令和 2 年度
(2020 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

目　次

Contents

１．国際共同研究・・・

1.国際共同研究 目次詳細

（所属・職名は2021年3月現在）

（注1）：新型コロナウイルスの影響で2021年度に延期
（注2）：新型コロナウイルスの影響で中止
＊2021年度に延期しました課題は実施後掲載

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
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	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	1	
中澤　知洋	名古屋大学	素粒子宇宙起源研究所	准教授	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	3	
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2	5	
中村　琢磨	オーストリア科学アカデミー	宇宙科学研究所	常勤研究員	磁気圏尾部リコネクション過程におけるジェット先端領域の安定性	7	
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	9	
宮下　幸長	Korea Astronomy and Space Science Institute	Space Science Division	Senior Researcher	ERG衛星と低高度衛星の連携による内部磁気圏におけるサブストームに伴う変動の研究	11	（注2）
野村　麗子	宇宙航空研究開発機構	国際宇宙探査センター	招聘研究員	米国観測ロケット実験LAMPに搭載の磁気インピーダンス(MI)センサの研究開発	12	
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	13	
島　伸一郎	兵庫県立大学	大学院シミュレーション学研究科	准教授	超水滴法に基づく雲と降水の精密シミュレーションに関する国際共同研究の推進	15	
野中　敏幸	東京大学	宇宙線研究所	助教	宇宙線空気シャワー観測装置の惑星間空間擾乱の観測への利用方法の研究	17	
Nishiizumi Kunihiko	University of California, Berkeley	Space Sciences Laboratory	Senior Space Fellow	隕鉄中の宇宙線生成核種14Cの測定	19	
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	21	
池田　昭大	鹿児島工業高等専門学校	一般教育科	講師	シューマン共鳴多点観測による雷活動・電離圏変動の調査	23	（注2）
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	24	
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・システム設計	26	
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	助教	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	28	
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	30	
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に迫る国際共同研究	32	

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
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搭載可視高速撮像装置の設計と開発	34	
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	36	（注2）
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	37	
成影　典之	自然科学研究機構 国立天文台	SOLAR-C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	39	
平原　靖大	名古屋大学	環境学研究科	准教授	ALMAアーカイブデータ解析による太陽系内天体大気の物理化学プロセスの解明	41	
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	44	
小島　浩司	愛知工業大学	工学部	客員教授	宇宙線をプローブとした太陽風とIMFの断層撮像的観測	46	
高橋　透	情報・システム研究機構　国立極地研究所	研究教育系	外来研究員	オーロラパッチ内部の分極電場	48	
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	50	
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	53	
津田　卓雄	電気通信大学	大学院情報理工学研究科	助教	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	55	

（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】

環北極陸域は気候変動により大幅な気温上昇が予測されており、20世紀後半の30年間には温暖化が顕著に進行した(Serreze et al., 2000)。またその影響が、環北極陸域の生態系や水循環過程に既に現れていることが指摘されている(e.g., Hinzman et al., 2005)。このような気候変動が将来、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。

【研究方法】

研究代表者は、熊谷朝臣氏（東京大学大学院農学生命科学研究科教授・名古屋大学宇宙地球環境研究所客員教授）とともに、動的全球植生モデルSEIB-DGVMを樹木個体ベースで蒸散および関連する生理応答特性を表現するように改良し、陸域生態系動態モデル(S-TEDy)を開発した。本研究では、S-TEDyを東シベリアのカラマツ林に適用するための改良、特に、土壌の凍結融解過程を表現する土壌物理モデルの改良を進めた。2019年度は地温分布モデルに必要な係数の特性について、実測との比較から解析した。そこで2020年度は生態水文学的に重要な凍土の融解深と土壌水分についてモデル化した。

永久凍土地域の活動層（季節融解層）は、凍土面で下方浸透を遮ることで融雪水や降水を一時的に貯留し、植物にとって貴重な水資源供給システムとなる。そのため、この地域での土壌水分を計算するためには、季節的に変化する凍土の融解深を計算する必要がある。当初は地温の鉛直分布を計算して融解深を求めることを試みたが、現実的な結果を得ることは難しいことが分かった。そのため、融解深 d は土壌の熱伝導方程式の単純化した解の一つであるStefan解を採用し、次式で与えた (e.g., Hinkel and Nicholas, 1995)。

$$d = \sqrt{\frac{2kI_{TS} \times 86400}{L_f \rho_w \theta_{wi}}}$$

この式では、地表面の正の積算温度 I_{TS} と前年秋の凍結直前の土壌水分 θ_{wi} によって融解深 d が求められる。この d が根圏深より浅い場合、土壌水分の計算において根圏より下への下方浸透と下からの毛管上昇はゼロとした。d が根圏深より深い場合、d を地下水面として下方浸透と毛管上昇を計算した。

【結果および考察】

実測の地温分布から推定される最大融解深は1.5m前後であることから、今回導入した土壌の融解深モデルは実測を良く表現した。また体積含水率は、春の融雪期に上昇し、その後秋に向けて減少する実際の季節変化を表現した。また、凍結土壌が下方浸透を遮る効果

を考慮することで、考慮しない場合に比べ夏の土壌水分減少が緩やかになった。

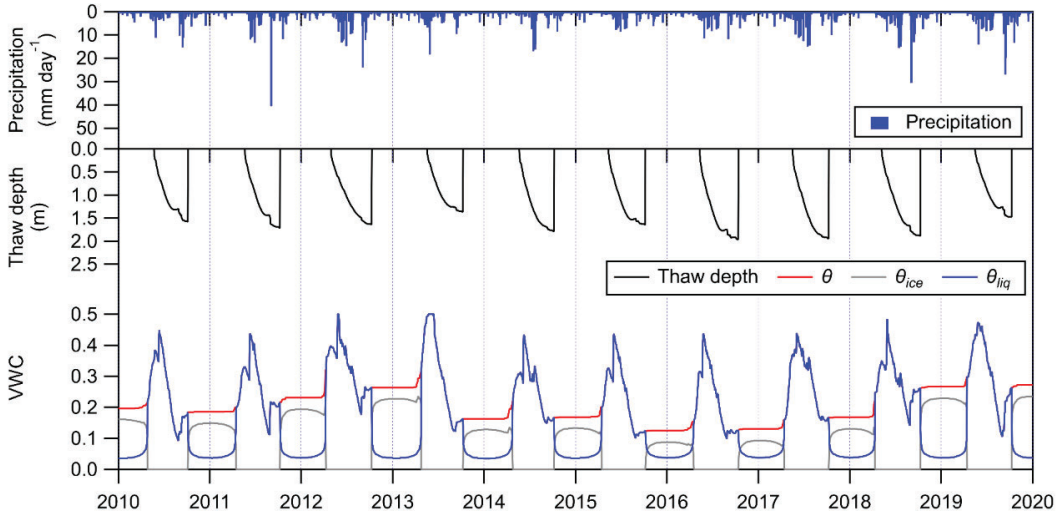


図 1　降水量（上段）、土壌の融解深（中段）および体積含水率（下段）の季節変化。体積含水率は全体の量（赤）および液体水（青）と氷（灰色）の寄与毎に示した。

このモデル計算を2100年まで実施した結果、降水量（フォーシングデータ）は将来増加傾向としたものの、温暖化によって土壌の融解深が深化し、土壌水分が減少することで、将来的に土壌が乾燥化することが示唆された。このことが森林生態系の動態にどう影響を及ぼすか、今後検討していく。

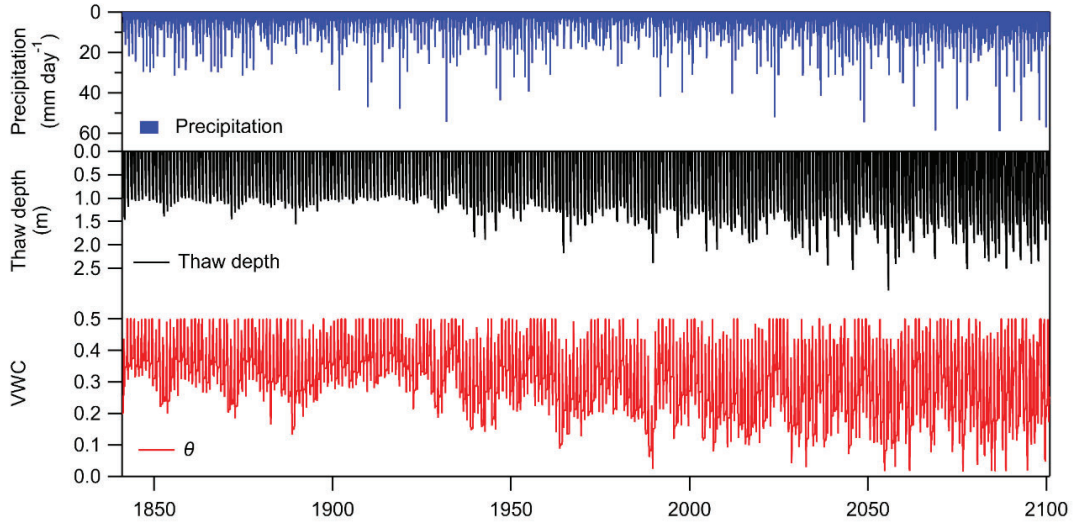


図 2　降水量（上段）、土壌の融解深（中段）および体積含水率（下段）の計算期間全体（1841 年から 2100 年の 260 年間）の長期変動。

なお、モデル改良のための検証データと知見を得るために、2020年度もロシア・サハ共和国のヤクーツク近郊にあるスパスカヤパッド研究林に出張する予定であった。しかしながら、新型コロナウィルスの影響でロシア入国が不可能となり、出張を断念した。

【成果発表】Nakai, T., Hiyama, T. Modeling of soil moisture dynamics in a larch forest in eastern Siberia. 11th Symposium on Polar Science, Online Meeting, November 16 – December 18, 2020.

（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 measuremensts 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、さらにこのガンマ線の被曝量が 1.4μGy に達することを確認した[3]。

世界的な雷ガンマ線研究の進展を受けて、2020 年 11 月に打ち上げを迎えた衛星が TARANIS である。フランスが開発した小型衛星で、ガンマ線、高エネギー電子、雷光、そして突発電波という多波長多粒子での雷放電ガンマ線同時観測を、世界で初めて実施する予定であった。我々はガンマ線電子線装置および可視光カメラの開発に参加しており、TARANIS の日本チームを構成している。我々の地上観測の世界最先端の知見と、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、世界的な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る。

２：研究結果

本年度は東京大学の大学院を優秀な成績で卒業（研究科賞を受賞）した和田博士が、TARANIS 衛星の打ち上げ後のキャリブレーションに立ち会うために 11 月からフランスに滞在していたが、大変残念なことにロケットの不具合により衛星の打ち上げは失敗してしまった。独自性の高い重要な観測能力を失ったこと で、TGF/TLE と雷放電の研究は大きな損害を受けており、痛恨の事態である。

フランスではそのリベンジ衛星 TARANIS2 (仮称)の計画が急速に立ち上がり、CNES を中心に Phase-A スタディーが始まっている。打ち上げ当日にパリで準備をしていた和田博士は、日本グループの代表としてパリ大学/CNES のフィリップ・ロラン主任研究員とともに XGRE2(仮称)の検討に直ちに参画し、現在も深く関わっている。XGRE2 の装置そのものはフランスで開発するが、日本発の技術である MPPC 光センサー(浜松ホトニクス社)を用い、GSO シンチレータ(オキサイド社@山梨県)あるいは GAGG シンチレー タ(古河機械金属製など)を検出器とする構想が真剣に検討されており、そのサポートを始めた。

2020 年度は 10 月 22 日から 2021 年 3 月 17 日まで、金沢市の２箇所で名大製の大型検出器を一部本予算にとって設置し、他にも 10 個以上の小型検出器を運用した。大型検出

器では、2021 年 1 月 8 日夕刻と 9 日の早朝に雷ガンマ線イベントの観測に成功した。鉛コリメータを用いた MeV ガンマ線の指向性観測に初めて成功し、同時に高エネルギー電子も実測できるなど、画期的なデータを得られた。現在そのデータ解析中である。

３：まとめ

和田君のフランス訪問により、TARANIS チームにおいて、日本チームの存在感をさらに示すことができ、リベンジ計画に主体的に参加する機会を得た。2020 年 7 月には JpGU 研究会で発表を 3 つ、2021 年 3 月には日本物理学会で学会発表を 1 つ実施している。

５：成果発表

・Yuuna Tsuji, Kazuhiro Nakazawa, Shohei Hisadomi, et al. "Gamma-ray Observation of Winter Thunderclouds: Long-distance tracking of long burst with monitoring posts", JpGU-AGU2020、オンライン　　2020.7.15"

・久富章平、中澤知洋、辻結菜、Alexia Fabiani 他「雷活動に由来するガンマ線の観測プロジェクト: 2019 年度の多地点観測の進展」、JpGU-AGU2020 オンライン 2020.7.15

・久富章平、中澤知洋、辻結菜、伊神勇作、小谷大貴 他「雷活動に由来するガンマ線の観測プロジェクト: 2020 年度における電子加速域の高度測定の試み」、日本物理学会、2020、オンライン、2021.3.12

・Wada, Y.; Enoto, T.; Nakazawa, K.; Odaka, H.; Furuta, Y.; Tsuchiya, H., " Photonuclear Reactions in Lightning: 1. Verification and Modeling of Reaction and Propagation Processes", Journal of Geophysical Research: Atmospheres 125, 10.1029/2020JD033193, 2020.10.01

・Wada, Y.; Enoto, T.; Nakazawa, K.; Odaka, H.; Furuta, Y.; Tsuchiya, H., " Photonuclear Reactions in Lightning: 2. Comparison Between Observation and Simulation Model", Journal of Geophysical Research: Atmospheres 125, 10.1029/2020JD033194, 2020.10.01

・Yuasa, Takayuki; Wada, Yuuki; Enoto, Teruaki; Furuta, Yoshihiro; Tsuchiya, Harufumi; Hisadomi, Shohei; Tsuji, Yuna; et al. "Thundercloud Project: Exploring high-energy phenomena in thundercloud and lightning", Progress of Theoretical and Experimental Physics 2020, 10.1093/ptep/ptaa115, 2020.10.09

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）

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２

Investigation of vertical atmospheric couplings in Jupiter, Mars, and Venus by the connection of Hawaiian small telescope with radio / space telescopes & orbiters: 2

笠羽　康正、東北大学・大学院理学研究科・地球物理学専攻

１．研究目的

東北大は、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

2020 年度はコロナ禍に見舞われ、本来想定した現地観測作業を行うことができず、緊急の故障対応派遣（鍵谷、2020 年末）を行えたに留まった。とはいえ、コロナ禍の前に行われた観測による成果創出、および装置変更等ができないながらの遠隔操作による観測継続を行うことはできた。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。なお、これらの活動で東北大では博士論文１，修士論文２、および名古屋大で修士論文２を得た。

(1) 観測活動：ハレアカラを中核として

木星では、Juno 探査機を支える電波-赤外-可視地上観測を実施．Subaru-8m では 2020 年 7 月末に中間赤外観測装置 COMICS の最終観測となった「木星成層圏・熱圏の変動観測」を国立天文台・三鷹から遠隔実施した。

冥王星では、stellar occultation 検出を目指す京大チーム観測を支援し、2015 年の New Horizon 観測時から外圏大気量が 7%/年程度の急激な縮小を遂げている可能性を示唆した。

金星では、下部中間圏での風速場導出を査読論文として成果公表した。火星では、2018 年

全球ダストストーム時の超高層変動を成果としてまとめ、論文投稿中である。

〈論文〉

Arimatsu et al.(2020). Evidence for a rapid decrease of Pluto's atmospheric pressure revealed by a stellar occultation in 2019. Astron. Astrophys. 638, L5. https://doi.org/10.1051/0004-6361/202037762

Takami et al. (2020). Evaluation of a method to retrieve temperature and wind velocity profiles of the Venusian nightside mesosphere from mid-infrared CO2 absorption line observed by heterodyne spectroscopy. Earth Planet Space 72:60. https://doi.org/10.1186/s40623-020-01188-0

〈発表〉

Miyamoto+. Zonal wind acceleration in the Martian mesosphere during the global dust storm 2018 observed by IR heterodyne spectroscopy. JpGU-AGU Joint Meeting 2020. 2020/7.

〈報告〉

笠羽康正、巨大惑星の屋根：宇宙空間へつながる木星の大気を探る. 国立天文台ニュース 2020 年 9 月号. P.8-9. https://www.nao.ac.jp/contents/naoj-news/data/nao_news_0326.pdf

(2) ハレアカラ観測施設整備： 現地訪問が大変困難な中、T40/T60 望遠鏡遠隔運用を支えるとともに、2021 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・開発を進めた. 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、主鏡を日本に戻して東北大での各種の準備作業を進めた。2021 年度には、現地の load 縮小と running cost 圧縮のため T40 の機能を T60 に集約する予定である。また、PLANETS-1.8m の主鏡研磨を経て実試験観測の実現へ進めていく。

〈発表〉

Hirahara+ (2020). Development of the liquid nitrogen cooled hollow core waveguide fiber for the mid-infrared region. Proc. SPIE 11451, Advances in Optical and Mechanical Technologies for Telescopes and Instrumentation IV. https://doi.org/10.1117/12.2561187

Kagitani+ (2020). High dynamic-range observation using a 1.8-m off-axis telescope PLANETS: feasibility study and telescope design. Proc. SPIE 11445, Ground-based and Airborne Telescopes VIII. https://doi.org/10.1117/12.2556458

Nakagawa+ (2020). Broadband mid-IR fiber optics for heterodyne spectroscopy in solar system exploration missions. Proc. SPIE 11451, Advances in Optical and Mechanical Technologies for Telescopes and Instrumentation IV. https://doi.org/10.1117/12.2561939

〈発表〉

Kambara+, Development of a near-infrared high-resolution Echelle spectrograph ESPRIT for planetary atmospheric observations. JpGU-AGU Joint Meeting, 2020/7.

（別紙様式１－２）

磁気圏尾部リコネクション過程におけるジェット先端領域の安定性

Study on the stability of the reconnection jet fronts in the Earth's magnetotail

中村琢磨、オーストリア科学アカデミー・宇宙科学研究所

本課題は、磁気リコネクション過程において２次的に発生する乱流現象及びそれに伴うエネルギー変換過程の解明を目的としている。磁気リコネクションは、磁気シアのあるプラズマ境界をまたいで磁力線が繋ぎ変わることで、電流層に蓄積された磁気エネルギーを爆発的にプラズマの運動また熱エネルギーに変換するプラズマ物理において最重要なエネルギー変換過程の１つであり、太陽系から銀河ジェットまで様々な領域で起こる爆発的なプラズマ現象において中心的な役割な果たすと考えられている。例えば、地球磁気圏においては、磁気リコネクションが磁気圏夜側に伸びる尾部電流層に蓄積された磁気エネルギーを解放する事で、オーロラサブストームに代表される大規模な磁気圏擾乱が駆動されると考えられており、本過程におけるエネルギー変換過程を定量的に理解する事が、磁気圏物理を理解する上での最重要課題の１つとなっている。また、太陽物理においては、磁気リコネクションが太陽表面で起こるフレア爆発を駆動していると考えられている。このように、本過程におけるエネルギー変換過程の理解は、地球磁気圏また太陽物理など各単体領域の理解を超えて太陽－地球系を包括的に捉えた宇宙天気という視点からも重要である。磁気圏や太陽表面で起こる磁気リコネクションは、電磁流体（MHD）スケールに発展する大規模な現象であるが、課題代表者らの昨年度までの粒子スケール物理を考慮した関連研究により、地球磁気圏や太陽表面を含む幅広いパラメータ範囲で、磁気拡散領域と呼ばれる磁気リコネクション過程の磁力線の繋ぎ代わりが起こる中心領域に加えて、拡散領域の外側のリコネクションジェット先端領域で粒子スケールの波長を持つLower-hybrid drift instability(LHDI)が普遍的に成長することが示された[参考文献１]。さらに、課題代表者がこれまでに行った３次元完全粒子シミュレーションにより、このLHDIによって起こりうるエネルギー輸送の強度が拡散領域で予測される強度と同等レベルであることが示された。

このような背景の下、本プロジェクトでは本年度、課題代表者が名古屋大学情報基盤センターの運用するスーパーコンピュータFX1000を名古屋大学HPC計算科学連携研究プロジェクトの計算時間を使用して、これまで行っていなかったガイド磁場（リコネクション面に垂直成分の磁場）を考慮した粒子シミュレーションを新たに行い、これまで行った計算結果と合わせてエネルギー輸送のガイド磁場依存性を調べ、その結果を磁気圏においてMMS衛星を用いて既に観測されているジェット先端領域の粒子データと比較し、さらに幅広いパラメータ下で発生するLHDIの線形解析と合わせることで、太陽表面にも応用できるジェット先端領域のエネルギー輸送過程を定量的に理解する計画であった。しかし、これまでの計算結果のデータ保存に申請した計算時間を消費した関係で新たな計算が実行できなかったこと、また新型コロナウィルスの影響で、名古屋大学を共同研究者らと訪れ観測結果との比較また太陽物理への応用等の研究・議論を効率的に進めることができなかった為、計画していた研究計画を完遂させるに至らなかった。

その代替として本年度は、共同研究者らとオンラインで会議し、改めて今後の方向性を議論した。具体的には、現在、ジェット先端領域を含め太陽表面で起こる磁気リコネクション領域をより高精度に観測する次世代観測衛星PhoENiX計画が本課題の共同研究者である岡博士を中心に進められており、本課題代表者も昨年度より本計画にScience Advisoryとして関わっている他、本課題副代表梅田博士の所属する名古屋大学宇宙地球環境研究所では太陽表面物理の研究が積極的に進められているという点を考慮し、課題代表者が行ってきた粒子シミュレーションデータの解析を太陽観測に応用できる形でアウトプットさせ

ていくこと、また、MHDシミュレーションが主流の太陽表面のシミュレーション研究において、本課題で行っているようなローカルな粒子シミュレーションを連携させる定量的なアプローチを取ることの有用性やその具体的な方法など、本課題の太陽表面物理への応用について詳細な議論を行った。その後、新たに、これまで行った計算の粒子データの解析を進めている（図１）。また本年度は、国際会議（いずれもオンライン）にて本課題に関連する２つの招待講演を行った（成果発表1,2）。

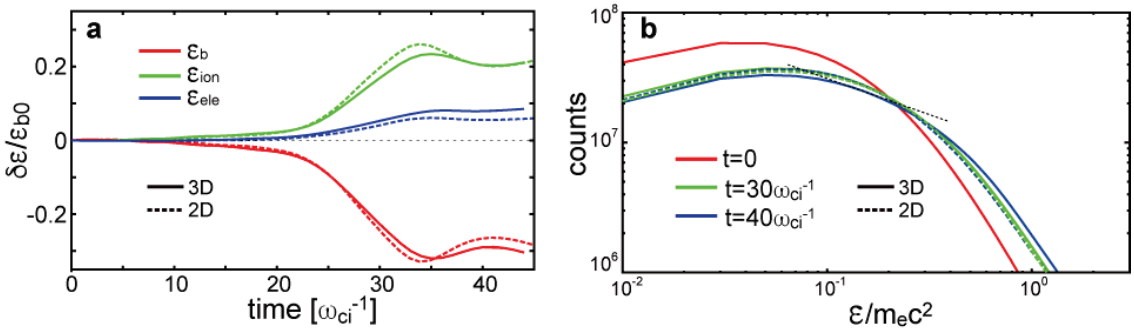


図１：Nakamura et al. [2019]（参考文献１）で行った粒子シミュレーションの粒子データ解析結果。シミュレーション領域内の(a)磁場、電子粒子、イオン電子の全エネルギーの時間変化、及び、(b) 電子のエネルギースペクトルの時間発展。磁気リコネクションの成長と共に、磁場のエネルギーが解放され、電子とイオンの運動エネルギーに変換される。３次元計算の場合にのみ、ジェット先端領域におけるLHDIの成長と共に電子が負荷的に加熱される。この付加的な加熱は比熱的電子の生成を伴う。

参考文献：

[1] T.K.M. Nakamura, T. Umeda, R. Nakamura, H. S. Fu, & M. Oka, Disturbance of the Front Region of Magnetic Reconnection Outflow Jets due to the Lower-Hybrid Drift Instability, *Physical Review Letters*, 123, 235101, 2019

【成果発表】

[1] （学会発表）T.K.M. Nakamura, T. Umeda, R. Nakamura, H. S. Fu, & M. Oka, Disturbance of the Front Region of Magnetic Reconnection Outflow Jets due to the Lower-Hybrid Drift Instability, *the EGU General Assembly 2020*, online, May. 2020 (highlight)

[2] （学会発表）T.K.M. Nakamura, T. Umeda, R. Nakamura, H. S. Fu, & M. Oka, Disturbance of the Front Region of Magnetic Reconnection Outflow Jets due to the Lower-Hybrid Drift Instability, *4th Asia Pacific Conference on Plasma Physics (AAPPS-DPP)*, October 2020 (invited)

（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・環境計測研究センター

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ミー散乱ライダーの改良を行う。現在運用されているライダーは単波長(532nm)の後方散乱信号を測定する仕様となっている。ここに偏光測定機能を追加する。この改良によって、バイオマス燃焼スモークや大気汚染性の球形エアロゾルと鉱物ダストなどの非球形エアロゾルに分けて測定し、ラパスにおけるエアロゾル特性を研究する。昨年度は本改良を取り入れたライダー装置全体に対する最適設計案を策定した。そこで今年度は、物品の調達および改良したライダーによる連続定常観測を行う。また、観測データの蓄積と共にデータ解析を行い、エアロゾル種の識別や光学特性の抽出とそれらの統計解析によりエアロゾルの変動の把握を進める。

３　研究結果

【ラパスライダーの改良】

昨年度策定した設計案に基づき、大気エアロゾルによる後方散乱光の水平・垂直成分を分離測定するための偏光測定モジュールを作成した（図１）。本モジュールの試験計測を環境研にて行い、正常に稼働することを確認した。ラパスにて本モジュールをライダーへ組込み、定常観測を開始する予定だったが、コロナ禍による渡航規制のため断念した。来年度での実施を予定している。

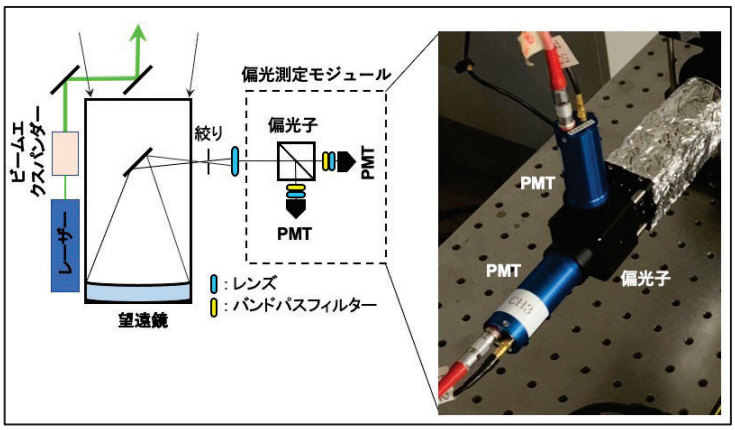


図１　策定したライダーシステム（左）と偏光測定モジュール（右）

【SAVER-Netライダーデータを用いたエアロゾル解析】

昨年度改訂した解析システムを用いて全９地点のSAVER-Netライダーデータの再処理を行った。高濃度エアロゾルイベントの集積を様々な地域と時期に対して行い、エアロゾル種毎の光学特性や動態の特徴化を進めた。その結果の一例として、アルゼンチンの内陸に位置するコルドバ観測サイトデータを用いた解析結果を図２に示す。コルドバのライダーは偏光測定機能を有し、そのデータを用いることで球形エアロゾル（スモーク、大気汚染粒子等）と非球形エアロゾル（鉱物ダスト）の時間・高度分布を得ることができる。高濃度イベントは風向に対して相関が見られ、後方流跡線解析や衛星データとの対応から、球形粒子はパラグアイの森林火災起源のスモーク粒子、非球形粒子はモンテ砂漠（アンデス山脈近傍）起源の鉱物ダストと考えられる。

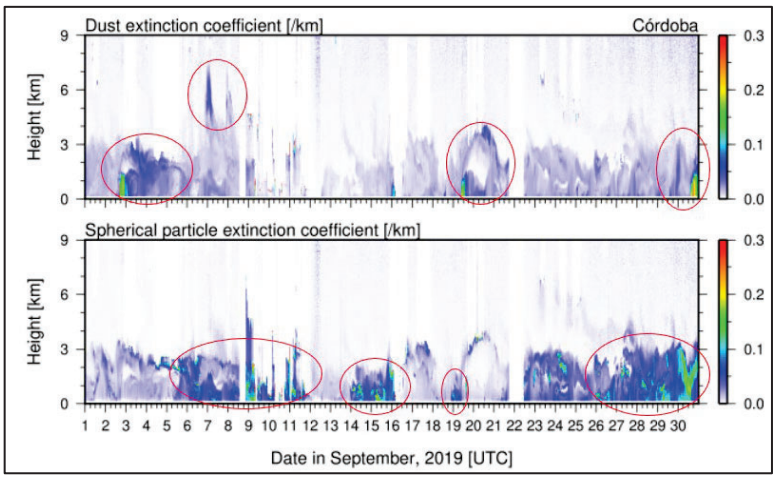


図２　コルドバ観測サイトのライダーデータから推定された非球形粒子（上）と球形粒子（下）の波長532nmでの消散係数。高濃度エアロゾルイベントが赤線で囲まれている。

４　成果発表

神慶孝，西澤智明，清水厚，杉本伸夫，水野亮，S. Papandrea，SAVER-Net ライダーで観測されたアルゼンチン北部におけるダストおよびスモークの解析，第３８回レーザセンシングシンポジウム，オンライン，2020 年 9 月.

西澤智明，岡本創，鈴木健太郎，石井昌憲，神慶孝，衛星搭載ライダー・雲レーダーによる雲・エアロゾル・対流の全球観測計画、第３８回レーザセンシングシンポジウム、オンライン、2020 年 9 月

Eduardo Landulfo, Boris Barja, Marcos Andrade 他 37 名, 2020, Lidar observations in South America. Part II-Troposphere, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen, 95451.

（別紙様式１－２）

ERG衛星と低高度衛星の連携による内部磁気圏における サブストームに伴う変動の研究
Study of substorm-associated disturbances in the inner magnetosphere in collaboration of ERG and low-altitude satellites

宮下幸長、韓国天文研究院・宇宙科学本部

本年度は、コロナ禍のため研究を実施できなかった。

（別紙様式１－２）

米国観測ロケット実験LAMPに搭載の磁 気インピーダンス(MI)センサの研究開発

Development of the magnetic impedance (MI) sensor on the sounding rocket experiment LAMP

野村麗子，宇宙航空研究開発機構・国際宇宙探査センター

1. 研究目的

名古屋大学宇宙地球環境研究所の能勢准教授が，地球地磁気観測への適用を進めているMIセンサは，極めて軽量小型で，省電力であることが大きな特徴である．そのため，重量やリソースへの制限が厳しい飛翔体に搭載して観測が実現すると，例えば地球地磁気をグローバルに同時多点観測するような，超多点観測への可能性が広がる．本研究では，これまで飛翔体に搭載実績のないMIセンサを観測ロケットに搭載し，宇宙空間での技術実証を行うとともに，地磁気の観測からロケットの姿勢を推定する．また脈動オーロラ現象に伴う磁場変動を観測し，その成因と電離圏への影響を明らかにすることを目指す．

2. 研究方法

観測ロケット実験LAMPでは，他機器としてフラックスゲート磁力計も搭載されるため，実験によって取得された地磁気観測データを比較する．これにより，MIセンサの飛翔体における有用性を確認し，将来の超小型衛星などの搭載に向けた技術的知見を得る．2020年冬季に打ち上げ予定であった観測ロケットLAMPは，COVID-19の流行により2021年に延期されたため，本年度は２つの準備①Raspberry Piを用いたデジタル処理部の製作と②熱真空試験を実施した．

3. 研究結果・報告

① Raspberry Piを用いたデジタル処理;MIセンサから出力されたアナログ値をAD変換した後，デジタル処理を行う仕組みをRaspberry Piで実現する．基本的なプログラムは出来上がり，ノイズの原因となる異常値を取得した場合に，磁場データ算出時には除外できる仕組みにプログラムを改良済である．異常値の出現については，プログラム処理の高速化により頻度を減少させられることが分かったので，引き続き，プログラムの最適化を行う．

② 熱真空試験；宇宙科学研究所にて，熱真空試験を実施した．Raspberry PIのCPUの放熱をするヒートパイプも含め，正常に動作していることがわかった．

（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(AFigure 1VON: 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。

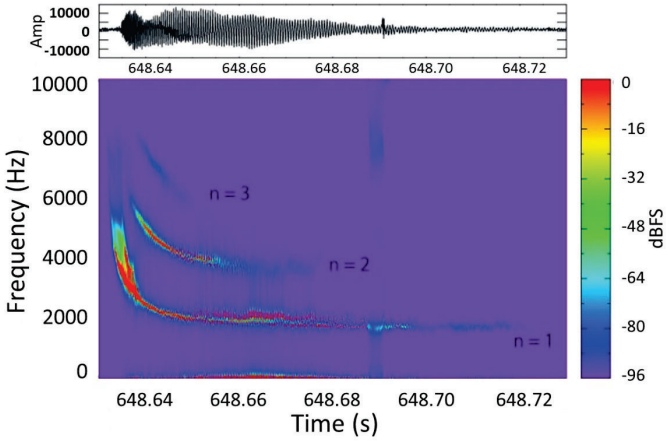


図 1　1980 年 12 月 5 日 23:50:48.63 LT に鹿児島で観測された tweek 空電の波形（上） とダイナミックスペクトル（下）

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，東南アジアでのVLF波観測継続に加えて、2020年度は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]。

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

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、

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

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2020/08/11 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。

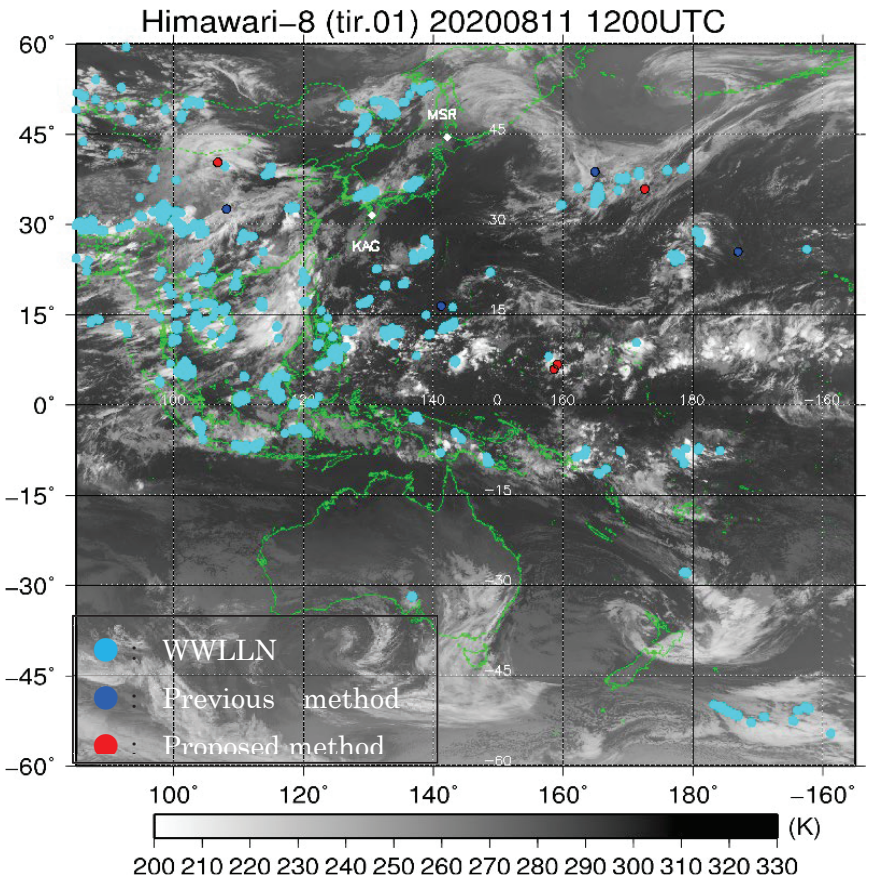


図 2　2020 年 8 月 11 日 12：00 UT のひまわり 8 号による雲画像、WWLLN データと、tweek による雷推定位置の比較

成果発表

[1] Kanno, M., H. Ohya, K. Shiokawa, H. Nakata, and T. Takano, An improved procedure for estimation of propagation distance of tweek atmospherics, JpGU-AGU Joint Meeting2020, Virtual Meeting, 12-16 July, 2020.

[2] Yamanobe, K., H. Ohya, H. Nakata, K. Shiokawa, K. Yamashita, and Y. Takahashi, Solar flare effects of the D-region ionosphere using daytime tweek atmospherics and VLF/LF standard radio waves, JpGU-AGU2020, Virtual meeting, 12-16 July, 2020.

[3] 菅野　将史、大矢　浩代、塩川　和夫、中田　裕之、トウィーク空電の水平伝搬距離推定方法に関する検討、中間圏・熱圏・電離圏(MTI)研究集会、Zoomミーティング、2020年9月28-30日。

（別紙様式１-２）

超水滴法に基づく雲と降水の精密シミュレーションに関する国際共同研究の推進

Advancing international collaboration on highly accurate simulation of clouds and precipitation using the super-droplet method

島伸一郎、兵庫県立大学・情報科学研究科(課題実施時はシミュレーション学研究科)

1．研究目的

地球の気候システムにおいて雲は極めて重要な役割を果たしており、それ自体が降水を引き起こすだけでなく、水蒸気などの微量物質を鉛直輸送するほか、放射を介して地球のエネルギー収支に大きな影響を与える。近年は数値シミュレーションにより、集中豪雨や台風、前線の活動といった気象現象の予測、および地球温暖化などの気候変動の予測が行われている。しかしながら、雲のふるまいを正確にシミュレーションすることはいまだに難しく、気象・気候予測に大きな不確実性をもたらしている。

このような背景の下、島(代表)は「超水滴法」(Super-Droplet Method, 略してSDM)と名付けた全く新しい雲微物理モデルの開発を独自に行った[1]。従来の手法と違い、個々の粒子のふるまいを記述する粒子運動論的モデルを、スパコン上で高速に並列計算することが可能である。これにより、雲の発生から成長と降水そして消滅までを雲微物理素過程の基本方程式に基づき精密にシミュレーションする道が拓けた。

近年、超水滴法を初めとする粒子ベース雲微物理モデルに対する気象分野の研究者の期待が急速に高まっている。本課題の大局的目的は、超水滴法を初めとする粒子ベース雲モデルに関する国際共同研究の推進とネットワーク拡大により、超水滴法の普及と研究開発を世界的に主導することである。

2．研究方法

国際共同研究推進の一環として以下の課題に取り組んだ。

第10回 International Cloud Modeling Workshop (ICMW)に向けて、孤立雄大積雲を対象としたモデル間比較プロジェクト (以下、雄大積雲MIP) を推進した。このMIPでは、超水滴法を初めとする粒子法と従来的な手法であるビン法の詳細な比較に焦点が当てられている。島(代表)はGrabowski博士(NCAR)と共にそのとりまとめを任されている。

平行して、現在進行中の氷相・大気電気・層積雲・雲乱流などに関する国際共同研究をさらに前進させるとともに、新しい共同研究の立ち上げや国際共同研究ネットワークの拡大も図った。

3．研究結果、考察

第10回ICMWは当初2020年夏に開催が予定されてたが、新型コロナウ

イルスの世界的感染拡大を受け、一年間開催が延期されることになった。そこで島(代表)は別途研究会を2020年11月に開催し、雄大積雲MIPの途中経過を参加グループ間で共有する場を設けた[2]。今回示された結果はモデル間で概ね一致していたものの、雲粒粒径分布の幅の広がりなどに関する系統的な差も確認された。この差違は，ビンモデルと粒子ベースモデルの数値解法としての特徴の違いに起因するものであると考えられる。第10回ICMWに向けて、より詳しい解析と、降水特性や計算コストの比較を進めていく予定である。

また、超水滴法を氷相過程に拡張した[3]。氷粒子を伴う雲は世界中いたるところで形成され、集中豪雨・台風のふるまいを理解する上でも重要である。我々は、超水滴法を使うことにより、混相雲の中で氷晶が生成・成長し霰(あられ)・雹(ひょう)・雪片を形成していく様をより忠実に表現した、氷粒子の形状を陽に計算する粒子ベース雲モデルを世界で初めて構築した。当該論文はEGU highlight articleの1つに選ばれており、分野に大きなインパクトを与えた。

観測・実験・理論との連携の在り方も含めた雲モデルの将来展望について考察する論文を出版した[4]。

EGU2020にて“Lagrangian cloud microphysics: progress and prospects”というセッションを企画運営した。

Lu教授(NUIST)の博士学生であるChongzhi Yin氏を兵庫県立大学の研究生として受け入れ、Xue博士(NCAR)とともに、霧雨を伴う海洋層積雲に関する国際共同研究を推進した。現在論文の投稿準備を進めている。

Zhou教授(ECNU)と、帯電した雲粒の衝突併合を通した雨粒の形成速度の変化 (Electrocoalescence) を評価する研究を推進した。こちらも現在論文投稿を準備中である。また、共同研究の更なる推進のため、2021年度中にZhou教授の博士学生を研究生として受け入れる準備を進めている。

4．まとめ

以上の通り、コロナ禍の制約はあったものの、超水滴法を軸とする国際共同研究を推進し、ネットワークを拡大することができた。引き続き様々なグループとの国際交流を進め、本研究分野の発展を牽引していきたい。

5．引用文献

[1] S. Shima, et al., Q. J. R. Meteorol. Soc. 135, pp.1307-1320 (2009).

[2] Pre-ICMW mini-workshop: Cumulus congestus case, 17 (UTC) Nov 2020. https://s-shima-lab.sakura.ne.jp/events/pre-icmw_mini-ws

[3] Shima, S., et al., Geosci. Model Dev., 13, 4107–4157 (2020).

[4] Morrison, H., et al., J. Adv. Model. Earth Syst., 12, e2019MS001689 (2020).

6．成果発表

査読論文 2件, 学会発表 8件, その他 3件。詳細は別添の報告書様式1-1を参照のこと。

宇宙線空気シャワー観測装置の惑星間空間擾乱の観測への利用方法の研究
Use of detectors of air shower experiment for observation of interplanetary environment.

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、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。

単眼の観測では、Loss Cone型の前兆現象[4]などの微細な構造を伴う惑星間擾乱の検出には、24時間のデータの積算から全経度方向の強度分布を推定する必要がある[5]。このため、変動の激しい複数の惑星間擾乱が地球を通過している最中には異方性の定量的な検出に困難がある。本研究は、米国ユタ州の高地に約700平方キロの範囲に展開されている Telescope Array空気シャワー観測装置（TA）を総面積1500㎡のミュオン計として運用する事を目的とした。これによりGRAPES-3の観測視野のちょうど反対側に高い統計精度の観測点を確保するのが狙いである。これにより、先述した異方性の検出限界を先行研究[5,6]での限界であった0.5%より小さく、かつ振幅の変動をよりリアルタイムで検出可能にすることを目指している。

2018年から2020年度までの研究計画で、空気シャワー観測装置の宇宙線強度モニター装置としての測定の信頼度を確かめ、これらのネットワーク観測に有用なデータを得る方法を探索した。

研究方法

前述した本研究の目的にあるように、空気シャワー観測装置のモニターデータを転用し、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には以下の１）～３）の作業が必要になる。

①装置が展開されている領域での気象条件の把握。
②観測装置で記録する粒子カウントレートへの気圧・気温の影響の推定。
③TA実験観測装置で推定した一次宇宙線強度の変動を、各地の様々な観測装置との比較を行う。これによりデータの信頼度を確かめる。

研究結果

A：各種の気象学的な効果について調査を行った。

検出器が測定した粒子のエネルギー損失量の分布を用いる事で、検出器の計数閾値の変動とは独立な、2次宇宙線量の変動を見積る事ができる。エネルギー損失量は、空気シャワー実験において到来粒子数を推定するために較正データとして取得されている量である。

A-1:μ粒子が生成される高層大気の変動による計数変化について、先行研究の[7] で行われた方法で米国ユタ州での影響を実データと高層大気データを用いて調査した。

A-2:米国ユタ州での12年の観測期間の内、1月あたりでの気圧変動が最大の期間を用いて、大気圧の変化による2次粒子の計数変動について調査した。結果を右表にまとめる。

大気パラメータ[7]	補正係数
H100hPa	$-3.992 \pm 0.01\% /km$
Tmw	$-0.186 \pm 0.005\ \%/K$
Tgrd	$-0.076 \pm 0.002\ \%/K$
T16.5km	$+0.142 \pm 0.001\ \%/K$
気圧効果	$-0.282 \pm 0.03\ \%/hPa$

B：測定器での計数に寄与する銀河宇宙線の剛度分布の推定を行った。

TA地表検出器の応答シミュレーションと、空気シャワー観測で標準的に用いられている、大気と宇宙線原子核の衝突によるカスケードを追跡するモンテカルロシミュレーションコードを用い推定した(図 2)。また、計数に寄与する一次宇宙線を２５地球半径までBack tracingし、感度分布の推定を行った。これによりミュオン望遠鏡としての強度変動とその異方性に対する応答関数を取得した（図 1　図 2）。

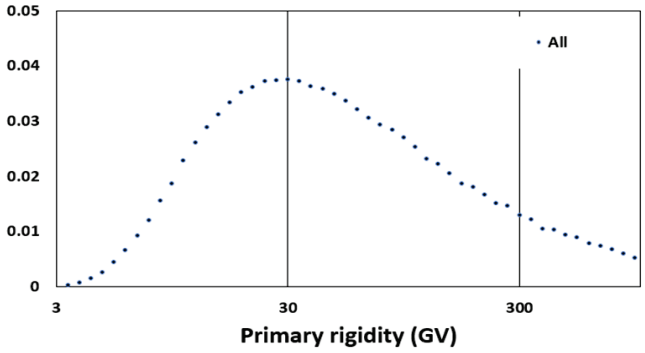


図 1 計数に寄与する１次宇宙線の剛度分布

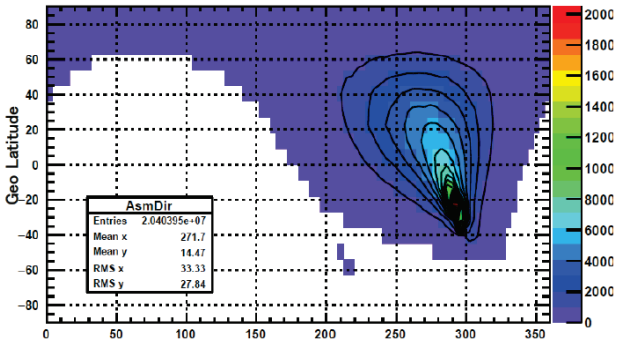


図 2　計数に寄与する一次宇宙線の磁気圏外での到来方向分布

C:これらの補正を適応し、惑星間擾乱イベントの他観測との再比較を行った(図３)。昨年度まで得られていた、Forbush Decrease の事象例において、高層大気の影響の補正の有無の影響を示した。

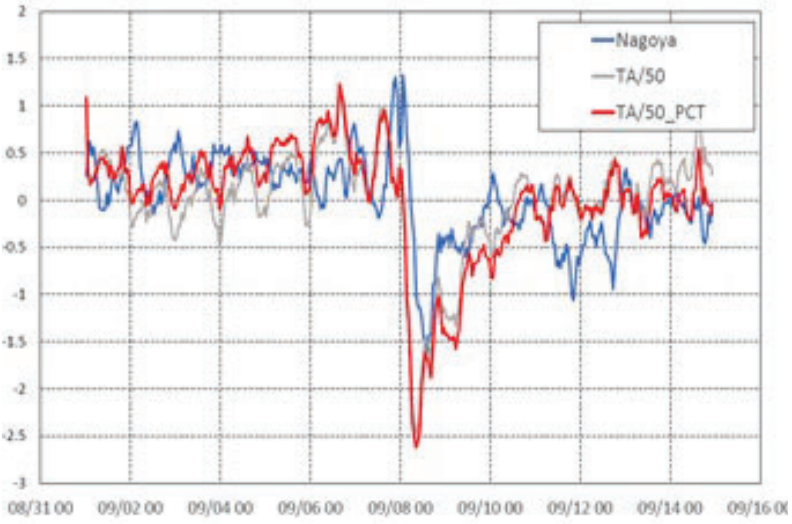


図 1　名古屋大学ミュオン望遠鏡と TA 地表検出器の比較。
赤：気圧・高層大気補正　灰色；気圧補正

名古屋の鉛直方向とTAの比較ではFD開始前の09/02-09/06日の気温の影響、09/14日付近の気温の影響が顕著であった。補正により、大きい所では0.3-4%程度、補正されている。

この補正では表のT_{mw}に相当する，高度毎の大気密度で重み付けした有効温度を使用した。

期待される成果：
既存の銀河宇宙線強度変動を測定する装置群を補完するデータ点として、惑星間空間の擾乱を理解するために有用なデータになると期待される。

本研究でおこなったエネルギー損失分布による気象学的効果の補正方法は、各地に存在する他の空気シャワー地表検出器でも同様に適応することが可能である。

成果発表(2020年度)

日本物理学会「TA地表検出器による銀河宇宙線宇宙線強度変動の観測」オンライン開催　20/09/14-17

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 the 29th ICRC Vol.1 359-362 2005
[7] R. R. S Mendonca et al. Astrophysical Journal 830:88 (25pp) 2016

（別紙様式１－２）

隕鉄中の宇宙線生成核種^{14}Cの測定
Measurements of Cosmic-Ray-Produced ^{14}C in Iron Meteorites

西泉邦彦, Space Sciences Laboratory, University of California, Berkeley

研究目的

隕石中の宇宙線生成核種（^{10}Be、^{14}C 、^{26}Al、^{36}Cl など）から、隕石が宇宙空間で宇宙線にさらされていた時間（宇宙線照射年代）や地上に落下してから経過した年代（落下年代）、母天体からの放出条件、宇宙空間でのサイズや軌道といった多くの知見を得ることができる。特に、^{14}C は、比較的半減期が短いこともあり、他の核種ではカバーできない 4 万年よりも若い落下年代を得るための強力なツールである。隕石の ^{14}C 分析は、1962 年に最初の報告がされたものの（Goel and Kohman, 1962; Suess and Wänke, 1962）、その次は、1978 年の南極隕石の ^{14}C 落下年代の報告である（Fireman, 1978）。1980 年代に入って加速器質量分析計（AMS）が開発され、測定に必要な試料量が飛躍的に減少したことで、隕石の ^{14}C 測定が本格的に行われるようになった。しかし、そのほとんどは石質隕石が対象であり（e.g., Jull, 2006）、高周波加熱炉で試料を助燃剤とともに燃焼させる方法が用いられてきた。この炭素成分の抽出方法は、隕鉄には適用が難しく、現在までに数例しかない。さらに、試料を助燃剤とともに燃焼させてしまうと、^{10}Be など他の核種の分析ができないため、同一試料片からの宇宙線生成核種マルチ分析は困難であった。そこで本研究では、燃焼法以外の処理手法として、隕鉄を酸溶解させて発生した CO_2 を捕集する酸抽出法による隕鉄中の ^{14}C の分析法の確立を目的とした。

酸溶解法を用いて隕鉄中の^{14}Cを分析する方法を確立するとともに、^{14}C分析に値する研究対象を模索するにあたり、宇宙空間で十分な宇宙線照射を受けた履歴がある隕石を探す試みも行った。宇宙線照射期間の長い隕石では、宇宙線照射で誘発される中性子捕獲反応によって変動するSm, Gd, Erなどの元素の同位体組成を測定するのが有効である（Hidaka et al., 1995）。元素の同位体組成を高精度に測定するには、その対象となる元素を化学的に単離する必要があるが、Sm, Gd, Erなどが属する一連の希土類元素（REE）は物理化学的性質が類似しており、一般には化学分離が困難である。これまで、REEの化学分離についてはいくつかの手法が考案されているが、いずれもREEの全ての元素についての相互分離はなされておらず、その手法も複雑である。本研究においては、使用する隕石試料は絶対量が限られていること、隕石試料中のREEは微量であること、を踏まえ、微量のREEを個々に化学分離する手法の開発に着手した。

研究方法

① 隕鉄中の^{14}Cの分析法の開発

隕鉄中のFeと宇宙線との相互作用で生成した^{14}Cを酸と反応させて$^{14}CO_2$化させ、同時に、既知量の炭素キャリア（^{14}C-freeの炭酸塩）を反応させることにより、発生した$^{12}CO_2$との比をAMSで測定して、隕鉄の^{14}Cを測定する方法を検討した。キャリア物質と隕鉄を同時に酸溶解させる手法は、^{10}Beなど^{14}C以外の宇宙線生成核種の前処理に一般的に用いられている（e.g., Nishiizumi et al., 1989）。この手法と、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無機炭素（DIC）の前処理手法（Takahashi et al., submitted to Radiocarbon）の2つの手法を融合し（図1）、標準鉄（日本鉄鋼標準物質）と炭酸カルシウム（産業技術総合研究所の標準岩石JLs-1）を用いて、CO_2抽出実験を行なった。また、図1の右に示す反

応容器(リアクター＋ジョイント)は、口が狭くて隕鉄や標準鉄試料が入りにくいため、口を広げ、容器内を真空にした後、試料と酸を反応させ、発生したCO_2を真空ラインで捕集するのに適した容器を開発した(図2)。反応容器(リアクター＋ジョイント)の製作には、本研究経費を使用した。

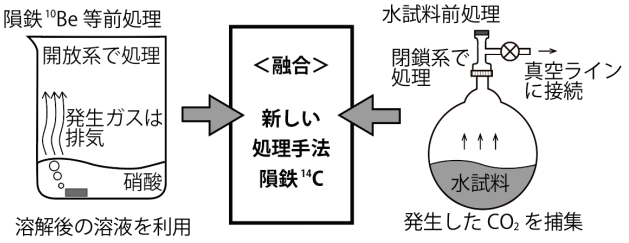


図 1　隕鉄からの炭素抽出法の検討

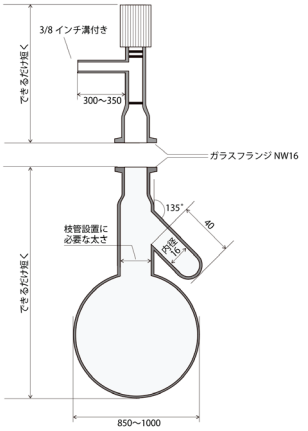


図 2　新しく開発した反応容器

② REEを個々に化学分離する手法の開発

REEの化学分離に特化したイオン交換樹脂であるLNレジン（米アイクローム社製）をガラスカラムに充填したクロマトグラフィー法を用い、塩酸と硝酸を溶離液としてREEの相互分離を試みた。カラムからの溶離液を連続的に回収後、溶離液中の元素成分についてICP-MSを用いて定量分析することにより分離プロファイルを得た。なお、化学分離に要した酸試薬およびICP質量分析測定に要したArガスは本研究経費から支出した。

結果

① 隕鉄中の^{14}Cの分析法の開発

標準鉄＋キャリアの酸溶解実験から、CO_2抽出、^{14}C測定が問題なく実施できることを確認した。一方、^{14}C分析については、今後、分析数を増やし、再現性とブランクの検証を行っていく必要があることが明らかになった。

② REEを個々に化学分離する手法の開発

溶離液として塩酸を用い、その濃度を0.15 M～6.0 Mの範囲で9段階に分けて用いることにより、容易に希土類元素の相互分離が可能となった（Mizutani et al., 2020）。本手法を岩石試料等に応用させ、Sm, Gd, Er等の同位体測定が可能であることを確認した（Hidaka et al., 2020; Mizutani et al., 2020）。本手法の隕石試料への適用が十分に期待できる。

成果発表

H. Hidaka, Y. Mizutani and S. Yoneda, "Estimation of thermal and epithermal neutron fluences at the lunar surface from isotopic compositions of rare earth elements". Astrophys. J., 904, 183 (7pp), 2020.

Y. Mizutani, H. Hidaka, S. Yoneda, "Chemical separation and determination of the isotopic compositions of Dy, Er and Yb in geochemical materials by TIMS". Geochem. J., 54, 381-391, 2020.

H.A. Takahashi, M. Minami, H. Handa and R. Sato, "A simple CO_2 extraction method for radiocarbon analyses of dissolved inorganic carbon in water samples without a carrier gas". submitted to Radiocarbon

H. Hidaka, K. Nishiizumi, M. Caffee and S. Yoneda, "Determination of neutron energy spectra for lunar meteorites studied from REE isotopic compositions". Goldschmidt 2020, virtual on line, 21-26 June 2020.

（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2020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2020年までの年変動を示している。ただし、2020年のBe-7濃度は、山形（10月まで)、アイスランド（9月まで)、タイ（7月まで）であり現在その後のデータは測定解析中である。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をカバーしている。太陽黒点数の変化などから2020年は第25期太陽活動期に入ったと思われる。2018年から2020年の約3年間の

Be-7 の濃度変化は、アイスランドが増加、山形とバンコクは 2019 年まで増加し 2020 年は減少している。2020 年の Be-7 濃度は,2019 年に対してアイスランドでは 3.6%の増加、山形では 21.9%の減少、バンコクでは 13.7%の減少である。それに対して Oulu の中性子強度は 0.7%の増加を示している。2020 年は中緯度および低緯度で Be-7 濃度が減少に転じているようであるが季節変動を解析して地球規模の大気移流パターンとの関連を調べる必要がある。太陽活動が第 25 期に入っている 2021 年の観測データは重要である。

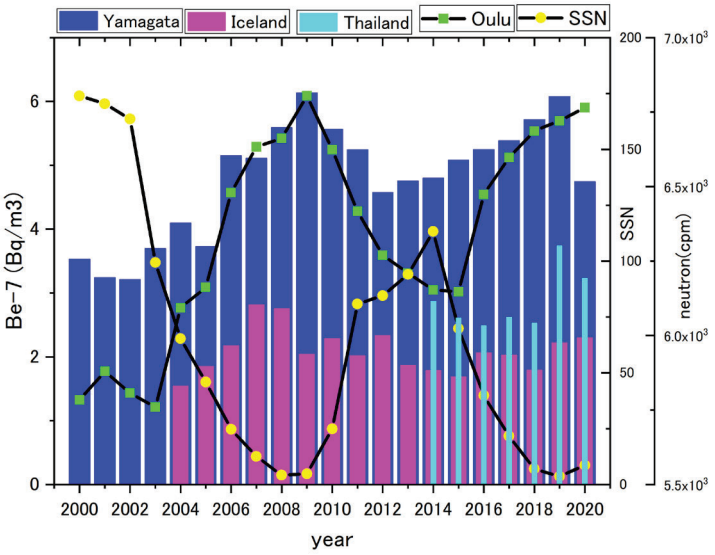


図 1. 2000 年から 2020 年までの高緯度、中緯度および低緯度の大気中 Be-7 濃度、太陽黒点数（SSN)、oulu での地上中性子強度の年変動

[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. “14C during the ~660 BCE solar proton event from Japanese tree rings”, H. Sakurai, F. Tokanai, et al., JpGU-AGU Joint meeting 2020 (online) invited iposter C003088 (2020 7/12-16)

2. “Yearly variations in Be-7 concentrations in the surface air at Iceland and Japan for 16years from 2003: Solar modulation of cosmogenic nuclide”, H. Sakurai, Y. Kawamura, F. Tokanai, et al., 11th Symposium on Polar Science online meeting OSp2 poster (2020 11/16-12/18)

（別紙様式１－２）

シューマン共鳴多点観測による雷活動・電離圏変動の調査
Investigation of Solar and lightning activity by multipoint observation of Schumann resonance

池田　昭大、鹿児島工業高等専門学校・一般教育科

新型コロナウイルス感染症拡大により、本研究計画における海外観測器設置作業等が困難な状況であったため、研究計画を中止した。

（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（JAXA）

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，数 keV から数十 keV のエネルギーを持つ電子が、宇宙空間から間欠的に降り込んでくることによって発生するが、コーラスと呼ばれるプラズマ波動がこれらの keV 帯電子の降下を引き起こし、脈動周期を決定していると考えられている。我々はこれまでの理論的な検討によって、コーラス波は数 MeV に達する高いエネルギーを持った放射線帯の電子とも共鳴することができ、結果として脈動オーロラの原因となる電子だけでなく、相対論的電子も同時に大気へ降下させている可能性を指摘してきた（Miyoshi et al., 2020）。本研究は、この仮説を実証するために、米国の大学、NASA と連携して、アラスカにおいて国際共同観測ロケット実験 (LAMP ミッション) を行うことを企図したものである。我々は LAMP 搭載用の高エネルギー電子観測器、オーロラカメラ、磁力計、および地上観測機器を開発してきており、観測ロケットによる高エネルギー電子の直接計測を軸に、地上機器や数値実験と連携することによって、脈動オーロラと放射線帯電子消失過程の関連性、相対論的電子の大気へのインパクト（オゾン破壊等）の理解につなげる。

しかし、コロナウイルスの影響により、本年度の LAMP 観測ロケットの打ち上げは 2021 年度冬季に延期となり、それに伴って NASA Wallops Flight Facility における機器噛み合わせ試験も延期となった。本予算は機器噛み合わせ試験に参加するための旅費に使用する予定であったが、試験の延期を受け、地上観測用の高速オーロラカメラの制御システム構築に使用することとした。このオーロラカメラはロケット飛翔後のデータ解析に供するだけでなく、ロケットの打ち上げタイミングを決定するためにも用いる重要な機材である。このため、リアルタイムでデータを可視化し、電子マイクロバースト現象と関連すると考えている脈動オーロラの主脈動中に見られる高速変調の有無を即座に判断できるようなシステムの構築を目指している。

一方、我々は 2019 年 1 月 13 日にノルウェー・アンドーヤから打ち上げられた NASA の観測ロケットミッション RockSat-XN に参画し、高エネルギー電子観測器、中間エネルギー帯電子観測器、オーロラカメラ、磁力計を搭載した。RockSat-XN においても電子マイクロバースト現象の観測を狙っており、全機器とも正常動作したが、残念ながら打ち上げ期間中に 打ち上げ条件に恵まれず、電子マイクロバーストを捉えることはできなかった。しかし、磁気圏内のコーラス波動によるピッチ角散乱が原因と考えられる 30-100keV 帯の電子降り込みを検出することができ、論文に纏めた [Sugo et al., 2021] ほか、相対論的電子の降り込みについても観測に成功し、1 篇が査読中となっている。

関連する論文:

1. Miyoshi, Y., Saito, S., Kurita, S., Asamura, K., Hosokawa, K., Sakanoi, T., et al. (2020). Relativistic electron microbursts as high-energy tail of pulsating aurora electrons. Geophysical Research Letters, 47, e2020GL090360. https://doi.org/10.1029/2020GL090360

2. Sugo, S., Kawashima, O., Kasahara, S., Asamura, K., Nomura, R., Miyoshi, Y., Ogawa, Y., Hosokawa, K., Mitani, T., Namekawa, T., Sakanoi, T., Fukizawa, M., Yagi, N., Fedorenko, Y. Nikitenko, A., Yokota, S., Keika, K., Hori, T. and Koehler, C. (2021). Energy-resolved detection of precipitating electrons of 30–100 keV by a sounding rocket associated with dayside chorus waves. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 126, e2020JA028477. https://doi.org/10.1029/2020JA028477

（別紙様式１－２）

Comet Interceptorミッションのための搭載機器・システム設計

Study of payloads and spacecraft system for the 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・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，現在もオールト雲に存在し，今後突発的に地球近傍に飛来する始原的な彗星（Dynamically new comet, DNC）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，初期システム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．

研究方法

本申請では，Comet Interceptorミッションの初期検討の打合せを実施した．内容は，以下のとおりである．

1)　3機での同時フライバイであること踏まえた，観測項目とスペックの絞り込み

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

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および不定期のサイエンス会合を実施した．ミッションをリードする欧州側とは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状況を詳細化し，9月にISASのワーキンググループから所内検討チームに移行し，3月には理学委員会の科学評価を受審・完了した．また，観測器開発についてもオプティクスなど主要部分の設計が決まり，現在は製作・試験の準備を進めることができた．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，9月には観測器のpreliminary requirements review，3月にはシステムのpreliminary requirements reviewが，それぞれオンスケジュールで実施されている．後者には，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

- 笠原慧，松岡彩子，村田直史，天野孝伸，桂華邦裕，大平豊，吉岡和夫，"彗星探査計画 Comet Interceptor におけるプラズマ観測"，ISEE研究集会，口頭発表，virtual，2021年3月16日．
- 笠原慧，吉岡和夫，坂谷尚哉，亀田真吾，松岡彩子，村田直史，船瀬龍，中島晋太郎，尾崎直哉，宇佐美尚人，河北秀世，新中善晴，杉田精司，"Comet Interceptor ミッション：WGからISAS所内検討チームに移行"，惑星圏科学会，ポスター発表，virtual，2020年11月13日．
- Kasahara, S., T. Amano, K. Keika, K. Yoshioka, Y. Ohira, A. Matsuoka, and N. Murata, "Plasma themes of the Comet Interceptor mission", SGEPSS, 口頭発表，virtual, 2020年11月1日．

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、オーロラ観測、自然電磁波観測、レーダー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できる。2020 年度は、既設の受信点（ノルウェー・アラスカ・カナダ 2 カ所・ロシア）の観測データを用いたサブオーロラ帯の高エネルギー電子降下現象の解析や、ホイッスラーコーラス波動に伴い生じる高エネルギー電子降下現象の数値計算研究(Miyoshi et al. 2020)を進めた。統計解析からは、コーラス波動や EMIC 波動による高エネルギー電子降下がそれぞれ磁気圏の朝側及び夕方側で出現し、特に磁気嵐の主相から回復相の前半に高い発生頻度を示すことが明らかとなった。また、substorm 時に Pi2 地磁気脈動に同期した高エネルギー電子降下現象が見つかった。地上の VLF 観測点でコーラス波動が観測されたことから、ホイッスラーモード波による高エネルギー電子の散乱が原因と考えられる(Miyashita et al. 2020)。2020 年度に VLF/LF 帯電波受信機を Kevo(フィンランド北部)へ新設することを予定していたが、コロナ禍による海外出張制限のため、受信機の準備と設置交渉・打ち合わせを行った。2021 年度以降に海外出張が可能となり次第、設置を行い、EISCAT レーダー観測や北欧で行われているミリ波、オーロラ、および磁場観測との比較研究を実施する。

研究成果

論文(査読付き)

Miyoshi, Y., S. Saito, S. Kurita, K. Asamura, K. Hosokawa, T. Sakanoi, T. Mitani, Y. Ogawa, S. Oyama, F. Tsuchiya, S. L. Jones, A. N. Jaynes, J. B. Blake (2020), Relativistic Electron Microbursts as High‐Energy Tail of Pulsating Aurora Electrons, Geophysical Research Letters, 47(21)

Miyashita, T., H. Ohya, F. Tsuchiya, A. Hirai, M. Ozaki, K. Shiokawa, Y. Miyoshi, N. Nishitani, M. Teramoto, M. Connors, S. G. Shepherd, Y. Kasahara, A. Kumamoto, M. Shoji, I. Shinohara, H. Nakata, T. Takano (2020), ULF Modulation of Energetic Electron Precipitations Observed by VLF/LF Radio Propagation, Radio Science Bulletin, Vol. 2020, No. 372

学会発表等

Ohya, H., T. Miyashita, K. Tanaka, F. Tsuchiya, M. Ozaki, Y. Miyoshi, K. Shiokawa, N. Nishitani, T. Hori, M. Connors, S. G. Shepher, Energetic electron precipitations showing ULF modulation of VLF-LF transmitter signals, 3rd ISEE symposium PWING-ERG conference and school on the inner magnetosphere, 2021 年 3 月，名古屋大学(online)

Tsuchiya, F., A. Hirai, T. Obara, H. Misawa, S. Kurita, Y. Miyoshi, K. Shiokawa, M. Connors, M. Ozaki, Y. Kasahara, A. Kumamoto, Y. Kasaba, A. Matsuoka, M. Shoji, I. Shinohara, Energetic electron precipitations associated with pulsating aurora: statistical analysis of low altitude satellite and VLF subionospheric propagation, 3rd ISEE symposium PWING-ERG conference and school on the inner magnetosphere, 2021 年 3 月，名古屋大学(online)

Ohya, H., T. Miyashita, F. Tsuchiya, M. Ozaki, K. Shiokawa, Y. Miyoshi, N. Nishitani, T. Hori, M. Teramoto, M. Connors, S. G. Shepherd, ULF Modulation of Energetic Electron Precipitations Observed by VLF-LF Transmitter

Signals, AGU fall meeting 2020, 2020 年 12 月

Tsuchiya, F., A.Hirai, T.Obara, H.Misawa, S.Kurita, Y.Miyoshi, K.Shiokawa, M.Connors, M.Ozaki, Y.Kasahara, A.Kumamoto, Y.Kasaba, A.Matsuoka, M.Shoji, I.Shinohara, Relativistic electron precipitation associated with pulsating aurora observed by VLF radio propagation: A case study, The 9th VERSIM workshop, 2020 年 11 月, 京都大学(online)

Hirai, A., F.Tsuchiya, T.Obara, Y.Kasaba, Y.Katoh, H.Misawa, K.Shiokawa, Y.Miyoshi, S.Kurita, Martin Connors, Statistical Study of EMIC Wave-Related Electron Precipitation: Ground-Based Magnetometer and Subionospheric VLF-LF Radio Measurements, The 9th VERSIM workshop, 2020 年 11 月, 京都大学(online)

Miyoshi, Y., K. Hosokawa, S. Saito, S. Kurita, S.-I. Oyama, Y. Ogawa, A, Kero, E. Turunen, S. Kasahara, S. Yokota, T. Hori, K. Keika, T. Mitani¥, T, Takashima,N. Higashio, I. Shinohara, Y. Kasahara, S. Matsuda, A. Kumamoto, F. Tsuchiya, A. Matsuoka, Wide energy electron precipitations by chorus waves: Arase-EISCAT coordinated observations, The 9th VERSIM workshop, 2020 年 11 月, 京都大学(online)

Ohya, H., T. Miyashita, F. Tsuchiya, M. Ozaki, Y. Miyoshi, K. Shiokawa, N. Nishitani, M. Connors, S. G. Shepherd, Energetic Electron Precipitations Showing ULF Modulation of VLF-LF Standard Radio Waves, The 9th VERSIM workshop, 2020 年 11 月, 京都大学(online)

土屋史紀, 平井あすか, 小原隆博, 三澤浩昭, 三好由純, 塩川和夫, 大矢浩代, Connors Martin, 笠原禎也, 熊本篤志, 小路真史, 篠原育, Energetic electron precipitation associated with pulsating aurora: Statistical analysis, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 148 回総会・講演会 2020 年 11 月

大矢浩代, 宮下拓也, 土屋史紀, 尾崎光紀, 塩川和夫, 三好由純, 西谷望, 堀智昭, 寺本万里子, Connors Martin, Shepherd Simon G, ULF modulation of energetic electron precipitations observed by using VLF-LF transmitter signals ,地球電磁気・地球惑星圏学会第 148 回総会・講演会 2020 年 11 月

大矢浩代, 宮下拓也, 土屋史紀, 尾崎光紀, 塩川和夫, 三好由純, 西谷望, 堀智昭, 寺本万里子, Martin Connors, Simon G. Shepherd, VLF-LF 帯標準電波を用いた高エネルギー降下電子の ULF 変調, 第 13 回 ERG サイエンス会議 - 2020 年度内部磁気圏研究集会 2020 年 9 月

Tsuchiya, F., A. Hirai, Y. Miyoshi, K. Shiokawa, H. Ohya, M. Ozaki, Y. Kasahara, A. Kumamoto, M. Connors, T. Obara, H. Misawa, I. Shinohara, Energetic electron precipitation associated with pulsating aurora: Statistical analysis of sub-ionospheric VLF radio propagation, 第 13 回 ERG サイエンス会議 - 2020 年度内部磁気圏研究集会 2020 年 9 月

Ohya, H., M. Takuya, F. Tsuchiya, A. Hirai, M. Ozaki, K. Shiokawa, Y. Miyoshi, N. Nishitani, T. Hori, M. Teramoto, M. Connors, S. G. Shepherd, Y. Kasahara, A. Kumamoto, M. Shoji, I. Shinohara, H. Nakata, T. Takano, Pi2 ULF modulation of energetic electron precipitations observed by using VLF-LF transmitter signals, JPGU-AGU Joint meeting 2020 2020 年 7 月

Hirai, A., F. Tsuchiya, T. Obara, Y. Kasaba, Y. Katoh, H. Misawa, K. Shiokawa, Y. Miyoshi, S. Kurita, C.-W. Jun, M. Connor, Statistical study of EMIC waves and energetic electron precipitation: ground-based magnetometer and subionospheric VLF-LF radio measurements at subauroral latitude, JPGU-AGU Joint meeting 2020 2020 年 7 月

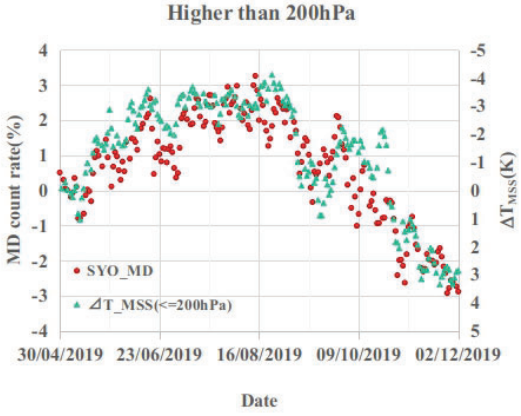
（別紙様式１-２）

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

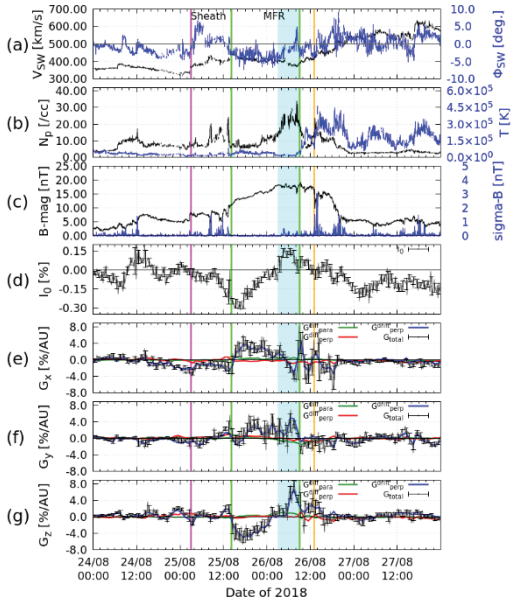
Space Weather observations using the upgraded Global Muon Detector Network (GMDN) II

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24-25サイクルの極小期を迎え，銀河宇宙線強度は1960年以降最高の強度を記録しようとしている。このような時期は，ドリフト効果など太陽圏全般に亘る大規模な宇宙線輸送過程を研究する絶好の機会である。



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。本年度は(2)の昭和基地宇宙線計のデータ　を用いて大気効果の検証を始めると共に，GMDNを用いて観測された太陽活動の極小期におけるCMEイベント解析を継続した。その結果，極域で観測される成層圏突然昇温においても宇宙線ミューオン計の計数が変動することが確認された(左上図)。イベント解析についてはGMDN＋昭和基地MD,及び中性子計ネットワークによる観測データを用いて宇宙線異方性解析をおこないこの特異なCMEの構造を解析し，フラックスロープにおいて断熱加速が起きており，その結果宇宙線密度(I_0) が増加している可能性を指摘した(右図青い影の部分，I_0はグラフ(d))。これらの結果については，以下において発表されている。



- JpGU-AGU Joint Meeting 2020 “Cosmic Ray Intensity Increase Associated with Slow Coronal Mass Ejection”
- 日本物理学会2020年秋季大会“2018年

8月のCMEイベントの解析3”

- NMDB@Home: Virtual symposium on cosmic ray studies with neutron detectors “A Particular ICME Event in August 2018 Observed with the Ground Based Muon Detectors and Neutron Monitors”
- NMDB@Home: Virtual symposium on cosmic ray studies with neutron detectors “A New Cosmic Ray Observation at Syowa Station in the Antarctic”
- Space Weather(2021), accepted “A Peculiar ICME Event in August 2018 Observed with the Global Muon Detector Network"
- Journal of Space Weather and Space Crimate(2021), accepted“New cosmic ray observations at Syowa Station in the Antarctic for space weather study”

（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に迫る国際共同研究
A international research initiative for the Asian monsoon variability driven by diverse regional hydroclimatological characteristics

寺尾　徹、香川大学・教育学部

【本申請の目的】

アジアモンスーンは、ユーラシア大陸とチベット高原、インド洋・太平洋の大規模な海陸分布がもたらす大規模大気循環系である。このアジアモンスーンの恩恵を受け、多様な文化的背景を持った数十億の人口に上る人々が暮らしている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。

本申請は、WCRPの枠組みのもと、Future Earthとの協力関係の構築も目指すGEWEXの次期RHPの初動期における計画策定および観測と研究を効果的に推進し、研究成果を出すことを主要な目的として課題を推進してきた。中でも特に、チベット高原の強い影響下にある南アジアの研究者との交流の発展に重点を置いてきた。

2019年度には、次期RHPとしてAsian Precipitation Experiment (AsiaPEX) を立ち上げた。2019年8月にはキックオフカンファレンスを北海道大学で開催し、GEWEXのProspective RHPとして承認された。AsiaPEXはサイエンスプランをGHP Panelに提出し、評価に付されている。AsiaPEXは、TRMM-PRを用いた0.01度解像度の平均降水分布の推定(Hirose and Okada 2018)、メソ対流系の生成へ地表面温度非均一性のインパクト検出(Teramura et al. 2019)、シベリア中央部の熱波に対するユーラシア大陸の積雪分布インパクトの解析(Sato and Nakamura 2019)等の成果をあげてきた。

また、2019年度までに、南アジアの降水を対象とした諸研究が進んでいる。ヒマラヤ南縁域における降水メカニズムの新しい研究プロジェクトHiPRECS (Himalaya Precipitation Study) が立ち上げられ、Fujinami et al. (2020)は、総観規模擾乱の特徴を解析した。ヒマラヤ域をターゲットにしたCORDEXの高解像度ダウンスケーリングプロジェクトの立ち上げへの協力を行うとともに、インド北部の豪雨早期警戒プロジェクトESSDMSの豪雨予測モデルに関する第2回ワークショップを2020年2月27-29日にラジャスタン中央大学にて開催した。更に引き続いてAsiaPEX / South Asiaワークショップを開催(3月1-2日)し、南アジアにおけるAsiaPEXの展開を検討してきた。

2020年度はこれら2019年度までの達成をふまえた研究推進を目指した。

【研究方法】

2020年度は以下の研究計画を策定して臨んだ。

①GEWEXのもとRHPの一つとしてのAsiaPEXのプレゼンスを強化するため、パリで11月に予定されているGHPパネルミーティングに参加するとともに、AsiaPEXの中心メンバーで執筆を進めているレビューペーパーの出版を進める。

②HiPRECSやESSDMSの研究活動の協力関係を深めるため、AsiaPEXの南アジア地域主体(AsiaPEX/South Asia)を立ち上げる。

③ヒマラヤ南縁域の降水メカニズムや、インド亜大陸北部の豪雨の予測に関する具体的な研究成果を出版する。そのためにAOGS2020のAsiaPEXセッションなどの機会を活用する。

④AMY-II IOPの研究計画を検討するワークショップを開催し、HiPRECSとESSDMSの中心メンバーらと南アジアにおけるAMY-II IOPにおける観測計画を具体化する。

⑤CORDEXのヒマラヤ周辺域の高解像度ダウスケーリングプロジェクトの出力の活用を促進するとともに、その検討のため香格里拉で8月に予定されているワークショップに貢献する。

【研究結果】

しかし、計画していた活動は、軒並み新型コロナウイルス感染症の影響を強く受け

た。CORDEXのダウンスケーリングワークショップ、AOGS2020はいずれも中止となった。
そこで、以下の活動に絞って実施して、研究交流を維持強化した。
①AsiaPEXレビューペーパー及びサイエンスプランの完成を支援すること。サイエンスプランのGHPパネルにおけるレビューは、新型コロナウイルスの影響を受けて遅れていたが、2020年11月のGHPパネルミーティング（遠隔開催）での討議を受けて再開されている。AsiaPEXレビューペーパーは、出版へ向けて進行している。本研究はこれら重要文書の英文校正の支援を行った。これまでのAsiaPEXの取り組みの押出しの取り組みも行われた(松本ら 2020; Terao et al. 2020)。
②研究交流機会をつくること。2021年8月1-6日のAOGS2021(遠隔開催)にセッションを立ち上げた。また、2021年5月の日本気象学会春季大会に専門分科会を。同じく9月の水文・水資源学会に、プロポーズドセッションを立ち上げて開催を予定している。
③新たに立ち上げた南アジアの研究交流主体を活性化すること。メーリングリストの構築を行い、2021年8月に予定されているAsiaPEX関連セッションに、多くの関連する研究発表を得ることができた。
一方で、AsiaPEXの重要な研究成果も引き続きあげられてきている。GPM/DPRを用いた全球の降水粒径気候値分布(Yamaji et al. 2020)や、フィリピンの冬季モンスーンの豪雨メカニズムにかかわる総観規模擾乱の解析(Olaguera et al. 2020)、地球温暖化に対するアジアの循環場と降水の変動特性の解析(Takahashi et al. 2020)などである。

【考察・まとめ】
アジアモンスーンに関する研究活動を引き続き活性化しつつ、2021年度中のAsiaPEXサイエンスプランと、レビューペーパーの出版に向けて、計画されている諸研究交流機会を活用することが求められている。

【引用文献】
Fujinami, H. et al. (2019): Mesoscale precipitation systems and their role in the rapid development of a monsoon depression over the Bay of Bengal. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 146, 267-283, doi: 10.1002/qj.3672.
Hirose, M. and K. Okada (2018): A 0.01 degree resolving TRMM PR precipitation climatology. J. Appl. Meteor. Climatol., 57, 1645-1661.
Sato, T. and T. Nakamura (2019): Intensification of hot Eurasian summers by climate change and land-atmosphere interactions. Scientific Reports, 9:20866, doi:10.1038/s41598-019-47291-5.
Teramura, H. et al. (2019): Observed evidence of enhanced probability of mesoscale convective system initiations due to land surface heterogeneity in semiarid East Asia. SOLA, 15, 143-148, doi:10.2051/sola.2019-026.
Takahashi, H. G. et al. (2020): Response of the Asian Summer Monsoon Precipitation to Global Warming in a High-Resolution Global Nonhydrostatic Model. J. Climate, doi: 10.1175/JCLI-D-19-0824.1.
Olaguera, L. M. et al. (2020): Non-tropical cyclone related winter heavy rainfall events over the Philippines: climatology and mechanisms. Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences. doi: 10.1007/s13143-019-00165-2.
Yamaji, M. et al. (2020): 4-year climatology of global drop size distribution and its seasonal variability observed by spaceborne Dual-frequency Precipitation Radar. J. Meteor. Soc. Japan, 98, 755-773. https://doi.org/10.2151/jmsj.2020-038.

【成果発表】
Terao, T. et al. (2020): The Asian Precipitation Experiment (AsiaPEX) Kick off Conference, Sapporo, Japan, 28-30 August 2019. GEWEX Quarterly, 30(3), 5-7.
松本 淳ら (2020): 第8回GEWEX国際会議報告. 天気, 67(9), 531-540.

（別紙様式１－２）

将来小型衛星FACTORS搭載可視高速撮像装置の設計と開発

Design and development of a fast visible imager for the future small-satellite FACTORS

坂野井健、東北大学・大学院理学研究科

【研究目的】

現在、我が国の次世代電磁圏・熱圏コミュニティ衛星として小型衛星FACTORSの検討が進められている。FACTOS計画は、JAXA宇宙科学研究所で2018年度ワーキンググループ(WG)として採択されており、理学課題と観測装置について具体的な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つの波長域で撮像する装置がある。オーロラ・大気光の紫外発光を捉える衛星搭載撮像装置は、欧米ではPolar、IMAGE、Freja、ICON衛星等の実績があるが、日本ではあけぼの衛星以降なく、最新技術に基づく衛星搭載紫外撮像装置の開発が我が国の今後の研究発展に必要である。一方で、衛星からの可視オーロラ観測は、れいめい衛星で高速8Hz撮像が行われたが、視野が狭い（70km x 70km）問題があった。加えて、FACTORSは高度3000kmの放射線帯内で観測を行うため、耐放射線耐性かつ高速撮像性能を有する宇宙用2次元検出器の検討が急務である。本研究は、FACTORSに搭載される可視オーロラ撮像装置の開発に重点を置く。特に、可視オーロラ微細構造の高速撮像を可能とすると可視2次元検出器の検討と開発を行うことを目的とする。本研究では、可視2次元検出器の具体的な検討に加えて、電気試験や放射線試験を行うことで宇宙搭載可能かどうかに見通しをたてる。なお、本申請は、名古屋大学ISEEが推進する「宇宙太陽地球システムの包括的研究による地球環境と宇宙利用 の課題解決のための国際共同研究拠点の構築」(基盤事業)に関わる。なお、2020年度は、本課題の3年次計画の2年目である。

【研究方法】

本研究においては、小型衛星搭載可視・紫外撮像装置の検討に関するミーティングを研究分担者と行い、研究目的のブラッシュアップ、観測要求の整理、装置仕様等の検討を重ねてきた。2019年度は、科学課題の具体的な検討と観測装置仕様との整合性を検討した。これにより、可視撮像装置に求められるオーロラ撮像性能が、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、感度範囲1-100kRであることが明確に定められた（以下科学要求と称する）。また、これまで複数のメーカーの宇宙使用可能なCCDまたはCMOSの検討から、検出器の性能が明らかになってきた。2020年度は、これまでの検討を踏まえて、CCDもしくはCMOS検出器の試験用パッケージを他経費も合わせて購入し、実験を行うための準備を進める。検出器試験用パッケージの選定においては、宇宙搭載の実績の有無や、衛星メーカーとの電気インターフェースなどの開発成立性を含めて検討する。また、この検出器試験用パッケージ用いた試験の準備（東北大に加え、JAXA/ISAS設備利用の交渉も含む）を進める。特に、FACTORS衛星は遠地点高度が3000-4000km程度になる計画であり、放射線帯の中に長時間滞在するため、耐放射線性が問題となる。本研究で購入した検出器試験用パッケージを用いて、放医研もしくは同等の試験設備にて放射線試験を実施する。また、可視撮像装置用の屈折レンズを用いた対物光学系を設計する。これは、本研究では、上記の検出器と組み合わせて科学要求を満たすために必要な性能(口径とF値)を満たすものとなる。この設計と試験において衛星搭載可視・紫外光学装置開発に実績のある海外研究者(Frey氏、Schneider氏)と連携する。本研究は、2019年度から3年間計画のISEE一般共同研究「衛星搭載イメージング可視・紫外撮像光学系の設計と開発」を相補しつつ、海外研究者の参加に基づく共同研究である。

【研究結果】

本年度は可視カメラと紫外カメラ用のそれぞれの検出器について、国内メーカーのCCDと海外メーカーのCMOSともに検討を重ねた。この結果、CCDとCMOSいずれもカメラ搭載可能性があることが分かった。しかしながら、CCDについては国内メーカーの製品が感度が高く、かつ調達性も良好であるものの宇宙実績がないこと、CMOSについては海外メーカー検出器は宇宙実績がありノイズも低いが、メーカーの開発スケジュールと我々のスケジュールが一致しないと検出器が提供できないなど、それぞれ一長一短であることが分かった。また、国内衛星メーカーと検討を行い、可視・紫外カメラの電気系、光学系いずれについても設計・製作可能であることが分かった。

この検討後、本年度は可視と紫外いずれにも使用できる可能性がある国内メーカーの試験用検出器パッケージ（検出器と読み出し・駆動エレキおよびPCソフトウェアのセット）を購入した。これに外部経費を加え、カメラ筐体、試験用光学レンズ、レンズ視野回転ステージを製作した。本年度COVID-19のために出張が制限されたため、開発や実験に遅れが生じたが、本年度の開発により検出器電気試験、光学試験、分光感度特性試験などの環境に加え、耐放射線試験を行う準備を整えることができた。来年度東北大やJAXA/ISASにおいて、電気試験と光学試験を計画している。

また、検討の結果可視カメラの科学要求を持たすためには、れいめい衛星搭載カメラよりも数倍明るい対物レンズと低ノイズの検出器が必要であることが分かった。現状れいめい衛星で実績のある対物レンズを改良することで製作可能と見込まれているが、この光学系詳細設計と重量・サイズの見積もりは来年度以降の課題である。

【成果発表（坂野井に下線）】

＜査読付き論文＞

1. Kataoka, R., C. Chaston, D. Knudsen, K. A. Lynch, R. L. Lysak, Y. Song, R. Rankin, K. Murase, T. Sakanoi, J. Semeter, T. H. Watanabe, D. Whiter (2021), Small-Scale Dynamic Aurora, Space Sci. Rev., vol. 217, 1, 17, https://doi.org/10.1007/s11214-021-00796-w.

2. Fukizawa, M., T. Sakanoi, Y. Miyoshi, Y. Kazama, Y. Katoh, Y, Kasahara, S. Matsuda, A. Matsuoka, S. Kurita, M. Shoji, M. Teramoto, S. Imajo, I. Sinohara, S. Y. Wang, S. W. Y. Tam, T. F. Chang, B. J. Wang, C. W. Jun (2020), Pitch-Angle Scattering of Inner Magnetospheric Electrons Caused by ECH Waves Obtained With the Arase Satellite, Geophys. Res. Lett., vol. 47, 21, e2020GL089926, https://doi.org/10.1029/2020GL089926.

3. Miyoshi, Y., S. Saito, S. Kurita, K. Asamura, Kl Hosokawa, T. Sakanoi, T. Mitani, Y. Ogawa, S. Oyama, F. Tsuchiya, S. L. Jones, A. N. Jaynes, J. B. Blake (2020), Relativistic Electron Microbursts as High-Energy Tail of Pulsating Aurora Electrons, Geophys. Res. Lett., vol. 47, 21, e2020GL090360, https://doi.org/10.1029/2020GL090360.

4. Nishimura, Y., M. R. Lessard, Y. Katoh, Y. Miyoshi, E. Grono, N. Partamies, N.Sivadas, K. Hosokawa, M. Fukizawa, M. Samara, R. G. Michell, R. Kataoka, T. Sakanoi, D. K. Whiter, S.-I. Oyama, Y. Ogawa, S. Kurita (2020), Diffuse and Pulsating Aurora, Space Sci. Rev., vol 216, 4, https://doi.org/10.1007/s11214-019-0629-3.

＜学会発表＞

1. M. 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, 日本地球惑星科学連合2020年大会, ポスター発表, May 24-29, 2020.

2. T. Sakanoi, M. Hirahara. Y. Miyoshi, K. Asamura, K. Hosokawa, Y. Saito, H. Kojima, N. Kitamura, M. Fukizawa, S.-I. Oyama, T. Tsuda, A. Saito, H. Frey, and N. Schneider, Auroral imaging at visible and far-ultra-violet wavelengths for the future polar orbiting satellite mission FACTORS, 日本地球惑星科学連合2020年大会, ポスター発表, May 24-29, 2020.

3. 平原 聖文、齋藤 義文、小嶋 浩嗣、浅村 和史、山内 正敏、坂野井 健、三好 由純、北村 成寿、杉本 理英、宇宙地球結合系探査「FACTORS」計画の現状：編隊飛行衛星群と軌道擾乱・制御、第21回宇宙科学シンポジウム、ポスター発表, Jan. 6-7, 2021.

4. 三好 由純、北村 成寿、平原 聖文、浅村 和史、坂野井 健、西山 尚典、小嶋 浩嗣、FACTORSオーロラ観測チーム、大気加熱・流出検討チーム、FACTORS計画における科学検討の現状報告、第21回宇宙科学シンポジウム、ポスター発表, Jan. 6-7, 2021.

5. 浅村 和史、小嶋 浩嗣、坂野井 健、FACTORS 計画検討チーム、FACTORS計画における観測機器開発の現状報告告、第21回宇宙科学シンポジウム、ポスター発表, Jan. 6-7, 2021.

（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

コロナ禍のため研究を実施できなかった。

（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 2021 年冬季に延期された．当初は，本国際共同研究の予算を用いて，現地への地上観測機器の輸送や運用を担当するメンバーの旅費を支弁する予定であったが，この予算を用い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．2020 年度は，2021 年冬季の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，より可搬性が高く，ロバストなシステムを構築することを目指している．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ている．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（670 nm，844.6

nm）を同時に撮像できるオーロラ観測システムを，ZWO 社の小型カメラを用いて開発している（本国際共同研究の予算を用いて購入）．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製作を行っており，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，などについて 2021 年秋までにシステムを完成させる目処が立ちつつある．これらの光学観測機器は，ロケットの打ち上げタイミングの判断にも用いられるため，リアルタイムでデータを可視化できるようなシステムを実装する必要がある．特に，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）を確認できることがロケットの打ち上げ条件に含まれていることから，内部変調の有無を現場で判断できるような quick look (QL) システムの構築を行うことが今後の課題である．

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．北欧およびアラスカにおける EMCCD カメラを用いたオーロラの高速撮像とあらせ衛星による磁気圏コーラス波動の観測を組み合わせることで，数秒から数十秒の周期をもつ主脈動だけでなく，その中に内包される秒以下の明滅（内部変調）についても，コーラスの微細な時間変化によって形成されていることを実証的に確かめた（Hosokawa et al., 2020）．また，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，数値シミュレーションによって明らかにしている（Miyoshi et al., 2020）．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．さらに，Hosokawa et al. (2020) で取り扱った事例について詳細な解析を行い，脈動オーロラの発光強度の時間変化が単純な ON/OFF だけでなく，OFF のときにディフューズオーロラの背景輝度レベルよりも低くなる傾向を見いだし，あらせ衛星のデータを用いてその原因を考察した論文も出版している（Hosokawa et al., 2021）．

関連する論文:

1. Hosokawa, K., Miyoshi, Y., Ozaki, M. et al. Multiple time-scale beats in aurora: precise orchestration via magnetospheric chorus waves. Sci Rep 10, 3380 (2020). https://doi.org/10.1038/s41598-020-59642-8
2. Miyoshi, Y., Saito, S., Kurita, S., Asamura, K., Hosokawa, K., Sakanoi, T., et al. (2020). Relativistic electron microbursts as high-energy tail of pulsating aurora electrons. Geophysical Research Letters, 47, e2020GL090360. https://doi.org/10.1029/2020GL090360
3. Hosokawa, K., Miyoshi, Y., Oyama, S.-I., Ogawa, Y., Kurita, S., Kasahara, Y., et al. (2021). Over-darkening of pulsating aurora. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 126, e2020JA028838. https://doi.org/10.1029/2020JA028838
4. Sugo, S., Kawashima, O., Kasahara, S., Asamura, K., Nomura, R., Miyoshi, Y., Ogawa, Y., Hosokawa, K., Mitani, T., Namekawa, T., Sakanoi, T., Fukizawa, M., Yagi, N., Fedorenko, Y. Nikitenko, A., Yokota, S., Keika, K., Hori, T. and Koehler, C. (2021). Energy-resolved detection of precipitating electrons of 30–100 keV by a sounding rocket associated with dayside chorus waves. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 126, e2020JA028477. https://doi.org/10.1029/2020JA028477

（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（2020年度）はその2年目である。

2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のデータ解析の準備
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年目の今回は、成影、川手の指導のもと、長澤（大学院生・修士2年、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、主に加速電子の制動放射による非熱的放射と、加熱された高温プラズマによる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、日本天文学会2020年秋季年会と2021年春季年会で発表するとともに、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。

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

FOXSI-3のデータ解析に向けて、観測装置の機器校正とデータ解析用のツールの整備を実施した。これらの作業は米国 FOXSI チームと定期的な打合わせのもと実施し、機器較正の成果の一部は、Buitrago-Casas et al. (2020)として論文にまとまった。現在、機器較正はほぼ完了し、観測データの解析を開始している。2021年度（本計画の最終年である3年目）には、科学成果を論文として出版できると考えている。

【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。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)で採択された。打ち上げは、2024年を予定している。この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。

FOXSI-4の採択を受け、2020年11月にはミッションのキックオフ会合を開催し、本格的な活動が開始した。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についての研究成果については、日本天文学会2021年春季年会で2件の口頭発表を行った。

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ている。太陽フレアを観測するFOXSI-4の実施においては、ISEEが進められている太陽フレア発生予測研究（Kusano et al. 2020 など）の協力を仰ぎたいと考えている。

最後に、2020年度は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、本国際共同研究の経費のおかげで、リモートでの打ち合わせ環境を整えることができ、成果を挙げることが出来た。ありがとうございました。

以上

ALMAアーカイブデータ解析による太陽系内天体大気の物理化学プロセスの解明
ALMA Archive Data Analysis for the Chemical Physics in Atmospheres of Solar Objects

平原　靖大　名古屋大学・環境学研究科

【研究目的】イオ大気の生成・散逸の物理化学プロセスの解明

SO_2 を主成分としたイオの希薄な大気($(1\text{-}10)\times10^{-9}$ bar)は、高温火口から直接噴出と、表面に堆積した SO_2 の霜が太陽光の加熱による昇華によって生成する。SO_2 は電子衝突や太陽光によって O, S 原子に解離し、イオ重力圏から脱出し、最終的に磁気圏でイオン化する。このトーラスイオンはイオや他の衛星の地表や大気と衝突し、化学反応を起こす。従って、イオの地表面や大気、イオ軌道周辺の原子・イオンを多波長で観測することは、イオ大気の生成・散逸過程、衛星の表層環境や火山活動、及び木星磁気圏への物質供給への理解につながる(図 1)。また、火山活動が活発という点でイオと地球は共通しており、金星や火星でも活火山の存在が議論されている。これらの天体大気の電波観測は比較惑星学的観点において重要である。

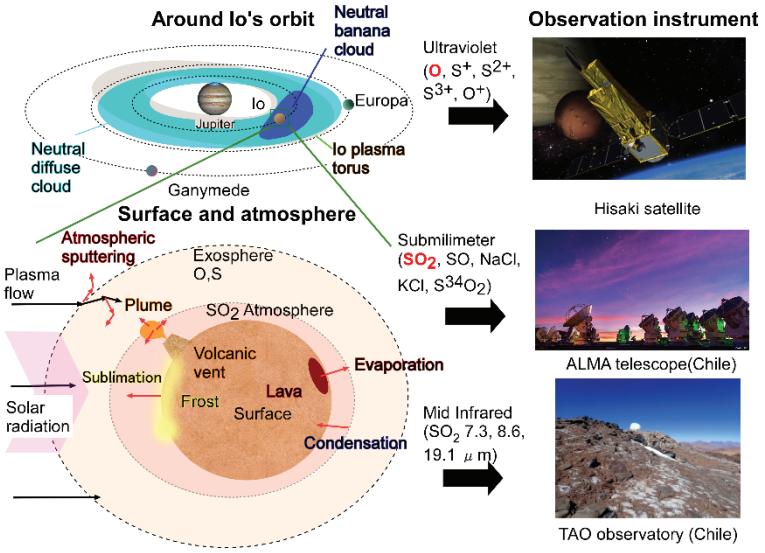


図 1: イオの大気の供給と散逸過程、および、イオを起源とする固体および気体化学種の観測手法

【研究方法】本研究では、イオ大気の ALMA アーカイブ観測データの詳細な解析を行い、木星の陰にイオが入る前と後の SO_2 大気の空間分布や速度分布を明らかにした[成果論文 1:R. Koga, T. Suzuki, F. Tsuchiya, T. Sakanoi, and Y. Hirahara, ApJL (2021)]。SO_2 の spectral map(図 2 左)からイオの北半球高緯度の西側のリム(Region 1)と赤道周辺の東側(Region 3)で発光強度が大きいことがわかった。Region 1 と Region 3 では異なる火山ガスの噴火形態を見ることができた。イオが陰に入る直前の Region 1 のスペクトル形状は、Main component と Red-shifted component の二つのガウス関数の重ね合わせで説明できた(図 2 中央)。それらの成分の速度差は～0.6 km/s で、プルームによって放出されて

いるガス速度の視線方向成分と地表付近からの昇華成分との差を反映していると解釈できる。

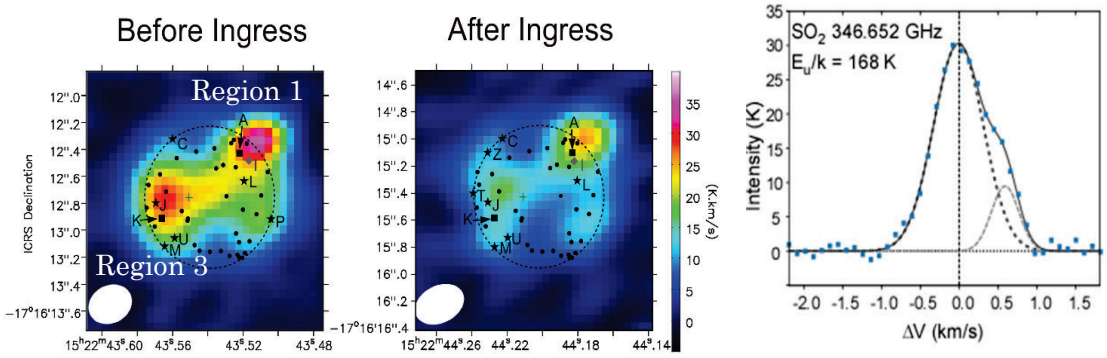
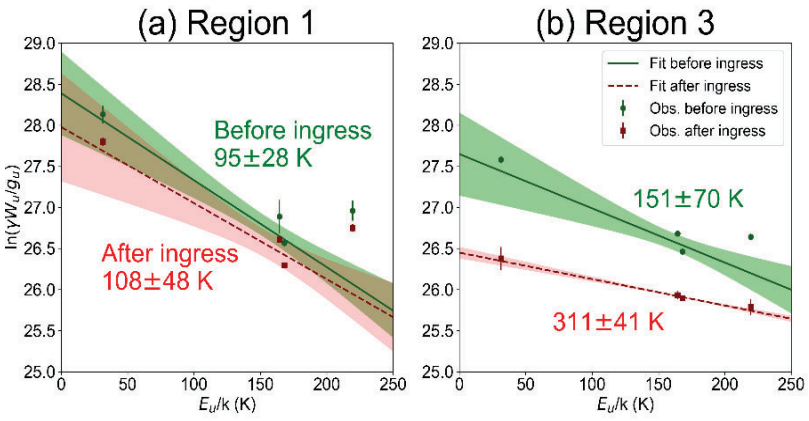


図 2 (左) Integrated intensity maps for the SO_2 346.652 GHz ($19_{1,19}$-$18_{0,18}$) line before and after Ingress. Dashed circles show Io's disk and white ovals show the beam size. Distribution of hot spots listed by Cantrall et al (2018) [2] is overlapped.
(右) Spectral lineshapes for the SO_2 lines in Region 1 before ingress. Solid lines show the fitted lines to the composite Gaussian function. Dashed lines show the main and red-shifted spectral components.

また、LTE 状態の仮定のもとで、Region 3 の大気の回転励起温度を計 4 本の SO_2 の遷移 (Eu/k =31, 164, 168, 220 K)の積分強度から Population diagram [文献 1]を用いて評価した (図 3)。Region 1 では、木星蝕前と中の観測点に対するフィッティングの精度は悪く、Eu/k =220 K の点に熱的に非平衡である成分が見られた。この原因は磁気圏のイオンが外気圏に衝突することによる上層大気の加熱が関係していると考えられる。Region 3 では木星蝕前は 151 ± 70 K に対し、木星蝕中は 311 ± 41 K に上昇することが分かった。また、木星蝕中はすべての遷移の積分強度がフィッティングの信頼区間の範囲に収まった。このことからイオが木星蝕中、昇華大気が凝結により消失し、溶岩起源ガスのみが残されたと考えられる。

図 3. Population diagrams of Io's atmospheric SO_2 for Region 1 and 3 before and after ingress. The 1-σ confidence intervals of observed values are shown in filled areas.



【今後】

これまでの ALMA のイオ大気観測は木星側の面の観測がメインである。しかし木星側より反木星側の方が、観測された火山プルームは多く、フロストが降り積もっている表面の割合も大きい[2]。また、HST 観測によると、反木星側の面の方が木星側より SO_2 大気による Ly-α の吸収が大きいことがわかっている[3]。火山噴火が大気に与える影響をより詳細に理解するため、木星側より多くのガスの存在が期待できる反木星側の面をイオ視直径を上回る分解能で電波観測することが必要である。

【引用文献】

[1] N.A, Goldsmith, P. F., & Langer, W. D., “Population diagram analysis of molecular line emission”, ApJ, 517, 209-225 (1999).

[2] Feaga, L. M., McGrath, M., & Feldman, P. D., “Io’s dayside SO2 atmosphere”, Icarus, 201, 570-584 (2009).

[3] Cantrall, C., de Kleer, K., & de Pater, I., et al., “Variability and geologic associations of volcanic activity in 2001–2016”, Icarus, 312, 267–294 (2018).

【関連成果論文】

[1] R. Koga, T. Suzuki, F. Tsuchiya, T. Sakanoi, and Y. Hirahara, "ALMA Observation of SO_2 Gas Originating from Io's Volcanic Plume and Lava Areas", ApJL, 907(1), L6-14, DOI:10.3847/2041-8213/abd39f

【関連学会発表】

[1] 古賀 亮一、木星衛星イオの火山噴火による大気と散逸ガスの変動、衛星系研究会、一関高専（オンライン開催）招待講演、2021/3/1

[2] 古賀亮一, 土屋史紀, 鈴木達也, 平原靖大, H.T.Smith, 木村智樹, 村 上 豪, 吉川一朗, 吉岡和夫, 山崎 敦, 鍵谷 将人, 坂野井 健、”木星衛星からの大気・内部物質散逸”、第22回惑星圏研究会、東北大学(オンライン開催)、2021/2/19

[3] 古賀亮一, 平原靖大, 鈴木達也, 土屋史紀, 坂野井健,"ALMA で検出された木星衛星イオの二酸化硫黄噴火ガス"、2020年秋季日本天文学会、弘前大学(オンライン開催)、2020/9/8

[4] 古賀 亮一、平原 靖大、鈴木 達也、土屋 史紀、鍵谷 将人、坂野井 健、木村 智樹、吉川 一朗、吉岡 和夫、村上 豪、山崎 敦、"ひさき衛星とALMAで観測されたイオの火山活動と大気・イオプラズマトーラスの関係"、JpGU-AGU Joint Meeting 2020, 幕張メッセ（オンライン開催）、2020/7/12

[5] 平原靖大、”スペースからの中間赤外線高分散分光による宇宙化学”、G-REXサイエンス検討会、招待講演、早稲田大学(リモート開催)、2021/3/24-25

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】

本研究は，高質量分解能を有した次世代型の宇宙機搭載用イオンエネルギー質量分析器の機能を確立することである．人工衛星及び観測ロケットを利用したプラズマその場観測では，3次元速度分布関数の取得と共に質量分析によるイオン種の同定もイオン計測には必須となっている．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となる．

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である。現時点で計画及び検討されている宇宙機搭載の粒子計測器による観測計画では，MMX(火星衛星)，Comet Interceptor(彗星)，FACTORS(地球電離圏)，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.またいずれの観測計画でも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も得られることも期待出来る．

【研究方法】

前年度までに数値モデルを用いたイオン質量分析器イオン光学系の設計を完了し，製作し試作モデルを真空槽内に設置してイオンビームを照射する性能試験を行った．本年度は試作モデルの結果を反映させてMMX計画用イオンエネルギー質量分析器(MSA)のエンジニアリングモデルの設計を行った．

【研究結果】

コロナ禍により，移動を伴う他機関実験室での作業は制約を受けたが，設計作業はコンピュータ上でほぼ完結するため滞りなく予定を消化した．数値計算によって要求性能を満たすイオン光学系を決定し，振動衝撃への耐性や組み上げ作業を考慮した構造を備えたCADモデルを作成した(図1)．また，今後の性能試験のため試験環境や物品消耗品の準備などを行った．

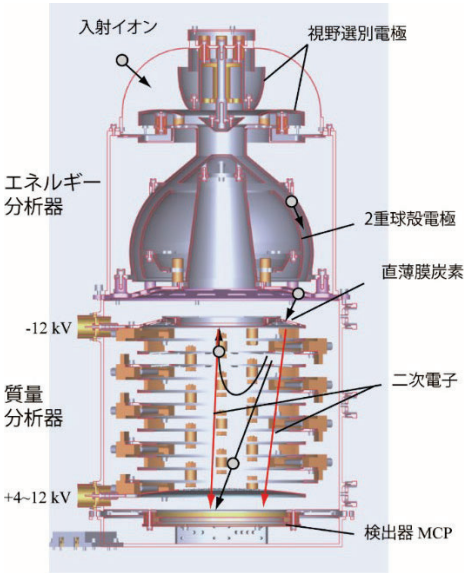


図 1：イオン分析器 CAD モデル断面図

【まとめ】

本研究成果を元にMSAチームはMMX計画におけるJAXA基本設計審査会(PDR)を受け，2020年10月にエンジニアリングモデル開発について了承を得た．現在は設計結果に基づきエンジニアリングモデルを製造中である．2021年度はエンジニアリングモデルの性能試験及び環境試験を実施し，設計結果と比べて検証作業を行う．エンジニアリング試験結果をまとめてフライトモデル設計を行い，詳細設計審査会（CDR)への準備作業へと向かう予定である．

【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, lobal emissions of carbon ions from the total lunar surface, 日本地球惑星科学連合 2020 年大会, 2020 年 7 月 13 日
- 横田勝一郎他, 火星衛星探査計画 MMX MSA 開発状況報告, 第 64 回宇宙科学技術連合講演会, 2020 年 10 月 29 日.
- 出口雅樹, 横田勝一郎他, MMX 搭載用イオンエネルギー質量分析器の性能評価, 日本惑星科学会 2020 年 秋季講演会, 2020 年 11 月 12 日.
- 横田勝一郎他, In situ observations of ions and magnetic field around Phobos: Mass Spectrum Analyzer (MSA) for Mars Moons eXploration (MMX), 地球電磁気・地球惑星圏学会 第 147 回総会・講演会, 2020 年 11 月 2 日.
- S. Yokota, Lunar pickup ions, Mini-moon seminor, Taiwan Space Union, 2020年12月7日.
- 横田勝一郎他, 地球型惑星衛星に起きている物質の供給と放出, Symposium on Planetary Sciences 2021, 2021年2月19日（招待講演）
- S. Yokota et al., In situ observations of ions and magnetic field around Phobos: Mass Spectrum Analyzer (MSA) for Mars Moons eXploration (MMX), 4th MMX Science working Team Meeting, 2021年2月24日.
- 横田勝一郎他, 火星衛星フォボス周辺での将来イオン磁場観測：MMX探査機搭載MSAの開発, ISEE研究集会「宇宙地球結合系における物理機構・素過程に関する統合的研究形態・体系の構築・推進」, 2021年3月18日.
- S. Yokota et al., Global emissions of indigenous carbon ions from the Moon, *Science Advances*, 6, eaba1050, 2020.

（別紙様式１－２）

宇宙線をプローブとした太陽風とIMFの断層撮像的観測
Tomographic observation of solar wind and IMF using cosmic ray as a probe

小島　浩司、中部大学・天文台

研究目的

本研究では，日印共同研究 GRAPES-3（南インド・タミルナド州 Ooty）の空気シャワー観測装置と大型宇宙線望遠鏡を用いて，広いエネルギー帯域で，宇宙線の多方向同時観測を行う．これにより，内部太陽圏の宇宙線密度分布の空間的構造とエネルギー依存性を明らかにし，太陽周辺領域および内部太陽圏における IMF プラズマの断層的撮像（トモグラフィー）を行うことが，本研究の目的である．また，同様の手法を，名古屋大学宇宙地球環境研究所（ISEE）の 36 平方メートルのミューオン望遠鏡と，メキシコ・シェラネグラ山の宇宙線望遠鏡にも適用し、世界規模の観測を目指す．さらに，現在南米ボリビヤで建設計画が進められている ALPACA 実験に参加することで，１日単位での断層撮像も可能となる．

研究方法

本研究では，多方向ミューオン望遠鏡を用いた大気ミューオン観測と，宇宙線空気シャワー観測で得られたデータを用いる．ミューオン望遠鏡では、一次宇宙線の強度変動のモジュレーションを利用し，空気シャワー観測では、太陽の宇宙線遮蔽効果の利用を IMF のモニタリングを行なう．

本研究で用いる観測装置は，GRAPES-3 の多方向ミューオン望遠鏡，本研究所・東山キャンパス内の多方向宇宙線ミューオン望遠鏡，および東京大学宇宙線研究所・明野観測所の多方向ミューオン望遠鏡である．また太陽遮蔽効果の解析には、GRAPES-3 空気シャワー観測装置を利用する．これらの観測装置に加えて，全世界に展開されている中性子検出器のデータを統合的に解析することで，従来の約１００倍以上のエネルギー領域において解析が可能となる．観測で得られた宇宙線強度変動と宇宙探査機による IMF プラズマの物理量を比較して，それらを関連付けているパラメータを推定する．さらに，多方向ミューオン望遠鏡及び空気シャワー観測装置で得られる二次元宇宙線強度分布と，惑星間シンチレーション（IPS）観測から得られる太陽風の空間的構造とを比較解析することにより，宇宙線の異方性と太陽風の空間構造との関連を明らかにし，磁気雲の 3 次元構造や磁気中性面（カレントシート）の形状の解明を目指す．

GRAPES-3 研究活動報告

2019 年度の終盤では、新型コロナウィルスの世界的流行により、予定していた 3 月中のインド渡航が取りやめになった。これにより、2019 年度の研究予算の未執行分は次年度に

繰り越された。

2020 年度においても、依然として新型コロナウィルスの流行が治まらなかったため、ほぼ全ての研究活動が計画通りに進めることができなかった。本研究における主要協力機関であるインド・タタ基礎研究所においても状況は日本国以上に悪く、今現在においても外国仁の入国が認められていない。さらにインド国内においても、永らく全土におよぶ都市封鎖が長期に亘ったこと、とくに GRAPES-3 のある Ooty への侵入が著しく制限されていたため、インド側共同研究者も観測施設に行くことが困難な状況が続いた。そのため、我々が進めているミューオン検出器の建設作業も滞っている。そのような中、本研究においても、予算計画を見直すことになり、専ら次に挙げる事項に関連した物品購入を 2019 年度の繰り越し部分も含め執行することにした。①観測データの長期保管の手法、②新ミューオン検出器の回路部品、③比例計数管製作用物品、④データ解析環境の整備。これらの項目について、高圧・低圧電源、記録メディア、PC モニター、蝋付け用品、電子部品を購入した。

一方で、オンラインによる研究打合せは随時行なわれており、解析に関するミーティングは週に 1 回程度で行なわれている。日本国内においても、GRAPES-3 共同研究者による不定期の会議が行なわれている。

（別紙様式１－２）

オーロラパッチ内部の分極電場
Polarization Electric field inside auroral patch

国立研究開発法人　海上・港湾・航空技術研究所
電子航法研究所
高橋透

研究目的

近年、オスロ大学が実施したロケット実験データから申請者らは、170 km以下(F領域下部およびE領域)の電気伝導度がオーロラによって増大させられると、250 km付近(F領域)で生成された電離圏擾乱が弱められることを明らかにした(投稿済)。この結果は、E領域の伝導度が増大することでF領域とE領域を結ぶ沿磁力線電流が生成され、F領域の分極電場を弱めたため電離圏擾乱も同時に弱められたと考えられる。従って、E領域の電気伝導度の増大は、電離圏擾乱を弱める働きをするということが考えられる。

これまで本研究課題で遂行した研究は事例解析であり、より普遍的な電離圏擾乱の描像を明らかにするためには統計解析を行う必要がある。E領域の電気伝導度を増大させるオーロラ降下粒子による電離は全天カメラによる557.7 nmの発光強度から推定が可能である。また、E領域において高度方向に薄く電子密度（伝導度）の高い領域であるスポラディックE（Es）層が発生することがある。Es層はスポラディックナトリウム層（SSL）との発生の相関が良い特徴を利用し、ナトリウムライダーによるNa密度観測からEs層の出現と内部の電気伝導度の推定をする。また、イオノゾンデも電離圏電子密度の推定やEs層の検出に用いる。これらのE領域の電気伝導度の増大と、電離圏擾乱を観測するGPSシンチレーション観測とを合わせ用いることにより、E領域での電気伝導度の増大によって電離圏擾乱が弱められるか否かを統計的に明らかにすることを目的とする。

研究方法

2018～2019年度に実施した事例解析結果が普遍的な電離圏の描像であるかを統計研究によって調査する。そのために、ノルウェー・トロムソ及びスキボトム、スピッツベルゲン島ニーオールスンにおいてGPSシンチレーション観測とオーロラ発光強度、およびEs層の同時観測を実施する。

研究結果

当初は研究方法に記述の通り、観測所または研究機関に出張し、現地観測及び議論を行う予定であったが、新型コロナウイルスの感染拡大によって移動が大きく制限を受けた。そのため、研究目的を部分的

に変更し、これまで実施された4回のロケット実験データを用いて、オーロラの発光強度と電離圏擾乱の生成・成長の研究を実施した。

2018年12月7日にVISIONS-2:35039、2018年12月8日にTRICE-2:52003及び52004、2019年1月9日にCAPER-2が打ち上げられた。これら4発のロケットにはMulti-Needle Langmuir Probe (m-NLP)が搭載され電子密度を高速（6250-10000 Hz）で観測しており、10 mから1000 mのスケールの電子密度の変動を観測することができる。

ロケットで観測された電子密度変動（イレギュラリティ）と全天カメラで観測されたオーロラ発光強度との比較を図1に示す。図(a), (b), (c)から、557.7 nmの発光強度とイレギュラリティとに顕著な相関は見られなかった。その一方で、図(d), (c), (f)から、35029, 52004, CAPER-2で観測されたイレギュラリティと630.0 nmのオーロラの発光強度には相関が見られ、発光強度の増大に伴って、イレギュラリティの振幅も増大した。

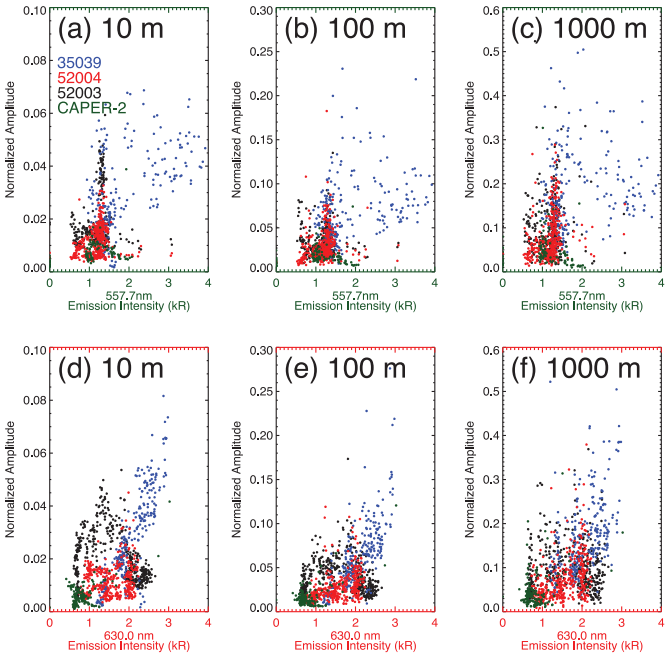


図1. オーロラ発光強度と10, 100, 1000 mスケールのイレギュラリティとの比較。557.7 nmとの比較を(a), (b), (c)に、630.0 nmとの比較を(d), (c), (f)に示す。

考察とまとめ

本研究では630.0 nmの発光強度とイレギュラリティとの関係に着目した。52003で観測されたイレギュラリティは他のロケットで観測されたものと異なる描像であった。全天カメラの画像データから、ロケットがカスプオーロラに侵入した時刻を見ると、52003はカスプオーロラが拡大した直後にカスプオーロラ内部に侵入しており、イレギュラリティの振幅の増大はカスプオーロラのエッジ付近で見られた。その他のロケットのケースでは、カスプオーロラが拡大し、その形状を保った状態の時にその内部にロケットが侵入しており、カスプオーロラの中心部でイレギュラリティの増大していた。また、52004は52003の2分後にカスプオーロラに侵入している。ことから、イレギュラリティを作り出す主なメカニズムは2分以内のタイムスケールで変化し、カスプオーロラが拡大した直後はそのエッジ付近で密度勾配が急峻になったことに起因したメカニズム（密度勾配不安定など）によって主に生成され、その後はカスプオーロラの中心部でオーロラの構造化した降り込みによって生成されている可能性が考えられる。

これらの研究は論文として近日中に投稿する予定である。

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・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)。

太陽活動は, 2019 年 12 月より Cycle25 がはじまった。2020 年以降, 徐々に活発な太陽活動に移行するものと思われるが, Cycle25 も Cycle24 同様に低調な太陽活動であるとの予測もあり (https://www.swpc.noaa.gov/news/solar-cycle-25-forecast-update), レーダー観測データ等を用いることにより, 幾つかの Cycle における静穏な極域電離圏の比較が可能になるものと考えられる。本研究では, 極域(特にカスプ近傍での昼側極冠域)の電離圏・熱圏データを取得して, 2007 年-2008 年の極小期データ等との比較を実施する(昼側極冠域電離圏・熱圏は、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。したがって, 本研究のようなデータの蓄積が重要と考えている)。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(局所的に)分布している際の電離圏変動(特に静穏時)の特徴を調べることを目的とする。

研究方法（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（2020 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

高エネルギー粒子の流入による電離，大気加熱，大気組成変動を調べるための数値コードを開発してきた。数値コードの動作確認や GCM への組み込みを行っている。本年度は，コロナ禍の影響により研究活動が制限され，数値シミュレーションの準備・検討といった作業が中心となった。

EISCAT レーダー特別実験

昨年度中止となった特別実験を実施するため，藤原，野澤がトロムソに赴き，2021 年 3 月に特別実験を実施予定であったが，新型コロナウイルスの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，2021 年 3 月 11 日，25 日の 7:00-13:00 UT に EISCAT 特別実験を実施した(3/11 と 3/12 の連続日程での実施予定であったが，ESR サイトでの機器トラブルのため 3/12 は中止とし，3/25 の実施となった)。

本研究課題に関連した主な成果発表

学会発表等

藤原 均. 三好 勉信, 野澤 悟徳, 小川 泰信, 陣 英克, 垰 千尋, 品川 裕之, Space weather modelling of the dayside polar ionosphere and thermosphere, 地球惑星科学関連学会連合大会 (JpGU-AGU Joint Meeting), 7 月, オンライン, 2020.

垰 千尋, 陣 英克, 品川 裕之, 三好 勉信, 藤原 均, Neutral and ion dynamics seen in GAIA with variable high-latitude input, 地球惑星科学関連学会連合大会 (JpGU-AGU Joint Meeting), 7 月, オンライン, 2020.

野澤 悟徳, 津田 卓雄, 斎藤 徳人, 川原 琢也, 和田 智之, 小川 泰信, 藤原 均, 高橋 透, 川端 哲也, ホール クリス, ブレッケ アスゲイル, Statistical study of Sporadic Sodium Layers (SSLs) above Tromso (2), 地球惑星科学関連学会連合大会 (JpGU-AGU Joint Meeting), 7 月, オンライン, 2020.

陣 英克, 三好 勉信, 垰 千尋, 品川 裕之, 藤原 均, 太陽放射スペクトルの変動による熱圏・電離圏の応答, 第 148 回地球電磁気・地球惑星圏学会, オンライン, 11 月, 2020.

Satonori Nozawa, Takuo Tsuda, Norihito Saito, Takuya Kawahara, Satoshi Wada, Yasunobu Ogawa, Hitoshi Fujiwara, Toru Takahashi, Tetsuya Kawabata, Chris Hall, Asgeir Brekke, Statistical study of Sporadic Sodium Layers (SSLs) above Tromsoe (3), 第 148 回地球電磁気・地球惑星圏学会, オンライン, 11 月, 2020.

川原 琢也, 野澤 悟徳, 津田 卓雄, 斎藤 徳人, 川端 哲也, 和田 智之, 藤原 均, 三好 勉信, 北極域ナトリウムライダーによる中性大気温度・風速観測： 下部熱圏(80km-200km)と年間観測への拡張, 第 148 回地球電磁気・地球惑星圏学会, オンライン, 11 月, 2020.

Chihiro Tao, Michi Nishioka, Susumu Saito, Daikou Shiota, Kyoko Watanabe, Hidekatsu Jin, Hiroyuki Shinagawa, Naoto Nishizuka, Takuya Tsugawa, Yasunobu Miyoshi, Hitoshi Fujiwara, Mamoru Ishii, Statistical analysis of short-wave fadeout for extreme event estimation, 第 148 回地球電磁気・地球惑星圏学会, オンライン, 11 月, 2020.

Yasunobu Ogawa, Satonori Nozawa, Yoshimasa Tanaka, Taishi Hashimoto, Shin-ichiro Oyama, Takuo Tsuda, Hitoshi Fujiwara, Koji Nishimura, Hiroshi Miyaoka, Takuji Nakamura, Ryoichi Fujii, Ingemar Haggstrom, Craig Heinselman, Current EISCAT and next EISCAT_3D database, 第 148 回地球電磁気・地球惑星圏学会, オンライン, 11 月, 2020.

藤原均, 超高層大気科学の研究課題とレーダー観測・数値シミュレーション, 2020 年度 EISCAT 研究集会, オンライン, 3 月 25 日, 2021.

（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 80-115km 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。この技術はそのままライダー昼間観測に応用でき、ライダーの夏季観測・24 時間連続観測へと発展可能である。その課題として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 ライダーでは、冬季夜間の観測で背景光を除去するために市販のバンドパスフィルタ（幅約 1nm@589nm）を使用している。一方、熱圏領域（高度 120 km 以上）の Na 原子密度は、密度が Na 原子層ピーク高度(90 km)の 1/1000 以下で、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）（図 1）を実現する超狭帯域光学フィルタの開発を開始した。Na ライダーでの温度・風速計測手法では、レーザ波長におけるフィルタ透過率の安定性が極めて重要となる。その核となるのが Na セルであり、従来品の問題点の根本的な解決のためにライダー観測用に独自開発を開始した。本年度はその Na セルの試作を行った。

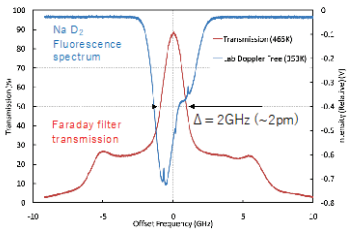


図 1　Faraday filter 透過率（半値幅~2pm, 赤線）と Na セルからの共鳴散乱光（青線）。

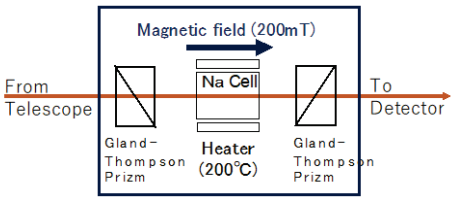


図 2　Faraday filter の構成。強磁場中に加熱した Na セルを配置。

□ 研究経過・手法

ファラデーフィルタは図 2 のように構成され、中心に配置する Na セルは透明の光学窓と、内部が真空で固体 Na 原子が封じてある小型(直径 25mm, 長さ 25mm 程度)の容器である。新型 Na セルはファラデーフィルタ専用の仕様として特殊な技術を用いて開発するセルで、市販品（ガラス製、加工容易、Na 原子と化学反応する）とは材質も製作過程も全く異なる。(1) 高温の Na 原子と化学反応をしない材質選定、(2) かつ可視光を透過する窓材質選定、(3) 真空中で異種材料の接合をする技術、が開発のキーとなる。試作品の製作は、東北大学と共同で進めてきた。

今年度は、アルミニウム円筒ボディ（内壁は酸化アルミニウム=サファイアコーティング）と、サファイア円盤窓で、接合実験を兼ねてサンプルを試作した。セルは加熱状態（200℃）で使用するので、製作時の室温からの熱応力による破壊がおきないかなど、実験的に確認をする。本予算は、主に高精度研磨を必要としたサファイア窓の購入に用いた。

□ 結果

図 3 にセルの試作品の写真を示す。現状では Na 原子をセル内に封じる手法は確立していないため、内部が真空のまま窓の接合を行った。接合方法は、半導体ウエハの接合に用いる常温接合で、これをセル形状に適応するのは今回が初めてである。真空封止ができることは、すでに実証済みの技術である。東北大学でサンプル（現時点で 1 つ）を製作し、同時に接合状態の検証も行った。部分的に接合状態が悪い箇所はあるが、全周にわたって接合はされており、真空封止はできていると判断できる。

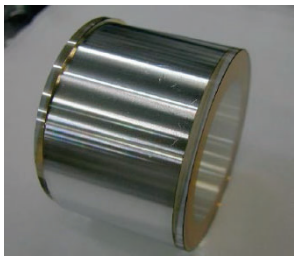


図 3 試作した Na セル。ボディがアルミニウムで窓がサファイア。

□ まとめ

Na ライダー用の狭帯域背景光除去フィルターとして、ファラデーフィルタの開発を開始した。特殊仕様の Na セルを試作し、ボディと窓の接合状態の確認行い、セル製作手法の確認ができたと判断できる。次年度は Na 原子の封止方法を検討しつつセルを製作し、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。

（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，最近の高時間分解能イメージングや高空間分解能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ような状況にある．

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

脈動オーロラ (数秒~数十秒で明滅するオーロラ) の明滅時に，発光時定数 110 sec の酸素原子輝線発光 630.0 nm (OI630.0) が明滅しているというイメージング観測の報告例 [e.g., Liang et al., JGR, 2016] があるが，波長分解能が数 nm 程度の干渉フィルターを用いた単色分光イメージングでは，630.0 nm 近辺の窒素分子バンド発光 (N_2 1PG) の混入の可能性を評価できていない．

本研究では，スペクトログラフによる観測データを用いて脈動オーロラの明滅 (ON と OFF) に伴う発光スペクトル変化に着目し，明滅に寄与している原子・分子の波長情報を調査した．脈動オーロラの ON と OFF の両方の発光スペクトルにおいて 630.0 nm 付近に OI630.0 による輝線状の発光を確認したが，脈動オーロラの明滅スペクトル (ON と OFF の差分スペクトル) では，630.0 nm 付近に OI630.0 による輝線状の発光は確認できなかった．替わりに，N_2 1PG の 632.3 nm (10,7) バンド発光が 630.0 nm 付近まで広がっている様子を確認した．同様の調査を複数の脈動オーロライベントについて行なったところ，いずれのイベントでも同様の結果が得られた (図1参照)．このように，脈動オーロラの 630.0 nm 付近の明滅に関して，OI630.0 ではなく N_2 1PG バンド発光が明滅の主成分を担っていることが判明した．以上に関して学術論文 (Tsuda et al., JGR, 2020.) として発表した．

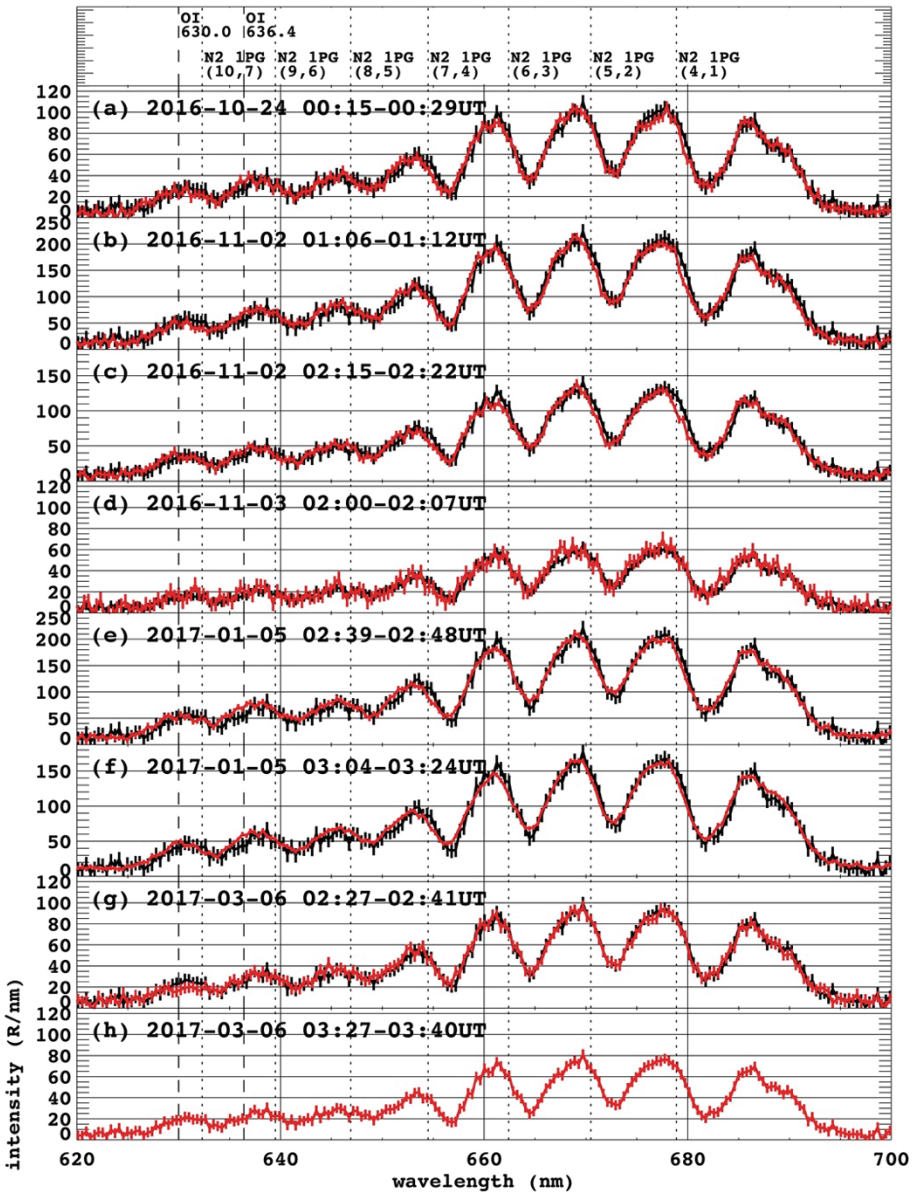


図1. 脈動オーロラの明滅スペクトル (Tsuda et al., JGR, 2020).

研究発表

(1) T. T. Tsuda, C. Li, S. Hamada, K. Hosokawa, S.-i. Oyama, S. Nozawa, T. Kawabata, A. Mizuno, J. Kurihara, T. Nishiyama, and M. J. Kosch, OI 630.0 nm and N2 1PG emissions in pulsating aurora events observed by an optical spectrograph at Tromsø, Norway, J. Geophys. Res. Space Physics, 125, e2020JA028250, doi:10.1029/2020JA028250, 2020.

(2) T. T. Tsuda, C. Li, S. Hamada, K. Hosokawa, S.-i. Oyama, S. Nozawa, T. Kawabata, A. Mizuno, J. Kurihara, T. Nishiyama, and M. J. Kosch, OI 630.0 nm and N2 1PG emissions in pulsating aurora events detected by an optical spectrograph at Tromsø, Norway, The 11th Symposium on Polar Science, online, December 2020. (poster)

(3) T. T. Tsuda, C. Li, K. Hosokawa, S. Nozawa, T. Kawabata, A. Mizuno, S.-i. Oyama, and J. Kurihara, A pulsating aurora event observed by an optical spectrograph at Tromsø, Norway, JpGU-AGU Joint Meeting 2020, online, July 2020. (poster).

2. ISEE International Joint Research Program 目次詳細

（所属・職名は2021年3月現在）
(Affiliation and Department are correct as of March 2021)

（注1）：新型コロナウイルスの影響で2021年度に延期
（注2）：新型コロナウイルスの影響で中止
＊2021年度に延期しました課題は実施後掲載

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
Rangaiah Kariyappa	Indian Institute of Astrophysics	Department of Science & Technology, Solar & Space Physics Division	Former Professor	Understand the EUV and UV (PROBA2/LYRA) and X-ray(GOES 1-8 A) irradiance variability from spatially resolved images of SDO/AIA/HMI & PROBA2/SWAP and Hinode/XRT instruments		(注1)
Chen Xingyao	National Astronomical Observatories of Chinese Academy of Sciences	Key Laboratory of Solar Activity	Research assistant	Quasi-periodic Pulsations from solar radio and microwave observations		(注1)
Abadi Prayitno	Other Institution	Ionospheric Research Division	Researcher	Empirical Model of Equatorial Plasma Bubble Occurrence Rate in Southeast Asia deduced from GPS Receivers		(注1)
Xia Yuan	Nanjing Xiaozhuang University	School of Electronic Engineering	lecturer	Winter sudden stratospheric warming (SSW) impact on mesosphere sodium layer observed at middle and high latitudes		(注1)
Opgenoorth Hermann	University of Umea	Physics	Professor Emeritus	Study of sub-auroral storm time magnetic and convection disturbances		(注1)
PORUNAKATU RADHAKRISHNA SHREEDEVI	Beihang University	Beihang University	Postdoctoral Researcher	Understanding the role of EMIC wave scattering in causing ion precipitation into the ionosphere: Comparison of SWMF simulations with Arase and PWING observations		(注1)
Lazzara Matthew	University of Wisconsin-Madison	University of Wisconsin-Madison, Space Science and Engineering Center	Senior Scientist	Creation of a new high-quality dataset of East Antarctic meteorological observations		(注1)
Gordovskyy Mykola	University of Manchester	Physics and Astronomy	Research Associate	Fluid-kinetic modelling of magnetic reconnection in solar flares and solar energetic particle escape into the heliosphere		(注1)
Braga Carlos Roberto	George Mason University	Department of Physics and Astronomy	Senior Research Scientist	Predicting coronal mass ejections Time-of-arrival and magnetic field orientation in the Earth's vicinity using observations and MHD propagation		(注1)
AZIZI HajiHossein	University of Kurdistan	Department of Mining, Faculty of Engineering	Professor	Beryllium-10 (10Be)-Nd isotope analysis to investigate magma source of the Quaternary volcanoes in northwest Iran		(注1)
Min Kyungguk	Chungnam National University	Department of Astronomy and Space Science	Assistant Professor	Understanding the Generation Process of Fast Magnetosonic Waves by Combining ERG Observations and PIC Simulations		(注1)
JIE REN	Peking University	Institute of Space Physics and Applied Technology	Assistant Researcher	ULF Waves' Interaction with the Charged Particles and the Effects on the Whistler Mode Waves		(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
CHEN LINJIE	National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences	Solar Physics Division / Mingantu Observation Station	Associate Researcher/Professor	Studying the solar wind with the multi-station Interplanetary Scintillation (IPS) Telescope		(注1)
Krucker Samuel	FHNW	Institute for Data Science	Professor	The NoRH/RHESSI flare catalogue: time-dependent analysis		(注1)
Mouikis Christoforos	University of New Hampshire	Space Science Center	Research Scientist	The impact of storm-time ion composition changes in the near-earth plasma sheet on the ring current pressure development		(注1)
Prof. Dr. Ulrike Langematz	Freie Universität Berlin	Institute of Meteorology	professor	Modeling the transport and deposition of cosmogenic isotopes of historical MIYAKE Events and recent decades.		(注1)

３.国際ワークショップ 目次詳細
International Workshop

（所属・職名は2021年3月現在）
(Affiliation and Department are correct as of March 2021)

（注1）：新型コロナウイルスの影響で2021年度に延期
（注2）：新型コロナウイルスの影響で中止
＊2021年度に延期しました課題は実施後掲載

研究代表者 Principal Investigator	所属機関 Affiliation	職名 Position	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
Gopalswamy Nat	Goddard Space Flight Center	Astrophysicist	Origin of High-Energy Protons Responsible for Late-Phase Pion-Decay Gamma-Ray Continuum from the Sun		（注1）

４．一般共同研究 目次詳細

（所属・職名は2021年3月現在）

（注1）：新型コロナウイルスの影響で2021年度に延期
（注2）：新型コロナウイルスの影響で中止
＊2021年度に延期しました課題は実施後掲載

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	石英中のチタン・アルミニウム濃度の定量分析に基づく石英の結晶化プロセスの解明	57	
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	61	
小島　正宜	名古屋大学	名古屋大学	名誉教授	IPSトモグラフィー解析法の改良	63	
後藤　直成	滋賀県立大学	環境科学部	准教授	気候変動観測衛星（GCOM-C）を利用した琵琶湖におけるクロロフィルa濃度の推定	65	
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２	67	
廣川　淳	北海道大学	地球環境科学研究院	准教授	炭素数2のクリーギー中間体と有機酸・水蒸気との相対反応性の研究	69	
赤田　尚史	弘前大学	被ばく医療総合研究所	教授	山形蔵王で観測される樹氷中宇宙線生成核種濃度	71	
柴崎　清登	太陽物理学研究所	研究部	所長	太陽活動現象における磁気モーメントの役割：太陽極域増光の解明に向けて	72	
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	74	
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	76	
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	77	
高橋　浩	産業技術総合研究所	活断層・火山研究部門	主任研究員	水試料の放射性炭素濃度測定のための手法改良	79	
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	81	
宗像　一起	信州大学	理学部	特任教授	高エネルギー銀河宇宙線の太陽圏モジュレーション	83	
渡邉　恭子	防衛大学校（総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工	地球海洋学科	准教授	白色光フレアにおける多波長放射スペクトルとその特徴	84	
村木　綏	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	名誉教授	太陽フレアに伴うイオン加速についての研究	86	
阿部　学	海洋研究開発機構	北極環境変動総合研究センター	技術副主任	気候モデルにおけるユーラシア北部の降水量に対する北極海氷減少の影響メカニズム	88	

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
鷲見　治一	九州大学	宇宙天気科学研究・教育センター	学術研究員	太陽圏の時間変動構造の研究	90	
今山　武志	岡山理科大学	フロンティア理工学研究所	准教授	北西インドNidarオフィオライト層火成岩類のNd-Sr同位体研究	91	
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	93	
町田　忍	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	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	95	
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	97	
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	99	
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	101	
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	103	
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雪氷ピットのHTO分析	105	
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	107	
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	109	
Suzuki　Shin	愛知大学	OTHER	Associate Professor	小スケール大気重力波に伴う温度・風速変動の観測的評価	111	
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	112	
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	114	
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	116	
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	118	
吉崎　徳人	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	120	
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	122	
天野　孝伸	東京大学	理学系研究科	准教授	コヒーレントなホイッスラー波動の励起および減衰過程	124	
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」衛星によるリングカレント領域低エネルギーイオンの加熱現象の解析	125	
山本　一清	名古屋大学	大学院生命農学研究科	教授	ドローンを利用した森林生態系のリモートセンシング	126	

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　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	128	
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	130	
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	超小型探査機搭載イオン質量分析器の較正システム開発	132	
三澤　浩昭	東北大学	大学大学院理学研究科	准教授	木星放射線帯長期変動要因の観測研究	134	
丸橋　克英	情報通信研究機構	電磁波研究所宇宙環境研究室	協力研究員	地磁気嵐とその原因となる太陽・太陽風擾乱に関する統計的研究	135	
小元　久仁夫	元日本大学	文理学部・大学院理工学研究科	元教授	ビーチロック試料の正確な膠結年代決定方法	137	
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	助教	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	139	
中山　智喜	長崎大学	環境科学部	准教授	エアロゾル・雲相互作用の理解を目指したエアロゾル吸湿特性の観測研究	140	
中野　佑樹	神戸大学	大学院理学研究科	特命助教	Super-Kamiokandeを用いた太陽フレア由来のニュートリノ探索	141	
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可視・紫外撮像光学系の設計と開発	143	
松岡　彩子	京都大学	理学研究科 附属地磁気世界資料解析センター	教授	あらせ軌道上磁場データの評価と特性向上の検討	145	
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	IPSデータを利用した太陽風予測シミュレーション	146	
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	149	
永田　伸一	京都大学	大学院理学研究科附属天文台	助教	AR12673におけるMHD不安定性発達の研究	150	
野澤　恵	茨城大学	理学部	准教授	はやぶさ2の突入カプセルのプラズマ化による電波放射の観測	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	154	
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	156	
北　和之	茨城大学	理工学研究科	教授	上空におけるバイオエアロゾルの観測と雲過程への寄与推定	157	
津田　卓雄	電気通信大学	大学院情報理工学研究科	助教	トロムソ Na ライダーのレイリー散乱データを用いた成層圏大気温度の計算に関する基礎検討	159	
村田　文絵	高知大学	自然科学系理学部門	講師	インド亜大陸北東部におけるプレモンスーン降水をもたらす総観場の解明	160	
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	162	

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
花土　弘	情報通信研究機構	電磁波研究所　リモートセンシング研究室	研究マネージャー	地上デジタル放送波を用いた水蒸気量観測	164	
齊藤　昭則	京都大学	大学院理学研究科	准教授	中性大気風によるスポラディックE層の生成過程の解明	165	
内藤　裕一	名古屋大学	博物館	研究員	GC-精密キャピラリー分取装置を用いた有機化合物の新たな年代測定法の開発	167	（注2）
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	168	
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	170	

石英中のチタン・アルミニウム濃度の定量分析に基づく石英の結晶化プロセスの解明
Quantitative analysis of titanium and aluminum concentrations in quartz giving crystallization process of quartz

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

1. 研究目的

珪長質の深成岩体において，その岩体内部での岩相が異なっても石英は共通して産出する。例えば，平成 30 年度の共同研究で対象とした岩手県の遠野複合深成岩体では 3 岩相（主岩相，中心部相，周辺部相）に共通して石英が観察される。また平成 31 年度（令和元年度）の共同研究で対象とした富山県の黒部川花崗岩体では 2 岩相（優白質岩，優黒質岩）および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する。このため，石英から温度条件などの結晶化の際の情報を取得し，結晶化プロセスを解明することは，深成岩体全体の形成プロセスの把握へと発展可能である。

既存研究において石英の結晶化プロセス推定は，カソードルミネッセンス（CL）像およびチタン（Ti）濃度を組み合わせる方法が提案されている（例えば，Drivenes et al., 2016）。CL 像は，結晶構造の乱れや結晶中の微量な含有成分（不純物）を反映するため，結晶成長の様式を推定可能である。石英中の Ti 濃度は石英の結晶化温度の推定に利用できる（Wark and Watson, 2006）。しかしながら，石英に含有される Ti 濃度はごく微量で，電子プローブマイクロアナライザ（EPMA）分析での一般的な分析条件では定量が困難である。そこで平成 28 年度から平成 31 年度（令和元年度）までの共同研究では，名古屋大学・宇宙地球環境研究所（ISEE）の EPMA を用いて，遠野複合深成岩体や岐阜県の土岐花崗岩体の石英を対象とし Ti 濃度の高精度定量分析法の開発を実施した。これまでの研究を通じ，EPMA 分析に基づき石英中のチタン濃度を高精度で定量する分析手法を構築した（土岐花崗岩体における成果は Journal of Asian Earth Sciences にて令和 2 年度に公表）。

平成 31 年度（令和元年度）の共同研究で生じた課題として，黒部川花崗岩体および大崩山花崗岩体の石英では，カソードルミネッセンス（CL）像の輝度に対して，Ti 濃度が明瞭な相関を示さない可能性を有することが明らかとなった。これは平成 30 年度までに対象とした遠野岩体や土岐花崗岩体の石英とは異なる特徴である。

そこで，令和 2 年度の共同研究では，ゾーニングを有する石英を対象とし，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た。石英中の Al 成分の定量には新たな測定法の開発が必要となる。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。本研究では，黒部川花崗岩体，大崩山花崗岩体，および遠野複合深成岩体の石英を試料として用いた。

2. 試料と研究方法（使用した共同利用装置・施設）

石英の CL 像取得は山形大学の SEM-CL（JEOL IT100A+Gatan mini CL）を用い，石英中の Ti 濃度定量は名古屋大学 ISEE の EPMA（JCXA-733）を用いた。Ti 濃度定量の分析条件は，4 つの分光結晶（PET）を Ti の検出に割り当て，加速電圧 15 kV，照射電流 60 nA，ビーム径 20 μm，1 回の測定時間を 200 s（ピーク：100 s，バックグラウンド：50 s ずつ）とし，同一地点で 8 回（計 1600 s）カウントした値を積算することにより 1 点の定量値を得る。また，石英へのダメージのモニタリングのために，1 つの TAP を Si のカウントに割り当てた。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，加速電圧や測定時間などの分析条件は Ti 濃度定量の分析条件を踏襲した。この手法により，Ti 濃度の検出限界は 16 ppm，Al 濃度の検出限界は 17 ppm，それぞれの分析誤差は約 10%の精度で定量値を取得することが可能となる。このような小さ

な誤差を伴う定量値の導出は，石英結晶の内部構造の Ti 濃度と Al 濃度の高精度な比較を可能にする。

3. 研究結果・考察

まず黒部川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。分析点は優黒質岩と優白質岩の境界を有する薄片試料を用い，優白質岩では Ti 濃度 40 点，Al 濃度 12 点を選定し，優黒質岩では Ti 濃度 25 点を選定した。Al 濃度の分析に際しては，Ti 濃度と対を為すように分析点を設定し、石英の同一領域の Al と Ti 濃度の関係の評価を行った。

優白質岩の Ti 濃度においては 40 点中 12 点が検出限界濃度以上の値を持ち，その濃度は 17 ± 13〜75 ± 13 ppm の幅を持つ。これを仮に TiO_2 の活動度を 0.5 として Wark and Watson (2006)の地質温度計を用いて計算を行うと 17 ± 13 ppm の値は結晶化温度 632 ± 53℃となり，75 ± 13 ppm の値は結晶化温度 798 ± 25℃を示す。優黒質岩の Ti 濃度においては 25 点中 11 点が検出限界濃度以上の値を持ち，その濃度は 20 ± 12〜109 ± 13 ppm の幅を持つ。Wark and Watson (2006)の地質温度計（TiO_2 活動度を 0.5 と仮定）を用いて計算を行うと 20 ± 12 ppm の値は結晶化温度 648 ± 43℃となり，109 ± 13 ppm の値は結晶化温度 850 ± 23℃を示す。優白質岩と優黒質岩の石英の結晶化温度の幅に大きな相違が認められないデータが得られた。一方，優白質岩の Al 濃度は 12 点の全ての分析点で検出限界濃度以上の値が得られ，Al 濃度は 118 ± 15〜189 ± 14 ppm の分布を有する。図 1 は Ti 濃度と Al 濃度の対を作るように同一領域の分析を行った石英粒子の CL 像を示す。CL 像中に Ti 濃度と Al 濃度の定量分析の結果を記述した。12 地点において，その 7 地点で Ti 濃度が検出限界以下となってしまった。このため、Al 濃度，Ti 濃度と CL 像の関係の明確な議論は困難であった。これを可能にするためには，同一領域の Ti 濃度と Al 濃度データの拡充が必要となる。

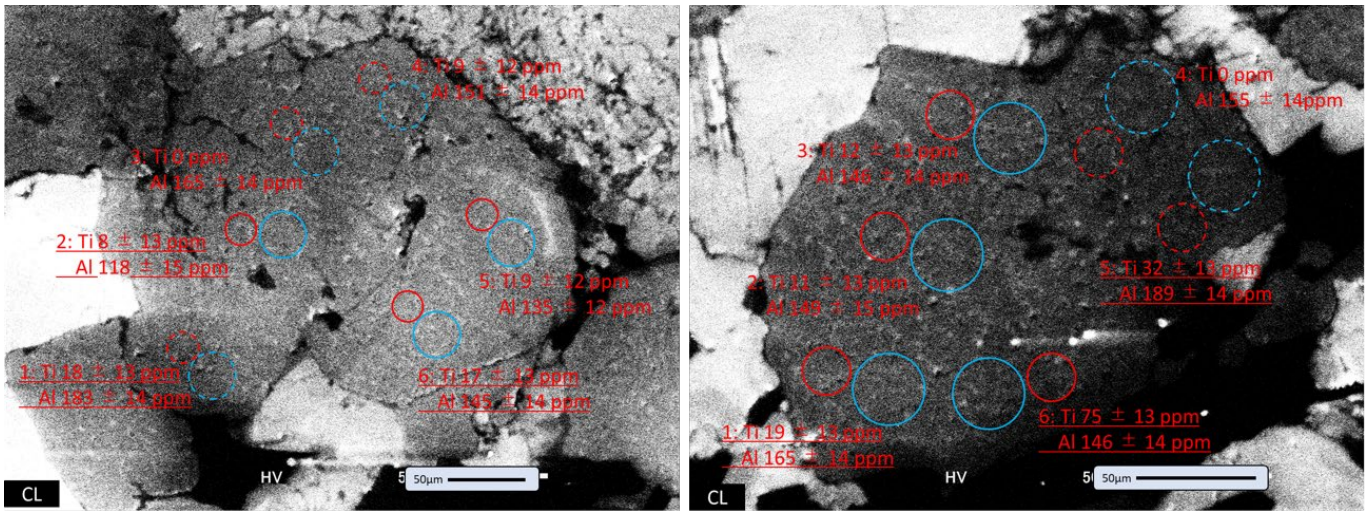


図 1　黒部川花崗岩体の優白質岩の石英（試料番号 007-4a No.1 と No. 5）の CL 像と微量含有元素（Ti 濃度・Al 濃度）

大崩山花崗岩体においては 31 点の Ti 濃度の定量分析を行った。そのうち 23 点が検出限界濃度以上の値を持ち，その濃度は 25 ± 13〜177 ± 12 ppm の幅を持つ。これを 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 25 ± 13 ppm の値は結晶化温度 604 ± 69℃となり，177 ± 12 ppm の値は結晶化温度 821 ± 23℃を示す。一方，Al 濃度は 10 点の全ての分析点で検出限界濃度以上の値が得られ，Al 濃度は 182 ± 14〜616 ± 13 ppm の分布を有する。図 2 は Ti 濃度と Al 濃度の対を作るように同一領域の分析を行った石英粒子の CL 像を示す。CL 像中に Ti 濃度と Al 濃度の定量分析の結果を記述した。この結果，Ti 濃度と CL 像の輝度には正の相関が見て取れる（高輝度において高 Ti 濃度を有する）。それに対して，Al 濃度と CL 像の輝度には明確な関係は認められない。CL 像の輝度と微量含有元素（Ti 濃度・Al 濃度）の定量的な評価，および Ti 濃度と Al 濃度の相関関係の把握には至らなかった。これを可能にするためには，同一領域の Ti 濃度と Al 濃度の対となるデータの拡充が今後の課題となる。

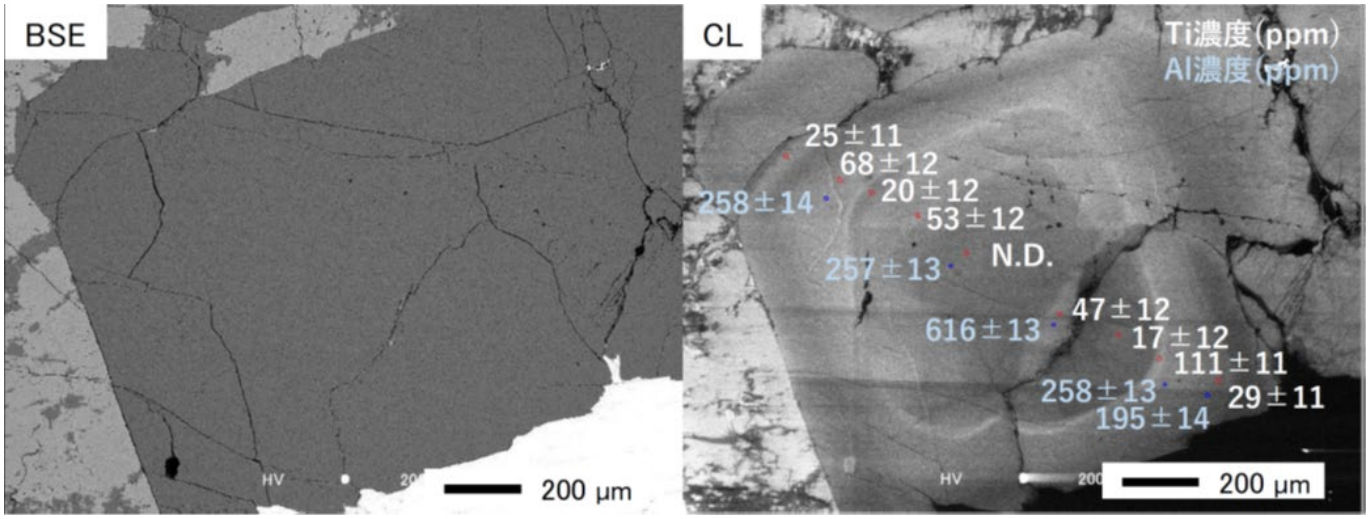


図 2　大崩山花崗岩体の石英（試料番号 BG No. 1）の BSE 像，CL 像と微量含有元素（Ti 濃度・Al 濃度）

遠野複合深成岩体においては，石英 2 粒子に対して，8 点の Al 濃度の定量分析を実施した。そのうち 6 点が定量下限以下の値を有し，議論に供することができるのは 2 点のみである。このため，CL 像の輝度と微量含有元素（Ti 濃度・Al 濃度）の定量的な評価，および Ti 濃度と Al 濃度の相関関係の評価を行うことは難しい（図 3)。遠野複合深成岩体は前述の 2 岩体（黒部川花崗岩体と大崩山花崗岩）と比較して，石英中の Ti 濃度に富むことが分かっている。それに対して遠野複合深成岩体中の石英の Al 濃度は，他の 2 岩体と比較して乏しい。これはそれぞれの岩体の形成過程を検討する上で，石英生成時におけるマグマ中の Ti 含有量や Al 含有量を評価するために有用なデータとなると考える。

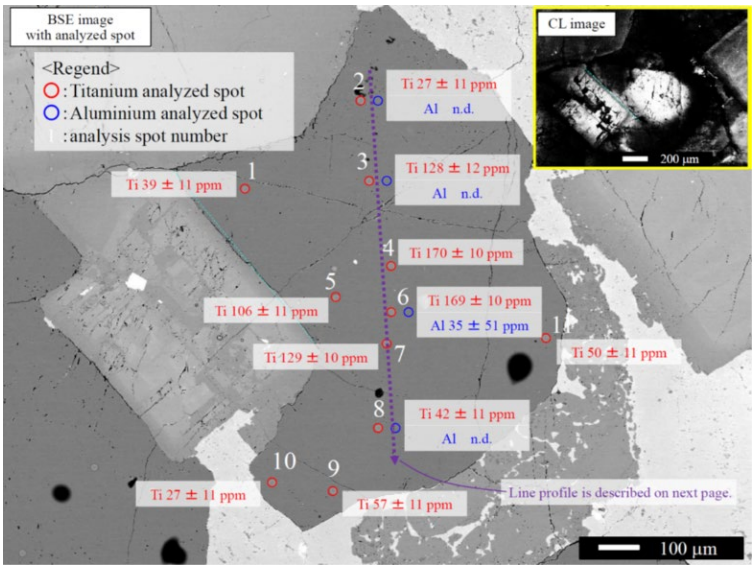


図 2　遠野複合深成岩体の石英（試料番号 026 No. 1）の BSE 像，
CL 像と微量含有元素（Ti 濃度・Al 濃度）

以上の点から，前年度までに構築した手法で，黒部川花崗岩体，大崩山花崗岩体および遠野複合深成岩体の石英において，Ti 濃度データの拡充と Al 濃度データの取得を行った。本共同研究において石英中の微量含有元素である Al 濃度を取得する手法を構築した。今後の課題として，CL 像の輝度と微量含有元素との関連を評価するために，データの拡充を続ける。

4.　引用文献

Drivenes, K., Larsen, R., Muller, A., Sorensen, B. (2016) Crystallization and uplift path of late Variscan granites evidenced

by quartz chemistry and fluid inclusions: Example from the Land‘s End granites, SW England. Lithos, 252-253, 37-75.
Wark, D., Watson, E. (2006) TitaniQ: a titanium-in-quartz geothermometer. Contributions to Mineralogy and Petrology, 152, 743-754.

5. 成果発表（当該年度に行った口頭発表）

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

（別紙様式４－２）

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

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* (hereafter *Karenia m.*) in the western part of Seto-Inland Sea. MODIS data were acquired from https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/, whereas SGLI data from https://www.eorc.jaxa.jp/cgi-bin/jasmes/sgli_nrt/index.cgi?lang=ja.

The maps, from https://akashiwo.jp/index.php, showing the locations where the cell number of *Karenia m*. data were collected were 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.

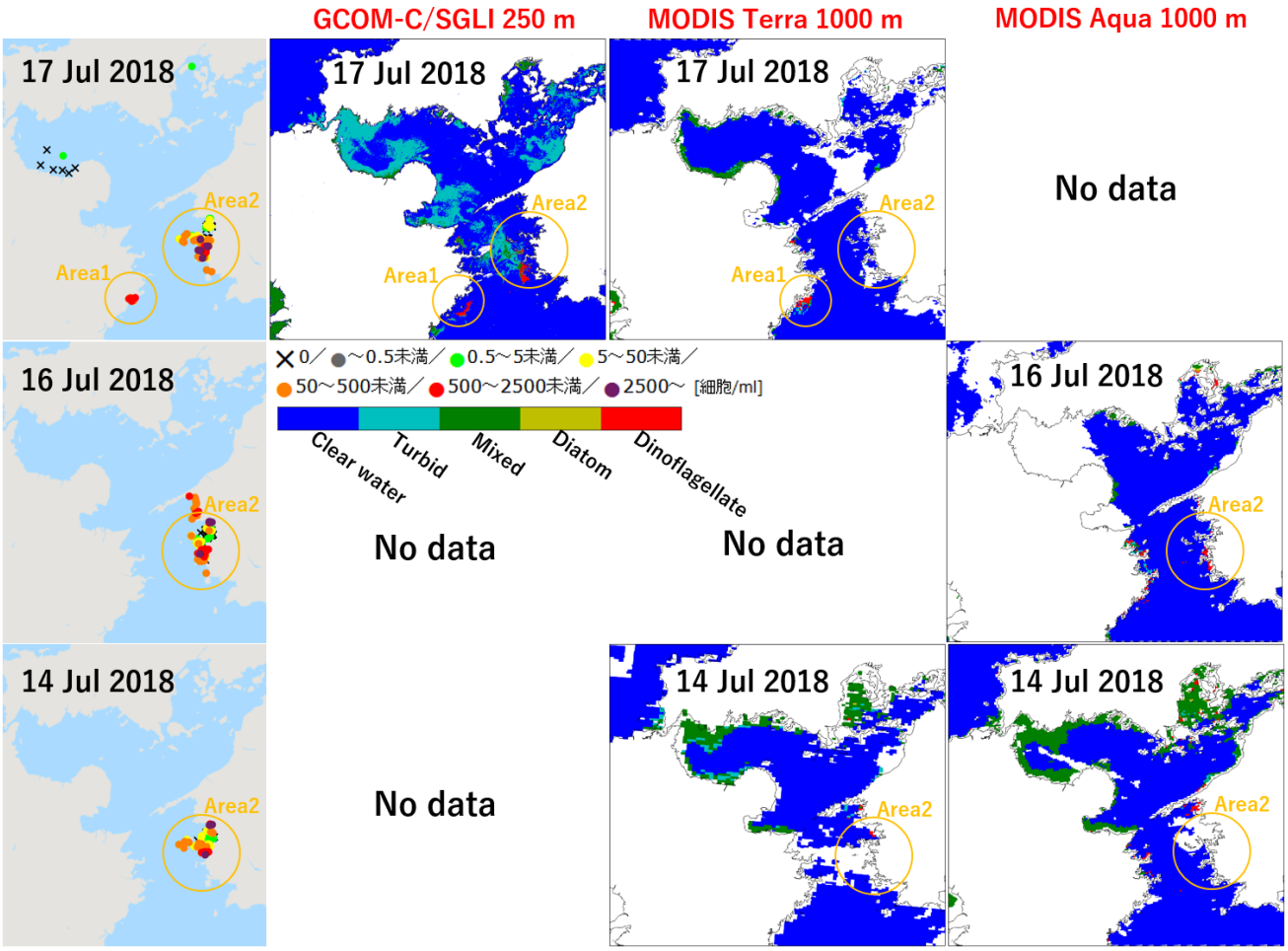


Figure 1. (First column) Maps showing locations where *Karenia m*. cell number data (colored circles) were collected on 14, 16, and 17 July 2018 (copied from https://akashiwo.jp/index.php). The second, third, and fourth columns are maps showing *Karenia m*. detection results respectively based on SGLI, 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.

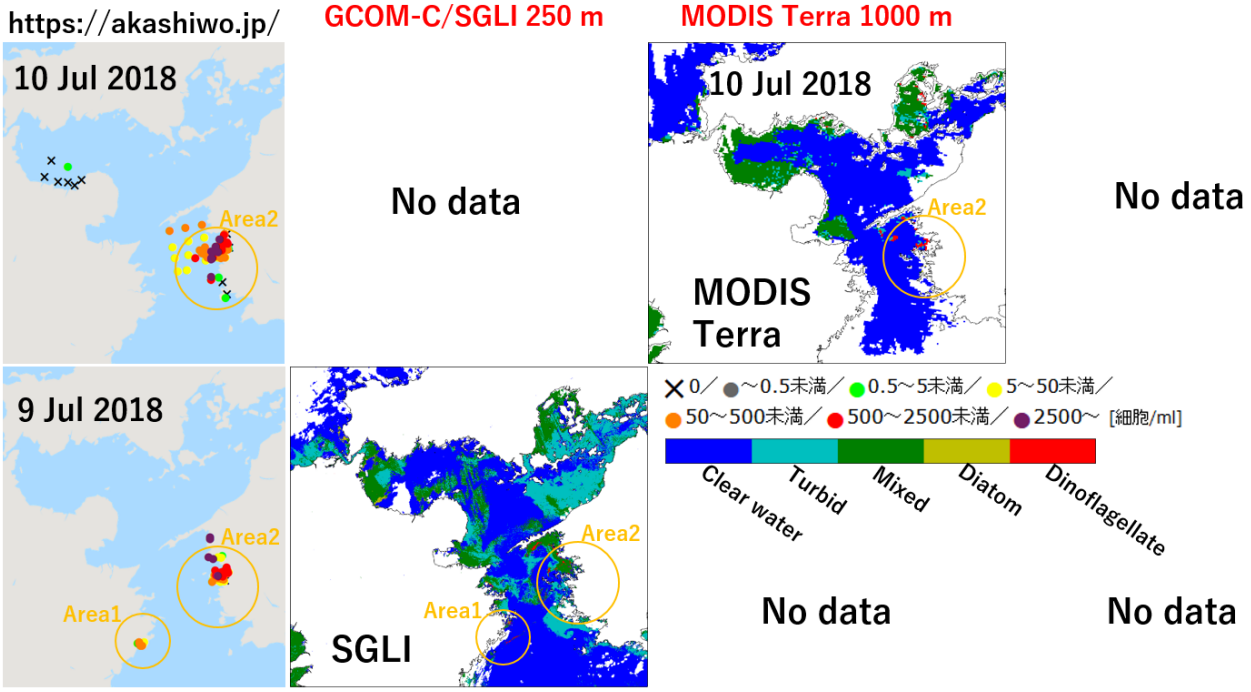


Figure 2. Same as Figure 2, but for dates 9 and 10 July 2018. There were no data from the MODIS Aqua on both dates.

With the SGLI data, the red tide algorithm produced small patches (red) of *Karenia m*. blooms on 17 July 2018 over the waters off the coastal areas 1 and 2 (Figure 1). But for now, those patches cannot be verified because no in situ data was collected there. The algorithm seemed to fail in detecting *Karenia m*. blooms in the coastal areas 1 and 2 which were confirmed by in situ observations on dates both 9 and 17 July 2018 (Figures 1 and 2). Such an underdetection by SGLI is unsurprising for the reasons that; the red tide algorithm was designed for MODIS data, SGLI and MODIS have different nominal multispectral bands, and no Rrs data conversion conducted to make SGLI Rrs compatible with MODIS Rrs. Rrs data conversion is a prerequisite, so in the near future SGLI Rrs will be converted to MODIS Rrs then the algorithm will be re-applied.

In general, both MODIS Aqua and MODIS Terra (Figures 1 and 2) produced patches of *Karenia m*. blooms in the coastal waters which were confirmed by in situ observations. But, the areas of detections seemed to underestimate the in situ bloom areas. This detection accuracy loss might be due to different data reprocessing. This Siswanto et al.'s (2013) algorithm was constructed based on the MODIS Aqua reprocessing R.2005 version, whereas the version used here is Reprocessing R.2018. Note that from R.2005 to R.2018, there are several MODIS data reprocessings that might slightly change the Rrs values and hence the spectral shapes. Therefore, algorithm redefinition must be carried out based on the current version of MODIS data.

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

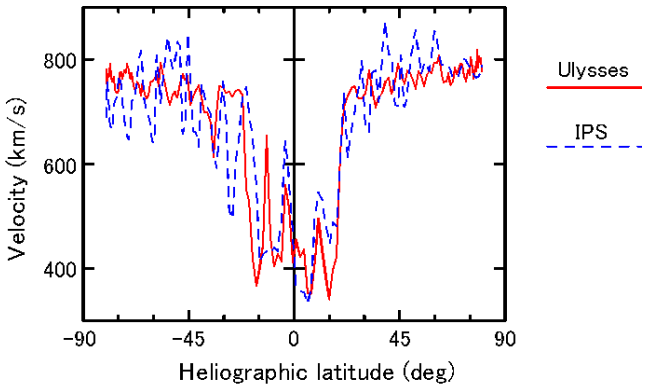
（別紙様式４－２）

IPSトモグラフィー解析法の改良
Study on the IPS tomographic analysis method

小島正宜　名古屋大学

共同研究課題１：IPS computer tomographic 解析法についての考察

ULYSSESの定常太陽風観測では得られなかったような850 km/sを超す高速風がトモグラフィー解析により得られることがある。この 極域からの高速太陽風の速度は実際に 800 km/s を超すのか、あるいは解析方法に問題があるのかを考察。



解析方法の検討

①　次式における視線積分範囲（z_1, z_2）を変える。

$$V_{sim} = \int_{z_1}^{z_2} w(z)V(z)\cos\left[\theta(z)\right]dz \qquad (1)$$

② 視線積分で用いる荷重αを調整する。

$$w(z) \propto \Delta N \propto NV^{-\alpha} \propto R^{-2}V^{-\alpha}$$

② 視線積分により IPS velocity を求める方法を式(1)の速度も直接荷重積分する方法から次式(2)による相互相関関数の積分に変える。

$$C(\tau)_{obs} = \int_{0}^{2AU} w(z)C_z\left(\tau, V_{sw}(z)\cos\left[\theta(z)\right]\right)dz \qquad (2)$$

結論

○視線積分の範囲

・現行の 0－2AU は要検討。

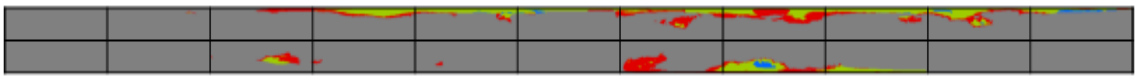
・地球側の寄与を弱めるのは、効果ありそう。要検討。

○荷重のかけ方

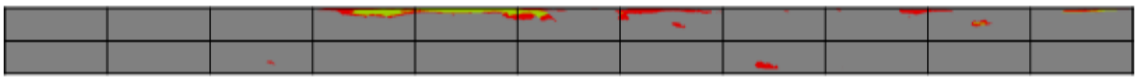
現行の $\triangle N \propto V^{-0.5}$ は悪くはないが、 $V^{-0.2}$ の方が少しよさそう。要検討。

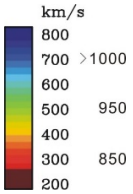
○視線積分は式(1) に依る方法よりは式(2)に依る方が 850 km/s 超の高速領域が現れるのが少ない。下図は 2019 年の SQ tomography の結果。850 km/s 以上の領域のみをカラー表示。

式(1)による結果



式(2)による結果





今後の検討

太陽活動全期間を通しての評価。

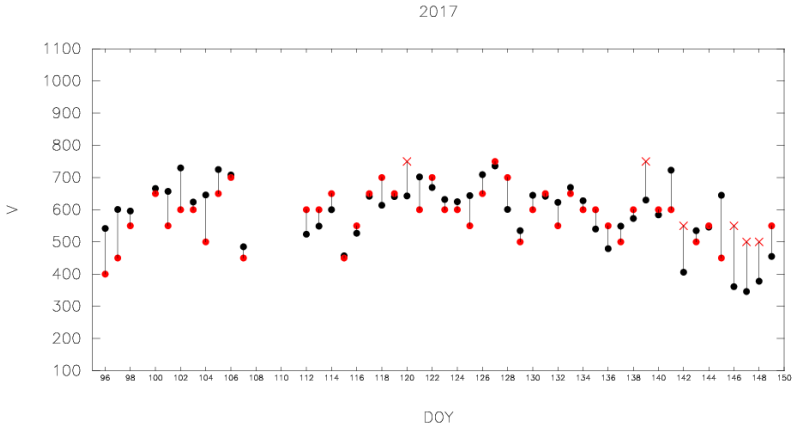
共同研究課題２　スペクトル解析による太陽風速度の導出についての検討

結論

・スペクトルの power law index は 1.5 とし、

・spectrum fitting は V の 1 parameter のみで行うの良い。

2017 年の解析結果を下図に示す。IPS source 3C48. 赤丸はスペクトル解析により得られた速度、黒丸は 3 点観測の相互相関解析で得られた速度



課題

・fitting を行う周波数範囲の選び方。

・spectrum fitting を断念すべきデータの選び方。

（別紙様式４－２）

気候変動観測衛星（GCOM-C）を利用した琵琶湖における クロロフィル*a*濃度の推定
Estimation of chlorophyll-a concentration in Lake Biwa using the Global Change Observation Satellite (GCOM-C)

後藤直成、滋賀県立大学・環境科学部

【目的】

本研究では，2017年12月に打ち上げられた気候変動観測衛星（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*濃度の分布を連続的に把握し，植物プランクトンの詳細な時空間分布変動を評価することを目的とした。

【方法】

2018年と2019年における研究結果から，GCOM-C/SGLIによって測定された490 nmと565 nmにおける正規化海水射出放射輝度nL_wは比較的精度が高く，現場におけるnL_wに近い値であることが明らかとなった。そのため本研究では，JASMES（JAXA）が提供しているnL_wを補正することなく，以下に示すクロロフィル*a*濃度の推定に用いた。

2018年12月から2019年11月の期間において，GCOM-C/SGLIによって測定された490 nmと565 nmにおけるnL_w（level-2，空間分解能 250 m）をJASMES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**：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。

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

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

【結果と考察】

2019年の琵琶湖における特徴的なクロロフィル*a*濃度分布を**図1**に示す。5月8日と11日のクロロフィ*a*濃度分布は，東沿岸域で濃度が局所的に高く，また，その高濃度域が東岸に沿って北方へと帯状に延びている様子を詳細に示している。これは，代掻き（琵琶湖集水域では4月下旬から5月上旬に行われる）による陸域からの栄養塩供給に起因した植物プランクトン群集のブルームと湖流の影響によるものと考えられる。

琵琶湖北湖表層が貧栄養環境となる夏季（9月9日）の分布図からは，琵琶湖のほぼ全域でクロロフィル*a*がおよそ1～3 mg m^{-3} の低い濃度であることがわかる。混合層深度がより深くなる秋季（11月8日）の分布図は，植物プランクトン秋季ブルームによる高濃度域が琵琶湖全域に広がっていることを明瞭に捉えている。特に，東沿岸域では20 mg m^{-3} を越える高濃度域が南北に連続的に分布していることがわかる。

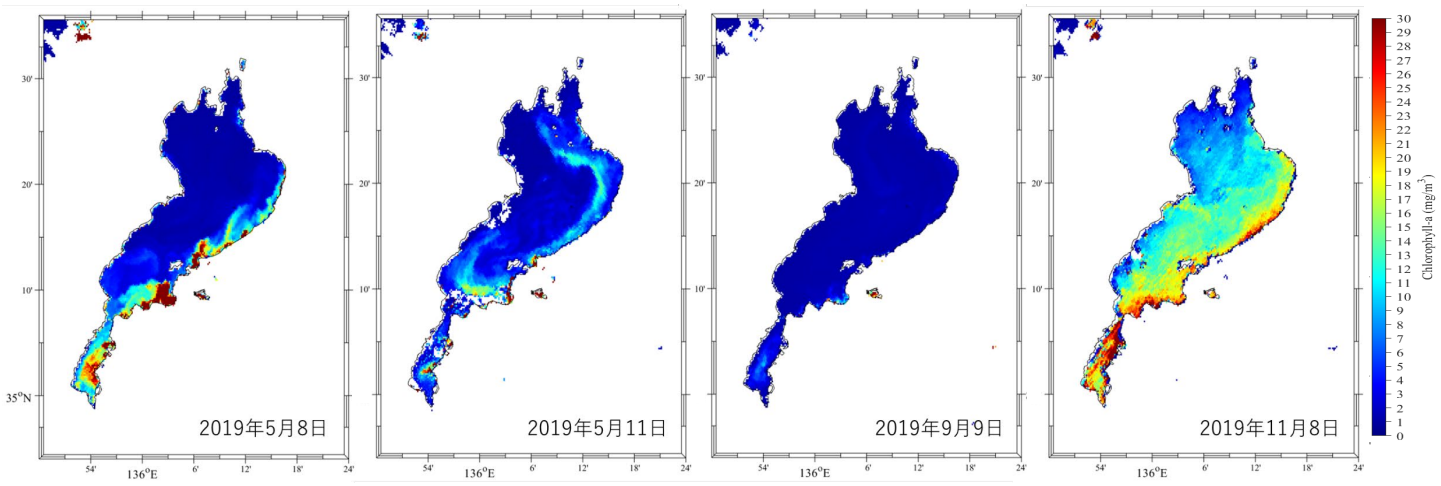


図 1. 2019 年の琵琶湖における特徴的なクロロフィル *a* 濃度分布

2020年における琵琶湖の特徴的なクロロフィル*a*濃度分布を**図2**に示す。冬季鉛直循環が大規模に起こる1月から3月，例年，琵琶湖のクロロフィル*a*濃度は低く，3月9日の分布図からは，一部の沿岸域を除き，およそ1～3 mg m^{-3}で分布していることがわかる。その後，日射量と気温が上昇し，陸域からの栄養塩供給イベント（代掻き，降水）がある季節（5～6月）になると，琵琶湖では春季ブルームが発生する。6月8日の分布図はその様子を捉えており，全域で濃度が高くなっている。

成層期の琵琶湖北湖北部の表層では，環流（半時計回りの流れ）が発達する。10月21日の分布図は，環流によって沿岸から沖域に運ばれる植物プランクトン群集の様子を明確に捉えている。彦根沖付近で増殖した植物プランクトン群集が環流に乗って沖域へと移流し，円を描くように分布している。その後の成層構造が崩れはじめる11月になると，そのような分布はほぼ見られなくなり，琵琶湖でもっとも頻繁に観察される分布を示す日が多くなる。11月24日はその典型的なクロロフィル*a*濃度分布を示しており，東岸域で濃度が高く，それより沖域から西岸までは低い分布となっている。

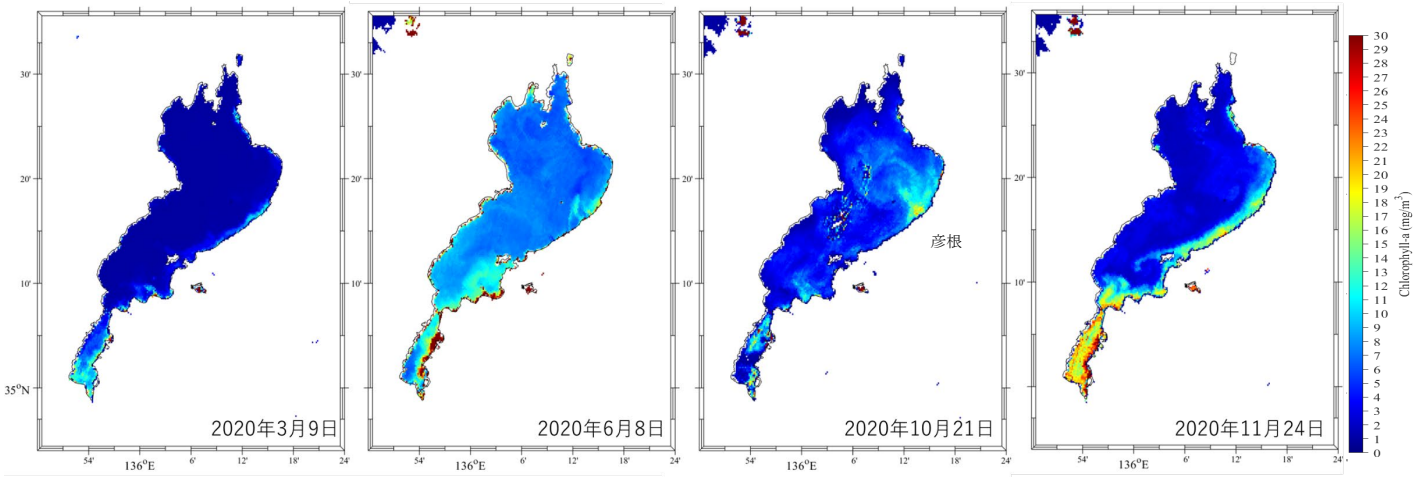


図 2. 2020 年の琵琶湖における特徴的なクロロフィル *a* 濃度分布

上述の2019年と2020年におけるGCOM-C/SGLI衛星データから推測したクロロフィル*a*濃度分布は，琵琶湖における植物プランクトン群集の分布動態を詳細に捉えていた。温暖化の影響が顕在化してきている琵琶湖において，この衛星リモートセンシング技術は植物プランクトンや物質輸送などに関する多くの知見をもたらし，今後の琵琶湖水環境の保全・再生に寄与するものと期待される。

【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】

Goto, N., M. Iwaki, S. Ban, K. Hayakawa (2020) Effects of disturbance events on primary production in the northern basin of Lake Biwa. JpGU-AGU Joint meeting, Online（2020 年 5 月 24 日～28 日）.

後藤直成（2020）気候変動衛星（GCOM-C）を利用した琵琶湖におけるクロロフィル *a* 濃度の推定．名古屋大学宇宙地球環境研究所（ISEE）コミュニティミーティング，オンライン（2020 年 10 月 26 日）.

後藤直成（2021）温暖化が琵琶湖の表層生態系に及ぼす影響～植物プランクトンの一次生産～．京都大学生態学研究センター・シリーズ公開講演会，オンライン（2021 年 2 月 20 日）.

（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２
Enhancement of the Inner Magnetospheric Research by the provision of the calibrated data for Arase DC and low frequency E-field: 2

笠羽　康正、東北大学　惑星大気・プラズマ研究センター

１．研究目的

Arase (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および校正

スピン毎(～8sec 分解能)の電場波形(double probe, **EFD-E-SPIN**)および衛星ポテンシャル（single probe, **EFD-SPEC-1SEC**)、並びに 1-sec 分解能の電場スペクトル(1～>200Hz, **EFD-SPEC-1SEC**）に加え、それらの源泉情報でもある 256Hz および 64Hz 電場波形(double probe, **E256Hz** および **E64Hz**)および 8Hz ポテンシャル波形(single probe, **pot8Hz**) を含め、全 L2 データ公開へこぎつけた。これらで適用するデータ校正は「周辺 plasma の環境に依存しない、センサー電気性能の反映」までとしている。バーストデータである電場波形データ (512Hz)・ポテンシャル波形データ (128Hz) の Level-2 公開も需要があれば可能である。これらの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ことがわかってきた。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。

人工衛星による電場観測データの評価を，直交 2 系統のプローブシステムの結果の差と，電場・磁場直交性の 2 つの側面から行った。衛星電位のゆらぎが相対的に大きい時に電場観測の不整合が起こること，また，観測された電場が正しい方向からずれていることの指

標として，衛星本体電位の変動を差し引いたプローブ電位の波形の非対称性が使用可能であることが示された。(**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**)
また、観測磁場と観測電場の直交性が必ずしも保障されていないため、この直交性を用いた電場データの信頼性評価（**菅野翔太 武田祐汰、渥美拓馬．東北工業大学卒業論文，2020 年 3 月**)および公開電場データの正誤基準判定（青木光明、八田夏海、脇山雄太．**東北工業大学卒業論文，2020 年 3 月**）を進めた。

(3) Arase 衛星による電場計測を用いた成果創出のサポート：
以下の論文に代表されるプラズマ圏・磁気圏電場観測の評価に貢献した。また、EMIC などの低周波波動や電離圏電場との対応などに対しても量的基礎と信頼性評価を与えた。
・高高度における Field-line 電場による電子加速の存在: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
・高緯度磁気圏における電子加速：Kazama et al. (2021). Extremely collimated electron beams in the high latitude magnetosphere observed by Arase. Geophys. Res. Lett. 48, e2020GL090522. https://doi.org/10.1029/2020GL090522
・SAR Arc の source 領域における電磁場・Plasma 観測： Inaba et al. (2020), Plasma and Field Observations in the Magnetospheric Source Region of a Stable Auroral Red (SAR) Arc by the Arase Satellite on 28 March 2017. J. Geophys. R. Space Phys. 125, e2020JA028068. https://doi.org/10.1029/2020JA028068

(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：
2018 年に打ち上げられた 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。
・BepiColombo/Mio PWI 総括初期論文：Kasaba et al. (2020) Plasma Wave Investigation (PWI) aboard Mio/BepiColombo Mercury Magnetospheric Orbiter (MMO) on the trip to the first measurement of electric fields, electromagnetic waves, and radio waves around Mercury. Space Sci. Rev. 216:65. https://doi.org/10.1007/s11214-020-00692-9
・BepiColombo/Mio PWI の電場アンテナ WPT・MEFISTO 初期論文： Karlsson et al. (2020). The MEFISTO and WPT electric field sensors of the Plasma Wave Investigation on the BepiColombo Mio spacecraft. Space Sci. Rev. 216:132. https://doi.org/10.1007/s11214-020-00760-0

炭素数2のクリーギー中間体と有機酸・水蒸気との相対反応性の研究
Studies on relative reactivities of C2-Criegee intermediates toward organic acids and water vapor

廣川　淳、北海道大学・大学院地球環境科学研究院

【目的】

不飽和炭化水素のオゾン分解から生成するクリーギー中間体は，大気中で二酸化硫黄，水蒸気，有機酸などと反応して硫酸，ヒドロペルオキシド，オリゴマー体などを生成し，大気中の二次有機エアロゾル形成に影響を及ぼすが，その反応性に対する定量的な情報は少ない。本研究では，*anti* 体と *syn* 体の 2 種類の配座異性体を持つ C2 クリーギー中間体 CH_3CHOO をトランス-2-ブテンのオゾン分解反応から生成し，これらの有機酸，水蒸気に対する相対的な反応性を測定することで，クリーギー中間体の構造と反応性の関係を明らかにすることを目的とした室内実験を行った。今年度は水二量体$(H_2O)_2$ の反応を考慮に入れたより精度の高い解析を行うとともに，トランス-2-ブテンから *anti* 体，*syn* 体それぞれが生成する収率を決定する試みも行った。

【研究方法】

実験は，内径 4 cm，長さ 80 cm のフローチューブを用いて行った。フローチューブには，トランス-2-ブテン C_4H_8，オゾン O_3，ギ酸 HCOOH，水蒸気 H_2O，およびシクロヘキサン C_6H_{12} を導入し，トランス-2-ブテンのオゾン分解反応とそこから生成するクリーギー中間体の反応を起こした。フローチューブを出た気体はオゾン計および化学イオン化質量分析計 CIMS に導入した。CIMS では SO_2Cl^- を試薬イオンとして用い，ギ酸，水蒸気，およびこれらとクリーギー中間体との反応生成物を測定した。トランス-2-ブテンおよびオゾンの初期濃度はそれぞれ約 1.8×10^{13} molecules cm^{-3} および 2.5×10^{13} molecules cm^{-3} とした。ギ酸は 0 – 9.2×10^{12} molecules cm^{-3}，水蒸気は 0 – 3.5×10^{17} molecules cm^{-3} の濃度範囲でそれぞれ変化させた。シクロヘキサンは，オゾン分解反応で生成する OH ラジカルを捕捉するために添加した。フローチューブの温度は 20.0 ± 0.5°C に保った。フローチューブ内の反応時間は 30 秒と見積もられる。

【研究結果と考察】

トランス-2-ブテンのオゾン分解で生成するクリーギー中間体（*anti*/*syn*-CH_3CHOO）は，フローチューブ内で以下のような反応を起こすことが予想される。

anti/*syn*-$CH_3CHOO + HCOOH \rightarrow HOOCH(CH_3)OCHO$ (HPEF)	(1a/1s)
anti/*syn*-$CH_3CHOO + H_2O \rightarrow CH_3CH(OH)OOH$ (HEHP)	(2a/2s)
anti/*syn*-$CH_3CHOO + (H_2O)_2 \rightarrow HEHP + H_2O$	(3a/3s)
anti/*syn*-$CH_3CHOO \rightarrow$ products	(4a/4s)

ここで，反応 3a/3s はクリーギー中間体と水二量体との反応である。また，反応 4a/4s は，クリーギー中間体の単分子的な異性化・分解反応に加え，ギ酸，水蒸気以外の化学種との二分子反応も含む。先行研究［1］から，*syn* 体と H_2O，$(H_2O)_2$ の反応 2s，3s は無視できる

と考えられる。

今年度はまず，ギ酸無添加で，$(H_2O)_2$ の影響が無視できる低い水蒸気濃度の条件下において，反応 2a により生成する HEHP の CIMS 信号強度の水蒸気濃度に対する変化を測定し，そこから反応 2a の速度定数 k_{2a} に対する，反応 4a の速度定数の相対値 $k_{4a}/k_{2a} = (8.4 \pm 0.2) \times 10^{15}$ molecules cm^{-3} を決定した。次いで，水蒸気濃度を固定してギ酸濃度を変化させ，HEHP の信号強度変化を追跡した。同様の実験を様々な水蒸気濃度で行い，そこから $k_{1a}/k_{2a} = (1.3 \pm 0.6) \times 10^4$ 及び $k_{3a}/k_{2a} = (1.3 \pm 1.3) \times 10^3$ を得た。また，*anti*-/*syn*-CH_3CHOO とギ酸の反応で生成する HPEF の信号強度のギ酸濃度依存性から，*syn* 体に対する速度定数比，$k_{4s}/k_{1s} = (1.3 \pm 0.2) \times 10^{12}$ molecules cm^{-3} を求めた。最後に，乾燥条件と加湿条件（相対湿度約 67%）で生成する HPEF の量と，トランス-2-ブテンとの反応により消費されるオゾン濃度の測定値から，*anti* 体及び *syn* 体それぞれの生成収率を $(23 \pm 5)\%$ 及び $(4.3 \pm 2.7)\%$ と求めた。

減圧条件下の直接的な反応速度測定から報告されている速度定数をもとに計算すると，$k_{1a}/k_{2a} = (5 \pm 4) \times 10^4$［2,3］，$k_{3a}/k_{2a} = (3.4 \pm 0.7) \times 10^3$［4］と見積もられ，いずれも本研究で導いた値よりも高かった。ただし，先行研究［2］で報告されている $k_{1a} = (5 \pm 3) \times 10^{-10}$ cm^3 molecule^{-1} s^{-1} は非常に誤差が大きく，また 4 Torr という減圧下での実験結果であるため，本研究で得られた値の方が大気圧条件下で信頼性の高い結果であると考えられる。逆に k_{3a}/k_{2a} に関しては，本研究で得られた値の誤差が大きく，今後，より精度の高い値を求める必要がある。k_{4A} の実験値はこれまで報告されていないため，本研究は相対値ではあるが，k_{4A} に対する情報を初めて実験的に与えたことになる。

syn 体に対しては，Weltz ら［2］が 4 Torr，298 K の実験から報告している $k_{1s} = (2.5 \pm 0.3) \times 10^{-10}$ cm^3 molecule^{-1} s^{-1} と Li ら［5］がごく最近報告している $k_{4s} = 146 \pm 31$ s^{-1} とから，$k_{4s}/k_{1s} = (5.8 \pm 1.4) \times 10^{11}$ molecules cm^{-3} と見積もられ，本研究で得られた値の約半分となった。ただし Li らの報告値は，300 Torr，298 K のものであり，k_{4s} が圧力とともに増加することが見いだされているので，圧力の違いが本研究と先行研究の差異の原因である可能性が高い。また，トランス-2-ブテンのオゾン分解から生成する *anti*-/*syn*-CH_3CHOO の個別の収率に対して Newland ら［6］は，*anti* 体が 21%，*syn* 体が 7%と報告しており，本研究結果はそれに非常に近いものであった。

本研究で得られた相対的な反応速度定数と収率から，CH_3CHOO のうち， *anti*-CH_3CHOO は相対湿度約 40%でほとんどすべてが水との反応により消費されるが，*syn*-CH_3CHOO はギ酸や他のカルボン酸と反応しうると見積もられる。本研究で用いた手法は，イソプレンやモノテルペンなど，大気放出量の高い不飽和炭化水素の反応系にも応用することが可能であり，今後これらの反応に対して速度情報を得られることが期待される。

【引用文献】

[1] Khan et al., *Environ. Sci.:Processes Impacts*, **20**, 437 - 453, 2018.

[2] Welz et al., *Angew. Chem. Int. Ed.*, **53**, 4547 – 4550, 2014.

[3] Taatjes et al., *Science*, **340**, 177 – 180, 2013.

[4] Lin et al., *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **18**, 28189 – 28197, 2016.

[5] Li et al., *RSC Adv.*, **10**, 8518 – 8524. 2020.

[6] Newland et al., *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **17**, 4076 – 4088, 2015.

（別紙様式４－２）

山形蔵王で観測される樹氷中宇宙線生成核種濃度
Cosmogenic radionuclide in rime samples collected at Mt.Zao, Yamagata Prefecture

赤田尚史　弘前大学・被ばく医療総合研究所
柳澤文孝　山形大学・学術研究院
栗田直幸　名古屋大学・宇宙地球環境研究所
（２行スペース）

【作成要領】

山形蔵王では、この着氷が大きく成長した「樹氷」が生成される。樹氷は、亜高山地帯に分布する常緑樹であるアオモリトドマツ（オオシラビソ：*Abies mariesii*）に雪と氷が付着してできる現象である。冬季に冷たく乾いたシベリアからの季節風が日本海上空で水分を吸い上げ雪雲となり、朝日連邦で大部分の水分が雪として除かれる。その後山形盆地上空を越え、蔵王連峰の斜面を登るように吹き上げ、断熱膨張により冷却し降雪をもたらす。残った水分は凝結し過冷却水滴となり、物体に衝突することで着氷を生成する。この樹氷は、蔵王の他に八甲田や八幡平など東北地方の一部の山岳地帯でしか見ることができない自然現象である。これまでにも生成過程や化学分析結果等についていくつか報告されている。本研究では、大気高層からの寄与について検討するため、樹氷に含まれる宇宙線生成核種^{7}Beおよび^{3}H濃度の測定を行うと共に、共同利用装置（Picarro L2130-i）を用いて水の水素酸素安定同位体比分析を実施してきた。ここでは、蔵王の樹氷中^{7}Be濃度の変動について検討した結果について報告する。

昨年報告した2016-2017年冬季のデータに加え、2017-2018年冬季および2018-2019年冬季に採取した試料の^{7}Be濃度を図1に示す。最小値は2017年2月13日の0.5 Bq/L、最大値は2019年1月15日の43.1 Bq/Lであった。全期間においておおよそ5-10Bq/Lで推移しており、2018-2019年冬季に比較的高い濃度が観測された。最大値を示した2019年1月15日は空気塊がバイカル湖周辺から飛来しており、このときは高気圧により成層圏大気が対流圏に輸送されていた。このことから高い^{7}Be濃度はこのような条件下の空気塊の飛来と山形蔵王での樹氷の形成が重なった際にみられると言える。

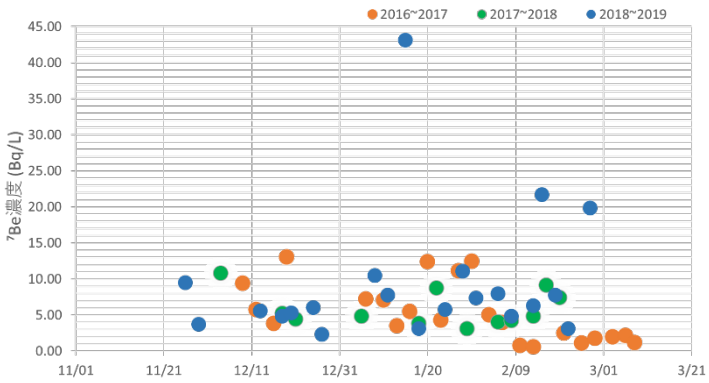


図１ 樹氷中 ^{7}Be 濃度の時系列変動(3 冬季)

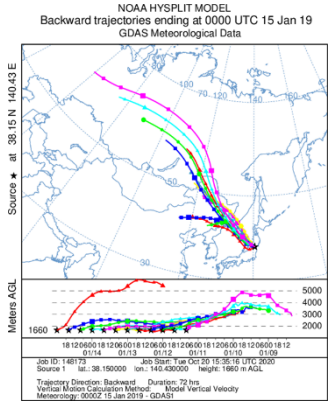


図２ ^{7}Be 濃度最大値の日における後方流跡線

（別紙様式４－２）

太陽活動現象における磁気モーメントの役割：太陽極域増光の解明に向けて
Roles of magnetic moment in solar activity: Possible mechanism of microwave polar brightening

柴崎清登、太陽物理学研究所

荷電粒子が磁場中で運動するとローレンツ力のために周りの磁場と逆向きの磁気モーメントを生ずる。このため荷電粒子は磁力線に沿って磁場の弱い方向に力を受ける。しかし、プラズマを熱平衡状態にある多粒子系ととらえると、古典物理学では磁気モーメントは生じないとされている。磁気現象は量子力学的現象であり古典物理学では常磁性も反磁性も発生しないとされている。固体の磁性体の場合は量子力学を用いればよいが、プラズマの場合はそうはいかない。このため、プラズマを流体として扱う MHD 方程式には磁気モーメントは含まれず、マクスウェル方程式は真空中の方程式を用いている。物質の磁気的性質は磁気モーメントに含まれるが、プラズマが磁気モーメントを持たないということは、プラズマが磁場と相互作用しないことになって矛盾を生ずる。これを補うために、プラズマを完全導体（電導度無限大）と仮定して磁場がプラズマに凍結していっしょに運動するとしている。しかし、完全導体中では磁場は時間変化できず動けないはずである。また、磁場方向に磁気的な力が働かず、磁力線に沿ったプラズマの定常的運動および平衡状態は、重力とガス圧のみによって支配されることになっている。

プラズマが磁気モーメントを持つことを認めれば、その磁気モーメント（反磁性）のために磁場の弱い太陽大気の上空に向かう力を受け、その温度依存性のために高温プラズマは重力に打ち勝って流れ出す。流れなくても実質的に重力加速度が弱くなったようにふるまい、静水圧平衡のスケールハイトが長くなり、マイクロ波での周辺増光が増長される。太陽極域では磁場が揃って開いており、ほぼいつも太陽面の周辺に位置するので増光が理解できる。また、増光と太陽風速度とのよい相関（参考文献 1.）も理解できる。そのほか、軟 X 線や EUV で観測される温度に依存する上昇・下降流や、閉じた磁力線の頂上付近での圧力の増加が特別な機構を導入することなく説明できる。そのほかにも多くの現象を理解することができる。よって、本研究の一番重要な課題はなぜ古典物理学では磁気モーメントがなくなるとされているのかの理由を明らかにし、古典物理学においても反磁性が発生することを示すことである。

古典物理学では磁気モーメントが生じない理由として挙げられているのは主に次のふたつである。１）「システムがある運動状態をとる確率は、$\exp(-U/kT)$ に比例する。ここで U は運動エネルギー＋ポテンシャルエネルギーであり、磁場によるローレンツ力は寄与し

ない。よって、熱平衡状態では磁場があってもなくても同じである。」ファインマンの教科書（参考文献 2.） 2）Bohr-van Leeuwen の定理：統計力学によると、磁場中の熱的プラズマは磁気モーメントを持たない。磁気モーメントは、空間座標と速度の外積 $\mu = (q/2)\mathbf{r}\times\mathbf{v}$ であり、これは速度の一次関数なので位相空間全体で積分すると 0 となる（参考文献 3.）。これらが誤りである理由は以下のようである。1）に対して：運動エネルギーが同じでも、直線運動と円運動では運動状態は異なる。磁場中の荷電粒子はローレンツ力のために円運動となり、角運動量および磁気モーメントを持つ。ビリアル定理を適用すればその違いは明らかである。本研究において、ローレンツ力によるビリアルが磁気モーメントを与えることを示した（研究会発表 1、論文）。 2）に対して：$\mathbf{r}$ と $\mathbf{v}$ はひとつの粒子の物理量であり、運動方程式を介して結びついているため磁気モーメントはゼロにはならない。Bohr および van Leeuwen は、運動方程式を解かずに $<\mathbf{v}>=0$ を示した。

$<\mathbf{r}\times\mathbf{v}> \neq <\mathbf{r}> \times <\mathbf{v}>$

プラズマの持つ単位体積あたりの磁気モーメントは $\mathbf{M} = -(P/B)\,\mathbf{b}$（P はガス圧、B は磁場の絶対値、$\mathbf{b}$ は磁場方向の単位ベクトル）である。プラズマは非線形の磁性体なので、通常の線形磁性体の電磁気学がそのまま利用できないため、磁気モーメントに働く力をマクスウェル方程式から独自に導出した（研究発表 2.）。磁気モーメントに働く力は、磁場方向にはケルビン力、直角方向には P の勾配力であることが導かれた。副産物として、プラズマの ExB ドリフト運動が、磁気モーメントに起因する「隠れた電磁エネルギー流束」であることを示した。

引用文献：

1) Fujiki, K., Shibasaki, K., Yashiro, S., Tokumaru, M., Iwai, K., and Masuda, S.: 2019, Solar Phys. **294**, 30.

2) The Feynman Lecture on Physics II" §34-6 "Classical physics gives neither diamagnetism nor paramagnetism"

3) J. H. Van Vleck, The Theory of Electric and Magnetic Susceptibilities (Oxford at the Clarendon Press, 1932).

成果発表：

研究会発表１．柴﨑清登、ビリアル定理から求めた熱的プラズマの磁気モーメント、日本天文学会、Zoom、2020年9月9日

研究会発表２．柴﨑清登、磁化プラズマにおける電磁応力テンソルと運動量（Kelvin力とExBドリフト）、日本天文学会、Zoom、2021年3月19日

論文：Kiyoto Shibasaki, Magnetic moment of thermal plasma derived from virial theorem, (投稿予定)

（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
Trial on combination of the analyzer of total particulate organic nitrate with filter sampling method

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 の一種となりうるため、そのガス－粒子分配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が解明された 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)、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-NO_2）、を組合せた粒子状有機硝酸全量 PONs 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、本手法を遠隔地での大気観測に活用することを企図して、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、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。そこで本研究では、PONs 発生量の相対変動を簡便に把握する測定系を構築し、その基礎特性の把握を試みた。なお、新型コロナウイルス感染症に伴う活動制限等の影響を受けたため、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】　実験では、反応容器にてオゾン・一酸化窒素・リモネンを混合して気相反応により生成する PONs を一定濃度含む試料を準備し、PONs 計と新規構築した相対標準測定系 RSM に導入した。RSM として、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を構築し、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。反応容器での一酸化窒素量の調整により試料の PONs 濃度を 0-6 ppbv の範囲で変えて測定したところ、PONs 計の測定値 ONs+PNs と RSM の測定値の間で強い正の相関関係が確認され（図）、RSM による PONs の相対変動把握は十分に可能であることが確認された。次に、ONs および PNs と RSM との間の回帰直線の傾きから PONs の内訳を見積もったところ、ONs:PNs = 1:5 程度であり、今回の試料は PNs が優勢であった。

これは、実験条件に起因して反応初期に NO の多くが NO_2 に変換され、PANs 生成に有利な状況となったためと推察された。最後に、ONs+PNs の回帰直線の傾き (0.87) が 1 に近いこと、特に 4 ppbv 以下の各点は直線 y = x の直近にあることから、RSM は PONs の相対変動のみならず絶対値も妥当に定量できたことを確認した。以上のことから、RSM が PONs の相対標準測定法として有望であることがわかった。ただし、RSM による PONs 測定のベースラインは PF 通過時の NOx 計信号に依存するため、NOx 高濃度試料では不確定性が大きくなる点に留意が必要である。また、今後のフィルタ捕集法／再粒子化による PONs の定量にあたっては、HNO_3 などの NOx 計干渉成分の影響を考慮する必要があろう。それでも、市販の NOx 計を用いた RSM による簡便な測定は、PONs 研究に新たな指標を提供する点で有意義と期待される。

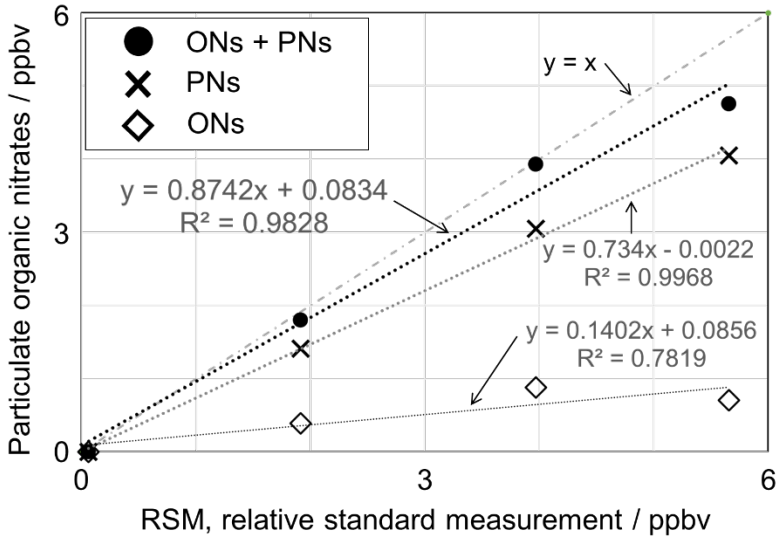


図 気相反応により生成した粒子状有機硝酸 PONs 試料に対する
相対標準測定系 RSM の測定値と PONs 計の測定値の相関プロット。
×: PANs 全量 PNs, ◇: $RONO_2$ 全量 ONs, ●: ONs と PNs の和。
それぞれについての回帰直線と傾き 1 の直線も併記する。

【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）

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の開発が進められており、日本ではエクサフロップスに近い計算性能を持つ、「富岳」の開発が進められ、2021年3月に運用が開始されている。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、既存のコードがこの新しいCPU（A64FX）をうまく利用できるのかは、本研究の開始時点（2020年4月）では不明な状態であった。

一方、これまで京の重点課題とされてきた分野では、A64FXに向けたコード開発の取り組みが進んでいるが、いわゆるSTP分野は重点分野に含まれていない。そこで、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に対して最適化する手法を研究し、富岳の利用が開始される際に備え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。今回は、研究代表者の所属部署において富岳と同様のCPUであるA64FXを搭載した計算機システム（FX700）が2020年3月導入され、それを利用した性能評価を行った。京と大きく異なる結果として、キャッシュを効率的に利用する配列形式の性能が低く、京向けコードの大きな変更が必要と分かった。また、SIMD幅が広いということで、ベクトル化が重要になるが、キャッシュもうまく利用する必要があり、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も明らかになった。さらに、A64FXはレジスタと呼ばれる記憶領域が、京に比べて減少しているために、計算ループをうまく分割することが性能向上に重要だということも分かった。富岳と同じCPUを持つ計算機システムが名古屋大学情報基盤センターに導入されているので、今後はこれらを利用した大並列計算の性能評価、最適化を進めていく。

・学会発表

深沢 圭一郎、三吉 郁夫、吉川 英作、 "A64FX プロセッサ(FX700)における MHD コードの性能評価と最適化"、STE シミュレーション研究会・KDK シンポジウム　合同研究会、オンライン開催、2021 年 3 月 29―31 日

・論文リスト

（査読無し）深沢圭一郎、三吉郁夫、惑星磁気圏 MHD シミュレーションコードによる A64FX プロセッサ（FX700）の性能評価、情報処理学会研究報告, 2020-HPC-175(15), 1-9, 2020.

（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７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：2019年度の実験では外部磁場3.6Tをかけたショットを行ったが、そのデータ解析とPICシミュレーションの結果を比較することで、実験の物理的解釈の議論を行った。その結果、(1)ターゲット由来のプラズマがBiermann battery効果による自己生成磁場で磁化したことがMS生成過程で重要な役割をはたしていること、(2)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領域と解釈できること、などがわかり、これらを論文[1]にまとめて投稿した(現在査読中)。

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48名, submitted.

学会発表：

[1] "Generation of Magnetized Collisionless Shock with High-Power lasers", R. Yamazaki, 43rd COSPAR Scientific Assembly (January 28 - February 4, 2021, online/Sydney), oral talk.

[2]「大型レーザー激光XII号を用いた磁化プラズマ中を伝播する無衝突衝撃波の生成実験(4)：2019-2020年度の進捗状況」, 山崎 了, 田中 周太, 河村 有志郎, 正治 圭崇, 冨谷 聡志 他44名, 日本物理学会 第76回年次大会 (2021年3月12日-15日, オンライン開催)

[3]「大型レーザー激光XII号を用いた磁化プラズマ中を伝播する無衝突衝撃波の生成実験(5)：2019年度の実験結果と理論的解釈」, 田中 周太, 山崎 了, 河村 有志郎, 正治 圭崇, 冨谷 聡志 他44名, 日本物理学会 第76回年次大会 (2021年3月12日-15日, オンライン開催)

（別紙様式４－２）

水試料の放射性炭素濃度測定のための手法改良
Method improvement of carbon extraction from water sample for radiocarbon measurement

高橋　浩、産業技術総合研究所・活断層・火山研究部門

研究目的

水試料の溶存無機炭素(DIC)の^{14}C濃度測定のための試料処理として、水試料に酸を添加することで発生したCO_2を回収する既存の手法に名古屋大学宇宙地球環境研究所の実状にあった改良を実施し、処理の再現性やバックグラウンド、殺菌剤である塩化ベンザルコニウムを利用したときの影響についての検証を行う。

研究方法

2019年度と2020年度加速器質量分析装置等利用(共同利用)で実施した^{14}C測定の結果を利用して、手法の再現性やバックグラウンド、塩化ベンザルコニウムの添加の影響についての検討を行った。

考察

$NaHCO_3$溶液の希釈に伴う現代炭素の混入について

試薬の $NaHCO_3$ 溶液を検証用試料として使用するために、100～1000 倍程度の希釈を行う必要があるが、調製した溶液の DIC 濃度が低いと ^{14}C 濃度が高くなる。溶液の pH が高いため、大気 CO_2 の混入によるものと考えられ、^{14}C 濃度の変化と調和的である。調整後の溶液の DIC 濃度が低いほど影響が顕著であるため、希釈に伴って、おおよそ一定量の炭素が混入すると考えられる。

段階希釈を行った溶液の 2 回の測定結果は、高濃度側の ^{14}C 濃度に違いが見られたが、1 と 2 $mmol \cdot L^{-1}$ で ^{14}C 濃度が高く、3 と 4 $mmol \cdot L^{-1}$ で低くなっている。^{14}C 濃度が非常に低い $NaHCO_3$ 溶液を用いた場合であっても、希釈による現代炭素の混入の影響は、3 $mmol \cdot L^{-1}$ よりも高い DIC 濃度の溶液を用いれば排除できると考えられる。

バックグラウンドについて

試薬の $NaHCO_3$ 溶液は、^{14}C を含まないバックグラウンド物質として使用できるか明確では無いが、改良手法により処理を行った $NaHCO_3$ 溶液の ^{14}C 濃度は、凍結乾燥処理よりも低い値を示しており、改良手法のバックグラウンドは十分に低いことがうかがえる。逆に、凍結乾燥処理を実施した $NaHCO_3$ 溶液の ^{14}C 濃度は、総じて高めであり、ばらつきも大きい。処理中の現代炭素の混入によるものと考えると、その程度が一定ではなく、処理ごとに不確定であることが示唆される。したがって、凍結乾燥処理は、$NaHCO_3$ 溶液の処理手法として適さないことがわかった。

別に行った実験によって、処理システムのバックグラウンドは 0.1±1.9 μgC であることが推定され、仮に ^{14}C を含まない 1 mgC の試料に現代炭素として混入したとしたら、0.01 pMC の ^{14}C 濃度上昇に相当し、誤差範囲の最大値を考慮した場合では 0.2 pMC となる。

水試料の注入による現代炭素の混入について

大気中で試料を注入した場合（Air）と、CO_2 を除去したグローブボックス内で注入した場合（CO_2-free）の両者の ^{14}C 濃度の測定結果は、中央値のみの比較を行った場合、Air がやや高い ^{14}C 濃度を示しており、CO_2-free のうち ^{14}C 濃度が低い分析値

との差が 0.28 pMC となる。これが試料注入時の現代炭素の混入の影響であると仮定すると、6.6±6.3 μgC の混入量となる。しかし、CO_2-free の分析値にバラツキがあり、Air との分析値とも誤差範囲内で一致している。検証実験は試料水の pH や DIC 濃度、^{14}C 濃度が、現代炭素の混入が起こりやすく、検出しやすい条件で実施していることからも、試料注入を大気中で実施することによる現代炭素の混入は、無視できるか、非常に小さいと思われる。

試料ガスのくみ出し（拡散とトラップ）のサイクルの数の影響

くみ出しのサイクル数が多くなるほど、CO_2 ガスの回収率は高くなった。この傾向は、試料量が多いほど顕著に見られた。しかし、くみ出し回数が異なり、CO_2 ガスの回収率が変化しても、^{14}C 濃度の変化は見られない。これは、同位体分別が正しく補正されていることを示している。さらに、改良手法により処理を実施した場合の ^{14}C 濃度測定の再現性に問題がないと考えられる。

もし、試料の ^{14}C 濃度のみを分析対象としており、回収される炭素量が十分に確保できるのであれば、1 回のサイクルのみの CO_2 回収で十分であると言える。一方、$\delta^{13}C$ 分析を目的として、高い CO_2 収率が必要である場合では、4 回サイクルが推奨される。

殺菌剤（塩化ベンザルコニウム）の影響

表層海水以外の試料は試薬を溶解させて作成した試料水であるため、生物活動による DIC 変化が生じない。そのため、塩化ベンザルコニウム（BAC）の添加の有無に関わらず、初期値と 1 ヶ月の保管後の測定値は一致するはずであり、測定結果もそれを裏付ける値を示し、両者は誤差範囲内で一致している。

表層海水では、BAC 添加試料で ^{14}C 濃度の変化は見られず、未添加試料においては、やや ^{14}C 濃度上昇が見られたものの、初期値と 1 ヶ月の保管後の測定値は誤差範囲内で一致している。表層海水を採取してから数年が経過しており、生物活動が停滞していたため、BAC の添加が無くても、生物活動による DIC の変化が起きなかったことが原意にだと考えられる。これらの結果から、BAC 添加が ^{14}C 分析に影響を与えないと判断できる。

まとめ

処理手法に関する検証を実施した結果、手法として用いることに問題が無いことが確認された。ここで示した成果と他のデータや解析結果をまとめ、Radiocarbon 誌に投稿し、査読中である。また、水試料の殺菌を目的として、BAC の添加を実施しても、^{14}C 分析に影響を与えないことが示された。

成果発表

佐藤里名・高橋浩・半田宙子・南雅代「水試料の溶存無機炭素を抽出する新手法の開発および従来法との比較」2020年度日本地球化学会第67回オンライン年会

Takahashi, H. A., Minami, M., Handa, H. and Sato, R. A simple CO_2 extraction method for radiocarbon analyses of dissolved inorganic carbon in water samples without a carrier gas. submitted to Radiocarbon

Sato, R. (2021) Development of a new carbon extraction method for accurate radi ocarbon analysis in water samples. Master's Thesis, Department of Earth & En vironmental Sciences, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya Univ ersity.

（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ている。

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。今年度はオゾンについて高度分布の精度を検証し、その上で高度毎の経年変化を調べた。解析にはNDACC/IRWGで共通して用いられているプログラム<SFIT4>を用いているが、独立した高度情報量の目安であるDOFs(Degree of Freedoms)はオゾン場合5程度である。検証には高層気象台(館野)のオゾンゾンデのデータを用いた。図1に2019年10月2日について比較した例を示す。オゾンゾンデの高度分解能をFTIRに合わせた赤実線とFTIRの結果(青線)を比較するとおよそ18-35 kmの高度では10%以内で一致している。そこで、2019年にオゾンゾンデとの同日観測のあった15日（58スペクトル）について0-9.8 km, 9.8-18.3 km, 18.3-27.7 kmの3層に分けて比較したところ、それぞれオゾンゾンデに対するパーシャルカラムの比が1.02 ± 0.05, 1.11 ± 0.19, 1.03 ± 0.05となり、数%から10%程度で一致することが確かめられた。

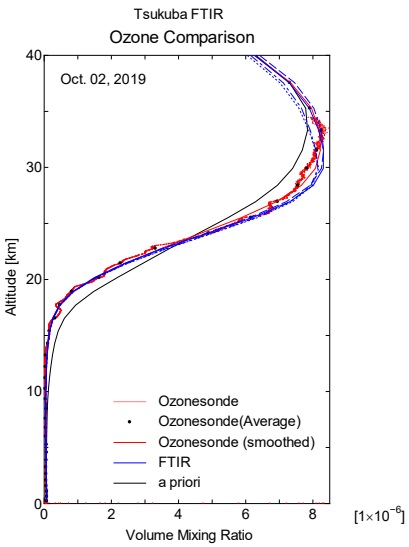


図１．導出されたオゾン高度分布のオゾンゾンデとの比較

次に、2014 - 2020年について上記の3層に27.7 km以上を加えた4層及び全量の時系列に直線をフィットして経年変化を調べた。いずれも期間全体としては-0.4 ～ -2.8 %/年の減少傾向を示した。この減少の要因は今のところ不明であるが、気象庁のオゾン全量の経年変化を見ても、札幌、つくば、那覇ともに2014年以降はそれ以前より減少している傾向が見られ、今後解析を進める予定である。

HClとHFのカラム全量の経年変化については昨年度も報告しているが、両者ともその主な発生源がフロン類であることからフロン規制の効果の指標となる。一方で成層圏での寿命が比較的長いため循環の加

速・減速によって増減する。今年度は陸別の結果とも比較した。図2にHClについて4年間の増加率を1年ずつずらしながら調べたトレンドのつくばと陸別の比較結果を示す。観測の抜けている期間などがあるものの、およそ同じ傾向を示すことが確かめられた。このトレンドの変化は基本的に成層圏の循環の変化で説明できるが、2015年付近での増加についてはCFC-11 などの放出量の変化による可能性があり、来年度には環境研秋吉英治氏らによる化学気候モデル(CCM)によるCFC-11放出量変化のあるなしによる再現実験との比較を予定している。

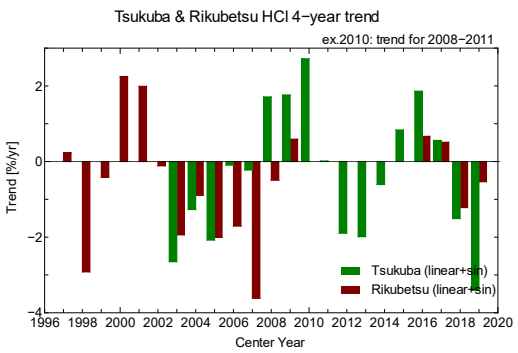


図 2. つくばと陸別の HCl トレンドの比較

このほか、今年度はHCHOについての共著論文がAMTに出版されたほか、HFC-23の解析手法についての論文がAMTのディスカッション論文に公開されている。

＜成果発表＞

Corinne Vigouroux, …, Isamu Morino, Isao Murata, Tomoo Nagahama, …, et al., TROPOMI-Sentinel-5 Precursor formaldehyde validation using an extensive network of ground-based Fourier-transform infrared stations, Atmos. Meas. Tech., 13, 3751–3767, https://doi.org/10.5194/amt-13-3751-2020, 2020.

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 FTIR observations of HFC-23 at Rikubetsu, Japan, and Syowa Station, Antarctica, Atmos. Meas. Tech. Discuss., https://doi.org/10.5194/amt-2020-505, 2021.

I. Murata, Y. Tomikawa, I. Morino, H. Nakajima, and H. Akiyoshi, Short-term variations of HCl and HF trends observed with FTIR at Tsukuba, JpGU-AGU Joint Meeting 2020, Online, Jul. 12-16, 2020.

村田功、冨川喜弘、森野勇、中島英彰、秋吉英治、長浜智生、つくば、陸別のFTIRで観測されたHCl、HFの経年変化、2020年度ISEE共同利用報告会, online, 2020/10/26.

村田　功, 中島　英彰, 森野　勇, 武田　真憲, つくばFTIRで観測されたオゾン高度分布の検証, 第25回大気化学討論会, オンライン, 2020年11月.

I. Murata, Y. Tomikawa, I. Morino, H. Nakajima, H. Akiyoshi, and T. Nagahama, Short-term variations of HCl and HF trends observed with FTIR at Tsukuba and Rikubetsu, The 11th Symposium on Polar Science, online, Nov. 16 – Dec. 18, 2020.

村田功、冨川喜弘、森野勇、中島英彰、秋吉英治、長浜智生、つくば、陸別のFTIRで観測されたHCl、HFの経年変化、第3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, online, 2021/03/22-23.

村田　功, 中島　英彰, 森野　勇, 武田　真憲, つくばFTIRで観測されたオゾン高度分布の検証と経年変化, 第3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, online, 2021/03/22-23.

（別紙様式４－２）

高エネルギー銀河宇宙線の太陽圏モジュレーション
Heliospheric modulation of high-energy galactic cosmic rays

宗像一起　信州大学・理学部

チベット空気シャワー実験で観測された、平均5 TV（5×10^{12} V）の宇宙線強度に見られる銀河異方性の起源を探るためには、先ず宇宙線が太陽圏内を伝播中に被るモジュレーション効果を理解し、それを除くことが必要である。そのため、地球から打出された反粒子のモデル太陽圏磁場中での軌道を計算し、観測された異方性を最もよく再現する太陽圏外での銀河異方性を調べた。モデル太陽圏磁場には、Washimi等によるものとPogolerov等によるものの二通りを用いた。

Zhang等は、Pogolerov等によるモデル太陽圏磁場中で4 TVの単色宇宙線の軌道を計算し、異方性の太陽圏モジュレーションとチベット空気シャワー実験結果を最も良く再現する銀河異方性を報告している（Zhang+, ApJ, 2020）。しかしながら、ベストフィットのnormalized χ^2は4.5（自由度は約1000）とフィットネスは極めて悪い。そこで我々は、モンテカルロ・シミュレーションに基づき、チベット空気シャワー実験で観測される宇宙線のエネルギースペクトラムと原子核組成を考慮したベストフィット解析を行った。その結果の一例を下図に示す。

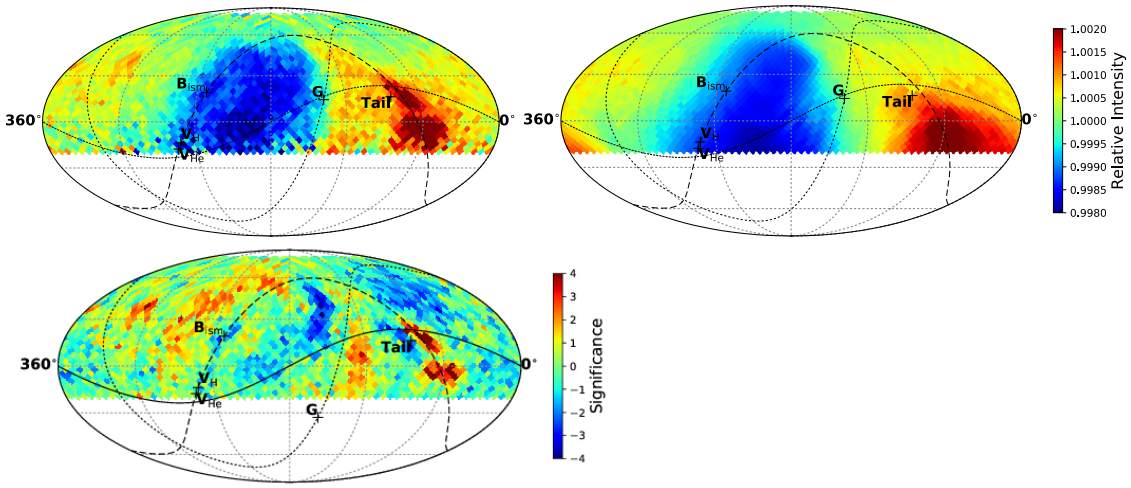


図　本研究で得られたベストフィット結果の一例。宇宙線強度と残差の分布を赤経・赤緯空間のカラーマップで示したもの。左上（観測結果）、右上（ベストフィット結果）、左下（残差の significance）。描かれている曲線は、実線が黄道面、破線が銀河磁場（B）と恒星間風を含む hydrogen deflection plane

この図の結果のnormalized χ^2は1.52（自由度は2052）であり、単色宇宙線の場合より改善はしているものの、依然としてフィットネスは極めて悪い。

左下の残差マップを見ると、heliotailの方向近くに強度超過が見られ、それがχ^2を悪くしている一因である。これらの強度超過はMilagro hot spots (region A, B)と知られているが、我々はそれらが太陽圏モジュレーションによってhydrogen deflection planeに沿って現れる強度超過であるとした（Amenomori+ Astrophys. Space Sci. Trans., 2010）。したがって、フィットネスが不十分な原因は、モデル太陽圏磁場がこうしたモジュレーションを再現出来ていないことにあると考えられる。

（別紙様式４－２）

白色光フレアにおける多波長放射スペクトルとその特徴
Solar flare spectra and characteristics of particle acceleration in white-light flares

渡邉恭子、防衛大学校・地球海洋学科

太陽フレアにおいて可視連続光の増光が観測される「白色光フレア」現象は、フレアによって加速された大量の電子が光球面近くまで降り込み、その場が急激に加熱されることによって発生していると考えられている。白色光の増光を発生させるような高エネルギーまで加速されている電子を大量に発生させるためには、加速域において強い磁場が必要であるとも考えられる。これまでに行われた統計研究(1)においても、エミッションメジャーと温度の関係などから、加速域における強い磁場の存在が示唆されている。そこで本研究では、白色光フレアの発生条件を探るために、観測された太陽フレアを白色光フレア(WLF)と非白色光フレア(NWL)に分類して、白色光フレア発生領域の磁場強度と温度分布に関して統計解析を行った。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。

まず本研究を進めるにあたって、WLFとNWLの分類方法を決定した。この分類にはSDO/HMIで観測された連続光画像を用い、SDO/AIAの1600Åの画像においてフレアリボン領域であると同定された領域のみを判定に用いた。このフレアリボン領域において、SDO/HMIの連続光画像の強度が３σ以上となっている領域を取り出し、その領域の１ピクセルにおける最大値と領域全体のカウント値を判定の指標とした。本研究では、WLFはHMI連続光画像の最大値が5000DN以上、かつ領域内における全カウント値が10^5DN以上のものとした。また、NWLは最大値が5000DN以下のものとした。

加速域付近の磁場強度を見積もるために、野辺山強度偏波計（NoRP）で観測されたマイクロ波スペクトルの折れ曲がり周波数を用いた。太陽フレアのマイクロ波スペクトルには放射強度が最大になる折れ曲がり周波数(ν_{peak})が存在するが、ν_{peak}は、放射領域の磁場強度に依存することが知られている(2)。2011年以降に発生したM3クラス以上のフレアのうち、野辺山電波ヘリオグラフ（NoRH）によってループトップのマイクロ波源が確認されていた29例のイベントを用いて、ν_{peak}より加速域近傍の磁場強度を統計的に見積もった。この結果、WLFとNWLの間でν_{peak}の分布に違いは確認できなかった。次に、ν_{peak}は加速域近傍の磁場強度だけでなく、フレアループ内の電子密度にも依存している(2)ため、フレアループ内の電子密度はフレアの規模と比例していると仮定することにより、ν_{peak}とフレア規模との比較を行なった。この比較においても、WLFとNWLの間でν_{peak}の分布に違いは確認できなかった。ν_{peak}は放射領域の磁場強度・フレアループ内の電子密度だけでなく、フレアの発生位置や観測している方向などによっても変化するため(2)、本研究で用いた手法は加速域近傍の磁場強度を確かめるためには単純すぎるモデルであったと考えられる。

次に、ひので可視光磁場望遠鏡(SOT)で可視連続光バンド（赤・緑・青）を用いて観測されたM1クラス以上のフレア35例を用いて、白色光放射領域における磁場強度及び放射温度について統計解析を行った。磁場強度はSDO/HMIで得られた磁場強度データを用い、放射温度はSOTで観測された赤・緑・青の３つの可視連続光データを用いて導出した。この結果、白色光放射領域の最大磁場強度と最大白色光強度との間には比例関係が見られることが分かった。光球面の磁場強度がループトップ（加速域）の磁場強度と比例していると仮定すると、白色光フレアでは大量の電子が強い磁場によって加速されていると考えられる。また、白色光の最大放射強度が白色光放射領域の最大放射温度の４乗に概ね比例していることも確認できた。これはシュテファン・ボルツマンの法則が成り立っていることを意味している。これより、フレアにおける白色光の増光は黒体放射で説明できる。

以上より、白色光フレアでは、強い磁場によって加速された大量の電子が光球面近くのフットポイントに降り込み、その領域が加熱された結果、黒体放射によって白色光が放射されていることが分かった。

参 考 文 献

（1） Watanabe K., Kitagawa J., Masuda S., 2017, The Astrophysical Journal, 850, 204

（2） Dulk G. A., 1985, Annual review of astronomy and astrophysics, 23 (A86-14507 04-90) Annual Reviews, 169-224

成 果 発 表

1. Kyoko Watanabe, Kosuke Tsuruda, Satoshi Masuda, Säm Krucker, "Statistical investigation of magnetic and temperature properties of white-light flares", JpGU-AGU Joint Meeting 2020, 2020 年 7 月 12-16 日
2. Kyoko Watanabe, "Energetic Protons Inferred from White-light Flares", 43rd COSPAR Scientific Assembly, 2021 年 2 月 2 日
3. Kyoko Watanabe, Kosuke Tsuruda, Satoshi Masuda, Säm Krucker, "Statistical Investigation of Magnetic Features in White-light Flares", 43rd COSPAR Scientific Assembly, 2021 年 2 月 3 日
4. Kyoko Watanabe, "Source region dynamics of white light flares", IIA-50 Conference "Advances in Observations and Modelling of Solar Magnetism and Variability", 2021 年 3 月 1-4 日

（別紙様式４－２）

太陽フレアに伴うイオン加速の研究
Ion acceleration into high energies in solar 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・宇宙線部門

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(Solae Energetic Particles, 略して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。この研究を続ければ、どのように太陽の磁場構造が変化した時に、宇宙で活躍する宇宙飛行士に影響を与えるような SEP が作られるのか、予知できるようになると考える。

このような路線に深くかかわるであろうと考えられるイベントが 2004 年 11 月 7 日の X2.0 のフレアに伴って観測された。このイベントの解析を 2020 年度の共同利用の研究テーマとして実施した。その結果は arXiv に公開した。(arXiv:2012.15623v1) [astroph-SR] (2012 年 12 月 31 日号)。　また 7 月 Berlin で開催される宇宙線国際会議で発表の予定であり現在準備中である。

現象の大略を記述する。フレアに伴って作られた太陽中性子が高度 5,250m の Bolivia Chacaltaya 山上に設置された名大太陽中性子観測装置で受信された。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)には、太陽中性子が崩壊して作られた陽子が観測された。さらに磁気圏内部に滞在する GOES 衛星では太陽中性子崩壊陽子が、また磁気圏外部の Lagrange point L1 に滞在する SOHO 衛星では太陽中性子崩壊陽子が観測された。この快挙は 1989 年以来 15 年ぶりである。

このイベントは先行する CME に秒速 1,500km の高速の CME が追いついた写真が SOHO-LASCO 測定器にて撮影されている。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は、増加を示している。この増加をどう解釈すべきか？　さらに 21UT, 23:30UT にも増加が見られる。次年度はこの課題を解明したい。

現在の段階での解釈は 18:30UT の増加は　11 月 6 日に発生した CME に捕らわれていた X2.0 のフレアで作られた SEP 粒子が到来し、21UT のものはその後ショックで加速された陽子が到来したと考えている。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。

（別紙様式４－２）

気候モデルにおけるユーラシア北部の降水量に対する北極海氷減少の影響メカニズム

Impact of Arctic sea ice reduction on precipitation over Northern Eurasia in the climate model

阿部　学　海洋研究開発機構・北極環境変動総合研究センター

はじめに

北極海では、地球温暖化の影響による顕著な海氷減少が報告されている。北極域や低・中緯度を含む地球規模の将来の環境変化への対応を検討するためには、海氷減少に関連する降水量変化のメカニズムを理解し、陸域環境への影響を把握する必要がある。また、ユーラシア北部や北東アジアの気候変化予測や、気候変化に対する対策を講じるためには、タイガやツンドラにおける植生－大気間の熱・水の交換、それらと大気循環場の変化との関連性の理解が重要である。本共同研究では、複数の気候モデル実験を用いて、地球温暖化や北極海の海氷減少によるユーラシア北部の大気水循環変動に関連する降水量変化のメカニズムを解析するとともに、ユーラシア北部の各地域における、近年から将来の降水量変化に対する北極海氷減少の影響を定量化することを目的としている。

研究目的

本年度は CMIP6 実験や地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース（d4PDF）における、ユーラシア北部の夏季降水量の長期変化トレンドやその地理分布特性の複数メンバー間のばらつき（不確定性）に着目し、ばらつきに関連する大気循環場や陸・海洋と大気の間の熱・水の交換に関する特徴を明らかにすることを目的とした。

研究方法

本研究では気候モデル MIROC6 (Tatebe et al. 2019) による 1850-2014 年までの過去の気候再現実験の初期値の異なる 50 メンバーのデータおよび d4PDF (Mizuta et al . 2017) の過去再現実験（HPB）と非温暖化実験（HPB_NAT）の 100 メンバーの実験データについて、統計的に解析した。

研究結果

MIROC6 の過去再現実験におけるユーラシア北部の降水量長期変化トレンドの地理分布に関する不確定性

50 メンバーある MIROC6 による過去再現実験を利用し、ユーラシア北部の夏季平均降水量の線形トレンド(1951-1980 年、1971-2000 年、1990-2014 年の 3 期間)の空間分布について、メンバー間のばらつきの特性を EOF 解析により抽出した。3 つの期間について別々に EOF 解析を実施したが、各期間で上位 4 つまでに見られる EOF パターンは、寄与率や順位は異なるものの、類似しているものが抽出された。1990-2014 年の EOF1 は西シベリアとその南の中央アジアを含めた地域において南北で符号が振動するパターン、EOF2 は中央シベリアを中心に変動するパターンであった（図 1）。EOF1 に関連するような、西シベリアの降水量が増加トレンドを示す場合、カラ海からよりも、バレンツ海からの蒸発による水蒸気供給が関係していることがわかった。また EOF2 に関連するような、中央シベリアを中心に降水量が増加トレンドを示す場合、ユーラシア北部に東西方向の波列構造が見られ、低気圧性循環が中央シベリアに位置していた。したがって北極海からの水蒸気輸送量の増加が降水量増加の要因の一つと推定できるが、北極海の海氷減少や蒸発による水蒸気供給の増加との関係性はみられなかった。

d4PDF における東シベリア－極東域の近年の降水量増加トレンド

シベリアにおける降水量の長期変化傾向について、1951-2010 年（60 年間）の d4PDF データを用いて、温暖化影響の評価を行った。特に、地上気温と北極海の海氷面積が大きく変化した 1990-2010 年に着目し、解析を行った。過去再現実験（HPB）と非温暖化実験（HPB_NAT）のそれぞれ 100 メンバーの降水量変化傾向を調べた結果、HPB では西シベリアから東シベリアにかけて増加傾向を示し、増加量は東シベリアほど大きいというような東西傾度が顕著であり、観測データとも整合的であった(図 2)。一方、HPB_NAT では顕著な東西傾度は見られなかった。また、中緯度に位置するモンゴル領域では、メンバー間のばらつきが大きかった。両実験のメンバー間の変化傾向の空間特性を EOF 解析より抽出した結果、EOF1 では観測データと整合的な南北に夏季降水量の変化傾向の符号が逆転する空間パターンが抽出された。抽出された空間特性から、東シベリアにおける降水量増加傾向が顕著なメンバーを用いたコンポジット解析（図 3）より、HPB ではモンゴルで地表面気温がより上昇する傾向を示した。その結果、南北の気圧シーソーパターンが強化され、西シベリアからの水蒸気流入が増加し、夏季降水量の増加傾向に寄与することが明らかになった。今後はメンバー間の内部変動の違いに焦点を当てることにより、陸面状態の差異が大気に与える

影響を評価する予定である。

まとめ

気候モデルの過去再現実験におけるユーラシア北部の夏季降水量の変化トレンドの地理分布特性は不確定性が大きいこと、そして特徴的な空間分布のばらつきと関連する大気循環場が明らかになった。d4PDF の解析からは、東シベリアの降水量増加傾向に温暖化が大きく関わっている可能性が示唆された。そして他地域でも観測と類似した降水量変化トレンドのパターンがあることと、そのパターンに関連する大気循環場の特徴を説明することができた。

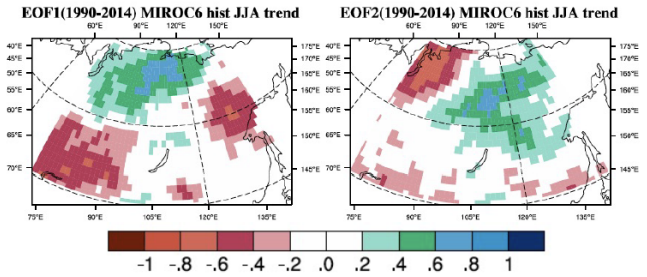


図 1: MIROC6 の過去再現実験 50 メンバーにおける、1990–2014 年の夏季(JJA)平均降水量トレンドに関する EOF1 と EOF2 の空間パターン。

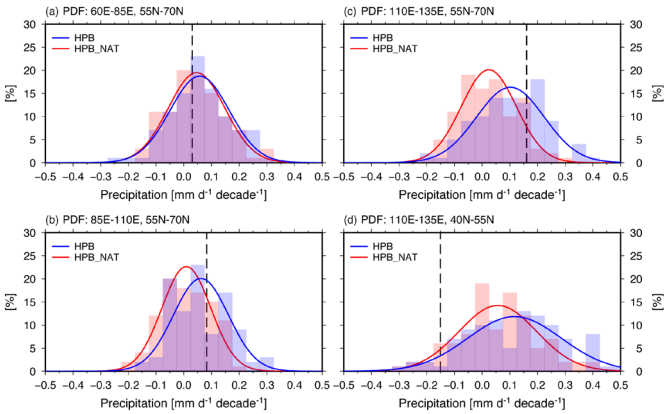


図 2: d4PDF の過去再現実験(HPB)、非温暖化実験(HPB_NAT)のそれぞれ 100 メンバーにおける、1990–2010 年の夏季(JJA)平均降水量トレンドの領域毎の頻度分布。

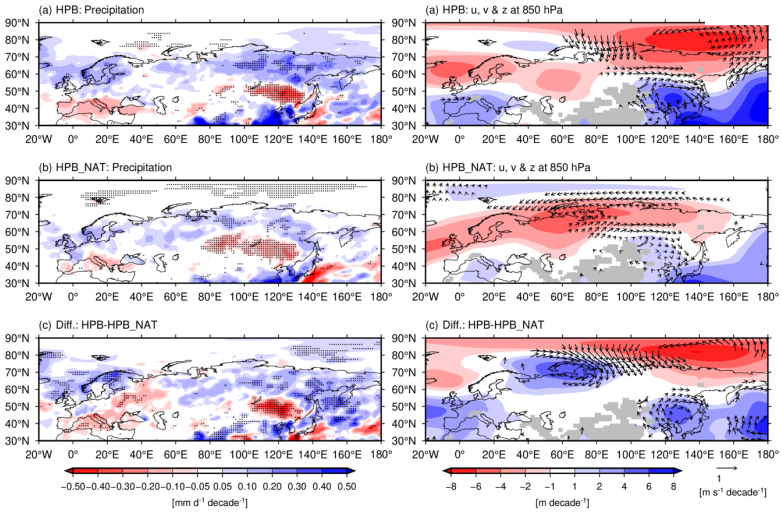


図 1: d4PDF の過去再現実験、非温暖化実験の 1990–2010 年の夏季(JJA)平均降水量トレンドに関する EOF1 から抽出したメンバーのコンポジット平均及び、両実験の差。左図は降水量トレンド。右図は 850 hPa における水平風及び高度場。

引用文献

Tatebe, H., et al., 2019: Description and basic evaluation of simulated mean state, internal variability, and climate sensitivity in MIROC6. *Geosci. Model Dev.*, **12**: 2727–2765, https://doi.org/10.5194/gmd-12-2727-2019

Mizuta, R., et al, 2017: Over 5,000 Years of Ensemble Future Climate Simulations by 60-km Global and 20-km Regional Atmospheric Models. Bull. Amer. Meteor. Soc., 98, 1383–1398, https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0099.1

Willmott, C. J. & Matsuura K., 2001: Terrestrial Air Temperature and Precipitation: Monthly and Annual Time Series (1950 - 1999), http://climate.geog.udel.edu/~climate/html_pages/README.ghcn_ts2.html.

成果発表

Abe et al., 2020: Trends of summer precipitation over northern Eurasia in historical simulations with MIROC6, JpGU-AGU Joint Meeting 2020, Online, July 16 2020.

金森 他 2020, 東シベリア域における近年の夏季降水量の増加傾向に対する温暖化の影響、日本気象学会 2020年度秋季大会, オンライン, 2020年10月27日.

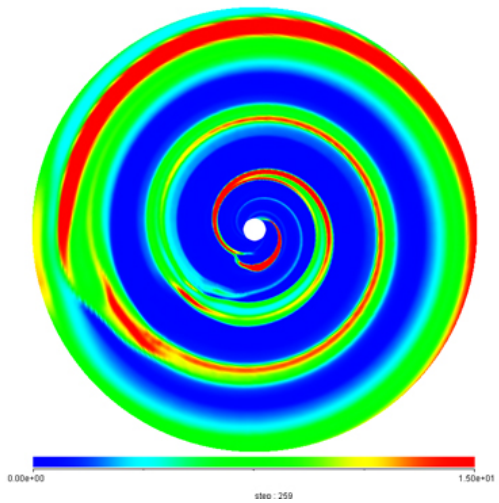
（別紙様式４－２）

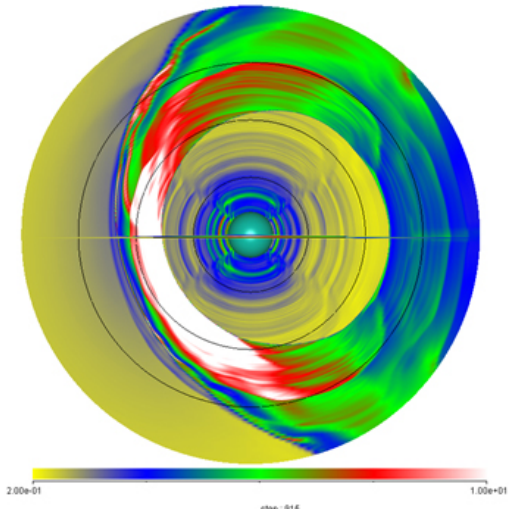
太陽圏の時間変動構造の研究
Study of Time-Varying Structure of the Heliosphere

鷲見治一　　九州大学国際宇宙天気科学・教育センター

Voyager探査機は打ち上げから約40年を経て1号機,2号機ともに太陽圏の外部境界面（ヘリオポーズ（HP））を越え、現在は星間空間（銀河空間）を飛翔している。両機が夫々にHPと交差した時間及び位置は太陽圏の大きさ及び形状を知るための唯一の直接観測である。一方、地球を周回する多くの探査機から長期間にわたり纏められている太陽風プラズマ及び磁場のデータがOMNIデータとしてまとめられている。我々はVoyagerデータを基礎とし、OMNI日変化太陽風プラズマデータを活用して3次元MHDシミュレーション解析を行い、時間的に変動する太陽圏の3次元構造を初めて明らかにすることを本研究の目的としている。

OMNIデータを3次元太陽圏構造のMHD解析の内部境界条件として用いるためには、1点観測データであるOMNIデータから3次元解析用の内部条件を用意せねばならない。このため経度的には、太陽風プラズマ流が太陽自転とともに共回転していると仮定し、緯度的には、太陽風プラズマ流のラム圧強度には緯度依存性がないというユリシーズ観測結果に従うとする。MHDシミュレーションの規模は１AUから900AUまでとしているが、１ボックスでは解析できないので1-20AUと20-900AUの２ボックスに分けて解析を行っている。シミュレーション解析は複雑で長時間を要している。日ごとのOMNIデータの取り込みは2000年初頭分から始めている。第１ボックスの赤道面上の図及び第2ボックスの子午面上の図の夫々の例を以下の左及び右に示す。





北西インドNidarオフィオライト層火成岩類のNd-Sr同位体研究
Nd-Sr isotopic study of igneous rocks from the Nidar ophiolite in northwestern India

今山武志、岡山理科大学・フロンティア理工学研究所

１．はじめに

ヒマラヤ造山運動は、約5000万年前のインドーアジア大陸の衝突から現在まで続き、世界中の多くの研究者がその形成過程に注目する。Nidarオフィオライトは、インド―アジア大陸衝突の地質学的境界であるインダス―ツァンポ縫合帯内部の西側に分布し、大陸衝突前に形成された海洋地殻の断片である。Nidarオフィオライトは, 玄武岩、ドレライト、斑れい岩、橄欖岩とチャートや火山砕屑性堆積物から主に構成され、緑色片岩相－角閃岩相下部程度の変成作用を被っている (e.g., Buchs and Epard, 2018)。全岩化学組成などの地球化学的研究からは、これらのオフィオライト層火成岩類は、supra-subduction zoneで形成されたとされている（Ahmad et al., 2008; Mahéo et al., 2004）。また、斑れい岩の角閃石からのAr/Ar年代は約124 Ma、斑れい岩のSm-Nd全岩アイソクロン年代は約140 Maを示し、白亜紀前期に形成したとされている。しかし、インダス―ツァンポ縫合帯の他オフィオライトは、ジュラ紀後期から白亜紀後期の生成年代を示し(Persons et al., 2020)、複数の火成活動が関わっており、これらの単一の火成活動モデルが妥当であるかは検討を要する。そこで、申請者は、Nidarオフィオライトの詳細な地質調査を実施して、岩石学的・年代学的研究に加えて、Nd-Sr同位体比分析を行ない、インドーアジア大陸衝突前の火成活動の実体を明らかにすることが主な研究目的である。

２．試料と研究手法

火成岩石試料の薄片を作成し、偏光顕微鏡観察を行い、EPMA を用いて各鉱物の定量化学組成分析を行った。また、9 試料の全岩化学組成分析を行い、主要元素と微量元素成分から、火成岩類の分類および成因を推定した。さらに、9 試料の Nd 同位体比と 11 試料の Sr 同位体比を分析した。

３．結果

火成岩分析試料は、斑レイ岩、粗粒玄武岩、玄武岩、安山岩の 4 つに分類される。斑レイ岩は輝石と斜長石から主に構成され、構成鉱物の量比により Type1 と Type2 に区分した。Type1 は輝石に富む一方、Type2 は斜長石に富み、加えて緑簾石、緑泥石を含む。粗粒玄武岩は斜長石と角閃石から成り、輝石は稀である。玄武岩は、斜長石、単斜輝石、角閃石、緑簾石から構成される。輝石のフェロシライト成分は、斑レイ岩で(10%程度)、粗粒玄武岩（15%）、玄武岩（25%）と徐々に増加する。すなわち、層序的上位ほど、輝石の鉄の割合が高くなる傾向がある。粗粒玄武岩と玄武岩の角閃石は、Si が高いアクチノ閃石と Si が低い普通角閃石を含む。角閃石の Mg/(Mg+Fe^{2+})比は、粗粒玄武岩で(0.67-0.84)、玄武岩で(0.6)と変化する。普通角閃石は、累帯化学組成構造を示し、中心部で鉄に富む。非変成の斑レイ岩斜長石は、灰長石成分が 70-90%と高いが、粗粒玄武岩斜長石の灰長石成分（5-89%）はばらつきが高い。玄武岩斜長石は灰長石と曹長石の 2 種類が観察される。

斑レイ岩 Type1 は、SiO_2 成分が 55wt%と高く、Type2 は SiO_2 成分が 45wt%と低い。ハー

カー図では、SiO_2 が増加するにつれて、Al_2O_3、MgO、CaO 成分は減少し、他の主要元素は増加する。Type1 斑レイ岩を含む 6 試料は、平坦な希土類元素パターン示す。一方、Type2 斑レイ岩を含む 3 試料は希土類元素濃度が低く、軽希土類元素に著しく乏しい。

9 試料の Nd 同位体比は 0.513022－0.513145 の範囲で系統的な違いは観察されず、枯渇した中央海嶺起源マントルに比較的近い値を示す。一方、11 試料の Sr 同位体比は、0.702957－0.706713 の間で幅広い値を示し、特に変質・変成作用を被っている試料で高くなる傾向がある。

４．考察

薄片観察と鉱物化学組成の結果から、非変成斑レイ岩 Type1 の輝石、灰長石成分に富む斜長石は、火成鉱物と考えられる。一方、粗粒玄武岩と玄武岩は、曹長石成分に富む斜長石、アクチノ角閃石、緑簾石、緑泥石などの変成鉱物を含み、緑色片岩相－角閃岩相下部程度の変成作用を被っている。普通角閃石は、火成鉱物か変成鉱物か今後の検討が必要である。

Type1 斑レイ岩を含む 6 試料の平坦な希土類元素パターンは、Ahmad et al.(2008)の沈み込み型火成岩類の特徴と一致する。一方、軽希土類元素に乏しい Type2 斑レイ岩を含む 3 試料は、中央海嶺型火成岩の特徴であり、沈み込み型火成岩類の特徴とは大きく異なる。このことから、Nidar オフィオライト層火成岩類は、沈み込みによる単一の火成活動で形成したというよりは、中央海嶺火成活動も伴う複数の火成活動が関わっている可能性が高い。

Nd-Sr 同位体比の変化は、マントルアレー上には乗らず、変質・変成作用によって Sr 同位体比が高くなっている。Nd 同位体比の初生値は、中央海嶺起源マントルの値に比較的近いことから、最初に海嶺で生成された海洋地殻が、海嶺付近の沈み込み帯形成に伴って、Sr 同位体比や希土類元素パターンが変化した可能性がある。今後は、放射年代を利用してマグマの生成年代と変成年代を推定して、テクトニックモデルを構築する。

引用文献

Ahmad, T., Tanaka, T., Sachan, H. K., Asahara, Y., Islam, R., & Khanna, P. P. (2008). Geochemical and isotopic constraints on the Age and origin of the Nidar Ophiolitic complex, Ladakh, India: Implications for the Neo-Tethyan subduction along the Indus suture zone. Tectonophysics, 451(1–4), 206–224.

Buchs, N., & Epard, J. –L. (2018). Geology of the eastern part of the Tso Morari nappe, the Nidar Ophiolite and the surrounding tectonic units (NW Himalaya, India). Journal of Maps, https://doi.org/10.1080/17445647.2018.1541196.

Mahéo, G., Bertrand, H., Guillot, S., Villa, I. V., Keller, F., & Capiez, P. (2004). The South Ladakh ophiolites (NW Himalaya, India): An intra-oceanic tholeiitic arc origin with implication for the closure of the Neo-Tethys. Chemical Geology, 203(3–4), 273–303.

Parsons, A. J., Hosseini, K., Palin, R. M., & Sigloch, K. (2020). Geological, geophysical and plate kinematic constraints for models of the India-Asia collision and the post-Triassic central Tethys oceans. Earth-Science Reviews, 207, http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103084.

学会発表

佐藤成修・今山武志・Dutta Dripta. 北西インド Nidar オフィオライト層火成岩類の岩石学的研究. 第 2 回 OUS フロンティアセミナー, 岡山理科大学, 2021 年 3 月.

（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】

持続可能社会のための地球環境教育や学習において注目されているのが科学的リテラシーという概念である。文部科学省もこの概念をもとに各教育施策を展開しており，授業での教科学習にとどまらず，総合的な学習で地球環境問題への取り組みを扱ったり，研究機関との連携による教育を行ったりするなどの実践が行われている。とりわけ，研究機関は専門的研究者を多数有し，専門的知識を一般市民や教育機関に還元することを役割の一つとしてきた。したがって，専門性の高い科学的リテラシーを中等教育機関で学習する場合において，こうした研究機関との連携はますます期待されつつある。しかしながら，これまでの連携においては見学などの活動にとどまり，科学的リテラシー学習に対する効果測定はされてこなかった。

【研究目的】

本研究では，地球環境問題にかかわる科学的研究をしている研究所と中等教育機関が連携し科学的リテラシー学習をしている活動について，その教育的効果を心理学的および教育学的視点から実証的な検討をすることを目的としている。したがって，その成果から，高校生の地球環境学習における科学的リテラシーの向上させる効率的方法を見つけ出すことが可能となると期待できる。

【研究方法】

昨年度の本研究と同様に，関西学院千里国際高等部と名古屋大学宇宙地球環境研究所との連携による教育活動を行った。この活動に参加することよる生徒たちへの学習動機や自尊感情などの教育効果について調査するため，参加群と統制群にたいして Web によるアンケート調査を行った。アンケート内容は，（1）参加群に対する参加理由・目的，（2）科学的リテラシーへの関心，（3）学習動機尺度 5 件法 36 項目，（4）自尊感情尺度 5 件法 10 項目であった。

【結果と考察】

アンケート内容の（1）と（2）の結果については詳細な分析は必要であることから，ここでは省略し，（3）と（4）についてのみ報告する。学習動機と自尊感情の相関関係について調べた結果を FIG.1 に示す。これからわかるように，参加群と統制群ともに有意義な結果は得られなかった。また，学習動機尺度について，「充実」「訓練」「実用」「関係」「自尊」「報酬」の要素を分析したが，いずれも t 検定による有意差は見られなかった。同じように自尊感情尺度についても分析したが，参加群の平均値が多少大きかったものの，t 検定による有意差は確認できなかった。

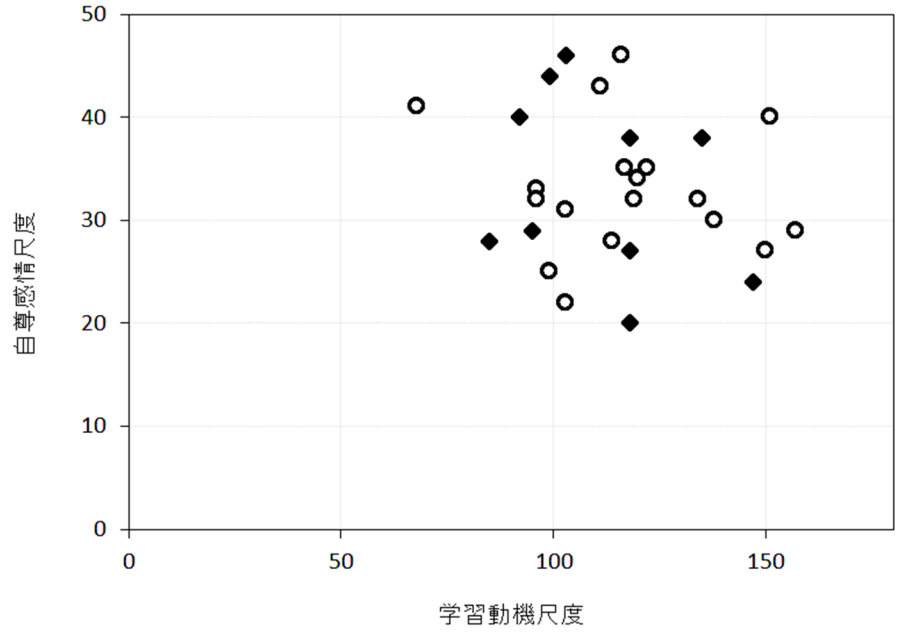


FIG.1．自尊感情と学習動機
◆は参加群，○は統制群

このことは，参加群と統制群の学習動機には差がみられなかったことを意味する。これは，どのような学習動機をもっていても，科学的リテラシーを学習し発展させていくことができることを意味している。今後，活動への参加理由や目的についての分析，および科学的リテラシーへの関心についての質的分析を行う予定である。しかしながら今回は，フィールドスタディーが実施不可能であったこともあり，その効果についての検討も限定的であると考えられる。その理由は，COVID-19 のパンデミックによって，期待していた研究所訪問や研究者と触れ合いが制限されたことも関係していると思われる。

その結果をふまえて活動内容の振り返りと修正を行う必要がある。また今回の分析では，参加群と統制群ともに標本の数が十分ではなく，信頼できるデータ数が得られなかった。次年度以降は，調査方法を工夫してアンケート回答率を上げる必要がある。このことを次年度の継続研究への課題としたい。

【参考文献】

市川伸一（2001） 学習と教育の心理学　岩波書店

市川伸一(1995) 学習動機の構造と学習観との関連　日本教育心理学会発表論文集、p.177.

Rosenberg, M. (1965) Society and the adolescent self image. Prinston Univ,Press.

山本真理子・松井 豊・山成由紀子(1982). 認知された自己の諸側面の構造 教育心理学研究, 30,64-68.

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指標の一つであるAE指数を予測することは、太陽地球系物理学の目指す到達点の一つと考えられる。過去において、太陽風データとAE指数の相関や両者を結び付ける近似関数を求めて、その結果を予測に活用する試みや、ニューラルネットワークを用いた予測が数多く行われ、一定の成功を収めた。しかし、それらの技法では、途中に含まれる物理過程を解明することがかなわなかった。そこで、その問題を解決するために、物理学の第一原理に基づいて３次元MHD方程式をスーパーコンピュータで解いてAE指数を予測する試みが行われ、大きな成功を収めつつある。しかし、それを実行するためには極めて大規模な計算資源が求められる。そこで、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試みる。そのような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

本研究におけるAU指数の予測は、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中の電場の一部が磁気圏の磁力線に沿っ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た。その上で、本年度は、AL指数に焦点を絞って課題の解明に取り組んだ。

Baker et al.［JGR, 1997］や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取り込まれた電場が直接電流を駆動する　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、あることをきっかけ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、Goertz et al. [1993]のモデルでは、Loading-Unloadingの過程が取り入れられていなかったため、本研究においては、その点について全面的に見直しを行った。具体的には、尾部に取り込まれた電場に依拠して蓄積され、何らかの物理過程（恐らく、バルーニング不安定と、近尾部での磁気再結合）によって解放されるエネルギーを記述する方程式を、Driven過程とLoading-Unloading過程を考慮したオーロラ等価電流回路解析に基づいて立て、太陽風のOMNIデーターを入力として解き進めた。その結果として得られた電流から、地上の磁場変動（AU, AL, AE指数）を求めた。

研究成果・考察

前項で述べた作業を多くのイベントについて進め、現在は、実際の AL 指数の特徴をとらえた変動をモデル計算で再現するに至っている。図 1 に 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（Et）の大きさに比例させ、エネルギー解放のタイミングを Et の時間の 2 階微分の大きさに関連させて実行した計算の一例を示す。現時点では、まだそのような単純な仮定を行っているため、計算値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。また、電離圏の電気伝導度を電流の増加とともに高くなるように仮定しているが、その関数形の与え方にも改良の余地がありそうである。しかし、もしも、エネルギー解放のタイミングを何らかの方法で正確に推定できたり、電離圏電気伝導度の関数形の改良に成功すれば、より定量的に正しい結果の得られる可能性のあることが、図 1 の（特に 4 番目の）パネルから予想することができる。

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、粒子フィルター法を用いたデータ同化法を適用する方法が有効である。次年度は本格的にその作業に取り組んで、AE 指数の予測スキームを完成させることを目指す。

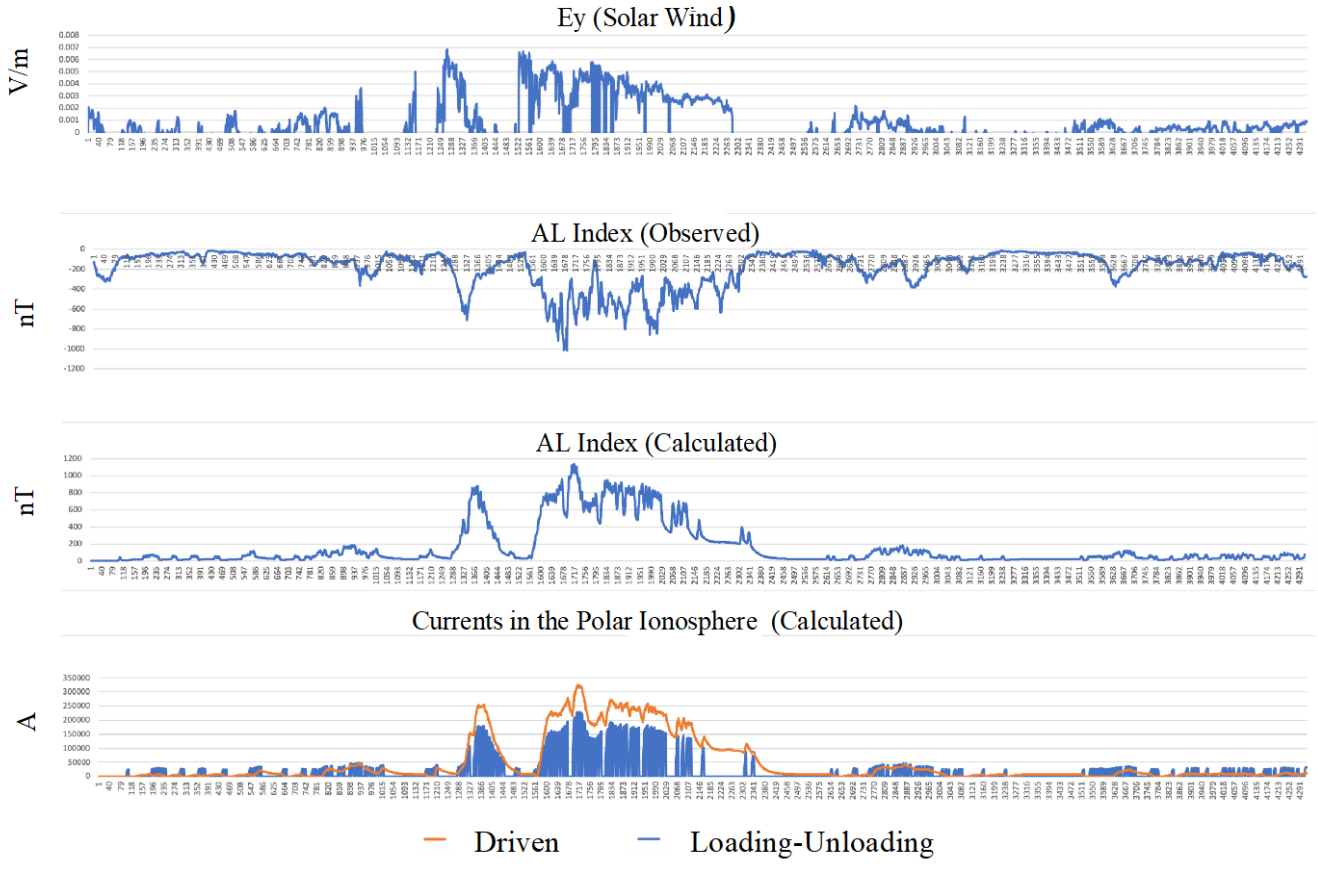


図 1. 2000 年 7 月 19-21 日の期間（3 日間）に対する結果。上から順番に、入力として与えた太陽風電場（OMINI データ）、実測に基づき公開されている AL 指数、本モデルによって計算された AL 指数（符号を反転させていることに注意）、および AL 指数を生み出す極域電離圏電流の時間変化。

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】

本研究は「あらせ」衛星搭載の超高エネルギー電子分析器（XEP）(Higashio et al., 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を目的とする．形状数学モデルを構築して高エネルギー粒子に対するXEPの特性を精査し，観測データ処理に必要な応答関数を構築する．現在も行われている「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構築した応答関数にて一次処理を行う．較正されたXEP観測データを他の観測機器データとの比較などから評価するとともに，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た．XEPはこれまで日本で経験が少なかった観測機器であるが，宇宙環境下で高エネルギー粒子は人体に重要な影響を及ぼすため，XEPのような機器は今後の宇宙環境計測において高い需要が予測されている．日本でも月着陸機や火星圏探査機（MMX）でのXEP相当の観測器の搭載が予定されている．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】

「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Geant4(GEometry ANd Tracking)を利用して，フライトモデ形状の詳細を反映させた形状モデルを構築した(図1左)．そのモデルの中で高エネルギー粒子を無数に照射してXEPのエネルギー応答特性を精査した(図1右)．観測データ処理に必要な応答関数を構築した．

【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(図2左)を得ることが出来た．高エネルギー側で期待より検出効率が低い結果となった．

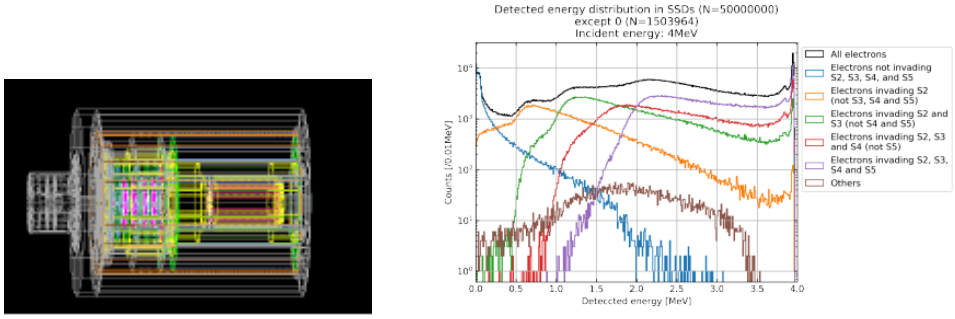


図1: 左）Geant4で作成したXEP数値モデル. 右）4MeV電子の等方フラックスに対する半導体検出器（SSD2—5）のエネルギー応答.

【まとめ】

応答関数を用いて観測データ較正を実施して, 図2左の窪みのあるエネルギー分布も見つかっている. 今後も引き続き応答関数及び較正作業の評価を行う.

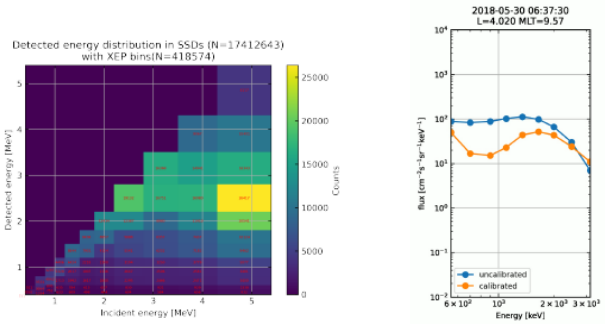


図1: 左）数値モデルから得た入射エネルギー(x軸)vs検出エネルギー(y軸). 右）観測データの較正前(青)と較正後(橙).

【成果発表】(学会研究会発表は全てリモート形式)

- 津田 洸一郎, 横田 勝一郎他, Geomagnetic N+/O+ variation in the Ring Current Observed by the Arase (ERG) Satellite, 日本地球惑星科学連合 2020 年大会, 2020 年 7 月 12−15 日
- 植田 晃平, …, 横田 勝一郎他, Evaluation of response characteristics of the XEP onboard the Arase spacecraft, 日本地球惑星科学連合 2020 年大会, 2020 年 7 月 12−15 日
- N. Thomas, …, S. Yokota, et al, Investigation of small-scale electron density irregularities observed by the Arase and Van Allen Probes satellites inside and outside the plasmasphere, J. Geophys. Res., Accepted. doi.org/10.1029/2020JA027917
- Y. Inaba, …, S. Yokota, et al., Plasma and field observations in the magnetospheric source region of a Stable Auroral Red (SAR) arc by the Arase satellite on 28 March 2017, J. Geophys. Res., 125(10), 2020. doi.org/10.1029/2020JA028068
- K. Shiokawa, …, S. Yokota, et al., Arase observation of the source region of auroral arcs and diffuse auroras in the inner magnetosphere, J. Geophys. Res., 125(8), 2020. doi.org/10.1029/2019JA027310

（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することで、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。

今後は、この高い相関を持つ脈動オーロラのパッチの高度を同定するために、2地点のカメラを地理座標系に投影した際、形状が一致するような高度を調べる予定である。地上観測から推定されたオーロラの発光高度と、あらせ衛星で観測された降下電子のエネルギーを比較し、ステレオ観測による降下電子エネルギー推定方法の妥当性を検証する。

【成果発表】

・栗田怜、三好由純、Feasibility of estimating the energy of precipitating electrons from stereo observations of pulsating aurora、名古屋大学ISEE研究集会「脈動オーロラ研究集会」、オンライン開催、2021年1月20日

（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 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）

平成28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，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。2020年度は，防災科学技術研究所の地震計ネットワーク(F-net: Full Range Seismograph Network of Japan)，高知工科大学が運営するインフラサウンド観測ネットワークシステムも使用し，阿蘇山噴火後の下部電離圏変動を調べた。

3. 研究結果

本研究ではLF帯標準電波を利用して、2016 年10 月7 日16:46 UT の阿蘇山(32.533 ° N、131.614 ° E) 噴火に関連した下部電離圏変動を明らかにした。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)-篠栗パスおよび中国(BPC , 68.5 kHz) -篠栗パスのデータである（図1）。それぞれ各送受信点間におけるLF 波の振幅とそのウェーブレット変換を行った結果、16:50～17:00 UT にかけて3 つの伝搬パスのLF 波の振幅に変動があり、150～300 s の周期成分があることがわかった（図2）。高知工科大学が運営するインフラサウンド観測ネットワークシステムでのインフラサウンド(微気

圧）の観測では、高知県の蜷川の観測点で噴火による音波の到達時刻直後の16:55～17:00 UT にかけて150～250 s の周期成分が見られた（図3）。

防災科学技術研究所が運営する広帯域地震観測網(F-net）による地震計の上下動速度の観測では、LF 波パス付近の3 か所(INN, TKD, およびTMC)の観測点で噴火直後から16:55 UT にかけて150～300 s の周期成分が見られた。



図 1　阿蘇山と LF 帯標準電波パスの位置

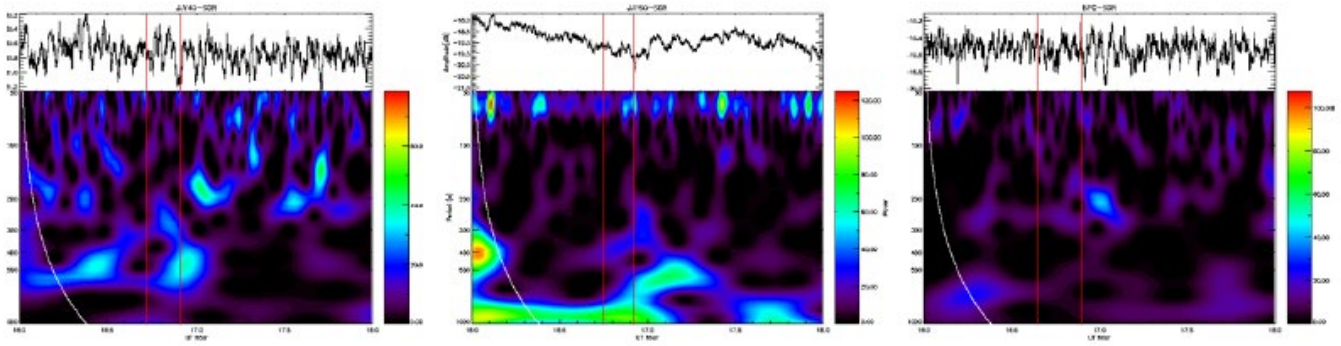


図 2　2016 年 10 月 7 日阿蘇山噴火時の（左）JJY40-SGR パス、（中）JJY60-SGR パス、（右）BPC-SGR パスの（上）振幅と（下）そのウェーブレットスペクトル。左側と右側の縦の赤線は、それぞれ噴火時刻および音波の到達時刻を示す。白い曲線は COI(Cone of influence)を表す。

3 つのLF 波の振幅間に、周期(110～115s, 150s, 200～205s, 290～300s, 615～620s）でコヒーレンスがあり、その位相差が0 になっていることがわかった。また、LF 波と各観測機器とのコヒーレンスをとり、インフラサウンドでは150 s の周期成分がJJY60 と蜷川で、170 s の周期がJJY40 およびBPC と蜷川での組み合わせで確認された。地震計では 155 s の周期成分がJJY40 とTKD・TMC 、JJY60 と3 つの地震計、BPCとINN・TMC の組み合わせで共通して確認された。この周期はLF 波同士のコヒーレンスで得られた150 s の周期と類似している。これより、150～170 s の周期成分は火山噴火によって励起した音波が、下部電離圏変動をもたらし、LF 帯標準電波が変動したと考えられる。

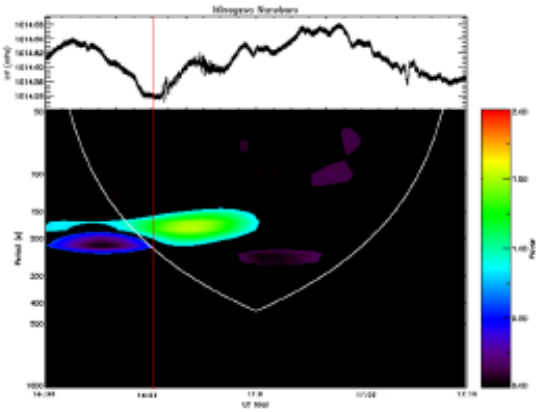


図 3　2016 年 10 月 7 日阿蘇山噴火時のインフラサウンドの(上）波形と(下）そのウェーブレットスペクトル。縦の赤線は音波の到達時刻を示す。白い曲線は、COI(cone of influence)を示す。

成果発表

[1] 折戸　雄飛、LF帯標準電波を用いた2016年阿蘇山噴火に伴う下部電離圏擾乱、千葉大学工学部総合工学科電気電子工学コース令和3年度卒業論文、2020　（指導教員：大矢）。

（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。観測システムは波しぶき計の他に、超音波風速温度計（SAT）、オープンパス型赤外線方式CO_2/H_2Oガス分析計（OPGA）、クローズドパス型波長スキャンキャビティリングダウン分光方式CO_2/H_2Oガス分析計（CRDS）からなる（図１）。これらにより、大気乱流によって生じる風速、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することができる。粒子数密度は、0.3、0.5、0.8、1.0、3.0、5.0、10、15μmの粒径別に、１時間おきに30分間、その他は常時、連続計測した。観測期間は11月4日～12月1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て設置した。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0.3~0.5μmの粒径における粒子の海面フラックスと大気中の数密度の時系列変動を示している。粒子の海面フラックスは局所的に$10^5 m^{-2}s^{-1}$を超える値を示し、海面からの供給量の増加とともに大気中の粒子の数密度の増加がみられた。このことから大気中の主な粒子成分は海面から放出される海塩粒子であると考えられる。一方で、大気中の数密度は海面からの供給量の減少に半日程度遅れて減少している様子がみられた。このことは海面から放出された海塩粒子が大気で滞留する、または海面からの放出量と海面への沈着量とが平衡状態となっている、つまり正味のフラックスが零であることが原因かもしれない。

また海塩粒子の海面フラックスと、熱や気体の海面フラックスを支配する風速との間には明瞭な関係性がみられなかった。海面から放出される海塩粒子は、先に述べた通り、大気に滞留し続けず海面に沈着する、また風速のみならず海面の状態や風向と波向の関係から海塩粒子の生成率が異なると考えられる。これらの関係性は0.3~0.5μmの粒径のみならず、昨年度の観測でもみられた大気乱流によって生じる気温や水蒸気密度との変動の相似性を示した10μmまでの粒径においてもみられた。一方で乱流変動を捉えることができないため渦相関法でフラックスの定量が難しい10μmを超える粒子についても、大気中の数密度の変動の様子は10μmまでの粒径と同様であることから、フラックスの変動も同様であると推測される。

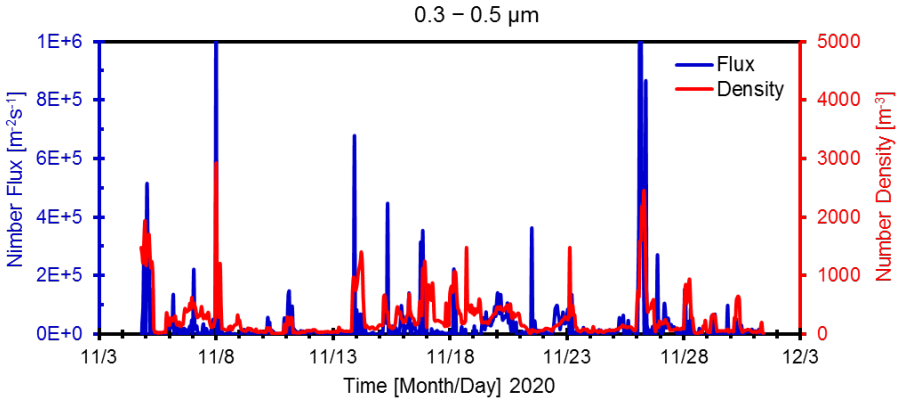


図２　0.3~0.5μmの粒径における粒子の海面フラックス（青）と数密度（赤）の時系列

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$10 ms^{-1}$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今年度も得ることができた。昨年度に引き続いて粒子と気温、水蒸気との間に大気乱流により生じる変動の相似性がみられ、渦相関法において海塩粒子のフラックスを算出することができた。一方で、昨年度は10Hzの粒子数密度変動に局所的な海面破砕を伴うスパイク状の変動がみられたものの、今年度はみられなかった。この原因は、波しぶき計に大気試料を吸引するために用いるチューブの長さや設置形状にあるかもしれない。また今年度は、粒子数を検出する核となるレーザーの出力の異なる２台の波しぶき計の並行観測も実施し、高出力レーザーの方が粒径の大きい粒子の乱流変動を捉えることができるようになった一方で、小さい粒子の変動がなまって計測される結果も得られた。後者については、放出量の過小評価につながるため、今後この要因について明らかにしていく予定である。

成果発表

相木秀則，近藤文義，根田昌典，田中 潔，藤田敏男：10Hz測定光学粒子計による海上波浪境界層観測，エアロゾル研究，Vol. 35，No. 3，pp. 160-169，2020

（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・気水圏研究グループ

南極地域の気候・環境変化を捉えるためには、長期間にわたるモニタリング観測が必要不可欠である。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・水文観測点は限られており、観測自体の困難さも相俟って、観測データの蓄積は乏しい。そのため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・環境変化を再構築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。氷床コアや積雪試料の解析では、最初に試料の年代を正確に決める必要がある。

年間積雪量が多い南極沿岸域などでは、試料の酸素同位体比の深さプロファイルから、季節変動シグナルの数をカウントし年代決定を容易に行うことができる。しかし年間積雪量が10 cmに満たない南極内陸域では酸素同位体比の季節変動シグナルは不明瞭となり、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）を指標とした年代決定を試みた。1950年代から1960年代初め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）の降雪中のトリチウム濃度は、実験開始前よりも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濃度が最大となり、氷床コアや積雪試料のトリチウム濃度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(JARE59)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ことを目的として進めてきた。JARE59では、南極ドームふじ基地から南に約50 km離れたNDFサイトにて深さ4 mの積雪ピット観測を実施し、表層から 3cm間隔で積雪試料を計134試料採取した。本研究では、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うとともに、同じくISEEが所有するPicarro L2130-iを用いて酸素同位体比分析を行った。

今年度は、分析を開始した6月に低バックグラウンドベータ線係数装置が故障し、コロナ禍の影響で修理が遅れたため、トリチウム試料の分析は約60試料に留まった。しかしながら、分析した試料からは深さ3.5 mにトリチウム濃度ピーク(130 TU)を検出することができ（図１a）、この深度が1966年前後の堆積層と考えられた。酸素同位体比の深さプロファイル（図１b）は、季節変動は見られないが、数年から数十年周期で発生していると思われる長期的な変動が見られた。また、表層付近では、高い酸素同位体比がみられ、この時期は温暖であった可能がある。今年度の研究は試料の化学分析を中心に行ったため、データ解析まで十分に進めることはできなかったが、近年の温暖化を示唆するような興味深い結果を得ることができた。今後は、先行研究の結果と比較しながら試料の各層（深さ）の年代を詳細に決定し、酸素同位体比についてもより詳細な解析を行っていくことを計画している。

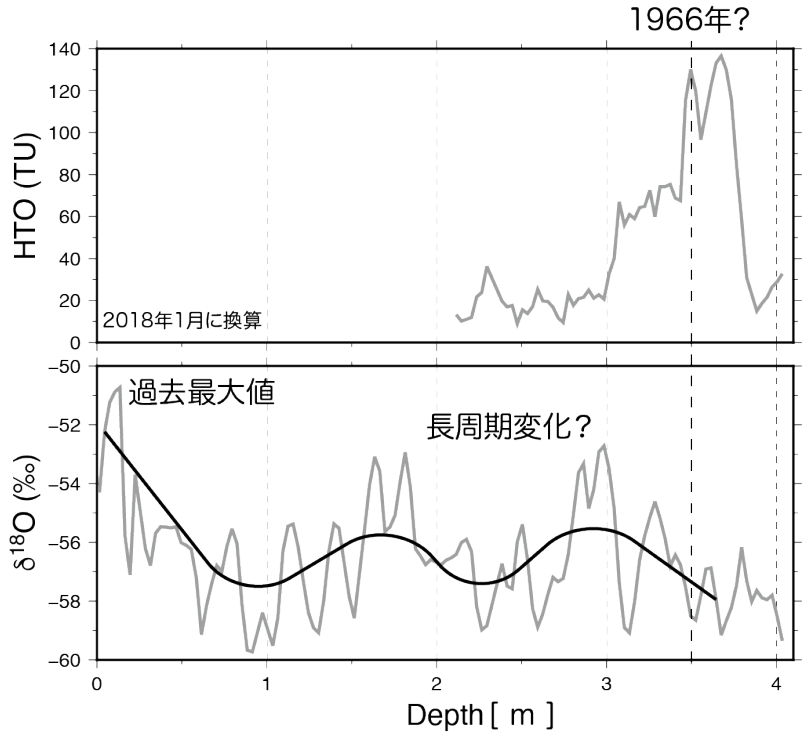


図1　ピット観測で採取された積雪試料中の（a）トリチウム濃度と、（b）酸素同位体比（$\delta^{18}O$）の深さプロファイル。トリチウム濃度値（TU値）は放射壊変を考慮し、試料採取時（2018年1月）の値に換算してある。

（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】

1）時間方向に連続な画像データからその時空間特性によってPsAを検出し，on-off周期を抽出し，必要に応じて新たな画像解析手法も開発する．また地上磁場データにも同様な周期性が見られるか調査する．
2）衛星観測データにおいても，磁場や電子密度などの周期性を取り出し，PsAの周期性との比較を行うことで，類似性/非類似性について議論する．

【研究結果・考察・今後の方針】

昭和基地で取得された全天白色オーロラカメラ画像およびフラックスゲート磁力計における地上磁場変動を比較したところ，オーロラ発光と磁場変動H成分が8分前後の周期でよく対応していることが分かった．また，昭和基地の地磁気共役点であるアイスランドのTjörnes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．前年度までの調査により，昭和基地からMLT1時間程離れ

ていたVan Allen Probes(VAPs)ではHissおよびWhistler mode chorusが観測されていることが分かっており，地上磁場で観測された地磁気脈動（Pc5相当）がVAPsでも観測されているのか，また地磁気脈動とプラズマ波動との関連性を精査することが今後の重要な課題である．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，脈動オーロラ周期の階層性について考察を進める．

これに加えて，近年発展の著しいグローバルMHDシミュレーションによって，このイベントにおける地磁気脈動を始めとする内部磁気圏内のダイナミクスを解析することを検討しており，地上-衛星における複数点における観測事実を4次元で理解することを目指す．

【引用文献】

Davidson, G. T. (1990), Pitch-angle diffusion and the origin of temporal and spatial structures in morningside aurorae, Space Sci. Rev., 53, 45-82.

Li, W., J. Bortnik, R. M. Thorne, Y. Nishimura, V. Angelopoulos, and L. Chen (2011), Modulation of whistler mode chorus waves: 2. Role of density variations, *J. Geophys. Res.*, *116*, A06206, doi:10.1029/2010JA016313.

Liang, J., V. Uritsky, E. Donovan, B. Ni, E. Spanswick, T. Trondsen, J. Bonnell, A. Roux, U. Auster, and D. Larson (2010), THEMIS observations of electron cyclotron harmonic emissions, ULF waves, and pulsating auroras, *J. Geophys. Res.*, *115*, A10235, doi:10.1029/2009JA015148.

Røyrvik, O., and T. N. Davis (1977), Pulsating aurora: Local and global morphology, J. Geophys. Res., 82, 4720-4740.

Yamamoto, T. (1988), On the temporal fluctuations of pulsating auroral luminosity, J. Geophys. Res., 93, 897-911.

（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．

本年度はまず，ひさき衛星の構造質量モデルを構築し，Geant4シミュレーションにより，光検出器（MCP）に計数として影響を及ぼす放射線が30MeV以上の陽子であることを示した．さらに，2014年から2019年にかけて準連続的（SAA通過時は除く）に得られたひさき衛星の惑星観測データから，惑星由来の光ではなく，衛星近傍の放射線由来のノイズ成分だけを抽出し，ひさき衛星軌道に沿った陽子フラックス時系列データを作成した（図1）．

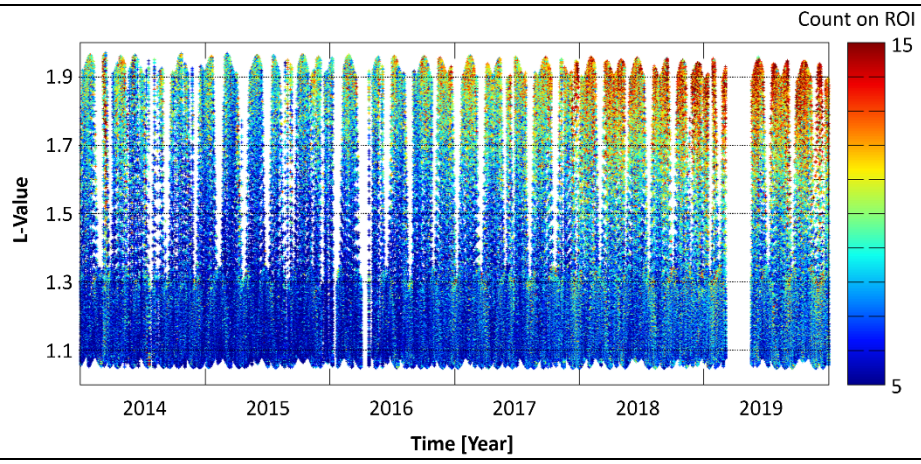


図1．ひさき衛星のノイズデータで構築した放射線（30MeV以上の陽子）のフラックスの時系列変化．縦軸はIGRFモデルから算出したL値を示している．

図1で示した陽子フラックスの時系列変化と太陽活動度の年変動から，いわゆる放射線帯の底に相当する熱圏領域（高度1000km，L=1-2）においてもCRAND粒子が多く存在していること，かつその増減が太陽活動度に依存していることが明確に示された．また，L値に依存してその増減にも大小がある（特にL値が大きいほど年変動が激しい）ことがわかる．これは，高エネルギー陽子の消失（高層大気との衝突）と供給（銀河宇宙線による中性大気加速）プロセスの変動で説明できる．すなわち，太陽活動度が低い時期（図1における2018年以降に相当）は，高層大気の密度が低下するため陽子の寿命が延び，さらに銀河宇宙線のフラックスは増えるため，熱圏における高エネルギー陽子も増える傾向にある．

このように，ひさき衛星が捉えたノイズデータのトレンドは太陽活

動度の変化によって説明できることが分かった．このことは逆に，ひさき衛星の軌道（高度1000km付近，L=1-2）においても太陽活動度に依存した高エネルギー陽子の変動が見られることが分かったとも言える．

本研究の成果は，そもそも放射線を観測すらために設計された衛星でなくても，そのノイズデータを使うことで衛星軌道に沿った放射線情報を抽出できることを示しており，ひさき衛星に限らず，特殊な軌道（例えば超低高度衛星など）のデータも放射線帯や熱圏における放射線のデータとして活用できる可能性を示している点で重要である．

本研究は米学会誌「Space Weather」に掲載され，編集者のピックアップ論文にも採択されており，その手法の独自性を含めて当該研究分野の研究者に注目を得ている．

【成果発表】

(学術論文)

Yoshioka, K., Miyoshi, Y., Kurita, S., Teramoto, M., Tsuchiya, F., Yamazaki, A., Murakami, G., Kimura, T., Kita, H., Yoshikawa, I., and Kasaba, Y., (2021). Long-term monitoring of energetic protons at the bottom of Earth’s radiation belt. Space Weather, 19, e2020SW002611. https://doi.org/10.1029/2020SW002611.

（国内学会発表）

吉岡和夫、吉川一朗、山崎敦，村上豪，木村智樹、北元，土屋史紀，三好由純，栗田怜，寺本万里子，吉川一朗，The observational study for high energy particles below L=2.1 using Hisaki，日本地球惑星科学連合2020年大会、Virtual、2020年07月

小スケール大気重力波に伴う温度・風速変動の観測的評価
Observational evaluation of temperature and wind perturbations associated with small-scale gravity waves

鈴木臣　愛知大学・地域政策学部

名古屋大学宇宙地球環境研究所がTromsø(69.6°N, 19.2°E)において運用しているNaライダーは，オーロラ活動に伴う超高層大気の温度変化の空間構造や極域の超高層大気波動観測に用いられている．観測は冬季に限られるものの，数時間〜十数時間の周期を持つ大気波動を検出しており，超高層大気波動の伝播に伴う温度変動を高い精度で観測することに成功している（Nozawa et al., 2014, JGR）．さらに同ライダーは2012年から，天頂を含む5方向ビームでの観測（高度100 km における東西南北方向のビーム間隔は58 km あるいは 22 km）を実施して，より狭い空間構造の変動を捉えることができるようになった．
本研究では，より短周期・小スケール（周期1時間以下，波長数十km）の大気重力波の伝播を5方向ライダー観測から観測的に明らかにすることを目的とする．大気重力波は中間圏・下部熱圏（MLT: 80〜120 km）で砕波して運んできた運動量を解放することで局所的あるいは全球的な温度場・風系場の形成に貢献している．特に，小スケール・短周期の大気重力波は，より多くの運動量を輸送すると指摘されており（Fritts and Vincent, 1987, JAS; Nastorm and Fritts, 1992, JAS），超高層大気への力学的インパクトも大きいと考えられるが，観測研究が限られているのが現状である．超高層大気の小スケール大気重力波の観測研究では主に大気光イメージング観測が使われているが，本研究では，大気光では観測することができない波動の伝播にともなう温度，風速変動を捉えることができるため，超高層大気への影響をより定量的に評価することが可能となる．

1分分解能で天頂と天頂角30° の5方向ライダー観測が実施されている2017年，2018年の冬季2シーズンにおいて，イベントを検索した．トロムソ観測所で稼働している大気光イメージング観測（OMTIs）を用いて「ライダーとの同時観測が実施されている」「空が晴れている」，「オーロラ活動が静穏」，「波動構造が確認できる」ことを条件に，10晩のイベントを抽出し解析をおこなったところ，おおよそ波長 20-40 km，周期10分以下の変動をライダー温度で捉えることに成功した．これらの波動構造は大気光観測と整合性があり，OH大気光とライダーで観測された大気重力波は同一のものであることが示唆される．ただし，波動の空間スケールが水平空間（高度85 km のOH大気光高度）におけるライダービームの間隔より小さいため，ライダー観測のみから，大気重力波の水平波長，伝搬方向を特定することはできなかった．一方で，ライダー観測で得られた鉛直風と大気光観測から算出される鉛直風は同程度の振幅であることがわかった．これは，２つの測器で観測された大気重力波構造が同一のものであることを強く支持する結果である．今後は，水平波長 50-200 km 程度の小スケール・メソスケール大気重力波を検出し，ライダー観測のみから大気重力波のパラメタリゼーションを試みる．

成果発表：
鈴木臣，野沢悟徳，小スケール大気重力波に伴う温度・風速変動の観測的評価：波動パラメータの検証，JpGU-AGU Joint Meeting 2020（オンライン開催），2020.07.12-16.

別紙様式４－２）

あらせ衛星を用いた地磁気脈動の研究
Study on Ultra Low Frequency waves using 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

あらせ衛星とVan Allen Probe衛星が観測した磁場データからPc5脈動指数を導出し、静止軌道より内側の内部磁気圏でのPc5脈動の活動度の長期トレンドについて調べる。また、太陽風との長期変化と比較することによって、Pc5指数と太陽風との関連を明らかにする。

研究方法

広いL値での観測を行なっている、あらせ衛星の磁場データに、FFTによって周波数スペクトルを導出し、Pc5帯の周波数のパワースペクトルを積分することでPc5指数を導出する。Van Allen Probes衛星とあらせ衛星の各観測から導出したPc5指数を比較し調整することによって、2012年から2020年に かけて単一でPc5 指数を導出することを試みる。あらせ衛星・Van Allen Probes衛星によって導出されたPc5指数をL値ごとに分け、各L値でのPc5の活動度の長期トレンドを調べる。また、太陽風OMNIデータの動圧と太陽風との関係を調べる。

研究結果

静止衛星であるGOSE衛星磁場データから導出されたULF index [Kozyreva et al.,2007]と、L値5～6であらせ衛星とVan Allen Probes衛星の磁場データで導出したPc5 indexを比較したところ、0.5以上の高い相関を示した。

あらせ衛星とVan Allen Probes衛星のPc5 indexのピークと太陽風動圧上昇・太陽風速度上昇との相関を調べたところ、高い相関を示し、相関係数は0.5以上であった。動圧上昇はindexよりも0-1.5 日早く変化する一方で、太陽風上昇はPc5 indexよりも0-2日程度遅れることがわかった。

考察

太陽風速度上昇・動圧上昇は、Pc5 indexの変化と高い相関を持つ。特に動圧の上昇は、Pc5 indexよりも0.5-1.5日早く起きることから、太陽風動圧上昇によって、内部磁気圏でのPc5 band 帯の変化が引き起こされると考えられる。CIRが起きている場合には地球近傍に置いて、動圧上昇に対して高速風が遅れて観測される。今回の解析によって、動圧変化が

太陽風上昇より早く起きたことは、平均的にCIRのイベントが多かったということが考えられる。

まとめ

あらせ衛星、Van Allen Probes衛星の磁場データからPc5 indexを導出し、太陽風速度変化と太陽風動圧変化とを比較をした。Pc5 indexのピークと、太陽風動圧上昇と太陽風速度上昇は高い相関があり、太陽風動圧は、Pc5 indexのピークのタイミングと比較して、0-1.5日早く上昇することがわかった。

成果発表

- Teramoto, M., Y. Miyoshi, A. Matsuoka, N. Higashio, C. A. Kletzing, T. Takashima, R. Nomura, S. Kurita, S. Imajo, and I. Shinohara, Ultra low frequency wave index in the inner magnetosphere derived from Arase and RBSP satellites, 第148回 SGEPSS総会及び講演会, オンライン, 2 November 2020.
- Miyoshi, Y., S. Kurita, I. Park, T. Mitani, I. Shinohara, S. Kasahara, T. Hori, N. Higashio, S. Imajo, C. W. Jun, A. Matsuoka, Y. Kasahara, S. Matsuda, F. Tsuchiya, A. Kumamoto, M. Shoji, and D. L. Turner, Statistical investigation of cross energy coupling during magnetic storms: Arase observations, AGU Fall meeting 2020, online, 11 December 2020.

（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　酪農学研究科/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み降雪をもたらす．こ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．同時に気象モデル等を利用して物理的な解釈を行う．

【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分毎に観測を行う．春にデータ回収し，その後に解析を行う．特出した擾乱時について気象モデルCReSSを用いて，大気場の物理的な解釈する．

【研究成果と考察】

本年度は2020年12月から2021年3月の間に札幌・江別・当別・石狩・小樽の小学校を始めとした20箇所あまりに簡易気象ロガーを設置し，観測を行った．現在はデータを整理中であり，過年度の様な現象の洗い出しを行っている．

今回は，過年度のデータを用いて，結果を紹介する．図1は2015年2月14日13時10分の気象レーダー（カラートーン），および，13時10分～同20分迄の10分間で気温低下（0.5℃～）と気圧上昇（0.5hPa～）が同時に生じた地点を赤で示してある．筋状雲（降水強度の大きい箇所）移動方向の前面付近において，変動が生じた箇所が存在しており，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．この現象について，雲解像モデルのCReSSを用いて概ね500m格子のシミュレーションを行い，解析を進めている．対象時間には，石狩湾からの筋状雲に相当する場が再現さ

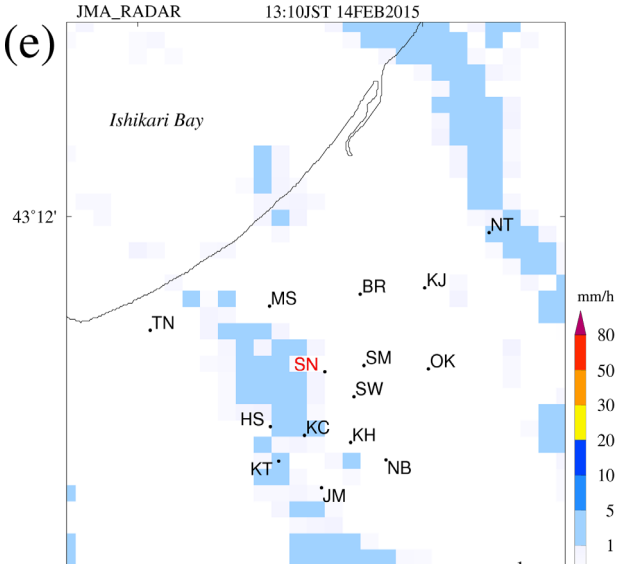


図１　気象レーダーと地上観測地点．
気象レーダーは 13 時 10 分．赤い地点は，13 時 10 分から 20 分の 10 分間に 0.5hPa 増加且つ 0.5℃低下の地点．

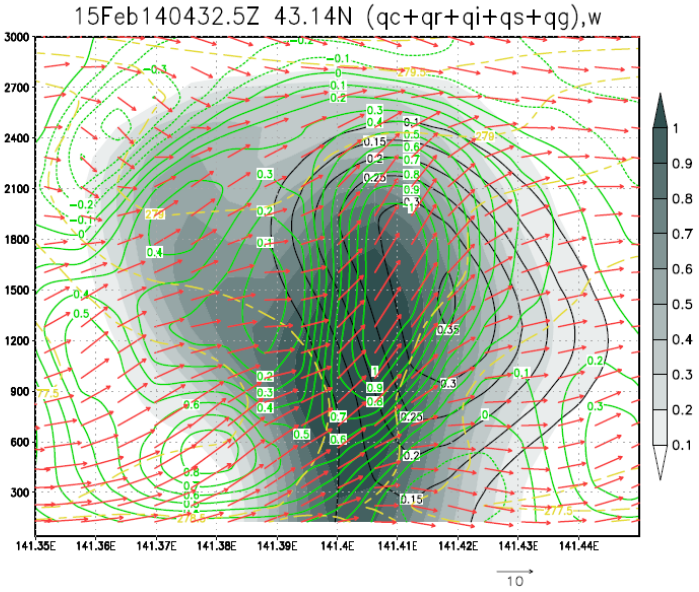


図2　CReSSによる2015年2月14日13時32.5分の北緯43.14N鉛直東西断面図.
矢羽根は東西と鉛直（10倍），シェードはqr+qi+qs+qg(g/kg)，黒実線はqs(g/kg)，緑線は鉛直流(m/s)，および黄線は相当温位（K）を示す.

れており，その場に沿って，地域的な気圧上昇がみられる場合も確認された．その地域の東西鉛直断面の一部を図2に示す．シェードは，qr(rain water mixing ratio)，qi(cloud ice)，qs(snow)，およびqg(graupel)の積算（g/kg），黒実線はqs(g/kg)，緑線はw(z components velocity)，黄色線は相当温位，矢羽根はu(zonal velocity)とw*10（m/s）を表している．この図からは進行方向の東側に雪の割合が多く，その下に下降流が存在している．その場の最下層では気圧上昇が現れていた．

【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，CReSSのシミュレーションにより現象が再現されていることから，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】

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

（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・地球環境研究センター

＜研究目的＞

フーリエ変換赤外分光器（FTIR）を用いて、太陽光を光源に赤外分光観測を行うと、上空の様々な大気微量成分の鉛直カラム量や高度分布を導出することが可能となる（Nakajima et al., 2020）。名古屋大学宇宙地球環境研究所では、1995年より北海道・陸別町においてFTIRを用いた大気微量成分の観測を行ってきており、長年の観測スペクトルの蓄積がされている。南極昭和基地でも2007, 2011, 2016年の3年間、FTIRを用いた同様の観測を行ってきており、合わせると20年以上にわたる長期観測データがある。本研究では、北海道・陸別及び南極昭和基地で観測された分光スペクトルを用い、最近特定フロンの代替物質として大気中濃度が増加してきている、HCFCやHFCの気柱全量や高度分布を導出し、その経年変化を調べようとするものである。

＜研究方法＞

今年度は、HCFC-22とHFC-23の2つの代替フロンを、sfit4と呼ばれる解析プログラムを用いて解析した。HCFC-22は、モントリオール議定書で規制されたCFC-11やCFC-12などの特定フロンの代替物質である。HFC-23はHCFC-22生産時の副産物として放出されるガスであり（McCulloch and Lindley, 2007）、100年間の地球温暖化係数（GWP-100 years）が12,690と非常に大きい温室効果ガスである（Montzka et al., 2019）。用いた赤外観測スペクトルは、北海道陸別町で得られた1997年から2020年までの観測スペクトルと、南極昭和基地で得られた2007, 2011, 2016年の3年間の観測スペクトルである。その結果を、北半球や南半球における地上観測の値と比較し、観測精度の比較検証を行った。

＜研究結果＞

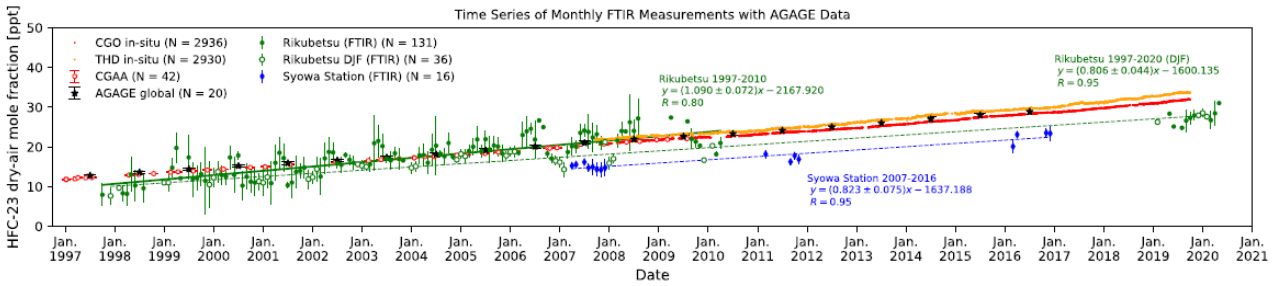


図１陸別及び昭和基地のFTIRとCGO, THDにおけるGC/MSによるHFC-23の時系列

図１に、今回の解析で得られたHFC-23の月平均値の時系列変化を示す。緑丸が陸別におけるFTIRの解析値、青丸が昭和基地におけるFTIRの解析値を示す。両観測点とも、1997年の観測開始から最近まで一貫したHFC-23の増加傾向をとらえることに成功している。図１中の赤色で示したのはオーストラリア・Cape Grim（CGO: 41°S, 145°E）の、オレンジ色で示したのは米国カリフォルニア州・Trinidad Head（THD: 41°N, 124°W）で地上設置ガスクロマトグラフィー・質量分析計（GC/MS）で測定されたHFC-23のモル混合比を示す。これらの地上連続観測データは2007年からしか存在しないが、それ以前の年に所々データがあるのは、Cape Grimで過去にサンプリングされたアーカイブ空気を後に解析したデータである。FTIR観測値とこれら地上観測値の間には、おおむね良い一致が見られた

が、南極のFTIR観測値には約25%の、陸別のFTIR観測値には約15%の負のバイアスが存在することも判った。これらのバイアスの原因に関しては、HFC-23の解析に用いている実験室データから作られた疑似スペクトル線パラメータの系統的誤差や、温度依存性の誤差などの原因が考えられ、現在のその原因に関して考察を行っているところである。

またここでは詳しくは述べないが、HCFC-22の解析も併せて行っており、こちらには最近になって増加傾向の鎮静化がみられてきている。これは、HCFC-22の生産を大量に行っている中国など東アジア諸国で、モントリオール議定書に従ってHCFCの生産が減少し、HFCへ切り替わってきていることを示唆するものと考えられる。

＜まとめ＞

これまで地上FTIR観測スペクトルからHFC-23を導出した例は世界的に見てもなく、本研究が世界初である。今後は本解析手法を世界各国のFTIR研究者と共有し、世界で数10か所存在するFTIR観測点における観測スペクトルを解析することで、HFC-23の世界的な分布をより詳細に明らかにすることが出来るものと期待される。

＜引用文献＞

McCulloch, A. and Lindley, A. A.: Global emissions of HFC-23 estima-ted to year 2015, Atmos. Environ., 41, 1560-1566, 2007.

Montzka, S. A., et al.: Hydrofluorocarbons (HFCs), Chapter 2 in Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2018, Global Ozone Research and Monitoring Project-Report No. 58, WMO, 2019.

Nakajima et al.: Chlorine partitioning near the polar vortex edge observed with ground-based FTIR and satellites at Syowa Station, Antarctica, in 2007 and 2011, Atmos. Chem. Phys., 20, 1043-1074, 2020.

＜成果発表＞

Nakajima, H., I. Murata, et al., Chlorine partitioning near the polar vortex edge observed with ground-based FTIR and satellites at Syowa Station, Antarctica in 2007 and 2011, Atmos. Chem. Phys., 20, 1043-1074, 2020.

Takeda, M., H. Nakajima, I. Murata, T. Nagahama, I. Morino, et al., First ground-based FTIR observations of HFC-23 at Rikubetsu, Japan, and Syowa Station, Antarctica, Atmos. Meas. Tech. Discuss., doi:10.5194/amt-2020-505, 2021.

Nakajima, H., I. Murata, Y., et al., Chlorine partitioning near the polar vortex edge observed with ground-based FTIR and satellites at Syowa Station, Antarctica in 2007 and 2011, EGU 2020 General Assembly, On-line, May 4, 2020.

（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、Quantulusのトリチウム測定モードでの波高スペクトルについて水道水試料を用いてシンチレータと試料の比率の依存性を調べた。また、2021年12月の降雪試料のテスト測定を行った。図1は、山形大学のQuantulus によりシンチレータ(S(ml))と水道水(W(ml))の割合が各々10:0, 9:1, 7:3, 5:5, 3:7, 1:9の場合の測定波高スペクトルをトリチウム標準試料スペクトルと共に示している。標準試料は30チャネル付近にピークを示し、幅が70チャネルの分布となっている。水道水試料は、いずれも30チャネル付近にピークを示し、シンチレータのみに比べて計数率は大きい。さらに水試料の割合が大きくなるにつれて70チャネル以上の計数率が減衰しているが、十分には落ち切っていない。図2は、シンチレー

タ(S(ml))と水(W(ml))の割合を3:7にしたときの降雪水と水道水の試料の波高スペクトルであり、ほぼ同様の分布であった。

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）。我々の測定結果は0.2～2 Bq/Lの間程度と思われるが、未だバックグランドの差っ引きの不定性が大きい。試料水中のトリチウム濃度を良い精度で求めるためには、さらに正確なバックグランドスペクトルを求める必要がある。そのためには、水試料に含まれる微量イオンなどによるケミルミネッセンスの効果（蒸留水との比較）の推定とトリチウムを含まない水試料（深層水や深い地下水など）の測定を行う必要があり、今後これらの測定を行う。

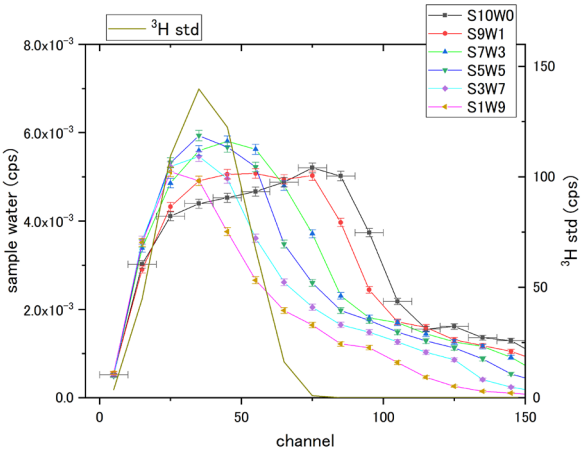


図１．シンチレータ(S(ml))と水道水(W(ml))の割合が異なる場合の測定波高スペクトル

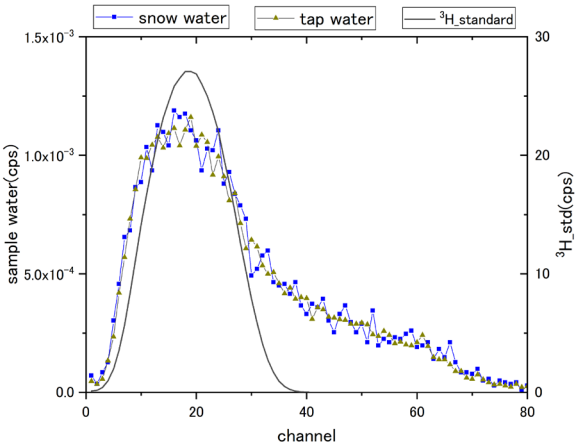


図２．降雪水と水道水の測定波高スペクトル

[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）

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

吉崎徳人　気象庁気象衛星センターデータ処理部解析課

本研究は、ひまわり8号、9号の観測値の従来の評価手法の検証、改修を行い、「ひまわり」観測値の品質管理の高度化を目指したものである。

近年の気象衛星観測の充実は著しく、従来よりも時間・空間・波長分解能および観測精度が改良された観測機器が各国の気象衛星に搭載されている。このため、近年は定性的な画像としての利用だけでなく、定量的なデータとしても観測値が利用されるようになった。しかし、世界各国が運用している気象衛星に搭載されている観測機器の性質は必ずしも一様ではなく、気候モデルや長期解析に利用するためには、世界中の複数の気象衛星の観測値を一つの均質なデータセットにまとめる必要がある。

世界気象機関（WMO）等の傘下に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、不確かさが小さく且つ衛星間で一貫した放射量の校正、評価手法の開発が議論されている。同枠組み内では、可視近赤外バンドを評価する際の基準となるセンサーとして、長年NASAの運用するAqua/MODISが利用されてきた。しかし、Aquaは打ち上げから約20年が経過し、センサーの感度劣化が懸念されるため、Aqua/MODISに代わる基準センサーとして、NOAA20/VIIRSまたはS-NPP/VIIRSを利用することが提唱されている。

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の評価手法として、放射伝達モデルRSTAR を用いたRSTAR代替校正と呼ばれる手法を採っている（Nakajima and Tanaka, 1988）。本手法では、Aqua/MODISの観測値から得られた物理要素を入力値として、ひまわり8号の観測値をシミュレーションし、得られた計算値と実際に観測された観測値を比較することで観測値の評価を行う。

当センターでは、基準となるセンサーの更新に対応するため、Aqua/MODISの代わりにS-NPP/VIIRSを用いたRSTAR代替校正の開発を行っており、数%の違いはあるが、S-NPP/VIIRSを用いた場合でもAqua/MODISを用いた場合と同等の結果が得られることが確認されている（Yogo, 2019）。本研究では、観測データの特性をより詳細に考慮して入力する物理要素の値の品質確認を厳格化することにより、従来のAqua/MODISを用いた評価よりも同程度以上の精度でひまわり8号の観測値を評価することを目的とした。

今回は、水雲を対象とした計算を行い（Nakajima and Tanaka, 1988）、ひまわりB03の放射輝度、B13の輝度温度、雲の光学的厚さ、雲粒有効半径についての検討を行った。厳格化した品質管理の下で得られた評価結果を図1左に示す。図1右は従来のAqua/MODISを用いた評価結果である。本研究の評価結果の方が従来の評価結果に比べて相関係数が改善している一方、回帰直線の傾きは過大となっていることが分かった。計算結果を解析すると、傾きの過大傾向は光学的厚さが大きくなるほど著しくなることが分かった。要因としては、雲の3次元的な不均質性など、RSTARによる計算で取り入れられていない効果による影響等が考えられる。

今後、品質管理手法についてはさらに検討を行う必要がある。また、今回の計算は7日分の特定時刻の観測値に対して行ったが、実際の評価は30日分の観測値に対して行うため、さらに期間を延ばした計算結果による検討も必要である。

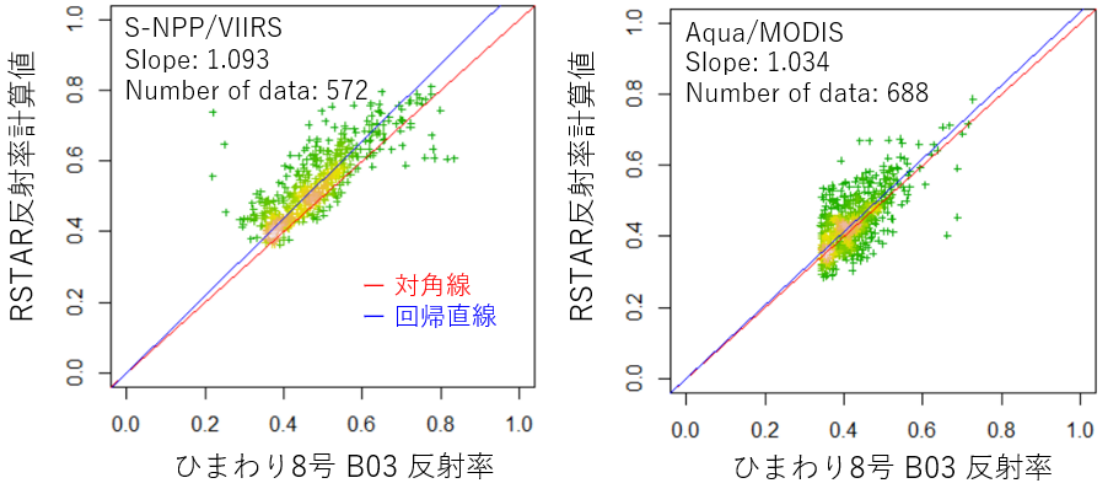


図1　左）ひまわり8号B03反射率とS-NPP/VIIRS観測値を入力値としたRSTARによるシミュレーション結果の散布図、右）ひまわり8号B03反射率とAqua/MODIS観測値を入力値としたRSTARによるシミュレーション結果の散布図
いずれも2021年1月20-26日の03－04UTCの観測値を用いた。

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

Y. Yogo, (2019) Use of VIIRS in AHI vicarious calibration, http://gsics.atmos.umd.edu/bin/view/Development/AnnualMeeting2019（最終アクセス日：2021年3月30日）

Nakajima, T. Y. and T. Nakajima, (1995) Wide area determination of cloud microphysical properties from NOAA AVHRR measurement for FIRE and ASTEX regions, J. Atmos. Sci., 52, pp. 4043-4059

成果発表

田中秀昂、奥山新、吉崎徳人「VIIRSを基準として放射計算を用いたひまわり8号の代替え校正手法の開発」、GPMおよび衛星シミュレータ合同研究集会、名古屋大学（2021年3月）

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** radars 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 radars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】

本研究は昨年度までにも行っており、一昨年度は、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例の解析研究を行った。このイベントはHankasalmi, Finland (磁気緯度59.1ºN、磁気経度104.5ºE。以下HANと記す) のSD radarでもPykkvibaer, Iceland (磁気緯度64.6ºN、磁気経度57.3ºE。以下PYKと記す) のSD radarでも観測されており、一昨年度はHAN Beam#1,4,7、PYK Beam#0,3,8,13 を解析した。

このイベントは特に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 が混在したものである可能性が高いと考えるに至った。

この波動現象の周波数からSchulz [1996] の近似式（磁力線に沿っては等密度と仮定した場合の式）を用

いて推定したプラズマ密度は、正午子午面から遠いほど小さい、という傾向を示した。これは、SIによる磁気圏の圧縮が磁気圏正面(nose)から開始し尾部に伝わっていく事とconsistentである。

ただ、各radarともbeam数は#0から#15までの16あるのに全てのbeamsを一昨年度中に解析できなかったのは、密度を求めるまでの解析の各ステップで目視による確認を行わなければならない為時間がかかった為であった。本研究では多数のSI eventsについて多数のSD radars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、昨年度は、目視確認に要する時間の短縮のため、FLRを自動同定する方法の開発とそのテストに着手した。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。

位相差法・振幅比法は隣接した地上磁力計2点のデータからFLRを同定する方法として確立しており、SD radarのVLOSデータにも適用可能である。ただ、位相差法・振幅比法によるFLR同定の自動化についてはこれまで様々な方法が提案されているが確立した方法は無い。我々はSD radarの1つのbeamのVLOSデータに位相差法・振幅比法を適用してFLRを自動同定するプログラムの開発を開始した。そのプログラムが目的通りに動くかのテストとして、上記の7 beamsにそれを適用し、昨年度にその7 beamsのVLOSデータの目視で同定していたFLR locations (sets of the beam number and the RG number)が自動同定されたかどうかを調べながらプログラムを改良していき、殆どのFLR locationsが自動同定されるところまで進めた。

その際判った事として、その自動同定が成功したのは、使用する2つのRG's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、FLRのresonance width (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。

上記の後、上記プログラムは1つのbeamのみに適用できるものである事から、全beamsに一括適用できるプログラムへの改良を進めた。現時点でまだ完成には至っていないが、途中経過として、上記FLR eventのHAN, PYKの全てのbeamsのdataについて自動同定を行うに至っており、その結果、目視では見落としていたeventsが数例同定された。それらはVLOSの最大値が20～50m/sであった事から電離層の鉛直運動を見ているのではないかと考えられ、現在そのより詳しい解析を行っている。

【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, Automatic identification of FLR events in VLOS data of multiple SuperDARN radars, Japan Geoscience Union Meeting 2020, JpGU-AGU Joint Meeting, 2020.07.12-16, Virtual Meeting.

Hideaki Kawano, Akira Sessai Yukimatu, Nozomu Nishitani, Yoshimasa Tanaka, Satoko Saita, and Tomoaki Hori, Toward automatic identification of FLR simultaneously observed by multiple SuperDARN radars, 地球電磁気･地球惑星圏学会 第 148 回 総会・講演会、2020.11.02, Virtual Meeting.

Hideaki Kawano, Akira Sessai Yukimatu, Nozomu Nishitani, Yoshimasa Tanaka, Satoko Saita, and Tomoaki Hori, Toward full-automatic FLR identification and density estimation from SuperDARN VLOS data to identify magnetospheric regions, The 11th Symposium on Polar Science, 2020.12.14, Virtual Meeting.

河野 英昭、行松 彰、西谷 望、田中 良昌、才田 聡子、堀 智昭、SuperDARN radar の 1 scan 中の全 FLR events 自動同定の進展報告、SuperDARN 研究集会、2021.03.05, Virtual Meeting.

（別紙様式４－２）

コヒーレントなホイッスラー波動の励起および減衰過程
Excitation and damping processes of coherent whistler waves

天野孝伸（東京大学・理学系研究科）

無衝突の磁化プラズマ中では，一般に磁力線平行方向と垂直方向で温度が異なる温度異方性が衝突による緩和を受けずに長時間維持される．実際に宇宙空間の様々な領域において温度異方性が観測されている．垂直方向の温度が平行方向の温度よりも高い場合には，異方性を持つ成分が電子の場合にはホイッスラー波が，イオンの場合にはイオンサイクロトロン波がそれぞれサイクロトロン共鳴を介した不安定によって励起される．これらは粒子の散乱や加速において重要な役割を果たすと考えられている．本研究では特に電子が励起するホイッスラー波について，MMS衛星による観測データを用いた議論を行った．また，磁気シースでは，イオンの温度異方性を起源とする磁気ミラー構造にホイッスラー波の励起領域が埋め込まれていると考えられているが，この磁気ミラー構造の基本的な性質について観測的に調査した．

磁気シースにおけるホイッスラー波は磁気ミラー構造中の磁場強度の極小点付近に局在化して観測されることが知られている．これは波の励起領域がこの領域に局在化していると同時に，それ以外の領域では強い減衰を受けていることを示唆している．MMS衛星のバーストモード観測データを用いたホイッスラー波の詳細解析から，磁場強度の極小点付近において明瞭なポインティングフラックスの反転が見出され，確かに波動が局在化した領域から放射されていることが確かめられた．また，詳細な波形の解析から波動は非常に速い成長率を持つことや，励起領域が一様ではなく，ある程度の構造を持つことを示唆する結果を得た．

磁気ミラー構造はミラー不安定性の非線形発展の結果として生成されると考えられているものの，観測的な裏付けは難しく，また数値シミュレーションでも再現されているとは言い難い状況にある．そこで，MMS衛星観測データを用いて，観測された磁気ミラー構造の性質を調べた．ミラー不安定性はゆっくりと進行するため，粒子の運動エネルギーと第一断熱不変量が保存しながら時間発展すると考えることができる．一方で，不安定性が飽和し，準定常な磁気ミラー構造が形成されるには，この仮定が破れ，粒子の冷却が起こらなければならないと理論的に予想されていた．MMS衛星のデータから保存量の解析を行い，特に磁場強度の極小点付近で粒子の冷却が起きていることを示唆する結果が得られた．

（別紙様式４－２）

「あらせ」衛星によるリングカレント領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(JAXA 宇宙科学研究所)

コロナ禍のため、経費として計上していた出張による対面での会合は実施できなかったが、Zoomを用いた共同研究を実施した。本年度の主たる成果は以下である。

1) あらせ衛星の低エネルギーイオン観測器、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が磁力線垂直方向に加熱されている現象とMSWと呼ばれるプラズマ波動との対応関係の研究を実施した。さらに波動と粒子の位相差を直接検出して、両者の内積を計算し、波動と粒子のエネルギー交換過程を定量的に導出した。得られた成果は、国際会議（ISEEシンポジウム）で報告した。

2) あらせ衛星低エネルギーイオン観測器（LEPi）における飛行時間分析データを用いた重イオン、分子イオンの導出手法の開発を行った。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。

（別紙様式４－２）

ドローンを利用した森林生態系のリモートセンシング
Remote sensing of forest ecosystem using drone

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。そのため、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。

一方、国内の森林所有者の多くは小規模林家が占めており、実施される間伐等の森林管理も小規模で時期も分散していることから、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（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いる。従来の衛星画像や航空機による観測と異なり、ドローンは小面積を対象とした観測に適しており柔軟な運用が可能である。しかし、ドローンによる森林計測結果がどの程度安定して取得できるかについて検討された例は殆どない。

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に設置した試験地を継続して空撮し、ドローンによる森林計測結果の安定性について検討した。

研究方法

対象地は、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（以後、稲武サイト）内のヒノキ人工林である。対象地において、10m×15m（0.015ha）の方形プロット6つ設置し、2019年10月に森林3次元計測システムOWLにより、立木位置座標の計測を行った。

一方UAV空撮は、2020年6月～2021年3月の期間に6回に撮影高（離発着点からの高度差）90m,110m,130mにより実施した。空撮は、DJI Mavic2 Professional(DJI社製、中国）によりDJI GSPRO(DJI社製，中国）のオートパイロットモードで、オーバーラップ率・サイドラップ率を90%に設定して実施した。なお、空撮は全て技術職員の岡本渉氏により各種許可を得た上で実施した。

空撮により得られた画像（以後、空撮画像とする）は、MetashapeによりSfM処理を実施し、高密度点群を生成した。なお、空撮画像のアラインメント及び高密度点群生成におけるモードは全て「高」で行った。また、得られた高密度点群から林冠復元解析手法（中武ら，2018）による高密度点群解析システムにより樹頂点座標（解像度1/3m）（以後、UAV樹頂点とする）を算出した。さらに、2014年に同地域内を観測した航空機LiDARデータを用いてUAV樹頂点の補正行った。

得られた樹頂点を立木位置座標と比較して立木検出精度度について、各測定回間の比較を行った。

研究結果・考察

図１に示したように、撮影日による多少の変動はあるものの、いずれの空撮高度においても、空撮日間の検出率に有意な差は認められなかった(P>0.05)。したがって、撮影条件（オーバーラップ率・サイドラップ率）が同じであれば、撮影時期に関わらず安定した立木検出が可能であると考えられた。

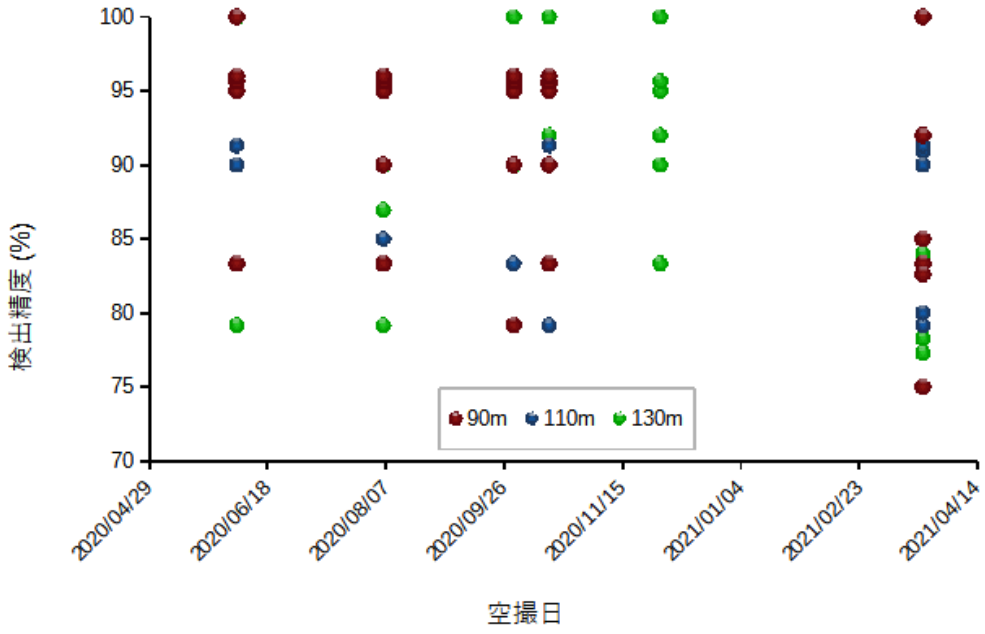


図１. 空撮日ごとの検出精度

まとめ

ドローン空撮による森林計測は、撮影時期に関わらず安定した立木検出が可能であると考えられた。

引用文献

中武修一・山本一清・吉田夏樹・山口温・宇野女草太 (2018) 航空機 LiDAR による単木樹種分類手法の開発. 日本森林学会誌 Vol.100(5), p.149-157.

成果発表

山本一清・吉田圭佑・島田博匡、撮影条件の差異がSfM処理に与える影響の評価 (2)、第132回日本森林学会大会、2021年3月19日～2021年3月23日，Web開催

吉田圭佑・山本一清・島田博匡、UAVによる森林計測精度の評価、第10回中部森林学会大会、2020年12月6日，オンライン開催

（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

2020年度における研究課題の成果は以下の通りである。

連成計算１について、2017年3月に発生した磁気嵐を対象に実施したグローバルモデルによる計算結果の解析をさらに進めた。さらに、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。以上の成果はJpGU-AGU Joint Meeting 2020で報告された。また、本申請に関連する科研費・基盤B課題（代表：三好、分担：加藤他）が2020年度より開始し、あらせ衛星とモデル計算結果との詳細比較が進められている。

本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。2021年度は衛星観測結果を初期条件として連成計算２を実施して、モデル計算結果の有効性を検証することを計画している。

（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誌のERG衛星特集号に多数（10件程度）の論文を投稿することができた．

成果発表

- Inaba, Y., K. Shiokawa, S. Oyama, Y. Otsuka, M. Connors, I. Schofield, Y. Miyoshi, S. Imajo, Atsuki Shinbori, A. Gololobov, Y. Kazama, S.-Y. Wang, S. 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, R. J. Macdowall, C. W. Smith, J. R. Wygant, 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., doi:10.1029/??, 2021.
- 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. Koehler, "Energy-resolved detection of precipitating electrons of 30-100 keV by a sounding rocket asso

ciated with dayside chorus", J. Geophys. Res., doi:10.1029/2020JA028477, 2021.

- Thomas, N., K. Shiokawa, Y. Miyoshi, Y. Kasahara, I. Shinohara, A. Kumamoto, F. Tsuchiya, A. Matsuoka, S. Kasahara, S. Yokota, K. Keika, T. Hori, K. Asamura, S.-Y. Wang, Y. Kazama, S. W.-Y. Tam, T.-F. Chang, B.-J. Wang, J. Wygant, A. Breneman, G. Reeves, "Investigation of small-scale electron density irregularities observed by the Arase and Van Allen Probes satellites inside and outside the plasmasphere", J. Geophys. Res., doi:10.1029/2020JA027917, 2021.
- Kazama, Y., H. Kojima, Y. Miyoshi, Y. Kasahara, S. Kasahara, H. Usui, B.-J. Wang, S.-Y. Wang, S. W. Y. Tam, T.-F. Chang, K. Asamura, Y. Kasaba, S. Matsuda, M. Shoji, A. Matsuoka, M. Teramoto, T. Takashima, and I. Shinohara, "Extremely Collimated Electron Beams in the High Latitude Magnetosphere Observed by Arase", Geophys. Res. Lett., doi:10.1029/2020GL090522, 2021.
- Inaba, Y., K. Shiokawa, S. Oyama, Y. Otsuka, A. Oksanen, A. Shinbori, A. Y. Gololobov, Y. Miyoshi, Y. Kazama, S-Y. Wang, S. W. Y. Tam, T-F Chang, B-J Wang, S. Yokota, S. Kasahara, K. Keika, T. Hori, A. Matsuoka, Y. Kasahara, A. Kumamoto, Y. Kasaba, F. Tuchiya, M. Shoji, I. Shinohara, and C. Stolle, "Plasma and field observations in the magnetospheric source region of a stable auroral red (SAR) arc by the Arase satellite on 28 March 2017", J. Geophys. Res., doi:10.1029/2020JA028068, 2020.
- Shiokawa, K., M. Nose, S. Imajo, Y. Tanaka, Y. Miyoshi, K. Hosokawa, M. Connors, M. Engebretson, Y. Kazama, S.-Y. Wang, S. W. Y. Tam, Tzu-Fang Chang, Bo-Jhou Wang, K. Asamura, S. Kasahara, S. Yokota, T. Hori, K. Keika, Y. Kasaba, M. Shoji, Y. Kasahara, A. Matsuoka and I. Shinohara, "Arase observation of the source region of auroral arcs and diffuse auroras in the inner magnetosphere", J. Geophys. Res., doi:10.1029/2019JA027310, 2020.

- Kasahara, S., Y. Miyoshi, S. Kurita, S. Yokota, K. Keika, T. Hori, Y. Kasahara, S. Matsuda, A. Kumamoto, A. Matsuoka, K. Seki, I. Shinohara, "Strong diffusion of energetic electrons by equatorial chorus waves in the midnight-to-dawn sector", VLF/ELF Remote Sensing of Ionospheres and Magnetospheres Workshop, Oral (invited), Virtual, 17 Nov. 2020.

（別紙様式４－２）

超小型探査機搭載イオン質量分析器の較正システム開発

Development of a calibration facility for miniaturized ion mass spectrometers

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

近年，超小型探査機を用いた深宇宙探査という新たな潮流が生まれつつあり，そこでは大学が主要な機能の一部を担おうとしている．JAXAと大学が協力して超小型探査機を月や彗星といった小天体に送り込む計画が2020年代のミッションとして具体的に検討されており，将来的には様々な惑星探査にも応用されると期待されている．申請代表者のグループでは，この潮流を太陽系探査科学に生かすべく，キューブサット規格にマッチするサイズの小型イオン質量分析器を開発している．ところが，申請代表者の研究室は数年前に立ち上がったばかりであり，実験室の開発環境は発展途上である．具体的には，イオン質量分析器の開発に必要な較正システムが未構築であり，これは搭載機器の開発において致命的である．そこで本研究では，代表者の東京大学の実験室に，イオン分析器の較正設備を整備する．これは地道な開発であるが，上述の2020年代の探査で理学成果を出すために不可欠なものである．

研究方法

東京大学の実験室（クリンルーム）に校正用イオンビームを設置する．特に，電子銃による試料ガスのイオン化からビーム加速部までのオプティクスが肝であり，今年度は電子銃の素材選定およびオプティクス設計に重点を置いた．

研究結果

イオン化機構については，小型フィラメント・オプティクスを製作・試験し，初期の性能（電子エミッション電流1mA，イオンエミッション>10nA）を確認できた．また，名大・東大間の相互の実験により，消費電力を5-6Wから3W未満にまで下げられる見通しを得た．

さらに，ここで新たに開発したフィラメントを月探査計画LUPEX搭載質量分析器に組み込むことを想定して振動試験も実施し，月探査衛星かぐや搭載機器に課されたレベルの振動に耐えられることを確認した．

成果発表

・柳瀬 菜穂、笠原 慧、斎藤 義文、横田 勝一郎、平原 聖文、川島 桜也，” Developme

nt of an Ion Source for Future Solar System Explorations", JpGU, virtual, 2020年7月

・柳瀬 菜穂, 笠原 慧, 齋藤 義文, 横田 勝一郎, 平原 聖文, 川島 桜也, "月極域探査の質量分析に資するタンデム型イオン源の開発", 日本惑星科学会秋季講演会（オンライン開催）, 2020年11月

（別紙様式４－２）

木星放射線帯長期変動要因の観測研究

Observational study of causality of long-term variations of Jupiter's radiation belt

代表者：三澤浩昭（東北大学大学院理学研究科）

１．研究目的

木星から放射されるシンクトロン電波(JSR)は、直接観測のほぼ不可能な木星放射線帯の粒子ダイナミクスの情報を持つ。申請者らはこれまで JSR 強度の連続観測に基づき、数日～週程度の短期の時間スケールの原因を探り、それが太陽変動起因と木星磁気圏変動起因の 2 種あることを示唆してきた。一方、より長い時間スケール、特に数ヶ月～年スケールの変動については、申請者らのグループや米国の研究者らが独立に太陽変動起因の可能性を示唆してきているが、データ取得期間が限定的であることや、十分な観測精度が保証されていないこと等から、変動要因は未解明である。申請者らは過去に ISEE 他の観測施設で JSR 観測を断続的に行ってきたが、本研究は、JSR 観測で強度較正に用いていた電波星強度の査定等に基づく JSR flux 強度の再評価、他周波数での JSR（～別エネルギーの放射線帯粒子の情報を反映）観測結果との比較も加えた変動過程の考察から、JSR 長期変動要因の査定を目的として実施された。

２．研究結果・考察

本研究では、ISEE 木曽・富士観測施設の 327MHz 大型アンテナを用いて行ってきた JSR 観測の中で、特に年に数週以上のスケールで継続的な観測が毎年実施された 1994～2005 年について、JSR flux 強度の再評価を実施した。この結果、327MHz 帯 JSR の年スケールの長期変動について、以下の結果を得た。

① 強度変動量： Shoemaker-Levy9 彗星の木星衝突により特異的な flux 強度増大が見られた 1994 年（平均 flux 強度の約 1.8 倍@July, 1994）を除いた期間での平均 flux とその標準偏差 σ は 4.5 ± 1.6Jy@4.04AU ($1Jy=10^{-26}W/m^2/Hz$) 程であった。この値は、同時期に NASA の DSN アンテナや GAVRT で得られている 2.2GHz 帯での JSR flux 強度計測の結果(Santos-Costa et al., JGR, 2008)と比較し、平均強度は約 10%大きい程度である一方、σ は 5 倍程大きく、JSR の長期変動は低周波数で大きい事が確認された。これは当研究グループが示してきた日～週スケールの短期変動が低周波数程大きいことと同傾向であり（Misawa & Morioka, ASR, 2000; Tsuchiya et al., JGR, 2011）、放射線帯粒子変動が低エネルギー程大きいことを示唆する（放射線帯域の磁場強度値に基づいて想定される、JSR の各周波数帯に寄与する粒子エネルギーは、～5MeV@327MHz、～15MeV@2.2GHz）。

② 強度変動傾向と想定要因： 1994～2005 年の JSR flux 強度は、概要、1994→減小→1998→増加→2001→減小→2002→増加→2005 年の変動を示したが、この変動は 2.2GHz 帯の変動傾向と良い相関を示していた（相関係数～0.7； time lag～0(僅かに 327MHz 帯変動が先行)）。このことから、5～15MeV の広エネルギー範囲に亘り、放射線帯粒子に作用した共通の物理過程の存在を示唆する。2.2GHz 帯の長期変動の原因として、太陽風変動(動圧)に誘起される動径拡散変化が示唆されている(Han et al., 2018：以下、論文 1)。本研究で示された 327MHz と 2.2GHz 帯 JSR 長期変動の相似性は、低エネルギー放射線帯粒子にも、より高エネルギー粒子に働く変動過程が寄与している可能性を示唆する。一方、論文 1 では太陽風変動誘起の拡散過程における粒子エネルギー依存性の重要性も示唆されてもおり、①で示した変動量のエネルギー依存性も含めて、327MHz 帯の長期変動様相が太陽風変動過程で誘起される動径拡散で説明し得るか否かは、数値モデルも用いた定量的な評価が必要になる。この評価は研究期間内には為し得ず将来課題となかったが、本研究の観測結果に基づき継続して実施してゆく。

３．研究報告等

・研究会報告： 三澤他, 第 22 回惑星圏研究会 (2021 年 2 月(on line 開催)) / 同 集録(on line 公開), 2021.

地磁気嵐とその原因となる太陽・太陽風擾乱に関する統計的研究
Study of geomagnetic storms and related solar-interplanetary phenomena

丸橋克英、情報通信研究機構・電磁波研究所・宇宙環境研究室

【研究目的】
地磁気嵐は太陽風擾乱と磁気圏の相互作用により発生する。とくに大型の地磁気嵐については、太陽のコロナガス噴出（CME）を起源とするが惑星間CME（ICME）が原因であると説明されている。しかしながら、ICMEは概念的に定義されているのみで、その実態は明確にされていない。この研究の目的は、「CMEの磁場構造を解明し、地磁気嵐の発達に関与する南向き太陽風磁場の時間発展を予測することを可能にすること」である。

【研究方法】
1. 大型の地磁気嵐（Dst最小値≦-150 nT）を選んで、Dstの発達に関与する太陽風磁場の時間変化を、磁気ロープモデルによるfitting解析を実行する。
2. 磁気ロープモデルとしては従来の伝統的なforce-free model (Marubashi and Lepping, 2007)を基本に、昨年度までのISEE一般共同研究で開発した改良型モデル（Nishimura et al., 2019）を使用する。
3. fitting結果によるモデル値が観測データを再現する程度を見て、ICMEの磁場構造が磁気ロープ構造をもっていることを確認する。
4. それぞれの磁気嵐に対応するICME全体を構成する磁気ロープについて考察する。

【研究結果】
1998年から2018年までに発生した大型の地磁気嵐（Dst最小値≦-150 nT）33例について解析し、以下の結果を得た。
1. 33例の磁気嵐のうち、33例について、Dstの発達に関与する南向き太陽風磁場は磁気ロープとして伝搬してきたものである。（唯一の例外では非常に特異な磁場変動がみられ、特殊イベントと考えられる）
2. 32例の磁気嵐のうち、8例について、関連したICMEの内部に2つの磁気ロープが連続的に到達していることが確認された。大部分である24例では、磁気ロープの継続時間1日程度であるのに対して、8例に見られた磁気ロープのスケールは数時間の程度であり、小型磁気ロープとして最近注目されているものと思われる。

【考察】
1. この研究結果は、大型の地磁気嵐に関わるICMEの磁場構造が磁気ロープで説明できることを明らかに示した最初のものであ。この分野ではある程度の予想はされてきたが、実証した意味は大きい。
2. 大型の地磁気嵐の発生に小型磁気ロープが関わっていることが示され、小型磁気ロープの発生メカニズム研究の重要性が広く認識されることが期待される。
3. この研究には、Nishimura et al.(2019, 2020)によるモデル改良が大きな役割を果たした。今後、この改良モデルが広く使われることを期待したい、
4. 今回、さらなる改良として、観測された磁気ロープの非対称性を重視した手法を追加した。このモデルが磁気ロープの伝搬途中における変化の説明に有効なことが理解されることも期待したい。

【引用文献】

Marubashi, K. and R.P. Lepping, Long-duration magnetic clouds: a comparison of analyses using torus- and cylinder-flux rope models, *Ann. Geophys.*, **25**, 2453, 2007.

Nishimura, N., K. Marubashi and M. Tokumaru, Comaprison of Cylindrical interplanetary flux-rope model fitting with different Boundary pitch-angle treatments, *Solar Phys.*, **294**, 49, 2019.

Nishimura, N., M. Marubashi and M. Tokumaru, Comparison of toroidal Interplanetary flux-rope model fitting with different boundary Pitch-angle treatments, *Solar Phys.*, **295**, 40, 2020.

【成果発表】

・口頭発表

丸橋克英、「太陽風磁気ロープの観測される非対称構造の解析」、第 148 回 SGEPSS 講演会、2020 年 11 月 1 日。

ビーチロック試料の正確な膠結年代決定方法

Develpoment of Physical and Chemical Analysis to Obtain Correct Concrete Age for Beachrock Sample

小元久仁夫（元日本大学大学院理工学研究科・日本大学文理学部）

Keywords *: conglomeratic beachrock, AMS^{14}C dating, pretreatment technique, elemental analysis*

１．はじめに

ビーチロックは、潮間帯の堆積物が海水や陸水中の炭酸カルシウムによって固結されて形成される（AGI, 1957; Stoddart and Cann, 1965）。このため、その形成年代と標高は、地殻変動や海水準変動を示す重要な指標となる。従来、ビーチロックの形成年代は、ビーチロックから採取した生物化石の年代から推定されてきた。しかし、その年代は生物の死亡年代を示すのみであり、堆積物が固結した年代と乖離している可能性が高い。ビーチロックの形成年代を正確に決定するためには、セメント物質の年代を測定することが望まれる。本研究の目的は、形成年代の決定が困難視されてきた、礫岩質ビーチロックの正確な形成年代を決定する方法を開発することである。

２．研究方法

2020 年度（令和 2 年度）は、礫岩質ビーチロックが存在する長崎県奈留島、沖縄県慶留間島、渡嘉敷島、渡名喜島および伊平屋島を対象として野外調査を行い、試料を採取する。採取した試料は、共同研究者が所属する日本大学文理学部で岩石カッターを使用して整形し、試料調製と AMS^{14}C 年代測定は名古屋大学宇宙地球環境研究所で行う。元素分析は研究分担者が所属する同志社大学理工学部で行い、また採取した湧水の分析は南山大学総合政策部で行う。上記とは別に、試料の XRF（蛍光 X 線）分析は名古屋大学宇宙地球環境研究所で行う。

３．試料の採取と分析

2020 年 3 月 11 日に、沖縄県渡嘉敷島で野外調査を実施し試料を採取した。10 月 15 日には慶留間島で現地調査を行い、試料を採取した。10 月 16 日には、コロナウィルス蔓延のため渡島許可が下りなかった渡名喜島に代えて伊平屋島で現地調査を行い、試料を採取した。なお、同じ事情により、沖縄県渡名喜島や長崎県奈留島における渡島調査ができなかった。採取した ^{14}C 年代測定試料は、名古屋大学宇宙地球環境研究所において試料調製を行い、AMS^{14}C 年代測定を行う予定である。また、セメント物質の元素分析は同志社大学理工学部で行う予定である。2019 年度までに行った元素分析結果を表 1 に示す。渡嘉敷島から採水した検水の水質分析は秋田大学大学院理工学研究科で行った。なおセメント物質の XRF 分析は未着手である。

4. 研究成果

2018 年度から 3 年間にわたる野外調査により、合計 15 地点から 46 件の AMS^{14}C 年代測定試料を採取した。AMS による ^{14}C 年代測定の結果、宮崎県島浦島南部の日井の浜、沖縄県阿嘉島と座間味島の礫岩質ビーチロックの形成年代を決定することができた（小元ほか、2019, 2020）。しかし、長崎県佐世保のビーチロックは炭酸塩の含有量が少なく AMS^{14}C 年代測定ができなかった。また固結した礫の直下から採取した in situ の貝化石（*Claudiconcha japonica*）の ^{14}C 年代は、Modern（101.6～102.5 pMC）であった。今後、沖縄県慶留間諸島の渡嘉敷島や慶留間島と、伊平屋島の礫岩質ビーチロックの形成年代や元素分析結果が明らかになる予定である。

海浜堆積物が固結した原因やビーチロックの形成過程を考察するため、宮古島の吉野海岸で固結砂層、非固結砂層および湧水を採取して、^{14}C 濃度、δ^{13}C および湧水の水質分析を行った。また宮古島のマイバーバマにおいて、同一堆積層の直径 10cm 以内から採取した貝化石とその両面の付着物、サンゴ化石、石灰砂岩などを採取して AMS^{14}C 年代測定を行い、異なる試料間で年代差が生ずるかどうかを検討した（小元、2021）。さらにビーチロックの形成年代と津波石の年代を比較する研究（小元・南、2017）を行った。

礫岩質ビーチロックの形成年代を AMS^{14}C 年代測定により決定するため、必要な試料調整法を開発したこと（小元ほか、2019, 2020）は評価されるであろう。また本研究で行った礫岩質ビーチロックから採取したセメン

ト物質の元素分析結果、δ^{13}C、^{14}C 年代（^{14}C 濃度）の測定結果は、今後ビーチロックの形成過程を考察する際に有意義な資料となろう。同一層から採取した異種試料間で年代差が生じたことや、ビーチロックの堆積物の中に津波堆積物が混入していたことが明らかになったことは、ビーチロックの形成年代を考察する際に検討を要するとして警鐘を鳴らした（小元、2021）。

今後は、これまで報告事例の少ないセメント物質に関する元素分析資料を増加させることと、セメント物質の XRF 分析や電子顕微鏡写真撮影を行って、セメント物質の解析と検討を行う必要がある。また、礫岩質ビーチロックが発達している海岸において、干潮時に地下水が湧出している地点が多くみられた。このため、これらの湧水の水質分析を行い海浜堆積物の固結との関連について検討する必要がある。以上が今後解決するために取り組むべき問題点である。

引用文献（研究成果から引用した文献は次項に記載した）

American Geological Institute (1957) *Glossary of Geology and Related Sciences*. Kaufmann Printing Inc. Washington, D.C. 28.

Stoddart, D.R. and Cann, J.R. (1965) Nature and origin of beachrock. *Journal of Sedimentology and Petrology.* **35**, 243-247.

本研究の成果

1. 学会および学術研究会発表

小元久仁夫・南 雅代 (2017) ビーチロックの形成年代とは？. 2016 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. 2017 年 1 月 30 日. 名古屋大学. 名古屋市.

小元久仁夫・南 雅代 (2017) 宮古島マイバーバマのビーチロックに半埋没しているハマサンゴの AMS^{14}C 年代. 季刊地理学. **69**, 153. 東北地理学会. 2017 年 5 月 21 日. 仙台市戦災復興記念館. 仙台市.

小元久仁夫・南　雅代（2018）宮古島南東，マイバーバマ東部に打ち上げられたハマサンゴの ^{14}C 年代とその意義. 2017 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. 2018 年 2 月 1 日. 名古屋大学. 名古屋市.

小元久仁夫・南 雅代・藁谷哲也・塩見昌司（2018）ビーチロックの正確な膠結年代決定法の開発（予報）―宮崎県島浦島のビーチロックの形成年代―. 季刊地理学. **70**, 143-144. 東北地理学会. 2018 年 5 月 19 日. 東北大学理学部. 仙台市.

小元久仁夫・藁谷哲也・南 雅代・池田晃子・横尾頼子・塩見昌司（2019）ビーチロックの年代を決定する際の問題点. 2018 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. 2019 年 2 月 1 日. 名古屋大学. 名古屋市.

小元久仁夫・南 雅代・大八木英夫・池田晃子（2019）宮古島南東海岸に発達する固結砂層と湧水の特徴. 季刊地理学. **71**, 136-137. 東北地理学会. 2019 年 5 月 18 日. 東北大学理学部. 仙台市.

2. 学術出版物

小元久仁夫・南 雅代（2017）宮古島南東マイバーバマ東岸に打ち上げられたハマサンゴ岩塊の ^{14}C 年代とその意義. 季刊地理学. **69**, 119-127.

小元久仁夫・藁谷哲也・塩見昌司・南 雅代（2018）ビーチロック試料の正確な膠結年代決定法の開発. 名古屋大学年代測定研究. 2, 7-11.

小元久仁夫（2019）南西諸島宮古島南東のマイバーバマ東部および吉野海岸に打ち上げられたサンゴ岩塊の ^{14}C 年代. 季刊地理学. **71**, 82-88.

小元久仁夫・藁谷哲也・塩見昌司・南 雅代（2019）ビーチロック試料の正確な膠結年代の決定方法. 名古屋大学年代測定研究. 3, 41-43.

小元久仁夫・藁谷哲也・塩見昌司・大八木英夫・横尾頼子・池田晃子（2020）ビーチロック試料の正確な膠結年代の決定方法 (2). 名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定報告. 4, 9-15.

小元久仁夫（2021）宮古島南東，マイバーバマ東部のビーチロックから採取した試料の ^{14}C 年代とその意義. 地学雑誌. **130**, 95-101.

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）

VLF/LF 帯標準電波の伝搬特性を用いた中・低緯度下部電離圏擾乱の連続観測を名古屋大学・宇宙地球環境研究所附属陸別観測所と鹿児島観測所で実施している。10kHz-100kHz の低周波電波を垂直電界アンテナにより受信し、標準電波信号の周波数における信号強度と位相を 0.1 秒の時間分解能で記録している。良観測所で受信している主な標準電波送信局は、JJY（40kHz/福島，60kHz/福岡・佐賀）、JJI(22.1kHz/宮崎)、NWC(19.8kHz/オーストラリア)、BPC(68.5kHz/中国)である。これらの送信電波を国内 2 局で観測することにより、日本上空をカバーする観測ネットワークが構築されている。中・低緯度で出現する下部電離圏擾乱のうち、太陽フレア(X 線)・SEP による中間圏・下部熱圏電離現象、地震・火山現象や、火球の発生に伴い発生し、上方に伝搬する音波により生じる下部熱圏電離度の変調について研究を実施した。鹿児島観測所では、観測は継続して実施できているものの、データを記録する PC に問題が生じているが、2020 年度はコロナ禍の出張制約のため PC の交換を実施できなかった。2021 年度には可能となり次第、PC の交換作業を行う予定である。

研究成果

学会発表等

明石徹寛，大矢浩代，土屋 史紀，中田裕之，VLF-LF 帯標準電波を用いた 2015 年ネパール地震後の D 領域電離圏変動の解析，日本大気電気学会第 99 回研究発表会，2021 年 1 月 8 日

山野辺晃大，大矢浩代，土屋史紀，山下幸三，高橋幸弘，塩川和夫，中田裕之，VLF-LF 帯標準電波を用いた太陽フレアによる D 領域電離圏変動に関する研究，日本大気電気学会第 99 回研究発表会，2021 年 1 月 8 日

山野辺晃大，大矢浩代，土屋史紀，山下幸三，高橋幸弘，塩川和夫，中田裕之，Solar flare effects on the D-region ionosphere using VLF- LF transmitter signals，地球電磁気・地球惑星圏学会第 148 回総会・講演会，2020 年 11 月 1 日

鈴木威流，大矢浩代，土屋史紀，塩川和夫，中田裕之，Variations in the D-region ionosphere observed in fireballs using VLF-LF transmitter signals，地球電磁気・地球惑星圏学会第 148 回総会・講演会，2020 年 11 月 1 日

Takeru Suzuki, Hiroyo Ohya, Fuminori Tsuchiya, Kazuo Shiokawa, Hiroyuki Nakata, Fireball-associated variations in the D-region ionosphere observed using VLF-LF transmitter signals, JPGU-AGU Joint meeting 2020, 2020 年 7 月 12 日

Tekkan Akashi, Hiroyo Ohya, Hiroyuki Nakata, Fuminori Tsuchiya, Study of variations in the D-region ionosphere after the 2016 Kumamoto earthquakes using VLF-LF transmitter signals, JPGU-AGU Joint meeting 2020, 2020 年 7 月 12 日

（別紙様式４－２）

エアロゾル・雲相互作用の理解を目指したエアロゾル吸湿特性の観測研究

Observational study of aerosol hygroscopicity toward understanding aerosol-cloud interactions

中山智喜、長崎大学・水産・環境科学総合研究科

【研究目的】大気中のエアロゾル粒子は、雲凝結核として働き、雲生成に関与している。特に、台風の生成・発達においては、海上から巻き上げられた海塩粒子が重要な寄与を持つ可能性が指摘されている。また、雲粒に取り込まれてエアロゾルが除去されたり、雲粒中での液相反応により、低蒸気圧の化学成分が生成した後、水分が蒸発することで、新たにエアロゾル粒子が生成したりする可能性もある。しかしながら、計測における技術的な困難さからエアロゾルと雲との相互作用の理解は十分進んでおらず、種々の人間活動や自然活動が気候変動に及ぼす影響の推定における大きな不確実性の要因となっている。そこで、沖縄において観測を実施し、台風通過時にエアロゾルの粒径分布および吸湿特性がどのように変化するかを調べることを目指した。

【研究方法】本研究では、名古屋大学ISEEおよび琉球大学と共同で、琉球大学千原キャンパスにおいて観測を実施した。台風が沖縄の近海を通過する夏季に光学式粒子計数器（TSI社製、OPS3330）を用いて、直径0.3から10ミクロンのエアロゾル粒子の粒径分布を測定した。また、パナソニック社と共同開発した小型$PM_{2.5}$センサを2台用いることで、実大気条件と湿度低下条件における$PM_{2.5}$重量濃度の連続観測を行った。

【結果と考察】図1に、2018年から2020年に沖縄近海を通過した合計11個の台風について、台風接近時の風速とエアロゾル粒子（直径0.3～10ミクロン）の重量濃度の関係を示した。いずれの台風についても、エアロゾル粒子の重量濃度が風速に対して、ほぼ同様の割合で増加し、風速が海塩粒子の発生量を決定づけていることが示唆された。図2に、外気温度・湿度条件下で測定した$PM_{2.5}$と、筐体内を10°C程度加熱し相対湿度を低下させた条件下で測定した際の$PM_{2.5}$センサの出力濃度の比の、非加熱時の相対湿度に対する依存性を示した。その結果、同じ相対湿度条件においては、冬季に比べ、夏季に比が大きくなることがわかった。沖縄において夏季には、海塩粒子の相対寄与が増加し、$PM_{2.5}$全体の吸湿性が増加した可能性が示唆された。

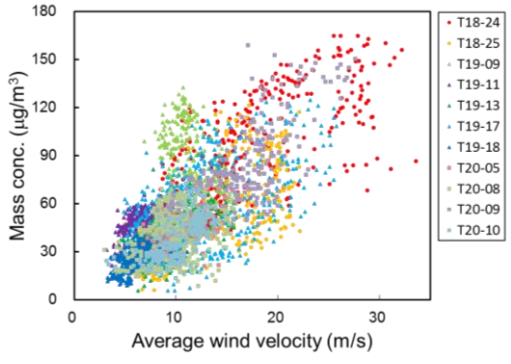


図 1：11 個の台風通過時に光学式粒子計数器で測定した直径 0.3 から 10 ミクロンのエアロゾル粒子の全重量濃度と平均風速の関係

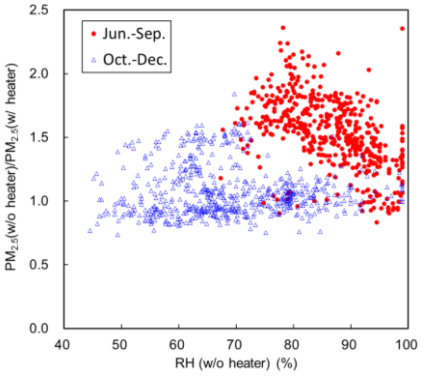


図 2：非加熱時の加熱時に対する $PM_{2.5}$ センサの出力濃度の比の非加熱時相対湿度依存性（赤：2020 年 6～9 月、青：2020 年 10～12 月）

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

Super-Kamiokande 実験がデータ取得を開始した1996年以降に起きたX5.0 class以上の太陽フレア (計23回)に対して、太陽フレア由来のニュートリノ探索を実施した。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。以下にその概略と成果を述べる。

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、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。最終的に、決定した探索時間幅を用いて、Super-Kamiokande 実験で観測されたニュートリノ事象を探索した。

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衛星やLASCO衛星 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

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。

図1 にSoft X線の光度曲線と光度曲線を時間で微分した時間分布、およびニュートリノ事象が観測された時刻を示す。1つ目の候補では光度曲線が立ち上がっている時間帯にニュートリノ事象候補が観測された。一方で、2つ目の候補では光度曲線が減少に転じ始める時間帯にニュートリノ事象候補が観測された。

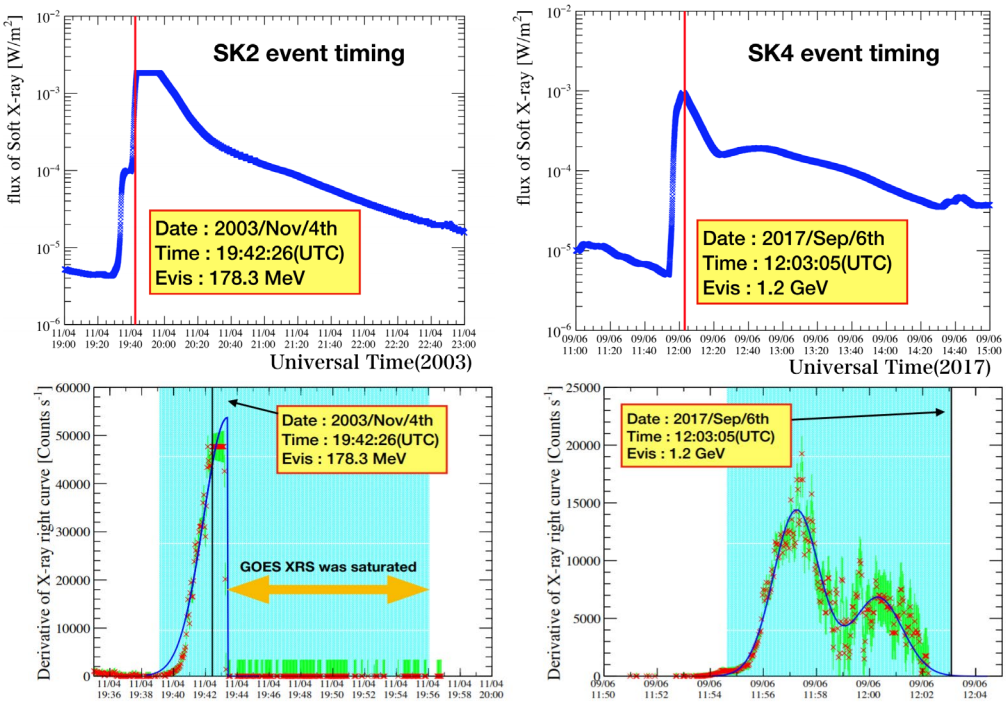


図 1. Soft X 線の光度曲線（上図）と光度曲線を微分した場合（下図）の時間分布と、Super-Kamiokande 実験で観測されたニュートリノ事象候補の時刻（縦線）。枠内は観測日時、時刻、エネルギー。下図の水色の領域はこのチャンネルで決定された探索時間幅である。

大気ニュートリノの観測データから、設定した探索時間幅の中で期待される背景事象は、1つ目の候補が0.58 事象、2つ目の候補が0.25 事象と見積もった。この背景事象の観測頻度を想定した場合、1つのニュートリノ事象候補が探索時間幅の中で観測される確率はそれぞれ、32.2%と21.8%である。

以上のようなデータ解析から、太陽フレア由来のニュートリノ事象を、有意な統計数で観測することはできなかった。今後、本研究で得られた成果を論文として公表予定である。

太陽の裏側で発生した(CMEsを伴っていると仮定した)太陽フレア由来のニュートリノ探索も同様に実施した。探索結果の公表を2021年度に予定している。

研究成果発表:

(1) K. Okamoto et al., Development of a method for determining the search window for solar flare neutrinos」Solar Physics 295, 133 (2020).

参考文献: [1] R. Davis, Prog. Part. Nucl. Phys. 32 (1994) 13-32. [2] B. Aharmim, et al., Astropart.Phys. 55 (2014) 1-7. [3] K.S. Hirata, et al., Phys. Rev. Lett. 61 (1988) 2653. [4] D. Fargion, et al., Astrophy. 3 (2003) 75-86. [5] Y. Fukuda, et al., Nucl. Instrum. Meth. A 501 (2003) 418-462.

（別紙様式４－２）

衛星搭載イメージング可視・紫外撮像光学系の設計と開発

Design and development of visible and ultra-violet optical imaging system

坂野井健、東北大学・大学院理学研究科

【研究目的】

将来電磁圏・熱圏観測小型衛星計画FACTORSの検討が、現在電磁圏・熱圏コミュニティで行われている。その搭載装置候補の一つに、オーロラ・大気光撮像装置がある。電磁圏・熱圏発光現象のリモートセンシングは、物理過程を知るための重要な手段である。とくに、FACTORSでは微細オーロラの高速詳細変動や紫外大気光の広域・グローバル変動の解明を目的に、高度数千kmから搭載イメージャーにより可視と紫外の2波長領域で撮像することが計画されている。本研究は、オーロラ発光と大気光発光の紫外観測を達成するために必要な技術検討と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域におけるオーロラ・大気光観測の経験が乏しいため、最新技術と知見に基づき、紫外オーロラ・大気光撮像を可能とする衛星搭載装置の技術向上が不可欠である。本研究は、これに必要な検討・基礎開発を推進する。2020年度は、本課題の3年計画の3年目である。

【研究方法】

本研究では、これまで研究分担者と共同で、紫外用広角対物ミラー光学系設計と観測ターゲットであるオーロラ発光の酸素原子輝線135.6nmと窒素分子LBH(long and/or short)の利点・欠点の整理検討が行われた。また、熱圏大気光についてN2/O観測の意義を調査した。さらに2019年度の検討から、紫外線2次元撮像検出器として、MCPとCCDを組み合わせたICCDと紫外用CCDの双方について比較検討し、高圧電源を用いない紫外CCDもしくはCMOSを採用することとした。2020年度は、昨年度に新たな課題となった紫外カメラに高時間（数Hzのフレームレート）高空間（数km x 数km）分解能を持たせるため、抜本的な設計改良案を見いだす。また、紫外検出器としてCCDまたはCMOSについて選定を行い、試験用検出器パッケージを購入する。これにより、今後の紫外試験に用いられる試験用カメラの開発を達成する。この紫外カメラ開発と並行して、衛星の軌道と磁力線フットプリントならびにカメラ視野角との関係や画像・粒子同時観測成立性について検討する。

【研究結果】

これまでの紫外線検出器の検討から、国内メーカーのCCD検出器が観測要求を実現する可能性が示された。これに基づき、2020年度は外部経費を用いて試験用紫外検出器パッケージを調達した。これには、読み出し・駆動用のエレキとPCソフトウェアも附属している。また、紫外光学系について、新たな高空間・高時間分解カメラに要求される視野は20x20度以下と比較的狭いため、近年開発された130nm付近でも透過効率の高いCaF2材料による対物レンズを用いることが出来る。この対物レンズに近年の非球面精密加工技術を採用すれば、小型軽量化が見込まれる。2020年度は、この非球面対物レンズによる空間分解能や、130nm帯の透過率を実証するため、外部経費を用いて製造を行った。

これらの紫外検出器と対物レンズに加え、本年度のISEE国際共同研究経費や外部経費を用いて、カメラ筐体真空チャンバとレンズ視野回転ステージ等を製作し、紫外カメラ一式を開発した。以上により、検出器電気試験や結像性能試験、紫外分光感度試験や放射線試験の準備を整えることが出来た。来年度以降にJAXA/ISASの紫外分光光源を用いた分高感度特性測定試験と検出器・レンズの耐放射線試験を実施する計画である。

さらに、衛星軌道計算ソフトウェアとカメラ視野角ならびに磁力線モデルを組み合わせ、フットプリントにおけるオーロラ発光の画像-粒子同時観測の成立性について調べた。軌道傾斜角などの条件を変化させながら2年間の画像-粒子同時観測の合計時間を見積もった結果、軌道傾斜角が90°のとき300時間に達し、十分な観測機会が得られることがわかった。

本研究は本年度で終了するが、紫外カメラ開発において重要な検出器選定と対物レンズ設計を具体的に進めて試験用カメラ一式を開発し、計画を前に進めることに貢献した。

【成果発表（坂野井に下線）】

＜査読付き論文＞

1. Kataoka, R., C. Chaston, D. Knudsen, K. A. Lynch, R. L. Lysak, Y. Song, R. Rankin, K. Murase, T. Sakanoi, J. Semeter, T. H. Watanabe, D. Whiter (2021), Small-Scale Dynamic Aurora, Space Sci. Rev., vol. 217, 1, 17, https://doi.org/10.1007/s11214-021-00796-w.

2. Fukizawa, M., T. Sakanoi, Y. Miyoshi, Y. Kazama, Y. Katoh, Y, Kasahara, S. Matsuda, A. Matsuoka, S. Kurita, M. Shoji, M. Teramoto, S. Imajo, I. Sinohara, S. Y. Wang, S. W. Y. Tam, T. F. Chang, B. J. Wang, C. W. Jun (2020), Pitch-Angle Scattering of Inner Magnetospheric Elec trons Caused by ECH Waves Obtained With the Arase Satellite, Geophys. Res. Lett., vol. 47, 21, e2020GL089926, https://doi.org/10.1029/2020GL089926.

3. Miyoshi, Y., S. Saito, S. Kurita, K. Asamura, Kl Hosokawa, T. Sakanoi, T. Mitani, Y. Oga wa, S. Oyama, F. Tsuchiya, S. L. Jones, A. N. Jaynes, J. B. Blake (2020), Relativistic Electron Microbursts as High-Energy Tail of Pulsating Aurora Electrons, Geophys. Res. Lett., vol. 47, 21, e 2020GL090360, https://doi.org/10.1029/2020GL090360.

4. Nishimura, Y., M. R. Lessard, Y. Katoh, Y. Miyoshi, E. Grono, N. Partamies, N.Sivadas, K. Hosokawa, M. Fukizawa, M. Samara, R. G. Michell, R. Kataoka, T. Sakanoi, D. K. Whiter, S.-I. Oyama, Y. Ogawa, S. Kurita (2020), Diffuse and Pulsating Aurora, Space Sci. Rev., vol 216, 4, https://doi.org/10.1007/s11214-019-0629-3.

＜学会発表＞

1. M. Hirahara, M. Yamauchi, Y. Saito, H. Kojima, K. Asamura, T. Sakanoi, Y. Miyoshi, an d N. Kitamura, and An international multi-point space exploration mission for integrated observat ions in the space-Earth coupling system, 日本地球惑星科学連合2020年大会, ポスター発表, May 24-29, 2020.

2. T. Sakanoi, M. Hirahara. Y. Miyoshi, K. Asamura, K. Hosokawa, Y. Saito, H. Kojima, N. Kitamura, M. Fukizawa, S.-I. Oyama, T. Tsuda, A. Saito, H. Frey, and N. Schneider, Auroral ima ging at visible and far-ultra-violet wavelengths for the future polar orbiting satellite mission FAC TORS, 日本地球惑星科学連合2020年大会, ポスター発表, May 24-29, 2020.

3. 平原 聖文、齋藤 義文、小嶋 浩嗣、浅村 和史、山内 正敏、坂野井 健、三好 由純、北村 成寿、杉本 理英、宇宙地球結合系探査「FACTORS」計画の現状：編隊飛行衛星群と軌道擾乱・制御、第21回宇宙科学シンポジウム、ポスター発表, Jan. 6-7, 2021.

4. 三好 由純、北村 成寿、平原 聖文、浅村 和史、坂野井 健、西山 尚典、小嶋 浩嗣、FACTORSオーロラ観測チーム、大気加熱・流出検討チーム、FACTORS計画における科学検討の現状報告、第21回宇宙科学シンポジウム、ポスター発表, Jan. 6-7, 2021.

5. 浅村 和史、小嶋 浩嗣、坂野井 健、FACTORS 計画検討チーム、FACTORS計画における観測機器開発の現状報告告、第21回宇宙科学シンポジウム、ポスター発表, Jan. 6-7, 2021.

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4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、周波数特性、クオリティフラグによるデータ品質分別などの、データ特性の向上をはかった。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行った。

【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。2020年度は、「あらせ」MGFデータを用いた論文が16本発表された。

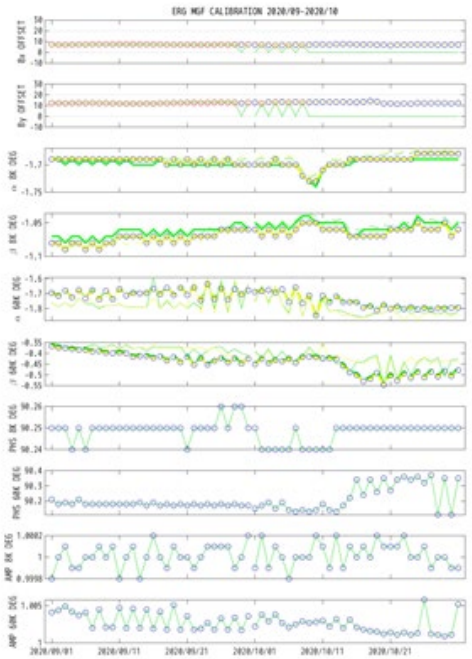


図１ 「あらせ」磁場データ較正結果確認用サマリープロットの例

【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が出来た。一方で、現在の処理プログラムでは目標とする精度でオフセットや時刻補正がスポット的に出来ていない事例も発生している。今後そのような事例も目標の精度を達成する較正手法を開発する必要がある。

【成果発表】

松岡彩子, 能勢正仁, 三好由純, 寺本万里子, 野村麗子, 藤本晶子, 田中良昌, 篠原学, 栗田怜, 今城峻, 篠原育、Characteristics of the magnetic field variations observed by Arase、地球電磁気・地球惑星圏学会 第148 回講演会、オンライン、2020/11/04

Matsuoka Ayako, Nose Masahito, Miyoshi Yoshizumi, Teramoto Mariko, Nomura Reiko, Fujimoto Akiko, Tanaka Yoshimasa, Shinohara Manabu, Kurita Satoshi, Imajo Shun, Shinohara Iku、Characteristics of the magnetic field variations at and above proton cyclotron frequency observed by Arase、AGU、Virtual, 2020/12/15

IPSデータを利用した太陽風予測シミュレーション
Solar wind forecast simulation using IPS data

久保勇樹、情報通信研究機構・宇宙環境研究室

１．研究目的

情報通信研究機構(NICT)では、宇宙天気予報リードタイムの延伸を目的として、太陽風予測シミュレーションの開発を行っている。太陽地球間には、DSCOVRと呼ばれる太陽風を定常観測している人工衛星が存在しているが、DSCOVRは地球からわずか150万キロほど太陽側の第一ラグランジュ点（L1点）に位置しているため、DSCOVRのデータを利用するだけでは、太陽風が地球に到来までのわずか１時間程度の予測リードタイムしか確保できない。そのため、予測リードタイムを延伸し、将来的に長期予報を実現するためには、太陽風構造を数値シミュレーションによって予測することが必須である。現在NICTで稼働している太陽風予測シミュレーションは、太陽光球における磁場の観測データを境界条件として用いて電磁流体力学シミュレーションを行うことにより、太陽圏内の太陽風構造を再現し、リアルタイム運用することで太陽風構造の予測をしている。しかしながら、この太陽風予測シミュレーションは、実際の予報業務での運用に耐えうるだけの予測精度には達しておらず、予報業務内では参考情報として利用されているに過ぎないのが現状である。予測精度を向上するための一つの方法としては、L1点よりも太陽近傍での信頼できる太陽風観測データを利用することであるが、現状ではL1点よりも太陽近傍で太陽風を定常的に観測している人工衛星は存在していないため、地上からの太陽風観測データを利用する必要がある。名古屋大学のIPS観測はこの用途にまさに最適の観測データを与えてくれる国内唯一の装置であるため、このデータを利用した、宇宙天気予報業務での実運用に耐えうるだけの予測精度を持った、太陽風予測シミュレーションの開発を目的とする。

２．研究方法

今年度は、一昨年度から昨年度にかけて開発した、太陽嵐予測シミュレーション(SUSANOO)の結果から疑似IPS観測を作成し、実際のIPS観測と比較する手法（SUSANOO-IPS予測シミュレーション）を、多数のCMEイベントに適用し、SUSANOO-IPS予測シミュレーションの予測精度を統計的に評価した。

３．研究成果

本研究では、2013年から2017年にかけての12個のCMEイベントを対象にSUSANOO-IPS予測シミュレーションを適用し、CMEの地球への到来時間の評価を行った。その結果、IPSを用いないSUSANOOシミュレーションによるCME到来時刻の予測到来時刻誤差(約7時間程度）と比較して、予測到来時刻誤差を約5時間程度に小さくすることに成功した。なお、NASA/CCMCで行われているCME Scoreboardによる予測到来時刻誤差が約12時間程度であることを考え

ると、この結果は、驚異的な数字であることがわかる。現在、NICTでは、SUSANOO-IPS予測シミュレーションを実際の宇宙天気予報に導入するためのシステム開発を進めており、誤差の情報などを含んだ予報を行うアンサンブル予報の実現が間近に迫ってきている。

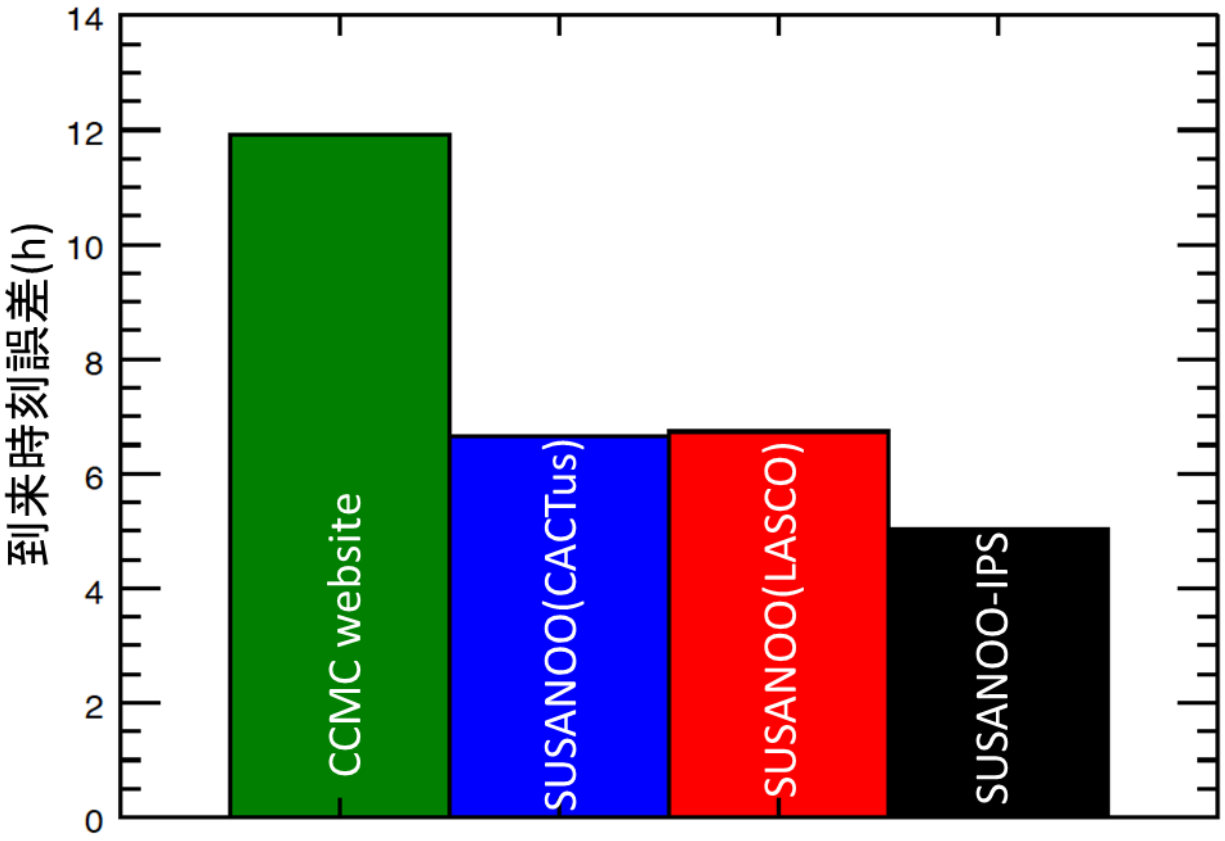


図１：SUSANOO-IPS による CME 到来時刻予測精度の比較。SUSANOO-IPS による予測到来時刻誤差は約 5 時間で、もっとく小さいことがわかる。

４．　成果発表

①　誌上発表

1. Iwai, K., Shiota, D., Tokumaru, M., Fujiki, K., Den, M., and Kubo, Y., Validation of Coronal Mass Ejection Arrival-Time Forecasts by Magnetohydrodynamic Simulations based on Interplanetary Scintillation Observations, EPS, 73, 9, 2021

②　口頭発表

1. 岩井　一正、塩田　大幸、徳丸　宗利、藤木　謙一、田　光江、久保　勇樹、Validation and operation of a coronal mass ejection arrival time forecasting system using interplanetary scintillation observations、JpGU - AGU Joint Meeting 2020:Virtual、オンラ

イン、7月13日
2. 岩井 一正、塩田大幸、久保勇樹、田光江、徳丸宗利、藤木謙一、惑星間空間シンチレーション観測データを取り込んだMHDシミュレーションによる太陽嵐到来予報の精度評価、日本天文学会2020年秋季年会、オンライン、9月8日
3. Shiota D., Yashiro S., Kataoka R., Iwai K., Ebihara Y.、Development of real-time prediction system of CME arrival and magnetic field with ensemble SUSANOO-CME simulation、43rd COSPAR Scientific Assembly、オンライン、2月2日、招待講演
4. Iwai K., Shiota D., Tokumaru M., Fujiki K., Den M., Kubo T.、Validation of CME arrival-time forecasted by MHD simulations based on interplanetary scintillation observations、43rd COSPAR Scientific Assembly、オンライン、2月3日、招待講演
5. 塩田大幸、太陽風・コロナ質量放出到来予測モデルの課題と展望、ISEE研究集会「太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望」、オンライン、2021年3月26日
6. 久保勇樹、岩井一正、塩田大幸、徳丸宗利、藤木謙一、田光江、IPSデータを利用した太陽風予測シミュレーション（SUSANOO-IPS）、2020年度ISEEコミュニティミーティング、オンライン、2020年10月26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

今年度は2020年8月中旬におけるペルセウス流星群の重点観測を、豊川市内よ岐阜県内の2ヶ所に於いて実施し、火球クラスの明るい流星について観測データの解析を行った。今回の流星活動レベルは比較的低調であり、VLF電波放射が期待されるような事例は観測されなかった。しかし同年8月21日に関東南部上空で発生した大火球に伴い、最大光度時にVLF電波レベルの上昇が観測された。この結果は同年9月28日にオンライン開催されたSTE現象報告会で報告されている。また同年12月6日に実施された「はやぶさ２」カプセルリターンについては、流星と類似の現象としてVLF電波放射の発生が期待されたため、オーストラリア南部におけるカプセル回収活動の一環として、現地における代行観測がＪＡＸＡ回収チームによって実施された。観測地は電波環境が極めて優れており、ELF帯からVLF帯を含むいろい周波数領域において、殆ど人工ノイズが見られない記録が得られた。解析はまだ進行中であるが、カプセルやその周辺領域における放電現象によると思われる低レベルのＶＬＦノイズが断続的に観測されている。現在、これらの現象がカプセル起源であるかどうかの検証を行っているとことである。これについては2021年3月4日にオンライン開催された、ＳＴＥ現象報告会で報告されている。

（別紙様式４－２）

AR12673におけるMHD不安定性発達の研究
A study on MHD instability in AR12673

永田伸一、京都大学大学院理学研究科附属天文台

【研究目的】

2017年9月に出現した活動領域12673は、9月6日のX9.3フレアをはじめとする大規模フレアを複数引き起こし、太陽活動周期24で最も活動的であった (Yang et al. 2017)。先行研究から、X9.3フレア発生2日前における急速な磁気フラックスの注入が大規模フレアの発生に寄与したことが示唆された (Vemareddy 2019)。また、X9.3フレアの発生機構については、Inoue et al. (2018)による磁気流体シミュレーションから、活動領域に形成された磁気フラックスロープ (MFR)の噴出によることが明らかになった。しかし、大規模フレア発生に至る3次元磁場構造の時空間発展については、明らかになっていない。特に、X9.3フレアに先行して連続的に発生したMフレアの発生機構については未解明である。本研究では、X9.3フレア発生の2日前から連続的に発生した、Mフレアの発生機構を明らかにすることを目的とした。

【研究方法】

本活動領域について、我々はSolar Dynamics Observatory (SDO; Pesnell et al. 2012) / Helioseismic and Magnetic Imager (HMI; Scherrer et al. 2012) による光球ベクトル磁場を境界条件とした非線形フォースフリー磁場外挿 (Inoue et al. 2014) を施し、9月4日から9月6日までの3日間を12時間刻みで、磁力線の捻れ (Berger & Prior 2006) の時系列変化の定量的な解析を行った。また、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、9月4日20:24UTの時点で3本の磁気フラックスロープ (MFR A, B, C) が形成されていた。先行研究から、MFR Aは9月6日のX9.3フレアの発生に関わることが示唆されている (Liu et al. 2019)。また、MFR Bは他2本と捻れの方向が異なり、9月4日12:00UT頃から急成長する様子が再現された。さらに、9月4日から5日にかけて、Mフレアが連続して発生している間、AIA 1600ÅではMFR Bの周辺で顕著な増光を示すことが確認された。

【考察】

9月4日20:24UTの時点で、MFR Aが形成されていたことから、X9.3フレア発生2日前の段階で、すでに大規模フレア発生の可能性があったことが示唆される。また、MFR Bの形成発展過程についての結果から、連続するMフレアは、MFR Bの急成長に起因すると考えられる。さらに、連続するMフレアの中で最も大規模な、9月4日20:30UT頃発生のM5.5フレアについて、外挿された磁場構造とAIA 1600Åの初期発光及びフレアリボンの位置の詳細な比較から、図2に示した様に、MFR B上空の「ヌル点」での磁気リコネクションが、MFR Bの上昇および、それに伴うM5.5フレアの発生に寄与したとするシナリオが考えられる。

【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
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
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
Vemareddy, P. 2019, The Astrophysical Journal
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

1. 著者: Yamasaki, D., Inoue, S., **Nagata, S.**, & Ichimoto, K.
   題目: "Evolution of the Nonpotential Magnetic Field in the Solar Active Region 12673 Based on a Nonlinear force-free Modeling"
   誌名: The Astrophysical Journal, 908, 132, 9pp, 2021

(2) 国際会議における発表

1. 著者: Yamasaki, D., Inoue, S., **Nagata, S.**, & Ichimoto, K.
   題目: "Nonlinear force-free field modeling of the flare-productive magnetic field observed in the solar active region 12673" (iPoster)
   学会名: JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual, online, 2020 Jul.

(3) 国内学会、シンポジウムにおける発表

1. 著者: 山崎大輝、井上諭、石井貴子、浅井歩、**永田伸一**、一本潔
   題目: 「非線形フォースフリー磁場外挿を用いた活動領域NOAA 12673における連続するM5.5とM4.2フレア発生機構の比較」 (ポスター発表)
   学会名: 太陽研究者連絡会シンポジウム、オンライン、2020年12月
2. 著者: 山崎大輝、井上諭、石井貴子、浅井歩、**永田伸一**、一本潔
   題目:「活動領域NOAA 12673における連続するM5.5、M4.2フレア発生機構の比較」 (口頭発表)
   学会名: 日本天文学会2021年春季年会、オンライン、2021年3月

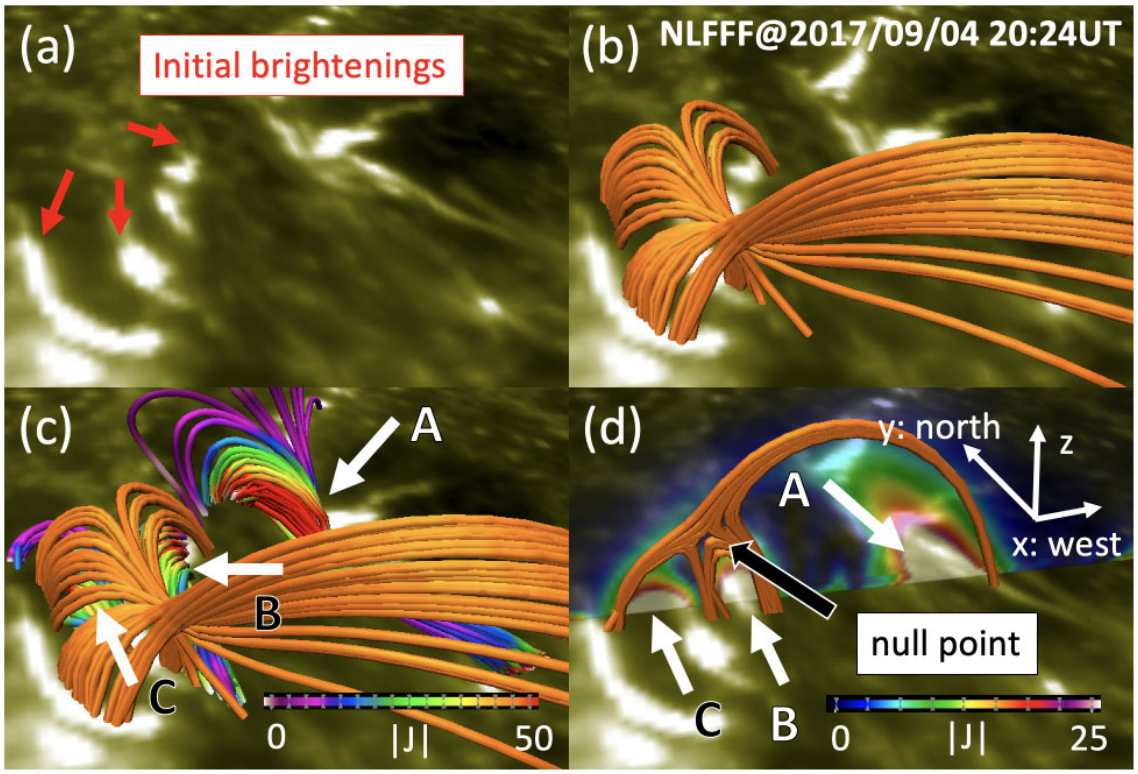


図 1. AIA 1600 Å撮像データおよびコロナ磁場外挿結果の比較, (a) M5.5 フレアの初期発光, (b) 初期発光と大局的な磁場構造, (c) MFR A, B, C と大局的な磁場構造, (d) 垂直面内に射影した大局的な磁場構造と MFR A, B, C の位置関係.

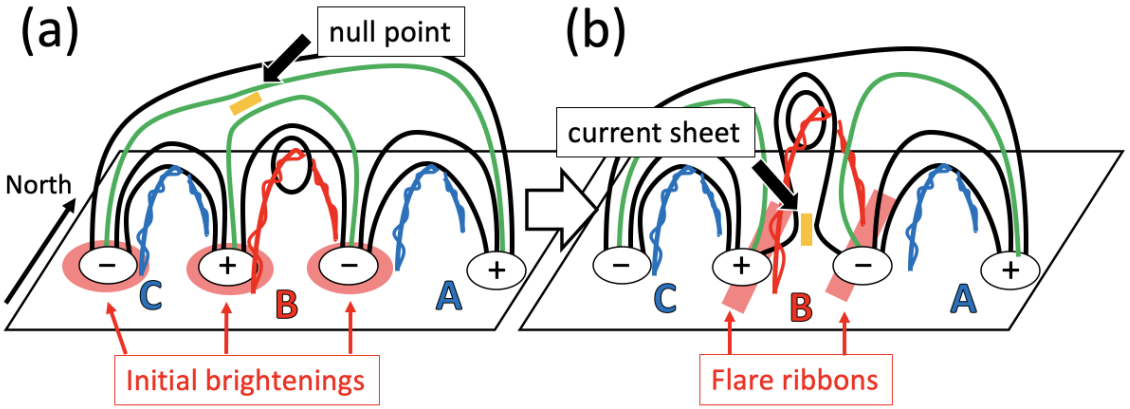


図 2. M5.5 フレアの発生シナリオ, 黒線は大局的な磁場構造, 緑線は磁気リコネクションに関わる磁力線, 捻れた青線及び赤線は磁気フラックスロープ A, B, C, 黄色で示したのは電流シート. (a) M5.5 フレア発生前の磁場構造, (b) M5.5 フレア発生後の磁場構造.

はやぶさ2の突入カプセルのプラズマ化による電波放射の観測
Radio observation from the plasma of Hayabusa2 capsule

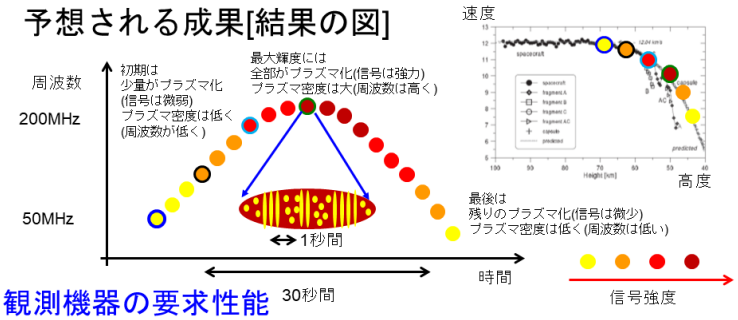
野澤恵、茨城大学・理学部

はやぶさ 2 の再突入するカプセルがプラズマ化するときに発する電波放射を直接捉えることを目的にしている。

Obenberger et al(2014) など、流星や火球からの電波放射は昔から考えられてはいたが、実際に検出されたのは 2010 年代に入ってからである。ただし、HF(短波、3-30MHz)の受信例が多く、大型干渉計でも 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ので変換機構が必要である。この放射機構は太陽のメートル波放射の場合と似たものと考えられ、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。

はやぶさ 2 の再突入するカプセルが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り、Obenberger et al(2014) で報告されるように、プラズマ放射が発生することが考えられる。そこで、この電波放射を直接観測することにより、プラズマからの放射機構を明らかにする。特にはやぶさ 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がわかれば、まだ不明である電波放射機構について詳細な議論が可能となる。

以下の図は予想される観測量で、横軸に時間、縦軸に周波数、そしてその強度である。



そこで受信周波数 50-1300MHz をカバーするログペリアンテナと e-callisto(http://www.e-callisto.org/)が提供する受信機を改良したものを用いる。そして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。

（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検出器は、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検出器であり、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。

現在、明野ミューオン観測では、大規模な再整備作業が進行中であり、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】

2019 年度の時点で GRAPES-3 実験のミューオン検出器の拡張作業は大詰めを迎えつつあった。新ミューオン検出器 16 基について比例計数管の積み上げが終わり、信号計測回路の設置を行って本格観測を開始する予定であった。2019 年度末に新型コロナウィルスの世界的流行が始まり、2020 年度になっても依然として流行が治まらなかったため、研究活動が計画通りに進めることができなかった。共同研究を行うインドにおいても日本国以上に状況

が悪く、外国人の入国も認められていない。さらにインド国内においても、永らく全土におよぶ都市封鎖が長期に亘ったこと、とくに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・タタ基礎研究所においても、共同研究者は観測施設に行くことが困難な状況が続いた。そのような状況のため、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、および、中部大学の大嶋晃敏氏らが、2020 年秋に複数回にわたり明野宇宙線観測所に出張し、3 基の明野ミューオン観測装置の再整備を進め、比例計数管の時定数、PWAの測定および性能のチェックを行なった。

【研究成果】

本研究に関する成果として、3 篇の国際会議論文が出版された。また、日本物理学会で 5 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(25)」、小島浩司、大嶋晃敏、田中公一他、日本物理学会 2020 年秋季大会　オンライン開催、17pSN-3
2. 「大面積高精度 muon 望遠鏡による方位別宇宙線強度変動の研究(26)」、小島浩司、大嶋晃敏、田中公一他、日本物理学会 第 76 回年次大会(2021 年)　オンライン開催、12pW3-3
3. 「GRAPES-3 型ミューオンテレスコープを用いた宇宙天気研究」、大嶋晃敏、伊藤信夫、田中公一他、日本物理学会 第 76 回年次大会(2021 年)　オンライン開催、12pW3-4
4. 「 大型ミューオンテレスコープによる銀河宇宙線強度の観測」
2021年2月　東京大学宇宙線研究所共同利用成果発表会
5. 「 GRAPES-3大気ミューオン観測による宇宙天気研究」
2021年2月　令和2年度ISEE合同研究会

（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、昨年度に引き続き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、上述のGEMSIS-RC(環電流)モデルを用いて、宇宙嵐時に環電流によって励起されるULF波動の励起機構や、励起条件、モード等を明らかにすることを目的としている。この課題は、内部磁気圏での粒子と電磁場を自己無撞着に記述可能なGEMSIS-RCモデルの特徴を活かしたもので、電磁場を経験モデルや平衡モデルで仮定する従来の環電流モデルでは記述的ない現象であり、世界的にみても独自性を持った取り組みである。計画第2年度である本年度は、非対称バタフライ型のピッチ角分布を持つ内部磁気圏へのイオン入射を模擬したシミュレーション結果から、ドリフト-バウンス共鳴による波の励起条件を調べ、結果を国際学術誌に出版した。また、電離圏側の電場ポテンシャルを解くGEMSIS-POTとのモデル結合計算の開発を行った。

２つ目の課題は、電離圏から内部磁気圏へのイオン供給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。具体的には、昨年度から行っているEISCATレーダー観測とあらせ衛星によるイオン質量分析観測の比較によるデータ解析研究をさらに進めた。その結果、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を引き起こしている可能性などが明らかとなり、2017年9月8日の磁気嵐中の同時観測結果を学術誌に投稿した。また、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、統計解析を開始した。

上空におけるバイオエアロゾルの観測と雲課程への寄与推定
Airborne observation of bioaerosols to estimate contribution in the cloud processes

北　和之、茨城大学　理工学研究科
鈴木　湧平、茨城大学　理学部
牧　輝弥、近畿大学　理工学部
松見　豊、坪木和久、大畑　祥、名古屋大学　宇宙地球環境研究所

研究目的：

細菌・胞子・花粉などの生物由来の1次有機エアロゾル粒子はバイオエアロゾルとよばれ、比較的高温で氷晶核となるものを含むため気象・気候への影響がありうること、また病原体やアレルゲンとなるものを含むためヒトや植物の健康影響の観点で重要である（e.g. Hoose and Möhler, 2012）。また、福島第一原子力発電所事故時に汚染を受けた森林からの放射性セシウムの大気への放出(再飛散)にも、バイオエアロゾルが放射性セシウムの担体として重要な役割を果たしていることが明らかになった(Igarashi et al., 2019)。

バイオエアロゾルの放出源の一つとして、森林が重要であるが、そこから大気への放出量を定量的に見積もった研究はまだ少ない。バイオエアロゾルの森林から大気への放出過程と放出フラックスを明らかにするため、森林内から上空にかけての高度分布の観測を行う必要があり、森林直上でのバイオエアロゾルの高度分布を測定するため、UAV(ドローン)搭載型のバイオエアロゾルサンプラを開発しているので報告する。

UAV搭載型バイオエアロゾルサンプラの概要：

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

1．バイオエアロゾルを他の粒子と選別して濃度を測定することおよびメタゲノム解析などによる種類別の存在割合を推定することを可能とするため、それをさらなる分析を行うことが可能な形で捕集する。
2．ウィルスを除き、多くのバイオエアロゾルは粒径1μm以上と考えられ、それ以上の粒径のエアロゾルを捕集する。
3．サンプリング装置は搭載重量制限に収めること。特に、ポンプやバッテリの重量に注意する必要がある。
4．高度範囲は地表～150mとする。
5．UAVの速度は50m/s程度
6．飛行時間は30分以内程度

バイオエアロゾルの典型的な数密度範囲は10^3～10^5 個m^{-3}と考えられ、10分程度のサンプリング時間で採取したサンプルの顕微鏡観察により定量化できる十分な個数のバイオエアロゾルを捕集するためには、100L/m程度の流量が必要になる。このような流量での吸引が可能なポンプは重量が大きくなり、UAV搭載用としては実用的ではない。そこで、漏斗状のインレットを用い、UAV自体の移動により空気を導入することを考えた。必要なインレット直径は約7cmと見積もられ、十分現実的な大きさである。漏斗状インレット

の出口は直径12mmとし、出口と捕集プレート間の間隔を約1cmとすることで、インパクタとして粒径1μm以上の粒子が捕集できると考えた。

他に必須な情報として、高度とインレットを通過する空気流量がある。また、対象の高度のみでサンプリングを行うよう、シャッター機構を設け、設定した高度範囲でのみサンプリングを実施できるようにする必要がある。高度は小型GPSモジュールや気圧、気温センサーを搭載することで、十分な精度で得ることができる。流量は、最初軽量なマスフローメーター(Honeywell製)の利用を考えたが、粒径が数μm以上の粒子の損失が認められ、漏斗状インレットをベンチュリー管とみなし、差圧センサを用い、径の大きい部分と小さい部分での気圧差から推定することとした。各センサーの出力は、IoT入門でよくつかわれるマイコンArduino uno に取り込み記録し、設定高度でサーボモーターでシャッターを動作させることとした。

まとめと今後の課題：

以上のようなサンプラーを試作し、各構成要素ごとにテストを行い、期待通りの動作をすることを確認した。今後は、全体をシステムとして動作させるようまとめて試験観測により性能を確認し、早ければ2021年夏に実際にUAVに搭載しての試験を行いたいと考えている。

現時点で最も大きな課題は、姿勢が変わっても安定にバイオエアロゾルを保持でき、かつサンプリング後に実験室で捕集した粒子を脱離させられるような捕集プレート素材の選定であり、各種の粘着性ゲルシートなどをテストしている。

参考文献：

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

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

成果発表：

SUZUKI Yuhei and KITA Kazuyuki, Development of Bio-aerosol sampler onboard UAV (Drone), Southeast Asia Research-based Network on Climate Change Adaptation Science (SARNCCAR) International Seminar, Nov.17, 2020.

Kazuyuki Kita, Yasuhito Igarashi, Takeshi Kinase, Naho Hayashi, Masahide Ishizuka, Kouji Adachi, Motoo Koitabashi, Tsuyoshi Thomas Sekiyama and Yuichi Onda, Rain-induced bioecological resuspension of radiocaesium in a polluted forest in Japan, Scientific Reports, 10:15330, doi.org/10.1038/s41598-020-72029-z, 2020.

（別紙様式４－２）

トロムソ Na ライダーのレイリー散乱データを用いた成層圏大気温度の計算に関する基礎検討
Consideration on stratospheric temperature calculation utilizing Rayleigh scattering data from Tromsø Na lidar

津田卓雄，電気通信大学・情報理工学研究科

研究目的

ノルウェー，トロムソのナトリウム (Na) ライダーは，主として中間圏・下部熱圏高度に分布する Na の 計測を目的とした観測装置であるが，Na 観測時の副産物として成層圏高度の主成分大気粒子 (N_2, etc.) によるレイリー散乱データも同時に取得されている．本研究では，このレイリー散乱データを有効活用して成層圏大気温度を求める手法の検討と実装を目的とする．

研究進展状況

レイリー散乱データから大気温度を求める代表的な手法 [Hauchecorne and Chanin, GRL, 1980] は，ライダー方程式と大気の物理方程式を組み合わせてレイリー散乱データと大気温度の関係式を導出し，レイリー散乱データ (計測量) をその関係式に入力して大気温度 (物理量) を求めるシンプルでロバストな手法であり，当時から現在まで広く使用されている．本研究では，同手法を採用して，トロムソ Na ライダーのレイリー散乱データを用いた成層圏大気温度の計算手法について基礎検討を進めることを目的とし，特に，トロムソ Na ライダーの特徴である 5 方向斜めビーム観測に関して，鉛直ビーム観測に対して正確な補正を行えるように複数の計算方法の試験を進めた．最終的には，約 10 年分の全データセットについて試験的なデータ処理を行い，成層圏大気温度データベース (version 1) を作成するところまで進めた．

今後の課題として，作成した成層圏大気温度データベースの検証が挙げられる．大気温度観測で実績のある人工衛星 (TIMED/SABER, Aura/MLS, etc.) の大気温度データを利用し，本研究で導出した大気温度データの有用性について，定量的な検証を進めていくことを予定している．また，一方で，近年の手法研究において，統計数理学的な理論をベースにした複数の新手法が提案されている [Khanna et al., Applied Optics, 2012; Sica and Haefele, Applied Optics, 2015]．しかしながら，これらの新手法の実利用はあまり進んでいない．今回採用した従来法と新手法 (及びそれらの改良) を含む視点で，レイリー散乱データを用いた成層圏大気温度の計算手法について，より詳細な追加調査/検討を進めることが今後重要であると考える．

研究発表

(1) T. T. Tsuda, S. Nozawa, N. Saito, T. D. Kawahara, T. Kawabata, T. Takahashi, S. Wada, T. Nakamura, M. K. Ejiri, T. Nishiyama, K. Tsuno, and M. Abo, Observations of metallic layers in the Earth's upper atmosphere based on resonance-scattering lidars, The review of laser engineering, 48, 580-584, 2020. (in Japanese)

（別紙様式４－２）

インド亜大陸北東部における プレモンスーン降水をもたらす総観場の解明
Study of synoptic conditions during premonsoon season in the northeast Indian subcontinent

村田　文絵、高知大学・理工学部

1. はじめに

インド亜大陸北東部はインドモンスーン域の中で最も湿った地域である。この地域の降水はインドモンスーン域の他の地域と同様6-9月のモンスーン季に集中するものの、3-5月のプレモンスーン季から降水量が顕著に増える特徴を持つ。今年度は、本研究グループが継続的に転倒マス雨量計で観測を行ってきたインド･アッサム州について、降水システムの特徴をモンスーン季とプレモンスーン季で比較しつつ、卓越している降水日変化の特徴を解析した。

2. データ

本研究ではインド･アッサム州において2014～2018年の5年間の間に観測された15地点の転倒ます雨量計データを用いた。面的な降水量分布の変動を把握するためGSMaP MVK V7の時間雨量データを使用した。日変化について各雨量計観測点のGSMaPグリッド値と雨量計データの期間平均の日変化を比較したところ、ある程度一致していた。また総観場の解析にはERA5を用いた。本報告の時刻はLT=UTC+6時間を用いる。これはアッサム州が位置する90° E付近の標準時刻であり、インド標準時UTC+5.5時間とは異なることに注意して下さい。

3. 研究結果

インドアッサム州の雨量計地点はヒマラヤ東部の南に広がるブラマプトラ谷の中と南部のメガラヤ高原の東隣に位置する丘陵地帯にあるが、全て夜間に降水の極大を示す。プレモンスーン季とモンスーン季を比較すると、プレモンスーン季は降水が夕方18LT頃に開始し、翌日の12LTまでの間にみられ、00-03LTに降水量が極大となる。一方モンスーン季は21LT頃に開始し、翌日の12LTまでの間にみられ、03-05LTに降水量が極大となる。またGSMaPをみると、プレモンスーン季はブラマプトラ谷の中で西から東に降水システムが移動する傾向(移動速度約7m/s)がみられたのに対し、モンスーン季はブラマプトラ谷の中での降水システムの移動はみられない。GSMaPでみるとブラマプトラ谷の周辺にわたって降水日変化は顕著であり、谷では日中午後の降水量が抑制される一方で、ヒマラヤの標高が高い地域とメガラヤ高原上で日中午後に降水が卓越する。

プレモンスーン季はモンスーン季より降水の開始が早い傾向がみられた。プレモンスーン季は降水システムが西から東に移動する傾向があるので、西に当たるブラマプトラ谷入口付近のプレモンスーン季の環境場を調査した。南のベンガル平野にわたって大気境界層内では一日を通して湿った南風が卓越している。一方、谷の西側に広がるガンジス川流域にわたって大気境界層の発達に伴う乾いた西風が夕方強化され、ベンガル平野上の南風との間に顕著なドライラインを夕方形成する。さらに、ブラマプトラ谷の入口付近では、日中午後のヒマラヤ上の対流システムに伴う冷気プールの可能性がある北寄りの風が強まっている。

4. 考察と今後の課題

谷の中の降水は他地域でも夜間に観測されることが多い。(e.g. Chen et al. 2012; Bedoya-Soto et al. 2019) ERA5で山谷風循環がみられることからも、ブラマプトラ谷も日中の谷風循環が日中の対流発達を抑制していると考えられる。プレモンスーン季もモンスーン季も夜間降水が卓越するが、プレモンスーン季は降水システムの移動が顕著であり、また降水はモンスーン季より早く発生する傾向がある。プレモンスーン季はモンスーン季に比べて湿った南風の層が薄いために山岳を超えて流入する水蒸気量は多くなく、主に西の谷の入口から流入する可能性がある。また、谷の入口付の西側に広がる平野上で夕方ドライラインが形成され対流がトリガーされやすい要因があること、プレモンスーン季の方が冷気プールが形成されやすく組織化した降水システムを形成しやすいこと等が違いとして考えられるが、より根拠の強化が必要である。

6. 引用文献

Bedoya-Soto, J. M., Aristizabal E., Carmona, A. M., Poveda, G. 2019: Seasonal shift of the diurnal cycle of rainfall over Medellin's valley, Central Andes of Colombia (1998-2005), Front. Earth Sci., 7, 92.

Chen, G. Sha, W. Iwasaki, T., Ueno, K. 2012: Diurnal variation of rainfall in the Yangtze river valley during the spring-summer transition from TRMM measurements. J. Geophys. Res., 117, D06106.

7. 成果発表

栗山匡一朗，村田文絵，寺尾徹，山根悠介，木口雅司，福島あずさ，田上雅浩，林泰一，インド･アッサム州における2014-2018年の降水の特徴と日変化，日本気象学会関西支部例会，オンライン，2020年12月18日，口頭発表

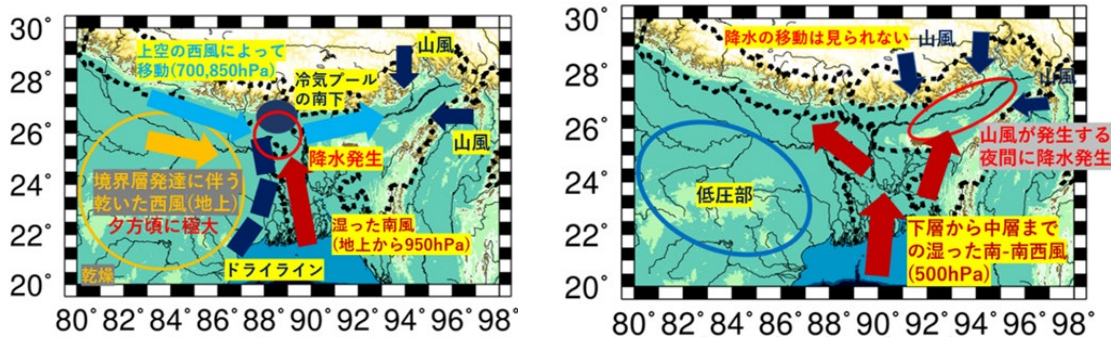


図1: (左)プレモンスーン季と(右)モンスーン季におけるブラマプトラ谷の降水日変化に寄与する可能性がある要因の模式図。

（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

【本研究の目的と方法】前年度に続き、小型低重量 PM2.5 測定装置（図 1 左・中、共同利用装置：松見豊先生の研究室で開発）を核としたエアロゾル連続測定システムの性能検証を目的とする空中観測実験を行う。この飛行測定システムはドローン（図 2 左、共同利用装置）と吊り下げペイロード（図 2 右、測定システムを封入したカプセル、共同利用装置）で構成され、「場所を選ばない」「地表から上空まで連続計測可能」という地表に固定された観測所にはない機動性に優れたメリットがある。

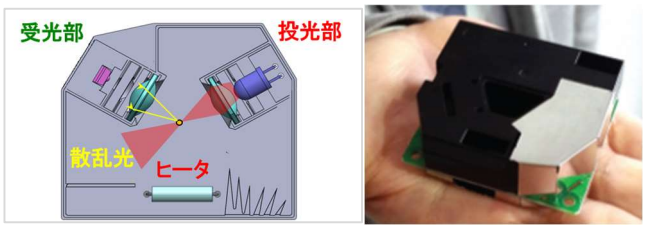


図 1. PM2.5 測定装置 左：構造図　右：外観



図 2. 左：ドローン　　右：カプセル

【1：ドローンによる鉛直 PM2.5 観測実験】2019 年度までの測定システムが改良されて、2020 年度は新型システムを使用した。標高 272.2mの HP（離発着点、京都府舞鶴市）から対地高度 500m（海抜 772.2m）までの鉛直方向を段階的に計測した（図 3）。上空との比較対照データを取得するため、ドローンの離陸前に地表（対地高度 0m）で測定を開始し、離陸後に 100m、300m、500m の各高度において、5 分ずつホバリングさせて測定を行った。

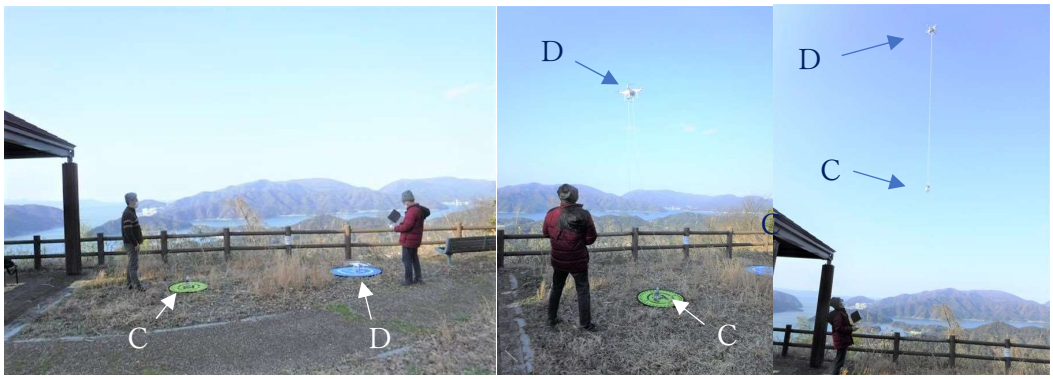


図 3. 実験風景（C:カプセル　D:ドローン）

【2：ドローンによる地形計測実験】

長野県日本アルプス一帯において実施された、エアロゾル輸送の山岳地形効果を解明する大規模プロジェクト『DRAGON J-ALPS』には、ドローンによる PM2.5 鉛直観測が含まれている[1)]。本一般共同研究では、小規模で単純な形の山地形（孤立峰であるスコリア丘）において連動自律飛行させた複数機ドローンによる空中 PM2.5 観測を行い、地形効果の詳細な観測・検証を目指す。第一段階として、自律飛行中に一定の対地高度をドローンに維持させるため、当該地形の 3 次元標高データを取得する。2020 年度は静岡県伊東市「大室山」においてドローン写真測量実験を行い、3 次元モデルを作成した（図 4、図 5）。スコリア丘を撮影対象にするメリットは、2019 年度に撮影対象としたカルスト台地の山口県「秋吉台」のように年 1 回の野焼きにより樹木が殆ど無い草地が保たれていて、樹木が覆う山岳に較べて地表を撮影しやすい点にある。



図 4　大室山

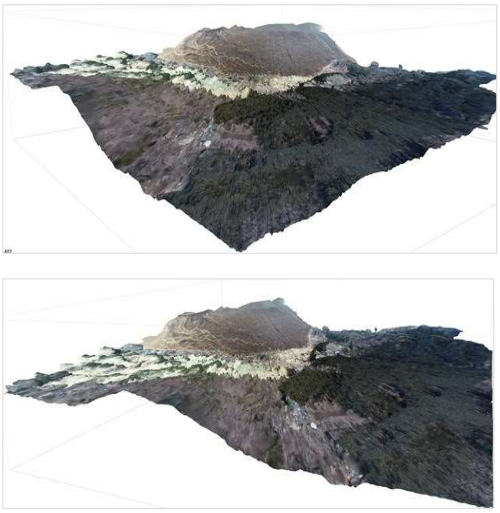


図 5　大室山の 3 次元モデル（スクリーンショット）

【まとめと課題】1 の実証実験では、測定システムの回路の不具合のため、上空の鉛直方向の PM2.5 分布データを充分に得ることができなかった。次年度に改善を行う。前年度に提案された上部マウント方式は飛行中の安定性に問題があり、次年度の検討課題になった。2 の実証実験では、「煙柱」のような動的な対象を 3 次元モデル化する準備として、複数ドローンによる同時撮影を目的とした地形データ取得を行った。

【参考文献（URL）】

1)『エアロゾル輸送における山岳地形効果の解明』　研究代表者：佐野到
（科研費研究課題/領域番号 19H04242　基盤研究(B)）
https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-19H04242/

（別紙様式４－２）

地上デジタル放送波を用いた水蒸気量観測

Measurement of water vapor using digital terrestrial broadcasting waves

花土弘、国立研究開発法人情報通信研究機構
電磁波研究所電磁波伝搬研究センター
リモートセンシング研究室

1. 研究目的

情報通信研究機構（NICT）が開発した地デジ放送波を用いた水蒸気量推定手法の開発・改良と観測されたデータの利活用を実施するものである。地デジ波を用いた水蒸気推定の原理は、地デジ放送波が伝搬時に受ける大気の気温、気圧、及び水蒸気量による遅延を精密に測定することであり、NICTが開発した手法は送信塔からの直達波と周辺事物からの反射波を同時受信し、その位相差を測定する方法で水蒸気量による伝搬遅延量の精密測定を実現する。現在、地表付近の水蒸気量をリモートセンシングで広範囲に測定する手法は限られていて、本手法が確立して多点展開が進めば、水蒸気を面的に常時モニター可能となり、局地的大雨等の時空間スケールの小さな極端現象の予測精度向上への寄与が期待できる。

2. 研究方法

名古屋大学宇宙地球環境研究所の屋上に、地デジアンテナ及び地デジ波遅延測定装置を設置し、伝搬遅延量の精密測定を実施する。具体的には、瀬戸デジタルタワーから送信されている地デジ放送波の直達波と周辺事物からの反射波を同時受信し、直達波と反射波の位相差から受信地点と反射体との間の水蒸気変動量を伝播遅延量変動という形で推定する。名古屋大学は瀬戸デジタルタワーから約10 kmに位置し、宇宙地球環境計測研究所の屋上から同タワーの目視が可能で直達波の受信可能で、名古屋市中心部にある建物などの反射波の受信も容易であり、本観測に適している。

3. 研究結果

地デジ波遅延測定装置は、同時に4つの周波数を独立に観測可能である。通常、受信アンテナを共通にし、複数の放送局からの地上デジタル放送波を違う周波数で受信する形での実験を実施するが、今回、試験的に方向の異なるふたつのアンテナを使用し、それぞれふたつの周波数で受信を行うことで地上デジタル放送波の反射体の分布を変更し、水蒸気量推定の面的分布の測定可能性に関して検討を実施した。

4. 考察

今回の測定結果ではふたつのアンテナのビーム幅がかなりブロードなことも有り、明瞭に水蒸気量の面的分布を捉えることができていない。受信アンテナのビームを鋭くする方法としては設置場所を少し変えた複数のアンテナで記録された複素受信信号を数値的に足し合わせるときに位相を考慮することでビームを合成するデジタルビームフォーミングが利用可能と考えられるので、その方法での解析可能な実験データの取得を今後検討する。

5. まとめ

名古屋大学宇宙地球環境研究所の屋上で、瀬戸デジタルタワーから送信されている地上デジタル放送波を用いて面的水蒸気量推定を試みた。今回使用した受信用アンテナはビームが鋭くないアンテナで十分な方位分解能が得られず、面的な水蒸気量推定には不十分であった。

6. 引用文献

川村ら、”地上デジタル放送波を用いた水蒸気量推定手法の研究開発”, 情報通信研究機構研究報告 Vol. 65, No. 1, pp.15-19, 2019年9月.

7. 成果発表

花土ら, ″地デジ放送波を用いた地表付近の水蒸気量観測-首都圏観測網の整備と九州実証実験への準備状況-″, 日本気象学会2020年度秋季大会, オンライン開催, 2020年10月27日
花土ら, ″地デジ放送波を用いた地表付近の水蒸気量観測-山岳域での反射法の利用について-″, 日本気象学会2020年度秋季大会, オンライン開催, 2020年10月28日

（別紙様式４－２）

中性大気風によるスポラディックE層の生成過程の解明
Generation process of the sporadic E layer by the neutral wind

齊藤昭則、京都大学・大学院理学研究科

目的

中性大気風によって高度150km-100kmの領域に生成されるスポラディックE層(Es層)の生成過程に関して、数値モデルと観測データの比較により解明を行なった。Es層は突発的に発生する高電子密度層であり、中性大気が支配的な高度領域からプラズマ大気が支配的な高度領域の遷移領域に発生するため、その生成過程は複雑であり、その名称が示すsporadic(散発的な、不定期な)振る舞いは十分に理解されていない。そこで、3次元数値モデルを開発し、その結果と観測との比較により、その物理過程の解明を進めた。

方法

過去の研究より、中性大気風の高度シアにより金属イオンの集積が起こることが明らかになっており、その金属イオンの集積・散逸に関する3次元数値モデルの開発と、現実的な中性大気風を与えた数値モデルの結果と共鳴散乱ライダーによる金属イオンの高度分布との比較を行なった。中性大気風としては全大気モデルであるGAIAモデルの中性大気風を用いた。GAIAモデルでは下層大気は再解析データをナッジングすることにより、日々の下層大気における変動を取り込んでおり、中層大気、超高層大気の現実の日時での変動の再現を行なっている。Es層として比較する観測データとしては国立極地研究所が実施したCaイオンの共鳴散乱ライダーを用いた。

結果・考察

2014年8月から2016年8月までに、共鳴散乱ライダーの観測が実施された6晩について、数値モデルによるCaイオン3次元分布の時間変化と、ライダーによるCaイオン高度分布の時間変化との比較を行なった。ライダーによる高度分布の時間変化においてEs層は、(1)時間とともに高度110km程度から100km程度まで下降する層の有無(2)高度100km付近で停滞し時間による高度の変化が少ない層の有無、の2点で特徴付けられるが、6晩においてこれら２つの特徴は様々な様相を示し、Es層の日々変動の強さを示した。数値モデルによるEs層の構造でも、これら2つの層の振る舞いについて、観測に対応した特徴が再現されており、Es層の日々の変化の大部分の構造が中性大気の変動によって作られていることが明らかになった。ただし、観測には現れるが、数値モデルには現れない付加的なEs層も見られ、これは数値モデルに含まれない大気重力波のような小さなスケールの風構造によるものと推定される。

まとめ

中性大気を入力とした3次元モデルによる金属イオン分布の結果は観測と高い一致を示した。これは、数値モデルを用いたEs層の発生

予測への可能性を示す結果であるが、今後、小規模な風や電場など現在のモデルには含まれていない過程も取り込むことで、より高い再現が期待できる。

成果発表

Andoh, S., Saito, A., Shinagawa, H., Ejiri, M.K. and Miyazaki, S., Three-dimensional ionospheric simulation of the Es layer: Physical mechanism of the sporadic appearance, JpGU -AGU Joint Meeting 2020, オンライン, 2020年7月12日-15日

安藤慧, 齊藤昭則, 品川裕之, 中緯度スポラディックE層の発生に及ぼす電気力学的影響に関する数値シミュレーション, 地球電磁気・地球惑星圏学会第148回 総会・講演会, オンライン, 2020年11月2日

Andoh, S., Saito, A., Shinagawa, H. and Ejiri, M.K., First simulations of day-to-day variability of mid-latitude sporadic E layer structures, American Geophysical Union fall meeting 2020, オンライン, 2020年12月1日-17日

Andoh, S., Saito, A., Shinagawa, H. and Ejiri, M.K., First simulations of day-to-day variability of mid-latitude sporadic E layer structures. Earth Planets Space 72, 165 (2020). https://doi.org/10.1186/s40623-020-01299-8

（別紙様式４－２）

GC-精密キャピラリー分取装置を用いた有機化合物の新たな年代測定法の開発

Developments of new dating protocols on organic molecules using GC-capillary fraction collector

内藤裕一、名古屋大学・博物館

コロナ禍のため研究を実施できなかった。

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

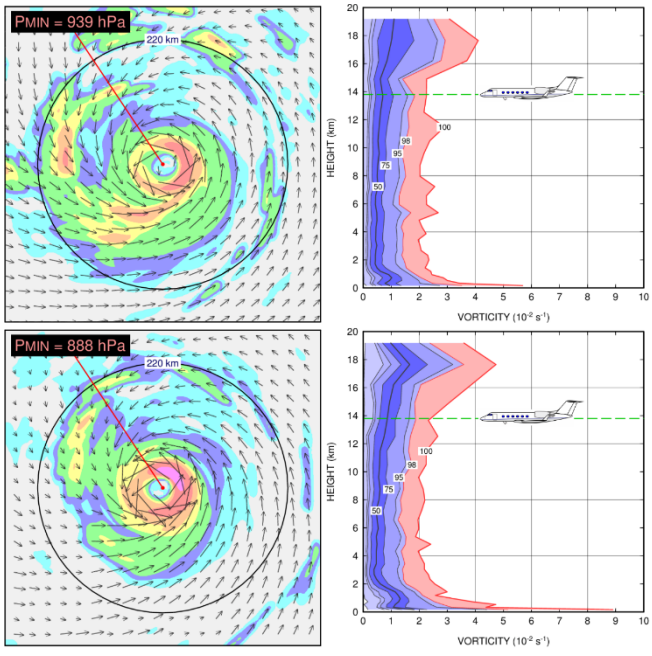
航空機を用いて台風の強度を直接観測するためのプロジェクト「T-PARCII」が、名古屋大学を主体とする科研費共同研究として実施されており、猛烈な勢力の台風の中心を貫通する観測に成功している。地球温暖化に伴う海水温上昇により台風の勢力が増強する可能性が指摘されている今日において、今後は「スーパー台風」とよばれる中心が900hPaを下回る台風の貫通観測も必要だと考えられるが、飛行の安全性についてはまだ確証が得られていない。対流圏上層における飛行に影響を与える現象として、強い上昇流を伴う積乱雲(通称”対流バースト”)に伴う鉛直流や、そこから励起される内部重力波による振動、上部アウトフローに伴う鉛直シ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。中心気圧が939hPaの発達途中の段階（図の上段）と成熟段階（図の下段）において、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、各高度における頻度分布を作成した（右段）。どちらの段階でも、渦度の極大は高度17km付近のアウトフロー層と地表付近に現れており、成熟段階において渦度が強まっていることがわかる。一方、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おり、成



熟段階においても渦度がほとんど強まっていないことがわかる。つまり、これまで実績のある高度14km付近を飛行する場合、非常に強い勢力でもスーパー台風でも同程度の揺れで飛行できると考えられる。

なお、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。

今後はさらに異なる台風のシミュレーション結果を用いて検討を進める予定である。

成果発表（論文）

Tsujino, S., K. Tsuboki, H. Yamada, T. Ohigashi, K. Ito, and N. Nagahama, 2021: Intensification and Maintenance of a Double Warm-Core Structure in Typhoon Lan (2017) Simulated by a Cloud-Resolving Model, *J. Atmos. Sci.*, **78**, 595-617. DOI: https://doi.org/10.1175/JAS-D-20-0049.1

成果発表（口頭発表）

山田 広幸, 2020: 台風の航空機観測 ～米国の流儀、日本の挑戦～, 琉球大学島嶼防災研究センター第 14 回防災・環境シンポジウム ―安全・安心への取り組み―, 琉球大学 50 周年記念会館, 12 月 17 日, 口頭発表.

細川 椿, 山田 広幸, and Ben Jong-Dao Jou, 2020: 台風 Maria (2018)のレインバンドに関する地形性降雨強化の解析, 日本気象学会秋季大会, オンライン開催, (10 月 25-31 日), オンライン発表.

平野 創一朗, 伊藤 耕介, 山田 広幸, 2020: 2018 年台風第 24 号の眼の領域における深い対流雲の出現, 日本気象学会秋季大会, オンライン開催, (10 月 25-31 日), オンデマンド発表.

（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
Estimation of deposition nitrogen origin from atmosphere using nitrogen isotope ratio on mountain stream water in Yaku Island

篠塚賢一、福岡工業大学・情報工学部

研究目的

近年、日本の森林では、大気からの窒素沈着が増大し、森林の窒素循環メカニズムが変化している。そのため、通常低濃度の硝酸イオン(NO_3^-)流出しか見られなかった森林渓流水においても高濃度のNO_3^-流出が見られている。さらに、近隣に人為的な窒素負荷源が存在しない、山岳域や島嶼部においても渓流水中のNO_3^-濃度の上昇がみられている。国内でも稀な高い標高を持つ山岳島嶼の屋久島でも、1990年から2010年にかけて渓流水中のNO_3^-濃度が増加傾向にある(Nakano et al., 2001; 海老瀬・永淵, 2002)。これは、大陸からの窒素酸化物が運ばれ、大気からの窒素沈着の増大が渓流水質の変化に影響を及ぼしていると考えられる。

屋久島の島の直径は30kmであり、標高1,931mの宮之浦岳をはじめ1,800m以上を7座持つことから、島内を流れる渓流は急峻な地形を一気に流れる渓流が多数存在している。このように、急勾配な渓流、日本の中でも高い降水量、風化した花崗岩流域を持つ屋久島の渓流水に含まれるNO_3^-は、陸上生物の影響を受にくく、雨の成分を多く含んだ水が渓流水として流出しやすいと考えられる。そのため、屋久島のような急勾配な地形を持つ渓流水は、大気からの化学成分の沈着に対して感受性が高い可能性が高い。

既往の同位体比分析では、窒素・酸素同位体比($\delta^{15}N$, $\delta^{18}O$)を用いた解析手法が用いられてきた。大気からの窒素沈着, 生物の硝化による硝酸の供給, 同化・脱窒による窒素除去といった、森林の窒素循環プロセスを$\delta^{15}N$, $\delta^{18}O$値のみで起源を特定することは困難であった。しかし、既往の測定である$\delta^{15}N$, $\delta^{18}O$に$\Delta^{17}O$の安定同位体比分析手法を加えることにより大気からの窒素沈着を特定することができるようになった。渓流域でのNO_3^-濃度の増加影響を大気と陸域のプロセス起源で生じたものを特定することができる。

本研究では屋久島の渓流水において、大気生成由来のNO_3^-割合を算出し、大気-陸域で生成されるNO_3^-の起源を$\Delta^{17}O$の安定同位体比分析手法を用いて明らかにする。急勾配から緩勾配を流れる大小さまざまな渓流を比較することにより、地形の違いが渓流水中の大気由来のNO_3^-の割合に与える影響を評価する。

・研究方法

屋久島の試料水に含まれるNO_3^-中の$\delta^{15}N$, $\delta^{18}O$, $\Delta^{17}O$の分析を行う。今年度は、COVID-19の影響と島内で感染者が出たため、実際に渡航しサンプリングを行うことが困難であった。そのため、2017年に採取した屋久島試料、福岡近隣の山岳渓流水、山岳地下水、樹氷、雪の試料分析を行った。また、2021年の屋久島の試料は、冬季の北部渓流水試料を登山家に依頼した。これらの試料を福岡工業大学にあるイオンクロマトグラフィーで分析を行い、NO_3^-濃度を測定した。その後、名古屋大学に冷蔵郵送しNO_3^-中の$\delta^{15}N$, $\delta^{18}O$, $\Delta^{17}O$の分析を質量分析計(CF-IRMS)で測定を行った。

・研究結果と考察

2017年に採取した屋久島試料の結果からは、2018, 2019年に同地点で継続的に採取、分析を行っている値に近い値を示した。加えて、渓流本流(2.5~4.0‰)では、支流部(1.0~2.7‰)とは異なり、$\Delta^{17}O$の値が高くなる傾向を示した。これは、本流の集水域の地形が急勾配であることが原因と考えられる。福岡近隣の渓流域では窒素飽和状態の森林であることが知

られている。これらの渓流水中のNO_3^-濃度は高い傾向（2.0~6.1‰）を示すが、$\Delta^{17}O$の値は、先行研究の渓流域と類似した値を示した(Nakagawa et al., 2018)。しかしながら、湧水は高い値を示した。本来、地下水に近い値をとる湧水の$\Delta^{17}O$値は低い値を示すが、本調査地では高い値を示すことが明らかになった。この原因については、今後解析を行っていく。樹氷、雪の$\Delta^{17}O$の値は、大気で生じたNO_3^-が大半を占めているため、$\Delta^{17}O$の値は高い傾向(17.6~23.5‰)を示した。また、2021年の屋久島の北部渓流域試料は、既往の報告にある渓流水中の$\Delta^{17}O$値と比較して高い傾向(2.2~6.6‰)を示した。2017年の西部域の試料よりも高い値を示した。屋久島は高い降水量と急勾配地形であるため、大気を起源に持つNO_3^-が高い割合で含まれていることが考えられる。今年度の測定で、得られた結果を元に継続的なサンプリング調査と分析を行っていく。

・引用文献

1. Nakano, T., Okumura, M., Yamanaka, M., atake, K. Geochemical characteristics of acidic stream water on Yakushima Island, a world natural heritage site. Water. Air. Soil Pollut. 130, 869–874 (2001).
2. 海老瀬　潜一, 永淵　修, 川村　裕紀. 東シナ海・日本海側の湿性沈着負荷と高山・離島渓流群水質の関係. 環境科学学会誌. 32, 125-140 (2019).
3. Nakagawa, F., Tsunogai, U., Obata, Y., Ando, K., Yamashita, N., Saito, T., Uchiyama, S., Morohashi, M., & Sase, H. (2018). Export flux of unprocessed atmospheric nitrate from temperate forested catchments: a possible new index for nitrogen saturation. BIOGEOSCIENCES, 15(22), 7025–7042. https://doi.org/10.5194/bg-15-7025-2018

・成果発表

篠塚賢一＊, 永淵修, 中澤暦, 角皆潤, 中川書子, 手塚賢至. 渓流水の窒素同位体比からみた硝酸性窒素の起源推定（口頭発表）第８回屋久島ソサエティー　2020年12月12日 web開催.

５.奨励共同研究 目次詳細

（所属・職名は2021年3月現在）

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
西本　将平	防衛大学校(総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工	理工学部地球海洋学科	大学院博士課程	太陽フレア放射スペクトル予測モデルの構築	172
吹澤　瑞貴	東北大学	理学研究科	大学院博士課程	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	大学院博士課程	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	177

（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2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]。最後に、前述の手法で再現した太陽フレア放射スペクトルと観測値との比較検証を行った[5]。

研究結果

観測データの統計解析から、EUVフレア放射の時間発展がラインごとに異なることを確認した。特に、Feラインはフレアループの冷却に関連しており、その持続時間はフレアループの幾何学的特徴によって決定されることが分かった。したがって、太陽フレア放射スペクトルを正確に導出するには、フレアループの幾何学的特徴に応じてフレアループ内の放射プラズマの時間発展を再現することが重要である。

1次元流体力学計算とCHIANTI原子データベースを用いて、フレアループ内の放射プラズマの空間分布を含めた時間発展を再現することによって、フレア時間積算放射強度(エネルギー)(図1)と立ち上がり時間(図2)を再現することに成功した。

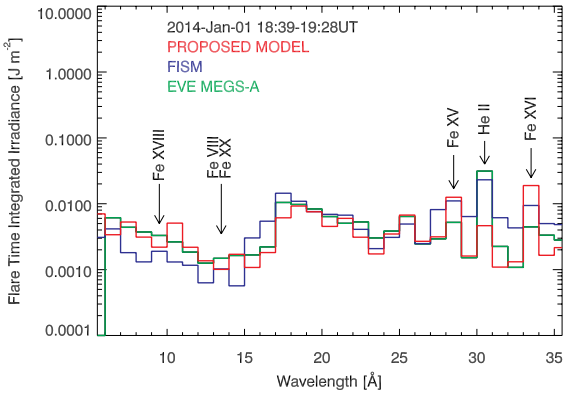


図1. 2014年1月1日に発生したM9.9クラスフレアの積算スペクトル．積算時間はフレア開始時から終了時間.

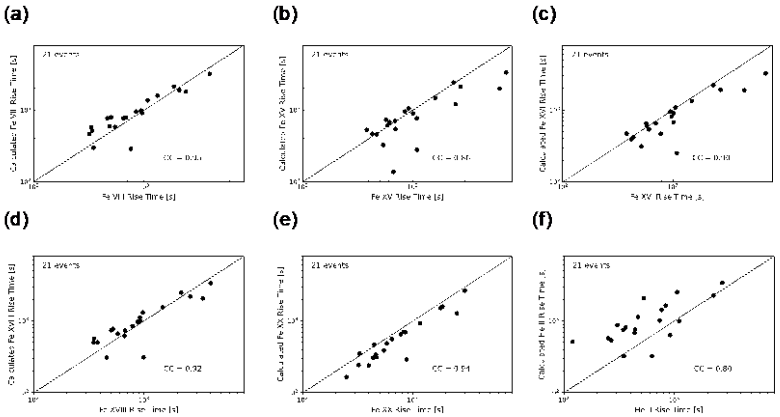


図2. 各EUVフレアライン((a) Fe VIII, (b) Fe XV, (c) Fe XVI (d) Fe XVIII, (e) Fe XX, (f) He II)の立ち上がり時間の計算値と観測値の比較.

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

成 果 論 文

1. Kawai, T., Imada, S., Nishimoto, S., Watanabe, K., and Kawate, T. (2020) Nowcast of an EUV dynamic spectrum during solar flares. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 205:105302
2. Nishimoto, S., Watanabe, K., Imada, S., Kawate, T., and Lee, K.-S. (2020) Statistical and Observational Research on Solar Flare EUV Spectra and Geometrical Features. Astrophysical Journal, 904:31
3. Nishimoto, S., Watanabe, K., Imada, S., Kawate, T., and Lee, K.-S. (2021) Validation of Extreme Ultraviolet Emission Spectra During Solar Flare. Earth, Planets and Space, 73:79
4. Watanabe, K., Jin，H., Nishimoto，S., Imada，S., Kawai，T., Kawate，T., Otsuka，Y., Shinbori, A., Tsugawa, T., Nishioka, M. (2021) Model-based reproduction and validation of the total spectrum of solar flare and their impact on the global environment at the X9.3 event of September 6, 2017. Earth, Planets and Space, accepted

学 会 発 表

1. Shohei Nishimoto, Kyoko Watanabe, Shinsuke Imada, Toshiki Kawai, Tomoko Kawate, Hidekatsu Jin, Kyoung-Sun Lee, “Validation of EUV dynamic spectra and their impact on the ionosphere”, JpGU Meeting 2020, Virtual, 2020 July 12 – 16
2. 西本将平, 渡邉恭子, 河合敏輝, 今田晋亮, 川手朋子, “数値モデルによる太陽フレア EUV 放射スペクトル観測の検証”, 日本天文学会 2020 年秋季年会, 弘前大学 (オンライン開催), 2020 年 9 月 8 – 10 日
3. Shohei Nishimoto, Kyoko Watanabe, Toshiki Kawai, Shinsuke Imada, Tomoko Kawate, Kyoung-Sun Lee, “Validation of Extreme ultraviolet Emission Spectra During Solar Flares”, 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, 2020 年 11 月 1 – 4 日
4. Kyoko Watanabe, Hidekatsu Jin, Shohei Nishimoto, Shinsuke Imada, Toshiki Kawai, Tomoko Kawate, “Reproduction and validation of flare spectra and their impact on the global environment at the X9.3 event of September 6, 2017”, 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, 2020 年 11 月 1 – 4 日
5. Shohei Nishimoto, Kawai Toshiki, Kyoko Watanabe, Shinsuke Imada, “Estimation of solar flare loop length by machine learning”, 2020 AGU fall meeting, Online, 2020 December 1 – 17
6. Kyoko Watanabe, Hidekatsu Jin, Shohei Nishimoto, Shinsuke Imada, Kawai Toshiki, Tomoko Kawate, “Reproduction and validation of flare spectra and their impact on the global environment”, 2020 AGU fall meeting, Online, 2020 December 1 – 17
7. 西本将平, 河合敏輝, 渡邉恭子, 今田晋亮, “機械学習を用いたフレアループ長推定の検証”, 太陽研連シンポジウム, オンライン開催, 2020 年 12 月 21 – 22 日
8. 西本将平, 河合敏輝, 渡邉恭子, 今田晋亮, “機械学習を用いたフレアループ長の推定”, 日本天文学会 2021 年春季年会, オンライン開催, 2021 年 3 月 16 – 19 日
9. 渡邉恭子, 荒尾宗睦, 西本将平, 峠千尋, 西岡未知, “太陽フレア放射スペクトルとデリンジャー現象の関係”, 日本天文学会 2021 年春季年会, オンライン開催, 2021 年 3 月 16 – 19 日
10. 渡邉恭子, Louise Harra, 今田晋亮, 川手朋子, 原弘久, 清水敏文, 三好由純, 西谷望, 掘智昭, 家田章正, 河合敏輝, 陣英克, 峠千尋, 西本将平, ほか Solar-C WG, “Solar-C(EUVST)/SoSpIM の開発状況と科学課題の検討”, 日本天文学会 2021 年春季年会, オンライン開催, 2021 年 3 月 16 – 19 日

（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2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 (e.g., Nishimura et al., 2010)。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ことができる。Fukizawa et al. (2020)ではあらせ衛星によって観測されたLBC波とECH波がそれぞれ約9 keV以上と約5 keVの電子のloss cone外に対するloss cone内の微分フラックスの比 (loss cone filling ratio) に相関関係があるイベントが報告された。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電子の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に基づき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 (LEP-e) によって観測されたloss cone filling ratioの散布図をLEP-eの観測エネルギー毎に作成する。そして、loss cone filling ratioをそれぞれの波動の振幅の関数とした回帰直線を求め、その傾きが正となるエネルギー帯が3つのプラズマ波で異なるか確かめることで、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する。また、loss cone filling ratio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loss coneへの強い拡散がどれくらいの頻度で発生し得るか調査する。解析期間は2017年3月24日から2020年4月18日とした。

【研究結果・考察】

磁力線平行方向と反平行方向のloss cone filling ratioをそれぞれの波の振幅の関数として求めた回帰直線の傾きのエネルギー依存性を図１に示す。この図から、それぞれの波に対する回帰直線の傾きが正となるのは、LBC波（黒線）は数keV以上、UBC波（青線）は数keV付近、ECH波（赤線）は数百eVから数keVであることが分かった。この結果は、それぞれの波が一部重なりながら異なるエネルギー帯の電子をロスコーンに散乱することを示唆する。

また、図2にLBC波とECH波の振幅（B_{LBC}, E_{ECH}）が大きい時（B_{LBC} > 50 pT, E_{ECH} > 1 mV/m）のloss cone filling ratio (LCFR) がある閾値を超える（LCFR > 0.5 または LCFR > 0.9）サンプルの割合を示す。黒線はL値が4から6の範囲、赤線はL値が6より大き

い範囲のデータを使用した。今回の解析では、あらせ衛星による高域混成共鳴波の観測から電子密度を推定し、それぞれの波動の共鳴条件を考慮するのが難しかったため、LCFRの閾値が0.9の時は強い拡散が起きる割合が低くなっている。但し、閾値を0.5に緩めると強い拡散の発生割合は高くなった。この図から、強い拡散が起きる割合は、数百eVから数keVのエネルギー帯ではLBC波よりECH波の方が大きく、数keV以上のエネルギー帯ではECH波よりLBC波の方が大きいことがわかった。この結果は図1の結果とも整合的である。また、ECH波による強い拡散はL値が大きいところで発生する割合の方が高く、図1で回帰直線の傾きが正の値を持つ数百eVのエネルギー帯での強い拡散の発生割合は約70%であることがわかった。この結果は、ECH波がL値の大きいところで数百eV帯の電子をロスコーン内に拡散し、ディフューズオーロラ発光に寄与している可能性が高いことを示唆する。

本研究成果は、昨年度の本支援を受けて実施し今年度出版されたFukizawa et al. (2020, Geophysical Research Letters) の結果を支持するものであり、今後投稿論文にまとめる予定である。

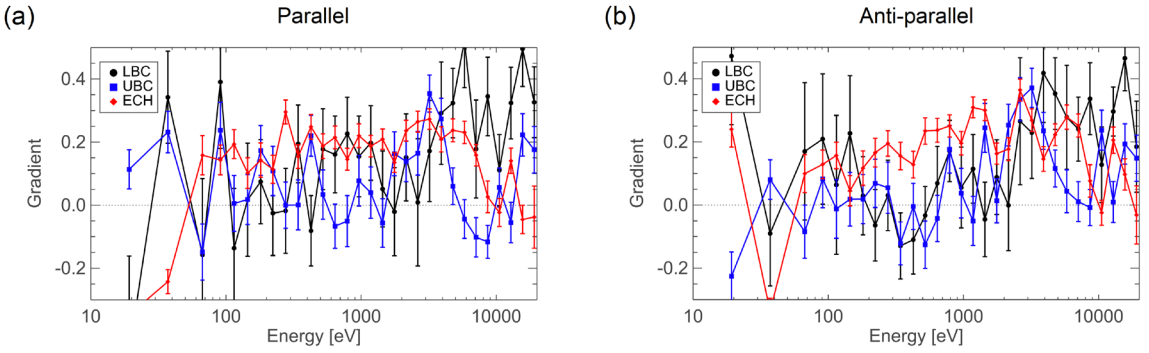


図 1 (a) 平行方向と (b) 反平行方向の loss cone filling ratio を LBC, UBC, ECH 波の振幅の関数として求めた回帰直線の傾きのエネルギー依存性。

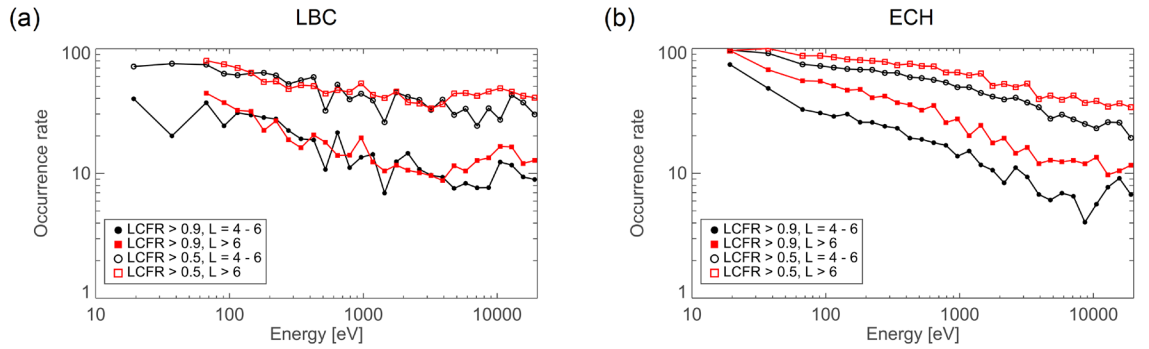


図 2 LBC 波 (左) と ECH 波 (右) の振幅が大きい時の loss cone filling ratio がある閾値 (0.5 または 0.9) を超える割合。

【引用文献】

Fukizawa, M., Sakanoi, T., Miyoshi, Y., Kazama, Y., Katoh, Y., Kasahara, Y., et al. (2020). Pitch-Angle Scattering of Inner Magnetospheric Electrons Caused by ECH Waves Obtained With the Arase Satellite. *Geophysical Research Letters*, *47*(23), 1–9. https://doi.org/10.1029/2020GL089926

Nishimura, Y., Bortnik, J., Li, W., Thorne, R. M., Lyons, L. R., Angelopoulos, V., et al. (2010). Identifying the driver of pulsating aurora. *Science*, *330*(6000), 81–84. https://doi.org/10.1126/science.1193186

【研究成果】

Fukizawa, M., Sakanoi, T., Miyoshi, Y., Kazama, Y., Katoh, Y., Kasahara, Y., et al. (2020). Pitch-Angle Scattering of Inner Magnetospheric Electrons Caused by ECH Waves Obtained With the Arase Satellite. *Geophysical Research Letters*, *47*(23), 1–9. https://doi.org/10.1029/2020GL089926

Fukizawa, M., Sakanoi, T., Miyoshi, Y., Kazama, Y., Katoh, Y., Kasahara, Y., et al., Pitch-angle scattering of inner magnetospheric electrons caused by ECH waves obtained with the Arase satellite. *ERGサイエンス会議*, Online, 2021/2/10 (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・博士課程2年
土屋史紀、東北大学・大学院理学研究科・准教授

【研究目的】

地球双極子磁場に相対論的エネルギーを持つ電子が捕捉されている領域である放射線帯は、太陽風から磁気圏へのエネルギー流入により発生する磁気嵐時に劇的なフラックス変動が起こる。放射線帯電子の加速・消失過程の双方とも、メカニズムは解明途上にあり、原因となる物理過程の解明に向けた国際的な研究が進行中である。この中で、磁気圏で発生するプラズマ波動である電磁イオンサイクロトロン（Electromagnetic ion cyclotron: EMIC）波動は、相対論的電子を効果的に散乱し、大気に降下消失させるため、放射線帯外帯を消失させる要因の一つと考えられている。

申請者は、地上観測に基づき EMIC 波動と電子降下の統計解析を行ってきた。解析結果から、発達したリングカレントとプラズマ圏の重なる磁気圏夕方側の領域で EMIC 波動が励起されるとともに、電子が効率よく散乱されていることが予想される。本研究では、統計解析から予測される状況とグローバルな磁気圏の状況に矛盾がないか検証するために、統計解析で得られた EMIC 波動による電子降下イベントの中の、地上-衛星同時観測イベントの詳細解析を行った。

【研究結果】

2017 年 4 月 19 日 03:30UT から 06:00UT に Van Allen Probe A で EMIC 波動が観測された。この時間帯は小規模の磁気嵐の主相から回復相初期（SYM-H_{min}=-34nT）、サブストーム中（AE＝828nT）であった。Van Allen Probe A は 19-22MLT、L=3-6 に位置し、EMIC 波動が観測されている間、約 1-60keV のプロトンのフラックスが増大していた。UHR 周波数の観測から、この時間帯 Van Allen Probe A はプラズマ圏を通過していた。これは、プラズマ圏とリングカレントが重なる領域で EMIC 波動が発生していたことを示している。このとき、Van Allen Probe A の footprint は北米に位置し、PWING や CARISMA の誘導磁力計で IPDP タイプの EMIC 波動が観測されていた。また、標準電波観測と POES では高エネルギー電子降下が観測されていた。Van Allen Probe A で観測された EMIC 波動と共鳴するプロトンのエネルギーを計算したところ、フラックスが増大していたプロトンのエネルギーと矛盾のない結果が得られた。このことから、磁気嵐中のサブストームに、プラズマ圏内に注入されたリングカレントが IPDP タイプの EMIC 波動を励起し、この EMIC 波動が電子降下を引き起こしたと考えられる。

今後は、プロトンのピッチ角分布について、EMIC 波動が発生している時間帯としていない時間帯で違いはあるかどうかについて、詳細解析を行う予定である。

【成果発表】

[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、栗田伶、Jun Chae-Woo、Martin, Connors、Statistical study of EMIC waves and energetic electron precipitation: ground-based magnetometer and subionospheric VLF/LF radio measurements at subauroral latitude、JpGU-AGU Joint Meeting 2020, オンライン, 2020 年 7 月 12-15 日（ポスター)

[2] 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、栗田伶、Jun Chae-Woo、Martin, Connors、Statistical Study of EMIC Wave-Related Electron Precipitation: Ground-Based Magnetometer and Subionospheric VLF/LF Radio Measurements、VERSIM 2020 Virtual Meeting、オンライン、2020 年 11 月 17 日 (ポスター)

６．研究集会 目次詳細

（所属・職名は2021年3月現在）

（注1）：新型コロナウイルスの影響で2021年度に延期

（注2）：新型コロナウイルスの影響で中止
＊2021年度に延期しました課題は実施後掲載

研究代表者 Principal Investigator	所属機関 Affiliation	所属部局 Department	職名 Position	研究集会名 Workshop Title	頁 Page	備考 Remarks
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	主任研究開発員	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	179	
塩川　和夫	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授	超高層大気・電磁気圏研究の成果公表のための論文執筆ワークショップ	181	（注2）
徳丸　宗利	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授	太陽圏・宇宙線関連の共同研究成果報告会	182	
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	准教授	実験室・宇宙プラズマにおける波動励起と粒子加速・加熱	185	
Siswanto　Eko	海洋研究開発機構	Earth Surface System Research Center	Researcher	第8回アジア海色ワークショップ「第17回日韓海色ワークショップ」	187	
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	助教	シンポジウム　－　太陽地球環境研究の現状と将来	188	
齋藤　尚子	千葉大学	環境リモートセンシング研究センター	准教授	第25回大気化学討論会	192	
青木　輝夫	情報・システム研究機構　国立極地研究所	国際北極環境研究センター	特任教授・副センター長	ニーオルスンにおける雲・エアロゾル・放射観測に関する研究集会	194	
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	195	
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	197	
遠藤　貴洋	九州大学	応用力学研究所	准教授	東シナ海の物質循環ならびに基礎生産に関わる物理・化学・生物過程	199	（注2）
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	200	（注2）
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」	201	（注2）
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21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	202	
平原　聖文	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授	宇宙地球結合系における物理機構・素過程に関する統合的研究形態・体系の構築・推進	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	
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	彗星大気・プラズマ研究集会	207	（注2）
飯田　佑輔	新潟大学	自然科学研究系	准教授	太陽観測データにおける特徴検出ワークショップ2020	208	（注2）

研究代表者 Principal Investigator	所属機関 Affiliation	所属部局 Department	職名 Position	研究集会名 Workshop Title	頁 Page	備考 Remarks
宮本　佳明	慶應義塾大学	Faculty of Environment and Information Studies	Assistant Professor	台風セミナー2020	209	
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	211	
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	研究員	太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望	212	
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	215	
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)	217	
坂井　亜規子	名古屋大学	大学院環境学研究科	准教授	氷河融解を加速する光吸収性不純物に関する研究	218	
銭谷　誠司	神戸大学	都市安全研究センター	特命准教授	STE シミュレーション研究会	220	
清水　敏文	宇宙航空研究開発機構	宇宙科学研究所	准教授	太陽研連シンポジウム	221	
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	222	(注2)
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	223	
南　雅代	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授	第33回(2020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	225	
三澤　浩昭	東北大学	大学大学院理学研究科	准教授	第22回　惑星圏研究会	226	
三好　由純	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授	ジオスペース変動現象の予測に関する研究集会	228	(注2)
桂華　邦裕	東京大学	大学院理学系研究科地球惑星科学専攻	准教授	内部磁気圏研究会:放射線帯粒子の加速と消失	229	
篠原　育	宇宙航空研究開発機構	宇宙科学研究所	准教授	複数衛星観測に基づくジオスペースのプラズマ・高エネルギー粒子ダイナミクス研究会	231	(注2)
赤堀　卓也	自然科学研究機構国立天文台	水沢VLBI観測所	特任研究員	次世代の宇宙地球環境研究に向けた電波観測技術検討会	232	
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	233	
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	複数地点観測に基づく内部磁気圏のプラズマ波動解析ワークショップ	235	(注2)
田島　宏康	名古屋大学	ISEE	Professor	宇宙プラズマにおける粒子加速ワークショップ	236	(注2)
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	237	
加藤　千尋	信州大学	学術研究院理学系	教授	太陽地球環境と宇宙線モジュレーション	239	

研究代表者 Principal Investigator	所属機関 Affiliation	所属部局 Department	職名 Position	研究集会名 Workshop Title	頁 Page	備考 Remarks
高橋　暢宏	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授	JpGUセッション「航空機・無人機観測による地球惑星科学の推進」および関連会合の開催	242	
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	244	
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	245	
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	248	（注2）
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	249	
細川　佳志	東北大学	ニュートリノ科学研究センター	特任助教	第5回 YMAP秋の研究会	251	
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	252	
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)	254	
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 —ブレーンストーミング：超小型衛星でのSDGs海洋観測仕様—	255	（注2）
寺本　万里子	九州工業大学	大学院工学研究院	助教	宇宙天気、電離圏プラズマ、大気物理分野における超小型衛星の利用	256	（注2）
古市　尚基	水産研究・教育機構	水産工学研究所	主任研究員	海洋乱流に関する観測およびモデリング研究集会	257	
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	国際シンポジウム：「分野を越えたデータの国際連携」	259	
相木　秀則	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	准教授	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	261	
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	265	
成行　泰裕	富山大学	教育学系	准教授	惑星間空間プラズマにおける波動現象	268	
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	272	

（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。このアルゴリズムは、まず、マイクロ波放射計から降水強度をリトリーバルする。次に、このデータを可視赤外放射計のデータを用いて移流と強度補正をすることで、高い時空間分解能の降水強度を推定する。

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2021年3月15日（月）～16日（火）に、オンライン形式（Zoom）で開催した。今回は78名が参加した。2019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。

2019年度に名古屋大学で開催した研究集会の参加者は59名であったので、今回の研究集会では、参加者の増加となった。これはオンライン形式により、移動時間や旅費が不要で参加できるメリットが、参加者の増加の要因として挙げられる。米国からも参加者がいたのはオンライン形式の利点である。ま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。参加者有志によるオンライン懇親会もRemo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30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）GSMaP データを用いた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

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。来年度に予定されている DPR や GSMaP のバージョンアップに向けた開発内容について、7 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 7 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。今回の研究集会では特に、DPR で初めて実現した中緯度観測を活用した研究が 7 件と目立ち、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、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２件の発表があった。

以上

（別紙様式６－２）

超高層大気・電磁気圏研究の成果公表のための論文執筆ワークショップ
Paper-writing workshop for studies of upper atmosphere, ionosphere, and magnetosphere

塩川和夫　名古屋大学宇宙地球環境研究所

コロナウイルスの拡大のため、本ワークショップは開催を中止した。

（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 heliopshere and cosmic rays

徳丸宗利、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

本研究集会の目的は、太陽圏・宇宙線分野のISEE共同研究について、その進捗状況や成果を報告し、議論することである。太陽圏・宇宙線分野の共同研究はISEEのミッションを達成するための重要な要素であるが、それらの研究者は地球電磁気学会・天文学会・物理学会といった異なる研究コミュニティに広く分布しており、共同研究の活動状況を見渡すことは難しい。本研究集会を開催することで異なる研究コミュニティの研究者が各研究課題の活動状況を把握することが可能となる。

本研究集会は、令和3年2月18日～19日にISEE研究集会「惑星間空間プラズマにおける波動現象」（代表者：成行泰裕）および「太陽地球環境と宇宙線モジュレーション」（代表者：加藤千尋）と合同でオンライン（Zoom）にて開催した。合同研究集会全体の参加者は54名（延べ101名）であった。以下に研究会のプログラムを添付する。オンラインであったが、従来と同程度の参加者があり、活発な討論が行われた。

2021年2月18日（木）

9:00-9:25 太陽活動極小期における宇宙線観測と宇宙天気・宇宙気候（仮題）
宗像一起（信州大）他

9:25-9:50 2018年8月の CME イベントの解析 4
木原渉（信州大），加藤千尋，宗像一起，高柚季乃，片岡龍峰，門倉昭

9:50-10:15 宇宙線反粒子観測実験GAPSと太陽モジュレーション
小財正義（JAXA） for the GAPS collaboration

休憩15分

10:30-11:15 TeV 領域宇宙線異方性の太陽圏磁場による変調
T. K. Sako （ICRR） for the Tibet ASgamma Collaboration

11:15-12:00 ALPACA実験による宇宙線異方性観測の展望
横江誼衡(ICRR) 他ALPACA collaboration

昼食1時間

13:00-13:45 宇宙線空気シャワー観測装置の惑星間空間擾乱の観測への利用方法の研究
野中敏幸（ICRR），大嶋晃敏，小島浩司，柴田祥一，John N. Matthews，徳丸宗利，藤末紘三，松原豊，宗像一起，矢田浩平

13:45-14:10 GRAPES-3宇宙線望遠鏡観測により得られた宇宙線強度異方性天球面２次元構造について（仮題）
小島浩司（愛工大）他GRAPES-3Collaborator

休憩10分

14:20-15:05 ISS搭載CALETによる５年間の軌道上観測の成果
鳥居祥二（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
15:05-15:30 CALETで観測された太陽変調の荷電依存性の研究
高柚季乃（信州大）、加藤千尋、宗像一起、浅岡陽一、鳥居祥二、赤池陽水、小林兼好、片岡龍峰、三宅晶子、他CALETチーム
休憩10分
15:40-16:05　2004年11月7日のX2.0のフレアに伴う太陽中性子崩壊陽子・電子の観測
村木綏(名大）、松原豊、柴田祥一、垥隆志、増田智、徳丸宗利、境孝祐、内藤統也、小井辰己、大嶋晃敏、V. Galicia, E. Ortiz, P. Miranda
16:05-16:20 太陽中性子・ガンマ線観測用超小型衛星NU-SONGSの開発現状と今後の展望について
宇佐見 雅己（名大）、野橋 大輝、山岡 和貴、田島 宏康、松下 幸司、伊藤 和也、稲守 孝哉、Ji Hyun Park、宮田 喜久子(名城大）
16:20-16:45 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
中澤 知洋（名大/KMI）、佐藤 光輝、佐藤 陽祐（北大）、榎戸 輝揚（理研）、田島 宏康（名大/ISEE）、和田 有希（理研）
16:45-17:10 はやぶさ2の突入カプセルのプラズマ化による電波放射の観測からの将来計画
野澤恵（茨城大学）

2021年2月19日（金）
9:00-9:55 地球フォアショックULF波動による高エネルギーイオンの拡散過程
松清修一（九大）、大塚史子、Arpad Kis
9:55-10:20 準垂直衝撃波における電子加速:PICシミュレーションとMMS衛星観測の比較
大塚史子（九大）、松清修一、岡光夫
休憩 15分
10:35-11:30 太陽風中の月ウェイク境界で起きるMHDからサイクロトロン周波数の３倍程度に広がる磁場変動の偏波について
中川朋子（東北工大）
11:30-11:55 大型の地磁気嵐の主原因となる太陽風磁場の構造
丸橋克英（NICT）
昼食 1時間5分
13:00-13:25 ボイジャー観測を用いた太陽圏ヘリオポーズ構造のMHD解析
鷲見治一（九大）、田中高史、松清修一
13:25-13:50 銀河宇宙線の太陽圏侵入過程に関する研究（仮題）
吉田光太郎（九大）、松清修一、鷲見治一、羽田亨
13:50-14:35 GRAPES-3大気ミューオン観測による宇宙天気研究
大嶋晃敏（中部大）
14:35-15:00 2000年から2020年までの宇宙線生成核種Be-7の大気中濃度変動について
櫻井敬久（山形大）、門叶冬樹、乾恵美子、森谷透、武山美麗、三宅芙沙
休憩 15分
15:15-15:40 Two types of the solar wind detected by spacecra

ft radio scintillations
千葉翔太（東大）
15:40-16:05 IPS CT とスペクトル解析についての考察
小島正宜（名大）
16:05-16:30 ISEE太陽風観測装置の次世代機の開発
岩井一正（名大ISEE）、徳丸 宗利、藤木 謙一

（別紙様式６－２）

実験室・宇宙プラズマにおける波動励起と粒子加速・加熱
Wave excitation and particle acceleration/heating in Lab. and Space plasmas

永岡賢一、核融合科学研究所・プラズマ加熱物理研究系

【研究集会の目的】

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。これまでの研究会形式の情報交換により、プラズマ現象、及び計測技術等にも多くの共通の課題が存在し、継続的情報交換や意見交換による新たな共同研究や連携が双方の研究を加速できる可能性が見出されてきた。そこで、2020年度は、サイクロトロン共鳴に関する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話題を中心に研究集会を構成し、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的とした。

【研究集会の概要】

コロナ禍による研究集会の開催が難しい状況が続き、例年より遅い3月の開催となった。昨年度は、あらせサイエンス会議・解析ワークショップとの合同開催で盛況な研究会を開催できたこともあり、今年度は、実験室側のプラズマ科学のフロンティア研究会（核融合科学研究所一般共同研究）との合同開催を企画した。合同研究会のプログラム（付録に添付）は、前半に本研究集会から話題提供し、サイクロトロン共鳴に関する実験室プラズマと地球磁気圏からの最新の研究状況の紹介が行われた。双方からの活発な議論が展開され、九州大学のQUEST装置で観測された電子サイクロトロン周波数以下の低周波揺動の励起に磁気圏側のコミュニティーからの興味が集中した。一方、実験室プラズマではどんな計測ができるのか？など、現象の理解を深めるための連携に関する議論も交わされた。実験室プラズマでも粒子計測は可能であり、分布関数を評価することも行われていることを紹介したが、高周波に対しては、波長以下の空間分解能を実現することが難しい点を指摘した。

その後、来日中のプリンストンプラズマ物理研究所のC.Z.Cheng博士による磁気リコネクションのモデリングに関する講演が行われ、大学院生にとっては英語の講演を聞くいい機会になったと考えている。

プログラムの後半は、プラズマ科学のフロンティア研究会側の企画によるチュートリアル講演「深層学習の核融合プラズマ計測への応用と実習」が行われ、参加者が自分のPCで機械学習を体験する

ことができた。また「ナノダイヤモンドによるリアルタイム局所温度センサーの原理と応用」に関する議論が行われた。最後に2020年APS John Dawson Award for Excellence in Plasma Physics Research 受賞記念講演「大型レーザーを用いたワイベル不安定性による乱流磁場と無衝突衝撃波の生成」が大阪大学の坂和洋一氏により行われた。大型レーザーを用いた実験室天文学の進展が評価されたものであり、プラズマ乱流による磁場生成と無衝突衝撃波による粒子加速の実験に関する最新成果が議論された。

【まとめと特記事項】

今回の合同研究会では、磁気圏プラズマに限らず幅広くプラズマ物理に関する議論が展開できた点が、例年とは異なる点であり、参加者の研究の視野を広げることに貢献できたと期待している。また、本研究集会の活動が評価され、本研究集会の3人の世話人を含めて、磁気圏プラズマと実験室プラズマの双方からの執筆者で構成された小特集をプラズマ核融合学会誌に執筆することになり、作業が進展している。順調に進めば、2021年5月号に掲載される予定である。本研究会の成果と位置付けている。

【付録：研究会プログラム】

核融合科学研究所研究会形式一般共同研究
『プラズマ科学のフロンティア 2020 研究会』
名古屋大学宇宙地球環境研究所共同研究集会
『実験室・宇宙プラズマにおける波動励起と粒子加速・加熱』
合同研究会

開催日時：2021 年 3 月 5 日 9：30－17：30
開催場所：オンライン開催（ZOOM）接続情報は後日参加登録者にメール配信します

09：30－09：40　開会挨拶

09：40－10：20　『複数電子サイクロトロン高調波による球状トカマクプラズマの電流立ち上げと加熱』　恩地拓己（九州大学　応用力学研究所）

10：20－11：00　『地球磁気圏におけるサイクロトロン共鳴の観測的課題』　中村紗都子（名古屋大学　宇宙地球環境研究所）

11：00－11：40　『Physics of magnetic reconnection for low guide field』　Frank (Chio Z.) Cheng（Princeton Plasma Physics Laboratory）

11：30－13：00　昼食

13：00－15：00　『深層学習の核融合プラズマ計測への応用と実習』　剱持尚輝（核融合科学研究所）

15：00－15：20　休憩

15：20－16：20　『ナノダイヤモンドによるリアルタイム局所温度センサーの原理と応用』　鹿野豊（慶應義塾大学　量子コンピューティングセンター）

16：20－17：20　**APS John Dawson Award for Excellence in Plasma Physics Research 受賞記念講演**
『大型レーザーを用いたワイベル不安定性による乱流磁場と無衝突衝撃波の生成』　坂和洋一（大阪大学　レーザー科学研究所）

17：20－17：30　閉会挨拶

（別紙様式６－２）

第 8 回アジア海色ワークショップ「第 17 回日韓海色ワークショップ」の開催
The 8th Asian (17th Korea-Japan) Workshop on Ocean Color

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 2020 fiscal year, the 8th AWOC / 17th KJWOC was planned to be held in Udayana University, Indonesia, and organized. But, due to the COVID-19 pandemic, the physical meeting was canceled. Alternately, a virtual 8th AWOC / 17 KJWOC via Zoom was held 21-23 December 2020 and organized by JAMSTEC. Before the workshop, one-day training on the Google Earth Engine application for ocean color was also held in collaboration with North Pacific Region Environmental Cooperation Center.

2. Participant/Presenter Number

The total number of the virtual 8th AWOC / 17th KJWOC participants was more than 100 participants including the presenters. They participated from the countries of Thailand, Indonesia, Malaysia, Vietnam, India, Korea, Japan, China, UK, and USA. The workshop delivered 32 oral presentations divided into six 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.

3. Workshop Topics and Outputs

Among the presentation topics during the virtual 8th AWOC / 1tth KJWOC are; red tide detection in the coastal waters; 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; modeling primary production; 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 the scientific discussion, information/data exchange/sharing can be conducted, bilateral and multilateral collaborations can also be promoted and strengthened in the future.

（別紙様式６－２）

シンポジウム－太陽地球環境研究の現状と将来
Symposium on the Current and the Future of Solar-Terrestrial Environmental Research

土屋　史紀　東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻

本研究集会は、東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻太陽惑星空間系の大学院生を幹事として、2020年9月2日から9月3日の2日間開催された。例年は合宿形式で開催しており、今年度は宮城県仙台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49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行われた。以下に、本研究集会のスケジュールと口頭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、https://sites.google.com/view/natsunogakkou2020/home にて集録を公開している。

〈スケジュール〉

9/2（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.「系外惑星観測の現状とこれから」
成田憲保（東京大学大学院総合文化研究科先進科学研究機構教授）
2.「人工流れ星スタートアップの科学貢献への挑戦」
岡島礼奈（株式会社ALE 代表取締役社長/CEO）
藤田智明（株式会社ALE COO）
船越亮　（株式会社ALE サイエンスマネージャー）
18:30～23:00 懇親会

9/3（木）
10:10～16:30 口頭セッション
16:30～16:40 閉校式
18:30～23:00 懇親会

〈セッション〉

研究集会2日目に、3つのグループに分かれ、下の表に示すように口頭発表を行った。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。

セッション１

時間	所属大学/学年	名前	タイトル
10:10-10:20		ラジオ体操	
10:20-10:40	名大/助教	新堀淳樹	IUGONETデータ解析システムの紹介とそれを用いた研究事例
10:40-11:00	名大/D1	惣宇利卓弥	Occurrence feature of plasma bubbles during geomagnetic storms using long-term GNSS-TEC data
11:00-11:20	明治大/D1	石井智士	山岳波動の励起頻度と地形および卓越風の関係
11:20-11:40	北大/M2	丹羽俊輔	台風の強度変化と雷放電の電気的特性の関係性について
11:40-12:00	京大/M1	小池春人	The flux of the ion precipitation in the cusp for stably northward IMF: Control parameters
12:00-13:00	休憩		
13:00-13:20	東北大/D1	中村勇貴	Modeling of SEP induced auroral emission at Mars: Proton contribution to the low altitude peak and effects of crustal fields
13:20-13:40	東大/M1	沖山太心	火星のディフューズオーロラの研究
13:40-14:00	東北大/M1	晝場清乃	MAVEN/IUVSによる太陽高エネルギー粒子イベント時の火星オゾン層の観測
14:15-14:25	レク①		
14:25-14:45	休憩		
14:45-15:05	東北大/M2	神原歩	惑星大気高分散分光観測のための近赤外分光器ESPRITの開発現状
15:05-15:25	東北大/M1	川村美季	LAMPロケット実験搭載多波長オーロラ観測カメラの開発現状
15:25-15:45	東京都立大/D1	梅谷翼	太陽系外惑星系からのX線放射に関するChandra衛星を用いた研究
15:45-16:05	-	-	-
16:20-16:30	レク②		

セッション2

時間	所属大学/学年	名前	タイトル
10:10-10:20	ラジオ体操		
10:20-10:40	東北大/D2	平井あすか	地上観測における電磁イオンサイクロトロン波動と電子降下の統計解析
10:40-11:00	東北大/D2	吹澤瑞貴	地上光学-EISCAT レーダー同時観測に基づく脈動オーロラ中の電子密度高度分布の統計解析
11:00-11:20	東大/D2	滑川拓	高エネルギー電子ドリフトホールのピッチ角分布
11:20-11:40	東大/M1	YANG JINGXUAN	A statistical study on high-energy electron injection events
11:40-12:00	東北大/M2	石澤元気	地球磁気圏におけるコヒーレントなホイッスラーモード波動による低ピッチ角電子の散乱
12:00-13:00	休憩		
13:00-13:20	総研大/M2	吉田理人	昭和基地上空の大気重力波
13:20-13:40	北大/M1	渡部成美	インフラサウンド計測による雷のエネルギー推定と位置検出
13:40-14:00	北大/M1	石田百合乃	Development of simple methods for prediction of soil nutrients
14:15-14:25	レク①		
14:25-14:45	休憩		
14:45-15:05	東北大/M2	田邉正樹	Full PIC simulations of the surface charging on the nightside of Phobos: The effect of surface-plasma interaction
15:05-15:25	九大/M2	江崎陽大	相対論的電子-イオンプラズマ中のシンクロトロンメーザー不安定性
15:25-15:45	九大/M1	樋口颯人	電離層分極型PBIにおける3次元運動論的電子加速シミュレーションと新加速モデルの構築に向けて
15:45-16:05	東北大/M1	齋藤幸碩	オーロラ電子加速過程に関わる電磁圏プラズマの沿磁力線分布についての研究
16:20-16:30	レク②		

セッション3

時間	所属大学/学年	名前	タイトル
10:10-10:20	ラジオ体操		
10:20-10:40	東北大/D3	西田有輝	双極子成分の卓越する地球ダイナモの条件について
10:40-11:00	東大/D1	鈴木雄大	水星の希薄大気分布と表面組成分布の相関関係について
11:00-11:20	東北大/M2	山口和輝	木星内部磁気圏プラズマ動径方向拡散モデルの開発
11:20-11:40	京大/M2	桃木尚哉	木星磁気圏におけるカレントシートモデル
11:40-12:00	東北大/D1	吉田奈央	火星電離圏における大気組成の季節変動
12:00-13:00	休憩		
13:00-13:20	東北大/M2	大浦愛菜	火星のクリュセおよびアキダリア平原における地下構造の探索
13:20-13:40	明治大/M1	遠藤哲歩	小型気球による夜行雲観測の検討
13:40-14:00	明治大/M1	中村優里子	夜光雲に特化したカメラの設計
14:15-14:25	レク①		
14:25-14:45	休憩		
14:45-15:05	九大/M1	安永朗宏	Sq-EEJ系におけるSFE現象の解明
15:05-15:25	九大/M1	高山久美	Sq-EEJ電流系における準6日振動現象の太陽活動依存性
15:25-15:45	九大/M1	林萌英	サブストームオンセットにおける中緯度電離圏応答の精査
15:45-16:05	-	-	-
16:20-16:30	レク②		

（別紙様式６－２）

第25回大気化学討論会
The 25th Symposium on Atmospheric Chemistry

齋藤尚子、千葉大学・環境リモートセンシング研究センター

日本大気化学会（会長: 谷本浩志・国立環境研究所）の研究集会である第25回大気化学討論会が2020年11月11（水）～13日（金）の三日間オンライン形式にて開催された。大気化学討論会は、対流圏や成層圏の大気化学・大気力学の研究分野を中心に、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。大気化学討論会ではあらゆる年齢層・所属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。

大気討論会は例年、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おり、第25回大会は千葉大学が実行委員を務め、当初の予定では千葉大学けやき会館で開催することを計画していたが、新型コロナウイルス感染拡大防止の観点からやむなくオンライン形式での開催となった。大会のオンラインシステムとして「Slack」を採用し、大会参加者全員を大会のSlackシステムにメンバー登録し、ポスター発表はSlackのポスター専用チャンネルで、口頭発表や会員集会はSlackの専用チャンネルから「Zoom」に参加する形式で進めた（図1)。参加者にはSlackシステムで表示される各自のプロフィール画像として「参加証」を配布し、オンサイト開催での休憩時の参加者同士のディスカッションを再現する目的で「Slackコール」という15人以下のオンライン通話システムを利用し、参加者同士がオンライン上でインタラクティブな議論ができるように工夫した。また、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、予稿集の冊子の作成および郵送に名古屋大学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。

第25回大気化学討論は大会の数か月前に通常のオンサイト開催からオンライン開催に切り替えたため、当初は例年より発表件数や参加者が減るのではないかと予想していたが、例年並みか例年以上の172名の参加者（うち学生40名）があった。また、口頭発表の申し込み件数が例年より多かったこともあり、例年は2日半の会期を3日間にして開催した。Zoomによる口頭発表は大きなトラブルなく順調に進行し、Slackシステム上に常時掲示されているポスター発表に対しては参加者がチャットでいつでも発表者に質問ができるため、どの発表に対しても活発な質疑が行われていた。大会後に行った任意のアンケート調査では、回答した参加者の全員が今回の大会に満足をしているようであった（図2)。



図1．第25回大気化学討論会の「Slack」のオンライン大会システム。

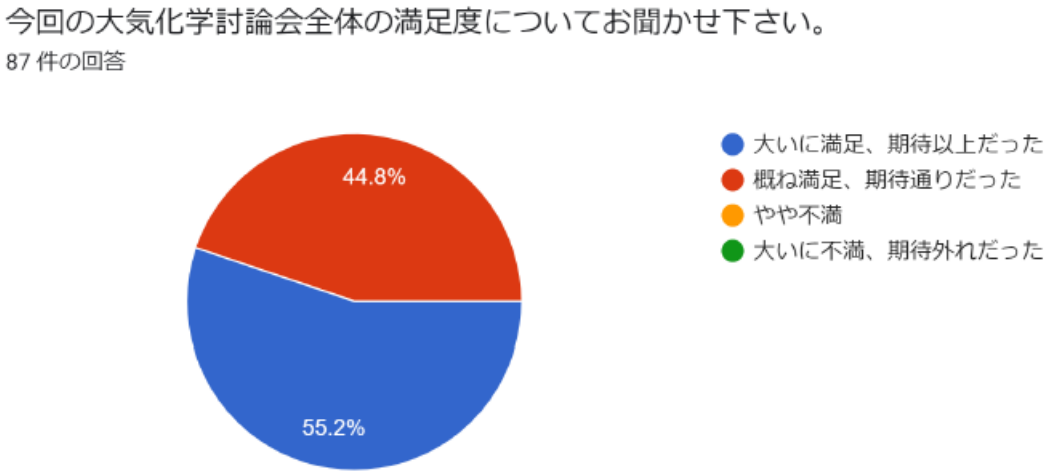


図2．第25回大気化学討論会の大会後に実施したアンケート調査結果（抜粋）。

（別紙様式６－２）

ニーオルスンにおける雲・エアロゾル・放射観測に関する研究集会
Meeting on observations for cloud, aerosol and radiation processes at Ny-Ålesund

青木　輝夫・国立極地研究所・国際北極環境研究センター

集会の概要：

本研究集会は新型コロナウイルス（COVID-19）感染防止のため、オンラインにて実施した。始めに、趣旨説明及びニーオルスン基地の現状について説明の後、これまでに実施されたライダー、無人航空機、ディスドロメーター、全天分光日射計観測についての発表があった。それに続き総合討論を行った。その結果、COVID-19の現状を踏まえ、まずは既に観測されたデータ解析を進め、来年度以降、再開あるいは新規に可能な観測について検討していくことになった。

参加者数：10名

研究報告：

1）趣旨説明　青木輝夫（極地研）

2）ライダーを用いた北極大気エアロゾル・雲の観測的研究　白石浩一（福岡大）

3）無人航空機による対流圏，成層圏エアロゾル変動研究　林政彦（福岡大）

4）ディスドロメーターを用いた降水観測　平沢尚彦（極地研）

5）全天分光日射計による積雪物理量測定　谷川朋範（気象研）

6）総合討論

成果：

現在までにどのような観測データがどこに存在し、それらを使ってどのような研究が実施できるかという点について確認できた。また、COVID-19の状況下にあって新たな観測が実施できなくても、既存データでどのようなサイエンスが可能かという点に関しても理解が深まった。

（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

集会の概要

本研究集会「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431回生存圏シンポジウム、令和2年度名大ISEE研究集会、令和2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を見出すと共に、物理現象の理解、成果創出への最適な道筋を構築することである。昨年度と同様、本研究集会に密接に関連する「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」の3つの研究集会と合同で9月28～30日の期間に開催した。特に、多くの学生や若手研究者に講演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した。また、新型コロナウィルス感染症拡大の防止のため、全てオンラインで開催した。

我々の研究集会では、各研究集会の参加者が主に利用し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。各自の研究において直面している課題の解決や、最適な解析方法・研究フローの構築、高度な研究成果の創出に繋げることで、合同研究集会全体として高い相乗効果が得られることを狙った。また、当該分野で普及している複数の解析ツールを実際に用いたデータ解析講習会を開催し、学生・若手研究者が解析手法や解析ツールの利用方法を実践的に学べる場を提供した。

研究集会報告と成果

9月29日午後には、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つの講習セッションを並行開催し、学生、若手研究者を中心に計32名が参加した。IDL講習では、Harris Geospatial株式会社の現役エンジニアの方に講習を依頼し、IDLの基礎的な使い方だけでなく、中上級者向けの情報も提供していただいた。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、各自の研究テーマに応じた解析方法等、幅広く質問があった。場合によっては、参加者のプログラムを画面共有し、プログラミングにおける問題点をその場で解決するといったことも行われた。

9月30日には、口頭セッションが開催され、47名が参加者した。午前中に、大学院生を中心に4件の招待講演が行われ、高度な解析手法を含む最新の研究成果が紹介された。午後は、初めての試みとして、議論セッションを実施した。議論セッションでは、修士の学生に4名ずつ約5分間の研究紹介をしていただき、その後4つの小部屋に分かれて約1時間その研究テーマに関して議論を行った（3セッションで計11名）。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。議論では、参加者から様々な助言や提案があり、学生が新しい解決策を見出したり、類似の研究を行っている研究者との情報交換や今後の共同研究への発展に繋がるなどの成果があった。

本研究集会には多くの研究者、学生の参加があり、非常に活発に議論が行われ、参加者から高い評価を得ることができた。特に、議論セッションにおいて、学生が多くの参加者との議論を通じて各自の研究課題の行き詰まっている問題の解決策を発見できたこと、及び、コロナ禍で他機関の研究者との議論が困難な状況の中、多様な研究者と自由に議論、コミュニケーションできる場を提供できたこと等が大きな成果であり、高い評価を受けた。

なお、本研究集会で利用したデータ解析講習資料はIUGONETウェブサイトで公開している

（http://www.iugonet.org/workshop/20200929）。

（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

本研究集会は、昨年度は3月に開催を予定していたところ新型コロナウイルスの影響により開催を見送ったため、今年度で３回目となる。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り、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。

今回の研究集会には、名古屋大学、国立環境研究所、東北大学でFTIR観測を進めてきた研究者を中心に学生を含め計8名が参加し、2日間にわたり議論を行った。今回はこれまでこの研究グループに参加していないが興味を持ってくれた3名の参加もあった。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紹介を行った、その後NDACC, TCCONの現状や成果の紹介、さらに個別のトピックの報告を行った。二日目もトピックの報告を行ったあと、名古屋大学で計画している新規サイト計画、解析手法についての議論を行った。

今回は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HCl、HFC、CO、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着実に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3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

2021/03/18 v1

会場: Zoomを用いたオンライン形式

プログラム

3月22日(月)		講演者	タイトル
			日本の観測地点(陸別、つくば、Burgos)の観測概要
13:00	20 min	森野　勇(NIES)	NIESが運用している陸別、つくば、Burgos FTIRの状況 とTCCON観測
13:20	20 min	長濱智生(名大ISEE)	陸別のFTIRーNDACC観測
13:40	20 min	村田　功(東北大院理)	つくばにおけるFTIR-NDACC観測
			TCCON、COCCONの現状と最近の成果
14:00	50 min	森野　勇(NIES)	TCCON、COCCONの状況報告とこれらのデータを用いた研究の紹介
14:50	20 min		休憩
			NDACCの現状と最近の成果
15:10	50 min	長濱智生(名大ISEE)	NDACC/IRWG meeting (online)の報告
			個別観測トピックI
16:00	30 min	村田　功(東北大院理)	つくば、陸別のFTIRで観測されたHCl、HFの経年変化
16:30	30 min	中島英彰(NIES)	つくばFTIRによるCO、HCNの解析によるバイオマス燃焼CO起源の推定
17:00			1日目終了
3月23日(火)			
			個別観測トピックII
9:00	30 min	武田真憲(東北大院理) 中島英彰(NIES)	地上設置型フーリエ変換赤外分光計を用いた大気中HFC-23のリトリーバル手法の開発に関する研究
9:30	30 min	村田　功(東北大院理)	つくばFTIRで観測されたオゾン高度分布の検証と経年変化
			新規サイト計画
10:00	30 min	長濱智生(名大ISEE)	名古屋
			解析手法
10:30	60 min	長濱智生(名大ISEE) 村田　功(東北大院理)	SFIT4　Ver. 1の導入
11:30			2日目終了

東シナ海の物質循環ならびに基礎生産に関わる物理・化学・生物過程
Physical and biogeochemical processes determining water mass circulation and primary production in the East China Sea

遠藤 貴洋、九州大学・応用力学研究所

【研究集会の目的】

縁辺海の海洋環境は、生態系の基盤である基礎生産を支える栄養塩の動態に大きく支配されている。世界的にも有数の生物生産が盛んな縁辺海として知られる東シナ海では、一般的な河川流入による栄養塩の供給に加えて、黒潮亜表層から陸棚底層へと輸送される栄養塩や、ユーラシア大陸からの黄砂やエアロゾルに沈着して海表面から供給される栄養塩が重要な役割を果たすことが指摘されている。しかしながら、これら栄養塩の挙動には、潮汐流・海流や乱流による移流や拡散、プランクトンの光合成や日周鉛直移動など、様々な時空間スケールを持った物理・化学・生物過程が複雑に絡み合っており、その全貌を理解することは容易ではない。特に船舶観測では、時系列観測と広域観測の間に明確なトレードオフが存在し、時間的に密な観測を実施すれば広域の分布が得られず、空間的に広域の観測を実施すれば時間解像度が粗くなり、ともに計測されたデータの代表性を下げることになってしまう。したがって、物理・化学・生物の個々の素過程について、これまで得られた様々な知見を集約・共有することにより有効的な観測計画を策定することが必要不可欠である。この課題の克服に向け、2018年と2019年の6月に、名古屋大学宇宙地球環境研究所の研究集会として、「東シナ海の物質循環と生物生産に関わる物理・化学・生物過程」、「東シナ海の物質循環ならびに基礎生産に関わる物理・化学・生物過程」をそれぞれ開催した。これらの研究集会では、異なる分野の研究者が一堂に会して集約した知見をもとに共同観測計画を立案し、いずれも翌7月に東シナ海陸棚域において実行に移すという成果を得た。

これらの成果をふまえつつ、2020年度も引き続き、東シナ海の物質循環ならびに基礎生産に関わる知見を集約する研究集会を6月に企画する。これまでと同様、集約した知見をもとにして7月に予定されている長崎大学練習船・長崎丸による東シナ海観測航海の具体的な計画を策定するだけでなく、次年度以降に申請を計画している、韓国の排他的経済水域における観測や、新学術領域研究の計画班への参画などについてもあわせて議論したい。

【研究集会の成果】

コロナ禍のため、研究集会を実施することができなかった。

（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 Air-Sea Interaction
（１行スペース）
根田　昌典、京都大学・大学院理学研究科
（２行スペース）

今年度はコロナ禍のため研究集会を実施できなかった。配分された予算は返上した。

（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」
Plasma Explosions in the Universe

浅井　歩、京都大学・大学院理学研究科附属天文台

本シンポジウムは、天文学・太陽物理学を軸に、宇宙空間物理学、地球惑星科学、プラズマ物理学など、磁気プラズマの爆発現象に関連した幅広い分野の研究者を集め、それぞれの分野における到達点と課題を共有し、分野を横断した共同研究の可能性について議論することを目的としていた。このために本シンポジウムでは、太陽・太陽圏や、地上の実験室から銀河・銀河団まで、宇宙のあらゆるスケールで普遍的に起きている爆発現象を磁気プラズマの観点から統一的に探ることで、宇宙の多様な天体活動の普遍的な物理学に迫るのが第一の学術的意義である。太陽面爆発（フレア）や地球磁気圏サブストームなどで生じる磁気リコネクションの解明に関する研究、太陽フレアの100から10000倍ものエネルギーを解放するスーパーフレアによる極端宇宙現象の発生機構に関する研究、太陽彩層ジェットの解明並びに太陽コロナ加熱問題や太陽風の発生機構に関する研究などの最新成果の報告に加え、分野を横断した多角的な研究推進を図る機会となることを目指した。

2020年9月に開催する予定であったが、コロナ禍のため、研究集会を実施できなかった。

（別紙様式６－２）

第21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
21st Workshop on mm/THz wave band receiver technology

前澤　裕之、大阪府立大学・大学院理学系研究科

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、超伝導サブミリ波リム放射サウンダ(SMILES)-2 衛星による地球・惑星観測計画や、次期火星宇宙天気・気候・水環境探査 MACO 計画などにおいて、テラヘルツ受信機の搭載も検討されるようになってきた。このようにミリ-テラヘルツ帯での受信機技術は、ますます重要な役割を迎えようとしている。本ワークショップを通して、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。

2. 報告及び成果

2021 年 3 月 8 日～9 日の 2 日間、感染症拡大防止のため完全オンラインの研究会として開催された。32 の機関・企業から計 96 名の参加登録があり、招待講演 2 件を含めた口頭講演 25 件、ポスター講演 19 件、展示ブース 5 件という盛況な内容となった。Zoom による口頭講演の内容としては、検出器関連が 9 講演、光学系関連が 5 件、分光計関連が 3 件、プロジェクト関連が 4 件など多岐に渡り、それぞれの講演に対して口頭での議論と Slack によるテキストベースの質疑応答が活発に行われた。ポスターセッションは、Hubs Cloud というバーチャルリアリティー（VR）プラットフォームを初めて利用し、参加者はブラウザから VR 空間に用意されたポスタールームに集まって、アバターベースの発表と議論を行った。これは直接的に不特定多数の参加者同士で音声のやり取りができるということで、参加者には大変好評であった。また、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・メーカーにも積極的に声をかけた結果、9 社から 13 名の多くのご参加を頂くことができた。本研究会は、2000 年に行われた第 1 回からちょうど 20 年目の節目を迎えた。この間フロントエンド（光学系・検出器）の高周波化、高感度化、広帯域化が大きく発展したが、近年はそれに対応するバックエンド（増幅器・分光計）の高性能化も急速に進みつつあるのが印象的であった。

（別紙様式６－２）

宇宙地球結合系における物理機構・素過程に関する統合的研究形態・体系の構築・推進

Foundation and promotion of the integrated research methodology and framework for fundamental physical mechanisms and elemental processes in the space-earth coupling system

平原 聖文（東海国立大学機構名古屋大学宇宙地球環境研究所）

目的・意義・概略

地球以外に存在する生命体、特に知的生命体の探索・同定は、今世紀における人類の学術的並びに国際的・社会的な最大の関心・目標の一つになることは間違いない。そして、最も根源的な興味・要望は、単なる地球外生命としての微生物や原始生命体などではなく、知的生命体の存在、そしてその進化・維持のための宇宙惑星科学的な環境であり、固体惑星であること、しかも大気を有することが重要な要因であることも疑問の余地がない。知的生命体に極めて有利な大気を有する固体型惑星には磁化・非磁化惑星という別の分類もある一方、中心星からの熱輻射により、知的生命体が適応できる惑星環境が形成されている以上、中心星からの恒星（プラズマ）風の照射も必然である。この場合、太陽系の同類の惑星である金星・地球・火星で実証されているように、宇宙空間と惑星大気との領域間結合による惑星超高層大気環境の変動が駆動され、ある条件下では、この変動が惑星環境全体を左右する大きな原因となるのも広く知られている。惑星環境がどのように変遷するか、という疑問は、ほぼそのまま知的生命体の存在・進化・維持に関する条件の探求となるため、宇宙惑星結合系の本質的な理解が求められるが、残念ながら系内惑星における過去・現在の全ての観測手法を総括した結果でさえも、物理原理の根本的理解・定量的評価までには至っておらず、統計上の比較やモデルによる推定の域にとどまっている。従って、未知の固体型大気惑星と金星・地球・火星との系統的な比較などは、特に磁化・非磁化惑星かどうかも不明なままであり、学術上まだまだ困難な段階にあることは事実であるが、固体型の磁化大気惑星としての地球の超高層領域における宇宙地球結合系の実証的研究、つまり探査衛星計画による直接観測に基づく基本物理機構・素過程に関する知見の獲得が、系内外の磁化・非磁化惑星における惑星（大気）進化に関する比較惑星学上の包括的な理解に必須となることも容易に理解できる。もちろん、我々が探査可能な固体型磁化大気惑星は地球のみであるということも、地球超高層領域における宇宙地球結合系の直接観測の意義を深化させている。

一方で、「宇宙天気」の次の研究課題としての「領域間結合系」の直接観測による理解が求められているという状況であり、これまでの探査課題・研究形態としては、VAP・ERG（あらせ）では宇宙天気・エネルギー間結合・波動粒子相互作用・三位一体型研究形態、SCOPE・MMS では磁気再結合・（電子・イオンの）スケール間結合・波動粒子相互作用があり、将来計画としての FACTORS では（磁気圏・電離圏の）領域間結合・超高層大気流出・波動粒子相互作用・三位一体型研究形態を目指している。また、国内外における火星・金星探査計画の急激な進展にも考慮する必要がある。例えば、火星探査には NASA、ESA、ロシア、インド、UAE、中国が、金星探査には NASA、ESA、日本、インドが取り組んでおり、日本では系内外惑星における大気の遠隔 UV 観測技術の革新的進歩がめざましい。

上述のような学術的背景・意義に鑑み、宇宙地球結合系における物理機構・素過程に関する統合的研究形態・体系の構築・推進のため、日本国内の主要機関からの中核的研究者の参画により本研究集会は開催された。

日程・開催場所・参加機関・参加者数

本研究集会は 2021 年 3 月 17 日に Zoom 接続にて開催され、国内 12 大学・研究機関と国外 2 研究機関から合計 32 名（日本国籍：31 名、海外国籍：1 名）研究者の参加があった。以下に講演プログラムを示す。

表　本研究集会（2021 年 3 月 17 日開催）の講演プログラム

講演時間	発表者	所属	講演課題
9:30–9:40	平原聖文	東海国立大学機構 名古屋大学 宇宙地球環境研究所	宇宙惑星結合系における地球大気流機構の実証に向けて
9:40–10:05	亀田 真吾	立教大学理学部	系外惑星高層大気と WSO-UV/UVSPEX 計画の現状
10:05–10:30	北村成寿	東京大学大学院 理学系研究科	FAST 衛星とあけぼの衛星による大気流出の観測
10:30–10:55	滑川 拓	東京大学大学院 理学系研究科	将来観測計画 FACTORS への搭載を見据えたイオン質量分析器の開発
10:55–11:20	小嶋 浩嗣	京都大学 生存圏研究所	FACTORS ミッションプラズマ波動観測器について
11:20–11:45	坂野井 健	東北大学大学院 理学研究科	FACTORS 計画ならびに静止軌道衛星搭載カメラの観測意義・機器仕様と開発状況
	（昼休み）		
13:00–13:25	齋藤 義文	宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所	極域電離大気流出現象のメカニズム解明を目指した SS-520-3 ロケット実験
13:25–13:50	山崎 敦	宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所	ひさきによる火星・金星大気観測
13:50–14:15	土屋 史紀	東北大学大学院 理学研究科	ひさきによる木星磁気圏観測の成果と LAPYUTA の目標
14:15–14:40	齊藤 昭則	京都大学大学院 理学研究科	地球熱圏・電離圏ダイナミクスの飛翔体による観測
14:40–15:05	阿部 琢美	宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所	電離圏熱的プラズマの観測手法について
15:05–15:30	山内 正敏	スウェーデン王立 宇宙物理学研究所	Low-energy Ion-neutral interactions: A theme for ESA Voyage 2050
	（休憩）		
15:40–16:05	野澤 悟徳	東海国立大学機構 名古屋大学 宇宙地球環境研究所	地球熱圏・中間圏・電離圏の地上観測手法（EISCAT_3D・ライダー等）
16:05–16:30	横田 勝一郎	大阪大学大学院 理学研究科	火星衛星フォボス周辺での将来イオン磁場観測：MMX 探査機搭載 MSA の開発
16:30–16:55	笠原 慧	東京大学大学院 理学系研究科	彗星探査計画 Comet Interceptor におけるプラズマ観測
16:55–17:20	原田 裕己	京都大学大学院 理学研究科	火星超高層大気流出機構・観測手法・課題
17:20–17:45	渡邉 智彦	東海国立大学機構 名古屋大学大学院 理学研究科	磁気圏–電離圏結合の動的描像：プラズマ物理としての普遍性へ

まとめ

講演内容は、領域間結合系を代表する宇宙地球結合系の直接観測・地上観測・モデリングに関する成果・技術・計画、系内惑星大気流出・彗星物質放出の直接観測に関する成果・技術・計画、系内外惑星大気の遠隔観測に関する成果・技術・計画に 3 大別され、より具体的な学術的課題と観測項目を検討し、将来の実証的探査衛星計画の実現に向けて、開発すべき観測手法・計画、更には研究形態・体系についての方向性・方策について議論を行った。

（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　日本は 1996 年に欧州非干渉散乱（EISCAT）科学協会に加盟後、太陽地球環境研究所（現 宇宙地球環境研究所）と国立極地研究所を共同利用機関として、EISCAT レーダーを中心に用いて、北欧域での拠点観測や広域光学観測を実施してきている。近年には、あらせ衛星、Swarm 衛星、ロケットキャンペーン(ICI-5, CHI and C-REX)などの飛翔体及び EMCCD カメラや各種レーダー・ライダーとの共同観測データ、30 年以上に渡り蓄積された EISCAT データなどを用いることにより、磁気圏－電離圏－熱圏結合や電離圏長期変動などの研究対象において、世界をリードする研究成果を生み出している。本研究集会では、現行の EISCAT レーダーシステムを用いた最新の研究成果を踏まえ、EISCAT_3D 計画（新たな多点フェーズドアレイ観測）と北極域・北欧の関連観測、数値計算との連携によって進めるサイエンスを議論することを目的としている。特に、(1) EISCAT_3D を用いた新たな研究計画、(2) EISCAT スヴァールバルレーダー（ESR）を用いた新規研究の可能性、(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、(4) 衛星およびロケットとの共同観測研究、の 4 点を中心に議論を行うことを目的とした。

内容　本研究集会では、以下の 3 つを柱として構成した。(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。(2) EISCAT_3D 計画の進捗状況や北欧の EISCAT 関連観測に関する最新情報について、EISCAT Council member や EISCAT SAC member から説明し、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 を用いた今後の研究の発展性を議論する。(1)については、令和 2 年度に実施した EISCAT SP の初期結果が各 SP 代表者から報告された。そして、今後を担う大学院生から 3 件の成果発表が行われた。(2)については、関係者が EISCAT の現状や EISCAT_3D の進捗状況を説明し、最新の情報を周知した。(3)については、日本人研究者により現在北欧で展開されている各種観測装置の現状と今後の計画についての報告、および新規観測機器(SDI-3D peorject)について報告された。さらに、2 件の招待講演を行い、今後の EISCAT_3D を中心に用いたサイエンスについて議論を深めた。なお、研究集会は、3 月 17 日午前と 3 月 25 日午前の 2 日にかけて行った。参加者は、31 名であった。

成果　今後の観測・研究計画に関する意見交換をすると共に、EISCAT_3D の最新情報を国内共同研究者に周知できたことは、近未来の研究計画立案の上で有意義である。さらに、最新の研究成果を論文としてまとめるための議論が行われた。特に若手の講演は、今後 EISCAT_3D を用いた日本のアクティビティにとって重要である。今後も 2023 年冬の EISCAT_3D 稼働に向けて、国内共同研究者と連携して、準備を進めていく。

プログラム

3 月 17 日（水曜日） 09:00–12:00 JST

2020 年度の EISCAT 特別実験の全体概要（10 分間、野澤悟徳）

EISCAT 特別実験報告（各 10 分間）

2020 年度に実施された EISCAT 特別実験（7 件）の研究課題名：

・静穏時サブストームにおけるオーロラ帯ーサブオーロラ帯の観測研究 （大山伸一郎）

・メソスケールオーロラの 3 次元電流系の研究 （田中良昌）

・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）

・あらせ衛星および地上光学観測との同時観測による磁気圏高エネルギー電子降り込み観測（三好由純）

・カスプに短時間現れる太陽方向プラズマ流（田口聡）

・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 （藤田浩輝）

・昼側極冠域・オーロラ帯電離圏変動の研究（藤原均）

EISCAT 全加盟国による特別実験（AA 実験）の報告 （10 分間、小川泰信）

2021 年度の EISCAT の状況/見通しに関する説明 （5 分間、小川泰信）

研究成果発表1 「33 年間の EISCAT レーダデータを用いた極域下部熱圏における地磁気静穏時の半日潮汐波に関する統計研究」（15 分間、小山裕貴他）

研究成果発表2 「脈動オーロラ発光に伴う F 層電離圏電子密度増加に関する統計解析」（15 分間、吹澤瑞貴他）

EISCAT/EISCAT_3D と相補的な観測の展望紹介と議論

・ナトリウムライダーの今後の展望～EISCAT_3D との同時観測に向けて～（10 分間、野澤悟徳他）

・北欧 EMCCD イメージャー観測の展望 （10 分間、細川敬祐）

・SDI-3D project （10 分間、大山伸一郎）

・流星レーダーネットワークの展望紹介 （10 分間、堤雅基）

・北極超高層観測コンソーシアム（CUIDA）について （5 分間、小川泰信他）

---

3 月 25 日（木曜日） 09:00–12:00 JST

・EISCAT_3D 全体概要説明（15 分間、宮岡宏）

・EISCAT_3D の技術的な面の進捗状況（15 分間、橋本大志他）

・EISCAT_3D 国内共同利用・共同研究に向けた研究推進センターの設置準備報告 （15 分間、小川泰信）

招待講演1 「磁気圏電離圏結合の展開とその基礎論」（30 分間、吉川顕正）

招待講演2 「超高層大気科学の研究課題とレーダー観測・数値シミュレーション」（20 分間、藤原均）

研究成果発表3 「CIR- and CME-driven magnetic storm effects on ion upflows in the low-altitude ionosphere」（15 分間、高田雅康他）

EISCAT_3D を用いた研究希望/提案の紹介

（1 件あたり 10-12 分間、質疑討論込み）

・下部熱圏大気ダイナミクス （野澤悟徳）

・イオン上昇流/流出 （小川泰信）

・メソスケールオーロラ （細川敬祐）

・一般化オーロラトモグラフィー（田中良昌）

総合討論（15 分間、今後の方向性など）

（別紙様式６－２）

彗星大気・プラズマ研究集会
Workshop for cometary atmosphere and plasma science

笠原　慧、東京大学　大学院理学系研究科　地球惑星科学専攻）

コロナ禍のため本研究会は実施できなかった.

（別紙様式６－２）

太陽観測データにおける特徴検出ワークショップ2020
Feature Recognition in Solar Observation Workshop 2020

飯田　佑輔、新潟大学・大学院自然科学研究科

コロナ禍のため対面実施が困難であり、データ解析実習も中心的活動である本研究会の実施は中止した。

（別紙様式６－２）

Virtual台風セミナー2020
Virtual typhoon seminar 2020

宮本佳明、慶應義塾大学環境情報学部

2020年9月7-8日に，名古屋大学宇宙地球環境研究所が主催し，日本気象学会台風研究連絡会を共催とするVirtual台風セミナー2020をオンライン（ZOOM）で開催した．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，招待講演者に長時間の講演をしていただく形式を採用している．

10回目の開催となる今回は，当初，台風内部の渦構造についての研究を続けてきている米国のマイアミ大学のDavid Nolan教授を招待講演者として招き，２日間で合計6時間程度の講演をお願いする予定であったが，新型コロナウィルスの世界的な流行によりNolan教授の来日が難しくなったために中止した。

そこで並行して別の研究集会として企画されていた気象大学校講師の伊藤享洋さんと気象庁予報部数値予報課の西本秀祐さんによる台風近傍の渦ロスビー波についての講演をオンライン形式でのVirtual台風セミナー2020として実施していただくことにした。お二人とも気象大学校の金久先生の研究室で行われている気象現象を表現する支配方程式を解析的に解く方法を適用し、その結果を理論的に突き詰めていくという研究を実践されている方々で、数学的に非常にタフな研究集会となった。

９月７日（初日）の講演では，西本さんより「金久先生の研究室で行っている解析解を用いた研究について」という、講演全体の導入についての説明と、惑星ロスビー波についての解析的な手法についての説明があった。具体的には、ロスビー波に重要な渦位の空間勾配を離散化することで、解析解を導出できることを示した。引き続き、西本さんより「台風の上下一体性維持に関連した渦ロスビー波の解析解」として、Nishimoto and Kanehisa (2018, JMSJ)の詳しい説明があった。鉛直シアーのある流れの中で、台風が鉛直構造を保つために、渦ロスビー波がどのような役割を果たしているのかについて、これまでに数値計算で得られていた結果を、初めて解析解で示すことに成功したという内容である。数式を展開しながらの説明は追いついていくのが大変ではあったが、台風内部コア領域での歳差運動を説明する考え方には感銘を受けた。

９月８日（２日目）には、伊藤さんより「渦ロスビー波の不安定理論」というタイトルで、渦ロスビー波についてのより詳細な議論がなされた。伊藤さんの講演は、Ito and Kanehisa (2013, JMSJ)とIto et al. (2018, JMSJ)に基づくものであった。西本さんと同じ手法を用いることで、波数１の擾乱では指数関数的な不安定が発生しない点や時間に比例して成長する点などを示した。さらに、鉛直方向の相互作用を考慮することで、波数１の渦ロスビー波でも順圧不安定的な構造

で成長することが示された。この間の数式の展開については、美しくて味わい深いものがあった。

両者の講演とも、参加者からは数学的にかなり踏み込んだ質問が多くなされ、前提条件などについての議論も多くなされた。数学的な背景が強くない参加者にとっては、理解が追い付かなかった可能性もある。今回が、台風セミナーとしては初めてのオンライン開催であったが、民間を含む22の機関から合計で48名の参加があった。特に、旅費がかからなかったこともあってか、大学院生（16名）や学部学生（7名）の参加があったこと、北は北海道大学から南は琉球大学まで日本全国の機関から参加があったこと、新聞記者や気象キャスターの方の参加があったことが興味深い点であった。台風セミナーのような専門的な課題を講義形式で実施するような研究集会の場合、学生の参加しやすいオンラインでの実施は検討すべき手法かもしれないと考えるものである。

今回、David Nolan教授の来日が中止になり、研究集会をオンライン形式で実施したために、研究集会の経費はかかっていない。新型コロナウィルス禍下で実施したということで、研究集会の経費は全額返納する予定である。

（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2020年4月6日、5月27日、7月10日、8月28日、9月18日、10月28日、11月30日、2021年1月7日、2月18日、3月11日の10回の会合を通して、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。2018年度から開始した第1回衛星地球観測ミッション試行公募(TF)を受けて2019年度には 第2回衛星地球観測ミッション試行公募(TF)を実施し、枠組みの問題点や改良点を模索し、2020年度のJpGUを利用して試行公募の実践を進めている。
また、本活動を通して、2年に一度のまとめをするように2年サイクルの活動がより有効であることがわかり、2020年度から2年サイクルに移行した。

本研究会は日本の衛星地球観測のあり方をボトムアップで構築する枠組みを検討するものである。検討中の枠組みではJpGUのセッションを利用し公開の場で議論をすることを検討し、来年度のJpGUにおいても実施予定で進めている。さらに最終的な結果も今後の宇宙開発体制のあり方に関するタスクフォース会合・リモートセンシング分科会から公表する方法を検討中であり、本研究からの直接的な公表は考えていない。なお、日本学術会議のこの分野に対する提言の中にも本研究会の成果が反映される予定である

一方、本研究会での議論を経て、発展した研究成果において、本研究会の支援を受けたことを明示する。

（別紙様式６－２）

2020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: 2020 meeting

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

2021年3月25日(木)―26日(金)の日程で、「2020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、2016～2019年度に、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4回にわたり開催してきました。過去4回は主に宇宙天気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)を軸とした各モデルの研究開発の現状・課題を集中議論し、ある一定の成果に結びつきました。

本年度はPSTEPで取り組んだ課題に直結したものにとどまらず、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、各分野の専門家をお招きし、各モデルの課題・予測に関する集中した議論を行いました。特に、2019年12月に第25太陽活動周期が始まり2025年に極大期を迎えると予測されている現時点において、最新成果についてまとめつつ新たに見えてきた課題・今後取り組むべき研究課題を議論することで、今後5年程度の方向性や到達点を探りながら検討する機会となることを期し開催いたしました。

年度末の慌ただしい日程でしたが、コロナ禍の影響を考慮しZoomによるオンライン開催としたことで、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。講演者の皆様には目を見張る最新の成果をご紹介いただくとともに今後の展望についての提言をしていただき、活発な議論が展開されました。具体的には、情報技術との連携によるコード間カップリングの当分野における国内最先端の取り組みは、幅広いモデルへの応用展開の可能性を感じることができました。機械学習による膨大なシミュレーションデータの利活用の取り組みでは、そのような視点からの予測研究の可能性が示されました。富岳を用いた最新成果は高解像度の計算で初めて実現したブレイクスルーを示していただきました。モデル間の結合による取り組みも紹介され、今後の進展への期待が高まったと感じました。

このように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りましたので、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、○講演者、*招待講演）】

3/25(木) 13:30 -17:00
---
*○海老原 祐輔 (京都大学)
MHD-内部磁気圏粒子移流連接シミュレーションの現状と展望
（キャンセルのため30分開始時刻を順延）
13:30 趣旨・挨拶
13:35
○中溝 葵、久保田 康文、長妻 努 (NICT)、田中 高史 (九州大学)
磁気圏MHDモデル改良と展望
○中溝 葵 (NICT)、吉川 顕正 (九州大学)、中田 裕之 (千葉大学)、深沢 圭一郎 (京都大学)、田中 高史 (九州大学)
磁気圏MHDモデルにおける新MI結合アルゴリズム導入：
Alfvenic Coupling
13:50
○加藤 雄人(東北大学)、深沢 圭一郎 (京都大学)、南里 豪志(九州大学)、三宅 洋平 (神戸大学)、中澤 和也 (神戸大学)
Code-To-Code Adapter (CoToCoA)ライブラリによる
惑星電磁圏連成計算研究の現状と展望
14:20
*○深沢 圭一郎 (京都大学)、木村 智樹 (東北大学)、徳永 旭将 (九州工業大学)、中野 慎也 (統計数理研究所)
機械学習・数値シミュレーション・観測融合による宇宙プラズマ現象予測モデル開発に向けた学習データの整備
---(14:50-15:20 議論/休憩)---
15:20
○三好 由純 (名古屋大学)、上野玄太 (統計数理研究所)、三谷 烈史、高島 健、東尾 奈々、篠原 育 (JAXA)、今城 峻、堀 智昭 (名古屋大学)、栗田 怜 (京都大学)、寺本 万里子 (九州工業大)
放射線帯電子フラックスのデータ同化
15:35
○S. Fujita (Met. Col., NIPR), S. Nakano (ISM), A. Kadokura, Y. Tanaka, R. Kataoka (NIPR), A. Nakamizo, Y. Kubota (NICT), K. Hosokawa (The University of Electro-Communications), S. Saita (National Institute of Technology, Kitakyushu College)
Feasibility study of the global MHD simulation code toward reanalysis of the space weather phenomena
15:50
*○横山 竜宏 (京都大学)
高精細プラズマバブルモデルの現在と今後の展望
16:20
○垰 千尋、陣 英克、品川 裕之 (NICT)、三好 勉信、安井 良輔 (九州大学)、藤原 均 (成蹊大学)
GAIAリアルタイム計算の現状と展望
---(16:35～全体議論～17:00終了)---

3/26(金) 09:00 -12:30

09:00
*○堀田 英之 (千葉大学)、草野 完也 (名古屋大学)
富岳を用いた太陽内部・表面研究の最新成果と展望
09:30
○草野 完也 (名古屋大学)
巨大太陽フレアの発生予測とその理解について:現状と展望
09:45
*○井上 諭 (ニュージャージ工科大学)
太陽フレア・コロナ質量放出モデリングの現状と今後の展望
---(10:15-10:40 議論/休憩)---
10:40
○金子 岳史 (名古屋大学)
太陽フレアにおける高エネルギー電子加速のテスト粒子計算
10:55
*○庄田 宗人 (国立天文台)
太陽風モデルの未解決問題
11:25
○塩田 大幸 (NICT)
太陽風・コロナ質量放出到来予測モデルの課題と展望
11:40
*○斎藤 享 (ENRI)
宇宙天気現象が測位・航空に与える影響について
12:10議論
12:30終了

（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 2 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 2021 年 3 月 5 日、3 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・情報通信研究機構)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 18 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情報通信研究機構との共催で極域・中緯度 SuperDARN 研究集会として開催している。今年度は国立極地研究所が担当であったが、COVID-19 の影響により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 32 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、2021 年 3 月 14 日まででまでで 4872 ダウンロード、51 回の被引用(google scholar)がなされている。

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。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、中規模伝搬性電離圏擾乱の分布特性等が挙げられる。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 2 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。西谷からは今後の発展方向を示すものとして、名古屋大学東山キャンパスに設置したリモート受信機の成果および 4-ch イメージング受信機のレーダーサイトにおける試験運用の初期結果についての報告がなされた。

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。残念ながら情報通信研究機構は 2020 年度末をもって PI をアラスカ大の Bill Bristow 氏に移管し、PI 研究機関から撤退することが発表されたが、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(次年度は名古屋大学宇宙地球環境研究所が担当)。

（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・宇宙環境研究室

●開催日時および開催場所

2020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 宇宙環境研究室）、海老原 祐輔（京都大学 生存圏研究所）、片岡 龍峰（国立極地研究所）

●参加者数：33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、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、今回初めて、情報通信研究機構で実際に宇宙天気予報業務を行っている予報担当者による発表があり、実際の予報の現場からの意見を聞くことが出来た。また、太陽写真乾板画像で再現した太陽紫外線長期変動の話や、太陽フィラメント噴出現象の 3 次元速度場導出の話など、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活発な議論が行われた。今回は、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。

（別紙様式６－２）

氷河融解を加速する光吸収性不純物に関する研究
Study of light absorbing impurities accelerating glacier ablation

坂井亜規子、名古屋大学・環境学研究科

<概要>

世界の山岳氷河は温暖化により近年縮小傾向にあり、特にアジア高山域では水資源としての役割を持つ氷河の将来予測に注目が集まっている。氷河の融解は気温のみではなく、日射量の影響も受け、特に氷河表面の光吸収性不純物が日射量の反射率（アルベド）を低下させ、融解を加速させることが知られている。氷河表面の光吸収性不純物量は地域的な違いや変動が大きく、氷河変動モデルにおいて表面アルベドの見積もりが大きな不確定要素となっている。これまで氷河変動モデルにおける光吸収性不純物によるアルベド低下については、グリーンランド氷床において研究が進んできており、現在では黒色炭素や雪氷微生物によるアルベド低下よりも気温上昇による積雪粒子の肥大化によるアルベド低下が効いているという報告がなされている。一方で中緯度における山岳氷河においては、不純物の起源が近く、氷河アルベドに不純物の影響が大きく関わっていると考えられるにもかかわらず、氷河上不純物に関する研究はいまだ発展途上である。

そこで本研究集会では既に研究の進んでいるグリーンランドでの知見を活かし、またアジア高山域におけるこれまでの研究を踏まえ、今後進めるアジア高山域での氷河上の不純物についての調査研究計画について議論する。

<研究報告>

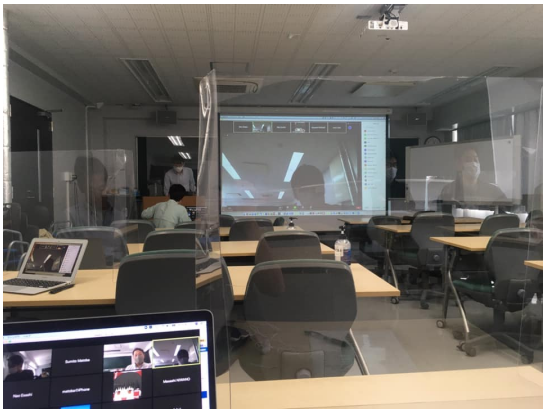
研究会は、10月21日（水）の午後と22日（木）の午前中に行なった。
参加者数は総勢21名（内リモート参加者９名）であった。

コロナ禍のため、リモートと対面を併用して行った。リモートではzoomを使用し、対面での感染防止対策としては、手洗い用のせっけん、消毒用アルコール、そして飛沫防止のためにアクリル板を発表者用と参加者用にそれぞれ準備した（写真１，２）。

リモートと対面との併用からハウリングするなど、各自のマイクや音声の調整が難しく、今後は集音マイク等を準備すると良いと思った。

<成果>

グリーンランドのこれまでの研究から、氷河上不純物と氷河表面の太陽光の反射率（アルベド）の関係について、どの程度まで再現可能となっているか、また未だモデル化できていない部分についての発表があった。また、氷河上不純物の一つである雪氷微生物に関する最新の研究成果、ブラックカーボンについて複数の測定方法について、利点と欠点について情報共有することができた。さらに来年度の観測計画に向け、不純物の採取・持ち帰り方法を確認し、参加メンバーについても話し合うことができ、来年度のモンゴルの観測に向け、研究計画を練ることができた。



写 真 1



写 真 2

（別紙様式６－２）

STEシミュレーション研究会
STE Simulation Workshop

銭谷 誠司、神戸大学 都市安全研究センター

2021年3月29日～31日の日程で、「STEシミュレーション研究会」をオンラインで開催した。本研究集会では、3日間で32件の発表及び、延べ58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。本研究集会では、宇宙地球環境研究所の計算機共同利用研究の成果発表の場として、太陽地球惑星系科学・プラズマ科学シミュレーションの最新の研究成果・展望を議論することや、計算科学や天文学、流体力学などの異分野との交流を活発化させることを目的としている。今回は特に、太陽地球惑星系科学における計算プラズマ物理の新潮流を議論するため、天体プラズマや核融合プラズマ、計算・情報科学など周辺分野の最新動向も含め招待講演を企画した。

招待講演として、高強度レーザー光を用いた室内実験のPICシミュレーションについて大阪大学の千徳靖彦氏、OpenACCおよびCUDAによるGPU computingについてエヌビディア合同会社の丹愛彦氏、SX-Aurora TSUBASAについてNECソリューションイノベータ株式会社の片海健亮、衝撃波を安定かつ高精度に解く新しい数値解法について横浜国立大学の北村圭一氏にご講演いただいた。計算プラズマ物理を軸として、通常の学会や研究会では接点の少ない周辺分野の第一人者との技術交流や情報交換を本企画で行うことができた。

一般講演として、宇宙プラズマや太陽・磁気圏・電離圏環境シミュレーション研究や手法などの最新成果が報告された。またKDKシンポジウムとの合同開催によって、プラズマ波動や宇宙機環境など周辺分野からも講演があり、本研究会は異分野交流を図る貴重な機会となった。

本研究集会では、一件あたりの講演時間を一般講演20分、招待講演60分と十分に確保し、またライトトーク12分を併用することによって、太陽地球惑星系科学シミュレーション研究の問題意識や今後の方向性をしっかりと議論することができ、それらの共有が大いに進展した。本研究集会の講演プログラムおよび資料はhttps://cidas.isee.nagoya-u.ac.jp/simulation/meeting2020/に公開されている。

（別紙様式６－２）

2020年度太陽研連・太陽スペース研究シンポジウム
2020 JSPC/Solar Space Research Symposium

清水敏文、宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所

本シンポジウムは、2020年12月21日および22日の2日にわたり開催された。計画では相模原の宇宙科学研究所にて開催する計画であったが、コロナ禍のためにZoomを用いたリモート方式で開催した。

米欧がParker Solar ProbeやSolar Orbiterを飛翔させ、また4m地上望遠鏡DKISTを建設し、太陽・太陽圏を新たな側面から研究する基盤を造りつつあり、太陽に関わる研究は2020年代に大きく変わろうとしている。このような世界的な状況の中で、日本の研究コミュニティは次期太陽観測衛星Solar-C(EUVST)の飛翔を主軸にして、DKISTへの科学参加，小規模ミッションや数値シミュレーション研究などの推進を通じて、新たな研究展開を2020年代に目論んでいる。

本シンポジウムは、博士論文提出者による研究成果レビューおよび欧米ミッションの初期成果レビューを通じて最新研究の進展や展開を理解するとともに、2020年代における太陽物理学やその周辺研究における研究戦略を討議する貴重な機会となった。昨年度まで推進されてきた新学術領域研究PSTEP(太陽地球圏環境予測)からの成果等を踏まえて、太陽圏研究や宇宙天気予報への貢献を目指した研究における新たな展開を促進する講演、2020年代におけるSolar-C(EUVST)の飛翔を軸とした地上観測や計算機シミュレーションそして多様な宇宙観測等の研究推進に関する講演、太陽圏や恒星・系外惑星研究の今後の動向に関する講演を切り口に2030年代に推進すべき将来計画ロードマップの議論を行った。さらに、欧米の研究所でDKISTやSolar Orbiterに携わる研究者4名に最新成果やミッション動向について講演いただいた。リモート開催を利点と捉え、欧米の研究者を招待して講演を実現した。また、ポスター講演25件は、Zoomのブレイクアウトルーム機能を活用して行ったが、非常に活発な議論が実現できた。

本シンポジウムへの参加者数は、32機関(5つの海外機関を含む)から125名、のべ241名であった。リモートから参加できる形態であったため、前年度までのシンポジウムに比べ参加者は大幅に増加した。また、Solar OrbiterやSolar-C(EUVST)等の最新動向を理解するために、報道機関からの聴講もあった。シンポジウム後に一部の参加者から得た感想として、リモート特有のストレスもなく、非常に有意義なシンポジウムであったとの感想を得た。また、シンポジウムの世話人チームも満足度が高いシンポジウムを組織できたと考えている。

（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を目指した戦略的研究
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

コロナ禍のため研究を実施できませんでした。

（別紙様式 6－2）

脈動オーロラ研究集会
The Pulsating Aurora Meeting

細川 敬祐 (電気通信大学大学院情報理工学研究科)

★ 研究集会の目的と概要

脈動オーロラ（Pulsating Aurora，以下 PsA と略する）は，オーロラサブストーム現象の回復相において，朝側のローカルタイム領域に必ず出現する普遍的な現象である．PsA およびそれに伴う磁気圏・電離圏の変動を研究することは「地球近傍の宇宙空間におけるプラズマ波動の特性」や「高エネルギー粒子の降下に伴う地球大気の変動」の理解に繋がるという点において普遍的な意義を持っている．しかし，その形状の多様性，時間変化の複雑さ，地上・衛星同時観測の困難さなどから，脈動の時間変動を引き起こすプロセスや，構造の形態・時間発展を決定する要因などに関して，未だに十分な理解を得るには至っていない．本研究集会は，PsA およびそれに関連する宇宙空間プラズマの諸現象についての地上観測・衛星観測・数値シミュレーション研究に関する講演を広く募集し，それぞれの研究成果の発表を通じて PsA に関する深い理解を共有することを目的として開催してきた．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．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，Boris Kozelov 博士，Alexander Yahnin博士，Vladimir Safargallev 博士らを招待した英語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，今年度は，2021 年 11 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 1 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 33 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．また，今年度は，「機械学習を用いたオーロラ形態の自動判定」に関する講演も行われ，計 27 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 9 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) や Scientific Reports (Hosokawa et al., 2020) に成果が掲載されている．

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，2021 年 11 月にはアラスカのポーカーフラットから打ち上げられることになっている．これらのロケット実験に搭載する機器は PARM というパッケージとして構成されており，将来的にシリーズ化して，他のロケット実験に搭載することも念頭に置かれている．このように，2 度にわたるロケット実験機会が得られたことは，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．このような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．

（別紙様式６－２）

第 32 回（2020 年度）名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定研究シンポジウム

The 32nd Symposium on Chronological Studies at the Division for Chronological Research, ISEE, Nagoya University

南　雅代、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定研究部は、前身の年代測定総合研究センター時代から引き続き、タンデトロン加速器質量分析（Accelerator Mass Spectrometry: AMS）法とCHIME（Chemical U-Th Total Pb Isochron Method）法を用い、「時間」あるいは「年代」をキーワードとして、人類を含む地球システム、太陽地球システムの理解を目指した幅広い学術的な共同利用と共同研究を推進している。本研究部は、AMS・CHIME装置の稼働状況および利用実績の年次報告、これらの分析装置を用いた共同研究成果の報告など、年代測定に関連したさまざまな分野の研究者による講演を毎年行い、共同利用・共同研究者と活発な意見交換を行っている。今年度は、2021年3月5日（金）に、Zoomを用いたオンラインにて表題のシンポジウムを開催した。参加者は25人、発表は13件であった。シンポジウムでは、今年度の同研究部の活動を概観するとともに、共同利用・共同研究に関連して、本学のほか、大学、研究所、民間団体や企業などの研究者、院生によって、環境学、地質学、考古学や文化財科学など幅広い分野に関する発表が行われた。コロナ禍の中、対面開催は叶わなかったが、オンラインにて有意義な意見交換ができた。

発表のリストは以下の通りである。

施設報告

2020 年度「年代測定研究」共同利用・共同研究概要

名古屋大学タンデトロン AMS^{14}C システムの現状と利用（2020）

CHIME の現状と利用（2020 年度）

一般講演　セッション 1

結晶方位解析による深海サンゴ（トクササンゴ）のカルサイト質骨格の形成プロセス解明

米国グリーンリバー湖成層に見られる有機物起源チャートの成因

屋久島西部域における急勾配地形が渓流水中の硝酸イオン起源に与える影響

一般講演　セッション 2

AMS^{14}C 年代測定に基づく北海道石狩低地帯の花粉分析データからの古植生と推移相

北海道中央部における 8 世紀以降の植生・気候変遷の解明の試みについて

大気中の $^{14}CO_2$ の分布と変動

一般講演　セッション 3

イラン北西部のトラバーチン湧水中のヒ素の起源解析

Radiocarbon ages and geochemical record for a travertine hill in NW Iran

東ポリネシア・南クック諸島マンガイア島における古植生変遷史

埋没樹木を用いた ^{14}C ウイグルマッチングの検討：霧島新燃岳の享保噴火を例として

総合討論

（別紙様式６－２）

第22回　惑星圏研究会
The 22nd 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・衛星の表層～大気圏～電磁圏・プラズマ圏の諸現象について、その特徴や物理過程、観測・計測・解析手法、また、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22回目の開催となった（初回名称「電波と光による木星磁気圏・大気圏」、現行名称は2006年以降）。

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も実施されており、興味深い成果が報告されている。また、2020年代に打上・周回軌道投入を目指す木星氷衛星探査ミッション(JUICE)に続き、同年代に打上・サンプルリターンを目指す火星衛星探査ミッション(MMX)も国際共同の下で本格的に開始された。これらの新ミッションは「水惑星・氷衛星」を主ターゲットに掲げ、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、今後の研究展開・将来検討の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～下層を結んだ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領域、惑星科学領域の多数の機関の研究者からなるSOCの下で、広い領域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ためのミーティングを行ってきた。

今回の研究会では、従来同様に広い領域の研究者からなるSOCの下、太陽系の各天体に普遍的なサイエンスに関する以下の5つのセッションを設け、3日に亘りon lineで講演と議論を行った；①天体形成・物質輸送、②惑星-衛星電磁環境、③固体-プラズマ相互作用、④大気、⑤海洋。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、”小天体”、”月”、”水星・金星”、”火星”、”外惑星”についてのスプリンターミーティングも開催した。更に、宇宙科学の戦略的な進め方・コミュニティー構築と太陽系科学コミュニティ-での議論現況の共有と議論を行う機会として、”太陽系科学コミュニティー議論”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 宇宙航空研究連携推進委員会の共催の下で実施された。

参加者数：152 名（一般：98名、大学院生・学部生：54名）

内容：

2021年2月17日～19日にon line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32件（招待講演26件、一般講演6件）、ポスター講演41件の計73件の研究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/

[2021年2月17日]
9:00-9:15 開会の辞・開催内容説明
9:15-11:20「天体形成・物質輸送」セッション
　　招待講演 “太陽系原材料の起源”瀧川 晶(東大)他 招待講演 6件
11:40-12:50 ポスターセッション・lightening talk(14件), highlight talk(7件: 学生・若手研究者)
13:20-13:50「太陽系科学コミュニティー議論」セッション #1 講演 1件
13:50-14:00 スプリンターミーティング趣旨説明
14:00-15:30 ポスターセッション・コアタイム(講演41件：30分×3班 構成)
15:30-16:20 ポスターセッション（自由討論）／ スプリンターミーティング”小天体”（並行開催）
16:20-16:30 スプリンターミーティング”小天体”ラップアップ

[2021年2月18日]
9:05-11:10 「海洋」セッション
招待講演 “火星の内部進化と脱ガス”小河正基(東大)他 招待講演6件
11:30-12:50 「大気」セッション#1
招待講演 “Strategies to characterize temperate rocky exoplanets”藤井友香(国立天文台)他 招待講演2件、一般講演2件
13:20-13:50「太陽系科学コミュニティー議論」セッション #2 講演 1件
13:50-14:40 スプリンターミーティング”火星”
14:40-14:50 スプリンターミーティング”火星”ラップアップ
14:50-15:50 「大気」セッション#2
招待講演 “プラズマ過程による惑星からの大気散逸”二穴喜文(Swedish Institute of Space Physics, Kiruna)他 招待講演3件
16:10-17:00 スプリンターミーティング”金星・水星”
17:00-17:10 スプリンターミーティング” 金星・水星”ラップアップ
17:10-19:00 懇話会（研究議論）

[2021年2月19日]
09:05-10:30 「固体・プラズマ」セッション
招待講演 “地球型惑星衛星に起きている物質の供給と放出”横田勝一郎(阪大)他、他 招待講演3件、一般講演1件
10:50-13:15 「惑星-衛星電磁環境」セッション
招待講演 “オーロラの比較惑星研究”垰 千尋(NICT) 他 招待講演6件、一般講演1件
14:15-15:05 スプリンターミーティング”火星”／”外惑星”(並行開催)
15:05-15:15 スプリンターミーティング”火星”／”外惑星”ラップアップ
15:35-16:05 スプリンターミーティング全体 ラップアップ
16:05-16:10 閉会の辞

成果等：

概要に記したように、今回の研究会では、太陽系天体に普遍的なサイエンス・テーマに基づく on going research と next step に関する講演・議論と、そのセッションに接続させて、次代の将来探査に結実させていくことを主眼においたスプリンターミーティングを実施した。SOC として、将来探査・研究検討への意識が強く反映され、口頭講演は招待講演が大部を占める内容となったが、その後に続いた関連テーマのスプリンターミーティングでは予定された時間を超える活発な議論も行われ、所期の本研究会開催目的はある程度達成できたものと考えている。一方で、本研究会が重視してきた、本研究領域の将来を担う若手研究者や学生の研究の発表の場としての役割に関して、そうした講演の多くがポスターとなってしまったことは、follow-up に努めはし（短時間の口頭紹介の機会設定、ポスター紹介コアタイムの分割実施)、zoom の break out room 機能を用いたコアタイムも想定以上に盛況ではあったが、次回以降の更なる改訂検討案件となろう。

昨年度の本研究会の最後に行われた研究会の方向性の議論で、本研究会は将来の惑星研究のサイエンス・ドライバーの役割を担うとともに、惑星研究の進め方・コミュニティー形成についても議論してゆくことが確認されていた。大きなテーマであるため、夏季には ISAS 主催の将来探査に関わる研究会において、特に後者についても議論を行うことが了解・実施され、それの継続としても本研究会が実施され、将来に向けた課題の更なる整理が行われたことを申し添える（本件は次年度夏季の ISAS 主催研究会に継続される。SOC メンバーの多くが両研究会に関わっている)。こうした議論がオープンに行われたことは、同席した多くの若手研究者や大学生にも刺激になったことと思われる。

世界的なコロナ禍の影響で、本研究会も全て on line 開催で行われた。主催側として、出席者の様子・反応が把握出来にくいことに歯がゆさもあったが、例年より多く、所属もより多岐の出席者がおられたことに鑑み、こうした制約された会ではあっても本研究会参加を seed にした研究、将来展開があることにも期待している。
[研究会集録] 講演要旨・スライドは研究会 HP (http://pparc.tohoku.ac.jp/sympo/sps/)にて 2021 年 4 月以降公開。

（別紙様式６－２）

ジオスペース変動現象の予測に関する研究集会
A workshop for forecast of geospace variability

三好由純、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

コロナ禍のため計画を実施できなかった

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。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。

実施内容
令和2年9月16日から18日までZoomアプリケーションを用いてオンラインで実施し、約80名が参加した。各日午前に成果報告を実施し、前半にあらせ衛星搭載観測機器の最新状況の報告、後半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。各日午後は自由参加とし、SpatialChatアプリケーションを用いて特に学生や若手研究者を中心に科学議論を行った。SPEDAS解析講習会は9月17日午後にZoomを用いて実施した。

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、Tutorial動画や画面共有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
1日目（9月16日）

0930-0940: 世話人, はじめに

0940-1000: 篠原育 (JAXA/ISAS), あらせ衛星報告

1000-1020: 三好由純 (名古屋大ISEE), あらせ衛星観測計画

1020-1040: 松岡彩子 (京都大), MGF現状報告

1040-1100: 笠原禎也 (金沢大), PWE現状報告

1110-1130: Chae-woo Jun (名古屋大ISEE) 他, A comprehensive study of EMIC waves observed by the Van Allen Probes and Arase

1130-1150: 新堀淳樹 (名古屋大ISEE) 他, 全球GNSS-TECとあらせ衛星観測による中緯度トラフとプラズマ圏界面の位置関係について

1150-1210: 土屋史紀 (東北大) 他, Energetic electron precipitation associated with pulsating aurora observed by subionospheric radio propagation: Statistical analysis

2日目 (9月17日)

0900-0920: 浅村和史 (JAXA/ISAS) , LEP-i 現状報告

0920-0940: 笠原慧 (東京大) , MEP-e/i 現状報告

0940-1000: 三谷烈史 (JAXA/ISAS) , HEP 現状報告

1000-1020: 植田晃平(大阪大) 他, あらせ衛星搭載XEPの応答特性評価

1020-1040: 風間洋一 (ASIAA/SINICA) , LEP-e 現状報告

1110-1130: Sandeep Kumar (名古屋大ISEE) 他, Comparative study of ions, electrons flux and pressure variations in inner magnetosphere during magnetic storms using Arase observations, RAM-SCB simulations and ground magnetic data

1130-1150: 中村紗都子 (名古屋大ISEE) 他, あらせ衛星、Van Allen Probes衛星で観測された放射線帯電子のドリフトホール構造

1150-1210: 滑川拓 (JAXA/ISAS) 他, Pitch angle distribution of drifting electron holes

1210-1230: 坂口歌織 (NICT) 他, Data assimilation of radiation belt electron using the DREAM code and multiple spacecraft data of Arase, Himawari, and GPS

3日目 (9月18日)

0900-0920: 塩川和夫 (名古屋大ISEE) , PWINGプロジェクトによる地上観測の現状報告

0920-0940: 細川敬祐 (電通大) , 2020-2021 冬季シーズンのオーロラ帯光学観測の概要

0940-1000: 小川泰信 (極地研) , ERG－EISCAT共同観測の更新情報

1000-1020: 北原理弘 (名古屋大ISEE) 他, ERG-SC報告

1030-1050: 大矢浩代 (千葉大) 他, VLF/LF帯標準電波を用いた高エネルギー降下電子のULF変調

1050-1110: 今城峻 (名古屋大ISEE) 他, 超高高度からの加速電子降下で励起される活動的オーロラアーク

1110-1130: 高田知弥 (名古屋大ISEE) 他, あらせ衛星とSuperDARNによるSAPS電場の同時観測

1130-1150: Sneha Yadav (名古屋大ISEE) 他, Study of an equatorward detachment of auroral arc from the oval using ground-space observations and the BATSRUS+CRCM model

1150-1210: 津田洸一郎(大阪大) 他, 磁気嵐中のN+に関する研究

（別紙様式６－２）

複数衛星観測に基づくジオスペースのプラズマ・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 based on multi-satellite observations

篠原育　宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所

新型コロナウィルス感染症拡大防止の観点から，開催を中止した.

（別紙様式６－２）

次世代の宇宙地球環境研究にむけた電波観測技術検討会
Technology for Next Generation Space-Earth Environmental Radio Science

赤堀卓也　国立天文台水沢VLBI観測所

ISEE共同利用研究集会として、上記の名称の国際会議を2020年8月26日(水)13時から18時、および2020年8月27日(木)9時から17時の2日間で開催した。当初は名古屋大学宇宙地球環境研究所にて開催の予定であったが、新型コロナウイルス感染症の影響を鑑みて、zoom会議システムを使った完全リモート形式にて開催した。研究会には日本を含め4カ国から64名の参加者があった。そのうち9名が海外の研究機関に所属する外国人研究者である。15名の招待講演を中心に、5件の一般寄与講演も集めた。

太陽・地球惑星系科学や気象学、天文学に低周波の電波観測は主要な研究手段の一つとして知られる。各研究分野で観測装置の開発が進む中で、本研究会は分野横断的に最新の開発情報を交換するとともに、共通する技術要素や問題点を整理し、学際的な共同研究・共同開発について議論することを目的とした。

当日は幸いネットワークの不調に見舞われることはほとんどなく特にオーストラリアとの回線は非常に良好であったことは特筆に値する。議事進行も大変スムーズであった。コロナ渦で研究者のリモート会議慣れが進んでいたからではないかと推察する。

研究会では、特に2つの成果を得ることができた。1つ目は海外の研究者の講演によって、世界最先端の技術開発がどこにあり、そしてどこに向かおうとしているかということを、非常に網羅的に俯瞰することができたことである。Dunning氏やTuccari氏の広帯域フィード開発の講演は、世界の広帯域化の潮流がクアドリッジタイプにあることを明らかに示していた。またChippendale氏のASKAPやVanderlinde氏のCHIMEの講演は、単に広視野化の技法ということだけにとどまらず、それを処理するための信号処理部にこそ挑戦的課題があることも明確になった。

2つ目は、主に地球環境科学と天文学の研究講演が展開されたことで、分野を超えた相互の技術情報や将来展望を俯瞰することができたことである。このような機会はなかなか得ることができないため、参加者にとって大変貴重な情報収集と相互理解の機会となったといえる。

研究会における発表資料は発表者から回収し、インターネット上で誰でも閲覧できるようにし、これをウェブ収録としてとりまとめた。総括として、当初の目的を十分に達成し、実りある研究会になったといえる。
http://stsw1.isee.nagoya-u.ac.jp/workshop/UHF2020/program.html

末筆になるが、このような研究会の開催機会を頂いたISEEに対し、心からお礼を申し上げる。

（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２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：2021年3月1日（月）
会場：Zoomによるオンライン開催
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して執り行った．招待講演には東京大学・早稲田卓爾教授にお願い頂きフリーク波や波浪-海氷相互作用，また大気擾乱が引き起こす最大波高と多岐にわたる研究内容のご紹介を頂いた．一般講演に関しても通常会では参加できなかった方々からご参加いただき，沿岸を対象とした波浪研究や外洋を対象とした海洋波・海面フラックス研究，また現業波浪モデル，数値解析や理論研究，室内実験，データ同化手法の開発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】
2021/3/1　（月）
09:30-10:30　招待講演
海洋波の未解決課題：波群、波浪海氷相互作用、最大波高
早稲田卓爾（東京大学新領域創成科学研究科）
10:30-11:00　講演１
Observation of on-ice wind waves under grease ice in the western Arctic Ocean
小平翼（東京大学新領域創成科学研究科）
11:15-11:45　講演２
氷海造波水槽における波浪・海氷相互作用の実験
藤原泰（東京大学新領域創成科学研究科）
11:45-12:15　講演３
アンサンブル4次元変分法を活用したフリーク波の再現
藤本航（一般財団法人日本海事協会）

13:00-13:30　講演４
衛星海面高度計による半閉鎖性セルベス海の有義波高観測
市川香（九州大学応用力学研究所）
13:30-14:00　講演５
Stereo measurements of ocean waves propagating into the Antarctic marginal ice
zone during a polar cyclone
Alberto Alberello（東京大学新領域創成科学研究科）
14:00-14:30　講演６
実務における波浪データの課題
片山裕之（五洋建設　技術研究所）
14:45-15:00　講演７
気象庁大気モデルの波浪結合の開発
高谷祐平（気象研究所）
15:00-15:15　講演８
産業用ミリ波レーダーによる白波測定にむけて
相木秀則（名古屋大学宇宙地球環境研究所）
15:15-15:45　講演９
大槌湾のうねりの特性と風波との関係
小松幸生（東京大学新領域創成科学研究科/大気海洋研）
15:45-16:15　講演11
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の構築
佐々木燦汰（近畿大学理工学部）
16:30-17:00　講演12
2019年台風15号による沿岸災害はなぜ横浜港に集中したのか？
田村仁（港湾空港技術研究所）
17:00-17:30　講演13
日本海域の波浪空間変動の解析
久木幸治（琉球大学理学部）
17:30-18:00　講演14
日本沿岸域で観測されたうねりの方向スペクトルの特徴
藤木峻（港湾空港技術研究所）

https://www.isee.nagoya-u.ac.jp/topics/20210330.html

（別紙様式６－２）

複数地点観測に基づく内部磁気圏のプラズマ波動解析ワークショップ
Workshop on the multipoint plasma wave observations in the inner magnetosphere

松田昇也　宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所

新型コロナウィルス感染症拡大防止の観点から，開催を中止した.

（別紙様式６－２）

宇宙プラズマにおける粒子加速ワークショップ
Workshop for particle acceleration in space plasma

田島宏康、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

コロナ禍のため研究を実施できなかった

（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た。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。

これまで6回にわたって開催してきた研究集会は、名古屋大学や東京大学で実施してきた。しかしながら、今年度はコロナ禍の最中であることから、今年度の研究集会は12月9日の午後にオンラインで開催した。オンラインということで、各自のオフィスや自宅から参加できるためか、例年を上回る30機関から71名の参加希望の申し込みがあった。このうち、実際の参加者は67名であった。

研究集会では、最初にマスタープラン 2020 に採択されたことが高橋（名古屋大学）から報告され、今後、研究計画の実施に向けて各方面に働きかけていく予定であることが説明された。その後、台風観測、エアロゾルや氷晶雲観測、気体観測について 13 件の講演があった。今年度は特に無人航空機を用いた観測についての講演が 3 件あり、南極における気象現象や気体サンプリング実験などについての講演は、航空機観測の無人化や遠隔地域（有人機での観測が困難な領域）での観測の可能性を示すものであった。いずれの発表でも想定していた質疑応答の時間を超過するほど活発な議論が行われた。

航空機を用いた気象・気候のみならず地球科学観測は、マスタープラン 2020 の重点領域に採択されたこともあり、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。

1. 高橋暢宏（名大 ISEE）
   重点領域現状紹介
2. 坪木和久（名大 ISEE）
   台湾の航空機を用いた台風 Maysak(第 9 号)と Chan-Hon(第 14 号)のドロップゾンデ観測速報

3. 篠田太郎（名大 ISEE）・山田広幸・加藤雅也・坪木和久・Po-Hsiung Lin・Der-Song Chen
雲解像数値モデルで再現された水蒸気の鉛直プロファイルの検証　－航空機からのドロップゾンデ観測との比較－
4. 高橋暢宏（名大 ISEE）
台風観測を想定した航空機搭載レーダのサンプリング検討
5. 村上正隆（気象研・名大 ISEE）・篠田太郎・高橋暢宏・坪木和久・増永浩彦・堀江宏昭・山田広幸・折笠成宏・田尻拓也・財前祐二・川合秀明・松木篤・牧輝弥・竹村俊彦・Walter Strapp・Lyle Lilie・Thomas Ratvasky・Kris Bedka
高濃度氷晶雲の実態把握と検出法・予測法開発に関する基礎的研究　－航空機観測実施時期の検討－
6. 折笠成宏（気象研）・村上正隆・田尻拓也・財前祐二・篠田太郎
UAE 上空におけるエアロゾル・雲の直接観測
7. 久世暁彦（JAXA）・須藤洋志・鉱崎誠哉・塩見　慶・松本紋子・椿原康宏・片岡文恵・郭　哲也・森重隆
定期航空便による大気成分のリモートセンシング分光観測
8. 藤井裕矩（(株) TMIT 研究開発部）・丸山勇祐・富田　匠
日本上空の風力資源調査について
9. 町田敏暢（環境研）・笹川基樹・梅澤　拓・石島健太郎・M. Arshinov・S. Mitin・T. Maximov
シベリア上空における大気中温室効果ガスの長期モニタリング
10. 藤田　遼（気象研）・森本真司・町田敏伸・澤　庸介・松枝秀和・坪井一寛・青木周司・中澤高清
Carbon and hydrogen isotope ratios of methane in the upper troposphere/lowermost stratosphere over the Eurasian Continent
11. 渡辺幸一（富山県立大学）
上空大気中の過酸化水素およびホルムアルデヒドの計測
12. 平沢尚彦（極地研）
無人飛行機を用いたエアロゾルの輸送の観測
13. 林　政彦（福岡大）・東野伸一郎・堤　雅貴
気球浮揚無人航空機による成層圏エアロゾルサンプルリターン
14. 林　政彦（福岡大）・原口諒平・猪股弥生・平沢尚彦
無人航空機による超微粒子観測と新粒子生成機構の検討

（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。2020年度は2月18，19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”惑星間空間プラズマにおける波動現象”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日間の参加者は延べ101名であった。

以下は，研究集会(シンポジウム)のプログラムである。

2021 年 2 月 18 日(木)

9:00-9:25 太陽活動極小期における宇宙線観測と宇宙天気・宇宙気候(仮題)

宗像一起(信州大) 他

9:25-9:50 2018 年 8 月の CME イベントの解析 4

木原渉(信州大)，加藤千尋，宗像一起，高柚季乃，片岡龍峰，門倉昭

9:50-10:15 宇宙線反粒子観測実験 GAPS と太陽モジュレーション

小財正義(JAXA) for the GAPS collaboration

休憩 15 分

10:30-11:15 TeV 領域宇宙線異方性の太陽圏磁場による変調

T. K. Sako (ICRR)for the Tibet ASgamma Collaboration

11:15-12:00 ALPACA 実験による宇宙線異方性観測の展望

横江諠衡(ICRR) 他 ALPACA collaboration

昼食 1 時間

13:00-13:45 宇宙線空気シャワー観測装置の惑星間空間擾乱の観測への利用方法の研究

野中敏幸1,大嶋晃敏2，小島浩司3，柴田祥一2，John N. Matthews4，徳丸宗利5，藤

末紘三1，松原豊5，宗像一起6，矢田浩平1(1:東大宇宙線研,2:中部大工，3:愛工

大工，4:ユタ大学，5:名大 ISEE，6:信州大理)

13:45-14:10 GRAPES-3 宇宙線望遠鏡観測により得られた宇宙線強度異方性天球面2次元

構造について(仮題)

小島浩司(愛工大)他 GRAPES-3Collaborator

休憩 10 分

14:20-15:05 ISS 搭載 CALET による5年間の軌道上観測の成果

鳥居祥二(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

15:05-15:30 CALET で観測された太陽変調の荷電依存性の研究

高柚季乃(信州大)

、加藤千尋、宗像一起、浅岡陽一、鳥居祥二、赤池陽水、小林兼好、片

岡龍峰、三宅晶子、他 CALET チーム

休憩 10 分

15:40-16:05 2004 年 11 月 7 日の X2.0 のフレアに伴う太陽中性子崩壊陽子・電子の観測

村木 綏(名大)

、松原 豊、柴田祥一、垰 隆志、増田 智、徳丸宗利、境

孝祐、内藤統也、小井辰己、大嶋晃敏、V. Galicia, E. Ortiz, P. Miranda

16:05-16:20 太陽中性子・ガンマ線観測用超小型衛星 NU-SONGS の開発現状と今後の展望について

宇佐見 雅己(名大)、野橋 大輝、山岡 和貴、田島 宏康、松下 幸司、伊藤 和也、稲守 孝哉、Ji Hyun Park、宮田 喜久子(名城大)

16:20-16:45 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

中澤 知洋(名大/KMI)、佐藤 光輝、佐藤 陽祐(北大)、榎戸 輝揚(理研)、田島 宏康(名

大/ISEE)、和田 有希(理研)

16:45-17:10 はやぶさ 2 の突入カプセルのプラズマ化による電波放射の観測からの将来計画

野澤恵(茨城大学)

===

2021 年 2 月 19 日(金)

9:00-9:55 地球フォアショック ULF 波動による高エネルギーイオンの拡散過程

松清修一(九大)、大塚史子、Arpad Kis

9:55-10:20 準垂直衝撃波における電子加速:PIC シミュレーションと MMS 衛星観測の比較

大塚史子(九大)、松清修一、岡光夫

休憩 15 分

10:35-11:30 太陽風中の月ウェイク境界で起きる MHD からサイクロトロン周波数の3倍程度に広がる磁場変動の偏波について

中川朋子(東北工大)

11:30-11:55 大型の地磁気嵐の主原因となる太陽風磁場の構造

丸橋克英(NICT)

昼食 1時間 5 分

13:00-13:25 ボイジャー観測を用いた太陽圏ヘリオポーズ構造の MHD 解析

鷲見治一(九大)、田中高史、松清修一

13:25-13:50 銀河宇宙線の太陽圏侵入過程に関する研究(仮題)

吉田光太郎(九大)、松清修一、鷲見治一、羽田亨

13:50-14:35 GRAPES-3 大気ミューオン観測による宇宙天気研究

大嶋晃敏(中部大)

14:35-15:00 2000 年から 2020 年までの宇宙線生成核種 Be-7 の大気中濃度変動について

櫻井敬久(山形大)、門叶冬樹、乾恵美子、森谷透、武山美麗、三宅芙沙

休憩 15 分

15:15-15:40 Two types of the solar wind detected by spacecraft radio scintillations

千葉翔太(東大)

15:40-16:05 IPS CT とスペクトル解析についての考察

小島正宜(名大)

16:05-16:30 ISEE 太陽風観測装置の次世代機の開発

岩井一正(名大 ISEE)、徳丸 宗利、藤木 謙一

（別紙様式６－２）

JpGUセッション「航空機・無人機観測による地球惑星科学の推進」および関連会合の開催
JpGU session "Aircraft and UAV Observations for Earth-planetary sciences"

高橋暢宏、名古屋大学宇宙地球環境研究所

航空機観測推進のための研究集会としてJpGUを活用して標記の研究集会を開催した。また、通常JpGUの開催に合わせて航空機観測推進員会を実施しているが、JpGUがオンラインとなったため、日を改めて12月9日に実施した。

JpGUでは、Discussion Forum Session （DFS）をオンラインで実施し、すべての発表者に研究の紹介をしてもらい、後はiposterによるポスターでの議論を行った。DFアジェンダを以下に示す。

11:30-11:35 Introduction (N. Takahashi)

11:35-11:37 [ACG58-01] Wind Nowcasting by using Time-Lagged Mesoscale Ensemble Forecast and Flight Data (R. Kikuchi et al.)

11:38-11:40 [ACG58-02] In-Situ Observations of Ubiquitous "Sheet and Layer" Structures in the Free Troposphere with Multiple Coordinated Small Unmanned Aircraft Systems (A. Doddi et al.)

11:41-11:43 [ACG58-P01] Estimation of Turbulence Kinetic Energy dissipation rate (ε) using High-Resolution Pitot differential pressure sensor onboard a Small Unmanned Aircraft System (sUAS) (A. Doddi et al.)

11:44-11:46 [ACG58-05] Abundances of black carbon and iron oxide aerosols over East Asia and the Arctic from the aircraft measurements (A. Yoshida et al.)

11:47-11:49 [ACG58-04] In situ measurements of aerosol and cloud microphysical properties and cloud seeding experiments over the UAE: Part 2 (N. Orikasa et al.)

11:50-11:52 [ACG58-06] Direct Evidence of Nitrate Aerosol Formation in Summer Antarctic Stratosphere Otained by Balloon-Assisted UAV (M. Hayashi et al.)

11:53-11:55 [ACG58-P06] Variation of ultra fine particle concentrations within the winter boundary layer observed by a Multicopter UAV (M. Hayashi et al.)

11:56-11:58 [ACG58-P02] Development of Method for Turbulence Simulation using Onboard LIDAR Data Assimilation (R. Yoshimura)

11:59-12:01 [ACG58-P04] Characteristic analysis of measurement error in GNSS-R UAV Altimeter (W. Chuanbing and K. Ichikawa)

12:02-12:04 [ACG58-P05] NICT third generation airborne SAR system (S. Kojima et al.)

12:05-12:06 [ACG58-P07] Proposal to the master plan 2020: Promotion of Scientific Research on Climate and Earth System Sciences Using Aircrafts (N.

Takahashi and M. Koike)

12:07-12:15 Short report on the Master Plan 2020 (N. Takahashi and M. Koike)

今回の研究発表では、マスタープラン2020に航空機観測が重点課題に採択されたことやオンラインの実施ということもあり、新たな参加者も多く見られ、盛況であった。

12月9日には、航空機観測推進員会を実施した、ここでは主にマスタープラン2020で重点課題に採択されてことを受けて、大型予算の獲得等についての議論を行い、推進体制の強化（ISEE飛翔体観測推進センター）や省庁への航空機観測の重要性の説明を行うことし、その一環として航空機観測のパンフレットを作成することやオンラインセミナーの開催等を実施することとなった。

（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
Contribution to inner heliospheric science by BepiColombo

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」を2021年2月15日～16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（ISEE/ISAS Symposium on Inner Heliosphere Studies)」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可能性
・米国が主導するParker Solar Probe 計画の最新状況
・欧州が主導するSolar Orbiter計画の全体概要と今後の計画
・日本が主導する太陽観測計画の最新状況
・太陽風加速、太陽高エネルギー粒子の生成など内部太陽圏における最新科学課題の紹介
・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。またParker Solar ProbeおよびSolar Orbiterの主要研究者を招へいしたことにより、海外における最新の内部太陽圏探査状況を全体と共有することができた。2020年代は3機の探査機が内部太陽圏を同時に探査できる過去にない研究好機となることを広く参加者間で共有した。

また、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した初の試みであったが、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。今後も引き続き開催し、さらなる研究の進展を図る。

（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、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2年9月16日から18日までZoomを用いてオンラインで実施し、約80名が参加した。各日午前に成果報告を実施し、前半にあらせ衛星搭載観測機器の最新状況の報告、後半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。各日午後は自由参加とし、SpatialChatを用いて特に学生や若手研究者を中心に科学議論を行った。SPEDAS解析講習会は9月17日午後にZoomを用いて実施した。

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、Tutorial動画や画面共有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

1日目（9月16日）

0930-0940: 世話人, はじめに

0940-1000: 篠原育 (JAXA/ISAS) , あらせ衛星報告

1000-1020: 三好由純 (名古屋大ISEE) , あらせ衛星観測計画

1020-1040: 松岡彩子 (京都大) , MGF現状報告

1040-1100: 笠原禎也 (金沢大) , PWE現状報告

1110-1130: Chae-woo Jun (名古屋大ISEE) 他, A comprehensive study of EMIC waves observed by the Van Allen Probes and Arase

1130-1150: 新堀淳樹 (名古屋大ISEE) 他, 全球GNSS-TECとあらせ衛星観測による中緯度トラフとプラズマ圏界面の位置関係について

1150-1210: 土屋史紀 (東北大) 他, Energetic electron precipitation associated with pulsating aurora observed by subionospheric radio propagation: Statistical analysis

2日目（9月17日）

0900-0920: 浅村和史 (JAXA/ISAS) , LEP-i 現状報告

0920-0940: 笠原慧 (東京大) , MEP-e/i 現状報告

0940-1000: 三谷烈史 (JAXA/ISAS) , HEP 現状報告

1000-1020: 植田晃平(大阪大) 他, あらせ衛星搭載XEPの応答特性評価

1020-1040: 風間洋一 (ASIAA/SINICA) , LEP-e 現状報告

1110-1130: Sandeep Kumar (名古屋大ISEE) 他, Comparative study of ions, electrons flux and pressure variations in inner magnetosphere during magnetic storms using Arase observations, RAM-SCB simulations and ground magnetic data

1130-1150: 中村紗都子 (名古屋大ISEE) 他, あらせ衛星、Van Allen Probes衛星で観測された放射線帯電子のドリフトホール構造

1150-1210: 滑川拓 (JAXA/ISAS) 他, Pitch angle distribution of drifting electron holes

1210-1230: 坂口歌織 (NICT) 他, Data assimilation of radiation belt electron using the DREAM code and multiple spacecraft data of Arase, Himawari, and GPS

3日目（9月18日）

0900-0920: 塩川和夫 (名古屋大ISEE) , PWINGプロジェクトによる地上観測の現状報告

0920-0940: 細川敬祐 (電通大) , 2020-2021 冬季シーズンのオーロラ帯光学観測の概要

0940-1000: 小川泰信 (極地研) , ERG－EISCAT共同観測の更新情報

1000-1020: 北原理弘 (名古屋大ISEE) 他, ERG-SC報告

1030-1050: 大矢浩代 (千葉大) 他, VLF/LF帯標準電波を用いた高エネルギー降下電子のULF変調

1050-1110: 今城峻 (名古屋大ISEE) 他, 超高高度からの加速電子降下で励起される活動的オーロラアーク

1110-1130: 高田知弥 (名古屋大ISEE) 他, あらせ衛星とSuperDARNによるSAPS電場の同時観測

1130-1150: Sneha Yadav (名古屋大ISEE) 他, Study of an equatorward detachment of auroral arc from the oval using ground-space observations and the BATSRUS+CRCM model

1150-1210: 津田洸一郎(大阪大) 他, 磁気嵐中のN+に関する研究

（別紙様式６－２）

「プラズマ圏の観測とモデリング」研究集会
Workshop on Observation and Modeling of the Plasmasphere

尾花由紀・大阪電気通信大学・工学部基礎理工学科

コロナ禍のため研究集会を実施できなかった

（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

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領域である。また、同領域は、衛星測位に対する誤差要因など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 領域の特徴を意識し、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、彼ら自身による研究発表と質疑応答の場を提供し、最新の研究成果を日本語で正確に発表するとともにその内容についての質疑応答時間を多くとる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、研究内容の理解度を深めることにつながった。また、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の立案にむけた議論を行った。なお、本年度は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2年9月28日から30日までの3日間の日程で「STE現象報告会」「宇宙空間からの地球超高層大気観測に関する研究会」「太陽地球系物理学分野のデータ解析手法、ツールの理解と応用に関する研究集会」との合同で開催した。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：53名

9月29日：58名

9月30日：33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4つの招待講演(極域熱圏風、電離圏擾乱観測、高エネルギー粒子降下による中間圏変動等)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。Zoom会議システムによるオンライン開催としたが、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ひと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で前進していることが確認できた。よって、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によっ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として以下があげられる。

1. Sori, T., A. Shinbori, Y. Otsuka, T. Tsugawa, and M. Nishioka, Characteristics of GNSS total electron content enhancements over the midlatitudes during a geomagnetic storm on 7 and 8 November 2004, *J. Geophys. Res.*, **124**, 10376-10,394, doi: 10.1029/2019JA026713, 2019.

2. Shinbori, A., Y. Otsuka, T. Sori, T. Tsugawa, and M. Nishioka, Temporal and spatial variations of total electron content enhancements during a geomagnetic storm on 27 and 28 September 2017, *J. Geophys. Res.*, **125**, e2019JA026873, doi: 10.1029/2019JA026873, 2020.

3. Inaba, Y., K. Shiokawa, S.-I. Oyama, Y. Otsuka, A. Oksanen, A. Shinbori, A. Y. Gololobov, Y. Miyoshi, Y. Kazama, S. -Y. Wang S. W. Y. Tam, T. -F. Chang, B. -J. Wang, S. Yokota, S. Kasahara, K. Keika, T. Hori, A. Matsuoka, Y. Kasahara, A. Kumamoto, Y. Kasaba, F. Tsuchiya, M. Shoji, I. Shinohara, and C. Stolle, Plasma and field observations in the magnetospheric source region of a stable auroral red (SAR) arc by the Arase satellite on 28 March 2017, *J. Geophys. Res.*, **125**, e2020JA028068, doi: 10.1029/2020JA028068, 2020.

（別紙様式６－２）

第5回　YMAP秋の研究会
5th YMAP Symposium

細川佳志、東北大学・ニュートリノ科学研究センター

東京大学柏キャンパス宇宙線研究所において開催を予定していたが，コロナ禍のため研究集会を対面では実施できなかった。オンラインでの開催となり共同利用経費を使わず実行したため，採択額の全額を返納した。

本研究会は2020年11月7，8日にオンラインで開催した。参加者は18名で，うち発表は16件であった。発表題目等については，http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/YMAP/event/conf2020/program.htmlで公開している。原則参加者全員がZoomで口頭発表を行い，並行してSlackで資料を共有し，研究会終了後も各議題のチャンネルでの議論をおこなった。宇宙線・ニュートリノ・暗黒物質・重力波などの若手研究者が領域を横断して交流する良い機会となったが，対面で開催されてきた例年と比べるとやや交流が少ないように感じられた。一方でオンライン開催ゆえに海外からも参加可能という利点もあり，来年度以降は対面とオンラインのハイブリッド開催を検討するなど，今後の研究会開催・若手交流にあたっての新たなヒントを得ることができた。

（別紙様式６－２）

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
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、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策定に向けて、２０１９年度のはじめから、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り月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、２０２０年１１月に全１６回に及ぶ勉強会の開催を完了した。本勉強会は、これまでに太陽地球惑星圏の研究領域で実施した衛星ミッション、観測ロケット実験などの人工飛翔体を用いた観測的研究によって、何が解明されて、何が未解明であるかを同定した上で、今後何を解明するためにどのようなミッションが必要であるのかを明らかにすることを目的としていた。

本研究集会の元々の目的は、勉強会を通じて明らかになった個々の情報をまとめて最終的な目標であるロードマップの策定につなげるため、関連する研究者が一同に会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をその重要度も含めて明らかにし、実施すべき衛星ミッション、観測ロケット実験を優先順位も含めて明らかにすることであった。本研究集会は実体での開催を直前まで検討していたものの、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 26 日に開催し 62 名の出席者があった。もともと実体での研究集会を開催する場合には２日間の研究集会とする予定であったが、オンライン会合になったのに伴い１日で開催することにした。

研究集会は、パネルディスカッションとその後の全体議論の２部構成とした。パネルディスカッションは、勉強会の内容とその後のロードマップ作成に向けたキーワードの募集結果に基いて抽出した、今後5−１０年の間と２０年後、３０年後、４０年後、そしてそれより先の将来に実現すべき観測手段・観測技術の年表と、解明すべきサイエンス項目の間の関係付けを行うことで、ロードマップにつながるストーリを明らかにすることを目指した。パネルディスカッションに先立って、パネリストには課題を渡し、５分以内でその課題に応じたプレゼンテーションを依頼した。サイエンスに関する議論の際には、最終的に解明したいサイエンスの課題に対してどのようにしてステップを踏んでその課題の解決を進めていくのか、そしてその課題の解決のためにはどのような観測内容、観測手段が必要となるのかを示してもらうことを課題とした。一方、観測技術に関する議論の際には、ど

の様な究極の観測技術・観測手段を実現するために、どのようにしてステップを踏んでその技術開発を行っていくのかを示してもらうことを課題とした。このパネルディスカッションによってロードマップにつながる複数のストーリを明らかにすることができた。

全体議論においては、分野の目指す最終的な目標が何であるかの議論から始めた。分野全体が目指すところに関しては、次元の異なるいくつかの側面が同時に進行した先に、究極の目標があることからその表現には工夫が必要であることが認識されたものの、一定のコンセンサスを得ることができたと考えている。その後、具体的なロードマップの議論に入った。パネルディスカッションによって明らかになってきたロードマップにつながるストーリのまとめと、それに基いた具体的なロードマップの策定作業にはまだしばらく時間を要することから、今後のロードマップ策定作業の予告と協力依頼をすることで、今回の研究集会を閉会することとした。なお、研究集会の前に SLACK を立ち上げて出席者の間の情報交換を進めることを試みた。研究集会後もこの SLACK による情報交換は続けることにしており、今後のロードマップ策定作業において研究者間の意思疎通のツールとなることが期待される。２０２１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、具体的なロードマップ策定に向けた作業をオンライン会議、SLACK などを活用して進めた上で、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）

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）、片岡 龍峰（国立極地研究所）

参加者数：29名

研究集会概要と成果

本研究集会は、昨年より続くCOVID-19の影響により、対面での開催が困難であると判断し、Zoomを用いたオンライン研究集会として開催された。第25太陽活動周期の開始から1年が経ち、規模や頻度が徐々に大きくなりつつある宇宙天気現象について、様々な研究機関より報告がおこなわれた。また、過去の太陽活動周期における現象の解析や、これからの観測計画についての発表など、多くの興味深い講演がおこなわれた。参加者は学部生からシニアまで、さらには研究職以外の方と多岐にわたり、活発な議論がおこなわれた。

（別紙様式６－２）

2020年代の海洋観測
―ブレーンストーミング；超小型衛星でのSDGs海洋観測仕様―
Ocean Observations in 2020s: Brain-Storming; Specifications of micro-satellites for SDGs ocean observations

市川　香、九州大学・応用力学研究所

本研究集会のシリーズでは，海洋科学の観測に必要な時空間分解能や観測精度を想定しながら，それらの要望を小型飛翔体（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。初対面の人達が多い異分野交流型の会合であり，プロジェクト部外秘に近い話をする機会が多いため，オンラインではなく対面での開催が必須であると考えた。対面開催を実施すべくスケジュールの調整を行ったが，新型コロナウイルスによる行動規制の長期化のため，2020年度の開催を見送った。

（別紙様式６－２）

宇宙天気、電離圏プラズマ、大気物理分野における超小型衛星の利用

Applicability of microsatellite observations for space whether, ionospheric plasma, and atmospheric physics

寺本万里子、九州工業大学大学院工学研究院

コロナ禍のため研究集会を実施できなかった。

（別紙様式６－２）

海洋乱流に関する観測およびモデリング研究集会
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、海洋上層部における成層の強化、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。

海洋乱流・混合の研究は、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。そこで本研究集会では、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、海洋乱流に関する互いの知識や疑問点を共有し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、研究発表を行うこととした。ただし本年度は、新型コロナウィルス拡大への対応のため、協議の結果、オンライン方式に切り替えて集会を実施した。円滑な運営のため、継続的な視聴による疲労蓄積を軽減するために休憩時間を挟む、②集会前日等にテスト接続の機会を設ける、③論文未発表の情報も含まれるために録画等を行わない等の配慮のお願いを連絡する等の対応を行なった。

本研究集会でのプログラムを表-1 に示す。講演件数は 11 件で当初想定通りの数となった。提供される話題は、海洋表層での風波起源乱流、強風下の粒子衝突、海底近傍乱流やその物質輸送への寄与、黒潮域や湖沼での乱流、子午面循環と乱流の関係、二重拡散対流等、多岐に渡った。

参加者数やその構成について、当初 30 名程度と想定していたが、大学、国立研究開発法人、民間機関等から約 50 名（延べ約 100 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ことが明らかとなった。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

10 月 22 日（木）	
13:00-13:10	趣旨説明
13:10-13:40	インド洋子午面循環を閉じる内部波鉛直混合 勝又勝郎（JAMSTEC）
13:40-14:10	海洋混合層の風成乱流が粒子による物質輸送に及ぼす影響に関する数値実験 西野圭佑（京大院理）・吉川裕
14:10-14:40	Near-field wind mixing and implication on parameterization 井上龍一郎（JAMSTEC）
（休憩）	
15:00-15:30	波と Langmuir 循環の結合過程のパラメタ依存性 藤原泰（東大院新領域）
15:30-16:00	霞ヶ浦での乱流混合過程について 増永英治（茨城大）
16:00-16:30	海底近傍における鉛直渦拡散係数の見積もりおよびその妥当性 廣岡 拓也（九大院総理工）・遠藤貴洋
16:30-17:00	海底境界層近傍での懸濁粒子動態 古市尚基（水産機構）
10 月 23 日（金）	
9:30-10:00	変形領域における二次元乱流の統計力学 大貫陽平（九大応力研）
10:00-10:30	回転及び鉛直シア存在下での Diffusive 型 2 重拡散対流の直接数値計算 松村義正（東大大気海洋研）・安田一郎・新野宏
10:30-11:00	黒潮続流係留ブイによって観測された海洋混合層内の散発的低塩分シグナル 相木秀則（名古屋大学宇宙地球環境研究所）
11:00-11:30	台湾東方から四国南方にわたる黒潮域における乱流混合の観測 堤 英輔(東大大気海洋研), 松野 健・千手 智晴・遠藤 貴洋(九大応力研), 長井健容(海洋大), 長谷川 大介(水産機構), 中村 啓彦・仁科 文子(鹿大水産)・M.H.Chang・Y.J.Yang・S. Jan (IONTU)・郭 新宇(愛媛大 CMES)

（別紙様式６－２）

国際シンポジウム「分野を越えたデータの国際連携」
Global Collaborations on Data beyond Disciplines

村山泰啓・研究開発法人情報通信研究機構

本研究会は、情報通信研究機構による世界データシステム（WDS)の国際プログラムオフィス設置 10 周年を記念して、研究分野を越えたデータ関連活動の国際連携態勢の構築を目指して、9 月 23-25 日に Zoom によりオンラインで開催された。研究会の運営は、日本学術会議国際サイエンスデータ分科会。WDS 小委員会の主導により、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の協力のもとに行われた。参加者登録者は、計 350 名（うち海外は 45 か国 270 名、国内 80 名）であった。3 日間で計 7 つのセッションが行われ、今回は特に、国際学術会議（International Science Council; ISC）の学際データ組織である World Data System (WDS)並びに Open Researcher and Contributor ID (ORCID)との連携による関連セッションが設けられた。またアジア・オセアニア地区とのデータ諸活動の連携セッション、若手研究者フォーラム（WDS Early Career Network members による発表を含む、主に中国)、COVID-19 の複数分野の視点によるデータ解析・データ共有、さらに太陽活動と地球環境変動との関連のデータ解析や。オーロラ活動の古データの発掘やデータベース化など、宇宙地球環境に関連の深い、分野を横断したデータの公開と活用等に関するセッションもあり、国内外から多数の発表があった（Keynote 及び一般講演；計 72 件)。全体として、学際的内容かつ発表者の年齢層・国籍も多様であり、今回のシンポジウムにより、宇宙地球環境研究を含む「分野を超えたデータの国際連携」について、貴重な場を提供することができたと言える。なお、プログラムの最終版、及びアブストラクト冊子（Programme and Abstracts booklet）は、シンポジウム HP（https://ds.rois.ac.jp/article/dsws_2020/）よりダウンロード可能である。また参加者（事前登録者）は、各セッションの録画記録を 10 月末まで視聴可としている。なおシンポジウム特集号を Data Science Journal で出版することが決定し、投稿論文の公募を行っている。

以下にプログラムの概要を示す。

2020 年 9 月 23 日（JST）

午後：開会挨拶・基調講演（5 件)、
WDS-IPO（国際プログラム事務局）10 周年関連講演（8 件）

夜間：WDS メンバーフォーラム（4 件＋パネル討論・グループ討論）

2020 年 9 月 24 日（JST)

午前：アジア・太平洋地区のおけるデータ活動（8 件）

午後：WDS と ORCID との連携模索ワークショップ（7 件）

夜間：COVID-19 関連データに関する国際連携（15 件）

2020 年 9 月 25 日（JST）

午前：アジア・太平洋地区の若手研究者フォーラム（10 件）

午後：分野を越えたデータの公開と活用（9 件）、

まとめと今後の展望・閉会挨拶（3 件）、予稿のみ（3 件）

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

相木秀則（名古屋大学宇宙地球環境研究所）
尾形 友道（海洋研究開発機構・アプリケーションラボ）

令和 2 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 2019 年 12 月 17 日（木）～18 日（金）にオンラインで開催した。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、11 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、今年度もインドネシアからの招待講演者（Iskhaq Iskandar 氏、Riza Iskandar 氏、Givo Alsepan 氏）の発表もあり、特にインドネシア多島海を中心とする様々な研究テーマと国際的な諸問題について活発な議論がなされた。また、他の地域における大気海洋研究においても様々な分野からの発表があった。長めの発表時間もあり、従来の学会では聞けない学際的なトピックに関する貴重な意見交換の場になった。

集会 1 日目（12 月 17 日）:
まず、インドネシアの研究者からの研究発表として、Iskhaq Iskandar（Universitas Sriwijaya）、Riza Iskandar（東北大）からインドネシア多島域を経由して太平洋からインド洋に流れるインドネシア通貨流の水塊変質について、観測データを用いた研究結果を紹介した。Givo Alsepan（北大）はインドネシアに置ける降水の年々変動と熱帯海洋の気候変動や ITCZ との関連性に関して議論した。
引き続き午後は、インド洋の海洋物理学に関する若手～中堅研究者の発表として、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 の季節内変動に関して紹介した。久住空広（東大）は赤道インド洋西部であるソマリ沖の湧昇メカニズムについて、風による局所効果とロスビー波による遠隔効果に切り分けた感度実験により議論した。松田拓朗（東大）は南インド洋における亜寒帯モード水の形成メカニズムを解析し、異なる特性の水塊が形成/伝播している事を示した。

集会２日目（12 月 18 日）:
２日目の午前はアジアモンスーン域の気候力学の事例として、平田秀隆（立正大）はアラビア海にモンスーン低気圧の発達プロセスについて、高解像度の領域モデルによる研究結果を紹介し、海上からの潜熱供給が重要である事を示した。西井和晃（三重大）は大気大

循環モデルを用いた 2017/18 および 2019/20 の潜在的予測可能性について、アンサンブル実験の結果から議論した。尾形友道（JAMSTEC）は西井氏も用いている大気大循環モデル（AFES）に新しい対流スキームを用いた実験でのアジアモンスーンの再現性について紹介した。
午後は、熱帯における海洋波動の新しい診断スキームを用いた研究紹介として、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、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。

今回はコロナ禍により、当初の予定を変更し、12 月中旬におけるオンライン開催となった。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。オンライン懇親会などの場も含めて、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。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。

以下、集会プログラム

Workshop: Approaches for Hydrospheric-Atmospheric Environmental Studies in Asia-Oceania

（インド太平洋集会@名古屋大学宇宙地球環境研究所）

Place and time: On line, 10:00-12:00 & 14:00-16:00 (JST), 12/17 (Thu) & 18 (Fri) 12/17 (Thu)

Chair: Takanori Horii
10:00-10:05 (Opening Remarks)
10:05-10:25 (1-minute self introduction)
Chair: Yukio Masumoto
10:30-11:00 Iskhaq Iskandar (University of Sriwijaya)

“ARGO profiled water mass transformation in the Makassar Strait”
11:00-11:30 Mochamad Riza Iskandar (Tohoku University/ Indonesian Institute of Sciences)

“Pathways, timescales and transport of the Indonesian Throughflow, and water mass transformation in the Indonesian Seas”
11:30-12:00 Givo Alsepan (Hokkaido University)

“Relations between interannual variability of regional-scale Indonesian precipitation and large-scale climate modes during 1960-2007”
12:00-12:30 (Free discussion)

Chair: Hidenori Aiki
14:00-14:30 Takanori Horii (JAMSTEC)

“Intraseasonal variation of Chlorophyll-a along the southern coast of Java” 14:30-15:00 Takahiro Kusumi (University of Tokyo)

“Interannual variations of the sea surface temperature in the Somalia upwelling region during the summer monsoon”
15:00-15:30 Takuro Matsuta (University of Tokyo)

“The Subantarctic Mode Water formation in the South Indian Ocean” 15:30-16:00 (Free discussion)
16:00-18:00 (online convival party)

12/18 (Fri)

Chair: Takanori Horii
10:00-10:30 Hidetaka Hirata (Rissho University)

“Response of a monsoon depression to SST anomailies over the Bay of Bengal” 10:30-11:00 Kazuaki Nishii (Mie University)

“AGCM experiments of winters of 2017/18 and 2019/20” 11:00-11:30 Tomomichi Ogata (JAMSTEC)

“impact of updated convection scheme in AGCM simulated Asian monsoon variability”
11:30-12:00 (Free discussion)

Chair: Tomomichi Ogata
14:00-14:30 Zimeng Li (Nagoya University)

“Investigation of interannual variability in the Indian Ocean based on the transfer routes of wave energy”
14:30-15:00 Hidenori Aiki (Nagoya University, ISEE)

“Interaction of the Pacific and Indian Oceans in terms of wave energy transfers” Chair: Hidenori Aiki
15:00-15:30 (Free discussion, closing remark)

（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

地球超高層大気領域の宇宙空間からの観測について議論と立案を行うことを目的として研究会を開催した。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。その中でもボトムアップ型の衛星観測の提案が可能な、JAXA宇宙科学研究所(ISAS)による公募型小型衛星は重要であり、2020年、2022年の公募が予定されている。このような状況を受けて、ISAS公募型小型衛星提案とその他の宇宙空間からの観測に関して、それらの提案・観測を地球超高層大気コミュニティとして推進・実現することを目的として本研究会を開催した。

2. 概要

開催日時：2020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：39名

3. プログラム

【座長：大塚雄一】

13:00-13:20　MTI 領域の衛星観測
齊藤昭則（京都大）

13:20-13:40　超高層大気における N-I 結合の理解に向けた衛星-地上共同観測への期待
大山伸一郎（名古屋大 ISEE）

13:40-14:00　中性粒子分析器の開発状況
齋藤義文（宇宙研）、平原聖文、横田勝一郎、笠原慧、浅村和史
14:00-14:20　観測ロケット実験の現状と今後
阿部琢美（宇宙研）
14:20-14:40　超低高度衛星技術試験機(SLATS)の運用結果(主に大気密度評価)と今後の計画について
今村俊介（JAXA）

(休憩 14:40-15:00)

【座長：齊藤昭則】
15:00-15:20　姿勢・軌道制御能力を有した CubeSat の研究開発の現状と理学観測への応用
稲守孝哉（名古屋大）
15:20-15:40　九州工業大学が開発した超小型衛星による電離圏観測計画について
寺本万里子（九工大）、H. Elmegharbel、H. Mahmoud、岸本真生子、中井美織、Sangkyun Kim、Necmi Cihan Orger、趙 孟佑、SPATIUM-II and BIRDS-V Project Members
15:40-16:00　超小型衛星による観測戦略
高橋幸弘（北海道大）
16:00-16:20　超小型衛星を用いた地球電磁気圏・超高層大気観測計画に向けて
平原聖文（名古屋大 ISEE）
16:20-16:40　国際宇宙ステーションからのデジカメ観測による脈動オーロラの広域空間特性
南條壮汰(電通大)、穂積裕太、細川敬祐、片岡龍峰、三好由純、大山伸一 郎、尾崎光紀、塩川和夫、栗田怜
16:00-16:20　静止軌道衛星への宇宙天気監視装置相乗り搭載計画について
坂口歌織（NICT)、石井守、久保勇樹、長妻努、斉藤慎司、直井隆浩、西岡未知、大辻賢一、塩田大幸、西塚直人、坂野井健、斉藤昭則、三谷烈史、高島健、三宅弘晃
17:00-17:20　議論

4. 成果

宇宙空間からの地球超高層大気の観測について、まずは2020年2月にISAS公募型小型衛星提案を行った「超伝導サブミリ波リム放射サウンダ(SMILES-2)ミッション」の結果が不採択であったことについて報告された。SMILES-2ミッションは、(1) 潮汐波等の大気波動を介した下

層からの影響の解明、(2) 粒子降り込みや磁気嵐を介した宇宙空間からの影響の解明、(3) 全大気モデリングと連携した太陽地球結合システムの統合的理解、の3つを科学目標として、成層圏から下部熱圏までの風・温度・微量成分を連続的に観測するミッションであり、昨年度までの本研究集会で議論がされ、気象コミュニティと超高層大気コミュニティの共同ミッションとして宇宙科学研究所に提案を行ったものであったが、2018年の提案に続いての不採択となった。多くの超高層大気領域の研究者が提案書の作成に参加しており、今後の進め方について議論がされ、継続して検討することなども提案された。SMILES-2ミッションでも、今後解明されるべき科学的に重要な課題として中性大気とプラズマ大気の結合過程が挙げられていたが、地上からの電波による遠隔測定が比較的容易なプラズマ大気に比べて中性大気の観測は不足しており、飛翔体による中性大気の直接観測が重要であるとの認識が共有されている。そこで、中性大気直接測定を行う計測器の開発状況の紹介がされ、その直接測定を可能にする飛翔体として、超低高度衛星、超小型衛星、観測ロケットなどについての紹介がされた。観測ロケットについては長期的には再使用ロケットによる高頻度の観測の可能性も示された。その他の飛翔体からの観測としては国際宇宙ステーションや静止衛星からの観測について、これまでの成果と今後の計画についての紹介がされた。また小型衛星による観測については、超小型の計測器を開発することによって、他の目的のための小型衛星に相乗りの形で超高層大気の測定を行うことの可能性についても議論が行われた。宇宙科学研究所の公募型小型衛星への提案を検討しつつも、様々な機会を捉えた超高層大気の飛翔体観測の実現に向けて、科学目標、観測機器、地上観測・数値モデルとの連携について議論が行われた。

（別紙様式６－２）

惑星間空間プラズマにおける波動現象
Plasma waves in interplanetary space plasma

成行泰裕、富山大学・教育学系

本研究集会は、特に波動現象に着目する形で、近年の衛星観測および理論・シミュレーション研究の進展を概観し、現在・将来の衛星観測で解決すべき課題について議論することを目的として開催された。2件の招待講演については55分の時間を取り、プラズマ波動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2月18-19日にかけてオンラインで実施され、2日間で延べ101名の参加があった。

以下に、プログラムを示す：

2021年2月18日（木）

9:00-9:25 太陽活動極小期における宇宙線観測と宇宙天気・宇宙気候（仮題）

宗像一起（信州大）　他

9:25-9:50　2018年8月の CME イベントの解析 4

木原渉（信州大），加藤千尋，宗像一起，高柚季乃，片岡龍峰，門倉昭

9:50-10:15 宇宙線反粒子観測実験GAPSと太陽モジュレーション

小財正義（JAXA） for the GAPS collaboration

休憩15分

10:30-11:15 TeV 領域宇宙線異方性の太陽圏磁場による変調

T. K. Sako （ICRR）for the Tibet ASgamma Collaboration

11:15-12:00 ALPACA実験による宇宙線異方性観測の展望

横江諒衡(ICRR) 他ALPACA collaboration

昼食　1時間

13:00-13:45 宇宙線空気シャワー観測装置の惑星間空間擾乱の観測への利用方法の研究

野中敏幸１，大嶋晃敏２，小島浩司３，柴田祥一２，John N. Matthews４，徳丸宗利５，

藤末紘三１，松原豊５，宗像一起６，矢田浩平１（１：東大宇宙線研，２：中部大工，

３：愛工大工，４：ユタ大学，５：名大ISEE，６：信州大理）

13:45-14:10 GRAPES-3宇宙線望遠鏡観測により得られた宇宙線強度異方性天球面２次元構造について（仮題）

小島浩司（愛工大）他GRAPES-3Collaborator

休憩10分

14:20-15:05 ISS搭載CALETによる５年間の軌道上観測の成果

鳥居祥二（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

15:05-15:30 CALETで観測された太陽変調の荷電依存性の研究

高柚季乃（信州大）、加藤千尋、宗像一起、浅岡陽一、鳥居祥二、赤池陽水、小林兼好、

片岡龍峰、三宅晶子、他CALETチーム

休憩10分

15:40-16:05　2004年11月7日のX2.0のフレアに伴う太陽中性子崩壊陽子・電子の観測

村木　綏(名大）、松原　豊、柴田祥一、垰　隆志、増田　智、徳丸宗利、境　孝祐、内藤統也、

小井辰己、大嶋晃敏、V. Galicia, E. Ortiz, P. Miranda

16:05-16:20 太陽中性子・ガンマ線観測用超小型衛星NU-SONGSの開発現状と今後の展望について

宇佐見 雅己（名大）、野橋 大輝、山岡 和貴、田島 宏康、松下 幸司、伊藤 和也、稲守 孝哉、

Ji Hyun Park、宮田 喜久子(名城大)

16:20-16:45 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

中澤 知洋（名大/KMI）、佐藤 光輝、佐藤 陽祐（北大）、榎戸 輝揚（理研）、田島 宏康（名大/ISEE）、

和田 有希（理研）

16:45-17:10 はやぶさ2の突入カプセルのプラズマ化による電波放射の観測からの将来計画

野澤恵（茨城大学）

===

2021年2月19日（金）

9:00-9:55 地球フォアショックULF波動による高エネルギーイオンの拡散過程

松清修一（九大）、大塚史子、Arpad Kis

9:55-10:20 準垂直衝撃波における電子加速：PICシミュレーションとMMS衛星観測の比較

大塚史子（九大）、松清修一、岡光夫

休憩 15分

10:35-11:30 太陽風中の月ウェイク境界で起きるMHDからサイクロトロン周波数の３倍程度に広がる磁場変動の偏波について

中川朋子（東北工大）

11:30-11:55 大型の地磁気嵐の主原因となる太陽風磁場の構造

丸橋克英（NICT）

昼食 1時間5分

13:00-13:25 ボイジャー観測を用いた太陽圏ヘリオポーズ構造のMHD解析

鷲見治一（九大）、田中高史、松清修一

13:25-13:50 銀河宇宙線の太陽圏侵入過程に関する研究（仮題）

吉田光太郎（九大）、松清修一、鷲見治一、羽田亨

13:50-14:35 GRAPES-3大気ミューオン観測による宇宙天気研究

大嶋晃敏（中部大）

14:35-15:00 2000年から2020年までの宇宙線生成核種Be-7の大気中濃度変動について

櫻井敬久（山形大）、門叶冬樹、乾恵美子、森谷透、武山美麗、三宅芙沙

休憩 15分

15:15-15:40 Two types of the solar wind detected by spacecraft radio scintillations

千葉翔太（東大）

15:40-16:05 IPS CT とスペクトル解析についての考察

小島正宜（名大）

16:05-16:30 ISEE太陽風観測装置の次世代機の開発

岩井一正（名大ISEE）、徳丸 宗利、藤木 謙一

（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
Users' Meeting for Rikubetsu and Moshiri observatories

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、陸別観測所で観測装置を運用している名古屋大学宇宙地球環境研究所および国立環境研究所地球環境研究センターの研究者を中心に、他機関の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。例年は、研究集会終了後に名古屋大学の地域貢献事業の一環として陸別町社会連携連絡協議会が開催されてきたが、今年度はコロナ禍に伴い陸別小中学校における出前授業やりくべつ宇宙地球科学館における実験イベントが中止となり、年度内の協議会開催も見送られた。研究集会も例年は陸別町役場の大会議室で行われていたが、同じくコロナ禍の状況に鑑み、オンラインで3月25日と31日に開催した。

【研究集会の内容・成果】

3月25日の第１部では主として対流圏および成層圏の大気微量成分および温室効果ガス関連の話題、31日の第2部では主として電離圏/磁気圏／オーロラ関連の話題についての講演と議論を行った。観測所で行われている定常的な観測について、ミリ波分光計の液体窒素製造装置および極低温冷凍機が年度途中に故障したが、コロナ禍の状況下で、学内担当者が現地になかなか出張できなかったことや企業のメンテナンス対応で依頼から実施までの時間が例年よりも長かったことなどから、５ヶ月以上の長期にわたりデータ欠損が生じてしまったことが報告された。また、オーロラ・大気光関係の光学観測機器で経年劣化による感度低下があることなどが報告された。その他の測器に関しては概ね順調に稼働していた。大型短波レーダーでは、ソフトウェアラジオUSRPを用いた新たなイメージング観測の開発状況の報告がなされた。最終的には20台のUSRPを用いる計画だが、今年度はとりあえず４台だけで試験観測を行ったところ、従来のすべてのアンテナを用いたデータよりも質のよいデータが取得できたことが報告された。

また今年度は、名古屋大学宇宙地球環境研究所の持田陸宏先生と栗田直幸先生に特別講演をお願いした。持田先生には、森林域でのエアロゾル観測のために整備を進めている名古屋大学母子里観測所の準備状況や研究計画についてお話しいただいた。外気を観測室内へ導入するインレットが積雪でふさがってしまう可能性について、過去の母子里での赤外線分光観測時の経験や、母子里近くの名寄天文台での勤務経験があるりくべつ宇宙地球科学館職員の経験談などを参考にしながら実践的な積雪対策などが議論された。また、栗田先生には２月から３月にかけて陸別観測所の屋上で実施された採雪装置の試験観測の結果と採雪装置を用いた今後の研究計画についてのお話を伺った。南極において、水蒸気がその場由来のものか、大陸外縁部の海から輸送されてきたものか、水蒸気の起源を探る上で、トリチウム存在量がよい指標となること、そしてドームふじへの内陸旅行の途中で彩雪を行いトリチウム量の変化と大陸上の位置との関係を調べることで大陸における水蒸気輸送の実態を解明しようとしていることの説明があった。陸別観測所においては、現在名古屋大学の技術部と開発を進めている彩雪装置の寒冷地試験、特に彩雪の妨げとなる雪の付着を抑えるための材質や表面のコーティングに関して、８種類の異なる材質で比較試験を行い、実機を製作するにあたっての有益な測定データが得られたことが報告された。

観測所の運用に関しては、国立環境研究所の次期中期計画期間において、陸別での観測がモニタリング事業の一環として位置づけられ、予算的にも安定した運用が期待できることが報告された。また、昨年来計画されてきた赤外線フーリエ分光計のアップグレードが、コロナ禍によりメーカーのドイツ人技術者が来日できないため実施できず、令和３年度に先送りされること、また現段階では具体的な実施時期は確定できない状況にあることなどが報告された。コロナ禍が鎮まり具体的な予定が確定した段階で、名古屋大学側も協力してアップグレードのための観測室内整備に協力することを合意した。他にりくべつ宇宙地球科学館より年度報告と次年度計画についての説明があった。

R2年度　陸別ユーザーズミーティング　プログラム									
日時	3/25（木） 9:30 - 12:00,　3/31（水） 10:30 - 12:00								
会場	zoom　web会議								
	https://us02web.zoom.us/j/89783196075?pwd=elB3a0h1Q3oxVEgraHM2MXNLRmxlZz09								
	ミーティングID: 897 8319 6075							パスコード: 726284	
	発表時刻				発表時間		発表者	所属	演題　　（）は仮題あるいはテーマ
3/25（木） 9:30 - 12:00									
はじめに									
	9:30	-	9:35	（	0:05	）	水野 亮		
オゾン/成層圏/温室効果ガス									
	9:35	-	9:45	（	0:10	）	水野 亮	（名大ISEE）	名大ミリ波分光計の運用状況
	9:45	-	9:55	（	0:10	）	長浜 智生	（名大ISEE）	陸別ミリ波オゾンデータに基づく大規模太陽フレアによる中間圏オゾン短期変 動の探査
	9:55	-	10:10	（	0:15	）	長浜 智生	（名大ISEE）	陸別FTIRによる成層圏・対流圏微量成分の長期変動モニタリング
	10:10	-	10:20	（	0:10	）	町田 敏暢	（国環研）	陸別観測室の運用について
	10:20	-	10:45	（	0:25	）	森野 勇	（国環研）	陸別FTIRによる温室効果ガス観測
									陸別におけるライダー観測状況報告
休憩									
	10:45	-	10:55	（	0:10	）			
特別講演									
	10:55	-	11:15	（	0:20	）	持田 陸宏	（名大ISEE）	（母子里観測所でのエアロゾル観測）
天文台報告									
	11:15	-	11:30	（	0:15	）	中島 克仁、村田 拓也	（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
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									
	11:30	-	12:00	（	0:30	）			
3/31（水） 10:30 - 12:00									
オーロラ/磁気圏/電離圏									
	10:30	-	10:45	（	0:15	）	塩川 和夫	（名大ISEE）	陸別観測所におけるオーロラ・大気光と電磁場観測の現状報告
	10:45	-	11:00	（	0:15	）	西谷 望	（名大ISEE）	SuperDARN北海道-陸別第一・第二短波レーダーの2020年度報告
特別講演									
	11:00	-	11:20	（	0:20	）	栗田 直幸	（名大ISEE）	南極氷床に涵養する成層圏由来水蒸気の実態把握
天文台報告									
	11:20	-	11:35	（	0:15	）	中島 克仁、村田 拓也	（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
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									
	11:35	-	12:00	（	0:25	）			

7.計算機利用共同研究(一般) 目次詳細

（所属・職名は2021年3月現在）

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
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	274
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	275
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	277
Hayashi Keiji	NorthWest Research Associates	Boulder office	Research Scientist	時間変動する大局MHD太陽圏モデリングとIPS観測との長期比較	279
馬場　賢治	酪農学園大学	農食環境学群	准教授	アジアダストホットスポット域からのエアロゾル輸送に関する研究	280
長濱　智生	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	准教授	化学輸送モデルによる高エネルギー粒子降り込みの中間圏大気組成への影響研究	282
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	284
堺　正太朗	東北大学	大学院理学研究科	助教	CME時における火星大気流出機構に関する研究:非磁化惑星と磁化惑星の比較	286
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	289
齊藤　昭則	京都大学	大学院理学研究科	准教授	電離圏下部における突発的な層構造形成の3次元シミュレーション	292
関　華奈子	東京大学	大学院理学系研究科	教授	太陽条件および固有磁場が火星周辺宇宙環境および大気散逸機構に与える影響の研究	294
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	295

（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

2019 年度に開発した周期系スレッド並列 PIC コード(Umeda 2020)へ、Oh-Help (Nakashima et al. 2009)による動的負荷バランスを導入した。さらに、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。またこれに伴い、安定な開放系境界条件を新たに開発した。また、開発した並列コードのテストとして、オーロラ加速領域ダブルレイヤーの 2 次元シミュレーションを開始した。

非相対論運動方程式の解法である Boris 法(1970)について、多段アルゴリズムに基づいて高精度化を行った。本成果は査読付論文誌に投稿中である。

成果発表

- Umeda, T., Paradigm shift in program structure of particle-in-cell simulations, In: Parallel Computing: Technology Trends, Advances in Parallel Computing, Vol.36, pp.455-463, 2020. (査読付論文)
- 梅田 隆行, Multi-step Boris integrator for non-relativistic E-cross-B drift, 第 148 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, 2020 年 11 月.

（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指している。

このモデルの構築には大量のシミュレーションデータが必要になるが、高解像度なシミュレーションを実行するには、時間も計算資源も足りない。そこで、現実の太陽風を入力にし、必要最低限の解像度で長時間のグローバル地球磁気圏 MHD シミュレーションデータを生成し、観測、シミュレーション、機械学習の融合が可能か実験的に調査・研究した。

本年度は特定の期間における太陽風データを用いた磁気圏シミュレーションを行い、その結果から観測のジオメトリーに合わせたオーロラ画像を作成した。これは、オーロラ観測画像が欠損した場合に復元できる学習モデルの学習データとなる。また、THENIS 観測からオーロラ地上観測（ASI）結果を正解データ（オーロラが出ている）、不正解データ（曇りやオーロラが出ていない）に分類することで、学習に利用する訓練データとして整備した。さらにシミュレーションの極域オーロラ画像と同様の図を準備する必要があるため、同時刻のいくつかの ASI をうまく磁気緯度に合わせて、極域にマッピングした図を作成し、学習データとして整備した。今後は、特定のイベントだけでなく、太陽活動一周期分の計算結果を蓄積すること目指すが、計算量が膨大になるため、その実現方法を検討する。

成果発表

1. 深沢圭一郎、木村智樹、徳永旭将、中野慎也、宇宙プラズマ現象予測モデル開発に向けた機械学習・数値シミュレーション・観測による学習データの整備、地球電磁気・地球惑星圏学会第148回総会及び講演会、2020年11月1日-4日.

2. （Invited）K. Fukazawa, Research of applying the machine learning to space plasma physics with observation and numerical simulation data, LHAM Keynote in CANDAR2020, 25-27 Nov. 2020.

3. （Invited）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・観測融合による宇宙プラズマ現象予測モデル開発に向けた学習データの整備、2020年度ISEE研究集会「太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望」、2021年3月25－16日

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

地球磁気圏前面の磁気圏境界では太陽風磁場と地球磁気圏磁場の間に形成される電流シートを挟んで磁場強度や熱物理量などの非対称な磁気リコネクションが起こっている。これまでの我々の研究[1,2]により、このような非対称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。また、昨年度の研究により、非対称磁気リコネクションでは、非対称度がわずかな場合においても、高速プラズマ領域は、低ベータ側プラズモイド領域に発達し、プラズマ速度の最大値は、リコネクションファン領域と同等に達することが示された。この場合、実衛星観測では、高速プラズマ流を観測したとしても、リコネクション構造における観測領域を決めることができないことを意味している。そこで、本研究では、非対称磁気リコネクションにおけるリコネクション構造を調べ、領域ごとの特徴を明らかにすることを目的とする。

研究方法

本研究では、自発的磁気リコネクションモデルに基づいた大規模な2次元磁気流体計算を用いて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し、このkを非対称度パラメータとする。時間発展と共にほぼ相似的に領域が広がるため、段階的に計算領域を広げることで計算コストを抑えることが可能である。

研究結果とまとめ

磁気リコネクション領域をｙ方向に横切る場合、磁場のｘ成分の符号反転場所(時刻)が最も物理量の変化が明確であるため、この位置(時刻)を基準とする。磁場強度非対称、等温初期平衡から開始した非対称磁気リコネクションの場合、アルフヴェン速度の差からプラズ

モイドの先端は低ベータ側が大きく先行する。それにより、非対称磁気リコネクション構造は大きく、リコネクションファン領域、プラズモイドコア領域、先行プラズモイド領域の 3 領域に分けることができる。本研究の結果、マグネトポーズ内における先に述べた基準前後のプラズマ密度、プラズマ流速、磁場強度の変化から図 1 に示すように、この 3 領域が分けられることが示された。リコネクションファン領域は、基準から磁気圏側でプラズマ密度とプラズマ流速が増加。先行プラズモイド領域は、電流シートに基準点があるため、そこでプラズマ密度の増加を観測した後、先行プラズモイド領域でプラズマ速度の増加と再度のプラズマ密度の増加が観測される。プラズモイドコア領域は基準領域、つまりｘ方向磁場成分のゼロ領域が広く、また基準領域にまたがってプラズマ密度、プラズマ速度の緩やかな増加がみられる。これらの特徴から以上の 3 領域を観測から大別することが可能となった。

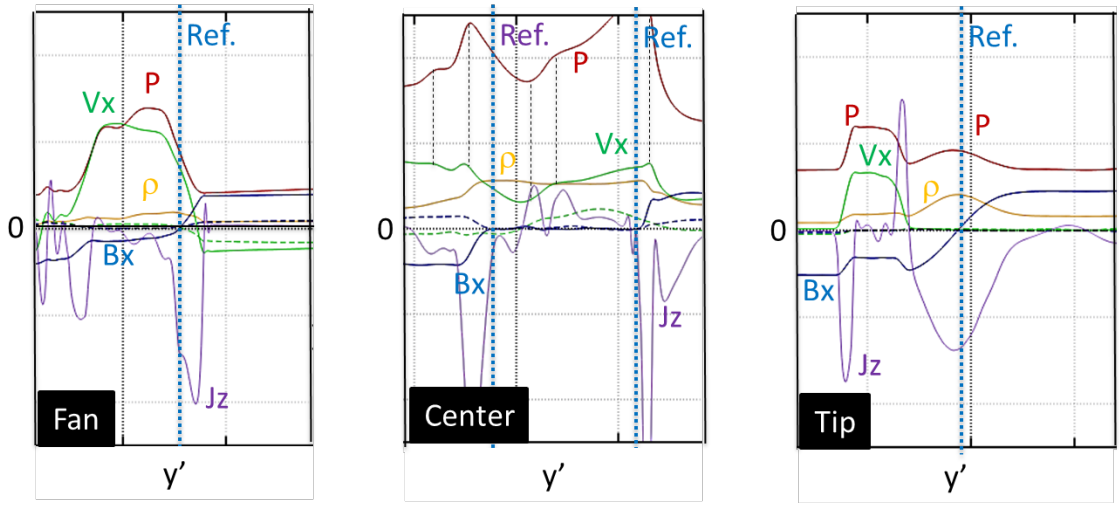


図1、リコネクションファン領域(Fan)、プラズモイドコア領域(Center)、先行プラズモイド領域(Tip)の3領域通過時の物理量変化。縦の点線が基準位置を示す。

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

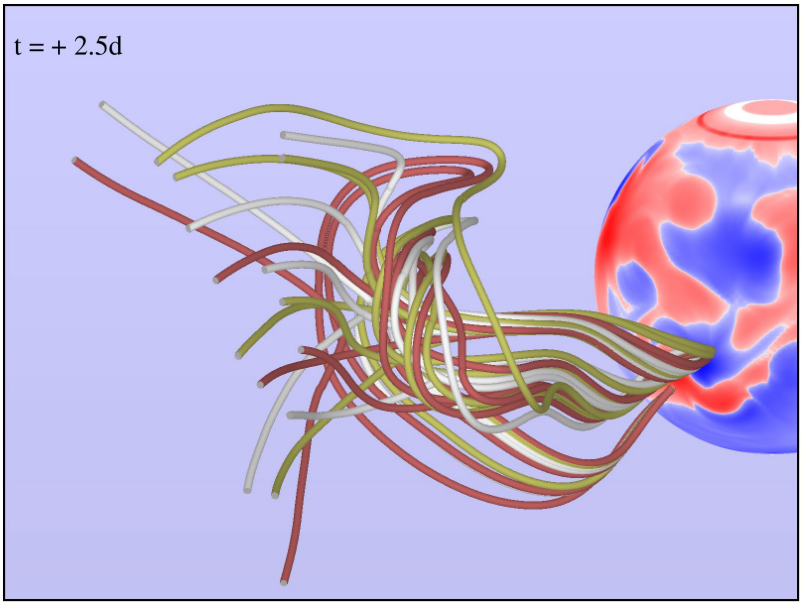
時間変動する大局MHD太陽圏モデリングとIPS観測との長期比較
long-term comparison of IPS observations with solar-wind solutions derived from MHD model using solar-surface magnetic field observation data

林　啓志、スタンフォード大学、HEPL

２０２０年度において、時間変動する太陽圏のモデリングの特に太陽近傍におけるものを中心にMHD モデルの開発を行った。特に太陽近くでは太陽コロナと太陽風プラズマの動径方向の勾配が極めて大きいために、格子数を多めにとる必要があること、および、Alfven 速度が大きいことによる計算の時間ステップ幅を小さくとる必要がある事の２点の理由により、大型計算機での計算が不可避であった。

モデル手順は、太陽光球面近くにおける磁場の時間変動を、電場に変換したうえで、誘導方程式を通じで太陽近くの磁場を駆動する。その他の変数（プラズマ密度・温度。速度）は、所与の磁場変動と、ある種の無反射条件を取り扱う特性曲線法により、決定される。この境界面の取り扱いは、亜Alfven 領域において数値的安定性と物理的・数学的適合性を両立する、おそらく唯一の手法である。この境界条件の構成により初めて、太陽近傍コロナにおける大局的な時間変動を解くことができた。関連することとして、境界条件の磁場は、観測値を用いることが多いが、他の底部コロナモデルの出力を用いるという構成をとることもできる。この件については、米国研究者との共同により、査読論文受理にこぎつけた（ApJS, in press）。下図はその論文中の図の一つで、磁場駆動によりコロナの磁束が放出される様を可視化したものである。

次年度は、このコロナ近傍モデルを太陽圏に延長し、また、長期的なデータ駆動モデルを実行することを予定している。これにより、当初の目的であった、太陽圏の典型時間に匹敵する半世紀にわたる名大IPS 観測との比較およびデータ同化モデリングの構築へと発展したい。



（別紙様式７－２）

アジアダストホットスポット域からのエアロゾル輸送に関する研究
Research on aerosol transportation from Asian dust hotspot region

馬場賢治
酪農学園大学
農食環境学群環境共生学類

目的

アジアダスト（黄砂）は，社会活動や自然環境に寄与する現象の一つであり，これまでに大規模なプロジェクトが行われ，物理，化学，生物など様々な側面から影響評価が行われている（例えば，Intergovernmental Panel on Climate ChangeやADB-GEF〔地球環境ファシリティ〕黄砂対策プロジェクトなど）．アジア大陸では，砂漠化，過放牧，過耕作や森林伐採などによって，アジアダストが生じ易い場となっている．このアジアダストに汚染物質付着やそれらによる変質・光化学汚染などが先行研究で観測されており，我々の環境場への影響を明確にすることが求められている．また，近年ではアジアダストにより，ウィルスなどの生物粒子であるバイオエアロゾル輸送の可能性が指摘されている．その一例として，2010年宮崎県での口蹄疫発生に黄砂が関与していることが真木ら（2011）により指摘している．この他に，Makiら（2010）は，黄砂バイオエアロゾルの長距離輸送について研究を行い，日本での観測事実を報告している．バイオエアロゾルを観測する試みは，幾つか存在しているが，ウィルスなどの生物起源物質の保存を考慮した大気場の過程や状況について考察している試みはほとんどない．そこで，本研究では，アジアダストに付着したウィルスなどの生物起源物質が大気場輸送中に保存される環境場について，つまり，アジアダストが凝結核となり，雲水，氷晶，雪などに変遷する雲物理過程を気象モデルやリモートセンシングデータから明らかにし，時空間的な拡散の変遷や多寡を理解する．また，黄砂発生のファクターの一つであるダストデビル生成についても考慮する．併せて現地での生物由来物質の多寡についても解析を行う．

研究方法

気象モデルCReSSやリモートセンシングデータ，ライダーデータを基に，実測と理論（モデル）の双方から，アジアダストの挙動について明らかにする．また，アジアダスト発生源であり，生物由来物質が集積しやすいドライレイクやワジなどの流跡痕に着目し，同地域の起伏や表面温度，粗度長などを計測し，それらのデータを基にしたダストデビル発生に関する調査について，領域気象モデルを用いて行う．また，同地域での生物由来物質について，簡易風洞実験により飛散させたダストから分類する．

結果と考察

モンゴルゴビ砂漠ドライレイクにおけるダストデビル発生に関するシミュレーション解析を行うために，地表面データの整理を中心に進めた．先行研究では一様なフラックスを下面から与えているが，本研究では現実に即したフラックス分布によるダストデビル発生のメカニズムの理解を目指している．シミュレーション解析には地表面からの熱フラックスが重要なため，過年度ドローンにより観測を行った赤外線放射分布と地形などの関連性について，理解する取り組みを行った．この結果，ドライレク内の地形の起伏と赤外線分布がほぼ一致しており，現地での幾つかの水分データとも比較すると，水分が多い凹地など標高が低い場所の方が赤外線の値が小さく，低温傾向であることが求められた．このデータを用いてシミュレーション解析を行おうとしたが，残念ながら20年度は既にグループでのポイントが十分では無かったため，計算することができなかった．次年度は早めに準備を整えて，シミュレーション解析を行いたいと考えている．

一方，同地域のドライレイクやワジ等における生物由来物質（バクテリア）は，それぞれの場所により，2つの門と7つの分離株が明らかになり，ほとんどの株が土壌由

来であったが，動物由来も確認された．これらがダストとして飛散することで人間に影響を与える可能性を示唆した．

成果発表：

論文）

Katsuro Hagiwara, Tamaki Matsumoto, Purevsuren Tsedendamba, Kenji Baba, Buho Hoshino, Distribution of Viable Bacteria in the Dust-Generating Natural Source Area of the Gobi Region, Mongolia Atmosphere 11(9) 893 – 893, DOI:10.3390/atmos11090893, 2020 年

Buho HOSHINO, Yuki SOFUE, Yuta DEMURA, Tsedendamba PUREVSUREN, Morine KURIBAYASHI, Kenji BABA, Enkhtuvshin ZOLJARGAL, Katsuro HAGIWARA, Jun NODA, Keiichi KAWANO, Olaf KARTHAUS, Kenji KAI, Detection of dry lake beds formation and estimate of environmental regime shift in semi-arid region，沙漠研究，28(5) 109-113，2018 年

Kuribayashi Morine, Kawano Keiichi, Demura Yuta, BABA KENJI, SOFUE YUKI, PUREVSUREN TSEDENDAMBA, MATSUMOTO TAMAKI, HAGIWARA KATURO, KARTHAUS OLAF, KAI KENJI, HOSHINO BUHO，Imaging of micro-organisms on topsoil particles collected from different landscape in the Gobi Desert，E3S Web Conferences 99 2019 年

Purevsuren Tsedendamba, Jugder Dulam, Kenji Baba, Katsuro Hagiwara, Jun Noda, Kei Kawai, Ganzorig Sumiya, Christopher McCarthy, Kenji Kai, Buho Hoshino，Northeast Asian Dust Transport: A Case Study of a Dust Storm Event from 28 March to 2 April 2012，2019.

Sofue Yuki, Hoshino Buho, Demura Yuta, Kai Kenji, Baba Kenji, Nduati Eunice, Kondoh Akihiko, Sternberg Troy，Satellite Monitoring of Vegetation Response to Precipitation and Dust Storm Outbreaks in Gobi Desert Regions，LAND 7(1) 2018 年

口頭発表）

馬場賢治，松本珠季，星野仏方，モンゴルゴビ砂漠ドライレイク・ワジにおける飛散実験解析，第 6 回大気エアロゾルシンポジウム，北海道大学，2018 年 11 月 9 日

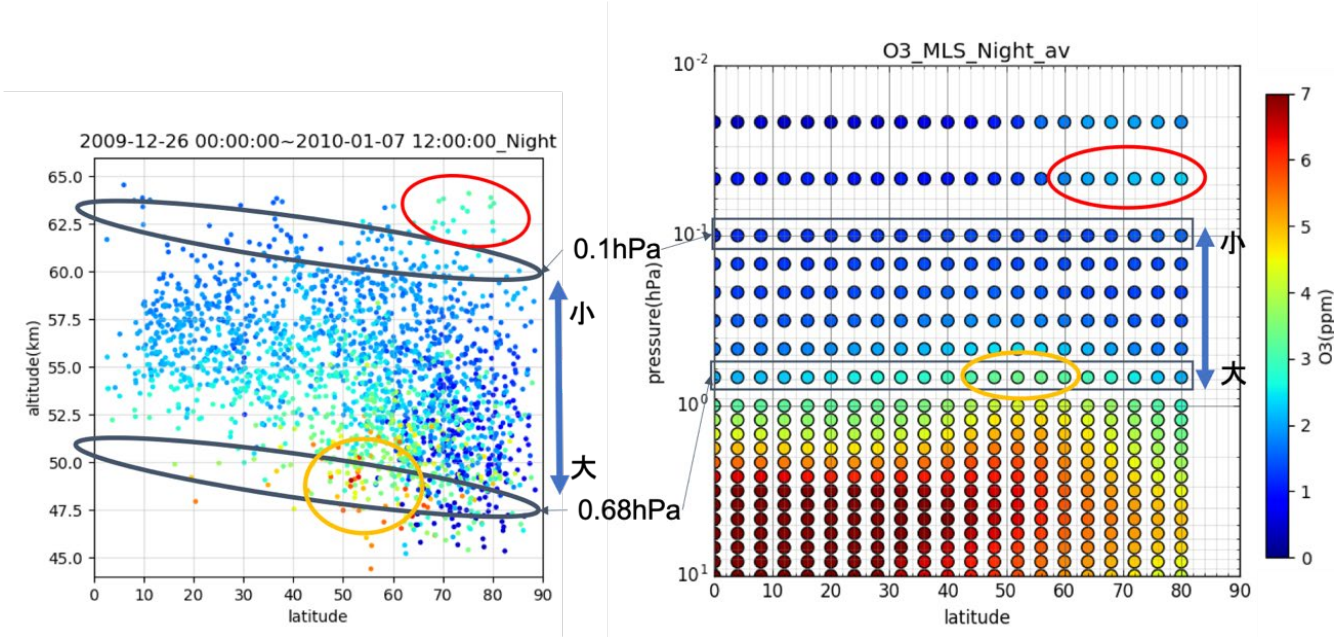
化学輸送モデルによる高エネルギー粒子降り込みの中間圏大気組成への影響研究
Study on influence of energetic particle precipitation on composition in the mesosphere using a chemical transport model

長濱智生、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

本研究は、太陽活動に伴う高エネルギー荷電粒子の降り込み(Energetic Particle Precipitation: EPP) による極域中間圏の大気組成変動を、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、さらに両極でのミリ波大気微量分子観測データと比較検討することでEPPの中間圏大気環境への影響を評価することが目的である。このために、我々は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。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。

本研究では、極域から赤道域までの広い領域で長期間シミュレーションを行うために、(1)高度面の統一、(2)場所や時間ごとの初期値の設定、(3)極付近での光解離反応係数モデルの改良、を行い、その後、2009年12月下旬から2010年1月上旬の2週間の北半球中間圏領域のオゾン混合比のシミュレーションを行い、Aura/MLSによる観測データとの比較を行った。また冬季極域であるため、中間圏でのイオン化学反応を含まないモデルでシミュレーションを行った。粒子は12月25日UT0時から24時間ごとに、北緯30°、50°、70°で経度方向に10°ごとの高度60 kmの地点108か所から放出し、1月7日UT19時までの間の各粒子の流跡線と点上での化学組成を計算した。本計算の実行時間は約30時間であった。

図1（左）に本シミュレーションによる夜間のオゾン混合比の緯度高度断面図を示す。12月26日UT0時から1月7日UT12時に期間で、太陽天頂角が90度以上の場所にある粒子のオゾン混合比をプロットしてある。図1（右）に同期間にAura/MLSで観測された夜間のオゾン混合比の緯度高度断面図を示す。Aura/MLSのデータは、Level3データ(version 4.23)を用いた（Schwartz et al., 2020）。両者を比較すると、緯度高度



（図1）左は本シミュレーション、右はAura/MLSで観測されたオゾン混合比の緯度高度断面図。両者の分布はよく似た傾向を示すが、シミュレーションのほうが観測よりも全般的に値が大きい。

断面ではよく似た傾向の分布を示すことが分かった。このことは、今回のモデル計算が、大まかには、中間圏オゾンとオゾンの生成・消滅過程に関連する微量成分の分布と時間変動をシミュレーションできていることを示唆している。一方で、本シミュレーションによるオゾン混合比はAura/MLSによる観測値より全体的に大きく、約20%過大評価している。領域ごとで比較すると、高度が50 km以上では観測データとシミュレーション結果に良い相関が見られるが、それ以下の高度領域では違いが大きく、特に極域では顕著に異なり、シミュレーションのほうが観測値よりも顕著に小さい。冬季極域のオゾンは光化学反応がないため化学的寿命が長く、極渦内では低いオゾン混合比の気塊として下方に輸送される。そのため、極渦の内外でオゾン高度分布が大きく異なる。実際には、極渦内でも低高度の気塊と一部混合するため、低高度の高いオゾン混合比の気塊と混ざりあったオゾン混合比となるが、今回のモデルでは混合過程が考慮されていないため、極渦内の低い高度領域でオゾン混合比が観測と大きく異なってしまったことが考えられる。今後、混合過程を導入して極渦内の大気組成変動のシミュレーションの高精度化を目指す。

共同研究者
藤田健、名古屋大学大学院理学研究科博士前期課程2年（M2）

参考文献

Schwartz, M., Froidevaux, L., Livesey, N., Read, W., and Fuller, R. (2020), MLS/Aura Level 3 Daily Binned Ozone (O_3) Mixing Ratio on Zonal and Similar Grids V004, Greenbelt, MD, USA, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), Accessed: November 20, 2020, 10.5067/Aura/MLS/DATA/3317.

成果発表

1) T. Nagahama, et al., “Development of a new ISEE Chemical Lagrangian Model to elucidate the atmospheric composition changes in the mesosphere”, JpGU-AGU Joint Meeting 2020, Jul. 12-16, 2020, Online.
2) K. Fujita, et al., “Analysis of the mesospheric ozone enhancement event in the Arctic winter with a new ISEE Chemical Lagrangian Model”, JpGU-AGU Joint Meeting 2020, Jul. 12-16, 2020, Online.
3) 藤田健、「ラグランジュ型化学輸送モデルを用いた中層大気組成変動の研究」、名古屋大学大学院理学研究科令和2年度修士論文、2021.

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】

太陽風プラズマによって押し広げられた空間である太陽圏の境界（heliopause; HP）をボイジャー探査機が通過し、その場におけるプラズマ環境を直接観測したことをきっかけに、現在は境界形状やそのサイズについて定量的に検証するフェーズに入っている。HPは太陽風と星間物質が接する領域であり、これらの相互作用過程はHPの構造変動という形で捉えることが期待できる。本研究の主目的は、HP構造における非一様・非定常性を伴う変動過程の特性を解明することにある。特に着目するのが、高速のプラズマ流と星間中性粒子との電荷交換を通じてHP近傍で生成される高速中性粒子（energetic neutral atom; ENA）およびその対生成となるピックアップイオン（pickup ion; PUI）の振舞である。太陽風磁場の影響を受けずに地球まで到達できるENAを検出する観測研究を通じて、HP領域の全体構造に関する知見が深まっている。この状況を受けて、本研究ではHP領域に対する数値シミュレーションからHPの構造変動とこれに伴うプラズマの分布特性との関連付けを行い、実際のENA観測結果を解釈する上でのフィードバックを図っていく。

【研究方法】

HP領域を2次元構造に模した数値モデルを作成し、イオンの個別粒子運動を解き進める粒子ハイブリッドコード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で行った。本年度は太陽風プラズマと星間プラズマの間に速度シアーがある場合に予想されるケルビン=ヘルムホルツ不安定性（KHI）の成長過程について検証を進めた。これまでは計算コストを節約するために太陽風と星間プラズマの密度比を実際より１桁以上小さく設定していたものを、本年度はより現実に近いパラメータを用いて計算した。星間プラズマと太陽風プラズマの密度比を10とし、PUIは星間空間側に背景プラズマの0.01%を一様に配置した。PUIの速度分布はプラズマ系で磁場に対する垂直（xy）成分内に一様の半径を持ったリング形状で与えた。その半径は太陽風速度に相当し、本計算ではアルフベン速度の10倍とした。シミュレーション空間をxy面として、KHIの効率を最大限に上げるためにx軸方向に速度シアー、z軸方向に磁場を取った。物理量は全て内部ヘリオシース（太陽風側）のパラメータで規格化してある（時間はプロトンサイクロトロン周期、空間はプロトン慣性長、速度はアルフベン速度）。

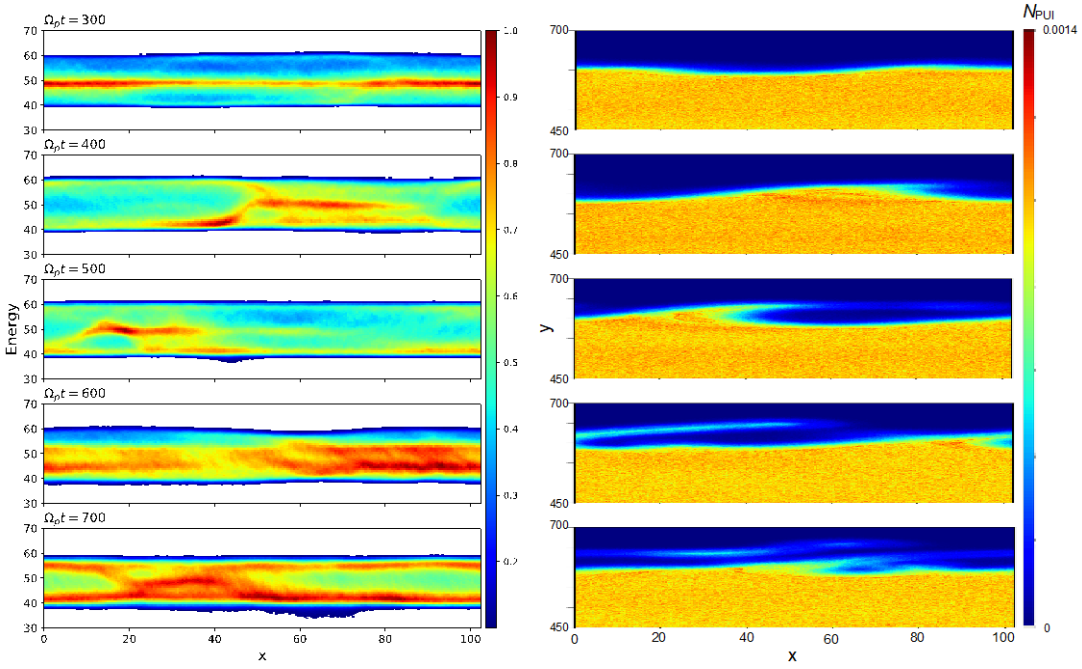
【研究結果】

計算結果を次頁図に示す。左はy方向について積分したPUIコラム密度をエネルギー別に表したもので、右はxy面内におけるPUI密度の2次元マップになる。右図より、$y \sim 600$の不連続面がHPを表し、$y > 600$が内部ヘリオシース（IHS）、$y < 600$が外部ヘリオシース（OHS、星間空間側）となっている。図は上から時刻$t = 300$から700までの時間発展の様子を示している。$t = 300$では左図のコラム密度はほぼ全（x）空間に渡って一様であるのに対し、$t = 400$以降ではエネルギー$E \sim E_c = 50$付近で増大した構造が局所的に出現し、また$-x$方向へ移動している様子が確認できる。右のPUI密度マップと比較すると、この局所的な密度増大はKHI成長に伴った渦形成が顕著になる$t = 400$以降において、渦がIHS側に膨れている領域に対応していることがわかる。コラム密度におけるエネルギーの広がり（$E = 40 \sim 60$）は、PUIの磁場旋回運動に背景プラズマのx方向の流速が合成された影響によるもので、$E_c \sim 50$はプラズマ系においてPUIの運動が主にy方向に生じていること（速度のx成分がゼロ）を示唆している。つまりKH渦の成長によってOHSのPUIがIHS側に引き込まれていく過程が、$E \sim E_c$への局所的なコラム密度の増加という現象によって表現されていると捉えることができる。

【考察】

IBEX衛星で発見された、”IBEXリボン”として知られるENA放射構造はHP近傍のプラズマ環境を反映していると考えられている。そこでリボン構造に記されているであろうHP領域の物理過程の痕跡を数値シミュレーションから見出すことを目的に、本研究ではHP近傍のKHIと観測データの関連性に焦点を当てた。ENAのエ

ネルギー別フラックスをHPに垂直な視線方向に積分した値が観測で取得可能なデータとなるが、シミュレーション結果からこれを模して作成した図を元に、KHIとの関係について検証した。その結果、KH渦の成長およびそのHP沿いの移動が、これに対応した領域におけるPUIコラム密度の局所的な増加として捉えられる可能性を示唆するに至った。今後は、より大規模な計算が必要となる現実的なパラメータで検証するために計算コードの最適化を進めるとともに、本研究では考慮していないプラズマ−中性粒子間の電荷交換過程も陽に取り入れたプログラム作成にも着手する。



【成果発表】

1. 坪内　健、Relationship between the inner heliosheath thickness and the pickup ion density、日本地球惑星科学連合2020年大会、（オンライン）、2020年7月

（別紙様式７－２）

CME時における火星大気流出機構に関する研究：非磁化惑星と磁化惑星の比較

Atmospheric escape from the Martian atmosphere at the CME event: Comparison of unmagnetized and magnetized planet

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可能性がある．火星は，約 40 億年前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までに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．

Sakai et al. (2021) では，火星赤道表面で 100 nT の固有磁場の下，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，北向き IMF から南向き IMF に至るまで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とを目的とする．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．

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，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．本モデルは電離圏から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，火星超高層大気中で主要なイオン (CO_2^+, O_2^+，NO^+，CO^+，N_2^+，O^+，N^+，C^+，He^+，H^+) 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 Terada et al. (2009a) 及び Sakai et al (2018) で用いられたものを用いる．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．太陽風パラメターは，密度 3 cm^{-3}，速度 400 km/s，温度 10^5 K，磁場 2.5 nT を仮定する．

研究結果・考察

本研究では，北向き IMF からスタートし，24 時間で IMF が 1 周する条件で計算を行う．すると，IMF 時角が 45°を超えると急激に流出率が増大することが明らかになった．合計イオン流出率は時角 0°の北向き IMF では 5×10^{23} s^{-1} であったが，時角 60°では 7×10^{24} s^{-1} まで上昇した．時角 60°を超えるとイオン流出率は緩やかに上昇する．

ここからは IMF 時角 45°を超えると流出率が増大する理由を考察する．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．磁気再結合点の移動に伴い，イオン密度が増大する昼側電離圏からの流出が増えることで流出率の増大につながったと考えられる．これはパーカースパイラル型 IMF でも起こっており (Sakai et al., 2018; 2021)，流出パターンが似ていることから IMF の時角が 45°を超える領域でも既にパーカースパイラル型 IMF と同様の流出過程が起こっていることがわかった．その後，IMF 時角が大きくなるにつれて磁気再結合点が昼側へ移動し，IMF 時角 180°の南向き IMF では完全に開いた磁気圏が形成される (e.g., Sakai et al., 2021).

今後，本研究においては，太陽 X 線及び極端紫外線 放射照度や固有磁場強度を増大させた時に，流出機構や流出率の変遷がどのように変わるのかを比較し，議論していく予定である．

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

（口頭発表）

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, Effects of the IMF direction on atmospheric escape from Mars under weak intrinsic magnetic field conditions,

第 148 回地球電磁気・地球惑星圏学会秋季講演会, R009-30, オンライン, 2020 年 11 月.

（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】

2017年9月に出現した活動領域12673は、9月6日のX9.3フレアをはじめとする大規模フレアを複数引き起こし、太陽活動周期24で最も活動的であった (Yang et al. 2017)。先行研究から、X9.3フレア発生2日前における急速な磁気フラックスの注入が大規模フレアの発生に寄与したことが示唆された (Vemareddy 2019)。また、X9.3フレアの発生機構については、Inoue et al. (2018)による磁気流体シミュレーションから、活動領域に形成された磁気フラックスロープ (MFR)の噴出によることが明らかになった。しかし、大規模フレア発生に至る3次元磁場構造の時空間発展については、明らかになっていない。特に、X9.3フレアに先行して連続的に発生したMフレアの発生機構については未解明である。本研究では、X9.3フレア発生の2日前から連続的に発生した、Mフレアの発生機構を明らかにすることを目的とした。

【研究方法】

本活動領域について、我々はSolar Dynamics Observatory (SDO; Pesnell et al. 2012) / Helioseismic and Magnetic Imager (HMI; Scherrer et al. 2012) による光球ベクトル磁場を境界条件とした非線形フォースフリー磁場外挿 (Inoue et al. 2014) を施し、9月4日から9月6日までの3日間を12時間刻みで、磁力線の捻れ (Berger & Prior 2006) の時系列変化の定量的な解析を行った。また、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、9月4日20:24UTの時点で3本の磁気フラックスロープ (MFR A, B, C) が形成されていた。先行研究から、MFR Aは9月6日のX9.3フレアの発生に関わることが示唆されている (Liu et al. 2019)。また、MFR Bは他2本と捻れの方向が異なり、9月4日12:00UT頃から急成長する様子が再現された。さらに、9月4日から5日にかけて、Mフレアが連続して発生している間、AIA 1600ÅではMFR Bの周辺で顕著な増光を示すことが確認された。

【考察】

9月4日20:24UTの時点で、MFR Aが形成されていたことから、X9.3フレア発生2日前の段階で、すでに大規模フレア発生の可能性があったことが示唆される。また、MFR Bの形成発展過程についての結果から、連続するMフレアは、MFR Bの急成長に起因すると考えられる。さらに、連続するMフレアの中で最も大規模な、9月4日20:30UT頃発生のM5.5フレアについて、外挿された磁場構造とAIA 1600Åの初期発光及びフレアリボンの位置の詳細な比較から、図2に示した様に、MFR B上空の「ヌル点」での磁気リコネクションが、MFR Bの上昇および、それに伴うM5.5フレアの発生に寄与したとするシナリオが考えられる。

【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
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
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
Vemareddy, P. 2019, The Astrophysical Journal
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

1. 著者: Yamasaki, D., Inoue, S., **Nagata, S.**, & Ichimoto, K.
   題目: "Evolution of the Nonpotential Magnetic Field in the Solar Active Region 12673 Based on a Nonlinear force-free Modeling"
   誌名: The Astrophysical Journal, 908, 132, 9pp, 2021

(2) 国際会議における発表

1. 著者: Yamasaki, D., Inoue, S., **Nagata, S.**, & Ichimoto, K.
   題目: "Nonlinear force-free field modeling of the flare-productive magnetic field observed in the solar active region 12673" (iPoster)
   学会名: JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual, online, 2020 Jul.

(3) 国内学会、シンポジウムにおける発表

1. 著者: 山崎大輝、井上諭、石井貴子、浅井歩、**永田伸一**、一本潔
   題目: 「非線形フォースフリー磁場外挿を用いた活動領域NOAA 12673における連続するM5.5とM4.2フレア発生機構の比較」 (ポスター発表)
   学会名: 太陽研究者連絡会シンポジウム、オンライン、2020年12月
2. 著者: 山崎大輝、井上諭、石井貴子、浅井歩、**永田伸一**、一本潔
   題目:「活動領域NOAA 12673における連続するM5.5、M4.2フレア発生機構の比較」 (口頭発表)
   学会名: 日本天文学会2021年春季年会、オンライン、2021年3月

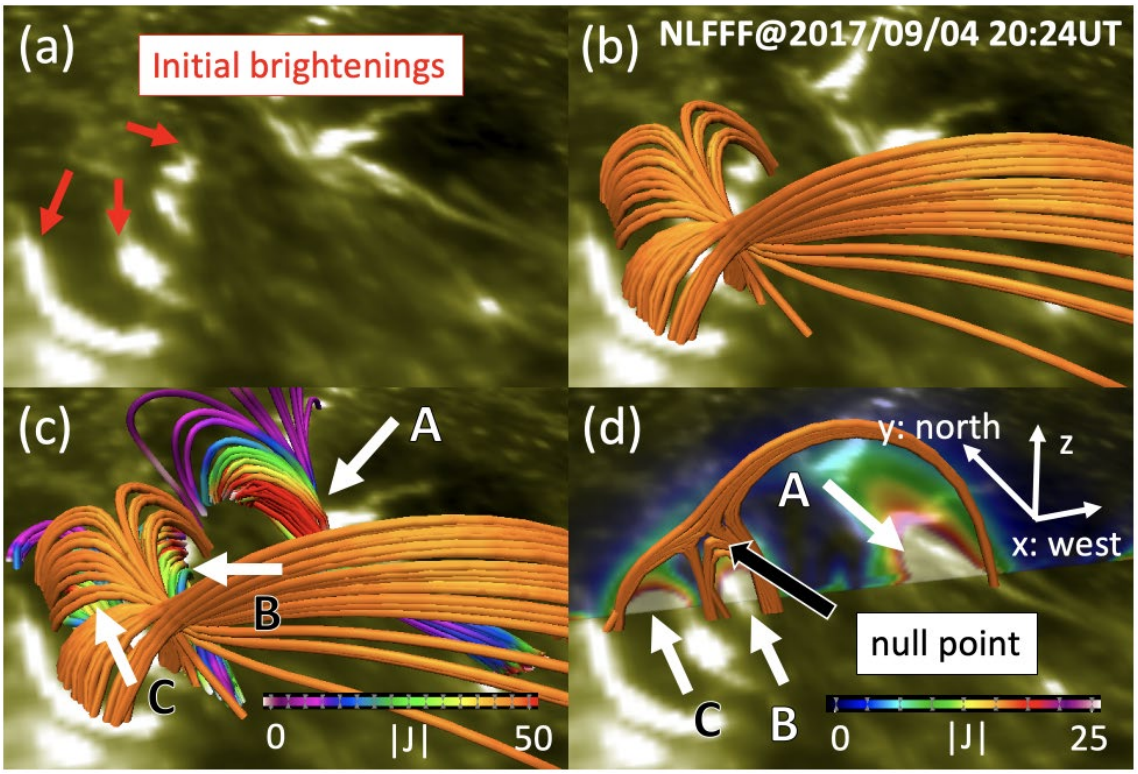


図 1. AIA 1600 Å撮像データおよびコロナ磁場外挿結果の比較, (a) M5.5 フレアの初期発光, (b) 初期発光と大局的な磁場構造, (c) MFR A, B, C と大局的な磁場構造, (d) 垂直面内に射影した大局的な磁場構造と MFR A, B, C の位置関係.

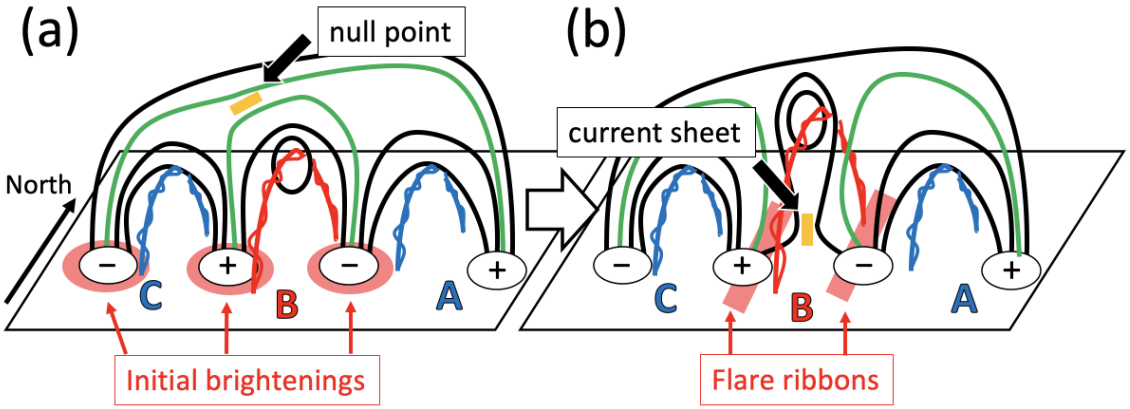


図 2. M5.5 フレアの発生シナリオ, 黒線は大局的な磁場構造, 緑線は磁気リコネクションに関わる磁力線, 捻れた青線及び赤線は磁気フラックスロープ A, B, C, 黄色で示したのは電流シート. (a) M5.5 フレア発生前の磁場構造, (b) M5.5 フレア発生後の磁場構造.

（別紙様式７－２）

電離圏下部における突発的な層構造形成の3次元シミュレーション
Three-dimensional simulation of the sporadic layers in the bottomside ionosphere

齊藤昭則、京都大学・大学院理学研究科

目的

電離圏下部における突発的な層構造形成の物理過程を3次元シミュレーションにより解明することを目的として研究を実施した。高度200km以下の電離圏下部における層構造の発生は様々な手段で観測されている。これらの層の形成には、潮汐波などによる中性風の高度方向のシアが重要であることはロケット観測などにより明らかにされているが、形成される層の突発的な振る舞いは、構造の複雑な形成・発展・減衰を示唆している。特にイオンの運動は高度200kmより高高度では磁場によるジャイロ運動が支配的であり、高度100kmより低高度中性大気の衝突による運動が支配的であり、この間の領域では、高度により磁場と中性風の寄与が移り変わり複雑な層構造の形成の原因になると予想されており、3次元シミュレーションによりその再現を行うことが重要である。

方法

従来は、この高度における3次元的な中性風場の情報がなかったため、電離圏下部における現実的な状況における層構造形成の3次元シミュレーションによる研究はほとんど行われてこなかったが、全大気モデルの発達で現実的な3次元中性場が利用できるようになったことを受けて、本研究では、中性風場としては全大気モデルであるGAIAモデルの出力値を用いる高精度な電離圏プラズマ3次元数値モデルを開発し、sporadic-E層の3次元構造とその時間発展の再現とその物理過程の解明を行った。計算領域としては緯度経度それぞれ20度幅、高度85kmから220kmの領域を扱い、1秒の時間分解能で計算を行った。

結果・考察

日本上空電離圏下部について2015年6月の30日間の計算を行い、突発的な層構造の形成と時間発展の再現を行なった。まず、平均的な振る舞いを同定するために、それぞれの時刻における月間平均値の中性風場を用いた計算を行い、層構造の形成過程を以下の４段階に分けた:（1）高度110km以上では、層構造は東西風シアのnullに拘束されている（2）高度110km以下では、層構造は東西風シアのnullから外れていき、その動きはnullだけでなく水平風によって支配される（3）降下する層構造の下に停滞する層構造がある場合には、その層が持ち上げられ降下する層構造と重なり、密度の増加を起こす（4）高度100km以下では層構造は停滞、あるいは鉛直風により輸送される。その後、各日毎の中性風場を用いた計算を行い、突発的な層構造の日々の変化を調べた。上記の層構造の４段階の発展は各日毎の層構造の発展においてもみられるが、それぞれの段階の度合いは日によって異なり、これが強い日々変動の原因であることが明らかになった。

まとめ

突発的な層構造の数値モデルにより再現により、その４段階からなる生成・発展過程と「突発的」な振る舞いを示す過程が明らかになった。今後は今回の数値モデルには含まれていな電場の寄与や、他の地域での振る舞いなどの解明を進める。

成果発表

Andoh, S., Saito, A., Shinagawa, H., Ejiri, M.K. and Miyazaki, S., Three-dimensional ionospheric simulation of the Es layer: Physical mechanism of the sporadic appearance, JpGU -AGU Joint Meeting 2020, オンライン, 2020年7月12日-15日

安藤慧, 齊藤昭則, 品川裕之, 中緯度スポラディックE層の発生に及ぼす電気力学的影響に関する数値シミュレーション, 地球電磁気・地球惑星圏学会第148回 総会・講演会, オンライン, 2020年11月2日

Andoh, S., Saito, A., Shinagawa, H. and Ejiri, M.K., First simulations of day-to-day variability of mid-latitude sporadic E layer structures, American Geophysical Union fall meeting 2020, オンライン, 2020年12月1日-17日

Andoh, S., Saito, A., Shinagawa, H. and Ejiri, M.K., First simulations of day-to-day variability of mid-latitude sporadic E layer structures. Earth Planets Space 72, 165 (2020). https://doi.org/10.1186/s40623-020-01299-8

（別紙様式７－２）

太陽条件および固有磁場が火星周辺宇宙環境および大気散逸機構に与える影響の研究

Effects of solar conditions and planetary intrinsic magnetic field on Martian space environment and atmospheric escape processes from Mars

関華奈子、東京大学・大学院理学系研究科

約 40 億年前の火星は海を持ち温暖湿潤な気候であったと推定される一方で、現在の火星は寒冷で乾燥した気候を持つ。このような劇的な気候変動を引き起こすには、少なくとも 1 気圧分程度の CO2 大気が表層環境から取り除かれる必要があると考えられており、宇宙空間への大気散逸が重要な役割を果たしたと期待されているが、そのメカニズムはわかっていない。すなわち、CO2 大気を宇宙空間に逃がすことができる物理機構の解明は、火星気候変動研究の重要課題の一つである。

現在の火星は、地球のようなグローバルな固有磁場は持たず、太陽風と火星大気が直接相互作用している。近年の火星探査機による観測結果から、火星においては、低高度まで太陽風や太陽宇宙線が侵入し、大気散逸や地球とは異なるタイプのオーロラを引き起こしていることが観測されている。こうした火星周辺の宇宙環境や大気散逸機構は、約 40 億年前以前の強い太陽風や太陽放射条件下や、固有磁場の存在下ではどのように変化するのであろうか？　本研究の目的は、多成分 MHD 近似による太陽風ー火星相互作用系のグローバルシミュレーションに基づき、過去の極端な太陽風条件や太陽放射条件下で、固有磁場の強度により火星からの大気散逸機構や火星周辺宇宙環境がどのように変化するかを明らかにすることにある。

現在でも太陽風や太陽 X 線および EUV(XUV)放射は短時間に大きく変動していることが知られている。本研究では、この太陽風と XUV が火星からの大気散逸におよぼす影響を評価するため、約 35 億年前の太陽活動が激しい場合の太陽風条件を基準として、太陽風と XUV を変化させたシミュレーションを行った。太陽風磁場の方向については、自由度が高いが、継続時間がもっとも長いと思われる太陽風の Parker spiral で決まる方向を仮定することとした。また、基準となるケースについては、惑星の固有磁場強度を変化させてシミュレーションを行い、固有磁場強度の影響を調べた。

その結果､昨年度発表した約 45 億年前の条件下と同様に､弱い固有磁場を持つ場合には、大気散逸量が増加することが示された。また、固有磁場を更に強くしていくと、大気散逸率は減少に転じることも同様に示された。この傾向は、分子イオンなどの特に重い粒子種で顕著である。さらに、大気流出が増加から減少に転じる固有磁場強度が何で決まるかについて詳しく調べた結果、固有磁場の磁気圧が惑星表面で太陽風動圧の 10%程度になると大気散逸率が減少に転じることなどが明らかになった。また、大気散逸の形態も、カスプからの流出が支配的な弱磁場ケースから、磁気圏圏界面での磁気再結合で駆動される低緯度電離圏でのイオン流による流出が支配的な強磁場ケースに移行することなどが明らかとなった。

（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）

令和2年度は、降水予測や積乱雲の集団化（組織化）の理解に資する技術開発として、雲解像大気モデルでの数値実験における初期摂動法の開発を進めた。これまで、積乱雲の発生初期に上空（1000～2000m程度の高度）の大気を加熱する手法や、下層を人為的に加湿する手法が広く用いられてきた。しかし、上空を加熱したり、下層を加湿するだけでは、積乱雲の初期構造としては適切ではない。それに替わる手法として、Air-Lifting-Blending（ALB）法を開発した。この方法で積乱雲を生成させると、よりスムーズな積乱雲の成長が計算できることがわかった。図1はその初期構造の一例を示したものである。この成果は次年度に公表していく予定である。

令和元年東日本台風（台風19号）において、東日本の各地が水害の被害に見舞われた。このような現象が地球温暖化した将来に発生した場合の影響を見積もるために、雲解像大気モデルを用いた疑似温暖化数値実験を実施した。まず、気象庁の客観解析データを用いて、台風19号の降水の再現実験を実施した。計算した結果、関東山岳域を中心とした大雨を量的に精度よく再現できていた（図略）。さらに、この数値実験で用いた境界条件に4℃上昇した大気条件を仮定した気候差分を上乗せし、同様の数値実験を行った。これによって、台風19号の降水量の気候変化応答を調べることができる。その結果、約35%程度の降水量増加を見積もることができた（図2）。下層の水蒸気量がおおむね30％増加するという仮定に対して、降水量はおおむねそれぞれと同等かやや上回る降水量増加となった。次年度に、メカニズムの理解に向けた解析を進める予定である。

さらに昨年度まで進めていた、関東の都市効果の気候変化応答の数値実験研究に関して、気象学会で成果を発表した。

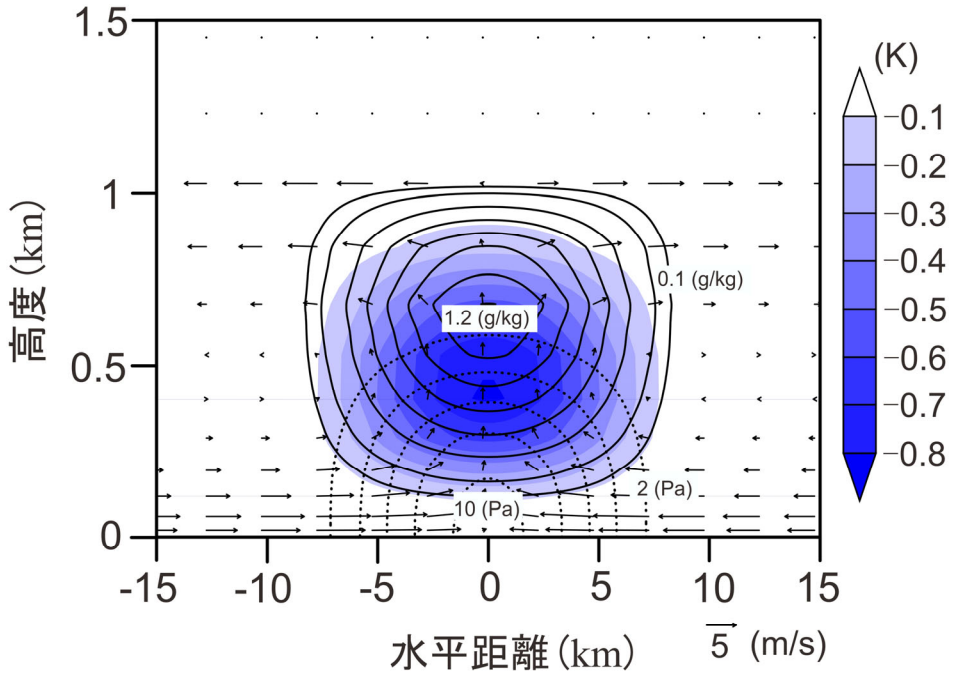


図１：ALB 法における温度偏差（カラー）、水蒸気混合比偏差（実線）、気圧偏差（点線）、風速偏差（矢印）の水平鉛直断面図の例

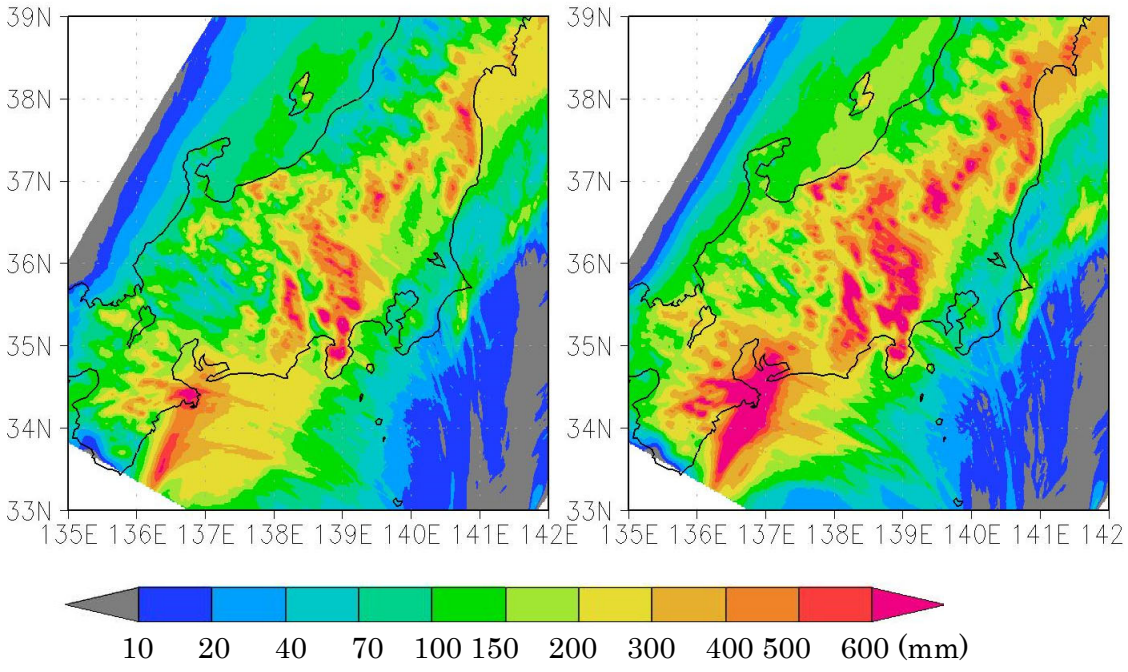


図２：令和元年台風 19 号での再現された積算降水量（左）と将来気候を仮定した実験での降水量（右）

８．データベース作成共同研究 目次詳細

（所属・職名は2021年3月現在）

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
吉村　純	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	297
大矢　浩代	千葉大学	大学院工学研究院	助教	東南アジアVLF/LF帯電磁波データのデータベース化	299
青山　道夫	筑波大学	アイソトープ環境動態研究センター	客員教授	メタデータベースRADARCとデータ検索サイトDOIENVRADとの結合に関する研究	300
下条　圭美	自然科学研究機構 国立天文台	アルマプロジェクト	准教授	豊川太陽電波強度偏波計データベース	302
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	303

（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

吉村純　元気象庁地磁気観測所技術課
（現気象庁大気海洋部環境・海洋気象課）

１．目的

現在、地球電磁気学・宇宙空間物理学の分野で広く使われているデジタル収録のデータはそのほとんどが1970年代以降のものであり、それ以前は紙媒体によるアナログデータである。気象庁地磁気観測所には、アナログマグネトグラムと呼ばれる地磁気の変動を印画紙に記録したデータが保管されており、国際地球観測年以降については日本国内の3観測点（柿岡、女満別、鹿屋）における観測記録が揃っている。

本共同研究では、この紙媒体に記されたアナログデータのスキャニングを行う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地点について高時間分解能かつ長期間にわたり詳しく解析することが可能となり、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

本年度は、女満別の1966～1967年と鹿屋の1967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1,129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2020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

○有田真、地磁気観測成果のデータベース化、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第２次）」令和２年度成果報告シンポジウム、web会議システムによるオンライン開催、令和3年3月16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。

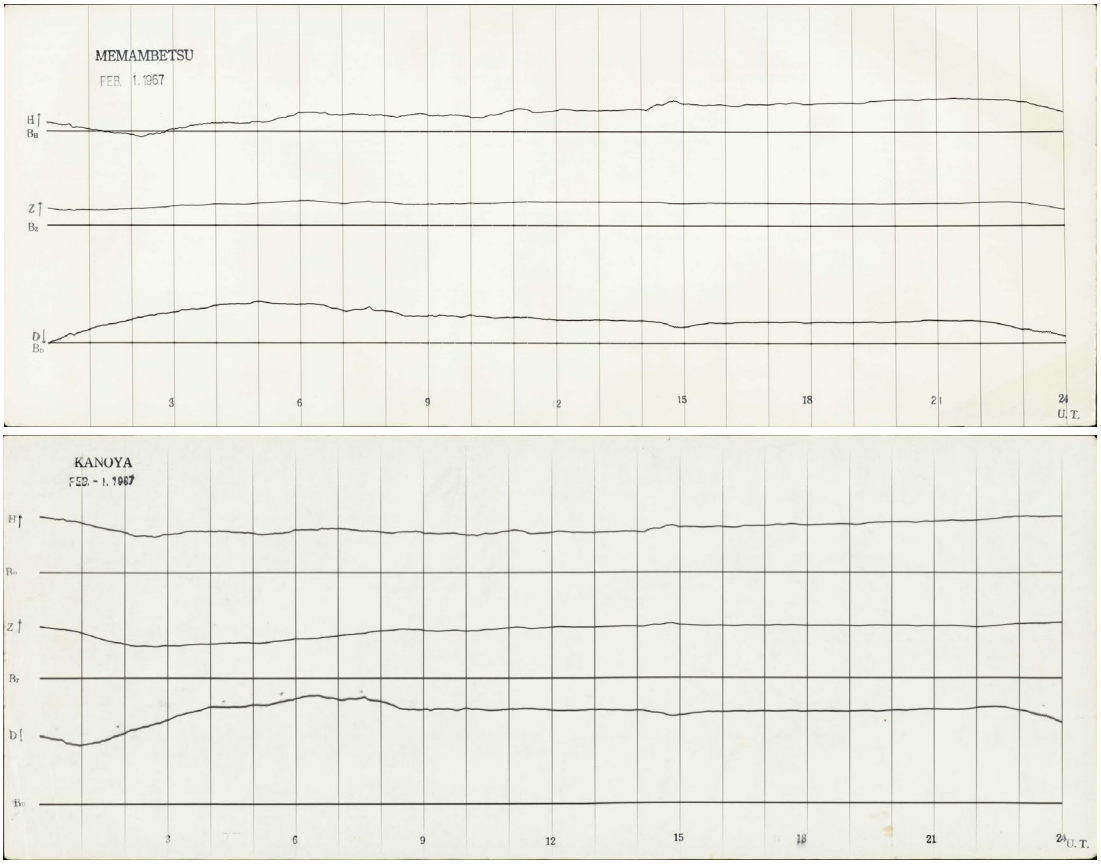


図1　デジタル画像化されたアナログマグネトグラムの例（上：女満別、下：鹿屋）
水平成分(H)、鉛直成分(Z)、偏角(D)の変化が記録されている。日時はUTC。

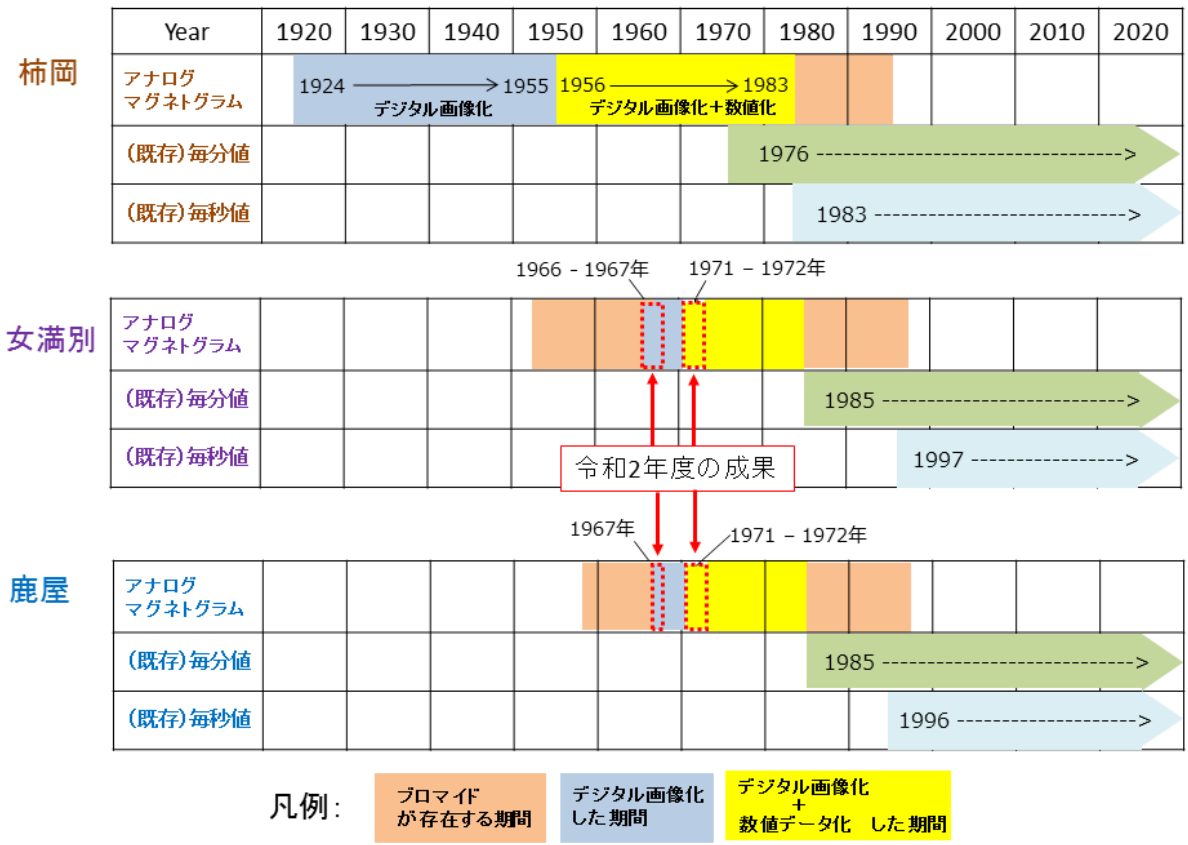


図2　本年度までに実施されたアナログマグネトグラムのデジタル化作業のまとめ。
デジタル画像及び数値化（毎分値、7.5秒値）したデータは全て公開している。

（別紙様式８－２）

東南アジア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 observed in Southeast Asia

大矢　浩代、千葉大学・大学院工学研究院

1.　研究目的

本研究目的は，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

2020年度は, 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。

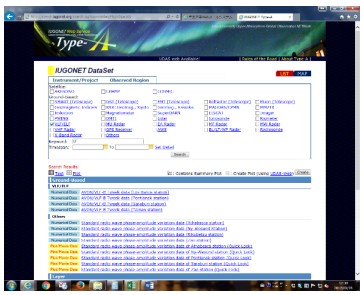


図 1　IUGONET Type-A での AVON 検索画面（http://search.iugonet.org/search.jsp?keyword=AVON&cid01=101）。

成果発表

[1] Ohya, H., T. Miyashita, F. Tsuchiya, A. Hirai, M. Ozaki, K. Shiokawa, Y. Miyoshi, N. Nishitani, T. Hori, M. Teramoto, C. Martin, S. Simon, Y. Kasahara, A. Kumamoto, M. Shoji, I. Shinohara, H. Nakata, and T. Takano, Pi2 ULF modulation of energetic electron precipitations observed by using VLF/LF transmitter signals, JpGU-AGU2020, Viurtual meeting, 12-16 July 2020.

[2] Yamanobe, K., H. Ohya, H. Nakata, K. Shiokawa, K. Yamashita, and Y. Takahashi, Solar flare effects of the D-region ionosphere using daytime tweek atmospherics and VLF/LF standard radio waves, JpGU-AGU2020, Virtual meeting, 12-16 July, 2020.

[3] 山野辺晃大、大矢浩代、土屋史紀、山下幸三、高橋幸弘、塩川和夫、中田裕之、LF 帯標準電波を用いた太陽フレアによる D 領域電離圏擾乱の観測、中間圏・熱圏・電離圏(MTI) 研究集会、Zoomミーティング、2020年9月28－30日。

[4] 山野辺晃大、大矢浩代、土屋史紀、山下幸三、高橋幸弘、塩川和夫、中田裕之, Solar flare effects on the D-region ionosphere using VLF/LF transmitter signals, 第148回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会、オンライン、2020年11月1－4日。

[5] 山野辺晃大、大矢浩代、土屋史紀、山下幸三、高橋幸弘、塩川和夫、中田裕之, VLF/LF帯標準電波を用いた太陽フレアによる D 領域電離圏変動に関する研究、 日本大気電気学会第99回研究発表会、オンライン、2021年1月8-9日。

（別紙様式８－２）

メタデータベースRADARCとデータ検索サイトDOIENVRADとの結合に関する研究

Study on connection between metadata database RADARC and data search site DOIENVRAD

青山　道夫、筑波大学、アイソトープ環境動態研究センター

１，はじめに

2011年3月に起こった東京電力福島第一原子力発電所事故により、様々な核種の人工放射性物質が環境中に放出された。これら放出された人工放射性物質の放射能測定結果について、2019年から始まった筑波大学等6機関の共同研究共同拠点の事業「放射能環境動態・影響評価ネットワーク共同研究拠点」の一環として本研究申請者の筑波大学の青山が実施責任者として担当し、2019年7 月 25 日 から DOIをつけてデータを一般に開するサイトの運用が始まり、さらに公開しているデータを串刺しで、核種と試料の種類を指定し、 緯度、経度高度あるいは深さおよび時間の条件をいれて生データを一括検索し、結果を「csv形式のファイルとしてdownloadできる」サイトの運用が 2019年12月27日から開始されている。また既にIAEAや日本の水産庁等で公開されている海洋環境での人工放射能測定データを加えて串刺しで検索できるように準備を進めている。

一方、日本学術会議総合工学委員会 の原発事故対応分科会の活動のひとつして「東京電力福島第一原子力発電所事故に関連する放射線・放射能測定データアーカイブズワーキンググループ」が本研究の研究所担当教員である伊藤好孝教授を中心に活動しており、メタデータベースRADARCが公開されている。RADARCでは、 民間企業、個人、研究者、NPO団体が行った放射能・放射線測定データ群を中心に、放射能・放射線測定メタデ ータをカタログ化し、測定日時、地点等からデータの所在を検索可能なメタデータベースとして名古屋大学から公開されている。

本課題は、最終的には東京電力福島第一原子力発電所事故により環境中に放出された様々な核種の人工放射性物質の環境中測定データそのものをdownload可能あるいは、検索して結果をdownload可能となるデータの量を飛躍的に増加させるために、メタデータベースRADARCとデータ検索サイトDOIENVRADとの結合を効率的に行うための研究を実施する。これにより、日本のみならず世界の研究者および企業・行政・NPO等の利害と行動に直接・間接的な利害関係を有する者達（ステークホルダー）に効率的にインターネットを介して情報を提供することができるようになる。

２，実施事項と到達点

１） 現在のRADARCのメタデータ情報を拡張し、検索可能なxyztとする方策を検討した。当面はRADARC側に高度深度情報のｚが無いため、ｚの情報が無くても検索できるようにDOIENVRAD側の検索システムを拡張した。これにより、RADARCのメタデータがDOIENVRADの検索結果として出力できるようになる。現時点でRADARC側のデータの到着を待っているところである。

２）現在のRADARCのメタデータ内で公開可能な実測定データが存在するものを抜き出し、DBのtableを作成し、DOIENVRADに追加する準備を行った。現時点でRADARC側のデータの到着を待っているところである。

３） スパコン等で行ったシミュレーション結果を圧縮してDOIをつけて公開するとともに検索可能とするため、大気や海洋のシミュレーションを行った研究者等とコンタクトし、協力を求めることとした。現在DOIENVRADでシミュレーション結果である大量データを扱う技術的な検討を行っている段階である。

４） RADARCおよびDOIENVRADの現状を紹介する論考を投稿する準備を行った。

以上

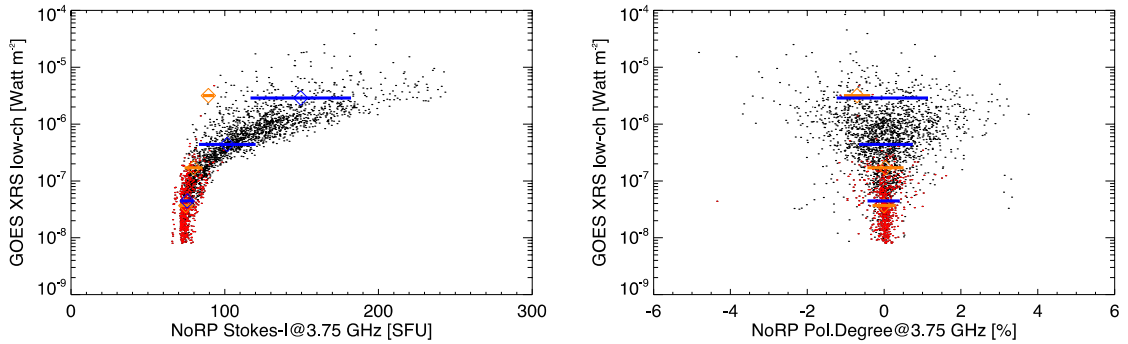
（別紙様式８－２）

豊川太陽電波強度偏波計データベース
The database of Toyokawa Solar Radio Polarimeters

下条圭美、国立天文台・アルマプロジェクト

日本における太陽電波観測の歴史は古く、名古屋大学空電研究所豊川キャンパスにて田中春夫教授率いるグループが、マイクロ波帯での太陽電波強度モニター観測を 1950 年代初頭から開始している。過去に発生した太陽フレアと地磁気変動・オーロラ 爆発の情報を基に地球への影響を議論し、太陽フレアによる災害を予測する研究が行われている。しかし、太陽フレアの規模を正確に知るための X 線観測は 1986 年から行われており、1986 年以前に発生した太陽フレアの規模を正確に知るには 1950 年から行ってきた豊川での電波観測が重要となっている。国立天文台には、名古屋大学から移管された 1 日の電波強度変動を記録したマイクロフィルムが 1958 年から約 20 年間分存在する。我々は、このフィルムをデジタル画像データに変換し世界中に公開することを目的に研究を進めている。

コロナ禍により当初考えていた名古屋大 ISEE を訪れての共同研究はできなかったが、補助して頂いた経費にて計算機を購入しデータ解析を行い、データベース価値向上を目指した。下図はその結果の一部であり、これまで行われていたマイクロ波強度と X 線強度の長期にわたる関係(左図)だけではなく、マイクロ波の円偏波率と X 線強度の関係（右図）を示すことができた。この関係性を明らかにした事は、太陽/太陽圏での宇宙天気に有用なだけでなく、今後 10 年間で建設される SKA や ngVLA などの大型電波干渉計による恒星観測において、テンプレートとなるデータを示すことができた。将来の系外惑星系における宇宙天気を研究する上で、重要な基礎データになると思われる。



左図：GOES 衛星 X 線強度と野辺山電波強度計 3.75GHz 強度の散布図。 右図：GOES 衛星 X 線強度と野辺山電波強度計 3.75GHz 偏波率の散布図。赤点は極小期付近のデータを表している。青・橙の横線は、GOES クラス≦A, B, C–M それぞれでの分散を示しており、青は全期間での、橙は太陽極小期での分散を示している。

<成果発表>

Shimojo, M. 2021, ngVLA-J memo series, https://ngvla.nao.ac.jp/researcher/memo/pdf/Shimojo.pdf

（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。また、現行のMAGDAS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。これらの磁場データから、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。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。これら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。さらに、FW-CWレーダー観測について、ロシアパラツンカで観測されたイオノグラム観測及びドップラー観測のデータを処理し、netCDF形式データへの変換や、クイックルックプロットを作成した。今後、メタデータ作成やデータベースへの登録を進める予定である。

９.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2021年3月現在）

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
岡本　敦	東北大学	大学院環境科学研究科	准教授	小笠原海溝の蛇紋岩体中のアラゴナイト脈の年代測定	304
嘉幡　茂	京都外国語大学	ラテンアメリカ研究所	客員研究員	耐久性に優れたピラミッドが開発された理由：古代メキシコ人の世界観と自然災害の相関関係	305
高橋　浩	産業技術総合研究所	活断層・火山研究部門	主任研究員	水試料の炭素抽出手法改良のための放射性炭素濃度測定	306
奥野　充	福岡大学	理学部	教授	アリューシャン列島東部のテフラと考古遺跡の年代研究	307
森本　真司	東北大学	理学研究科	教授	大気中二酸化炭素の放射性炭素同位体比の変動	308
淺原　良浩	名古屋大学	大学院環境学研究科	准教授	イラン北西部のTakab-Ghorveh地域のトラバーチンの炭素14分析	309
小元　久仁夫	元日本大学	文理学部・大学院理工学研究科	元教授	ビーチロック試料の正確な膠結年代決定方法	310
奥野　充	福岡大学	理学部	教授	樹木試料による名古屋市と福岡市大気 のスース効果の評価	311
佐藤　亜聖	元興寺文化財研究所	文化財調査修復研究グループ	総括研究員	加速器を用いた歴史時代火葬人骨の学際的研究	312

（別紙様式9-1）2020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	
代表者氏名	岡本敦（おかもと）
所属機関	東北大学
部局	大学院環境科学研究科
職名	教授

下記の共同研究について、別紙のとおり報告します。

記

1. 研究課題名

和文：	小笠原海溝の蛇紋岩体中のアラゴナイト脈の年代測定
英文：	Age dating of aragonite veins within serpentinite body from the Ogasawara trench

2. 研究体制

氏名	所属機関	国	職名
岡本　敦	東北大学	日本	教授
大柳良介	海洋研究開発機構	日本	学振特別研究員 PD
道林克禎	名古屋大学	日本	教授
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）

本研究では，炭酸塩補償深度よりも深い水深6300mから採取された蛇紋岩中の炭酸塩鉱物の成因を成約するべく，炭酸塩鉱物の放射性炭素年代測定を行った．複数の炭酸塩鉱物試料の放射性炭素年代は，約40,000年の年代を示すことが明らかになった．地化学的データから炭酸塩は海水中の炭素から沈殿したと考えられるが，得られた年代は海水に溶けている炭素の放射性炭素年代（約2000年）と矛盾する．これらの特徴から，炭酸塩は40000年前の古海水に含まれる炭素から沈殿したと考えられる．

4. 成果論文リスト（著者名、タイトル、雑誌名、巻号、ページまたはDoi、年、順番は入れ替え可）

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）

大柳良介，岡本敦，M. Satish-Kumar，南雅代，針金由美子，道林克禎，
水深6300mから採取された蛇紋岩中のアラゴナイト脈の成因とその意義，
変成岩などシンポジウム2020オンライン，オンライン，2020年11月25日

6. その他の成果リスト（著書、特許等）

（別紙様式9-1）2020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	
代表者氏名	嘉幡（かばた） 茂（しげる）
所属機関	京都外国語大学
部局	国際言語平和研究所
職名	嘱託研究員

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：	耐久性に優れたピラミッドが開発された理由：古代メキシコ人の世界観と自然災害の相関関係
英文：	Improving the durability of the pyramids in Ancient Mexico: worldviews, natural disasters, and technological innovation

2. 研究体制

氏名	所属機関	国	職名
南雅代	名古屋大学	日本	教授
村上達也	テュレーン大学	アメリカ	准教授
フリエタ・ロペス	メキシコ国立自治大学	メキシコ	客員研究員

3. 研究成果の概要（200字程度でまとめてください）

本年度7月中旬から9月中旬に掛け、嘉幡（研究代表者）、村上とロペス（研究分担者）が現地で発掘調査を行い、炭化物（木や種子）のサンプルを回収する予定を立てていた。さらに、ここから45点を名古屋大学・試料調製室に空輸し、11月から3月の間に南（研究所担当教員）によって加速器質量分析が実施される計画であった（2021年度は30点、2022年度は30点を予定していた）。しかしなら、COVID-19により渡墨することができず、実質的に研究を進めることはできなかった。

代替案として、来年度渡墨が可能であり、層位学的発掘調査を行うことができれば、当初の計画の通り、75点のサンプルを名古屋大学に空輸し、分析を行いたいと考えている（南には既に了承を得ている）。貴研究所のご判断を従う。

他方、本研究の分析に基づいた成果を上げることはできなかったが、申請段階の研究内容や理論の精査を行い、以下の出版と発表を行うことができた。

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）

Kabata, Shigeru, Cambios diacrónicos en las actividades relacionadas con la obsidiana y su intervención por el Estado teotihuacano, 京都外国語大学ラテンアメリカ研究所「紀要」 20号1-28頁, 2021年3月出版予定

Kabata, Shigeru, José Luis Ruvalcaba Sil, y Julieta Margarita López Juárez, Sistemas de abastecimiento de obsidiana entre el Estado teotihuacano y las sociedades del valle de Toluca,京都外国語大学ラテンアメリカ研究所「紀要」 20号29-60頁, 2021年3月出版予定

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）

嘉幡茂、古代メキシコのピラミッドに秘められた暗号：天上界と地下界を結ぶ摩天楼の完成、教養講座（第31回メキシコセミナー）日墨交流会主催、オンライン、2020年7月18日

嘉幡茂、古代メキシコにおける宇宙の都の建設、イベリア・ラテンアメリカ文化研究会（SECILA）第76回例会、オンライン、2020年9月5日

嘉幡茂、なぜピラミッドは造られたのか？ 古代メキシコの摩天楼と都市の萌芽、文化庁 地域と共働した博物館創造活動支援事業「ヤマト・天理の歴史文化をめぐる」、天理大学、2020年10月9日

嘉幡茂、古代メキシコにおける「宇宙の都」の盛衰：トラランカレカ、テオティワカン、チョルーラ、京都外国語大学ラテンアメリカ研究所第10回研究会、オンライン、2020年10月22日

6. その他の成果リスト（著書、特許等）

伊藤伸幸 (監修), 嘉幡茂 (編集), 村上達也 (編集)、『メソアメリカ文明ゼミナール』、勉成出版、2021年1月上旬出版予定

(別紙様式9-1) 2020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	
代表者氏名	高橋(たかはし) 浩(ひろし)
所属機関	産業技術総合研究所
部局	活断層・火山研究部門
職名	主任研究員

下記の共同研究について、別紙のとおり報告します。

記

1. 研究課題名

和文:	水試料の炭素抽出手法改良のための放射性炭素濃度測定
英文:	Radiocarbon measurement for method improvement of carbon extraction from water sample

2. 研究体制

氏名	所属機関	国	職名
高橋 浩	産業技術総合研究所	日本	主任研究員
南 雅代	名古屋大学	日本	教授
佐藤里名	名古屋大学	日本	大学院生

3. 研究成果の概要(200字程度でまとめてください)

水試料の溶存無機炭素(DIC)の14C濃度測定のための簡便な試料処理として、水試料に酸を添加することで発生したCO2を回収する既存の手法の導入を試み、名古屋大学宇宙地球環境研究所の実状にあった改良のために、再現性やバックグラウンド等の検証に必要な基礎測定を目的として、加速器質量分析計による人工水試料および天然水試料14C測定を実施した。

4. 成果論文リスト(著者名、タイトル、雑誌名、巻号、ページまたはDoi、年、順番は入れ替え可)

Takahashi, H. A., Minami, M., Handa, H. and Sato, R. A simple CO2 extraction method for radiocarbon analyses of dissolved inorganic carbon in water samples without a carrier gas. submitted to Radiocarbon

高橋 浩・佐藤里名・南 雅代(2021)水試料の放射性炭素濃度測定のための手法改良(その2). 名古屋大学 年代測定研究, 5(印刷中)

5. 学会発表リスト(著者名、タイトル、学会名、開催場所、年月日)

佐藤里名・高橋浩・半田宙子・南雅代「水試料の溶存無機炭素を抽出する新手法の開発および従来法との比較」2020年度日本地球化学会第67回オンライン年会

6. その他の成果リスト(著書、特許等)

Sato, R. (2021) Development of a new carbon extraction method for accurate radiocarbon analysis in water samples. Master's Thesis, Department of Earth & Environmental Sciences, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University.

（別紙様式9-1）2020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	
代表者氏名	奥野充（おくの みつる）
所属機関	福岡大学
部局	理学部
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：	アリューシャン列島東部のテフラと考古遺跡の年代研究
英文：	Chronological study of tephras and archaeological sites in eastern Aleutian Islands

2. 研究体制

氏名	所属機関	国	職名
中村俊夫	名古屋大学	日本	招へい教員
Hatfield, Virginia	アリューシャン博物館	米国	館長
Savinetsky, Arkady	ロシア科学アカデミー	ロシア	研究室長

3. 研究成果の概要（200字程度でまとめてください）

本年度は，コロナ禍のため，現地調査を実施することができなかった．これまでの共同研究の一部を取りまとめて，Quaternary Research誌に掲載された．この論文では，チュコトカ半島やコマンダー諸島，アリューシャン列島西部での地域補正係数（ΔR）の新しいデータを公表した．北太平洋の5地域で得られたΔRは統計的に異なるものではない．様々な種類の海洋生物のΔRを比較すると、ラッコや小魚が，その生活史を通じて沿岸水域に存在するため，ΔRの測定に適している．北太平洋が同じリザーバーオフセットによって特徴づけられると考えられ，その値は525±75年である．

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）

Khasanov, B., Fitzhugh, B., Nakamura, T., Okuno, M., Hatfield, V., Krylovich, O., Vasyukov, D., West, D.L., Zendler, E., Savinetsky, A. (2020年5月) New data and synthesis of ΔR estimates from the northern Pacific Ocean. Quaternary Research, 1-11. doi:10.1017/qua.2020.27

5. 学会発表リスト（著者名、タイトル、学会名、開催場所、年月日）

なし.

6. その他の成果リスト（著書、特許等）

なし.

（別紙様式9-1）2020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	
代表者氏名	森本真司（もりもとしんじ）
所属機関	東北大学
部局	大学院理学研究科附属大気海洋変動観測研究センター
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：	大気中二酸化炭素の放射性炭素同位体比の変動
英文：	Temporal and spatial variations of atmospheric 14CO2

2．研究体制

氏名	所属機関	国	職名
森本真司	東北大学	日本	教授
関根光	東北大学	日本	修士2年

3．研究成果の概要（200字程度でまとめてください）

北極ニーオルスン基地、及び日本上空の対流圏で系統的に採取された大気試料のΔ14CO2を分析し、その時系列変動を明らかにした。ニーオルスンで観測されたΔ14CO2の季節変化の原因を考察し、成層圏からの14CO2輸送と陸上生物圏のCO2吸収、そして化石燃料起源CO2放出が影響している可能性を指摘した。日本上空の対流圏で観測されたΔ14CO2の変動から化石燃料起源CO2の寄与を推定し、同時に観測されたCO濃度変動と比較した。その変動比から、中国での化石燃料燃焼の影響を検出した。

4．成果論文リスト（著者名、タイトル、雑誌名、巻号、ページまたはDoi、年、順番は入れ替え可）

森本真司、山田千夏、関根光、青木周司、南雅代、中村俊夫、大気中二酸化炭素の放射性同位体比の変動、名古屋大学年代測定研究、印刷中、2021.

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）

Sekine, H., S. Morimoto, C. Yamada, D. Goto, M. Minami, T. Nakamura and S. Aoki, Variations of atmospheric carbon dioxide and its radioisotope in the Arctic region, JPGU on-line, 2021/6/6.

6．その他の成果リスト（著書、特許等）

（別紙様式9-1）2020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	
代表者氏名	浅原（あさはら） 良浩（よしひろ）
所属機関	名古屋大学
部局	大学院環境学研究科
職名	准教授

下記の共同研究について、別紙のとおり報告します。

記

1. 研究課題名

和文：	イラン北西部のTakab-Ghorveh地域のトラバチンの□炭素14分析
英文：	14C analysis on travertine in the Takab-Ghorveh (Qorveh) area, NW Iran

2. 研究体制

氏名	所属機関	国	職名
淺原 良浩		日本	准教授
AZIZI, HajiHossein		イラン	Professor
AMIN-RASOULI, Hadi		イラン	Assistant professor
張　玉博		日本	M2
金子 将己		日本	M1
南　雅代		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）

本研究では、イラン北西部のTakab地域のトラバーチンの14C年代測定と化学分析に基づき、古環境復元を試みた。2020年度は現地調査を実施できなかったが、これまでに分析したTakab地域のトラバーチン丘の24地点のトラバーチン試料、TakabおよびGhorveh地域の湧水15試料のDICの14C年代情報を踏まえながら、トラバーチンの炭素・酸素同位体比測定と微量元素定量分析、湧水の主成分および微量成分元素の定量分析、トラバーチンと湧水のSr同位体分析を行った。これらの結果から、Takabのトラバーチン丘の形成時期を17,000年前～3,500年と見積もることができた。この年代軸に基づき、トラバーチンと湧水の主成分および微量成分の化学組成およびSr同位体比から、Takab地域の気温、降水量の復元を行い、全球的な気候変動との対比を行った。

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）

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）

Zhang, Yubo, Asahara, Yoshihiro, Kaneko, Masaki, Minami, Masayo, Amin-Rasouli, Hadi, Azizi, Hossein, Carbon and oxygen isotopes and 14C age of travertine and spring water in NW Iran, 日本地球惑星科学連合2020年大会, オンライン, 2020年7月.

Zhang, Yubo, Asahara, Yoshihiro, Minami, Masayo, Kaneko, Masaki, Amin-Rasouli, Hadi, Azizi, Hossein, Paleoenvironmental reconstruction of northwest Iran based on 14C age and chemical compositions of travertines, 日本地球化学会第67回年会, オンライン, 2020年11月.

金子将己, 淺原良浩, 南雅代, 栗田直幸, Hossein Azizi, Hadi Amin-Rasouli, 張玉博, イラン北西部のトラバーチン湧水の同位体地球化学的評価, 日本地球化学会第67回年会, オンライン, 2020年11月.

Zhang, Yubo, Asahara, Yoshihiro, Minami, Masayo, Kaneko, Masaki, Amin-Rasouli, Hadi, Azizi, Hossein, Radiocarbon ages and geochemical record for a travertine hill in NW Iran, 第32回（2020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, 2021年3月.

金子将己, 淺原良浩, 南雅代, 栗田直幸, Hossein Azizi, Hadi Amin-Rasouli, 張玉博, イラン北西部のトラバーチン湧水中のヒ素の起源解析, 第32回（2020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, 2021年3月.

6. その他の成果リスト（著書、特許等）

張玉博. 14C ages and chemical compositions of travertines in northwest Iran: An attempt on paleoenvironmental reconstruction in west Asia, 名古屋大学大学院環境学研究科地球環境科学専攻修士論文, 2021年3月.

（別紙様式9-1）2020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	
代表者氏名	おもとくにお 小元久仁夫
所属機関	元 日本大学
部局	大学院理工学研究科/文理学部
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	ビーチロック試料の正確な膠結年代決定方法
英文	Develpoment of Physical and Chemical Analysis to Obtain Correct Concrete Age for Beachrock Sample

2. 研究体制 （宇宙地球環境研究所の担当教員を含めてください）

氏名	所属機関	国	職名
小元 久仁夫	元日本大学	日本	元教授
藁谷 哲也	日本大学	日本	教授
北川 浩之	名古屋大学	日本	教授
加藤 丈典	名古屋大学	日本	准教授
大八木 英夫	南山大学	日本	准教授
小田 寛貴	名古屋大学	日本	助教
横尾　頼子	同志社大学	日本	助教
池田 晃子	名古屋大学	日本	主任技師

3. 研究成果の概要（200字程度でまとめてください）

2020年度は，沖縄県の渡嘉敷島，慶留間島および伊平屋島で野外調査を行って，合計5地点から18件のAMS^{14}C年代測定試料を採取した。コロナウィルス蔓延のため，名古屋大学宇宙地球環境研究所において年代測定試料の調整実験を行うことができなかった。またTandetron 2号機が故障したため，試料調製が終わった試料は測定順番待ちとなっている。元素分析，δ13Cの測定，XRF分析も遅れている。

4. 成果論文リスト（著者名、タイトル、雑誌名、巻号、ページまたはDOI、年、順番は入れ替え可）

小元久仁夫・藁谷哲也・塩見昌司・大八木英夫・横尾頼子・池田晃子（2020）ビーチロック試料の正確な膠結年代の決定方法 (2). 名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定報告. 4, 9-15.
小元久仁夫（2021）宮古島南東，マイバーバマ東部のビーチロックから採取した試料の14C年代とその意義. 地学雑誌. 130, 95-101.

5. 学会発表リスト（著者名、タイトル、学会名、開催場所、年月日）

なし

6. その他の成果リスト（著書、特許等）

なし

（別紙様式9-1）2020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	
代表者氏名	奥野（おくの）　充
所属機関	福岡大学
部局	理学部
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：	樹木試料による名古屋市と福岡市大気 のスース効果の評価
英文：	Evaluation of Suess effect for atmospheric CO2 in Nagoya and Fukuoka cities by tree samples

2．研究体制

氏名	所属機関	国	職名
奥野　充	福岡大学	日本	教授
中村 俊夫	名古屋大学	日本	招へい教員（名誉教授）
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）

1983年から大学周辺大気の自動車排気ガス等による汚染の程度や状況を調査する目的として、キャンパス内の松葉を採集しその14C濃度経年変動を調査している。本年度は、2018年に生育した松葉を12点、2019年に生育した松葉を9点測定して、これまでの測定結果と比較して、大気中の14C濃度の経年変動を考察した。大気中CO2濃度の増加は、化石燃料の燃焼により生成されたCO2による増加であるが、その増加傾向は、大気中CO2の14C濃度の減少傾向と調和している。また、都市部などで大気汚染が危惧されるところでは、化石燃料の消費が著しく、そこで生育した葉片は明らかにSuess効果が大きいことが明確になってきている。

4．成果論文リスト（著者名、タイトル、雑誌名、巻号、ページまたはDoi、年、順番は入れ替え可）

なし

5．学会発表リスト（著者名、タイトル、学会名、開催場所、年月日）

なし

6．その他の成果リスト（著書、特許等）

なし

（別紙様式9-1）2020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	
代表者氏名	佐藤亜聖（さとうあせい）
所属機関	公益財団法人元興寺文化財研究所
部局	文化財調査修復研究グループ
職名	総括研究員

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：	加速器を用いた歴史時代火葬人骨の学際的研究
英文：	Interdisciplinary study of historical cremation human bones using accelerators

2．研究体制

氏名	所属機関	国	職名
佐藤亜聖	公益財団法人元興寺文化財研究所	日本	総括研究員
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）

本研究は有機質を失った歴史時代火葬骨の年代測定、同位体分析を通じて、被葬者の来歴を知る方法を確立することを目的としている。共同利用研究では大阪府松原市立部遺跡出土火葬骨の分析、奈良市唐招提寺西方院出土證玄和尚五輪塔出土人骨、愛媛県久万高原町大宝寺出土炭化物の分析を行った。いずれの試料でも歴史時代火葬骨においても年代測定が十分可能であることが立証でき、また同位体分析では被葬者の最終居住地の地質的特徴が人骨に残されている可能性を指摘出来た。

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）

澤田 陸・若木重行・南 雅代「滋賀県多賀町敏満寺遺跡石仏谷墓跡出土火葬骨のSr同位体分析」名古屋大学年代測定研究, 4, 53–58, 2020.

南 雅代「火葬骨・木炭の放射性炭素年代測定」松原市立部遺跡発掘調査報告書 第5章第6節, 68–72, 2021.

若木重行・南 雅代「人骨のストロンチウム同位体分析」松原市立部遺跡発掘調査報告書 第5章第7節, 73–77, 2021.

若木重行・南 雅代「土壌資料のストロンチウム同位体分析」松原市立部遺跡発掘調査報告書 第5章第8節, 78–80, 2021.

澤田 陸・若木重行・南 雅代「滋賀県多賀町敏満寺遺跡石仏谷墓跡出土火葬骨のSr同位体分析」名古屋大学年代測定研究, 4, 53–58, 2020.

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）

※佐藤亜聖 ・若木重行・松下真実・南 雅代・石田太一「唐招提寺西方院證玄和尚蔵骨器の調査について」日本考古学協会第86回総会研究発表、資料集による紙上開催

南 雅代・若木重行・佐藤亜聖・樫木規秀「大阪府松原市立部遺跡出土蔵骨器に納められた火葬骨の化学分析」 2020年度日本地球化学会第67回年会, オンライン, 11月12–26日, 2020.

南　雅代「考古遺跡から出土した骨遺物の放射性炭素年代測定」2020年度日本地球化学会第67回年会, オンライン, 11月12–26日, 2020.

澤田 陸・若木重行・南 雅代「滋賀県敏満寺遺跡石仏谷墓跡から出土した火葬骨のSr同位体比から探る食性と居住地域」2020年度日本地球化学会第67回年会, オンライン, 11月12–26日, 2020.

6．その他の成果リスト（著書、特許等）

１０.加速器質量分析装置等利用(委託分析)

10件の申請が有り、そのうち10件（71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。