を行ってゆく予定である。尚、本研究成果は 2024 年 5 月開催の JpGU2024 でも報告予定である。

3. 報告済成果等

①三澤他, 太陽研連シンポジウム, 国立天文台, 2024 年 2 月; ②三澤, 太陽圏宇宙線プラズマ合同研究シンポジウム, 名古屋大学, 2024 年 3 月

複合電波観測を用いたシビア現象の超高層への結合過程に関する研究
Effect of severe meteorological phenomena to upper
atmosphere and ionosphere

芳原容英、電気通信大学・大学院情報理工学研究科

1. 研究目的：

近年、世界的にシビア現象による深刻な被害が多発している。多くのシビア現象は、雷嵐を伴っているが、雷嵐を構成する大気圏中の雷雲や雷活動の気象学的、電気的特性を含めた高高度への影響等を包括的に捉えた研究は極めて少ない。そこで本研究では、日本国内および、周辺領域で観測されるシビア現象の発生から衰退に至る期間に渡り、電磁気的手法による大気圏の雷嵐と電離層の同時観測から気象擾乱の電離圏への結合過程を調査する。2023年度は、過年度から実施している台風に関連した大気-電離圏結合過程に関する研究をさらに推進する。具体的には、2019年に発生した台風15号についてVLF/LF帯送信電波受信ネットワークのうちMSR(母子里)-NPMとYMG(山口)-NPMパスで観測された下部電離圏観測データから大気波動(AGW)による下部電離層の擾乱の可能性を調査する。そして、電離層擾乱をFDTDによる数値計算でモデル化し、電離層擾乱の高さ変動とAGWの伝搬速度を導出する。

2. 研究方法：

2019年の台風15号における電離層擾乱を観測するために、VLF/LF帯送信電波受信ネットワークにより観測された受信電界振幅変動を用いる。また、台風やフレネルゾーン周辺の雷活動を観測するために、アースネットワークストータル雷観測ネットワーク(ENTLN)の雷標定データを使用する。このネットワークから、雲雷(IC)および対地雷(CG)の位置、時間、放電極性、ピーク電流が得られる。台風の活動は、気象衛星ひまわり(MT-SAT8)による輝度温度データを用いる。観測波長は可視、近赤外、赤外であり、時間分解能は10分である。台風に伴う雷活動は、台風中心付近とVLF経路周辺の2つの領域に分類した。AGWsの同定と伝播速度は、VLF信号の時間変動、および隣接する2つの経路間の時間差からそれぞれ導出される。また、観測データとFDTDにより生成された電離層擾乱モデルを併用することで、AGWsにより擾乱された電離層高度の時間変化を導出する。

3. 研究結果：

図1は、台風15号発生時のMSR-NPMパスとYMG-NPMパスにおける輝度温度と雷活動、およびVLF信号変動との相関を示している。2019年9月4日、台風15号の中心付近で雷活動が活発となり、温度が急激に上昇した。これは台風が成熟期に入った時期に対応する。この期間、両パスともVLF信号が大きく低下した。次に観測されたVLF信号の変動を電離層の数値計算モデルと比較する。2次元FDTD法を用いて、観測されたVLF信号強度と数値計算による信号強度の変動に対応する電離層擾乱の高さを計算する。

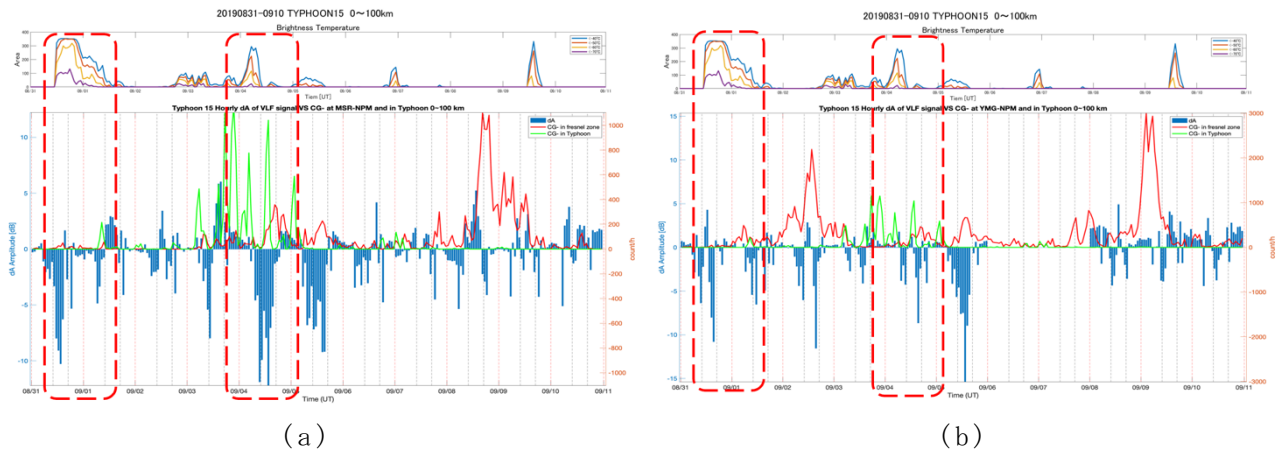


図1： 台風15号に伴うVLF電波受信電界振幅の変動dA(青)と輝度温度（上段）、雷活動（赤；VLFパス周辺、緑：台風中心周辺）(a)はMSR-NPM、(b)はYMG-NPM。

図2に9月4日の台風による下部電離層擾乱時の電離層の高さの時間変化を30分の時間分解能で導出した結果を示す。図2よりYMG-NPMの10:45-12:45UTの電離層高度変化とMSR-NPMの13:15-15:15UTの電離層高度変化の時間変動パターンは類似しており、両者の時間差は2.5時間程度である。今回の解析可能時間は、日の出による電離層高度の背景変化周辺時間を除くとかなり短いものの、同定された高度の時間変動は台風中心からYMG-NPMとMSR-NPMの2つのパスに台風から発生したAGWの位相遅れとして観測されたと考えられる。つまり、台風から発生したAGWsはまずYMG-NPMパスに到達後、MSR-NPMパスへと伝播していることを示唆している。また、雷活動は大局的には電離層の高度変化へそれほど影響が見られない。さらに、MSR-NPMパスとYMG-NPMパスの距離は848kmであり、両者の時間遅れは2.5時間であることから、AGWの位相速度は94.2 m/sと導出された。

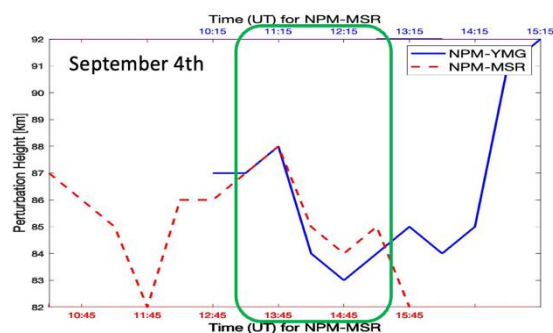


図2. 台風15号（09/04）のMSR-NPMとYMG-NPMパスの下部電離層高度の時間変化の比較（2.5時間の遅れを反映している）

成果発表：

[1] A. D. Setiawan, S. Hirai, H. Kikuchi, and Y. Hobara, "Modeling Atmosphere-Ionosphere Coupling on Gravity Waves during 2019 Typhoon 15 and 19 using FDTD Method," 2023 XXXVth General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science (URSI GAS S), Sapporo, Japan, 2023.

(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

村田健史、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[1]。本共同研究では、名古屋大学宇宙地球環境研究所（ISEE）の鹿児島観測所に両センサーを設置し、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。

本研究では、映像IoTによる噴火活動確認およびインフラサウンドセンシングによる火口位置特定技術を組み合わせることで桜島の噴火活動を総合的にモニタリングすることを目指す。このような取り組みはこれまでなかったため、2023年度は気象庁のデータと比較し、本手法の有効性の検証を行う。具体的には、気象庁が公開する桜島噴火情報（日時、現象、有色噴煙、白色噴煙、流向、火口、噴煙量）と両センサーのデータを比較し、どのような規模・タイプの噴火活動において映像・音波のそれぞれでどのような信号が取得されるのかを検証する。



図1 鹿児島観測所設置システム外観

2. 研究方法（使用した共同利用装置・施設等を含む）

映像IoTによる噴火活動確認およびインフラサウンドセンシングによる火口位置特定技術を組み合わせることで桜島の噴火活動を総合的にモニタリングすることを目指す。名古屋大学ISEE鹿児島観測所（垂水）に図1の映像IoTおよびインフラサウンドセンサーシステムを設置し、24時間の定常観測を実施した。気象庁が公開する桜島噴火情報と両センサーのデータを比較し、どのような規模・タイプの噴火活動において映像・音波のそれぞれでどのような信号が取得されるのかを検証した。2023年度は、新たに姶良市にカメラを追加設置することで、風向きに依らない画像取得を可能にした。また、インフラサウンドでの検出性能を高めるため、新しい構成によるインフラサウンド観測装置のファームウェア開発を実施した。

3. 研究結果

図2は現在運用中の映像IoT桜島モニタリングシステムでのエッジとサーバでの画像処理結果である。リアルタイムに噴火を検出し、平時はサンプリング伝送する映像を、活動時には連続伝送する仕組みの実現のためのアルゴリズムの開発・検証を行なった。図3は新たに姶良市の公園に設置したカメラ画像である。南北2台のモニタリングにより、桜島噴煙のより詳細な情報を得られる環境を構築した。

新しいインフラサウンド観測装置は、噴火に伴い生成されるインフラサウンドが比較的高い周波数であることに着目したもので、従来のMEMS気圧センサーだけを用いるのではなく、可聴域に近



図2 エッジ・サーバ検出結果（映像 IoT）



図3 始良市設置カメラ画像（映像 IoT）

い周波数の信号を高SN比で取得できる小型超低周波マイクロホンを併用したものである。これにより、現在よりも低自己雑音での観測が可能となり、噴火イベントの検出精度の向上が期待される。2023年度は研究室環境での動作試験までを完了した。

4. 考察とまとめ

2023年度の成果をもとに、インフラサウンド観測については鹿児島観測所を含め実フィールドでの実地試験を実施する予定である。また、インフラサウンドと映像 IoT の統合処理による検出精度の向上に向けた検討も実施予定である。

5. 引用文献

[1] 村田健史, “レジリエント自然環境計測技術～ 目と耳と手で見・見る・診る自然環境 ～,” 電波技術協会報 FORN 2022年9月号, no. 348, pp. 14-17, 2022.

6. 成果発表（当該年度に行った口頭発表を含む）

[1] 菊田和孝, 村田健史, 長妻努, 西村太志, “映像IoT技術による桜島モニタリング技術開発,” 日本火山学会2023年度秋季大会

5方向ライダーを用いた小規模重力波伝搬の3次元解析
3-D analysis of the small-scale gravity waves observed by the Tromsø 5-direction lidar

鈴木臣, 愛知大学・地域政策学部

名古屋大学宇宙地球環境研究所が Tromsø (69.6°N, 19.2°E) において運用している Naライダーは、オーロラ活動に伴う超高層大気の大気温度変化の空間構造や極域の超高層大気波動観測に用いられている。観測は冬季に限られるものの、数時間から十数時間の周期を持つ大気波動を検出しており、超高層大気波動の伝播に伴う温度変動を高い精度で観測することに成功している (Nozawa et al., 2014, JGR)。さらに同ライダーは2012年から、天頂を含む5方向ビームでの観測を実施して、より狭い空間構造の変動を捉えることができるようになった。本研究ではナトリウム層の共鳴散乱 (80–110km) に加えて Rayleigh 散乱 (30–50km) を用いることで、高度方向 (高度: 20–110km, 底面: 58×58km の四角錐の領域) に拡張することで、小規模重力波の3次元伝搬構造を明らかにする。大気重力波は中間圏・下部熱圏 (MLT: 80–120km) で砕波して運んできた運動量を解放することで局所的あるいは全球的な温度場・風系場の形成に貢献している。特に、小スケール・短周期の大気重力波は、より多くの運動量を輸送すると指摘されており (Fritts and Vincent, 1987, JAS; Nastrom and Fritts, 1992, JAS), 超高層大気への力学的インパクトも大きいと考えられるが、観測研究が限られているのが現状である。超高層大気の小スケール大気重力波の観測研究では主に大気光イメージング観測が使われているが、本研究では、大気光では観測することができない波動の伝播にともなう温度、風速変動を捉えることができるため、超高層大気への影響をより定量的に評価することが可能となる。

本年度はライダーと同じく Tromsø に設置されている大気光カメラ (OMTIs) で観測される小スケール大気重力波が5方向ライダーで観測されるかを確認した。2018年1月18日の晩にOMTIs では水平波長 30.9 km, 水平位相速度 57.9 m s⁻¹, 周期 8.9 min で北東方向 (北から東向き 40.7°) に伝搬する重力波構造を得た。これは典型的な小スケール大気重力波のパラメータである。ライダー温度のロムスカーグル解析から同時時間帯の5方向すべてで同様の周期をもつ波動が検出された。さらに、ライダーの鉛直方向のビームから直接観測されたこの周期の鉛直風変動は、OMTIs で得られた波動の水平パラメータを用いて大気重力波の分散関係式から計算される鉛直風変動と同程度であった (図1)。鉛直風変動の時間変化はわずかに位相のずれも見られたが、本研究結果からは、5方向ライダーにおいても大気光イメージングでしばしば観測される小スケール大気重力波を観測できることが明らかとなった。ライダー観測で直接得られる運動量フラックスの大きさも 0.57 m² s⁻² であり、これまでの大気光観測とモデルから算出される典型的な大きさであった。このこともライダーによる小スケール大気重力波観測の有用性を支持する。

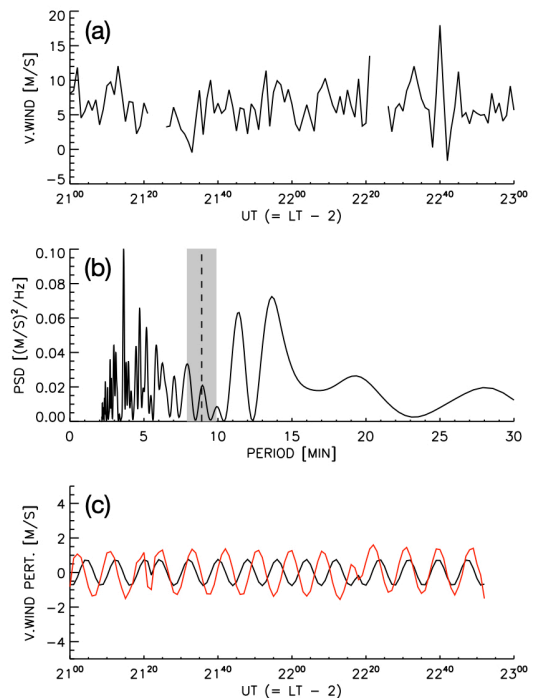


図1: (a) ライダーで観測された鉛直風. (b) 鉛直風のスペクトル密度. (c) 黒はライダー観測による鉛直風変動, 赤は大気光観測から得られた波動の水平パラメータから算出した鉛直風変動を表す.

成果発表:

- S. Suzuki et al., Observational evaluation of temperature/wind perturbations associated with small-scale AGWs: Horizontal propagation, JpGU Meeting 2023, Chiba, 2023.05.26.
- S. Suzuki, Airglow imaging observation of small-scale gravity waves in the upper atmosphere, IAP seminar, Kühlungsborn, Germany, 2024.03.21.

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

信州大学宇宙線グループは、南極昭和基地を含む世界5か所に設置された地表多方向ミュオン計による汎世界的観測ネットワーク (Global Muon Detector Network: GMDN) による宇宙線観測を推進してきた。GMDNは合計69方向から地球に入射する宇宙線の強度を同時に観測する能力を有し、その観測データの解析により、約60GVの銀河宇宙線強度の等方成分 (宇宙線密度) と非等方性分 (異方性) を分離してそれぞれ時間の関数として導くことが出来る。宇宙線異方性は、地球周辺の宇宙線密度の空間分布 (宇宙線密度勾配) を反映するため、その観測から宇宙線の空間分布を決定する大規模磁場構造を導くことが出来る。GMDNを用いた従来の研究から、様々な宇宙天気事象にともなう磁場構造が明らかにされてきた。

一方で、既存の中性子モニターによる世界的観測ネットワークは、約10GVの銀河宇宙線強度の同時観測を行っている。本研究では、中性子モニター・ネットワークとGMDNによる観測データを併せて解析することにより、宇宙線密度と異方性のリジディティ・スペクトラムも時間の関数として導くことを試みた。その際、環境の異なる多地点で観測されたデータに含まれる「local effect」のため、導かれる宇宙空間での異方性が地球の自転周期で変動してしまうことが判った。我々は、この問題を解決する手法を開発し、大振幅の異方性が約1週間にわたって観測された2012年の1月と7月の宇宙天気事象を解析した。具体的には、べき型のスペクトラムを仮定しそのべき指数の時間変動を導いた。その結果、宇宙線密度と異方性のべき指数がダイナミックに変動する様子を世界で初めて明らかにした。今後、他のいくつかの宇宙天気事象も解析し、結果を論文として公表する予定である。

流星によるVLF帯電波放射の観測的研究
Observation of Meteoric VLF Radio Emission
(1行スペース)

研究代表者：渡邊 堯、情報通信研究機構
(2行スペース)

本研究は特に明るい流星（火球）に伴う VLF 電波の検出を主たる目的としているが、宇宙機の地球大気圏再突入についても、観測範囲を拡大している。特に 2023 年度では、2023 年 9 月 24 日(UT) に小惑星探査機 OSIRIS-Rex のサンプルリターン・カプセル（以下カプセルと略称）の再突入が、米国ネヴァダ・ユタ両州にかけて実施された事を受けて、現地での VLF 電波観測を実施した。2020 年にオーストラリア南部で実施した、「はやぶさ 2」カプセル再突入 V L F 観測においては、観測条件の制約によりループアンテナ 1 基のみによる波形データのみの取得であったため、カプセル起源の電波放射の確認においては、波形やスペクトルの特性の相違によって、雷空電との区別を行ったが（文献 1）、今回は東西南北方向に設置したクロス・ループアンテナに加えて、垂直ロッドアンテナによる観測を実施した。観測場所は再突入時に発生するアブレーションが最大レベルに達する位置の直下に近い、ネヴァダ州ユーリカ地区において実施された。この地点ではカプセルがほぼ天頂を通過する見込みであったため、ループアンテナによる東西方向の方位測定に加えて、地平線からの高度に関する方向探知（方探）解析を可能とした。観測データの記録は、VLF 電波の Hx（南北）、Hy（東西）、Ez（垂直）各方向の電磁成分に加えて、GPS 信号より生成した秒・分信号を、4 チャンネル TASCAM DR70R により、96000 サンプル/秒にて記録した。また環境音声、FM 放送電波、中波帯電波雑音の記録も並行して実施した。

観測は現地時間で 2023 年 9 月 26 日午前 7 時 40–50 分にかけて実施された。現地における天候は、断雲も認められない快晴であり、局地的な雷活動は発生していないことが推測された。また、このような時間帯においては、大陸とその周辺における雷雲活動は、五大湖地域東岸、フロリダ半島周辺、カリブ海地域にのみ限定されており、特に観測点より約 2000km 東方に位置する、五大湖地域からの空電が優勢であり、西方から伝播してくる空電は、この時間帯における強い減衰のためもあって、受信頻度が低かった。このことは、遠距離からの雷空電と、近距離発生であるカプセル起源の VLF 電波放射とを区別する上で、重要な情報となる。また、主要な遠距離空電源が、いくつかの方角に偏在していることにより、方探解析の信頼性のチェックを行う事が可能となる。

解析はカプセルの最大加熱予想発生時刻(14:42:50 UTC)を中心とした火球フェイズが最大限に発生したと思われる時間帯について、通常の高周波空電とは異なる波形とスペクトルを示す波形を探し出すことから始められた。その結果、特にアブレーションが最高度に発達していたと思われる時間帯に於いて、やぶさ 2 の SRC 再突入時に検出されたような非パルス状信号が、断続的に受信されていることが分かった。カプセル減速率が最大となる時間帯の直前に観測された、かなり強いノイズの波形とスペクトルを、夫々図 1、図 2 に示す。スペクトルの 4-6 kHz 帯に見られる強度の上昇は、減衰の大きい長距離伝播では見られない現象であり、このノイズが近距離発生であることが、強く示唆される。このような信号について、直線偏波を仮定したゴニオメータ方式の方位測定と、垂直アンテナの指向性を利用した高度角の推定を行った。観測は 100 Hz – 96 kHz の広帯域で行われたため、各方向の周波数成分間の位相差が 20 度以内となる周波数領域のみを使用した解析とした。観測時間帯における、顕著な雷運活動地域（主に五大湖西岸とメキシコ湾領域）の方位との比較から、方位の測定精度は 10 度程度と見込

まれるが、高度角については、特に高度角が大きい場合、20 度程度の不確定さが見込まれる。この解析によって得られた上記の非パルス性信号の方位・高度角は、誤差の範囲内で、SRC の減速や高度変化が顕著ではない火球フェイズにおいて、第 2 示すように、SRC の推定位置と良い一致を示している。現時点では実測定によるカプセルの軌道の情報は公開されていないが、予想誤差の範囲内で、上記の観測結果はカプセル再突入における VLF 電波放射の存在を示していると思われる。VLF 電波放射の発生は、高速で移動するカプセル周辺領域や航跡のプラズマ内で形成される、電荷分離に起因する放電によることが推測される。

出版論文

Watanabe, T., M. Kobayashi, Y. Katoh, K. Shiokawa, H. Ohya, K. Suzuki, S. Tanaka, Y. Ishihara, T. Yamada, and M. Yoshikawa, WGN, the Journal of the IMO 51:3, 2023.

口頭発表

名古屋大学宇宙地球環境研究所研究集会・現象報告会（2024 年 2 月 6 日）

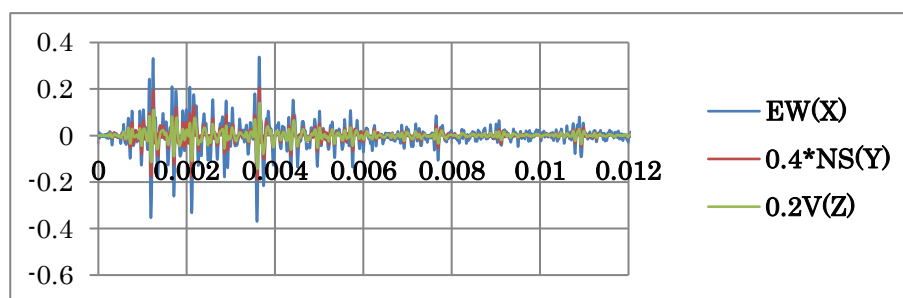


図 1：2023 年 9 月 24 日 14:42:59.347 (UTC)に観測された、近距離継続性ノイズの各方向における波形（較正後）

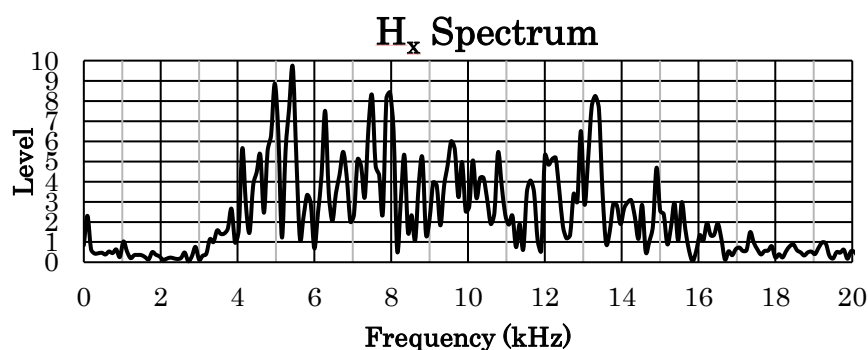


図 2：図 1 に示した波形のスペクトル (H_x)。

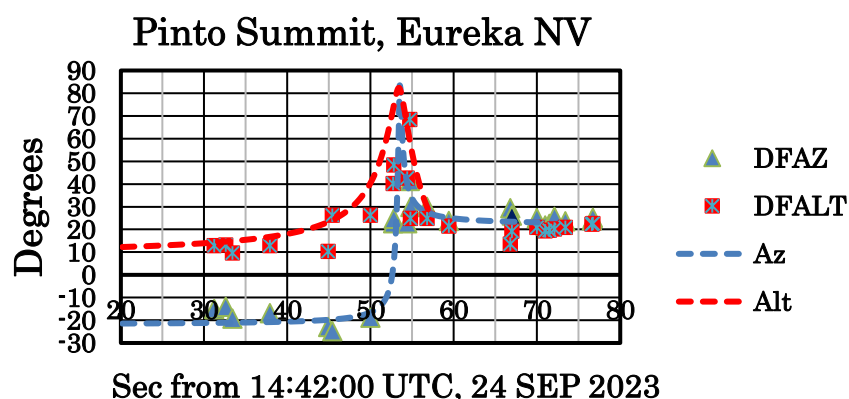


図 3：VLF 電波源の方位角 (DFaz、東西線を基準、北側が正)、高度角 (DFALT、地平線を基準、北側が正)。点線は予想方位角 (Az)、予想高度角 (Alt)。時刻は再突入の予想開始時刻 2023 年 9 月 24 日 14:42:00 (UTC)からの経過時間 (秒)。

衛星搭載イメージング・分光光学系の設計と開発
Design and development of visible and ultra-violet imaging spectrograph

坂野井 健、東北大学・理学研究科

【研究目的と意義】

現在、磁気圏・電離圏・熱圏コミュニティでは、将来観測のためのISAS/JAXA小型衛星計画FACTORSの検討が行われている。これは極域を複数の衛星が編隊飛行で周回する計画であり、オーロラカメラが搭載される予定である。特に、微細オーロラの高速変動とそれを引き起こす現象の解明に取り組む。一方、NICTを中心に静止軌道衛星に紫外イメージャーを搭載して電離圏擾乱を監視する検討を進めている。今後の研究のためには、最新技術と知見に基づく衛星用の紫外カメラと可視高感度カメラの技術向上が不可欠である。本研究は、これらの将来衛星に搭載し、オーロラ・大気光の微弱発光を観測可能なイメージングカメラの基礎開発を行うことを目的とする。

FACTORS衛星によるオーロラ観測には、数千kmの高度から、れいめい衛星以上の時間・空間分解能を達成することが求められており、約一桁高い感度(受光フォトン数とノイズの比)が必要である。現在、可視カメラは日陰時のみに530x530km程度(高度約4000km、視野約8x8度)を空間分解能約1x1kmで詳細観測を行う計画である。紫外カメラは、当初の広視野カメラ設計を見直し、比較的狭い視野を高速・高空間分解する性能要求をすることとなった。昨年度まで紫外カメラの光学設計と浜ホト製・CCDセンサ試験パッケージ、紫外カメラ筐体真空チャンバと紫外用レンズ光学系を調達した。これらを用いた実験、すなわち紫外センサの電気試験、紫外分光感度試験を行う。今後、紫外・可視ともにカメラ試験器を用いて動作試験および感度試験等の検討と性能検証を行う必要がある。ならびに可視センサ試験品をもちいた動作試験を行う必要がある。これらの課題に対して、本研究経費用いて分担者との間で装置仕様と科学意義の検討と情報共有をはかり、プロジェクト成立性に見通しを立てる。また、開発実験は外部資金を活用して行う。

【研究方法】

本研究は、ISAS/JAXAが主導する小型衛星FACTORSと、NICTが主導する静止衛星に可視・紫外カメラの基礎検討を国内共同研究者と推進する。具体的に本研究経費は、(以下敬称略)三好由純、平原聖文、大山伸一郎(名大ISEE)、浅村和史、山崎敦(ISAS/JAXA)、津田卓雄(電通大)が研究分担者であり、当年度は3年計画の3年次である。2020年度までに、FACTORS衛星計画に関連してISEE国際共同研究経費(一般:2018~2020、ならびに国際:2019-2021)を活用して、オーロラ微細構造の科学課題の検討、オーロラの粒子画像同時観測に最適な軌道検討、紫外用広角対物ミラー光学系の設計、大気光観測に基づく中性大気-電離圏結合解明の戦略について議論と開発が進められた。また、ISEE国際共同利用経費と外部経費(ISAS戦略開発経費、NICT-東北大マッチングファンド)を用いて紫外用CCDセンサと真空チャンバ筐体ならびに紫外屈折レンズ光学系を開発した。このように、研究目標に対し、複数の外部経費とISEE共同研究経費を適切に組み合わせて用いながら実現を図る。具体的に、本研究経費は名古屋大学の分担者と実験に必要な治具や材料調達に用いる。

【研究結果】

2023年度は、前年度に発生した紫外カメラ用CCD(浜松ホトニクス製)のソケット嵌合問題を解決し、紫外カメラ用の真空チャンバに高さ調整用の治具を製作して設置した(図1)。また、基盤とカメラヘッドの真空-大気間の電気信号ケーブルを自作した。さらに、これまで製作していた真空紫外用のCaF₂レンズをチャンバに取り付け、紫外カメラの試験器を完成させた(図2)。これを用いて電気試験を行った結果、入射光(可視光)に対する正常なカウント値上昇が確認できた。一方、ISASの紫外分光器試験については、共同研究者と検討の結果、この光源の強度は微弱であり、目的とする遠紫外光のカウント値上昇の評価が困難であると判断された。このため、まずこの紫外カメラ試験器に重水素ランプ光を直接照射させ、遠紫外光に対するCCD検出器の応答を調べることとした。この試験は2024年度に予定されている。

また、可視カメラについては、耐放射線性CMOS検出器の宇宙実証のあるベルギー・カエレストテ製sCMOS(2048x2048)ならびに読み出し・制御エレクトロニクスを別経費にて購入し、これにレンズマウントを取り付けて撮像可能とした(図2)。これを用いて、シングル撮像、連続撮像の機能を試験した結果、ノイズの低い均質かつシャープな画質と、100frame/sでも十分に連続撮像ができることを確認することができた。これにより、感度試験、放射線試験などのより定量的な試験を行う準備を整えることが出来た。

【今後の方針】

2024年度以降に、極地研積分球をもちいた感度試験、および放射線性試験を予定している。これらは外部経費用いて行われる計画である。



図1. (左) 紫外カメラチャンバ蓋部にとりつけられた遠紫外用 CaF₂ レンズ。角度調整機構をつけてある。(中) 紫外チャンバ内に取り付けられた CCD 固定治具と CCD 検出器、(右) 紫外カメラチャンバ組み上げ作業中の状況。手前にあるのが民生品カメラヘッドで、これにケーブル・コネクタを嵌合させることで正常動作を確認した。

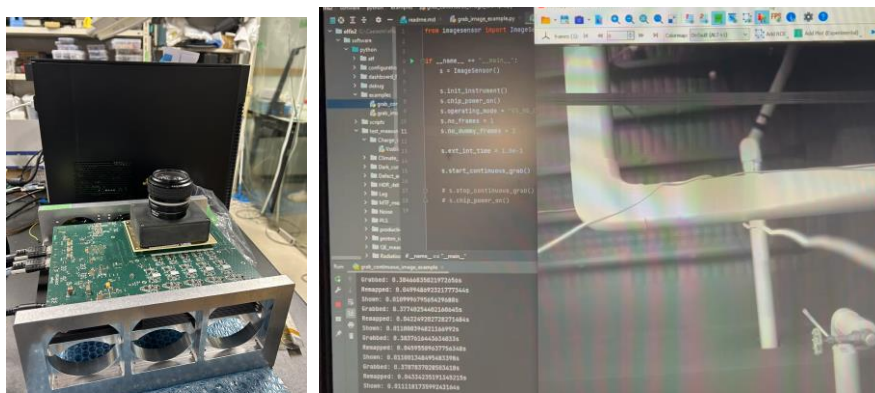


図2. (左) カエレステ社製 sCMOS および制御基盤に取り付けられたカメラレンズ。ニコン F マウントに加え、SM1, SM2 マウント取り付け可能とした。(右) カメラ撮像画像例(天井の配管を撮したもの)。Python により、様々な露出、ビニング、元などを調整しながら撮像可能とする環境を構築した。

【 成果発表 】

<査読論文 (合計6件、以下抜粋)>

- Oyama, S., K. Hosokawa, H. Vanham?ki, A. Aikio, T. Sakanoi, L. Cai, I. I. Virtanen, K. Shiokawa, N. Nishitani, A. Shinbori, Y. Ogawa (2023), IMF Dependence of Midnight Bifurcation in the Thermospheric Wind at an Auroral Latitude Based on Nine Winter Measurements in Tromsø, Norway, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 50, 14, doi: <https://doi.org/10.1029/2023gl104334>.
- Oyama, S., A. Aikio, T. Sakanoi, K. Hosokawa, H. Vanham?ki, L. Cai, I. Virtanen, M. Pedersen, K. Shiokawa, A. Shinbori, N. Nishitani, Y. Ogawa (2023), Geomagnetic activity dependence and dawn-dusk asymmetry of thermospheric winds from 9-year measurements with a Fabry?Perot interferometer in Tromsø, Norway, *Earth, Planets Space*, Vol. 75, 70, doi: <https://doi.org/10.1186/s40623-023-01829-0>.
- Namekawa, T., T. Mitani, K. Asamura, Y. Mioshi, K. Hosokawa, M. R. Lessard, C. Moser, A. J. Halford, T. Sakanoi, M. Kawamura, M. Nose, R. Nomura, M. Teramoto, M. Shumko, K. A. Lynch, A. N. Jaynes, M. G. McHarg (2023), Simultaneous Precipitation of Sub-Relativistic Electron Microburst and Pulsating Aurora Electrons, *Geophys. Res. Lett.*, April 23, 2023, <https://doi.org/10.22541/essoar.168167378.83120518/v1>.

<国際学会 (合計8件、以下抜粋)>

- Sakanoi, T., K. Asamura, Y. Miyoshi, K. Hosokawa, A. Halford, M. Lessard, Small-scale pulsating auroral distribution obtained with the auroral camera on the LAMP rocket, *JpGU Meeting 2023, Hybrid (Makuhari Messe - online)*, Chiba, Japan, 21-26 May 2023.
- Miyoshi, Y., K. Asamura, K. Hosokawa, T. Mitani, T. Namekawa, S. Saito, T. Sakanoi, M. Nose, K. Takahashi, Y. Obayashi, M. Lessard, A. Halford, M. Shumko, N. Paschalidis, M. McHarg, A. Jaynes, D. Hampton, V. Ledvina, K. Lynch, H. Kim, Relativistic electron microburst is a high-energy tail of pulsating aurora electrons: LAMP sounding rocket experiment and computer simulation, *JpGU Meeting 2023, Hybrid (Makuhari Messe - online)*, Chiba, Japan, 21-26 May 2023.

<国内学会/シンポジウム等>

- MCPを含む高感度紫外2次元検出器を応用：惑星観測用装置開発の東北大学の取り組み - FACTORS衛星搭載遠紫外カメラ開発を中心に -, 坂野井健、鍵谷将人、中川広務, マイクロチャンネルプレートの高感度化とその応用分野についての研究会, 東北大学, 仙台, March 28-29, 2024.

2023年度 05) 奨励共同研究 目次詳細

3 件

*所属・学年は2024年3月現在
*Affiliation and Year of graduate school displayed are current as of March 2024.

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
南條壮汰	電気通信大学	情報・ネットワーク工学専攻	博士後期課程3年	脈動オーロラの光学発光から探る磁気圏電子の空間特性	189	
北島 慎之典	防衛大学校	理工学研究科 地球海洋学科	博士後期課程1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	
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2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	193	

(別紙様式05-2)

和文課題名

脈動オーロラの光学発光から探る磁気圏電子の空間特性

英文課題名

Spatial characteristics of magnetospheric electrons estimated by the optical emission of pulsating auroras

代表者、所属機関・部局・学年

南條壮汰、電気通信大学大学院・情報・ネットワーク工学専攻・D3

指導教員、所属機関・部局・職名

細川敬祐、電気通信大学・情報理工学部・教授

【研究目的】

輝度が周期的に変化する脈動オーロラは、真夜中から夜明けの時間帯に頻繁に観測される普遍的なオーロラである。輝度変化の周期は、数秒から数 10 秒の「主脈動」と 3 Hz 程度の「内部変調」の 2 種類が広く知られている。内部変調は、主脈動が明るいタイミング (ON phase) のみに見られ、暗いタイミング (OFF phase) には発生しない。また、全ての ON phase が内部変調を伴うわけではなく、数 Hz の輝度変調を持たない脈動オーロラも存在する。磁気圏衛星「あらせ」と地上の高速撮像カメラの共役観測によって、これらの周期構造は、磁気圏に存在するコーラス波動の周期構造と 1 対 1 対応することが明かされた (Hosokawa et al., 2020)。このことは、コーラス波動の発生分布を地上から 2 次元で導出できることを意味する。そのため、現在はコーラス波動と脈動オーロラの光学発光の関係性に関する研究が盛んである。しかしながら、コーラス波動の成長には粒子の寄与が不可欠であるため、光学観測の結果から粒子の特性が得られる可能性がある。そこで、本研究では、あらせ衛星の粒子観測と光学観測の共役観測事例を解析することで、粒子の特性 (ロスコーン内電子のフラックスや背景電子の分布など) が光学発光に及ぼす影響を調査する。

【研究方法】

2019 年 9 月 28 日 0100–0240 UT にスカンジナビア半島上空で発生した脈動オーロラを対象とした事例解析をおこなった。魚眼レンズを装着した全天カメラによる地上観測と、磁気圏衛星「あらせ」によるその場観測のデータを用いた。地上観測では、当該時刻に快晴であったスウェーデン・チャウジャスおよびフィンランド・ソダンキラに設置した EMCCD カメラのデータを用いた。「あらせ」衛星による観測では PWE による波動の電磁界強度、LEP-e/MEP-e による電子の 3D フラックスデータ、MGF による背景磁場データを用いた。EMCCD カメラは BG3 フィルタを使うことにより、オーロラの明るい禁制遷移である 557.7 nm および 630.0 nm の発光をカットしている。また、サンプリングレートが 100 Hz であるため、数 Hz で発光する内部変調を可視化できる。

【研究結果・考察】

本イベントでは、0100–0150 UT (以下、前半) に内部変調を伴わない脈動オーロラが多く見られ、0150–0240 UT (以下、後半) には内部変調を伴うオーロラが多く見られた。磁気圏衛星「あらせ」に搭載された計測器のデータから、内部変調の有無が変化した要因を調査した。Hosokawa et al. (2020) では、本研究と同様の地上・磁気圏共役観測事例を解析し、PWE/WFC による電磁界強度の計測結果を示すことで、内部変調が見られない場合、コーラス波動がはっきりとしたエレメント構造を持たない hiss-like な放射になり、内部変調が見られる場合は、数 Hz のはっきりとしたエレメント構造が見られると報告された。本研究では、前半の時間帯に 6 Hz 程度のエレメント構造が、後半の時間帯には 3 Hz 程度のエレメント構造が見られた。また、LEP-e/MEP-e による 3D フラックスデータを解析することで、前半の時間帯は、高エネルギー電子の密度と温度異方性のいずれかが大きかったのに対し、後半の時間帯ではその両方の値が小さかった。そのため、高エネルギー電子と温度異方性の両方が大き

い時に、内部変調が可視化されやすい可能性があるのではないかと考察した。本研究で得られた値とパラメータレンジは大きく異なるが、Kato et al. (2018) によるコンピュータシミュレーションでは、これらのパラメータが大きいほどコーラス放射が発生しやすいことが示唆されており、本研究の結果と定性的に一致する。これらの結果・考察は本共同利用による経費支援を受けて、名古屋大学宇宙環境研究所を訪問し、三好教授、中村特任准教授らと議論を進めた上で得られたものである。本年度は、昨年度に得られた研究成果を学術論文として公表し、国内外で成果がどのように応用されるかの展望について発表を行った。

【成果発表】

Nanjo, S., Ebukuro, S., Nakamura, S., Miyoshi, Y., Kurita, S., Oyama, S.-I., et al. (2023). An implication of detecting the internal modulation in a pulsating aurora: A conjugate observation by the Arase satellite and all-sky imagers. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 128, e2023JA031499. <https://doi.org/10.1029/2023JA031499>

Nanjo, S., U. Brändström, T. T. Tsuda, T. Aoki, and K. Hosokawa, An AI-based auroral observation using a wide angle digital camera mounted on a gimbal, 47th Annual European Meeting on Atmospheric Studies by Optical Methods (Optical Meeting), Stockholm University, 2023 年 8 月 21 日 (招待講演)

南條壮汰, U. Brändström, T. Sergienko, 津田卓雄, 青木猛, 細川敬祐, 広角レンズを装着したデジタルカメラとジンバルを用いたオーロラの観測: BROR ロケット実験との同時観測を含めた観測例の紹介, 日本地球惑星科学連合 (JpGU) 2023 年大会, 幕張, 2023 年 5 月 23 日 (学生発表賞受賞)

【参考文献】

Hosokawa, K., Miyoshi, Y., Ozaki, M. et al. Multiple time-scale beats in aurora: precise orchestration via magnetospheric chorus waves. *Sci Rep* 10, 3380 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59642-8>

Kato, Y., Omura, Y., Miyake, Y., et al. Dependence of generation of whistler mode chorus emissions on the temperature anisotropy and density of energetic electrons in the Earth's inner magnetosphere. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 123, 1165–1177 (2018). <https://doi.org/10.1002/2017JA024801>

【省略した単語】

EMCCD: Electron multiplying charge-coupled device

PWE: Plasma Wave Experiment

WFC: Waveform capture

LEP-e: Low-Energy Particle Experiments – Electron Analyzer

MEP-e: Medium-Energy Particle Experiments – Electron Analyzer

MGF: Magnetic Field Experiment (MGF)

UT: Universal time

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1年
指導教員：渡邊恭子、防衛大学校・理工学研究科・准教授

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を構築するためには、宇宙天気状況の予報精度向上は必須である。宇宙天気現象を起因とした通信障害の中でも、航空機無線や船舶無線に影響するのは、短波の通信障害であるデリンジャー現象である。デリンジャー現象の原因は太陽フレア放射であり、その中でも電離圏 D 領域の電離に大きく影響している X 線放射が電波吸収の主要因あると考えられている。しかし、X 線の最大放射フラックス（フレア規模）とデリンジャー現象の規模が比例しない観測例が多数あり、電離圏 D 領域以外の E, F 領域に影響する太陽フレア放射も考慮する必要があることがこれまでの研究などから示唆されている。現在の問題点として、世界各国で開発された全地球大気のシミュレーションモデル（e.g. WAM-IPA, WACCM, IRI）には、特に通信障害に寄与する電波吸収が最も大きい太陽フレア中の電離圏 D 領域の電離について計算するモデルが入っていない。この問題は、本研究で用いる大気圏・電離圏結合モデル GAIA⁽¹⁾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することができる PHITS モデル⁽²⁾を導入することにより、太陽フレア放射による電離圏 D 領域の電離についても計算可能なモデルの構築を行う。

研究方法

まず、太陽フレア放射スペクトルと電離圏電子密度分布の変動との関係性を M3 クラス以上の太陽フレア 38 イベントについて GOES/XRS, SDO/EVE とイオノゾンドの観測値を用いて統計解析した。次に、同じイベントに対して太陽放射スペクトルの経験モデルで広く使われている FISM2⁽³⁾を GAIA に入力し、太陽フレア放射に対する電離圏応答を推定した。アップルトン・ハートレーの式と組み合わせ、イオノゾンドのパラメータを再現し、観測値と比較した。最後に、GOES/XRS から得られる X 線のエネルギースペクトルを PHITS に入力し、Gledhill (1986) ⁽⁴⁾による再結合係数を用いて電離圏 D 領域の電子密度を再現した。本研究では、PHITS による電子密度と GAIA によるシミュレーション結果を組み合わせ再現したイオノゾンドの f_{min} の再現値と観測値との比較及び EISCAT で観測した電子密度値との比較を行い、PHITS が電離圏 D 領域の電子密度を再現できるかを検証した。

研究結果

PHITS と GAIA の電子密度を用いてイオノゾンドの f_{min} 値を再現し、比較検証した（図 1）。ブラックアウトの捕捉率は PHITS : 58 %、GAIA : 35 %であり、PHITS を用いた方がイオノゾンドの f_{min} 値をより再現できた。次に、PHITS による電子密度と EISCAT の電子密度の観測値を比較した。一例として 2017 年 9 月 6 日の X9.3 クラスフレアを図 2 に示す。PHITS によるフレアピーク時の電子密度は観測値にほぼ一致した。一方、フレア発生前の電子密度は観測値に対してばらつきが大きかった。PHITS はフレア発生時の電離圏 D 領域の電子密度の再現に適応可能であることがわかった。

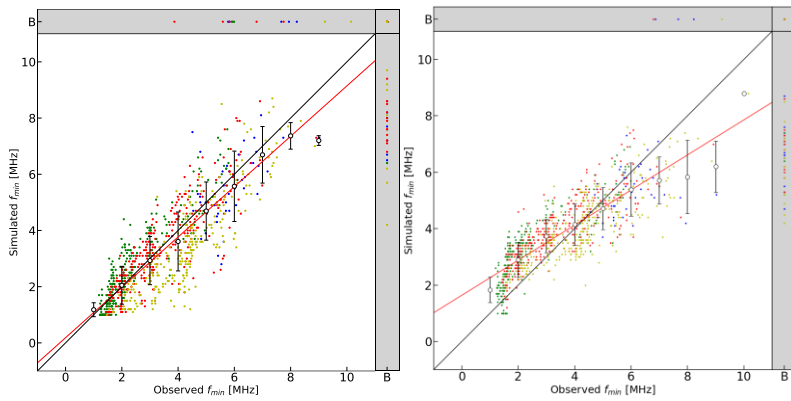


図1 f_{\min} 値の予測値と実測値の比較。左図:PHITS、右図:GAIAの結果。赤実線は最小二乗法による近似直線。図中の“B”はブラックアウトを示す。

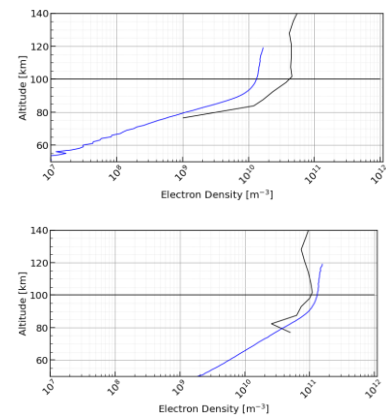


図2 フレア発生前(上図)とピーク時間(下図)における電子密度の比較。青実線:PHITS、黒実線:EISCAT。

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) Chamberlin, P. C., Eparvier, F. G., Knoer, V., et al., 2020, Space Weather, 18, 12, SW002588
- (4) Gledhill, J. A., 1986, Radio Science, 21, 3, 399-408

成果発表

1. Shinnosuke Kitajima, Kyoko Watanabe, Shohei Nishimoto, Hidekatsu Jin, Chihiro Tao and Michi Nishioka, Impact evaluation of Dellinger phenomena during solar flares using GAIA model, JpGU Meeting 2023, 幕張メッセ, 2023 年 5 月 26 日
2. Shinnosuke Kitajima, Kyoko Watanabe, Shohei Nishimoto, Hidekatsu Jin, Chihiro Tao and Michi Nishioka, Verification of the Response of the Earth's Ionosphere by Solar Flare Spectra Using GAIA, AOGS 2023, Singapore, 2023 年 8 月 1 日
3. Shinnosuke Kitajima, Kyoko Watanabe, Hidekatsu Jin, Chihiro Tao, Michi Nishioka, and Kiyoka Murase, Reproduction of electron density variation in the ionospheric D region during solar flares by the PHITS and GAIA models, 第 154 回 SGEPSS 総会および講演会, 東北大学青葉山北キャンパス, 2023 年 9 月 24 日
4. Shinnosuke Kitajima, Kyoko Watanabe, Hidekatsu Jin, Chihiro Tao, Michi Nishioka, and Kiyoka Murase, Validation of electron density variation in the ionospheric D region due to solar flares using the PHITS and GAIA models, AGU Fall Meeting 2023, San Francisco, USA, 2023 年 12 月 12 日
5. 北島慎之典, 渡邊恭子, 陣英克, 埜千尋, 増田智, 西岡未知, 村瀬清香, PHITS と GAIA を用いた太陽フレア時の電離圏 D 領域の電子密度の再現, 2023 年度太陽研連シンポジウム, 国立天文台三鷹キャンパス, 2024 年 2 月 20 日-22 日

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、博士課程2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

海洋の波動は海水の移動を伴わずにエネルギーのみが移動することで離れた場所に水温や圧力の変化を効率的にもたらすもので、熱帯域では赤道に沿って東西に伝搬するとともに深さ方向にも伝搬し、海面付近で励起された海洋波動が沈み込みながら伝搬する現象も知られている。このように海洋表層からより深い場所へ沈み込んでエネルギーを伝搬させる波動は、赤道海洋の表層より深い場所に存在する海流の駆動源であることが示唆されている。近年深さ約 1000m を漂流する Argo フロートの位置情報データにより海中の波動の存在が明らかになり始めた。しかしながら依然として深さ 1000m 以外の流速データは非常に限られているため、波動の起源を明らかにするためには海洋モデルを用いた数値シミュレーションによる研究が不可欠である。そこで本研究では Argo フロートがとらえた東赤道太平洋深さ 1000m における季節内波動に注目し、数値シミュレーションを用いて波動の詳細な振る舞いやそのエネルギー源を明らかにする。

実施内容

海洋波動によるエネルギー伝搬を扱う数値実験の準備として、名古屋大学宇宙地球環境研究所の相木秀則准教授が提案したエネルギーフラックスの定式化[1]を適用可能な海洋モデルの構築を実施した。Argo フロート観測に基づいた研究により、今回注目する東赤道太平洋深さ 1000m の南北流速変動は 30 日周期振動が支配的であることが報告されている[2]。ただ深さ 1000m 付近にそのような波動の励起源が存在しないことから、波動は海洋のより浅い場所からもたらされた可能性がある[3]。この仮説を検証するため、構築したモデルの赤道上の海面で 30 日周期の南北風強制を与える数値実験を実施した。与えた強制により赤道反対称な 30 日周期の波動が海面付近で励起され、波動がエネルギーを東向き、下向きに輸送する結果が得られた(図 1)。したがって深さ 1000m で観測された 30 日周期変動はより浅い場所で励起された波動により説明できる可能性がある。

ここで、今回の数値実験では 30 日周期の風強制を与えたが、現実で

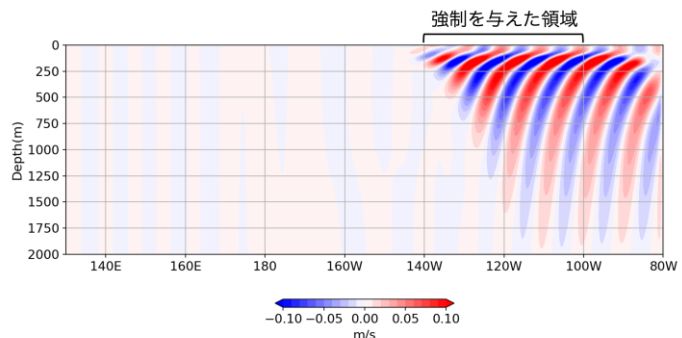


図 1 海面で 30 日周期の強制を与えた実験における積分開始後 183 日目の赤道上の南北流速

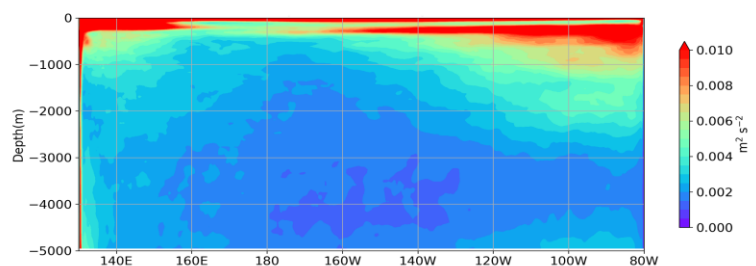


図 2 貿易風を与える追加実験で得られた積分開始後 50~100 年目の赤道、深さ-経度断面における赤道反対称波動のエネルギー分布。

はそのような顕著な海上風変動は観測されていない。代わりに 30 日周期波動を励起する可能性があるものとして表層海流の不安定が挙げられる[4]。そこで同じモデル上で海洋表層の海流系を再現する追加実験を実施した。波動を直接励起せず、かつ表層海流を駆動するために時間・東西に平均された一定の貿易風を海上に与え続け、海洋の応答を確認した。海面から深さ 200m にかけては、赤道に沿って西向きに流れる南赤道海流、東向きに流れる赤道潜流・北赤道反流が再現された。さらに表層海流系の不安定により 30 日周期の波動の励起が確認された。このような不安定現象は中央・東太平洋で発生し、そこで生じた 30 日周期の波動がエネルギーを東向き・下向きに輸送するため(図 2)、深さ 1000m では西経 140 度から東の赤道上にエネルギーが集中する分布となった(図 3a)。このような東太平洋における波動エネルギーの空間分布は Argo フロート

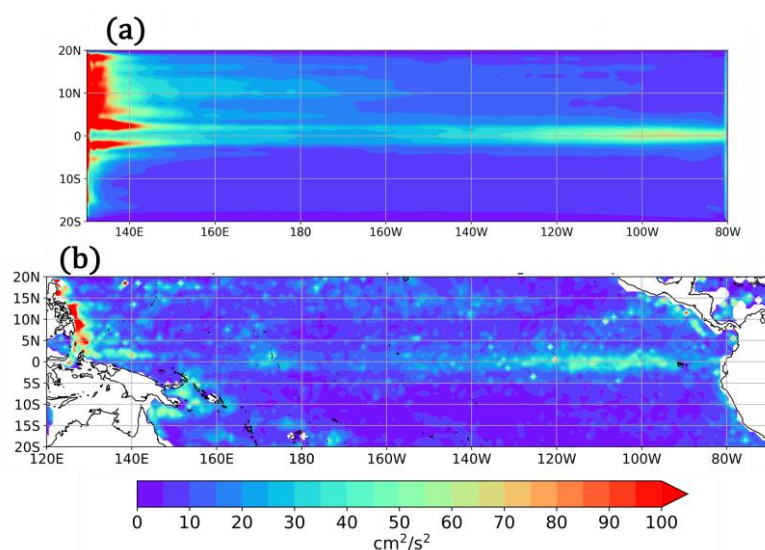


図 3 (a)追加実験における深さ 1000m での南北流速変動のエネルギー分布。(b)Argo フロートで観測された深さ 1000m における南北流速変動のエネルギー分布。

により観測された分布(図 3b)とよく一致し、その大きさも同程度であった。以上の結果は、東赤道太平洋深さ 1000m で観測された南北流速変動が、海洋表層海流の不安定により励起された 30 日周期の波動の東向き・下向きエネルギー輸送から生じることを示唆している。

各実験結果の解釈については相木准教授と議論を行い、得られた成果について 2023 年 12 月に開催された 6th ISEE symposium で口頭発表を実施した。

引用文献

- [1] Aiki et al. (2017), *Progress in Earth and Planetary Science*, 4(1), 1-18.
- [2] Delpech et al. (2020), *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 125(8), e2020JC016313.
- [3] Ascani et al. (2010), *Journal of Physical Oceanography*, 40(5), 1118-1142.
- [4] Ménesguen et al. (2019), *Earth and Space Science*, 6(3), 370-386.

2023年度 06)研究集会 目次詳細

51 件

*所属・職名は2024年3月現在

*Affiliation and Department displayed are current as of March 2024.

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	195	
佐藤永	海洋研究開発機構	地球環境部門 北極環境変動総合研究センター	副主任研究員	統合陸域生態系—大気プロセス研究計画 (iLEAPS)—諸過程の統合的理解にむけて—	196	
中野慎也	情報・システム研究機構 統計数理研究所	学際統計数理研究系	教授	宇宙地球環境の理解に向けての統計数理的アプローチ	197	
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	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	199	
Siswanto Eko	海洋研究開発機構	Earth Surface System Research Center	Researcher	第11 回アジア海色ワークショップ「第20 回 日韓海色ワークショップ」	201	
折橋裕二	弘前大学	理工学研究科	教授	同位体比部会2023	203	
南雅代	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授	第35回(2023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 ジウム	204	
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	206	
諫山翔伍	九州大学	総合理工学研究院	助教	宇宙プラズマとレーザー生成プラズマにおける粒子加速・加熱に関する研究集会	208	
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	209	

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
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	211	
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	センター長	第28回大気化学討論会	213	
岩井一正	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	准教授	太陽圏研究の新展開	215	
Kato Chihiro	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	217	
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	218	
村山泰啓	情報通信研究機構	NICTナレッジハブ	研究統括・ナレッジハブ長	科学データ研究会 (Science Data Symposium)	220	
身内賢太郎	神戸大学	大学院理学研究科	准教授	第38回宇宙線国際会議	221	
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	太陽地球系物理学分野のデータ解析手法、ツールの理解と応用	222	
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24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	223	
桂華邦裕	東京大学	大学院理学系研究科	助教	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	224	
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	226	
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	227	
中溝葵	情報通信研究機構	電磁波研究所	主任研究員	太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望	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
市川香	九州大学	応用力学研究所	准教授	小型飛翔体のみ可以实现できる大気と海洋の 直接・間接観測	231	
加藤雄人	東北大学	大学院理学研究科	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	233	
三宅洋平	神戸大学	大学院システム情 報学研究科	准教授	STEシミュレーション研究会:計算科学と データ科学の融合に向けて	234	
高橋光成	名古屋大学	宇宙地球環境研究 所	特任助教	第8回 YMAP秋の研究会	235	
久保勇樹	情報通信研究機 構	宇宙天気予報グ ループ	グループリー ダー	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)	236	
三澤浩昭	東北大学	大学大学院理学研 究科	准教授	第25回 惑星圏研究会	237	
田村仁	海上・港湾・航空 技術研究所	港湾空港技術研究 所	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	239	
関華奈子	東京大学	大学院理学系研究 科	教授	シンポジウム ― 太陽地球環境研究の現 状と将来	241	
川畑佑典	国立天文台	SOLAR-Cプロジェ クト	助教	太陽研連シンポジウム2023	243	
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)	245	
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	246	
松田昇也	金沢大学	理工研究域	准教授	あらせ衛星の来る10年の科学観測実施に 向けた研究討論会	248	
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・宇宙プラズマにおける波動粒子相 互作用の運動論効果	249	

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
尾形友道	海洋研究開発機構	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	251	
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	253	
齋藤義文	宇宙航空研究開発機構	宇宙科学研究所	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	257	
成行泰裕	富山大学	教育学系	准教授	太陽圏プラズマ物理におけるマルチメッセンジャー研究の進展	259	
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	261	
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	263	
田中将裕	自然科学研究機構 核融合科学研究所	ヘリカル研究部	准教授	水素同位体の回収・計測技術開発と環境挙動・生物影響に関する研究集会	265	
土屋史紀	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	教授	宇宙プラズマ・恒星放射が惑星超高層大気・衛星表層環境に及ぼす影響	267	
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	268	
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	ジオスペースの低エネルギープラズマ研究集会	269	
齊藤昭則	京都大学	大学院理学研究科	准教授	宇宙空間からの地球超高層大気観測に関する研究会	270	
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2023	272	
寺本万里子	九州工業大学	大学院工学研究院	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検討	274	

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
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	275	
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	277	

(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 2023 年 5 月 9 日、6 月 16 日、7 月 11 日、8 月 29 日、9 月 28 日、11 月 21 日、2023 年 2 月 7 日、3 月 1 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、日本気象学会の秋季大会期間中の地球観測衛星研究連絡会で報告した。

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

一方、本研究会での議論を経て、発展した研究成果において、本研究会の支援を受けたことを明示する。

(別紙様式06-2)

統合生態系—大気プロセス研究計画 (iLEAPS)
—諸過程の統合的理解にむけて—
Integrated Land Ecosystem-Atmosphere Processes Study (iLEAPS)
Comprehension of processes

佐藤 永 (海洋研究開発機構・地球環境部門)

本研究集会は、2023年11月20日(月)～21日(火)の2日間にわたって、北海道大学農学研究院 総合研究棟、およびオンライン会場において実施された。13件の話題提供が行われ、それについての質疑応答を行った。主催者と話題提供者を含む参加者数は29名であった(現地23名・オンライン6名)。iLEAPS日本委員会が初めて実施した札幌大会であり、北海道大学に多く在席している関連研究者にご参集いただき、また話題提供も行っていただき、関連研究者間の国内ネットワークを強化することができた。また、集会初日の夜には懇親会を行い(参加者約20名)、親睦を深めることができた。発表者の構成も若手(学生・ポスドククラス)から中堅やベテランまで幅広く、また国際色も豊かであり、分野や職位などを跨いだフラットな発表と議論の場となった。参考資料として、本研究集会のプログラムを添付する。

本研究集会の目的は、大気—陸域プロセスに関心のある研究者が小規模な(議論の行いやすい)会合を持つことで、各自の最新の研究成果を報告し、そ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。本大会では、この目的を実現することができ、そして一連の議論を通じて、大気—陸域プロセスをベースとした気候変動予測研究の推進において、今後さらに観測とモデルによる統合を深めることが必要であるとの共通認識を得ることが出来た。

(別紙様式06-2)

宇宙地球環境の理解に向けての統計数理的アプローチ
Statistical approaches for understanding space-earth environment

中野 慎也, 統計数理研究所・学際統計数理研究系

本研究集会は、統計数理的あるいはデータ科学的アプローチに基づく宇宙地球環境の包括的な解析、モデリング研究に関心を持った研究者を一堂に集めて情報交換を行い、宇宙地球環境の把握、予測のための統合的解析・モデリング研究を促進することを目的に毎年開催している。元々、2011年よりデータ同化に焦点を当てた研究集会として開催してきたが、2016年度より統計科学や機械学習などを含むデータ科学、統計数理的な手法の活用について広く情報交換する場として開催しており、今回で通算13回目となる。今回は、2024年2月15日に名古屋大学宇宙地球環境研究所で開催した。また、Zoomを用いてオンラインからも参加できるようにした。当日のプログラムは以下のとおりである。

[プログラム] (*はオンラインでの講演)

10:50-11:00

(趣旨説明)

*11:00-11:30

片岡龍峰(極地研), 中溝葵, 中野慎也, 藤田茂

「SMRAI2」

*11:30-12:00

佐藤匠(京都大), 藤浩明

「機械学習を用いた地球主磁場の永年変化予測手法の開発」

(12:00-13:30 昼休み)

*13:30-14:00

小財正義(DS施設), 藤井海斗(情報研)

「ガウス過程とマッチング問題の数理を活用した宇宙線物理量の推定」

14:00-14:30

西宮祐太(名古屋大)、三好由純、堀智昭、C-W. Jun、三谷烈史、篠原育、高島健、東尾奈々、齊藤慎司、塩田大幸

「Explainable AI を用いた放射線帯電子変動予測モデルの開発」

14:30-15:00

能勢正仁(名古屋市立大), 小山聡

「AI Feynmanの宇宙地球科学分野への応用可能性について」

(15:00-15:30 休憩)

15:30-16:00

上野玄太(統数研)

「データ同化と制御」

16:00-16:30

中野慎也(統数研), 片岡龍峰, 能勢正仁

「Echo state networkを用いたPi2地磁気脈動の季節-UT変化の解析」

*16:30-17:00

銭谷誠司(オーストリア科学アカデミー), 中野慎也

「プラズマ粒子シミュレーションのための相対論的速度分布関数の乱数生成法」

午前中は、機械学習によるエミュレータ構築や地磁気永年変化予測への応用についての講演があった。午後の前半は、宇宙線データ解析手法についての講演、放射線帯電子変動のモデリングについての講演

があり，また人工知能の物理への応用を提案する興味深い講演もあった．午後の後半は，データ同化手法を制御に応用する研究の紹介や，イベント時系列解析に関する話題，粒子シミュレーションのための乱数生成法の提案など，多様なテーマについて議論がなされた．

オンラインでの参加者に対して，現地での参加者は少なめであったが，各講演に関して活発な質疑や議論がなされた．統計的，数理的手法の応用だけでなく，機械学習の応用や今後の展望について議論することができ，非常に有意義な集会となった．

(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、日本が開発する、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」の打ち上げが 2024 年 5 月に迫っている。

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 2024 年 3 月 7 日（木）～8 日（金）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 81 名が参加した。2020 年度までと同じく、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：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（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
発表数	25	30	29	43	38
参加者	59	78	81	81	81

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。2020 年度と 2021 年度はオンライン

開催であったが、参加者が 2018 年度より増え、80 名程度であった。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、参加者数は近年と同等の規模を維持している。また、発表者数の 38 件は、昨年度よりは減少しているものの、2018-2021 年度と比べると増加している。これは、オンライン開催をきっかけに本研究集会に関心を持った方々が、以降も、継続的に参加頂いているためと考える。ハイブリッド開催であるものの、発表者は名古屋大学から対面で参加する結果となった。これまでの研究成果を発表する機会として本研究集会がその機会を提供する役割を果たしたと考える。

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。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、「衛星観測データを用いた夏季シベリアの降水特性の研究」の発表は、GPM の特色である高緯度の降解析結果を示し、非常に興味深かった。

2. EarthCARE のような今後打上げられる衛星に向けた研究成果

2024 年に 5 月打上げが予定している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り、EarthCARE 衛星に搭載される雲プロファイリングレーダ（CPR）用の衛星シミュレータの開発、衛星シミュレータを用いた EarthCARE の放射アルゴリズムの評価、マイクロ波放射計と EarthCARE データを複合利用した雲氷物理量推定の発表、CPR と GPM を用いたモデリング評価等があった。EarthCARE/CPR は衛星搭載レーダでは世界初のドップラー速度技術を有し、今後、EarthCARE と GPM のような他の衛星データとの複合利用が期待されている。また現在、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。

3. 機械学習を用いた研究成果

本年度開催した研究集会での印象として、特に、近年、利用が進みつつある機械学習を用いた研究成果を挙げることができる。降水推定における利用に加えて、雲氷推定、雲の有無の識別手法、データ同化手法等で機械学習を利用した研究成果が示され、近年の動向として、興味深い。

以上

第 11 回アジア海色ワークショップ「第 20 回日韓海色ワークショップ」
The 11th Asian Ocean Color Workshop / 20th Korea-Japan Ocean Color Workshop

エコ シスワント、国立研究開発法人海洋研究開発機構
地球表層システム研究センター

1. Workshop Overview

The Asian coastal oceans, which are surrounded by countries with high population density and highly sensitive to global climate variabilities have been experiencing significant changes, and thereby their ecosystems are likely to be highly vulnerable to both climate changes and human activities. Coastal oceans and their ecosystem observation and monitoring are needed for evidence-based policymaking. The Earth-observing system, especially by ocean color remote sensing, provides a valuable tool to cope with the problem of coastal ocean ecosystem changes over a large spatiotemporal scale.

A forum called the Korea-Japan Workshop on Ocean Color (KJWOC) to promote ocean color remote sensing applications in the Asian region has been carried out since 2003. Since 2011, KJWOC has also been called the Asian Workshop on Ocean Color (AWOC) due to the increasing number of participants from Asian countries. In the 2023 fiscal year, the 11th AWOC / 20th KJWOC was held in a hybrid format together with other two research forums (Indo-Pacific Dynamics and Air-Sea Interaction) as the core session of the 6th ISEE Symposium 2023. The 6th ISEE Symposium was chaired by Prof. Joji Ishizaka and held on 17-19 December 2023 at Sakata-Hirata Hall, Higashiyama Campus, Nagoya University. After the workshop, a two-day lecture/training on J-OFURO3 Data Training, Ocean Color/Inherent Optical Properties, Monitoring and Assessment of Water Quality by Ocean Color Remote Sensing, Mapping Seagrass by Optical Sensors, and NOAA CoastWatch Training were held on 20-21 December 2023.

2. Participant/Presenter Number

The 11th AWOC / 20th KJWOC was attended by 103 participants including presenters and trainers. Participants came from 48 research/academic institutes including 29 institutes from overseas and 19 institutes consisting of universities, research institutes, and private institutes in Japan. The countries of overseas institutes are China, India, Indonesia, Korea, Malaysia, Pakistan, Taiwan, Thailand, and the USA. The detailed information of participants can be seen in report forms 06-3 and 06-4 attached.

The 11th AWOC / 20th KJWOC delivered 50 oral presentations and 30 poster presentations. The oral presentations were divided into 7 sessions covering various topics; 1) Ocean color: Mission status, progress, and operational; 2) Observations with airborne, UAVs, and micro-satellites; 3) Exploring tropical oceans: New research and programs; 4) Exploring polar regions: New research and programs; 5) Ocean primary production: in situ and satellite estimation; 6) Red tides: Spatiotemporal changes, drives, and detection; and 7) Coastal ocean processes, optical properties, and fisheries. Applications of two satellite ocean color sensors (Japanese SGLI and Korean GOCI-II) with high spatial resolutions were mainly presented. A more general topic such as utilizing satellite ocean color data to understand the impacts of climate change was also presented. Figure 1 below shows some pictures that were taken during the workshop.



Some of photos which were taken during the 6th ISEE Symposium, Nagoya, 17–19 December 2023.

3. Time and Venue for the next 12th AWOC / 21st KJWOC 2024

During the ISEE Symposium general discussion and closing session, it was decided that the next 12th AWOC / 21st KJWOC 2024 will be held in Bali, Indonesia, organized by Udayana University, Indonesia, and will be chaired by Dr. Takahiro Osawa. The workshop will be supported by Dr. Iskhaq Iskandar (Sriwijaya University), Dr. Jonson L. Gaol (IPB University), Dr. I Wayan Gede Karang (Udayana University), and Dr. Sam Wouthuyzen (National Institute for Research and Innovation) as local/steering committee members.

It is planned that training on Monitoring and Assessment of Water Quality by Ocean Color Remote Sensing, Mapping Seagrass by Optical Sensors, and the SGLI data processing will also be held before training. Training will be carried out for three days and will be delivered by Dr. Terauchi (Northwest Pacific Region Environmental Cooperation Center) and Mr. Nakayama (Japan Aerospace Exploration Agency).

同位体比部会 2023
Isotope-ratio Mass Spectrometry Meeting, 2023

折橋 裕二（弘前大学大学院理工学研究科）

同位体比部会（日本質量分析学会）は、同位体分析を主な研究手段とする国内の研究者・学生がハード・ソフト両面で当面する問題について互いの情報を交換し、同位体比測定法およびその応用研究分野のアプリケーションのレベルアップを図ることを目標に年一回開催されている研究集会であり、質量分析法を研究手法とする同位体研究、特にハード試料を中心とした研究の交流の場を提供する国内唯一の会である。

今年度は弘前大学大学院理工学研究科の折橋が中心となり、2023年11月20日（月）～22日（水）に青森県浅虫温泉の海扇閣にて開催した。ここ数年はコロナ禍で、オンライン形式での開催が中心であったが、今回はコロナ禍明け初の合宿形式で行った。参加者は52名（うち35歳以下の若手研究者・大学院生は30名）であり、開催地も遠方であったためとコロナ禍後すぐの開催であったため、コロナ禍前の参加者数にはやや及ばなかったが、それでも大学院生、ポスドク、助教など今後の同位体研究を担う若手研究者の参加が多かったことが印象的であり、同分野の中核研究者達との相互交流を深める良い研究集会を提供できたのではないかと考える。

今回は久々の合宿形式であることから、特別企画として、イオン検出器に特化したショートコースを企画した。地球化学分野の若手から中堅研究者を中心に講演が行われ、活発な議論が行われた。以下に、同企画の講演者および特別講演者、学生発表・ポスター賞の受賞者を示す。

ショートコース：イオン検出器

- 山本康太（原子力規制委員会原子力規制庁） 「ファラデー検出器」
山下修司（同志社大学） 「EM, Daly検出器」
中里雅樹（東京大学大学院理学系研究科） 「MCP, MagneTOF検出器」
松崎浩之（東京大学総合研究博物館） 「ガス検出器」
坂本直哉（北海道大学創成研究機構） 「固体イオン検出器」
浅沼 尚（京都大学大学院人間・環境学研究科） 「総括（高速計測、高ダイナミックレンジ計測の必要性）」

特別学術講演

- 中井俊一（東京大学地震研究所）「ICP質量分析計で行ってきたことー文化財から火山岩までー」

学生発表・ポスター賞

- 中里雅樹（東京大学大学・D3）
「ICP 質量分析法によるコンドライト中微粒子の個別同位体分析」
高橋真里花（学習院大学・M2）
「初期地球環境研究のためのジルコン質量分析」
小笠原美紀（弘前大学・B4）
「下北半島西部、赤石海岸に産するデイサイト貫入岩中苦鉄質火成包有岩の産状、岩石記載、U-Pb年代および全岩化学組成」



(別紙様式 6-2)

第 35 回 (2023 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 35th 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 2024 年 2 月 22 日 (木) 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 22 人 (そのうち、学生 4 名)、現地参加者は 10 名、オンライン参加者は 12 名であった。今回は、以下の講演リストに示すように、湖底堆積物、花粉、地下水、火葬人骨、石製遺物、大気エアロゾル、樹木年輪など、さまざまな試料を用いて行われた環境学、地質学、文化財科学、宇宙科学など幅広い分野の共同利用・共同研究成果の発表が行われた。4 年ぶりに対面でシンポジウムを開催することにより、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。年代測定研究部の活動を概観するとともに、共同利用・共同研究者と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と言える。

<講演リスト>

一般講演 セッション 1

エジプトの西方砂漠に位置するハルガ・オアシスの窪地における利用水の ^{14}C 年代
モンゴル高原東部ブイル湖の湖底堆積物を用いた過去 100 年間の環境変動解析
北海道に残存していた常緑針葉樹ツガ属 -花粉分析と AMS ^{14}C 年代測定-
水試料の ^{14}C 分析のための塩化ベンザルコニウム (BAC) による殺菌: 塩成分が BAC
効果に与える影響

一般講演 セッション 2

火葬人骨の ^{14}C 年代測定 -唐招提寺西方院五輪塔の火葬人骨の分析例-

天理市杣之内火葬墓出土火葬骨の年代測定と被葬者像

管玉原材料としての緑色凝灰岩-碧玉の原産地推定を目的とした基礎的研究

2019～2020 年の名古屋の都市大気エアロゾルの ^{14}C 濃度及び無機金属元素濃度の変動

炭素 14 スパイクと過去の太陽活動

施設報告

名古屋大学タンデトロン AMS ^{14}C システムの現状と利用 (2023)

CHIME の現状と利用 (2023)

総合討論-共同利用・共同研究について-

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. 8 に掲載した。

(別紙様式 6-2)

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 34 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 20 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 10 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, LAMP実験に続く形で検討が進んでいるロケット実験 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) について意見交換を行うことができた. 特に EISCAT_3D 計画については, 特別に 1 時間程度の時間を設け, 取り組むべき科学課題の検討を行った. 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 12 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、藤井良一特任教授代表、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) x 2 件、および科研費基盤 (A) x 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。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。本研究集会に継続的に参加してきた大学院生 2 名が、2023 年度に博士号を取得し、1 名の学生が 2024 年度から博士課程に進学する予定である。

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。

合同研究会「宇宙プラズマとレーザー生成プラズマにおける粒子加速・加熱に関する研究集会」

他、「太陽圏プラズマ物理におけるマルチメッセンジャー研究の進展」
「太陽地球環境と宇宙線モジュレーション」
「太陽圏・宇宙線関連の共同研究成果報告会」

これに磁工核よりこた背た熱に、有進
学らとのに、プ、まもし加常に共推
理え動子療一りれ。て。・非ドをを
物考波粒治ザよさるいる速は一見展
体が形がんに起れおれ加のワ知発
天構線一がレー励わにら子う一いの
、機非ギ線たザが行野え粒行キしへ
学速なル子し一動が分考るをを新究
理加幅ネ粒指レ波換一とこ換」、研
物子振エ、目。マ変ザす起交速い同
マ粒大の合をるズ一らで見加集共
ズなに場融用いラギレた宙意子がは
ラ々特磁核応てプル、も宇で粒者に
プ様は電なのっ幅ネりをは野「究ら
宙、でりのへな振エな割に分、研さ
宇り宙よ来どと大のと役構究はの、
はあ宇に将なくばへ能な機研で野ク
明でる用は棄ッし子可要熱の会分ッ
解つす作で廢ピば粒が重加つ集一バ
構と配互上核トしら成に・2究ザド
機ひ支相地・究はか生熱速ら研一
成のがの分析研で一の加加れ本レイ
生ク場と一分な内ザ場・子こ。とフ
のッ磁子。造要ト一磁速粒、る野の
線ピと粒る構重ッレ級加るくれ分へ
宙トマ電れるがゲてラ子よ多らマ野
宇なズ荷さよ熱一しス粒にもえズ分
一要ラの換に加タ介テが一理考ラ各
ギ重ブ中変源・たを口在ザ物とプで
ルも突マに子速れ動キ存一るる体と
ネ最衝ズ一性加さ波はのレすあ天こ
える無ラギ中子化の場で通で・う。
高け。プル砕粒マら年磁っ共用宙ある
おる化ネ破るズれ近景がと有宇しす

1 日目：現地22名 + Zoom34名
2 日目：現地24名 + Zoom31名

[illegible]

本研究会において、宇宙、天文、レーザ分野の研究者たちが交流し、互いの最新研究や成果を共有するこで、将来的な研究の発展に寄与する見込みが大きいと考え、また、各分野間の交流をさらに活発化させるため、相互の課題も明らかに、非常に有意義な研究会となりました。

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レーダーの建設状況・準備状況・今後の展望および現有EISCATレーダー（UHFレーダー、VHFレーダー、ESR）を中心に用いた研究成果発表を、国内共同研究者で共有・議論し、EISCATレーダーを中心に用いた北極域電離圏・熱圏・中間圏の観測研究を推進することを目的とする。研究集会の主要な課題として3つある。

（1）現行のEISCATレーダーシステムや北極域に展開された観測装置を用いた最新の研究成果を発表する。特に、2023年度に実施したEISCAT特別実験の結果を発表する。

（2）EISCAT_3D計画の進捗状況や北欧のEISCAT関連観測に関する最新情報について、EISCAT Council委員、EISCAT SAC委員、EISCAT_3D開発メンバーから説明し、情報を共有する。そして、EISCAT_3Dレーダーを用いた新たな科学課題・サポート体制を議論する。

（3）EISCATレーダーシステムからEISCAT_3Dへの移行期に進めるべき研究内容や、EISCAT_3D稼働後も運用が継続するESR (EISCAT Svalbard Radar)を用いた研究の発展性を議論する。EISCATレーダーを用いた個々の研究テーマには、オーロラ物理、3次元電流系、中間圏・熱圏・電離圏ダイナミクス、太陽風エネルギー流入に伴う大気応答、宇宙デブリを含む大気環境計測、などの幅広い研究分野の内容が含まれる。それらを今後どのように発展させていくべきかを議論することにより、EISCAT_3D及びESRを用いた観測・研究計画をより具体的かつ実現性の高い内容にしていく。

研究集会内容：集会は、2024年3月7日（木曜日）13:30-17:00 および3月8日（金曜日）09:15-15:40の予定で国立極地研究所3階セミナー室をメイン会場として、ハイブリッドで開催した。国立極地研究所のEISCAT研究集会（小川泰信 代表）と合同で開催し、38名（うち大学院生10名）が参加し、活発な議論が行われた。座長は野澤悟徳および小川泰信が務めた。

3月7日のセッションでは、最初にEISCAT_3D計画の現状と今後の予定、EISCAT_3Dシステム内容と進捗状況、および日本の取り組みについて、講演がなされた。それを踏まえて、EISCAT_3Dを用いた今後の国際共同研究について、議論を行った。特に、日本のグループが、EISCAT_3Dを用いてどのような科学課題を実施するかについて議論を行い、今後日本としての研究計画案を策定することを決定した。3月8日午前は、6件の研究成果の講演が行われた。3月8日午後は、2023年度の日本のEISCAT特別実験のまとめの報告後、EISCAT特別実験6件の観測結果について講演がなされた。最後に総合討論を行い、EISCAT_3D稼働後のサポート体制等について、議論された。

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。また、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、日本のグループは、レーダー、光学観測等捕捉・補完的な観測装置を併用して、これまで通り独自の成果を挙げ続けることが出来ると期待できる。

EISCAT 研究集会（極地研研究集会及び名大 ISEE 研究集会）

日時： 2024 年 3 月 7 日（木曜日） 13:30-17:00 JST

2024 年 3 月 8 日（金曜日） 09:15-15:40 JST

場所：国立極地研究所 3 階セミナー室（C301）及び zoom

3 月 7 日（木曜日）

13:30-13:35 趣旨説明と事務連絡（小川、野澤）

EISCAT_3D 計画：

13:35-14:05 EISCAT_3D の進捗状況（橋本）

14:05-14:35 EISCAT_3D 共同利用に向けた国内準備状況（小川）

14:35-15:00 EISCAT_3D レーダー観測によるイオン速度ベクトル場の推定手法の検討（吹澤）

15:00-15:25 EISCAT_3D activity related to space weather monitoring (Lindis Bjoland)

15:25-15:50 休憩

15:50-16:05 EISCAT_3D を用いて日本の目指す科学に関する背景説明（小川）

16:05-16:45 EISCAT_3D で行うべき科学課題に関する議論（進行：細川）

16:45-17:00 総合討論

3 月 8 日（金曜日）

研究発表：

09:15-09:40 LAMP1 ロケット搭載オーロラカメラ AIC の成果と LAMP2 ロケット搭載カメラ検討（坂野井他）

09:40-10:05 電離圏の温度と衝突周波数（家田）

10:05-10:30 デジタルカメラによるオーロラの色とフォトメータの輝度値の比較（南條他）

10:30-10:45 休憩

10:45-11:10 Thermospheric wind response to March 2023 storm: Largest wind ever observed with

a Fabry-Perot interferometer in Tromsø, Norway since 2009（大山他）

11:10-11:35 あらせ衛星と EISCAT 衛星観測にもとづく降下電子エネルギースペクトル推定手法の開発（三好他）

11:35-12:00 Response Time of Joule Heating Rate and Nitric Oxide Cooling Emission During

Geomagnetic Storms: Correlated Ground-Based and Satellite Observations（Bag）

12:00-13:20 昼休憩

2023 年度の EISCAT 共同利用：

13:20-13:35 2023 年度の EISCAT 特別実験の全体概要説明（野澤）

13:35-15:00 2023 年度の EISCAT 特別実験報告（計 10 件）各 10-15 分間。質疑討論の時間込み。

課題名：

- ・細川：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

- ・関：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

- ・三好：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

- ・野澤：オーロラ擾乱の上部中間圏への影響

- ・藤田：破碎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

（注：以下は 3 月中旬に実施予定の EISCAT 特別実験課題）

- ・南條：カラーデジタルカメラを用いたオーロラ降下電子エネルギー推定手法の較正

- ・野澤：EISCAT UHF レーダーとフォトメータ同時観測による降下電子エネルギー推定法の改善

- ・藤原：昼側極冠域の電離圏変動の研究

- ・塩川：青いオーロラの EISCAT-FPI 同時観測による窒素分子イオン流出の計測

- ・大山：EISCAT-SDI-ASI による極域熱圏加熱メカニズムの解明：EISCAT_3D & SDI-3D 観測に向けた準備研究

15:00-15:10 2024 年度の EISCAT 共同利用について（小川）

15:10-15:40 総合討論

15:40 閉会

第6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
6th 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6回目となる。前年度の第5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を中心に学生を含め計5名が参加し、2日間にわたり議論を行った。ただ、今回は 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) 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解析ソフト (SFIT4) の新バージョンに関する情報交換を行い、午後には陸別サイトを見学し調整中の新しい分光器の立ち上げ状況の報告を受けた。

今回も対面開催となり、施設の見学や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。

研究集会のプログラム

名古屋大学宇宙地球環境研究所 (ISEE) 研究集会 「第6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」

宿泊研修施設オーロラハウス研修室
(北海道足寄郡陸別町字陸別原野基線69番地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)

○は発表者を表しています

2023/9/21

10月2日

13:30-13:35	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		
13:35-14:00	25 つくばFTIR(NDACC観測)の状況	○村田 功(東北大院環境)
14:00-14:20	20 随時FTIRの状況、名古屋FTIRの状況	○長濱智生(ISEE)、○森野 勇(NIES)、村田 功(東北大院環境)、中島英彰(NIES)、水野 亮、中島 拓(ISEE)
14:20-14:40	20 NIESが運用するTCCONサイト(随時、つくば、Burgos)の状況	○森野 勇(NIES)
14:40-15:00	20 議論	
15:00-15:15	休憩	
TCCON & COCCON		
15:15-15:30	15 TCCON/COCCON meeting 2023の報告	○森野 勇(NIES)
NDACC		
15:30-15:45	15 NDACC/IRWGの活動	○長濱智生(ISEE)
15:45-16:00	15 NDACC Steering Committeeの活動	○中島英彰(NIES)
16:00-16:15	15 議論	
温室効果ガス		
16:15-16:35	20 GOSATシリーズの状況	○森野 勇(NIES)
16:35-16:55	20 EM27/SUNを用いた観測(つくばCOCCONサイト、Atacama等)	○森野 勇(NIES)
16:55-17:00	5 議論	
17:00	1日目終了	

10月3日

対流圏組成変動		
9:00-9:30	30 HCFC22+HFC23の再解析	○杉本一郎、長濱智生(ISEE)
9:30-10:00	30 つくばFTIR観測で捉えたHCFC-22の減少	○村田 功(東北大院環境)、長濱智生(ISEE)、中島英彰、森野 勇(NIES)
10:00-10:30	30 つくばFTIRによるHFC-134aの解析	○中島英彰(NIES)
10:30-10:50	20 イソプレンの解析と次期計画	○長濱智生(ISEE)
10:50-11:00	休憩	
個別トピック		
10:40-11:00	20 NDACC N2O gascellについて	○長濱智生(ISEE)
11:00-11:30	30 解析ソフト-SFT4、その周辺の状況	
11:30-11:40	10 その他	
11:40-11:45	まとめ	
11:45-13:30	昼食休憩(観測所への移動も含む)	
13:30-15:00	随時観測所見学	
15:00	2日目終了	

第28回大気化学討論会
28th 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28回大気化学討論会を、2023年11月20日（月）～22日（水）の3日間、長崎県長崎市のチトセピアホールにて開催した。（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：長崎大学環境科学部）

大気化学討論会は大気圏及び成層圏の化学・力学（輸送、物質循環）過程、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、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て各地で開催することが通例であり、今年度は長崎大学の学会員が中心となって実行委員を務め、長崎市内の会場にて対面開催を実現した。昨年度はコロナ対策で実施できなかったポスター発表と懇親会も再開でき、学术交流が深まった。オンラインの配信も実施し、現地参加が難しい参加者に対する利便性も図った。

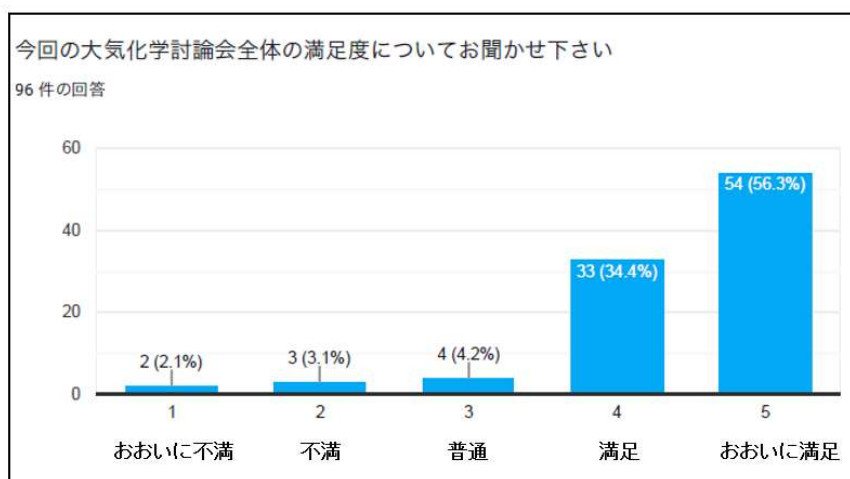
参加者は145名、口頭発表件数45件（基調講演・招待講演・受賞記念講演を含む）、ポスター発表件数66件と盛況であった。基調講演・招待講演は、プラネタリーヘルス・太平洋表層水の鉄・植物へのオゾン影響に関するもので、境界分野に対して大気化学研究者の関心が高まった。口頭発表のセッションは、エアロゾル1（ナノ粒子/金属）、エアロゾル2（PM2.5/海洋/極地）、化学反応過程、窒素酸化物/硫黄酸化物、都市大気、リモートセンシング、HO_xラジカル/植物起源揮発性有機化合物、ブラックカーボン/ブラウンカーボン、メタン、シミュレーションと多岐にわたる形で設定され、多分野にわたる講演と活発な質疑応答が行われた（図1）。

要旨集の印刷冊子を作成し、参加者が各発表の要旨を確認しやすいように配慮した。なお、要旨集の冊子作成に名古屋大学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は高く、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が実施され、交流の場が多く提供された。また、希望者は雲仙への巡検にも前日に参加し、地域的な特色を踏まえた大気観測などについても知見を得る機会があった。日本大気化学会奨励賞2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。研究コミュニティで策定した「大気化学研究の将来構想2022-2032」の印刷冊子も現地で手に取れるようにし、融合的な研究を含む各研究分野の計画を踏まえた形での交流が進展した。また、2024年のiCACGP-IGAC合同会議（クアラルンプール）についても会員集会でアナウンスし、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、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1) 会場での集合写真



(図2) 満足度に関するアンケート調査の結果

(別紙様式06-2)

太陽圏研究の新展開
Meeting for next generation helioscience

岩井一正、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

本研究集会は、(1) 近年の太陽圏研究をレビューしつつ、日本の太陽圏研究の強みや独創性を明確化するための議論を行うこと、(2) 開発が進む次世代太陽風観測装置を含む太陽圏分野の将来計画について議論し科学課題の先鋭化と目標性能の明確化を行うこと、(3) ISEEのリソースを用いた太陽圏分野および関連分野の新しい共同研究・融合研究課題を創出すること、を目的として、主にISEEの太陽圏研究部の方向性をコミュニティと議論するために、招待講演を中心にプログラムが組まれた。また幅広い参加者を募るため「宇宙プラズマとレーザー生成プラズマにおける粒子加速・加熱」、「太陽地球環境と宇宙線モジュレーション」、「太陽圏プラズマ物理におけるマルチメッセンジャー研究の進展」、「太陽圏・宇宙線関連の共同研究成果報告会」と合同で3月4日から7日の4日間開催した。名古屋大学における対面とzoomによるハイブリッド形式で行ない、4日間の参加者は延べ332名、本研究集会の主な開催日となった3月6日だけで86名と非常に大規模な研究会となった。参加者は、太陽圏研究の動向や今後の方向性について活発な議論を行ない、分野を横断する研究会となった。以下は、合同研究集会の地、本研究集会と同日に開催された「太陽圏の次世代研究検討会」「太陽圏プラズマ物理におけるマルチメッセンジャー研究の進展」のプログラムである。

3/6 (水) 「太陽圏の次世代研究検討会」「太陽圏プラズマ物理におけるマルチメッセンジャー研究の進展」

(敬称略)

9:00-9:15 岩井一正

「趣旨説明、ISEE太陽圏グループ、プロジェクトの紹介」

9:15-9:40 岩井一正

「ISEEの太陽圏研究、次世太陽風観測装置について」

9:40-10:05 藤木謙一

「ISEEの太陽圏研究について」

10:05-10:25 議論

10:25-10:35 休憩

10:35-11:00 庄田宗人

「日本の強みを活かす太陽風研究の方向性」

11:00-11:25 塩田大幸

「宇宙天気予報の観点からの太陽圏研究」

11:25-11:50 三好由純

「太陽圏システム科学の推進：太陽圏サイエンスセンター活動から」

11:50-13:00 昼休み

13:00-13:25 松清修一

「太陽圏構造と宇宙線の加速・輸送」

13:25-13:50 加藤千尋

「地上宇宙線観測を用いた宇宙天気研究(仮)」

13:50-14:15 成行泰裕

「太陽圏プラズマ中の乱流・粒子拡散の理論モデルの課題」

14:15-14:25 休憩

14:25-14:50 鈴木 建

「太陽恒星風研究と太陽と太陽系進化について」

14:50-15:15 行方宏介

「恒星CME研究の新展開と太陽圏研究との連携」

15:15-15:30 新田伸也

「磁気リコネクションに於ける磁気シアと非対称性の影響」

15:30-16:30 議論

16:30-16:40 休憩

16:40-17:10 三澤浩昭

「太陽電波バーストの研究動向」

17:10-17:40 西野真木

「月周辺プラズマ環境のレビュー」

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、「宇宙プラズマとレーザー生成プラズマにおける粒子加速・加熱」、「太陽圏の次世代研究検討会」、「太陽圏プラズマ物理におけるマルチメッセンジャー研究の進展」および「太陽圏・宇宙線関連の共同研究成果報告会」と合同で3月4日から7日の4日間開催した。会是对面+オンラインのハイブリッド形式で行ない、4日間の参加者は延べ332名であった。参加者は、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を行ない、貴重な意見交換の場となったと思われる。

以下は、合同研究集会のうち、本研究集会と成果報告会のプログラムである。

「太陽地球環境と宇宙線モジュレーション」

「太陽圏・宇宙線関連の共同研究成果報告会」

3/7 (木)

9:30-10:00 佐古崇志「TeV 領域宇宙線異方性の太陽磁場による変調」

10:00-10:30 Anzorena, M「Observation of Very-High-Energy Cosmic Rays with ALPACA array」

10:30-10:45 宗像一起「Cosmic ray observation using global detector network」

10:45-10:55 休憩

10:55-11:25 大嶋晃敏「GRAPES-3 ミューオン望遠鏡による宇宙天気研究」

11:25-11:40 小島浩司「太陽風速変動と太陽系動径方向宇宙線密度勾配の関係について」

11:40-11:55 Pam Kledsai Poopakun「Solar magnetic Polarity Effect on Neutron Monitor Count Rates」

11:55-12:10 増田吉起「地上宇宙線観測による Starlink イベントの解析」

12:10-13:50 昼休憩

13:50-14:05 徳丸宗利「惑星間空間シンチレーション観測による太陽風速度モデルの最適化」

14:05-14:35 赤池陽水「ISS 搭載 CALET による 8 年間の軌道上観測の成果」

14:35-15:05 松原豊「SciBar Cosmic Ray Telescope (SciCRT)」

15:05-15:20 小財正義「宇宙線異方性の包括的理解へ向けた教師なし学習の試行」

15:20-15:30 休憩

15:30-15:45 村木綏「名大ミューオン望遠鏡の 48 年間の観測で得られた 125 ± 45 年周期について」

15:45-16:00 村木綏「太陽中性子崩壊陽子の観測(2 例目)」

16:00-16:15 櫻井敬久「第 25 太陽活動初期の宇宙線生成核種 Be-7 濃度の季節変動」

16:15-16:30 中澤知洋「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」

16:30-16:45 野澤恵「簡易観測による衛星軌道データと宇宙天気現象の解析」

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
Study of light absorbing impurities accelerating ablation of mountain glaciers

坂井亜規子、名古屋大学・環境学研究科

集会の概要

世界の山岳氷河は温暖化により近年縮小傾向にある。氷河が縮小し融解水が海へ流れ込むことで海水準が上昇し、また内陸にある氷河は水資源としての役割を持つ。このように氷河変動は環境に大きな影響を及ぼすため、氷河変動の将来予測に注目が集まっている。氷河の融解は気温のみではなく、日射の影響も受け、特に氷河表面の光吸収性不純物が日射量の反射率（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は氷が露出している。氷面において光吸収性不純物がアルベドにどのように作用するかは観測例が少なく、研究も進んでいない。本研究集会では世界各地の氷河消耗域における氷河表面の光吸収性不純物とアルベドの関係に着目し、長期間の変動を精緻に再現できる氷河変動モデルの開発を目指した研究集会とする。

参加者数

対面参加： 15 名

リモート： 7 名

計：22名

研究報告

・2023年7月と8月のポターニン氷河における観測報告があった。自動気象測器は順調に動き、ようやく1年間のデータがとれたこと、氷河上でのアルベド観測、風化氷の観測の結果についてなどが報告された。特に風化氷が形成されているところの密度プロファイルに関してはグリーンランドの先行研究と比較し、氷の密度になる深さが総じて浅いことが明らかになったことが報告され、今後の風化氷観測方法につながる議論を行った。

・昨年度と今年度の黒色炭素のサンプルをSP2で測定し、ポターニン氷河の積雪、氷、降雪、流水等における黒色炭素の粒径分布と濃度の測定結果について。積雪、降雪、流水は既存のアルタイのデータと同じ1-10 ng/gであったが、表面の氷は10-1000ng/gと一桁～二桁大きな値を示した。氷河上不純物を考慮するときの黒色炭素のオーダーが明らかとなった。

・クリオコナイトホールのサイズ観測とサンプリングを行い、それらに含まれる色素のスペクトルを測定した結果の発表があった。

・ポターニン氷河下流部にデブリの露出帯を発見し、UAVによって撮影したところ、デブリの露出帯は

氷河末端部に集中していることがわかり、また露出するデブリはオーガーによる掘削により氷河内に連続してつながっていることがわかった。露出するデブリは細かなものだけではなく粗い砂利も含むことが粒度分析で明らかとなり、今後流出水と一緒に流れ出す鉱物粒子のサイズの測定から氷河上の鉱物粒子の移動について考えて行くことになった。

- ・積雪裸氷放射伝達モデル、特に赤雪の含まれた雪の放射伝達モデルに関する発表があった。また表面のラフネスにより放射伝達が変わってくることや、大気から氷、氷から大気へ放射が透過する際にフレネル反射があり、注意しなければならないという内容であり、今後氷のアルベドモデルを考慮する際に重要となってくる。

- ・流出モデル：モンゴル西部の氷河を含む地域における河川流出に氷河流出がどの程度寄与しているかを見積もった。流出を計算する際に必要な入力データとして大事なのは降水量と気温であるが再解析データを観測値で補正して流出のモデル計算を行ったところ、観測された河川流量とよく合い、河川流出に寄与する氷河流出の割合も既存研究と比較して大きいことがわかった。



研究集会の様子

成果

2023年の観測結果、サンプリングの分析結果を共有することができた。今年の観測では新しく黒色炭素や氷河内からのデブリの露出や生物の色素の測定などをすることができ、氷河表面の不純物の収支やアルベドモデルにつながるデータについてそれぞれの専門家と情報共有し議論することができた。

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

オープンサイエンスにおける重要な活動であるオープンデータにおいては、FAIR 原則 (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) に準拠した、科学データの共有態勢の確保が重要であり、地球惑星科学領域でも色々な分野での取り組みが進んでいる。一方、異分野間データの利活用多様などにおける情報科学的手法の開発や、データの保全・公開ポリシー、論文出版におけるデータ使用の透明化などに関する議論は、国際的にも急速に進化しつつあり、不断の国際的動向の把握に努めることが重要である。そこでこの研究会では、WDS や CODATA の国内コミュニティとの連携を基に、広く情報科学系の研究者も交えて、国際的なオープンデータ関連活動の動向に関する情報の共有を図り、国内態勢の構築に向けた議論を行なった。研究会は 2024 年 3 月 26 日午後 1 時より 5 時まで、日本学術会議国際サイエンスデータ分科会・WDS 小委員会が主導する、WDS 国内シンポジウム (第 11 回) との合同研究会として、オンラインで開催された。参加者数は 48 名であった。以下にプログラムを示す。なお、講演資料は <https://takashiwatanabe.wixsite.com/wds-japanori> より公開予定である。

2023 年度科学データ研究会・WDS 国内シンポジウム(第 11 回)		
2024 年 3 月 26 日(火)13:00-17:10 オンライン開催		
13:00-13:05	村山泰啓 (情報通信研究機構)	開会挨拶、ロジ説明
13:05-13:25	芦野俊宏 (CODATA EC)	2023 年 CODATA の活動-UNESCO シンポジウム、IDW2023 他
13:25-13:45	金尾政紀 (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	データサイエンス国際シンポジウム (DSWS-2023) 報告
13:45-14:05	渡邊 堯 (情報通信研究機構)	DSWS-2023 における今後の A-0 関連活動に関する議論
14:05-14:30	Ria Lambino (Research Institute for Humanity and Nature)	招待講演: Future Earth in Asia: Initiatives and Prospects (Invited)
14:30-14:55	氷見山幸夫 (Advisory Council, ISC Focal Point for Asia and the Pacific)	招待講演: アジア太平洋地域における ISC(国際学術会議)と WDS の連携について
14:55-15:05	灘岡和夫 (東京工業大学名誉教授)	コメント: 複合ストレス下にある沿岸生態系の統合管理のための重層型モニタリングネットワーク形成に向けて
15:05-15:20	情報提供、ディスカッション	
15:20-15:30	休憩	
15:30-15:50	谷藤幹子 (国立情報学研究所)	NII RDC - 研究データ基盤におけるデータ利活用への取り組み
15:50-16:10	林 和弘 (文部科学省科学技術・学術政策研究所)	オープンサイエンスの潮流と科学データに関する最近の動向
16:10-16:30	後藤 真 (国立歴史民俗博物館)	人文・歴史資料のデータ化と共有とその課題
16:30-16:50	村山泰啓 (情報通信研究機構)	学協会等におけるオープンデータ関連活動の動向

(別紙様式06-2)

第38回宇宙線国際会議
38th International Cosmic Ray Conference(ICRC2023)

身内賢太朗、神戸大学・大学院理学研究科

第38回宇宙線国際会議(通称ICRC2023)は2023年7月26日(水)から8月3日(木)までの9日間、名古屋大学の豊田講堂・野依記念学術交流館・ES総合館で開催された。参加者は55の国と地域から現地参加:1099人(国内257名、海外43ヶ国より1099名)、オンライン参加330人(参加登録ベース)であった(写真参照)。この会議は2年に一度、世界各国持ち回りで開催される宇宙線分野で最も重要な国際会議である。日本での開催は、2003年以来20年ぶり、4回目である。近年の宇宙線分野では、今回対象研究分野に加わった「重力波」観測の急速な発展、宇宙ニュートリノ観測の展開、地上ガンマ線観測エネルギーsub TeVからPeVへの拡大と起源天体の数・種類・知見の増大、最高エネルギー領域宇宙線観測の進展、暗黒物質探査の高精度化、これらと多波長天文学を融合したマルチメッセンジャー天文学の展開、と多くの進歩があり、本会議でもこれらの点を中心に1500を超える講演が行われ、活発な研究発表と議論が行われた。7月30日には同会場で一般講演会が開催され、ノーベル物理学賞受賞者の梶田隆章氏による講演が行われた。



写真: ICRC2023 集合写真(豊田講堂前にて)

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
Understanding and application of data analysis methods and tools for
solar-terrestrial physics

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とする。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（10月7～10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、京大理学研究科セミナーハウスでの現地参加と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・若手研究者が最新の研究成果を発表する「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、16機関の延べ人数で77名が参加者した。

10月9日午前中に講演セッションが開催され、大学院生3名を含む5件の招待講演が行われた。特に今回は大学図書館職員の方を招待し、メタデータ変換と機関リポジトリ登録を通じた研究データの発見可能性の向上といった、通常の同分野の研究集会では聞くことのできない図書館での取り組みについて情報を共有できた。全球MHDシミュレーションに基づく宇宙天気再解析データの基礎研究をはじめとして、様々な観測データに説明可能なAI、統計的信号処理、物理モデルを適用し、推定、予測、特性抽出を行うといった研究に関して講演・議論が為された。

10月10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24件の発表があり、非常に盛況であった。また、10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」も各自のPCに実際にインストールしてもらい、データのロード、プロットを体験してもらった。各自のOS、python環境によってインストール時に様々な問題が生じたが、これらの問題に対して講師側が対処したほか、受講者間でも共有することで、解決することにつながった。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環境を整えられたことが、本講習会の重要な成果の一つである。

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/20231109?lang=ja>)。

第24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
24th 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、関連トピックを幅広く取り上げる。

【集会の報告及び成果】

2023年11月20日～21日の2日間、山梨大学(甲府キャンパス)において「第24回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ」と「2023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）。37の機関・企業から計125名の参加があり、口頭講演26件（うち招待講演3件）、ポスター講演38件という盛況な内容となった。

一般講演では、名古屋大学ISEEの地球大気観測装置、国立天文台の野辺山45-m電波望遠鏡やVERAプロジェクト、大阪公立大学1.85m電波望遠鏡などの科学プロジェクトの進捗報告、超伝導ハイブリッドカプラ、ミリ波帯ジョセフソンアレイ発振器、テラヘルツ波パラメトリック発振器、テラヘルツ帯量子カスケードレーザーなどの新規技術開発、さらにミリ波帯でのダークマター探索やテラヘルツ波帯での月資源探査衛星などの挑戦的な将来計画に関する議論が活発に行われた。さらに今回は、「テラヘルツ波センシング技術」「高温超伝導を用いた帯域通過フィルタ」「メタサーフェスと6G通信用光源」をテーマとしたこの分野の最先端かつ先進的な招待講演を実施した。

これらは、将来の地球大気環境計測や電波天文学における観測装置の高感度化、高信頼の較正、コストダウン/低消費電力化/小型化、高周波・広帯域化、高速処理・周波数高分解能計測のなどの発展/応用や、さらなる萌芽的なサイエンスの研究の展開において、重要かつ横断的な要素技術であり、今後より濃密な議論・情報交換を行っていくことが望まれる。

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
Workshop on the roles of the inner magnetosphere
in the global solar-wind, magnetosphere, and ionosphere system

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

ジオスペースや内部磁気圏と呼ばれる地球近傍磁気圏（主に静止軌道より地球側）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ダイナミックに変動している．また地球電離圏と電磁氣的に結合し，電磁気圏システムとしてグローバルな変動を引き起こしている．2016年打ち上げのあらせ（ERG）衛星と2012年打ち上げのVan Allen Probes衛星は，幅広いエネルギーレンジを網羅する粒子観測器群と高感度・時間分解能の電磁場観測を実現し，内部磁気圏のプラズマダイナミクス（大規模電磁場変動や電磁波動を介した相互作用）に関する多くの科学成果が創出された．その中には，電離圏との結合・相互作用や磁気圏尾部擾乱の影響，大規模磁気嵐特有の現象も多数含まれている．このような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．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，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を共有し，あらせ衛星やVan Allen Probes衛星で得られたデータを用いた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を共有した．6年以上にわた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について話し合った．また，内部磁気圏の周辺領域とのグローバルな結合・相互作用や内部磁気圏が担う役割に関して議論した．また，観測データの有効活用を目指し，名古屋大学ISEE太陽圏サイエンスセンターと連携し，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）と共催することで，惑星磁気圏にとどまらず太陽から太陽圏全体を俯瞰し，普遍的な宇宙プラズマ現象の深い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5年11月27日(月)から11月29日(水)まで東京大学本郷キャンパスにて、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40名、オンラインでは約20名が参加した。27日は、午前に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があり、午後は衛星地上連携観測キャンペーンの報告と関連する科学研究の発表があった。28日は終日、大学院生による成果発表が行われた。この学生セッションでは、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、幅広い内容が発表された。29日の午前には、衛星地上同時観測を用いた最新研究や、磁気圏衛星データを用いた統計解析の成果などが発表された。29日午後は、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。昨年度から継続しているSTP分野将来検討も含め、共同観測の戦略や研究立案・ミッション提案に繋がる土台を築くことができた。
- (2) 太陽圏システム科学の研究集会と共催することで、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を模索することができた。
- (3) 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1日にまとめることで、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、異なる大学に所属する大学院生間の交流を促進し、活発な議論を行うことができた。
- (4) 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。大学院生に加えて学部生も参加し、新たなデータ解析プラットフォームの操作法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/20231127.shtml.ja>

国際水星探査計画BepiColomboによる内惑星環境探査
Exploring inner planetary environments by the BepiColombo mission

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：「国際水星探査計画BepiColomboによる内惑星環境探査」を2024年11月7日～8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、シンポジウム「BepiColomboが拓く太陽圏システム科学の新展開 ～太陽圏×惑星圏×磁気圏～」として本研究集会を開催した。

【参加者数】

合計のべ71名、うち外国機関3名、若手研究者7名、大学院生14名。

【研究報告】

招待講演を中心として、主に以下の研究内容について発表・議論を行った。

- ・日欧共同水星探査計画ベピコロンボによる以下の最新観測成果の紹介
 - 水星スイングバイ観測
 - ベピコロンボによる水星観測に向けた期待
 - クルーズ中の太陽コロナ・太陽風・CMEなど内部太陽圏観測
- ・「あらせ」や他の衛星による地球磁気圏・ジオスペース観測の概要と水星磁気圏探査に向けた期待
- ・惑星大気環境に対する太陽光エネルギー粒子および太陽風の影響
- ・地上からの太陽風観測の概要
- ・太陽風の数値シミュレーション・モデル研究
- ・惑星圏、太陽圏、磁気圏研究コミュニティにおける融合研究の可能性及び方向性

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することに成功したとともに、コミュニティを超えた融合研究推進への戦略・方向性を見出すことができた。

本シンポジウムは惑星圏・地球磁気圏・太陽圏研究者の融合を促す試みとして2年目の開催となるが、各分野の最新研究状況や探査計画について相互理解がさらに進んだとともに活発な議論・情報交換がなされた。今後の共同研究体制を構築していく上で当初の計画以上の成果を得ることができたといえる。今後も継続して本シンポジウムを開催し、2025年末のベピコロンボの水星到着に向けてユーザの拡大および研究のさらなる活性化を図る。

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2023年12月18～19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。昨年度までは京都大学の根田昌典助教を代表として京都で開催されていたが、本年度からは新たに著者を代表としての初めての開催となった。また、本年度は同時に開催されたISEE Symposiumの一つのセッションとしての開催ということで、例年とは異なる雰囲気での開催となった。参加者は10機関より24名と例年と比べるとやや少ない集まりとなったが、その分、個々の発表の時間が長めに確保でき、参加者同士のコミュニケーションが親密になるなど良い面もあった。実際に会場ではリラックスした雰囲気で発表の議論が行われていた。

【研究集会の内容】 人名は敬称略、*印は学生を表す。

下記プログラムに示す通り、参加者から11件の発表があった。初日は主に海洋の内部構造が関係する研究の紹介があり、近年太平洋で発見されたモード水が亜表層や表層海洋あるいは大気海洋系に果たす役割が大西洋にもあることや（西川）、これも近年話題となる太平洋域で観測される「海洋熱波」に関する研究（川合、西平*）の成果が紹介された。翌日は、まず人工衛星観測や現場観測に関する技術的な研究の話題があり、台風状況下における複数の人工衛星海面水温プロダクトの信頼性を現場観測との比較から調査した研究（中田*）、また3Dプリンタを利用した小型の波浪観測ブイの動揺特性について研究した成果が紹介された（君塚）。さらに、海洋塩分と水循環に関する研究が2件あった。一つは2000年頃より観測が開始し蓄積され続けているArgoフロートによる海洋観測データに基づく研究で、海面塩分に見られる近年の興味深い変動傾向や空間パターンが報告された（桂）。また、海洋観測データと海洋の数値モデルを融合した海洋データ同化プロダクトを用いることで海面塩分と海面淡水フラックスの変化パターンを研究した成果が示された（森島*）。午後からは、比較的長い時間スケール話題に移り、全球域の比湿の長期変化を35年間の衛星観測に基づいて調査した研究（富田）や、海流による複雑な海洋構造があり気候系のホットスポットとして注目される黒潮域・親潮混合域における海面乱流熱フラックスの年々変動の要因を調べた研究（藤島*）、地球温暖化シミュレーションのための気候モデルにおける海面水温バイアスが気候循環場の再現に与える影響についての研究（牛島）の紹介があり、最後に主に数値シミュレーションを駆使して東シナ海の近年の温暖化と九州地方の豪雨の関係を詳しく調査した研究が紹介された（万田）。以上の様に、大気海洋相互作用というキーワードで研究対象・手法・時空間スケール・学生/プロをまたいで様々な研究発表が同じ空間であり、それらについて参加者らがリラックスした雰囲気で議論ができたことには高い意義があると感じた。

【プログラム】

12月18日	発表者	所属	タイトル
15:30			趣旨説明
15:40	西川はつみ	東京大学大気海洋研究所	北大西洋亜熱帯モード水の海洋亜表層への影響
16:10	川合義美	海洋研究開発機構	北海道南東沖の海洋熱波と溶存酸素
16:40	西平楽	東北大学大学院理学	2021年夏季に発現した北太平洋中央部における観

18:00-20:00 合同懇親会 (Symposium Banquet at Universal Club Restaurant in Toyoda Auditorium)

12月19日

9:20	中田英太郎	北海道大学大学院環境科学院	人工衛星観測による台風状況下の海面水温分布の研究
9:50	君塚政文	東京都立産業技術高等専門学校	小型波浪観測ブイにおける動揺特性の評価
休憩			
10:50	桂将太	東京大学大気海洋研究所	2000年代以降における全球海面塩分の長期トレンド
11:20	森島舜	北海道大学大学院環境科学院	海洋データ同化に基づく水循環変化の研究
11:50	ランチ		
13:30	富田裕之	北海道大学大学院地球環境科学研究院	過去35年の全球海上比湿の変化
14:00	藤島遼人	東京海洋大学大学院	黒潮・親潮混合域における冬季海面熱フラックスの年々変動
14:30	牛島悠介	気象業務支援センター	CMIP6モデルの海面水温バイアスが及ぼす北太平洋の偏西風の南偏バイアス
休憩			
15:30	万田敦昌	三重大学	東シナ海の温暖化が平成29年7月九州北部豪雨に及ぼす影響
16:00-16:30	富田裕之	北海道大学	総合討論



写真. 2023年12月19日, 名古屋大学理学部, 坂田・平田ホール前にて

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

中溝 葵、国立研究開発法人情報通信研究機構・電磁波研究所

概要

2024年12月19日(火)の日程で、「2023年度太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望」をハイブリッド開催しました。今回初の試みとして、「2023年度STEシミュレーション研究集会」と連続開催し、対面の会場は同研究集会と同じ神戸大学瀧川記念学術交流会館をお借りしました。

本研究集会は、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。

議論時間を十分にとるために招待講演を中心に構成し、講演者の皆様には最新成果から今後への提言まで包括的に講演いただき、以下のように活発な議論が展開されました。

- 国際水星探査計画BepiColomboの水星到達を迎えた内部太陽圏研究のレビュー講演では、水星磁気圏の観測やモデル研究の見込み、太陽活動極大期にその場(in situ)観測が充実することによる相乗効果等が紹介され、地球磁気圏に関する知見の水星磁気圏研究への寄与、それによるフィードバック等を真剣に考えるとともに、太陽風-CMEモデルの検証および改良方針検討のまたとない機会であることが認識されました。
- 若手研究者による高エネルギー粒子シミュレーションの研究では、最先端のモデル開発状況、低高度領域の放射線環境の再現、特に南米上空のSouth Atlantic Anomaly領域への高エネルギー電子の侵入および観測との比較が紹介され、物理モデルの前進が、確実に予測向上に結びついていることが示されました。
- スーパーコンピュータ「富岳」を用いた大規模シミュレーションプロジェクトの紹介では、各領域モデル、特に太陽領域の最先端結果が紹介され若手に大きな刺激になるとともに、大規模シミュレーションの実施にあたって直面するデータ管理の問題など実務的課題を、多分野の研究者で意見交換する大変良い機会となりました。
- 火星のプラズマ環境のレビュー講演では、残留磁場と太陽風プラズマ相互作用により、地球磁気圏とは根本的に異なりながらも、局所的には共通した現象・物理機構も見出され、水星磁気圏との比較研究のように、違いの知見のフィードバックを真剣に考えるよい機会となりました。
- 以上に加え、太陽活動サイクル25予測の講演では、サイクル24についての世界中の予測研究の見解とその検証、過去の太陽活動の長期間の推移を鑑みながら、予測手法各種の性質(長所/短所)を分析し、実際のサイクルを再現するため考えられうる課題等の提案がなされました。

参加者は年齢も所属も幅広く、今回は特に大学院生の参加者が増加し、これはSTEシミュレーション研究集会との連続開催の効果といえます。また、STEシミュレーション研究集会と双方の議論を共有できたことは大きな収穫でした。今回も多分野の研究者が一同に議論できる貴重な場となりましたが、次回以降さらに、参加者が実質的なメリットを得られる場となるよう(これまでに取り上げたテーマの振り返り、モデル結合の密な議論、評価等)、より有効な開催方法を検討していきます。

プログラム等

太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望

STE シミュレーション研究会～計算科学とデータ科学の融合に向けて～

【日程】

2023 年 12 月 19 日（火）～22 日（金）

12/19：太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望

12/20～22：STE シミュレーション研究会～計算科学とデータ科学の融合に向けて～

【会場】

神戸大学瀧川記念学術交流会館 2F（六甲台第 2 キャンパス）および Zoom によるオンライン

【プログラム】（*は招待講演）

12 月 19 日(火) 太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望

10:20-10:30	世話人一同 趣旨説明など
10:30-10:50	塩田 大幸 SUSANOO-CME によるリアルタイム太陽嵐到来予測
10:50-11:10	中溝 葵、亘 慎一、吉川 顕正、中田 裕之、深沢 圭一郎、塩田 大幸、 田中 高史 リアルタイム磁気圏モデル・M-I 結合改良・グローバルモデル(SW-M-I)結合
11:10-11:30	三好 由純、齊藤 慎司、栗田 怜、松田 昇也、加藤 雄人、笠原 禎也、堀智昭、 土屋 史紀、熊本 篤志、松岡 彩子、篠原 育 「あらせ」衛星観測を用いた放射線帯波動粒子相互作用シミュレーション
11:30-11:50	齊藤 慎司、久保 勇樹 社会実装に向けたリアルタイム放射線帯変動予測モデル
11:50-13:00	休憩
13:00-13:50	村上 豪、Johannes Benkhoff *国際水星探査計画 BepiColombo による太陽圏探査
13:50-14:40	ギルギス キロロス、羽田 亨、吉川 顕正、松清 修一 *内側の放射線帯シミュレーション：SAA 上空の LEO 衛星への影響
14:40-15:30	堀田 英之 *大規模シミュレーションによる太陽地球環境変動予測
15:30-15:40	休憩
15:40-16:10	今田 晋亮 どうなる太陽サイクル 25？
16:10-17:00	原田 裕己 *火星太陽風相互作用・宇宙天気の概観

小型飛翔体のみが実現できる大気と海洋の直接・間接観測

Direct and indirect observations of the atmosphere and the ocean realized only by UAV

市川 香、九州大学・応用力学研究所

本研究集会のシリーズでは、海洋科学の観測に必要な時空間分解能や観測精度を想定し、それらの要望を小型飛翔体で解決するには、どのような特性・設計が必要かを具体的に検討し、理学のニーズと工学のシーズのやり取りを行う機会を創出してきた。シリーズの初期では、小型飛翔体のうちの小型衛星での取り組みを想定して、海洋観測でのニーズの整理や、それらを衛星のプロジェクトマネージメントにどう組み込んでいくかを議論してきた。一方、最近では、研究者単独でも比較的取り扱いが容易なドローンを用いた観測に着目し、ドローンを海洋観測に用いる際の利点と欠点などを議論してきた。

今年度は、さらに小型飛翔体観測の国際的なニーズやシーズについて議論するために、2023年12月に開催された第6回ISEEシンポジウムの一環として、航空機・UAV・micro satelliteに関するセッションを開催した。会場は名古屋大学理学南館の坂田・平田ホールで、第6回ISEEシンポジウムの初日の12月17日のSession 2として行われた。参加者はおよそ100名程度で、韓国・インドネシア・タイ・インド・中国・マレーシア・パキスタン・台湾・アメリカ合衆国など、多くの国から様々な立場の研究者が集まった国際的な集会となった。8件の講演の後、ISEEシンポジウムのポスター会場に移動して、オープンな討議を行った。

<プログラム>

【講演】 2023年12月17日 13:40～17:40

- 13:40～14:00** Dropsonde observations in and around typhoons using an aircraft in the T-PARCII
Taro Shinoda (ISEE, Nagoya Univ, Japan)
- 14:00～14:20** Aircraft-based observation of mineral dust particles over the Northwestern Pacific Ocean in the summer of 2022”
Sho Ohta (ISEE, Nagoya Univ, Japan)
- 14:20～14:40** Red tide detection from a manned aircraft using multispectral cameras
Seungil Beak (Pusan National Univ, Korea)
- 14:40～15:00** Benthic mapping using airborne hyperspectral imagery
Yujin Jeong (Pusan National Univ, Korea)
- 15:00～15:20** (Break)
- 15:20～15:40** Feasibility of maritime observation by small satellites constellation
Akira Mukaida (Oppofields LLC, Japan)
- 15:40～16:00** Analysis of coastal submesoscale eddies using optically derived surface currents and numerical model data
Sin-Yong Kim (Pusan National Univ., Korea)

- 16:00～16:20** Estimating suspended sediment concentration along turbid water outflow using a multispectral camera on an Unmanned Aerial Vehicle
Jong-Seok Lee (Pusan National Univ., Korea)
- 16:20～16:40** Search and sample observations by UAVs
Kaoru Ichikawa (RIAM, Kyushu Univ, Japan)
- 16:40～17:40** Open Discussions

○講演内容のまとめ

セッションでは、休憩をはさんで前半に航空機観測、後半に小型衛星とUAVに関する講演が行われた。航空機観測では、名大の篠田氏と太田氏による台風やダストなど大気自身を計測する結果と、Pusan National UnivのBeak氏とJeong氏による光学センサーを用いた赤潮や浅海の海底植生調査の結果が示された。一方、小型衛星観測では（合）オッポフィールドズの向井田氏より、小型衛星の商用コンステレーションの紹介が行われた。続くUAV観測では、Pusan National Univ.のKim氏とLee氏から、河川水やサブメソスケールの渦など空間スケールの小さな現象をUAVに搭載した光学センサーで計測する研究が紹介され、最後に九大の市川より防水ドローンで対象海域を上空から検索し、その場の水温塩分を計測したり採水したりするSearch and Sample観測についての紹介が行われた。

これらの多岐にわたる内容は、①観測対象自身または近い距離で観測できるため高い空間分解能が得られる、②複数機（または複数回）の観測構成により単独機単一のパフォーマンスの総和以上になること、などが共通の特徴となっている。一方、風が弱く雨が降っていないというUAVの飛行可能条件は、河川流量や海水混合などの物理条件とリンクしているため、観測バイアスが生じるのではないかという疑義も提示された。使用UAVに防水性能を付加するなど、今後の改良が求められる。

講演後のオープン討議の場では、例えば使用するUAVの機種やセンサーの種類、それらの価格や国際納期など、講演会場では聞きにくい具体的な個別質問がなされ、この分野への具体的な参入についての関心の高さが伺われた。



会場の様子

○研究成果のまとめ

本研究集会のシリーズのまとめとして、月刊海洋の特集号「ドローンは海洋観測のゲームチェンジャーとなるか？」（ISSN 0916-2011）が、2023年7月に刊行された。

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。地球電磁圏の衛星観測・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行った。また、あらせサイエンス会議ならびにISEE研究集会「あらせ衛星の来る10年の科学観測実施に向けた研究討論会」(代表者:金沢大学・松田昇也)、「実験室・宇宙プラズマにおける波動粒子相互作用の運動論効果」(代表者:核融合科学研究所・永岡賢一)、「超小型衛星による超高層大気研究」(代表者:九州工業大学・寺本万里子)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を共有した。

2. 実施内容

3日間の日程で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200名を超える研究者・学生が参加した。初日および二日目は石川県立図書館、三日目は金沢大学角間キャンパスを会場として、計46件の研究成果報告がなされた。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、プラズマ波動の伝搬や放射線帯のフラックス変動に関する観測・モデル研究の成果などが報告された。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。

STEシミュレーション研究会：計算科学とデータ科学の融合に向けて
STE Simulation Workshop: toward Integration of Computational and Data Sciences

三宅洋平、神戸大学・大学院システム情報学研究科

2023年12月20日～22日の日程で、神戸大学瀧川記念学術交流会館2F大会議室において「STEシミュレーション研究会：計算科学とデータ科学の融合に向けて」を「太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望」研究会と合同で神戸大学瀧川記念学術交流会館とオンラインによるハイブリッドで開催した。STEシミュレーション研究会として、3日間で20件の発表、及び延べ50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。科学衛星による観測結果の定量的な解釈や物理素過程の理解には、シミュレーション研究が大きな役割を果たしている。また近年の計算機システムの大規模化に伴い、STP (太陽地球惑星系科学) 分野の計算機シミュレーションで創出される科学データは膨大な量となっており、そのポスト処理や物理解釈にデータマイニングなどのデータ科学手法の利活用の重要性が認識されつつある。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・プラズマ科学に関するシミュレーション全般、領域間／スケール間結合モデル、宇宙天気シミュレーションなどの最新の研究成果を議論することや、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、STP 分野の数値研究で今後必要となるデータ科学応用技術を展望するため、本研究集会はさらに、地球電磁気・地球惑星圏学会の STP シミュレーション分科会の主たる活動として、情報科学や物質科学における AI 技術の利活用の最新動向も含めた招待講演を企画した。

招待講演として、物質科学分野から兵庫県立大学の芝隼人氏に分子シミュレーションにおける深層学習技術応用について講演いただき、シミュレーションしようとしている物理モデルの特性を理解し、それに適したデータ科学アルゴリズムを活用することの重要性を、実例を交えて紹介いただいた。大阪大学・松原崇氏からは、運動量保存則などの物理法則を保証する力学モデルをデータから構築する幾何学的深層学習技術の講演をいただき、計算機シミュレーションとデータ科学技術の連携の在り方について議論を行った。さらに日本 AMD 株式会社の大原久樹氏より、AMD の新型 GPU アクセラレータである「Instinct MI300 シリーズ」の詳細を講演いただくとともに、CPU と GPU を統合した APU による高性能科学技術計算の最新動向を報告いただいた。計算プラズマ物理を軸として、通常の学会や研究会では接点の少ない周辺分野の第一人者との技術交流、情報交換を本企画で行うことができた。

一般講演として、宇宙プラズマや太陽・磁気圏・電離圏・惑星圏環境シミュレーション研究などの最新成果が報告された。さらには、量子コンピューティングアルゴリズムなど最新の計算技術に関連した講演もあり、本研究会は異分野交流を図る貴重な機会となった。

本研究集会では、一件あたりの講演時間を一般講演 25 分、招待講演 50 分と十分に確保することによって、太陽地球惑星系科学シミュレーション研究の問題意識や今後の方向性をしっかりと議論することができ、それらの共有が大いに進展した。本研究集会の講演プログラムおよび資料は <http://cidas.isee.nagoya-u.ac.jp/simulation/meeting2023/> に公開されている。

第8回YMAP研究会
8th YMAP Symposium

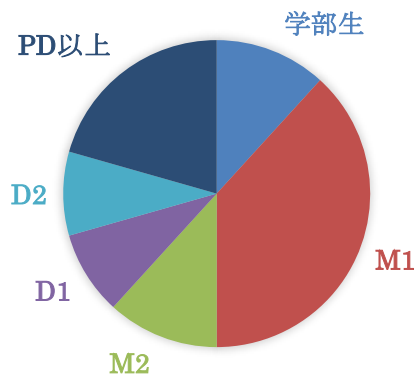
高橋光成、名古屋大学宇宙地球環境研究所

本研究集会は、2016年3月に発足した宇宙素粒子若手の会が運営を担い、2023年11月3日から4日にかけて、東京大学柏キャンパスで開催された。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および宇宙線研究者会議の支援も受けている。

本研究集会の主な内容は、参加者による口頭発表、招待講演、懇親会である。参加者は34名(うち招待講師2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(<https://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/YMAP/event/conf2023/program.html>)で公開している。参加者の内訳は図1に示すように学部生から研究員まで例年同様幅広く、今年度は特に修士以下の若い学年の参加者が多かった。

本研究集会は、ガンマ線・宇宙線・ニュートリノ・重力波・暗黒物質などの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。今年度は4年振りとなる懇親会も実施し、参加は任意としたが1日目の研究集会参加者全員が懇親会にも参加した。懇親会では各自の研究に関する質問・議論のほか、研究環境や次回の研究会についての議論も行われており、研究発表だけでは得られない交流の機会となったと考えている。

図1: 参加者の内訳



(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

2023 年度・第 1 回 STE (太陽地球環境) 現象報告会*1 (2023 年 11 月 7 日、京都大学及び ZOOM によるハイブリッド開催)

*1 「MTI 研究集会」、「宇宙空間からの地球超高層大気観測に関する研究会」、「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研究会」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: 46 名

●研究集会概要と成果

本研究集会は、「MTI 研究集会」、「宇宙空間からの地球超高層大気観測に関する研究会」、「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研究会」との連続開催で行われた。本年度は、昨年度に引き続き対面と ZOOM を併用したハイブリッド開催とした。本研究会では、太陽活動極大期間近で久しぶりに大きな太陽フレアなどが発生しており、太陽活動の宇宙環境への影響に関する活発な議論が行われた。また、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、気象衛星ひまわりに搭載されている高エネルギー粒子のデータから見た放射線帯電子の状況に関する講演があり、宇宙天気予報を行う上で米国 GOES のデータだけでなく国産データの重要性という観点で有意義な議論もできた。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、有意義な研究会であった。

第25回 惑星圏研究会
The 25th 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25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。また、2023年度は打上に成功した木星探査機JUICEに続き、SLIMが月着陸に成功し、2026年度に打上を目指す火星衛星探査機MMXとともに、次代の探査が更に加速化しつつある。これら新ミッションでは「水惑星・氷衛星」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、研究推進に向けた具体的議論が重要になってきている。こうした背景の下、この研究会では、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な視点での研究にスポットを当て、惑星科学領域研究をリードする多数の研究者からなるSOCの下で、国内外の広い領域の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、前回、先々会(第23, 24回惑星圏研究会)に引き続き、近未来の探査ターゲットとして4つの天体(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4つのセッションを設け、ハイブリッド開催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(将来探査の技術も含む検討・議論は、例年夏季開催のISAS主導の惑星探査WSで継続議論することとしている)、上記天体の研究に関する各スプリンターミーティングも最終日に開催し議論を行った。更に、これも前回迄に引き続いて、宇宙科学の戦略的な進め方・コミュニティ構築と太陽系科学コミュニティでの議論の現況の情報共有と議論を行う機会として、ISASの「戦略的中型創出グループ」(Groupe de Discussion Intensive: 略称GDI)に関連する活動紹介と議論を2日目午後に行った。

尚、本研究会は前回同様、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・大気研究センター及び同大学 宇宙航空研究連携拠点の共催の下で実施された。

参加者数：169名（一般：107名、大学院生・学部生：62名）

内容：

2024年2月20日(火)～22日(木)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43件(Keynote・招待講演10件、一般講演33件)、ポスター講演51件(このうちShort talk(5分 or 3分)併用講演42件)の計94件の研究等紹介と議論が行われた。本研究会の内容・プログラム等は研究会HP (URL: <http://pparc.tohoku.ac.jp/sympo/sps/>) で公開されている。

[2024年2月20日]

9:00-10:35 「みず」セッション

Keynote講演「Water in the Moon and Mars」唐戸俊一郎(Yale Univ.) 他

一般講演 4件、ポスター併用5分講演1件

10:45-12:10 「みず、創造」セッション

招待講演「大規模大気散逸の理解に向けて:LAPYUTAによる系外惑星観測」中山陽史(立教大)

他 一般講演 4件、ポスター併用5分講演1件
13:10-14:40「創造・おひさま」セッション
招待講演「Photometric Observations of Tiny Near-Earth Asteroids during the Close Approaches」
紅山 仁(東京大)他 招待講演2件、一般講演 2件
14:50-15:55「おひさま」セッション
招待講演「太陽から星を理解する:恒星磁気活動研究の最前線」鳥海 森(ISAS)他、一般講演
3件
16:05-19:10 ポスター関連セッション 全51件 (ポスター3分紹介29件+Poster Viewing)

[2024年2月21日]

9:00-12:00「おひさま」セッション
招待講演「火星多点電磁気圏探査の現状と今後の課題」Takuya Hara(UC Berkeley) 他
招待講演2件、一般講演6件、ポスター併用5分講演5件
13:00-15:50「かぜ・つち」セッション
招待講演「初期地球大気の進化」吉田辰哉(東北大)他 一般講演8件、ポスター併用5分
講演4件
16:00-17:20 共通セッション
招待講演「深宇宙OTV：輸送系の太陽系探査」丸 祐介(JAXA) 他 一般講演4件
17:25-18:30 ポスター関連セッション 全51件 (Poster Viewing)

[2024年2月22日]

9:00-11:00 スプリンターミーティング”火星”
11:10-12:40 スプリンターミーティング”金星”
13:30-15:00 スプリンターミーティング”月”
15:10-16:40 スプリンターミーティング”小天体”
16:50-18:20 総合議論・全体総括 & ISAS惑星探査ワークショップ接続

成果等：

新型コロナウイルス新規感染者数が落ち着いてきたことを受け、今回の研究会はハイブリッドで行われたが、参加者総数は過去3回を一割ほど超える169名であり、講演数も口頭・ポスター講演を合わせて94件に上り、本研究会として過去最大数であった。この背景として、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、月・火星探査に向けた近年の同研究領域への更なる関心の高まりもあったかと思われる。

今回の研究会は、日程として先回同様に、初日・2日目は講演・議論、最終日は終日にわたり将来探査研究への結実化を目的としたスプリンターミーティング、の内容で行われた。初日・2日目について、申し込み件数が多いためポスターでの講演をお願いせざるを得ない場合も少なくなかったが、若手研究者や特に博士学位取得に関わる学生には出来る限り口頭講演頂くとともに、ポスター講演の希望者にもshort talkの機会を設け、研究内容を参加者全員が共有出来る機会を設けた。この工夫もあってか、初日・2日目夕刻に設けたポスターセッションは盛況で、連日、予定終了時間を大幅に上回った時刻まで発表・議論が行われた。最終日のスプリンターミーティングも、次代をリードする若手研究者は勿論、大部の学生も最後まで参加して熱のこもった意見交換が行われ、本年夏季開催予定のISAS主導の惑星探査WSへ繋がる議論・課題集約が出来たものと思われる。

末筆ながら、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たい。

[研究会集録] 研究会 HP (<http://pparc.tohoku.ac.jp/sympo/sps/>)にて2024年4月に公開予定。

(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11日,12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、最新の台風研究に関して、名古屋大学・金田幸恵特任助教および慶應義塾大学・宮本佳明准教授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】
- 3月2日(木) -

13:15-14:00【基調講演】

金田幸恵(名古屋大学)

高解像度領域大気海洋結合モデルによる台風実験と最新の台風の温暖化研究の動向

14:00-14:30

見崎豪之(レラテック/神戸大学)

洋上風力開発のためのメソ気象モデルによる風況シミュレーションの高精度化

14:30-15:00

林泰己(気象大学校)

波浪場の気候スケール変動

(休憩)

15:15-15:45

藤原泰(神戸大学)

減衰するうねりに伴う気液間運動量・エネルギー輸送の解析

15:45-16:15

仲俣翔登（京都大学）

風波を再現する気液二相流の数値計算に向けて

16:15-16:45

物部優太（気象庁数値予報課）

気象庁波浪モデルにおける安定的な移流・屈折計算手法の追求

（休憩）

17:00-17:30

藤本 航（日本海事協会）

船用レーダーによる海流・波浪相互作用の観測

17:30-18:00

田村仁（港湾空港技術研究所）

海面ビデオ映像に基づく輝度周期の導入と波浪パラメータ推定

3月12日

09:15-10:00

宮本佳明（慶應義塾大学）【基調講演】

熱帯低気圧の発達メカニズムと海面交換係数の影響

10:00-10:30

寺藺岳/栗原直希（兵庫県立大学）

台風シミュレーション水槽での高風速域における大気・海洋間運動量輸送の測定および波高解析

（休憩）

10:45-11:15

伊藤享洋/坂本有葵子（気象大学校）

摩擦速度測定に関する学生実験の紹介

11:15-11:45

片山裕之（五洋建設技術研究所）

マイクロ波センサーによる海上観測（水温・塩分・海上風）～SAMRAIプロジェクトの紹介～

(別紙様式06-2)

シンポジウムー太陽地球環境研究の現状と将来
Symposium on the Current and the Future of Solar-Terrestrial
Environmental Research

関 華奈子、東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻

本研究集会は、東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻・東京大学大学院新領域創成科学研究科複雑理工学専攻の大学院生を幹事として、2023年9月3日から9月5日の3日間開催された。今年度は対面形式での実施とし、千葉県長生郡白子町のサンシャイン・白子にて合宿を行なった。この研究集会は、太陽地球環境に関する研究を行う大学院生を中心とする若手会の「夏の学校」と題して行われ、大学院生・学部生・若手研究生など合わせて52名が参加した。太陽地球環境研究において物理現象を包括的に理解するためには、各人の専門性を高めるだけではなく、分野や研究手法の垣根を超えて協力関係を築くことが必須である。本研究集会はその実現を目的としており、異なる研究領域の研究者が議論・交流を行える場を大学院生も含めた若手研究者に提供した。

研究集会では、1件の招待講演に加え、3つのグループに分かれて口頭発表、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口頭・ポスター発表の参加者を記す。予稿集などの詳細な資料はページ数の都合上ここでは割愛するが、宇宙地球惑星若手会研究者グループの[2023年夏の学校ホームページ](#)にて集録を公開している。

<スケジュール>

9月3日(日)

15:00 - 15:15 チェックイン
15:15 - 15:30 開校式
15:30 - 15:45 ISEE大学院生支援制度の紹介
15:45 - 17:55 招待講演
「惑星探査のバトン ～機器開発研究者の研究キャリアを一例に～」
村上豪(宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所)
18:00 - 18:30 自由時間・入浴
18:30 - 19:15 夕食
19:15 - 20:30 入浴
20:30 - 屋内レクリエーション・懇親会

9月4日(月)

08:00 - 08:45 朝食(1階食堂)
09:00 - 09:45 口頭セッション1(6階会議室)
10:15 - 11:00 口頭セッション2(6階会議室)
11:30 - 12:00 口頭セッション3(6階会議室)
12:30 - 13:45 昼食(1階食堂)
14:00 - 14:45 ポスターセッション
15:00 - 18:00 レクリエーション
18:00 - 18:30 自由時間・入浴
18:30 - 19:15 夕食
19:15 - 20:45 入浴
20:45 - 懇親会

9月5日(火)

08:00 - 09:00 朝食

09:00 - 09:30 チェックアウト

09:30 - 10:00 閉校式

〈セッション〉

研究集会2日目に、下の表に示す様に口頭発表とポスター発表を行なった。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その後の議論を通して、専門的な知識を深めた。

口頭セッション

A 磁気圏分野

瀧貝 拓史	SUSANOO-CMEにおける初期磁束パラメータによるCME到達時刻の不定性評価
09:00 - 09:15	
橋本 寛	IMFの方向不連続変化にともなうIMF周土のリコネクションとその影響
09:15 - 09:30	
樋口 竜人	Quantum Calculations of Boltzmann-Maxwell's Coupled Systems by Velocity Moments
09:30 - 09:45	
山川 智嗣	Excitation of ULF waves by ring current ions based on the magnetosphere-ionosphere coupled model
10:15 - 10:30	
高原 環乃	あらせ衛星搭載の中間エネルギー電子分析器を用いた降り込み電子の統計解析
10:30 - 10:45	
中島 健大	月面におけるポテンシャル計測に関するコンピュータシミュレーション
10:45 - 11:00	
山内 大輔	かぐや衛星によって観測された月周辺の地球起源O+
11:30 - 11:45	

B 電離圏・大気圏分野

高山 久美	半球周沿磁力線電流 (IHFAC) に現れる準6日波の変動
09:00 - 09:15	
西口 稜真	文字列照合等を用いた赤道ジェット電流地磁気変動の特性抽出とその応用
09:15 - 09:30	
加藤 彰敏	プラズマバブル発生に関するCEJの影響
09:30 - 09:45	
遠藤 哲歩	極域における夜光雲の地上観測計画
10:15 - 10:30	
八島 和輝	夜側極冠域付近での赤色オーロラを引き起こす低エネルギー電子降下の時間変動特性
10:30 - 10:45	
飛田 奈々美	観測ロケット搭載超高層大気観測用真空計の開発
10:45 - 11:00	
米田 匡宏	電離圏中性大気観測に向けた質量分析器の開発
11:30 - 11:45	
LIU SHUYUE	Study on the Optical Properties of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons under Ultraviolet Irradiation
11:45 - 12:00	

ポスターセッション

A 磁気圏分野

瀧野 航	FLRの物理的解釈のための局所座標系の導入に関する検討
萩野 晃平	かぐや低高度観測データを用いた、月ミニ磁気圏の荷電粒子、電磁場特性の研究
齋藤 幸碩	Kinetic Alfvén waveの磁力線平行電磁場に伴う電子の非線形運動についての理論的考察
関戸 晴宇	ラブラシアン演算子を用いた陽的FDTD法の分散関係の異方性の低減
城 剛希	Whistler-mode chorus waveのダクト伝搬過程におけるULF波動の影響
橋本 明史	サブストームに伴うPi2及びPc4脈動の発生特性について
前田 大輝	磁気インピーダンスセンサとRaspberry Piを用いた低コスト磁力計：地上多点観測への応用とプラズマ質量密度の推定

B 電離圏・大気圏分野

大森 康平	2015年3月に発生した磁気嵐の回復相においてSuperDARN北海道一陸別第一HFレーダーで観測された中緯度電離層プラズマドリフトの成因解析
古城 侑季	Assessment of the launch condition of a sounding rocket experiment for the daytime sporadic-E layers

C 太陽惑星圏分野

天田 耕太郎	望遠鏡観測を用いた天王星大気の輸送速度の推定
今田 馨	MGS探査機の磁場観測に基づく火星電離圏ULF波動の特性の統計的調査
小野澤 秀治	Polarization characteristics of BBELF emissions contributing to ion acceleration in the cusp region observed by the Akebono satellite
狩生 宏喜	A study of the Venusian cloud structure and condensational gas distribution using a 1-D cloud microphysics model
木下 岳	水星探査機 BepiColombo の放射線データを用いた太陽活動の解析
小泉 海翔	TGO/NOMADの太陽掩蔽観測による火星中間層水氷雲の核生成過程の解明

C 太陽惑星圏分野

森島 啓太	低速太陽風の流源に関する先行研究の紹介と今後の研究方針について
09:00 - 09:15	
千葉 翔太	あかつきによる電波掩蔽観測によって得られたプラズマ密度と磁場の変動についての研究
09:15 - 09:30	
八木 優人	惑星ダイナモ計算に基づく水星Loves半径とダイナモ半径の比較
09:30 - 09:45	
西岡 知輝	金星型大気と太陽風の相互作用：大気イオン散逸に対する熱圏の影響
10:15 - 10:30	
松井 龍郎	金星雲頂に見られるメソスケールの構造の時間発展
10:30 - 10:45	
加藤 正久	電子観測データを用いた月面環境探査の可能性
10:45 - 11:00	
沖山 太心	モンテカルロモデルとMAVEN観測に基づくディフューズオーロラ発光変動の研究
11:30 - 11:45	
阿陶 吉珠	再解析データEMARSを用いた火星大気大循環力学の研究
11:45 - 12:00	

(別紙様式06-2)

太陽研連シンポジウム2023
Japan Solar Physics Community (JSPC) Symposium 2023

川畑佑典、国立天文台・SOLAR-Cプロジェクト

【集会の概要】

現在日本の太陽コミュニティでは国際的な協力の下、次期太陽観測衛星SOLAR-Cの本格的な開発が始まっている。SOLAR-Cの打ち上げ時期には地上望遠鏡DKISTの本格稼働、太陽観測衛星MUSEの打ち上げも予定されており、多種多様な太陽観測データの取得が期待されている。さらに近年の太陽研究では、太陽系科学、宇宙天気・宇宙気候、恒星物理学、実験室プラズマ、数理学・データサイエンスなど、共通の物理や手法を扱う周辺の研究領域との研究交流はますます重要となっている。

上記を踏まえ、太陽研連シンポジウム2023では、

- 1.SOLAR-C時代の太陽研究を見据えて、最新の科学成果をレビューしつつ、同時期に稼働が想定されている地上望遠鏡や太陽観測衛星とのシナジーを議論すること
- 2.周辺分野で検討・実施されているプロジェクトと科学課題・装置開発技術の両面で情報共有することにより、分野横断研究・技術交流を促進すること
- 3.X線観測、極域観測、磁場観測といった次世代太陽観測ミッションの検討を含めSOLAR-C以降の科学課題を議論すること

を目指した。

【参加者数】 115名

【研究報告】

本研究集会では、セッションとして

1. SOLAR-C時代の太陽研究
2. 周辺分野の最新研究と今後の展望
3. SOLAR-C時代以降(2030-40年代)の太陽研究の展望と戦略

の3つを設定し議論を行った。

【招待講演】

1.ではSOLAR-C衛星のプロジェクトを推進しているISAS/JAXAの清水氏、望遠鏡開発を進めているNAOJの原氏、SOLAR-C時代の地上望遠鏡観測についてNAOJの下条氏、数値計算分野の展望に関して名古屋大学ISEEの飯島氏を招待し、SOLAR-Cに向けた装置開発、観測・理論研究について議論を行った。2.では他分野の研究として高エネルギー宇宙線・ガンマ線観測プロジェクトに関して東大宇宙線研の川田氏、太陽紫外線の地球大気への影響のモデリングに関して情報通信研究機構の陣氏、機械学習に関して山形大学の安田氏、統計数理研究所の池田氏に講演いただいた。3.では太陽コミュニティがSOLAR-C以降にどのようなミッションを進めていくかに焦点を当て、名古屋大学ISEEの堀田氏、NAOJの石川氏、成影氏を招待し、主にX線観測、極域観測、磁場観測の将来計画について議論を行った。

上記の招待講演に加え、19件の一般講演、24件のポスター講演が行われ、最新の研究成果の議論で大いに盛り上がった。

【成果】

一番重要な成果としては、日本の太陽物理分野の最新研究について、共有・議論を行い、さらなる研究推進に向かう機会を創出することができたという点である。さらに太陽研連会員には馴染のない周辺分野に関する研究講演は視野を広げるのに非常に有用であった。特に機械学習に関しては、解析技術を太陽研究に導入したいと参加者からコメントを複数頂いており、知識・技術の共有にとどまらず、今後の共同研究につながることが期待される。**SOLAR-C**以降の太陽研究の展望については、**10-20年**のタイムスケールで今後の若手育成の必要性含め方向性を議論することができた。一般講演の中には今年度修士の学位を取得する学生の成果発表講演も含まれ、今後の研究を牽引できる大学院生・若手研究者の育成にも有益な機会となった。

(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-ionosphere-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

開催日時及び場所:

令和6(2024)年2月6日、九州大学西新プラザ、Zoomオンライン

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)、海老原 祐輔(京都大学 生存圏研究所)、久保 勇樹(情報通信研究機構 宇宙天気予報グループ)

参加者数: 36名

研究集会概要と成果

本研究集会は、2019年以来の現地開催をおこなった、太陽から地球までの現象を一つの宇宙天気現象と捉えるとともに、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重要テーマとした第25太陽活動周期の極大期が迫り活発となった諸々の宇宙天気現象や、過去の現象解析について多数の講演があった。その他、地震に伴う電離圏変動に関する研究など、多岐にわたる研究についての講演が行われた。Zoomを用いたオンライン講演を継続し、現地参加できない方々や海外からの聴講・発表を受け入れた。また、「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」と合同開催をおこない、関連分野の学部生からシニア、研究職以外の方々にも参加いただいた。。

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 10 回目を数える。今年度は 3 月 4 日（月）午後にオンラインで開催した。オンラインで実施した理由は、航空機観測に興味のある参加者が参加しやすいと考えたためである。最終的には、25 機関から 49 名が参加した。参加者数は昨年度とほぼ同数であった。

研究集会では、エアロゾル、雲物理、台風などを対象とした講演に加えて、無人航空機を用いた観測手法についての研究も含めて 7 件の講演があった。講演件数は例年に比べて少なかったが、これは坪木和久教授の T-PARCI の台風を対象とした観測など、年度内に新規の航空機観測が実施されなかったことが要因の一つとして考えられる。

これまでの研究集会で、航空機を用いた地球科学観測には様々な用途や手法があることが紹介されてきている。特に無人航空機を用いた研究の発展は著しく、今後も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。

13:30～13:50 安田篤史（ダイヤモンドエアサービス）

ダイヤモンドエアサービス（DAS）の航空機を使用した航空機観測のご紹介

13:50～14:10 小池 真（東大院理）・大畑祥・茂木信宏・森樹大・北和之・
2022 年夏の観測チーム

夏季の西部北太平洋におけるエアロゾルと雲の航空機観測

14:10～14:30 井口俊夫（大阪大）

航空機搭載二周波ドップラーレーダによる平均雨滴粒径の推定

14:30～14:50 相澤正隆・伊藤耕介*（京都大）・嶋田宇大

1980 年代の航空機観測及び衛星観測の再検討を行った研究

14:50～15:00 休憩

15:00～15:20 高橋暢宏（名大 ISEE）・金田幸恵

台風 Trami の CReSS シミュレーションデータを用いた航空機搭載レーダ・
衛星搭載レーダの観測シミュレーション

15:20～15:40 菊地亮太（名大 ISEE）・篠田太郎・大畑祥・砂田茂・鎌田大・
村岡浩治・藏並昌武・渡邊俊

効率的な気象環境観測のための無人航空機経路最適化

15:40～16:00 篠田太郎（名大 ISEE）

気象分野における無人航空機を用いた観測研究のレビュー

16:00～16:20 総合討論

あらせ衛星の来る10年の科学観測実施に向けた研究討論会
Workshop on the future science operation planning of Arase

松田昇也 金沢大学理工研究域

2016年に打ち上げられた「あらせ衛星」は、今日まで内部磁気圏におけるプラズマ粒子・プラズマ波動統合観測による粒子加速プロセスの解明やプラズマ波動の励起・伝搬機構の解明に大きく貢献してきた。2022年には、内部磁気圏・放射線帯変動を総合観測することを目的に、第25太陽活動周期の全体を包括可能となる2032年度末までの10年間の延長観測が認められ、戦略的な観測計画の立案と実施が急務となっている。本研究集会では、国内の内部磁気圏物理を専門とする研究者を一堂に集め、去る6年間の科学観測成果の総括と、来る10年間の科学観測実施および成果創出に向けた研究討論を行った。研究集会は3日間の日程で開催し、国内外計20機関から延べ200名を超える参加者を集めた。1日目は石川県立図書館を会場とし、主にあらせ衛星の運用状況と近年の観測実績について報告がなされたとともに、FACTORSやJUICEに代表される今後の地球磁気圏・惑星探査への接続を意識した議論が交わされた。また観測データ校正や観測装置開発に関わる講演・議論がなされ、今後の観測・開発への足掛かりを掴んだ。2日目は同会場にて、衛星・地上観測とモデル・シミュレーションとの融合に着目したセッションを開催し、磁気ダクト形成に係る高度なシミュレーション研究やプラズマ波動伝搬方向推定の高精度化に関する講演・議論がなされた。同日後半には実験室と宇宙プラズマにおける波動粒子相互作用に着目したセッションを開催し、両分野の研究者間で有意義な議論が深められた。3日目は場所を金沢大学角間キャンパスに移し、超小型衛星を活用した探査計画に関するセッションを開催した。各拠点での超小型衛星を活用した探査・教育プログラムの特色が俯瞰できたほか、あらせ衛星との連携計測に関する研究計画・議論も見られた。同日午後には、IDL/SPEDASとPySPEDASの解析環境構築と実践的な科学データ解析を身に着けるための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20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「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・宇宙プラズマにおける波動粒子相互作用の運動論効果」、「超小型衛星による超高層大気研究」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. 1 日目の様子 (石川県立図書館)



図. 3 日目の様子 (金沢大学角間キャンパス)

(別紙様式06-2)

研究集会：実験室・宇宙プラズマにおける波動粒子相互作用の運動論効果
Kinetic effects on wave-particle-interaction in laboratory and space plasmas

永岡賢一、核融合科学研究所・メタ階層ダイナミクスユニット

【集会の概要】

本研究集会の目的は、波動粒子相互作用の運動論に注目して、実験室プラズマと宇宙プラズマの研究交流を行う場を提供することである。2023年度の研究集会は、「第20回ERGサイエンス会議」、「あらせ衛星の来る10年の科学観測実施に向けた研究討論会」、「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」、「超小型衛星による超高層大気研究」の4つの研究集会との合同開催することができた。3月13日-15日に石川県立図書館（3月13日、14日）と金沢大学（3月15日）で対面、及びリモートのハイブリッドで開催された。

合同研究集会全体構成

2024年3月13日午後：Session 1: あらせ衛星観測と将来計画

2024年3月14日午前：Session 2: 衛星・地上観測とモデル・シミュレーションの融合

2024年3月14日午後：Session 3: 実験室・宇宙プラズマとの融合

2024年3月15日午前：Session 4: 超小型衛星による超高層大気研究

【参加者数】

研究集会の参加者募集は、すべての研究集会合同で行ったために、個別の研究集会への参加者を厳密に分離できないため、本研究集会のプログラムがアレンジされたSession 3の3月14日の参加者を集計したところ、71名の参加者であった。詳細は別紙の通り。

【研究報告】

合同研究集会は、4つのセッションで74件の講演で構成された。本研究集会は、Session 3のプログラムとしてアレンジ頂いた。ここでは、セッション3について報告する。
実験室プラズマコミュニティから4件、宇宙プラズマコミュニティから9件の合計13件の講演で構成された。それぞれ質疑を含めて20分の講演であった。具体的なプログラムを図1に示す。

いくつか研究報告例を紹介すると永岡は、磁場閉じ込め核融合プラズマ実験で観測される複数のアルベンバーストの同期現象について、同期の強さを定量評価し、高エネルギー粒子の分布や輸送特

27	13:00	13:20	0:20	永岡 賢一	高エネルギー粒子駆動アルベン固有モードの同期現象
28	13:20	13:40	0:20	小林 進二	磁場閉じ込めプラズマにおける統計加速現象
29	13:40	14:00	0:20	伊神 弘恵	低域混成高調波帯の脈動的非熱放射
30	14:00	14:20	0:20	居田 克巳	ハイパースペクトルカメラによるオーロライメージ分光
31	14:20	14:40	0:20	森井 雄大	多波長観測によるオメガバンドオーロラの降下電子エネルギー推定
32	14:40	15:00	0:20	齋藤 幸碩	数値計算による超高高度オーロラ電子加速領域での沿磁力線静電ポテンシャル・数密度分布の再現と考
	15:00	15:10	0:10		休憩
33	15:10	15:30	0:20	伊藤 ゆり	脈動オーロラ特性に関連したコーラス波動のダクト伝搬
34	15:30	15:50	0:20	城剛 希	ULF圧縮性成分による磁気ダクト生成：レイトレースシミュレーションを用いたモデル検討
35	15:50	16:10	0:20	堀 智昭	Spatial development of subauroral polarization stream associated with a pseudobreakup: SuperDARN and Arase observations
36	16:10	16:30	0:20	山本 和弘	Nightside transient toroidal waves and poleward moving auroral arcs observed by the Arase satellite and ground-based all-sky imager
37	16:30	16:50	0:20	長田 知大	Effects of intrinsic magnetic field strength on the magnetic storms based on global inner magnetospheric simulations
38	16:50	17:10	0:20	西宮 祐太	Development of a forecast model of the outer radiation belt electron using the XAI
39	17:10	17:30	0:20	三好 由純	あらせ衛星データにもとづく放射線帯物理モデル
	17:30	17:40	0:10		議論

表1。合同研究集会のセッション3（2024年3月14日午後）のプログラム。

性に基づき整理した結果を報告した。伊神は、同じく磁場閉じ込めトーラスプラズマ実験で観測されるイオンサイクロトロン波帯の波動励起について、異なる周波数のモード間結合に関する解析結果を紹介した。いずれも波動粒子相互作用において、運動論が重要となる非線形効果についての研究である。小林は、トーラスプラズマ中に高周波が存在する場合に、非共鳴な加速によりMeVレベルの電子が生成される観測結果に対するモデルを構築し、それを用いたシミュレーション結果を報告した。居田は、トーラスプラズマの分光開発を行ってきたが、今回新たにオーロラの地上観測を開始したことを報告した。波長分解能をもった2次元イメージを計測することができるシステムがキルナで自動観測を行っており、今後はあらせ衛星との共同観測等への展開が期待できる。森井は、オーロラの分光観測に基づく電子エネルギーの評価について報告した。伊藤は、脈動オーロラの観測からパッチ構造とダクト伝搬に関する報告を行った。城は、ダクト生成に関するシミュレーション研究の進展について報告した。山本は、あらせ観測と地上観測に基づき、低周波の変動とULF波動の関連を指摘した。三好は、あらせ衛星の観測データに基づく放射線帯の物理モデルについて進展を報告した。

【成果等】

まず、本研究集会のSession3においては、実験室プラズマ、及び宇宙プラズマの双方から非常に関連性が多い研究が紹介され、質疑がしっかりかみ合うものであったと感じた。実験室プラズマの分光技術を応用した地上観測の開始は、今後具体的な連携により優れた研究成果につながると期待できる状況である。個人的な感想としては、放射線帯の物理モデルが、トーラスプラズマにおける非共鳴統計加速モデルと共通性があるなど新しい視点の獲得があった点は、大きな成果と感じている。また、ダクト構造の形成、維持、ダイナミクスなどは、トーラス周辺プラズマで観測されるブロッブ構造などとの関連が興味深いと感じた。このように本研究集会の目的である実験室プラズマと宇宙プラズマの間で大変有益な議論ができた点で、十分に目的を達成したと考えている。今後は、具体的な連携研究や共同研究を模索する。

また、合同開催のお誘いを受けたことを大変感謝している。普段参加できない研究集会の話題やプロジェクト研究の報告を聞くことは、非常に学びが多かったと感じるとともに、もっと広く連携できる研究テーマもあると感じることができた。プロジェクトの進め方についても大変に勉強になった。実験室プラズマからの話題提供が宇宙プラズマの多くの研究者、学生にとって何らかの刺激を与えるものになっていることを期待している。

【謝辞】

最後に、合同研究集会の全体をお世話いただいた金沢大学の松田先生をはじめとする皆様に感謝いたします。また、名古屋大学宇宙地球環境研究所の支援に感謝します。

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 5 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 2023 年 12 月 17 日 (日) ~18 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、12 人の発表と 40 人の集会参加者が集まり、活発な議論がなされた。今年度は国際ワークショップである ISEE Symposium と同時開催で行われ、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 17 日) :

まず、中緯度の海洋変動に関する研究発表として、木戸晶一郎 (JAMSTEC) は渦解像の海洋予測システムの JCOPE-FGO (水平 1/10 度) を用いた黒潮続流の季節予測可能性について紹介した。海洋力学に関係する研究について、松田拓朗 (北大) は亜熱帯系と亜寒帯系の水塊混合を評価する指標として Lagrangian coherent structure (LCS) を導入し、北西太平洋への適応例を紹介した。寺田雄介 (東大) は赤道太平洋東部に見られる、季節内波動である Yanai 波の鉛直下方伝播による中層/深層域での流速変動の形成メカニズムについて議論した。尾形友道 (JAMSTEC) は気候モデルである CFES の新しい対流スキームの導入における結合系の長期積分の結果や、生態系モデルを導入した OFES における北西太平洋変動の解析結果を紹介した。

午後の発表では、2 件の招待講演があり、まず A'an Johan Wahyudi (国立研究革新庁, Indonesia) は炭素の同位体比 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DOC}}$) を用いた熱帯陸棚域の定量的な海水解析結果を紹介した。もう一つの招待講演として、山崎敦子 (名大) は低緯度域の海洋環境の時系列復元の手法として、サンゴの骨格データの解析が沿岸域を高解像度で解析できる事を示し、例としてアジアモンスーンの影響を受ける黒潮域の解析結果を示した。その後は熱帯/亜熱帯インド洋に関する研究発表として、Hanani Adiwira (東北大) は南インド洋の水塊である亜熱帯モード水 (IOSTMW) についての特性とその変動について、観測データからの解析結果を紹介した。久住空広 (東大) は熱帯インド洋西岸境界域に見られる Great Whirl について風応力変動との解析結果を紹介し、SST との関係や力学的メカニズムを示した。堀井孝憲 (JAMSTEC) はインドネシア通過流 (ITF) の出口である南東熱帯インド洋 (SETIO) における海洋混合層の変動について、観測データの解析結果を紹介した。Borui Wu (名大) は、新しく定式化されたエネルギーフラックスを用いて、太平洋における年々変動の海洋波動のエネルギー伝播について再評価した解析結果について紹介した。

集会 2 日目 (12 月 18 日) :

2 日目の午前は、Furqon Alfahmi (気象気候地球物理庁, Indonesia) はインドネシアで現業化されている、大気海洋波浪モデルを用いた高解像度 (3km メッシュ) での予測結果について紹介した。熱帯海洋における海洋波動のエネルギー解析例として、Kaiwen We (名大) は、新しく定式化されたエネルギーフラックスを用いて、熱帯海洋の季節変動における風応力からのエネルギー注入について議論した。また、日本におけるローカルな気象現象の解析例として、Zimeng Li (名大) は日本海から伊勢湾に吹き込む「伊吹おろし」についてのイベント毎の統計解析結果を紹介し、その季節性や総観規模スケールの気象との関係、伊勢湾の水温/塩分などの海洋へのインパクトについて報告した。

今回はコロナ禍が明けて初めての開催となり、国際ワークショップである ISEE Symposium と同時開催であった事もあり、久しぶりの賑やかな雰囲気の中で行われた。ただ、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されていたのが印象的であり、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。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。

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5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2024年2月7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21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30名の研究者が参加した(対面14名、オンライン16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、2024年3月30日までで10kダウンロード、180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日本を中心とした各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参加はなかったが、海外機関に所属する日本人研究者が3名(オンサイト2名、オンライン1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、磁気嵐後に発生する擾乱ダイナモの性質、今回用活動周期における夜側伝搬性電離圏擾乱の特性、等が挙げられる。特に今年度は低緯度オーロラが数回発生しており、これに関連した電離圏対流に関する初期結果の研究発表に集まった。またレーダー観測の研究成果だけではなく、磁気圏reconnectionの3次元シミュレーションによる検証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(極地研側の行松淳教授が南極滞在中であるため、次年度も名古屋大学宇宙地球環境研究所が担当)。

令和 5 年度

「ジオスペースの低エネルギープラズマ研究集会」

「STE 現象報告会」

「極域・中緯度 SuperDARN 研究集会」

合同研究集会プログラム

開催日： 令和 6 年 2 月 5 日（月）－ 7 日（水）

形式： ハイブリッド開催

現地場所： 九州大学西新プラザ

Zoom URL：

<https://us02web.zoom.us/j/87694948153?pwd=NTB1OHk5emJvaU55Q2U1dURKTnA1dz09>

（3 集会共通です）

「ジオスペースの低エネルギープラズマ研究集会」

主催： 名古屋大学宇宙地球環境研究所／九州大学国際宇宙惑星環境研究センター

「令和 5 年（2023 年）度・第 2 回 STE（太陽地球環境）現象報告会」

主催： 名古屋大学宇宙地球環境研究所／国立極地研究所／京都大学生存圏研究所 第 514 回生存圏シンポジウム／九州大学国際宇宙惑星環境研究センター

「令和 5 年度極域・中緯度 SuperDARN 研究集会」

主催： 名古屋大学宇宙地球環境研究所／国立極地研究所／九州大学国際宇宙惑星環境研究センター

（中略）

「極域・中緯度 SuperDARN 研究集会」

2 月 7 日 (水) @ 九州大学西新プラザ

Zoom: <https://us02web.zoom.us/j/87694948153?pwd=NTB1OHk5emJvaU55Q2U1dURKTnA1dz09>

【座長：西谷望（名大 ISEE）】

10:00-10:30 (一般講演) SuperDARN HOP レーダーの現況報告

西谷望（名大 ISEE）、堀智昭（名大 ISEE）

10:30-10:55 (一般講演) 2023 年秋のあらせ・SuperDARN 特別観測の初期結果

細川敬祐（電通大）、堀智昭（名大 ISEE）、西谷望（名大 ISEE）、行松彰（極地研）、三好由純（名大 ISEE）、尾花由紀（九大 i-SPES）、寺本万里子（九工大）、新堀淳樹（名大 ISEE）

10:55-11:20 (一般講演) A SAPS intensification associated with weak injections: SuperDARN-Arase campaign in Fall 2022

T. Hori (ISEE, Nagoya U) ,K. Hosokawa (UEC) ,N. Nishitani (ISEE, Nagoya U) ,A. Shinbori (ISEE, Nagoya U) ,Y. Miyoshi (ISEE, Nagoya U) ,M. Teramoto (Kyutech) ,Y. Obana (i-SPES, Kyushu U) ,A. S. Yukimatu (NIPR) ,K. Keika (U of Tokyo) ,S. Kasahara (U of Tokyo) ,S. Yokota (Osaka U) ,S. Nakamura (ISEE, Nagoya U) ,Y. Kasaba (Tohoku U) ,A. Kumamoto (Tohoku U) ,F. Tsuchiya (Tohoku U) ,Y. Kasahara (Kanazawa U) ,A. Matsuoka (Kyoto U) ,Y. Kazama (ASIAA) ,S.-Y. Wang (ASIAA) ,S. W. Y. Tam (ISAPS, NCKU) ,C.-W. Jun (ISEE, Nagoya U) , and I. Shinohara (JAXA/ISAS)

11:20-11:45 (一般講演) あらせーSuperDARN 連携観測による超低周波波動に伴う高緯度電離圏変動の発生機構について

新堀淳樹（名大 ISEE）、細川敬祐（電通大）、堀智昭（名大 ISEE）、大塚雄一（名大 ISEE）、Pavlo V. Ponomarenko（名大 ISEE、サスカチュアン大）、寺本万里子（九工大）、尾花由紀（九大 i-SPES）、西谷望（名大 ISEE）、行松彰（極地研）、西岡未知（NICT）、Septi Perwitasari（NICT）、熊本篤志（東北大）、土屋史紀（東北大 PPARC）、松田昇也（金沢大）、笠原禎也（金沢大）、松岡彩子（京大 WDC）、三好由純（名大 ISEE）、篠原育（ISAS/JAXA）

11:45-13:15

(昼食)

【座長：堀智昭（名大 ISEE）】

- 13:15-13:40 (一般講演) 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 波動の特性
西谷望（名大 ISEE）、細川敬祐（電通大）、堀智昭（名大 ISEE）、寺本万里子（九工大）、Pavlo V. Ponomarenko（名大 ISEE、サスカチュワン大）、新堀淳樹（名大 ISEE）、尾花由紀（九大 i-SPES）、行松彰（極地研）、三好由純（名大 ISEE）、松岡彩子（京大 WDC）、熊本篤志（東北大）、土屋史紀（東北大 PPARC）、松田昇也（金沢大）、笠原禎也（金沢大）、篠原育（ISAS/JAXA）
- 13:40-14:05 (一般講演) 惑星間空間磁場北向き時の Dungey リコネクション
渡辺正和（九大）、蔡東生（筑波大）、熊沛坤（筑波大）、藤田茂（ISM）、田中高史（九大）
- 14:05-14:30 (一般講演) SuperDARN HOP レーダーにより観測された低緯度オーロラに伴う電離圏対流
西谷望（名大 ISEE）、堀智昭（名大 ISEE）

11:45-13:15

(休憩)

【座長：西谷望（名大 ISEE）】

- 14:40-15:05 (一般講演) SuperDARN を用いた磁気嵐に伴う中緯度電離圏プラズマ対流の変動特性の研究
オンライン オフライン 大森康平（名大 ISEE）、西谷望（名大 ISEE）、堀智昭（名大 ISEE）、Simon Shepherd (Thayer School of Engineering, Dartmouth College, Hanover, NH, USA)
- 15:05-15:30 (一般講演) SuperDARN レーダーによる夜間 MSTID 発生に関する季節依存性・太陽活動度依存性の統計解析研究
オンライン オフライン 松岡祐希（名大 ISEE）、西谷望（名大 ISEE）、堀智昭（名大 ISEE）
- 15:30-16:00 総合討論・まとめ

※発表スライドは以下の website を参照：

<https://cicr.isee.nagoya-u.ac.jp/hokkaido/site1/workshop/r05.html>

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、現在作業を進めている、2030年後半以降、2040年代までの期間に実施すべき太陽圏システム科学に関する将来衛星計画のミッションコンセプトの具体化検討の結果を持ち寄り、関連する研究者が一同に会してこれらの衛星計画で解明すべきサイエンスを確認し、戦略的に実施する衛星ミッションを優先順位も含めて明らかにすることで、ロードマップを完成させることであった。

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23名、オンライン参加21名の計44名の出席者があった。本研究集会は、ミッションコンセプト検討状況の紹介のセッション(part1 と part2)、現在進行中・検討中の将来衛星ミッションに関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4部構成で開催した。

「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。これらの一歩先のミッションについては、ミッションのサイエンスターゲット毎に検討グループを決めて、そのグループ毎にミッションコンセプトの検討を一昨年度から進めてきたが、それぞれのグループの検討状況に関する計7つの講演があった。

「現在進行中・検討中の将来衛星ミッション」に関するセッションでは、STP分野のすぐ隣の分野である太陽物理分野の将来ミッションについての招待講演があった。太陽分野とSTP分野が一緒になって今後検討を進めていく可能性のある黄道面脱出ミッションについても招待講演の中で話していただき、黄道面脱出ミッションの検討の現状についての理解を深めることができた。その後、一昨年度の公募型小型ミッションの公募で選定された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、天文分野と共同で現在検討中の月面天文台についての検討の現状が紹介された。また、このセッションは、ESA M7 Research Group の集会という位置付

けもあったため、ESA M7候補の、Phase-A Studyを実施するミッションとして選定された3つのミッションのうち、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-MATIS SE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。

この後、全体議論の時間をとって議論した結果、2030年代中盤以降の実現を目指して新たにResearch Groupを設立すべきミッション候補を明らかにすることができた。また一昨年度から、2030年後半以降、2040年代までの期間に実施すべき太陽圏システム科学に関する将来衛星計画のミッションコンセプトの検討を行なってきた複数のグループに関して、次年度以降も引続き活動を行うのか、新たにいくつかのグループに分かれるのか、活動を休止するのか、あるいは新しいグループを発足させるのかなどを明らかにすることができた。その他、STP分野の今後の中型ミッションの検討についての議論、次期公募型小型提案に向けての議論、OTVの活用についての議論、月探査への取り組みについての議論、次年度の研究集会についての議論など様々なテーマについての議論を行った。他、次年度に創設されるJAXA基金についての情報共有も行なった。最後に、今回の研究集会のまとめを行い、単一のミッションの検討を行うだけでなく少し広い範囲で次期STP衛星ミッションの検討を実施するResearch Groupの2024年度設立を目指すことを確認した。また、年4回程度のSTP分野の将来ミッション検討会合をオンラインまたはハイブリッドで開催することが次年度に向けてのAction Itemとなった。

(別紙様式06-2)

太陽圏プラズマ物理におけるマルチメッセンジャー研究の進展
Progress of multi-messenger research of heliospherical plasma

成行泰裕、富山大学学術研究部教育学系

本研究集会は、古典的な研究課題である太陽電波バーストや天体との相互作用に関する近年の進展に関する話題に焦点を当て、相互の理解を深めることを目的として開催された。2件の招待講演については30分の時間を取り、活発な議論が交わされた。本件研究集会は「太陽圏の次世代研究検討会」と合同で2024年3月6日に現地(名大)+オンラインで実施された。実施に際しては、3月4日-5日に開催された「宇宙プラズマとレーザー生成プラズマにおける粒子加速・加熱に関する研究集会」と3月7日に開催された「太陽圏・宇宙線関連の共同研究成果報告会」「太陽地球環境と宇宙線モジュレーション」と合わせて、太陽圏宇宙線プラズマ合同研究集会として開催された。

以下に、3/6のプログラムを示す：

3/6（水）「太陽圏の次世代研究検討会」「太陽圏プラズマ物理におけるマルチメッセンジャー研究の進展」

(敬称略)

9:00-9:15 岩井一正

「趣旨説明、ISEE太陽圏グループ、プロジェクトの紹介」

9:15-9:40 岩井一正

「ISEEの太陽圏研究、次世太陽風観測装置について」

9:40-10:05 藤木謙一

「ISEEの太陽圏研究について」

10:05-10:25 議論

10:25-10:35 休憩

10:35-11:00 庄田宗人

「日本の強みを活かす太陽風研究の方向性」

11:00-11:25 塩田大幸

「TBD」

11:25-11:50 三好由純

「太陽圏システム科学の推進：太陽圏サイエンスセンター活動から」

11:50-13:00 昼休み

13:00-13:25 松清修一

「太陽圏構造と宇宙線の加速・輸送」

13:25-13:50 加藤千尋

「地上宇宙線観測を用いた宇宙天気研究(仮)」

13:50-14:15 成行泰裕

「太陽圏プラズマ中の乱流・粒子拡散の理論モデルの課題」

14:15-14:25 休憩

14:25-14:50 鈴木 建

「太陽恒星風研究と太陽と太陽系進化について」
14:50-15:15 行方宏介
「恒星CME研究の新展開と太陽圏研究との連携」
15:15-15:30 新田伸也
「磁気リコネクションに於ける磁気シアと非対称性の影響」
15:30-16:30 議論
16:30-16:40 休憩
16:40-17:10 三澤浩昭
「太陽電波バーストの研究動向」
17:10-17:40 西野真木
「月周辺プラズマ環境のレビュー」

SOLAR-C時代およびその先の次世代太陽圏研究の検討
Examination of next-generation heliosphere research in the SOLAR-C era and beyond

今田晋亮、東京大学・理学系研究科

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いる。また、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。一方で、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。本研究会の一番の目的は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する。本研究会により今後の太陽圏研究としての方針が得られると期待される。

本研究集会は以下のようなプログラムで行なった。

世話人：今田（東大）、三好（名大 ISEE）、堀田（名大 ISEE）、鳥海（宇宙研）

プログラム（以下質疑の時間含む）：

10:00-10:05 趣旨説明（今田：現地） 5分

黄道面脱出ミッション・太陽側サイエンス：

10:05-10:10 黄道面脱出ミッション（堀田：現地） 5分

10:10-10:30 太陽内部・ダイナモ問題（堀田：現地） 20分

10:30-11:00 日震学（八田：現地） 30分

黄道面脱出ミッション・宇宙工学：

11:00-11:30 軌道（高尾：ZOOM） 30分

11:30-12:00 イオンエンジン（田畑：ZOOM） 30分

12:00-13:00 昼休憩 60分

太陽圏のサイエンス1：

10分程度未解明問題の説明、5分観測提案（どんな観測をしたら解決できそうか、必ずしも黄道面脱出ミッション直結でなくても良い）

13:00-13:20 これまでの検討状況（今田：現地）

13:20-13:40 太陽風加速における小スケール表面磁場の役割（庄田：現地）

13:40-14:00 太陽表面磁場と太陽風の接続（岩井：現地）

14:00-14:20 太陽風乱流（成行：ZOOM）

直接その場観測の装置：

14:20-14:40 日本主導のミッションで用いられた観測機（笠原：ZOOM）

14:40-15:00 装置に関する議論（今田：現地）

15:00-15:20 休憩

太陽圏のサイエンス2：

15:20-15:40 太陽風の加速機構、乱流、素過程（齋藤：ZOOM）

15:40-16:00 CMEに関連する太陽圏物理学の未解明の科学課題（塩田）

16:00-16:20 衝撃波の物理 (天野 : ZOOM)

16:20-16:40 地球磁気圏リコネクションによるイオン加速と太陽圏研究 (岡 : ZOOM)

16:40-17:10 MHD waves and a CME in the solar corona observed by radio occultation with Akatsuki spacecraft (千葉)

17:10-17:30 全体の議論 (今田 : 現地)

本研究会は現在行なっている 2 ヶ月に一度の将来太陽圏研究検討のサマリー的なものであり、事前検討は十分であると考えられる。また、SOLAR-Cに関しては太陽コミュニティで準備が進んでおり、ISAS/JAXAの審査を順次受けている状況で既にSRRまで終了しており、検討は十分に進んでいる。また、黄道面脱出ミッションの検討も別途検討が進んでおり、その検討結果は太陽研連シンポジウムなどコミュニティにも周知されておりこちらもまだ初歩的であるが前進しつつある状況である。今後、実際にどのような装置を載せるべきかなどの議論のための基礎的な議論はできたと考えている。来年度以降本格的に装置検討を行いたいと考えている。

(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、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、地球だけでなく他惑星に関連したMTI分野の招待講演(今回は、火星電離圏についての2件の講演)を取り入れることによって、比較惑星学的見地に基づく広い意味での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」「宇宙空間からの地球超高層大気観測に関する研究会」「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京都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5年11月8日から10日までの3日間の日程で「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」「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会」との合同で開催した。なお、4つの研究会を含めた合同研究会は、令和5年11月7日から10日までの4日間の日程で開催された。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。

11月8日：40名（現地）、47名（オンライン）

11月9日：46名（現地）、40名（オンライン）

11月10日：49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

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8つの招待講演(国際先導研究「国際地上観測網と人工衛星観測・モデリングに基づくジオスペース変動の国際共同研究」(PBASE プログラム)の紹介、昭和基地における長期 OH 大気光分光観測による極域中間圏領域特有の変動解明、火星電離圏観測の最近の進展、太陽高エネルギー粒子が火星大気に与える影響、脈動オーロラパッチに関連した電離圏電気伝導度の3次元分布の再構成、全球大気モデルと領域電離圏モデルの結合による Es 層・F 領域結合のシミュレーション、Preliminary observation results of electrified post-sunset MSTIDs over Japan using multi-source data、南半球大気重力波の研究紹介)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。通常であれば、地球電磁気・地球惑星圏学会が開催される前に本研究集会を開催し、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てきたが、今年度はその順序が逆であった。そのため、地球電磁気・地球惑星圏学会での発表で得た課題解決のための指針を議論・検討する研究集会となったが、MTI分野の学生・若手研究者にとって有益な機会となったと考えられる。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. Sori, T., Shinbori, A., Otsuka, Y., Nishioka, M., Perwitasari, S., & Nishitani, N. (2023). First detection of midlatitude plasma bubble by SuperDARN during a geomagnetic storm on May 27 and 28, 2017. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 128, e2022JA031157. <https://doi.org/10.1029/2022JA031157>.
2. Sori, T., Shinbori, A., Otsuka, Y., Nishioka, M., & Perwitasari, S. (2023). Dependence of ionospheric responses on solar wind dynamic pressure during geomagnetic storms using global long-term GNSS-TEC data. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 128, e2022JA030913. <https://doi.org/10.1029/2022JA030913>.
3. Kawai, K., Shiokawa, K., Otsuka, Y., Oyama, S., Connors, M. G., Kasahara, Y., et al. (2023). Multi-event analysis of magnetosphere-ionosphere coupling of nighttime medium-scale traveling ionospheric disturbances from the ground and the Arase satellite. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 128, e2022JA030542. <https://doi.org/10.1029/2022JA030542>.
4. Andoh, S., Saito, A., & Shinagawa, H. (2023). E-field effects on day-to-day variations of geomagnetic mid-latitude sporadic E layers. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 128, e2022JA031167. <https://doi.org/10.1029/2022JA031167>.
5. Andoh, S., Saito, A. & Shinagawa, H. Simulation of horizontal sporadic E layer movement driven by atmospheric tides. *Earth Planets Space* 75, 86 (2023). <https://doi.org/10.1186/s40623-023-01837-0>
6. Shinbori, A., Otsuka, Y., Sori, T. et al. Electromagnetic conjugacy of ionospheric disturbances after the 2022 Hunga Tonga-Hunga Ha'apai volcanic eruption as seen in GNSS-TEC and SuperDARN Hokkaido pair of radars observations. *Earth Planets Space* 74, 106 (2022). <https://doi.org/10.1186/s40623-022-01665-8>
7. Shinbori, A., Otsuka, Y., Sori, T. et al. New aspects of the upper atmospheric disturbances caused by the explosive eruption of the 2022 Hunga Tonga-Hunga Ha'apai volcano. *Earth Planets Space* 75, 175 (2023). <https://doi.org/10.1186/s40623-023-01930-4>

水素同位体の回収・計測技術開発と環境挙動・生物影響に関する研究集会

Workshop on handling technology of hydrogen isotopes and
their environmental behavior and biological effects

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分野の研究に利用されている。一方で、人間活動により生成される環境に放出される稀有な物質であり、地球上での挙動や生物影響を理解するには、環境への排出と回収分離を含めて学祭的な視点で考える必要がある。これまでトリチウムは、物理学、放射化学、薬学、原子力学など幅広い学術分野で利用されており、環境科学分野や生命科学分野との接点が希薄であった。そこで、本研究集会では、様々な学術分野でトリチウムを用いた研究に取り組んでいる研究者が集い、異分野交流を目的として実施した。具体的には、野外観測や大気シミュレーションにより環境中の同位体挙動解明に取り組む研究、細胞レベルでのトリチウムの生物影響・シミュレーションに関する研究、加速器などを用いた同位体分析手法やその前処理手法開発に関する研究、水素同位体の回収・分離技術に関する研究などを専門とする研究者からの講演を得て、研究集会のプログラムを企画した。

【研究報告】

研究集会は、NIFS 一般共同研究 研究会「核融合炉の社会実装を見据えた同位体科学研究の展望」(代表: 杉山貴彦(名大))との共催とした。第一回を 2023 年 7 月 6 日(木)~7 日(金)に、第二回を 12 月 22 日(金)に、核融合科学研究所およびリモート(zoom)でのハイブリッド形式で開催した。参加者(延べ人数)は第一回が 78 名(内、学生 8 名、女性 17 名)、第二回が 14 名(内、学生 3 名、女性 1 名、外国人 1 名)であった。共催により参加人数も多く、民間企業を含む 27 の学術機関からの参加を得て、多様な視点から多岐にわたる議論が行われた。

第一回の研究集会では、環境観測・生物影響・数値モデル研究に関する 6 件の講演として、動植物中に取り込まれた有機結合型トリチウム計測のための簡易で安全な前処理手法開発研究、宇宙暗黒物質直接探索実験に影響を与える大気中トリチウム分析とその測定結果、観測への影響に関する講演、環境放射能挙動を理解するための大気拡散モデル・シミュレーション手法開発とその検証、応用に関する研究、近年開発された高感度検出系(Min マウス)による低濃度トリチウム水を用いた突然変異に関する研究、DNA への低濃度トリチウム処理による二重鎖切断誘発に関する研究、第一原理分子動力学法による DNA 構造モデル(テロメア部分)の構築とそのトリチウム影響シミュレーションに関する研究が報告された。

第二回の研究集会では、同位体回収分離手法および計測に関する 8 件の講演として、同位体効果に影響を与える因子を解明するための試みに関する基礎研究、合成ゼオライトによる水素同位体吸着特性と同位体分離性能に関する研究、プロトン伝導性を有する機能性酸化物薄膜を用いた水素同位体分離に関する基礎研究、福島第一原子力発電所で発生する汚染水からの放射性物質吸着回収にかかる数値計算モデル開発研究、リチウム同位体分離への適用を目的とした疑似移動相分離プロセスの数値モデル開発、液中プラズマ(プラズマ化学)を利用した気液平衡反応による水素同位体交換に関する基礎研究、中赤外レーザーの水素同位体への吸収を利用した高感度測定に関する基礎研究、天然放射性同位元素(ラドン核種)とトリチウムを組み合わせた環境挙動解析に関する研究が報告された。

参加した研究者には、環境科学分野から生命科学分野、化学工学・分離工学、計算科学分野、水素エネルギー分野、レーザー応用まで幅広く多様な研究分野の研究を知る貴重な機会になった。また、異なる分野の研究者による議論や意見交換の場となり、新しい研究の繋がりや気づきを得ることができた。研究集会のプログラム概要を以下に掲載する。

第一回研究集会プログラム:

9:10-9:35 桑田 遥(弘前大学大学院 D1)

「極低濃度有機結合型トリチウム計測手法確立のための簡易かつ安全な燃焼法の検討」

9:35-10:00 山下雅樹（東京大学 国際高等研究所 カブリ数物連携宇宙研究機構）
「宇宙暗黒物質直接探索実験におけるトリチウムバックグラウンドの研究」

10:00-10:25 山澤弘実（名古屋大学）
「大気拡散シミュレーションモデル開発の到達点と応用」

10:45-11:10 長島明輝（環境科学技術研究所 トリチウム研究センター）
「高感度検出系を用いた低濃度トリチウム水による体細胞突然変異の解析」

11:10-11:35 鈴木正敏（東北大学 災害科学国際研究所）
「低濃度トリチウム持続処理による DNA 二重鎖切断誘発の生物学的手法を用いた検討」

11:35-12:00 中村浩章（核融合科学研究所・名古屋大学）
「原子レベルでのトリチウムの DNA への影響のモデル化の試み」

第二回研究集会プログラム:

13:45-14:10 立花 優（長岡技術科学大学 助教）
「アルカリ土類金属塩によるリチウム同位体交換反応の促進・抑制効果の検証」

14:10-14:35 田口 明（富山大学 水素同位体科学研究センター 講師）
「ロー型ゼオライトの水素同位体吸着特性および水素同位体分離能の評価」

14:35-14:50 古川 太一（九州大学大学院 工学府 水素エネルギーシステム専攻 M1）
「プロトン伝導性酸化物薄膜電解質セルを用いた水素同位体濃縮」

14:50-15:05 西田陽貴（名古屋大学大学院 工学研究科 総合エネルギー工学専攻 M2）
「福島第一原子力発電所の汚染水処理における多成分吸着現象の解析に向けたイオン交換型吸着平衡モデルの開発」

15:05-15:20 加藤昌太郎（名古屋大学大学院 工学研究科 総合エネルギー工学専攻 M2）
「核融合ブランケット用リチウム 6 製造への擬似移動層プロセスの適用」

15:35-16:00 佐久間一行（弓削商船高等専門学校 准教授）
「FT-IR を用いた液中プラズマによる水素同位体交換反応の検証」

16:00-16:25 栗田直幸（名古屋大学 宇宙地球環境研究所 准教授）
「水素同位体の高精度分析手法確立に向けた基盤研究」

16:25-16:50 城間吉貴（琉球大学 准教授）
「マルチトレーサーによる陸域から海洋へのトリチウム挙動解析に関する研究」

【研究集会の成果】

新しい取り組みとして、トリチウムの生物影響に関する講演を加えたこと、「同位体」をキーワードとして同位体科学に焦点を当てた研究会との共催としたことで、水素同位体に関連する幅広い研究課題・分野にまたがる研究集会を開催することができた。その結果、研究会を2回開催し、大学院生の参加を含めて、延べ人数で100名近い参加者を得た。学際的で分野横断的な議論を通じ、新しい同位体分析手法や生物に関するトリチウムの影響、同位体の分離技術、計算科学に関する理解と交流を深め、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着想や学問の展開につながった。本研究集会を通じて得た知見を基に、分野間連携を目指す研究活動ネットワークへと展開していきたい。

宇宙プラズマ・恒星放射が惑星超高層大気・衛星表層環境に及ぼす影響
Effects of space plasma and stellar radiation
on planetary upper atmosphere and surface environment of moons

土屋史紀、東北大学・大学院理学研究科

太陽系の複数の惑星探査が本格化し、地球とは異なる惑星環境が明らかになってきている。探査が更に進むことによって、惑星環境の普遍性・多様性の理解が大きく進むことが期待される。一方、天文学の観測からは多数の系外惑星が発見されており、その中にはハビタブルゾーン内にある惑星候補が複数見つっている。系外惑星の検出が更に進めば、惑星環境の多様性に関わる統計情報がもたらされることが期待される。

この研究集会では、太陽放射や太陽風に晒される惑星と、惑星磁気圏のプラズマ流に晒される衛星を材料として、恒星放射やプラズマ流が惑星・衛星の大気や表層環境に与える影響の共通理解に向けた課題の抽出を目標とし、ISEE 研究集会「国際水星探査計画 BepiColombo による内惑星環境探査」と JAXA 宇宙科学研究所との共催で、宇宙科学研究所にて 2024/3-27-28 の二日間に渡り開催された。

太陽系内天体同士の比較惑星の視点、太陽系天体の詳細な知見と、系外惑星から得られる統計的知見の融合、およびリモートセンシングとその場観測の協調の観点から以下の講演が行われ、有益な議論が行われた。

益永圭(ISAS)	ひさきの金星の酸素・水素大気光観測
堺正太郎(東北大)	CII emission processes on Mars revealed by the MAVEN IUVS observations and feasibility study of C II observations by LAPYUTA
寺田直樹(東北大)	地球型惑星大気の観測ターゲットについて
北村成寿(名大)	地球からの大気流出に関連する話題提供
原田裕己(京大)	火星・金星オーロラ
能勢千鶴(東北大)	ひさき衛星により観測された金星水素大気光の太陽風応答
木村智樹(東京理科大)	木星系の物質輸送
松下奈津子(東北大)	ひさき衛星の極端紫外分光データを用いたエウロパ軌道における プラズマ診断
土屋史紀(東北大)	衛星イオからの mass loss に関する現状と課題
古賀亮一(名大)	LAPYUTA 計画にむけたひさき観測ジオコロナ時空間変動の解析
中山陽史(立教大)	LAPYUTA の系外惑星検討
平野照幸(国立天文台)	近赤外透過分光による惑星大気散逸の観測
河原創 (ISAS)	LAPYUTA と JASMINE で探る M 型星回りの系外惑星
伊藤祐一(国立天文台)	短周期スーパーアースの流体力学的散逸
野津湧太(コロラド大学)	LAPYUTA 恒星観測検討状況

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
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

【研究会の概要】

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ある。

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る。この実証実験の一つが、2024年春に打ち上げ予定の観測ロケット実験FOXSI-4である。

本研究集会では、太陽フレア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、議論する。

以下がプログラムである。

- ・10:00 - 10:10 はじめに：成影 典之（国立天文台）

【太陽フレアにおける高エネルギー現象研究の紹介】

- ・10:10 - 11:10 【招待講演】太陽フレア高エネルギー現象のレビュー：Lindsay Glesener（ミネソタ大学）
- ・11:10 - 11:20 休憩
- ・11:20 - 11:45 【D論】太陽フレアにおけるX線分光観測解析（MinXSS + RHESSI）：長澤 俊作（東京大学・カブリIPMU）
- ・11:45 - 12:10 【修論】太陽フレアにおけるテスト粒子計算：佐藤 慶暉（総研大）
- ・12:10 - 13:30 お昼休み

【観測ロケット実験 FOXSI-4 で拓く新しい太陽フレア観測】

- ・13:30 - 13:50 観測ロケット実験 FOXSI-4 の準備状況：成影 典之（国立天文台）
- ・13:50 - 14:15 【修論】FOXSI-4 X線ミラーのレビュー：安福 千貴（名古屋大学）
- ・14:15 - 14:45 【修論】FOXSI-4 軟X線カメラのレビューと観測方針：清水 里香（総研大）
- ・14:45 - 15:15 FOXSI-4 硬X線カメラのレビューと観測方針：南 喬博（東京大学）
- ・15:15 - 15:45 休憩
- ・15:45 - 16:05 フレアキャンペーンの紹介とそれに向けた取り組み：佐藤 慶暉（総研大）
- ・16:05 - 16:30 打ち上げ予行演習（QL画面）
- ・16:30 - 17:30 データ解析・機器較正・資料整理に向けた議論

【研究会の成果】

研究会には、合計18名（教員7名、学生11名）が参加し、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・理論の両面から議論を行った。

招待講演として Dr. Glesener を招き、太陽フレア高エネルギー現象のレビューを行なって頂いた。それに続き、2名の講演者から太陽フレアに関する研究成果（観測と理論）の発表を行なってもらった。

午後は、4月に打ち上げが迫っているFOXSI-4についてのセッションとし、各観測装置のレビューと、FOXSI-4の打ち上げのための取り組みについての発表を行なってもらった。

今回の研究会の特徴と成果は、参加者が太陽物理学および高エネルギー宇宙物理学の2分野に所属していることであり、その結果、本研究会を通して互いの研究分野における研究手法と研究課題の共有を行うとともに、FOXSI-4によってもたらされる新しい太陽フレア観測データを活用した研究発展について、共同研究体制を構築できたことである。

また、学生が発表する機会を多く設けたことで、若手育成の観点でも大いに役立った。

「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

2024年2月5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。

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。本研究集会は、その中でも低エネルギーのプラズマしゅうであるプラズマ圏、に関する最新の研究成果を発表・議論し、参加者間で共有することを目的として開催された。集会では、初めに、海外で活躍する3人の研究者に招待講演を行っていただいた。(University of New Hampshire) には、低エネルギープラズマサイエンスにおける電場の重要性について、Maria Usanova博士 (University of Colorado Boulder) には冷たいプラズマ加熱における波動-粒子相互作用の役割について、高橋主衛博士 (ジョンズホプキンス大学応用物理研究所) には内部磁気圏におけるプラズマ質量密度の推定に関する研究について、それぞれ貴重なお話をいただいた。

その後、集会では9件の一般講演が発表された。サイエンスターゲットはプラズマ圏、リングカレント、分子イオン、Warm Cloakと多岐にわたった。この分野の今後の課題として、磁気圏電場観測の精度向上や、プラズマ加熱・流出メカニズムのさらなる解明などが挙げられる。これらの課題に取り組むことで、ジオスペースのコールドプラズマ環境の変動、ひいて高エネルギープラズマを含むジオスペースプラズマのエネルギー階層間結合系ダイナミクスをより詳細に解明することが期待される。

本研究集会は、STP現象報告会と極域・中緯度SuperDARN研究集会との合同開催の形を取り、同一の会場において三日間連続で開催した。また、三日間を通してオンライン、オンサイトのハイブリッド開催とした。そのため、多数の参加者に恵まれ、活発な議論が行われた。参加者からは、研究成果の共有だけでなく、異なる分野の研究者との交流を通じて新たな視点を得ることができたという声が多く聞かれ、有意義な集会となった。

宇宙空間からの地球超高層大気観測に関する研究会
Workshop on the space-borne observation
of the Earth's upper atmosphere

齊藤 昭則、京都大学・大学院理学研究科

1. 目的

電離圏・熱圏・中間圏(MTI領域)などの地球超高層大気領域において、飛翔体による宇宙空間からの観測は、地上観測と数値モデルとともに研究を構成する大きな柱の一つである。特に米国においては現在観測が行われている NASA の ICON 衛星、GOLD ミッション(静止軌道)の成果を受けて、2029年以降に打ち上げ予定の Geospace Dynamics Constellation (GDC) に向けた準備が開始されている。また、cubesat クラスの超小型衛星は MTI 領域の観測に適しているため、さまざまな国による数多くの衛星が実施中・計画中である。このような海外の動向に対して、日本の研究コミュニティにおいても、観測ロケットによる観測や国際宇宙ステーションからの ISS-IMAP ミッションなどの観測が行われているが、宇宙空間からの観測は長期の準備期間と、コミュニティ全体からのサポートが必要であり、長期的な計画とその実現のための連携が不可欠である。そこで本研究集会では、MTI 領域を中心とした地球超高層大気領域の宇宙空間からの観測について議論と立案を行うことを目的として実施した。

2. 概要

開催日時：2023年11月8日

場所：ハイブリッド(京都大学楽友会館・オンライン)

世話人：齊藤 昭則(京都大)、大塚 雄一(名古屋大)

参加者数：70名

3. プログラム

13:30-13:40

研究会の趣旨説明

○齊藤 昭則(京都大理)

13:40-13:55

(招待講演) 赤道MUレーダー計画

○横山 竜宏(京大 RISH)

13:55-14:10

(招待講演) SuperDARNネットワークの現状の課題と将来への展望 - 極域、中緯度、
そして低緯度・赤道域へ

○西谷 望(名大 ISEE)

14:10-14:25

(招待講演) 飛翔体による中性・プラズマ大気直接計測:観測ロケット・HTV-X・超低高度衛星
○斉藤 昭則 (京大理)

14:25-14:40

飛翔体計画・大型計画に関する議論

15:00-17:00

中間圏・熱圏・電離圏分野の将来構想についての議論

(○:発表著者)

4. 成果

本研究会では、最初に地上大型観測拠点計画として、インドネシアでの建設を予定している赤道 MU レーダー計画と現在の高緯度域を中心としたネットワークを中緯度域、赤道域へと展開しようと進めている SuperDARN レーダーネットワークについての紹介がされた。次に飛翔体による中性大気とプラズマ大気の直接計測計画として、観測ロケット実験、国際宇宙ステーション補給機の・HTV-X を用いた観測、イオンエンジンにより超低高度を飛翔する衛星による観測での観測計画が紹介された。これらの発表を受けて、地上観測の展開は飛翔体による連携が重要であり、飛翔体観測計画とともに検討が進められていくべきであるなどの議論が行われた。

飛翔体の計画は長期間に渡るものであり、研究分野として地上観測と数値モデルなど他の研究手法との連携の上で進められていくべきものである。研究会の後半は飛翔体観測も含めた中間圏・熱圏・電離圏分野の将来の研究展開の方向性についての議論が行われた。研究分野の将来展開がまとめられているものとしては、地球電磁気・地球惑星圏学会(SGEPSS)による「将来構想文書」があり、その構成に応じて、分野の将来構想と宇宙空間からの地球超高層大気の観測の関連についての議論がされた。「将来構想文書」の課題として、各分野における現状と課題に終始している、文章が多く、図面がほとんどないため、視覚的に捉えるには困難である、学生や他分野を対象とした文章になっていない、などが指摘された。また分野における標準的な全大気モデルとして使われている GAIA モデルに関する記述や、2024年観測ロケット実験RIDEキャンペーンでも対象としているEs層に関する記述などの記述が不足しているトピックも指摘された。今後、長期的な視点に基づき、飛翔体による観測、地上からの大規模拠点観測・ネットワーク観測、数値モデルの開発などの連携を取りながら進めていくことが重要であるとの議論が行われた。

陸別・母子里観測所ユーザーズミーティング2023
Users' Meeting for Rikubetsu and Moshiri observatories 2023

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 16 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。16 名の現地出席者と 6 名のオンライン出席者の計 22 名の参加を得た。

【研究集会の内容・成果】

研究集会は午前中に対流圏および成層圏の大気微量成分、温室効果ガス、エアロゾル関連の講演と議論、りくべつ宇宙地球科学館の活動報告、観測所運営に関する議論、午後に電離圏/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。特に今回は招待講演として、国立環境研究所の西澤智明先生に、2024 年度中に打ち上げが予定され、陸別のエアロゾルライダーデータも地上検証に用いられる予定の雲・エアロゾル地球観測衛星 EarthCARE に搭載されるエアロゾルライダーに関し、装置の紹介とそれを用いた科学課題に関して講演をお願いした。

まず、陸別観測所と母子里観測所の当該年度の活動概要について、両観測所長から報告があった。陸別観測所では、ここ数年来苦労している観測室の雨漏りについて、陸別町の方で建物全体に対する大規模な防水工事を計画している旨が報告された。母子里観測所では、古い観測機器の PCB 含有物の処理が完了し、残置されていた古い機器の処分も近日中に完了する旨の説明があった。個々の観測装置に関しては、ミリ波オゾン分光計の極低温冷凍機においてヘリウムガス漏れが見つかり、製品がすでに生産中止になっていることから修理が困難で運用再開のめどがまだ立っていない旨の報告があった。赤外線フーリエ分光計は、懸案であった USB 通信障害の問題が解決され、新しい装置に置き換える具体的な予定が紹介された。またオーロラ・大気光に関する光学観測装置は概ね良好だが、一部の機械的なシャッターに不具合が生じ、ミーティング期間中に対策を施す予定であることが報告された。HF 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すすんでいる旨報告があり、サイトまでのインターネット回線について携帯電話の基地局が設置されることでネット障害の問題が改善されると期待されるなどの報告があった。

2023 年度は 4 月、11 月、12 月に低緯度オーロラが観測され、特に 12 月 1 日の低緯度オーロラは約 20 年ぶりに肉眼でも確認することができ、名古屋大学における観測データ公開だけでなく、銀河の森天文台の Web ページでもタイムラプス写真の動画を公開した。科学的な成果についても若手を中心に多くの報告がなされた。大気組成変動関連では、赤外線フーリエ分光計を用い、代替フロンガスで温室効果が高い HCFC-22 と HFC-23 の 1999 年以降の長期変動に関する報告があり、HCFC-22 については 2019 年ごろから増加傾向が頭打ちになっているのに対し、HFC-23 は増加傾向が継続していることが示された。大気光関係では、陸別の観測に信楽、佐多での観測を加え 3 箇所での 630nm の大気光観測データをもとに、電離圏電場の中低緯度への侵入によると考えられる大気光の増光を複数箇所ですべて同時に観測した事例が 7 例ほど報告された。他にも OH の分光温度計で測定される回転温度の磁気嵐に対する応

答、VLF/LF 標準電波を用いた電離圏観測データを用いた火球による電離圏変動に関する解析結果、ELF 帯磁場観測データによる落雷位置やエネルギー特性に関する研究、SuperDARN レーダーを用いた電離圏プラズマ対流の変動に関する研究などの成果が報告された。また、2024 年 1 月に起き多くの被害を出した能登半島地震後に見られた電離圏変動についての速報的な報告も行われた。今回は、例年より多い 6 名の大学院生から観測所の観測データを用いた研究結果が報告された。そのうち 5 名が本研究集会で観測所に訪れ、実際にデータを取得している装置を身近に見ることができたのは、彼らにとっても非常に良い経験になったと思われる。

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2024 プログラム									
日時	2/16 (金)								
会場	陸別町役場会議室 + zoom								
	https://us02web.zoom.us/j/89783196075?pwd=elB3a0h1Q3oxVEgraHM2MXNLRmxlZz09								
	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 () は仮題あるいはテーマ		
はじめに									
	9:00 -	9:05	(0:05)		水野 亮	(名大ISEE)	はじめに、陸別観測所の概要と現状		
	9:05 -	9:10	(0:05)		持田 陸宏	(名大ISEE)	母子里観測所の概要と現状		
対流圏・成層圏/温室効果ガス/エアロゾル/オゾン									
	9:10 -	9:25	(0:15)		水野 亮	(名大ISEE)	ミリ波分光計、ブリュワー分光計の運用状況報告		
	9:25 -	9:45	(0:20)		長濱 智生	(名大ISEE)	陸別FTIRによる対流圏・成層圏微量分子の長期変動		
	9:45 -	10:05	(0:20)		森野 勇	(国環研)	陸別FTIRによる温室効果ガス観測		
	10:05 -	10:25	(0:20)		杉本 一郎	(名大ISEE)	陸別FTIRによるHCFC-22,HFC-23の長期変動解析と排出量推定		
休憩									
	10:35 -	10:55	(0:20)		神 慶孝	(国環研)	陸別におけるライダー観測の状況報告		
	10:55 -	11:20	(0:25)		西澤 智明 (招待講演)	(国環研)	EarthCARE衛星搭載ライダーによるエアロゾル観測		
天文台報告									
	11:20 -	11:40	(0:20)		村田 拓也、中島 克仁	(りくべつ宇宙地球科学館)	りくべつ宇宙地球科学館(銀河の森天文台)活動報告		
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									
	11:40 -	11:55	(0:15)						
昼休み									
	11:55 -	13:00	(1:05)						
電離圏・磁気圏/オーロラ									
	13:00 -	13:20	(0:20)		塩川 和夫	(名大ISEE)	陸別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		
	13:20 -	13:40	(0:20)		森田 早紀	(名大ISEE)	陸別・信楽・佐多での630-nm大気光同時観測に基づくサブストームに伴う中緯度への電場侵入の複数例解析		
	13:40 -	14:00	(0:20)		堀田 雄斗	(名大ISEE)	日本3地点での長期観測に基づく中間圏・熱圏夜間大気光の磁気嵐に対する応答の研究		
	14:00 -	14:20	(0:20)		古谷 凌汰	(千葉大)	陸別でのVLF/LF帯標準電波観測を用いた2023年4月23日火球による下部電離圏変動の解析		
休憩									
	14:30 -	14:50	(0:20)		兜森 幸平	(電通大)	ELF帯磁場観測ネットワークによる日本周辺の落雷位置及びエネルギー特性の調査		
	14:50 -	15:10	(0:20)		西谷 望	(名大ISEE)	SuperDARN北海道-陸別第一・第二HFレーダー2023年度報告		
	15:10 -	15:30	(0:20)		大森 康平	(名大ISEE)	SuperDARNを用いた磁気嵐に伴う中緯度電離圏プラズマ対流の変動特性に関する研究		
	15:30 -	15:50	(0:20)		新堀 淳樹	(名大ISEE)	稠密GNSS観測網とSuperDARN北海道-陸別第一HFレーダーを用いた2024年能登半島地震後に見られる電離圏変動について		
おわりに									
	15:50 -	15:55	(0:05)		町田 敏暢	(国環研)	おわりに		

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

集会の概要

本研究集会は、超小型衛星を利用した超高層将来ミッションの検討を目指し、先行して開発や運用行われている超小型衛星を用いた天文プロジェクトの紹介や、磁気圏物理に関わる超小型衛星プロジェクトやミッション、これから計画されている超小型衛星のプロジェクトについて知見を共有した。

実施内容

令和6年3月13日から15日の3日間、あらせサイエンス会議ならびにISEE研究集会「あらせ衛星の来る10年の科学観測実施に向けた研究討論会」（代表者：金沢大学・松田昇也）、「実験室・宇宙プラズマにおける波動粒子相互作用の運動論効果」（代表者：核融合科学研究所・永岡賢一）、「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」（代表者：東北大学・加藤雄人）と共同で開催した。初日と二日目は石川県立図書館、三日目は金沢大学角間キャンパスで実施し、zoomによるオンラインでの配信も行った。本研究集会は三日目のセッション4として、以下のプログラムで実施した。

【講演プログラム】

佐野 圭	九州工業大学	宇宙可視光背景放射観測 6U 衛星 VERTECS
松田 昇也	金沢大学	超小型衛星による宇宙天気 of 三次元計測と能動的放射線帯制御に向けた検討
栗田 怜	京都大学	CubeSat 搭載を目指した超小型ラングミュアプローブ・プラズマ波動受信器パッケージの開発
八木谷 聡	金沢大学	金沢大学衛星の開発と宇宙理工学教育研究
井町 智彦	金沢大学	金沢大学衛星「X線突発天体監視速報衛星こよう」の開発と運用
江口 大智	金沢大学	X線突発天体監視速報衛星「こよう」の地上系システム開発と初期運用での成果
北村 健太郎	九州工業大学	学部学生による地磁気観測衛星 YOTSUBA-KULOVER 衛星の開発と教育プログラム
寺本 万里子	九州工業大学	「超小型ロケット・超小型衛星を用いた継続型早期教育プログラム」の紹介

成果

- 大学における超小型衛星開発の拠点となっている金沢大学および九工大での超小型衛星の開発体制・運用体制について参加者に共有することができた。
- CubeSatに搭載可能なミッション機器の詳細について共有することができた。
- あらせ衛星の観測データを用いた研究成果や、プラズマや波動のシミュレーションなどの研究成果を踏まえ、超小衛星を利用した将来の磁気圏ミッションについて有意義に議論することができた。

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, SGEPS波動分科会, SGEPS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観測を続けている。サイクル25の活動の上昇期から極大期の観測を行い、単一衛星としてはじめて太陽活動サイクルの放射線帯を中心とする内部磁気圏観測の実現が期待されている。2020年代は、太陽・STP分野の観測衛星が充実した期間である。「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、これまでにない恵まれた状況にあると言える。この好機を活かして、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。

今回の研究集会では、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7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

令和5年11月27日(月)から11月29日(水)まで東京大学本郷キャンパスにて、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40名、オンラインでは約20名が参加した。27日は、午前に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があり、午後は衛星地上連携観測キャンペーンの報告と関連する科学研究の発表があった。28日は終日、大学院生による成果発表が行われた。この学生セッションでは、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、幅広い内容が発表された。29日の午前には、衛星地上同時観測を用いた最新研究や、磁気圏衛星データを用いた統計解析の成果などが発表された。

成果

- (1) 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。これにより、STP 分野の将来計画検討も含め、太陽圏システム科学におけるジオスペース研究の位置付けや観測戦略の議論を深めることができた。
- (2) 内部磁気圏・磁気圏-電離圏結合の研究集会と共催することで、地球磁気圏・電離圏で発生する宇宙プラズマ現象を議論し、太陽圏システム科学としての広いコミュニティー間の連携を模索することができた。
- (3) 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 1 日にまとめることで、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、異なる大学に所属する大学院生間の交流を促進し、活発な議論を行うことができた。

研究集会プログラム

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1vVlnCaaIiONiFTtZB6eXcCRhdPiooh9ZabiUPzoGiUw/edit?usp=sharing>

太陽圏・宇宙線関連の共同研究成果報告会
Meeting for result presentation of 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

本研究集会は例年ISEEの共同研究として採択された、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て開催されている。また、ISEEの共同研究になっていないが、ISEEの共同研究課題と関連する研究を行っている研究者の参加も求め、共同研究分野を広げていくことも狙っており、関連する研究集会との共同開催を行なっている。本年度は、「宇宙プラズマとレーザー生成プラズマにおける粒子加速・加熱」、「太陽圏の次世代研究検討会」、「太陽圏プラズマ物理におけるマルチメッセンジャー研究の進展」、「太陽地球環境と宇宙線モジュレーション」と合同で3月4日から7日の4日間開催した。名古屋大学における対面とzoomによるハイブリッド形式で行ない、4日間の参加者は延べ332名、本研究集会の主な開催日となった3月7日だけで82名と非常に大規模な研究会となった。参加者は、太陽圏・宇宙天気・宇宙線・プラズマ研究等について活発な議論を行ない分野を横断する研究会となった。以下は、合同研究集会の地、本研究集会と同日に開催された「太陽地球環境と宇宙線モジュレーション」と「太陽圏・宇宙線関連の共同研究成果報告会」のプログラムである。

9:30-10:00 佐古崇志「TeV 領域宇宙線異方性の太陽磁場による変調」

10:00-10:30 Anzorena, M「Observation of Very-High-Energy Cosmic Rays with ALPACA array」

10:30-10:45 宗像一起「Cosmic ray observation using global detector network」

10:45-10:55 休憩

10:55-11:25 大嶋晃敏「GRAPES-3 ミューオン望遠鏡による宇宙天気研究」

11:25-11:40 小島浩司「太陽風速変動と太陽系動径方向宇宙線密度勾配の関係について」

11:40-11:55 Pam Kledsai Poopakun「Solar magnetic Polarity Effect on Neutron Monitor Count Rates」

11:55-12:10 増田吉起「地上宇宙線観測による Starlink イベントの解析」

12:10-13:50 昼休憩

13:50-14:05 徳丸宗利「惑星間空間シンチレーション観測による太陽風速度モデルの最適化」

14:05-14:35 赤池陽水「ISS 搭載 CALET による 8 年間の軌道上観測の成果」

14:35-15:05 松原豊「SciBar Cosmic Ray Telescope (SciCRT)」

15:05-15:20 小財正義「宇宙線異方性の包括的理解へ向けた教師なし学習の試行」

15:20-15:30 休憩

15:30-15:45 村木綏「名大ミューオン望遠鏡の 48 年間の観測で得られた 125 ± 45 日周期について」

15:45-16:00 村木綏「太陽中性子崩壊陽子の観測(2 例目)」

16:00-16:15 櫻井敬久「第 25 太陽活動初期の宇宙線生成核種 Be-7 濃度の季節変動」

16:15-16:30 中澤知洋「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」

16:30-16:45 野澤恵「簡易観測による衛星軌道データと宇宙天気現象の解析」

2023年度 07) 計算機利用共同研究 目次詳細

2 件

*所属・職名は2024年3月現在
*Affiliation and Department displayed are current as of March 2024.

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	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	准教授	プラズマ粒子シミュレーションコードの並列化と性能チューニング	278	
齊藤慎司	NICT	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	280	

(別紙様式07-2)

プラズマ粒子シミュレーションコードの並列化と性能チューニング
Parallelization and performance tuning of
particle-in-cell code for plasma simulations

梅田 隆行、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

研究目的

宇宙プラズマ現象はマルチスケール・マルチ物理過程であるが、従来の研究では、時間および空間スケールの異なる現象に対して、それらに適した流体コード、ハイブリッドコード、運動論コードを個々に適用させていた。しかし、プラズマ流体・イオン・電子やマクロ・メソ・ミクロなどの異なる時空間スケールの現象が互いに未知の物理過程で結合している宇宙プラズマにおいては、第一原理によりこれらを理解することが重要である。本研究では、第一原理運動論シミュレーション手法である粒子コードに再注目し、その並列化および性能チューニングを行う。

研究方法

プラズマ電磁粒子(PIC: Particle-In-Cell)コードの電磁場更新、電流密度更新および速度更新のそれぞれのカーネル部分の手法について再検討し、高(次)精度化および高速化を目指す。

研究結果

動的負荷バランスを導入した並列版 PIC コードを用いて、レーザー生成衝撃波の数値実験及び、オーロラ加速領域ダブルレイヤーのシミュレーションを行った。また本年度は特に、以下の2点について新たな数値手法を開発した。

電磁場の時間発展を解く FDTD 法について、クーラン条件を緩和しつつ、空間差分を高次(4次および6次)精度化することに成功した。また、従来の Boris 法では扱えなかった相対論的荷電粒子の運動について、ローレンツ因子が大きいドリフト運動について理論解に基づいた新たな4次精度数値積分法を開発した。

成果発表

論文

- Umeda, T., and R. Ozaki, Advanced numerical techniques for time integration of relativistic equations of motion for charged particles, Earth, Planets and Space, Vol.75, 157(12pp.), 2023.
<https://doi.org/10.1186/s40623-023-01902-8>
- Sekido, H., and T. Umeda, A novel high accuracy finite-difference time-domain method, Earth, Planets and Space, Vol. 76, 5(20pp.), 2024. <https://doi.org/10.1186/s40623-023-01934-0>
- Sekido, H., and T. Umeda, Relaxation of the Courant condition in the explicit finite-difference time-domain (2,6) method with third- and fifth-degree differential terms, Progress in Electromagnetics Research M, in press.
- Umeda, T., Generation of normal distributions revisited, Computational Statistics, in press.

学会発表

- 関戸 晴宇, 梅田 隆行, 三好 由純, ラプラス演算子を用いた陽的FDTD法の分散関係の異方性の低減, Japan Geoscience Union Meeting 2023, 幕張メッセ(ハイブリッド), 2023年5月23日.
- 尾崎 理玖, 梅田 隆行, 三好 由純, 相対論的運動方程式の高次精度数値解析手法の研究, Japan Geoscience Union Meeting 2023, 幕張メッセ(ハイブリッド), 2023年5月22日.

- 梅田 隆行, 池羽 良太, Formation of double layer in two-dimensional current carrying plasma, Japan Geoscience Union Meeting 2023, 幕張メッセ (ハイブリッド), 2023年5月22日.
- Sekido, H., T. Umeda, and Y. Miyoshi, Improvement of the explicit finite-difference time-domain method with higher-degree differential terms, 34th IUPAP Conference on Computational Physics, 神戸コンベンションセンター, 2023年8月7日.
- Umeda, T., and R. Ozaki, Advanced numerical techniques for time integration of relativistic equations of motion for charged particles, 34th IUPAP Conference on Computational Physics, 神戸コンベンションセンター, 2023年8月8日.
- Ozaki, R., and T. Umeda, Higher order integrators for relativistic equations of motion for charged particles, 35th General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science, 札幌コンベンションセンター, 2023年8月20日.
- Sekido, H., and T. Umeda, Reduction of anisotropy in numerical dispersion in the explicit finite-difference time-domain method with Laplacian, 35th General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science, 札幌コンベンションセンター, 2023年8月25日.
- Umeda, T., and R. Ikeba, Formation of double layer in two-dimensional current carrying plasma, 35th General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science, 札幌コンベンションセンター, 2023年8月25日.
- 関戸 晴宇, 梅田 隆行, 三好 由純, 電流源を含む陽的高次FDTD法における数値誤差の修正, 第154回地球電磁気・地球惑星圏学会(SGEPSS) 総会・講演会, 東北大学, 2023年9月25日.
- 梅田 隆行, 尾崎 理玖, A new integrator for relativistic equations of motion for charged particles, 第154回地球電磁気・地球惑星圏学会(SGEPSS) 総会・講演会, 東北大学, 2023年9月25日.
- 尾崎 理玖, 梅田 隆行, 三好 由純, 池羽 良太, 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, 第154回地球電磁気・地球惑星圏学会(SGEPSS) 総会・講演会, 東北大学, 2023年9月24日.
- Sekido, H., T. Umeda, and Y. Miyoshi, Reduction of anisotropy in numerical dispersion in the explicit finite-difference time-domain method, 7th Asia-Pacific Conference on Plasma Physics, ポートメッセなごや, 2023年11月13日.
- Umeda, T., H. Sekido, and R. Ozaki, Recent advances in numerical schemes for plasma particle-in-cell simulations, 7th Asia-Pacific Conference on Plasma Physics, ポートメッセなごや, 2023年11月15日.

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・電磁波研究所電磁波伝搬研究センター宇宙環境研究室

【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。whistler mode波動によるフラックス変動には、電子の加速に伴う増加と大気への降り込みに伴う消失が大きな役割を担っていると考えられている。

whistler mode波動による放射線帯電子の大気への降り込み過程は、脈動オーロラを明滅させる間欠的な現象を説明すると考えられている^{e.g.,1}。準線形的な考察のもとでは、波動振幅が大きくなるとロスコーンを埋めるまで降り込み量が多くなると考えられる。しかしながら、北原ら²による研究では、波動振幅が大きくなるとロスコーン付近の電子がピッチ角を大きくする傾向を持つことで、降り込み量を減らすような振る舞いがあることを示している。これはwhistler mode波動の非線形的な散乱過程が原因であると結論付けられている。

本研究では、whistler mode波動による放射線帯電子の大気降り込みについて、どのような非線形散乱過程が重要な役割を担っているのかについて検証を行った。放射線帯電子降り込みの波動振幅依存性を調べ、位相捕捉³を伴う散乱過程に降り込みを抑制する効果があることがわかった。

【研究方法】

本研究では、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-RBW⁴を用いた。L=6.1における地球ダイポール磁場の磁力線に着目し、この磁力線を1秒間に3回励起されるLower-band-chorus(LBC)波動が並行方向に伝搬するモデルを考える。周波数幅は $0.2f_{ce}-0.4f_{ce}$ までとし、LBC波動のエレメントの時間長さは200msとした。背景のプラズマ密度は $9/cc$ とし、磁力線方向に一様であると仮定している。放射線帯電子の消失高度を地上から100kmとしており、ロスコーン角は約3度となっている。赤道面上での初期のフラックス分布は、

$$j(E, \alpha_{eq}) = 10^7 \sin \alpha_{eq} \exp \frac{E}{E_0} \text{ [/cm}^2\text{/str/keV/s]}$$

として定義している。ここで E_0 は200keVとしている。LBC波動の振幅を変えた場合に放射線帯電子の降り込みがどのように変化するか注目して非線形散乱過程について検証をおこなった。ここで、本シミュレーションは統合データサイエンスセンター計算機システム(CIDASシステム)において実行されている。

【研究結果】

図1はLBC波動によって散乱されて降り込んできた電子の散乱前のエネルギーとピッチ角の分布を示している。左図が磁場振幅30pT、右図が300pTのLBC波動で散乱された結果となる。灰色でハッチされている部分がロスコーン領域となっている。黒の点線は準線形理論で期待される降り込み電子のピッチ角範囲

を示しており、これより小さいピッチ角の電子が優位に降り込んでくると予想される。波動振幅が小さい場合は、準線形で期待される電子が優位に降り込んできている一方で、波動振幅が大きい場合は、準線形で期待されるピッチ角範囲からの降り込みフラックス量が減少するという結果が得られた。

【考察とまとめ】

本研究ではGEMSIS-RBWモデルを用いて、LB C波動による散乱によって降り込む放射線帯電子の振幅依存性について調べた。LBC波動との散乱によってロスコーン付近の数keVから数十keVの電子が降り込んできており、低エネルギーの電子ほどより大きなピッチ角から散乱されてきていることがわかった。これは、準線形理論で期待される傾向と一致するが、低エネルギーほどより大きなピッチ角からロスコーン内へ輸送されてくることが示されている。また、波動振幅が小さい場合 ($\delta B = 30\text{pT}$) は、ロスコーン付近の電子が多く降り込む傾向にあるが、振幅が大きい場合 ($\delta B = 300\text{pT}$) は、ロスコーン付近の電子の降り込む割合が減少し、大きなピッチ角を持つ電子が降り込む割合が大きくなる傾向が示された。これは準線形的な散乱の振る舞いとは異なり、ピッチ角と波動振幅に依存する非線形的振る舞いであると考えられる。波動振幅が大きい場合において、エネルギー10keV以下、ピッチ角10度付近での非線形散乱指標 (ρ_V)⁵を調べてみると、位相捕捉が起きやすい条件であることがわかった。このことより、LBC波動による放射線帯電子の降り込みは、ロスコーン付近の準線形的な振る舞いによる散乱だけではなく、非線形的な散乱過程も関連していることが考えられる。特に位相捕捉に関しては、降り込み量を減少させる傾向を持ち、北原ら²の結果との整合性と差異について今後議論が必要と考える。

【引用文献】

1. Miyoshi, Y., S. Saito, K. Seki, T. Nishiyama, R. Kataoka, K. Asamura, Y. Katoh, Y. Ebihara, T. Sakanoi, M. Hirahara, et al. (2015), Relation between fine structure of energy spectra for pulsating aurora electrons and frequency spectra of whistler mode chorus waves, J. Geophys. Res. Space Physics, 120, 7728-7736, doi:10.1002/2015JA021562.
2. Kitahara, M., & Katoh, Y. (2019). Anomalous trapping of low pitch angle electrons by coherent whistler mode waves. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 124, 5568-5583. <https://doi.org/10.1029/2020JA026493>
3. Omura, Y., N. Furuya, and D. Summers (2007), Relativistic turning acceleration of resonant electrons by coherent whistler mode waves in a dipole magnetic field, J. Geophys. Res., 112, A06236, doi:10.1029/2006JA012243
4. 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.
5. Saito, S., Y. Miyoshi, and K. Seki (2016), Rapid increase in relativistic electron flux controlled by nonlinear phase trapping of whistler chorus elements, J. Geophys. Res. Space Physics, 121, 6573-6589, doi:10.1002/2016JA022696.

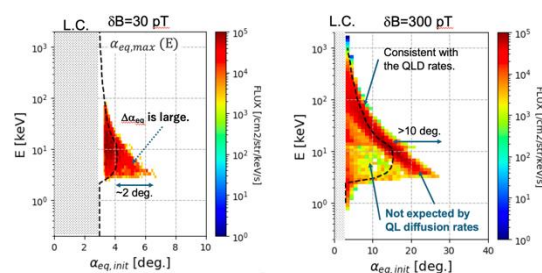


図 1: ロスコーンへ到達した電子の初期のエネルギーとピッチ角の分布。左図が磁場摂動の振幅が 30pT、右図が 300pT の結果を示す。

2023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2024年3月現在
*Affiliation and Department displayed are current as of March 2024.

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	282	
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	284	
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」衛星太陽極域磁場ISEEデータベースの精度検証	285	
吉川顕正	九州大学	国際宇宙惑星環境研究センター	教授	MAGDAS/CPMNデータのデータベース化	287	

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（1957～1958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、1960年代以前の激甚宇宙天気現象を高時間分解能で理解する上で必要不可欠なデータソースである。

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数値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高時間分解能で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

2023年度は、女満別の1962年と鹿屋の1962～1963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1,133枚の高精度スキャン作業（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。2022年度からは、柿岡の極端現象の数値化にも注力している。

3. まとめ

2012年度から2023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あ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

○ 谷口秀隆、地磁気観測成果のデータベース化、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第2次）」令和5年度成果報告シンポジウム、東京大学弥生講堂、令和6年3月14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。

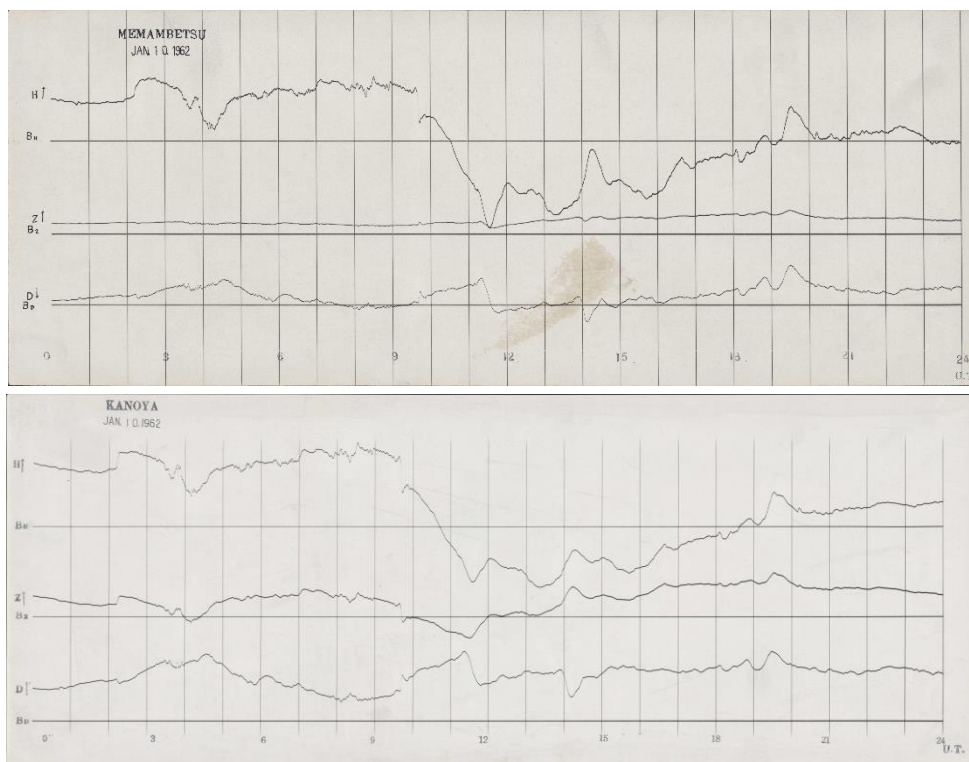


図1 デジタル画像化されたアナログマグネトグラム（上：女満別、下：鹿屋）
水平成分(H)、鉛直成分(Z)、偏角(D)の変化が記録されている。日時はUTC。

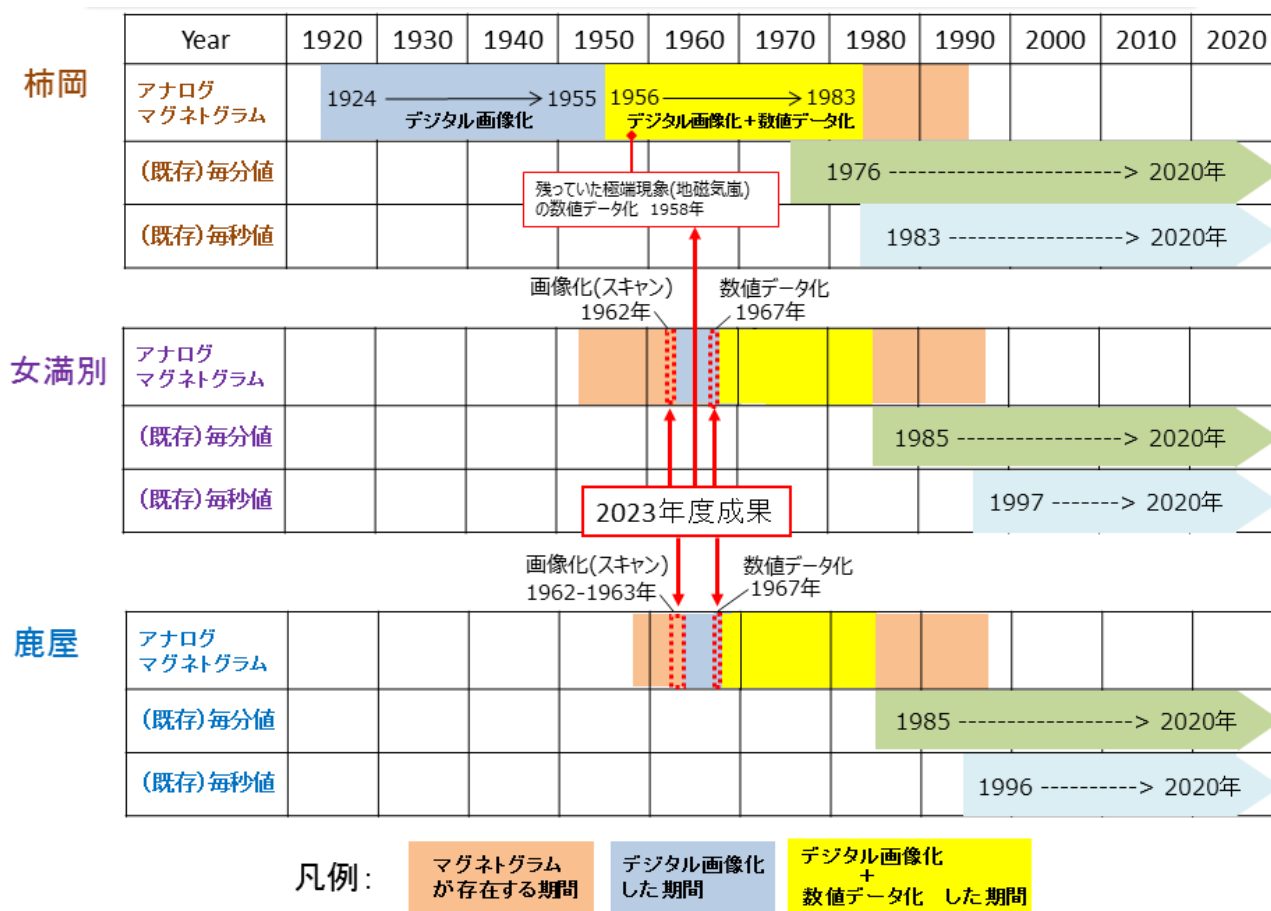


図2 2023年度までに実施されたアナログマグネトグラムのデジタル化成果のまとめ
デジタル画像及び数値化（毎分値、7.5秒値）したデータは全て公開している。

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、電離圏を高い時空間分解能でイメージングするための準備を整えた。また、Fu et al. (2024)は夜間の電離圏擾乱をソフトバンク（株）によるGNSS観測網およびGEONETを用いてイメージングし、ソフトバンク（株）によるGNSS観測網を用いることによって電離圏擾乱の空間分解能がE層において0.15度から0.1度に、F層において0.5度から0.3度に向し、さらに時間分解能が2分から1分に向ししたことを示した(図1)。このことは超稠密GNSS網が電離圏のイメージングをより高精度なものにするために大きく貢献していることを示す。

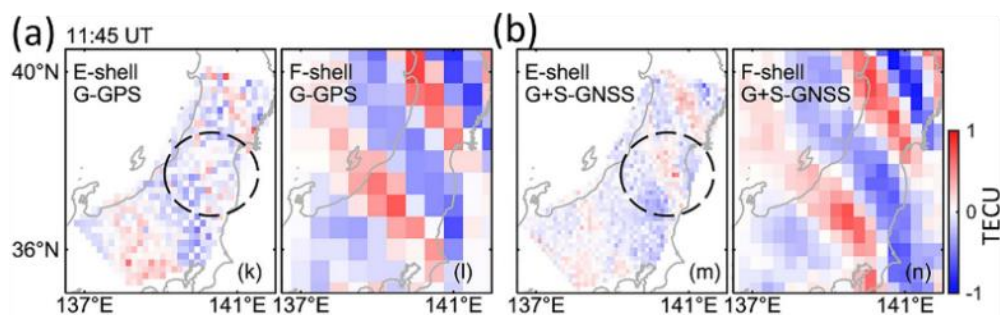


図1: (a)国土地理院 GNSS 受信機観測網(GEONET)で得られた GPS データを用いて推定された E 層 (左)と F 層(右)の全電子数変動. (b)GEONET 及びソフトバンク社の GNSS 受信機観測網で得られた複数 GNSS データを用いたもの(Fu et al. 2024).

参考文献

Fu, W., Otsuka, Y., Shinbori, A., Nishioka, M., Perwitasari, S. (2024), Performance of the double-thin-shell approach for studying nighttime medium-scale traveling ionospheric disturbances using two dense GNSS observation networks in Japan, *Earth Planet. Space*, 76, 7, doi:10.1186/s40623-023-01956-8.

「ひので」衛星太陽極域磁場ISEEデータベースの精度検証
Verification of ISEE database for Hinode/SOT polar magnetic field

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

1. 研究目的

名古屋大学宇宙地球環境研究所 (ISEE) で公開中の「ひので」衛星太陽極域磁場データベース (doi: 10.34515/DATA.HSC-00001) と米国High Altitude Observatory (HAO) の「ひので」衛星磁場データベースを比較し、ISEEデータベースの磁場導出精度の検証を行う。太陽極域磁場とその時間発展の詳細な観測は、「ひので」衛星の重要な成果の一つである。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。ユーザーにとっては、データベースの品質や他のデータベースとの特徴の違いといった情報は、そのデータベースの使用の可否を判断する上で必要不可欠であり、本来はデータベース公開時に付随していることが望ましい。ISEEデータベースで使用されている磁場導出コードでは、極域磁場用にパラメータを最適化している部分があり、比較研究を通してISEE極域磁場データベースの優位な点を明確にし、より多くのユーザーの獲得を目指す。

2. 研究結果

米国HAOデータベースから導出した太陽面の法線方向の磁束密度が、名古屋大学ISEEの極域磁場データベースの結果に対して1.2倍程度大きくなる傾向を持つことが分かった (成果発表I、図1)。この傾向は、太陽サイクルや北極/南極に依存せず常に見られたため、磁場導出コードの特性と考えられる。磁束密度に差を生む原因は、2つのデータベースで使用している磁場導出コードでstray light profile (非磁気大気プロファイル) の仮定が異なるためと考えられる結果を得た。磁束密度の差が顕著なピクセルに対して、フィッティング誤差を評価したところ、フィッティング誤差はISEEデータベースの方が小さく、より適切なstray light profileを仮定していることを示唆している。

また、ISEEの極域磁場データベースを今後どのように維持・有効活用するかを議論するワークショップを本データベース作成共同研究の枠組みで2024年2月に開催した。その中で、ISEEの極域磁場データベースでは2021年9月までのデータが公開中であるが、これを最新の極域観測データ (2023年9月) まで拡張することを試みた。2019年12月に始まった今太陽サイクル (サイクル25) が当初の予定を上回るペースで推移していることが太陽物理のホットトピックの一つであるが、「ひので」衛星データにおいても緯度70-75度の領域で2023年に入り極性反転が進行している様子が確認されている (成果発表III、図2)。この解析に用いたデータは近日中にデータベースに追加される予定である。一方、緯度80度以上の高緯度領域において、ISEEの極域磁場データベースから導出した太陽面の法線方向の磁束密度が過小評価されている可能性を示唆する結果が得られており (成果発表II, V)、今後その原因を探るとともにデータベースへの様に反映させるかが重要である。

3. 成果発表

- I. 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, 2024, submitted.
- II. M. Kubo, D. Shiota, Y. Katsukawa, H. Iijima, S. Masuda, A. Fujimori, "Influence of magnetic filling factor estimation on the polar magnetic fields as observed with Hinode/SOT-SP", Hinode-16/IRIS-13 meeting, Niigata Japan, September 25-29, 2023.
- III. 塩田大幸、久保雅仁、勝川行雄、下条圭美、飯島陽久、松本琢磨、増田智、「ひのでで観測されたサイクル24-25の太陽極域磁場の変動」、日本天文学会春季年会、東京大学、2024年3月11-15日
- IV. 飯島陽久、「オープンフラックス問題の解決策：明るいコロナホールの可能性」、日本天文学会春季年会、東京大学、2024年3月11-15日
- V. 藤森愛梨沙、勝川行雄、久保雅仁、「ひので」極域データベースを用いた太陽極域磁場の緯度依存性の検証」、日本天文学会春季年会、東京大学、2024年3月11-15日

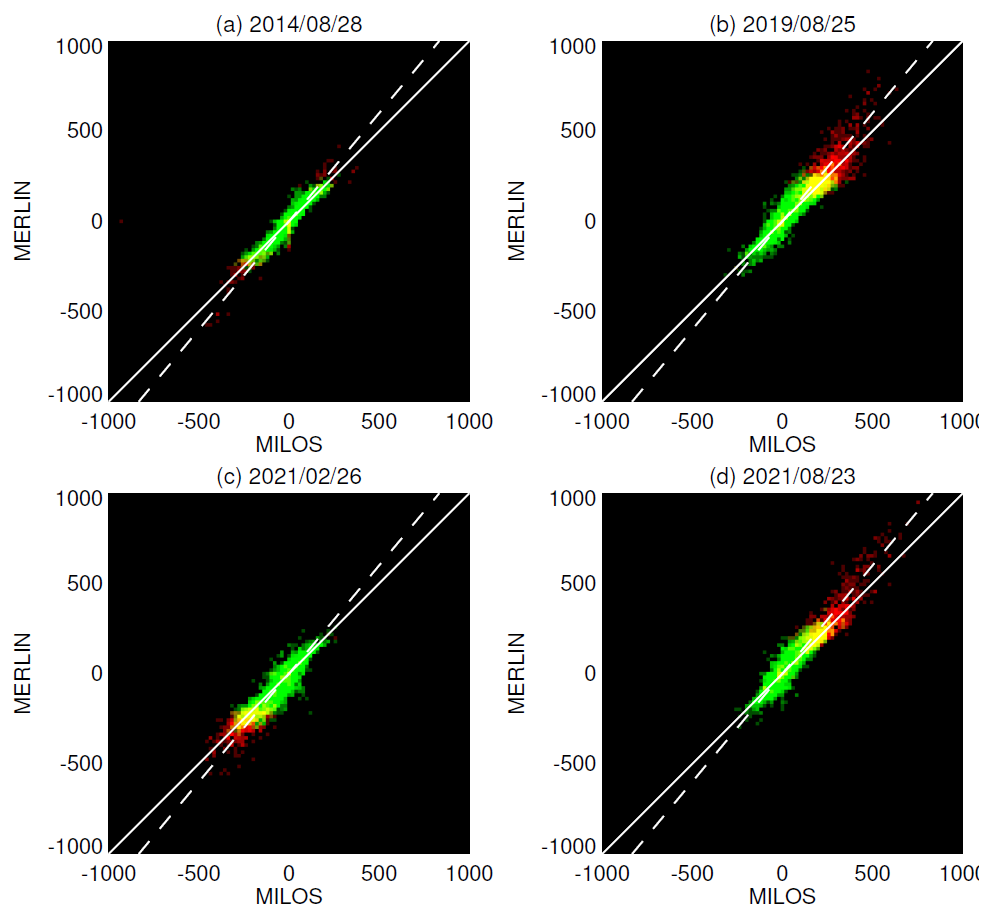


図 1: 太陽面の法線方向の磁束密度に対する、名古屋大学 ISEE 極域磁場データベース（横軸）と HAO データベース（縦軸）の比較。赤が偏光度 0.01 以上の領域で、緑が偏光度 0.004 以上 0.01 未満の領域で、黄色がオーバーラップ領域を示す。白の実線が 1 対 1 の直線で、白の点線は縦軸が 20% 大きな場合。(a), (b), (d) は太陽の北極域で、(c) は南極域のデータ。

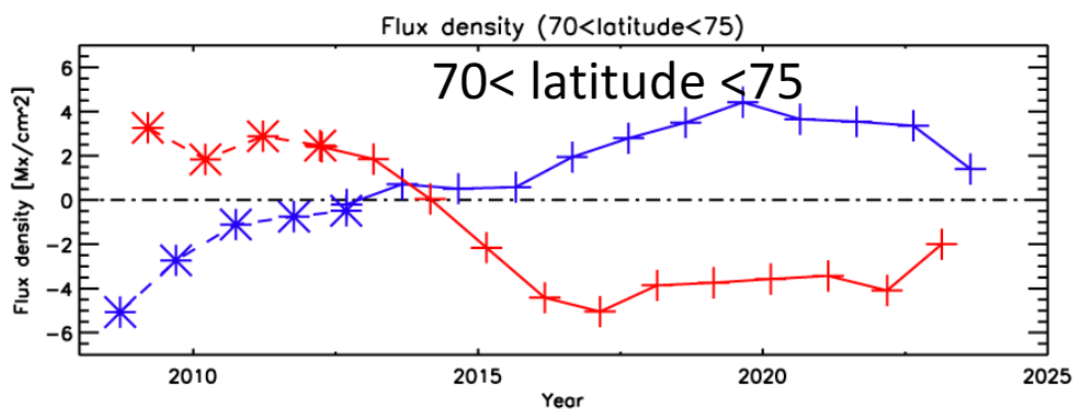


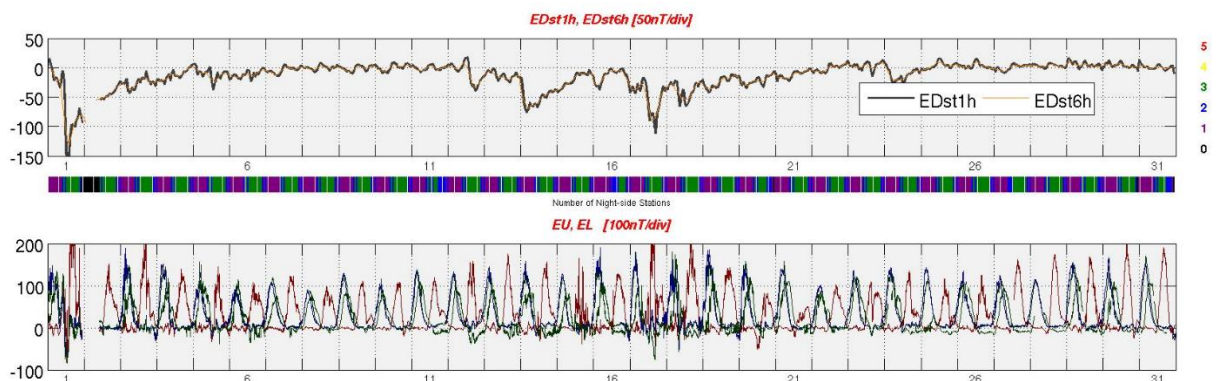
図 2: 緯度 70 度-75 度における太陽面の法線方向の平均磁束密度の年変化。赤が南極域、青が北極域を示す。

(別紙様式08-2)

MAGDAS/CPMNデータのデータベース化
MAGDAS/CPMN Database

吉川顕正、九州大学・国際宇宙惑星環境研究センター

本データベース作成共同研究は、九州大学で運用している MAGDAS 地磁気ネットワークの観測データベースを作成・更新するものである。フラックスゲート型磁力計（3成分1秒、1分、10Hz 値）の絶対値校正と温度補正及び IAGA-2002 データ交換形式への変換をおこなった。登録した磁場データは、SPEDAS (Space Physics Environment Data Analysis System) に含まれるプログラムからダウンロードして利用することができる。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 (IUGONET)」のメタデータを作成し、IUGONET メタデータ・データベース (IUGONET Type-A) を更新した。また、インダクション磁力計データと FM-CW イオノグラムデータについて、観測データの収集と、データベース化のためのデータ整理を進めた。MAGDAS データベースを用いた EE-index の更新を進め、また、新たに高緯度観測点データを用いた Proxy PC index とウェブ解析インターフェースの開発を進めている。



処理データの例：EE-index(2023年12月)。12月初旬に発生したCME起源の磁気嵐による影響が磁気赤道領域の磁場変動でも確認できる

(<https://data.i-spes.kyushu-u.ac.jp/eeindex/QuickLook/202312.html>)。

2023年度 09)加速器質量分析装置等利用(共同利用) 目次詳細

12 件

*所属・職名は2024年3月現在
*Affiliation and Department displayed are current as of March 2024.

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
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	288	
高橋浩	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	289	
谷水雅治	関西学院大学	生命環境学部	教授	¹⁴ C同位体指標用いた海藻生息域の海流季節変化の把握	290	
中西利典	ふじのくに地球環境史ミュージアム	学芸課	准教授	沖積層に含まれる碎屑物を用いた堆積年代の高精度解析	291	
勝田長貴	岐阜大学	教育学部	准教授	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	292	
山田和芳	早稲田大学	人間科学学術院	教授	「トロの森」の形成・発達史解明	293	
北川淳子	福井県年縞博物館		学芸員	福井県三方五湖周辺の遺跡の編年	294	
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	295	
荻谷愛彦	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	296	
大路樹生	名古屋大学	博物館	特任教授	海洋棘皮動物の分布に対する氷期間氷期の影響	297	

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
奥野 充	大阪公立大学	大学院理学研究科	教授	湿地堆積物の堆積過程の高精度復元	298	
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	299	

(別紙様式09-1) 2023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:	2024年2月10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		
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			
氏名	所属機関	国	職名
岸田 拓士	日本大学	日本	教授
中西 利典	ふじのくに地球環境史ミュージアム	学芸課	准教授
北川 浩之	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授
3. 研究成果の概要(400字程度でまとめてください)			
<p>東京湾に位置する縄文時代後期の称名寺貝塚から出土した鯨類骨からDNAを抽出してミトコンドリアDNAの塩基配列解読を行った。DNA解析の結果、遺跡から出土した骨は4種のハクジラ類(ハンドウイルカ <i>Tursiops truncatus</i>、ミナミハンドウイルカ <i>T. aduncus</i>、カマイルカ <i>Lagenorhynchus obliquidens</i>、オキゴンドウ <i>Pseudorca crassidens</i>)に分類された。また、放射性炭素年代測定の結果、これらの骨はいずれも3500～5000年前の年代を示しており、遺跡の年代と矛盾が無いことを確認した。さらに、遺跡から出土した鯨類と遺伝的に近い個体群が現在も東京湾近辺に生息していることから、これらのハクジラ類は過去4000～5000年間にわたって母系集団の生息地がほとんど変わらなかった可能性を示唆している。また、特にミナミハンドウイルカにおいて、称名寺貝塚出土個体の遺伝的多様性は現在の東京湾近辺に生息する個体群の遺伝的多様性よりも高いことが示唆された。以上の結果を論文にまとめて発表した。</p>			
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)			
<p>Kishida T, Namigata S, Nakanishi T, Niiyama Y, Kitagawa H (in press) Dolphins from a prehistoric midden imply long-term philopatry of delphinids around Tokyo Bay. <i>Biological Journal of the Linnean Society</i>. https://doi.org/10.1093/biolinnean/blad159</p>			
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) 2023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:	2024年3月31日		
代表者氏名:	たかはしひろし 高橋 浩		
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		
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			
氏名	所属機関	国	職名
高橋 浩	産業技術総合研究所	日本	主任研究員
南 雅代	名古屋大学宇宙地球環境研究所	日本	教授
3. 研究成果の概要(400字程度でまとめてください)			
<p>塩化ベンザルコニウムの添加では、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、その原因を究明するために、海水や地下水に試薬を添加して塩濃度を変えた試料を使った分析を実施した。その結果、塩化ベンザルコニウムを添加しても、塩濃度が高い試料の方が、低い試料よりも溶存無機炭素の変化が大きいことがわかり、塩類が塩化ベンザルコニウムの殺菌効果を阻害している可能性が見いだせた。</p> <p>海水や汽水試料で塩化ベンザルコニウムによる殺菌処理を可能とするために、ろ過と塩化ベンザルコニウムの添加を組み合わせた処理を検証した。その結果、海水試料でも効果が認められ、ろ過によるバックグラウンドの変化も無視できる程度に小さいことが確認された。限られた試料の結果しか得られていないが、検証をすすめることで、ろ過と塩化ベンザルコニウムの添加を組み合わせた処理が、水銀を代替する殺菌手法として提案できると考えられる。</p>			
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)			
高橋 浩・南 雅代・垣内田 滉・北川 浩之「水試料の14C分析のための塩化ベンザルコニウム(BAC)による殺菌：塩成分がBAC効果に与える影響」名古屋大学年代測定研究, 8, 28-34, 2024.□			
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)			
高橋 浩・南 雅代・垣内田 滉「海水試料の溶存無機炭素分析における塩化ベンザルコニウムによる殺菌処理」2023年度日本地球化学会第70回年会、東京海洋大学、2023年9月21日			
垣内田 滉・南 雅代・高橋 浩「塩化ベンザルコニウム(BAC)添加による天然水殺菌効果の検証 —塩分によるBAC効果抑制の可能性—」2023年度日本地球化学会第70回年会、東京海洋大学、2023年9月21日			
Takahashi, H. A., Kakiuchida, K., Minami, M. "Combined procedure of filtration and benzalkonium chloride addition to prevent DIC alteration in seawater", The 9th East Asia Accelerator Mass Spectrometry Symposia, Korea Institute of Science and Technology, Nov. 22, 2023			
Kakiuchida, K., Minami, M., Takahashi, H. A. Effect of salt on BAC disinfection in natural water , The 9th East Asia Accelerator Mass Spectrometry Symposia, Korea Institute of Science and Technology, Nov. 22, 2023			
垣内田 滉・南 雅代・高橋 浩・北川 浩之「水試料の14C分析のための塩化ベンザルコニウム(BAC)による殺菌：塩成分がBAC効果に与える影響」2023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、2024年2月22日□			
垣内田 滉・南 雅代・高橋 浩「天然水の14C・δ 13C分析における塩化ベンザルコニウム(BAC)による殺菌効果 —塩成分がBAC効果に与える影響—」第26回日本質量分析学会中部談話会、2024年3月18日□			
6. その他の成果リスト(著書、特許等)			
なし			

(別紙様式09-1) 2023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:	2024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		
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:	14C同位体指標用いた海藻生息域の海流季節変化の把握		
英文:	Evaluation of seasonal coastal ocean circulation by 14C isotopic tracer recorded in living seaweeds around Japan		
2. 研究体制			
氏名	所属機関	国	職名
谷水雅治	関西学院大学生命環境学部	日本国	教授
森本貴裕	関西学院大学理工学研究科	日本国	D2大学院生
栗林千佳	関西学院大学理工学研究科	日本国	D2大学院生
野津亜莉紗	関西学院大学理工学研究科	日本国	M1大学院生
伊藤茜	九州大学工学研究院	日本国	助教
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)			
<p>環境中での水銀の挙動把握は環境化学分野において重要な課題である。本研究では、北海道産昆布中にごく微量に含まれる水銀の起源から海洋環境の評価を試みている。水銀が葉体中に取り込まれる時期を把握するために、昆布個体の根元から先端までにかけて14C濃度を決定し、初春から初夏にかけての生長時の支配海流の変化時期の推定を試みている。今年度は道北産の昆布のうち、過去に採取された乾燥昆布試料の14C量を測定した。その結果、現生昆布と同等の14C量を示した。前年度の測定結果では、道東昆布が道北産のものに比べて寒流系の影響を強く受けていたことを考慮すると、昆布の生長時期の海洋環境は、各年にわたり安定していることが示唆された。このことは逆に言うと、支配海流の季節変化に天候不順や地球温暖化などの不定期的な影響があった場合、昆布の14C濃度によりその影響を把握できる可能性がある。</p>			
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)			
野津亜莉紗・福山寛伍・谷水雅治、道北産養殖昆布中の部位ごとの総水銀濃度とその時系列変化、第70回日本地球化学会、東京海洋大学、2023年9月21日			
6. その他の成果リスト(著書、特許等)			

(別紙様式09-1) 2023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:	2024年3月31日		
代表者氏名:	なかにしとしのり 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:	准教授		
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:	沖積層に含まれる碎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			
氏名	所属機関	国	職名
中西利典	ふじのくに地球環境史ミュージアム	日本	准教授
北川浩之	名古屋大学ISEE	日本	教授
3. 研究成果の概要(400字程度でまとめてください)			
今年度は上質なボーリングコア試料を採取するための研究助成が採択されなかったため、仙台平野と阿蘇カルデラで予察的な検討を実施した。仙台平野では氾濫原堆積物に含まれる植物片の再堆積について、阿蘇カルデラではカルデラ形成以後の湖成堆積物から河川成堆積物に含まれる植物片の再堆積について、それぞれ検討した。これらの研究成果は、国内学会と国際学会で発表して、国内誌とSCI誌での公表を目指す。			
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)			
Nakanishi T., Niwa Y., Hong W. Radiocarbon age offsets of plant and shell in the Holocene sediments from the Sanriku coast, Northeast Japan. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B, 538, p.95-102, 2023, doi: 10.1016/j.nimb.2023.02.032			
Nakanishi T., Nanayama F., Kondo Y., Yamada K., Sakai K., Yamaguchi T., Shigeno K., Katsuki K., Oda H., Furukawa R., Hong W. Radiocarbon ages and tsunami deposits in laminated mud layers from the Lake Harutori, Pacific coast of Hokkaido, Northeast Japan. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B, 538, p.173-178, 2023, doi: 10.1016/j.nimb.2023.02.015			
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)			
中西利典・瀬戸浩二・香月興太・入月俊明・齋藤文紀・ホン ワン, 放射性炭素年代測定による斐伊川河口の完新統の堆積速度と海洋リザーバー効果. 日本第四紀学会, P-05, 早稲田大学所沢キャンパス, 2023年			
Nakanishi T., Ishiyama T., Sung K.S., Hong W. Accumulation rate in the Holocene sediments across an onshore subduction thrust, northeastern Nankai Trough. The 9th East Asia Accelerator Mass Spectrometry Symposium (EA-AMS 9), P29, Seoul, 2023			
6. その他の成果リスト(著書、特許等)			
なし			

(別紙様式09-1) 2023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:	2024年3月30日		
代表者氏名:	かつた <small>ながよし</small> 勝田長貴		
所属機関:	岐阜大学		
部局:	教育学部		
職名:	准教授		
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:	Paleoenvironmental reconstruction of Mongolian Plateau since the last glacial period		
2. 研究体制			
氏名	所属機関	国	職名
勝田長貴	岐阜大学	日本	准教授
益木悠馬	岐阜大学	日本	M2
長瀬美羽	岐阜大学	日本	B4
板山由依	岐阜大学	日本	学部研究生
南 雅代	名古屋大学	日本	教授
3. 研究成果の概要(400字程度でまとめてください)			
<p>本研究は、モンゴル高原南部・オルゴイ湖の湖底堆積物(全長12 m)を用いて、最終氷期から完新世に至る永久凍土変動とそれに伴う環境変化を復元することを目的としている。そのためには、植物片や土壌TOCの14C年代測定をもとに精度の高い年代軸の決定が重要となる。本年度は、14C年代測定試料の準備として、6層準で採取した植物片について、AAA処理法(HCl-NaOH-HCl洗浄)を用いて、グラファイト作製試料の準備を行った。また、これと並行して、滋賀県米原市の姉川上流域に露出する2つの湖成層段丘のうち、上位(古期)湖成層の6層準から得た植物片のAAA処理も実施した。結果、オルゴイ湖の植物片の炭素収量が0.19 mgから2.73 mg、姉川古期湖成層が0.14 mgから1.77 mgであることが明らかとなり、14C年代測定に必要な炭素量を得られない試料が存在した。今後は、炭素量の少ない試料に関して、微量グラファイト化ラインを用いて実施し可能か検討する。また、土壌TOCに関しても、14C年代測定を進めていく。</p>			
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)			
<p>板山由依・益木悠馬・南 雅代・落合伸也・丹羽正和・由水千景・陀安一郎・Davaasuren Davaadorj・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100年間の環境変動解析. 名古屋大学年代測定研究8, 8-13.</p> <p>益木悠馬・板山由依・勝田長貴・丹羽正和・由水千景・陀安一郎・南 雅代:姉川上流域におけるヒ素の堆積過程起源:上位段丘面の湖成層の化学分析. 名古屋大学年代測定研究8, 14-19.</p>			
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)			
<p>益木悠馬・勝田長貴・南 雅代・由水千景・陀安一郎:安定硫黄同位体比と化学種分析による姉川古せき止め湖堆積物ヒ素の起源推定. JpGU 2023, 幕張メッセ, 2023年5月23日</p> <p>益木悠馬・勝田長貴・南 雅代・由水千景・陀安一郎:姉川古せき止め湖堆積物とその流域のチャートの安定硫黄同位体組成. 地球研シンポジウム, 総合地球環境学研究所, 2023年12月22日.</p> <p>板山由依・益木悠馬・落合伸也・南 雅代・Davaasuren Davaadorj・由水千景・陀安一郎・勝田長貴:モンゴル東部の湖底堆積物を用いた過去100年間の環境変動解析. 地球研シンポジウム, 総合地球環境学研究所, 2023年12月22日.</p> <p>板山由依・益木悠馬・南 雅代・落合伸也・丹羽正和・由水千景・陀安一郎・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100年間の環境変動解析. 第35回(2023年度)年代測定研究シンポジウム, 名古屋大学研究所共同館Ⅱ, 2024年2月22日.</p>			
6. その他の成果リスト(著書、特許等)			

(別紙様式09-1) 2023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:	2024年3月10日		
代表者氏名:	やまだ かずよし 山田和芳		
所属機関:	早稲田大学		
部局:	人間科学学術院		
職名:	教授		
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:	「トトロの森」の形成・発達史解明		
英文:	Geographical study on the formation and development history of the urban forest "Totoro's Forest"		
2. 研究体制			
氏名	所属機関	国	職名
山田和芳	早稲田大学	日本	教授
中西利典	ふじのくに地球環境史ミュージアム	日本	准教授
藤木利之	岡山理科大学	日本	准教授
北川浩之	名古屋大学	日本	教授
3. 研究成果の概要(400字程度でまとめてください)			
<p>本研究は、狭山丘陵北麓に位置する三ヶ島湿地にて、上流から下流に欠けて湿地堆積物を採取して、その堆積物試料の放射性炭素年代測定とともに、花粉分析やCNS元素分析を通じて、湿地の形成時期や「トトロの森」と称される二次林の発達史を明らかにした。</p> <p>その結果は以下にまとめられる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・三ヶ島湿地は約1,700年前に形成し、現在まで湿地環境が維持されていた。 ・約500 cal ADよりコナラを主体とするコナラ二次林「トトロの森」が成立したと考えられた。また、約850 cal AD頃から湿地を人為的に調整することで稲作をはじめたことが示唆された。 ・約1800 cal ADよりコナラ二次林、アカマツ二次林の管理の放棄が始まり、照葉樹林へ森林が回復したとともに、湿地周辺ではスギの植林が開始された。 			
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)			
<p>山田和芳・常峰拓真・水野末衣加・藤木利之・中西利典・北川 浩之、トトロの森はいつできたのか？</p> <p>狭山丘陵三ヶ島湿地における古環境調査一、日本地球惑星科学連合2024年大会、幕張メッセ、2024年5月</p>			
6. その他の成果リスト(著書、特許等)			

(別紙様式09-1) 2023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:	令和6年3月		
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		
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の遺跡の編年		
英文:	Determining the chronology of archaeological sites of Five Lakes of Mikata area, Japan		
2. 研究体制			
氏名	所属機関	国	職名
北川淳子	福井県年縞博物館	日本	学芸員
小島秀彰	若狭三方縄文博物館	日本	学芸員
北川浩之	名古屋大学宇宙地球環境研究所	日本	教授
3. 研究成果の概要(400字程度でまとめてください)			
<p>福井県三方五湖地域の鳥浜貝塚後の拠点遺跡であるユリ遺跡と北寺遺跡から出土した縄文土器から縄文時代中期から晩期の試料20点と、弥生時代の試料1点について放射性炭素年代測定を行った。縄文時代の土器9点については、土器の内面と外面の両方の付着炭化物について放射性炭素年代測定を行い、両遺跡での活動時期について考察した。</p> <p>本研究では、土器の内面付着炭化物が外面のそれより古い年代が得られる傾向はあるが、土器の内面付着炭化物が必ずしも古い年代測定値を出すということが言えず、土器で煮炊きした対象物や、出土状況なども考慮する必要がある。また、土器型式から想定される時代区分より遡る放射性炭素年代の得られた土器もあった。若狭地方の土器の実年代決定はさらに精査が必要である。</p> <p>遺跡での活動時期であるが、両遺跡とも、鳥浜貝塚が土砂災害にあった縄文時代前期末葉の約5800年前ごろに相前後して利用されていたと複数の土器付着炭化物の年代から推定できる。その後の活動の拠点である田井野遺跡と相前後して、北寺遺跡とユリ遺跡が利用されていた可能性が高い。</p>			
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) 2023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:	2024年3月30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		
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			
氏名	所属機関	国	職名
池盛 文数	名古屋市環境科学調査センター	日本	研究員
片岡 賢太郎	名古屋大学大学院環境学研究科	日本	博士前期課程2年
南 雅代	名古屋大学宇宙地球環境研究所	日本	教授
3. 研究成果の概要(400字程度でまとめてください)			
<p>名古屋の総大気粉じんについて、炭素同位体(^{14}C、^{13}C)、炭素成分濃度、金属元素濃度を測定し、新型コロナウイルスによる経済活動の変革による影響や、船舶の排ガス規制効果を検証した。^{14}C濃度について、2019年と2020年では大きな濃度差は見られなかった。一方で、^{14}C濃度から化石燃料起源炭素濃度を推計したところ、高濃度が検出されにくく、その変動幅は小さかった。気象条件等、今後、検証が必要であるが、経済活動の自粛により、化石起源炭素の排出が抑制された可能性が考えられる。また、大気エアロゾルにおいて、重油が主要な起源であるバナジウムは、2019年に比べ2020年には濃度が大きく減少していた。これは船舶の排ガス規制によるものと考えられた。これらの結果より、新型コロナウイルスによる経済活動の自粛や船舶排出ガスの規制が、大気エアロゾルに一定の影響を与えることが示唆された。本研究は、本研究所年代測定研究部の学生の修士研究として実施された。</p>			
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)			
<p>1, 片岡賢太郎, 南雅代, 池盛文数, 浅原良浩, 2019~2020年の名古屋の都市大気エアロゾルの^{14}C濃度, $\delta^{13}\text{C}$及び微量金属元素濃度の変動, 2023年度日本地球化学会第70回年会, 2023年9月</p> <p>2, 片岡賢太郎, 南雅代, 池盛文数, 浅原良浩, 2019~2020年の名古屋の都市大気エアロゾルの^{14}C濃度及び無機金属元素濃度の変動, 2023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, 2024年2月</p>			
6. その他の成果リスト(著書、特許等)			

(別紙様式09-1) 2023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:	2024年3月11日		
代表者氏名:	かりや よしひこ 荻谷 愛彦		
所属機関:	専修大学		
部局:	文学部		
職名:	教 授		
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			
氏名	所属機関	国	職名
山田 隆二	防災科学技術研究所	日本	主任研究員
中西 利典	ふじのくに地球環境史ミュージアム	日本	准教授
北川 浩之	名古屋大学	日本	教 授
3. 研究成果の概要(400字程度でまとめてください)			
<p>赤石山脈南部を南北に縦貫する安倍川の源流地域において、安倍川本流の河床上昇を原因として支流(ヨモギ沢、タチ沢、コンヤ沢)に形成された堰き止め湖沼堆積物の地質調査を行った。各支流の堰き止め湖沼堆積物に含まれる微細な木片や植物片を採取し、それらを試料として合計20点のAMS ^{14}C年代値を得た。</p> <p>年代値は支流ごとに一定の範囲に集中し、なおかつ支流ごとに範囲がずれることが判明した。安倍川本流の河床上昇は大谷崩(巨大斜面崩壊地)を供給源とする過剰な土砂供給が主因であり、崩壊の発生時期は西暦1707年・宝永地震時と考えられてきた。しかし今回の測定で最古の年代範囲を示したコンヤ沢の場合、校正暦年の確率分布は1300~1450年に集まる。この結果は、支流を堰き止めるような本流の顕著な河床上昇、すなわち大谷崩からの過剰な土砂供給は従来の推定より250~400年古い時代にすでに始まっていたことを示唆する。日本有数の大規模斜面崩壊地である大谷崩の初生時期に関して、年代学的・層序学的観点での再検討が必要なことが明らかとなった。</p>			
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)			
(準備中)			
6. その他の成果リスト(著書、特許等)			
(準備中)			

(別紙様式09-1) 2023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:	2024年3月31日		
代表者氏名:	奥野 充		
所属機関:	大阪公立大学		
部局:	大学院理学研究科		
職名:	教授		
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			
氏名	所属機関	国	職名
奥野 充	大阪公立大学	日本	教授
南 雅代	名古屋大学	日本	教授
藤木利之	岡山理科大学	日本	准教授
大下愛央	大阪公立大学	日本	修士1年
西川 空	大阪公立大学	日本	修士1年
3. 研究成果の概要(400字程度でまとめてください)			
<p>これまで湿地堆積物は、花粉化石が保存されているため、古植生復元に活用されてきた。しかし、これらの多くは湿原を1つの地点としか捉えておらず、湿原のどこで採取したかも論文に記載がない。この共同利用では、佐賀県の桧原湿原、山口県の宇生賀盆地、京都府の八丁平湿原、福井県の池ヶ原湿原、静岡県蛇石大池湿原の計5カ所を対象にハンドオーガーを用いて、断面を復元できるようにコア試料を採取した。花粉化石や火山灰などを良好に保存している湿地堆積物の記録特性(連続堆積の有無)を評価するには、得られたコア試料を正確に対比する必要がある。コア試料に含まれる微量の植物片を使用してAMSによる高密度に年代値を得て湿原の埋積過程を復元すると、層相の変化と堆積年代が斜交することが確認された。すなわち、堆積域内において層相の対応関係だけで対比することはできないと考えられる。</p>			
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)			
<p>1. 大下愛央, 奥野 充, 西川 空, 藤木利之, 中西利典, 林田 明, 鳥井真之, 洪 完(2023)阿武単成火山群, 宇生賀盆地から採取したコア試料の層序と年代. 名古屋大学年代測定研究, 7, 43-49.</p> <p>2. 西川 空, 奥野 充, 大下愛央, 藤木利之, 中西利典, 林田 明, 鳥井真之, 洪 完(2023)京都北山, 八丁平湿原から採取したコア試料の層序と年代. 名古屋大学年代測定研究, 7, 36-42.</p> <p>3. 奥野 充, 大下愛央, 西川 空, 黒木 瞭, 藤木利之, 中西利典, 林田 明, 鳥井真之, 洪 完, 湿原堆積物の空間分布から推定される湿原形成イベント. 自然災害研究協議会西部地区部会報・論文集, No. 48, 29-32,</p>			
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)			
<p>1. 奥野 充, 高精度古環境復元に対する放射性炭素年代測定の役割. (招待講演)日本地球惑星科学連合2023年大会, ハイブリッド開催(現地会場:千葉・幕張メッセ), 2023/5.</p> <p>2. 大下愛央, 黒木 瞭, 奥野 充, 藤木利之, 中西利典, 林田 明, 伊豆半島南部, 蛇石大池湿原の形成史の高精度復元. 国際火山噴火史情報研究集会 2023-2(福岡), 2024/2.</p> <p>3. 西川 空, 黒木 瞭, 奥野 充, 藤木利之, 中西利典, 林田 明, 福井県勝山市, 池ヶ原湿原の堆積環境変化の復元. 国際火山噴火史情報研究集会 2023-2(福岡), 2024/2.</p>			
6. その他の成果リスト(著書、特許等)			
奥野 充(2024)イントカル. 地学団体研究会編, 地学事典(第4版), 平凡社, 東京, 113.			

(別紙様式09-1) 2023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:	2024年3月31日		
代表者氏名:	窪田 薫 <small>くぼた かおる</small>		
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		
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 global warming		
2. 研究体制			
氏名	所属機関	国	職名
窪田 薫	海洋研究開発機構	日本	研究員
南雅代	名古屋大学	日本	教授
白井厚太郎	東京大学	日本	准教授
大串健一	神戸大学	日本	教授
3. 研究成果の概要(400字程度でまとめてください)			
<p>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時代に起きた温暖期に着目した(縄文海進最盛期;約6,000年前)。本申請研究では、二枚貝化石の地球化学分析を通じて、縄文海進最盛期の水温・栄養塩循環・海流を定量的に復元する。今年度は、北海道沿岸部(道北)で非常に古いサンプルが得られた地域(雄武)を再訪し、さらなる試料採取を行なった(2023年10月の野外調査)。得られた二枚貝化石の14C分析を行ったところ、古い年代値を示す化石が複数得られ、縄文時代の研究をするのに最適な地であることが分かった。打ち上げ貝の特性上、ごく最近死んだ個体が多いものの、これまでのところ、7500年前から現在にかけてを網羅する二枚貝化石を半連続的に採取することに成功している。今後、二枚貝の殻のさらに詳細な分析を通じて、縄文海進最盛期の古環境復元を行いたいと考えている。</p>			
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)			
<p>Kubota, K., Shirai, K., Murakami-Sugihara, N., Seike, K., M., Tanabe, K., Minami, M., Nakamura, T. The unseen victims of the 2011 tsunami: Mass mortality of the long-lived bivalve, <i>Mercenaria stimpsoni</i>, in northeast Japan. AGU Fall Meeting 2023 (Online/San Francisco, 2023.12). Poster.</p> <p>Kubota, K., Shirai, K., Murakami-Sugihara, N., Seike, K., M., Tanabe, K., Minami, M., Nakamura, T. Evidence of mass mortality of the long-lived bivalve <i>Mercenaria stimpsoni</i> caused by a catastrophic tsunami. INQUA2023 (Rome, 2023.7.14). Poster.</p> <p>Kubota, K., Sakai, K., Ohkushi, K., Shirai, K., Minami, M. Salinity, oxygen isotope, hydrogen isotope, and radiocarbon of coastal seawater of North Japan. JpGU2023 (Makuhari, 2023.5.25). Poster.</p>			
6. その他の成果リスト(著書、特許等)			

2023年度 10)加速器質量分析装置等利用(委託分析) 目次詳細

4 件

4件の申請が有り、そのうち4件(119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。

2023年度 11)SCOSTEP Visiting Scholar (SVS) Program (in ISEE) 目次詳細

2023 11)SCOSTEP Visiting Scholar (SVS) Program in ISEE List

7 件

*所属・職名は2024年3月現在
*Affiliation and Department displayed are current as of March 2024.

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
George Ochieng Ondede	The Technical University of Kenya, Kenya	Department of Astronomy and Space Sciences	graduate-course student	The impact of Geomagnetic Storms on GNSS within the Low and Mid Latitude Sector During the 24th Solar Cycle.	301	
Akshay Shivaji Patil	Sanjay Ghodawat University, Kolhapur, India		graduate-course student	To study the variation in TEC scintillation during the propagation of Equatorial Plasma Bubbles (EPBs).	303	
Upadhyay Kshitiz	Physical Research Laboratory, Ahmedabad, India	Space and Atmospheric Sciences Division	graduate-course student	Interrelation between electron temperature and O(1D) emission intensity	305	
Lalitha G Krishnan	Vikram Sarabhai Space Centre, India	SPACE PHYSICS LABORATORY	graduate-course student	Space weather during initial phase of solar cycle 25 and its impact on thermosphere-ionosphere system at different latitudes	307	
Rajesh Kumar Barad	Indian Institute of Geomagnetism, India	UAS	graduate-course student	Study on the generation and evolution of equatorial plasma bubbles under extreme weather, space weather, and natural hazard events and their connections to the mid-latitude processes	309	
Manu Varghese	Institute of Space Sciences, Shandong University, China		graduate-course student	Association of peak intensity of all low latitude auroras and high latitude magnetic field data with the corresponding geomagnetic activity indices and solar wind-IMF parameters.	311	
Ardra K P	India			Large scale changes in the polar ionosphere during CME and CIR storms, its relation to Sub-Auroral Polarization Streams (SAPS) and particle precipitation	313	

Effects of Ionospheric Scintillation on GNSS Positioning in the Low Latitude Region of Africa at the close of the 24th Solar Cycle

Principal Investigator: George Ochieng Ondede

Affiliation: Technical University of Kenya, Nairobi, Kenya

Position: Faculty, Department of Astronomy and Space Sciences and a Ph D Student

Period of Stay in ISEE

I arrived at the ISEE on Friday 12th January 2024 and stayed till 29th March 2024.

Research Summary

Purpose of the Research

The purpose of the research was to investigate the effects of scintillations on GNSS positioning in the low latitude regions of Africa at the tail end of the 24th solar cycle using the RTKLIB positioning applications.

Methodology

The Global Navigation Satellite Systems (GNSS) data (in form of RINEX files) for the work was obtained from the SOPAC website. The locations of the receivers considered were within the dip equatorial region of Africa. The RINEX observation files obtained from the station were unzipped and then processed using the GPS-TEC application software developed at Institute of scientific Research, Boston College, USA. We use the method suggested by Pi et al., (1997) to determine ROTI:

$$ROTI = \sqrt{\langle ROT^2 \rangle - \langle ROT \rangle^2}$$

ROTI is a good indicator of the existence of ionospheric irregularities and $ROTI \geq 0.5$ indicates the occurrence of irregular ionospheric activities relevant to ionospheric scintillation. The GNSS positioning errors were determined using the RTKLIB application software, (Takasu, 2009).

Preliminary Results

The seasonal variations of scintillations were determined for the two years, 2019 and 2020, at the end of the 24th solar cycle. for contrast, the peak year, 2014, was also analyzed. The plots are given in Figures 1 and 2.

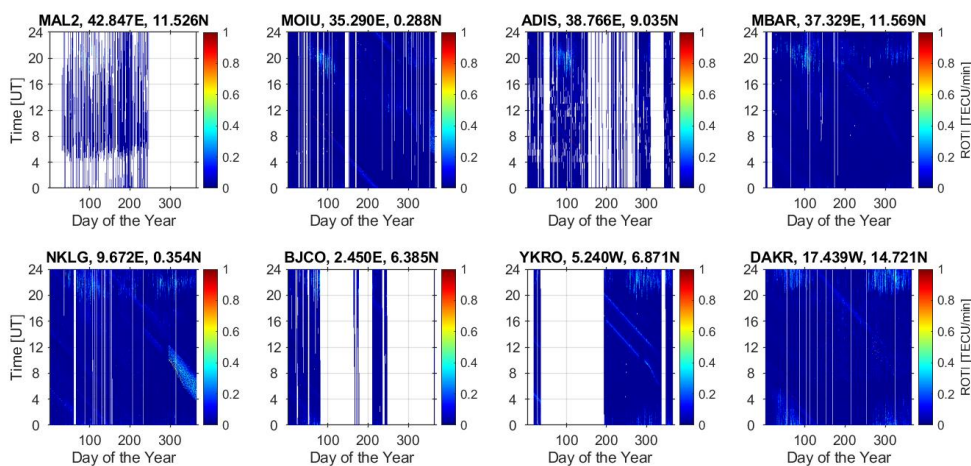


Figure 1: The time and seasonal variation of occurrences rate of ionospheric scintillation as observed by eight receivers within the dip equatorial region of Africa in the year 2019.

The data was observed to have a lot of data outages. The scintillations were also observed to be lower at the end of the 24th solar cycle compared to the period of the solar maximum. 2019 and 2020 represent the period of solar minimum. 2014, in Figure 2 represent the solar maximum for ease of comparison.

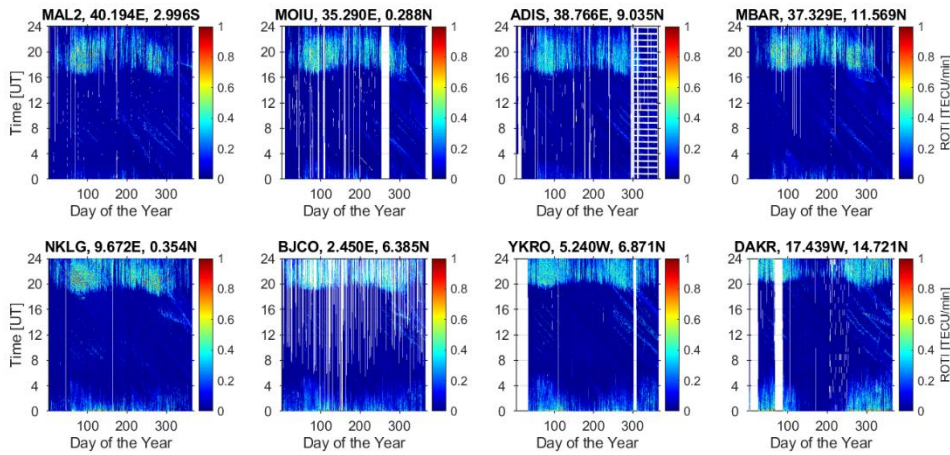


Figure 2: The time and seasonal variation of occurrences rate of ionospheric scintillation as observed by eight receivers within the dip equatorial region of Africa in the year 2014.

The ROTI was compared with the GNSS positioning errors. Figures 3 and 4 give summaries.

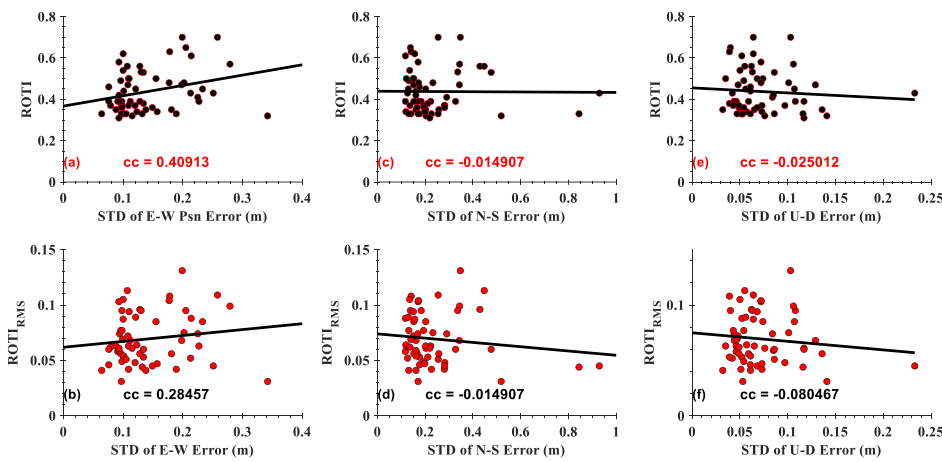
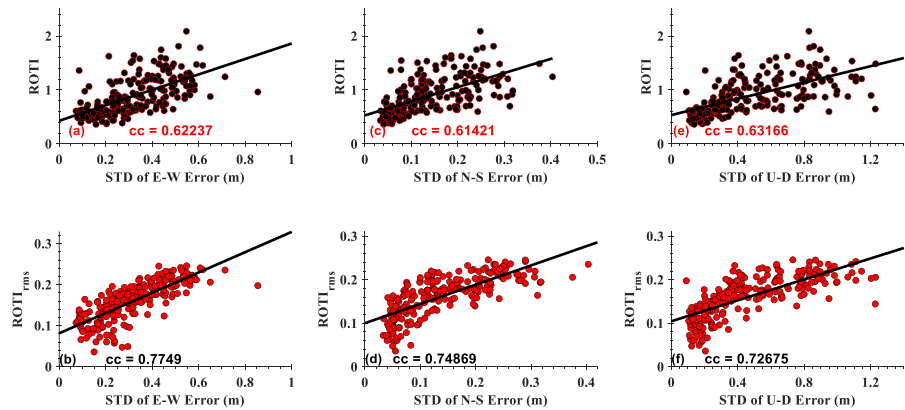


Figure 3: The plots showing positioning errors for all the days in 2019 for the receivers with $ROTI \geq 0.25$ in all the stations considered. The correlation coefficients are indicated as cc in each subplot.

Figure 4: Positioning errors for all the days with $ROTI \geq 0.25$ for Mbar in 2014. The correlation coefficients are indicated.



Summary

1. There was observed diurnal and seasonal variations of ionospheric scintillations.
2. During low solar activity period of the 24th solar cycle, 2019 and 2020, the magnitude scintillations could not trigger the GNSS positioning errors as opposed to the peak of the solar cycle, 2024.
3. The RTKLIB positioning application was found to be a useful tool for the determination of precise GNSS positioning errors.

The paper is yet to be sent for peer review as a process of publication.

Pi, X., Mannucci, A. J., Lindqwister, U. J., & Ho, C. M. (1997). Monitoring of global ionospheric irregularities using the worldwide GPS network. *Geophysical Research Letters*, 24(18), 2283–2286. <https://doi.org/10.1029/97GL02273>

Analysis of different techniques used to estimate impact of Equatorial Plasma Bubbles on Global Navigation Satellite System (GNSS) signals.

Mr. Akshay Patil, Sanjay Ghodawat University India, Ph.D. Student

Period of stay at ISEE: From 02 Oct. 2023 to 28 Dec. 2023.

Research summary:

In satellite-based navigation and positioning, ionospheric delay is regarded as a critical error source. Receivers on ground station with the help of satellite are used to determine the position, velocity and time information independently. In low latitudes, ionospheric variability significantly impacts positioning accuracy of GNSS signal. This necessitated the enhancement of precision and integration of many available satellite navigation systems.

Purpose: The existence of ionospheric abnormalities that may prevent continuous GNSS functioning, particularly in the Global positioning system (GPS) L2 frequency, is one of the primary issues in ionospheric modelling since, signals transmitted at L2 frequency are more susceptible to ionospheric delays compared to L1 frequency. Different estimation techniques have been developed over the time. Each of these techniques provides different aspect to ionosphere-radio frequency interaction. The main goal of this work is to analyse various estimation techniques to better understand the impact of ionospheric anomaly on GNSS signals.

Methods:

We have used two stations closely located in India as Base Station: LCK3 (26.9121° N , 80.9556° E) & Rover station: LCK4 (26.9140° N, 80.9588° E) for this event. Then we selected an event where Plasma bubble is detected (15th Jan 2022). To analyze this plasma bubble we have plotted Rate of Change TEC Index (ROTI) of that day and to analyze GNSS signal we used RTKLIB software.

RTKLIB: Among many GNSS data processing software, RTKLIB is an open-source program for GNSS positioning. Numerous common data formats, including RINEX OBS/NAV, BINEX, ANTEX, and IONEX, are supported by RTKLIB. RTKPLOT is used to visualize the solutions; it can display the number of satellites utilized in the computation, the position, and the ground track of the observation points. There are differences in the GNSS data utilized for post processing. First, a RINEX observation file from a GNSS receiver that serves as a base station and has a ".o" extension is used. The position of the rover station, which is made up of additional observation data, must be calculated. GNSS sites offer navigation files in addition to observation data. An output file ending in ".pos" is what RTKPOST produces. The positioning mode, statistically predicted accuracy, and various computational limitations are all detailed in the output file.

ROTI: Total electron content (TEC) is one of the most often utilized GNSS-based measures defining the ionospheric plasma density. We calculated ROTI using a running window for 5-min sets of ROT observations.

Results:

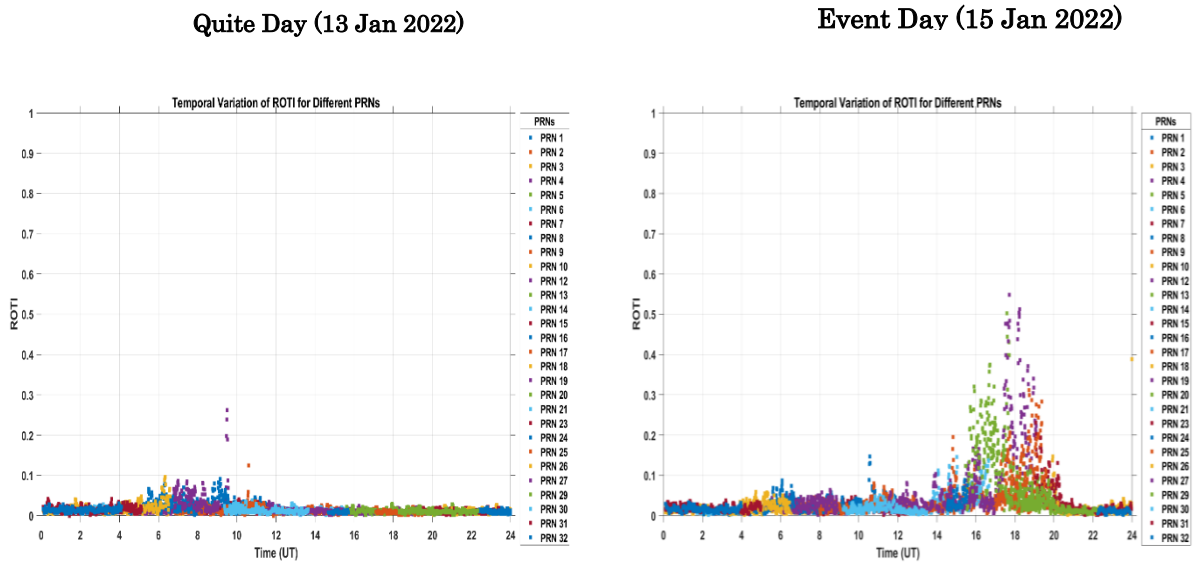


Fig.1 ROTI plot of base station LCK3 on quiet and event day.

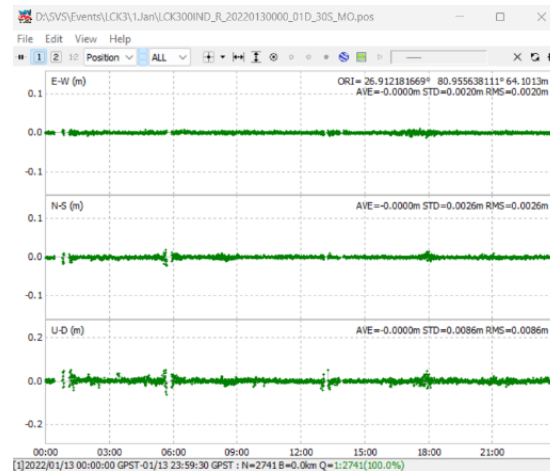


Fig. 2 shows variation in GNSS signal using DGNSS technique.

Our results shows that DGNSS (Code - based differential GNSS) provide best output for error detection in GNSS signal due to plasma bubble activity. We observed that after the occurrence of plasma bubble there is slight positioning error in GNSS signal. It also shows that meridional variation in positioning is slightly higher than that of zonal variation in positioning. But the error shows in this method is very minimum and it can be caused by other parameters. Hence to establish a solid relation multiple events at multiple station needs to be studied.

Interrelation between electron temperature and O(¹D) emission intensity

Mr. Kshitiz Upadhyay

Physical Research Laboratory, Ahmedabad, India

PhD Research Scholar

I, Kshitiz Upadhyay, a PhD student at Physical Research Laboratory, Ahmedabad, India visited the ISEE, Nagoya, Japan from Oct 01st to Dec 29th, 2023 under the SCOSTEP Visiting Scholar (SVS)-2023 program. The purpose of the visit was to perform the research work based on the investigations of night time atomic oxygen OI 630.0 nm emission intensity and the corresponding electron temperature variation for a mid-latitude phenomenon, known as Stable Auroral Red (SAR) arcs. In this work, the measurements of SAR arc emission intensities over Athabasca (Canada) and conjugate electron temperature (T_e) from DMSP for the events of year 2015 and 2018 observed by Gololobov et al., 2023 were utilized. As Gololobov et al., 2023 found a positive correlation between electron temperature and 630.0 nm emission intensities, we used these measured electron temperature and emissions to obtain the required plasmaspheric heat flux for the production of night time SAR arc emissions using a physics-based model, GLOW (Solomon, 2017). We further used these GLOW model obtained energy fluxes to estimate the electron densities using the Maxwell-Boltzmann's energy distribution function (MBF) and a comparison was made with DMSP measured electron densities. The results on estimated heat flux using measured emission and temperatures were found to match well as reported earlier by Kozyra et al., 1997, which were based on theoretical studies.

Apart from SAR arc studies, a partial work based on OI 630.0 nm nightglow emission intensities was also carried out during the stay at ISEE. These nightglow emissions were obtained using OMTI all-sky imager at Tromsø (Norway) for geomagnetically quiet days. In addition to observed nightglow emissions, GLOW model was also used to estimate the intensities of these emissions by providing measured electron density profiles from collocated EISCAT radar. The results obtained by the comparison of observed and estimated nightglow intensities over zenith suggested the occurrence of low-energy particle precipitation from plasma sheet region to the equatorward boundary of nightside auroral oval during geomagnetically quiet times. These results on low-energy transfer evident by OI 630.0 nm nightglow emissions also indicate towards the importance of magnetosphere-ionosphere coupling phenomena at high-latitudes during quiet periods of geomagnetic activity.

References

- Gololobov, A., Shiokawa, K., Baishev, D., Inaba, Y., Otsuka, Y., & Connors, M. (2023). Multi-event conjugate measurements of the SAR arc detachment from the auroral oval using DMSP satellites and an all-sky camera at Athabasca, Canada. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, e2022JA030544.
- Kozyra, J. U., Nagy, A. F., & Slater, D. W. (1997). High-altitude energy source (s) for stable auroral red arcs. *Reviews of Geophysics*, 35(2), 155-190.
- Solomon, S. C. (2017). Global modeling of thermospheric airglow in the far ultraviolet. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 122(7), 7834-7848.

Space weather during initial phase of solar cycle 25 and its impact on thermosphere- ionosphere system at different latitudes

Lalitha G Krishnan,
Space Physics Laboratory,
Vikram Sarabhai Space Centre,
Thiruvananthapuram, India
Senior Research Fellow

As part of SCOSTEP Visiting Scholar (SVS) program -2023, I got the opportunity to visit Institute for Space Earth Environmental Research (ISEE), Nagoya University, Japan and work under the supervision of Prof. Kazuo Shiokawa for the period 01 October-29 December 2023. The aim was to study the impacts of the geomagnetic storms of different intensities in the rising phase of the solar cycle 25 on ionosphere-thermosphere system from high to equatorial latitudes in the Indian longitude sector. During the events of geomagnetic storms, the dynamo region electric field in the equatorial ionosphere, which generally is in the eastward direction, is altered by two processes: Prompt Penetration Electric Field (PPE) or/and Disturbance Dynamo Electric Field (DDE). PPE is the mapping of interplanetary electric field to the E-region ionosphere, which is an instantaneous effect and DDE is the alteration in the electric field caused due to the change in the global wind pattern caused by the intense joule heating in the auroral region, which takes few hours to manifest over the equatorial latitudes.

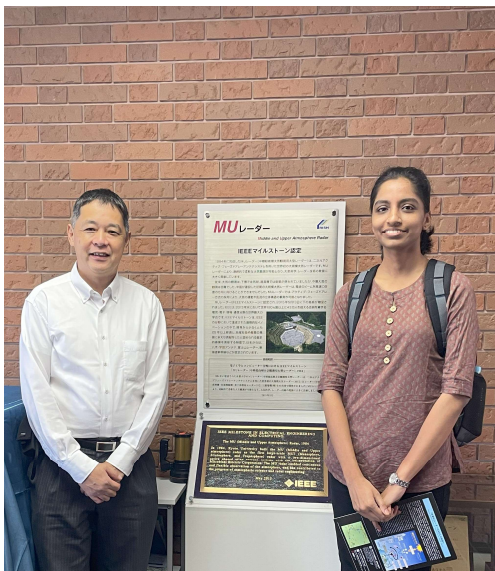


Photo taken with Prof. Shiokawa during the visit to Shigaraki MU radar observatory.

The drift of plasma irregularities in the ionospheric E-region is the best obtainable proxy for the estimation of dynamo electric field as there are no direct measurements available. The anomalous variation in the drift observed by 18MHz coherent, pulsed, monostatic HF radar at Thumba during 12 October 2021 and 28 November 2022 are found to be purely due to the mapping of the Interplanetary Electric Field (IEF_y) to the equatorial ionosphere as PPE, which is also supported by the Equatorial Electrojet (EEJ) strength over the location. The geomagnetic storm that occurred due to a Coronal Mass Ejection (CME) from the sun during April 2023 is by far the strongest storm of solar cycle 25 in terms of the SYM-H index. Its effects on the equatorial region as well as low

latitudes were studied. The work was commenced by pondering about the source of the anomalously high electron density over Thumba (8.5°N, 77°E and dip lat.= 1.96°N). The GPS- Total Electron Content (TEC) observations from different locations in India reveal the presence of Travelling Ionospheric Disturbances (TIDs) from north to south over the region. TEC data from ISEE database reveals the presence of TIDs that travel from north to southern hemisphere crossing the equator. The TIEGCM simulation of meridional wind and temperature with data assimilation by Assimilative Mapping of Ionospheric Electrodynamics (AMIE) technique was done in collaboration with Dr. Gang Lu, High Altitude Observatory (HAO), USA. The model output also shows the propagation of Travelling Atmospheric Disturbances (TADs). The manuscripts on the results obtained from the work carried out at ISEE are under preparation and will be soon communicated to a reputed journal.

During the visit to Nagoya, I had a chance to visit the MU Radar observatory, Shigaraki and witness the radio and optical facilities available for the probing of the Ionosphere-Thermosphere System.

Temporal Analysis of MSTID Impact on GNSS Positioning in Japan for 2022-2023

Rajesh Kumar Barad^{1,2}, Yuichi Otsuka²

¹Indian Institute of Geomagnetism, Navi Mumbai, India

²Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Nagoya, Japan

Purpose of this study

This study aims to conduct a comprehensive statistical analysis of the impact of Medium-scale traveling ionospheric disturbances (MSTIDs) on Global Navigation Satellite Systems (GNSS) positioning, utilizing observations from ground based GNSS receivers. The specific objective is to investigate the statistical distribution of MSTID-induced ranging errors and their impact on GNSS positioning accuracy under different ionospheric conditions over Japan.

Methods

This study investigates the effects of MSTIDs on the accuracy of GNSS positioning across the Japanese islands. To achieve this dual-frequency GPS datasets were collected from a vast network (GPS Earth Observation Network (GEONET)) of over ~1300 GNSS receivers in Japan. These datasets, sampled at a high temporal resolution of 30 seconds, provided the necessary foundation for identifying MSTIDs through their characteristic signatures in TEC observations. The rate of TEC index (ROTI) was computed to quantify the associated ionospheric disturbances, providing a crucial metric for subsequent analysis. The positioning errors induced by MSTIDs were evaluated using the open-source software RTKLIB. At its core, RTKLIB leverages the raw data obtained from various GNSS constellations, including GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, SBAS, and QZSS. One of the key strengths of RTKLIB lies in its support for a wide range of positioning modes. These modes include Single, DGPS/DGNSS, Kinematic, Static, Moving-Baseline, Fixed, PPP-Kinematic, PPP-Static, and PPP-Fixed. However, for the purposes of this study, the highly accurate kinematic relative positioning approach was selected. To facilitate a systematic regional examination, the Japanese islands were divided into five distinct latitudinal regions (Figure 1). To execute the relative positioning calculations, pairs of stations within close proximity (ranging from 5 to 15 km apart) were carefully identified within each region. These regions are represented by the green rectangles in Figure 1. From each station pair, one station was designated as the base station (marked by red triangles), while the other served as the rover station (green triangles), facilitating the relative positioning computations.

Results

This study investigated the impact of MSTIDs on GNSS positioning accuracy in Japan, focusing on events occurring on July 3, 2022, and July 2, 2023. Utilizing 2D detrended TEC maps sourced from GEONET, MSTID fronts were identified, characterized by northwesterly to southeasterly orientations propagating from the northeast to the southwest during summer nighttime hours. The study assessed potential GNSS positioning errors induced by MSTIDs across different latitudinal extents of Japan. Observation files from base and rover stations were processed to derive relative positioning, revealing variations in ROTI values and positioning errors across different regions. Notably, regions closer to the northernmost part of Japan exhibited minimal MSTID-induced positioning errors, while southern regions experienced escalating ROTI (~0.2-0.5 TECU/min) and positioning error values (~0.1-1 m), with region 3 being particularly susceptible to MSTID influence (Figure 2). Furthermore, regions 4 and 5, situated even further south, demonstrated heightened errors

attributed to equatorial and low-latitude phenomena, overshadowing the influence of MSTIDs.

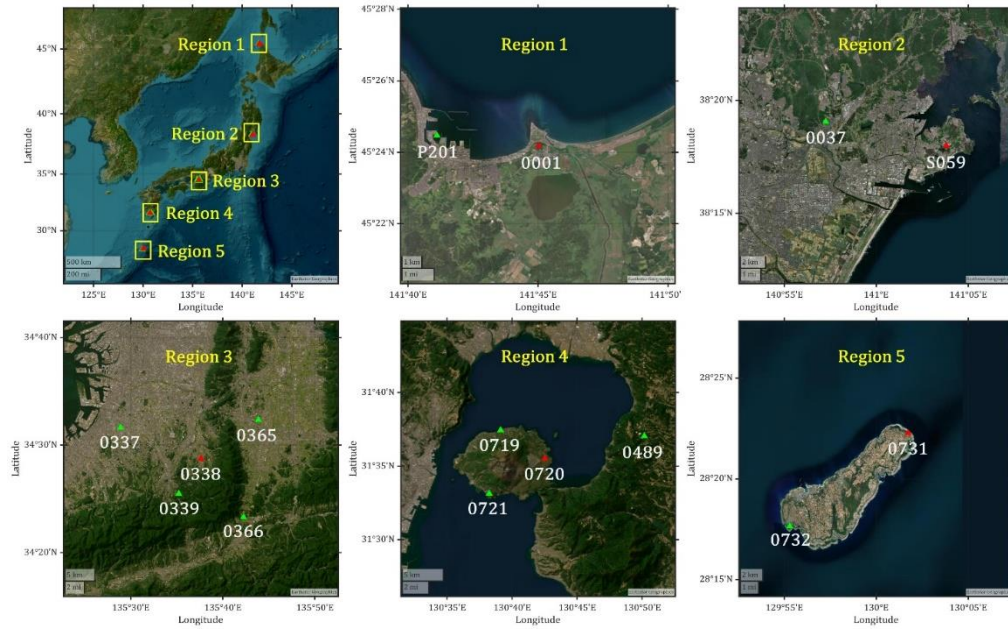


Figure 1: Spatial distribution of base and rover stations across various regions of the Japanese islands.

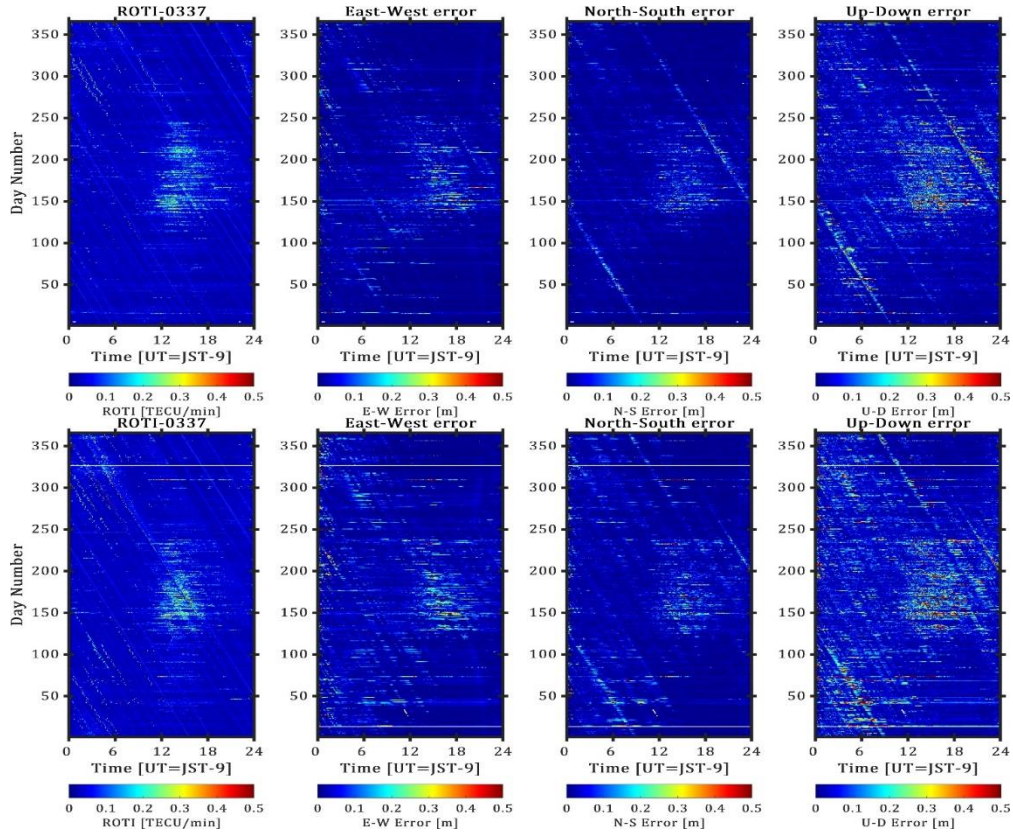


Figure 2: Day-to-day variation of ROTI and associated positioning errors observed at station 0337 in region 3 during the period spanning 2022 (top panel) to 2023 (bottom panel).

Period of Stay at ISEE, Nagoya University: 26 November 2023 to 19 February 2024

Paper Submitted in JpGU 2024 for Oral Presentation: Rajesh Kumar Barad, Y. Otsuka, S Sripathi, P. Abadi, A. Shinbori, T. Sori, M. Nishioka, and P. Septi, Characterizing the Effects of Mid-Latitude MSTIDs on GNSS Positioning Accuracy Across Japan Using a Dense Receiver Network (**Abstract accepted**)

Occurrence of red-green low latitude aurora during large geomagnetic disturbances: Case studies

Manu Varghese, ISS, Shandong University, Weihai, China; Research Student

Personal Note

Fortunate to have been associated with the Institute of Space Earth Environment (ISEE) at Nagoya University, Japan, under the supervision of Prof. Kazuo Shiokawa when I was awarded the prestigious SCOSTEP Visiting Scholarship to conduct a research project during October-December 2023.

Space Physics Context

Auroras are observed and studied using ground and space based instruments over decades. Space based observations reveal the large-scale evolution of auroras, but the fine structures are not evident. On the other hand, fine structures are clear from the ground observations but are sometimes limited by the cloudy skies and moonlight. Auroras at mid-low latitudes are observed over centuries (e.g., Loomis, 1861; Chapman, 1957; Tinsley et al., 1986; Rassoul et al., 1992; Miyaoka et al., 1990; Shiokawa et al., 1994). During high geomagnetic activity, auroral oval expands to lower latitudes. The important driving mechanisms for low latitude auroras are broadband electrons and stable auroral red (SAR) arcs. Observations have shown that these auroras have red to green emission ratio greater than 10, and the dominant red emissions are caused by the de-excitation of atomic oxygen mainly in the top side ionosphere. The north looking all sky cameras from Japan usually observe the red aurora during the main phase of geomagnetic storms and with storm-time substorm activity. The electron precipitations over a wide energy range, 30 eV – 30 KeV were reported from earlier DMSP observations during such substorms (Shiokawa et al., 1997). Stable Auroral Red (SAR) arcs formed in sub auroral latitudes also cause low latitude auroras, which are during the recovery phase (RP) of geomagnetic storms. SAR arcs last more than 10 hours and are caused by low energy electron precipitation (<10 eV). SAR arcs occur due to the Coulomb collision between energetic ring current ions and the electrons in the plasmasphere causing precipitation to sub-auroral latitudes.

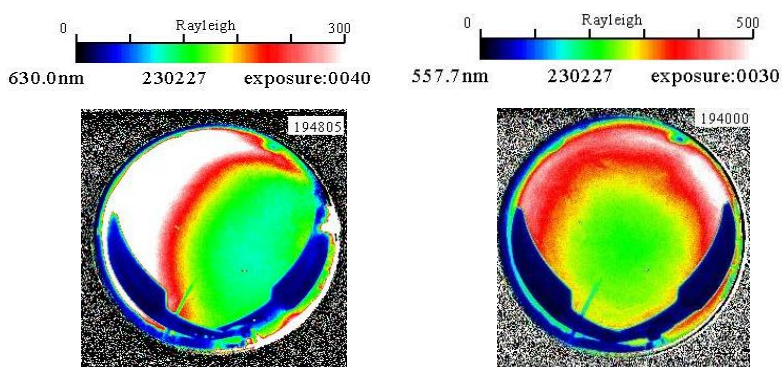


Fig 1: Red and green aurora from Rikubetsu at ~19:45 UT on 27 February 2023

Only a limited number of low latitude auroras were reported, mostly red emissions and at high levels of solar activity. Recently, unusual red and green simultaneous auroral emissions of comparable intensities are observed from Rikubetsu, Japan (43.5° N magnetic latitude) during the rising phase of solar cycle 25. One such red-green aurora of ~300-400R are observed during the geomagnetic

storms on 27 February 2023. Detailed investigations of these events are made to understand their dynamics.

Data Analysis and Methodology

The primary observations are based on All sky camera and photometer measurements from Rikubetsu, Japan (43.5 N, 143.8 E, magnetic latitude) which is a contributing station in the OMTI network (Shiokawa et al.,

1999, 2000). The electron precipitation, density and temperature data are from DMSP, NOAA/POES METOP and SWARM satellites.

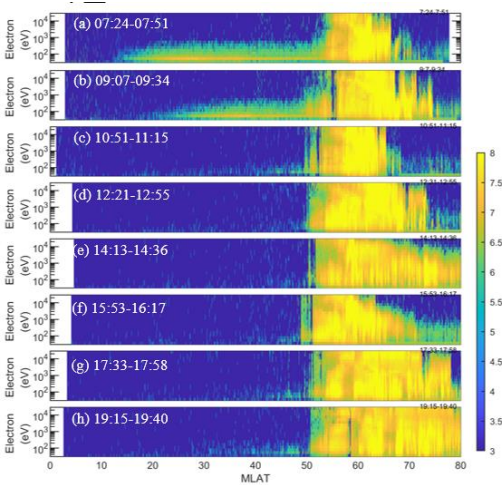


Fig 2: DMSP F18 shows the auroral expansion

Results

Low Latitude Aurora on 27 February 2023

This aurora (Fig. 1) is seen (16:00-20:00 UT) during the RP of a storm with prior SymHMin of -160 nT at 12 UT. The solar wind velocity increases to ~850 km/s and IMF Bz to -20 nT indicating the possibility of strong magnetosphere-ionosphere coupling. DMSP F18 satellite close to the time and location of the aurora recorded the auroral oval expansion to ~48° mag. lat. (Fig. 2). The temperature increased with the corresponding decrease in density indicating the development of SAR arcs.

Stay at ISEE, Nagoya University

My time in Nagoya was very pleasant and perfect both for research and living with sports and cultural activities. The weekly discussions with Prof. Shiokawa and his lectures on plasma dynamics to the master students gave me insights into the way of delivering knowledge, sharing ideas, and mentoring. His association significantly increased my understanding of the behaviour of plasma in the solar wind, magnetosphere, and ionosphere.

Though it was a short stay, I could carry a bag full of treasured memories ranging from the futsal matches every week with professors and students to the calm brainstorming discussions. Fondly acknowledging and thanking Dr. Kazuo Shiokawa, Dr. Yuichi Otsuka, Dr. Claudia Martinez, Dr. Shreedevi P. R, Dr. Abadi Prayitno, Mr. Rei Sugimura, Mr. Gomi Masaki, Ms. Miho Sugiyama, and Ms. Naoko Kashimura for all the academic and administrative assistance.



Large scale changes in the polar ionosphere during CME and CIR storms, its relation to Sub-Auroral Polarization Streams (SAPS) and particle precipitation

Ardra Kozhikottuparambil, PhD Scholar

Centre for Fusion, Space and Astrophysics (CFSA), University of Warwick, UK

Purpose of research: Sub Auroral Polarization Streams (SAPS); encompass various phenomena like Polarization Jets (PJ), Subauroral Ion Drifts (SAID), subauroral electric fields, auroral westward flow channels, and radar auroral surges. These occur in a sunward plasma channel below the auroral oval during geomagnetic storms. SAPS involves poleward-directed electric fields in the plasma spheric boundary layer, affecting storm-time phenomena like storm-enhanced density/plasma spheric plumes and density troughs in the midlatitude ionosphere. It erodes plasma content, transporting it to the dayside noontime cusp, resulting in space weather effects observed in the midlatitude ionosphere.

Early observations linked SAPS to substorms, but recent studies reveal their permanent presence during geomagnetic activity with varying intensity and spatial extent. Initial understanding relied on statistical studies using DMSP satellites and Millstone Hill radar. Later, SuperDARN measurements shed light on the influence of magnetosphere-ionosphere dynamics, interhemispheric magnetic conjugacy, and geomagnetic conditions on SAPS.

Studies using magnetically conjugate observations have proposed that the broad SAPS channel and the other phenomena grouped within it may have different driving mechanisms, thereby challenging our previous understanding of their evolution. This evolving field is due to past studies mainly focusing on individual event periods driven by Coronal Mass Ejections (CMEs). Our proposed research aims to compare SAPS features during CIR and CME-driven geomagnetic storms to better understand their distinctive nature and characteristics.

Methodology:

Phase 1: Classification of storms based on their drivers

The geomagnetic conditions during the selected events were obtained using the solar wind and magnetic field measurements from the ACE and WIND satellites (<https://cdaweb.gsfc.nasa.gov/>). The datasets obtained from the ACE and WIND satellites were used to identify the solar wind drivers into CMEs and CIRs. The Dst index, employed to represent the intensity of geomagnetic storm, was obtained from the World Data Centre, Kyoto (<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp>).

Phase 2: Study and validation using datasets.

DMSP observations were used to analyze particle precipitation and SAPS characteristics. Accurate identification of SAPS events depended on precise auroral oval location data. The SSJ/4 instrument on DMSP satellites determined SAPS boundaries. Data was sourced from the Cedar Madrigal database (<http://cedar.openmadrigal.org/>). Substorm activity was evaluated using AE and AL indices from <https://omniweb.gsfc.nasa.gov/ow.html>.

Convection was studied with SuperDARN velocity measurements and GPS-TEC data from Nagoya University (<https://stdb2.isee.nagoya-u.ac.jp/GPS/GPS-TEC/>). AMPERE satellite field-aligned currents were incorporated for a detailed comparison with plasma density evolution during CIR and CME events. AMPERE data can be found at <https://ampere.jhuapl.edu/>.

Results and Conclusion: The analysis of the evolution of SAPS (Subauroral Polarization Streams) from both CME (Coronal Mass Ejection) and CIR (Corotating Interaction Region) driven storms reveals distinct trends. CME-driven storms tend to be intense but of short duration, whereas CIR-driven storms are characterized by their prevailing nature, albeit with lower intensity. Furthermore, there is a noticeable seasonal variation in these patterns in the respective hemispheres. Fig. 1 shows DMSP observations of the event on 8th June 2015, which clearly shows the interhemispheric asymmetry in the zonal velocities. This study also indicates a strong correlation between SAPS and geomagnetic indices like AE (Auroral Electrojet) and AL (Auroral Electrojet Index, indicating the Lower envelope of the north-south magnetic field variations), further emphasizing the interplay of these phenomena in the Earth's magnetosphere.

The SuperDARN convection maps exhibited strong correlations with the observed convection patterns from DMSP and GPS TEC data. The line-of-sight velocity distributions effectively depicted the convection directions during the storm period. Fig. 2(a) and 2(b) show the line-of-sight velocity distributions and convection obtained from SuperDARN radars for the northern and southern hemispheres validating the DMSP observations.

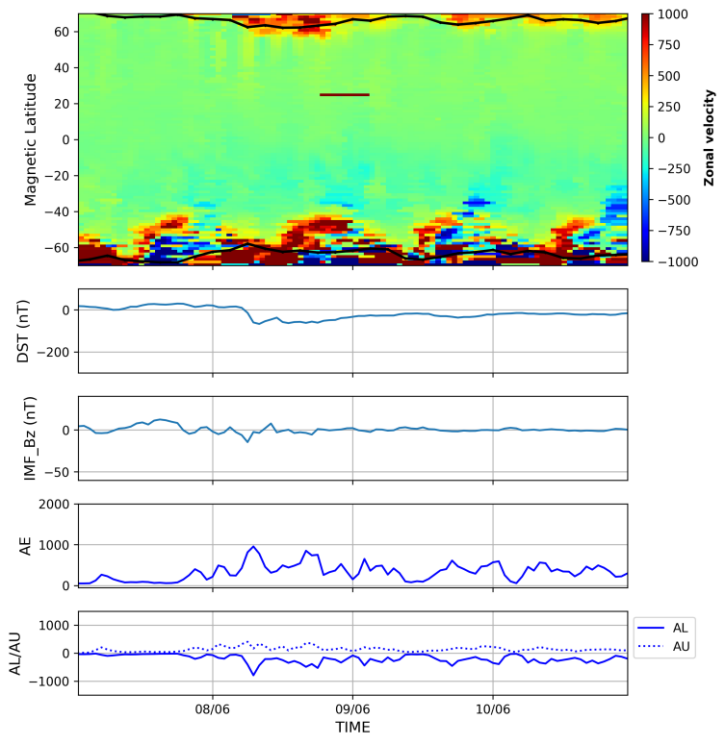


Fig 1. In a geomagnetic storm in June 2015, Subauroral Polarization Streams (SAPS) are observed. The top panel shows residual zonal velocity data from the F16 satellite. The black line indicates the equatorward boundary of the auroral oval, taken from the auroral boundary index. The second and third panels display the temporal evolution of Dst and IMF Bz. The third and fourth panel shows the AE and AL/AU.

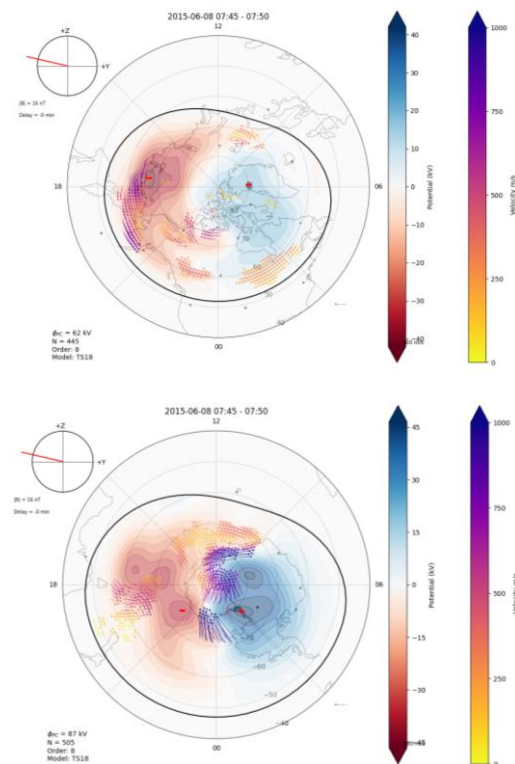


Fig 2(a). (top) and Fig 2(b). (bottom) shows the line-of-sight velocities and convection map obtained from SuperDARN radar observations for 8th June 2015 in the northern and southern hemispheres respectively between 07.45-07.50 local time.

Future work: In the next phase, the research will encompass a comprehensive analysis of almost all storms occurring between 2015 and 2023. This will involve integrating AMPERE (Active Magnetosphere and Planetary Electrodynamics Response Experiment) data with the existing DMSP, SuperDARN, and GPS-TEC observations. The main objective of this endeavour is to compile and publish a paper on this subject in a reputable academic journal.

Period of stay at ISEE: 11th June 2023 to 20th August 2023

References:

- [1] A. Coster and J. C. Foster. Space-Weather Impacts of the Sub-Auroral Polarization Stream. *Radio Science*, (321), 2007.
- [2] J. C. Foster. Ionospheric-Magnetospheric-Heliospheric Coupling: Storm-Time Thermal Plasma Redistribution. *Geophysical Monograph Series*, 181, 2008.
- [3] G. W. Pröls. Ionospheric F-region storms. In :H., Volland (Ed.), *Handbook of Atmospheric Electrodynamics*, 2:195–248, 1995.
- [4] W. D. Gonzalez, B. T. Tsurutani, and Alicia L. Clua De Gonzalez. Interplanetary origin of geomagnetic storms. *Space Science Reviews*, 88:529–562, 1999.
- [5] Nishitani, N., Ruohoniemi, J.M., Lester, M. et al. Review of the accomplishments of mid-latitude Super Dual Auroral Radar Network (SuperDARN) HF radars. *Prog Earth Planet Sci* 6, 27, 2019
- [6] P. R. Shreedevi, S. V. Thampi, D. Chakrabarty, R. K. Choudhary, T. K. Pant, A. Bhardwaj, and S. Mukherjee. On the latitudinal changes in ionospheric electrodynamics and composition based on observations over the 76–77°E meridian from both hemispheres during a geomagnetic storm. *J. Geophys. Res. Space Physics*, 121, 2016.
- [7] Y. Galperin, V. Ponomarev, and A. Zosimova. Plasma convection in the polar ionosphere. *Annales Geophysical Research*, (30):1–7, 1974.
- [8] J. C. Foster and W. J. Burke. SAPS: A New Categorization for Sub-Auroral Electric Fields. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 83(36):393–394, 2002.
- [9] Joseph E. Borovsky and Michael H. Denton. Differences between CME-driven storms and CIR driven storms. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 111(A7), 2006. A07S08.
- [10] B. S. R. Kunduri, J. B. H. Baker, J. M. Ruohoniemi, N. Nishitani, K. Oksavik, P. J. Erickson, A. J. Coster, S. G. Shepherd, W. A. Bristow, and E. S. Miller. A new empirical model of the subauroral polarization stream. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 123(9):7342–7357, 2018.
- [11] P. C. Anderson, D. L. Carpenter, K. Tsuruda, T. Mukai, and F. J. Rich. Multisatellite Observations of Rapid Subauroral Ion Drifts (SAID). *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 106(A12):29585–29599, 2001.

2023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2024年3月現在
*Affiliation and Department displayed are current as of March 2024.

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	315	
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	316	
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	318	

(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（申請時は琉球大学・理学部）

・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。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。

・研究方法、今年度の観測結果

台風観測を行う航空機を用いて、名古屋空港と台風の間が存在する前線付近にドロップゾンデを投下する予定だったが、今年度の航空機観測は行われなかった。観測可能期間において観測可能領域に強い台風が発生・通過しなかったためである。2023年の台風の発生数は平年値25.1個より少ない17個であり、1951年の統計開始以降3番目に少ない年となった。また、主な観測可能期間に当たる9月の発生数は2個と、平年値5.0個と比べて半分以下であった。

・まとめ

今年度の航空機観測は行われなかった。台風の発生数が記録的に少なかったためである。来年度以降も前線付近にドロップゾンデを投下することを狙う。

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

台風に対して投下するドロップゾンデを適切にモデルに同化するための手法を検討する。2023年度はフライトがなかったため、南大東島において、ドロップゾンデとアップゾンデの比較によるGPS、Bufr法、湿度データの検証を行った。

研究方法

台風の航空機観測で使用するゾンデの検証を行う。航空機から落下させるゾンデはパラシュートなど姿勢を安定させるものをつけずに落下させるために、アップゾンデに比べて速いスピードで落下し、湿度や気温などの観測値は鉛直シアの解像度が落ちる。そこで、ゾンデの電波強度をあげ、ゾンデからの電波を受信しやすくすることが求められた。従来型のドロップゾンデの電波強度をあげると、GPSと干渉し、精度は向上しなかったため、今回の観測で使用した新型のドロップゾンデではGPSを新しくし、ゾンデの電波に干渉しにくい場所へ取り付けられた。

今回の観測では、従来型と新型のドロップゾンデの比較、また、ドロップゾンデとアップゾンデの比較が行われた。しかし、南大東島の上空ではジェットが吹いており、ゾンデは西へ流され、アップゾンデで測った場所とドロップゾンデではあった場所は50~100Km離れており厳密に比較することはできない。そこで、湿った層を捉えられているかなど定性的な視点で観測値を確認した。

研究結果

27日10:00のデータでは、新型ドロップゾンデは上空4000mでのRHを捉えられている。その一方で、高度10000~11000 mのRHは捉えられていない。

28日10:00のデータでは、高度10000~13000 mのRHは従来型ドロップゾンデの方が新型ドロップゾンデのより鉛直構造を捉えられているように見える。高度5000~6000mの鉛直構造は従来型ドロップゾンデに対して新型ドロップゾンデの方が捉えられている。これは、新型ドロップゾンデの落下時の状態が原因と考えられた。

まとめと考察

新型ドロップゾンデの新たな課題は、落下時の姿勢が安定していることである。パラシュートなどをつけないために、落下している際の姿勢が横たわるようになると電波を受信することができなくなる。また、ゾンデのアンテナが曲がりやすい素材であったことも原因の一つと考えられた。iMS100のようなピアノ線のように曲がりにくいアンテナである方が良いと考えられる。

成果発表

Enomoto, T. and S. Nakashita, Assimilation of nonlinear observations using the maximum likelihood ensemble filter with exact Newton optimization. 9th International Symposium on Data Assimilation, 19 October 2023, Palazzo dei

Congressi, Bologna, Italy.

Nakashita., S. and T. Enomoto, Observation-space localization methods for the maximum likelihood ensemble filter, 9th International Symposium on Data Assimilation, 19 October 2023, Palazzo dei Congressi, Bologna, Italy.

Enomoto, T., Ensemble sensitivity analysis of high-impact weather. The First KU-NCU Joint Workshop, 12 March 2024, National Central University, Taoyuan, Taiwan.

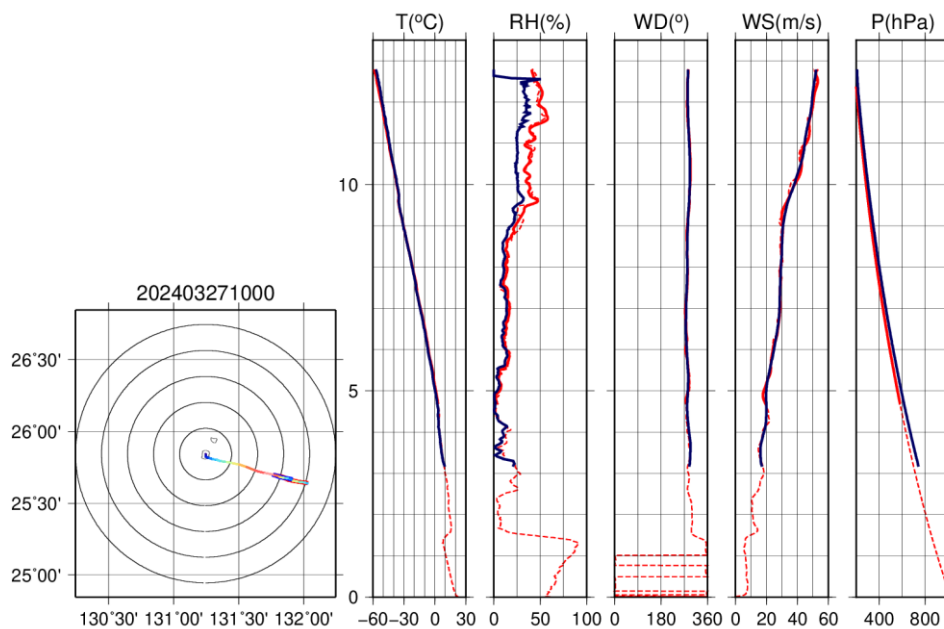


図1 3月27日10:00の新型ドロップゾンデ（青）、iMS100（赤：破線が上昇、実線が下降）で観測した鉛直プロファイル

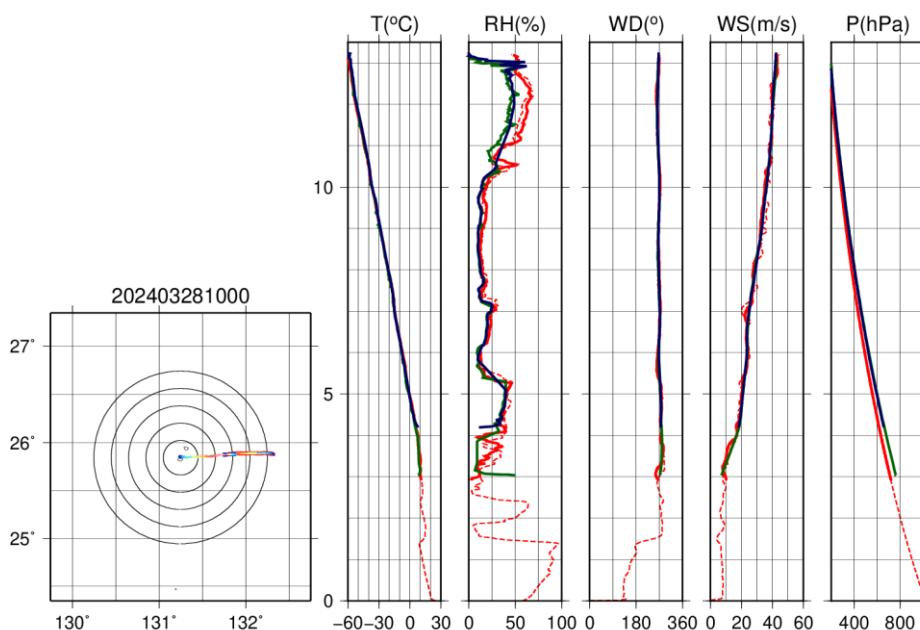


図2 図1と同様。ただし3月27日10:00

(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】

観測に値する台風が来なかったため、ドロップゾンデの観測が実施できなかった。結果として、当該年度は共同研究を実施できなかった。

【成果発表】

なし

2023年度 13)若手国際フィールド観測実験 目次詳細

2023 13)International travel support for field and laboratory experiments by students and early-career scientists
List

6 件

*所属・職名あるいは学年は2024年3月現在
*Affiliation and Job title or year of graduate school displayed are current as of March 2024.

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
菊池大希	宇宙地球環境研究所	電磁気圏研究部	博士前期課程1年	ノルウェー、トロムソにおけるファブリ・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	319	
梶村怜	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	博士前期課程2年	アサバスカにおける全天カメラを用いたサブオーロラ帯のオーロラの集中観測	321	
渡部蓮	電気通信大学	大学院情報理工学研究科	博士前期課程2年	オンデマンド FPGA データ収録システムの開発とトロムソ Na 共鳴散乱ライダーを用いた試験観測	323	
高野向陽	電気通信大学	大学院情報理工学研究科	博士前期課程1年	フィンランドにおける多周波リオメータを用いたオメガバンドオーロラに伴う電子降下の観測	325	
Dudsadee Leenawarat	Nagoya University	Earth and Environmental Sciences	博士後期課程3年	Field observations of phytoplankton dynamic in the upper gulf of Thailand for development of the hydrodynamical-ecosystem model	327	
Jutarak Luang-on	Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)	Research Institute for Global Change (RIGC)	Postdoctoral researcher	Validating and calibrating satellite-based observations of red tides in the Gulf of Thailand.	329	

ノルウェー、 Tromsø 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 Tromsø, 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の計測に挑戦する。これらの計測により、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

・線状ノイズ

干渉画像に見られた線状ノイズの原因が CCD カメラにあると考え、研究協力者の CCD カメラの交換に合わせてノルウェーへの渡航を計画した。しかし、交換用 CCD カメラのテスト観測中に不具合が発生してしまい、今回の渡航でカメラの交換をすることはできなかった。もう一つの原因として考えられていたバンドパスフィルターの調整に関しては、フィルターの取り換え口のねじの錆がひどく開栓することができなかったため断念した。

・ピントの調整

カメラの焦点が合っていないため他波長と比べてフリンジ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。Wavelet 解析により焦点のずれの大きさを推定し、今回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、粒子降下による窒素分子イオンのオーロラを観測した。後の 2 晩は南北 2 方向観測による窒素分子イオンの運動速度の計測を狙ったが、オーロラは観測されず計測は行えなかった。

結果

ピントの調節によりフリンジの出現数が大きく向上した。2023 年 10 月 14 日に観測されたフリンジの平均画像から作られた断面図を図 1 の右に示す。調整前と比べて、左から数えて 4 つ目以降のフリンジがはっきり見えるようになった。検出可能なフリンジの数の増加により、運動速度の計測の精度も向上した。2023 年

10月14日の20時4分50秒から20時28分50秒までの3分ごとの観測で連続してフリンジが観測された。このフリンジ画像をノイズ低減のため3枚ずつ平均をとり、15個のフリンジを検出して窒素分子イオンの運動速度の変化を計算した。結果を表1に示す。カメラの露光時間は40秒だった。ピントを調整する前の2023年3月24日に観測された北19枚、南17枚の平均フリンジ画像で3つのフリンジを検出したときの平均運動速度の標準偏差が51 m/s だったことを考慮すると、ピントの調整により15個のフリンジを検出できるようになって、標準偏差が69~89 m/s となり、3枚の平均フリンジ画像でも以前と同様の精度で計測ができていることが分かる。

今後は、これらの結果を元に計測の精度を上げるために観測方法の見直しを行い、共鳴散乱による青いオーロラ中の窒素分子イオンの運動速度の計測につなげたい。

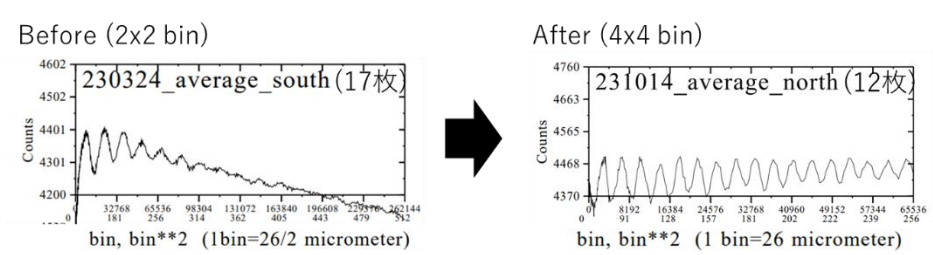


図1 ピント調整前（左）と調整後（右）の波長427.8 nm のオーロラを観測して得られたフリンジの平均断面図



図2 カメラのピントを調整している様子

表1 2023年10月14日の窒素分子イオンの運動速度変化
(基準は200450, 200750, 201050 に得られたフリンジ画像の平均)

平均した画像の露光開始時間 (hhmmss)	平均速度差 (m/s)	標準偏差 (m/s)
201350, 201650, 201950	0	69
202250, 202550, 202850	24	89

成果発表

MTI 研究集会 2023 年 11 月 口頭発表「ファブリ・ペロー干渉計による波長 427.8 nm の窒素分子イオンオーロラ観測における焦点のずれの検証」

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准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電気通信大学の細川敬祐教授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)

アサバスカにおける全天カメラを用いたサブオーロラ帯のオーロラの
集中観測

Intensive observation of aurora at subauroral latitude using
an all-sky camera in Athabasca

梶村 怜, 名古屋大学・宇宙地球環境研究所 塩川研究室 修士2年

私は2023年9月7日から9月16日まで、カナダのアサバスカへ塩川和夫教授(名古屋大学)、Chen Liwei(名古屋大学 博士2年)と共に出張し、高感度全天カメラ(ZWOカメラ/Nikonカメラ)の設置及びキャンペーン観測を行った。私はこれまでの研究で、PWINGプロジェクトでサブオーロラ帯に設置された7か所の高感度全天カメラの4年分のデータを解析し、あらせ衛星・RBSP衛星が Strong Thermal Emission Velocity Enhancement (STEVE)、SAR アーク、detached red/green aurora の上空を横切っている例を合計11例見出し、これらのサブオーロラ帯のオーロラの磁気圏ソース領域のプラズマ・電磁場特性を明らかにしてきた。今回の観測では新たにサブオーロラ帯のアサバスカ観測点へ地上全天カメラを設置することで、STEVE、SAR アーク、red/green アークなどのサブオーロラ帯オーロラの①内部磁気圏衛星あらせとの同時観測、②発光高度の特定を行うことで、オーロラの特性をより明らかにしこれまでの研究をより発展させることを目的としていた。

9月7日に成田空港を出発しバンクーバー経由でエドモントン空港に向かった。9月8日エドモントン空港に到着後、レンタカーで約2時間かけて AUGO-II 観測所(アサバスカ大学)へ移動し、観測所の管理者である Martin Connors 教授(アサバスカ大学)と対面した。翌日9月9日、観測所に設置されている VLF アンテナ、リオメーター、高感度全天カメラを点検後、レンタカーにカメラなどの機材を詰め込み AUGO-I 観測所(アサバスカ大学)へ移動した。Raju Aryal 博士(アサバスカ大学)のサポートを受けながら、AUGO-I 観測所の観測用の部屋に ZWO カメラ、Nikon カメラを設置した(図1)。



図1 AUGO-I 観測所に設置された右: ZWO カメラ、左: Nikon カメラ

その晩にテスト観測を行い、カメラで問題なく画像が取得できているか、リモートデスクトップが動作しているかの確認を行った。9月10日、AUGO-II観測所に設置されているOMTI高感度全天カメラによって9月9日に取得されたtiffファイルから1時間移動平均の動画を作成した所、弱いMedium Scale Traveling Disturbance

(MSTID)が観測された。ZWOカメラでも同時刻の画像を確認したが弱いMSTIDであった為、観測できていなかった。またオーロラ活動度を判断するためのIMF-Bz及びAE指数を確認していたが、9月10日から9月12日まで地磁気活動は静穏であり、オーロラ活動はほとんど起きなかった。9月13日に磁気嵐が発生しオーロラ活動が開始した。AUGO-II観測所に設置されているOMTI高感度全天カメラでは、非常に背の高いパラサイティングオーロラが観測されたが、ZWOカメラでは森林火災による煙によって視野内にモヤがかかっており、十分な観測をすることはできなかった。9月14日観測最終日もオーロラ活動度は高く、Isolated Proton Aurora (IPA)、Stable Auroral Red (SAR) arc (図2)が発生した。翌日9月15日にカメラで取得されたデータを確認したところ、IPAは雲によりZWOカメラでは観測できていなかったが、SAR arcの二点観測に成功した(図3)。全天カメラによるこの緯度帯での発達中のSAR arcの二点観測からの高度決定は今まで行われておらず、SAR arcの新たな特徴を明らかにする意義のある研究に繋がると考えている。今回の訪問で、自分が研究で使用してきた光学機器へ

の理解が深まっただけでなく、研究対象のオーロラを実際に見ることができ研究の魅力を再認識できる非常に良い体験となった。



図2 2023年9月14日にAUGO-II観測所で得られたSAR arcの発光

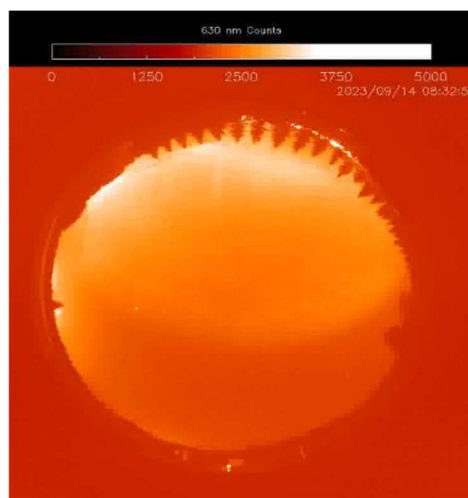


図3 2023年9月14日0832:59 UTにZWOカメラで得られたSAR arcの630 nm波長の発光

(別紙様式13-2)

オンデマンド型FPGAデータ収録システムの開発と Tromsø Na共鳴散乱ライダーを用いた試験観測

Development of an on-demand FPGA-based data acquisition system and its test observations using by Tromsø Na resonance scattering lidar

渡部 蓮, 電気通信大学 情報理工学研究科

研究目的

トロムソNa共鳴散乱ライダーは、高出力・高安定のLD励起パルスレーザーを採用した共鳴散乱ライダーであり、継続的な観測を通じて上部中間圏・下部熱圏領域に関する様々な研究成果が得られている [e.g. Nozawa et al., 2014; 2023; Tsuda et al., 2013; Takahashi et al., 2015]. 最近の動向としては、ライダーシステムに関する更なる機能拡張・高効率化の為に複数の装置開発プロジェクトが進行中である。本研究では、トロムソNa共鳴散乱ライダー関連の装置開発プロジェクトの一環として、Field-programmable gate array (FPGA) を用いた柔軟な制御・計測システムの開発を行うことを目的とする。

実施状況

開発の初期段階では、現行計測システム (市販システム) を再現する形で計測の基本機能のみを実装したシステムを開発した。その際、ダブルクロック方式によるサンプリング速度の高速化、ダブルバッファ方式による計測デッドタイムの削減、などの工夫を講じることで、計測のみの観点においても市販システムと同等以上の性能を得られるようにした。次に、初期システムの追加機能として、絶対時刻への同期を行う機能、送信レーザーの周波数切替を制御する機能、その周波数切替と完全に同期して計測を行う機能を開発した。各種機能に関して、国内における実証試験で良好な動作を確認した。その後、2023年 10月18日から11月5日にかけてノルウェー・トロムソ (69.6°N, 19.2°E)に出張し、現地のライダーシステムに開発システムを組み込み、観測システム全体としての実装試験を実施した。実装試験の内容としては、追加機能 (絶対時刻同期機能、周波数切替制御機能) の動作状況の確認と、周波数切替制御と計測を同期させる為の周波数切替に要する時間の計測を最初に行った。これらの結果を基にシステムの調整を行い、最終的に完成したシステムで観測を行った。

結果

レーザー周波数切替に必要な時間を計測した結果、周波数切替が完了するのに 32 ms 必要であることがわかった。従って、開発システムでは最終的に 1 s 間の計測の内、レーザー周波数切替からの 32 ms のデータは観測データから除くようにした。これにより、3周波数法を用いた温度・風速導出の際の誤差が抑えられると期待される。最終的に開発したシステムによる観測は晴天時の全 5 晩行い、223,600 s 分の試験観測データを取得した。観測データの一例として、2023 年 11 月 2 日の 18:01:00-18:01:20 (UT)までの 20 s 間のデータを図 2 に示す。図 2 において、高度 10 km 付近ではレイリー散乱による強い共鳴散乱が確認でき、高度 80-110 km 付近では Na による共鳴散乱信号が確認できる。この Na 信号に注目すると 1 s 毎に信号強度が変化していることがわかる。Na 信号強度はレーザー周波数に依存することから、この 1

s 毎の信号強度変化は、レーザー周波数切替が 1 s 毎に行われていることを示すと考えられる。加えて、試験観測で取得した全てのデータを詳細に解析した結果、概ね正常な観測が行われていることを確認した。

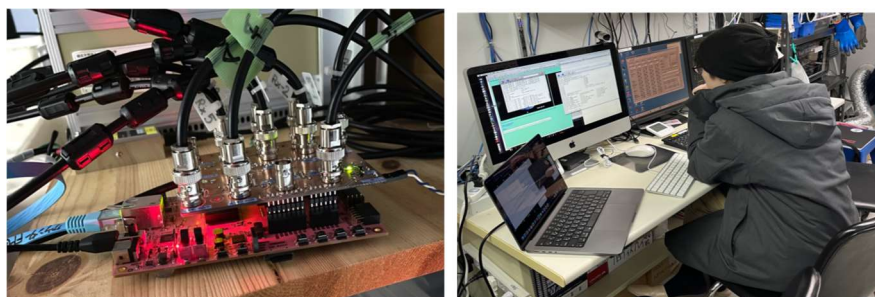


図 1. (左) トロムソ Na ライダーに設置した開発システムの外観写真. (右) 試験観測の様子.

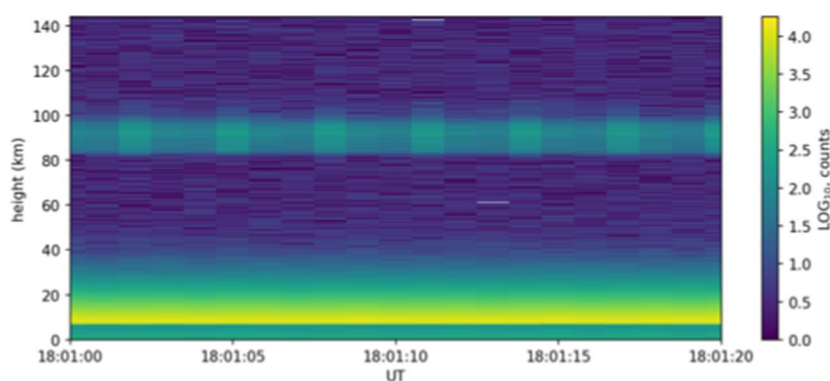


図 2. 2023 年 11 月 2 日 18:01:00–18:01:20 UT における観測データ. 横軸は時刻, 縦軸は高度, カラーバーはカウント数を示す. 距離分解能 192 m, 時間分解能 1 s.

参考文献

- Nozawa, S., T. D. Kawahara, N. Saito, C. M. Hall, T. T. Tsuda, T. Kawabata, S. Wada, A. Brekke, T. Takahashi, H. Fujiwara, Y. Ogawa, and R. Fujii, Variations of the neutral temperature and sodium density between 80 and 107 km above Tromsø during the winter of 2010–2011 by a new solid-state sodium lidar, *J. Geophys. Res. Space Physics*, vol.119, pp.441-451, 2014.
- Nozawa, S., N. Saito, T. Kawahara, S. Wada, T. T. Tsuda, S. Maeda, T. Takahashi, H. Fujiwara, V. L. Narayanan, T. Kawabata, and M. G. Johnsen, A statistical study of convective and dynamic instabilities in the polar upper mesosphere above Tromsø, *EPS*, vol.75, p.22, 2023.
- Tsuda, T. T., S. Nozawa, T. D. Kawahara, T. Kawabata, N. Saito, S. Wada, Y. Ogawa, S. Oyama, C. M. Hall, M. Tsutsumi, M. K. Ejiri, S. Suzuki, T. Takahashi, and T. Nakamura, Decrease in sodium density observed during auroral particle precipitation over Tromsø, Norway, *Geophys. Res. Lett.*, vol.40, pp.4486-4490, 2013.
- Takahashi, T., S. Nozawa, T. T. Tsuda, Y. Ogawa, N. Saito, T. Hidemori, T. D. Kawahara, C. Hall, H. Fujiwara, N. Matuura, A. Brekke, M. Tsutsumi, S. Wada, T. Kawabata, S. Oyama, and R. Fujii, A case study on generation mechanisms of a sporadic sodium layer above Tromsø (69.6°N) during a night of high auroral activity, *Ann. Geophys.*, vol.33, pp.941-953, 2015.

(別紙様式13-2)

フィンランドにおける多周波リオメータを用いたオメガバンドオーロラに伴う
電子降下の観測

Observation of electron precipitation associated with omega-band auroras
using a spectral riometer in Finland

高野 向陽

電気通信大学大学院 情報理工学研究科

情報・ネットワーク工学専攻

研究目的

脈動オーロラ (Pulsating Aurora: PsA) の出現に伴い「オメガバンド」と呼ばれる波状のオーロラ構造が見られることがある。先行研究では、PsA の発生に伴って、PsA を光らせる電子だけでなく、放射線帯に起源を持つ高エネルギー電子が降下していることが示されている [Miyoshi et al., 2021]。しかし、これまでの研究では、全天カメラの視野内で銀河電波吸収 (Cosmic Noise Absorption: CNA) を観測するスペクトルリオメータの数が不足しており、オメガバンド構造の内外における降下電子の時空間構造は未だに明らかとなっていない。この問題を解決するために、今回の渡航期間中にフィンランドのオウルヤルビに新たなリオメータを設置し、CNA を連続的に観測できるように設定した。今後は、オメガバンドが発生したイベントを解析し、CNA の観測データを用いて降下電子のエネルギー特性を二次元的に可視化することを目指す。

実施状況

本経費を用いて、2023 年 10 月 4 日から 6 日にかけて、電気通信大学の細川敬祐教授、名古屋大学の大山伸一郎講師、他大学院生 2 名と共にフィンランドに渡航し、オウルヤルビ (北緯 64.51 度、東経 27.23 度) において、スペクトルリオメータの設置作業を実施した (図 1 参照)。

アンテナの設置では、Sodankyla Geophysical Observatory (SGO) のスタッフとともに、アンテナマストが地面に対し垂直になるように固定した。次に、東西南北の 4 方向に伸びるアンテナエレメントが地面に対し平行になるように固定し、計算機が内蔵された受信機とアンテナの接続を行った。最後に、受信機と観測拠点の小屋を繋ぐ 85 m の電源ケーブルとデータを送信する光ファイバーケーブルを敷設した。さらに、スペクトルアナライザを用いて電波の受信状況のモニタリングを行い、日中には人口ノイズの影響があるものの、夜間には CNA を問題なく受信できることを確認した。

スペクトルリオメータによる CNA の観測原理を説明する。アンテナマストから四方に伸びるアンテナエレメントが、銀河電波の電界ベクトルを受信し、電界の大きさに対応した電流がエレメントに流れる。流れるこの電流がエレメントからアンテナを通り受信機に集約され、受信機内の計算機でサンプリングされる。この生波形に高速フーリエ変換を適用することで 20-55 MHz の範囲の周波数スペクトルを得る。なお、20-55 MHz の帯域外の信号はフィルターにより除去されている。



図1 オウルヤルビに設置したスペクトルリオメータ

結果

銀河電波の観測は、設置作業から現在に至るまで継続して行われている。また、2022年に設置されたキルピスヤルビ観測点も併せて、リアルタイムで観測データを確認することが可能になっており（図2）、Quiet Day Curve データを用いて CNA データを得ることができる。現在は2023年3月23日の磁気嵐時に発生したオメガバンドの解析を進めており、複数日で得られた CNA データから、降下電子の空間分布を導出しつつある（成果発表参照）。今後は、オウルヤルビへの機器設置後に発生した規模の大きい磁気嵐中のオメガバンドイベントを解析し、降下電子のエネルギー特性を可視化したいと考えている。具体的には、多流体発光計算モデル（Glow モデル）を用いてエネルギースペクトルから電子密度の高度分布を推定する。その後、電子密度を用いて算出した CNA と実測した CNA の比較を行い、順問題的に降下電子のエネルギー推定を行う予定である。

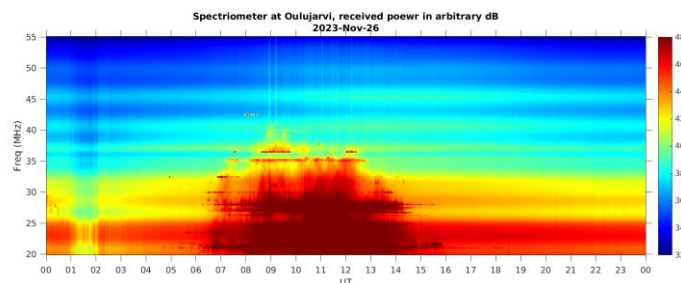


図2 2023年11月26日にオウルヤルビのスペクトルリオメータが観測した銀河電波。横軸が時間、縦軸が周波数、カラースケールが吸収量（dB）を表す。01-02 UT で、銀河電波の吸収が観測された。

参考文献

Miyoshi, Y., Hosokawa, K., Kurita, S. et al. Penetration of MeV electrons into the mesosphere accompanying pulsating aurorae. Sci Rep 11, 13724, doi: 10.1038/s41598-021-92611-3, 2021

成果発表

高野向陽, 細川敬祐, 大山伸一郎, Antti Kero, 三好由純, 小川泰信, 栗田怜, 南條壮汰, スペクトルリオメータと EMCCD 全天カメラの同時観測による磁気嵐時のオメガバンドオーロラに伴う高エネルギー電子降下の研究, 脈動オーロラ研究集会, 名古屋大学, 2024年1月10日

(Form 13-2)

流体力学-生態系モデルの開発に向けたタイ湾奥部における植物プランクトン動態の観測
Field observations of phytoplankton dynamic in the upper gulf of Thailand for development of the
hydrodynamical-ecosystem model

Dudsadee Leenawarat,
Earth and Environmental Sciences,
Nagoya University

Research purpose

The Gulf of Thailand (GoT) is a semi enclosed sea in the western Pacific and connected to the South China Sea. This area is one of the large marine ecosystems located in the Southeast Asia supporting fisheries for many countries. Red tide is frequently occurred and becomes a serious problem in this region, especially in the upper GoT. This phenomenon affects fisheries, aquaculture, and tourist places resulting in the loss of the economy and causing other environmental problems such as hypoxia and anoxia conditions. It is still unclear which conditions are contributed to a phytoplankton bloom. Various environmental factors such as freshwater discharge, tide, wind, and current in each season make more complex conditions for phytoplankton bloom. Our research questions are how phytoplankton responds to oceanographic conditions in each season and what are the conditions and mechanisms associated with the seasonal variability of the phytoplankton in this area. To understand the mechanism of phytoplankton variation a hydrodynamical-ecosystem model is applied. However, the data input and data validation are limited. Therefore, we conducted the observation of the phytoplankton and environmental parameters in the upper gulf of Thailand for developing the hydrodynamical-ecosystem model.

Observations

The observation covered 16 stations in the upper GoT from estuaries to offshore areas during 2023, dry season (May), as well as the mid and late wet seasons (August, October). The field observations were conducted with Assistant Professor Anukul Buranapratheprat from the Department of Aquatic Science, Faculty of Science, Burapha University, Thailand. We collected biological properties, including chlorophyll-a, at the surface and subsurface chlorophyll-a maxima, along with other environmental factors. After collecting the samples during the observation, they were analyzed at Kasetsart University, Bangkok, Thailand.



Figure 1 Kasetsart 1 vessel during the observation (left) chlorophyll-a filtration (middle) and collection of environmental factors during the observation (right).

Meanwhile, a hydrodynamical-ecosystem model was developed to investigate phytoplankton variability and its relationship with physical processes. Nutrient-Phytoplankton-Zooplankton-Detritus (NPZD) model was coupled with the hydrodynamic model (Princeton Ocean Model). The observation data were used as input data from the river area and chl-a in the offshore were used to compare the model results.

Results

High chlorophyll-a (chl-a) concentrations were observed near the head of the upper GoT and river mouths throughout all seasons, with a peak occurring in the late wet season. Conversely, chl-a levels near the mouth of the upper GoT were lower. Red tide occurrences were noted, especially during the wet season. Red tide occurrences were more frequent and expansive during the wet season compared to the dry season, likely in response to the increased river discharge during this time.

The simulated surface chl-a results indicate that chl-a levels are predominantly high in the upper GoT, particularly at the head of the upper GoT. However, the concentrations were higher than those observed in both coastal and offshore areas. During the dry season, high chl-a concentrations are observed on both the east and west coasts, with similar levels of concentration. At this time, south winds flow towards the upper GoT, promoting thorough mixing in shallow regions, and resulting in high chl-a concentrations on both sides of the upper GoT. Meanwhile, during the wet season, chl-a concentrations along the eastern coast are notably higher than those along the western coast. The southwest wind dominates this region during this period, creating a clockwise circulation in the upper GoT. Surface currents may then transport nutrients and chl-a towards the eastern part of the upper GoT. In the late wet season, when the peak of river discharge occurs and the southwest wind weakens, chl-a levels in the upper GoT become higher across almost the entire region, extending farther than two months prior. This variation is closely related to monsoon winds and river discharge.

From this simulation, our model results still show an overestimation in this area, which may be attributed to the parameters used in this study not being suitable for this region. Additionally, only one phytoplankton size was considered. It should be noted that our model is based on the simple NPZD framework, which includes only one type each of nutrient, phytoplankton, zooplankton, and detritus.

In the main GoT area, chl-a concentrations are significantly lower than those along the coast due to lower nutrient levels. Offshore, nutrients are primarily transported from the coastal area or from deeper layers via mixing processes. During the dry season, reduced discharge leads to lower nutrient levels, and strong heat creates water stratification, which inhibits the mixing of nutrients from deeper layers. However, in the middle of the wet season, when the southwest monsoon reaches its peak, higher chl-a concentrations are observed offshore due to increased water mixing.

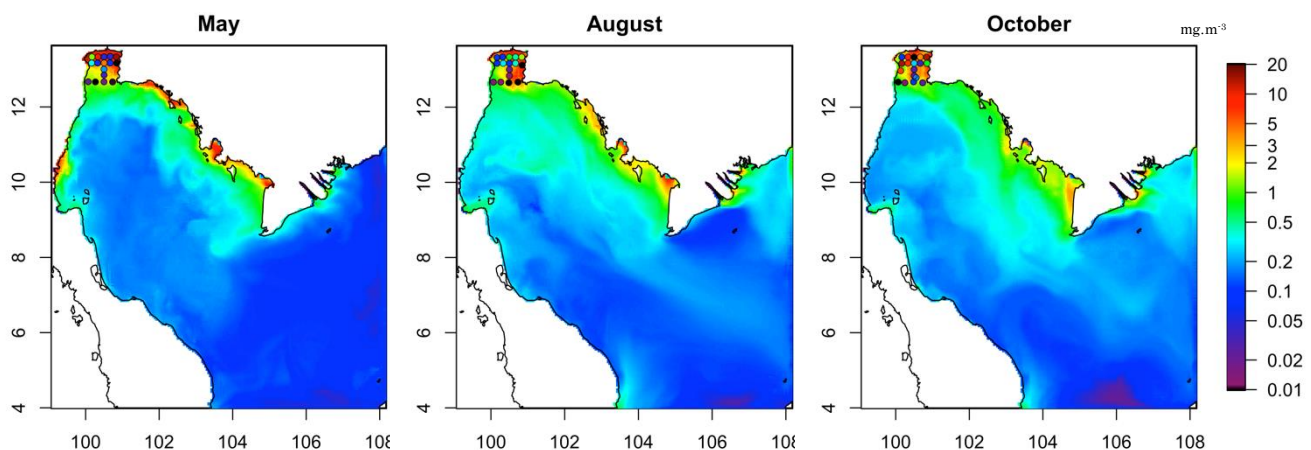


Figure 2. The simulated surface chlorophyll-a in the Gulf of Thailand during dry season (May) and middle of wet season (August) and late of wet season (October) and the observation data (point).

For our future study, we aim to improve the model parameters and investigate the interannual variability as well as the impact of climate change and large-scale phenomena on primary productivity within this region.

Presentation

Leenawat D., Tong-u-dom S., Buranapratheprat A., Aiki H. & Ishizaka J. Phytoplankton Dynamics in the Gulf of Thailand: A Coupled POM-NPZD Model Approach. In *11th AWOC / 20th KJWOC / 6th ISEE Symposium*, Nagoya, Japan 17 – 19 December 2023

タイ湾における赤潮を対象とした衛星観測の精度検証と校正
Validating and calibrating satellite-based observations of red tides in the Gulf of Thailand

Jutarak Luang-on, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)
• Research Institute for Global Change

Background and Purpose

Satellite Ocean Color observations have enhanced our ability to monitor red tides” of harmful algal blooms in remote coastal waters. However, the reliability of satellite observations is required to validate in coastal waters due to the increase in turbidity and the challenge of atmospheric correction. The objective of this research is to observe bio-optical characteristics of the seawater in order to verify and adjust our newly developed algorithms for classifying algal blooms and detecting red tides using satellite data.

Status

Between 2017 and 2019, our project received funding support from the ISEE program, enabling the development of local chlorophyll-a (chl-a) and algal bloom classification algorithms for Aqua/MODIS and GCOM-C/SGLI satellites (Luang-on et al., 2022, 2023). In FY2023, leveraging this support, we conducted ship observations in the upper Gulf of Thailand (GoT), deploying 16 stations aboard the research vessel 'Kasetsart I'. Collaborating institutions, including Nagoya University, Ehime University, Yokohama National University, Burapha University, and Kasetsart University, participated in the observations from May to November (Figure 1). We collected hyperspectral remote sensing reflectance data using RAMSES radiometers and chl-a concentrations onboard, analyzed immediately at Kasetsart University's laboratory in Bangkok. Additional bio-optical data, such as phytoplankton pigments and absorption coefficients, were collected for analysis in Japanese laboratories. The collected FY2023 data complemented earlier observations, facilitating the validation and enhancement of both standard satellite algorithms and our local algorithms for detecting red tides, particularly green *Noctiluca* blooms. Findings from our research have been disseminated through presentations at international conferences during FY2023.

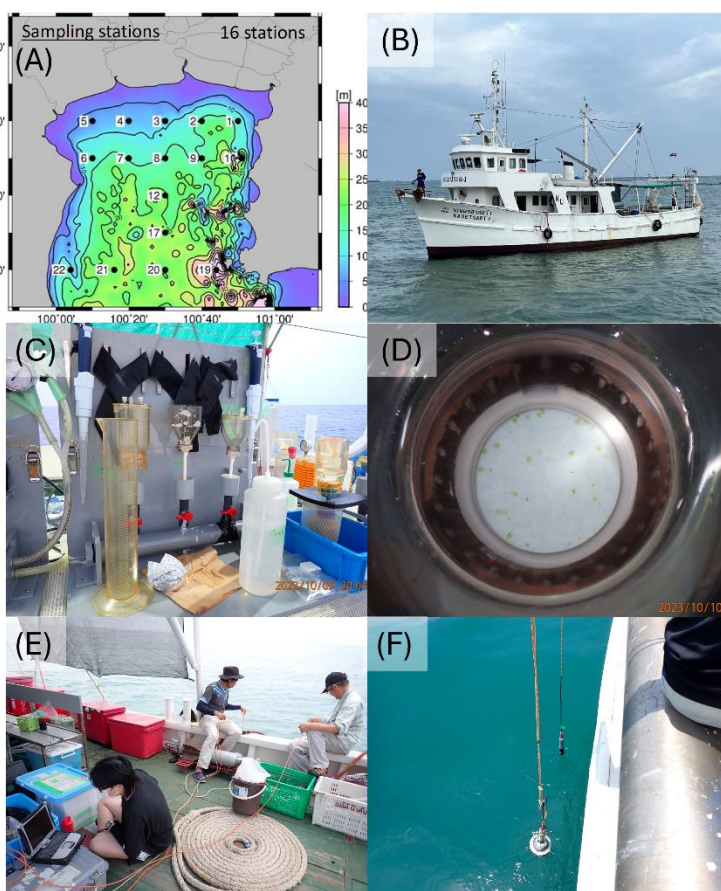


Figure 1. Photos of sampling stations in the upper GoT (A), research vessel 'Kasetsart I' (B), equipment for seawater filtration (C), filtered GF/F filter with green *Noctiluca* cells (D), and measurement of water leaving radiance at just above the sea surface (E).

Results

In 2023, the Gulf of Thailand (GoT) experienced an unprecedented succession of green *Noctiluca* blooms persisting for over three months. Leveraging our local algal-bloom classification algorithm, we detected the bloom offshore prior to the official red tide report along the eastern coast in July (Figure 2). Our on-site observations consistently validated the efficacy of our MODIS algal-bloom classification algorithm. Concurrently, through rigorous validation efforts, we successfully refined local empirical algorithms for the GCOM-C/SGLI data, significantly enhancing satellite-based chlorophyll-a estimation (Figures 3a–b). Our analysis, supported by comprehensive datasets, played a pivotal role in this achievement. These advancements were showcased at the 2023 International Ocean Color Science Meeting in Florida, USA. Furthermore, we have recently developed an empirical algorithm tailored for classifying algal blooms using SGLI data. Local reports corroborate the presence of green *Noctiluca* blooms and other algal blooms on our SGLI algal-bloom classification data, demonstrating the validity of our algal bloom classification algorithm. We presented monthly composites of GCOM-C/SGLI data that identified green *Noctiluca* blooms (Figure 3c) at the Ocean Science Meeting 2024 in New Orleans, USA. These findings showed how these blooms changed over the course of 2023 in the upper GoT.

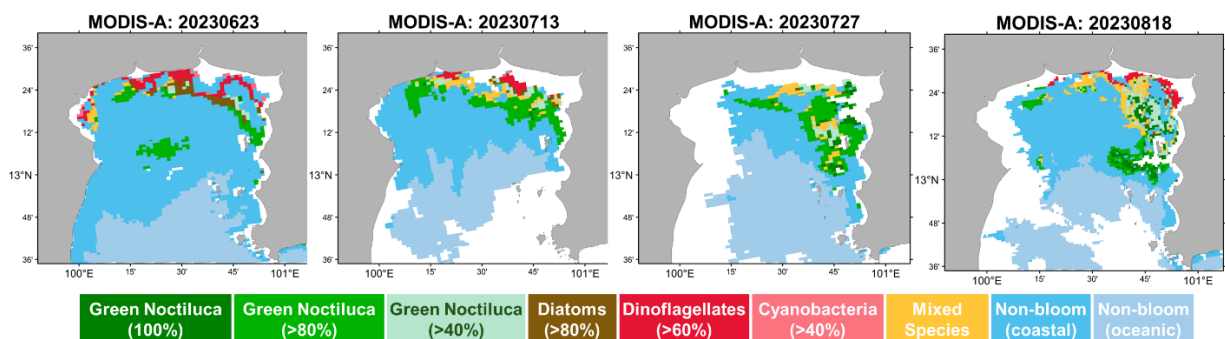


Figure 2. Daily MODIS data processed using the local algal-bloom classification algorithm.

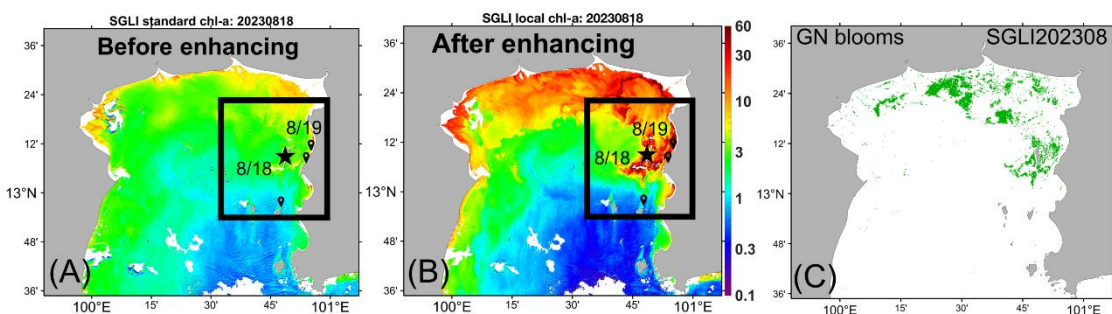


Figure 3. Daily GCOM-C/SGLI data processed using the standard (A) and local (B) chl-a algorithms and the monthly composite of green *Noctiluca* bloom pixels in August processed using the local algal-bloom classification (C). Squares and stars indicate areas and reported locations of green *Noctiluca* blooms.

Reference

- Luang-on, J., Ishizaka, J., Buranapratheprat, A., Phaksopa, J., Goes, J. I., Kobayashi, H., Hayashi, M., Maúre, E. de R., & Matsumura, S. (2022). Seasonal and interannual variations of MODIS Aqua chlorophyll-a (2003–2017) in the Upper Gulf of Thailand influenced by Asian monsoons. *Journal of Oceanography*, 78(4), 209–228. <https://doi.org/10.1007/s10872-021-00625-2>
- Luang-on, J., Ishizaka, J., Buranapratheprat, A., Phaksopa, J., Goes, J. I., Maúre, E. de R., Siswanto, E., Zhu, Y., Xu, Q., Nakornsantiphap, P., Kobayashi, H., & Matsumura, S. (2023). MODIS-derived green *Noctiluca* blooms in the upper Gulf of Thailand: Algorithm development and seasonal variation mapping. *Frontiers in Marine Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1031901>

2023年度 14) 国際技術交流 目次詳細

2023 14)International Technical Exchange Program
List

3 件

*所属・職名は2024年3月現在
*Affiliation and Department displayed are current as of March 2024.

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
南雅代	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授	Technical exchange for accurate and precise ¹⁴ C Measurement by Accelerator Mass Spectrometer	331	
高橋暢宏	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授	Technology exchange on the state-of-art weather radar data analysis	333	
Bernard V. Jackson	University of California San Diego, USA	Center for Astrophysics and Space Sciences	Research Scientist	IPS Time-dependent Tomography Boundaries for SUSANOO 3-D MHD, and Comparison of the IPS-driven ENLIL model	335	

Technical exchange on accelerator mass spectrometry (AMS) for accurate and precise ^{14}C measurement

Masayo Minami (ISEE, Nagoya University)

The aim of this international technical exchange program on accelerator mass spectrometry (AMS) is to enhance the accuracy and precision of ^{14}C measurements using the ISEE AMS system by facilitating the exchange of technical expertise on various AMS systems. Program members, excluding myself and Prof. Hiroyuki Kitagawa, include Dr. Wan Hong and Mr. Yong Jin Park from the Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), Korea and Dr. Yoko Kokubu from the Tono Geoscience Center, Japan Atomic Energy Agency (JAEA-Tono).

D

The Division for Chronological Research, ISEE operates a 3 MV Tandetron AMS system manufactured by High Voltage Engineering Europa (HVEE, B.V., Amersfoort, the Netherlands), which was installed in 1996. This system is equipped with a recombinator (simultaneous injection system) dedicated to precise and accurate ^{14}C measurements. KIGAM operates an HVEE AMS system with a lower energy of 1 MV, installed in 2007. The 1 MV AMS system, compact with significantly lower running costs and lower manpower requirements compared to the 3 MV AMS system, is equipped with a bouncer to measure ^{14}C , ^{10}Be , and ^{26}Al . JAEA-Tono operates a HVEE AMS system with an even lower energy of 0.3MV installed in 2019, capable of measuring multiple elements, including ^{14}C , ^{10}Be , ^{26}Al , and ^{129}I . Understanding the similarities and differences between these three types of HVEE AMS systems and exchanging information about best practices, technical advancements, and operational challenges are crucial to optimizing the performance of each institute's system.

During the last fiscal year, Dr. Hong visited Japan from October 17 to 27, 2022. He inspected several AMS facilities in Japan, including those of ISEE, JAEA-Tono, and the Aomori Research and Development Center, JAEA (JAEA-Mutsu), engaging in technical exchanges aimed at achieving high precision and high accuracy ^{14}C measurements. This fiscal year, I visited Korea from November 26 to 28, 2023, and inspected the KIGAM 1 MV AMS system and discussed the ^{14}C measurement data analysis methods, especially for old samples, with Dr. Hong. During my stay in Korea, I also visited the National Research Institute of Cultural Heritage of Korea with Dr. Hong to inspect the IonPlus-made compact 0.2MV AMS system called MICADAS (Mini Carbon Dating System) shown in Fig.1. The MICADAS system is ultra-compact and does not require SF_6 insulation gas, eliminating the need for SF_6 gas tank installation. Despite the excellent high performance of the MICADAS system and the presence of automatic sample preparation system and automatic graphite devices (Fig. 2), the preparation room for ^{14}C samples was not yet adequately equipped, and the establishment of a maintenance and management system for the equipment seemed to be insufficient. Following my visit, Prof. Kitagawa also visited KIGAM twice, from November 28 to December 1, 2023, and from March 5 to 8, 2024, to exchange technical expertise for high-precision and high-accuracy ^{14}C measurements. Furthermore, from March 25 to 29, 2024, Mr. Park, a young researcher from KIGAM, visited

ISEE to learn about sample preparation methods, specifically focusing on carbon extraction techniques for ^{14}C measurements of dissolved inorganic carbon in water samples. He also visited JAEA-Tono to observe a 0.3 MV AMS system and to engage in discussions regarding AMS technical exchange with Dr. Kokubu.

Through the program, valuable technical exchanges for high-precision and high-accuracy ^{14}C measurements were achieved by inspecting each other's AMS facilities and engaging in discussions regarding sample preparation methods and ^{14}C data analysis techniques. The technical exchanges significantly contributed to shaping future guidelines for AMS measurement and operation at ISEE.



Figure 1. MICADAS, an ultra-compact ^{14}C measurement AMS system manufactured by IonPlus, installed at the National Research Institute of Cultural Properties, Korea. The photo on the left shows the PC screen used to control the MICADAS AMS system.



Figure 2. View of the ^{14}C sample preparation room at the National Research Institute of Cultural Heritage, Korea. On the left, automated sampling system connected to GC-MS; on the right, automated graphite equipment (AGE 3).

Technology exchange on the state-of-art weather radar data analysis

Nobuhiro Takahashi (ISEE, Nagoya University)

1. Background and purpose of this project

Recent advances in meteorological radar technology have expanded the range of its application and required new analysis techniques. In Japan, phased array weather radar technology have been applied for ground-based and spaceborne system. Japan is one of the top runners of this field and ISEE is actively conducting analyses using phased array radars. The PI of this project is the leader of multi-parameter phased array weather radar (MP-PAWR) development. In Taiwan, multi-frequency (S-, C-, X-band) radar network was deployed nationwide and utilized for the operational and scientific purposes. This radar network is quite unique in the world and the National Taiwan University (NTU) and National Center for Disaster Research (NCDR) are the key institutes on radar analysis.

From the scientific viewpoint, phased array weather radar is expected to reveal uncovered three-dimensional structure and dynamics of rapidly changing convective systems and multi-frequency radar can provide accurate precipitation estimation and cloud physical processes. In this proposal, we will conduct the technology exchange of both types of radar to clarify the cons/pros of both radar systems for better understanding the precipitation systems. In particular, by exchanging the analytical products and their analysis tools, we will find further improvement of radar analysis of both side and will discuss about the future observing system using radar on the selection of frequencies, scanning strategy, combination of radars, analysis procedure and so on.

2. Scope of the project

In this project, we plan to discuss the following items:

- 1) Exchange the latest weather radar technology (ground based, airborne and spaceborne)
 - phased array weather radar (ISEE)
 - spaceborne dual-frequency radar (ISEE)
 - multi-frequency (S-, C-, X-band) weather radar network (NTU, NCDR)
- 2) Lecture and training of analysis for phased array weather radar data
 - Visualization of 3D structure, dual Doppler, VAD, vertical pointing, radar calibration
- 3) Lecture and training of analysis for multi-frequency weather radar
 - combination of S-, C-, X-band radars for quantitatively precipitation estimation
 - utilization of multi-frequency radar for disaster prevention
- 4) Development of young researchers
 - radar analysis training using actual observation data
- 5) Discussion about future the future observing system using radar
- 6) site visit: MP-PAWR site (Saitama University) and cloud radar, wind profiler and SAR at National Institute of Information and Communications Technology (NICT)

3. Schedule

Professor Jou and Dr. Jung visited ISEE in July. The detailed schedule is listed below:

July 11 Taipei to Nagoya

July 12 A.M. #1. Introduction of members

#2. Introduction of phased array radars in Japan (Takahashi)

P.M. #3. Hardware and data product from MP-PAWR (Takahashi)

#4. Calibration of MP-PAWR (Takahashi)

#5. Discussion about calibration issue (All)

July 13 A.M. #6. Analysis of MP-PAWR data (Takahashi)

P.M. #7. Discussion on MP-PAWR data analysis (All)

#8. Lecture by Dr. Jung (Extreme Precipitation Events: Physics and Prediction)

July 14 A.M. #9. Data analysis using actual MP-PAWR data

#10 Presentation of ISEE's student (During lab's Colloquium, 15:00-)

July 15-16 off

July 17 #11 Continue the data analysis and moved from Nagoya to Tokyo

July 18 #12 Visiting NICT and MP-PAWR site and discussion with Toshiba (Fig. 1).

Tokyo to Nagoya

July 19 Nagoya to Taipei

Fig. 1. Pictures during the NICT visit (left) and MP-PAWR site visit (right) on 18 July, 2023.



4. Achievements

The most valuable achievement is the progresses of the understanding of phased array radar system. Deep discussion on the evaluation of the MP-PAWR data helped to improve the calibration method and evaluation method. In addition, possible deployment of MP-PAWR was discussion. During the discussion, the differences between MP-PAWR and conventional MP radar and the advantages of the MP-PAWR are clarified.

5. Presentations and books

Takahashi, N., M. Miyairi and K. Kato, 2023: Analysis of precipitation systems by using MP-PAWR, 9B.3, 40th Conference on Radar Meteorology, American Meteorological Society, Minneapolis.

Takahashi, N. and H. Hanado, 2023: Evaluation of vertical air motion from CPR by multi-parameter phased array weather radar, ESA-JAXA EarthCARE pre-launch workshop, Frascati.

Takahashi, N., T. Ushio, F. Mizutani and H. Hanado, 2024: Phased array weather radar developed in Japan, Advances in Weather Radar, ed. V. N. Bringi, K. V. Mishra and M. Thurai, IET, pp. 1-40.

IPS Time-dependent Tomography Boundaries for SUSANOO 3-D MHD, and Comparison with the IPS-driven ENLIL Model

Matthew T. Bracamontes and Bernard V. Jackson

Astronomy and Astrophysics Department, University of California, San Diego 92023, USA

Nagoya University stay from 2023 07 24-30

The UCSD time-dependent 3-D reconstruction computer-assisted tomography program has long been used since the year 2000 with ISEE interplanetary scintillation (IPS) data to provide global velocity, density, and magnetic fields throughout the inner heliosphere (Jackson *et al.*, 2020 and references therein). These IPS analyses have been used to study heliospheric structures, both co-rotating and coronal mass ejections (CMEs) to out past the orbit of Mars. IPS data provide a depiction of the propagating structures from both archival ISEE data sets or as used in forecasting analyses from ISEE data in near real time. The kinematic UCSD model conserves mass and mass flux from an inner boundary usually set at 15 solar radii (Rs) and iteratively fits IPS data to observed lines of sight of velocity or scintillation (g-level) used as a proxy for density. Since the IPS data contains the effects of fast transient structures as well as those that corotate, the time-dependent model allows the density and velocity features of CMEs imbedded in the solar wind to be mapped outward from the solar surface inner boundary.

In more recent years, an inner boundary provided by the UCSD kinematic model has been used to drive the 3-D MHD (magnetohydrodynamic) ENLIL model (Odstrcil and Pizzo, 1999) at its inner boundary at 21 Rs (Jackson *et al.*, 2015). Unlike the UCSD model, 3-D MHD models have an advantage in that they contain far more physics including heating, and thus this includes an outward expansion from the inner boundary. 3-D MHD models also have the ability to be modified by magnetic fields. As a demonstration of this analysis in Figure 1a, we show the forecast of a CME from the UCSD kinematic model that in and ecliptic cut that erupted from the Sun on March 10, 2022, as it was observed just 13 hours prior to its arrival at Earth. This same CME using the UCSD inner kinematic model boundary is depicted by the ENLIL 3-D MHD model in Figure 1b. Many of the dense features present in the inner heliosphere are shown at the same approximate locations in these two figures. The spacecraft BepiColombo (\square) at 0.42 AU was approximately aligned with the STEREO spacecraft at 1 AU and the Solar Orbiter (\bullet) was aligned at 0.45 AU with Earth-based L1 satellites. Both inner heliospheric spacecraft registered the CME arrival about one and a half days before it reached 1 AU, certifying the ecliptic presence and approximate shape of the CME in the inner heliosphere (Jackson *et al.*, 2023). The ENLIL model in this analysis has been carefully adjusted to show the same approximate values as the UCSD iterative model.

SUSANOO is a more recent sophisticated 3-D MHD heliospheric model developed by Shiota *et al.*, (2014) that contains an added spheromak-type flux rope (Shiota and Kataoka, 2016). Our intent in Nagoya was to provide the same UCSD IPS kinematic input boundaries for this model and operate as we do ENLIL to study the model differences and the benefits of each. We were successful in this work using the same time period as shown in Figure 1. Our project included:

- 1) Presentation and modification of the ENLIL model at UCSD to mimic the UCSD kinematic model and the arrivals of material at Earth as shown in Figure 1b.
- 2) Installation of our UCSD kinematic model on ISEE computers to provide the digital tomographic boundaries for SUSANOO, from the volumetric data.
- 3) Operation of the SUSANOO 3-D MHD model at ISEE, Japan for the March 2022 time period using the digital boundaries inputs from the UCSD IPS model.
- 4) Preliminary digital comparisons of both modeling efforts and correlations of these analyses made in preparation for presentation of these SUSANOO modeling results.

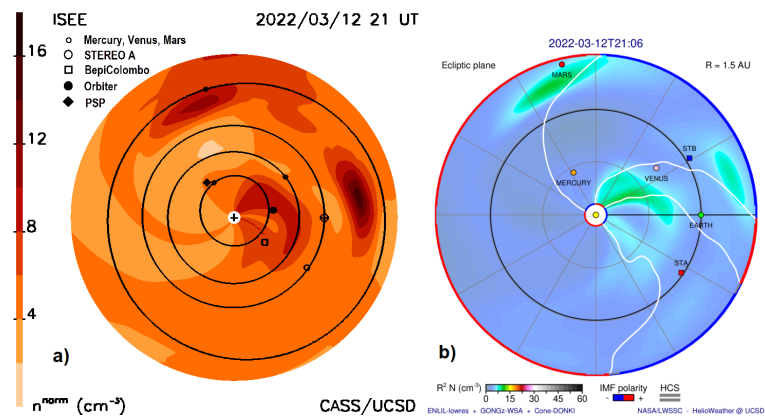


Figure 1. Ecliptic cuts of heliospheric density for a) the UCSD kinematic model, and b) the ENLIL 3-D MHD model out to and beyond the orbit of Mars are shown. Earth is depicted on its orbit to the right. The positions of all the inner planets as well as their orbits and the listed interplanetary spacecraft are shown in a). These same planets and spacecraft are shown in b). An r^{-2} density fall-off is imposed in these cuts relative to 1 AU to show structures near and far from the Sun at approximately the same scale.

In Figure 2 we show the results of our efforts by comparing the UCSD kinematic model ecliptic cut densities with the SUSANOO 3-D MHD model ecliptic values as driven by the UCSD boundaries. In some ways the SUSANOO model that shows vector magnetic fields is more sophisticated and to the point. The most damaging Earth-directed portion of a CME is the magnetic field strength that couples with Earth's geomagnetic field and this is shown for the SUSANOO model. The UCSD modeling effort supports all three vector fields, but since these fields are provided by only a radial field at the UCSD inner boundary, the present near Earth are only those that are radial and tangential in heliographic RTN (radial, tangential, and normal) coordinates; thus only a small component of the tangential field component can couple with Earth's geomagnetic field. The SUSANOO 3-D MHD model can include a spheromak input field in its initiation scheme, and this has three field components at the source surface that can be overlaid onto the UCSD field. In this scenario not only can the velocities and densities be adjusted to fit the IPS observations and *in-situ* measurements, but so can the field components of the ambient wind and the overlaid spheromak be adjusted to fit the *in-situ* measurements at Earth and at the other spacecraft that record these fields. In this way both the background solar wind components as well as the CME field components can be accurately depicted and forecasted to provide the result measured globally. Thus, we have succeeded to put in place the mechanism whereby the timing of the field change can be forecast using UCSD tomographic technique with SUSANOO so that it can be compared with other 3-D MHD techniques. Although low resolution now, as these analyses are refined, modified to fit observed and *in-situ* measured values better, and combined with more data worldwide, they can enable a far better global depiction of basic plasma parameters. These include velocity, density, and magnetic field components of both the background solar wind as well as those in CMEs.

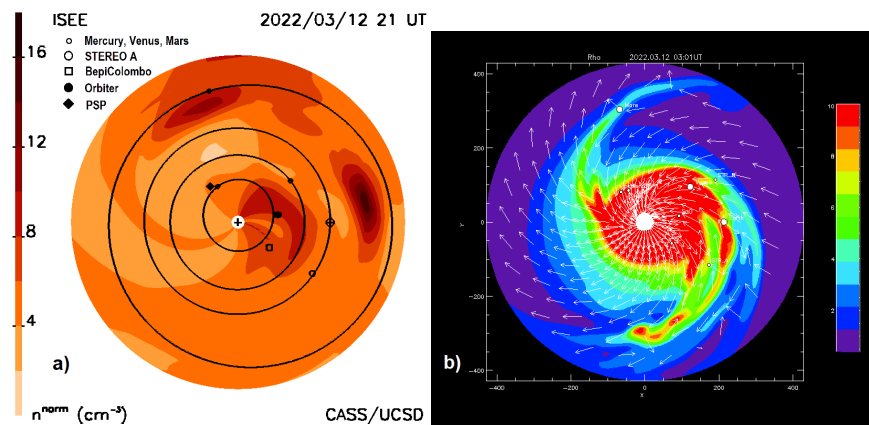


Figure 2. Ecliptic cuts of heliospheric density for **a)** the UCSD kinematic model as in Figure 1a, and **b)** The SUSANOO 3-D MHD model out to and beyond the orbit of Mars. All the inner planets and the same interplanetary spacecraft are shown. In this figure ecliptic magnetic field directions from the UCSD modeling effort are superimposed as vectors. The SUSANOO analysis is shown at 2022/03/12 03UT, and at this time the earlier May 8 2022 CME has gotten to Earth with the May 10 CME event closer to the Sun than in a).

References:

- Jackson, B.V., Odstreil, D., Yu, H.-S., Hick, P.P., Buffington, A., Mejia-Ambriz, J.C., Kim, J., Hong, S., Kim, Y., Han, J., and Tokumaru, M., 2015, 'The UCSD IPS Solar Wind Boundary and its use in the ENLIL 3D-MHD Prediction Model', *Space Weather*, **13**, 104-115, doi: 10.1002/2014SW001130.
- Jackson, B.V., Tokumaru, M., Iwai, K., Bracamontes, M., Buffington, A., and Fujiki, K., Murakami, G., Heyner, D., Sanchez-Cano, B., Rojo, M., Aizawa, S., Andre, N., Barthe, A., Penou, E., Fedorov, A., Sauvaud, J.-A., Yokota, S., and Saito, Y., 2023, 'Forecasting heliospheric CME solar wind parameters using the UCSD time-dependent tomography and ISEE interplanetary scintillation data: the March 10, 2022 CME', *Solar Phys.*, **298**:74, doi:10.1007/s11207-023-02169-8.
- Odstreil, D., and Pizzo, V.J., 1999, 'Three-dimensional propagation of coronal mass ejections (CMEs) in a structured solar wind flow. 1. CME launched within the streamer belt', *J. Geophys. Res.*, **104** (A1), 483-492.
- Shiota, D., and Kataoka, R., 2016, 'Magnetohydrodynamic simulation of interplanetary propagation of multiple coronal mass ejections with internal magnetic flux rope (SUSANOO-CME)', *Space Weather*, **14**, 56-75. doi: 10.1002/2015SW001308.
- Shiota, D., Kataoka, R., Miyoshi, Y., Hara, T., Tao, C., Masunaga, K., Futaana, Y., and Terada, N., 2014, 'Inner heliosphere MHD modeling system applicable to space weather forecasting for the other planets', *Space Weather*, **12**, 187-204, doi: 10.1002/2013SW000989.

2023年度 15) 国際スクール開催支援 目次詳細

2023 15) ISEE International School Support
List

5 件

* 所属・職名は2024年3月現在

* Affiliation and Department displayed are current as of March 2024.

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
北川浩之	名古屋大学宇宙 地球環境研究所	年代測定研究部	教授	A short course on AMS radiocarbon dating (炭素14年代測定ショートコース)	337	
石坂丞二	名古屋大学	宇宙地球環境研究 所	教授	Satellite data analysis for studying ocean and atmosphere/land interaction	338	
Anna Morozova	Instituto de Astrofísica e Ciê ncias do Espaço, University of Coimbra		Researcher	Iberian Space Science Summer School (i4s)	339	
Babatunde Rabiu	United Nations African Regional Centre for Space Science and Technology Education	Directorate	Professor and Executive Director	INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON EQUATORIAL AND LOW-LATITUDE IONOSPHERE	341	
Ramon Lopez	The University of Texas at Arlington		Professor	ICTP-SCOSTEP-ISWI Workshop on the Predictability of the Variable Solar- Terrestrial Coupling (PRESTO)	343	

海洋と大気陸域相互作用の研究のための衛星データ解析

Satellite Data Analysis for Studying Ocean and Atmosphere/Land Interaction

石坂 丞二（名古屋大学宇宙地球環境研究所）
Joji Ishizaka (ISEE, Nagoya University)

陸域からの河川や大気を通じた人為的な汚染と地球温暖化等に伴った気候・気象の変化によって、海洋生態系は大きく変化しつつある。また、この変化は人間生活にも大きな影響を与えていると考えられる。リモートセンシングは、宇宙から海洋生態系を広いスケールで観測できる手法であり、すでに 20 年以上のデータが蓄積されている。

衛星やモデルを利用した大気陸域と海洋の相互作用に関しては、ISEE としても重要なテーマである。2023 年度は、これまで ISEE で継続してサポートしている日韓（アジア）海色ワークショップなど 4 つの研究集会をまとめて、「大気陸域と海洋の相互作用」を対象とした ISEE シンポジウムを 2023 年 12 月 17-19 日で開催した。本トレーニングは、このシンポジウムで議論した内容に関して、実際にハンドオンでデータセットの取得や解析を行う形で開催した。

本トレーニングは、主にアジア域の若手研究者を対象として、北海道大学環境科学院で開発を進めている大気海洋フラックスデータセット、宇宙航空研究開発機構の SGLI データ処理システム、環日本海環境協力センター（NPEC）で蓄積している富栄養化・藻場データ処理手法、そしてアメリカ大気海洋省（NOAA）が開発している Coast Watch の処理システムについて、実際に自分で処理を行うトレーニングを行い、衛星を利用した大気陸域と海洋生態系の関連についての解析手法を理解することを目指した。

参加者のほとんどは、シンポジウムに参加した研究者・学生であり、国内 12 機関から 27 名、海外 15 機関から 32 名が参加した。21 日に行った NPEC および NOAA の海色データセットに関しては、本予算でサポートしたタイ・マレーシアの学生その他、韓国、台湾、アメリカなどの主に海洋生物系の研究者・学生などが参加し、20 日の行った大気海洋の熱・水フラックスデータセットに関しては、それに加えて日本の大学の海洋物理系の学生等も参加した。

The third Iberian Space Science Summer School (i4s)

Anna Morozova

Instituto de Astrofísica e Ciências do Espaço, University of Coimbra, Portugal

The full report on the i4s 2023 activities is attached. Below is a summary of the school activities.

The Iberian Space Science Summer School (i4s) was organised for the 3rd time in 2023. It took place from June 26 to June 30, 2023 in Coimbra, Portugal. Previous editions of i4s were organised in 2021 (on-line) and in 2022 (in-person, June 6-10, 2022, Alcalá de Henares, Madrid, Spain).

i4s LOC members:

Anna Morozova, University of Coimbra, Portugal
Teresa Barata, University of Coimbra, Portugal
Consuelo Cid, University of Alcalá, Spain
Antonio Guerrero, University of Alcalá, Spain
Ricardo Gafeira, University of Coimbra, Portugal
Manuel Flores, University of Alcalá, Spain

The information about i4s 2023 can be found at the school website: <https://www.i4s-iberian-space-science-summer-school.com/>.

Financial support: LOC of i4s 2023 summer school applied to several funding/sponsoring organisations to obtain funds necessary to hold the school in 2023. The expected expenses included travel and accommodation grants for students, accommodation of the Spanish LOC members in Coimbra, catering service to organise coffee breaks and refreshments, extra-curricular activities (visits to museums etc.). i4s 2023 LOC received several grants from the following international funding sources:

- Scientific Committee on Solar-Terrestrial Physics (SCOSTEP) PRESTO programme grant - \$5000
- International Space Weather Initiative (ISWI) travel grant for students from DAC-supported countries - \$5000
- Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE) summer school grant - 330 000 JPY
- European Space Weather and Space Climate Association (E-SWAN) grant for summer schools - 1000€

School aim and students: The school was aimed at students with MSc degree (with defense scheduled no later than December 2023), PhD students and young researchers/postdocs working in Space Sciences (mostly in Space weather).

The school received a total of 67 unique on-line applications from applicants from 26 countries, but only 48 applicants submitted full applications. After documents check-up only 46 applications were submitted to a 2-stage review process, and 20 students were selected to participate in i4s 2023, but 2 of them withdrew their application 1 week before the school began for visa/academic reasons. The final list of the 18 i4s 2023 students can be found in the full report.

Programme: The school was organised during a week from 26th to 30th of June 2023 at the Department of Physics of the University of Coimbra (DF/UC). The program schedule can be found in the full report attached. There were lectures (morning hours), work on school projects (afternoon hours), presentations of students' own

work (poster and oral sessions on Wednesday and Thursday).

There were 9 lectures on space weather topics (from Monday to Thursday) and 2 lectures on broader but space-related topics (Friday). The list of lectures and lecturers is below.

1. Introduction to Space weather, by Consuelo Cid (on-line)
2. The Sun and the solar activity, by Ricardo Gafeira (in-person)
3. The interplanetary medium – solar wind and CMEs, by Manuela Temmer (on-line)
4. Solar Wind - Magnetosphere coupling, by Ramón López (in-person)
5. Ionospheric Plasma, by Kazuo Shiokawa (on-line)
6. Space weather in the ionosphere, by Luca Spogli (on-line)
7. Cosmic rays and their terrestrial effect, by Ilya Usoskin (on-line)
8. Atmospheric response to energetic particle precipitation, by Eugene Rozanov (on-line)
9. Connections between terrestrial weather and space weather, by Ruth Lieberman (on-line)
10. Magnetic activity in Sun-like stars, by Angela Santos (in-person)
11. Impact cratering as a geological process, by Pedro Pina (in-person)

During the school students had to do a small space weather study or a work project analysing a certain space weather event from its solar sources to ground effects. To work on the projects the students were divided into four groups of 4-5 people, and each of the groups was assigned a specific space weather event (see the list below). Each day, during the projects' time slots, each group had to work on one specific stage of the Sun-Earth chain of events (Sun and solar activity, solar wind, geomagnetic field variations, ionospheric conditions, effects on the infrastructure) under a guidance of a mentor (six i4s 2023 LOC members). Several time slots were left for Q&A and for the preparation of a final presentation. The projects' results were presented on the last day of the school by each of the groups.

Analysed space weather events:

- Group 1 - February 2022 (Starlink event)
- Group 2 - September 2017 geomagnetic storm
- Group 3 - June 2015 geomagnetic storm
- Group 4 - March 2015 (St Patrick 2015 event)

On Wednesday-Thursday the i4s students had time to present their own research. Eight students (either from the last PhD year or sponsored by their institutions on a condition to give a talk), see the list in the full report, were selected to give oral talks. The rest of the students were encouraged to bring posters. The posters were discussed during coffee breaks.

Extracurricular activity: A visit to the University of Coimbra's museum and Joanina Library (with a professional guide from UC Tourism) took place on Tuesday afternoon. A visit to the UC Geophysical and Astronomical Observatory (OGAUC) took place on Wednesday afternoon (walk from DF/UC to OGAUC, refreshment, visit to OGAUC "Old books" and "Old maps" collections, visit to OGAUC Museum, visit to Spectroheliograph, night observation of the sky at OGAUC Dome).

Budget execution (ISEE grant): Travel to 1 student (Noelia Ayelen Santos from Argentina). It was managed by ISEE (Ms. Miho Sugiyama); the total amount is unknown to LOC.

International Colloquium on Equatorial and Low-Latitude Ionosphere (ICELLI) 2023

Principal Investigator: Babatunde Rabi

(United Nations African Regional Centre for Space Science and Technology Education - English, Obafemi Awolowo University Campus, Ile Ife, Nigeria)

The International Colloquium on Equatorial and Low Latitude Ionosphere (ICELLI 2023) 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 2023 edition of the colloquium was the 7th edition of this capacity building gathering in Nigeria.

The International Colloquium on Equatorial and Low-Latitude Ionosphere (ICELLI), was held at University of Ilorin, Nigeria between 4th and 8th September 2023. At prime, 53 physical and 73 virtual participants from 21 countries participated in the Colloquium, which was jointly organized by United Nations African Regional Centre for Space Science and Technology Education in English; Network of Space-Earth Environmentalist; Scientific Committee on Solar Terrestrial Physics PRESTO/SCOSTEP; Boston College, USA; UN International Space Weather Initiative; Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE), Nagoya University, Japan; University of Ilorin, Nigeria; University of Oslo, Norway; JSPS Program; Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, Italy; and African Geophysical Society.

The 7th 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. The participants visited the Space Environment Research Laboratory, Abuja; Digisonde facility and other observational facilities at the University of Ilorin; the Space Museum of the United Nations African Regional Centre for Space Science and Technology – English, Ile-Ife; and the VT-NigerBEAR radar site at Bowen University Iwo. Details of the lectures delivered at the Activity alongside the names of the resource persons are as follows:

- i. A Review of Ionospheric Plasma: Measurements and Disturbances – Prof Kazuo Shiokawa, ISEE, Nagoya University, Japan
- ii. Sun Earth System and Space Weather: historical approach - new results at middle and low latitudes - Prof. Christine Amory Mazaudier, Sorbonne Universities, Paris, France / ICTP, Trieste, Italy
- iii. The sun as the primary source of space weather - Nat Gopalswamy, NASA, United States of America
- iv. F3 layer Occurrence: Implications on Models' predictions and HF communication - Prof. Olushola Abel OLADIPO, Department of Physics, University of Ilorin, Ilorin, Nigeria

- v. Recent developments in the International Committee on Global Navigation Satellite Systems - Sharafat Gadimova United Nations Office of Outer Space Affairs UNOOSA, Vienna, Austria,
- vi. Use of low-cost receivers to monitor the ionosphere – Dr Bruno Nava, The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, Trieste, Italy
- vii. Structuring and irregularities in ionospheric plasmas; observations, models, and space weather effects. – Professor Wojciech J. Miloch, University of Oslo, Norway
- viii. Theory of radar and application in ionosondes for ionospheric studies- Professor A. O. Olawepo, University of Ilorin, Nigeria
- ix. Main Features of the Equatorial and low latitudes ionosphere, Prof. Babatunde Rabi
- x. Machine Learning for Ionospheric Studies – Dr Daniel Okoh, UN-ARCSSTE-E, Nigeria
- xi. Performance of Ionospheric Models during 2009 SSW in the African Sector– Prof. O. S. Bolaji, Bowen University, Nigeria/ Department of Mathematics and Physics, University of Tasmania, Hobart, TAS, Australia
- xii. Space Weather effects representation using Empirical Models - Yenca Migoya Orue, Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP), Trieste, Italy
- xiii. Nonlinear dynamical analysis in space physics: A review - Dr Samuel Ogunjo, Federal University of Technology, Akure, Nigeria
- xiv. The Impact of coronal mass ejection (CME) on the horizontal geomagnetic fields and the induced geoelectric fields – Prof Elijah O. Falayi, Tai Solarin University of Education, Ijagun, Nigeria
- xv. Ionospheric Irregularities - Dr Keith Groves, Boston College, USA
- xvi. Demonstration of AfriTEC & other SW Products – Aderonke Akerele, UN-ARCSSTE-E, Nigeria
- xvii. Present Status of Ionospheric and GNSS Research Infrastructure in Africa - Prof. Babatunde Rabi, UN-ARCSSTE-E

ICTP-SCOSTEP-ISWI School and Workshop on the Predictability of the Variable Solar-Terrestrial Coupling (PRESTO)

Ramon Lopez (University of Texas at Arlington)

The ICTP-SCOSTEP-ISWI School and Workshop were held during May 29 - June 2, 2023, at the Abdus Salam ICTP, Trieste, Italy. This was the first full face-to-face/in-person meeting since the PRESTO program was launched in 2020. On the first day, the school was composed of six 1-hour lectures related to the three PRESTO Pillars. The 4-day workshop that followed the School had seven sessions: 1) Observations and modelling of solar eruptions, solar wind and SEPs from the Sun through the interplanetary space, 2) Prediction of solar transients, streams/SIRs and SEPs from the Sun to geospace, 3) Effect of space weather on the Earth's ionosphere, thermosphere, and magnetosphere system, 4) Influence of the lower atmosphere on the mesosphere, thermosphere, and ionosphere, 5) Solar forcing specification and impacts on the atmosphere and climate, 6) Precipitating energetic particles and their effects on atmosphere, and 7) Predictability of the solar cycle. Eighty-three participants from 39 countries and regions attended the school and workshop. The school and workshop were sponsored by the SCOSTEP/PRESTO program, ICTP, ISWI, ICG, Boston College, Japan Society for the Promotion of Science (JSPS) (core-to-core program for Asia-Africa platform), and ISEE, Nagoya University.



Figure 1. School participants (left) and workshop participants (right).

2023年度 16)若手国際派遣支援（海外発表・海外滞在） 目次詳細

2023 16)International travel support for students (International presentation / Institutional stay) List

6 件

*所属・学年は2024年3月現在

*Affiliation and Year of graduate school displayed are current as of March 2024.

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
国吉秀鷹	東京大学	地球惑星科学専攻	博士後期課程2年	WISA国際会議での、太陽コロナ中の磁気トルネードについての発表	344	
作田 皓基	名古屋大学	理学研究科	博士後期課程1年	太陽観測ロケット FOXSI-4 搭載 X 線望遠鏡地上較正試験のための NASA/MSFC 滞在	345	
南條壮汰	電気通信大学	情報・ネットワーク工学専攻	博士後期課程3年	広角デジカメと人工衛星によるオーロラ同時観測のためのスウェーデン・キルナ滞在	347	
永谷 朱佳理	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	博士前期課程2年	米国地球物理学連合大会における地球磁気圏分子イオンの長期変動の発表	348	
Liwei Chen	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	博士後期課程2年	Presentation about "First observation of temporal variation of STEVE heights by triangulation using two all-sky cameras at Athabasca, Canada" at AGU Fall Meeting 2023	349	
沖山 太心	東京大学	理学系研究科地球惑星科学専攻	博士課程2年	MAVEN探査機搭載IUVSによる火星オーロラデータ解析のためのコロラド大学LASP滞在	350	

(別紙様式16-2)

WISA2023国際会議での口頭研究発表
Oral presentation at the WISA 2023 conference

氏名：国吉秀鷹
所属機関：東京大学
部局：理学系研究科地球惑星科学専攻

本海外渡航において私は英国で開催された Waves and Instabilities in the Solar Atmosphere (WISA) 2023国際会議に参加した。そこで自身の主著査読論文に関する内容について口頭発表を行いコミュニティへの周知を行なった。また他の参加者と直接議論を交わし、さらに将来のキャリアのためのネットワーク作りも行ったので報告する。

本会議における私の講演内容は、1930年代から現在まで盛んに議論され続けている太陽コロナ加熱問題を対象としている。コロナとは太陽最外層大気のことであり、表面に比べ数百倍高温で100万度以上にまで達するが、その仕組みは未だによくわかっていない。太陽コロナ加熱問題はどの太陽観測ミッションの最終目標にも掲げられる、太陽物理学の最重要課題である。コロナ加熱には磁場の効果が支配的であることが確実視されているが、コロナ磁場の直接観測は現状ほぼ不可能である。そこで私はスーパーコンピュータによるシミュレーションを用いて太陽コロナ磁場をモデリングすることで加熱メカニズムの解明に挑んでいる。コロナ加熱のエネルギー源は表面で発生した磁気流体波動が有力である。私は特に磁気トルネードと呼ばれる表面からコロナまでを貫く渦上の波動現象に注目し、結果としてコロナへ伝わる磁気エネルギー輸送量の50%を担っている可能性を発見した。

本会議は名前の通り、波動に関する理論・観測両側面の専門家が多数参加した。つまりこの会議は自身の研究を宣伝する絶好の機会であった。幸いなことに多くの質問・コメントを頂き、自身の今後の発展のための大きな糧となった。特に、私のシミュレーション結果が観測的にどう見えるかについて多数のフィードバックを頂いた。帰国後にそれらを踏まえてシミュレーションデータの仮想観測を行い、結果を主著査読論文と

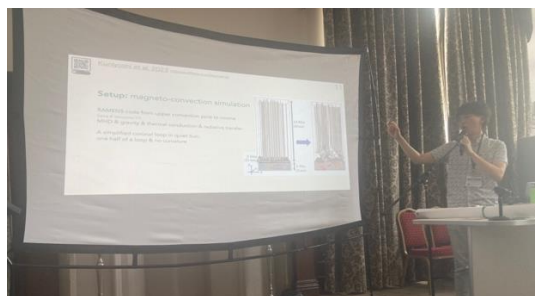


図 1: 口頭発表の様子

して投稿した。さらに、本講演内容が評価され、英国University College LondonのMullard Space Science Laboratoryにおけるセミナーでの招待講演を依頼して頂いた。

会議中は他の研究内容についても幅広く議論をすることができた。特に欧州宇宙機関ESAの次世代太陽観測衛星であるSolar Orbiterによって得られた最新の観測結果には衝撃を受けた。太陽コロナ中での磁気流体波動のエネルギー散逸現象に関する講演が全体のおよそ6割を占めており、Solar Orbiterチームの勢いに大いに刺激を受けた。

私は渡航当時博士課程二年ということもあり、卒業後の職探しのための就活も行った。そこで東大の庄田宗人助教からの助力もいただき、複数の欧州研究機関の研究者とのコネクションを築くことができた。

以上に述べたように本渡航は私にとって非常に実りの多いものとなった。最後に、本海外渡航を支え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若手国際派遣プログラム関係者の皆様、名古屋大学担当教員の増田智先生、指導教員の今田晋亮先生・横山央明、東大の庄田宗人先生、東大・京大関係者の皆様、そして同僚の吉久健朗氏に感謝申し上げます。

(別紙様式16-2)

太陽観測ロケット FOXSI-4 搭載 X 線望遠鏡地上較正試験のための
NASA/MSFC 滞在
Visit to NASA/MSFC for ground calibration tests of X-ray tel
escopes onboard a solar sounding rocket FOXSI-4

作田 皓基、名古屋大学・理学研究科

【目的】

太陽観測ロケット FOXSI-4 搭載 X 線望遠鏡の性能評価試験の実施。

【背景】

太陽は最も身近な天体であるが故に、最も時間的、空間的に詳細な観測をすることが可能である。さらに、磁力線のつながり現象である磁気リコネクションや磁場駆動による粒子加速といった、宇宙空間において普遍的に起こる現象が太陽でも起こっていることが知られている。このことから太陽物理の理解は宇宙物理現象の解明の鍵となる。また、太陽活動は地球磁気圏等と相互作用することで、地球環境やインフラにも影響を及ぼしている。これらのことから、宇宙天気として近年注目されており、地球惑星分野とも密接な関わりを持つ。太陽物理の研究者のみならず、広い分野にわたって多くの研究者の研究対象となっている太陽であるが、未解決問題も多く残している。その中の一つに、太陽コロナ加熱問題がある。これは、太陽の熱源は中心核の核融合反応であるために外層であるほど温度は低下するはずであるにもかかわらず、外層大気で温度が高くなっているという温度の逆転現象を指す。実際に、光球面で 6000 度であるにもかかわらず、外層大気であるコロナは 100 万度として観測されている。この現象を引き起こす一つの説として、ナノフレア説がある。これは、太陽での爆発現象として観測されるフレア現象の中でも、典型的な規模の 10^{-9} 倍程度の小さなフレアが多数生じることにより、太陽コロナが定常的に加熱されている、という説である。その検証を目指したミッションの一つに、太陽観測ロケット実験 FOXSI-4 がある。このミッションでは、太陽フレアのエネルギー解放量の定量化やエネルギーの変換過程を解明することを目標に、世界初の太陽フレアの集光撮像分光観測を 2024 年 4 月に実施する。このフレア観測には、そのフレアが起きている活動領域の空間分解が必須となり、その要求性能は HPD で 10 秒角程度である。HPD (Half Power Diameter) は集光した全光量の 50% が入る円領域の直径を表す。この要求値は現行の X 線天文衛星の角度分解能の性能に迫る値であり、太陽表面において典型的なフレアの大きさに相当する。我々はこの性能を実現するために、地上開発で培われた超高精度電鍍技術に着目し、独自の世界最高感度 X 線光学系製作に着手し、加えて、その支持機構製作や振動耐性評価等を行なっている。今回は評価試験の中でも最も重要な試験である X 線性能評価試験を NASA マーシャルスペースフライトセンター (MSFC) にて行なった。

【共同研究の内容】

本研究では、FOXSI-4 ロケット実験に搭載する X 線望遠鏡の地上較正試験を主目的としている。試験を実施した NASA/MSFC は、100 m のビームラインを保有しており、X 線発生器のターゲットを変えることで、数 keV 程度のエネルギー帯域の X 線を放射できる。X 線宇宙望遠鏡に入射する X 線は遠方からの光源から放射されているために、ほとんど光軸に対し平行な光として入射する。そのため、性能評価では平行光を実現するために長いビームラインが求められる。さらに、数 keV 程度の軟 X 線は散乱の影響が大きいために真空中での試験を必要とする。このような試験セットアップは日本国内には用意されておらず、

本研究でフライトサンプルに対して初めて軟 X 線帯域の性能評価を実施できた。今回評価したフライトサンプルは軟 X 線用望遠鏡と硬 X 線用望遠鏡の 2 台である。外観を図 1 に示す。軟 X 線用望遠鏡には迷光除去機構としてプリコリメーターと可視光除去機構として OBF (Optical Blocking Filter) が取り付けられている。性能評価項目として、点源に対する感度の指標である FWHM と広がった放射源の構造分解に対する感度の指標である HPD、集光能力の指標である有効面積、またそれらの角度依存の調査を行なった。

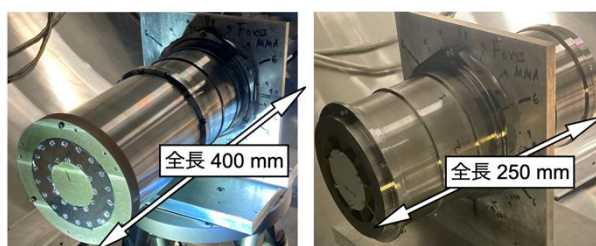


図 1. 軟 X 線用望遠鏡 (左) と硬 X 線用望遠鏡 (右) の外観写真。[1]

【共同研究の結果】

軟 X 線用望遠鏡と硬 X 線用望遠鏡はそれぞれ 4.5 keV (Ti-K) と 8.1 keV (Cu-K) の X 線を用いて性能を評価した。結像性能の結果として、FWHM は両望遠鏡ともに検出器の検出限界で < 5 秒角、HPD は軟 X 線用望遠鏡で 14 秒角、硬 X 線用望遠鏡で 15 秒角が得られた。例として図 2 に、硬 X 線用望遠鏡で得られた結像イメージとそのイメージから作成した PSF (Point Spread Function) と EEF (Encircled Energy Function) を示す。PSF は輝度ピークを中心とした動径カウントプロファイル、EEF は輝度ピークを中心とした累積動径カウントプロファイルを表している。FWHM では世界最高精度を、HPD では現行の X 線天文衛星の結像性能に迫る結果が得られた。有効面積測定では、軟 X 線望遠鏡では 17.6 mm² (@4.51 keV (Ti-K α)), 硬 X 線望遠鏡では 56.2 mm² (@8.05 keV (Cu-K α)) が得られた。硬 X 線望遠鏡の結果は光線追跡シミュレーションと整合性がよく取れている。一方で、軟 X 線望遠鏡は計算値より 50 % 程度高くなっており、これはプリコリメーターの開口部の大きさ (~0.6 mm) と望遠鏡開口部の動径方向厚さ (~0.4 mm) が同程度であることから、開口率の場所依存が大きく影響するためと考えられる。

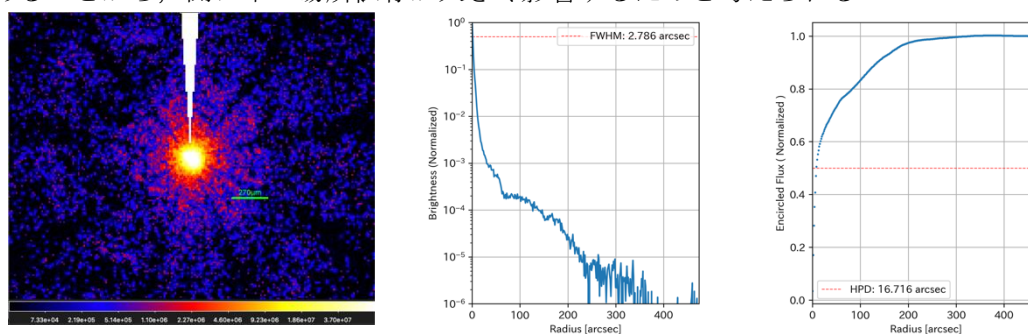


図 2. 硬 X 線用望遠鏡により得られた結像イメージ (左) とそのイメージから取得した PSF (中) と EEF (右)。[1]

【今後の展望】

本研究では太陽観測ロケット FOXSI-4 搭載用 X 線望遠鏡の試験を実施したが、我々が開発を進める望遠鏡は本ミッション以外にもオーロラ観測ロケットへの搭載や超小型衛星搭載に向けた開発を進めている最中である。今回得られた結果から、本望遠鏡の性能をモデル化することで応答関数を構築し、本ミッションでの観測データ解析を行う。さらにこの結果を用いて構築したモデルをもとに、他ミッションへのさらなる展開をしていく。

【参考】

[1] 安福千貴 2023 年度 修士論文 “太陽フレア観測ロケット FOXSI-4 搭載電鍍法を用いた高結像性能 X 線望遠鏡の開発” (名古屋大学大学院理学研究科理学専攻)

キルナでのオーロラの観測

氏名：南條壮汰

所属：電通大細川研究室 (D3)

滞在期間：令和 5 年 10 月 2 日～12 月 16 日

滞在先：IRF キルナ

滞在国内：スウェーデン

日本で開発したオーロラの観測器をオーロラ帯に持ち込んで、実際に観測をやるとというのが滞在の主目的である。滞在先は、スウェーデン・キルナの Swedish Institute of Space Physics (IRF) で、他の予算と合わせて 2.5 ヶ月ほど滞在した。私の観測器の新しいところは、深層学習モデルを使ってオーロラの出現場所をリアルタイムに導出し、ジンバルを制御することでカメラをオーロラの方へ自動的に向ける機能を搭載しているところなのだが、この手法の詳細は学会や研究会でも何度か話しているし、博士論文にも書いたものでそちらを参照していただきたい。

私は昨年 of オーロラシーズンも IRF に滞在していたので、今回は二度目の滞在になる。なので、真新しいことは特になく、見知った方々といつも通りの仕事をするという感じであった。典型的な平日の過ごし方は以下の通りである。

- 8:30 オフィス着；昨晚のオーロラのチェック
- 9:30 フィーカ (fika) or 野生動物の世話
- 10:30 論文書き or データ解析
- 12:30 ランチ
- 13:30 論文書き or データ解析
- 17:00 退勤
- 18:00 オーロラが出れば眺めつつデータチェック
- ??:?? オーロラが見えなくなり次第就寝

この他に週に何度か会議やセミナーが入るが、基本的には朝から晩までオーロラに向き合うことができた。会議は、「その場でみんなが何かを考える時間」ではなく、「各々が考えたことを収束させ、全体としての意思決定をする場」として機能していたため、拘束時間が短くストレスフリーであった。

遊んでいるように見える時間があるとすれば、「フィーカ」であろう。これはスウェーデンに存在する伝統的な文化で、職場の仲間と一緒にコーヒーや紅茶を飲みながら世間話をする時間のことを指す。ここでの会話は、街で行われるイベントや週末の予定など、文字通りの世

間話になることも多いのだが、磁気嵐などの影響でオーロラがよく出た日の翌日には、様々なバックグラウンドを持つ科学者と多角的な議論を行うことができる。これには磁力計や光学観測を得意としている IRF の科学者だけでなく、キャンパスに併設されている EISCAT 本部の科学者・エンジニアも含まれる。最近のオーロラの観測研究では、カメラによるデータのみで 1 編の論文が完結することは少なく、同じ現象を複数の機器で観測したデータを用いて論文を書くことが普通である。私はかれこれ 6 年近くカメラで撮ったオーロラの映像を見続けているため、カメラによるデータの解釈には多少の知見を持っているが、他の観測データの解釈を独力で行うのは難しい。そのため、様々な観測の専門家と議論ができることは、効率的に論文を書く上で重要な役割を持つ。

実際に、フィーカでの議論をきっかけに、昨年度はショックオーロラという現象の論文を書くことができたし、今回の滞在ではオメガバンドオーロラ of 原稿を仕込むことができた。一見、「無駄」に見える時間が論文 of 効率的な執筆に役立ったという経験から、闇雲に「無駄」を削れば良いというわけではないことや、ゆとりを持って働くことで却って成果が出やすくなるという学びを得ることができた。



図 1 カメラのメンテナンス @ Tjautjas, Sweden

<指導教員>

細川敬祐 (電通大), Urban Brändström (IRF の受入教員)

AGU Fall Meeting 2023 参加報告書

氏名：永谷朱佳理

所属：三好研究室 (M2 学年)

滞在期間：令和 5 年 12 月 10 日～12 月 16 日

滞在先：サンフランシスコ

滞在国内：アメリカ

私は本支援の援助を受け、2023 年 12 月 11 日から 12 月 16 日にアメリカのサンフランシスコ Moscone Center で開催された American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting 2023 に参加した。12 月 14 日には Circulation of Heavy Ions and Their Role in Regulating Plasma Dynamics セッションで、”Statistical analysis of magnetospheric molecular ions from the Arase observations” というタイトルで口頭発表を行った。

本研究では、内部磁気圏で観測を行うあらせ衛星に搭載されている粒子観測器 LEPI (Low-Energy Particle Experiments - Ion Mass Analyzer) の飛行時間分析 (TOF、Time-of-Flight) データから分子イオンカウントを推定する手法を開発した。開発した手法から得られたデータセットから、これまで観測が難しかった分子イオンについて統計解析を行った。解析の結果、磁気圏分子イオンカウントは太陽風動圧やサブストーム、磁気嵐の大きさとよい相関があることがわかった。また、酸素イオンカウントと分子イオンカウントは異なる長期変動をしていたことがわかった。太陽風動圧の増大や磁気嵐、サブストームがもたらした対流電場の増大によって、電離圏での分子イオンの生成が大きくなること、またその反応を通して酸素イオンが減少することが本結果の原因であることを考察した。

私にとって初めての対面での海外学会への参加であり、また初めての英語での口頭発表であった。とても緊張したものの、英語で大人数の前で発表するという貴重な経験をする事ができた。また最先端の研究を行う海外の研究者のみなさんと直接議論を行うことができた。この経験は、学会に現地参加させていただいたことで得られたものであり、とても意義のある交流であった。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。

AGU Fall Meeting という毎年 2 万 5 千人を超える参加者の非常に大きな学会で、現地で口頭発表をするという

非常に貴重な経験をすることができました。このような経験ができたのは、本支援のおかげです。本学会への参加を支援してくださった国際連携センターのみなさまに感謝いたします。



図 1 口頭発表の様子

<指導教員>

三好 由純

AGU annual meeting 2023 report

Name : Liwei Chen

Affiliation : Graduated school of Engineering

Division for Ionospheric and

Magnetospheric Research (Grade D2)

Duration of the stay : 2023/12/10~12/17

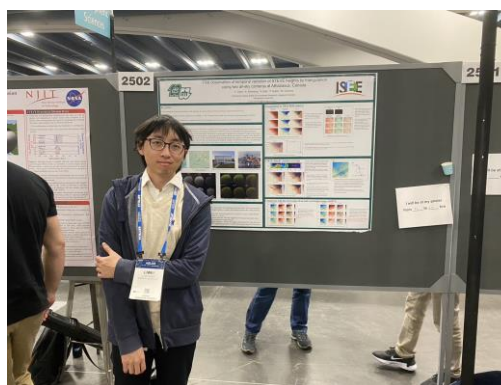
I am glad to attend American Geophysical Union (AGU) annual meeting which was held in San Francisco during December 11th to 15th. The meeting attract many Scientists, students and contributors to share their discoveries and exchange opinion about their researches. During the meeting I enjoyed listening to excellent presentations, meeting old friends and making new friend, and making presentation about our research. On the last day of the meeting, I made a poster presentation with the title 'First observation of temporal variation of STEVE heights by triangulation using two all-sky cameras at Athabasca, Canada'. The Strong Thermal Emission Velocity Enhancement (STEVE) is a purplish westward surging arc, which become a popular topic among scientific community since 2016. In my presentation I introduced a unique campaign observation of a STEVE event in Canada in the last year. For the first time we estimate the temporal variation of STEVE altitudes in 1-min resolution by triangulation using two synchronized Nikon D610 all-sky cameras. Our result shows that the height of STEVE arc was stable at ~150-170 km for most time, while a short elevation from ~160 km to ~200 km of the STEVE arc km is also found. The altitude of the green fence structures was stable at ~110 km. The upward motion of the STEVE arc was not aligned with local magnetic field line, suggesting the existence of an $E \times B$ equatorward drift of the STEVE. We also find that STEVE arc moved closer to the 630 nm emission when it was at a higher altitude at ~200 km. I have finished the first version of the manuscript and plan to submit it soon.

In my poster presentation, I talked to about ten people and received many valuable suggestions. Some listeners commented that our estimated altitude is

consistent with some other observations and simulations. Many people also suggested to compare the triangulation between different channels of color images. Thus I plan to add some detail comparison of green and blue channels between two cameras in the future. I would like to express my sincere thank to CICR, ISEE for supporting me to join the conference. It was an wonderful experience for me to talk with researchers all over the world, advertise our work and receive valuable suggestions and inspirations.



Pic1 Lobby of the conference



Pic2 My poster presentation

<Supervisor' s name>

塩川 和夫 (SHIOKAWA Kazuo)

MAVEN 探査機搭載 IUVS による火星オーロラデータ解析のための LASP 滞在

氏名：沖山 太心

所属：東京大学 関研究室（博士課程 2 年）

滞在期間：令和 5 年 11 月 12 日～12 月 9 日

滞在先：コロラド大学ボルダー校 LASP

滞在国内：アメリカ合衆国

本海外派遣の目的は、私たちの開発した火星ディフューズオーロラモデルの結果と比較するための観測データを作成することである。火星ディフューズオーロラとは、太陽の爆発現象に由来して発生する太陽高エネルギー粒子（電子や陽子）によって引き起こされる。太陽高エネルギー粒子の到来の様な極端現象時の火星、もしくは火星の様に磁場の弱い惑星の応答を調べるためにディフューズオーロラは有用である。私たちのモデル研究では、CO₂+UVD という発光帯を調べている。しかし、火星ディフューズオーロラが顕著に見られた 2017 年 9 月のイベント時の発光時系列データは CO Cameron Bands のみで CO₂+UVD の発光時系列データは現在発表されていない (Schneider et al., 2018)。そこで、2017 年 9 月の火星ディフューズオーロライベント時の CO₂+UVD の発光時系列データを作成した。また、私たちのモデル計算では、太陽光エネルギー電子が引き起こすオーロラは、磁力線の向きが地表面に水平に近いほどオーロラ発光高度分布が広がり、高度 50-100 km の平均発光輝度が大きくなる傾向が見られている。この傾向が観測データでも見られるかも調査した。

コロラド大学ボルダー校 LASP では、MAVEN 探査機搭載の撮像紫外線分光器 (IUVS) のデータ解析の手法を学んだ。最初に、IUVS の装置特性について資料をいただき、その内容を学習した。それにより、装置データがどの様に取り、どの様にデータが保存されているか学べた。また、宇宙線など観測に支障をきたす要因などについても学べた。次に、IUVS のデータを読み込むための独自作成のプログラムをいただきデータ解析を行なった。

データ解析として最初に、高度 50-100 km の CO₂+UVD のオーロラ発光強度の平均値を求め、時系列データを作成した。その結果を図 1 に示す。これにより、モデル計算結果と比較するための観測データを作成することができた。また、この結果から特に、2017 年 9 月 13 日 17 時 11 分頃 (Outlimb 観測) の平均輝度と 2017 年 9 月 13 日 20

時 12 分頃 (Inlimb 観測) の平均輝度が短時間で増加していることがわかった。またこの期間中は、オーロラを引き起こす太陽高エネルギー粒子のフラックスは時間と共に減少している。この発光強度増加の理由を調べるため、オーロラ発光高度プロファイルを作成した。

図 2 は、2017 年 9 月 13 日 17 時 11 分頃 (Outlimb 観測) と 2017 年 9 月 13 日 20 時 12 分頃 (Inlimb 観測) の CO₂+UVD の発光高度分布を示している。この二つの高度分布の比較から、Inlimb 観測のオーロラ発光高度分布は、Outlimb 観測のオーロラ発光高度分布に比べて、広がった分布である可能性が示された。

さらに詳しく調べるために、Outlimb 観測と Inlimb 観測の観測地点を調べた。その結果、Inlimb 観測が火星地殻磁場の比較的強い場所での、Outlimb 観測では比較的地殻磁場の弱い場所でのオーロラを観測していることがわかった。

このことから、私たちのモデル計算が予測している磁力線の向きによるオーロラ発光高度分布の変動が見えている可能性がある。Outlimb 観測は火星周辺に巻き付いた太陽風磁場の影響で地面に平行に近い磁場構造をしており、オーロラ発光高度分布が広がり、Inlimb 観測は地殻磁場により磁力線が地面に垂直に近い構造をしており、オーロラ発光高度分布が狭まった可能性がある。しかし、他の要因として、装置のコンタミネーション、観測ジオメトリの変化、地球物理学的変動 (中性大気、粒子フラックス、粒子エネルギー分布、太陽光エネルギー電子と陽子の寄与の比などの変動) などが挙げられ、発光高度分布の変動を説明するためには更なる研究が必要である。

まとめとして、コロラド大学ボルダー校 LASP に滞在し、MAVEN 探査機搭載撮像紫外線分光器 IUVS のデータ解析手法について学んだ。その結果、数値モデルと比較するための観測データを作成することができた。また、私たちのモデル計算が予測しているオーロラ発光高度分布が高度方向に広がる可能性を調べることができた。また、滞

在中のセミナーや議論を通して現在執筆中の論文原稿をまとめることができた。今回の LASP 滞在中に学んだ内容を活かし、モデル研究と観測データ解析を進め火星の宇宙環境の理解を深めていきたい。

最後にこの様な機会を与えてくださった国際連携研究センターの皆様、名古屋大学 ISEE の皆様、指導教員である関教授、LASP で研究をサポートくださった Schneider 教授、Jain 博士、Cessna 博士、そして支援くださった関係者の皆様に心より感謝申し上げます。



図 3: コロラド大学ボルダー校バッファロー像の前での写真

<参考文献>

- 1) Schneider, N. M., Jain, S. K., Deighan, J., Nasr, C. R., Brain, D. A., Larson, D., et al. (2018). Global aurora on Mars during the September 2017 space weather event. *Geophysical Research Letters*, 45, 7391-7398. <https://doi.org/10.1029/2018GL077772>

<指導教員>

関 華奈子

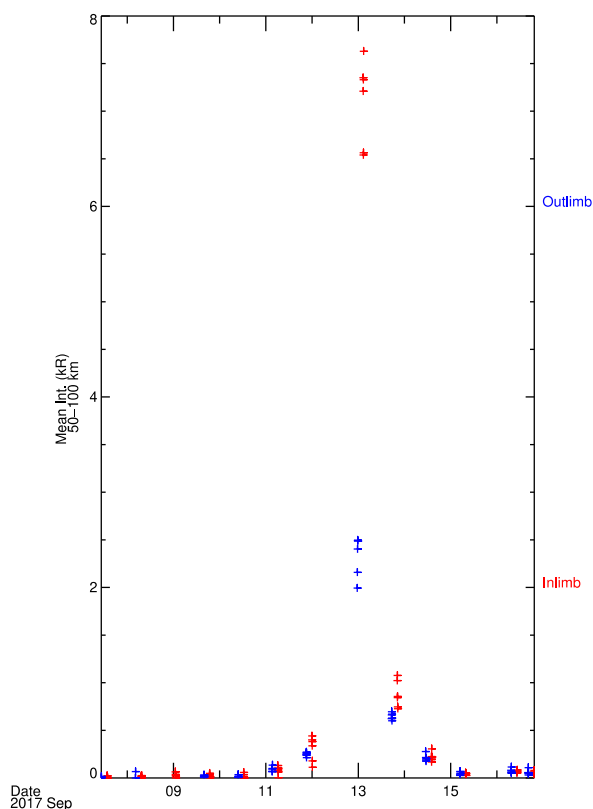


図 1: 2017 年 9 月のディフューズオーロライベントの平均発光強度プロファイル

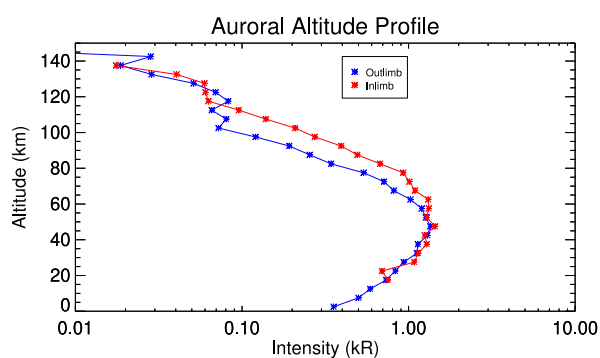


図 2: オーロラ発光高度分布

2023年度 融合研究戦略課題 目次詳細

10 件

*所属・職名は2024年3月現在

*Affiliation and Department displayed are current as of March 2024.

研究代表者 Principal Investigator	所属機関・部局* Affiliation and Department	職名* Job title	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
MENDEZ Carlos	名古屋大学大学院 国際開発研究科	准教授	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	352	
門脇誠二	名古屋大学博物館	教授	元寇金属器の地球化学分析・年代測定:「コンクリーション考古学」の展開に向けて	354	
富田英生	名古屋大学大学院工学研究科	准教授	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	356	
村岡裕由	岐阜大学 流域圏科学研究センター	教授	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	357	
渡邊智彦	名古屋大学大学院 理学研究科	教授	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	359	
市原大輔	名古屋大学大学院工学研究科	助教	宇宙開発に伴う大気汚染評価	361	
端場純子	名古屋大学附属図書館	係長	デジタルアーカイブの活用可能性と求められる機能について	363	
砂田茂	名古屋大学大学院工学研究科	教授	観測業務におけるヘリコプタ利用の可能性検討	365	
渡邊 誠一郎	名古屋大学大学院環境学研究科	教授	太陽系年代学の進展と放射線環境変動研究との融合	367	
杵淵紀世志	名古屋大学大学院工学研究科	准教授	プラズマ推進機を利用した宇宙プラズマシミュレータの検討	369	

(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）

2023年12月14日と15日、名古屋大学国際開発大学院（GSID）と宇宙地球環境研究所（ISEE）は共同で、「AI時代の持続可能な開発のモニタリング」をテーマにした研究ワークショップを開催しました。このワークショップの特別講演者には、日本宇宙航空研究開発機構（JAXA）、経済産業研究所、一橋大学のトップリサーチャーが参加しました。イベントには卒業生向けのトレーニングセッションや現在の研究プロジェクトに関するディスカッションセッションも含まれていました。

研究結、果考察、まとめ

最近の衛星地球観測（EO）データを扱ったイベントは、この技術が社会経済問題に取り組む上で持つ計り知れない可能性を探る説得力のあるプラットフォームを提供しました。このワークショップは、学際的な研究コラボレーションを促進する上で極めて重要な第一歩となりました。宇宙地球環境研究、開発研究、地域研究、経済学、データサイエンス、ジオインフォマティクスなど、多様な分野の専門家が集結しました。

宇宙航空研究開発機構（JAXA）はこのイベントで中心的役割を果たし、アジア太平洋地域全体におけるEOを活用した開発イニシアチブを紹介しました。JAXAの発表は、衛星データがセクターを超えて情報に基づいた意思決定を促進し、より持続可能で公平な未来への進歩を後押しする方法を強調しました。

このイベントはさらに、衛星EOデータが経済研究に革新をもたらす変革的な方法を紹介しました。専門家たちは、リモートセンシングデータと夜間光分析が、経済活動のパターンについて前例のない洞察を提供することを示しました。研究者は、光の強度の変化を追跡することで、経済発展、都市化、そして地域格差さえも理解することができます。この革新的なデータソースは、経済学者に複雑な経済ダイナミクスを分析するためのユニークな視点を与えます。

研究者がこれらの強力なデータセットを活用するためのスキルを向上させることは重要な焦点でした。降雨の衛星全球観測データ（GSMaP）の取り扱いと、夜間光データの処理・分析のためのPython活用に関する実践的なトレーニングセッションが行われました。これらのセッションは、研究者が自分のプロジェクトで衛星EOデータを独立して活用するためのスキルを身に付けるために不可欠でした。

さらなる学術セッションでは、衛星EOデータの多角的な応用事例が紹介されました。議論は、持続可能な開発目標（SDGs）の達成のための海洋モニタリングから、Google Earth Engineを使用した地域時系列データの生成まで多岐にわたりました。研究者たちは、衛星ベースの車両流動データを使って局地経済活動を評価する方法や、ビッグデータ、調査、機械学習を統合して多次元の貧困をマッピングする方法など、洞察力に富んだ事例研究を発表しました。

イベントの集大成となったのは、学際的な研究の促進に関する刺激的なパネルディスカッションでした。専門家たちは、衛星EOデータの真の力は、さまざまな分野の研究者の間の架け橋になる能力にあるこ

とを強調しました。経済学者、環境科学者、データサイエンティスト、開発実務者間の連携は、これらの豊富なデータソースの可能性を最大限に引き出すために不可欠です。

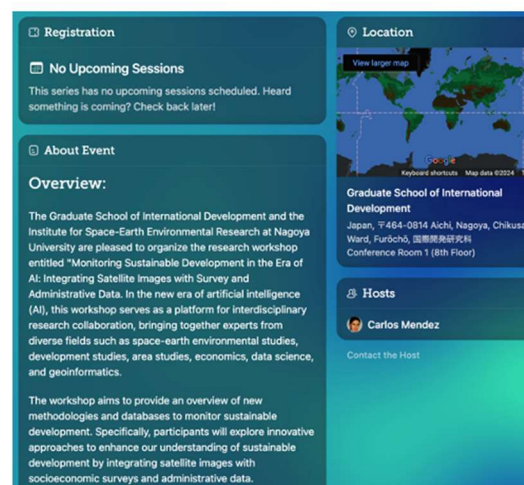
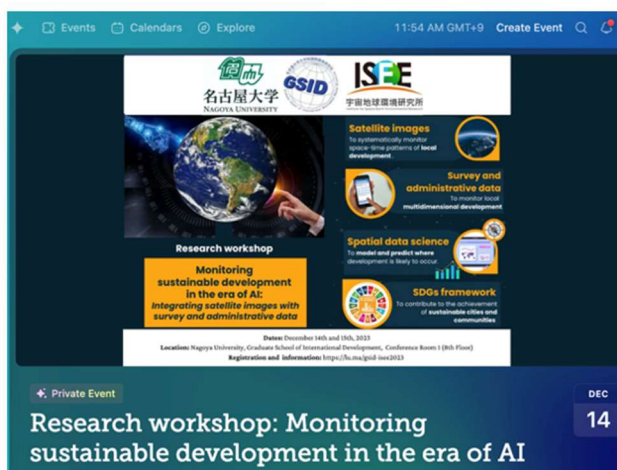
結論として、このイベントは衛星 EO データが計り知れない応用を持つ変革的なツールであることを明らかにしました。衛星 EO データは、複雑な社会経済問題に取り組んだり、SDGs の進捗状況を監視したり、これまでアクセスできなかった経済パターンを明らかにしたりするために活用することができます。衛星データへのアクセスが改善し、分析ツールがより使いやすくなるにつれて、今後ますます画期的な研究とデータドリブンな開発ソリューションが生まれることが期待されます。

成果発表

- Mendez Carlos, Exploring economic activity from outer space: How to use Python to process and analyze satellite nighttime lights, GSID-ISEE workshop 2023: Monitoring sustainable development in the era of AI, Graduate School of International Development, Nagoya University, 2023-12-15.
- Mendez Carlos, Mapping multidimensional poverty in Cambodia: Integrating big data, socioeconomic surveys, and machine learning, GSID-ISEE workshop 2023: Monitoring sustainable development in the era of AI, Graduate School of International Development, Nagoya University, 2023-12-15.
- Takahashi Nobuhiro, Global satellite mapping of precipitation (GSMaP): Principles and data handling, GSID-ISEE workshop 2023: Monitoring sustainable development in the era of AI, Graduate School of International Development, Nagoya University, 2023-12-15.

ワークショップの記録

URL: <https://lu.ma/gsid-isee2023>



(別紙様式-2)

元寇金属器の地球化学分析・年代測定：「コンクリーション考古学」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ー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ー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、コンクリー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、コンクリー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、コンクリー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ー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。すなわち、鉄器中の炭素含有量は低く、埋没中に外から混入する汚染炭素の影響を大きく受けるため、鉄器の鉄部分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が、コンクリーションの炭酸部分の炭素は当時の海水の溶存無機炭素あるいは木材の炭素が主な起源と考えられるため、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。

より広い観点からは、遺物の埋没環境（遺跡の形成過程）に関して新たな情報を開拓することが可能となり、人類史の考古学的研究にユニークな貢献をすると考えられる。遺物や遺構がコンクリーションによって良好に保存されている場合があり、そのメカニズムが解明されれば、遺物や遺構の保存科学への応用も期待される。

研究方法

上記の目的の下、具体的な研究対象として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ーションを用い、その形成過程を解明するための分析を開始した。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。1281年（弘安の役）に元の船団が沈んだ鷹島海底遺跡（長崎県）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、金属器の表面が炭酸塩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、コンクリー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明らかになっていない（文化庁文化財第二課 2022, p. 167）。

本研究の基礎となるコンクリー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（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。その研究で実施されてきた分析技術を本課題においても用いる。具体的には、金属器を覆うコンクリーションの形成プロセスを明らかにするために、コンクリーションの年代測定や化学組成測定、元素マッピング、鋳物同定、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、元素マッピングや鋳物同定、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）を使用した。

進捗状況

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（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。

2023年11月17～18日、研究メンバー5名（門脇、吉田、南、脇谷、柳田）が松浦市立埋蔵文化財センターを訪問し、金属器コンクリー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った。その結果、松浦市と名古屋大学博物館のあいだで協定を締結した（2023年12月4日）。この協定は、文化財関連標本の相互活用などの連携協力を行うことにより、教育研究・文化財保護・社会貢献を拡充することを目的とするものである。

この枠組みの下で、元寇船の鉄釘の周囲に形成されたコンクリーションを分析試料として提供いただくことができた（図1）。この遺物は以前に釘の金属学的分析に用いられたものであり、2つに切断された状態である（大澤 2005）。鉄釘自体は腐食によってほぼ失われ、試料断面にみられる3つの方形の空洞になっており、その周囲にコンクリーションが形成されている。その表面付近には貝殻も取り込まれている。今年度は、この試料の写真撮影を行うと共に、断面のX線顕微鏡観察（元素マッピング）、および断面の数か所からサンプリングを行い、X線回折による鉱物同定、そして炭素の安定同位体分析を行った。その結果について、2024年2月19日に研究メンバー5名が名古屋大学博物館に集まって議論を行い、現在も解析・考察を実施中である。

今後の予定

コンクリーション形成過程の解明のためには、その埋没環境に関する情報が重要であるため、今後は鷹島海底遺跡の発掘調査に参加し、鉄器コンクリーションの出土状況の確認と堆積物のサンプリングを行う予定である。特に、コンクリーション形成における微生物の関りを検討するため、その専門家との海底からの試料採取も含めた共同研究を計画している。

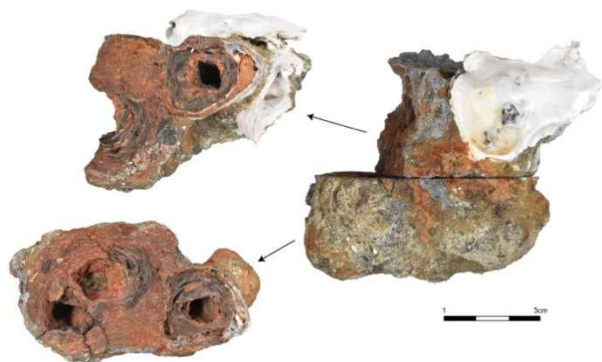


図1 鷹島海底遺跡出土の鉄器コンクリーション（試料No. 1357）。鉄釘は腐食によってほぼ失われ、断面に見える複数の方形の空洞になっている。その周囲にコンクリーションが形成されている。

引用文献

大澤正己（2005）「鷹島海底遺跡出土釘の金属学的調査（速報）」『鷹島海底遺跡XI』33～46頁、長崎県鷹島町教育委員会。

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)

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。 ^{14}C の天然同位体存在比の僅かな変動を解析して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、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 同位体比が異なる。このため、 ^{14}C 同位体比により有機資源の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) に開発している。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、AMSとの比較により、 ^{14}C -CRDSの定量性を評価することを目的とした。

【実施項目】

1. 燃焼 CO_2 の導入法の検討

^{14}C -CRDSの燃焼部・分離部の後段に、燃焼 CO_2 封入系を接続した。封入した CO_2 ガスは、AMS前処理用グラファイト化装置および ^{14}C -CRDS装置に導入することができるため、同一条件の CO_2 試料を各装置で測定し、比較すること可能となった

2. ^{14}C -CRDS分析による定量分析の問題点抽出

工学研究科所有の ^{14}C -CRDS装置を用いて、試料をフロー測定する際の問題点を検討した。分析手順は以下の通りである。まずCRDSチャンバー内に N_2 を流してセル内を洗浄した後、 N_2 側バルブを閉じ、チャンバー内を減圧した。その後、封入管側バルブを開放することで、差圧によって試料ガスをチャンバー内へ導入した。導入時の圧力を圧力制御器で制御することで、測定時のセル内圧力を一定を維持することが確認された。一方、圧力一定の条件でも $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 同位体比の測定結果には1%程度のばらつきが見られた。このことから、測定ガスの温度制御を行う必要あると示唆された。

3. ^{14}C -CRDSとAMSの相互比較に向けた検証用試料の検討

^{14}C -CRDS分析法の特性を評価するための試料(ワーキングスタンダードおよびブランク試料)を検討するために、D-グルコースおよびL-グルコース試料をAMSにて測定した。これらを燃焼させた CO_2 ガスは1で示した封入系で保持し、グラファイト化とAMS測定は年代測定研究部により実施された。AMSによる測定の結果、 ^{14}C -freeと想定していたL-グルコース(化学合成品)にも、 ^{14}C が混入していることが判明した。このため、新たなブランク試料の検討が必要であることが明らかとなった。

【今後の課題】

^{14}C -CRDS分析による定量分析の定量性を確保するために、測定ガスの温度を一定に維持し、分析性能の再評価を実施することが求められる。また、AMSによる検証用試料中の ^{14}C 測定結果と ^{14}C -CRDSの測定値を比較し、本手法の定量性と適用範囲を明らかにする予定である。

【成果発表】

柘植 紘汰、富田 英生ら、多重置換同位体分子計測のための中赤外キャビティリングダウン分光システムの開発、第21回同位体科学研究会、芝浦工業大学、2024年3月8日

(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・流域圏科学研究センター

【目的】

本課題では、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關係）』として仮定し、科学と社会（行政、企業、市民など）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た。

【方法】

ワークショップ（対面2回、リモート1回）を開催し、社会の具体的環境課題、及び研究課題の洗い出しと相互関係性の分析を行った。特に「流域の水資源管理」、「森林の炭素吸収源対策」、「流域環境の変化による社会的リスクと機会」を主要なテーマとし、同時に、「人間の介入（利活用、管理）の在り方」を考慮した。第1回ワークショップは2023年12月8日に名古屋大学にて開催し、翌日12月9日には名古屋大学フューチャー・アース研究センター公開シンポジウムに参加し、関連性の高い課題について議論した。第1回ワークショップの結果の分析と第2回ワークショップ（2024年2月27日、名古屋大学）の設計のためにリモート会議を2024年1月9日に開催した。第2回ワークショップでの議論を総括し、岐阜大学流域圏科学研究センターシンポジウム（2024年3月26日、岐阜大学）において発表した。

【結果】

本課題では岐阜大学と名古屋大学において「環境」をキーワードとした研究者の小グループによるワークショップを実施し、自然環境と人類社会に注目した研究テーマの洗い出し、研究推進における学術的課題、研究成果を社会と共有して社会の環境課題を解決する際の障壁（ギャップ）の洗い出しを行った。特にこれらの検討においては、2023年7月に公開された東海国立大学機構カーボンニュートラルビジョン「地球温暖化時代の課題解決に向けて」において論じられている下記の研究課題を軸に据えた。

地球温暖化時代に持続可能な社会を構築するための研究は、自然環境、社会、経済に関わるあらゆる分野での研究とその社会実装が必要とされます。東海国立大学機構では、カーボンニュートラルの推進と気候変動への適応に資する研究を展開します。

○ カーボンニュートラルが達成された脱炭素社会のビジョンと社会シナリオの提示

- 緩和と適応を両立した社会ビジョンとシナリオ、ロードマップの作成
- 持続可能な産業・エネルギー利活用構造
- 地域が有する緩和・適応のポテンシャルの評価
- 地球温暖化時代の行動様式・ライフスタイル
- カーボンニュートラル関連施策の社会的受容、経済活動への反映

○ 地球温暖化の緩和への貢献

- 脱炭素化・再生可能エネルギー関連技術の社会実装
- 長期の地球観測に基づく自然生態系機能の診断と予測
- 自然生態系の炭素吸収源の保全と多機能性の順応的管理
- カーボンニュートラル政策の社会実装（意識改革、行動変容）

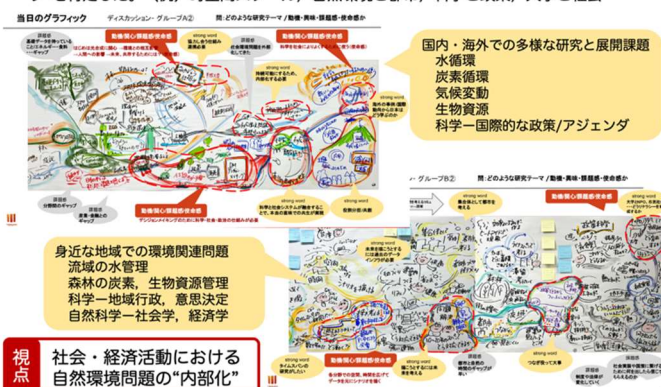
○ 気候変動への適応への貢献

- 気候変動影響の分析と地域への情報提供
- 農林水産業の適応策
- 自然を活かした防減災
- 水資源、生物資源の保全と管理
- 過去から現在に至る環境と社会の変動分析に基づいた将来設計

第1回ワークショップでは，“環境”，“社会”をキーワードとした研究テーマを，動機・興味・課題感・使命感などの観点とともに共有し，研究テーマ間の時空間的・テーマ的関連性をマッピングした。さらに，これらのマッピングを通じて，個々の課題間のギャップを特定した。すなわち，自然と都市を対象とした研究の時空間スケールの相違，気候変動や生態系，生物資源に関する科学と政策の間の距離，大学と社会の関係性などが挙げられた。これらの議論を通じた最大の発見は，地球温暖化の時代に持続可能な社会を構築するためには，社会・経済活動における自然環境問題の“内部化”を図る必要性を見出した点である。

第1回ワークショップ (2023年12月8日)

- “環境”，“社会”をキーワードとした研究テーマを，動機・興味・課題感・使命感などの観点とともに共有し，研究テーマ間の時空間的・テーマ的関連性をマッピングする試み。
- 研究課題や社会における環境問題をマッピングすることを通じて，個々の課題間の“ギャップ”を特定した。(例) 時空間スケール，自然環境と都市，科学と政策，大学と社会



第2回ワークショップでは，「流域圏」をフィールドとして，上流・中流・下流とそれらの連続した系における諸研究課題やステークホルダーとの関係性をマッピングする試みを実施した。さらに，研究分野またはテーマ間のギャップ，あるいは科学と社会のギャップを乗り越えるために必要とされる学術，コミュニケーション等のアプローチについても分析を行った。これらの議論を通じて，地球温暖化時代の持続可能な社会の構築には，アカデミアと地域が連携した研究を実施することにより将来の「流域圏」像をデザイン（共創）することが必要であると考えられた。また，そのためには，科学-社会の協働と意思決定を支援する文理融合型の新たな学術の醸成が必要であり，地域のネイチャー・ポジティブを実現する協働プラットフォームの創生が必要とされることが議論された。

第2回ワークショップ (2024年2月27日)

- 「流域圏」をフィールドとして，上流・中流・下流とそれらの連続した系における諸研究課題やステークホルダーとの関係性をマッピングする試みを実施
- 流域圏とは・・・異なる機能を持つ多様なシステムが時空間的に連続して分布しながら相互に作用する複合的でダイナミックなシステム



本研究課題で得られた結論は以下のとおりである。

- 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
- 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
- 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
- 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
- ⑤. 科学と社会を繋ぐ人材（ファシリテーター）の育成が重要

今後はこれらの分析結果に基づいた具体的な研究計画の創出，地域社会との連携アプローチの模索，研究プロジェクトの企画立案に取り組む。

(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

渡邊智彦 名古屋大学・大学院理学研究科

【研究目的】

磁場閉じ込め核融合では、数テスラを超える強力な磁場で1億度におよぶ高温プラズマ（電離したガス）を閉じ込めることで、核融合反応を連鎖的に発生させることを目指している。この系は、磁場強度やプラズマ温度に数桁の違いはあるが、地球や木星などの磁化惑星周辺におけるプラズマ環境と類似しており、また太陽や他の天体にも同様に強く磁化したプラズマが存在する。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。特に低周波数領域においては、磁場による非等方性を適切に取り入れた簡約化磁気流体方程式とそれを用いた安定性解析理論や非線形シミュレーションが発達してきた。また、超高温プラズマにおいては、粒子運動論効果や二流体効果が顕著となることから、ジャイロ運動論と呼ばれる理論が、近年、長足の進歩を遂げてきた。本研究では、磁気核融合研究で培われた理論に基づき、かつ、高性能計算科学の手法を援用して、地球磁気圏プラズマの数値シミュレーション研究を進展させ、核融合、宇宙プラズマ、計算科学の融合的研究の推進を目指している。

【研究方法】

課題実施初年度である令和5年度においては、(1)簡約化磁気流体方程式を用いた磁気圏・電離圏結合の非局所シミュレーション、および、(2)ジャイロ運動論の方程式にもとづくオーロラ発達と電子加速の統合シミュレーション、という二つの課題を設定した。いずれも、磁気核融合研究で培われた理論解析手法を用いており、磁場垂直方向には波長が短く磁場平行方向には長い波長を持つ磁気流体的揺動を扱う。そのうち、(1)は緯度・経度方向の非局所性を取り入れることのできる流体シミュレーションによって、磁気圏・電離圏のグローバルな構造がオーロラの成長・発達へ及ぼす影響を調べることができる。(2)では、プラズマの運動論と呼ばれる理論を用いて、オーロラ成長にともなう電子加速を自己無撞着に再現することを目指した課題である。本課題の支援を受けて、名古屋大学情報基盤センターにあるスーパーコンピュータ「不老」を用いて、(1)の非線形シミュレーションと(2)のテスト計算を行った。より大規模な計算資源を必要とする(2)の非線形シミュレーションには、スーパーコンピュータ「富岳」を利用した。

本融合研究課題に関連して、地球磁気圏研究を専門とする宇宙地球環境研究所の三好教授と家田助教、ならびに課題参加メンバー間で2023年12月に研究打ち合わせを行った。そこでは、数値シミュレーション結果と衛星・地上観測との比較に向けたアプローチについて議論し、また、今後の理論・数値モデル拡張の方向性について検討を行った。

また、本課題からの支援をもとに、磁気圏・電離圏結合研究において国際的に著名な研究者であるR. Lysak教授（ミネソタ大学）とC. C. Chaston博士（カリフォルニア大学）を2024年3月に訪問し、本課題で得られた結果を含む最新の研究成果について議論を行った。Lysak教授からは、木星磁気圏への応用に関して提案をいただき、また、Chaston博士からは、MMS衛星をはじめとした観測結果との比較などにおいて協力いただけることとなった。

【研究成果】

- (1) 簡約化磁気流体方程式を用いた磁気圏・電離圏結合の非局所シミュレーションについて、従来より開発を進めてきたシミュレーションコードを用いて、線形近似の下でオーロラ構造発達の解析を行った。初期に与えた波束状の密度擾乱が、背景対流電場の方向へと電離層上を伝播しつつ、増幅され

る過程を解析した。個々の擾乱は低緯度側へと伝播しながら成長と飽和・減衰を行うが、波束全体としてはフィードバック不安定性と呼ばれる物理機構を介して増幅され、緯度によって異なる磁力線長をもつ磁気圏プラズマ中であっても、局所的な分散関係を満たしつつ低緯度側へと伝播しながらオーロラ構造が発達していく様子が明らかになった。ここまでの成果を論文としてまとめ、国際学術雑誌に投稿した。

引き続き、非線形性を考慮した磁気圏-電離圏結合の非局所流体シミュレーションを行った。非局所モデルにおいても、不安定性を介して発達した擾乱が十分大きな振幅まで成長すると、それに伴う磁場垂直方向の速度変動から2次的な不安定性が成長することが確かめられた。図1に異なる時刻での電離層密度擾乱分布を示す。時刻 $390 R_l/V_A$ では、縞状のオーロラ構造中に渦が発生し、密度の増大領域が反時計回りに回転する様子がわかる。ここで、 R_l は地球中心から電離層までの距離を、 V_A は磁気流体波の伝播速度をそれぞれ表す。時間の経過とともにさらに擾乱が発達すると、その渦はより細かな渦を生成し、乱流状態へと遷移することが明らかになった(図1右)。この乱流状態において、経度方向の波数スペクトルを見ると磁気流体乱流に特徴的な冪乗則を満たしていることが確かめられた。

この成果を踏まえ、本課題について2024年度名古屋大学HPC計算科学連携研究プロジェクトにHPC人材育成枠で応募し採択いただくことができた(代表者・榊剛志)。

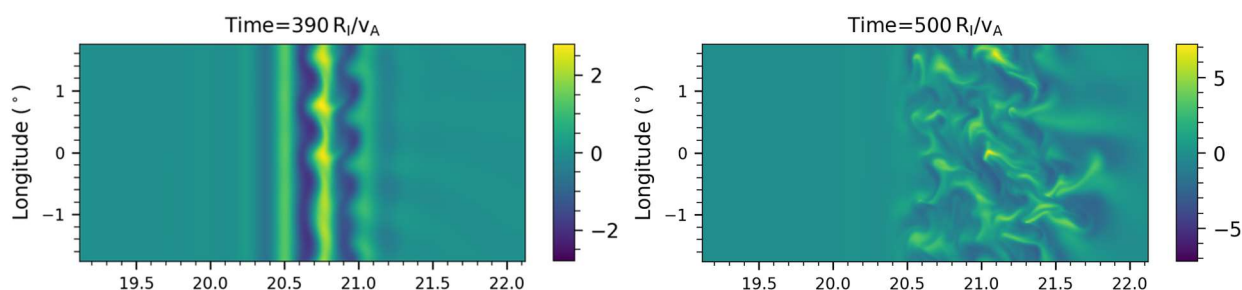


図1：磁気圏-電離圏結合の非局所シミュレーションで得られた電離層密度擾乱分布

- (2) ジャイロ運動論の方程式にもとづくオーロラ発達と電子加速の統合シミュレーションモデルを開発し、2023年度下期よりスーパーコンピュータ「富岳」を用いた解析を開始し、その初期結果を得た。ここでは直線磁場形状を仮定し、局所的な磁気圏-電離圏結合系を考えている。流体モデルの場合と同様に、磁気流体波を介して磁場に沿った電流が運ばれ、電離層上のプラズマ密度が変化する。背景電場が十分大きな値となると、上述のフィードバック不安定性が発達し、オーロラ構造に対応する擾乱が成長する。ここでは、磁気圏プラズマの記述にジャイロ運動論を用いることで、オーロラ発達とともに、磁気流体波による電子加速を自己無撞着に取り扱うことが可能となった。このシミュレーションにより、オーロラ発達をもたらす不安定性の非線形飽和過程において、正味の電子加速が生じることが確かめられた。この成果により、オーロラ発達と電子加速を同時に説明することが可能となり、人工衛星で観測されているアルヴェン・オーロラの成因に首尾一貫した理解を初めて与えることができた。

【成果発表】

上述の研究成果について以下の国際学会にて発表を行なった。他に国内学会・研究会にて、12件の発表を行った。あわせて学術論文1編を投稿中である。

1. T.-H. Watanabe, T. Sakaki, K. Fujita, and S. Maeyama, "Simulation of auroral turbulence driven in feedback M-I coupling system", 7th Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (Port Messe Nagoya, Nagoya, Nov. 12-17, 2023) (Invited talk).
2. K. Fujita and T.-H. Watanabe, "A nonlinear gyrokinetic model of the magnetosphere-ionosphere coupling system", 7th Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (Port Messe Nagoya, Nagoya, Nov. 12-17, 2023) (Contributed poster presentation).

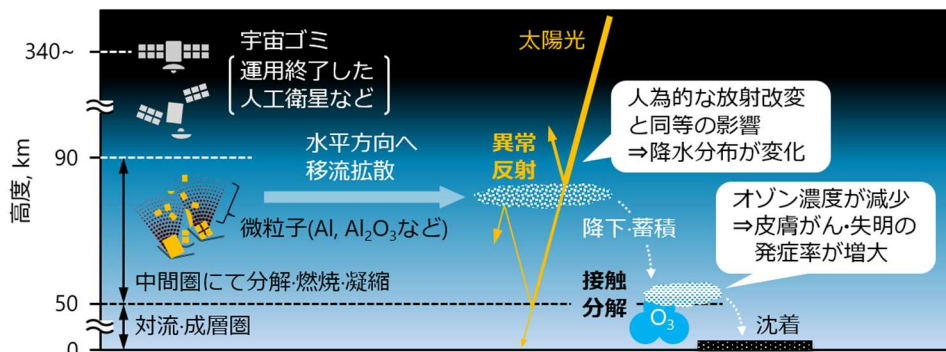
宇宙開発に伴う大気汚染評価
Investigation of Air Pollution Associated with Space Developments

市原大輔、名古屋大学・大学院工学研究科 航空宇宙工学専攻

【作成要領】

研究の目的

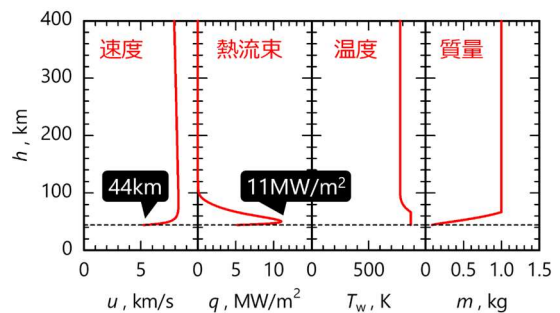
低軌道衛星からの太陽反射光が天文観測の妨げになることをめぐる最近の議論は、宇宙システムを構築する上で持続可能性を考慮する必要性を強く示唆している。特に数万機の低軌道衛星からなるメガコンステレーション計画では使用済み衛星の大気圏再突入過程においてアルミ(Al)やアルミナ(Al_2O_3)を主成分とする大量の微粒子が年間 2000 トン以上発生する。これは自然起源宇宙塵の年間飛来量 5000 トン(J. Rojas et al, *Earth Planet Sc. Lett.* **560**, 116794 (2021))に対して 40%に相当し、高高度大気(中間・成層圏)が汚染される可能性が高い(A. C. Boley et al., *Sci. Rep.* **11**, 10642 (2021))。発生した微粒子は浮遊・降下しながら移流拡散し太陽光の異常反射やオゾン(O_3)層との相互作用を通じて地球大気(化学・力学・放射特性)に不可逆的な変化を引き起こす(下図参照)。これは気候工学における人為的な放射改変と同等の影響をもたらす。将来世代の気候危機が高まる懸念が大きい(M. N. Ross et al., *Sci. AM.* Feb (2021))。したがって、宇宙産業の持続可能性を高めるべく環境負荷を考慮した適切な国際規制を制定するためには、宇宙ゴミの最終処分時に排出される微粒子及び地球大気への影響に係る基礎データの取得と環境影響評価とが必要である。宇宙ゴミの大気圏再突入手法に関する研究は国内外にてこれまで精力的に実施されてきたが、本研究では再突入による宇宙ゴミの焼却処分そのものが地球大気に及ぼす影響の解明に取り組む。



研究概要図

研究成果の概要

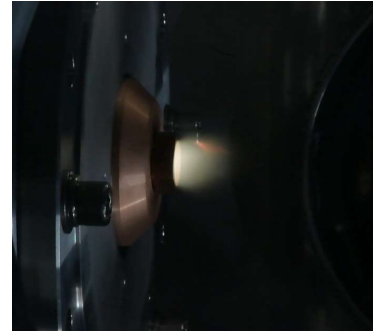
今年度はスケールモデル実験に必要な大気圏再突入時の空力加熱環境を模擬可能な小型高エンタルピー風洞の製作に注力した。高エンタルピー風洞の最重要設計要点として供試体への熱流束が挙げられる。風洞の仕様を決定すべく運動量・エネルギー保存測に基づいて、1U サイズ(10cm×10cm×10cm)の超小型衛星(質量 1kg)が高度 400km から垂直落下する状況を想定した数値計算を実施した。大気データには全地球標準大気モデルの 1 つである NRLMSISE-00 を用いた。各高度における再突入体の速度、熱流束、表面温度、質量の変化を右図に示す。高度 100km 付近までは大気密度が低いことから空気抵抗に伴う減速及び空力加熱による物体表面の温度上昇は見られず、むしろ重力加速を受け物体の落下速度は向上する。しかしながら高度 100km 未満では大気抵抗による空力加熱が徐々に始まり高度 50km 付近にて熱流束は最大 11MW/m^2 に達した。これに伴って表面温度が物体の昇華温度を上回り、物体の質量が減少し始める。最終的には高度 44km において燃え尽きるものと予測された。本数値計算結果に基づき、高エンタルピー風洞にお



高度 400km から自由落下する小型衛星の速度、熱流束、温度、質量履歴

る目標熱流束を 10MW/m^2 と定めた。

続いて、上記熱流束の達成に必要なプラズマ源を設計し作動試験を行った。圧縮性流体におけるチョーク条件を考慮し、スロート径 3.0mm 、ノズル出口径 20mm 、半頂角 15 度、設計 Mach 数 5.7 の銅製ラバールノズルも作成した。圧縮空気を作動ガスとすることから電極の酸化が想定される。そこで、市販のプラズマ切断機にも採用されるハフニウム製陰極を用いた。上記再突入計算に基づく、再突入環境における空力加熱は高度 $40\text{--}100\text{km}$ にて生じる。この時の大気圧は $30\text{mPa--}300\text{Pa}$ と 4 桁にわたって変化する。実験時の雰囲気圧を模擬すべく、直径 1m 、長さ 3m の真空チャンバー端部に前述のプラズマ源を設置し本研究にて新規に購入したドライポンプで減圧しつつ、コンプレッサーから圧縮空気を最大 50slm 供給した。市販のプラズマ切断機用電源 A-70(株式会社ダイヘン製)を用い、放電電流は 15A に設定した。作動試験としてまずは大気圧下にて生成した高速プラズマ気流の写真を右図に示す。窒素特有の黄色く発光する大気圧プラズマがノズル出口から約 20mm にわたって発生していることが確認できる。圧縮空気の供給量を $20\text{--}50\text{slm}$ の範囲で変化させると放電電圧は $120\text{--}160\text{V}$ にわたって変化した。これにより作成したプラズマ源にて作動ガス流量、即ち物体への熱流束と雰囲気圧とを変化させつつ再突入に伴う空力加熱を部分的に模擬できる高エンタルピー風洞を試作することができた。今後は本風洞にて再突入体を模したアルミ球を実際に加熱し、アブレーションに伴って発生した金属微粒子を捕集・解析する予定である。



試作したプラズマ源の作動試験

デジタルアーカイブの活用可能性と求められる機能について
Potential utilization of digital archives and required functions

端場純子 名古屋大学附属図書館

1. 背景と目的

附属図書館では、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並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の一つとして、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デジタルアーカイブプラットフォームの構築を進めており、2024年度に公開予定である。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を期待している。

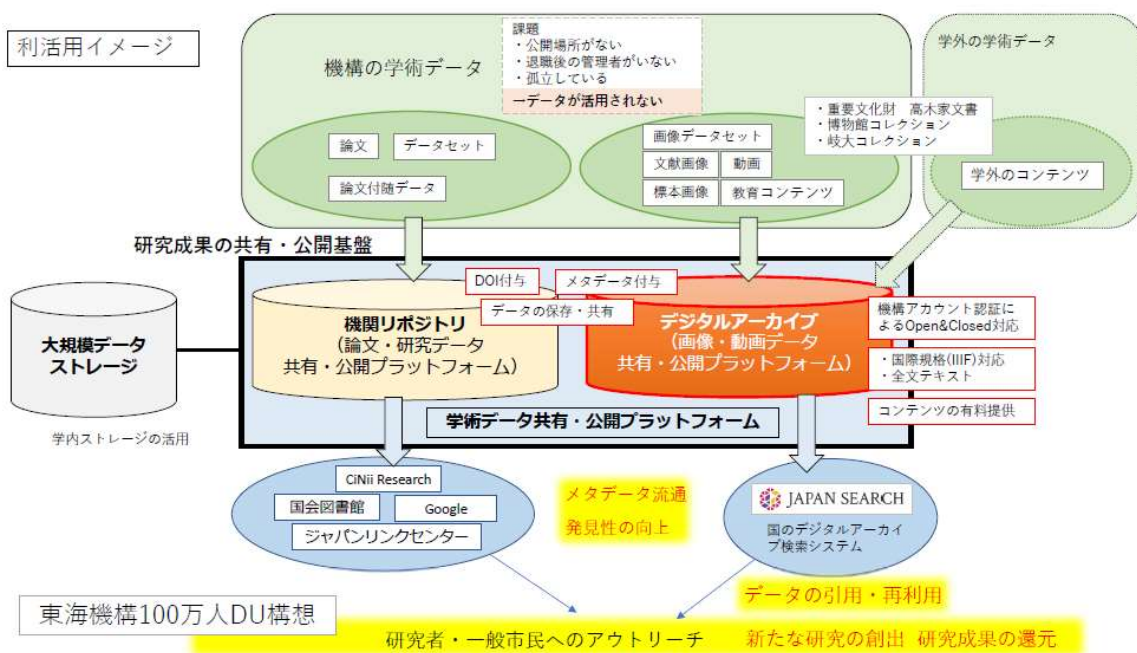


図1 機構デジタルアーカイブプラットフォーム概要図

デジタルアーカイブは特に古典籍の利活用が進んでおり、宇宙地球環境分野では国立極地研究所が国文学研究資料館の古典籍資料を用いて行ったオーロラに関する研究¹がある。本学は江戸時代の旗本・西高木家の旧蔵文書群である高木家文書を所蔵しており、豊富な治水関係資料に加え、日記等の家政関係文書も多数保有していることから、これら資料の活用を検討するため意見交換会を開催した。

¹ <https://www.nipr.ac.jp/info2023/20230427.html>

2. 実施概要

「高木家文書の利活用に関する意見交換会」

日時：2024年2月21日（水）10:00-12:00

場所：中央図書館5階大会議室

参加者：石川寛准教授（人文学研究科 / 附属図書館研究開発室兼任室員），三好 由純教授，菊地亮太特任准教授（宇宙地球環境研究所），端場純子，眞野博和，佐藤久美子，鬼塚昌枝，大野尚子，小嶋悦子（附属図書館）

内容：

- 1) 趣旨説明（端場）
- 2) デジタルアーカイブプラットフォームの説明（眞野）
- 3) 高木家文書の概要説明（石川准教授）
- 4) 意見交換

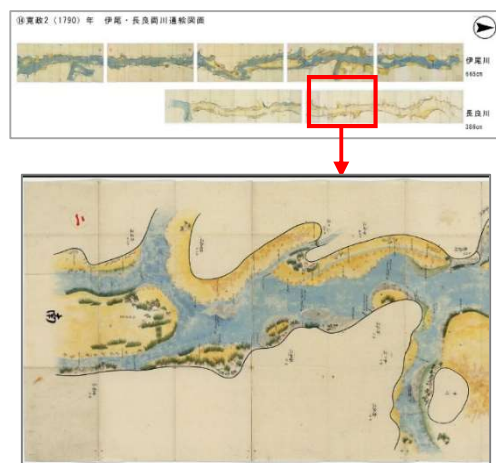


図2 高木家文書 名古屋大学附属図書館蔵

3. 意見交換会まとめ

高木家文書は江戸期の旗本高木家の文書群である。江戸初期から明治期まで（17～19世紀頃）の古文書，古記録，絵図類から成り，近世文書では国内屈指の文書群となっている。旗本地行制，木曾三川流域における治水などの特色ある内容を含んでおり，古文書としての研究だけでなく，名古屋市博物館の災害の展示会や減災研究など異分野でも活用されている。18世紀半ばから20世紀にいたる日記の中に自然現象などの記述も含まれており，古記録を使った過去の気象に関する研究や，過去の歴史情報を復元していくという研究もあり得る。

意見交換では次のような意見があった。

- ・ 紙の原料や状態など，デジタル化で失われる物理的な情報がある。それらの取り込みが課題となる。
- ・ 絵図に書かれた情報をデータベース化するために，位置座標があるとよい。
- ・ 日記の記述から気象情報を読み取る場合，くずし字の解読が必要になる。
- ・ 利活用のためには，機械可読であることや，データの品質管理が重要になる。また，適切なメタデータ項目を用いる必要がある。
- ・ メタデータは機械学習による自動付与も考えられる。
- ・ 具体的な研究プロジェクトがあると認知してもらいやすい。
- ・ 古文書が読めない研究者にも使いやすい加工されたデータが必要である。

古記録を使った気象研究は他にも事例があり，ユースケースを紹介するワークショップを企画してはどうかという意見もあった。名古屋大学は2024年4月に「デジタル人文社会科学研究推進センター」を設立し，デジタルデータの積極的な公開や相互利活用を促進することをミッションの一つに掲げている。附属図書館は全学の支援組織として今後も分野を超えた融合研究に資する活動をしていきたい。

(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・工学研究科航空宇宙工学専攻

研究目的

本申請研究には2つの大きな目的がある。1つ目は、貴組織の活動にヘリコプタを利用した観測を取り込むきっかけを作ることである。この目的には、以下の3つの背景がある。①貴組織では固定翼機での観測が盛んであると思われるが、固定翼機よりもヘリコプタの方が適した観測が存在する。②一般にヘリコプタのチャータ代は固定翼機のチャータ代に比べ廉価であり、固定翼機でもヘリコプタでも選択可能な場合、ヘリコプタの選択可能性を持っていることは試験実施頻度増大につながる。③貴組織においてヘリコプタでの大気観測の実績が生まれると、富山大学といったヘリコプタを利用し様々な大気観測を行っている機関との共同研究に広がる可能性がある。

2つ目は本課題申請者のグループが提案した重心移動による低振動化法[1]、[2]をラジコンヘリコプタで実証することである。この成果は、広くヘリコプタの利用拡大に貢献できる。もちろん、貴組織における今後の様々な観測業務において、固定翼機だけでなくヘリコプタ利用を選択する可能性拡大(第1番目の目的)に貢献する。

研究方法

田屋エンジニアリング(株)に、4枚ブレードロータラジコンヘリコプタの製作を依頼した。製作完了後、まず、振動に大きく影響するブレードの特性を評価した。次に製作機体を用いて田屋エンジニアリング(株)と共同で、2024年3月24日、一宮ヘリフライヤーズ飛行場で飛行試験を行った。飛行試験の条件は以下の通りである。

重心位置を変更するための重りの位置

(ケース1) シャフトの真下

(ケース2) 左後方 45° 、シャフトからの距離 $=0.2R$ (R :ロータ半径) の位置

(ケース3) 左後方 45° 、シャフトからの距離 $=0.4R$ の位置

(ケース4) 右後方 45° 、シャフトからの距離 $=0.2R$ の位置

提案手法を用い、他の機体諸元について行った解析における $4/\text{rev}$ 振動(ロータ回転周波数の4倍の周波数での振動)の大きさの順番は、(ケース4) > (ケース1) > (ケース2) > (ケース3) であった。

取得データ

データ取得装置は2階建てであるが、1階部分の防振の無いIMUによって、加速度3成分、角速度3成分、姿勢角3成分、位置3成分、時間、ロータ回転数を取得した。

飛行

- ・定常前進飛行: 10秒程度
- ・定常時機速: 140km/h程度

研究結果



図1 製作したラジコンヘリコプタ
(田屋エンジニアリング(株)製)

ブレードの特性

表1 ブレード諸元

翼型	NACA0012
ブレード長 l (m)	0.7(m)
ブレード質量 M (m)	0.217(kg)
単位長さ当たり質量 m (m)	0.311(kg/m)
ルートカットオフ e (m)	0.086(m)
コード長 c (m)	0.06(m)
スキンの厚み t (mm)	0.8(mm)
平面形	翼端、翼根部を除き矩形

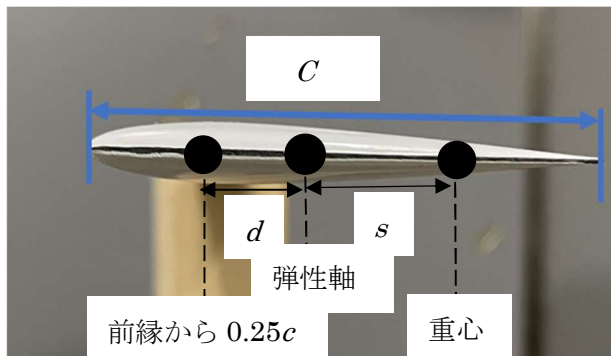


図2 ブレード断面

(左の図の各点の位置は実際の位置を示していない)

$$d = 0.05m(0.08c), \quad s = 0.025m(0.04c)$$

$$EI = 28.3 \text{ N} \cdot \text{m}^2$$

$$GJ = 2.91 \text{ N} \cdot \text{m}^2$$

飛行試験

一方向に前進する際、前進速度が减小、増加しており、定常前進飛行と見なせる時間が極めて短かった。前進速度が最小である時刻付近の飛行を定常前進飛行とみなし、その時間領域での機体 z 方向の加速度をFFT処理した。その結果、①ロータ回転周波数の2倍強の周波数で大きな振幅の振動が見られた。原因は分析できていないが、電氣的なノイズである可能性が高い。分析を継続する。②4/rev振動は、(ケース4) > (ケース1) > (ケース3) > (ケース2) の順に大きかった。提案手法で予想された順番と(ケース2)と(ケース3)が逆であったが、提案手法による予想と飛行試験における順番がおおむね一致した。

考察

重心位置が異なる4つのケースでの4/rev振動の大きさの順について、飛行試験と提案手法との間で差が見られた。この差の原因として、提案手法による振動評価において製作機の諸元が用いられていないこと、飛行試験において十分に長い時間の定常飛行が実現できなかったことが挙げられる。これらの問題を取り除けば、重心位置の異なる4ケースでの4/rev振動の大小関係は提案手法と飛行試験とで一致する可能性が高いと思われる。

まとめ

ラジコン機を用いた飛行試験によって、理論解析の成果を基に提案した「重心移動による低振動化」の有効性を確認することができた。今後、実機での飛行試験で同提案手法の有効性を確認する。また、実機において大きく重心移動することは困難であるので、重心移動の代替案として「シャフトの傾斜や補助翼の利用」[3]を検討する。

参考文献

- [1] Yoshizaki, Y., Sunada, S. “Analysis of Rotorcraft Vibration Reduction Using a Center-of-Gravity Offset”. Trans. Japan Soc. Aero. Space Sci. Vol.66, No.1, pp.1–9, 2023.
- [2] 吉崎 裕治、砂田 茂、“回転翼機の振動低減を目的とする重心オフセットが安定性に与える影響について”、日本航空宇宙学会論文集、Vol.71、No.3、pp.105–111、2023.
- [3] 吉崎 裕治、砂田 茂、“回転翼機における振動低減のための重心移動の代替案についての一考察”、日本航空宇宙学会論文集、Vol.71、No.4、pp.174–180、2023.

(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、加藤 丈典 (宇宙地球環境研究所)、城野信一 (環境学研究科)、橋口未奈子 (環境学研究科)

【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をすることを今年度の目的とした。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についても検討することを来年度の目標とし、その準備も今年度に進めた。

【研究方法】 今年度は11月21日、12月27日、3月8日に3回の研究会を開催し、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を議論した。一方で、探査帰還試料や隕石などの各種年代データの吟味し、初生値の時空間的変動の可能性や、事後プロセスによる年代の不完全なリセットの兆候 (購入ソフトウェアを利用) 等を調べ、消滅核種の娘核種による相対年代と鉛-鉛法による精密絶対年代との較正法について再検討することは来年度に継続することとした。また、初期同位体比を仮定できない元素や単核種元素について、地質学で用いられてきた化学年代測定法の応用を検討した。日本惑星科学会やJAXA宇宙科学研究所 (ISAS) での会合、Lunar and Planetary Science Conferenceなどの場を通じて、情報収集や意見聴取を行った。さらにISAS次期戦略的中型探査候補「次世代小天体サンプルリターン」の検討にも参画し、年代学の側面から彗星物質の試料の科学的価値や採取法について議論した。

【研究結果】 「はやぶさ2」が持ち帰った試料から得られた小惑星リュウグウの同位体情報と年代学、宇宙線照射環境について整理した。リュウグウ粒子中の炭酸塩鉱物から得られた ^{53}Mn - ^{53}Cr 年代は、母天体中の水質変成が進行した時期の年代を示すはずだが、複数得られている二次イオン質量分析法 (SIMS) で得られた年代には相互に誤差範囲を超える差異があり、炭酸塩の標準試料の違いによる可能性が指摘されている (Yokoyama et al. 2022; E. Nakamura et al. 2022; McCain et al. 2023)。最近、誘導結合プラズマ質量分析法 (ICP-MS) による ^{53}Mn - ^{53}Cr 年代が測定され、太陽系最初期のCaとAlに富む包有物 (CAI) の形成後3.8-7.0 Myrとの値が得られている (Yokoyama et al. 2023)。SIMSによる炭素質コンドライトの水質変成年代は多く報告されているので標準物質の選択の問題は更なる検討を要する。

始原的隕石の同位体比が、従来の非炭素質隕石 (NC) と炭素質隕石 (CC) の二分性に加えて、CIコンドライトを第三成分とする三分性を示すことが、CIコンドライトに酷似するリュウグウ試料の同位体分析によって確立された (例えば、Hopp et al. 2022)。また、炭酸塩を豊富に含む等からリュウグウ母天体は CO_2 スノーラインより外側で形成された可能性が高い (T. Nakamura et al. 2022)。リュウグウや隕石の同位体情報を整合的に説明するため、同位体比の異なる複数の《成分》を組み込んだ惑星形成統一シミュレーションの重要性が認識され、渡邊は科研費 (基盤B) の申請を行った (採択の内示があった)。次頁の図には太陽系形成の時空間図にこの惑星形成統一シミュレーションが扱う範囲 (天体とプロセス) を楕円で囲んでいる。特にダスト落下¹の時間スケールとCAIとコンドリュール²の年代差の不整

¹ 原始惑星系円盤のガスとダストは公転速度差があるため、ガス抵抗を受け角運動量を失ったダストが螺旋を描き太陽方向へ落下する。直径 1 mm の緻密粉体粒子が 1 au 落下する時間は~1 Myr である。

² 始原隕石中の熔融固化した球粒。 ^{26}Al が β^+ 崩壊した ^{26}Mg の過剰量の比較からCAIより数Myr遅れての形成が示唆され、その間、>1 mm 大のCAIがいかに太陽に落ちずに円盤に保持されていたかが未解決。

合問題やダスト落下に打ち勝って微惑星が形成できる範囲を明らかにすることなどを旨したい。

上記の不整合問題解決の1つのアイディアは、惑星形成時の微惑星衝突の副産物としてコンドリュールが生成されたとするモデルである。この場合、まずCAIが太陽系最初期にできて、第一世代の微惑星に保持され、その後の惑星成長期にコンドリュールが生成され、それが第二世代の微惑星にCAIとともに取り込まれたとすれば、CAIとコンドリュールの生成年代差を説明できる可能性がある。

隕石有機物の直接的な年代測定は困難であり、現状では周囲の変質鉱物（含水珪酸塩や炭酸塩）からの推定するなどの間接的な方法しかない。今すぐでなくとも将来的に実現の可能性のある隕石有機物の年代測定法を検討していく。また、隕石の有機物構成元素（H, C, N, O, Sなど）の同位体比から読み出せる先太陽系時代および太陽系形成時の情報を整理していく。

隕石の鉱物粒子に対してX線マイクロアナライザ（EPMA）を用いてU, Th, Pbの量を正確に測定することでその年代を決めるCHIME法が適用できないか検討を進める。地球物質のように $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ の初生比を仮定できないため、宇宙物質では $\text{Th} \gg \text{U}$ である鉱物を見つける必要があるなど制約が厳しい。

放射線環境変動研究においては、自転進化に伴う太陽活動の超長期変動（1 Gyrスケール）によって銀河宇宙線フラックス変化を宇宙試料から検出できないか、軌道傾斜角の違う太陽系小天体の表層物質から太陽風変動の3次元構造を制約できないかなどの可能性を探究する。

【2024年度に向けて】来年度は、現メンバーに加えて、今年度の研究会で講演いただいた環境学研究科の日高洋教授と齊藤天晴博士（来年度PD）および宇宙地球環境研究所の三好由純教授と岩井一正准教授に加わっていただき、太陽系年代学と放射線環境変動研究の融合をさらに進めていく予定である。

【引用文献】（渡邊誠一郎は以下のすべての論文の共著者である）

Hopp, T. et al. 2022, *Science Adv.* **8**, add8141

McCain, K. A., et al. 2023, *Nature Astron.* **7**, 309–317

Nakamura, E., et al. 2022, *Proc. Japan Acad. Ser. B* **98**, 227–282

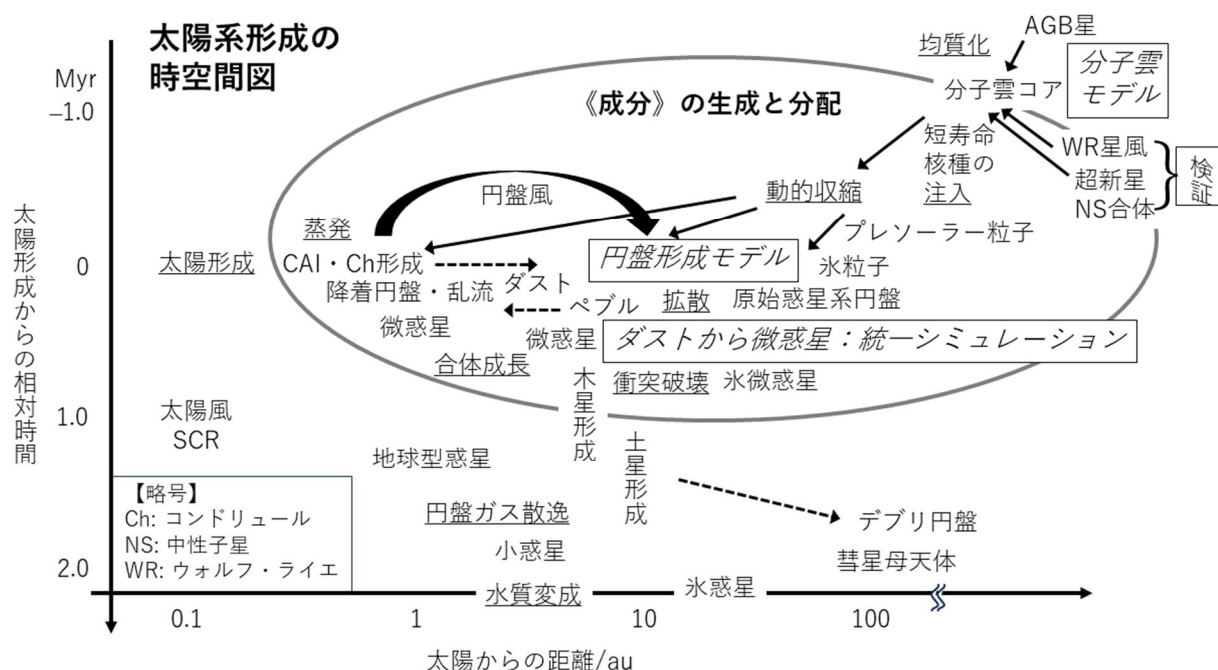
Nakamura, T., et al. 2022, *Science* **379**, abn8671

Yokoyama, T., et al. 2022, *Science* **379**, abn7850

Yokoyama, T., et al. 2023, *Science Adv.* **9**, adi7048

【成果発表】

渡邊誠一郎、はやぶさ2から見えてきた太陽系形成過程の制約、日本惑星科学会秋季講演会、広島市、2023.10.11



プラズマ推進機を利用した宇宙プラズマシミュレータの検討
Preliminary Study of Space Plasma Simulator Using a Plasma Thruster

名古屋大学工学研究科 杵淵紀世志

1. 研究目的

地球環境, 天文学物理等における仮説やモデル検証, 基礎物理過程の模擬・観察などへの貢献を目指し, 宇宙用プラズマ推進機を利用した宇宙プラズマシミュレータ構築の可能性を探る. 本研究では, 推進機下流におけるプラズマデータを取得し, その特性を議論する.

2. 研究方法

本研究では図1に示すプラズマ推進機を用いる. 陽極・陰極間の放電に対し, 周囲に設置したコイルにより磁場を印加可能な推進機である. コイルは水冷が一般的なところ, 極低温の液体窒素での冷却により, 磁束密度0.5T程度までの強磁場を印加可能であり, 広範囲の印加磁場にてプラズマのデータが取得可能という特徴を有す. 図2に実験のセットアップを示す. 実験は真空チャンバ内で行った. プラズマ計測はラングミュアプローブを用い, 推進機中心軸上下流200~400mmの範囲において電子温度 T_e , プラズマ密度 N_e を計測した. 実験条件を表1に示す. 推進機の作動ガスとしてはアルゴンを用いた.

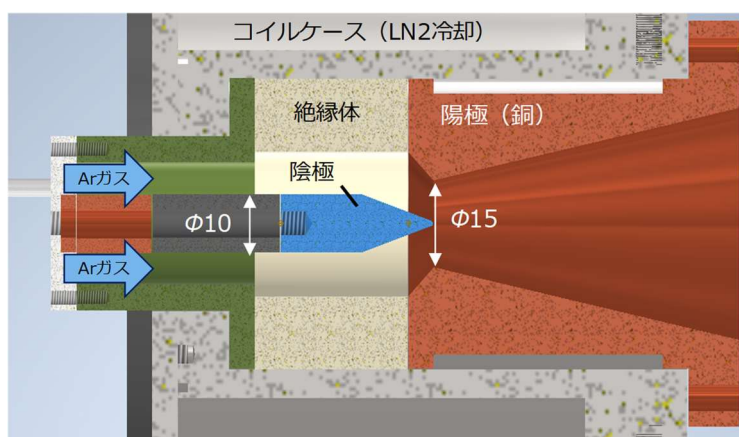


図1 使用したプラズマ推進機の構成

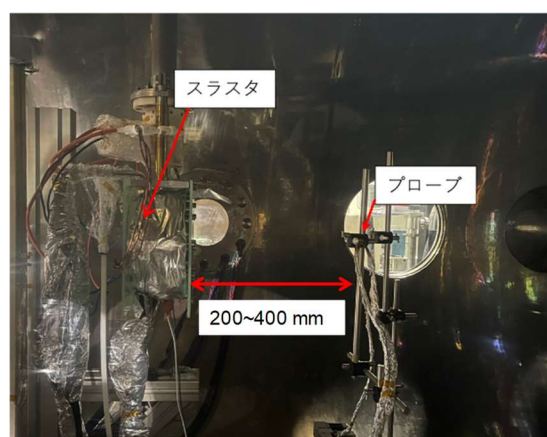


図2 実験のセットアップ

表1 実験条件

推進機内磁場 B	59, 118, 235, 353, 470 mT
放電電流	20, 30, 40 A
アルゴン流量	500, 700, 900 sccm
推進機からの距離	200, 300, 400 mm

3. 研究結果

図3に作動中の推進機を示す. 磁力線に沿ったアルゴンプラズマの発光が確認できる. 図4に推進機内部の磁束密度 B に対するプローブ計測部における電子温度, プラズマ密度の変化を示す. プローブ設置位置は推進機下流300mmである. 磁場を59から470mTまで広範囲に変化させることにより, $T_e=0.5\sim 2.5\text{eV}$, $N_e=10^{18}\sim 10^{20}\text{m}^{-3}$ の範囲のアルゴンプラズマを生成できることを確認した. 強磁場下では電子が磁力線に拘束されることにより電子・中性粒子間の電離衝突が促進され, 効率的にプラズマが生成されたものと考えられる. 磁束密度が上昇するとプラズマ生成の促進に伴い電子温度は低下している. 一方, アルゴン流量, 放電電流に対する電子温度, プラズマ密度の変化は磁束密度の変化に比べ小さかった.

図5に推進機からの距離に対する電子温度, プラズマ密度の変化を示す. 推進機の作動条件は印加磁場118mT, アルゴン流量900sccm, 放電電流30Aである. プラズマ密度の変化は大きくはないが, 電子温度は推進機からの距離200mmにおいて6eVと300, 400mmに対し大幅に高い値を示した.



図3 作動中の推進機

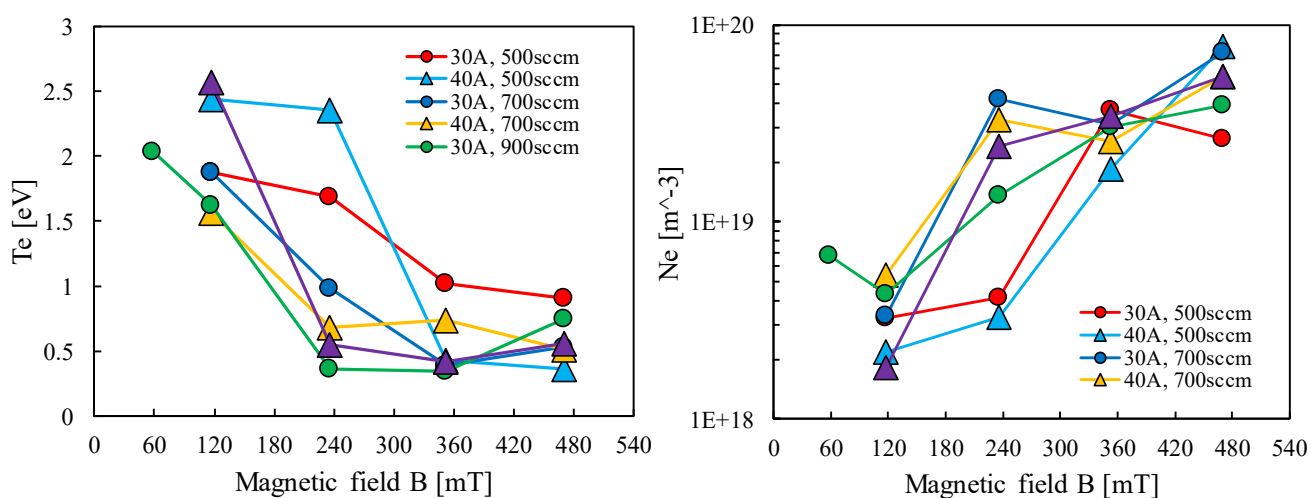


図4 推進機磁束密度に対する電子温度，プラズマ密度（推進機下流300mm）

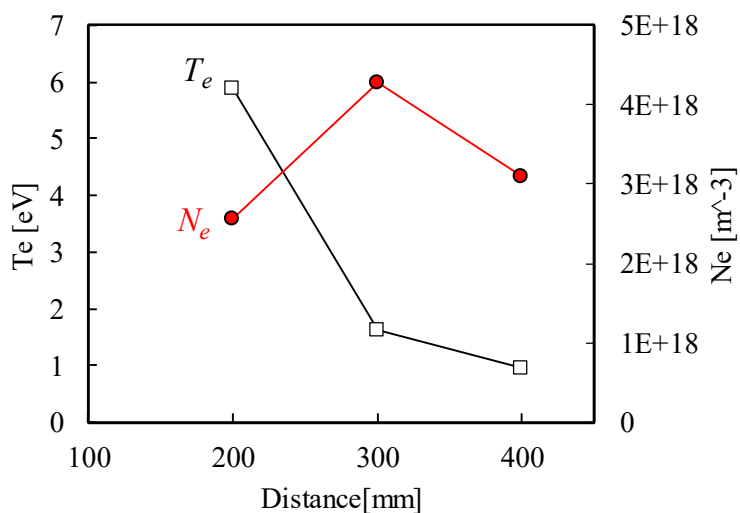


図5 推進機からの距離に対する電子温度，プラズマ密度の変化（118mT, 900sccm, 30A）

4. まとめ

プラズマ推進機の宇宙プラズマシミュレータとしての利用可能性調査のため，ラングミュアプローブによる推進機外部のプラズマ計測を実施した．今回使用した推進機特有の広い印加磁場範囲によって， $T_e=0.5\sim 6\text{eV}$ ， $N_e=10^{18}\sim 10^{20}\text{m}^{-3}$ 程度のアルゴンプラズマが得られることを確認した．アルゴンプラズマの流速は数km/s程度と推定される．推進機からの距離によりプラズマの状態が大きく変化する可能性が示唆された．今後，推進機周囲のプラズマ分布の追加計測や，作動ガス種の変更の影響調査が望まれる．