令和３年度

（２０２１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

2021 年度

目 次

Contents

00．	ISEE Symposium	1 ～ 4
01．	国際共同研究	5 ～ 47
02．	ISEE International Joint Research Program	48 ～ 69
03．	国際ワークショップ	採択なし
04．	一般共同研究	70 ～ 173
05．	奨励共同研究	174 ～ 181
06．	研究集会	182 ～ 271
07．	計算機利用共同研究	272 ～ 291
08．	データベース作成共同研究	292 ～ 298
09．	加速器質量分析装置等利用（共同利用）	299 ～ 302
10．	加速器質量分析装置等利用（委託分析）	303 ～ 303

00）ISEE Symposium　目次詳細

所属・職名は2022年3月現在

2021年度　　1件

研究代表者 Principal Investigator	所属機関 Affiliation	所属部局 Department	職名 Position	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
坪木　和久	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授	東アジア域における極端降水と台風に関する国際共同研究集会	1	

（別紙様式００－２）

ISEE Symposium
International Conference on Heavy Rainfall and Tropical Cyclone in East Asia

坪木和久（名古屋大学宇宙地球環境研究所）

極端降水や台風の科学的理解と関連する防災対策は東アジア諸国において共通の研究課題であり、協力した研究を実施していく必要がある。これまでにも、東アジア諸国で梅雨前線や台風を対象とした共同研究は実施されているが、2020年の梅雨期から盛夏期にかけて米国・台湾・日本・韓国が協力して台湾から南西諸島域において梅雨前線帯の降水システムや台風を対象とした特別集中観測を企画した。これらは、Prediction of Rainfall Extremes Campaign In the Pacific (PRECIP：米国)、Taiwan-area Atmospheric and Hydrological Observation and Prediction Experiment (TAHOPE：台湾)、Tropical cyclones-Pacific Asian Research Campaign for Improvement of Intensity estimations/forecasts (T-PARCII:日本) の研究プロジェクトを連携して実施する予定であった。しかしながら、2020年初頭に発生したコロナ禍により、国境を越えての移動のみならず、国内での移動も制限されたために、観測計画自体が延期されていた。同様に2021年の観測も実施できず、2022年梅雨期に実施する予定となっている。

本シンポジウムは、当初、2020年12月に観測実施後の初期解析データを持ち寄って、より詳細な解析を行うための議論を行う場としてISEE Symposiumとして実施することが計画されていた。しかしながら、観測の延期と対面不可に伴って開催も延期されていた。今回、各国（各研究グループ）で実施していた最新の研究内容を紹介するとともに、2022年度の観測計画についても改めて議論する目的でISEE Symposiumの形で実施した。

当初、米国や台湾のプロジェクト関係者のみは名古屋大学宇宙地球環境研究所に招待してハイブリッド形式での開催を計画していたが、新型コロナウィルス第6波のパンデミックにより来日できなかったため、完全オンラインでの実施となった。開催は2022年3月1日～3日で、いずれも日本時間で朝09時から13時まで実施した。6か国、32大学・研究機関から103名の参加者を得ての大きな会合となった。

3月1日～2日の2日間で29件の講演があった。講演はいずれも招待講演として各プロジェクトの関係者から講演を依頼する形をとり、講演

の公募は実施しなかった。梅雨期の総観場、大雨の雲微物理過程、台風内部コア領域の力学過程や熱力学過程、台風の眼の構造の観測手法、そして集中観測プロジェクトの進捗状況などについての発表があった。講演毎に議論が盛り上がり、終了時間を大幅に超過してしまうのどの不手際もあったが、有意義な議論を行えたと思われる。

3月3日は観測に携わる関係者による会合として、観測機器の現状や配置の戦略、輸送予定などについての議論が行われた。電波免許の取得の見通し、入国審査の状況、高層気象観測実施に際しての必要な国内の手続きの確認、関連するプロジェクトとのデータ交換の可能性などについての確認が行われた。今回の議論を経て、集中観測に向けての懸念事項が解消されたものも多くあったと思われる。最後に、今後の研究集会についての議論を行って閉幕した。

以下、Symposiumの講演題目と講演者リストを掲載しておく。

Day 1 (March 1)

* Time is written in JST (UTC+9 hours)

09:00 – 09:20 *Kazuhisa Tsuboki (Nagoya Univ.)*
Research Plan of the T-PARCII Second Phase

09:20 – 09:40 *Ming-Jen Yang (National Taiwan Univ.)*
Research Plan of the TAHOPE

09:40 – 10:00 Michael M. Bell (*Colorado State Univ.)*
Observations during the 'PRE'-CIP 2021 and PRECIP 2022 Field Campaigns

10:00 – 10:15 *Yunji Zhang (Pennsylvania State Univ.) et al.*
Real-time global and regional convection-permitting forecasts for the PRECIP field campaign

10:15 – 10:30 *Keunok Lee (Univ. of La Reunion) et al.*
Research plan of the MICA project

10:30 – 10:45 *Po-Hsiung Lin* (*National Taiwan Univ.)*
The Development of NTU Mini Radiosonde and Its Possible Applications in Atmospheric Sciences

10:45 – 11:00 *Shih-Hao Su (Chinese Culture Univ.)*
Review of Yilan Experiment of Severe Rainfall in 2020 (YESR2020)/TAHOPE2020-Winter and briefing of the machine learning based data calibration system of Storm tracker mini-radiosonde

11:00 – 11:15 break

11:15 – 11:30 *Tsz-Kin (Eric) Lai (Imperial College London) et al.*

Long-term effect of barotropic instability across the moat in doubleeyewall tropical cyclone-like vortices

11:30 – 11:45 *Alison Nugent (Univ. Hawaii, Manoa) et al.*

Extreme rainfall in Taiwan: A rain gauge and linear model investigation

11:45 – 12:00 Hiroyuki Yamada (*Univ. Ryukyus) et al.*

Warm-core structure of three intense typhoons as observed through the T-PARCII aircraft reconnaissance

12:00 – 12:15 *Kosuke Ito (Univ. Ryukyus) et al.*

Analysis and forecast of tropical cyclones during the T-PARCII project

12:15 – 12:30 *Soichiro Hirano (Univ. Ryukyus) et al.*

Deep Eye Clouds in Tropical Cyclone Trami (2018) during T-PARCII Dropsonde Observations

12:30 – 12:45 *Chung-Chieh Wang (National Taiwan Normal Univ.)*

Ensemble sensitivity analysis and predictability of the extreme rainfall event over northern Taiwan on 2 June 2017

12:45 – 13:00 *Chung-Chieh Wang (National Taiwan Normal Univ.)*

Cloud-resolving time-lagged rainfall ensemble forecasts for typhoons in Taiwan: Examples of Saola (2012), Soulik (2013), and Soudelor (2015)

13:00 END

Day 2 (March 2)

* Time is written in JST (UTC+9 hours)

09:00 – 09:15 *Phuong-Nghi Do (National Central Univ.) et al.*

Improving the heavy rainfall forecast by assimilating retrieved moisture and radar data: Performance and validation with real cases

09:15 – 09:30 *Kazuhisa Tsuboki (Nagoya Univ.)*

High-resolution simulations of heavy rainfall events in association with an atmospheric river

09:30 – 09:45 *Takeshi Horinouchi (Hokkaido Univ.) et al.*

Stationary and transient asymmetric features in tropical cyclone eye, wavenumber-one instability, and eye-shape maintenance: Case study for Typhoon Haishen (2020) with rapid-scan high-resolution atmospheric motion vectors

09:45 – 10:00 *Satoki Tsujino (Meteorological Research Institute, JMA) et al.*

Inner-core wind estimation in a concentric eyewall replacement of Typhoon Trami (2018) based on the Himawari-8 satellite

10:00 – 10:15 *Hung-Chi Kuo (National Taiwan Univ.)*

A study on the long-lived concentric eyewalls in tropical cyclones

10:15 – 10:30 *Angela K. Rowe (Univ. Wisconsin-Madison) et al.*

The influence of terrain on precipitation intensity and duration during the June 2017 Taiwan heavy rain event

10:30 – 10:45 *Jennifer DeHart (Colorado State Univ.) et al.*

Understanding the processes responsible for heavy rainfall in two Mei-yu front cases

10:45 – 11:00 *Yi-Leng Chen (Univ. Hawaii, Manoa) et al.*

An Overview of Low-Level Jets (LLJs) and Their Roles on Heavy Rainfall Over the Taiwan Area During the Early Summer Rainy Season

11:00 – 11:15 break

11:15 – 11:30 *Dong-In Lee (Pukyong National Univ.)*

Radar Precipitation Analysis of Four Typhoons (Jangmi, Bavi, Maysak and Haishen, 2020): Part 1

11:30 – 11:45 *Jisun Lee (Pukyong National Univ.)*

Radar wind field analyses of Four Typhoons (Jangmi, Bavi, Maysak and Haishen, 2020): Part 2

11:45 – 12:00 *Mi-Young Kang (Pukyong National Univ.)*

The analysis of lightning characteristics using LINET and S-band Polarimetric radar in Korea

12:00 – 12:15 *Nobuhiro Takahashi (Nagoya Univ.) et al.*

Simulation of airborne dual-polarization phased array radar observation of a typhoon

12:15 – 12:30 *Wei-Yu Chang (National Central Univ.)*

Investigating the Lagrangian evolution of microphysical characteristics of convective precipitation systems using dual-polarimetric radar

12:30 – 12:45 *Pay-Liam Lin (National Central Univ.)*

Raindrop size distribution characteristics of Western Pacific tropical cyclones measured in the Palau Islands

12:45 – 13:00 *Clment Soufflet (Univ. of La Reunion) et al.*

Eyewall structure of tropical cyclones using high-resolution numerical simulation

13:00 END

01）国際共同研究　目次詳細

所属・職名は2022年3月現在

2021年度　　23件

研究代表者 Principal Investigator	所属機関 Affiliation	所属部局 Department	職名 Position	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	5	
中井　太郎	國立臺灣大學 (National Taiwan University)	森林環境暨資源學系 (School of Forestry and Resource Conservation)	助理教授 (Assistant Professor)	東シベリア・カラマツ林の生態水文学的プロセスのモデル化	7	
Kato　Chihiro	信州大学	学術研究院理学系	教授	改良された汎世界的宇宙線観測ネットワークによる宇宙天気の観測II	9	
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	11	
門叶　冬樹	山形大学	理学部	教授	第25太陽活動期に向けた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	13	
中澤　知洋	名古屋大学	KMI	准教授	次世代雷観測衛星 TARANIS2へむけた日仏連携と日本付近の雷からのガンマ線・電磁界地上観測の融合研究	15	
浅村　和史	宇宙航空研究開発機構	宇宙科学研究所	准教授	観測ロケットを用いた高エネルギー電子マイクロバースト現象の成因の解明	17	
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	太陽活動極小期における北極冠域熱圏・電離圏変動の研究	18	
日高　洋	名古屋大学	環境学研究科	教授	太陽系初期に分化した惑星物質の年代学的研究	21	
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	23	
土屋　史紀	東北大学	大学院理学研究科　惑星プラズマ・大気研究センター	准教授	北欧・北米における高エネルギー電子降下現象の総合解析のため のVLF/LF電波伝搬観測	25	
細川　敬祐	電気通信大学	大学院情報理工学研究科	教授	ロケットと地上光学観測を組み合わせた脈動オーロラの総合観測	27	
坂野井　健	東北大学	大学院理学研究科	准教授	将来小型衛星FACTORS搭載可視・紫外カメラの設計と開発	29	

研究代表者 Principal Investigator	所属機関 Affiliation	所属部局 Department	職名 Position	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
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	太陽フレアによる高エネルギープラズマの生成メカニズムの理解	31	
Terao　Toru	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	33	
尾花　由紀	大阪電気通信大学	工学部基礎理工学科	准教授	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	35	
野中　敏幸	東京大学	宇宙線研究所	助教	僻地へ展開可能な多方向宇宙線モニターによる惑星間擾乱観測	36	
西澤　智明	国立環境研究所	環境計測研究センター	室長	地上ライダーネットワークによる南米エアロゾル観測研究の強化	38	
津田　卓雄	電気通信大学	大学院情報理工学研究科	准教授	トロムソにおけるオーロラ・大気光の光学スペクトル観測を活用した超高層大気研究	40	
小井　辰巳	中部大学	工学部	准教授	最高精度宇宙線ミュオン望遠鏡による宇宙天気観測	42	
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	43	
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ミッションのための搭載機器・システム検討	44	
大矢　浩代	千葉大学	大学院工学研究院	助教	Tweek空電を用いた高精度な自動下部電離圏反射高度マッピングシステムの開発	46	

（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、宮城・福島で運用する太陽・木星電波観測施設に加え、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 40cm シュミットカセグレン望遠鏡（T40）・60cm 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・米探査機 Juno、火星では米探査機 MAVEN・欧探査機 ExoMars Trace Gas Orbiter（TGO）、金星では日 Akatsuki 探査機との連携観測で、これらの対流圏～電離圏に連なる大気垂直輸送・結合の研究を力学面（時間変動・大気波動）・物質面（時間変動・各種生成/消失/輸送機構）で進める。また展開する装置の開発を行うとともに、ハワイ大等と惑星・系外惑星専用 1.8-m 望遠鏡 PLANETS の建設にも名大・京大の協力も得て取り組み、本コミュニティの活動エリアをより広げようとしてきた。

２．研究方法・結果

2021 年度は、引き続きコロナ禍の元で本来想定の現地観測作業を行うことができず、故障対応も 2022 年度にずれ込んだため、ハレアカラ施設を用いた観測成果の創出、特に装置の改定・変更等を伴う観測継続は今年となった。このため、(1)今後の本学望遠鏡を用いた他機関共同を含む将来展開、(2)ハワイ大型観測施設のリモート利用による成果創出が活動の軸となった。 現地での支援を頂いたハワイ大のメンバーに対しては感謝に耐えない。

(1) 今後の本学望遠鏡を用いた他機関共同を含む将来展開

現地訪問が大変困難な中、T40 の活動縮小、T60 望遠鏡のドーム故障に対する対応を含めた遠隔運用を支えるとともに、2022 年度の展開を期して近赤外線 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、現地の気象モニター等の更新準備などを進めた．また、2022 年度に予定する T40 の活動休止検討においては、新たに浮上した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に着手した。これらは、2022 年度にハワイ大を含めた本格的な作業・議論に着手する。

また、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開始した。この作業は 2022 年度にも継続される。

〈主な発表〉

Kambara et al., Development of the near-infrared camera TOPICS and the Echelle spectrograph ESPRIT for planetary observations. Japan Geoscience Union Meeting 2021, online, 2021 年 6 月.

Nagata et al. Development of PLANETS telescope: An attempt to reduce polishing volume in final polishing process by using an active mirror support. Japan Geoscience Union Meeting 2021, online, 2021 年 6 月.

Kagitani et al. High dynamic range observation using a 1.8-m off-axis telescope PLANETS: feasibility study and telescope assembly. Japan Geoscience Union Meeting 2021, online, 2021 年 6 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, 宮本明歩, 山崎敦. 中空光ファイバを用いた太陽系内探査用中間赤外レーザーヘテロダイン分光器の開発. 第 150 回 地球電磁気・地球惑星圏学会 総会・講演会. online. 2021 年 11 月

坂野井健, 鍵谷将人, 中川広務, 寺田直樹, 笠羽康正, 平原靖大, 栗田光樹夫. 高コントラスト望遠鏡 PLANETS の開発状況と惑星･衛星近傍の希薄ガス発光の検出可能性. 第 150 回 地球電磁気・地球惑星圏学会 総会・講演会. online. 2021 年 11 月

〈修士論文〉

塚田悟輝（東北大･理）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

(2) ハワイ大型観測施設のリモート利用による成果創出

T60/T40 による観測成果創出は低調たらざるを得なかったが、火星では、2018 年全球ダストストーム時の超高層変動が、査読論文として公表に至っている。

また、Subaru 望遠鏡を利用した観測に絡んだ国際共同観測成果の創出が当面の活動維持方策となったが、2020 年夏に最終観測を我々が担うこととなった Subaru 中間赤外線分光撮像装置 COMICS を用いた貢献による、木星の長期大気擾乱観測（Antunano et al. 2021）および海王星の大気温度場観測（Roman et al. 2021）をチームとして支えた。

〈論文〉

Miyamoto et al. (2021). Intense zonal wind in the Martian mesosphere during the 2018 planet-encircling dust event observed by ground-based infrared heterodyne spectroscopy. Geophys. Res. Lett. 48, e2021GL092413. https://doi.org/10.1029/2021GL092413

〈主な発表〉

Antunano, A., L.N. Fletcher, G.S. Orton, H. Melin, P.T. Donnelly, M.T. Roman, J.A. Sinclair, Y. Kasaba. Cycles of variability in Jupiter's atmosphere from ground-based mid-infrared observations. Europlanet Science Congress 2021. online, 2021 年 9 月

Roman, M.T., et al. Variation in Neptune's mid-infrared emission from ground based imaging. Europlanet Science Congress 2021. online, 2021 年 9 月

（別紙様式１－２）

東シベリア・カラマツ林の生態水文学的プロセスのモデル化
Modeling of ecohydrological processes in a larch forest in eastern Siberia

中井太郎、國立臺灣大學・森林環境暨資源學系

【研究目的】

気候変動が将来、永久凍土と共生的に分布する森林生態系の生長・維持にどう影響するのかを予測することが本研究の目標である。そしてこの目標達成のため、東シベリアのカラマツ林を対象とした実地調査および陸域生態系動態モデルS-TEDyの適用・改良により、凍土の物理プロセスと森林植物の生理生態的応答を解明・再現することが本研究の目的である。今年度は、凍土面の微細地形（凹凸）およびそれにともなう局地的な土壌の過湿が東シベリアのカラマツ林の枯死に影響を及ぼす重要な因子と考えられていることに着目し、融解深の空間変動を確率密度分布で表現することを試みた。

【研究方法】

東シベリアのスパスカヤパッド研究林およびエルゲイ研究林において、それぞれ50m×50mの格子点プロットを設け、2016年から2019年までの間、融解期の初中期および融解期終わりの融解深を半定期的に測定した。ルーチン観測ではそれぞれ原則的に25点で測定した。これらのデータに加えて、より詳細な融解深の空間分布特性を理解するため、2017年6月にスパスカヤパッド研究林においてルーチン観測以外の20点で追加の測定を実施した。融解深の測定には、簡易貫入試験器を使用した。

本研究では融解深の空間変動の表現にガンマ分布を採用した。ガンマ分布は、確率密度分布を形状パラメータ k とレートパラメータ λ のみで表現でき、また確率変数の平均値（期待値）がこれらの比 k/λ で表されるという特徴がある。今回、観測で得られたデータの累積相対度数分布に対してガンマ分布の当てはまり具合を調べた。また、ノンパラメトリックブートストラップ法により、ガンマ分布の95%信頼区間を調べた。さらに、融解深の平均値から空間分布を予測する経験モデルを開発した。

【結果および考察】

合計45点のデータが得られている2017年6月のスパスカヤパッド研究林のデータを用いて、様々な確率密度分布関数の当てはまりを調べた。その結果、平均値に対し対称な分布となる正規分布に比べ、非対称な分布となるガンマ分布の適合度が高かった。なお、平均値に対して非対称性を持つ他の分布と比較し、ガンマ分布の適合度が必ずしも最高ではなかったが、比較的近い適合度であったことと、ガンマ分布の上述の特徴を考慮し、本研究ではガンマ分布を採用した。また、ブートストラップ法の結果から、実測値が95%信頼区間にほぼ収まっていることが確認された。このことは、他のルーチン観測の結果についてもいえた。

k と λ の特性を調べた結果、どちらも平均融解深 $\overline{D_{\mathrm{T}}}$ に依存した。上述のガンマ分布の特徴から $k = \lambda\overline{D_{\mathrm{T}}}$ と表現できるため、λ を三段階で表現するモデルを提案した。Model 1は定数、Model 2は $\overline{D_{\mathrm{T}}}$ に関する線形関数、Model 3は $\overline{D_{\mathrm{T}}}$ に関する非線形関数で、それぞれ λ を表現した。スパスカヤパッド研究林では、k と λ の変動幅がともに大きかった。Model 1を $\overline{D_{\mathrm{T}}}$ が浅いときの平均（Model 1-1）と全体の平均（Model 1-2）に分けて検討したが、Model 1-1は融解深が深いときの分布を表現できず、Model 1-2は浅いときの分布を表現でき

なかった。融解期全体の特徴を表現するにはModel 2、Model 3が必要であった。このサイトは過去に平年以上の降水を経験しており、永久凍土面付近に氷を多く含む層が形成されたことで、季節最大融解深を抑制していることが推察された。一方エルゲイ研究林ではλの変動が小さく、Model 1でも融解深の分布を十分表現できた。これは、最低一回の融解深の空間分布情報があれば、このモデルで任意の時点の融解深の空間分布が推定可能なことを示唆する。

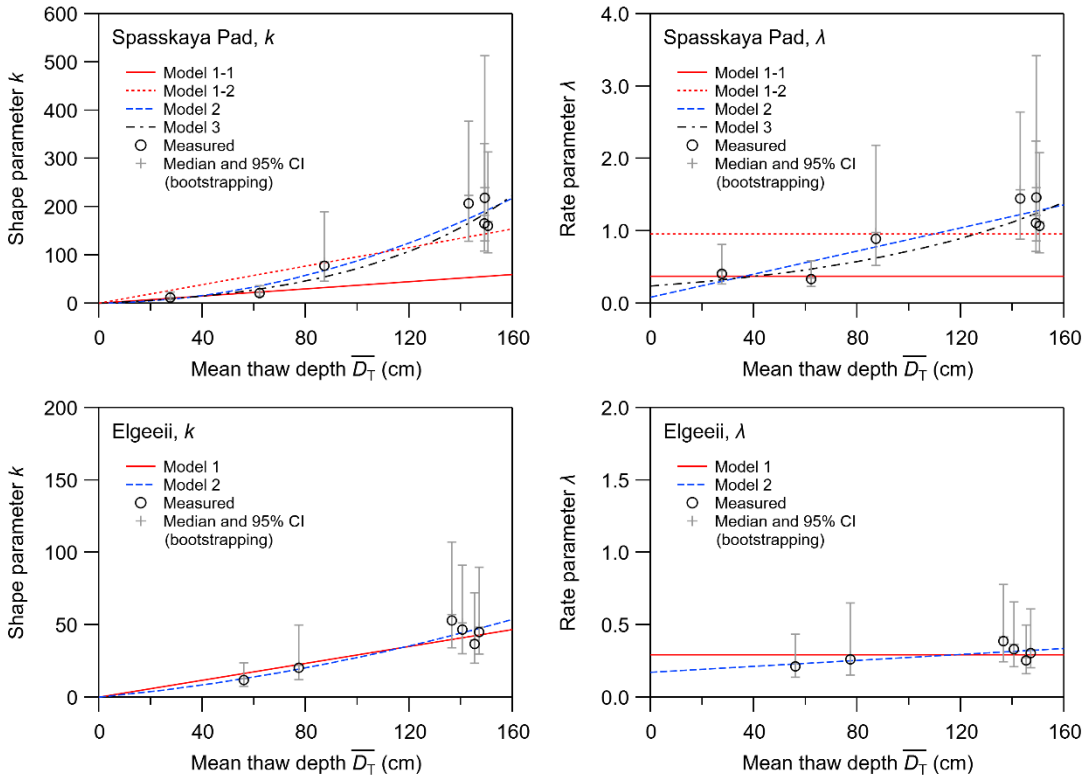


図 1　平均融解深 $\overline{D_T}$ の関数で表現したガンマ分布の形状パラメータ k とレートパラメータ λ のモデル、実測値、ブートストラップ法による中央値および95%信頼区間。

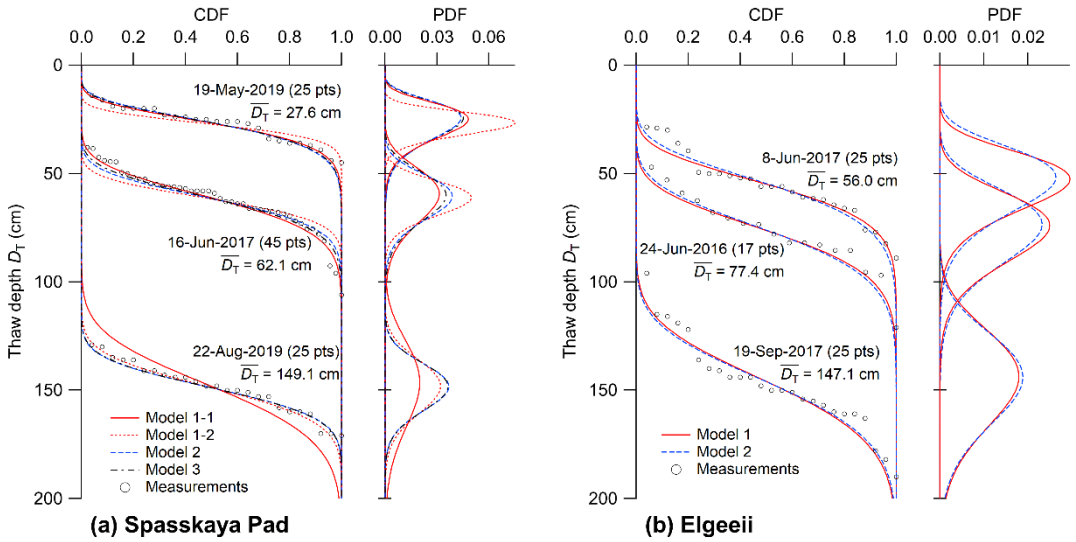


図 2　融解深の空間分布の確率密度分布モデルと実測値の例。

（別紙様式１-２）

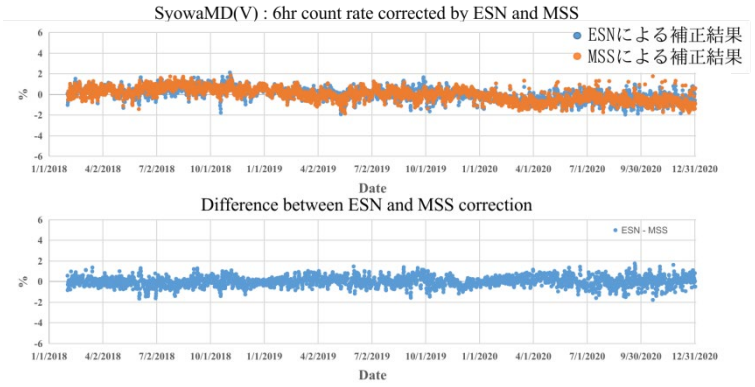
改良された汎世界的宇宙線観測ネットワークによる宇宙天気の観測II

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

加藤　千尋，信州大学・理学部

宇宙線強度の汎世界的観測ネットワーク（GMDN: Global Muon Detector Network）を用いた宇宙天気研究を展開し，高エネルギー銀河宇宙線の長大なリーチ（ジャイロ半径~0.05 AU，ピッチ角散乱の平均自由行程~0.1 AU）を活かして，大規模な太陽磁場構造の変動の実態と，その中での宇宙線輸送過程を解明することを目的とする。現在太陽活動は第25サイクルに入り，宇宙天気現象の増加が予想される。

本研究の目標は，(1)メキシコのSciCRTをミューオン計として用い，GMDNが抱える観測の空白域を埋める，(2)南極昭和基地宇宙線計を用いて大気ミューオン強度に対する大気効果の実験的検証を行い，大気効果の補正法を確立することによりGMDNによる宇宙線観測を飛躍的に改良する，ことである。昭和基地での観測は順調に継続されており，本年度は昭和基地宇宙線計のデータを用いて大気効果の補正に機械学習を用いることの試行を行った。また，2021年11月には新たな宇宙天気現象が観測され，GMDNデータを用いたCMEイベント解析を開始した。未だ最終解析結果までは達していないが，経過については下記の学会等で発表されている。



機械学習による大気効果補正の試行

- C.Kato et al., Simultaneous observation of cosmic rays with muon detector and neutron monitor at the Syowa station in the Antarctic, JpGU, Online, 2021/5/6
- C.Kato et al., Simultaneous observation of cosmic rays with muon detector and neutron monitor at the Syowa station in the Antarctic, ICRC2021, Online, 2021/7/12-23
- S.Asano et al., Correction of the atmospheric temperature effect on cosmic ray muon count rate by machine learning, 極域シンポジウム, Online, 2021/11/15-18
- 浅野駿太他，地表宇宙線ミューオン強度の変動に対する大気温効果の補正，日本物理学会第77次年次大会，オンライン，2022/3/17
- 宗像一起他，宇宙線計による2021年11月の宇宙天気事象の観測報告，日本物理学会第77次年次大会，オンライン，2022/3/17

別　紙

研究組織

氏名	所属機関	職名
加藤 千尋	信州大学	教授
宗像 一起	信州大学	特任教授
浅野 駿太	信州大学	M2
門倉　昭	極地研究所	教授
片岡 龍峰	極地研究所	准教授
小財 正義	情報・システム研究機構	研究員
徳丸 宗利	名古屋大学	教授
伊藤 好孝	名古屋大学	教授
松原　豊	名古屋大学	准教授
柴田 祥一	中部大学	教授
小島 浩司	中部大学	特任教授
土屋 晴文	日本原子力研究開発機構	特別研究員
渡辺 恭子	宇宙航空研究開発機構	プロジェクト研究員
J. F. Valdes-Galicia	メキシコ自治大学	教授
P. Evenson	デラウェア大学	教授
M. L. Duldig	タスマニア大学	特任教授
A. Dal Lago	ブラジル宇宙科学研究所	研究員
M. M. Sharma	クウェート大学	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

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】

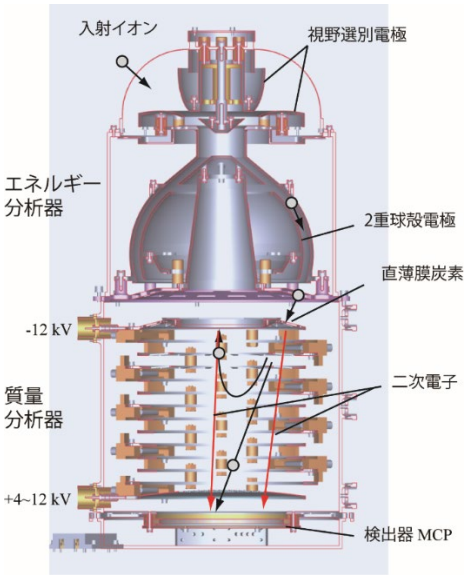
本研究の目的は、次世代型の宇宙機搭載用荷電粒子分析器のため、半球視野を確保する視野掃引及び高分解能質量分析の機能を確立することである。人工衛星や観測ロケットを利用したプラズマのその場観測におけるイオン計測には、3次元の速度分布関数を取得することと共に、質量分析によってイオン種の同定を行うことも必須となっている。3次元の速度分布関数の取得には全方向に対する視野の獲得が必要であり、探査機がスピンしない場合は自力での確保が求められる。また、イオン種の情報は、プラズマのモーメント等のパラメータ算出に対して精度を向上させるだけでなくプラズマの起源を推定する上で有用性が高い。

最近の地球放射線帯観測衛星「あらせ」に搭載されたイオン分析器にも質量分析器は備わっている（Asamura et al., EPS, 2018; Yokota et al., EPS, 2017）。REIMEIや現在検討中のFACTORSのような光学系観測機器との共同観測を実施する場合は、三軸制御衛星の利

用が考えられるため、荷電粒子分析器には独力で広い視野を確保することが求められる。一般的には、2台の分析器によって半球ずつ視野を確保する例が多い。また、イオン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る。「あらせ」の観測においても、アルファ粒子など軽量な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)、FACTORS(地球電磁気圏)、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、イオン観測に対しては3次元の速度分布関数の取得のみならず質量分析も求められている。質量分析ではこれまでに無いM/ΔM>50-100を目指していて、実現すれば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の取得が可能となる。周囲のイオン種の混在が無くなるため、存在比が低くこれまで観測困難であったイオン種についても検出が期待できる。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。

【研究方法】

2020年度に行った試作モデルによる性能試験の結果に基づき、2021年度はエンジニアリングモデルの設計・製作を行った（次ページ図）。



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イオンビームを用いた性能試験を行った。

【研究結果】

コロナ禍であったが2回のワクチン接種後に試験設備まで出張して性能試験を行い、設計時に数値モデルにて得た性能が実機にて得られていることを確認した。今後のフライトモデル性能試験のため試験環境や物品消耗品の準備なども行った。

【まとめ】

本研究成果を元にMSAチームはMMX計画におけるJAXA詳細設計審査会(CDR)を2022年4月に受ける予定である。その後、フライトモデルの製作に移行して性能試験及び環境試験を実施する。

【成果発表】(学会研究会発表は全てリモート形式)

- S. Yokota et al., In situ observations of ions and magnetic field around Phobos: The Mass spectrum Analyzer (MSA) for the Martian Moons eXploration (MMX) mission, Earth Planets Space, 73:216, 2021. https://doi.org/10.1186/s40623-021-01452-x
- Y. Saito, D. Delcourt, M. Hirahara, …, S. Yokota, …, C. Verdeil et al., Pre-flight Calibration and Near-Earth Commissioning Results of the Mercury Plasma Particle Experiment (MPPE) onboard MMO (Mio), Space Science Reviews, 217:70, 2021. doi.org/10.1007/s11214-021-00839-2
- S. Yokota et al., Development of an engineering model (EM) of the Mass spectrum Analyzer (MSA) for Mars Moons eXploration (MMX), 地球電磁気・地球惑星圏学会　第 148 回総会・講演会, 遠隔, 2021 年 11 月 2 日.
- 横田勝一郎他, 火星衛星探査計画 MMX MSA エンジニアリングモデル(EM)開発状況報告, 第 65 回宇宙科学技術連合講演会, 遠隔, 2021 年 11 月 11 日.

（別紙様式１－２）

第25太陽活動期に向けた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, low latitude sites to the 25th solar cycle

門叶 冬樹、山形大学・理学部

研究目的

本研究は、太陽活動が減少期に入っている第23期および第24期の、そして第25期での大気中宇宙線生成核種Be-7を国際ネットワークにより地球規模で観測し、その11年変調と減衰から低エネルギー銀河宇宙線スペクトルと宇宙線生成核種強度との関係を明らかにすることを目的としている。また、Be-7はエアロゾルに付着して降下しているため、太陽活動の地球環境へ及ぼす影響について大気運動を含めて評価することが期待できる。我々は2000年から21年間、北半球中緯度（日本・山形市）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大気中宇宙線生成核種Be-7の連続観測を進めており、第25期に入る2021年までの観測結果について報告する。

研究方法

北半球中緯度の山形（北緯38.3°）、高緯度のアイスランド（北緯64.7°）、最高地磁気カットオフ地域であるタイに各々ハイボリュームエアーサンプラー（HV1000F、HV500R,吸引量500L～1000L/分）を設置してガラスろ紙に集塵している。回収したろ紙試料は、山形大学および宇宙線研究所柏地下測定設備にてガンマ線測定分析を行い、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。

研究結果

１） 高緯度、中緯度、低緯度のBe-7濃度年変動

図1は、高緯度（アイスランド:北緯64.47°）、中緯度（山形市：38.25°）および低緯度（バンコク：13.1°）の大気中Be-7濃度、太陽黒点数（SSN)、oulu（北緯65.05° cut-off rigidity 0.8 GV）での地上中性子強度について2000年から2021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4月からサンプリングが再開される予定である。本連続続観測は、第23期の後半から第24期太陽活動期全期間、そして第25期の始めをカバーしている。太陽黒点数は2019年が極小であり2021年は約3.2倍に増加

している。一方、Oulu の中性子強度は 2020 年がピークで 2021 年は約 1.0%減少している。それに対して Be-7 の濃度変化は、山形とバンコクはともに 2019 年がピークであり、2020 年は減少に転じ 2021 年は 2019 年に対して各々14.7%、28.81%減少している。今後、地球規模での大気移流パターンの季節変動を調べ中緯度および低緯度で Be-7 濃度の減少との関連を解析する。太陽活動が第 25 期に入っている 2022 年の観測データは重要である。

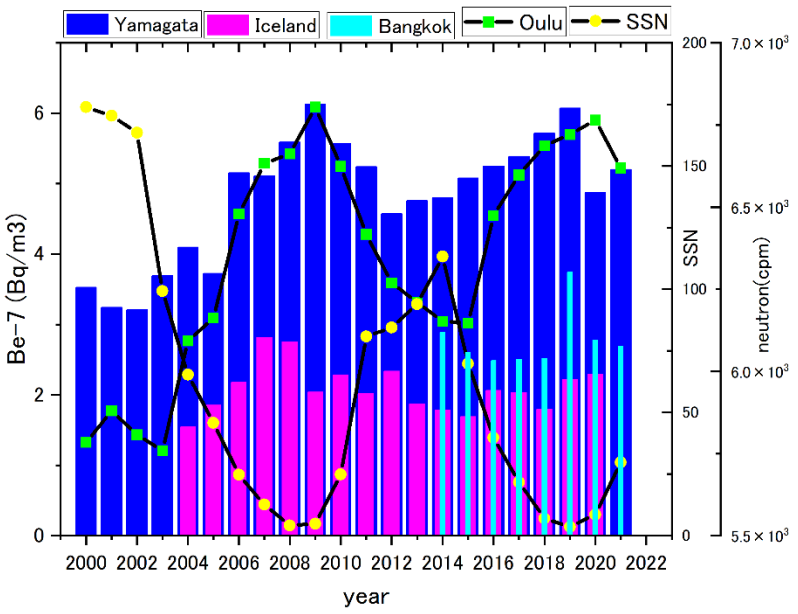


図 1. 2000 年から 2021 年までの高緯度、中緯度および低緯度の大気中 Be-7 濃度、太陽黒点数（SSN)、oulu での地上中性子強度の年変動

[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. “Be-7 in Japan, Iceland and Thailand during solar cycle 24 descent phase”, H.Sakurai,Y. Kawamura, S. Suzuki, F.Tokanai, et al., JpGU-AGU Joint meeting 2021/6/3—6/6 eposter(PEM08-P11)
2. “Yearly variations in Be-7 concentrations in the surface air at Iceland and Japan for 17 years from 2003:
Solar modulation of cosmogenic nuclide”, H.Sakurai,Y. Kawamura, F.Tokanai, et al., 12th Symposium on Polar Science online meeting OSo26 (online 2021 11/18)

（別紙様式１－２）

次世代雷観測衛星TARANISと日本付近の雷からのガンマ線・電磁界地上観測の融合研究

Synergy with next generation lightning observation satellite TARANIS and on-ground lightning gamma-ray and electric-field measurements in Japan

中澤知洋、名古屋大学、KMI/理学研究科

１：研究目的・研究方法

雷放電や雷雲そのものから、TGF やガンマ線グローと呼ばれる、30 MeV に達するガンマ線放射が観測される。我々は 2006 年から日本海岸の冬季雷雲や高山でのガンマ線地上観測を始め、雷雲ガンマ線(またはグロー)のスペクトルが制動放射であることを確立し[1]、雷放電ガンマ線(または TGF)により大気中で光核反応が起きていることを観測的に確認[2]し、さらにその被曝量が 1.4μGy に達することを確認した[3]。

雷ガンマ線研究の進展を受けて、2020/11 に打ち上げられた衛星が TARANIS である。フランスが開発した小型衛星で、ガンマ線、高エネルギー電子、雷光、そして突発電波という多波長多粒子での同時観測を世界で初めて実施する予定で、我々もガンマ線電子線装置と可視カメラの開発に参加していた。我々の地上観測の先端の知見と、TARANIS による革新的な TGF 観測を組み合わせ、加速や放射の基礎物理を前者で、全地球的分布を後者で測定することで、大きなシナジーが期待できた。しかし残念なことにロケットの不具合で衛星の打ち上げは失敗した。直後からフランスではリベンジ衛星 TARANIS2 の計画が立ち上がり、CNES を中心に基礎開発が始まった。本計画では TARANIS2 への日本として貢献しつつ、地上観測をさらに発展させるものであった。

２：研究結果

TARANIS2 のガンマ線検出器の素材候補として国産の GSO 結晶シンチレータの利用を考え、 OXIDE 社と仕様調整を進めていた。しかし、CNES 所長の交代などより、2021 年の夏にその開発予算は停止され、ゼロベースで衛星提案に応募することを勧告された。ロラン主任研究員の個人研究費などでシナジー研究は進めたが、衛星実現の目処が立たたないため、本計画そのものを一旦中止することとした。

研究計画のもう一つの柱である、北陸での冬季雷の地上観測は精力的に進め、末尾にまとめた成果を得ている。2021 年度は 2021/10/25-28 に金沢で観測を開始し、2022/3/21-23 に撤収した。12/30 に強力な下向き TGF を、2/16 と 2/17 に明るいガンマ線グローの観測に成功し、過去のデータとの比較など、データ解析を始めたところである。また、別の TGF 観測衛星の実現も目指し、MeV 観測装置の開発も進めてきた。

こうした中で、中澤が共同提案者である NASA の SMEX 衛星 COSI が、2021/10/18 に Phase-A を突破し、2025 年の打ち上げが決まった。COSI は赤道軌道を回る宇宙 MeV 観

測衛星で、半導体コンプトン望遠鏡とそれを囲む結晶シンチレータのシールド、全天を観測する独立した小型シンチレータ検出器などで構成される。COSI は、同じく赤道付近を周回する AGILE 衛星などと連携することで、「TGF ガンマ線の多点同時計測」を多く実現できる可能性が高い。これが達成できれば、いまだに判明していない上向き TGF のビーム開口角や傾きの分布を知り、TGF の真の強度分布を得られることから、COSI チーム内で中澤がそのサイエンス検討を進めている。この連携については、TARANIS の他波長観測とは性質が異なるため、別途予算の申請を始めたところである。

３：まとめ

TARANIS2 の開発は終了し、連携観測は実現できなかった。しかし、TARANIS 計画に参画し、本予算によって日本人研究者がフランスに長期滞在したことで、日本とフランス、およびデンマークなどとの連携が深まり、雷観測研究における日本のプレゼンスは大きく向上した。地上観測を中心に、和田 et al. (2021)、久富 et al (2021)などの査読論文、学会発表などの成果も着実に得ている。また COSI 衛星など、未来につながる国際連携も得ており、打ち上げ失敗を超えて、着実な成果を得たものと考えている。

５：成果発表

・大熊佳吾, 中澤知洋, 久富章平, 辻結菜, 他「雷活動に由来するガンマ線の観測プロジェクト：2021 年 1 月の gamma-ray glow のコリメータスペクトルの詳細解析」、日本物理学会 2021 秋季年会 オンライン 2021/9/16

・大熊佳吾, 中澤知洋, 辻結菜, 久富章平 他「雷活動に由来するガンマ線の観測プロジェクト：2021 年 1 月の gamma-ray glow のコリメータスペクトルの時間変動解析」、日本物理学会 2022 年会、オンライン、2022.3.1

・辻 結菜、中澤 知洋、久富 章平、他、「2020 年度雷雲ガンマ線観測における高度測定用検出器 GOOSE の展開と観測」、JPGU 2021、2021/6/6

・Wada, Y., Matsumoto , T., Enoto, T., Nakazawa, K., Yuasa, T. ,et al. " Catalog of gamma-ray glows during four winter seasons in Japan", Physical Review Research 3, 10.1103/PhysRevResearch.3.043117

・Hisadomi, S., Nakazawa, K., Wada, Y., Tsuji, Y., Enoto, T., Shinoda, etal. s, " Multiple Gamma-Ray Glows and a Downward TGF Observed From Nearby Thunderclouds", JGR-Atmospheres 126, 10.1029/2021JD034543

引用文献

[1] H. Tsuchiya et al. “Observation of an Energetic Radiation Burst from Mountain-Top Thunderclouds” PRL 102, 25503 (2009)

[2] T. Enoto et al. “Photonuclear reactions triggered by lightning discharge” Nature, 551, 24630 (2017)

[3] Y. Wada et al. “Downward Terrestrial Gamma-Ray Flash Observed in a Winter Thunderstorm”, PRL, 123, 06113 (2019)

（別紙様式１－２）

観測ロケットを用いた高エネルギー電子マイクロバースト現象の成因の解明

Study of high-energy electron microburst by using a sounding rocket and coordinated ground-based observations

浅村和史、宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所

米国 NASA が主導するLAMP 観測ロケットミッションに参画した。私たちはLAMP 搭載観測機器として高エネルギー電子観測器 (HEP)、オーロラ撮像カメラ (AIC)、磁場計測器 (MIM) を開発し (図1)、単体性能確認試験を経て米国 NASA に持ち込み、各種システム試験および打ち上げ運用に参加したほか、地上支援観測網の構築と運用を行った。LAMP は2022.3.5 (アラスカ現地時間) にアラスカ・ポーカーフラットリサーチレンジ (PFRR) から打ち上げられた(図2)。打ち上げにあたっては、私たちが PFRR 北方の Venetie、Fort Yukon に展開したオーロラ光学観測カメラによって取得したオーロラ高速撮像データを参照し、ターゲットである高速変調を内包した脈動オーロラがロケット飛翔軌道直下に存在することを確認した上で打ち上げタイミングを決定した。結果的に LAMP は高速変調する脈動オーロラの発生領域を飛翔した。そして、予備的な解析ではあるが、搭載機器も電子マイクロバーストの検出及び脈動オーロラの高速撮像 (10Hz) に成功したことが分かっている。

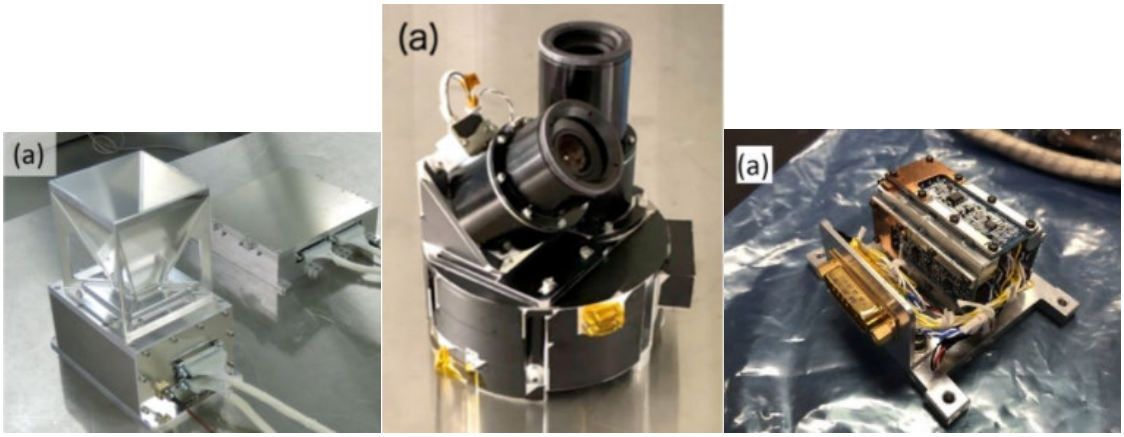


図2: 日本側が開発した LAMP 搭載観測機器 (左) 高エネルギー電子観測器 HEP (中) オーロラカメラ AIC (右) 磁場観測器 MIM。

図2: LAMP 打ち上げ (2022.3.5 2:27:30 AKST) [Justin Hartney 氏提供]

太陽活動極小期における北極冠域熱圏・電離圏変動の研究

Studies of variations of the polar cap thermosphere and ionosphere during solar minimum periods

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
Chris Hall　ノルウェー北極大学

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、極域熱圏・電離圏領域, 特に極冠域での変動の解明に取り組んできた。例えば、極冠域での中性大気・プラズマのエネルギー源について、その大きさや空間分布を把握し極冠域でのエネルギー収支を理解することを目指してきた。Fujiwara et al. (AnGeo 2007)では、磁気圏前面の現象に起因する昼側電離圏での準周期的な加熱の大きさを推定したほか、 Fujiwara et al. (EPS 2012)では(約100年ぶりに低調と言われた)太陽活動極小期(2007年-2008年)における地磁気静穏時の極冠域のイオン温度変動を示した。また、太陽活動が上昇期に向かう際の2012年3月には、CMEに伴う昼側電離圏での加熱現象をEISCATレーダーにより観測することに成功した(Fujiwara et al., AnGeo 2014)。現在、太陽活動は再び極小期から極大期へと推移しているが、2000年前後の太陽活動と比較して、低調な活動度のままとなっている。太陽活動が低調な時期の新たな電離圏データを取得して、2007年-2008年の極小期前後のデータのと比較により、太陽活動の低調期における電離圏変動を抽出できるものと期待される。特に、昼側極冠域電離圏は、観測手段が限定されることから、他の領域に比べて十分な観測が実施されていない。本研究では、緯度約75～83度の範囲の昼側電離圏をEISCATレーダーシステムによってモニターし、また、GCMシミュレーションを実施することにより、極域電場が通常よりも高緯度に分布している際の電離圏変動の特徴を調べることを目的とする。地磁気擾乱時には、加熱領域が狭い範囲に集中していることで、従来とは違った電離圏変動を捉えることが出来るものと考えている(当グループのGCMシミュレーションからも予測されている)。

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（2021 年度 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, 2022 年 3 月に特別実験を実施する予定であったが, 依然として感染拡大の終息が見込めないことから, 現地スタッフに特別実験を委託し, 2022 年 3 月 15 日, 16 日の 7:00-11:00 UT に EISCAT 特別実験を実施した。ESR32m アンテナの故障により, ESR42m アンテナ, UHF レーダー観測のみの実施となった。15 日, 16 日ともに地磁気静穏時のデータが取得できたが, 特に 16 日データ中に局所的な変動が顕著に見られ, その原因について検討を進めている。

本研究課題に関連した主な成果発表

学会発表等

藤原 均, 野澤 悟徳, 小川 泰信, 三好 勉信, EISCAT_3D 観測から期待される極域大気上下結合の理解, 地球惑星科学関連学会連合大会 (JpGU-AGU Joint Meeting), 6 月, オンライン, 2021.

品川 裕之, 垰 千尋, 陣 英克, 三好 勉信, 藤原 均, スポラディック E 層発生予測システムの開発：現状と今後の展望, 地球惑星科学関連学会連合大会 (JpGU-AGU Joint Meeting), 6 月, オンライン, 2021.

垰 千尋, 陣 英克, 品川 裕之, 三好 勉信, 藤原 均, Ionospheric storms in GAIA under lower atmospheric and magnetospheric inputs, 地球惑星科学関連学会連合大会 (JpGU-AGU Joint Meeting), 6 月, オンライン, 2021.

陣 英克, 三好 勉信, 垰 千尋, 品川 裕之, 藤原 均, Validation of a revised version of whole atmosphere-ionosphere coupled model GAIA, 地球惑星科学関連学会連合大会 (JpGU-AGU Joint Meeting), 6 月, オンライン, 2021.

垰 千尋 1) , 陣 英克 1) , 新堀 淳樹 2) , 品川 裕之 1) , 三好 勉信 3) , 藤原 均, 観測との比較による GAIA 極域改良版の再現性評価, 第 149 回地球電磁気・地球惑星圏学会, オンライン, 11 月, 2021.

陣 英克・三好 勉信・垰 千尋・品川 裕之・藤原 均, 大気圏電離圏モデル GAIA による地磁気静穏時の平均的熱圏・電離圏変動の再現, 第 149 回地球電磁気・地球惑星圏学会, オンライン, 11 月, 2021.

品川 裕之・垰 千尋・陣 英克・三好 勉信・藤原 均, 太陽活動がスポラディック E 層に与える影響, 第 149 回地球電磁気・地球惑星圏学会, オンライン, 11 月, 2021.

（別紙様式１－２）

太陽系初期に分化した惑星物質の年代学的研究
Chronological study of the differentiated planetary materials in the early solar system

日高　洋、名古屋大学・環境学研究科

太陽系内惑星の初期進化過程を年代学的に研究することを目的とし、太陽系初期に分化した小惑星天体ベスタの地殻部に由来すると考えられている隕石種であるダイオジェナイトの形成年代を測定する手法の確立を行った。従来の^{87}Rbや^{147}Smなどの長寿命放射性核種の放射壊変系を利用した年代測定の適用が困難なダイオジェナイトに対して、半減期260万年の短寿命放射性核種^{60}Feから^{60}Niへの壊変系は、分化惑星物質中においてFe/Ni元素存在比がより高くなるために有利であると考えられる。本研究では、Fe-Ni壊変系を用いたダイオジェナイトの形成年代決定に先駆け、それに必要となるNi同位体精密測定法ならびに惑星物質からNiを効率よく化学分離する手法の確立を目指した。

Niの同位体測定は李博士の所属するKIGAMに設置の複数検出器搭載の高分解能ICP質量分析計（MC-ICPMS: Neptune Plus）を用いて行った。同装置は9つのファラデーカップ検出器を搭載し、同時に9つの同位体を検出することが可能である。このうち6つの検出器を使用して、Niの5つの安定同位体^{58}Ni, ^{60}Ni, ^{61}Ni, ^{62}Ni, ^{64}Niに加え、^{58}Niの質量スペクトルに干渉を与える可能性がある^{58}Feの存在度を知る目的で^{57}Feの質量領域をモニターするように設定を行った。同装置はイオン源にArプラズマを使用しているために、質量スペクトルにおいて^{57}Feの質量領域には^{40}Ar^{17}O+^{40}Ar^{16}OH、^{58}Niにおいては^{58}Fe+^{40}Ar^{18}Oが干渉する。これらの干渉を抑制するために、イオン光学系を調整することにより質量分解能を通常仕様（M/ΔM=700）から高分解能仕様（M/ΔM=1100）に設定した。高分解能仕様により、例えば^{58}Fe（原子質量単位57.933276 u）と^{58}Ni（57.935343 u）をスペクトル上で分離することは不可能であるが、^{57}Fe（56.935394 u）を^{40}Ar^{17}O（56.96151 u）と^{40}Ar^{16}OH（56.96512 u）から分離することができ、測定試料中に不純物として^{58}Feが存在した場合は、常時モニターしている^{57}Feの存在度から^{58}Feを正確に補正することが可能となる。

表1にNi同位体の国際標準物質NIST SRM986による測定結果を示す。

表１　Ni 標準試料 NIST SRM986 の同位体比測定結果

	^{60}Ni/^{58}Ni	^{61}Ni/^{58}Ni	^{62}Ni/^{58}Ni	^{64}Ni/^{58}Ni
本研究				
(A)通常分解能	0.385054 (5)	=0.016744	0.0533367 (15)	0.0136465 (14)
(B)高分解能	0.385258 (17)	=0.016744	0.0533188 (21)	0.0135951 (20)
文献値[1]	0.385200	=0.016744	0.0533900	0.0135960

表中かっこ内の数字は繰り返し測定による標準誤差を95％信頼度で示している。測定中に生じる装置内同位体質量分別は、^{61}Ni/^{58}Ni=0.0167

44を規格値としてexponential lawを用いて補正した。本研究で検討した測定法により、各Ni同位体比について0.01%以下の繰り返し誤差での測定が可能であることを確認した。

Niの化学分離に関して、一般的な無機溶媒によるイオン交換クロマトグラフィーではNiとアルカリ土類金属の分離が困難なことから、これまで、岩石試料からのNiの分離にはジメチルグリオキシム（DMG）とNiの錯形成反応が広く利用されてきた[2,3]。しかし、この手法ではNiをDMG錯体として回収するため、DMGの分解・除去に長時間を要する問題点があった。DMGが試料中に残存すると、MC-ICP-MSによる同位体測定時に質量スペクトルに干渉を及ぼす要因になり得る。本研究では、先行研究[4]を参考に検討を重ね、以下の工程による3種のイオン交換カラムを用いた4段階の分離法を確立した。

① 試料を3 mLのHCl-アセトン溶液（80%アセトン＋20% 10M HCl）とし、一番目の陽イオン交換カラム（AG50W-X8, 200-400メッシュ, 2 mL）に通した後、カラムを12 mLのHCl-アセトン溶液に次いで2 mLの水で洗浄し、次いで10 mLの6M HClを流して回収する。
② 上記回収フラクションを蒸発乾固後、1 mLの0.9M HNO_3に再溶解し、二番目の陽イオン交換カラム（AG50W-X8, 200-400メッシュ, 1.5 mL）に通した後、15 mLの0.9M HNO_3で洗浄し、次いで5 mLの6M HClを流して回収する。
③ 上記回収フラクションを蒸発乾固後、5 mLの0.5M HF-1M HClに再溶解し、三番目の陰イオン交換カラム（AG1-X8, 100-200メッシュ, 2 mL）に通した後、5 mLの0.5M HF-1M HClで洗浄し、次いで5 mLの0.5M HF-1M HClを流して回収する。なお、ここで用いた陰イオン交換カラムを次の工程のために7 mLの6M HClで洗浄する。
④ 上記回収フラクションを蒸発乾固後、2 mLの6M HClに再溶解し、三番目の陰イオン交換カラムに通した後、5 mLの6M HClを流して回収する。

上記の工程に基づき、岩石試料から90%以上のNiが回収できることを確認した。

本研究で確立したNi同位体測定手法および効率的なNiの化学分離手法をダイオジェナイト試料に速やかに適用し、Fe-Ni年代測定法に応用させることを試みる予定である。

引用文献

[1] Gramlich, J.W., Machlan L.A., Barners I.L., Paulsen P.J. (1989) Absolute isotopic abundance ratios and atomic weight of a reference sample of nickel. *J. Res. N.I.S.T.* 94, 347-3356.

[2] Shimamura, T., Lugmair G.W. (1983) Ni isotopic compositions in Allende and other meeorites. *Earth Planet. Sci. Lett*. 63, 177-188.

[3] Victor A.H. (1986) Separation of nickel from other elements by cation-exchange chromatography in dimethylglyoxime/hydrochloric acid/acetone media. *Anal. Chim. Acta* 183, 155-161.

[4] Chernonozhkin, S.M., Goderis S., Lobo L., Claeys P., Vanhaeckle F. (2015) Development of an isolation procedure and MC-ICP-MS measurement protocol for the study of stable isotope ratio variations of nickel. *J. Anal. At. Spectrom*. 30, 1518-1530.

（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(80-115km)から下部熱圏領域(<200km)へ

Widening the sodium wind/temperature lidar observation
range from 80-115 km up to 200km

川原琢也、信州大学・工学部

□ 研究目的

本研究は、ノルウェーEISCAT レーダートロムソ観測所に設置し観測を継続しているナトリウム(Na)ライダーの観測高度領域を熱圏(200 km)まで拡大し、これまで観測の空白領域だった高度領域(115-200 km)にて、大気温度と風速の定常観測を行うことを最終目標とする。その課題として背景光を除去する超狭帯域光学フィルタ（ファラデーフィルタ）の開発を進めるのが本課題の目的である。

□ 概要

現在ノルウェーのトロムソで稼働している Na ライダーで、密度が Na 原子層ピーク高度(90 km)の 1/1000 以下である熱圏領域（高度 120 km 以上）の Na 原子を観測するためには、夜間観測の弱い背景光でさえもノイズとなる。この背景光を除去するために、透過帯域が約 2 pm（市販品の帯域の約 100 分の 1）を実現するファラデーフィルタと、それを組み込む受信系の開発を進めている。

□ 研究経過・手法

[Na セル開発] ファラデーフィルタは、加熱した Na セルを強磁場中に配置し、589 nm 偏光面の Faraday 回転を利用した超狭帯域フィルタである。Na セルの開発が技術課題となっている。今年度は、昨年度実施したアルミニウムボディとサファイア窓の接合実験を発展させ、サファイアボディとサファイア窓でのセル製作を東北大学と共同で進めている。サファイアは高温 Na に対して極めて安定な材質で、サファイアセルの製作が Na セル開発のゴールとなる。今年度のセル製作は、材質の入手に時間がかかり、接合面と窓の高精度研磨まで行った状態である。図 1 には防塵容器に収められたサファイアセルボディの写真を示す。2022 年 4 月には真空中で窓の接合を行い、真空漏れチェックを経て Na を封入する手法に発展させる。

図 1　Na セルに用いる端面が高精度研磨されサファイアボディ。

[受信系開発] 受信系の開発は名古屋大学で行っている。光学シミュレーションに基づき、実験で検証しながら開発を進めている。図 2 はライダー受信系で光ファイバー連結系を構成する場合の実験の様子となる。レーザ光を光源に、直径 1.5㎜（有効径 0.99㎜）の光ファイバーに対して入射角度

を変化させ、最大透過率と透過率の均一性を調べた。図 3 に結果を示す。光ファイバーの屈曲による透過光の変化も含めて詳細に検証している。透過率はレーザ光の入射角度により異なるが、光学シミュレーションに基づいた適切なレンズ系の選択により、最大透過率 95%が得られた。一方、入射角度が大きくなると光ファイバー内で均一の透過率とはなっていないことも画像データから確認でき、ライダー観測に用いた場合の観測データへの影響など今後さらに検証が必要となる。

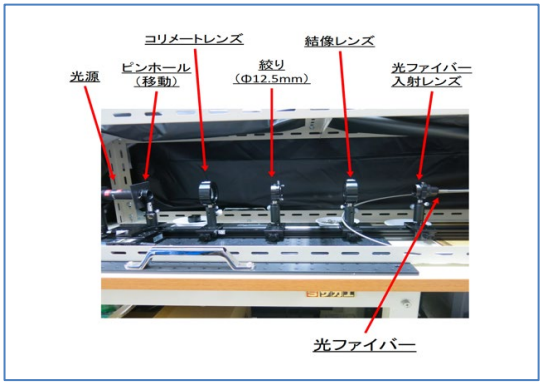


図 2　光学レール上に並べた光ファイバー実験用のレンズ類

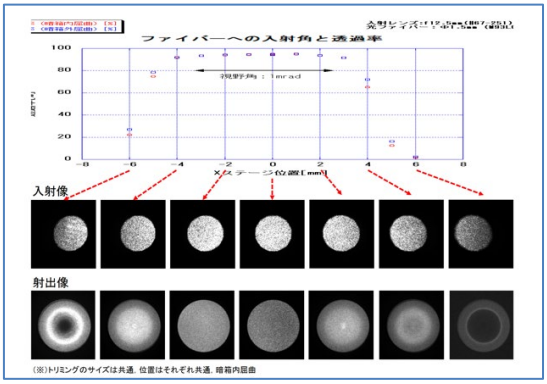


図 3　光ファイバーの透過率と、透過光の均一性計測実験。グラフの横軸は光ファイバーへの入射角に相当。

□ まとめ

Na ライダー用狭帯域フィルタであるファラデーフィルタと、それを組み込む受信系の開発を進めてきた。Na セル開発に関して大きなトラブルはないが、進度は遅い。一方、受信系製作に関しては順調に評価をしながら開発が進んでいる。次年度はサファイア製 Na セルを製作し、透過率計測の実験を行なっていく。背景光除去フィルタは昼間観測にも応用でき、ライダー年間観測により Polar Mesosphere Summer Echo (PMSE)等の解明につなげていく。

北欧・北米における高エネルギー電子降下現象の総合解析のためのVLF/LF電波伝搬観測
Observation of Energetic electron precipitation with VLF/LF radio propagation in northern subauroral region

土屋史紀　東北大学・大学院理学研究科

100keV 以上のエネルギーを持つ高エネルギー電子が磁気圏から大気へ降下することによる下部電離圏の電離現象を観測する方法として、VLF/LF 電波伝搬観測がある。地上の固定点で、時間スケールの短い高エネルギー電子降下現象を常時モニタできる利点があり、他のオーロラ観測・電磁波観測・レーダ観測を組み合わせることによって、高エネルギー電子の降下原因とその結果もたらされる中層・高層大気への影響を観測的に調べることが可能となる。本研究では、当初はフィンランド北部の Kevo への新設を予定していたが、COVID-19 の影響のため 2021 年度の新設は断念し、既設の受信点（ノルウェー・アラスカ・カナダ 2 カ所・ロシア）での観測データを使った北欧・北米のサブオーロラ帯における高エネルギー電子の降下現象の実証的研究を進めた。

1.　高エネルギー電子散乱に関与する電磁イオンサイクロトロン(EMIC)波動の統計的性質

EMIC 波動はサイクロトロン共鳴により相対論的電子のピッチ角散乱を起こすことが可能であるが、EMIC 波動が相対論的電子を散乱しやすい状況を統計的に調べた研究は少ない。2016 年 11 月 1 日から 2018 年 10 月 31 日の 2 年間に、地上の誘導磁力計により得られた EMIC 波動と VLF/LF 電波観測により得られた相対論的電子降下の統計解析を行った結果を図 1 に示す。EMIC 波動の発生頻度は、朝側で高くなる一方で、電子降下を伴う EMIC 波動は夕方側に局在している。それぞれの EMIC 波動の発生時間を磁気嵐の主相、回復相、静穏期で分類すると、電子降下を伴う EMIC は主相時に発生しやすいことが分かる。観測地点に近くを通過したあらせ衛星や RBSP によるプラズマ密度計測の結果から、EMIC 波

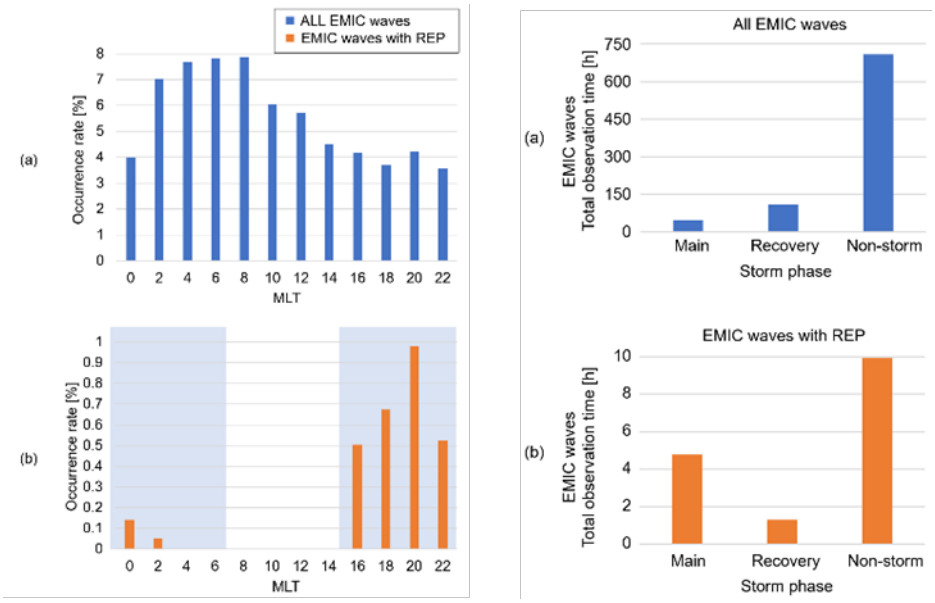


図 1：EMIC 波動発生頻度の MLT 依存性(左)と磁気嵐(右)依存性。(上)すべての EMIC 波動、(下)電子降下と伴う EMIC 波動。

動のほとんどがプラズマ圏内で発生していることも確認された。磁気嵐主相中のサブストームの発生によってリングカレントと高密度プラズマの重複領域が生じ、この領域で発生する EMIC 波動が、相対論的電子の散乱を引き起こしやすいことを示している。これらの EMIC 波動の統計的な特徴は、EMIC 波動が磁気嵐主相時の放射線帯外帯の消失の一因になり得ることを示唆する。

2.　ホイッスラモードコーラス波動による高エネルギー電子降下の統計解析

ホイッスラモードコーラス波動は幅広いエネルギー範囲で高エネルギー電子と共鳴し、ピッチ角散乱を引き起こす波動である。大気への降込み電子の特徴が理論的研究により詳しく調べられた(Miyoshi et al. 2020)。この特徴の一部は低高度衛星と高速オーロラカメラによる観測で実証された(Kawamura et al. 2021)。VLF/LF 帯標準電波観測では、電子降下の MLT 分布や磁気嵐依存性についての統計的な特徴を調査した。図 2 に 2016 年 10 月から 2017 年 12 月の 15 か月間に観測された電子降下の統計分布を示す。この解析では、パルセーティングオーロラの典型的周期(4-20s)を VLF/LF 電波観測より抽出し、これをコーラス波に伴う電子降下現象とみなした。図 2 より、4-20s の時間スケールの変動を持つ降下電子現象は、朝側の MLT に偏った発生分布を示しており、この降下電子の原因がコーラス波であることが裏付けられる。磁気嵐依存性に着目すると、磁気嵐中は発生頻度が 10-20%に増大し、特に回復相の初期に発生頻度が高くなる傾向がある。EMIC 波動による高エネルギー電子降下の統計解析結果と比較すると、EMIC 波動とコーラス波に伴う高エネルギー電子降下の MLT 分布はそれぞれ夕方側、朝側に偏っており、これは電子のピッチ角散乱に寄与しているプラズマ波動の分布の違いを反映している。磁気嵐との対応に着目すると、EMIC 波動に伴う電子降下が磁気嵐主相に集中するのに対し、コーラス波に伴う電子降下は主に回復相に発生頻度が高く、サブオーロラ帯では磁気嵐の段階によって高エネルギー電子の降下の発生に寄与するプラズマ波動が異なると考えられる。

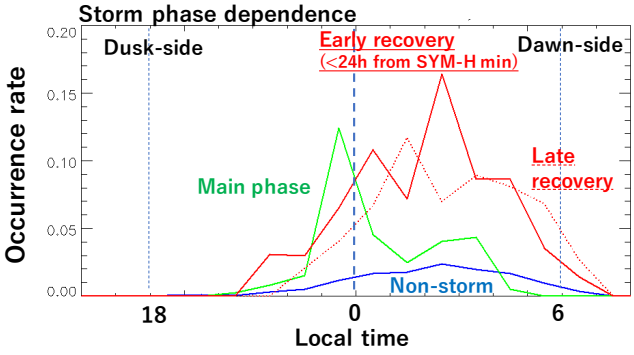


図 2: 4-20s の時間スケールの変動を持つ電子降下現象の MLT 及び磁気嵐依存性。

3.　電波伝搬の数値計算モデルを用いた VLF/LF 帯標準電波観測の定量評価

VLF/LF 帯標準電波観測から得られる観測量（受信信号の振幅・位相変動量）は下部電離圏での物理量（電離領域の空間スケール、電離量、電離の深さ）を反映している。観測量から物理量を推定するには、電磁波の伝搬を数値計算する必要がある。電気通信大学・芳原研究室に共同研究に参加していただき、FDTD 法を用いた電波伝搬計算を実施した。Hirai et al. 2018 で報告された EMIC 波動に伴う電子降下現象を解析対象とし、プロトンオーロラの発光領域を用いて電離領域の空間スケールを制約することにより、電離量と電離の深さを評価した（野本他 2021）。その結果、VLF/LF 帯電波の強い振幅減少(~10dB)を説明するには、高度 60km 付近の高度で強い電離が生じている必要性が導かれた。これは EMIC 波動が相対論的電子を散乱する理論予測をサポートする結果である。

（別紙様式 1-2）

ロケットと地上光学観測を組み合わせた脈動オーロラの総合観測

Integrated observations of pulsating aurora with sounding rocket and ground-based optics

細川敬祐（電気通信大学大学院情報理工学研究科）

地球の超高層大気には，「脈動オーロラ」と呼ばれる数秒から数十秒で輝度が明滅するオーロラが出現する．このオーロラは，オーロラ爆発（オーロラサブストーム）の回復相に長時間，かつ継続的に出現することが知られており，極域超高層大気現象の中でも普遍的なもののひとつである．脈動オーロラは，磁気圏電子が準周期的に大気に降下することによって生じると考えられているが，近年の研究によって，脈動オーロラに伴って放射線帯起源と考えられる高いエネルギーを持つ電子が同時に降下している可能性が指摘されている．しかし，低高度衛星もしくは観測ロケットによる電子のその場計測による確認は未だになされていない．本研究は，アラスカにおいて米国の研究グループとの共同で実施される観測ロケット実験（NASA LAMP ロケット実験）の際に，地上で高速撮像カメラ，および降下電子エネルギーを推定するための多波長カメラによる光学観測を実施することで，脈動オーロラ発生時の高エネルギー電子の同時降下を実証することを目的とする．観測ロケットには，日本側から高エネルギー電子計測器，光学カメラ，磁力計の 3 つの機器が提供され，光学観測に見られる脈動オーロラと数 100 keV 以上の高エネルギー電子の時間変動の間の対応を明らかにすることが期待される．本申請によって，日米国際共同の枠組みで実施されるロケット実験の地上サポート観測を充実させることができれば，ロケットと地上観測を組み合わせた脈動オーロラの総合観測の機会を得ることができる．

コロナ禍の影響により，2020 年 12 月に予定されていたロケット実験が 2022 年 2-3 月に延期された．昨年度から継続している本研究費によって，現地でカメラデータを保管するためのハードディスクや，追加で設置する予定の小型カメラ，レンズ等を購入し，地上サポート観測をより充実したものにするという方策を取った．本年度は，ロケット実験実施に向けて，EMCCD カメラ，sCMOS カメラによるそれぞれ 100 Hz，80 Hz の時間分解能での全天オーロラ観測システムの製作およびアラスカへの輸出を行った．システムの製作に際しては，細川，大山，小川，三好がこれまでに北欧 4 箇所，北米 2 箇所で行ってきた高速撮像プロジェクトで用いているシステムをプロトタイプとした．上述のように，本国際共同研究の予算を用いて，小型のハードディスクを購入し，ロケットの打ち上げウィンドウ期間中の EMCCD，sCMOS カメラのデータを保管するような設定を行った．また，これらの高速撮像システムに加えて，降下電子のエネルギーを推定するために，2 つの波長（427.8 nm, 844.6 nm）を同時に撮像できるオーロラ観測システム 2 式を，ZWO 社の小型カメラ

を用いて開発した．この 2 波長カメラについては，三好，細川，坂野井を中心として準備を行い，PC によるカメラの制御，フィルターを装着するための治具の製作を完了し，ロケット実験期間中の観測を実現した．これらのカメラ群は，ロケット飛翔域直下における観測を行うためにアラスカ北部の Venetie, Fort Yukon に設置され，ロケット打ち上げウインドウ中の観測が行われた．これらの光学観測機器からのデータを用いて，リアルタイムで脈動オーロラの発生状況を可視化できるようなシステムを構築し，このシステムは，ロケットの打ち上げタイミングの判断に用いられた．特に，1 分毎のケオグラムを自動作成し，インターネットを介してロケットの打ち上げ場所である Poker Flat へ転送するシステムを実装し，脈動オーロラの主脈動に内包されている 3 Hz の変調（内部変調）を確認したうえで，2022 年 3 月 5 日 11:27 UT にロケットの打ち上げを行うことに成功した．

ロケット実験のサポートと並行して，実験の科学課題に関連した研究をいくつか実施している．ロケット衛星のメインターゲットであるマイクロバーストと脈動オーロラが，コーラスによる電子の散乱によって統一的に理解することができることを低高度衛星による観測によって示した（Kawamura et al., 2021）．さらに，北欧における非干渉散乱レーダーのデータを用いて，オメガバンドタイプの脈動オーロラが発生しているときに，準相対論的電子の降下が起こっていることを示し，数値シミュレーションと組み合わせることによって，電子降下が中間圏のオゾン破壊を起こす可能性があることを示した（Miyoshi et al., 2021）．これは，ロケット実験のベースとなる理学的知見であり，実験の実施前に成果として公表できたことには大きな意義があると考えられる．また，北欧におけるリオメータの観測と EMCCD カメラによる観測を用いて，脈動オーロラ発生時の降下電子エネルギーの特性を明らかにした（Miyamoto et al., 2021）．

関連する論文:

1. Miyamoto, T., S. Oyama, T. Raita, K. Hosokawa, Y. Miyoshi, Y. Ogawa, and S. Kurita,, Variations in cosmic noise absorption in association with equatorward development of the pulsating auroral patch: A case study to estimate the energy spectra of auroral precipitating electrons, Journal of Geophysical Research, 126, doi:10.1029/2021JA029309, 2021
2. Miyoshi, Y., K. Hosokawa, S. Kurita, et al., Penetration of MeV electrons into the mesosphere accompanying pulsating aurorae, Scientific Reports, 11, 13724, doi:10.1038/s41598-021-92611-3, 2021
3. Ozaki, M., T. Inoue, Y. Tanaka, S. Yagitani, Y. Kasahara, K. Shiokawa, K., Y. Miyoshi, K. Imamura, K. Hosokawa, S. Oyama, R. Kataoka, Y. Ebihara, Y. Ogawa, and A. Kadokura, Spatial evolution of wave-particle interaction region deduced from flash-type auroras and chorus-ray tracing, Journal of Geophysical Research, 126, doi:10.1029/2021JA029254, 2021
4. Kawamura, M., T. Sakanoi, M. Fukizawa, Y. Miyoshi, K. Hosokawa, F. Tsuchiya, et al., Simultaneous pulsating aurora and microburst observations with ground-based fast auroral imagers and CubeSat FIREBIRD-II, Geophys. Res. Lett., 48, e2021GL094494, 2021

（別紙様式１－２）

将来小型衛星FACTORS搭載可視・紫外カメラの設計と開発

Design and development of a fast visible camera and far- ultraviolet camera for the future small-satellite FACTORS

坂野井健,東北大学・理学研究科

【 研究背景と目的 】

FACTORS は、我が国の次世代電磁圏・熱圏コミュニティ衛星として検討が進められている極域周回編隊衛星計画であり、JAXA 宇宙科学研究所において 2019 年度ワーキンググループ(WG)として採択され、活動を継続している。今後、科学課題と観測装置について具体的検討を進める必要がある。その搭載装置候補にオーロラ・大気光を紫外と可視の 2 つの波長域でイメージングする装置がある。紫外撮像装置について、欧米では Polar, IMAGE, Freja 衛星等の実績があるが、日本ではあけぼの衛星以降ない。最近の CCD や CMOS 検出器技術ならびに光学系の著しく高精度化かつ進歩しており、我が国の今後の衛星からの地球・惑星大気観測のために最新技術を導入した衛星搭載撮像装置の開発が必須である。また、宇宙からの可視撮像装置においても地上観測と同様に 10Hz の高速サンプリング、1km の高空間分解能をもつ高速性能が要求されている。
FACTORS は高度約 3000km の放射線帯内で観測を行う計画であり、放射線耐性をもつ高速撮像可能な宇宙用 2 次元可視検出器の検討が必須である。

研究代表者は、2018-2020 年度に ISEE 一般共同経費により FACTORS 紫外線撮像装置の国内検討を行った。本国際共同研究は、FACTORS に搭載される可視と紫外の 2 つのカメラの検討と基礎開発を進めることを目的する。特に、紫外撮像・分光器に多くの実績を持つ海外研究者と国際共同研究のもと情報交換しつつ開発を進める。これを通じて、可視カメラと紫外カメラの宇宙搭載可能性に見通しをたて、今後のミッション提案に貢献する。

【 研究方法 】

本研究は、（以下敬称略）三好由純、平原聖文、大山伸一郎（名大 ISEE）、山崎敦、浅村和史、（ISAS/JAXA）、Harald Frey（UB バークレー校）、Nick Schneider（コロラド大）、津田卓雄（電通大）が研究分担者である。2021 年度は、本課題の 3 年次計画の 3 年目である。

本年度は、科学要求の達成に必要な可視カメラの仕様要求をまとめ、これを実現可能な装置設計を行う。これまでの検討から、可視カメラについては高度 3000km から 400x400km(視野約 8x8 度)、空間分解能約 1x1km、フレームレート 10Hz で 1-100kR のオーロラを撮像することを科学要求としている。2021 年度は、可視カメラの使用を具体的に検討し、対物レンズの概念設計を行うことで、装置の成立性に目処を立てる。

一方、当初紫外カメラは可視カメラより数倍広視野で低い時間分解能で撮像することを検討していたが、2020 年度の検討から日照中で観測ができる紫外カメラについて微細構造撮像を最優先とし、可視カメラに近い空間分解能とフレームレートを達成する方針とした。紫外カメラの開発については、本研究と密接に連携する ISEE 一般共同研究「衛星搭載イメージング・分光光学系の設計と開発」の報告書にまとめて記載した。

【 研究結果 】

本年度の検討により、可視カメラに必要なレンズの仕様は以下の通りとなった。

(1) レンズの焦点距離は 150 mm ～ 200 mm の範囲とすること。
(2) レンズの合成 F 値は 1.5 以下であること。
(3) レンズ焦点面における入射光のスポット系は、検出器の縦横寸法に合致する直径 30ｍｍ以内の像面領域に渡り 60 μｍ×60 μｍ またはφ60 μｍ 以内に 80%以上のエネルギーが収まること。
(4) レンズへ入射する光の波長 670±20nm において (1) - (3) の仕様を満たすこと。
(5) レンズの硝子材料の質量が 2kg 以下であること。

このレンズ設計解の２例を図 1 に示す。図１左は F 値 1.0 と非常に明るいレンズであるが、質量が 11kg、直径 200mm、長さ 300mm であり、大型であるため適合しない。一方、図 1 右は焦点距離 170mm、F 値 1.5 で、質量 2kg、直径 113mm、長さ 215mm で要求仕様を満たす。この図 1 右のレンズでも 1kR オーロラに対して 10Hz 撮像で S/N は 500 を超える感度見積もりであり、科学目的を達成する。また、このレンズ系は 3 面非球面であり、球面レンズで校正されていたれいめい衛星 MAC と比較して軽量化させることに成功している。この収差解析とスポットダイアグラムから、630-690nm の波長範囲で良好な収差と結像特性をもち、検出器の 1 ピクセルサイズよりも小さく良好な集光特性であり、十分な空間分解能を有する。

【 まとめ 】

本年度の可視カメラの対物レンズ設計により、少なくとも要求をみたす解があることが分かった。加えて、重量や寸法の精度を具体化でき、システムへのリソース要求の精度も向上させることができた。今後この設計に基づき、対物レンズの試作品を製作し、CCD のＥＭ品もしくは市販品と組み合わせて、光学試験などの開発に必要な実験を計画する準備が整った。

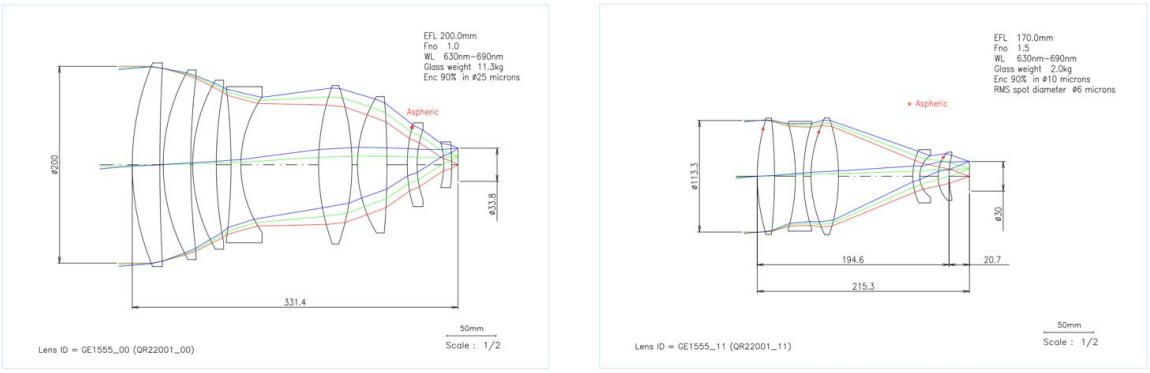


図 1：可視カメラレンズの 2 通りの設計結果。（左）焦点距離 200mm、F 値 1.0 の例。（右）焦点距離 170mm、F 値 1.5 の例。

【 成果発表 】

＜著書＞

Auroral Physics (Space Sciences Series of ISSI, 78), Ed. by D. J. Knudsen, J. E. Borovsky, T. Karlsson, R. Kataoka, N. Partamies, T. Sakanoi co-authored one chapter, ISBN 9402421211, ISBN-13 978-9402421217, August 27, 2021.

＜査読論文＞

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, 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, 2022. https://doi.org/10.1029/2022JA030269

Fukizawa, M., T. Sakanoi, Y. Ogawa, T. T. Tsuda, K. Hosokawa, Statistical Study of Electron Density Enhancements in the Ionospheric F Region Associated With Pulsating Auroras, J. Geophys. Space Res. Space Phys., 126, 12, 2021. https://doi.org/10.1029/2021JA029601

Kawamura, M., T. Sakanoi, M. Fukizawa, Y. Miyoshi, K. Hosokawa, F. Tsuchiya, Y. Katoh, Y. Ogawa, K. Asamura, S. Saito, H. Spence, A. Johnson, S-I. Oyama, U. Brändström, Simultaneous Pulsating Aurora and Microburst Observations With Ground-Based Fast Auroral Imagers and CubeSat FIREBIRD-II, 48, 18, 2021. https://doi.org/10.1029/2021GL094494

Namekawa, T. Mitani, K. Asamura, Y. Miyoshi, K. Hosokawa, Y. Ogawa, S. Saito, T. Hori, S. Sugo, O. Kawashima, S. Kasahara, R. Nomura, N. Yagi, M. Fukizawa, T. Sakanoi, Y. Saito, A. Matsuoka, I. Shinohara, Y. Fedorenko, A. Nikitenko, C. Koehler, Rocket Observation of Sub-Relativistic Electrons in the Quiet Dayside Auroral Ionosphere, J. Geophys. Space Res. Space Phys., 126, 7, 2021. https://doi.org/10.1029/2020JA028633

Sugo, S., O. Kawashima, S. Kasahara, K. Asamura, R. Nomura, Y. Miyoshi, Y. Ogawa, K. Hosokawa, T. Mitani, T. Namekawa, T. Sakanoi, M. Fukizawa, N. Yagi, Y. Fedorenko, A. Nikitenko, S. Yokota, K. Keika, T. Hori, C. KoehlerEnergy-Resolved Detection of Precipitating Electrons of 30-100 keV by a Sounding Rocket Associated With Dayside Chorus Waves, J. Geophys. Space Res. Space Phys., 126, 3, 2021. https://doi.org/10.1029/2020JA028477

Kataoka, R., C. C. Chaston, K. A. Knudsen, K.A. Lynch, R. L. Lysak, R. Rankin, K. Murase, T. Sakanoi, J. Semeter, T-H. Watanabe, D. Whiter, Small-Scale Dynamic Aurora. Space Sci Rev 217, 17 (2021). https://doi.org/10.1007/s11214-021-00796-w

＜国際学会（計3件）、国内学会・シンポジウム（計5件）、ここでは国際学会のみ記載＞

Sakanoi, T., M. Fukizawa, M. Hirahara, Y. Miyoshi, K. Asamura, Y. Saito, H. Kojima, N. Kitamura, T. Nishiyama, K. Murase, M. Kawamura, K. Sakaguchi, M. Ishii, H. U. Frey, N. Schneider, Future formation-flight satellite mission FACTORS: Development of far-ultra-violet imagers and simulation of Alfven wave observations, JpGU Meeting 2021, Online meeting, 30 May-26 June 2021.

Hirahara, M. Yamauchi, Y. Saito, H. Kojima, K. Asamura, T. Sakanoi, Y. Miyoshi, and N. Kitamura, and An international multi-point space exploration mission for integrated observations in the space-Earth coupling system, JpGU Meeting 2021, 30 May-26 June 2021.

Sakanoi, T., M. Hirahara, K. Asamura, M. Fukizawa, A. Yamazaki, Y. Miyoshi, K. Sakaguchi, Y. Saito, H. Kojima, N. Kitamura, M. Ishii, T. Nishiyama, H. U. Frey, N. Schneider, Development of Far-ultra-violet Imager for a Future Formation-flight Satellite Mission ‘FACTORS’, AOGS 2021 annual meeting, on-line meeting, Aug. 1-6, 2021.

（別紙様式１－２）

太陽フレアによる高エネルギープラズマの生成メカニズムの理解
Understanding of generation mechanism of high energy plasmas by solar flares

成影 典之、国立天文台・太陽観測科学プロジェクト

太陽は高エネルギープラズマで満たされており、「プラズマの加熱」、「磁気リコネクションによるエネルギー解放」、「粒子の加速」など、プラズマ現象の宝庫である。これらのプラズマ素過程は、宇宙空間の至る場所で起きており、それぞれの環境（太陽、地球磁気圏、マグネターなど）でプラズマの状態に差異はあるが、物理過程には共通点が多数あり、宇宙プラズマ物理における重要研究課題である。

そこで我々は、太陽の持つ「身近な天然のプラズマ実験室」、「他の天体の指標となる天体」、「地球環境へ影響を与える天体」という特色を活かし、太陽を観測することで「基礎科学研究（加熱、加速の理解）」、「分野間連携研究（他天体との比較）」、「応用研究（地球への影響）」という３つの課題に取り組んでいる。具体的には、太陽コロナを満たす高エネルギープラズマの振る舞いを詳細に調査し、その物理の理解を深化させることを目指している。その手段として用いるのが「太陽X線帯域の集光撮像分光観測」という新しい観測手法である。この観測では、太陽コロナ中のプラズマから放たれるX線光子を1個1個精密に計測し、その位置・時間・エネルギー情報を同時に取得する。我々はこれまでに、この観測手法の基礎技術を確立し、世界初の観測を実施した（日米共同観測ロケット実験FOXSI； https://hinode.nao.ac.jp/news/topics/foxsi-3/; https://hinode.nao.ac.jp/news/topics/foxsi-3-data-release-jp-20190115/index.html）。そして現在、この観測手法を用いた太陽常時観測（PhoENiX 衛星計画； https://phoenix-project.science/）を計画している。

一方で、この様な新しい種類の観測データから科学成果を生み出すための準備も並行して進めておく必要がある。そこで我々は、本ISEE国際共同研究において、既存の太陽X線分光データを用いてその準備を行う。本計画は、3年を計画しており、今回（2021年度）はその3年目である。

3年目にあたる今回は、下記の3つを実施した。

① 米国のキューブサット計画 MinXSSのデータを用いた科学成果の創出
② 2018年に打ち上げた日米共同観測ロケット実験FOXSI-3のデータ解析準備
③ 2024年打ち上げ予定の観測ロケット実験FOXSI-4に向けた準備

以下に、その概要を成果とともに報告する。

【① 米国のキューブサット計画 MinXSSのデータを用いた科学成果の創出】

米国のキューブサット計画 MinXSS（ http://lasp.colorado.edu/home/minxss/）は、2016年5月～2017年5月の約1年間にわたって太陽全面からの軟X線を時間・エネルギー分解して観測を行なっており、太陽フレアを多数観測した。我々は本計画の1年目（2019年度）に本予算を用いて渡米し、このデータの解析手法をマスターした。2年目（2020年度）には、成影、川手の指導のもと、長澤（大学院生、東京大学カブリIPMU 高橋研究室）が中心となり、MinXSSが観測した最大のフレア（2016年7月23日に発生したMクラスフレア）を対象としたX線スペクトル解析を行った。

太陽フレアに伴うX線の放射には、主に加速された電子からの非熱的放射と、加熱された高温プラズマからの熱的放射が存在する。これまで衛星を用いたX線観測によってフレアに伴う加熱・冷却や粒子加速過程の理解が進みつつある一方で、軟X線帯域のスペクトル情報

が不足しているために熱的放射成分を定量的に評価するにあたって不定性が大きいことが問題となっている。そこで我々は、MinXSSによる軟X線分光観測データ、及びRHESSI衛星の硬X線撮像分光観測データを組み合わせ、X線天文学で用いられるXSPECによるスペクトル解析を行った。その結果、最短10秒の分解能で温度・エミッションメジャーの時間発展が得られ、~3 MKの低温、~15 MKの高温、~30 MKの超高温、と最大3つの熱放射成分が存在することが分かった。さらにGOES衛星、野辺山太陽強度偏波計によるフラックス情報、SDO/AIA、RHESSI、SOHO/LASCOによる空間情報を加えることによって、各温度成分の放射に関連する構造を推定した。この結果は、長澤の修士論文のテーマの一つとしてまとまった。なお、長澤の修士論文「光子計測型 X 線検出器を用いた 太陽フレアの高分解能観測による 磁気エネルギー解放過程」は、東京大学大学院理学系研究科奨励賞に選ばれた。そして、3年目の今回、その結果を国際ワークショップで発表するとともに、論文にまとめ The Astrophysical Journal に投稿中である。レフリーからは好意的なコメントが届いており、近々の受理が期待できる。

【② 2018年に打ち上げた日米共同観測ロケット実験FOXSI-3のデータ解析準備】

データ解析の過程で、観測装置（CMOS検出器）の機器校正が不十分であることが判明し、分子科学研究所の放射光施設UVSORを6週間用いて再評価を実施した。今回の再評価のために新しい測定システム（ミラーを使った反射型の減光システム）を開発したが、これが期待通りに動作し、優れた較正用データが取得できた（評価の概要は、UVSORのActivity Reportに投稿済）。これにより観測装置の較正がほぼ完了し、本格的な科学データ解析に取り組み始めている。

【③ 2024年打ち上げ予定の観測ロケット実験FOXSI-4に向けた準備】

FOXSI-4（FOXSIの4度目の飛翔計画）は、太陽フレアにおける「エネルギー解放量と解放場所の調査」「超高温成分の生成過程の調査」「フレア後期の粒子加速現象の探索」を科学目標とした日米共同の観測ロケット実験である。用いる観測手法は、過去3度の飛翔と同様、ミラーと高速度カメラの組み合わせによるX線集光撮像分光であるが、太陽フレア観測に向け、各コンポーネントにアップデートを施す。FOXSI-4計画の実施は、下記のような多角的意義を持つ。(1) 磁気再結合が引き起こす太陽フレアのX線集光撮像分光観測（世界初）を実現し、それによって可能となる精密プラズマ診断により高エネルギー現象の物理の理解に挑むこと。(2) 観測時間が5分程度に限られる観測ロケットでは困難であった太陽フレア（発生の予測が困難な観測対象）の観測に挑むものであり、観測ロケット実験の可能性を広げる挑戦的な試みであること。(3) FOXSIの発展版として日本が中心となり検討を進めているPhoENiX衛星計画にとっては、科学的・技術的実証の絶好の機会であること。

本計画は、2019年にNASAに対し提案書を提出、2020年に最高評価（Excellentの評価）で採択されており、打ち上げは2024年を予定している。そして本年度（2021年9月）、日本側の計画参加のために予算申請していたJAXA宇宙科学研究所の小規模計画に満額査定で採択された。また、FOXSI-4を研究課題として本年度応募した科研費・基盤研究(A)（2022～2024年度）にも採択された。これにより計画実施に必要な予算の目処を得た。FOXSI-4は日米共同の計画であり、各種検討会合（サイエンス検討会合、装置開発検討会合、マネージメント会合など）を定期的に実施している。FOXSI-4に関する研究・開発成果は、SPIE、日本天文学会、宇宙科学シンポジウム、観測ロケットシンポジウムなどで発表を行った。

以上のように、太陽フレアによる高エネルギープラズマの生成メカニズムの理解を目指した本研究は、当初想定していた既存の太陽X線分光データを用いた科学成果の創出だけに留まらず（上記①と②）、太陽フレアに対する世界初の太陽X線撮像分光観測の実現（FOXSI-4、上記③）に挑めるまでに大きく進展した。

2021年度もコロナ禍の影響を受け、当初予定していた渡米しての共同研究は行えなかったが、本国際共同研究経費のおかげで、リモート会議のための環境維持や、放射光施設UVSORでの機器較正が実施でき、上記のような成果を挙げることができた。

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】
アジアモンスーンは、ユーラシア大陸、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。アジアモンスーンの恩恵を受け、アジア域には数十億の人口に上る人々が暮らしている。アジア域の持続可能な社会の形成のため、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。
本研究は、太陽地球系結合過程としてのアジアモンスーンの特異性である緯度の高い大気加熱の影響の解明、インド亜大陸北東部の降水過程のマルチスケール解明、国際共同研究プラットフォームの発展、の３点を重点的課題として研究を進めてきた。特にインド亜大陸北東部の降水と気候変動メカニズムを研究しているグループSOHMONと、WCRPの枠組みのもと、GEWEXの次期RHPのとしてプロジェクトを推進してきたAsian Precipitation Experiment (AsiaPEX)のプロジェクトを通じた国際共同研究の発展に重点を置いている。

【研究方法】
バングラデシュの降水過程とかかわる地表面の水分布の解析、高湿潤静的エネルギー大気の蓄積に着目する新しいアジアモンスーンの診断手法の研究を重点的に実施した。
TRMM-PRの検証に焦点を当てた。TRMM-PRには、年降水量の世界記録を持つインドメガラヤ山脈南斜面付近を中心に顕著なモンスーン期の過小評価が確認されており(Terao et al. 2017)、現地に雨滴粒度計を複数導入し、降水過程に踏み込んだ検討を進めている。Murata et al. (2020) は初期的な観測結果を活用し、小さい粒径の雨滴が過小評価に係っている可能性を指摘した。
現地研究者との共同研究を発展させる条件を広げるための国際学会におけるセッションの開催と、レビューペーパーの作成に重点を置いて研究を進めた。

【研究結果】
下層の高湿潤静的エネルギー大気質量と、上層の高乾燥静的エネルギー大気質量を比較する新しい手法を開発し、これをもとにアジアモンスーンオンセットにおけるベンガル湾からベンガル平野にかけての降水過程の役割や、盛夏期におけるチベット高原の役割に関するデータ解析を行い、成果を国際学会で発表した(Terao 2021/AOGS)。ヒマラヤ南斜面の気象観測プロジェクトに基づき降水日変化メカニズムを解析し、成果を発表した(Fujinami et al. 2021)また、バングラデシュ南西部の地表面の水面分布に2002年ころを境にした急速な変化がみられ

ることを確認し、エビ養殖による人為的な効果が支配的である可能性を指摘した(Huda et al. 2021)。
現地カウンターパートとの協力のもと更にデータを集め、谷間と尾根筋の比較や入射角によるちがいなどを評価することにより、過小評価メカニズムの解明を進めており、査読中である。
Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) の2021年の年次大会にAsiaPEX プロジェクトとしてのセッションを開催し、28件の研究発表を集めて、Top Convener Award を受けた。2019年度ISEE国際ワークショップでの支援を受けた研究グループで引き続きAsiaPEXのレビューペーパーの作成を進め、気象学のTop Journalの一つに投稿し、査読中である。

【まとめ】
感染症により国際共同研究上厳しい状況が続いているが、諸課題に関する国際共同研究を進めるとともに、いくつかの国際共同研究論文を出版、準備する一方、研究交流を活発にするためのセッション開催とレビューペーパー作成を推進している。次年度に向けて更なる成果が期待できる。

【引用文献】
Fujinami, et al. 2021: Twice-daily monsoon precipitation maxima in the Himalayas driven by land surface effects, JGR-Atmospheres, 126, doi:10.1029/2020JD034255.
Huda, N., et al. 2021: Time-Series Remote Sensing Study to Detect Surface Water Seasonality and Local Water Management at Upper Reaches of Southwestern Bengal Delta from 1972 to 2020. Sustainability, 13, doi:10.3390/su13179798.
Murata, F. et al., 2020: Characteristics of orographic rain drop-size distribution at Cherrapunji, Northeast India. Atmosphere, 11, https://doi.org/10.3390/ATMOS11080777.
Terao, T. et al., 2017: Direct validation of TRMM/PR near surface rain over the Northeastern Indian subcontinent using a tipping bucket raingauge network. SOLA, 13, 157-162, https://doi.org/10.2151/sola.2017-029.
【成果発表】
Terao, T., S. Kanae, J. Matsumoto, 2021: The Focus of the AsiaPEX Science Plan and Implementation of Asian Monsoon Year-II. Asia-Oceania Geosciences Society, virtual, 6 Aug.
Terao, T., 2021: Impact of the Tibetan Plateau on the Atmospheric Heating Process over the Asian Monsoon Region. Asia-Oceania Geosciences Society, virtual, 4 Aug.

（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　大阪電気通信大学・工学部基礎理工学科

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ている。またその結果を用いて、ニュージーランド経度帯の内部磁気圏におけるプラズマ質量密度の高精度な長期モニタリングを行うものである。解析結果は、Ionosphere-Plasmasphere Electrodynamics (IPE) モデルを使った数値計算結果と比較し、日照の偏り、磁気圏電場の変動、電離圏加熱など、プラズマ圏プラズマの供給・損失に寄与する諸過程の効果を評価する計画である。

研究3年目（2020年度はコロナ禍の影響により研究を休止したため実質的には2年目）にあたる2021年度は、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。

モデルはFully Convolutional Network (FCN)、Long Short Term Memory Fully Convolutional Network (LSTM-FCN)、Residual Network (ResNet) の三種類のニューラルネットワークを試し、それぞれの成績を比較した。またモデルに入力するデータは、前処理手法を、前処理を行わず地磁気の生データを入力するものと、高速フーリエ変換 (FFT) を行い地磁気のパワースペクトルを入力するものと、FFT を行い２つの観測点間の位相差を入力するものと、様々に変えて判定成績を比較した。

モデルと前処理手法の組み合わせで判定精度が最も高かったのは、ResNetに地磁気のパワースペクトルを入力したものを入力した組み合わせであった。この組み合わせでは、学習に使ったデータの範囲では85-87 %程度の正答率で分類できた.

さらに、この分類モデルをClass Activation Mapping （CAM）で判断根拠を可視化したところ、パワースペクトルの中でも、実際に磁力線共鳴が生じている時間帯の、共鳴周波数に近い周波数帯に重点的に着目していることが分かった。よって今後、CAMに着目することで、磁力線共鳴振動周波数そのものを判定するモデルの構築に道筋がつけられるものと期待される。

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動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を得られるようにするために以下の 1.検出器試作　2.データ取得手法の確立　3.データ解析の作業が必要となる。

本年度はデータ解析と平行して、検出器本体とデータ取得回路の検討を行った。

研究結果

本年度、米国ユタ州への渡航と複数人数による実験作業が COVID-19 の影響により困難であった。このため検出器試作を十分に進める事は出来なかった。

比例計数管の制作および、既存の測定回路を用いた試験測定のための可能な準備を明野観測所にて進めた。　実際の制作は次年度以降となるので安定した制作手順を試してみる事は出来なかった。プリアンプ　ディスクリミネーター・記録回路については過去に行った設計を元に、試作準備のための回路基板の制作を進めている。

データ解析では、これまでのユタ州での観測実験のデータの高層大気に対する応答を加味して再構成した宇宙線強度変動を宇宙線国際会議で報告した[6]。また雷雲下で変動する２次宇宙線についてこれまでの観測にない密度で２次元的にその影響をとらえた結果を報告した[7]。

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(2021年度)

学会報告

第37回宇宙線国際会議「Study on the cosmic ray intensity variation using scintillation counters for air shower observation」Online開催 12-23 July 2021

T.Nonaka et al, "Study on the cosmic ray intensity variation using scintillation counters for air shower observation" , Proceedings of 37th international cosmic ray conference , PoS(ICRC2021)1255

第37回宇宙線国際会議「Observation of Variations in Cosmic Ray Shower Rates During Thunderstorms and Implications for Large-Scale Electric Field Changes」

R.Abbasi et al, “Observation of Variations in Cosmic Ray Shower Rates During Thunderstorms and Implications for Large-Scale Electric Field Changes”, PoS(ICRC2021)297

参考文献:

[1] K. Munakata et al. Butsuri-Tansa Vol.65 No. 3 (2012) pp. 173-179
[2] Kozai et al. Earth, Planets and Space 66:151 (2014)
[3] K. Munakata, J. Geophys. Res., 105(A12), 27457– 27468
[4] K. Nagashima and K.Fujimoto et al.,Planet space sci (1992) 40 1109
[5] T. Nonaka PhD thesis Osaka City University (2005)
[6] T.Nonaka et al. Proceedings of 37th international cosmic ray conference, PoS(ICRC2021)1255
[7] R.Abbasi et al. Proceedings of 37th international cosmic ray conference,PoS(ICRC2021)297

（別紙様式１－２）

地上ライダーネットワークによる南米エアロゾル観測研究の強化
Improvement of aerosol observation study in South America by ground-based lidar networks

西澤智明、国立環境研究所・地球システム領域

１　研究目的

本研究では、先行研究（SAVER-Netプロジェクト/JST-JICA）でアルゼンチン・チリに構築した地上観測網を発展させることによって、南米エアロゾル研究の基盤の底上げに資する国際的な共同研究拠点を構築することを目的とする。アルゼンチン・チリにボリビアを加え、エアロゾル観測を強化することで、南米中・南部における黒色炭素エアロゾルの特性や動態についての新たな科学的知見の創出を狙う。観測基盤の強化として、ライダーに偏光測定機能を付加する。この付加により、黒色炭素エアロゾルの検知能力を向上させると共に、ボリビアにおける都市大気汚染に関するエアロゾル研究への応用も目指す。ボリビアは、アマゾンからのバイオマス燃焼スモークの大規模移流が懸念されると共に、アルゼンチン等の南米南部地域へと輸送される際の窓口ともなる。そこで、ボリビアでのエアロゾル観測の強化と共に新規観測サイトの開拓により、黒色炭素エアロゾルの南米南部地域における空間分布の解明に資する。数値モデルによる南米南部地域での黒色炭素エアロゾルの飛来再現・予測精度の向上を念頭に、最適な観測地点を検討し効果的かつ効率的な地上観測網の構築・発展を目指す。

２　研究方法・計画

本研究では、ボリビア国におけるエアロゾル観測強化のため、首都ラパスに設置されている波長532nmでのミー散乱ライダーの改良を行う。このライダーに偏光測定機能を追加することで、球形エアロゾル（バイオマス燃焼スモーク等）と非球形エアロゾル（鉱物ダスト等）を分けて抽出する。観測データを蓄積し、エアロゾル種毎の高度分布を抽出し、その変動を把握する。この観測強化に加え、新規のライダー観測サイトとなる候補地を検討する。アマゾンから輸送されるバイオマス燃焼スモークの南部南米地域への飛来の再現・予測に有用な情報が得られることをサイト選考の条件とする。候補地選定の客観性を高めるため、ライダーデータに加えて、エアロゾル輸送モデルの結果も加味し検討する。関係者と観測環境等についても検討する。

３　研究結果

【新規観測サイトの検討】SAVER-Netライダーデータの解析結果と流跡線解析や数値モデルによる輸送経路解析も加味し、新規観測サイトの候補として、ボリビア東部の都市サンタクルス（17.64S,63.14W）を選定した。サンタクルスはアマゾンスモークの南部南米地域への流入の上流に位置する。中流・下流域に多く存在する既存のSAVER-Netライダーサイトと合わせることで、モデル同化による南米スモーク再現・予測の高度化が期待できる。本共同研究に参画しているボリビアの共同研究者とも協議し、サンタクルスでの観測の実現性は高いと結

論づけられた。実現へ向けた協議を今後重ねていく。

【ラパスライダーの改良と観測】策定した設計案に基づき、偏光測定モジュールの試作及び試験観測を昨年度行った。今年度は装置故障の抑制とSN向上を企図し、試作機の遮光性を高める改良を施し、最終版を作成した（図１）。COVID-19による渡航規制は今年度も解除されなかったため、現地訪問を断念し、本モジュールを現地へ送付することとした。残念ながら今年度中の取り付け・観測開始には至らなかったが、本モジュールを用いた観測を次年度に実施する予定である。

図１　改良した偏光測定モジュール

【SAVER-Net等ライダーを用いたエアロゾル解析と応用】COVID-19以前のデータの解析は実施しデータセット化した（前年度成果）。一方COVID-19以降は、厳しい国内移動規制によりライダーの保守が行えず、2019年末以降は観測停止が余儀なくされた（結果として、観測データの蓄積や解析を行うことはできなかった）。そこで、COVID-19収束後のSAVER-Netライダーとラパスライダーの利用を見据え、以下２つの応用研究を行った。

（１）モデル同化研究の推進を念頭に、モデル同化用の測定パラメタおよびそのフォワードモデルの検討、およびデータ同化用の入力（観測）データセットの構築を既存のSAVER-Netデータを用いて行った。

（２）国際的な地球衛星観測ミッションへの貢献を見据え、ライダーデータを用いた地上検証を行った(図２)。ここでは、欧州宇宙機関（ESA）で現在運用中のADM-Aeolus衛星搭載の風・エアロゾル計測ライダー(ALADIN)と国立環境研究所・九州大学で共同運用されているラマンライダー（九州大学応用力学研究所に設置）を用いた。2019年11月から2020年5月までの約半年間のデータに対して、衛星・地上でマッチアップしたデータはわずか９プロファイル（晴天かつ水平80km圏内）であった。有意な地上検証を行うためには、昼夜連続観測をベースとしたデータの蓄積が肝要となる。ALADINと同型の雲・エアロゾル計測ライダーATLIDが2023年度に日欧共同地球観測衛星ミッションEarthCAREで打ち上げられる。COVID-19収束後は、ここで構築した地上検証プログラム群を転用することで、SAVER-Net等ライダーを用いた南米でのALADIN,ATLIDの地上検証を実施できる。

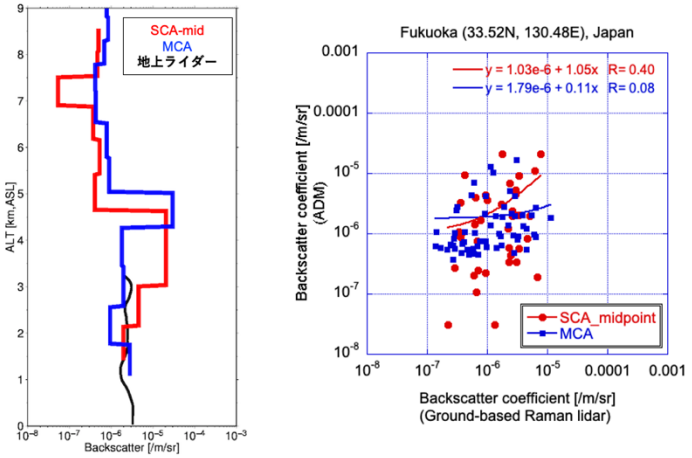


図２　測定された後方散乱係数を用いたADM-Aeolus衛星搭載ライダーの地上検証
左図）2019年4月３日の0912UTCにおける高度分布　右図）マッチアップデータの散布図
ADM-Aeolusミッションで公開されているstandard correct algorithmを用いたプロダクト(SCA-midpoint)とMie correct algorithmを用いたプロダクト(MCA)が用いられた

（別紙様式１－２）

トロムソにおけるオーロラ・大気光の光学スペクトル観測を活用した超高層大気研究
Research on upper atmosphere utilizing optical spectral observations of aurora and airglow at Tromsø

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

近年の地上光学観測は，全天イメージング観測 (OMTI, etc.) に代表されるように水平 2 次元イメージングが盛んで，最近の高時間分解イメージングや高空間分解イメージングから従来の光学観測では捉えきれなかったようなダイナミックに変動するオーロラや大気乱流・音波領域の大気光変動の様子が捉えられるようになってきている．その一方で，オーロラや大気光の光学スペクトル観測は，イメージング観測と比べると精力的な観測が不足している状況にあると思われる．

本研究グループは，電通大が開発したスペクトログラフと名古屋大が開発した多波長フォトメータを用いてノルウェーのトロムソでオーロラ・大気光の分光観測を実施し，近年の研究進展を踏まえた分光観測による超高層大気研究を進めている．

研究進展状況

(1) Na 大気光スペクトルの解析

Na 夜間大気光の発光メカニズムは，チャップマンメカニズム (Chapman, 1939) として知られている化学反応プロセスで長年説明されてきた．チャップマンメカニズムによると，Na D_1 線 (589.756 nm), Na D_2 線 (589.158 nm) の発光強度比は，理論的に一定値 ($D_2/D_1 = 2$) となることが期待されるが，近年の観測においては，D_2/D_1 発光強度比が，一定値とはならず，変動することが報告されており，この変動要因の解釈を行う為に，チャップマンメカニズムの修正が提案されている (Slanger et al., 2005; Plane et al., 2007; Harrell et al., 2010; Plane et al., 2012).

本研究では，Na D_2/D_1 発光強度比の試験的な観測を目的として，ノルウェー，トロムソ (69.6ºN, 19.2ºE) で設置・運用している電通大スペクトログラフの回折格子を従来の 4 倍の高分解能の回折格子に交換することで波長分解能を 4 倍 (~0.4 nm 分解能 → ~0.1 nm 分解能) にし，Na D_1 線 (589.756 nm) と Na D_2 線 (589.158 nm) を分離した分光観測を試みた．この試験観測は，2017-2018 年の冬季に実施しており，今年度は，取得したデータの解析を中心に研究を進めた．

取得した Na 夜間大気光のスペクトルデータにおいて，Na D_1 線，Na D_2 線のダブルピーク形状を確認，この形状に合わせて，背景光成分を設定・除去し，その後，ダブルガウシアンでフィッティングを行い，Na D_1 線と Na D_2 線の各々の発光強度を求め，両者の比を計算した (図 1 参照)．その結果，本試験観測においても D_2/D_1 発光強度比が，必ずしも $D_2/D_1 = 2$ とはならず，時間的に変動する様子を捉えることに成功した．本結果は先行研究で報告されている D_2/D_1 発光強度比の変動と整合的であり，チャップマンメカニズムの修正を支持する結果であると考えられる．

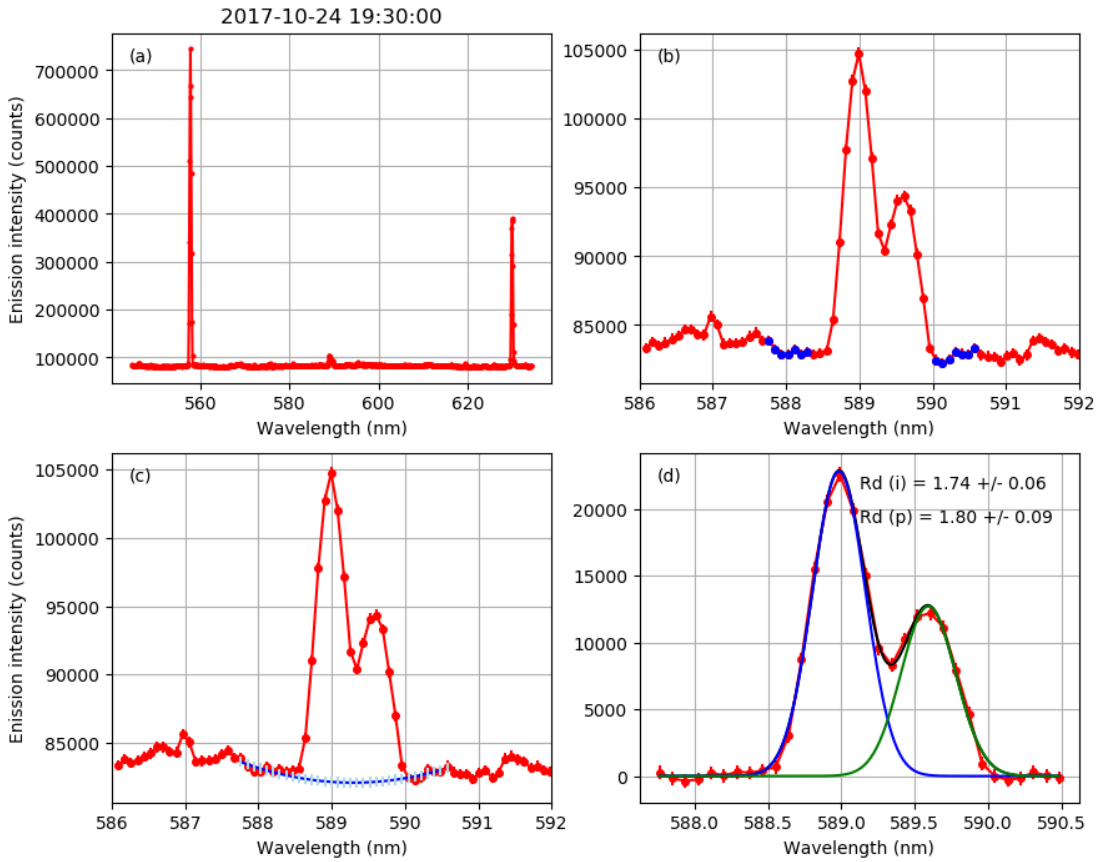


図 1. トロムソの電通大スペクトログラフによる Na 夜間大気光の観測例 (2017 年 10 月 24 日 19:00-20:00 UT). (a) 波長範囲 540-640 nm の観測スペクトル (赤). (b) 波長範囲 586-592 nm (Na D 線付近) の観測スペクトル (赤) と背景光レベルの推定に用いたデータ点 (青). (c) 波長範囲 586-592 nm の観測スペクトル (赤) と設定した背景光レベル (青). (c) 波長範囲 586-592 nm の背景光レベルを除去した観測スペクトル (赤) とダブルガウシアンのフィッティングデータ (緑: Na D_1 線, 青: Na D_2 線, 黒: 緑と青の和).

(2) 紫外オーロラスペクトルを用いた熱圏温度推定手法の検討

先行研究において, 紫外域の N_2 オーロラの高分解スペクトル情報を用いて熱圏温度を推定する手法があるが, 高分解スペクトル計測の為に大型・高価な観測装置を必要とする. 本研究では, 小型・安価な装置による低分解スペクトル計測で熱圏温度の推定を可能とする為に, 理論計算と試験観測による分光スペクトルデータの解析を組合せ, 観測波長や温度推定手法について詳細検討を進め, その結果, N_2 の 2 つのバンドの強度比から熱圏温度を推定する手法を考案した. 今後, 考案手法を実現する為の実機の開発を行う予定である.

研究発表

T. T. Tsuda, K. Hosokawa, S. Nozawa, T. Kawabata, A. Mizuno, S.-i. Oyama, J. Kurihara, and K. Nielsen, Aurora and airglow observations by an optical spectrograph at Tromsø, Norway, JpGU Meeting 2021, online, June 2021. (poster)

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 highest accuracy cosmic-ray muon telescope

小井辰巳、中部大学・工学部

宇宙天気研究の分野は、高度に電子化・ネットワーク化が進んだ人類社会においてその重要性が増している。本年2月には、SpaceXが打ち上げたスターリンク衛星40器が太陽風の影響で失われるなど、改めて宇宙天気研究を深化させる必要性が浮き彫りとなった。我々は、インド・ウーティで行われている、GRAPES-3宇宙線観測実験の宇宙線到来方向を決定できるホドスコープ型のミューオン観測装置を使って、太陽活動などに伴う宇宙線変動を観測し宇宙天気研究に役だてようとしている。地上における宇宙線観測は、中性子モニターや宇宙線空気シャワーの観測によっても行われているが、中性子モニターはせいぜい数十GeVという、エネルギーの低い宇宙線を観測し、また検出器として宇宙線の到来方向を決定することができない。これに対して、空気シャワー観測は、1TeVを超える高いエネルギーの宇宙線を到来方向とともに観測できる。しかし高いエネルギーの宇宙線の到来頻度は低いので、宇宙天気で問題となる、比較的時間の短い変動を捉えるのにはむかない。これに対して、GRAPES-3のミューオン検出器は、宇宙線の到来方向をしることができ、数十GeVからの宇宙線を観測できるので、宇宙天気に関連する比較的短期間の変動を観測するのに適している。我々の観測装置は、ホドスコープ型の宇宙線ミューオン観測装置として、最高精度の方向分解能と最大の検出面積を持っている。

我々がこの検出器で見ている宇宙線は、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であり、これを利用した利用した宇宙天気研究の進展を目標に、基礎研究としてGRAPES-3の広視野かつ高方向分解能を生かした過去の2太陽周期分の観測データに対する解析を宇宙天気研究の視点を含めて解析を行なった。

宇宙線の太陽時異方性をGRAPES-3の方向分解能を活かして、初めて2次元マップで描いた研究は、宇宙線国際会議の太陽圏領域でのホットトピックとして選出された。その他に、ミューオン観測装置のデータ取得回路の更新により、いままでよりも多くの情報が採取できるようになるとともに、詳細な解析のための気圧補正の高度化が試みられている。

21年度は、Covid19の対策のため残念ながらインドへ行くこともインドから研究者をよぶことも出来なかったが、リモート会議等で共同研究を進めている。また配分金は、インドでの観測設備やデータ保存装置の増強のために使わせて頂きました。

2021年度の成果報告（宇宙線国際会議）

High-resolution two-dimensional map of the solar time anisotropy obtained by the GRAPES-3 large-area muon telescope, H. Kojima et al., ICRC2021

An Advanced Triggerless Data Acquisition System for the GRAPES-3 Muon Detector, A.Jain et al., ICRC2021

Measurement of large angle muon flux in GRAPES-3 experiment using triggerless DAQ system, B.Hariharan et al., ICRC2021

Zenith angle dependence of pressure effect in GRAPES-3 muon telescope, M. Zuberi et al., ICRC2021

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

【研究目的】
太陽の近傍領域は、太陽風の加速機構など、太陽と惑星圏の相互作用を理解する上で基本的な課題を解き明かすために探査すべき重要な領域である。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、2025年12月の水星到着までの約７年間、惑星間空間を巡行する。「みお」および Mercury Planetary Orbitor (MPO) 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。この機会に、太陽風の一般的な性質や太陽からの質量放出現象、衝撃波等が太陽からの距離に伴いどのように発展するかを調べることが出来る。また、惑星（金星、水星）フライバイの機会には、内部太陽圏と惑星との相互作用を研究するデータの取得が可能である。

【研究方法】
惑星間空間巡航中は、「みお」とMPOはスタックされ推進モジュールに搭載された状態である。更に、「みお」の磁力計マストは水星周回軌道投入まで収納されている。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、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。ノイズの評価と除去には更に検討が必要であることから、今年度は MPO の磁場データを用い、データの補正が進んでいる金星フライバイの期間について解析し、太陽風と金星との相互作用を考察した。尚、本研究は、京都大学理学部地球惑星電磁気学講座の４年生の課題研究（卒業研究）として行った。

【研究結果】
2020年10月15日に、BepiColombo は昼側から金星に近づき、フライバイした後、長時間（約9時間）金星の尾部中を金星からの距離が遠ざかる方向に飛翔した。この間の MPO の磁場データを用い、金星から太陽方向の磁場成分 Bx がゼロクロスするタイミングの前後のデータに Minimum Variance Analysis (MVA) を施し、尾部 Current Sheet の法線方向を求めた。
BepiColombo は約 9 時間をかけ、8〜45 Rv の距離の金星夜側尾部を観測した。大きな固有磁場を持つ地球と異なり、Current sheet の法線方向は 0 から 180度のあらゆる方向を向いたが、距離約 10Rv 程度で区切った範囲の中では、法線方向はある角度範囲に限定されていた。また、Bx がゼロクロスする連続するイベントについて法線ベクトルの方向の変化を調べることにより、Current sheet の構造が往復運動をしているのか、面が波打っているのかの判別を試みたが、明確な傾向は見られなかった。

【考察】
単一のフライバイデータでは、Current sheet の法線方向の変化が時間変化によるものか、空間変化によるものかを判別することは出来ない。更に、STEREO や SOHO の観測により、このフライバイの期間にコロナ質量放出 (CME) が金星に到達していたことが示唆されている(1)。金星の尾部の構造はダイナミックな変化をしていた可能性がある。しかし、本解析の結果は、10Rv 程度の空間スケール、あるいは2時間程度の時間スケールで Current sheet の構造が安定していたことを示していた。Bx のゼロクロスが連続して起こることが、構造の動きによるものか、波打ちによるものかが明確にならなかったことについては、先行研究の地球の場合(2)と比べ、金星の Current sheet の構造が複雑であり、同じ手法では同定できない可能性がある。

【まとめ】
BepiColombo の観測は、Pioneer Venus や Venus Express 等の金星に近い軌道を周回していた探査機では観測しえなかった結果をもたらした。一方で、仕方がないことではあるが、探査機による磁場ノイズが大きく、プラズマ観測器や波動観測器の取得するデータ利用にも制約が大きく、詳細な解析を行うことの限界があった。

【引用文献】
(1) Volwerk, M., et al. (2021). Ann. Geophys. 39(5): 811-831.
(2) Rong, Z. J., et al. (2021). JGR: Space Physics 126(2): e2020JA028200.

【成果発表】
京都大学理学部地球惑星電磁気学講座の４年生が、卒業課題研究の発表を行った。

（別紙様式１－２）

Comet Interceptorミッションのための搭載機器・システム検討

Study of payloads and spacecraft system for ESA's 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紫外線・太陽風電子によって部分電離され，太陽風と相互作用する．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彗星の周回探査は，このプラズマー大気相互作用に関する知見を提供したが，その一方で，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，太陽風ー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，初期検討を進めている．2020年度後半には，ISAS所内検討チームの設立が認められ，2021年度の終わりまでに科学審査，プリプロ候補移行審査，MDR，SRR，SDRなど複数の大きなマイルストーンが設定されている．

研究方法

本申請では，Comet Interceptorミッションの観測器と探査機システムの検討を実施した．
内容は，

1）各観測器の開発状況を踏まえた，理学観測と成果創出までの道筋の詳細化
2）上記の技術的実現性の確認
3）探査機システムのインタフェイスの議論

である．打ち合わせは，COVID-19の状況に鑑みて全てオンラインで実施した．国内では毎週のハードウェア定例会を実施した．ミッションをリードする欧州側とは隔週のハードウェア定例会，不定期のシステム会合，1-2か月毎のサイエンス勉強会を実施した．また，搭載機器の一つであるイオン質量分析器の開発のため，実験設備を整備した．

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・観測器ともに着実に検討を詳細化し，メーカ検討も経てコスト上限を確定し，2022年度初頭にmission definition reviewおよびsystem requirements reviewを受審できる見込みを得た．また，観測器開発については質量分析器のテストモデル性能評価を実施し設計通りの質量分解能を確認できた他，静電分析器の設計も確定した．欧州側も，システムメーカ候補2社による検討が進められており，preliminary design reviewを経て2022年6月にプロジェクト化する見込みである．この際，日本側とのインタフェイス情報が必要であり，本研究で進めた検討結果が反映されている．

成果発表

- 船瀬龍ほか，”Comet Interceptorミッションの検討状況”，第22回宇宙科学シンポジウム，ポスター発表，virtual，2022年1月6日．
- 村田直史，松岡彩子，横田勝一郎，笠原慧，” 宇宙科学ミッションに適用可能な小型高精度新方式磁力計 ~MMX及びComet Interceptor搭載に向けた開発状況~”，第22回宇宙科学シンポジウム，ポスター発表，virtual，2022年1月6日．
- 笠原慧，河北秀世，新中善晴，吉岡和夫，坂谷尚哉，亀田真吾，松岡彩子，村田直史，原田裕己，船瀬龍，中島晋太郎，尾崎直哉，宇佐美尚人，Comet Interceptor science team，"Comet Interceptorの科学目的とミッション要求"，惑星圏科学会，ポスター発表，virtual，2021年9月16日．
- Kasahara, S., S. Yokota, K. Asamura, Y. Saito, M. Hirahara, A. Matsuoka, N. Murata, T. Amano, K. Keika, Y. Ohira, and K. Yoshioka, "Challenges for ion measurements in a comet mission", 地球惑星科学連合2021年大会, ポスター発表, Virtual, 2021年06月04日.

（別紙様式１－２）

Tweek空電を用いた高精度な自動下部電離圏反射高度マッピングシステムの開発
Development of automatically accurate estimation system for reflection height in the lower ionosphere using tweek atmospherics

大矢　浩代、千葉大学・大学院工学研究院

1. 研究目的

本課題の研究目的は，東南アジア VLF 帯電磁波観測ネットワーク AVON (Asia VLF Observation Network)および名古屋大学宇宙地球環境研究所（ISEE)が国内外で展開している VLF/LF 帯電磁波観測ネットワークデータを使用することにより，tweek 空電のソースである雷放電の発生位置を高精度に自動推定し、下部電離圏反射高度をマッピングするシステムを開発することである。Tweek 空電とは、雷放電から発生し、地球一電離圏導波管内を長距離伝搬する VLF/ELF 帯電磁波である。地上 whistler 空電と同じ周波数帯域（1.5-10.0 kHz)であるが、tweek の継続時間は 5-100 ms と非常に短い（図 1)。VLF/ELF 波の地球-電離圏導波管内の夜間の減衰率は 1-3 dB/1000 km と小さいため、日本で夜間に観測された tweek の伝搬距離は 1000-10000 km と長い。従来、tweek は昼間は太陽からの極端紫外線や X 線による強い電離により吸収されてしまい観測できないと考えられてきたが、本研究代表者は tweek が昼間でも観測され、反射係数の厳密式を解くことにより、昼間の tweek の減衰率はこれまで考えられていた値（100 dB/1000 km）より小さく（20 dB/1000 km)、昼間でも伝搬可能であることを示した[Ohya et al., JGR, 2015]。Tweek は D 領域・下部 E 領域のある一定の電子密度面（数十個 cm-3）で反射される。したがって，tweek 反射高度の変動は D 領域・下部 E 領域の電子密度変動に対応しており、また ISEE 母子里・鹿児島観測所での tweek 受信率は夜間で数十～100 個/分であり、また海上の様々な伝搬パスが予想されることから昼夜の下部電離圏モニタリングとして有用である。

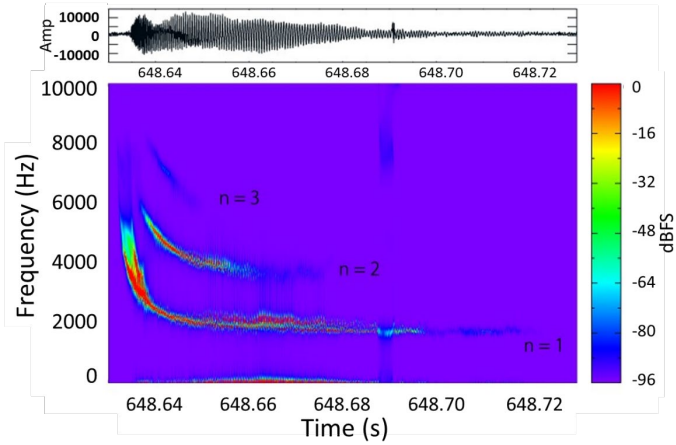


図 1　1980 年 12 月 5 日 23:50:48.63 LT に鹿児島で観測された tweek 空電の波形（上）とダイナミックスペクトル（下）

2. 研究方法（使用した共同利用装置・施設等を含む）

本研究課題で、tweek反射高度の自動マッピングシステムを実現するために，2021年度も引き続き伝搬距離推定精度の改善を行った。使用した共同利用装置は、ISEE附属母子里観測所および鹿児島観測所のELF/VLF帯電磁波観測ネットワークシステムである。2019年6月に鹿児島観測所、2020年3月に母子里観測所におけるVLF観測システムが改良され、tweekの観測時間が1時間中4分から59分へと長くなり、サンプリング周波数が 20 kHz から 40 kHz となった。これによりD領域電離圏のモニタリングが、より高時間分解能で長時間行うことができるようになった。

これまでTweekの水平伝搬距離および反射高度は、最大エントロピー法により描いたダイナミックスペクトル上に、球面地球―電離圏導波管モデルでの周波数分散性の式（1）を最小二乗法によってフィッティングし推定していた[Ohya et al., EPS, 2003]。

$$f(t)=\frac{(t_g+t)f_c}{\left(1-\frac{c}{2af_c}\right)\sqrt{(t_g+t)^2-\left(\frac{d}{c}\right)^2}} \tag{1}$$

ここで、t_gは伝搬時間、f_cは一次モードのカットオフ周波数、dは水平伝搬距離、cは光速およびaは地球半径である。

本研究では、以下の推定方法を提案し、検証を行った。式（1）を変形し、

$$\frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{\frac{f_c}{f}}{1-\frac{c}{2af_c}}\right)^2}}=\frac{c}{d}t+\frac{c}{d}t_g \tag{2}$$

とし、f_cを 1500-2400 Hz の範囲で 100 Hz ステップで変えながら、式（2）を計算する。その計算結果を 2 次関数でフィッティングし、2 次項の係数を求める。2 次項の係数が最小のとき、f_cが推定値となり、式（2）は線形となる。最小二乗法による直線の傾きから d を推定する。

3．研究結果および考察

疑似tweek空電によるシミュレーション推定精度の評価では、水平伝搬距離の誤差は新規手法で8.2 %、従来手法では15.3 %となった。更に2020年08月11日 12:00 UT に観測された4 個のtweek 空電に対する新規手法による推定位置は、ひまわり8 号による雲の位置およびWWLLNの雷の位置とよく一致し、新規手法の有効性が示された（図2）。母子里、鹿児島に加え、さらに1点以上の観測データを用いれば、雷の位置をさらに高精度で推定でき、tweek反射高度のマップが作成できると思われる。

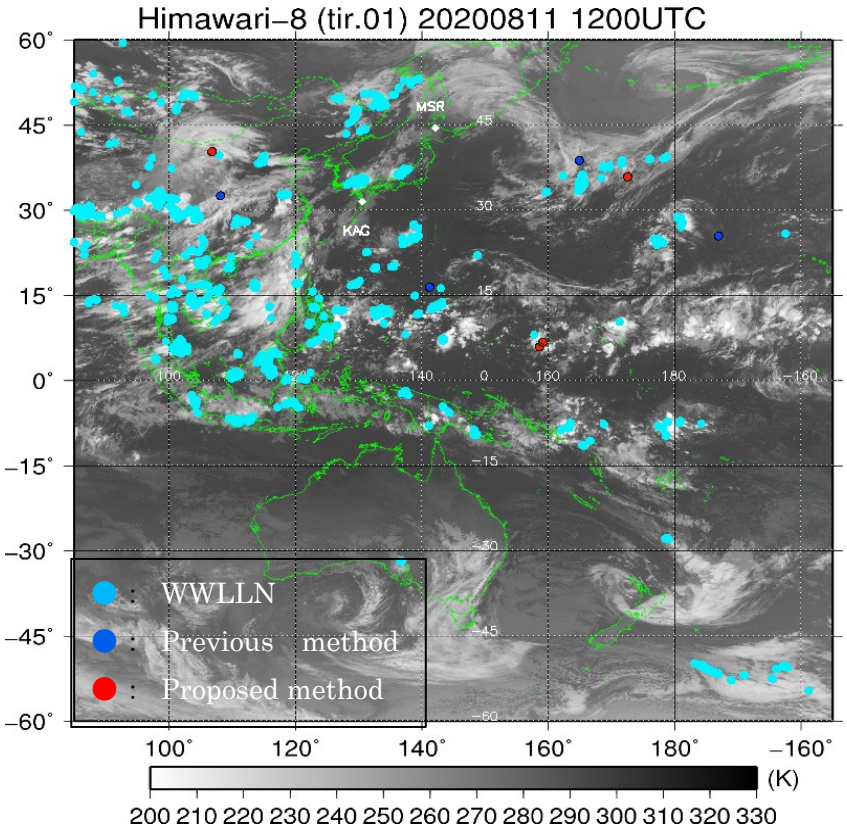


図 2　2020 年 8 月 11 日 12：00 UT のひまわり 8 号による雲画像、WWLLN データと、tweek による雷推定位置の比較

成果発表

EPS誌へ論文投稿を準備中。

02）ISEE International Joint Research Program List

Affiliation and Department displayed are current as of March 2022.

（注1）：Cancelled due to COVID-19

2021年度　　15件

研究代表者 Principal Investigator	所属機関 Affiliation	所属部局 Department	職名 Position	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
AKALA ANDREW OKE-OVIE	UNIVERSITY OF LAGOS, LAGOS, NIGERIA	PHYSICS	Associate Professor	Investigation of the responses of global equatorial/low-latitude ionosphere to CIR-driven and CME-driven intense geomagnetic storms during solar cycle 24	48	
The Wai-Leong	Universiti Kebangsaan Malaysia	Institute of Climate Change	Lecturer	Understanding the Role of Magnetic Island in Plasma Acceleration and Energy Dissipation during Magnetic Reconnection	50	
Berger Thomas	University of Colorado at Boulder	College of Engineering and Applied Sciences	Research Staff	Investigation of Solar Polar Magnetic Fields using Hinode/SP and SDO/HMI Data	51	
Santolik Ondrej	Institute of Atmospheric Physics	Department of Space Physics	Professor	Investigation of electromagnetic waves in space	52	
Buranapratheprat Anukul	Burapha University	Aquatic Science, Faculty of Science	Assistant Professor	An investigation of Mekong River plume in the South China Sea influenced by dam construction and climate change: a numerical modeling approach	54	
Poluianov Stepan	University of Oulu	Sodankylä Geophysical Observatory; Space Physics and Astronomy Research Unit	Senior Researcher	Solar and terrestrial effects in the 50-year long tritium record from Antarctica	56	
Mohanty Pravata Kumar	Tata Institute of Fundamental Research	Department of High Energy Physics	Leader	Study of galactic cosmic rays in the near-Earth space by high resolution multi-directional muon telescopes	57	（注1）
Spiegl Tobias Christian	Freie Universität Berlin	Institute of Meteorology	Postdoc Researcher	Using cosmogenic isotopes to trace back large-scale atmospheric dynamics of the neutron monitor era.	58	
Okoh Daniel Izuikedinachi	Centre for Atmospheric Research, National Space Research and Development Agency	Space Environment Research Facility	Researcher & Coordinator	Investigating Variations and Similarities between Consecutive Equatorial Plasma Bubble Occurrences and Propagation Speeds across Longitudinal Sections of the Globe	60	
Welsch Brian	University of Wisconsin - Green Bay	Physics	Associate Professor	Exploring Magnetic Energies to Understand and Predict CME Onset	62	（注1）
Maurya Ajeet Kumar	Doon University	Physics	Assistant Professor	Characterization of the gravity waves of the meteorological origin and their role in vertical atmosphere-ionosphere coupling	63	
Lugaz Noé	University of New Hampshire	University of New Hampshire	Research Associate Professor	Sheaths of Coronal Mass Ejections and Their Effects on Earth’s Dayside Magnetosphere and Radiation Belts	65	（注1）
Al-Haddad Nada	University of New Hampshire	Space Science Center	Research Assistant Professor	Magnetic Structures and Associated Flows of Coronal Mass Ejections	66	（注1）

研究代表者 Principal Investigator	所属機関 Affiliation	所属部局 Department	職名 Position	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
Fedun Viktor	The University of Sheffield	Department of Automatic Control and Systems Engineering	Senior Lecturer	Comprehensive analysis of solar atmospheric dynamics driven by interacting vortex tubes	67	
Zhang Jie	George Mason University	Department of Physics and Astronomy	Full Professor	Study the Origin of Solar Eruptions Using Homologous Events	69	（注1）

(Form 2-2)

Investigation of responses of global equatorial/low-latitude ionosphere to geomagnetic storms of solar cycle 24

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

Research Summary

Purpose of Project

Occurrences of geomagnetic storms are known to pose threats to Global Navigation Satellite System (GNSS) dependent services, with huge socio-economic consequences under severe conditions. This project investigated the responses of global equatorial/low-latitude ionospheric TEC and irregularities to CIR-driven and CME-driven intense geomagnetic storms of solar cycle 24.

Methods

A Multi-instruments approach was adopted to acquire data. Solar events data that caused each geomagnetic storm were obtained from the Solar Dynamics Observatory. Interplanetary Magnetic Field (IMF) and solar wind plasma data were obtained from the Advanced Composition Explorer (ACE) satellite at https//omniweb.gsfc.nasa.gov/hw/hmtl. PPEF data were obtained from the Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences (CIRES), University of Colorado's PPEF model platform at http://geomag.colorado.edu/real-time-model-of-the-ionosphericelectric-fields.html. We obtained O/N2 data from Global Ultraviolet Imager (GUVI) at http://guvitimed.jhuapl.edu/data_on2_info. GNSS observatory data were obtained from the University NAVSTAR Consortium (UNAVCO), SONEL, and International GNSS Service, IGS websites. Disturbance storm time (Dst) were obtained from the World Data Center for terrestrial Geomagnetism, Kyoto University, Japan (http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/DSTdir). The Rate Of change of TEC Index (ROTI) was used

as proxy for ionospheric irregularities. An irregularities threshold of 0.5 TECU/min was set for all visible satellite at a cut off elevation of 30^{o}.

Results

Storms with daytime onset time enhanced TEC and intensified fountain effect, while storms with nighttime onset time reduced TEC and caused reversed fountain effect. Three physical processes, namely, PPEF, thermospheric composition changes, and DDEF, generated in response of ionospheric dynamo to thermospheric composition changes drove low-latitude ionospheric electrodynamics. PPEF is dominant around storm's onset, but after several hours, the three processes; either acting individually or collectively, controls low-latitude ionospheric electron density.

Periods of Stay in ISEE, Nagoya University

Unfortunately, due the COVID-19 pandemic and the travel restriction announced by the government of Japan by December, 2021 which was prolonged to February, 2022, I was unable to visit ISEE, Nagoya University during the period of the project. My travel plans for second week of January to first week of March, 2022 was concluded before the travel restriction was announced, although, data processing and analyses had already kick-started in Nigeria since March, 2021.

Publications

Two manuscripts are in the final stage of preparation. When they are ready, they will be submitted to top-rated space science journals. Furthermore, I am in constant discussion with my co-investigator, Yuichi Otsuka on the need to expand the scope of the project to include MSTIDs modeling.

(Form 2-2)

Understanding the Role of Magnetic Island in Plasma Acceleration and Energy Dissipation during Magnetic Reconnection

Wai-Leong Teh (Universiti Kebangsaan Malaysia)

The total budget of the 2021 ISEE project planned for traveling expanses has been fully returned to ISEE due to COVID-19 pandemic. Although we cannot meet in the ISEE, we had a virtual meeting to discuss the analysis results every three months. We are achieving some convincing results. Based on the 2-D simulation results, it is found that the energy conversion occurs more intensively in the secondary magnetic flux rope than in the primary one, and also in the early stage of the secondary flux rope than in the later stage.

(Form 2-2)

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

Dr. Thomas Berger (University of Colorado at Boulder)

Research Summary:

Last year, I couldn't go to Nagoya University ISEE due to the influence of COVID-19, so we couldn't compare the polar observation data of Hinode / SP and SDO / HMI that was originally proposed.

On the other hand, the team in Japan has organized the data so that the polar magnetic field observation data of Hinode / SP can be published on the ISEE website. Obtaining the three components of the magnetic field from the Hinode / SP data is difficult for beginners and requires specialized calculations, and we have compiled the data especially for polar data.

The Japanese team is ready to publish the polar data observed by Hinode / SP so far. As soon as COVID-19 restrictions are lifted, I am prepared to travel to ISEE to begin the work to compare the polar observation data of Hinode / SP with the SDO / HMI data.

(Form 2-2)

Investigation of electromagnetic waves in space

Ondrej Santolik (IAP Prague)

This project aimed at innovative joint research of electromagnetic waves in the plasma environment of the Earth proposed by scientists form the Institute of Atmospheric Physics of the Czech Academy of Sciences in cooperation with colleagues from the Nagoya University. We proposed a one-day visit in Nagoya aiming at 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, initial discussions about a common publication, and drafting a manuscript of a common publication.

The planned personal meeting in Nagoya unfortunately was not possible because of the continuing pandemic restrictions and we communicated and discussed only via Internet.

We worked together on inter-calibration of measurements of intense whistlers by Arase and Van Allen Probes can be given. This work has been recently published in Journal of Geophysical Research: Space Physics. Inter-calibration of data from different spacecraft missions is necessary for combining their measurements in empirical models or in case studies. We showed results collected during a close conjunction of the Van Allen Probes and Arase spacecraft. The inter-calibration was based on a fortuitous case of common observations of strong whistlers at frequencies between a few hundred hertz and 10 kHz, which were generated by the same lightning strokes and which propagated along very similar paths to the two spacecraft. Measured amplitudes of the magnetic field fluctuations were the same within ~14% precision of our analysis, corresponding to 1.2 dB. Electric field measurements showed twice larger amplitudes on Arase compared to Van Allen Probes but they started to match within ~33% precision (2.5 dB) once the newest results on the interface of the antennas to the surrounding plasma were included in the calibration procedures. Ray tracing simulations helped us to build a consistent scenario of wave propagation to both spacecraft. We thus successfully inter-calibrated the polarization and propagation parameters obtained from multicomponent measurements. We also succeed in linking the spacecraft observations to localizations of lightning return strokes by two different ground based networks which independently verified the correctness of the Universal Time tags of waveform measurements by both spacecraft missions, with an uncertainty better than 10 ms.

Common Publication:

Santolík, O., Miyoshi, Y., Kolmašová, I., Matsuda, S., Hospodarsky, G. B., Hartley, D. P., et al. (2021). Inter-calibrated measurements of intense whistlers by Arase and Van Allen Probes. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 126, e2021JA029700. https://doi.org/10.1029/2021JA029700

Common Presentations:

I. Kolmasova and O. Santolik, (Invited) On the use of three-component ELF/VLF measurements of radio atmospherics in investigation of lightning related phenomena, The 3rd ISEE Symposium PWING-ERG conference and school on the inner magnetosphere, online conference (ISEE, Nagoya University, Japan)

O. Santolik , (Invited) Spacecraft measurements of whistler mode waves as a tool for investigation of the inner magnetosphere The 3rd ISEE Symposium PWING-ERG conference and school on the inner magnetosphere, online conference (ISEE, Nagoya University, Japan)

Ondrej Santolik, Yoshizumi Miyoshi, Ivana Kolmasova, Shoya Matsuda, George Hospodarsky, David Hartley, Yoshiya Kasahara, Hirotsugu Kojima, Ayako Matsuoka, Iku Shinohara, Aerospace William Kurth, Craig Kletzing, Inter-Calibration of Measurements of Electromagnetic Waves by Arase and Van Allen Probes, Oral presentation at the AGU hybrid meeting, New Orleans, USA

An investigation of Mekong River plume in the South China Sea influenced by dam construction and climate change: a numerical modeling approach

Anukul Buranapratheprat (Burapha University)

Purpose:

The Mekong River is one of the large rivers in Southeast Asia, providing nutrients and sediments to the South China Sea (SCS). Phases of the river plume are important to the marine biogeochemical process and biological productivities in the area influenced by discharged water. Seasonal variations of river plume expansion, modified by wind, current, and the amount of discharged water, can affect the marine ecosystem and productivity in the surrounding area. Changes in the hydrology of the Mekong River resulting from dam construction and global climate change also significantly contribute to the modification of river water influence on marine provinces, but they are not well understood. The numerical experiments were conducted to investigate:

(1) Seasonal variations of the Mekong River plume,

(2) The influences of dam construction and climate change on the river plume.

Methods:

The Princeton Ocean Model (POM) was used to simulate the monthly circulations and variations of the Mekong River plume using a passive tracer. The model domain covers the South China Sea area from latitude 1-24ºN and 98.99-121ºE with 0.166º spatial resolutions and 10 sigma layers. The monthly climatological data were used as driving forces including wind from ECMWF (2000-2020), net heat flux from J-OFURO (2000-2017), and river discharge from the Mekong River Commission. The open boundaries were vertically forced salinity and temperature by World Ocean Atlas 2018 and tidal elevation based on harmonic analysis, K1, O1, M2, S2, P1, Q1, N2, K2 tidal from TPXO8-atlas. The passive tracer model was coupled with POM to track the movement of a conservative dissolved substance placed near the Mekong River mouth. The variations of tracer were calculated by advection and diffusion from the POM. The tracer was released on the first day of the month until the last day of the last day was tracked.

Results:

The seasonal mean of surface currents in the SCS (Fig.1) was used to explain the variations of tracer distributions. In general, the surface currents varied by the monsoon winds. During the northeast monsoon (October to February), surface currents flow from the open ocean to the western coast. Strong southward flows along with the Vietnam coast and the Mekong River mouth to the mouth of the Gulf of Thailand were observed. The surface current near the Mekong River mouth became weak during non-monsoon (March to May) and separated into northeast and southwest directions from the river mouth. During the southwest monsoon (June to September), strong northward currents from the Malay Peninsula were observed. The surface current bent to the east and the northeast near the Mekong River mouth. The current flow crosses the center of the South China Sea to the Philippines at 12 ºN, approximately.

The spatial distribution of the region influenced by discharged water is shown in Figure 2. The contours are defined by 1% from the initial concentration at the initial points (Mekong River mouth). The simulated results indicate that the tracer is transported by seasonal circulations. During the northeast monsoon, the tracer is transported from the Mekong River mouth to the tip of the Indochina Peninsula. Within this season,

tracer has spread by covering the largest area in January and the smallest area in October. During the non-monsoon, most of the tracer is located near the river mouth. The covered area is shifted from southwest to northeast of the river mouth from March to May. During the southwest monsoon, the area is expanded to the northeast of the river mouth by largest in July-August and lowest in September.

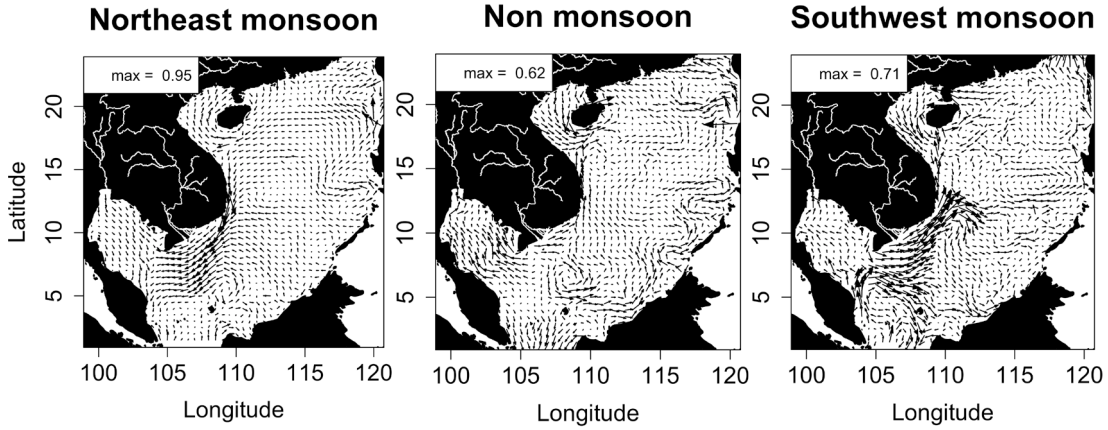


Figure 1 Seasonal surface currents in the SCS during non-monsoon (March-May), southwest monsoon (June-October), and northeast monsoon (November-February).

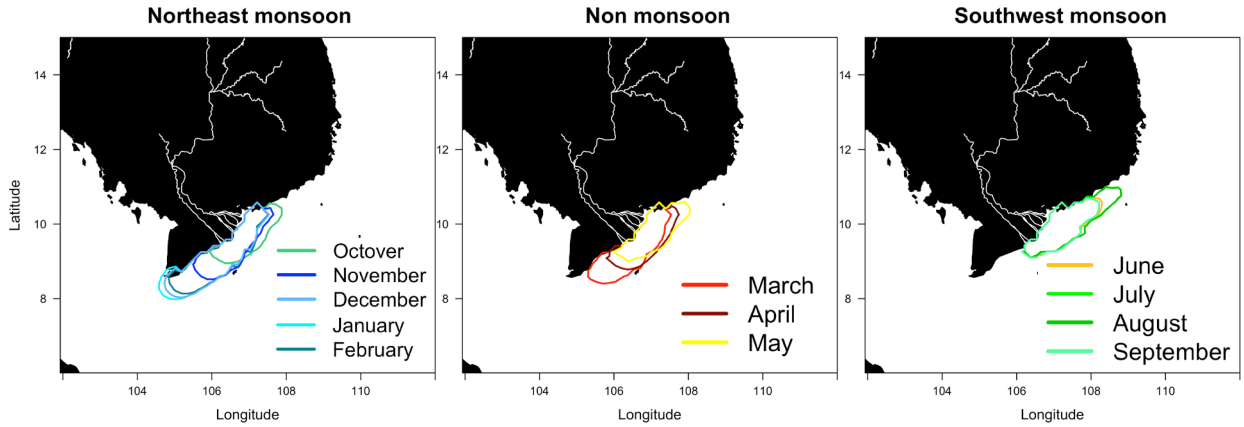


Figure 2 Simulated passive tracer from Mekong River during the northeast monsoon, non-monsoon, and southwest monsoon. The contours indicate a region influenced by discharged water.

We further investigated the influence of dam construction and climate change by decreasing the 50% of discharge water scenario by. The results show the percentage anomaly of tracer from the normal case in each season. Marine biogeochemical processes and biological productivities within these areas may be altered due to decreasing in discharge water.

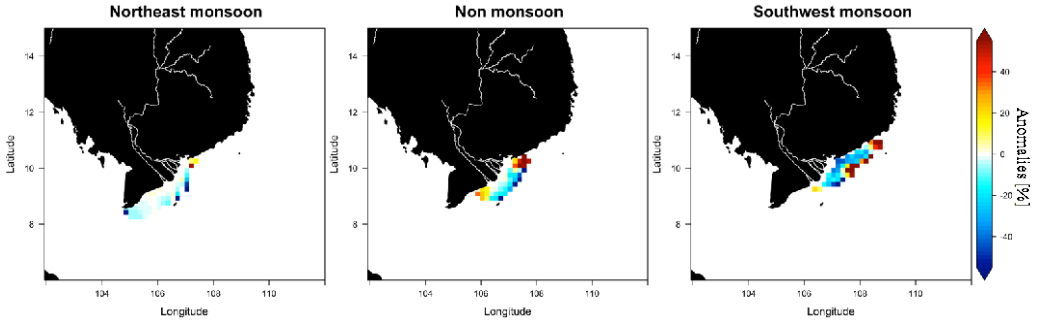


Figure 3 Percentage anomaly of tracer in three seasons.

Periods of stay in ISEE: It has been canceled due to the COVID19 outbreak.

List of publications: None

(Form 2-2)

Solar and terrestrial effects in the 50-year long tritium record from Antarctica

Principal Investigator: Stepn Poluianov (University of Oulu)

This study was carried out in collaboration with Naoyuki Kurita (Nagoya University). Oversea travel has been restricted due to the COVID-19 pandemic. As a result, we gave up on the proposed travel plan and just conducted a part of the project. Here we report the short summary of our study conducted in this fiscal year.

When energetic cosmic ray particles enter the atmosphere, they can initiate cascades of nuclear reactions with ambient air molecules such as nitrogen, oxygen and argon, leading to generation of tritium. After generation, they rapidly enter the global hydrological cycles and then a part of those precipitates on the surface. Thus, in polar region, the past records of tritium are preserved in snow/ice core samples and enable us to reconstruct past variability of cosmic rays reflecting solar activity. However, quantitative understanding of archived tritium in snow/ice cores is limited. In this joint research, we develop the tritium-enabled global water isotope model coupled with the production model of cosmogenic isotopes and challenge the quantitative understanding of the impact of solar variation to tritium signals archived in snow samples. In this year, since we had not conducted the face-to-face meeting at the ISEE, we gave up moving forward our model study and only carried out the preparation of validation dataset. We have measured tritium concentration in 5-m long snow pit samples collected at near Dome Fuji in East Antarctica. The results are shown in Fig. 1 together with solar activity. Since artificial tritium input to the atmosphere due to nuclear-weapon tests mask the variations of natural tritium production in the atmosphere, we focused only after the 1980s when the influence of the artificial tritium is limited. In another year joint research, we challenge the simulation of this observed data and the understanding how much variations of tritium production in associated with solar activity are recorded in snow in Antarctica.

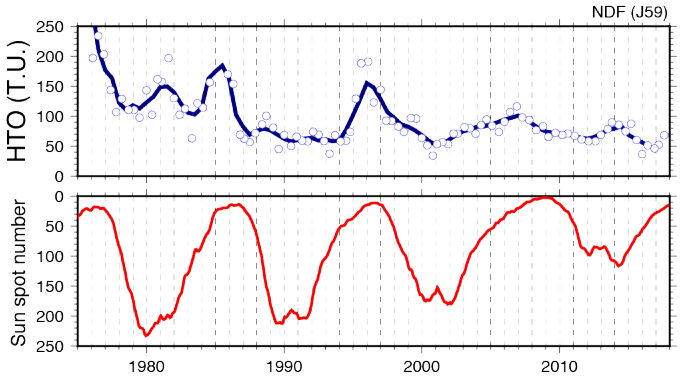


Fig1. Tritium variations of snow in Antarctica and sun spot number from 1975 to 2020.

(Form 2-2)

Study of galactic cosmic rays in the near-Earth space by high resolution multi-directional muon telescopes

Mohanty Pravata Kumar
Tata Institute of Fundamental Research
Department of High Energy Physics

Cancelled due to COVID-19

Using cosmogenic isotopes to trace back large-scale atmospheric dynamics of the neutron monitor era.

Dr. Tobias Spiegl (Institute of Meteorology, Free University of Berlin)

Summary
Due to the COVID-19 pandemic, an on-sight meeting at ISEE with all the international and domestic partners has not been possible. Thus, a two-day online meeting has been carried out to exchange ideas, deepen the collaboration between the domestic and international partners and plan subsequent steps. The scientific focus of the meeting was on the detection and modelling of extreme solar proton events (SPE) during the 8th and 10th century and on possible applications to use the cosmogenic isotopes to trace back the atmospheric dynamics of the neutron monitor era. The latter will be pushed forward as soon as in-person meetings become possible again. In the following, a summary of the workshop contributions from the individual project partners will be given.

Features of WASAVIES and PARMA: Estimation of SEP and GCR fluxes anywhere and anytime in the atmosphere (Tatsuhiko Sato)
The spatial and temporal variations of the initial cosmogenic nuclide yields are the fundamental information to be provided with the climate model. In this study, we calculated the monthly yields of ^{10}Be and ^{14}C during 2001-2020 using PHITS-based Analytical Radiation Model in the Atmosphere (PARMA) (https://phits.jaea.go.jp/expacs/) coupled with their production cross sections from atmospheric constitutions (^{14}N and ^{16}O) evaluated by Particle and Heavy Ion Transport code System PHITS (https://phits.jaea.go.jp/).

Update on modelling the extreme 8th century SPE with EMAC (Tobias Spiegl, Shigeo Yoden and Ulrike Langematz)
Prominent excursions in the amount of cosmogenic nuclides (e.g., ^{10}Be) around AD 774/775 document the most severe solar proton event (SPE) throughout the Holocene. Its manifestation in ice cores is valuable for geochronology, but also for solar-terrestrial physics and climate modeling. Using the ECHAM/MESSy Atmospheric Chemistry (EMAC) climate model in combination with the Warning System for Aviation Exposure to SEP (WASAVIES), we investigate the transport, mixing and deposition of the cosmogenic nuclide ^{10}Be produced by the AD 774/775 SPE. By comparing the model results to reconstructed ^{10}Be time series from four ice core records, we study the atmospheric pathways of ^{10}Be from its stratospheric source to its sink at Earth's surface.

Cosmogenic Proxies: Simulations of the Atmospheric Transport and Deposition of Cosmogenic Isotopes as Proxies of Solar Activity and Atmospheric Dynamics (COPROX) (Konstantin Schaar)
Investigation on the interplay of the production (SPE/GCR), transport and deposition of cosmogenic isotopes (e.g. Be-7/10 and C-14) using EMAC, with the purpose of simulating specific SPE (8./10. century) and GCR-born cosmogenic isotopes during the recent period (1950-2020). The results are compared with data from natural archives such as ice cores (e.g. Be-10) and tree rings (C-14) as well as daily Be-7 measurements from multiple CTBTO-stations around the globe. The project aims e.g. on a better understanding of (i) the role of different deposition mechanisms for cosmogenic isotopes, (ii) the impact of the seasonality of the atmosphere on the transport, (iii) the impact of man-made climate change on the transport and deposition of cosmogenic isotopes as well as the identification of various climate signals in simulated as well as empirical data on cosmogenic isotopes.

A thought on ensemble simulations in tracer transports, climate projections, and numerical weather predictions (Shigeo Yoden and Rattana Chhin)
Ensemble simulations in numerical weather predictions (NWPs) had started in the 1990s to deal with the growth of uncertainty included in an initial condition in simulations of chaotic atmospheric motions. Finite-time Lyapunov stability analysis is a standard tool to diagnose the tangent linear growth of the uncertainty, and ensemble NWPs became a standard tool to improve prediction skills and to predict prediction skills in the nonlinear phase. Ensemble projections are also becoming popular in probabilistic climate-change projections; multi-model ensembles, boundary condition (e.g., SST) perturbations, model parameter perturbations, etc. Chhin (2019) studied the selection of an optimal ensemble subset of CMIP5 models for specific metrics. Lagrangian chaos is another application of the concept of chaos in physical space to study

trajectories of idealized fluid particles or passive tracers. An application to the real atmosphere is chaotic mixing and transport barriers in the winter stratosphere (e.g., Yoden, 1999; Mizuta and Yoden, 2001). An ensemble simulation approach to the ideal passive tracers 10Be (and 14C) in major solar proton events will be a new challenge on the chaotic transport in uncertain ensemble predictions, which could be applicable for interdisciplinary studies of solar-terrestrial physics, earth system modelling, and geochronology.

Cosmogenic data (Fusa Miyake)

In the presentation of F. Miyake, a review of recent studies of extreme SEP events using cosmogenic nuclides were introduced. At the time of the workshop, three extreme SEP events have been confirmed by multiple cosmogenic nuclides data (14C in tree rings, 10Be & 36Cl in ice cores) in 774 CE, 993 CE, and ~660 BCE. Also, other candidates of extreme SEP events have been reported as 14C spikes by recent studies. Details of newly detected 14C spikes in 5410 BCE using tree samples from the US, Switzerland, and Finland were introduced in the presentation.

Radionuclides produced by large solar storms: theory vs proxy data (Florian Mekhaldi)

The threat that poses solar particle storms to our modern society is difficult to accurately quantify due to uncertainties regarding the recurrence and magnitude of the most extreme events. This is largely due to our limited observations of the sun that date back to the advent of satellites in the 1970s and neutron monitors in the 1950s. To extend our perspective on extreme solar storms, we can however rely on cosmogenic radionuclides (e.g., ^{10}Be, ^{14}C, and ^{36}Cl) that are generated in the atmosphere as the byproduct of the interactions between cosmic rays and atmospheric constituents. Here, we will show how state-of-the-art production models compare to empirical data, namely ^{10}Be and ^{36}Cl from ice cores and discuss the role of atmospheric transport in the signal. Considering this, we will compare seasonal 10Be data around one ancient event that was discovered.

(Form 2-2)

An Investigation of Equatorial Plasma Bubbles Intensities across Longitudinal Sectors of the Globe using GNSS Observations

Dr Daniel Okoh (Space Environment Research Laboratory, Centre for Atmospheric Research, National Space Research and Development Agency, Abuja - Nigeria)

Research Summary

Introduction

Equatorial plasma bubbles (EPBs) are important space weather phenomena that usually occur in the nighttime equatorial ionosphere. EPBs have significant effects on space-based radio communication technologies such as the GNSS (Global Navigation Satellite System). As a result, there has been increased effort to expand understanding of EPB occurrence, their evolution, and propagation. Most of these studies are however directed at understanding EPB variability in relation to seasons, magnetic and solar activities. The present study is the first to investigate intensities of EPBs across longitudinal sectors of the globe using the GNSS.

Purpose

The purpose of the study is to investigate intensities of EPBs across longitudinal sectors of the globe. The study therefore expands our understanding of EPB features on a global scale by revealing variations of the EPB intensities at different longitudinal sections of the globe.

Data and Methods

GNSS TEC data was used for detecting EPB occurrence, and for deriving the intensities of the EPBs. Calibrated GNSS TEC data was obtained from the Calibrated GNSS TEC Service of the International Centre for Theoretical Physics (ICTP; website: https://arplsrv.ictp.it/). TEC Data from stations in the Service within ±20 degrees of the geomagnetic equator were used. These stations are as shown by the black dots in Figure 1.

As shown in Figure 1, we divided the globe into six longitudinal regions, namely: Pacific, American, Atlantic, African, Asian, and Australian (starting from longitude -180 to 180 degrees in steps of 60 degrees), as indicated by the black longitudinal lines in the figure.

Detection of EPBs was done using computations of ROTI and criteria detailed in Nishioka et al. (2008). To measure EPB intensities, we defined a parameter known as the SRT (Standard deviation of Residual TEC) that represents a measure of the variance in the magnitude of ionospheric ionization (TEC, to be precise) during EPB occurrence. The SRT was computed as follows. For each satellite, we first computed the moving background TEC, which is the running mean of sTEC on a 5-minute window (only observations from satellites having elevation angles greater than 45 degrees were considered). The residual TEC is then computed for each sTEC

value as the sTEC value minus the moving background TEC. The purpose of this subtraction is to nullify/reduce the effects of monotonous changes in TEC such as variations connected with changing elevation angles and times of the day. The SRT is then computed for each satellite as the standard deviation of the residual TEC in 5-minute bins.

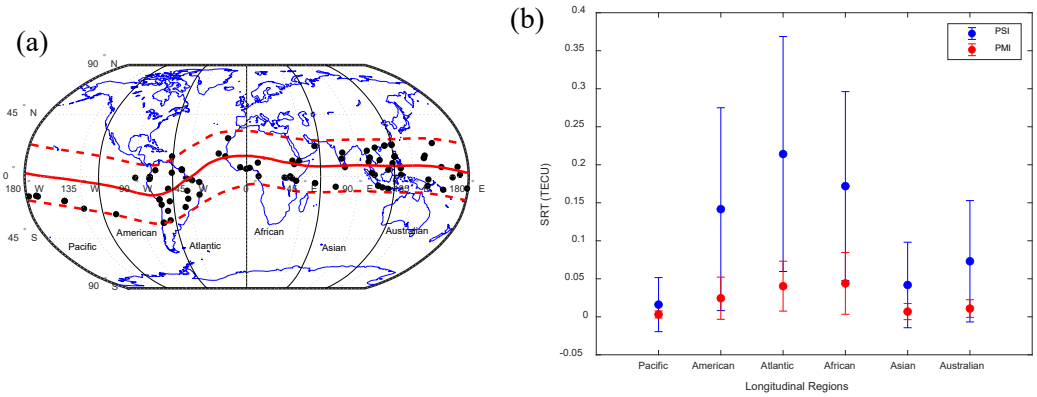


Figure 1. (a) Global map showing locations of the GNSS receiver stations used in this study. The continuous red line represents the geomagnetic equator flanked ±20 degrees by the red dash lines. (b) Annual mean of SRTs for post-sunset intensity (PSI) and post-midnight intensity (PMI) during all occurrences of EPBs in year 2014 at the various longitudinal regions. The lengths of the error bars indicate the standard deviations for the respective regions.

Results

Figure 1(b) shows results of the annual mean of SRTs, binned according to the six longitudinal regions, for year 2014. The mean SRTs are computed in two categories: Post-sunset intensity (PSI; after local sunset to local midnight), and Post-midnight intensity (PMI; after local midnight to local sunrise). The preliminary results show that the Atlantic region typically experiences the greatest post-sunset EPB intensities, followed by the African region, then the American, Australian, Asian, and Pacific regions in that order. The post-midnight intensities are however greatest in the African region, followed by the Atlantic, American, Australian, Asian, and Pacific regions in that order.

Periods of stay in ISEE:

13 Nov. - 22 Dec., 2021 (COVID-19 self-isolation in Narita: 29 Oct. – 13 Nov., 2021)

List of publications

Manuscript in preparation

(Form 2-2)

Exploring Magnetic Energies to Understand and Predict CME Onset

Welsch Brian
University of Wisconsin - Green Bay
Physics

Cancelled due to COVID-19

(Form 2-2)

Characterization of the gravity waves of the meteorological origin and their role in vertical atmosphere-ionosphere coupling

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 gravity waves. The sources of gravity waves considered in this work are of meteorological origin. The gravity waves generated from various sources in the troposphere. These waves are the important component of weather and climate and responsible for transporting energy and momentum from atmosphere to ionosphere. Because of this parameterization of gravity waves from various sources is necessary to improve the weather and climate models. Despite their important role, these waves remain poorly understood, mainly because of absence of continuous monitoring technique and propagation models. Thus, the main purpose of the work is to develop continuous monitoring technique using radio remote sensing method.

Method: The present work employs radio signals from Global positioning system derived total electron content and very low frequency (3-30kHz) navigational transmitter signals from various transmitter. Lightning, satellite and reanalysis data is also used as supporting data.

Results: We have first selected strong convection region using the infrared images from GOES satellite. The analysis started by selected VLF signals passing over these regions and showing wave like fluctuations. The wave fluctuations were dominant in two transmitter signal amplitudes. However, they occur at different times on these signals. we have applied power spectral analysis technique to bring out the spectral features of the wave like fluctuations. The Fast Fourier Transform (FFT) technique was applied to the VLF transmitter signal amplitude, which indicates a dominant period ~180 sec. The dominant period for other transmitters varies between ~160-200 sec, all of which are substantially less than the Brunt-Vaisala period at those heights (~300 seconds). 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 along the VLF transmitter receiver great circle path. The GPS TEC analysis provides vertical total electron content (VTEC) from the slant TEC (STEC). We have estimated differential VTEC (DVTEC) by fitting a 7^{th} order polynomial to the VTEC

data for each station. Thus, effectively removed the long periodic variations if any, and we are left with very short periodic modulations. As shown in the Figure 1, the DVTEC variation show similar wave like fluctuations as seen in the VLF signal. Further, the FFT analysis result of the DVTEC data show period of ~190 sec which is in the range of periodicity seen in the VLF signal analysis.

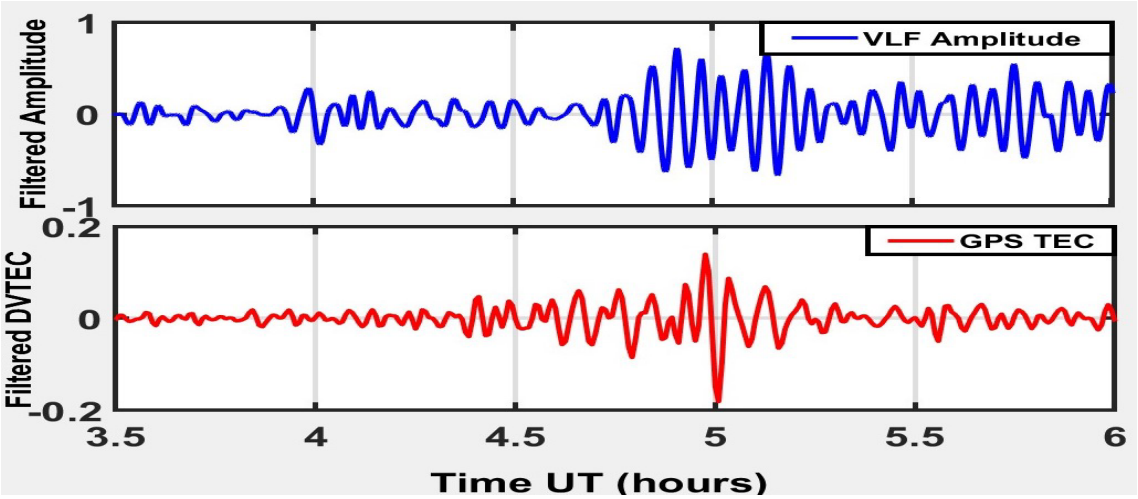


Figure 1: showing comparison of filtered VLF amplitude and GPS DVTEC signal

Possible explanation of observed wave like phenomenon in VLF and GPS data: The wave like fluctuations seen in the VLF signals are modulated by a perturbation in the lower ionosphere (75-85 km altitude), which is most probably triggered by a propagating neutral-density wave, possibly an acoustic gravity wave (AGWs). Further, the strong convection region followed by intense lighting activity during our observational period were present and could be a strong source for the triggering of AGWs. Furthermore, as the GPS estimated DVTEC also show similar kind of wave like signature and periodicity as seen in the VLF signal. Thus, it is possible that the waves observed in the lower ionosphere also seen in the upper ionospheric altitudes implying that there is strong dynamical coupling between the two regions due to high frequency gravity waves. These are our initial results and we are continue working to include modeling the AGWs propagation from source to the upper part of the ionosphere, to better understand AI coupling process.

Periods of stay in ISEE: Due to COVID, unfortunately, I could not travel to Japan and worked remotely. 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, but due to COVID, my visit could not be materialized.

List of publications: None, work is still in progress

(Form 2-2)

Sheaths of Coronal Mass Ejections and Their Effects on Earth's Dayside Magnetosphere and Radiation Belts

Lugaz Noé
University of New Hampshire

Cancelled due to COVID-19

(Form 2-2)

Magnetic Structures and Associated Flows of Coronal Mass Ejections

Al-Haddad Nada
University of New Hampshire
Space Science Center

Cancelled due to COVID-19

(Form 2-2)

Comprehensive analysis of solar atmospheric dynamics driven by interacting vortex tubes

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

One key aspect to understand the solar dynamo mechanism is to properly describe the emergence of solar active regions. In the work performed within the grant, we determine the true dynamics of photospheric flows (including vortex motions) during the formation of an active region. The Lagrangian analysis was applied of the lower photospheric flow topology prior, during and following the rise of a simulated active region formed by pores. The data for this study was obtained from R2D2 simulation which starts from zero-magnetic-field. Our results were obtained by means of the forward and backward Finite Time Lyapunov Exponent (FTLE), uncovering the repelling and attracting photospheric structures. It was shown that considerable global changes are present in granular and mesogranular scales for the converging and diverging flows in granular and mesogranular cells *30 hours prior the emergence of the magnetic field*. This is clearly indicated by a considerable reduction of the magnitude of FTLE fields as a function of time. Locally, the forward FTLE field present distinct features up to 12.67 hours before the emergence time at the location of AR appearance. The forward FTLE field also indicates that the strong concentration of magnetic field affects a region much greater than the actual pores, leading to strong diverging flows in the regions surrounding the pores. Our findings suggest that the FTLE is a powerful tool to describe the changes in the photospheric flows due to magnetic flux emergence. The results of the research (briefly described above) are the basis of the research paper (which is at the final stage of preparation) to be submitted to the Astrophysical Journal Letters. The further development of this study led to the new successful ISEE (International Joint Research Program, 2022/23) application.

Additionally, the new automated vortex detection algorithm (advanced Gamma method) as well as two new boundary detection algorithms dedicated to the analysis of the plasma vortical motion in the solar atmosphere were developed. Compared to the classical Gamma method, the new

algorithm: (1) is more computationally robust; (2) provides the vortex boundary with better accuracy.
The realistic velocity and magnetic field profiles as a function of r were identified in vortices after their identification in the magnetoconvection simulations (R2D2, Bifrost and MURaM). These profiles will be used for the modelling of MHD wave generation in MHS simulations of 3D magnetic/vortex tubes and the following analysis of modes generated with POD and DMD.

Due to COVID-19 it was not possible to visit Nagoya University during the grant duration. Therefore, in agreement with ISEE, the funding provided was spent on data storage (48 Tb in total), adapters, and visual equipment. All of this are in use and provide excellent support for the research conducted. For the same reason (i.e. due to COVID-19) the AOGS session organized by the PI and Co-PI "AOGS 19th Annual Meeting, 2022, ST04 – MHD Waves and Plasma Flows in the Solar Atmosphere" has been cancelled. Another session will be organized in 2023.

Publications

Silva, S.S.A., Lennard, M., Verth, G., Ballai, I., Rempel, E., Warnecke, J., Hotta, H., Ilijima, H., Park, S.-H., Kusano, K. and Fedun, V., Novel approach to forecasting photospheric emergence of active regions, The Astrophysical Journal Letters, 2022, (ready for submission)
Yuyang Yuan, Y., Fedun, V., Verth, G., Silva, S.S.A., Vortex detection by Advanced Γ Method in solar plasma, A&A, 2022 (at the final stage of preparation)

(Form 2-2)

Study the Origin of Solar Eruptions Using Homologous Events

Zhang Jie
George Mason University
Department of Physics and Astronomy

Cancelled due to COVID-19

採択なし

04）一般共同研究　目次詳細

所属・職名は2022年3月現在

（注1）：新型コロナウイルスの影響で中止

2021年度　　57件

研究代表者 Principal Investigator	所属機関 Affiliation	所属部局 Department	職名 Position	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
湯口　貴史	山形大学	理学部	准教授	鉱物中の微量含有成分の定量分析が導く石英の結晶化プロセスの解明	70	
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・低周波電場波動の校正データ提供による内部磁気圏研究の促進：その３	73	
小島　正宜	名古屋大学	名古屋大学	名誉教授	IPSスペクトルによる太陽風速度解析法の研究	75	
後藤　直成	滋賀県立大学	環境科学部	准教授	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～	77	
赤田　尚史	弘前大学	被ばく医療総合研究所	教授	日本の降水中トリチウム濃度と水素酸素安定同位体比との関係	79	
山田　広幸	琉球大学	理学部物質地球科学科地学系	准教授	高解像数値モデルを用いた台風飛行の安全性に関する検討	80	
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	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	83	
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	85	
深沢　圭一郎	京都大学	学術情報メディアセンター	准教授	ポスト京に向けた宇宙プラズマ流体シミュレーションの最適化手法の研究	87	
松本　淳	早稲田大学	人間科学学術院	教授	フィルタ捕集法と組み合わせた粒子状有機硝酸全量測定の試み(2)	88	
門叶　冬樹	山形大学	理学部	教授	低バックグラウンドベータ線計数装置によるトリチウムの測定	90	
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	

研究代表者 Principal Investigator	所属機関 Affiliation	所属部局 Department	職名 Position	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
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	大気放射モデルを用いた「ひまわり」シミュレーション画像の作成と応用	94	
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	北極域流星レーダー網を利用したEISCAT_3Dと相補的な下部熱圏観測体制の構築	96	
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	98	
馬場　賢治	酪農学園大学	農食環境学群	准教授	冬季石狩平野の筋状対流雲下の大気場変動について	100	
町田　忍	名古屋大学		名誉教授	オーロラ等価電流回路解析とデータ同化手法を用いたAE指数の予測	102	
中澤　文男	情報・システム研究機構　国立極地研究所	気水圏研究グループ	助教	東南極ドームふじ観測拠点周辺で採取された積雪ピット試料のHTO分析	104	
近藤　文義	海上保安大学校	基礎教育講座	准教授	波飛沫計を用いた渦相関法による海塩粒子放出量の直接評価のための海上試験観測	106	
中山　智喜	長崎大学	環境科学部	准教授	西之島火山起源のエアロゾル粒子の物理・化学的特性の研究	108	
Siswanto　Eko	海洋研究開発機構	Earth Surface System Research Center	Researcher	瀬戸内海における生物光学的要素の時空間変動	109	
大矢　浩代	千葉大学	大学院工学研究院	助教	LF/VLF帯標準電波を用いた火山噴火後のD領域電離圏変動	111	
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/HFC類の経年変化の解析	113	
篠塚　賢一	福岡工業大学	情報システム工学科	研究員	屋久島の山岳渓流水中の窒素同位体比を用いた硝酸イオンの起源推定	115	（注1）
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で観測された大気微量成分高度分布の経年変化	116	
河野　光彦	関西学院大学	理工学部	研究員	持続的地球環境のための高校生のできる課題	118	
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の解析	119	

研究代表者 Principal Investigator	所属機関 Affiliation	所属部局 Department	職名 Position	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
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	120	
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	122	
中野　佑樹	東京大学	宇宙線研究所	特任助教	Super-Kamiokandeを用いた太陽フレア由来のニュートリノ探索	123	
土屋　史紀	東北大学	大学院理学研究科　惑星プラズマ・大気研究センター	准教授	VLF/LF帯標準電波を用いた中・低緯度下部電離圏擾乱の観測	125	
大塚　史子	九州大学	大学院総合理工学研究院	学術研究員	地球磁気圏尾部における斜め伝搬ホイッスラー波動と電子の相互作用	126	
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	128	
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	130	
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 に伴い中緯度SuperDARNで観測される sea/ground backscatter 振動現象と FLR現象の関係	132	
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	134	
天野　孝伸	東京大学	理学系研究科	准教授	MMS衛星観測を用いたコヒーレントなホイッスラー波動の研究	135	（注1）
八木　伸也	名古屋大学	未来材料・システム研究所	教授	放射光施設を用いたエアロゾル化学成分分析に向けた大気エアロゾル収集システムの開発	136	
林　政彦	福岡大学	理学部	教授	無人航空機を用いた雲・エアロゾル・水蒸気観測の高度化	138	
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のさらなる技術獲得と課題解決に向けた干渉実験	140	
加藤　雄人	東北大学	大学院理学研究科	教授	グローバルモデルと素過程シミュレーションによる地球内部磁気圏での波動粒子相互作用の研究	145	
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	147	

研究代表者 Principal Investigator	所属機関 Affiliation	所属部局 Department	職名 Position	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
塩田　大幸	情報通信研究機構	電磁波研究所 宇宙環境研究室	主任研究員	IPS観測による太陽風・CME到来予測精度向上についての研究	149	
渡邉　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	151	
吉岡　和夫	東京大学	大学院新領域創成科学研究科	講師	ひさき衛星を用いた地球磁気圏プラズマに関する研究	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	
寺本　万里子	九州工業大学	大学院工学研究院	助教	あらせ衛星を用いた地磁気脈動の研究	157	
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	ERG衛星搭載中間エネルギー電子・イオン観測器のデータ解析	159	
渡邉　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	161	
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	162	
野澤　恵	茨城大学	理学部	准教授	流星火球及び人工流星のプラズマ化による電波放射の観測	164	
津田　卓雄	電気通信大学	大学院情報理工学研究科	准教授	トロムソ Na ライダー観測による熱圏 Na に関する統計的研究	165	
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	166	
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	167	
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探究	169	
村木　綏	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	名誉教授	太陽フレア時に発生した衝撃波に伴う高エネルギー粒子加速の研究	170	

鉱物中の微量含有成分の定量分析が導く石英の結晶化プロセスの解明
Crystallization process of quartz deduced from the quantitative analysis of minor component in minerals within a granite

湯口貴史　　山形大学　理学部
渡邊みのり　山形大学大学院　理工学研究科
加藤あすか　山形大学　理学部
加藤丈典　　名古屋大学　宇宙地球環境研究所

1. 研究目的

珪長質深成岩体において，石英は普遍的に産出する鉱物である。特に，石英は岩体内部での岩相が異なっても共通して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は 3 岩相（主岩相，中心部相，周辺部相）に共通して石英が観察される。このため，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）。

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ため，TitaniQ 温度計によって，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定量が困難である。そこで平成 28 年度から令和元年度の間の共同研究では，名古屋大学・宇宙地球環境研究所（ISEE）の EPMA を用いて，様々な深成岩体中に産出する石英を対象とし，Ti 濃度の高精度定量分析法の開発を実施し，その分析手法を構築した（土岐花崗岩体における成果は Yuguchi et al., 2020 において公表）。

令和二年度の共同研究では，石英中の Ti 濃度の定量だけでなく，アルミニウム（Al）濃度の定量分析を実施し，その分析手法を構築した。Al 濃度定量の分析条件は，1 つの分光結晶（TAP）を Al の検出に割り当て，加速電圧 15 kV，照射電流 60 nA，ビーム径 20 μm，1 回の測定時間を 200 s（ピーク：100 s，バックグラウンド：50 s ずつ）とし，同一地点で 8 回（計 1600 s）カウントした値を積算することにより 1 点の定量値を得るというものである。しかし，この手法では Ti 分析点と Al 分析点が異なる地点となり，Ti 濃度と Al 濃度データの関連付けが難しいという課題が生じた（図 1）。

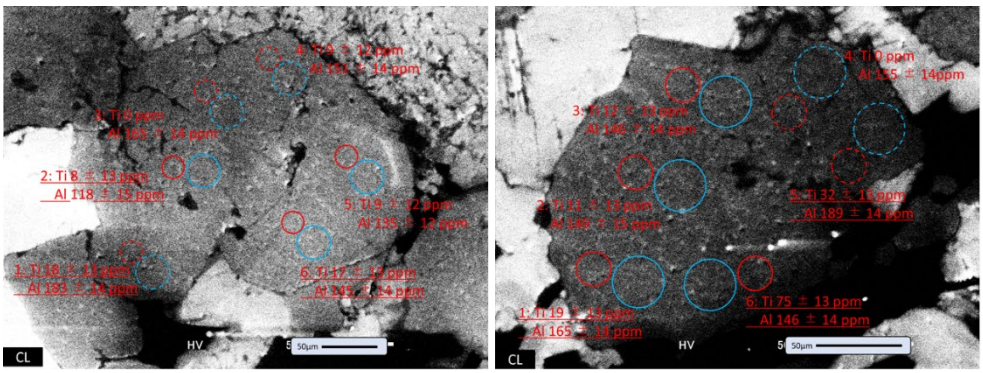


図 1　令和二年度に実施した黒部川花崗岩体の優白質岩の石英（試料番号 007-4a No.1 と No. 5）の分析結果

CL 像中に微量含有元素の分析地点を示している（Ti 濃度：青丸・Al 濃度：赤丸）。

そこで令和三年度は，大崩山花崗岩体および遠野複合深成岩体の岩体に加え，岩手県の久喜花崗岩体を対象として，石英の局所領域において Ti 濃度と Al 濃度を同時定量分析する新たな測定法の開発を行った。これは CL 輝度と微量含有元素（チタン・アルミニウム）との関係を把握するだけでなく，石英が結晶化するマグマ溜り中の物質移動特性の理解へと繋がり，石英の結晶化プロセスの解明を高度化させることが可能となる。

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 15 kV，照射電流 60 nA，ビーム径 20 μm，1 回の測定時間を 200 s（ピーク：100 s，バックグラウンド：50 s ずつ）とし，同一地点で 8 回（計 1600 s）カウントした値を積算することにより 1 点の定量値を得る。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った。このため，4 つの分光結晶（PET）を Ti の検出に割り当て，もう 1 つの分光結晶（TAP）を Al の検出に割り当てた。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 14 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 濃度の高精度な比較を可能にする。

3.　研究結果・考察

ここでは，大崩山花崗岩体，遠野複合深成岩体，および久喜花崗岩体で得た結果について報告する。それぞれの岩体の石英の Ti 濃度は検出限界以上の値が得られたものの，Al 濃度の多くの値は検出限界以下の結果となった。このため，本章では Ti 濃度の結果を中心に論じる。

まず大崩山花崗岩体の石英に対する定量分析結果について報告する。大崩山花崗岩体においては 126 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 24 ± 14～256 ± 11 ppm の幅を持つ。この Ti 濃度を 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 24 ± 14 ppm の値（最小値）は結晶化温度 601 ± 81℃となり，256 ± 11 ppm の値（最大値）は結晶化温度 874 ± 21℃を示す。図 2 は大崩山花崗岩中の自形を示す石英のチタン濃度のラインプロファイルを示したものである。この石英は 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（約 130 ppm 以上），低輝度域で低い Ti 濃度（50 ppm～125 ppm）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。

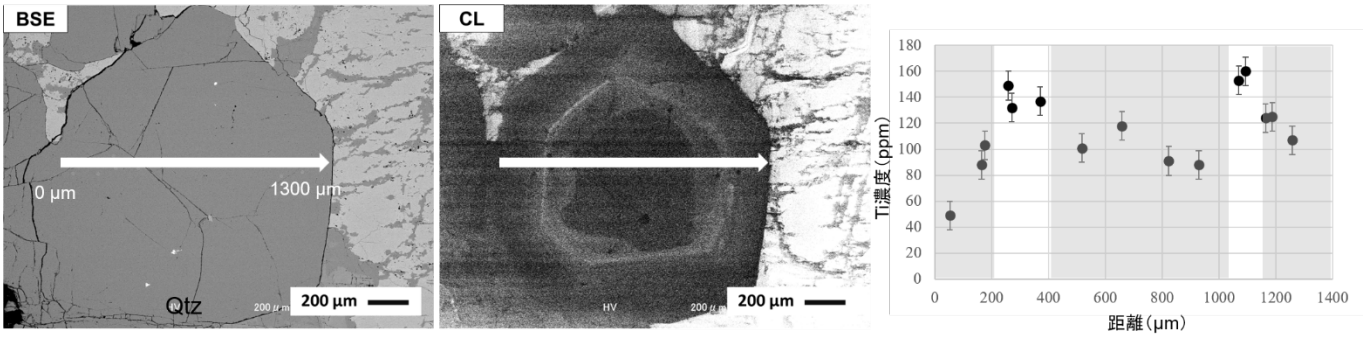


図 2　大崩山花崗岩体の石英の BSE 像，CL 像と微量含有元素のラインプロファイル（Ti 濃度）

久喜花崗岩体においては，6 試料中からゾーニングを有する石英を対象に 102 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 122 ± 11～357 ± 11 ppm の幅を持つ。この Ti 濃度を 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 122 ± 11 ppm の値（最小値）は結晶化温度 772 ± 24℃となり，357 ± 11 ppm の値（最大値）は結晶化温度 927 ± 20℃を示す。ゾーニングを有する石英は 900℃前後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のチタン濃度のラインプロファイルを示したものである。図 3A はゾーニングを有した石英，図 3B はオシラトリゾーニングを有する石英を示している。それぞれ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。これは石英の結晶化成長に伴って，メルト中から結晶に取り込まれる Ti 濃度の変化を反映する。

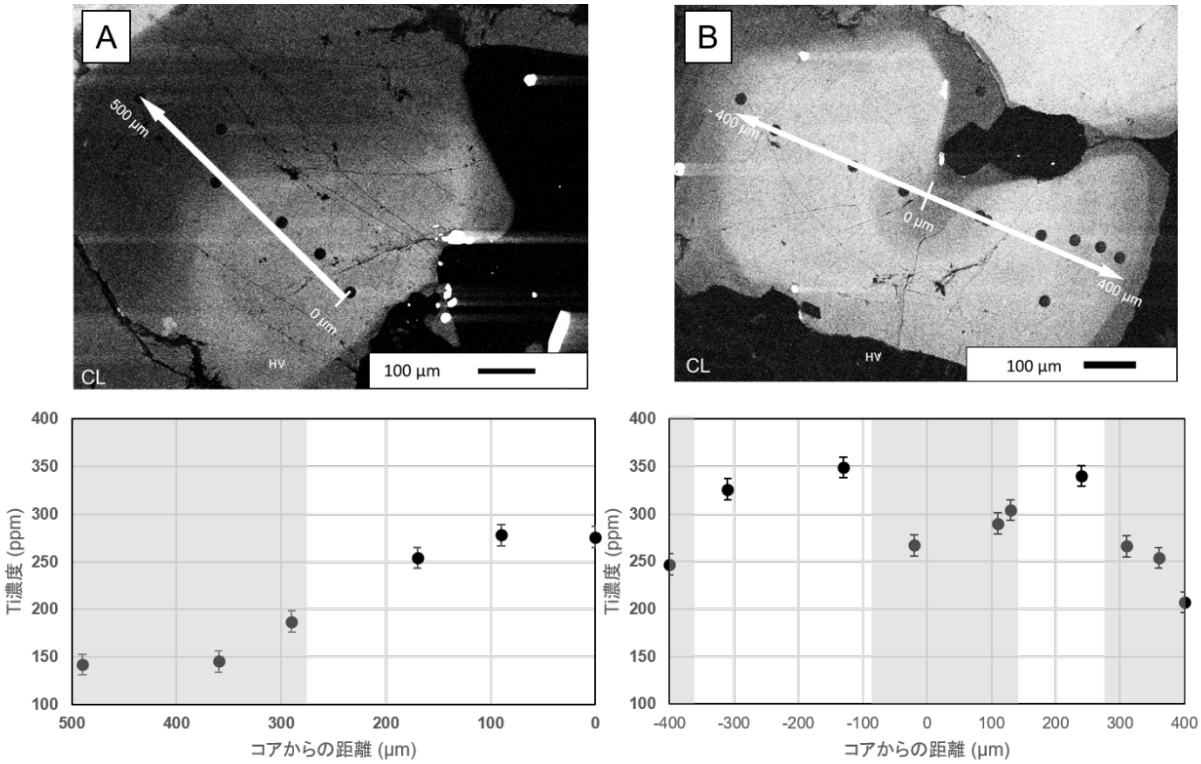


図 3　久喜花崗岩体の石英の CL 像と微量含有元素のラインプロファイル（Ti 濃度）
A: サンプル No. 8-4　B: サンプル No. 6-3

遠野複合深成岩体においては，28 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 50 ± 11～383 ± 11 ppm の幅を持つ。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 50 ± 11 ppm の値（最小値）は結晶化温度 670 ± 29℃となり，383 ± 11 ppm の値（最大値）は結晶化温度 939 ± 24℃を示す。また，遠野複合深成岩体においても CL 像の輝度とチタン濃度の正の相関も確認されており，引き続きデータの拡充を続ける。

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 濃度を同時に定量する手法を構築した。Ti・Al 濃度の同時定量分析の際に，精度よく Al 濃度を定量するかが，次年度の課題となる。また，いずれの岩体の石英においても CL 像の輝度と Ti 濃度の間には正の相関を有することを把握した。これはビーム径 20 µm という局所領域分析と誤差の小さい高精度分析を両立させた重要な成果である。

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.

5.　成果発表（当該年度に行った口頭発表）

渡邊みのり，加藤丈典，小北康弘，湯口 貴史（2021）大崩山花崗岩体中の石英におけるカソードルミネッセンス像と Ti 濃度および Al 濃度の関係[R6P-07]，日本鉱物科学会 2021 年年会（オンライン），2021 年 9 月

（別紙様式４－２）

Arase衛星DC電場・低周波電場波動の校正データ提供による内部磁気圏研究の促進：その３

Enhancement of the Inner Magnetospheric Research by the provision of the calibrated data for Arase DC and low frequency E-field: 3

笠羽　康正、東北大学　惑星大気・プラズマ研究センター

１．研究目的

Arase（ERG）衛星搭載電場・プラズマ波動計測器 PWE は、2017 年 3 月からの本格観測開始以降、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。磁気圏構造変動とプラズマ輸送の情報を握る DC 電場・低周波電場波動の校正済データを確実に作成し、これらの励起・伝搬過程の定量評価と物理的役割の解明を促進する。

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

公開済の以下の Level-2 データのメンテナンス作業を順調に進めた。

- スピン毎(～8sec 分解能)の電場波形(double probe, **EFD-E-SPIN**)
- スピン毎の衛星ポテンシャル（single probe, **EFD-SPEC-1SEC**)
- 1-sec 分解能の電場スペクトル（1～>200Hz, **EFD-SPEC-1SEC**)
- 256Hz および 64Hz 電場波形(double probe, **E256Hz** および **E64Hz**)
- 8Hz ポテンシャル波形(single probe, **pot8Hz**)

また、以下のバーストデータについても Level-2 データの公開準備作業を進めた。

- 電場波形データ（512Hz)
- ポテンシャル波形データ（128Hz)

適用するデータ校正は「周辺 plasma 環境に依存しない、センサー電気性能の反映」までとしている。データに対する解説は、ERG Science Center Wiki (https://ergsc.isee.nagoya-u.ac.jp/mw/index.php/ErgSat/Pwe/Efd)で公開されている。

(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・電場波形のスピン依存変動は、衛星 potential そのものが spin 時間内に変動し、これが衛星形状・磁場方向等の影響で排除不能である（**中川朋子，笠羽康正，笠原禎也，三好由純（2021）．ジオスペース衛星「あらせ」による電場観測**

データの評価に関する研究．東北工業大学 地域連携センター・研究支援センター紀要 EOS, 33, 1, 87-96)。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。

・電場データの正しい方向からのズレとプラズマ密度の関係を調査した。地球距離が 4RE 以上のとき、プラズマ密度が 640cm^{-3} 以上のときには問題ないが、プラズマ密度が 640cm^{-3} 以下はズレにばらつきがある（**武山巧，渋谷澪．東北工業大学卒業論文，2022 年 3 月**)。

・衛星電位のスピン変調成分には、衛星本体の形状が影響していることがわかった。衛星表面帯電モデルを用いて日照面変化を考慮したところ、衛星が直方体であること、および2面にある粒子計測器が日照面変化に寄与することが示された（**中村紗都子 et al．あらせ衛星の直方体形状による衛星電位スピン変調と衛星表面帯電モデルとの比較．第 150 回 地球電磁気・地球惑星圏学会 総会・講演会．** online. 2021 年 11 月)。なお、電場に影響を与える probe 毎のばらつきについても、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、検討を継続中である。

(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。

・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

(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：

BepiColombo/Mio 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、以下の論文でまとめられた同観測装置による水星での電場計測につながっていく。なお、BepiColombo は地球・金星 flyby を経て 2021 年 10 月には第一回水星 flyby を迎えているものの、PWI の電場観測は未だアンテナ（WPT）が収納中のため事実上行えない。この展開は、2025 年末の水星周回軌道投入後に予定されている。

（別紙様式 4-2）

IPSスペクトルによる太陽風速度解析法の研究
IPS spectral fitting analysis of solar wind velocity

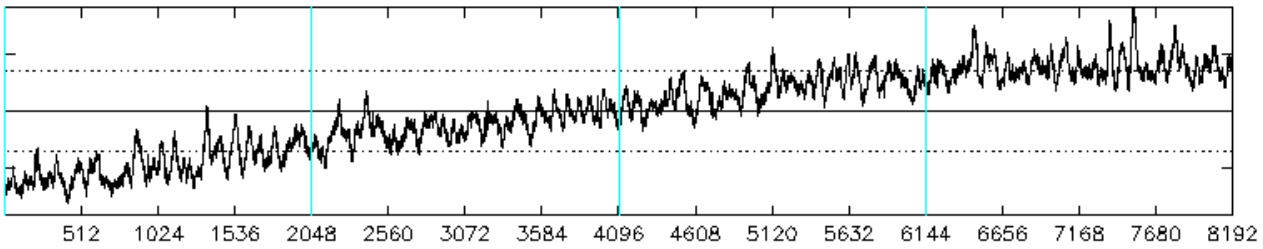
小島正宜　名古屋大学

IPS を利用した太陽風速度の導出は、豊川・富士・上松の3地点、あるいは2地点で同時に観測されたIPS信号の相関解析で行われている。しかし多点同時観測データが得られなかった場合は、観測されたIPS信号のスペクトルに最もよくフィットする太陽風モデルを作り速度を推測する。これまでこの解析方法の評価を3地点のIPS信号の相関から得られた速度 Vccrf とスペクトルフィッティングで得られた速度 Vspct を比較し行ってきた。

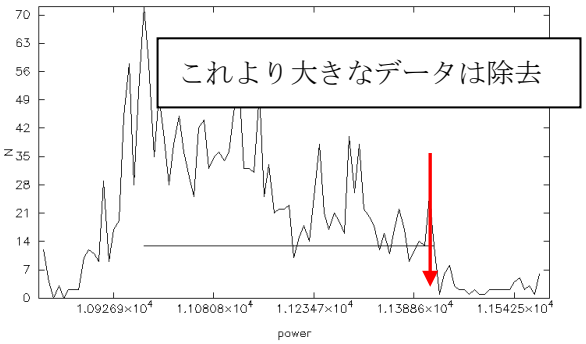
これまでの研究でデータのs/nが良いにも拘わらず①スペクトルフィッティグがうまく行かない場合と②スペクトルフィッティグが良くてもVccrf とVspctに大きな差がある場合が見つかってきた。今回は①について検討した中間報告である。

(1)時系列データの処理

(1-1)太陽南中時近くでIPS天体が観測されるときアンテナサイドローブに太陽がかかり下図のようなバイアスを受ける場合がある。緑縦線間のデータを1ブロックとしてフーリエ解析を行うが、その前にこのバイアスを除去する。これまでは running mean を用いた処理を行っていたが、1ブロックの全データスパーンにパラボラフィッティング処理することにより良いバイアス除去が行うことができるようになった。 → 低低周波域のスペクトル改善

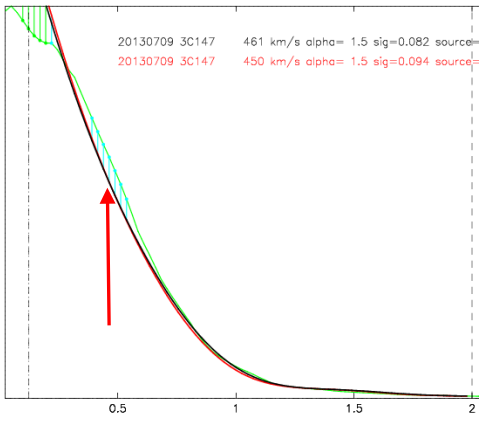


(1-2)スパイク状ノイズの除去は、平均値とRMS値を用い行う方法を改め、各ブロックのデータの振幅頻度分布を計算して(右図)行うことに変更。 → 切れのよいノイズ除去

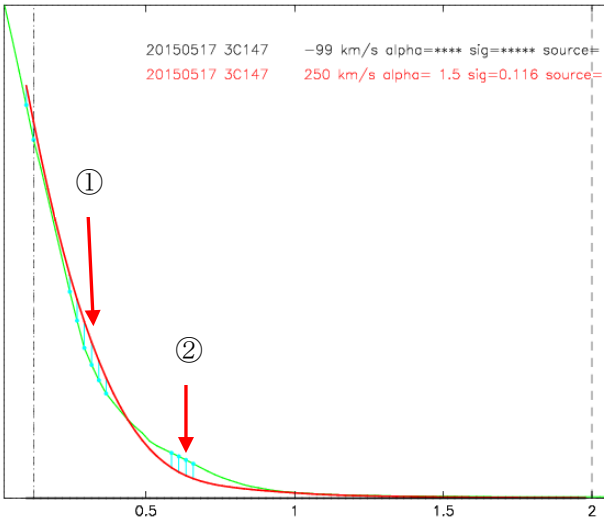


(2)単純な最小自乗法では判別が難しいスペクトルの評価

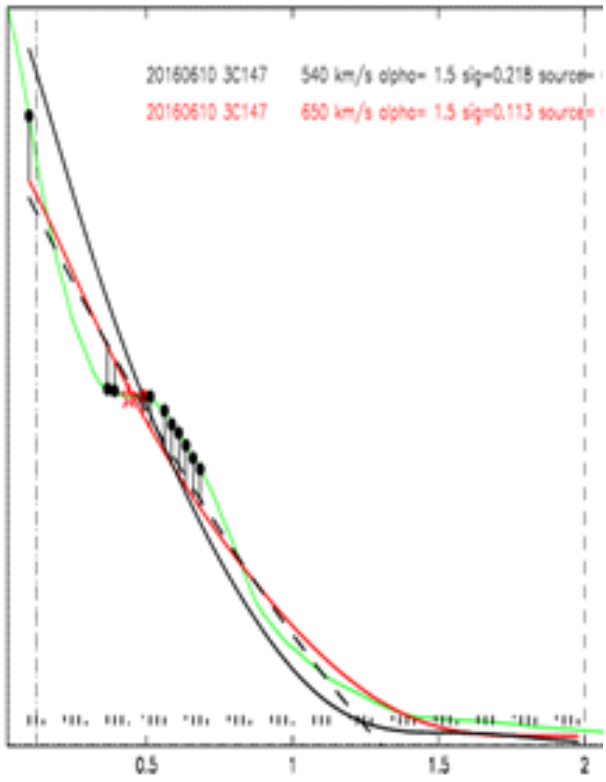
(2-1)右図のスペクトルの場合場合モデル(赤)と観測(緑)は概観がよく合っている。しかしLSQ解析では0.5Hz近辺でのずれが問題となる。このようなスペクトル勾配が大きなところでは横軸(周波数)方向への小さなずれが縦方法(振幅)の大きな差となり、LSQ解析に引っかかる。これを解決する方法を考案。



(2-2)右図のスペクトルの場合、0.3Hz付近①のずれは(2-1)の方法で評価を行えばモデルは観測に一致していると判断できるが、0.7Hz付近②のずれが問題となる。すなわちこの前後の周波数域は形状が合っているのに、スペクトルの大きなカーブ域での不一致が見られることが多い。これを解決する方法を考案。



(2−3)



この観測されたスペクトル（緑）にはうねりがあり。これに対し単純なLSQフィッティングを行ったものが赤線である。赤線はうねる観測スペクトルを縫うように貫いているためにLSQ解析では不合格となる。このような場合は、モデルと観測のスペクトルの交点を通るパラボラフィッティングを行い(黒破線)、これを観測スペクトルと見なし、モデルとの間でLSQ評価を行う。

これらの改善がすべての観測データどのくらいうまく利用できるか、その統計を今後とる必要がある。またそこで見つかる可能性のある新たな問題一つ一つを地道に解決していく。

（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*濃度分布の季節的変動を捉えると共に、船舶観測により植物プランクトン群集のサイズ別現存量、種組成、光合成活性を測定した。

【方法】

2021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（nL_w：level-2, 空間分解能 250 m）をJASMES（JAXA）から取得し、nL_w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と水中生物光学アルゴリズム（**式1**：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。

$$Chl_{sate(490/565)} = 10^{(C_0+C_1R+C_2R^2+C_3R^3+C_4R^4)} \qquad R = \log(Rrs(490/565)) \qquad (式1)$$

$$C_0=0.126, \quad C_1=-3.65, \quad C_2=12.548, \quad C_3=73.820, \quad C_4=115.896$$

本研究では上記の衛星観測に加えて、船舶観測を2021年4月から12月の琵琶湖北湖において、月1～2回の頻度で以下の調査を行った。3深度（5，10，15 m）から採取した3層混合湖水をプランクトンネットを用いてサイズ分画（大型：20 μm以上，中型：5 μm－20 μm，小型：5 μm以下）した後、各サイズのクロロフィル*a*濃度と光合成活性を測定した。また、植物プランクトン群集構造を検鏡および多波長励起蛍光計により測定した。

【結果と考察】

観測期間を通じて船舶観測によって得られたクロロフィル*a*濃度は、1.8～13.2 mg m^{-3}の範囲を変動し、春期（4月～6月：平均 6.8 mg m^{-3}）に高く、夏期（7月～9月：平均 2.9 mg m^{-3}）に低い傾向を示した。例年、春期は、冬期循環期に深層から表層に回帰した栄養塩と代掻きに伴う陸域からの栄養塩を利用して、植物プランクトンがブルームを起こす。春期の全植物プランクトンに対する大型植物プランクトンの割合はおよそ80%（体積比）であったことから、この時期には、大型植物プランクトンを優占種とする春季ブルームが発生したと考えられる。一方、夏期におけるクロロフィル*a*濃度低下は、成層構造の強化に伴う深層から表層への栄養塩供給量の減少が主な要因であると考えられる。

秋期（10～12月）におけるクロロフィル*a*濃度は、夏期とほぼ同じ濃度範囲の3.1～4.7（平均3.9 mg/m^3）であり、中型の珪藻が優占した。例年、この時期は大型植物プランクトンを優占種とする秋季ブルームが発生するが、本研究を実施した2021年はブルームを確認できなかった。2021年の夏季から秋季は、台風等による湖水の攪乱イベントがなく、また、秋期における降水量が例年と比較して非常に少なかった。これらの気象現象が重なり、2021年秋期は湖内からも、陸域からも栄養塩供給がほぼ絶たれた状態に陥り、表層は夏期から引き続いて貧栄養状態であったと推察される。このような貧栄養環境が2021年秋季のブルームを消失させたと考えられる。

2021年と2019年の秋期（10月～12月）における衛星観測で得られたクロロフィル*a*濃度分布を**図**1に示す。2019年秋期の平均クロロフィル*a*濃度は5.9 mg m^{-3}（中央値5.1 mg m^{-3}）と比較的高く、特に11月と12月は琵琶湖全域で高濃度の分布を示し、秋季ブルームが発生していたことがわかる。一方、2021年秋期の平均クロロフィル*a*濃度は3.9 mg m^{-3}（中央値2.3 mg m^{-3}）であり、東部沿岸域と南湖を除いて、ほぼ全域において低濃度の分布となっていた。このように、衛星観測においても、例年発生する秋季ブルームが2021年は観測されなかった。一般に、温暖化は低・中緯度における湖沼の成層強化・長期化を引き起こし、表層を貧栄養化させると予測されている。本研究結果は、今後の温暖化によって琵琶湖の大型植物プランクトンによる秋季ブルームが消失する可能性を示唆している。

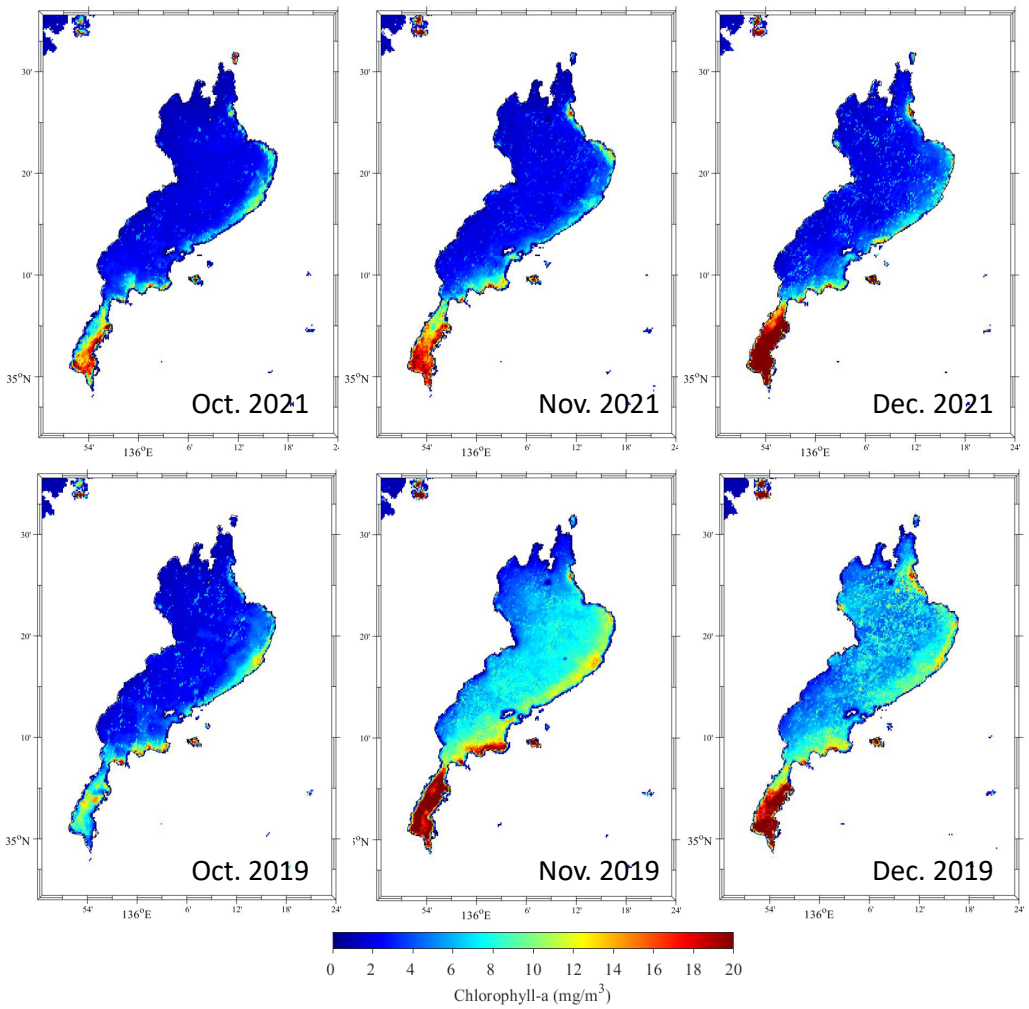


図 1. 2021 年と 2019 年の衛星観測による琵琶湖におけるクロロフィル *a* 濃度分布

【付記】本研究におけるクロロフィル*a*濃度のデータ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。

【成果発表】

後藤直成，伴修平（2021）琵琶湖北湖における植物プランクトン群集動態. 日本陸水学会，オンライン，9月22日.

Syuhei Ban, Xin Liu, Ken-ichi Osaka, Naoshige Goto, John C. Wells (2021) High resolution monitoring for subsidiary nutrient loadings and phytoplankton production in north basin of Lake Biwa. Japan Geoscience Union Meeting 2021, Online, May 30 - June 6.

（別紙様式４－２）

日本の降水中トリチウム濃度と水素酸素安定同位体比との関係
Tritium concentration in Japanese monthly precipitation and its relation to δD and $\delta^{18}O$

赤田尚史・田副博文　弘前大学・被ばく医療総合研究所
栗田直幸　名古屋大学・宇宙地球環境研究所

降水に含まれる水素の放射性同位体である”トリチウム”は、高緯度ほど高くなる緯度分布を示すことが知られている。南北に長い地理的特徴を有する日本では、降水中トリチウム濃度に大きな差異が認められる。これは、降水をもたらす水蒸気の供給源の違い、海水からの水蒸気の供給など、様々な要因が考えられる。一方、宇宙線により大気高層で生成されるトリチウムは、全球規模で約72PBqとされており、原子力施設などの人為起源トリチウムに比べはるかに多い。水素･酸素安定同位体比は水蒸気の起源解析などに幅広く使われており、トリチウム濃度との関係性を明らかにすることは、バックグラウンド変動を明らかにするうえで重要である。そこで、北海道から沖縄までの数地点を対象に、日本の降水中トリチウム濃度と水素･酸素安定同位体比を測定し、その関係性を明らかにする。ここでは、日本の降水中トリチウム濃度の緯度分布について報告する。

月間降水試料は、北海道札幌市、青森県弘前市、岐阜県土岐市、熊本県熊本市、沖縄県西原町で採取した。採取した試料は、蒸留-電解濃縮した後、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トリチウム濃度を測定した。また、文部科学省が環境放射能データベースで公開している青森県むつ市、福島県福島市、千葉県千葉市、京都府京都市のデータも利用した。水素および酸素安定同位体比は、ISEEの共同利用機器である水安定同位体分析装置（L2130-i）を用いて分析した。

図に2018年度の結果を高緯度から低緯度の順に示す（最小値、平均値、最大値）。最も高緯度に位置する札幌では年変動幅が大きく、最も低緯度の沖縄で小さい変動幅を示した。また、最小値は日本全国において類似しているものの、最大値では高緯度ほど高い分布を示した。最大値は全地点において春季に観測されており、この時期には大陸や高層大気から高いトリチウム濃度を有した気塊が流入した可能性が高い。今後、継続した観測を実施するとともに、水素酸素安定同位体との関係を明らかにする予定である。

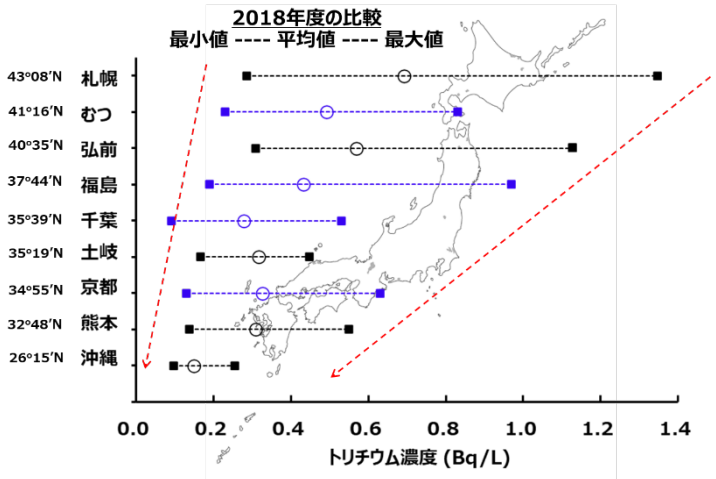


図　2018年度の日本の降水中トリチウム濃度の緯度分布

高解像数値モデルを用いた台風飛行の安全性に関する検討
An investigation of the safety of flights in a typhoon using a high-resolution numerical model

山田広幸、琉球大学・理学部

研究目的

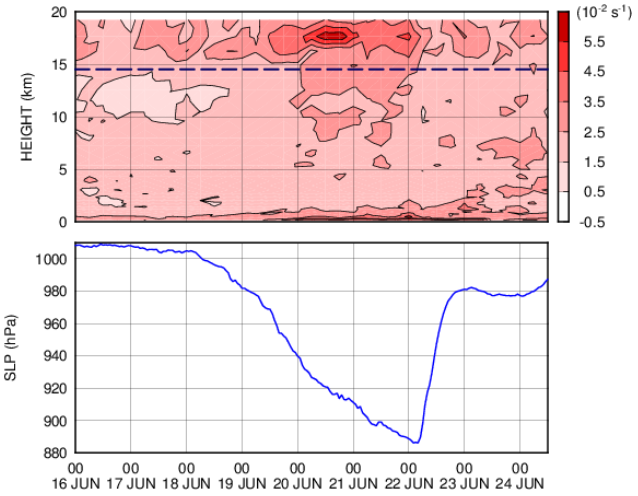
航空機を用いて台風の強度を直接観測するためのプロジェクト「T-PARCII」が、名古屋大学を主体とする科研費共同研究として実施されており、猛烈な勢力の台風の中心を貫通する観測に成功している。地球温暖化に伴う海水温上昇により台風の勢力が増強する可能性が指摘されている今日において、今後は「スーパー台風」とよばれる中心が900hPaを下回る台風の貫通観測も必要だと考えられるが、飛行の安全性についてはまだ確証が得られていない。対流圏上層における飛行に影響を与える現象として、強い上昇流を伴う積乱雲(通称”対流バースト”)に伴う鉛直流や、そこから励起される内部重力波による振動、上部アウトフローに伴う鉛直シアーの強化などが考えられるが、これらの現象を観測するのは非常に難しく、安全性の検討は難しい。そこで本研究では、雲解像非静力学モデルを用いて台風の超高解像シミュレーションを行い、その出力結果を用いて飛行に対する影響を評価する。

研究方法

全球雲解像モデルNICAM（水平解像度は3.5km）の出力結果を用いて、台風が急発達して猛烈な勢力に至るまでの過程を数値的にシミュレートし、出力結果を用いてジェット機の水平航行に影響を与える3次元渦度の分布を調べる。これにより航空機で安全に航行できる領域や高度、台風の発達段階などを明らかにする。

研究結果

本研究では中心気圧が888hPaまで低下した台風のシミュレーション結果を使用した。風の変化の指標となる渦度3次元成分のスカラー量を計算し、各高度における最大値の時間－高度断面を作成した（図の上段）。台風の一生を通して、渦度の極大は高度17km付近のアウトフロー層と地表付近のインフロー層に現れている。高度0.5km付近にある渦度の極大は、メソサイクロン(竜巻をもたらす積乱雲の回転）と同程度の大きさであり、海面近くの飛行では非常に強い揺れを伴う可能性が考えられる。このことは、米国のハリケーン航空機観測で航行に影響を与える強い揺れが海面近くの低い高度で報告されている事実と整合する。観測飛行に使用する高度14km付近



はこれらの極大域からは外れている。この高度では、中心気圧（図の下段）が低下する発達期においてやや強い渦度が表れているが、アウトフロー層の強い渦度に比べて1/2～1/3程度の強さである。このことから、スーパー台風への急速発達期間であっても、対流圏界面近くのアウトフロー層と海面付近の境界層を避ければ強い揺れを避けることができると考えられる。

成果発表（論文）

Hirano, S., K. Ito, H. Yamada, S. Tsujino, K. Tsuboki, and C.-C. Wu, 2021: Deep eye clouds observed in Tropical Cyclone Trami (2018) during T-PARCII dropsonde observations. J. Atmos. Sci., 79, 683-703.

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.

Tsujino, S., T. Horinouchi, T. Tsukada, H. - C. Kuo, H. Yamada, and K. Tsuboki, 2021: Inner-core wind field in a concentric eyewall replacement of Typhoon Trami (2018): A quantitative analysis based on the Himawari - 8 satellite, J. Geophys. Res. (Atmospheres), 126, e2020JD034434. https://doi.org/10.1029/2020JD034434.

成果発表（口頭発表）

山田 広幸, 伊藤 耕介, 坪木 和久, 篠田 太郎, 大東 忠保, 中澤 哲夫, 山口 宗彦, 長浜 則夫, 清水 健作, 2021: 2017 年台風第 21 号の暖気核構造の維持に関わる熱力学的特徴. 京都大学防災研究所研究集会「台風研究会」, オンライン開催, 9 月 16 日, オンライン口頭発表.

山田 広幸, 伊藤 耕介, 坪木 和久, 篠田 太郎, 大東 忠保, 中澤 哲夫, 山口 宗彦, 長浜 則夫, 清水 健作, 2021: 2017 年台風第 21 号の暖気核構造の維持に関わる熱力学的特徴. 日本気象学会秋季大会, 三重大学, 12 月 2-9 日, 口頭発表.

（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

2018年8月25-26日にGMDNで観測されたICMEイベントを解析した。このICMEは、低速であるにもかかわらず大きな地磁気嵐（minimum Dst=-174 nT）を引き起こした特異な事象で、ICMEがコロナホール起源の高速太陽風によって背後から「圧縮」を受けたことが示唆されていた。我々はGMDNで観測された宇宙線データを解析し、ICMEのtrailing edge付近に高い宇宙線密度領域が形成されていることを発見した。この領域はMagnetic Flux Rope（MFR）の磁場強度が最大となる領域に対応していることから、宇宙線が上記「圧縮」に伴うベータトロン加速を受けていることを明らかにした。すなわち、ICMEの「圧縮」の証拠が宇宙線観測から得られたことになる。この領域ではピッチ角が90°の宇宙線強度が高い2次異方性が卓越しており、ベータトロン加速を裏付けている。

上記の成果は、Space Weather誌に投稿・掲載されるとともに、オンラインで開催された第37回宇宙線国際会議（ICRC 2021）で発表された（詳細はエクセル・ファイルを参照）。

（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８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：外部磁場3.6Tを印加した2019年度の実験で取得したデータの解析とPICシミュレーションの結果を比較しながら、実験の物理的解釈の議論を行った。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で測定できたドリフト速度をもった窒素プラズマが、プラズマ中を伝播するMSのfoot領域と解釈し、これらを論文[1]にまとめ、[2]-[4]の成果発表を行なった。さらに、2021年度は外部磁場3.6 Tを印加したショットを13回、4.7 Tのショットを７回行うことに成功した。プラズマ自発光、トムソン散乱、B-dot計測などを行い、外部磁場なしの場合や磁場強度の違いによる計測結果の違いを認めた。特に、無衝突磁化衝撃波の遷移層で生じると考えられてきたイオン温度非等方性の測定に成功し、PICシミュレーションの計算結果と比較した。

発表論文：

[1] "High-Power Laser Experiment Forming a Supercritical Collisionless Shock in a Magnetized Uniform Plasma at Rest", R. Yamazaki, S. Matsukiyo, T. Morita, S. J. Tanaka, T. Umeda 他49名, Phys, Rev. E., 105, 025203 (2022).

学会発表：

[2] "Formation of a Supercritical Collisionless Shock in a Magnetized Uniform Plasma at Rest", R. Yamazaki, High Energy Density Sciences 2021 (April 19-21, 2021, Online/Osaka, Japan)

[3] "Forming a supercritical magnetized collisionless shocks using high-power lasers", R. Yamazaki, The 5th Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (September 26 - October 1, 2021, Online)

[4]「希薄な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, 他31名, 2021年度衝撃波シンポジウム (2022年3月9日-11日, 立命館大)

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 ElectronExperiment, 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年度までに「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。2021年度からは「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から総合的に評価する。その中で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】

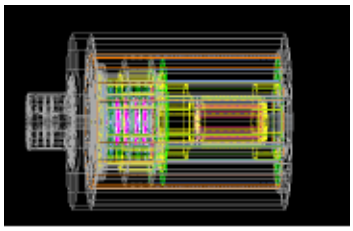
0.07-20MEV電子を観測対象とする「あらせ」搭載高エネルギー電子分析器(High-energy electronexperiment: HEP)にてGEANT-4を用いた類似の較正が行われたため(Park et al., EPS, 2021)、その知見や経験を元に本研究の作業を進めている。XEPのPI（東尾氏：JAXA）及びHEPのPI（三谷氏：JAXA/ISAS）、「あらせ」観測データを管理する名古屋大サイエンスセンターと連携を取りながら実施中である。

2020年度ではGEANT-4によるXEP数値モデルを作成し、性能較正を実施して応答関数を作成した。加えて、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, 論文中でBumpon-tail(BOT)エネルギースペクトルと呼ばれる)がXEPでも頻繁に観測されていることが新たに分かった。特殊な形をしたBOTスペクトルを特に利用して0.4~20MeV帯の電子についてより正確な動向を導出し、XEP観測データの較正結果について誤差などの評価を行った。

【研究結果】

Geant4による数値モデル実験の結果から入射電子のエネルギーに対するエネルギー検出応答を評価した．その結果，観測データ較正に必要な応答関数の元となるエネルギー応答行列を得ることが出来た(図1).

得られた応答関数にてXEP観測データの較正を観測期間全般に行った結果、図2のようなBOTスペクトルをプラズマ圏にて多数見つけることができた。



検出エネルギー [MeV]

入射エネルギー [MeV]	0.4 ~ 0.5	0.5 ~ 0.6	0.6 ~ 0.8	0.8 ~ 1.0	1.0 ~ 1.2	1.2 ~ 1.5	1.5 ~ 1.8	1.8 ~ 2.2	2.2 ~ 2.8	2.8 ~ 3.5	3.5 ~ 4.3	4.3 ~ 5.4	5.4 ~ 20.0
0.4 ~ 0.5	15426	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5 ~ 0.6	21075	17182	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.6 ~ 0.8	10544	27239	59155	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.8 ~ 1.0	7022	7965	40011	60638	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.0 ~ 1.2	5608	6064	15836	40795	58199	0	0	0	0	0	0	0	0
1.2 ~ 1.5	6776	7907	19167	24102	49787	101104	0	0	0	0	0	0	0
1.5 ~ 1.8	5998	7381	18897	20340	21715	60262	93926	0	0	0	0	0	0
1.8 ~ 2.2	6860	8745	22246	25994	28599	45251	69175	128633	0	0	0	0	0
2.2 ~ 2.8	8507	11397	30281	32284	36273	65793	70504	110151	184727	0	0	0	0
2.8 ~ 3.5	8201	11777	31683	32168	37198	66223	70296	105943	169751	155632	0	0	0
3.5 ~ 4.3	8597	12786	34016	32027	39335	70741	75694	121942	181964	158732	84416	0	0
4.3 ~ 5.4	11047	17739	44666	39053	50617	89459	100188	202722	266445	172844	110323	39296	0
5.4 ~ 20.0	304053	400473	726896	572710	704540	967501	1146613	5147252	4531132	1727382	857790	469262	158086

図1: 左）Geant4で作成したXEP数値モデル．右）数値モデルにて得た入射エネルギーに対する検出エネルギー応答.

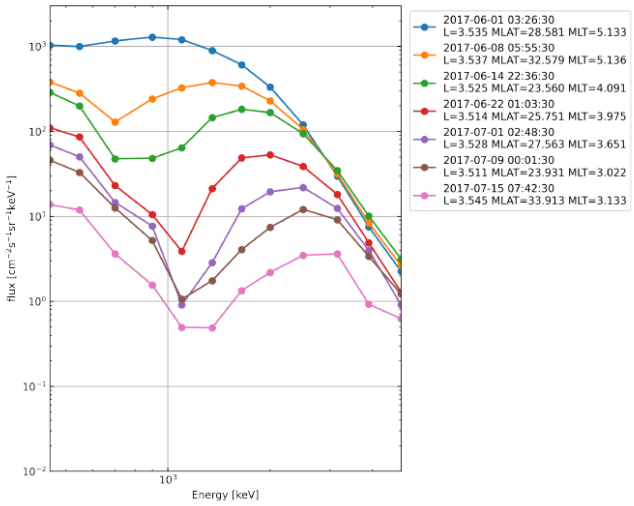


図2: L~3.5におけるBOTスペクトルの時間変動.

【まとめ】

同様な時間変化のイベントは多数見つかっているため、今後は同時に観測されているヒス波との関わりを起点に調査を継続する。

【成果発表】(学会研究会発表は全てリモート形式)

- 横田 勝一郎他，Nitrogen and oxygen ions from the Earth's ionosphere observed by the Arase satellite，日本地球惑星科学連合 2021 年大会，遠隔，2020 年 6 月 5 日
- I. Park, …, S. Yokota et al., Characterization and calibration for High-Energy electron instruments onboard the Arase satellite, J. Geophys. Res., 126(7), e2021JA029110, 2021.
- 植田晃平，あらせ衛星搭載超高エネルギー電子観測器のエネルギー較正と放射線帯外帯電子の極小値を持ったエネルギースペクトルの観測，修士論文，2022 年

（別紙様式４－２）

ポスト京に向けた宇宙プラズマ流体シミュレーションの最適化手法の研究

Research of optimization method for fluid simulation of space plasma to Post-K computer

深沢圭一郎、京都大学・学術情報メディアセンター

現在、アメリカをはじめ中国、ヨーロッパにおいて、エクサフロップス級の計算が可能なスーパーコンピュータ（スパコン）の開発が進められており、スパコンのランキングであるTop500には申請されていないが、中国ではエクサフロップスの性能を達成したとの報告もある。日本ではエクサフロップスに近い計算性能を持つ、「富岳」が開発され、2021年3月に運用が開始されており、以前より計算性能が高い環境が揃いつつある。このようなエクサフロップス級計算機では、MHD近似限界のグローバル磁気圏シミュレーションや、流体ー粒子結合シミュレーションが実現可能と想定されている。この富岳は、ARMという新しいCPUアーキテクチャを採用し、CPUが48コア＋4アシスタントコアというメニーコア構成となっている。また同時演算実行数に効くSIMD幅が512bitと広く、京と比べて大きな変更がある。そのため、この新しいCPU（A64FX）で既存の計算コードを走らせた場合にうまく利用できるのかが課題となっている。そこで、本研究では、主に惑星磁気圏をシミュレーションする宇宙プラズマ流体シミュレーションをA64FXに代表されるメニーコアかつ高SIMD幅CPU対して最適化する手法を研究することを目的とした。

本研究では、宇宙プラズマ流体シミュレーションとして、まず、MHDシミュレーションコードを対象に最適化手法を調査している。昨年度研究により、これまでのベクトル向け配列構造とキャッシュ利用向け配列構造をマージした配列構造が性能向上に寄与するということが明らかになっていた。今回、この配列構造に関して詳しく調査を進めると、配列構造によって計算機の消費電力が異なることが分かってきた。現在のスパコンの多くが消費電力によってその構造を制限されている中で、計算性能を変えずに消費電力を削減できれば、よりたくさんの計算機を利用でき、全体としてシミュレーションを早く実行できる。そのため、配列構造が消費電力にどう影響するかを調べ、性能へどう影響するか明らかにした。

また、メニーコア高性能ため、同一システム内で複数のシミュレーションをカップリングさせて実行しやすい環境となってきている。そのようなカップリング、連成計算を実現するフレームワークの開発も行った。テストとして、MHDシミュレーションと電子ハイブリッドシミュレーションの連成計算を行い、正常に動作することを確認した。

・学会発表

深沢圭一郎、加藤雄人、三宅洋平、南里豪志、"STP 数値計算コードにおける連成計算フレームワーク CoToCoA の実装"、 STE シミュレーション研究会 : 太陽系シミュレーション研究の新展開、オンライン開催、2021 年 9 月 6 日 - 7 日.

・論文リスト

（査読無し）深沢圭一郎、南里豪志、CPU 消費電力制限印加時における電磁流体シミュレーションコードに対する配列構造最適化の評価、情報処理学会研究報告, 2021-HPC-180(21)、1-7、2021.

（別紙様式４－２）

フィルタ捕集法と組み合わせた粒子状有機硝酸全量測定の試み(2)
Trial on combination of the analyzer of total particulate organic nitrate with filter sampling method (2)

松本淳，早稲田大学・人間科学学術院

【研究目的】対流圏における重要なエアロゾル生成過程の一つとして、揮発性有機化合物 VOC の大気ラジカルとの反応に伴う二次有機エアロゾル SOA の生成が注目されている[1)]。特に、半揮発性の中間生成物 SVOC の詳細把握が必要である。窒素酸化物 NOx と VOC の酸化反応 (対流圏オゾン生成過程) にてオゾンと同時生成する、有機硝酸類である ONs ($RONO_2$) や PANs (RO_2NO_2) は、SOA 生成に重要な SVOC の一種となりうる。そのため、そのガス－粒子分配特性に関する研究が不可欠である。VOC は膨大な種類が存在し、個別成分分析による網羅的な挙動把握は困難であるうえ、有機硝酸類の生成特性まで明らかとなっている VOC も限られる。二次生成するガス状・粒子状の有機硝酸類も多様で、網羅は困難である。二次生成するガス状・粒子状の有機硝酸類を数え落としなく包括測定する全量測定は、エアロゾル (SOA) 評価に必要である。申請者はこれまでに、活性炭デニューダー (CD)、有機硝酸類のNO_2 への熱分解変換器 (TD)、キャビティ減衰位相シフト法 NO_2 計 ($CAPS\text{-}NO_2$)、を組合せた粒子状有機硝酸全量 (PONs) の測定装置 CD/TD/CAPS-PONs (PONs 計) を構築し、大気観測に基づく有機硝酸類のガス－粒子分配特性を検証し、粒子への分配が相対湿度に依存する可能性を示した[2,3,4,5,6)]。以上の成果に基づき、本手法の遠隔地での大気観測への活用を企図して、次はフィルタ捕集する PONs 試料の定量を目指す。ただし、フィルタ捕集試料の再粒子化を想定すると、フィルタからの PONs 発生量を把握し補正する相対標準測定法が必要と考えられる。昨年度は、再粒子化の際の PONs 発生量把握のための相対標準測定装置 RSM を構築したうえで、気相反応により調整した PONs 試料を PONs 計と RSM にて同時測定した結果、両者間に強い正の相関が見られ、RSM が PONs 相対標準測定法として有望であることを示した。そこで本研究では引き続き、再粒子化と PONs 計を組合せる定量法の実現を目指して、RSM の特性把握を進める。なお、新型コロナウイルス感染症の影響を考慮して、可能な範囲で研究を実施した。

【研究の方法と結果・考察・まとめ】　まず室内実験として、反応容器にてオゾン・一酸化窒素・リモネン蒸気を混合することで、気相反応により生成する PONs を一定濃度含む試料を調整し、試料に対する RSM の応答を調べた。RSM は、粒子フィルタ PF の通過／不通過を切替えつつ市販 NOx 計 (ThermoFisher 製、42iQTL) に試料を導入する測定系であり、PF 通過に伴う信号減少量に着目して、PONs 相対標準としての可能性を実験的に検証した。今回は、PF なし／PF 1 段／PF 2 段の 3 モード間で測定を切り替える実験によって、PF における PONs 除去効率を 88 % と決定した。除去効率の値を昨年度の結果に

適用したところ、PONs 計の測定値 ONs+PNs と RSM の測定値の間で正の相関関係を確認し (図)、RSM による PONs 相対変動把握が十分に可能であることを確認した。一方で、ONs+PNs の回帰直線の傾きが 0.77 となった。RSM にて定量された粒子状窒素酸化物に占める PONs の割合は 77 % に留まり、23 % は PONs 以外の無機硝酸などの影響を受けたものと考えられた。

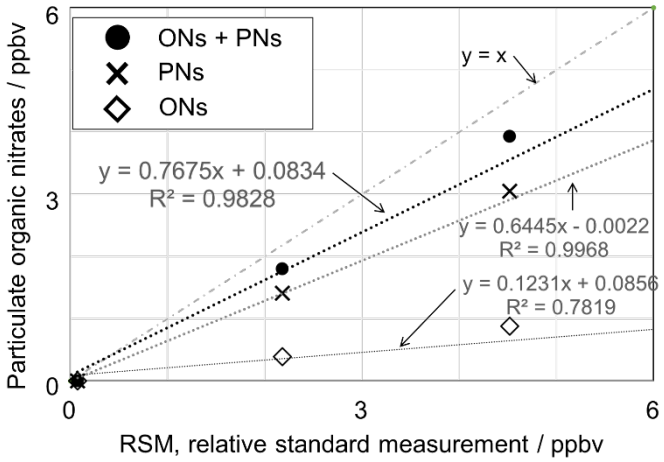


図 気相反応により生成した粒子状有機硝酸 PONs 試料に対する
相対標準測定系 RSM の測定値と PONs 計の測定値の相関プロット。
昨年度の実験結果に、今回得た PF での除去効率 88 % を考慮し改訂。
×: PANs 全量 PNs, ◇: $RONO_2$ 全量 ONs, ●: ONs と PNs の和。
それぞれについての回帰直線と傾き 1 の直線も併記する。

次に、RSM 特性把握の一環として外気試料に対する応答を調べるために、都市郊外に位置する埼玉県所沢市にて実大気中の PONs を観測する初期的な試験を実施した。その結果、冬季の日中に 0.2 - 0.5 ppbv、夜間に 0.1 ppbv の PONs を観測し、光化学反応に伴って日中に濃度が上昇する PONs 日変化を RSM により捕捉可能であることを示した。なお、RSM 単体による観測結果には、無機硝酸などの寄与も含む可能性がある。また、NO や NOx の変動が大きい時間帯は RSM による PONs 定量は困難であった。

フィルタ捕集／再粒子化／PONs 計による PONs 定量法を実現するには、RSM による PONs 相対標準測定が有望である一方で、無機硝酸など干渉成分の量や NOx 変動を、試料調製や再粒子化の段階において低減すべきことが、今回の実験により確かめられた。

【引用文献等】

1) A.E.Perring, et al.(2013): Chem. Rev., 113, 5848-5870.

2) 松本淳(2014): エアロゾル研究, 29(S1), 47-54.

3) 松本淳(2015): 第21回大気化学討論会, P-7.

4) 洪征翌、松本淳(2016): 第22回大気化学討論会, P-41.

5) 洪征翌, 松本淳(2017): 第23回大気化学討論会, P-24.

6) 松本淳(2018): 大気環境学会誌, 53, 1-12.

【本研究に関する成果発表】　なし

（別紙様式４－２）

低バックグラウンドベータ線計数装置によるトリチウムの測定
Measurements of tritium using Quantulus counters

門叶 冬樹、山形大学・理学部

研究目的

トリチウム（T or 3H)は、大気中の窒素、酸素をターゲットとして宇宙線による破砕反応によって生成される最も軽い宇宙線生成核種である。宇宙線生成核種であるBe-7やBe-10は、エアロゾルに付着して地表に降下する生成核種であり、C-14は気体（二酸化炭素）の生成核種である。トリチウムは水蒸気の形状のトリチウム水（HTO)であるため、降水や降雪として地表に降下し河川、湖、海洋に移行し、蒸発して大気と循環する。このため、エアロゾルや気体と異なる水蒸気の大気中挙動を調べるための宇宙線生成核種として重要である。トリチウムは宇宙線生成核種であるため、その生成強度は太陽活動の変調を受けると考えられ、またその半減期が12.3年のため、毎年サンプルを採取して11年周期活動を調べることは原理的には可能である。しかしながら、トリチウムの宇宙線生成核種としての強度変動を調べた例はほとんど無い。降水中のトリチウム濃度の強度変動を調べることが本研究の目的である。

研究方法

トリチウムは最大エネルギーが約18 keVのβ線核種であるため、低バックグラウンドの放射線測定が必要である。Quantulusは名古屋大学ISEEおよび山形大学が有する世界最高感度の超低バックグラウンド液体シンチレーションカウンターであり、低バックグラウンド特性に優れたトリチウム測定モードをもっている。Quantulusを用いて降水・降雪中のトリチウム濃度測定を行い、トリチウムによる宇宙線強度変動測定の可能性を調べる。

研究結果

本年度は、蒸留水、市販の飲料水（深層水、地下水）についてQuantulusのトリチウム測定モードでの波高スペクトルを調べた（図1）。３水試料は、いずれも20チャネル付近にピークを示しトリチウム標準試料のスペクトルと合っている。標準試料とバックグランド試料の測定値から推定した３水試料のトリチウム濃度は、各々2.27 Bq/L,1.94 Bq/L,1.99Bq/Lと約2 Bq/Lであった。最近の日本における雨水（蒸留後）の測定値は、0.11-1.04 Bq/L(2000-2005@熊本)などの報告がある（百島 J. Plasma Fusion Res.2009）。

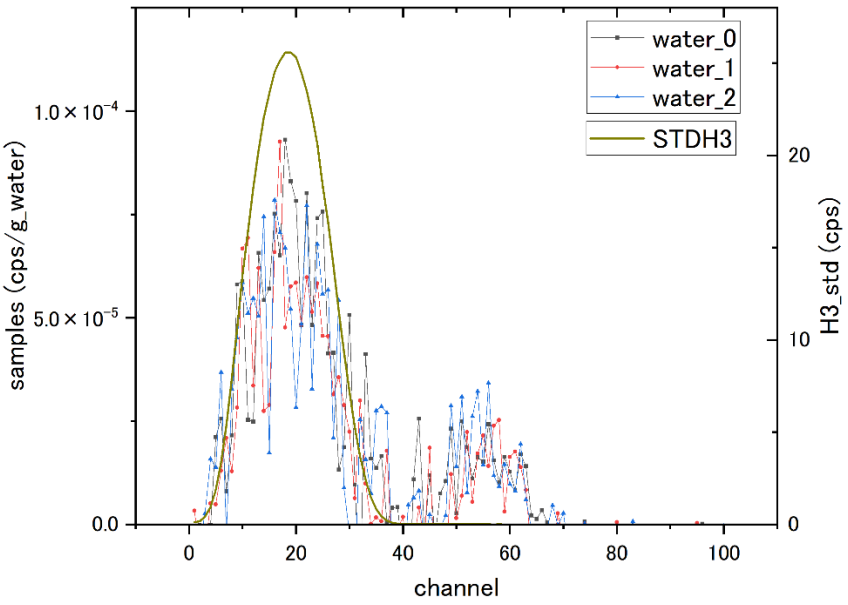


図 1. ３水試料とトリチウム標準試料の測定波高スペクトル

[参考文献]
環境トリチウムの現状と分布:２雨のトリチウム
百島則幸 J. Plasma Fusion Res. Vol.85, No.7 (2009)426-428

（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
Improvement of cloud-resolving model by using data of polarimetric radar

佐藤正樹・東京大学大気海洋研究所

研究目的

雲解像モデルの出力を「観測シミュレータ」(Joint Simulator for Satellite Sensors：東京大学・JAXA・NASA の共同開発）にかけて、二重偏波レーダーなどのデータと比較することで雲解像モデルの精度向上を目指す。特にいまだ不確定要素の多い雲物理過程の精度向上が期待できる。

研究方法

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、雲氷、雨、雪、あられといったカテゴリーに分類した雲物理スキームを用いる。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

二重偏波レーダーと全球雲解像モデル NICAM のシングルモーメントスキーム（NSW6）の比較および NSW6 改良に取り組んだ。NICAM の出力を Joint-Simulator (Hashino et al., 2013)に内蔵された POLARIS(Matsui et al., 2019)を用いフォワード計算し、二重偏波レーダーの出力に変換し比較を行っている。NSW6 においては、最大反射強度が融解層上部で急速に小さくなる特徴がみられた。これは霰の切片パラメータが大きいため、小さな霰しか表現できないことによるものと推測される。NSW6 は熱帯域の衛星観測で調整されたため中緯度のレーダーとはそぐわない状況になっている。その改良として、霰の切片パラメータを混合比と温度に依存させたスキームと雹カテゴリの追加したスキームをテストしている。図にその結果を示す。改良の結果、観測で得られた反射強度に近くなる。また、これらの改良に伴い、強い降水の頻度が増加する傾向が見られた。今後は他の事例での検証、他の偏波パラメータの利用を通して、雲微物理スキームの改良につなげる予定である。

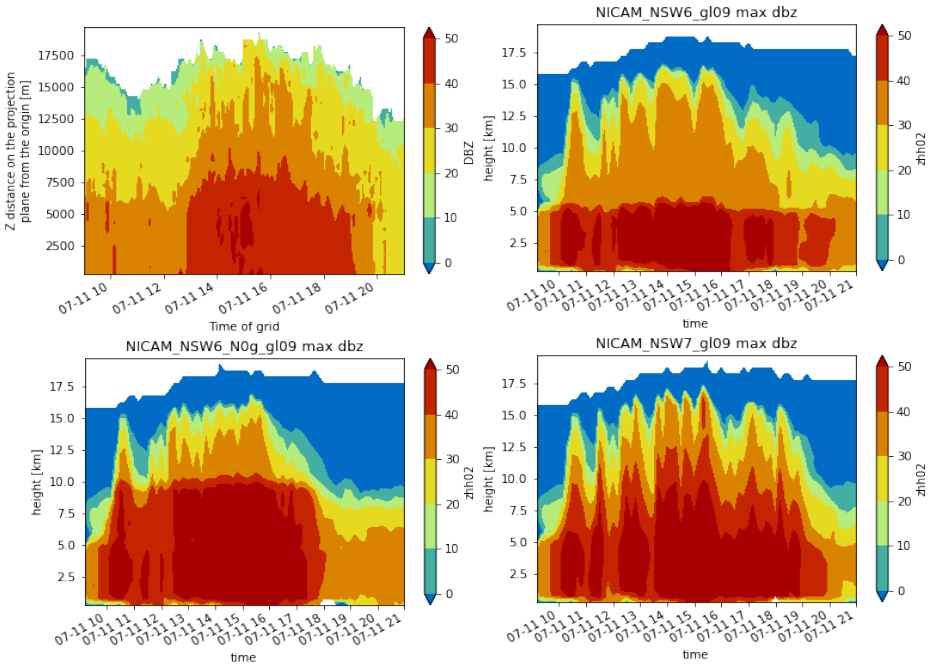


図 2020 年 7 月 11 日事例の最大反射強度の比較。左上：羽田空港レーダー、右上:NSW6、左下：混合比温度依存した霰の切片パラメータ、右下：雹スキーム

また、東京大学大気海洋研究所屋上において、レーザービーム内を通過する雨滴の直径と落下速度を測定する Laser precipitation monitor (LPM)を用いた雨滴粒径分布の観測を行った。雨滴粒径分布、０次から６次までのモーメント、体積重み付き平均直径、median volume mean diameter、平均体積直径などを求めた。先行研究とも整合する結果を得て、レーダーデータから回帰できる量との比較も行った。これらから NICAM の雲物理過程を改良する方法について検討していく。

引用文献

Hashino, T., Satoh, M., Hagihara, Y., Kubota, T., Matsui, T., Nasuno, T., and Okamoto, H, 2013: Evaluating cloud microphysics from NICAM against CloudSat and CALIPSO. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *118*(13), 7273 - 7292. https://doi.org/10.1002/jgrd.50564

Matsui, T., Dolan, B., Rutledge, S. A., Tao, W. K., Iguchi, T., Barnum, J., and Lang, S. E.,: 2019. POLARRIS: A polarimetric radar retrieval and instrument simulator. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *124*(8), 4634-4657.

（別紙様式４－２）

大気放射モデルを用いた「ひまわり」シミュレーション画像の作成と応用
Simulation of the "Himawari" Observation using Radiative Transfer Model and its Applications

伊達謙二（気象衛星センター データ処理部 解析課）

気象衛星センターでは、静止気象衛星ひまわりの観測データの品質管理のため、定常的に校正及び位置合わせ等の精度評価を行っている。近年の気象衛星観測の充実は目覚ましく、従来よりも時間・空間・波長分解能および観測精度が向上した機器が各国の気象衛星に搭載されつつあり、複数の気象衛星のデータを複合的に利用し気候研究等に役立てようとする機運が高まっている。複数衛星の複合利用においてはデータ間の相互校正が不可欠である。世界気象機関（WMO）等の主導により設置された全球衛星搭載センサー相互校正システム（GSICS）と呼ばれる枠組みでは、衛星運用機関等により衛星間での一貫した放射量の校正評価手法の開発が進められており、気象衛星センターでも評価手法の開発などを通じてこの活動に貢献している。本研究では放射伝達計算を用いた手法等を中心に、ひまわり 8 号の校正評価手法の開発を進めている。

ひまわり 8 号搭載センサーである AHI の可視近赤外バンド評価手法のひとつでは、放射伝達モデル RSTAR（Nakajima and Tanaka, 1988）を活用している。以下、RSTAR 代替校正と呼ぶ。本手法では大気プロファイルや MODIS の L1B データから得られた雲及びエアロゾルの光学的パラメータ、及び大気プロファイル等を入力として、放射伝達計算が比較的行いやすい対象である海面及び水雲の雲頂に対してひまわり 8 号の観測値をシミュレーションし、得られた計算値と観測値とを比較することで評価を行う（図 1）。

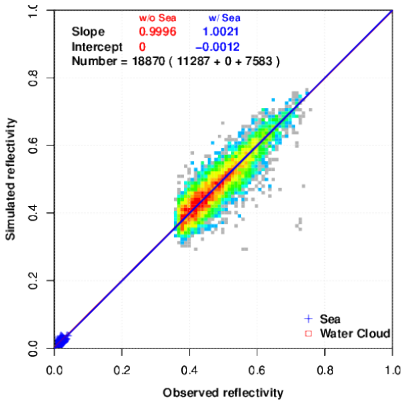


図 1 AHI/B04 (0.86μm)の 2020 年 8 月の約 1 ヶ月間のデータに基づく評価事例。横軸は観測放射輝度、縦軸は計算値を示す。低輝度側の点の集合は晴天海面に対する評価結果を、高輝度側の集合は水雲の雲頂に対する評価結果を示す。水雲側の色分けは頻度を表す。この事例の回帰直線の傾きは切片をゼロに固定した場合・しない場合ともに 1.00 であり、観測値と計算値は整合的である。

RSTAR 代替校正の他にも、衛星搭載光源である太陽光拡散板の観測、VIIRS との直接比較 、月観測などを参照した評価も実施しており、それぞれの結果は概ね整合的な結果が得られている（図 2）。感度の経年変化の大きさはバンドによって異なるが、B01 (0.47μm) ～B04 (0.86

μm）では年間 0.4～0.8%程度であり、B05（1.6μm）、B06（2.3μm）ではさらに小さい。なお、RSTAR 代替校正による MTSAT-2 可視バンドの評価では年間 2.5%程度の感度変化が見られており、AHI の可視近赤外バンドの感度は MTSAT-2 に比べて安定している。

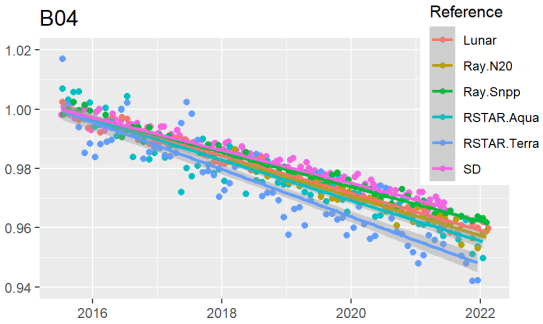


図 2　AHI/B04（0.86μm）の運用開始（2015 年 7 月）以降の相対感度。評価に用いた手法は、凡例の上から順に月観測、NOAA-20/VIIRS または SNPP/VIIRS との直接比較、Aqua/MODIS または Terra/MODIS による RSTAR 代替校正、及び太陽光拡散板を用いた評価結果を示す。

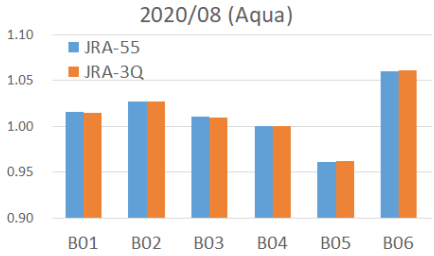


図 3　AHI の可視近赤外 6 バンドの感度評価。観測値に対する計算値の比を表す。2020 年 8 月の Aqua/MODIS を用いた場合について JRA-55/3Q を入力としたときの差異を示す。

現行の RSTAR 代替校正では、大気プロファイルとして気象庁による大気再解析データセットである JRA-55 を利用しているが、現在、次期再解析計画である JRA-3Q の整備が進められている。今般入力を JRA-55 から JRA-3Q に移行した場合のインパクト調査を行った。評価は Aqua/MODIS 及び Terra/MODIS それぞれの、2020 年夏と冬の 1 ヶ月ずつについて実施した。結果の一例を図 3 に示す。この事例では JRA-55/3Q の違いに起因する差異は 0.2%未満、他の評価事例を含めても 0.3%未満であった。今回のインパクト調査の結果は RSTAR 代替校正による評価結果に見られる経年変動の大きさに比べて十分に小さく、トレンド評価に影響は及ぼさないと見られる。RSTAR 代替校正等による評価結果は気象衛星センターWEB ページ*で公開しており、本結果については 2022 年第 2 四半期頃の実装を予定している。RSTAR 代替校正の手法では現在 MODIS を参照している。今後は直接比較による評価手法だけでなく、RSTAR 代替校正についても VIIRS への対応準備を進める予定である。

気象庁では 2022 年 12 月頃に、正衛星を現在のひまわり 8 号から 9 号へと移行する計画である。本手法による校正評価はひまわり 9 号でも引き続き実施される。

* https://www.data.jma.go.jp/mscweb/data/monitoring/gsics/vis/monit_visvical.html

参考文献　Nakajima, T. and M. Tanaka, (1988) Algorithms for radiative intensity calculations in moderately thick atmospheres using a truncation approximation, J. Quant. Spec. Rad. Trans., 40, pp. 51-69

成果発表　奥山新、小寺和貴、栄木美沙紀、伊達謙二「放射伝達計算に基づくひまわり 8 号校正評価と、9 号正衛星交代に向けて」、GPM および衛星シミュレータ合同研究集会（オンライン開催、2022 年 3 月）

（別紙様式４－２）

北極域流星レーダー網を利用したEISCAT_3Dと相補的な下部熱圏観測体制の構築

Development of a lower thermosphere observation platform complementary to EISCAT_3D using the Arctic meteor radar

堤　雅基、国立極地研究所・宙空圏研究グループ

研究目的

流星レーダーにより観測される両極性分子拡散係数を用いて上部中間圏から下部熱圏域の大気温度を観測する手法が開発され大気波動研究などに応用されている。本研究ではその手法をさらに発展させた極域での電子温度推定法の開発を目的とする。これまでに電離層電場上昇に対応した拡散係数の異常増大と思われる現象が見出されており、さらに詳細を調査する。

調査方法

流星により形成された円柱状の電離飛跡は、形成後に分子拡散により径方向に急速に拡散し、そのレーダーエコー強度は時間とともに指数関数的に減衰する。その減衰時定数から流星飛跡中プラズマの両極性拡散係数 Da を推定することができる [McKinley, 1961]。Da は、電子温度 Te およびイオンの温度 Ti と以下のような関係を持つ。

$$D_a \approx D_i \left(1 + \frac{T_e}{T_i}\right) \quad \text{式1}$$

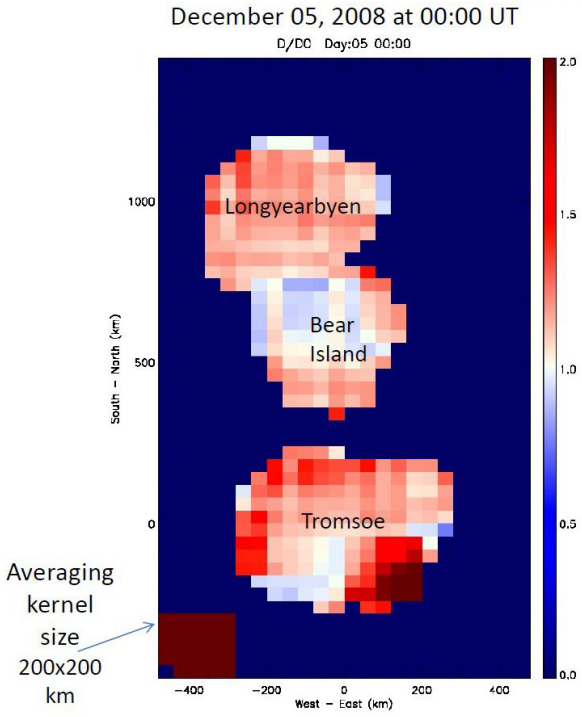
高度 110 km 程度以下においては、概ね Te および Ti は中性大気温度 Tn に等しく（$Te = Ti = Tn$）、$Da = 2Di$ の関係が成り立つとされ、この関係を元に中性大気温度情報を取り出す手法が開発され実用化されている[e.g. Tsutsumi et al.,1994;1996; Hocking et al.,1999]。しかしこれまでの貴研究所との共同研究を通して、北欧域の流星レーダー観測においてはこれらの温度が常に等しいとは考えにくい現象が見つかった。上部中間領域における電場増大に伴う電子密度増大により観測されるDaが異常増大するとの結論を得ている [堤他、2016]。

本研究では、ロングイヤビエン（極地研運用）、ベアアイランド（ISEE 運用）、トロムソ（極地研運用）の流星レーダー観測データを元に、電子温度増大（中間圏電場）の水平構造推定を試みた。

解析結果・考察

図に、2008年12月5日に観測されたデータから高度域80-100kmのDaの水平構造を推定した例である。7分程度の時間分解能で、南北1000km以上・東西500km程度のDaの水平構造の可視

化に成功した。Da異常増大の見られる領域は時々刻々と変化し、電子温度/上部中間圏電場には複雑な水平構造が存在することを示していると考えられる。本観測例のような構造は、冬季には比較的頻繁に観測され、普遍的な冬季極域上部中間圏の描像と思われる。今後、オーロラの光学観測や、EISCAT_3DおよびSuperDARNレーダーによる電場観測結果との比較研究を行うことを検討している。



図：2008 年 12 月 5 日の 00UT に観測された両極性拡散係数の水構造推定結果。高度 80－100km の流星エコーを使用した。水平 200x200km の領域（図の左下に大きさを示す）ごとに平均値を推定し、水平方向に 50km ずつシフトして反復計算して水平構造を推定した。

引用文献

Dimant et al., J. Geophys. Res., 100, 14, 605-623, 1995.

Farley, J. Geophys. Res., 68, 6083-6097, 1963.

Hocking, Geophys. Res. Lett., 26, 3297-3330, 1999.

McKinley, Meteor Science and Engineering, McGraw-Hill, New York, 1961.

Tsutsumi et al., Radio Sci., 29, 599- 610, 1994.

Tsutsumi et al., J. Geophys. Res., 101, 9425-9432, 1996.

堤、小川、野澤、 C. Hall, 北極域流星レーダーで異常増大の観測された両極性拡散係数の考察, 第30回大気圏シンポジウム講演集、2016, https://jaxa.repo.nii.ac.jp/?action=repository_uri&item_id=19047&file_id=31&file_no=1.

成果発表

M. Tsutsumi, A new approach to expand the possibility of meteor echo measurements in the polar region, The 5th NIPR-UiT Online Monthly Joint Seminar, 17 February 2022.

（別紙様式４－２）

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

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

1. 研究目的

航空飛行中の乗務員は地上に比べて強い宇宙線に常に曝されており、付加的に受ける年間の被ばく線量は一般公衆に対する線量限度の数倍に達する場合もある。さらに、突発な太陽フレアの発生に伴い、大気圏に侵入する高エネルギー陽子の増加により、銀河宇宙線（GCR）が侵入しやすい極域の上空を飛行する場合には、放射線防護上懸念されるレベルの放射線被ばくを受ける可能性も指摘されている。こうした状況を背景に、航空機乗務員については、航空機搭乗時の宇宙線被ばくの線量（航路線量）が定期的に計算で評価され、航路線量管理が実施されている。一方、航路線量計算の基礎データとなる地球磁場の強度分布や宇宙線被ばく管理上重要な極域での線量率分布については、その詳細な実測が困難であるため、その精度についての検証は不十分である。そこで、本研究では、航路線量計算モデルの長期にわたる信頼性を厳密に検証することを目的として、宇宙線強度が最も高くなる極域を対象として、独自に取得した中性子観測でデータに基づき、現在のモデルに採用されている地球磁場強度分布や宇宙線線量率分布の精度について解析する。また、今後それらのモデルの基礎をなすデータの更新をどの程度の期間で行うべきか等について考察する。

2. 研究方法

本研究では、磁域上空での宇宙線による被ばくは、磁極のわずかな移動によって大きな影響を受けること、又、民間航空機での飛行（高度8～12 km）において宇宙線被ばく線量に最も寄与する粒子成分は中性子であることを背景として研究方法を検討した。具体的には、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中性子レムカウンタベースの放射線モニタリングシステムを用いて共同研究者（栗田）らが第60次南極観測（2018年11月-2019年3月）において現地で取得した中性子線量計測のデータと、栗田らが同時期に同域で採取・分析した表層積雪のトリチウム濃度データ、そして研究代表者らが開発した航路線量計算モデルの結果を厳密に比較解析し、その相関関係について考察する。得られた解析結果から、極域を対象に宇宙線線量評価の信頼性を検証し、精度を向上させる必要性や地球磁場データの望ましい更新期間等について論じる。

3. 研究結果及び考察

昨年（2021年）度は、新型コロナウィルスの感染拡大の影響で議論する機会は限られたが、栗田が第60次南極観測において昭和基地か

ら内陸のドームふじ基地に至るルート上で、研究代表者らの放射線モニタリングシステムで取得した中性子線量の実測データについて確認し、その緯度・経度・高度・気圧依存性について解析を行った。データの一例として、2018年12月にドームふじ基地（南緯77.7°、東経39.1°、標高3,762m）で得られた中性子線量率と気圧の経時変化を示す。気圧すなわち大気の厚みの低下に伴って中性子線量率が上昇する傾向が確認でき、極低温下においても妥当なデータが得られていると考えられた。これらの実測値の解析を行う一方、栗田らが現地で取得した雪中トリチウム濃度データと、研究代表者らがモデル計算によって求めた南極域の中性子線量分布との相関関係についても考察を進めた。今後は、オンライン会議のシステム等を活用しつつ、詳細なデータの総合的解析、そして論文化の作業に共同で取り組む。

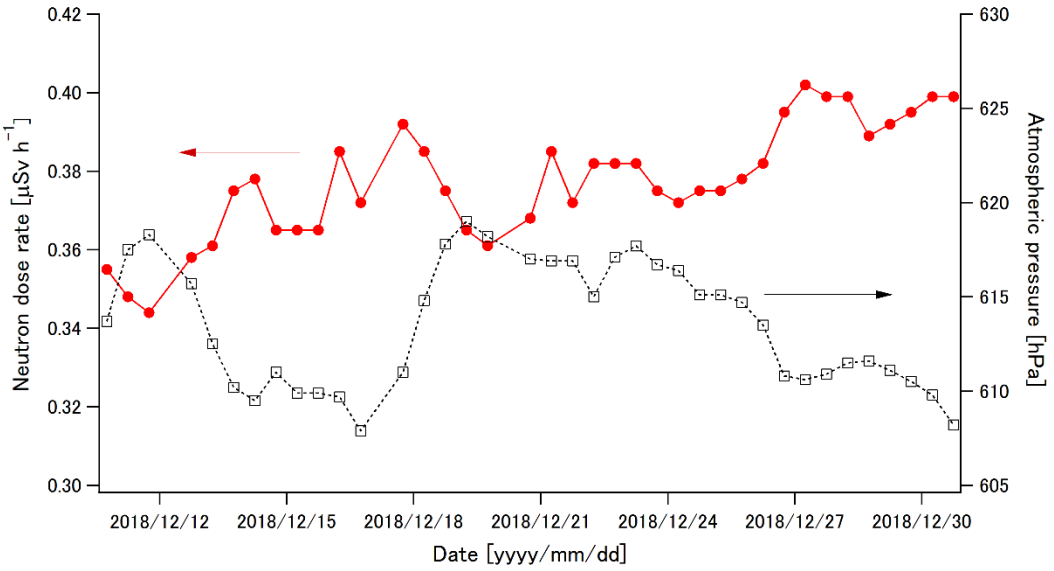


図1. 2018年12月に南極のドームふじ基地で測定した中性子線量率と気圧の経時変化.

（別紙様式４－２）

冬季石狩平野の筋状対流雲下の大気場変動について
Atmospheric fields variability under the developed clouds at Ishikari plain in winter

馬場賢治　酪農学園大学　農食環境学群

【研究目的】

冬季の石狩平野には，西高東低型の気圧配置による季節風により，筋状の対流雲が入り込むことや石狩湾低気圧に付随する積乱雲の影響で平野部に降雪をもたらす．これらの対流雲に関しては，先行研究が数多く存在し，現地観測やレーダー観測，気象モデルを利用したシミュレーション解析などが行われてきた．Shirooka and Ueda(1990)では，同地域において観測を行い，石狩湾から流入する対流性筋状積乱雲が陸地に流入する際，しゅう雪による下降流（スノーバースト）を捉え，数分から数十分の間に気温低下が生じることを示した．馬場ら（2016他）は，同地域の小学校の百葉箱を中心に簡易気象ロガーを展開し，10分間間隔で計測を行い，筋状の積乱雲が流入した下では，気温低下に留まらず，気圧上昇が生じていることを捉え，その後振動が小さくなることを示した．しかしながら，筋状対流雲からの下降気流の可否や条件，メカニズムなど未知な部分が多く，一層の解析や調査が必要である．これらは事例を増やし，客観的に捉えることが重要である．本研究では，対流雲が引き起こす地上の大気場の変動を明らかにするために，より稠密な観測網を展開し，場の変遷を理解する．

【研究方法】

本研究では，筋状雲に因る地上での大気場の変遷を理解するため，数km間隔になる様に気象ロガーを小学校の百葉箱や簡易百葉箱を民間施設等に設置し，5分毎に簡易気象ロガーにより観測を行う．春にデータ回収し，その後に解析を行う．

【研究成果と考察】

本年度は2021年12月から2022年3月まで札幌市内や石狩市内の小学校，および，札幌管区気象台の百葉箱において観測を行い，3月22～23日に観測機器の回収を行った．現在はデータを整理している段階であり，過年度同様に現象の抽出を行う予定である．

今回は昨年2020年度に行われた観測結果を基に報告を行う．札幌管区気象台の発表によれば対象地域の冬季は，気温は概ね平年並みであるが，降雪量と降水量はかなり少ない状況であった．このため，同地域に流入する対流雲は少ない傾向にあり，対象とした降雪に伴う地上での大気変動は例年になく少なく，2021年2月23日と同26日の2事例しかなかった．23日の状況は，西高東低の気圧配置であり，同11時20分(図1a)と同11時30分（同b）の気象レーダーから分かる通り，季節風に伴う筋状雲列が西から東へ移動していた．

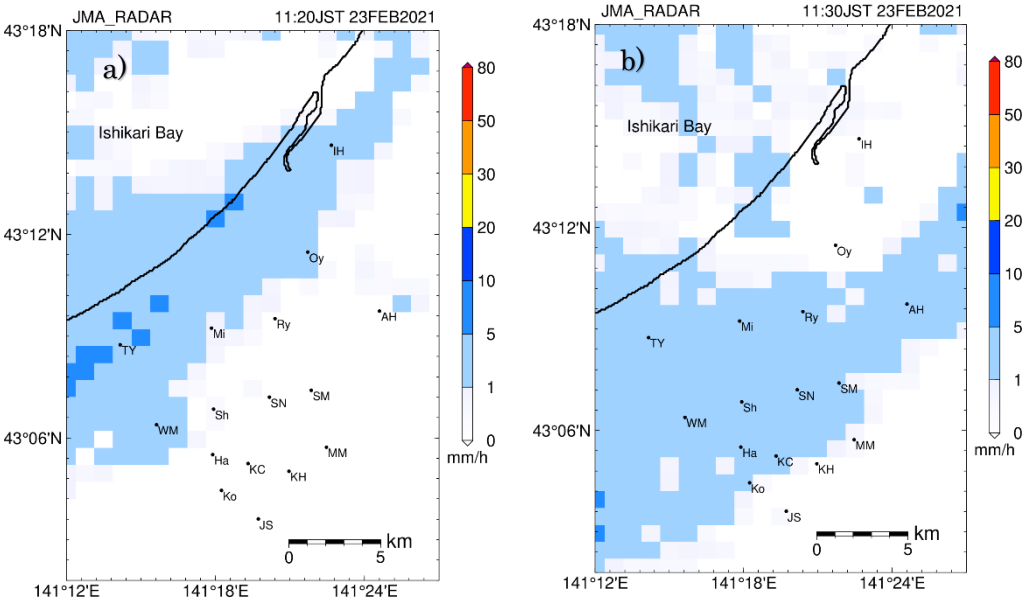


図１気象庁レーダー．2021年２月23日11時20分(a)と同11時30分(b)．記号は機器を設置した小学校と札幌管区気象台を示す．

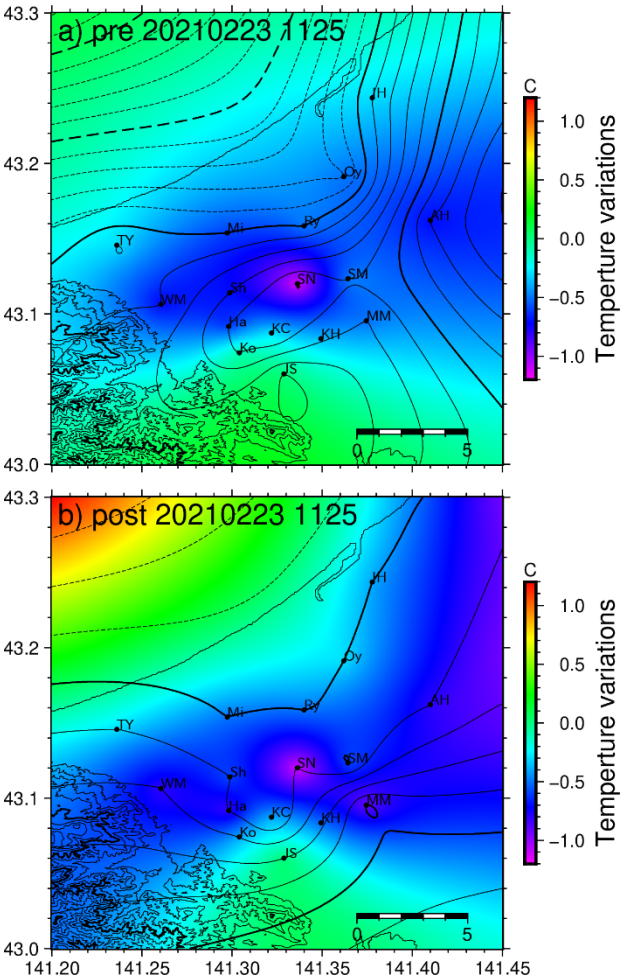


図 2　気温（カラー：右）と気圧（太い実線は正，同破線は負；0.1hPa 間隔）の 5 分間変動.

5分間での気温と気圧の変化の様子を図2は示しており，対象時間の前5分(図2a)と5分後（同b）を表す．筋状雲の雲列の前面（東側）のWM，SN，AHにおいて，5分間の間に0.5℃以上の気温低下と0.5hPaを超える気圧上昇が同時にみられた．先行研究のShirooka and Uyeda(1990)を捉えている可能性が大きく，彼らの地上気温低下を伴なったダウンバーストを示し，且つ，気圧の上昇を確認出来た．降雪に伴うローディングの効果や昇華による潜熱移動による気温低下により下降流が強化され，気温低下と気圧上昇が地上で観測されたことが考えられる．

【今後の課題】

過年度のデータに本年度のデータを加え，事例数を増やし，本事例の一般化を行う予定である．次年度の観測も引き続き行う．また，格子を小さくして，CReSSを用いたシミュレーションし，物理的なメカニズムについて先行研究を再確認しながら，今後理解を進める予定である．

【参考文献】

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

・馬場賢治，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.

・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.

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

・札幌管区気象台 気象防災部 地球環境･海洋課「2020 年 12 月～2021 年 2 月北海道地方 冬の天候」https://www.jma-net.go.jp/sapporo/tenki/kikou/weatherflush/pdf/matome20211.pdf, 2022 年 3 月 1 日閲覧.

オーロラ等価電流回路解析とデータ同化手法を用いたAE指数の予測

Prediction of AE Index Based on Auroral Equivalent-Current Circuit and Data Assimilation

町田　忍　　名古屋大学 宇宙地球環境研究所
三好　由純　名古屋大学 宇宙地球環境研究所

研究目的

太陽風のデータを入力として、電磁圏の活動度を表すAE指数を予測することは、太陽地球系物理学の目指すゴールの一つと考えられる。本研究では、オーロラの発生に伴って極域電離圏を流れる電流が変化する度合いを表すAU指数とAL指数、また、両者の差として定義されるAE指数を、太陽風の密度、速度および磁場のデータを入力として、オーロラ等価電流回路解析とデータ同化手法を用いて予測することを目指した。この手法の開発に成功すれば、主要な物理過程を表現しつつ、小規模な計算資源でAE指数を迅速に予測することが可能となる。

研究手法

本研究計画の中のAU指数の予測ついては、Goertz et al. [JGR, 1993]によって提案され、山本［名古屋大学修士学位論文, 2018］によって妥当性が確認された太陽風電場が磁気圏を介して電離圏に印加され、オーロラ電流が駆動されるモデルを採用することとし、今年度は、AL指数の予測に焦点を絞って研究を進めた。

Baker et al. [JGR, 1997] および後続の研究によると、AL指数を生成する電流系は、昼間側の磁気再結合によって地球磁気圏中に侵入する電場が電流を直接駆動するDirect Driven過程と、磁気圏尾部に（主として磁場の形で）エネルギーを蓄え、あることを契機にそれが解放されるLoading-Unloading過程に関連した２つの成分で構成されている。しかしながら、Goertz et al. [1993]のモデルでは、Loading-Unloadingの過程が考慮されていなかった。そこで、本研究では、その点について全面的な見直しを行った。

具体的には、次に挙げる方程式群を導き、それらを数値的に解いてAL指数の推定を行った。

$$\frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{dt}} = -\Gamma(W - W_0) + \sqrt{\frac{2\Delta y\Delta z}{\mu_0 \Delta x}} \cdot \sqrt{W} \cdot E_t - \Gamma' W \qquad (1)$$

$$I = \sqrt{\Sigma(\Delta x'/\Delta y')\eta\{\Gamma(W - W_0) + \Gamma' W\}} \qquad (2)$$

$$B(|AL|) = \frac{\mu_0 I}{2\pi(\Delta y'/2)} tan^{-1}\left\{\frac{(\Delta y'/2)}{h}\right\} \approx \frac{\mu_0 I}{2\pi h} \qquad (3)$$

上式において、W は近尾部に蓄積されているエネルギー、W_0 は近尾部の基底状態のエネルギー、E_t はGoertz et al. [1993]によって導かれた方法で計算される近尾部領域の電場である。さらに、ΓとΓ'は、それぞれLoading-Unloading過程、Direct Driven過程に関わるエネルギー散逸率。$\Delta x,\ \Delta y,\ \Delta z$ は近尾部でエネルギーが蓄積される領域のx, y, z方向の特性長、Σは高度積分された電離圏ペダーセン電気伝導度、$\Delta x', \Delta y'$ はオーロラジェット電流の経度、緯度方向の空間長、η は近尾部のエネルギーがオーロラジェット電流を駆動するために費やされ

る割合である。式(1)の右辺第 1 項はサブストームによるエネルギー散逸、第 2 項はコンベクションによる近尾部へのエネルギー供給、第 3 項は常時進行するエネルギー散逸の効果を表し、式(2),(3)よって AL 指数を求めることができる。

研究成果・考察

前節に示した方程式の中に含まれるパラメータの値を適宜設定することによって、実際の AL 指数の特徴を捉えた変動をモデル計算で再現するに至った。図 1 にその例を示すが、このモデルでは Loading-Unloading 過程のエネルギー解放量を尾部に取り込まれた電場（E_t）の大きさに比例させ、エネルギー解放のタイミング（パラメータ Γ のスイッチオン）を E_t の時間の 2 階微分の大きさに関連させて計算を実行した。本来であれば、Γ を近尾部で発生するバルーニング不安定など、系を不安定化させる物理過程の線形成長率と結び付けるべきであるが、本モデルの中で自己完結させて、その値を与えることができないため、上記のような単純な仮定のもとで計算を行っている。それに起因して、予測結果を実際の値に完全に一致させることには成功していない。しかし、もしもエネルギー解放のタイミングと Γ の値を何らかの方法で推定できれば、かなり正確な AL 指数の予測が可能であることが、図 1 のパネルから期待される。

本モデルでは、10 個近いパラメータを既知として与える必要がある。それらの値の妥当性を検討し、その結果を用いて高い精度で AE 指数の予測を可能とするためは、粒子フィルターを用いたデータ同化法を適用する方法が有効である。研究期間中にスキームを完成させることができなかったが、今後も研究を継続して手法の確立を目指したい。

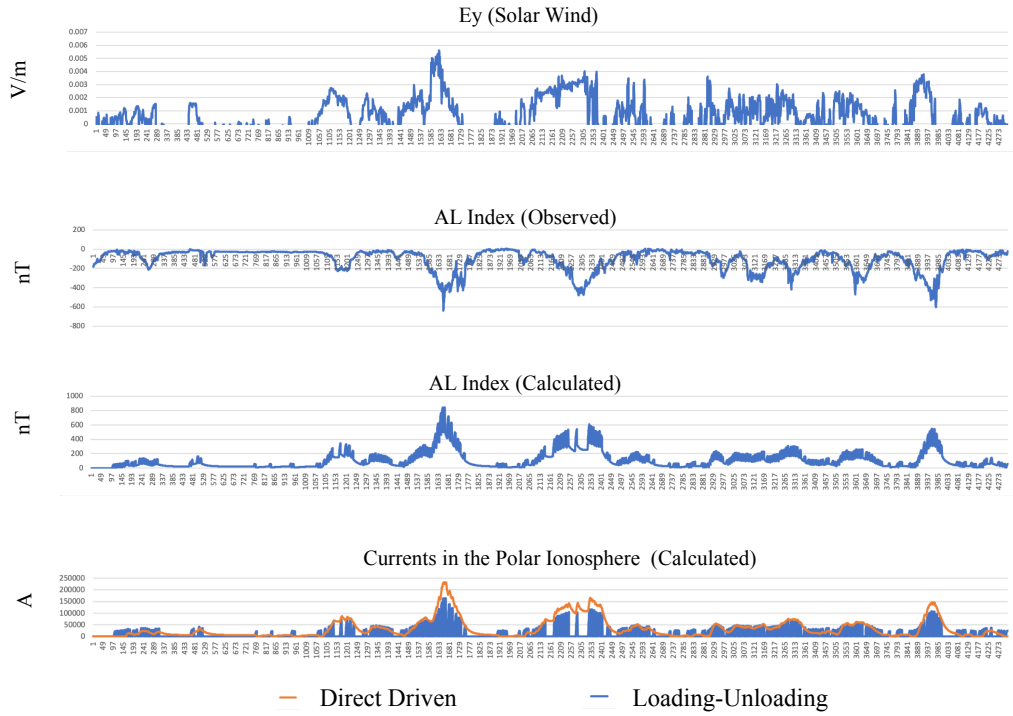


図 1. 2000 年 4 月 19-21 日の期間（3 日間）に対する結果。上から順に、入力として与えた太陽風電場（OMINI データ）、実測に基づき公開されている AL 指数、本モデルによって計算された AL 指数（符号を反転させていることに注意）、および AL 指数を生み出す極域電離圏電流の時間変化が示されている。

（別紙様式４－２）

東南極ドームふじ観測拠点周辺で採取された雪氷ピットのHTO分析
Analysis of HTO in snow pit samples taken from the Dome Fuji in East Antarctica

中澤文男　国立極地研究所・研究教育系
栗田直幸　名古屋大学・宇宙地球環境研究所

【作成要領】

地球温暖化に伴う南極地域の気候・環境変化を捉えるためには、長期間にわたる観測データが必要となる。しかし、文明圏から遠く離れ、自然条件が厳しい南極大陸では、測器を使った気象．水文観測は困難な場合が多く、温暖化影響を評価するための観測データの蓄積は乏しい。それゆえ、氷床コアや積雪に記録されている代替指標（プロキシー）を使って過去から現在までの気候・環境変化を再現する研究が数多く行われている。例えば、南極氷床上における地上気温は積雪の酸素同位体比と相関関係を示すことから、氷床コアの酸素同位体比を使って古気温を復元する取り組みはよく知られている。しかし、プロキシーを使って気候・環境変化の影響を議論するためには避けては通れないハードルがある。それは、「氷床コアや積雪の年代決定」である。

年間積雪量が多い南極沿岸域などでは、酸素同位体比の季節変動から年代決定を容易に行うことができる。しかしながら、年間積雪深が10cmに満たない南極内陸域では酸素同位体比の季節変動が不明瞭であり、他の手法を用いる必要がある。そこで本研究では、放射性同位水素（トリチウム）を使った年代決定を行う。1950年から1963年にかけて行われた大気圏内核実験では、大量の人為起源トリチウムが環境中に放出され、核実験が禁止される直前（1963年ごろ）には降雪中に含まれるトリチウム濃度が自然状態よりも2桁も高い値となったことが知られている。南極地域では1966年ごろに降雪中のトリチウムが極大値を示したとされており、氷床コアや積雪試料のトリチウムピークはこの年代を反映していると考えられている。

本研究では、第59次南極地域観測隊(J59)においてNDFサイト（ドームふじ基地から南へ50kmの地点）で採取された積雪試料のトリチウム分析を行い、その年代決定を行うとともに、1960年代から現在までの気候変化を酸素同位体比の変動から読み解く。J59では、南極ドームふじ基地から南に50km離れたNDFサイトにて深さ4mの積雪ピットを掘削し、表層から3cm間隔で積雪試料を134試料採取した。本研究は継続課題であり、昨年に引き続き、これらの試料に含まれるトリチウム濃度分析をISEEが所有する低バックグラウンドベータ線係数装置を用いて行った。

昨年度は装置の故障により60試料の分析しか行うことができなかった。今年度は、引き続き分析を行い、134試料の分析が完了した。結果をみると、深さ3.5m付近にトリチウム濃度のダブルピークがあり、過去の文献を参考にしながら、3.65m付近にある極大値(131.1 T.U.)を1966年6月、3.45m付近の極大値(123.8 T.U.)を1969年と決

定した。この結果は、化学成分分析から推定した結果とも整合的であった。この結果を使って年代決定を行った結果が図1となる。図1のトリチウム濃度は放射壊変補正を行ったデータである。1980年ごろまでは大気中核実験の影響がみられるが、それ以降は自然変動に近い変動をしているようにみえる。これは、トリチウムの半減期が12.3年と短いことで説明できる。

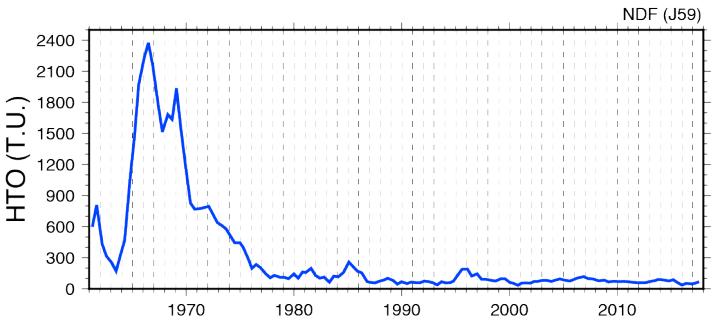


図1. NDFにおけるトリチウム濃度の時間変化

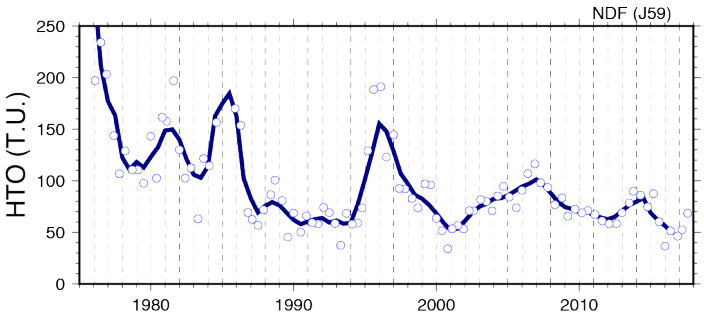


図2. 1970年代以降のトリチウム濃度変化。白丸は各分析データ。黒線は5年移動平均値

年代決定が完了したことで本共同研究の目的は達成したが、南極内陸域におけるトリチウム変動についても考察を行った。図2には、1970年代後半から積雪ピットを採取した2017年までの時間変動を示す。大気中核実験の影響が小さくなった後もトリチウム濃度は一定ではなく、約10年程度の周期で極大値があらわれていることが新たに明らかとなった。太陽活動にともなう成層圏でのトリチウム生成量の増加に対応していると思われるケースもあるが、すべての極大値が太陽活動と一致しているわけではない。トリチウム濃度の変動は、大気上層での生成量の変動だけでなく大気輸送過程の影響もうけている。南半球における大気循環の変動と関連させた解析を行い、トリチウム極大値を引き起こす要因の特定を今後の課題として取り組んでいきたい。

（別紙様式４－２）

波飛沫計を用いた渦相関法による海塩粒子放出量の直接評価のための海上試験観測

Direct measurement tests of sea salt particle flux by eddy covariance using sea-spray spectrometer probe

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ことが現状である。

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、洋上において大気乱流による濃度変動を10Hzの時間分解能で計測し、渦相関法によって海面から放出される海塩粒子の放出量を直接評価することを目的として、沿岸域における観測試験を実施した。

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、茨城県神栖市にある港湾空港技術研究所の波崎海洋研究施設の観測用桟橋において集中観測を実施した。設置した観測システムは昨年度と同様に、波しぶき計、超音波風速温度計、オープンパス型NDIR式CO_2/H_2Oガス分析計、クローズドパス型CRDS式CO_2/H_2Oガス分析計からなる（図１）。これらによって、大気乱流により生じる風速、気温、粒子数密度、CO_2密度と混合比、H_2O密度と混合比の変動を10Hzの時間分解能で計測した。粒子数密度は、0.3、0.5、0.8、1.0、3.0、5.0、10、15μmの粒径別で１時間毎に30分間、他は常時連続計測した。観測期間は11月1日～12月6日の約１か月である。システムはCRDSを除いて桟橋先端のハンドレールに固定した単管パイプを用い固定した。設置高度は平均海面から約９mである。また波しぶき計の大気試料の吸引口として漏斗を用い、直径５mmのゴム製の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　波崎海洋研究施設の観測用桟橋全景（左）と桟橋先端に設置したシステム（右）

研究結果

図２は風速、風向に加えて、渦相関法によって直接評価された運動量、顕熱、潜熱、さらには0.3~0.5μm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20ms^{-1}を超えるなど海面破砕が見込まれる荒天下でのフラックス観測を幾度かすることができた。運動量フラックスは最大−1.0Nm^{-2}を超えており風速依存の様子がみられた。顕熱と潜熱の海面フラックスも運動量と同様、風速依存の様子がみられ、観測期間の顕熱最大で100Wm^{-2}程度、潜熱は300Wm^{-2}程度と海面から大きな熱フラックスが放出されていた。波しぶき計によって計測された0.3~0.5μmの粒径における粒子の海面フラックスは常に放出方向を示して、また運動量、顕熱と潜熱と同様の変動を示す一方で、風向の変化によって放出量が変化する様子みられており、波しぶき計により計測された粒子の起源、また波浪の状況によって粒子放出量が変わる可能性があることを示唆する結果を得た。本観測では、波高や流向流速といった海象データを計測することができていないが、今後はこれらと海面フラックスとを同時に観測することにより、海面フラックスに与える要因を明らかにするためにも取り組む必要があると考えられる。

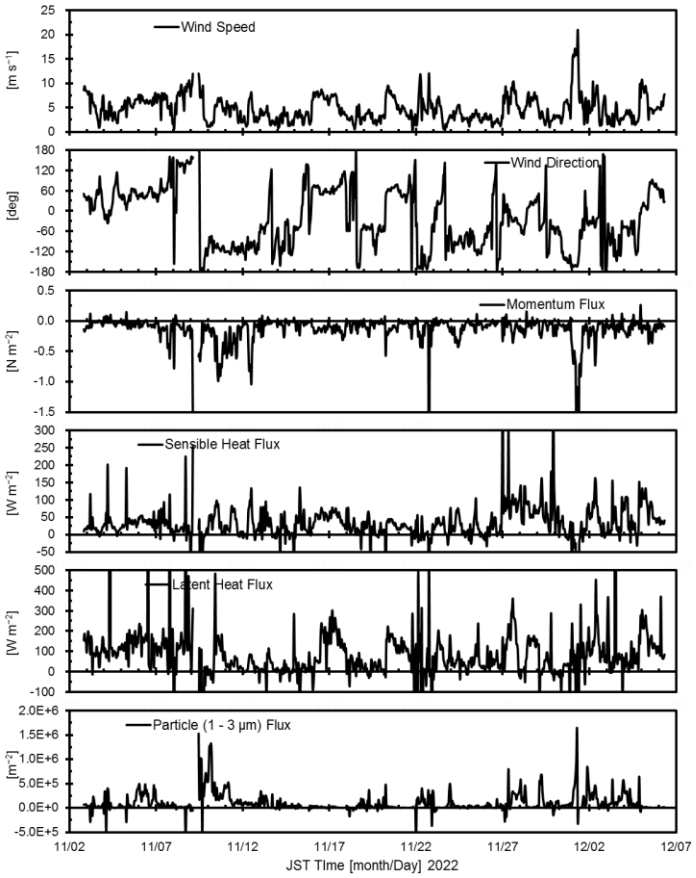


図２　風速・風向、運動量・顕熱・潜熱・粒子の海面フラックスの時系列

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」を利用して、昨年度に引き続き沿岸域において渦相関法により海塩粒子の放出量を直接評価するための試験観測を実施した。約１か月にわたる観測期間中に20ms^{-1}を超える風速を伴い海面破砕や白波の発生といった海塩粒子の放出が見込まれる状況下でのデータを昨年度に引き続き取得することができた。今年度は、これまで独立してデータ収録をしていた波しぶき計からのシリアル出力信号を分岐させ、超音波風速計やNDIRガス分析計などからの複数のシリアル出力を10Hzで高速同期させる計測システムも構築し、本観測で試験を実施した。本システムは、様々なプラットフォームに搭載することを目的としたモバイルシステムとしての活用を見据えたもので、２月には水産大学校の練習船「耕洋丸」にも試験的に導入し、外洋域における海面フラックスの観測をすることもできた。来年度は「新青丸」や「しらせ」に導入し、外洋域における海塩粒子放出量の直接観測を実施する予定である。

成果発表

岩本洋子，相木秀則，磯口治，大林由美子，近藤文義，近藤能子，西岡純：海洋学の10年展望2021：大気海洋境界，海の研究，Vol. 30，No. 5，pp. 199-225，2021
相木秀則，近藤 文義，民田 晴也：産業用ミリ波レーダーと光学式粒径別計数装置を用いた海面砕波観測システムの開発：JpGU 2021，MIS24-P02，2021

（別紙様式４－２）

西之島火山起源のエアロゾル粒子の物理・化学的特性の研究
Research on physical and chemical properties of aerosol particles originated from Nishinoshima volcano

中山智喜、長崎大学・水産・環境科学総合研究科

【研究目的】火山からはエアロゾル粒子には、火山灰に加えて、火山から放出された二酸化硫黄(SO_2)などの火山性ガスが放出されている。SO_2は、大気中での輸送中に酸化反応により硫酸(H_2SO_4)を生成し、二次粒子の生成に関与する可能性がある。これらは、大気環境や気候に及ぼす影響を及ぼしていると考えられるが、その物理化学特性や輸送中の変質過程については、観測できる機会が限られていることから、十分解明されていない。小笠原諸島に位置する西之島（北緯27.247度, 東経140.874度）では、2019年後半から2020年後半にかけて、爆発的な噴火が繰り返し発生した。本研究では、2020年8月に西之島の西方1300 kmあまりに位置する沖縄本島で観測した西之島起源のエアロゾル粒子の物理化学特性について解析した。

【研究方法】本研究では、2020年8月上旬に琉球大学において光学式粒子計数器(TSI, OPS3330)で連続観測した粒径分布データおよび、同時に捕集した総浮遊粒子状物質（TSP）の化学成分分析を行った。

【結果と考察】2020年8月4～6日に西之島起源の空気塊が沖縄本島に到達したと考えられ、大気常時監視測定局の沖縄局（琉球大学から北北東に12.1 km）において、8月5日12～13時に167 μg/m^{3}の浮遊粒子状物質(SPM, 概ねPM7に相当)および86 μg/m^{3}の微小粒子状物質(PM2.5)が観測された。これらの濃度は、8月4～6日を除く8月1～15日の平均濃度（SPM: 25.7 μg/m^3, PM2.5: 7.3 μg/m^3）に比べて6倍以上高かった。琉球大学において8月5日12～13時に測定したエアロゾルの重量基準の粒径分布は、直径0.5 μm以下と直径2.4 μmに極大値をもつ二峰性であり、それぞれ、火山起源のSO_2などから生成した二次粒子と、長距離輸送された火山灰粒子に対応すると考えられる。8月4日～5日に捕集したTSPの化学成分分析の結果、高濃度の硫酸イオンが検出された一方で、アンモニウムイオンの濃度は硫酸イオンの1/20程度であることがわかった。硫酸イオンに対するアンモニウムイオンのモル比は0.27であり、硫酸イオンがアンモニウムイオンで十分中和された場合のモル比の2に比べて極めて小さく、SO_2から生成したH_2SO_4がアンモニアにより中和されずに沖縄本島に到達したと考えられる。本研究により、火山起源のプリュームがアンモニアの発生源が少ない海上を輸送された場合、酸性度の高い微小粒子が二次生成され、風下域の大気環境に影響を及ぼしうることが示唆された。

【謝辞】捕集した粒子の化学成分分析において、長崎県環境保健研究センターの前田卓磨氏に協力頂いた。

【成果発表】T. Nakayama, R. Harada, T. Maeda, T. Arakaki, H. Yamada, F. Ikemori, K. Tsuboki, Observation of plume of Nishinoshima volcano eruption on August 2020 at Okinawa and Nagasaki, Japan, JpGU meeting 2022, May 29-June 3, 2022. (口頭発表)

（別紙様式４－２）

瀬戸内海における生物光学的要素の時空間変動
Spatiotemporal variability of bio-optical properties in the Seto-Inland Sea, Japan

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

Last year, the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) and Second-Generation Global Imager (SGLI) remote sensing reflectance (Rrs) data were used to verify a red tide algorithm proposed by Siswanto et al. (2013) to detect the bloom of dinoflagellate *Karenia mikimotoi* (*Karenia m.*) in the western part of Seto-Inland Sea (Figure 1). Figure 1, 1st column, are the maps showing the locations where the cell number of *Karenia m*. data were collected and used as a reference for verifying *Karenia m*. detection results. The red tide algorithm uses Rrs data to capture Rrs spectral shapes considered specifically belong to the water dominated by *Karenia m*. In this document, data from summer 2018 will be reported.

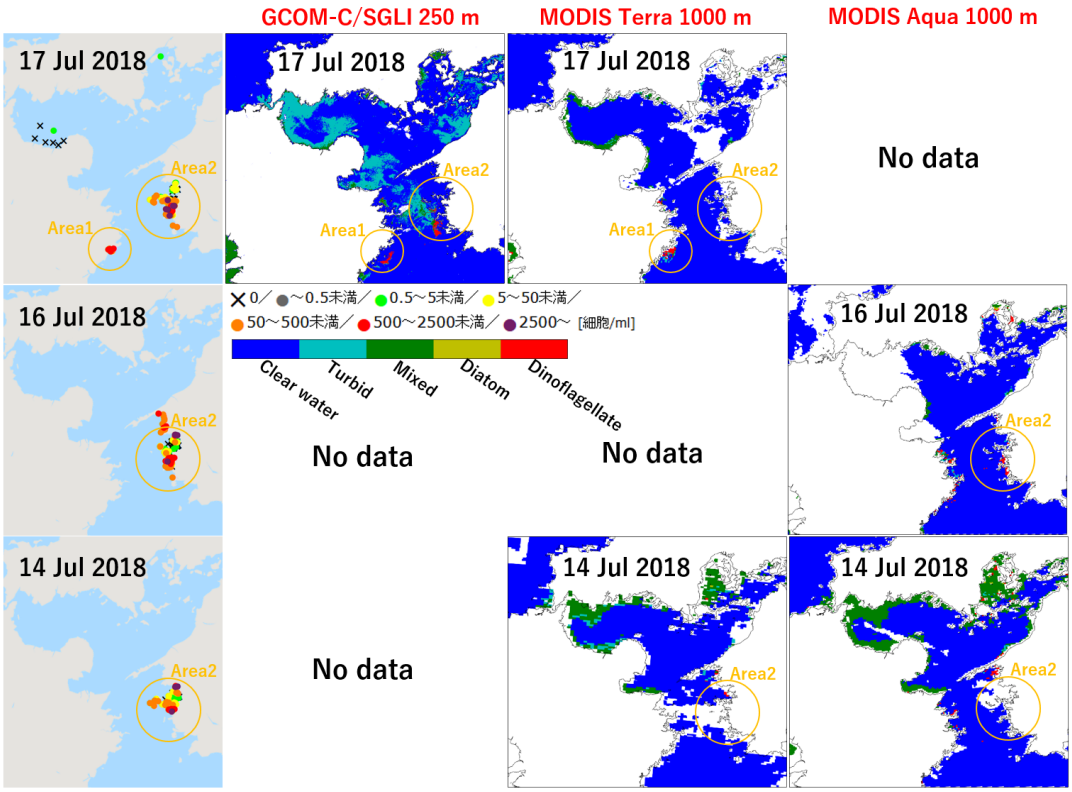


Figure 1. (First column) Maps showing locations where *Karenia m*. cell number data (colored circles) were collected on 14, 16, and 17 July 2018 (source: https://akashiwo.jp/index.php). The second, third, and fourth columns are maps showing *Karenia m*. detection results respectively based on SGLI, MODIS Terra, and MODIS Aqua data on the same dates of cell number data collections. Here, SGLI and MODIS maps have 250 m and 1000 m spatial resolutions, respectively.

As can be seen from Fig. 1, both SGLI and MODIS produced small patches of *Karenia m*. bloom but not exactly in the region where *Karenia m*. blooms were observed in situ (Fig. 1, 1st column). Especially, the bloom of *Karenia m*. in area 2 reported on 17 July 2018 was undetected by both SGLI and MODIS Terra (MODIS/T) (Fig. 1, 1st row). The SGLI and MODIS/T-derived normalized water-leaving radiance (nLw) in some stations of *Karenia m*. bloom (density > 2,500 cells/ml) were shown in Fig. 2. The MODIS/T and especially SGLI derived nLw shown in Fig. 2 have different nLw spectral shapes as those reported in Siswanto et al. (2013).

In addition, those nLw spectral shapes during Karenia m. blooms are in general similar to those during normal phytoplankton blooms dominated by diatom (data not shown). The difference between the nLw spectral shapes observed by MODIS/T and SGLI shown in Fig. 2 and those reported in Siswanto et al. (2013) makes Siswanto et al.'s (2013) *Karenia m*. algorithm fail to map the bloom on *Karenia m*. bloom on 17 July 2018. Further study with more satellite and red tide in situ match-up data is needed to develop *Karenia m*. bloom algorithms specifically applicable with SGLI and a new version of MODIS data.

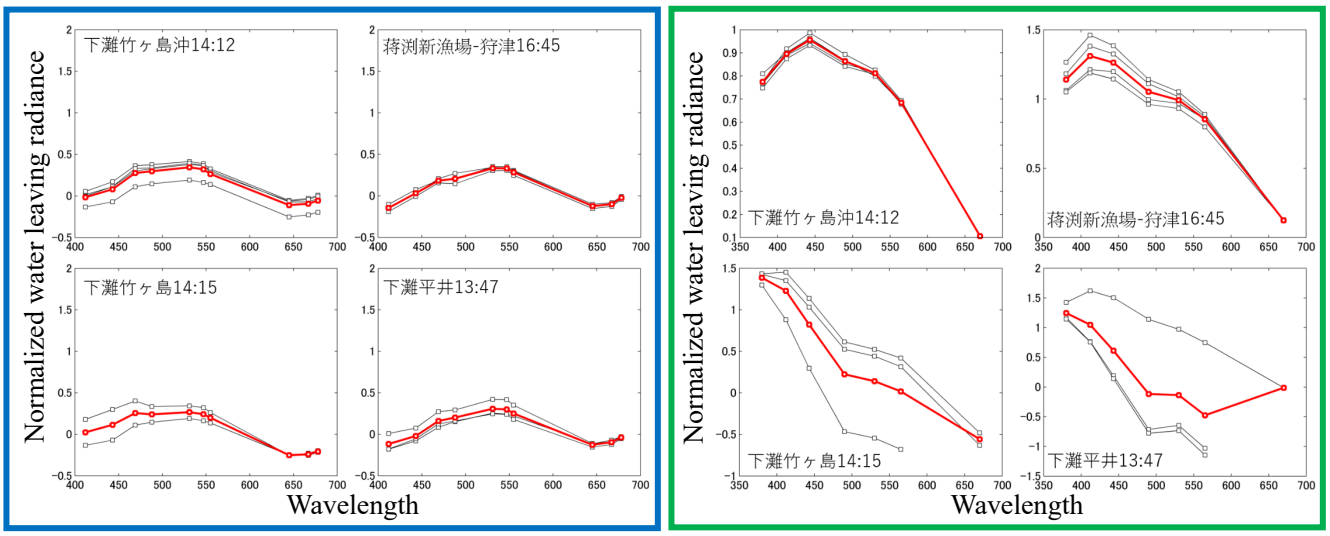


Fig. 2. The spectral shape of nLw observed by MODIS/T (inside the blue frame) and SGLI (inside the green frame) in some stations of *Karenia m*. bloom (area 2 in Fig. 1).

References:

Siswanto, E., Ishizaka, J., Tripathy, S.C., Miyamura, K. (2013). Detection of harmful algal blooms of *Karenia mikimotoi* using MODIS measurements: A case study of Seto-Inland Sea, Japan. Remote Sensing of Environment, 129, 185-196. doi:10.1016/j.rse.2012.11.003

（別紙様式４－２）

LF/VLF帯標準電波を用いた火山噴火後のD領域電離圏変動
Variations in the D-region ionosphere after volcanic eruptions using LF/VLF standard radio waves

大矢　浩代、千葉大学・大学院工学研究院

1. 研究目的

本課題の研究目的は，東南アジア VLF 帯電磁波観測ネットワーク AVON (Asia VLF Observation Network)、東北大学で運用している LF/VLF 帯標準電波観測ネットワーク OCTAVE(Observation of CondiTion of ionized Atmosphere by VLF Experiment)および名古屋大学宇宙地球環境研究所(ISEE)鹿児島観測所で観測している LF/VLF 帯標準電波のデータを用いて，火山噴火後の D 領域電離圏変動を明らかにすることである。火山噴火後の電離圏変動はこれまで，GPS－電離圏全電子数（TEC）や HF ドップラーを用いた研究がなされている[e.g., Ogawa et al., 1982; Igarashi et al., 1994; Heki, 2006; Dautermann et al., 2009]。これらは火山噴火から励起した音波あるいは大気重力波が F 領域電離圏に影響を及ぼしていることを示す報告である。しかし，火山噴火後の D 領域変動の報告はほとんどない。それは，もともと D 領域がプラズマと中性大気の衝突周波数が高く観測が難しいためであることと，下からの音波・大気重力波の振幅が D 領域高度では F 領域ほど大きくないために，電子密度変動量が非常に小さく検出が難しいためであると思われる。そこで本研究では，電子密度変動を高感度に検出できる AVON、ISEE 鹿児島観測所および東北大学の観測で得られた LF 帯標準電波 OCTAVE のデータを用いて，桜島、阿蘇山やケルート山（インドネシア）等の火山噴火後の D 領域電離圏変動を調べた。地上で観測している地震計（火山性地震）、空振計や TEC 観測データと比較することにより、火山（固体地球）～大気圏～電離圏結合解明に貢献できるものと思われる。

2. 研究方法（使用した共同利用装置・施設等を含む）

2016年度に東北大学がISEE鹿児島観測所にて新規にLF帯標準電波観測を開始し，以前は名大ISEEがJJY福島(40 kHz)の送信電波のみ受信していたが，現在ではJJY福島に加え，JJY佐賀(60 kHz)，JJI(22.2 kHz)，BPC(中国，68.5 kHz)，NWC（オーストラリア，19.8 kHz)等複数の送信局の電波を受信できるようになった。つまり，観測している伝搬パスが増え，広範囲のアジアの火山（九州、フィリピン（ピナツボ山）、ケルート山（インドネシア）等）をターゲットとすることができるため，ISEEおよび東北大学と連携し、AVONデータとあわせて共同研究を進める必要がある。2021年度は，気圧データと防災科学技術研究所F-netの地震波データもあわせて、2016年10月7日阿蘇山噴火および

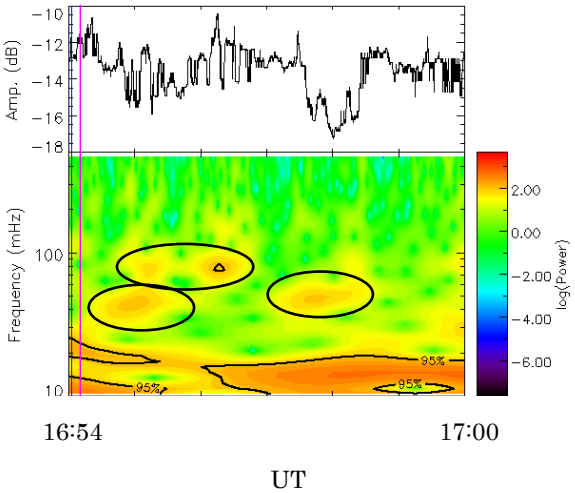


図 1　2016 年 10 月 7 日 16:54-17:00 UT の(上) JJY60kHz-SGR パスの標準電波の振幅および（下）そのウェーブレットスペクトル。

2022年1月15日トンガ噴火後の下部電離圏変動を調べた。

3. 研究結果

2016 年 10 月 7 日 16:46 UT に、阿蘇山(32.533°N、131.614°E) が噴火し、噴煙の高さは 11 km、VEI（火山爆発指数：0-8 の 9 段階）は 3 だった。使用した観測データは、福島(JJY, 40 kHz)- 篠栗(SGR) パス、佐賀(JJY, 60 kHz)-SGR パスおよび中国(BPC , 68.5 kHz) -SGR パスのデータである。JJY60kHz-SGR パスの振幅と、そのウェーブレットスペクトルを図 1 に示す。青の線が阿蘇山の火口から励起された音波の JJY60kHz-SGR パス上の下部電離圏最短到達時刻を示す。ピンクの線が音波の最長到達時刻を示す。この音波の到達時刻後に、50-80 mHz の周波数の変動が見られた。また浮鞭（高知）でのインフラサウンドデータでも 2 種類の変動が音波の到達時刻に見られ、その周波数が約 100 mHz と 80-300 mHz だった（図 2）。阿蘇山近くの F-net 竹田（大分県）サイトで観測された地震波の上下動速度成分にも 2 種類の変動が見られ、その変動の周波数は 80-500 mHz だった。地震波とインフラサウンドデータから、この 2 種類の変動の伝搬速度は 280 m/s 260 m/s であり、噴火により励起された音波により下部電離圏の電子密度が変動したことが考えられる。

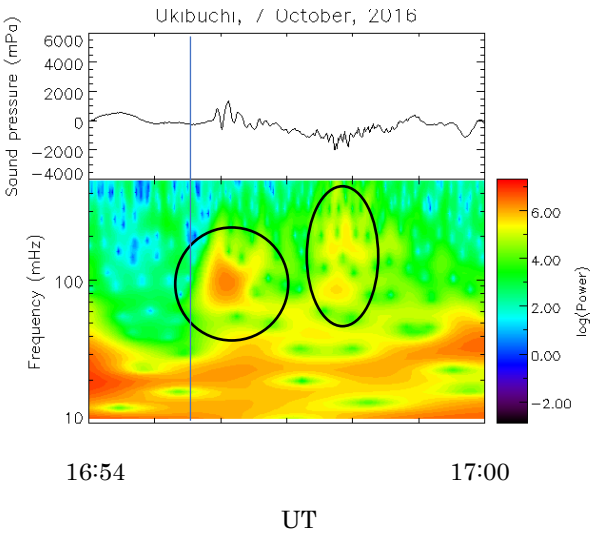


図 2 2016 年 10 月 7 日 16:54-17:00 UT の(上) 浮鞭（高知）でのインフラサウンド波形および（下）そのウェーブレットスペクトル。

2022 年 1 月 15 日 04:10 UT 頃に発生したトンガ噴火に関しては、1 月 15 日 08:00 UT 頃から千葉大における大気電場が上昇していた。この変化がグローバルサーキットを介した下部電離圏変動に対応しているかどうかを調べるため、鹿児島における標準電波データを今後解析し、ISEE 関連研究集会や学会等で発表する予定である。

成果発表

[1] Ohya, H., Y. Orito, F. Tsuchiya, M. Yamamoto, H. Nakata, and A. Yoshikawa, D-region ionospheric effects for 2016 eruptions of Mt. Aso using LF transmitter signals, JpGU2021, Online, May 30-June 6, 2021.

[2] Ohya, H., Y. Orito, F. Tsuchiya, M. Yamamoto, H. Nakata, and A. Yoshikawa, RESPONSE OF THE D-REGION IONOSPHERE TO 2016 VOLCANIC ERUPTIONS OF MT. ASO USING LF TRANSMITTER SIGNALS, AOGS2021, Online, 1-6 August, 2021.

[3] Ohya, H., Y. Orito, F. Tsuchiya, M. Yamamoto, H. Nakata, and A. Yoshikawa, Ionospheric effects of the 2016 Mt. Aso volcanic eruption based on subionospheric LF observations, IAGA-IASPEI2021, Online, 21-27 August, 2021.

[4] 大矢浩代、土屋史紀、J. Chum、高村民雄、塩川和夫、2022 年 1 月 15 日トンガ噴火に関連した大気電場および VLF/LF 帯標準電波の変動について 、2021 年度第 2 回 STE 現象報告会、オンライン、2022 年 3 月 8 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/HFC類の経年変化の解析
Trend analysis of HCFCs and HFCs 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HFC-23の解析方法を世界に先駆けて開発し、その手法を北海道陸別及び昭和基地におけるFTIR観測データに適応してその経年変化を求めた。またHCFC-22についても解析し、HFC-23との相関について解析を行った。

2. FTIRスペクトルからのHFC-23の解析

HFC-23は、特定フロンの代替物質であるHCFC-22の製造過程で数%の割合で放出される副生産物である。CO_2の12,690倍の温室効果を持つ長寿命物質である。大気中には2020年段階で約30 pptvしか存在しない微量成分であり、従来はGC/MSなどの分析器でないと測定することができなかった。本研究では1150 cm^{-1}付近の中間赤外領域にあるHFC-23の吸収線をFTIR分光データから解析することにより、HFC-23の気柱全量の導出を行った。HFC-23の吸収パラメータは、Harrison (2013, JQSRT)らの実験データをもとに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。解析対象マイクロウィンドウ内に弱い吸収線を持つH_2O, HDO, CH_4に関しては、それぞれ825, 1209, 1202 cm^{-1}付近の別の領域で解いたプロファイルを用い、CH_4に関しては値も固定して解析を行った。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）、昭和基地（青）におけるHFC-23の経年変化を、AGAGEのCape Grim（赤）、Trinidad Head（橙）の値と比較してプロットしている。FTIRの値の方が、数%低く導出されているが、増加トレンドは同様の値が求められていることがわかる。

3. FTIRスペクトルからのHCFC-22の解析

HFC-23との相関を解析するため、FTIR分光データからHCFC-22の解析も行った。解析には、Prognon et al. (2019, ACP)と同じ波数領域（828.75-829.40 cm^{-1}）を用いた。HFC-23の解析の時と同じく、Tikhonov regularizationの手法を用い、αの値としては50を用いた。図2にこのようにしてFTIR分光データから得られた陸別（緑）、昭和基地（青）におけるHFC-23の経年変化を、AGAGEのMace Head（黒）、Cape Grim（灰色）の値と比較してプロットしている。陸別の値はMace Headの値と、昭和基地の値はCape Grimの値とよく一致しており、南北両半球の増加傾向の遅延（数年）を表しているものと考えられる。

4. HFC-23とHCFC-22の相関解析

今回解析されたデータのうち、陸別におけるHFC-23とHCFC-22のデータには、中国国

内におけるHCFC-22の製造に伴う放出が相当の割合で含まれていると考えられる。そこで、1998-2009年の陸別での観測があった日時から10日間の後方粒跡線解析を行い、空気塊が中国由来であるデータに対して、HFC-23とHCFC-22の相関を取ってみた。その結果、2000年のHFC-23とHCFC-22の観測値の間に、有意な正の相関関係が得られた。この相関の傾きは0.12±0.04であり、相関係数R=0.45, P=7.35e-03であった。これから見積もられたHFC-23の排出量は0.83±0.28 Gg/yであり、この値はSimmonds et al. (2018, ACP)の報告値(2.83 Gg/y)の約1/3の値であった。

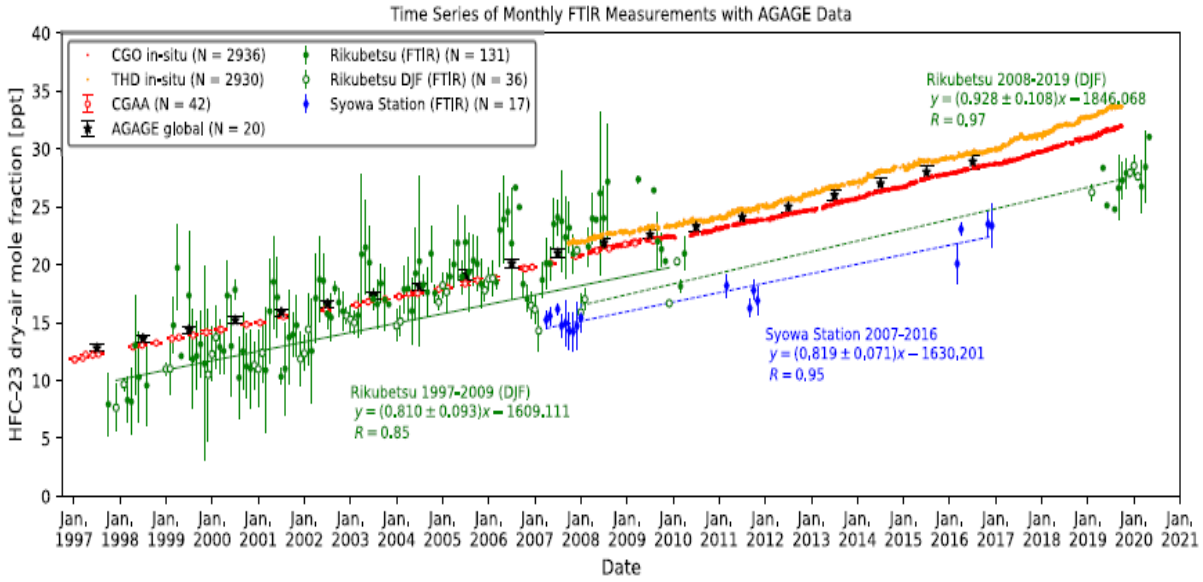


図1　FTIRとAGAGEによるHFC-23の経年トレンド

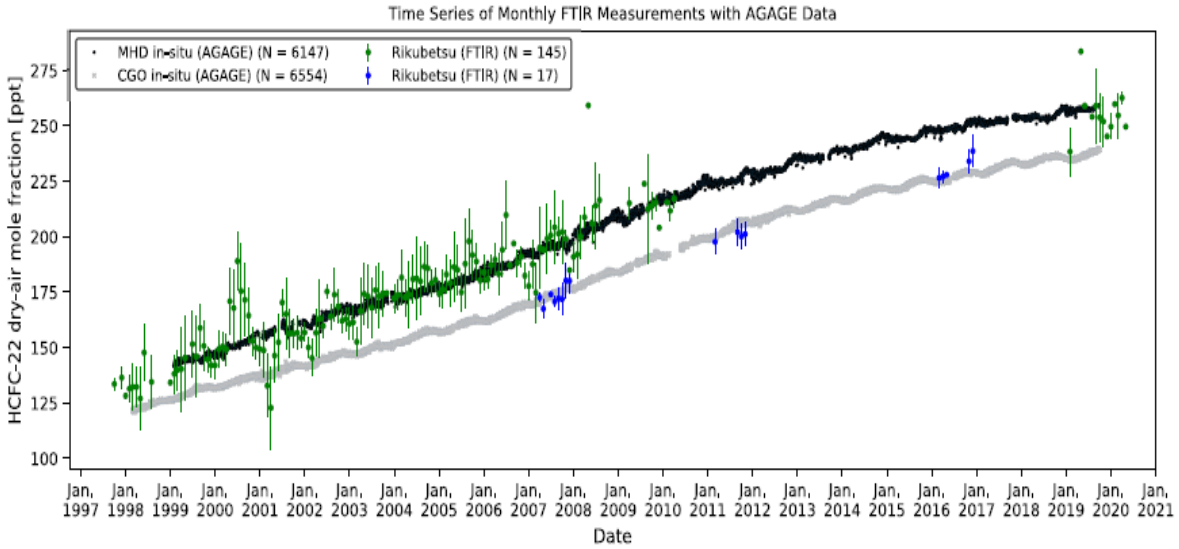


図2　FTIRとAGAGEによるHCFC-22の経年トレンド

（別紙様式４－２）

屋久島の山岳渓流水中の窒素同位体比を用いた硝酸イオンの起源推定

篠塚　賢一
福岡工業大学
情報システム工学科

新型コロナウイルスの影響で中止

（別紙様式４－２）

フーリエ変換型分光計で観測された大気微量成分高度分布の経年変化
Trend of the profile of the atmospheric trace species observed with Fourier transform spectrometer

村田　功、東北大学・大学院環境科学研究科

東北大学では国立環境研究所との共同研究として、フーリエ変換型分光計(FTIR)を用いた赤外分光観測により1998年からつくばにおいて大気中の様々な微量成分を観測している。また、名古屋大学宇宙地球環境研究所とともに国際的な観測ネットワークNDACC/IRWG (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change / Infrared Working Group)に参加し協力して研究を進めている。本研究では、これまでの全量の解析に加え高度分布の経年変化についても解析を進めた。我々のFTIRは分解能が0.0035cm^{-1}と非常に高いため、吸収線の圧力幅による広がりからインバージョン法を用いて高度分布を導出可能である。ただし、成分によって得られる高度情報は異なる。今年は新たにNO_2、HNO_3、N_2Oの解析を進めた。

NO_2は主に成層圏に分布する活性な窒素酸化物のひとつで、オゾン破壊等の反応に関わる重要な成分である。また、都市域では大気汚染成分として地表付近の濃度も高くなり、光化学スモッグの要因となる。図1につくばにおける2つの高度領域での2012－2020年のNO_2の経年変化を示す。地上赤外分光ではNO_2に関しては主に成層圏成分（上図）に感度があり対流圏成分（下図）に対する感度は低いため対流圏成分についてはばらつきが大きいが、全体としては特に大きな経年変化は見られず、季節変化については成層圏と対流圏で位相が異なることがわかる。このデータは現在ヨーロッパの共同研究者に提供しTROPOMI衛星の検証に使われている。

HNO_3は窒素酸化物のリザーバー分子であり対流圏では酸性雨等の原因物質のひとつであるが、これによって大気中からは除去されるため対流圏での濃度は一般に低くなる。図2にHNO_3カラム全量の2018年6月-2021年4月の経年変化を示す。これを見ると2019年1－5月には日によって値が二極分化したように見える。これまでに解析したO_3, HCl, HFでも同様の傾向が見えることから、2019年は極渦の変形によって高緯度性の空気塊と低緯度性

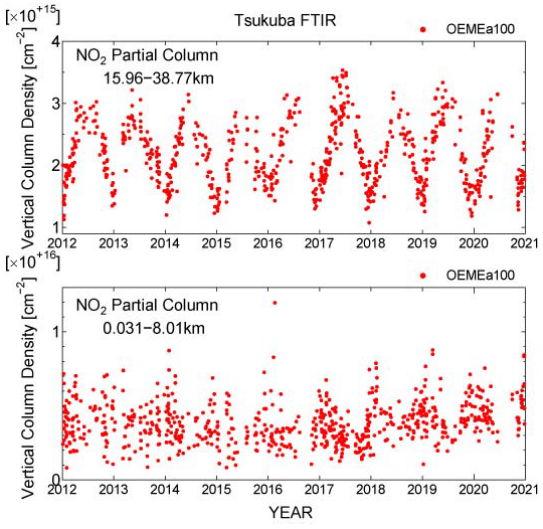


図 1. 2012－2020 年の NO_2 の経年変化

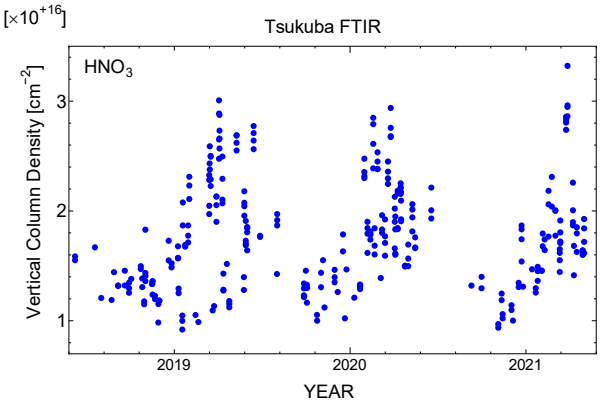


図 2. HNO_3 カラム全量の 2018 年 6 月-2021 年 4 月の経年変化

の空気塊が交互に日本上空に入ってきたものを観測しているためと考えられる。2020年および2021年はこのような二極分化は見られず、極渦が安定していたためつくばでは変動が少なかったと考えられる。

N_2Oは温室効果気体として知られており、土壌中の微生物から排出され寿命が長いため対流圏ではかなり一様に分布する。図3に2つの高度領域での2001－2021年のN_2Oの経年変化を示す。ここでは8kmを境に主に対流圏となる下層と主に成層圏となる上層に分けているが、いずれの高度領域でも全期間の平均としては0.2%/年の増加傾向が見られ、2010年以降に限るとさらに大きな増加率となっている。これはIPCC第6次評価報告書に報告されている結果と一致し、N_2Oに関しては近年増加率が上昇していることが我々の観測でも確認された。

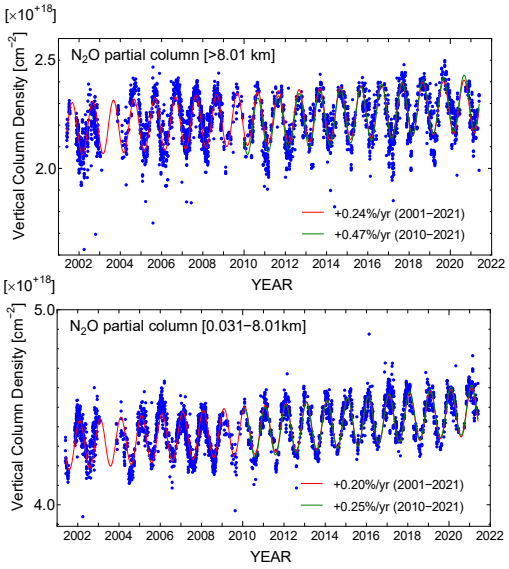


図 3. 2 つの高度領域での 2001－2021 年の N_2O の経年変化

このほか、昨年度AMT誌に投稿したHFC-23の解析手法についての論文が無事出版された。

＜成果論文＞

Takeda, M., Nakajima, H., Murata, I., Nagahama, T., Morino, I., Toon, G. C., Weiss, R. F., Mühle, J., Krummel, P. B., Fraser, P. J., and Wang, H.-J.: First ground-based Fourier transform infrared (FTIR) spectrometer observations of HFC-23 at Rikubetsu, Japan, and Syowa Station, Antarctica, *Atmos. Meas. Tech., 14*, 5955–5976, https://doi.org/10.5194/amt-14-5955-2021, 2021.

（別紙様式４－２）

持続的地球環境のための高校生のできる課題

Environmental and Sustainable Development Education on Earth Sciences for High School Students

河野光彦，関西学院千里国際キャンパス
鈴木ゆみ，関西学院千里国際キャンパス
齊藤誠一，神戸大学大学院人間発達環境学研究科
水野 亮，名古屋大学宇宙地球環境研究所

【はじめに】

2020 年から段階的に始まっている新しい学習指導要領では，「未知の状況にも対応できる思考力・判断力・表現力」を獲得できるよう「総合的な探究」という観点が，高校の教育カリキュラムに組み込まれた。本研究では，高校生の地球環境学習における実証的なデータに基づいた学習方法や探究課題の開発を目的とした。より教育的な探究課題として適切なのは，生徒自身が抱えている問題から思考を進めて，さらにグローバルな問題にまでアプローチしてゆくような経験ができるものを考えた。

【研究方法】

COVID-19 のパンデミックによって，生徒の課外活動が全くできない状況が 11 月まで続き，期待していた研究所訪問もできずに終わった。そのため，活動制限が続く中でも生徒たち自身が主体的にできる課題を 12 月より始めた。具体的には，温室効果ガス観測衛星による観測データの解析を目標として，週 1 時間の活動を行った。NASA の温室効果ガス観測衛星 Orbiting Carbon Observatory-2 (OCO-2) や国際宇宙ステーションにある Orbiting Carbon Observatory-3 (OCO-3) 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できないかと考えたからである。

【結果と考察】

集まった生徒たちに，英文で書かれている User Guide for OCO-2 and OCO-3 を輪読させてようとしたところ，生徒たちは自主的に役割を決め担当箇所を解説していった。ただ，この活動は具体的な探究活動とは程遠いことから，生徒たちの学習意欲が続かなくなっていった。そのため，実際にデータにアクセスして探究活動をしている実感を持てるように仕向けて行った。これまでの活動時間は短いものの，生徒たちの主体的な活動によって，NASA のデータにアクセスするためのユーザー登録と，ダウンロードのための解説書の解読から，生徒自身のデバイスに実際ダウンロードまでできるようになった。一方，データ表示ソフトウェア Panoply のための JAVA 登録やインストールなども生徒自身が積極的にできるようになっていった。Panoply によってデータをプロットし表示できるようになったことから，次の段階はデータの分析方法の学習と大量データのダウンロードと考えている。このように，本研究から探究活動を進めることによって，生徒の積極性や主体性が喚起されてゆく様子が顕著に表れてくるのだということがわかった。

（別紙様式１－２）

「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の解析

Study of perpendicular heating of supra-thermal ions in the inner magnetosphere

浅村和史、宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所

本年度の主たる成果を以下に示す。

1) あらせ衛星の低エネルギーイオン観測器（LEPi)、磁場観測器、波動観測器のデータを用いて、低エネルギーイオンの磁力線垂直方向加熱、磁気音波(MSW)、電磁イオンサイクロトロン(EMIC)波が同時に観測されたイベントについて、波動粒子相互作用解析を行った。その結果、磁気音波から低エネルギーイオン(~100eV)へのエネルギー輸送、低エネルギーイオンから EMIC 波へのエネルギー輸送が同定された。MSW は10keV 帯のイオンの速度分布関数におけるリング分布で励起されると考えられている。本研究は10keV 帯のイオンから MSW、~100eV 帯のイオンを介して EMIC へと至るエネルギー輸送経路の存在を実証的に示したものであり、磁気圏における領域間エネルギー輸送の一端を明らかにした（*1,2)。

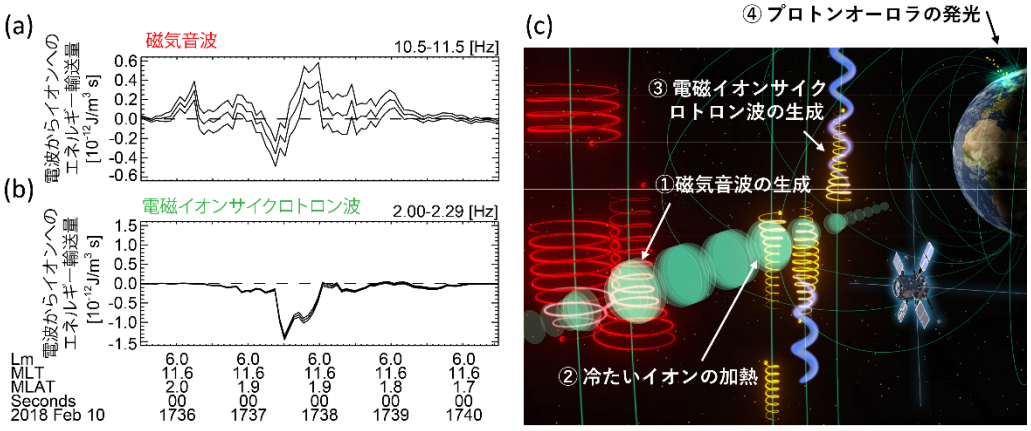


図: 本研究で解析した観測イベントについて、プラズマ波動から冷エネルギーイオンに渡される正味のエネルギー流量を示したプロットと模式図。(a) MSW の場合、(b) EMIC 波の場合。プロットされている３本の線は計算値と信頼区間を表す。(c)本研究で明らかになったジオスペースでのエネルギーの流れの模式図。

2) あらせ衛星 LEPi の飛行時間分析データを用いた重イオン、分子イオンフラックスの導出手法の開発を行い、分子イオンフラックスの増減と地磁気指数との相関関係を導いた。本研究成果は、名古屋大学工学部学生の卒業論文としてまとめられた。

(*1) Asamura, K. et al., Cross-energy couplings from magnetosonic waves to electromagnetic ion cyclotron waves through cold ion heating inside the plasmasphere, Phys. Rev. Lett., doi:10.1103/PhysRevLett.127.245101, 2021.

(*2) https://www.isas.jaxa.jp/topics/002885.html (ウェブリリース)

（別紙様式４－２）

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
Three-dimensional monitoring of forest space using images taken aerial and within 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

日本の森林の約4割を占める人工林の多くが、現在成熟期を迎えている。適切な森林管理及び利用には正確な森林の情報が必要であるが、森林情報の不正確性はこれまでも多く指摘されてきたように、社会的な問題となっている。しかし、広大な森林域の情報をマンパワーのみにより計測することは不可能であるため、森林を迅速に観測・モニタリングする方法としてリモートセンシング技術が急速に実利用されつつある。特に、適切な管理が行われて来なかった森林の公益的機能回復・増進を目的とした間伐が、日本各地で行われているが、その多くに国や各県等の補助金が利用されている。そのため、適切な間伐実施が行われているか、またその成果としての林内下層植生等の状況把握等が今後必要不可欠となる。

一方、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、上空からの撮影だけでは森林内における樹冠下の被圧木や下層植生等を把握することは不可能である。以上のことから、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愛知県北設楽郡設楽町内の民有林内の間伐地を対象として、森林内におけるケーブルカメラ写真測量の撮影方法を確立させ、森林施業における間伐検査への適用可能性を検討する。

研究方法

愛知県北設楽郡設楽町内の民有林（以下、「設楽サイト」とする）（図2）及び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（以下、「稲武サイト」とする）（図5）を試験地とし、各試験地の間伐前後にケーブルカメラによる動画撮影を行った。ケーブルカメラには動力付き滑車としてwiral LITE（Wiral Technologies AS社製、ノルウェー）、カメラにはアクションカメラのGoPro HERO 7 Black（GoPro社製、アメリカ）を使用し、以下の手順で動画を取得した。

① 撮影範囲（プロット）を決定し、撮影範囲内のいくつかの立木に検証データ取得に利用した地上レーザー計測で取得される立木位置との対応をとりやすくするために反射材を巻き付けた。

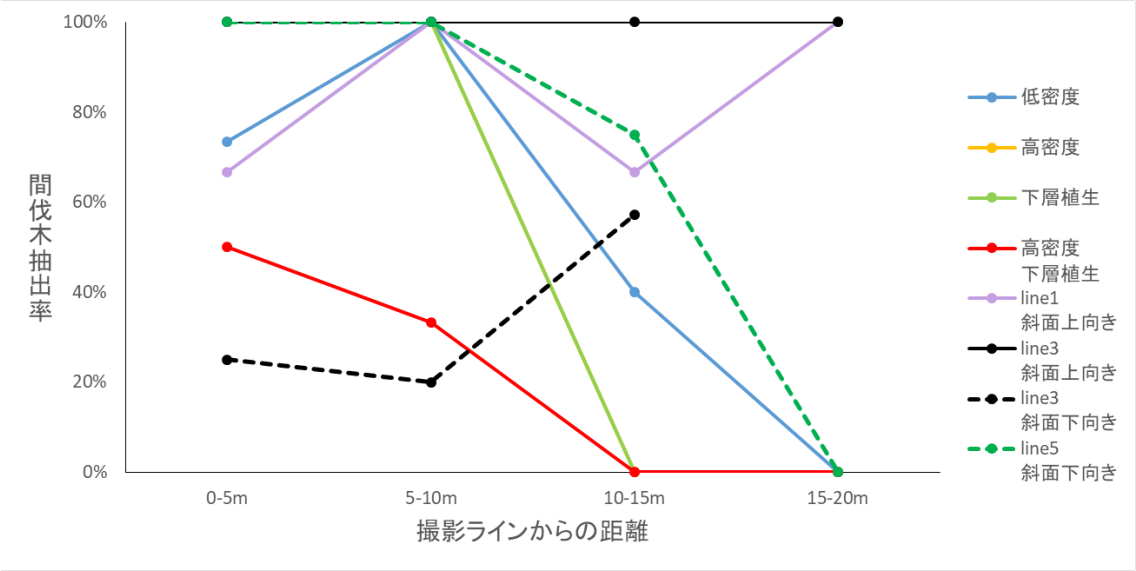
② 撮影範囲が撮影可能かつケーブルカメラが走行可能な空間のある、互いに視認できる2立木を支柱木として定めた。ただし、視差のある画像を取得するため、支柱木間の距離は少なくとも10 m程度離れるようにした。

③ 支柱木にワイヤーを取り付けるためのバンドを巻き（樹皮を傷つけないようにするため）、支柱木間にワイヤーを張り、たるまないように強く引っ張って固定した。このワイヤーを設置した位置を以後「撮影ライン」と呼ぶ。

④　設置したワイヤーにwiral LITEを取り付け、撮影を行った。

撮影された動画を静止画に変換し、Metashape(Agisoft社製、ロシア)によりSfM処理を行い、3次元点群を生成し、さらに3次元点群からDTM（Digital Terrain Model）を生成し、胸高位置（地上1.2m）近辺の点群を切り出した。最後に、間伐前後の胸高位置近辺の点群の比較により、間伐木の目視検出を行い、間伐木検出精度を検討した。

研 究 結 果 ・ 考 察



ケーブルカメラを用いた間伐木抽出においては、高密度下層植生区及び斜面区の斜面下向き撮影区を除き、撮影ラインからの距離が 0～10 m の範囲であれば高精度な間伐木抽出が可能であった。したがって、撮影ラインを 10 m 間隔で設定をし、撮影を行うことで高精度な間伐検査が実施可能と考えられた。特に、同じ斜面区でも斜面下向き撮影と上向き撮影で間伐木検出精度が大きく異なり、斜面上向き撮影では 20m 程度まで高い間伐木検出精度が維持されていた。したがって、斜面地においては地形に沿って斜面上向きに動画撮影を行うことが、高精度な間伐木検出に有効な手法であることが示唆された。

成 果 発 表

大槻峻介　・山本一清、Deep Learningによるヒノキ植栽木検出手法の検討、第 11 回中部森林学会大会、オンライン、2021年 11 月 14 日

西山明慶　・山本一清、オルソ画像による竹林の抽出可能性の検討討、第 11 回中部森林学会大会、オンライン、2021年 11 月 14 日

今枝 大・山本一清、ケーブルカメラを用いた森林計測 ―間伐木の抽出精度―、第133回日本森林学会大会、オンライン、2022年3月27日～29日

（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

ジオスペース最大規模の変動現象である宇宙嵐(geospace 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い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ている。

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は、内部磁気圏における電磁場と粒子の変動を理解することが不可欠であるが、申請者らはこれまでに、両者を自己無撞着に解くことが可能な環電流モデル(GEMSIS-RC)を開発してきた[Amano et al., 2011]。この環電流モデルの特徴は、世界で初めて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、この新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。

本研究計画では本年度、２つの課題に焦点をしぼって研究を進めた。１つめの課題は、内部磁気圏での粒子と電磁場を自己無撞着に記述可能なGEMSIS-RCモデルの特徴を活かしたもので、計画第3年度である本年度は、電離圏磁気圏相互作用をモデルに組み込むため、GEMSIS-POTという電離圏電場ポテンシャルを全球で解くモデルとGEMSIS-RCモデルの結合計算のための開発を進めた。この開発により、より現実的な形で磁気圏尾部からのイオン入射をシミュレートすることが可能となり、２つの特徴的なULF波動が励起されることなどが明らかとなっている。

２つ目の課題は、電離圏から内部磁気圏へのイオン供給課題をあらせ衛星と地上レーダー観測に基づいて研究し、その結果を、上述の環電流モデルの電離圏側境界条件の改善に役立てるというものである。昨年度に得た、EISCATレーダー観測局所的に強まった電場に起因するイオン加熱が分子イオンが存在する低高度(高度300km以下)からのイオン上昇流に着目し、約20年間のEISCATによる電離圏の長期観測データを用いて磁気嵐のドライバータイプ別(CMEもしくはCIR)の電離圏での低高度アップフロー現象の出現条件に着目して、統計解析を行った。その結果、磁気嵐の規模によって、低高度からのイオン上昇流を引き起こすメカニズムが異なることなどが明らかとなった。

Super-Kamiokandeを用いた太陽フレア由来のニュートリノ探索
Search for neutrinos from solar flare with Super-Kamiokande

中野 佑樹、神戸大学大学院 理学研究科

研究の背景と目的

太陽フレアは太陽表面で発生する爆発現象である。太陽フレアでは磁気リコネクションにより、磁気エネルギーが熱エネルギーや運動エネルギーに変換すると考えられている。太陽フレアに伴う粒子の加速機構は未だに解明されていないため、その時間スケールや空間分布が研究対象となっている。

太陽フレアによって陽子が加速され、300 MeVを超える運動エネルギーを持つと、太陽周辺の原子核との衝突によりパイオンが生成する。このうち、荷電パイオンが崩壊すると、ニュートリノが生成され、その一部が地球に到来する。したがって、ニュートリノ検出器を用いて、太陽フレア発生時刻周辺のニュートリノ事象を探索することで、陽子の加速機構に関する情報が得られる。

太陽フレアに伴うニュートリノ生成は1980年代から議論が始まり、Homestake実験 [1]、SNO 実験 [2]、Kamiokande 実験 [3] によりニュートリノ探索が実施されてきた。しかし、太陽フレア由来のニュートリノは、大気ニュートリノと生成過程が同じであり、エネルギーも重複するため、未だに有意な観測例は報告されていない。現在、いくつかのグループが太陽フレア由来のニュートリノ生成率に関するモデル構築を実施しており、Super-Kamiokande 実験やIceCube 実験での観測可能性が議論されている [4]。このような背景から、本研究ではSuper-Kamiokande 実験 [5] を用いて太陽フレア由来のニュートリノ探索に関する研究を実施した。

研究の手法

前述のように、太陽フレア由来のニュートリノは、大気ニュートリノとエネルギーが重複する。そのため、ニュートリノ検出器では原理的に両者を区別できない。このような問題点を解決するため、我々は太陽フレア発生時にニュートリノ探索用の時間幅を設定することで、大気ニュートリノによる背景事象を抑え、signal/noise比を向上させるという手法を新たに提案した。

名古屋大学宇宙地球環境研究所結合データサイエンスセンターのCIDASシステムを用いて、RHESSI衛星、GOES衛星の観測データを解析した。具体的には、Soft X線 (GOES)、Hard X線 (RHESSI)、Line γ線 (RHESSI)の光度曲線から、荷電粒子の加速や原子核反応が起こっている時刻を抽出し、ニュートリノ生成時刻を推定した。また、同時に外部の研究者と協力して、GEOTAIL衛星の観測データも同様の物理解析を実施した。 この研究により、X5.0を超える大きな太陽フレアに関して、Soft X線、Hard X線、Line γ線の光度曲線から、ニュートリノの探索時間幅はそれぞれ4,178秒、944秒、1,586秒と決定した。また、Soft X線の光度曲線を微分し電子の加速時刻を抽出する手法では、時間探索幅は700秒と決定した。GEOTAIL衛星によるHard X線 (+Soft γ線)の観測頻度から、時間探索幅は776秒と決定した。ここまでの研究成果を2019年度までに得ており、2020年にSolar Physics誌にて公表した。

その後、2020年度は、上記の研究を応用して、太陽の側面や裏側で発生した太陽フレアに関する時間探索幅の決定手法に関する研究を実施した。太陽の裏側では、監視衛星が限られるため、太陽フレアの直接的な観測は困難であるが、SOHO衛星(LASCO)によるCoronal mass ejections (CMEs)の観測データを利用した。CMEsは太陽フレアに伴って発生した例が複数回あるため、我々の表側で見積もった時間探索幅 (Soft X線の4,178秒)の範囲をCMEsの観測時刻周辺の時間に関して応用した。また、CMEsによるプラズマの放出速度は、CMEsの放出規模を測る指標となる。本研究では放出速度が2000 km/sを超える10回のCMEsを対象として選択した。

研究の成果

2020年度は上記の探索時間幅の中にSuper-Kamiokande検出器で観測事象が存在するかを調べた。

太陽の表側で発生した太陽フレアに関して、SK実験のデータ解析を実施した結果、2003年11月4日 (X 28.0)と2017年9月6日 (X 9.4)に発生した太陽フレアに関して、ニュートリノ事象候補が観測されていた。1つ目の候補はエネルギー178.3 MeVの2 rings electron-like 事象、2つ目の候補はエネルギー1.2 GeVの1 ring muon-like 事象である。

一方で、太陽の裏側で発生した太陽フレアに関してもデータ解析を実施し、4回の太陽フレアで計6個のニュートリノ候補事象を観測した。探索時間幅 (7238秒)におけるバックグラウンドの観測頻度は0.62事象であるため、太陽フレア由来の優位な信号を得ることはできなかった。

2021年度はこれまでに解析していたデータから、太陽フレア由来のニュートリノ流束量を評価した。まず、太陽フレア由来のニュートリノに関して、100 MeV未満で特別なエネルギー分布を仮定しない場合の流束量を評価したところ、図1の結果を得た。本研究では、これまでのニュートリノ実験で得られていた結果よりも1桁以上厳しい制限を得た。

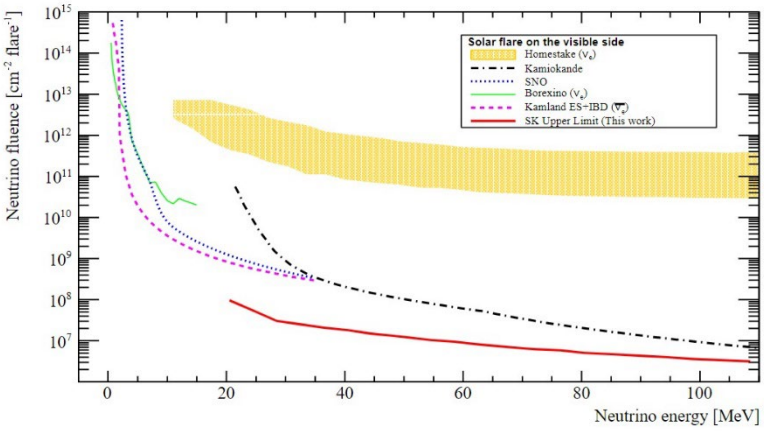


図 1: ニュートリノ流束量のエネルギー依存性。赤色の線が、本研究で得られた流束量の上限値である。

次に、太陽フレア由来のニュートリノに関する物理モデル3種類[4, 6, 7,]に対して、エネルギー分布を仮定した場合のニュートリノ流束量を評価し、図2の結果を得た。この結果、[4]のモデルを90%で棄却した。一方で、[6, 7]のモデルに関しては、次世代の大型ニュートリノ検出器での検証が必要であることが分かった。これらの研究成果に関する論文を2022年に公表予定である。

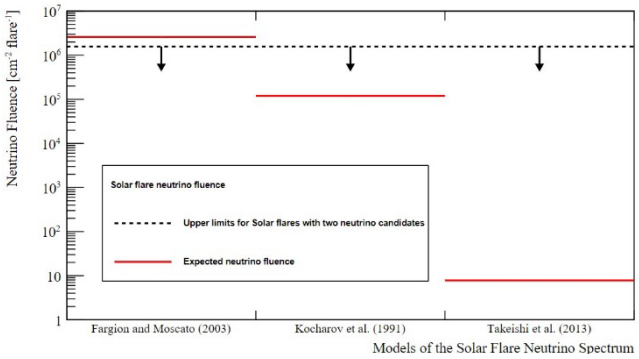


図 2: ニュートリノのエネルギー分布を仮定した場合の太陽フレア由来のニュートリノ流束量の上限値。黒線が本研究で得たニュートリノ流束量の 90%上限値、赤線が物理モデルから予想される流束量。

参考文献: [1] R. Davis, Prog. Part. Nucl. Phys. 32 (1994) 13-32. [2] B. Aharmim, et al., Astropart.Phys. 5 5 (2014) 1-7. [3] K.S. Hirata, et al., Phys. Rev. Lett. 61 (1988) 2653. [4] D. Fargion, et al., Astrophy. 3 (2 003) 75-86. [5] Y. Fukuda, et al., Nucl. Instrum. Meth. A 501 (2003) 418-462. [6] Kocharov, et al., , NCim C, 14 (1991) 417. [7] Takeishi, et al., ICRC (2013) proceedings, 33, 3656.

VLF/LF帯標準電波を用いた中・低緯度下部電離圏擾乱の観測
Perturbations in the lower ionosphere observed by VLF/LF radio wave propagation

土屋史紀　東北大学大学院理学研究科

2006年3月より陸別観測所、2016年12月より鹿児島観測所にて、VLF/LF帯標準電波観測を用いた中・低緯度下部電離圏擾乱の連続観測を実施している。VLF/LF帯の電波は地表と下部電離圏を導波管モードによって長距離伝搬し、伝搬経路上での下部電離圏擾乱を高時間分解能でモニタリングすることができる。中間圏・下部熱圏での電離現象として、太陽フレアやSEPにより伴い飛来する太陽X線・高エネルギー粒子、雷起源のホイッスラー波や磁気圏擾乱に伴う放射線帯電子降下、雷放電により雷雲の上空に発生する準静電場や電波パルスによる電離度の変調、重力波・音波により生じる下部熱圏電離度の変調、銀河系外のガンマ線源から発生するガンマ線バーストなどが観測対象となるが、これらの下部電離圏電離度の変調要因は発生の事前予測が容易ではないため、高品質な連続観測が必要となる。

2021年度は連続観測を実施するのための保守作業として陸別、鹿児島両観測所の観測用PCの交換とアンテナ修理を行った他、観測システムの較正とノイズ環境調査を行い、観測装置の健全性を確認した(図1)。陸別、鹿児島観測所での観測に加え、東北大学蔵王観測所、九州大学笹栗観測所、福島県田村市の星の村天文台で過去に実施した観測を合わせたネットワーク観測データを用いた下部電離圏擾乱の研究を行い、主に千葉大学のグループによって、火球や地震が励起した音波による電子密度擾乱の事例解析、太陽フレアX線により生じる下部電離圏電離の空間非一様性の研究、長期間の蓄積データを用いた下部電離圏の季節変動及びその年変動の解析が進められた。

図１：ISEE陸別観測所(左)と鹿児島観測所(右)に設置されている垂直電界アンテナと較正の様子。

（別紙様式４－２）

地球磁気圏尾部における斜め伝搬ホイッスラー波動と電子の相互作用
Interaction between oblique whistler waves and electrons at Earth's magnetotail

大塚史子、九州大学・大学院総合理工学研究院

【背景・目的】

地球磁気圏尾部では、磁気再結合やその後の磁場の双極化に伴い、温度異方性を持った電子が生成されると共に、ホイッスラー波動の励起も観測されている。本研究では、2008 年 2 月 19 日に THEMIS 衛星が観測した磁場双極子化直後の波動・粒子データにもとづき数値シミュレーションを行い、磁気圏尾部の双極子化に伴うホイッスラー波動と電子の相互作用のメカニズムを解明することを目的としている。

双極子磁場のもとでは、波動・粒子相互作用として波動と電子旋回運動との共鳴に加え、波動と電子バウンス運動との共鳴が起こり得る。共鳴条件はそれぞれ以下のように書ける。

$$\text{旋回共鳴：}\omega - k_{\parallel} v_{\parallel} = n\Omega_{e0}/\gamma, \qquad \text{バウンス共鳴：}\omega = m\omega_b$$

ここで、ωは波の周波数、$k_{\parallel}$は波の磁力線方向の波数、$v_{\parallel}$は電子の磁力線方向の速度、Ω_{ce0}は電子の旋回周波数、γは電子ローレンツ因子、ω_bは電子のバウンス周波数、n,m は共鳴の次数を表す。磁気双極子化の直後には、双極子磁場が尾部まで引き伸ばされた形状となり、バウンス周期が通常の地球双極子磁場より短くなり、ホイッスラー波動と電子のバウンス共鳴が起こりやすくなることが期待できる。本年度はとくに 20keV の電子のピッチ角散乱過程として、バウンス共鳴と旋回共鳴に着目し、テスト粒子計算による解析を行った。

【方法・結果】

テスト粒子計算の背景磁場モデルとして、通常の地球双極子磁場、引き伸ばされた双極子磁場の 2 つを用いた。また観測データに基づき、斜め伝搬のホイッスラー波動 (周波数 ω=0.02-0.5Ω_{e0}, 伝搬角 20 度)を、地球半径の 10 倍の夜側赤道域の磁気中性面近傍に与えた。ここでΩ_{e0} は地球半径の 10 倍の夜側に位置する背景磁場強度 31.2nT で定義し，Ω_{ce0}=5485/s である。

図 1(a)は計算で用いた引き伸ばされた双極子磁場の形状である。図 1(b)は地球半径の 10 倍の夜側赤道域における拡大図であり、緑は磁力線を示し、青がテスト粒子の初期位置、黒が 0.1 秒後の粒子位置を示す。電子は基本的に磁力線に沿ったバウンス運動をしており、粒子の空間分布は、赤道域で疎になる磁力線分布を反映している。図 1(c)は速度空間における 0.1 秒後の電子分布を示す。初期に 20keV のエネルギーの粒子をピッチ角等方に置いた。カラーで示した領域は、与えたホイッスラー波動と旋回共鳴できる領域であり、赤、青と緑の領域はそれぞれ n=1、n=-1 のサイクロトロン共鳴、および n=0 のランダウ共鳴を示す。旋回共鳴できる領域以外の広範囲な領域でピッチ角の変化が観測された[1]。

バウンス共鳴が起こるか検証するために、引き伸ばされた双極子磁場のもと、単色な斜め伝搬ホイッスラー波動の周波数を変化させて、ピッチ角やエネルギーの変化を評価した[2]。バウンス周期は電子の初期ピッチ角に依存するため、まず磁気中性面での初期ピッチ角α_{eq}

の関数としてバウンス周期を数値的に評価した。その結果 20keV の電子では、通常の地球双極子磁場のバウンス周期 1-10s 程度と比べ、α_{eq}>50° でバウンス周期が 0.01s - 0.1s と短くなる。この短いバウンス周期では、周波数 ω=0.01-0.1Ω_{ce0} 程度の波動と共鳴できる。実際にテスト粒子計算によって、とくに９０度に近い初期ピッチ角の粒子と低周波の波動において m<5 のバウンス共鳴が起きることを明らかにした(図 2,3)。また、高周波の波動ではサイクロトロン共鳴によって、ピッチ角の変化が最大４０度程度に達した(図 3)。

【まとめ】

磁気圏尾部側の引き伸ばされた双極子磁場のもとで、バウンス運動する電子とホイッスラー波動との相互作用をテスト粒子計算によって議論した。双極子磁場が引き伸ばされることによりバウンス周期が短くなり、観測される周波数帯のホイッスラー波動とバウンス共鳴し、とくに９０度に近いピッチ角の電子が効率的にピッチ角散乱されることを明らかにした。また、線形共鳴の予測通り、周波数が高くなるほどサイクロトロン共鳴も起きやすくなる。今後は、バウンス共鳴やサイクロトロン共鳴によるピッチ角散乱によって、電子ピッチ角分布の変化を観測データと比較する。また、cross-tail 電場を考慮した計算を行う。

【成果発表】

[1] 大塚史子, Wang Kaiti, Girgis Kirolosse, 羽田亨, 「Interaction between whistler waves and electrons at Earth's magnetotail: Test particle simulation and THEMIS observation」日本地球惑星科学連合 2021 年大会, オンライン, 2021 年 6 月 (PEM12-P06)

[2] 大塚史子, Wang Kaiti, Girgis Kirolosse, 羽田亨,「Effect of whistler waves on electron bounce motion in the Earth's magnetotail」地球電磁気・地球惑星圏学会第 150 回講演会, オンライン, 2021 年 11 月 (R006-39)

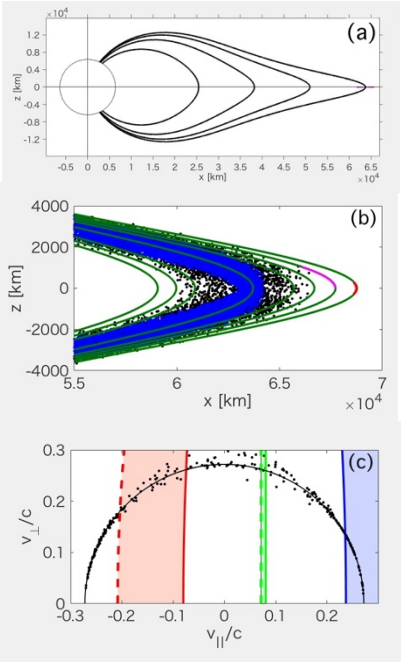


図 1. 引き伸ばされた双極子磁場のもとでのテスト粒子計算結果 (a)磁場形状 (b)電子エ空間分布(c)電子速度空間分布.

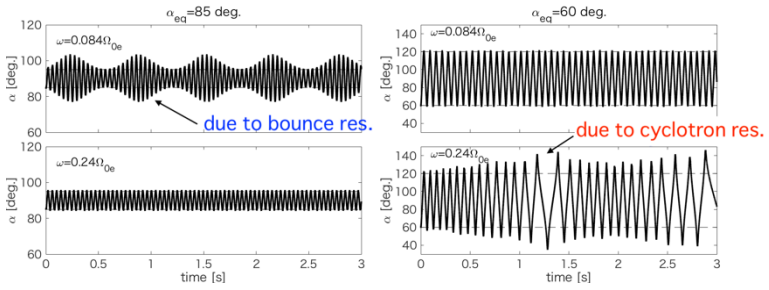


図 2. ピッチ角の時間変化 初期ピッチ角, 85 度(左図)と 60 度(右図)の結果.

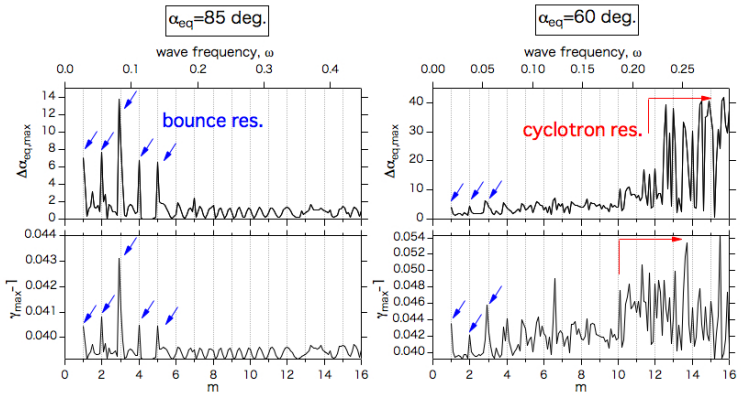


図 3. ピッチ角とエネルギーの最大変化量の波動周波数依存性.

（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[1)]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）[2)]。

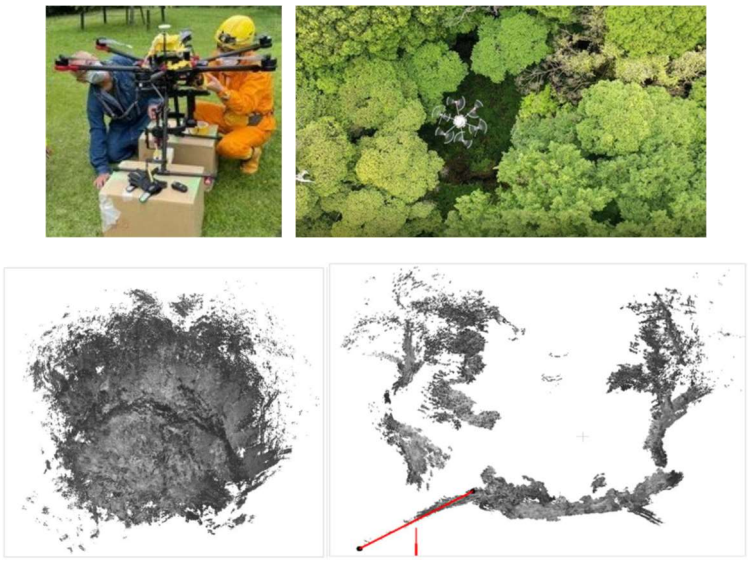


図1：(左上)ドローン測定システム　(右上)縦穴降下計測
(下)縦穴の3次元点群モデル

【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)。

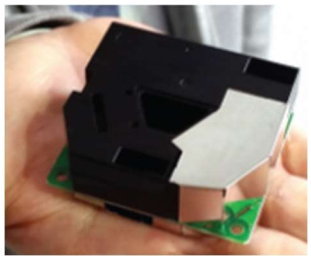


図 2

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、スラスタ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、ロープ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）

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 magnetospheric plasma transportation-loss processes based on ground-based 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

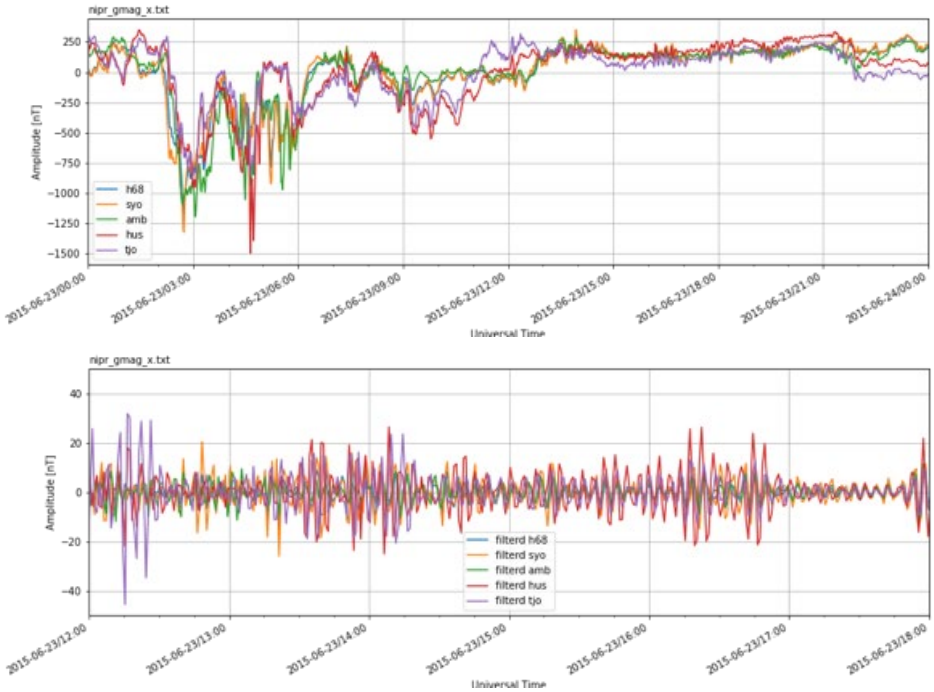


図 1(上):5 地点（南半球：昭和基地・H68・Amundsen Bay, 北半球：Tjörnes・Husafell）における地上磁場 H 成分の 2015 年 6 月 23 日の日変化。(下): 3mHz のローパスフィルタによる処理を施した 5 地点の地上磁場 H 成分

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．本年度ではこれに加えて，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った．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おり，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．今後は，クロススペクトル法を用いてこの磁力線共鳴の特徴量を抽出するとともに，オーロラ画像に関しても，さらに短いスケールの変動に着目した周波数解析や主成分解析を実施して，脈動オーロラ周期と磁力線共鳴との対応を調査する．

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シミュレーションを実行して頂き，その磁気圏および地上磁場のデータを確認した．その結果，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，これが地上で観測された磁力線共鳴のソースとなった可能性が示された．今後はシミュレーションデータの解析を進め，昭和基地付近で観測を行っていたVan Allen Probesの磁気圏プラズマ観測データとの比較等も進める予定である．

SIに伴い中緯度SuperDARNで観測されるsea/ground backscatter振動現象とFLR現象の関係

SI-associated FLR and their relation to oscillations in the sea/ground-backscatters observed by mid-latitude SuperDARN radars

研究代表者：河野英昭、九州大学・国際宇宙天気科学・教育センター
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・教育研究系
田中良昌、国立極地研究所・教育研究系
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)させうる事、そしてそれが磁力線固有振動(Alfven modeでの振動)と共鳴(Field Line Resonance, **FLR**)しうる事が報告されている [e.g., *Southwood and Kivelson*, 1990]。しかしFLRにおいてこれまで主に注目されていた磁力線固有振動はtoroidal mode (東西方向の振動)であった。地上磁場ではこの成分が頻繁に観測されるためである。

一方高緯度SuperDARN radars (以下 **SD** と記す) においては、その受信信号から得られる電離圏プラズマの**VLOS** (視線方向速度)のうち sea/ground backscattered signals (以下 **SGBS** 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]。SGBS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振動が上記波動の成因と考えられる。また、上記のSGBS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 SGBS 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、中低緯度でも磁気圏プラズマの振動を引き起こしやすいSI 現象の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 SGBS-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(2021年度)より前に、名古屋大学・宇宙地球環境研究所・修士課程(2019度修了)・飯田剛平氏 (指導教員：西谷准教授) が発見したSIイベント1例の解析から開始した。このイベントはHankasalmi, Finland (以下HANと記す) のSDでもPykkvibaer, Iceland (以下PYKと記す) のSDでも観測されており、特にHAN Beam#1とPYK Beam#13において明瞭に観測され、～14hr UT以降 SGBS が定常的に観測され、～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。その波動現象は SGBSの見られたrange gates (以下RGと記す) 範囲内において観測された。そのVLOSの振幅と位相は、HAN Beam#1においてもPYK Beam#13においても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、HAN Beam#1でもPYK Beam#13でもVLOSの最大値が100m/sを超えていたため、SGBS 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。

その後HANとPYKの他のbeamsの解析も進めたが、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、2019年度から、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、各RG毎にそのVLOSデータにFFTをかけ、

その後、同じbeam上で近接した2つのRG'sのデータに位相差法・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。(以下、高緯度側のRGをRG1、低緯度側のRGをRG2と記す。)

位相差法とは、RG1の位相 (FFT結果データに含まれる) からRG2の位相を引き、その位相差が有意な極小値を取る周波数をFLR周波数と同定するものである。

振幅比法とは、RG1の振幅をRG2の振幅で割り、その振幅比に有意な極大値と有意な極小値があり、その2つの周波数が隣接していれば、その2つの周波数の中間の周波数をFLR周波数と同定するものである。

上記の性質はFLRの理論から導出されるものであり、位相差法で同定される周波数と振幅比法で同定される周波数は理論上一致する筈のものなので、振幅比極大の周波数と振幅比極小の周波数の間に 位相極小の周波数 が位置すれば、FLRと同定する。

我々はまず、SDの1つのbeamのVLOSにFFTをかけたデータに位相差法・振幅比法を適用してFLRを自動同定する関数プログラム（以下 find_FLR.m と記す）を作成し、一通り出来た find_FLR.m が目的通りに動くかのテストとして、別途（独立に）HANとPYKの幾つかのbeamsでのFLR eventsを目視同定しておき、同じbeamsに find_FLR.m を適用し、目視eventsが全て自動同定されるところまで find_FLR.m を改良した。そして、これを以て、その時点での find_FLR.m が正確であるとした。

その際判った事として、その自動同定が成功したのは、RG1とRG2の間隔が2 (例：RG#15と#17) (距離にして約80km) の場合であった。これは、このテストに用いたFLR eventsの共鳴幅（FLRに伴う電磁エネルギーの拡散散逸の空間スケールを反映する重要な物理量）を観測同定したものと考えられる。

ただ、find_FLR.mは、引数指定して読み込んだ2つのFFT結果データについて自動同定を行うという機能のみを持ち、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、及び自動同定プログラムが出力する結果データの作図、は別のproceduresで行っていた。かつそれらは全て別のプログラム言語で過去に作成したものであった。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で、全てのcodesをIDL言語のfunctions/proceduresに書きかえて統合する作業を開始した。しかし、技術的な問題から難航し、本共同研究期間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完成させる計画である。

また、上述の統合プログラム作成と並行して、2021年度には、上述のfunctions/proceduresをそのまま使い、(その為)時間はかかったが、上述の脈動イベントについてHANとPYKの全てのbeams中のFLR eventsを全てのRG'sについて自動同定した。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(|VLOS|>190m/s の events と |VLOS|<35m/sのeventsに2分されていた)事が判った。そして、sea-backscattered eventsについては電離層での反射点を計算し、FLRの実際の位置はそこであるとして、同定された全てのFLR eventsについて対応する磁気圏赤道面位置での密度を推定した（その推定には Schulz [1996] の近似式(dipole磁場を想定し、磁力線に沿っては等密度と仮定した場合の式）を用いた）。その結果は、全体としては、低緯度ほど密度が高い、という傾向を示した。しかし、そのパターンからの数値的なずれが目立つFLR eventsもあり、現在それについて調査中である。また、このイベントがSI-triggered eventである事の影響についても今後調べていく計画である。

【引用文献】

Schulz, JGR, p17385, 1996.
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, Progress in the full-automatic identification of FLR events in VLOS of multiple SuperDARN radars, Japan Geoscience Union Meeting 2021, 2021.05.30-06.06 (発表日 06.06), online, Japan

Hideaki Kawano, Akira Sessai Yukimatu, Nozomu Nishitani, Yoshimasa Tanaka, Satoko Saita, and Tomoaki Hori, Automatic FLR identification in ionospheric and ground/sea back-scatters from multiple SuperDARN radars, and density estimation, 地球電磁気・地球惑星圏学会 第 150 回 総会・講演会、2021.10.31-11.04 (発表日 04), online, Japan

Hideaki Kawano, Akira Sessai Yukimatu, Nozomu Nishitani, Yoshimasa Tanaka, Satoko Saita, and Tomoaki Hori, Magnetospheric-density estimation from SuperDARN VLOS data to identify magnetospheric regions, by identifying FLR events in ionospheric or ground/sea backscatters, 11th Symposium on Polar Science, 2021.11.15-18 (発表日 17), online, Japan

河野英昭、行松彰、西谷望、田中良昌、才田聡子、堀智昭、SuperDARN 地上/電離圏 backscatters 中の同時観測 FLR の自動同定・密度推定の進展報告、2021 年度極域・中緯度 SuperDARN 研究集会、2022.02.22 (発表日 22), オンライン、日本

（別紙様式４－２）

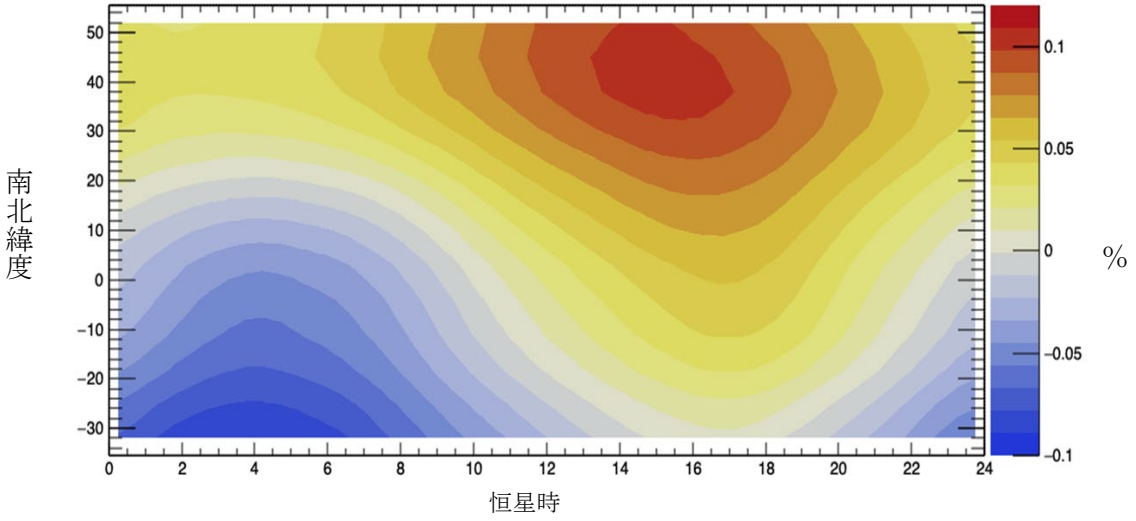
GSE座標系における宇宙線強度分布解析によるIMF磁気中性面のトランジェントな構造変動の推定

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極性反転に伴う宇宙線の変動現象としては「スインソンフロー」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。しかしこれまでの研究では長期間の集計による解析が大部分で、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はほとんど行われていない。その理由としては「スインソンフロー」及び「GGインデックス」どちらにも宇宙線の太陽時異方性等の他の要因による系統的な変動が存在して、それをを除去するのにある程度の期間のデータを重ね合わせる必要があった。我々は上記２つの現象をこれまであまり行われていない２次元マップ化すること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。その変化の抽出にあたり、これまで行われた「スインソンフロー」及び「GGインデックス(南北異方性)」の平均的な構造の２次元マップ作製して、それを他のIMF事象と比較分類し、その特徴を考察する。本年度(２０２１年度)はまずスインソンフローの２次元マップ化の解析を行ったのでその結果を次の図に示す。



宇宙線強度恒星時座標２次元 MAP:地磁気偏向補正無

２００４年～２０１７年平均

（別紙様式４－２）

MMS 衛星観測を用いたコヒーレントなホイッスラー波動の研究

天野　孝伸
東京大学
理学系研究科

新型コロナウイルスの影響で中止

（別紙様式４－２）

放射光施設を用いたエアロゾル化学成分分析に向けた大気エアロゾル収集システムの開発

Development of ambient aerosol sampling system for chemical analysis using synchrotron orbital radiation facility

代表者、所属機関・部局
八木　伸也、未来材料・システム研究所
高度計測技術実践センター

研究分担者

名古屋大学、宇宙地球環境研究所　檜山 哲哉
名古屋大学、宇宙地球環境研究所　松見 豊
名古屋大学、全学技術センター　岡本 渉
名古屋大学、全学技術センター　山崎 高幸

背景・研究目的・研究方法：

大気中のエアロゾルの化学分析にあたっては、元素分析に近い大まかな科学分析とその分類研究がなされているのみである。エアロゾルの低減や健康影響を解明するうえで、エアロゾルに含まれている様々な成分の化学形態を解明することが重要である。また、エアロゾルの発生源や変質過程を探るうえで化学形態の解明は不可欠である。例えばエアロゾル中の硫黄が酸化型であるのか還元型であるのかを調べることにより、発生源や大気中の変質過程を解明することが可能になる。化学形態を調べるには、放射光によるX線吸収微細構造（XAFS)を測定すれば明確になる。放射光施設(本研究ではあいちシンクロトロン光施設（あいちSR）を利用)で大気エアロゾルを測定するには、分析に必要なエアロゾルの収集量や化学形態を変質させないようなエアロゾルのサンプリング法を確立する必要がある。そこで、本研究では放射光分析に適したエアロゾルのサンプリング法の開発を行う。また、空間的な化学形態の違いの解明を行うためにドローンを用いた3次元的なサンプリング法の開発を行う。

エアロゾルの捕集補法：

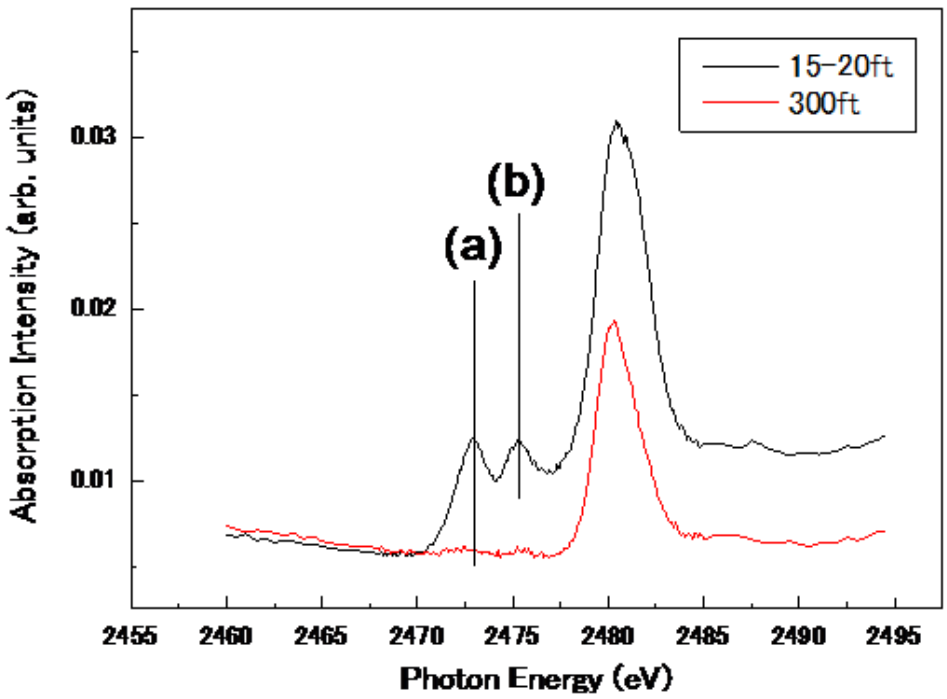
エアロゾルの捕集については、4ローター型ドローンにエアポンプを活用した捕集装置をぶら下げる形で取り付けたものを設計し取り付けを行った。この捕集装置は、リモートでエアロゾルの捕集時間を制御することが可能である。

エアロゾルの捕集は、小貝川周辺（茨城県常総市の大和橋下流）で2022年1月23日に実施された「野焼き場所」で行った。捕集高さは、地上「15-20 ft」と「300 ft」の2か所を選び、その位置で3分間のエアロゾル捕集を行った。また、エアロゾルの捕集は、コットンパフを捕集フィルタとして用いた。

XAFS測定の結果：

エアロゾルについては、野焼きによって放出された物質の硫黄成分に注目したため、XAFS測定は硫黄K吸収端についてスペクトルの取得を目指し、あいちSRの軟X線分光ビームラインであるBL6N1にて行った。分析試料は,先述したコットンパフであり、絶縁体のため、He-パスシステムを利用し、蛍光X線収量法により実施した。この測定手段により、絶縁体試料に対してもチャージアップすることなくXAFSスペクトルの取得が可能である。Fig.1に先述した2つの高度にて捕集したエアロゾルに対するXAFSスペクトルを示す。

Fig.1に見られるピークは、(a)硫化炭素、(b)二酸化硫黄に起因するピークである。一方で、2481 eV付近に見られる大きなピークは、硫酸(SO4)に由来するピークであり、コットンパフを漂白する製造過程で使用された硫酸の残渣であると考えられる。



これらのXAFSスペクトルからは、高度がエアロゾルの発生場所に近いほど(a)、(b)各成分は濃いことがわかる。しかしながら、300ftの高度であっても、いくらかの硫黄化合物が捕集されていたことは驚きであった。

Fig.1　2つの高度にて捕集したエアロゾルに対する硫黄K吸収端XAFSスペクトル

まとめ：

本研究の成果として、以下のことが挙げられる。

1：ドローンに取付可能なエアロゾル捕集機器の設計・調整・動作の確認ができた。

2：捕集したエアロゾルの化学形態として、硫化炭素と二酸化硫黄が確認された。

3：捕集高度に依存した硫黄化合物の濃度分布に関する知見が得られると考えられる。

今後は、野焼き場以外でのエアロゾル捕集を実施し、エアロゾル発生源に依存した化学状態種に関する知見を得ることを実施したい。また、捕集高度に依存したエアロゾル成分の濃度に関する情報についてもトライを継続する予定である。

学会発表予定：2023年1月7−9日開催予定の日本放射光学会にて発表予定。

（別紙様式４－２）

無人航空機を用いた雲・エアロゾル・水蒸気観測の高度化
Improvement of cloud/aerosol/water observation using Unmanned Aerial Vehicles

林　政彦、福岡大学・理学部

１．目的と計画

無人航空機に様々な観測装置の搭載することで大気現象の多面的な科学的な理解が進むことが期待される。また、飛行特性が異なる様々なタイプの無人航空機がある。これらを組み合わせて多様な観測が展開されることが期待される。本研究では、小型ロガロ翼無人航空機（カイトプレーン）に雲粒と氷晶の分別が可能な偏光光学粒子計数装置（偏光 OPC）を搭載し、雲，エアロゾル過程の観測手法の高度化を図る。搭載，観測にあたり，高効率で安定性の高い，国産メーカーにより新たに開発されたインジェクションタイプのエンジンの搭載を行う。このことにより，安定して，高度 3 km 程度までの雲の観測を可能にする。また、気象要素として、直接測定が困難な飛行経路上の風を in-situ 計測として得るようにする。

2021年度は，計測機器の性能評価と搭載プラットホームの高度化のために以下の3項目の実験，観測を計画した。

1) 偏光OPCの1～10 μmの氷晶および雲粒に対する応答特性の室内実験
2) 福岡大学が所有するカイトプレーンのエンジンの新型インジェクションエンジンへの換装と試験飛行によるエンジン設定の最適化
3) 久住グライダー滑空場において偏光OPC搭載カイトプレーンによる雲の試験観測による粒径分布等の計測性能の評価

新型コロナウイルス感染症拡大の影響により、共同研究者の移動の制限などがされた。上記 3 項目を進めることが困難であったため、第 62 次南極地域観測隊越冬隊および㈱四門の協力を得て、上記の第 2 項と in-situ 風計測に関する研究開発をおこなうこととした。

２．方法

昭和基地においてエアロゾルの越冬観測に使用されているインジェクションエンジン（小川精機、80cc）を搭載したカイトプレーンの動作状況のデータ解析により、低温条件における動作状況を解析し、エンジンコントロールソフトの改修および設定パラメータの最適化を図る。エアロゾルの観測装置を搭載したカイトプレーンの昭和基地における観測時の観測データおよび自動制御装置のログデータ（GPS位置情報等を含む）のデータセット化とともに、GPS位置情報から得られる対地速度データから、ホドグラフ法[1)]を用いて対気速度およびin-situ風向・風速を計算するソフトウェアを開発する。

３．結果とまとめ

１）インジェクションエンジン搭載カイトプレーンの運用とソフトウェア改修

昭和基地において実施しているカイトプレーンによるエアロゾル観測時、および地上テスト時のログデータ、稼働状況の映像等を国内で解析し、設定パラメータの最適化を行うことができた。運用気温としては、観測装置の安定的な運用は気温―20℃以上の条件に限定された。この温度条件でのインジェクションエンジン搭載カイトプレーンの安定運用が可能であることを確認した。

２）In-situ風向風速計測ソフトウェアの開発

凝結核計数装置（TSI 社製 CPC3007 : d > 10nm）、光散乱粒子計数装置（RION 社製 KR12 : d > 0.3, 0.5, 0.7, 1.0, 2.0, 5.0 μm）、気象センサ（温度、相対湿度）による観測データ、カイトプレーン搭載

自動制御装置（ゼノクロス航空宇宙システム製 XENO4 : GPS 位置時間，加速度・角速度等）のデータを統合し、GPS による位置情報を用いて、エアロゾル、気象データおよび風向・風速の鉛直分布の統合データを得ることができるようになった。

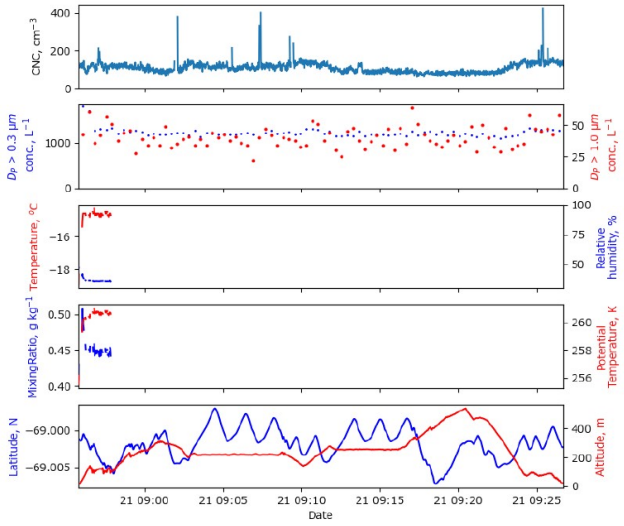


図１　昭和基地におけるカイトプレーンの飛行経路上のエアロゾル濃度および気象要素の時間変化

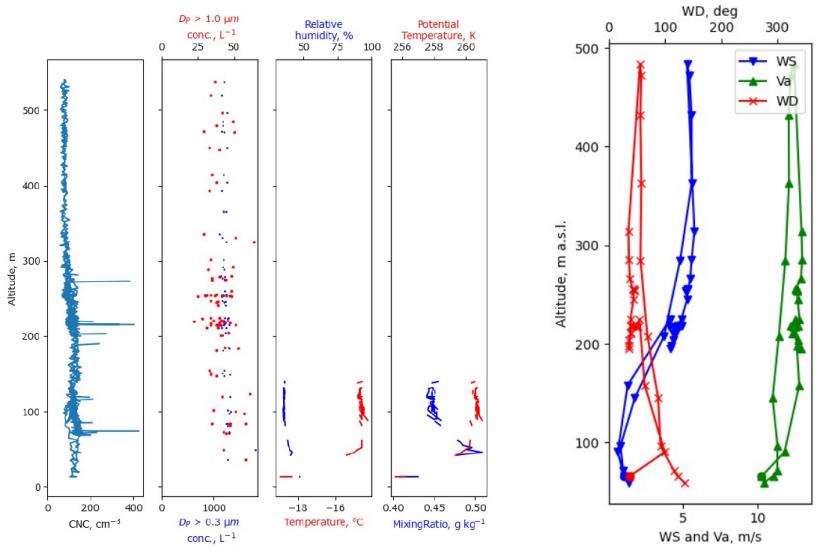


図２ カイトプレーンによって得られた昭和基地上空、海抜500mまでの
エアロゾル(d > 0.01, 0.3, 1.0 μm)の数濃度、気温、湿度、および風向風速の鉛直分布

【参考文献】

1） 小野原智之，小型無人航空機のin-situ情報による測風，2018年度福岡大学理学部地球圏科学科卒業論文，2019年3月

【成果発表】

口頭発表

１．林政彦，福岡平野の地表付近の超微粒子の日周変動，第38回エアロゾル科学・技術研究討論会，オンライン（熊本県立大学），2021年8月26～27日

２．林　政彦，無人航空機サンプルリターンによる中緯度圏界面近傍のエアロゾル，2021年度「航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進」研究集会，オンライン（名古屋大学），2021年12月21日

（別紙様式４－２）

低周波VLBIのさらなる技術獲得と課題解決に向けた干渉実験

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、さらに東北大学飯舘観測所と干渉実験を成功させた。2022年度は2回東北大学飯舘観測所との干渉実験を実施し、技術的な知見を高めたので報告する。

観測天体は、シンチレーション（IPS）測定用のクエーサーから、インドのGMRTで作成されたコンパクトクエーサーカタログ(TGSS,150MHz)を比較しコンパクトかつ任意の強度より強い天体を選び、スケジュールを作成している。もちろんIPS観測でもコンパクト天体を選出しているが、450kmの干渉実験ではさらにコンパクトな天体が必要となる。

今年度、1回目はバックエンド記録不具合で失敗。2回目は干渉（以降、フリンジ）を得ることに成功した。Table1と2はその結果である。3日間連続した2回目の実験で明らかになった知見として、次の3点があげられる。①：複数日の観測で得られたフリンジはSNRと遅延量ともに再現性があること。②：TGSSの天体強度と得られたSNRは相関性が低いこと。③：3C273と3C298の遅延量が大きく外れている。まず、①について、３日間連続している天体（3C255,3C273,3C461,3C10）の結果では複数日ともほぼ同じSNRと遅延量が得られた。つまり、両局のシステムは安定していたことがわかる。また、②についてTGSSカタログ値とSNRの相関性の低さは、実験前はシステムに起因する可能性も考えられたが①の結果から棄却され、天体起因であることがわかる。もちろん、いくらかの天体については強度が高いため、アンプの飽和の可能性も考えられるが、3C255のような15Jy程度の天体であってもSNR100を超えるような結果もあり、つじつまが合わない。結局、天体の構造や天体自体のフラックス変動が強く影響している可能性が高い。また、③について、3C273や3C298はジェットをもつ天体であり、天体構造により遅延差が発生している可能性もある。例えば3C273は23秒角にも広がったジェット(Perley 2016)を持つ。例えば450km基線で単純に適応すると最大8m（約26ナノ秒）の遅延差となり、我々の結果と2倍異なるがオーダーは合う。一方、3C298は1.5秒角ほどのジェット（Dallacasa&Orienti 2021）を持つため、2ナノ秒程度の遅延になるはずが、結果と大きく異なり、まだ原因は不明である。

Table 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フリンジ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

Table 2　Table1 の天体で得られた遅延量。網掛けの 3C273 と 3C298 で大きく遅延が飛んでいる。

Delay [ns] in 60s integration	Source	Mirror A H-pol	Mirror B H-pol	Mirror A V-pol	Mirror B V-pol
2021/332 21:37:18	3C255	1.83335	1.84142	1.83804	1.83992
2021/332 22:46:48	3C273	-59.4304	-59.5991	-59.5856	-59.584
2021/333 09:38:53	3C461	N	n	n	n
2021/333 10:41:00	3C10	n	n	n	n
2021/333 21:33:22	3C255	1.83721	1.83294	1.82589	1.82739
2021/333 21:53:04	1136-13	n	n	4.98761	4.99
2021/333 22:42:52	3C273	-59.4292	-59.5902	-59.5816	-59.58
2021/333 22:56:03	3C275	n	n	1.89536	1.89554
2021/333 23:09:52	3C279	1.89151	1.89136	1.8906	1.8937
2021/333 23:25:21	3C283	n	n	2.06353	2.07611
2021/333 23:44:37	3C286	n	n	n	n
2021/334 00:32:35	3C298	-191.4	-191.405	-191.407	-191.406
2021/334 01:33:16	3C318	n	n	n	n
2021/334 05:53:58	1938-15	1.95741	1.95763	1.9534	1.95581
2021/334 09:34:57	3C461	n	n	n	n
2021/334 10:37:04	3C10	n	n	n	n
2021/334 21:29:27	3C255	1.82854	1.81642	1.82041	1.81341
2021/334 21:49:08	1136-13	n	n	4.99316	4.99192
2021/334 22:38:57	3C273	-59.6021	-59.457	-59.6157	-59.6146
2021/334 22:52:07	3C275	n	n	1.86298	1.8701
2021/335 09:31:01	3C461	n	n	n	n
2021/335 10:33:08	3C10	n	n	n	n

この VLBI 実験では Crab パルサーの観測も同時に実施した（図 1）。主に、両局の時刻差を正確に把握するためである。図 1 をみると、豊川局と飯舘局で同様に Crab パルサーからのジャイアントパルスとよばれる強力なパルスが得られ、それらの到達時刻は 1.024 秒の差があることがわかった。もちろん、観測局の地球上における位置が異なるため、その幾何学的な遅延差が含まれるが日本では高々ミリ秒のオーダーであり、両局どちらかの基準時計がずれていたことが把握できた。通常の VLBI 処理ではこの大きな差はあらかじめ把握できないとパラメータサーチが膨大となり、フリンジの検出が難しいが、Crab パルサーで時刻差が得られることは非常に重要で、今後も VLBI 観測に Crab パルサーをスケジュールする必要性がある。

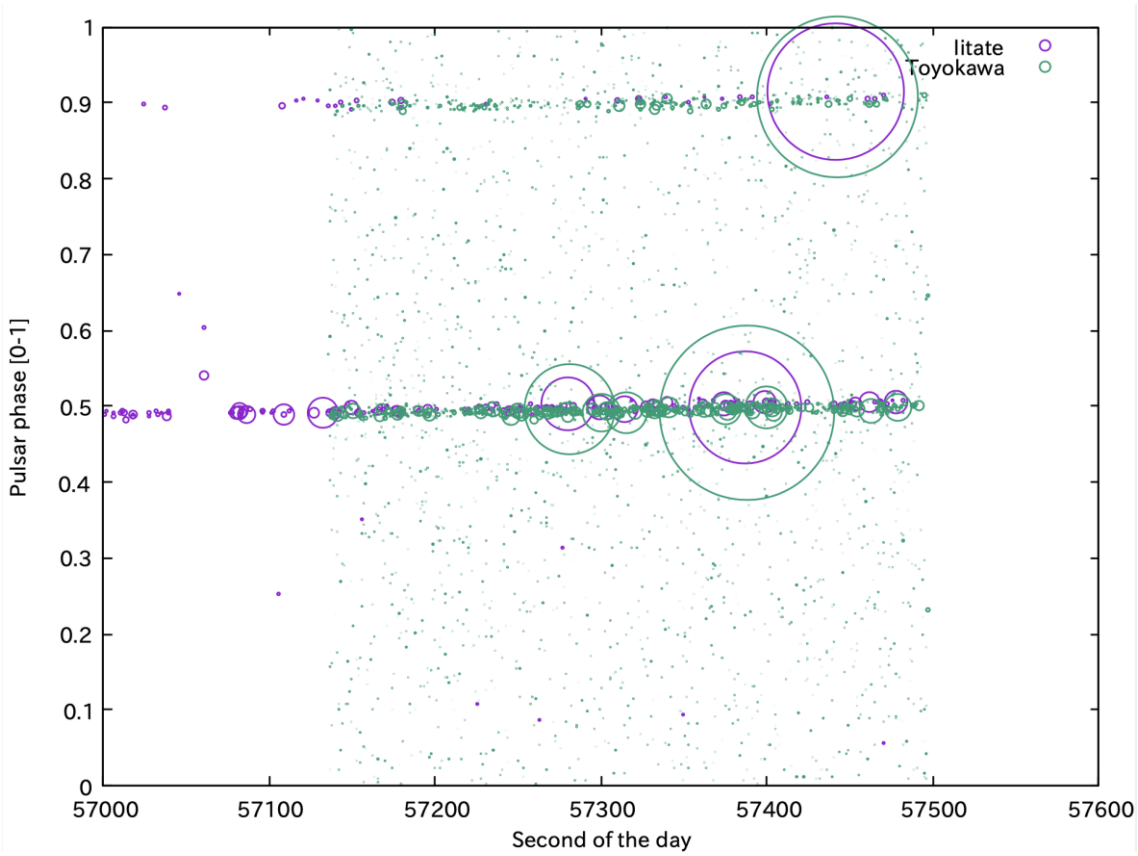


図 1　Crab パルサーの同時検出(緑:豊川観測所、紫:飯舘観測所 A 面 H 偏波、DOY332)。横軸 UT0 時からの経過秒、縦軸がパルサー位相。

図2と図3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/N480）から、最適なディスパージョンメジャーを調査した結果である。最大のジャイアントパルスに対して、微少（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。そこで、図2の関数に対してフィッティングを行った結果が図3である。フィット後、ピークセンターは56.7444+/-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。

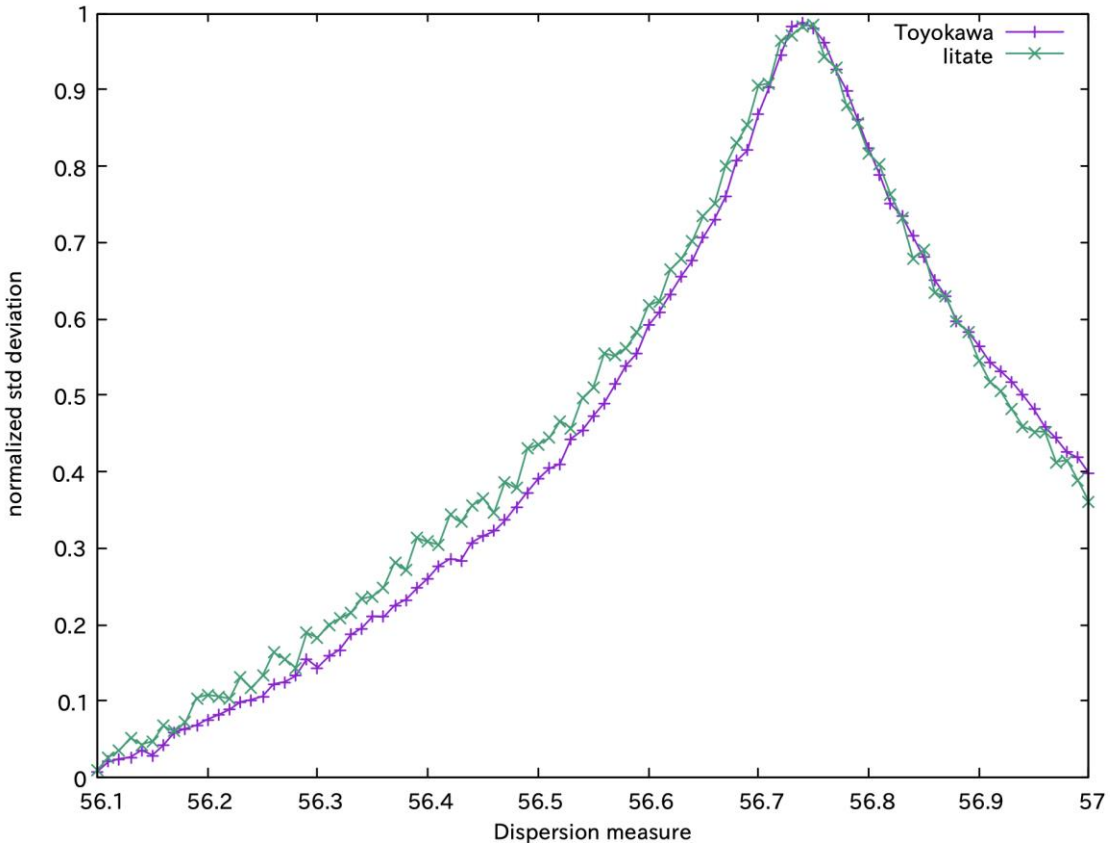


図 2 DM 最適値を得るため、DM を振った様子。横軸は DM。縦軸は規格化した標準偏差である。

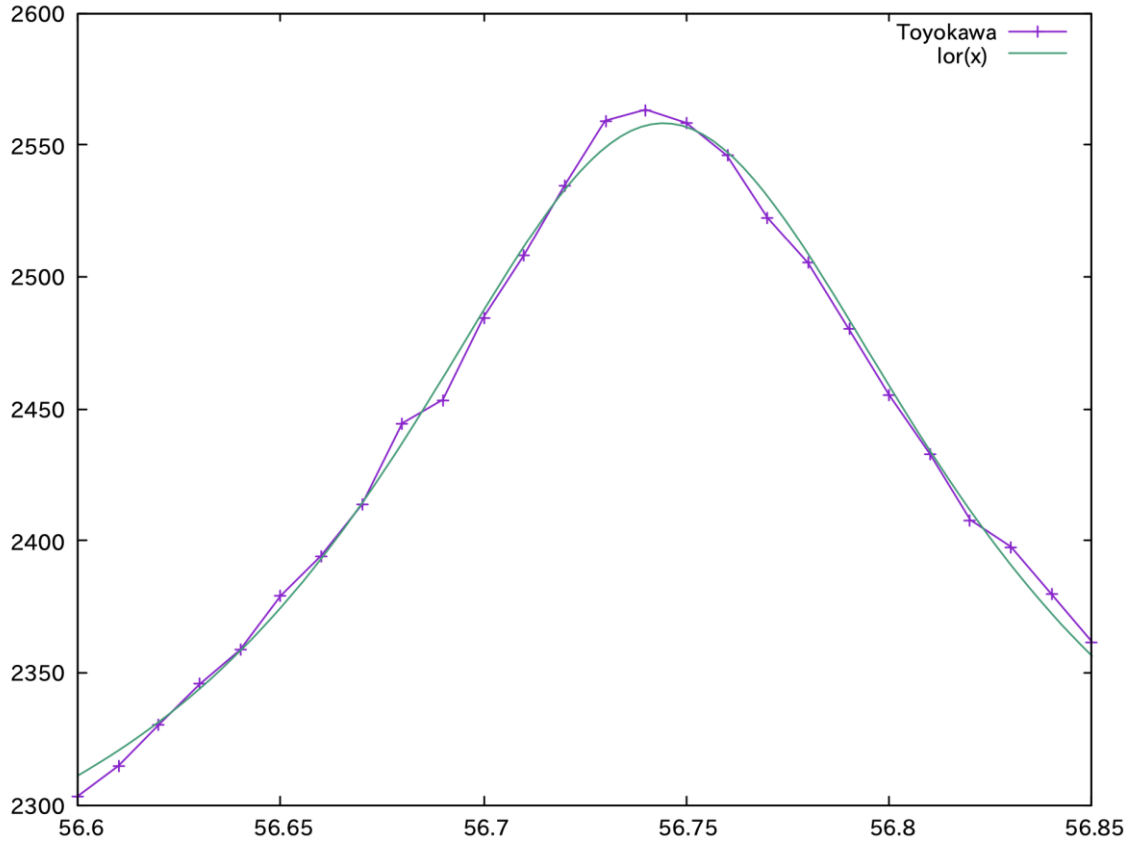


図 3 図 2 の結果にたいして、Lorentz 関数でフィットした様子。

（別紙様式４－２）

グローバルモデルと素過程シミュレーションによる地球内部磁気圏での波動粒子相互作用の研究
Study of wave-particle interactions in the inner magnetosphere by global model and PIC simulations

加藤雄人、東北大学 大学院理学研究科

・研究目的

地球磁気圏・放射線帯外帯における相対論的電子の加速機構において、赤道領域を起源とするホイスラーモード・コーラス放射が重要な役割を担うとされる。近年の理論・シミュレーション研究により、コーラス放射との波動粒子相互作用においては、コヒーレントな波動による捕捉を基本とする非線形相互作用の重要性が指摘されている。放射線帯電子の生成過程を理解する上で、内部磁気圏のどの領域で、どのようなタイミングで電子加速過程が生じるかを定量的に明らかとすることは重要である。そのためには、高エネルギー電子の磁気圏内での輸送を扱うグローバルモデルが有用なツールとなるが、コーラス放射との波動粒子相互作用で本質的に重要となる非線形効果をどのように取り入れるかが課題として残されている。本研究課題は、コーラス励起過程を再現する素過程シミュレーションとグローバルモデルとの連成計算手法を確立し応用して、内部磁気圏でのコーラス放射の発生領域とその時間・空間変化を明らかにすることを目的とする。

・研究方法

内部磁気圏赤道領域におけるkeV帯の電子のダイナミクスを解くグローバルモデルと、PIC法を用いて波動粒子相互作用を解き進める素過程シミュレーションとの連成計算を実施する。具体的な連成計算としては、素過程シミュレーションの結果に基づいて得られた非線形相互作用の閾値計算モジュールをグローバルモデルに組み込む方法（連成計算１）と、素過程シミュレーションの初期条件にグローバルモデルの結果を用いる方法（連成計算２）とを検討する。さらに、モデルの計算結果を衛星観測結果と比較することにより、本手法の有効性を検証する。本課題で提案する手法により、内部磁気圏においてコーラス放射の励起過程ならびに相対論的電子加速の生じる領域の時間・空間発展を定量的に議論することが可能となる。

・研究結果

2021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、2020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。以上の成果は2022年5月に開催される日本地球惑星科学連合2022年大会で報告を予定している。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ている。

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。2022年度からは新たな３ヶ年計画の一般共同研究を申請しており、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）

衛星搭載イメージング・分光光学系の設計と開発
Design and development of visible and ultra-violet imaging spectrograph

坂野井健、東北大学・理学研究科

【 研究目的と意義 】

現在、磁気圏・電離圏・熱圏コミュニティでは、将来観測のためのISAS/JAXA小型衛星計画FACTORSの検討が行われている。これは極域低～中高度を複数個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の議論が現在行われており、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検討を進めている。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隊域によるオーロラ・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。

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400x400km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、昨年度までの検討から、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要求をすることとなった。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。今後は、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計画である。一方、可視カメラについては、センサ候補の具体的な検討が行われているものの、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もちいた動作試験を行う必要がある。また、可視・紫外センサともに宇宙環境対策として放射線試験を実施する必要がある。これらの課題に対して、本研究経費用いて分担者との間で装置仕様と科学意義の検討と情報共有をはかり、プロジェクト成立性に見通しを立てる。また、開発実験は外部資金を活用して行う。

【 研究方法 】

本研究は、ISAS/JAXAが主導する小型衛星FACTORSと、NICTが主導する静止衛星に可視・紫外カメラの基礎検討を国内共同研究者と推進する。具体的に本研究経費は、（以下敬称略）三好由純、平原聖文、大山伸一郎（名大ISEE）、浅村和史、山崎敦（ISAS/JAXA）、津田卓雄（電通大）、坂口歌織（NICT）が研究分担者である。

2020年度までに、FACTORS衛星計画に関連してISEE国際共同研究経費(一般:2018～2020、ならびに国際:2019-2021)を活用して、オーロラ微細構造の科学課題の検討、オーロラの粒子ー画像同時観測に最適な軌道検討、紫外用広角対物ミラー光学系の設計、大気光観測に基づく中性大気-電離圏結合解明の戦略について議論と開発が進められた。また、ISEE国際共同利用経費と外部経費(ISAS戦略開発経費, NICT-東北大マッチングファンド）を用いて紫外用CCDセンサと真空チャンバ筐体ならびに紫外屈折レンズ光学系を開発した。本年度は、昨年度までに開発された紫外カメラシステムを、ISAS/JAXAの既存の紫外分光器にとりつけて、紫外検出器の動作試験と分光感度特性測定を行う計画である。また、本年度は可視カメラの概念設計に着手し、高速撮像可能なCCDまたはsCMOSセンサの選定、高空間分解可能な結像レンズの設計を進める。これらの目標に対し、ISEE共同研究経費と外部経費を適切に用いながら実現を図る。具体的には、本研究経費は名古屋大学の分担者と研究うち合わせのための旅費、ならびに光学実験に必要な治具やレンズ・ミラー等の材料調達に用いる。さらに、可視試験用センサや可視光学系設計など金額が大きな開発項目についてはは、外部の大型の競争的資金獲得により行う。

【 研究結果 】

2021年度は、前年度に製作した紫外カメラ試験器を動作させるために、紫外検出器特注品と自作ソケット基板を嵌合させようとした。この自作ソケットは、検出器を駆動する電気回路は真空中でなく大気側に設置する必要があり、延長ケーブルを用いてチャンバ内の検出器とチャンバ外の駆動エレキ回路を結像するために自作したものである。しかしながら、図1のとおり検出器のピンがソケット途中までしか入らず、この原因究明と対策に時間を要した。このため、本年度②予定していた紫外撮像試験や分光感度特性測定ならびに放射線試験は延期された。

【 今後の方針 】

現在、検出器ソケットへの嵌合問題の解決策は見いだしており、新しくソケット基板を製作中である。この製作と嵌合試験は本年度内に終了する予定である。よって、紫外カメラの電気試験と真空試験、ならびにISASの真空紫外分光光源をもちいた紫外分光感度測定試験は2022年度に実施する計画である。また、耐放射線試験も2022年度に予定している。これらの実証試験により、紫外用CCDもしくはCMOS検出器の開発に目処をつけることができる。

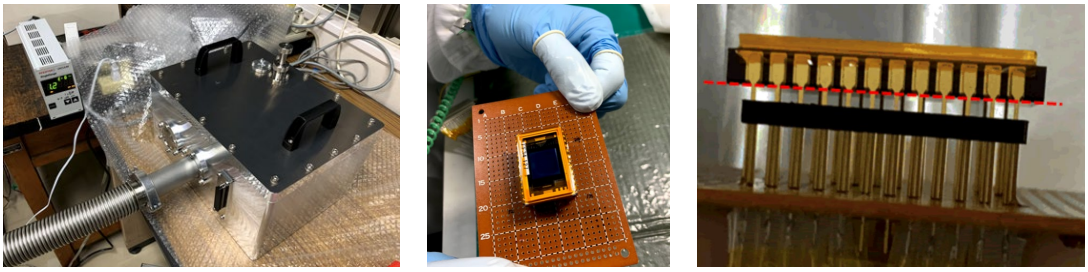


図１．（左）2020 年度に製作された紫外カメラ試験モデルの真空チャンバ外観。（中）紫外用 CCD 検出器と試験基板、（右）試験基板ソケットに紫外用 CCD を嵌合させた状況。本来ならば右側の赤線がソケット奥まで嵌合する必要があるが、半田づけによるソケットのアライメントが目視で確認できない程度にずれていたため、奥まで嵌合させることができなかった。

【 成果発表 】

＜著書＞

Auroral Physics (Space Sciences Series of ISSI, 78), Ed. by D. J. Knudsen, J. E. Borovsky, T. Karlsson, R. Kataoka, N. Partamies, T. Sakanoi co-authored one chapter, ISBN 9402421211, ISBN-13 978-9402421217, August 27, 2021.

＜査読論文＞

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, 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, 2022. https://doi.org/10.1029/2022JA030269

Fukizawa, M., T. Sakanoi, Y. Ogawa, T. T. Tsuda, K. Hosokawa, Statistical Study of Electron Density Enhancements in the Ionospheric F Region Associated With Pulsating Auroras, J. Geophys. Space Res. Space Phys., 126, 12, 2021. https://doi.org/10.1029/2021JA029601

Kawamura, M., T. Sakanoi, M. Fukizawa, Y. Miyoshi, K. Hosokawa, F. Tsuchiya, Y. Katoh, Y. Ogawa, K. Asamura, S. Saito, H. Spence, A. Johnson, S-I. Oyama, U. Brändström, Simultaneous Pulsating Aurora and Microburst Observations With Ground-Based Fast Auroral Imagers and CubeSat FIREBIRD-II, 48, 18, 2021. https://doi.org/10.1029/2021GL094494

Namekawa, T. Mitani, K. Asamura, Y. Miyoshi, K. Hosokawa, Y. Ogawa, S. Saito, T. Hori, S. Sugo, O. Kawashima, S. Kasahara, R. Nomura, N. Yagi, M. Fukizawa, T. Sakanoi, Y. Saito, A. Matsuoka, I. Shinohara, Y. Fedorenko, A. Nikitenko, C. Koehler, Rocket Observation of Sub-Relativistic Electrons in the Quiet Dayside Auroral Ionosphere, J. Geophys. Space Res. Space Phys., 126, 7, 2021. https://doi.org/10.1029/2020JA028633

Sugo, S., O. Kawashima, S. Kasahara, K. Asamura, R. Nomura, Y. Miyoshi, Y. Ogawa, K. Hosokawa, T. Mitani, T. Namekawa, T. Sakanoi, M. Fukizawa, N. Yagi, Y. Fedorenko, A. Nikitenko, S. Yokota, K. Keika, T. Hori, C. KoehlerEnergy-Resolved Detection of Precipitating Electrons of 30-100 keV by a Sounding Rocket Associated With Dayside Chorus Waves, J. Geophys. Space Res. Space Phys., 126, 3, 2021. https://doi.org/10.1029/2020JA028477

Kataoka, R., C. C. Chaston, K. A. Knudsen, K.A. Lynch, R. L. Lysak, R. Rankin, K. Murase, T. Sakanoi, J. Semeter, T-H. Watanabe, D. Whiter, Small-Scale Dynamic Aurora. Space Sci Rev 217, 17 (2021). https://doi.org/10.1007/s11214-021-00796-w

＜国際学会（計3件）、国内学会/シンポジウム等（計5件）、ここでは国際学会1件のみ記載＞

Sakanoi, T., M. Fukizawa, M. Hirahara, Y. Miyoshi, K. Asamura, Y. Saito, H. Kojima, N. Kitamura, T. Nishiyama, K. Murase, M. Kawamura, K. Sakaguchi, M. Ishii, H. U. Frey, N. Schneider, Future formation-flight satellite mission FACTORS: Development of far-ultra-violet imagers and simulation of Alfven wave observations, JpGU Meeting 2021, Online meeting, 30 May-26 June 2021.

（別紙様式４－２）

IPS観測による太陽風・CME到来予測精度向上についての研究
Studies for improved prediction of arrivals of CME and CIR

（１行スペース）

塩田大幸、情報通信研究機構・電磁波研究所

（２行スペース）

情報通信研究機構(NICT)では、コロナ質量放出(CME)および共回転相互作用領域(CIR)の到来の予測　を目的として、数値シミュレーション（SUSANOO）を用いた予測システムの開発を進めている。図1に示すように名古屋大学宇宙地球環境研究所が公開している直近のIPS観測データをSUSANOOのリアルタイム予測結果と重ね合わせて表示することで、毎日の予報会議の太陽風・CMEの到来予測の参照情報として活用されている。

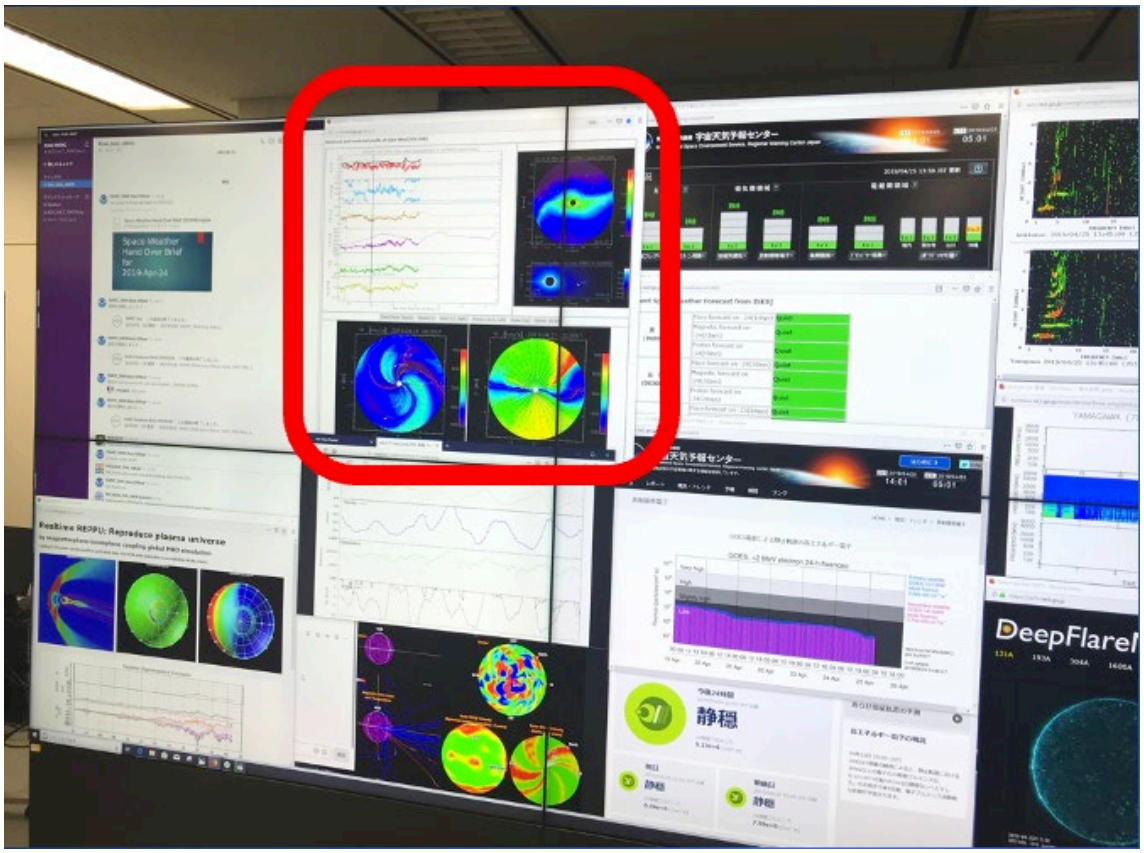


図１　NICT宇宙天気予報センターに表示されたSUSANOOの結果とIPS観測データ。

SUSANOOの太陽風・CME予測性能の向上のためには、内部境界に与える太陽風の分布をより高精度なものに改良する必要がある。本研究では、観測に基づくポテンシャル磁場モデルから計算した磁力線情報と磁力線に沿った1次元のWave/Turbulence-driven（WTD）MHD simulationを組み合わせて実行し（図2左）、IPS観測から得られる太陽風速度と比較（図2右）することでこのモデルの検証を進めた。その結果高緯度では、SUSANOOで使用されてい

る従来のWang-Sheeleyモデルで推定される速度に比較し、MHD simulationから推定される速度がIPS観測とよく一致した。この結果から、高緯度領域の太陽風は波動・乱流による加速で駆動されている可能性を示唆しており、このような磁場モデルと組み合わせた物理に基づく太陽風速度予測が将来的に実現し得ることを示している。

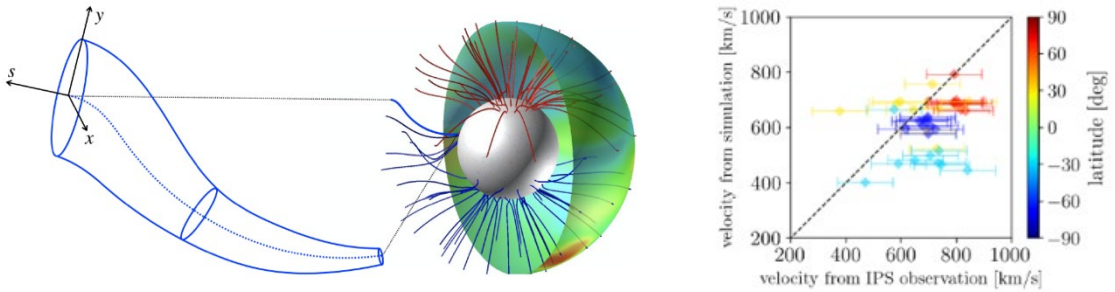


図2. （左）ポテンシャル磁場の全体像と磁力線に沿ったWTD MHD simulation 領域の概念図。（右）MHD simulation から得られた太陽風速度と、IPS観測で得られた太陽風速度の比較。(Shoda, Iwai, Shiota 2022, ApJ in press)

（別紙様式４－２）

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

渡邉恭子、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やその変動に大きな影響をもたらしている源である。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。これらの太陽放射の地球圏環境変動へ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必要であるが、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、観測波長も限られている。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2.8GHzのマイクロ波観測が伝統的に用いられてきた。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。このため、F10.7は太陽活動度を示す良い指標であったが、近年のX線やEUV放射の衛星観測などにより、実際に地球圏環境に影響している放射とは変動にズレがあることが分かってきた。これが現在、F10.7では太陽の変動による地球圏環境変動を正しく記述できていない要因となっている。

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た。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を訪問した。

まず本年度は、太陽の平穏時のNoRPの４つの周波数（1, 2, 3.75 9.4GHz）の観測と衛星による紫外線観測データの比較を行った。紫外線観測データはTIMED/SEEやSDO/EVEなどのスペクトル分解能の良い衛星観測データを用いた。TIMED/SEEは0.5-190nmの範囲のEUV放射スペクトルを1nmの分解能で、SDO/EVEは1-1060Å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（1GHz）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EUV放射との相関がよく、長波長（>130nm）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EUV放射の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、機械学習の手法を用いて、どの周波数の組み合わせがどの紫外線波長の放射と主に関連しているのかについて調

べてみた。その結果、どの紫外線波長にどのマイクロ波周波数が主に効いているのかという重みが、どの紫外線波長においても機械学習の試行毎に異なった。これより、NoRPの４つの周波数のみではマイクロ波と紫外線放射の関係を解明することはできなかった。

本年の結果より今後は、Ca II K（彩層起源）などの放射の起源が異なり、かつ地上観測できる放射のデータも用いて機械学習を進める予定である。また、今回は太陽の平穏時のみを取り扱ったが、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、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も探ってゆく。

成 果 発 表

1. Kyoko Watanabe, Munechika Arao, Shohei Nishimoto, Chihiro Tao, Michi Nishioka, "Relationship between X-ray and EUV solar flare emissions and the Dellinger phenomenon", JpGU Meeting 2021, 2021 年 6 月 5 日
2. Kyoko Watanabe, Louise Harra, Shinsuke Imada, Tomoko Kawate, Hirohisa Hara, Toshifumi Shimizu, Yoshizumi Miyoshi, Nozomu Nishitani, Tomoaki Hori, Akimasa Ieda, Toshiki Kawai, Hidekatsu Jin, Chihiro Tao, Shohei Nishimoto, "Solar-C(EUVST)/SoSpIM development status and scientific studies", JpGU Meeting 2021, 2021 年 6 月 6 日
3. Kyoko Watanabe, Shohei Nishimoto, Chihiro Tao, Michi Nishioka, "Relationship Between Solar Flare Spectra and the Dellinger Phenomenon", AOGS2021 18th Annual Meeting, Virtual, 2021 年 8 月 6 日
4. 北島慎之典, 渡邉恭子, 荒尾宗睦, 西本将平, 垰千尋, 西岡未知, "太陽フレア X 線・EUV 放射とデリンジャー現象の関係", 日本天文学会 2021 年秋季年会, 2021 年 9 月 13 日
5. 北島慎之典, 渡邉恭子, 西本将平, 荒尾宗睦, 垰千尋, 西岡未知, "太陽フレア X 線・EUV・ライマンα線放射とデリンジャー現象の関係", 第 150 回 SGEPSS 総会および講演会, 2021 年 11 月 4 日
6. Shinnosuke Kitajima, Kyoko Watanabe, Munechika Arao, Shohei Nishimoto, Chihiro Tao, Michi Nishioka, "Effects of solar flare X-ray, EUV, and Lyman-alpha emissions on the Dellinger phenomenon", 2021 AGU fall meeting, 2021 年 12 月 15 日
7. 北島慎之典, 渡邉恭子, 荒尾宗睦, 西本将平, 陣英克, 垰千尋, 西岡未知, "太陽フレア放射スペクトルの地球電離圏への影響評価", 2021 年度太陽研連シンポジウム, 2022 年 2 月 14-15 日
8. 北島慎之典, 渡邉恭子, 荒尾宗睦, 陣英克, 垰千尋, 西岡未知, "太陽フレア EUV 放射によるデリンジャー現象への影響", 日本天文学会 2022 年春季年会, 2022 年 3 月 3 日
9. 渡邉恭子, 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, "太陽電波放射の太陽周期活動変動と EUV 放射スペクトルの関係", 日本天文学会 2022 年春季年会, 2022 年 3 月 3 日

（別紙様式４－２）

ひさき衛星を用いた地球磁気圏プラズマに関する研究
The study for magnetospheric plasmas using Hisaki satellite.

吉岡和夫　東京大学大学院・新領域創成科学研究科

本研究は，高度950-1150kmを周回する惑星分光観測衛星（ひさき）に搭載されている極端紫外光検出器（MCP）のノイズデータを用いて，地球周辺（L=1-2）の放射線環境（特に高エネルギー陽子）を理解することを目的としている．

昨年度（2020年度）は，ひさき衛星の質量モデルを用いた放射線解析を行い，光検出器に生じるノイズ成分において，30MeV以上の陽子の影響が支配的であることを明らかにした．さらに2014年から2019年までの6年間のデータを詳細に解析し，ひさきの軌道における高エネルギー陽子フラックスの変動（特に太陽活動依存性）について議論した．さらに本年度（2021年度）は，昨年度の成果をベースとして2021年まで蓄積した8年分のデータの整理と解析コードの改修を行った．

さらに本研究の成果をもとに，将来の地球周回宇宙望遠鏡（LAPYUTA計画）に向けた検討として，軌道上の放射線による影響を見積もった．ここでは，高度が高いほどジオコロナの影響を避けて観測に有利に働くという観点に加えて，放射線による影響の軌道高度依存性を考慮して最適な軌道（高度）を推定した．その結果，図1に示すように，近地点高度250km,遠地点高度20,000kmの長楕円軌道が最適であるという結論を得た．この解はイプシロンロケットの打ち上げ能力を考慮しても十分到達可能であり，また軌道の大半の時間でジオコロナの影響を無視できる高高度を維持出来るため，今後のミッション検討のベースとなる．

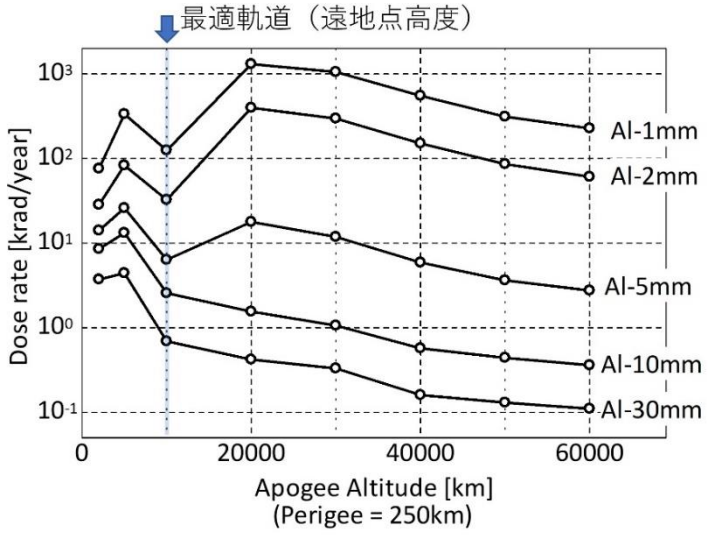


図1．地球周回宇宙望遠鏡（LAPYUTA）の候補軌道（遠地点距離）と，放射線（トータルドーズ）の関係．Alによるシールドの厚さを1mmから30mmに変更して計算している．

【成果発表】
（学会発表）

- Yoshioka, K., F. Tsuchiya, M. Kagitani, F. Bagenal, N. Schneider, G. Murakami, T. Kimura, A. Yamazaki, H. Kita, E. Nerney, I. Yoshikawa, and R. Hikida, Temporal variation of the Io plasma torus seen from Hisaki satellite, OP meeting 2021, online, July 2021
- 吉岡和夫、惑星大気・プラズマの光学観測、日本表面真空学会，online、2021 年 11 月（招待講演）

（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 Comic 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ー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。我々が用いるミューオン望遠鏡は、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）の旋回半径に相当する空間領域を観測することになり、IMF の構造の観測にもつながる。

本研究では、GRAPES-3 実験（インド）、本研究所（東山）、および東京大学宇宙線研究所明野観測所の各ミューオン望遠鏡を用いて、銀河宇宙線の連続観測を実施する。GRAPES-3 と明野観測所のミューオン望遠鏡は、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、申請者のグループにより運用されている。インドと日本では経度で約 60 度の差異があり、この差異と地球の自転を利用した連続観測により、広域同時観測が実現できる。

明野ミューオン観測では 3 基のミュー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 ミューオン観測も、検出面積を 2 倍（1,120 m^2）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ーオン望遠鏡 16 基について比例計数管の積み上げが終わった。2021 年度に信号計測回路の設置を行って本格観測を開始する予定であった。2019 年度末に始まった新型コロナウィルスの世界的流行が始まり、2020～2021 年度になっても依然として流行が治まらなかったために研究活動が

計画通りに進めることができなかったが、2020 年 3 月から新ミューオン望遠鏡の建設が再開することになった。インドでは日本国以上に状況が悪く、GRAPES-3 のある Ooty への移動が著しく制限されていたため、共同研究機関であるインド・タタ基礎研究所所属のインド人研究者でさえ観測施設に行くことが困難な状況が続いた。また、研究者の交流となるインド人研究者の日本への招待や日本人研究者のインド渡航も断念せざるを得なかった。そのような状況下で感染拡大の第 6 波となり、本研究代表者も中部大学に出張することができなくなり、予算の支出目的を、データの記録メディアなどに変更し、ハードディスク購入した。

一方、GPRAES-3 及び明野ミューオン観測のデータ解析について議論した。さらに、本研究代表者と中部大学の大嶋晃敏氏が、コロナ禍の中、感染者数の減少期であった今年度 12 月、および、3 月に明野観測所に出張し、3 基の明野ミュー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 4 件、宇宙線国際会議（ICRC2021）で 1 件の発表を行った。

【日本物理学会・その他学会発表】

1. 「大面積高精度 muon 望遠鏡による方位別宇宙線強度変動の研究(27)」、小島浩司、大嶋晃敏、田中公一他、2021 年 9 月、日本物理学会秋季大会、16pW2-10
2. 「大面積高精度 muon 望遠鏡による方位別宇宙線強度変動の研究(28)」、小島浩司、大嶋晃敏、田中公一他、2022 年 3 月、日本物理学会第 77 回年次大会、17pA431-2
3. 「大型ミューオンテレスコープを用いた宇宙天気観測」、大嶋晃敏、小島浩司、田中公一他、2022 年 3 月、日本物理学会第 77 回年次大会、17pA431-4
4. 「GRAPES-3 実験における大型 NaI 検出器の導入について」、曳野豪人、小島浩司、大嶋晃敏、田中公一他、2022 年 3 月、日本物理学会第 77 回年次大会、16aA431-9
5. 「High-resolution two-dimensional map of the solar-time anisotropy obtained by the GRAPES-3 large-area muon telescope」、PoS(ICRC2021)1303、 H. Kojima, et. al.

あらせ衛星観測データを用いた地磁気脈動の研究

Study for Ultra Low Frequency waves observed by Arase satellite

寺本万里子・九州工業大学大学院工学研究院

【研究目的】

太陽風やオーロラ爆発によって地球磁気圏内を伝搬する擾乱が、地球を取り巻く地磁気の固有振動と一致することによって、地磁気には周期 1 秒から 600 秒の正弦波が連続的に観測される。この地磁気に観測される正弦波は地磁気脈動と呼ばれている。地磁気脈動は周期やその形態によって分類されるが、本研究ではサブストームオンセットに伴う Pi2 地磁気脈動（周期 40-150 秒）に注目する。あらせ衛星のデータを中心として地上観測データを組み合わせ、Pi2 地磁気脈動の空間的な波動の特徴を調べ、サブストームとの関連を明らかにする。

【方法】

あらせ衛星が観測した内部磁気圏の磁場と電子密度データと、ホノルル、グアム、サンファンなどの地上低緯度の地磁気観測所の地磁気データを用いて、あらせ衛星で観測される Pi2 地磁気脈動と低緯度 Pi2 地磁気脈動と相関を調べ、内部磁気圏で観測される Pi2 地磁気脈動とプラズマポーズとの関係を統計的に調べた。

【結果と考察】

地上磁場と相関が高い Pi2 地磁気脈動は磁場の Compressional 成分に最も多く観測され、その頻度は衛星がプラズマ圏内部の磁気赤道面付近夜側に位置する場合が最も高かった。一方 Poloidal 成分にも地上 Pi2 地磁気脈動と相関がみられ、衛星が夜側磁気赤道面付近のプラズマ圏界面近くに位置している場合に集中して観測された。この結果から、夜側プラズマ圏外の高緯度（30-45 度）付近でも Compressional 成分に Pi2 地磁気脈動が観測されるのに対して、Poloidal 成分に見られる Pi2 地磁気脈動はプラズマ圏界面近辺に制限されていることがわかった。過去の極軌道衛星を用いた Pi2 地磁気脈動の研究[Teramoto et al., 2008;2011]では Poloidal 成分に Pi2 地磁気脈動は多く観測されなかったのに対し、本研究では Poloidal 成分にも Pi2 地磁気脈動が多く観測された。Lee and Takahashi [2006]の数値計算によると、内部磁気圏で観測される Poloidal 成分の Pi2 地磁気脈動の振幅は、プラズマ圏界面近辺の高緯度で大きくなると示唆されている。あらせ衛星はその軌道から、高緯度プラズマ圏界面に位置することが多い。そのため、あらせ衛星では Poloidal 成分にも Pi2 地磁気脈動を多く観測できたと考えられる。また、プラズマ圏界面に対する Pi2 地磁気脈動の位相・振幅分布を調べたところ Lee and Takahashi [2006]の数

値計算の結果とよく一致した。以上から、本研究で観測したPi2地磁気脈動はVirtual Resonance modeで起きていると考えられる。

【引用論文】

Teramoto M., Nosé M., Sutcliffe P., ″Statistical analysis of Pi2 pulsations inside and outside the plasmasphere observed by the polar orbiting DE-1 satellite″, Journal of Geophysical Research: Space Physics, Vol.113, No.7, doi:10.1029/2007JA012740 ,2008.

Teramoto M., Takahashi K., Nosé M., Lee D., Sutcliffe P., ″Pi2 pulsations in the inner magnetosphere simultaneously observed by the Active Magnetospheric Particle Tracer Explorers/Charge Composition Explorer and Dynamics Explorer 1 satellites″, Journal of Geophysical Research: Space Physics, Vol.116, No.7, doi:10.1029/2010JA016199, 2011.

Lee D.-H. and Takahashi K. ″MHD eigenmodes in the inner magnetosphere in Magnetospheric ULF Waves: Synthesis and New Directions″,Geophys. Monogr. Ser., vol.169, edited by K. Takahashi et al., pp73-90,AGU, Washington, D. C.,2006.

【成果発表】

Teramoto M., Miyoshi Y., Matsuoka A., Kasahara Y., Kumamoto A., Tsuchiya F., Nosé M., Imajo S., Shoji M., Nakamura S., Kitahara M., Shnohara I., ″Off-equatorial Pi2 pulsations Inside and Outside the plasmapause observed by the Arase satellite″, Journal of Geophysical Research, Vol.127, No.1, 2022.

（別紙様式４－２）

ERG衛星搭載中間エネルギー電子・イオン観測器のデータ解析
Data analyses on medium-energy electron and ion sensors onboard ERG

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

ジオスペース探査衛星ERGの基幹的観測器である，中間エネルギー帯(10-200 keV)のイオン分析器，電子分析器のデータ解析に関する議論を行う．ERG衛星のターゲットは放射線帯における相対論的電子の加速・消失であるが，そのメカニズムとして有力な候補が波動粒子相互作用である．相対論的電子を加速・消失する電磁波動を励起するのが中間エネルギー帯のイオン・電子であると考えられているが，実証的な観測結果はこれまで乏しい．この極めて重要なトピックに対して新たな知見を生み出すべく，中間エネルギー粒子分析器のデータ解析を推進する事が本研究課題の目的である．

研究方法

ERG衛星搭載中間エネルギー粒子分析器の観測について，以下の３点を中心に議論した．

(1)データの較正状況の確認，運用計画へのフィードバック

(2)データプロダクトの整備

(3)データの解析状況（科学的観点）

隔月でオンラインでの定例会を実施し，緊密な情報共有を図った．

研究結果

軌道の変化に合わせた運用計画の立案などと並行してデータ整備も進め，JGR誌その他国際誌に多数（20件弱）の論文を投稿することができた．

成果発表

- K. Keika, S. Kasahara, S. Yokota, M. Hoshino, K. Seki, T. Amano, L. M. Kistler, M. Nose, Y. Miyoshi, T. Hori, I. Shinohara, "Preferential energization of lower-charge-state heavier ions in the near-Earth magnetotail", J. Geophys. Res., doi:10.1029/2021JA029786, 2022.
- Yokota, S., N. Terada, A. Matsuoka, N. Murata, Y. Saito, D. Delcourt, Y. Futaana, K.Seki, M.J. Schaible, K. Asamura, S. Kasahara, H. Nakagawa, M.N. Nishino, R. Nomura, K. Keika, Y. Harada, S. Imajo, "In situ observations of ions and magnetic field around Phobos: The Mass Spectrum Analyzer (MSA) for the Martian Moons eXploration (MMX) mission", Space Sci. Rev., doi:10.21203/rs.3.rs-130696/v1, 2021.
- Yadav, S., "Study of an equatorward detachment of auroral arc from the oval using ground-space observations and the BATS-R-US - CIMI model", J. Geophys. Res., doi:10.1029/2020JA029080, 2021.
- Artemyev, A., A.G. Demekhov, X.-J. Zhang, V. Angelopoulos, D. Mourenas, Yu. V. Fedorenko, J. Maninnen, E. Tsai, C. Wilkins, S. Kasahara, Y. Miyoshi, A. Matsuoka, Y. Kasahara, T. Mitani, S. Yokota, K. Keika, T. Hori, S. Matsuda, S. Nakamura, M. Kitahara, T. Takashima, I. Shinohara, "Role of ducting in relativistic electron loss by whistler-mode wave scattering", J. Geophys. Res., doi:10.1029/2021JA029851, in press.
- Artemyev, A., I. Zimovets, I. Sharykin, Y. Nishimura, C. Downs, J. Weygand, R. Fiori, X.-J. Zhang, A. Runov, M. Velli, V. Angelopoulos, O. Panasenco, C. T. Russell, Y. Miyoshi, S. Kasahara, A. Matsuoka, S. Yokota, K. Keika, T. Hori, Y. Kazama, S.-Y. Wang, I. Shinohara, and Y. Ogawa, "Comparative study of electric currents and energetic particle fluxes in a solar flare and earth magnetospheric substorm", Astron. Phys. J.,

doi:10.3847/1538-4357/ac2dfc, 2021.
- Takahashi, N., K. Seki, M.-C. Fok, Y. Zheng, Y. Miyoshi, S. Kasahara, K. Keika, D. Hartley, Y. Kasahara, Y. Kasaba, N. Higashio, A. Matsuoka, S. Yokota, T. Hori, M. Shoji, S. Nakamura, S. Imajo, I. Shinohara, "Relative Contribution of ULF Waves and Whistler-mode Chorus to the Radiation Belt Variation during the May 2017 Storm", J. Geophys. Res., doi:10.1029/2020JA028972, 2021.
- Miyashita, Y., T.-F. Chang, Y. Miyoshi, T. Hori, A. Kadokura, S. Kasahara, S.-Y. Wang, K. Keika, A. Matsuoka, Y. Tanaka, Y. Kasahara, M. Teramoto, C.-W. Jun, K. Asamura, Y. Kazama, S.W.Y. Tam, B.-J. Wang, S. Yokota, A. Kumamoto, F. Tsuchiya, M. Shoji, S. Kurita, S. Imajo, I. Shinohara, "Magnetic field and energetic particle flux oscillations and high-frequency waves deep in the inner magnetosphere during substorm dipolarization: ERG observations" J. Geophys. Res. https://doi.org/10.1029/2020JA029095, 2021
- Goetz, C., H. Gunell, M. Volwerk, A. Beth, A. Eriksson, M. Galand, P. Henri, H. Nilsson, C. Simon Wedlund, M. Alho, L. Andersson, N. Andre, J. De Keyser, J. Deca, Y. Ge, K.-H. Glassmeier, R. Hajra, T. Karlsson, S. Kasahara, I. Kolmasova, K. LLera, H. Madanian, I. Mann, C. Mazelle, E. Odelstad, F. Plaschke, M. Rubin, B. Sanchez-Cano, C. Snodgrass, E. Vigren, "Cometary Plasma Science", Experimental Astronomy, doi:10.1007/s10686-021-09783-z, 2021.
- Kazama, Y., Y. Miyoshi, H. Kojima, Y. Kasahara, S. Kasahara, H. Usui, B.-J. Wang, S.-Y. Wang, S. W. Y. Tam, T. F. Chang, K. Asamura, S. Matsuda, A. Kumamoto, F. Tsuchiya, Y. Kasaba, M. Shoji, A. Matsuoka, M. Teramoto, T. Takashima, I. Shinohara, "Arase observation of simultaneous electron scatterings by upper-band and lower-band chorus emissions", Geophys. Res. Lett., doi:10.1029/2021GL093708, 2021.
- Kawai, K., K. Shiokawa, Y. Otsuka, S. Oyama, Y. Kasaba, Y. Kasahara, F.Tsuchiya, A. Kumamoto, S. Nakamura, A. Matsuoka, S. Imajo, Y. Kazama, S.-Y., Wang, S.W.Y. Tam, T. F. Chang, B. J. Wang, K. Asamura, S. Kasahara, S. Yokota, K. Keika, T. Hori, Y. Miyoshi, C. Jun, M. Shoji, I. Shinohara, "First simultaneous observation of a nighttime medium-scale traveling ionospheric disturbance from the ground and a magnetospheric satellite", J. Geophys. Res., doi:10.1029/2020JA029086, 2021.
- Park, I., Y. Miyoshi, T. Mitani, T. Hori, T. Takashima, S. Kurita, I. Shinohara, S. Kasahara, S. Yokota, K. Keika, S. G. Claudepierre, M. D. Looper, "Characterization and calibration of high-energy electron instruments onboard the Arase satellite", J. Geophys. Res., doi:10.1029/2021JA029110, 2021.
- Miyoshi, Y., K. Hosokawa, S. Kurita, S.-I. Oyama, Y. Ogawa, S. Saito, I. Shinohara, A. Kero, E. Turunen, P. T. Verronen, S. Kasahara, S. Yokota, T. Mitani, T. Takashima, N. Higashio, Y. Kasahara, S. Matsuda, F. Tsuchiya, A. Kumamoto, A. Matsuoka, T. Hori, K. Keika, M. Shoji, M. Teramoto, S. Imajo, C. Jun and S. Nakamura, "Penetration of MeV electrons into the mesosphere accompanying pulsating aurorae", Sci. Reports., doi:10.1038/s41598-021-92611-3, 2021.
- Szabo-Roberts, M., Y. Y. Shprits, H. J. Allison, R. Vasile, A. G. Smirnov, N. A. Aseev, A. Y. Drozdov, Y. Miyoshi, S. G. Claudepierre, S. Kasahara, S. Yokota, T. Mitani, T. Takashima, N. Higashio, T. Hori, K. Keika, S. Imajo, I. Shinohara, "Preliminary Statistical Comparisons of Spin-Averaged Electron Data from Arase and Van Allen Probes Instruments", J. Geophys. Res., doi:10.1029/2020JA028929, 2021.
- Namekawa, T., T. Mitani, K. Asamura, Y. Miyoshi, K. Hosokawa, Y. Ogawa, S.Saito, T. Hori, S. Sugo, O. Kawashima, S. Kasahara, R. Nomura, N. Yagi, M.Fukizawa, T. Sakanoi, Y. Saito, A. Matsuoka, I. Shinohara, Y. Fedorenko, A.Nikitenko, C. Koehler, "Rocket Observation of sub-relativistic electrons in the quiet dayside auroral ionosphere", J. Geophys. Res., doi:10.1029/2020JA028633, 2021.
- Yahnin, A. G., T. A. Popova, A. G. Demekhov, A. A. Lubchich, A. Matsuoka, K.Asamura, Y. Miyoshi, S. Yokota, S. Kasahara, K. Keika, T. Hori, F. Tsuchiya, A.Kumamoto, Y. Kasahara, M. Shoji, Y. Kasaba, S. Nakamura, I. Shinohara, H. Kim, S. Noh, T. Raita, "Evening side EMIC waves and related proton precipitation induced by a substorm", J. Geophys. Res., doi:10.1029/2020JA029091, 2021.
- Kumar, S., Y. Miyoshi, V. K. Jordanova, M. Engel, K. Asamura, S. Yokota, S. Kasahara, Y. Kazama, S-Y. Wang, T. Mitani, K. Keika, T. Hori, C. Jun, I. Shinohara, "Contribution of electron pressure to ring current and ground magnetic depression using RAM-SCB simulations and Arase observations during 7-8 November 2017 magnetic storm", J. Geophys. Res., doi:10.1029/2021JA029109, 2021.
- Verscharen, D., R.T. Wicks, O. Alexandrova, R. Bruno, D. Burgess, C. H. K. Chen, R. D'Amicis, J. De Keyser, T. Dudok de Wit, L. Franci, J. He, P. Henri, S. Kasahara, Y. Khotyaintsev, K. G. Klein, B. Lavraud, B. A. Maruca, M. Maksimovic, F. Plaschke, S. Poedts, C. S. Reynolds, O. Roberts, F. Sahraoui, S. Saito, C. S. Salem, J. Saur, S. Servidio, J. E. Stawarz, S. Stverak, and D. Told, "A Case for Electron-Astrophysics", Experimental Astronomy, doi:10.1007/s10686-021-09761-5, 2021.
- Takada,M., K. Seki, Y. Ogawa, K. Keika, S. Kasahara, S. Yokota, T. Hori, K. Asamura, Y. Miyoshi, and I. Shinohara, "Low-altitude ion upflow observed by EISCAT and its effects on supply of molecular ions in the ring current detected by Arase (ERG)", J. Geophys. Res., doi:10.1029/2020JA028951, 2021.
- 笠原慧, 横田勝一郎, 桂華邦裕, 堀智昭, 山本和弘, "Performance of Medium-Energy Particle experiments (MEPs) onboard ERG: a long-term view", SGEPSS, 口頭発表, virtual, 2021 年 11 月 3 日.

（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

渡邉　堯、情報通信研究機構

（２行スペース）

今年度もペルセウス流星群（8 月）などの流星群活動期に合わせた ELF/VLF 帯電波観測を実施したが、天候不順により光学観測との対比が困難であった。また光多くの学観測（ビデオ）では（アマチュア観測者による）、時刻情報をパソコン内蔵クロックに依存しており、常に 1-2 秒程度の不確定さがあるため（ほぼランダムに変化）、GPS による時刻発生装置の自作により、時間精度確保のための改善を行った。

2020 年 12 月 6 日 02 時 (JST) にオーストラリア南部で実施された、はやぶさ２サンプルリターンカプセル再突入時における ELF/VLF 電波観測データの解析を継続した。昨年度に於ける予備的な解析に於いて、数十 msec の継続性を持ち、比較的平らな周波数特性を持つ微弱ノイズが、カプセルの火球フェイズ極大期にで有意に多く発生していることが判明したが、今年度はこれらのノイズの高分解能スペクトル解析を行い、電離層・地表導波管伝播の遮断周波数（約 1.7 kHz）における分散のが極めて小さい近距離ノイズが、カプセル火球フェイズの極大時に多く発生していることが確認された。しかし同様のノイズはカプセル再突入に関係の無い時間帯でも、稀ではあるが検出されるため、雷雲中の非常に弱い放電によって発生したものも混入していることが予想される。一方カプセル起源である場合は、電波の発生高度が約 60-200 km であるのに対して、気象現象の場合は精々数 km であることから、直接波と電離層・地表間の反射波との間の遅延時間に大きな差が発生するため、両者の判別は可能である。そこでノイズ波形の自己相関解析によって得られる遅延時間と、カプセル軌道データによる予想値とを比較したところ、カプセル火球フェイズで検出された事例の多くで良い一致が見られた。以上の解析から、カプセル再突入に際して受信可能レベルの ELF/VLF 電波が放射されていた可能性は高いと思われる。また電波の発生は、激しいアブレーションを起こしているカプセルとその周辺領域における、高電圧場の形成と放電によるもの解されるが、流星においても同様の現象が起こっていることが推測された。これらの解析結果は地球電磁気・惑星圏学会（2022 年 11 月）、日本天文学会春季年会（2021 年 3 月 4 日）で発表を行った。

（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ー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、スウェーデン・ソダンキラと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 For

mat（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で使用が可能な解析ソフトウェアの開発を進め、あらせ衛星とオーロラデータの統合的な解析環境が整いつつある。今後、この解析環境をベースとして、脈動オーロラの高度決定を進めていく予定である。

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、脈動オーロラのパッチ内部で、降下電子エネルギーの不均一が存在する可能性が示唆されてきている。この成果を含めた共同研究の内容は、修士論文としてまとめられ、国際学術誌へ投稿をおこなっている。今後、脈動オーロラの高度推定の際にも、この知見を活かし、研究を進めていく。

【成果報告】

- 遠山 航平、栗田 怜、三好 由純、細川 敬祐、小川 泰信、大山 伸一郎、齊藤 慎司、野澤 悟徳、川端 哲也、浅村 和史、多波長から推定する脈動オーロラの降下電子エネルギー、第150回地球電磁気・地球惑星圏学会総会・講演会、2021年11月 4 日
- 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, *submitted to Geophysical Research Letters*

流星火球及び人工流星のプラズマ化による電波放射の観測

Radio observation from the plasma of fireball and artificiale space object

野澤恵、茨城大学・理学部

本研究の目的は、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ある。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) などの報告がある。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。そこで、2020 年 12 月にはやぶさ 2 の再突入するカプセルを観測した。ここでは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され、プラズマ化される。これは流星と発光過程と同じであると考えている。また、はやぶさ 2 のカプセルに関する情報(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。

観測装置は、プラズマ化したのちの電波放射をログペリアンテナ(ログペリオディックアンテナ、対数周期アンテナ)を用いる。受信機は e-callisto(http://www.e-callisto.org/, International Network of Solar Radio Spectrometers) を改良したものである。取得したデータは、電波放射におけるプラズマの素過程を明らかにする。実際の観測はコロナ禍のためにオーストラリア現地に行くことができなかったため、現地の Curtin 大学に協力を得て観測に臨んだ。しかし受信設定にトラブルがあり、受信は行えなかった。

初期成果をまとめた論文が Sansom et al(2022)として出版された。これには超音速で突入するカプセルが発する空振現象を捉えた信号や、発光現象を分光したデータなどを盛り込んだものである。本研究では観測機器の説明を行い、受信が失敗したことを記載した。

加えて 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を行なっている。

Sansom et al., The scientific observation campaign of the Hayabusa-2 capsule re-entry, Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 74, Issue 1, February 2022, Pages 50–63, https://doi.org/10.1093/pasj/psab109

（別紙様式４－２）

トロムソ Na ライダー観測による熱圏 Na に関する統計的研究
Statistical investigation on thermospheric Na based on Tromsø Na lidar observation

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

共鳴散乱ライダー観測は，レーダー観測では捉えられない中性大気の情報を得ることができる貴重な手段として半世紀以上発展を続けているが，観測高度範囲は金属原子層 (Na, Fe, K, etc.) の分布高度に限定される．金属原子層の通常の分布高度は 80-110 km であり，これが観測高度範囲の限界であると考えられてきた．一方で，近年，それよりも高い高度領域 (熱圏高度) に低密度の金属原子層が分布する事例が世界各地において，また様々な金属原子について報告された．例えば，南極マクマード基地 (77.8ºS, 166.7ºE) では高度 155 km に達する Fe 層 [Chu et al., GRL, 2011]，南極昭和基地 (69.0ºS, 39.6ºE) では高度 140 km に達する Na 層が観測されている [Tsuda et al., GRL, 2015a]．アンデス山脈のセロパチョン (30.3ºS, 70.7ºW) の例では，熱圏領域に分布する Na 層を利用して，高度 140 km までの温度・風速の観測に成功している [Liu et al., GRL, 2016]．

熱圏高度に分布する金属原子層の存在は，従来観測が困難であった熱圏領域への観測高度の拡張という観点において重要な意義を有しているが，常時存在するものではない．前述の先行研究における観測報告は散発的な観測データセットによるものであり，熱圏金属原子層の消長について統計的な理解が十分に得られていない．そこで本研究では，北極域に位置するノルウェー，トロムソ (69.6ºN, 19.2ºE) の Na 共鳴散乱ライダーの観測データを解析することで，熱圏 Na 層の消長について統計的な性質を明らかにすることを目的とする．

研究進展状況

本研究では，2015-2019 年の冬季 5 シーズン分の観測データの解析を中心に研究を進めた．低密度の熱圏 Na 層を捉える為，SNR 向上を目的とした事前データ処理として，データ積分範囲の調整を行い，最終的に，3600-s x 3840-m の積分範囲 (分解能) を設定した．導出した SNR は，晴天データの抽出にも用いることにした．具体的には，高度 30 km の SNR を参照し，晴天時の高 SNR が確保されている時間のデータを晴天データとして抽出した．抽出した全ての晴天データについて Na 密度，Na 密度誤差を導出し，誤差評価に基づいて，有意な Na 密度データの数を求め，全データ数で規格化することで，Na 存在確率を算出した．その結果，Na 存在確率は，高度 80-110 km で ~100%，高度 121 km で ~78%，高度 128 km で ~44% であった．このように，高度の上昇と共に，Na 存在確率が低下する傾向を確認した．更に，Na 存在確率の LT 依存性を調査したが，顕著な LT 特性は確認できなかった．概ね一様な LT 特性であったことから，熱圏 Na の生成機構として，分子拡散のような恒常的な効果が重要な寄与を及ぼしている可能性が示唆された．

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高精度較正が重要である。あらせで得た磁場データの高精度較正には、地上較正試験の結果だけでなく、打ち上げ後のデータを評価した結果も用い、軌道上データから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。

【研究方法】

軌道上のあらせ磁場データの評価と較正の妥当性の検討を行い、磁場分解能、時間分解能、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。磁力計機器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作業した。

【研究結果】

磁場データ較正のオフセット、アライメント、クオリティフラグ等の結果は、図１にあるような結果表示プロットによって確認し、更に詳細な確認が必要な場合には個別のデータの調査を行った。新型感染症の影響により、出張を伴う会合を持つことは出来なかったが、研究組織のメンバーがそれぞれの専門を生かす役割分担を行い、メール等で綿密に結果を共有することによって研究を進めた。2021年度は、「あらせ」MGFデータを用いた論文が32本発表された。

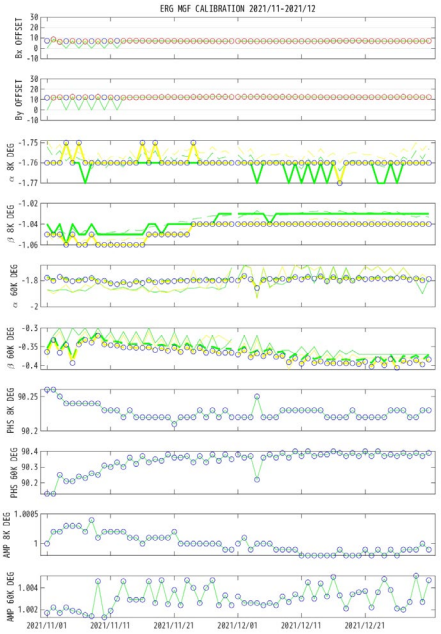


図１　「あらせ」磁場データ較正結果確認用サマリープロットの例

【考察・まとめ】

現状、ほぼ定常的に科学的研究に資するクオリティを持つ「あらせ」MGFデータを生成する体制を維持できている。一方で、時刻や衛星運用の事情等で例外的な状況の時にはスポット的に正常なデータ処理が出来ない事例も発生している。今後そのような事例も自動で処理できるように、プログラムを変更する必要がある。

【成果発表】

Matsuoka Ayako, Nose Masahito, Miyoshi Yoshizumi, Teramoto Mariko, Nomura Reiko, Fujimoto Akiko, Tanaka Yoshimasa, Shinohara Manabu, Kurita Satoshi, Imajo Shun, Shinohara Iku, Statistical characteristics of the magnetic field variations observed by Arase, JpGU 2021, Virtual, 2021/6/5［口頭発表］

Ayako Matsuoka, Mariko Teramoto, Reiko Nomura; Yoshizumi Miyoshi, Masahito Nose, Akiko Fujimoto, Yoshimasa Tanaka, Manabu Shinohara, Yuki Obana, Satoshi Kurita, Shun Imajo, Masahiro Kitahara, Iku Shinohara、The magnetic field investigation on the ARASE (ERG) mission: Data characteristics and scientific results, IAGA-IASPEI 2021, Virtual, 2021/08/24［口頭発表］

松岡彩子　「磁気圏内外を駆ける電磁流体波／人工衛星の磁場測定」（田中舘賞受賞講演）地球電磁気・地球惑星圏学会 第150 回講演会、オンライン、2021/11/04［口頭発表］

（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科

1.研究目的：

近年，世界的にシビア現象による深刻な被害が多発している．多くのシビア現象は，雷嵐を伴っているが，雷嵐を構成する大気圏中の雷雲や雷活動の気象学的，電気的特性を含めた高高度への影響等を包括的に捉えた研究は極めて少ない．そこで本研究では，日本国内および，周辺領域で観測されるシビア現象の発生から衰退に至る期間に渡り，電磁気的手法による大気圏の雷嵐と電離層の同時観測から気象擾乱の電離圏への結合過程を調査する．
2021年度は，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成果について下記に報告する．

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，それぞれ4つの期間(発生期・発達期・成熟期・衰退期)毎に，台風に伴う雷活動特性（JTLN, ELF帯磁場観測），気象学的特性（気象衛星），下部電離圏（VLF送信電波観測）の応答についての時空間特性を包括的に詳細に調査した．

3.研究結果：

図1(a)に台風15号の負極性対地放電について，台風のアイウォール(中心から距離0～100 km) 付近の解析結果を示す．図より，台風の強度(最大風速)が最大になる2日前に雷放電頻度が最大となることが確認された．

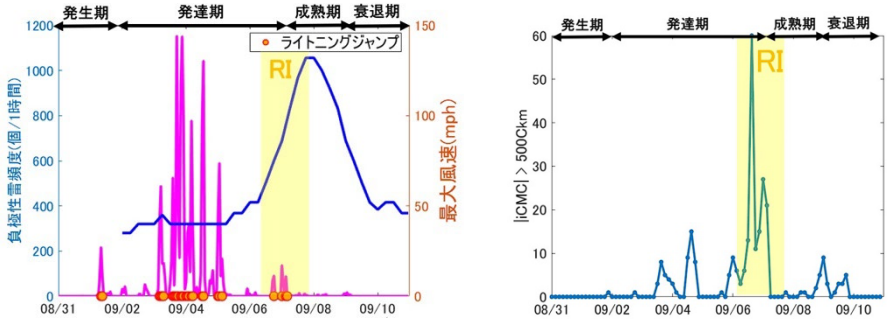


図１台風15号のアイウォール付近の(a)負極性落雷頻度，
(b) 負極性高エネルギー落雷頻度

また，図1(b)よりRI（急速発達期であるRapid Intensification）期間にELF帯観測より同定された高エネルギーの雷放電（CMC>500Ckm）が，極性に関わらず集中して発生する傾向が示され，高エネルギーの雷放電発生が，台風の急速な発達期間であることの指標となる可能性も示している．

次に，図2にVLF帯送信局(NPMハワイ)と受信局(北海道母子里)で観測されたデータより導出された下部電離層擾乱強度と，台風の中心から500 km以内に雷頻度の急上昇が発生した時間（LJ）や高高度まで発達した雷雲の空間スケールとの関連性を調査した結果をまとめた．図2より，発達時において，高高度の雷雲の存在時期に対応して，活発な雷活動と，電離層擾乱が卓越して発生していることがわかる，また，電離層擾乱強度の最大時期は，高高度の雷雲や雷放電の最大時期より１日程度遅れている．さらに，発生期にも，強い擾乱が見られる．

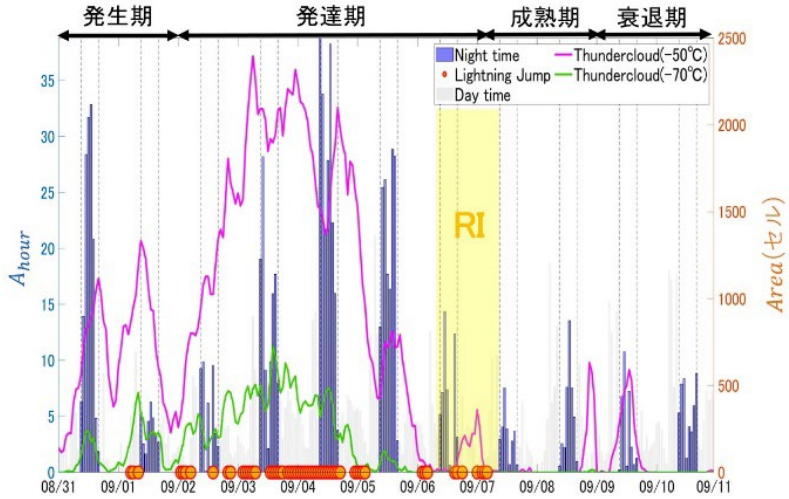


図２ 台風15号の電離層擾乱強度と気象擾乱との関係 （MSR-NPM）

4.まとめ：

本研究では，台風の発生から衰退にかけて，台風に伴う雷活動特性，気象学的特性，下部電離圏の応答について時空間特性を包括的に詳細に調査した．その結果，台風のステージ毎で領域別に，雷放電頻度や放電極性，雷雲の発達度の解析により，台風の強度予測精度の向上に貢献できる可能性が示唆された．また，観測された台風による雷嵐の気象学的，電気的特性と電離層擾乱の時空間特性の時空間的対応は，大気波動や電磁波による台風に伴う大気圏―電離圏結合過程を強く示唆している．

成果発表：

[1] 平井 周, 芳原 容英, 菊池 博史, マイケル ストック, “複合電波観測を用いた台風に伴う大気圏と電離圏の関連性に関する研究,” 信学技報, vol. 121, no. 6, EMCJ2021-6, pp. 27-30, 2021年4月.
[2] 平井周，芳原容英，菊池博史，Michael Stock, “台風に伴う大規模気象擾乱の電離圏への結合過程に関する研究,” JpGU2022, MIS25-P09, 2021年6月.

（別紙様式４－２）

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・結果

電波については東北大の高時間・高周波数分解能(10msec, 61KHz)の数 100MHz 帯のスペクトル観測装置(AMATERAS)の太陽電波データ、太陽コロナ状態については科学衛星ひので(SXR)、SDO(EUV), RHESSI(HXR)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、特に X 線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。

研究初年度の 2021 年度は、特にⅡ型電波バースト微細構造の周波数ドリフト率の詳細解析を行ってきた。データは、上述の AMATERAS で取得したデータを用いている。Ⅱ型バーストの出現は、申請者らが観測を開始した 2010 年以降、現在迄 30 例余同定されており、この中から S/N の良いデータをピックアップし、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)を求め、データベースを作成している。これまでの解析から、微細構造を形成するバースト群の周波数ドリフト率は平均値として大きいこと(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んでいることを示唆）が見えてきており、衝撃波加速過程の存在を想起させる結果となっている。本結果を用い、今後、微細構造出現時のイメージデータとのイベント毎の照合解析を行い、微細構造生成に関わる粒子生成域の探索を進めてゆく。

3．成果報告等

・研究会等発表： 三澤, Space-Sun-Earth ランチセミナー, 2021 年 6 (on line 開催)); 三澤他, 太陽研連シンポジウム, 2022 年 2 月(on line 公開)・同集録

研究課題名

太陽フレア時に発生した衝撃波に伴う高エネルギー粒子加速の研究

Study of particle acceleration into high-energies by the shock acceleration with large flares

代表者、所属機関・部局

村木　綏、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

名大宇宙地球環境研究所の研究課題の一つに、太陽表面の爆発現象が地球や周辺の宇宙空間にどのような影響を与えるかという研究課題がある。宇宙線グループはこの課題に、粒子線というプローベを用いて研究している。　我々はこの研究のために電気的に中性の太陽中性子の信号を捉えて、フレアの構造変化と対応させ、高エネルギー粒子(SEP) がいつ、どのように作られるのかを解明したいと考えている。言い換えれば SEP の起源の研究である。

この研究を通して近年明白になってきたことは、gradual flare における粒子加速は衝撃波加速によると解釈できるという認識である。先行する CME に後発の早い CME が追いつき衝撃波が作られた例が SOHO 衛星の観測で多数見つかっているからである。一方 impulsive flare に関しては、諸説あるものの、決定的な理論はまだ無いと言えよう。例えば我々の観測で見つかった 2012 年 6 月 3 日のイベントでは、陽子が 1 分間に 150keV から 10GeV まで加速されたと考えられるが、これを衝撃波加速模型では説明するのは困難である。詳細は日本天文学会英文誌 PASJ (2021) volume 73, page 1443 にて公表した。

今回のイベントは 2004 年 11 月 7 日の X2.0 のフレアに伴って観測されたものである。イベントの解析は 2020 年度の共同利用の研究テーマとして実施した。またその結果は 2021 年 7 月 Berlin で開催された第 37 回宇宙線国際会議(on-line)でも口頭発表した。その内容は会議の Proceeding に公開されている。[Proceeding of the 37th ICRC (Berlin); Proceeding of Science PoS (ICRC2021) 1264.]

2004.11.7 イベントの概要

ここで 2004 年 11 月 7 日のイベントを紹介する。X線の増加に同期して加速された陽子が作り出した太陽中性子が高度 5,250m の Bolivia, Chacaltaya 山に設置されていた名大太陽中性子観測装置で受信された。信号の継続時間は 20 分であった。一方ほぼ同じ経度に設置されたメキシコの太陽中性子望遠鏡(4,600m)にも、同時刻に信号の増加が認められた。ただしこの信号は 78 分間も継続した。太陽中性子であれば 25 分以上信号は増加しないはずである。Mexico の信号は太陽中性子が崩壊して作った陽子が観測されたものと我々は解釈した。

しかしここで一つ問題が生じた。メキシコの荷電粒子に対する地磁気の剛度は 8GV と言われている。すなわちその親の中性子のスペクトルがこのような高いエネルギーまで伸びている

のか、そもそも中性子が崩壊するのかという問題である。EPS 誌の referee の一人から、extraordinary な現象を説明するために、extraordinary な仮定を導入していると言われた。これは読み方によって、こんな高エネルギーの中性子が崩壊した陽子が受信できるはずがないという批判とも取れるし、また別の見方をすればそのくらい STE の大事件であるとも言えよう。

この問題を真面目に考えるために、2021 年度は茨城高専の三宅晶子さんに依頼して、彼女の反陽子の運動方程式のプログラムを駆使し、数 GeV のエネルギーを有している太陽中性子崩壊陽子（Solar Neutron Decay Protons の頭文字をとって SNDPs と以後略することにする。）が果たして磁気圏に侵入できるか否かを調べた。その結果、いわゆる公称剛度(rigidity) の 8GeV より低いエネルギーの陽子もメキシコ上空に侵入することが分った。従ってより正確にこのエネルギー領域の陽子の侵入確率を計算することが、現象の正確な解釈に必須であることが分った。結果がどうなったかを報告する前に当日の太陽地球間空間の様相を紹介する。

2004.11.7 の太陽地球空間の様相

このイベントの 1 日前に発生した巨大な CME に、その後放出された高速（秒速 1,500km）CME が追いついた写真が SOHO- LASCO 測定器にて撮影された。この衝突により、衝撃波が形成されたことは間違いない。しかしこの衝撃波が地球近傍に到達したのは名大の太陽風観測装置の観測結果や GOES 衛星の磁場の data から判断すると 11 月 9 日の 9UT であった。一方 11 月 7 日の 18:30UT には GOES 衛星の磁力計はショックの到来を示唆している。16UT に発生した X2.0 のフレアに伴う衝撃波が 2 時間半後に地球に到来することは考えにくい。これもまた名大太陽風観測装置の観測結果から判断して、このショックは 1 日前の 11 月 6 日の 12UT に発生した、M9.3 のフレアによるものと考えられる。すなわち CME が~1,500km/sec で太陽地球間を走れば、この時間に地球近傍に到達する。この shock の到来と同時に Chacaltaya や Sierra Negra 山の太陽中性子観測装置も、信号の増加を示している。

アメリカ大陸の 2 か所に設置された太陽中性子観測装置に記憶された増加をどう解釈すべきか？ まず Chacaltaya の data の >40MeV, >80MeV の 2 channel の Local Time（LT） 9 時の peak は丁度 IMF の到来方向と一致するので、この増加は宇宙線の対流(convection)によるものと考えられる。 一方 LT 14 時 30 分（18:30UT）の増加は、11 月 6 日に発生した CME に捕らわれていた SEP 粒子が到来し、21UT の増加はその後のショックで加速された陽子が到来したと考えてよいのであろう。

今問題にしているのは、X 線の急速な増加と同期して作られた 12 時 local time（正午）（16UT）の peak である。これは impulsive flare で加速された陽子が太陽表面を叩いて作られた中性子とそれが崩壊して作り出した陽子(SNDP)が両検出器に検出されたと考えた。また 23:30UT にも増加が見られる。Forbush Decrease の谷の中にインドの muon detector の東側から到来した

成分が増大している。なお東側からの muon の cut-off energy は 25GV, 平均の陽子のエネルギーは 80GV である。これはすなわち陽子が衝撃波で 100GeV まで加速されたことを示唆している。いずれにしても大変面白いイベントであることは間違いない。

2021 年度の共同研究成果の具体例

2021 年度本イベントに関連して認識が一歩前進した点を列挙しておく。概要は 3 月 1 日の共同利用成果発表会で説明した。

1) メキシコの剛度はいままで 8GV と言われていたが、4GV まで陽子が侵入可能である。
2) 6GV までは侵入できる可能性が高いので threshold energy は 6GV として議論を進める。
3) 前日の M9 のフレアと共に発生した CME が 16UT には地球の 0.04AU まで接近していた。0.04AU は 10^7km である。これを飛行距離(ℓ)とする。
4) ℓ~0.04AU を光速度に近い速度で飛来する中性子(En~6GeV)の崩壊確率は 0.0031 である。非常に少ないが 0 ではない。
5) SNDP が地球大気に突入したとき、大気で吸収される。その信号がガンマ線や中性子となって高山で受信される確率を GEANT4 で計算した。計算は中部大の小井辰己さんが行った。その結果、6GeV の陽子が侵入した場合、32MeV 以上の channel で受信される確率は 0.5 であることが分った。これは 2 個 6GeV の陽子が大気 top に侵入すれば 1 回は検出器が反応することを意味する。また anti-counter の上部には 5mm の鉛が、side は 1cm 厚の鉄板で囲まれている。そのためガンマ線は電子に変換され比例計数管で検出される。その確率は 1.0、すなわち検出効率は 100%であることがわかる。実際 Mexico の太陽中性子望遠鏡で 2004.11.7 に観測されたイベントの強度比は、この予測と一致しており、信号強度は anti-counter ＞ S1 channel（>30MeV）となっている。
6) 更に考慮しないといけないのは、大気中への入射角度によって、信号の減衰度が異なるという点である。斜めに大気上空に入射すれば、山の上に信号が到達するまでにより深く大気を通過する必要があるので、減衰が激しくなる。GEANT4 による計算では、Ep=6GeV, En>32MeV の信号が受信される確率は、垂直入射の時は 0.5 であるが、20 度になると 0.4 に、40 度になると半分の 0.2 に減衰する。60 度になると更に減衰して 0.1 と予想される。
7) 太陽中性子が崩壊する確率は 4)に述べたように非常に少ない。しかし崩壊する空間が巨大なので結構な数の SNDP が地球の磁気圏前面に到来することが予測される。そこで磁気圏前面の magneto-sheath, magnetopause を太陽側から見た時の面積(S)を求める必要がある。ここでは target S の中に入射してきた陽子は、その侵入角度が天頂角 45 以内であれば高山の装置に信号を作り出すと考えた。この標的 S の面積はここでは magnetopause の面積と仮定した。magnetopause までの距離は地球の中心からおよそ $8R_E$ なので、磁気圏を球と近似して、$S\sim\pi(8R_E)^2$ とした。その値は $S\approx 8\times10^9\text{km}^2\approx 8\times10^{15}\text{m}^2$ となる。

8) さて磁気圏先端部の magnetopause に飛来した陽子は本当に Sierra Negra 山の真上まで到達できるだろうか？そこで Sierra Negra 山の 20km 上空から反陽子を打ち出し、磁気圏境界面まで到達できるか否かを調査した。　その結果 6GeV の陽子の 10%が生き残って到来することが判明した。ただしエネルギーが低くなり、5GeV に近づくと入射確率も減り、かつ陽子は地球の tail 方向から多くやってくることも分った。太陽方向から入射できる陽子の割合はおよそ 6-8GeV で 2% (0.02)である。すなわち地球の磁気圏前面の magnetopause から Mexico 上空に侵入できる SNDP は約 2%であることを示している。逆に 2%もの陽子が地磁気による遮蔽をかいくぐって侵入できることを示している。楽器のホルンのように集積効果がある。この結果は三宅晶子さんによって調べられた。

9) 上記の全ての侵入確率や生き残り確率を掛け算すると、1.0×10^{11} 個の SNDP が期待される。($0.0031\times 0.5 \times 0.4 \times (8\times10^{15}m^2) \times0.02=1.0\times10^{11}$) この値を Chacaltaya の中性子測定器の値と比べることになる。

Chacaltaya の flux との比較

上記の値は膨大であり、そのような 6GeV の陽子が本当に Mexico の上空に飛来するはずがないと思われるであろう。しかし今までの議論には energy spectrum が含まれていない。100MeV の太陽中性子と 6GeV の太陽中性子の flux の値は大きく異なる。上記の議論はあくまで energy spectrum が flat であるときの議論である。Chacaltaya の中性子の energy spectrum は微分で**べき** γ=-4 (積分で γ=-3)で記述できる。そこで 100MeV から 6GeV で期待される値を求めると、4×10^{-6} 少ないことが予測される。この値を上記の値と掛け算すると 4×10^{5} 個が期待値となる。Chacaltaya の中性子の flux は 8×10^{4} なので、５倍ほど SNDP の観測値が強いが、このような議論でもかなり現実に近い値が得られた。そこでさらに親の energy spectrum を考慮する。

Chacaltaya の中性子の energy spectrum は 100-1000MeV の範囲の中性子に対するものであって 1000MeV を越えても、べき乗が同じ γ=-4 で伸びているかどうかは不明である。そこで 1GeV を越えるとべきがソフトになると考える。1GeV より先では γ=-5 となると仮定すると、7×10^{-7} 倍　6 GeV の flux が低くなると期待される。これを掛けると、7×10^{4} となり、Sierra Negra の flux と Chacaltaya の flux は一致する。

Chacaltaya の信号は太陽中性子によって、Sierra Negra の信号は太陽中性子崩壊陽子によって作られたと言えよう。このような高エネルギーの SNDP が受信されたのは世界で初めてであり、今までのイベントえられた中性子イベントの再解釈も必要になる可能性が高い。

05）奨励共同研究　目次詳細

所属・学年は2022年3月現在

2021年度　　3件

研究代表者 Principal Investigator	所属機関 Affiliation	所属部局 Department	学年 Year	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
吹澤　瑞貴	東北大学	理学研究科	博士後期課程3年	静電電子サイクロトロン高調波による低エネルギー電子降下と脈動オーロラ発光	174	
平井　あすか	東北大学	理学研究科	博士後期課程3年	あらせ衛星観測に基づくEMIC波動による放射線帯電子散乱過程の研究	176	
西本　将平	防衛大学校	理工学部地球海洋学科	博士後期課程3年	太陽フレア放射スペクトル予測モデルの構築	180	

（別紙様式５－２）

静電電子サイクロトロン高調波による低エネルギー電子降下と脈動オーロラ発光
Precipitation of low-energy electrons and pulsating auroral emission caused by electrostatic electron cyclotron harmonic waves

吹澤　瑞貴、東北大学大学院・理学研究科・博士課程後期3年
坂野井　健，東北大学大学院・理学研究科・准教授

【研究目的】

脈動オーロラは磁気赤道面付近で励起されたlower band chorus (LBC) 波とのサイクロトロン共鳴によりloss coneへ散乱された数keVから数十keVの電子が電離圏に降り込み，地球大気中粒子と衝突することで発光する．LBC 波と同様に磁気赤道面付近で励起されるupper band chorus (UBC) 波と静電電子サイクロトロン高調 (ECH) 波は，LBC波よりも低いエネルギーの数百eVから数keVの電子とサイクロトロン共鳴する．本研究では，オーロラ発光に寄与するような低エネルギー (1–10 keV) 電子のLBC, UBC, ECH波によるloss coneへのピッチ角散乱が普遍的に発生しているのかをあらせ衛星によるその場観測で得られたデータを統計的に解析することで検証することを目的とする．

【研究方法】

まず，あらせ衛星に搭載されている機上周波数分析器 (OFA) によって観測されたLBC, UBC, ECH波の振幅と，低エネルギー電子分析器 (LEPe) によって観測されたloss cone filling ratio (LCFR) の散布図をLEPeの観測エネルギー毎に作成した．そして，LCFR をそれぞれの波動の振幅の関数として回帰直線を求めた．また，LCFR と波動強度のKendallの順位相関係数を求めた．そして，回帰直線の傾きが正となり，かつ相関係数が統計的に有意な値を持つエネルギー帯をLBC, UBC, ECH波それぞれについて調べ，それぞれの波動がピッチ角散乱に寄与するエネルギー帯を明らかにした．

また，LCFR がある閾値を超える割合をそれぞれの波動に対して求めることで，それぞれの波動によるロスコーンへの強い拡散がどのエネルギー帯でどれくらいの頻度で発生し得るか調査した．そして，それぞれの波動のピッチ角拡散係数を計算し，強いピッチ角散乱の発生率が高いエネルギー帯と，ピッチ角拡散係数がstrong diffusion level を超えるエネルギー帯を比較し，その整合性を検証した．解析期間は2017年3月24日から2020年8月31日とした．

【研究結果・考察】

LBC, UBC, ECH波の回帰直線の傾きが正であり，かつ相関係数が統計的に有意な値を持つエネルギーは，それぞれ~2–20 keV, ~1–9 keV, ~0.1–2 keV であることが明らかとなった．この結果は，それぞれの波動がこれらのエネルギー帯で電子をロスコーンに散乱していることを示唆する．

また，LBC, UBC, ECH波の振幅 (B_{LBC}, B_{UBC}, E_{ECH}) がそれぞれある閾値を超えた条件下と全ての波動の振幅がある閾値を下回った条件下 (No wave) において，LCFR が0.5よりも大きくなるサンプルの割合を図1a, 1b に示す．この図から，LBC, UBC, ECH波によ

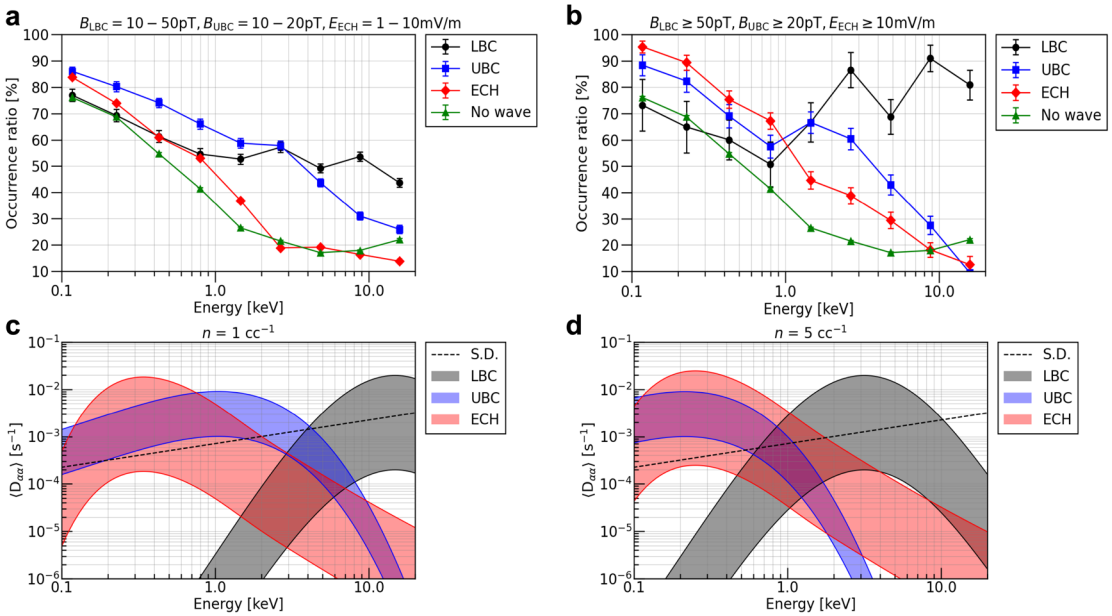


図 1 (a, b) LCFR > 0.5 となるデータ数の割合．LBC，UBC，ECH 波の振幅（B_{LBC}，B_{UBC}，E_{ECH}）の条件は各パネルの上部に記載されている．**(c, d)** LBC，UBC，ECH 波のピッチ角拡散係数と strong diffusion level．

るstrong diffusion の発生割合が高いエネルギー帯は，回帰直線の傾きと相関係数の解析からそれぞれの波動がピッチ角散乱に寄与すると示唆されたエネルギー帯とおよそ一致していた．さらに，先行研究でピッチ角散乱への寄与が小さいと報告されていたECH波についても，図2bの振幅が強い場合は 0.1 keV 付近で最もstrong diffusion の発生率が高くなっていることが明らかとなった．そして，それぞれの波動によるstrong diffusion の発生割合が高いエネルギー帯と，ピッチ角拡散係数がstrong diffusion level を超えるエネルギー帯がよく一致していることが確かめられた（図2c, 2d).

これらの結果を，*Journal of Geophysical Research: Space Physics* に投稿し,2022年3月11日に出版された.

【研究成果】

Fukizawa, M., Sakanoi, T., Miyoshi, Y., Kazama, Y., Katoh, Y., Kasahara, Y., et al. Statistical Study of Approaching Strong Diffusion of Low-Energy Electrons by Chorus and ECH Waves Based on In Situ Observations. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 127, e2022JA030269. https://doi.org/10.1029/2022JA030269, 2022

Fukizawa, M., Sakanoi, T., Miyoshi, Y., Kazama, Y., Kasahara, Y., Matsuda, S. et al., Pitch Angle Scattering by Electrostatic Electron Cyclotron Harmonic Waves Based on Arase Observations. *URSI GASS 2020*, Online, 2021/8/31（口頭発表）

Fukizawa, M., Sakanoi, T., Miyoshi, Y., Kazama, Y., Katoh, Y., Kasahara, Y., et al., Statistical Study of Approaching Strong Diffusion of Low-Energy Electrons by Chorus and ECH Waves Based on In Situ Observations. *ERGサイエンス会議*, Online, 2022/3/15（口頭発表）

あらせ衛星観測に基づくEMIC波動による放射線帯電子散乱過程の研究
Study of radiation belt electron scattering by EMIC waves based on Arase observation

平井あすか・東北大学大学院理学研究科・D3
土屋史紀・東北大学大学院理学研究科・准教授

[背景]

電磁イオンサイクロトロン（EMIC）波動は、0.1-5Hz の周波数で左回り偏波特性を持つ電磁波である。温度異方性を持つリングカレントイオンによって磁気赤道付近で励起され、リングカレントのプロトンと相対論的電子のどちらとも相互作用しうる興味深い波動の一つである。EMIC 波動のふるまいを理解することは、内部磁気圏、特にリングカレントと放射線帯外帯の変動の包括的な理解に寄与する。EMIC 波動による電子の散乱は、放射線帯外帯を消失させるメカニズムの一つと考えられてきた。EMIC 波動の励起と電子の散乱に関して二つの未解決問題がある。一つは、intervals of pulsations of diminishing periods (IPDP) の周波数上昇のメカニズムである。IPDP は磁気圏の夕方側で発生し、数 10 分から数時間かけて周波数が上昇するという特徴を持つ EMIC 波動の一種である。先行研究では、IPDP タイプ EMIC 波動は、他の EMIC 波動より相対論的電子降下を引き起こしやすいと示唆されている。しかし、周波数が上昇するメカニズムと、相対論的電子降下との関係を繋ぐ答えはまだない。もう一つの問題は、EMIC 波動が相対論的電子を散乱しやすい状況についてである。多くの先行研究で、EMIC 波動は磁気圏の幅広い L 値、MLT 範囲で発生することが示されている。しかし、相対論的電子降下を引き起こす EMIC 波動の特徴を統計的に調べた研究は少ない。

[目的]

次の２つの未解決課題に取り組む。(1)IPDP タイプ EMIC 波動の発生領域の時空間変化を解析することで、周波数上昇のメカニズムを明らかにし、相対論的電子降下と IPDP の関係を理解する手がかりをつかむ。(2)EMIC 波動が相対論的電子のピッチ角散乱を生き起こしやすい条件を観測的に明らかにする。

[研究結果：課題(1)]

地上-衛星観測から 2017 年 4 月 19 日に発生した IPDP タイプ EMIC 波動の解析を行った。極軌道衛星 POES と地上誘導磁力計による観測は、IPDP の周波数上昇の原因は、EMIC 波動の発生領域が地球向きのシフトであると示した。EMIC 波動の発生領域は、プラズマポーズの位置の指標として用いられた中緯度トラフにそって内側に移動していた。これは、対流電場の増大による発生領域の内側へのシフトを示唆している。統計解析から、IPDP の周波

数上昇は極冠電位の増大と正の相関を示した。この結果は、夕方側で発生する IPDP の周波数上昇は EMIC 波動が発生しやすい領域であるコールドプラズマとリングカレントの重複領域の内向きへのシフトで説明できることを表している。また、プラズマの蓄積によるプラズマ圏の拡大と対流電場もしくはサブストームによる誘導電場の増大は IPDP の発生に重要なことが明らかになった。

[研究結果：課題(2)]

2016 年 11 月 1 日から 2018 年 10 月 31 日の 2 年間、EMIC 波動とそれによる相対論的電子降下の統計解析を行った。EMIC 波動は、カナダのアサバスカに設置されている誘導磁力計で観測された。相対論的電子降下イベントは、NDK と NLK から送信され、アサバスカで受信される VLF 帯電波により検出された。EMIC 波動の MLT 依存性は、朝側で発生頻度が高いことを示した。一方、電子降下を伴う EMIC 波動は夕方側に局在化し、サブストーム中に発生することを示した。電子降下を伴う EMIC 波動は磁気嵐主相時に発生しやすく、半数以上がプラズマ圏内で発生している可能性があることが明らかになった。これらの結果は、磁気嵐主相時かサブストーム時にリングカレントと高密度コールドプラズマの重複領域で発生する EMIC 波動は、電子降下を引き起こしやすいことを示している。これは、高密度プラズマ領域では EMIC 波動による電子の共鳴エネルギーが減少するという先行研究と矛盾しない。

[考察・まとめ]

IPDP タイプ EMIC 波動の周波数上昇は、サブストームに伴う誘導電場か対流電場の増大とそれに続くリングカレント領域の地球向きへのシフトによって引き起こされることが示唆される。部分リングカレントの発達は、IPDP の発生に必要な前提条件である。このような状況は、主に磁気嵐の主相で発生する。主相では、リングカレントとプラズマ圏もしくはプラズマ圏プリュームの重複領域が形成され、それは EMIC 波動の励起と夕方側の EMIC 波動による相対論的電子のピッチ角散乱のどちらにも好都合な領域である。これが IPDP と EMIC による相対論的電子降下が磁気嵐の主相時に発生しやすい理由である。放射線帯外帯の相対論的電子の位相空間密度の減少は、EMIC 波動の発生源領域の広がりと共鳴エネルギーと矛盾しないことが示された。これは、EMIC 波動が磁気嵐主相中の放射線帯外帯の消失に寄与する可能性があることを示している。

以上の結果は、研究代表者の博士学位論文としてまとめられるとともに、下記のような学会、論文発表として報告された。また、一連の研究に対して、日本地球惑星科学連合の学生優秀発表賞を受賞した。

[学位論文]

Asuka Hirai, Characteristics of IPDP-type EMIC waves and their relation to relativistic electron precipitation based on ground-based and satellite observations, Doctoral Thesis, Tohoku University, 2021

[受賞]

日本地球惑星科学連合 2021 年学生優秀発表賞、2021 年 6 月 7 日

[論文]

野本博樹, 芳原容英, 土屋史紀, 平井あすか, VLF 帯送信電波伝搬の数値計算を用いたプロトンオーロラに伴う下部電離層擾乱のモデリング, 信学技報, vol. 121, no. 288, EMCJ2021-56, pp. 11-15, 2021 年 12 月

[学会発表]

1. 平井 あすか, 土屋 史紀, 小原 隆博, 笠羽 康正, 加藤 雄人, 三澤 浩昭, 塩川 和夫, 三好 由純, 田 采祐, 栗田 怜, Connors Martin, Hendry Aaron, 新堀淳樹, 大塚雄一, 津川卓也, 西岡未知, 地上-衛星観測による IPDP タイプ EMIC 波動の周波数上昇に関するイベント解析, 地球電磁気・地球惑星圏学会 第 150 回総会・講演会, オンライン, 2021 年 11 月 1 日-4 日
2. 野本 博樹, 芳原 容英, 土屋 史紀, 平井 あすか, VLF 帯送信電波伝搬の数値計算を用いた電磁イオンサイクトロン（EMIC）波動に伴う下部電離層擾乱のモデリング, 地球電磁気・地球惑星圏学会 第 150 回総会・講演会, 2021 年 11 月 1 日-4 日
3. 野本博樹, 芳原容英, 土屋史紀, 平井あすか, VLF 帯送信電波伝搬の数値計算を用いたプロトンオーロラに伴う下部電離層擾乱のモデリング, 電子情報通信学会, 環境電磁工学研究会, 名古屋, 2021 年 12 月 08 日
4. Asuka Hirai, Fuminori Tsuchiya, Takahiro Obara, Yasumasa Kasaba, Yuto Katoh, Hiroaki Misawa, Kazuo Shiokawa, Yoshizumi Miyoshi, Chae-Woo Jun, Satoshi Kurita, Martin G Connors, Aaron Hendry, Properties of EMIC waves observed by Van Allen Probes and ground-based magnetometers during relativistic electron precipitation, JpGU Meeting 2021, オンライン, 2021 年 5 月 30 日-6 月 6 日
5. Asuka Hirai, Fuminori Tsuchiya, Takahiro Obara, Yasumasa Kasaba, Yuto Katoh, Hiroaki Misawa, Kazuo Shiokawa, Yoshizumi Miyoshi, Chae Woo Jun, Satoshi Kurita, Martin G Connors, Aaron Hendry, Atsuki Shinbori, Yuichi Otsuka, Takuya Tsugawa, Michi Nishioka, and Jerry W. Manweiler, The mechanism of frequency increase of IPDP type EMIC waves: event analysis of ground and satellite observations on 19 April 2017, AGU fall meeting, 13-17, Dec., 2021, New Orleans/Online
6. Fuminori Tsuchiya, Asuka Hirai, Yoshizumi Miyoshi, Shiokawa Kazuo, Hiroyo Ohya, Yoshiya Kasahara, Atsushi Kumamoto, Martin G Connors, Takahiro Obara, Hiroaki Misawa and Iku Shinohara, Energetic electron precipitation associated with pulsating aurora: Statistical analysis of sub-ionospheric VLF radio propagation and

low altitude satellite, AGU fall meeting, 13-17, Dec., 2021, New Orleans/Online

7. 平井あすか, 土屋史紀, 小原隆博, 笠羽康正, 加藤雄人, 三澤浩昭, 塩川和夫, 三好由純, Chae-Woo Jun, 栗田怜, Martin Connors, Aaron Hendry, 新堀淳樹, 大塚雄一, 津川卓也, 西岡未知, 地上-衛星複合観測に基づく IPDP タイプ EMIC 波動の発生領域と周波数上昇に関する解析, 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, オンライン, 2021 年 09 月 30 日, 招待講演

（別紙様式５－２）

太陽フレア放射スペクトル予測モデルの構築
Construction of solar flare spectra prediction model

西本将平、防衛大学校・理工学研究科・後期課程3年
指導教員：渡邉恭子、防衛大学校・理工学研究科・准教授

研究目的

太陽フレアに伴うX線・極端紫外線(EUV)放射は、地球熱圏および電離圏の大気を急激に電離することによって、通信障害などの宇宙天気現象を引き起こすことが知られている。フレア放射による地球高層大気の応答を正確に見積もるためには、フレア放射の強度、継続時間、スペクトルを正確に把握することが重要である。正確な太陽フレア放射スペクトルを得ることは、太陽フレア放射が太陽地球圏環境にどのような影響を与えるのかを考える上で必要不可欠である。そこで本研究では、太陽地球圏環境に影響を与える太陽フレア放射を決定しているパラメータを同定するため、フレアの物理過程に基づいた太陽フレア予測モデルの構築を目指している。本予測モデルを構築することで、定常的に得られている観測値を入力値として、実際は観測されていない太陽フレア放射スペクトルを推定することができる。

研究方法

まず、太陽フレア放射スペクトルを決定するパラメータを特定するために、GOES/XRS、SDO/AIA、SDO/EVE MEGS-Aによって観測されたM3クラス以上の太陽フレア50イベントについて、観測データの統計解析を行った[1]。次に、統計解析結果に基づいて、CANS1Dパッケージ[2]を用いた1次元流体力学計算とCHIANTI原子データベース[3]を組み合わせることで、フレアループ内のプラズマの物理過程を再現し、太陽フレア放射スペクトルを導出した[4, 5]。最後に、太陽地球圏環境変動に影響を与える太陽フレア放射スペクトルを特定するために、上記手法によって再現したフレア放射スペクトルを大気圏-電離圏結合モデルGAIA[6]に入力し、9例の大規模フレアイベントを再現した。本研究では、電離圏の全電子数 (TEC) 変動の計算値と観測値を統計的に比較した。

研究結果

本研究の手法を用いて、太陽フレアによるTEC変動 (SITEC) を相関係数0.9以上の精度で再現することに成功した (図1)。太陽フレア放射によるTEC増大は、波長35 nm以下の軟X線とEUV放射によって決定されることがわかった。また、TEC増大の原因となる太陽放射は、波長1–2 nmの軟X線放射とFe XVII 10.08 nm, Fe XIX 10.85 nm, He II 30.38 nmのEUVライン放射であることがわかった (図2)。

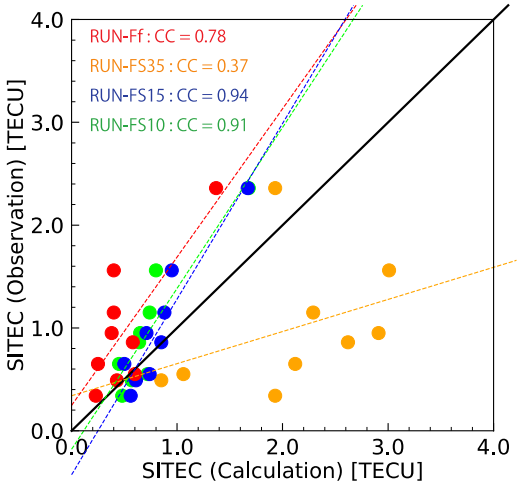


図 1 フレア放射による TEC 変動（SITEC）の観測値と計算値の関係.

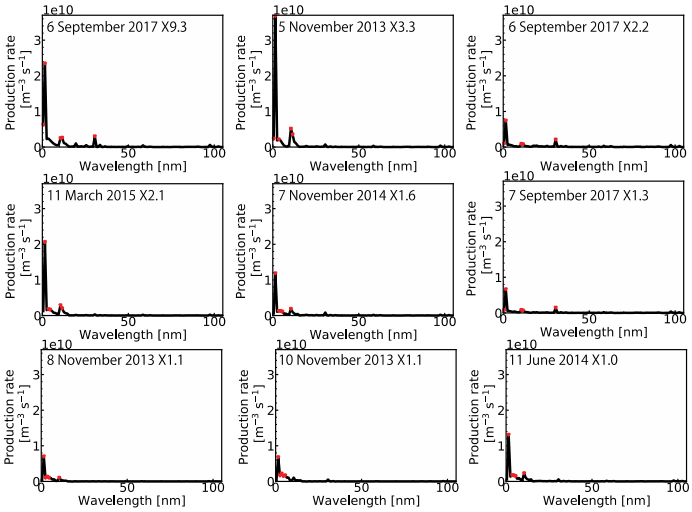


図 2 GAIA で計算したフレア発生前と TEC 増大ピーク時のイオン生成率の差分とフレア放射の関係.

引 用 文 献

(1) Nishimoto, S., Watanabe, K., Imada, S., et al., 2020, ApJ, 904:31

(2) Coordinated Astronomical Numerical Software; http://www-space.eps.s.u-tokyo.ac.jp/~yokoyama/etc/cans/

(3) Dere, K. P., Del Zanna, G., Young, P. R., et al., 2019, ApJS, 241, 22

(4) Kawai, T., Imada, S., Nishimoto, S., et al., 2020, JASTP, 205: 105302

(5) Nishimoto, S., Watanabe, K., Kawai, T., et al., 2021, EPS, 73:79

(6) Jin, H., Miyoshi, Y., Fujiwara, H., et al., 2011, JGR, 116:A01316

成 果 発 表

1. Shohei Nishimoto, Kyoko Watanabe, Hidekatsu Jin, Shinsuke Imada, Toshiki Kawai, Tomoko Kawate, “Validation of solar flare emission spectra and their impact on the ionosphere”, JpGU Meeting 2021, Virtual, 2021 May 30 – June 6
2. Shohei Nishimoto, Kyoko Watanabe, Hidekatsu Jin, Toshiki Kawai, Shinsuke Imada, Tomoko Kawate, “Statistical analysis for EUV dynamic spectra and their impact on the ionosphere during solar flares”, AOGS2021, Virtual, 2021 August 1 – 6
3. 西本将平, 渡邉恭子, 陣英克, 河合敏輝, 今田晋亮, 川手朋子, “数値モデルを用いた太陽フレア放射による電離圏変動の検証”, 日本天文学会 2021 年秋季年会, 京都産業大学および京都大学 (オンライン開催）, 2021 年 9 月 13 – 15 日
4. Shohei Nishimoto, Kyoko Watanabe, Hidekatsu Jin, Toshiki Kawai, Shinsuke Imada, Tomoko Kawate, “Statistical study on the effect of solar flare emission spectra on the Earth's ionosphere using numerical simulations”, 地球電磁気・地球惑星圏学会総会および講演会, オンライン開催, 2021 年 10 月 31 – 11 月 4 日
5. Shohei Nishimoto, Kyoko Watanabe, Hidekatsu Jin, Toshiki Kawai, Shinsuke Imada, Tomoko Kawate, “Reproducing the response of the Earth's ionosphere to solar flare emission spectra using a physical-based model”, AGU fall meeting 2021, Virtual, 2021 December 13 – 17
6. 西本将平, 河合敏輝, 渡邉恭子, 今田晋亮, “数値モデルを用いた太陽フレア放射による電離圏変動の検証”, 太陽研究者連絡会シンポジウム, オンライン開催, 2022 年 2 月 14 – 17 日
7. 西本将平, 渡邉恭子, 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, “数値モデルを用いた太陽フレア放射スペクトルによる電離圏変動の統計解析”, 日本天文学会 2022 年春季年会, オンライン開催, 2022 年 3 月 16 – 19 日

06）研究集会　目次詳細

所属・職名は2022年3月現在

（注1）：新型コロナウイルスの影響で中止

2021年度　　50件

研究代表者 Principal Investigator	所属機関 Affiliation	所属部局 Department	職名 Position	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
松岡　彩子	京都大学	理学研究科	教授	シンポジウム－太陽地球環境研究の現状と将来	182	
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	187	
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	188	
佐藤　永	海洋研究開発機構	地球環境部門 北極環境変動総合研究センター	研究員	統合生態系―大気プロセス研究計画（iLEAPS）―諸過程の統合的理解にむけて―	190	
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励起と粒子加速・加熱	191	
中野　慎也	情報・システム研究機構　統計数理研究所	モデリング研究系	准教授	宇宙地球環境の理解に向けての統計数理的アプローチ	193	
Kato　Chihiro	信州大学	学術研究院理学系	教授	太陽地球環境と宇宙線モジュレーション	195	
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	197	
浅井　歩	京都大学	大学院理学研究科附属天文台	准教授	研究シンポジウム「宇宙におけるプラズマ爆発現象」	199	（注1）
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	200	
南　雅代	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授	同位体比部会2021	202	
関山　剛	気象庁気象研究所	全球大気海洋研究部	主任研究官	第26回大気化学討論会	203	
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	205	

研究代表者 Principal Investigator	所属機関 Affiliation	所属部局 Department	職名 Position	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
成行　泰裕	富山大学	教育学系	准教授	太陽風プラズマ物理の最新成果と今後の展望	207	
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	209	
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：放射線帯粒子の加速と消失	212	
Siswanto　Eko	海洋研究開発機構	Earth Surface System Research Center	Researcher	第9回アジア海色ワークショップ「第18回日韓海色ワークショップ」	214	
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	216	
村山　泰啓	情報通信研究機構	戦略的プログラムオフィス	研究統括	科学データ研究会	218	
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	219	
簑島　敬	海洋研究開発機構	付加価値情報創生部門	副主任研究員	STEシミュレーション研究会：太陽系シミュレーション研究の新展開	221	
一本　潔	京都大学	理学研究科附属天文台	教授	太陽研連シンポジウム2021	222	
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	224	
Tajima Hiroyasu	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	226	（注1）
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6回 YMAP秋の研究会	227	
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	228	
松田　昇也	宇宙航空研究開発機構	宇宙科学研究所	特任助教	内部磁気圏研究会：プラズマ波動解析ワークショップ	231	
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による内部太陽圏探査への貢献	232	

研究代表者 Principal Investigator	所属機関 Affiliation	所属部局 Department	職名 Position	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
松清　修一	九州大学	大学院総合理工学研究院	准教授	宇宙および実験室プラズマ中の非線形波動と粒子加速に関する研究集会	233	
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	236	
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	238	
久保　勇樹	情報通信研究機構	宇宙環境研究室	研究マネージャー	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)	240	
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	241	
前澤　裕之	大阪府立大学	大学院理学系研究科物理学専攻	准教授	第22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	243	
三澤　浩昭	東北大学	大学大学院理学研究科	准教授	第23回 惑星圏研究会	244	
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 ―超小型衛星でのSGDs海洋観測仕様―	246	
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)	248	
Miyamoto Yoshiaki	慶應義塾大学	Faculty of Environment and Information Studies	Assistant Professor	台風セミナー2021	249	
加藤　雄人	東北大学	大学院理学研究科	教授	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	251	
古市　尚基	水産研究・教育機構	水産技術研究所　環境・応用部門　水産工学部	主任研究員	海洋乱流の観測およびモデリングに関する研究集会	253	
齋藤　義文	宇宙航空研究開発機構	宇宙科学研究所	教授	極域電離圏における電離大気流出現象のメカニズム解明に向けた戦略的研究	255	
篠原　育	宇宙航空研究開発機構	宇宙科学研究所	准教授	ジオスペースにおけるプラズマ・高エネルギー粒子ダイナミクス研究会	257	
中村　正人	宇宙航空研究開発機構	太陽系科学研究系	教授	太陽地球惑星圏の研究領域のロードマップ作成に向けた研究会	258	

研究代表者 Principal Investigator	所属機関 Affiliation	所属部局 Department	職名 Position	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
加藤　丈典	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	准教授	第33回(2021年度)名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定研究部シンポジウム	260	
石川　久美	東京都立大学	理学研究科	助教	惑星磁気圏・大気圏のグローバル撮像：天文との融合に関する研究会	261	
塩田　大幸	情報通信研究機構	電磁波研究所 宇宙環境研究室	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	263	
坂井　亜規子	名古屋大学	大学院環境学研究科	准教授	アジア高山域における氷河融解を加速する光吸収性不純物に関する研究集会	265	
尾花　由紀	大阪電気通信大学	工学部基礎理工学科	准教授	「プラズマ圏の観測とモデリング」研究集会	267	（注1）
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	268	
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	270	

（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

松岡　彩子　京都大学大学院理学研究科附属地磁気世界資料解析センター

本研究集会は、京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻　地球物理学教室　太陽惑星系電磁気学講座の大学院生を幹事として、2021 年 9 月 8 日から 9 月 9 日の 2 日間開催された。例年は合宿形式で開催しており、今年度は京都府京都市周辺で開催予定であったが、コロナ禍のためにオンラインでの開催となった。この研究集会は、太陽地球環境に関する研究を行う大学院生を中心とする若手会の「夏の学校」と題して行われ、大学院生・学部生・若手研究者など合わせて 69 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が、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。予稿集等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 2021 年夏の学校ホームページにて集録を公開している。

〈スケジュール〉

9/8（水）

13:00～13:15 開校式
13:15～14:15 自己紹介
14:45～17:15 招待講演
1. 「宇宙におけるプラズマ －固体境界層の理工学研究」
   三宅洋平（神戸大学 計算科学教育センター 准教授）
2. 「雷と雷雲の高エネルギー待機物理学」
   榎戸輝揚（理化学研究所 白眉研究チームリーダー）

18:30～21:00 懇親会

9/9（木）

10:00～15:00 口頭セッション
15:30～16:45 ポスターセッション
18:30～21:00 懇親会

〈セッション〉

研究集会 2 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。この口頭発表では、参加者は別のグループの発表者の発表を聞くことも可能であり、自身にとってより興味のある発表を聞くことでさらなる活発な議論を促した。

口頭セッション A

時間	所属大学 学年	氏名	タイトル
10:00 - 10:15	京大 D2	小谷翼	Cometary Plasma Science
10:15 - 10:30	東北大 M2	塚田悟輝	中空光ファイバを用いた太陽系内探査用中間赤外レーザーヘテロダイン分光器の開発
10:30 - 10:45	東大 M1	小山 裕幸	金星大気の温度変化による惑星規模波動の解析
10:45 - 11:00	京大 M2	加藤倫生	MAVEN および MGS 観測データを用いた火星地殻残留磁化近傍での周期的電子注入現象の特性および発生機構の解明
11:00 - 11:20	休憩		
11:20 - 11:35	北大 M1	濵田築	望遠鏡観測による木星衛星エウロパ表面 NaCl の起源の検討
11:35 - 11:50	東北大 D2	中村 勇貴	Numerical prediction of changes in atmospheric compositions during SEP events at Mars
11:50 - 12:05	東大 M2	沖山 太心	Development of Martian diffuse aurora model to investigate effects of the magnetic field orientation and neutral density profile
12:05 - 12:20	京大 M1	加藤正久	ARTEMIS による月面からの Auger 電子/光電子ビームの観測と月面電位の推測
12:20 - 14:00	休憩		
14:00 - 14:15	東大 M1	白石 祐太	白色矮星の惑星系における小惑星の潮汐破壊
14:15 - 14:30	京大 M1	坂東日菜	MAVEN および Mars Express による火星電離圏不規則構造の遠隔・直接同時観測
14:30 - 14:45	東北大 M1	安田 陸人	Numerical radar simulation for the explorations of the ionosphere and plume at Jupiter's icy moons
14:45 - 15:00	京大 D1	桃木尚哉	新しい木星磁気圏磁場及びカレントシートモデルの構築とその応用

口頭セッションB

時間	所属大学 学年	氏名	タイトル
10:00 - 10:15	総研大 D1	吉田 理人	Sporadic, large gravity wave events over Syowa Station -Comparison between the PANSY radar and the ERA5 reanalysis-
10:15 - 10:30	名大 M2	杤山 航	SuperDARN 北海道-陸別 HF レーダーを用いた MSTID 伝搬特性の統計解析
10:30 - 10:45	九大 M1	伊集院 拓也	3 次元地球電離圏静電ポテンシャルソルバーの開発
10:45 - 11:00	京大 D3	大井川智一	カスプにおける Joule 加熱に対する準静的電場および Alfvén 波の影響
11:00 - 11:20	休憩		
11:20 - 11:35	名大 D2	惣宇利卓弥	Dependence of the occurrence of storm-time plasma bubbles extending to the midlatitudes on solar wind dynamic pressure
11:35 - 11:50	東海大 M2	尾尾原 咲穂	電離圏イオンドリフト測定器開発のための低エネルギーイオン加速装置の開発
11:50 - 12:05	九大 M2	安永朗宏	正午付近に発生する特異的な SFE＊の発生要因の探究
12:05 - 12:20	明治大 D2	石井智士	夜間の空の連続画像から晴天領域分布ログを自動生成する手法の開発
12:20 - 14:00	休憩		
14:00 - 14:15	東海大 M2	田中 勇人	観測ロケット搭載超高層大気観測用真空計の開発
14:15 - 14:30	名大 M2	川合 航輝	M-I coupling of nighttime medium-scale traveling ionospheric disturbances from airglow imagers and the Arase satellite
14:30 - 14:45	九大 M2	高山 久美	主成分分析による地上磁場データの成分分離
14:45 - 15:00	京大 D2	安藤慧	3 次元電離圏モデルを用いた中緯度域スポラディック E 層の動態と形態の解析

口頭セッションC

時間	所属大学 学年	氏名	タイトル
10:00 - 10:15	九大 D1	橋本 翼	大規模数値実験による大域的磁気圏構造変化を発動する局所プラズマダイナミクスの解明
10:15 - 10:30	-	-	-
10:30 - 10:45	九大 M2	山口 遼	オーロラ動態解明に向けた技術開発

10:45 - 11:00	京大 M2	小池春人	Cusp ion precipitation from lobe reconnection and its relation to the tailward magnetosheath flow
11:00 - 11:20	休憩		
11:20 - 11:35	東大 D3	滑川 拓	The interaction of sub-relativistic electrons with high-latitude propagating chorus waves observed by the Arase satellite
11:35 - 11:50	九大 M2	奥田 くるみ	THEMIS 全天カメラ・地上磁場データによる Poleward Boundary Intensification 発生メカニズムの検証
11:50 - 12:05	九大 M2	樋口 颯人	Electron acceleration mechanism in ionospheric polarized PBI: A new solution developed from 3D fluid electron acceleration simulators
12:05 - 12:20	ー	ー	ー
12:20 - 14:00	休憩		
14:00 - 14:15	東大 D1	千葉 翔太	探査機から受信する電波のスペクトル解析による太陽コロナの研究
14:15 - 14:30	京大 M1	八島和輝	GLOW モデルを用いた極側境界のオーロラにおける broadband 型電子降下の時間発展の推定
14:30 - 14:45	九大 M2	林 萌英	磁場・電界観測に基づく極域・中緯度電離圏の応答の解明
14:45 - 15:00	ー	ー	ー

ポスターセッション D, E

時間	所属大学 学年	氏名	タイトル
15:30 - 16:00	東北大 M2	藤田 晃平	The orbital evolution of Phobos in the expanded atmosphere of early Mars after the dissipation of the solar nebula
	東北大 M2	晝場 清乃	Influences of solar energetic particles on the Martian ozone
	東北大 M1	狩生 宏喜	Sharp Longitudinal Variation in the Venusian Cloud Optical Thickness Associated with a Kelvin Wave
	明治大 M2	中村 優里子	夜光雲観測に最適化したマルチバンドイメージャーの開発
	京大 M2	沢口航	ARTEMIS 衛星観測を用いた月周辺におけるホイッスラーモード波動の非線形成長につ

			いての解析
16:00 - 16:15	休憩		
16:15 - 16:45	東大 M2	須田 智也	金星の雲の微細な雲構造の統計的解析
	東北大 M1	風間 暁	Remote sensing of surface pressure on Mars by CO2 2μm absorption band observed by Mars Express/OMEGA
	東北大 M1	永田 和也	PLANETS 望遠鏡の開発：主鏡製造での研磨量削減
	電通大 D1	南條 壮汰	深層学習を用いたオーロラのリアルタイム検出システム
	東北大 M2	齋藤 幸碩	磁気赤道周辺での kinetic Alfven wave による電子加速過程に関するテスト粒子計算の現状報告

（別紙様式６－２）

将来の衛星地球観測に関する研究集会
Meeting on the Future Missions of Satellite Earth Observation

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2021年4月26日、5月31日、6月24日、8月27日、10月1日、10月21日、11月25日、12月17日、2022年1月6日、2月4日、3月9日の11回および2021年10月5日の最終審査会、12月9日の幹事会、2022年2月15日のTF全体会合を通して、日本の衛星地球観測計画をボトムアップから構築する枠組みを議論し、実践を通して構築することをめざしている。2021年度は第2回衛星地球観測ミッションの追加公募(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回試行公募を発出し、2022年度のJpGUと連携したレビュープロセスを進めている。

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）

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　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、2028 年頃の衛星打ち上げを目指した検討が行われている。国内でも米国の ACCP 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検討が進んでいる。

本研究集会の目的は、DPR や GSMaP のアルゴリズム開発や衛星降水プロダクトの利用に関連した研究について、現状のまとめを行い、今後の中期的な課題を明確にし、研究の取り組み方を考えることである。

研究報告：

研究集会を2022年3月3日（木）～4日（金）に、オンライン形式（Zoom）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。

当初はハイブリッド形式の開催を模索したが、新型コロナウィルス感染者数の増加に伴い、2020年度に引き続き、オンライン形式とした。同じくオンライン形式とした2020年度は78名の参加であったので、昨年度とほぼ同じ規模での研究集会となった。チャットでの質疑応答のようなオンラインならではの機能も、主催者側から積極的に誘導し、実際、参加者間で非常に活発な議論がチャットで行われ、有意義であった。申請者もさまざまなオンライン会議を主催したり、参加したりしているが、本研究集会の、活発な質疑応答に加えての積極的なチャットでの議論は特筆すべき水準と言え、チャットでの活発な議論が本研究集会の文化として根付きつつある。また増永准教授の研究室がホストしたオンライン懇親会もoViceを用いて開催し、参加者間の交流も行った。他方、名古屋大学で開催する

対面開催での研究会も大きな魅力があるので、今後、研究会の開催には、対面式とオンライン形式のベストミックスが望ましいと考える。

今回の研究集会では 29 件の発表を行ったが、そのうち、GPM 関係の発表を大まかに分類すると以下のようになる：

１）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

２）DPR や GSMaP データの検証に関する研究

３）DPR データなどを用いた雲や降水特性の解析

４）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

５）将来衛星のミッション検討の研究

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のようになる：

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雲物理研究、気候モデル評価研究

３）衛星シミュレータ等を使った衛星プロダクトの校正評価

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。2021 年 12 月の DPR や GSMaP のバージョンアップに関する開発内容について､6 件の発表があり、情報共有の場として有効であった。また 2014 年 2 月の GPM 主衛星の打上げ後、約 8 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。本研究集会で発表された、ユーラシア大陸中高緯度の夏季降水のような、目新しいトピックにより、GPM/DPR の観測データの蓄積による新たな知見の構築が進んでいることが感じられた。

また特別講演として、中村健治 獨協大教授による､「衛星搭載走査型ドップラ降水レーダの提案」を企画した。2028 年頃の衛星打上げを目指した検討が行われている Ku 帯ドップラー降水レーダの検討結果に加えて、2036 年頃の打上げを目指す多数のドップラビームを持つ Scanning Doppler Precipitation Radar (SDPR)を提案する発表内容は、非常に野心的で、かつ、今後に向けて示唆的な発表であった。

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。本研究集会でもシミュレータと DPR を組み合わせた発表があった。

以上

（別紙様式６－２）

統合生態系―大気プロセス研究計画（iLEAPS）
―諸過程の統合的理解にむけて―
Integrated Land Ecosystem-Atmosphere Processes Study (iLEAPS), Comprehension of processes

佐藤永（海洋研究開発機構・北極環境変動総合研究センター）

本研究集会は、2021年12月9日(木)～10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。14件の話題提供が行われ、それについての質疑応答を行った。主催者・話題提供者を含む参加者数は約38名であった（現地18名、オンライン約20名）。当初は9月初旬の開催予定であったが、コロナ禍により開催を見送った。延期にするか中止にするか、本集会の主催団体であるiLEAPS日本委員会（日本学術会議・iLEAPS小委員会）で議論した結果、結局、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。幸いにも、本研究集会を開催した12月初旬は日本における新型コロナ感染状況が小康状態であったため、集会初日の夜には懇親会も行う事ができ、国内を中心とする関連研究者間の交流を深めた。参考資料として、本研究集会のプログラムを添付する。

本研究集会の目的は、大気－陸域プロセスに関心のある研究者が小規模な（議論の行いやすい）会合を持つことで、各自の最新の研究成果を報告し、その統合的理解に向けた情報共有と議論を行うことである。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2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）

研究集会名：実験室・宇宙プラズマにおける波動励起と粒子加速・加熱
研究集会名英文：Wave excitation in and particle acceleration/heating in Lab. and Space plasmas

永岡賢一・核融合科学研究所

【研究集会の目的】

プラズマ中の波動現象、特に波動粒子相互作用による輸送、加熱、加速現象は、プラズマ物理の基本的な素過程であり、プラズマ関連現象の非線形性のひとつの起源でもある。近年、速度分布関数の計測が可能になり、運動論的なモデルの検証や波動粒子相互作用に関する非線形現象の理解が実験室プラズマと宇宙プラズマの方向で進展している。2020年12月に開催されたプラズマ核融合学会では、ホイッスラー波に関するシンポジウムが開催され、宇宙・天文・実験室プラズマで基礎課程から産業応用まで幅広く波動粒子相互作用に関する議論が展開され多くの聴衆を集めたことは、波動粒子相互作用による輸送、加熱、加速現象が幅広い分野にわたる重要課題であり続けていることの証である。そこで、2021年度は、非一様磁場中の運動論的なサイクロトロン共鳴、多種イオン系の波動現象、ドリフトバウンス共鳴による波動励起など磁気圏プラズマの最新の研究課題とトーラスや直線型実験室プラズマの研究の現状に焦点を当てた研究会を開催し、最新成果やアイデアの交換を通じて、双方の研究分野に新しい研究展開を創出することを目指して研究集会を企画した。

【研究集会の内容】

今年度は京都大学ゼロエミッションエネルギー研究拠点研究集会「閉じ込め磁場配位を利用した宇宙プラズマ模擬実験の検討」と共同で研究集会を開催した。この２つの研究集会は、実験室と宇宙プラズマの連携研究を目指す方向性を共有しており、完全に１つのプログラムとして研究集会を企画した。開催形式はZOOMを用いらリモート開催とし、５名の幹事（永岡賢一、三好由純、加藤雄人、小林進二、伊神弘恵）で準備を進めた。研究集会の柱となる招待講演は、宇宙側の幹事から実験室側に希望を出し、実験室側から宇宙側に希望を出し、次の２件の招待講演を企画した。

○松本洋介（千葉大）宇宙線電子注入問題とシミュレーション・室内実験研究の最先端
○居田克巳（核融合研）レンズスペクトロメータによる核融合プラズマの分光とオーロラ分光への展開

この招待講演の情報を含めて研究会の案内を日本物理学会領域２、プラズマ・核融合学会、地球磁気圏・地球惑星圏学会に案内をだした。年度末であったが、合計８件の講演でプログラムを組むことができた（次頁に掲載）。招待講演45分、一般講演30分と比較的時間的に余裕を持ったプログラムを組んでいたが、時間超過するほど議論がしっかり行われた。研究集会の最後には、総合討論として、今後の研究集会への期待、共同研究への展開に向けた戦略等について、議論した。研究集会の継続は長い目で見ると双方の研究領域の発展に影響すること、適切なタイミングで学会誌に特集記事を発行できたことなど、研究集会を今後も継続することに賛成する意見表明があった。参加者から発表資料の共有の希望があり、パスワード付きで参加登録者に共有することにした。今回は、企業からの参加登録

があったため、秘密保持誓約書を準備し、参加者全員に提出を求めた。連携研究への展開に資すると期待している。

【参加者】２８名（詳細は別紙）

【研究集会プログラム】

合同研究集会
実験室・宇宙プラズマにおける波動励起と粒子加速・加熱
(名古屋大学ISEE研究集会)
&
閉じ込め磁場配位を利用した宇宙プラズマ模擬実験の検討
(京都大学ゼロエミッションエネルギー研究拠点研究集会)

日時：2022年03月24日（木）
ZOOM ID: 837 7346 2040　パスコード: 094857
Web:https://workshop.nifs.ac.jp/isee-ze-WS/

10:10	10:15		あいさつ&事務連絡
座長：加藤雄人			
10:15	11:00	招待講演	松本洋介　千葉大学 宇宙線電子注入問題とシミュレーション・室内実験研究の最先端
11:00	11:30		小林進二　京都大学エネルギー理工学研究所 トーラス型磁場閉じ込めプラズマにおける統計加速現象
11:30	12:00		永岡賢一　核融合科学研究所 低磁場LHDを用いた宇宙・天文プラズマの研究展開
昼休憩			
座長：小林進二			
13:15	14:00	招待講演	居田克巳　核融合科学研究所 レンズスペクトロメータによる核融合プラズマの分光とオーロラ分光への展開
14:00	14:30		三好由純　名古屋大学宇宙地球環境研究所 複数波長観測によるオーロラ降下電子エネルギーの推定
14:30	15:00		浅村和史　JAXA 低エネルギーイオンの垂直加熱を介した磁気音波から電磁イオンサイクロトロン波動へのエネルギー輸送
休憩			
座長：三好由純			
15:15	15:45		北原理弘　名古屋大学宇宙地球環境研究所 サイクロトロン共鳴における粒子捕捉領域の様相
15:45	16:15		伊神弘恵　核融合科学研究所 有限幅の電磁波/電子バーンシュタイン波モード変換領域のFull-wave解析
16:15	16:45	総合討論	

（別紙様式６－２）

宇宙地球環境の理解に向けての統計数理的アプローチ
Statistical approaches for understanding space-earth environment

中野慎也，統計数理研究所・モデリング研究系

本研究集会は，統計数理的あるいはデータ科学的アプローチに基づく宇宙地球環境の包括的な解析，モデリング研究に関心を持った研究者を一堂に集めて情報交換を行い，宇宙地球環境の把握，予測のための統合的解析・モデリング研究を促進することを目的に毎年開催している．元々，2011年よりデータ同化に焦点を当てた研究集会として開催してきたが，2016年度より統計科学や機械学習などを含むデータ科学，統計数理的な手法の活用について広く情報交換する場として開催しており，今回で通算11回目となる．今回は，2021年12月21日にZoomを用いてオンラインで開催した．当日のプログラムは以下のとおりである．

[プログラム]

10:30-11:00 上野 玄太, 銭谷 誠司「相対論的Maxwell混合分布モデル」

11:00-11:30 田中 裕士, 太田 守, 笠原 禎也「センサ間のノイズレベルが異なる場合を考慮したプラズマ波動のモデル決定手法の提案」

11:30-12:00 谷口 暁星, 中島 拓, 彦坂 拓海, 田村 陽一「周波数変調による高効率ミリ波分光の実現と大気分子観測への応用」

(12:00-13:20 休憩)

13:20-13:50 藤井 陽介, 石橋 俊之, 小林 ちあき, 石川 一郎「気象研究所における大気海洋結合同化システム開発の成果と今後について」

13:50-14:20 大石 俊, 三好 建正, 可知 美佐子「高頻度海洋アンサンブルデータ同化システムにおける適用型観測誤差膨張の有効性」

14:20-14:50 田中 良昌, 小川 泰信, 吹澤 瑞貴, 坂野井 健, 細川 敬祐, 津田 卓雄, 門倉昭「シミュレーションによるオーロラ3次元分布再構成の検証」

(14:50-15:10 休憩)

15:10-15:40 南條 壮汰, 野澤 悟徳, 山本 雅毅, 川端 哲也, Magnar G. Johnsen, 津田卓雄, 細川 敬祐「深層学習を用いたオーロラの出現を通知するウェブアプリケーション」

15:40-16:10 三好 由純, 福岡 智司, 堀 智昭, 三谷 烈史, 高島 健, 篠原 育, 東尾 奈々「ニューラルネットワークによる放射線帯変動予測」

16:10-16:40 片岡 龍峰, 中野 慎也「機械学習による太陽風データギャップ復元と磁気嵐駆動源の研究」

16:40-17:10 中野 慎也, 片岡 龍峰「Echo state networkによるオーロラ活動指数のモデリング」

17:10-17:30　総合討論

午前は統計的手法のデータ解析への応用について講演があった．天文の観測データの地球科学への応用研究についての話題など，興味深い講演もあった．
午後の前半は，海洋データ同化に関する応用研究についての講演があり，結合同化システム開発の紹介，および海洋データ同化における技術的な手法についての講演がなされた後，オーロラ画像トモグラフィに関する話題提供があった．午後の後半は，機械学習を活用したWebアプリケーションの紹介や，機械学習の応用事例についての紹介があった．
オンラインで開催したこともあってか，例年より参加者も多く，各講演に関して活発な質疑や議論がなされた．最近の統計的，数理的手法やその応用に関する様々な話題について情報交換することができ，非常に有意義な集会となった．

（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。2021年度は2022年3月1，2日の2日間，“太陽圏・宇宙線関連の共同研究成果報告会”及び”太陽風プラズマ物理の最新成果と今後の展望”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なったが，予想以上に参加者があり，太陽圏物理や宇宙天気研究，宇宙線モジュレーション研究等について活発な議論が行われた。参加した研究者には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36名であった。

研究集会(シンポジウム)のプログラムは以下の通り。

2022年3月1日

9:00-10:00 村上豪(JAXA/ISAS)　国際水星探査計画 BepiColombo が展開する内部太陽圏探査

10:00-11:00 庄田宗人(国立天文台) 太陽風数値シミュレーション:プラズマ乱流から大規模構造まで

11:00-11:20 成行泰裕(富山大) 多次元アルヴェン波解の性質と不安定性について

11:20-11:40 松清修一(九州大) 宇宙線異常成分の生成に関するテスト粒子計算

11:40-11:55 千葉翔太(東大) 金星探査機あかつきによる太陽コロナの電波掩蔽観測

- 昼食 -

13:00-13:20 宗像一起(信州大)、加藤千尋、片岡龍峰、林 優紀、小財正義、GMDN collaboration　地上宇宙線計で観測された 2021年11月の宇宙天気事象

13:20-13:40 小財正義(ROIS-DS)、宗像一起、加藤千尋、門倉昭、片岡龍峰、村瀬清華、三宅晶子、GMDN collaboration　南極昭和基地の宇宙線計を用いた南北異方性の解析

13:40-14:00 小島浩司(中部大)　地球周辺の惑星間空間における宇宙線の密度勾配と剛度の関係

14:00-14:20 野中敏幸(東大宇宙線研)空気シャワー観測装置による宇宙線強度変動の観測

14:20-14:35 小井辰巳(中部大)　GRAPES-3 の高精度ミューオン望遠鏡を用いた、宇宙天気観測と宇宙線モジュレーション研究

14:35-14:50 岩井一正(名大 ISEE)　次世代太陽風観測装置の計画と 2021 年度の進捗

- 休憩 -

15:10-15:30 渡邉堯(茨城大学)　宇宙線データベースの現状(WDCCR、NMDB、IZMIRAN の比較)

15:30-15:50 櫻井敬久(山形大)、門叶冬樹、乾恵美子、森谷透、武山美麗、三宅芙沙　宇宙線生

成核種 Be-7 濃度の季節変動

15:50-16:10 中野佑樹(東大) Super-Kamiokande を用いた太陽フレア由来のニュートリノ探索

16:10-16:40 村木綏(名大)、松原豊、増田智、徳丸宗利、柴田祥一、小井辰己、大嶋晃敏、高丸尚教、境享祐、内藤統也、垥隆志、三宅晶子、Valdes Glicia,Ernesto Ortiz, P. Miranda 太陽中性子崩壊陽子の観測 (2)

2022年3月2日

9:00-9:30 瀧田正人(東大宇宙線研) Tibet ASγ実験での最近のガンマ線観測

9:30-9:50 奥川創介(横浜国大) ALPACA 実験におけるガンマ線検出効率のハドロンモデル不定性

9:50-10:10 佐古崇志(東大宇宙線研) TeV 領域宇宙線異方性の太陽圏磁場による変調

10:10-10:30 大嶋晃敏(中部大) GRAPES-3 大型ミューオン望遠鏡による宇宙天気観測

10:30-11:00 鳥居祥一(早大)、赤池陽水、小林兼好、宗像一起、加藤千尋、片岡龍峰、三宅晶子、他 CALET チーム ISS 搭載 CALET による6年間の軌道上観測の成果

11:00-11:15 加藤千尋(信州大) 機械学習を用いた地上ミューオン観測データの大気効果補正

（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3年12月23日（木）と24日（金）の2日間の日程でオンライン会議システムoViceを用いて開催された。ただし、一部参加者は京都大学大学院理学研究科（京都市左京区）会場に集い、感染予防処置を徹底したうえでoViceのバーチャル会場に参加した。参加人数は41名であり、そのうちオンラインでの参加者は32名であった（海外からの参加者1名を含む）。京大会場からの参加は研究代表を含め9名であった。特別講演を含んで12件の一般講演と1件の特別講演があった。

研究集会の目的：

気候変動研究の重要性が一般社会においても認識されるようになり、その中でも大気と海洋の相互作用現象の研究の重要性は増している。モデル研究においてはシミュレーションの成否だけではなく、内在する複雑な物理過程を紐解くことが重視されている。本研究集会では、この数年間で行われてきた散発的な現場観測の結果に基づく解析に加え、それらの相互比較によって一般性を議論することにより長期観測データをどのように解析するかについての指針を検討してきた。10年スケールの現象を考えるためには観測データや再解析データ、気候予測モデルを駆使した研究が必要であるが、それらから得られる変動の内部変動と外部強制モードを分離した解析の必要性もこれまでの研究集会を通じて認識されてきた。今年度の研究集会でも、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につながる議論を行う。

研究集会の内容と結果：

本研究集会は2日間にわたって行われ、12件の一般講演があった。1日目の午前中はラージスケールの現象と観測に関する報告があった。古川（東北大）は大西洋熱帯域の水温変動の10年スケールの熱帯非対称性について遅延相関関係を調べ、北太平洋海面水温偏差（冬季）⇒大西洋熱帯水温非対称パターン（春季）⇒東部ユーラシア大陸上の気圧偏差というテレコネクションの連結可能性を指摘した。宮地（北大）は長期観測データに含まれる変動成分の内部変動成分と外部強制成分の分離に関する研究結果について報告した。データの外部強制成分を取り除く手法としては外部強制成分として複数のモデルにおけるアンサンブル平均（MME）を与えることが妥当だと思われる一方、インド洋海面校正気圧(SLP)との間の関係の再現性においてほかの抽出方法が最も妥当であったと報告した。この結果は、現状の気候予測モデルの不十分さを示唆するとともに長期データを用いた解析を行う際に、外部強制を的確に除いているかどうかによって見かけ上の変動が生じてしまう可能性を示している。長期データ解析におけるこのような警鐘は非常に重要である。木下（JAMSTEC）は気象学分野において知見が不足している成層圏の観測について講演を行った。成層圏の大気循環と対流圏の関係には大気重力波の伝搬が重要であるといわれているが、大気重力波の発生頻度や発生・砕波領域など、重力波活動の変化は十分に把握されていないと指摘した。東西・南北風成分を高度に関してプロットしたホドグラフ解析によって慣性重力波の性質がわかることからGPSゾンデによる高層気象観測が非常に有効なツールとなることを説明し、具体的な観測とその解析例を示した。大気科学分野においても基礎的な観測が不足している分野があるということと、基本的な力学をよく考えることで基礎観測データから波動に関する重要な性質が得られることを示した点で、海洋分野の研究者にとっても非常に有益な講演であった。小橋（海洋大）は人工衛星観測において長年認識されていながら取り残されていた、観測グリッドの空間代表性の問題についてマイクロ波放射計（AMSR2）と静止軌道衛星（GMS）の赤外放射計の同時観測データの比較を用いて検討した。黒潮続流に沿って存在する水温前線強度に着目し、マイクロ波放射計の空間解像度を求めた。前線の検出や空間スケールの抽出方法には高度な客観性が見られ、衛星観測データの解析の教科書のような報告であった。

1日目の午後は前線域や波浪観測についての報告があった。根田（京大）は外洋域での波浪観測について報告した。うねりが風浪の状態に与える影響について既往研究の問題点を抽出し、風応力の再評価と風浪の方向についての実証研究が不足しているということを指摘した。まず風波の3/2乗則に基づいた摩擦速度（風波摩擦速度）を基準とすることを提案し、それにより風浪の無次元パラメターの既報の関係がより適切に再現され

ることを報告した。さらに風波摩擦速度を用いたうねりと風浪の強度の比較パラメターを提案し、それが風浪と平均風の角度と相関関係があることを見出した。その物理プロセスを直接確認することはできないが、うねりが海上境界層（ABL）の対数分布則を変調するという既往研究と整合的であることを示した。蒋（名古屋大）はLIDARを用いたエアロゾル観測に基づいて強風時のエアロゾル輸送と降水の関係について解析を行った。その関係に季節的な変化があることを示し、大気中の水蒸気量に加えてエアロゾルの特徴を把握することが降水予測に影響することを示唆する研究であり、今後のエアロゾル観測の重要性を示した。三浦（京大）は黒潮続流前線域を想定した大気海洋結合モデル実験の結果について報告した。メソスケールの相互作用の有無による対照実験を実施することで、前線波動に伴う海洋中の鉛直循環の強化に対してメソスケールでの大気海洋相互作用が貢献することを示した。西川（大海研）は新青丸航海KS-21-9の大気海洋観測の速報を行った。航海は遠州灘沖での黒潮分子流と直上の大気構造の関係を調査することが主目的であり、高水温分枝流の貫入によって大気構造が変化する様子を捉えた可能性を報告した。速報ではあるが、船舶観測で得られる局所的な観測データと数値計算の結果を併用して気団変質過程を捉える試みは、大気海洋相互作用研究における船舶利用の具体例を示している。

2日目は水塊形成に関する講演が4件あった。木戸（JAMSTEC）は密度に関して温度と塩分が逆方向の働きをすることから全球的なそれらの共変動の存在について考察し、海洋の密度変動に対する共変動と海面の密度フラックスの貢献度を調査した。海洋の広い範囲で水温と塩分の正負の相関を持つ海域が分布していることを示した。このような関係を持つためのメカニズムについては思考実験的な仮説を立てて整合性を確認した結果、1000km以下でのスケールでは中規模渦の影響などの海洋力学過程が支配的であるのに対し、それを超えるスケールでは蒸発や降水の影響が強くなることを示し、大循環モデルの解像度によってその再現性が異なることを予想した。先の宮地の報告と同様に、気候モデルや再解析データにおける変数間の整合性をどのように考えるかという問題を提起し、最近の高精度化されたモデルプロダクトの再現性についてはよく検討したうえで解析する必要があるという警鐘を鳴らす結果である。三部（東北大）は水塊の分類を統計的に行って混合による水塊特性の変化を動的にとらえる試みについて講演した。水塊の特徴をガウス分布の重ね合わせで再現する試みは興味深い。水塊の分類に関しては、手法の特徴を生かした研究の位置づけについて多くの議論がなされ、水塊の分類よりも混合過程を追及できないかという方向性も示された。岡（大海研）は亜熱帯モード水の変動と役割についての研究のレビューを行った。亜熱帯モード水の形成量変動が上下層との混合に影響することによって水塊の溶存酸素と栄養塩に影響を与えることを長期観測データから示し、長らくあいまいであった亜熱帯モード水の役割について明瞭な指針が得られてきたことを報告した。最後の講演は長谷川（北大）が行い、海洋亜表層の熱的な変動の要因としてラージスケールのサブダクションに加えて中規模渦の役割を検討する必要性を指摘した。中規模渦に追随するように設計されたアルゴフロートのデータを用いて、その渦の内部で亜表層の昇温を捉えることに成功し、中規模渦による鉛直混合の役割の重要性を示唆した。

1日目には長く本研究集会に貢献した轡田（東海大）の定年記念講演を行った。長い研究生活を1時間で振り返るのは難しいことであったが、研究者になるきっかけやキャリアにおける偶然の出会いの重要性、人工衛星観測研究という新しい学問分野の黎明期における様々な成り行きなどといったことがらをレビューすることは、現在キャリアを始めようとする若い研究者には非常にためになる講演であった。

まとめ：

今年度の集会は、当初はオンラインで計画されたものが、状況の変化に対応して現地開催方式との併用となった。オンライン開催を前提として平日開催となったものの、遠方の参加者にとっては部分参加が可能となった側面がある。ただし、議論と雑談、参加者の懇親という点では現地開催のメリットが大きいという印象を持った。最近の長期観測データの蓄積による研究の進捗は目覚ましく、本年度の研究集会でも多くの報告があったが、再解析や気候モデルの出力である長期データに内在する問題点、例えば変数間の整合性の再現性や外部強制の影響などを検討した研究（宮地、木戸、小橋など）や、観測データから従来見逃されてきた関係性を見つける試み（木下、小橋、根田など）があったことは、本研究集会が重要視してきた視点が共有されていることを示している。また、本研究集会でも重点的に議論されてきた亜熱帯モード水の動態の把握とその意義についての研究が体系としてまとまってきたという報告（岡）が共有されたことは意義深いものであった。学生の発表においても、複数のテレコネクションが連鎖する可能性（古川）や統計的な手法を用いた水塊特性の把握につなげようという研究（三部）のような意欲的な研究がなされ、活発な議論によって根本的な研究の方向性にまで踏み込めたことは、本研究集会の教育的な意義を再確認する機会となった。特別講演は轡田教授の本研究集会での最終講義のような位置づけであったが、現在当たり前と考えられているような研究コミュニティーの形成に関しても、その経緯を振り返ることでベテランの研究者や若い研究者がともに刺激を受けることができた。大気海洋相互作用に関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の重要性を再確認した。

（別紙様式６－２）

研究シンポジウム「宇宙におけるプラズマ爆発現象」

浅井　歩
京都大学
大学院理学研究科附属天文台

新型コロナウイルスの影響で中止

（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（東京大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻）

日本気象学会は、地球惑星科学連合（JpGU）の海洋、陸上植生、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、重点領域に採択されている。本研究集会は、重点領域に採択されたことを受けて、幅広い分野の連携促進と研究計画の明確化を目的として開催された。

この研究集会は2014年度以降毎年開催しており、今年度で8回目を数える。昨年度はコロナ禍によりオンラインで開催したが、今年度もコロナ禍の状況が読めないこと、オンラインでの開催により多くの参加者を見込めることなどの理由により、12月21日（火）午後にオンラインで開催した。その結果、21機関から49名の参加者を得ての研究集会となった。

研究集会では、台風、エアロゾル、温室効果気体についての合計で８件の講演があった。残念ながら、例年と比べて講演件数が少なかったが、これはコロナ禍で航空機観測に限らず、観測的な研究全般が停滞してしまっていることが要因と思われる。一方で、個々の講演時間を長く取ることができたために、解析結果を丁寧に示す講演者が多く、発表が分かりやすくなるとともに、議論の時間を十分に取ることができた結果、有意義な研究集会となったように思われる。また、エアロゾルや気体観測については、ヘリコプターやレシプロ機、無人機による観測などについての紹介もあり、観測対象により適切な観測用航空機の選択が重要であることも示された。

研究集会に際して、Microsoft Teamsのアクセスポイント取得時の不注意により、一定時間で接続が強制的に終了させられてしまう状況が発生した。講演者や参加者に対して失礼となるため、この点については注意を要すると考えられる。

航空機を用いた気象・気候のみならず地球科学観測は、今後の研究活動の活発化が期待される。これまで以上に、航空機観測の計画や観測機器の開発、実施体制や実施時の課題などの情報共有が必要になっ

ていくと考えられる。名古屋大学宇宙地球環境研究所が中心となって毎年実施している本研究集会は、広い分野の研究者を結びつける情報交換や計画を本格化させていく上で重要な場として定着してきている。今後も本研究集会を継続して行っていくとともに、予算の具体化に向けた活動を進めていく予定である。

以下、研究集会の講演題目と講演者のリストを掲載しておく。

2021 年度「航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進」研究集会

1　坪木和久（名大宇地研・横国大台風センター）
　　T-PARCII the second phase の研究計画と 2021 年度の試験飛行の結果
2　山田広幸（琉球大理）・伊藤耕介・坪木和久・篠田太郎・大東忠保・中澤哲夫・山口宗彦・長浜則夫・清水健作
　　2021 年台風第 16 号の航空機観測で捉えた二重暖気核構造と壁雲から目への中層インフロー
3　平野創一朗（琉球大理）・伊藤耕介・山田広幸・辻野智紀・坪木和久・Chun-Chieh Wu
　　Deep eye clouds in Tropical Cyclone Trami (2018) during T-PARCII dropsonde observations
4　高橋暢宏（名大宇地研）・纐纈丈晴
　　航空機搭載レーダによる台風観測シミュレーション
5　渡辺幸一（富山県立大工）
　　ヘリコプターを利用した富山県上空の大気観測　ー微量気体成分とエアロゾル粒子個数濃度の測定ー
6　林　政彦（福岡大理）・東野伸一郎・石井隼也
　　無人航空機サンプルリターンによる中緯度圏界面近傍のエアロゾル組成変動観測計画
7　町田敏暢（環境研）・笹川基樹
　　シベリアで観測された大気境界層近傍の CO2 濃度
8　財前祐二（気象研）
　　UAE から日本に至る自由対流圏のエアロゾルの特徴

同位体比部会2021
Isotope-ratio Mass Spectrometry Meeting, 2021

南　雅代、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

同位体比部会は、同位体分析を主な研究手段とする国内の研究者・学生が、ハード・ソフト両面で当面する問題について互いの情報を交換し、同位体比測定およびその応用研究分野のレベルアップを図ることを目標に年一回開催されている研究集会であり、質量分析法を研究手法とする同位体研究の交流の場を提供する国内唯一の会である。

今年は名古屋大学宇宙地球環境研究所の南が中心となり、2021年11月10日（水）-12日（金）に開催した。同位体比部会は、例年、合宿形式で実施することにより、特に、大学院生、ポスドク、助教など今後の同位体研究を担う若手研究者の相互の交流を深めることを特徴としてきたが、今年はコロナ禍で、残念ながら完全オンラインでの開催となった。参加者は一般94名、学生29名と、例年の対面開催の時と同程度の参加者数であり、特に学生や若手研究者の参加が多かった。口頭発表は21件、ポスター発表5件、その他に、以下に示す2件の特別学術講演、3件の招待講演が行われた。いずれも同位体を利用した興味深い発表であり、活発な議論が行われた。学生をエンカレッジするために、優れた発表をした学生3名に学生発表賞を授与した。また、オンラインであることを活かし、7件のビデオあるいはライブでの研究室紹介を企画した。臨場感あふれる研究室紹介が行われ、大変好評であった。

最新の完結した研究成果だけでなく、未完成・萌芽的な研究発表、今後の研究計画について、参加者が気軽に議論や意見交換を行うことができ、有意義な研究集会であった。

特別学術講演

赤木 右（九州大学大学院理学研究院）「氷期サイクルの開始と維持のための新しいメカニズム」

益田晴恵（大阪市立大学理学研究科）「西南日本の温泉とテクトニクス/同位体研究への期待」

招待講演

富田英生（名古屋大学大学院工学研究科）「レーザー吸収分光による微量同位体分子分析法の開発」

川島洋人（秋田県立大システム科学技術学部）
「安定同位体比を用いた環境中有害化学物質の発生源解析と食品の異同識別」

三宅芙沙（名古屋大学宇宙地球環境研究所）「宇宙線生成核種を用いた過去の極端太陽現象の調査」

研究室紹介

弘前大学理工学部地球環境防災学科・岩石鉱物学グループ（ビデオ）

東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻・角野研究室（ビデオ）

名古屋大学大学院環境学研究科生物地球化学グループ（ビデオ）

秋田大学大学院理工学研究科・福山研究室（ビデオ＋ライブ）

名古屋大学工学研究科・富田研究室（ライブ）

秋田県立大学システム科学技術学部経営システム工学科・環境鑑識学研究室（ライブ）

学生発表賞

仁木創太（東京大学大学院理学系研究科）
「レーザーアブレーションICPトリプル四重極型質量分析法を用いた地質試料に含有されるウラン系列およびアクチニウム系列中間生成核種の局所分析」

中尾魁史（東北大学大学院理学研究科）
「プチスポット溶岩の希ガス同位体組成から太平洋プレート下マントルの空間的組 成変化を探る」

澤田 陸（名古屋大学大学院環境学研究科）
「滋賀県敏満寺遺跡出土火葬骨のマルチSr同位体比から探る中世の文化」

（別紙様式６－２）

第26回大気化学討論会
The 26th Symposium on Atmospheric Chemistry

関山剛，気象庁気象研究所・全球大気海洋研究部

日本大気化学会(会長：金谷有剛(海洋研究開発機構)) の研究集会として第26 回大気化学討論会が2021 年11 月9（火）～11 日（木）の3日間にオンライン形式で開催された(図1,2)。大気化学討論会は対流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，口頭講演もしくはポスター講演で研究成果を発表して，参加者が十分な時間を取って自由に議論・意見交換が行える場となっている。

大気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されているが，第26 回大会は海洋研究開発機構・横浜市立大学・気象研究所の学会員で実行委員を務め，新型コロナウイルス感染拡大防止の観点から昨年度と同様にオンライン形式での開催となった。参加者は171名(学生は45名)で昨年と同程度の参加人数であった。大会のオンラインシステムは「Slack」をベースに「Zoom」を併用する形式で進められた。本討論会では，口頭発表30件，ポスター発表32件が実施され，Zoomのブレイクアウトルームを利用したポスター発表など，より対面に近い形での議論・討論が行うことができた。また，本討論会では，特別セッションとして，「大気化学の将来構想」と題し，大気化学に関わる下記のテーマに関し，今後10年で取り組むべき研究に関する意見表明と討論が行われ，夜遅くまで議論が続いた。

- 温室効果気体とオゾン層破壊物質
- 大気汚染物質群の排出・化学過程・濃度のリンクとSLCFsとしての気候健康影響解明
- 未来の大気化学のための室内実験
- 陸域生態系と大気化学
- 人新世における海洋エアロゾル・生物の気候フィードバック

会期中は女性会員の集い，若手・若手会員の昼食会，参加者全体での懇親会などのサイドイベントもオンラインで開催され，学生からシニアまでの親睦や情報交換を行うことができた。

予稿集の冊子を作成し，事前に参加者全員に郵送配布することで，参加者がオンラインで大会に参加しながら手元で各発表の予稿原稿を確認しやすいように配慮した。なお，今大会は参加費を無料とし，予稿集の冊子作成に名古屋大学ISEE の共同利用・共同研究の公募による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(図3)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。

第26回大気化学討論会2021 日程 （2021/10/11更新）

JST	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Nov.9	開会	口頭発表① 9:45–10:45	口頭発表② 11:00–12:00		ポスター概要紹介 13:10–13:50	ポスター発表① 13:50–15:10	特別セッション 15:20–17:55				ナイトセッション 19:00–20:30	
Nov.10	口頭発表③ 9:05–10:20		口頭発表④ 10:35–12:00		会員集会 13:10–14:00	受賞講演 14:00–14:30	ポスター発表② 14:35–15:55	口頭発表⑤ 16:05–17:10			懇親会 18:30–20:30	
Nov.11	口頭発表⑥ 9:05–10:15		口頭発表⑦ 10:30–11:45	閉会								

図 1　第 26 回大気化学討論会の日程

図 2　第 26 回大気化学討論会の閉会式での記念撮影

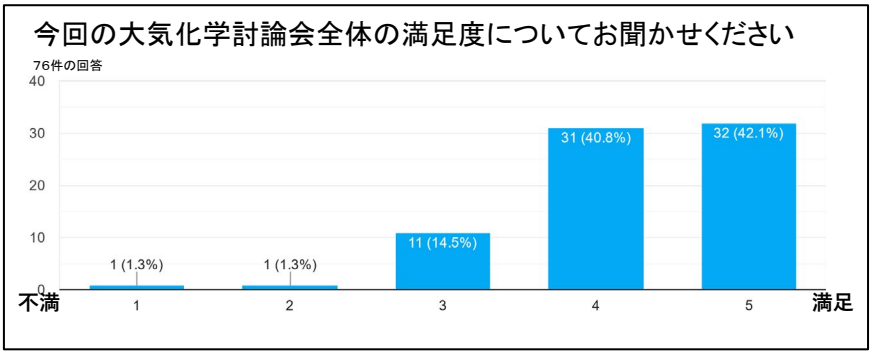


図 3　第 26 回大気化学討論会の満足度

（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、EISCATレーダーを用いた研究成果発表および新大型レーダーであるEISCAT_3Dの開発状況およびそれを用いた研究課題を、国内共同研究者で情報を共有し、議論して、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進めることである。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。2021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 Councilmember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)を用いた今後の研究の発展性を議論する。EISCATレーダーシステムを用いた個々の研究テーマには、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、オーロラ物理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、2022年3月25日（金曜日） 10:00-17:30に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集会（小川泰信　代表）と合同で開催し、27名（うち外国機関から2名、大学院生4名）が参加した。午前は小川泰信が、午後は野澤悟徳が座長を務めた。

午前中の最初のセッションでは、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、2件の講演がなされた。それを踏まえて、EISCAT_3Dを用いた今後の共同研究について、１時間議論を行った。午後最初のセッションでは、3件の研究発表が行われた。その後、2021年度の日本のEISCAT特別実験について講演がなされ、それを踏まえて、11件のEISCAT特別実験報告がなされた。

成果：EISCATおよびEISCAT_3Dシステムに関する説明、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からEISCAT_3Dへの過渡期においても日本のグループは、これまで通り成果を上げ続けることが出来ると期待できる。

EISCAT研究集会プログラム
10:00-10:02
・開会の辞

EISCAT_3D計画について
10:02-10:30
・EISCAT_3Dの現状と予定、日本の取り組み（小川）
10:30-11:00
・EISCAT_3Dシステム内容と進捗状況（橋本）
11:00-12:00
・今後のEISCAT_3Dレーダーの共同利用に関する議論

13:00-13:20
・研究成果発表１
大山伸一郎他
地磁気静穏時のサブオーロラ帯における熱圏風加速
13:20-13:40
・研究成果発表２
高田雅康他
極域低高度電離圏におけるCIR-・CME-駆動型磁気嵐のイオン上昇流への影響
13:40-14:00
・研究取り組み紹介１
片岡龍峰
南極の重点研究計画の紹介：極冠域から探る宇宙環境変動と地球大気への影響

EISCAT 特別実験報告
14:15-14:25
・2021年度の EISCAT 特別実験の全体概要説明（野澤）

2021年度のEISCAT特別実験報告
14:25-16:40
齋藤義文、カスプ流出イオンの加速及び加熱機構の解明：SS-520-3号機キャンペーン

田中良昌、メソスケールオーロラの3次元電流系の研究

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、脈動オーロラと極域冬季中間圏エコーの同時観測

細川敬祐、カラーデジタルカメラを用いたオーロラ降下電子エネルギー推定手法の較正

野澤悟徳、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（1つ前の実験とマージ。結果を合わせて説明）

大山伸一郎、静穏時サブストームにおけるオーロラ帯－サブオーロラ帯の観測研究

藤田浩輝、特定の破砕事象に基づくスペースデブリ同定と環境モデル検証を目的とする観測

三好由純、あらせ衛星及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（小川代読）

横山佳弘、Horse-collarオーロラ中のメソスケールプラズマ流構造

藤原　均、昼側極冠域・オーロラ帯電離圏変動の研究

16:40-16:50
・2022年度のEISCAT関連内容説明（小川）

16:50-17:30
・総合討論

（別紙様式６－２）

太陽風プラズマ物理の最新成果と今後の展望

Recent results and future perspectives in solar wind plasma physics

成行泰裕、富山大学学術研究部教育学系

本研究集会は、太陽風プラズマの最新成果の共有と将来展望についての議論を通じて当該分野の進展を促すことを目的として開催された。2件の基調講演については60分の時間を取り、観測・シミュレーション両面から太陽風プラズマ物理の最新の結果・成果と今後の展望に関する活発な議論が交わされた。本件研究集会は「太陽地球環境と宇宙線モジュレーション」「太陽圏・宇宙線関連の共同研究成果報告会」と合同で2021年3月1日-2日にかけてオンラインで実施され、2日間で延べ62名の参加があった。

以下に、当日のプログラムを示す：

2021 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」、
「太陽風プラズマ物理の最新成果と今後の展望」
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
（オンライン開催）

3 月1 日
8:55-9:00 成行泰裕 あいさつ 「太陽風プラズマ物理の最新成果と今後の展望」
9:00-10:00 村上豪（JAXA/ISAS）国際水星探査計画BepiColombo が展開する
内部太陽圏探査
10:00-11:00 庄田宗人（国立天文台）太陽風数値シミュレーション：プラズマ乱流から
大規模構造まで
11:00-11:20 成行泰裕（富山大） 多次元アルヴェン波解の性質と不安定性について
11:20-11:40 松清修一（九州大） 宇宙線異常成分の生成に関するテスト粒子計算
11:40-11:55 千葉翔太（東大） 金星探査機あかつきによる太陽コロナの電波掩蔽観測

－ 昼食 －

12:55-13:00 松原豊 あいさつ 「太陽圏・宇宙線関連の共同研究成果報告会」
13:00-13:20 宗像一起（信州大）、加藤千尋、片岡龍峰、林 優紀、小財正義、
GMDN collaboration
地上宇宙線計で観測された2021 年11 月の宇宙天気事象
13:20-13:40 小財正義（ROIS-DS）、宗像一起、加藤千尋、門倉昭、片岡龍峰、村瀬清華、
三宅晶子、GMDN collaboration

南極昭和基地の宇宙線計を用いた南北異方性の解析
13:40-14:00 小島浩司（中部大） 地球周辺の惑星間空間における宇宙線の密度勾配と
剛度の関係
14:00-14:20 野中敏幸（東大宇宙線研）空気シャワー観測装置による宇宙線強度変動の観測
14:20-14:35 小井辰巳（中部大） GRAPES-3 の高精度ミューオン望遠鏡を用いた、
宇宙天気観測と宇宙線モジュレーション研究
14:35-14:50 岩井一正（名大ISEE） 次世代太陽風観測装置の計画と2021 年度の進捗

－ 休憩 －

15:10-15:30 渡邉堯（茨城大学） 宇宙線データベースの現状
（WDCCR、NMDB、IZMIRAN の比較）
15:30-15:50 櫻井敬久（山形大）、門叶冬樹、乾恵美子、森谷透、武山美麗、三宅芙沙
宇宙線生成核種Be-7 濃度の季節変動
15:50-16:10 中野佑樹（東大） Super-Kamiokande を用いた太陽フレア
由来のニュートリノ探索
16:10-16:40 村木綏（名大）、松原豊、増田智、徳丸宗利、柴田祥一、小井辰己、大嶋晃敏、
高丸尚教、境享祐、内藤統也、垥隆志、三宅晶子、Valdes Glicia, Ernesto Ortiz, P. Miranda
太陽中性子崩壊陽子の観測 (2)

3 月2 日
8:55-9:00 加藤千尋 あいさつ 「太陽地球環境と宇宙線モジュレーション」
9:00-9:30 瀧田正人（東大宇宙線研） Tibet ASγ 実験での最近のガンマ線観測
9:30-9:50 奥川創介（横浜国大） ALPACA 実験におけるガンマ線検出効率の
ハドロンモデル不定性
9:50-10:10 佐古崇志（東大宇宙線研） TeV 領域宇宙線異方性の太陽圏磁場による変調
10:10-10:30 大嶋晃敏（中部大） GRAPES-3 大型ミューオン望遠鏡による
宇宙天気観測
10:30-11:00 鳥居祥一（早大)、赤池陽水、小林兼好、宗像一起、加藤千尋、片岡龍峰、
三宅晶子、他 CALET チーム
ISS 搭載CALET による6 年間の軌道上観測の成果
11:00-11:15 加藤千尋（信州大） 機械学習を用いた地上ミューオン観測データの
大気効果補正

（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 3 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 2021 年 11 月 18 日（木）～19 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、13 人の発表と 30 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（Iskhaq Iskandar 氏、Tengfei Xu 氏、Yang Yang 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 18 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若手～中堅研究者の研究発表として、堀井孝憲（JAMSTEC）は沿岸湧昇のホットスポットであるジャワ沖に置ける、クロロフィル a と IOD との関連に関して紹介した。寺田雄介（東大）は、新しく定式化されたエネルギーフラックスを用いて、インド洋と太平洋との間における海洋波動エネルギーの経路について議論した。Zimeng Li（名大）は赤道インド洋における経年変動スケールでの海洋波動のエネルギー伝播における解析事例を紹介した。

引き続き午後は、熱帯域における気候変動の応用研究に関する発表として、尾形友道（JAMSTEC）はベンガル湾沿岸域におけるコレラ発生ポテンシャルの気候インデックスによる予測可能性について紹介した。Patrick Martineau（JAMSTEC）は南アフリカ域のマラリアの早期予測可能性について、気候インデックスを用いた機械学習を用いて示した。Iskhaq Iskandar（Universitas Sriwijaya）は 1997 年の IOD における海洋波動の振る舞いを解析し、東岸からの波動伝播の重要性を示した。

集会 2 日目（11 月 19 日）:

２日目の午前は南シナ海の研究について、Dudsadee Leenawarat（名大）はタイランド湾におけるクロロフィル a の年々変動と ENSO の役割について発表した。Tengfei Xu（FIO）は南シナ海通過流に関して、熱や塩分輸送の重要性の観点から観測結果を紹介した。また、国際的な海洋研究の取組という点から、安藤健太郎（JAMSTEC）は IOC/WESTPAC における CSK-2 プログラム（黒潮と周辺海域の国際観測プロジェクト）について紹介した。

午後は、黒潮域における理論研究について、Yang Yang（NUIST）は黒潮続流域における渦活動とそのエネルギーの鉛直再分配について議論した。ZhenLong Zhang（鹿児島大）は黒潮の季節変動について、表層流におけるアジアモンスーンの局所的寄与の重要性を紹介した。また、熱帯の波動力学に関して、

相木秀則（名大）は季節変動の海洋波動のエネルギー伝播について、インド洋/太平洋との海盆間の相互作用という視点からの研究結果を紹介した。

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。また、ハイブリッド形式においては、大規模開催を見据えた機材設定のノウハウなどを、海洋学会のニュースレターに投稿して広く共有する事ができた。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。

Time and date: 10:00-12:00 & 14:00-16:00, Nov. 18 (Thu) & Nov. 19 (Fri)
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
Thursday, Nov. 18 Sakata-Hirata Conference Hall（D2-7 坂田・平田ホール 1 階）
Friday, Nov. 19 Noyori Conference Hall（E3-1 野依記念学術交流館 2 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）
プログラム
11 月 18 日（木）
Chair: Takanori Horii
10:00-10:05 JST (Opening Remarks)
10:05-10:25 (1-minute self introduction)
Chair: Yukio Masumoto
10:30-11:00 Takanori Horii, JAMSTEC
Surface Chlorophyll-a variations associated with coastal upwelling south of Java, and its relation to the Indian Ocean Dipole
11:00-11:30 Yusuke Terada, The Univ. of Tokyo
Indo-Pacific interbasin exchange of equatorial wave energy through the Indonesian archipelago in a reduced gravity model
11:30-12:00 Zimeng Li, Nagoya Univ.
Transfer routes of wave energy in the tropical Indian Ocean during IOD negative events
12:00-12:30 (Free discussion)
Chair: Tomomichi Ogata
14:00-14:30 JST Iskhaq Iskandar, Univ. of Sriwijaya
Role of the eastern boundary-generated waves on the termination of 1997 Indian Ocean Dipole event
14:30-15:00 Patrick Martineau, JAMSTEC
An early warning malaria prediction system based on climate predictors

15:00-15:30 Tomomichi Ogata, JAMSTEC

Climate precursor for cholera outbreaks

15:30-16:00 (Free discussion)

16:00-16:30 Discussion about Special Issue in Frontier

https://www.frontiersin.org/research-topics/23244/multi-scale-air-sea-variability-and-its-application-in-indo-pacific-regions

Friday, Nov. 19

Chair: Takanori Horii

10:00-10:30 JST Dudsadee Leenawarat, Nagoya Univ.

Seasonal variability of surface chlorophyll-a in the Gulf of Thailand and influence of ENSO

10:30-11:00 Tengfei Xu, First Institute of Oceanography

South China Sea water transport to the Indonesian seas and its potential influence on the south tropical Indian Ocean

11:00-11:30 Kentaro Ando, JAMSTEC

CSK-2 programme in IOC/WESTPAC

11:30-12:00 (Free discussion)

Chair: Hidenori Aiki

14:00-14:30 JST Yang Yang, Nanjing Univ. of Information Science and Technology

Vertical coupling and dynamical source for the intraseasonal variability in the deep Kuroshio Extension

14:30-15:00 ZhenLong Zhang, Kagoshima Univ.

Seasonal velocity variations over the entire Kuroshio path

15:00-15:30 Yingnan Jiang, Nagoya Univ.

Composite time-series analysis of near-surface aerosols in strong wind events at Cape Hedo

15:30-16:00 Hidenori Aiki, Nagoya Univ.

Atmospheric wave energy circulation in idealized MJO experiment

16:00-16:30 (Free discussion, closing remark)

内部磁気圏研究集会：放射線帯粒子の加速と消失
Workshop on the acceleration and loss of radiation belt particles

桂華邦裕、東京大学大学院理学系研究科

概要
本研究集会では、あらせ（ERG）衛星やVan Allen Probes衛星など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「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」（代表者：東北大学・加藤雄人）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。統合データサイエンスセンター・ERG-SCサイエンスセンターと連携し、データ解析ツールSPEDASの講習会を実施した。内部磁気圏分科会と共催し、将来構想検討会を実施した。

実施内容
令和3年10月12日および13日にZoomアプリケーションを用いてオンライン（Zoom）で実施し、約70名が参加した。初日午前にあらせ衛星搭載観測機器の最新状況の報告、午後に当該機器を主に用いた最新研究の報告および科学議論を行った。2日目は午前に将来構想検討会を実施し、2030年代以降の将来ミッションに繋がる理論研究や観測機器開発のアイデア出しと議論を行った。同日午後にはSPEDAS講習会を実施し、YouTube動画を利用した講習およびZoomブレイクアウトルームを用いた質疑応答を行った。

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EISCAT_3D観測網との連携について、国立極地研究所の小川泰信氏に講演を依頼し、将来の共同観測の戦略や研究計画について議論した。
(3)将来構想検討会では、若手を中心とする10人超の参加者が将来研究計画について発表し、出されたアイデアや関連テーマについて議論した。次回の研究集会以降に議論を深め、将来のミッション提案に繋がる土台を築くことができた。
(4)解析講習会では、チュートリアルYouTube動画やZoomブレイクアウトルームを有効活用し、対面の講習会と同レベルの講習を実施した。

発表プログラム

10月12日(火) 10:00-12:00

・ 三好由純（名古屋大学ISEE），篠原育（JAXA/ISAS），ERGプロジェクト報告
・ 松岡彩子（京都大学），MGF 報告
・ 笠原禎也（金沢大学），PWE報告
・ 風間洋一（ASIAA/SINICA），LEP-e報告
・ 笠原慧（東京大学），MEPs報告
・ 堀智昭（名古屋大学ISEE），ERG-SC報告
・ 細川敬祐（電気通信大学），PsAの観測計画
・ T. Hori（ISEE, Nagoya Univ.）他, Error evaluation for energetic electron fluxes measured by Arase/HEP
・ C.-H. Jun（ISEE, Nagoya Univ.）他, Comparison between MEPi and LEPi

13:30-14:40

・ 小川泰信（国立極地研究所）,EISCAT国内推進室,EISCAT_3Dとあらせ衛星の連携について
・ 桂華邦裕（東京大学），Review of recent research on the ring current

14:55-17:25

・ S. Fukuoka（ISEE, Nagoya Univ.）他, Development of radiation belt forecast model based on the recurrent neural network
・ 中村 紗都子（名古屋大学ISEE） 他, あらせ衛星の直方体形状による衛星電位スピン変調と衛星表面帯電モデルとの比較
・ 高田知弥（名古屋大学ISEE） 他, Outflow of ionospheric ions associated with SAPS observed by SuperDARN, Arase, and DMSP satellites
・ Sandeep Kumar（ISEE, Nagoya Univ.）他, A comparative study on electron contribution to the ring current during CME and CIR driven geomagnetic storms using RAM-SCB simulations and Arase and ground magnetic data
・ 南條壮汰（電気通信大学） 他, デジタルカメラで捉えた脈動オーロラの内部変調

10月13日(水)

09:00-12:30 将来構想検討会

・ 司会：中村紗都子（名古屋大学ISEE）
・ 話題提供者（順不同）：南條壮太、菊川素如、坂野井健、関華奈子、山本和弘、栗田怜、Yikai Hsieh、土屋史紀、三好由純、浅村和史、坂口香織、西谷望

13:30-16:00 SPEDASデータ解析講習会

（別紙様式６－２）

第 9 回アジア海色ワークショップ「第 18 回日韓海色ワークショップ」
The 9th Asian (18th Korea-Japan) Workshop on Ocean Color 2021 (AWOC/KJWOC 2021)

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

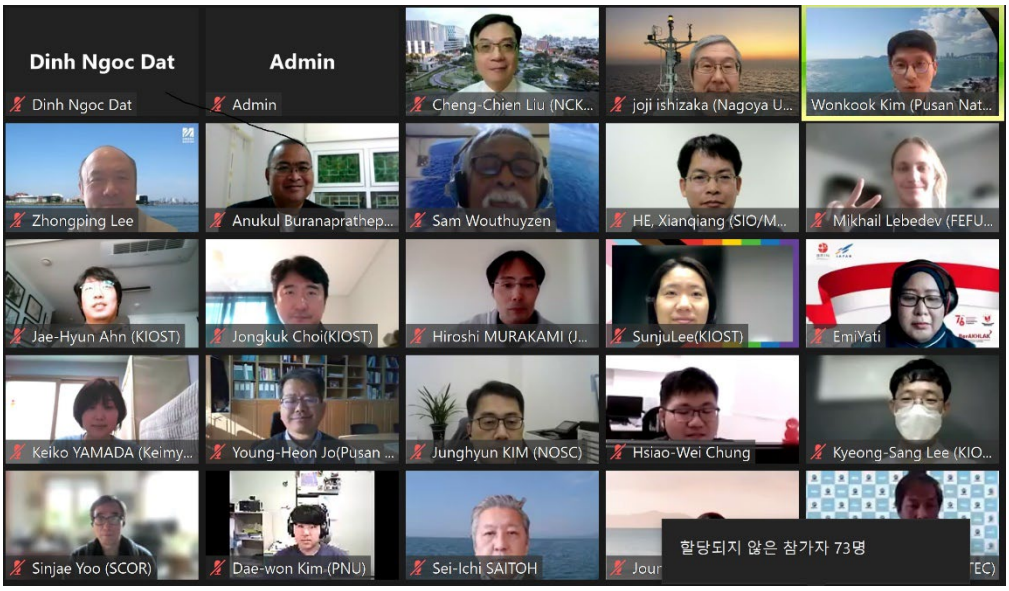
1. Workshop Overview

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 2021 fiscal year, the 9th AWOC / 18th 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 9th AWOC / 18 KJWOC via Zoom was held 21-22 December 2021 and organized by Pusan National University. Before the workshop, a one-day general lecture on the bio-optical properties and training on the Google Earth Engine application for ocean color was also held on 20 December 2021.

2. Participant/Presenter Number

The total number of the virtual 9th AWOC / 18th KJWOC participants was more than 100 participants including the presenters. They participated from the countries of Thailand, Indonesia, the Philippines, Malaysia, Vietnam, India, Korea, Japan, China, UK, USA, Nigeria, and Germany. The workshop delivered 50 oral presentations divided into 9 sessions covering various topics of operational ocean color remote sensing, ocean color data validation and retrieval, atmospheric correction, and ocean color observation application for coastal water monitoring, climate change impact assessment. Below is a zoom screen snapshot that was taken during the workshop.



3. Workshop Topics and Outputs

Among the presentation topics during the virtual 9th AWOC / 18th KJWOC are; fisheries resources and environmental changes; global and regional ocean color missions; ocean color algorithm development, ocean color calibration/validation; atmospheric correction for ocean color observations; impacts of terrigenous materials on the marine ecosystem through the atmosphere-ocean-land interactions, and teleconnection to global climate changes. Besides as an effective international scientific forum wherein scientific discussion, information/data exchange/sharing can be conducted, bilateral and multilateral collaborations can also be promoted and strengthened in the future.

During a discussion session, there was an initiation to establish a formal organization for this Asian ocean color community. Representatives from the main participating countries have been selected for discussing whether or not the community needs a formal organization.

（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

研究集会「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」は、IUGONET（超高層大気長期変動の全球地上ネットワーク観測・研究）プロジェクト（http://www.iugonet.org）が主に企画し、第459回生存圏シンポジウム、令和3年度名大ISEE研究集会、令和3年度極地研研究集会との共催で開催された。本研究集会の目的は、太陽地球系物理学分野の研究者・学生、データ所有者、データベース・解析ツール開発者等が一堂に集まり、各々の研究の紹介と議論を通じて、各自の研究に最適な解析方法・フローを見出すと共に、物理現象の理解、成果創出に繋げることである。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、これらの密接に関連した研究集会と同一期間（9月28～30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。新型コロナウィルス感染症拡大の防止のため、研究集会はZoomを用いてオンラインで開催した。また、多くの学生や若手研究者に講演や議論の機会を提供できるように、各研究集会の世話人の間で調整を行った。

我々の研究集会では、各研究集会の参加者が主に使っている太陽地球系物理学分野のデータ解析手法・ツールに焦点を当てて講演・議論を行った。また、当該分野で普及している複数の解析ソフトウェア、ツールを実際に用いたデータ解析講習セッションを開催し、学生・若手研究者が解析ツールの利用方法を実践的に学べる場を提供した。

研究集会の報告、及び、成果と課題

9月30日に口頭セッションが開催され、59名が参加者した（Zoomのレポート機能により、参加者を確認）。午前中（10:00-11:00）、大学院生による3件の招待講演が行われた。機械学習や周波数解析、衛星フットプリントの電離圏へのマッピング等、様々な解析手法やツールに焦点を当てた講演が行われた。その後、昨年度と同様に議論セッション（11:05-12:25, 13:30-14:45）を開催し、修士課程の大学院生7名に各自の研究について発表していただいた。まず初めに、参加者全員の前で約5分間の研究紹介をしていただき、その後それぞれ小部屋（Zoomのブレイクアウトルーム）に分かれて約1時間その研究テーマに関して議論を行った。各小部屋には、進行役のアドバイザー1名と議論を正しく誘導するファシリテータ1名を配置し、各研究課題の解決に向けた議論を行った。アドバイザーは世話人が務め、ファシリテータは教員・研究者に引き受けていただいた。議論において、参加者から学生に対して様々な助言や提案があり、関連する研究者との情報交換の場を提供できたという点で成果があった。一方、学生の準備不足のため議論が深まらなかったとのコメントも一部の参加者からいただいた。これについては、学生が議論セッションに参加する敷居を下げるために、世話人から学生に対して簡単な資料のみ準備するよう依頼したことが原因である。

来年度も同様の議論セッションを開催する場合は、学生の指導教員に同席してもらう、学生に最低限の準備をお願いする等の対策を検討したいと考えている。

議論セッションの後（15:00-16:30）、太陽地球系物理学分野で広く利用されているデータ解析ソフトウェアであるIDL、MATLAB、及び、IDLをベースとした超高層大気データの統合解析ツール「SPEDAS」の3つのデータ解析講習セッションを並行開催した。データ解析講習セッションを合同研究集会の最後に開催したのは、前日の関連研究集会や議論セッションで出た話題について、実際に解析ツールを使って解析できるようにするためである。IDL講習は、Harris Geospatial株式会社の現役エンジニアの方に依頼した。講習は、主に参加者の質問に対して回答していくQ&A形式で進められ、プログラミングの基礎から応用まで幅広く質問があった。特に、今回は参加申請時にウェブで複数の質問を受けていたため、それらに一つ一つ回答することで効率的に講習を進めることができた。他方で、MATLAB講習の参加人数は少なかったことから、来年度以降も継続するかどうかは検討が必要である。参加申込時に希望が多かった場合のみ開催、あるいは、当日の臨機応変な対応のみでも十分かもしれない。代わりに、Pythonベースの最新の解析ツール「pySPEDAS」等を使った講習についても、開催を検討したい。

なお、9月29日午後には、4つの研究集会の合同ポスターセッションが開催され、15件の発表があり非常に盛況であった。本研究集会のプログラム、及び、講習資料の一部はIUGONETウェブサイトで公開している（http://www.iugonet.org/workshop/20210929）。

（別紙様式６－２）

科学データ研究会
Science Data Symposium

研究開発法人・情報通信研究機構　村山泰啓

開催日時：2022年3月30日（水）午後１時～5時

開催形態：オンライン

２０２１年度名古屋大学・宇宙地球環境研究所研究集会「科学データ研究会」と、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小委員会主導のWDS国内シンポジウム（第９回）の合同研究会として開催。2011年よりNICTがホストしてきたWDS国際プログラムオフィス（WDS-IPO）が、2021年より米国テネシー大に移動したことを受け、この10年間におけるWDS関連の国内活動のレビューをもとに、データ関連活動における今後の国際連携に向けた態勢の構築に向けたディスカッションを行った。また地球電磁気・地球惑星圏学会の将来構想文書における、オープンサイエンスに関する記述の改訂について、趣旨説明と意見集約の機会を設定した。研究会の最後には、日本学術会議情報学委員会・WDS小委員会委員の出席により、今後のWDSに関する活動の方向性について議論を行った。

プログラム

13:00-13:30・WDS-IPOが日本のデータ活動に与えたインパクト・・・村山泰啓（NICT）

13:30-13:50・WDC・WDS移行期における議論とその後の展開・・・渡邉　堯（NICT）

13:50-14:10・WDS-SCにおける議論の変遷　・・・家森俊彦（京都大）

14:10-14:30・ディスカッション（WDSに期待すること、今後の対外活動など）

14:30-15:00・地球電磁気・地球惑星圏学会の将来構想文書におけるオープンサイエンスに関する記述の改訂について（講演＋ディスカッション）・・・データ問題検討分科会、能勢正仁（名古屋大ISEE）、村山泰啓(NICT)、篠原　育（JAXA）、堀　智昭（名古屋大ISEE）、田中良昌（国立極地研究所）、小山幸伸（近畿大工専）、今城　峻（京都大地磁気）

15:00-15:10・休憩

15:10-15:45・日本学術会議におけるデータ関連活動（招待講演+ディスカッション）・・・荒木　徹

15:45-17:00・国内外におけるWDS関連活動の展望（報告、ディスカッション）

（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

我々が生存す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変化は衛星測位に対する誤差要因を生むため、MTI領域は現代の社会基盤維持といった応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 領域の特異な物理・化学的性質を意識し、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、ポスター形式による研究発表と質疑応答の場を提供し、最新の研究成果の理解度、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。それにより、彼らの研究の視野を広げるとともにMTI並びに関連分野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、本年度の新しい試みとして、地球だけでなく他惑星に関連したMTI分野の発表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分野とかかわりの深い「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集会」と共同開催し、1. 太陽地球環境の概況と現象の理解、2. 太陽地球環境データ処理技術の習得、3. 太陽地球大気環境変動に関するサイエンス成果創出を目指した。国内のMTI分野では、地上観測を得意とする研究者が多いことから、衛星観測の将来計画に関する議論に加わることで、より幅広い視点から現在のプロジェクトの遂行、新たな研究プロジェクト(Square Kilometre Array (SKA) 計画など)の立案にむけた議論を行った。なお、昨年度と同様に本年度も新型コロナウィルス感染症拡大防止の観点から、当初の計画であった名古屋大学での現地開催は見送り、Zoom会議システムを用いたオンライン形式で研究集会を実施した。

2. 参加者数

本研究集会は、令和3年9月28日から29日までの2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集会」との合同で開催した。なお、4つの研究集会を含めた合同研究集会は、令和3年9月28日から30日までの3日間の日程で開催された。本研究集会に参加した人数は以下のとおりである。

9月28日：64名

9月29日：88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ために9つの招待講演(プラズマ圏―電離圏結合、NICT 宇宙天気予報の中長期計画、極冠域から探る宇宙環境変動と地球大気への影響、大型大気レーダーを中心とした観測展開から探る大気大循環変動、ICON衛星観測による中間圏・熱圏における大気波動、次世代低周波電波望遠鏡 SKA、地上大型電波望遠鏡を用いた，外惑星・衛星における中層大気物理化学の観測的解明、中低緯度の電離圏電流から観る大気圏―電離圏結合等)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、Zoom会議システムのバージョンアップもあり、昨年度の研究集会ではできなかったオンラインでのポスター発表を行うことができた。研究集会開催中において、特に接続上の問題もなく、現地開催と同様の雰囲気で研究集会を行うことができた。

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・若手研究者の講演を聴講したところ、各自の研究がある一定の水準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になされていると言える。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、昨年度開催されたMTI研究集会で発表論文の中で出版されている中で代表的なものを以下に列挙しておく。

1. Sori, T., A. Shinbori, Y. Otsuka, T. Tsugawa, and M. Nishioka, The occurrence feature of plasma bubbles in the equatorial to midlatitude ionosphere during geomagnetic storms using long-term GNSS-TEC data, *J. Geophys. Res.*, **126**, e2020JA029010, doi:10.1029/2020JA029010, 2021.

2. Kawai, K., K. Shiokawa, Y. Otsuka, S. Oyama, Y. Kasaba, Y. Kasahara, F. Tsuchiya, A. Kumamoto, S. Nakamura, A. Matsuoka, S. Imajo, Y. Kazama, S.-Y. Wang, S. W. Y. Tam, T. F. Chang, B. J. Wang, K. Asamura, S. Kasahara, S. Yokota, K. Keika, T. Hori, Y. Miyoshi, C. Jun, M. Shoji, and I. Shinohara, First simultaneous observation of a night time medium-scale traveling ionospheric disturbance from the ground and a magnetospheric satellite, *J. Geophys. Res.*, **126**, e2020JA029086, doi:10.1029/2020JA029086, 2021.

3. Inaba, Y., K. Shiokawa, S.-I. Oyama, Y. Otsuka, M. Connors, I. Schofield, Y. Miyoshi, S. Imajo, A. Shinbori, A. Y. Gololobov, Y. Kazama, S.-Y. Wang, S. W. Y. Tam, T.-F. Chang, B.-J. Wang, K. Asamura, S. Yokota, S. Kasahara, K. Keika, T. Hori, A. Matsuoka, Y. Kasahara, A. Kumamoto, S. Matsuda, Y. Kasaba, F. Tsuchiya, M. Shoji, M. Kitahara, S. Nakamura, I. Shinohara, H. E. Spence, G. D. Reeves, Robert, J. Macdowall, C. W. Smith, J. R. Wygant, and J. W. Bonnell, Multi-event analysis of plasma and field variations in source of stable auroral red (SAR) arcs in inner magnetosphere during non-storm-time substorms, *J. Geophys. Res.*, **126**, e2020JA029081, doi:10.1029/2020JA029081, 2021.

（別紙様式６－２）

STEシミュレーション研究会：太陽系シミュレーションの新展開
STE Simulation Workshop: Recent Progress in Solar System Physics by Numerical Simulations

簑島　敬、海洋研究開発機構

2021年9月6日～7日の日程で、「STEシミュレーション研究会：太陽系シミュレーションの新展開」をオンライン開催した。本研究集会では、2日間で12件の発表、及び延べ40名の参加があった。

太陽地球惑星系は様々な領域や非線形物理過程が競合した複合システムであり、これを総合的に理解するために、計算機シミュレーションが果たしてきた役割は極めて大きい。科学衛星による観測結果の定量的な解釈や物理素過程の理解には、シミュレーション研究が大きな役割を果たしている。本研究集会は、宇宙地球環境研究所の計算機共同利用研究の成果発表の場として、太陽地球系科学・プラズマ科学に関するシミュレーション全般、領域間／スケール間結合モデル、宇宙天気シミュレーションなどの最新の研究成果・展望を議論することや、計算科学や天文学、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を目的としている。今回は特に、太陽系のシミュレーション研究に関する新展開を議論するために、太陽地球系プラズマや惑星科学、計算機・情報科学などの周辺分野の最新動向を含めた招待講演を企画した。

招待講演として、BepiColombo, Parker Solar Probe, Solar Orbitarといった探査機が内部太陽圏の観測を続けており、太陽圏研究が新展開を迎えている動向を踏まえて、国立天文台の庄田宗人氏に太陽風のシミュレーションについてご講演頂いた。惑星科学分野からは神戸大学の細野七月氏をお招きし、京および本年度から本格稼働を開始した富岳を用いた月形成の大規模シミュレーションについてご講演頂いた。計算機科学分野からは海洋研究開発機構の上原均氏をお招きし、同じく本年度から本格稼働を開始した第4世代地球シミュレータについてご講演頂いた。シミュレーションで得られるデータは増加の一途を辿っており、データの次元を縮約して有用な情報を効率的に抽出する手法として、動的モード分解が近年注目を集めている。そこで宇宙航空研究開発機構から大道勇哉氏をお招きし、動的モード分解の流体データへの応用についてご講演頂いた。動的モード分解は太陽地球系プラズマへの応用例が乏しく、本研究集会を通して新たな展開が期待される。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60分と十分に確保することによって、太陽地球惑星系科学シミュレーション研究の問題意識や今後の方向性をしっかりと議論することができ、それらの共有が大いに進展した。本研究集会の講演プログラムおよび資料はhttp://cidas.isee.nagoya-u.ac.jp/simulation/meeting2021/に公開されている。

（別紙様式６－２）

太陽研連シンポジウム2021
Japan Solar Physics Community (JSPC) Symposium 2021

一本潔、京都大学大学院理学研究科附属天文台

【集会の概要】

太陽研連シンポジウム(以下、本研究集会)は、太陽研究者連絡会(太陽研連)が組織する、太陽物理学に重心をおいた研究集会である。太陽研連(Japan Solar Physics Community ; JSPC)は、全国の大学および研究機関で太陽物理学やそれに関連した学問を研究している研究者や大学院生が参加した研究コミュニティ団体である。現在の会員数は約210名である。

本研究集会は、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をし、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。これは、限られた発表時間のなかで成果発表講演を行う天文学会・SGEPSSなどの通常学会とは主たる目的が異なっており、レビューに基づく科学討議や研究方向性の合意形成に重心をおいた研究集会である。

太陽研究と、太陽系科学(地球惑星磁気圏でのプラズマ物理や惑星科学)、宇宙天気・宇宙気候といった地球環境への太陽影響研究、天文学(恒星物理、ブラックホールなど磁気流体物理)や実験室プラズマ(磁気リコネクション)など、共通の物理を扱う周辺の研究領域との研究交流は、ますます重要となっている。本研究集会は、そのような研究領域との研究交流を促進させ、学際的な研究アイデアを膨らます機会としても位置づける。

【参加者数】

総勢118名の参加があった。

【研究報告】

本研究集会は、2022年2月14日~15日の2日間、完全オンラインで開催された。本研究集会は主要な大学・研究機関の持ち回りで開催しているが、2021年度は京都大学大学院理学研究科がホストを担当した。

シンポジウムでは、以下の大きな3つのセッションで構成された。

1) 最近の太陽物理学の進展とSolar-Cと迎える次期太陽極大期での太陽物理学の展望

Solar-C (EUVST)を基軸とした2020年代のサイエンス研究について、またSolar OrbiterやDKISTによる初期成果について招待講演を中心に議論された。特に、オンライン開催である強みを生かし、5名の海外からの招待講演を取り入れることができた。

2) ポストSolar-C時代(2030年代)の太陽物理学の展望2020-2030年代での太陽物理学におけるサイエンスの見通しや、その中での各将来計画の位置づけについての議論が行われた。さらに、今後大幅に変更が行われる予定のJAXA/ISASでの衛星計画の立ち上げ方について説明があり、どのように宇宙ミッション計画を立ち上げて行くべきか、討論がなされた。

3) 太陽物理周辺諸分野との連携による太陽物理学の展望

今年度は特に、太陽-恒星連携、太陽系内惑星、系外惑星の研究の最前線、また発展が著しい機械学習を用いた宇宙天気研究などについて招待講演を行った。

【成果】

本研究集会は、太陽物理学の進展をレビューして研究コミュニティで共有し、研究コミュニティ規模で太陽研究における研究課題や研究方向性を整理する機会となる。このような研究動向のレビューおよび討議は、今後の研究を牽引できる大学院生・若手研究者の育成にも有益な機会である。特に今回は、宇宙ミッションの立ち上げ方の具体的な進展を共有することができた。将来計画については、Solar-C (EUVST)の次の世代である2030年代に議論の主軸が移りつつあり、今回も活発に議論がなされた。

また、ここ数年は太陽研究と分野横断的に研究連携をより一層深めるために太陽系科学諸分野から招待講演をして頂いている。このように、研究に関して討議を行う機会を研究コミュニティ規模で持つことで、太陽研究者の分野横断的研究を萌芽する機会となっている。さらには、宇宙地球環境研究所が推進する融合プロジェクト「宇宙地球環境変動予測」「太陽気候影響研究」に対しても、良い影響が生まれると期待する。

（別紙様式６－２）

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
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 4 回目となる。昨年度は 3 月に開催したが今年度は 10 月開催としたため、実質半年しか空いていないが、この間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 9 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 3 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 6 月に行われた NDACC/IRWG meeting の報告、さらに個別のトピック、名古屋の新サイトの準備状況の報告を行った。二日目は今年度に新バージョンがリリースされた解析ソフト<SFIT4>のインストールについての情報交換を行った。

今回もオンラインのため、施設の見学や個別の相談等が出来なかったのは残念ではあったが、各観測地点で蓄積されてきた長期データを使って HFC、OCS、オゾン等の経年変化の解析が進みつつあり 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、また日本発の解析としてフロン類や都市大気質の経年変化の研究を提案し、IRWG 全体のデータを使用した研究へと進めていくための準備も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4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

2021/10/11 v1

会場：Zoomを用いたオンライン形式

https://zoom.us/j/96848082208?pwd=ZHBYRFZTSVBRV0RwRXlpS2VFNmdsUT09
ミーティングID: 968 4808 2208
パスコード: 236904

プログラム

10月13日（水）		講演者	タイトル
13:00	10 min	村田　功（東北大院環境）	趣旨説明
			日本の観測地点（陸別、つくば、Burgos）の観測概要
13:10	20 min	森野　勇（NIES）	Status of the Tsukuba and Rikubetsu TCCON sites 2021
13:30	20 min	森野　勇（NIES）	Status of the Burgos TCCON site 2021
13:50	20 min	森野　勇（NIES）	GGG2020 status
14:10	20 min	長濱智生（名大ISEE）	陸別のFTIR－NDACC観測
14:30	20 min	村田　功（東北大院環境）	つくばFTIRの解析状況
14:50	20 min		休憩
			NDACCの現状と最近の成果
15:10	20 min	長濱智生（名大ISEE）	Report on NDACC/IRWG meeting (online)
			個別観測トピック
15:30	20 min	鈴木湧平（東北大院理）	Impact of Arctic ozone depletion during 2014–2021 over Tsukuba
15:50	20 min	鈴木湧平（東北大院理）	Analysis of recent trends of global total ozone
16:10	20 min	楊 天量（名大院工）	Interannual and Long-term variation of Stratospheric Ozone in QBO Anomaly using the MLS level 3 data
16:30	30 min		議論
			新規サイト計画
16:50	30 min	長濱智生（名大ISEE）	名古屋におけるFTIR観測の準備状況と目指すサイエンス
17:20			1日目終了
10月14日（木）			
			解析手法
9:30	20 min	村田　功（東北大院環境）	SFIT4 v1のインストール
9:50	100 min		SFIT4 version1関連（本体、a priori、line parametersなど）の経験談、議論、他
11:30			2日目終了

（別紙様式７－２）

宇宙プラズマにおける粒子加速ワークショップ

Tajima　Hiroyasu
名古屋大学
ISEE

新型コロナウイルスの影響で中止

（別紙様式６－２）

第6回　YMAP秋の研究会
6th 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、2021年11月5日から7日にかけて，東京大学柏キャンパスおよびオンラインで開催された。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。今回は特に，貴重になってしまった対面での議論・交流の機会を提供できた。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，交流会，シンポジウムである。参加者は32名で，講演数は31件(うち招待講演2件)であった。発表題目については，研究会ページ(https://indico.icrr.u-tokyo.ac.jp/event/677/timetable/#20211105)で公開している。原則参加者全員が口頭で発表した。

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分断して交流する良い機会となった。今年度は対面とオンラインのハイブリッド開催を実現でき，対面での充実した議論・交流に加えて，オンラインゆえの海外からの参加・移動を伴わない参加等が可能という，双方の利点が得られた。来年度以降も引き続きハイブリッドでの開催を検討する。

（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

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るべき課題、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を行われた。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：2021年9月28日
場所：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：48名

3. プログラム

【座長：大塚雄一（名古屋大）】
13:00-13:10　MTI領域の衛星観測、ロケット観測
　　○斉藤昭則（京都大理）
13:10-13:30　観測ロケット実験の現状と搭載機器開発について

○阿部琢美（ISAS）

13:30-13:50　観測ロケットS-520-32号機による中規模電離圏擾乱観測

○山本衛（京都大RISH）、芦原佑樹、石坂圭吾、熊本篤志、白澤秀剛

13:50-14:10　昼間Es層の観測ロケット実験提案

○斉藤昭則（京都大理）、阿部琢美、石坂圭吾、田川雅人、熊本篤志、齋藤義文、松岡彩子、斎藤享、西岡未知、細川敬祐、 横山竜宏、Huixin Liu

14:10-14:30　地球超高層大気観測・月惑星探査に向けた中性粒子質量分析器の開発状況

○齋藤義文（ISAS）、平原聖文、横田勝一郎、笠原慧、浅村和史

14:30-14:50　超低高度衛星技術試験機（SLATS）による大気密度評価結果と後継機計画について

○今村俊介（JAXA）

14:50-15:10　SLATS/AOFSデータを用いた超低地球軌道上原子状酸素密度解析

○藤田敦史（神戸大）、井出航、堀本流石、浦川翔平、西岡燦太、土屋祐太、後藤亜希、行松和輝、宮崎英治、木本雄吾、三好勉信、横田久美子、田川雅人

（休憩15:10-15:30）

【座長：斉藤昭則（京都大理）】

15:30-15:50　再使用観測ロケットの最新状況

○小林弘明（JAXA）、野中聡、丸祐介、徳留真一郎

15:50-16:00　新観測ロケットと地上観測との連携について（コメント）：1

○西山尚典（極地研）

16:00-16:10　新観測ロケットと地上観測との連携について（コメント）：2

○横山竜宏（京都大RISH）

16:10-16:30　全大気圏衛星観測（SMILES-2）計画

○坂崎貴俊（京都大理）、斉藤昭則、落合啓、Philippe Baron、塩谷雅人、SMILES-2検討チーム

16:30-16:50　NICTにおける宇宙天気衛星観測の将来構想

○坂口歌織（NICT）

16:50-17:10　STP分野の飛翔体観測ロードマップ検討について

○三好由純（名古屋大）、齊藤義文、篠原育、斉藤昭則、寺田直樹

17:10-17:30　議論

4. 成果

観測ロケットは電離圏・熱圏・中間圏の地球超高層大気領域の観測手段としてだけではなく、装置開発、人材育成においても大きな役割を果たしてきており、今後もその重要性は変わらないと考えられている。研究会では、日本における観測ロケットのこれまでの発展と現状について、超高層大気科学に関するものだけではなく、工学的な用途も含めて広く紹介がされた。また進行中の計画として、2022年に打ち上げ予定の観測ロケットS-520-32号機による中規模電離圏擾乱観測について準備状況の報告がされ、その技術的・科学的課題についての議論がされた。今後の観測ロケット計画として、2024年夏期の実施に向けて提案が行われている「昼間スポラディックE層形成過程の中性大気とプラズマ大気の同時観測」についての紹介が行われ、既に機器開発が開始されている「中性大気質量分析器」「イオンドリフト速度測定器」「電場計測装置」「磁場観測器」についての紹介と、今後の見通しについての議論が行われた。この観測ロケット実験では中性大気とプラズマ大気の同時直接計測が行われるが、これらの新たに開発される観測機器を用いた人工衛星観測へと発展させていく計画が議論された。具体的には超低高度衛星SLATSの後継機への搭載が議論されており、「中性大気質量分析器」と「ラングミュアプローブ」の搭載を基本としつつ、より多くの機器の搭載によって中性大気とプラズマ大気の総合的な観測の可能性が議論された。このような将来計画と合わせてSLATS衛星による観測の成果の報告もされた。2030年代以降のより長期的な発展の方向としては再使用観測ロケットによる繰り返し観測の可能性とその利点の活用についての議論も行われ。再使用観測ロケット開発の現状の報告に続き、再使用観測ロケットを極域、赤道域で用いることによりどのようなブレークスルーが可能となるかについて議論された。また、将来的な計画として成層圏・中間圏・熱圏のサブミリ波・THz波による遠隔観測であるSMILES-2についても小型衛星ではなく国際宇宙ステーションをプラットフォームとした観測の可能性について議論が行われた。また、宇宙天気の観点からの観測としては情報通信研究機構による静止衛星を用いた観測の計画についても報告された。これら様々な飛翔体を用いた宇宙空間からの超高層大気観測については長期的な視点で取り組む必要性も議論された。

（別紙様式６－２）

内部磁気圏研究会：プラズマ波動解析ワークショップ
Workshop on the plasma wave analyses in the inner magnetosphere

松田昇也　金沢大学理工研究域

内部磁気圏で観測されるプラズマ波動現象の理論研究・観測的研究や、プラズマ波動によるプラズマ粒子加速・消失等にフォーカスを当て、最新の成果を共有することを狙って本研究集会を開催した。また、複数衛星や地上連携による協調観測に代表されるように、近年多様化する観測・解析手法をコミュニティ全体で習得・理解することも本研究集会の目的とした。二日間の日程で、延べ 100 名を超える参加者が研究集会に参加し、計 19 件の科学解析報告や将来観測計画の紹介などがなされた。特に、年度末開催の狙いの一つである大学学部生や大学院生による卒論・修論テーマの成果報告を通して、柔軟な発想に基づくユニークな研究成果を共有できたことが有意義であった。研究集会後半には、あらせ衛星のデータを用いた解析講習会を開催した。従来の IDL ベースの解析ツールである「IDL/SPEDAS」の入門コースに加え、Python を用いた最新の科学データ解析ツールである「PySPEDAS」を初めて取り上げ、解析環境構築から実践的な解析操作までを参加者全員で体験した。オンライン開催ならではの利点を生かして参加者らの実際の操作画面を Zoom ミーティング上で共有することで、操作上のつまづきや不具合報告などをインタラクティブに解決していく工夫が功を奏し、初めての取り組みとしては期待する成果を十分に得られた。本研究集会から得られたリクエストやバグレポートは、今後の開発や機能改善へと役立てられることが期待される。研究会の資料等は ERG 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「ジオスペースにおけるプラズマ・高エネルギー粒子ダイナミクス研究会」との同時開催とした。

図：研究集会 1 日目の様子

（別紙様式６－２）

国際水星探査計画BepiColomboによる内部太陽圏探査への貢献
Contribution of the BepiColombo mission to inner heliospheric science

村上豪、宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所

【概要】
研究集会：「国際水星探査計画BepiColomboによる内部太陽圏探査への貢献」を2021年11月29日～30日にZoomを用いてオンラインにて開催した。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「第25太陽活動周期における内部太陽圏研究の新展開2021（ISEE/ISAS Symposium on Inner Heliosphere Studies 2021）」として本研究集会を開催した。

【参加者数】
合計61名、うち外国人5名、若手研究者6名、大学院生9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内部太陽圏科学への貢献に向けた
　-計画及び搭載装置概要
　-これまでの観測成果
　-共同観測キャンペーンの最新状況
　-今後の計画
・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
・上記の探査機および地上観測と数値シミュレーション・モデルを組み合わせた融合研究の可能性および方向性

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、内部太陽圏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未解決課題について活発な議論がなされた。特にベピコロンボによる太陽圏研究を推進する海外の主要研究者を招へいしたことにより、国際共同研究の協力体制を構築することができた。また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も成功した。

本シンポジウムは惑星磁気圏研究者と太陽圏研究者を融合を促す試みであったが、双方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。今後は国際共同研究ワークショップ及び内惑星環境探査シンポジウムに分けて開催し、それぞれにおいてさらなる研究の進展を図る。

（別紙様式６－２）

宇宙および実験室プラズマ中の非線形波動と粒子加速に関する研究集会
Workshop on nonlinear waves and particle acceleration in space and laboratory plasmas

松清修一、九州大学・大学院総合理工学研究院

概要

無衝突プラズマが支配する宇宙では、ソース天体からのエネルギーは波動を介してさまざまな形に変換される。そのエネルギーの一部が粒子加速に使われることで宇宙線が生成されていることは間違いないが、宇宙線の生成機構は未だ解明されておらず、現在でも宇宙プラズマ物理学はもとより、天体物理学、宇宙線物理学、素粒子物理学などの分野で最も重要な研究トピックのひとつである。多自由度系のプラズマでは波動の種類が豊富なためエネルギー変換過程は複雑を極めるが、これを理解することが多くの天体現象の解明のカギを握ると考えられている。宇宙では、波動（磁場揺動）の振幅が背景磁場強度を超えるほどの大振幅に至ることもしばしばで、非線形波動の振る舞いとそれを介した波動粒子相互作用を理解すべく多くの研究が展開されている。実験室プラズマ物理の分野では一方、制御されたプラズマを用いた基礎研究に加えて、デバイス特有の波動現象や粒子加速過程も広く研究されている。

本研究集会では、「非線形波動」と「粒子加速」をキーワードに、宇宙・天体プラズマや実験室プラズマを含むさまざまな分野の研究者が集い、最新の知見を共有しあうことで各分野へのフィードバック、さらには共同研究への発展を推進することを目指した。

参加者数

１日目：現地16名＋Zoom32名
２日目：現地34名＋Zoom62名

研究報告

宇宙・天体プラズマ関連13件、実験プラズマ関連7件、数理科学・計算科学関連2件、および基調講演1件の、系23件の講演を通じて活発な議論が行われた。見込みを大幅に上回る数の参加があり、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。ただしハイブリッド開催はLOCの負担が大きくなる点が問題である。また、コロナ禍のため旅費を要する出張者の数が極端に少なくなった。

成果

「非線形波動」と「粒子加速」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。申請時に見込んだ参加者数（20名）を大きく上回る参加があった。

ISEE 研究集会「宇宙および実験室プラズマ中の非線形波動と粒子加速に関する研究集会」

共催：SGEPSS 波動分科会／粒子加速研究分科会

後援：太陽圏物理研究会

日程：2022 年 3 月 10-11 日

場所：九州大学筑紫キャンパス　筑紫ホール（C-cube）

https://www.kyushu-u.ac.jp/ja/campus/chikushi/

Zoom：https://zoom.us/j/

（Zoom 情報が必要な方は世話人までご連絡ください）

プログラム

3 月 10 日（木）

13:00－13:05 はじめに

13:05－13:25 諫山翔伍

ヘリコンプラズマ生成機構の物理－低密度から高密度領域まで

13:25－13:45 篠原俊二郎

高密度ヘリコン波プラズマ研究：基礎と応用

13:45－14:05 吉田光太郎

定常太陽圏を伝播する銀河宇宙線の集団的な性質の調査

14:05－14:25 竹下裕文

太陽圏終端衝撃波における宇宙線異常成分の生成に関する数値実験

14:25－14:45 千葉 翔太, 今村 剛

Quick results of solar occultation observation in March 2021 by Akatsuki

14:45－15:15 休憩

15:15－15:35 寺境太樹,天野孝伸

中程度の背景磁場がある場合のワイベル不安定性

15:35－15:55 銭谷誠司, 加藤恒彦

プラズマ粒子シミュレーションのための高精度数値解法「全多重 Boris 解法」の提案

15:55－16:15 星野真弘

磁気リコネクションでの非熱的粒子加速および熱的プラズマ加熱の効率

16:15－16:35 齋藤晴彦，西浦正樹，森敬洋，上田研二，中澤拓也，吉田善章，釼持尚輝

磁気浮上ダイポール磁場装置におけるプラズマ実験と波動現象

16:35－16:55 村上匡且、Ynjun GU, Myles-Allen ZOSA

超高強度レーザー駆動メガテスラ磁場による磁気リコネクションと高エネルギー粒子加速

16:55－17:15 蔵満康浩
宇宙プラズマと実験室プラズマ

3 月 11 日（金）
9:30－ 9:50 岡 光夫
太陽フレアと地球磁気圏尾部における電子加速
9:50－10:10 Kaiti WANG
Energy dependence of field-aligned anisotropy of electrons < 30 keV during dipolarization at Earth's tailside
10:10－10:30 Victor MUÑOZ
Fractal and complex network analysis of time series of space physics and geophysical interest
10:30－10:50 天野孝伸, 星野真弘
Theory of Electron Injection at Oblique Shock of Finite Thickness
10:50－11:10 成行泰裕
有限振幅波動中のプラズマ速度分布の定常状態: アルヴェン波、ホイッスラー波、ヘリコン波
11:10－11:30 小菅佑輔、稲垣滋、河内裕一
磁化プラズマにおけるドリフトローグ波の励起
11:30－11:50 小林進二
トーラス型磁場閉じ込めプラズマにおける統計加速現象の観測
11:50－13:00 休憩（昼食）
13:00－13:20 Abraham CHIAN
Lagrangian coherent structures in the supergranular turbulence
13:20－13:40 大塚史子、松清修一、岡光夫
非定常な準垂直衝撃波における電子のベータトロン加速
13:40－14:00 Kirolosse GIRGIS
Recent studies about the South Atlantic Anomaly and its relationship with Space Weather
14:00－14:20 中野谷賢
Particle acceleration and diffusion in a system of multiple current sheets
14:20－14:50 休憩
14:50－16:20 羽田亨
基調講演（九大最終講義）: 宇宙プラズマの世界
（Zoom URL は別）

（別紙様式６－２）

極域・中緯度SuperDARN研究集会
SuperDARN meeting

代表者 西谷 望(名古屋大学宇宙地球環境研究所)

令和 3 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 2022 年 2 月 22 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 19 回目となり、2015 年度から中緯度に加えて極域関連事象も対象とすることとして、国立極地研究所(および 2015-2020 年度は情報通信研究機構)との共催で極域・中緯度 SuperDARN 研究集会として開催している。今年度は名古屋大学宇宙地球環境研究所が担当であったが、COVID-19 の影響により昨年度に引き続きオンラインで開催された。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 23 名の研究者が参加した(すべてオンライン参加)。

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: 38 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、2022 年 3 月 4 日まででまでで 6631 ダウンロード、85 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。特に今回はスウェーデン・Umea 大学の Hermann Opgenoorth 教授による招待講演が行われ、Geomagnetic transient event に関する最新の研究成果ならびに、ヨーロッパ初の中緯度 SuperDARN レーダーとして稼働予定の Cyprus レーダーに関する最新の状況に関する報告がなされた。また、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。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サブオーロラ帯電高速プラズマフローの分布特性、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、SAR arc と SAPS との関係、中規模伝搬性電離圏擾乱の分布特性、磁気流体波動の特性、磁気嵐後に発生する擾乱ダイナモの性質等が挙げられる。またレーダー観測の研究成果だけではなく、磁気圏 3 次元シミュレーションを用いた研究成果に関する講演が 1 件行われた。上記に加えて大型短波レーダー計画を進める上での課題、特に運用体制についても充実した議論を行った。

会議中には SuperDARN レーダーグループとしての将来計画、および今後の戦略の議論も行った。今後も名古屋大学・国立極地研究所を中心として極域・中緯度を総合的に議論する研究会として開催していくことを決定した(次年度は国立極地研究所が担当)。

（別紙様式６－２）

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・海象情報研究グループ

本ワークショップは令和３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：2022年3月8日，9日
会場:名古屋大学東山キャンパス環境学総合館1Fレクチャーホール
（zoomによるオンライン会議とのハイブリッド方式）
コンビーナー：田村仁（港湾空港技術研究所）
相木秀則（名古屋大学）
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，コロナ禍での開催対応として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．特に今回は2021年ノーベル物理学賞を受賞したKlaus Hasselmannに関連して非線形相互作用問題に一部を特化する主旨でプログラム構成を行い，HasselmannのSnlを一つの軸として，関連研究の全体像（海洋波，内部波，波動乱流，波流れ相互作用など）を俯瞰することを目的とした．一般講演を含めて海洋波・海面フラックス研究や乱流混合など幅広い研究テーマを対象とした学際的研究集会となった．

【講演プログラム】

-- ３月８日（火）--
13:30-14:00
西海和希（兵庫県立大学）
高風速域での砕波を伴う大気・海洋間運動量輸送量の測定手法

14:00-14:30
根田昌典（京都大学大学院理学研究科）
うねりの方向が風波の発達に与える影響の観測

14:30-15:00
今村春香（京都大学大学院理学研究科）
水面波による混合の波のパラメータ依存性についての数値実験

（休憩）

15:15-15:45
田村仁（港湾空港技術研究所）
Klaus Hasselmannと海洋波研究 -Snl, JONSWAP, WAM-

15:45-16:15
片岡智哉（愛媛大学大学院理工学研究科）
海面散乱波ドップラースペクトルと波浪スペクトルの関係

16:15-16:45
相木秀則（名古屋大学宇宙地球環境研究所）
Hasselmann stressとvirtual wave stressについて

（休憩）

17:00-17:30
横山直人（東京電機大学工学部機械工学科）
波動乱流の共鳴相互作用と非共鳴相互作用

17:30-18:00
大貫陽平（九州大学 応用力学研究所 大気海洋環境研究センター）
波動間相互作用による内部潮汐の減衰

-- ３月9日（水）--
09:30-10:00
早稲田卓爾（東京大学新領域創成科学研究科）
Spectral downshifting - weakly nonlinear vs. dissipation dri
ven

10:00-10:30
Amin Chabchoub（京都大学白眉センター）
Modulation Instability and the Formation of Strong Wave Cohe
rence - An Experimental Study

（休憩）

10:45-11:15
宝谷英貴（東京大学大学院 工学系研究科 システム創成学専攻）
時間周期的および空間周期的な変調不安定波の波形の一致と分散関係の偏移

11:15-11:45
小松幸生（東京大学新領域創成科学研究科/大気海洋研）
大槌湾内で観測された波浪の4波共鳴非線形相互作用について

https://www.isee.nagoya-u.ac.jp/news/meetings/2022/20220224-2.html

（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

202 年度・第 1 回 STE（太陽地球環境）現象報告会*1（2020 年 9 月 28~30 日、ZOOM によるオンライン開催）

*1 MTI 研究集会、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、宇宙空間からの地球超高層大気観測に関する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：43 名

●研究集会概要と成果

本研究集会は、「MTI 研究集会」、「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」、「宇宙空間からの地球超高層大気観測に関する研究会」との連続開催で行われた。本研究集会は、昨年度と同様に COVID-19 の影響により対面での開催が困難となったことを受けて、ZOOM を用いたオンラインによる開催とした。本研究会は宇宙天気現象の予測精度向上に向けた議論を目的の一つとしているが、今回キャリントン級の現象発生時の地磁気誘導電流の予測という、極端現象時の宇宙天気予測と最悪シナリオを検討するうえで有意義な議論もできた。また今回は、X 線天文衛星「すざく」、「ひとみ」による、かに星雲からの X 線放射の地球大気掩蔽による大気密度構造の測定といった、天文観測の宇宙天気研究への応用など、従来の現象報告会ではあまり見られなかったような発表もあり、分野間連携の可能性を模索するうえで非常に重要な議論ができた。

（別紙様式 6－2）

脈動オーロラ研究集会
The Pulsating Aurora Meeting

細川 敬祐 (電気通信大学大学院情報理工学研究科)

★ 研究集会の目的と概要

脈動オーロラ（Pulsating Aurora，以下 PsA と略する）は，オーロラサブストーム現象の回復相において，朝側のローカルタイム領域に必ず出現する普遍的な現象である．PsA およびそれに伴う磁気圏・電離圏の変動を研究することは「地球近傍の宇宙空間におけるプラズマ波動の特性」や「高エネルギー粒子の降下に伴う地球大気の変動」の理解に繋がるという点において普遍的な意義を持っている．しかし，その形状の多様性，時間変化の複雑さ，地上・衛星同時観測の困難さなどから，脈動の時間変動を引き起こすプロセスや，構造の形態・時間発展を決定する要因などに関して，未だに十分な理解を得るには至っていない．本研究集会は，PsA およびそれに関連する宇宙空間プラズマの諸現象についての地上観測・衛星観測・数値シミュレーション研究に関する講演を広く募集し，それぞれの研究成果の発表を通じて PsA に関する深い理解を共有することを目的として開催してきた．後述するが，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 ヵ年の計画で採択されている（コロナ禍のために研究機関が 2 年延長され 2021 年度末で終了の予定）．研究集会では，この科研費による PsA 研究プロジェクトによって行われてきた地上観測に関連する成果や，衛星・地上・数値シミュレーションを融合した形で行なわれようとしている PsA 研究の方向性に関して意見交換を行った．また，昨年度に引き続き，ロシアの Polar Geophysical Institute から，脈動オーロラおよび関連する磁気圏プラズマ波動を専門とする Andrei Demekov 博士を招待したセッションを開催し，脈動オーロラの多様な形態を決定する要因に関する議論を行なった．加えて，今後のロシア西部の光学観測と日本が運用する北欧の全天カメラネットワークの共同観測に関する議論も行うことができた．また，2022 年 3 月に打ち上げが予定されている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，コロナ禍のために 2 年延期）の詳細なサイエンスターゲットの把握，打ち上げ条件や地上サポート観測の体制の整備についても，その戦略を集中的に議論した．

★ 参加者と講演の内容

計 30 名の参加者があり，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 16 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，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．

★ 成果

今回で 10 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，コロナ禍のために令和 3 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) ，および科研費基盤 (A) 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．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．

（別紙様式６－２）

第22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
22st Workshop on mm/THz wave band receiver technology

（１行スペース）
前澤　裕之、大阪府立大学・大学院理学系研究科（２行スペース）

1.　研究集会の概要

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。これまでに本研究集会で講演・議論されたミリ/サブミリ波帯の技術の多くが実用化され、例えば名古屋大学 ISEE が推進するミリ波ラジオメータによる地球大気環境計測プロジェクトの展開や、大型電波干渉計「ALMA」によるサブミリ波帯での惑星大気や原始惑星系円盤の観測に繋がっている。さらに現在、NgVLA などの次世代の国際ミリ波地上電波観測プロジェクトの検討が始まっている他、深宇宙においても火星の宇宙天気・気候・水環境探査計画としてテラヘルツ波受信機の搭載の検討が進み始めている。こうしたミリ-テラヘルツ帯での受信機技術は、日本独自で開発するノウハウを持ち、国際的にも我国は一層重要な役割が求められている。本ワークショップを通して、この分野の我国の国際競争力・推進力のさらなる向上と、開発の効率化・基礎技術力の裾野拡充/継承を目指すとともに、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。

2.　報告及び成果

2022 年 2 月 21 日～22 日の 2 日間、感染症拡大防止のため完全オンライン(Zoom)の研究会として開催された。27 の機関・企業から計 97 名の参加登録があり、招待講演 4 件を含めた口頭講演 30 件、ポスター講演 17 件、展示ブース 1 件という盛況な内容となった。Zoom による一般講演の内容としては、検出器関連が 16 講演、光学系関連が 4 件、分光計関連が 2 件、プロジェクト関連が 4 件など多岐に渡った。近年は、ヘテロダイン検出素子の技術が成熟しつつあり、比較的、マルチピクセル化やフォトン検出素子の広視野化開発や、光学や導波路等の伝送部や IF 系等の要素技術のさらなる高効率・高感度化開発、広帯域の分光計などの高性能化開発、較正系の高精度化などのニーズが高まっていることが分かった。

さらに今回、ALMA の次の電波観測の展開(大型単一望遠鏡)や、研究・産業化が進む宇宙開発や探査の分野(アルテミス計画)、社会インフラとしての通信/安全に関わる電波網の拡大や高周波化(電波保護)など、電波のコミュニティも今後重要な波及・影響のあるフィールドの招待講演を頂いた。電波技術のシーズ・ニーズ、今後の環境などについて、これまでに無い視点であらためて将来を俯瞰する機会を共有でき、大いに議論が湧いた。

本研究会は大学での科学研究という枠を越え、産官学連携と研究成果の社会への還元・応用を重視しており、関連企業・メーカー5社から8名の多くのご参加を頂くことができた。そして今回、新たな試みとして質疑応答の時間を 4 分と多めにとることで、これまで以上に活発な質疑討論が行われた。また卒論・修論などの真っ只中の時期にも関わらず、4 年生・大学院生の積極的な参加・講演が見られることが分かった。昨今、CODIV19 の影響で議論の場が非常に制限されているが、こうした中、本研究会は国内唯一のミリ/テラヘルツ波受信機技術の若手の研究発表・交流・教育の促進を図る機会提供の場として非常に重要な役割を担っていることをあらためて再認識した。

（別紙様式６－２）

第23回　惑星圏研究会
The 23rd 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23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、打上時期が来年に決定した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、月探査計画も国際共同の下で始動している。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ミーティングを行ってきた。

今回の研究会では、探査ターゲットとして重要な5つの天体（小惑星、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、オンライン形式で講演と議論を行った；①天体形成・物質輸送、②水進化・変動、③太陽・惑星・衛星等外界からの影響、④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、夏季に開催されるISAS主導の惑星探査WSで継続議論することとしている)、上記の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開催した。更に、先回(第22回惑星圏研究会)同様に、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、”太陽系科学コミュニティ議論”の時間帯も設けた。

尚、本研究会は、名古屋大学宇宙地球環境研究所研究集会の他、東北大学大学院理学研究科惑星プラズマ・大気研究センターおよび同大学 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：152名（一般：94名、大学院生：49名、学部生：9名）

内容：

2022年2月8日(火)～10日(木)にオンラインで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39件（Keynote・招待講演21件、一般講演13件、report講演5件：zoom使用）、ポスター講演41件（短時間の口頭での内容紹介も併用：口頭紹介はzoom、ポスターセッションはspatial chat使用）の計80件の研究等紹介と議論が行われた。本研究会の内容・プログラム等は以下のURLの研究会HPで公開されている。
http://pparc.tohoku.ac.jp/sympo/sps/

[2022年2月8日]
8:50-9:05　開会の辞・開催内容説明
9:05-12:02「創造：天体形成・物質輸送」セッション
　　招待講演 “初期太陽系の同位体不均質性から読み解く微惑星・惑星形成” 深井稜汰(JAXA)他
　　招待講演・Keynote講演 5件、一般講演 1件
13:00-16:08「水：水などの現在そして進化・変動、Astrobiology」セッション
　　Keynote講演「小惑星リュウグウリターンサンプル初期分析」橘 省吾(東大)他
　　招待講演・Keynote講演 4件、一般講演 4件

16:20-19:30 ポスター関連セッション 全41件：Short talk(3分講演 19件), ポスター紹介(21件)＋Viewing

[2022年2月9日]
9:00-12:24「太陽：太陽・惑星・衛星など外界からの影響」セッション
招待講演 “初期惑星のハビタビリティーと生命誕生におよぼす太陽エネルギー粒子の役割”
小林憲正(横浜国大)他 招待講演5件、一般講演4件
13:30-16:44「風・土：大気、地殻、内部、およびそれらの結合 & 相互影響」セッション
招待講演 “三次元地震波伝搬シミュレーションによる月地殻の散乱特性評価と将来月震探査への提案”小野寺圭祐(総研大)他 招待講演6件、一般講演2件
16:55-18:10 スプリンターミーティング”小天体”
18:20-19:30 ポスター関連セッション 全41件：Viewing

[2022年2月10日]
9:00-10:15 スプリンターミーティング”火星”
10:15-11:30 スプリンターミーティング”金星” 一般講演2件
12:00-12:30 大学連携教育program（若手への紹介）report講演 1件
12:30-13:45 スプリンターミーティング”外惑星”
13:45-15:00 スプリンターミーティング”月”
15:10-18:00 共通講演＆太陽系科学コミュニティ議論 招待講演“太陽系探査推進とシミュレーション+惑星科学コンソーシアムについて”林 祥介(神戸大), 並木則行(国立天文台)他 招待講演1件、一般講演2件、report講演 4件
18:00-18:30 スプリンターミーティング全体ラップアップ＆ISAS惑星探査WSへ向けた議論
18:30 閉会の辞

成果等：

今回の研究会では、昨年度の研究会での反省点であった、本研究会のメインテーマである広領域の研究課題の認識と各領域間の相互理解および解決に向けた将来研究への結実化と、将来を担う若手研究者・学生の研究内容・議論を通してのコミュニティとしての育成の機会提供との両立を特に意識し企画した（昨年度は前者への比重が高かった)。前者については、講演者には特に領域間の相互関連性を意識して頂くように SOC から依頼していたこともあり、研究の立ち位置が分かり易い講演が多かったと思われる。また、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は、昨年度の研究会で一部行った、複数スプリンターの同時並行開催を行わず、各スプリンターを順次実施とした。各スプリンターのリードの尽力もあり、各々の現況や課題が参加者全員に共有され、設定時間ギリギリまで多様な議論も行われ、企画意図の前進に成果があったと考えている。一方、後者に関しては、若手研究者・学生の（招待も含む）口頭講演の積極的な登用に加え、学生による発表が多かったポスター講演では、講演者全員による口頭での内容紹介のセッションを設けたが、このセッション後のポスター閲覧・議論も（後述するようにオンラインツールのアシストもあったと思われるが）スムースに行われたようで、企画意図は成果があったと思われる。尚、大学連携教育 program の紹介や太陽系科学コミュニティ議論はオープン参加のセッションとして開催された。学生も含めた若手が、将来に関わるこうした内容に触れる機会は限られると思われるが、若手からは質問だけでなく率直な意見も多々あり、次代を担う方々が数多く参加した本研究会で企画した意義は大きかったと考えている。

年始から急拡大した新型コロナウィルス感染第 6 波の影響で、本研究会も当初予定していたハイブリッド開催を断念し、昨年の研究会に引き続き、急遽オンライン開催で行われた。他のオンライン研究会の開催方式を参考に、特にポスターセッションでは昨年方式(zoom breakout-room 使用)とは別の方式 (Spatial Chat 使用) としたが、オンライン空間で、オンサイトでのポスターセッションに似た雰囲気の下での体験；各ポスターを回っての閲覧や講演者・参加者との議論を行うことが出来、参加した方には概ね好評であった。末筆ながら、本研究会の開催をご支援頂いた本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] 講演集録は研究会 HP (http://pparc.tohoku.ac.jp/sympo/sps/)にて 2022 年 4 月以降 on line 公開。

（別紙様式６－２）

「地球観測」小型衛星のためのLessons & Learned
Lessons & Learned for Earth Observation Small-Satellites

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（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。かつては「安定して飛ばすこと」自体が目標だった小型衛星も，現在では観測や観測結果の実利用・ビジネス化に目的が移りつつある。ミッション目的がこの段階に昇華すると，衛星の開発・運用と観測・データ利用はそれぞれ別のチームで構成されるため，観測側の精度要求と運用側の技術的制約を誰がどのように調整し，どうスケジュールや資源管理をすれば円滑に機能するのかを考えなければならない。（もし調整に失敗すると，最終的にはどうなってしまうのだろうか?）

そこで今年度は，今後の小型衛星ミッション運用の参考とするべく，先行しているミッションで生じた「危うく大惨事になりかけたり，重大な盲点に気が付いたりした（ヒヤリ・ハットな）」事例を共有すべく，特に現場で調整にあたった担当者の方々の意見を交換する場を設定した。失敗事例の話題という性質上，研究集会は不特定多数への無制限のオンライン会議を避け，2021年12月13日に名古屋大学環境総合館レクチャーホールでのオンサイトと登録制オンラインを併用するハイブリッド形式で開催した。例年は基調講演とパネルディスカッションを2日間に分けて行っていたが，今年度はコロナ禍で日程調整が難しかったため1日に集約し，ハイブリッド形式でのパネルディスカッションの後にオンサイトのみの意見交換会を行った。参加者は51名だった。

＜プログラム＞
【パネルディスカッション】 2021年12月13日 13:00～16:00
・司会：　市川　香（九大）
・パネリスト（順不同）：栗原純一（北海道大学）、武山芸英（株式会社ジェネシア）、佐原宏典（東京都立大学）、坂本啓（東京工業大学）、鶴田佳宏（帝京大学）、石坂丞二（名古屋大学）、宮田喜久子（名城大学）、北澤幸人（JAXA）、作野裕司（広島大学）、向井田明（RESTEC）
【意見交換会】 同日　16:00～17:00 オンサイトのみ

○パネルディスカッションのまとめ

最初に司会より，趣旨説明のために大型衛星における観測ミッションの運用プロセスの紹介事例が紹介された。小型衛星とは予算規模が桁違いに大きい大型衛星では，JAXAやN

ASAなどスポンサーとなる宇宙機関に主に所属するプロジェクトマネージャー（PM）の強力なリーダーシップのもと，ミッションの科学的目的と成果の定義や，センサ開発・衛星の機体開発・軌道決定・運用体制の調整などを，立案段階から数えると十年近く（場合によっては十何年）かけて行う。では，立案から打ち上げまでの俊敏性が魅力の一つである小型衛星ではどのようにマネージメントをしていくべきか，という問題が提起された。

続いて，各パネリストが自己紹介を兼ねて多様な体験を披露して意見交換した。近年ではセンサに割く重量割合が小型衛星でも増加している傾向や，バスなど衛星システム系と観測センサ系を異なる大学で担当した超小型衛星の事例などが紹介された。特に現在進行中の「うみつばめ」の場合，複数の組織が人・モノ・技術を各々で提供することで成立する「持ち寄りパーティ」のような複合ミッションで，相互に有機的な連携を維持する協働プロジェクトになっている。その一方で，ライドシェア型の小型衛星サービスなど，観測系を運用系から分業化することに徹したビジネスも最近は海外で始まっていて，今後どのような方向に小型衛星のミッションを発展させていくか関心の集まるところである。

○意見交換会のまとめ

小型衛星でも「観測で何をどこまで明らかにするか」というミッション定義は重要で，観測サイエンス・センサ・衛星システム間の連携のリファレンスになり，次号機への継続判断にも有効となる。ただし小型衛星の場合，そもそも物理・電力的にセンサ要求の実現が不可能な場合もあるので，サイエンス目標（サクセス・クライテリア）を柔軟に複数設定しておいて，衛星開発側と直接検討するのが望ましい。だが，こうした相互信頼関係が初期段階から構築されていないことが多いため，プロジェクト全体を見渡すPMの力量と，参加者相互のコミュニケーション能力に依存するところが大きい。

PMの重要性は，全ての参加者が認めるところであった。協働ミッションの成功には，明確な指揮体制と連絡経路の構築が不可欠で，短くサイクルを区切って計画と改善を繰り返していくことが重要である。これにはそれらを統括するPMの経験値を上げていくことが必要で，若手のPMを育成するためには，観測サイエンス・センサ・衛星システムとのコミュニケーションを継続的に経験していくことが大切である。この方策の一環として，例えば，UNISEC（NPO法人大学宇宙工学コンソーシアム)の「缶サットコンペティッション」を海洋観測船上で行い，陸上から完全に切り離された孤立空間である船上での合宿で，変化する自然環境の中でいかに精度の良いデータを取得・回収するかを競う，といった理学・工学の若手人材育成を図る実践教育を行うことが提案された。これについては，次年度具体的案を検討していきたい。

（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-iososphere-upper atmosphere coupling)

阿部修司、九州大学・国際宇宙天気科学・教育センター

開催日時及び場所：

令和3（2021）年3月4日、Zoomオンライン

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）、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 宇宙環境研究室）

参加者数：38名

研究集会概要と成果

本研究集会は、Zoomを用いたオンライン研究集会として開催された。第25太陽活動周期から2年が経過し、日に日に活発になっていく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、2022年1月に発生したトンガ噴火では、その影響が電離圏にまで達しており、観測された現象について複数の講演が行われた。学部生からシニアまで、さらには研究職以外の方も参加し、それぞれの専門分野からの活発な議論がおこなわれた。

（別紙様式６－２）

台風セミナー2021
Typhoon seminar 2021

宮本佳明（慶応大学）

台風セミナー2021を2022年3月24－25日に開催した。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年にはじまったものである。第11回目となる今回は、名古屋大学宇宙地球環境研究所を主催とし、日本気象学会台風研究連絡会の共催としている。年度当初は現地開催を予定していたが、COVID-19対応としてZoomを用いたオンライン開催となった。

本セミナーでは、台風進路などについて様々な研究を行ってきた香港城市大学のJohnny C. L. Chan教授を講演者として招き、台風進路に関わる幅広いトピックについて6時間にわたって講演していただいた。テーマは下記の通りであった。

- 台風移動の基礎概念
  (Fundamental concepts of tropical cyclone motion)
- 台風移動の概念の応用
  (Application of the tropical cyclone motion concepts)
- 北西太平洋での全球数値予報モデルの大きな台風進路予報誤差
  (Large tropical cyclone track forecast errors of Global NWP models in the western North Pacific)

本研究集会には、講演者のほか、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、23機関から60人が参加した。

最初の「台風移動の基礎概念」の講義においては、指向流、β効果、非断熱加熱の効果によって台風が移動することが歴史的背景も含めて丁寧に説明された。台風の移動は台風中心から5-7°の範囲における対流圏下層から上層までの平均風（いわゆる「指向流」）に流されるとされるが、考えるべき厚さは台風の強さにより変わる。また、台風の移動は指向流からずれており、順圧的な力学のもとでは非線形β効果により説明されることについても詳しく述べられた。さらに、渦位方程式を用いて解析を行うと、非断熱効果によって渦位が生成され、それも台風に移動にとって無視できない要素となることも紹介された。

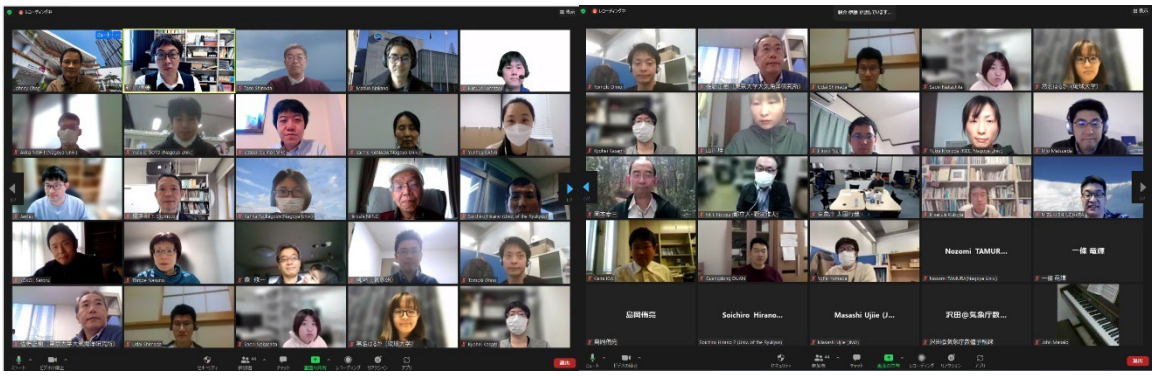
「台風移動の概念の応用」の講義においては、基礎編の内容を踏まえて、複数の台風が存在する場合に起こる藤原効果、台風の転向、海陸分布、山岳の影響に関する研究が紹介された。古典的には台風が複数ある場合には、お互いの重心の運動に相対的に、反時計回りの回転を示すことが知られているが、近年は台風自身が鉛直シアを生み出すため、非断熱加熱の偏りにともなう台風移動を動かすようである。また、同様に、台風の転向も指向流でなく、台風自身の作り出す循環で自発的に引き起こされうることも示された。海陸分布を与えた場合に

は、海側から陸側に吹き込む風に伴う摩擦収束で対流が発生し、それが引き起こす循環の偏差によって、台風は陸に近づく。さらに、台湾のような山岳のある島に台風が接近した場合には、循環場の変化、流れのせき止め、非断熱加熱など、さまざまな変化が生じることにより、台風の移動が複雑化することが紹介された。

最後の「北西太平洋における全球数値予報モデルの大きな台風進路予報誤差」の講義では、それまでの内容を踏まえ、台風のサイズや強さに誤りが混入したために進路予報が外れたと考えられるケースなどが紹介された。

台風進路は防災上非常に重要なテーマでありながら、日本ではそれを主たる研究対象とする研究者があまりいないのが現状である。今回の講演では、最先端のトピックがカバーされ、多くの参加者が最先端の知見を吸収する絶好の機会となったはずであり、また、未解決問題として議論された内容は学生の多くを刺激したと思われる。参加者からの質疑も非常に積極的に行われ、休憩時間も活発な議論がなされていた。今回のセミナーが今後の日本での台風進路研究の発展に貢献することを期待してやまない。

COVID-19 で研究者同士での議論の場が限られていることもあり、台風セミナー初日の夜にはオンライン会合のソフトウェアである gathertown を用いて、懇親会も試みた。Johnny Chan 先生も参加してくださり、台風の進路に数値モデルの雲物理パラメタリゼーションが影響する可能性などについて議論を行うことができた。懇親会には大学院生も参加しており、Johnny Chan 先生と直接議論をする良い機会を提供できたと考えられる。



図．参加者の様子(1 枚目の左上が Prof. Johnny Chan)。

（別紙様式６－２）

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）衛星やVan Allen Probes衛星など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「内部磁気圏研究集会：放射線帯粒子の加速と消失」（代表者：東京大学・桂華邦裕）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・ERG-SC側サイエンスセンターと連携し、データ解析ツールSPEDASの講習会を、初級者向けに実施した。

2. 実施内容

令和3年10月12日および13日までZoomを用いてオンラインで開催し、約70名が参加した。初日午前にあらせ衛星搭載観測機器の最新状況の報告、午後に当該機器を主に用いた最新研究の報告および科学議論を行った。二日目は午前に将来構想検討会を実施して、2030年代以降の将来ミッションに繋がる理論研究や観測機器開発についての科学議論を行なった。同日午後にはSPEDAS解析講習会をZoomを用いて実施した。研究集会プログラムを次項に示す。

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)解析講習会では、YouTubeにアップロードしたTutorial動画やZoomブレイクアウトルームなどオンラインソフトウェアの機能を有効に活用し、対面の講習会と同レベルの講習を実施した。データ解析初級者がSPEDAS解析ツールを使って、あらせ衛星データ解析の基礎を習得した。

発表プログラム

10月12日(火) 10:00-12:00

・ 三好由純（名古屋大学ISEE），篠原育（JAXA/ISAS），ERGプロジェクト報告
・ 松岡彩子（京都大学），MGF 報告
・ 笠原禎也（金沢大学），PWE報告
・ 風間洋一（ASIAA/SINICA），LEP-e報告
・ 笠原慧（東京大学），MEPs報告
・ 堀智昭（名古屋大学ISEE），ERG-SC報告
・ 細川敬祐（電気通信大学），PsAの観測計画
・ T. Hori（ISEE, Nagoya Univ.）他, Error evaluation for energetic electron fluxes measured by Arase/HEP
・ C.-H. Jun（ISEE, Nagoya Univ.）他, Comparison between MEPi and LEPi

13:30-14:40

・ 小川泰信（国立極地研究所）,EISCAT国内推進室,EISCAT_3Dとあらせ衛星の連携について
・ 桂華邦裕（東京大学），Review of recent research on the ring current

14:55-17:25

・ S. Fukuoka（ISEE, Nagoya Univ.）他, Development of radiation belt forecast model based on the recurrent neural network
・ 中村 紗都子（名古屋大学ISEE） 他, あらせ衛星の直方体形状による衛星電位スピン変調と衛星表面帯電モデルとの比較
・ 高田知弥（名古屋大学ISEE） 他, Outflow of ionospheric ions associated with SAPS observed by SuperDARN, Arase, and DMSP satellites
・ Sandeep Kumar（ISEE, Nagoya Univ.）他, A comparative study on electron contribution to the ring current during CME and CIR driven geomagnetic storms using RAM-SCB simulations and Arase and ground magnetic data
・ 南條壮汰（電気通信大学） 他, デジタルカメラで捉えた脈動オーロラの内部変調

10月13日(水)

09:00-12:30 将来構想検討会

・ 司会：中村紗都子（名古屋大学ISEE）
・ 話題提供者（順不同）：南條壮太、菊川素如、坂野井健、関華奈子、山本和弘、栗田怜、Yikai Hsieh、土屋史紀、三好由純、浅村和史、坂口香織、西谷望

13:30-16:00 SPEDASデータ解析講習会

（別紙様式６－２）

海洋乱流の観測およびモデリングに関する研究集会
Workshop for Observational and Modeling Studies of Ocean Turbulence

古市尚基（水産研究・教育機構水産技術研究所）

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)「変化する気候下での海洋・雪氷圏に関する IPCC 特別報告書」政策決定者向け要約の概要（2019 年 9 月承認；環境省仮訳）によれば、21 世紀にわたって海洋は、水温の上昇、海洋上層部での成層の強化、酸性化の進行、酸素の減少、および純一次生産の変化を伴って、先例のない状態に移行すると予測される。また同報告書は、海洋熱波及び極端なエルニーニョ現象及びラニーニャ現象はさらに頻繁に起こるようになり、大西洋子午面循環は弱まることも予測している。これらの現象をはじめとして、海洋の地球環境変動に果たす役割は極めて大きく、その役割を適切に評価・予測していく上で、海洋モデルの高精度化は必要不可欠な課題である。しかし現状では、これらのモデルの予測信頼性は十分とは言い難い。その主要な原因の一つとして、大気―海面境界間や海洋内部での熱・物質の輸送や、海洋内における成層の形成・維持と密接に関連する海洋混合過程とそれを駆動する乱流現象が十分に解明されていないことが挙げられる。

近年海洋乱流・混合の研究は活発化しているが、その対象規模の小ささや関連現象の複雑さのため海域毎の個別の事象として扱われることも多く、普遍的な力学の解明にはそれらの研究を紡ぐ場が必要である。そこで本研究集会は、乱流に係る観測やモデリングなどを専門とする全国の研究者が集い、互いの知識や疑問点を共有し、海洋乱流に関する理解を深めるとともに、力学研究にとどまらず、海洋乱流が海洋内の物質循環・生態系への影響解明に向けて、分野横断的な研究展開を進めていくことを目的として集会を開催した。

開催方法として、年に一回、研究者が一同に会し、研究発表を行った。また、新型コロナウィルス拡大への対応のため、現地開催とオンライン参加とを併用したハイブリッド型の集会として実施した。

本研究集会でのプログラムを表-1 に示す。講演件数は 12 件で当初想定通りの数となった。提供話題として、海洋表層、海底近傍、深海域、および大気境界層での乱流過程、乱流が粒子動態に及ぼす影響、黒潮域での乱流やその生態系への寄与等に係る多岐に渡る内容が発表された。参加者数やその構成について、大学、国立研究開発法人、民間機関等、海外機関から約 40 名（延べ約 80 名）が参加し、本テーマが多様な分野・機関のメンバーからの関心を集めているといえる。特にオンライン開催の利点であるだろうが、海外から本集会に参加したメンバーもいた。集会内では、学会等の大規模発表と異なり、自由な雰囲気のもと、各々の今後の活動に寄与していくような活発な質疑応答がなされ、本研究集会がコミュニティの形成・活性化や若手の育成の場として大きく寄与したと判断できる。

表-1 研究集会のプログラム

11 月 29 日（月）	
13:00-13:10	趣旨説明
13:10-13:40	深海における乱流混合効率の変動性について 伊地知　敬（東大院理）
13:40-14:10	構造関数法を用いた乱流運動エネルギー散逸率の時系列観測 付悦（九大応力研）、遠藤貴洋、堤英輔、井上龍一郎、長井健容、中村啓彦、仁科文子
14:10-14:40	砕波しない波による乱れの生成機構のエンストロフィー解析に基づく解明 今村春香、吉川裕（京大院理）
14:40-15:10	休憩
15:10-15:40	Composite time-series analysis of near-surface aerosols in strong wind events at Cape Hedo Yingnan Jiang and Hidenori Aiki（名古屋大学 ISEE）
15:40-16:10	投下式乱流微細構造プロファイラー（VMP-X）を用いた深海乱流の計測について 古島靖夫（JAMSTEC）、田中衛、長尾正之
16:10-16:40*	Ageostrophic anticyclonic instability が励起する内部波の砕波シミュレーション 大貫 陽平（九大応力研）, Sylvain Joubaud, Thierry Dauxois
16:40～17:30	議論・予備時間
11 月 30 日（火）	
9:30～10:00	How a Small Reef in the Kuroshio Cultivates the Ocean Daisuke Hasegawa (FRA), Takeshi Matsuno, Eisuke Tsutsumi, Tomoharu Senjyu, Takahiro Endoh, Takahiro Tanaka, Naoki Yoshie, Hirohiko Nakamura, Ayako Nishina, Toru Kobari, Takeyoshi Nagai, Xinyu Guo
10:00～10:30	Energetic turbulence and nonlinear internal waves in Tokara Strait Anne Takahashi (APL-UW), Ren-Chieh Lien, Eric Kunze, Hirohiko Nakamura, Ryuichiro Inoue, and Eisuke Tsutsumi
10:30～11:00	黒潮・潮流・地形間相互作用による乱流混合の観測と数値モデリング：トカラ海峡の平瀬近傍における研究例 堤英輔（東大 AORI）、井上龍一郎、長井健容、中村啓彦、仁科文子、長谷川大介、松野健、遠藤貴洋、千手智晴、郭新宇
11:00～11:30	表層混合層乱流による沈降粒子粒径スペクトルの変形に関する数値実験 西野圭佑（電中研），吉川裕
11:30～13:00	休憩
13:00～13:30	堆近傍の粒子物質輸送過程に関する数値的研究 古市尚基（水産機構）
14:30～14:00	風成エクマン流の回転水槽実験 相木秀則（名古屋大学 ISEE）
14:00～14:30	総合討論

（別紙様式６－２）

極域電離圏における電離大気流出現象のメカニズム解明に向けた戦略的研究
Strategic Research for understanding Ion Outflow in the Earth's Polar Ionosphere

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

本研究集会の目的は、宇宙科学研究所の SS-520-3 号機観測ロケット打ち上げ後に、SS-520-3 号機観測ロケット実験の飛翔結果を持ち寄り、観測ロケット実験グループ・地上観測グループの間の取得データの比較検討を通して成果最大化に向けての議論を行うことである。

SS-520-3 号機観測ロケット実験の目的は、ノルウェーのスバールバル諸島スピッツベルゲン島から観測ロケット SS-520-3 号機を打ち上げ、昼間側カスプ領域における電離大気加速/加熱・流出現象の直接観測を行うことでこの電離大気の加速/加熱メカニズムを明らかにすることであった。当初、SS-520-3 の打ち上げは 2017 年 12 月 6 日から 19 日の間を目指していたが、噛み合わせ試験の最終段階でタイマ試験においてコマンド抜けが確認された。当該実験は海外打上げであることから、機材輸送は打上げ時期の約 2 か月前（10 月中旬）が制約になっていたが、出荷時期までに当該不具合事象の技術的な確認および処置の完了がさせることが困難であると判断されたため実験実施は延期されることとなった。その後、予算的な問題から度重なる延期が続き、令和２年度にようやく SS-520-3 号機観測ロケット打ち上げが確定したものの、今度は COVID-19 の感染拡大に伴い再延期を余儀なくされた。本年度に入ってからも COVID-19 の影響はあったが、多くの方々からの支援を頂き、令和 3 年 11 月 4 日 10:09:25UT に無事、SS-520-3 号機観測ロケットは打ち上がり、搭載観測装置もほぼ全てが正常に動作して予定していた昼間側カスプ上空における電離大気加速/加熱・流出現象の直接観測を行うことに成功した。

本研究集会は、コロナウィルス感染の状況を鑑みて zoom を用いたオンライン会合として 3 月 29 日に開催し 16 名の出席者があった。

研究集会では、まず最初に、スピッツベルゲン島における SS-520-3 号機観測ロケットの打ち上げ準備作業の紹介と、観測ロケットの飛翔結果の報告があった後、観測ロケット飛翔時の地上観測データが紹介された。続いて、SS-520-3 号機観測ロケット実験で取得されたデータの概要とその初期データ解析の状況について、搭載観測装置担当か

ら紹介があった。その結果、SS-520-3 号機観測ロケットはターゲットとしていたカスプ を APEX より少し前からそれ以降の間飛行することができたこと、全ての搭載観測装置は観測データの取得に成功したこと、地上のレーダー　EISCAT　の観測データも観測ロケット打ち上げ期間の前後で取得することができたことなどを確認することができた。

その後、今後のデータ解析の方針について活発な議論が行われた。研究集会の時点までは、個々の観測装置のデータの処理・解析を進めて来たが、研究集会で、搭載各観測装置のデータを持ち寄って確認したことで、今後複数の観測装置のデータを解析することで成果が得られそうな研究項目が複数あることを確認することができた。具体的には今後、

- SAS（太陽センサー） - DFG（磁力計）　の解析による姿勢データの補完と、沿磁力線電流の導出
- LEP-i,e （低エネルギーイオン・電子観測装置）- DFG の解析による低エネルギー粒子のピッチ角分布の導出
- LEP-i -IMS（低エネルギーイオン質量分析器）　のデータ比較による、高時間分解能のイオンのエネルギー・方向・質量分布の変化の導出
- FLP（ラングミュアプローブ）- TSA（熱的イオン観測装置） のデータ比較によるイオンフローの推定

などを進める一方で、所期の目的である、電離大気の流出メカニズムの解明に向けて、LFAS（低周波波動解析システム）・IMS・ TSA・NEI/PWM（高周波プラズマ波動・インピーダンスプローブ）の同時データ解析による、イオンの垂直加熱メカニズムの解明を進めるという大まかな方針とそのスケジュールについて共通の理解を得ることができた。

今後、本研究集会の議論に沿って、複数の観測装置のデータの解析を進める事で、所期の目的である、電離大気の流出メカニズムの解明につながる成果が得られるものと期待している。

（別紙様式６－２）

ジオスペースにおけるプラズマ・高エネルギー粒子ダイナミクス研究会
Workshop on plasma and high-energy particle dynamics in geospace

篠原　育　宇宙航空研究開発機構/宇宙科学研究所

ジオスペースにおいて観測される高エネルギー粒子加速現象は，リコネクション加速にせよ，放射線帯内部の波動-粒子相互作用にせよ，加速に至るまでに全貌を考えると空間的に広い領域を舞台とた現象である．このような現象を観測的に理解に繋げるためには多衛星観測は不可欠なものであることから，各種の観測衛星の観測および観測データに深い知見を持つ研究者が一堂に会して，それぞれの衛星のデータについての理解を共有しつつ，議論を行うことを目的として，本研究集会を開催した。二日間の日程で、延べ 100 名を超える参加者が研究集会に参加し、計 19 件の科学解析報告や将来観測計画の紹介などがなされた。特に，年度末開催の狙いの一つである大学学部生や大学院生による卒論・修論テーマの成果報告を通して，柔軟な発想に基づくユニークな研究成果を共有できたことが有意義であった．　残念ながら今回は，粒子加速研究にとっての将来の観測計画についてまで議論を広げる機会をもてなかったが，引き続き，ジオスペース，ひいては太陽圏における粒子加速を視野に将来構想も含めた議論を続けていきたい．

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「内部磁気圏研究会：プラズマ波動解析ワークショップ」との同時開催とし，地球電磁気・地球惑星圏学会の粒子加速研究分科会との共催として開催した．

図．研究集会１日目の様子

（別紙様式６－２）

太陽地球惑星圏の研究領域の将来衛星計画ロードマップ策定に向けた研究会
Meeting on Future Satellite Mission Roadmap in the Research Field of Solar Terrestrial Physics

中村　正人
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、２０２５年以降の人工飛翔体を用いた将来ミッションのロードマップの策定に向けて、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、ロードマップの策定作業を進めている。このような状況のもとで開催した本研究集会の目的は、２０２５年以降の人工飛翔体を用いた太陽地球惑星圏の研究領域の将来ミッションロードマップの策定の最終ステップとして、関連する研究者が一同に会して、策定途中のロードマップ案に関して議論することで、将来のミッションで解明すべきサイエンス、実施すべき衛星ミッションを明らかにし、ロードマップの策定作業を進めることであった。

本研究集会は、コロナウィルス感染の状況を鑑みて zoom を用いたオンライン会合として 3 月 31 日に開催し 41 名の出席者があった。

研究集会は、当該分野の宇宙理学委員会委員からミッション提案に関する最新の情報を紹介したセッション「新しいミッション提案についての報告」、当該分野の新しいロードマップについての発表と議論で構成したセッション「STP の新ミッションロードマップについて」、そしてその後の全体議論の３部構成とした。

「新しいミッション提案についての報告」のセッションでは、ここ数年変化しつつあるミッションカテゴリの定義の変遷の経緯の紹介の後、新しくなった戦略的中型ミッションの立ち上げ方法の紹介と、今後戦略的中型ミッションを提案する役割を担う GDI についての考え方や GDI 立ち上げの現状が紹介された。その後、新たに多様な公募の発出が計画されている公募型小型ミッションについて、今後の公募の考え方や公募発出スケジュールなどが紹介された。

「STP の新ミッションロードマップについて」のセッションでは、まず最初に新しいロ

ードマップの叩き台が紹介された。分野の目指す最終的な目標が何であるかを示した後、その最終的な目標に向かうミッションのロードマップの案が示された。その後、現在宇宙理学委員会のワーキンググループ、リサーチグループなどで検討が進められている、将来ミッションの検討状況などについての報告があった。続いて、昨年度の同名の研究集会において実施したパネルディスカッションのパネリストグループに、現在検討の進んでいるミッションの一歩先の将来にあるミッションについて、そのミッションコンセプトを考えるという課題を研究集会前に渡しておき、研究集会の場でミッションコンセプトの紹介を依頼した。その上で、現在検討の進んでいるどのミッションがそれらのミッションにつながって発展していくのかについての質疑応答・議論が行われた。これにより、今後ミッション提案を進めていくにあたり必要となる戦略性をどのように新しいロードマップに入れ込んで行くべきかについて、一定の理解を得ることができた。

全体議論においては、新しくなった戦略的中型ミッションの立ち上げ方法や、今後の公募型小型ミッションの考え方についての議論があった。STP の新ミッションロードマップに関しては、研究集会で紹介された将来ミッションのコンセプトを、新ロードマップの上に配置すべく、集会後にコンセプトを深化させるための検討を進めることを各グループに依頼して今回の研究集会を閉会することとした。２０２２年度も同様のテーマの研究集会を提案して採択されており、ロードマップ策定作業のマイルストーンにおける全体集会という位置付けで、今度は可能な限り実体で会合を開催させていただきたいと考えている。

（別紙様式６－２）

第３３回名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定研究部シンポジウム
The 33rd symposium on chronological research at the Division for Chronological Research, Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University in 2021

加藤丈典、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

年代測定研究部は2022年1月21日（金）に、Zoomによるオンライン形式で中期目標・中期計画第３期の活動を広く報告するために表題のシンポジウムを開催した。参加者は14名で、11件の発表が行われた。共同利用・共同研究に関連し、さまざまな機関の研究者らにより、環境学、地質学、装置開発、歴史学など幅広い分野に関する発表がなされた。また、本シンポジウムの発表内容を中心に、共同利用・共同研究の成果などをまとめた「名古屋大学年代測定研究 vol. 6」を刊行した。

発表リストは以下のとおりである。

- 三角州堆積物へのOSL年代測定適用性の検証
- 名古屋港海底泥中に見つかる炭酸塩コンクリーションの形成年代
- 菊川周辺における放射性炭素の海洋リザーバー効果の予察結果
- 土壌資料のSr同位体分析より推定する立部遺跡火葬墓ST2005の成り立ち
- 沈み込み初期における北西インドNidarオフィオライト層火成岩類の成因
- ^{14}Cと有機成分をトレーサーとして用いた炭素質エアロゾルの発生起源解析
- 日高山脈東側の2000年前以降の花粉相の推移と特徴
- 小惑星リュウグウのテクトニクス最若年代を示すグルーブマーク
- トリプル四重極質量分析装置を用いた^{87}Sr/^{86}Sr同位体分析の現状について
- 名古屋大学タンデトロンAMS^{14}Cシステムの現状と利用（2021）
- CHIMEの現状と利用（2021）

（別紙様式６－２）

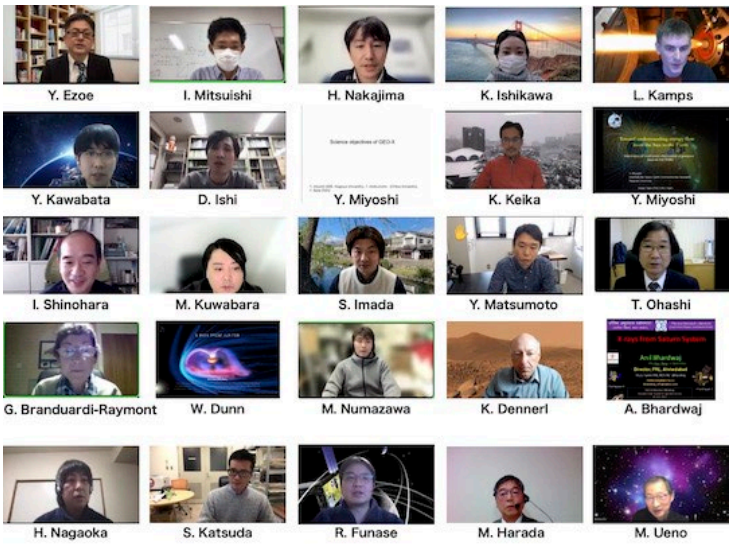
研究会「GEO-X 計画と太陽系 X 線天文学へ向けて」
Toward solar system X-ray astronomy

石川久美 東京都立大学理学研究科

地球磁気圏 X 線撮像計画 GEO-X は世界初の昼側地球磁気圏の X 線撮像を狙う衛星計画である。本研究会では GEO-X ミッションとそれを可能にする技術開発、さらに関連した将来計画やサイエンスについて議論を行う。また一部、海外研究者も招き、太陽系 X 線観測の国際セッションとした。研究会プログラムを https://tokusui-geox.jp/geox-meeting-2022/ にて公開している。

参加者は、オンライン形式での開催だったため、セッション時間により随時変動があり、正確な人数の把握をすることは難しいが、事前の参加申し込み状況および当日の飛び入り参加状況から最大で 50 人 + アルファ程度であった。

会議は、話題に応じて 4 つのセッションに分けた。第 1 が「GEO-X ミッション」であり、GEO-X 計画の概要および各機器の開発現状の発表があった。第 2 が「期待されるサイエンス&コラボレーション」で、すざく衛星による地球周辺の観測結果、グローバル MHD シミュレーションを用いた観測予測、あらせ衛星や地球外圏大気の観測結果などについての報告があった。また、GEO-X 以外の地球周辺観測を目指した計画についての発表があった。第 3 は国際セッション「Toward solar system X-ray astronomy」で、太陽系天体からの X 線放射について、全体のレビューおよび木星、火星、土星、月などについての観測結果の講演があった。最後のセッション「超小型深宇宙探査を可能とする技術&プログラム」では、JAXA における超小型衛星を活用したプロジェクトの現状と展望について報告があった。これらの講演により、予定していた GEO-X 計画とその技術開発の現状、関連した将来計画などについて広い議論を行うことができた。



発表者のまとめ

太陽系X線観測結果のまとめと、超小型衛星技術およびプログラムについて議論することで、GEO-X の先の新たなミッションの提案、といった次のステップへの見通しが良くなった。

（別紙様式６－２）

2021年度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 predictions: 2021 meeting

塩田大幸、情報通信研究機構・電磁波研究所

2022年3月29日(火)の日程で、「2021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。

2021年度は、2020年度の経験から議論時間を十分にとることとし、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、活発な議論が展開されました。具体的には次のとおりです。

ベクトル場を記述する新体系の構築からは、太陽コロナ磁場や太陽風加速への有効性、モデリング進展の可能性が予感されるとともに、太陽風や地球磁気圏内に存在する乱流磁場への適用可能性も見出されました。続いて、多階層にわたる太陽大気モデリングについて目を見張る最新成果の紹介があり、コロナ加熱・太陽風加速問題の発展もさることながら、今は計算機資源的に困難ながらも将来的にグローバルモデルとの連携で様々な展開が予感されました。

太陽大気の加熱や粒子加速に重要な衝撃波について、極めて洗練されながらも学部生にも解りやすい講演がなされ、観測もシミュレーションも分解能が向上した現代に向けて提言があり、次代を担う世代へ大変な刺激となりました。磁気リコネクションに関わる最新研究紹介からは、SEP等につながる粒子加速の新しい描像が得られるとともに、PIC計算の課題整理を通して計算機環境の確保について分野としての問題意識が共有されました。惑星科学分野の包括的な動向紹介からは、惑星進化シミュレーションの最新成果を通して、長期変化の観点での太陽地球圏モデリング、多流体モデルの地球圏への適用等を考えるきっかけが得られました。また、時間スケールが大きく異なるモデル間の結合の検討状況は、今後実質的に参考にしたいと思われるものでした。

年度末の慌ただしい日程でしたが、今回も学部生からシニアにわたる幅広い年代の方に参加いただくことができました。モデル研究をキーワードに多分野の研究者が一同に議論できる貴重な場となっており、今後も継続していきたいと考えています。

●プログラム（敬称略、★は招待講演）

2022/3/29(火)

9:45 - 9:50　趣旨説明

9:50 - 10:50　吉川顕正（九州大学理)★

3 次元拡張した磁場動標構におけるベクトル場幾何的発展の記述

10:50 - 11:50　飯島陽久（名大 ISEE)★

太陽大気の輻射磁気流体モデルにおける現状と課題

11:50 - 12:00　議論

12:00 - 13:10　休憩

13:10 - 14:10　羽田亨（九州大学総理工)★

中間衝撃波を見つけてください

14:10 - 14:40　銭谷誠司(神戸大学), 三好隆博(広島大学), 山本百華(神戸大学)★

乱流磁気リコネクションのシミュレーション研究と GPU 時代の展望

14:40 - 14:50　議論

14:50 - 15:00　休憩

15:00 - 15:40　寺田直樹（東北大学)★

惑星大気散逸・進化シミュレーションの現状と今後の展望

15:40 - 15:50　中溝葵（NICT)

磁気圏 MHD モデル改良版の現状と展望

15:50 - 16:10　塩田大幸（NICT)

太陽圏モデリングの現状と展望

16:10 - 16:30　議論

（別紙様式６－２）

アジア高山域における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 in High Mountain Asia

坂井亜規子、名古屋大学・環境学研究科

＜概要＞

世界の山岳氷河は地球温暖化により縮小傾向にあり、氷河からの融解水は海水準上昇に寄与している。アジア高山域の氷河は、面積としては世界の山岳氷河の13%を占めており、その融解水はインド・中国・パキスタンなど人口の集中した地域の重要な水資源となっており、氷河からの流出水量の将来予測を高精度化することは重要である。アジア高山域は欧米などにある氷河域と異なり、降水の多い海洋性から内陸性の乾燥した氷河があり、またモンスーンに影響されている夏涵養型の氷河が約半分を占めている。このように気候条件が異なる氷河が山脈を挟んで存在するアジア高山地域の氷河は観測データが少なく、氷河変動の将来予測における不確実性も高い。

本研究集会では、アジア高山域の氷河における光吸収性不純物によるアルベド低下に焦点を置く。氷河の融解は、気温のみでなく、日射によってもおこり、氷河表面が如何に日射を吸収するかを決めるのはアルベド（日射の反射率）が決める。これまで雪面のアルベドは、雪粒の大きさと表層に存在する光吸収性不純物の量によって決まることがグリーンランドにおける観測から明らかとなってきた。しかし、氷河が融解する部分は雪面ではなく主に氷の露出した氷河下流部であるため、氷面におけるアルベドのプロセス研究が必要である。また光吸収性不純物では鉱物粒子、ブラックカーボン、雪氷微生物の3つが挙げられるが、グリーンランドに生息している微生物とアジアに生息する微生物は種類が異なり、アルベドへの影響も全く異なると考えられる。このため、本研究集会は既存研究が多いグリーンランドにおける研究をベースに、今後アジア高山域の氷河の光吸収性不純物とアルベドの関係を明らかにするための作戦会議の場とする。

＜参加人数＞

コロナ禍のため、ハイブリッド形式（対面とリモート併用）で行った。対面での参加者16名、リモート参加9名となった。

運良くコロナの感染者がかなり減った時期に開催できたため、対面での参加者も多く、活発な意見交換が可能となった。

＜研究報告＞

これまでの研究のレビューをもとに、今後の観測項目について練ることができた。また、本研究のキーとなる生物関係のモデルの専門家を迎え、現状のモデルの問題点、またモデルに必要な観測項目を今後の検討事項として加えることができた。

さらに、これからフィールド観測の場となるモンゴルの氷河について、過去に観測していた研究者に参加してもらい、当時の観測や観測体制について紹介してもらった。

研究会2日目午後から3日目にかけて、氷掘削用ドリルの組み立て試験を行うことができた（写真2枚）。

意見交換が活発にでき、対面で行う研究会の良さを改めて実感した研究会であった。

＜成果＞

Khalzan P, Sakai A, Fujita K Mass balance of four Mongolian glaciers: In-situ measurements, long-term reconstruction and sensitivity analysis. Frontiers in Earth Science (in press)

（別紙様式６－２）

「プラズマ圏の観測とモデリング」研究集会

尾花　由紀
大阪電気通信大学
工学部基礎理工学科

新型コロナウイルスの影響で中止

（別紙様式６－２）

陸別・母子里観測所ユーザーズミーティング2021
Users' Meeting for Rikubetsu and Moshiri observatories 2021

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。研究集会は例年、名古屋大学の地域貢献事業の一環として開催される陸別町社会連携連絡協議会と時期を合わせ、陸別町役場の大会議室で行われてきたが、昨年度はコロナ禍のためにオンライン開催となった。今年度こそは陸別での対面＋オンラインのハイブリッドで開催したいと考えていたが、2021年末からオミクロン株が急速に拡大し、北海道全域が3月21日までまん延防止等重点措置の対象となったため、3月29日にオンラインのみで開催した。

【研究集会の内容・成果】

研究集会は主として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、エアロゾル関連の話題、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、赤外線フーリエ分光計の太陽追尾装置から太陽光を導入する部分で氷塊（つらら？）が落下しミラーや太陽光の導入窓が破損し、11月下旬から3月上旬まで観測が停止したことが報告された。特に雨や雪が太陽追尾装置ドーム内に侵入した形跡はなく、なぜ氷塊ができたかの原因はまだ特定できていない。ただ関連して、建物の老朽化とともに観測室天井からの漏水がこの一年ほどの間に深刻になり、陸別町のご厚意も得て天井にビニールシートを貼ったり金属製の樋を作っていただくなどの対策がとられていることが報告された。他の観測機器に関しては、長期間観測が止まるような致命的な障害はなかったものの、ミリ波分光計でこの3月にはいってから受信機の出力が突然出なくなる障害が複数回発生していたり、オーロラ/大気光観測のCCDカメラの出力が突然止まることがしばしば発生するなど、原因はまだ詰められていないが観測機器の老朽化と関わっていることを示唆する障害が報告された。また、母子里観測所の状況についても、持田母子里観測所長と塩川教授より報告がなされた。誘導磁力計の浸水やフラックスゲート磁力計のケーブルを動物にかじられたため、一時的にデータ取得が停止したことがあったが、基本的には順調にデータが取得されており、母子里では陸別よりもノイズが低い非常に質の良いデータが取得されていることが示された。また前年のユーザーズミーティングで詳しい研究計画が紹介されたエアロゾル観測については、その準備の進捗状況が報告された。一方、前年にも議論となったエアロゾルインレットの積雪対策がやはり問題であることが明らかになり、今年は積雪でインレットのパイプが曲がってしまったことが報告された。大型短波レーダーでは、前年に報告されたUSRPを用いたイメージング観測に対して外部資金を獲得したことで、来年度に本格的にイメージング化に向けた改修が行われることが報告された。しかし、その一方でデータをレーダーサイトから転送するマイクロ波リンクで不調があり、今後イメージング化に伴いデータ量も増加することから、データ通信を安定化させるための何らかの対策が必要であることが指摘された。

科学的な成果については、硫黄や炭素循環の観点から最近興味が持たれているOCSの赤外線フーリエ分光計による観測結果の報告、赤外線フーリエ分光計のCOデータとエアロゾルライダーの観測からシベリアのバイオマス燃焼起源物質の長距離輸送に関する報告、2018年10月の北海道で観測された火球の落下経路とVLF帯標準電波の時間変動を詳細に比較して火球が励起した音波が下部電離圏の擾乱を引き起こしたことを示した報告、太陽活動静穏時の下部電離圏変動のローカルタイム・季節依存性の統計解析の報告、大型短波レーダーを用いたPc5帯ULF波動のモード解析に関する報告等２名の大学院生の発表を含む興味深い報告がなされた。また、前年に特別講演として南極ドームふじでの自動採雪装置を用いた観測計画を紹介していただいた名大の栗田先生には、測定装置の実機開発とドームふじでの設置状況等その後の進捗についてお話しをうかがった。さらに、当日急用が入り動画による参加となった電通大の芳原先生からは、必ずしも大電流

が流れなくても物やケーブルの損焼を引き起こすことがある大電荷量落雷のレビュー的な話から実際のELF帯の磁場観測による大電荷量落雷の事例観測結果に至る興味深い報告をいただいた。

観測所の運用に関しては、観測室内の空調が観測装置の安定度に与える影響について議論し、特に大気関係のリモートセンシング観測に影響を与えている可能性が指摘され、室温の安定化をめざし設備の更新も視野に入れて検討することとした。また、南極での積雪対策の実例を参考に、気象測器、特に風光風力計の積雪対策について有意義な情報交換ができた。また、次年度のユーザーズミーティングは、2021年末に他界され、オーロラ研究の世界的な権威であるとともに、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科学的業績、社会貢献的業績を振り返りつつ、今後の観測所の発展に向けた議論を行うため、例年のユーザーズミーティングをさらに拡大させた形で開催することとなった。

R3(2021)年度　陸別・母子里ユーザーズミーティング　プログラム											
日時	3/29（火）										
会場	zoom　web会議										
	https://us02web.zoom.us/j/89783196075?pwd=eIB3a0h1Q3oxVEgraHM2MXNLRmxIZz09										
	ミーティングID: 897 8319 6075								パスコード: 726284		
	発表時刻				発表時間			発表者	所属	演題　　（）は仮題あるいはテーマ	
はじめに											
	9:30	-	9:35	（	0:05	）		水野 亮			
対流圏・成層圏/温室効果ガス/エアロゾル/オゾン											
	9:35	-	9:45	（	0:10	）		水野 亮	(名大ISEE)	ミリ波分光計、ブリューワ分光計の運用状況報告	
	9:45	-	10:00	（	0:15	）		長浜 智生	(名大ISEE)	陸別FTIRによる成層圏・対流圏微量成分モニタリングの状況と今後	
	10:00	-	10:25	（	0:25	）		森野 勇	(国環研)	(温室効果ガス関連、FTIR, ライダー, sky radiometer)	
	10:25	-	10:40	（	0:15	）		栗田 直幸	(名大ISEE)	南極ドームふじ基地における通年観測～自動降雪採取装置の開発報告～	
	10:40	-	10:50	（	0:10	）		持田 陸宏、大畑祥	(名大ISEE、名大ISEE)	母子里観測所における大気ガス・エアロゾル観測に向けた整備	
休憩											
	10:50	-	11:00	（	0:10	）					
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											
	11:00	-	11:35	（	0:35	）					
電離圏・磁気圏/オーロラ											
	11:35	-	11:55	（	0:20	）		塩川 和夫	(名大ISEE)	陸別・母子里観測所におけるオーロラ・大気光と電磁場観測の現状報告	
昼休み											
	11:55	-	13:15	（	1:20	）					
電離圏・磁気圏/オーロラ　（続き）											
	13:15	-	13:30	（	0:15	）		大矢浩代、鈴木威流、土屋史紀、塩川和夫、西岡未知、中田裕之	(千葉大、千葉大、東北大PPARC、名大ISEE、NICT、千葉大)	陸別におけるVLF/LF帯標準電波を用いた火球によるD領域電離圏擾乱	
	13:30	-	13:45	（	0:15	）		野崎佑磨、大矢浩代、土屋史紀、中田裕之、塩川和夫	(千葉大、千葉大、東北大PPARC、千葉大、名大ISEE)	陸別におけるLF帯標準電波を用いた下部電離圏のローカルタイム・季節依存性についての統計研究	
	13:45	-	14:00	（	0:15	）		芳原 容英　（動画参加）	(電通大)	陸別ELF観測による雷エネルギーの導出（2021年度）	
	14:00	-	14:15	（	0:15	）		西谷 望	(名大ISEE)	SuperDARN北海道-陸別第一・第二HFレーダー2021年度報告	
	14:15	-	14:30	（	0:15	）		森田洸生、西谷望、堀智昭	(名大ISEE、名大ISEE、名大ISEE)	SuperDARN北海道-陸別第一HFレーダーで観測されたPc5帯ULF波動のモード解析	
天文台報告											
	14:30	-	14:45	（	0:15	）		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)	りくべつ宇宙地球科学館（銀河の森天文台）活動報告	
全体に関する議論											
	14:45	-	15:15	（	0:30	）					

（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 collaborative research on heliosphere 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3年度に名古屋大学宇宙地球環境研究所の共同利用研究に採択された研究課題のうち、太陽圏宇宙線専門委員会で採択された課題についてその研究成果を報告するために開催された。例年この研究集会は他の研究集会と合同で開催している。その理由は、本研究集会単独では、各講演がなんの脈絡もなく続く可能性が高くなるので、ある研究分野に特化した研究集会と合同で行うことにより、脈絡のある研究集会として開催することができるからである。また、それぞれの研究集会を単独で開催した場合には、どちらにも参加する可能性を有する研究者が複数存在する。従って、複数の研究集会を同時に開催することにより、旅費を節約することができる。

令和3年度の研究集会は、「太陽地球環境と宇宙線モジュレーション」研究集会と、「太陽風プラズマ物理の最新結果と今後の展望」との合同で2022年3月1日・2日の2日間行われた。年度当初は名古屋大学内の会場で開催する予定であったが、COVID-19 の新規感染者数の増減の波が複数回起り、対面での集会は断念せざるを得なかった。ハイブリッドも考えたが、開催時期は全国的に第六波の山の最中であり、全てオンラインで開催した。延べ62名が参加し、3月1日全日と3月2日午前あわせ21講演がzoom で行われた。講演時間は質疑応答込みで長い講演で60分、最短で15分であったが、各講演の最後には参加者から活発な議論が寄せられ、活況であった。以下、プログラムを示す。

2022 年 3 月 1 日

8:55-9:00　成行泰裕　あいさつ　「太陽風プラズマ物理の最新成果と今後の展望」

9:00-10:00 村上豪（JAXA/ISAS)　国際水星探査計画 BepiColombo が展開する内部太陽圏探査

10:00-11:00 庄田宗人（国立天文台)　太陽風数値シミュレーション：プラズマ乱流から大規模構造まで

11:00-11:20 成行泰裕（富山大）　多次元アルヴェン波解の性質と不安定性について

11:20-11:40 松清修一（九州大）　宇宙線異常成分の生成に関するテスト粒子計算

11:40-11:55 千葉翔太（東大）　金星探査機あかつきによる太陽コロナの電波掩蔽観測

－ 昼食 －

12:55-13:00 松原豊　あいさつ　「太陽圏・宇宙線関連の共同研究成果報告会」

13:00-13:20 宗像一起（信州大)、加藤千尋、片岡龍峰、林　優紀、小財正義、GMDN collaboration

地上宇宙線計で観測された 2021 年 11 月の宇宙天気事象

13:20-13:40 小財正義（ROIS-DS）、宗像一起、加藤千尋、門倉昭、片岡龍峰、村瀬清華、三宅晶子、GMDN collaboration
南極昭和基地の宇宙線計を用いた南北異方性の解析

13:40-14:00 小島浩司（中部大）
地球周辺の惑星間空間における宇宙線の密度勾配と剛度の関係

14:00-14:20 野中敏幸（東大宇宙線研）空気シャワー観測装置による宇宙線強度変動の観測

14:20-14:35 小井辰巳（中部大）
GRAPES-3 の高精度ミューオン望遠鏡を用いた、宇宙天気観測と宇宙線モジュレーション研究

14:35-14:50 岩井一正（名大 ISEE）
次世代太陽風観測装置の計画と 2021 年度の進捗

－ 休憩 －

15:10-15:30 渡邉堯（茨城大学）
宇宙線データベースの現状
（WDCCR、NMDB、IZMIRAN の比較）

15:30-15:50 櫻井敬久（山形大）、門叶冬樹、乾恵美子、森谷透、武山美麗、三宅芙沙
宇宙線生成核種 Be-7 濃度の季節変動

15:50-16:10 中野佑樹（東大）
Super-Kamiokande を用いた太陽フレア由来のニュートリノ探索

16:10-16:40 村木綏（名大）、松原豊、増田智、徳丸宗利、柴田祥一、小井辰己、大嶋晃敏、高丸尚教、境享祐、内藤統也、垥隆志、三宅晶子、Valdes Glicia, Ernesto Ortiz, P. Miranda
太陽中性子崩壊陽子の観測 (2)

3 月 2 日

8:55-9:00 加藤千尋　あいさつ
「太陽地球環境と宇宙線モジュレーション」

9:00-9:30 瀧田正人（東大宇宙線研）Tibet AS γ 実験での最近のガンマ線観測

9:30-9:50 奥川創介（横浜国大）
ALPACA 実験におけるガンマ線検出効率のハドロンモデル不定性

9:50-10:10 佐古崇志（東大宇宙線研）TeV 領域宇宙線異方性の太陽圏磁場による変調

10:10-10:30 大嶋晃敏（中部大）
GRAPES-3 大型ミューオン望遠鏡による宇宙天気観測

10:30-11:00 鳥居祥一（早大)、赤池陽水、小林兼好、宗像一起、加藤千尋、片岡龍峰、三宅晶子、他 CALET チーム
ISS 搭載 CALET による 6 年間の軌道上観測の成果

11:00-11:15 加藤千尋（信州大）
機械学習を用いた地上ミューオン観測データの大気効果補正

07）計算機利用共同研究（一般）　目次詳細

所属・職名は2022年3月現在

2021年度　　11件

研究代表者 Principal Investigator	所属機関 Affiliation	所属部局 Department	職名 Position	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
梅田　隆行	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	准教授	プラズマ粒子シミュレーションコードの並列化と性能チューニング	272	
深沢　圭一郎	京都大学	学術情報メディアセンター	准教授	観測・数値シミュレーション・機械学習の融合による宇宙プラズマ現象の理解	274	
堺　正太朗	東北大学	大学院理学研究科	助教	CME時における火星型惑星大気流出機構に関する研究：EUV放射照度及び固有磁場強度による比較	275	
Hayashi　Keiji	Stanford University	Hansen Experimental Physics Lab.	Research Scientist	IPS データ駆動による太陽圏長期変動再現モデル	278	
近藤　光志	愛媛大学	宇宙進化研究センター	講師	非対称反平行磁気リコネクションの磁気流体計算	279	
井上　諭	ニュージャージー工科大学			太陽フレア爆発のデータ駆動型磁気流体シミュレーション	281	
長濱　智生	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	准教授	太陽放射の短期変動に伴う中間圏大気組成変動影響の研究	283	
永田　伸一	京都大学	大学院理学研究科附属天文台	助教	高時間分解能の非線形フォースフリー磁場計算によるMHD不安定性発達の研究	284	
若月　泰孝	茨城大学	理工学研究科（理学野）	准教授	雲解像大気モデルを用いた降水現象の予測と気候応答に関する研究	287	
坪内　健	電気通信大学	情報理工学研究科	客員研究員	プラズマ密度構造から探る太陽圏境界変動	289	
関　華奈子	東京大学	大学院理学系研究科	教授	恒星放射・恒星風・惑星固有磁場が地球型系外惑星からの大気散逸機構に与える影響の研究	291	

（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

前年度に開発および性能チューニングを行った電磁粒子 Particle-In-Cell コードのノード間並列化を行う。また、電磁粒子コードの各カーネル部分の手法について検討し、高(次)精度化を目指す。

研究結果

2020 年度に開発した、動的負荷バランスを導入した並列コードを、上流側に境界からのプラズマ粒子の流入・下流側に境界へのプラズマ粒子の流出がある開放系であり、流入・流出したプラズマ粒子の管理に工夫が必要な衝撃波静止系コード(Umeda & Yamazaki 2008; Umeda et al. 2009)へと拡張した。また開発した並列コードを用いて、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。

粒子の初期分布から数値的ノイズを取り除くための一様分布と、それを用いた正規分布の生成プログラムを新たに開発し、コードに導入した。

成果発表

- Yamazaki, R., S. Matsukiyo, T. Morita, S. J. Tanaka, T. Umeda, K. Aihara, M. Edamoto, S. Egashira, R. Hatsuyama, T. Higuchi, T. Hihara, Y. Horie, M. Hoshino, A. Ishii, N. Ishizaka, Y. Itadani, T. Izumi, S. Kambayashi, S. Kakuchi, N. Katsuki, R. Kawamura, Y. Kawamura, S. Kisaka, T. Kojima, A. Konuma, R. Kumar, T. Minami, I. Miyata, T. Moritaka, Y. Murakami, K. Nagashima, Y. Nakagawa, T. Nishimoto, Y. Nishioka, Y. Ohira, N. Ohnishi, M. Ota, N. Ozaki, T. Sano, K. Sakai, S. Sei, J. Shiota, Y. Shoji, K. Sugiyama, D. Suzuki, M. Takagi, H. Toda, S. Tomita, S. Tomiya, H. Yoneda, T. Takezaki, K. Tomita, Y. Kuramitsu, and Y. Sakawa, High-power laser experiment forming a supercritical collisionless shock in a magnetized uniform plasma at rest, *Physical Review E*, Vol.105, No.2, 025203, 2022.
- Nakamura, T. K. M., K. A. Blasl, H. Hasegawa, T. Umeda, Y.-H. Liu, S. A. Peery, F. Plaschke, R. Nakamura, J. C. Holmes, J. E. Stawarz, and W. D. Nystrom, Multi-scale evolution of Kelvin-Helmholtz waves at the Earth's magnetopause during southward IMF periods, *Physics of Plasmas*, Vol.29, 012901, 2022.
- 梅田 隆行, 一様及び正規分布の生成方法再考, 第150回地球電磁気・地球惑星圏学会の

総会および講演会, オンライン, 2021年11月3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150回地球電磁気・地球惑星圏学会の総会および講演会, オンライン, 2021年11月4日.
- 梅田 隆行, Performance measurement of plasma kinetic simulation codes on the Flow supercomputer system at Nagoya University, Japan Geoscience Union Meeting 2021, オンライン, 2021年6月4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, Japan Geoscience Union Meeting 2021, オンライン, 2021年6月4日.
- Umeda, T., and K. Kurogi, High-accuracy numerical scheme for finite difference on staggered grids, 34th General Assembly and Scientific Symposium (GASS) of the International Union of Radio Science, オンライン, 2021年8月31日.

（別紙様式７－２）

観測・数値シミュレーション・機械学習の融合による宇宙プラズマ現象の理解

Understanding the space plasma phenomena with the integration of observation, numerical simulation and machine learning

深沢圭一郎、京都大学・学術情報メディアセンター

本研究は、飛翔体宇宙プラズマ観測データとプラズマ数値シミュレーションを、機械学習によって統合的に解析することで、低空間次元・小観測数・単地点観測（=時空間変動分離が困難）という観測データを時空間拡張し、環境変動を抽出することを最終目的とする。特に、惑星の磁気圏スケールの巨視的な環境での３次元空間変動を機械学習によって推定させる。究極的には、この時空間拡張されたデータを、数値シミュレーションと融合させることで、観測したい宇宙プラズマ現象がいつどこで起きるかを予測するモデルの構築を目指している。

いわゆる機械学習は様々な画像データを学習し、そこに現れる特徴を認識し、推定する。この際、特徴とはデジタルデータ上の何らかの集合（形状）であり、その集合が物理法則に従っているかは不明である。そのため、これらを科学的に利用する場合には、この集合が物理法則を満たす担保が必要となる。本研究ではこの問題に対し、物理法則に従って、データを作成する数値シミュレーションのみで学習を行うことで、数値シミュレーションと同程度の物理的担保を実現することを目的としている。

昨年度は名古屋大学のスパコンリプレイスもあり、十分な計算が実行できなかったが、低解像度なシミュレーションを行い、計算時間を削減することで、最低限のデータが行えるかを調査し、一定の成果を得た。今年度は昨年に引き続き、解像度を低くした磁気圏シミュレーションを行い、データの蓄積を優先した。現実の太陽風条件を利用した磁気圏シミュレーションを行いたかったが、利用できる計算資源上毎日準リアルタイムにシミュレーションを行うことは不可能なため、特定のイベントなど特徴的な太陽風条件でのシミュレーションを実行し、データ整備を行った。

また、本研究ではこのままデータ整備、それを活用した観測データとの融合を進める予定であったが、来年度の計算機利用共同研究の制度に変更があり、計算資源の問題で本共同研究では研究実施が難しいため、他の共同研究制度で研究を継続する予定である。

成果発表

深沢圭一郎、木村智樹、徳永旭将、中野慎也、"機械学習・数値シミュレーション・観測による宇宙プラズマ現象研究に向けた学習データの整備"、Japan Geoscience Union Meeting 2021、オンライン開催、2021年5月30日 - 6月6日.

（別紙様式７－２）

CME時における火星型惑星大気流出機構に関する研究：EUV放射照度及び固有磁場強度による比較

Atmospheric escape from a Mars-like planet during the CME event under intrinsic magnetic field conditions: Comparison of EUV irradiance and magnetic field intensity

堺正太朗、東北大学大学院理学研究科

研究目的

惑星の固有磁場や太陽風パラメター, X 線及び極端紫外線（XUV）放射照度は大気流出を考える上で非常に重要な物理量である．固有磁場強度は太陽風と地球型惑星間の相互作用に影響を与え（e.g., Seki et al., 2001），流出機構自体を変えてしまう．約 40 億年前の火星は温暖湿潤な機構であったが，その後大気や水が失われ，現在では薄い大気を残すのみとなった．つまり，火星は過去から現在にかけて大規模な大気流出を経験した．大気流出の主要機構の一つに，周辺磁場の影響及び XUV 放射照度に関連した超高層大気からのイオン流出が挙げられる．太古の火星には，現在の火星地殻に残留磁化が存在していることから，全球的な固有磁場が存在していた可能性が考えられている．また，過去太陽からの XUV 放射照度は現在のものよりも高かったと考えられている（e.g., Tu et al., 2015）．固有磁場や XUV 放射照度が大気流出機構へ与える影響を調査することは，火星が過去から現在までに起こった気候変動の理解へとつながるのである．更に，XUV 放射照度の高い恒星は近年発見が相次いでいるハビタブルゾーンを持つ系外惑星系にも多く見られ，本研究は恒星系全体の理解へもつながるものである．

Sakai et al. (2021) では，火星赤道表面で 100 nT の固有磁場の下，太陽風パラメターの一つである惑星間空間磁場（IMF）の向きが大気流出機構・流出率にどのような影響を与えるか調査した．すると，固有磁場に平行な北向き IMF の時にはパーカースパイラル型や反平行な南向き IMF の時と比べて一桁程度小さくなることが明らかとなった．これは非磁化火星でのイオン流出率よりも小さい値であり，このことから北向き IMF は大気流出が抑制されることが示された．一方で，パーカースパイラル型や南向き IMF では流出率がほとんど変わらなかった．先行研究では北向き，パーカースパイラル型，南向き IMF の 3 ケースのみが調査されたが，流出率が増大する決定的な要因はよくわかっていない．そこで本研究では，IMF が北向きから南向きに変化する間にどのような条件で流出率が増大するのかを調査する. これは, コロナ質量放出（CME）時に起こる IMF の変動に似ていることから，CME 時の大気流出応答の理解につながる研究である．また，高 XUV 環境下である系外惑星系（赤色矮星・M 型星）のハビタブルゾーン内に火星型惑星が存在すると仮定した時の大気流出についても調査を行う．

研究手法

本研究では 3 次元多成分一流体電磁流体力学（MHD）シミュレーションを行う。用いたコードは REPPU-Planets で，もともとは非磁化惑星のモデリング用に構築され（Tanaka, 1993), その後, 地球磁気圏や惑星電離圏モデリング用に改良された（Tanaka, 1998; Terada et al., 2009a; 2009b）. Sakai et al. (2018）では非磁化惑星モデリング用に固有磁場を加えることで，大気流出機構の違いを明らかにした．本コードは 8 つの変数から成る MHD 方程式を，Total Variation Diminishing (TVD）スキームを用いて解いている．また，本モデルは電離圏から(誘導)磁気圏までを包括的に解くことが可能で，14 イオン種の連続の式を解いている．本研究では 10 種の中性大気モデル（CO_2，O_2，NO，CO，N_2，O，N，C，He，H）を入力として与えることで，超高層大気中での主要なイオン（CO_2^+，O_2^+，NO^+，CO^+，N_2^+，O^+，N^+，C^+，He^+，H_2^+, H^+, Ar^+）の物理量を計算する．入力で用いられる中性大気モデルは現代の火星では Sakai et al. (2021）で用いられたものを，M 型星周りの系外惑星では M 型星の XUV スペクトルを考慮した Nakayama et al. (in prep.）によって得られた大気モデルを用いる．イオン - 中性大気の反応率，解離再結合率，光電離率，電子衝突による電離率，イオン - 中性大気・電子 - 中性大気の衝突周波数，電子衝突によるエネルギー消失率，熱伝導度は Terada et al. (2009a and references therein）のものを使用した.

本研究では，半径方向に対して並列化を行っており，MPI を用いてシミュレーションを行った．また本コードは，半径方向に 336 グリッド，緯度・経度方向に 1922 グリッド用いている．恒星風パラメターは，現在の火星系では密度 3 cm^{-3}，速度 400 km/s，温度 10^5 K，磁場 2.5 nT を，M 型星周り仮定する．

研究結果・考察

現在太陽環境下における研究では，非磁化惑星と赤道表面で 100 nT の固有磁場を持つ磁化惑星とで比較を行う．北向き IMF からスタートし，12 時間で IMF が半周する条件で計算を行う．磁化惑星においては北向き IMF での定常状態は Sakai et al. (2021）で得られたものを用いる．まず非磁化惑星では，IMF が回転する間に流出率はほとんど変化しなかった．残留磁場を考慮していないため，大気が磁場の回転に影響することがほとんどないと考えられる．一方で磁化惑星の場合，北向き IMF から南向き IMF までの間に流出率が 30 倍程度になることが明らかとなった．特に，IMF 時角が 45°を超えると急激に流出率が増大し，時角 60°を超えるとイオン流出率は緩やかに上昇する.

北向き IMF では, 磁気圏ローブ領域での磁気再結合が大気流出を担っていた（Sakai et al., 2021). IMF の時角が徐々に変わるにつれて磁気再結合点が磁気圏ローブ領域から磁気圏フランク領域へと移動すると, 磁気圏内の電流量が増えることから磁気再結合の量が増え, 流出率の増大につながることがわかった.

次に, M 型星周りのハビタブルゾーン内に存在する火星型惑星 (非磁化) における研究成果

ついては，現在計算結果の鋭意解析中であるが，現在の火星で流出の大部分に寄与する分子イオンよりも原子イオンの流出が卓越しそうであることが分かりつつある．

引用文献

1. Sakai, S., et al. (2018). Geophys. Res. Lett., 45, 9336-9343. https://doi.org/10.1029/2018GL079972
2. Sakai, S., et al. (2021). J. Geophys. Res. Space Physics, 126, e2020JA028485. https://doi.org/10.1029/2020JA028485
3. Seki, K., et al. (2001). Science, 291, 1939-1341. https://doi.org/10.1126/science.1058913
4. Tanaka, T. (1993). J. Geophys. Res., 98(A10), 17251-17262. https://doi.org/10.1029/93JA01516
5. Tanaka, T. (1998). Earth, Planets and Space, 50, 259-268. https://doi.org/10.1186/BF03352112
6. Terada, N., et al. (2009a). J. Geophys. Res. 114, A09208. https://doi.org/10.1029/2008JA013937
7. Terada, N., et al. (2009b). Astrobiology, 9, 55-70. https://doi.org/10.1089/ast.2008.0250

成果発表

1. 堺正太朗, 関華奈子, 寺田直樹, 品川裕之, 坂田遼弥, 田中高史, 海老原祐輔, Enhanced ion escape rate during the CME-like IMF rotation under weak intrinsic magnetic field conditions on a Mars-like planet, 第 23 回惑星圏研究会, 00209-AM3, オンライン, 2022 年 2 月 (口頭).
2. Sakai, S., K. Seki, N. Terada, H. Shinagawa, R. Sakata, T. Tanaka, and Y. Ebihara, Impact of the CME-like IMF rotation on ion escape mechanisms from a Mars-like planet under weak intrinsic magnetic field conditions, American Geophysical Union Fall Meeting 2021, SM15A-1955, New Orleans, LA, USA / Online, December 2021 (poster).
3. 堺正太朗, 関華奈子, 寺田直樹, 品川裕之, 坂田遼弥, 田中高史, 海老原祐輔, Ion escape mechanism from a Mars-like planet under weak intrinsic magnetic field conditions: Dependence of IMF clock angle, 日本地球惑星科学連合 2021 年大会, PCG18-05, オンライン, 2021 年 6 月 (口頭).

（別紙様式７－２）

IPS データ駆動による太陽圏長期変動再現モデル
IPS-data driven MHD model of long-term variation of global heliosphere

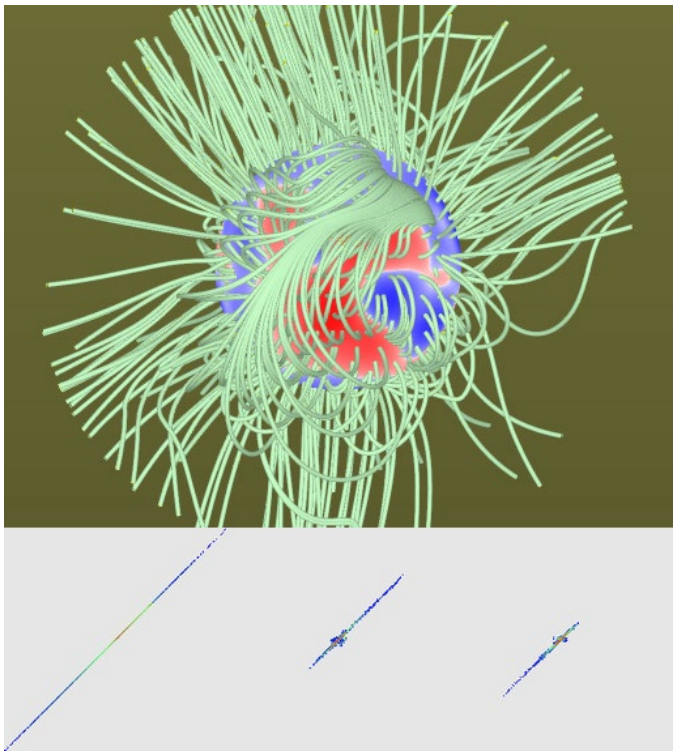
林　啓志、George Mason University, College of Science

太陽圏の三次元的な構造を実際の状況に近い形で再現するには、様々な実測データをモデルに導入・同化する必要がある。利用されるデータには、太陽光球面磁場データや太陽風実測データとともに、名大ISEEによるIPS太陽風プラズマ観測のデータを挙げる事ができる。IPS観測は太陽風を太陽高緯度領域を含む太陽・地球間の全球を計測する事の出来るおそらく唯一の地上観測手法であり、また半世紀にわたり蓄積されたデータでもある。我々はこれまでIPSデータをMHD太陽風モデルに導入する手法を構築してきた。

太陽圏物理においてはプラズマ量とともに、磁場が重要な役割を果たす。多くの研究では、太陽光球面磁場計測データを基にポテンシャル磁場モデルにより太陽大気の磁場を外挿し、その外挿磁場から更に太陽風磁場を予測・推定する、という手法が用いられてきた。

本研究では、太陽風や太陽圏全体のモデルの構築における太陽光球面とコロナの磁場の取り扱いの物理モデルの改良を企図した。

下図は改良されたMHDモデル計算の一つから作成された図である。緑色の線はモデル計算で得られた太陽コロナ磁力線を描いたものである。多くのモデルでは太陽光球面データのうち動径成分のみを用いる。一方、本計算では磁場３成分全てをコロナMHDモデルに導入可能な新手法を用いて、コロナ磁場の非ポテンシャル性を数値的に再現する事を試みている。図底部の分散図３つは観測から与えられた磁場３成分と計算内の境界値とを比較したものである。本計算内において、観測データの境界値への導入手法が正しく機能している事を示す。



コロナグラフ等の他の観測と比較検証すると、非ポテンシャル性の再現性に未だ改善の余地が大きい事がわかる。とはいえ、我々の太陽コロナモデルは、他モデルでは取り扱い出来ない物理事象を扱う事ができるので、太陽風モデルにおける惑星間空間磁場の再現・予測の改善に寄与するものと考える。

（別紙様式７－２）

非対称反平行磁気リコネクションの磁気流体計算
MHD simulation of asymmetric magnetic reconnection

近藤光志、愛媛大学宇宙進化研究センター

研究目的

これまでの我々の研究[1,2]により、地球磁気圏前面における電流シートを挟んで磁場強度や熱物理量などが非対称な環境における磁気リコネクションでは、Petscheckモデルとは大きくことなる構造がみられることを示してきた。とくに、プラズモイドの前方に形成される大規模な衝撃波や、接触不連続面の地球磁気圏側への侵入が特徴としてあげられる。ただし、これまでの研究は、電流方向に一様であることを仮定して二次元計算を行ってきた。もちろん実際には電流方向に非一様であり、リコネクションラインの長さも有限である。そこで、本研究では、これまでの二次元計算を三次元に拡張し。リコネクションラインの長さに対する依存性について明らかにすることを目的とする。

研究方法

これまでの自発的磁気リコネクションモデルに基づいた大規模な二次元磁気流体計算を三次元に拡張し非対称磁気リコネクションを調べる。自発的磁気リコネクションでは、外部境界の影響を受けずにシステム内部のプラズマ流と拡散領域のポジティブフィードバックにより磁気リコネクションが発達するため、初期擾乱で発生したファストモード波が境界に達するまでの時間内のリコネクション現象を調べることを目指し、十分に大きな領域を計算する。本研究では、初期状態として、等温非対称電流シートを仮定し、電流シートに垂直な方向をy方向、それに垂直な方向をx方向とし、電流シートの下側領域の磁場強度を1として、上側磁場強度をその1/k倍となるように設定する。今年度の計算では、k=2で固定し、初期擾乱として与える初期抵抗のz方向の幅r_zをパラメータとして、三次元非対称磁気リコネクションのr_zに対する依存性を調べる。

研究結果とまとめ

図１に、三次元計算の結果の 1 例を示す。図中赤の等値面が初期抵抗を与えた領域を示しており、z 方向の幅 r_z=2 における結果を示している。今回は r_z=2 から 6 までの計算を行っており、最も三次元性が強い場合の結果を示している。青の等値面が高圧領域、つまりプラズモイドを示しており、プラズモイドが x 方向に移動しながら z 方向に広がっていることが分かる。また、y 方向には二次元計算に示したと同様の非対称構造が形成されている。

図 2 は、初期抵抗の z 方向の幅 r_z が異なる 3 つの計算(r_z=2, 4, 6)における同時刻の x-y

平面のプラズマ密度のカラー等高図を示している。 三次元性が強くなる、つまり r_z が小さい計算ほどプラズモイド前面に形成される衝撃波が弱くなっている。初期に与えた抵抗の大きさやその他の物理条件は同一であるにも関わらず、リコネクションラインの長さが短くなる程、衝撃波が弱く、つまり下側プラズモイドの伸展速度が遅くなることを示している。しかしながら、最終的なリコネクションレイトは同程度にまで発達することが示され、三次元性が強いほどリコネクションの発達が遅くなることが示された。三次元性が強い、リコネクションラインが短いほど、z 方向からのプラズマの流入がリコネクションの発達を妨げることで、このような依存性が引き起こされたことが示された。このことは、地球磁気圏前面においては、リコネクションラインが短いほど、プラズモイド前面の衝撃波の観測が困難であり、観測するためには高緯度での観測が必要であることを示している。

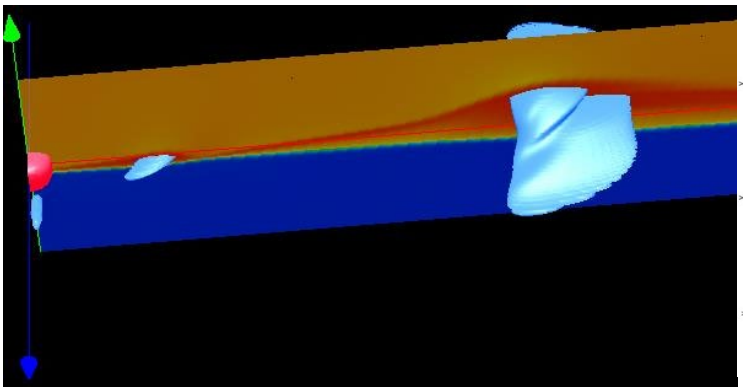


図 1　x-y 平面の圧力のカラー等高図、高圧領域の三次元分布(青等値面)および初期の抵抗領域(赤等値面)。図中の初期抵抗領域の z 方向の幅 r_z=2.0

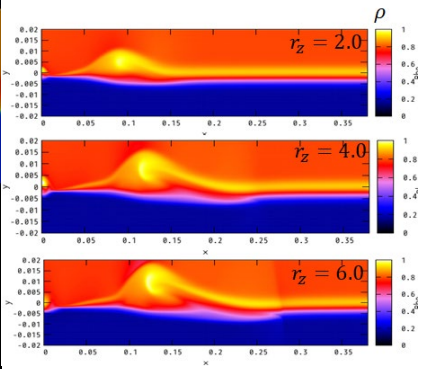


図 2　時刻 t=64 における x-y 平面のプラズマ密度のカラー等高図（上から初期抵抗領域の幅 r_z=2.0, 4.0, 6.0）

引用文献（成果論文を含む）

1. Nitta, S., and Kondoh, K., "Fundamental properties of sheared/guide field MHD magnetic reconnection", The Astrophysical Journal, 907:21 (21pp), 2021
2. Nitta, S., and Kondoh, K., "Properties of extremely asymmetric magnetic reconnection", The Astrophysical Journal, 872:147 (17pp), 2019
3. Nitta, S., Wada, T., Fuchida, T., and Kondoh, K., "Critical differences of asymmetric magnetic reconnection from standard models", The Astrophysical Journal, 828:63 (16pp), 2016

（別紙様式７－２）

太陽フレア爆発のデータ駆動型磁気流体シミュレーション

A data-driven MHD simulation of solar flares

井上　諭（ニュージャージー工科大学）

【研究目的】

太陽フレアは太陽の大気であるコロナで観測される突発的な発光現象である。太陽フレアはしばしば大量のコロナガスを惑星間空間に放出するコロナ質量放出(CME)を伴うことから、その発生機構の理解と予測は宇宙天気予報にとって非常に重要な課題として位置づけられている。本研究は、時系列の光球面磁場を境界条件とした磁気流体力学(MHD)シミュレーションコードを開発し、フレア発生前の磁場構造の再現から、磁場の噴出までの再現を目的とする。

【研究方法】

太陽フレアの発生機構を調べるために光球磁場の時系列データを境界条件とした磁気流体力学(MHD)計算コードを開発する。Hayashi et al.2018では時系列の光球磁場から電場を導出し、上空の磁場を駆動する方法が提案された。この方法をもとに、新たにコードを開発しそのパフォーマンスを調べ、太陽活動領域12371へ応用する。

【研究結果】

コードのパフォーマンスを調べるために、Amariらが実施したMHDの計算を行い、この結果をground-truth dataとして、データ駆動型計算の精度を調べた。Ground-truth dataの底面境界の時系列の磁場から時系列の電場を導出し、その電場をデータ駆動型MHD計算の境界条件として与えた。　その結果、データ駆動計算では、Amariらが見せたような磁気フラックスロープの放出の再現に成功した(図１a)。さらに、活動領域AR12371にも応用し、磁気フラックロープの噴出に成功した(図1b)。図1bの左のパネルはデータ駆動計算で得られた噴出前の磁場構造で、図1cの左のパネルは非線形フォースフリー磁場で得られた磁場である。どちらも、実際のフレアが起きる数十分前の太陽表面観測磁場を用いて再現された。これらの結果から、データー駆動計算で得られた磁場と非線形フォースフリー近似で外挿された磁場構造は全く異なることがわかった。また、図1cから非線形フォースフリー磁場は噴出を起こさないことから物理的な安定性も異なることがわかった。

【考察・まとめ】

データ駆動計算はフレア直前の磁場構造などをよく再現することはわかったが、フレア後は光球面の磁場の緩和がされず、またフレアからのバックリアクションなどの情報が含まれることから、フレア後においても過度に磁場がねじられることがわかった。一方、フレア後に電場の駆動を止めると、ポストフレアループなどのフレアに伴う現象はよく再現されたが、境界の磁場の時間発展は観測磁場と矛盾することがわかった。本研究から信頼できるデータ駆動計算を実施するためには、方法だけではなく磁場観測の技術の向上も望まれることが示唆された。

【成果】

1. S. Inoue, K. Hayahis, & T. Miyoshi, “An Evolution and Eruption of the Coron al Magnetic Field through the Data-driven MHD Simulation”, Under Review b y ApJ
2. S. Inoue, K. Hayashi, T. Miyoshi et al., ‘What is Required Toward Reliable S olar Data-based Magnetohydrodynamic Simulation’, To be submitted.

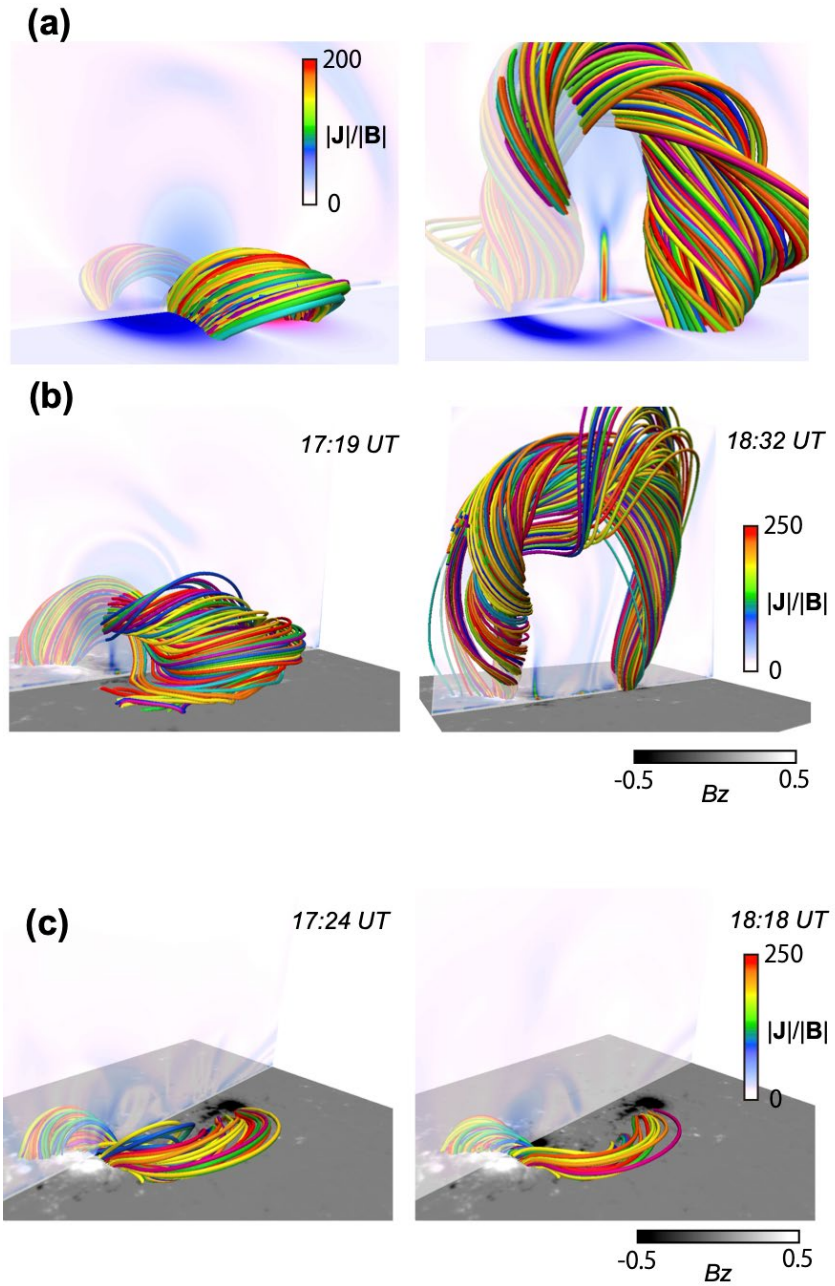


図1 (a) Ground-truth dataの境界条件を用いて実施したデータ駆動型計算。(b) 活動領域AR12371のデータ駆動型計算。時系列の太陽面観測磁場データを用いて実施された。(c) フレア発生直前の非線形フォースフリー磁場と、非線形フォースフリー磁場を初期条件として与えたMHD計算。

（別紙様式７－２）

太陽放射の短期変動に伴う中間圏大気組成変動影響の研究
Study on influence of short-term variation of solar radiation on chemical composition in the mesosphere

長濱智生、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

本研究は太陽フレアや日食等の太陽放射の短期変動時の中間圏大気組成変動をラグランジュ型化学輸送モデルによる実験により再現し、人工衛星による中間圏オゾン観測データ等と比較検討することで太陽放射の短期変動の中間圏大気環境への影響を評価することを目的としている。そのために、我々はこれまで気象場の再解析データを用いてラグランジュ型流跡線解析モデル上で放射場と各種化学反応の計算を行うラグランジュ型化学輸送モデルの開発を進めてきた。このモデルは粒子の流跡線及び拡散計算には FLEXPART、波長ごとの太陽放射計算には libRadtran、化学反応計算には FlexChem を用い、それぞれを時間ステップ内で結合させて各粒子の位置で中性分子とイオンの化学反応計算を行い、観測地点上空を通過する粒子の流跡線上で組成の時間変化を追うものである。本手法で全球の大気組成変動を求めるには 100 万粒子規模の計算を必要とするため、各プロセスの計算では並列化などの高速化が不可欠である。具体的には、これまで Corei7 プロセッサー1 コアで粒子数 300 個に対して 10 秒タイムステップで 1 日後の大気組成分布計算を行った場合、約 1 日の計算時間を要しており、目標を実現するには少なくとも 4 桁程度の速度向上が必要である。

2 年計画の初年度は、ラグランジュ型化学輸送モデルの化学反応計算部について高速化を行った。従来は常微分方程式である反応速度方程式を、FlexChem ライブラリをそのまま用いて計算を行っていたが、100 万粒子ごとに化学反応計算が必要な本研究では、膨大な計算時間を要する。そこで FlexChem を OpenMP に対応させて計算の加速化を行った。FlexChem の OpenMP を用いたマルチスレッド化に関しては、同様の手法を採用している 3D 化学輸送モデルである GEOS-Chem の化学反応計算部を参考に、成層圏・中間圏の中性成分の化学反応式に対して導入した。その結果、複数スレッドによる並列計算によりスレッド数の増加に対して 0.85 倍の加速が得られた。実際に前述の条件（粒子数 300、10 秒タイムステップ、 1 日後の組成分布計算）でのテスト計算では、4 コア 4 スレッドを使って約 7 時間で完了した。今後、太陽放射計算部についても同様の高速化を図りつつ、粒子位置計算についても OpenMPI による並列化を進めるが、次年度は手持ちのリソースよる開発を中心の進め、必要な段階に達したときに共同利用申請を行う予定である。

また並行して、化学輸送モデルによる日食時の中間圏微量成分変動のシミュレーションを行った結果と比較を行うために、日食時の衛星観測データの整備を行った。2009 年 7 月 22 日の皆既日食及び 2010 年 1 月 15 日の金環日食時の中間圏オゾンの高度分布と時間変動を、AURA/MLS による観測データ（L2 及び L3 帯状平均 version 4.2 データ）を使って求めた。その結果、高度 50 から 58 km の範囲で中間平均濃度に対して約 15-20%の増加が検出された。今後、全球でのシミュレーションに対応した各微量成分の観測データを整備し、我々のモデル計算との比較を進める。

成果発表

Tianliang Yang and Tomoo Nagahama, Time Variations of Mesospheric Ozone During the Solar Eclipse Observed with AURA/MLS, 15th Quadrennial Solar-Terrestrial Physics symposium (STP-15), online, 21-25 February 2022.

（別紙様式７－２）

高時間分解能の非線形フォースフリー磁場計算による MHD不安定性発達の研究
A Study on MHD Instability with high time cadence non linear force free field

永田伸一、京都大学・理学研究科、助教

【研究目的】

地球電磁気圏擾乱現象の発生機構の原因となる太陽フレアは、巨視的な電磁流体力学系であるコロナ磁場に蓄積された自由エネルギーの解放現象と理解されている。すなわち、自由エネルギーを有する巨視的な系が、どのようにして力学的に不安定化し、微視的な不安定性による磁気リコネクションをエンジンとしたエネルギー解放に至るメカニズムを解明することが、正確な地球環境変動予測につながると考えられる。したがって、観測的な観点からは、巨視的な力学系の不安定化の定量的な理解が最も重要な課題の一つであり、太陽フレアを引き起こす活動領域の特徴的な巨視的構造であるフラックスロープ、磁束のつながりの不連続面であるQuasi Separatrix Layerの形成過程が重要な観測・解析対象である。これについては、2010年に打ち上げられたSolar Dynamics Observatory(SDO: Pesnell et al. 2012)衛星に搭載のHelioseismic and Magnetic Imager (HMI: Scherrer et al. 2012)が常時12分間隔で取得する光球磁場と非線形フォースフリー磁場ソルバー(cf. Inoue et al. 2014)の発展に伴い、個別のフレアについてフレア発生前の特徴的な構造が多くの先行研究で報告されている。2017年9月に観測された活動領域AR12673はX9フレアをはじめとした、巨大フレアを複数回起こし、コロナ質量放出(Coronal Mass Ejection: CME)も観測されている(Yang et al. 2017, Inoue et al. 2018, Yamasaki et al. 2021)。この特徴的な活動領域で起こった複数のフレアについて、HMIから3次元磁場を外挿し、京都大学飛騨天文台太陽磁場活動望遠鏡(SMART: Nagata et al. 2014)が取得する高時間分解能(1分)の光球磁場、フィラメントの分布と運動速度の時間発展のデータを比較することで、(1)X9フレア発生に至る活動領域のエネルギー蓄積、不安定化過程を調べ、また、(2)中新領域で空間的に似た増光を示したM5およびM4フレアのコロナ質量放出発生の有無を決める物理機構を調査することを目的とする。

【研究方法】

名古屋大学ISEEにて開発された非線形フォースフリー磁場計算コードを用いて、時系列で得られた太陽表面観測磁場データに基づいた3次元の磁場の外挿計算を行い、コロナ磁場の物理量の時間発展を求めた。特に、フレア発生前の磁場の進化(エネルギー蓄積過程)とフレア前後(エネルギー解放前後)の特徴としてM5フレアおよびM4フレア発生の1時間前、5分前、40分後について、それぞれ光球面の磁気フラックス、磁気自由エネルギー、磁力線の捻れ(Berger & Prior 2006)、理想MHD不安定のひとつであるトーラス不安定の指標となるDecay index(Kliem & Török 2006)、さらにダブルアーク不安定の指標となるκパラメータ(Ishiguro & Kusano 2017, Kusano et al. 2020)の時系列変化について定量的な解析を行った。さらに、SDO / Atmospheric Imaging Assembly (AIA; Lemen et al. 2012) による紫外線1600ÅでのMフレアの撮像観測データによる増光箇所と外挿された磁場構造の対応を調査した。

【研究結果】

図1に示した通り、M5フレアの発生前1時間には活動領域の中心部分で磁気自由エネルギー、

フレアに関わる磁力線構造の捩れフラックス、κパラメータの値はそれぞれ減少傾向を示した。また、M4フレアの発生前1時間には活動領域の中心部分でこれらのパラメータの値はそれぞれ増加傾向を示した。他方、M5フレア後には噴出を伴うCMEが観測され、M4フレア後には噴出現象は観測されなかった。

【考察】

M5フレア発生前に活動領域の中心部分で磁気自由エネルギー、フレアに関わる磁力線構造の捩れフラックス、κパラメータの値はそれぞれ減少傾向を示した理由は、活動領域上空での磁気リコネクションによって大局的な磁場構造が緩和したためであると考えられる。また、この活動領域上空の大局的な磁場構造の緩和が噴出現象につながったと考えられる。他方、M4フレア発生前には、M5フレア発生前に見られたような上空での緩和がなかったため、噴出に至らなかったと考えられる。大局的な磁力線構造の緩和の観測的な証拠として、図2に広視野の活動領域の増光を示した。M5フレア発生時点において、フレア領域の外側にも増光が確認される。一方で、M4フレア発生時点においては確認されていない。このフレア領域の外側で見られた増光は上空での磁気リコネクションによるものと考えられる。

【引用文献】

Berger, M. A., & Prior, C. 2006, Journal of Physics A
Inoue, S., Magara, T., Pandey, V., S. et al. 2014, The Astrophysical Journal
Inoue, S., Shiota, D., Bamba, Y., et al. 2018, The Astrophysical Journal
Ishiguro, N., & Kusano, K. 2017, The Astrophysical Journal
Kusano, K., Iju, T., Bamba, Y. et al. 2020, Science
Lemen, J. R., Title, A. M., Akin, D. J., et al. 2012, Solar Physics
Liu, L., Cheng, X., Wang, Y., & Zhou, Z. 2019, The Astrophysical Journal
Nagata, S., Morita, S., Ichimoto, K., et al. 2014, Publications of the Astoronomical Society of Japan
Pesnell, W. D., Thompson, B. J., & Chamberlin, P. C. 2012, Solar Physics
Scherrer, P. H., Schou, J., Bush, R. I., et al. 2012, Solar Physics
Yamasaki, D., Inoue, S., **Nagata, S.**, & Ichimoto, K., 2021, The Astrophysical Journal
Yang, S., Zhang, J., Zhu, X., & Song, Q. 2017, The Astrophysical Journal Letters

【成果発表】

(1) 学術雑誌に発表した論文、著書
現在、The Astrophysical Journalへの投稿論文を準備中である

(2) 国際会議における発表
1. 著者: Yamasaki, D., Inoue, S., Kusano, K., Ishii, T., T., Asai, A., **Nagata, S.**, & Ichimoto, K.
題目: "Investigation on the Evolution of the Nonpotential Magnetic Field and the Onset Mechanism of the Successive M-class Solar Flares in the Active Region NOAA 12673 Based on a Nonlinear Force-Free Modeling" (oral)
学会名: AGU Fall meeting 2021, New Orleans, USA, 2021 Dec.

(3) 国内学会、シンポジウムにおける発表
1. 著者: Yamasaki, D., Inoue, S., Ishii, T., T., Asai, A., **Nagata, S.**, & Ichimoto, K.
題目: "Onset Mechanism of the Successive M-class Solar Flares in the Solar Active Region 12673 Based on a Nonlinear Force-Free Modeling" (oral)
学会名: 日本地球惑星科学連合2021年大会、オンライン、2021年6月

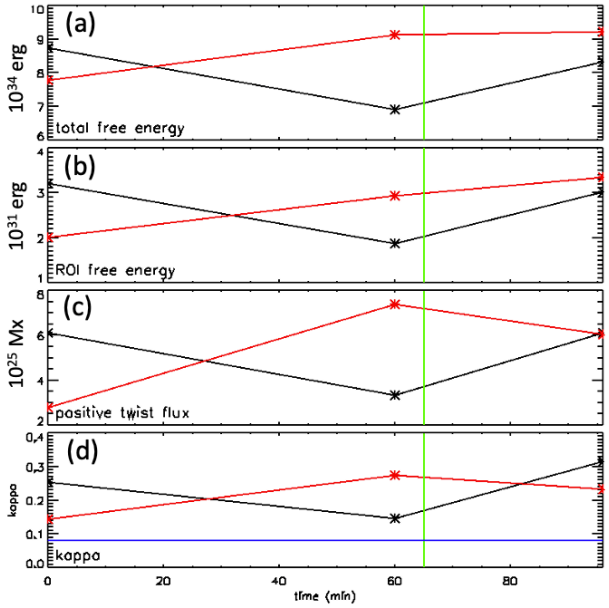


図 1. M5 および M4 フレア発生 1 時間前から 40 分後までの物理量の時間変化．黒実線が M5、赤実線が M4 フレアに対応．緑実線はフレア初期発光時刻. (a) 活動領域全体の磁気自由エネルギー, (b) 活動領域中心，フレア発生箇所の磁気自由エネルギー, (c) フレア発生箇所の捩れフラックス, (d) κ パラメータ，ただし青実線は理論モデルにおけるダブルアーク不安定の臨界値.

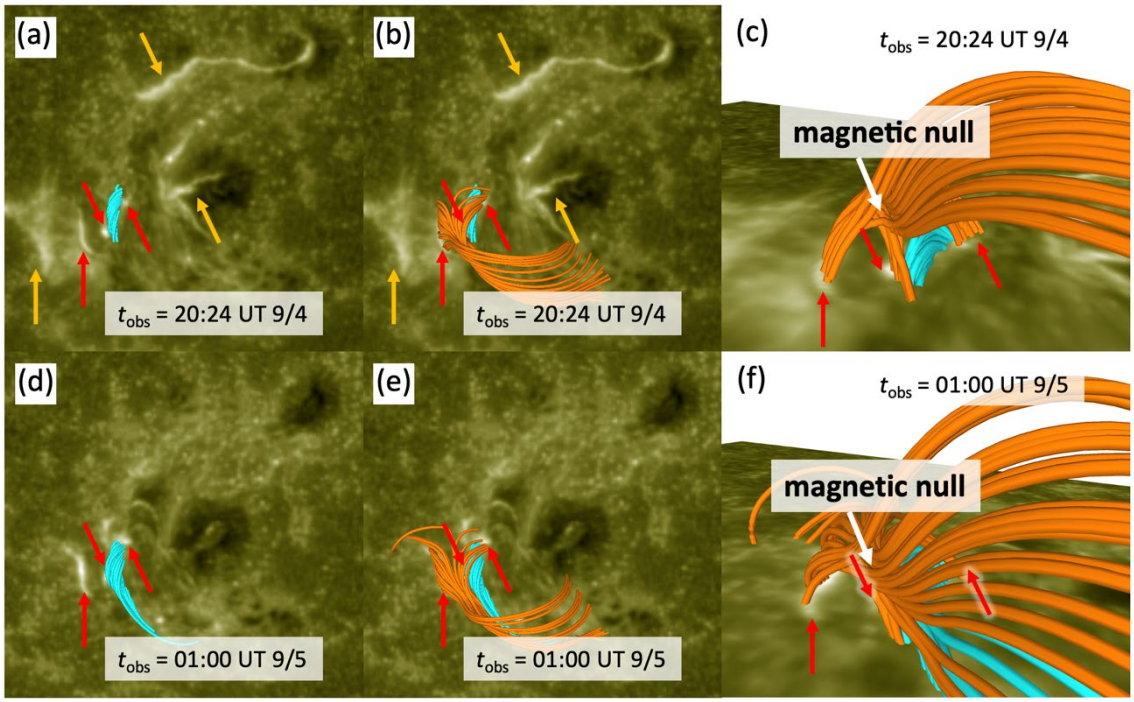


図 2. M5 および M4 フレアの初期発光時の AIA 1600 Å画像と磁力線構造．青線はフレアに関わる捩れた磁力線構造で，橙線は周辺の磁場構造．赤矢印は初期発光箇所. (a-c) M5 フレア，黄矢印は大局的な増光箇所, (d-f) M4 フレア.

（別紙様式７－２）

雲解像大気モデルを用いた降水現象の予測と気候応答に関する研究
Studies on Prediction and Regional Climate Response for Precipitation Phenomena Using Cloud-Resolving Model

若月泰孝　茨城大学・理工学研究科（理学野）

研究目的

雲解像大気モデルは、地域スケールの豪雨の予測、気候再現や気候変化予測において重要な役割を果たしている。高解像度の雲解像モデル実験で積乱雲や積乱雲群が再現可能となるため、長期間にわたって計算すれば、豪雨頻度の気候変化予測計算などを実施することができる。日本でのこのような計算は、気候変化予測プロジェクトで実施され、気象庁・気象研究所のNHM（もしくはNHRCM）、アメリカで開発されたWRF、名古屋大学で開発されたCReSSなどのモデルが多くの実績を持っている。本研究では、それらの性能を生かした雲解像大気モデルを用いた大規模数値シミュレーション研究を実施する。さまざまなテーマの研究を扱っているが、その中で、申請者は、①豪雨の短時間の振る舞いの予測技術開発、②豪雨をもたらす現象（線状降水帯など）のメカニズムの解明、③台風などの豪雨災害をもたらす現象の気候応答、④その他の領域気候応答研究を実施する。これらの目的の中から、今年度は①と②の研究を主に共同研究として実施した。

研究方法

まず①の研究では、2015年に開発された上流下層加湿法の改良手法を研究した。上流下層加湿法では、積乱雲に伴う豪雨をレーダで探知し、それをその上流側の20分程度前の時刻の下層大気を加湿することで、積乱雲を前の時刻の風上側に発生させる技術である。ただし、上流側を加湿するだけでなく、より現実的な積乱雲の初期構造を開発した。この積乱雲の初期構造をさまざまな大気環境に置くことで、積乱雲の集団化メカニズムや線状降水帯の形成メカニズムについて研究した（②）。

研究結果

スケールの小さい線状降水帯事例として知られる広島豪雨は、線状降水帯の上流側の同じような場所で次々に積乱雲が発生したことで、停滞性の線状降水帯が形成され、その結果として200mを超える豪雨が観測された。この上流部の大気環境構造を一様に空間に与えて、積乱雲の初期構造を置くことで、積乱雲の集団化や線状降水帯の形成について調査した。この大気プロファイルは、積乱雲が発生しやすい大気構造をもっており、比較的湿潤な環境であった。また、風向が下層で南風、中層で南西風となるような風の鉛直シアを伴っていた。大気モデルとして気象庁NHMを用い、水平解像度を500mとした。ここで、積乱雲の初期構造を1個置いた場合と、下層の風に直交する東西方向に3つ並べた実験を行った。その結果の降水量分布を図1に示す。これによると、積乱雲の初期構造を3個置いた場合に線状降水帯に似た降水分布が再現された。この現象は、2つの点で重要な要素があることを示していた。1つ目は、3つ並べることで、数10kmスケールの収束流が下層にできて、それが単発積乱雲を集団化した積乱雲にしていたことである。初期構造には、下層に弱い収束流を伴っている。2つ目は、積乱雲群の北側（下層風の下流側）に高気圧偏差を形成したことである。この高気圧偏差からの発散流が、持続的な風上側での積乱雲形成に重要な役割を果たしていたと考えられる。

次に温度構造のある環境下での積乱雲の集団化実験を行った。線状降水帯が東西に分布するように広島豪雨の上流の風を回転させた。また、観測などを参考にして、北側下層に低温域を置いた。そして、南風がある場合とない場合で、比較実験を実施した。その結果、南風を置いた場合にのみ、線状降水帯が形成された。南北の気圧偏差を調べた結果（図2）、南風が北側に高気圧偏差を形成し、高気圧偏差が発散流を形成することで、持続的な収束が形成され、線状降水帯が維持されていたことがわかった。

これらの研究は、若月と佐藤(2021)で発表された。

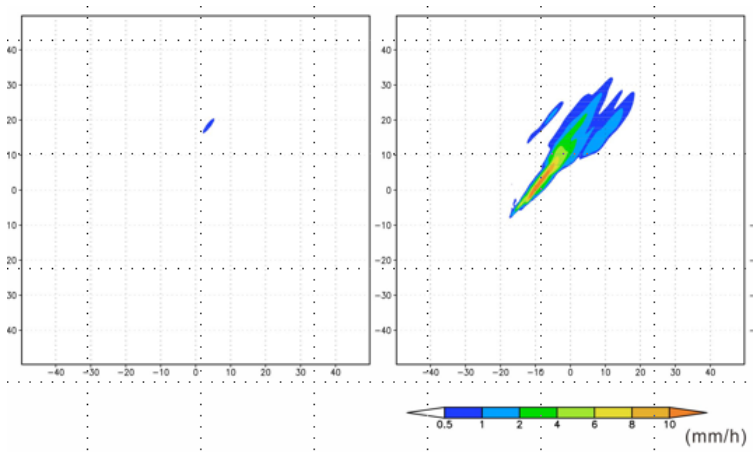


図１：積乱雲の初期構造を（左）1個と（右）3個の場合の降水量分布．60～90分後の平均降水量

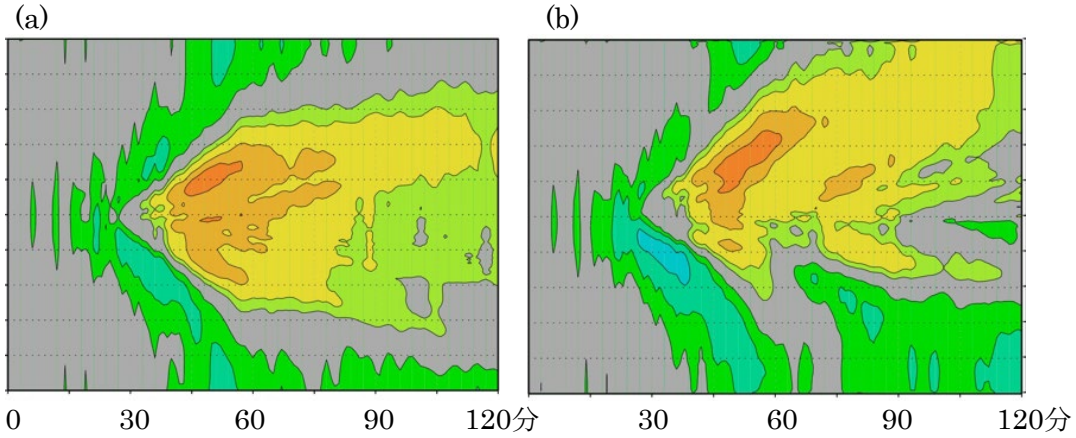


図２：南北温度傾度を置き、生成される降水システムの南北の気圧分布の時系列．(左)下層の南風がない場合．(右) 下層に南風を置いた場合．

引用文献

若月泰孝，佐藤未笛，2021：仮想大気環境場での線状降水帯の数値実験．日本気象学会2021年度春季大会，SP6-09+

プラズマ密度構造から探る太陽圏境界変動
Exploring heliopause fluctuations in association with plasma density structures

坪内　健、電気通信大学・情報理工学研究科

【研究目的】

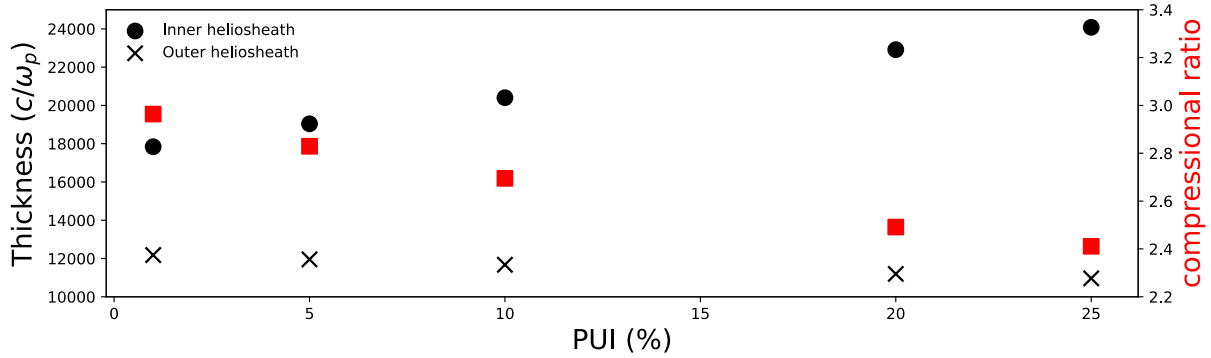
近年の観測研究の進展によって、太陽圏境界（heliopause、以下HP）近傍のプラズマ環境に関する理解は急速に深まっていると同時に、新たな課題も数多く明らかになってきた。本研究では特に、太陽風と星間物質の間で物質やエネルギーの交換をもたらすHPの動的な構造変動現象に着目する。その物理特性を解明する鍵となるのがピックアップイオン（PUI）の振舞である。PUIは太陽風プラズマと星間中性粒子との電荷交換によって生成される荷電粒子で、背景プラズマと比べて2~3桁高い熱エネルギーを持つことから、HP近傍領域におけるエネルギー密度の主成分であり、太陽圏を支える圧力の大半を担っている。PUIは更に中性粒子との電荷交換を通じて高速中性粒子となった一部が地球を周回するIBEX衛星などで検出可能で、HP環境の痕跡を知る手がかりにもなっている。2025年に打上げ予定の後継ミッション（IMAP）では、より空間・時間分解能の高い粒子運動スケールの観測が期待されることを踏まえ、衝撃波や不安定性といったプラズマ環境に出現する物理現象にPUIダイナミクスが及ぼす影響を数値シミュレーションによって定量的に検証することが本研究の目的である。

【研究方法】

本研究では1次元ハイブリッドコード（イオンを個別粒子、電子を流体として扱う）を用いたシミュレーション計算を名古屋大学情報基盤センターのスーパーコンピューターで行った。本年度は太陽圏外縁部のスケールとPUI密度の関連性に焦点を当て、初期状態では太陽風プラズマと星間プラズマを密度比10の不連続面を介して一様に配置し、PUIは太陽風側にのみ、太陽風速度に該当する速度を磁場垂直面内のリング状分布として与えた。生成されるTSが垂直衝撃波となるように、磁場はシミュレーション空間に対して垂直方向に与えた。太陽風プラズマを太陽風側のパラメータで定義されるアルフベン速度の10倍の速度でシミュレーション空間内に常時注入して星間プラズマに直接衝突させて、その反動でHPから太陽風側に終端衝撃波（termination shock、以下TS）、星間空間側に外側衝撃波をそれぞれ自発的に生成させた。空間グリッドを0.5プロトン慣性長、時間ステップを0.06ジャイロ周期に取り、総空間スケール10万グリッド（2.8天文単位に相当）、40万時間ステップ（309時間に相当）に渡る計算を行うことで、IHS・OHS領域のスケールを十分に確保した。

【研究成果】

太陽圏外縁部は、HPを挟んでTSまでの太陽風側領域（inner heliosheath、以下IHS）と外側衝撃波までの星間空間領域（outer heliosheath、以下OHS）で構成される。本研究では全プラズマ密度に含まれるPUIの割合を1, 5, 10, 20 25%と変えて、太陽圏外縁構造の発展過程を再現した。計算結果より、PUI密度とIHS、OHSの空間スケール、更にTSにおけるプラズマ圧縮率の間の関係を下図に示す。



図：PUI密度とIHS（●），OHS（×）の厚み、TSにおけるプラズマ圧縮率（■）の関係。

この図からは、OHSのスケールがPUI密度にあまり依存していないのに対して、IHSはPUIの割合が増えるほ

ど厚みを増していることがわかる。TSでのプラズマ圧縮率は先行研究でも既に明らかにされているように、PUI密度の増加に伴って低下している。これは、衝撃波上流で実効的な熱エネルギーの高いPUIが混合することでプラズマ β が増加した結果、磁気音波の位相速度が上昇してマッハ数が低下することによる。注入する太陽風全量が変わらないことから、TSでの圧縮率が低い場合はIHSの体積が増えることでプラズマ総量が一定に保たれる。一方OHSにはPUIの影響が及ばないので、太陽風中のPUIの割合に関係なくプラズマ環境が変わらず、空間的な広がりにも変化は生じていないと考えられる。

【考察】

太陽圏外縁部の物理環境については、近年のVoyager探査機による直接探査およびIBEX衛星によるHP領域由来の粒子観測によって、従来のモデリングでは仮定として導入していた各種物理パラメータが実測値に置き換えられつつある。特に不定性の大きかったPUI密度に関してもNew Horizons探査機の観測からの外挿で、TS近傍では全プラズマの25%程度を占めることが示唆されている。HPやTSといった境界領域の位置は太陽風と星間空間との圧力バランスによって決まってくるが、PUIの寄与が本質的に重要であることは明らかであり、その定量性のより精確な評価が今後益々必要とされる。本研究で示したPUI密度とIHSの厚みの間に見られる関係を用いて、実際に観測されたHPやTSの位置から逆にPUIの密度・エネルギーを推定することが期待できる。

【成果発表】

1. K. Tsubouchi, Variations in the pickup ion density structure in response to the growth of the Kelvin-Helmholtz instability along the heliopause, The Astrophysical Journal, vo.915, doi:10.3747/1538-4357/ac01d6, 2021
2. 坪内　健、Energy density composition in the inner heliosheath affected by pickup ions、第150回地球電磁気・地球惑星圏学会、（オンライン）、2021年11月

（別紙様式７－２）

恒星放射・恒星風・惑星固有磁場が地球型系外惑星からの大気散逸機構に与える影響の研究

Effects of stellar conditions and planetary intrinsic magnetic field on atmospheric escape processes from terrestrial exoplanets

関華奈子、東京大学大学院理学系研究科

地球型惑星の表層に安定して液体の水が存在できる可能性のある中心星からの距離の範囲をハビタブルゾーンと呼ぶ。2018 年に打ち上げられた NASA のトランジット系外惑星探索衛星 TESS は昨年、太陽系外の恒星系のハビタブルゾーン内に地球サイズの惑星 TOI 700d を初めて発見した。TESS は、特に、地球の近くに存在する明るい恒星を観測することで系外惑星を発見することを目的にしており、今後、いくつか第二の地球の候補惑星が見つかると期待されている。ハビタブルゾーンに惑星があっても、惑星表層に水を安定して保持するには、一定気圧以上の大気が必要である。従って、実際にその地球型惑星がハビタブル環境を持つかどうかは、その惑星がどういった大気を保持できるかに依存している。特に、系外惑星探索では、ハビタブルゾーンが中心にある恒星(主星)に近い M 型矮星等に発見されることが多く、太陽のような G 型星より主星の活動度が高いため、強い恒星 XUV 放射や恒星風による宇宙空間への惑星大気の散逸を推定することが、重要な課題となっている。本研究では、これまで申請者らが、太陽系内の惑星からの大気散逸研究に適用してきたグローバル多成分 MHD モデルを系外惑星に応用することで、M 型矮星まわりの地球型惑星が大気を保持できる条件を調べることを目的としている。

研究初年度である 2021 年度には、上述の系外惑星 TOI 700d からの電離大気散逸シミュレーションを行った。この系外惑星系の中心星である TOI 700 は、大きさと質量が太陽の 42%ほどの M 型矮星であり、表面温度は約 3500K である。TOI 700d は、この M 型矮星のハビタブルゾーンに見つかった系外惑星で、周期 37 日で公転している地球型惑星であり、地球の約 1.4 倍の質量を持つと推定されている。更に、11 か月間の追観測中に主星のフレアが見られなかったことから、TOI 700 は M 型矮星の中では活動度が低いと推定されており、大気を保持できる可能性が高い。そこで本研究では、こうした恒星の活動度から推定された恒星風や恒星 XUV 放射を数値シミュレーションの境界条件やインプットパラメータとして与えることで、系外惑星 TOI 700d からの電離大気散逸のシミュレーションを行った。その結果、M 型星の強い XUV 放射の中では CO_2 大気を保持するのが難しいこと、恒星風のパーカースパイラル角が小さいことで電離大気流出が抑制されることが明らかとなった。また惑星表面で 1000 nT 程度の固有磁場を惑星が持つ場合には、大気散逸が抑制され、長期間大気を保持することが可能になることも示された。

08）データベース作成共同研究　目次詳細

所属・職名は2022年3月現在

2021年度　　4件

研究代表者 Principal Investigator	所属機関 Affiliation	所属部局 Department	職名 Position	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	292	
大矢　浩代	千葉大学	大学院工学研究院	助教	AVONのVLF/LF帯電磁波データのデータベース化	294	
相田　真里	宇宙航空研究開発機構	研究開発部門	研究開発員	準天頂衛星システム(QZSS)で計測された内部磁気圏磁場データベースの作成	295	
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	298	

（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。

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。

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．方法と結果

2021年度は、女満別の1965年と鹿屋の1965～1966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1,120枚の高精度スキャニング作業（光学解像度600dpi）を外注した。得られたデジタル画像は、既に稼働しているWWWサーバ（地磁気観測所ホームページ「デジタルデータサービス」）から提供している。デジタル画像の例を図1に示す。なお、デジタル画像からの数値化（毎分値、7.5秒値）も進めており、順次公開している。

３．まとめ

2012年度から2021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

○増子徳道・長町信吾・森永健司・能勢正仁、Digitization of Japanese historical analogue magnetograms ? sampling 1-minute and 7.5-second values from the scanned images、IAGA-IASPEI Joint Scientific Assembly 2021、オンライン開催、令和3年8月23日

○有田真、地磁気観測成果のデータベース化、令和3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4年3月2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年度　名古屋大学宇宙地球環境研究所　データベース作成共同研究

また、同サイトの本共同研究に関連する英語ページでは、「the Joint Research Program of the Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE), Nagoya University」の成果を含むことを表示している。

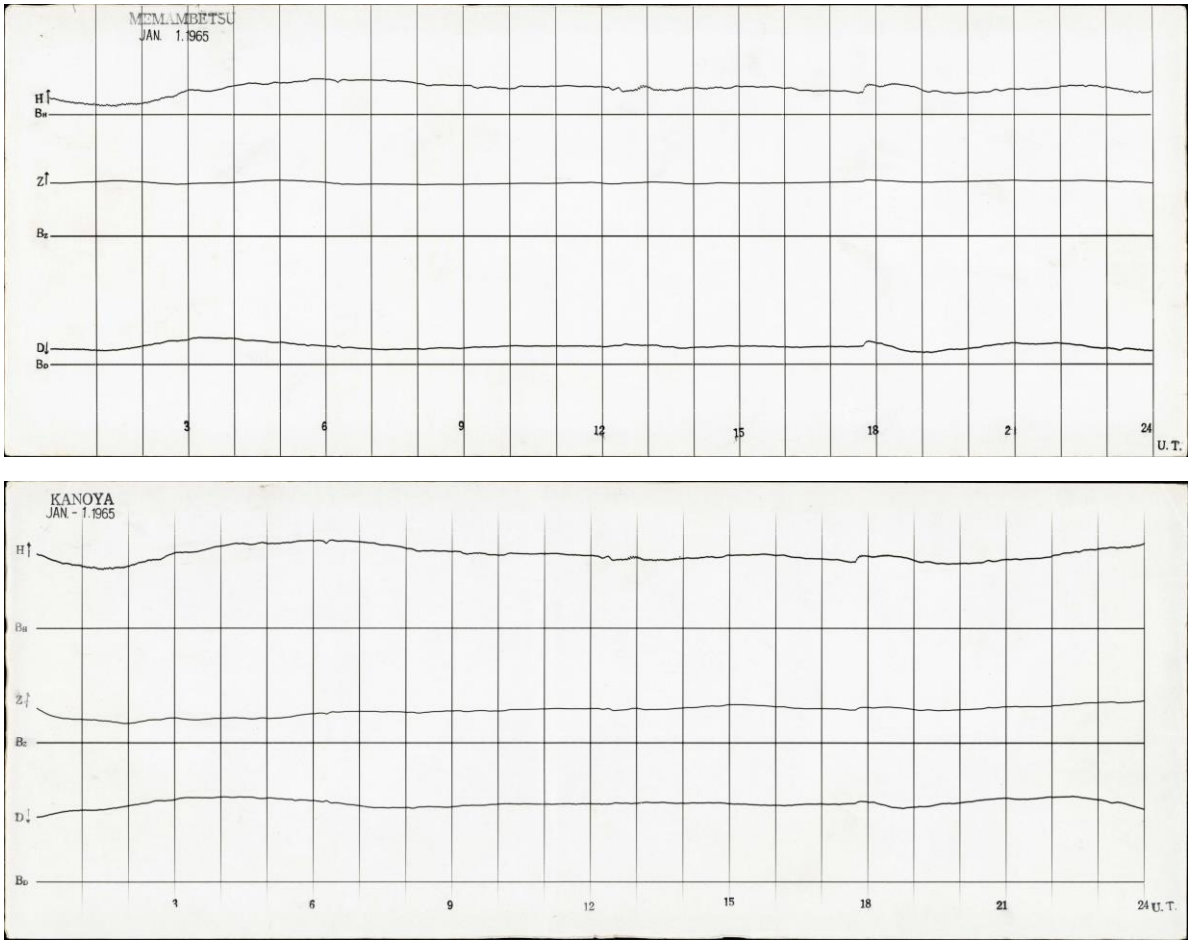


図1　デジタル画像化されたアナログマグネトグラムの例（上：女満別、下：鹿屋）
水平成分(H)、鉛直成分(Z)、偏角(D)の変化が記録されている。日時はUTC。

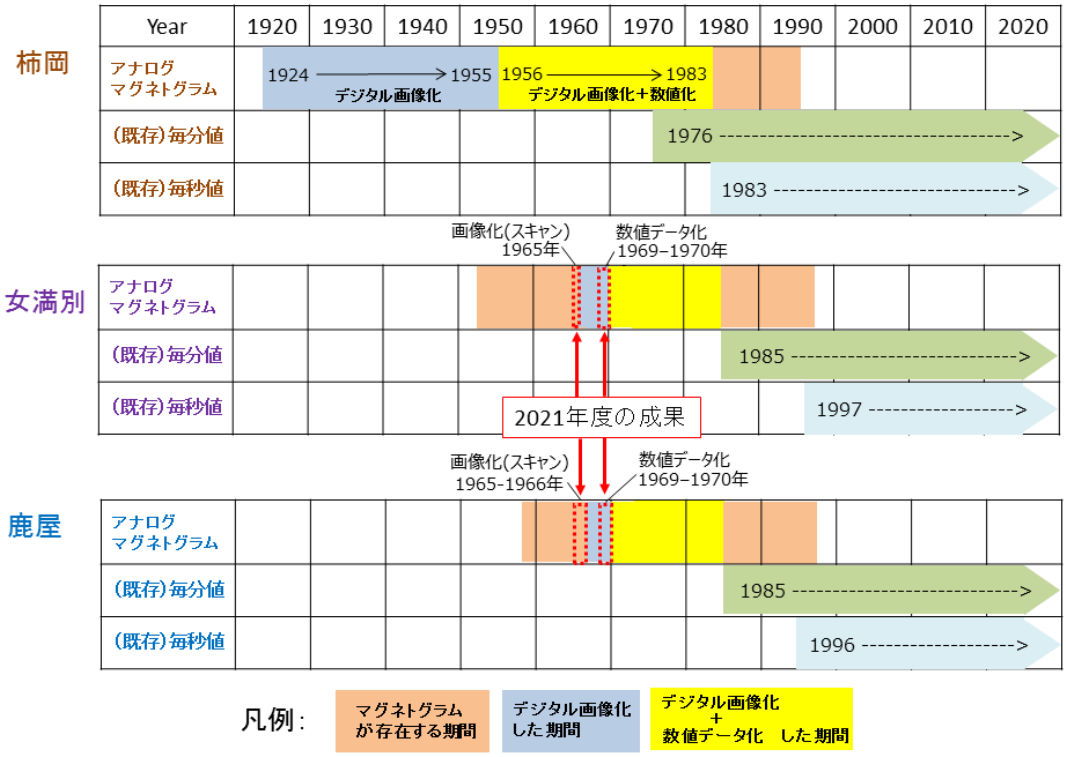


図2　2021年度までに実施されたアナログマグネトグラムのデジタル化作業のまとめ
デジタル画像及び数値化（毎分値、7.5秒値）したデータは全て公開している。

（別紙様式８－２）

AVONのVLF/LF帯電磁波データのデータベース化
Data archives of the VLF/LF electromagnetic waves for AVON

大矢　浩代、千葉大学・大学院工学研究院

1. 研究目的

本研究目的は，東南アジアVLF帯電磁波観測ネットワーク(AVON)で得られた広帯域水平磁場2成分（南北および東西方向，0-10 kHz）と，LF/VLF帯標準電波(22.2-68.5 kHz)の強度および位相データのデータベース作成である。水平磁場２成分およびLF帯標準電波のサンプリング周波数は，それぞれ20 kHz と 200 kHz であり，水平磁場２成分については、生波形とダイナミックスペクトルを、LF/VLF帯標準電波は最高で0.1秒分解能の振幅・位相データを、IUGONET（http://search.iugonet.org/list.jsp）を通して公開する。本課題で作成するデータベースにより，東南アジアを中心とした主に中低緯度帯のD領域・下部E領域電離圏研究に貢献できる。その理由は，AVONが東南アジアにおける初めての雷観測ネットワークであり，雷を起源とし、電離圏下端で反射しながら伝搬するtweek空電を非常に数多く受信できるためである。また名古屋大学宇宙地球環境研究所（名大ISEE)が1976年から定常観測している国内でのVLF/ELF帯電磁波データベースと組み合わせて，中低緯度帯の下部電離圏の長期変動解明に貢献できる。

2. データベース作成

AVON全5地点中4地点のVLF/LF帯電磁波データをCDF化し，データベースを作成し，IUGONETを通して2021年1月まで公開した。図１にIUGONETから本データベースを検索したときの結果を示す。VLFデータは1地点あたり1年間で 8 TB のHDDを必要とした。VLFデータはこれまで保管していた東北大サーバから千葉大サーバへ移行中であり、現在は一時的に未公開となっている。

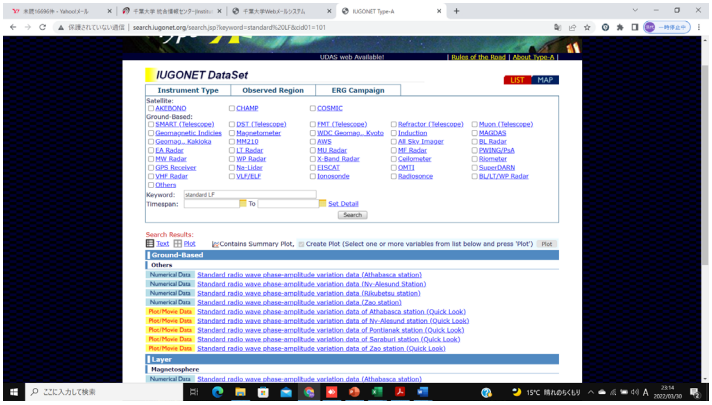


図 1　IUGONET Type-A での AVON 検索画面（http://search.iugonet.org/search.jsp?keyword=standard%20LF&cid01=101）。

成果発表

[1] 大矢浩代、土屋史紀、Jaroslav Chum、高村民雄、塩川和夫、2022年1月15日トンガ噴火に関連した大気電場およびVLF/LF帯標準電波の変動について 、2021年度第2回STE現象報告会、オンライン、2022年3月8日。

（別紙様式８－２）

準天頂衛星システム(QZSS)で計測された内部磁気圏磁場データベース
Creation of Database of geomagnetic field in the inner magnetosphere measured by Quasi-Zenith Satellite System (QZSS)

相田 真里、宇宙航空研究開発機構・研究開発部門

1. 研究背景・目的

準天頂衛星システム(QZS)は、「8の字衛星」の呼称で親しまれているQZS衛星群からなる。現在1-4号機の4機が運用中であるが、そのうちの1号機(QZS-1)、2号機(QZS-2)、4号機(QZS-4)にはフラックスゲート磁力計が搭載されており、磁気赤道面から離れた内部磁気圏における地球磁場の変化を継続して計測している。本データの一部は、すでに宇宙航空研究開発機構(JAXA)で保有するデータベースシステム(SEES)で公開している。しかし、これらの磁場データは、衛星座標系のデータ形式であることやオフセット値が考慮されていない等の理由から、データ較正が不十分であるため、科学解析を行うための磁場データとして利用することは困難であった。本研究では、QZS-1、-2、-4の磁場データを科学解析に利用できる形へ座標変換することや、データフォーマットの策定を行い、研究者が利用しやすいデータベースの作成を目的として、データの較正を実施した。また作成したデータベースは、SEESのホームページなどから公開し、ユーザのデータ利用率向上を目指す。

2. 方法と結果

以下で述べる方法では、2台の磁力計を有するQZS初号機の場合を例とする。2010年9月-2016年12月から、1日の Kp指数の最大値が0.3以下の日のみを対象とした（1日を通してKp指数が 0oか0+であるもの）。次にこの対象について、XYZ各軸の観測値とIGRF12+Tsyganenko 89c のKp=0の時のモデル値と並列プロットを行い、UTで1時間ごとに観測値およびモデル値の平均を計算し、その差 (B_diff)もプロットした。最後にB_diffの値(オフセット値)が約6年間でどのような値になっているかをグラフ化した。その結果 、(1)ノイズに埋もれないデータがある程度存在し、(2)比較的 UT 依存が小さく、(3)EC姿勢 -YS姿勢間の差が小さい、09-18 UTの時間帯のみを用いて、利用できるデータ点をすべて平均したとき、オフセット値は表1のように評価した。QZS-2、QZS-4に搭載される磁力計は1台となるが、ベースとなる評価方法は初号機と同様である。本研究より得られた較正レベルの磁力計データについては、JAXA SEESのデータベースサイトから近く公開 する予定である。また、デジタルオブジェクト識別子(D OI)を付与し、データ引用を促す。参考までにランディングページのレイアウトを図1に示す。

表1　QZS初号機に関する2台の磁力計と各姿勢におけるオフセット値

	EC姿勢	YS姿勢	全て
MAM1 X	58.17 nT	60.87 nT	59.84 nT
MAM1 Y	408.33 nT	410.66 nT	409.76 nT
MAM1 Z	-203.87 nT	-200.33 nT	-201.69 nT
MAM2 X	-527.24 nT	-528.67 nT	-528.38 nT
MAM2 Y	-202.12 nT	-199.29 nT	-199.87 nT
MAM2 Z	483.72 nT	471.94 nT	474.37 nT

図1　JAXA　宇宙環境計測情報システムのランディングページ公開例

3. まとめ

本研究では、すでに JAXA で取得済である QZS-1、-2、-4 の磁場データを科学解析に利用できる形へ座標変換やオフセット値の決定、データフォーマットの整備等を実施した。またデータ利用ユーザの利便性向上のため、簡易プロット機能の追加やデータ公開に向けた研究データサイトの環境整備等も進めた。これらの QZS　磁力計データについては、さらにデータの較正精度レベルの向上も視野に入れ，近日 JAXA　SEES のデータベースより公開予定である。

4. 謝辞

本研究では，本共同研究に加え，名古屋大学　ERG サイエンスセンターの方々の協力をいただき簡易プロット機能の IDL プログラムの作成にご協力いただきました。末筆ではありますが感謝申し上げます。

5. 成果発表

1. Imajo, S., Nosé, M., Aida, M., Matsumoto, H., Higashio, N., Tokunaga, T., & Matsuoka, A. (2021). Signal and noise separation from satellite magnetic field data through independent component analysis: Prospect of magnetic measurements without boom and noise source information. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 126, e2020JA028790. https://doi. org/10.1029/2020JA028790

2. 相田 真里, 東尾 奈々能勢, 松本 晴久, 木本 雄吾, 上野 遥, 今城 峻, 能勢 正仁, 宇宙環境計測情報システム(SEES)の DOI 導入に向けた検討状況, 第 150 回地球電磁気・地球惑星圏学会, オンライン, S002-09, 2021 年 11 月 2 日

3. 今城 峻, 能勢 正仁, 相田 真里, 松本 晴久, 東尾 奈々, 徳永 旭将, 松岡 彩子, 独立成分分析を用いた人工衛星干渉磁場の分離: 伸展物とノイズ源情報を用いない磁場観測, 第 150 回地球電磁気・地球惑星圏学会, オンライン, 2021 年 11 月 4 日

（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・国際宇宙天気科学・教育センター

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。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。登録された磁場データは、SPEDAS（Space Physics Environment Data Analysis System）に含まれるプログラムからダウンロードして利用することができるようにした。また、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についても、別途処理しデータベース化をおこなった。合わせて、磁場3成分ラインプロット、FFTスペクトログラムを含むクイックルックプロットを作成した。合わせて、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を処理し、クイックルックプロットを作成した。また、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について、データベース化のためのデータ整理を進めた。

09）加速器質量分析装置等利用（共同利用）　目次詳細

所属・職名は2022年3月現在

2021年度　　4件

研究代表者 Principal Investigator	所属機関 Affiliation	所属部局 Department	職名 Position	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
鈴木　康高	京都市埋蔵文化財研究所	調査課	調査研究技師	円如上人御廟所出土火葬人骨の年代からみる被葬者像の検討	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	隕鉄の放射性炭素分析のための新手法開発に関する^{14}C測定	300	
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	301	
谷水　雅治	関西学院大学	理工学部	教授	^{14}C同位体指標用いた海藻生息域の海流季節変化の把握	302	

(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	2022年3月30日
代表者氏名	鈴木康高(すずき やすたか)
所属機関	公益財団法人京都市埋蔵文化財研究所
部局	調査課
職名	調査研究技師

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:	円如上人御廟所出土火葬人骨の年代からみる被葬者像の検討
英文:	Examination of the image of the burial person from the age of the cremation human bones excavated from the En-nyo Shonin Mausoleum

2. 研究体制

氏名	所属機関	国	職名
鈴木康高	公益財団法人京都市埋蔵文化財研究所	日本	調査研究技師
関　晃史	公益財団法人京都市埋蔵文化財研究所	日本	調査研究技師
南　雅代	名古屋大学	日本	教授

3. 研究成果の概要(200字程度でまとめてください)

本研究は、京都市山科区に所在する円如上人御廟所の発掘調査で出土した火葬人骨の年代測定を行い、検出された遺構や出土した遺物の年代などを踏まえ、その性格を明らかにすることを目的とした。年代測定の結果、分析対象とした人骨の年代はいずれも円如の存命期間よりも古い、13～15世紀の年代が得られ、かつ複数個体の人骨が埋葬されていたことが明らかとなった。このことに加え、出土土器と人骨の年代が近しいことから、総合的に判断すると、出土人骨が円如のものとは考え難くなった。その被葬者を具体的に特定することは難しいが、この時期に一般庶民がこの規模の墓を造るとは考えにくく、一定階層、おそらく地域の有力者の墓である可能性が指摘出来た。

4. 成果論文リスト(著者名、タイトル、雑誌名、巻号、ページまたはDoi、年、順番は入れ替え可)

5. 学会発表リスト(著者名、タイトル、学会名、開催場所、年月日)

6. その他の成果リスト(著書、特許等)

鈴木康高『円如上人御廟所』京都市埋蔵文化財研究所調査報告第25冊　2022

(別紙様式9-1) 2021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	2022年3月22日
代表者氏名	髙橋　浩
所属機関	産業技術総合研究所
部局	活断層・火山研究部門
職名	主任研究員

下記の共同研究について、別紙のとおり報告します。

記

1. 研究課題名

和文:	鉄の放射性炭素分析のための新手法開発に関する14C測定
英文:	AMS 14C measurement for development of preparation method for radiocarbon analysis of iron meteorite

2. 研究体制

氏名	所属機関	国	職名
髙橋　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

3. 研究成果の概要(400字程度でまとめてください)

隕鉄からの炭素抽出法として、^{10}Be測定手法(キャリア物質と隕鉄を酸溶解させた溶液から、Beフラクションを抽出する手法)と密閉容器中に発生したCO_2を真空ラインで捕集する水試料の溶存炭酸分析手法を融合し、隕鉄の^{14}C測定のための新手法の確立を行った。
研究計画は、(1)鉄標準試料を用いた酸溶解によるCO_2抽出手法の確立(2)炭素キャリアの検証と炭素キャリアCO_2の定量手法の確立(3)隕鉄の^{14}C測定の実施、の3つの項目である。今年度はこのうち、(1)(2)について主として行った。まず、これまで使用していた反応容器を、隕鉄試料、酸を容器に分離して入れやすいように改造し、この容器を用いてバックグラウンドの検証として、数試料の標準鉄、並びに炭素キャリア試料の^{14}C測定を行った。また、試料からBeフラクションを分離するための陰イオン及び陽イオン交換カラムのセッティングを行った。これらにより、(3)の実際の隕鉄試料の分析の準備が整った。

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)

Takahashi, H. A., Handa, H., Minami, M. (2021) A simple CO2 extraction method for radiocarbon analyses of dissolved inorganic carbon in water samples without a carrier gas. Radiocarbon, 63, 1339–1353.

日高 洋・齊藤天晴・南　雅代・李 承求 (2022) 太陽系初期に分化した惑星物質の年代学的研究: 60Fe–60Ni年代測定法の確立. 名古屋大学年代測定研究, 6, 7–10.

中村俊夫・7名・南　雅代 (2022) 加速器質量分析法による日本刀や古い鉄器類の放射性炭素年代測定. 名古屋大学年代測定研究, 6, 27–34.

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)

南 雅代: AMS-14C分析の温故知新. 2021年度日本地球化学会第68回年会. オンライン. 2021.9.6-10

北川浩之・南 雅代ほか5名:名古屋大学タンデトロンAMS14Cシステムの現状と利用(2021). 第33回(2021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. 2022.1.21

6. その他の成果リスト(著書、特許等)

(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	2022年3月28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(200字程度でまとめてください)

名古屋で捕集したPM2.5について平成29年から令和2年にかけて、月ごとの14C測定を行った。令和2年度に関しては、イラン・クルディスタンで捕集したエアロゾルについても分析を行い、名古屋のPM2.5の14C結果との比較を行った。さらに、新型コロナウイルスにより緊急事態宣言が発令された令和2年4、5月に捕集した名古屋のPM2.5の14C濃度を他の月と比較したところ、明瞭な変化が見られないことがわかった。現在、緊急事態宣言が名古屋において発令された、4月中旬から5月中旬とその前後について測定を行い、発生源指標となる化学成分の情報と合わせて考察中である。

4. 成果論文リスト(著者名、タイトル、雑誌名、巻号、ページまたはDoi、年、順番は入れ替え可)

池盛文数、炭素質エアロゾルの発生起源解明を目指したトレーサー解析手法の開発 (2021)大気環境学会誌、57(1)、24-33.

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・中村俊夫・南 雅代:^{14}Cと有機成分をトレーサーとして用いた炭素質エアロゾルの発生起源解析.第33回(2021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, 2022年1.21.

片岡賢太郎・南 雅代・髙橋 浩・淺原良浩・Asrin Mohammadi・Hossein Azizi:放射性炭素を用いたイラン・クルディスタンの大気エアロゾル中の炭素成分の解析. 2021年度日本地球化学会第68回年会, オンライン, 2021年9.6-11.

片岡賢太郎・南 雅代・髙橋 浩・淺原良浩・Asrin Mohammadi・Hossein Azizi:イラン・クルディスタンの大気エアロゾル中炭素成分の分析. 日本質量分析学会同位体比部会2021, オンライン, 2021年11.10-12.

6. その他の成果リスト(著書、特許等)

(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	2022年3月23日
代表者氏名	たにみずまさはる 谷水雅治
所属機関	関西学院大学
部局	生命環境学部
職名	教授

下記の共同研究について、別紙のとおり報告します。

記

1. 研究課題名

和文:	14C同位体指標用いた海藻生息域の海流季節変化の把握
英文:	Evaluation of seasonal coastal ocean circulation by 14C isotopic tracer recorded in living seaweeds around Japan

2. 研究体制

氏名	所属機関	国	職名
谷水　雅治	関西学院大学	日本	教授
伊藤　茜	関西学院大学	日本	助教
福山　寛伍	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(200字程度でまとめてください)

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、道北産養殖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を推定した。その結果14C量は、初春に生長した先端から初夏に生長した根元に向かってわずかに上昇する傾向がみられた。冬季から春先にかけて支配海流となる寒流系の海流のほうが14Cリザーバー効果が大きく、14C濃度が暖流系の海流よりも若干低いことが予想され、本測定結果と整合的であると解釈された。

4. 成果論文リスト(著者名、タイトル、雑誌名、巻号、ページまたはDoi、年、順番は入れ替え可)

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)

福山寛伍, 谷水雅治、海藻含有元素の時系列変化からみた海洋環境復元の試み、日本分析化学会第70回年会、オンライン開催、2021年9月22-24日

6. その他の成果リスト(著書、特許等)

福山寛伍. 道北産養殖昆布中の水銀濃度の季節変動と海洋環境の評価の試み、関西学院大学大学院理工学研究科環境応用化学専攻修士論文、2022年3月

10）加速器質量分析装置等利用（委託分析）　目次詳細

2021年度　14件

１４件の申請が有り、そのうち１４件（２５３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。