

令和4年度  
(2022年度)

共同利用・共同研究成果報告書

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

2022 年度

## 目次 Contents

00 . ISEE Symposium	採択なし
01 . 国際共同研究	1 ~ 39
02 . ISEE International Joint Research Program	40 ~ 79
03 . 国際ワークショップ	80 ~ 81
04 . 一般共同研究	82 ~ 193
05 . 奨励共同研究	194 ~ 199
06 . 研究集会	200 ~ 287
07 . 計算機利用共同研究	288 ~ 293
08 . データベース作成共同研究	294 ~ 297
09 . 加速器質量分析装置等利用（共同利用）	298 ~ 306
10 . 加速器質量分析装置等利用（委託分析）	307
11 . SCOSTEP Visiting Scholar (SVS) Program	308 ~ 323
12 . 航空機観測共同利用（ドロップゾンデ）	324 ~ 327
13 . 若手国際フィールド観測実験	328 ~ 346
14 . 国際技術交流（International Technical Exchange Program）	347 ~ 353
15 . 国際スクール開催支援（ISEE International School Support）	354 ~ 355
16 . 若手国際派遣支援（海外発表・海外滞在）	356 ~ 357



2022年度 00)ISEE Symposium 目次詳細

0 件

採択なし

## 2022年度 01)国際共同研究 目次詳細

20 件

\*所属・職名は2023年3月現在

\*Affiliation and Department displayed are current as of March 2023.

(注1): 新型コロナウイルスの影響で中止 / Cancelled due to COVID-19

(注2): 中止 / Cancelled

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る木星・火星・金星大気上下結合研究および新規望遠鏡の展開: その1	1	
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地上系システム検討	4	
加藤 千尋	信州大学	学術研究院理学系	教授	改良された汎世界的宇宙線観測ネットワークによる宇宙天気の観測II	6	
津田 卓雄	電気通信大学	大学院情報理工学 研究科	准教授	静止軌道衛星ひまわりによる夜光雲の観測	8	
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	10	
横田 勝一郎	大阪大学	理学(系)	准教授	飛翔体用荷電粒子分析器の視野掃引及び高エネルギー質量分析機能の開発	12	
河村 公隆	中部大学	中部高等学術研究 所	客員教授	バイオマス燃焼生成物の大気中での光化学的変質: 組成解析と室内実験	14	
大矢 浩代	千葉大学	大学院工学研究院	助教	東南アジアにおける雷放電とグローバルサーキットとの関連性の解明	16	
西山 尚典	情報・システム研究機構 国立極地研究所	研究・教育系	助教	短波長赤外分光器・イメージャとEISCAT Svalbard radarを組み合わせた薄明時におけるオーロラの検出	18	
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検討	20	

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
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過程の解明	22	
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	24	
尾花 由紀	九州大学	国際宇宙惑星環境 研究センター	学術研究者	機械学習を用いた磁力線共鳴振動周波数の自動同定とプラズマ圏長期モニタリング	26	
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	28	
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	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	
川原 琢也	信州大学	学術研究院工学系	准教授	北極域ナトリウムライダー中性大気温度・風 速計測の拡張観測: 中間圏界面(80- 115km)から下部熱圏領域(< 200km)へ	32	
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	34	
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 の推進	36	
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	38	

(別紙様式 1 - 2)

ハワイ展開する小口径光赤外望遠鏡群と電波望遠鏡群・軌道上望遠鏡群・惑星探査機の連携による木星・火星・金星大気上下結合の研究：

その 3

Investigation of vertical atmospheric couplings in Jupiter, Mars,  
and Venus by the connection of Hawaiian small telescope  
with radio / space telescopes & orbiters : 3

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 年度で活動終了を予定)・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)で進めてきた。

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 に移しており、1-2年かけて閉所の方角である。ただし、東工大グループが「突発天体追跡観測用」へ転換を検討しており、2022 年度末現在、我々およびハワイ大との協議途上にある。

## 2. 研究方法・結果

引き続きコロナ禍の元で現地での観測活動は低調で、また秋～冬にかけての荒天とそれに伴う停電・通信切断によって観測運用の停止に至ったため、将来展開に要する装置開発を主に進めるとともに、共通して必要となる補償光学システムの開発着手、および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きた。

このため、ハレアカラ施設を用いた観測成果の創出は海外協力研究者によるこれまでの観測蓄積によるものとなった。日本側主導の観測は持ち越しとなっており、2022 年度は電力・通信を含む現地施設の復旧・整備作業が中心となった。支援を頂いたハワイ大メンバーには感謝に耐えない。

### (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成果としては、海外協力研究者による小惑星(Belskaya et al., 2022) および高エネルギー突発天体(Kravtso et al. 2022)の偏光観測が論文文化に至った。S+発光を用いた木星・イオトラスの変動観測も引き続き進行している。

また、新たに可視補償光学装置の開発に着手し、T60 に試験装着した。これは、BepiColombo の到着が 2025 年末に迫る水星の外圏大気を 1 arcsec を切る空間分解能で変動モニター可能とすることを主たる目標とするものである。ハワイに設置した装置を遠隔操作して検証およびソフトウェア開発を進めたが、

2023 年初頭には名大のご支援も得て現地へ赴き、装置光学系の換装および水星観測に要する昼間観測能力の付与を行うことができた(吉野 et al. 2023a, 2023b)。

T40 は事実上活動を休止したが、東工大グループによる突発天体・人工デブリ観測への援用を狙う共同運用化の検討を行った。これにはハワイ大側の協力研究者の確保が必要であり、ハワイ大天文学研究所との協議を進めている。

#### <論文>

Belskaya I., A. V. Berdyugin, Y. Krugly, Z. Donchev, A. Sergeyev, R. Gil-Hutton, S. Mykhailova, T. Bonev, V. Piirola, S. Berdyugina, M. Kagitani, T. Sakanoi (2022). Polarimetry of M-type asteroids in the context of their surface composition, *Astron. Astrophys.* 663, A146.

<https://doi.org/10.1051/0004-6361/202142784>

Kravtsov, V., A. V. Berdyugin, I. A. Kosenkov, A. Veledina, V. Piirola, Y. A. Qadir, S. V. Berdyugina, T. Sakanoi, M. Kagitani, J. Poutanen (2022), Optical polarization signatures of black hole X-ray binaries, *Mon. Not. Royal Astron. Soc.* 514, 2479-2481. <https://doi.org/10.1093/mnras/stac1470>

#### <主な発表>

吉野富士香、鍵谷将人、笠羽康正 (2023a). ハワイ 60 望遠鏡に搭載する補償光学装置の開発. 日本天文学会 2023 年春季年会、立教大、2023 年 3 月.

吉野富士香、鍵谷将人、笠羽康正 (2023b). 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状況. 補償光学研究開発のための情報交換会、国立天文台、2023 年 3 月.

#### (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、2023 年度の展開を期して国内での近赤外線 Echell 分光器および中間赤外線レーザーヘテロダイン分光器の整備・開発を進めた。前者は、ようやく懸案の冷却系・電気系における根本問題に曙光がみえたところで、2023 年 2 月に北大・名寄望遠鏡に装着して近赤外カメラの試験観測に至っている(cf. 永田 et al. 2022a, 2022b)。後者では、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、2022 年度末から具体的な装置の再構築に入っている。2023 年度早期に仙台市天文台における試験観測にこぎつける予定で進めている(cf. 塚田 et al. 2022、Nakagawa et al. 2022)。

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 2022 年度一杯を使って進めてきた(cf. 鍵谷 et al. 2022、2023)。2023 年度にはこれを完了し、コーティングののち飯館観測所における組立・試験検証へ進む予定である。

#### <主な論文>

Nakagawa, H., S. Tsukada, T. Katagiri, Y. Kasaba, I. Murata, Y. Hirahara, Y. Matsuura, A. Yamazaki (2023) Mid-infrared laser heterodyne spectrometer by hollow optical fiber and its newly designed coupler. *Applied Optics* 62, A31-A36. <https://doi.org/10.1364/AO.475426>

#### <主な発表>

永田 和也、坂野井 健、鍵谷 将人、市川 隆、笠羽 康正、大友 綾、平原 靖大 (2022a). 近赤外撮像装置 TOPICS の検出器駆動と冷却システムの開発. Japan Geoscience Union Meeting 2022、幕張メッセ、2022 年 5 月.

鍵谷 将人、永田 和也、平原 靖大、花村 悠祐、栗田 光樹夫、坂野井 健、笠羽 康正 (2022). 1.8m 軸外し望遠鏡 PLANETS 主鏡の形状計測と研磨. Japan Geoscience Union Meeting 2022、幕張メッセ、2022 年 5 月.

塚田 悟輝、中川 広務、村田 功、平原 靖大、笠羽 康正、片桐 崇史、松浦 祐司、山崎 敦 (2022). 中空光ファイバを用いた惑星探査用中間赤外レーザーヘテロダイン分光器の開発. Japan Geoscience Union Meeting 2022、幕張メッセ、2022 年 5 月.

永田和也, 坂野井健, 鍵谷将人, 市川隆, 笠羽康正, 大友綾, 平原靖大. 近赤外撮像装置 TOPICS の検出器駆動と冷却システムの開発 (2022b). 天文学会 2022 年秋季年会、新潟大、2022 年 9 月.

鍵谷将人、高橋啓介、平原靖大、栗田光樹夫、森本悠介、花村悠祐、永田和也、坂野井健、笠羽康正 (2023). 引き摺り 3 点計測法による 1.8m 軸外し望遠鏡 PLANETS 主鏡の研磨. 日本天文学会 2023 年春季年会、立教大、2023 年 3 月.

### (3) ハワイ大型観測施設のリモート利用による成果創出

Subaru 望遠鏡観測に絡んだ国際共同観測では、中間赤外線分光撮像装置 COMICS を用いた貢献による、土星の 40 年間に渡る長期大気擾乱観測の総まとめ (Blake et al. 2023) および海王星の大気温度場季節変動観測 (Roman et al. 2022) をチームとして支えた。後者は未だ周回探査がなされていない氷巨大惑星、すなわち天王星・海王星の次世代大型探査検討の基礎の 1 つとなっている (Cohen et al., 2022)。

#### <論文>

Blake, J. S. D., L. N. Fletcher, G. S. Orton, A. Antuñano, M. T. Roman, Y. Kasaba, T. Fujiyoshi, H. Melin, D. Bardet, J. A. Sinclair, M. Es-Sayeh (2023). Saturn' s seasonal variability from four decades of ground-based mid-infrared observations. *Icarus* 392, 15347. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2022.115347>

Cohen, I. J., C. Beddingfield, R. Chancia, G. DiBraccio, M. Hedman, S. MacKenzie, B. Mauk, K. M. Sayanagi, K. M. Soderlund, E. Turtle, C. Ahrens, C. S. Arridge, S. M. Brooks, E. Bunce, S. Charnoz, A. Coustenis, R. A. Dillman, S. Dutta, L. N. Fletcher, R. Harbison, R. Helled, R. Holme, L. Jozwiak, Y. Kasaba, P. Kollmann, S. Luszcz-Cook, K. Mandt, O. Mousis, A. Mura, G. Murakami, M. Parisi, A. Rymer, S. Stanley, K. Stephan, R. J. Vervack, Jr., M. H. Wong, P. Wurz (2022). The Case for a New Frontiers-Class Uranus Orbiter: System science at an underexplored and unique world with a mid-scale mission. *Planetary Sci. J.* 3, 58. <https://doi.org/10.3847/PSJ/ac5113>

Roman, M. T., L. N. Fletcher, G. S. Orton, T. K. Greathouse, J. I. Moses, N. Rowe-Gurney, P. G. J. Irwin, A. Antuñano, J. Sinclair, Y. Kasaba (2022). Subseasonal Variation in Neptune' s mid-infrared emission. *Planetary Sci. J.* 3, 4. <https://doi.org/10.3847/PSJ/ac5aa4>

(別紙様式 1-2)

## Comet Interceptor ミッション搭載機器および地上系システム検討

### Study of science payloads and ground-segment system 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。2022年度の大きなマイルストーンはミッション定義審査、システム要求審査、システム定義審査であり、探査機システム・観測器それぞれの検討、ならびにそのIFの調整が進行中である。

#### 研究方法

本申請では、Comet Interceptor ミッション搭載機器および地上系システム検討を実施した。内容は、

- 1) 各観測器の技術的実現性の確認(前年度からの継続)
- 2) 探査機システムのインタフェイスの議論(前年度からの継続)
- 3) 地上系システム、科学マネジメントプラン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10月に実施した。ミッションをリードする欧州側とは不定期のシステム会合の他、2度のScience Working Team会合が開催された。また、搭載機器の一つであるイオン質量分析器のプロトタイプの実験を実施した。

#### 研究結果

上記のように高頻度・高密度の打ち合わせを重ねた結果、システム・観測器ともに検討を詳細化し、7月にミッション定義審査・システム要求審査を通過した。さらに3月にはシステム定義審査の説明会が開催され、次年度4月には本審査を受審する予定である。一方、欧州側もシステムメーカー候補2社による検討および日本側とのインタフェイス要求の調整が進められた結果、6月にプロジェクト化された。地上系システムについてもJAXAの対応部署と打ち合わせを重ね、運用に必要な設備等を識別した。国内外のサイエンス会合での議論内容は、フライバイ運用に反映される。また、観測器開発については静電分析器のテストモデル性能評価を実施し設計通りのエネルギー・角度応答を得た。

#### 成果発表

- 船瀬龍ほか, "長周期彗星探査計画 Comet Interceptor", 第23回宇宙科学シンポジウム, 口頭発表, 相模原, 2023年1月5日.

- 村田直史ほか, "Comet Interceptorミッションにおける超小型探査機を用いた磁場観測実現に向けた検討状況", 第66回宇宙科学技術連合講演会, 口頭発表, 熊本, 2022年11月1日.
- 笠原慧ほか, "Comet Interceptor搭載 Plasma Suiteの開発準備状況", 第23回宇宙科学シンポジウム, ポスター発表, 相模原, 2023年1月5日.
- 笠原慧ほか, "The Comet Interceptor mission: JAXA's MDR/SRR completed", SGEPPS, ポスター発表, 相模原, 2022年11月5日.
- Kasahara, S. et al., "Test results of the breadboard-model ion mass spectrometer for the Comet Interceptor mission", 地球惑星科学連合2022年大会, ポスター発表, 幕張, 2022年05月23日.



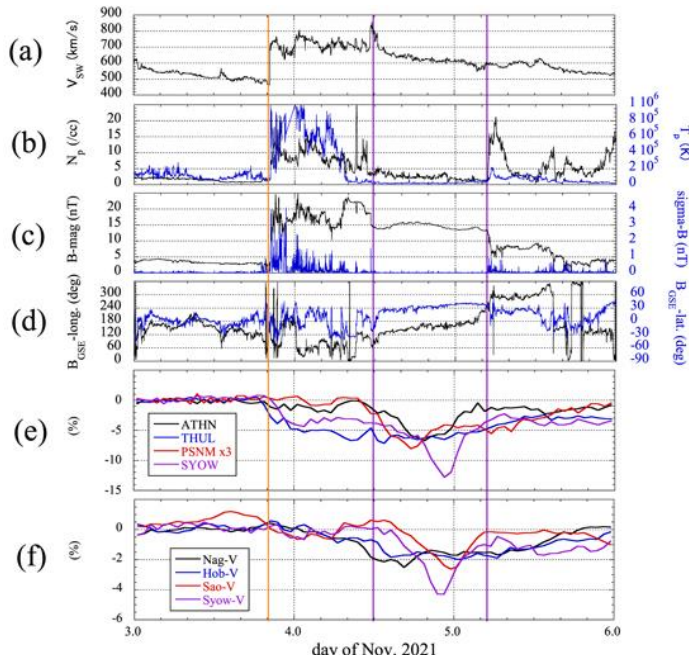
(別紙様式 1 - 2 )

## 改良された汎世界的宇宙線観測ネットワークによる宇宙天気観測 II

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

加藤 千尋, 信州大学・理学部

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 $\sim 0.05$  AU, ピッチ角散乱の平均自由行程 $\sim 0.1$  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。



宇宙天気現象時の太陽風パラメータと宇宙線強度変動  
Munakata et al.(2022)より引用

本年度は,南極昭和基地での観測データを用いて,機械学習を使って宇宙線強度変動への大気効果補正を試行,検証するとともに,中性子計の強度変動における積雪量の影響を見積もることが出来た(Kataoka, et al.,

2022)。加えて,昭和基地を加えた

GMDN と中性子計による宇宙線観測網のデータを用いて宇宙天気現象を統合解析した結果,対象イベントでの「双方向流」と呼ばれる 2 方向からの宇宙線の流れを確認した

(Munakata et al., 2022)。今後の解析で、宇宙天気現象での宇宙線減少のメカニズムの解

明につながると期待される。これらの結果は以下で公表されている。

- K. Munakata et al., Large-amplitude Bidirectional Anisotropy of Cosmic-Ray Intensity Observed with Worldwide Networks of Ground-based Neutron Monitors and Muon Detectors in 2021 November, 2022, *ApJ*, 938, 30, DOI 10.3847/1538-4357/ac91c5
- R.Kataoka et al., Local environmental effects on cosmic ray observations at Syowa Station in the Antarctic: PARMA-based snow cover correction for neutrons and machine learning approach for neutrons and muons, 2022, *Journal of Space Weather and Space Climate*, 12, id.3711, DOI 10.1051/swsc/2022033

(別紙様式 1-2)

静止軌道衛星ひまわりによる夜光雲の観測  
Noctilucent cloud observation by the geostationary orbit satellite  
Himawari

津田卓雄，電気通信大学 大学院情報理工学研究科

### 研究目的

現代社会が抱える環境課題として全球規模で生じる地球温暖化現象の多面的な理解と様々な監視手段が求められている。夜光雲は地球温暖化現象の一端である超高層寒冷化の高精細な指標になると考えられているが、十分な活用方法が確立されていない。本研究課題では、静止軌道衛星ひまわりの全球輝度画像データから夜光雲の特性量（発生頻度、発生高度、粒径分布、etc.）を推定する手法を開発し、広域・連続・長期の夜光雲特性量の定量観測を開拓することを目指す。その際、地上ライダー観測、米国 AIM 衛星などの関連データを用いた検証を行うことで、夜光雲の特性量推定手法の妥当性を評価し、科学探究に耐え得る定量的な特性量推定を確立する。静止軌道からの夜光雲の定量観測は、従来の局所的・断続的な観測では捉えきれない全球規模の超高層寒冷化に伴う夜光雲の広域変動を連続的に捉えることが可能な新手法として、地球温暖化現象の定常監視手段の発展に貢献することが期待される。

### 研究進展状況

ひまわり 8 号による夜光雲観測のイメージを図 1 に示す。全球輝度画像の地球周辺部に注目することで、夜光雲をリモ観測することが可能である。本研究では、ひまわり 8 号の全球輝度画像について夜光雲による散乱光の有無を判別することで夜光雲を自動検出する手法の開発を中心に研究を進めた。まず、全球画像の各ピクセル（各視線方向）について地球大気楕円体との接線を計算して地球リモ観測としての位置情報を求め、各地点の輝度データの高度分布を取得した。次に、輝度データの高度分布を利用して背景光成分（背景大気によるレイリー散乱光成分を含む）を多項式近似等で再現・除去した後に、夜光雲による有意な散乱光成分を検出するアルゴリズムを構築した。自動検出結果と目視による夜光雲判定結果の比較などを通じて背景光成分再現の最適近似パラメータや散乱光成分検出時の最適閾値を調整することで夜光雲の自動検出精度の向上を目指した。最終的に、完成した手法で 2015 年 7 月から 2022 年 12 月までのひまわり 8 号の全データについて、夜光雲の自動検出を実施した。夜光雲検出結果と AIM/CIPS による夜光雲観測データの詳細な比較によって、本研究による夜光雲検出について検証を行った。その結果、両者の結果に非常に良い一致が見られることが判明し、本研究による夜光雲検出の有用性が実証された。

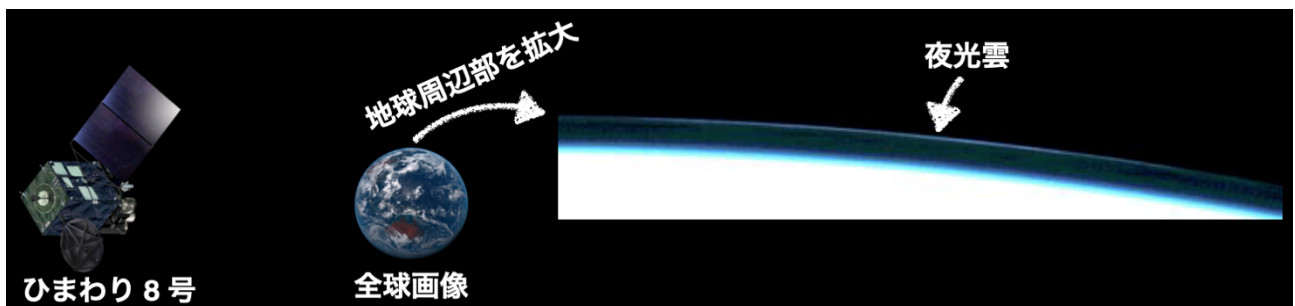


図 1. ひまわり 8 号による夜光雲観測のイメージ。

開発した夜光雲検出手法を用いて、準リアルタイムで一連のデータ処理を行い、夜光雲の検出結果をウェブサイトで即時公開するシステムを構築した。ウェブサイトでは、市民科学への寄与も意識し、夜光雲の検出結果を毎日 1 回吐く twitter bot も運用している。ウェブサイトのスクリーンショットを図 2 に示す。ウェブサイトで公開している夜光雲検出データは、国内の大学（電通大、明治大、etc.）の学生による研究や米国（NASA）やカナダ（University of New Brunswick）の研究者による研究に利用されるなど、共同研究が拡大しつつある。電通大の学生による研究では、冬半球成層圏と夏半球夜光雲の半球間結合過程について複数イベント解析が実施され、両者の対応に関する時間遅延などが明らかとなった。この成果は電通大の卒業論文としてまとめられている。明治大の学生による研究では、北半球で夜光雲が出現する南限緯度についての解析が行われ、中緯度夜光雲の特性に関する理解が深まった。この成果は SGPSS において学会発表が行われている。NASA の研究者による研究では、夜光雲の年々変動と背景の大気温度、水蒸気量の対応関係について調査が行われた。その結果、極域の夜光雲発生領域において水蒸気量が顕著に減少する様子を捉えるなどの成果が得られた。これらの成果は学術論文として投稿されている。

2022 年 12 月に、ひまわり 8 号から 9 号への切替が実施された。今後、夜光雲検出についても、ひまわり 9 号の全球輝度画像データへの対応を進めることを予定している。

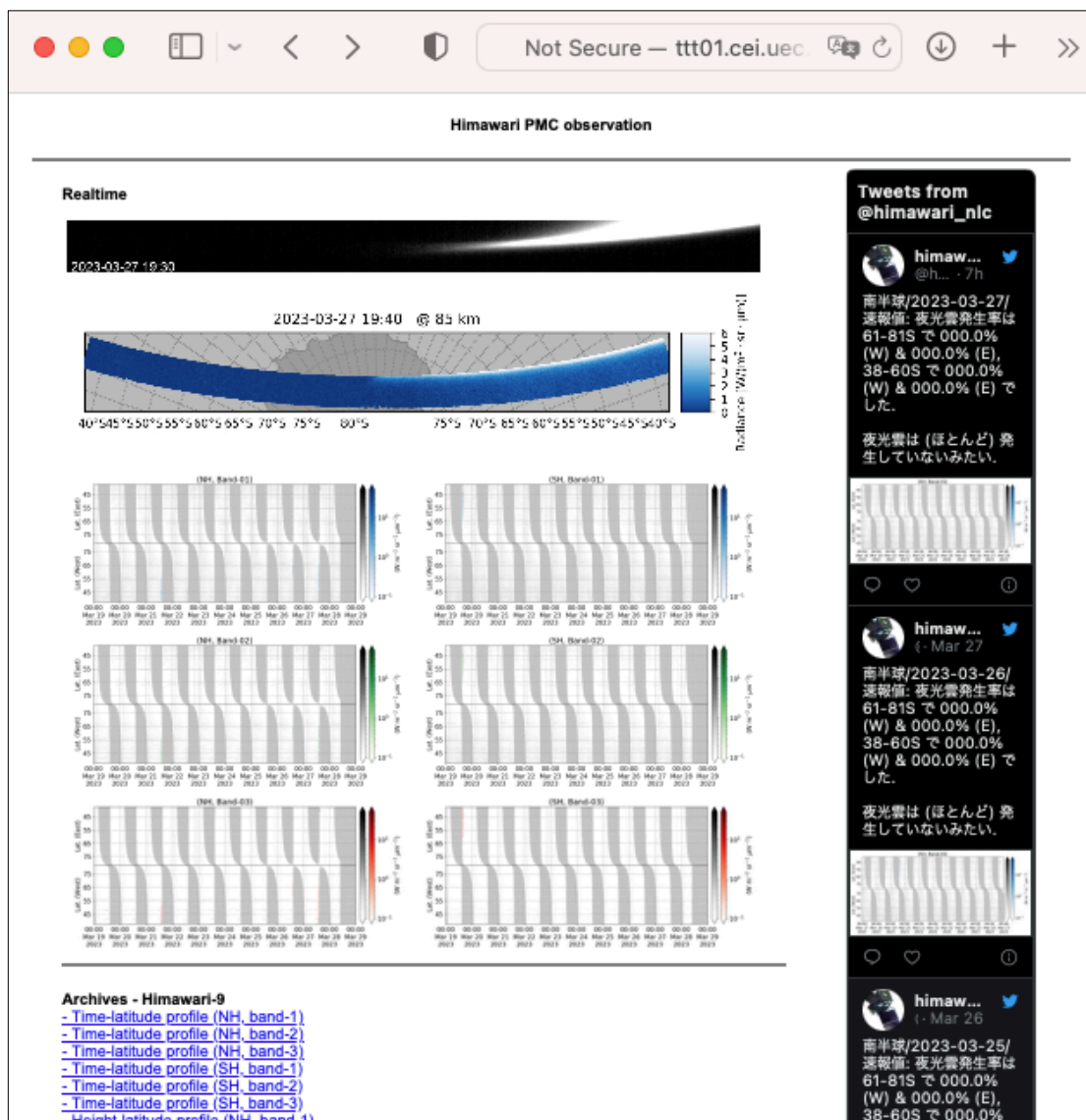


図 2. ひまわり夜光雲観測のウェブサイト。

(別紙様式 1-2)

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23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  $38.3^\circ$ ）、高緯度のアイスランド（北緯  $64.7^\circ$ ）、最高地磁気カットオフ地域であるタイ（北緯  $38.3^\circ$ ）に各々ハイボリュームエアースンプラー（HV1000F、HV500R、吸引量  $500\text{L} \sim 1000\text{L}/\text{分}$ ）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  $64.47^\circ$ ）、中緯度（山形市： $38.25^\circ$ ）および低緯度（バンコク： $13.1^\circ$ ）の大気中 Be-7 濃度、太陽黒点数（SSN）、oulu（北緯  $65.05^\circ$  cut-off rigidity  $0.8\text{GV}$ ）での地上中性子強度について2000年から2022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。アイスランドの2022年の値は9月から12月の平均値である。

表 1 に 3 地点の 2014 年から 2019 年までの平均 Be-7 濃度の比較を示す。中緯度の Be-7 濃度は、高緯度および低緯度の約 2 倍であり明らかな緯度依存性を示している。流跡線解析から山形に移流してくる春と秋の空気塊は高緯度極域からが卓越しており夏は中緯度の流跡線であった。また、バンコクへの流跡線は低緯度が卓越していた。アイスランドではかなり高緯度の局所的な流跡線であった。これらの Be-7 濃度の緯度に依存する季節変動は主に宇宙線強度の緯度効果と圏界面高度で説明できそうである。ちなみに高緯度、中緯度、低緯度の圏界面平均高度は各々、平均 9.5 km, 12 km, 16.5 km であった。

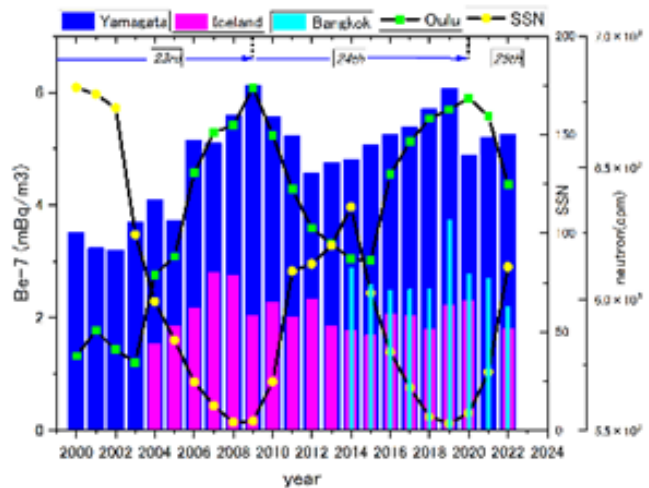


図 1. 2000 年から 2022 年までの高緯度、中緯度および低緯度の大気中 Be-7 濃度、太陽黒点数 (SSN)、oulu の中性子強度の年変動

表 2 に太陽活動第 23 期と第 24 期の下降期間における Be-7 濃度 (山形) 変動率、中性子強度 (oulu) 変動率、太陽黒点数 (ピーク値) の比較を示す。各々、第 23 期に対して第 24 期は減衰しており約 50% 程度であり宇宙線生成核種の地表濃度においても太陽活動の活動度に応答していることを示している。なお、Be-7 濃度の変動率は中性子強度の 3~4 倍であり、低エネルギー宇宙線スペクトルの閾値の違いを反映している可能性を示唆している。これらの結果との比較において第 25 期の太陽黒点数の立ち上がりからピークへ向かう 2023 年の観測データは重要である。

表 1. 2014 年から 2019 年までのアイスランド、山形、タイにおける Be-7 濃度の平均値

観測地	Be-7 濃度 (mBq/m³)
Iceland	1.9±0.2
Yamagata	5.4±0.5
Bangkok	2.8±0.5

表 2. 太陽活動第 23 期と第 24 期の下降期間における Be-7 濃度 (山形) 変動率、中性子強度 (oulu) 変動率、太陽黒点数 (ピーク値) の比較

Solar cycle	山形 Be-7	Oulu neutron	SSN (peak)
23rd	31.8%	8.2%	173.9
24th	14.4%	4.7%	113.3
24th/23rd	0.45	0.57	0.65

[参考文献]

- 1) Solar Influences Data Analysis Center - SIDC, <http://sidc.oma.be/>
- 2) <http://neutronm.bartol.udel.edu/>

[研究発表]

- 1) “宇宙線生成核種 Be-7 の地表レベルでの大気中濃度の季節変動について”、櫻井敬久、川村容明、門叶冬樹 他、第 59 アイソトープ・放射線研究発表会 (online 2022/7/7)



(別紙様式 01-2)

飛翔体用荷電粒子分析器の視野掃引及び高エネルギー質量分析機能の開発  
Development of functions of field-of-view scanning and high-resolution mass spectrometry for spaceborne instruments

横田勝一郎、大阪大学大学院・理学研究科

【研究目的】

本研究の目的は、次世代型の宇宙機搭載用荷電粒子分析器のため、半球視野を確保する視野掃引及び高分解能質量分析の機能を確立することである。人工衛星や観測ロケットを利用したプラズマのその場観測におけるイオン計測には、3次元の速度分布関数を取得することと共に、質量分析によってイオン種の同定を行うことも必須となっている。3次元の速度分布関数の取得には全方向に対する視野の獲得が必要であり、光学機器搭載のスピン運動を行わない探査機の場合は自力での確保が求められる。また質量分析器では、観測成果を挙げる度に更なる質量分解能の向上が求められている。「あらせ」の観測においても、アルファ粒子など軽量のイオン種の変動を見る場合において主成分であるプロトンの混入を無視できない状況である。また窒素イオンや分子イオンなど、存在比の低い重イオンへの関心も磁気圏観測の進展と共に高まってきている。

本研究で技術確立を目指す二つの機能は、今後の地球磁気圏観測衛星のみならず、他の惑星や衛星及び惑星間空間での観測において必須となる機能と見込んでいる。現時点で計画・検討されている宇宙機搭載の粒子分析器による観測計画では、MMX(火星衛星)、Comet Interceptor(彗星)、MACO(火星)といずれも光学機器との共同観測を基本線とするため、三軸制御衛星の利用が大前提となっている。また、質量分析ではこれまでに無い $M/\Delta M > 50-100$ も求められ、太陽風及び地球磁気圏起源のイオン種のほとんどを完全に分別し、イオン種毎に精度の高い速度分布関数を取得することを目指している。酸素や窒素など比較的軽量のイオン種であれば同位体比計測も可能となるため、超高層大気物理の研究において地球化学的な考察が得られることも期待できる。

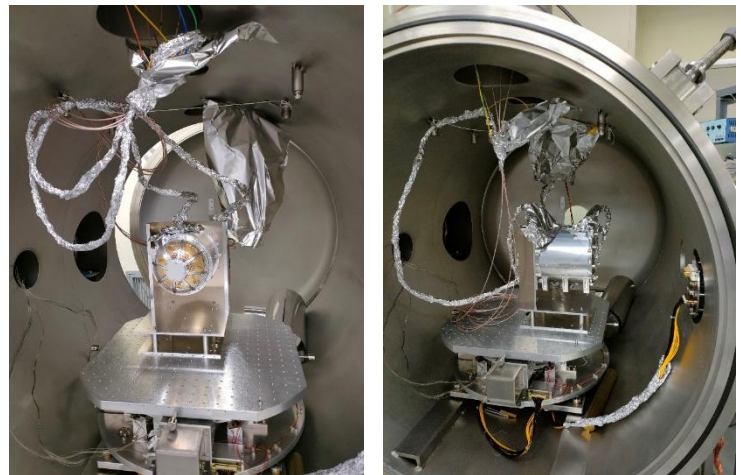
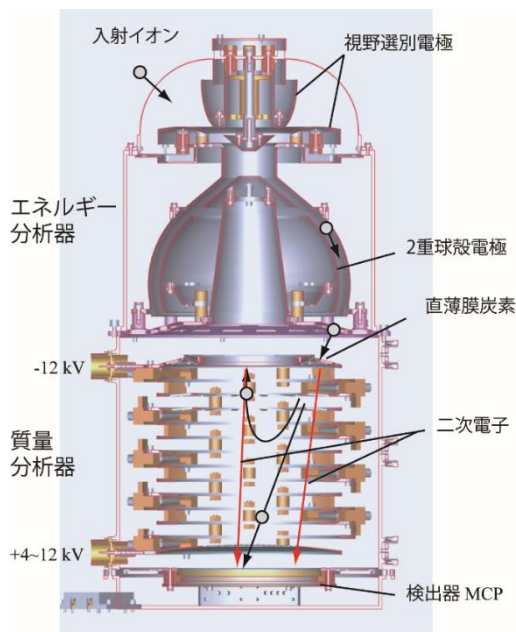


写真 1: MSA イオン分析器 FM のエネルギー分析器 (左) と質量分析器 (右) の較正試験。

図 1: MSA イオン分析器 センサ部の断面

### 【研究方法】

2021年度に行った火星衛星探査機MMX用イオン分析器エンジニアリングモデル開発の結果に基づき、2022年度はフライトモデルの開発を行った。イオン分析器（図1）の上半部のエネルギー分析器と、下半部の質量分析器に分けて真空槽に接地し、イオンビームを用いた較正試験を行った（写真1,2）。信号読み出しや高圧電源などは実験室設備のものを使用した。

### 【研究結果】

検出器での全周360度をカバーする16CHにて、エネルギー分析器の応答（図2）と、質量分析器の応答（図3）を取得した。図2では16通りの視野選別電極への電圧印加の結果を重ねている。図3では2通りの質量分析器への電圧印加の結果を上下パネルに分けている。イオン光学系として設計通りの性能であることを確認し、較正データを全て準備することができた。

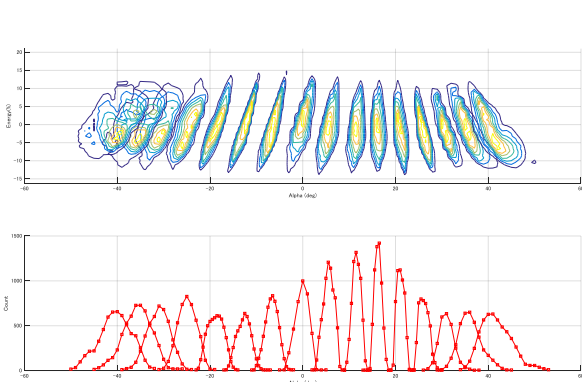


図2: 較正試験で得たエネルギー角度応答。

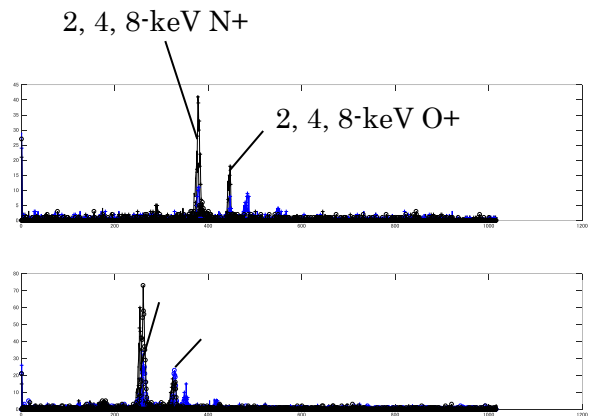


図4: 較正試験で得た質量/飛行時間プロファイル。

### 【まとめ】

主に2021年度のエンジニアリングモデルの開発成果によってMMX計画におけるJAXA詳細設計審査会(CDR)を2022年に通過し、その後フライトモデル開発を実施した。イオン光学系の較正試験は無事に完了したため、今後は環境試験及び総合機能試験を実施し、その後探査機システムへと合流する。MMX探査機は2024年に打ち上げられ、2025年後半から火星周回軌道への投入及び科学観測開始が予定されている。まずは較正データの整備を機上ソフトウェアの整備を行い、直近の探査機システム総合試験に向けた準備に取り組む予定である。

### 【成果発表】

- ・ 横田, 他7名, 宇宙プラズマ観測用質量分析装置の開発: 太陽系探査への展開, 地球電磁気・地球惑星圏学会 総会・講演会, 2022年11月, 産業会館(相模原). (招待講演)



(別紙様式 1-2)

バイオマス燃焼生成物の大気中での光化学的変質  
：組成解析と室内実験

Atmospheric fate of biomass burning products:  
Field observation and laboratory experiment

河村公隆、中部大学・中部高等学術研究所

【目的】

バイオマス燃焼 (BB) に由来する煙霧は、呼吸器疾患など健康被害に止まらず、微粒子 (エアロゾル) の吸湿特性を増大させ雲形成・気候変動に大きな影響を及ぼすことが知られている。研究代表者らは東アジアの大気中にBBのトレーサーであるレボグルコサン (セルロースの燃焼で生成する脱水糖) を高濃度で検出するとともに、西部北太平洋・父島でのエアロゾルの長期観測を通してBBの影響がこの10年間で増加傾向にあることを報告した。また、代表者らはシュウ酸等のカルボン酸が有機微粒子の主成分であること、森林火災や野焼きの近傍ではそれらが高濃度で存在することを発見し、BBおよびBB生成物の光化学反応がシュウ酸等の重要な発生源であると提案した。本研究の目的は、ドイツ対流圏科学研究所 (TROPOS) にて巨大反応チャンバーを用いた煙霧の変質実験を行い、BBからの低分子カルボン酸の一次および二次生成の仮説を検証することである。そのために、反応チャンバーから得られたエアロゾル試料を分析し、低分子ジカルボン酸・脱水糖などを測定した。また、東アジア・欧州で採取した大気エアロゾル中にバイオマス燃焼生成物を測定し、BBの大気質への影響を評価することを研究目的にしている。

【方法】

ガスクロマトグラフ (GC) ・質量分析計 (GC/MS) に用いることによって、バイオマス燃焼性生物であるレボグルコサンなどセルロースの燃焼で生成する脱水糖をトリメチルシリル (TMS) 誘導体として測定した。また、FID検出器付きGCを用いることによって、低分子モノカルボン酸 (C1-C10) および低分子ジカルボン酸 (C2-C10) を、それぞれ、パラブロモフィナシルエステル、ジブチルエステルに誘導体化したのち測定した。また、植生起源のイソプレン・ $\alpha$ -ピネンの酸化生成物をTMS誘導体としてGC/MSにて測定した。更に、炭素計を用いて有機炭素・黒色炭素を、イオンクロマトグラフを用いて主要イオンを、安定同位体比質量分析計を用いて安定炭素・窒素同位体比を測定した。

【結果】

ドイツ・ライプツィヒTROPOS研究所で採取したエアロゾル試料 (Melplitz station and village) について低分子ジカルボン酸および関連有機物をGCにて分析した。全てのエアロゾル試料でシュウ酸 (C2) が主成分であり、コハク酸 (C4)、マロン酸 (C3) がそれに続く分子組成を示すことがわかった。この分子分布の特徴は、これまで東アジアで報告されている分布によく類似していることが判明した。ドイツ側 (German Lab) はイオンクロマトグラフィー・質量分析計を用いてバイオマス燃焼のトレーサーを既に測定しているが、中部大学 (KK Lab) ではGC/MS法によってこれらを測定している。そのインターキャリブレーションを行ったところ、2つの測定法で極めて良い一致を確認することができた (図1参照)。また、図2にバイオマス燃焼性生物のトレーサーであるレボグルコサン、ガラクトサン、マンノサンの測定結果の一部を示す。また、TROPOSのチャンバーを用いたバイオマス燃焼生成物の試料の分析を終了して現在データを取りまとめ中である。ジカルボン酸・ケト酸・ジカルボニルやBBトレーサーの解析を行い、近日中に論文として投稿予定である。

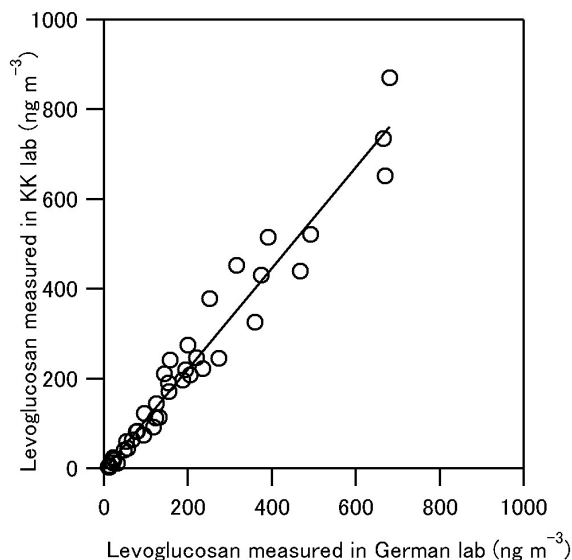


図1. 同一試料を用いたドイツ(German lab)と中部大(KK lab)におけるレボグルコサン測定結果の比較

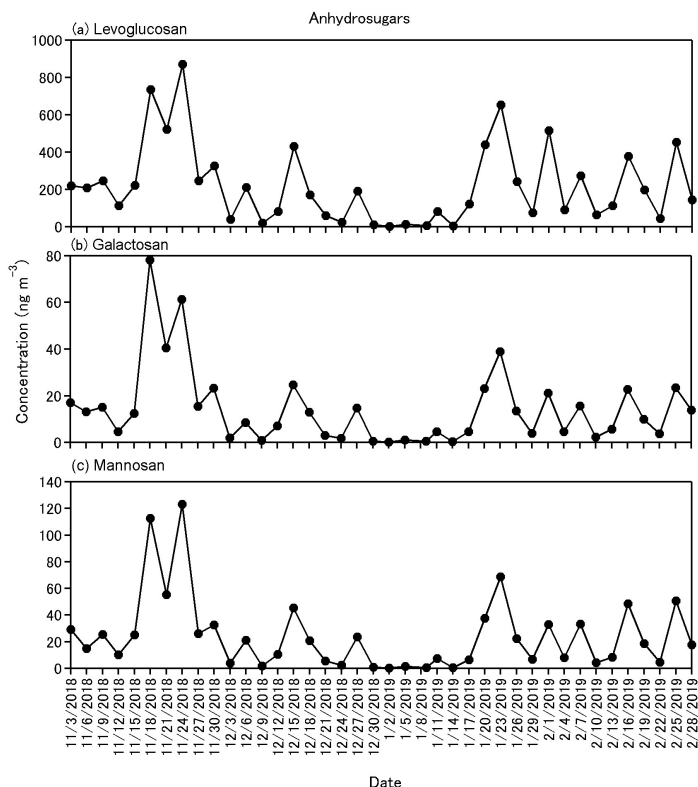


図2. ドイツ(Melplitz)におけるレボグルコサン等の濃度変動

#### 【考察とまとめ】

本研究を通してバイオマス燃焼のよって低分子ジカルボン酸が生成することがわかった。しかし、実際の大气エアロゾル中ではしばしばマロン酸がコハク酸よりも高い濃度をしめし、大气中での光化学的変質の重要性が明らかとなった。また、バイオマス燃焼の煙の成分がチャンバーの中で変化することが認められた。今後は、国際共同研究で得られた貴重なデータを解析し、論文として国際誌に掲載するために鋭意努力する予定である。また、本研究では、薪ストーブの煙突の中で起こるガス・粒子の分配についてもデータを解析した。その結果、カリウムが煙突中で選択的に除かれ煤として沈着することが分かった。この結果は、地域においてレボグルコサン・カリウム比が大きく変動する理由として薪ストーブの寄与が大きいことを示唆しておりこれまでのデータを整理する意味で重要な知見である。そのデータを公表したところ、関連の研究者から大きな反響があった。

#### 論文発表

- Kawamura K., Geochemical studies of low molecular weight organic acids in the atmosphere: sources, formation pathways, and gas/particle partitioning, *Proc. Jpn. Acad. Ser. B* 99, 1-28, 2023. doi: 10.2183/pjab.99.001, Published on 10 January, 2023.
- Kawamura K., B. Kunwar, D. K. Deshmukh, P. Vodička and Md. M. Haque, Deposition of Potassium on Chimney Wall from Wood Stove Smoke: Implication for the Influence of Domestic Biomass Burning on Atmospheric Aerosols. *Atmosphere* 2023, 14, 484. <https://doi.org/10.3390/atmos14030484>, Published: 28 February 2023.
- Kunwar B., K. Torii, S. G. Aggarwal, A. Takami and K. Kawamura, Comparisons of GC-Measured Carboxylic Acids and AMS m/z 44 Signals: Contributions of Organic Acids to m/z 44 Signals in Remote Aerosols from Okinawa Island, *Appl. Sci.* 2022, 12, 8017. [doi.org/10.3390/app12168017](https://doi.org/10.3390/app12168017)
- Haque Md. M., S. K. Verma, D. K. Deshmukh, B. Kunwar, and K. Kawamura, Seasonal characteristics of biogenic secondary organic aerosol tracers in a deciduous broadleaf forest in northern Japan, *Chemosphere* 311 (2023) 136785, available online 15 October, 2022.

(別紙様式 1-2)

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

大矢 浩代、千葉大学・大学院工学研究院

1. 研究目的

本課題では、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 ; 台湾、タイ、インドネシア、フィリピン、ベトナム)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。VLF/ELF帯電磁波からは、その低い減衰率(1-3 dB/1000 km)により広範囲 (~数千km) の雷の発生時刻、発生位置 (緯度、経度)、ピーク電流、極性、および電荷モーメントを推定でき、フィールドミルの観測から、半径 ~ 40 kmの雷による大気電場変動を捉えることができる。本課題では、東南アジアにネットワークを構築することにより、雷放電のグローバルサーキットへの影響を定量的に明らかにする。

2. 研究方法

本課題では、雷の位置 (緯度・経度)、ピーク電流、極性、および電荷モーメントを推定し、大気電場変動との関連性を明確にすることで、東南アジアの雷放電とグローバルサーキットとの関連性について明らかにする。雷放電推定結果と大気電場との比較については、雷発生時刻により、雷電波データと大気電場変動との対応関係を調べ、パラメータごとにその変動量や周期等を求める。

3. 研究結果および考察

2022年度に、科研費でフィールドミルを1台購入し、東南アジアに新規設置を予定していたが、千葉大で観測していた既存のフィールドミルの信号ケーブルが破損してしまい、新規購入したフィールドミルのケーブルに交換した。そのため、東南アジアへの設置はできなかった。2023年度はケーブルを新規購入し、ポンティアナ (インドネシア) への設置を予定している。

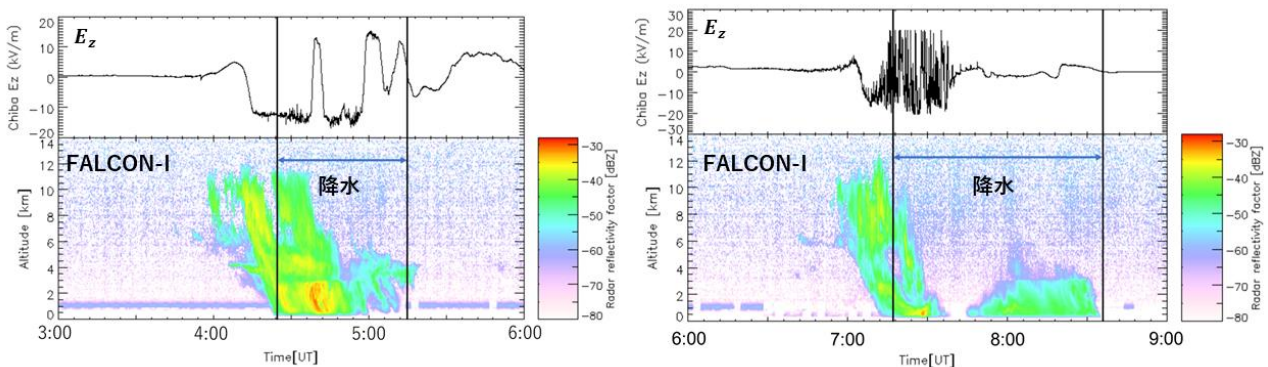


図 1 2022年6月3日(左) 03:00-06:00 UT および(右) 06:00-09:00 UT の雷雨時に、千葉大で観測された(上) 大気電場および(下) FALCON-Iで観測されたレーダ反射強度。

2022年6月3日03:00-09:00 UT の雷雨時に、千葉大で観測された大気電場変動と、本研究グループが開発した95GHz雲レーダFALCON(FMCW Radar for Cloud Observations)-Iのレーダ反射強

度との比較を図1に示す。両方の時間帯ともに雷は発生していたが、06:00-09:00 UT のほうが雷の発生数は多かった。大気電場は正が下向き（下部電離圏から地表への向き）、負が上向きを示す。FFT等により変動の周期を調べたところ、03:00-06:00 UT では、630 s 以上の大気電場の変化が雷雲の動きと関係しており、06:00-09:00 UT では数 s から 100 s の雷による変動が見られた。

大気電場の変動量と落雷の距離との間に弱い相関がみられた（図2）。これより、フィールドミルで測定された大気電場は、近い雷の影響を大きく受けることが考えられる。

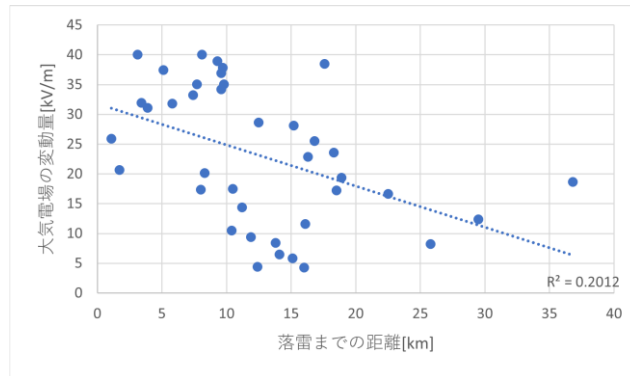


図 2 大気電場の変動量 vs 雷からフィールドミルまでの距離

#### 4. まとめ

2022年度は東南アジアでの大気電場観測ができず、国内での観測・解析を行い、雲レーダFALCON-Iとの比較を行った。その結果、雷雲の動きによる緩やかな大気電場変動、雷による速い大気電場変動、および雷までの距離と大気電場変動量との相関について明らかにした。2023年度はインドネシアにフィールドミルを設置し、雷および気象衛星の雲データとの比較を行う予定である。

#### 成果発表

- [1] Nozaki, Y., H. Ohya, F. Tsuchiya, K. Nozaki, H. Nakata, and K. Shiokawa, Local Time and Seasonal Variations in the D-Region Ionosphere: Does It Reflect Sudden Stratospheric Warming Effects?, *URSI Radio Science Letters*, 4, DOI: 10.46620/22-0045, 2022.
- [2] Nakayama, M., H. Ohya, F. Tsuchiya, K. Nozaki, K. Shiokawa, and H. Nakata, Horizontal Inhomogeneity of the D-region Ionosphere During a X-class Solar Flare by OCTAVE VLF Observations, *URSI Radio Science Letters*, 4, 2022 (accepted).
- [3] Ohya, H., F. Tsuchiya, J. Chum, T. Omori, and K. Shiokawa, Variations in atmospheric electric field and VLF/LF transmitter signals associated with Tonga volcanic eruption of 15 January, 2022, *JpGU2022*, Chiba, Japan, 24 May, 2022 (Invited).
- [4] Nozaki, Y., H. Ohya, F. Tsuchiya, H. Nakata, and K. Shiokawa, Diurnal and seasonal variations in the D-region ionosphere using LF transmitter signals, *JpGU2022*, Chiba Japan, 1 June, 2022.
- [5] Nakayama, M., H. Ohya, F. Tsuchiya, K. Shiokawa, Large solar flare effects on the D-region ionosphere using VLF/LF transmitter signals, *JpGU2022*, Chiba, Japan, 1 June, 2022.
- [6] Ohya, H., F. Tsuchiya, J. Chum, T. Omori, and K. Shiokawa, Response of Atmospheric Electric Field and VLF/LF Transmitter Signals to Tonga Volcanic Eruption of 15 January, 2022, *AGU2022*, Online, 1 August, 2022.
- [7] Ohya, H., Variability and Role of the D-region Ionosphere Based on VLF/LF Wave Observations, *URSI-JRSM2022*, Chuo University, Tokyo, Japan, 1 September, 2022 (Invited).
- [8] Ohya, H., F. Tsuchiya, M. Kamogawa, T. Suzuki, J. Chum, and T. Takamura, Variations in the D-region ionosphere associated with Tonga volcanic eruptions of 15 July 2022 using VLF/LF transmitter signals, *VERSIM2022*, Online, 8 November, 2022.

(別紙様式 1-2)

短波長赤外分光器・イメージャとEISCAT Svalbard radarを組み合わせた  
薄明時におけるオーロラの検出

Aurora identification in twilight condition by 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する事である。スバルバル諸島・ロングイヤビエン (78.1° N, 16.0° E) で実施予定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80km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。

【観測実施状況】

2022年11月に短波長赤外(1.1-1.3  $\mu\text{m}$ )に感度を持つ高分散分光器を、ロングイヤビエンのThe Kjell Henriksen Observatory (KHO)の光学ドームへの設置を完了した。また、分光観測の補完のため波長1.1  $\mu\text{m}$  における単色イメージャも分光器と同じドームに設置・観測を開始している。設置終了後から、2023年3月末現在で大きなデータ欠測なく運用しており、分光器は2023年5月初頭、イメージャは2023年4月初頭まで観測継続予定である。また、2023年1月22日および23日にはESR特別実験を実施し、光学機器との同時観測を行った。分光器は観測波長と波長分解能の異なる4つのモード(表1に示す)を有しており、3つのモードにおいてオーロラ発光を合計10例程度観測することに成功している。

表1 分光器における4つの観測モードと観測対象と観測実績

Mode	Target: Aurora and Airglow	
Mode-1: Aurora fine	Success: $\text{N}_2^+(0,0)$	Success: OH (5,2), He
Mode-2: Aurora wide 1	Not yet: $\text{N}_2\ 1\text{P}(0,0)$ , $\text{N}_2^+(0,0)$	Success: OH (4,1), (5,2), (6,3), He
Mode-3: Aurora wide 2	Success: $\text{N}_2^+(0,0)$ , $\text{N}_2\ 1\text{P}(0,1)$	Success: OH (5,2), (6,3), (7,4), He
Mode-4: OH	Success: $\text{N}_2\ 1\text{P}(0,1)$ , OI-	Success: OH (7,4), (8,5), $\text{O}_2\ \text{IR}$

【結果・考察】

2023年1月21日オーロラ:

分光器の高分散モード(表1のMode-1)による $\text{N}_2^+(0,0)$ バンドの観測例について示す(図1)。18:45UT前後にオーロラの活動度が上昇し、分光器では時間分解能30秒で非常に強い $\text{N}_2^+(0,0)$ バンドのオーロラ発光が観測された。発光強度は最大で40kRを超えており、イメージャで撮像されたバンド状のオーロラ発光の時間発展や絶対強度と整合的である。短波長赤外オーロラにおける分光及び単色イメージングの同時観測例は今まで無く、現在初期結果として論文執筆中である。また、オーロラ発光スペクトル中に $\text{N}_2^+$ 分子イオンの回転運動に起因する微細構造が見えており、今後 $\text{N}_2^+$ 分子イオンの回転温度の導出に取り組む予定である。

2022年11月24日大気光:

分光器の低分散での大気光観測モード(表1のMode-4)による観測例について示す(図2)。この観測モードでは、OH大気光の(7,4)及び(8,5)バンドに加えて、 $\text{O}_2$ のIRバンド(1.27 $\mu\text{m}$ )の観測が可能であり、OH大気光はこの分光器で観測できる中で最も明るいバンドのため、OH回転温度を最も精度良く導出できる。図2の例では、1晩平均温度の推定における観測誤差は、OH(7,4)で16.5K程度、OH(8,5)で2.0K



程度であった。OH(8, 5)バンドについては、10分の時間分解能で5K程度の誤差で温度導出が可能である。

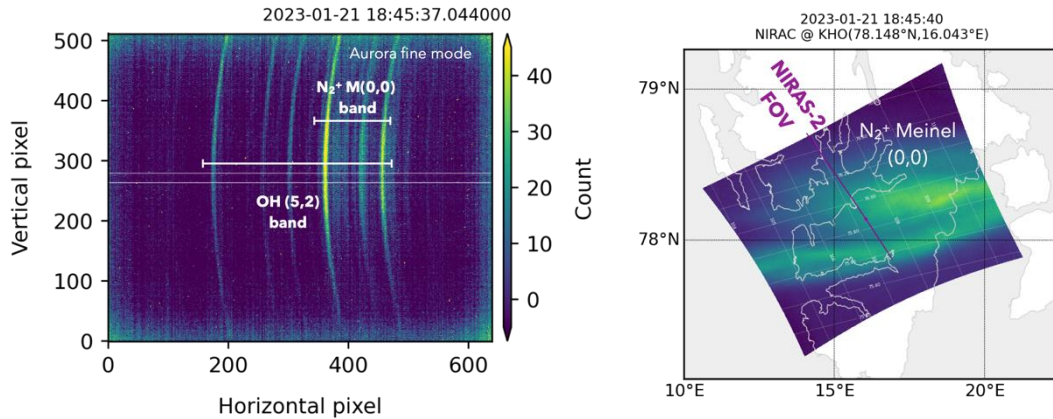


図1(左)分光器におけるオーロラ観測データ(右)イメージャーで撮像されたバンド状オーロラ

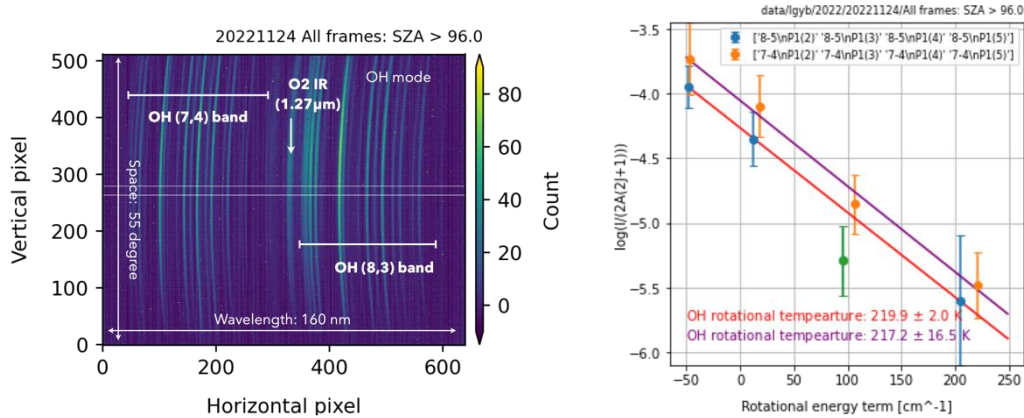


図2(左)分光器における1晩平均の大気光観測データ(右)回転温度導出のための Boltzmann

### 【まとめ】

2022年11月に分光器及びイメージャーをロングイアビンに設置し、概ね順調に運用を続けている。これまでに、分光器の異なるモードにおいて夜間オーロラ( $N_2^+$ 分子イオンや $N_2$ 分子, O原子)を30秒の時間分解能で取得できている。大気光については、 $1.3\mu\text{m}$ 付近のOH(8, 5)バンドを中心に運用しており、10分時間分解能で5K程度の誤差で中間圏温度を導出可能である。イメージャーは $1.1\mu\text{m}$ のオーロラ発光に加えて、発光強度の弱いOH大気光の変動も撮像可能である。今後はESR同時観測イベントに着目し、分光器のデータにおける薄明時の背景光の除去手法を確立させ、薄明時/日照時のオーロラ検出に取り組む。

### 【成果発表】

- [1] Nishiyama et al., Spectroscopic and imaging observations of short-wavelength infrared ( $1.1\text{--}1.2\ \mu\text{m}$ ) aurora and airglow at Longyearbyen ( $78.2^\circ\ \text{N}$ ,  $16.0^\circ\ \text{E}$ ) coordinated with EISCAT Svalbard radar, JpGU Meeting 2022, Hybrid, May 25, 2022
- [2] Nishiyama et al., A new spectroscopic and imaging observations of short-wavelength infrared ( $1.1\text{--}1.3\ \mu\text{m}$ ) aurora and airglow at Longyearbyen ( $78.2^\circ\ \text{N}$ ,  $16.0^\circ\ \text{E}$ ) coordinated with EISCAT Svalbard radar: Ionospheric-atmospheric coupling in polar region, COSPAR 2022, Hybrid, 16–24 July, 2022
- [3] Nishiyama et al., A new spectroscopic and imaging observation of SWIR aurora and airglow ( $1.1\text{--}1.3\ \mu\text{m}$ ) at Longyearbyen with EISCAT Svalbard radar, SGEPSS秋学会, 相模原, 2022年11月4日
- [4] Nishiyama et al., A plan of new spectroscopic and imaging observation of short-wavelength infrared aurora and airglow ( $1.05\text{--}1.35\ \mu\text{m}$ ) at Longyearbyen ( $78.1^\circ\ \text{N}$ ,  $16.0^\circ\ \text{E}$ ) coordinated with EISCAT Svalbard radar, The 13rd Symposium on Polar Science, Online, Nov. 15–18, 2022
- [5] Nishiyama et al., A new spectroscopic and imaging observation of short-wavelength infrared aurora and airglow ( $1.00\text{--}1.35\ \mu\text{m}$ ) at Longyearbyen ( $78.1^\circ\ \text{N}$ ,  $16.0^\circ\ \text{E}$ ) coordinated with EISCAT Svalbard radar, ISAR-7, Hybrid, Mar. 6, 2023

(別紙様式 1-2)

赤道周回MeVガンマ線観測衛星COSIによる雷ガンマ線観測の検討  
Concept study and verification of TGF science using 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

1990年代になって、雷活動から 30 MeV に達するガンマ線が放射されることが広く知られるようになった。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 (以下 TGF, Fishman+ 1994)や、冬季の日本海岸の地上や高山で観測される、雷雲そのものが数分間ガンマ線を放射し続ける Gamma-Ray Glow (以下 GRG, e.g. Torii+ 2002)などで、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。自然界に存在する唯一の静電場加速器として極めて重要であるにもかかわらず、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。雷ガンマ線研究は、高エネルギー物理学および大気電気物理学として重要かつ研究が始まったばかりの分野で、毎年のように観測的な発見が相次いでいる(Dwyer+ SSR 2012, Enoto+ Nature 2017, Wada+ PRL 2019, Wada+ PRG 2021 など)。最新の TGF 発生の理論モデルでは発生点における被曝量は 1 Sv に達するとされ、その実態の解明が重要となってきている (e.g. Melody et al, JGR 2021)。

日本海岸の冬季雷は雷ガンマ線の地上観測に最適で、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, Wada+ PRD 2020, Hisadomi, Nakazawa+ JGR-A 2021 (一部、本予算で実施した研究成果))。宇宙からの TGF 観測では、Fermi 衛星、AGILE 衛星に加え、最近では ISS 搭載の ASIM 検出器が可視光とガンマ線の同時観測で成果を上げている。しかし既存の数千個もの TGF のデータをもってしても明らかに

できていないのが、TGF のガンマ線放射のビーム開口角  $\theta$  である。観測されるガンマ線強度が  $\theta$  の-2乗でスケールすること、また  $\theta$  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-SMEX 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 度と小さな Fermi との、TGF 多点同時観測の実現性が一気に高まり、ビーム開口角  $\theta$  を観測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。本研究計画は、BTO 開発支援を主とし、地上での雷ガンマ線観測の継続活動も一部実施する。

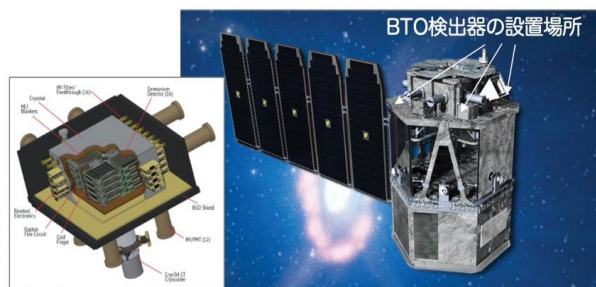


図 1. NASA の COSI-SMEX 衛星。主検出器とは独立に、Background and Transient Observer (BTO、仮称) が 4 台搭載される。

### 3：研究結果と考察

軌道上で重粒子宇宙線に晒された時に、シンチレータからは時定数の長い発光(アフターグロー)が出るが、時定数が ms 程度と長い場合には、TGF や short GRB の一部との区別も容易ではなく、実際に使用する予定のシンチレータとプリアンプでこれを実測することは重要である。2022年6月17-18日に量子科学技術研究開発機構(旧放医研)にて、BTO 試作機に高エネルギー炭素とヘリウムを当て、フライト品の候補検出器とプリアンプ回路の応答を確認した。この結果、CsI(Tl)では要求を達成できず、NaI(Tl)が必要なことを確認した。また我々は、COSI サイエンス検討の議論を進めており、TGF 観測の可能性最大化のために必要な観測性能要求の抽出を進めてきた。COSI のメイン検出器 (Ge 半導体コンプトン望遠鏡) と BTO でも観測を検討を進めている。

地上での雷ガンマ線観測研究については、開口角  $\theta$  を下向き TGF について知ることを目指した指向性観測に挑戦している。中性子施設で得られる即発ガンマ線を用いて性能検証をした上で、2022年度の冬季から観測を開始しており、現在データ解析中である。

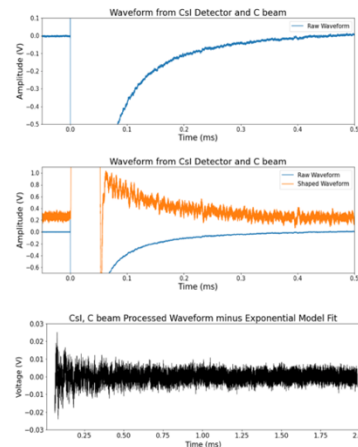
### 4：まとめ

COSI 衛星の日本チームとしての参加、特に TGF 観測の視点でのサイエンス検討と要求仕様策定は予定通り進んでいる。BTO 検出器の設計指針も得られ、2023年度は衛星搭載回路設計を用いた試験を予定している。呼応する下向き TGF の地上観測でも指向性観測に挑戦し、最初の観測を始めている。

#### [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
- Tomsick, John et al. "The Compton Spectrometer and Imager", American Astronomical Society Meeting #241, id. 146.06., the Seattle Convention Center, 8-12 January 2022
- 大熊佳吾 et al. "雷活動に由来するガンマ線の観測プロジェクト：コリメータ検出器で観測された3つの Gamma-ray Glow の比較", 日本物理学会 2022 年秋季年会 岡山理科大学, 2022/09/08
- 大熊佳吾 et al. "2020 年度冬季および 2021 年度冬季に 高度測定用検出器 GOOSE で得られた 2 つの雷ガンマ線グローの解析", 日本地球惑星科学連合 2022 大会、幕張/オンライン、2022/06/02
- K. Nakazawa, "X-ray to MeV astrophysics with XRISM, COSI and beyond", The 5th KMI International Symposium (KMI2023), February 21, 2023, Nagoya University

Cイオンを用いたCsIからの信号の例



Cイオンを用いたNaIからの信号の例

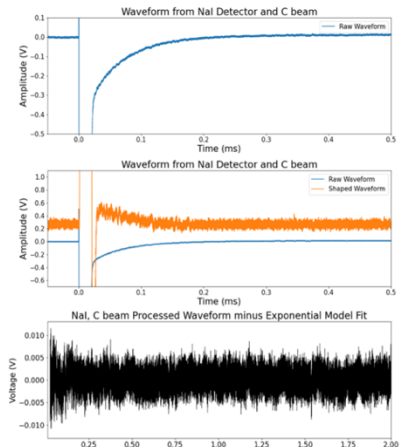


図1: HIMAC における C イオン照射時に、CsI および NaI からの信号出力と、そこにみられる afterglow 成分。



(別紙様式 1-2)

## 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過程の解明

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】

#### 1) 試料採取

2022年と1月の冬季と4月の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)とTouji 島(中国)で2週間に1日1回のサンプリングを行う予定だった。しかし、冬季の沖縄は新型コロナの感染拡大に伴って、CHAAMS の使用ができなくなったため、サンプリングはできなかった。その代わりに、長崎大学屋上でサンプリングを行った。春季は新型コロナの感染者が減少したため CHAAMS の使用が可能となり、中国、長崎と沖縄でサンプリングを行った。3地点での大気観測終了後は、沖縄のみ4月から6月まで週に1回のサンプリングを行った。2023年は1月と3月に2週間に1日1回のサンプリングを中国、長崎と沖縄の3地点で行った。

#### 1) SOA の分析手法の改良

2-1) 大気試料を Chen et al. (2016)の方法を用いてカラムにより有機成分を4分画し抽出した(疎水性有機物、水溶性有機物、酸性性フミン様物質、中性フミン様物質)。今回の報告では沖縄で4月から6月まで週に1回のサンプリングした試料を用いて分画を行った。分画された各々の有機物の主要な官能基をFT-IR によって解析した。

### 【結果と考察】

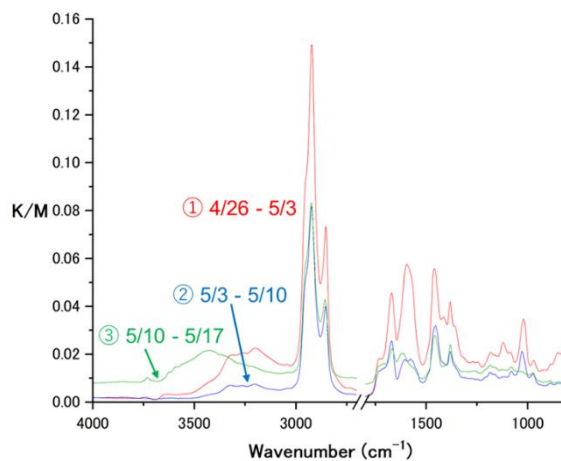
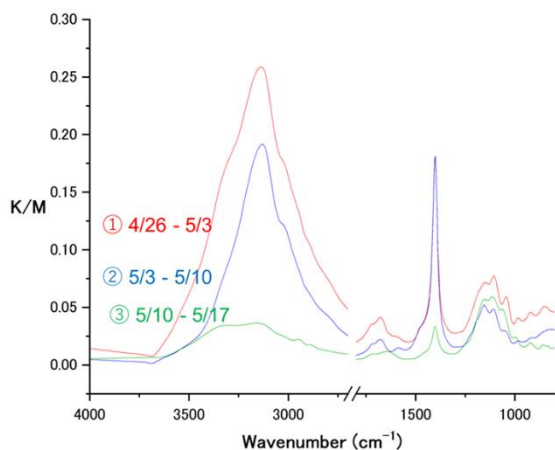
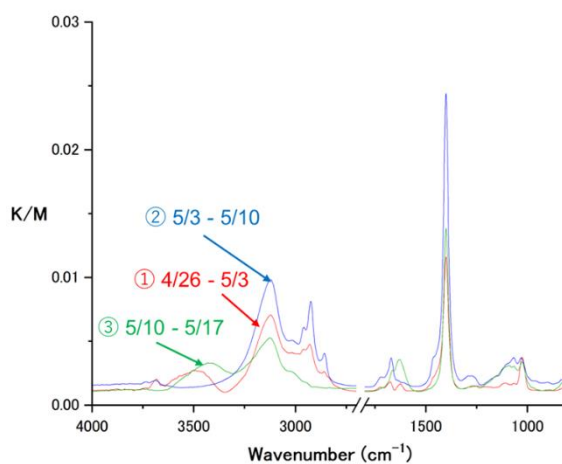
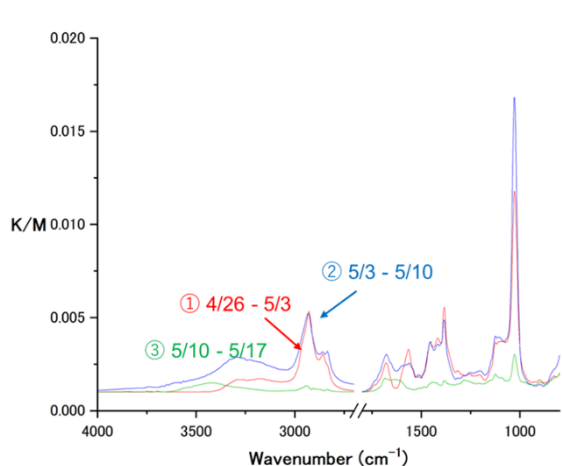
図1に中性フミン様物質、酸性フミン様物質、水溶性有機物、疎水性有機物のFT-IRのスペクトルを示した。中性フミン様物質の $1027\text{ cm}^{-1}$ に見られたピークはアルコールのO-H伸縮振動によるものであった。他の分画した試料のスペクトルからは見られなかったことから、このピークは中性フミン様物質に特徴的なものであると考えられる。また、 $1600\text{ cm}^{-1}\sim 1700\text{ cm}^{-1}$ 付近にはC=Oによる吸収も見られた。 $2857\text{ cm}^{-1}$ のピークは $-\text{CH}_2$ のC-H伸縮振動によるもの、 $2931\text{ cm}^{-1}$ のピークは $-\text{CH}_3$ のC-H伸縮振動によるものであった。 $1000\text{ cm}^{-1}\sim 1400\text{ cm}^{-1}$ 付近にはC-Oの伸縮振動による吸収が見られ、 $1027\text{ cm}^{-1}$ のアルコールのような明確なピークは見られないが、エステル、エーテル、カルボン酸などのC-Oを持つ構造による吸収である可能性が考えられる。

酸性フミン様物質のスペクトルでは、 $1000\text{ cm}^{-1}\sim 1200\text{ cm}^{-1}$ 付近にC-Oによる吸収、 $1600\text{ cm}^{-1}\sim 1700\text{ cm}^{-1}$

<sup>1</sup>付近に C=O による吸収が見られた。2854 cm<sup>-1</sup> のピークは -CH<sub>2</sub> の C-H 伸縮振動によるもの、2923 cm<sup>-1</sup> のピークは -CH<sub>3</sub> の C-H 伸縮振動によるものであった。特に 1402 cm<sup>-1</sup> のピークはかなり強いピークが出ているにも関わらず、先行研究、その他の参考資料からも官能基の特定はできなかった。1400 cm<sup>-1</sup> 付近には C-O 伸縮振動、O-H 変角振動などが吸収を持つことが知られている。

水溶性有機物のスペクトルでは 1000 cm<sup>-1</sup>~1200 cm<sup>-1</sup> 付近に C-O による吸収、1600 cm<sup>-1</sup>~1700 cm<sup>-1</sup> 付近に C=O による吸収が見られた。このスペクトルでは 3000 cm<sup>-1</sup>~3400 cm<sup>-1</sup> 付近に水の O-H による吸収が大きく見られたことが特徴的であった。また、酸性フミン様物質と同様に 1402 cm<sup>-1</sup> に強いピークが見られたが、官能基の同定には至らなかった。

疎水性有機物のスペクトルでは、1000 cm<sup>-1</sup>~1200 cm<sup>-1</sup> 付近に C-O による吸収、1600 cm<sup>-1</sup>~1700 cm<sup>-1</sup> 付近に C=O による吸収が見られた。1380 cm<sup>-1</sup> のピークは -CH<sub>3</sub> の対称変角振動、1460 cm<sup>-1</sup> のピークは -CH<sub>3</sub>、-CH<sub>2</sub> の C-H 変角振動、2854 cm<sup>-1</sup> のピークは -CH<sub>2</sub> の C-H 伸縮振動、2923 cm<sup>-1</sup> のピークは -CH<sub>3</sub> の C-H 伸縮振動によるものと考えられる。他のスペクトルに比べ、より多くの C-H による吸収が見られたことから、豊富な炭化水素基を含んでいる可能性が考えられる。



# シア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

研究代表者 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。本研究では、特に、シア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。

2023 年中に EISCAT\_3D レーダーの稼働が実現の見込みとなっている。EISCAT\_3D は、従来の 10 倍以上の性能を有し、電子密度、イオン温度、イオン速度、電場、電流の観測精度は飛躍的に向上する(世界で初めて電離圏物理量を、秒オーダーの時間分解能、10 km の空間分解能で立体的に導出できる)。また、数値モデルの改良も随時進められており、両者の融合により、電場増大に伴う局所的な電離圏・熱圏変動の新たな描像が得られるものと考えている。

### 研究方法(計画) (使用した共同研究利用装置・施設等を含む)

#### \*EISCAT 観測 他

ロングイアビン、トロムソでのレーダー同時観測を実施する(国立極地研究所 EISCAT 特別実験に申請)。午前～昼側での電離圏変動に着目し、07:00-13:00 UT における観測を実施する。これにより、極冠域からオーロラ帯に至る広範な領域での電離圏変動のいくつかを観測的に理解する。これまでの当グループの EISCAT 特別実験データとの比較のため、1～3 月での観測が好ましく、研究代表者、共同研究者の学務等を考慮し、2～3 月に特別実験を実施する。また、共同研究者グループは、ESR, KST サイトにて光学観測を実施していることから、本実験ではこれらとの同時期の観測を行う。

#### \*GCM シミュレーション

観測結果を踏まえ、様々なエネルギー流入に対する熱圏応答のシミュレーションを実施し、昼側極冠域近傍での高速熱圏風や伝搬性擾乱の励起・伝搬等の熱圏変動について調べる。熱圏大気微量成分モデルにより、極域への粒子降下に起因する大気微量成分の生成量を計算する。また、GCM による計算から熱圏大気変動を推定する。主に、藤原、三好が GCM シミュレーションを実施し、結果を吟味する。

## 研究結果

### \*これまでの EISCAT レーダー観測データの解析、および過去の観測との比較

地磁気静穏時の特徴として、北向きの ESR 観測(32m アンテナ観測)ではイオン速度変動や急激なイオン温度変動が見られ、その他ではほぼ静穏な電離圏が観測される。ESR 沿磁力線方向や、地磁気擾乱時のトロムソ上空では高エネルギー粒子の降込みも観測された例があった。これらの結果について、これまでの観測結果の整理と、GCM シミュレーションの準備を行った。

### \*GCM シミュレーション

地磁気静穏時・擾乱時の極域加熱を再現するためのエネルギー流入のモデル化について検討を行った。主に極域電場と、降下粒子の影響を既存の GCM へ組み込むことが必要であり、米国を中心とした最新の研究成果等を調査した。

### EISCAT レーダー特別実験

コロナ禍の終息を期待して、藤原、野澤がトロムソに赴き、2023年3月に特別実験を実施する予定であったが、依然としてコロナ禍の影響のため学務等の調整が困難となり、レーダーサイトの EISCAT スタッフに依頼し、2023年3月27日の8:00-14:00 UT に EISCAT 特別実験を実施した。ESR 32m アンテナの不調により、ESR 42m アンテナ、トロムソ UHF レーダー観測のみの実施となった。本観測期間、地磁気活動は静穏であったことから、これまでに取得した静穏時データとの比較研究を進めたいと考えている。

### 本研究課題に関連した主な成果発表 (学会発表等)

藤原 均・三好 勉信・片岡 龍峰, Thermospheric mass density variations at altitudes between 150-250 km, 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, 2022.

三好 勉信・陣 英克・品川 裕之・埜 千尋・藤原 均, 大気圏-電離圏結合モデルによる大気上下結合研究, 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, 2022.

品川 裕之・三好 勉信・埜 千尋・陣 英克・藤原 均, イオノゾンデ観測で得られる foEs データを用いた GAIA の改良, 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, 2022.

陣 英克・埜 千尋・三好 勉信・品川 裕之・藤原 均, Data assimilation of GAIA model using TEC and satellite ionospheric observations, 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, 2022.

藤原 均・野澤 悟徳・小川 泰信・三好 勉信, Changes in the polar cap thermosphere/ionosphere during geomagnetically quiet periods, 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, 2022.

小川 泰信・宮岡 宏・野澤 悟徳・橋本 大志・大山 伸一郎・西村 耕司・津田 卓雄・藤原 均・堤 雅基・田中 良昌・西山 尚典・中村 卓司・藤井 良一, Japan's Activities for the EISCAT\_3D Project. 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, 2022.

品川 裕之・埜 千尋・陣 英克・三好 勉信・藤原 均, リアルタイム GAIA を用いたプラズマバブル発生予測システムの開発, 第150回地球電磁気・地球惑星圏学会, 相模原, 2022年11月.

(別紙様式 1-2)

機械学習を用いた磁力線共鳴振動周波数の自動同定と  
プラズマ圏長期モニタリング

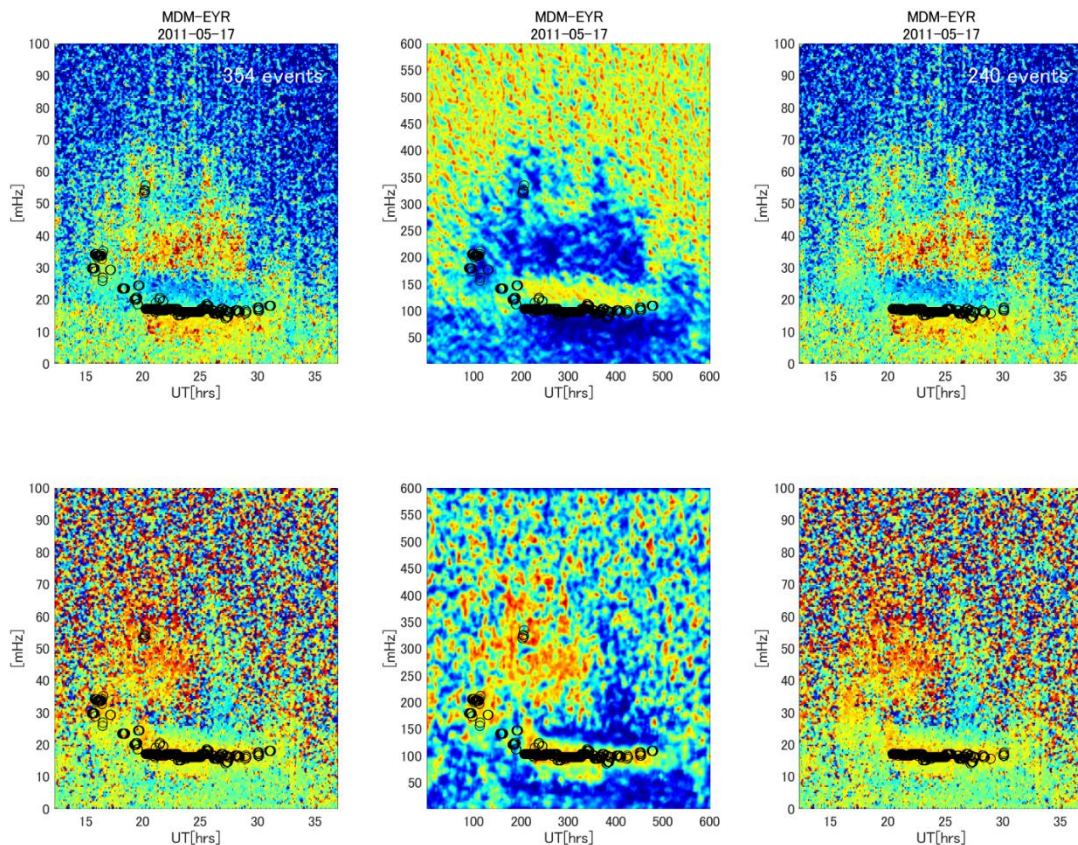
Long-term monitoring of the plasmasphere and automated detection of the FLR frequency using machine learning

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、我々が2011年からニュージーランドに展開している地磁気観測網で得られた約10年分の地磁気データを機械学習によって解析し、磁力線共鳴振動周波数の自動検出手法を確立することを目的とした。

2021年度までに、Middlemarch観測点とEyrewell観測点で得られた地磁気データを、ニューラルネットワークを用いて解析し、磁力線共鳴振動に特徴的な位相差・振幅比の構造が検出できるか否かの判定を行う分類モデルを構築した。2022年度は、この分類モデルを、既存の磁力線共鳴振動周波数検出アルゴリズム(Berube et al., 2003)と組み合わせて使用することで、磁力線共鳴振動を高精度に検出する手法を開発した。

図1 - 4は、2011年5月17日12時から翌18日12時までの間にニュージーランドの地磁気観測点Middlemarch (MDM)とEyrewell (EYR)で観測された地磁気データをBerubeのアルゴリズムで解析し、検出された磁力線共鳴振動周波数を黒丸でプロットしたものである。それぞれMDM-EYRパワー比(図1)、MDM-EYR位相差(図2)、パワー比の画像に対するニューラルネットワークモデルのClass Activation M



apping (CAM) (図3)、位相差の画像に対するCAM (図4)に重ね合わせてプロットしている。

5月17日20時から翌18日6時頃にかけて、17mHz付近に磁力線共鳴振動が表れており、Berubeのアルゴリズムもその時刻・周波数に多数のイベントを正しく検出している。一方で、5月17日15-20時頃にかけて20-55mHzに多数の「誤検出」イベントがある。この誤検出イベントを取り除くことが磁力線共鳴振動自動検出モデルの構築を行う上で最重要な課題となっている。CAMの特徴を解析したところ、磁力線共鳴振動が正しく検出されている時刻において、パワー比のCAMが磁力線共鳴振動の低周波数側で極小、高周波数側で極大を取り、また位相差のCAMは磁力線共鳴振動周波数付近で極大をとることが明らかになった。よってこの特徴を持たないイベントを誤検出とみなして取り除くこととした。その結果を示したのが図5, 6である。それぞれパワー比、位相差に重ね合わせてプロットしている。イベント数が354から240に減り、誤検出がすべて取り除かれていることがわかる。

これらの成果は以下の学会・論文誌等で発表された。

#### 【論文等】

- [1] 才田 聡子, 尾花 由紀 (2019), 'データサイエンス教育の題材としてのオープンデータ可視化ツールの開発', 情報教育シンポジウム論文集, 2019, 17-23 (2019-08-10).
- [2] 尾花由紀, 才田聡子 (2019), '地磁気データのリアルタイム送受信システムの開発 Development of a Real-Time Data Transmission System for Geomagnetic Data', 大阪電気通信大学研究論集 (自然科学編) 第54号.
- [3] Obana, Y., Miyashita, Y., Maruyama, N., Shinbori, A., Nosé, M., Shoji, M., A. Kumamoto, F. Tsuchiya, S. Matsuda, A. Matsuoka, Y. Kasahara, Y. Miyoshi, I. Shinohara, W. S. Kurth, C. W. Smith and R. J. MacDowall (2021). Field-aligned electron density distribution of the inner magnetosphere inferred from coordinated observations of Arase and Van Allen Probes. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 126, e2020JA029073. <https://doi.org/10.1029/2020JA029073>

#### 【学会発表等】

- [1] Saita, Satoko, Akiko Fujimoto, Yuki Obana, 'Identification of Field Line Resonances using Machine Learning Algorithms', The 12th Symposium on Polar Science, 15 - 18 November 2021, Online.
- [2] 尾花 由紀, 才田 聡子, 藤本 晶子, 機械学習を用いた磁力線共鳴振動周波数の自動同定とプラズマ圏長期モニタリング, 2021年度ISEE共同利用・共同研究 コミュニティ・ミーティング, 2021年8月5日, Online.
- [3] Akiko Fujimoto, Yuki Obana, Satoko Saita, 'Seasonal Variation in Plasmaspheric Mass Density in the New Zealand Meridian', American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting, 9-13 Dec, 2019 (15 Dec Poster), San Francisco, USA.
- [4] Saita, Satoko, Akiko Fujimoto, Yuki Obana, 'Performance of Rule-based and Machine Learning Algorithms for Field-line Resonances Identification', 03 Aug 2022, Asia Oceania Geosciences Society 19th Annual Meeting, Oral, Online.
- [5] Satoko Saita, Yuki Obana and Akiko Fujimoto, 'ニュージーランド地磁気観測データへの機械学習アルゴリズム適用による地磁気脈動活動の判別精度向上について (Verification of Machine Learning Techniques for Identification of Field Line Resonances)', ISEE Workshop in FY 2022 「ジオスペースの低エネルギープラズマ研究会集会 (Workshop on Low Energy Plasma in the Geospace)」 22 Sep 2022, Nagoya.



(別紙様式 1-2)

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・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。インドから、Gupta氏とBalakrishnan氏を招聘し、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研究を行った。この結果については、現在、論文としてまとめているところである。また、地球近傍における宇宙天気の突発的な現象についてGRAPES-3のミュオン望遠鏡と同時観測を目指して東京大学宇宙線研究所明野観測所で運用している装置について、その気圧データ欠落を補完する方法に関しての報告を行った。

【成果発表】

1. 「GRAPES-3空気シャワー観測の全体報告」、大嶋晃敏、小島浩司、野中敏幸、田中公一他、2022年9月、日本物理学会2022年秋季大会、6aA124-1
2. 「GRAPES-3実験における大型NaI検出器の導入について(6)」、田中公一、小島浩司、大嶋晃敏、野中敏幸他、2022年9月、日本物理学会2022年秋季大会、6aA124-2
3. 「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(29)」、小島浩司、大嶋晃敏、野中敏幸、田中公一他、2022年9月、日本物理学会2022年秋季大会、8pA125-9
4. 「GRAPES-3 Muon Telescopesによる宇宙線強度変動の観測(7)(多点同時観測に向けて)」、野中敏幸、大嶋晃敏、小島浩司、田中公一他、2022年9月、日本物理学会2022年秋季大会、8pA125-10
5. 「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(30)」、小島浩司、大嶋晃敏、野中敏幸、田中公一他、2023年3月、日本物理学会2023年春季大会、23pW2-3
6. 「地上ミュオン観測における気圧変動の効果」、小河蒼太、大嶋晃敏、小島浩司、野中敏幸、田中公一他、2023年3月、日本物理学会2023年春季大会、23pW2-4

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、

## 研究結果

本年度、事前に予想された通り、秋ごろまで COVID-19 の影響により実験環境にはさまざまな制限が多い状態が続いた。このため 国内で可能な作業に着目して作業を進める事を計画した。

1. 山梨県北杜市明野町にある東京大学宇宙線研究所 明野観測所にて Telescope Array 実験と同様のデータ取得システムを（無線データ収集 Host + ネットワーク）を構築した。作業が間に合わず、肝心の 比例係数菅の安定した制作手順を試してみる事は出来ていない。
2. 既存の装置（方向分解能が無い）についてのデータ解析を進めた。  
複数台のミュオン計が稼働している際に、不具合による検出器の変動を考慮し利用できる検出器を選別（そしてなるべく台数を最大化）する処理を制作。ユタ州での観測実験のデータにそれを適応し、昨年度宇宙線国際会議で報告した高層大気に対する応答[6] を加味し 結果として 400 台余りの検出器を用いた観測データとして 宇宙線の強度変動を抽出した。同経度にある、南半球の Auger 実験の計数データと比較可能なデータを得られることが分かった。  
この結果は 2022 年 9 月に日本物理学会の秋季大会で報告した。



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。

#### 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

日本物理学会 2022年秋季大会 6pA124-8 TA実験392：TA地表検出器による銀河宇宙線強度変  
動の観測(2)

##### 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, Po  
S(ICRC2021)1255

(別紙様式 1-2)

内部太陽圏探査のための 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、1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。2022年には、6月に2回目の水星フライバイが予定されている。

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使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 を行った。

(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、代表者(松岡)と David Fischer 博士が行っている。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、2021年10月および 2022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するとともに、同時のプラズマ観測データの解析を行う研究者に提供した。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は徐々に軽減されてきたものの、2022年度も依然として海外への出張が困難な状況にあった。研究費は、オンラインで会議を行うための機材購入に使用し、海外の共同研究者と密に議論をしながら作業を進める環境を整備した。11月には神戸大学で対面で BepiColombo サイエンスチーム会合が開催され、ヨーロッパメンバーが来日して参加し、久しぶりに対面で打合せすることが出来た。また、東北大学で開催された惑星圏シンポジウム 2023 に参加し、「みお」の磁場データ解析について打合せをしたほか、水星を含めた惑星探査の将来計画に関する議論に参加した。

【考察とまとめ】

水星フライバイの貴重な機会の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。この成果をさらに発展させ、今後のフライバイ観測においても、海外メンバーと協力して有益なデータの取得と解析を推進する。

(別紙様式 1-2)

北極域ナトリウムライダー中性大気温度・風速計測の拡張観測：  
中間圏界面(80-115 km)から下部熱圏領域(<200 km)へ  
Widening the sodium wind/temperature lidar observation  
range from 80-115 km up to 200 km

川原琢也、信州大学・工学部

## □ 研究目的

ノルウェートロムソ観測所のナトリウム(Na)ライダーは、2010年10月から2019年12月まで下部熱圏・上部中間圏(80-115 km)のNa層の観測を行ってきた。本研究では、通常のNa層より高高度200 kmまで広がる低密度のNa原子を観測対象とし、従来のNa層(80-115 km)を含めて、観測領域を高高度200 kmまで拡張することを最終目標とする。低密度(数十個/cm<sup>3</sup>)のNa原子からの微弱な散乱光を観測するためには、夜間の微弱な背景光さえも除去する超狭帯域光学フィルタ(ファラデーフィルタ)の開発を進めるのが本課題の目的である。

## □ 研究手法

ファラデーフィルタ実現の課題は、透過帯域が約2 pm(市販品のフィルタ帯域は~1 nm)の超狭帯域の透過特性を計測するための計測システムの構築と、計測したフィルタ透過特性の安定性評価を行うこと、である。本研究ではプロトタイプファラデーフィルタ(中心磁場245 mT、ガラス製Naセル)を用いて、理化学研究所に構築した589 nmレーザ光源で透過率計測を行い、フィルタ透過特性計測と計測システムの検証を行った。

## □ 計測システム

構築した計測システムの構成は、波長スキャン可能な589 nmレーザ光源と、Naライダー観測で用いている絶対波長モニターのためのDoppler Free飽和分光システムである(Fig.1(a))。レーザ光源は、近赤外波長の2種の分布帰還型(distributed feedback:DFB)レーザを混合して和周波発生(589 nm光源(出力数μW))を用いた。DFBレーザは、従来レーザ光源と比べて、波長選択性や安定性の観点で利点があるが、和周波発生で得られる出力が低いことが難点である。以上の研究は、ISEE2022年度一般共同研究「共鳴散乱ライダーシステムにおける絶対周波数基準の為の飽和分光実験」(代表者津田卓雄)と連携している。

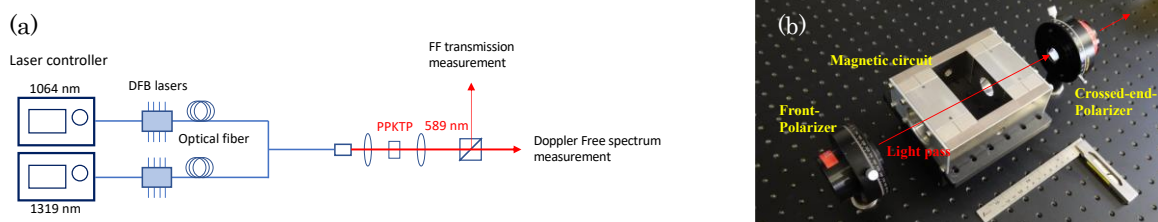


Fig.1 (a) 1064 nmと1319 nmのDFBレーザを用いた和周波技術による589 nmレーザ発生システム。光を分岐して、飽和分光法による絶対波長計測とファラデーフィルタ透過率計測を行う。(b) プロトタイプファラデーフィルタ。

ファラデーフィルタの構成は、直交する偏光プリズムの間に強磁場回路を設置し、そこにガラス製Naセルを配置し加熱温度制御を行う。589 nm光源の波長スキャンは、ファンクションジェネレータを用いて1064nmレーザコントローラへ三角波の電圧印加で外部制御を行い、波長スキャン範囲(三角波電圧の最大値と最小値で決まる範囲)を30Hzで正負方向にリニアに連続スキャンを行う。光ディテクタにはメタルパッケージPMTを用い、電圧印加に同期してフィルタの透過光強度の計測を行う。PMTで計測される光強度は、三角波と同期をとってデジタルオシロスコープに表示され、解析用にデータ保存可能である。あらかじめ計測しておいた最大透過光強度を用いて透過率に変換し透過率プロファイルを得る。尚、本

システムの波長分解能（約0.03 pm）ではDoppler Free飽和分光で得られる絶対波長スペクトルの超微細構造（約0.001 pm）は十分に得られないが、絶対波長校正に必要なスペクトルを得るには問題ない。

## □ 結果

Fig.2(a)には Na セルの温度を変化させて計測した透過率測定の結果を示す。横軸は波長校正されていないデータナンバーで示し、縦軸は相対強度を示す。温度を変化させると蒸気状態の Na セル内の原子密度が変わる。透過特性はセル温度により非常にダイナミックに形状を変える。一方、セル温度が 0.1°C の精度で一定値に制御されていても、ガラス材質と高温における Na 蒸気の化学反応性が影響し透過特性に大きく変化が生じる。このため、新たなセルの開発に関して本研究課題で報告をしてきた。Fig.2(b) は縦軸を透過率、横軸が Na D<sub>2a</sub> ピーク波長(589.1583nm)を中心とした相対周波数で表した図を示す(赤のプロット)。以下に考察する。

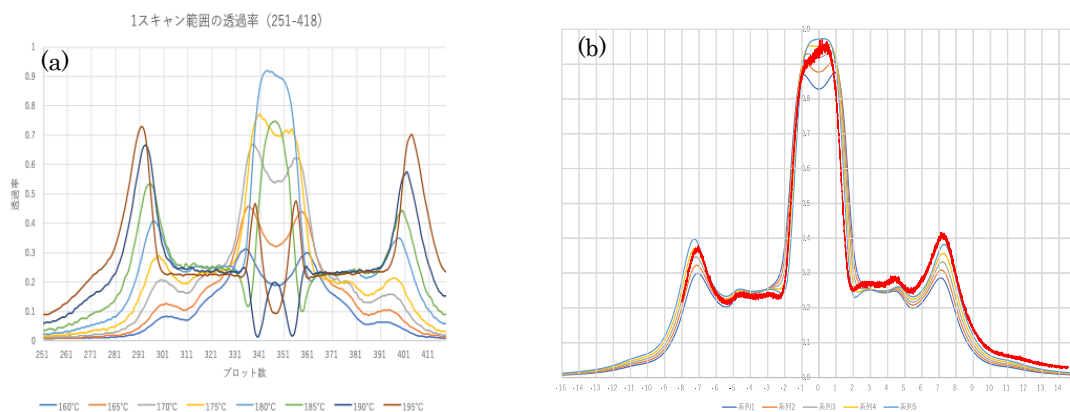


Fig.2 (a) セル温度160°Cから195°Cまで5°Cずつ変化させて計測した透過光強度。(b) セル温度180°Cで計測された透過率に、シミュレーションの透過率を重ねた。シミュレーションで設定した温度は172°Cから176°Cまで1°C間隔。

## □ 考察

Fig.2(b)の透過率と理論シミュレーションとの比較から考察を行う。比較の結果をまとめる。

- (1) Doppler Free スペクトルから決定した周波数目盛で実験結果をプロットすると、透過率形状の中心軸がグラフの  $\nu = 0$  GHz の軸に合わない。
- (2) 理論では  $\nu = \pm 7$  GHz 付近の小ピークは  $\nu = 0$  GHz 軸に対して対象の位置となるので、実験結果の小ピークの間周波数を  $\nu = 0$  GHz に合わせると、形状の透過率ピークが  $\nu = 0$  GHz 軸からずれる。
- (3) 実験結果の透過率形状に関して、周波数の負の側は理論よりも低めに、周波数正の側は理論よりも高めとなっており、周波数ごとの透過率補正がうまくいっていない。
- (4) 実験結果の中心透過率ピークが、欠ける。また、欠け方に対称性がない。

レーザの周波数スキャンに関しては、外部からの制御に対してレーザ結晶の温度変化がリアルタイムで追従しない問題がわかっている。透過率補正に関してはレーザ強度の周波数依存性があることがわかっており、これらの課題を慎重に解決していく必要がある。

## □ まとめ

本研究では、ファラデーフィルタの透過率計測を行い、理論シミュレーションと比較することで計測結果の評価をしつつ計測システムの課題の考察を行なった。トロムソにある589 nm光源に加え、国内で超狭帯域フィルタの透過率評価システムが稼働したことは大きな成果である。課題は残されているが、順次克服しつつ開発を進めていく。

(別紙様式 1-2)

ALMAと実験室分光による太陽系内天体大気の物理化学プロセスの解明

Elucidation of physical and chemical processes in atmospheres of solar system bodies by ALMA and laboratory spectroscopy

平原 靖大 名古屋大学・環境学研究科

木星衛星イオは、太陽系内で最も活発な火山活動を有し、 $\text{SO}_2$  を主成分とする希薄な大気 ( $\sim 10^{-3}$  Pa– $10^{-4}$  Pa) と表面 ( $\sim 120$  K– $80$  K) の広域に  $\text{SO}_2$  の霜が存在する。イオ表面における  $\text{SO}_2$  霜の分光学的性質や熱特性などを明らかにするために、イオ表面環境の模擬分光実験がこれまでに数例行われてきた。しかしながら、微粒子の形成と霜の成長メカニズムの詳細については不明なままである。そこで、本研究では  $\text{SO}_2$

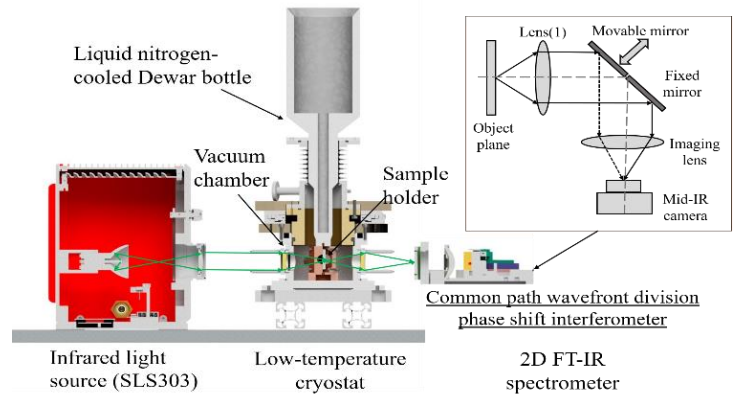


図1. 開発した低温固体 in-situ 赤外分光イメージング測定装置

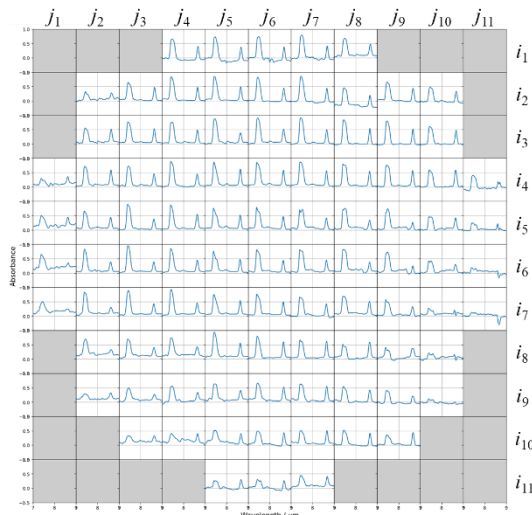
霜の微細構造や成長・変質過程の解明を目的とし、図1に示す液体窒素冷却クライオスタット実験装置を開発し、准共通光路波面分割型位相シフト干渉法(1)による新しい2D FT-IR イメージング分光器を用いて、イオ表面環境を模擬した  $\text{SO}_2$  霜の中間赤外線スペクトルを *in-situ* 測定した。 $\text{SO}_2$  霜の堆積に先立って真空冷却試験を実施したところ、固体試料を堆積させる赤外透過性 ZnSe 板付きサンプルホルダーを最低 81 K まで冷却でき、さらに真空チャンバー内の圧力を  $6.3 \times 10^{-4}$  Pa まで減圧できたことで、イオ表面環境を模擬することが可能となった。このクライオスタットを用い、真空冷却下で  $\text{SO}_2$  霜の堆積およびその透過吸収イメージングスペクトルの測定を行った(図2)。 $\text{SO}_2$  霜を 94 K から 210 K まで昇温する過程で、 $\text{SO}_2$  分子の  $\nu_3$  region ( $\sim 7.4 \mu\text{m}$ ) のバンドがブロード化し、最終的に昇華してガスの P および R 枝と思われる二重線構造へ変化した。また、同時に先行研究(2)で見られた  $\nu_1$  region ( $\sim 8.7 \mu\text{m}$ ) のバンドの吸光度の減少もみられた。さらに、透過吸収イメージングスペクトル ( $(i_{1-11}, j_{1-11})$ ) のグリッドの違いによって昇華特性が異なる可能性が考えられた。

一方、土星最大の衛星タイタンの高密度( $\sim 1.5\text{atm}$ )で冷たい( $\sim 90$  K)大気では、衛星探査機の観測によってエチレン( $\text{C}_2\text{H}_4$ )等の炭化水素のヘイズの存在が確認されている。本研究では、タイタン大気中での  $\text{C}_2\text{H}_4$  凝華過程に伴うスペクトル変化と結晶構造との関係を理解するために、赤外分光測定(波長: $7 < \lambda < 12 \mu\text{m}$ )により  $\text{C}_2\text{H}_4$  の低温固体形成の模擬実験を行った。その結果、中間赤外線( $\lambda \sim 10.5 \mu\text{m}$ )に現れる  $\text{C}_2\text{H}_4$  分子の面外変角振動( $\nu_7$ )に起因する、温度 83 K の各種固体のスペクトルイメージング測定(直径  $3.5\text{mm}\phi$ 、空間分解能 $\sim 0.3\text{mm}\square$ )に成功した(図3)。各測定点で得られた  $\text{C}_2\text{H}_4$  のスペクトルは、高さ、中心波長、半値全幅をパラメーターとする 2 成分ローレンツ関数により精度よくフィッティングできた。スペクトル形状の詳細な解析により、先行研究(3)で示されたような非晶質、準安定晶、結晶形に分類可能であることがわかった。

上記の凝華過程に伴うスペクトル形状と結晶構造の詳細な関係を理解する上では、 $\text{SO}_2$  の  $\nu_3$  変角振動( $\lambda \sim 19 \mu\text{m}$ )や、 $\text{C}_2\text{H}_4$  の  $\nu_{10}$  振動( $\lambda \sim 6 \mu\text{m}$ )、 $\nu_{12}$  振動( $\lambda \sim 12 \mu\text{m}$ )のイメージング測定の実現が重要である。



(a) SO<sub>2</sub> ガス噴出 1 分後, 94 K



(b) SO<sub>2</sub> ガス噴出 95 分後, 210 K

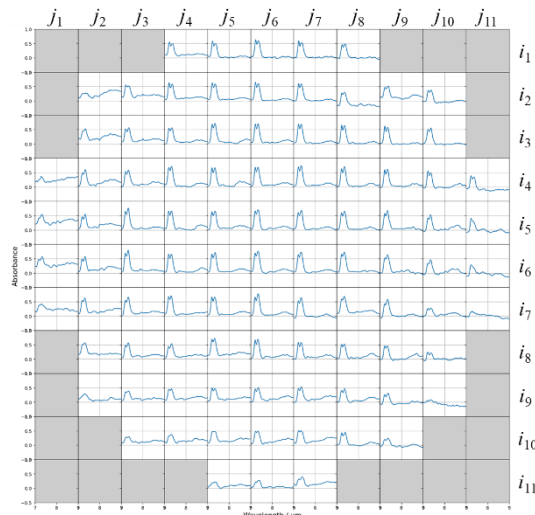


図 2 真空チャンバー内に SO<sub>2</sub> ガスをパルス噴出してからの透過吸収イメージングスペクトルの経時変化。1 グリッドは 360×360 μm の範囲を平均化して表示している。灰色でマスクされているグリッドは、その中心がサンプルホルダー中心の直径 3 mm の貫通穴の円周よりも外側にあるエリアである。

そこで本研究では、測定可能波長帯： $4 < \lambda < 20 \mu\text{m}$  を実現するために、以下の改良による新たな位相シフト干渉分光計の設計と製作を行った(図 4)：(a)多重スリットへの結像用 Ge フォーカスレンズと位相シフター導光用 Ge リコリメートレンズ及び撮像検出器用 Ge リフォーカスレンズを 90°軸外し放物面鏡に変更、(b)位相シフト干渉用ピエゾアクチュエータを真空対応品に変更、(c) $\lambda > 13 \mu\text{m}$  の大気中の水蒸気や CO<sub>2</sub> 分子の吸収の影響の排除のための真空筐体の採用、など。そして、分光光学系の製作が完了し、可視 He-Ne レーザー光源と開口直径 1 μm のピンホールを用いた、光学系の精密調整に成功した。

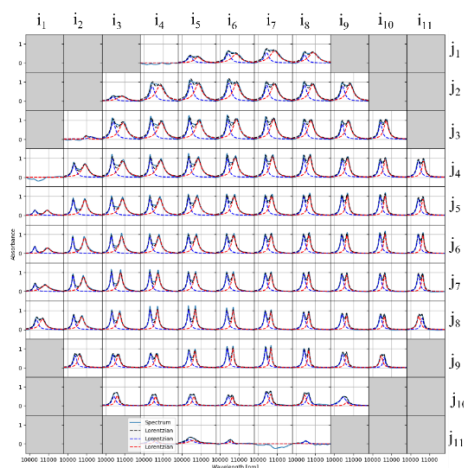


図 3. 低温 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 固体の透過吸収イメージングスペクトル  
(視野:~3.5 mmφ; 点線:フィッティング結果)

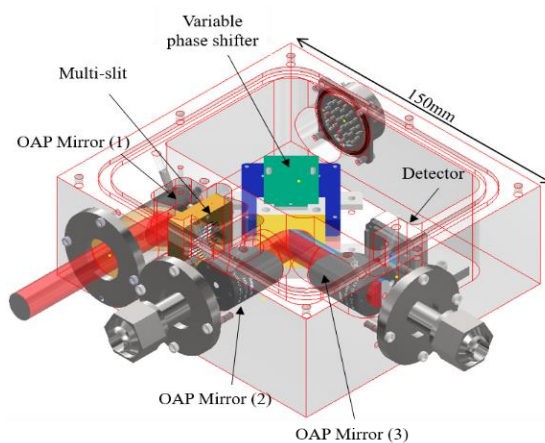


図 4. 真空対応広帯域 2D FT-IR の構成  
(サイズ:160×150×55mm)

#### 参考文献

- (1) Qi et al. (2015). Applied Optics, 54(20), 6254. doi:10.1364/ao.54.006254
- (2) Slobodkin et al. (1981). JQSRT, 26, 33-38, doi:10.1016/0022-4073(81)90018-2
- (3) Hudson et al. (2014). Icarus, 243, 148-157. doi:10.1016/j.icarus.2014.09.001



(別紙様式 01-2)

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

成影 典之、国立天文台・太陽観測科学プロジェクト

## 研究目的

本研究では米国NASAの観測ロケットを用い、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

直近に打ち上げたFOXSI-3のデータ解析を進めるためには、軟X線の観測に用いたCMOS検出器の機器較正(検出器のX線に対する応答関数の作成)が不可欠である。我々は応答関数のモデル化に取り組んだが、検出器の応答が複雑で、データ解析に必要な精度を得ることに難航していた。そこで本研究の予算を活用し、分子科学研究所の放射光施設UVSORにおいて検出器の応答を実測することとした。具体的には、単色のX線を20eV刻みで検出器に照射し、検出器が出力する信号のパターンを測定した。これにより、データ解析に十分な精度で機器較正を完了することができた。この較正手法と較正結果については、現在、論文にまとめているが、これによりFOXSI-3のデータ解析の準備が整った。その後、データ解析に向けた研究会を開催するなど(ISEEの研究集会の補助も得て開催; <https://xray-sun.jp/meeting-20230323>)、科学成果創出に向けた活動が加速している。また、今回確立した検出器の構成方法は、FOXSI-4の検出器の較正にも活用できる。

一方、粒子の運動も取り込んだ新しい数値計算モデルの構築については、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取り組みを行っている。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(修士1年生)の研究課題として推進している。初期結果については、シンポジウムでポスター発表を行った。

このように、2022年度(計画1年目)の目標は達成できたと考えている。

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23件行った。内訳は、口頭発表が12件、ポスター発表が11件である。そして大学院生による発表が17件、学部学生による発表が3件である。

以上

(別紙様式 1-2)

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

寺尾 徹、香川大学・教育学部

【研究目的】

本研究の目的は、アジアモンスーン変動の多重スケールの予測可能性の解明を目指す観測・解析・モデリング連携研究を進めるとともに、世界気候研究計画 (WCRP) の枠組みのもと推進されているアジア水文気候学研究プロジェクトAsian Precipitation Experiment (AsiaPEX)の重要な一翼を担うことで、それを国際共同研究として発展させることである。なかでも特に南アジアの研究者との共同のいっそうの発展に焦点を当てた。

アジアモンスーンは、太陽地球系結合過程として、地球の公転軸に対する自転軸の傾きと、ユーラシア大陸とインド洋・太平洋の大規模な海陸分布がもたらす大規模大気循環系である。このアジアモンスーンの恩恵を受け、アジアには、多様な文化的背景を持った数十億の人口に上る人々が暮らしている。地球温暖化や太陽活動の変動に伴う気候変動のアジアモンスーンへのインパクトは大きなものとなることが予想され、アジア域の持続可能な社会の形成のために、アジアモンスーンの変動メカニズムの解明が急務である。

アジアモンスーン研究は、WCRPの枠組みのもと、GEWEX Hydroclimatology Panel (GHP) のRegional Hydroclimate Projects (RHP) の一つとして、1996-2006年のGEWEX Asian Monsoon Experiment (GAME) プロジェクト、2006-2016年の Monsoon Asian Hydro-Atmosphere Scientific Research and Prediction Initiative (MAHASRI) プロジェクトとして継続的に展開されてきた。これらの達成の上に立って、本国際共同研究課題の研究グループを中心に次期RHPの計画策定が進められてきた。2019年度にAsian Precipitation Experiment (AsiaPEX) が立ち上げられ、GEWEXのProspective RHPとして承認された。AsiaPEXは、アジアモンスーン域の多様な水文気候学的地域特性がアジアモンスーンの多重スケール変動を駆動するメカニズムを解明することを目指している。ウェブページも発足し、2019年8月にはキックオフカンファレンスを札幌で開催した。共同研究プロジェクトAsiaPEXの研究プランを検討するとともに、南アジアにおけるアジアモンスーン変動の多重スケールの予測可能性の解明を目指す観測・解析・モデリング連携研究を進めてきた。

【研究方法】

2022年度は特に、以下の方法を重視して国際共同研究を推進してきた。

- ①当該地域の既存の観測網の維持管理と発展および新たな研究プロジェクトの立案。
- ②ベンガル湾からヒマラヤ南縁域にかけての地域を一体としてとらえた循環場の季節内変動と日変化の解析とモデリング研究。
- ③AsiaPEXのレビューペーパーの出版となどの共同研究成果の発信。

【研究結果】

上記の3つの分野に即して研究結果をまとめる。

①観測網維持構築と新しいプロジェクトの立案

ここ2-3年の間、新型コロナウイルス禍のもとで観測網の維持には困難が続いた。HiPRECS, SOHMONともにインストールした観測機器の維持管理が難しい状況があった。しかし、2022年度にはこの点に次第に変化がみられ、南アジアの国々への渡航が可能となる条件が広がった。HiPRECS, SOHMONともに観測網の再建と観測データ取得が少しずつ進んだ。研究代表者の寺尾は8-9月にバングラデシュ・インド・ネパールの各国の多くの研究者と直接の会合を果たし、9月3日にはカトマンズから、共同研究者のSomeshwar Das博士やAjit Tyagi博士の協力のもと、SAMA (South Asian Meteorological Association) のウェビナーを開催し、これら各国から多くの研究者の参加を得た招待講演を行った。8月と2-3月にはバングラデシュで、バングラデシュ北東部の氾濫湖に対する気候変動影響を解明するプロジェクトに関する連携を大きく広げた。更に、2月のバングラデシュ、3月のインド訪問では、2024年プレモンスーン～モンスーン期にかけての下層大気の変動をとらえるSOHMONによる観測プロジェクトの実装のための折衝を成功裏に行うとともに、インドアッサム州のCotton Universityで、観測プロジェクトにかかわ

るワークショップを開催し、20名を超える研究者の参加を得た。

### ②ベンガル湾からヒマラヤ南縁域にかけての解析とモデリング

HiPRECSの観測成果を活かした2021年度までの研究により、ヒマラヤ南縁域における降水の日変化の特徴が明らかとなってきた。また、かねてよりベンガル湾からベンガル平野、ヒマラヤ南縁域に至る領域のマルチスケールでの降水特性の研究が進められてきた(Terao et al. 2006; Fujinami et al. 2017)。これらの成果を基盤に、Fujinami et al. (2022)は、ERA5を用いた解析により、ベンガル湾西岸に沿った領域の下層大気における日変化する湿潤な強い気流が存在することを示唆した。更にHirata et al. (2023)は、ヒマラヤ南縁域における降水には、総観規模の低気圧システムや、日変化する大気下層からの熱フラックスなどの多重スケールの現象が複合的に関係していることを明らかにした。

### ③AsiaPEXレビューペーパーの出版と研究成果の発信

AsiaPEXの国際科学推進グループ (International Science Steering Group) は2019年9月、名古屋大学ISEE国際ワークショップの支援を受けてAsiaPEXの科学的方向性を定めるワークショップを名古屋にて開催した。その議論を基盤にAsiaPEXとして米国気象学会のBulletin of American Meteorological Society (BAMS) にレビューペーパーを掲載する取り組みを進め、2020年にレビューペーパー企画が提案されてアクセプトされた。2022年12月、レビューペーパーはアクセプトされ、出版に至った (Terao et al. 2023)。このレビューペーパーはAsiaPEXの歴史的背景や基本的戦略、6つのアプローチ、アプローチごとの現状と課題を明らかにするとともに、2020年代後半の観測モデリングイニシアチブとして、Asian Monsoon Year-II (AMY-II) に向けた基本的な戦略とスケジュールを提起した。

#### 【考察とまとめ】

本共同研究を通じてAsiaPEXの基盤が強まるとともに、南アジアにおけるアジアモンスーン変動の多重スケールの予測可能性の解明を目指す観測・解析・モデリング連携研究のための観測体制の再構築が進むとともに、現象の解明も進んだ。新たな研究プロジェクトの萌芽もいくつも見えてきている。更に、2023年度以降の方向性もより明確になった。名古屋大学ISEE国際ワークショップの支援の成果としてのレビューペーパーも出版に至った。特に、このレビューペーパーによってアジアの水文気候システムの特徴の科学的解明のための国際共同観測モデリングイニシアチブの提起に至ったことは、国際共同研究の推進に大きく資するものである。

#### 【引用文献】

- Fujinami, H., T. Sato, H. Kanamori, and M. Kato (2022): Nocturnal southerly moist surge parallel to the coastline over the western Bay of Bengal. *Geophysical Research Letters*, 49, e2022GL100174. <https://doi.org/10.1029/2022GL100174>
- Fujinami, H., T. Sato, H. Kanamori, and F. Murata (2017): Contrasting features of monsoon precipitation around the Meghalaya Plateau under westerly and easterly regimes. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122, 9591-9610. <https://doi.org/10.1002/2016JD026116>
- 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*, Vol. 24, 641-658. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-22-0080.1>
- 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. Kamimura, R. B. Kayastha, M. Kiguchi, K. Kikuchi, H. M. Kim, A. Kitoh, H. Kubota, W.-Q. Ma, Y.-M. Ma, M. Mujumdar, M. I. Nodzu, T. Sato, Z. Su, S. Sugimoto, H. G. Takahashi, Y. Takaya, S. Wang, K. Yang, S. Yokoi, P. van Oevelen, and J. Matsumoto (2023): AsiaPEX: Challenges and Prospects in Asian Precipitation Research. *Bulletin of the American Meteorological Society*, in press. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-20-0220.1>
- Terao, T., M. N. Islam, T. Hayashi, and T. Oka (2006): Nocturnal jet and its effects on early morning rainfall peak over northeastern Bangladesh during the summer monsoon season. *Geophysical Research Letters*, 33, L18806. <https://doi.org/10.1029/2006gl026156>

#### 【成果発表】

Terao, T., S. Kanae, and J. Matsumoto, AsiaPEX from the perspective of South Asia. *South Asian Meteorological Association, Tribhuvan University/On-line*, 3 Sep 2022.

## 2022年度 02)ISEE International Joint Research Program 目次詳細

### 2022 02)ISEE / CICR International Joint Research Program List

23 件

\*所属・職名は2023年3月現在

\*Affiliation and Department displayed are current as of March 2023.

(注1): 新型コロナウイルスの影響で中止 / Cancelled due to COVID-19

(注2): 中止 / Cancelled

研究代表者 Principal Investigator	所属機関* Affiliation	職名* Job title	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
Rangaiah Kariyappa	Indian Institute of Astrophysics, India	Professor (Retired)	Solar X-ray Irradiance, Temperature & Magnetic Field Variabilities of the Spatially Resolved Coronal Features	40	
D Venkata Ratnam	KLEF Deemed to be University, India	Professor	Investigation of Extreme Global Total Electron Content Events using Statistical and Fractal Methods	42	
Andrew Akala	University of Lagos, Nigeria	Associate Professor	A study on responses of global equatorial/low-latitude ionosphere to CIR-driven and CME-driven intense geomagnetic storms during solar cycle 24	44	
Ravindra Pratap Singh	Physical Research Laboratory, India	Academic Faculty	SSW influence on the MLT dynamics, temperature, and meridional circulation	46	
Linjie Chen	National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences, China	Professor	Estimation of solar wind speed using the multi-station IPS telescope	48	
Ajeet Kumar Maurya	Babasaheb Bhimrao Ambedkar University, India	Assistant Professor	Understanding vertical atmosphere-ionosphere (AI) coupling through atmospheric gravity waves	49	
Prayitno Abadi	Indonesian National Research and Innovation Agency (BRIN), Indonesia	Senior Researcher	Developing a nowcasting capability for the occurrence of post-sunset equatorial plasma bubble in Southeast Asia	51	

研究代表者 Principal Investigator	所属機関* Affiliation	職名* Job title	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
Wai-Leong The	Universiti Kebangsaan, Malaysia	Senior Lecturer	Understanding the Role of Magnetic Island in Plasma Acceleration and Energy Conversion during Magnetic Reconnection	53	
Hermann J. Opgenoorth	University of Umea, Sweden	Professor Emeritus	Study of sub-auroral storm time magnetic and convection disturbances and their effects for GIC and GNSS impacts.	54	
Dedong Wang	GFZ Potsdam, Germany	Researcher	Analytical Chorus Wave Models Derived from Van Allen Probe and Arase Observations	56	
Sudarsanam Tulasiram	Indian Institute of Geomagnetism, India	Professor	Geomagnetically Induced Currents at equator due to IP shocks and solar wind discontinuities	58	(注2)
Shibaji Chakraborty	Virginia Tech, USA	Postdoctoral Associate	Influence of Solar Flare-Driven Changes in the Ionospheric Conductance and Electric Fields on HF Radar Observed Doppler Flash	59	
Ondrej Santolik	Department of Space Physics, Institute of Atmospheric Physics of the Czech Academy of Sciences, Prague, Czechia	Head of the Department	Investigation of electromagnetic waves in space plasmas	61	
Takuya Hara	Space Sciences Laboratory, University of California, Berkeley, CA, USA	Assistant Research Physicist	Multi-point spacecraft investigations on the solar erupted magnetic flux ropes propagating through the inner heliosphere	63	
Viktor Fedun	The University of Sheffield, ACSE department, UK	Professor	Analysis of solar active regions based on Lagrangian methodology	64	
Lazzara Matthew	University of Wisconsin-Madison, Space Science and Engineering Center, USA	Senior Scientist	Creation of a new high-quality long-term temperature dataset of East Antarctic meteorological observations	66	(注2)



研究代表者 Principal Investigator	所属機関* Affiliation	職名* Job title	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
Sam Krucker	FHNW, Switzerland	Professor	The NoRH/RHESSI flare catalogue: time-dependent analysis	67	
Brian Welsch	University of Wisconsin – Green Bay, USA	Associate Professor	Exploring Magnetic Energies to Understand and Predict CME Onset	69	
Sae Aizawa	University of Pisa, Italy	Researcher	Investigation of the solar wind propagation and its characteristics in the inner heliosphere using multi-spacecraft, ground-based observations and numerical simulations	71	
Matthias Förster	GFZ German Research Centre for Geosciences, Germany	Senior Scientist (Retired)	Subauroral phenomena observed by SuperDARN and the Swarm satellite constellation	73	
Berger Thomas	University of Colorado at Boulder, USA	Research Staff	Investigation of Solar Polar Magnetic Fields using Hinode/SP and SDO/HMI Data	75	(注2)
Andrzej Rakowski	Silesian University of Technology, Poland	Professor	Establishment of master dendrochronological calibration curve around 660 BC using annual tree ring samples from Poland	76	
Tobias Spiegl	Free University of Berlin, Germany	Researcher	Modelling the transport and deposition of <sup>14</sup> C produced by extreme solar proton events and <sup>7</sup> Be produced by galactic cosmic rays during the satellite era	78	

(Form 2-2)

**Project Title:** Solar X-ray Irradiance, Temperature & Magnetic Field Variabilities of the Spatially Resolved Coronal Features

**Principal Investigator Name (Affiliation):** Rangaiah Kariyappa, Former Professor of Indian Institute of Astrophysics, Bangalore 560034, INDIA, kari.hemi@gmail.com

**Summary of Research Report:**

The main focus of this research at ISEE is to understand the solar soft X-ray irradiance variability - *Sun as a Star* - using the spatially resolved full-disk images of the Sun. We have used the observations of the full-disk images from Hinode/XRT and X-ray irradiance flux from GOES instruments. The final goal is to determine the impacts of EUV, UV & X-ray irradiance variations on Earth's Climate and space weather.

A careful study has been done to identify, track, monitor and segment the different coronal features from the full-disk images of the corona. Studied the variability of solar soft X-ray irradiance for a period of 13 years (February 2007– March 2020, covers Solar Cycle 24), using the X-Ray Telescope on board the Hinode (Hinode/XRT) and GOES (1 – 8 Å). The full-disk X-ray images observed in Al\_mesh filter from XRT are used, *for the first time*, to understand the solar X-ray irradiance variability measured by GOES instrument. An algorithm has been developed in Python and applied to identify and segment the different coronal X-ray features from the full-disk images. The segmentation process has been carried out automatically based on the intensity level, morphology and sizes of the X-ray features. The total intensity, area, and contribution of all the features (active regions, coronal holes, background regions and X-ray bright points) were estimated and compared with the full-disk integrated intensity (FDI) and GOES (1 – 8 Å) X-ray irradiance measurements. It is found that the total intensity of all the features are well correlated with GOES X-ray flux. The contributions of the segmented X-ray features to FDI and X-ray irradiance variations showed that the background and active regions have a greater impact on the X-ray irradiance fluctuations. It is observed that the area and contribution of ARs and CHs varies with the phase of the solar cycle, whereas the BGs and XBPs show an anti-correlation. The area of the coronal features is highly variable suggesting that their area has to be taken into account in irradiance models, in addition to their intensity variations. The X-ray bright points (XBPs) have been identified and counted automatically over the full-disk to investigate their relation to solar magnetic cycle. The number variation of XBPs suggest for an existence of anti-correlation with the sunspot numbers. Both the number variation and the contribution of XBPs need to be considered in the reconstruction of total solar X-ray irradiance variability.

A new initiative has been done to study the temperature variability of coronal segmented features using two filters observations from Hinode/XRT by filter ratio method. Studying the variation of the temperature of the full-disk corona and of individual feature's temperature along with the solar cycle will be of interest and important to understand the Physics of the Corona.

Although an attempt has been made earlier to measure the temperature of coronal XBPs, but the variation in temperature of the full-disk image and of individual features over the solar cycle is not measured yet. Since Hinode/XRT allows capturing images of the Sun in 8 different filters, it has got a unique feature that, using 2 different filters, the temperature map of the Sun can be generated. To study the temperature variations, the Al\_mesh and Ti\_poly filters of full-disk composite, level-2, X-ray images of the Sun are used. Derived the integrated intensity of all the segmented features in both the filters, and generated the temperature maps of the corona using the filter ratio method. Because of the XRT straylight issue and unavailability of a good pair of images we have restricted our analysis for the

period of 4 years (February 01, 2008 - May 08, 2012, covering the starting part of the solar cycle 24).

It is a *first analysis* in using direct energy values of the coronal features from segmented solar disk to determine the temperature values of the features. It is found that the average temperature of the full-disk and of all the features show temperature fluctuations and they vary in phase with the solar activity. Although the temperature of all the features varies but the mean temperature estimated for the whole observed period of the full-disk, active regions, background regions, coronal holes, and XBPs are about 1.39 MK, 1.98 MK, 1.37 MK, 1.34 MK, and 1.52 MK respectively. The temperature values and their variations of all the features suggest that the features show a high variability in their temperature and that the heating rate of the emission features may be highly variable on solar cycle timescales.

### **Publication:**

H. N. Adithya, R. Kariyappa, Shinsuke Imada, Kanya Kusano, J. J. Zender, L. Dame, G. Giono, Mark Weber and E. E. DeLuca, 2021, Solar Soft X-ray Irradiance Variability, I: Segmentation of Hinode/XRT Full-Disk Images & Comparison with GOES (1-8) X-ray Flux, Sol. Phys. 296, 71.

### **Paper submitted/under review:**

H. N. Adithya, R. Kariyappa, Kanya Kusano, Satoshi Masuda, Shinsuke Imada, J. J. Zender, L. Dame, Mark Weber and E. E. DeLuca, 2022, Solar Soft X-ray Irradiance Variability, II: Temperature Variations of Coronal X-ray Features, Sol. Phys. (Under review).

### **Posters presented in conference:**

1. Astronomical Society of India (ASI) conference, Roorkee, India (25-29 March 2022): Study of temperature variability of coronal features using filter ratio method of spatially resolved images from Hinode XRT, H.N. Adithya, Rangaiah Kariyappa, Satoshi Masuda, Kanya Kusano, Shinsuke Imada, Joe Zender, Luc Dame, Mark Weber, Edward DeLuca, Data presented: Preliminary analysis of XRT temperature maps 2008-12.
2. Hinode 15/IRIS 12 Meeting, Prague, Czech Republic, (Sep 19-23, 2022) :Number Variation of XBPs with Solar Cycle 24, Rangaiah Kariyappa, H.N. Adithya, Satoshi Masuda, Kanya Kusano, Shinsuke Imada, Joe Zender, Luc Dame, Mark Weber, Edward DeLuca, Data presented: Preliminary analysis of XRT xbp number variation 2008-21.
3. The 5<sup>th</sup> ISEE Symposium: Toward the Future of Space – Earth Environmental Research (Nov 15-17, 2022):Comparison of the Solar Soft X-ray Images from Hinode/XRT with SOHO/MDI & SDO/HMI Magnetograms, Rangaiah Kariyappa, H.N. Adithya, Satoshi Masuda, Kanya Kusano, Shinsuke Imada, Joe Zender, Luc Dame, Mark Weber, Edward DeLuca, Data presented: Preliminary analysis XRT - HMI comparison study for the period: 2008-12

### **Visits to ISEE & Other Institutions in Japan:**

1. ISEE Visit under Visiting Professorship Program (Kariyappa) and SCOSTEP/SVS program (Adithya); April 16 - July 14 2022 (to work on XRT Temperature variability);
2. ISEE Visit (by Kariyappa, Joe Zender & Adithya) under International Joint Research program; Nov 28 - Dec 4 2022 (to work and discuss on Magnetic field analysis and XRT database);
3. During the visit period at ISEE, Kariyappa had visited Kyoto University (June 5-7, 2022) and Hida Observatory (June 13-15, 2022).
4. During the visits Seminars and Colloquium are given at ISEE & Kyoto University.

## **Investigation of Extreme Global Total Electron Content using Statistical and Fractal Methods**

Dr. D. Venkata Ratnam (KLEF Deemed to be university)

### **Summary:**

Satellite based radio communication and navigation systems rely mostly on trans-ionospheric propagation of radio signals concerning changes by the total electron content (TEC). Therefore, it is necessary to understand the changing behavior of structural variations of ionospheric TEC for high-frequency applications besides mitigating the risks associated with the space weather impacts for navigation and aviation applications. The reference thresholds identified for moderate and severe level of threshold activity for TEC by International Civil Aviation Organization (ICAO) are 125 and 175 TECU respectively. In view of this, statistical analysis of long-term ground based Global Navigation Satellite System TEC data of 25 years (1997-2021) using extreme value theory (EVT) is performed for both quiet and disturbed day conditions for four different regions – India (5-45°N), Japan low (20-30°N), Japan mid-latitudes (30-50°N), and global regions to identify the extreme ionospheric TEC events that take place once in 11, 22, 44, 66, 88, and 110 years with 95% confidence intervals. In the present work, both generalized extreme value (GEV) using annual maxima and generalized pareto distribution (GPD) using peak-over-threshold (PoT) analysis are performed for the time series of all regions. The results illustrate that GPD works better than GEV to identify the return periods of extreme events. The moderate and severe threshold levels of TEC for different return periods are discussed according to the guidelines provided by International Civil Aviation Organization (ICAO). The analysis would be helpful in developing risk assessment and mitigation strategies for critical GNSS space weather systems.

### **Methods:**

- Generalized Extreme Value Theory (Annual Maxima Method)
- Generalized Pareto Distributions (Block maxima method using PoT)

### **Results:**

In the present work, both generalized extreme value distribution (GEV) using block maxima method and generalized pareto distribution (GPD) using peak-over-threshold (PoT) method are analyzed to understand the extreme behavior from the tails of distribution for both quiet and disturbed conditions of four different regions – India (5-45°N), Japan low (20-30°N), Japan mid-latitudes (30-50°N), and global regions to identify the extreme ionospheric TEC events that take place once in 11, 22, 44, 66, 88, and 110 years with 95% confidence intervals. Figs.1 and 2 and Figs. 3 and 4 illustrate the time series of quiet and disturbed data set, estimated return levels, and uncertainty plot of India and Japan mid latitude regions respectively.

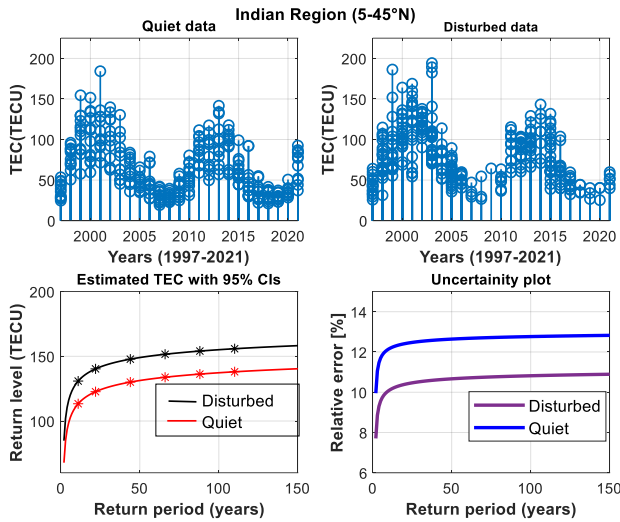


Fig.1. GEV return levels Indian region

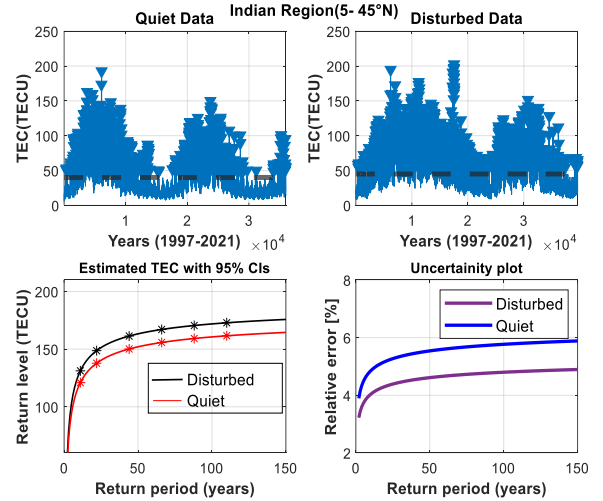


Fig.2 GPD return levels in Indian region

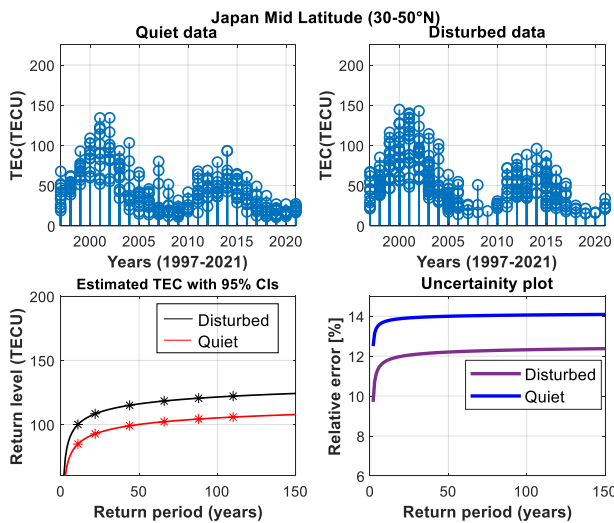


Fig.3. GEV return levels in Japan mid latitude region

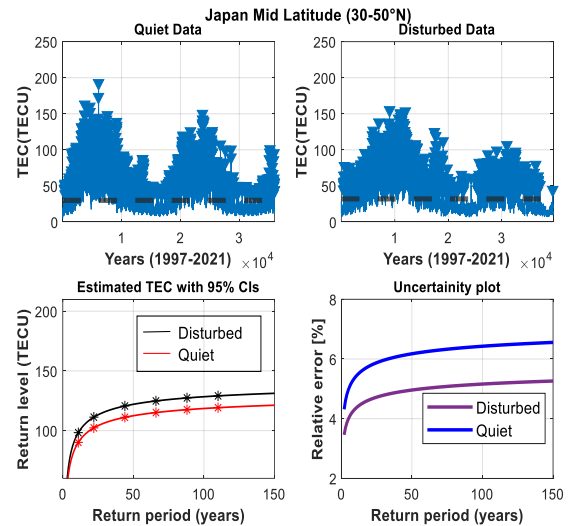


Fig.4 GPD return levels in Japan mid latitude region

**Periods of stay in ISEE:** The stay duration (12 October 2022 - 07 Dec 2022)

**List of Publications:**

1. Suneetha Emmela, D.Venkata Ratnam, Yuichi Otsuka, Atsuki Shinbori, Takuya Sori, Michi Nishioka, and Septi Perwitasari, "An Extreme Value Analysis of Long-term GNSS Ionospheric Total Electron Content Data Observed at Japan Grid point Location (34.95°N and 134.05°E)" (Communicated to IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters- Under Revision).
2. Suneetha Emmela, D.Venkata Ratnam, Yuichi Otsuka, Atsuki Shinbori, Takuya Sori, Michi Nishioka, and Septi Perwitasari, "Statistical Analysis of Global and Regional Ionospheric total Electron Content (TEC) using Extreme Value Distributions" (Manuscript Under Preparation)

**List of Presentations:**

1. D.Venkata Ratnam, Suneetha Emmela, Yuichi Otsuka, Takuya Tsugawa, Michi Nishioka, Atsuki Shinbori, Takuya Sori, "Extreme Value Analysis of GPS Ionospheric TEC using Long-term Data", Poster presentation at ISEE Nagoya University, Japan during Nov 9-10, 2022.

(Form 2-2)

## **Investigation of the responses of global equatorial/low-latitude ionosphere to CIR-driven and CME-driven intense geomagnetic storms during solar cycle 24**

PI: **Andrew Akala** (University of Lagos, Nigeria)

### **Research Summary**

#### **Purpose of Project**

This study investigated solar-magnetospheric-ionospheric coupling processes that are associated with CIR-driven and CME-driven intense geomagnetic storms of solar cycle 24 and the responses of global equatorial/low-latitude ionosphere to the storms. The study diagnosed the drivers of the intense geomagnetic storms, grouping them into CIR-driven and CME-driven storms. Thereafter, the responses of TEC and irregularities over the global equatorial and low-latitude ionosphere to the CIR-driven and CME-driven storms were investigated.

#### **2. Methods**

We considered the solar and interplanetary events that are associated with the geomagnetic storms studied. We obtained solar events from the Solar Dynamics Observatory. Afterward, we derived ionospheric electric current disturbance (Diono) from ground-based magnetometer data and SYMmetric Horizontal magnetic field (SYMh) data (Akala et al., 2020). The GNSS observatory data were obtained from UNAVCO; SONEL; and International GNSS Service within the low-latitude GNSS stations. The GNSS observational data were processed by Gopi TEC processing software (Seemala, 2010). Multipath effects were eliminated by employing an elevation cut-off angle of 30°. We used the Rate Of change of TEC Index (ROTI) as a proxy for ionospheric irregularities. Finally, to characterize the thermospheric behavior during the period of investigation, we obtained and analyzed O/N<sub>2</sub> data from Global Ultraviolet Imager (GUVI)

#### **4. Results**

CIR-driven storms caused plasma density build-up at the interface of stream interaction regions. High-speed streams with characteristic lower density overtook slow-speed streams and compressed it to increase the magnetic field and dynamic pressure, and ultimately increased the plasma temperature and entropy, but these



high responses in the interplanetary events did not translate to enhancement in the geoeffectiveness of the resultant geomagnetic storms. We also observed semi-annual-peak periodicity in the geoeffectiveness of the geomagnetic storms' occurrences, with clear highest geoeffectiveness at March equinox and least at June solstice. At night, the westward electric field caused a decrease in TEC, leading to a contraction of the EIA crests. Strong nighttime westward electric fields leads to a total coalition of the EIA structure to form a single strip of plasma density around the equator by a reversed fountain process (Arowolo et al., 2021). Storm-induced suppression in irregularities was consistently recorded over the South American, African, and Indian Ocean/Asia longitudinal sectors. Longitudinal effects of higher ionospheric dynamics over the South American sector was based on global geomagnetic field configuration with a comparatively weaker geomagnetic field in the sector (Idolor et al., 2022). At storm-time, manifestations of increased O/N<sub>2</sub> ratios are evident over the low-latitude ionosphere after many hours of storm onset. At storm-time, the upwelling transports heavier species from the lower thermosphere to higher altitudes leading to a relative abundance of heavier species at higher altitudes of the thermosphere and lighter species at the lower thermosphere.

## References

- Akala, A. O., Oyeyemi, E. O., Amaechi, P. O., Radicella, S. M., Nava, B., & Amory-Mazaudier, C. (2020). Longitudinal responses of the equatorial/low-latitude ionosphere over the oceanic regions to geomagnetic storms of May and September 2017. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 125, e2020JA027963. <https://doi.org/10.1029/2020JA027963>
- Arowolo, O. A., Akala, A. O., & Oyeyemi, E. O. (2021). Interplanetary Origins of Some Intense Geomagnetic Storms During Solar Cycle 24 and the Responses of African Equatorial/Low-Latitude Ionosphere to Them. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 126(2), e2020JA027929.
- Idolor, O. R., Akala, A. O., & Bolaji, O. S. (2022). African and American Equatorial Ionization Anomaly (EIA) responses to 2013 SSW event. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 127, e2021JA029848. <https://doi.org/10.1029/2021JA029848>
- Seemala, G. K. (2010). Rinex GPS-TEC program, version 1.45. satellite navig. sci and tech for Africa. In Presentation at a workshop held from 23rd March–9th April, 2009 at ICTP. Trieste.

## Period of stay in ISEE

6 Weeks: 2 Days, 14th June 2022 – 29th July 2022.

## List of Publications

1. Akala, A. O., R. O. Afolabi Y. Otsuka (2022), Responses of the African-European equatorial-, low-, mid-, and high-latitude ionosphere to geomagnetic storms of 2013, 2015 St Patrick's Days, 1 June 2013, and 7 October 2015, *Advances in Space Research*, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.10.029>; 2. Manuscript #2 is ready for resubmission to *Space Weather* journal.

## **SSW influence on the MLT dynamics, temperature, and meridional circulation**

**Dr. Ravindra Pratap Singh**

Physical research Laboratory, Navrangpura, Ahmedabad, India, 380009

This research work was carried out in collaboration with Dr. Satonori Nozawa of ISEE, Nagoya University, Japan. Here we report the summary of the study conducted in the fiscal year of 2022.

### **1. Purpose**

It is known that the sudden stratospheric warming (SSW) events influence the mesosphere lower thermosphere (MLT) region at different latitudes. During major SSW events it has been shown that the zonal mean zonal wind in the mid and high latitude MLT region reverses from westward to eastward preceding SSW. The mean meridional winds on these latitudes show altitude dependent changes before, during, and after major SSW events. There have been several studies to investigate the characteristics of the atmospheric waves during SSW events. It is shown that the atmospheric tides play an important role in coupling the SSW related influences to the MLT region. The sodium Doppler wind-temperature lidar observations show significant cooling and substantial depletion of the sodium layer during major SSW events. Despite the influences of SSW events on MLT region dynamics, temperature, and meridional circulation their effects remain poorly understood, primarily due to involvement of different timescale waves in the dynamical coupling of the stratosphere and MLT region. Hence, the purpose of this joint research program is to investigate MLT changes in terms of tidal variabilities, temperatures, and densities of the sodium atom during the SSW in February 2018 and January 2019.

### **2. Methods**

In the present work we use following data sets for the two major SSW events of February 2018 and January 2019:

- a. Tromsø (69.6 °N, 19.2 °E) Sodium LIDAR data for February 2018 SSW event
- b. Tromsø: (69.6 °N, 19.2 °E) MF radar data for February 2018 and January 2019 SSW event
- c. Alta (69.9 °N, 23.2 °E) Meteor radar (MR) data for February 2018 and January 2019 SSW event

### **3. Results**

The major SSW event was observed in February 2018 with the onset date on 12 Feb 2018 defined as the first date when zonal mean zonal wind (ZMZW) at 10 hPa and 60 °N reverses from eastward to westward with a value of  $-13.78 \text{ m s}^{-1}$ . The peak temperature at 10 hPa between 60 to 90 °N with a value of 242.38 was observed on 16 Feb 2018. The 2019 SSW is also a major SSW event because the ZMZW at 60°N and 10 hPa reversed from eastward to westward on 2 Jan 2019 which is defined

as the central date of this SSW event.

We have started data analysis using Na lidar obtained temperatures and column density during SSW event of February 2018. We have found contrasting behavior in Na densities and mesospheric temperature behavior during 2018 SSW event. The Na densities are found to increase accompanied by temperature increase at around 90 km altitude on 15 to 18 Feb 2018. These observations need to be further investigated using complimentary satellite/reanalysis database.

We have analyzed MR and MF wind radar data to investigate dynamical changes observed in the MLT region during Feb 2018 and Jan 2019 SSW events. The amplitudes of the diurnal tide (DT), semidiurnal tide (SDT), terdiurnal tide (TDT), and quarterdiurnal tide (QDT) has been calculated for each day and altitude region. We have found that the average zonal wind speeds reversed from westward to eastward during 12-13 Feb 2018 then remains westward during 14 to 16 Feb 2018 at the altitude region of 70 to 100 km altitude. This is followed by positive strong eastward wind from 70 to 85 km altitude and westward wind from 90 to 105 km altitude. The meridional wind remains southward during 13-14 Feb 2018 followed by northward wind during 15-18 Feb 2018. Zonal wind shows no change in DT amplitudes, SDT amplitudes are enhanced during 13-19 Feb 2018, QDT amplitudes increased during 13-19 Feb 2018 and reduced thereafter, QDT amplitude are enhanced during 13-19 Feb 2018 but above 90 km altitude and remain low below 90 km altitude.

In summary, the Na densities and temperatures at 80-90 km altitude show increase which may be due to the upward extent of the anomaly below 80 km showing cooling during Feb 2018 SSW event, which can be confirmed using further datasets (satellite/reanalysis). The tidal influences and the variation in the amplitudes of SDT, TDT, and SDT during SSW events need to be further interpreted based on the current understanding.

The efforts initiated during ISEE international joint research program in the FY 2022 is ongoing. Overall this was a very enjoyable and productive collaboration. I sincerely hope that my visit to ISEE hopefully will initiate long-term collaboration between PRL and ISEE researchers.

#### **4. Periods of stay in ISEE**

The PI have travelled to ISEE during 12 October 2022 to 15 November 2022. The work started with the proposal discussion on 14 October 2014 with Dr. Satonori and his PhD student Mr. Koyama. I have made a presentation explaining SSW influences on the meridional circulation in the MLT region and discussed about the aim of the proposal. Mr. Koyama presented his ongoing work on semidiurnal tidal variations in the high latitude MLT region. I have delivered a division seminar in the Ionospheric and Magnetospheric Research on 27 October 2022.

#### **5. List of publications**

None so far. Work is still in progress.

## **Estimation of solar wind speed using the multi-station IPS telescope**

Linjie Chen (National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences)

The upcoming Chinese IPS telescope at Mingantu, Inner Mongolia, China, comprising of multi-station IPS stations with one station having cylinder antennas of larger aperture sizes than the ISEE stations and two other sub stations having parabolic dishes of comparable sizes similar to the ISEE stations provides an unique opportunity to study the unrevealed details of the three dimensional structure of solar wind in the inner heliosphere. In this project, we propose to use this Chinese IPS system (one large + 2 small stations) operating at dual frequencies at 327 and 635 MHz for estimating the solar wind speed based on the computer assisted tomography (CAT) analysis and Magneto hydrodynamic (MHD) supported tomography methods developed at ISEE and compare them with the solar wind speeds estimated at ISEE and other single site IPS stations like Ooty Wide Field Array (OWFA) in India. The larger collecting area of the cylindrical antenna of Chinese IPS telescope would enable to observe many IPS radio sources, which would be used to de-convolve the LOS integration data and to retrieve the detailed intrinsic solar wind distribution. The better estimates of solar wind speed targeted using this IPS system would also be crucial for providing the link between solar magnetic field and the fast solar wind speed evolution at high solar latitudes during the upcoming solar minimum of cycle 24.

In order to carry out the studies in this project, I firstly investigated the methods of estimating the solar wind with IPS telescope, especially studied the method that is used for ISEE IPS stations. Due to the COVID-19, it is not possible to make the travel to ISEE in the first half period of this project. Both I and Dr. Kazumasa Iwai decided to make the joint studies online. I have discussed with these studies with Iwai every month via Zoom meeting. During the last year, I have tested the IPS observing data of the radio source 3C119 and 3C147 that was produced by ISEE IPS telescope, and processed the data to get the scintillation index of the signals. The results look fine, and agree with what we expected. In this way, I have understood how to process the IPS data of ISEE. Furthermore, I also processed the observed data by FAST in China, the data include several different radio source such as 3C84, CTA21, NVSS\_J020346+113445, and so on. Although, I cannot confirm the scintillation index in the data that I have processed, these experiences will be quite helpful to process the upcoming new Chinese IPS system.

In the schedule, I have planned to travel to ISEE from Mar. 17 to Mar. 31, 2023, and work with Iwai together to process more IPS data observed by the ISEE multi-station telescope, as well as the FAST data, we hope some scientific results can be obtained during the periods of stay in ISEE, however, it's a pity that the travel didn't happen. Here, I have to say that the joint Research funding is really not friendly to be used for the foreign researcher. I guess the aim of this funding is to encourage the foreign researcher to travel to Japan and collaborate with the Japanese researcher, but the strict funding policy make it difficult to realize this aim. Anyway, thanks for the approval of this joint research program, and many thanks Dr. Kazumasa Iwai for the collaborations and efforts in this joint program.

**ISEE joint research project, Nagoya University, Japan: Project report**

**Understanding vertical atmosphere-ionosphere (AI) coupling through atmospheric gravity waves**

Principal Investigator Name (Affiliation)

Dr. Ajeet Kumar Maurya,

Department of Physics, Babasaheb Bhimrao Ambedkar University, Lucknow, India

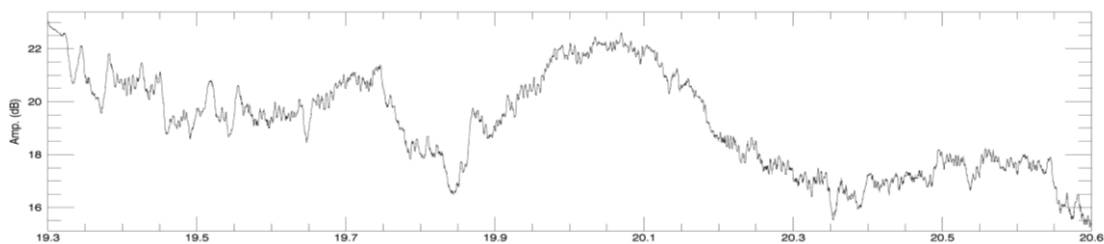
**Research summary,**

**Purpose:** The proposed work is focused on the new understanding of the atmosphere-ionosphere (AI) coupling process through atmospheric waves (AWs) (gravity and acoustic waves). The sources of AWs considered in this work are of meteorological origin. These waves play a consequential role in controlling processes within the AI system by transporting energy and momentum. Despite their important role, these waves remain poorly understood, mainly because of absence of continuous monitoring technique and propagation models. The main purpose of the work is to develop continuous monitoring technique using radio remote sensing method and determine propagation and dissipation mechanism of AWs in different regions of AI system.

**Method:** The present work employs radio signals from Global positioning system derived total electron content detrended grided data with 15 minutes running average and plotted for every 5 minutes. The very low frequency/low frequency (3-30kHz/40-70 kHz) navigational transmitter signals from various JJI, JJY40, JJY60 and BPC transmitter. WWLLN Lightning location data is used for identification of lightning activity across the Japan region is used.

**Results:** We have first selected strong convection/lightning region using the WWLLN data plotted over Japan region. We have selected four days from January 2019 (low solar activity time) when lightning was over the main land Japan and analyzed VLF/LF and detrended GPS TEC data. The analysis of the VLF data on three out of four days reveals presence of short period (~1-3 minutes) wave like fluctuations during local night time over Japan.

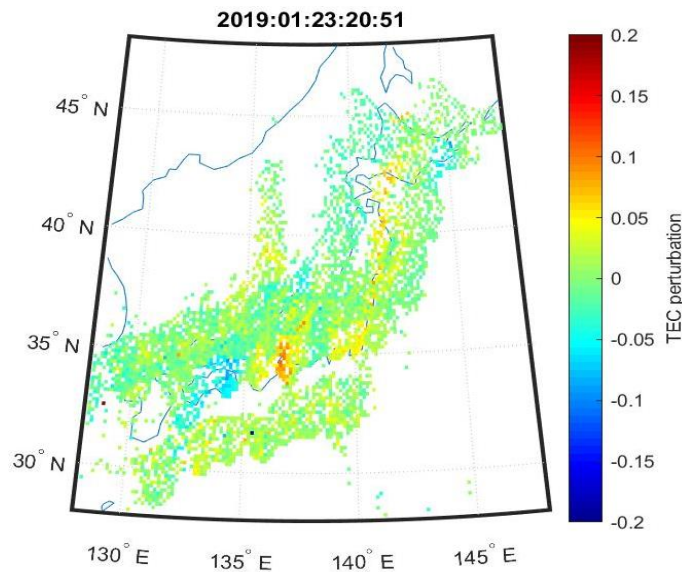
The example of the wave fluctuations on 23<sup>rd</sup> January 2019 on JJY40 amplitude is shown below



**Figure 1:** Showing JJY40 amplitude variation on 23 January 2019 during 19-20UT. The signal

recorded at RKB VLF station operated by OCTAVE VLF group.

A short period waves can be clearly seen and the period is substantially less than the Brunt-Vaisala period at those heights (~5 minutes). Thus, these waves are most probably acoustic waves. Further, in order to understand atmosphere-ionosphere coupling and upward propagation of these waves, we have analyzed TEC data from various GPS stations located across the Japan region. The example of detrended VTEC on 23<sup>rd</sup> January 2019 at 20 UT is shown below.



**Figure 1:** Showing detrended VTEC at 19UT over Japan region.

The TEC data show significant perturbation during this time. The comparison with all four days of analysis data of VLF/LF and detrended TEC does not leads to any significant correlation. Thus, it is suggested to analyze one year of VLF/LF data and further comparisons with GPS detrended TEC data.

**Periods of stay in ISEE:** I stayed at ISEE during 9<sup>th</sup> December 2022 to 12<sup>th</sup> January 2023. I would like to thank the Host researcher Prof. Yuichi Otsuka for all the support provided by him. He completed all the formalities for my visit and stay at Nagoya University.

**List of publications:** None, manuscript preparation is underway



## Developing a nowcasting capability for the occurrence of post-sunset equatorial plasma bubble in Southeast Asia

Prayitno Abadi

Research Center for Climate and Atmosphere,  
Indonesian National Research and Innovation Agency (BRIN)

### 1. Purpose

The presence of equatorial plasma bubbles (EPBs) after sunset can significantly disrupt trans-ionospheric radio wave propagation, which is essential for modern communication systems. However, the day-to-day variability in EPB occurrence presents a significant challenge, and researchers have been investigating the factors that influence EPB generation. To provide effective space weather services, a reliable and straightforward nowcasting model is necessary to accurately predict post-sunset EPB occurrence. This nowcasting model involves forecasting EPB occurrence a few hours in advance by analyzing its controlling factors. The goal of this study is to develop a model to nowcast EPB occurrence using ground observations in Southeast Asia.

### 2. Methods

The simple model of EPB occurrence developed in this study is based on observations collected from ionosondes located in the equatorial region, specifically in Chumphon (CPN, 99.4°E, 10.7°N, dip lat.: 1.3°N) in Thailand, Bac Lieu (BCL; 105.7°E, 9.3°N, dip lat.: 1.5°N) in Vietnam, Cebu (CEB; 123.9°E, 10.4°N, dip lat.: 3.0°N) in the Philippines, and Guam (GUM; 144.86°E, 13.62°N, dip lat.: 5.6°N). CPN, BCL, and CEB ionosondes belong to Southeast Asian Low-latitude Ionospheric Network (SEALION), whereas GUM ionosonde belong to Global Ionosphere Radio Observatory (GIRO). The simple model of EPB used in this study is a statistical model that connects the controlling factors of EPB occurrence to the probability of its occurrence. We identified the daily changes in evening upward plasma drift (hereafter denoted as  $v$ ) in the equatorial F region as a prominent factor that controls the probability of post-sunset EPB occurrence. This factor is caused by the pre-reversal enhancement (PRE) phenomenon. The observation of  $v$  is derived from the time derivative of virtual height ( $h'$ ) at 3 MHz around sunset observed by ionosondes, while the occurrence of EPBs is identified by the occurrence of spread-F (SF) from the ionosonde observation. To build a model of the EPB occurrence probability, we implement logistic regression, which can be expressed by  $y = \frac{1}{1 + \exp(-z)}$  and  $z = \beta_0 + \beta_1 v$ , where  $y$  is the logistic regression that represents the probability of EPB occurrence,  $z$  is a linear function consisting of  $v$ , and  $\beta_j$  ( $j = 0$  and  $1$ ) are regression coefficients. The  $\beta_j$  can be solved by the gradient descent technique from data observation. The parameter of  $v$  in the  $z$ -function is also defined as a predictor for plasma bubble occurrence. The dataset used in this study contains 2690 data points, where each data point consists of  $v$  and the EPB occurrence. The data was collected during equinox seasons (March–April and September–October) from 2003 to 2020.

### 3. Results

After obtaining the  $z$ -function  $z = -2.80 + 0.16v$ , logistic regression was applied to classify nights with or without EPB occurrence. A  $y$ -value of  $\geq 0.5$  indicated EPB occurrence, while a  $y$ -value of  $< 0.5$  indicated its absence (see Figure 1). The model achieved an accuracy of 0.8 and a true skill score (TSS) of 0.6. This  $z$ -function and corresponding  $y$ -values can be used as a reliable statistical model for daily nowcasting of EPB occurrence or non-occurrence by simply adding new input values of  $v$ . Technical details on the development of this nowcasting EPB model have been reported in Abadi et al. (2022).

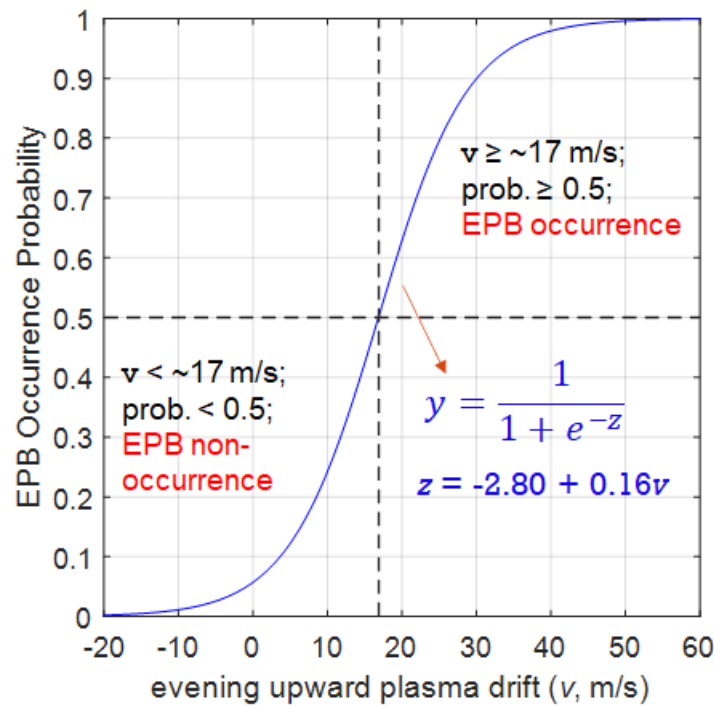


Figure 1: Logistic regression model depicting the probability of EPB occurrence as a function of the evening upward plasma drift.

### 4. Period of Stay in ISEE

1–31 December 2022

### 5. List of Publications

Abadi, P.; Ahmad, U. A.; Otsuka, Y.; Jamjareegulgarn, P.; Martiningrum, D. R.; Faturahman, A.; S. Perwitasari; Saputra, R. E.; Septiawan, R. R. (2022) Modeling post-sunset equatorial spread-F occurrence as a function of evening upward plasma drift using logistic regression, deduced from ionosondes in Southeast Asia. *Remote Sens.*, 14, 1896, <https://doi.org/10.3390/rs14081896>.

### 6. Future work

Assessing the use of the ionosonde network in Southeast Asia for forecasting equatorial plasma bubble occurrence in the region. (Under preparation)

(Form 2-2)

## **Understanding the Role of Magnetic Island in Plasma Acceleration and Energy Conversion during Magnetic Reconnection**

Wai-Leong Teh (Universiti Kebangsaan Malaysia)

This research project aimed to investigate the roles of magnetic islands/flux ropes in plasma heating and energy conversion during magnetic reconnection. We have performed a large-scale 2-D fully kinetic simulation of multiple island coalescence with a small reconnection guide field. Our main findings are that (1) the spatial scaling of coalescing islands plays a significant role in the plasma heating and that (2) significant energy dynamo is found at a secondary magnetic island. Results have been published in *Physics of Plasmas* and *The Astrophysical Journal*.

Periods of stay in ISEE: 28 Nov 2022 – 30 Nov 2022

### **Publications:**

1. T. K. M. Nakamura, W.-L. Teh, S. Zenitani, T. Umeda, et al. (2023), Spatial and time scaling of coalescing multiple magnetic islands, *Physics of Plasmas*, 30, doi: 10.1063/5.0127107.
2. W.-L. Teh, T. K. M. Nakamura, S. Zenitani, T. Umeda, & R. Nakamura (2023), New aspects of energy conversion in magnetic island dynamics: particle-in-cell simulation of multiple island coalescence and MMS observations, *The Astrophysical Journal*, accepted.

(Form 2-2)

## **Study of sub-auroral storm time magnetic and convection disturbances**

Hermann J. Opgenoorth, Umeå University, Umeå Sweden

After many COVID-enforced re-plannings and shifts of my visit to ISEE at Nagoya University, which was originally planned and applied for in late 2019, it was finally possible to carry out my research visit for the Study of sub-auroral storm time magnetic and convection disturbances, in February and March of 2023.

I arrived at ISEE on Monday February 13, 2023. The first days I was busy with acquainting myself with the facilities ISEE, to discuss my science plans with Prof. Nishitani and other members of his group, also with other visitors at ISEE like Prof. P. Ponomarenko, Prof. K. D. Leka, and Dr. M Förster.

I also prepared my 1 hour long colloquium lecture with the title:

### **The Origins and Characteristics of Three-Dimensional Current Systems in Near-Earth Space and Their Implications for Space Weather.**

This colloquium, which was given in the afternoon of February 20, did set the scene for my later research activities and explained my intent in more detail to other members of the group.

In the second week of my stay, I analysed a list of 26 events of Sub-Auroral Polarisation Streams as seen in the Hokkaido-East SuperDARN radar, learned how to present and understand *lin -of-sight* and FoV data from the various Super-Darn radars. In this work frequent discussions with Prof. Ponomarenko were very helpful. I also requested magnetic data from suitable and valuable Japanese magnetometers along the 210 meridian chain network from Prof Yoshikawa and Dr. Uozumi (Kyushu University), which I promptly received (for all 26 events) only a few days later.

Investigating these data, and also other data from the global SuperMAG magnetometer network and Iridium satellite data from the AMPERA project on ionospheric and field-aligned currents, it became very clear that most of these SAPS event in Prof. Nishitani's list were indeed related to fast activations of ionospheric currents over stations nearby the location of SAPS in the Hokkaido radar. I also could see that many of the SAPS events were rather short-lived (much like the magnetic disturbances) and often they were restricted to only one radar FoV. I decided to concentrate my investigations to the best example, a set of SAPS observation around magnetic midnight during the well-studied St Patrick's storm on 17.3. 2015.

I interrupted my work at ISEE for a few days for a visit to the University of Kyoto, where I discussed - on February 27 and 28 respectively - Sudden Storm Commencements (SSC) and general SWx issues

concerning geomagnetically induced currents (GICs) with Profs Araki and Kikuchi. The rest of the week I spent preparing and analyzing more data, a.o. new magnetograms in the same scale as the SuperDARN Hokkaido data to present initial results of my work at the ISAR-7 meeting at NIPR in Tokyo on Monday, March 6, and at the national SuperDARN Meeting (also at NIPR) on March 9.

The titles of my two presentations introducing my work at ISEE were:

**The Origins and Characteristics of Three-Dimensional Current Systems at Auroral and Sub-auroral Latitudes and their Potential Impacts on The Arctic Upper Atmosphere,**

**Hermann J. Opgenoorth, Audrey Schillings and Anna Naemi-Willer**

and

**Strong electric fields adjacent to auroral electro-jets and sub-auroral storm time electro-jets - implications of ionosphere / magnetosphere coupling on Space Weather impacts**

**Hermann J. Opgenoorth, Audrey Schillings, Anna Naemi-Willer N. Nishitani, P. Ponomarenko, A. Yoshikawa and T. Uozumi.**

My results were discussed at several ISEE group meetings and put into context of other, wider, and longer lasting observations of SAPS. After my return to Sweden on March 12, I have begun to discuss the work achieved at ISEE with my colleagues in Sweden, Denmark, the UK and the US, in order improve on our datasets and to advance our knowledge on SAPS.

I expect to continue my studies that I began at ISEE here in Sweden and stay in close contact with Prof. Nishitani and his colleagues about my progress. I intend to make a more detailed research plan and apply for a longer period as Visiting Professor at ISEE in the autumn of 2024, in order to continue and finalise my work, but then for a visit of at least 3 months duration. I am very satisfied with the working conditions, data access and discussion opportunities provided by Prof Nishitani and his group. Even if it has not been possible to prepare any publications during this short stay, it has been very successful and it laid the ground for future continued work with several potential future publications emerging from it.

## Analytical Chorus Wave Models Derived from Van Allen Probe and Arase Observations

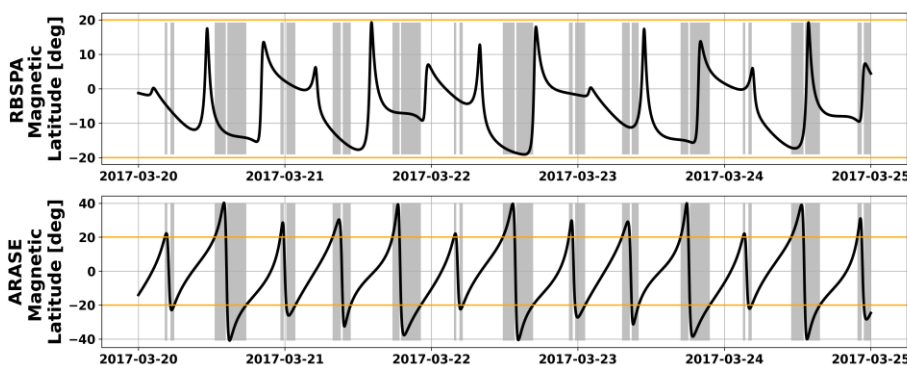
Dedong Wang (GFZ Potsdam, Germany)

### Purpose

By performing long-term radiation belt simulations, our recent paper [Wang and Shprits, 2019] showed that the outcome of interactions between energetic electrons and chorus waves (acceleration or loss) depends on the latitudinal distribution of the waves. This paper showed that high-latitude chorus waves can tip the balance between acceleration and loss. A decrease in high-latitude chorus waves can tip the balance between acceleration and loss toward acceleration, or alternatively, the increase in high-latitude waves can result in a net loss of MeV electrons. This study demonstrated that it is critical to include the effects of high-latitude chorus waves into terrestrial and outer planet radiation belt models. In order to extend our previous chorus wave model [Wang et al., 2019] developed by using Van Allen Probe data to higher latitude, we aim to combine observations from Van Allen Probes and Arase.

### Methods

We analyze the statistical characteristics of the measurements from different satellites and see whether there is systematic bias of them in the same long-term interval. We first compare the statistical root mean square Bw (magnetic intensity) from Van Allen Probes and Arase during the years when both satellites were operating. There are two years overlap between the Van Allen Probe mission and the ERG (Arase) mission. While the Van Allen Probes mainly cover the low-latitude environment, the Arase satellite covers both low- and high-latitude wave environments. We first compare the statistical characters from each mission in these two years in the latitude range covered by both satellites. Figure 1 shows an example about how to select these time periods. By doing these comparisons, we can see whether there is a systematic bias. If there is, we will find to which extent the statistical features agree with each other.



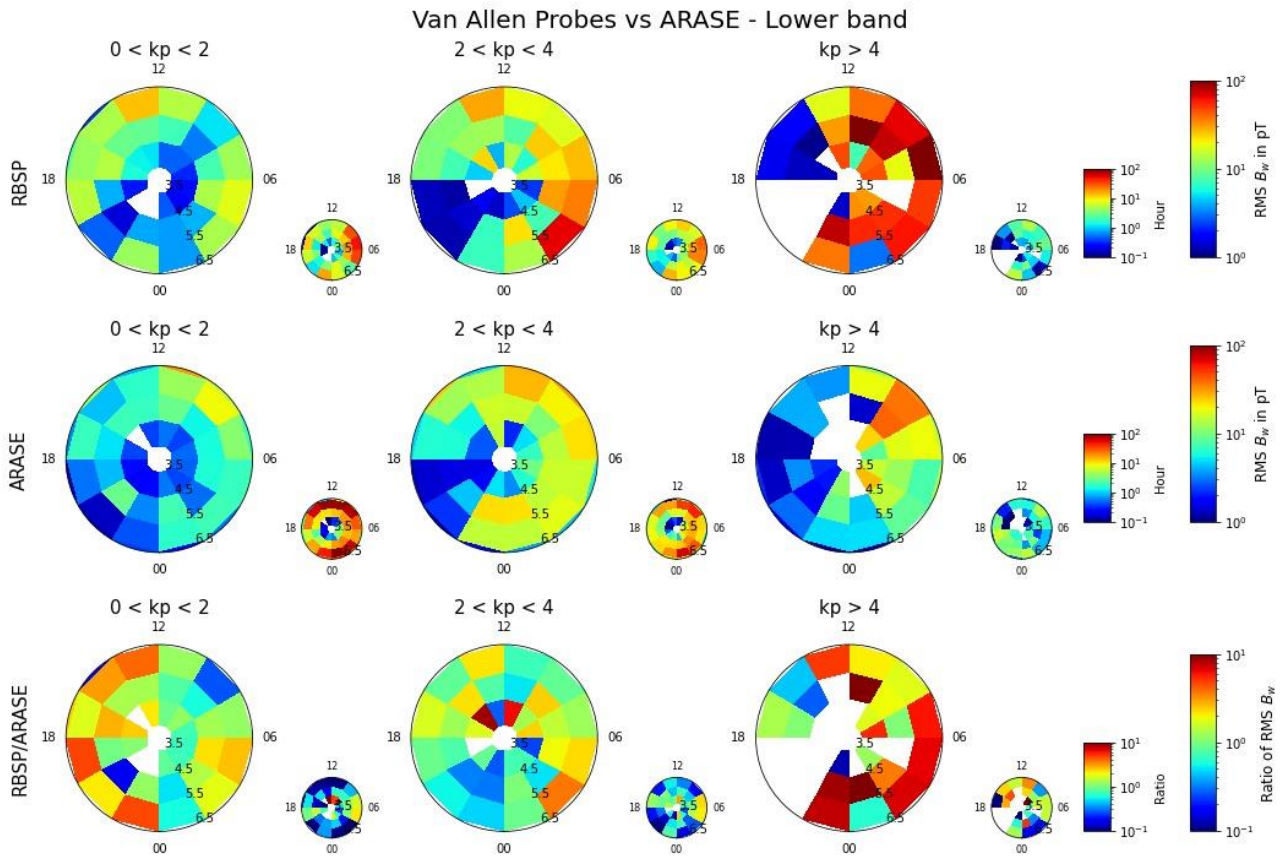
**Figure 1.** An example showing how we select time period to compare statistical characters of waves from RBSP-A and Arase. Data in those time intervals shaded with grey color are removed in the database to be compared.

### Results

We compared the statistical root mean square Bw (magnetic intensity) from Van Allen Probes and Arase during the years from March of 2017 to October of 2018. After October of 2018, the magnetic field measurements have some problem in one component (*personal communication with Prof. Miyoshi and Dr. Nakamura*). The



results are shown in figure 2.



**Figure 2.** Different columns show statistical characteristics (RMS Bw in big panels and sampling time in small panels) of chorus waves in different geomagnetic conditions. Panels in first (second) row show results from Van Allen Probes (Arase). Panels in the third row show the ratio of RMS Bw and sampling time between RBSP and Arase.

Then we developed analytical chorus wave model by using the combination of the data from these two satellites and currently we are improving the models.

### Periods of stay in ISEE

From 14 February 2023 to 17 February 2023.

### List of publications

A paper about the statistical characters of chorus waves from RBSP and Arase and improved chorus wave model from this project is in preparation, to be submitted in this year

References:

**Wang, D.,** and Shprits, Y. Y. (2019). On how high-latitude chorus waves tip the balance between acceleration and loss of relativistic electrons, *Geophys. Res. Lett.*, 46.

**Wang, D.,** et al. (2019) Analytical chorus wave model derived from Van Allen Probe observations, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 124.

(Form 2-2)

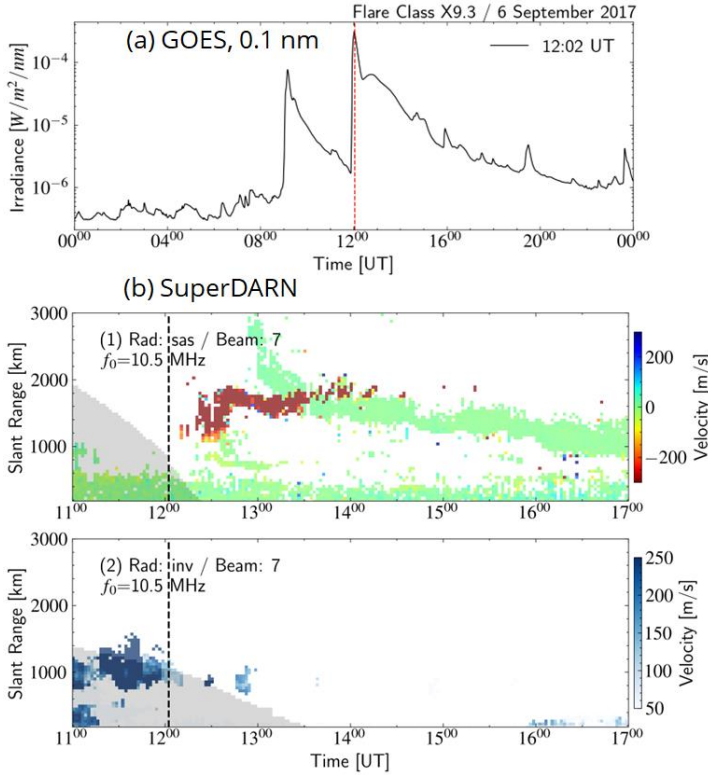
**Geomagnetically Induced Currents at equator due to IP shocks and  
solar wind discontinuities**

Sudarsanam Tulasiram  
Indian Institute of Geomagnetism, India

Cancelled

## Influence of Solar Flare-Driven Changes in the Ionospheric Conductance and Electric Fields on HF Radar Observed Doppler Flash

Shibaji Chakraborty (Virginia Tech)



**Figure 1.** Solar flare irradiance and its impact on the ionosphere recorded by SuperFARN HF radars on 6 September 2017: (a) GOES flare irradiance at 0.15 nm; (b) range-time plots showing LoS Doppler velocity recorded by (b-1) Saskatoon and (b-2) Inuvik radars color coded by the color bar on left of each panel. The vertical dashed lines represent flare peak, and the gray shaded region indicates solar zenith angle greater than 90°.

A solar flare is a space weather event that causes a transient in the dayside ionospheric system by enhancing plasma density. A solar flare effect (SFE) is typically a transient in sub-auroral, middle, and low latitudes dayside ionospheric currents due to changes in the ionospheric electric field and conductivity caused by flare-enhanced photoionization [1]. However, the largest X-class flares can impact current systems at auroral and polar latitudes as well. Using ground-based radars and GNSS TEC receivers located in at high and middle latitudes in the North American sector, we analyzed an X9.3 flare on 6 September 2017. We found: (i) the SuperDARN radar located at Saskatoon (at dawn sector) observed a sudden appearance of ionospheric scatter following the flare; (ii) the SuperDARN Inuvik radar, located in the polar cap, recorded a sudden reduction in plasma flow velocity. Near the day-night terminator SuperDARN radars observed an intensification of irregularities due to the Gradient Drift Instability, GDI [2]. We speculate that flare-enhanced density gradients intensified the conditions for GDI at the day-night terminator. Reduction in plasma flow velocity observed by the Inuvik radar is likely driven by a reduction in the

efficiency of mechanical energy conversion in the dayside solar wind-magnetosphere-ionosphere (SW-M-I) interaction.

## References

- [1] J. J. Curto, S. Marsal, E. Blanch, and D. Altadill, “Analysis of the solar flare effects of 6 september 2017 in the ionosphere and in the earth’s magnetic field using spherical elementary current systems,” *Space Weather*, vol. 16, no. 11, pp. 1709–1720, 2018.
- [2] K. Hosokawa and et al., “Characteristics of solar flare effect in the high-latitude ionosphere as observed by the SuperDARN radars,” *Advances in Polar Upper Atmosphere Research*, 2000.

(Form 2-2)

## Investigation of electromagnetic waves in space plasmas

Ondrej Santolik, IAP Czech Academy of Sciences, Prague, Czechia

Project period : Start date : 2022/4/1 End date : 2023/3/31

ISEE researcher : Dr.Yoshizumi Miyoshi

This project aimed at innovative joint research of electromagnetic waves in the plasma environment of the Earth. We focused on the analysis of the Japanese Arase (ERG) spacecraft mission complemented with data from other spacecraft missions and with ground based measurements. The proposed investigation was devoted to research of electromagnetic waves generated in space plasmas in a direct connection with wave particle interactions in the region of Van Allen radiation belts and electromagnetic waves generated by lightning discharges. This research not only contributed to fundamental understanding of the physics of radiation belts, but also to improvements of their models, with Space Weather applications, including radiation protection of spacecraft on the geostationary orbit.

The travel of Dr. Kolmasova and Dr. Santolik to the University of Nagoya was organized from January 30<sup>th</sup> 2023 to February 4<sup>th</sup> 2023. The ISEE International Joint Research Program funded the accommodation of the two foreign researchers on the University of Nagoya campus and on-site expenses. Owing to insufficient funding from the program both return flight tickets were purchased with funding from the Czech sources. This brief 4 day visit was consecrated to seminars with University of Nagoya students, analysis and interpretation of 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 a common publication.

List of publications in journals with referees

1. Hajoš, M., Němec, F., Demekhov, A., Santolík, O., Parrot, M., Raita, T., & Bezděková, B. (2023). Quasiperiodic ELF/VLF emissions associated with corresponding pulsations of the geomagnetic field. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 128, e2022JA031103. <https://doi.org/10.1029/2022JA031103>
2. Bezděková, B., Nemeč, F., Manninen, J., Santolík, O., Hospodarsky, G. B., & Kurth, W. S. (2023). Very low frequency whistler mode wave events observed simultaneously by the Kannuslehto station and Van Allen Probes. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 128, e2022JA031078. <https://doi.org/10.1029/2022JA031078>
3. Miyoshi, Y., I. Shinohara, S. Ukhorskiy, S.G. Claudepierre, T. Mitani, T. Takashima, T. Hori, O. Santolik, I. Kolmasova, S. Matsuda et al. (2022). Collaborative Research Activities of the Arase and Van Allen Probes, *Space Science Reviews* (2022) 218:38 <https://doi.org/10.1007/s11214-022-00885-4>
4. Dahmen, N., Sicard, A., Brunet, A., Santolik, O., Pierrard, V., Botek, E., et al. (2022). FARWEST: Efficient computation of wave-particle interactions for a dynamic description of the electron radiation belt diffusion. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 127, e2022JA030518. <https://doi.org/10.1029/2022JA030518>

5. Hanzelka, M., & Santolík, O. (2022). Effects of field-aligned cold plasma density filaments on the fine structure of chorus. *Geophysical Research Letters*, 49, e2022GL101654. <https://doi.org/10.1029/2022GL101654>
6. Kaspar, P., Kolmasová, I., & Santolík, O. (2022). Model of the first lightning return stroke using bidirectional leader concept. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 127, e2022JD037459. <https://doi.org/10.1029/2022JD037459>
7. Nemeč, F., Santolík, O., Hospodarsky, G. B., & Kurth, W. S. (2022). Alpha transmitter signals observed by the Van Allen Probes: Ducted versus nonducted propagation. *Geophysical Research Letters*, 49, e2022GL098328. <https://doi.org/10.1029/2022GL098328>
8. Kolmasová, I., Santolík, O., Slegl, J., Popová, J., Sokol, Z., Zacharov, P., Ploc, O., Diendorfer, G., Langer, R., Lán, R., and Strhářský, I.: Continental thunderstorm ground enhancement observed at an exceptionally low altitude, *Atmos. Chem. Phys.*, 22, 7959–7973. <https://doi.org/10.5194/acp-22-7959-2022>, 2022
9. Hanzelka, M., Nemeč, F., Santolík, O., & Parrot, M. (2022). Statistical analysis of wave propagation properties of equatorial noise observed at low altitudes. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 127, e2022JA030416. <https://doi.org/10.1029/2022JA030416>
10. Parrot, M., Nemeč, F., & Santolík, O. (2022). Properties of AKR-like emissions recorded by the low altitude satellite DEMETER during 6.5 years. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 127, e2022JA030495. <https://doi.org/10.1029/2022JA030495>
11. Hartley, D. P., Chen, L., Christopher, I. W., Kletzing, C. A., Santolik, O., Li, W., & Shi, R. (2022). The angular distribution of lower band chorus waves near plasmaspheric plumes. *Geophysical Research Letters*, 49, e2022GL098710. <https://doi.org/10.1029/2022GL098710>
12. Nemeč, F., Santolík, O., Hospodarsky, G. B., Kurth, W. S., & Kletzing, C. (2022). Power Line Harmonic Radiation observed by the Van Allen Probes spacecraft. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 127, e2022JA030320. <https://doi.org/10.1029/2022JA030320>
13. Hartley, D. P., Christopher, I. W., Kletzing, C. A., Kurth, W. S., Santolik, O., Kolmasova, I., et al. (2022). Quantifying the sheath impedance of the electric double probe instrument on the Van Allen Probes. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 127, e2022JA030369. <https://doi.org/10.1029/2022JA030369>
14. Kolmašová, I., Santolík, O., and Rosická, K.: Lightning activity in northern Europe during a stormy winter: disruptions of weather patterns originating in global climate phenomena, *Atmos. Chem. Phys.*, 22, 3379-3389, <https://doi.org/10.5194/acp-22-3379-2022>, 2022.



(Form 2-2)

## **Multi-point spacecraft investigations on the solar erupted magnetic flux ropes propagating through the inner heliosphere**

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

### **Purpose of Project:**

This project is to investigate the multi-point *in-situ* spacecraft plasma and magnetic field measurements at the different heliospheric radial distances and longitudes, in order to understand a global morphology of the solar erupted magnetic flux ropes propagating through the inner heliosphere. Based on the spacecraft observations, we especially aim to address the following 3 scientific issues: the spatiotemporal evolution of the solar erupted magnetic flux rope propagating (1) radially and (2) longitudinally through the inner heliosphere, and (3) the geometrical relationship of the solar erupted magnetic flux rope observed between on the solar surface and in the interplanetary space (i.e., inner heliosphere).

### **Methods:**

We first investigated the physical processes responsible for the formation and eruption of the magnetic flux rope using the solar data observed by either SDO or HINODE satellites. Based on the *in-situ* spacecraft observations, we next applied the model fitting technique under the assumption that a magnetic flux rope is a cylindrical shape with a force-free, and self-similar expansion (e.g., *Marubashi and Lepping, 2007*) to estimate the flux rope geometrical axial orientation as it propagates through the inner heliosphere.

### **Results:**

At that time when we submitted our proposal in FY2022, we were planning to investigate the ICME event erupted in April 2014, because it had been likely detected by several *in-situ* spacecraft, such as, Venus Express (at Venus), near-Earth spacecraft, and MAVEN (at  $\sim 1.28$  AU *en route* to Mars). However, owing to some limitations in the *in-situ* spacecraft data, we decided to change the ICME event and the associated solar erupted magnetic flux rope in October 2021. This event was simultaneously observed by BepiColombo (at  $\sim 0.33$  AU *en route* to Mercury), Solar Orbiter (at  $\sim 0.68$  AU), near-Earth spacecraft, and STEREO-A (at  $\sim 0.96$  AU). We succeeded in estimating the axial orientation of the solar erupted flux rope both on the solar surface and in the inner heliosphere, enabling us to discuss how it evolved through the inner heliosphere.

### **Periods of Stay in ISEE, Nagoya University:**

I was able to overcome the COVID-19 pandemic and to visit at ISEE/Nagoya University twice in FY2022. I stayed Nagoya for 2 weeks in July 2022 and a week in January 2023, and had several in-person meetings with colleagues to discuss the ICME event erupted in October 2021.

### **Publications:**

As of March 2023, we are now finalizing a manuscript to summarize the ICME event erupted in October 2021. Our manuscript is anticipated to be submitted to the special issue on the Earth, Planets and Space (EPS) journal. The call for papers will be announced in early FY2023.

(Form 2-2)

## **Analysis of solar active regions based on Lagrangian methodology**

Principal Investigator  
Prof Viktor Fedun  
Plasma Dynamics Group  
Department of Automatic Control and Systems Engineering  
The University of Sheffield, Mappin Street  
Sheffield, S1 3JD

The collaborative ISEE project between members of Plasma Dynamics Group, the University of Sheffield and colleagues from the Institute for Space-Earth Environmental Research is devoted to the possibility to identify the change in the topology of solar plasma flows prior appearance of the active regions (AR). This is an extensive task that requires the analysis of large data volumes of numerical and observational data with the use of velocity field identification methods e.g., DeepVel (Asensio Ramos et al., ApJ, 2017) and flow analysis (Finite-Time Lyapunov Exponents (FTLE), Shadden, S., et al., Phys. D: Nonlinear Phenomena, 2005). The flow plasma trajectories are organised by coherent structures, i.e., temporal and spatial material lines/surfaces, which provide a ‘skeleton’ of plasma motions. It has been shown that there is a correlation between the material surfaces and the structuring of the magnetic field. Therefore, it is possible not only to observe and understand the evolution of these lines/surfaces but also to determine the restructuring of the magnetic field. With the use of numerical simulation data of the rising of magnetic flux tube and the formation of sunspots [R2D2 code] obtained from ISEE colleagues (Dr. Haruhisa Iijima), in the framework of this project, we were able to show the presence of considerable global disturbances in the dynamics of the mesogranular cells due to the intense magnetic flux rising below the surface (i.e., prior appearance of AR). Our findings suggest that the Lagrangian analysis is a powerful tool to describe the changes in the photospheric flows due to magnetic flux emergence and this approach can be used for the prediction of AR appearance. This work was the core of the submitted research paper ‘Novel approach to forecasting photospheric emergence of active regions, ApJL, 2022’ and form the basis for the new study which is related to the identification of the velocity field within AR in the observational data (‘Using machine learning tools to estimate photospheric velocity fields prior to the formation of active regions’, MNRAS, 2023 [under final stage of preparation]). During my visit (26.11- 08.12.2022) I had a number of useful discussions with ISEE colleagues and established new research connections within and outside of ISEE (Drs. Hotta and Kaneko). During the time of the project, together with Dr. Iijima, I successfully applied for AOGS 2023 session ‘ST04: Modelling Magnetohydrodynamic Processes in the Solar Atmosphere’. The research undertaken during the term of the project went beyond its main scope, i.e., the results and developed methodologies are also important to the study of collective vortical motions and energy transfer in the solar atmosphere. During my stay in ISEE I have got CIDAS account which will grant me access to the numerical data to continue our joint research work.

Publications with acknowledgment to ISEE (2022-2023)

1. Silva, S.S.A., Lennard, M., Verth, G., Ballai, I., Rempel, E., Warnecke, J., Hotta, H., Iijima, H., Park,

- S.-H., Kusano, K. and Fedun, V., Novel approach to forecasting photospheric emergence of active regions, *ApJ Letters*, 2022, (submitted, under review)
2. Yuyang Yuan, Y., Fedun, V., Verth, G., Silva, S.S.A., Vortex detection by Advanced  $\Gamma$  Method in solar plasma, *ApJ Supplement*, 2023 (accepted)
  3. Lennard, M., Tremblay, B., Asensio Ramos, A., Hotta, H., Iijima, H., Sung-Hong Park, Silva, S.S.A., Verth, G., Fedun, V., Using machine learning tools to estimate photospheric velocity fields prior to the formation of active regions, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2023 (under final stage of preparation)
  4. Tziotziou, K., Scullion, E., Shelyag, S., Steiner, O., Khomenko, E., Tsiropoula, G., Canivete Cuissa, J. R., Wedemeyer, S., Kontogiannis, I., Yadav, N., Kitiashvili, I., Skirvin, S., Dakanalis, I., Kosovichev, A., Fedun, V., Vortex Motions in the Solar Atmosphere Definitions, Theory, Observations, and Modelling, *Space Science Reviews*, 219, 1, 2023
  5. Skirvin, S., Fedun, V., Silva, S., Van Doorselaere, T., Claes, N., Goossens, M., Verth, G. The effect of linear background rotational flows on magnetoacoustic modes of a photospheric magnetic flux tube, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 518, 4, 6355-6366, 2023
  6. Solar Vortex Tubes III: Vorticity and Energy Transport, Silva, S.S.A., Verth, G., Ballai, I., Rempel, E., Shelyag, S., Schiavo, L., Fedun, V., *ApJ*, 2023 (under final stage of preparation)
  7. A. B. Albidah, A., Fedun, V., Aldhafeeri, A., Ballai, I., Jess, D., Brevis, W., Higham, J., Stangalini, M., Silva, S.S.A., MacBride, C., Verth, G., *ApJ*, 2023 (under review)

(Form 2-2)

**Creation of a new high-quality long-term temperature dataset of East  
Antarctic meteorological observations**

Lazzara Matthew  
University of Wisconsin-Madison, Space Science and Engineering Center, USA

Cancelled

(Form 2-2)

## **The NoRH/RHESSI flare catalogue: time-dependent analysis**

Säm Krucker, UC Berkeley & University of Applied Sciences Northwestern Switzerland (FHNW)

Solar flares give us a unique opportunity to make spatially resolved observations to study magnetic energy release and particle acceleration in space plasmas. The most direct diagnostics of electron acceleration are provided through radio and hard X-ray observations where we observe synchrotron emissions in the GHz range and non-thermal bremsstrahlung emissions above typically 10 keV. Observations at these two different wavelength ranges are highly complementary as synchrotron emission heavily depends on the magnetic field along which the electrons spiral, while bremsstrahlung is weighted by the ambient density where the electrons suffer collisions. The two leading solar dedicated observatories of the past decades are the Nobeyama Radioheliograph (NoRH) and the Reuven Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager (RHESSI). Starting in 2021, the STIX hard X-ray imaging spectrometer has become operational. All these observatories apply indirect imaging techniques heavily relying on sophisticated imaging reconstruction algorithms to achieve the best possible results.

During my research stay at University of Nagoya in February 2023, we worked on one of the most prominent solar radio flares observed to date, SOL2014-02-25, an X5 GOES class flare. In collaboration with Stephen White, we analyzed the morphology of this event, and we investigated the consistency of the extremely high brightness temperature with theoretical models. We concluded that this flare is at the upper limit of brightness temperature possible from theoretical consideration for solar flares. A publication is in preparation (White, Krucker, Masuda et al. 2023).

In a second part of my stay, I compiled a list of NoRP and STIX jointly observed flare to date. There are currently only 8 jointly observed flares (flares larger than GOES M class), but I will continue to update this list. The correlation between hard X-ray and microwave peak fluxes found during our earlier research stay in 2019 between NoRP and RHESSI data is also found the NoRP and STIX catalogue (see Figure 1). It is notable that extremely large flares have not yet occurred in the recent solar cycle (cycle 25), i.e. there no flares with a 17 GHz peak flux above 3000 sfu.

The NoRH/RHESSI flare catalogue: time-dependent analysis

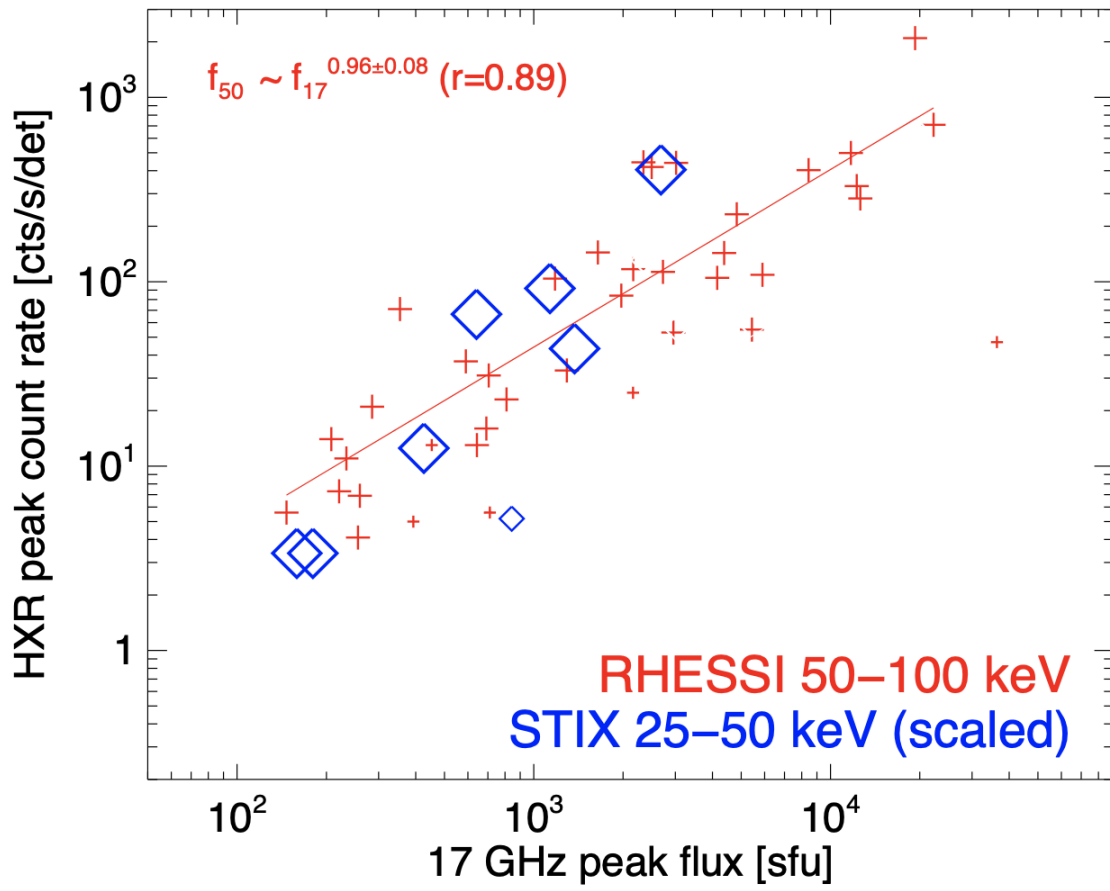


Figure 1: Correlation plot between the 17 GHz peak flux and the 50-100 keV peak count rate from NoRP and RHESSI from Krucker, White, & Masuda 2022, with the new events jointly observed by NoRP and STIX added in blue. The correlation also holds for STIX observations, as expected.

## Exploring Magnetic Energies to Understand and Predict CME Onset

Prof. Brian Welsch (University of Wisconsin – Green Bay)

**Purpose:** *To determine if a magnetic flux system in a region of the solar corona that possesses energy in excess of that system's partially open field energy (POFE) should erupt to produce a coronal mass ejection (CME).*

In a CME, solar magnetic fields that initially close in the low corona suddenly open into the heliosphere, which can drive severe space weather disturbances at Earth. The trigger mechanisms of CMEs, however, remain unclear. At conferences from 2018 to 2021, J. Linker and collaborators argued that, based upon results of numerical simulations (which remain unpublished), CME onset occurs when the magnetic energy of a closed-field region exceeds the POFE for that flux system. The POFEs in their models, however, could only be roughly estimated, because their models' fields lack the symmetry required to determine the POFE. Our aim was to investigate idealized magnetic systems, for which the POFE can be precisely calculated, to seek out any physical mechanism(s) that might trigger dynamic evolution near the POFE limit.

**Period of stay in ISEE:** 14-25 November 2022

**Methods:** We explored magnetic structure and energy in an axisymmetric (2.5D) model of delta-spot active region (AR), comprised of a central spot and opposite-polarity moat, encircled by a disconnected, bipolar surrounding-flux (SF) system. This configuration's symmetry enables computing the POFE, by changing the boundary condition to make the AR system unipolar. An advantage in analyzing axisymmetric systems like this is that a flux function can be employed to determine equilibrium states. For this purpose, we assume the coronal field obeys the force-free Grad-Shafranov equation. Energy would be added to either the AR or SF flux systems through shearing flows applied to the footpoints of magnetic fields within each system. Due to the free boundary between the AR and SF systems, which will evolve as magnetic shear is varied in each, determining the equilibrium state is a non-linear problem, and an analytic solution in terms of eigenfunctions of the Grad-Shafranov operator does not exist. Eigenfunction expansions can still be used, in principle, to compute a given configuration's current-free initial state (its "potential" field) and the POFE: either Bessel functions in cylindrical geometry or spherical Bessel functions in spherical geometry. Unfortunately, because these eigenfunctions are oscillatory on small scales, numerical accuracy of estimated quantities can suffer. This motivated considerable effort to identify either analytic or numerically robust solutions for the magnetic field's current-free initial state, and for that boundary condition's POFE.

**Results:** Three primary insights were made: two significant gains in scientific understanding, and identification of one significant difficulty. The first insight regards the non-uniqueness of coronal magnetic fields for a given normal-field boundary condition (BC), i.e., with specified  $B_n$ , subject to different additional constraints. It was suggested by Grad & Rubin (1958) and Bineau (1972) that a force-free magnetic field was uniquely determined when  $B_n$  and the normal current density  $J_n$  were both specified. Counterexamples have



been reported (e.g., Kusano et al. 1996, Hu 2004); in these cases, the different fields that match the common BCs on both  $B_n$  and  $J_n$  differ in relative magnetic helicity content,  $H$ . The proposed spontaneous evolution of a flux system toward the open state at the POFE threshold would also involve non-uniqueness, but with altered constraints:  $B_n$  is again assumed fixed, but in this case the coronal field's relative helicity would be the same in the pre- and post-opening field, but the BC on vertical current  $J_n$  would not be preserved. This is expected for an ideal instability.

The second insight regards the nature of the field energy as the POFE for a given flux system is approached. Sturrock (1991) argued that magnetic energy of a field becomes stationary as the field is completely opened, and that this completely open field energy (COFE) is the maximum possible energy for a given  $B_n$ . The numerical experiments of Hu (2004) suggest that a field's magnetic energy when opening a single flux system was also stationary, though not an extremum. This logic can be applied to multi-system, global configuration, in which different flux systems can be opened individually and in different order. In such a configuration, the global configuration's energy generally exhibits hysteresis. When two flux systems' fields both possess substantial energy above their current-free minimum energies – i.e., they are evolving toward the open state – but neither has reached its POFE, they could, in principle, exchange energy (with magnetic pressure or tension in one system doing work against the other), possibly enabling one of the closed systems to open. This possibility has not yet been explored.

The third insight was the recognition of a fundamental difficulty in modeling coronal magnetic evolution toward the POFE: based on recent work by Schuck et al. (2022), increasing magnetic shear within a flux system should, because it corresponds to an increasing horizontal current in the corona, alter  $B_n$  at the base of the corona. This, however, would violate the fixed-normal-field BC assumed above. In fact,  $B_n$  at the base of the corona can only be kept fixed if one assumes that evolution in coronal currents is exactly mirrored by currents in the interior, which is unrealistic. It remains unclear how magnetic field boundary conditions should be handled when modeling evolution of coronal currents without assuming mirror currents in the interior also evolve to exactly offset the contribution of coronal currents to  $B_n$ .

These three insights have not yet been written up for publication in a scientific journal, but are expected to contribute to additional progress in understanding magnetic evolution in the lead up to CME onset.

**Publications:** None yet.

# **Investigation of the solar wind propagation and its characteristics in the inner heliosphere using multi-spacecraft, ground-based observations and numerical simulations**

Sae Aizawa

(Department of Physics, University of Pisa)

## **Introduction and Purpose of the project**

Solar wind propagates approximately radially through interplanetary space, defining the extent of the heliosphere. During its propagation, the solar wind interacts with the planetary bodies it encounters, resulting in the creation of distinct environments at each planetary body. Thus, it is important to understand its behavior and Sun's activity as its origin. To investigate the characteristics of the solar wind from the Sun, many space missions are available to study the Solar and heliospheric physics. It allows us to combine them and get a more complete picture of plasma processes. In addition, recent observations by BepiColombo, which is Mercury exploration mission by ESA and JAXA and currently en route to Mercury, show that they are capable of detecting all the manner of solar events certifying this as another excellent probe in the inner heliosphere. However, correctly interpret the multipoint measurements and connect these data, comprehensive modelling is necessary.

In this project, we first examine the solar wind propagation in a global MHD simulation, called SUSANOO with the magnetic field data obtained by BepiColombo during its cruise phase to understand the error in arrival time of heliospheric current sheet crossings as a proxy of normal solar wind propagation. Then we expand it to longer time period and comparison of plasma measurements. It is an important step to understand the features of SUSANOO simulation so that we can discuss the interpretation of multipoint measurements with it in future.

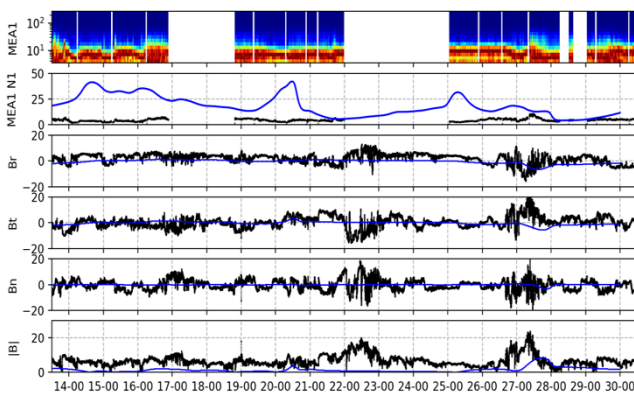
## **Method**

In SUSANOO, it is possible to extract the solar wind information such as the magnetic field, plasma parameters as a time series at any objects in space. We have first extracted the magnetic field data at BepiColombo, and compared it with the magnetic field obtained by BepiColombo. We have derived the cone and clock angle of the magnetic field, compared them, and identified the difference in time between BepiColombo and outputs from SUSANOO. The cone angle corresponds to the change in x-component, thus it is a proxy to identify the heliospheric current sheet (HCS) crossings, thus it represents the large structure of the solar wind from the Sun in the inner heliosphere.

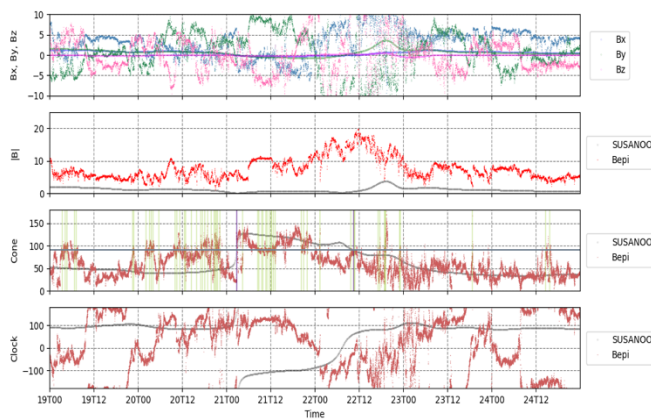
## **Results**

Figure 1 shows an example of comparison between BepiColombo and SUSANOO in June 2021. At the time, BepiColombo was in the distance of  $\sim 0.8$  AU. Overall, it looks consistent for the magnetic field data, however the magnetic field magnitude seems to be low in SUSANOO, and sometimes small variation does not correspond. When we zoom in several time periods, we can clearly identify HCS crossing detected by BepiColombo, which is not consistent with the result by SUSANOO (see Figure 2). Since actual observation has better temporal resolution, we mainly focus on the large structure by checking the clock angle together. As a result, we have discussed HCS crossings in June 2021, and identified the time difference between SUSANOO and BepiColombo.

SUSANOO always predicts it earlier than actual observations, and so far, the range is 16 ~ 55 hours, which is sometimes better than the mean time differences using another global MHD simulation, 33.4 hours for magnetic field polarity, investigated by Wang et al., 2020. As for the plasma density variation, we have found that SUSANOO does not show any variations as BepiColombo shows. However, the electron analyzer onboard BepiColombo is still inside a sunshield, thus, it is difficult to justify if electron density obtained by BepiColombo shows the actual variation of ambient solar wind. The instrument team has hardly worked on it and it is still under investigation. With assumptions implemented in MHD simulations, and temporal and spatial resolutions, it is necessary to collect more data in the heliosphere with various heliospheric distance to identify the characteristics of SUSANOO simulation and how much differences in time we have between background solar wind propagation and extreme solar event such as coronal mass ejections. This will be the next step by using more data from other space missions such as Solar Orbiter and Parker Solar Probe.



**Figure 1.** Overview of BepiColombo observation and outputs from SUSANOO simulation. From top to bottom, electron spectrum from BepiColombo, electron density, and magnetic field from both BepiColombo (in black) and SUSANOO (in blue).



**Figure 2.** Zoom-in of comparison between BepiColombo observation and outputs from SUSANOO simulation. From top to bottom, three components of the magnetic field, magnitude, and the cone and clock angle from both BepiColombo (dots) and SUSANOO (lines). Green lines represents the crossing of BepiColombo data at the cone angle of 90 degree.

**Ref:** Wang et al., 2020, MHD modeling of the background Solar Wind in the inner heliosphere from 0.1 to 5.5 AU: Comparison with in situ observations, Space Weather, 18, e2019SW002262. <https://doi.org/10.1029/2019SW002262>

**Periods of stay in ISEE:** Nov 28<sup>th</sup> – Dec 2<sup>nd</sup>, 2022

**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.

## **Project Title**

# **Subauroral phenomena observed by SuperDARN and the Swarm satellite constellation**

Matthias Förster

GFZ German Research Centre for Geosciences,  
Section 1.1, Telegrafenberg, 14473 Potsdam, Germany

### **Purpose:**

Our study aimed on subauroral processes of particle and energy input, which result in so-called subauroral polarisation streams (SAPS) that are longitudinally elongated structures of high-speed plasma flow together with plasma density depletion and temperature enhancements. Swarm satellite observations of various plasma parameters and SuperDARN ground-based ion drift measurements, focusing on the Japanese radar facilities of the SuperDARN network, Hokkaido East ("hok") and West ("hkw"), were used for event studies of individual geomagnetic storms in comparison with quiet time periods. The main idea was, that a synoptic view of satellite and ground-based observations provides some insights for a better understanding of the relation between larger- and smaller-scale ion drift structures and the physical coupling processes within the magnetosphere-ionosphere-thermosphere (M-I-T) system.

### **Methods:**

The Swarm satellites on their near-polar orbits are equipped with electric field instruments (EFI) that comprise two Thermal Ion Imager (TII) sensor heads at the front side of the satellites as well as two spherical Langmuir probes (LPs) at the front bottomside. The EFI instruments allow in principle full 3-D vector records of the ion drift with the vertical and horizontal cross-track components from the TII sensor heads and the along-track component from a closer LP data analysis. These high-resolution ion drift observations can be used in comparison with the larger-scale ion drift patterns obtained from criss-crossed SuperDARN line-of-sight drift measurements for comparisons during overflights together with LP measurements of plasma density, temperature, and effective ion masses. For the data extraction and visualization of SuperDARN data we used the SPEDAS software, provided from ISEE.

**Results:**

The goal of direct comparisons of ion drift measurements from EFI/TII on the one hand side and of the I.-O.-S. SuperDARN observations on the other necessitated some further development of the IDL software for reading and mapping the data accordingly. The 2-Hz EFI Swarm satellite data are given as daily cdf-files; the SuperDARN drift values were deduced using the SPEDAS software package. As shown already previously, the in-situ satellite drift component measurements appear to have generally larger magnitudes, probably due to the higher spatial and temporal resolution. They can sometimes reach even considerable values up to a factor of more than two (cf., e.g., Koustov et al., 2019, doi: 10.1029/2018JA026245). Large subauroral plasma streams are essentially co-located with plasma density troughs and temperature enhancements. This has been investigated for some storm periods as, e.g., the so-called “Surprise Ionospheric Storm” of August 25-26, 2018 (Astafyeva et al., 2020, 10.1029/2019JA027261) or the major geomagnetic storm of February 26-27, 2023, that occurred just during the time of the visit. These observations have been contrasted with quiet-time intervals. Structures of subauroral polarization streams (SAPS) could be identified without doubt during geomagnetically disturbed periods with variable intensity depending on the strength of the disturbance. It is intended to submit at least one publication on the analysis of a storm interval.

**Period(s) of stay in ISEE:**

19 February till 04 March 2023

**Publications:**

None yet, only first draft ideas.

**Presentations:**

“Estimation of the effective ion masses  $M_{\text{eff}}$  by Langmuir probes onboard the Swarm satellites”, Matthias Förster, 68th Colloquium of CICR at ISEE, Nagoya, February 27, 2023.

(Form 2-2)

**Investigation of Solar Polar Magnetic Fields using Hinode/SP and  
SDO/HMI Data**

Berger Thomas  
University of Colorado at Boulder, USA

Cancelled

# Establishment of master dendrochronological calibration curve around 660 BC using annual tree ring samples from Poland

Andrzej Rakowski- Silesian University of Technology, Poland

Radiocarbon measurements in annual tree rings reported in Miyake et al. (2012), was the first to confirm the occurrence of event (henceforth M12) of rapid increase in its concentration, occurring within one year. Between 774–775 CE, a significant increase of 12‰ in  $\Delta^{14}\text{C}$  value has been noted (Miyake et al. 2012). To explain the causes of the M12 event, the four-box carbon cycle model has been used, yielding the estimated production rate of  $6 \cdot 10^8 \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . According to the authors, this value may suggest a giant SEPs or SNe as a possible cause of this event. However, considering no evidence of SNe in this time frame, the SEPs is most possible reason of this increase. The production value has been recalculated by Usoskin et al. (2013), using five-box carbon cycle model, and the obtained result is around 4 times smaller than what was presented by Miyake et al. (2012), i.e.  $1.3 \pm 0.2 \cdot 10^8 \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . The assumption of SEPs as a possible cause of M12 was confirmed by the Mekhaldi et al. 2015, who recorded a comparable rapid increase in  $^{10}\text{Be}$  and  $^{36}\text{Cl}$  in ice cores from Antarctica and Greenland around 775 CE and 994 CE. GRBs with typical energy spectra and fluxes could produce significant amounts of  $^{14}\text{C}$  and  $^{36}\text{Cl}$ , however, the  $^{10}\text{Be}$  production rate would not be significantly affected (Pavlov et al. 2013; Mekhaldi et al. 2015). That said, a large SEP, or series of SEPs, are a cause of the discussed Miyake events.

Such sudden and intense increase in the concentration of radiocarbon found application in the precise radiocarbon dating with one-year resolution. This method was used by Wacker et al. (2014) to precisely date the cutting year of a timber in the historical Holy Cross chapel of the convent St. John the Baptist in Val Müstair in Switzerland. Also, in the works of Hakozaiki et al. (2018), Krąpiec et al. (2020) and Philipsen et al. (2022), such event was used to precisely determine the age based on changes in the concentration of radiocarbon in the sequence of annual tree rings.

For the study, sub-fossil oaks (*Quercus robur* L.) were recovered from a gravel pit near Vistula River in the village of Grabie, near Kraków (southern Poland, Fig. 1). Around 100 slices of oak trunks were taken and after preparation were used for dendrochronological study. Measurements were made with 0.01 mm accuracy using a DENDROLAB 1.0 apparatus, then the ring-width sequence were processed with a set of software TREE-RINGS (Krawczyk and Krąpiec 1995), TSAP (Rinn 2005) and DLP (Holmes 1999).

Standard chemical pretreatment of samples of annual tree rings has been extended to step aimed at obtaining  $\alpha$ -cellulose, which should ensure the elimination of any contamination. Measurements were performed for samples of oak and pine, in order to determine possible differences in the magnitude of increase of radiocarbon concentrations, depending on the tree species. The concentration of radiocarbon in annual tree rings has been determined based on measurement with accelerator mass spectrometry (AMS). This technique allows to perform precise measurement using samples with a carbon content of  $\geq 1 \text{ mg}$ .

The sub-annual data from the Grabie core 68 EW and LW rings show a prolonged increase in the  $\Delta^{14}\text{C}$  values of  $20.4 \pm 1.0\%$  between 665 (data from Rakowski et al. 2019) and EW 661 BCE. The radiocarbon concentration in this period raised from  $-1.3 \pm 2.3\%$  in 665 BCE to  $19.1 \pm 2.2\%$  in EW from 661 BCE showing high value of radiocarbon concentration during the rest of measured period. Similar as in the literature the  $\Delta^{14}\text{C}$



curve shows first the rapid increase of about  $8.3 \pm 2.8\%$  between 665 and 664 BCE, and then gradual increase to the maximum value of  $19.1 \pm 2.2\%$  in EW in 661 BCE. Park et al. (2017) and Sakurai et al. (2020) reported increase in  $\Delta^{14}\text{C}$  value of  $14.3 \pm 1.5\%$  in German oak series within 4 years, and  $13.3 \pm 2.1\%$  in Choukai-Jindai cedar within 6 years respectively. The rapid increase between 665 BCE. The difference in radiocarbon concentration ( $\Delta^{14}\text{C}$ ) in LW from 665 BCE and 664 BCE presented in literature is  $8.9 \pm 0.4\%$  (Park et al. 2017), and  $9.8 \pm 2.2\%$  (Sakurai et al. 2020) and is similar to the value obtained in this study.

The  $\Delta^{14}\text{C}$  values measured in LW from 664 BCE ( $5.6 \pm 2.2\%$ ), and in EW from 663 BCE ( $6.0 \pm 2.1\%$ ), show no significant differences. This is because, to a significant extent, the EW is formed from the material accumulated in the previous year and a much lesser amount of it derives from the material created by photosynthesis in the year of growth (Speer 2010). Olsson and Possnert (1992) observed that there is no delay between the radiocarbon concentration in the atmospheric sample in comparison with its concentration in the EW and LW during the maximum bomb effect (1962–1963). According Ermich (1959), EW formation in this climatic zone occurs from April to mid-June, and LW formations ends in mid-September. This limits the beginning of the phenomenon to the period before formation of the LW, as there is no significant difference between  $\Delta^{14}\text{C}$  values in LW1 and LW2 in year 664 BCE. The most probable period of occurrence may be in **April  $\pm$  2 months.**

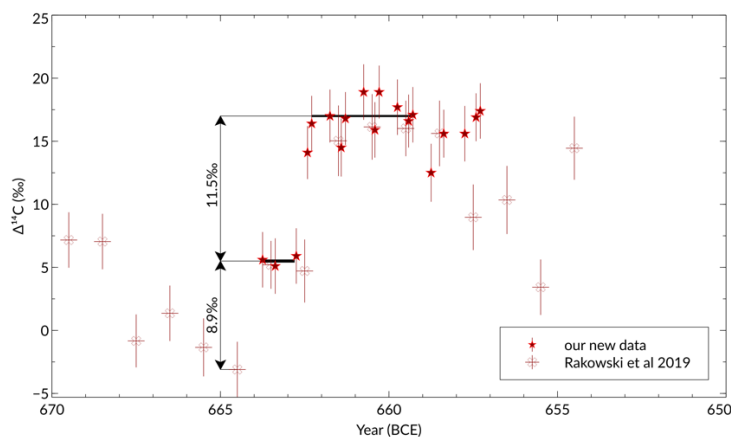


Figure 1. Results of  $\Delta^{14}\text{C}$  determination in Grabie site tree. New results are shown as stars. Results from Rakowski et al. (2019) are shown as empty crosses.

#### Articles:

***Rakowski A, Pawlyta J, Miyahara H, Krpniec M, Molnal M, Wiktorowski D, Minami M. Radiocarbon concentration in sub-annual tree rings from Poland around 660 BCE. Radiocarbon - in review.***

Successive publication of articles is planned after the elaboration of the measurement results. The results will be presented during the MACH 14<sup>th</sup> Conference in Gliwice (mach2023.polsl.pl) May 2023, 2<sup>nd</sup> CLARA Conference in Mexico September 2023, and during 4<sup>th</sup> Radiocarbon and the Environment Conference in Italy, September 2024.

#### Period of stay in ISEE:

11.11.2022 – 6.12.2022 – Nagoya University

(Form 2-2)

## **Modelling the transport and deposition of $^{14}\text{C}$ produced by extreme solar proton events and $^7\text{Be}$ produced by galactic cosmic rays during the satellite era**

Dr. Tobias Christian Spiegl (Free University of Berlin)

### **Scientific background**

Cosmogenic isotopes (such as  $^{10}\text{Be}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{36}\text{Cl}$  or  $^{14}\text{C}$ ) are a product of spallation, when galactic cosmic rays (GCR) or solar energetic particles (SEP), produced by solar proton events (SPE), interact with atmospheric molecules in the higher atmosphere. The abundances of these isotopes in natural archives are widely used to gain understanding about the solar-climate interactions spanning from geological time scales (e.g. Milankovic cycles) to historical (e.g., Miyake events of the 8<sup>th</sup>/10<sup>th</sup> century) or more recent solar events (e.g. the 2003 “Halloween” solar storm).

### **Current appropriation period**

During the current appropriation period of the “ISEE International Joint Research Program” (2022/2023) we modelled the transport and deposition of cosmogenic  $^{10}\text{Be}$  produced by historical extreme SPE and GCR during the 8th and 10th. To this effect the EMAC model has been extended by a GCR-source based on WASAVIES calculations. This is an extension of our initial work, where we investigated the cosmogenic surface signatures of historical extreme SPE events without a GCR background. By the aid of these simulations the influence of tropospheric weather dynamics on SEP and GCR signatures can be analyzed. The results of these analysis will be presented at the IUGG General Assembly (**session A06 - Energetic Particle Precipitation Impacts on the Ionosphere, Upper Atmosphere, and Climate System) in July (Berlin)**). Furthermore, a publication summarizing the main scientific outcome is in preparation:

*Schaar, K., Spiegl, T.C., Langematz U., Miyake, F., Sato, T., Mekhaldi, F., Yoden, S. and Kusano K.: Preindustrial Be-10 signatures shaped by GCR, SEP and weather dynamics. JGR-Atmospheres (in preparation).*

Additionally, EMAC has been extended by a simple carbon cycle parameterization in cooperation with our partners at ISEE. To this effect our Phd candidate, Mr. Konstantin Schaar, had the opportunity to stay two weeks at ISEE under the guidance of Prof. Miyake to discuss the first results of our  $^{14}\text{C}$  transport and deposition experiments in October 2022. These new simulations will put us in the position to evaluate our modelled deposition pattern for extra-polar latitudes, which is conserved in tree rings worldwide. From these experiments, we expect a more accurate estimation regarding the seasonal timing of the extreme SPEs and hope to set new impulses for future high-resolution geochronologies. The carbon cycle parameterization is still in test stage and currently under revision, we expect a first comprehensive version of the code in late 2023.

### **Workshop at ISEE in October 2022**

To strengthen the collaboration between Free University of Berlin, ISEE and other project partners a 2-day

meeting (03.10 to 04.10.22) was hosted by Prof. Fusa Miyake at ISEE. Here, the project partners presented individual work in progress and future directions of the collaboration were discussed. The workshop was attended by Prof. Fusa Miyake (corresponding ISEE researcher), Dr. Tobias Spiegl (FU-Berlin, PI), Konstantin Schaar (FU-Berlin), Dr. Tatsuhiko Sato (JAEA), Prof. Ulrike Langematz (FU-Berlin) and Prof. Shigeo Yoden (Kyoto University). Below, a summary of the main scientific highlights of this meeting is given.

**Prof. Fusa Miyake** gave an update on the current status of studying past extreme solar events based on cosmogenic nuclides ( $^{14}\text{C}$  in tree rings and  $^{10}\text{Be}$  &  $^{36}\text{Cl}$  in ice cores). Since the last meeting several new events have been reported, e.g., 5259 BCE and 7176 BCE events (Brehm et al. 2022, Paleari et al. 2022). The causes of regional differences in  $^{14}\text{C}$  concentrations during extreme SEP events have been discussed. New  $^{14}\text{C}$  data of Japanese cedar for the 993 CE event show a delayed signal of  $^{14}\text{C}$  spike, which is consistent with the previous studies (Miyake et al. 2022). It is possible that such a difference in the  $^{14}\text{C}$  data may be explained by atmospheric transport processes or a difference of fixation period of carbon in trees.

**Konstantin Schaar** presented new modelling results concerning the deposition and transport of  $^7\text{Be}$  produced by GCR during the contemporary satellite era. It shows that the general dynamics of the global ground level concentration of  $\text{Be-7}$  (e.g. production modulation due to Schwabe cycle and annual periodicity) is captured quite well in the EMAC. In a next step, historical ensemble simulations will be conducted to assess the influence of climate change on the transport and deposition of cosmogenic nuclides.

**Dr. Tatsuhiko Sato** emphasized that the initial cosmogenic nuclide yield is the fundamental information to be provided for climate model simulations. about monthly yields of  $^{10}\text{Be}$  and  $^{14}\text{C}$  produced during 2001-2020 using the PHITS-based Analytical Radiation Model in the Atmosphere (PARMA) coupled with their production cross sections from atmospheric constitutions ( $^{14}\text{N}$  and  $^{16}\text{O}$ ) evaluated by Particle and Heavy Ion Transport code System PHITS.

**Prof. Ulrike Langematz** gave a presentation on the influence of energetic particle precipitation on the ozone layer in different epochs.

**Prof. Shigeo Yoden** talked about possible future collaborative research on coordinated observations and analysis of the time-space variations of the GCR-related isotopes in past and future events.

**Dr. Tobias Spiegl** gave a presentation on new ideas concerning the possible impact of interannual variability and long-term climate shifts during the Holocene era on the signatures of cosmogenic nuclides produced by extreme SEP events.

## 2022年度 03)国際ワークショップ 目次詳細

### 2022 03) ISEE / CICR International Workshop List

2 件

\*所属・職名は2023年3月現在

\*Affiliation and Department displayed are current as of March 2023.

(注1): 新型コロナウイルスの影響で中止 / Cancelled due to COVID-19

(注2): 中止 / Cancelled (注3): 延期 / Postponement

研究代表者 Principal Investigator	所属機関* Affiliation	職名* Job title	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
村上 豪	宇宙航空研究開発機構	助教	Contribution of the BepiColombo mission to heliospheric system science	80	
Leka KD	NorthWest Research Associates, USA	Senior Research Scientist	What is a Magnetic Flux Rope? Do we know it when we have one?	81	(注3)

(Form 3-2)

## **Contribution of the BepiColombo mission to heliospheric system science**

Go Murakami (Japan Aerospace Exploration Agency)

International Mercury exploration mission BepiColombo was launched in 2018 and will arrive at Mercury in 2025. During the interplanetary cruise phase, BepiColombo will range from 1.2 AU to 0.3 AU, and will stay in the inner heliosphere for long time. BepiColombo started its science observations during the interplanetary cruise phase in 2020. The initial results showed its enough performance to observe solar wind electrons, IMF, and solar energetic particles (SEPs) even in the composite spacecraft configuration. Especially in 2021 two spacecraft of BepiColombo, Mercury Planetary Orbiter (MPO) and Mercury Magnetosphere Orbiter (Mio), successfully detected many SEP events. BepiColombo can contribute to leading and expanding the heliospheric system science. In addition to BepiColombo, NASA's Parker Solar Probe and ESA's Solar Orbiter are also exploring the inner heliosphere. Coordinated observations between these multi spacecraft have been planned and performed. In March 2021, we also coordinated a joint observation campaign of the solar corona and solar wind with BepiColombo, Akatsuki, and Hinode. The Center for Heliospheric Science was built at ISEE in April 2022 and now it is a great opportunity for us to study the inner heliosphere.

We held the international workshop "Contribution of the BepiColombo mission to heliospheric system science" from 28 November to 2 December 2022 at ISEE. In this international workshop, we had 13 participants and covered the following topics: 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 closely discussed the collaborative studies across the above topics. We also listed up potential publications and discussed submission plan of our special issue to Earth, Planets, and Earth. We plan to submit the first overview paper by the end of November 2023 and then other dedicated papers: 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 every two months and we plan to hold another workshop in FY2023.

(Form 3-2)

**What is a Magnetic Flux Rope? Do we know it when we have one?**

Leka KD  
NorthWest Research Associates, USA

Postponement

## 2022年度 04)一般共同研究 目次詳細

56 件

\*所属・職名は2023年3月現在

\*Affiliation and Department displayed are current as of March 2023.

(注1): 新型コロナウイルスの影響で中止 / Cancelled due to COVID-19

(注2): 中止 / Cancelled

研究代表者 Principal Investigator	所属機関* Affiliation	所属部局 Department	職名* Job title	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
湯口 貴史	山形大学	理学部	教授	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	82	
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る無衝突衝撃波の研究	86	
中野 佑樹	東京大学	宇宙線研究所	特任助教	Super-Kamiokandeを用いた宇宙線ミュオン強度変動の研究	88	
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	90	
岸田 拓士	ふじのくに地球環境史ミュージアム	学芸課	准教授	古代DNAによる先史時代の日本の生物多様性の解明	91	
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	92	
小島 正宜	名古屋大学		名誉教授	IPSスペクトル解析法の問題点	94	
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	96	
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精度化	97	
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1	99	

研究代表者 Principal Investigator	所属機関* Affiliation	所属部局 Department	職名* Job title	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
浅村 和史	宇宙航空研究開発機構	宇宙科学研究所	准教授	「あらせ」衛星による内部磁気圏赤道域低エネルギーイオンの加熱現象とプラズマ波動の解析	103	
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	104	
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	106	
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	108	
後藤 直成	滋賀県立大学	環境科学部	教授	気候変動が琵琶湖における植物プランクトン群集に及ぼす影響 ～衛星リモートセンシングによるモニタリング～	110	
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	112	
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による代替フロン HCFC-142b/HFC-134aの経年変化の解析	113	
丸橋 克英	情報通信研究機構	電磁波研究所宇宙環境研究室	協力研究員	太陽風磁気ロープ構造に関わる解析手法の高度化	115	
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	117	
松田 昇也	金沢大学	理工研究域	准教授	あらせ衛星による波動・粒子観測データを用いた内部磁気圏重イオン分布に関する研究	119	
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	120	
津田 卓雄	電気通信大学	大学院情報理工学研究科	准教授	共鳴散乱ライダーシステムにおける絶対周波数基準の為の飽和分光実験	121	
Siswanto Eko	海洋研究開発機構	Earth Surface System Research Center	Researcher	赤潮モニタリングのためアルゴリズム開発	122	



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
鈴木 臣	愛知大学	地域政策学部	Professor	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	131	
横田 勝一郎	大阪大学	理学(系)	准教授	あらせ衛星搭載XEPの観測データを用いた応答特性評価	132	
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	134	
馬場 賢治	酪農学園大学	農食環境学群	准教授	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	135	
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	137	
野澤 恵	茨城大学	理学部	教授	宇宙物体突入時の直接電波観測による太陽電波バーストの解明	138	
西山 尚典	情報・システム研究機構 国立極地研究所	研究・教育系	助教	地上光学-磁気圏衛星の同時観測に基づく脈動オーロラの周期性および磁気圏プラズマの輸送-消失過程の研究	139	
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	141	
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	143	
北 和之	茨城大学	理工学研究科	教授	UAVを利用した上空でのバイオエアロゾルサンプリングと雲形成過程研究への応用	145	
河野 光彦	関西学院大学	理学部	研究員	高校生と行うビッグデータ分析による温室効果ガス排出源の探索方法の開発	148	
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	150	
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	152	

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
栗田 怜	京都大学	生存圏研究所	准教授	地上-あらせ衛星共同観測を軸とした脈動オーロラステレオ観測による降下電子エネルギーの時空間発展の推定	153	
田中 公一	広島市立大学	情報科学研究科	教授	太陽圏における銀河宇宙線伝播の研究	155	
河野 英昭	九州大学	国際宇宙天気科学・教育センター	准教授	SI時の中緯度SuperDARN ground/sea backscattersとFLRの関係	157	
中山 智喜	長崎大学	環境科学部	准教授	都市および森林におけるPM2.5中の有機成分の光学特性と化学特性のオフライン分析	159	
眞部 広紀	佐世保工業高等専門学校	一般科目	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	160	
大東 忠保	防災科学技術研究所	水・土砂防災研究部門	主幹研究員	積乱雲の発生過程解明のための大気環境場観測	162	
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	164	
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	165	
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	167	
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	168	
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	169	
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	171	
下条 圭美	自然科学研究機構 国立天文台	アルマプロジェクト	准教授	豊川太陽電波強度偏波計データベースを使った過去の大フレアにおける粒子加速の研究	173	

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
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	174	
岳藤 一宏	宇宙航空研究開発機構	臼田宇宙空間観測所	主任研究開発員	低周波VLBIによるCrabパルサーの精密なDM決定にむけて	175	
松岡 彩子	京都大学	理学研究科	教授	あらせ軌道上磁場データの評価と特性向上の検討	183	
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	184	
村木 綏	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	名誉教授	太陽のインパルスフレアで生成された太陽宇宙線の加速機構の研究	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	190	
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	192	

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  
Three-dimensional internal structures within quartz crystals and  
the quantitative analysis of minor component in the quartz.

湯口貴史 山形大学 理学部  
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。特に、石英は岩体内部での岩相が異なっても普遍的に産出するケースが多い。例えば、宮崎県の大崩山花崗岩体では3岩相（黒雲母花崗岩、ホルンブレンド黒雲母花崗岩、ホルンブレンド黒雲母花崗閃緑岩）に共通して石英を産出し、岩手県の遠野複合深成岩体でも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、カソードルミネッセンス（CL）に基づく成長構造の解明（例えば、[Drivenes et al., 2016](#)）や、結晶化温度の導出（例えば、[Wark and Watson, 2006](#)）などの結晶化の際の情報から、石英の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（例えば、[Yuguchi et al., 2020](#)）。

石英の微量含有元素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と山形大学間で一般共同研究として実施された。CL像は、結晶構造の乱れや結晶中の微量な含有成分に起因する（[Drivenes et al., 2016](#)）。このため、CL像の解析により、石英の結晶成長の様式を推定可能である。石英中のチタン（Ti）濃度は石英の結晶化温度に依存する。このためTi濃度をTitaniQ温度計に適用することによって、そ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その定量分析は困難である。そこで2016年度から2018年度は岩手県の遠野複合深成岩体および岐阜県の土岐花崗岩体の石英を対象とし、2019年度から2022年度の間は富山県の黒部川花崗岩体、宮崎県の大崩山花崗岩体および岩手県の久喜花崗岩体の石英に対して研究を実施した。この長期間の共同研究によって、名古屋大学・宇宙地球環境研究所（ISEE）のEPMAを用い、かつ様々な深成岩体中に産出する石英を対象とすることで、Ti濃度の高精度定量分析法を構築した。また、2020年度から2022年度はTi濃度だけでなく、アルミニウム（Al）濃度の同時定量分析を実施し、高精度で定量する分析手法を獲得した（土岐花崗岩体における成果は *Journal of Asian Earth Sciences* にて公表（[Yuguchi et al., 2020](#)）するとともに、その他の岩体における成果は日本鉱物科学会の2018年年会から2021年年会において、成果を公表）。

2021年度の共同研究において、石英の正確な結晶化温度を導出するためには、石英の真のコアを定量分析する必要性が新たな課題として認識した。これは薄片試料を対象とすることに起因する。2022年度の共同研究では、遠野複合深成岩体では薄片試料を対象とし、大崩山花崗岩体と久喜花崗岩では、石英分離・樹脂埋めを行い、マウント試料を対象とする。マウント試料に対しては、段階的な研磨を行い、それぞれの段階ごとにカソードルミネッセンス像観察を行い三次元的な内部構造を取得した。最終的に石英の中央（コア）断面で、EPMAによる局所領域でのTi濃度とAl濃度をセットで取得する。本研究は、この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結晶化プロセスの理解の高度化を目指すものである。

## 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（JEOL IT100A+Gatan mini CL）を用い、石英中のTi・Al濃度定量には名古屋大学ISEEのEPMA（JCXA-733）を用いた。Ti・Al濃度定量の分析条件は、加速電圧15kV、照射電流60nA、ビーム径20 $\mu$ m、1回の測定時間を200s（ピーク：100s、バックグラウンド：50sずつ）とし、同一地点で8回（計1600s）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。これまでの手法では、1つの分光結晶（TAP）をSiのカウントに割り当て、石英へのダメージのモニタリングを行った。しかし、[Yuguchi et al. \(2020\)](#)をはじめ、これまでの石英分析で、上記の分析条件で結晶へのダメージは確認されなかつ

た。このため、これまで Si のカウントを行っていた分光結晶 (TAP) を Al の検出に割り当て、残り 4 つの分光結晶 (PET) を Ti の検出に割り当てた。EPMA 分析後の SEM 観察にて、石英の全ての分析点でダメージが生じていないことを確認した。この手法により、Ti 濃度の検出限界は 15 ppm, Al 濃度の検出限界は 16 ppm, それぞれの分析誤差は約 10% の精度で定量値を取得できた。このような小さな誤差を伴う定量値の導出は、石英結晶の内部構造と Ti 濃度や Al 濃度の関連性の高精度な解明を可能にする。

### 3. 研究結果・考察

大崩山花崗岩体 (マウント試料), 久喜花崗岩体 (マウント試料), および遠野複合深成岩体 (薄片試料) で得た結果について報告する。

大崩山花崗岩体においては 26 点の Ti・Al 濃度の定量分析を行った。Al 濃度は  $253 \pm 22 \sim 1421 \pm 13$  ppm の幅を持ち, Ti 濃度は  $107 \pm 11 \sim 260 \pm 11$  ppm の幅を持つ。この Ti 濃度を  $\text{TiO}_2$  の活動度を 1 として Wark and Watson (2006) の地質温度計を用いて計算を行うと結晶化温度  $761 \pm 25^\circ\text{C}$  から  $877 \pm 21^\circ\text{C}$  の幅を有する。

大崩山花崗岩体において、段階的な研磨と BSE 画像・CL 画像を取得することにより、CL 画像から内部構造の空間的な分布を把握することができた。図 1 は、大崩山花崗岩体の石英 (サンプル No. 052405Q-5) のリムからコアへと至る 4 断面 (150  $\mu\text{m}$  間隔) の BSE 像と CL 像である。この CL 像から、オシラトリゾーニングの空間的な変化を見て取ることができ、結晶成長の開始地点を特定できる。また、図 2 は図 1 の石英粒子の中心断面で実施した Ti ならびに Al 濃度の分析位置とその変化を示すラインプロファイルを示した図である。この石英粒子の中央断面は CL 像においてコアからリムに向けて明暗の輝度が層状に変化するオシラトリゾーニングが観察される。ラインプロファイルより、CL 像の高輝度域で高い Ti 濃度、低輝度域で低い Ti 濃度を持ち、輝度と Ti 濃度の間には正の相関を有することを把握した。

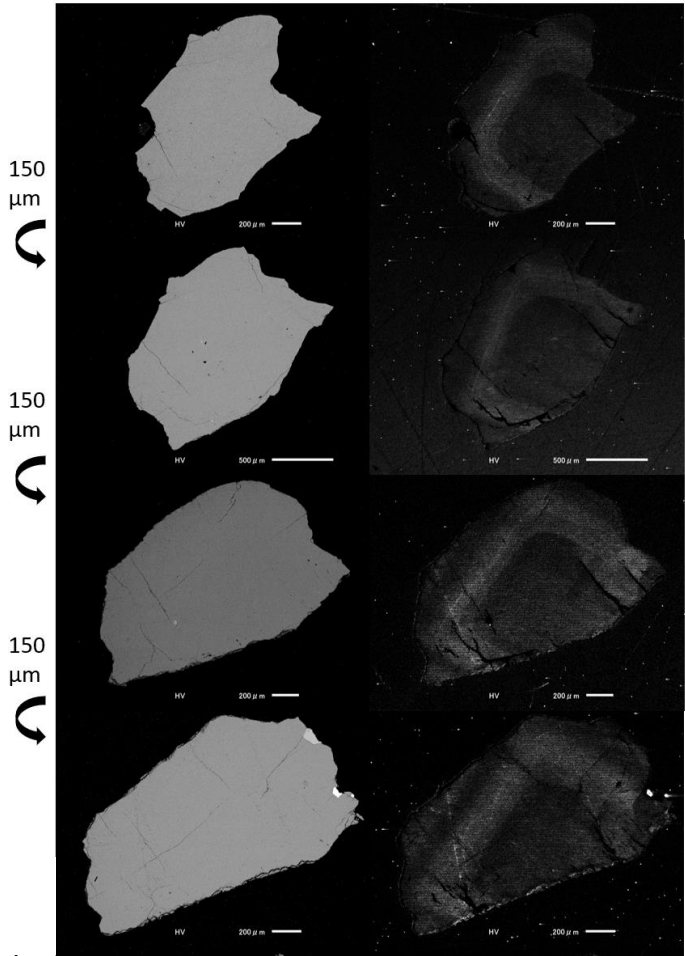


図 1 大崩山花崗岩体の石英粒子中の 4 断面における BSE 像 (左図), CL 像 (右図)

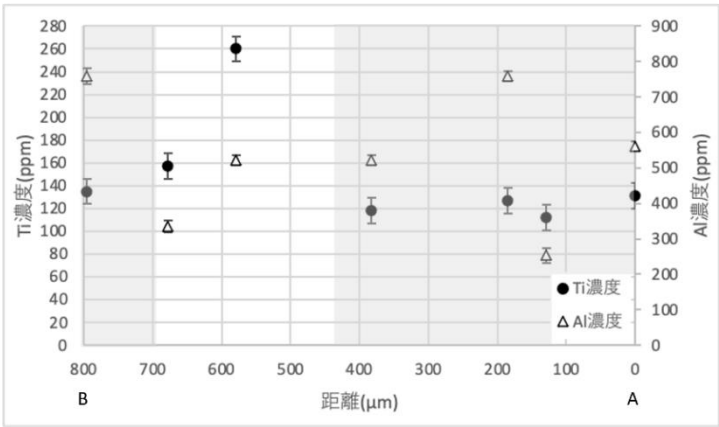
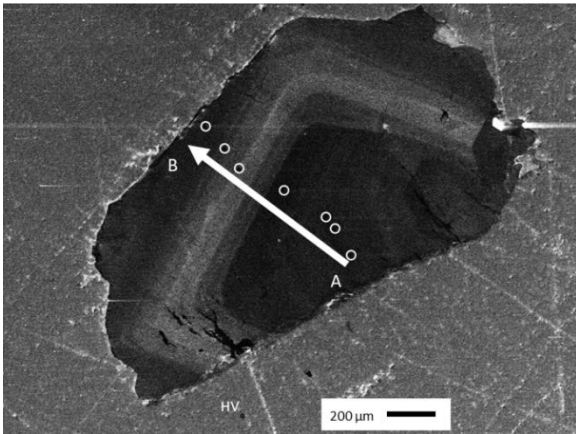


図 2 大崩山花崗岩体の石英粒子の中央断面における CL 像と微量含有元素のラインプロファイル (Ti 濃度と Al 濃度)



図2のラインプロファイルの0 μm付近が、対象とする石英粒子の真のコアと捉えることができる。実際のTi濃度は131 ± 11 ppmであり、高輝度域(450 ~ 700 μm領域)と比べて低い。このことはメルトから石英の晶出が開始する際(真のコア)に、TiO<sub>2</sub>活動度が低く、CL画像で高輝度の580 μm付近(260 ± 11 ppm)が晶出する際にはTiO<sub>2</sub>活動度が高くなるというメルト中の活動度の局所的な変動現象を反映すると解釈される。このことは仮に真のコアを分析しても、その際のメルト中のTiO<sub>2</sub>活動度次第では、正しい結晶化温度を捉えられないことを示している。

久喜花崗岩体においては、36点のTi・Al濃度の定量分析を行った。Al濃度は299 ± 9 ~ 1901 ± 361 ppmの幅を持ち、Ti濃度は108 ± 11 ~ 304 ± 9 ppmの幅を持つ。このTi濃度をTiO<sub>2</sub>の活動度を1としてWark and Watson (2006)の地質温度計を用いて計算を行うと結晶化温度757 ± 14°Cから901 ± 20°Cの幅を示す。CL輝度の変化を有する石英は最大900°Cの結晶化温度を持つことを示しており、深成岩体の石英としては比較的高温で結晶化したことを示している。図3は久喜花崗岩中の石英粒子の中央断面のTi濃度のラインプロファイルを示したものである。このラインプロファイルは、CL像の輝度とTi濃度の間には正の相関を有することを示している。

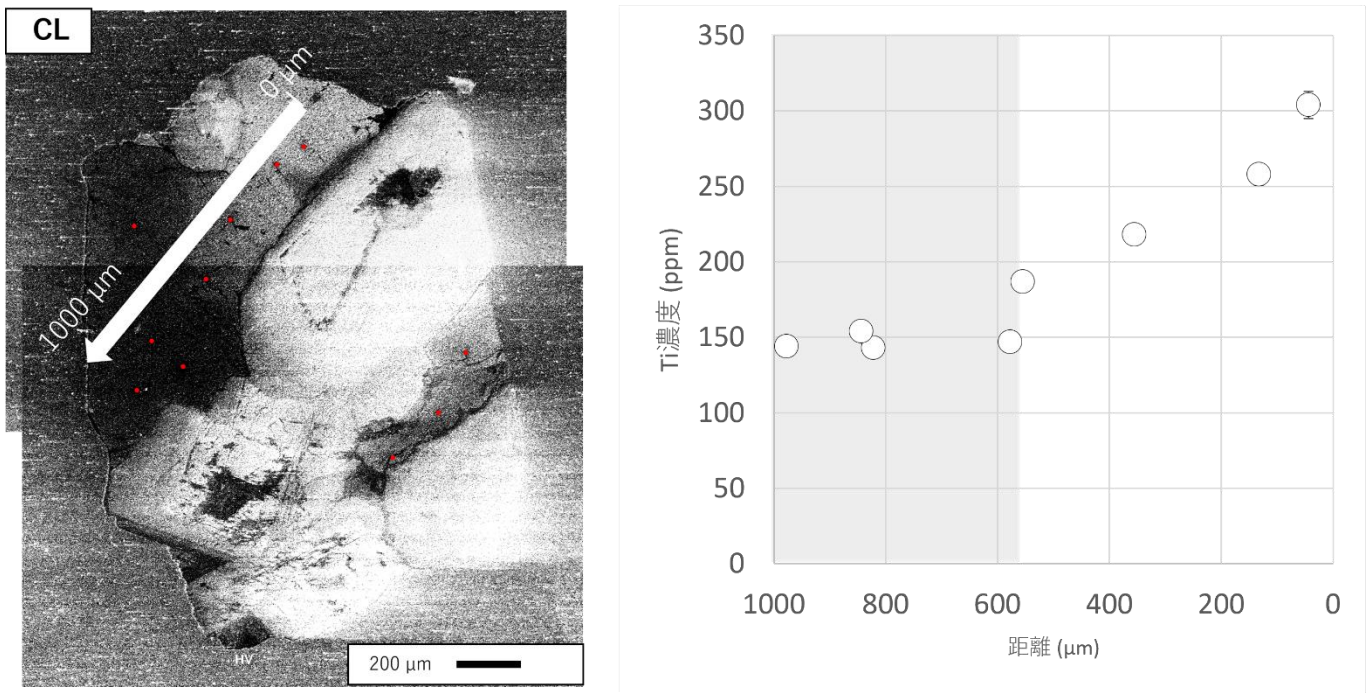


図3 久喜花崗岩体の石英粒子の中央断面におけるCL像と微量含有元素のラインプロファイル (Ti濃度)

遠野複合深成岩体においては、93点のTi・Al濃度の定量分析を行った。Al濃度は検出限界以下となり、Ti濃度は16 ± 12 ~ 708 ± 12 ppmの幅を持つ。TiO<sub>2</sub>の活動度を1としてWark and Watson (2006)の地質温度計を用いて計算を行うと結晶化温度は561 ± 119°Cから1053 ± 21°Cの幅を持つ。また、遠野複合深成岩体においてもCL像の輝度とTi濃度の正の相関も確認されている(図4)。

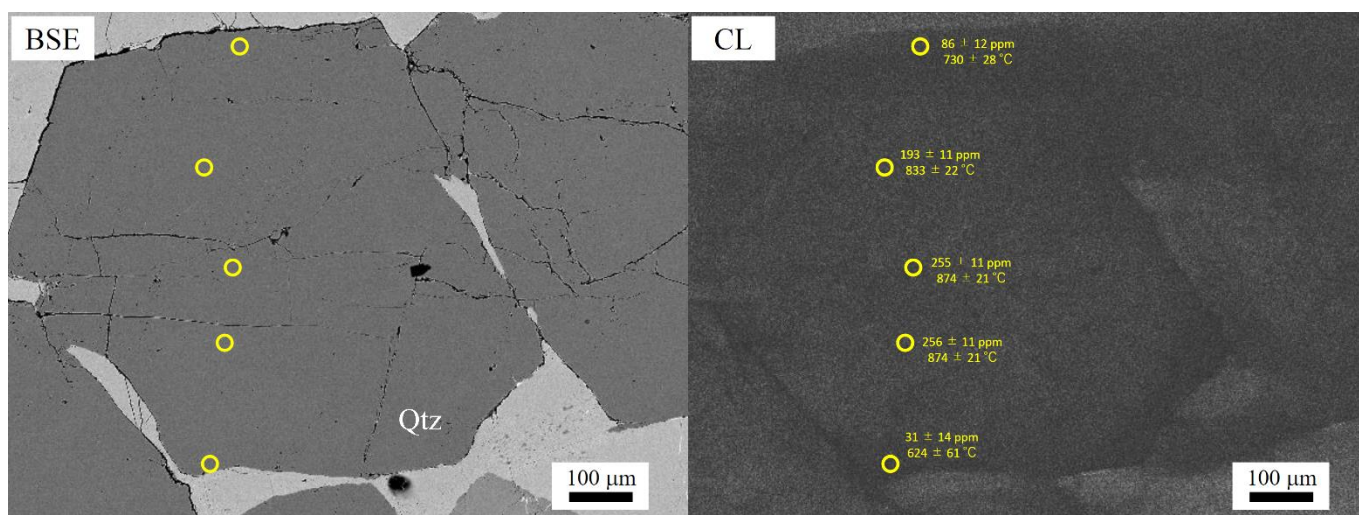


図4 遠野複合深成岩体の石英粒子のBSE像、CL像と微量含有元素のラインプロファイル (Ti濃度)

以上の点から、本共同研究において石英中の微量含有元素であるTi濃度とAl濃度を同時定量手法と石英粒子の段階的な研磨による内部構造の解明を結び付けることを可能にした。今後は、この手法をより多くの石英粒子に対して実施し、石英の結晶化プロセスや結晶化温度に関する普遍的な知見を得ることが次年度の課題となる。

#### 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.
- 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.

(別紙様式 4-2)

高強度レーザーで生成される無衝突衝撃波の研究  
Study of collisionless shocks generated by high-power lasers

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、過去9年間、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、測定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**：ショット前に封入した窒素がターゲットから放出される電離光子によって磁化プラズマとなるが、プラズマ自発光計測やトムソン散乱計測の結果から、磁化された窒素プラズマ中を伝播するMSの生成に成功したと結論した。また、[1]-[3]の成果発表を行なった。さらに、2022年度は外部磁場3.9 Tを印加したショットを16回行った。外部磁場のかける方向(y方向)はターゲットから放出されるプラズマの進行方向にほぼ垂直であるが、その向きを正の向き( $B_y > 0$ )にしたショットを3回、負の向き( $B_y < 0$ )にしたものを13回行った。これらのショットの自発光イメージング計測や磁場計測の結果、 $B_y > 0$ の場合と $B_y < 0$ の場合で、結果が異なることがわかった。特に、無衝突磁化衝撃波の遷移層で生じたと考えられる磁場の波動の測定に成功し、PICシミュレーションの計算結果と比較した。また、自発光イメージング計測では、アルミプラズマと窒素プラズマの境界面の不安定性をみとめ、その起源について考察した。揺らぎがMHDスケールであることが分かったので、新たな2次元流体シミュレーションの計画を立てた。



学会発表：

- [1] 「**激光XII号による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，光・量子ビーム科学合同シンポジウム(OPTO2022) (2022年6月28日-29日，関西光科学研究所)
- [2] 「**磁化プラズマ衝撃波の長時間発展の大型レーザー実験**」，東 力也，松清 修一，諫山 翔伍，山崎 了，森田 太智，竹崎 太智他11名，第152回地球電磁気・地球惑星圏学会 総会・講演会 (2022年11月4日-7日，相模原市産業会館) 特別セッション「SGEPSS・天文学会・物理学会合同セッション：室内実験・惑星・天体プラズマの普遍性と多様性」
- [3] 「**磁化プラズマ中を伝播する無衝突衝撃波の生成実験：現状報告**」，山崎 了，高エネルギー宇宙物理学研究会2022 (2022年11月8日-10日，広島大学)

(別紙様式 4-2)

Super-Kamiokandeを用いた宇宙線ミュオン強度変動の研究  
Study of time variation of cosmic-ray intensity using Super-Kamiokande

中野 佑樹 (東京大学宇宙線研究所)

[研究の背景と目的]

本研究では、スーパーカミオカンデで観測される宇宙線ミュオンの電荷比と偏極を測定する研究を推進する。具体的な手順は以下になる。

(ア) 電荷比:

宇宙線ミュオンの内、スーパーカミオカンデ内部で止まったミュオンから放出される電子をタグすることで、ミュオンの時定数を測定する。この時、一部の負ミュオンは原子核に吸収されるため、時定数が見かけ上小さくなる。従って、測定された時定数と真空中のミュオンの時定数との比較を行うことで、負ミュオンの割合を算出し、電荷比を求めることができる。電荷比はエネルギー依存性が確認されており、スーパーカミオカンデの場合、地表で1.2 TeV程度の宇宙線ミュオンが到来するため、約1.3-1.4程度の電荷比が期待されている。

(イ) 偏極:

荷電パイオンの崩壊を由来とする宇宙線ミュオンは、2体崩壊であるため、ほぼ完全に偏極している。従って、宇宙線ミュオンは進行方向と平行なスピンをもつことが期待される。宇宙線ミュオンの到来方向と、崩壊電子の放出方向の間の角度を算出することで、宇宙線ミュオンの偏極を測定する。

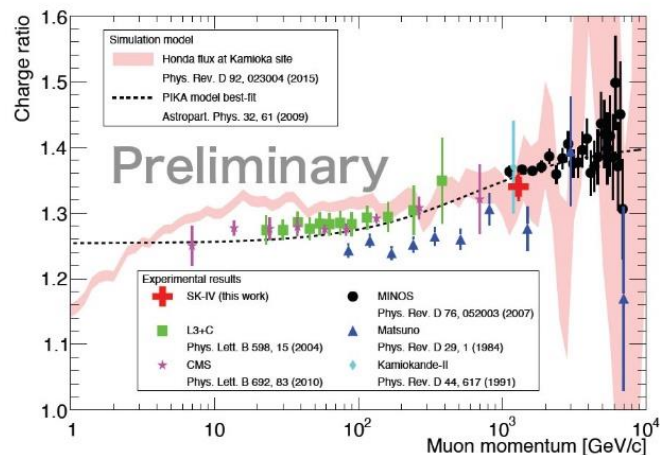
(ウ) パイオン/ケイオンの割合:

地下素粒子検出器まで飛来できる宇宙線ミュオンは大気中での原子核反応を起源とする。この時、ミュオンの大部分は荷電パイオンを起源とするが、一部は荷電ケイオンを起源とする。荷電ケイオンはパイオンに比べて時定数が短いため、大気中の他の原子核と衝突をする前に崩壊する。従って、エネルギーを失いにくく、高いエネルギーを持つミュオンが生成される。大気中の密度が低くなる時期(夏)は、ケイオンの衝突割合が減少するため、相対的にエネルギーの高いミュオンが多く生成される。そのため、地下素粒子実験にまで到達できるミュオンの数が増加することが期待される。以上の理由により、宇宙線ミュオンの年次変化を追うことで、宇宙線ミュオンの起源としてどの程度パイオン(ケイオン)が含まれているかを研究する。

[研究の進展と成果]

(ア) 電荷比に関して

本年度は、ミュオンから放出される崩壊電子の観測データを解析し、Decay time分布とEnergy分布の2つを組み合わせることにより、電荷比を測定する手法を開発した。Super-Kamiokande-IVの2971日分の観測データとMC simulationを比較することにより、宇宙線ミュオンの電荷比を決定し、 $1.34 \pm 0.02$  (stat.+syst. preliminary) という結果を得た。これは宇宙線ミュオンに関連するsimulation(本来は大気ニュートリノ用のsimulation)の予想と、見積もった誤差の範囲で矛盾しない結果となった。



(イ) 宇宙線ミュオン偏極測定

(ア)と同様に、正負の電荷で物理が異なるため、電荷に対応する2つのsimulationを開発した。正ミュオンは自由な崩壊として考えられるが、一方で負ミュオンは原子核に捕獲されるため、自身の偏極を失う場合があり、その際に崩壊電子の放出方向に影響があることが分かった。MC simulationにこれらの効果を含め、一般的な自由な崩壊とはわずかに異なる方向分布を導入した。次に、完全偏極(正の偏極、負の偏極)を仮定したMC simulationを作成し、このsimulationの組み合わせによって、任意の偏極の場合の方向分布を作成する手法を開発した。現在、系統誤差の評価を進めており、ICRC2023にて研究成果を公表する予定である。

(ウ) パイオンとケイオンの割合に関する研究

本年度は、まず気象庁によるラジオゾンデ測定「JRA-55：気象庁 55年長期再解析」で公開されている大気高層の温度、圧力の情報を1996年から2022年まで取得した。この期間は、Super-Kamiokande実験が観測運転を継続している時期と対応する。次に、このJRA-55の情報から大気のeffective temperatureを算出した。Effective temperatureとは、宇宙線ミュオンの発生する領域(密度の大きい領域)での温度で、宇宙線ミュオンの発生しやすい(密度の高い、1次宇宙線の多い)領域でweightが大きくなるように算出する1つの数値である。この結果、岐阜県飛騨市近郊でのEffective temperatureは220 Kであり、その季節的な変動は±1%程度であることが分かった。

次に、Super-Kamiokande実験で観測されている宇宙線ミュオンの観測データの物理解析を実施した。宇宙線ミュオンは典型的に1秒に2回程度の頻度で観測されている。1996年4月から2022年6月までの観測データから、宇宙線ミュオン事象を選択し、その観測頻度の時間変化を定量的に評価した。次に、その観測頻度とEffective temperatureの相関を評価した。これらの物理解析により、宇宙線ミュオンの $k/\pi$  ratioを算出できることが分かった。現在、系統誤差の評価を実施しており、経過は順調である。最終的な研究成果は ICRC 2023にて公表を予定している。

[研究成果]

Y. Nakano et al., 「Measurements of the charge ratio of cosmic-ray muons with the Super-Kamiokande detector」 Unraveling the history of the universe and matter evolution with underground physics 東京理科大学 2023年6月13日-15日 (国際会議、ポスター発表)

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 km<sup>2</sup>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。

請戸川源流に近い南津島地区、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南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を用いて濃縮操作を行ったのちに測定を実施した。

図に南津島地区の請戸川 (2021年4月~2022年5月)、幾世橋地区の請戸川 (2021年10月~2022年5月) および加倉地区における井戸水 (2021年10月~2022年5月) の水素・酸素安定同位体比の関係を示す。南津島地区の水素同位体比は-59.20~-58.09 ‰の範囲で平均 (±S.D.) -58.53±0.59 ‰、酸素同位体比は-9.12~-9.20 ‰の範囲で平均 (±S.D.) -9.15±0.05 ‰であった。幾世橋地区の水素同位体比は-52.49~-54.24 ‰の範囲で平均 (±S.D.) -52.67±0.90 ‰、酸素同位体比は-8.29~-8.55 ‰の範囲で平均 (±S.D.) -8.32±0.13 ‰であった。一方、加倉地区井戸水の水素同位体比は-46.92~-48.33 ‰の範囲で平均 (±S.D.) -46.94±0.86 ‰、酸素同位体比は-7.23~-7.38 ‰の範囲で平均 (±S.D.) -7.26±0.07 ‰であった。水素酸素同位体比は上流側である南津島が最も軽く、下流に向かうにつれて重くなる傾向にあった。これは、水が流れる過程において軽い水蒸発に寄り失われたことを示すものである。一方、南津島と幾世橋の中間に位置する加倉の井戸水の水素同位体比は最も重い結果となった。本研究では、津島地区および幾世橋地区において月間降水を採取し、その水素・酸素安定同位体比の測定も行っている。今後、降水と河川水および井戸水の安定同位体比を比較することで、その特徴を明らかにする予定である。

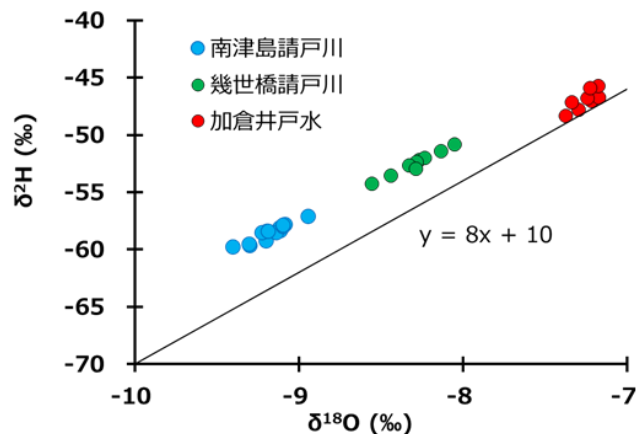


図 河川水および井戸水の水素・酸素安定同位体比の特徴

(別紙様式04-2)

古代DNAによる先史時代の日本の生物多様性の解明  
Genetic diversity of animals in pre-historic Japan based on the ancient DNA

岸田拓士、ふじのくに地球環境史ミュージアム

東京湾周辺は、世界最古の先史時代捕鯨サイトの一つであり、遅くとも縄文時代早期から海棲哺乳類の捕獲が行われていた。特に、神奈川県横浜市金沢区に位置する称名寺貝塚には、縄文時代中期から晩期にかけての大規模な先史代捕鯨の痕が残されている。本研究では、ふじのくに地球環境史ミュージアムに構築した古代DNA専用クリーンルーム(図1)において称名寺貝塚から出土した鯨類の歯や骨からDNAおよびコラーゲンを抽出した。コラーゲンに含まれる炭素原子の放射性同位体比を名古屋大学宇宙地球環境研究所の加速器質量分析計で測定した結果、分析試料の年代はいずれも5000~3000年前のものであることが解明された。この年代は、称名寺貝塚の年代と一致する。



図 1. ふじのくに地球環境史ミュージアムに構築した古代 DNA 専用クリーンルームで DNA 抽出作業を行う代表者

DNAを抽出してミトコンドリアD-loop領域を解読することで、出土した鯨類の種を判別し、現在の個体群との比較を行った。カマイルカのDNAが最も多く解読され、次いでミナミハンドウイルカとハンドウイルカのDNAが得られた。いずれの種も、現在も東京湾周辺に生息する個体群が持つハプロタイプと同じハプロタイプが得られており、加えて現在では東京湾周辺では見つからないハプロタイプも得られた。これらの結果は、当時の東京湾の鯨類の遺伝的多様性は現在のそれよりも高かったこと、そしてこれら小型鯨類の母系集団は過去数千年間に渡って生息地が固定されていることを示唆している。

得られた結果は、現在論文にまとめて執筆中である。

(別紙様式 4-2)

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)

Improvement of cloud-resolving model by using data of polarimetric radar (1行スペース)

佐藤正樹・東京大学大気海洋研究所

(2行スペース)

## 研究方法

これまで気象予測に利用されていない二重偏波ドップラー気象レーダーの偏波情報等の観測データを用いて、雲解像モデルの結果を観測シミュレータを通して観測結果と比較し、雲解像モデルの改良をする。特に雲物理スキームの高度化により雲解像モデルの予測精度の向上を図る。

雲解像モデルでは、雲降水過程について、大気中の水物質を雲水、氷、雨、雪、あられといったカテゴリーに分類した雲物理スキームを用いる。二重偏波ドップラー気象レーダーの観測データに、降水粒子の種類が判別できる観測シミュレータを適用し、雲物理スキームの検証・改良を行う。二重偏波ドップラー気象レーダー以外にも東京大学大気海洋研究所での雲粒及び雨滴の観測データも解析する。

## 研究結果

昨年度より関東圏の二重偏波ドップラー気象レーダーと東京大学大気海洋研究所において開発している全球非静力学モデル NICAM のシングルモーメント雲微物理スキーム(NSW6:Tomita 2008; Roh and Satoh 2014)、気象庁開発の局地モデル asuca のシングルモーメント微物理スキーム(MSM2003; Ikuta et al. 2021)のそれぞれについて比較を行っている。2020年4月18日を対象とした比較の結果は Satoh et al. 2022 として本年度出版された。このような二重偏波レーダーとの比較検討の結果、NSW6 の結果については、融解層より上で、強い反射強度を十分に表現できない傾向があることが分かっている。NSW6 では霰の粒形分布の表現に用いる切片パラメータが大きく、小さな霰しか表現できないことが原因と考えられる。切片パラメータの改良のみでは、反射強度の再現性の向上が見られなかったため、新たに霰として、霰よりも大きく、終端速度が速い粒子を導入したスキーム(NSW7)開発シミュレーションを行った。

ストレージ格子を用い関東域を対象にした局地シミュレーションを2021年3月13日の事例に対して行った。図1に成田空港レーダーとシミュレーションの反射強度のCFADの比較を示す。NSW6 では高度3kmよりも上で40dBZを超える反射強度が出現せず、階段状になっている。一方でNSW7 では40dBZを超える反射強度も表現できるようになっている。また、NSW7の方がNSW6に比べ強い降水強度を表現し、レーダー雨量から求めた観測結果に近づいた。



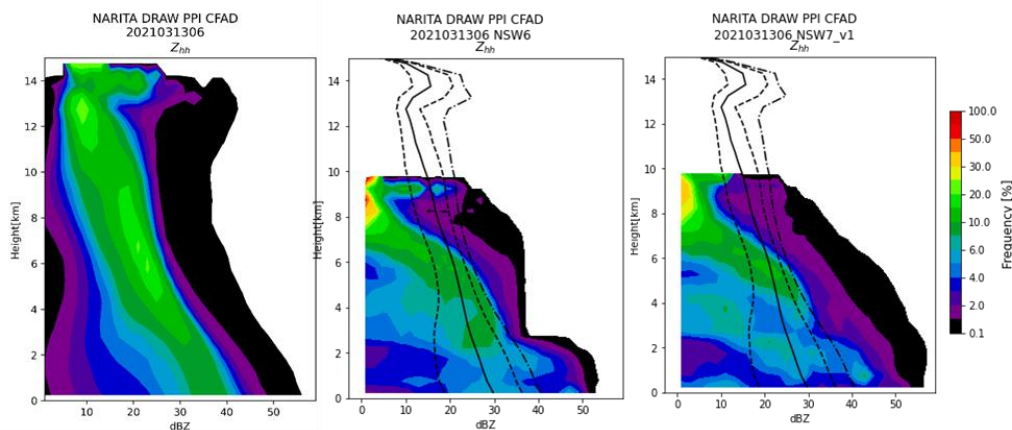


図 1 レーダー反射強度の CFAD。左から成田レーダー、NSW6、NSW7。シミュレーションは 10km まで計算。シミュレーションの破線は成田レーダーの 25,75 パーセンタイル値、実線は 50 パーセンタイル値、一点鎖線は 90 パーセンタイル値を示す。

開発した NSW7 を用いて、全球通年シミュレーションも行った。図 2 に全球シミュレーションで得られた雹の頻度分布を示す。全球シミュレーションは水平格子間隔 14km と荒い解像度でシミュレーションを行ったものの、衛星観測で推定された雹の分布に近い分布が得られた。

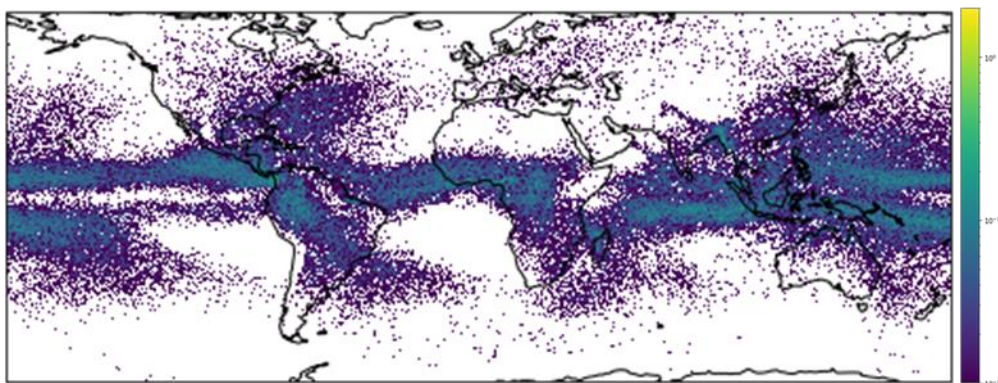


図 2 6 時間間隔出力の 1 年間のシミュレーションデータから計算した鉛直カラム内で雹が  $10^{-6} \text{kg/kg}$  を超える頻度の水平図。

また、asuca においても MSM2003 をベースに雹のカテゴリを加えたスキームを開発した。MSM2003 では雹の切片パラメータが小さく、雹が支配的な領域での反射強度が過大になる傾向があるため、雹の切片パラメータを大きくしたうえで雹を導入した。関東域での観測との比較では、過大な反射強度が改善される傾向が見られた。

#### 出版論文

Satoh, M., Matsugishi, S., Roh, W. *et al.* Evaluation of cloud and precipitation processes in regional and global models with ULTIMATE (ULTRA-sIte for Measuring Atmosphere of Tokyo metropolitan Environment): a case study using the dual-polarization Doppler weather radars. *Prog Earth Planet Sci* **9**, 51 (2022). <https://doi.org/10.1186/s40645-022-00511-5>

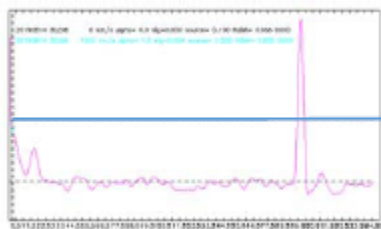
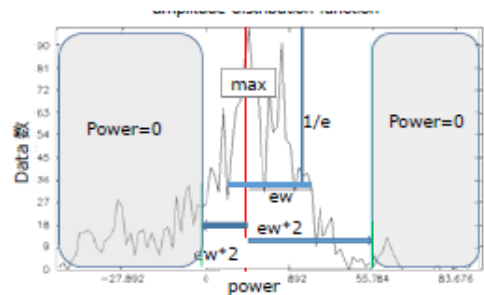
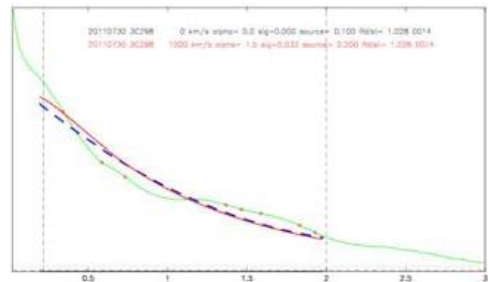
IPSスペクトル解析法の問題点  
How to improve IPS spectral fitting analysis

小島正宜 名古屋大学

IPS信号のスペクトル解析により求めた速度  $V_{spct}$  を相関法から得られた速度  $V_{ccr}$  と比較し解析法の評価と改善を行ってきた。特にスペクトル解析を単純な最小自乗法(LSQ法)で行った時、s/n の良いデータであるのに LSQ法による評価がうまくできない事例が多く見つかったのでそれらの解決法を考察した。

最初に元データに含まれるノイズを除去する。ノイズにはパルス性のもの、周期の長い大振幅のものなど性格が異なるものがあるので、それぞれに適した除去方法が必要である。パルス性のノイズはmedian meanで処理できるが、左図のようにwhite noise levelが下がり過ぎ、高速風でmodel fitされる危険性があることが分かった。そこでmedian meanの代わりに振幅強度分布(左下図)を解析し大振幅データを除去する方法を考えた。除去されたデータポイントが全データの10%以上あるときは解析を行わない。

このようにして前処理されたデータをフーリエ変換しスペクトルを求める。IPS成分は2Hz以下に主に存在するが、高域に下図のようなパルス状のノイズが現れることがある。これを除去しておかないとwhite noiseが上がる。スペクトルでこのようなノイズの除去にはmedian meanが有効である。

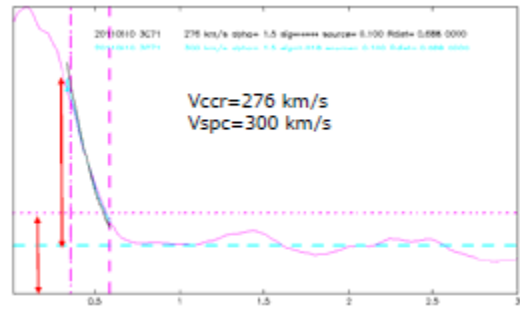


最後にこのようにして得られたスペクトル個々の形状の良否判定を以下の5段階で行う。

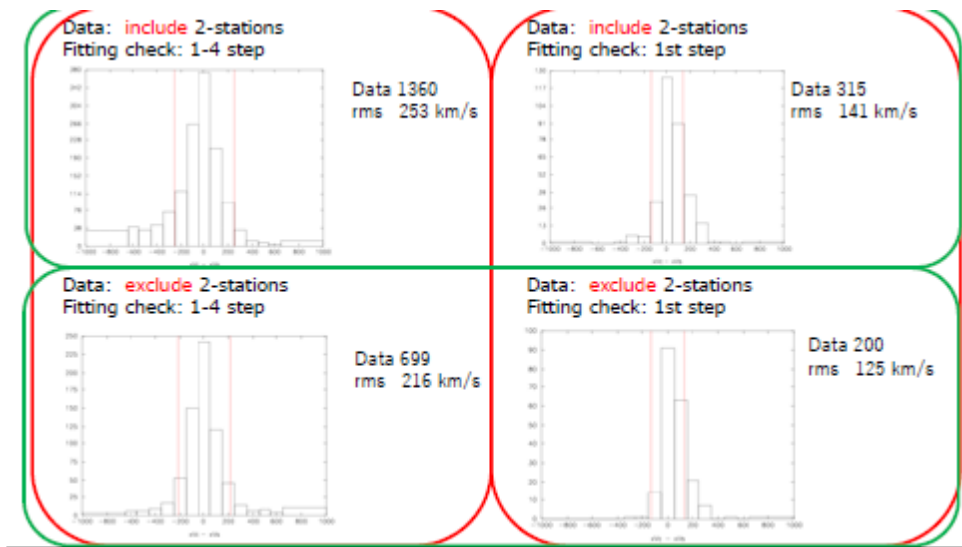
- 第1 check: 観測で得られたスペクトル  $P_{obs}$  とモデル  $P_{mdl}$  の各周波数点に於ける差は規定値以下か。既定値以上の周波数点に bad フラグをつけ、それが3点以上有る時は以下の判定を行い、3点以下の時は良しとする。
- 第2 check: 第1 check で bad となった周波数点でのスペクトル勾配は急か。勾配が規定値以上急な時は bad フラグを消す。bad フラグが3点以上残った時は以下の判定を行い、3点以下の時は良しとする。
- 第3 check: スペクトルがフラットとなりスペクトル強度が小さい周波数帯は s/n が悪いので判定から除外する。
- 第4 check: 観測スペクトルが大きく湾曲するところはスペクトルが white noise レベルへとマージしていくところであって、モデルスペクトルにはこの動きは考慮されていないのでスペクトルの勾配小さい領域での bad フラグは外す。
- 第5 check: このようにして残った bad flag のついた周波数点の分布が連続しているか離散的かを見て最終良否判定を行う。



次に Pobs と Pmdl の上記のような比較判定を行う周波数帯域をどうするかが課題である。周波数帯域の低周波側は 0.35Hz とする。これはそれより低い周波数帯域はアンテナビームパターン、受信機の利得変動、電離層の影響、フレネルフィルター効果、等々の影響を受けやすいからである。次に上限周波数は IPS スペクトルが white noise+3\*rms レベルに落ちる所の周波数とするが、s/n の悪い場合は上限周波数は下限周波数に近づき spectral fitting に利用する帯域幅が狭くなり fitting の信頼性が問題となる。かといって広い帯域幅とすると解析できるデータ数が減ってしまう。適切な帯域幅の設定が課題である。



VCCR と Vspct を比べたとき、3点観測による VCCR は Vspct とよい一致が見られる(下図の下段緑枠)が、2点観測からの VCCR は差が大きい傾向にある(下図の上段緑枠)。2点観測による VCCR の信頼性について今後要検討である。



(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

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できる (Wark & Watson, 2006)。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)。一方、高温変成岩の石英は複数ステージで成長する場合などがある。さらに、石英のCL発光強度は、チタン量だけでなく、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、詳細な組織観察や相平衡計算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。さらに、石英に含まれる流体包有物などから、変成流体の特徴や結晶時の変成圧力を知る。本研究により、高温変成岩中の石英が結晶化した変成温度や圧力を読み取り、相平衡計算による変成温度—圧力条件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ことである。

### 【研究方法】

研究試料は、ヒマラヤ造山帯における高温変成岩類を対象にした。研究代表者 (今山) は、ヒマラヤ地域の変成温度—圧力条件を詳しく推定しており (Imayama et al., 2010, 2012, 2019)、地殻溶融に関連した試料を用いた。今年度は、1) ヒマラヤ変成岩類の薄片観察を行ない、変成岩中の共存鉱物を検討し、石英の詳細な組織を記載した。2) 岡山理科大学の走査型電子顕微鏡を用いて、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た。3) 名古屋大学宇宙地球環境研究所の電子プローブアナライザーを用いて、石英の組織ごとにチタン量を測定し、結晶化した変成温度を推定した。

### 【研究結果と考察】

研究試料は、ザクロ石、堇青石、黒雲母、カリ長石、石英、斜長石から主に構成され、黒雲母の脱水溶融反応を被っている (Imayama et al., 2019)。石英は、基質部に含まれる他、ザクロ石の包有物として多数観察される。石英のCL像により、基質部の一部の石英には累帯構造が見られ、コアからリムへかけてCLの発光強度が強くなる。石英のCLスペクトル解析を実施した結果、CLの発光強度はチタン発光に由来するスペクトルが観察された。石英のチタン量を測定した結果、1) 石英のCL発光強度とチタン濃度は相関がある、2) 基質部の石英チタン濃度はコアからリムへ上昇しており (図1)、石英のCL累帯構造は温度上昇中の昇温変成作用を記録する、3) 黒雲母の隣接する石英で高チタン濃度が検出され、黒雲母の脱水溶融反応に伴って、黒雲母がチタンを放出した可能性があることがわかった。今後は、さらにヒマラヤ変成岩類の石英のチタン濃度測定を推進して、相平衡計算を並行して実施して、石英の結晶化や地殻溶融過程を明らかにしていく予定である。

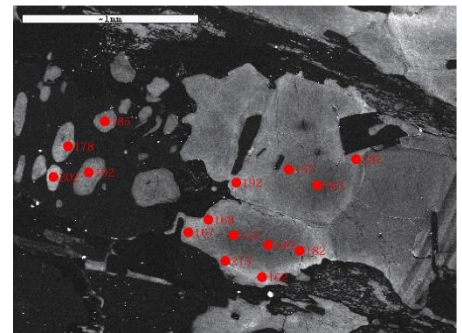


図1 石英CL画像とチタン濃度 (ppm)

### 【引用文献】

- Imayama et al., 2010. JMG, 28, 527-549.  
Imayama et al., 2012. Lithos, 134-135, 1-22.  
Imayama et al., 2019. GSL Sp. Pub., 481, 143-173.  
Muller et al., 2003. Eur. J. Mineral, 15, 747-763.  
Wark & Watson, 2006. CMP, 152, 743-754.

基本雲プロダクトの高精度化  
Improvement of Cloud Products

伊達謙二、気象衛星センター、データ処理部解析課

要旨

気象衛星センターでは、基本雲プロダクト (FCP) と呼ばれる衛星プロダクトを運用している。FCP は、静止気象衛星「ひまわり」の観測値と数値予報データから雲の有無 (雲マスク) や雲頂高度、雲相といった雲に関する物理量を推定するプロダクトであり、高分解能雲情報や晴天放射場、海面水温など、気象庁で運用している様々な衛星プロダクトで利用されている。

FCP の雲マスクには、その推定結果が特定の雲判定テストに支配されることや、その精度が数値予報など衛星観測以外のデータの精度に依存するといった課題がある。例えば、冬季の強い寒気移流による急激な海面の冷却は、雲マスクで利用する海面水温の解析値に即座に反映されないため、そのような状況下の晴れた海面を雲と推定しやすいことが知られている。そのため気象衛星センターでは、これらの課題に対応し雲マスクの精度を向上させるため、Ishida et al. (2018) の CLAUDIA と呼ばれるサポートベクタマシン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なっている。CLAUDIA を導入することで、ひまわりの観測値のみから雲の有無を推定することが可能となり、衛星観測データとしての独立性を高め、精度の安定した雲マスクが提供可能になると期待されている。

今年度は開発の初期段階として、まず衛星センターで運用している日本域の CLAUDIA の算出領域をひまわりの観測領域全域に拡張し、雲の検出精度を①2019年5月の事例を用いて既存のFCPと比較し、その精度を検証した。精度の検証には Ackerman et al. (2017) の Aqua/MODIS を利用した雲マスク (MYD35\_L2) を真値と仮定し (表1)、CLAUDIA、FCP の雲マスクの一致率をそれぞれ MYD35\_L2 比較した (図1)。次にその結果を踏まえ、教師データにおける晴・雲のデータ数における不均衡を解消し、FCP が苦手としている雪氷の晴データ数を増やし、また判別に用いる特徴量の見直しを行い (表2)、②2022年12月の事例を用いて既存のFCPと比較した (図2、図3)。

		MYD35_L2	
		晴れ	曇り
CLAUDIA / FCP	晴れ	$N_{clear}$	$N_{under}$
	曇り	$N_{over}$	$N_{cloudy}$

スコアの計算方法:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{全天適中率} = (N_{clear} + N_{cloudy}) / (N_{clear} + N_{under} + N_{over} + N_{cloudy}) \\ \text{晴れの空振り率} = N_{under} / (N_{clear} + N_{under}) \\ \text{曇りの空振り率} = N_{over} / (N_{over} + N_{cloudy}) \end{array} \right.$$

表1 比較に用いたスコアの計算方法

	陸上・日中	陸上・夜間	海上・日中	海上・夜間	
ND(R0.64μm, R1.6μm)	●	-	●	-	NDWI (正規化水指標)
R0.64μm or R0.86μm	●	-	●	-	反射率: 陸上ではR0.64、海上ではR0.86
ND(R1.6μm, R2.3μm)	●	-	●	-	雪氷の識別
ND(R0.86μm, R0.64μm)	●	-	●	-	NDVI (正規化植生指標)
D(T10.4μm, T6.9μm)	●	●	●	●	高層雲検出
D(T13.3μm, T10.4μm)	●	●	●	●	CO2差分
D(T10.4μm, T12.4μm)	●	●	●	●	赤外差分
D(T10.4μm, T8.6μm)	①	①	●	①	高層雲検出
D(T10.4μm, T3.9μm)	●	●	●	●	赤外差分2
ND(R0.86μm, R1.6μm)	●	-	-	-	砂漠域検出
ND(R1.6μm, R0.51μm)	●	-	-	-	NDSI (正規化積雪指標)
D(T10.4μm, T11.2μm)	①	①	●	①	窓領域差分
D(T6.9μm, T6.2μm)	②	②	-	②	相関の少ないバンド間差分を追加
D(T10.4μm, T9.6μm)	②	②	-	②	相関の少ないバンド間差分を追加

表2 判別に用いた特徴量

①は2019年5月の事例、②は2022年12月の事例のみで用いた特徴量で、●はいずれの事例でも用いた特徴量である。表中のTは輝度温度、Rは反射率を示しており、NDは規格化差分、Dは差分を表す。

$$\begin{array}{ll} \text{ND} \cdots \text{規格化差分} & \text{ND}(a, b) = (a - b) / (a + b) \\ \text{D} \cdots \text{差分} & \text{D}(a, b) = a - b \end{array}$$



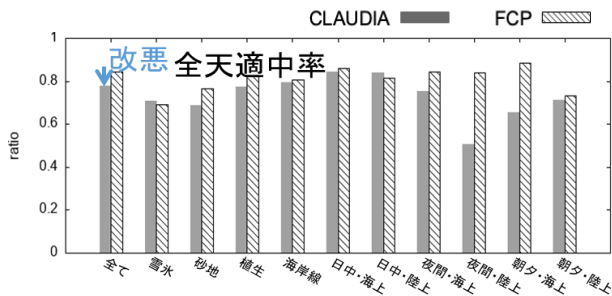


図1 ①2019年5月のCLAUDIA3及び現行雲マスクの全天的中率（地表面状態、時間帯別）

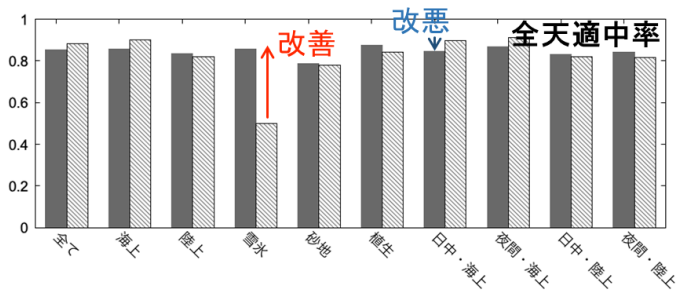


図2 ②2022年12月のCLAUDIA3及び現行雲マスクの全天的中率（地表面状態、時間帯別）

比較結果を図1, 図2に示す。①の事例ではMYD35\_L2とCLAUDIAとの一致率は8割程度であり、FCP(9割)よりやや低く、日中・陸上以外では判別精度は改悪していた。これは本判別で用いた学習設定が、日本域の日射量プロダクトのために調整されたものであることに起因すると考えられる。②の事例では夜間における判別精度が改善し、日中・夜間とも陸上では現行の精度を上回っており、特に雪氷では大幅な改善が見られた。海上では①の事例に比べると判別精度が改善しているが、現行の判別精度は下回っており、全体の判別精度でも下回っている。

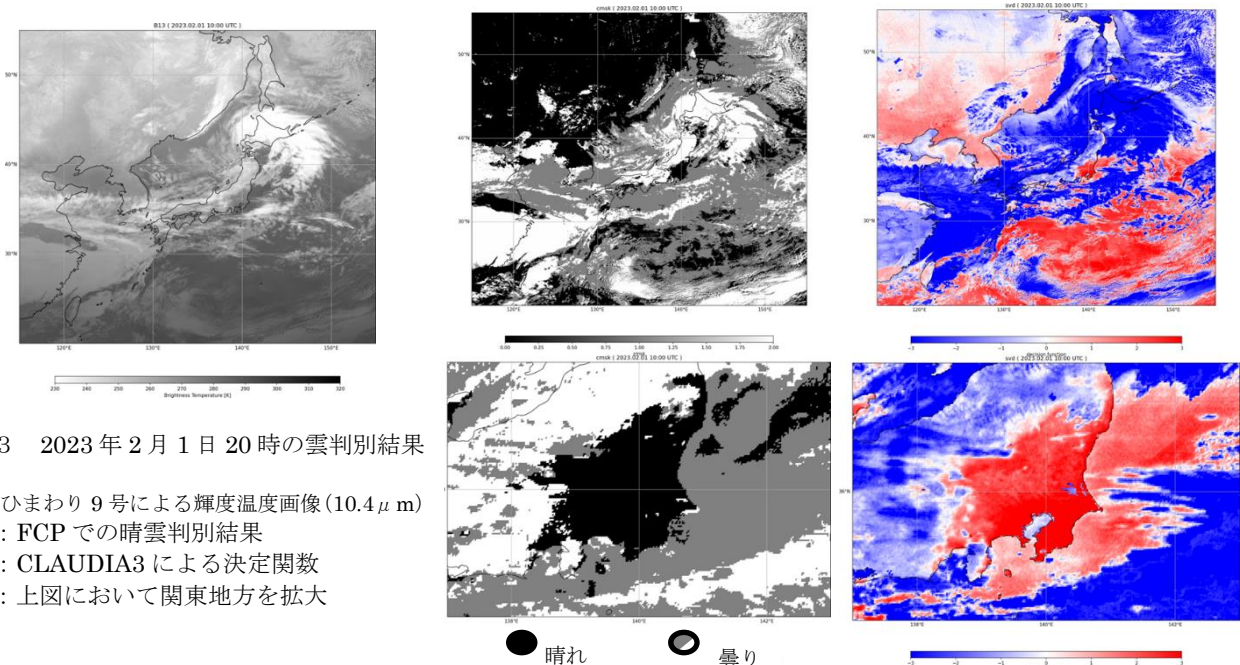


図3 2023年2月1日20時の雲判別結果

左: ひまわり9号による輝度温度画像(10.4 μm)  
 中: FCPでの晴雲判別結果  
 右: CLAUDIA3による決定関数  
 下: 上図において関東地方を拡大

図3に2023年2月1日における雲判別結果を示す。関東沖において、FCPでは曇りと判別しているが、輝度温度からは晴れているように判断でき、CLAUDIA3による判別でも晴れと判定されている。一方で日本海北部の大陸沿岸では輝度温度で晴れ、FCPでも晴れと判別している領域でCLAUDIAでは晴れと判別できていない。海上で精度が低下している領域が見られることは図2の結果と整合する。

教師データや特徴量の選定を工夫することで、CLAUDIA3による雲判別精度が向上することが確認できた。今後も現行の判別精度を上回るよう、更なる精度向上に取り組んでいく。

### 参考文献

Ishida, H., et al., 2018. Remote Sens. Environ. 205, 390-407.  
 Ackerman, S., et al., 2017. MODIS Atmosphere L2 Cloud Mask Product. NASA MODIS Adaptive Processing System, Goddard Space Flight Center, USA: [http://dx.doi.org/10.5067/MODIS/MYD35\\_L2.061](http://dx.doi.org/10.5067/MODIS/MYD35_L2.061)

### 成果発表

佐伯悠樹、山田裕里佳、半田太郎、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、2023年3月

(別紙様式 4-2)

Arase衛星DC電場・低周波電場波動による衛星帯電および内部磁気圏  
の研究促進：その1

Enhancement of the Spacecraft Charging and Inner Magnetospheric Researches by Arase DC and low frequency E-field: #1

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いる。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・低周波電場波動について、その校正によって明らかになってきた衛星帯電の影響の研究検討、およびそれらの励起・伝搬過程の定量評価と物理的役割の解明を促進する。

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

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。

- ・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**)
- ・1-sec 分解能の電場スペクトル (1～>200Hz, **EFD spec**)
- ・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**)

また、SWPIA(ソフトウェア波動-粒子相互作用解析機能)に伴って取得される短時間のバーストデータについても、Level-2 データの公開に至った。

- ・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**)

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。データおよびその解説は、以下で公開されている。

- ・ERG Science Center 観測データ [https://ergsc.isee.nagoya-u.ac.jp/data\\_info/erg.shtml.ja](https://ergsc.isee.nagoya-u.ac.jp/data_info/erg.shtml.ja)
- ・ERG Science Center PWE/EFD Wiki <https://ergsc.isee.nagoya-u.ac.jp/mw/index.php/ErgSat/Pwe/Efd>

これらのスキームは、構築途上にある BepiColombo PWI データ方式の原型としても想定している。

## (2) 電場およびポテンシャルの評価

電場導出の基礎となるポテンシャル・電場波形のspin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）とが絡み合う複雑なもので、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。これらは、磁場方向等の影響も相まって、単純には排除不能である。成果の一部を以下へまとめるとともに、引き続き調査を進めつつある。

・電場 vector に対する衛星帯電の影響評価状況についての総括報告を行った。(中川朋子、笠羽康正、中村紗都子、堀智昭、三好由純、松田昇也、笠原禎也、北原理弘、土屋史紀、熊本篤志、松岡彩子。 あらせ PWE/EFD 電場データ: 電場 vector に対する衛星帯電の影響評価状況。 第 17 回 ERG サイエンス会議、東京大駒場、2022 年 9 月)

・衛星電位と spin 位相・磁場方向・プラズマ密度との関係を解析し、光電子・衛星帯電による電荷のモデル計算と比較を実施。電場に影響を与える probe 毎のばらつきは、衛星起因光電子の非等方分布が問題を生んでいるとみられる。(中川朋子、堀智昭、中村紗都子、笠羽康正、小路真史、三好由純、北原理弘、松田昇也、笠原禎也、篠原育。 衛星帯電と光電子からの電場計測への干渉、第 152 回地球電磁気・地球惑星圏学会、相模原、2022 年 11 月)

・観測電場のあるべき方向からのずれは、プラズマ密度が薄い場所で卓越する。640cm<sup>-3</sup> 以上では方向ずれが8割で <10° だが、80 cm<sup>-3</sup> 以下では4割が > 50° のずれとなる。(中川朋子、三好由純、笠羽康正、笠原禎也、土屋史紀、熊本篤志、北原理弘、中村紗都子、松岡彩子、人工衛星「あらせ」により観測された電場方向のずれの特性、東北工業大学紀要 理工学編・人文社会科学編, 43, pp.1-7, 2023 年)

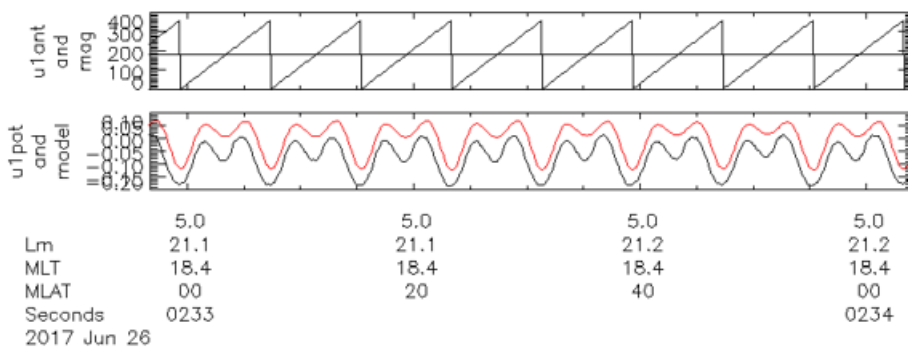


図 1 (a)あらせ衛星の u1 プローブの spin 位相と(b)プローブ衛星間の電位差。観測（黒）とモデルフィッティング（赤） [Nakagawa+ 2023]

## (3) 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。

・高高度電子加速を生む Field-line 電場 : Imajo et al. (2021). Active auroral arc powered by accelerated electrons from very high altitudes. *Sci. Rep.* 11, 1610. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79665-5>

・電離圏電場と磁気圏電場との mapping : Kawai et al. (2021). First simultaneous observation of a night time medium-scale traveling ionospheric disturbance from the ground and a magnetospheric satellite. *J. Geophys. Res. Space Phys.* 126, e2020JA029086. <https://doi.org/10.1029/2020JA029086>

・ULF 波動の Poynting vector 導出への貢献 : Takahashi et al. (2021). Relative contribution of ULF waves and whistler-mode chorus to the radiation belt variation during the May 2017 storm. *J. Geophys. Res. Space Phys.* 126, e2020JA028972. <https://doi.org/10.1029/2020JA028972>

・初の地上-衛星同時「medium-scale traveling ionospheric disturbances (MSTIDs)」の観測。比較的静穏下で電離圏変動が大きい場合、衛星側でも対応する電場・密度変動を検出。(Kawai, K., K. Shiokawa, Y. Otsuka, S. Oyama, M. G. Connors, Y. Kasahara, Y. Kasaba, S. Nakamura, F. Tsuchiya, A. Kumamoto, A. Shinbori, A. Matsuoka, I. Shinohara, Y. Miyoshi (2023). Multi-event analysis of magnetosphere-ionosphere coupling of nighttime medium-scale traveling ionospheric disturbances from the ground and the Arase satellite. *J. Geophys. Res. Space Phys.* 128, e2022JA030542. <https://doi.org/10.1029/2022JA030542>)

・サブストームに伴うオーロラ増光時における同磁力線上での Arase 観測により、Ballooning instability の生成を示唆。電場変動によりこの変動に伴う地球向きの Poynting vector 導出に貢献。(Chen, L., K. Shiokawa, Y. Miyoshi, S. Oyama, C.-W. Jun, Y. Ogawa, K. Hosokawa, Y. Inaba, Y. Kazama, S. Y. Wang, S. W. Y. Tam, T. F. Chang, B. J. Wang, K. Asamura, S. Kasahara, S. Yokota, T. Hori, K. Keika, Y. Kasaba, A. Kumamoto, F. Tsuchiya, M. Shoji, Y. Kasahara, A. Matsuoka, I. Shinohara, S. Imajo, S. Nakamura, M. Kitahara (2022). Observation of source plasma and field variations of a substorm brightening aurora at L ~ 6 by a ground-based camera and the Arase satellite on 12 October 2017. *J. Geophys. Res. Space Phys.* 127, e2021JA030072. <https://doi.org/10.1029/2021JA030072>)

・磁気圏の近地球赤道域で、U 型ポテンシャルを同定。Arase 電場観測により、上向きの沿磁力線電流を伴うことを確認。(Imajo, S., Y. Miyoshi, K. Asamura, I. Shinohara, M. Nosé, K. Shiokawa, Y. Kasahara, Y. Kasaba, A. Matsuoka, S. Kasahara, S. Yokota, K. Keika, T. Hori, M. Shoji, S. Nakamura, M. Teramoto (2022). Signatures of auroral potential structure extending through the near-equatorial inner magnetosphere. *Geophys. Res. Lett.* 49, e2022GL098105. <https://doi.org/10.1029/2022GL098105>)

・Arase および Van Allen Probes との協調観測成果を総括報告。(Miyoshi, Y., I. Shinohara, S. Ukhorskiy, S. G. Claudepierre, T. Mitani, T. Takashima, T. Hori, O. Santolik, I. Kolmasova, S. Matsuda, Y. Kasahara, M. Teramoto, Y. Katoh, M. Hikishima, H. Kojima, S. Kurita, S. Imajo, N. Higashio,

S.Kasahara, S. Yokota, K. Asamura, Y. Kazama, S.-Y. Wang, C.-W. Jun, Y. Kasaba, A. Kumamoto, F. Tsuchiya, M. Shoji, S. Nakamura, M. Kitahara, A. Matsuoka, K. Shiokawa, K. Seki, M. Nosé, K. Takahashi, C. Martinez-Calderon, G. Hospodarsky, C. Colpitts, Craig Kletzing, J. Wygant, H. Spence, D. N. Baker, G. D. Reeves, J. B. Blake, L. Lanzerotti (2022). Collaborative research activities of the Arase and Van Allen Probes, *Space Science Rev.*, 218, 38. <https://doi.org/10.1007/s11214-022-00885-4>)

#### (4) 日欧合同水星探査機 BepiColombo / Mio 探査機による電場計測への展開 :

この作業は、より Telemetry や運用の制約が厳しい水星 (BepiColombo : フル観測は2025年末から2年間) ・木星 (JUICE : フル観測は2031年以降) への日本の研究展開能力の基礎を形成する。BepiColombo Mio探査機に搭載された Plasma Wave Investigation (PWI) による DC 電場 ・ 低周波電場波動観測は、Arase とほぼ同設計のアンテナとレシーバーで遂行される。Arase 衛星の校正は、同観測装置による水星電場計測につながっていく。なお、BepiColombo は2021年10月 ・ 2022年6月の flyby で水星観測を開始したが、アンテナ (WPT) が収納中のため PWI の電場観測は事実上行えない。WPT の展開は、2025年末の水星周回軌道投入後に予定されている。とはいえ、この限られた状況でも、以下の成果を上げることができた。

・ 電場ノイズから導出した第一回 flyby 時の水星磁気圏密度を試みた。 (Griton, L., K. Issautier, M. Moncuquet, F. Pantellini, Y. Kasaba, H. Kojima (2023). Electron density revealing the boundaries of Mercury's magnetosphere via serendipitous measurements by SORBET during BepiColombo first and second Mercury swing-bys. *Astron. Astrophys.* 670, A174. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202245162>)



(別紙様式 4-2)

「あらせ」衛星による内部磁気圏赤道域低エネルギーイオンの加熱現象とプラズマ波動の解析  
Study of perpendicular heating of supra-thermal ions and plasma waves  
in the inner magnetosphere

浅村和史、JAXA・宇宙科学研究所

あらせ衛星搭載低エネルギーイオン質量分析器 (LEPi)、磁場観測器 (MGF)、プラズマ波動観測器 (PWE) の観測データを用い、電磁イオンサイクロトロン波動 (EMIC 波動) と低エネルギーイオンとの間のエネルギー輸送量および運動量輸送量について、直接計測による検出に成功した。エネルギー・運動量輸送量の計測には波動粒子相互作用解析器 (WPIA: Wave-Particle Interaction Analyzer) の手法を用いた。今回用いた WPIA 法は (1) LEPi が観測した瞬間瞬間のエネルギー・方向毎のイオンフラックス (速度分布関数) について、同時刻に検出されたプラズマ波動の電界ベクトル、磁界ベクトルに起因するローレンツ力を求め、(2) 波動の位相角・イオンのエネルギー・ピッチ角毎にビンニングして加算し、(3) LEPi の観測方向 (イオンの速度方向) が波動の全位相角をカバーできるように、一定期間計算結果を蓄積、そして、(4) それぞれのビンに対する LEPi 観測回数を考慮した実効的感度補正を施すものである。これにより、

$$W_{Eint} = \sum_{\alpha} \sum_{\zeta} \sum_K f q \mathbf{E}_w \cdot \mathbf{v} [v(K)]^2 \sin \alpha \Delta \alpha \Delta \zeta \Delta v(K)$$
$$G = \sum_{\alpha} \sum_{\zeta} \sum_K f q (\mathbf{E}_w + \mathbf{v} \times \mathbf{B}_w) \cdot \mathbf{e}_{\alpha} [v(K)]^2 \sin \alpha \Delta \alpha \Delta \zeta \Delta v(K)$$

などの諸量を求めることができる。ここで、 $\mathbf{E}_w$ 、 $\mathbf{B}_w$ 、 $\zeta$ 、 $q$ 、 $\mathbf{v}$ 、 $K$ 、 $\alpha$ 、 $f$  はそれぞれ波動の電界ベクトル、磁界ベクトル、位相角、イオン荷電量、速度、エネルギー、ピッチ角、速度分布関数であり、 $W_{Eint}$  は波動からイオンへのエネルギー輸送量を表している (Katoh et al., 2013)。また、 $\mathbf{e}_{\alpha}$  は背景磁場ベクトルとイオン速度ベクトルを含む平面内でイオン速度ベクトルに垂直な単位ベクトルである。このため、 $G$  はピッチ角変化に寄与する成分のローレンツ力に伴う運動量輸送量を示している (Kitahara and Katoh, 2016)。なお、あらせ衛星はスピン軸方向の電界計測を行っていないため、計算にあたっては観測された磁界 3成分、電界 2成分を用い、その内積がゼロとなるようにスピン軸方向の電界強度を設定した。

2021年6月16日に観測された EMIC 波動に着目して WPIA 解析を行った結果、波動から粒子にエネルギーが輸送されているタイミングでイオンのピッチ角が垂直方向に近づき ( $\alpha > 90^\circ$  の場合、 $G < 0$ )、粒子がエネルギーを失っているタイミングでピッチ角が磁力線平行方向に近づく ( $\alpha < 90^\circ$  の場合、 $G > 0$ ) ような  $G$  の値となった。これは EMIC 波動によるピッチ角散乱と整合的である。ただし、これまでの解析では運動量の輸送密度など、定量的な値までは導出できていない。また、EMIC 波動の伝搬方向や共鳴条件との整合性などの詳細な解析も今後の課題である。

#### 参考文献

- Katoh, Y. et al., Significance of wave-particle interaction analyzer for direct measurement of nonlinear wave-particle interactions, *Ann. Geophys.*, doi:10.5914/angeo-31-503-2013, 2013.
- Kitahara, M. and Y. Katoh, Method for direct direction of pitch angle scattering of energetic electrons caused by whistler mode chorus waves, *JGR*, doi:10.1002/2015JA021902, 2016.

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（図1）。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。

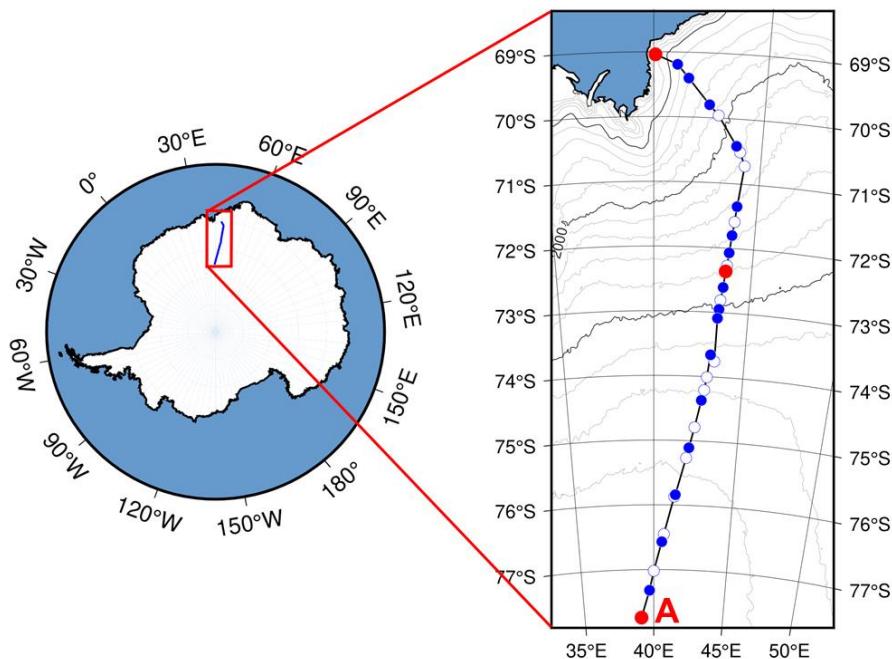


図1. 南極大陸において2018年11月から2019年1月までに携帯型中性子モニター（WENDI-II）を用いて宇宙線中性子の測定を行った地点。往路は中空（白色）、復路は青色で示しており、これらの地点では各7時間以上の連続観測を行った。赤で示した3か所では長期滞在し、このうちドームふじ駅付近のA地点では、約20日間にわたって中性子の観測を行った。

### 3. 研究結果及び考察

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。図1に示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）による予測値との関係（図2）については、往路・復路ともに広い範囲で両者には良い一致が観られた。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。

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。この結果は、モデルが潜在的に持つ不確かさを示しており、さらに計算精度を向上させる必要性を示唆している。今後は、各モデルが持つ誤差を定量化するための考察を進めるとともに、トリチウム濃度を含めた詳細なデータの総合解析作業などに取り組む。

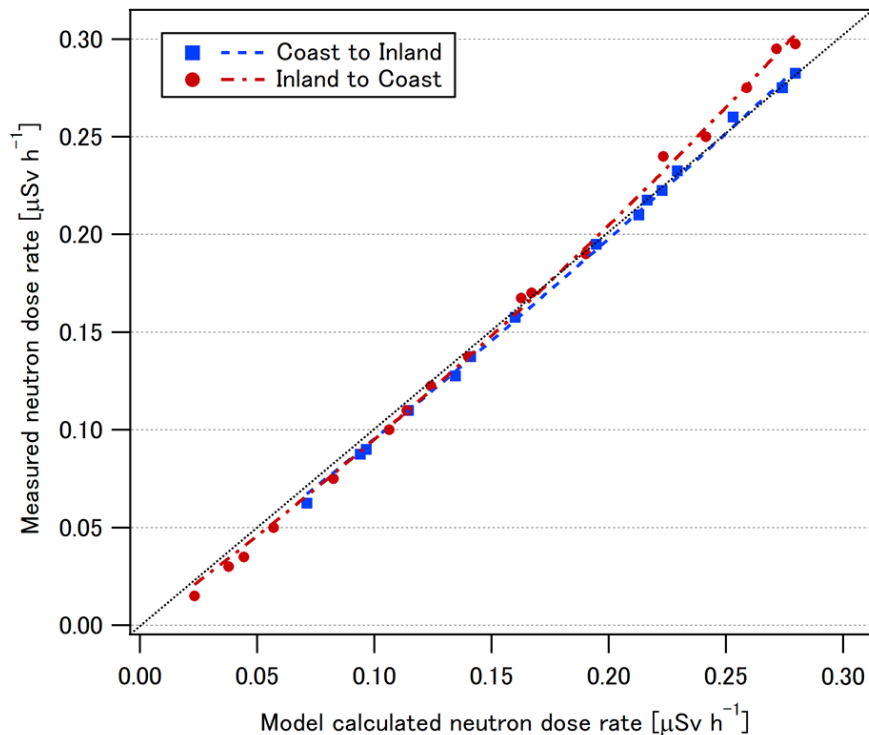


図2. 2018年11月から2019年1月までの期間において、PARMA<sup>1)</sup> を使用して計算された中性子線量率（X軸）と、図1に示すルートに沿って測定された中性子線量率（Y軸）との関係。各プロットの標準偏差は3%未満（ $\sigma < 0.03$ ）であった。

#### 引用文献

- 1) 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.

#### 成果発表

- Yasuda, H., Kurita, N. and Yajima, K. Verification of Estimated cosmic neutron intensities using a portable neutron monitoring system in Antarctica. Appl. Sci. 13(5), 3297, 2023.

(別紙様式 4-2)

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

我が国の沖積層研究ではボーリングコアから分取した植物片や貝化石の放射性炭素年代値を堆積年代として解釈するが多い。珪藻化石群集組成や地球化学分析結果などによる堆積環境の裏打ちのあるボーリングコア試料を用いて、なるべく多くの試料を抽出して年代測定を実施することで、再堆積や生物擾乱、海洋リザーバー効果等の影響を定量的に評価した。

## 研究方法（使用した共同利用装置・施設等を含む）

多様な堆積環境下で再堆積の影響を評価するために鹿児島県薩摩湖および永野、静岡県浜名湖で採取された沖積層ボーリングコアを選定した。薩摩湖のSAT1コアとSAT2コア、永野のNGN3コア、浜名湖の18Hm8コアを用いて、植物片と貝化石をふじのくに地球環境史ミュージアムで抽出・選定した。それらの試料を北川研究室で試料調整をして、名古屋大学宇宙地球環境研究センターの加速器質量分析装置を用いて放射性炭素年代測定を実施している。

## 研究結果

鹿児島県薩摩湖および永野、静岡県浜名湖で採取された沖積層ボーリングコア（薩摩湖SAT1コアで4試料、SAT2コア5試料、永野NGN3コアで4試料、浜名湖18Hm8コアで7試料）から合計20試料の植物片と貝化石を抽出・選定した。北川研究室で試料調整をして、名古屋大学宇宙地球環境研究センターの加速器質量分析装置を用いて放射性炭素年代測定を実施している。

## 考察

先述の植物片と貝化石の放射性炭素年代値が届いたら、採取深度と年代値の相関を検討する。また、それらの結果を基にして地域ごとに再堆積の有無を解釈して、堆積環境ごとに再堆積かかった期間を推定する。それらの結果をこれまで実施した関東平野 (Tanabe et al., 2021) や春採湖 (Nakanishi et al., 2023a), 三陸海岸 (Nakanishi et al., 2023b) などにおける再堆積の頻度やその期間と対比する予定である。

## まとめ

沖積層ボーリングコアに含まれる植物片と貝化石の再堆積の頻度と期間を定量的に評価するために放射性炭素年代値を測定中である。鹿児島県の薩摩湖 (SAT1コアの4試料, SAT2コアの5試料) および永野 (NGN3コアの4試料), 静岡県浜名湖 (18Hm8コアの7試料) から合計20試料の植物片と貝化石を抽出・選定して、年代測定を実施している。結果が届き次第、成果を公表する。

## 引用文献

T. Nakanishi, F. Nanayama, Y. Kondo, K. Yamada, K. Sakai, T. Yamaguchi, K. Shigeno, K. Katsuki, H. Oda, R. Furukawa, W. Hong. 2023a, 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*, doi: 10.1016/j.nimb.20

23.02.015

T. Nakanishi, Y. Niwa, W. Hong. 2023b, 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, doi: 10.1016/j.nimb.2023.02.032

S. Tanabe, T. Nakanishi, R. Nakashima, 2021, Recycling of clastics in coast areas inferred from quantitative analysis of reworked radiocarbon samples. *Scientific Reports*, 12, 650, doi: 10.1038/s41598-021-04660-3

**成果発表（当該年度に行った口頭発表を含む）**

中西利典・北川浩之・山田和芳，尾鉾堆積物に含まれる木片の放射性炭素年代，第32回社会地質学会シンポジウム論文集，p.125-126，2022年11月（査読無）

(別紙様式 4-2)

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  
Quantitative reconstruction of water temperature, nutrient cycles, and ocean currents during the Holocene Climatic Optimum as an analogue of the future global warming

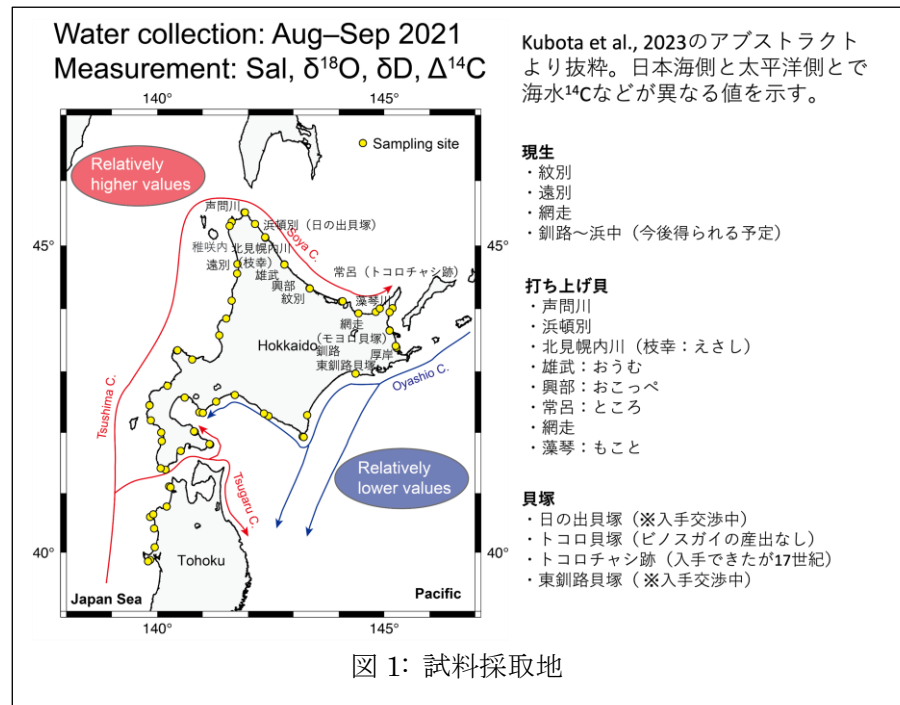
窪田薫 海洋研究開発機構・海域地震火山部門

【研究目的】

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、北海道東部沿岸から採取する底生有孔虫と長寿二枚貝(ピノスガイ; *Mercenaria stimpsoni*)の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。水温の復元には、酸素同位体・Mg/Ca比分析・成長線解析を、海流の復元には放射性炭素( $^{14}\text{C}$ )・ネオジウム同位体分析を行う。

【研究手法】

分析試料は(1)厚岸湾/厚岸湖から新たに掘削する堆積物コア試料と、(2)貝塚・自然貝層から産出する二枚貝化石である。(1)の堆積物コアは、予算の都合で採取する目処が立っていないため、(2)の二枚貝化石の試料を重点的に収集した。自然貝層は、現在は道路や河道の舗装などによってアクセスできないところが多く、代わりに縄文海進時に湾化したと思われる地点で打ち上げ貝を採取した。遠別～稚内～網走にかけての道北～道東の日本海～オホーツク海沿岸をくまなく調査し、ピノスガイの死殻を採取した。北海道の日本海側の沿岸部ではほぼ全ての死殻がウバガイ(ホッキ貝)であり、ピノスガイは得られなかった。得られた試料のうち、比較的古い年代を示しそうなもの(殻の表面の摩耗度などから推測)、比較的長寿のもの(殻の厚みから推定: Kubota et al., 2017)を優先して $^{14}\text{C}$ 年代測定を行った。死殻の表面をグラインダーで削り、得られた炭酸カルシウムの粉末試料を分析に用いた。真空下で炭酸カルシウムをリン酸と反応させ、水を除去したのち、発生した二酸化炭素を補修し、水素還元でグラファイトに変換した。グラファイトをターゲットにプレスし、ISEEのタンデム加速器で $^{14}\text{C}$ 年代測定を行った。



【研究結果】

オホーツク海側で得た試料のうち、 $^{14}\text{C}$ 年代測定を行ったものについては、声間川河口、常呂川河口、藻琴川河口で得たものには全てがごく最近(西暦1950年以降)の試料であることが分かった。北見幌内川河口(枝幸)の試料については、西暦1950年以降のもの、非常に古いもの( $^{14}\text{C}$ 年代で約3,000～約4,500年前)とが混在していた。雄武川の河口付近では、比較的最近のもの( $^{14}\text{C}$ 年代で約800年前)と、非常に古いもの( $^{14}\text{C}$ 年代で約6,700年前)とが混在していた。興部川の河口付近では、西暦1950年以降のもの、非常に古いもの( $^{14}\text{C}$ 年代で約5,300年前)とが混在していた。網走川の河口付近では、全て比較的最近のものであった( $^{14}\text{C}$ 年代で約500～約600年前)。



東京大学文学部の「ところ埋蔵文化財センター」に提供いただいた、トコロチャシ跡の貝塚（新塚の西側サイト：東京大学大学院人文社会系研究科考古学研究室・常呂実習施設, 2015）から産出した3点の<sup>14</sup>C年代測定結果は、<sup>14</sup>C年代で約500～約600年前であった。小樽の<sup>14</sup>C海洋リザーバー年代推定結果（Yoneda et al., 2007）をもとに暦年較正をしたところ、西暦1600年前後という結果になった。ここで、小樽と常呂の<sup>14</sup>C海洋リザーバー年代に大きな違いがないことは、現生の海水の<sup>14</sup>C分析結果が同等の値を示すことから支持される（Kubota et al., 2023）。西暦1600年前後という年代値は、ビノスガイの産出深度の上部にある広域火山灰／テフラ（樽前火山起源、Ta-1: 西暦1739年）の年代値とも整合的である。

#### 【考察とまとめ】

幌内川河口（枝幸）、雄武川、興部川については、縄文海進最盛期の研究を行うのに適した打ち上げ貝をさらに入手できる可能性があり、今後追加の調査を行う予定である。自然貝層と比較して、打ち上げ貝は試料の出自（すなわち貝が死亡するまで生息していた場所）が曖昧というデメリットはあるものの、試料採取が容易であるという比類ないメリットがある。<sup>14</sup>C年代測定を行った打ち上げ貝は、破片も多く含まれる。最大成長軸を残した、保存の良い試料を複数採取することで、殻の同位体分析や成長線解析を通じたより高確度の環境復元が可能であるため、今後さらなる調査が必要である。

トコロチャシ跡の貝塚および網走川河口で得た試料は、西暦1600年前後の年代値を示したが、これは古気候学的に重要な小氷期（Little Ice Age）と呼ばれる世界的な寒冷期に相当する。当初予定にはなかったが、温暖期との比較という意味で小氷期の古環境復元も重要であるため、今後分析を進めていきたい。

現生のビノスガイ試料についても、北海道の中央水産試験場の職員を通じて、新たに釧路～浜中にかけての試料が得られる見込みとなっている。東釧路貝塚から産出する、縄文海進最盛期のビノスガイ試料についても、試料供与の交渉を継続する予定である。道東の太平洋沿岸部は、千島海溝におけるプレート境界型の地震とそれに伴う津波が襲来する可能性が指摘されており、古災害研究への派生観点からもさらなる試料採集が望まれる。

#### 【引用文献】

- Kubota, K., Sakai, K., Ohkushi, K., Higuchi, T., Shirai, K., Minami, M. Salinity, oxygen isotope, hydrogen isotope, and radiocarbon of coastal seawater of North Japan. *Geochemical Journal "Data"* **56**, 240–249 (2023).
- Kubota, K., Shirai, K., Murakami-Sugihara, N., Seike, K., Hori, M., Tanabe, K. Annual shell growth pattern of the Stimpson's hard clam *Mercenaria stimpsoni* as revealed by sclerochronological and oxygen stable isotope measurements. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **465**, 307–315 (2017).
- Takahashi, H. A., Handa, H., & Minami, M. A simple CO<sub>2</sub> extraction method for radiocarbon analyses of dissolved inorganic carbon in water samples without a carrier gas. *Radiocarbon* **63**, 1339–1353 (2021).
- 東京大学大学院人文社会系研究科考古学研究室・常呂実習施設. [トコロチャシ跡遺跡群（史跡常呂遺跡）～整備に伴う発掘調査報告書](#). 東京大学大学院人文社会系研究科・北見市教育委員会 (2015).
- Yoneda, M., Uno, H., Shibata, Y., Suzuki, R., Kumamoto, Y., Yoshida, K., ... & Kawahata, H. Radiocarbon marine reservoir ages in the western Pacific estimated by pre-bomb molluscan shells. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* **259**, 432–437(2007).

#### 【成果発表】

本研究課題に関連したビノスガイの殻を用いた古環境復元研究について、国内学会においては、2件の口頭発表・1件のポスター発表を行った（共著者による発表含む）。うち1件（三木ほか、2022年、地球環境史学会）は学会の奨励賞を受賞した。また、国際学会においては、1件の口頭発表・1件のポスター発表を行った（共著者による発表含む）。

また、東北～北海道の沿岸で採取した表層海水について、塩分・水素同位体・酸素同位体・<sup>14</sup>Cを分析し（海水の<sup>14</sup>C分析は名古屋大学ISEEにおいて、ヘッドスペース法を用いて行った：Takahashi et al., 2021）、国際学術誌を通じて結果を公表した（Kubota et al., 2023）。

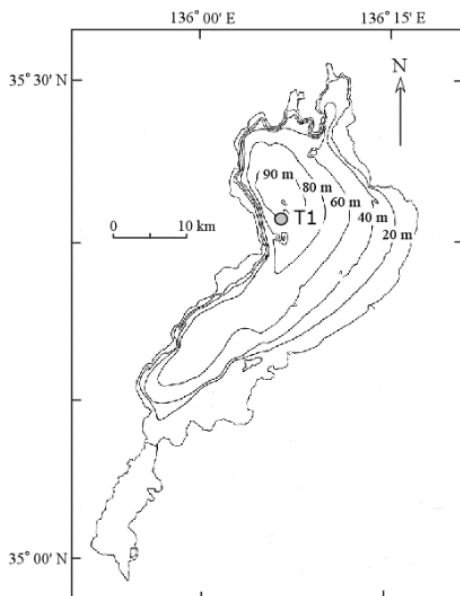
(別紙様式 4-2)

気候変動が琵琶湖における植物プランクトン群集に及ぼす影響  
～衛星リモートセンシングによるモニタリング～  
Impact of global warming on phytoplankton communities in Lake Biwa  
-Monitoring using satellite remote sensing-

後藤直成, 滋賀県立大学・環境科学部

【目的】本研究では、琵琶湖の植物プランクトン群集に対する温暖化の影響を評価するため、気候変動観測衛星 (GCOM-C) に搭載された多波長光学放射計 (SGLI) を利用して、琵琶湖全域におけるクロロフィル $a$ 濃度分布の季節変動を捉えると共に、近年における植物プランクトンの現存量動態を考察した。

【方法】2022年4月～12月におけるGCOM-C/SGLIによって測定された490 nmと565 nmの規格化海面射出輝度 (nLw : level-2, 空間分解能 250 m) をJASMES (JAXA) から取得し、nLwを大気圏外太陽照度で除することで衛星リモートセンシング反射率 (Rrs(490, 565)) を求めた。これらのRrsと以下式の水中生物光学アルゴリズム (MODISの標準アルゴリズムの係数を琵琶湖用に最適化した式) を用いて、琵琶湖におけるクロロフィル $a$ 濃度を算出した。



$$\text{Chl}_{\text{sat}}(490/565) = 10^{(C_0 + C_1 R + C_2 R^2 + C_3 R^3 + C_4 R^4)}$$
$$R = \log(\text{Rrs}(490/565))$$
$$C_0=0.126, C_1=-3.65, C_2=12.548, C_3=73.820, C_4=115.896$$

本研究では上記の衛星観測に加えて、2022年6月～11月 (月1回の船舶観測) の琵琶湖北湖のT1地点 (水深 90 m) において表層水 (深度 0.5, 10, 15, 20 m) を採取し、クロロフィル $a$ 濃度と栄養塩 (N, P) 濃度を測定した (図1)。

図1. 試料採取地点(T1)

【結果と考察】衛星観測で得られた2022年の各月平均クロロフィル $a$ 濃度分布を図2に示す。月平均クロロフィル $a$ 濃度は、1.4～4.0 mg m<sup>-3</sup> (年平均 2.2 mg m<sup>-3</sup>) の範囲を変動しており、夏期 (7～9月) に低く、秋期から初冬 (10月から12月) にかけて増加する傾向を示した。6月から11月の船舶観測によって測定された湖面付近 (深度 0.5 m) のクロロフィル $a$ 濃度は、0.54～3.45 mg m<sup>-3</sup> (平均1.94 mg m<sup>-3</sup>) の範囲にあり、衛星観測で得られた値とほぼ同じ範囲にあった。例年、琵琶湖では春期 (5～7月) と秋期 (10月～12月) に植物プランクトンのブルームが観測されるが、本年は明瞭なブルームが観察されなかった。この原因については解析中であるが、表層における栄養塩濃度 (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + NO<sub>2</sub><sup>-</sup> : 0～2.3 μmol L<sup>-1</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> : < 0.03 μmol L<sup>-1</sup>) が、例年と比較して、年間を通じて低かったことが影響している可能性がある。

例年、琵琶湖では春季と秋季に植物プランクトンブルームが発生する。しかし、2019年と2020年に冬期全循環が停止した後、2020年に秋季ブルームが小規模化し、続く2021年にはその秋季ブルームが消失した (2020・2021年一般共同研究報告書)。さらに、本年 (2022年) は春季ブルームも観測されなくなった (図2)。これらブルームの小規模化・消失の主な要因は、温暖化に起因する成層強化・長期化に伴う深層から表層への栄養塩供給量の減少であると考えられるが、その詳細な原因についてはまだ十分に解析が進んでいない。今後、春季・秋季ブルーム消失の詳細な過程を明らかにするとともに、ブルームの消失が琵琶湖生態系にどのような影響を及ぼすのか注視していく必要がある。



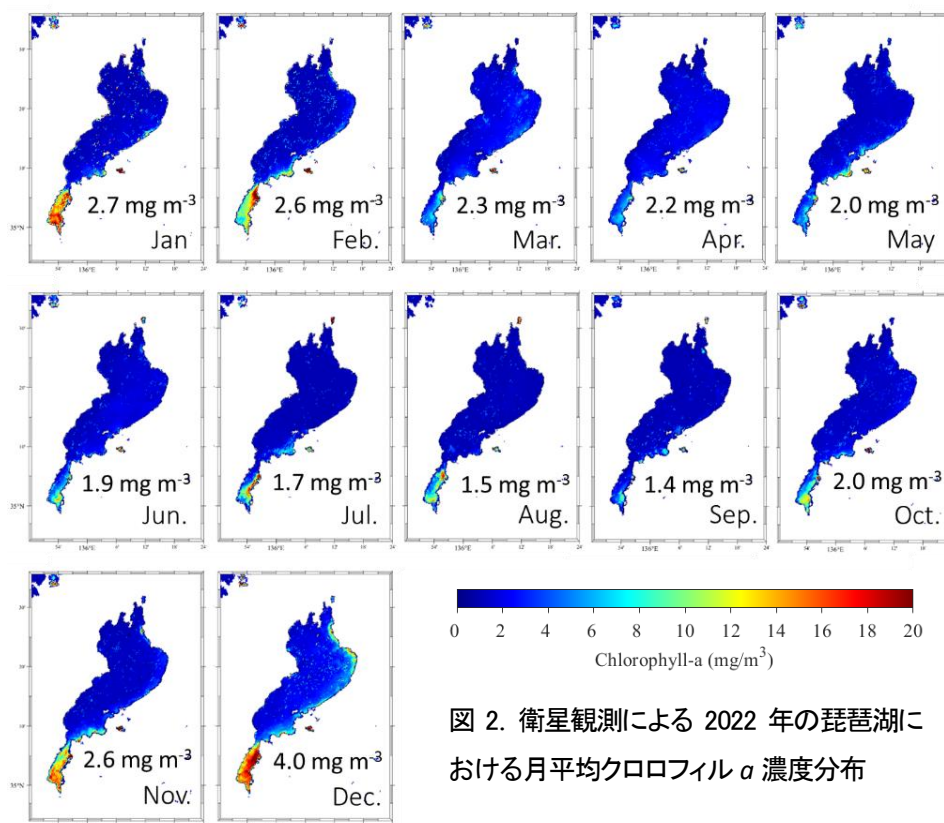


図 2. 衛星観測による 2022 年の琵琶湖における月平均クロロフィル a 濃度分布

衛星観測によって得られた2019年から2022年の月平均クロロフィルa濃度を図3に示す。本年（2022年）の月平均クロロフィルa濃度は、過去3年間の観測値と比較して、8月を除く全ての月でもっとも低くなった。また、本年の年平均クロロフィルa濃度（ $2.2 \text{ mg m}^{-3}$ ）も過去4年間（2019年： $3.7 \text{ mg m}^{-3}$ ，2020年： $3.5 \text{ mg m}^{-3}$ ，2021年： $3.3 \text{ mg m}^{-3}$ ）で最低となった。琵琶湖への全窒素（TN）と全リン（TP）の流入負荷量は1970年代から80年代にピークを示し、その後、現在まで漸減している。同様に、クロロフィルa濃度も1980年代以降は減少傾向を示している。前述の温暖化に起因する深層から表層への栄養塩供給量低下と集水域から琵琶湖へのTN・TP負荷量減少は、琵琶湖表層を徐々に貧栄養環境へと変化させ、ひいては、琵琶湖の水環境を大きく変える可能性がある。今後も引き続き、衛星観測と船舶観測を併用した植物プランクトン現存量モニタリングを実施する必要がある。

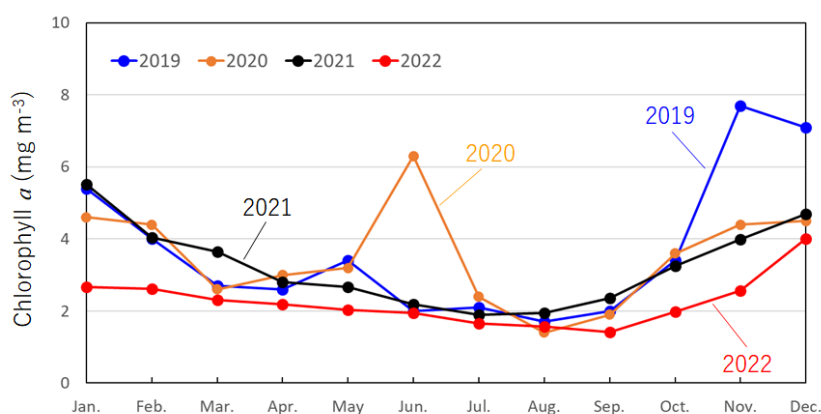


図 3. 衛星観測による近年の琵琶湖におけるクロロフィル a 濃度

【付記】本研究における衛星クロロフィルa濃度（2019年～2022年）のデータ解析処理および画像化は、株式会社サイエンスアンドテクノロジーの塚本浩貴氏と林正能氏と共同で行った。

(別紙様式 4-2)

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手法開発を試みる。

研究方法

ISEEが北極域トロムソにおいて運用するナトリウムライダーによる5ビーム観測データを使い、大気重力波のエネルギー、さらに初めての試みとなる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。比較および相互検証のため、流星エコーを利用したレーダー観測（VHFおよびMF帯の流星エコー観測）による風速観測も併用して研究を進める。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の経験から、ISEEがトロムソで共同運用するMFレーダーを利用することで、ナトリウムライダーと比肩する短周期・小空間スケールの大気波動解析が行える可能性が高いと考えている。

研究結果

大気波動エネルギーやその運動量の推定には、測定誤差の吟味が欠かせない。ナトリウムライダーによる風速データをもとに、まずは重力波解析の前段階としての品質検証を行った。併せて、トロムソMFレーダーを使った高分解能風速観測実現のため、トロムソ大学の関係者も含めたMFレーダー観測手法開発の検討を行った。本研究で行ったこれらの検討を元に、ISEE担当教員とともに科研費への応募を行ったが、残念ながら今回は採択には至らなかった。さらに検討を進めて科研費の採択につなげたい。

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る。ISEEがトロムソで運用する光学・電波観測装置をもとにその実現に向けた検討を行った。

引用文献

S. Nozawa, T. D. Kawahara, N. Saito, T. T. Tsuda, S. Wada, M. Tsutsumi, T. Takahashi, T. Kawabata, Y. Ogawa, H. Fujiwara, S. Suzuki, M. G. Johnsen, A. Brekke, The 10-year summary of the sodium lidar at Tromsø, and its future plan, ISAR-7, Tachikawa, March 6-10, 2023.

(招待講演) 堤 雅基、MFレーダーを用いた流星エコー観測の新展開、生存圏ミッションシンポジウム、宇治、2023年3月6日

(別紙様式 4-2)

フーリエ変換赤外分光器による代替フロンHCFC-142b/HFC-134aの経年変化の解析

Trend analysis of HCFC-142b and HFC-134a observed with Fourier-transform Infrared Spectrometer

中島英彰、国立環境研究所・地球システム領域

### 1. はじめに

1980年代の南極オゾンホール発見以降、科学者の集約的な研究によって、人為起源のフロン（CFC: Chloro-Fluoro Carbons）が成層圏オゾン層破壊の原因であることが突き止められ、1987年には「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」が締結され、特定フロン類の削減スケジュールが制定された。その中で、オゾン層破壊能力の強いCFCは、よりオゾン層を破壊しないHCFCやHFCへと徐々に切り替わりつつある。ところが、これらのHFCの中には地球温暖化係数が大きなものも含まれており、気候変動対策の観点からもその削減と世界的な分布のモニタリングが求められている。本研究では、地上設置フーリエ変換赤外分光計（FTIR）観測データからHCFC-142b及びHFC-134aの解析を行った。

### 2. FTIRスペクトルからのHCFC-142bの解析

HCFC-142bは、特定フロンCFC-11やCFC-12の代替物質として製造されている代替フロンのひとつである。主に発泡剤として利用されている。大気中の寿命は約18年、地球温暖化係数は2310である。1990年ごろから使用が開始されたが、塩素を含むためモントリオール議定書で2004年から規制が始まり、発展途上国でも2030年までには全廃することが決められている。本研究では1192-1195  $\text{cm}^{-1}$ 付近の中間赤外領域にあるHCFC-142bの吸収帯をFTIR分光データから解析することにより、HCFC-142bの気柱全量の導出を行った。HCFC-142bの吸収パラメータは、Toonが作成した疑似ラインパラメータを用いた。FTIRスペクトルの解析には、SFIT4と呼ばれる解析プログラムを用いた。図1にこのようにしてFTIR分光データから得られた陸別(緑)と昭和基地(青)におけるHCFC-142bの経年変化を、NOAAのBarrow(黒)、Cape Grim(灰)の地上観測の値と比較してプロットしている。2000年代以降は、FTIRの値と地上観測の値がよく一致していることが判る。

### 3. FTIRスペクトルからのHFC-134aの解析

HFC-134aは、塩素を含まない冷媒の代替物質として開発された代替フロンのひとつである。主にカーエアコンの冷媒として利用されている。大気中の寿命は約14年、地球温暖化係数は1430である。1990年代半ばから使用が開始されたが、こちらは地球温暖化防止の観点から、京都議定書のキガリ改正で2015年から先進国における規制が始まった。本研究では1175-1200  $\text{cm}^{-1}$ 付近の中間赤外領域にあるHFC-134aの吸収帯をFTIR分光データから解析することを試みた。HFC-134aの吸収パラメータは、Toonが作成した最新の疑似ラインパラメータを用いた。FTIRスペクトルの解析には、SFIT4と呼ばれる解析プログラムを用いた。図2にFTIR分光データのSFIT4によるfittingの結果を示す。今後、fittingパラメータを改善することにより、HFC-134aの経年変化の様子を導出していく予定である。

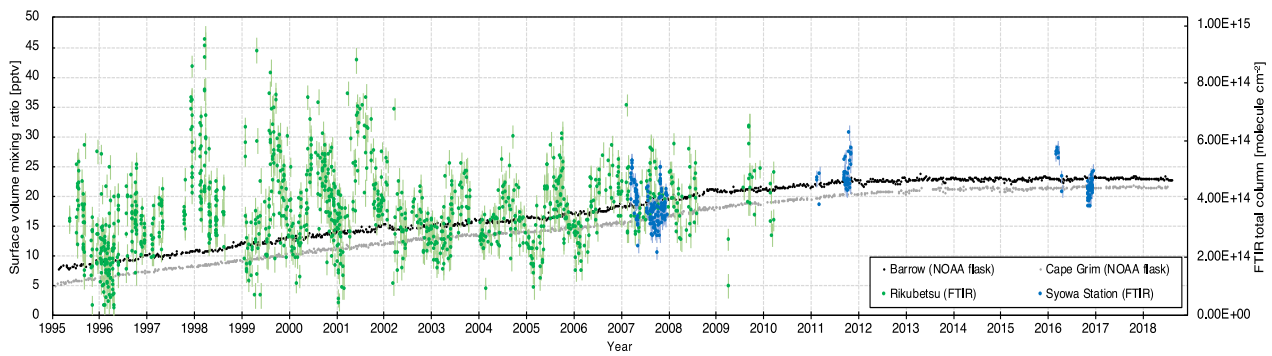


図1 HCFC-142bの経年変化の様子

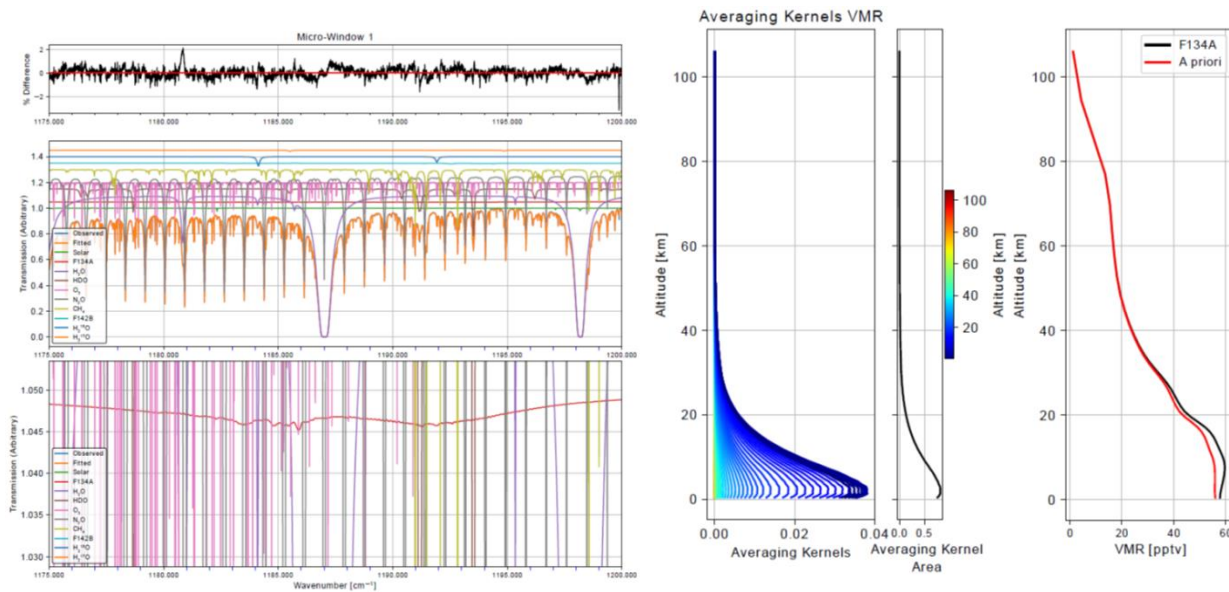


図2 HFC-134aのスペクトルフィッティングの結果

#### 4. 成果発表

Hannigan, J. W., I. Ortega, S. B. Shams, T. Blumenstock, J. E. Campbell, S. Conway, V. Flood, O. Garcia, D. Griffith, M. Grutter, F. Hase, P. Jeseck, N. B. Jones, E. Mahieu, M. Makarova, M. De Maizière, I. Morino, I. Murata, T. Nagahama, H. Nakajima, J. Notholt, M. Palm, A. Poberovskii, M. Rettinger, J. Robinson, A. N. Röhlings, M. Schneider, C. Servais, D. Smale, W. Stremme, K. Strong, R. Sussmann, Y. Te, C. Vigouroux, and T. Wizenberg (2022), Global atmospheric OCS trend analysis from 22 NDACC stations, *J. Geophys. Res.-Atmosphere*, 127, e2021JD035764, doi:10.1029/2021JD035764.

Nakajima, H., A. Mizuno, and T. Sugita, “Japanese NDACC-related activities since last NDACC Steering Committee Meeting in 2021”, NDACC Steering Committee Meeting, Paris, France, September 28, 2022.

Nakajima, H., “Report on 2022 NDACC Steering Committee Meeting (2022.9.26-30, Paris, France)”, 第5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（名古屋）、2023年3月8日

### 【研究目的】

太陽風磁気ロープは太陽コロナの爆発現象（フレアやCME）によって生成され、コロナの磁場を運び出す。その磁場構造は太陽活動領域の磁場構造を反映し、また地球磁気圏のダイナミクスを強くコントロールする。このため、人工衛星観測で得られた太陽風データから磁気ロープ構造を選び出し、その磁場構造を決定する解析が広く行われている。解析手法としては、force-free磁場で記述される磁気ロープモデルにfittingする方法（FF法と呼ぶ）と、2次元的な磁場配位の特性から得られるGrad-Shafranov方程式による記述を応用した方法（GS法と呼ぶ）の2つの手法が広く受け入れられている。

この2つの手法はそれぞれ異なる仮定に基づいており、一長一短がある。FF法はforce-freeモデルを使用するという強い制限があるが、磁気ロープの膨張・収縮のようなダイナミクス効果が組み入れられている。一方、GS法ではダイナミクスが十分に考慮されず、観測データが示す磁場変化がすべて空間的な構造に起因するものとして扱われるという問題があるが、磁気ロープの断面構造については制約的な仮定なしに計算されるという優れた解析手法になっている。

この研究課題の目的は、FF法とGS法を組み合わせることで磁気ロープ構造の解析を高度化することである。具体的には、ダイナミクス効果を扱えるようにGS法を拡張し、磁気ロープ断面の形状を仮定しなければならないというFF法の制限を緩和した解析手法を開発する。

### 【GS法の拡張】

FF法では観測された磁気ロープの磁場変化は、空間的な変化（構造）を衛星が通過するために観測される磁場変化と、ダイナミクスによる時間的な変化の合成と考えてfittingを行う。このため、ある時刻（たとえば、衛星が磁気ロープにはじめて接触した時刻）における磁気ロープを記述するパラメータ群を未知数として、観測された磁場変化を説明するようにダイナミクスを求めている。従来のGS法では観測された磁場変化がすべて空間的な磁場変化（構造）と考えて計算するために、ダイナミクスの効果は誤差要因になってしまう。これを避けるためには、すべての時刻における観測データを、磁気ロープが衛星とはじめて接触したときの状態を保持していた場合に（ダイナミクス効果がないとした場合に）観測される値に引き直し、その「修正されたデータ」についてGS法を適用すればよい。

図1は2000年7月15日に観測された磁気ロープのFF法によるfitting結果を観測データに重ねてプロットしたものである。この磁気ロープに対して従来のGS法に従ってベクトルポテンシャル（A）とtransverse pressure（Pt）それぞれの変化と相互の関係を計算すると、図2のようになる。GS法の計算が正しくなされるための要請は、図2bで赤点を繋いだグラフと青点を繋いだグラフが一致することである。物理的には衛星が磁気ロープの軸に向かって侵入する部分での観測（赤）と外に向かった出ていく部分での観測（青）で、P\_vs\_Aが一致するという要請であるが、両者のずれが無視できない。拡張したGS法で計算した結果が図3である。P\_vs\_Aが大きく改善されていることがわかる。

### 【研究結果と考察】

- （1）膨張する磁気ロープを正しく解析するための{拡張GS法}が開発できた。
- （2）ここで示した磁気ロープの観測例について、従来のGS法では大きな誤差を容認する必要があることがわかる。
- （3）今後、多くの磁気ロープ観測例について解析を行い、GS法の適用可能条件を明らかにすることが望まれる。特に、従来のGS法が広く使われてきたことを考えると、その結果を再検討する必要があると思われる。

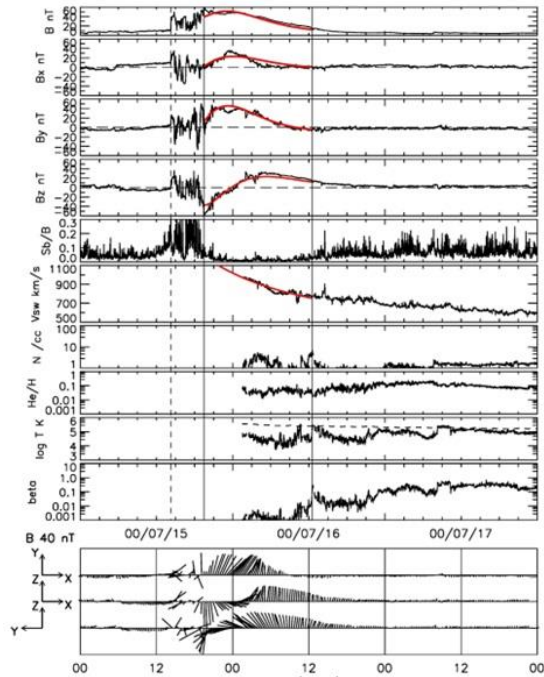


図1 2000-July-15に観測された磁気ロープ。赤線はFF法fitting結果

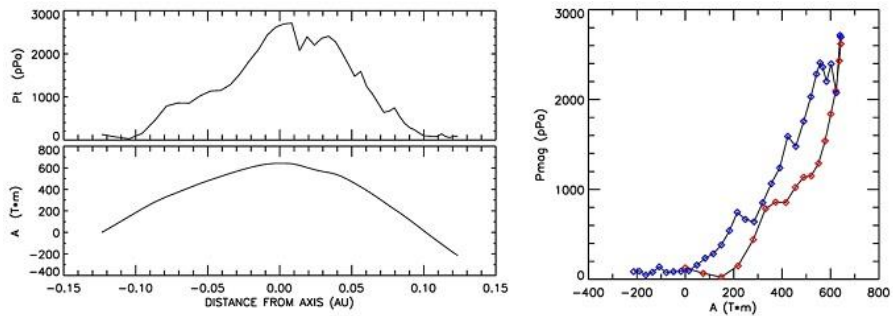


図2 従来のGS法で計算したベクトルポテンシャル (A) とPt, Pmag

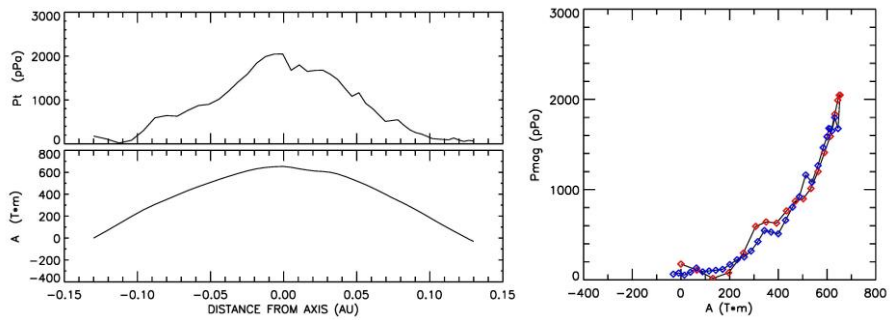


図3 拡張したGS法によるベクトルポテンシャル (A) とPt, Pmag



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

太陽からの放射は太陽地球圏環境に大きな影響をもたらしている。主に地球圏環境に影響を与えている太陽放射はX線や極紫外線 (EUV) であり、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おり、また、衛星データは観測波長や観測ケーデンスも限られている。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とは変動にズレがあることが分かってきた。

そこで本研究では、F10.7 に近いマイクロ波放射の観測を多周波数で行っている野辺山強度偏波計 (NoRP) のデータを用いて紫外線量を推測するアルゴリズムの構築を目指している。本研究を行うにあたって、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。

まず昨年度は、太陽の平穏時の NoRP の4つの周波数 (1, 2, 3.75, 9.4 GHz) の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 と SDO/EVE の衛星観測データを用いた。TIMED/SEE は 0.5-190 nm の範囲の紫外線放射スペクトルを 1 nm の分解能で、SDO/EVE は 1-1060 Åの範囲の放射を 1Åの分解能で観測している。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 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、どの周波数のマイクロ波放射においても、短波長の紫外線放射との相関がよく、長波長 (>130 nm) になるほど相関が悪くなった。紫外線の波長に関わらず、彩層起源のライン放射を多く含む放射波長ではマイクロ波放射との相関が異なり、相関係数も悪くなる様相が見られた。

太陽の紫外線放射スペクトルの中にはコロナ起源のものと彩層起源の放射が混ざっているため、コロナ起源の放射が主であると考えられるマイクロ波放射のみで幅広い波長域の紫外線放射スペクトルを再現するのは難しい。そこで上記の結果を踏まえ、今年度は機械学習の手法を用いて、どの周波数がどの紫外線波長の放射に寄与しているのかについて調べてた。その結果、55 nm 以下の短波長の紫外線では 2 GHz の寄与率が高く、55 nm 以上では 1 GHz の寄与と 2 GHz の寄与がほぼ同等になるという結果が得られた。また FUV である>130 nm では 3.75 GHz の寄与も大きくなっている様相が見られた。これらの寄与率は太陽活動度によって少々変化するが、寄与している周波数にはあまり変動が見られなかった。以上のように、紫外線放射に寄与している電波放射の周波数は様々であったが、これらの組み合わせによって、紫外線放射スペクトルは相関係数0.9以上の相関で再現できた。

これまでは、太陽活動周期における太陽紫外線放射とマイクロ波放射の関係を調べてきたが、実際は太陽フレア時の放射の方が太陽地球圏環境への影響が大きいため、来年度はフレア時におけるマイクロ波放射と紫外線放射スペクトルの関係を探っていく。太陽フレア時には、電波はジャイロシンクロトロン放射が加わり、紫外線もフレア特有の高温イオンによるライン放射が出てくるため、これらの再現には機械学習の手法を用いてアプローチしていく予定である。



## 成果発表

1. Shohei Nishimoto, Kyoko Watanabe, Hidekatsu Jin, Toshiki Kawai, Shinsuke Imada, Tomoko Kawate, Yuichi Otsuka, Atsuki Shinbori, Takuya Tsugawa, Michi Nishioka, "Statistical analysis for EUV dynamic spectra and their impact on the ionosphere during solar flares", Earth, Planets and Space, 75, Article number: 30 (2023)
2. Kosuke Namekata, Shin Toriumi, Vladimir S. Airapetian, Munehito Shoda, Kyoko Watanabe, Yuta Notsu, "Reconstructing the XUV Spectra of Active Sun-like Stars Using Solar Scaling Relations with Magnetic Flux", The Astrophysical Journal, 945, 147 (2023)
3. 渡邊恭子, 西本将平, 陣英克, 河合敏輝, 今田晋亮, 川手朋子, 大塚雄一, 新堀淳樹, 津川卓也, 西岡未知, "Statistical analysis for EUV dynamic spectra and their impact on the ionosphere during solar flares", JpGU Meeting 2022, Makuhari (Virtual), 2022年5月23日
4. 北島慎之典, 渡邊恭子, 荒尾宗睦, 西本将平, 陣英克, 埜千尋, 西岡未知, "The response of the Earth's ionosphere due to X-ray and EUV emissions from solar flares", JpGU Meeting 2022, Makuhari (Virtual), 2022年5月23日
5. 渡邊恭子, 河埜光貴, 城戸雄太郎, 伊野蒼汰, 北島慎之典, 西本将平, 下条圭美, 増田智, "Relationship between solar cycle variation of solar radio and EUV spectra", JpGU Meeting 2022, Makuhari (Virtual), 2022年5月31日
6. Kyoko WATANABE, Shinnosuke KITAJIMA, Shohei NISHIMOTO, Masumi SHIMOJO, Kosuke NAMEKATA, Satoshi MASUDA, "Relationships Between Microwave and EUV Spectra in Solar Cycle Variations and Their Estimation by Machine Learning", AOGS2022 19th Annual Meeting, Virtual, 2022年8月4日
7. Shohei NISHIMOTO, Kyoko WATANABE, Hidekatsu JIN, Shinsuke IMADA, Toshiki KAWAI, Tomoko KAWATE, Yuichi OTSUKA, Atsuki SHINBORI, Takuya TSUGAWA, Michi NISHIOKA, "EUV Dynamic Spectra of Large Solar Flares and Their Impact on the Ionosphere", AOGS2022 19th Annual Meeting, Virtual, 2022年8月4日
8. Shinnosuke KITAJIMA, Kyoko WATANABE, Shohei NISHIMOTO, Hidekatsu JIN, Chihiro TAO, Michi NISHIOKA, "The Variation of the Earth's Ionosphere Due to the Sudden Increase of X-ray and EUV Emissions From Solar Flares", AOGS2022 19th Annual Meeting, Virtual, 2022年8月4日
9. 北島慎之典, 渡邊恭子, 陣英克, 埜千尋, 西岡未知, "GAIAによる太陽フレア放射スペクトルの通信障害への影響評価", 日本天文学会2022年秋季年会, 新潟大学, 2022年9月13日
10. 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EUV放射スペクトルの予測", 第151回SGEPSS総会および講演会, 相模原, 2022年11月4日
11. 北島慎之典, 渡邊恭子, 西本将平, 陣英克, 埜千尋, 西岡未知, "Scale estimation of the Dellinger phenomenon using the GAIA model", 第151回SGEPSS総会および講演会, 相模原, 2022年11月5日
12. Kyoko Watanabe, Shohei Nishimoto, Hidekatsu Jin, Toshiki Kawai, Shinsuke Imada, Tomoko Kawate, Yuichi Otsuka, Atsuki Shinbori, Takuya Tsugawa, Michi Nishioka, "EUV Dynamic Spectra of Large Solar Flares and Their Effects on Total Electron Content", 2022 AGU fall meeting, 2022年12月13日
13. Shinnosuke Kitajima, Kyoko Watanabe, Shohei Nishimoto, Hidekatsu Jin, Chihiro Tao, Michi Nishioka, "Effects of solar flare X-ray, EUV, and Lyman-alpha emissions on the Dellinger phenomenon", 2022 AGU fall meeting, 2022年12月13日
14. Kyoko Watanabe, Mamoru Maeda, Shohei Nishimoto, Shinnosuke Kitajima, Masumi Shimojo, Kosuke Namekata, Satoshi Masuda, "Relationship between Microwave and EUV Emission in Solar Cycle Variations and Prediction of Solar EUV Emission Spectrum by Machine Learning Method", 2022 AGU fall meeting, 2022年12月16日
15. 北島慎之典, 渡邊恭子, 陣英克, 埜千尋, 西岡未知, "GAIAを用いたデリンジャー現象に影響する太陽フレア放射スペクトルの評価", 2022年度太陽研連シンポジウム, 名古屋大学, 2022年2月20-22日
16. 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, "太陽フレア時と非フレア時における電波とEUV放射スペクトルの関係", 2022年度太陽研連シンポジウム, 名古屋大学, 2022年2月20-22日
17. 北島慎之典, 渡邊恭子, 陣英克, 埜千尋, 西岡未知, "GAIA と  $F_X$  を用いたデリンジャー現象の規模推定", 日本天文学会2023年春季年会, 立教大学, 2023年3月14日
18. 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", 日本天文学会2023年春季年会, 立教大学, 2023年3月15日

あらせ衛星による波動・粒子観測データを用いた内部磁気圏重イオン分布に関する研究  
Study on the heavy ion distribution in the inner magnetosphere: Arase observation

松田昇也 金沢大学理工研究域

地球内部磁気圏を満たす超熱的プラズマは、その大部分が電子と水素イオン（あるいはヘリウムイオン）から成ると考えられているが、米国の「Dynamic Explorer 1」や日本の「あけぼの衛星」の観測によると、特に電離圏高度に近いプラズマ圏深部では、1価の酸素イオンや2価の酸素イオンの組成比が増加することが報告されている。また、地磁気脈動周期の測定から、地球半径の4-5倍程度の領域にも「酸素イオントラス」と呼ばれる領域が存在することが指摘されている。これらの超熱的重イオンは科学衛星による直接観測が容易ではなく、空間分布や地磁気活動・太陽活動との関連性、プラズマ波動伝搬に与える影響などは研究の途上である。本研究では、これらの重イオンがプラズマ波動の伝搬に与える効果を評価するために、電磁イオンサイクロトロン（EMIC）波動の伝搬経路を逐次計算するレイトレーシングプログラムの整備を行った。宇宙プラズマ中の主要なイオン（水素イオン、ヘリウムイオン、酸素イオン）に加え、2価のヘリウムイオンや2価の酸素イオンといった任意の電荷質量比のマイナーイオンを考慮した計算を組み込み、伝搬経路を可視化するとともに、分散関係( $\omega$ - $k$ ダイヤグラム)上に反射条件を図示することを可能とした。また、実際の観測データとの比較に向けたEMIC波動観測例の収集のために、あらせ衛星の低周波プラズマ波動およびプラズマ粒子計測データを高い時間精度で長時間連続観測可能な「EMIC-WPIAモード」の運用戦略を立案し実施した。あらせ衛星の遠地点が昼～夕頃の磁気地方時を通過する時期を狙ってEMIC-WPIAモードを実施し、数例のEMIC波動観測例を得た。第25太陽活動周期の極大に向かう時期であり、地磁気活動度毎の比較に有用なデータセットとなり得る。今後は観測を継続するとともに、観測で得られた結果をレイトレーシングの入力としてより精密なプラズマ波動伝搬を計算することや、EMIC波動と内部磁気圏重イオン・相対論的電子との関わりを理論計算と観測の両側面から紐解いていくことを目指したい。

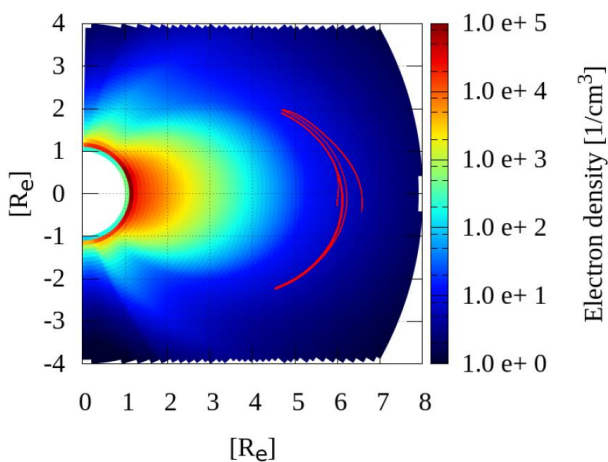


図. EMIC波動のレイトレーシング結果

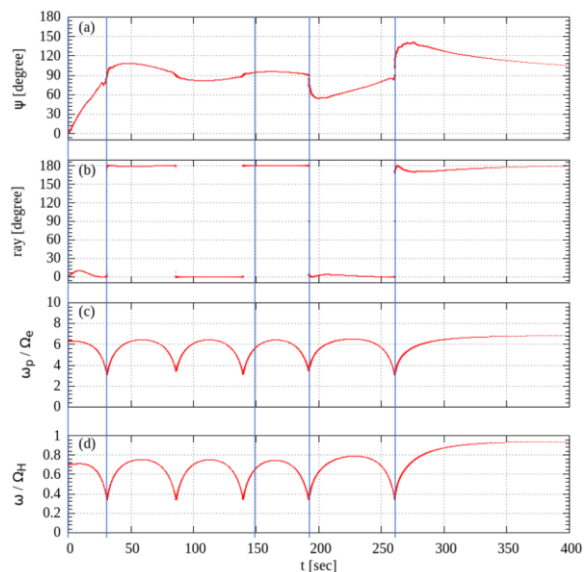


図. レイトレーシングによるEMIC波動の伝搬特性

(別紙様式 4-2)

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ている。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Hal1-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、具体的には申請者の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的としている。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を行う。CoToCoAには、このような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が、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かった。また、CoToCoAのVersion2において、相互作用機能が一部実装されたが、この機能だけでは、本研究が想定している重合格子化を行えなかったため、本年度ではCoToCoAに新規機能を追加した。重合格子化には結合するコード間でデータの相互参照が必須となるため、お互いのコードから相互参照可能なバッファを考え、その基本機能の開発を行った。このバッファにそれぞれのコードにおける重合する部分をコピーすることで、複雑な並列構造や通信をコードに書くこと無く、データの相互参照が可能となる。これまでにバッファの正常動作確認ができており、さらに複数のバッファの実装方法による動作速度の評価を行った。これらの結果は、情報処理学会のHPC研究会やSTEシミュレーション研究会で成果報告を行っている。

・学会発表

Zhou Jingde, 深沢 圭一郎, 南里 豪志, Development of the data buffer holding time-series data across multiple applications, STEシミュレーション研究会: 次世代HPCにおけるSTPシミュレーション・RISH電波科学計算機実験(KDK)シンポジウム合同研究集会、京都、2023年3月8日-10日

・論文リスト

(査読無し) Zhou Jingde, 深沢圭一郎, 南里豪志, 異なるアプリケーション間で共有される時系列情報を保持可能なデータバッファの研究開発, 情報処理学会研究報告, 2022-HPC-187(16), 1-8, 2022.

(別紙様式 4-2)

共鳴散乱ライダーシステムにおける絶対周波数基準の為の飽和分光実験  
Saturation spectroscopy experiments for absolute frequency standards  
in resonance scattering lidar systems

津田卓雄，電気通信大学 大学院情報理工学研究科

## 研究目的

地球超高層領域は、地球大気から宇宙空間への遷移領域であり、地球と宇宙の関係性の解明や人工衛星に代表される地球近傍宇宙空間の高度利用の観点で環境計測が不可欠な領域である。超高層領域の環境計測手段として、流星由来の金属原子層 (Na, K, Li, Ca, Fe, etc.) を観測対象とした共鳴散乱ライダーが挙げられる。共鳴散乱ライダーは、金属原子・イオンの共鳴線を利用したレーザーセンシング (アクティブ計測) であり、対象原子の密度・温度・速度を高精度・高分解能で観測可能な計測システムである。

共鳴散乱ライダーによる温度・風速の観測原理は、原子・イオン共鳴線スペクトルのドップラー幅から温度の情報を、ドップラーシフトから速度の情報を得るというものである。その為には、送信レーザーの絶対周波数 or 絶対波長を 8-9 桁程度の高精度 (<10 MHz 程度 or <10 fm 程度) で制御することが求められる。この為に必要な絶対周波数基準を独自の飽和分光実験によって得ることが本研究の目的である。特に、Na (589 nm), K (770 nm), Rb (780 nm) の 3 種について飽和分光実験を行うことで、可視から近赤外領域において <10 MHz の精度で絶対周波数基準を得ることを目指す。

## 研究進展状況

Na 飽和分光を中心に研究を進めた。特に、近赤外波長の 2 種の分布帰還型 (distributed feedback: DFB) レーザーを混合して和周波発生で得た数  $\mu\text{W}$  の低出力 589 nm 光源を用いた Na 飽和分光に挑戦した。DFB レーザーは、従来レーザー光源と比べて、波長選択性や安定性の観点で利点があるが、和周波発生で得られる出力が低いことが難点である。この点を克服したシステムの検討に向けて、飽和分光実験をシミュレーションする為の理論モデルを構築した。具体的には、Na 超微細構造の理論に基づき、Na 飽和分光実験における Na 蒸気セル内の Na 原子エネルギー遷移について、先行研究を参考にしながら独自にモデル化し、設定パラメータを変化させて Na 飽和条件を詳細に検討できるようにした。並行して、飽和分光実験の光学系の構築を行い、DFB レーザーの電流と温度を制御し、589 nm 光源の周波数スキャンを行った。初期実験の結果としては、Na  $D_2$  線の固有の構造であるダブルピーク構造を得ることができたが、絶対周波数基準の為の Lamb-dip や crossover-peak を十分に発生させることは困難であった。要因と考えられるスキャン分解能とレーザー強度について改善を行った。スキャン分解能は、分解能の高い直流電源を導入し、それを 1319 nm DFB レーザーに直接印加することで、1  $\mu\text{A}$  ステップ (周波数換算で 1 MHz 相当) の電流スキャンを実現した。レーザー強度は、レーザー (589 nm のコヒーレント光) のビーム径に着目して、ビーム径を変化させることで生じるレーザー強度の面積密度と移流効果の相互関係を理論シミュレーションで明らかにし、ビーム径の縮小が効果的であることを見出した。この結果を踏まえ、飽和分光系におけるレーザー伝搬軸に凸レンズを追加して、ビーム径を縮小させることでレーザー強度の面積密度を増加させる光学系を開発し、最終的に 6  $\mu\text{W}$  のレーザー出力で Lamb-dip と crossover-peak を発生させることに成功した。

取得した Lamb-dip と crossover-peak の実験結果について、理論シミュレーションを用いて性能評価を行った結果、本研究で開発した飽和分光システムの絶対周波数の精度は約 30 MHz と推定され、目標精度 (<10 MHz 程度) の達成には至らなかった。絶対周波数精度の更なる改善に向けた考察から、今後の改善策として、DFB レーザーの環境温度制御の必要性を提案した。

## 赤潮モニタリングのためアルゴリズム開発 Algorithm development for red tide monitoring

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

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. But, 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 water pollution, eutrophication, red tide, blue tide, and water hypoxia. They cause ecosystem/biodiversity destructions, fish mortality, livelihood/economic losses, and adverse societal impacts (severe illness and fatalities to humans).

Eutrophication is an increasing rate of nutrient load to aquatic environments (Nixon, 1995) that leads to red tide, an unusual phytoplankton bloom of a dominant species (Anderson, 1994). Red tide, due to dead phytoplankton cells, frequently ends up with coastal water hypoxia. Anoxic bottom waters can also be generated by a large supply of organic pollutants favoring sulfide generation by anaerobic bacteria. Blue tide occurs when the anoxic and sulfide-rich bottom water rises to the surface layer (Higa et al., 2020). Eutrophication and 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 eutrophication and associated issues like 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, Manilla 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., 2020; Luang-on et al., 2023). Among the Japanese coastal waters, the Ariake Sea and Tokyo Bay are the waters frequently affected by red tides. While the red tide in the Ariake Sea is frequently caused by raphidophyte *Chattonella* *sp.* (Feng et al., 2020), in Tokyo Bay, it is caused mainly by the dinoflagellate group (Kusano, 2019). Recently in October 2021, a devastating red tide also occurred in the waters southeast of Hokkaido caused by dinoflagellate *Karenia selliformis* (Kuroda et al., 2023).

### 2. Objectives

Rapid coastal water monitoring of eutrophication, red tide, and blue tide is thus required. But, 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 afforded by satellite remote sensing. To fully exploit remote sensing technology (for scientific and practical purposes,) establishing an end-user-friendly system from which the end-users can access the data easily and freely is very important. A near-real-time monitoring system with a high spatial resolution (250 m) is highly required by scientific communities, local societies, and relevant stakeholders in Southeast Asian countries to address the environmental and ecological adverse impacts of eutrophication, red tide, and blue tide.

Considering that to date, 1) there is no satellite observation-based near-real-time monitoring system covering the entire Asian waters, despite suffering from eutrophication and frequent red tide occurrence, and 2) addressing environmental and ecological adverse impacts of eutrophication, red

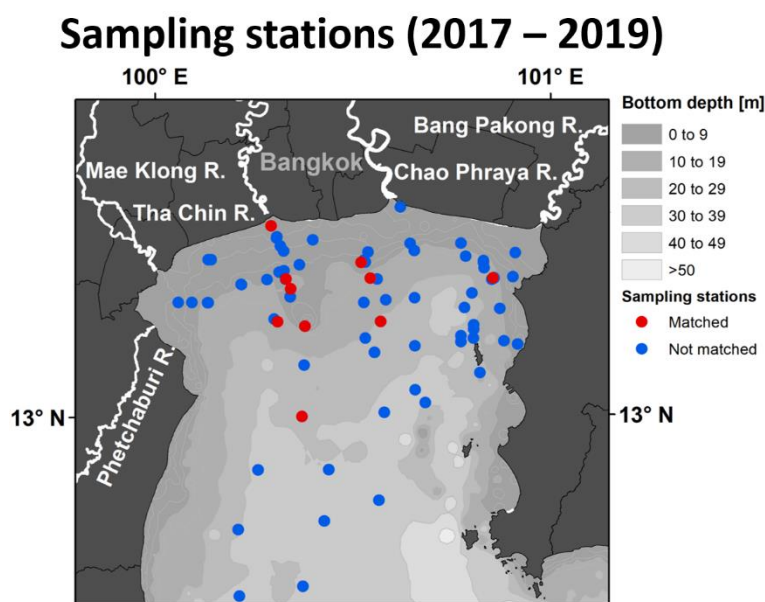
tide, and blue tide is also relevant to many targets of the United Nation-Sustainable Development Goals (UN-SDGs) 3, 6, 13, and 14, we are therefore proposing a research activity with the objectives are to; 1) develop eutrophication, red tide, and blue tide algorithms for Second Generation Global Imager (SGLI) onboard Global Change Observation Mission–Climate (GCOM-C), 2) develop SGLI observation-based near-real-time monitoring system (hereafter NRT-OS), and 3) implement developed algorithms (eutrophication, red tide, blue tide) into the SGLI observation-based NRT-OS being proposed.

### 3. Tentative Results

#### 3.1. SGLI verification

##### *Upper Gulf of Thailand*

Version 3 of the SGLI remote sensing reflectances (Rrs) were verified using in situ Rrs collected in the upper Gulf of Thailand (uGoT). Of 100 in situ Rrs data collected within the 2017~2019 period only 15 pairs of in situ-SGLI data are available after the 1<sup>st</sup> screening with  $\pm 24$ -hr time window, 3-by-3 pixel averaging, and applying flags of DATAMISS, LAND, ATMFAIL, CLDICE, HIGLINT, and HISOLZ.



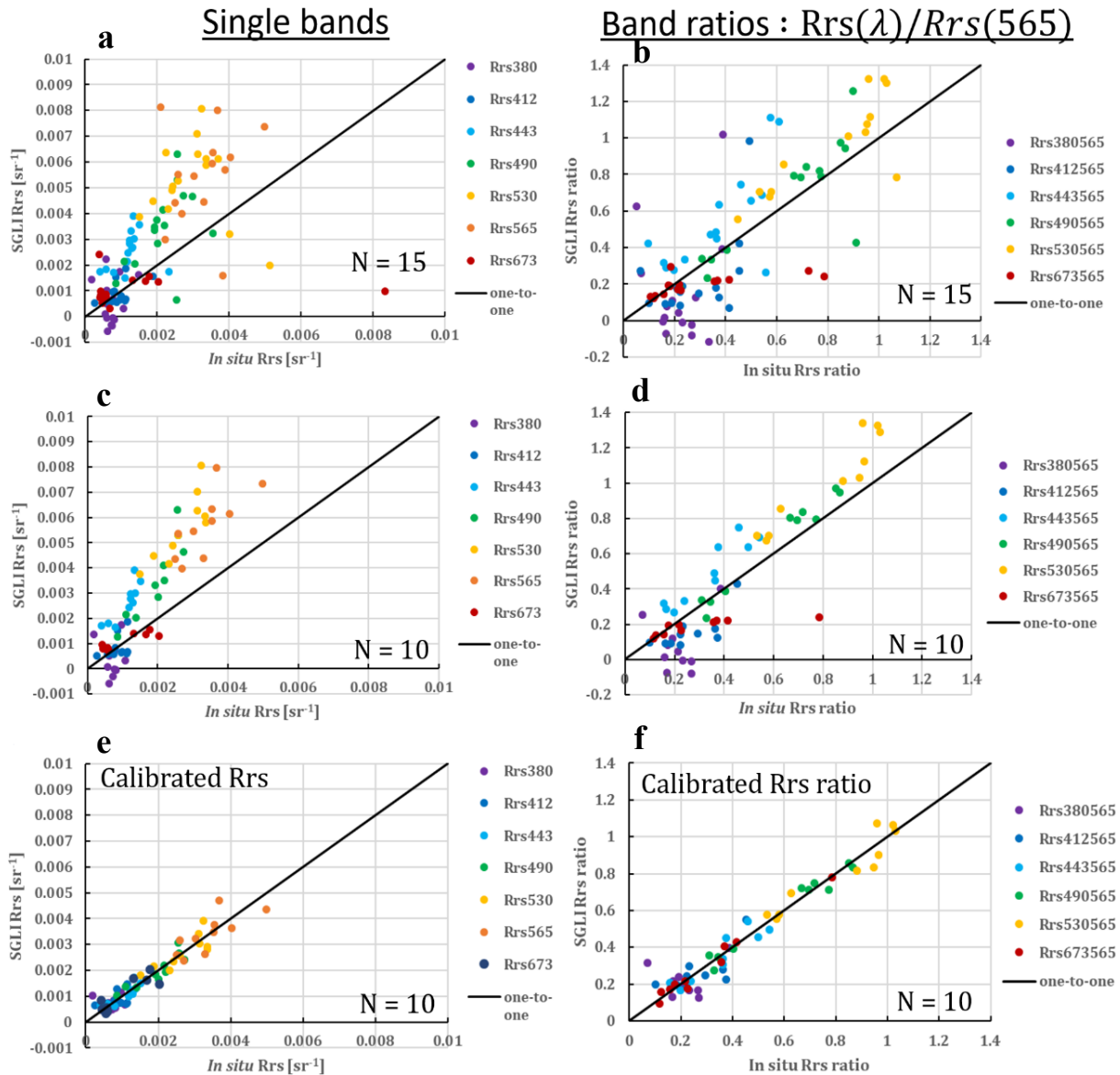
**Figure 1.** Sampling stations in the uGoT where in situ Rrs data (blue dots, N=100) were collected within the period from 2017 to 2019. Red dots indicate the stations where pairs of in situ and SGLI Rrs data are available (N=10) after the SGLI data quality screenings (Bailey and Werdell, 2006).

In general, from the 15 pairs of in situ-SGLI data, the SGLI Rrs overestimated in situ Rrs (**Figure 2a**), especially Rrs at 443 nm, 490 nm, 530 nm, and 565 nm (hereafter Rrs443, Rrs490, Rrs530, and Rrs565). The main input of the empirical phytoplankton chlorophyll-a (Chl-a) algorithm, the blue to green band ratios ( $Rrs_{\lambda}/Rrs_{565}$ ) were also compared and showed SGLI data overestimation (**Figure 2b**).

To ensure high-quality SGLI Rrs the 2<sup>nd</sup> screening following Bailey and Werdell (2006) i.e., the number of good pixels (NGP) within 3 by 3 pixels  $> 5$  pixels; mean within NGP is within  $\pm 1.5x$  RMS of the median; and the coefficient of variation of selected pixels  $< 0.15$ . After the 2<sup>nd</sup> screening was applied, the total numbers of in situ and SGLI Rrs data pairs decreased to 10 match-ups (**Figure 1**). However, even after performing the 2<sup>nd</sup> screening with 10 pairs of data, both the SGLI Rrs and blue-to-green band Rrs ratios were still overestimated (**Figure 2c, d**). To improve the accuracy of SGLI Rrs data, they were then corrected to best fit in situ Rrs by employing Type-II regression following Luang-on et al. (2021).

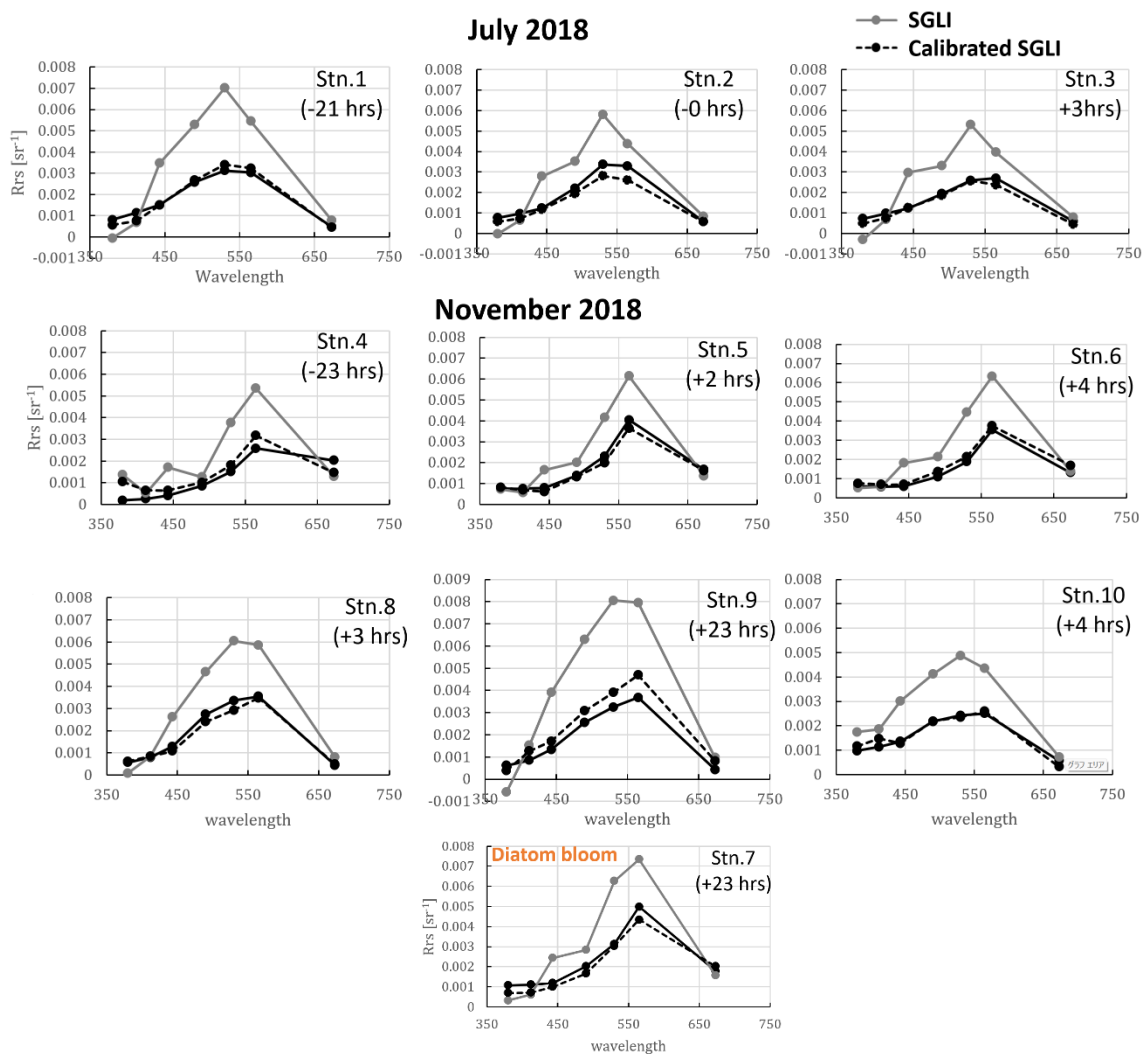


**Figure 3** shows a comparison of in situ and SGLI Rrs in terms of their spectral shapes. Original SGLI Rrs mainly overestimated in situ Rrs at bands 443 nm ~ 565 nm. After correction using Type-II regression, SGLI corrected Rrs are in close agreement with in situ Rrs. These results thus indicate that SGLI Rrs in the uGoT should be corrected before developing local ocean color algorithms (Chl-a, red tide, etc.) for the uGoT.



**Figure 2.** Comparison of in situ and SGLI Rrs (left column) and Rrs blue to green (565) band ratio (right column). The top graphs are those derived after applying SGLI data quality 1<sup>st</sup> screening (N=15). The middle graphs are those after applying the 2<sup>nd</sup> screening (N=10) following Bailey and Werdell (2006). The bottom graphs are those after corrections were made employing the Type-II regression.



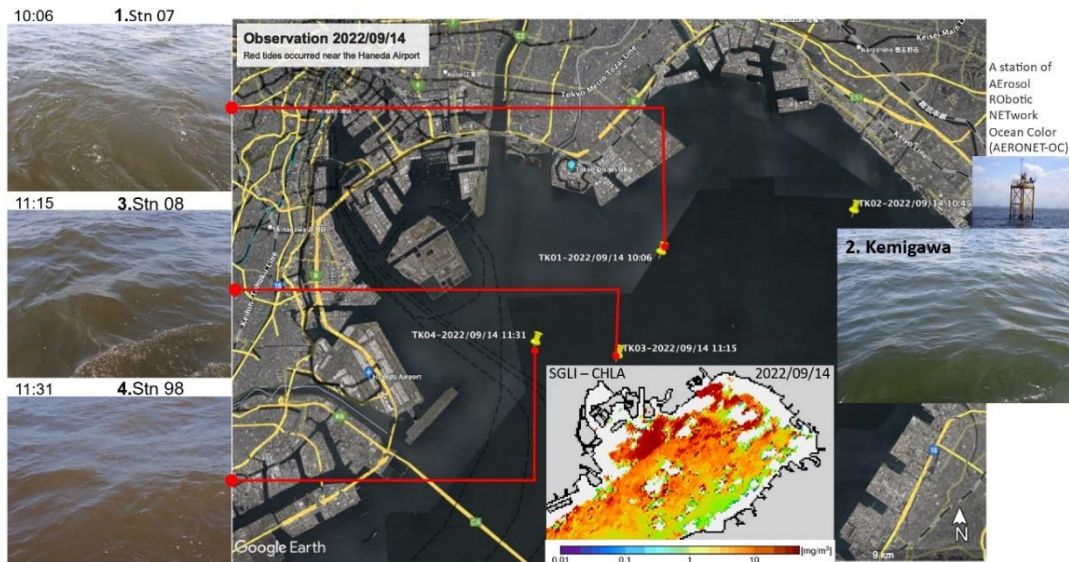


**Figure 3.** Spectral shapes in situ and SGLI Rrs from the uGoT (N=10). The 10 pairs of in situ and SGLI Rrs data were obtained after the SGLI Rrs data quality screenings (Bailey and Werdell, 2006). The gray line with dots indicates the original SGLI Rrs. The black solid line with dots indicates in situ Rrs, whereas the black dashed line with dots indicates corrected SGLI Rrs.

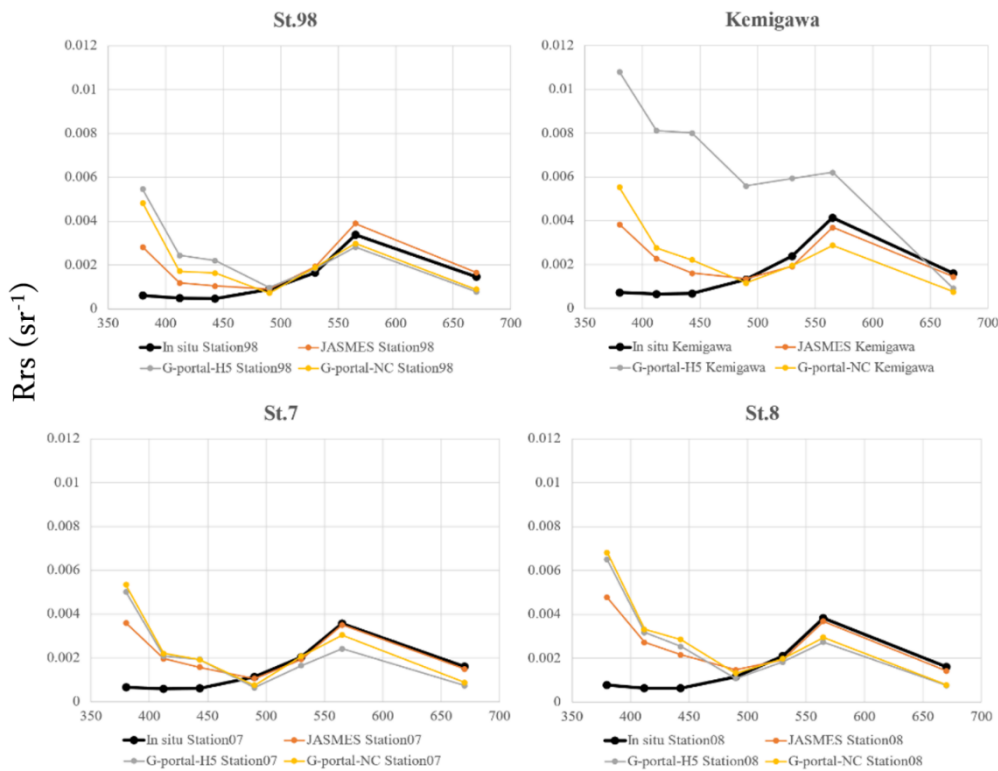
### Tokyo Bay

In situ observation was carried out in Toko Bay in September 2022. Due to bad weather conditions, only 4 pairs of in situ and SGLI data were available (**Figure 4**). The observation was carried out during phytoplankton bloom (see SGLI Chl-a image in **Figure 4**). The color of surface water during observation is brownish green in stations 07, 08, and 98, but rather green at station Kemigawa AERONET-OC.

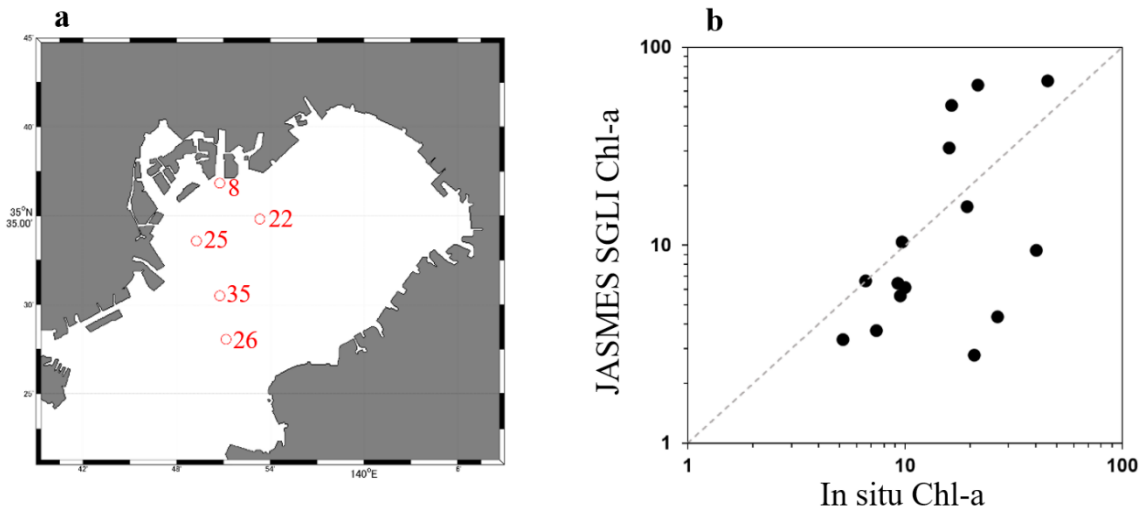
Comparing the Rrs spectral shapes, it is clear that all versions of SGLI Rrs overestimated in situ Rrs at bands 380 nm, 412 nm, and 443 nm (**Figure 4**). SGLI Rrs, especially the JASMES version, are in good agreement with in situ Rrs. Correction on the SGLI Rrs is thus necessary for better ocean color parameter retrieval or red tide detection in Tokyo Bay.



**Figure 4.** Stations (yellow pins) visited on September 14 in situ observation in Tokyo Bay. The photos show the color of surface water taken at 4 stations. The SGLI Chl-a image shows that observation was conducted in high Chl-a waters.



**Figure 5.** Spectral shapes in situ and SGLI Rrs from the Tokyo Bay (N=4). There is no flags applied to SGLI Rrs. The gray line with dots indicates the original SGLI Rrs. The black solid line with dots indicates in situ Rrs, whereas the orange dashed line with dots indicates JASMES version of SGLI Rrs. The yellow and gray lines with dots are G-portal version of SGLI Rrs extracted using different ways (yellow for mean within 3 by 3 pixels vs gray for mean within 750 by 750 m boxes).



**Figure 6.** (a) Location of stations (no. 8, 22, 25, 26, and 35) where in situ Chl-a data were collected by Tokyo Bureau of Environment (<https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/>) during the 2019-2010 period. (b) Scatter plot comparing JASMES SGLI Chl-a with in situ Chl-a collected at stations in (a). Winter data are not included in this comparison.

Tokyo Bureau of Environment (<https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/>) is carrying out routine observations every year in Tokyo Bay (**Figure 6a**). However, they are not collecting water optical property data. There are more stations in the coastal waters (e.g., station Odaiba, etc.) sampled by Tokyo Bureau of Environment, but they are too close to the land making SGLI data retrieval inconsistent.

Comparison of JASMES SGLI and in situ Chl-a was then carried out employing data archived by Tokyo Bureau of Environment at five stations relatively far from the land. There is no winter data included in this comparison. As shown in **Figure 6b**, most of SGLI Chl-a underestimated in situ Chl-a, though they were significantly correlated ( $R=0.50$ ,  $p < 0.05$ ). Such an underestimation might be due to a tendency of SGLI Rrs overestimation at blue bands as shown in **Figure 5**. Incorrect SGLI Rrs at blue bands will lead to incorrect high Chl-a retrieved by empirical blue-to-green band ratio. Correction especially to SGLI Rrs at blue bands is thus necessary.

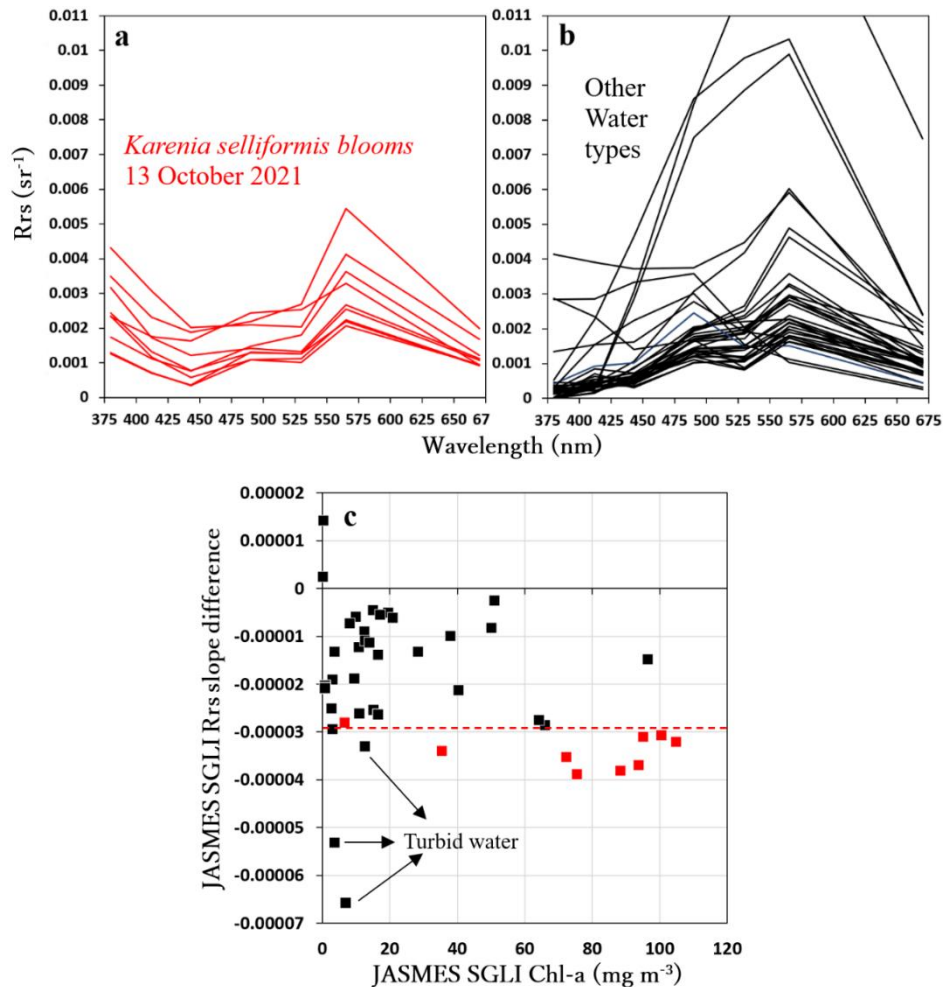
### 3.2. Red tide spectral library

#### Red tide southeastern coast of Hokkaido

During the fall of 2021, a devastating red tide that caused massive mortality of salmon and sea urchins occurred in the waters southeast of Hokkaido. The red tide was caused by phytoplankton from the dinoflagellate group mainly by *Karenia selliformis*. Therefore it is necessary to develop an algorithm to detect *Karenia selliformis* bloom. One approach to developing red tide algorithm is by recognizing the spectral shape of waters dominated by red tide causative phytoplankton meaning that a spectral library for specific phytoplankton species needs to be constructed. In this work, the spectral libraries of the waters during *Karenia selliformis* red tide and other waters without *Karenia selliformis* bloom were investigated.

One initial approach to differentiate waters with *Karenia selliformis* blooms and other water types is by capturing slope differences around the wavelength 443 nm. As can be seen in **Figure 7a**, during *Karenia selliformis* blooms, the Rrs slope between 380 nm and 443 nm (hereafter Rrs\_Slope\_380-443) is negative but Rrs\_Slope\_443-490 is positive. Such a shape was rarely observed from the waters without *Karenia selliformis* bloom (**Figure 7b**).

Taking their differences will thus produce relatively higher negative values for the waters with *Karenia selliformis* bloom than those for the waters without *Karenia selliformis* blooms (**Figure 7c**). The Rrs slope difference of about -0.00003 can be an initial threshold for separating the waters with and without *Karenia selliformis* blooms. There are three data showing the slope differences < -0.00003 which represent coastal turbid waters. But, they should be distinguishable by other common classification criteria like Rrs555 threshold at the initial stage of water type classification (Siswanto et al., 2013).



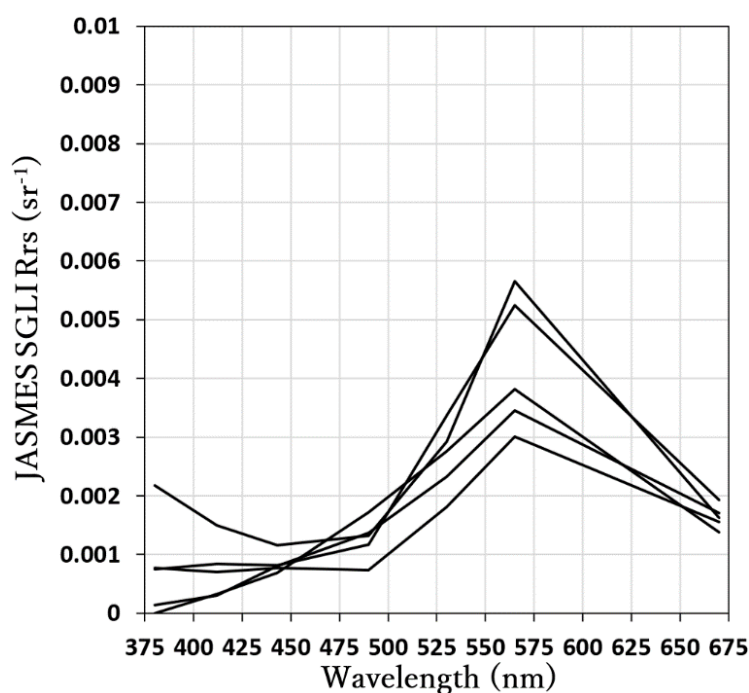
**Figure 7.** (a) The spectral shape of JASMES SGLI Rrs extracted from some pixels during *Karenia selliformis* red tide on 13 October 2021 from the waters southeast of Hokkaido. (b) The same as (a) except for non-*Karenia selliformis* blooms (e.g., turbid waters, spring diatom, and fall diatom blooms, etc.). (c) Scatter plot of SGLI Rrs slope difference against SGLI Chl-a. The slope difference was calculated by subtracting Rrs slope between 443 and 490 nm from Rrs slope between 380 and 443 nm. Red data are for the waters with *Karenia selliformis* blooms.

The Rrs slope difference of -0.00003 might change depending on the data number. To define a more robust Rrs slope difference threshold more data are thus needed. Thus, other SGLI data during *Karenia selliformis* blooms on dates 9 October and 12 October 2021 (see Kuroda et al., 2022) will be analyzed. The Rrs slope between 380 nm and 443 nm might also need to change to between 412 nm and 443 nm due to high uncertainty on the Rrs380. It is also worth investigating the applicability of other approaches such as applying a quasy-analytical model (Lee et al., 2002) to derive inherent optical properties (e.g., phytoplankton absorption and phytoplankton backscattering) of red tide causative phytoplankton.

### Tokyo Bay

Red tide is also a common phenomenon in Tokyo Bay that occurs mainly in summer with a frequency of about 15~30 times a year and a total lifetime of 40~120 days a year. Red tide in Tokyo Bay is frequently caused by phytoplankton from the dinoflagellate group (50%), followed by raphidophyte (25%), and diatom (15%) (Kusano, 2019). We extracted JASMES SGLI Rrs to construct Rrs spectral library of waters during different types of blooms, but unfortunately only during diatom blooms are available.

**Figure 8** shows JASMES SGLI Rrs spectral shapes for the waters during diatom bloom collected from the Tokyo Bureau of Environment's routine stations. Similar to diatom-dominated Rrs spectral shapes observed southeast of Hokkaido, Rrs of the waters dominated by diatom in Tokyo Bay do not form a valley V-shape around 443 nm. Whether such a shape is a typical SGLI Rrs spectral for diatom group needs to be verified with more datasets.



**Figure 8.** The spectral shape of JASMES SGLI Rrs extracted from the Tokyo Bay waters during the bloom of diatom phytoplankton group. Coastal stations like Odaiba station were discarded due to interference with the land reflectance.

### 4. Presentations

Luang-on, J., Siswanto, E., Higa, H., Toratani, M., Ogata, K., Ishizaka, J. (2022). GCOM-C/SGLI preliminary investigation of red tides in Asian coastal waters. 10th Asian Workshop on Ocean Color. Online, 2022/12/9.

Siswanto, E., Ogata, K., Luang-on, J., Higa, H., Ishizaka, J. (2022). Ocean Color (Harmful Algal Blooms) Research and Development. Asia Summit on Global Environmental Measurement and Monitoring. Online, 2022/12/12.

Siswanto, E. (2022). Remote Sensing Application for Harmful Algal Bloom Detection. 12th SINNTECH WEBINAR. Online, 2022/04/21.

石坂丞二, 村上浩, 飯田高大, 山口篤, 有馬大地, Eko Siswanto (2022). しきさい (SGLI) を用いた北海道沖 *Karenia selliformis* 赤潮の検出. 日本海洋学会 2022 年度秋季大会. 名古屋大学, 2022/9/4.



## 5. References

- Anderson (1994). Red tide. *Scientific American*, 271, 62–68.
- Bailey and Werdell (2006). A multi-sensor approach for the on-orbit validation of ocean color satellite data products. *Remote Sensing of Environment*, 102(1-2), 12–13.
- Feng et al. (2020). A novel method based on backscattering for discriminating summer bloom of raphidophyte (*Chattonella* spp.) and diatom (*Skeletonema* spp.) using MODIS images in Ariake Sea. *Remote Sensing*, 12, 1504.
- Higa et al. (2020). An estimation method for blue tide distribution in Tokyo Bay based on sulfur concentrations using Geostationary Ocean Color Imager (GOCI). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 235, 106615.
- Kuroda et al. (2022). Distribution of harmful algae (*Karenia* spp.) in October 2021 Off southeast Hokkaido, Japan. *Frontiers in Marine Science*, 9, 841364.
- Kusano (2019). Recent outbreaks of red tide in Tokyo Bay. 神水セ研報第 10 号, 51–56.
- Luang-on et al. (2021). 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, 209–228.
- Luang-on et al. (2023). MODIS-derived green *Noctiluca* blooms in the upper Gulf of Thailand: Algorithm development and seasonal variation mapping. *Frontiers in Marine Science*, 10, 1031901.
- Nixon (1995). Coastal marine eutrophication: A definition, social causes, and future concerns. *Ophelia*, 41, 199–219.
- Siswanto et al. (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.
- Yñiguez et al. (2020). Over 30 years of HABs in the Philippines and Malaysia: What have we learned? *Harmful Algae*, 101776.

(別紙様式 4-2)

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  
Three-Dimensional analysis of small-scale gravity waves  
based on the sodium LIDAR at Tromsø

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) で碎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。

2018年1月20日にライダーと同じ観測所の大気光観測で観測された水平波長約20-40km, 周期10分以下の小スケール大気重力波について調査し、Naライダーにおいても同程度の変動 (周期7.2分) が温度と水平風速において確認された。また、ライダー観測で得られた鉛直風変動の振幅 (0.64m/s) と大気光観測から算出される鉛直風変動の振幅 (0.72m/s) は同程度であった。さらに、Naライダー観測で得られた水平風と鉛直風の変動から計算される運動量フラックスは  $0.95 \text{ m}^2/\text{s}^2$  であり、この値は小スケール大気重力波が持つ典型的な運動量フラックスの大きさである。以上のことから、Naライダーにおいて観測された変動は小スケール大気重力波によるものであることが強く示唆される。今後は、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: 20-110 km, 底面: 58×58 km の四角錐の領域) に拡張して、観測された大気重力波の3次元的な伝搬特性を議論する。なお共鳴散乱と Rayleigh 散乱の高度ギャップは大気モデルで補完する予定である。高度方向に拡張することにより、観測された大気重力波の鉛直伝搬に伴う運動量フラックスの散逸量を議論する。

成果発表:

Suzuki, S., S. Nozawa, S. Oyama, and K. Shiokawa, Observational evaluation of temperature/wind perturbations associated with small-scale AGWs: Momentum flux estimation, JpGU Meeting 2022, 2022-05-26.



(別紙様式04-2)

あらせ衛星搭載XEPの観測データを用いた応答特性評価  
Calibration of the response characteristic of the XEP on ARASE

横田勝一郎, 大阪大学大学院・理学研究科

【研究目的】

本研究の目的は、「あらせ」衛星搭載の超高エネルギー電子分析器 (Extremely High-Energy Electron Experiment, XEP) (Higashio et al., EPS, 2018) の性能較正を行い、観測データを評価して放射線帯の動向を詳細に解析することである。2020年度と2021年度にて、「物質中における粒子の飛跡をシミュレーション」プラットフォームであるGEANT-4 (GEometry ANd Tracking) を利用して、XEPフライトモデル形状の詳細を反映させた数値モデルを構築し、観測データ処理に必要な応答関数の構築までを完了した。また、「あらせ」衛星XEPによる地球放射線帯の観測データに対して応答関数による一次処理を行い、XEP観測データを他の観測機器データとの比較などを行った。2022年度は総合的に評価からXEP観測データを最大限利用して放射線帯の動向に迫る理学的研究テーマに取り組む。

XEPは地球内部磁気圏のエネルギー帯最上部に位置する0.4~20MeV電子の計測を行う観測器である。放射線帯の主成分観測を課せられた重要な機器であるが、センサーカバーをも透過して検出器に飛び込む超高エネルギー粒子を観測対象とするため機器較正への課題が多く、他の観測機器に比べて遅延している。XEP観測データに対して詳細な較正及び応答関数構築を行うことで「あらせ」観測データの最後のピースが揃い、「あらせ」による地球放射線帯の研究がさらに加速することが期待できる。較正したXEP観測データは評価のために他の観測機器による観測データとの比較も行う。高エネルギー粒子は他の観測機器に対してバックグラウンドとして影響を与えているため、他の観測機器に対しても較正に利用する参照データになりえる。

本研究で較正するXEPはこれまで日本で実績が少なかった観測機器である。高エネルギー粒子は人体に重要な影響を及ぼすため、XEPのような機器は宇宙の環境計測としても需要が高い。今後月や火星での人類の活動の計画が議論されているため、日本でも月着陸機や火星圏探査機 (MMX) でのXEP相当の観測器が搭載されている。本研究の成果は地球磁気圏の科学研究に留まらず、太陽系環境の科学への展開も既に始まりつつあり、将来の宇宙での活動における礎となる役割が期待されている。

【研究方法】

0.07-20MEV電子を観測対象とする「あらせ」搭載高エネルギー電子分析器 (High-energy electron experiment: HEP) にてGEANT-4を用いた類似の較正が行われたため (Park et al., EPS, 2021)、その知見や経験を元に本研究の作業を進めている。XEPのPI (東尾氏: JAXA) 及びHEPのPI (三谷氏: JAXA/ISAS)、 「あらせ」観測データを管理する名古屋大サイエンスセンターと連携を取りながら実施した。

2020年度に作成したGEANT-4によるXEP数値モデルから得たXEP応答関数を利用し、観測データの一次処理及びその評価を実施した。その中で、Van Allen Probes観測にて報告された窪みのある珍しい形のエネルギースペクトル (Zhao et al., Nat. Phys., 2019, 論文でBump-on-tail (BOT) エネルギースペクトルと呼ばれる) に着目し、XEP観測データで得られたBOTスペクトル (図1) について評価を行った。

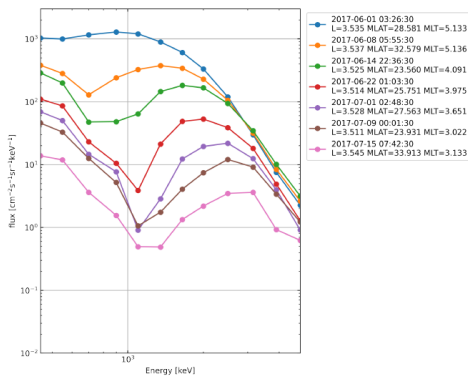


図2: 「あらせ」XEPにてL~3.5で観測されたBOTスペクトルの時間変動。

## 【研究結果】

2017年3月24日から2019年3月23日の期間のXEP観測データを利用し、L値2以上の観測地点においてエネルギースペクトルが右下がりではなく、図1のように極小値と極大値を持つことを条件とするBOTスペクトルを抽出し、その観測地点を調べた(図2)。観測のタイミングとしては磁気活動度が高くなるイベントと関連し、ほとんどにおいてプラズマポーズの内側で観測された。Zhao et al. (2019)で示されたように、多くの場合HISSの出現が同時に確認された。

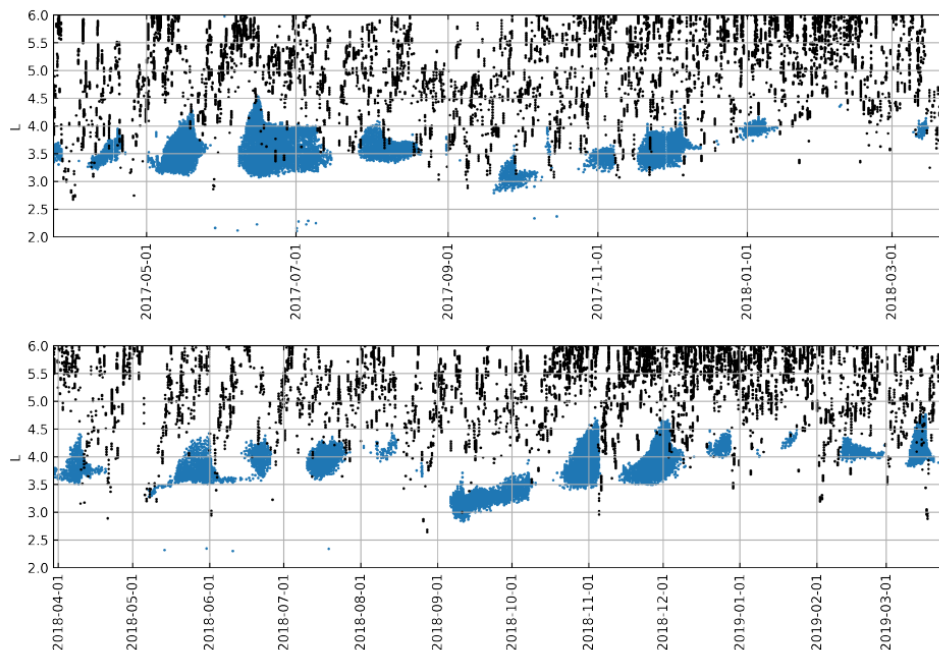


図2: BOTスペクトル(青点)のL値分布. 黒点はプラズマポーズのおよその位置を表す。

## 【まとめ】

本研究ではGeant4を用いた放射線数値モデルからあらせ衛星搭載XEPのエネルギー較正を行い、応答関数を作成した。エネルギー較正を行ったXEP観測データからL=3~4周辺で放射線帯外帯電子で観測されるBOTスペクトルに着目し、その分布を明らかにした。

(別紙様式 4-2)

流星によるVLF帯電波放射の観測的研究  
Observation of Meteoric VLF Radio Emission

渡邊 堯、情報通信研究機構

流星及びその類似現象（宇宙機大気圏再突入など）に伴って発生するとされている、ELF/VLF帯電波放射の存在については、1981年8月のペルセウス流星群に属する非常に明るい流星（火球）の発生時における観測例があるが、通常の雷活動起源空電との区別に課題が遺されており、その後世界各地で行われた観測においても見解が分かれている。そこで本研究では顕著な流星群の発生時に、流星の高感度ビデオ観測と電波観測とを同時に実施し、流星発生時に観測されたELF/VLF電波の特性の解析によって流星発生と電波放射との因果関係を確立し、電波発生機構を解明することを目的とする。

2022年5月31日13:50~14:20 JSTには、73P/Schwassmann-Wachmann 3彗星を母天体とする、ヘルクレス座  $\tau$  流星群の異常出現が予想されたため、5月30-31日にかけての予想出現時間帯に合わせて、豊川市と水戸市周辺においてVLF電波観測を行った。しかし出現流星数は少なく、火球クラスの流星の出現は無かったため、特筆すべき観測結果は得られなかった。しかしこの観測は、2地点における直交ループアンテナ観測による電波発生源の位置決定の試行も兼ねており、多くの空電を使ったテスト観測の機会として有効であった。2022年8月中旬に発生したペルセウス流星群については、全国的に天候不順であり、火球の観測数も例年より少なかったため、数例のみの解析に留まっている。また同年12月におけるふたご流星群での観測では、水築アンテナによる電場成分の観測も併用し、電波発生源の高度角の測定も試行した。これらの観測データは解析中である。以上のように、今年度の流星群については、電波放射に関する新しい観測結果は得られていないが、電波発生源の方向探知に対する観測装置の整備と観測データの解析ソフトの構築が進んだことにより、今後の観測の成果が期待される。

はやぶさ2サンプルリターンカプセルの再突入におけるVLF電波観測データの解析については、観測された電波の電界強度からカプセルの位置において発生すべき電流を推定した。これにはアンテナ長に相当する、電流の流れる長さを与えるが必要があるが、カプセルの後流はイオンと電子との拡散速度の相違と、カプセルが約10 km/secで移動していることから、数10mに亘る電流が鳴かれることが期待され、その場合の電流は数10アンペアとなることが推定された。この解析結果は2023年3月1日に開催されたSTE現象報告会で発表されており、現在論文を執筆中である。

(別紙様式04-2)

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・農食環境学群

(2行スペース)

### 【研究目的】

冬季の石狩平野においては季節風による筋状対流雲が流入しやすく、降雪がもたらされる。Shirooka and Uyeda(1990)では、同地域の地上観測などからスノーバーストに伴う数十分での急激な気温低下を報告しているが、気圧変化に関しては言及していない。馬場ら(2016他)は、気温低下に気圧上昇を伴い、一定周期のもと減衰することを示した。気圧の変化による内耳に影響については、Sato et al.(2019)などにより報告されているが、総観規模擾乱を想定した実験である。また、前述の佐藤氏によれば、降雪時に患者が多い傾向がある(口頭)ことを指摘している。そこで本研究では、共振共鳴が内耳に影響を調査する。

### 【研究方法】

過年度行われた共同研究と札幌市教育委員会の指示のもとに、2022年12月11日から2023年3月27日までの期間、石狩湾から札幌の領域にある小学校の百葉箱や敷地内の樹木に気象ロガーを設置し(図1)、5分ごとに気温、気圧、湿度(一部気温のみ)を観測した。これらのデータとレーダー画像を基にスノーバーストが生じている可能性の大きい場合を抽出する。その後、セル内の反射強度分布からスノーバーストが生じているか否かを確認する(例として図2)。また、地上での時系列から振動周期や強度について調査を行う。

一方、一部の協力頂いた養護教員には、子供の体調に関するアンケートを行った。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、鬱など内耳に影響される発症者の人数のみを記載する。これらの情報を基に前述の大気変動との関連を調べる。

### Ishikari

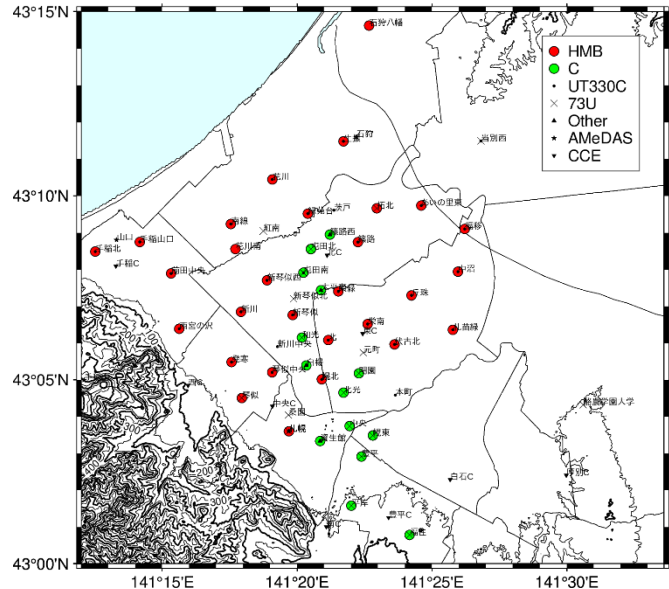


図1 2022-23年の観測網

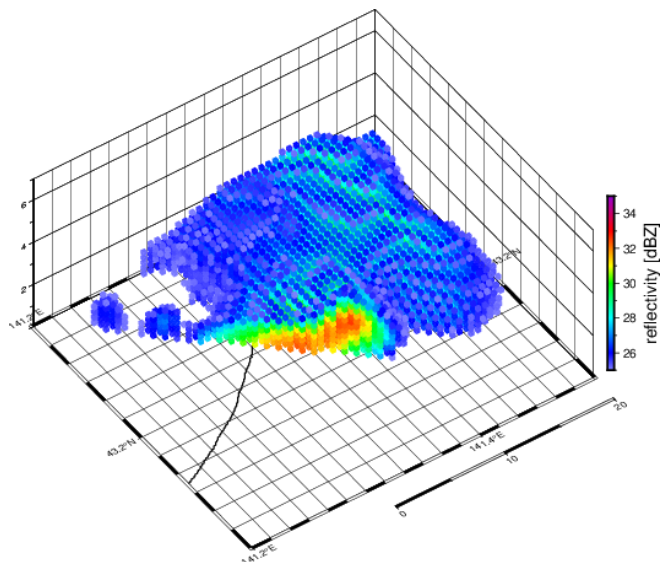


図2 レーダー断面図の例

### 【研究結果と考察】

本研究のテーマは冬季観測がメインであり、3月28日迄観測を行っていたため、現在はデータロガーの回収が終わったばかりである。よって、データ整理はこれからである。また、アンケート調査の書類もまだ数件しか届いておらず、主な整理や解析は4月以降になる。そのサンプルの少ない中におけるアンケート調査から、発症数の多い日（2023年1月23～25日、2月2～3日、7～9日、13～15日、21日）に西高東低による筋状の対流雲や石狩湾小低気圧の接近により対象小学校付近に入り込んでいることが認められた。

大気調査も進んでおらず、まだサンプルが少ないので、条件付きにはなるが、速報値として発症数の多い日にその小学校付近に対流雲が入り込んでいることから、何らかの可能性が考えられる。今後、アンケート結果を基に地図化し、気象観測データと比較しながら解析を進める予定である。

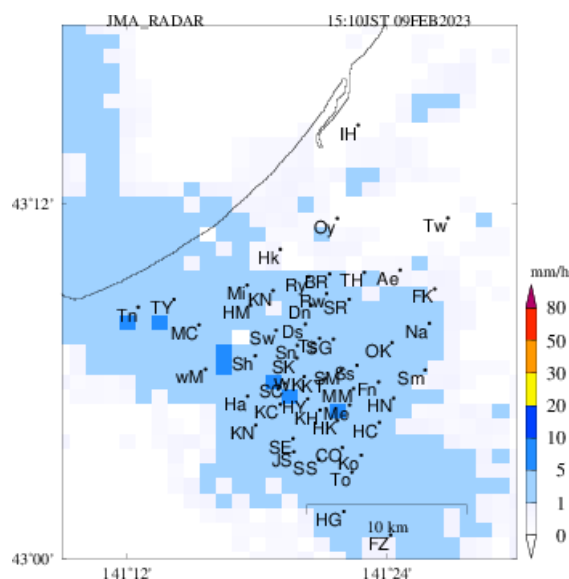


図 3 2023年2月9日のレーダー画像

### 【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.

### 【成果発表】

なし

(別紙様式 4-2)

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について、台風の中心まで飛行して、ドロップゾンデを中心から外側までの範囲で投下して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年計画の最初となる今年度は、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。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明らかになったため、高度のデータを補正する方法を検討する必要が生じた。このため、今年度は予定を修正し、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。その精度検証と、他の位置同定手法の検討を来年度に進める予定である。

## 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. Nagahama, 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](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 Co-Authors: The warm-core structure of typhoons as observed through the T-PARCI aircraft reconnaissance and upper-air soundings. 日本地球惑星科学連合大会, ハイブリッド開催（幕張メッセ, 千葉県千葉市）, 5月22-27日, オンライン口頭発表.
- 山田 広幸, 他16名, 2022: 航空機観測により捉えた台風Mindulle (2021)の暖気核構造. 日本気象学会春季大会, オンライン開催, 5月17-20日, オンライン口頭発表.



## 宇宙物体突入時の直接電波観測による太陽電波バーストの解明

Study of Solar Radio Bursts by Direct Radio Observation of Space Object Entry  
野澤恵、茨城大学・理工学研究科理学野

大気に突入する宇宙物体がプラズマ化され電波放射が発生し、その検出により類似の物理過程である太陽電波バーストを解明することで本研究の目的である。過去には流星や火球からの直接的な電波放射は年に数回という低頻度のため観測が難しかったが 2010 年代から観測され始め Obenberger et al(2014) などの報告が続いている。ただし HF(短波、3-30MHz)の受信例が多く、大型干渉計の VHF(超短波、30-300MHz)の受信例はあまり多くない。その放射機構はプラズマ振動による電波放射の仮説が提唱されているが、プラズマ振動は電磁波ではないため、なんらかの変換機構が必要である。この放射機構は太陽電波バーストのメートル波放射の場合と似たものと考えられ、その解明はプラズマ物理の電磁放射の素過程の本質的な理解につながる。

流星と発光過程と同じであると考え、宇宙物体の突入時に大気抵抗により減速されるのは 100km 特に 70km 以下である。その過程でカプセルの外側が熱せられ、プラズマ化される。また、はやぶさ 2 のカプセルのような宇宙物体に関する情報(軌道、大きさ、光の明るさ等々)が十分あるので、電波強度の絶対値、時間変化を求め、また周波数スペクトルを決め、可能であれば直線偏波度の観測量を得ることができる。昨年論文では、2020 年 12 月にははやぶさ 2 の再突入するカプセルを観測したが、結果的に受信できなかったことを報告した。この経験を踏まえ、2023 年 9 月 24 日に OSIRIS-REx のカプセルが地球大気に再突入するとき、発する電波の高時間分解能の周波数と強度の直接観測を計画し、観測機器の改良や較正などの観測を計画し、火球での観測を試みた。

別な観点として、宇宙物体の大気抵抗による減速についての研究も行なっている。NORAD/NASA が提供する TLE を用いて、高度 1100km 以下の低軌道、及び真円に近い軌道の宇宙物体について注目した。過去 50 年周回している宇宙物体の軌道低下を解析した。その結果、太陽活動の指標となる相対黒点数と軌道低下には相関があり、極小となる前後三年間では 3m/day 以下の低下であったが、極大となる 5 年間では、その 10 倍となる 30m/day 程度の低下を示した。次に 1989 年 3 月に発生した太陽フレア及びそれに伴う地球磁気圏の磁気嵐の宇宙天気現象と TLE から求めた軌道低下を統計的に調べた。現象前後の軌道低下は大気密度に比例した低下率であるが、現象前に比べ現象後では低下率が大きく、特に高度 700 から 1100km ではばらつきが大きかった。また宇宙物体の高度低下の観点で地球低軌道 (LEO : Low Earth Orbit) における大気ドラッグの特徴の理解を深める為に 4 層構造に分類することを試みた。各層の大気ドラッグによる高度低下量を 2 つの衛星に注目して調べ、太陽活動周期と地磁気嵐のどちらに起因しているのかを論文として発表を行なった。

玉置晋、アルヴェリウス幸子、野澤恵、宇宙天気と地球低軌道の 4 層構造, 宇宙科学情報解析論文, 12, 51-61, 2023, <http://dx.doi.org/10.20637/00049171>



(別紙様式 4-2)

地上光学-磁気圏衛星の同時観測に基づく脈動オーロラの周期性および磁気圏  
プラズマの輸送-消失過程

Investigation on periodicity of pulsating auroras associated with mag-  
netospheric plasma transportation-loss processes based on ground-base  
d optical observations and in-situ measurements of satellites in the  
magnetosphere

西山尚典・国立極地研究所・研究教育系・助教

### 【研究目的】

Pulsating aurora (PsA) は、その発光が1-20秒の周期で方形波的に明滅するオーロラ現象で、電離圏でのサイズが10-200km程度のパッチ構造が代表的ではあるが様々な形態や運動も知られている[Røyrvik and Davis, 1977; Yamamoto, 1988]. この特徴的なPsAの明滅周期、いわゆるon-off周期については、磁場強度や電子密度などの周囲のプラズマ環境に依存するwhistler mode chorusの成長率によって決まる時間スケールであると、古くより理論的に提唱されているものの[e.g., Davidson, 1990], 観測に基づいて定量的にon-off周期の生成機構を説明した研究例は未だない. 近年では周期的な(2,3-20秒)電子密度や磁場の変動に伴って、whistler mode chorusやelectron cyclotron harmonics waveといった波動の励起が磁気圏衛星によって観測されており[Liang et al., 2010; Li et al., 2011], PsAのon-off周期との類似性が指摘されている.

そこで、本研究の目的はPsAを特徴づける明滅周期、そして明滅周期の継続時間に着目し、これらの磁気地方時の依存性について、地上光学観測データおよび磁気圏衛星データ(ERG, Van Allen Probesなど)に基づいて明らかにすることである. 加えて、磁気圏でのwhistler mode chorusの非線形成長との関連を調査し、波動粒子相互作用におけるスケール間結合についての描像を得る.

### 【研究方法】

2015年6月に発生し、主相ではDst指数が-200nTを下回った”Summer Solstice Storm”[e.g., Baker et al., 2016]の期間中の6月23日に、昭和基地では昼側から夕方側(MLT13-20)で脈動オーロラが観測されており、このイベントに注目して解析を進めた. 具体的には、

- 1) 昭和基地付近の磁力計とアイスランドの磁力計、合わせて5地点の磁場データの解析を進めた.
- 2) Summer Solstice Stormの再現を目的として、REPPU (REProduce Plasma Universe, Tanaka, 2015)コードによるグローバルMHDシミュレーションを実行し、磁気圏および地上磁場データの解析を進めた.

### 【研究結果・考察・今後の方針】

前年度までの解析で、昭和基地で観測されたオーロラ発光と磁場変動H成分が8分前後の周期でよく対応しており、昭和基地の地磁気共役点であるアイスランドのTjörnesやHusafellの地上磁場変動は、昭和基地と同周期の変動が卓越しているものの、その位相が180度ずれていることが明らかになった. これに加え、昭和基地周辺の2地点(H68, Amundsen Bay)の無人磁力計データの解析も行い、この結果、昭和基地周辺のH68およびAmundsen BayでもPc5帯の地磁気脈動が観測されていたことが明らかになった. また、統計数理研究所の藤田特任教授にSummer Solstice Stormの再現実験としてグローバルMHDシミュレーションの結果から、MLT昼過ぎから夕方にかけての磁気圏界面付近で、K-H不安定によるものと思われる磁場圧の波状構造が確認された. この不安定がソースとなり、地上磁場で観測された昼側から夕方側にかけて磁力線共鳴が発達していたことが予想される.

今年度は5カ所の地上磁場データに対して、独立成分分析による解析を行い、磁力線共鳴成分とそれ

と異なるスケールの磁場変動成分の分離を試みた，図1に結果を示す．図1(上)は5地点の地上磁場H成分の日変化であり，南北共役点でほぼ同様な変化が見られている．UT03-06にかけて，H成分の急峻な減少が数回観測され，UT12以降からUT21までPc5帯域の磁場変動が顕著に見える．これらの磁場データに対して独立成分分析を行った結果が図1(下)となる．H成分の急峻な減少が見えた時間帯は，振幅の大きな変動が卓越しており，様々な波の重ね合わせに分解された一方で，Pc5帯の変動が卓越していた時間帯は概ね，生データと同様な様相を示しており，より単純で単一的な波で構成されていることが示唆される．特に前半においては，地球固有磁場の変動だけではなく，外来的な擾乱による変動も重畳されていると考えられ，衛星やシミュレーションによる異なる位置での磁場データとの比較や検証が必要である．

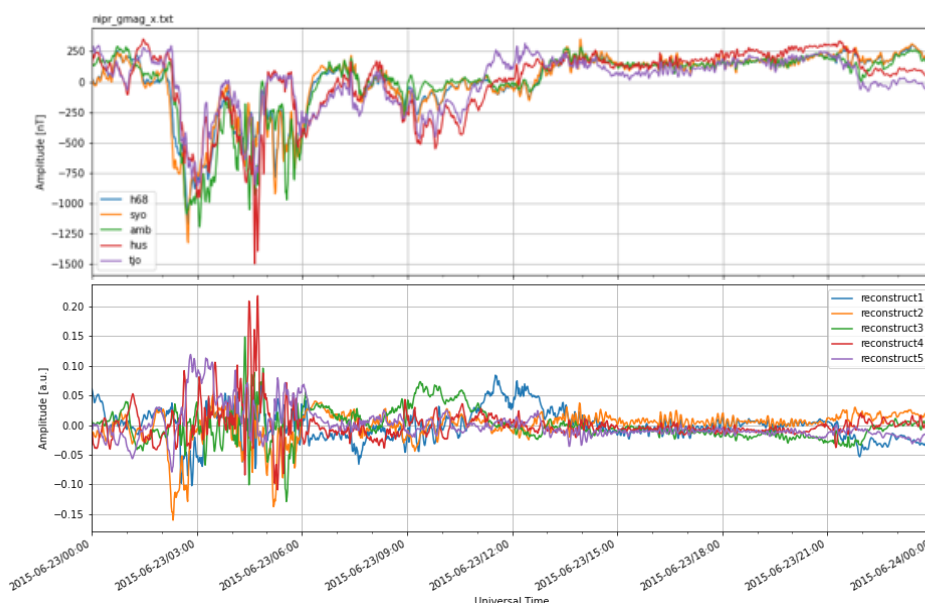


図 1(上): 5地点 (南半球: 昭和基地・H68・Amundsen Bay, 北半球: Tjörnes・Husafell) における地上磁場 H 成分の 2015 年 6 月 23 日の日変化。(下): 独立成分分析によって抽出した独立な 5 つの時間変動成分の時系列変化。

また，グローバルMHDシミュレーションのアウトプットはnetCDF形式での整備が進められており，今後は地上磁場やオーロラ画像データに対する時系列解析・多変数解析に加えて，シミュレーションデータにも同様な解析を進めていく方針である．

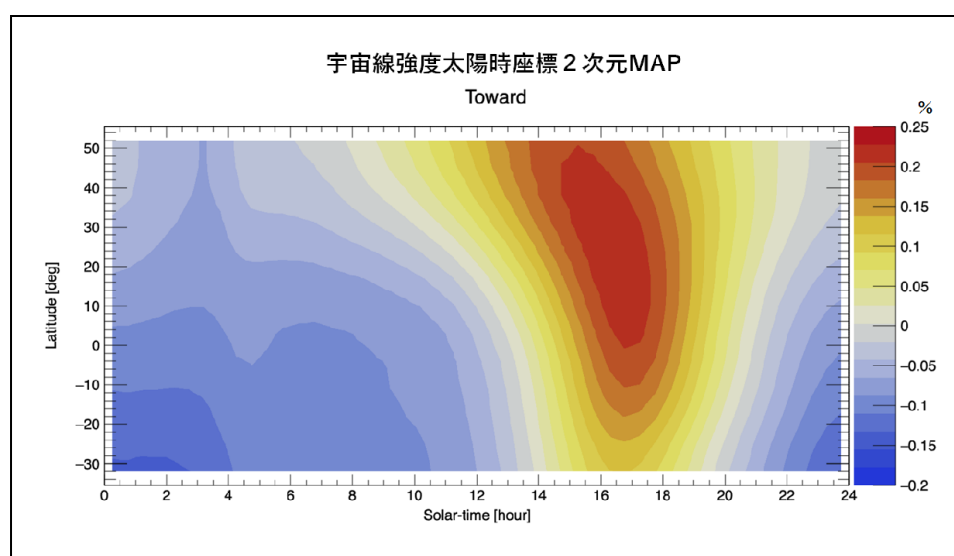
(別紙様式 4 - 2)

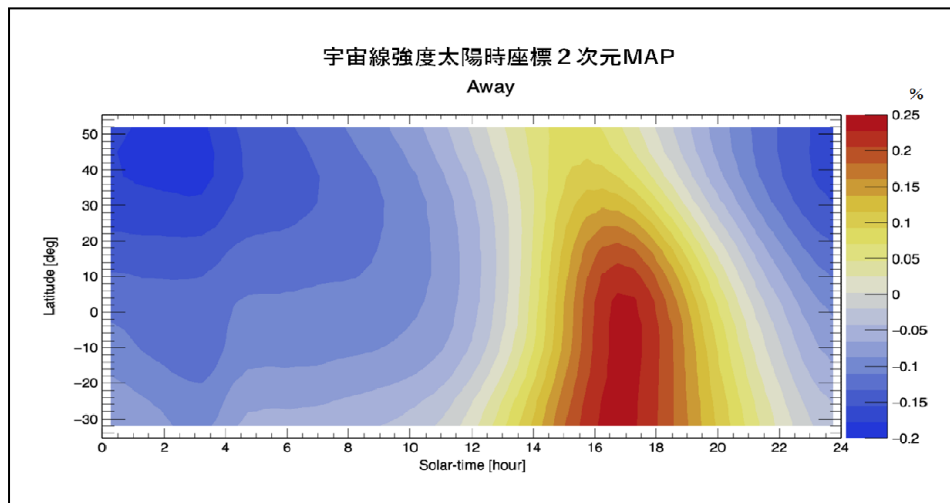
GSE座標系における宇宙線強度分布解析によるIMF磁気中性面の  
トランジェントな構造変動の推定  
Estimating transient structural fluctuations of the IMF magnetic Neutral Sheet by cosmic ray intensity distribution analysis in the GSE coordinate system

小島 浩司、中部大学・天文台

本研究の目的はGRAPES-3大型宇宙線望遠鏡を用いて、天空面全体の宇宙線強度分布をGSE座標系の2次元画像として可視化して、惑星間空間におけるIMFの極性 (Toward, Away) の境界面を形成する磁気中性面 (ニュートラルシート) のトランジェントな波状構造の解明を目指す事である。

IMF磁気極性(Toward: Away)転換に伴う宇宙線の変動現象としては「スインソンプロー」と呼ばれる宇宙線の恒星時異方性と長島らが示した名古屋のミュオン望遠鏡による「GGインデックス」と称した宇宙線の南北異方性がよく知られている。この変動はいずれも黄道面に垂直方向の宇宙線の流れに注目した解析から求められたものである。そこで今回は黄道面にそった方向の宇宙線の流れを表す太陽時異方性に着目し、TowardとAwayの両極性の傾向の違いについて解析を行った。この解析も長期間の集計による解析結果であり、IMF極性境界面を形成するトランジェントな波状構造と直接関連付ける宇宙線強度変動や異方性の解析とはなっていない。前年度に報告した「スインソンプロー」を表す「(Toward-Away)/2」2次元マップと比較と今後計画しているセクター境界(Boundary)領域における異方性解析等により、トランジェントな変化の抽出を試みるつもりである。本年度(2022年度)はToward領域とAway領域における太陽時異方性の2次元マップ化を行ったのでその結果を次の図に示す。





宇宙線強度太陽時座標 2次元 MAP:地磁気偏向補正無

2004年～2017年平均

【成果発表】

口頭発表

1. 小島浩司, 宇宙線強度変動とIMF極性(Toward or Away), 2022年度ISEE研究集会「太陽地球環境と宇宙線モジュレーション」および「太陽圏・宇宙線関連の共同研究成果報告会」, 2023年2月28日～3月1日 On line
2. 小島浩司他, 大面積高精度muon望遠鏡による宇宙線強度変動の研究(29), 日本物理学会2022年秋季大会, 2022年9月6日～8日, 岡山理科大学
3. 小島浩司他, 大面積高精度muon望遠鏡による宇宙線強度変動の研究(30), 日本物理学会2023年春季大会, 2023年3月22日～25日, On line

(別紙様式 4-2)

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

本課題では、名古屋大学宇宙地球環境研究所の母子里および鹿児島観測所で観測された雷放電から発生するVLF/ELF帯空電(tweek)、および陸別および鹿児島観測所で受信されたVLF/LF帯標準電波を解析することにより、太陽フレアによる下部電離圏変動を定量的に明らかにすることを目的とする。VLF/ELF帯空電の発生率および反射高度を推定し、VLF/LF帯標準電波からは反射高度変動が推定でき、複数の伝搬パスを使用することにより太陽フレアによる下部電離圏変動の水平分布を捉えることができる。本課題では、ISEEのVLF/LFデータを使用することにより、太陽フレアの下部電離圏への影響を定量的に明らかにする。

2. 研究方法

本課題では、VLF帯空電から太陽フレア前後の発生率および反射高度を推定し、VLF/LF帯標準電波から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。2022年度は太陽フレア時の標準電波の振幅および位相データと、ウェーブホップ法による理論計算結果を比較することにより、伝搬パスごとに反射高度変動を推定する。太陽フレア時の下部電離圏変動（水平分布）を求めた。

3. 研究結果および考察

2017年9月6日 08:57 UT に発生したX2.2クラスの太陽フレア時の、受信局KAGにおけるVLF/LF帯標準電波の振幅および位相の時間変化の結果を図1に示す。同様に、受信局ポーカークラットおよび陸別に関しても解析

したところ、振幅に関しては8つのパスで、その変動量が 2.65-14.73 dB、位相に関しては6つのパスで、31.0°~150.25° の変動量が観測された。特定のパスでのみ観測できたのは、対象としている太陽フレアが日本時間で日の入り付近に発生したため、D領域電離圏電子密度の減少の影響が考えられる。

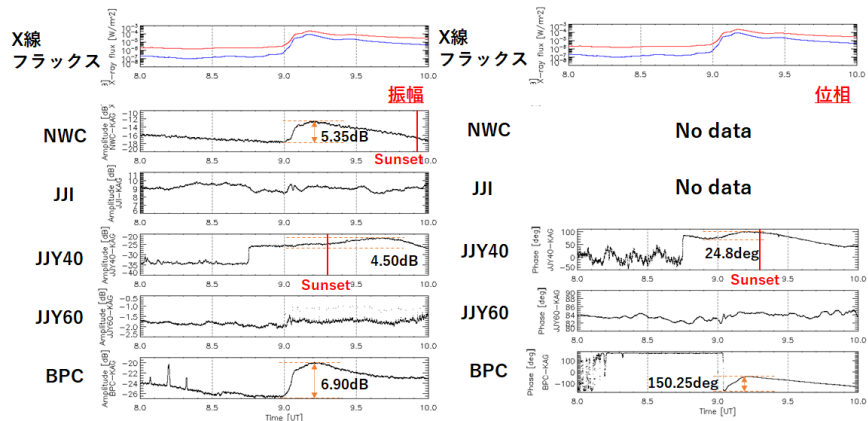


図1 2017年9月6日のX2.2クラスの太陽フレア時のVLF/LF帯標準電波の(左)振幅および(右)位相。

ウェーブホップ法により、観測された標準電波の位相変動から電離圏での反射高度変動 $\Delta h$ を推定した。各パスにおける $\Delta h$ を図2に示す。BPC-RKBパス、JJY60-RKBパスを加えた計3つの伝搬パ

スに関して、 $\Delta A$ 、 $\Delta P$ から推定した $\Delta h$ はそれぞれパスの midpoint における太陽天頂角と相関があり、太陽に近いパスのほうが $\Delta h$ が大きくなる傾向が見られた。また、IRI-2016 モデルを使用し、 $\Delta P$ から推定した $\Delta h$ から太陽フレアの発生前後の電離圏の電子密度増加率 $\Delta N$ を計算したところ、高度 85 km では、BPC-KAGで最大、JJY60-RKBで最小となり、それぞれ980 %、6 %であった。これは大規模太陽フレア時に、太陽直下点に近い伝搬パスほど電離が強かったことを示している。

#### 4. まとめ

本研究では、VLF/LF 帯標準電波の振幅・位相変動を解析することで、2017年9月6日 08:57 UT に発生したX2.2クラスの太陽フレア発生時の下部電離圏変動および反射高度の水平分布を明らかにした。VLF/LF 帯標準電波の解析を行ったところ、振幅変動量が 2.65-14.73 dB、位相変動量が 31.0°-150.25°であった。また、ウェーブホップ法により、標準電波の振幅・位相変動から電離圏反射高度変動 $\Delta h$ を推定したところ、パスの midpoint における太陽天頂角と相関があるという結果が得られ、反射高度の変化には経度の差があったことを示した。最後に、IRI-2016 モデルを使用し、電離圏の電子密度増加率 $\Delta N$ は、高度 85 km では、最大で 980 %、最小で 6 %であり、太陽フレア由来の下部電離圏の電子密度増加には空間的不均一性があることが考えられる。

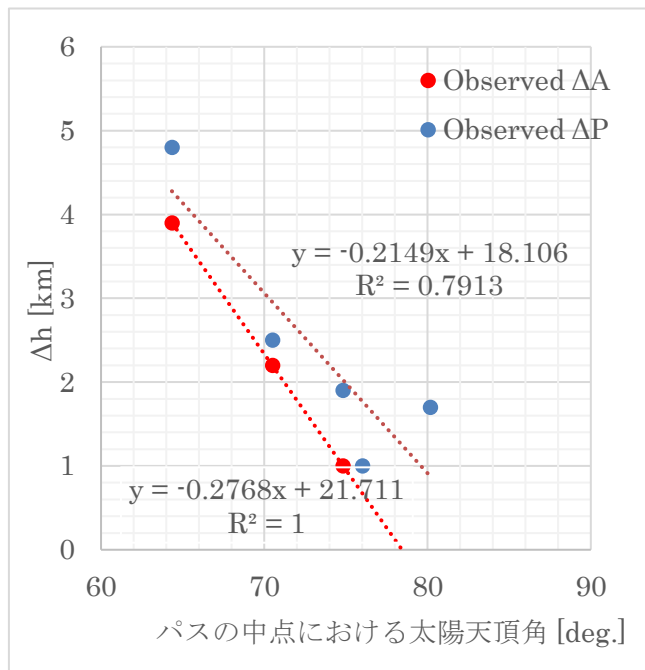


図 2 推定した電離圏反射高度変動分  $\Delta h$  vs. パスの midpoint における太陽天頂角。

#### 成果発表

- [1] Nakayama, M., H. Ohya, F. Tsuchiya, K. Nozaki, K. Shiokawa, and H. Nakata, Horizontal Inhomogeneity of the D-region Ionosphere During a X-class Solar Flare by OCTAVE VLF Observations, *URSI Radio Science Letters*, 4, 2022 (accepted).
- [2] Nakayama, M., H. Ohya, F. Tsuchiya, K. Shiokawa, Large solar flare effects on the D-region ionosphere using VLF/LF transmitter signals, *JpGU2022*, Chiba, Japan, 1 June, 2022.
- [3] Nakayama, M., H. Ohya, F. Tsuchiya, K. Shiokawa, K. Nozaki, and H. Nakata, Horizontal Inhomogeneity in the D-region Ionosphere During a X-class Solar Flare Using VLF/LF Transmitter Signals, *AOGS2022*, Online, 1-5 August, 2022.
- [4] Nakayama, M., H. Ohya, F. Tsuchiya, K. Shiokawa, K. Nozaki, H. Nakata, Horizontal Inhomogeneity of Electron Density in the D-region Ionosphere During a X-class Solar Flare Using OCTAVE VLF/LF Observations, *URSI-JRSM2022*, Chuo University, Tokyo, Japan, 1 September, 2022.
- [5] Nakayama, M., H. Ohya, F. Tsuchiya, K. Shiokawa, K. Nozaki, H. Nakata, Horizontal inhomogeneity detected by OCTAVE VLF/LF observations during a X-class solar flare, 第152回SGEPSS講演会、神奈川県相模原市、2022年11月5日。
- [6] Nakayama, M., H. Ohya, F. Tsuchiya, K. Shiokawa, K. Nozaki, H. Nakata, Response of the D-region ionosphere to a X-class solar flare by OCTAVE VLF observations, *VERSIM2022*, Online, 8 November, 2022.
- [7] 中山雅晴、大矢浩代、土屋史紀、塩川和夫、野崎憲朗、中田裕之、VLF/LF帯標準電波を用いた太陽フレア時の下部電離圏電子密度の不均一性に関する研究、陸別・母子里ユースミーティング2023、ハイブリッド（現地：北海道陸別町）、2023年2月17日。

UAV を利用した上空でのバイオエアロゾルサンプリングと  
雲形成過程研究への応用  
Sampling of bioaerosols aboard an UAV above a forest for  
investigation of the ice cloud formation processes

北 和之、南尾健太 茨城大学 理工学研究科  
牧 輝弥、近畿大学 理工学部  
坪木和久、大畑 祥、名古屋大学 宇宙地球環境研究所

研究目的：

細菌・孢子・花粉などの生物由来の1次有機エアロゾル粒子はバイオエアロゾルとよばれ、植物の分布拡大だけでなく、病原体やアレルゲンとなるものを含むためヒトや植物の健康影響の観点で重要である。地球環境科学においても最近重要性が認められている。バイオエアロゾルには比較的高温で氷晶核として働くものがあり (e.g. Hoose and Möhler, 2012)、氷晶雲形成を通じ気象・気候に影響すると考えられており、また福島第一原子力発電所事故時に汚染を受けた森林からの放射性セシウムの大気への放出(再飛散)においても、バイオエアロゾルが放射性セシウムの担体として重要な役割を果たしていることが明らかになった(Igarashi et al., 2019)。

バイオエアロゾルの大気中の濃度や各種放出源からの放出量は、まだ理解が不十分である。重要な放出源の一つである森林からバイオエアロゾルの大気への放出過程と放出フラックスを明らかにする目的で、森林内から上空にかけての高度分布の観測を行うため、森林直上でバイオエアロゾルの高度分布を測定するUAV(ドローン)搭載型のバイオエアロゾルサンプリングを開発しているのを報告する。

UAV搭載型バイオエアロゾルサンプリングの概要：

UAV搭載型バイオエアロゾルサンプリングとしては、以下のような条件を満たすことが必要になると考えた。

1. バイオエアロゾルを他の粒子と選別して濃度を測定することおよびメタゲノム解析などによる種類別の存在割合を推定することを可能とするため、フィルター上に捕集する。
2. ウィルスを除き、多くのバイオエアロゾルは粒径 $1\mu\text{m}$ 以上と考えられ、それ以上の粒径のエアロゾルを捕集する。
3. サンプリング装置は搭載重量制限に収めること。特に、ポンプやバッテリーの重量に注意する必要がある。
4. 高度範囲は地表 $\sim 150\text{m}$ とする。
5. 10分程度のサンプリング時間で十分な量のサンプルが確保できる。

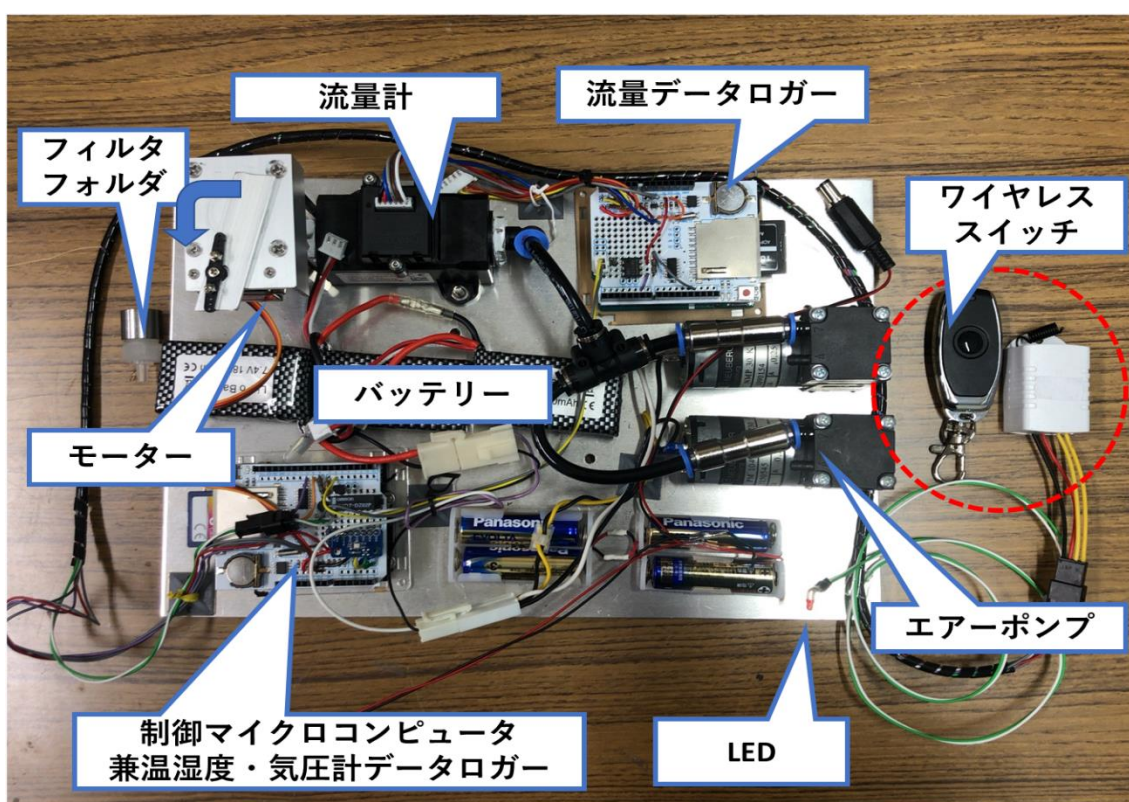
バイオエアロゾルの典型的な数密度範囲は $10^3\sim 10^5$  個 $\text{m}^{-3}$ と考えられ、10分程度のサンプリング時間で採取したサンプルの顕微鏡観察により定量化できる十分な個数のバイオエアロゾルを捕集するためには、 $100\text{L}/\text{m}$ 程度の流量が必要になる。このような流量での吸引が可能なポンプは重量が大きくなり、UAV搭載用としては実用的ではない。そこで、まず漏斗状のインレットを用い、UAV自体の移動により空気を導入することを考えた。様々な形状のインレットに差圧センサーを取付け、自動車を用いUAV速度での流量を測定する実験を行った。結果、インレット形状を工夫しても十分な流量を確保することは難しいことが分かった。

そこで、小型のエアポンプ (KNF NMP830) 2台を並列にして、省電力



で流量を増やすとともに、エアロゾルを捕集するフィルタ(ポアサイズ  $0.45\mu\text{m}$ )上の径 $\Phi 3$ の円形領域に入気を収束させ、捕集することで、捕集されるエアロゾルのフィルタ上の密度を増すことで、短期間、小流量でも測定精度を確保することにした。

下図に、作成したバイオエアロゾルサンプラーを示す。対象の高度のみでサンプリングを行うよう、サーボモーターで操作するシャッター機構を設け、設定した高度範囲でのみサンプリングを実施できるようにした。高度は気圧、気温センサーを搭載することで推定できるが、UAV搭載のGPSからの情報が得られる。流量は、軽量なマスフローメーター(Honeywell製)を使用し測定する。各センサーの出力の記録及びシャッターやポンプの操作は、マイコンArduino unoで行うこととした。ポンプは充電式のリチウム電池で動作させる。



試運転と今後の課題：

上記のサンプラーを試作し、11月6日に福島県のUAV運航会社の敷地にてテストフライトを実施した。動作は正常で、フィルタ上にバイオエアロゾルを捕集することに成功した。

現時点で最も大きな課題は、流量センサー出力がポンプ脈動で変動すること、正確に流量を測定できるよう、バッファータンクを設けるなどの対策を行うことと、飛行中に安定にリモートコントロールが可能な、ワイヤレススイッチの実装である(図1赤枠のスイッチは高度を上げると動作不安定となった)。

今後、これら課題を解決するとともに、森林上空へのバイオエアロゾル輸送量および、捕集したバイオエアロゾルの氷晶核活性の測定を行いたい。

参考文献：

Hoose and Möhler (2012) Atmos. Chem. Phys., 12, pp. 9817-9854.

Igarashi, Kita et al. (2019) *Scientific Reports*, 9(1)/ 1954

(別紙様式 4-2)

## 高校生と行うビッグデータ分析による温室効果ガス排出源の探索方法の開発

Development of a Method for High School Students to Search for Sources of Greenhouse Gas Emissions through Big Data Analysis

河野光彦、関西学院千里国際キャンパス

### 【はじめに】

地球大気に含まれる温室効果ガスの濃度上昇によって引き起こされる気候変動問題を解決するためには、温室効果ガスの排出量を正確に評価・管理することが不可欠である。とくに大規模な排出実態が予想される都市部では、温室効果ガスの排出源や排出量を継続的にモニタリングすることが重要である。本研究の目的は、衛星観測データによる CO<sub>2</sub> 排出量の 2 次元分布を継続してモニタリングする手法を開発することにより、都市域での CO<sub>2</sub> 排出量を詳細に把握し時間変動の特徴を説明できるようにするものである。

### 【研究方法】

NASA の温室効果ガス観測衛星 Orbiting Carbon Observatory-2 (OCO-2)などの公開データ解析によって、温室効果ガス発生源を特定することを試みた。さらに、可搬型小型 CO<sub>2</sub> センサーを開発し、将来これを用いた実測による CO<sub>2</sub> 排出量の 2 次元分布を観測する手法と組み合わせる計画を考えている。

### 【結果と考察】

申請者の勤務する学校の高校生を参加協力させ、その寄与によって効率よく研究を進めていくことができた。具体的には、生徒たちの主体的な活動によって、NASAにある大量のデータを自動的にダウンロードすることができる Python プログラムを作成に成功した。さらに、それらのデータから CO<sub>2</sub> 濃度とその緯度経度情報を抜き出して地図上にプロットするための Python プログラムを作成した。その結果、CO<sub>2</sub> 発生源の特定につながる特徴的な CO<sub>2</sub> 濃度分布を検知できるようになった。その典型的

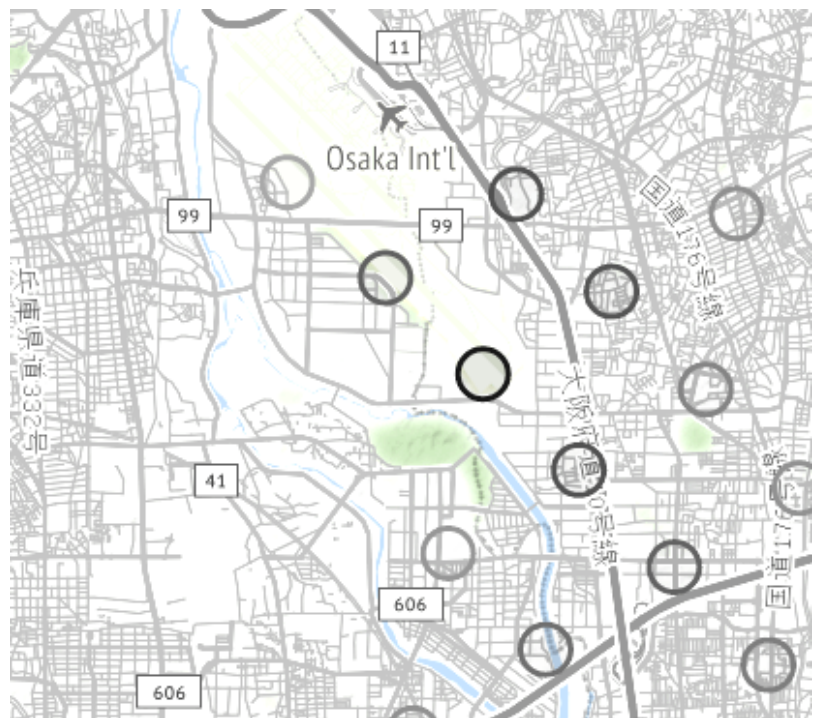


図1. OCO-2によるCO<sub>2</sub>カラム濃度分布観測  
(大阪国際空港付近2021年2月16日)

な例として大阪国際空港付近の CO<sub>2</sub> カラム平均濃度分布をを図 1 に示す。灰色の丸が低濃度で黒色にかけて高濃度となる。滑走路の北西の濃度が低い (411.71 ppm) のに対し南東では高く (420.32 ppm) になっているのがわかる。大阪国際空港では通常、旅客機は滑走路の南東から北西に向かって飛び立つ。離陸する旅客機はその後方に向けて CO<sub>2</sub> を排出する。この滑走路から離陸が繰り返されることから、上記のような特徴的な濃度分布が観測されてのではないかと考えられる。

しかし、この結果では空間分解能が 1 km 程度のしかなく時間変化が不明であるために、CO<sub>2</sub> 排出源を捉えきれてない。観測点の間を埋める精度の良い観測によって排出量評価の精緻化をする必要がある。そのため小型可搬式観測装置を開発し、それらを多数用いて、平面内をくまなく昼夜継続して観測することを計画している。

すでにこの小型可搬式装置の試作には成功し、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。その典型的スペクトルデータを図 2 に示す。この装置は小型エタロン分光器を用い、1350-1650 nm における太陽光源を用いた赤外スペクトルが観測できる。このうち、1600 nm 付近の CO<sub>2</sub> の赤外吸収によって、CO<sub>2</sub> カラム濃度を 1 秒ごとに決定することができる。図 2 のデータでは 4 分間程度のデータしか示していないが、今後はこれを継続して長時間観測し、信頼できる観測装置の開発を目指す予定である。

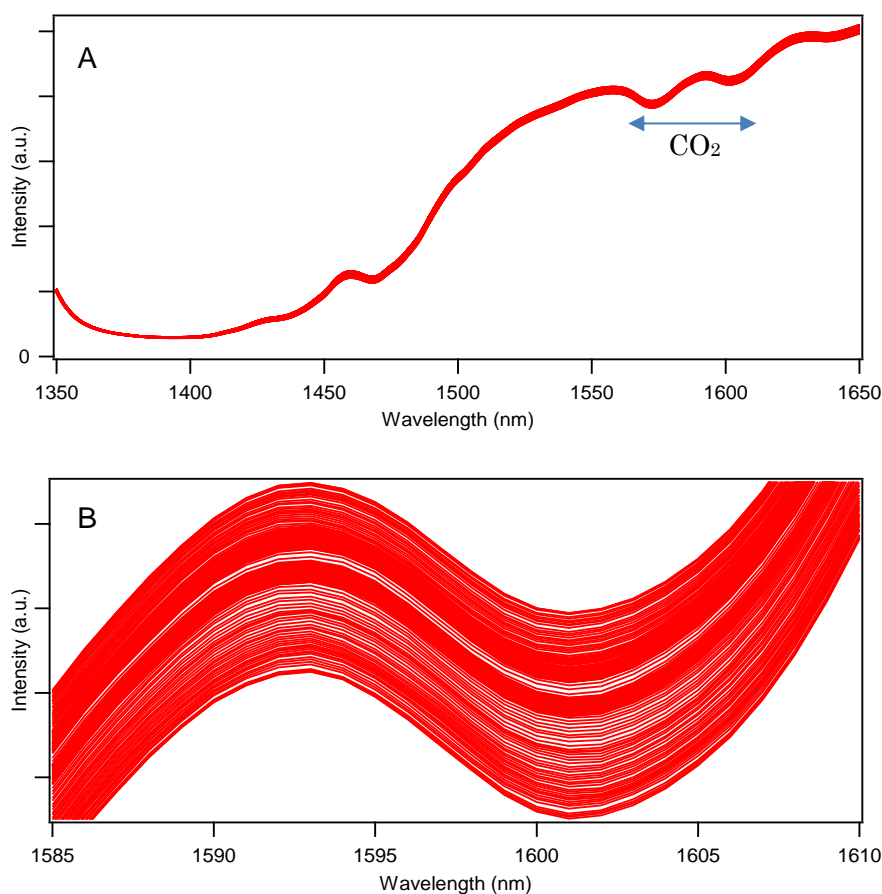


図 2. 開発中の CO<sub>2</sub> カラム計測器によって 1 秒毎に観測された太陽光源を用いた赤外スペクトル (A) とそれを 1585~1610 nm 領域を拡大したもの (B)



(別紙様式 4-2)

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、2022年度は定量的な目標値を設定せずに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。このような取り組みはこれまでなかったため、2022年度は定量的な目標値を設定せずに本手法の有効性の検証を行った。具体的には、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（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した。

3. 研究結果

図2は今年度から来年度にかけて作成中の映像IoT桜島モニタリングシステムである。現在、帯域節約のために映像を限定的（たとえば10秒映像を1分毎に送信しているが、これでは肝心な噴火を見逃すことがある（実際に、そういう事例が多くあった）。図2の仕組みにより、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に着手した。図3はインフラサウンドセンサーによる噴火期限の音波測定例（2022年7月24日）である。桜島周辺の各署の音波データをもとに波源を特定した結果、正しい位置を示していることが分かる。

4. 考察とまとめ

2022年度の成果をもとに、2023年度以降の計画は以下のとおりである。インフラサウンドデータ解析としては、6箇所目のセンサー設置（始良市を想定）による高度な音波源推定およびFDTD法

リアルタイム気象データによる電波伝搬シミュレーションとの比較を進める。映像IoTとしては、始良市にカメラを設置することで、風向きに依らない画像取得を実施する。

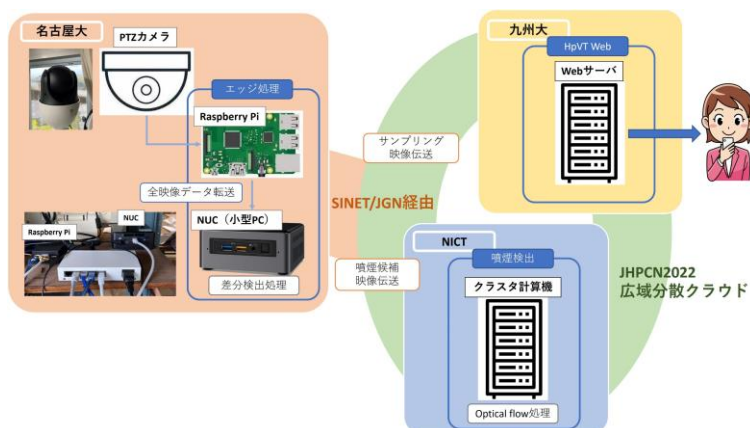


図2 桜島モニタリングシステム (映像IoT)

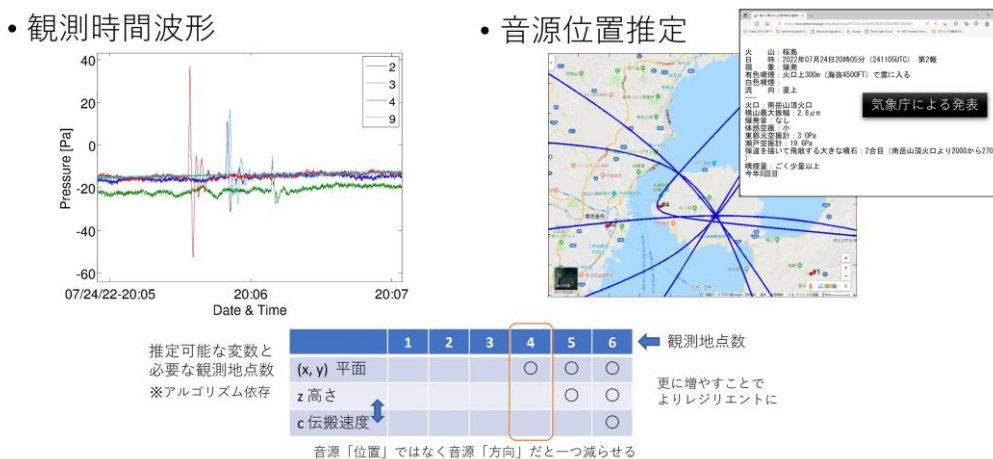


図3 桜島インフラサウンドモニタリング事例 (桜島火山噴火 (2022年7月24日20時頃))

5. 引用文献

[1] 村田健史, "レジリエント自然環境計測技術～ 目と耳と手で見る・視る・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] 西村竜一, 菊田和孝, 村田健史, 滝沢賢一, 鈴木陽一, "インフラサウンドの複数地域でのアレイ観測に基づく音波推定," Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting, MTT45-04, May 2022.

[2] 村田健史, "レジリエント自然環境計測技術～ 目と耳と手で見る・視る・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.

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

太陽活動度(黒点の数)はそれぞれの周期(サイクル)で異なる事が知られており、非常に多くの黒点が出現したサイクルもあれば、マウンダー極小期のようにほとんど黒点が現れなかったサイクルもある。実際、現在の第24太陽周期は、過去100年間で最も黒点数が少ない特異な周期であった。しかし、その原因は現在もよくわかっておらず、次の第25太陽周期がマウンダー極小期のような活動が非常に弱いものになるのか、それとも第23太陽周期以前のような比較的活動が高いものになるのか注目が集まっている。本研究では、現在のサイクル25、もしくは次のサイクル26がマウンダー極小期またはダルトン極小期のような、黒点が非常に少ないサイクルになるかどうか検討する。この検討がうまくいけば、どのくらいの確率で今後の太陽地球環境がこれまでにないような極端な状況落ち込むかを予測する事ができるようになると考えている。

これまで、世界的に様々な研究者が様々な手法を用いて太陽周期予測研究に挑んできたが、その予測結果は依然混沌とした状況である。近年、次のサイクル活動を予測する方法として、次の太陽サイクルの種になると考えられている極域の磁場の強さを見積もる事で予測するという方法が注目されている。実際、太陽極小期における極域の磁場の強さと次の太陽サイクルにおける活動度との相関は、少なくとも近年のサイクルでは観測的に検証されている。本研究では近年注目されている太陽極小期の極域磁場を数値計算によって予測することで、次の太陽サイクル活動を予測する。また機械学習などの手法を用いて黒点の出現を予測し、そのインプットをもとに次のサイクルがどの程度の確率でどのくらいの活動度になるか、確率論的に予測を行い、マウンダー極小期のようなサイクルになるか議論する。この研究を行うにあたり太陽極小期の極域磁場を数値計算によって予測する必要があり、その数値モデルはすでに開発済みであるが、実装するにあたり詳細の検討が必要である。本研究はもともと科研費新学術領域(PSTEP)で行っていた、太陽周期活動予測研究を発展させたものである。またインプットする黒点パラメータを機械学習を用いて求める手法や、過去の特異なサイクル(ダルトン極小期)の黒点を再現する手法なども行っており、本年度、Shoma Uneme, Shinsuke Imada, Harim Lee, Eunsu Park, Hisashi Hayakawa, Tomoya Iju, Yong-Jae Moon, "Inference of magnetic field during the Dalton minimum: Case study with recorded sunspot areas", Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 74, Issue 4, August 2022, Pages 767-776, <https://doi.org/10.1093/pasj/psac032> にて出版した。

現在最も力を入れて行っている研究は、太陽の活動がグランドミニマムのような極端な状況にどのくらいの確率でなるかを評価することである。これまでの観測からおよそ200年に一度の確率でグランドミニマムのような特異な太陽活動状況になると考えられているが、我々の予測モデルでも同じような確率でグランドミニマムに入りうるかを検討している。これまでの計算結果から、200年に一度の割合でダルトン極小期レベルの特異な太陽活動にはなりうるということがわかった。一方で、マウンダー極小期レベルの特異な太陽活動には200年に一度の割合ではなり得ないことがわかった。今後、磁場の流れ場への影響などを取り入れ、どうしたらマウンダー極小期レベルの特異な太陽活動を再現できるか検討する。



(別紙様式 4-2)

地上-あらせ衛星共同観測を軸とした脈動オーロラステレオ観測に  
よる降下電子エネルギーの時空間発展の推定

Evaluation of spatio-temporal variations in precipitating electron energy of pulsating auroras using stereoscopic imaging in conjunction with Arase observations

栗田 怜、京都大学・生存圏研究所

【研究目的】

脈動オーロラは地磁気擾乱時に一般的に現れるオーロラの形態の一つであり、数秒から数十秒の周期で明滅を繰り返すオーロラである。脈動オーロラの発生要因として、磁気圏内で自発的に励起される電磁波であるコーラス波動が、磁気圏に捕捉された電子の軌道を歪め大気に降下させる、ピッチ角散乱という過程が主要であると考えられている。脈動オーロラの発光を担う電子のエネルギーは、ディスクリートオーロラに比べ高いことが低高度衛星やロケット実験など、飛翔体の降下電子観測から示唆されている。近年の研究により、脈動オーロラに伴って、オーロラの発光を担う数keVから数十keVの電子に加え、数百keVのエネルギーを持つ電子が付随して降下していることが明らかとなってきている。これらの高エネルギー電子は、電離圏下部・中間圏高度の中性大気にまで到達し、異常電離・温度変化を引き起こすことにより、大気組成を変化させる可能性を持っており、磁気圏内で発生した電磁波が、ピッチ角散乱による電子降下を介して、地球中層大気にまで影響を及ぼす磁気圏-中層大気結合系の存在を示唆している。脈動オーロラは地磁気擾乱時に現れる一般的なオーロラであることから、磁気圏-中層大気結合系のシステムが普遍的であることが推測され、脈動オーロラに伴う高エネルギー電子の降り込みの有無を理解することは重要である。これまでの降下電子エネルギーに関する情報は、飛翔体による直接観測やレーダー施設直上の一点観測でのみ得られており、空間分布を取得することは困難であった。本研究では、北欧地域に展開された全天カメラ網によるステレオ観測を駆使して、脈動オーロラの発光高度の空間分布を推定することにより、降下電子エネルギーの非一様性を導出する。あらせ衛星と全天カメラ網の共同観測により手法の妥当性・限界を把握したのちに、全天カメラ網のデータを統計的に解析し、地磁気擾乱時における脈動オーロラに伴った降下電子エネルギーの時空間発展を明らかにする。

【研究方法】

本研究では、ERGサイエンスセンターにアーカイブされている、北欧地域に展開された全天カメラ観測網のデータと、あらせ衛星で取得された電子・プラズマ波動データを用いてデータ解析をすすめる。北欧地域に展開されたカメラの視野は互いに重なり合う部分があり、あらせ衛星がカメラの視野に対応する磁気圏領域を頻繁に観測している。あらせ衛星打ち上げ以降、北欧地域のオーロラ-あらせ衛星の共同観測が成立している事例が多く存在している。脈動オーロラのステレオ観測により、オーロラの発光高度が推定されるが、その高度がコーラス波動のピッチ角散乱によって降り込む電子のエネルギーと整合するかは、これまでの先行研究では明らかではなかった。本研究では、ステレオ観測によって得られる高度の情報が降下電子エネルギーを適切に反映しているかを検証するために、あらせ衛星が脈動オーロラの原因となるコーラス波動を観測している際のステレオ観測データを用いて、ステレオ観測による降下電子エネルギー推定手法の妥当性検証を行う。あらせ衛星のその場観測により、コーラス波動がピッチ角散乱を引き起こす電子のエネルギーを理論的に推定が可能であり、ステレオ観測によるエネルギー推定結果と理論値を比較し、ステレオ観測の妥当性と限界を検討する。

【研究結果と今後の方針】

あらせ衛星が観測する磁力線のフットプリントが、フィンランド・ソダンキラとスウェーデン・チャウジャスに設置された全天カメラの視野が重なる領域に位置している時、強度の強いコーラス波動を観測した。また、あらせ衛星に搭載された電子計測器MEP-eの観測データから、コーラス波動に伴い、数keV以上の電子がロスコーンに散乱されていることを突き止めた。このとき、地上の全天カメラでは脈動オーロラが観測されており、あらせ衛星で観測されたコーラス波動の時間変化と高い相関を示す脈動オーロラのパッチが、2地点のカメラで観測されていることがわかった。

2地点のカメラで観測された脈動オーロラのパッチの高度を推定するために、2地点のカメラの各ピクセルが観測する地理緯度・経度の情報である「マッピングテーブル」を、脈動オーロラプロジェクトと

の協力のもとに複数高度で決定した。また、この情報を付与した、オーロラデータのCommon Data Format (CDF) 形式のファイルを作成し、あらせ衛星のデータ解析ソフトウェアであるSPEDASで使用可能な解析ソフトウェアの開発を進めた。

新たに開発した解析環境を基にして、ソダンキラ・チャウジャスに設置された2つのカメラで観測された脈動オーロラの高度を、オーロラの発光強度の相関解析により調べた。あらせ衛星で強いコーラス波動が観測され、MEP-eによってロスコーン内の電子フラックスが増大している時間帯では、オーロラの発光高度は95-100kmであることが推定された。これは、MEP-eで観測されたロスコーン内の電子フラックス増加が見られたエネルギー帯が進入できる高度と概ね一致しており、ステレオ観測により、脈動オーロラの発光高度推定が可能であることがわかった。

本研究は、名古屋大学宇宙地球環境研究所所属の大学院生との共同研究として進められてきた。大学院生との共同研究により、「オメガバンド」と呼ばれるオーロラの大規模構造に埋め込まれた脈動オーロラのパッチにおける、降下電子エネルギーの不均一性に関する議論が行われている。今後、脈動オーロラの高度推定の際にも、このような知見を活かし、研究を進めていく。

#### 【成果報告】

- K. Toyama, Y. Miyoshi, S. Kurita, K. Hosokawa, Y. Ogawa, S. Oyama, S. Saito, K., Shiokawa, K. Asamura, T. Asano, and R. Fujii, Estimation of Precipitating Electron Energy of Pulsating Aurora Using Ground-based Multiwavelength Optical Observations, *Geophysical Research Letters*, in revision.
- 森井雄大, 三好由純, 栗田怜, 細川敬祐, 大山伸一郎, 小川泰信, 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、名古屋大学ISEE研究集会「脈動オーロラ研究集会」, 2022年9月
- Yudai Morii, Satoshi Kurita, Yoshizumi Miyoshi, Kohei Toyama, Keisuke Hosokawa, Shin-ichiro Oyama, Yasunobu Ogawa, and Shinji Saito, Characteristics of precipitating electrons of the omega band based on two wavelength optical measurement, 日本地球惑星連合2022年大会, 2022年5月

(別紙様式 4 - 2)

太陽圏における銀河宇宙線伝播の研究  
Study on Galactic Cosmic Ray Propagation in the Heliosphere

田中公一、広島市立大学・情報科学研究科

【研究目的】

本研究では、インドと日本に設置した大型ミュオン望遠鏡を用いた宇宙線連続観測により、宇宙線強度変動と太陽活動との関係、及び宇宙線異方性と惑星間空間磁場 (IMF : Interplanetary Magnetic Field) の構造との関係について調べる。これから宇宙磁場中における宇宙線の加速・伝播機構の理解を深めることを目的とする。

【研究方法】

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、惑星間空間磁場 (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、宇宙磁場中における宇宙線の加速・伝播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・伝播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 程度のリジディティの宇宙線を観測することができる。これは、約 0.4 天文単位 (au) の巡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。申請者の所属するグループにより運用されている GRAPES-3 と明野観測所のミュオン望遠鏡は、共に 4 層の比例計数管の方向を交互に 90 度ずらして配置したホドスコープ型の望遠鏡であり、インドと日本の約 60 度の経度差を基に、地球の自転を利用した連続観測により、広域同時観測が実現できる。

明野ミュオン観測では 3 基のミュオン望遠鏡に大規模な再整備作業が進行中であったが、そのうちの 1 基が継続的に観測可能になった。残りの 2 基について比例計数管の改修、及びデータ収集系の更新作業を行っている。また、GRAPES-3 ミュオン観測も、検出面積を 2 倍 (1,120 m<sup>2</sup>) にする拡張作業が進行中である。

【研究活動報告】

GRAPES-3 の共同研究を行うインドにおいて、2020 年度に実験の新ミュオン望遠鏡 16 基について比例計数管の積み上げが終わり、信号計測回路の設置を行って 2022 年度に試験観測が始まった。2019 年度末に新型コロナウイルスの世界的流行が始まり、2020~2022 年度になっても依然として流行が治まらなかったため、今年度も日本人研究者のインド渡航

を断念せざるを得なかった。しかし流行が今年 1 月以降に治まってきたので、日本国よりも状況が良いインドの共同研究機関であるインド・タタ基礎研究所の研究者 (S.K.Gupta 氏と B.Hariharan 氏) が日本へ招待され、2 月～3 月に 3 年ぶりに国内共同研究者とのミーティングを行うことができた。本研究代表者も本来の目的である出張に予算を支出でき、ミーティングを行う中部大学に出張した。ミーティングでは、データ解析状況を話し合い、今後の方針を決めた。明野ミュオン観測の方針についても議論した。

明野ミュオン観測において、本年度のコロナウィルスの感染者数の減少期の 8 月 1 回、および、10 月 2 回明野観測所に本研究代表者と中部大学の大嶋晃敏氏が出張し、3 基の明野ミュオン観測装置の再整備を行った。

#### 【研究成果】

本研究に関する成果として、日本物理学会で 6 件の発表を行った。

#### 【日本物理学会・その他学会発表】

1. 「GRAPES-3 空気シャワー観測の全体報告」、大嶋晃敏、小島浩司、野中敏幸、田中公一他、2022 年 9 月、日本物理学会 2022 年秋季大会、6aA124-1
2. 「GRAPES-3 実験における大型 NaI 検出器の導入について(6)」、田中公一、小島浩司、大嶋晃敏、野中敏幸他、2022 年 9 月、日本物理学会 2022 年秋季大会、6aA124-2
3. 「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(29)」、小島浩司、大嶋晃敏、野中敏幸、田中公一他、2022 年 9 月、日本物理学会 2022 年秋季大会、8pA125-9
4. 「GRAPES-3 Muon Telescopes による宇宙線強度変動の観測(7) (多点同時観測に向けて)」、野中敏幸、大嶋晃敏、小島浩司、田中公一他、2022 年 9 月、日本物理学会 2022 年秋季大会、8pA125-10
5. 「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(30)」、小島浩司、大嶋晃敏、野中敏幸、田中公一他、2023 年 3 月、日本物理学会 2023 年春季大会、23pW2-3
6. 「地上ミュオン観測における気圧変動の効果」、小河蒼太、大嶋晃敏、小島浩司、野中敏幸、田中公一他、2023 年 3 月、日本物理学会 2023 年春季大会、23pW2-4

## 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 (2022 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 について多数の 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と予想された。そこで、2018 年度後期に、FLR を自動同定する方法の開発に着手した。その方法は、各 beam の各 range gate (以下 RG と記す) 毎にその VLOS データに FFT をかけ、その後、同じ beam 上で近くに位置する 2 つの RG's の FFT'ed data に位相差法・振幅比法と呼ばれる方法を適用して FLR を自動同定する、というものである。

我々はまず、SD の 1 つの beam に対して上記の方法で FLR を自動同定する matlab 関数プログラム (以下 find\_FLR.m と記す) を作成し、そのテストと完成の為に上記 SI イベントを用いた。つまり、別途 (独立に) HAN と PYK の幾つかの beams で FLR events を目視同定しておき、その 1 つ 1 つの beam に find\_FLR.m を適用し、目視 events が全て自動同定されるまで find\_FLR.m を改良し、これをもって完成とした。

ただ、find\_FLR.m は、1 つの beam について自動同定を行う機能のみを持ち、生データファイルからの VLOS 時系列データの読み込みと FFT 適用、及び find\_FLR.m が出力するデータの作図、は別のプログラム言語で過去作成したプログラムで行っていた。これでは大量のデータの解析を一括して行う事は出来ないのので、全ての codes を IDL 言語に書きかえて統合するプログラミングを行っている。しかし、技術的な問題から難航し、2022 年度中には完成に至らなかった。今後プログラミングを続行し至急完成させる計画である。

2022 年度中のそのプログラミングにおいてはまた、2021 年度に既存の codes で解析した結果の問題点を改善する解析方法の追加検討も行った。それは以下の通りである。

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、周波数分解能を上げるため zero-padding を行った。今年度は 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。2023 年度には Lomb-Scargle 解析により周波数分解能を上げる方法も検討したいと考えている。

#### 【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, and Tomoaki Hori, Magnetospheric-density estimation from automatically identified FLR in ground and ionospheric backscatters of SuperDARN, Japan Geoscience Union Meeting 2022, 2022.05.22-05.27(Hybrid), 2022.05.29-06.03(Online Poster) (発表日 06.02), hybrid and online, Japan

H. Kawano, A.S. Yukimatu, N. Nishitani, Y. Tanaka, S. Saita, T. Hori, Increasing the resolution of the FFT for more precise FLR-frequency determination in VLOS, 2022 年度 SuperDARN 研究集会, 2022.03.09, hybrid, 日本

都市および森林におけるPM<sub>2.5</sub>中の有機成分の  
光学特性と化学特性のオフライン分析

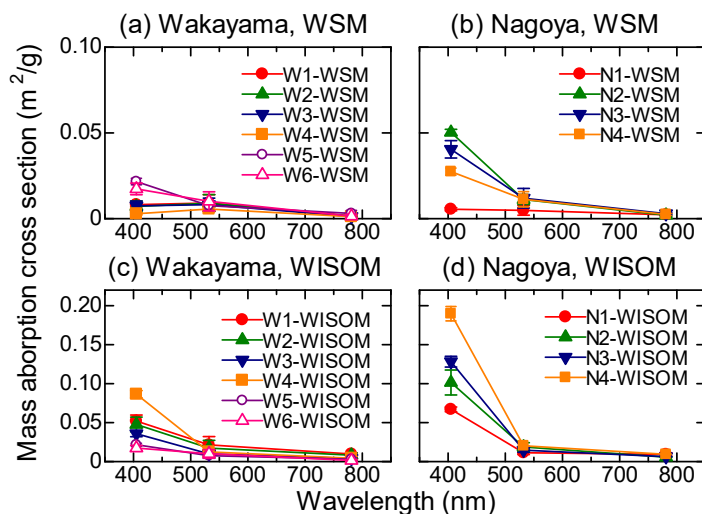
Offline analyses of optical and chemical properties of organic compounds in PM<sub>2.5</sub> collected  
at urban and forest sites

中山 智喜、長崎大学・水産・環境科学総合研究科

大気中のエアロゾル粒子は、太陽光を吸収もしくは散乱することにより、大気を加熱もしくは冷却し、気候変動や大気環境に影響を及ぼしている。近年、黒色炭素粒子に加えて、粒子中の一部の有機炭素成分（ブラウンカーボン）が、短波長可視域から近紫外域に光吸収性を有し、大気の放射収支や光化学反応に有意な寄与を持つことが指摘されている。そのため、様々な大気環境下におけるブラウンカーボンの光吸収特性の解明が必要である。

申請代表者と分担者の名古屋大学ISEEの持田陸宏教授のグループのこれまでの共同研究により、森林よび都市で捕集された粒子から抽出された水溶性成分および非水溶性有機成分を、実験室内で再度粒子化し、その光学特性および粒子径分布を測定してきた。本研究では、光音響分光法により連続測定された波長405, 532, 781 nmにおける光吸収係数と走査型モビリティパーティクルサイザーで測定された粒径分布データから、粒子が浮遊した状態での質量光吸収断面積 ( $m^2/g$ ) を導出した。

図に、夏季に和歌山県有田川市の森林サイトおよび愛知県名古屋市の都市サイトで捕集した微小粒子（6および4サンプル）中の水溶性成分(WSM)と非水溶性有機成分(WISOM)の質量吸収断面積の波長依存性を示した。その結果、WSM、WISOMのいずれについても、都市サイトで捕集された粒子の方が、森林サイトで捕集された粒子に比べて短波長可視領域における質量光吸収係数が数倍大きいことがわかった。持田グループにより分析された同一サンプルのO/C比およびN/C比はWSMについては名古屋の方が高く、WISOMについては和歌山の方が高かったことから、WSMとWISOMで光吸収特性の決定要因が異なることが示唆された。WSMについては窒素含有有機化合物やより酸化の進んだ有機成分が寄与している可能性がある一方で、WISOMについては重合反応等により生成された高分子化合物が寄与している可能性が考えられた。



図：(a, c)和歌山県有田川市および(b, d)において夏季に捕集された微小エアロゾル粒子中の(a, b)水溶性成分および(c, d)非水溶性有機成分を再粒子化した際の質量吸収断面積の波長依存性



(別紙様式 4 - 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

### 【本研究の目的と目標】

「場所を選ばない」「地表から上空まで連続計測可能」というメリットに優れた地形表面～上空を計測範囲とする PM2.5 等測定自律飛行システムの開発・検証を目的とする。将来的な火星ドローンによる気象観測・大気成分測定・縦孔-地下空洞探査システム<sup>1)</sup>の開発・検証を目標として、3つのサクセスレベルを設定する：

[ミニマムサクセス A] 地形計測システム

[ミニマムサクセス B] 上空大気観測システム

[フルサクセス] 地形計測と上空大気観測のドローン遠隔操縦飛行システム

]エクストラサクセス] 地形計測と上空大気観測のドローン自律飛行システム

### 【1：地形計測システム】

地表地形の計測はドローンのナビゲーション・自律飛行に必要な情報獲得手段である。021年度はドローン写真測量システム/レーザースキャナ測定システムの実証実験を縦穴の実験地（静岡県大室山山麓「穴の原溶岩洞穴」）において行った（図1）<sup>2)</sup>。

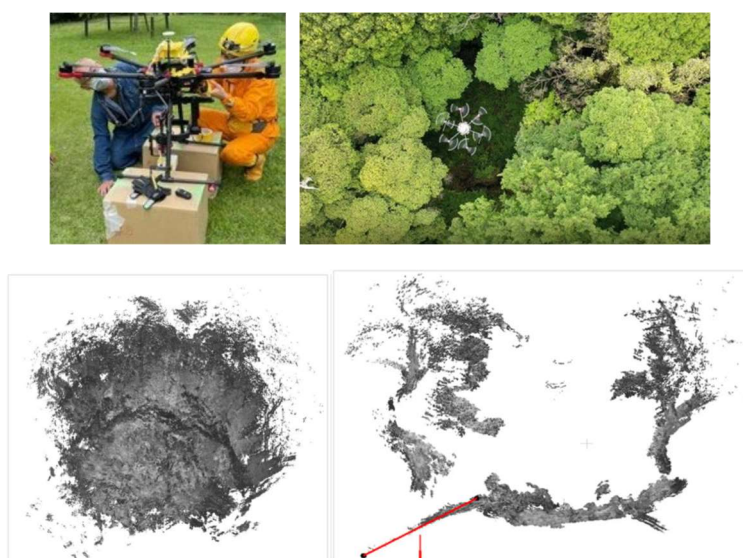


図1：(左上)ドローン測定システム (右上)縦穴降下計測  
(下)縦穴の3次元点群モデル

## 【2：上空大気観測システム】

PM2.5 測定システム（図 2）をドローンにより上空に運び、その場でホバリングさせて測定を行う。2020 年度はドローンと吊り下げペイロード（測定システムを封入したカプセル）で構成した（図 3）。2021 年度（図 3）はドローンにマウント装着させたペイロード（測定システムを覆うカプセル）で構成した（図 4）。

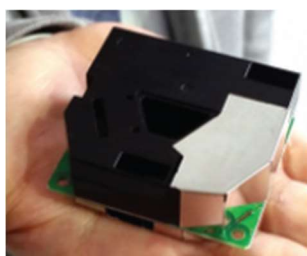


図 2

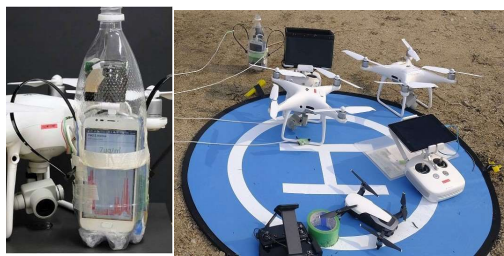


図 3



図 4

## 【まとめと課題】

地形計測についてはおおむね順調に進捗している。上空大気観測については、2020 年度ではドローンの機体下方に大気観測装置を位置させる構成にした。しかしながら、スラストの気流の影響を受けない程度に大気観測装置を機体から離す必要があるため、ローブ長が長くなり全体として横風の影響を受け易くなってしまった。2021 年度ではドローンの機体上方に大気観測装置を固定させる構成にした。しかしながら、全体の重心位置が上がったため、空中のバランスの安定が悪くなった。

2022 年度は機体中央に大気観測装置を位置させる構成を計画している。具体的には、大気観測装置だけでなくレーザースキャナ装置等の各種ペイロードを換装できるような機体デザインとするプラットフォームバスのコンセプトで設計することにした。

## 【参考文献（URL）】

1) 眞部広紀, 久間英樹, 岡本渉, 稲川直裕, 阿依ダニシ, 堀江潔, 大浦龍二

『穴ノ原溶岩洞穴における UAV のレーザースキャナ測量・写真測量と深奥部探査の検討』  
佐世保工業高等専門学校研究報告第 58 号 pp86-93 (2022 年 01 月 31 日)

2) 岡本 渉, 眞部 広紀, 久間 英樹, 堀江 潔, 大浦 龍二, 堀井 樹, 阿依 ダニシ

『UAV を組み込んだ火星の縦孔-地下空洞探査構想と穴ノ原溶岩洞穴における  
進入離脱飛行実験の解析』

第 65 回宇宙科学技術連合講演会（山形大会）

OS-15 月惑星の縦孔・地下空洞探査 UZUME 計画, 2021 年 11 月 12 日

(別紙様式 4-2)

## 積乱雲の発生過程解明のための大気環境場観測 Observation of Atmospheric Environmental Fields for Clarifying the Generation Process of Cumulonimbus Clouds

代表者：大東忠保 防災科学技術研究所・水・土砂防災研究部門

### 研究目的

夏季晴天日には小規模な対流性の積雲が多く発達する。積雲は降水をもたらさないが、この多くの積雲の中から鉛直方向に深く発達した積乱雲が選択的に発達し、短時間に強い降水をもたらす。しかしながら、積雲から積乱雲に発達するための過程（積乱雲発生過程）は十分に明らかになっていない。そこで、本研究では最終的に、積乱雲発生に関する詳細な過程を明らかにすることを目標としている。この過程の解明は、積乱雲のライフサイクルの解明に貢献するものである。積乱雲は単体で激しい雨をもたらすとともに、豪雨をもたらす対流システムの構成要素でもある。したがって、対流システムの構造と発達の素過程解明への寄与も期待される。

最終目標である積乱雲発生過程の解明のためには、雲のスケールより十分大きな時空間スケールの大気場（大気環境場）の変動過程（例えばSeino et al., 2018; Sugawara et al., 2018; Nelson et al., 2021）を明らかにした上で、雲過程を含む対流現象が大気環境場と相互作用しながら発達していく過程（例えばKhairoutdinov and Randall, 2006）を明らかにする必要がある。本共同研究課題では、前者の大気環境場の詳細な変動過程を調べた。

### 研究方法

大気環境場を把握するため、気球に取り付けて飛揚させるゾンデ観測を行った。気象庁等が実施する現業観測は通常1日2回（12時間間隔）であり、1時間程度の寿命しかもたない積乱雲の時間スケールと比較して時間分解能が粗い。そこで、本共同研究では高時間分解能の大気環境場を得るために高頻度のゾンデ観測を行った。

使用したゾンデは明星電気製のiMS-100である。iMS-100では、気温、露点温度、高度、気圧、風向・風速を1秒毎に取得し、400MHz帯の周波数を用いて送信されたデータを地上で受信する。

観測は2022年8月18日から27日の10日間、つくば市の防災科学技術研究所（以下、防災科研）で行った（図1上）。連続的な観測を行うため2台の受信機を用い（図1下）、朝8時から夕方17時の間に放球を行った。放球の時間間隔は最短で1時間、1日最大10回の放球を行った（23日、24日、25日、27日）。全部で62回の放球を行い、地面からの加熱の影響が大きい高度5km以下についてはこのうち60回でデータを取得した。また、うち51回では気象庁館野の高層気象観測点における8月の対流圏海面高度に近い16.5kmよりも高い高度まで観測した。ゾンデ観測と同期させて防災科研のKaバンド雲レーダー、Xバンド降水レーダー、走査型ライダー、タイムラプスカメラ、雷放電経路3次元観測システムLMA等を用いて、雲の内部構造や発達過程に関してもデータを取得した。

### 研究結果

2022年8月18日から27日の10日間のうち、前半はつくばを含む関東で低気圧や前線に伴う降水が多かった。19日は気象庁つくば観測点の観測時間帯（8～17時）のうち、日照時間1時間の時間帯も多く、日最高気温も32.8℃と高くなったが、1時間値の相対湿度の最高が68%（8時）、最低が41%（13時）と低く対流活動は活発ではなかった。後半5日間ではつくばで30℃を越えた日が3日あり、関東域における積

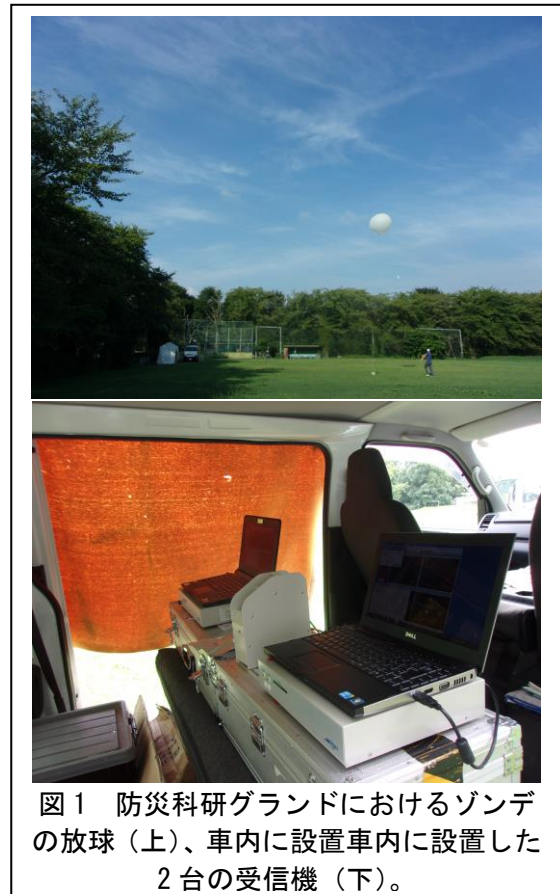


図1 防災科研グラウンドにおけるゾンデの放球（上）、車内に設置車内に設置した2台の受信機（下）。



乱雲による雷活動も前半より活発であった。今回は1日10回の放球を実施し、地上での日最高気温もほぼ同じであったが日射がかなり異なった23日（日最高気温33.4℃、8～17時の相対湿度62～87%、日照時間0～0.8h）と、27日（日最高気温33.6℃、8～17時相対湿度63～96%、11～17時日照時間 $\geq$ 0.8）のゾンデ観測結果を示す。タイムラプスカメラや気象庁の観測から23日は層状の雲が広い時間で覆っていたが、27日は昼前から日照も多く対流性の雲が多く見られた。

図2に8月23日（左）と8月27日（右）における、8時から17時まで1時間ごと温度と露点温度の高度分布を示す。23日は高度2km以下で、27日は1km以下で午前中、時間とともに温度が上昇し、これに伴って同高度が不安定化している。それより上空での温度の時間変化は大きくない。両日を比べると高度1.5kmよりも上空で27日の方が温度が低く不安定な成層を示す。このことが、27日の方が対流性の雲が発達した原因と思われる。したがって、日射によって下層が暖められることが日変化を引き起こすものの、両日の対流の発生のしやすさについては変動の少ない中・上層の温度が重要であった。また、両日の違いとして27日のほうが1.5～4kmの露点温度の変動が大きい。これは対流活動と積雲の発生の結果であるかもしれないが、新たに発生する対流に対しては湿度に対する環境場の違いを与えており、先に生じた積雲が後に生じる対流の発達のしやすさに影響を与えているものと考えられる。

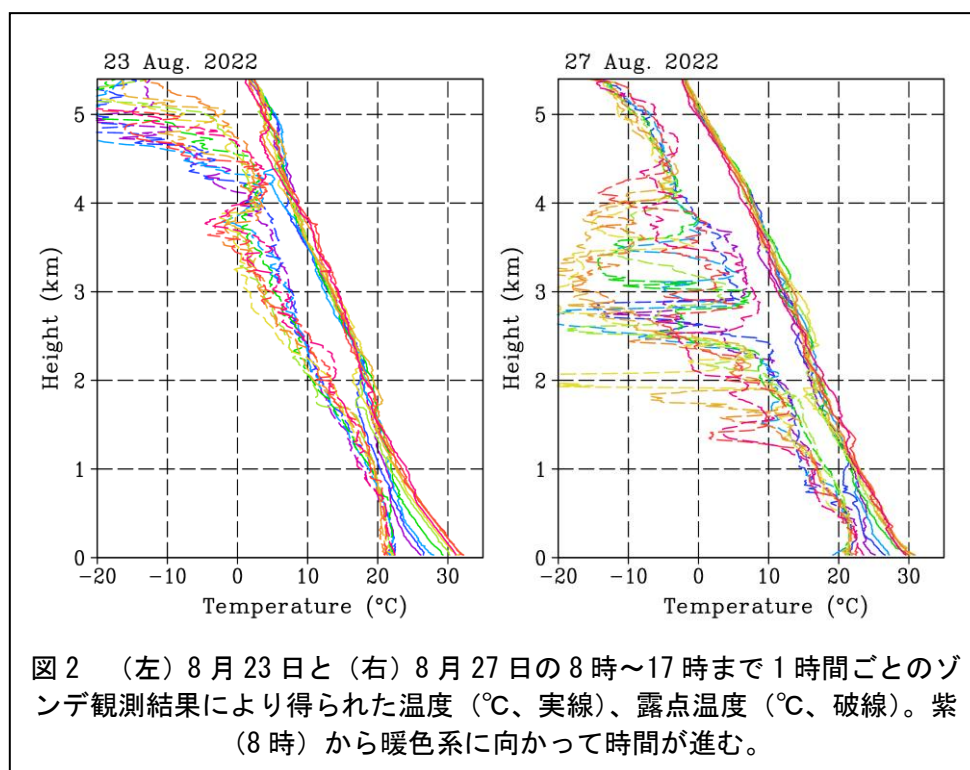


図2 (左) 8月23日と(右) 8月27日の8時～17時まで1時間ごとのゾンデ観測結果により得られた温度(℃、実線)、露点温度(℃、破線)。紫(8時)から暖色系に向かって時間が進む。

## まとめ

積乱雲の発生過程の解明に向けて、雲のスケールより十分大きな時空間スケールの大気場（大気環境場）の変動過程を得るために、2022年8月につくばにおいてゾンデ観測を行った。最短1時間間隔での観測を行い、時間分解能の高いデータを取得した。層状の雲が長時間存在した23日と、対流的な雲が多く見られた27日を比べると、後者の方が下層から中層において低温で不安定であった。また、同高度の水蒸気量の時間変動が大きいことから、対流性の雲の発達により水蒸気の水平非一様性が生じ、そのことが新たな対流の発達のしやすさに寄与しているものと考えられる。今後は、他の観測データと総合したデータ解析を進めるとともに、得られた大気鉛直プロファイルを初期値とした数値シミュレーションを行うことによって、積乱雲発生過程の解明に向けた研究を行う予定である。

## 引用文献

- Khairoutdinov, M., and D. Randall, 2006: High-resolution simulation of shallow-to-deep convection transition over land. *J. Atmos. Sci.*, **63**, 3421-3436. <https://doi.org/10.1175/JAS3810.1>
- Nelson, T. C., J. Marquis, A. Varble, and K. Friedrich, 2021: Radiosonde observations of environments supporting deep moist convection initiation during RELAMPAGO-CACTI. *Mon. Wea. Rev.*, **149**, 289-309. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-20-0148.1>
- Seino, N., R. Oda, H. Sugawara, and T. Aoyagi, 2018: Observations and simulations of the mesoscale environment in TOMACS urban heavy rain events. *J. Meteor. Soc. Japan*, **96A**, 221-245. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2018-029>
- Sugawara, H., R. Oda, and N. Seino, 2018: Urban thermal influence on the background environment of convective precipitation. *J. Meteor. Soc. Japan*, **96A**, 67-76. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2018-010>

(別紙様式 4-2)

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

村田 功、東北大学大学院環境科学研究科

東北大学と国立環境研究所では、つくばでの 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、O<sub>3</sub>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。今年度はその初期結果について報告する。

同位体比は発生源によって異なるほか、化学反応でも分別が起こることがあり、大気中の同位体比を測定することでこれらの情報が得られる。ただし、同位体比を求めるには高精度な観測が必要で、これまで大気中の同位体を利用した研究は主にサンプリングデータの高精度な分析によって発展し、大気中の成分の分布における発生源や化学反応の寄与に関する新たな知見が得られるようになってきた。

一方、赤外分光では絶対量の少ない同位体でも吸収強度の強い吸収線を用いれば解析は可能であるが、吸収線の強度などに数%程度の不確実性があることが多く、‰単位の微少な絶対値を精度よく求めることは難しい。しかし、同位体比の相対的な変動は%オーダーであることも多く、吸収線強度の不確実性はバイアスとして全てのデータに同様に効くため相対変動には影響しない。そこで、ノイズ等によるランダム誤差を%程度に抑えられれば、相対的な変動から発生源等に関する議論は可能ではないかと考え、検討を始めた。

メタンには<sup>12</sup>CH<sub>4</sub>の他に<sup>13</sup>CH<sub>4</sub>、<sup>12</sup>CH<sub>3</sub>Dといった安定同位体が存在する。<sup>12</sup>CH<sub>4</sub>では3 μm付近の3つの波長領域を合わせて解析しているが、同位体の<sup>13</sup>CH<sub>4</sub>、<sup>12</sup>CH<sub>3</sub>Dについても同じく3 μm付近のほか8 μm付近にも解析に使えるような吸収線がある。図1に、8 μm帯の1233.9 – 1234.6 cm<sup>-1</sup>の波数領域で<sup>13</sup>CH<sub>4</sub>を解析してみたフィッティングの結果を示す。解析にはNDACC/IRWG(InfraRed Working Group)で共通して用いられているロジャーズ法を用いたスペクトルフィッティングプログラムSFIT4を使用している。これは2021年1月に観測した15スペクトルの平均であるが、中央付近の最も大きな吸収が<sup>13</sup>CH<sub>4</sub>によるもので、上部のフィッティング残差のグラフを見るとほぼゼロの周辺に分布しており、まずまずフィッティングできていることが分かる。試しにこの<sup>13</sup>CH<sub>4</sub>の結果と同期間の<sup>12</sup>CH<sub>4</sub>の解析結果から対流圏（ここでは0 - 8 km）カラムのδ<sup>13</sup>Cを求めてみたところ-55‰となり、地表付近で観測される値の範囲であった。まだ他の結果との比較などによる検証が必要であるが、今後最適な波長領域の組み合わせや吸収の重なっている干渉成分（特に水蒸気）の影響を最小化する手法などを検討していく予定である。また、<sup>12</sup>CH<sub>4</sub>の解析では3層程度の高度情報が得られているが、図1の<sup>13</sup>CH<sub>4</sub>の解析でも2層程度の高度分解は出来ており、対流圏成分と成層圏成分を分離した議論も可能になるのではないかと考えている。

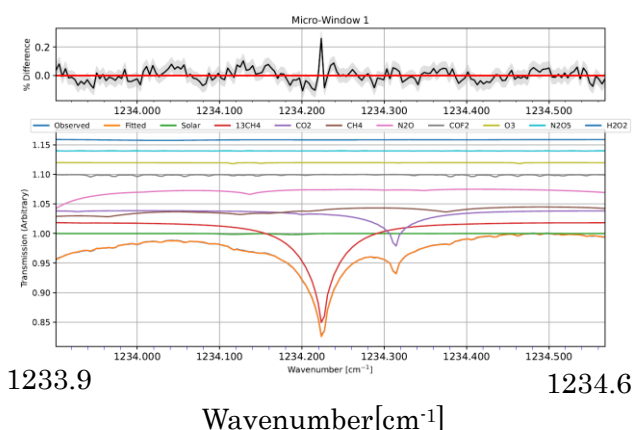


図1. <sup>13</sup>CH<sub>4</sub>の試験的なフィッティング結果

【成果発表】

村田 功、長浜 智生、中島 英彰、森野 勇、FTIR観測によるメタン同位体導出、第27回大気化学討論会、つくば、2022年11月。

村田 功、長浜 智生、中島 英彰、森野 勇、FTIR観測スペクトルからのメタン同位体導出、第5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、名古屋、2023/3/8-9。

(別紙様式 4-2)

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 gl  
obal-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

2022年度における研究課題の成果は以下の通りである。

連成計算1について、前年度に引き続き、2017年3月に発生した磁気嵐を対象に実施したグローバルモデルによる計算結果の解析を進めた。グローバルモデルの計算結果に示される高エネルギー電子の速度分布関数を用いた連成計算2により、コーラス放射が発生する条件のサーベイ計算を実施した。さらに、コーラス放射発生条件に関するサーベイ計算として、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ている。以上の成果を国内外の学会・研究会で報告した。また、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2020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。2023年度はコーラス放射発生条件に関するサーベイ計算を継続するとともに、衛星観測結果を初期条件として連成計算2を実施して、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。



(別紙様式 4-2)

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

宗像一起、信州大学・理学部

GMDN (Global Muon Detector Network) と中性子計ネットワーク (NM network) で観測された 2021 年 11 月の ICME イベントの解析を行い、MFR の中心付近に磁力線に沿った大振幅の双方向流が存在し、宇宙線密度と一次異方性のレジディエー・スペクトラムがダイナミックに変動している様子を明らかにした。これは、muon 計と中性子計の汎世界的ネットワーク観測データに基づく世界初の成果である。この成果は *Astrophysical Journal* に学術論文として掲載されるとともに、日本物理学会および地球電磁気・地球惑星圏学会で発表された。

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

本研究では、名古屋大学大学院生命農学研究科附属フィールド科学教育研究センター稲武フィールド及び三重県内の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UAV (Marvic2 Pro、DJI社製)により空撮を行い、合わせてプロット内の全立木位置をGNSSのSP20 (Spectra Geo spatial社製)及び森林3次元計測システム OWL (株アドイン研究所製)により、測高器Trupuls (Laser Technology社製)により樹高を計測した。また、空撮画像を利用して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、開発中の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。RTK等の機能を搭載しないUAVでは、一般的に位置精度が低いため、本研究では同地域の航空レーザ測量成果を利用し、UAV点群から抽出した樹頂点の位置補正方法を検討し、現地調査とのマッチングを行った。位置補正方法としては、抽出樹頂点全て、最適樹冠傾斜 (樹冠形状の指標) の一定上限以下の樹頂点のみを利用する場合について、現地調査との比較により精度の比較を行い、最適な上空・地上データのマッチング手法について検討を行った。

結果及び考察

図1に示したとおり、最適樹冠傾斜の上限を設けない場合 (全樹頂点を位置補正に利用する) 場合に比べ、一定の上限を利用した場合の方が検出率 (現地調査結果との一致) が安定して高く、かつ樹高の推定精度も高かった。また、僅かな差ではあるが、上限は30度前後が安定しており、この条件による樹頂点を利用することにより最適な上空・地上データのマッチングが可能となることが示唆された。

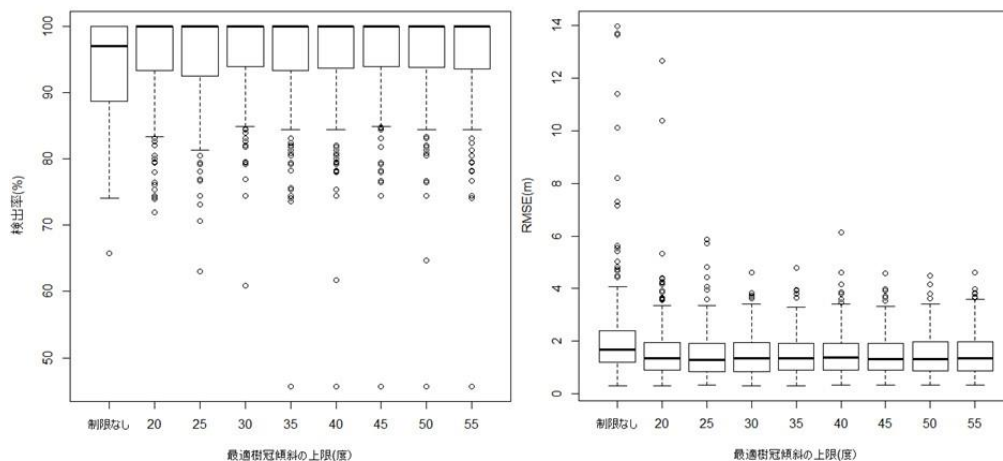


図1. 最適樹冠傾斜上限と検出率(左)・樹高RMSE(右)の比較

(別紙様式 4-2)

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

天野孝伸 東京大学大学院・理学系研究科地球惑星科学専攻

### 研究目的

無衝突な宇宙空間プラズマ中においてはプラズマ波動を介してエネルギー・運動量の輸送が起こると考えられており、プラズマ波動の理解は太陽風・地球磁気圏を始めとする様々な領域でプラズマ粒子の加熱や加速に重要な役割を果たす。本研究では特にホイッスラー波、イオンサイクロトロン波、ミラーモードなどの電磁的な波動について、その励起過程、非線形なコヒーレント構造の形成、波動に伴う粒子の散乱、加熱、加速、またそれらの相互の関係性について理解することを目的とする。このような波動は太陽風、衝撃波、磁気シース、磁気圏界面、磁気圏尾部、内部磁気圏などあらゆる領域で見られる。物理素過程の理解を通して、これらの領域間で見られる波動現象の共通性や多様性の理解が進むことが期待される。

### 研究内容

本年度は特に中性粒子がプラズマ中で電離されることによって作られるピックアップイオンが励起する不安定性に着目した。ピックアップイオンは電離された直後には速度空間において特徴的なリング・ビーム分布を持つことが期待されるが、この分布は一般には不安定であり、等方分布に緩和すると考えられている。このピックアップイオン起源の不安定性やその緩和過程の重要性は太陽風と惑星・彗星の相互作用や太陽圏外縁部において指摘されているが、本研究はその物理素過程に着目して数値シミュレーションと理論的な考察を行った。

数値シミュレーションでは電子・イオン共に運動論的に扱うParticle-In-Cell (PIC) 法と電子を流体近似したハイブリッド法を用いた数値シミュレーションの両方のモデルを用いて比較を行った。ただし、ハイブリッド法は有限電子慣性モデル（電子を有限の慣性を持つ流体として近似）を用いた。どちらのモデルにおいても数値シミュレーションは1次元および2次元モデルを状況に応じて使い分けた。

特に、ピックアップが磁力線に垂直方向に起こった場合のリング分布（ビーム成分はゼロ）を仮定し、一様系のPICおよびハイブリッドシミュレーションを行った。その結果、長波長のAlfvén-Ion-Cyclotron (AIC) モードやミラーモードについては両方で波数や強度が一致している一方で、高周波・短波長で斜め伝播のIon Bernstein (IB) モードについては両者に大きな違いが見られた。これは短波長のIBモードにおいては一般に電子のLandau減衰の効果が無視できないため、Landau減衰の効果が含まれていないハイブリッドシミュレーションでは、より短波長成分の強度が強くなったと考えられる。なお、同様の違いは線形解析からも確認されている。パラメータサーベイの結果から、Landau減衰の効果はピックアップイオンの密度が大きい、またリング速度が大きい場合に特に顕著になることが分かった。これはすなわち適用対象によって適切なモデルを使い分ける必要があることを示唆する。例えば、太陽圏外縁部のようなピックアップイオンの密度が低い場合についてはハイブリッドが適したモデルであると言える。一方で、彗星近傍のような比較的ピックアップイオンの密度が高い場合にはPICを用いなければならない。

上記に加えて、MMS衛星の観測データを用いたホイッスラー波の解析も行った。地球バウショックのバーストモード観測データを用いて、衝撃波遷移層領域における高周波 ( $f/f_{ce}=0.1-0.5$ ) のホイッスラー波の強度と衝撃波パラメータの相関を統計的に調べ、衝撃波のAlfvénマッハ数とホイッスラー波強度の間に顕著な相関があることが分かった。一方で、ホイッスラー波の励起過程の同定には至っておらず、今後はさらなる詳細解析および理論・数値シミュレーションとの相補的な研究が必要になると考えられる。

研究発表

1. 岡田卓郎, 天野孝伸, ピックアップイオンが励起する不安定性のハイブリッドシミュレーション, Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting 2022, 幕張, 2022年5月
2. 岡田卓郎, 天野孝伸, 寺境太樹, Outer Heliosheathのリング分布の安定性におけるion-Bernsteinモードの影響, 第152回地球電磁気・地球惑星圏学会, 相模原, 2022年11月

(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

### 研究目的

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、渦相関法により海面から放出される海塩粒子の放出量を直接評価することを目的として、「新青丸」と「しらせ」で観測を実施した。

### 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2隻ともに波しぶき計の他、超音波風速温度計、オープンパス型CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>Oガス分析計、船体動揺計測装置からなる（図1）。これらによって大気乱流により生じる3次元風速、音仮温度、粒子数密度、CO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>O密度、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、15 $\mu$ m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。またシステムは新青丸ではフォアマスト、しらせではコンパスデッキのハンドレールを利用し設置した。波しぶき計の大気試料の吸引口として漏斗を用い、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吸引口まで伸ばし、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。

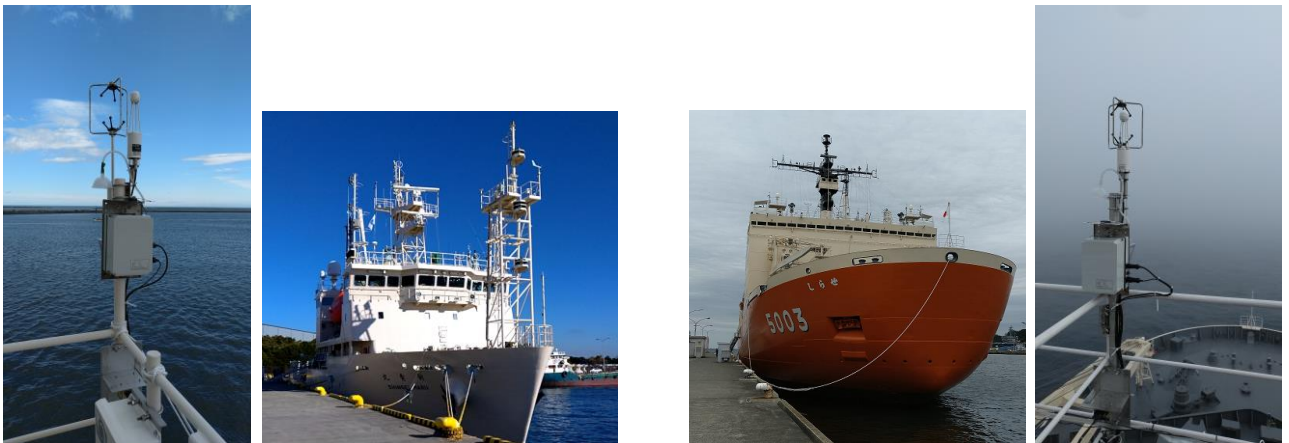


図1 新青丸（左）としらせ（右）に設置した乱流フラックス観測システム

## 研究結果

図2は新青丸KS-22-10航海における風速、そして渦相関法によって直接評価された運動量、顕熱、潜熱、 $1.0\sim 3.0\mu\text{m}$ の粒径における粒子の海面フラックスの時系列変動である。風速は観測期間中に最大で $10\text{ms}^{-1}$ 程度と、海面破碎が見込まれる荒天下でのフラックスを観測することがあまりできなかった。運動量フラックスは最大 $-0.8\text{Nm}^{-2}$ で風速に依存する様子がみられた。顕熱と潜熱のフラックスは同様の変動がみられ、観測期間中の顕熱は最大で $40\text{Wm}^{-2}$ 程度、潜熱は $160\text{Wm}^{-2}$ 程度と海面から熱の放出量は大きくなく、顕熱については吸収される様子もみられた。また波しぶき計により計測された粒子の海面フラックスは最大で $160\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 程度で、運動量がある程度大きい時に海面から粒子が放出される様子がみられた。しかしながら、従来の報告例（例えば Norris et al., 2012ほか）とは異なり、昨年度の沿岸域での観測と同様に風速依存性はみられなかった。また本観測航海では、波高や流向流速といった海象データの観測、タイムラプスカメラによる海面状態の撮影も同時に実施していたため、今後は粒子の海面フラックスの変動要因を明らかにすることに取り組んでいく予定である。

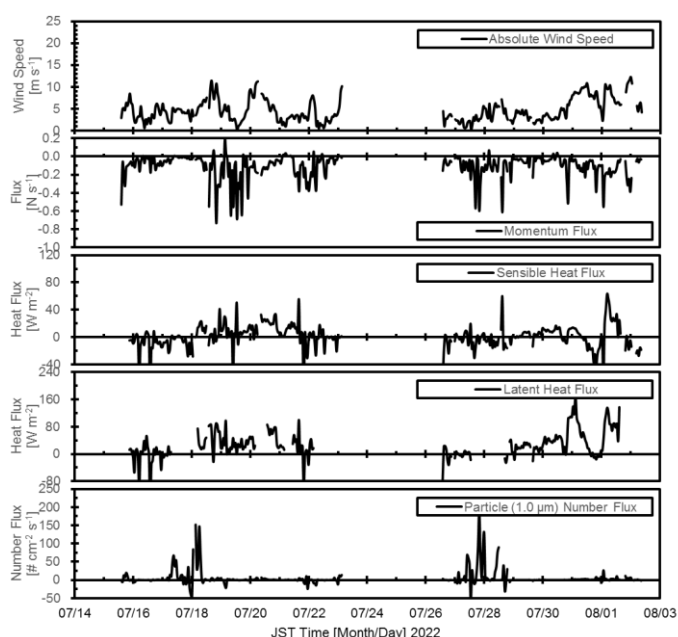


図2 風速、運動量・顕熱・潜熱・粒子の海面フラックスの時系列

## 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、今年度は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 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ ガス分析計で計測される $\text{CO}_2$ と $\text{H}_2\text{O}$ 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が生じ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これまでの観測からはみられていない。また新青丸での観測では、風速が最大で $10\text{ms}^{-1}$ 程度と海面破碎が見込まれる荒天下でのフラックスを観測することができなかったものの、しらせでは $20\text{ms}^{-1}$ を超える風速が観測されていると報告を受けており、来年度4月に帰港次第データを回収して解析に着手する予定である。

## 成果発表

Jun Inoue, Kazutoshi Sato, Atsushi Yoshida, Yutaka Tobo, Yoshihiro Tomikawa, Yuji Yoshida, **Fumiyoshi Kondo**, Yasushi Uji, Shingo Shimizu, Kosuke Noborio, Takuji Waseda: Clouds, aerosols, and atmospheric circulations over the Southern Ocean, The 13th Symposium on Polar Science, so8, online, November 2022

(別紙様式 4-2)

豊川太陽電波強度偏波計データベースを使った過去の大フレアにおける粒子加速の研究  
Study of particle acceleration in 1950s - 1970s flares  
based on the database of Toyokawa Radio Polarimeters

下条圭美、自然科学研究機構 国立天文台・アルマプロジェクト

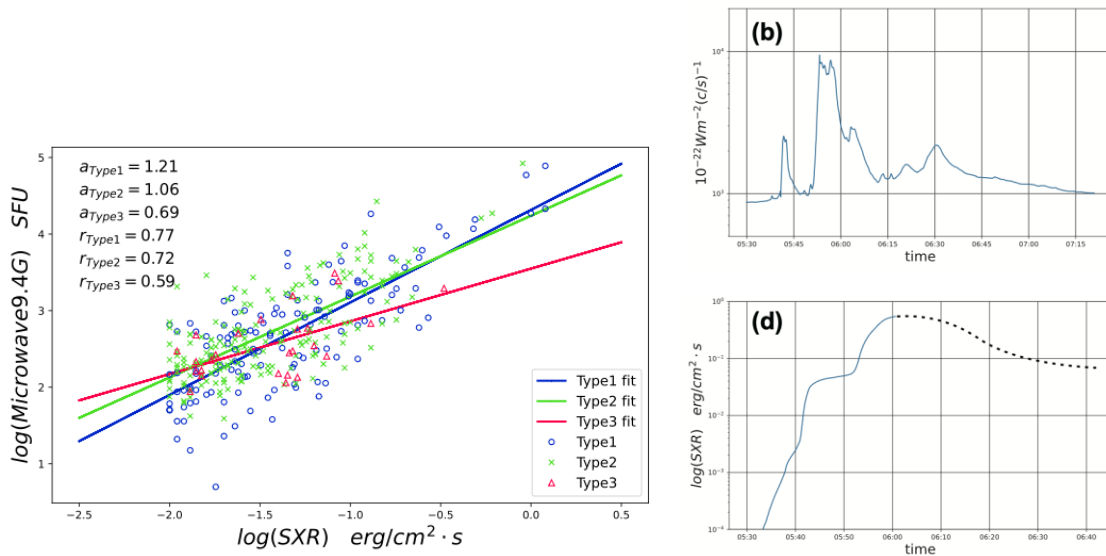
名古屋大学空電研究所(豊川市)では1951年より太陽マイクロ波観測が開始され、1994年にアンテナを国立天文台野辺山キャンパスに移設した後も国立天文台が観測を継続し、全観測期間が70年、太陽周期6周期分を超える太陽マイクロ波強度・偏波データが蓄積されている。野辺山にアンテナが移設される際、1958年から1978年までの強度・円偏波の時系列プロットを記録したマイクロフィルムも野辺山に搬送された。この20年間には、最近の太陽周期より太陽活動が激しかった第19・21太陽周期が含まれおり、地球への影響が非常に大きかった太陽フレアも含まれる。

これら特徴的な太陽フレアを、現在の太陽フレアと比較し、また地上への影響を現在の知見にて解釈するためには、発生当時には観測できなかった軟X線強度などの観測量を、豊川マイクロ波データを基に推測する必要がある。本研究では、GOES衛星による太陽軟X線強度観測が定期的に行われており、デジタルデータがすでに存在する野辺山でのマイクロ波観測のデータがある期間、具体的には1990年代から2010年代に発生した太陽フレアのX線とマイクロ波強度を比較した。

先行研究にて太陽フレアにおける17 GHz強度と硬X線強度との比例関係が示されていたが(小杉ら1988)、10 GHz以下の周波数では、マイクロ波に対する光学的厚みによる影響を考慮しなければならず、これまで真剣に議論されてこなかった。光学的厚みによる傾向を多周波による観測にて明らかにし、10 GHz以下でのマイクロ波強度と軟X線強度との比例関係を明らかにしたことは、本研究の特色である。

本研究で導かれた比例関係を基に、1956年2月14日と23日の大フレアの軟X線最大強度を推定し、さらにマイクロ波強度の時間変化とニューパート効果(熱的放射の時間変動は非熱的放射の時間積分値に比例する)から、フレア初期の軟X線強度変動を推定することができた。

本研究の結果を、第19・21太陽周期に発生した多くの大フレアに適応することにより、大フレアが発生した時の地上への影響をより良く理解し、地球近傍の宇宙や高層大気環境の予測することに貢献できると考えている。



左図：太陽フレアの9.4 GHz最大強度と軟X線最大強度の散布図と光学的厚さを考慮してフレアを分類したあとのfitting結果。

右上図：豊川強度偏波計が観測した、1956年2月14日の太陽フレアの9.4 GHz強度変動

右下図：豊川強度偏波計9.4 GHz強度変動から推測された軟X線強度変動



(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。

2022年度の主な成果：

本研究計画では、2つの課題に焦点を絞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、ULF 波動の記述性能を高めるため、電離圏側境界について、全球で電場ポテンシャルを解くことが可能なポテンシャルソルバー (GEMSIS-POT) と結合して境界条件を与えるとともに、主に背景密度を与えるプラズマ圏を環電流とは分けて解く低温プラズマモジュールを開発した。その初期結果として、夜側の粒子注入・環電流の形成・環電流イオンとの波動粒子間相互作用による ULF 波動の励起という一連の物理過程を再現することに成功し、プラズマシートからの単純な粒子注入に伴い4種類の内部起源の ULF 波動が励起されること、および各々の波動の励起機構を明らかとした。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 EISCAT の長期観測データの統計解析を進めた結果、磁気嵐時に夜側で分子イオンが主に降り込みによって流出していること、さらに CME 駆動型などの強い磁気嵐になると夕方側から朝側にかけて広い領域から摩擦加熱により分子イオンが追加で流出することなどが明らかとなった。なお、本研究では、東京大学の大学院生が内部磁気圏研究の専門家の多い名古屋大学を訪問して共同研究を行うことを重要と位置づけて共同研究を実施し、これらの共同研究は2本の博士論文の一部となった。

(別紙様式 4 - 2)

## 低周波 VLBI による Crab パルサーの精密な DM 決定にむけて

宇宙航空研究開発機構 臼田宇宙空間観測所 岳藤一宏

これまでに、我々は名古屋大学豊川電波観測所におけるデジタルバックエンドの整備を行い、Crab パルサーからのジャイアントパルス検出の成功、さらに東北大学飯館観測所と干渉実験を成功させた。また東北大学飯館観測所との干渉実験（以下 VLBI 実験）を実施し、技術的な知見を高めてきた。しかしながら、2022 年度 4 月飯館電波望遠鏡の駆動系が不具合を起こし、2023 年 3 月現在も復旧しておらず、2022 年度の VLBI 実験は実施できなかった。そこで、今年度は 2021 年度の実験で得られたデータの再解析を報告する。

2021 年は 11/29—12/1 に複数日の VLBI 実験を行った。表 1 はそのフリッジ SNR の結果である。このうち、フリッジの出していない 3C10 (B cas, 約 8 分角), 3C461 (Cas A, 約 3 分角) は強度が高く、IPS 校正天体で利用されているサイズの大きい超新星残骸である。一方、同じくフリッジが得られなかった 3C286 (26Jy@318MHz, NASA NED) と 3C318 (9.2Jy@365MHz, NASA NED) はコンパクトかつ強度も高いため、フリッジが得られていない原因が不明である。考えられる原因として、アンテナのポインティングエラー、クロックオフセットの mismatch (相関処理で  $\pm 1$  秒、 $\pm 2$  秒までオフセットをかけ、約 15m 秒の幅で実施している)、記録ミス、太陽等の影響、天体構造、その他諸々が考えられる。

そこで、この 2 点のスキャンについて詳細に調査をおこなった。図 1 と 2 は飯館と豊川それぞれの天体強度で、相関処理を 10kHz ごとに行い、50ms の単位時間ごとに m 中央値を取った自己相関強度である。この図から、下記 2 つのことが分かる。超新星残骸 3C461 (CasA) は強度が高いためか、豊川では自動的に中間周波数 (IF) で減衰が施されているようで、最も強度が低いレベルとなっている。また、フリッジの出していない 3C286 はどちらもフリッジの得られている両隣の 3C283 と 3C298 の間に豊川では見られるが、飯館ではレベルの低いことがわかる。ただし、それでもバックグラウンドレベルよりは強いため、ポインティングエラーとなった可能性は低く、記録ミスの可能性も排除できる。

次に太陽の影響、特に直達してアンテナビームに入るような離角について調べる。太陽とそれぞれ IPS にスケジュールされた天体の離角は、フリッジの得られていない 3C318 が最も近いが、それでも南中時間より 1 時間半ずれているため 20 度以上離れており、アンテナビームに直接太陽が影響する可能性は低い。しかしながら、それぞれの

帯域をFFTしてスペクトルを表示すると、帯域内にリップルが見える。図4は豊川電波望遠鏡の天体スキャンごとの16MHz幅のスペクトルを表示したものである。10MHz付近にやや強い外来からのノイズが含まれ、多くの天体が含まれており複雑に見えるが、興味深いことにそれぞれの天体のスペクトルは非常に類似しており、複数日でも再現性があることがわかる。つまり、何らかの外部からの影響で、スペクトルを変動させる起因があるようだ。しかしながら、フリッジが得られない原因とは別であると思われる。同じく図3は天体ごとの標準偏差を導出したものである。太陽からのシンチレーションの影響を受けると、時系列データでの変動が大きくなる。そこで標準偏差を導出し、シンチレーションの影響を調べた。しかしながら、フリッジの得られていない3C286と3C318で標準偏差がたのフリッジが得られている天体と大きくは変わらず、太陽からのシンチレーションでフリッジが得られない可能性は低い。

図5はEVN+MARLINのLバンドによる3C286と3C318の天体マップである。それぞれ、数秒角の構造を持つが、同日にフリッジが得られている天体とそのサイズはファクタで同規模のため、天体構造がフリッジの出ない原因とは成らない。

以上、フリッジが検出できない各種の原因を調査したが、確定的なことが未だ不明である。しかしながら、本調査が今後役に立つことになるだろう。

表 1 干渉実験結果(2021年11月29日から12月1日)。数字があるものはその天体の60秒ごとに分割し、観測時間中の最大SNRである。“N”と表示された結果は不検出である。1chは豊川V偏波と飯舘A面H偏波の組み合わせで、2chは飯舘側がB面H偏波、3chは飯舘側がA面V偏波、4chは飯舘側はB面V偏波である。緑の網掛けは豊川観測所でIPS観測の校正天体(3C10, 3C461(CasA)ともに超新星残骸)として用いられるものである。オレンジの網掛けはFRINGEが得られない観測で、3C286はクエーサー、3C318はcompact steep-spectrum sources(CSS)である。

Maximum SNR in 60s integration	Source	Flux density in TGSS[Jy]	Mirror A H-pol	Mirror B H-pol	Mirror A V-pol	Mirror B V-pol
2021/332 21:37:18	3C255	15.1	7.4	16.5	134.1	133
2021/332 22:46:48	3C273	115.7	13.9	15.3	226.1	227.7
2021/333 09:38:53	3C461	20.3	N	N	N	N
2021/333 10:41:00	3C10	18.2	N	N	N	N
2021/333 21:33:22	3C255	15.1	10.1	11.3	136.2	134.6
2021/333 21:53:04	1136-13	22.3	N	N	22.2	22.2
2021/333 22:42:52	3C273	115.7	15.2	19.1	235.5	256.3
2021/333 22:56:03	3C275	18.0	N	N	18.5	19.5
2021/333 23:09:52	3C279	20.7	7.5	7.8	116.2	114.6
2021/333 23:25:21	3C283	56.3	N	N	27.1	28.2
2021/333 23:44:37	3C286	17.1	N	n	n	n
2021/334 00:32:35	3C298	68.5	6	10.6	94.1	91.6
2021/334 01:33:16	3C318	18.6	N	n	n	n
2021/334 05:53:58	1938-15	26.7	11.4	7.7	43.7	43.9
2021/334 09:34:57	3C461	20.3	N	n	n	n
2021/334 10:37:04	3C10	18.2	N	n	n	n
2021/334 21:29:27	3C255	15.1	15.1	10.3	144.3	141
2021/334 21:49:08	1136-13	22.3	N	N	23.4	23.3
2021/334 22:38:57	3C273	115.7	27.9	15.5	264.5	249.8
2021/334 22:52:07	3C275	18.0	n	n	22.9	20.7
2021/335 09:31:01	3C461	20.3	N	n	n	n
2021/335 10:33:08	3C10	18.2	N	n	n	n

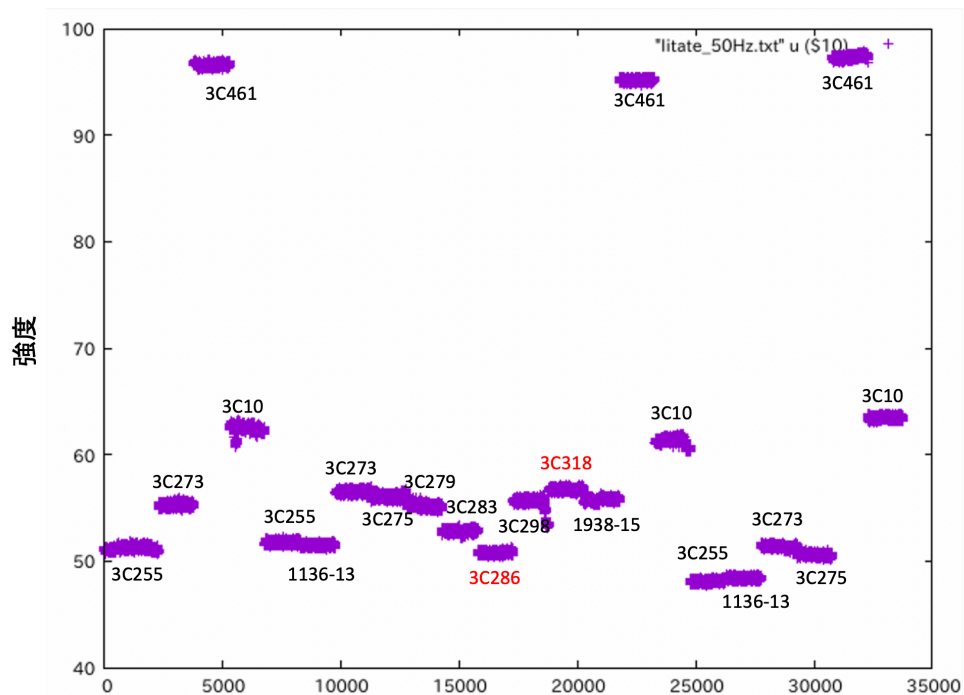


図 1 飯館の電波強度変動（赤文字はFRINGEが出ていないデータである）

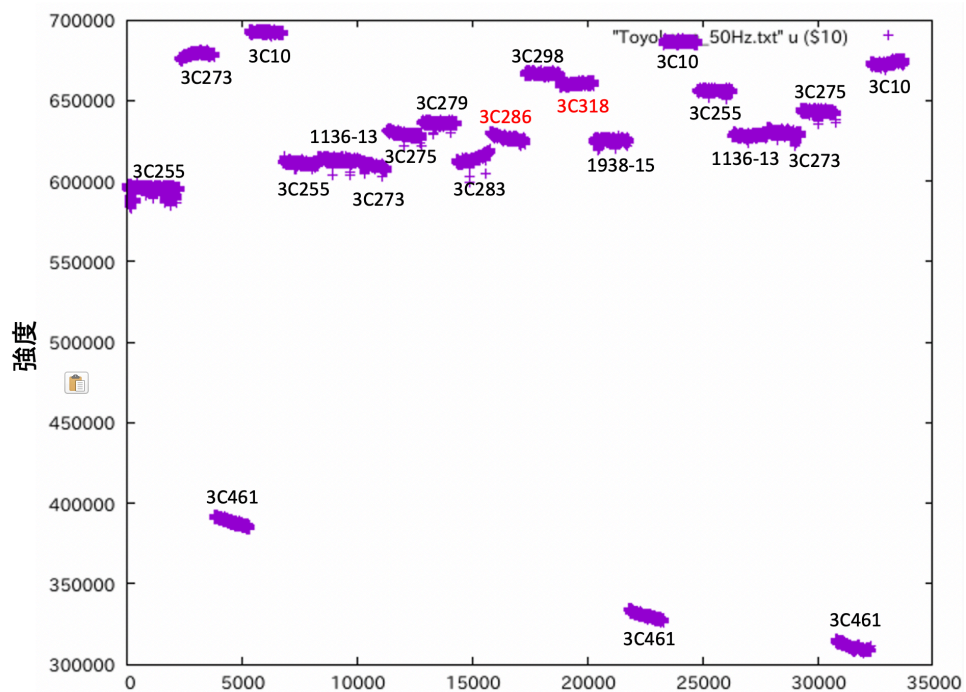


図 2 豊川電波観測所の電波強度変動（赤文字はFRINGEが出ていないデータである）。3C461 (GasA) は減衰されてためか、最も強度が低い。

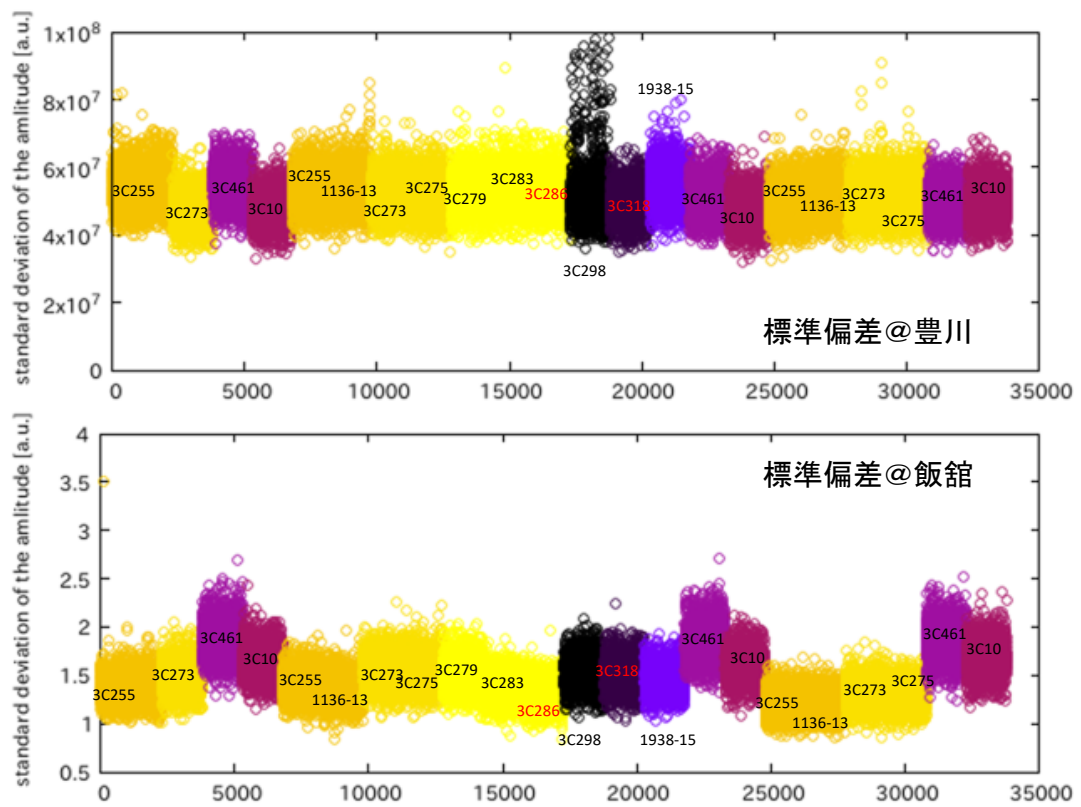


図 3 図 2 のデータの標準偏差

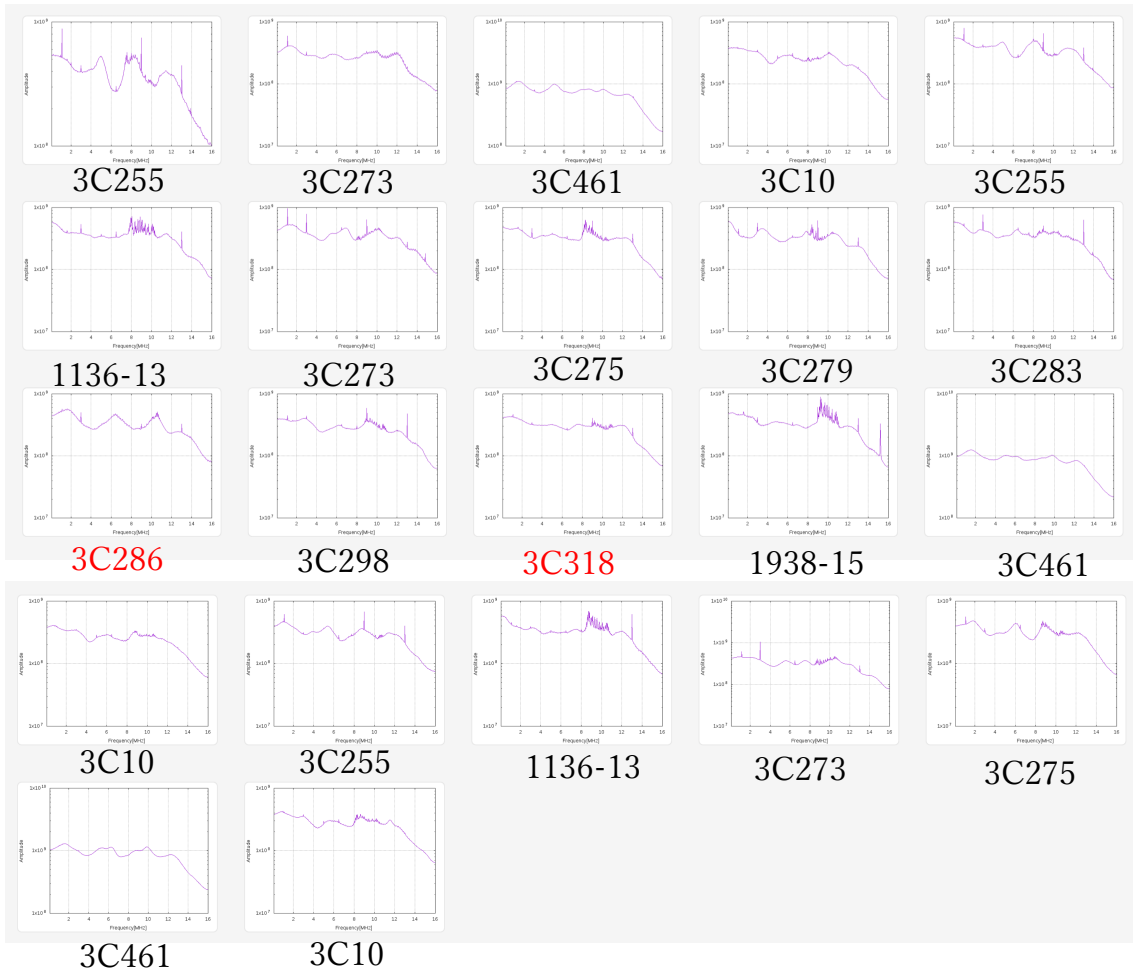


図 4 豊川電波望遠鏡のスペクトル変動 (左上→右上の順で時系列で並んでいる)

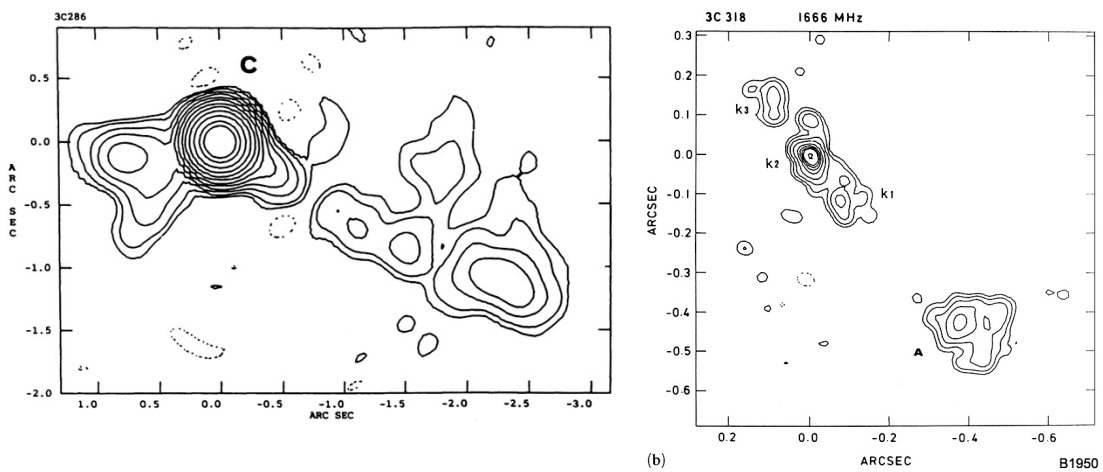




図 5 3C286 と 3C318 の天体マップデータは EVN+MARLIN の L バンドの結果である。それぞれ数秒程度のサイズがあることがわかる。

3C286 : 1994A&AS. .105. .247A, 3C318:1991MNRAS.250. .225S

#### □Crab パルサーの Dispersion の精密決定について

この VLBI 実験では両局の時刻差を正確に把握するため Crab パルサーの観測も同時に実施した。図 6 は観測期間中に最大のジャイアントパルス (DOY333、豊川での受信 S/N : 480) から、最適なディスページョンメジャーを測定した結果である。最大のジャイアントパルスに対して、微小 (ここでは 0.01 程度) を振ったときの時系列データの標準偏差をプロットした。図をみると、Gaussian ではなく、Lorentzian のようなカーブであった。フィット後、ピークセンターは  $56.7444 \pm 0.0007$  で決定することができた。もちろん、超強力な 1 発のジャイアントパルスを用いたこともあるが、1 発の GRP だけで、ひと桁 DM の決定精度を向上できる可能性がある。そこで、本観測期間の SNR40 以上であった 8 発の GRP についてローレンツフィットを実施した。その結果が図 7 である。SNR40 以上の GRP が受信できれば、GRP1 発でも DM の決定精度が 0.004 以内である。

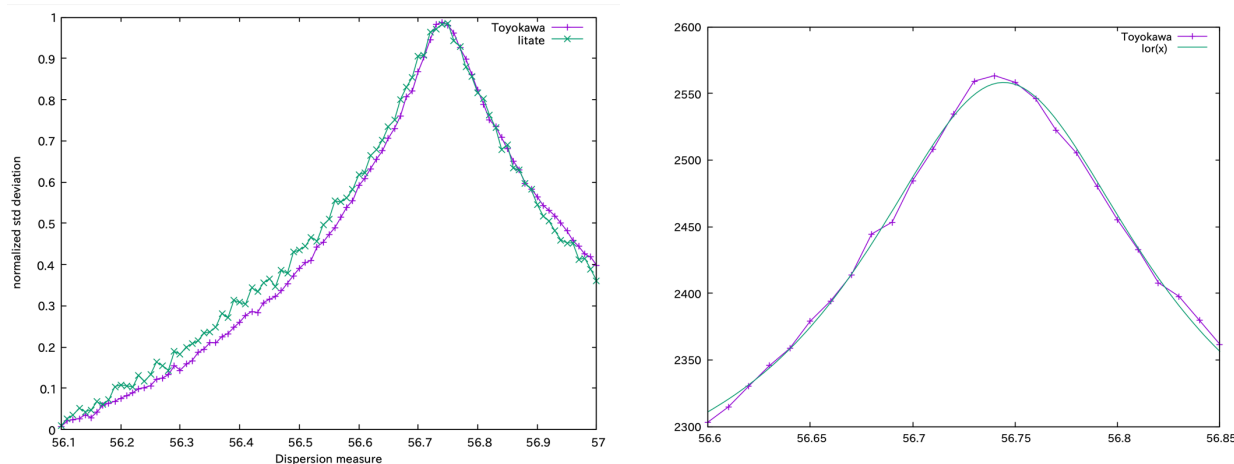


図 6 DM 最適値を得るため、DM を振った様子。横軸は DM。縦軸は規格化した標準偏差である。

図 8 はローレンツフィットと Bezier 補間によるピーク値 (2019 年俵さんの修論と同様の方法) を比較した結果である。どちらの手法も 3 日間の中日である DOY333 で DM が約 0.05 大きい。Crab パルサーが 6 月の太陽を近接する時期に太陽によるシンチレーションで DM が変動することは知られており、観測を行った 12 月でこの変化の原因は分からないが、同日 6 分間の GRP ごとでも微小に変動が見られるため、Crab パルサー近傍か、星間によるシンチレーションの可能性がある。

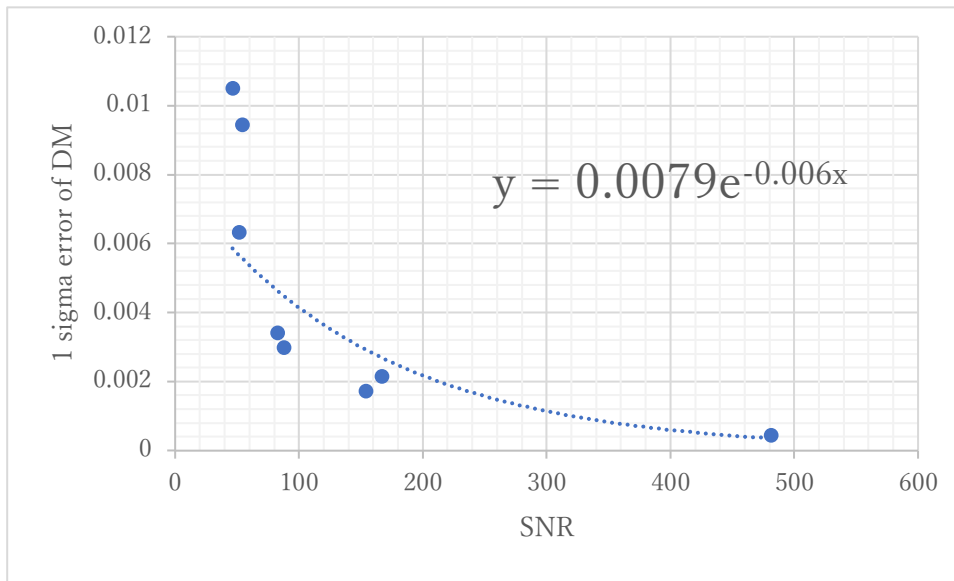


図 7 SNR が 40 以上の GRP (8 発) に対して、DM を 56.5 から 56.9 の間で 0.01 の刻みでパラメータを変え、そのときの時系列データから標準偏差を計算。DM 変動値に対する標準偏差についてローレンツフィットを実施した結果

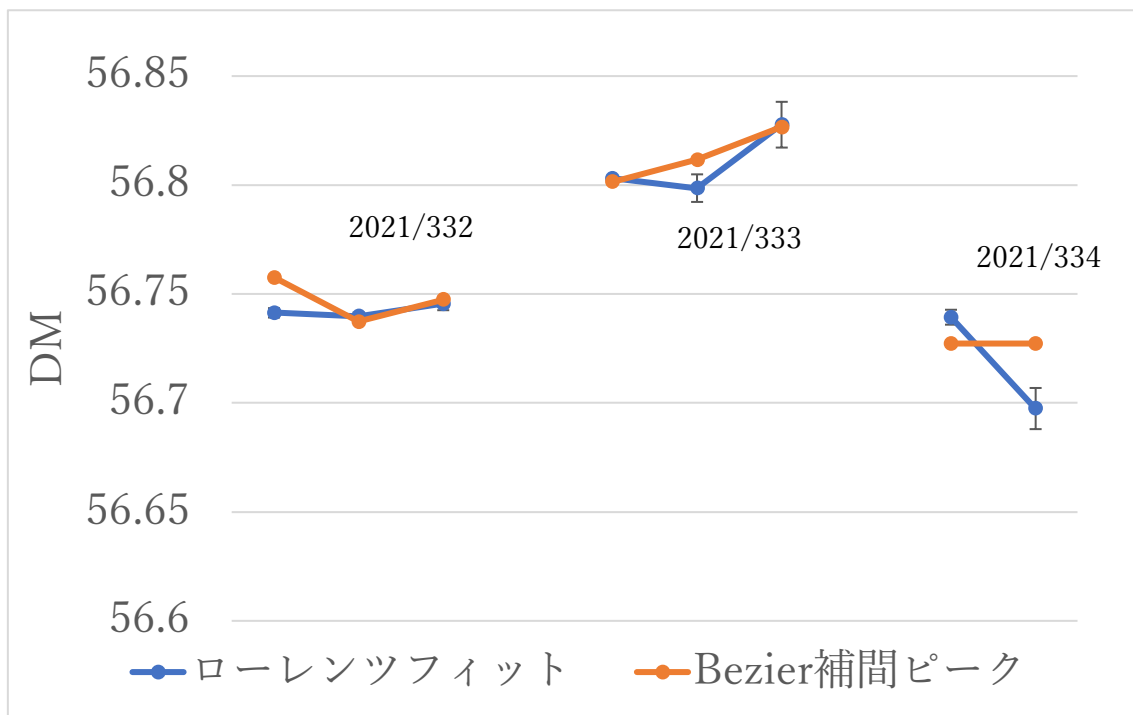


図 8 ローレンツフィットと Bezier 補間によるピーク値との比較

(別紙様式 4-2)

あらせ軌道上磁場データの評価と特性向上の検討  
Evaluation and improvement of in-flight 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2017年3月の定常観測開始以降約5年間データの取得をほぼ連続的に継続し、データを使った多くのサイエンス成果が得られつつある。従来の衛星観測による結論を超える成果を得るためには、観測した磁場データの較正が重要である。あらせで得た磁場データを高精度で較正するには、地上較正試験の結果だけでなく、軌道上のデータの評価も必要である。継続的に評価することにより、経年変化を含んだ較正パラメータを導出する作業は重要である。軌道上データの高精度の評価と較正を行うことにより、ロスコーンに降り込むプラズマ粒子の詳細な観測、電流の方向や量の同定、EMIC波動、ULF波動などのサイエンス課題で詳細な議論が可能となる。放射線帯や内部磁気圏の研究の推進への貢献が期待される。

あらせの磁場データは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、較正される。軌道上のあらせ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、較正に必要なパラメータを導出している。較正したデータは、名古屋大学宇宙地球環境研究所あらせサイエンスセンターのデータサーバによってあらせチーム内外の研究者に提供され、多くのサイエンス成果があがっている。本研究では、引き続き較正パラメータの経年変化の評価を行うとともに、他衛星や地上観測との同時観測データ解析を行うために重要な、時刻付けの精度の評価を行うことを目的とした。

【研究方法】

軌道上のあらせ磁場データの較正方法の妥当性の検討、経年変化の評価を行い、磁場分解能、時間分解能、周波数特性、クオリティフラグによるデータ品質分別などの、データ特性の向上をはかった。データの評価は、あらせ衛星の特性、磁場観測器の性能や、内部磁気圏で観測される磁場データの特徴について高度な知見を持つ専門家によって行われることが望まれる。磁場計測機器PIである研究代表者が、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、データ評価のためのプロット印刷のインクカートリッジ代に使用した。

【研究結果・考察】

2022年度には、それ以前からの継続作業として、オフセットやアライメントの経年変化の評価を行った。2022年のあらせ磁場データは、それまでの5年とは異なり、スピン面にほぼ平行な測定軸成分のオフセットの較正が出来ないケースが頻発した。この成分のオフセットは、スピン軸方向の磁場が小さい条件にあるデータを用いて求めている。オフセットが較正出来ないケースは、軌道条件が要因と考えられるが、原因および対処方法の検討は、年度末時点でまだ続行中である。オフセットが較正できているケースについては、それまでのオフセット値と良く整合しており、幸い、オフセットのドリフトは起きていないと考えられる。

現在太陽活動度が上昇傾向にあり、プラズマ粒子や波動のデータの解析のためにも磁場データの提供が必要とされる状況にあり、引き続き解決に尽力する。

## 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、CME 発生時に頻出する、数 100MHz 帯では数分にわたって出現し、負の緩やかな周波数ドリフトを示す II 型と呼ばれるバーストがある。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、電波源と目される CME の何処がこの II 型バーストの生成域か?、が新たな課題となっている。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の同定を行うことを主目的とする。近年、フレア発生時にも本研究対象の微細構造と類似のスペクトル様相を持つ微細なバーストが存在することが示され、それらはループトップ域の衝撃波で生成された可能性が示唆されている(Chen+, Science, 2015)。本研究は観測データ解析のアプローチから、フレアと CME で働く粒子加速過程の類似性・相違性を量り考察してゆくことも副目的とする。

### 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)メートル波帯スペクトル観測装置(AMATERAS)の電波データ、太陽コロナ状態については科学衛星ひので(SXR)、SDO(EUV)等の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域の CME の様相について精査する計画を持ち、研究を進めている(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)。II 型バーストの微細構造の解析では、特にその周波数ドリフト率に着目した解析を行っている。発生域については、II 型バースト生成に関わる粒子加速域として CME のフロントやフランクが候補と目されるが、X 線と EUV のイメージデータ解析から粒子生成の場所とそこでの変動(～速度)に着目した解析を行い、II 型バーストの微細構造の周波数ドリフト率、バースト全体の周波数ドリフト率を同時に満たしうる“II 型バーストの生成候補域”の同定を行う。

これまで、AMATERAS で 2010 年～2022 年に取得した 30 余例の II 型電波バーストの解析から、微細構造を形成するバースト群の周波数ドリフト率の平均と分散、バースト群全体の周波数ドリフト率(CME の伝搬速度と考え合わせることで、電波生成域のプラズマ密度情報が得られる)についてデータベースを作成してきた。この結果、微細構造の主な特徴として、微細構造を形成するバースト群の平均的な周波数ドリフト率はフレア発生時等に生じる III 型バーストに匹敵する程大きいこと(数 100MHz/s@～200MHz)に加えて、正負の符号成分も含む大きい分散を持つこと(～電波放射に関わる粒子の運動方向が太陽向き・反太陽向きの両方を含むことを示唆)が示され、衝撃波加速過程の存在を想起させる結果となっている。現在、特に明確な微細構造を示すバースト、更には、代表者らが所属機関で兼任する宙空災害科学の背景から SEP 現象を伴うイベントを優先解析対象として、II 型バーストのスペクトル様相とコロナ様相とを SDO/AIA のデータを用いて照合解析を進めている。また、AMATERAS とともに代表者が観測を行っている数 10MHz 帯の電波スペクトル観測のデータ(太陽から概ね 3 太陽半径以内で生成)も使い、SOHO のコロナグラフのデータも交えた照合解析にも着手しており、微細構造生成に関わる粒子生成過程の探索を継続中である。

### 3. 成果報告等

・研究会等発表: 三澤他, 太陽研連シンポジウム, 名古屋大学, 2023 年 2 月.

# 太陽のインパルスフレアで生成された太陽宇宙線の加速機構の研究

## Study of particle acceleration into high energies with impulsive solar flares

代表者：村木 綏・名古屋大学・宇宙地球環境研究所

### 1. 前置き

2004年11月4日に発生したX2.0のフレアに伴って飛来した太陽中性子が崩壊して作り出した陽子(SNDP)に関する共同研究成果を報告する。X2.0のフレアに伴って、5,250mのBolivia Chacaltaya山に設置された名大STE研の太陽中性子計測器と4,600mのMexico Sierra Negra山に設置された日本・メキシコ太陽中性子望遠鏡、およびFinland Ouluの中性子モニターに有意な信号が受信された。

Chacaltayaで受信された信号は太陽中性子によるものであり、Sierra Negra山の信号は太陽中性子崩壊陽子(SNDP)によるものであると解釈ができたので、2022の夏、インドのタタ研究所が主催した国際会議 ISVHE-CRI 2022 (online)で報告した。解析の結果、impulsive flareで陽子が1分以内に10GeVまで加速されることが分った。また反陽子の軌道計算の結果から、公称のRigidity 8.2GVよりも低い6GeVまでMexico上空に陽子が侵入することも分った。

本原稿では、もう一つの信号、Finland Ouluに設置されている中性子モニター(9NM64)で観測された $5.15\sigma$ の信号について解析したのでその結果を述べる。なおOuluの剛度は低く、0.78GVと言われている。南極点に設置されている中性子モニターにも有意な信号があるか否かも調べたが、5分値には $1\sigma$ 程度の増加しか見られなかった。

### 2. 反陽子軌道計算の結果

前回と同様に、Finland上空20kmから天頂角、方位角、東西・南北それぞれ1度ずつ $\pm 90$ 度の方向に反陽子を打ち出し、その軌道が $8R_E$ や $15R_E$ に到達するか調べた。各エネルギーについて32,761回試行した。Mexicoの場合と大きく異なる点は、約半数の0.4GeVの反陽子が、地球の磁気圏を通り抜け $8R_E$ や $15R_E$ に到達したという点である。言い換えると、0.4GeVという剛度よりかなり低いエネルギーの陽子も、極域のFinland上空には侵入できる可能性があることを三宅晶子による軌道計算は示した。

反陽子軌道計算の結果を詳しく紹介する。地表20km上空から45度(または30,15度)以内に打ち出されたエネルギー400MeVの反陽子は、磁気圏境界面の $8\sim 15R_E$ の球面上の狭い範囲に分布することを示した。逆に、この狭い領域に入射した陽子は、地表20km上空に到達する可能性があることを示唆している。

なお入射可能領域の中心と Oulu の垂線からのずれの角度は X-Y 平面で約 10 度である。軌道の広がりには地磁気による曲がりの効果と、地球から離れると球面上の表面積が増大する効果の積を反映している。ここではこの効果を ロート効果、又はホルン効果と呼ぶことにする。(Funnel form effect or Horn effect).

### 3. 侵入確率の計算

磁気圏境界面には地表に到達できる”小さ窓(入射口)”が開いていると言える。しかしこの穴に到達した陽子が、すべて地表に到達できるわけではない。特定の運動量空間の成分を有した陽子のみが、地表に到達できることを計算結果は示している。運動量空間の制限から、約 5 万個に 1 個の陽子が地表に侵入できると言える ( $1.7 \times 10^{-5}$ )。以下に詳細な検討結果を述べる。(ここでは天頂から 15 度以内に打ち出された場合の数字のみ紹介する。30 度 45 度以内に打ち出された場合も計算をしたが煩雑になるのでこの文中では紹介しない。)

中性子の崩壊により作られた陽子は、そく惑星間磁場に捕獲され、円運動をしながら地球近傍に飛来する。当日の惑星間磁場の地球近傍の値は 10nT であった。中性子の崩壊によって作られた陽子は、崩壊前の中性子の運動量をほぼ有している。従って陽子の  $V_x$  成分は GSE 座標系でマイナス(反太陽方向)である。よって位相空間のプラス成分は、今回は考慮しないこととする。すると添付図のような半径 400MeV の 3 次元位相空間の半分を考えればよい。一方陽子の  $V_y$ ,  $V_z$  成分は、磁場に trap され回転するので様々な方向成分を有することとなる。

$(4\pi/3) \cdot (400\text{km})^3/2$  より位相空間の単位体積 [ $\text{km/s}^3$ ] あたりの格子点数はおおよそ  $2.8 \times 10^8/2 \approx 1.4 \times 10^8$  個と推定される。一方磁気圏境界の  $8R_E$  に到達した反陽子の運動量は  $V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_z$  のそれぞれの領域図から 15, 15, 10km/s 以内の領域にあることが分る。よって  $\Delta V_x$ ,  $\Delta V_y$ ,  $\Delta V_z$  の積をとると運動量空間での小体積成分は  $2.3 \times 10^3$  個 [2,250 個] となる。この部分空間の体積(小体積空間)を全運動量空間の半分の体積で割ると、地球に入射可能な位相空間中の陽子のうち約  $1.7 \times 10^{-5}$  ( $\approx 1/60,000$ ) が入射可能な運動量を有していることが分る。すなわちこの条件を有した陽子のみが地表に侵入する。次に幾何学的な acceptance よりくる制限について考察する。

もう一つの制限因子(damping factor)は入射窓の広さに由来する。図にも示したように、磁気圏外側のすべての個所から観測点に入射できるわけではない。反陽子の軌道計算から、地球の中心から  $8R_E$  離れた領域の”開口窓”の広がり、(X, Y, Z 軸上の計算結果の広がりから dx, dy, dz を見積もると)、それぞれ 0.08, 0.08, 0.30  $R_E$  程度広がっていると考えられる。軌道計算の結果は X-Y 平面上で

は狭いが、X-Z 平面上では広がっているように見える。これは入射口が東側に偏っているためである。すると  $dx \cdot dz$  平面の入射窓面積は、ほぼ  $0.024R_E^2$  程度となる。磁気圏の全表面積は  $4\pi(15R_E)^2$  で近似する。(実際には磁気圏はマイナス X 方向に吹き流しのよう広がっているがここでは、それは考えないことにする)。入射窓の面積を全面積で規格化すると、磁気圏の入射口が制限されているための **damping factor** が  $3.0 \times 10^{-5}$  と見積もられる。従って両制限因子の積をとると  $(1.7 \times 10^{-5}) \times (3.0 \times 10^{-5}) \approx 5.1 \times 10^{-10}$  と求められる。すなわち  $5.1 \times 10^{-10}$  (for  $<15^\circ$ ) が、全体の陽子の流れに対する **damping factor** である。

次に増幅因子(**boosting factor**)の方を考える。増幅される要因は地磁気により、入射陽子の軌道が広がることに由来する。(イメージとして入射口が、ホルンの開口部のように広がっていることを想定するとよいだろう。)すると開口部の面積は反陽子発射点よりはるかに広く、有効面積は  $0.97 \times 10^{12} \text{m}^2$  の広領域になる。逆に  $10^{12} \text{m}^2$  にの磁気圏境界面入射した中性子崩壊陽子(SNDP)は、受信されることを意味している。これは  $1 \text{m}^2$  の中性子の flux が **acceptance** が増えるので、 $10^{12}$  倍増幅されることを意味している。

この  $8R_E$  で  $<15^\circ$  以内に発射された反陽子の広がり値に、先の **damping factor** を掛ると全体としての”増幅率”が求められる。その値は次に示すように、 $(0.97 \times 10^{12}) \times (5.1 \times 10^{-10}) \approx 5.0 \times 10^2$ 。約 500 倍 である。

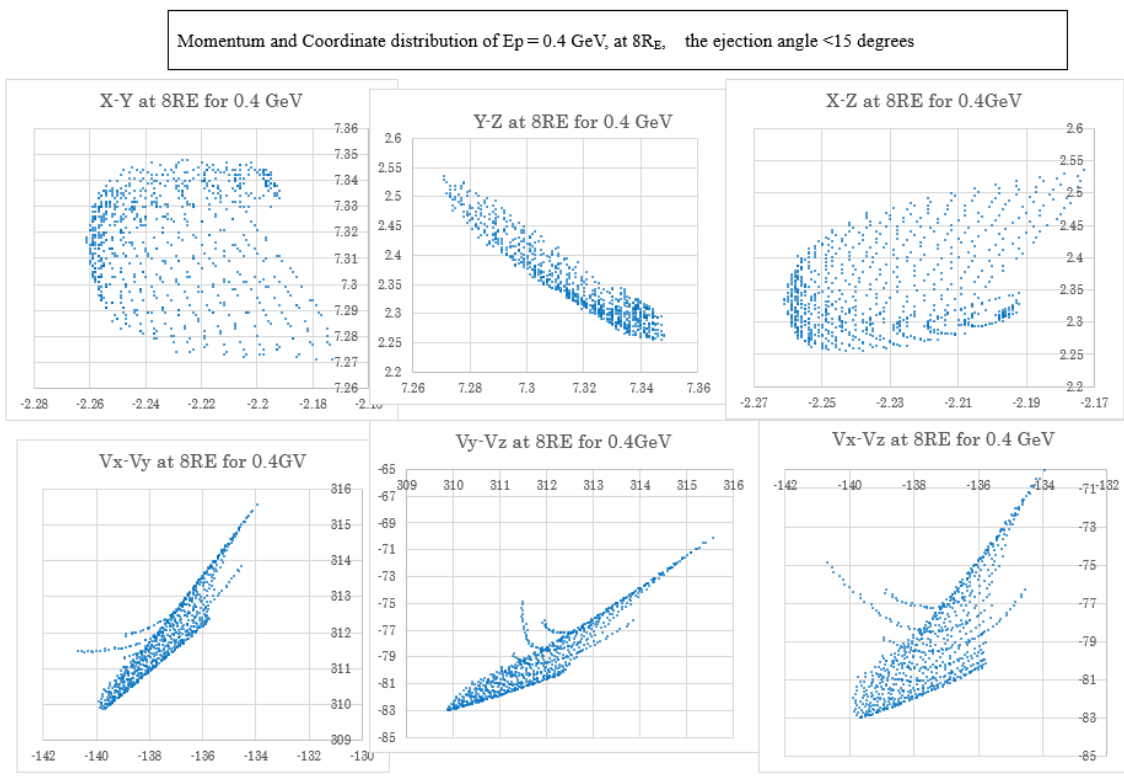
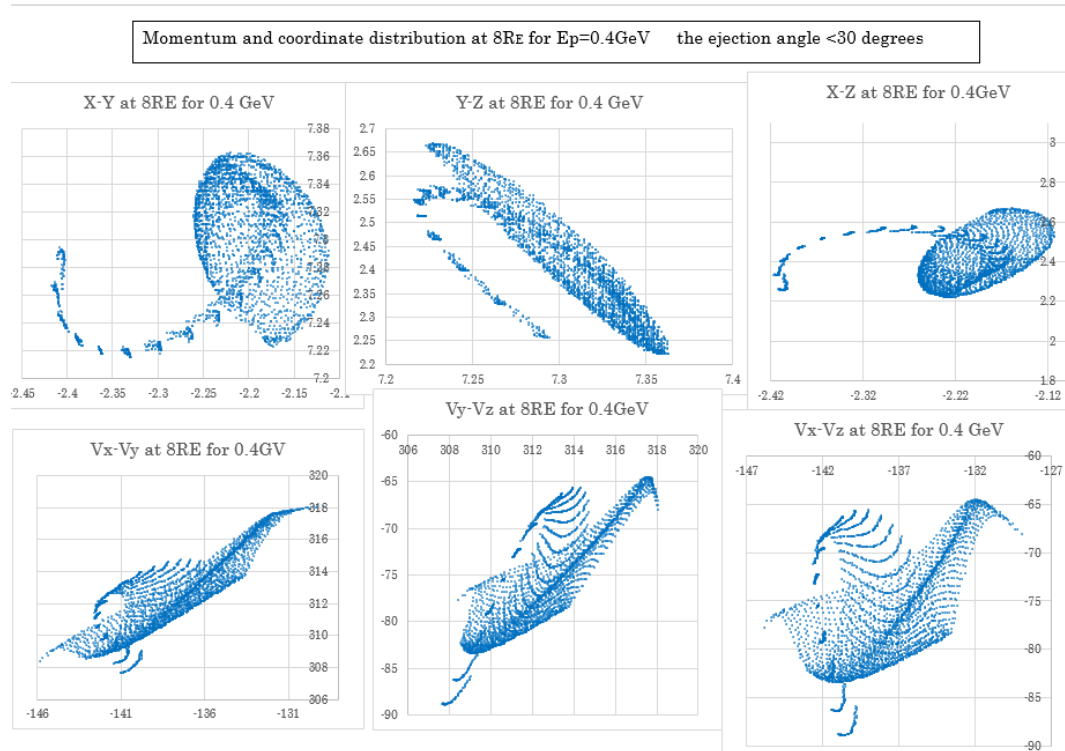
一方 Oulu の中性子の観測結果から、大気 top で太陽中性子崩壊陽子(SNDP)の数は  $(3.8 \pm 0.7) \times 10^5 \text{protons/m}^2$  と推定される。この値には中性子モニターの陽子に対する受信効率 0.3 がまだ含まれていない。(阪大核物理センターの中性子 beam 実験の結果、200MeV に対するニュートロンモニターの検出効率は 0.3 であった(Shibata et al. NIM A463 (2001) 316)。)そこで受信効率でさらに補正すると  $(1.3 \pm 0.2) \times 10^6 \text{protons/m}^2$  が大気 top に飛来した陽子(SNDP)であると言える。この観測値と次の予想値を比較することになる。

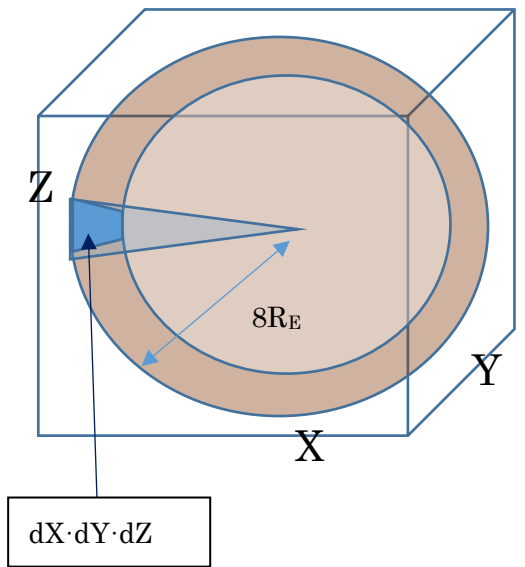
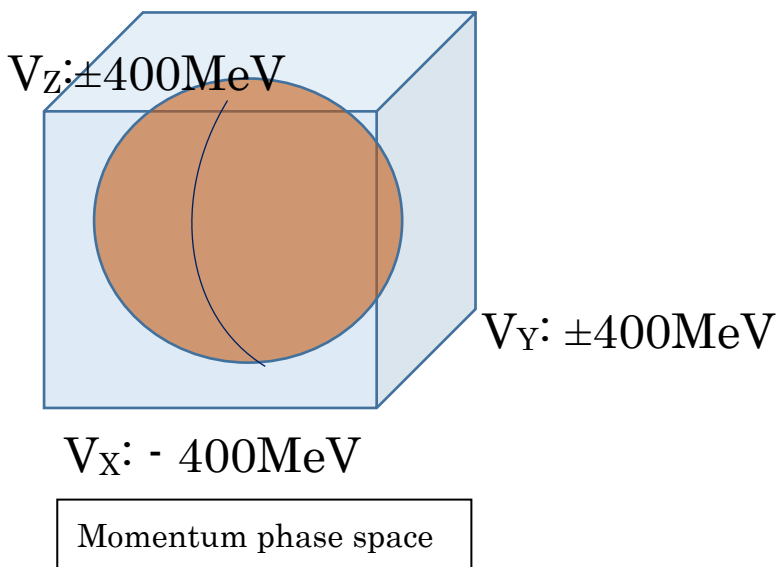
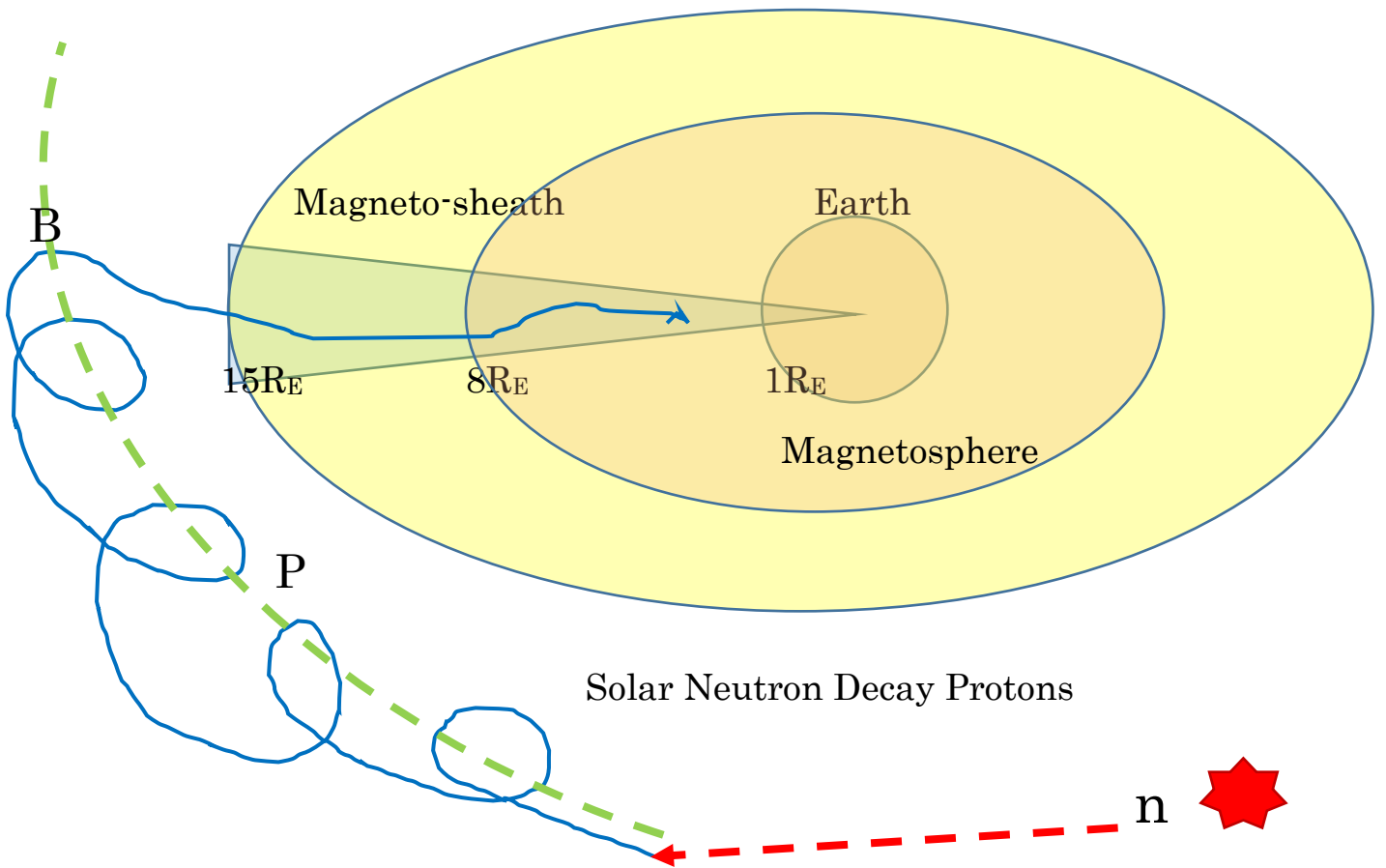
SNDP の予想値は、Chacaltaya の中性子の観測が 200MeV 以上で、 $2.5 \times 10^5$  個/ $\text{m}^2$  であり、これに中性子が 0.067AU 走行する間に崩壊する確率 0.033 を掛けると求められる。その flux の予想値は  $8.25 \times 10^3$  個/ $\text{m}^2$  と推定される。この値に 500 倍の増幅率を掛けると、結果として  $4.1 \times 10^6$  個/ $\text{m}^2$  が予想値である。観測値( $1.3 \times 10^6$  個/ $\text{m}^2$ )と比較すると、予想値(推定値)の方が約 3 倍観測値よりも多い。しかし上記のようなかなり荒い計算を考慮すれば factor 3 で会っているというのは、まずまずと言えるのではないだろうか。



#### 4. 結論

Finland Oulu で観測された  $5.15\sigma$  の excess は Mexico で同時刻に観測された信号増加と同じように、太陽中性子が崩壊して作った陽子 (SNDP) によると考えられる。





Phase space and Coordinate on the surface of the magnetosphere at  $8R_E$

(別紙様式 4-2)

## 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・大学院理学研究科

### ＜ 研究目的 ＞

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。これは極域低～中高度を複数機の衛星が編隊飛行で周回する計画であり、オーロラ・大気光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宇宙空間プラズマ波動現象の解明に取り組む。一方、NICTを中心に静止軌道衛星に宇宙環境計測機器を搭載する将来計画が検討されており、これに紫外イメージャーを搭載してプラズマバブルなどの電離圏擾乱を監視する可能性を議論している。本研究は、これらの将来衛星に搭載し、オーロラや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。とくに、我が国では欧米と比較して紫外波長領域によるオーロラ・大気光観測の経験が乏しい。今後の研究発展のためには、最新技術と知見に基づく衛星搭載用の紫外カメラと可視高感度・高速カメラの技術向上が不可欠である。

### ＜ 研究方法 ＞

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500x500km程度(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、当初可視カメラ視野周辺の広域を撮像する計画だったが、これまでの検討から、紫外カメラにも可視カメラ同様に比較的狭い視野を高速・高空間分解する性能を要求することとなった。昨年度までのISEE共同利用経費(一般・国際)やISAS/JAXA、NICTの競争的資金をもとに、紫外カメラの光学設計、CCDセンサ試験パッケージならびに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、試験の準備が整いつつある。本研究では、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。一方、可視カメラについては、センサ候補の検討が行われているものの、試験品の調達および光学実験は進んでいない。今後、光学系検討、ならびに可視センサ試験品を用いた動作試験を行う必要がある。これらの可視カメラと紫外カメラの開発課題に対して、本研究経費を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、開発にかかる費用は外部資金を活用する。

### ＜ 成果と今後の予定 ＞

2022年3月に、北米ポーカーフラットよりLAMPロケットが打ち上げられた。これには2台のオーロラカメラ(670nmと845nm)が搭載されており、飛行中継続して脈動オーロラの連続観測に成功した。この成果は本年度国内外の学会で報告されており、現在論文を執筆中である。また、飛行実証されたオーロラカメラの機器設計は、今後の飛行体への搭載オーロラカメラの開発に反映される。

紫外カメラの試験品開発について、前年度までに外部経費を用いて開発した紫外カメラの真空チャンバ、紫外光用対物レンズ、および紫外用CCD検出器を用いてカメラが組み上げられた。しかしながら、検出器電気回路系を組み上げる際に想定外の不具合が発生し、作業が遅延しているのが現状である。代替の紫外用CCD検出器を調達できたこと、電気回路配線を再度実装したことにより、真空紫外光試験を今後実施する。当該CCD検出器は可視光にも感度を持つため、まず可視光を用いた結像試験を行った後に真空紫外光(130-200nm)の分光試験をISAS/JAXAの既存の紫外分光器を用いて翌年度以降に実施する。一方、可視カメラについては、本年度外部資金により背面照射型の宇宙利用実績を持つ科学CMOS(sCMOS, Caleste社ELFIS)の試験パッケージ(検出器および読み出しエレキパッケージ)を調達した。今後この試験パッケージを用いて可視分光感度特性やノイズ特性を計測する計画である。

さらに、上記紫外カメラと可視カメラの試験品については、今後放射線試験を行うため東北大・北大などの関係者と基礎的な検討を開始した。

## < 成果発表 >

### ・査読論文

Oyama, S-I., H. Vanhamaki, L. Cai, A. Aikio, M. Rietveld, Y. Ogawa, T. Raita, M. Kellinsalmi, K. Kauristie, B. Kozelov, A. Shinbori, K. Shiokawa, T. T. Tsuda, T. Sakanoi (2022), Thermospheric wind response to a sudden ionospheric variation in the trough: event at a pseudo-breakup during geomagnetically quiet conditions. *Earth Planets Space*, Vol. 74,154,doi: 10.1186/s40623-022-01710-6.

Fukizawa M., T. Sakanoi, Y. Tanaka, Y. Ogawa K. Hosokawa, B. Gustavsson, K. Kauristie, A. Kozlovsky, T. Raita, U. Brandstrom, T. Sergienko (2022), Reconstruction of precipitating electrons and three-dimensional structure of a pulsating auroral patch from monochromatic auroral images obtained from multiple observation points, *Ann. Geophys.*, vol 40, 4, pp. 475 - 484. doi: 10.5194/angeo-40-475-2022

Fukizawa, M., T. Sakanoi, Y. Miyoshi, Y. Kazama, Y. Katoh, Y. Kasahara, S. Matsuda, A. Kumamoto, F. Tsuchiya, A. Matsuoka, S. Kurita, S. Nakamura, M. Shoji, M. Teramoto, S. Imajo, I. Shinohara, S.-Y. Wang, S. W.-Y. Tam, T.-F. Chang, B.-J. Wang, C.-W. Jun (2022), Statistical Study of Approaching Strong Diffusion of Low-Energy Electrons by Chorus and ECH Waves Based on In Situ Observations, *J. Geophys. Space Res. Space Phys.*, 127, 3. doi: 10.1029/2022JA030269.

### ・著書

坂野井健, 諸岡倫子, 「あけぼの」で観測されたオーロラ加速機構, *プラズマ・核融合学会誌*, 第98巻第11号, p 460, 2022年11月

### ・学会・シンポジウム発表(国際学会7件、国内学会5件の計12件)

Sakanoi, T., K. Asamura, M. Lessard, A. Halford, Y. Miyoshi, et al., Observation of pulsating auroras with a multi-spectral auroral camera AIC2 on the LAMP rocket, AGU Fall meeting 2022, Hybrid (McCormick Place Convention Center, Chicago and online), USA, 12-16 December 2022.

Miyoshi, Y. K. Asamura, K. Hosokawa, T. Mitani, T. Namekawa, S. Saito, K. Takahashi, T. Sakanoi, et al., Wide energy electron precipitation during pulsating aurora: LAMP sounding rocket experiment and computer simulation, AGU Fall meeting 2022, Hybrid (McCormick Place Convention Center, Chicago and online), USA, 12-16 December 2022.

Mandyam, M., et al., Spatial and Temporal Scales of Pulsating Aurora during the Loss Through Auroral Microburst Pulsations (LAMP) Rocket Mission, AGU Fall meeting 2022, Hybrid (McCormick Place Convention Center, Chicago and online), USA, 12-16 December 2022.

Lessard, M., et al., Overview of the “Loss through Auroral Microburst Pulsations” (LAMP) Sounding Rocket Mission, AGU Fall meeting 2022, Hybrid (McCormick Place Convention Center, Chicago and online), USA, 12-16 December 2022.

Namekawa, T., et al., LAMP-HEP Observation of Microburst Precipitation associated with Pulsating Aurora, AGU Fall meeting 2022, Hybrid (McCormick Place Convention Center, Chicago and online), USA, 12-16 December 2022.

Halford, A., et al., The Loss through Auroral Microburst Pulsations (LAMP) rocket mission: Multiplatform, multipoint measurements to study microbursts and pulsating aurora, AGU Fall meeting 2022, Hybrid (McCormick Place Convention Center, Chicago and online), USA, 12-16 December 2022.

Sakanoi, T., M. Kawamura, K. Asamura, Y. Miyoshi, K. Hosokawa, A. Halford, M. Lessard, Initial result of pulsating aurora observation with a multi-spectral auroral camera AIC2 on the LAMP rocket, JpGU Meeting 2022, Hybrid (Makuhari Messe - online), Chiba, Japan, 22-27 May 2022.

浅村和史, 三好由純, 細川敬祐, 滑川拓, 三谷烈史, 坂野井健, 他, The LAMP sounding rocket mission; in-situ observations of microburst electron precipitations associated with pulsating aurorae, SGEPS第152回総会・講演会, 相模原市立産業会館, 相模原, Nov. 3-7, 2022.

坂野井健, 浅村和史, 三好由純, 他, LAMPロケット搭載多波長オーロラカメラAIC2による脈動オーロラの観測, SGEPS第152回総会・講演会, 相模原市立産業会館, 相模原, Nov. 3-7, 2022.

能勢正仁, 他, Field-aligned currents associated with pulsating auroral patches: Observation with Magneto-Impedance Magnetometer on board LAMP, SGEPS第152回総会・講演会, 相模原市立産業会館, 相模原, Nov. 3-7, 2022.

滑川拓, 他, 観測パッケージPARM-HEPによる脈動オーロラに伴うマイクロバースト現象の観測, SGEPS第152回総会・講演会, 相模原市立産業会館, 相模原, Nov. 3-7, 2022.

平原 聖文, 斎藤 義文, 小嶋 浩嗣, 浅村和史, 坂野井 健, 三好由純, 北村 成寿, 山内 正敏, Next Space Exploration Mission for the Space-Earth Coupling System Research: FACTORS, 日本地球惑星科学連合2022年大会, ハイブリッド開催(幕張メッセ-オンライン), 千葉, May 22-27, 2022.

(別紙様式 4-2)

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所

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．

2022年度は，2021年度に実施したシビア現象のうち，主に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し，VLF/LF帯送信電波受信ネットワークにより観測された下部電離層擾乱について，台風に伴って大気圏で発生した，大気重力波 (AGW) の観点から VLF/LF 帯送信電波の大地-電離層導波管伝搬の数値解析について FDTD 手法を用いてモデリングを実施したので下記に報告する．

2. 研究方法：

2019年に発生した台風15号(8月31日～9月10日)と19号(10月3日～10月14日)について，VLF/LF帯送信電波の受信電界強度の時間的変動(下部電離圏擾乱)から，台風によるAGWs発生の可能性が示唆される．そこで，台風による下部電離層擾乱の空間依存性について2次元有限差分時間領域(FDTD)法を用いてモデル化した．

3. 研究結果：

図1に示されるように，台風から発生した大気重力波 (AGW) に関連すると考えられる VLF/LF 帯送信電波の受信電界振幅について，ウェーブレットスペクトル強度を計算したところ，特に60-80分周期の強度の増加が観測された．また，このスペクトル強度と，台風を構成する雷雲の雲頂高度を示す輝度温度と雷活動の相関が観測されたことから，台風内の上昇気流による雷雲の成長とAGWとの関連性が示唆される．

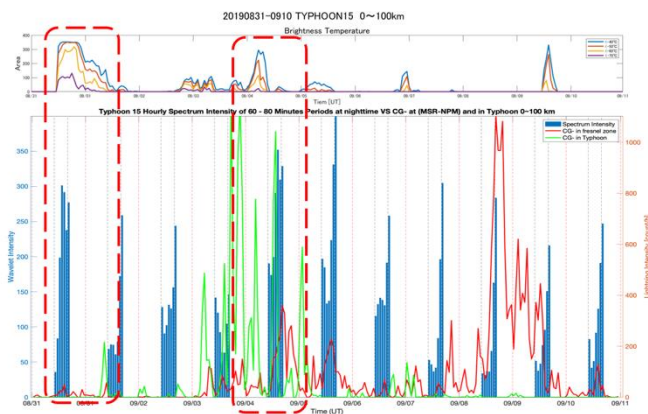


図1：台風15号における夜間のウェーブレットスペクトラム強度(周期60-80分)と輝度温度、雷活動との関連性(MSR-NPM送受信点パス)。

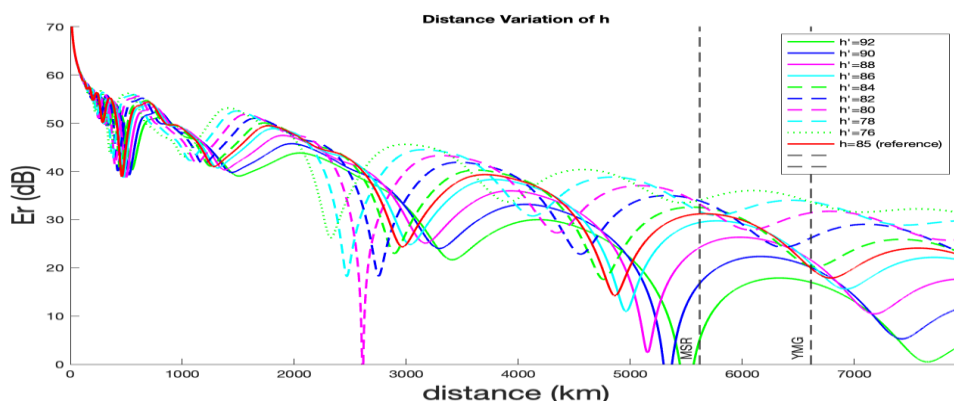


図 2 : 2次元FDTDモデルによるNPM送信電波局からの受信電界振幅の距離依存性 (夜間電離層の基準高度を85kmとし, 台風による電離層擾乱高度を78km~92kmの範囲で変化)

次に, VLF/LF帯送信電波の受信電界強度の変動をもたらす電離層擾乱の高度変化を計算するために, 2次元FDTD法を用いてVLF帯送信電波の伝搬モデルを作成した。本研究では, 簡単化のためAGWは台風を中心から発生し同心円状に伝搬すると仮定するとともに, 下部電離層高度は70kmから92kmを変化させつつも, 送信点間にて一定の電離層高度を使用した。図2に数値計算結果の一例として, 様々な擾乱高度に対するNPM送信局からのVLF帯受信電界振幅の距離依存性を示す。図より, YMGとMSRの2つの受信点について, 夜間電離層の基準高度(台風による擾乱なし)を85kmとした場合, AGWによる電離層高度の変動により, VLF帯電界振幅が顕著に増減する可能性があることが分かった。

今後, 本モデルによって得られた振幅変化の擾乱高度依存性とVLF観測結果(VLF帯電界振幅)を比較することで, 対流圏起源のAGWの下部離層への結合に関わる定量的調査をさらに進める予定である。

成果発表 :

- [1] A. D. Setiawan, Y. Hobara and S. Hirai, Modeling Lower Ionospheric Perturbations During Typhoons 15 and 19 Using 2D FDTD Method, AT-AP-RASC 2022, Gran Canaria, Spain, 1st June
- [2] K. Misu, M. Watanabe, H. Kikuchi and Y. Hobara, Lower Ionospheric Fluctuations and Atmospheric Electric Field Immediately around Earthquake, URSI-JRSM2022, Tokyo, 1st Sep. 2022
- [3] H. Kikuchi, E. Yoshikawa, Y. Nakamura, T. Morimoto, T. Ushio and Y. Hobara, Observations of Precipitation Cores with X-band Dual Polarized Phased Array Weather Radar and LF Band Lightning Location System, URSI-JRSM2022, Tokyo, 2nd Sep.2022
- [4] D. Mondal, Y. Hobara, H. Kikuchi and J. Lapierre, Thunderstorms and Total Lightning Characteristics Causing Heavy Precipitation in Japan: A Case Study, URSI-JRSM2022, Tokyo, 2nd Sep.2022

## 2022年度 05) 奨励共同研究 目次詳細

3 件

\*所属・学年は2023年3月現在

\*Affiliation and Year of graduate school displayed are current as of March 2023.

(注1): 新型コロナウイルスの影響で中止 / Cancelled due to COVID-19

(注2): 中止 / Cancelled

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	大学院博士 課程	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	194	
寺田 雄亮	東京大学	理学系研究科地球 惑星科学専攻	大学院修士 課程	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	196	
山川 智嗣	東京大学	理学系研究科	大学院博士 課程	内部磁気圏における環電流イオンによる ULF波動の励起機構の研究	198	



(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・D2

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・チャウジヤ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、内部変動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、Katoh 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、中村特任助教らと議論を進めた上で得られたものである。

#### 【成果発表】

南條壮汰, Olivier Staiger, 門倉昭, 田中良昌, 片岡龍峰, 三好由純, 中村紗都子, 小川泰信, 笠原禎也, 松田昇也, 笠原慧, 風間洋一, 横田勝一郎, 堀智昭, 松岡彩子, 桂華邦裕, Chae-Woo Jun, 篠原育, 細川敬祐, あらせ衛星, 全天カメラ, 広角デジタルカメラで捉えたサブストームオンセット直後の脈動オーロラ, 日本地球惑星科学連合 (JpGU) 2022 年大会, 幕張メッセ, 2022 年 5 月 25 日

南條壮汰, Olivier Staiger, Urban Brändström, 津田卓雄, 青木猛, 細川敬祐, デジタルカメラの動画撮影機能による脈動オーロラの観測例と観測計画, 名古屋大学 ISEE 研究集会「脈動オーロラ研究集会」, 名古屋大学, 2022 年 9 月 20 日

上記の発表の他に、本研究の内容をまとめた論文の投稿を行った。現在は、査読の結果を待っている。

#### 【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>

Katoh, 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

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1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。しかしながら海中の状況は人工衛星を用いて観測することができず、実地観測の数も現状では不十分であるため、海洋内部の海流や波動の役割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。そこで本研究では赤道太平洋に注目し、数値シミュレーションを用いて海洋波動の海洋内部における波動の振る舞いを明らかにする。

### 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。また、モデルの計算領域としては太平洋の東西幅のみを模した矩形の領域と、西岸境界を南北方向から東西方向へ傾けたより現実的な領域の2種類を用意した。

数値実験の第一段階として、構築したモデルの海上に理想的な東西風の変動を与え、海洋の応答を確認した。東西風により励起された波動は赤道に関して対称であり、赤道に沿って東西方向に伝搬し、西向きに伝搬したものが西岸境界に到達して反射する様子が観察された。矩形領域の場合、入射してきた波動と周期が等しく、赤道に関して対称な波動が反射波として東向きに伝搬し、赤道反対称な波動はほとんど現れなかった(図1 a)。一方西岸境界が傾いた場合、西岸境界において入射波より周期が短く、赤道反対称の波動が励起され、エネルギーを効率的に沈み込ませる結果が得られた(図1 b)。

このように、2種類の領域を与えた数値シミュレーションから、赤道太平洋のように西岸境界が南北方向から傾いている場合に、赤道反対称な波動が励起されやすく、エネルギーを効率的に深い場所へ伝搬させることが明らかになった。理想的な海上風の代わりに観測に基づいた現実的な風強制のもの

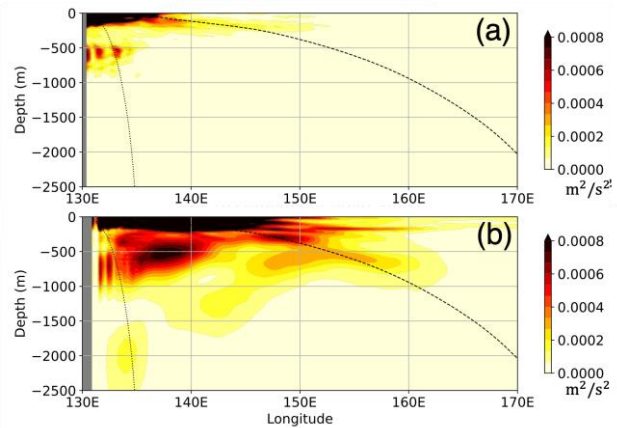


図1 (a)矩形領域と(b)西岸境界を傾かせた場合の、赤道上の経度-深さ断面における赤道反対称波動のエネルギー分布。破線は理論に基づいた赤道反対称波動の伝播経路。130Eにモデルの西岸境界が設定されている。

とで実施した数値実験でも、同様の結果が得られた。また、本研究の結果は西太平洋で実施された係留系観測[2]や深さ 1000m におけるエネルギー分布の推定[3]と矛盾しないものであった。

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 2022 年 9 月に開催された日本海洋学会秋季大会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] Zhang et al. (2020), *Journal of Physical Oceanography*, 50(4), 921-933.

[3] Delpech et al. (2020), *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 125(8), e2020JC016313.

## 内部磁気圏における環電流イオンによるULF波動の励起機構の研究

Study of the excitation mechanism of ULF waves by ring current ions in the inner magnetosphere

(1行スペース)

山川智嗣、東京大学・理学系研究科・博士課程3年

関華奈子、東京大学・理学系研究科・教授

### 研究目的

地球を取り巻く宇宙空間(内部磁気圏)における最大の変動現象である磁気嵐時には、夜側に粒子が注入され、西向き(西向き)の環電流( $\sim$  keV)が発達する。環電流は地球の固有磁場を変化させるだけでなく、ULF波動と呼ばれるmHz帯の周波数を持つ電磁波動を励起させることがある。ULF波動は内部磁気圏最大のエネルギーを持つ放射線帯電子( $\sim$  MeV)の加速機構にも影響を与える重要な波動だが、環電流によってどこでどのようにULF波動が励起されるのかはよく理解されていない。本研究では、数値シミュレーションを用いて、環電流起源のULF波動の励起機構・空間分布を明らかにすることを目指す。

### 研究手法・内容

本研究では磁気圏電離圏結合されたモデル(GEMSIS-RC + GEMSIS-POT)による数値シミュレーションを行った。GEMSIS-RCモデル(Amano et al., 2011, JGR)は、環電流イオンの旋回中心の運動と電磁場を自己無撞着に解くことのできるドリフト運動モデルである。GEMSIS-POTモデルは(Nakamizo et al., 2012, JGR)は電離圏全球を解く2次元のポテンシャルソルバーである。これらのモデルを結合させることで、夜側の粒子注入・注入された粒子の輸送・環電流の形成・環電流によるULF波動の励起という一連のプロセスをモデルで再現することができる。本研究ではこの結合モデルを用いて、夜側に粒子が注入された状態(密度2 /cc、温度10 keVのKappa分布を仮定)を初期条件として仮定し、数値計算を行い、環電流イオンによるULF波動の解析を行った。

本研究では、背景密度を与える低温粒子の運動を解くモジュールを新たに開発し、結合されたモデルに組み込んだ。低温粒子を動かさない場合(Case a)と動かす場合(Case b)、2種類のケースで数値計算を行い、シミュレーション結果の比較を行った。

### 研究成果

Case a(低温粒子を動かさない場合)では、メカニズムの異なる2種類のULF波動が励起されることが明らかになった。

1. 昼側で励起されたドリフト共鳴によるULF波動(2-4 mHz)
2. 夕方側で励起されたドリフトバウンス 共鳴によるULF波動(2 mHz)

先行研究(Yamakawa et al., 2020, JGR)では、電離圏と結合せずにGEMSIS-RCモデルのみ用いて、環電流によるULF波動の励起を調べたが、このときも昼側と夕方側でULF波動が励起された。ただ磁気圏電離圏結合させると、ULF波動の振幅が上昇し、モデルにおけるULF波動の記述性能が高まった。また、ULF波動の成長率に関する解析を行った結果、昼側のULF波動はイオンの位相空間密

度のエネルギー勾配が波を成長させているのに対し、夕方側のULF波動はイオンの位相空間密度の空間勾配が波を成長させていることが明らかになった。これらの研究成果をまとめた学術論文は国際誌(JGR)に採択された。

Case b(低温粒子を動かす場合)では、背景密度が時間と共に変化し、夜側でのプラズマ圏の収縮・プラズマポーズの形成がモデルで再現された。Case bでは、上記の2種類のULF波動に加えて、夜側のプラズマポーズ付近と明け方側の密度勾配が急峻な領域にULF波動が見られ、合計4カ所でULF波動が励起されることが明らかになった。これらの研究成果をまとめた学術論文は現在投稿準備中である。

#### 成果発表 [投稿論文]

1. Yamakawa, T., Seki, K., Amano, T., Miyoshi, Y., Nakamizo, A., Takahashi, N., & Yamamoto, K., Excitation of two types of storm-time Pc5 ULF waves by ring current ions based on the magnetosphere-ionosphere coupled model, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 127, e2022JA030486.

#### [受賞]

2. 2022年度地球惑星科学連合(JpGU)大会にて学生発表賞, 2022.05

#### [学会発表]

3. Yamakawa, T., Seki, K., Amano, T., Miyoshi, Y., Nakamizo, A., Takahashi, N., & Yamamoto, K., Excitation of two types of storm-time Pc5 ULF waves by ring current ions based on the magnetosphere-ionosphere coupled model, *JpGU Meeting*, 幕張, 2022.05, 口頭
4. Yamakawa, T., Seki, K., Amano, T., Miyoshi, Y., Nakamizo, A., Takahashi, N., & Yamamoto, K., Excitation of two types of storm-time Pc5 ULF waves by ring current ions based on the magnetosphere-ionosphere coupled model, *GEM (Geospace Environment Modeling) Meeting*, Honolulu, 2022.06, ポスター
5. Yamakawa, T., Seki, K., Amano, T., Miyoshi, Y., Nakamizo, A., Takahashi, N., & Yamamoto, K., Control of the dynamics of cold particles on the excitation of ULF waves based on the magnetosphere-ionosphere coupled model, *SGEPSS Fall Meeting*, 相模原, 2022.11, 口頭
6. Yamakawa, T., Seki, K., Amano, T., Miyoshi, Y., Nakamizo, A., Takahashi, N., & Yamamoto, K., Effects of the dynamics of cold plasma on the excitation of internally driven ULF waves by ring current ions based on the magnetosphere-ionosphere coupled model, *ERG Science Meeting*, 金沢, 2023.03, 口頭
7. Yamakawa, T., Seki, K., Amano, T., Miyoshi, Y., Nakamizo, A., Takahashi, N., & Yamamoto, K., Excitation of internally driven ULF waves by ring current ions based on the magnetosphere-ionosphere coupled model, 2022年度ISEE研究集会, オンライン, 2023.03, 口頭(招待講演)

## 2022年度 06)研究集会 目次詳細

51 件

\*所属・職名は2023年3月現在

\*Affiliation and Department displayed are current as of March 2023.

(注1): 新型コロナウイルスの影響で中止/Cancelled due to COVID-19

(注2): 中止/Cancelled

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	200	
松原 豊	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	201	
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	203	
加藤 知道	北海道大学	大学院農学研究院	准教授	大気-陸面プロセスの研究の進展:観測とモデルによる統合的理解	205	
坂井 亜規子	名古屋大学	大学院環境学研究所	准教授	氷河融解を加速する光吸収性不純物に関する研究集会	206	
永岡 賢一	自然科学研究機構 核融合科学研究所	プラズマ加熱物理研究系	教授	実験室・宇宙プラズマにおける波動粒子相互作用	208	
加藤 千尋	信州大学	学術研究院理学系	教授	太陽地球環境と宇宙線モジュレーション	210	
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	211	
草野 完也	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授、所長	上出洋介先生 追悼研究集会「太陽地球系現象の理解と予測を目指して」	213	
吉川 顕正	九州大学	理学研究院	教授	シンポジウムー太陽地球環境研究の現状と将来	215	



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
田村 仁	海上・港湾・航空 技術研究所	港湾空港技術研究 所	主任研究官	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	217	
根田 昌典	京都大学	大学院理学研究科	助教	大気海洋相互作用に関する研究集会	219	
南 雅代	名古屋大学	宇宙地球環境研究 所	教授	第34回(2022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	221	
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27回大気化学討論会	223	
今田 晋亮	東京大学	理学系研究科地球 惑星科学専攻	教授	太陽研連シンポジウム2022	225	
藤原 泰	神戸大学	大学院海事科学研 究科	助教	海洋表層関連過程に関する分野間交流 ワークショップ	227	
Siswanto Eko	海洋研究開発機 構	Earth Surface System Research Center	Researcher	第10回アジア海色ワークショップ「第19回日 韓海色ワークショップ」	229	
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	231	
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	233	
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	236	
深沢 圭一郎	京都大学	学術情報メディア センター	准教授	STEシミュレーション研究会:次世代HPCに おけるSTPシミュレーション	238	
市川 香	九州大学	応用力学研究所	准教授	2020年代の海洋観測 ―小型飛翔体観測の ノウハウをどう伝承するか―	239	
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	241	

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
田中 良昌	情報・システム研究機構 データサイエンス共同利用基盤施設	極域環境データサイエンスセンター	特任准教授	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	243	
横山 央明	京都大学	理学研究科附属天文台	教授	研究シンポジウム「宇宙におけるプラズマ爆発現象」	244	
三澤 浩昭	東北大学	大学院理学研究科	准教授	第24回 惑星圏研究会	246	
小池 真	東京大学	理学系研究科	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	248	
田島 宏康	名古屋大学	ISEE	Professor	宇宙プラズマにおける粒子加速ワークショップ	250	
横山 竜宏	京都大学	生存圏研究所	准教授	第16回赤道超高層大気国際シンポジウム	251	
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	252	
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	254	
阿部 修司	九州大学	国際宇宙天気科学・教育センター	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)	257	
浅井 歩	京都大学	大学院理学研究科附属天文台	准教授	第10回太陽偏光国際ワークショップ	258	
中村 紗都子	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	特任准教授	地磁気誘導電流研究集会	260	
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(兼)	科学データ研究会	262	
松田 昇也	金沢大学	理工研究域	准教授	内部磁気圏研究会:最新の統合解析ツールを活用したプラズマ波動解析ワークショップ	263	

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	264	
尾花 由紀	九州大学	国際宇宙惑星環境研究センター	学術研究者	ジオスペースの低エネルギープラズマ研究集会	266	
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)	267	
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	国際水星探査計画BepiColomboによる内惑星環境探査	268	
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	269	
宮本佳明	慶應義塾大学	環境情報学部	准教授	台風セミナー2022	270	
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・分離技術開発と環境挙動に関する研究会	272	
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	274	
吉江 直樹	愛媛大学	沿岸環境科学研究センター	講師	赤潮の予測とその社会実装に向けた研究	277	
諫山 翔伍	九州大学	総合理工学府	助教	ホイスラー波の物理と応用に関する研究会	278	
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	280	
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	282	
桂華 邦裕	東京大学	大学院理学系研究科	助教	内部磁気圏研究会:磁気圏電離圏システムにおける内部磁気圏の役割	284	

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
前澤 裕之	大阪公立大学	大学院理学系研究 科物理学専攻	准教授	第23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	286	
細川 佳志	東京大学	宇宙線研究所附属 神岡宇宙素粒子研究施設	特任助教	第7回 YMAP秋の研究会	287	

(別紙様式 6-2)

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 2022 年 4 月 11 日、5 月 9 日、6 月 15 日、8 月 2 日、9 月 8 日、10 月 20 日、11 月 22 日、12 月 22 日、2023 年 2 月 1 日、2 月 27 日、3 月 30 日の 11 回および 2022 年 10 月 11 日の TF のワークショップを通して、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。

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。2021 年度に第 3 回衛星地球観測ミッション公募を発出し 10 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。今年度も、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。

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 6-2)

太陽圏・宇宙線関連の共同研究成果報告会  
Meeting for result presentation of collaboration research on heliosphers and cosmic rays

松原豊 名古屋大学・宇宙地球環境研究所

本研究集会は、令和4年度に ISE の共同研究のうち、太陽圏宇宙線専門委員会の審査により採択された研究について、その報告を求めたものである。日程はこちらで決めるのですべての研究者がその日に出席可能とは限らないので、発表はあくまで本人の自由意志にまかせた。また、令和4年度に採択された研究集会に限らず、太陽圏宇宙線関連の共同研究についても、希望があれば発表していただく形式をとっている。この研究集会は毎年恒例に行われている。

令和4年度は2月28日・3月1日に、「太陽地球環境と宇宙線モジュレーション」との合同で、オンライン開催された。参加者を募ったころは、対面よりもオンラインでの開催を望む声が多く、オンラインとなったが、研究集会開催日には、新型コロナウイルスの感染者数は危険水準を下回っていた。対面の方が、研究集会前後、休憩時間、に議論することも可能なので、来年度は対面で行われるとよいか、と感じた。以下がプログラムである。

2022年度ISEE研究集会「太陽地球環境と宇宙線モジュレーション」、および  
「太陽圏・宇宙線関連の共同研究成果報告会」プログラム

\* は招待講演

2月28日 (火)

13:00-13:30 片寄祐作 (横浜国立大) \*高エネルギー $\gamma$ 線・宇宙線観測のための ALPACA/ALPAQUITA 実験

13:30-14:00 加藤勢 (東大) \*チベット空気シャワー観測装置によるsub-PeVガンマ線天文学の開拓の軌跡

14:00-14:30 野中敏幸 (東大) \*テレスコープ・アレイ実験

14:50-15:20 大嶋晃敏 (中部大) \*GRAPES-3大型ミュオン望遠鏡による宇宙天気観測

15:20-15:40 加藤千尋 (信大) 宇宙線ミュオンの長期観測データに対する大気効果補正への機械学習の適用

15:40-16:00 小島浩司 (中部大) 宇宙線強度変動とIMF極性(Toward or Away)

3月1日 (水)

9:00- 9:30 小林兼好 (早大) \*ISS搭載CALETによる7年間の軌道上観測の成果

9:30- 9:50 Sunil Kumar Gupte (TIFR, INDIA) GRAPES-3 experiment: the most successful India-Japan collaboration, and it's future prospects

9:50-10:10 Hari Haran Balakrishna (TIFR, INDIA) Probing solar storms with GRAPES-3 scintillator detectors

10:30-10:50 村木綏 (名大) 太陽中性子崩壊陽子の研究

10:50-11:10 宗像一起 (信大) Cosmic ray observations with global networks of neutron monitors and muon detectors

11:10-11:30 小財正義 (ROIS-DS) 南北異方性を用いた宇宙線モジュレーションの研究

11:30-11:50 野中敏幸 (東大) 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

11:50-12:10 岩井一正 (名大) 次世代太陽風観測装置計画の進捗とプロトタイプ機を用いた共同研究

12:10-12:30 丸橋克英 (NICT) Grad-Shafranov方程式による太陽風磁気ロープの再構築方式の拡張

2日間合わせて、延べ41名の参加があった。各講演の終わりには、質疑応答や議論の時間を設けてあったが、積極的に議論が行われてよかった。たまたま、国際共同研究で、インドのタタ基礎研究所のスタッフ2名が来日していたが、自ら研究集会への参加を希望してくれ、インドー日本の宇宙線国際共同研究である GRAPES-3 に関する話題を提供してくれた。



(別紙様式 6-2)

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 (JAXA) 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が近年注目されている。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リプロジェクトチームが 2022 年 1 月に設置された。

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 2023 年 3 月 23 日 (木) ~24 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 (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
発表数	25	30	29	43
参加者	59	78	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。これはオンライン形式となり、移動時間や旅費が不要で参加できるメリットが、参加者の増加の要因として考えられた。本年度はハイブリッド形式であったが、参加者数は前年度の規模を維持しつつ、発表者数が 43 件と約 1.5 倍に増えることとなった。これは、対面での発表機会がコロナの影響でまだ限定的な状況の中、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ことに起因すると考える。

43 件の発表のうち、GPM 関係の発表を大まかに分類すると以下ようになる：

- ・ 衛星観測（DPR、マイクロ波放射計、赤外放射計等）による降水推定技術の開発
- ・ DPR や GSMaP データの検証に関する研究
- ・ DPR データなどを用いた雲や降水特性の解析
- ・ DPR や GSMaP を用いた気象モデルの検証やデータ同化手法の開発
- ・ EarthCARE や AOS 等の今後計画されている衛星のミッションに関する研究

また、衛星シミュレータ関係の発表を大まかに分類すると以下ようになる：

- 1) 衛星シミュレータ等を使ったデータ同化の研究
- 2) 衛星シミュレータ等を使ったアルゴリズム評価研究
- 3) 衛星シミュレータ等を使った雲物理研究、気候モデル評価研究

成果：

今回の研究会で、広い範囲での GPM に関連した研究成果を概観することが出来た。2014 年 2 月の GPM 主衛星の打上げ後、約 9 年間の蓄積による DPR データを用いた発表は大きく次の 3 点に分類できる。

- ・ 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
- ・ DPR の高感度観測による降水（特に降雪）解析
- ・ 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

このような解析は、気象学・気候学的に高い価値があり、世界初の二周波観測や中緯度観測による解析は非常に新鮮で、今後の発展も大きく期待できる。加えて、2024 年に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。

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。DPR 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。

以上

(別紙様式 6-2)

iLEAPS-Japan 研究集会 2022  
大気-陸面プロセスの研究の進展：観測とモデルによる統合的理解  
Integrated Land Ecosystem-Atmosphere Processes Study (iLEAPS)-Japan  
an 2022  
Advances in Atmosphere-Land surface processes:  
Comprehension on observation and modeling

加藤 知道（北海道大学・農学研究院）

【作成要領】

本研究集会は、2022年12月1日(木)～2日(金)の2日間にわたって、名古屋大学研究所共同館Ⅱ・409室、およびオンライン会場において実施された。15件の話題提供が行われ、それらについての質疑応答を行った。主催者・話題提供者を含む参加者数は約41名であった（現地約23名、オンライン約18名）。

当初は9月初旬の開催予定であったが、コロナ感染者の増加と類似研究会の併催により、開催を12月に延期し、現地+オンラインによるハイブリッド形式での開催とした。当日はコロナ感染者数の増加もあり、集会後の懇親会は行う事ができなかったが、関連研究者間の交流を深めた。参考資料として、本研究集会の要旨集を添付する。

本研究集会の目的は、大気-陸域プロセスに関心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。その結果、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。本研究集会の終了後に、引き続き同じ会場にて日本学術会議第25期・第3回iLEAPS小委員会を実施した。この会合では、本研究集会で得られた共通認識を具体化するために、iLEAPS日本委員会は、日本学術会議の第25期において、どのような活動を行うべきか議論が行われた。

(別紙様式 6-2)

氷河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 glacier ablation

坂井亜規子、名古屋大学・大学院環境学研究科

【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、また氷河は淡水の水資源としての役割を持つ。このように氷河変動は周りの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。雪面における不純物の影響を考慮したアルベドについては、モデルが確立されている。しかし氷面に関してはモデル化がされておらず、観測データを元にモデルを確立する必要がある。そこで、モンゴルやアラスカなどのフィールド調査のデータを元に本研究集会で解析結果を議論し、モデル作成につなげる。

【参加者数】

対面：11人

リモート：10人

【研究報告】

今年度行われた、モンゴルやアラスカにおける観測結果について具体的な報告と議論が行われた。

- ・ポターニン氷河の氷厚観測結果で、末端近くは2, 30mと薄く、中流は120mほどであるとの報告があった。今後このレーダーのデータをさらに精査するとともに、氷河流動と合わせることで、氷河の衰退について量的な解析が可能である。
- ・モンゴルにおける氷河上微生物の種類分けをすると、北極圏と中緯度のヒマラヤ、天山の間に位置することがわかった。またクリオコナイトに寄生するツボカビが、今後季節変化などのサンプルが期待される。
- ・アラスカの氷河における微生物分布と化学成分の分布に関する報告では、リン酸、窒素などの生物活動に必要な成分が、生物が多いところで少ないとの報告があったが、生物が消費してしまった後の分布を見ており、今後無機窒素のみではなく、有機窒素等を測定することで解決するのではという提案がなされ、今後化学成分と生物活動との関係に新たな展開が期待できる。
- ・観測されたスペクトルアルベドのモデルに関し、放射伝達モデルを使い、氷粒子をボロノイという形状を仮定して、不純物を含んだ風化氷のスペクトルアルベドを計算したところ、観測のピークとよく合う結果となり、氷面でのアルベドは放射伝達モデルである程度再現できそうな見通しが立った。今後微生物の光学特性のデータ取得が課題となる。

- ・氷面に日射の透過吸収によって形成される風化氷であるが、その成長衰退モデルを使用し1日平均値を使ったモデルと1時間インターバルのモデル結果を観測された風化氷厚さと比較すると1時間インターバルの結果の方が比較的よかった。これは1時間インターバルの方が、氷河上積雪の再現性が良いことが主な原因である。しかし、今後観測において風化氷の厚さをどのように定義するかが課題として残った。

また、このあと、来年度の観測に参加可能なメンバーで、スケジュールや観測内容についての議論を行ない、またアルベドモデルに関し限られた人数で今後のモデル開発について設定や必要なデータについて議論を行った。

(別紙様式 6-2)

実験室・宇宙プラズマにおける波動粒子相互作用  
Wave-particle interaction in laboratory and space plasmas

永岡賢一 核融合科学研究所

【研究集会の概要】

2014年度から継続開催している本研究会は、実験室プラズマと宇宙プラズマの波動粒子相互作用に関する類似性と相違性を共有し、新しい共同研究や連携研究を模索し、両コミュニティを繋ぐ人的交流など一定の貢献をしてきた。本年度の研究集会は、2019年9月依頼となるERGサイエンス会議との共催として、金沢大学、石川県立図書館で2023年3月13日-15日の3日間で開催された。Hybridで開催されたこともあり、80名の参加があった。実験室関連のコミュニティからの参加は、9名、発表5件（そのうち1件はチュートリアル講演）であった。

【プログラム構成】

研究集会の初日は、SPEDAS講習会が開催され、あらせ衛星のデータ解析の講習が行われた。2日目の午前には、各プロジェクトの報告が行われ、プロジェクト間の連携などが活発に議論された。午後の前半は、本研究集会申請の目玉企画として、実験室プラズマと宇宙プラズマの高エネルギー粒子計測に関する3件のチュートリアル講演が行われた。核融合科学研究所の小川准教授から、「磁場閉じ込め核融合プラズマにおける高エネルギー粒子計測」と題して、トーラスプラズマの高エネルギー粒子閉じ込め研究とそれに用いられる計測器がレビューされた。中性粒子計測器や損失イオンプローブなどの粒子計測器とFIDAなどの分光に基づく計測、また、シンチレータや半導体を用いた中性子計測などが紹介された。ピッチ角計測に関する議論が行われた。続いて、ISAS/JAXAの浅村准教授から「宇宙空間でのプラズマ粒子直接計測」と題して、低エネルギー粒子観測( $\sim 10\text{eV/q}$  - 数 $10\text{keV/q}$ )、中間エネルギー帯粒子観測( $10\text{keV/q}$  -  $200\text{keV/q}$ )、高エネルギー粒子観測( $\sim 100\text{keV/q}$ 以上)がレビューされた。ノイズ除去や絶対検出効率の推定などが議論された。続いて、ISAS/JAXAの三谷助教から「位置検出型の半導体検出器を用いた高エネルギー電子計測」と題して、高エネルギー電子計測のレビューが行われた。半導体検出器を用いた高エネルギー電子計測は、トーラスプラズマでもよく用いられている手法であり、共通の課題などが議論された。午後後半のセッションでは、あらせ衛星観測に基づくコーラス波動など波動粒子相互作用や粒子加速に関する研究成果が報告された。

3日目午前前半のセッションでは、実験室プラズマから、波動粒子相互作用に関する実験の紹介や磁気圏型プラズマの波動現象に関する報告が行われ、活発な議論が行われた。午前後半、及び午後は、あらせ衛星に関連した研究成果の報告や最近衛星運用を停止したGeotail衛星のデータに基づく解析についても紹介された。

【成果のまとめと今後の課題】

- ・ ERGサイエンス会議と合同開催させていただき、プロジェクトの進め方や具体的な連携研究について大変学ぶものが多かった。強力なリーダーシップの発揮と絶え間ないコミュニケーションの重要性を感じた。

- ・ 3年前には少しうまくいかなかった計測器に関する専門家の情報交換を行えた点は大きな前進である。その後、懇親会を含めて専門家同士の情報交換が進められたことは、対面開催の大きな成果であった。
- ・ チュートリアル講演以外は、質疑を含めて15分間のプログラム構成であったが、少し短かった。実際に2日目のスケジュールは、予定通りこなせずに、3日目の4件の講演が移動となった。20分/一般講演のプログラム編成は、今後の課題である、
- ・ 本研究集会での議論をさらに発展させ、具体的な共同研究を模索する個別の会合を行うなどの交流を進めていくことが重要である。現在そのような研究展開も出始めており、今後も引き続きそのような連携活動へつなげていきたい。
- ・ 2023年11月に名古屋で開催されるAAPPS-DPP会議において、本研究集会の参加者を中心とした企画セッションを3件程度提案する議論が継続しており、国際的な場で実験室宇宙プラズマ連携を議論する新しい展開につなげていきたい。



(別紙様式 6-2)

研究集会 太陽地球環境と宇宙線モジュレーション  
Space weather and cosmic ray modulation

加藤 千尋、信州大学・理学部

本研究集会は例年、宇宙線を軸に太陽圏・宇宙天気に関わる話題を扱っている。2022年度は2月28、3月1日の2日間、“太陽圏・宇宙線関連の共同研究成果報告会”と合同で開催。コロナ感染症対策としてオンラインでの集会実施とした。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。開催2日間の参加者は延べ64名であった。

以下は、研究集会(シンポジウム)のプログラムである。

2月28日 (火)

13:00-13:30 片寄祐作(横浜国立大) \*高エネルギー $\gamma$ 線・宇宙線観測のための ALPACA/ALPAQUITA 実験

13:30-14:00 加藤勢(東大) \*チベット空気シャワー観測装置によるsub-PeVガンマ線天文学の開拓の軌跡

14:00-14:30 野中敏幸(東大) \*テレスコープ・アレイ実験

14:50-15:20 大嶋晃敏(中部大) \*GRAPES-3大型ミュオン望遠鏡による宇宙天気観測

15:20-15:40 加藤千尋(信大) 宇宙線ミュオンの長期観測データに対する大気効果補正への機械学習の適用

15:40-16:00 小島浩司(中部大) 宇宙線強度変動とIMF極性(Toward or Away)

3月1日 (水)

9:00- 9:30 小林兼好(早大) \*ISS搭載CALETによる7年間の軌道上観測の成果

9:30- 9:50 Sunil Kumar Gupte(TIFR, INDIA) GRAPES-3 experiment: the most successful India-Japan collaboration, and it's future prospects

cts

9:50-10:10 Hari Haran Balakrishna(TIFR, INDIA) Probing solar storms with GRAPES-3 scintillator detectors

10:30-10:50 村木綏(名大) 太陽中性子崩壊陽子の研究

10:50-11:10 宗像一起(信大) Cosmic ray observations with global networks of neutron monitors and muon detectors

11:10-11:30 小財正義(ROIS-DS) 南北異方性を用いた宇宙線モジュレーションの研究

11:30-11:50 野中敏幸(東大) 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

11:50-12:10 岩井一正(名大) 次世代太陽風観測装置計画の進捗とプロトタイプ機を用いた共同研究

12:10-12:30 丸橋克英(NICT) Grad-Shafranov方程式による太陽風磁気ロープの再構築方式の拡張

\* は招待講演

(別紙様式 6 - 2)

EISCAT 研究集会  
EISCAT meeting

野澤 悟徳、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

**目的：**本研究集会では、新大型電離圏レーダーであるEISCAT\_3Dの建設状況・準備状況・今後の展望およびEISCATレーダーを用いた研究成果発表を、国内共同研究者で情報を共有・議論し、EISCATレーダーを中心に用いた北極域中間圏・熱圏・電離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、2022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 memberやEISCAT SAC member から集会参加者に説明し、情報を共有する。そして、EISCAT\_3Dを用いた新たなサイエンステーマ・サポート体制を議論する。

(3) 現行のスカンジナビア北部の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、ESR (EISCAT Svalbard Radar)を用いた研究の発展性を議論する。EISCATレーダーsを用いた個々の研究テーマには、オーロラ物理、中間圏・熱圏・電離圏ダイナミクス、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、2023年3月17日（金曜日）および3月23日（木曜日）の0930-1200 AMの予定でZOOMを用いたオンライン集会として開催した。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、22名（うち大学院生5名）が参加した。座長は野澤悟徳および小川泰信が務めた。

3月17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を用いた今後の共同研究について、議論を行った。引き続いて、2件の研究発表が行われた。2022年度の日本のEISCAT特別実験のまとめの報告後、EISCAT特別実験4件について講演がなされた。3月23日のセッションでは、2023年度のEISCAT共同利用見込みについての説明後、3件の研究発表が行われた。次に、2022年度の日本の EISCAT特別実験5件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、計14件の研究発表を通して、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、光学観測等捕捉的な観測装置を併せ用いて、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。

2023年3月17日（金曜日） ZOOM  
09:30-09:32 集会趣旨と事務連絡

**EISCAT\_3D の進捗状況（座長；野澤）：**

09:32-09:55 EISCAT\_3D の進捗状況（橋本）  
09:55-10:05 EISCAT\_3D 共同利用に向けた国内準備状況（小川）  
10:05-10:20 EISCAT\_3D 共同利用に関する議論

**研究発表（1）：**

10:20-10:40 吹澤他「一般化オーロラトモグラフィを用いた脈動オーロラ中の電離圏電気伝導度3次元分布の再構成」  
10:40-11:00 家田他「極域電離圏の最高温度」  
**2022年度のEISCAT共同利用（1）**（座長；小川）：  
11:00-11:10 2022年度のEISCAT特別実験の全体概要説明（野澤）  
11:10-12:00 EISCAT特別実験報告  
野澤悟徳：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  
南條壮汰：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  
藤田浩輝：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

三好由純：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

-----  
3月23日（木曜日）

09:30-09:35 事務連絡及び2023年度のEISCAT共同利用見込みについて（小川）  
**研究発表（2）**（座長；野澤）：  
09:35-09:55 南條他「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」  
09:55-10:15 大山他「Geomagnetic activity dependence and dawn-dusk asymmetry of thermospheric winds at high latitudes」  
10:15-10:35 小川他「ERG-EISCAT共同観測による高エネルギー電子降下の統計解析研究」  
**2022年度のEISCAT共同利用（2）**：  
10:45-11:40 EISCAT特別実験報告  
野澤悟徳：VortExロケット実験に呼応した乱流圏界面の研究  
藤原均：昼側極冠域の電離圏変動の研究  
西山尚典：短波長赤外イメージング分光器を組み合わせた薄明時におけるオーロラの検出  
細川敬祐：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  
塩川和夫：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  
11:40-12:00 総合討論

(別紙様式 6-2)

上出洋介先生 追悼研究集会「太陽地球系現象の理解と予測を目指して」  
Prof. Yohsuke Kamide Memorial Meeting  
"Toward understanding and prediction of solar-terrestrial system phenomena"

草野完也、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

本研究集会は、昨年、他界された上出洋介先生（名古屋大学名誉教授、元太陽地球環境研究所所長、りくべつ宇宙地球科学館館長）を追悼し、太陽地球系現象の理解と予測を目指された上出先生の先駆的な業績とその発展を辿ると共に、宇宙地球環境の総合解析研究を中心とした今後の発展を展望することを目的として開催された。特に上出先生の果たされた地球電磁気圏を中心とした研究の歴史と、宇宙天気研究のこれまでの発展を俯瞰したレビュー的な講演の時間を設けるとともに、宇宙天気、宇宙天気予報の最新の現状および今後の課題に関する講演と議論のセッションを設け、宇宙天気研究の今後の課題とその実現のための科学戦略を議論した。また、パブリック・アウトリーチや地域科学振興に尽くされた上出先生の足跡も辿る機会となった。

本集会はZOOMを使ったハイブリッド形式で開催され、合計116名の参加者を得た。このうち、60名が海外からの参加であった。

集会の前半は英語による国際セッションとして実施され、上出先生の研究成果とその発展に関わる3つの招待講演がNASAジェット推進研究所のBruce Tsurutani博士、NCA R/HAOのGang Lu博士、九州大学の吉川顕正教授によって行われた。後半は、コロラド大学（米国）のDaniel Baker教授、慶北大学校（韓国）のB.-H. Ahn教授、JAXA宇宙科学研究所の西田篤弘名誉教授など多くの関係者から、上出先生の思い出と業績について語って頂くと共に、太陽地球系現象の理解と予測を目指された上出先生の御研究の今後の発展に関する招待講演がNICTの石井守博士、ISEEの三好由純教授と塩川和夫教授によって実施された。

研究集会を通して太陽地球系物理学、特に太陽風・磁気圏・電離圏相互作用、磁気嵐、サブストームの研究に尽くされた上出先生の多大な功績を参加者全員で再認識すると共に、上出先生の目指された宇宙天気研究のさらなる発展に向けた展望を議論することによって有意義な研究集会とすることができた。集会のアジェンダは以下のとおりである。

Brief personal history of Prof. Kamide/上出先生ご略歴 (English)  
9:30-9:40 A. Ieda(Nagoya University)

Session1: Memorial Lectures of Prof. Kamide/上出先生追悼講演 (English/日本語)

Chair: Y. Miyoshi

09:40 - 10:20

B. T. Tsurutani (JPL/NASA)

10:20 - 11:00

G. Lu (HAO/NCAR)

11:00 - 11:40

A. Yoshikawa (Kyushu University)

Session2: Memory of Prof. Kamide /上出先生の思い出 (English)

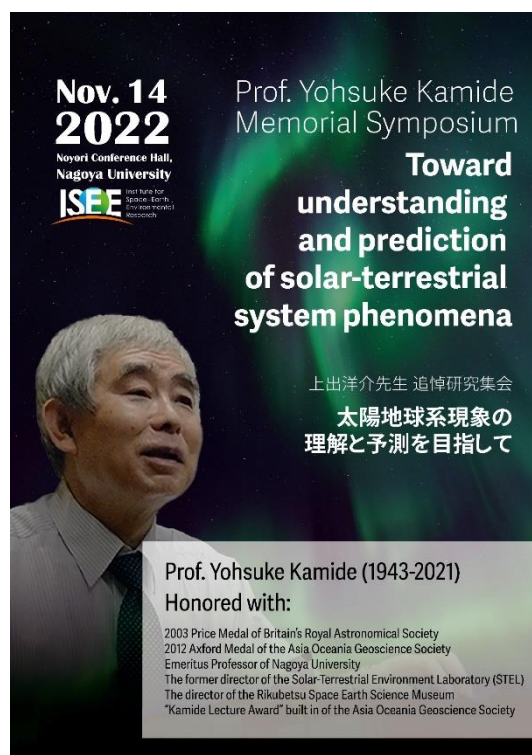
Chair: S. Masuda

11:40 - 11:50

D. N. Baker (University of Colorado Boulder)

11:50 - 12:00

B.-H. Ahn (Kyungpook National University)



lunch

Session2: Memory of Prof. Kamide / 上出先生の思い出 (日本語/English)

13:30 - 13:40 A. Nishida  
13:40 - 13:50 T. Kikuchi (Nagoya University)  
13:50 - 14:00 S. Machida (Nagoya University)  
14:00 - 14:10 K. Seki (University of Tokyo)  
14:10 - 14:20 H. Shinagawa (NICT)  
14:20 - 14:30 R. Nakamura (IWF)  
14:30 - 14:40 K. Shibata (Doshisha University)  
14:40 - 14:50 A. Mizuno (Nagoya University)  
14:50 - 15:00 H. Nojiri (Rikubetsu Town)  
15:00 - 15:10 H. Tsuda (Rikubetsu Town)  
15:10 - 15:20 T. Ogino (Nagoya University)  
15:20 - 15:30 I. Daglis (University of Athens)

break/group photo

Session3: Toward understanding and prediction of solar-terrestrial system phenomena/太陽地球系現象の理解と予測を目指して (Japanese)

Chair: K. Kusano

16:00-16:20 M. Ishii (NICT)  
16:20-16:40 Y. Miyoshi (Nagoya University)  
16:40-17:00 K. Shiokawa (Nagoya University)

Closing Remarks/むすび (Japanese) 17:00-17:10

17:00 - 17:10 K. Kusano (Nagoya University)



追悼研究集会のオンライン参加者

(別紙様式 6-2)

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

吉川 顕正 九州大学理学研究院地球惑星科学部門

本研究集会は、九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻 宇宙地球電磁気学研究室の大学院生を幹事として、2022年9月7日から9月9日の3日間で開催された。コロナウイルス感染症拡大のリスクを考慮し、合宿形式を取り入れた対面とzoomを用いたオンラインを組み合わせたハイブリッド開催となった。参加者は対面参加とオンライン参加を選択することが可能であり、対面での開催は福岡市近郊の休暇村志賀島で行った。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62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、2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、2つのグループに分かれて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<http://denji102.geo.kyushu-u.ac.jp/wakate/2022natsu/index.html>にて集録を公開している。

<スケジュール>

9/7 (水)

15:00 チェックイン開始

15:15~15:30 開校式

15:30~17:45 招待講演

1. 「太陽圏外縁の物理 ～ボイジャー探査の成果と課題～」

松清修一 (九州大学 大学院総合理工学研究院 准教授)

2. 「1859 Carrington Stormを題材として考えるGeospace Scienceの(超)近未来」

大谷晋一 (ジョンズホプキンス大学応用物理研究所)

18:00~20:00 入浴・夕食

20:30~22:30 室内レクリエーション

9/8(木)

08:00~09:00 朝食

09:15~12:45 口頭セッション

13:00~14:00 昼食

14:15~15:00 ポスターセッション

15:30~18:00 屋外レクリエーション

18:00~20:30 入浴・夕食

21:00~23:00 懇親会

9/9(金)

08:30~09:00 朝食

09:00~09:30 チェックアウト準備

09:30~10:00 閉校式

10:00 解散



<セッション>

研修集会二日目に、下の表に示すように口頭発表とポスター発表を行った。参加者はそれぞれ自身の発表を行うとともに専門的な議論を交わした。番号が黄色で塗られているものはオンライン参加、塗られていないものは現地での参加を意味する。

磁気圏セッション<口頭>

時間	番号	発表者	タイトル
9:15-9:30	A01	九大D1 樋口直人	Quantum Algorithm for Clarifying Auroral Acceleration Mechanism by Collisional Boltzmann-Maxwell Equation
9:30-9:45	A02	京大D1 深澤伊吹	宇宙プラズマ中における電界センサー特性に関するPICシミュレーションによる研究
9:45-10:00	A03	ISAS M2 正木和馬	宇宙プラズマ測定用小型イオン・電子エネルギー分析器の開発
10:00-10:15	A04	九大M2 城戸運太郎	太陽-地球方向を向いた惑星間空間磁場に対する地球磁気圏の応答研究
10:15-10:30	A05	名古屋M2 森田洋生	SuperDARNレーダーで観測されたPcS帯ULF波動のモードおよびm-number解析
11:00-11:15	A06	九大M1 川上航典	ponderomotive forceによるcavityの形成とその効果
11:15-11:30	A07	ISAS M2 Jingxuan YANG	Statistical analysis of anisotropy of electron injections in the inner magnetosphere observed by the Arase satellite
11:30-11:45	A08	京大M2 八島和輝	夜側極冠境界付近におけるオーロラに関連した低エネルギー降下電子の時間変動
11:45-12:00	A09	九大M1 林萌英	サブストーム時のCW発達に伴う中緯度領域/地上磁場・電場応答の考察
12:00-12:15	A10	九大D2 橋本翼	昼側磁気バリアを破壊するメカニズムの解明

太陽惑星圏セッション<口頭>

時間	番号	発表者	タイトル
9:15-9:30	B01	東大D1 沖山太心	火星ディフューズオーロラの変動メカニズムの研究
9:30-9:45	B02	京大M2 坂東日菜	MAVENおよびMars Expressによる火星電離圏不規則構造の準同時観測
9:45-10:00	B03	東大M1 黒須玲	Effects of dust storms on ion density variation in the Martian ionosphere based on long-term MAVEN/STATIC observations
10:00-10:15	B04	東大M2 西岡知輝	系外惑星TOI-700 dからの電離大気散逸の研究
10:15-10:30			自由時間
11:00-11:15	B05	名古屋M2 永井美帆	IPS観測から得られるg-valueを用いて地球に到来する太陽風を予測する可能性の調査
11:15-11:30	B06	名古屋M2 中田空	EIS観測とPFSSモデル計算を用いたプラズマアップフローの研究
11:30-11:45	B07	京大M2 加藤正久	月面星側での光電子とオージェ電子放出を用いた電位分布探査の可能性
11:45-12:00	B08	東大M2 渡辺瑞穂	あかつきLIRとUVIを用いた金星の雲層の長期変動に関する研究
12:00-12:15	B09	東大D2 千葉翔太	Physical properties of the solar corona derived from radio scintillation observations with the Akatsuki spacecraft

電離圏セッション<口頭>

時間	番号	発表者	タイトル
9:15-9:30	C01	名古屋D3 碧宇利卓弥	全球GNSS-TECデータを用いた磁気嵐時における電離圏応答の太陽風動圧依存性
9:30-9:45	C02	総研D2 村瀬清華	サブストーム成長相の静かなオーロラが中間圏に残す電離の痕跡・その定量評価
9:45-10:00	C03	九大M2 伊集院拓也	IGRFモデルおよび3次元ポテンシャルソルバーを用いたM-I結合系におけるEEJの初期結果
10:00-10:15	C04	九大M2 森澤輝	夜側オーロラオーバルの極側境界で発生するオーロラ増光現象における電離圏分極の数値解析
10:15-10:30			自由時間
11:00-11:15	C05	九大D1 高山久美	主成分分析による磁場に現れる大気塵の解明
11:15-11:30	C06	九大M2 桑元頌	MAGDASデータベースを用いた宇宙天気解析システムの開発
11:30-11:45	C07	東海M2 梅岡大貴	電離圏Sq電流系近傍で観測された電子エネルギー分布の特徴について
11:45-12:00	C08	総研D2 吉田理人	昭和基地上空の大気重力波の特徴と再現性について~PANSYレーダーと再解析ERASによる比較~
12:00-12:15	C09	明治D3 石井智士	昭和基地上空で検出されたOH大気光の様々な時間スケールでの強度変動

<磁気圏・電離圏・大気圏ポスターセッション>

時間	番号	発表者	タイトル
14:15-14:45	D01	東北M2 種野航	高エネルギー電子とのカップリングを見据えたULF波動伝搬モデルの検討
	D02	明治M2 ペーベンアン	北海道における2020年および2021年の夜光雲出現イベントの成因

<太陽惑星圏ポスターセッション> 金印の間B

時間	番号	発表者	タイトル
14:15-14:45	E01	東大D2 Zhengze Li	The Study of Mercury Sodium Exosphere: laboratory experiments of simulating thermal desorption(TD) process on Mercury surface
	E02	東北D1 齋藤幸碩	速度分布関数に基づく磁気圏プラズマの沿磁力線分布モデルの開発

<太陽惑星圏ポスターセッション> 万葉の間

時間	番号	発表者	タイトル
14:15-14:45	E03	東北M2 長内大河	MAVEN/STATICの観測に基づくダストストーム期間の火星超高層イオン密度変動の研究



(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4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:2023年3月2日,3日

会場:名古屋大学東山キャンパス研究所共同館I-301号室  
(zoomによるオンライン会議とのハイブリッド方式)

コンビナー:田村仁(港湾空港技術研究所)  
相木秀則(名古屋大学)  
鈴木直弥(近畿大学)

【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、最新の波浪研究の話題として、兵庫県立大学・高垣准教授より内閣府ムーンショット型研究開発事業目標8(台風下の海表面での運動量・熱流束の予測と制御)に関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) -

13:30-14:00

藤原泰(神戸大学海事科学研究科)

界面追従座標に基づく気液結合境界層数値モデルの開発

14:00-14:30

志村智也(京都大学)

小型波浪観測ブイによる湾内および外洋における海上風速推定

14:30-15:00

久木幸治(琉球大学)

漂流ブイによる波浪観測と流れの効果について

(休憩)

15:15-15:45

泉宮尊司(Freelance Researcher)

風波の砕波確率、飽和度指標と波齢および波形勾配との関係について

15:45-16:15

高垣直尚(兵庫県立大学)

台風シミュレーション水槽における高風速時の風速・波高測定

16:15-16:45

松田景吾 (海洋研究開発機構)

水槽実験に基づくフラックスモデルを使用した台風シミュレーション

(休憩)

17:00-17:30

西谷幸祐 (近畿大学)

高風速時の海洋波表面を通しての運動量輸送量の測定

17:30-18:00

岩野耕治 (名古屋大学)

高風速時の海洋波表面を通しての熱輸送量測定に関する検証

- 3月3日 (金) -

09:30-10:00

藤本航 (日本海事協会)

海事産業における波浪データ活用の課題 (話題提供)

10:00-10:30

片山裕之 (五洋建設技研)

洋上風力における気海象データ活用の課題 (話題提供)

(休憩)

10:45-11:15

民田晴也 (名古屋大学)

産業用ミリ波レーダの砕波観測への応用を目指して

11:15-11:45

林泰己 (気象大学校)

JRA-55データを用いたWavewatchⅢ波浪再予報結果の統計解析

(別紙様式 6-2)

大気海洋相互作用に関する研究集会  
Research Meeting for the Study of the Air-sea Interaction

根田昌典, 京都大学・大学院理学研究科

**概要:**

本研究集会は令和4年11月26日(土)と27日(日)の2日間の日程で3年ぶりに京都大学において現地開催された。ただし、ZOOMを利用したオンライン参加も認めることにした。現地会場で開催したことによって議論が活発化し、且つ研究者同士の交流の機会も増えた。一方、オンライン参加を認めたことによって海外在住やスケジュールに制限がある等の理由を持つ人でも参加可能となった。参加人数はオンラインで実施した昨年と同数の41名であり、そのうちオンラインでの参加者は9名であった(海外からの参加者1名を含む)。京大会場での参加は研究代表者を含め32名であった。16件の一般講演(6件のポスター発表を含む)と2件の特別講演があった。

**研究集会の目的:**

本研究集会は複合的な時間スケールの大気海洋相互作用現象のメカニズムを研究し、その解明に向けた研究グループの形成と育成を視野に入れている。特に、大学院生など若い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。近年、数値計算や観測データの蓄積によるパブリックドメインの長期データが利用されるようになった。そのようなデータを用いて、ベイスン間の相互作用のような時空間スケールの大きな現象や局所的な大気海洋相互作用過程と周辺の力学的な変動との関わりといった複雑な因果関係を紐解くような研究が可能になってきた。このような最先端の研究について集会参加者で議論を行い、現象の本質を粘り強く検討することを今年度の本研究集会の目的の一つである。一方、研究のトレンドが大規模現象に移りつつある状況下において、現象の素過程を実証するための意欲的な観測が少なくなっているという問題がある。本研究集会でも中心的な位置を占めるデータ解析の結果を踏まえて、どのような情報が実証データとして必要なのかという視点を持って観測立案に発展させるための議論を行うことも今年度の研究集会のもう一つの重要な目的である。このような実践的な目的に加えて、一人の研究者が取り組んできた長年の研究を俯瞰して再構成し、試行錯誤の過程も含めて総括した特別講演を設け、若手研究者がそこから多くのことを学ぶ機会を提供する。

**研究集会の内容と結果:**

本研究集会は12件の口頭発表と6件のポスター発表に加え、2件の特別講演で構成され、2日間にわたって京都大学での現地開催とZOOMを用いたオンライン開催を同時に行った。初日午後から6件の口頭発表と1件の特別講演を行った後、ポスター発表(6件)を行った。2日目は午前から6件の口頭発表と1件の特別講演を行った。そのうち学生の発表は7件であり、学生の発表と研究者の発表のバランスもよい。以下に講演を示す。

西平楽(東北大): 2021年夏季・秋季に発現した北太平洋中央部における観測史上最大の海洋熱波  
秦駿斗(京大): 海洋からの熱供給によって強化される低気圧がPNAパターンに与える影響について  
岩坂直人(海洋大): 北太平洋中央モード水の変動について  
岡英太郎・西川はつみ(AORI): 北大西洋亜熱帯モード水の海洋表層への影響

- 小橋理論は北大西洋でも成り立つか!?! -

百田大成(東京産業高専): 小型波浪ブイにおける動揺特性における評価方法の開発  
中村充喜(北大): 大気再解析データにおける海上気温のバイアス  
宮田愛美(北大): 外部強制による地表気温応答の季節別地域特性の推定とその評価  
川合義美(JAMSTEC): 北太平洋における塩分変動  
川上雄真(気象研): 黒潮期における台風通過時の海面水温変化  
桂将太(スクリプス研): 全球における海面塩分の経年変動の分類化

**ポスター発表**

根田昌典(京大): うねりの影響による海上風鉛直構造変化の観測  
秦岭(京大): 大西洋赤道域における水温の季節変動について

田中陸渡（北大）：観測データに基づくポーラーロウ-海洋間の相互作用の調査  
木下武也（JAMSTEC）：高高度ラジオゾンデ観測による高度30km以上に見られる大気擾乱について  
轡田邦夫（東海大海洋研）：OGCMを用いた海洋循環場の感度実験  
藤本海（北大）：南大洋における海面熱吸収の変化とその要因

#### 特別講演

中野俊也（長崎海洋アカデミー）：気象庁37年間の振り返り  
石坂丞二（ISEE）：海色リモートセンシング：サイエンス・国際性・応用性

上記のように、今年度の研究集会でもラージスケールの大気海洋相互作用現象から、局所的な素過程にいたる幅広いテーマでの講演があった。最初のセッションはベイスンスケールの大気海洋相互作用プロセスの解析結果の講演であり、北太平洋で観測された異常高温現象（海洋熱波）の成因についてのケーススタディ（西平）や亜熱帯モード水が台風の発生や発達に影響を及ぼすという仮説を大西洋にも適用する試み（岡・西川）などがあった。冬季西岸境界流域の膨大な潜熱放出が果たして大気循環場に影響を与えるかどうかという問題に、黒潮続流で強化された爆弾低気圧による渦度供給という観点から冬季アリューシャン低気圧の変動に対する海洋の果たす役割についての研究（秦駿斗）もあり、独自の視点からのアプローチもあった。これらの研究は本研究集会では長年力を入れている分野の研究である。また、川上や轡田や西平の講演のように、数値実験の中で海上風などの境界条件を変更することで相互作用プロセスの役割を考察する報告もあった。このような伝統的なアプローチによる現象解析は引き続き有効であり、このような知見の蓄積が広い意味での大気海洋相互作用の理解に資することも示された。ただし、一部の初期条件を変えた実験の結果のみを見て因果関係を判断することの危険性は依然として存在する。つまり、初期条件において条件の一部のみを変化させた状況は果たしてありうるのかどうかという問題である。我々のコミュニティは引き続きこの点に注意しながら結果を解釈する必要がある。一方で、岩坂や川合の講演のように、これまでなんとなく知られているような気がすることを改めて解析することで、新たな知見や従来知見の整合性をより正確に知ることができるというベテランらしい解析を行った。

長期データを用いることに関する問題点は本研究集会で最近重要視している観点であり、これらに関する講演（中村、宮田、桂、田中、秦嶺、藤本）のそれぞれの講演は、長期データから得られる現象の特徴を単に統計的に抽出するのではなく、平均像からのばらつきを物理的に説明しようとするものであった。この分野では本研究集会とかかわりの深いJ-OFURO衛星フラックスデータの利点を生かす研究もあった。

一方、現代の観測機器を用いた観測研究についての講演（木下、根田、百田）では、古典的な知識を再検証することの意義や大気や海洋においてまだ十分に観測がなされていない領域があることについて認識を新たにするものであった。

これらのような実践的な研究に加えて、一人の研究者が取り組んできた長年の研究を俯瞰して再構成し、試行錯誤の過程も含めて総括した特別講演を2件設けた。中野は長年気象庁で維持してきた137度線の水理観測から得られた結果だけではなく、それを維持するために科学的な知見が必要であることと、長期データを取得し続けることの困難さについても報告した。石坂は日本の衛星観測の黎明期から可視光領域でのプランクトン観測をリードしてきた経験から、若い研究者が当面取り組んでいる課題を将来的にどのように発展させていくのかという先験的に知りようのない問題に対して、解らないなりにどう取り組んでいくのかというモデルケースを提供した。このような取り組みは本研究集会が長年培ってきた堅固なコミュニティを持っているからこそ可能なことであり、若手研究者をエンカレッジする重要な役割を持っている。

#### まとめ：

今年度は2年ぶりに京都大学で実際に顔を合わせながら議論する研究集会を開催することができた。昨年度のオンライン開催に較べて、参加者数は変わらないものの格段に活発な議論が行われた。本研究集会が重要視しているテーマについての講演が多くあり、本研究集会がコミュニティとしての問題意識の構築と共有に資するものであることを再認識した。新たな観測や新たなアプローチを重要視する一方で、海洋から大気、もしくは大気から海洋への一方向の影響評価から一步進めて、相互作用過程全体を精査することによって個々の物理プロセスにフィードバックという概念を導入することの重要性を忘れてはならないと考えている。今後も大気海洋相互作用にかかわる現象解析を行う研究者の交流や情報交換、また互いに啓発しあうための機会として本研究集会は重要である。今年度も含めこれまで名古屋大学宇宙地球環境研究所にサポートしていただいた。コミュニティを代表して御礼申し上げる。

(別紙様式 6-2)

第 34 回 (2022 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 34th 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 ( $^{14}\text{C}$ ) 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シンポジウムを 2023 年 2 月 24 日 (金) に、Zoom を用いたオンラインにて開催した。参加者は 15 人 (そのうち、学生 2 名)、発表は 11 件であった。今回は、以下の講演リストに示すように、木柱、堆積物、炭酸塩コンクリーション、花粉、地下水、大気エアロゾルといった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。本年度の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。本年度は、コロナ禍の影響が残り、オンライン開催となったが、来年度こそは、対面開催ができることを願っている。

---

<講演リスト>

一般講演 セッション 1

中国浙江省余丁市田螺山遺跡出土木柱の放射性炭素年代解明  
安定硫黄同位体分析による姉川古せき止め湖堆積物のヒ素起源  
秋田県男鹿半島に見られる巨大ドロマイトコンクリーション  
北海道石狩地方の 10 万年前以降の古植生とその推移

一般講演 セッション 2

愛知県南知多町の先苧貝塚から産出した貝形虫化石 (予察)  
イラン北西部の石灰岩地域から湧出する地下水の放射性炭素  
 $^{14}\text{C}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  を用いたイラン北西部クルディスタンの大気エアロゾルの発生源解析

大型核融合試験施設における大気浮遊じんと降下物に含まれる $^7\text{Be}$ 及び $^{210}\text{Pb}$ の測定報告と今後の展望

炭素同位体と有機トレーサー成分を用いたバイオマス燃焼粒子の越境輸送の考察  
施設報告

名古屋大学タンデトロン AMS  $^{14}\text{C}$  システムの現状と利用 (2022)

CHIME の現状と利用 (2022 年度)

総合討論 -共同利用・共同研究概要

---

なお、本シンポジウムのプログラム・要旨は、毎年、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. 7 に掲載済みである。

(別紙様式 6-2)

第27回大気化学討論会  
27th 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27回大気化学討論会を、2022年11月16日(水)～18日(金)の3日間、茨城県つくば市のつくば国際会議場にて開催した。(主催：名古屋大学 宇宙地球環境研究所・日本大気化学会)

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議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、大気化学討論会では若手(学生含)からシニアまでの国内の大気化学研究者が一堂に会し、口頭講演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、今年度は気象研究所・産業技術総合研究所・東京都立大学の学会員が実行委員を務め、つくば市内の会場にて3年ぶりの対面開催を実現した。しかしながら、新型コロナウイルス感染症の収束が未だ見通せない中での開催であったため、オンラインによる聴講・質問も可能なハイブリッド方式での実施とした。

参加申込者は145名となり、例年と同規模で盛況であった。ハイブリッド配信のためのオンラインシステムにはZoomを利用した。新型コロナウイルス感染症の拡大防止の観点から、例年実施されているポスター発表は中止し、つくば国際会議場での口頭発表のみを認めた。その際、若手が緊張することなく発表に臨めるように、若手のみが発表する時間帯を作るため若手セッションを設けた。全体として68件の発表応募があり、以下のセッションを設け、多分野にわたる講演と活発な質疑応答が行われた(図1)。

- ・長寿命気体
- ・リモートセンシング
- ・エアロゾル/短寿命成分(1, 2)
- ・成層圏大気/海洋大気
- ・化学反応過程/装置・手法開発
- ・特別セッション  
(NASA Langley Research CenterのJames Crawford博士を迎えて)
- ・若手セッション(1, 2, 3, 4)

会期中には若手名刺交換会を実施し、コロナ禍においてお互いを知る機会が限られてきた学生や若手研究者の交流の場を提供した。また、日本大気化学会奨励賞や大気化学討論会学生優秀発表賞の授与式も実施した。

予稿集の印刷冊子を作成し、事前に参加者全員へ郵送配布することで、参加者が討論会聴講時に各発表の要旨を確認しやすいように配慮した。なお、予稿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)。

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、若手の情報交換と相互交流を達成することができた。





図1 会場の様子。三密を回避しつつも活発な議論が行われた。

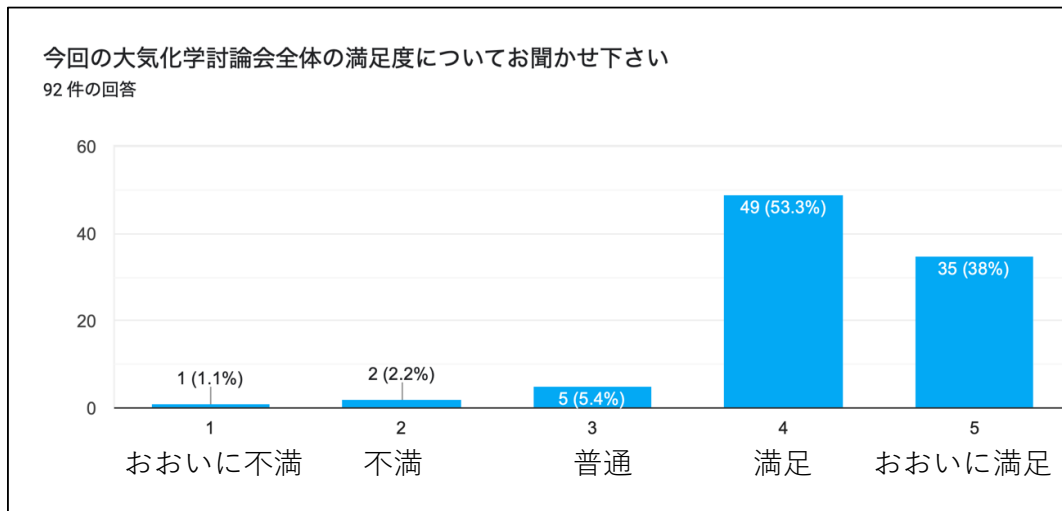


図2 アンケートで示された今回の大気化学討論会の満足度。

(別紙様式 6-2)

太陽研連シンポジウム2022  
Japan Solar Physics Community (JSPC) Symposium 2022

今田晋亮、東京大学大学院理学系研究科

「太陽研連シンポジウム2022」は、2023年2月20日-22日の日程で、名古屋大学東山キャンパス内の坂田平田ホール及びzoomを用いたオンラインのハイブリッド形式で開催された。参加者数は、計116名であった。

本シンポジウムは、太陽研連が中心となって企画する研究集会であり、主に日本国内で推進されている太陽およびその関連研究について、最近の科学成果をレビューすることで、太陽研究動向を広くかつより深く理解し、また太陽研究の将来について参加者同士で討議して研究の方向性についての共通意見形成を図ることを主たる目的としている。また、太陽系科学（地球惑星電磁気圏でのプラズマ物理や惑星科学）、宇宙天気・宇宙気候、天文学（恒星物理、ブラックホールなど磁気流体物理）、実験室プラズマ（磁気リコネクション）、数理科学・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太陽分野との研究交流を促進させ、学際的・融合的な研究アイデアを膨らます機会としても位置づけている。

このような目的の元、3つのセッションを設け、35件の口頭講演と29件のポスター講演が行われた。各セッションにおける招待講演は下記の通りである。

セッション1: 最新の研究成果とSOLAR-C時代の太陽研究

清水 敏文 (JAXA) 次期太陽観測衛星 SOLAR-C: 最新状況  
原 弘久 (NAOJ) 観測装置EUVST設計検討の状況  
今田 晋亮 (東京大学) SOLAR-CのSWG活動について  
鄭 祥子 (JAXA) SOLAR-C時代の太陽研究: コロナ加熱・ナノフレア  
松本 琢磨 (名古屋大学) Solar-C/EUVSTで探る波動加熱現象  
飯島 陽久 (名古屋大学) スピキュールについて  
庄田 宗人 (東京大学) SOLAR-Cで狙う太陽風のサイエンス  
今田 晋亮 (東京大学) SOLAR-C時代の磁気リコネクション研究  
鳥海 森 (JAXA) SOLAR-C: フレアエネルギー蓄積・トリガについて  
渡邊 恭子 (防衛大学校) SOLAR-C/SoSpIMにおけるサイエンス

セッション2: 次期太陽観測に関する議論

山本 衛 (京都大学) 大型研究計画「太陽地球系結合過程の研究基盤形成」  
清水 敏文 (JAXA) 2030年代以降の衛星計画の立ち上げ: 太陽系科学GDIから  
浅井 歩 (京都大学) 京都大学の地上太陽観測将来計画とNIRTF検討状況

セッション3: 太陽研究の多様化と周辺分野との融合研究の進展

三宅 芙沙 (名古屋大学) 過去1万年間の極端太陽高エネルギー粒子イベントの調査  
横山 央明 (東京大学) 汎恒星惑星系進化学の創造: 恒星磁気活動と惑星環境をつなぐ  
三好 由純 (名古屋大学) 太陽圏における宇宙放射線研究の重要性と今後の展望

各講演の後と各セッションの最後には、議論の時間を長く確保し、それを利用し、活発な質疑応答や議論が行われ、非常に有意義なシンポジウムになった。

また、今年度に博士の学位を取得した下記の4名に博士論文の研究内容を招待講演という形で紹介してもらい、最新のまとまった研究について背景から成果までを理解する良い機会になった。

山崎 大輝 (京都大学) Observational and Numerical Studies of Solar Coronal Magnetic Field  
古谷 侑士 (京都大学) Theoretical and Observational Studies of Small-Scale Flares  
and Associated Mass Ejections / Jets

鷲ノ上 遥香（東京大学）磁気流体数値計算による恒星コロナループ加熱の研究  
木原 孝輔（京都大学） Observational Study of Gradual Solar Energetic Particle Events  
Focusing on Timescale

ポスターセッションは、現地(24 件)とオンライン(5 件)のハイブリッド形式で行った。久しぶりの対面でのポスターセッションということで、現地のポスター会場は、非常に多くの方が参加し、熱心に議論が行われ、盛会であった。また、Slack を用いて、オンラインでのポスターセッションも行われ、質問・コメント等のやり取りが行われた。

なお、本シンポジウムの講演スライドとポスターに関しては、後日、太陽研連のホームページから公開する予定である。

(別紙様式06-2)

海洋表層関連過程に関する分野間交流ワークショップ  
Interdisciplinary workshop on ocean surface and relevant processes

藤原泰 (神戸大学大学院海事科学研究科)

【集会の概要】

本集会は、令和4年7月25日と26日の2日間の日程で、名古屋大学理学南館坂田・平田ホールおよびZoomを用いたハイブリッド形式で開催された。本集会の趣旨として、海洋表層を対象に多様なアプローチで研究に取り組む若手研究者の交流・コミュニティ形成を掲げていたが、その目的通り日本全国からの若手研究者・学生が集う機会となった。

集会では招待講演者の神山氏・山口氏を始め19件の研究発表が行われた。ポスドク以上の若手研究者による最先端の研究成果が多数報告されたのに加えて、学部生・修士学生による初めての発表が行われるなど、研究歴・分野の異なる発表が集まった。それぞれの研究発表について活発な質疑応答がなされたほか、オンラインのコメントボードやグループ議論においても意見交換がなされた。コロナ禍で途絶えた他大学との交流の促進を目的として各日にはグループ議論のセッションを設けたが、専門に踏み込んだ内容から研究の進め方など一般的な内容まで、活発な交流が行われた。

集会後のアンケートでも、「発表のレベルの高さ」「普段つながりのない人たちとの交流」「(学生より)数年先のイメージをつかめる機会」などの点で非常に有意義な会だったとの意見が多く集まった。今後の形態については未定だが、ふたたび同様の会を開催する際には今回得られた知見やノウハウを活かしていきたい。

以下、プログラムを添付する。

【プログラム】

- 7月25日(月) -

13:00-13:05 趣旨説明

[座長：藤原泰、木戸晶一郎]

13:05-13:35 神山翼 (お茶の水女子大学)

【招待講演】海面水温の揺らぎや変化を決定する惑星規模大気海洋結合現象

13:35-14:05 山口凌平 (JAMSTEC)

【招待講演】ESM ラージアンサンプルでみる植物プランクトンブルームの将来変化  
(休憩)

[座長：松浦浩巳、西野圭佑]

14:15-14:30 岩切友希 (東京大学)

多年性 ENSO 現象のメカニズム

14:30-14:45 久住空広 (東京大学)

ソマリア海流システムにおけるサザンジャイアの離岸緯度について

14:45-15:00 山上遥航 (JAMSTEC)

海洋モデル高解像度化のアラビア海とインドモンスーンへの影響

15:00-15:15 源田亜衣 (岡山大学)

インドネシア多島海の現生サンゴを用いた代替指標による古環境復元  
(休憩)

[座長：久住空広、飯田康生]

15:25-15:40 寺田雄亮 (東京大学)

太平洋西岸域における赤道波動の振る舞い

15:40-15:55 西野圭佑（電力中央研究所）

潮汐が底層懸濁粒子の分布に及ぼす影響に関する数値実験

15:55-16:10 今村春香（京都大学）

海洋水面波による混合の波解像数値実験と水槽実験

16:10-16:25 議論 鳥山菜海子, 三田優里, 守田凜々佳, 田中瞳, 佐藤笙子, 飯田康生, 宮下卓也  
（休憩）

16:35-17:35

グループ議論

－ 7月26日（火）－

[座長：今村春香、牛島悠介]

09:00-09:15 藤原泰（神戸大学）

海水運動の時間スケールと要因の解析

09:15-09:30 小平翼（東京大学）

海洋IoT機器の開発と波浪・表層流の多点計測の試み

09:30-09:45 戸澤愛美（北海道大学）

北極海における二酸化炭素分圧の季節変化とその要因について  
（休憩）

[座長：戸澤愛美、源田亜衣]

09:55-10:10 吉村将希（北海道大学）

北極海メルトポンドの二酸化炭素

10:10-10:25 能城太一（北海道大学）

寒冷地の渦相関法によるCO<sub>2</sub>フラックス観測システムの開発のための除湿剤の比較

10:25-10:40 木戸晶一郎（JAMSTEC）

全球海面水温と塩分の共変動およびその空間スケール依存性  
（休憩）

[座長：寺田雄亮、岩切友希]

10:50-11:05 三浦康幹（京都大学）

前線の蛇行に伴うSST-風の相互作用と鉛直循環

11:05-11:20 松浦浩巳（九州大学）

日本海の海洋循環が作るSSTトレンドの強弱

11:35-11:50 牛島悠介（気象業務支援センター）

海洋モデルの渦解像化による北太平洋の海面水温変化

11:50-12:05 大石俊（理化学研究所）

LETKF-based Ocean Research Analysis（LORA）の精度評価  
（昼食）

12:50-14:10

グループ議論

第 10 回アジア海色ワークショップ「第 19 回日韓海色ワークショップ」

The 10th Asian (the 19th Korea-Japan) Workshop on Ocean Color 2022 (AWOC/KJWOC 2022)

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 marine environments, which are surrounded by populous countries and highly sensitive to climate variabilities have been experiencing significant changes, and thereby the marine ecosystems are likely to be highly vulnerable to both climate changes and human activities. Marine environment and ecosystem monitoring are needed for evidence-based policymaking; climate change adaptation and mitigation. The Earth-observing system, especially by ocean color remote sensing, provides a valuable tool to cope with the problem of marine 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 had 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. For the 2022 fiscal year, the 10<sup>th</sup> AWOC / 19<sup>th</sup> KJWOC was planned to be held in person at Udayana University, Indonesia. But, due to the COVID-19 pandemic, the physical meeting was canceled. Alternately, a virtual 10<sup>th</sup> AWOC / 19<sup>th</sup> KJWOC via Zoom was held 14-15 December 2022 and organized by IPB University, Indonesia, and chaired by Dr. Jonson L. Gaol. Before the workshop, a one-day general lecture on the Google Earth Engine application for ocean color was also held on 13 December 2022.

### 2. Participant/Presenter Number

The 10<sup>th</sup> AWOC / 19<sup>th</sup> KJWOC KJWOC participants during the workshop days were more than 70 participants including the presenters, but only 43 participants made the registration. They participated from the countries of Thailand, Indonesia, China, Malaysia, India, Korea, and Japan. The workshop presented 21 oral presentations divided into 4 sessions covering various topics; 1) Inherent and apparent optical properties; 2) Phytoplankton chlorophyll-a variability-I; 3) Phytoplankton chlorophyll-a variability-II; 4) Correction and calibration. In sessions, 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 screenshots that were taken during the workshop.

### 3. Time and Venue for the next 10<sup>th</sup> AWOC / 19<sup>th</sup> KJWOC 2023

It was decided that the next 10<sup>th</sup> AWOC / 19<sup>th</sup> KJWOC will be organized by Nagoya University as a joint AWOC/KJWOC – ISEE Symposium and chaired by Professor Joji Ishizaka. And it was also expected that the 11<sup>th</sup> AWOC / 20<sup>th</sup> KJWOC 2024 will be held in Korea, but the organizer will be determined later.



Figure 1. Screenshots of participants and presentations during the virtual 10<sup>th</sup> AWOC / 19<sup>th</sup> KJWOC.



(別紙様式 6-2)

第5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  
5th 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5回目となる。前年度の第4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8名が参加し、2日間にわたり議論を行った。今回も FTIR 観測には直接関わっていないが興味を持ってくれた1名の参加があった。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 NDACC の現状報告、さらに個別のトピックの報告と議論を行った。二日目は個別トピックの続きと解析ソフト<SFIT4>の新バージョンに関する情報交換を行い、午後には名古屋の新サイトを見学し立ち上げ状況の報告を受けた。

今回は4年ぶりの対面開催となり、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、日本発の解析として都市大気質や同位体の試験的な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5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」

名古屋大学宇宙地球環境研究所  
研究所共同館15階ミーティングルーム(517室)  
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

2023/3/3

#### 3月8日

9:30-9:35	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		
9:35-10:00	つくばFTIRの近況とNDACCへのデータ登録	○村田 功(東北大院環境)、○森野 勇(NIES)、中島英彰(NIES)
10:00-10:30	陸別と名古屋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)
10:30-11:00	TCCONの現状と最近の成果	○森野 勇(NIES)
11:00-11:30	Recent COCCON activities focusing on the COCCON Tsukuba site	○Matthias Max Frey (NIES)
11:30-11:45	議論	
11:45-13:00	昼食休憩	
NDACCの現状と最近の成果		
13:00-13:20	NDACC/IRWGの活動	○長濱智生(ISEE)
13:20-13:40	NDACC Steering Committeeの活動	○中島英彰(NIES)
13:40-14:00	議論	
成層圏長期トレンド		
14:00-14:30	地上観測とオゾンゾンデから得られた近年の全球オゾントレンド	○鈴木湧平、村田 功(東北大院環境)
14:30-15:00	成層圏オゾン関連分子の長期変動と大気循環	○長濱智生、楊 天量(ISEE)
15:00-15:30	休憩	
対流圏組成変動		
15:30-16:00	Long-range transport of CO and aerosols from Siberian biomass burning over northern Japan during 18-20 May 2016	Tran Thi Ngoc Trieu, ○Isamu Morino, Osamu Uchino, Yukitomo Tsutsumi, Toshiharu Izumi, Tetsu Sakai, Takashi Shibata, Hirofumi Ohyama, Tomoo Nagahama
16:00-16:30	FTIR観測スペクトルからのメタン同位体導出	○村田 功(東北大院環境)、長濱智生(ISEE)、中島英彰、森野 勇(NIES)
16:30-17:00	陸別FTIRによるイソプレナム量の時間変動解析	○長濱智生(ISEE)、村田 功(東北大院環境)、森野 勇(NIES)
17:00	1日目終了	

#### 3月9日

個別トピック		
9:30-10:00	つくば120MのILS補正	○村田 功(東北大院環境)
10:00-11:00	解析ソフトSFIT4とその周辺の状況	
11:00-11:30	将来計画(新規サイト、研究の展開、など)	
11:30-11:45	まとめ	
11:45-13:00	昼食休憩	
13:00-14:00	名大観測サイト見学	
14:00	2日目終了	

(別紙様式 6-2)

**インド洋/太平洋域における海洋循環/環境応用に関する研究集会**  
Approaches for Hydrospheric-Atmospheric Environmental Studies in Asia-Oceania

尾形 友道 (海洋研究開発機構・アプリケーションラボ)

令和 4 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 2022 年 11 月 11 日 (木) ~12 日 (金) 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 20 人程度の集会参加者が集まり、活発な議論がなされた。昨年度に引き続き、今年度もアジア諸国からの招待講演者 (Riza Yuliratno Setiawan 氏、Tengfei Xu 氏、Zhao-Jun Liu 氏) の発表もあり、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 (11 月 11 日) :

まず、インド洋や太平洋における熱帯海洋変動に関する研究発表として、土井威志 (JAMSTEC) は気候予測システムの SINTEX-F を用いた 2022 年のパキスタン豪雨の季節予測可能性について紹介した。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、季節変動における風応力からのエネルギー注入項における、新しい定式化とその適用例について議論した。尾形友道 (JAMSTEC) は気候モデルである CFES の高解像度化・新しい対流スキームの導入・季節予測システムの構築例などの最近の進展を紹介した。

午後は、中国の研究者による黒潮域の観測研究や気候モデル評価に関する研究発表が行われた。Zhao-Jun Liu (SIO) は黒潮流路であるトカラ海峡域における観測データから、過去十年間における長期トレンドについて議論した。Yu-Xiang Qiao (鹿児島大) は東シナ海の黒潮変動における中規模渦活動の重要性を指摘し、更に流量変動が梅雨などの夏季東アジアモンスーンに影響する可能性を指摘した。Tengfei Xu (FIO) は CMIP5 と CMIP6 の気候モデル群のマルチモデル解析における、海洋混合層のバイアスの形成機構について紹介した。

集会 2 日目 (11 月 12 日) :

2 日目の午前は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) は赤道太平洋西部に見られる、季節内波動の鉛直下方伝播による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。また、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議論した。

午後は、熱帯インド洋における海洋変動の議論が行われた。熱帯インド洋での海洋変動の生態系への影

響について、Riza Yuliratno Setiawan (Gadjah Mada Univ) は、南東インド洋を通過したサイクロン Odette・Seroja に伴う海面水温やクロロフィル a への影響について議論した。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、理想的な数値実験により離岸緯度や定常/非定常の渦が風応力の与え方によって変化する事を示した。最後に、インドネシア多島海の水温塩分データの復元について、源田亜衣 (九大) はサンゴの骨格データにおける同位体比から推定を試み、その結果を紹介した。

今回もコロナ禍により、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。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を目的とした 30 分程度の free discussion の時間を設けた。余裕のある時間設定により、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。

2022 年度名古屋大学宇宙地球環境研究所共同利用集会

インド洋/太平洋域における海洋循環/環境応用に関する研究集会

Approaches for Hydrospheric-Atmospheric Environmental Studies in Asia-Oceania

Time and date: Nov. 11 (Fri, 13:30–17:30 JST) and Nov. 12 (Sat 10:00–15:30 JST), 2022

Event format: online-onsite hybrid

onsite 名古屋大学東山キャンパス

<https://www.nagoya-u.ac.jp/extra/map/index.html>

Sakata-Hirata Conference Hall (D2-7 坂田・平田ホール 1 階)

コンビーナー: 尾形 友道 (JAMSTEC)・堀井 孝憲 (JAMSTEC)・升本 順夫 (東京大学)・相木 秀則 (名古屋大学)

Friday, November 11

Chair: Takanori Horii

13:30–13:40 JST (Opening Remarks)

Chair: Yukio Masumoto

13:40–14:10 Takeshi Doi (JAMSTEC)

How difficult is seasonal prediction of the 2022 summer extreme rainfall in Pakistan?~Verification of SINTEX-F & NMME results~

14:10–14:40 Kaiwen Ye (Nagoya Univ.)

A phase-resistant formulation for the wind input of annual wave energy in the upper ocean

14:40–15:10 Tomomichi Ogata (JAMSTEC)

Current activity of CFES integration and building seasonal forecasting system

15:10–15:30 (Free discussion & Break)

Chair: Tomomichi Ogata

15:30–16:00 JST Zhao-Jun Liu (SIO)

Decreasing trend of the Kuroshio in the Tokara Strait during the past decades

16:00–16:30 Yu-Xiang Qiao (Kagoshima Univ.)

ENSO-related interannual variability of the Kuroshio in the East China Sea: Cyclonic-eddy-driven mechanism

16:30–17:00 Tengfei Xu (FIO)

The simulated mixed layer depth in coupled climate models: From CMIP5 to CMIP6

17:00–17:30 (Free discussion)

Saturday, November 12

Chair: Hidenori Aiki

10:00–10:30 JST Takuro Matsuta (Hokkaido Univ.)

Analysis of tracer exchange between subtropical and subpolar regions based on Lagrangian Coherent Structure

10:30–11:00 Yusuke Terada (Univ. Tokyo)

Downward propagation of equatorial intraseasonal waves from the western boundary

11:00–11:30 Borui Wu (Nagoya Univ.)

Energy flux streamfunction and potential of interannual waves in the Pacific Ocean

11:30–12:00 (Free discussion)

Chair: Takanori Horii

13:30–14:00 JST Riza Yuliratno Setiawan (Gadjah Mada Univ.)

The effect of tropical cyclones Odette and Seroja on sea surface temperature and surface chlorophyll-a in the southeastern Indian Ocean

14:00–14:30 Takahiro Kusumi (Univ. Tokyo)

The role of the anticyclonic eddy shed from the separation point of the western boundary current

14:30–15:00 Ai Genda (Kyushu Univ.)

Reconstructions of sea surface temperature and salinity using modern coral skeletons from the Indonesian Seas

Chairs: Tomomichi Ogata and Yukio Masumoto

15:00–15:30 (Free discussion & Closing remark)

(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。本研究集会の参加者を母体とする研究グループが、科研費基盤研究 (S) に応募し、H27 年度から 5 ヶ年の計画で採択された (コロナ禍のために研究機関が 2 年延長され 2021 年度末で終了)。本年度の研究集会では、この科研費プロジェクトによって行われてきた衛星・地上・数値シミュレーションを融合した PsA 研究の総括を行う時間を設けた。また、2022 年 3 月に打ち上げが行われた脈動オーロラをターゲットとした NASA のロケット実験 (LAMP 実験) で得られたデータの解析についても、進捗の共有および議論が行われた。

### ★ 参加者と講演の内容

3 年ぶりに対面 (+オンライン) で研究集会を開催し、計 26 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 23 件の研究発表を通じて、活発な議論が行われた。また、それらの発表に加えて、LAMP 実験に続く形で検討が進んでいるロケット実験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もできた。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。

### ★ 成果

今回で 11 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。

また，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 (Rocksat-XN 実験) 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，2022 年 3 月に実施した 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wお用いた 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。



(別紙様式 6-2)

STEシミュレーション研究会：次世代HPCにおけるSTPシミュレーション  
STE Simulation Workshop: STP Simulation in Next Generation HPC

深沢圭一郎、京都大学・学術情報メディアセンター

2023年3月8日～10日の日程で「STEシミュレーション研究会：次世代HPCにおけるSTPシミュレーション」をRISH電波科学計算機実験(KDK)シンポジウムと合同で京都大学学術情報メディアセンター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11件の発表(合同研究会全体では24件)があり、延べ57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。STP(太陽地球惑星系科学)における計算機シミュレーションでは、解くべき領域の大きさやスケールの細かさから大規模な計算機システムが利用されてきた。現在でも富岳を頂点とする大学のスパコンを含むHPCI計算機資源が活用されており、HPC(High Performance Computing)分野との関わりは非常に強い。HPC分野では、次期富岳を念頭に次世代計算機システムの研究開発が始まっており、STPシミュレーションもこの次世代機に対して性能・機能要求を行うことが望まれている。本研究集会は、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・展望から今後必要な計算性能・機能を議論し、また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、今後の計算機共同利用研究の方向性を見出すことを目的としている。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、計算科学(情報及び計算機科学)や天文学、流体力学、固体惑星、宇宙航空工学などの異分野との交流を図ることも目的としている。今回は、次世代HPCに注目し、STPシミュレーションが今後のHPCシステムを活用できるのか、また、システムに対しどのような性能・機能を要求するべきなのか議論を行えるように、次世代HPCに関連する招待講演を企画した。

招待講演として、Intel株式会社の矢澤 克巳氏に「HPC-AIの革新」という題目で、今後のCPUやアクセラレータがどのようになるのか、コードの開発環境はどうなっていくのかを講演いただいた。更に、論文発表時に数値シミュレーションデータの公開が求められるなど研究データの取り扱いが課題になっていることに対する先進的な取り組みとして大阪大学の伊達 進氏に「高性能計算・高性能データ分析を加速するデータ集約基盤ONION」という題目で、大阪大学のスーパーコンピュータシステムにおけるデータ基盤に関してご講演いただいた。一般講演として、宇宙プラズマや磁気圏シミュレーションに関する最新成果の報告や、新しいシミュレーションモデル・計算コードに関する講演があった。

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<https://cidas.isee.nagoya-u.ac.jp/simulation/meeting2022>に公開されている。

ドローンは海洋観測のゲームチェンジャーとなるか？  
Do drones become a “game changer” of marine observations?

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ながら、それらの要望を小型飛翔体のうち特に小型衛星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。一方、比較的取り扱いが容易なドローンに関しては、既に上記のような視点で取り組みを始めている個々の研究者が居る。ただし、お互いの知見や体験を共有し、組織として伝承していく場が存在していなかった。より効率的に前進させていくためには、ドローン観測のニーズとシーズを明確にしたうえで、個々の知見を共有していく枠組みが必要である。

そこで今年度は、9月に名古屋大学で開催された日本海洋学会との共催という変動的な形式で、「ドローンは海洋観測のゲームチェンジャーとなるか？」と題したナイトセッションを開催した。独自にドローンを用いる開発研究を行ってきた研究者が集まって、2020年代の海洋観測に対して小型飛翔体であるドローン観測のノウハウを伝承するための意見交換を行った。今回は、海洋学会の共催を得たことで、新たにドローンを用いた観測を始めようとする新規参入者へのガイダンスとしても機能した。会場は環境総合館1FのレクチャーホールとZoomのハイブリッド形式で開催され、約104名と多数の参加者があった。

<プログラム>

【講演】 2022年9月5日 18:00～20:00

- 18:00～18:10** 趣旨説明 市川香（九大応力研）  
情報協力（長大・天野雅男，廣大・作野裕司，九大総理工・山口創一）
- 18:10～18:25** ドローンを用いた沿岸域での航空測量と対象物検知  
加古 真一郎・種田哲也（鹿大工）・市川 香（九大応力研）
- 18:25～18:40** ドローンボートによる海中観測  
木田 新一郎（九大応力研）・田中 潔（東大大気海洋研）・伊佐田 智規（北大FSC）・中村知裕（北大低温研）
- 18:40～18:55** ドローンを用いた船上気象観測  
猪上 淳（極地研）・佐藤和敏（北見工大）
- 19:00～19:15** バイオロギングでのセンサー開発  
吉田 聡（京大防災研）・高橋 英俊（慶応大）・高橋 晃周（極地研）・野田 琢嗣（Biologging Solutions Inc.）・依田 憲（名大）・佐藤 克文（東大大気海洋研）
- 19:15～19:30** 水空合体ドローンの開発背景と可能性  
菅木 紀代一（株プロドローン）
- 19:30～20:00** 総合討論

## ○講演内容のまとめ

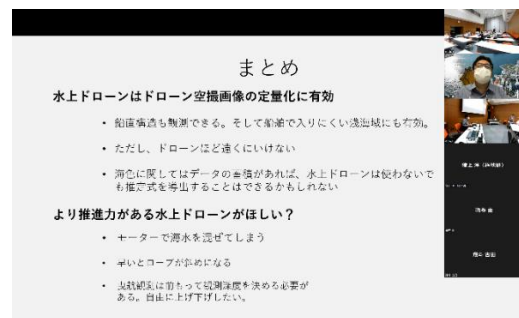
船舶が主体となる海洋観測では高所からの視点の俯瞰が得られず、人工衛星は遠すぎて分解能が低い  
ため細かな記述が得られない、というジレンマを手軽に解決できる方法として、ドローンを利用する海  
洋観測が注目されている。光学カメラを用いた海洋生物の撮影や、赤外線や分光計を用いた人工衛星の  
検定となるデータの採取などの「典型的な」利用法が、まず趣旨説明で紹介された。さらに、ドローン  
の高所視点の応用的利用法として、ステレオカメラの手法を用いた海洋ゴミなどの静止物の立体的な航  
空測量について鹿児島大の加古氏から紹介があった。

ドローンには、高い視点からの俯瞰観測以外にも、高い機動性と定点保持性能という利点がある。九  
大の木田氏は、ドローンボートの機動性を用いて河川フロントを観測する研究を紹介し、静音に移動で  
きるドローンによって場を乱さずにフロント域の海洋構造のコントラストを観測した事例を示した。対  
して極地研の猪上氏は、ドローンに気象観測装置を取り付けて高い機動性を活かした気象観測を行った  
例を紹介した。ドローン自身が周辺の大気場に作る擾乱をあらかじめ評価しておいて、正確に大気場の  
観測を行った例が紹介された。

しかし、ドローンの利用は利点だけでなく、様々な問題点がある。陸上での利用よりも防水性や耐強  
風性が必要である点、船上での離発着が困難である点、飛行距離や持続時間に限りがある点、搭載でき  
る荷重が限られている点、そして法律上の制約がある点などである。法律上の制約や、海外でドローン  
を使用する場合の注意点などは、鹿児島大の加古氏から紹介があった。さらに京大の吉田氏は、荷重が  
小さなセンサーの利用例として、バイオリギングでのセンサー開発の話題を提供した。

こうした利用者側の意見・要望に対して、名古屋に本社のある㈱プロドローンの菅木氏から、メーカ  
ー側の開発状況や今後の可能性に対する意見を述べた。開発済みの水空合体ドローンの例を基に、ニー  
ズへの対応方法や、コストに関する忌憚のない意見交換が行われた。

最後に、全体を通じた総合討論を行った。ドローンは日々技術更新が行われている分野であり、荷重  
制限や航行時間・距離などの制約は時とともに軽減されていくと考えられる。一方で、法律の制限変更  
なども変化が激しく、情報交換が非常に重要であるという認識が共有された。



会場の様子（左）と、Zoomでの発表時の画面の様子（右）

## ○研究成果のまとめ

本集会の研究成果を基にして、月刊海洋の特集号が2023年度中に発刊される予定である。

(別紙様式 6 - 2)

中間圏・熱圏・電離圏研究会  
Mesosphere, thermosphere, and ionosphere workshop

新堀淳樹、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

## 1. 集会の概要

我々が生活を営んでい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、太陽や宇宙からの荷電粒子、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の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。今回の集会では、MTI分野の学生・若手研究者を育成する観点から、博士課程の学生に対しては、学位論文執筆に向けた自分の研究を包括的に発表するといった口頭発表(招待講演)とし、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、昼間スポラディック E 層の観測ロケット実験計画とその初期結果についての議論を行った。なお、昨年度と同様に本年度も新型コロナウイルス感染症拡大防止の観点から、名古屋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4年9月28日から30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4年9月27日から30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。

9月28日：58名

9月29日：47名

9月30日：46名

### 3. 研究報告

1で述べた本研究集会の目的に従ってまず、MTI分野における最新の国内外の研究動向・プロジェクトを研究集会に参加した学生・若手研究者に知ってもらうとともに若手研究者育成のために6つの招待講演(オーロラ観測のためのデジカメの校正実験と2022年度の観測計画、地磁気擾乱時の電離圏不規則構造の特徴、高解像度ハイトップ大気大循環モデルを用いた普遍鉛直波数スペクトルに対する重力波の寄与の研究、EISCAT\_3D 計画とそのソフトウェア開発の進捗状況、太陽放射スペクトル変動の電離圏・熱圏への影響、金星電波掩蔽観測の現在とこれから等)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、多少音声聞きづらいという指摘があったが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といったことはなかった。

### 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。その結果、本研究集会開催から約一ヶ月後に開催された地球電磁気・地球惑星圏学会において本研究集会に参加した学生の講演を聴講したところ、各自の研究がある一定の水準をもって確実に前進していることが見受けられた。したがって、MTI分野の学生・若手研究者の育成とエンカレッジが本研究集会の開催を通じて期待通りの結果となっていると言える。また、各自の研究をまとめた論文を海外の学術雑誌へ投稿するための準備をしている学生・若手研究者が複数名いるため、次年度の成果報告へ記載する予定である。なお、これまで開催されたMTI研究集会にて発表した研究が学術誌として最近出版された中で代表的なものを以下に列挙しておく。

1. Sori, T., Otsuka, Y., Shinbori, A. et al., Geomagnetic conjugacy of plasma bubbles extending to mid-latitudes during a geomagnetic storm on March 1, 2013. *Earth Planets Space* 74, 120 (2022). <https://doi.org/10.1186/s40623-022-01682-7>.
2. Sori, T., Shinbori, A., Otsuka, Y., Tsugawa, T., Nishioka, M., and Yoshikawa, A. (2022). Generation mechanisms of plasma density irregularity in the equatorial ionosphere during a geomagnetic storm on 21–22 December 2014. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 127, e2021JA030240. <https://doi.org/10.1029/2021JA030240>.
3. Ishii, S., Tomikawa, Y., Okuda, M. et al. Relationship between topography, tropospheric wind, and frequency of mountain waves in the upper mesosphere over the Kanto area of Japan. *Earth Planets Space* 74, 6 (2022). <https://doi.org/10.1186/s40623-021-01565-3>.
4. Andoh, S., A. Saito, and H. Shinagawa, Numerical simulations on day-to-day variations of low-latitude Es layers at Arecibo. *Geophysical Research Letters*, 49, e2021GL097473, 2022. <https://doi.org/10.1029/2021GL097473>.
5. Nanjo, S., S. Nozawa, M. Yamamoto, et al., An automated auroral detection system using deep learning: real-time operation in Tromsø, Norway. *Sci Rep* 12, 8038, 2022. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11686-8>.
6. Naito, H., K. Shiokawa, Y. Otsuka, H. Fujinami, T. Tsuboi, T. Sakanoi, et al., Three-dimensional Fourier analysis of atmospheric gravity waves and medium-scale traveling ionospheric disturbances observed in airglow images in Hawaii over three years, *J. Geophys. Res. Space*, 127, e2022JA030346, 2022. <https://doi.org/10.1029/2022JA030346>.

(別紙様式 6-2)

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

田中良昌、情報・システム研究機構 データサイエンス共同利用施設  
極域環境データサイエンスセンター

### 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、効率的に研究を行うためには、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（9月27～30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、新型コロナウイルス感染症の拡大防止の観点から、名大ISEE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、計63名が参加者した（主に、Zoomのレポート機能により参加者を確認）。

9月29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。パターン認識や機械学習等のデータサイエンス手法の太陽地球物理学データへの応用に関するチュートリアル講演をはじめとして、SuperDARNレーダーデータやOH大気光の統計解析、再解析データの解析等、様々な解析手法についての講演・議論が為された。今後ますます増大することが予想される太陽地球系物理学ビッグデータをどのように高速に解析し、新たな研究成果を創出していくか、その課題と解決方法についての情報を共有できた。

9月30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、10件の発表があり、非常に盛況であった。また、30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。これにより、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、最も重要な成果であると考えている。

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/20220929>)。

宇宙におけるプラズマ爆発現象  
Plasma Explosions in the Universe (PEU 2022)

横山央明、京都大学大学院理学研究科

(1) 会議の概要

この国際会議の目的は、天文学・太陽物理学を軸に、宇宙空間物理学、地球惑星科学、プラズマ物理学など、磁気プラズマの爆発現象に関連した幅広い分野の研究者を集め、それぞれの分野における到達点と課題を共有し、分野を横断した共同研究の可能性について議論することであった。会議のテーマは、太陽・太陽圏や、地上の実験室から銀河・銀河団まで、宇宙のあらゆるスケールで普遍的に起きている磁気プラズマの爆発現象であった。様々なスケールの現象を磁気プラズマの爆発現象という観点から統一的に探ることで、宇宙の多様な天体活動の普遍的な物理学に迫るのが第一の学術的意義であった。加えて、太陽や恒星で起きる爆発現象の理解は、地球や惑星の磁気圏や大気に強い擾乱を与えることから、人類の宇宙利用にとって死活的に重要な宇宙天気現象の基礎であると同時に、近年急速に関心が高まっている系外惑星の生命居住可能性にとっても重要である。

参加者数は、88名であった。内訳は、日本71名、アメリカ7名、イギリス3名、中国2名、インド2名、フランス2名、オーストラリア1名であった。

全体を概観するキーノート講演（60分）のあと、会議のセッションは、

1. From solar to extra-galactic plasma jet propulsion  
(太陽大気スケールから銀河スケールのプラズマジェット現象)
2. Multi-scale energy release: from nanoflares to super flares  
(さまざまなスケールのエネルギー解放現象：ナノフレアからスーパーフレア)
3. Mass and energy circulation mechanisms in the solar atmosphere  
(太陽大気中の質量・エネルギー循環)
4. Space weather, astrobiology and exoplanet habitability  
(宇宙天気、アストロバイオロジー、系外惑星生命居住性)

とし、それぞれのセッションでは、口頭講演としてレビュー（45分）1件、招待（30分）2件程度、一般（20分）数件から構成した。またこれ以外にポスター講演が約10件あった。

(2) 会議の成果

日本の研究コミュニティは、太陽や天体のプラズマ爆発現象（Plasma Explosions）において、観測・理論の両面で分野に多大な貢献をしてきた。会議冒頭で、柴田一成 京都大学名誉教授により、太陽や宇宙におけるプラズマ爆発現象について概観するキーノート講演があり、その具体的な研究成果の歴史が共有された。Session 1では、太陽大気中でみられ



るジェット現象につき、JAXA 宇宙研の「ようこう」「ひので」衛星や米国 NASA の SDO 衛星・IRIS 衛星による観測とともに、その理論的争点についてまとめられた。また同じジェット現象でも、銀河スケールにおよぶ大規模な宇宙ジェットについて、その発生源であるブラックホール・白色矮星連星系などでの降着円盤との相互作用も合わせて議論され、最先端の研究状況が概観された。Session 2 および Session 3 では、太陽フレアについて、未解決課題である発生トリガや高エネルギー粒子加速機構、プラズマ放出（コロナ質量放出 CME・フィラメント放出）との関係について講演がなされ、JAXA 宇宙研の「ようこう」「ひので」衛星や、名古屋大学宇宙地球環境研究所（ISEE）の IPS 装置・野辺山電波ヘリオグラフなど世界でもユニークかつ最良の観測の歴史が示されるとともに、いまだに残る重要な謎の共有もなされた。今後これは次期太陽観測衛星 SOLAR-C での発展研究へと受け継がれる。そして、京都大学岡山天文台のせいめい望遠鏡の建設についての講演と、実際にそれを用いた恒星スーパーフレアなどの世界トップクラスの研究成果が披露され、この分野の展開が重要であることが共有認識となった。またその展開において、可視光赤外線だけでなく X 線・電波などの多波長展開が重要な成果をもたらすであろうことも共有された。とくに Session 3 では、地球や系外惑星などの生命環境への影響という観点からプラズマ爆発現象が論じられた。Session 4 では、太陽大気コロナプラズマの加熱という長年の謎について、研究の現状が議論された。また基礎プラズマ物理の観点からエネルギー解放の物理エンジンである磁気リコネクションについて、実験室プラズマの研究の展開とあわせてまとめられた。Session 3 では、レーザー核融合実験における高エネルギー粒子加速現象の講演もあり、宇宙・実験室の共同研究の重要性が確認された。

本会議での講演・議論の中で、宇宙におけるプラズマ爆発現象についての知識を分野横断的に確認できたとともに、今後 2020 年代・2030 年代以後の研究展開についてのガイドラインを得ることができた。

### (3) その他参考となる事項

本会議では、託児室を設置しました。さいわい参加者のひとりをご利用され、その方の会議参加のお役に立てることができたと思う。新型コロナウイルス感染まん延が続いているなか、実会場（京都大学益川ホール）とインターネット・オンラインとのハイブリッド開催となった（現地参加 48 名、リモート参加 32 名）。会場参加者の中に会議期間中に感染した方が 2 名おられたが、感染対策（喚起・マスク着用・距離をおいた着席・消毒など）を徹底したことで、拡大感染はおこらなかった。効果的・効率的な会議運営が開催できたことに、助成いただいた名古屋大学宇宙地球環境研究所に、この場を借りて謝意を表します。

(別紙様式 6-2)

第24回 惑星圏研究会  
The 24th 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24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、打上間近の木星氷衛星探査ミッションJUICEに続き、近年の打上・サンプルリターンを目指す火星衛星探査ミッションMMXや、国際共同の月探査計画に向けた研究も始動している。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、これは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な議論が重要になってきている。こうした背景の下、この研究会では近年、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、STP～惑星科学領域の多数の研究者からなるSOCの下で、広い領域での国内外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(第23回惑星圏研究会)に引き続き、探査ターゲットとして重要な5つの天体(小天体、月/水星、金星、火星、外惑星)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、3年振りにオンサイト開催(オンライン併用のハイブリッド開催)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5つの天体の研究に関するスプリンターミーティングも最終日に終日開催し議論を行った。更に、これも前回迄に引き続いてであるが、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、今回はISASの「戦略的中型創出グループ」(Groupe de Discussion Intensive:略称GDI)を主軸とした紹介と議論を初日午前に行った。

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:** 151名 (一般: 94名、大学院生・学部生: 57名)

**内容:**

2023年2月20日(月)～22日(水)に実施した本研究会のプログラム概要を以下に記す。今回の研究会では口頭講演47件(Keynote・招待講演19件、GDI関連講演 6件、一般講演22件)、ポスター講演42件(このうちShort talk併用講演20件)の計89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以下)で公開されている。

<http://pparc.tohoku.ac.jp/sympo/sps/>

[2023年2月20日]

9:00-10:35 「GDI - 次期中型と将来」セッション

「太陽系科学GDIの活動」今村 剛(東大)他 関連講演 6件  
10:45-12:00 「国際宇宙探査 - 月&火星」セッション  
招待講演「月面サンプルリターンの科学とその場探査」諸田智克(東大)他  
招待講演 3件、一般講演 1件  
13:00-16:40 「宇宙科学-太陽系 + おひさま」セッション  
招待講演「将来探査に向けた惑星保護の取り組み」鈴木志野(JAXA)他  
Keynote講演・招待講演 4件、一般講演 8件  
16:50-19:00 ポスター関連セッション 全42件：Short talk講演 (20件) + Viewing

[2023年2月21日]

9:00-12:20 「かぜ・つち」セッション  
招待講演 「地球大気の化学・物質輸送・放射から惑星大気科学を展望する」山下陽介  
(国立環境研)他 招待講演5件、一般講演6件  
13:20-16:00 「みず」セッション  
招待講演 「The climate evolution of early Mars」鎌田有紘(東北大)他 招待講演3件、  
一般講演6件  
16:10-17:45 「創造」セッション  
招待講演 「微惑星形成研究としての彗星探査への期待」辰馬未沙子(東工大)他  
招待講演4件、一般講演1件  
17:55-19:00 ポスター関連セッション 全42件：Viewing

[2023年2月22日]

9:00-10:20 スプリンターミーティング”外惑星”  
10:25-11:45 スプリンターミーティング”小天体”  
12:45-14:05 スプリンターミーティング”月”  
14:10-15:30 スプリンターミーティング”火星”  
15:35-16:55 スプリンターミーティング”金星”  
17:00-18:00 総合議論 まとめ & 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3年振りにオンライン開催（オンライン併用）で行われたが、参加者総数は過去2回とほぼ同数の150名程であった一方、講演数は口頭・ポスター講演を合わせて89件に上り、本研究会として過去最大級であった。この背景として、SOCで特に意識して進めてきた、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り組みとの両立がプログラムにも反映されており、それらが講演者・参加者にも理解頂け、浸透してきていることが挙げられるかと思われる。今回の研究会は、日程として、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。この日程での開催は今回が初めてであったが、最終日のスプリンターミーティングまで、次代を担う若手研究者は勿論、学生も最後まで多くが参加し、熱のこもった議論が展開されていた。方式も含め、今回の研究会は概ね成功であったと考えているが、オンライン開催により、ここ2年のオンライン開催の研究会に較べ、議論や意志の疎通が行い易かったことも一因であろうと思われる（特に、ポスターセッションは（3密回避が懸念される程）盛況であり、予定終了時間を大幅に超えて活発なやりとりが行われた）。

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] 講演集録は、これまでの研究会同様、研究会HP (<http://pparc.tohoku.ac.jp/sympo/sps/>)にて2023年4月以降オンライン公開予定である。

(別紙様式 6 - 2)

航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進  
Progress of climate and earth system sciences  
by an aircraft observation

小池 真 (東京大学理学系研究科)

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 9 回目を数える。開催方法について事前に議論を行ったが、今年度もコロナ禍の状況が読めないこと、より多くの参加者が見込めることなどの理由により、12 月 6 日 (火) 午後にオンラインで開催した。最終的には、22 機関から 51 名の参加者による研究集会となった。

研究集会では、大気化学、エアロゾル、台風などの講演に加えて、ドローンを用いた海水観測やライダーなどの観測機器に関する 12 件の講演があった。また、国立台湾大学の周仲島 (Ben Jou Jong-Dao) 教授 (現在、外国人客員教授として名古屋大学宇宙地球環境研究所に滞在中) による降水システムを対象とした台湾での航空機観測の実施状況に関する紹介も行われた。ヘリコプターやドローンを用いた観測からジェット機を用いた観測まで、目的に応じた多岐にわたる航空機の利用法が紹介されている点も興味深い点である。

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。今後とも、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ことで、より有意義な航空機観測の実施方法を共有していきたい。

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。

13:00~13:10 高橋暢宏 (名大宇地研)

趣旨説明

13:10~13:30 高橋暢宏 (名大宇地研)

有人・無人航空機による気候・地球システム科学研究の推進

13:30~13:50 小池 真 (東大院理)

2022 年夏の北海道東方沖での航空機と船舶同時観測

- 13:50～14:10 豊田威信（北大低温研）・在原百合子・早稲田卓爾・伊藤優人・西岡純  
ドローン観測から探るオホーツク海南部氷縁域の融解過程
- 14:10～14:30 阿保 真（東京都立大）・長澤親生・柴田泰邦・内野 修・酒井 哲・  
柴田 隆・勝俣昌己  
海上水蒸気観測用航空機搭載 IPDA ライダーの検討
- 14:30～14:50 山田広幸（琉球大理）  
ドロップゾンデとラジオゾンデで観測した台風の目の温度偏差プロファイル
- 14:50～15:10 Ben Jou Jong-Dao（National Taiwan University）  
Heavy rain research in Taiwan: Aircraft observations in TAMEX and SoWMEX
- 15:20～15:40 北 和之（茨城大）・小池真・牧輝弥  
航空機からの一酸化炭素観測およびバイオエアロゾルサンプリングの試み
- 15:40～16:00 渡辺幸一（富山県立大工）  
回転翼航空機を利用した上空の大気化学観測
- 16:00～16:20 足立光司（気象研）  
透過型電子顕微鏡を用いたエアロゾル分析のための航空機観測
- 16:20～16:40 村上正隆（名大宇地研）  
エアロゾル・雲の航空機観測（高濃度氷晶雲プロジェクト）－概要－
- 16:40～17:00 坪木和久（名大宇地研・横国大台風センター）  
台風 Nanmadol（2022）の急発達時における眼内部の暖気核の航空機観測
- 17:00～17:20 篠田太郎（名大宇地研）・加藤雅也・金田幸恵・栗山勇輝・  
長浜則夫・清水健作・大東忠保・平野創一郎・山田広幸・  
辻野智紀・坪木和久・清水慎吾  
ドロップゾンデを用いた水蒸気量の水平・鉛直断面観測の概要と初期解析結果
- 17:20～17:30 総合討論

(別紙様式 6-2)

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

宇宙プラズマによる粒子加速は、宇宙空間の至る場所で観測されているが、その加速のメカニズムは未だ解明されていない。太陽フレアは、我々に最も近い宇宙プラズマによる粒子加速の場であり、磁気リコネクションとそれに関連する現象の全容を空間・時間分解して観測できる唯一の観測対象である。そのため、太陽フレアにおける粒子加速場所の特定、加速の時間発展の調査、加速の特徴の把握を目的として、加速電子の検出に適したエネルギー帯（軟X線～硬X線帯域）において、空間・時間・エネルギー分解能を持つ観測手法について検討が進んでいる。

この観測手法を世界に先駆けて実証したのが太陽物理学とX線高エネルギー天文学の分野間連携ミッションとして推進している日米共同・太陽X線集光撮像分光観測ロケット実験FOXSIシリーズである。これまでに3度の打ち上げに成功し、その度に、世界初の観測を実現し、科学的成果を出してきた。2018年に打ち上げられたFOXSI-3では、世界初の太陽軟X線修好撮像分光観測に成功した。観測ロケット実験の観測時間は、ロケットの弾道飛行中のわずか5分程度に限られるが、太陽全面を観測し、約1千万個という膨大な量のX線光子を検出した。これは過去のFOXSI観測ロケット実験に比べても極めて豊富な物理情報を含んだデータである。

【集会の概要と参加者数】

そこで、宇宙プラズマにおける粒子加速ワークショップシリーズの一環として、FOXSI太陽X線集光撮像分光観測データ解析研究会を2023年3月23日～24日の日程で、名古屋大学にて開催した。今回の研究会では、FOXSI-3で取得したデータから科学成果を創出するために、FOXSIで取得してきた観測データについての情報を参加者間で共有した。また、2024年春には、太陽フレアの観測に挑む4回目の打ち上げ（FOXSI-4）も控えており、この打ち上げ実施に向けた観測プランの議論も行なった。研究会は、「これまでのFOXSIとMinXSSの成果について」「FOXSI-3のデータ解析に向けて」「名古屋大学ラボ見学」「FOXSI-4チーム会合」という4つのセッションに分けて行われ、大学院生5名を含む7名が講演を行った。参加者は16名（2日間でのべ30名）で、うち大学院生が9名（2日間でのべ18名）であった。プログラムは、ホームページ（<https://xray-sun.jp/meeting-20230323>）参照。

【成果】

本研究会を通して、FOXSIで取得してきた観測データとその解析手法、観測装置の較正状況の共有が行われた。そして、今後のデータ解析のテーマについて具体的に議論することができた。例えば、活動領域、XBP（X線輝点）、フィラメント噴出領域、電離非平衡プラズマ、コロナアバンドランス、地球大気との相互作用などである。その上で、FOXSI-3の初期成果創出に向けた研究協力体制が構築された。今後半年程度で各自解析を実施し、次回の会合（2023年9月ごろを予定）にてその結果について議論することとした。

また、2024年春打ち上げ予定のFOXSI-4についても議論を行った。日本からは、X線ミラー、軟X線カメラ、硬X線カメラといったキーコンポーネントを提供するが、これらの装置は、名古屋大学、国立天文台、東京大学カブリIPMU・宇宙科学研究所がそれぞれ開発を担当している。これまでは各々の機関における開発作業がメインであったが、今後は作業の舞台が米国に移り、かつ日米での共同作業が始まる。そこで今回、FOXSI-4日本チームメンバーが一同に会する機会を活用し、作業内容とスケジュールの共有も行った。

以上のように、本研究会を通して、新たな科学成果創出の準備と、FOXSI-4の成功に向けた有意義な議論が行えた。

以上

(別紙様式 6-2)

第16回赤道超高層大気国際シンポジウム  
16th International Symposium on Equatorial Aeronomy

横山 竜宏、京都大学・生存圏研究所

2022年9月12日から16日にかけて、第16回赤道超高層大気国際シンポジウム (International Symposium on Equatorial Aeronomy; 以下 ISEA-16) を開催した。京都大学宇治キャンパスおうばくプラザでの現地開催と zoom によるハイブリッド開催として実施し、現地参加者 70 名 (うち海外からの参加者 44 名)、zoom によるオンライン参加者 63 名 (うち海外からの参加者 59 名) と、徐々に進められた入国制限の緩和と、開催直前の陰性証明掲示の撤廃も相まって、非常に盛況なシンポジウムとなった。ISEA は、3-4 年に 1 度各国持ち回りで開催される集会であり、今回で 16 回目の開催であった。第 1 回は Jicamarca レーダーの開設に合わせて 1962 年にペルーで開催されており、今回は 60 年目の節目の開催であり。また、日本国内では初めての開催であった。赤道超高層大気に関する話題を中心に全てシングルセッションで 5 日間開催されるのが伝統であり、今回は 7 つのサイエンスセッションと、初日の Keynote Lecture, 最終日の Closing Lecture でシンポジウムを構成した。大規模な国際学会等はセッションが細分化されているため、特定の話題について集中的に議論を深めることが難しいが、ISEA はシングルセッションによる集会かつ比較的少人数の開催であることが特徴であり、赤道・低緯度域の超高層大気の科学を集中的に取り扱うことで議論が白熱し、終了時刻が大幅に遅れる日もあった。特に、各国から若手・ベテラン研究者がバランス良く出席し、人的交流が大きく促進されたことは非常に大きな成果であったと言える。





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

2023年3月24日(金)の日程で、「2022年度太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望」をオンライン開催しました。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として開催し、宇宙天気情報のユーザーニーズの観点から掲げた課題(電波伝搬・GIC・衛星帯電・航空機被ばく)に関わるモデル研究の現状・課題を集中議論し、PSTEP推進の一助としての役割を果たしました。2020年度以降は、前述のPSTEPで取り組んだ課題に直結したテーマにとどまらず、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。

2022年度は、2021年度に引き続き、議論時間を十分にとるために招待講演を中心に構成しました。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。

- 磁気圏-粒子移流連接シミュレーションの紹介では、磁気圏-内部磁気圏結合のステップ(半経験モデル使用、一方向結合、双方向結合)およびそれぞれの利点・問題点が丁寧に整理され、課題や今後の方向性が提案されました。
- 粒子加速に大きな役割を持つULF波動についての先進的な内部磁気圏モデルを用いた研究では、内的要因により生成される波動がシミュレートされる様相、電離圏モデル導入・プラズマ圏導入それぞれの成果が紹介され、今後の発展が議論されました。
- すでに宇宙天気予報に活用されている大気圏電離圏結合モデルについては、予測精度向上のため課題が整理され、分野横断的な連携の必要性、リードタイム延伸に向けた他のモデリング研究への要望等が出されました。
- 太陽黒点磁場のシミュレーションでは、太陽表層の超粒状斑スケールの速度場によって黒点磁場が成長する様相が示され、質疑応答をとおして観測データを用いた共同研究の可能性が見出されました。
- 機械学習による太陽フレア・黒点予測の紹介では、機械学習を熟知した観点から、学習のタイプを組み合わせるなど様々な工夫による最先端成果と精度評価まで示され、さらなる向上のために、全体構造と局所構造の学習の両立の可能性などの議論がなされました。
- モデル研究ではないものの、観測史上最大規模の宇宙天気事象の1つであるキャリントンイベント時の急激かつ大振幅の地磁気変動について、磁気圏昼側での太陽風-磁気圏-電離圏結合が原因であるという新しい解釈が綿密なデータ解析に基づき示され、日本の緯度帯でも同程度の地磁気変動が起こり得ること、それを予測するために必要なことが議論されました。
- 以上に加え、太陽対流層底部から光球にわたるシミュレーションの紹介、機械学習による太陽フレア予報モデルを軽量化する取り組みも紹介されました。

講演者のうち2名は米国から参加いただくとともに、聴講者は大学院生からシニアまで幅広い年代にわたり、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。今後も開催していきたいと考えています。

【プログラム（敬称略、○は発表者、★は招待講演）】

09:15 - 09:20 趣旨説明

--座長：中溝葵(NICT)--

09:20 - 10:00 ○海老原祐輔(京都大学), 「MHD-内部磁気圏粒子移流接続シミュレーションの現状と展望」

★

10:00 - 10:40 ○Shinichi Ohtani(JHU/APL), 「New Insights from the 2003 Halloween Storm into the Colaba 1600 nT Magnetic Depression during the 1859 Carrington Storm」 ★

10:40 - 10:50 休憩

--座長：西塚直人(NICT)--

10:50 - 11:30 ○金子岳史(LMSAL, NCAR), 堀田英之(千葉大学), 鳥海森(JAXA/ISAS), 草野完也(名古屋大学), 「Impact of subsurface convective flows on the formation of sunspot magnetic field and energy build-up」

★

11:30 - 12:10 ○飯田佑輔(新潟大学), 田所拓馬(新潟大学), 横山光輝(新潟大学), 森永貴藤(新潟大学), 「機械学習による太陽フレア・黒点の予測とその先へ」 ★

12:10 - 12:20 議論

12:20 - 13:20 休憩

--座長：中溝葵(NICT)--

13:20 - 14:00 ○陣英克(NICT), 三好勉信(九州大学), 埜千尋(NICT), 品川裕之(NICT), 藤原均(成蹊大学), 「地球超高層大気予測に向けたモデル研究の現状と今後の展望」 ★

14:00 - 14:40 ○山川智嗣(東京大学), 関華奈子(東京大学), 天野孝伸(東京大学), 三好由純(名古屋大学), 高橋直(NICT), 中溝葵(NICT), 山本和弘(東京大学), 「Excitation of internally driven ULF waves by ring current ions based on the magnetosphere-ionosphere coupled model」 ★

--座長：飯島陽久(名古屋大学)--

14:50 - 15:20 ○堀田英之(千葉大学), 鳥海森(JAXA/ISAS), 草野完也(名古屋大学), 「対流層の底を出発した磁束の光球での黒点形成」

15:20 - 15:50

宇都宮惇典(神戸大学), ○銭谷誠司(神戸大学), 西塚直人(NICT), 久保勇樹(NICT), 「太陽フレア発生予報モデル「Deep Flare Net」の軽量化」

15:50 - 16:00 議論

SOC：草野完也(名古屋大学)・三好由純(名古屋大学)

SOC&世話人：今田晋亮(東京大学)・中溝葵(NICT)

(別紙様式 6-2)

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

人工衛星、国際宇宙ステーション、観測ロケット、気球を用いた宇宙空間からの地球超高層大気領域の観測について、2020年代、2030年代に向けた方向性を議論し、日本のコミュニティとして推進すべき課題、技術的な問題点、地上観測・数値モデルとの連携についてまとめられることを目的として開催された。電離圏・熱圏・中間圏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。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。本研究会では宇宙空間からの観測について、2020年代の実現を目指すミッションと、2030年代以降の実現を目指すミッションについての議論が行われた。2020年代においては、超低高度衛星、静止衛星、超小型衛星、観測ロケット、気球などの検討が進められており、これらのミッションの実現に向けた立案と新たなミッションの可能性について議論が行われた。2030年代に向けては、編隊飛行による地球電磁気圏・熱圏探査衛星(FACTORS)ミッションや再使用型観測ロケットの準備が進められており、これらの計画の推進と、それらと連携する地上観測・数値モデルの長期計画について議論が行われた。

## 2. 概要

開催日時：2022年9月28日

場所：ハイブリッド（名古屋大学 宇宙地球環境研究所 研究所共同館 I・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：32名

## 3. プログラム

【座長：齊藤昭則（京都大理）】

13:00-13:20

飛翔体からの MTI 観測の可能性

○齊藤 昭則（京都大理）

13:20-13:40

（招待講演）南極域における大気重力波のスーパープレッシャー気球観測(LODEWAVE)

○富川 喜弘（極地研）

13:40-14:00

（招待講演）ひまわり PMC 観測の紹介

○津田 卓雄（電通大）、穂積 裕太、安藤 芳晃、細川 敬祐、鈴木 秀彦、村田 健史、

中村 卓司、三好 勉信

14:00-14:20

(招待講演)ISS からのデジタルカメラを用いたオーロラ観測で得られる画像データの特徴  
○南條 壮汰(電通大)、穂積 裕太、細川 敬祐、片岡 龍峰、三好 由純、大山 伸一郎、  
尾崎光紀、塩川 和夫、栗田 怜

14:20-14:40

(招待講演)火星オーロラカメラ  
○中川 広務(東北大)

【座長:大塚雄一(名大 ISEE)】

15:10-15:30

(招待講演)観測ロケットを使ったMSTID観測:S-520-32 実験提案から実施までの経過報告  
○芦原 佑樹(奈良高専)、山本 衛、石坂 圭吾、熊本 篤志、白澤 秀剛

15:30-15:50

昼間スプラディック E 層の観測ロケット実験計画  
○齊藤 昭則(京大)、阿部 琢美、松岡 彩子、石坂 圭吾、齋藤 義文、田川 雅人、  
熊本篤志、横田 久美子、小嶋 浩嗣、栗田 怜、村田 直史、齋藤 享、高橋 透、西岡 未知、  
細川 敬祐、横山 竜宏、Huixin Liu、木暮 優、西山 尚典、坂崎 貴俊

15:50-16:10

(招待講演)宇宙地球結合系直接探査計画「FACTORS」の現状  
○平原 聖文(名大・宇地研)、齋藤 義文、小嶋浩嗣、三好由純、北村成寿、浅村和史、  
坂野井健、山内正敏、西山尚典

(休憩 14:40-15:10)

16:10-16:30

(招待講演)極周回成層圏望遠鏡 FUJIN  
○田口 真(立教大)

16:30-16:50

将来の宇宙空間からの地球超高層大気観測に関する議論

(○:発表著者)

#### 4. 成果

本研究会では、気球を利用した観測と飛翔体からのイメージング観測について重点的に発表と議論が行われた。気球を利用した中間圏・熱圏・電離圏領域の観測はあまり行われていないが、対流圏・成層圏の観測や、惑星望遠鏡の観測などが進められている。そこで、南極およびオーストラリアで行われている気球を用いた観測についての発表がされた。LODEWAVE は南極域におけるスーパープレッシャー気球観測であり、大気重力波の解明を目的としており、第1回目の観測に続けて、今後も観測が予定されている。FUJIN は惑星観測用成層圏望遠鏡であり FUJIN-2 はオーストラリアでの観測に向けて準備が進められている。イメージング観測は地上からも行われているが、宇宙空間からの観測は天候に左右されず、広範囲の観測ができる特徴を持つ。研究会では国際宇宙ステーション、静止衛星、火星探査機によるイメージング観測について報告された。光学撮像機器の高感度化と小型化が進んでおり、「ひまわり」衛星による極中間圏雲の観測のように、本来の目的とは別な現象の観測にも高精度なイメージング観測データが利用できるようになっており、今後も展開が期待できる。人工衛星による観測としては

宇宙地球結合系直接探査計画「FACTORS」衛星が、宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所の公募型小型衛星に提案されており、中間圏・熱圏・電離圏領域研究との連携が議論された。観測ロケットについては、2022年8月に打ち上げが実施されたS-520-32の状況が報告され、2024年夏期に打ち上げが予定されているS-310-46号機について準備状況の報告がされた。

(別紙様式 6-2)

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5(2023)年3月1日、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: 37名

研究集会概要と成果

Zoomを用いたオンラインにて研究集会を開催した。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、第25太陽活動周期から3年が経過し、極大期に向け活発になる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。また、学生による観測機器やデータベースの開発に関する進捗・成果報告も行われた。学部生からシニア、さらには研究職以外の方を含む、様々な専門分野から参加者がおり、各々の視点からの活発な議論がおこなわれた。

(別紙様式 6-2)

第10回太陽偏光国際ワークショップ  
Solar Polarization Workshop #10

浅井 歩、京都大学・理学研究科附属天文台

【集会の概要】

太陽は、天体磁場が生起するプラズマ活動現象を空間分解できるユニークな天体である。中でも、磁化したプラズマから放射される偏光を高精度に測定することで天体磁場を精細に計測することができる利点を活かし、黒点に代表される磁場構造の形成、外層大気加熱メカニズム、太陽フレアの発生メカニズムなどに関する研究が行われてきた。高解像度な偏光測定を追求することで、天体プラズマにおけるエネルギー輸送と散逸プロセスを担う磁気リコネクションや磁気流体波動といったMHD素過程を観測的にとらえる研究が進展している。また、近年の技術発展により、偏光精度の向上と観測波長の拡張が可能となってきた。これにより、従来は測定が困難であった彩層・コロナという外層大気磁場の測定するための観測・理論研究が活発化している。このように、太陽における偏光観測は、その物理に迫る重要な観測手法であり、さまざまな新基軸の研究が行われている。また、太陽観測によって発展した高精度な偏光観測は、太陽のみならず他の恒星磁気活動の観測にも応用されている。このような、**太陽偏光観測の最先端の進展を観測・理論双方から詳細かつ包括的に議論することで、次世代の研究へ発展させることを狙うのが「太陽偏光国際ワークショップ」**である。これまで2-3年おきに世界各地で開催されていたが、今回、第10回目となるワークショップを初めて日本で開催した。

【参加者数】

合計90名（現地参加者：48名、オンライン参加者：43名）

日本の他、米国、英国、韓国、中国、ドイツ、スペイン、インド、スウェーデン、ノルウェー、スイス、チェコ、イタリア、サウジアラビアの各国からの参加があった。

【研究報告】

太陽の偏光観測はここ数年でも国際的に大きく進展している。特に、太陽光学観測としては最大となる口径4mを持ち、既存の太陽望遠鏡とは一線を画すDKIST（米国・ハワイ）が2022年から本格的な観測を開始する。これまでにない、高解像度な偏光観測により太陽大気で発生するMHD現象の素過程を同定することが期待されている。また、スペースからの高解像偏光観測は日本の「ひので」衛星（2006年一）の独壇場であったが、Solar Orbiter衛星の登場により地球側からの観測と協調することでステレオ太陽観測も実現しつつある。このような状況の中、日本の太陽グループは、「ひので」衛星による偏光観測に加えて、(1) 京大飛騨天文台における可視・近赤外多波長偏光観測、(2) CLASPロケット実験シリーズにより紫外線(H Ly  $\alpha$  121nm@2015年、Mg II 280 nm@2019年および2021年)での高精度偏光観測を世界に先駆けて実現、(3) SUNRISEIII国際気球望遠鏡(2022年6月を予定)において近赤外線偏光分光装置SCIPを提供し紫外-可視-近赤外の多波長高解像度偏光観測を計画、の3点で国際的にユニークかつ先端的な偏光観測を行ってきた。よって、日本で太陽偏光ワークショップを開催することは、海外の最先端の研究に触れるとともに、日本の研究成果を示す格好の機会であった。

本ワークショップでは以下のセッションで構成された:

(Session1): New facility and technology of solar polarimetry (偏光観測の新設備・新技術)

(Session2): Solar phenomena revealed by polarimetry (偏光観測による最新の成果)

(Session3): Theory and modeling of polarization (偏光理論・モデリングの進展)

(Session4): Techniques for Stokes inversions and disambiguation (ストークスペクトルからの磁場導出と曖昧さの回避のための技術)



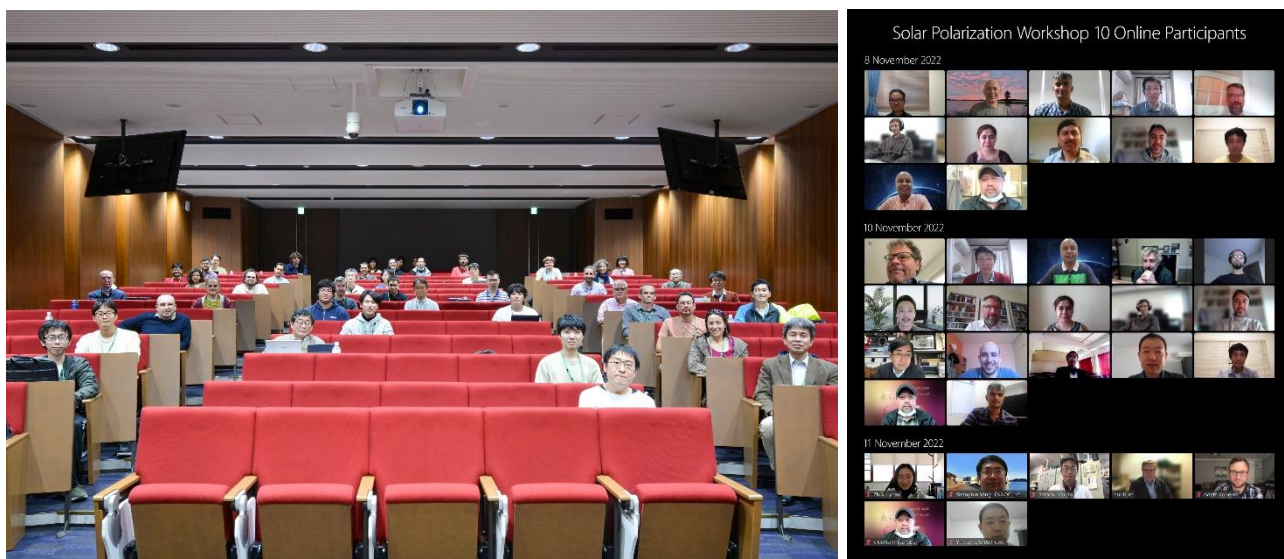
(Session5): Synergy to other fields (stellar physics, planetary science, plasma physics) (恒星・惑星研究・プラズマ物理など他分野との連携研究)

それぞれのセッションで基調講演とレビュー講演で講演者を招待し、この他に一般講演を受け付けた。研究会は11月7日(月)の午後から11月11日(金)の午前に及び、充実した議論が展開された。

名古屋大学ISEEは、太陽偏光/磁場データに基づくフレア発生予測研究などで成果を挙げているが、本ワークショップでは偏光そのものの観測・理論の研究者とその応用に長けた研究者が一堂に会することで、今後の研究における相乗効果が得られた。さらに、高精度偏光測定 of 恒星・惑星観測への応用や、実験室プラズマにおける計測手法開発など、周辺分野の観測・理論研究者を招聘することで、偏光を軸に異分野融合的な連携研究への発展を図ることができた。加えて、DKISTに代表される口径1m超の大型望遠鏡による地上太陽観測は、海外で精力的に進められており、これらで得られた最新の研究成果に触れることで、大学院生をはじめとする次世代の太陽研究を担う若手研究者には、大いに刺激となった。

本ワークショップでは、COVID-19の状況を睨みながら準備を進めることになり、現地参加とオンライン参加がほぼ半数ずつとなるハイブリッド開催となった。結果的には、多数の海外からの参加者もあり、大変活発な議論が展開された。

最後に、名古屋大学ISEEから支援して頂いた研究集会経費により、国内参加者の旅費等に充当させて頂きました。これにより、本ワークショップを盛況に開催することができたことを、改めて感謝致します。



研究集会の集合写真(左：現地参加者、右：オンライン参加者)

(別紙様式 6-2)

## GIC関連集会

Workshop on the Geomagnetically Induced Current

共催:

名古屋大学宇宙地球環境研究所 研究集会「地磁気誘導電流研究集会」  
地球電磁気・地球惑星圏学会「地磁気誘導電流 (GIC) 分科会」  
第483回生存圏シンポジウム「第2回地磁気誘導電流 (GIC) 研究会」

中村紗都子、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

### 概要

本研究集会では、日本国内の地磁気誘導電流 (GIC) 研究者が一同に介し、太陽から固体地球そしてGIC発生に至る過程を統合的に理解するとともに、GICの予測・影響評価法の高度化を検討した。

研究集会は以下の世話人で共催した。

名古屋大学宇宙地球環境研究所 研究集会「地磁気誘導電流研究集会」、中村紗都子  
地球電磁気・地球惑星圏学会「地磁気誘導電流 (GIC) 分科会」、後藤忠徳・亘慎一  
第483回生存圏シンポジウム「第2回地磁気誘導電流 (GIC) 研究会」、海老原祐輔

### 実施内容

令和5年3月22日にZOOMを用いてオンライン上で実施し36人が参加した。セッション1ではGICに関する最新の知見に関する個別の講演を、セッション2では日本のGIC研究の方向性や今後の共同研究の可能性について模索した。セッション3では、未だ混乱や誤解の多いGICに関して現在の知見を整理した。

### 成果

激甚災害をもたらすスーパーフレア、日々の太陽フレアと実データの比較、磁気圏MHDシミュレーションによる理論計算、GICにかかわる地電場観測や地電場シミュレーション、経済に及ぼす影響のレビューなど多岐にわたる講演をもとに広く議論を行った。

1. スーパーフレアの発生は確立が非常に低いながらも実証されつつあり、その際に放出されるCMEの惑星間空間磁場 (IMF) の強さや向きと持続時間、また地球への衝突確立がGICに大きく影響を与えることを議論した。
2. 2015-2019に行った新学術領域研究太陽地球圏環境予測 (PSTEP) をきっかけとし取得した長期実データにもとづき、日本のGICの特性が明らかになった。日本のGICは磁気嵐の急始 (ssc: storm sudden commencement) やサブストーム時のポジティブ/ネガティブペイに応答して強く現れることがわかった。またMHDシミュレーションにより、1989年のカナダケベックの停電を引き起こした主要因もSCであることがわかった。
3. GICの駆動源は地表付近の電場であるが、この電場は観測が非常に難しいことから長期観測データは稀であり、地磁気等からのモデル計算が期待されるが、これらは地質や地下水を含めた地下の電気伝導度構造に強く影響を受けることがわかった。
4. 国外の研究では、電気代市場での価格や電化製品故障に対する保険請求でGICの影響が顕在化しつつあり、こうした産業界への影響について日本でも調べるべく各業界との連携を強化する必要性を議論した。

### プログラム

日時: 2023年3月22日(水) 13:00 - 17:20

場所: Zoomによるオンライン

13:00-13:10 趣旨説明 海老原祐輔

【セッション1】 座長：中村紗都子

13:10-13:40 招待講演：太陽型星で起きるスーパーフレアと巨大 CME の研究の現状  
行方宏介（国立天文台）

13:40-14:00 GIC と太陽フレア

亙慎一(NICT)、中溝葵（NICT）、海老原祐輔（京大 RISH）

14:00-14:20 Nighttime geomagnetic response to jumps of solar wind  
dynamic pressure

張天（京大生存研）、海老原祐輔（京大生存研）

14:20-14:40 Are GICs really a threat for Japan's power grid?

中村紗都子（名古屋大学）

（休憩）

15:00-15:30

招待講演：地電場の観測とモデリングの紹介藤井郁子（気象大学校）

15:30-16:00

招待講演：地下比抵抗構造の逆解析法とその事例石須慶一（兵庫県立大学）

（休憩）

【セッション2】 GIC 分科会キックオフ・ミーティング 座長：亙 慎一

16:10-16:30 分科会の将来構想議論

【セッション3】 討論 座長：海老原祐輔

16:30-16:40 GIC とは何か （中村紗都子）

16:40-16:50 GIC はいつ増幅するか （亙慎一）

16:50-17:00 GIC はどこで増幅するか （後藤忠徳）

17:00-17:10 GIC をどう対策するか （海老原祐輔）

17:10 閉会

(別紙様式 6-2)

科学データ研究会)  
Science Data Symposium

村山泰啓・国立研究開発法人情報通信研究機構

本研究会は、世界データシステム (WDS) や科学技術データ委員会 (CODATA) などの国際データ関連組織との連携をもとに、広く科学データの保全・公開における国際情勢に関する情報の共有を図り、オープンサイエンスの理念に基づく科学データ関連活動の方向について議論を行うことを目的とした。今回は特に人文・社会科学系の研究データに関する情報共有に重点を置き、研究データが持つ多様性の認識のもとに、広い分野に跨るデータを活用した研究の推進において、有益な情報の交換が行われた。また23年度にはInternational Data Weekや、我が国においてアジア・オセアニア地域におけるデータ活動を主題にした研究集会が開催されるため、データ関連活動の国際化に向けた議論が行われた。なおこの研究会は、日本学術会議情報学委員会・国際サイエンスデータ分科会・WDS小委員会の企画によるWDS国内シンポジウム (第10回) との合同により、オンラインで開催された。以下にプログラムを示す。また開催趣旨や講演資料等は、<https://takashiwatanabe.wixsite.com/wds-japan> より公開されている。なおオンライン参加者数は48名であった。

科学データ研究会+WDS 国内シンポジウム (第10回) プログラム			
開催日・時間: 2023年3月15日(水) 13:00-17:30 オンライン開催			
講演者	所属	タイトル	時間帯*
村山泰啓	情報通信研究機構	ロジ・趣旨説明、WDS 関連報告、	13:00-13:15
家森俊彦	京都大学	WDS 小委員会の活動	13:15-13:30
芦野俊宏	東洋大学	CODATA における最近の動向	13:30-13:45
林 和弘	文部科学省科学技術・学術政策研究所	日本学術会議におけるオープンサイエンス・データに関する議論の流れ	13:45-14:10
永崎研宣	一般財団法人人文情報学研究所、日本学術振興会	人文学における研究データの現状と課題	14:10-14:30
伊藤 伸介	中央大学経済学部、日本学術振興会 人文学・社会科学データインフラストラクチャー構築推進センター	わが国における社会科学の研究データの利活用に関する動向—公的統計データを中心に—	14:30-14:50
池内有為	文教大学文学部、日本学術振興会 人文学・社会科学データインフラストラクチャー構築推進センター	学際的かつグローバルな研究データ共有のための人材育成～人文学・社会科学データインフラストラクチャー構築推進事業の取組から得られた示唆～	14:50-15:10
中島律子	科学技術振興機構・情報基盤事業部	J-Stage Data の現状と展望	15:10-15:30
休憩			15:30-15:50
能勢正仁	名古屋大学宇宙地球環境研究所	データ ID に関する国内外の動向	15:50-16:10
白井知子	国立環境研究所地球環境データ統合解析推進室	「研究データへの DOI 登録促進小委員会」の活動報告	16:10-16:30
○陣 英克他	情報通信研究機構	World Data Center for Ionosphere and Space Weather の更新について	16:30-16:50
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	アジア・オセアニアにおけるオープンデータ国際シンポジウム	16:50-17:10
渡邊 堯	情報通信研究機構、WDS-Japan	WDS Asia-Oceania Network (仮) の試験的 Website の構築	17:10-17:20
ディスカッション、データ活動関連情報提供			17:20-17:30



(別紙様式 6-2)

内部磁気圏研究会：最新の統合解析ツールを活用したプラズマ波動解析ワークショップ  
Plasma wave analysis workshop using integrated analysis tools

松田昇也 金沢大学理工研究域

太陽地球科学分野の中でも、特に宇宙プラズマ物理のコミュニティでは、IDL (Interaction Data language)上で動作する統合解析ソフトウェア SPEDAS (Space Physics Environment Data Analysis software)が活用され、国内外の研究者による成果創出を後押ししている。一方で、近年では機械学習をはじめとする各種ライブラリが充実する Python が学術研究で盛んに用いられるようになり、SPEDAS を Python 環境に移植した PySPEDAS の開発が進められている。本研究集会は、それらの解析ツールを活用した内部磁気圏物理の観測的研究等に着目し、先端解析手法の共有や最新研究成果に関する議論を目的に開催した。研究集会は3日間の日程で開催し、国内外計18機関から延べ200名を超える参加者を集めた。初日には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、参加者らは自ら解析ツールを操作しながら、科学データ解析手法への理解を深めた。参加者からの活発な質疑や、解析ツールに対する要望・将来開発課題の洗い出しに繋がる議論が見られ、本研究集会の狙いの一つである利用者からのフィードバックを的確に得た。2日目および3日目には計41件の科学解析報告がなされ、特に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共催セッションでは、相互の研究成果共有や連携研究に関する議論を深められた点が有意義であった。核融合科学研究所の小川国大准教授による磁場閉じ込め核融合プラズマにおける高エネルギー粒子計測に関するチュートリアル講演や、宇宙科学研究所の浅村和史准教授、三谷烈史助教による宇宙空間でのプラズマ粒子直接観測に関するチュートリアル講演を通し、参加者らは両分野で研究が進む計測・解析技術への理解を深めた。本研究集会は感染対策に十分配慮しながら、金沢大学および石川県立図書館の現地会場を主拠点とするハイブリッド形式で開催した。対面ならではの活発な議論が数多く見られ、約3年ぶりの本格的な対面型研究集会は、オンライン開催にはない研究集会の価値を感じさせるものがあった。本研究集会の資料等は、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」および「実験室・宇宙プラズマにおける波動粒子相互作用」との同時開催とした。



図. 初日の解析講習会の様子



図. 2-3日目の講演セッションの様子

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 observation

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粒子加速研究分科会,  
ERGプロジェクト/太陽圏サイエンスセンター

## 概要

2017年の「あらせ」衛星が内部磁気圏の観測を始めてからまもなく5年が経過しようとしている。これまで太陽活動極小期を中心に低い太陽活動期の観測を元に内部磁気圏を中心とした科学成果を上げてきたが今後はサイクル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1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を目指している。一方、2020年代は、2025年末に水星周回軌道投入予定の水星探査機「みお」や、2020年代後半に打上げ予定の高感度太陽紫外線分光観測衛星Solar-C (EUVST)をはじめ、「ひので」やGeotailと言った長期間観測を行っている衛星など、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ために、様々なトピックの話題を提供して頂き、議論を実施した。名古屋大学ISEE研究集会「内部磁気圏研究会:磁気圏電離圏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4年9月26日(月)から9月28日(水)まで東京大学駒場キャンパスにて、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30名、オンラインでは約50名が参加した。26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、午後は共催研究集会の主導で太陽圏システム科学に関する招待講演が行われた。また、内部磁気圏分科会の主導で、STP分野のRFI作成やロードマップの紹介があった。27日午前と28日午前には、主にあらせ衛星のデータを用いた観測的および理論的研究の成果発表があり、その半数近くが大学院生による研究成果の発表であった。28日午後は、水星磁気圏で発生している主要現象についてレビュー講演とBepiColombo初期観測結果の紹介があった。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

- 地球「あらせ」に加えて、「みお」や Solar-C (EUVST) の研究者に参加をして頂き、各ミッションの概要やどのような観測を行うのか、について最新の情報を共有できた、
- 各ミッションに共通する物理に対する理解が深まり、内部磁気圏の視点から見たこれまでの研究成果が、水星磁気圏や太陽の研究とどのような関連を持つことができるか、など、幅広い視点からの議論ができた。
- 異なる専門を持つ研究者が太陽圏全体の俯瞰しながら普遍的な宇宙プラズマ現象を議論し、コミュニティ間の連携を模索することができた。
- 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。
- 解析講習会では、新たに開発中の PySPEDAS 解析ツールに集中的に取り組んだ。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 (<https://ergsc.isee.nagoya-u.ac.jp/meeting/past/20220926.shtml.ja>)

09/26		09/27		09/28	
月曜日		火曜日		水曜日	
10:30-17:00		9:30-17:00		9:30-16:00	
		【地球内部磁気圏】		【地球内部磁気圏】	
		1	9:30- 三好由純、他	1	9:30- (online) 今城峻、他
			Long-term variations of the phase space density of MeV electrons and plasmasphere		Precipitation of auroral electrons accelerated at very high altitudes: Arase satellite observations
		2	9:50- 尾林佑哉、他	2	9:50- (online) Liwei Chen、他
			振動オーロラに伴う高エネルギー電子の中層大気への降り込み：あらせ衛星-EISCAT同時観測		Observation of source plasma and field variations of a substorm brightening aurora at L=6 by a ground-based camera and the Arase satellite on 12 October 2017
		3	10:10- 岩瀬智哉、他	3	10:10- (online) Kumar Sandeep、他
			ISSとあらせによって観測されたREPとプラズマ波動		Plasma pressure distribution of ions and electrons in the inner magnetosphere during CIR and CME driven storms observed by Arase satellite
		4	10:30- 栗田伸、他	4	10:30- 山川智嗣、他
			Statistical investigation of wave vector direction of chorus waves observed by the Arase satellite		Control of the dynamics of cold particles on the excitation of ULF waves based on the magnetosphere-ionosphere coupled model
【プロジェクト関連】		(休憩)		(休憩)	
1	10:30- 篠原育、三好由純	あらせプロジェクト現状/延長計画について			
2	10:40- 中川朋子、笠羽康正、他	あらせPWE/EFD電場データ：電場vectorに対する衛星帯電の影響評価			
3	10:50- (online) 塩川和夫	地上観測			
4	11:00- 中村紗都子	ERG-SC報告			
5	11:10- (online) 小川康徳	ERG-EISCAT共同観測報告		【地球内部磁気圏】	
6	11:20- 細川敬花、他	2022年冬季のオーロラ帯光学観測の計画、および SuperDARN 特別観測計画		5	11:10- 永谷朱佳理、他
7	11:30- 一 議論 一	Cycle 25における観測計画について		6	11:30- Chae-woo Jun、他
8	11:40- (online) 新堀淳樹、他	SPEDASを用いたデータ解析ツールの開発		7	11:50- 小路真史、他
	11:50- 一 総合討論 一			8	12:10- 堀智昭、他
(昼休み)		(昼休み)		(昼休み)	
【太陽圏システム科学】		【太陽圏システム科学、水星磁気圏、BepiColombo】		【データ解析講習会】	
9	14:00- 今田晋亮	9	14:00- 増田智	9	
	Solar-C時代に向けた太陽-STPコミュニケーションの進捗		太陽フレアループ上空における高エネルギー電子の観測	太陽圏サイエンスセンター	
10	14:30- 鈴木建	10	14:30- 栗田伸	SPEDAS/PySPEDAS解析講習会	
	内部太陽圏の太陽風に関する我々の最近の研究の話題提供		Presence of whistler-mode chorus at Mercury inferred from the MESSENGER observation		
11	15:00- 坪内健	11	14:50- 桂華邦裕		
	太陽圏システム科学の構築～外部太陽圏、粒子加速の視点から		Brief review of MESSENGER ion observations in the Mercury's magnetosphere		
	15:30- 一 議論 一	(休憩)			
(休憩)		12	15:30- 笠羽康正		
			BepiColombo PWI 現状報告		
		13	松岡彰子		
			BepiColombo MGF 現状報告		
		14	(online) 原田裕己		
			MIA Observations of Low-energy Ions in Mercury's Magnetosphere		
		15	(online) 相澤紗絵		
			Electron acceleration observed by Mercury Electron Analyzer onboard Mio/BepiColombo during flybys		
		16	三好由純		
			太陽圏サイエンスセンターにおけるみお科学データの準備について		
12	16:00- 17:00 三好由純、齋藤義文、内部磁気圏分科会	STPのRFI作成、ロードマップの紹介、将来検討など			



ジオスペースの低エネルギープラズマ研究集会  
Workshop on Low-energy Plasma in the Geospace

尾花由紀 九州大学・国際宇宙惑星環境研究センター

【概要】

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。これらのプラズマのうち、エネルギーの高い環電流や放射線帯は、宇宙機や宇宙飛行士等へ及ぼす直接的な害があり、注目され研究が進んでいる。しかし、最も冷たいプラズマ群であるプラズマ圏(<数 eV)やcloak (eV~100eV)は、直接的な害を及ぼしにくく、また粒子計測機による直接計測が難しいこともあり、研究が進んでいない。しかしこれらのプラズマは磁気圏において最も質量の大きなプラズマ群であり、波動-粒子間の共鳴条件や、波動の成長速度を決定づけるなど、磁気圏ダイナミクスにおいて重要な役割を担っている。

よって低エネルギーのプラズマの理解を進めることは、磁気圏-電離層システムの理解を進める上で重要であり、本研究集会では、これらに関する最新の研究成果を発表・議論するものである。

2022年度は、2022年9月22日に名古屋大学太陽地球環境研究所における対面形式、zoomを利用したオンライン形式のハイブリッドで研究集会を開催した。

Sergio Toledo-Redondo 博士に「Impacts of ionospheric-originating ions on magnetic reconnection at the Earth's magnetosphere」と題した scene setting talk をいただき、また David Malaspina 博士に「Plasma Imaging, LOcal measurement, and Tomographic experiment (PILOT): a mission concept for transformational multi-scale observations of cold plasma dynamics in Earth's magnetosphere」と題した招待講演を、Xiangning Chu 博士に「Plasmaspheric dynamics modeled by a neural network」と題した招待講演を行っていただくなど、国内外の研究者による15件の講演が行われた。参加者数は講演者・聴講者合計で27名で、参加国の内訳は所属ベースで日本22名、米国3名、スペイン1名、台湾1名である。

集会の最後に総合討論の時間を取り、今後の運営形態とFACTORS衛星との連携について話し合った。運営形態については、ハイブリッドはオンライン側の立場としては成功したように思うという意見が出た一方、オンサイト側の立場としては会場に人が少なく、寂しいとの意見が出た。またマイクを通した英語を聞き取るのはしんどい、日本語と英語の壁をどう超えるか。英語のスライドを作りこむことで、発表言語が日本語でもなんとかわかってもらえる部分はある、といった意見も出た。

FACTORSとの連携については、海外の人を呼んで勉強会などの形式もよいかもしれない、などの意見が出た。

終日、参加者からは熱心な質疑応答が続き、磁気圏低エネルギープラズマに関する最新の情報を共有し、今後の研究を深化させる機会が提供できたと考える。

(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

2022年度・第1回 STE (太陽地球環境) 現象報告会\*1 (2022年9月27~30日、名古屋大学及び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 国際宇宙天気科学・教育センター)、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)、海老原 祐輔 (京都大学 生存圏研究所)

●参加者数: 37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、3年ぶりに対面で開催したが、ZOOMを用いたオンラインも併用してハイブリッド開催とした。本研究集会では、極大に近づき活発になっている最近の宇宙天気現象の興味深いイベント解析について多数の講演があった。また、本研究集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、通常一般的に考えられている惑星間 CME に比べて低速な CME の挙動という、宇宙天気予報の精度向上に重要な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。

(別紙様式 6-2)

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2023年1月16日～17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90名、うち外国人8名、若手研究者6名、大学院生16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
  - 地球・金星・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」による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
- ・日本が主導する太陽観測計画の最新状況
- ・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であったが、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さらなる研究の進展を図る。

衛星観測・地上観測・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  
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「内部磁気圏研究会：最新の統合解析ツールを活用したプラズマ波動解析ワークショップ」(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」(代表者：核融合科学研究所・永岡賢一)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。また、統合データサイエンスセンター・太陽圏サイエンスセンターと連携し、データ解析ツールIDL/SPEDASとPySPEDASの講習会を実施した。

### 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。初日にデータ解析ツール講習会が開催され、二日目および三日日には計41件の研究成果報告がなされた。核融合科学研究所の小川国大准教授による磁場閉じ込め核融合プラズマにおける高エネルギー粒子計測に関するチュートリアル講演や、宇宙科学研究所の浅村和史准教授、三谷烈史助教による宇宙空間でのプラズマ粒子直接観測に関するチュートリアル講演を通し、参加者らは両分野で研究が進む計測・解析技術への理解を深めた。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) 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。
- (2) 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。
- (3) 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。

(別紙様式 6 - 2)

台風セミナー2022  
Typhoon seminar 2022

宮本佳明 (慶応義塾大学)

台風セミナー2022を2023年3月15日(水)の午後から16日(木)の午前中にかけて開催した。このセミナーは、台風研究において「これまでに何が理解され、いま何が理解されていないのか、もしくは理解することが求められているのか?それらの理解のためにはどうすればよいのか?」を徹底的に議論する試みとして2011年から行っている研究集会である。今回は第12回目であり、名古屋大学宇宙地球環境研究所主催、日本気象学会台風研究連絡会と科学研究費補助金新学術領域研究「変わりゆく気候系における中緯度大気海洋相互作用 hotspot」公募研究 A01-K104 の共催で開催した。現地開催を検討したものの、コロナ禍後ということで会場となる講義室などの入場者数制限などの諸条件を考慮し、ハイブリッド形式で開催した。

今年度は、台風の気候学的研究や将来変化予測研究で著しい業績をあげている米国大気海洋庁 (National Oceanic and Atmospheric Administration: NOAA) 地球流体力学研究所 (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory: GFDL) の村上裕之博士を講演者としてお招きし、「台風の気候学 (Review for Tropical Cyclone Climate)」と「台風の将来予測 (Projected future changes in tropical cyclone -Resent Studies-)」というテーマで2日間にわたって6時間以上の講演・質疑を行っていただいた。研究集会は、名古屋大学研究所共同館 II の3階ホールで行っていただき、講演者のスライドと会場の音声をオンラインで配信する形で実施した。研究集会には、国内外の研究者や学生、気象庁職員、民間企業の関係者など、31機関から81人が参加した。会場での参加は主に名古屋大学内からの参加者を中心に14名であった。

「台風の気候学」の講演では、発生環境場を示すパラメータである Genesis Potential Index (GPI) の概念と先行研究で提唱されている様々な GPI についての解説が行われた。聴講者からも各人の思想に基づいた意見が出され活発な議論が行われた。また、大気場の季節内振動、季節振動、年々変動から10年規模変動との関連について、様々な先行研究を引用しながら示してくださった。特に北大西洋の熱帯低気圧の変動について、ヨーロッパ起源のエアロゾルの変動が寄与している可能性が提唱されている点については会場、オンラインを含めた議論が行われた。

「台風の将来予測」の講演では、気候変動による台風の発生数、強度だけでなく、台風の大きさや台風によりもたらされる降水量の予測についても議論された。将来予測については、全球予測だけでなく海盆 (北西太平洋や北大西洋など) 毎に異なる傾向を示すことなどが紹介された。これらの内容についても発生条件である GPI の妥当性まで遡って議論が行われた。しかしながら、セミナーの最後に村上博士より発せられた「台風の気候学は初期段階にある」という言葉は、研究は進展しているものの未開拓の課題が多くあることを示すものであると考えられる。

台風の影響や将来予測の研究は防災的な観点からも重要な研究課題ではあるが、日本国内でこの分野の研究者は未だ多くない。日本は台風による被害を毎年のように被る地域であるため、この分野の研究の発展は重要であると考えられる。今後、今回のセミナーを聴講した研究者により、この分野の研究が進められることを望みたい。

また、コロナ禍中は研究者間の対面形式での交流が行われていないが、本研究集会では現地開催の参加者が少なかったこともあり、村上博士を含む対面形式の参加者や名古屋大学の学生を含めた夕食会を開催した。久しぶりの研究集会に関連した食事会であり、学生と研究者間での交流を図ることができた。研究内容に関する話だけでなく、村上博士らの学生時代のエピソードや研究者になるようになった動機、海外で職を得ることになった経緯などについての話もあった。コロナ禍中は、学生が研究者とこのような会話をする機会がほとんどなくなってしまったことから、彼らにとっては良い機会であったと考えたい。



写真 講演を行う村上裕之博士。

(別紙様式06-2)

水素同位体の回収・分離技術開発と環境挙動に関する研究集会  
Workshop on recovery and separation technology of hydrogen isotopes  
and their behavior in the environment

田中将裕、核融合科学研究所・ヘリカル研究部

【集会の概要】

放射性同位元素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古くから環境分野の研究に利用されている。トリチウムは宇宙線と大気の衝突による自然起源の物質であるが、人間活動によっても生成される稀有な物質であり、地球上での挙動を理解するには、人間活動による生成、放出と回収・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、生物化学、薬学、原子力学など幅広い学術分野で利用されているが、環境学分野などと分野をまたぐ議論、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や同位体を対象とした研究に取り組んでいる研究者が集い、異分野間の交流、連携を目標として実施した。具体的には、トリチウムだけでなくさまざまな天然放射性同位元素を組み合わせる環境挙動の理解に取り組む研究、トリチウムを含む同位体分析手法の開発研究、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、2022年10月24日(月)に、名古屋大学 宇宙地球環境研究所 研究所共同館Ⅱ3F ホールおよびリモート(zoom)でのハイブリッドで開催した。参加者は16名、内2名が学生(B4, D2)、4名が女性であった。

研究集会の前半は同位体の回収・分離技術開発に関する6件の講演として、合成ゼオライトを用いた水素同位体ガスの低温吸着における同位体効果に関する研究、リチウム同位体分離のための吸着材開発やリチウムイオンの吸脱着に関する基礎研究、化学交換法と水電気分解法を組み合わせた水素同位体分離手法に関する基礎研究とその進展、高温プロトン伝導体を用いた固体電気化学法による水素同位体濃縮操作、液中プラズマを用いた水-水素間の同位体交換反応促進と原理実証が報告された。後半は環境放射能研究および同位体分析手法に関する7件の講演として、廃炉処置を進めている福島第一原子力発電所から大気環境へ放出される水蒸気状トリチウムの挙動と気象条件との相関に関する研究、大気中トリチウムの化学形態別測定手法開発と近年の観測結果、動植物中に取り込まれたトリチウムの新しい分析手法開発、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る環境挙動研究、降水物およびエアロゾルに含まれる天然放射性同位元素( $^7\text{Be}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ )の近年の観測結果報告、水素同位体分析手法開発のレビューと新たな取り組みの紹介、先進レーザー技術を活用した同位体計測手法開発に関する研究が報告された。

参加した研究者には、環境分野から化学工学、材料工学、プラズマ工学、レーザー応用まで幅広い多様な研究分野に触れる貴重な機会になった。また、異なる視点での議論や意見交換の場となり、新しい知見や分析手法の理解、次につながる貴重なコメントを得た。

研究集会のプログラムを以下に掲載する。

10:05-10:30 田口 明 [富山大学 水素同位体科学研究センター]  
「ロー型ゼオライトの合成と水素同位体吸着特性の評価」

10:30-10:55 立花 優 [長岡技術科学大学]  
「 $^6\text{Li}$  同位体濃縮反応中における陽イオン交換体と  $\text{Li}$  同位体および溶離剤との相互作用の解明と制御」

10:55-11:20 杉山貴彦 [名古屋大学]  
「水 - 水素化学交換法による水素同位体分離に関する最近の進捗」



- 11:20-11:45 松本広重 [九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所]  
「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」
- 11:45-12:10 鈴木達也 [長岡技術科学大学]  
「イオン交換リチウム同位体分別法のためのイオン交換体の開発」
- 12:10-13:15 昼食・休憩
- 13:15-13:40 佐久間一行 [弓削商船高等専門学校]  
「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」
- 13:40-14:05 平尾茂一 [福島大学 環境放射能研究所]  
「大気放出源周辺の環境トリチウム挙動解明に向けた基礎研究」
- 14:05-14:30 田中将裕 [核融合科学研究所]  
「核融合施設周辺における大気中トリチウムの化学形態別測定」
- 14:30-14:55 赤田尚史 [弘前大学 被ばく医療総合研究所]  
「有機結合型トリチウム分析のための燃焼前処理手法に関する研究」
- 14:55-15:20 城間吉貴 [琉球大学]  
「マルチレーザ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」
- 15:20-15:35 休憩
- 15:35-15:50 中田実希 [核融合科学研究所]  
「岐阜県土岐市における  $^7\text{Be}$  と  $^{210}\text{Pb}$  の大気中濃度及び降下量」
- 15:50-16:15 栗田直幸 [名古屋大学 宇宙地球環境研究所]  
「水素同位体の高精度分析手法確立に向けた基盤研究」
- 16:15-16:40 安原 亮 [核融合科学研究所]  
「レーザーを用いた同位体計測」

#### 【研究集会の成果】

新しい取り組みとして、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、分野横断的な議論を通じ、新しい分析手法や分離技術、同位体応用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、異分野を融合する新しい研究活動ネットワークへと発展させていきたい。

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4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2023年3月9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20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。今年度は国立極地研究所が担当であり、昨年度まではCOVID-19の影響によりオンラインで開催されたが、今年度は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25名の研究者が参加した(対面16名、オンライン9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(現在出版済み、印刷中の論文数: 45編)。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平成31年3月に出版されており、2023年3月15日までで8346ダウンロード、130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。特に今回は名古屋大学に滞在中のカナダ・Saskatchewan大学のPasha Ponomarenko博士、スウェーデン・Umea大学のHermann Opgenoorth名誉教授によるそれぞれSuperDARNへのimaging機能の実装プロジェクト(Borealis)の進行状況、地磁気擾乱時の3次元電流系に関する講演が行われ、それぞれの最新成果に関する発表がなされた。その他、具体的な研究成果の研究テーマとして、SuperDARNレーダーにより観測した磁気流体波の分布およびpolarization、m-numberをはじめとする特性、あらせ人工衛星とSuperDARNの観測データの比較によるSAPS・SAPSWsに伴う電磁場・粒子分布、磁気嵐後に発生する擾乱ダイナモの性質、SuperDARNで観測されるエコーの識別方法の改良の試み、トンガ火山噴火により観測された電離圏変動、等が挙げられる。またレーダー観測の研究成果だけではなく、太陽風マッハ数が小さい時の磁気圏擾乱、Fabry Perot干渉計による熱圏風の観測、磁気圏3次元シミュレーションデータの同化、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(次年度は名古屋大学宇宙地球環境研究所が担当)。

## SuperDARN 研究集会 (SuperDARN Research meeting)

Date : Thursday, March 9<sup>th</sup>, 2023(R5) 10:00~17:15 JST (=UTC+9h)

Venue : National Institute of Polar Research, Tokyo, Room C401 + Online (Zoom) (Hybrid)

NIPR access: <https://www.nipr.ac.jp/english/outline/summary/access.html>

Zoom access : (参加者に配布)

(meeting ID : 886 1328 7688、 passcode : SuperDARN)

Meeting web site: <https://polaris.nipr.ac.jp/~SD/sd-japan/workshop-j-2022wk.html> (Japanese)

<https://polaris.nipr.ac.jp/~SD/sd-japan/workshop-2022wk.html> (English)

※発表資料は英語で作成願います。※発表言語は可能であれば英語でお願いします (日本語可)。

※発表資料は当日集め、SuperDARN Japan Web サイト及び ISEE Web サイトに掲載の予定です。

### プログラム/Program (最新版は上記 集会Web を参照下さい。 See the meeting web above for any updates)

10:00-10:02	Opening	Yukimatu, A.S. (NIPR)
Part I		Chair: Yukimatu, A.S. (NIPR)
10:02-10:20	SuperDARN current status and updates	°Yukimatu, A.S. (NIPR), Nishitani, N.(Nagoya Univ/ISEE)
10:20-10:40	Current status of the SuperDARN Hokkaido Pair of radars	°Nishitani, N (Nagoya Univ. ISEE)
10:40-11:00	Study of polarization and m-number characteristics of ULF waves in the Pc5 frequency range observed by SuperDARN radars (SuperDARN で観測された Pc5 帯 ULF 波動の振動方向・m-number 特性の研究) °Koki Morita, Nozomu Nishitani, Tomoaki Hori, Kazuhiro Yamamoto, Simon G. Shepherd, Pasha Ponomarenko	
Part II		Chair: Mariko Teramoto (Kyutech (Kyushu Inst. of Tech.))
11:00-11:20	Preliminary results of Special Time (ST) observations in support of Arase conjunctions °K. Hosokawa (UEC), T. Hori, N. Nishitani, A. S. Yukimatu, Y. Miyoshi, K. Shiokawa and I. Shinokara	
11:20-11:40	Increasing the resolution of the FFT for more precise FLR-frequency determination in VLOS °H. Kawano (Kyushu Univ.), A.S. Yukimatu, N. Nishitani, Y. Tanaka, S. Saita, T. Hori	
11:40-12:00	Preparation of Arase-SuperDARN conjunction event analysis to investigate the spatial structure of FLR excited by substorms °M. Teramoto (Kyushu Inst. of Technology), A. Matsuoka, Y. Miyoshi, I. Shinohara, and K. Kitamura (サブストームが励起するFLRの空間構造の解明を目指したArase-SuperDARN conjunction イベントの解析に向けて)	
Lunch break: 12:00-13:00		
Part III		Chair: Keisuke Hosokawa (UEC)
13:00-13:20	Strong electric fields adjacent to auroral electro-jets and sub-auroral storm time electro-jets - implications of ionosphere / magnetosphere coupling on Space Weather impacts °Hermann Opgenoorth and Audrey Schillings (Umea Univ., Sweden, Leicester Univ., UK)	
13:20-13:40	Expanding diagnostic capabilities of SuperDARN CANADA radars with Borealis USRP system °Pasha Ponomarenko, Kathryn McWilliams, Kevin Krieger, Marci Detwiller, Keith Kotyk, Remington Rohel, and Daniel Billett (Univ. of Saskatchewan, Canada)	
13:40-14:00	The cause of the mid-latitude ionospheric plasma flow during storm recovery phase observed by the SuperDARN Hokkaido East Radar compared to AMPERE and TIEGCM data °K. Omori, N. Nishitani, T. Hori (ISEE), Gangu Lu (NCAR), Brian J. Anderson, Sarah K Vines (JHU/APL)	
14:00-14:20	Statistical study of mid- and low-latitude electric field response corresponding to the CW structure	

that develops during substorms

(サブストーム時に発達する CW 構造に応じた、中低緯度電場応答の統計的研究)

°Moe Hayashi (Kyushu Univ.), Akimasa Yoshikawa, Akiko Fujimoto, Shin Ohtani

Tea break: 14:20-14:30

Part IV

Chair: Tomoaki Hori (ISEE)

14:30-14:50 Geomagnetic activity dependence and dawn-dusk asymmetry of thermospheric winds at high latitudes

°Shin-ichiro Oyama (ISEE), Anita Aikio, Takeshi Sakanoi, Keisuke Hosokawa, Heikki Vanhamaki, Lei Cai, Ilkka Virtanen, Marcus Pedersen, Kazuo Shiokawa, Atsuki Shinbori, Nozomu Nishitani and Yasunobu Ogawa

14:50-15:10 Characteristics of ionospheric disturbances after the 2022 Hunga Tonga-Hunga Ha'apai volcanic eruption and their generation mechanism observed with GNSS-TEC and SuperDARN Hokkaido pair of radars

(SuperDARN 北海道-陸別第一・第二 HF レーダーと全球 GNSS-TEC 観測から捉えたトンガ火山大規模噴火後の電離圏擾乱の特徴とその発生機構について)

°Atsuki Shinbori, Yuichi Otsuka, Takuya Sori, Michi Nishioka, Septi Perwitasari, Takuo Tsuda, and Nozomu Nishitani

15:10-15:25 MI coupling under low Alfvén Mach number solar wind: Results of magnetospheric observations and expectation of ionospheric observations

(太陽風のアルフヴェン・マッハ数が低い場合の磁気圏電離圏結合: 衛星観測の成果と電離圏観測への期待)

°Masaki N. Nishino (Univ. of Tokyo), Tomoaki Hori, Hiroshi Hasegawa, Yukinaga Miyashita, Motoharu Nowada, Ryuho Kataoka

15:25-15:45 Pilot reanalysis of the magnetosphere-ionosphere system and future prospects

(磁気圏電離圏系再解析データ作成に向けた取り組みと今後の展望)

°S. Nakano (ISM), S. Fujita, R. Kataoka, A. Kadokura, Y. Tanaka, A. Nakamizo, K. Hosokawa, S. Saita

Part V

Chair: Nozomu Nishitani (ISEE)

15:45-16:05 Statistical analysis of mid-latitude F region ionospheric echoes by the Hokkaido SuperDARN HF radar

(SuperDARN 北海道-陸別第一 HF レーダーを用いた中緯度電離圏 F 領域エコー発生分布の統計解析)

Itsuki Furuhashi, Nozomu Nishitani, and Tomoaki Hori (Nagoya Univ. ISEE)

16:05-16:25 SAPS electric field and particle boundaries as observed by SuperDARN and Arase

°T. Hori (ISEE), Y. Miyoshi, S. Nakamura, Y. Kasaba, T. Nakagawa, M. Kitahara, S. Matsuda, N. Nishitani, S. G. Shepherd, J. M. Ruohoniemi, A. Kumamoto, F. Tsuchiya, Y. Kasahara, K. Asamura, C.-W. Jun, Y. Kazama, S.-Y. Wang, S. W. Y. Tam, K. Keika, S. Kasahara, S. Yokota, A. Matsuoka, and I. Shinohara

16:25-16:45 Latitudinal distribution of the Sub-Auroral Polarization Streams observed by the SuperDARN Hokkaido Pair of (HOP) radars (SuperDARN 北海道-陸別第一・第二レーダーで観測された SAPS の緯度特性)

°Nozomu Nishitani and Tomoaki Hori (Nagoya Univ. ISEE)

Part VI

Chairs: Yukimatu. A.S. and Nishitani, N.

16:45-17:13 Discussion

17:13-17:15 Closing

18:00- 懇親会 at 瑞京

## 赤潮の予測とその社会実装に向けた研究 Research of prediction of harmful algae bloom and its social implementations

吉江直樹、愛媛大学・沿岸環境科学研究センター

赤潮と呼ばれる有害藻類の異常増殖現象は、1970年代から日本沿岸域において多くの漁業被害を引き起こしてきた。これまでの50年にわたる窒素・リンの総量規制などの環境政策により、過去に多くの赤潮被害が発生していた瀬戸内海東部や伊勢湾等では発生件数や被害が減少しつつある。一方、瀬戸内海西部や有明海では近年毎年のように被害が発生しており、赤潮による被害を軽減するためには、その発生の有無だけではなく発生時期及び終息時期の予測が不可欠である。近年のIT技術を応用したリアルタイムモニタリングや、衛星によるリモートセンシング、遺伝子解析による極低濃度の赤潮原因種の検知、海洋循環モデルによる水温・流動場予測、赤潮生態系モデルによる環境応答解析、機械学習による赤潮予測などにより、徐々に発生・終息のメカニズムが明らかになり、赤潮の予測が実現しつつある。また、持続可能な開発目標(SDGs)の目標14「海の豊かさを守ろう」の中で、養殖漁業は、通常の漁業による海洋資源の減少を緩和すると共に、地上での食用肉生産に比べ環境負荷をはるかに抑えた形で動物性タンパク質を将来にわたり増産できるため、世界的にその価値が急速に高まりつつある。しかし、養殖漁業は、先に挙げた赤潮により大きな被害を受けやすいだけでなく、養殖魚の残餌や排泄物の分解物は底質の貧酸素化・海域の富栄養化を引き起こし赤潮の発生要因にもなり得るため、海域の環境を密にモニタリングする必要があるが、これまで適切には行われてこなかった。以上のように、これまでの地球科学的な赤潮研究の知見は、実際の養殖漁業における適切な環境モニタリングや環境負荷の低減、生産性の向上には十分に生かされておらず、社会実装するには至っていなかった。そこで本研究集会では、赤潮研究を行う地球科学系研究者だけではなく、養殖漁業に携わる実務者として生産者・水産系企業・環境アセス系企業担当者も集い、赤潮の予測精度の向上を目指すと共に、研究成果の社会実装や養殖漁場における適切な環境モニタリングおよび環境負荷の低減を目指した議論を行うことを目的とした。

大分県佐伯市において、12月15日から16日の二日間にわたり研究集会が開催され、名古屋大学から1名、国立大学4機関から10名、独立行政法人等公的研究機関12機関から29名、民間機関14機関から31名、合計71名、二日間の延べ人数の合計129名に参加していただいた。

研究集会では、12題(1. 大分県沿岸域における赤潮発生状況とIoT技術利用による赤潮監視、2. IoTを用いた監視システムによる養殖マグロ斃死要因究明にむけた取組、3. 猪串湾における冬季の有害渦鞭毛藻赤潮の発生要因とAIによる赤潮予察の試み、4. 鞭毛藻の日周鉛直移動と海洋表層の物理過程、5. 瀬戸内海豊後水道東部における環境要因によるカレニア赤潮発生日予測とカレニア数値モデルを用いた数値実験、6. 漁場における深層型生簀網の挙動と流速分布に関する研究、7. 長崎県における赤潮発生状況と対策、8. 西部瀬戸内海佐田岬における海洋環境の変動、9. 播磨灘における低次生態系の時空間変動、10. Ecopath with Ecosimを用いた東部瀬戸内海の高次生態系モデル解析、11. 超高解像度海洋数値モデルを用いた沿岸変動予測システム、12. 有害プランクトン検出センサーを用いた観測事例のご紹介)の研究発表が行われ、それぞれの講演に対して現地の養殖業者から多くの質問やコメントいただき、赤潮研究の社会実装に向けた活発な議論が繰り広げられた。

(別紙様式 0-2)

合同研究会「ホイスラー波の物理と応用」及び「非線形波動粒子相互作用研究の将来展望」  
Joint Workshop of “Physics and application of whistler waves”  
and

“Future perspective of study on nonlinear wave-particle interaction”

諫山 翔伍、九州大学総合理工学研究院

### 概要

本研究集会では、「ホイスラー波」をキーワードに、宇宙プラズマから応用研究まで幅広い領域の研究者が集まり、新知見を共有し合うことを目的として開催された。宇宙空間と実験室における観測手段と取り扱うパラメータ領域の違いにより、各領域の研究者にとっては広くプラズマ科学として、ホイスラー波に関連する物理（粒子加速・加熱など）の理解を深めるよい機会となった。さらに各分野へのフィードバックを通して、今後共同研究への発展が期待される。

### 参加者数

1日目：現地8名＋Zoom26名

2日目：現地0名＋Zoom36名

### 研究報告

宇宙プラズマ関連9件（内招待講演7件）、実験プラズマ関連7件（内招待講演5件）の、系16件の講演を通じて活発な議論が行われ、見込みを大幅に上回る数の参加があった。専門の異なる発表に対する質疑もとても活発になされていた。一方で、実験プラズマ関連の講演に関して、イントロダクションがやや不十分である講演も見受けられたため、宇宙プラズマ関連の研究者からは質問が出にくい状況となる場面もあった。今後は、講演者に参加者の情報を周知するなどして改善する。

### 成果

「ホイスラー波」をキーワードとした異分野の研究者による活発な議論を通じて、分野を超えて有用な知見の共有が進んだ。

### 研究会プログラム

3/16(Thu.)

Time	Speaker	Title	Chair
10:00-10:40	Danny Summers (Memorial University of Newfoundland, Canada)	Dynamics of relativistic electrons in Earth's inner magnetosphere <a href="mailto:dsummers@mun.ca">dsummers@mun.ca</a>	Yusuke Ebihara
10:40-11:20	Peter Yoon (University of Maryland, US)	Three-dimensional plasma dynamics in EMIC and mirror-mode instabilities <a href="mailto:yoop@umd.edu">yoop@umd.edu</a>	
11:20-12:00	Yoshiharu Omura (Kyoto University)	Whistler-mode triggered emissions <a href="mailto:omura@rish.kyoto-u.ac.jp">omura@rish.kyoto-u.ac.jp</a>	
Lunch Break			
13:30-14:10	Yikai Hsieh (Kyoto University)	Electron scattering and precipitation due to oblique chorus emissions <a href="mailto:yikai_hsieh@rish.kyoto-u.ac.jp">yikai_hsieh@rish.kyoto-u.ac.jp</a>	Yoshiharu Omura
14:10-14:50	Yusuke Ebihara (Kyoto University.)	Global conditions for whistler-mode chorus generation in the magnetosphere <a href="mailto:ebihara@rish.kyoto-u.ac.jp">ebihara@rish.kyoto-u.ac.jp</a>	
20 min. Break			
15:10-15:50	Satoshi Kurita (Kyoto University)	Chorus wave observations <a href="mailto:kurita.satoshi.8x@kyoto-u.ac.jp">kurita.satoshi.8x@kyoto-u.ac.jp</a>	
15:50-16:30	Naritoshi Kitamura (Nagoya University)	Direct observations of energy transfer from resonant electrons to whistler-mode waves (dayside reconnection, magnetosheath, and	

		bow shock) <a href="mailto:kitamura@isee.nagoya-u.ac.jp">kitamura@isee.nagoya-u.ac.jp</a>	
16:30-16:50	Fumiko Otsuka (Kyushu University)	Effect of whistler waves on the electron acceleration at quasi-perpendicular shocks <a href="mailto:otsuka@esst.kyushu-u.ac.jp">otsuka@esst.kyushu-u.ac.jp</a>	Shogo Isayama
16:50-17:10	Shuichi Matsukiyo (Kyushu University)	Relativistic particle acceleration in counter-propagating Alfvén/whistler waves <a href="mailto:matsukiyo@esst.kyushu-u.ac.jp">matsukiyo@esst.kyushu-u.ac.jp</a>	

3/17(Fri.)

Time	Speaker	Title	Chair
10:00-10:40 (Thu. 17:00-17:40, PST)	Reiner Stenzel (University of California, Los Angeles)	Whistler modes excited by magnetic antennas <a href="mailto:stenzel@physics.ucla.edu">stenzel@physics.ucla.edu</a>	Shogo Isayama
10:40-11:20	Shogo Isayama (Kyushu University)	Dynamic profile formation and the effect of neutral depletion in helicon plasma <a href="mailto:isayama@esst.kyushu-u.ac.jp">isayama@esst.kyushu-u.ac.jp</a>	
11:20-12:00 (Fri. 10:20-11:00, CST)	Lei Chang (Chongqing University, China)	Wave propagation and power deposition in blue-core helicon plasma <a href="mailto:leichang@cqu.edu.cn">leichang@cqu.edu.cn</a>	
Lunch Break			
13:00-13:40 (Thu. 23:00-23:40, EST)	Earl Scime (West Virginia University, US)	Particle Heating and Energization in Helicon Sources. <a href="mailto:earl.scime@mail.wvu.edu">earl.scime@mail.wvu.edu</a>	Shogo Isayama
13:40-14:20	Katsumi Ida (National Institute for Fusion Science)	Direct observation of nonlinear transit-time damping and collisionless energy transfer in laboratory plasma <a href="mailto:ida.katsumi@nifs.ac.jp">ida.katsumi@nifs.ac.jp</a>	
14:20-14:40	Yusuke Kosuga (Kyushu University)	Density peaking by parallel velocity gradient driven turbulence in laboratory helicon plasmas <a href="mailto:kosuga@riam.kyushu-u.ac.jp">kosuga@riam.kyushu-u.ac.jp</a>	
14:40-15:00	Takayoshi Sano (Institute of Laser Engineering, Osaka University)	Plasma heating through the propagation of a large-amplitude whistler wave <a href="mailto:sano.takayoshi.ile@osaka-u.ac.jp">sano.takayoshi.ile@osaka-u.ac.jp</a>	



(別紙様式06-2)

太陽地球惑星圏の研究領域における将来衛星計画検討会  
Workshop on Future Satellite Mission Planning in the Field of Solar-Terrestrial Physics

齋藤 義文  
宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・太陽系科学研究系

太陽地球惑星圏の研究領域では、地球電磁気地球惑星圏学会 (SGEPSS) を母体とする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。その後、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、将来衛星計画ロードマップの策定作業を進め、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叩き台を用意するに至った。本研究集会の目的は、太陽地球惑星圏研究領域の将来衛星計画検討結果を文書の形でまとめるにあたり、関連する研究者が一同に会して議論することで、将来の衛星ミッション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あった。

本研究集会は、コロナウィルス感染の状況を鑑みてzoomを併用したハイブリッド会合として3月20日に開催し19名の出席者があった。

本研究集会は、GDI活動を含めた将来検討 (含RFI改訂) に関するセッション、ミッションコンセプト検討状況の紹介のセッション、各種ミッションとの連携に関するセッションとその後の全体議論の4部構成で開催した。

「GDI活動を含めた将来検討 (含RFI改訂)」のセッションでは、昨年度に本格的な活動を開始した、太陽系GDIの活動状況について紹介があった後、将来の戦略的中型ミッションに繋がり得る、戦略的火星探査におけるMIM (Mars Ice Mapper) 計画の位置付けと検討状況についての講演、黄道面脱出ミッション検討状況に関する講演の後、新しく公募型小型ミッションの候補として選定された、惑星科学、生命圏科学、および天文学に向けた紫外線宇宙望遠鏡計画 (LAPYUTA) に関する講演があった。その後、昨年11月に理学委員会事務局に提出したRFIの改訂版の紹介があり、続いて、RFIの中に含まれる、新しいロードマップに新しく加えるミッションとして、次世代SRミッションに関する講演があった。

「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步先のミッションについての検討状況の紹介があった。これらの一步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昨年度の初めから進めてきた。そ

それぞれのグループの検討状況に関する計5つの講演があり、その後、今後のミッションコンセプトの検討スケジュールや、そのアウトプットとしてのRFIの再改訂などについて議論した。その結果、固体惑星分野と共同で実施する、重力天体着陸総合探査における太陽地球惑星圏の研究領域の果たす役割とそれに関連するミッションの検討の必要性が認識されたため、本テーマについても新たに検討グループを作ってミッションコンセプトの検討を進めることになった。

「各種ミッションとの連携に関するセッション」では、米国の将来ミッションGDCに対する地上観測の連携についての講演の後、ESA M7 ミッションの検討状況について紹介する講演がPlasma ObservatoryとM-MATISSEについてあった。その後、ひまわり10号搭載宇宙環境計測装置の開発状況や、月面低周波電波干渉計の検討状況についての報告があった。

この後、全体議論の時間をとって、今回の研究集会のまとめを行なった。その結果、新たに将来ミッションを創出する枠組みとして、理学委員会の下に「STP衛星ミッション検討RG（仮称）」を設立することを合意した。また、SGEPSS将来構想検討WG/将来衛星計画ロードマップ策定タスクチームに関して、新しい世話人の立候補・他薦・指名 を行い、メンバーが変わっていける体制を作るということにも合意した。2023年度も本研究集会と同様のテーマの研究集会を提案して採択されているが、現在進めているミッションコンセプトの検討結果を最終的にまとめて新しいロードマップに組み込み、ロードマップを完成させる事を目的として2023年度の研究集会を開催することとなった。

(別紙様式06-2)

陸別・母子里観測所ユーザーズミーティング2022  
Users' Meeting for Rikubetsu and Moshiri observatories 2022

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。昨年度と一昨年度はコロナ禍のためにオンライン開催となったが、今年度はコロナ禍以前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17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。8名の現地出席者と8名のオンライン出席者の全16名の参加を得、少人数であったが活発な意見交換が行われた。

【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。まず、それぞれの観測装置に関しては、コロナ禍のためドイツからの技術者を招聘できずに立ち上げが1年近く遅れていた国立環境研究所の新しい赤外線フーリエ分光計が2022年9月にドイツ人技術者を招聘し立ち上げることができた旨が報告された。その後USBの通信に障害が発見されユーザーズミーティング時にはまだ定常観測には至っていない。ただし、従来の赤外線フーリエ分光計が観測所に残置されており、当面はこの旧分光計を用いて観測を継続させるということであった。ミリ波分光計では、発振器、極低温冷凍機用の冷却水チラー、液体窒素製造のための窒素ガス発生器などの故障が連続し、完全な形で観測が行えたのは当該年度でわずか2.5ヶ月程度しかなかったことが報告された。前年度のミーティングでも全般的に観測機器の老朽化が目立ってきているという議論があったが、それに加えて世界的なコロナ禍、半導体不況による部品の欠如等で交換部品の入手困難となり、修理に例年より時間がかかる状況であったことが問題となった。母子里観測所では、2022年度は大きな進展がなく今回講演はなかったが、観測所設置当時から残置されていた古い観測機器のPCB含有調査と処理に時間と労力を費やした状況が報告された。

科学的なテーマについては、赤外線フーリエ分光計によるイソプレンとホルムアルデヒドの相関に関する観測結果の報告、東北大学のVLF/LF帯標準電波観測のデータを用いた太陽フレア発生に伴う下部電離圏D領域の変動に関する研究結果の報告等、陸別観測所の測器で得られた研究成果が報告された。また、ライダーを用いたエアロゾルの観測研究の計画について国立環境研究所の神慶孝主任研究員に話題を提供していただいた。同ライダーは元々母子里観測所で名古屋大学環境学研究科の柴田教授（現名誉教授）により運用されていたもので、赤外線フーリエ分光計による温室効果ガス測定において大気エアロゾルの吸収補正を行うために陸別観測所に移設されたものである。神研究員が昨年レーザーを寿命の長い半導体レーザーに置き換えるなどの改良を加え、エアロゾルの科学観測を始めた。偏光解消度が測定できるライダーでどのような科学的計測ができるかの説明も含めてわかりやすく紹介していただいた。さらに、2022年1月に大爆発があり世界的にも注目された海底火山のフン

ガ・トンガ＝フンガ・ハアパイ火山の噴火において、南半球上空で形成された電離圏擾乱が磁力線を介して北半球に非常に高速で伝わったことを陸別観測所の大型短波レーダーで捉えたことについて、名古屋大学の新堀淳樹特任助教から紹介があった。これは噴火後にオーストラリア上空で観測された電離圏擾乱と同じ空間構造を持った擾乱が、ほぼ同時刻に北海道上空でも観測されたことを報告した研究で、電磁気的な結合で擾乱が南半球から北半球に数秒間で伝わったことを示すものであった。実際の大気気圧波が日本に到達するよりも3時間ほど早く北海道上空で噴火の影響を検出していたことになる。この研究は、2022年度のEPS Highlighted paperにも選ばれたもので、多くの研究者の関心を集めた成果であった。

観測所の運用に関しては、観測室内の暖房が不十分で作業環境を改善すべきとの意見が出され、年度内に観測所経費を用いて暖房装置の更新を行なった。また、陸別町が防災無線中継局を観測所近くに設置する可能性を検討していたため2022年11月に観測装置への影響評価実験行なったが、その結果についての報告があった。中継局と同程度パワーを持つ移動型送信機から電波を送信し実験を行なったところ、ミリ波分光計の出力レベルに変動が見られ観測データへの影響が懸念されることが明らかになった。陸別町に実験結果を報告したところ、最終的に観測所近くには中継局は設置しないという決定がなされた。また、昨年のミーティングからの引き継ぎ事項として、陸別観測所および陸別宇宙地球科学館の発展に多大な貢献をされてきた上出洋介先生の業績について、拡大ミーティングとして取り上げることが昨年検討されたが、11月に開催されたISEEシンポジウム前に、同様の趣旨の上出先生追悼シンポジウムが名古屋大学で開催されたため、結局今回は従来通りのユーザーズミーティングとして開催することとした。

陸別・母子里ユーザーズミーティング2022 プログラム

日時 2/17 (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	発表者	所属	演題	○は仮題あるいはテーマ
[はじめに]				
10:00 - 10:05	水野 亮			
[対流圏・成層圏/温室効果ガス/エアロゾル/オゾン]				
10:05 - 10:25	水野 亮 + 長濱 智生 (水野代読)	(名大ISEE)	ミリ波分光計、ブリューワ分光計、FTIR等の運用状況報告	
10:25 - 10:45	森野 勇	(国環研)	陸別FTIRによる温室効果ガス観測	
10:45 - 11:05	神 慶孝	(国環研)	ライダーによるエアロゾル鉛直プロファイル観測	
[天文台報告]				
11:05 - 11:25	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]				
11:25 - 11:45				
昼休み				
11:45 - 13:00				
[電離圏・磁気圏/オーロラ]				
13:00 - 13:20	塩川 和夫	(名大ISEE)	(陸別・母子里観測所におけるオーロラ・大気光と電磁場観測の現状報告)	
13:20 - 13:40	土屋 史紀	(東北大 PPARC)	陸別におけるVLF/LF帯標準電波観測の現状報告	
13:40 - 14:00	中山 雅晴	(千葉大)	陸別のVLF/LF帯標準電波観測を用いた太陽フレア発生に伴う下部電離圏D領域の研究	
14:00 - 14:20	西谷 望	(名大ISEE)	SuperDARN北海道-陸別第一・第二HFレーダー2022年度報告	
14:20 - 14:40	森田 洸生	(名大ISEE)	陸別のHFレーダー他で観測された磁気流体波動の振動方向・波数分布特性の結果報告	
14:40 - 15:00	新堀 淳樹	(名大ISEE)	SuperDARN北海道-陸別第一・第二HFレーダーと全球GNSS-TEC観測によるトンガ火山大規模噴火後の電離圏擾乱の特徴について	
[おわりに]				
15:00 - 15:05	町田 敏暢	(国環研)		

# 内部磁気圏研究会:磁気圏電離圏システムにおける内部磁気圏の役割 Workshop on the roles of Earth's inner magnetosphere in the global magnetospheric-ionospheric 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

## 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。

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。また、これまでの科学成果を踏まえ、5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将来観測を話し合った。特に、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集中的に議論した。グローバル変動を俯瞰的に捉えることを得意とする、地上観測網や将来の磁気圏撮像ミッションと連携して観測データを相補的に有効活用できる科学戦略やプラットフォームを検討した。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。

また比較惑星の観点から太陽系で固有磁場を持つ惑星のひとつである水星に着目し、水星フライバイ観測を実施したBepiColombo/Mio衛星の観測結果を共有した。特に、水星磁気圏システムで発生しており、かつ地球磁気圏プラズマダイナミクスに対して主要な役割を担っている現象（粒子インジェクションや惑星への降り込み）について議論した。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4年9月26日(月)から9月28日(水)まで東京大学駒場キャンパスにて、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30名、オンラインでは約50名が参加した。26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、

午後は共催研究集会の主導で太陽圏システム科学に関する招待講演が行われた。また、内部磁気圏分科会の主導で、STP 分野の RFI 作成やロードマップの紹介があった。27 日午前と 28 日午前には、主にあらせ衛星のデータを用いた観測的および理論的研究の成果発表があり、その半数近くが大学院生による研究成果の発表であった。28 日午後は、水星磁気圏で発生している主要現象についてレビュー講演と BepiColombo 初期観測結果の紹介があった。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) 水星磁気圏に関するレビュー講演と BepiColombo 初期観測の紹介を通じ、惑星電磁気圏システムの統一的理解に向けて、地球磁気圏研究の今後の方向性を広い視野で検討することができた。
- (3) 太陽圏システム科学の研究集会と共催することで、異なる専門を持つ研究者が太陽圏全体の俯瞰しながら普遍的な宇宙プラズマ現象を議論し、コミュニティ間の連携を模索することができた。
- (4) 大学院生や若手研究者の多くが、対面で最新の研究成果を発表することができた。
- (5) 解析講習会では、新たに開発中の PySPEDAS 解析ツールに集中的に取り組んだ。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 (<https://ergsc.isee.nagoya-u.ac.jp/meeting/past/20220926.shtml.ja>)

09/26 月曜日		10:30-17:00		09/27 火曜日		9:30-17:00		09/28 水曜日		9:30-16:00	
				【地球内部磁気圏】				【地球内部磁気圏】			
				1	9:30	三好由純, 他	Long-term variations of the phase space density of MeV electrons and plasmasphere	1	9:30 (online)	今城峻, 他	Precipitation of auroral electrons accelerated at very high altitudes: Arase satellite observations
				2	9:50	尾林佑哉, 他	原動オーロラに伴う高エネルギー電子の中層大気への降り込み・あらせ衛星-EISCAT同時観測	2	9:50 (online)	Liwei Chen, 他	Observation of source plasma and field variations of a substorm brightening aurora at L ~ 6 by a ground-based camera and the Arase satellite on 12 October 2017
				3	10:10	岩瀬智哉, 他	ISSとあらせによって観測されたREPとプラズマ波動	3	10:10 (online)	Kumar Sandeep, 他	Plasma pressure distribution of ions and electrons in the inner magnetosphere during CIR and CME driven storms observed by Arase satellite
【プロジェクト関連】				4	10:30	栗田怜, 他	Statistical investigation of wave vector direction of chorus waves observed by the Arase satellite	4	10:30	山川智嗣, 他	Control of the dynamics of cold particles on the excitation of ULF waves based on the magnetosphere-ionosphere coupled model
1	10:30	藤原育, 三好由純	あらせプロジェクト現状/延長計画について	(休憩)				(休憩)			
2	10:40	中川朋子, 笠原康正, 他	あらせPWE/EPD電場データ: 電場vectorに対する衛星帯電の影響評価								
3	10:50 (online)	塩川和夫	地上観測								
4	11:00	中村紗都子	ERG-SC報告								
5	11:10 (online)	小川泰博	ERG-EISCAT共同観測報告	【地球内部磁気圏】				【地球内部磁気圏】			
6	11:20	細川敬祐, 他	2022年冬季のオーロラ帯光学観測の計画、および SuperDARN 特別観測計画	5	11:10	安福友梨, 他	Arase衛星を用いた高緯度・プラズマボーズ近傍におけるホイッスラーモードコーラスのダクト伝達の事例解析	5	11:10	永谷来佳理, 他	Time variations of molecular ions in the inner magnetosphere observed by Arase
7	11:30	― 議論 ―	Cycle 25における観測計画について	6	11:30	伊藤ゆり, 他	あらせ衛星を用いたダクトによるコーラス高緯度伝達と原動オーロラの関係の検討	6	11:30	Chae-woo Jun, 他	A recent progress report about the development of inter-calibration between LEPI and MEPI
8	11:40 (online)	新堀淳樹, 他	SPEDAS用OMTIデータ解析ツールの開発	7	11:50 (online)	滝野恵, 他	Interferometry observation of ECH waves by the Arase satellite	7	11:50	小路真史, 他	Statistical analyses on low energy ion heating by electromagnetic ion cyclotron waves via wave-particle interaction analyses: Arase observations
	11:50	― 総合討論 ―		8	12:10	中村紗都子, 他	Arase HEP listモードデータを用いたEMIC WPIA解析	8	12:10	堀智昭, 他	SAPS electric field and particle boundaries in the equatorial magnetosphere as observed by Arase
(昼休み)				(昼休み)				(昼休み)			
【太陽圏システム科学】				【太陽圏システム科学、水星磁気圏、BepiColombo】				【データ解析講習会】			
9	14:00	今田晋亮	Solar-C時代に向けた太陽-STPコミュニケーションの連携	9	14:00	増田智	太陽フレアループ上空における高エネルギー電子の観測	9 13:30-16:00 太陽圏サイエンスセンター SPEDAS/PySPEDAS解析講習会			
10	14:30	鈴木建	内部太陽圏の太陽風に関する良々の最近の研究の話題提供	10	14:30	黒田裕	Presence of whistler-mode chorus at Mercury inferred from the MESSENGER observation				
11	15:00	坪内隼	太陽圏システム科学の構築〜外部太陽圏、粒子加速の視点から	11	14:50	桂華邦裕	Brief review of MESSENGER ion observations in the Mercury's magnetosphere				
	15:30	― 議論 ―		(休憩)							
(休憩)				12	15:30	笠原康正	BepiColombo PWI 現状報告				
				13		松岡彰子	BepiColombo MGF 現状報告				
				14	(online)	原田裕己	MIA Observations of Low-energy Ions in Mercury's Magnetosphere				
				15	(online)	相澤紗絵	Electron acceleration observed by Mercury Electron Analyzer onboard Mio/BepiColombo during Flybys				
				16		三好由純	太陽圏サイエンスセンターにおけるみお科学データの準備について				
12	16:00	三好由純, 菅藤義文, 内部磁気圏分科会	STPのRFI作成、ロードマップの紹介、将来検討など								

(別紙様式06-2)

第23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  
23rd Workshop on mm/THz-wave band receiver technology

前澤 裕之、大阪公立大学・大学院理学系研究科物理学専攻

【集会の概要】

本研究集会は、ミリ-テラヘルツ帯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、国内の研究機関・関連民間企業だけでなく、東アジア諸国(台湾・中国・韓国)の研究者が参加し、アジア圏における国際競争力・推進力の向上・効率化と基礎技術力の裾野拡充・継承を目指すとともに、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、など基礎技術の開発からサイエンスの応用まで、関連トピックスが幅広く取り上げられる。

【集会の報告及び成果】

2022年12月14日～15日の2日間、理化学研究所(和光キャンパス)において“23rd Workshop on mm/THz-wave band receiver technology”を開催した (Zoom meetingを併用したハイブリッド形式での開催)。今回は、理化学研究所および情報通信研究機構 (NICT) のテラヘルツワークショップと合同で“RIKEN-NICT-East Asia Receiver Joint Workshop”として行われ、32の機関・企業から計129名の参加があり、口頭講演33件 (うち招待講演5件)、ポスター講演31件という盛況な内容となった。

講演では、アタカマ大型ミリ波・サブミリ波干渉計 (ALMA)、サブミリ波干渉計 (SMA)、南極テラヘルツ望遠鏡 (DATE5)、グリーンランド望遠鏡 (GLT) などの電波望遠鏡プロジェクトに関連した講演が台湾、韓国、中国からあり、日本からは名古屋大学ISEEの地球大気観測装置、名古屋大学A研のNANTEN2望遠鏡、国立天文台のALMAや野辺山45-m望遠鏡に関わる新規開発などの議論が活発に行われた。

また今回は、この分野で著しい技術発展を迎えている「量子コンピュータ」に関する招待講演・一般講演を多く扱い、超伝導体を用いた検出回路、伝送回路、増幅回路に関する基礎技術～挑戦的技術について、活発な議論が行われた。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。



(別紙様式 6-2)

第7回 YMAP秋の研究会  
7th YMAP Symposium

細川佳志、東京大学・宇宙線研究所附属神岡宇宙素粒子研究施設

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、2022年12月9日から10日にかけて、東京大学宇宙線研究所附属神岡宇宙素粒子研究施設で対面形式で開催された。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。今回は、貴重になってしまった対面での議論・交流に加えて神岡坑内実験室の見学ツアーを提供できた。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と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、実験室見学である。参加者は25名で、講演数は25件(うち招待講演1件)であった。発表題目については、研究会ページ(<https://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/YMAP/event/conf2022/index.html>)で公開している。参加者全員が口頭で発表した。また、実験室見学ツアーでは、スーパーカミオカンデ・カグラ・カムランドの地下実験室をそれぞれの実験に参加する若手研究者が紹介した。

本研究集会は、ガンマ線・X線・宇宙線・ニュートリノ・雷・大気高エネルギー物理学・粒子加速・重力波などの多岐にわたる分野の若手研究者が領域を横断して交流する良い機会となった。今年度は実験室見学を兼ねた対面での開催によって、充実した議論・交流を実現できた。参加者アンケートでは「来年度も参加したい」という意見を多く得ており、今後も継続して開催していきたい。

## 2022年度 07) 計算機利用共同研究 目次詳細

3 件

\*所属・職名は2023年3月現在

\*Affiliation and Department displayed are current as of March 2023.

(注1): 新型コロナウイルスの影響で中止 / Cancelled due to COVID-19

(注2): 中止 / Cancelled

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
田中 高史	九州大学	国際宇宙天気科学・教育センター	学術研究者・名誉教授	アークオーロラの統一理論	288	
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	290	
齊藤 慎司	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	292	

(別紙様式 7-2)

計算機利用共同研究報告 (2022年度)

和文課題名 アークオーロラの統一理論  
英文課題名 theory of the arc auroras

田中高史、九州大学・国際宇宙天気科学・教育センター・名誉教授

計算機利用共同研究報告

オーロラはアークとディフューズに分類されることは古来より知られている。サブストームに關与する quiet arc とオンセットアーク、北向き IMF で觀察される、sun-aligned arc、fan arc、テーターオーロラは、全てアークである。アークはそれぞれの発生条件も、明るさにも大きな幅があるが、それなのになぜ同じアークなのか。

オンセットが Quiet arc の赤道側から始まることは、サブストーム研究の初期から謎とされてきた。Quiet arc とオンセットの關係は、SuperDARN でも研究されている。オンセット点は quiet arc の分布と密接に關係することや、quiet arc にはシアーが伴うことなどが分かっている。また衛星觀測では、多重 quiet arc に対する粒子降下の様相などが觀測されている。これらをよく見て、その結果の合わせる必要があるであろう。しかし一般には、サブストームでは磁気圏觀測衛星による研究とそれを運用する機關が主役であり、それ以外の存在は取るに足らないおまけであり、考慮する価値はないと思われているようである。

### 計算手法 (Computational Aspects):

REPPU コードは、ハイブリッド並列化した、高精度 M-I 結合系 MHD シミュレーションである。球面格子は 1 2 面体分割 3 角格子であり、始めの分割でできたもの (6 0 三角) をレベル 1、その後 1 つの 3 角形を 4 つに分割したものをレベル 2 というふうに呼んでいる。3 次元格子は球を半径方向に重ね合わせる。ただし球の中心を順次ずらし、内側は球座標、反太陽方向の外側は円柱座標に漸近させる。

### 研究成果 (Accomplishments) :

サブストームに關与する quiet arc とオンセットアーク、北向き IMF で觀察される、sun-aligned arc、fan arc、テーターオーロラは、全てアークである。アークはそれぞれの発生条件も、明るさにも大きな幅があるが、それなのになぜ同じアークなのか。その理由は、アークは上向き FAC の可視化ということである。今年度には、FAC とは磁気圏から電離圏への対流の伝達であり、アークの違いは、伝達する対流のトポロジーの違いの反映である、との結果を得た。

アークは上向き FAC の可視化であることは、当たり前であろうか。一般に流通している論文を読んだ感想として、たいていはアークは粒子落下、粒子加速であるという通念にこだわり、すぐには FAC とは理解しないであろうと予想していた。しかし、JGR のレビューワーの一人は、当たり前であると断言した。世界（米国）も一枚岩ではなく、多種の人種が混在しており、中には達人もいると感じた。世界から日本に伝来する際に、多数意見が平凡性のフィルターを通し、主流として再流通する仕組みがあるのかもしれない。

サブストームオンセットを特別扱いし、これぞ MHD の破れであると主張するのは、古来よりの常道である。オンセットアークは確かに異常である。これだと、CW、粒子効果など、自然に湧き出てくる。オーロラは粒子落下であり、粒子加速の結果となるのは自然である。このような既存路線ができると、それに逆行するのは極めて難しいようである。複合系では決定的な証明は難しいという困難は、この場合も当てはまる。これらに対し、グローバルシミュレーションの解では、サブストームは MHD であり、トポロジーと対流の変動である。これにより HD (Harang discontinuity) の成長と崩壊も自然に理解できる。

## (論文)

- [1]Tanaka, T., Y. Ebihara, M. Watanabe, S. Fujita, N. Nishitani, and R. Kataoka (2022). Interpretation of the theta aurora based on the null-separator structure, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 127, 2022JA030332.
- [2]Tanaka, T., Y. Ebihara, M. Watanabe, S. Fujita, N. Nishitani, and R. Kataoka (2022). Unified theory of the arc auroras: formation mechanism of the arc auroras conforming general principles of convection and FAC generation, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 127, 2022JA030403.

(別紙様式 7 - 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3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数値積分法を開発した。さらに、電流密度更新においてマルチカラーオーダーリングに基づくループのタイル化を行うことによってリダクション演算を回避し、メニーコアプロセッサにおいて高いスケーラビリティを実現した。

## 成果発表

論文

- Umeda, T., Multicolor reordering for computing moments in particle-in-cell plasma simulations, Computer Physics Communications, Vol.281, 108499 (6pp.), 2022. <https://doi.org/10.1016/j.cpc.2022.108499>
- Umeda, T., A new integrator for relativistic E-cross-B motion of charged particles, Journal of Computational Physics, Vol.472, 1111694 (17pp.), 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2022.1111694>
- Sekido, H., and T. Umeda, Relaxation of the Courant condition in the explicit finite-difference time-domain method with higher-degree differential terms, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol.71, No.2, pp.1630-1639, 2023. <https://doi.org/10.1109/TAP.2023.3234097>

学会発表

- 梅田 隆行, Performance measurement and tuning of plasma kinetic simulation codes on recent scalar CPUs, Japan Geoscience Union Meeting 2022, 幕張メッセ (ハイブリッド), 2022年5月30日.
- 池羽 良太, 梅田 隆行, 三好 由純, Computer simulation on the structure of double layer in the auroral

acceleration region, Japan Geoscience Union Meeting 2022, 幕張メッセ (ハイブリッド), 2022年5月30日.

- 関戸 晴宇, 梅田 隆行, 三好 由純, Reduction of numerical dispersion in the explicit finite-difference time-domain method with higher-order differential terms, Japan Geoscience Union Meeting 2022, 幕張メッセ, 2022年5月22日.
- Sekido, H., T. Umeda, and Y. Miyoshi, Reduction of numerical dispersion in the explicit finite-difference time-domain method with higher-order differential terms, 2022 URSI-Japan Radio Science Meeting, Tokyo, Japan, September 1, 2022.
- Sekido, H., T. Umeda, and Y. Miyoshi, Reduction of numerical dispersion in the explicit finite-difference time-domain method with higher-order differential terms, The 14th International School for Space Simulations, Online, September 14, 2022.
- Ikeba, R., T. Umeda, and Y. Miyoshi, Computer simulation on the structure of double layer in the auroral acceleration region, The 14th International School for Space Simulations, Online, September 14, 2022.
- 梅田 隆行, Multicolor reordering for computing moments in particle-in-cell plasma simulations, 第152回地球電磁気・地球惑星圏学会の総会および講演会, 相模原産業会館, 2022年11月6日.
- 池羽 良太, 梅田 隆行, 三好 由純, オーロラ加速領域における電界構造の計算機シミュレーション, 第152回地球電磁気・地球惑星圏学会の総会および講演会, 相模原産業会館, 2022年11月6日.
- 関戸 晴宇, 梅田 隆行, 三好 由純, 高階微分項を用いた陽的FDTD法のクーラン条件の緩和, 第152回地球電磁気・地球惑星圏学会の総会および講演会, 相模原産業会館, 2022年11月6日.
- 梅田 隆行, マルチカラー法によるプラズマ粒子コードのスレッド並列化, 第187回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会, 沖縄産業振興センター, 2022年12月2日.
- 梅田 隆行, ループ分割によるA64FXにおけるプラズマ粒子コードの性能チューニング, 第188回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会, 北海道大学, 2023年3月16日.

(別紙様式07-2)

プラズマ波動による放射線帯電子の散乱に関するシミュレーション研究  
Simulation study for scattering of radiation belt electrons by waves in plasmas

齊藤慎司、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。本研究では、テスト粒子シミュレーションを用いて、whistler mode 波動による非線形散乱過程が、放射線帯全体に及ぼす影響について研究を行う。

栗田らによる観測的な研究<sup>1)</sup>により、upper-band whistler mode chorus (LBC)が 24 keV – 25 keV の放射線帯電子を生成し、電子フラックスを短時間で増加させている現場が捉えられた。さらにここで観測された電子加速は数十 ms 以下の高速な変動を持つことが SV Step (時間分解能 15ms) による詳細な解析により明らかになってきている。この観測によると、24 keV – 25 keV において、1 秒程度の平均的なフラックス変化は比較的緩やかに増加しているように見える一方で、数十 ms 程度の時間分解能で観測すると、大きなフラックス変動が含まれていることがわかってきた。これは時間分解能を上げたことによる SN の低下では説明が出来ないことがわかっており、UBC による加速が高速なフラックス変動の原因になっていることを示唆している。本研究ではこの観測をシミュレーションによって再現することによって、UBC によってどのような電子散乱が起きているのかを調べる。

【研究方法】

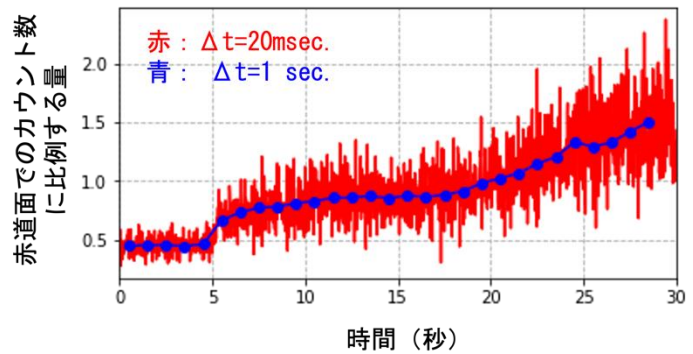
GEMSIS プロジェクトのもとで開発された1次元テスト粒子モデルである GEMSIS-RBW<sup>2)</sup>を用いて、UBC によって放射線帯電子がどのような散乱を受けるのかを調べる。あらせ衛星によって観測された UBC を含んだ周波数スペクトルの時系列変化を入力として与え、この周波数と波動強度を持った whistler mode 波動を赤道面から伝搬させる。背景の磁場強度およびプラズマ密度はあらせ衛星による観測値から見積もられている。ここで磁力線方向の磁場強度は、赤道面磁場強度を 170nT とした地球ダイポール磁場を仮定している。このような背景の中を伝搬する whistler mode 波動によって散乱された電子がどのように加速されるのかを多数のテスト粒子を用いて調べる。本計算はこれまで宇宙地球環境研究所に設置されているクラスター計算機 (GCL) によって計算がされてきたが、現在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) へ移行を完了し観測実証のための数値実験を開始している。

【結果】

図1の赤線は、GEMSIS-RBW によって計算された、赤道面における 24 keV – 25 keV のエネルギーを持つ電子のカウント数に比例する量の時系列変化を示している。ここで時間分解能は 20ms としている。また、青線は、赤線で示されている値を1秒間で平均した量を示している。この図を見ると、約5秒後から1秒平均値が増えているのがわかる。この時間は UBC バーストが赤道付近から伝搬し始めて



いる時間に相当しており (Kurita+2018 参照<sup>1)</sup>)、UBC による電子加速により高エネルギー電子数が増加していることを示している (Saito+2021 参照<sup>3)</sup>)。赤線で示される時系列変化を見ると、この増加に伴い平均値からの振れ幅がカウント数の増加に伴い広がっているのが確認出来る。この結果は 2022 年の SGEPPSS 秋学会で示された栗田らの解析結果と同じ傾向を示しており、観測時と同じような電子散乱機構が再現されていることを示唆している。



また、カウント数の時間的なばらつきをポアソン分布のばらつきと比較すると、カウント数が大きくなるほどポアソン分布よりも広い分布となる傾向があることがわかった。現在このばらつきの変化がなぜ起きているのかをより詳細なデータ解析を行うことによって明らかにしようとしている。また今後、テスト粒子数を増やすことでこの傾向に何らかの変化が現れるのかを検証する必要があるため、次年度以降はテスト粒子数を増やした計算を実施する予定である。

#### 【まとめ】

本研究ではあらせ観測によって観測された UBC による電子の加速機構について、GEMSIS-RBW によるシミュレーションを用いて数値的な実証実験を行なっている。あらせ観測において UBC による電子加速が起きる際に非常に短い時間変化が含まれることが発見されており、数値実験においても同様な傾向が見られることを確認した。今後、より詳細なデータ解析を多数のテスト粒子を用いることで実施し、どのようにして高速なカウント数の変調が現れるのかについて、非線形加速プロセスの寄与を視野に入れ、この電子加速機構を明らかにする。

#### 【引用文献】

1. Kurita, S., Miyoshi, Y., Kasahara, S., Yokota, S., Kasahara, Y., Matsuda, S., et al. (2018). Deformation of Electron Pitch Angle Distributions Caused by Upper Band Chorus Observed by the Arase Satellite. *Geophysical Research Letters*, 45(16), 7996–8004. <https://doi.org/10.1029/2018GL079104>
2. Saito, S., Miyoshi, Y., & Seki, K. (2012). Relativistic electron microbursts associated with whistler chorus rising tone elements: GEMSIS-RBW simulations. *Journal of Geophysical Research: Space Physics* (1978–2012), 117(A10), n/a–n/a. <https://doi.org/10.1029/2012JA018020>
3. Saito, S., Kurita, S., Miyoshi, Y., Kasahara, S., Yokota, S., Keika, K., et al. (2021). Data-Driven Simulation of Rapid Flux Enhancement of Energetic Electrons With an Upper-Band Whistler Burst. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 126(4). <https://doi.org/10.1029/2020ja028979>

#### 【成果発表】

1. S. Saito, S. Kurita, Y. Miyoshi, Y. Katoh, and S. Matsuda, High temporal variation in the electron fluxes during the flux burst event: Test-particle simulation, SGEPPSS 2022 Fall Meeting, Sagami-hara, Kanagawa, Japan, 7th Nov. 2022.

## 2022年度 08)データベース作成共同研究 目次詳細

3 件

\*所属・職名は2023年3月現在

\*Affiliation and Department displayed are current as of March 2023.

(注1): 新型コロナウイルスの影響で中止 / Cancelled due to COVID-19

(注2): 中止 / Cancelled

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	294	
阿部 修司	九州大学	国際宇宙天気科学・教育センター	学術研究員	MAGDAS/CPMNデータのデータベース化	296	
下条 圭美	自然科学研究機構 国立天文台	アルマプロジェクト	准教授	豊川太陽電波強度偏波計データベース	297	

(別紙様式 8-2)

アナログ時代に遡る高時間分解能地磁気デジタルデータベース  
Database of high-time-resolution geomagnetic field back to the analog era

山崎貴之 気象庁地磁気観測所技術課

## 1. 目的

現在、地球電磁気学・宇宙空間物理学の分野で広く使われているデジタル収録のデータはそのほとんどが1970年代以降のものであり、それ以前は紙媒体によるアナログデータである。気象庁地磁気観測所には、アナログマグネトグラムと呼ばれる地磁気の変動を印画紙に記録したデータが保管されており、国際地球観測年（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

2022年度は、女満別の1963～1964年と鹿屋の1964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1,138枚の高精度スキャニング作業（光学解像度600dpi）を外注した。得られたデジタル画像は、既に稼働しているWWWサーバ（地磁気観測所ホームページ「デジタルデータサービス」）から提供している。デジタル画像の例を図1に示す。

なお、デジタル画像からの数値化（毎分値、7.5秒値）も進めており、順次公開している。今年度からは、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2022年度にかけて、本共同研究（名古屋大学太陽地球環境研究所の共同研究を含む）に加え、科研費補助金や気象庁予算を用いて、アナログマグネトグラムのデジタル化を進めてきた（図2）。地磁気観測データの利活用に当たっては太陽活動の周期と比べて長期間のデータがあると有用性が高まるため、今後もデータベース作成を着実に進めていきたいと考えている。

## 4. 成果発表

○谷口秀隆、地磁気観測成果のデータベース化、令和4年度「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）」成果報告シンポジウム、オンライン開催、令和5年3月8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。

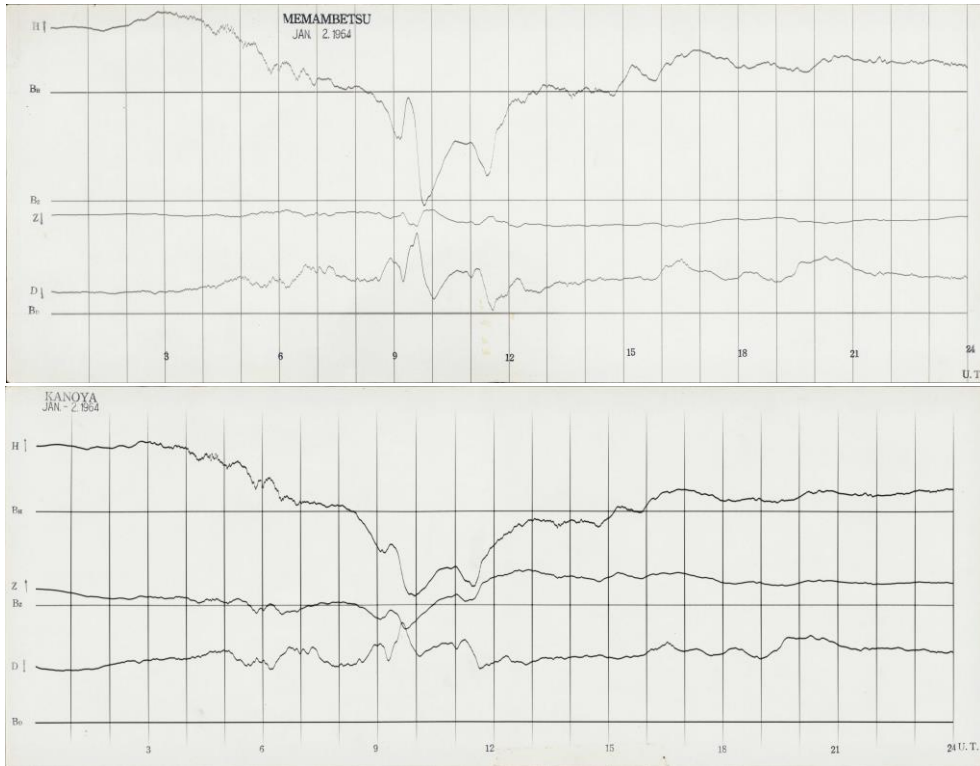


図1 デジタル画像化されたアナログマグネトグラム（上：女満別、下：鹿屋）  
水平成分(H)、鉛直成分(Z)、偏角(D)の変化が記録されている。日時はUTC。

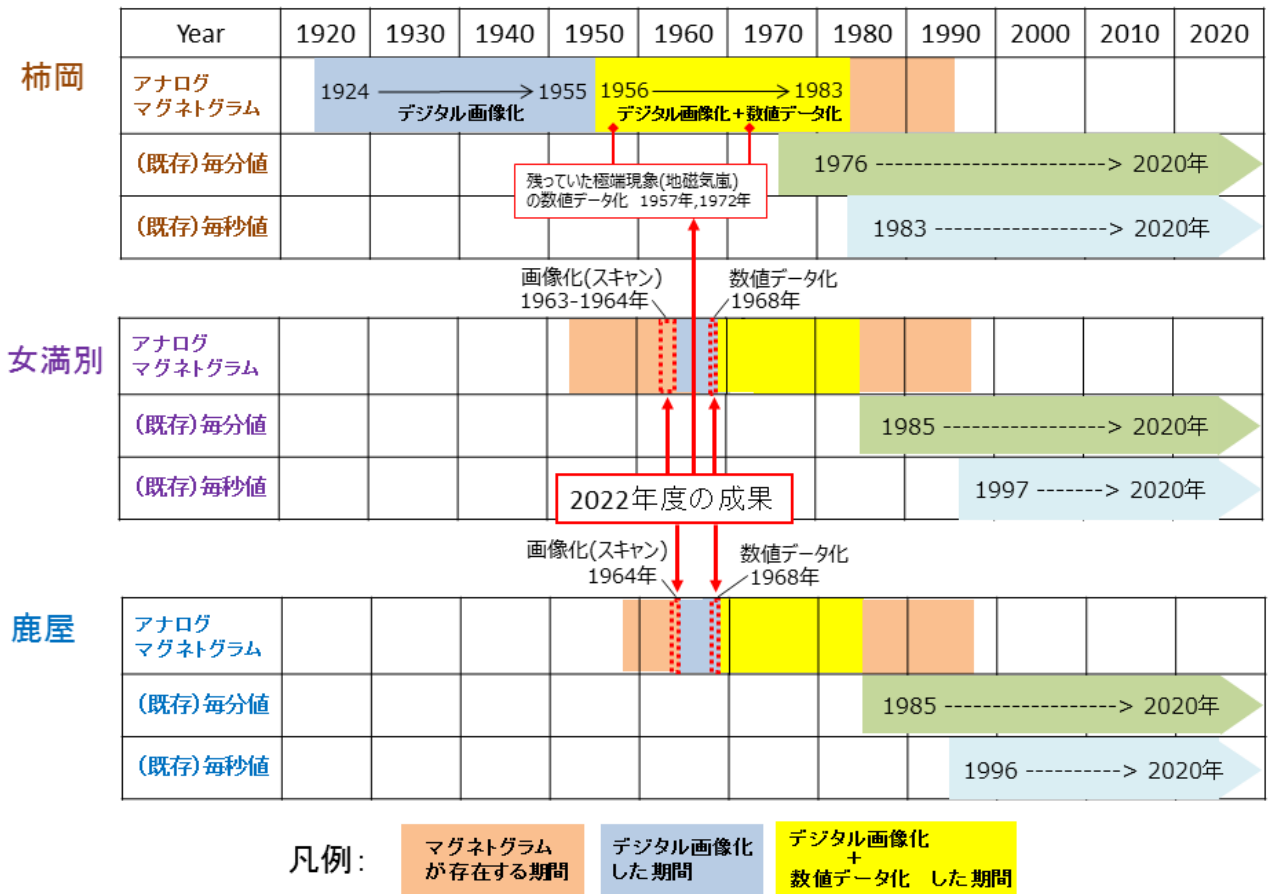


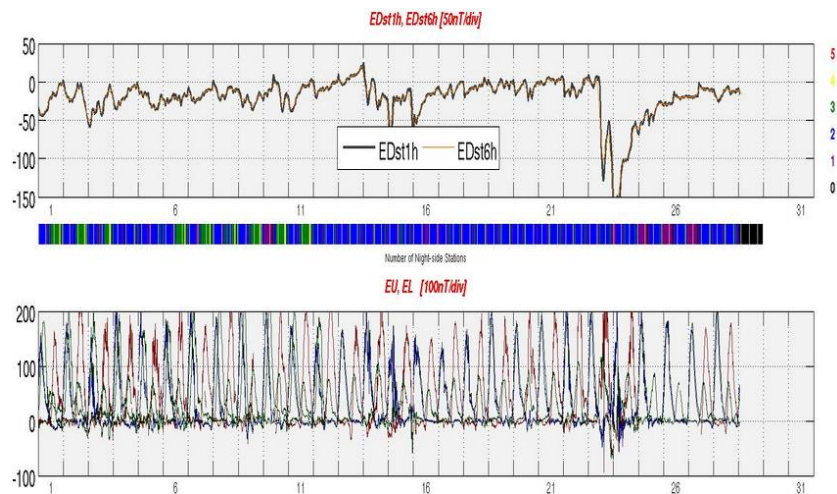
図2 2022年度までに実施されたアナログマグネトグラムのデジタル化作業のまとめ  
デジタル画像及び数値化（毎分値、7.5秒値）したデータは全て公開している。

(別紙様式 8-2)

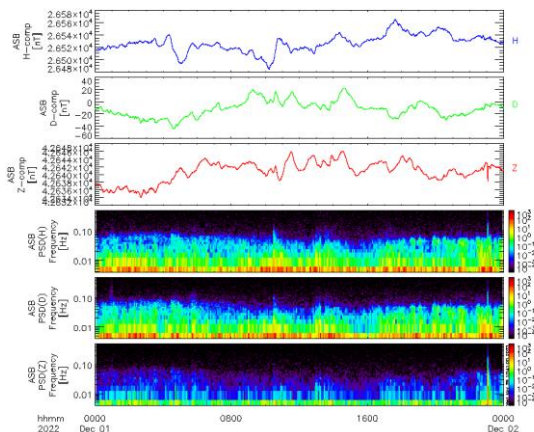
MAGDAS/CPMNデータのデータベース化  
MAGDAS/CPMN Database

阿部修司、九州大学・国際宇宙惑星環境研究センター

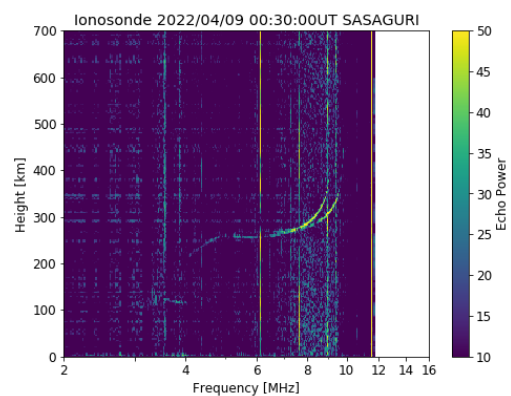
データベース作成共同研究において、九州大学にて運用しているMAGDAS/CPMN地磁気ネットワーク観測のデータベースを作成・更新した。データベース作成のため、MAGDAS/CPMN地磁気ネットワークの地磁気3成分1秒、1分値に対し、絶対値校正と温度補正及びIAGA-2002データ交換形式への変換をおこなった。登録した磁場データを、SPEDAS (Space Physics Environment Data Analysis System) に含まれるプログラムからダウンロードして利用することができるようにした。大学間連携プロジェクト「超高層大気長期変動の全球地上ネットワーク観測・研究 (IUGONET)」が提案する形式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。最新フラックスゲート磁力計で記録している10Hzサンプリングデータ、インダクション磁力計データについてデータベース化をおこなった。日本篠栗観測点及びロシアパラツンカ観測点で取得したイオノグラムデータの効率的データベース化に係るパラメータ自動処理の研究を進めた。日本久住観測点に設置しているインダクション磁力計データの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、ウェブ解析インターフェースの開発、及びProxy PC indexの開発を進めた。



処理データの例：EE-index(2023年3月)



処理データの例：フラックスゲート磁力計地磁気3成分変動(2022年12月1日、芦別)



処理データの例：FW-CW レーダーイオノグラム(2022年4月9日、篠栗)

(別紙様式 8-2)

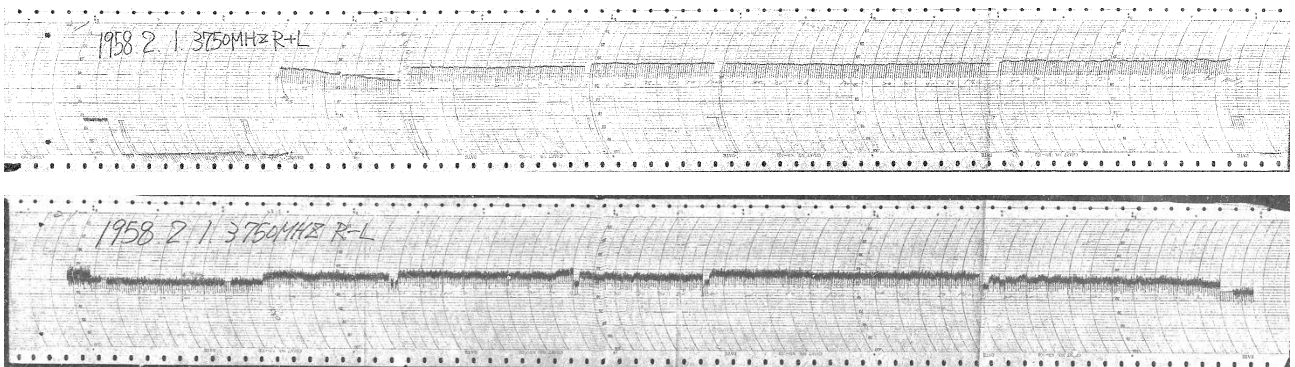
豊川太陽電波偏波計データベース  
Database of Toyokawa Radio Polarimeters

下条圭美、自然科学研究機構 国立天文台・アルマプロジェクト

名古屋大学空電研究所(豊川市)では1951年より太陽マイクロ波観測が開始され、1958年から1, 2, 3.7 5, 9.4 GHzのマイクロ波多周波強度・円偏波データが蓄積されていた。1994年にアンテナを国立天文台野辺山キャンパスに移設した後も国立天文台が観測を継続し、全観測期間が70年、太陽周期6周期分を超える太陽マイクロ波強度・偏波データが蓄積されている。野辺山にアンテナが移設される際、1958年から1978年までの強度・円偏波の時系列プロットを記録したマイクロフィルムも野辺山に搬送された。

2021年度、国立天文台野辺山キャンパスから名古屋大学へマイクロフィルムおよびプロット紙を輸送し、同年度のISEE所長リーダーシップ経費等を用いてマイクロフィルムの画像ファイル作成を終了した。今年度は、本データベース作成共同研究により、プロット紙のデジタル化、およびマイクロフィルムから作成した画像データのデータベース化を行った。ただし、プロット紙に記録されたデータは、観測装置のテストデータや、観測データであっても科学的価値のあるデータとして保存するためには情報が足りないことがわかり、デジタルデータによる保存を諦めた。一方、これら豊川・野辺山電波強度偏波計によって蓄積されたデータの諸元や観測装置の変遷を記した論文を出版したほか(下条・岩井 2023)、豊川電波強度偏波計のデータを利用して1950年代に発生した太陽フレアの軟X線最大強度および強度の時間変化の推定を行った。この推定結果を基に、現在研究チームで論文を執筆中である

マイクロフィルムから生成した画像ファイルのデータベース化はほぼ終了しており、いくつかのチェックと上記の成果論文の出版後に公開する予定である。画像データは、観測年のディレクトリー下に日・観測周波数・Stokes-I(R+L)/V(R-L)毎のファイルとして蓄積されており、検索システムがなくとも必要な日時のみで容易にデータが取得できるようになっている。公開後は、これらのデータが過去の太陽活動を探る重要な基礎資料になるであろう。



本データベース内で最古のデータである1958年2月1日の3.75 GHz 強度および偏波データ。

上図 : Stokes-I (R+L) 下図 : Stokes-V (R-L)



## 2022年度 09)加速器質量分析装置等利用(共同利用) 目次詳細

9 件

\*所属・職名は2023年3月現在

\*Affiliation and Department displayed are current as of March 2023.

(注1): 新型コロナウイルスの影響で中止/Cancelled due to COVID-19

(注2): 中止/Cancelled

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	ふじのくに地球 環境史ミュージアム	学芸課	准教授	古代DNAによる先史時代の日本の生物多 様性の解明のための年代測定	298	
安藤 徹哉	琉球大学	工学部	教授	トラジャ伝統家屋(木造)およびアフガニスタ ン城壁(土塁)の年代測定	299	
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	300	
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の放射性炭素年 代値の高精度解析	301	
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	302	
吉田 英一	名古屋大学	博物館	教授	名古屋港から採取した海成生物コンクリー ションの形成メカニズムの解明	303	
谷水 雅治	関西学院大学	生命環境学部	教授	$^{14}\text{C}$ 同位体指標用いた海藻生息域の海流季 節変化の把握	304	
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	305	
相木 秀則	名古屋大学	宇宙地球環境研究 所	准教授	愛知県大府市石丸遺跡発掘調査の試料分 析	306	



(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:	2023年2月10日		
代表者氏名:	岸田 拓士		
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:	古代DNAによる先史時代の日本の生物多様性の解明のための年代測定		
英文:	Radiocarbon dating for understanding the genetic diversity of animals in pre-historic Japan based on the ancient DNA		
2. 研究体制			
氏名	所属機関	国	職名
岸田 拓士	ふじのくに地球環境史ミュージアム	日本	准教授
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
浪形 早季子	横浜市ふるさと歴史財団	日本	調査員
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)			
神奈川県横浜市金沢区に位置し、縄文中期から後期にかけての大規模な先史時代捕鯨の痕が残る称名寺貝塚から出土した海棲哺乳類・爬虫類の年代測定を行った。測定したほぼ全てのサンプルが3000～5000年前の年代を示した。この年代は遺跡の年代と一致している。また、分析サンプルのおよそ80%は4000年以上前の年代を示した。4000年前以降は、縄文海進が終了して東京湾が狭くなり、海産物の量が減少したと推定されているが、それを裏付けるデータが得られた。			
4. 成果論文リスト(著者名、タイトル、雑誌名、巻号、ページまたはDoi、年、順番は入れ替え可)			
5. 学会発表リスト(著者名、タイトル、学会名、開催場所、年月日)			
岸田拓士. 縄文時代の鯨骨DNAに探る先史時代の鯨類の遺伝的多様性. 日本進化学会第24回沼津大会, 沼津, 2022年8月.			
6. その他の成果リスト(著書、特許等)			
岸田拓士 (2023) 古代DNAで探る縄文時代の鯨類の遺伝的多様性. In: 博物館標本の生態学(仮題), 文一総合出版, 2023年12月刊行予定.			

(別紙様式9-1) 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	2023年1月10日		
代表者氏名	安藤徹哉□		
所属機関	琉球大学□		
部局	工学部		
職名			
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:	トラジャ伝統住宅の年代測定		
英文:	Dating of traditional Toraja houses		
2. 研究体制			
氏名	所属機関	国	職名
安藤徹哉	琉球大学	工学部	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(200字程度でまとめてください)			
<p>スラウェシ島に位置するオロブア集落のトラジャ伝統住宅の部材(木材)を基礎、躯体、屋根架構に分けて採取し、その放射性炭素年代測定を行なうことにより、当初の建設年代とその後の改築過程を明らかにすることができた。トラジャ伝統住宅の部材(木材)の年代測定をすることにより、建設年代とその後の改築の過程を明らかにすることができた。今後、研究成果をまとめる予定である。</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)			
6. その他の成果リスト(著書、特許等)			

<b>(別紙様式9-1) 2022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</b>			
報告年月日	2023年2月10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			
<b>1. 研究課題名</b>			
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		
<b>2. 研究体制</b>			
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	日本	教授
<b>3. 研究成果の概要(400字程度でまとめてください)</b>			
<p>水試料の無機炭素濃度や炭素同位体組成の分析では、試料中の微生物の活動により値が変化してしまうことが問題となる。淡水の炭素安定同位体分析における処理として、塩化ベンザルコニウムの添加とろ過処理が異なる既存研究により提案されていることから、この2つの処理について、水試料の無機炭素の放射性炭素濃度分析に与える影響を検討した。</p> <p>ろ過処理では、孔径0.2μmのPTFEとPES素材のフィルターについて検証したが、どちらも生物活動を抑制できるものの、影響を排除することはできなかった。</p> <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かったが、淡水試料では排除できた。塩化ベンザルコニウム溶液は、大気中の二酸化炭素からの汚染の影響を受けることがわかり、溶液の使用回数を制限する等の注意が必要であることがわかった。試料水の放射性炭素や無機炭素濃度と許容できる使用回数との関係を示すことができ、手法としての実用性を示すことができた。</p>			
<b>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)</b>			
Takahashi & Minami (2022) Assessment of the influence of benzalkonium chloride addition on radiocarbon analysis of dissolved inorganic carbon. Limnol. Oceanogr.: Methods 20, 605-617.			
<b>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)</b>			
高橋浩・南雅代、溶存無機炭素の放射性炭素分析に及ぼす塩化ベンザルコニウム添加の影響評価、日本質量分析学会同位体比部会、起雲閣(静岡県熱海市)、2022年12月12日~13日			
<b>6. その他の成果リスト(著書、特許等)</b>			

(別紙様式9-1) 2022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	2023年3月31日		
代表者氏名	中西利典		
所属機関	ふじのくに地球環境史ミュージアム		
部局	学芸課		
職名	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の放射性炭素年代値の高精度解析		
英文:	High resolution analysis of the radiocarbon 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	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>多様な堆積環境下で再堆積の影響を検討するために、鹿児島県薩摩湖および永野、静岡県浜名湖で採取された沖積層ボーリングコアを選定した。薩摩湖SAT1コアで4試料、SAT2コア5試料、永野NGN3コアで4試料、浜名湖18Hm8コアで7試料の植物片と貝化石をふじのくに地球環境史ミュージアムで抽出・選定した。先述の合計20試料を北川研究室で試料調整をして、名古屋大学宇宙地球環境研究センターの加速器質量分析装置を用いて放射性炭素年代測定を実施している。</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)			
中西利典・北川浩之・山田和芳, 尾鉦堆積物に含まれる木片の放射性炭素年代, 第32回社会地質学会シンポジウム論文集, p.125-126, 2022年11月(査読無)			
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・北川浩之・山田和芳, 尾鉦堆積物に含まれる木片の放射性炭素年代, 第32回社会地質学会シンポジウム, オンライン, 2022年11月			
6. その他の成果リスト(著書、特許等)			

(別紙様式9-1) 2022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	2023年3月29日		
代表者氏名	くぼた かおる 窪田薫		
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
	窪田薫	海洋研究開発機構	日本
	南雅代	名古屋大学	日本
	白井厚太郎	東京大学	日本
	大串健一	神戸大学	日本
3. 研究成果の概要(400字程度でまとめてください)			
地球温暖化に伴う北海道沿岸部の将来の生態系変化の正確な予測に繋げるため、比較的最近の地質学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～道東)の縄文海進時に湾化した地域で得た打ち上げ貝及びトコロチャシ跡(常呂町)の貝塚で得た試料の14C年代測定を行った。その結果、多くがごく最近(1950年以降)のものであるが(例えば、稚内・常呂・藻琴)、最も古いもので約7,000年前のものが含まれていることが分かった。次年度にさらなるサンプリングを行うことで、古環境解析に有用な試料探しをする予定である。また、予想に反して、寒冷期(西暦1600年頃)の試料が浜頓別から網走にかけて複数得られたため(N = 8)、温暖期との比較という意味で、これらの試料についても分析することを検討している。			
4. 成果論文リスト(著者名、タイトル、雑誌名、巻号、ページまたはDoi、年、順番は入れ替え可)			
Kubota, K., Sakai, K., Ohkushi, K., Higuchi, T., Shirai, K., Minami, M. Salinity, oxygen isotope, hydrogen isotope, and radiocarbon of coastal seawater of North Japan. <i>Geochemical Journal "Data"</i> 56, 240-249 (2023).			
窪田薫. 長寿二枚貝ビノスガイの殻の地球化学分析を通じた古環境復元～海流から津波まで～ (Paleoenvironmental reconstruction through geochemical analysis of long-lived bivalve shells ( <i>Mercenaria stimpsoni</i> )). <i>化石</i> 111, 5-16 (2022).			
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)			
三木志緒乃, 窪田 薫, 棚部一成, 白井厚太郎. 北海道網走湾の現生ビノスガイの貝殻成長線の数十年規模気候変動との応答. 古気候研究におけるプロキシとモデルの融合: 温暖期の気候変動(東京大学大気海洋研究所, 柏, 2023.3.2). Poster.			
Shirai, K., Kubota, K., Murakami-Sugihar, N., Miki, S. Reconstruction of past climate and its effects on environment, ecology, and ecosystem using long-lived bivalve shell. Australasian Quaternary Association (AQUA) Conference (The University of Adelaide, 2022.12.6-8). Oral.			
三木志緒乃, 窪田 薫, 白井厚太郎, 中島 礼, 棚部一成. 長寿二枚貝ビノスガイの貝殻成長線解析と酸素同位体比分析による高時間解像度古気候復元. 2022年度地球環境史学会年会(東京大学大気海洋研究所, 柏, 2022.11.4-5). 口頭.			
Kubota, K., Shirai, K., Murakami-Sugihara, N., Seike, K., M., Tanabe, K., Minami, M., Nakamura, T. Paleoenvironmental reconstruction through geochemical analysis of long-lived bivalve shells ( <i>Mercenaria stimpsoni</i> ). <i>JpGU2022</i> (幕張メッセ/オンライン, 2022.6.2). Poster.			
三木志緒乃, 窪田 薫, 白井厚太郎, 中島 礼, 棚部一成. 中～後期更新世温暖期, MIS 5・7・9 の長寿二枚貝ビノスガイの化石の貝殻の成長線パターンと酸素同位体比. <i>JpGU2022</i> (幕張メッセ/オンライン, 2022.6.2). 口頭.			
6. その他の成果リスト(著書、特許等)			
岡崎裕典, 窪田 薫, 土屋正史, 野牧秀隆. [コラム]環境汚染を記録する生物たち. 古生物の百科辞典(西弘嗣編, 2023年).			

(別紙様式9-1) 2022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	2023.3.30		
代表者氏名	吉田 英一		
所属機関	名古屋大学		
部局	博物館		
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:	名古屋港から採取した海成生物コンクリーションの形成メカニズムの解明		
英文:	Understanding the formation process of sea-animal concretions from Nagoya port		
2. 研究体制			
氏名	所属機関	国	職名
吉田英一	名古屋大学	日本	教授
隈 隆成	名古屋大学	日本	研究機関研究員
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>(球状)コンクリーションは、生物起源の炭素と海水起源のカルシウムイオンとの反応で、急速に形成されることが分かってきた。その急速に形成される実際の事例として、名古屋港から発見・採取された海成生物コンクリーションの形成メカニズムを理解することは、急速に形成されることの実証となる。分析の結果、名古屋港から採取されたコンクリーションは、コンクリーションに内包された生物の炭素を起源としていることが明らかになり、コンクリーションが内包されている生物殻のC14年代とほぼ同年代を示すことから、コンクリーション形成速度が速いことが示された。このような研究アプローチは、加速器による精度の高いC14年代が測定されることによって初めて可能になったものである。</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)			
南 雅代・隈 隆成・浅井沙紀・高橋 浩・吉田英一 (2022) 名古屋港で採集された完新世炭酸塩コンクリーションの14C年代測定. 地質学雑誌, 128, 239-244.			
吉田英一(2023)球状コンクリーションの理解と応用. 地質学雑誌. 129, 1-16.			
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)			
隈 隆成・西本昌司・村宮悠介・吉田英一: 秋田県男鹿半島に見られる巨大ドロマイトコンクリーション. 第34回(2022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, オンライン, 2023年2月24日.			
6. その他の成果リスト(著書、特許等)			

(別紙様式9-1) 2022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	2023年3月29日		
代表者氏名	たにみずまきはる 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	日本	教授
伊藤 茜	関西学院大学	日本	助教
森本 貴裕	関西学院大学	日本	大学院生
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>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進めている。水銀が葉体中に取り込まれる過程を把握するために、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に加えて、道東産の昆布の14C量を測定した。その結果、初春に生長した先端から初夏に生長した根元にかけて、両地域の昆布の値にわずかな違いがある傾向が認められた。道東では寒流の影響が強く、道北の西側では暖流の影響が強いことと、寒流系の海流のほうが海洋の14Cリザーバー効果が大きいため見かけ上古い年代を示すため、と解釈された。</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)			
福山寛伍・谷水雅治・伊藤茜・南雅代、昆布中水銀濃度の季節変動と海洋環境評価指標生物としての可能性、第70回質量分析総合討論会、福岡国際会議場、2022年6月23日			
6. その他の成果リスト(著書、特許等)			
野津亜莉紗、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、関西学院大学理工学部環境・応用化学科卒業論文、2023年3月			



(別紙様式9-1) 2022年度名古屋大学宇宙地球環境研究所「加速器質量分析装置等利用(共同利用)」報告書			
報告年月日			
代表者氏名	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
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>バイオマス燃焼粒子の越境汚染が原因と考えられる3つのPM2.5高濃度事例(①2014年7月下旬、②2018年4月下旬、③2019年2月下旬から3月上旬)について、札幌等で捕集したフィルタ試料を用いて炭素同位体(<math>^{14}\text{C}</math>、<math>\delta^{13}\text{C}</math>)を分析した。札幌において、各事例でPM2.5が最も高濃度な試料の<math>^{14}\text{C}</math>濃度は95 pMCを超えるなど高濃度であった。同試料においては、バイオマス燃焼の指標であるレボグルコサンが高濃度であることと合わせると、バイオマス燃焼が主要なPM2.5の高濃度要因であることが示唆される。また、③における<math>\delta^{13}\text{C}</math>は過去の大気粒子中<math>\delta^{13}\text{C}</math>の報告(-27‰~-23‰)と比べても大きい値を示した。特にC4植物の燃焼粒子については、既存の大気粒子の報告より<math>\delta^{13}\text{C}</math>が大きい(-19.3‰~-16.1‰)ことが報告されており、③はトウモロコシなどのC4植物燃焼のBB越境により引き起こされたと推察される。</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)			
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)			
池盛文数・南雅代・中村俊夫・北川浩之・高橋浩・浦西克維・秋山雅行・芥川智子・大塚英幸・逸見祐樹・吉田勤・菅田誠治: 炭素同位体と有機トレーサー成分を用いたバイオマス燃焼粒子の越境輸送によるPM2.5高濃度イベント解析. 第63回 大気環境学会年会, 堺市, 2022年9月14-16日.			
池盛文数・南雅代・中村俊夫・北川浩之・高橋浩・浦西克維・秋山雅行・芥川智子・大塚英幸・逸見祐樹・吉田勤・菅田誠治: 炭素同位体と有機トレーサー成分を用いたバイオマス燃焼粒子の越境輸送の考察. 第34回(2022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, オンライン, 2023年2月24日.			
6. その他の成果リスト(著書、特許等)			

(別紙様式9-1) 2022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	2023年3月30日		
代表者氏名	相木秀則		
所属機関	名古屋大学		
部局	宇宙地球環境研究所		
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:	愛知県大府市石丸遺跡発掘調査の試料分析		
英文:	Sample analysis for excavation of Ishimaru Site, Obu City, Aichi Prefecture, Japan		
2. 研究体制			
氏名	所属機関	国	職名
相木秀則	名古屋大学	日本	准教授
3. 研究成果の概要(400字程度でまとめてください)			
<p>本研究では愛知県知多湾の再奥部に位置する衣ヶ浦湾に注ぐ境川・逢妻川によって作られた堆積平野における人間活動の歴史を知るための試料解析を行った。試料を採取した大府市の北崎地区の住宅地の一角は石丸遺跡と呼ばれ、羽衣湾に注ぐ境川の右岸に位置する。石丸遺跡は、古くは縄文・弥生時代にまで溯り、続く古墳時代後期から江戸時代に至るまでは、ほぼ途切れることなく集落が営まれてきた。一方で、石丸遺跡の300mほど北に位置する賢聖院貝塚では、ハイガイ、シジミなどの貝層とともに、戦国時代の土師器内耳鍋や天目茶碗などが採集されている。本研究で解析した石丸遺跡の試料は、大府市歴史民俗資料館が、宅地開発のための事前調査として、北崎町城畑地内において発掘調査を行ったものである。令和3年4月15日から8月初旬の調査によって、建物跡と思われる柱跡、掘、溝、井戸、土坑が多数見つかリ、この遺跡の一部に井戸廃棄後に食物残滓を捨てた廃棄層と思われるものとしてオキシジミ・マガキなどの貝殻類が多量に含まれていた。この貝殻を試料1として、比較のために既に賢聖院貝塚から採取されていた貝殻を試料2として両者のC14年代測定結果を比較した。試料1はIntCal20で較正すると1039-1264 cal ADであり、これは石丸遺跡の300mほど南に位置する藤井神社が源頼朝より勧請された建久2年(1191年)の前後である。である。試料2はIntCal20で較正すると1296-1438 cal ADであり、試料1より170年ほど後であり、賢聖院が開創された永禄7年(1564年)より200年ほど前である。石丸遺跡の試料1が鎌倉時代、賢聖院貝塚の試料2が南北朝～室町時代という結果は、今後、遺跡から出土した木片などの年代測定を通して精査する必要があるが、旧衣ヶ浦湾周辺の中世集落の歴史を具体的に復元する手がかりとなった。参考：石丸遺跡一宅地造成に伴う埋蔵文化財発掘調査報告-2022年 大府市</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)			
なし			
5. 学会発表リスト(著者名、タイトル、学会名、開催場所、年月日)			
なし			
6. その他の成果リスト(著書、特許等)			

## 2022年度 10)加速器質量分析装置等利用(委託分析) 目次詳細

3 件

3件の申請が有り、そのうち3件(27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。

## 2022年度 11) SCOSTEP Visiting Scholar (SVS) Program (in ISEE) 目次詳細

### 2022 11) SCOSTEP Visiting Scholar (SVS) Program in ISEE List

8 件

\*所属・職名は2023年3月現在

\*Affiliation and Department displayed are current as of March 2023.

(注1): 新型コロナウイルスの影響で中止 / Cancelled due to COVID-19

(注2): 中止 / Cancelled

研究代表者 Principal Investigator	所属機関* Affiliation	職名* Job title	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
Rahul Rathi	Indian Institute of Technology Roorkee, India	graduate-course student	Determination of local geomagnetic index and its correlation with TEC and airglow intensity	308	
Veera Kumar Maheswaran	SASTRA Deemed University, India	graduate-course student	Investigation of latitudinal dependence of medium-scale traveling ionospheric disturbances detected from GNSS TEC data over equatorial regions	309	
Chukwuma Anoruo	University of Nigeria, Nsukka, Nigeria	graduate-course student	Study of TEC variations during geomagnetic storms	311	
Pankaj Kumar Soni	Indian Institute of Geomagnetism, India	graduate-course student	Investigation of flux enhancement and associated changes in pitch angle distributions of radiation belt particles	313	
Nilesh Chauhan	Indian Institute of Geomagnetism, India	graduate-course student	Study of mesospheric bores from middle and high latitude region	316	
Rukundo Wellen	Egypt-Japan University of Science and Technology, Egypt	graduate-course student	Detection of equatorial plasma bubbles (EPBs) using a low-cost 630.0 nm all-sky imager	318	
Adithya H.N. (SVS 2021 Recipient)	Scikraft Education and Engineering Design Pvt. Ltd. India	graduate-course student	Coronal temperature variability from spatially resolved images of the Sun from Hinode/XRT	320	
Onyinye Gift Nwankwo	University of Michigan, USA	graduate-course student	Extensive investigation, comparison and validation of the thermospheric wind observations during geomagnetic quiet and disturbed periods using the data surveys from ground-based equipment and results from model calculations	322	

## **Small enhancements in the red and green line airglow emissions at sub-auroral latitudes during isolated substorms**

Principal Investigator: **Rahul Rathi**

Affiliation: **Indian Institute of Technology Roorkee, India**

Position: **Senior Research Fellow**

As a SCOSTEP visiting scholar (SVS), I worked at Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE) for three months (December 7, 2022, to March 6, 2023) under the supervision of Prof. Kazuo Shiokawa. During this period, I studied the effects of geomagnetic substorms on the ionosphere at sub-auroral latitudes.

The purpose of the study was to investigate the effects of isolated substorms over the sub-auroral latitudes. In order to fulfil this, we used two years (2018-2019) data of Optical Mesosphere Thermosphere Imager (OMTI) installed at Kapuskasing (49.39°N, 277.81°E), Canada. We also used ground-based magnetometers, satellite (GOES, ARASE, THEMIS, and SWARM) data. In this study, we identified five substorm events on cloud free nights and investigated their effects on ionospheric red (630.0 nm) and green (557.7 nm) line airglow emissions. Out of the five substorm events, four events showed enhancement in both the red and green line emissions after substorm onset, whereas one event showed enhancement in the red line emission only. As part of this work, we have finalized the figures. Currently, we are investigating the physical mechanisms behind such unique observations and are going to start writing the manuscript.

It was an excellent experience to learn about new datasets, techniques, and concepts at ISEE. During this visit, I gained vast knowledge about future trends, opportunities, and challenges in auroral and sub-auroral latitudes. It will be very beneficial for my ongoing and future research career.

## **Solar activity dependence for the relationship between nighttime Medium-Scale Traveling Ionospheric Disturbance and Sporadic E-layer activities in summer during 1998-2019 over Japan**

Veera Kumar Maheswaran, RF centre for Excellence, Department of ECE, School of Electrical and Electronics Engineering, SASTRA Deemed University, Thanjavur-613401, India, Ph. D Student.

**1. Purpose of this study :** To understand the solar activity dependence of the medium-scale traveling ionospheric disturbances (MSTIDs) and its coupling with Sporadic-E (Es) layer during summer night of Japan, total electron content (TEC) data obtained from a Global Positioning System (GPS) receiver network and Es parameter can be availed from Ionosonde. Otsuka et al., (2013) studied the seasonal and local time variation of GPS-TEC measured MSTID over Europe. MSTIDs are the wave like structural disturbance in the plasma density in the ionosphere, having with horizontal length of approximately 100 km wavelength with 15 minutes to 1 hour period. MSTID are the plasma manifestation of atmospheric gravity wave (AGW) propagating in the thermosphere in day time. Until late 1990s many techniques are used for observe MSTIDs includes ionosondes, high frequency (HF) radars etc. Late 1990s GPS receiver networks and all-sky airglow imagers are employed for observing two dimensional horizontal structure of MSTID (Saito et al., 1998). Perkins found that there was a spread-F in the F-layer consider to be caused the MSTID in night time (Perkins., 1973). Shiokawa et al., (2003) found that there was an electric field perturbation associated with the night time MSTID called as electrified MSTID (EMSTID). The oscillation of the polarization electric field is reported to play an important role in generating MSTIDs over the midlatitude region. The coupling mechanisms between the neutral atmosphere, ionosphere, and magnetosphere significantly influence the Earth's lower ionosphere and Es-layer. Research findings showed that coupling the E and F regions may intensify the Perkins instability. Otsuka et al., (2021) statistically studied the solar activity dependence of MSTID from 1998-2019 using GPS-TEC over Japan, the growth rate of night time MSTID increases with decreasing solar activity due to the growth rate of Perkins instability. The day time MSTID anticorrelation with the Solar activity and correlated with the secondary AGW under low solar activity condition. These inference motivated that to understand how the Solar activity dependence of night time EMSTID and its coupling with Es- layer during the summer nights.

**2. Methodology:** In order to reveal solar activity dependence of the connection between MSTID and Es-layer, TEC obtained from a GPS network in Japan and ionosonde data collected at Kokubunji (35.7°N, 139.5°E), Japan between May and August of 1998 and 2019 are analyzed. We have calculated the detrended TEC by subtracting the 1-hour running average from the original TEC data for each satellite and receiver pair to obtain the perturbation TEC caused by MSTIDs, and made two-dimensional maps of the detrended TEC with a spatial resolution of  $0.15^\circ \times 0.15^\circ$  in longitude and latitude. MSTID activity is defined as a ratio  $\delta I / \bar{I} \times 100$  [%], where  $\delta I$  is standard deviation of the TEC perturbations within an area of 33.75-37.80° N and 137.50-141.55° E within one hour, and  $\bar{I}$  is the background TEC within the same area and period of the corresponding  $\delta I$ .

**3. Results:** Figure (1) shows the day-to-day variations of the nighttime MSTID activity in summer are compared with that of the Es-layer parameters ( $foEs$  and  $foEs - fbEs$  ( $\equiv Df(o - b)$ )) obtained at Kokubunji, Japan. We have found that Cross-correlation coefficient between the MSTID activity and  $foEs$  ( $Df(o - b)$ ) is larger than 0.3 (0.2) for a period from 1998 to 2019 and figure (2) shows  $foEs$  and  $Df(o - b)$  are linearly increased with MSTID activity (%). Figure (3) shows the cross correlation coefficient follows the F10.7 is new to understand from this study.

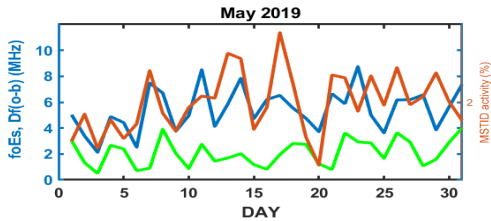


Figure 1. Day-to-day variations of the night time MSTID activity (Red),  $foEs$  (Blue) and  $Df(o - b)$  (Green)

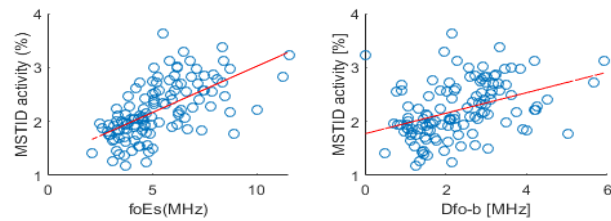


Figure 2. Scatter plot of the night time averages of  $foEs$ ,  $Df(o - b)$  and MSTID activity for May–August in 2019.

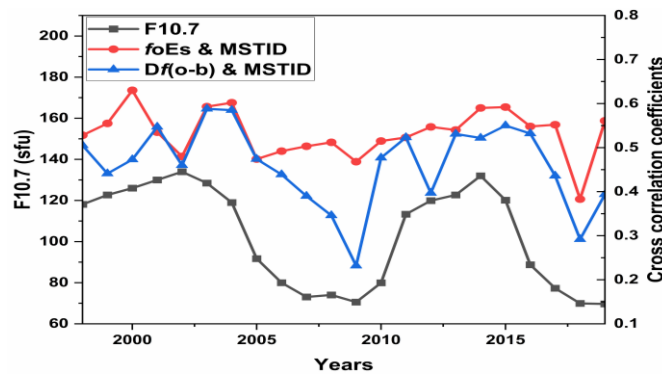


Figure 3. Cross-correlation coefficients and F10.7 during the summer nights of 19-02 hours (JST) of 1998-2019.

**4. Conclusion:** This result indicates that both MSTID and Es structures could be generated by the electro-dynamical coupling between the Es and F-region through the polarization electric fields. The cross-correlation coefficient tends to increase with solar activity. Considering that the growth rate of the Perkins instability increases with decreasing solar activity, this result suggests that under the high solar activity conditions, when the growth rate of the Perkins instability is relatively low, seeding of polarization electric field perturbations in Es could play a more important role to grow MSTIDs.

**5. Period of stay in ISEE:** I spent 3 months at ISEE from 04 October 2022 until 27 December 2022.

## 6. List of publication

Veera Kumar Maheswaran, Yuichi Otsuka, James A. Baskaradas, D. Venkata Ratnam, Sriram subramanian, Atsuki Shinbori, Takuya Sori, Michi Nishioka, Septi Perwitasari. Solar activity dependence for the relationship between nighttime Medium-Scale Traveling Ionospheric Disturbance and Sporadic E-layer activities in summer during 1998-2019 over Japan. (To be submitted)

## References:

1. Otsuka et al., (2013) GPS observations of medium-scale traveling ionospheric disturbances over Europe. *Ann Geophys.*
2. Otsuka et al., (2021) Solar activity dependence of medium-scale traveling ionospheric disturbances using GPS receivers in Japan. *Earth, Planets and Space.*
3. Perkins F (1973) Spread F and ionospheric currents. *J Geophys Res*
4. Saito A, Miyazaki S, Fukao S (1998) High resolution mapping of TEC perturbations with the GSI GPS network over Japan. *Geophys Res Lett.*
5. Shiokawa et al., (2003) Statistical study of nighttime medium-scale traveling ionospheric disturbances using midlatitude airglow imagers. *J Geophys Res.*



(Form 11-1)

## **Statistical study of Large-scale Traveling Ionospheric Disturbances (LSTIDs) during geomagnetic storms.**

Chukwuma Anoruo. Department of Physics and Astronomy, University of Nigeria, Nsukka.  
PhD student

### **1. Purpose**

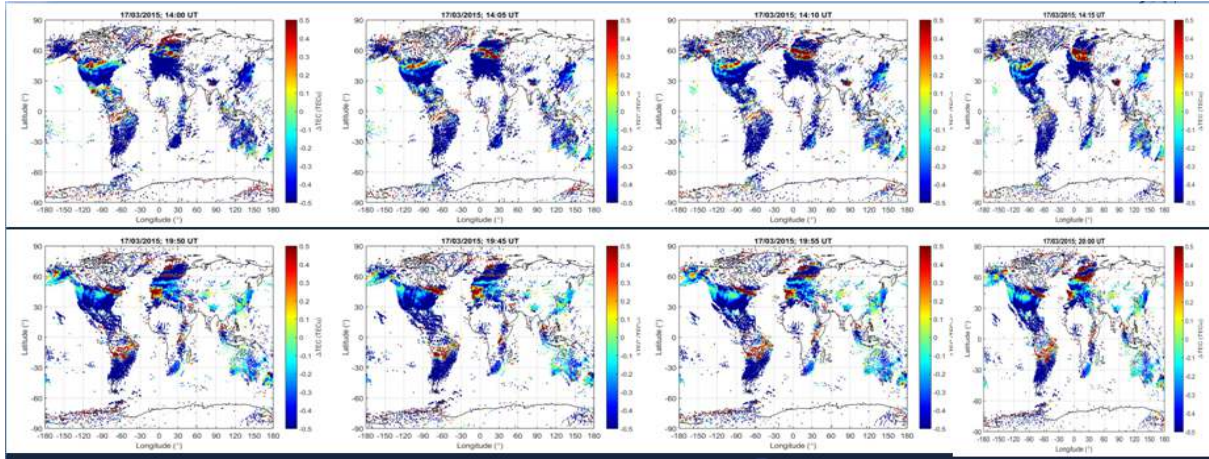
Travelling Ionospheric Disturbances (TIDs) are the ionospheric manifestation of internal Atmospheric Gravity Waves (AGWs) and are detected as plasma density fluctuations that propagate through the ionosphere with velocities and amplitudes that could depend on the source. TIDs changes ionospheric electron density distribution, resulting in detrimental effects in radio communication, and applications such as the Global Navigational Satellite System (GNSS). Usually, Large-scale TIDs (LSTIDs) are related to auroral geomagnetic activity and have wavelengths over 1000 km, fluctuate at periods from 50 min to 3 h, and have horizontal velocities between 400 and 1000 m/s. Unfortunately, with the few and sparse available ionospheric observatories, it is difficult to observe LSTIDs. This project aims to expand the understanding of the dominant global-energy distribution and momentum transfer mechanisms in the ionosphere and thermosphere due to LSTIDs, and mitigate the detrimental effects in applications and systems that rely on models based on predictions of ionospheric radio-wave propagation physics.

### **2. Data and Methods**

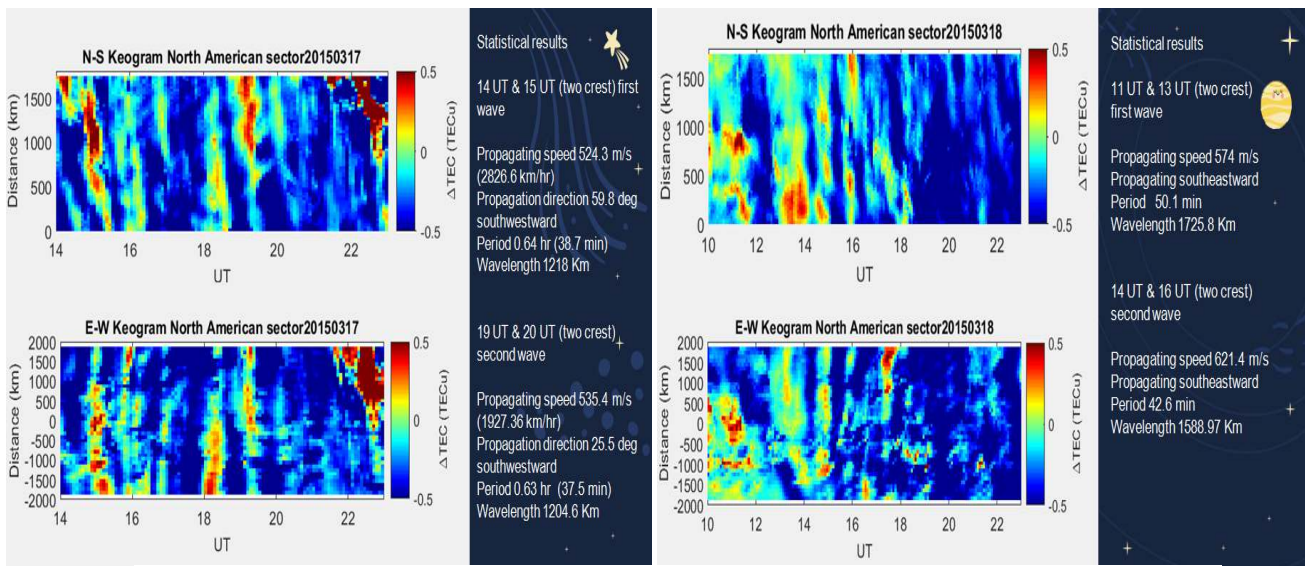
We investigate 49 geomagnetic intense storms occurred between 2004 and 2021, focusing on detecting LSTIDs. In order to study LSTID features, we employ a threshold criteria for amplitude oscillation  $> 0.1$  TECU [1 TECU  $\sim 10^{16}$  e/m<sup>2</sup>], horizontal wavelength  $> 1000$  Km, period of oscillation  $> 30$  min, and horizontal phase velocity  $> 300$  m/s. Ionospheric Total electron Content (TEC) data analyzed in this study is derived from GEONET (<https://stdb2.isee.nagoya-u.ac.jp/GPS/GPS-TEC/index.html>), a dense wide-area GNSS network in Japan. To obtain the LSTID perturbation signals of TEC (dTEC), 1-hr running average was subtracted from the original time series. Slant TEC is calculated from the GNSS data along the signal path between satellite and GNSS receiver, where phase ambiguity and satellite/receiver biases are ignored. The data for each pair of satellites and receivers is converted from slant to vertical TEC. To determine the horizontal phase velocity and propagation direction of LSTIDs, we employ TEC as function of time and horizontal distance in the meridional and zonal directions (keogram), and considering time series of global dTEC maps at 5 min intervals.

### **3. Results**

Figure 1 shows the global dTEC map for the storm of 17-18 March 2015. We observe LSTIDs appear from 14 h UT until 20 h UT on 17 March in the American sector, showing a time difference in the Brazilian sector.



**Figure 1.** LSTID global dTEC propagations for 17-18, March 2015 geomagnetic storm



**Figure 2.** Statistical results of zonal and meridional keogram for March 17-18 LSTID

Figure 2 shows the zonal and meridional propagation of LSTIDs as a function of time. TEC enhancements were  $> 0.2$  TECU. At 14 and 15 h UT (two crest), first wave propagates southwest with speed of 524 m/s and with wavelength of 1218 Km.

#### 4. Conclusions

The novelty and advantage of this methodology is to provide high-resolution TEC variations at a global scale.

#### 5. Period of stay in ISEE

3 months, from 17 November 2022 to 16 February 2023.

#### 6. List of publication

Anoruo, C.M., Otsuka, Y. et al. Statistical observations of large-scale traveling ionospheric disturbances during the 2015 intense geomagnetic storms [in elaboration]

#### 7. Future works

The characterization of ionosphere irregularities using multiple-source data.

(Form 11-1)

## **Investigation of Flux Enhancement and associated changes in pitch angle distributions of Radiation Belt particles**

Name: Pankaj Kumar Soni

Affiliation: Indian Institute of Geomagnetism, Mumbai, India.

Position: Research Scholar

Principal Investigator Name: Prof. Yoshizumi Miyoshi

Affiliation: Director, Center for Integrated Data Science, Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University

Position: Professor

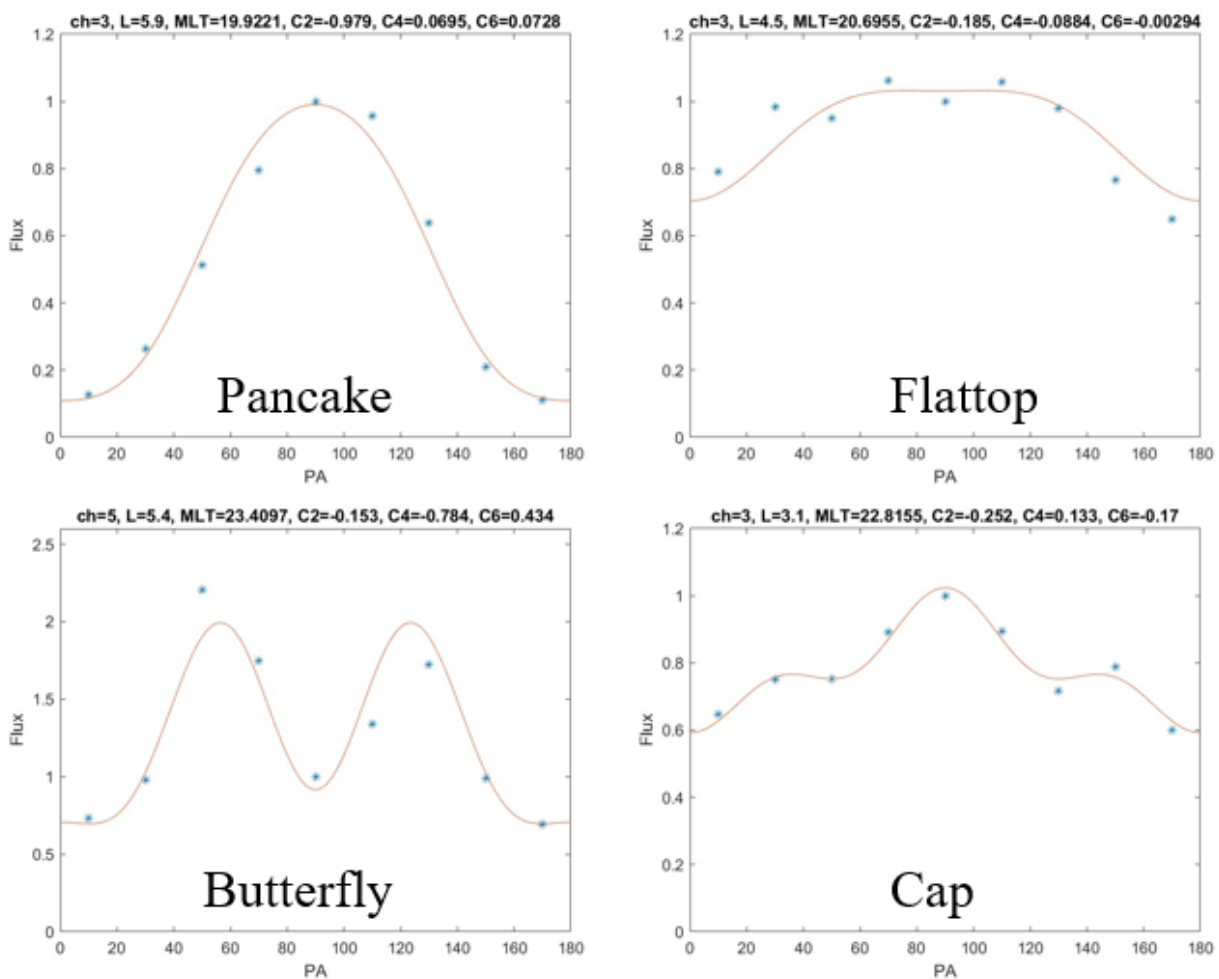
**Objective:** To understand the variation in flux enhancement and its effects on the pitch angle distribution of the Radiation Belt particles under different solar wind conditions through satellite observations and their comparison with test-particle simulations.

Earth's magnetosphere operates as a highly efficient particle accelerator driven by inward radial diffusion from higher to lower radial distances, local wave-particle interactions with various magnetospheric waves, or a combination of both processes. In the Earth's magnetosphere, the trapped particles (electrons and ions), consisting of relativistic and ultra-relativistic energies, are located in the inner and outer radiation belt. The motion of these trapped particles is affected by the varying magnetic field, wave-particle interaction, and various types of plasma processes observed by satellites on different spatial and temporal scales. Therefore, radiation belt electrons exhibit highly fluctuating dynamics in their flux and pitch-angle distributions. To comprehensively understand the underlying physical processes responsible for the complex radiation belt electron dynamics, a useful approach is to investigate the evolution of electron pitch angle distribution. This is because electrons of different energies at different pitch angles respond differently to external influences. Therefore, pitch-angle distributions can provide important information on a specific region's source and loss processes. Satellite observations in the Earth's radiation belt regions have reported several distinct shapes of pitch angle distribution. Three commonly observed pitch-angle distributions are pancake, flattop, and butterfly, and are attributed to different physical processes. The pancake distribution has a maximum at **ninety degree** and minima on both sides. This is the most common type of distribution observed in the dayside inner magnetosphere for the electrons of energies ( $\sim$  keV), and it is associated with inward radial diffusion. On the other hand, the butterfly distribution has a minimum around **ninety degree** and a maximum situated on both sides before limiting the loss cone angle. Generally, the butterfly distribution is more common on the night side during 2000- 0400 magnetic local time at higher L-shells. The flattop distribution is characterized by approximately equal flux at most of the pitch angles. Usually, this distribution can be seen as a transitional stage between a pancake and butterfly distribution. It is suggested that the wave-particle interactions during the recovery phase of the geomagnetic storm may result in such flattop distribution.

The geomagnetic storm causes high variability in the dynamics of a magnetospheric particle. Particle fluxes in the radiation belt can be enhanced or depleted following a geomagnetic storm. The change in the particle flux also differs for each phase of the geomagnetic storm. The change in the particle flux leads to the change in the pitch angle distribution depending on the driven source, L-value, energy, magnetic local time, etc. If the particle pitch angle falls into the loss cone, they are no longer trapped and precipitates into the ionosphere via wave-particle interaction. For example, the

interaction of magnetospheric particles with upper and lower band chorus waves accounts for the most intense inner magnetospheric electron diffuse auroral precipitation on the nightside. Therefore, a comprehensive statistical analysis of electron pitch-angle distribution of radiation belt particles for various geomagnetic storms, their storm-time evolution, effect of storm drivers (CMEs/CIRs), effect of wave-particle interaction, and their correlation with atmospheric precipitation are important aspects of radiation belt dynamics.

Arase, formerly known as Exploration of energization and Radiation in Geospace (ERG), operated by ISEE, Nagoya University are dedicated to studying the radiation belt dynamics. We utilized ERG (Arase) data for March 2017 to December 2021, to understand particle flux enhancement, changes in the pitch angle distributions. First, we have selected the geomagnetic storms during the mentioned period with SYM-H less than 40 nT. The pitch-angle resolved data of electron flux from HEP instrument is analyzed of each geomagnetic storm. The particle flux data is obtained for channel 3 to 14 of HEP instrument.



$$C1 = 0; C3 = 0; C5 = 0; C0 \neq 0; C2 \neq 0; C4 \neq 0; C6 \neq 0$$

The obtained data is separated for in four L-shells (3 to 7) and 12 magnetic local time (MLT) sectors (0 to 24). The pitch angle distribution is obtained for the separated data and fitted with Legendre polynomials up to the sixth degree. The accuracy of fitted pitch angle distribution is checked with root mean square deviation (RMSD). Fitted pitch angle distribution with RMSD larger 0.5 is removed from the statistical analysis. Based on the analysis, L-MLT dependence of particular type of pitch angle distribution is obtained.

Periods of stay in ISEE: October, 5 to December, 20, 2022.

## **Study of Mesospheric Bores from middle and high latitude region.**

Principal Investigator: **Nilesh Chauhan**

Affiliation: **Indian Institute of Geomagnetism, Navi Mumbai, India**

Position: **Senior Research Fellow**

I visited ISEE, Nagoya under the SCOSTEP Visiting Scholars (SVS) program for the duration of 3 months from November 2022 to January 2023. I worked with Prof. Kazuo Shiokawa of ISEE and carried out observational studies on the Mesospheric Tidal Bore structures using the OMTI instruments network of ISEE.

The purpose of the study was to understand the dynamics of mesospheric bore, such as 1) its generation mechanism, 2) propagation characteristics of bores and their seasonal dependence structures. It is also important to study the background environment at the time of the occurrence of mesospheric bores to understand their behavior and propagation through varying medium.

We used high resolution data obtained from the Optical Mesosphere and Thermosphere Imagers (OMTI) network of ISEE, Japan. Five years of data from 2011 to 2015 obtained from the high latitude site, Tromso, Norway and the mid latitude site, Rikubetsu, Japan, were analyzed. The images obtained using optical filters such as OH, Na (589.3 nm), and OI (557.7nm) were studied to identify the mesospheric bore events. In order to obtain information on the background environment during the occurrence of these events, temperature measurements from SABER/TIMED satellite and Sodium Lidar and wind measurements from co-located MF radar site at Tromso were also used. Apart from these datasets we also utilized the reanalysis datasets and satellite-based data, which are essential for this study.

The image data were processed using IDL routines from SPEADAS. We analyzed images with clear sky condition and neglected those images contaminated with auroral activity. We could identify 10 mesospheric bore events from five years of imager data from Tromso observation site. We applied the 3D spectral analysis method (M-transform) developed by Matsuda et al., (2014) to the 557.7 nm emission images to obtain the phase speed of the observed bore events, which turn out to be  $\sim 75$  m/s. The wavelength and direction of propagation were obtained by visual inspection of the sequence of images.

An example of the mesospheric bore event observed on 24 February 2011 is shown in Figure 1. The event was observed in all three airglow emissions, namely, OH, Na 589.3 nm and 557.7 nm. The bore front was followed by a series of wave-trains behind it. At least three waves can be seen behind the bore front. The event was observed for approximately two hours after which the bore appeared to dissipate into the background.

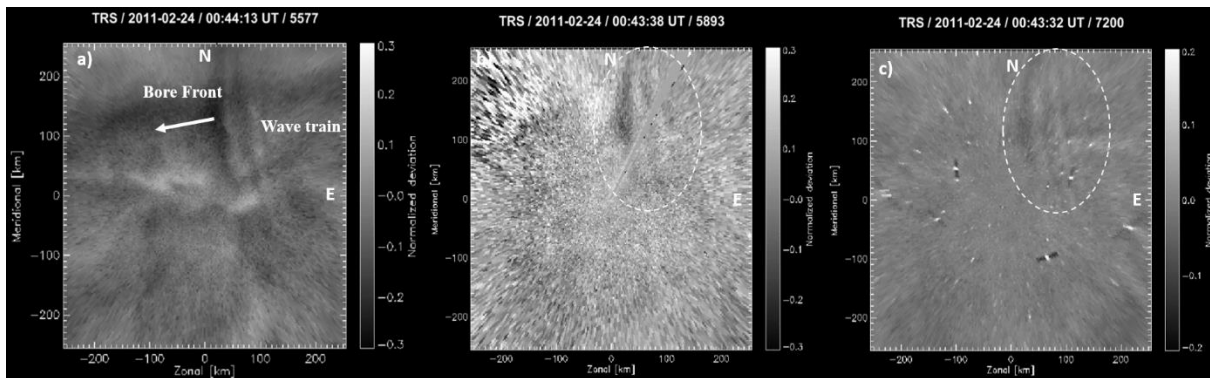


Figure 1: Mesospheric bore observed using airglow emissions: a) OI 557.7 nm b) Na 589.3 nm and c) OH emission images on the night of 24 February 2011. The arrow indicates the direction of propagation of bore front.

Presently, further analysis of wind and temperature data is being carried out by using ground and satellite based instruments. This will help us to obtain a deeper understanding of the dynamics of the mesospheric bore. During my stay at ISEE, I also visited the Shigaraki MU Radar Observatory and acquired insights of various instruments and assisted in the installation of an All-sky camera at the observatory. I also attended the 5th ISEE Symposium during 15-17 November 2022. It was a great learning experience at ISEE and I gained valuable knowledge about the newer research techniques and concepts. This visit also gave me an opportunity to engage in fruitful scientific discussions with various researchers at ISEE, which will surely benefit me in my research career ahead.

(Form 11-1)

## **Detection of MSTIDs and equatorial plasma bubbles in the low and mid latitude regions using low-cost sky imaging cameras (ZWO Camera).**

Wellen Rukundo (Research student - Masters in Space Environment)  
Egypt Japan University of Science and Technology (EJUST)  
P.O. Box 179, New Borg El-Arab City, postal Code 21934, Alexandria, Egypt  
[wellen.rukundo@ejust.edu.eg](mailto:wellen.rukundo@ejust.edu.eg)

28/3/2023

***RE: Research report for my SCOSTEP Visiting Scholars training program at ISSE, Nagoya University from 1st Dec 2022 to 28th Feb 2023.***

### **1. Introduction**

I visited ISEE, Nagoya University for a period of three months from 1st Dec 2022 to 28th Feb 2023 under the SVS program and was supervised by Prof. Shiokawa Kazuo. The purpose for the visit was to learn and train in using low-cost sky imaging cameras for detecting mid and low-latitude ionospheric irregularities. This was motivated by a partnership between EJUST and ISEE, Nagoya University that saw EJUST acquiring three low cost all sky imaging cameras (Z003, Z004 and Z005) taking airglow at different wavelengths of 630 nm, 557nm, and OH bands respectively.

### **2. Purpose of the training.**

The purpose of the visit was to get practical and hands-on skills and learn how to use the cameras for data analysis, visualization, and interpretation in studying the occurrence and properties of MSTIDs and EPBs. And, since ISEE maintains a network of OMTI cameras, this was also an opportunity to do comparative analysis between airglow intensity variation for the low cost and the OMTI camera for improvement of image quality in low-cost cameras.

### **3. Summary of the results and research output.**

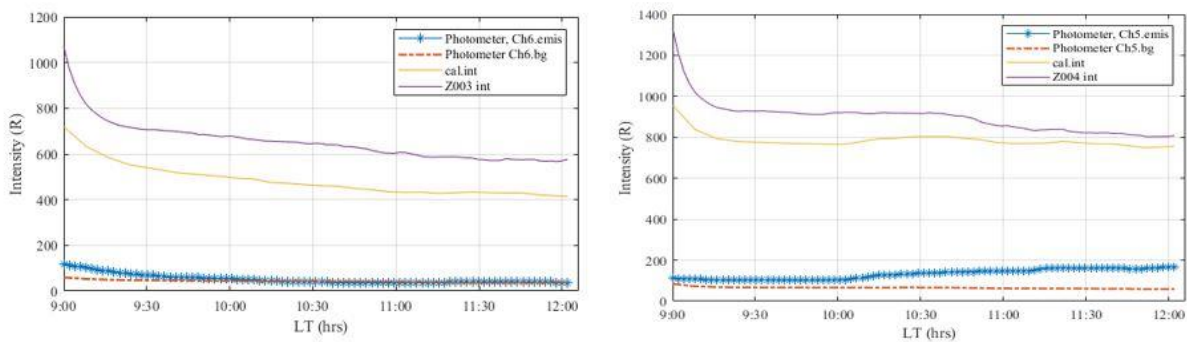
We made an analysis of airglow images for the three cameras using a 1hr running averages and observed the gravity wave features in the OH band (Z005) while no such wave features (MSTIDs) were observed in Z003 on day 22/01/2022 at Shigaraki station. The results were consistent with the OMTI camera images at the same station. Then we also compared the airglow intensity variation at the center pixel for each of the three cameras with the photometer of the corresponding wavelength. We found out that the absolute intensity of low-cost cameras is not an accurate measurement due to failure to correct for background intensity in these low-cost cameras which is a limitation for their use in further studying the properties of these mesospheric and thermospheric wave features. However, their trend of airglow intensity variation in raw images is consistent with the trend of calculated intensity in comparison with the photometer hence sufficient to be used to study the occurrence patterns and propagation directions of



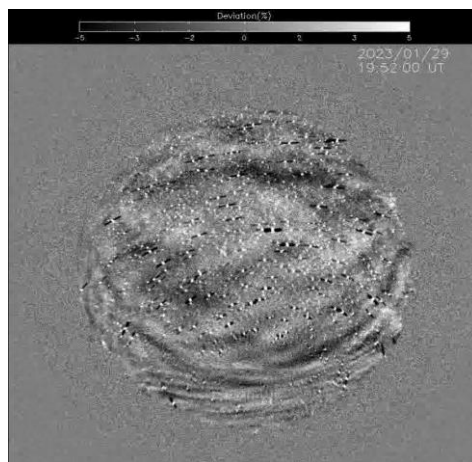
these wave features. In other results, we used the Z007 camera (OH band) and studied the occurrence rate of gravity waves at Shigaraki. We noted that about 95% of clear nights showed gravity wave features during the observation period.

From the above results, a first paper describing the basic operation, calibration, and data analysis procedures for the ZWO cameras is being prepared and this will be the guiding paper for the new centers of camera installation mostly in the African region. Additionally, I was able to learn some practical skills of equipment installation and troubleshooting to support the new sites in African region.

Finally, I acknowledge the funding support to cater for my living expenses for the three months at ISEE from the administration in partnership with the Center for International Collaborative Research and the support and guidance from my supervisor Prof. Shiokawa Kazuo and the Secretary, Madam Mai Asakura.



*Figure 1: The comparison of ZWO camera and photometer imager at wavelength of 630.0nm filter (left panel) and 557.7nm filter (right panel)*



*Figure 2: The observation of the gravity wave feature at Shigaraki station on 29/01/2023 by Z007 camera.*

# Coronal Temperature Variability from Spatially Resolved Images of the Sun from Hinode/XRT

Adithya HN, Scikraft educational and engineering design Pvt.Ltd., Subject Matter Expert(SME)

## Purpose of the research:

The outermost atmosphere of the Sun, the corona, extends to several thousand kilometres from the photosphere. It is made up of very tenuous plasma but is very hot. The sudden increase of temperature in the coronal layer from the underlying chromosphere and photosphere makes it very interesting. The average temperature of a corona is measured at about 2 MK, and it may show a large variation in temperature with respect to different surface features. The study of the temperature variation of the full disk of the corona and of individual feature's temperature as a function of the solar cycle will be an interesting

Till now various attempts are made to measure the temperature of coronal XBPs (Kariyappa et. al. 2011) but the temperature of the full disk image and temperature variation of individual features over the solar cycle is not measured yet. Hinode/XRT has a unique feature that using images from two different filters and corresponding filter response curves, the temperature of the sun can be estimated (N. Narukage et. al. 2010).

In this proposed research, using Hinode/XRT data, temperature of the corona and its individual features will be calculated by the filter ratio method from available data sets, for the period of solar cycle 24.

## Method implemented:

To study the temperature variability of the solar corona & its features, the full disk level-2 composite data of Hinode/XRT for the period Feb 2008 - Jun 2022 have been downloaded.

The filter ratio method (Narukage et al., 2011, 2014) is used to calculate the temperature of the solar corona. It is one of the unique features of Hinode/XRT. The filter ratio method requires two images from different filters. Since XRT has 8 different diagnostics filters, based on the availability of good data, Al mesh and Ti poly filters were chosen for the period 1st Feb 2008 to 8th May 2012. Ti poly images suffered from stray light leak problem after th May 2012 therefore for the rest of the study Al poly images was used i.e, Al mesh and Al poly image pairs used for the period 9th May 2012 to June 31st 2021.

The filter ratio method assumes that the corona is isothermal. According to the filter ratio method using the ratio of two filter's response functions and the corresponding filter's intensity ratio, The temperature of the corona can be calculated. The response function of the two filters for each image with respect to the thickness of the contamination layer was extracted using IDL/SSW routine 'make xrt temp resp.pro'. According to the filter ratio method for a temperature 'T,' we can write,

$$F_1 / F_2 = I_1 / I_2$$

Where  $F_1$  = Filter response of Ti-poly/Al-poly,  $F_2$  = Filter response of Al-mesh,  
 $I_1$  = Intensity of Ti-poly/Al-poly image,  $I_2$  = Intensity of Al-mesh image

A sophisticated python algorithm has been developed to generate temperature images by mapping intensity ratio values to corresponding temperature values by referring to the ratio of the filter's response curve vs the temperature value.

By overlaying segmentation maps obtained from our previous study (Adithya et al., 2021) on temperature image the average temperature of the features ARs, CHs, BGs, and XBPs and their contribution to the full disk were extracted and compared with Sunspot numbers.

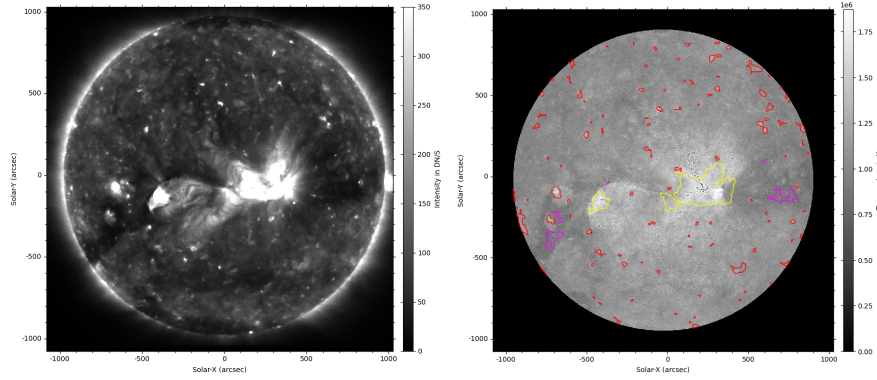


Figure 1: Al mesh intensity image(left), temperature image(right) for the day 4 Feb 2008. Yellow colour contour represent AR, red is XBPs and violet represent CH, remaining is BG

## Results

- The average temperature of full disk and other features (ARs, CHs, BGs, & XBPs) estimated for the period Feb 2008 - June 2022.

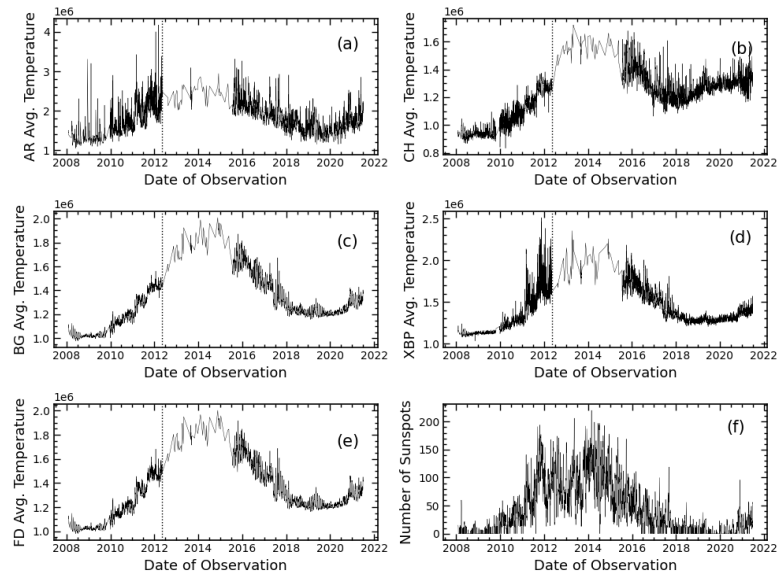


Figure 2: Time series of temperature variation of full disk and all features. Vertical line separates the temperature estimation from Al mesh-Ti poly (left side of vertical line) and Al mesh-Al poly (right side of vertical line)

- Temperature of all the features vary as a function of sunspot number (solar activity).
- The average temperature of the full disk for the period was 1.29 MK and other features such as AR, XBP, CH and BG temperature were 1.76 MK, 1.32 MK, 1.23 MK and 1.27 MK respectively.
- The mean temperature contribution for the full disk estimate of background (BG) is 93.18%, whereas ARs, XBPs and CHs are 3.12%, 2.12% and 1.58%. Since the background occupies more area it is the dominant temperature contributor for the full disk.

**Period of stay:** April 16 2022 to July 15 2022 (3 months)

**Publication:** H. N. Adithya, R. Kariyappa, Kanya Kusano, Satoshi Masuda, Shinsuke Imada, J.J. Zender, L. Dame, Mark Weber and E. E. DeLuca, 2022, *Solar Soft X-ray Irradiance Variability, II: Temperature Variations of Coronal X-ray Features*, Sol. Phys. (Submitted, under review)

## Investigation of the thermospheric wind observations during geomagnetic quiet periods using ground-based and satellite-based data, and model simulation

Nwankwo Onyinye Gift, University of Michigan, 2022 SVS Recipient

### Purpose of study

The purpose of this research was to investigate the behavior of thermospheric winds during geomagnetic quiet periods by combining ground-based Tromso Fabry-Perot Interferometer (FPI) data and CHAMP satellite data with model simulations using the Global Ionosphere Thermosphere Model (GITM). By studying the thermospheric winds during periods of low geomagnetic activity, the research aimed to enhance our understanding of the dynamics of the Earth's upper atmosphere and the role of the magnetosphere in driving these dynamics. The findings of this study have the potential to improve our ability to model and predict space weather and its impacts on space-based technologies and communication systems.

### Methodology

We investigated the dynamics of the upper atmosphere through nocturnal airglow emissions using the Optical Mesosphere Thermosphere Imagers (OMTI) Tromso FPI data and International Monitor for Auroral Geomagnetic Effects (IMAGE) magnetometer data. To obtain the X North component (nT) of the magnetic field in the region of interest, we accessed IMAGE magnetometer data from [https://space.fmi.fi/image/www/index.php?page=user\\_defined](https://space.fmi.fi/image/www/index.php?page=user_defined). The Tromso site where the data was obtained is located at a high latitude region with a geographic (geomagnetic) latitude of 69.58°N (66.73°N). To define the quiet periods for the investigation, we used the quiet periods outlined in Table 1 by Heqiuken et al., (2019).

Next, we used the Tromso FPI data to provide us with measurements of the neutral wind velocity in the thermosphere, as well as observations of the dynamics of the upper atmosphere through the analysis of the airglow emissions. We conducted two runs of the Global Ionosphere-Thermosphere Model (GITM) using two aurora drivers: Fuller-Rowell & Evans (FRE) and Feature Tracking Aurora (FTA) models, to simulate the behavior of the upper atmosphere based on the data obtained from the IMAGE magnetometer and OMTI Tromso FPI observations. The outputs from the simulations allowed us to further investigate the dynamics of the upper atmosphere during the nocturnal period.

### Results

Figure 1 shows the quiet-time average winds in the thermosphere in the zonal and meridional directions, as well as the X North component (nT) and AE (nT) index for February 16th 17:07 UT (18:07 LT) through 17th 04:19 UT (05:19 LT). The zonal wind started with a westward flow, and reversed to eastward flow with peak values reaching over 100 m/s at around 20 UT (21 LT). This is typical of wind driven by plasma convection. However, the winds in the meridional directions did not show much variability, had southward flow with peak reaching 200 m/s at around 22 LT. The X North component of the magnetic field (nT) exhibited high variability till at about 23 LT, it showed relatively stable values throughout the remaining time period. This variability in the X North component of the magnetic field (nT) until around 23 LT may have been due to fluctuations in the Earth's magnetic field or the effects of solar activity on the upper atmosphere. The AE index shows a slight increase in activity during the observation period, with peak values reaching just over 250 nT. The reversal to the eastward flow at around 21 LT may have been caused by a sudden reversal in the direction of the plasma convection, while the relatively stable winds in the meridional direction may have been due to the lack of strong atmospheric tides or wave activity in that direction, which can have implications for the transport of heat and momentum in the upper atmosphere.

Figure 2 shows the descending node plots for CHAMP zonal wind and GITM zonal wind. In the equatorial to mid-latitude regions, both data and model shows eastward flow, while at high latitude, they show westward flow. The westward flow observed in both the CHAMP zonal wind and GITM zonal wind in the high-latitude regions may be due to the effects of ion drag, which occurs when the neutral winds in the thermosphere interact with the ionosphere.

### Periods of stay in ISEE

September 12<sup>th</sup>, 2022 through December 10<sup>th</sup>, 2022

### List of publications

1. **Onyinye G. Nwankwo**, Fabio Becker-Guedes and Claudia MN Candido, "Space weather effects on the Brazilian equatorial and low-latitude ionospheric Maximum Usable Frequency (MUF) during the Saint Patrick's Day geomagnetic storm." Poster presentation at CEDAR 2021 Workshop. <https://youtu.be/QQ2-8sCEjml>
2. Rachele Winterberger, Chen Wu, Aaron Ridley and **Onyinye G. Nwankwo**, "Comparisons between TIDI and other Wind measurements." Poster presentation at 2021 AGU Fall meeting. (<https://agu2021fallmeeting-agu.ipostersessions.com/default.aspx?s=30-25-BC-82-6A-6F-D8-F8-6F-A1-2D-5B-4B-6D-0E-F6>)
3. **Onyinye G. Nwankwo**, and Aaron J. Ridley, Storm and Non-storm time thermosphere and ionosphere, [Presentation Talk at CEDAR Workshop](#), Austin, Texas, June 19-24, 2022
4. **Onyinye G. Nwankwo**, and Aaron J. Ridley, Investigating the impact of geomagnetic storm over the ionosphere-thermosphere system of subauroral/midlatitude region using ISR observations and GOCE measurements, [Poster presentation at CEDAR Workshop -June 2022](#)
5. Aliaa A. M. Afify, **Onyinye G. Nwankwo**, and Aaron J. Ridley, Solar EUV Driven Radiative Transfer in the Thermosphere: Modeled using Runge Kutta 4th Order Method, Presentation Talk at ICELLI Workshop -September 2022
6. **Onyinye G. Nwankwo**, Aaron J. Ridley, and Kazuo Shiokawa, Quiet-time Variation of the Horizontal Neutral Wind at High Latitude using CHAMP data, FPI measurements and GITM simulation, Presentation Talk at the Space Science Seminar Series, University of Michigan -October 2022
7. **Onyinye G. Nwankwo**, Aaron J. Ridley, and Kazuo Shiokawa, Global variation of quiet-time Zonal Wind using GOCE and CHAMP satellite data, and GITM simulation, Presentation Talk at the 12th National Annual Conference of the Astronomical Society of Nigeria (ASN) -November 2022

8. **Onyinye G. Nwankwo**, and Aaron J. Ridley, Exploring the ion-neutral electrodynamics of mid-latitude upper atmosphere: Insights from GITM simulation, Madrigal TEC, and Fabry-Perot interferometer data for March 2013 Storm, Presentation Talk at the Space Science Seminar Series, University of Michigan -March 2023
9. **Onyinye G. Nwankwo**, and Aaron J. Ridley, Investigating ion-neutral dynamics of Mid-Latitude Upper Atmosphere with GITM Simulation, Madrigal TEC and Fabry-Perot Interferometer Data, Poster presentation at Space Weather with Quantified Uncertainties (SWQU) Spring Meeting, MIT, Boston -March 9-10, 2023

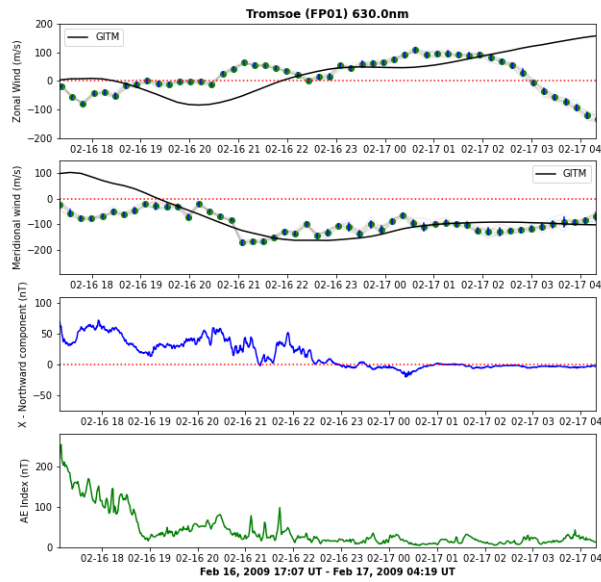


Figure 1 shows the quiet-time average winds in the thermosphere in the zonal and meridional directions, X North component (nT), and AE (nT) index for February 16<sup>th</sup> 17:07 UT (18:07 LT) through 17<sup>th</sup> 04:19 UT (05:19 LT). The LT conversion is because Tromsø, Norway's local time (LT) is 1 h ahead of universal time (UT).

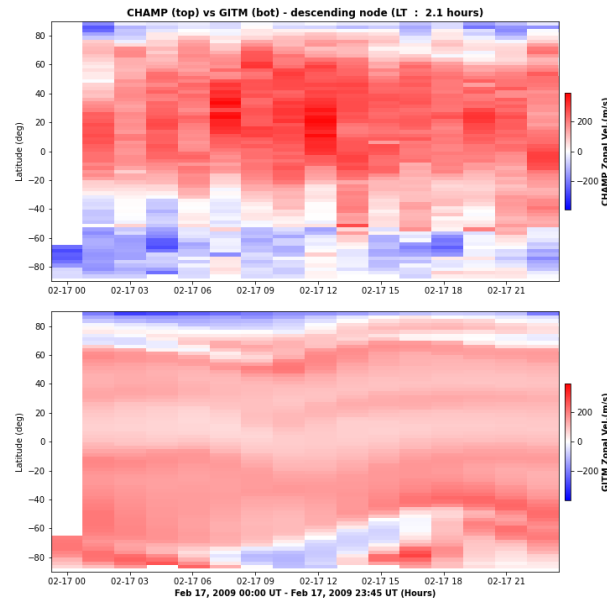


Figure 2 shows the descending node plots for CHAMP zonal wind and GITM zonal wind.

## 2022年度 12) 航空機観測共同利用(ドロップゾンデ) 目次詳細

2 件

\*所属・職名は2023年3月現在

\*Affiliation and Department displayed are current as of March 2023.

(注1): 新型コロナウイルスの影響で中止/Cancelled due to COVID-19

(注2): 中止/Cancelled

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
榎本 剛	京都大学	防災研究所	教授	アンサンブル感度解析のドロップゾンデ観測による検証	324	
平野 創一郎	琉球大学	理学部	ポスドク研究員	台風の北東側に存在する前線の構造	326	



## アンサンブル感度解析のドロップゾンデ観測による検証

Verification of ensemble sensitivity analysis using dropsonde observations

榎本剛、京都大学・防災研究所

### 研究目的

航空機を用いたドロップゾンデ観測は観測機会に制約があるため、効果的な観測を行うことが必要である。観測をすることによって、予報精度が向上するということが一つの尺度として考えられる。誤差の低減に大きく寄与する領域を特定する手法は感度解析と呼ばれ、航空機の特性を活かして感度の高い領域において行う観測を機動的観測という。本研究では、アンサンブル予報を用いた感度解析により特定された高感度領域が適切であるか、ドロップゾンデ観測を行うことにより検証し、機動的観測の高度化を図る。

### 研究方法

本研究では、欧州中期予報センター (ECMWF) の現業アンサンブルを ECMWF Data Store から準リアルタイムで取得した。このデータはコントロール予報と 50 の摂動予報の計 51 メンバで構成され、風、気温、比湿、地表面気圧の水平解像度は  $0.4^\circ$  で、3次元データの鉛直は 9 層 (1000, 925, 850, 750, 500, 300, 250, 200, 50 hPa) ある。感度解析手法は Enomoto et al. (2015) のアンサンブル特異ベクトル解析に基づいて実装された pysens を ECMWF のデータに合わせて改変したものをを用いた。誤差成長の尺度を表すノルムとして湿潤全エネルギーノルム (Ehrendorfer and Errico 1999) をを用いた。

### 研究結果

航空機観測を行った 2022 年台風第 14 号 (Nanmadol) に対する解析結果を図 1 に示す。初期時刻は 9 月 13 日 1200 UTC 検証時刻は観測を予定時刻に近い 9 月 18 日 0600 UTC (66 時間予報)、検証領域は台風の接近が予想されていた沖縄周辺 ( $122\text{--}133.2^\circ\text{E}$ ,  $22\text{--}30^\circ\text{N}$ ) とした。第 1、2 モードの寄与率はそれぞれ 16.6、10.9% で上位 10 モードを合計すると 57.9% になる。台風中心の北側と東シナ海上や黒潮に沿って高感度領域が特定された。予報時間を 42 時間と短くした場合でも、同様の高感度領域が得られたがより台風中心付近の高感度領域が明瞭になり、東シナ海や黒潮上の高感度領域は相対的に振幅が小さくなりより狭い構造となる。

### 考察

高感度領域は、検証時刻・領域における擾乱の発達を左右する領域を示している。台風付近の感度はスパイラルバンドにおける対流活動の不確実性を反映していると考えられる。一方、東シナ海の高感度領域は台風巻き込まれる中緯度からの乾燥空気に関連していることが水蒸気の摂動から確認できた。黒潮に沿った感度については海面水温前線に伴う対流活動が関与している可能性があるが詳しい検討

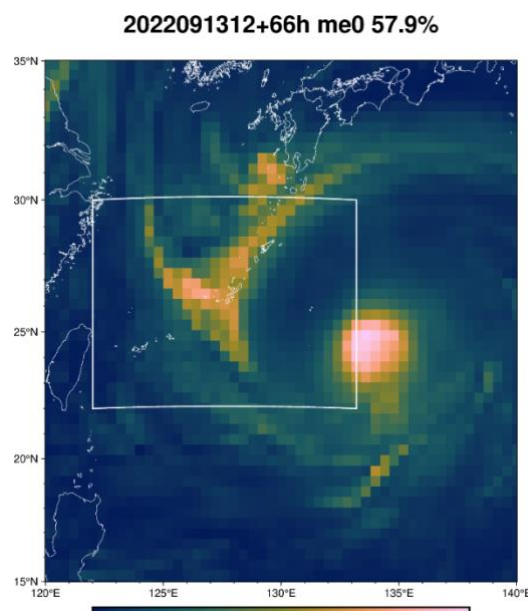


図 1 2022 年 9 月 13 日 1200 UTC を初期時刻とした ECMWF 現業アンサンブルを用いたアンサンブル特異ベクトル感度解析。検証時刻は 9 月 18 日 0600 UTC で、検証領域 ( $122\text{--}133.2^\circ\text{E}$ ,  $22\text{--}30^\circ\text{N}$ ) を矩形で示す。初期時刻における湿潤エネルギーノルム (J/kg) の上位 10 モードの和。

が必要である。

## まとめ

ECMWF の現業アンサンブルを用いて、2022 年台風第 14 号に対するアンサンブル感度解析を行った。台風中心付近は不確実性が大きいと高感度領域が現れやすいが、空間分布や振幅などは解析を実施することによりはじめて定量的に評価される。台風周辺域の高感度領域は海陸や海流の分布など地理的な条件もあるが、流れに大きく依存する。T-PARC II 観測ミッションにおいては、航空機の経路やドロップゾンデの投下位置に高感度領域を考慮することができた。解析の結果、台風の発達期において乾燥空気を取り込まれていることが示唆されたので、今後その影響について検討していきたい。

## 引用文献

Ehrendorfer, M., R. M. Errico, and K. D. Raeder, 1999: Singular-vector perturbation growth in a primitive equation model with moist physics. *J. Atmos. Sci.*, **56**, 1627–1648.

Enomoto, T., S. Yamane, and W. Ohfuchi, 2015: Simple sensitivity analysis using ensemble forecasts. *J. Meteor. Soc. Japan*, **93**, 199–213, doi:10.2151/jmsj.2015-011.

pysens, <https://github.com/tenomoto/pysens>, 2021/7/11 (5f4f1e0)版.

## 成果発表

Enomoto, T., Y.-Y. Hayashi, and M. Shiotani, Digital twins of Earth-like planets. The 5th ISEE symposium, 2022/11/16, 名古屋大学（愛知県名古屋市）, 招待講演.

榎本剛, アンサンブル感度解析のドロップゾンデ観測による検証, ISEE 共同利用・共同研究コミュニティミーティング, 2022/11/18, 名古屋大学（愛知県名古屋市, オンライン参加）, 招待講演.



## 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、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にある前線付近にドロップゾンデを投下する。今年度の航空機観測が行われた9月15・16日の飛行ルートを図1の天気図上に示した。紀伊半島の南海上から台風の間でドロップゾンデを投下したものの、今回の航空機観測では飛行ルート上に前線は現れなかった。台風北東側の前線は、対流圏上層のジェット南側に現れることが多い (Moore et al. 2013)。図2左に9月16日における200 hPaの水平風を示した。対流圏上層のジェットは北緯40度から45度にあることがわかる。9月16日には、台風北東側に当たる北

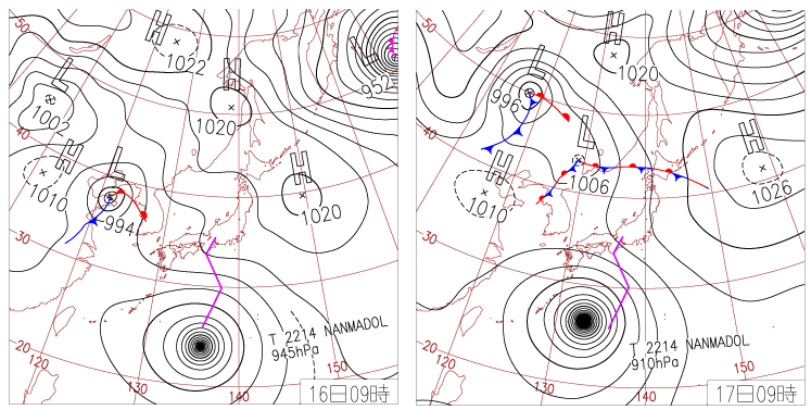


図1：2022年9月（左）15日、（右）16日9時（日本時間）の天気図。紫色の線は県営名古屋空港から台風に向かう、もしくは台風から県営名古屋空港に戻る際の飛行ルート。

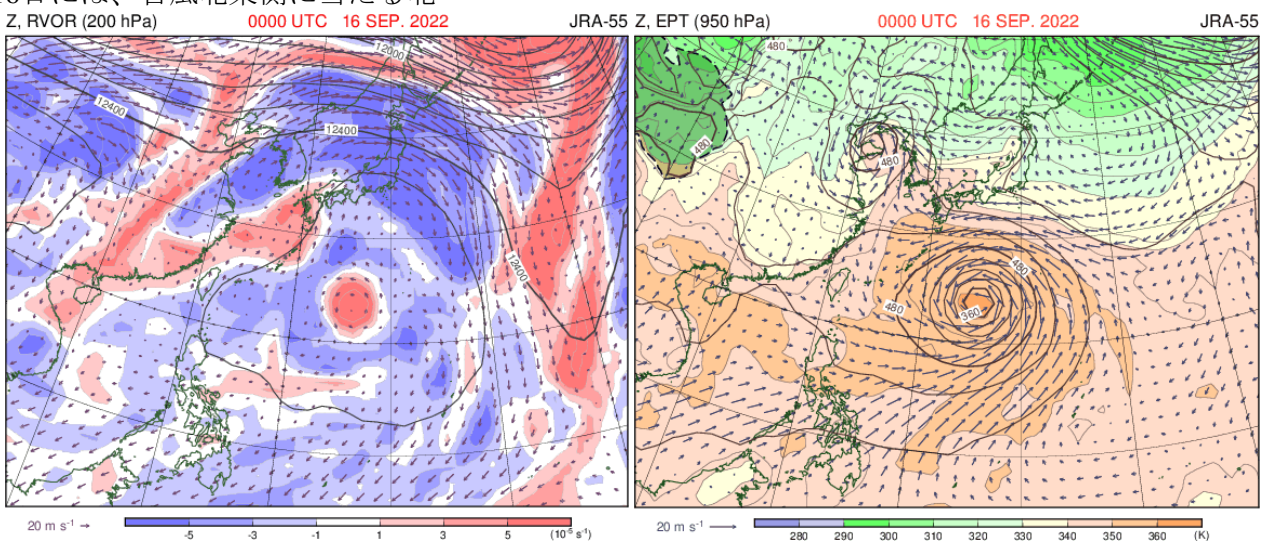


図2：2022年9月16日9時（日本時間）における、（左）200 hPaの相対渦度（色）、ジオポテンシャルハイト（等値線）、水平風（矢印）、及び（右）950 hPaの相当温位（色）、ジオポテンシャルハイト（等値線）、水平風（矢印）。JRA-55より作成。

海道付近に停滞前線が見られ（図1右）、相当温位の水平勾配が大きいこともわかる（図2右）。

・まとめ

今年度の航空機観測が行われた期間には、飛行ルート上に前線が現れなかった。図3に航空機観測が行われた2017年10月21日、及び2018年9月25日の天気図を示す。飛行ルート上に前線が存在していたことがわかる。今後の航空機観測の際も飛行ルート上に前線が現れる可能性は十分にある。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。

・引用文献

Moore, B. J., L. F. Bosart, D. Keyser, and M. L. Jurewicz, 2013: Synoptic-scale environments of p redecessor rain events occurring east of the Rocky Mountains in association with Atlantic basin tropical cyclones. *Mon. Wea. Rev.*, **141**, 1022–1047, doi:10.1175/mwr-d-12-00178.1.

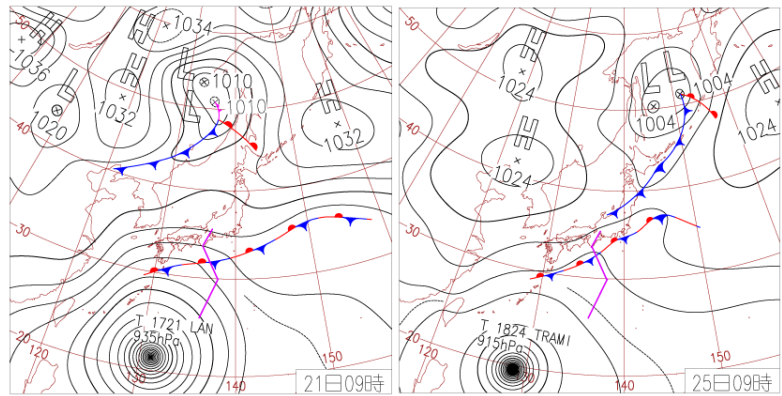


図3：(左) 2017年10月21日、及び(右) 2018年9月25日9時（日本時間）の天気図。紫色の線は図1と同じ。

## 2022年度 13)若手国際フィールド観測実験 目次詳細

### 2022 13)International travel support for field and laboratory experiments by students and early-carrier scientists List

10 件

\*所属・職名あるいは学年は2023年3月現在

\*Affiliation and Job title or year of graduate school displayed are current as of March 2023.

(注1): 新型コロナウイルスの影響で中止 / Cancelled due to COVID-19

(注2): 中止 / Cancelled

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
森井 雄大	名古屋大学	宇宙地球環境研究所 総合解析研究部	博士前期課程 1年	ノルウェー・トロムソにおけるオーロラ多波長観測	328	
Islam Hamama	Kochi University of Technology	Engineering	Reserach Assistant	Seismo-acoustic and optical observations of meteors over Perth, Australia	330	
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 2年	ノルウェー・トロムソにおけるデジカメとジンバルを用いたオーロラのアクティブ観測	333	
古舘 千力	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	ロングイアビンにおける短波長赤外分光計を用いた OH 大気光の観測	335	
近藤 大泰	東北大学	理学研究科	博士前期課程 1年	南極点アムンゼン・スコット基地における多色オーロライメージャーを用いた高エネルギー粒子降下と中層大気電離現象の解明	337	
田中 健太郎	千葉大学	大学院融合理工学府	博士前期課程 2年	フィンランドにおけるVLF/LF帯雷電波・標準電波の観測	339	
坪井 巧馬	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	博士前期課程 2年	カナダのアサバスカ観測点における中間圏大気重力波のキャンペーン観測	341	
佐藤 雅紀	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	博士前期課程 2年	ZWOカメラを用いた極域の中規模伝搬性電離圏擾乱の2点同時観測	342	(注1)
加藤 悠斗	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地上観測装置を用いた脈動オーロラ、ELF/VLF帯波動とCNAの同時観測	343	
山内 大輔	名古屋大学	工学研究科 宇宙地球環境研究所	博士前期課程 1年	オーストラリア北部における微小地磁気変動のフィールド定常観測	345	

(別紙様式 13-2)

ノルウェー・トロムソにおける多波長観測  
Multi-wave length observations of aurora at Norway, Tromso

森井雄大  
名古屋大学宇宙地球環境研究所  
総合解析研究部

1. 研究背景・目的

2. 私は現在単波長観測が可能なカメラを2台用いることでオーロラを多波長でとらえ、発光強度の比からオーロラを引き起こす降下電子のエネルギー構造を求める研究を行っている。今回は私の使用しているカメラが劣化したことでカメラ感度が著しく低下し、研究に必要なデータを得ることが不可能になったため現地へ赴き、交換作業を行った。

私が現在研究を行っているオメガバンドオーロラと呼ばれるオーロラは、サブストームの回復相に典型的に現れるオーロラで、内部に様々な種類のオーロラを持つため、オメガバンドオーロラ内部のエネルギー的な違いを明らかにすることで、オメガバンド発生機構の解明を目指している。

エネルギーの推定方法としては、具体的にはOno(1993)において指摘されている427.8 nmと844.6 nmの光の発光強度比と降下電子の特性エネルギーとの間の強い相関関係を用いて、発光強度の比からエネルギーの計算を行っている。そのためオメガバンドオーロラを撮影する際には雲や月など他の光のない状況が必要となり、理想的なオメガバンドオーロライベントは2016年の9月から、カメラデータの劣化の見られた2018年3月までの期間にわずか2件しか得ることができなかった。

現在、私は得られた2件のイベントのデータを解析し、イベントごとのエネルギー的な構造の特徴を求めている。今後はより多くのイベントを解析し、オメガバンドオーロラのエネルギー的な構造に関してより一般的な特徴に関して議論を行いたいと考えている。そのため今回のカメラ交換により、今後1例でも多くのオメガバンドオーロライベントをとらえられることを期待している。

3. 観測実験の内容

実験はノルウェー・トロムソにある EISCAT サイトにおいて行った。この EISCAT VHF レーダーは、放射線帯相対論的電子が降り込む現象である EPP を観測できる。先行研究において、オメガバンドオーロラは EPP を伴うことが指摘されており [Miyoshi et al. 2021]、光学観測との同時観測によってその関連性を明らかにすることも期待されている。

本経費の支援を受け 2022 年 9 月 5 日から 12 日まで、トロムソに滞在した。カメラの立ち上げは 6 日から 11 日まで行い、カメラの取り付けに加え 2 台のカメラが GPS 時刻を用いて同時に、自動的にシャッターを切れるようにするためのネットワーク構築や、データを自動で転送するシステムの構築、その後の動作確認を同行した三好由純 先生、細川敬祐 先生と協力して行った。





図 カメラ設営時の様子(左)と設営後の記念撮影時の画像(右)

#### 4. 結果

カメラ立ち上げ後の 2022/10/5 において、オメガバンドオーロライベントの発生を確認できた。このイベントでは過去 2 例よりも多くのオメガバンドオーロラ構造の通過を確認でき、また大きな渦状の構造が見られることから、プラズマ群の速度差によりケルビン-ヘルムホルツ不安定性に起因することが示唆される。今後、カメラのカウント値からレイリー値に変換するテーブルができ次第、このイベントについてもエネルギー構造の推定を行いたいと考えている。

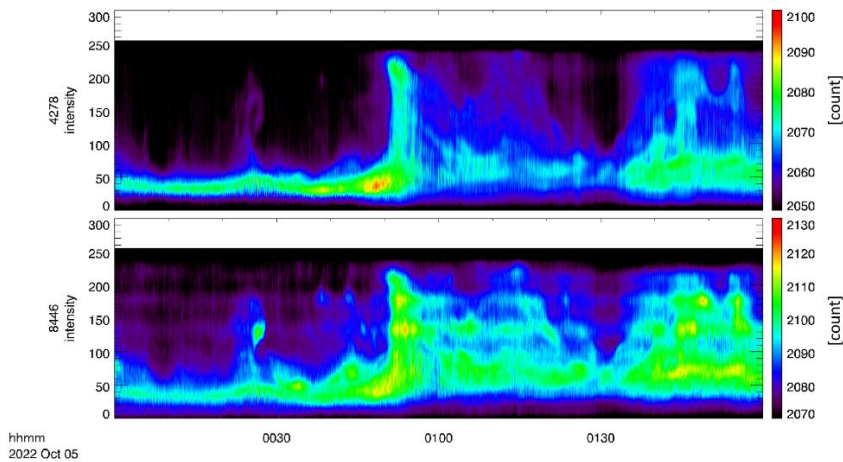


図 2022/10/5 に観測されたオメガバンドオーロラのケオグラム、横軸が時間、縦軸はピクセル数を表し、大きいほど極側を表す

#### 5. 参考文献

Ono, T., Derivation of Energy Parameters of Precipitating Auroral Electrons by Using the Intensity Ratios of Auroral Emissions, *J. Geophys. Res.*, 98, 455-472, 1993

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](https://doi.org/10.1038/s41598-021-92611-3), 2021

パース上空での火球の地震波・音波および光学観測  
Seismo-acoustic and optical observations of meteors over Perth

Islam Hamama, School of Systems Engineering, Kochi University of Technology, Kochi,  
Japan

**Introduction:**

Infrasound can be identified as sound waves with low frequency range between 3 mHz to 20 Hz. There are several sources of infrasound which can be classified as natural and man-made sources. The infrasound signals could mitigate the hazard of tsunami as the tsunami waves coupling with atmosphere generates infrasound signals with higher speed of tsunami waves (200 m/s). Moreover, the disaster of celestial bodies which enter the atmosphere could be monitored and evaluated by infrasound. When the meteor enters the atmosphere with high speed, it may burn in the atmosphere and small fragments could reach to the earth, in addition, it may also be exploding at lower altitudes of atmosphere ~ 30 km and generate a shockwave which could be detected by infrasound sensors. Part of these waves propagate linearly, and others propagate non-linear. However, in infrasound analysis cross-correlation we could estimate the azimuth of generated signals from the fireballs, but the altitude estimation accuracy is still challengeable. As the ground truth is necessary also for verification of the infrasound signals, in this study INF04 sensors of Kochi University of Technology (KUT) were deployed beside Deseret Fireball Network (DFN) of Curtin University around Perth, Australia in September 2022.

**Preparation and Installation of Perth Array:**

INF04 is a unique infrasound sensor which was developed by Kochi University of Technology to be carried out in sounding rockets for detecting infrasound signals in upper atmosphere. Furthermore, this sensor was used as a part of measurements of Hayabusa-2 capsule reentry in December 2020. The sensor consists of microphone condenser, and it is integrated with 3 component accelerometer and temperature sensor. At the time of Hayabusa-2 the raspberry pi was used as a data logger and this system was initiated by Inoue-san. In this study, the system was developed to be used in real time over secure 4G connection. The infrasound system uses in IP67 boxes and tested in Yamamoto sensei's laboratory as shown in Fig. (1).



Fig. (1) Testing of INF04 sensor and datalogger in KUT at the left-hand side figure and Curtin Univ. in the right-hand side figure.

Infrasound signals can be analyzed using progressive multi-channel cross correlation (PMCC) or F-K analysis methods. In the current stage the aim of our experiment is to test the sensors on site at Perth. Four sensors were deployed in array shape with diameter of ~ 2 km near Perth observatory. In the current stage the sensors were installed in local farms under shaded zones. We expected to receive some noises in the free field installation due to the water motor noise at the morning time. As the camera system usually works good at night, such this noise will not affect the integration of the infrasound sensors with the fireball camera system.

Moreover, one single sensor was deployed in Kattaning city (~300 km south Perth) with one of DFN camera system. We are integrating both systems to make automatic detection for the fireballs near this site. Fig. (2) shows the infrasound installation of Perth array as well as Kattaning site.

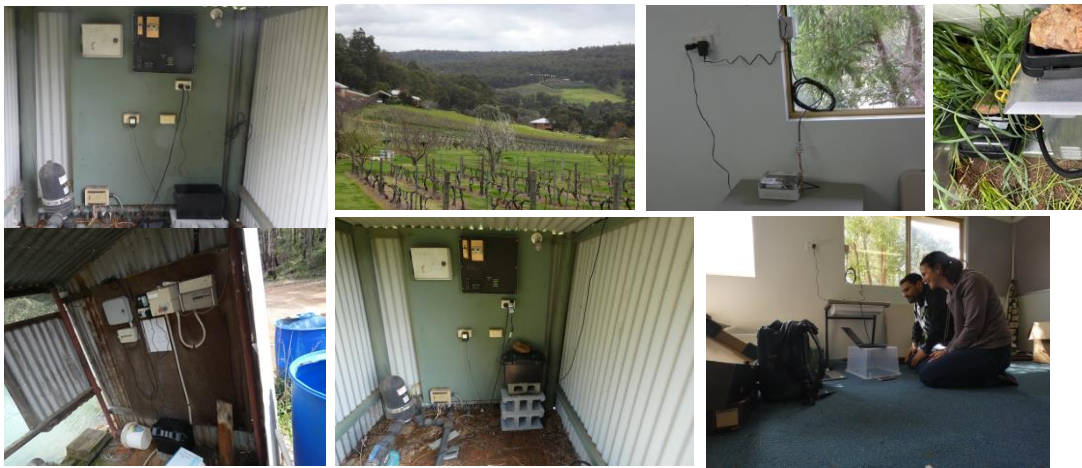


Fig. (2) Deploying the infrasound sensors in Perth array sites and Katanning site.

**Current Status:**

Now the 5 sensors are working well, all the data automatically archived and could be managed remotely from Japan. We are using virtual private network (VPN) over 4G connection in Perth which we can secure our dataset. During the last few months, we were in testing phase to make sure that the system is stable and can be continue as a permanent infrasound station in Perth. The data availability exceeds 95% from September 22 to the first of December. Our dataset can be managed through a cloud service, and we have long term storage for backing up all the data daily.

There is a daily reporting system to check the daily received dataset and to confirm archiving them on the server.

### **First Detected Fireball in Perth by Our System:**

On the 7<sup>th</sup> of November at 19:00:16 UTC, the DFN cameras detected a fireball near Perth. As well as the 3 infrasound sensors of Perth array recorded coherent signals at 19:05:48 UTC from the fireball as shown in Fig. (3).

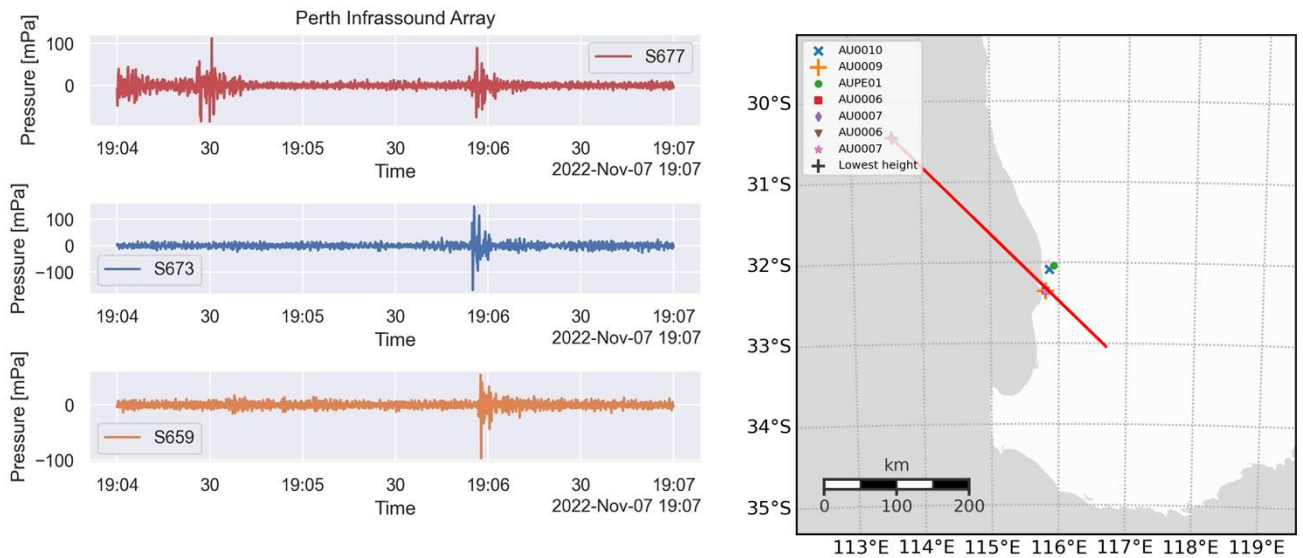


Fig. (3) Waveform of infrasound signals from detected fireball by DFN cameras near Perth

### **Acknowledgment:**

Thanks to Prof. Otsuka sensei and Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University for funding the travel expenses to Perth. Moreover, I'd like to thank Dr. Ellie Sansom and her team from Curtin Univ. for supporting and helping in the installation of the infrasound sensors. Also, Thanks to Dr. Colin and Perth Observatory team for negotiation and allowing us to find the suitable places for the sensors' installation. In addition, thanks to Prof. Yamamoto and Kochi University of Technology to support with the infrasound sensors and the needed hardware.





(別紙様式 13-2)

和文課題名

ノルウェー・トロムソにおけるデジカメとジンバルを用いたオーロラ  
のアクティブ観測

英文課題名

An active observation of aurora using a gimbal and DSLR camera at Tromsø, Norway

研究代表者、所属機関・部局  
南條壮汰、電気通信大学・情報・ネットワーク工学専攻

本予算の申請時には、ジンバルにカメラを搭載することで、撮影領域を自由に変更する観測手法の実現を目指したが、トロムソの観測所にジンバルを置くための十分な空間が存在しなかったことや、同手法をスウェーデン・キルナで実施するための別の予算が採択されたことから、申請時における研究計画を変更した。以下では、申請時における研究計画ではなく、実際に行った観測について記す。

【研究目的】

国際宇宙ステーション (ISS) から、市販のデジタルカメラ Nikon D5 を用いて昼夜を問わず地球表面の様子が撮影されている。これらのうち、夜間に撮影されたものの中には、オーロラが映り込んでいる場合がある。Nanjo et al. (2020) では、画像内に映り込んだ街明かりを用いることで、撮影画像を地理空間上へ投影する手法が提案された。さらに、Nanjo et al. (2021) では、地理空間に投影されたオーロラの青と緑の強度比を用いることで、脈動オーロラを発光させる電子のエネルギーが定性的に推定できることを示唆した。本研究では、先行研究から得られた示唆をより定量的に評価するため、ノルウェー・トロムソにおいて ISS で用いられているデジタルカメラと同じ Nikon D5、多波長フォトメータと EISCAT UHF レーダーを用いたオーロラの同時観測を行う。具体的には、Nikon D5 が計測した RGB 値とフォトメータが計測した精確なオーロラの輝度 (レイリー値) がどう対応するかを経験的に評価し、デジタルカメラの青と緑の比からフォトメータによる 427.8 nm と 557.7 nm の発光強度比を推定する写像を、精度評価も含めて導出する。その後、フォトメータによる 427.8 nm と 557.7 nm の発光強度比、デジタルカメラの青と緑の比、UHF レーダが計測した電子密度の高度プロファイルから CARD 法を用いて推定した降下電子のエネルギーを比較し、デジタルカメラによる青と緑の比から降下電子のエネルギーを推定することの妥当性を検証する。

【観測実験の実施状況】

8 月末に国立極地研究所の光学校正室において、積分球およびモノクロメータを用いてカメラの校正に必要なデータを取得した。9 月 6 日から 11 日にかけてノルウェー北極大学が管理する Ramfjordmoen field station に滞在し、カメラの設置作業を行った。カメラの向きは、フォトメータや UHF レーダが計測する磁気天頂が撮影画像内に含まれるよう留意した。ISS からの観測では、1 秒あたり 1-2 枚の画像を撮影しており、これは脈動オーロラの数秒程度の輝度変動「主脈動」を可視化するのに十分な時間分解能である。ただし、デジタルカメラのシャッターは耐久回数が数十万回程度であるため、従来の光学観測のように一晩中観測し続けると、すぐに観測が行えなくなってしまう。そこで、本研究では研究

所担当教員である野澤悟徳准教授が管理する同観測所内の全天カメラが撮影したリアルタイム画像 ([https://www.isee.nagoya-u.ac.jp/~eiscat/obs/d5000/html/sky\\_image.html](https://www.isee.nagoya-u.ac.jp/~eiscat/obs/d5000/html/sky_image.html)) を参照し、この画像中にオーロラが映り込んでいる時のみ、観測を行うようにした。オーロラの検出には Nanjo et al. (2022) で開発した深層学習モデルを利用したため、観測は完全に自動化されている。この手法で得られた観測画像のクイックルック版は、撮影後 1 日以内に <https://tromsoe-ai.cei.uec.ac.jp/#/BurstObservationList> へ自動的にアップロードされる。オリジナルデータは、電気通信大学の計算機サーバに保存されている。

## 【結果】

光学校正室の積分球を用いた実験で得られた結果より、RGB 値のばらつき (SNR) と周辺減光の評価を行った。ある ISO 感度、シャッタースピードに対して、キャップに蓋をした状態および積分球の輝度を 4 段階に変化させてそれぞれ 10 枚、合計 50 枚の画像を取得した。RGB 値はフォトンショットノイズの影響により、カウントが大きいほどばらつきが大きくなった。そのため、SNR をカウント値に依存する関数として求めた。具体的には、ある座標の周囲 9x9 ピクセルを同一の光量を受けた領域と見做し、81 ピクセル x 10 枚で得られた計 810 のカウント値の平均値を、標準偏差で除して計算した。その結果、SNR は暗いディフューズオーロラで 3-5 程度、明るいディスクリットオーロラで 10 以上であった。また、周辺減光はコサイン 4 乗に比例することが知られている (コサイン 4 乗則) ため、コサイン 4 乗に比例する関数を用いてモデル化した。これは、異なる座標でオーロラの輝度を比較する際に用いる予定である。フォトメータにより得られた輝度値との比較を行うには、磁気天頂の座標を計算する必要があるが、これは画像から自動的に星を探索するソフトウェア Astrometry.net を用いて行った。磁気天頂における時系列が作成できるようになったため、今後はフォトメータの観測結果と Nikon D5 による RGB 値を比較し、研究目的に記載した内容の検討を進める予定である。

## 【引用文献】

Nanjo, S., Y. Hozumi, K. Hosokawa, R. Kataoka, Y. Miyoshi, S. Oyama, M. Ozaki, K. Shiokawa and S. Kurita, Fine-scale visualization of aurora in a wide area using color digital camera images from the International Space Station, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 125, 2020

Nanjo, S., Y. Hozumi, K. Hosokawa, R. Kataoka, Y. Miyoshi, S.-I. Oyama, M. Ozaki, K. Shiokawa and S. Kurita, Periodicities and colors of pulsating auroras: DSLR camera observations from the International Space Station, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 126, 2021

Nanjo, S., S. Nozawa, M. Yamamoto, T. Kawabata, M. G. Johnsen, T. T. Tsuda and K. Hosokawa, An automated auroral detection system using deep learning: real-time operation in Tromsø, Norway, *Scientific Reports*, 12, 2022

(別紙様式13-2)

ロングイアビンにおける短波長赤外分光計を用いた OH 大気光の観測  
OH airglow observations using SWIR spectrograph at Longyearbyen

古舘 千力、電気通信大学 情報理工学研究所

## 研究目的

OH 大気光を利用した上部中間圏の温度計測は長年研究されてきており、近年では検出器の進歩や民生品化が進んだことによって、短波長赤外領域の OH 発光バンドの観測が比較的容易になった。短波長赤外領域の OH 大気光は可視領域に比べて発光強度が大きいため、温度計測の高精度化が期待されている。しかしながら、極冠域での観測例は少なく、極域における大気光観測ではスペクトル中にオーロラ発光が混入することが考えられる。先行研究では、南極昭和基地における OH(3,1)バンド(1.5  $\mu\text{m}$  付近)の観測において、オーロラ発光の混入により温度計測が約 40 K 過小評価される可能性が指摘されている[Nishiyama et al., EPS, 2021]。本課題では、オーロラ発光の影響が小さいと考えられる 1.1-1.3  $\mu\text{m}$  帯 OH 大気光の分光観測によって、極域における短波長赤外 OH 大気光観測による温度観測手法を確立し、北極上部中間圏における大気温度変動の動態解明に資することを目的とする。

## 実施状況

短波長赤外分光器及びオーロラ観測のための小型全天デジカメの開発を行い、2022年11月にスバルバル諸島・ロングイヤビエン(78.1°N, 16.0°E)の The Kjell Henriksen Observatory (KHO)に設置した。小型全天カメラの観測データは電通大のウェブページにて準リアルタイムで公開している。

OH 観測に特化した観測モードで1か月の連続観測を行い、その内2日間のデータについて詳細な解析を行った。OH(7,4)バンドと OH(8,5)バンドをそれぞれ利用した Boltzmann plot 法による温度推定結果及び、小型全天デジカメによるケオグラムを図1に示す。900秒積算で求めた温度データの観測誤差は OH(8,5)で 4.8 K, OH(7,4)で 13.6 K 程度であった。中間圏温度観測で実績のある NASA の Aura 衛星の Micro Limb Sounder による温度観測と比較したところ、本観測で得られた温度データは、Aura/MLS 温度データとおおよそ一致していた。また、11月26日 18:28 UT 頃のオーロラ発生時の観測スペクトルを図2に示す。オーロラ発生直前の1時間を積算することで OH 大気光スペクトルを生成し、オーロラ発生時の 30秒積算スペクトルとの差分を取ることで、オーロラによる発光スペクトル成分のみを抽出した。その結果、OH(7,4)バンドの P ブランチが存在する 1220~1240 nm において N<sub>2</sub> 1st positive (0,1)バンド、1315 nm に存在する OH(8,5)の P<sub>1</sub>(4)線付近で O 原子の発光が確認された。300秒積算時の OH(7,4)バンドによるオーロラ発生前の推定温度は 218 K で、オーロラ

発光混入時の 300 秒積算時の推定温度は 195 K であったため、最大 23 K の過小評価の可能性があると考えられる。一方、OH(8,5)バンドによる温度推定では、オーロラ発光混入の可能性のある P1(4)線を除くことで誤差 5 K 程度で温度推定が可能であった。この手法によるオーロラ発生前の推定温度は 221 K で、発生時の推定温度は 234 K であった。

## 今後の方針

OH(7,4)と OH(8,5)バンドの温度推定結果を比較すると OH(8,5)バンドの方がやや温度が高めに推定される傾向がある。今後、KHO に設置されている他分光器[e.g., Sigernes et al., 2003]との OH 大気光の同時観測による温度を比較し、絶対温度の推定精度について検証する。

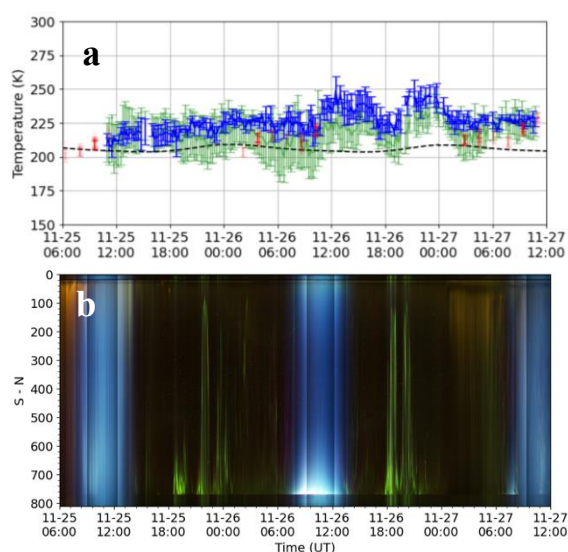


図 1. (a)積算時間 900 秒での OH(8,5)バンド(青)と OH(7,4)バンド(緑)によって推定された 2 日間の温度変化。Aura/MLS(赤)と NRLMSISE2.0(黒)の温度データ。(b)小型全天デジカメの撮影画像から作成した磁気南北方向のケオグラム。

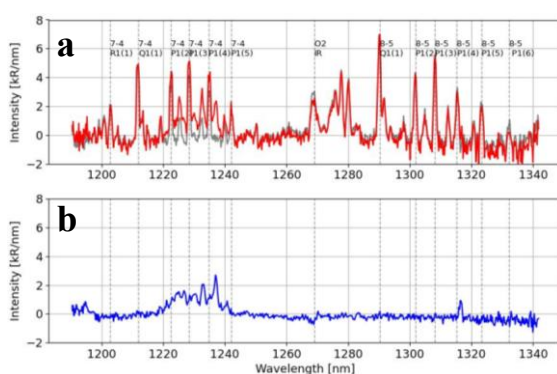


図 2. (a)オーロラが発生する直前の 1 時間積算スペクトル(黒)とオーロラ発生時の 30 秒積算スペクトル(赤)。(b)1 時間積算スペクトルと 30 秒積算スペクトルの差分スペクトル(青)。

## 学会発表

- (1) S. Furutachi, T. T. Tsuda, and T. Nishiyama, Temperature estimation from OH Meinel (8,5) band around 1.3  $\mu\text{m}$  and its quantitative evaluations, JpGU Meeting 2022, online, May 2022. (poster)
- (2) 古舘千力, 津田卓雄, 西山尚典, 極冠域における 1.1-1.3  $\mu\text{m}$  帯 OH 大気光分光観測計画: 分光器の性能検証・試験観測・感度校正実験, MTI 研究集会, オンライン, 2022 年 9 月. (ポスター)
- (3) S. Furutachi, T. Nishiyama, T. T. Tsuda, Y. Ogawa, S. Nozawa, and F. Sigernes, Spectroscopic observation of OH airglow in 1.1-1.3  $\mu\text{m}$  in the polar region, ISAR-7, Tachikawa, Japan, March 2023. (poster)

(別紙様式 13-2)

南極点アムンゼン・スコット基地における多色オーロライメージャーを用いた  
高エネルギー粒子降下と中層大気電離現象の解明

High-energy particle precipitation and ionization in the middle atmosphere obtained with  
multi-wavelength auroral imagers at Amundsen-Scott South Pole Station

研究代表者：近藤大泰、東北大学・大学院理学研究科

〈 研究目的 〉

本研究は、「地球環境はどう宇宙にオープンなシステムかを理解すること」を目的として、極冠域に存在する観測基地を訪問して、全天イメージャーを複数台設置する計画である。

極冠域は、太陽風や惑星間空間に直接つながる、宇宙に開かれた窓としてユニークな領域である。特に、太陽プロトンイベント (SEP) 発生時には、高エネルギープロトンが極冠に降下し、中間圏大気を電離させてオゾンや NO<sub>x</sub>, HO<sub>x</sub> の変動を引き起こす。また、夜側ではローブ領域と結合し、シータオーロラなど太陽風磁場変動によって引き起こされる複雑な磁気圏ダイナミクスを反映する。この研究は、国立極地研究所の第 X 期重点研究計画 (AJ1007、研究代表：片岡龍峰准教授) で展開する南極内陸のオーロラネットワーク観測や宇宙線観測等と共同研究である。これらの多点データを組み合わせて、オーロラ電子や太陽プロトン陽子による中層大気への化学反応・電離インパクトや、極冠オーロラ現象に現れる磁気圏ローブのトポロジー解明のためのシミュレーションとのデータ同化を進める。これにより、様々な宇宙天気現象の物理メカニズムの解明を行い、長期的で学際的な宇宙気候の諸問題の解明・予測にも貢献することを最終目標としている。

〈 観測実験の実施状況 〉

本申請時には、極冠域の米国アムンゼン・スコット南極点基地に新たに 5 波長同時撮像高感度 CMOS 全天イメージャーを設置する予定であった。このための全天イメージャーの開発は予定通り実施された。本年度当初より開発を開始し、波長 391.4nm, 557.7nm, 630.0nm, 670.0nm, 844.6nm の干渉フィルター (Andover 社製)、小型高感度 CMOS (ZWO 製 ASI-183MMpro)、カメラ制御 PC 小型 PC (ESC 社製 LIVA-Z2) およびデータサーバーから校正される観測システムを構築した。2022 年夏頃まで長期運用試験、2022 年 9 月末に極地研積分球を用いて感度校正試験が行い、この観測システムを完成させた。しかしながら、コロナ禍のため、アムンゼン・スコット南極点基地訪問に不可欠な米国側の受入体制が整わず、訪問は不可能となった。このために、塩川和夫教授、ならびに共同研究をすすめていた国立極地研究所の片岡龍峰准教授、小川泰信教授、田中良昌准教授、西山尚典助教ら

と検討を行い、本研究経費を活用して、北極域ノルウェー・ロングイヤービン・UNIS が管理する Kjell Henriksen Observatory に全天カメラ 2 台 (391.4nm, 630nm) 設置することとした。Kjell Henriksen Observatory は極冠域に位置し、研究目的の達成に最適かつ訪問可能な観測所の一つである。また、他研究期間の地上観測装置や EISCAT Svalbard Rader による協調観測も期待される。加えて、第 64 次南極地域越冬隊観測の一部として、全天カメラ 4 台 (391.4nm, 557.7nm, 630nm, 670nm) を設置することとした。

#### < 結果 >

本経費を用いて、2022 年 11 月 8-20 日にかけて、極地研究所・小川泰信教授および西山尚典助教と同行して、近藤大泰 (研究代表者) が Kjell Henriksen Observatory を訪問して、全天カメラ 2 台を設置した。設置後は、撮像間隔 20 秒で 2 台のカメラの連続動作を現在まで継続している。

さらに、第 64 次南極地域南極越冬隊において、極地研・田中良昌准教授らによって南極昭和基地に全天カメラ 4 台からなる観測システムが設置された。このシステムは、2023 年 2 月から 4 台同時撮像を開始し、現在まで連続動作している。

以上のとおり、当初計画されたアムンゼン・スコット基地への設置はコロナ禍のために達成できなかったが、北極冠域に 2 台の全天カメラ、南極昭和基地に 4 台の全天カメラを新たに設置し、連続撮像を開始することができた。本研究と観測装置を活用した共同研究により、研究目的に掲げた極冠域への高エネルギー粒子降下現象や磁気圏ローブ域現象の解明を今後進めていく計画である。なお、これらの成果は、極域科学シンポジウムおよび SGEPS 等の学会・研究会で成果報告された。

#### < 成果発表 >

Kondo, H., T. Sakanoi, M. Kagitani, R. Kataoka, Y. Tanaka, Y. Ogawa, T. Nishiyama, K. Murase, Y. Miyoshi, Y. Ebihara, S. Yamashina, Y. Hozumi, Development of new multi-wavelength all-sky imagers for observation of polar cap aurora, 13th Symposium on Polar Science, online meeting, NIPR, 15-18 Nov., 2022.

近藤大泰, 坂野井健, 海老原祐輔, 片岡龍峰, 山科佐紀, 穂積裕太, 南極点アムンゼン・スコット基地ならびに南極冠域無人観測網における多波長同時オーロラ撮像計画にむけた新オーロライメージャー開発の現状, SGEPS 第 152 回総会・講演会, 相模原市立産業会館, 相模原, Nov. 3-7, 2022.



(別紙様式 1 3-2)

## フィンランドにおける VLF/LF 帯雷電波・標準電波の観測

### Observations of VLF/LF atmospherics and transmitter signals in Finland

田中 健太郎、千葉大学・大学院融合理工学府基幹工学専攻電気電子工学コース

#### 1. 研究目的

磁気圏から電離圏を通過し大気圏へ降り込む高エネルギー電子による下部電離圏変動の研究のため、東北大学と共同で標準電波ネットワーク OCTAVE(Observation of CondiTiOn of ionized Atmosphere by VLF Experiment)を構築している。これまでにすでに、カナダ、アラスカ、ノルウェーに設置されているが、まだ観測点が足りないため、フィンランドに受信機を設置し、定常観測を行う。欧州各地から送信される複数の標準電波の振幅・位相データを解析し、下部電離圏の反射高度(電子密度)変動を推定する。下部電離圏は電子-中性粒子衝突周波数が非常に高く、通常の電離圏観測手法が使用できない。しかしながら、使用している標準電波は下部電離圏で反射する周波数帯であるため、下部電離圏研究に有用である。

#### 2. 観測実験の実施状況

2022年9月9日~9月19日に、大矢浩代助教(千葉大)および土屋史紀准教授(東北大)とともに、トゥルク大学 Kevo 亜寒帯研究所にて標準電波・雷電波観測装置を設置した(図1)。

観測装置は自動的に24時間定常観測を行うように設定し、フィンランド滞在中にテスト観測を行い、計画どおり、正常に標準電波および雷電波を観測できることをフィンランドで確認した。観測データは自動的にまた定期的に東北大のサーバに転送され、東北大のサーバから千葉大のHDDにダウンロードする。また、今回設置した観測装置は世界中に設置されているOCTAVEの新設のVLF/LF帯雷電波の受信システムである。Kevoに設置することにより、トロムソ上空を通過する電波伝搬経路を確保することができる。これにより、トロムソで行われているミリ波観測やEISCAT観測との共同観測が可能となる。磁気圏の電子が地球大気へ降下する現象は、磁気圏の重要な電子損失過程であると同時に、中層大気に化学的な影響を及ぼすことから、これによる電離圏変動の定量的理解が進むことが期待される。

#### 3. 結果

2017年10月9日11:00-12:00 UTの地磁気静穏時に、アサバスカ(ATH, カナダ)での観測で、図2に示すような240 s(NLK-ATH)および270 s(NDK-ATH)周期の振動が見られた。ウェーブホップ法に基づき計算したところ、VLF/LF波変動時に反射高度が4.3-4.4 km変動し、高度91 kmでD領域電離圏の電子密度が背景電子密度に対しそれぞれ129.1%および94.5%増加したことが示された。また、ATHと低緯度帯における地上磁場南北成分の変動は、VLF波変動と同様の周期でPi2型ULF波を示した。このイベントにおけるVLF/LF波変動の主な原因は、ミラーポイントが低下することによって、電子が大気圏内へ侵入したために引き起こされた可能性がある。今後、フィンランドでも同様のULF変動された高エネルギー電子の降り込みの現象が観測されることが期待でき



図1 2022年9月9~19日にKevo(フィンランド)に設置したVLF/LF帯雷電波・標準電波観測用ループアンテナ。



る。

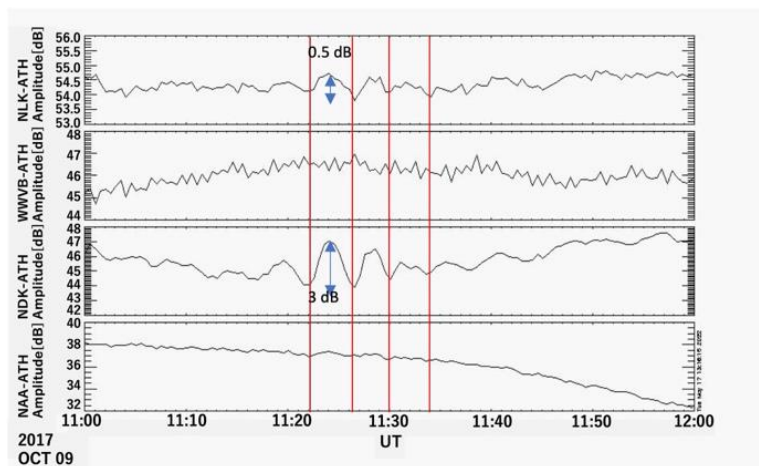


図2 2017年10月9日11:00-12:00 UTにアサバスカ(ATH, カナダ)で観測されたVLF/LF波の振動。

#### 関連した成果発表

- [1] K. Tanaka, H. Ohya, F. Tsuchiya, K. Nozaki, M. Teramoto, K. Shiokawa, Y. Miyoshi, M. Connors, and H. Nakata, 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, URSI Radio Science Letters, Vol. 4, DOI: 10.46620/22-0049, 2022.
- [2] K. Tanaka, H. Ohya, F. Tsuchiya, M. Teramoto, K. Shiokawa, Y. Miyoshi, M. Connors, and H. Nakata, ULF modulation of VLF/LF transmitter signals in the D region ionosphere, Japan Geoscience Union Meeting 2022, 幕張メッセ・オンライン, 2022年5月22日~6月3日.
- [3] K. Tanaka, H. Ohya, F. Tsuchiya, M. Teramoto, K. Shiokawa, Y. Miyoshi, M. Connors, and H. Nakata, VLF/LF oscillations in the D region ionosphere by ULF modulation, Asia Oceania Geosciences Society 2022, オンライン, 2022年8月1日~8月5日.
- [4] K. Tanaka, H. Ohya, F. Tsuchiya, K. Nozaki, M. Teramoto, K. Shiokawa, Y. Miyoshi, M. Connors, and H. Nakata, Energetic Electron Precipitations from OCTAVE VLF/LF Observations, URSI-JRSM(日本電波科学会議) 2022, 中央大学, 2022年9月1日~9月2日.
- [5] K. Tanaka, H. Ohya, F. Tsuchiya, K. Nozaki, M. Teramoto, K. Shiokawa, Y. Miyoshi, M. Connors, and H. Nakata, ULF-modulated energetic electron precipitation in magnetically quiet time using OCTAVE VLF/LF observations, SGEPS 2022 秋学会, 相模原市立産業会館, 2022年11月3日~11月7日.
- [6] K. Tanaka, H. Ohya, F. Tsuchiya, K. Nozaki, M. Teramoto, K. Shiokawa, Y. Miyoshi, M. Connors, and H. Nakata, ULF modulation of energetic electron precipitation in the D-region ionosphere in magnetically quiet time using OCTAVE VLF/LF observations, VERSIM 2022, オンライン, 2022年11月7日~11月11日.

(別紙様式 13-2)

カナダのアサバスカ観測点における中間圏大気重力波のキャンペーン観測

Campaign observation of atmospheric gravity waves in the mesosphere at Athabasca in Canada

塩川和夫、宇宙地球環境研究所  
Martin Connors、Athabasca University  
坪井巧馬、宇宙地球環境研究所

私は本支援の援助を受け、2022年8月30日から9月3日にカナダのアサバスカでWATECカメラを用いた中間圏大気重力波のキャンペーン観測をおこなった。本キャンペーン観測は一昨年より宇宙地球環境研究所電磁気圏研究部で提案者らが開発してきたWATECカメラをカナダのアサバスカの大学構内の観測所に設置し、水平距離で43km南西に離れたアサバスカ大学の観測所(AUGSO)で運用されている超高層大気イメージングシステム(OMTI)と合わせて、中間圏のOH大気光による大気重力波の2点同時観測を行うというものである。WATECカメラについては、現在運用中のOMTIに代わるカメラとして、一昨年から開発を続けているカメラであり、本研究の提案者はこの開発メンバーのひとりとして、カメラの較正実験や機器システムの開発、自動運用化などについて一から開発に携わってきた。昨年8-9月には信楽観測点において約1か月間の自動運用のテスト観測を行い、中間圏の大気重力波の自動観測を成功させた。本キャンペーン観測は、WATECカメラにとって実戦を兼ねた最後のテスト観測となった。

本キャンペーン観測の結果、残念ながら大気重力波の観測をすることはできなかった

ものの、pulsating aurora や diffuse aurora、purple aurora、STEVE など様々な種類のオーロラを観測することができた。これらのオーロラは無事にWATECカメラで自動・連続撮影を行うことができ、WATECカメラのテスト観測としては成功となった。この結果を受けて、現在WATECカメラはタイのチェンマイにおいて実戦運用されている。

また、観測データの解析をしている私にとって、その元となる観測機器の設置を自分の手でおこなうというのは新鮮な体験だった。普段は意識することのない現場やハード面の問題(電源までケーブルが届かない、カメラに反射光が写りこむ等)に苦労したがとても貴重な経験となった。

最後に、私の本キャンペーン観測の実施を支援していただいた関係者の皆様に心より御礼申し上げます。



図1 diffuse aurora と観測所

(Form 13-2)

# ZWO カメラを用いた極域の中規模伝搬性電離圏擾乱の 2 点同時観測

佐藤 雅紀  
名古屋大学  
宇宙地球環境研究所

新型コロナウイルスの影響で中止

(別紙様式 13-2)

アサバスカにおける地上観測装置を用いた脈動オーロラ、ELF/VLF帯  
波動とCNAの同時観測

Simultaneous observations of pulsating auroras, ELF/VLF waves  
and CNA using ground-based instruments in Athabasca

加藤悠斗、宇宙地球環境研究所  
塩川和夫、宇宙地球環境研究所  
Martin Connors、Athabasca University  
三好由純、宇宙地球環境研究所

私は本支援の援助を受け、2022年8月30日から9月3日にカナダのアサバスカでWATECカメラを用いた脈動オーロラ、ELF/VLF帯波動とCNAの同時観測をおこなった。本観測では一昨年より宇宙地球環境研究所電磁気圏研究部で提案者らが開発してきたWATECカメラに窒素分子イオン発光を取得することができる650nm以上の波長を透過する干渉フィルターを搭載し、周期が数秒から数十秒の脈動オーロラの明滅を観測するというものである。このカメラをカナダ・アサバスカ大学構内に設置し、そこから43km南西に離れたアサバスカ大学地球物理観測所(AUGSO)で宇宙地球環境研究所が運用しているEMCCDカメラと2点同時観測を行うというものである。WATECカメラについては、現在運用中のOMTIに代わるカメラとして、一昨年から開発を続けているカメラであり、本研究の提案者はこの開発メンバーのひとりとして、カメラの較正実験や機器システムの開発、自動運用化などについて一から開発に携わってきた。昨年8-9月には信楽観測点において約1か月間の自動運用のテスト観測を行っており、本観測は、WATECカメラによって実戦を兼ねた最後のテスト観測となった。

本観測の結果、脈動オーロラをWATECカメラを用いて、サンプリング速度1Hzで自動・連続撮影を行うことができた。図1にWATECカメラで1秒ごとに撮影された大気光画像を示す。画像の上が北である。これらの画像より、WATECカメラでも脈動オーロラの明滅をとらえることができたことが分かる。

しかし、脈動オーロラの明滅間隔は数秒スケールであるため、より時間分解能の低いCNA、ELF/VLF帯波動との対応を明らかにすることはできなかった。

ただ、本観測では、脈動オーロラのほかにも、STEVE(図2)やディフューズオーロラをWATECカメラで観測することに成功した。この結果を受けて、現在WATECカメラはタイのチェンマイにおいて実戦運用されている。

また、カメラの設置や、現地のネットワーク設定、そしてリモートでPCを操作する中で様々な障害があったが、そのたびに原因を考え、解決していくという、フィールド観測ならではの貴重な経験をすることができた。

最後に、私の本観測の実施を支援していただいた関係者の皆様に心より御礼申し上げます。

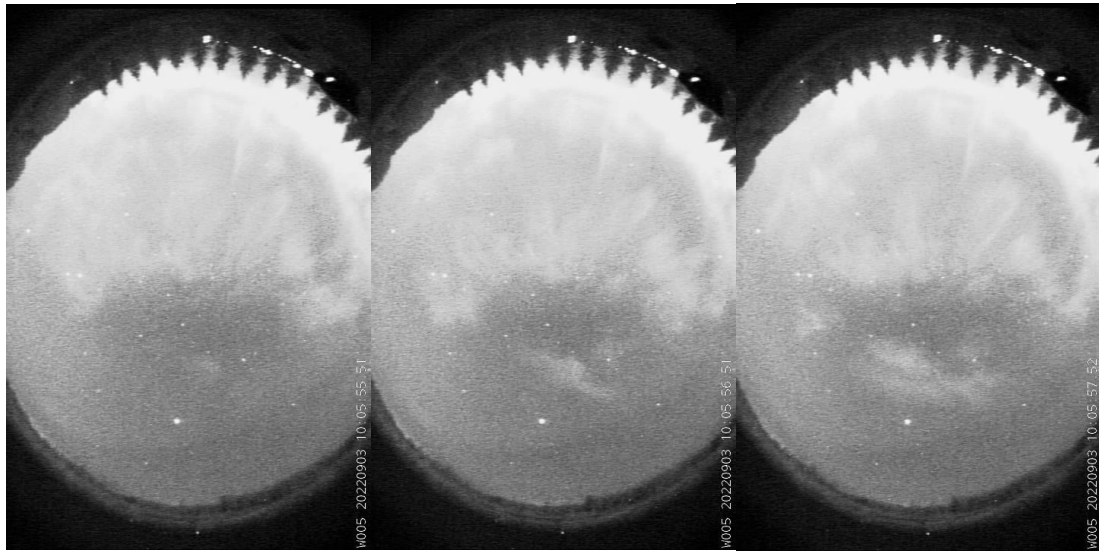


図1 WATECカメラで撮影された脈動オーロラ  
(左) 10:05:55 UT (中) 10:05:56 UT (右) 10:05:57 UT)

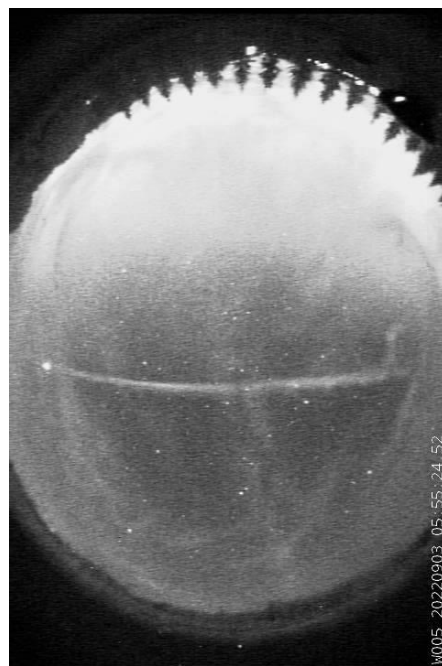


図2 WATECカメラで撮影された STEVE

オーストラリア北部における微小地磁気変動のフィールド定常観測  
Field Steady-State Observations of Micro-Geomagnetic Fluctuations in Northern Australia

山内大輔 名古屋大学宇宙地球環境研究所・電磁気圏研究部・塩川研究室

【研究目的】

電離層は、E層、F層のように積層構造をしており、その間に電磁流体波動(=プラズマ中の低周波電磁波動)が閉じ込められ、電離層空洞共振器を形成する。こうした電離層空洞共振器は低緯度には形成されないと考えられてきたが、近年の長期間にわたる観測データに基づき、日本のような低緯度でも存在することが明らかになってきた。この研究では、磁力線に沿って日本の共役関係にあるオーストラリアにおいても同様の共振が存在するかどうか、またその共振器にエネルギーを供給する源は何かを調査するため、オーストラリアに観測データ収集システム(誘導磁力計)を設置することを目的とする。

【観測実験の実施状況】

・実施期間

2023年3月5日から2023年3月9日

・作業員氏名

能勢正仁・山内大輔(名古屋大学)、山本和弘(東京大学)、  
Bill Jones・Liejun Wang(Geoscience Australia)

・滞在した観測拠点

Kakadu Geophysical Observatory

・研究機関

Australian Government

・設置場所

地理経緯度( $-12.69^{\circ}$ ,  $132.47^{\circ}$ )、地磁気経緯度( $-20.96^{\circ}$ ,  $-153.66^{\circ}$ )、高度約22 m  
磁場観測に干渉しないよう、観測所から約100 m離して設置した。

・設置状況

誘導磁力計はx, y, z各成分の磁場を計測するため、三つのセンサーからなる。動物に噛まれたりするのを防ぐため、各センサーとケーブルを保護した上でトレンチに埋めた。

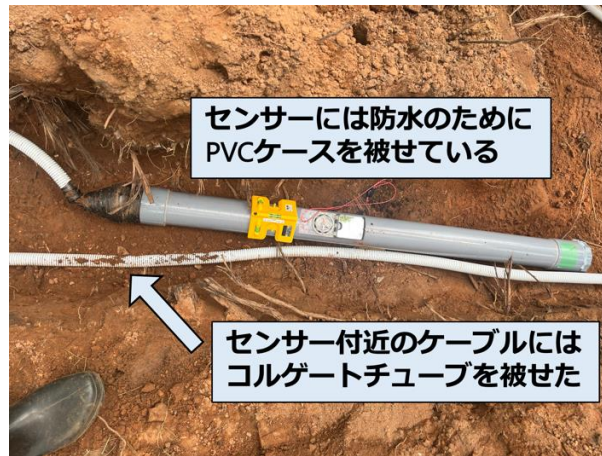


図1. 設置したセンサーの概要

【結果】

設置した誘導磁力計による初期測定結果を以下に示す。3月7日は、15Hzと25Hz付近のノイズを除き、きれいなデータだった。これらのノイズは、特にY成分とZ成分で同様に現れる。これらのノイズを除けば、シューマン共振を見ることができる。

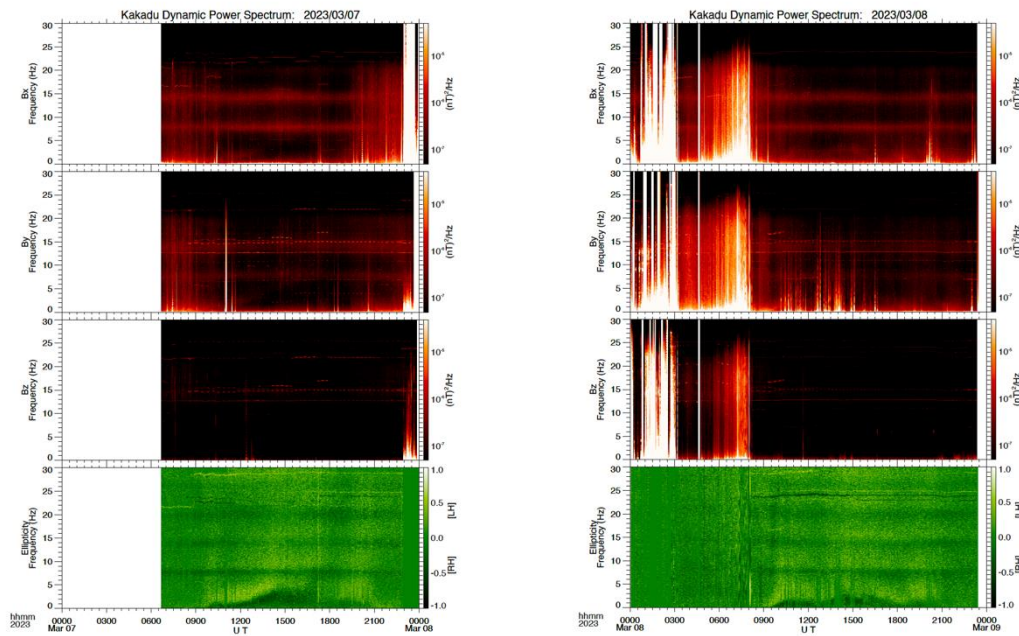


図2. 初期測定結果(2023/03/07-08)



## 2022年度 14)国際技術交流 目次詳細

### 2022 14) International Technical Exchange Program List

4 件

\*所属・職名は2023年3月現在

\*Affiliation and Department displayed are current as of March 2023.

(注1): 新型コロナウイルスの影響で中止 / Cancelled due to COVID-19

(注2): 中止 / Cancelled

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
Bernhard Kliem	University of Potsdam, Germany	Institute of Physics & Astronomy	Research Senior Astrophysicist	Modeling the Source Region of the Extreme Space Weather Event of 1921 May 14-15	347	(注1)
Kevin Krieger	University of Saskatchewan, Canada	Physics & Engineering Physics	Head Research Engineer	SuperDARN Hokkaido Pair of radars (HOP) system hardware and software developmen	348	
Manabu Shimoyama	Swedish Institute of Space Physics, Sweden	The Solar System Physics and Space Technology research programme	Senior scientist	将来の地球・惑星探査機に向けた超低エネルギー中性大気分析器の共同技術開発	350	
南 雅代	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授	加速器質量分析計による高精度・高確度 <sup>14</sup> C測定のための技術交流	352	

(Form 14-2)

**Modeling the Source Region of the Extreme Space Weather Event of  
1921 May 14-15**

Bernhard Kliem  
University of Potsdam,  
Germany  
Institute of Physics & Astronomy

Cancelled due to COVID-19

(Form14-2)

## **SuperDARN Hokkaido Pair of Radars (HOP) system hardware and software development**

Kevin Krieger (University of Saskatchewan)

Please write your research summary including purpose, methods, periods of stay in ISEE / International stay, achievements obtained from the program, and list of publications in maximum two pages.

日本語または英語のどちらかで作成してください。

Please use A4 paper (210×297 mm) with margin (top and bottom 20 mm, left and right 20 mm).

The Super Dual Auroral Radar Network (SuperDARN) is a network of high-frequency (HF) radars located in the high- and mid-latitude regions of both hemispheres. The network is used to study the dynamics of the ionosphere and upper atmosphere on a global scale. As of March 1, 2023, there are a total of 39 SuperDARN radars, 25 in the northern hemisphere and 14 in the southern hemisphere. One great advantage of the SuperDARN is that the radars use similar hardware, software and experiment schedules (during the common time, which accounts for over 50% of the total time). They also produce the same output data format, providing crucial information for geospace dynamics studies on a global scale. It is thus essential to maintain cooperation between different SuperDARN institutes, both on hardware, software, and operational aspects.

The purpose of this technical exchange between the University of Saskatchewan SuperDARN Canada Head engineer Kevin Krieger and the SuperDARN team at ISEE at Nagoya University was to discuss and exchange technical information about new imaging capabilities in development for both the Canadian Borealis radar systems and the Hokkaido pair of radars (HOP). The new imaging capabilities are made possible by off-the-shelf software-defined radios that are used in the Canadian SuperDARN radars as well as in development for the Hokkaido pair of SuperDARN radars.

The period of stay in ISEE was from February 15th until February 27th, inclusive. During this period several meetings between technical staff were held, as well as discussions between other visiting scientists in ISEE and other SuperDARN colleagues located in Japan. Based on these meetings, work was done to improve the documentation for the Canadian Borealis system including interfacing the system with existing SuperDARN sites' hardware, limitations and

capabilities and the software and hardware architecture.

During the technical meetings, first, an overview of the Borealis system was given. Then, more details on the different software modules were discussed including design choices and software architecture. Some hardware issues and design choices were also discussed. Problems that were overcome to create a reliable and correct system were discussed such as:

- proper timing required for radar pulses
- how to interface with the software-defined-radio driver (UHD – USRP Hardware Driver)
- radio noise issues when testing and what hardware choices to use to reduce noise
- how to scale the system from 1 to 20 receive channels and the software architecture used to handle a large amount of streaming data (ring buffer and continual sampling)

Limitations and capabilities of the system were also discussed such as:

- frequency choice
- bandwidth limitations
- signal processing (filtering) limitations

After technical discussions, the ISEE SuperDARN hardware lab was toured. In this lab, development is occurring on the HOP imaging receiver system as well as individual receiver systems at both ISEE and Rikubetsu. The existing SuperDARN system was also modified to extract important information on transmissions from the HOP radars and this was demonstrated in the lab.

Based on the discussions, many updates to the Borealis system documentation were made and can be seen here: [https://borealis.readthedocs.io/en/docs\\_refactor](https://borealis.readthedocs.io/en/docs_refactor). Importantly, a major section was added called ‘Transmitter interfacing’ which is important to understand when updating an existing SuperDARN radar.

Finally, several meetings were held with other colleagues within Japan during the trip. This included Dr. Akira Sessai Yukimatu at NIPR (National Institute of Polar Research) who is the PI for two SuperDARN radars at Syowa station, as well as Dr. Hermann Opgenoorth of Umea university, who is a user of SuperDARN data, among other instruments. During the meeting with Dr. Yukimatu, potential updates to the Syowa station radars were discussed. During the meeting with Dr. Opgenoorth, potential new modes and capabilities of the imaging radar were illustrated, which would benefit users of the SuperDARN data.

## 将来の地球・惑星探査機に向けた超低エネルギー中性大気分析器の共同技術

### 開発

下山 学 (スウェーデン宇宙物理研究所)

#### 1. 活動の背景・目的

我々は地球および惑星超高層大気観測のための超低エネルギー中性大気分析器の共同開発を計画している。この領域は、下層の中性大気と上層のプラズマの相互作用で特徴付けられ、エネルギー及び運動量輸送において極めて重要な役割を果たしているが、その物理過程の理解には中性大気速度（風速）の測定が必要とされている。しかし精密な測定が可能な“その場観測”の手法は未だ確立されておらず、その開発が強く求められている。ここで提案する超低エネルギー中性大気分析器は、探査機から中性粒子を直接観測することで中性大気の二次元速度分布を測定するものである。主要粒子種毎の二次元速度分布関数、温度、二次元バルク速度（風速）、数密度を導出可能である。

これまで当該機器の開発検討は ISEE の内部プロジェクトとして進められてきたが、新規開発要素が多く、ISEE とスウェーデン宇宙物理研究所（IRF）との共同開発を行うことでより効率的な開発推進が可能になると考えられる。本活動では主に、三次元イオン光学シミュレーションの開発環境の構築を主目的とし、今後のプロトタイプモデル開発に必要な詳細なシミュレーションを可能にすることを旨とする。

#### 2. メンバー

名前	所属	役割
下山 学	IRF	三次元分析器シミュレーションモデル・コード開発
平原 聖文	ISEE	シミュレーション環境管理・分析器設計アドバイス
田中 誠志郎	ISEE(大学院生)	分析器 CAD モデル開発

#### 3. 開発手法

近年の PC の高速化及び RAM の大容量化に伴い、詳細な三次元 CAD モデルを元にしたイオン光学シミュレーションモデルの構築が可能となった。本開発では、イオン光学シミュレーションソフトウェア SIMION を使い、分析器の三次元 CAD モデルから三次元イオン光学モデルのシミュレーション環境を構築する。開発は次の 4 ステップで行う。

STEP 1：これまでの研究によって得られた設計を元にして、設計パラメータ（分析器サイズ、電極への印加電圧等）の決定

STEP 2：三次元 CAD モデル作成

STEP 3：三次元イオン光学シミュレーションモデル構築

STEP 4：三次元イオン光学シミュレーションコード開発

#### 4. ISEE 出張期間

2022 年 11 月 22 日～2022 年 11 月 30 日

## 5. 成果

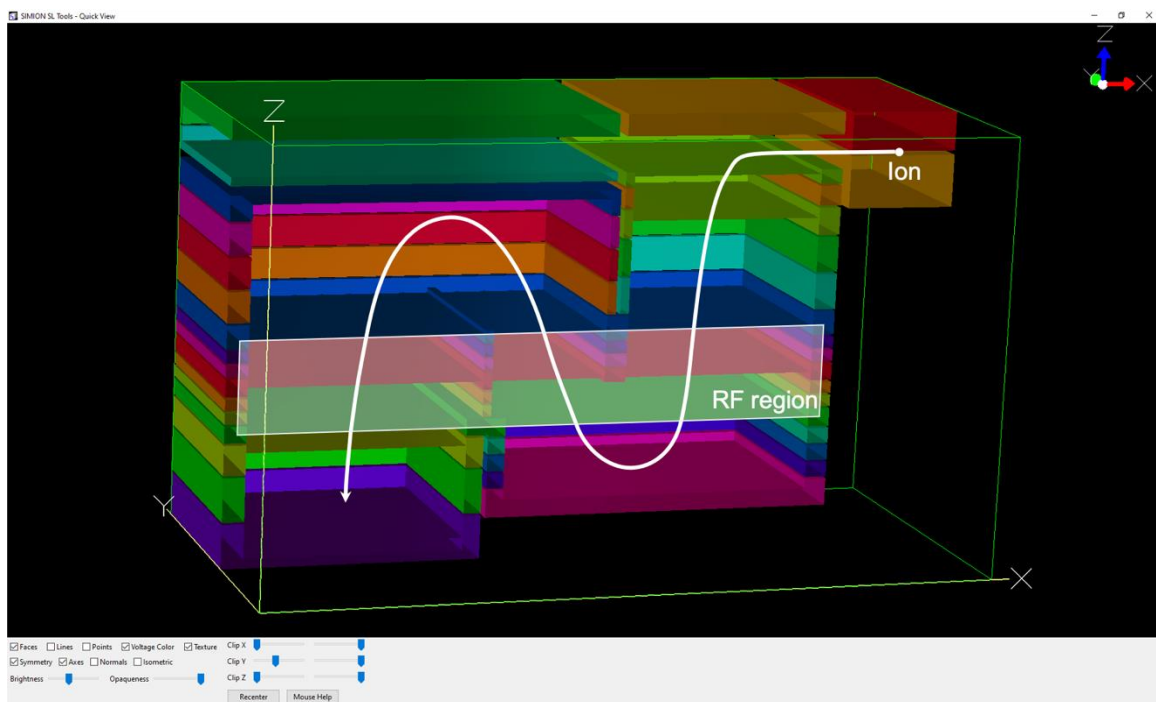


Fig. 1 三次元イオン光学シミュレーションモデル断面図。白枠で囲まれた領域が高周波電場が生成される領域である。

分析器の三次元 CAD モデルを元にイオン光学シミュレーションモデルを構築することで、分析器特性の理解に不可欠な詳細なイオン光学シミュレーション環境を開発した (Fig.1)。これにより、電極の末端効果等による非理想的電場分布が粒子軌道に与える影響を定量的に評価することが可能となった。今後のシミュレーション及びプロトタイプ試験によって分析器の設計変更や最適化が必要となった場合でも、三次元 CAD モデルの変更を即座にシミュレーション環境に反映させることができる。

また本分析器の質量分析部では、高周波電場 ( $\sim 1\text{MHz}$ ) を使用する。粒子の軌道計算ではそのステップ毎に電場分布を解く必要があるため、三次元シミュレーションの実現には電場分布計算の高効率化が大きな課題であった。今回開発したシミュレーション環境では、高周波電圧が引加される領域を静電場領域から切り出して独立にシミュレーションを行うことで、その効率化を図った。

今回の国際技術交流で得られた技術は、本分析器の設計・開発に留まらず、今後荷電粒子分析器の開発においても広く活用できると考えている。

(Form 14-2)

## **Technical exchange on accelerator mass spectrometry (AMS) for accurate and precise $^{14}\text{C}$ measurement**

Masayo Minami (ISEE, Nagoya University)

The aim of this international technical exchange on accelerator mass spectrometry (AMS) is to achieve high-accuracy, high-precision  $^{14}\text{C}$  measurements by discussing the advantages and disadvantages of various AMS systems. The project members are Dr. Hong Wan of the Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), Korea; Prof. Yoko Kokubu of the Tono Geoscience Center, Japan Atomic Energy Agency (JAEA-Tono); Mr. Jun Kuwabara and Mr. Naoki Kinoshita of the Aomori Research and Development Center, JAEA (JAEA-Mutsu); Prof. Hiroyuki Kitagawa of the Institute for Space–Earth Environmental Research (ISEE) Nagoya University; and myself.

Nagoya University has a 3 MV high-performance 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 for  $^{14}\text{C}$  measurement and can stably perform a large number of  $^{14}\text{C}$  measurements at a terminal voltage of 2.5 MV. The following year, JAEA-Mutsu installed the same type of HVEE AMS system, which is equipped with both a recombinator and a biased injector magnet (bouncer) for measuring  $^{129}\text{I}$ . Furthermore, KIGAM installed an HVEE AMS system with a lower energy of 1 MV in 2007. The 1 MV AMS for measurements of  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{26}\text{Al}$ , and  $^{14}\text{C}$  is compact with a much lower running cost and lower manpower requirements than the 3 MV AMS system. In 2019, JAEA-Tono also installed a HVEE AMS system with an even lower energy of 0.3MV, by which multiple elements, including  $^{14}\text{C}$ ,  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{26}\text{Al}$ , and  $^{129}\text{I}$ , can be measured. Thus, the members of this project have various HVEE AMS systems with energies ranging from 0.3 to 3 MV. By understanding the similarities and differences between the systems, it is important to exchange information about best-practices, technical advances, and operational challenges to optimize the performance of each institute's system.

First, we had an online meeting on 19 July 2022 to report on the current status of each facility: Dr. Wan presented the automatic sample preparation system and data analysis software used at KIGAM; Prof. Kokubu showed the newly installed 0.3 MV AMS system and an operating 5 MV AMS manufactured by NEC (National Electrostatics Corp., Wisconsin, USA) at JAEA-Tono; and Mr. Kuwabara reported on the current status of the 3 MV AMS system at JAEA Mutsu. I reported on the status of the ISEE joint usage and research and the 3 MV AMS system. Subsequently, the project schedule, including the facility tours, was set.

Dr. Wan visited Japan from the 17<sup>th</sup> to 27<sup>th</sup> October, 2022. He and I toured the facilities at JAEA-Tono on the 19<sup>th</sup> October and JAEA-Mutsu on the 21<sup>st</sup> October. Dr. Wan, Prof. Kokubu, and I held meetings to discuss how best to achieve high-precision and high-accuracy  $^{14}\text{C}$  measurements. At JAEA-Mutsu, Dr. Wan, Prof. Kitagawa, and I received a detailed explanation of the 3 MV AMS system from Mr. Kinoshita, and exchanged information on equipment specifications, measurement techniques, and maintenance and operation methods (Fig. 1). After the visit to JAEA-Mutsu, we went to the Mutsu Science Museum to see the reactor room of the nuclear ship "Mutsu" and finally to Rokkasho Village in Aomori Prefecture to see the reprocessing process



of spent nuclear fuel generated at nuclear power plants at the Rokkasho Nuclear Fuel PR Centre.

After inspecting the facilities at JAEA-Tono and JAEA-Mutsu, we discussed the sustainable operation and maintenance of AMS equipment and the training of the next generation. After Dr. Wan returned to Korea, I sent some  $^{14}\text{C}$  graphite targets prepared at ISEE to KIGAM for  $^{14}\text{C}$  measurement. We are now in the process of comparing and evaluating the results obtained at KIGAM with those obtained at ISEE.

It was very meaningful to have technical discussions on AMS in person and observing AMS equipment at each site. We also gained information on the sustainable operation of AMS systems, efficient maintenance and management, and training of the next generation. In the next fiscal year, the Japanese side will visit Korea to see KIGAM's 1 MV AMS system and MICADAS (mini carbon dating system), an ultra-compact  $^{14}\text{C}$  AMS system with an energy of 0.2 MV manufactured by IonPlus, which was installed at the National Research Institute of Cultural Heritage, Korea. The plan is to continue technical exchanges on AMS and to establish guidelines for future AMS measurement and operation.



Fig. 1. Visit to JAEA-Mutsu

(a) HVVEE 3 MV AMS system; (b) Dr. Wan, Prof. Kitagawa, Mr. Kinoshita, and I discussing the AMS system; (c) Tools maintained for the AMS maintenance; (d) A full range of replacement parts of the AMS system; (e) View of the reprocessing plant from the Rokkasho Nuclear Fuel PR Center; (f) Panel for explaining the nuclear fuel cycle.

## 2022年度 15) 国際スクール開催支援 目次詳細

### 2022 15) ISEE International School Support List

2 件

\*所属・職名は2023年3月現在

\*Affiliation and Department displayed are current as of March 2023.

(注1): 新型コロナウイルスの影響で中止 / Cancelled due to COVID-19

(注2): 中止 / Cancelled

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
Jyrki Manninen	University of Oulu, Finland	Sodankyla Geophysical Observatory	Deputy Director	VERSIM Workshop	354	
北川 浩之	名古屋大学	宇宙地球環境研究 所	教授	Short course on AMS radiocarbon dating	355	

## 1st VERSIM School (and 10th VERSIM Workshop)

Jyrki Manninen (University of Oulu, SGO)

The 10<sup>th</sup> VERSIM Workshop was accompanied by the 1<sup>st</sup> VERSIM School, held on the weekend of November 5 – 6, 2022. The reality is that the VERSIM community is becoming older and it is lacking young scientists similarly to other traditional scientific fields. To change this, we need an introductory school to inspire the younger generation to enter our field. Fortunately, we still have many excellent experts who can transfer their deep knowledge to students and early career scientists.

The VERSIM School was closely related to the ionospheric and magnetospheric environment, because the lectures were dealing with the physical processes of energy transfer from the magnetosphere to the ionosphere, including auroral phenomena. The topics discussed make use of ground-based network observations (e.g., PWING network) and in-situ space observations by satellite-borne equipment (e.g., Arase, Van Allen Probes). We also explained studies related to computer simulations and modeling. Furthermore, school topics were also based on heliospheric physics as solar wind, high-speed streams, and generally speaking on 'space weather'. Finally, VERSIM is very heavily connected to integrated studies, as it combines solar wind, magnetosphere, ionosphere, ULF to VLF/LF waves, electrons and protons.

We had altogether 14 participants in the VERSIM School, including 4 students and 8 early-career scientists from Japan (2), India (2), UK (1), China (2), USA (2), Czechia (2), South Korea (1), Finland (1), and Hungary (1). The school had tutorial lectures covering most of VERSIM topics: *VLF as a tool in Geophysics and link to Space Weather* by Prof. C.J. Rodger; *Remote sensing of the plasmasphere by whistlers* by Prof. J. Lichtenberger; *Understanding of magnetosphere dynamics using the MHD equation of motion* by Prof. K. Shiokawa; and *Music of the Spheres: Spacecraft Measurements of Electromagnetic Waves* by Prof. O. Santolik. We also made a tour of the Sodankylä Geophysical Observatory so the students could learn about different instruments that can be used to monitor space weather. In addition, we also visited the VLF wide-band receiver located at Kannuslehto to learn more about the study of VLF waves on the ground. Finally we held a networking session so the participants could know each other better and discuss on multiple scientific topics.

We hope, this kind of VERSIM School will be organized also in future and in close relations to VERSIM Workshops.

ISEE International School Support (935 000 JPY) was used for airfare (757 478 JPY), registration fees (129 732 JPY), and insurances (29 675 JPY). Total support used was 916 885 JPY. Since there might be some changes due to US exchange rates, the final values might differ from those mentioned above.

In Sodankylä on 29 November 2022



Jyrki Manninen

## 炭素 14 年代測定法のショートコース

### Short course on AMS radiocarbon dating

北川浩之(名古屋大学宇宙地球環境研究所)  
Hiroyuki Kitagawa (ISEE, Nagoya University)

本国際スクールの目的は、名古屋大学宇宙地球環境研究所 (ISEE) の年代測定研究部が中心となり実施している加速器質量分析法による炭素 14 年代測定法を若手研究者に技術移転することである。この国際スクールは ISEE が運用している加速器質量分析装置の国際共同利用をより活発にするためのものでもある。

今年度の国際スクールでは環境・地質試料の炭素年代測定の試料調整法の解説(オンライン)及び参加者の研究試料の化学処理及びその加速器質量分析装置による炭素 14 分析を行う予定であった。今年度、加速器質量分析装置のトラブルが多発し、計画的に炭素 14 測定に実施できない状況であった。そのため、環境・地質試料の炭素年代測定の試料調整法に関するオンライン講義のみを実施し、名古屋大学での実習は実施できなかった。

今年度の本国際スクールの参加者は、炭素 14 年代の試料調整の実験室の整備を考えているベトナム科学アカデミー地理研究所・地質科学研究所の 3 名の研究者である。第 1 回講義は 10 月 3 日(3 時間)に実施した。講義内容は、材などの有機物試料の一般的な化学処理(AAA 処理)についてである。また、ビデオカメラを使い、名古屋大学 ISEE の加速器質量分析装置の説明を行った。第 2 回講義は 12 月 29 日(約 3 時間)では、湖沼堆積物の全有機物の炭素 14 年代測定法および得られた年代の不確かさについて解説した。講義では、参加者らが進めているベトナム中部高原地帯の火口湖の湖底堆積物を事前に郵送してもらい、その試料の化学処理をしたと際の撮影した動画・写真を使い、実際の試料調整がどのように行われているか解説した。

加速器質量分析装置のメンテナンスはほぼ完了したので、次年度は、今年度参加したベトナム科学アカデミー地質科学研究所の若手研究者及び中国天津師範大学地理教室(炭素 14 年代測定試料調整施設の整備を計画している)の研究者を招へいし、名古屋大学での実習中心の国際スクールを行う予定である。

## 2022年度 16)若手国際派遣支援(海外発表・海外滞在) 目次詳細

### 2022 16)International travel support for students (International presentation / Institutional stay) List

1 件

\*所属・学年は2023年3月現在

\*Affiliation and Year of graduate school displayed are current as of March 2023.

(注1):新型コロナウイルスの影響で中止/Cancelled due to COVID-19

(注2):中止/Cancelled

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
大津 天斗	京都大学	理学研究科・宇宙 物理学教室	博士前期課程 2年	COSPAR2022国際会議におけるSun-as-a- star解析に関する口頭発表	356	

## COSPAR2022 国際会議における Sun-as-a-star 解析に関する口頭発表

氏名：大津天斗

所属：京都大学 理学研究科・宇宙物理学教室 M2

滞在期間：2022年7月16日～7月24日

滞在国内：ギリシャ

本海外渡航において、私はギリシャで開催された「COSPAR2022 44th Scientific Assembly」に参加した。海外で開催される学会への参加は今回が初めてであったが、自身の口頭発表を行うだけでなく、他の参加者と直接議論を交わすこともでき、非常に有意義な渡航となった。

本学会において、私は「Sun-as-a-star Analysis of H-alpha Spectra for Various Active Events on the Sun」というタイトルで口頭発表を行った。“Sun-as-a-star Analysis”とは太陽の空間分解された詳細な観測データをあえて空間積分することで、遠くの恒星の観測データと比較可能な形に変換する解析手法である。Sun-as-a-star Analysisを通して、太陽-恒星連携の研究を推進することにより、太陽でスーパーフレアや激甚宇宙災害が発生するか、発生した場合どうなるのかを知る上での基盤をつくることができる。そのため、本研究は宇宙地球環境研究所総合解析研究部で推進する、太陽地球環境の理解と深く関わるものである。本発表では、京都大学飛騨天文台 SMART/SDDI で観測された H $\alpha$  撮像分光データを用いた Sun-as-a-star Analysis について、その結果を報告した(図1)。質疑応答では今後の研究につながる重要なコメントをいただいた。

また、Sun-as-a-star Analysis に関する研究を行っている他の参加者と直接議論を交わすことができた。その方は私が使用している波長と異なる波長の分光データを用いて Sun-as-a-star Analysis を行っており、今後の研究につながる実りある議論となった。分光データを用いて Sun-as-a-star Analysis を行っている研究者は日本、世界ともにまだ少なく、早い段階で類似の研究を行っている研究者とつながりを持つことができたという点でも貴重な交流であった。

本学会で、私が特に感銘を受けた講演についても



図 1. 口頭発表の様子

触れておく。その講演は Meng Jin 氏による Coronal Dimming に関する講演である。Coronal Dimming はその名の通り、コロナで減光が生じる現象である。太陽では、Coronal Dimming の多くが、コロナ質量放出(CME)と呼ばれる大規模なプラズマ放出と関連していることが知られている。さらに、近年では、恒星の Coronal Dimming にも注目が集まっており (Veronig et al. 2021)、恒星 CME をとらえる強力な手がかりの一つであると期待されている。Jin 氏は Coronal Dimming に対して、観測とシミュレーションの双方向から取り組んでいる。今回の Jin 氏の講演を通して、観測とシミュレーションの相補的アプローチ、および恒星 CME の観測における Coronal Dimming の重要性を改めて実感した。私の研究も恒星 CME の観測との関連性が深いため、Coronal Dimming についても引き続き注目していきたい。

本学会への参加は、自身の口頭発表、他の参加者との直接の議論を通して、今後の研究につながる貴重な経験となった。今回の経験は対面での参加であったからこそ得られたものであると断言できる。当然のように対面で学会に参加できる日が、一日でも早く来ることを心より願っている。

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、指導教員の浅井歩先生、京都大学関係者の皆様、そして私の初めての海外渡航をあたたく見守ってくれた家族に厚く御礼申し上げます。