令和元年度
(2019 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 ～ 55

２．ISEE International Joint Research Program・・・・・・・・・・・ 58 ～ 86

３．国際ワークショップ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・88 ～ 89
International Workshop

４．一般共同研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・91 ～ 216

５．奨励共同研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 218 ～ 224

６．研究集会・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・226 ～ 336

７．計算機利用共同研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・338 ～ 359

８．データベース作成共同研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 361 ～ 367

９．加速器質量分析装置等利用(共同利用)・・・・・・・・・・・・・・・ 368 ～ 377

１０．加速器質量分析装置等利用(委託分析)・・・・・・・・・・・・・・ 378

1.国際共同研究 目次詳細

（所属・職名は2020年3月現在）

（注1）：新型コロナウイルスの影響で中止
（注2）：新型コロナウイルスの影響で2020年度に延期し実施
（注3）：新型コロナウイルスの影響で2020年度に延期し中止

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
小谷亜由美	名古屋大学	生命農学研究科	助教	東シベリア森林における凍土-植生-大気システムの時空間変動	1	
石川　守	北海道大学	地球環境科学研究院	准教授	地下氷の動態に注目した永久凍土の変動監視	3	
加藤千尋	信州大学	理学部	教授	改良された汎世界的宇宙線観測ネットワークによる宇宙天気の観測II	6	（注2）
宮下幸長	Korea Astronomy and Space Science Institute （韓国天文研究院）	Space Science Division	Senior Researcher	ERGデータに基づくサブストーム発生に伴う内部磁気圏の変動の研究	7	
淺原良浩	名古屋大学	大学院環境学研究科	准教授	U-Pb年代測定のための新たな“若い”ジルコン標準試料の化学的均質性の評価	9	
中澤知洋	名古屋大学	KMI 情報解析研究センター/理学研究科	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	11	
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	
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	15	
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１	17	
中井太郎	國立臺灣大學 (National Taiwan University)	森林環境暨資源學系 (School of Forestry and Resource Conservation)	助理教授 (Assistant Professor)	東シベリア・カラマツ林の生態水文学的プロセスのモデル化	19	（注2）
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	21	
土屋史紀	東北大学	大学院理学研究科	助教	北米におけるVLF電波観測と地上統合観測を用いた高エネルギー電子降り込み過程の同定	23	
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	25	
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	27	（注2）
中森健之	山形大学	学術研究院	准教授	銀河系内宇宙線源探査に向けたCTA望遠鏡の改良と可能性評価	29	
西澤智明	国立環境研究所	環境計測研究センター遠隔計測研究室	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	31	
藤原　均	成蹊大学	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	33	
寺尾　徹	香川大学	教育学部	教授	多様な水文気候学的地域特性が駆動するアジアモンスーン変動に迫る国際共同研究	35	
坂崎貴俊	京都大学	大学院理学研究科　地球惑星科学専攻	助教	宇宙圏からのエネルギー流入に対する下層大気の大気潮汐の応答	37	

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
馬場賢治	酪農学園大学	酪農学研究科・農食環境学群環境共生学群	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	39	（注2）
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	41	（注2）
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	43	
吉川 顕正	九州大学	理学研究院・地球惑星科学部門	准教授	Pc1地磁気脈動の全球的発生・伝播特性に関する研究	45	
平原靖大	名古屋大学	環境学研究科	准教授	ALMAアーカイブデータのリトリーバル解析によるタイタン気象学の創成	46	
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	48	
成影典之	国立天文台	SOLAR-C 準備室	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	51	
髙橋　透	情報・システム研究機構　国立極地研究所	研究教育系	特任研究員	オーロラパッチ内部の分極電場	53	
芳原容英	電気通信大学	大学院情報理工学研究科	教授	東南アジアにおけるELF帯電磁波観測を用いた、大規模雷の電気的、時空間特性に関する研究	55	

東シベリア森林における凍土-植生-大気システムの時空間変動
Spatial and temporal variability of permafrost - vegetation - climate system in eastern Siberia

小谷亜由美（名古屋大学・生命農学研究科）

【背景・目的】

地球温暖化が顕在化した現象の一つとして、永久凍土表層の融解があげられる。実際に過去30年間において、環北極域の永久凍土地域では気温上昇に伴う地温上昇と永久凍土の融解が観測されている。永久凍土表層の融解は、地表面付近の温度や水分状態の変化に伴う大気とのエネルギー収支の変化や、土壌中に蓄積された炭素（二酸化炭素・メタン）の放出を通して気候にフィードバックし、気候変動の駆動因子のひとつになっている（Loranty et al., 2018）。活動層（暖候期に融解する地表から1-2mの層）の融解と凍結の季節サイクルは、永久凍土域における陸域生態系の成立や維持の土台となる現象である。その季節サイクルを逸脱する活動層の深化は、凍土融解の初期現象として現れるため（Shuur et al., 2008）、活動層の深度を決める要因を明らかにしておくことが重要である。

そこで本研究では、近年の降水量変動に伴う活動層内の土壌水分の増減が顕著な東シベリアの森林において、凍土-植生-大気システムの実態解明を行うことを目的とする。具体的には、活動層の深度を決める要因と森林の水・熱・物質循環への影響を明らかにするために、カラマツ林における活動層の空間・時間変動の要因を調査した。

【方法】

東シベリアのSpasskaya Pad（SP）およびElgeeii（EG）の2サイト（カラマツ林）を調査対象とし、SPでは2019年5、8、9月、EGでは9月に簡易貫入試験により融解深を測定した。本共同研究期間を含む融解深と地温および地表被覆と周辺植生の写真データを整理し、ADS（Arctic Data archive System, https://ads.nipr.ac.jp）で公開する準備をした。両サイトの気象観測データを整備し、地温の鉛直プロファイルと微気象観測データを用いて融解深を含む活動層の凍結・融解に関するパラメータを算出し、年々変動の特徴とその要因を比較した。

【結果・考察】

2つの森林サイトに設置した50×50m区域において、EGでは貫入深の変動幅が大きく、1地点の地温プロファイルに基づく融解深が貫入深よりも過大になる傾向があった（図は省略）。そのため、区域周辺の微地形や植生の違いによる**空間代表性の不確かさ**に留意する必要があることがわかった。

融解の季節進行を決める要因として活動層へのエネルギー供給と相変化エネルギーの影響をみるため、改Stefanモデル（Brown et al., 2000など）のEdaphic factor（E-factor）に着目した（図1）。E-factorは地表被覆を含む**土壌の熱拡散特性**（融解効率）を表し、融解期間の諸プロセスの積算効果により決まる。季節進行に伴いその値は増加し効率的に融解が進むことが示された（図1）。これは、鉛直方向に均一なモデルの土壌と異なり、融解層厚の増加に伴い表層の有機物層に対して鉱質土壌層の比率が増加し、融解層全体の熱伝導率が大きくなるためと考えられた。最大融解時には土壌水分とE-factorが概ね正相関を示したが、SPでは近年の土壌水分低下によらず融解効率が高い状態が保たれ、過剰湿潤のメモリー効果がみられた（図2）。一方、**地表被覆の断熱効果**をあらわすn-factorは、0℃以上と0℃以下の、それぞれの気温積算値に対する地表面温度（本研究では5cmの地温）積算値で求められ、値が小さいほど地表被覆の断熱効果が大きい（Klene et al., 2002など）ことを意味する。SPでは融解期間のn-factorが20年間にわたり減少傾向を示し（図3）、林床植生の成長に伴う断熱効果が顕著であった。凍結期間のn-factorは一般に積雪による断熱効果を表し、3年に限られるがEGでその傾向がみられた。一方SPでは林床植生の増加による断熱効果が加わり、冷却を抑制する傾向にあった（図4）。

本対象地域で1990年代から続く地温上昇と活動層の応答に関し、本共同研究は、2000

年代の湿潤イベントやそれに伴う植生変化（Iijima et al., 2016, Kotani et al., 2019）が凍土融解に対し加速と抑制の両方向に働きうることを示した。この結果は、特異な気候変動への森林土壌の、局所的ではあるが一過性ではない応答を示すものである。火災や伐採などによる森林の変容（Boike et al.,2016）と併せ、その推移を注視する必要がある。

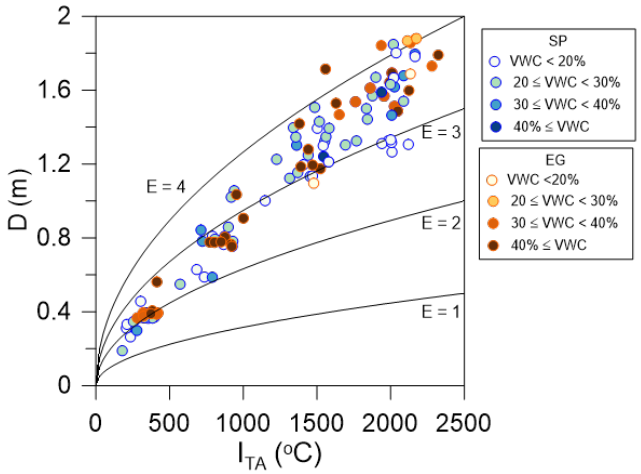


図 1：融解深D、融解期の積算温度I_{TA}、体積含水率VWC（深さ50cmまでの加重平均）の関係。曲線は$D=E\times I_{TA}^{0.5}$（Eは E-factorで、E=1–4）。6/1, 7/1, 8/1, 9/1および最大融解時（9月末）を抜粋して示す。

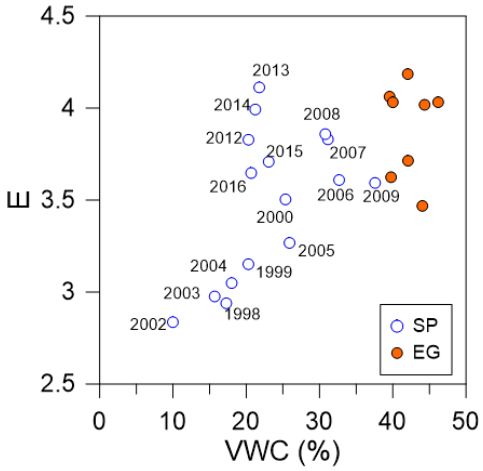


図 2：最大融解深（＝活動層厚）に対応するE-factorと体積含水率VWC（図1と同様）。

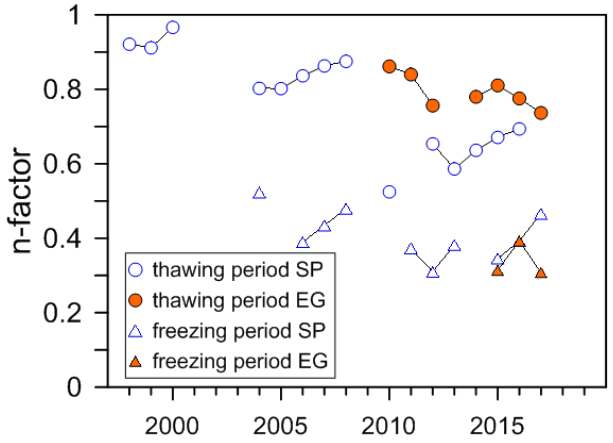


図 3：融解および凍結期間のn-factorの年々変動。

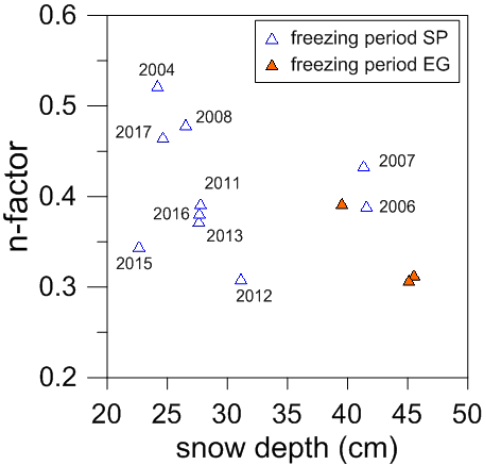


図 4:凍結期間のn-factorと最大積雪深の関係。最大積雪深は観測サイトに最も近い気象ステーションにおける12–3月平均値

【引用文献】

Boike et al., 2016. Glob. Planet. Change, 139, 116–127.doi:10.1016/j.gloplacha.2016.01.001.

Brown et al., 2000. Polar Geography, 24, 166–258. doi:10.1080/10889370009377698.

Iijima et al., 2016. Int. J. Clim., 36, 4265–4275. doi:10.1002/joc.4629.

Klene et al., 2002. Arct. Antarct. Alpine Res.,33, 140–148. doi:10.1080/15230430.2001.12003416.

Kotani et al., 2019. Agric. For. Met., 265, 295–309. doi:10.1016/j.agrformet.2018.11.025.

Loranty et al., 2018. Biogeosciences,15, 5287–5313. doi:10.5194/bg-15-5287-2018.

Shuur et al., 2008. BioScience, 58, 701–714. doi:10.1641/B580807.

【成果発表】

Kotani, A., Ohta, T., Hiyama, T., Maximov, T.C.: Altering seasonal transition of surface energy fluxes in larch forest on permafrost: warming spring and wetting autumn. American Geophysical Union fall meeting, 2019/12/10.

地下氷の動態に注目した永久凍土の変動監視
Detecting permafrost changes focusing on ground ice

石川 守（北海道大学・地球環境科学研究院）

研究目的

国際永久凍土学会（International Permafrost Association: IPA）は、永久凍土融解の実態を把握すべく、グローバルな永久凍土温度観測網の拡充を進め、今日では世界各地の計約1000地点で観測が行われるようになった。申請者らは、永久凍土が不連続に分布するモンゴルにおいて、永久凍土の温度を地下10～30メートルまでモニタリングする観測網を構築してきた。観測網は連続・不連続・点在的永久凍土分布域にわたって計100地点で展開され、これにより、永久凍土の熱的安定性を統計的有意性に基づいて議論できるようになった。また衛星リモートセンシングによって、地下氷に富む永久凍土表層部の熱的融解（サーモカルスト）地形の変化も明らかにされつつある（Saruulzaya et al., 2016）。

永久凍土の分布は湿潤な地盤の分布とよく対応し、そこでは森林や湧水といった重要な地域生態系サービスが成立している。今日においても遊牧が主な生業となっている同国では、言わば永久凍土が直接的に地域住民の生活を支えており、その動態を監視することが求められている。したがって永久凍土の動態を温度だけでなく地下氷の様態も併せて監視していく必要性が生じた。

一方、連続永久凍土帯に位置する東シベリア・ヤクーツク近郊には凍土中の地下水起源の湧水が点在する。Hiyama et al.(2013)は湧水の水文トレーサー濃度（トリチウム濃度やCFCs濃度）を分析し、この地域の湧水が活動層内の地下水（凍土上地下水）と凍土層内の地下水（凍土内地下水）が混合し、地表に湧出したものであることを明らかにした。湧水のバルク年代はモニタリングを行った2009年～2012年の4年間で大きな変化は無く、温暖化による地下環境の激変は検出されなかった。ただし、その後の気候変動によって地表近くの永久凍土の熱・水環境が変化し、湧水のバルク年代が変化した可能性は否定できない。

不連続的永久凍土帯に位置するモンゴルでは、近年、湧水の枯渇や流出量の減少が顕在化しており、凍土の融解によって地下氷に急激な変化が生じている可能性がある。そこで本国際共同研究は、永久凍土を地温だけでなく水の観点からも捉え、南限域永久凍土融解の実態把握を行い、水文トレーサーを用いた永久凍土の脆弱性について考察することを目的とする。

研究方法

研究対象地域は、ユーラシア永久凍土帯南限で凍土と湧水の分布が良く対応しているモンゴル・ハンガイ山脈とその周辺域である。我々が設置した地温観測網から地温データを取得し、永久凍土の安定性を評価した。また、研究対象地域に点在する湧水の現況を地域住民への聞き取りや現地踏査、衛星画像データなどから調べ、1960年代に作成された官製地図と比較し、過去数十年での湧水の劣化傾向を把握した。

また、複数の湧水から水サンプルを採取、日本に輸送し、名古屋大

学で前処理した後、International Atomic Energy Agency (2006)に基づいて(株)地球科学研究所でトリチウム濃度とCFCs（CFC-12, CFC-11, CFC-113）濃度を定量した。

さらに、湧水近傍の凍土の状態（地下氷の存在状態）を比抵抗二次元探査（比抵抗トモグラフィ）により現地調査した。

結果と考察

本国際共同研究（3年計画の3年目）によって、以下に示す結果が得られた。

1）モンゴル全域を対象とした永久凍土分布モデリングをオスロ大学の協力で実施した。多点地温観測結果(Ishikawa et al. 2018)を非定常熱伝導モデルCryoGrid2(Westermann et al.,2013)に適用し、森林や草地、湿地といった様々な地表面状態での土壌パラメーターを求めた。ダウンスケールした再解析データ(ERA5)をモンゴル国家気象水文局の気象観測値で補正したものを入力値として全球的な永久凍土分布を出力するCryoGrid_CCIを走らせ、1980年代からの1kmグリッドスケールでの永久凍土分布の変遷を得た。

2）ハンガイ地域に分布する湧水のうち約150地点についてその現況を調べたところ、南向き斜面に存在する湧水が過去数十年で顕著に衰退していることが見いだされた。今後、この結果と上記永久凍土分布図とを対比し、湧水の衰退と永久凍土の関連を調べていく。

3）湧水のトリチウム濃度とCFCs濃度を分析した結果、トリチウム濃度が低い湧水ではCFC-12濃度も低く、採水地点ごとに両濃度の順位が対応し、両濃度の時系列変動も類似していた。また、サーモカルスト地形に存在する湧水ではトリチウム濃度とCFC-12濃度が両方とも低く、地下氷融解水が湧出していることが推測された。サーモカルスト近傍の湧水のトリチウム濃度には上昇傾向が見出されたため、地下氷融解水の寄与が減少し、近年の降水の寄与が増加している可能性が示唆された。一方、サーモカルスト地形に存在しない湧水のトリチウム濃度の時系列変化からは、近年の降水の寄与が小さくなっており、地下氷融解水の寄与が大きくなっている可能性が見出された。

4）比抵抗二次元探査によって湧水近傍の地下氷の状態を調査した結果、サーモカルスト地形に存在する湧水近傍では地表から地下深く（約100mの深さ）にかけて、地下氷の存在量が多いことが明らかとなった。一方、サーモカルスト地形に存在しない湧水では、地表近くに地下氷は少なく、地下深くにのみ、地下氷が多量に存在していることがわかった。

まとめ

本国際共同研究の遂行により、不連続的永久凍土帯に位置するモンゴル・ハンガイ山脈周辺域の永久凍土について、その気候変動に対する脆弱性を地温観測網と湧水観測から明らかにできた。

湿潤環境の永久凍土は気温変動への応答性が低かった一方、高緯度域や乾燥土壌中に形成された永久凍土は気温変動への応答性が高く、脆弱であることが明らかとなった。また永久凍土の分布域は従来考えられていたものよりも狭く、湖沼近辺や北向き斜面に限られることがわかった。永久凍土分布域外縁部での湧水の枯渇傾向を調べた結果、

南向き斜面に存在する湧水が過去数十年で顕著に衰退していることがわかった。

湧水のトリチウム濃度とCFC-12濃度を定量した結果、サーモカルスト地形に存在し、地下氷に富む場所で湧出する湧水の場合、地下氷融解水の寄与が大きいことがわかった。その原因として、サーモカルスト地形に存在する湧水近傍では地表から地下深くにかけて、地下氷が多量に存在するためであることが考えられた。

引用文献

Hiyama T, Asai K, Kolesnikov A B, Gagarin L A and Shepelev V V 2013 Estimation of the residence time of permafrost groundwater in the middle of the Lena River basin, eastern Siberia. *Environ. Res. Lett.,* 8, 035040, doi:10.1088/1748-9326/8/3/035040.

International Atomic Energy Agency 2006 Use of chlorofluorocarbons in hydrology - A Guidebook. IAEA Vienna 277p.

Ishikawa M, Jamvaljav Y, Dashtseren A, Sharkhuu N, Davaa G, Iijima Y Baatarbileg N and Yoshikawa K 2018 Thermal states, responsiveness and degradation of marginal permafrost in Mongolia. *Permafrost and Periglacial Processes* **29** 271-282, doi:10.1002/ppp.1990.

Saruulzaya A, Ishikawa M and Jambaljav Y 2016 Thermokarst lake changes in the southern fringe of Siberian permafrost region in Mongolia using Corona, Landsat, and ALOS satellite imagery from 1962 to 2007. *Advances in Remote Sensing*, **5**, 215-31, doi:10.4236/ars.2016.54018.

Westermann S., Schuler TV., Gianås K., Etzelmüller B.,2013 Transient thermal modeling of permafrost in Southern Norway, *The Cryosphere Discussions* 6(6) DOI: 10.5194/tcd-6-5345-2012

（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。

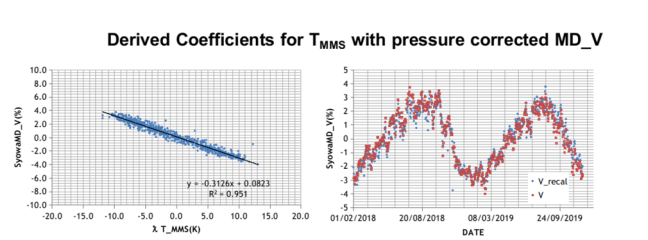


図 1・昭和 MD の気温効果

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について引き続き質的検証を行うと共に，GMDN を用いて観測された太陽活動の極小期における CME イベントを解析した。図 1 は昭和基地ミューオン計(MD)によって観測されたミューオンの負気温効果について，Rafael etal()の手法を用いて補正を試みた結果である。件の方法が適応できる感触を得た。一方のイベント解析については GMDN＋昭和基地 MD による宇宙線異方性観測データを用いて小規模 CME の構造を解析することができた。今後，GMDN+として解析の精度向上を目指す。図 2 に解析したイベントを示す。これらの結果については，以下の研究集会において発表されている。

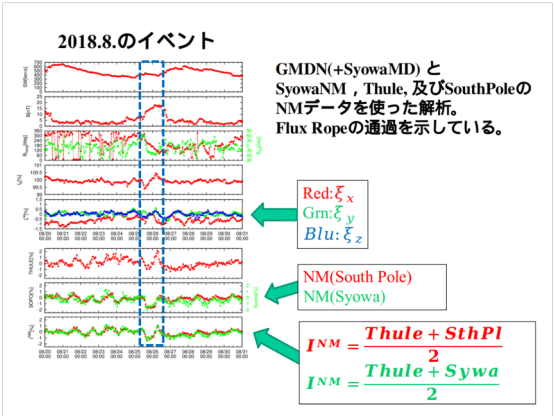


図 2：解析例

- JpGU・2019 ”1 year of CR observation at Syowa Station in the Antarctic”
- JPS・2019 年秋 “2018 年 8 月の CME イベントの解析”
- ICRC2019(Madison)・2019 “A Set of CR Detectors Installed at Syowa Station, in the Antarctic, for Space Weather Study”
- 極域科学シンポジウム・2019 “Atmospheric temperature effect on Cosmic Ray count rate observed at Syowa Station in the Antarctic”
- 極域のオープンデタ・サイエスに関する研究集会・2019 “昭和基地宇宙線観測データ 、リアルタイム・アーカイブシステムの構築”

昭和基地での観測は稼働率 99%以上で継続しており，今後もイベントの観測例，統計精度向上を期待している。

ERGデータに基づくサブストーム発生に伴う内部磁気圏の変動の研究
Study of substorm-associated variations in the inner magnetosphere on the basis of ERG data

宮下幸長
Korea Astronomy and Space Science Institute
Space Science Division

研究体制

代表者: 宮下幸長 (KASI)

共同研究者: Lee Jaejin、Hwang Junga (KASI)
Lee Dae-Young (Chungbuk National University)
Kim Hyang-Pyo、三好由純
(名古屋大学宇宙地球環境研究所)

研究目的・方法

ジオスペースでは、太陽活動の影響により、サブストームや磁気嵐などの激しい擾乱が発生する。この時、太陽風・磁気圏・電離圏の結合の下、粒子加速や各種不安定性といった宇宙で広く見られるプラズマ現象が発生し、放射線帯やリングカレントが発達する。これらの大まかな描像は確立しつつあるが、詳細な物理機構については、数多くの未解決問題が残されている。

本課題では、サブストーム・磁気嵐時における粒子加速機構（粒子注入）と放射線帯・リングカレントへの影響、および磁気圏-電離圏結合について調べ、サブストームの発生とその影響、および磁気嵐の発達の理解を発展させる。特に、サブストーム時の磁場双極子化に着目し、高エネルギー粒子の生成機構と、生成された高エネルギー粒子の特徴や輸送、その後の振る舞いについて調べる。また、磁場双極子化時に励起したPi2およびPi1脈動について調べ、磁気圏-電離圏結合の役割、およびサブストームの発生・発達について理解を深める。

ジオスペース全体の系の物理過程を理解するためには、総合的な研究が不可欠である。ここでは、ERGサイエンスセンターから提供されたERG衛星のデータ、および関連する衛星・地上観測のデータを連携させた解析を行う。ERG衛星のデータ解析には、ERGサイエンスセンターから提供された解析ソフトウェアを用いた。

研究結果・発表

本課題最終年度である本年度は、昨年度に引き続き、ERG衛星のデータと南極昭和基地のオーロラデータを用いた内部磁気圏におけるサブストームの磁場双極子化に伴う磁場・高エネルギー粒子・高周波波動の周期的変動に関する事例解析を進めた。ERGの観測により、地球から

地球半径の4-5倍の距離で発生した磁場双極子化に伴い、Pi2脈動に関係するバルーニング不安定性が起こったが、磁場が双極子状になった時に高周波波動も現れる傾向を見出した。この高周波波動は、バルーニング不安定性と結合してオーロラ発光の周期的変動に影響を及ぼしているかもしれない。本年度は特に、オーロラ発展のタイミングの解析と高周波波動とバルーニング不安定性との結合についての考察を進めた。

また、韓国では、4機の編隊飛行により低高度領域を観測するSNIPE衛星の打ち上げを2021年に予定している。ERG衛星と運用期間が重なるため、両者の連携観測による研究課題について検討した。その検討結果の一部について、11月にKASIで開催されたKorea-Japan Space Weather Workshop 2019(KASI-ISEE workshop)で発表した。

さらに、本課題に関連した研究として、THEMIS衛星データを用いた疑似サブストームとサブストーム時の磁気圏尾部発展の統計解析についての論文が出版された。(Fukui, K., Y. Miyashita, S. Machida, Y. Miyoshi, A. Ieda, Y. Nishimura, and V. Angelopoulos, A statistical study of near-Earth magnetotail evolution during pseudosubstorms and substorms with THEMIS data, Journal of Geophysical Research Space Physics, 125(1), e2019JA026642, doi: 10.1029/2019JA026642, 2020)

U-Pb 年代測定のための新たな“若い”ジルコン標準試料の化学的均質性の評価
Evaluation of chemical homogeneity for young zircon grains for use as a new secondary U-Pb dating standard

代表者: 淺原良浩、名古屋大学・大学院環境学研究科
分担者: AZIZI, HajiHossein、University of Kurdistan (Iran)
南雅代、名古屋大学・宇宙地球環境研究所
山本鋼志、名古屋大学・大学院環境学研究科
REZAEI, Farzad、名古屋大学・大学院環境学研究科

［研究目的］

イランは、アルプス・ヒマラヤ造山帯の中に位置しており、イラン北部（カスピ海の南）のアルボルス山脈、北西部から南東部に伸びるザグロス山脈の 2 つの山脈（造山帯）に囲まれている。この 2 つのプレート収束帯における火成活動は、イラン国内に数多く分布する金属・非金属鉱床の生成と密接に関係している。ザグロス山脈東部の Urumia-Dokhtar Magmatic Arc（UDMA）帯は新生代（65 Ma 以降）の火成活動が活発な地域であり、これらの地域には様々な鉱床が集中している（e.g. Rabiee et al., 2019; Rabiee et al., submitted）。また、従来、中古生代またはそれ以前の基盤岩と考えられていたザグロス造山帯内の北部サナンダジ–シルジャン帯からは新生代の花崗岩が多数報告されており（Azizi et al., 2019; Rezaei et al., in prep.）、周辺の金鉱床との関連も指摘されている。これらの鉱床の成因解析のためには、鉱床母岩の形成時期とそのマグマ源を明らかにし、鉱床と母岩の年代的、成因的関係を知ることが不可欠である。イランの火成活動や鉱床の成因解析を進める上では、新生代の火成岩の年代測定は特に重要である。

U–Pb 年代測定では、337〜1850 Ma の年代値を持つ各種ジルコン標準試料が一次標準、二次標準などに用いられているが、精度確認を行うワーキングスタンダードについてもこれらの“古い”ジルコン標準試料が使われている。数 10 Ma の“若い”年代値をもつジルコンの標準試料は GHR-1（48.1 Ma: Eddy et al., 2019）や OD-3（33.0 Ma: Iwano et al., 2013）など世界的にも少なく、若い U–Pb 年代値の精度確認が不十分である現状がある。名古屋大学環境学研究科の LA-ICP-MS での U–Pb 年代測定では、91500 ジルコン試料（1063 Ma）を一次標準、NIST SRM 610 ガラス標準試料を二次標準として、未知試料とともに古いジルコンの 91500 と若いジルコンの OD-3 を測定することにより、若いジルコンの分析精度の確認を行っている（高地ほか, 2015）。しかしながら、OD-3 のジルコンはサイズがやや小さく、またコンコーディア年代が得られにくいことがあること、また入手もやや困難という問題点がある。以上のような国内外の研究動向と実状を踏まえ、精度・確度の高い U–Pb 年代データを蓄積していくためは、適用範囲に合わせた“若い”ジルコン年代標準試料が望まれている。

本研究では、イランのザグロス山脈東部の UDMA 帯に分布する新生代の花崗岩体を対象とし、10〜60 Ma の“若い”年代値をもつジルコン標準試料候補の探索と、その年代標準試料の適性評価を行った。本研究は、平成 30 年度 ISEE 国際共同研究「U-Pb 年代測定のための新たな“若い”ジルコン標準試料の評価に関する予察的研究」を継続的に発展させるものであり、実用化に向けた本格的な評価を行った。

［研究方法］

本研究では、イランの UDMA 帯の新生代花崗岩の1岩体を対象として、この岩体から 4 試料を採取し（Azizi 担当）、それぞれの試料からジルコンを分離し、U–Pb 年代測定を行った。まず、岩石試料をジョークラッシャー、ディスクミルを用いて細砕し、篩かけをして数 100μm のサイズに揃えた。水簸で細粒粉末、軽鉱物を取り除き、乾燥後にネオジム磁石で磁性鉱物を取り除いた。ジヨードメタンを使った重液分離後、実体顕微鏡下でハンドピックによりジルコンを集めた。これらのジルコンの分離、その後の薄片作成は名古屋大学理学部 E 館内の実験室で行った。また、この 4 試料の中の 1 試料について追加のジルコン分離を行い、名古屋大学の全学技術センターに薄片作成を依頼した。

これらの年代測定前に、GATAN MiniCL を装備した走査型電子顕微鏡（SEM: JEOL JSM-6510LV および Hitachi S-3400N、名古屋大学環境学研究科および博物館設置）で、ジルコン結晶の後方散乱電子（BSE）像とカソードルミネッセンス（CL）像を撮影し、ジルコンの構造、クラックおよび包有物の確認を行った（Azizi、Rezaei 担当）。U–Pb 年代測定は、レーザー誘導プラズマ質量分析装置（LA-ICP-MS：Agilent 7700x＋ESI 社製 NWR213、環境学研究科設置）を使用した（淺原、南、山本、Rezaei 担当）。U–Pb 年代測定は高地ほか(2015)の手法に従い、レーザー径は 25 μm に設定した。通常の火成岩のジルコン U–Pb 年代測定では、20〜30 個のジルコン粒子に対し、特にリム部分の測定を集中的に行って年代値を決定するが、本研究は年代標準試料の適性評価を目的としているため、1 岩石試料あたり 30〜50 個のジルコン粒子を分析し、さらに一部のジルコン粒子に対してリムとコアなど複数点を分析した。ジルコンの分離と U–Pb 年代測定は、Azizi が名古屋大学に滞在した令和元年 7 月〜8 月に集中的に実施し、その後、メールで解析と議論を進めた。

また、これらの岩石試料の地球化学的特徴を把握するため、蛍光 X 線分析装置（Rigaku ZSX Primus II、名古屋大学環境学研究科設置）による主成分元素定量分析、ICP-MS による微量元素定量分析、表面電離質量分析装置（GVI IsoProbe-T、名古屋大学環境学研究科設置）による Sr と Nd の放射壊変起源の同位体分析も併せて実施した。

［結果と考察］

平成 30 年度の予察的研究では、年代標準試料の条件として、岩石については、(i) 将来にも継続的に試料を採取できる岩体であること、(ii) ジルコン結晶の含有量が高いこと、ジルコンについては、(iii) 結晶のサイズは比較的粗粒であること、(iv) インクルージョンなどの不純物が少ないこと、(v) 結晶のコアとリムで年代差がないこと、を設定し、その結果、本花崗岩試料の“若い”年代標準試料（約 20 Ma）としての適性は概ね確認できた。また、平成 30 年度に分析した 4 つの試料いずれにおいても、0.5 kg またはそれ以下の花崗岩岩片から数 100 粒のジルコンを容易に回収できており、ジルコンの含有量は高いことを確認していたが、本年度実施した追加のジルコン分離では、数 kg の岩片から約 10,000 粒のジルコンを抽出することに成功した。これらの顕微鏡観察の結果、淡黄褐色を示すジルコンが多く、100～300 μm サイズの柱状～長柱状の自形結晶のものが多く見られた。また、SEM 観察では目立ったインクルージョン（サイズ、数）は見られず、年代測定の標準試料に適している。今後の年代標準試料とするため、追加試料のジルコンについて、スライドガラス 1 枚あたり 200～700 粒のジルコンをマウントし、ジルコン標準試料の薄片を 3 枚作成した。

本研究で分析した 4 つの花崗岩試料のジルコン U–Pb 年代値はいずれも約 20 Ma であり、この 4 つの年代値は誤差の範囲で一致した。また、ジルコン結晶のコア部分とリム部分の年代値の差は全く見られなかった。最終的な年代誤差は+/-0.2 m.y.であり、年代値の均質性は高いことが確認できた。また、本花崗岩試料のジルコンの化学的均質性については、91500 ジルコン標準試料に比べて微量元素の均質性は高く、年代値の均質性を裏付ける結果が得られた。

以上のように、本研究では実用化に向けて、ジルコンの年代標準試料としての適性は確認できた。この“若い”ジルコン年代標準試料の年代値を確定させるための測定（値付け）を、他大学・他研究機関で U-Pb 年代測定を実施している複数の研究室と連携して実施する計画であったが、本年度内に完了していない。最終確認のためのジルコンの年代測定と化学分析を 2020 年春に実施した後、この UDMA 帯の新生代花崗岩の地理的、地質学的な情報、化学組成および Sr、Nd 同位体組成、および年代値の詳細について論文公表する予定である。

［引用文献］

Azizi, H., Haddad, S., Stern, R.J., Asahara, Y. (2019) Age, geochemistry and emplacement of the ~40-Ma Baneh granite-appinite complex in a transpressional tectonic regime, Zagros suture zone, northwest Iran. *International Geology Review* **61**, 195-223.

Eddy, M.P., Ibanez-Mejia, M., Burgess, S.D., Coble, M.A., Cordani, U.G., DesOrmeau, J., Gehrels, G.E., Li, X., MacLennan, S., Pecha, M., Sato, K., Shoene, B., Valencia, V.A., Vervoort, J.D., Wang, T. (2019) GHR1 zircon – A new Eocene natural reference material for microbeam U-Pb geochronology and Hf isotopic analysis of zircon. *Geostandards and Geoanalytical Research* **43**, 113-132.

Iwano, H., Orihashi, Y., Hirata, T., Ogasawara, M., Danhara, T., Horie, K., Hasebe, N., Sueoka, S., Tamura, A., Hayasaka, Y., Katsube, A., Ito, H., Tani, K., Kimura, J., Chang, Q., Kouchi, Y., Haruta, Y., Yamamoto, K. (2013) An inter-laboratory evaluation of OD-3 zircon for use as a secondary U–Pb dating standard. *Island Arc* **22**, 382-394.

高地吉一, 折橋裕二, 小原北士, 藤本辰弥, 春田泰宏, 山本鋼志 (2015) 213 nm Nd: YAG レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析計を用いたジルコンの U–Pb 年代測定: Pb/U 分別補正に NIST SRM 610 を用いるための分析条件最適化. *地球化学* **49**, 19-35.

Rabiee, A., Rossetti, F., Tecce, F., Asahara, Y., Azizi, H., Glodny, J., Lucci, F., Nozaem, R., Opitz, J., Selby, D. (2019) Multiphase magma intrusion, ore-enhancement and hydrothermal carbonatisation in the Siah-Kamar porphyry Mo deposit, Urumieh-Dokhtar magmatic zone, NW Iran. *Ore Geology Reviews* **110**, 102930

［成果発表］

学会発表

淺原良浩. イラン・ザンジャン州の磁鉄鉱-燐灰石鉱床の鉱石および母岩の化学組成と Sr-Nd-Fe 同位体組成. 新学術領域研究(研究領域提案型)「都市文明の本質: 古代西アジアにおける都市の発生と変容の学際研究」 B01 計画研究 04 第 2 回研究会「古代西アジアをめぐる水と土と都市の相生・相克と都市鉱山の起源」, 同志社大学室町キャンパス（京都）, 2019 年 8 月.

Farzad Rezaei, Yoshihiro Asahara, Koshi Yamamoto, Hossein Azizi. Geochemical and isotopic constraints on origin of the Cenozoic granitoid bodies in the Zagros orogen, NW Iran. 2019 年度質量分析学会同位体比部会, 北海道登別市, 2019 年 11 月.

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、本年 6 月にフランスが打ち上げる小型衛星が TARANIS である。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。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。このために、地上観測を維持しつつ、TARANIS のガンマ線検出器のキャリブレーションや初期運用に参画する。

２：研究結果

本年度は東京大学の大学院生和田君が、TARANIS 衛星のキャリブレーションの打ち合わせをフランスで行い、こちらの最新の研究成果を発表してきた。また、国内でも北大の佐藤講師、中澤、和田の３名で TARANIS を用いた、日本主導の研究の方針を相談した。これを受けて、５月に幕張で予定されていた JpGU2020 に、TARANIS ガンマ線チームを代表した講演(中澤 et al.)を予定している(７月にネットワーク開催される予定)。並行して地上観測の維持、管理を進め、2019 年度の観測とその基礎実験を進めた。

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示すことができた。また国内コミュニティーへの情報発信も進めている。2020 年 6 月の打ち上げはコロナ騒ぎで若干遅れる可能性があるが、衛星は完成しており、あとは打ち上げを待つばかりである。2020 年度中に打ち上げ、TGF データの取得を開始する予定である。

５：成果発表

・2019/9/26 「第二回 MeV ガンマ線天文学研究会(9/26-27)」＠東大：「Taranis 衛星による MeV 帯域の地球ガンマ線フラッシュ観測」和田 有希　（東京大学）

・2019/12/26 高宇連タウンミーティング ~2030 年代を見据えた将来計画検討~@東工大（田町）：「2030 年代の sub-MeV/MeV 観測へ向けて」 中澤知洋 (名古屋大学)

・Wada, Y. et al. (incl. Nakazawa, K,) "Simultaneous detection of gamma-ray glow and downward terrestrial gamma-ray flash", AGU, Fall Meeting at San Francisco CA, 12 Dec. 2019

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)

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、地球ー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。

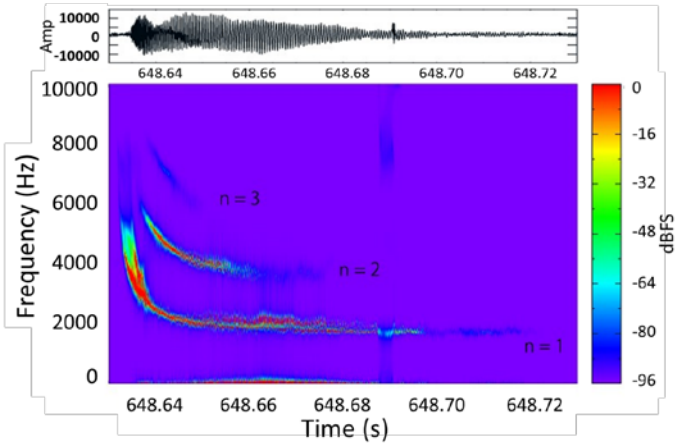


図 1　1980 年 12 月 5 日 23:50:48.63 LT に鹿児島で観測された tweek 空電の波形（上）とダイナミックスペクトル（下）

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、2019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

人工tweekにより、従来の方法と提案方法とを比較した。図2に、d = 6000 km と仮定したtweekの推定結果を示す。提案方法において、dの誤差率はf_cの誤差率変化と関連しており、全体的に低く抑えられている。図3に、d = 2000-10000 km, f_c = 1600 Hz とした場合の推定結果を示す。提案手法において、f_cおよびdの誤差率はdが小さいほど減少し、特に 6000 km 以下で改善している。dが小さいほど誤差が大きいf_cのプロットの曲率が大きい2次関数となるため判別しやすく、推定誤差が小さくなると考えられる。

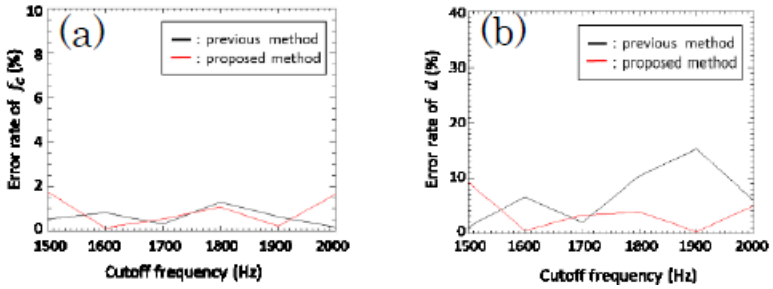


図 2　d = 6000 km, f_c = 1500-2000 Hz の場合における(a) f_cの誤差率および(b) dの誤差率

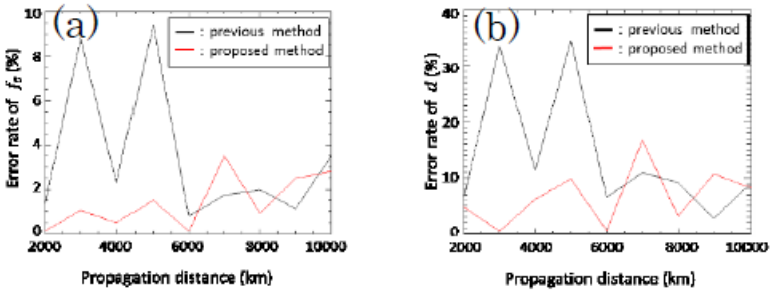


図 2　d = 2000-10000 km, f_c = 1600 Hz の場合における(a) f_cの誤差率および(b) dの誤差率

成果発表

[1] Hiroyo Ohya, Kodai Yamanobe, Kazuo Shiokawa, Yoshizumi Miyoshi, Fuminori Tsuchiya, Kozo Yamashita, Yukihiro Takahashi, Solar flare effects of the D-region ionosphere using daytime tweek atmospherics, URSI-JRSM2019, Chofu (Japan), 6 September, 2019.

[2] Kanno, M., H. Ohya, K. Shiokawa, H. Nakata, and T. Takano, A method for locating lightning discharges using tweek atmospherics, Japan Geoscience Union Meeting (JpGU) 2019, Chiba, 28 May, 2019.

[3] Kanno, M., H. Ohya, K. Shiokawa, H. Nakata, and T. Takano, Development of estimation method for propagation distance of tweek atmospherics, Workshop on radio science and wave measurement technology in space plasma, Kanazawa (Japan), 20 November, 2019.

粒子シミュレーションを用いた磁気リコネクションジェット先端領域の乱流化過程の研究

Study on the stability of the reconnection jet fronts by particle simulations

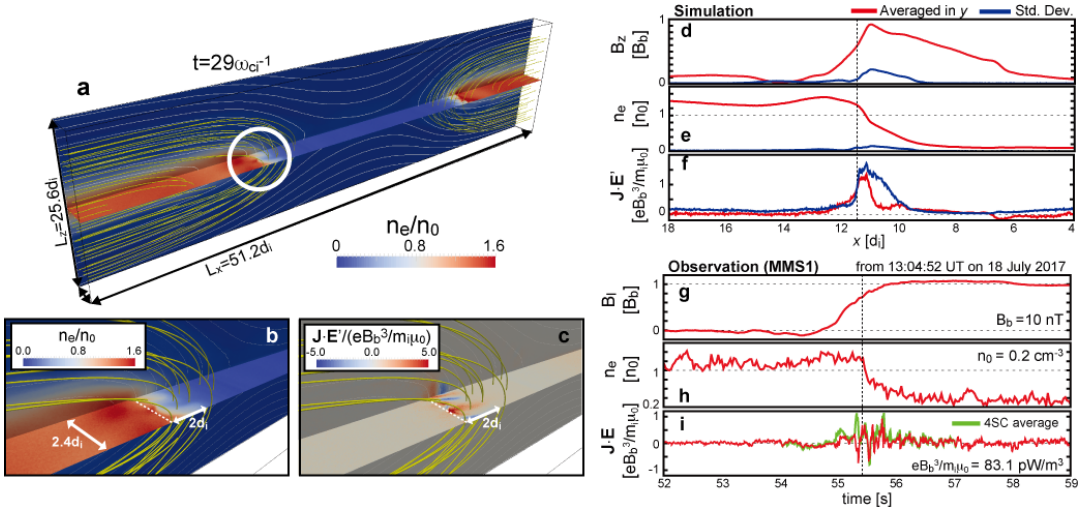
中村　琢磨、オーストリア科学アカデミー・宇宙科学研究所

本プロジェクトでは、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、数値シミュレーション、線形解析及び人工衛星によるその場観測を用いた研究を行った。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、境界層（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、近年のコンピュータ資源またシミュレーション技術の発展により、MHDスケールに発展する磁気リコネクション過程を粒子法等を用いた運動論的シミュレーションで再現する事が可能になり、これにより、磁力線の繋ぎ変わりが起こる磁気拡散領域において運動論的スケールの物理がエネルギー変換において大きな役割を果たす事が示された[参考文献1]。さらに課題代表者らの大規模３次元完全粒子シミュレーションにより、３次元性を考慮すると、磁気拡散領域だけでなく、拡散領域の外側のリコネクションジェット先端領域で３次元的に成長するLower-hybrid drift instability(LHDI)が、さらなるエネルギー変換を起こす可能性が示された[参考文献2]。

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FX100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行った３次元完全粒子シミュレーションとNASAの国際磁気圏観測衛星ミッションMMSによる電子スケールのその場観測データ、及び、課題副代表者が主導し開発した運動論的線形解析ツール[参考文献3]を組み合わせる事で、ジェット先端領域で起こるLHDI乱流を系統的に調べた[成果発表1,2]。具体的には、まず、シミュレーション結果と地球磁気圏尾部領域で2017年7月18日にDipolarization Frontと呼ばれるジェット先端領域を観測したMMS観測イベントを比較し（図１）、ジェット先端領域におけるLHDI乱流が磁気拡散領域に匹敵する強度のエネルギー変換を起こしている事、また、シミュレーションに見られるLHDI乱流が実際に磁気圏尾部で起こっている可能性を示した。さらに、シミュレーションでは再現できない現実的なパラメータの範囲で線形解析を行う事で（図２）、シミュレーションで見られるようなLHDI乱流が、磁気圏尾部で観測されたイベントだけでなく、地球磁気圏尾部から太陽フレアを含む幅広いパラメータ範囲で発生する可能性を示した。この事は、ジェット先端領域における強いエネルギー変換が、宇宙プラズマにおける幅広い領域で磁気リコネクションの発達と共に発生している可能性を示唆しており、地球磁気圏に限らず様々な領域への応用が期待できる。また本結果は、太陽フレアからオーロラサブストームまで太陽－地球系のエネルギー輸送において中心的な役割を

果たす磁気リコネクション過程を定量的理解するにあたりジェット先端領域を考慮することの重要性を示しており、より正確な宇宙天気研究への応用も期待できる。本結果は、課題代表者が第一著者となり、本課題構成メンバー三者を共著者としてPhysical Review Letters に出版された[成果発表1]。

図1：(a-c)磁気リコネクション過程の３次元完全粒子シミュレーション結果。リコネクションジェット先端領域に、LHDIの成長とそれに伴う強いエネルギー変換（$\mathbf{J}\cdot\boldsymbol{E}$）が見られる。(d-i)ジェット先端領域のシミュレーション結果の擬似観測と2017年7月18日のMMS衛星の観測結果の比較。繋ぎ変わった磁場が集まり密度変化の大きい先端領域においてシミュレーションで見られるのと同程度のエネルギー変換が観測においても見られる。



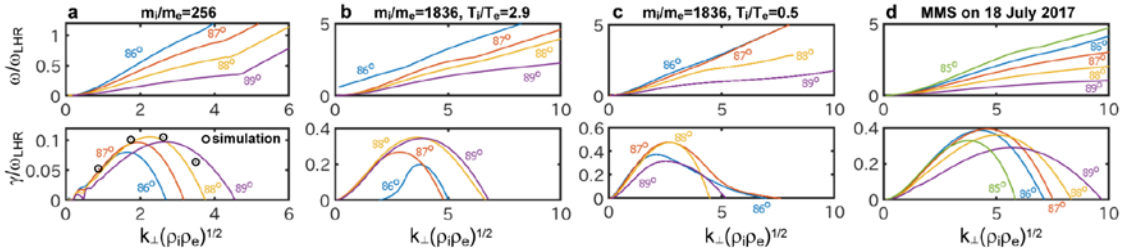


図２：シミュレーション及びMMS観測から得られたパラメータ、またその他の現実的パラメータを運動論的線形解析ツール[参考文献3]に入力した結果。MMS観測イベントを含む幅広いパラメータ範囲でLHDIが発生する事が確かめられた。

参考文献：

[1] T.K.M. Nakamura et al., Measurement of the magnetic reconnection rate in the Earth's magnetotail, JGR, 123, 9150, 2018

[2] T.K.M. Nakamura, T. Umeda et al., 3-D development of front region of plasma jets generated by magnetic reconnection, GRL, 43, 8356, 2016

[3] T. Umeda & T.K.M. Nakamura, Electromagnetic linear dispersion relation for plasma with a drift across magnetic field revisited, POP, 25,102109, 2018

【成果発表】

[1] （投稿論文）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

[2] （学会発表）T.K.M. Nakamura, T. Umeda, R. Nakamura, H. S. Fu, & M. Oka, Study on the stability of the reconnection jet fronts, *the EGU General Assembly 2019*, Vienna, Apr. 2019

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１

Investigation of vertical atmospheric couplings in Jupiter, Mars, and Venus by the connection of Hawaiian small telescope with radio / space telescopes & orbiters : 1

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惑星光赤外観測施設をハワイ・マウイ島のハレアカラ高高度観測施設（標高約 3000m）に整備してきた。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)は東北大が主要時間を使用でき（T40：100%、T60：85%)、惑星探査機連携に必須の「柔軟な連携運用」が常時可能な世界的にも貴重な望遠鏡である。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、これらに対して展開する装置の開発・現地試験を行うとともに、ハワイ大等と惑星・系外惑星専用新望遠鏡建設計画にも取り組み、本コミュニティの活動エリアをより広げる活動を行っている。

２．研究方法・結果

(1)木星：「イオトーラスの全体構造・EUV 分光情報」-「UV オーロラ全発光量」結合の長期データを蓄積する Hisaki 紫外線望遠鏡衛星、および極軌道で「深部・低層-超高層大気」-「極上空を含む内部-中間磁気圏」結合の長期データを蓄積する Juno 探査機を支える電波-赤外-可視地上観測を実施し、木星システム研究を Arase 等による地球システム研究と並行比較する機会を提供した． Subaru-8m では中間赤外大気光・熱発光の変動観測に成功している。電波域では東北大 IPRT 30m 電波望遠鏡による放射線帯長期観測結果を Hisaki 望遠鏡などによる磁気圏変動情報と連携させ、磁気圏-電離圏間の電場結合に関する研究を実施した．これらを支える熱圏-電離圏-磁気圏結合の電流・ポテンシャルモデル開発も進めた．

〈論文〉

Kita et al., Short-term variation in the dawn-dusk asymmetry of the Jovian radiation belt obtained from GMRT and Hisaki EXCEED observations, ApJ Lett., 872:L24 (2019), doi:10.3847/2041-8213/ab0427.

Sinclair et al. A brightening of Jupiter's auroral 7.8-micron CH4 emission during a solar-wind compression. Nature Astronomy, 3, 607-613, (2019) doi:10.1038/s41550-019-0743-x. など

〈発表〉

Kambara et al., Magnetospheres of Outer Planets Conf. 2019, Sendai. 2019 年 6 月.

〈学位〉

中村勇貴,木星電離圏電気伝導度に対する流星起源イオンの影響, 修士論文, 東北大学. 2020 年 3 月.

(2) 火星・金星: 60cm 望遠鏡に「中間赤外線レーザーheterodyne 分光器」の装着作業・試験観測を実施し、火星・金星の CO_2 高層大気発光データの取得に成功した。火星については 11 年ぶりの全球ダストストーム時の超高層を知る世界唯一の希少なデータである。金星についても超高層～中層大気の風速を捉え、あかつき等との共同を試みている。

〈論文〉

Takami et al., Evaluation of the retrieval method for the temperature 1 and wind velocity profiles of Venusian nightside mesosphere from mid-infrared CO_2 absorption line observed by heterodyne spectroscopy, submitted to EPS

〈発表〉

Nakagawa et al., Space Science Symposium, ISAS/JAXA. 2020 年 1 月.

Miyamoto et al., AGU 2019 fall meeting. San Fransisco, 2019 年 12 月. など

(3) ハレアカラ観測施設整備:T40/T60 望遠鏡遠隔運用を支えその現地整備を継続するとともに、今後の発展を目指して、特に近赤外線 Echell 分光器のハワイ展開、および中間赤外線レーザーヘテロダイン分光器の冷凍機運用化・ファイバーオプティクス化に向けた開発およびハワイ現地試験を進めた. 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 推進を進め、主鏡を日本に戻して「京大せいめい望遠鏡」と同様に LogistLab 社で研磨作業をすべく、2019 年度末にかけて東北大工場での各種の準備作業を進めている。また、冥王星上空大気の恒星掩蔽観測など、多様な観測活用のサポートも行った。

〈発表〉

Kagitani et al., Planetary Science Symposium 2020, Sendai, 2020 年 2 月.

Kasaba et al. , Planetary Science Symposium 2020, Sendai, 2020 年 2 月.

Sakanoi et al., Planetary Science Symposium 2020, Sendai, 2020 年 2 月.

Suzuki et al. Planetary Science Symposium 2020, Sendai, 2020 年 2 月. など

〈学位〉

鈴木　駿久, 太陽系天体希薄大気の高コントラスト観測：検出可能性の検討と PLANETS 望遠鏡の実現に向けた主鏡支持機構の開発. 修士論文, 東北大学. 2020 年 3 月.

（別紙様式１－２）

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

中井太郎、國立臺灣大學・森林環境暨資源學系

【研究目的】

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、凍土における物理プロセスおよび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・東京大学教授（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を進めた。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に取り組んだ。

モデル改良のためのデータおよび知見を得るため、2019年8月13日から30日まで、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し、林床土壌の融解深および地温鉛直分布の多点観測を実施した。

【結果および考察】

現地での融解深測定の結果、この時期のカラマツ林林床（タワー周辺の定点観測区域内の20地点）では融解深（活動層厚）は146.2±9.2 cm（平均±標準偏差、最大値は159 cm）であった。この結果は、これまでS-TEDyで計算された融解深より浅かったことから、このモデルが永久凍土地域であるこの地域の地温をうまく再現できていないことが示唆された。S-TEDyでは、計算量を軽減する目的で、Campbell and Norman (1998) の正弦波温度モデルを用いて地温の鉛直分布を計算している。そのため、正弦波温度モデルによってこの地域の地温分布や変動特性を再現可能か、また必要な条件は何かについて検討した。

この正弦波温度モデルは熱伝導方程式の解析解の一つであり、土壌の熱伝導係数kと体積熱容量C_pが重要なパラメタとなる。これらの比が熱拡散係数$\kappa = k/C_p$であり、正弦波温度モデルにおいて制動深さDを通じて地温分布に影響を及ぼす。土壌の凍結・融解がともなう場合、熱伝導方程式に凍結融解に伴う潜熱の移動が加わるが、この計算は方程式を変形して「みかけの」体積熱容量C_{app}および「みかけの」熱拡散係数κ_{app}を考えることで、上述のモデルに組み込むことが可能である。Chen et al. (2010) は、κ_{app}を単純な正弦関数で表現することで、凍結融解をともなう土壌の温度を表現した。そこで、この方法をスパスカヤパッド研究林に適用し、実測された地温分布を表現するための適切なκ_{app}を調べた。

深さ1.2mまでの実測値を用いて、最小自乗法によってκ_{app}を決定した結果、κ_{app}を定数で与える場合、$\kappa_{app} = 9.1 \times 10^{-3}$ (m^2 day^{-1}) が最適解であった。一方、正弦関数で与える場合、κ_{app}は平均9.4×10^{-3} (m^2 day^{-1})、振幅6.3×10^{-3} (m^2 day^{-1}) の関数が最適解であった（図1）。特に深い地点（1.2m深）に注目すると、地温の年変動をより適切に表現するためには、κ_{app} の年変動を表現することが重要であることがわかった。

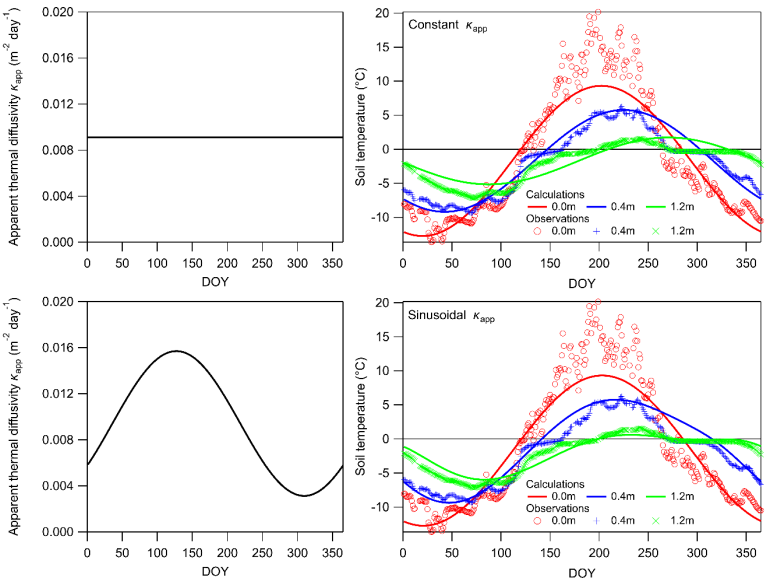


図 1　みかけの熱拡散係数$\boldsymbol{\kappa_{app}}$が一定の場合（上段）と正弦関数の場合（下段）の$\boldsymbol{\kappa_{app}}$の値（左側）と地温の計算結果（右側、線）および測定値（右側、シンボル）の比較。地温データは、スパスカヤパッド研究林において 2015 年に測定されたものである。

一方、今年度はS-TEDyへの凍結融解過程の組み込みは達成できなかった。しかしながら、このモデルでは熱伝導係数を土壌物質や水、空気、氷の含有量を考慮して計算していることから、土壌が鉱物土壌か有機質土壌か、また冬期の氷の含有率の増加が、熱拡散係数に大きく影響することがわかった（図2）。上の結果との比較から、土壌を有機質土壌と仮定する方が実際の地温をより良く再現できる可能性が示唆された。

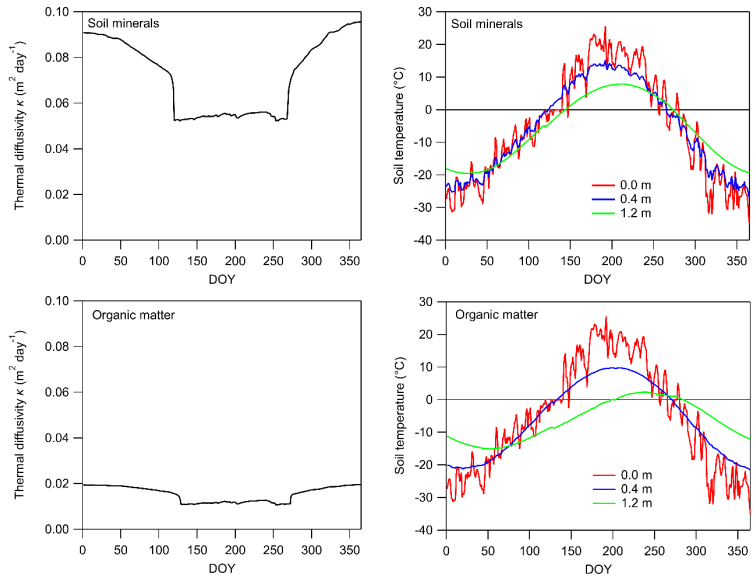


図 2　S-TEDy による計算例。土壌が鉱物土壌（上段）および有機質土壌（下段）のときの熱拡散係数$\boldsymbol{\kappa}$（左側）と地温計算結果（右側）の年変動を示す。

なお、これらの成果について、3月に東京で開催予定だったISAR-6の中止を受けて企画されたオンラインミーティングにおいてポスター発表を行った。

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

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。

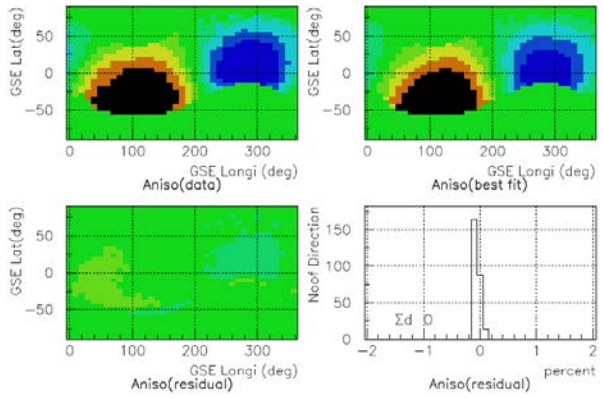


図 1　1次の異方性が存在するときの擬似データ（左上）とその再構成（右上)、残差分布（下段）[5]

図1に示すのは一次の宇宙線異方性を仮定した赤道付近の多方向ミュオン計での擬似データを強度分布の球面調和関数での展開結果と残差分布である。残差分布は概ね0.2% 程度である[5]。全球を覆うように多地点のデータを統合することにより、Loss Cone構造を持つ前兆現象[4]などの微細な構造を伴う惑星間擾乱についてはこの程度まで検出可能になると考えられる。先行研究[5]で行ったGRAPES-3単眼の観測での実データでは24時間の積算を必要となり、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った。ネットワーク観測においてはリアルタイムに異方性の評価が出来るようになる。

そこで、本研究は、米国ユタ州の高地に約700平方キロの面積に展開されている空気シャワー観測装置である　2層式シンチレーション粒子検出器507基を総面積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GRAPES-3と同程度の統計精度の観測点を確保事ができる。これにより、先述したフレアによる惑星間衝撃波に先立って観測される前兆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%以下までリアルタイムで検出可能にする。また大局的な宇宙線の流れを基に擾乱の内側にある低密度領域の接近もより高い統計精度のデータで評価することが出来るようになる[7]。本研究では、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確立することを目的としている。

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、世界の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 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。
② 装置が展開されている領域での気象条件の把握。
③ TA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

（**検出器更新**）本年度4月～11月にかけ昨年度にあらたに増設した250台(合計750㎡)に対して宇宙線強度モニターのデータ取得が可能になるように調整し、連続観測を開始した。これにより研究申請時の1500㎡の総面積から2250㎡の観測面積となり、3×10^7 count/min の統計量で二次宇宙線強度を測定する装置となった。

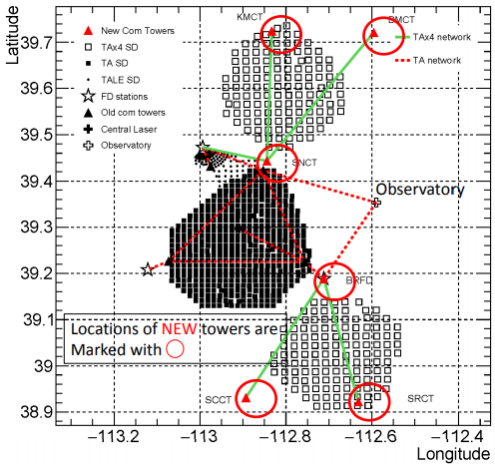


図 2 新たにモニター可能にした検出器の配置(南北100km)と気圧計データ取得場所

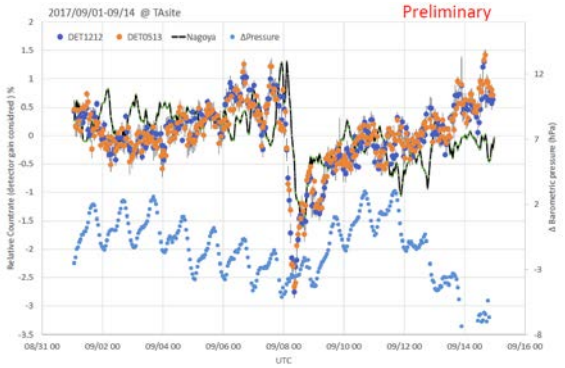


図 3 気圧効果に加えて気温由来の検出器の効果を10分毎の較正データから補正

（**気象観測**）前年度購入し、既存の気象計(WXT530)と比較測定を済ませた複合環境データ記録装置(TR-73U ONDOTORI T&D製)をTCP/IPプロトコルでデータ取得を制御できるようにハードとソフトを開発し、サイト内の長距離無線ネットワークのポートに配置した。現在3台の気圧測定装置が中央の507台の検出器の領域に設置され、データを取得している。また、2020年2月に今年度追加の4台の購入をし、南北の拡張領域に増設したネットワークポートに全てに配置する準備を完了した。

（**データ解析**）去年度報告した名古屋大学のミュオン計の強度変動との比較をさらに進め、気温由来の検出器の応答を補正し、TAサイト内の2つの検出器名古屋大学のミュオン望遠鏡のデータの比較を行ったところForbush Decreaseをよく再現することがわかった。過去12年分の全検出器のデータに対してこの補正係数を10分毎に求めデータベース化を進めた。

期待される成果：

研究方法の①②が概ね完了した。データ解析を定期的に行うようにソフトウェアを作成すれば、世界最大の多方向ミュオン望遠鏡GRAPES-3実験と反対の方向を観測する北半球で可動する約2250㎡の宇宙線強度変動の観測装置となる。

今後この測定データから地磁気圏の外での宇宙線強度の推定を行うのシミュレーションを通して、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の提供が可能になると期待される。

成果発表

36th International Cosmic Ray Conference 2019 Madison, WI, U.S.A.
Proceedings of 36th ICRC PoS(ICRC2019)372

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] K. Kuwabara et al. Geophysical Research Letters, V 31, Issue 19, 2004

北米における VLF 電波観測と地上統合観測を用いた高エネルギー電子降り込み過程の同定
Energetic electron precipitation observed with multi-groundbased instrument in North America

土屋史紀、平井あすか、小原隆博(東北大学・理)
塩川和夫、三好由純(名古屋大学・ISEE)
大矢浩代、宮下拓也(千葉大学・工)
Martin Conners(アサバスカ大学)、David Milling(アルバータ大学)

放射線帯の構造・変動は、高エネルギー電子の加速・輸送・消失過程のバランスで決まる。消失過程の理解は、放射線帯の形成過程を解明する上での重要な研究テーマである。高エネルギー電子の大気へ降下損失は、消失過程のうち重要な寄与をもつ物理過程の一つと考えられている。近年の研究から、磁気圏赤道面で励起されるプラズマ波動、特にホイッスラモードコーラス波と電磁イオンサイクロトロン(EMIC)波動が高エネルギー電子をピッチ角散乱することにより、大気への消失を駆動することが分かってきたが、それぞれの波動による電子降下過程の発動条件と寄与を明らかにするには、複数観測データの総合解析による詳細な事例研究と、統計解析が必要である。

本研究は、放射線帯から大気への高エネルギー電子降下現象の同定に低周波(VLF/LF 帯)人工電波の伝搬を用いる。下部電離圏と地上間を導波管伝搬する低周波電波受信信号の擾乱から、高エネルギー電子による下部熱圏・中間圏での電離現象を検出する。低周波電波伝搬観測と他の地上観測との比較解析から、以下の成果が得られた。

(1) ULF 地磁気脈動に同期した高エネルギー電子降下現象の同定
カナダ・アサバスカでの低周波電波観測から、2011 年 1 月から 2019 年 5 月までの 1939 日の期間中に ULF 地磁気脈動に変調された電子降下現象を 11 例同定した。このうち、2017 年 6 月 4 日 5 時 UT のサブストーム時の現象を詳細に解析した結果、ULF 変調の原因は、ホイッスラモードコーラス波によるピッチ角散乱が有力であるとの結論が得られた(Miyashita et al. 2020)。

(2) EMIC 波動による高エネルギー電子降下の統計解析
アサバスカでの誘導磁場観測から、2016 年 11 月から 2018 年 12 月の約 2 年間に 999 例の EMIC 波動現象を同定した。アサバスカにおける低周波電波観測から、EMIC 波動現象と同時に検出された電子降下現象を 23 例同定した。これらは主に磁気嵐主相中のサブストームに伴って出現し、発生領域が夕方側～真夜中領域に集中することが明らかとなった。磁気嵐中のサブストームに伴う夕方側へのリングカレントイオンの注入が、EMIC 波動の励起と高エネルギー電子降下の発生に寄与していることを示している。

上述の成果に加え、低周波電波伝搬観測と既存の地上観測拠点との親和性を高め、総合解析が可能な現象事例を多数得るため、カナダ・ピナワに受信点を新設した。ピナワで北米東海岸の送信局電波(NAA, 24.0kHz)を受信することにより、PWING で構築された地上観測拠点の一つであるカップスケーシングでの地上観測データとの詳細な比較が可能となる。今後、ピナワでの低周波電波観測で同定された電子降下現象と、カップスケーシングのオーロラ、VLF・ULF 帯磁場観測との詳細な比較解析に取り組む。

学会発表

Hirai, A., F. Tsuchiya, T. Obara, Y. Kasaba, Y. Katoh, H. Misawa, K. Shiokawa, Y. Miyoshi, S. Kurita, M. Connors, Statistical study of EMIC wave-related electron precipitation at subauroral latitude, AGU 2019 Fall Meeting, San Francisco, U.S., 10 Dec. 2019

Hirai, A., F. Tsuchiya, T. Obara, Y. Kasaba, Y. Katoh, H. Misawa, K. Shiokawa, Y. Miyoshi, S. Kurita, M. Connors, Spatial and temporal characteristics of EMIC wave-driven energetic electron precipitation from ground-based observations, International Symposium PSTEP-4, 28 Jan. 2020

Miyashita, T., H. Ohya, F. Tsuchiya, H. Nakata, T. Takano, K. Shiokawa, Y. Miyoshi, N. Nishitani, M. Connors, S. G. Shepherd, ULF Modulation of Energetic Electron Precipitations Observed by VLF/LF Standard Radio Waves, URSI-JRSM 2019, 5 Sep. 2019. (学生発表賞受賞)

論文(査読あり)

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, in press

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2019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。

【研究方法】

2019年度は、本課題の3年次計画の1年目である。2019年度は、共同研究者と会合を重ねて科学課題の検討と観測装置仕様を検討する。また、可視検出器の具体的な検討とメーカー選定を進める。

これまでの検討から、FACTORS可視撮像装置には、高度3000kmから400x400km(視野約8x8度)、空間分解能約1x1km、フレームレート10Hzで1-100kRのオーロラを撮像することが求められている。本年度はこれを達成する装置設計を進め、特にCCDもしくはCMOS検出器の評価を行ことで、技術成立性の向上を図る。この検討については坂野井が統括し、オーロラについて平原、三好、Frey、大気光観測については、津田、Schneiderが担当する。本年度は、検出器の候補となっている国内メーカーと海外メーカーのいずれかからCCDもしくはCMOS の試験用パッケージを購入し、電気試験や放射線試験を行うことで性能評価を行う。特に、FACTORS衛星は遠地点高度が3000km程度になる予定であり、放射線帯の中に長時間滞在するため検出器の耐放射線性が問題となる。科学用CMOSは低ノイズ特性をもつが、耐放射線性については実績や性能に不明点が多い。従って、本研究では、使用予定のCCDもしくはCMOSと同等の試験パッケージ(ISAS戦略的開発研究費で購入予定)を用いて、電気試験ならびに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(坂野井・山崎)。放射線のトータルドーズについては、モデルをもちいて見積もった値を採用する。

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検討する。この対物レンズ系は、上記の検出器と組み合わせ、科学観測要求を満たすために必要な性能(口径とF値)を満たすものとする。

加えて、装置開発検討のために、米国衛星搭載光学機器に実績をもつUCバークレー校Harald Frey博士ならびにコロラド大学Nick Schneider博士を訪問して研究打ち合わせを実施し、最新の知見と情報収集を測る。

【研究結果】

2019年度の検討により、国内と海外のメーカーそれぞれと会合を複数回開催し、宇宙使用可能なCCDまたはCMOSの具体的な型番や宇宙実績に基づく性能の定量的な評価をすすめ、精度の高い議論を行うことが出来た。これにより、FACTORの理学目的であるオーロラ微細構造観測のための可視撮像検出器を調達する見通しは立ちつつある。一方、2019年度に予定されていたCCD/CMOS試験パッケージの調達が、ISAS戦略的開発研究費の充足率不足から達成できなかったため、計画していた電気試験や放射線試験を実施することができなかった。ISAS戦略的開発研究費は2020年度にも獲得を目指しており、採択されれば2020年度以降に検出器試験パッケージを用いた試験を実施する。

また、可視対物レンズ系については、共同研究者との検討の結果、れいめい衛星搭載カメラと同等の性能であれば観測成立することが確認された。

加えて、2019年12月に坂野井・三好がUCバークレー校を訪問し、Harald Frey博士とChris Chaston博士とFACTORS搭載の可視カメラ・紫外カメラの理学ならびに技術課題の検討を実施した。この後、坂野井はコロラド大学Nick Schneider博士を訪問し、FACTORS搭載カメラの技術検討を行った。これらの海外渡航費は本研究経費を用いる予定であったが、別経費により支弁することができたため、本研究経費は用いなかった。本研究経費により、カメラ光学系の基礎的な実験と解析を可能とするためにCMOSカメラや変位センサ、バンドパスフィルター、電源アダプター、ポータブルHDDを購入して実験環境を整備した。

【まとめ】

本年度研究により、国内と国外のメーカーそれぞれについて宇宙仕様CCDならびにCMOSの技術検討と定量的な性能の情報を得ることができた。一方で、別経費を予定していた検出器の試験パッケージの購入ができなかったため、電気試験と放射線試験は翌年度以降に実施することとなった。また、対物レンズの検討をすすめた。さらに、UCバークレー校Harald Frey博士ならびにコロラド大学Nick Schneider博士と理学課題ならびに技術検討を進め、今後の開発に必要な最新情報を得ることが出来た。

【成果発表】

・査読付き論文（1件）

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 , Diffuse and Pulsating Aurora, Space Sci. Rev., vol 216, 4, https://doi.org/10.1007/s11214-019-0629-3.

・国際学会（FACTORSの発表2件、関連オーロラ研究発表4件）

Sakanoi, T., M. Hirahara, K. Asamura, Y. Miyoshi, T-H. Watanabe, T. Nishiyama, S-I. Oyama, Y. Saito, K. Hosokawa, M. Yamauchi, H. Kojima, N. Kitamura, Y. Ogawa, A. Matsuoka, Design of Visible and Ultraviolet Imagers for FACTORS - A Future Satellite Mission for Understanding the Coupling and Transportation Processes in the Upper Atmosphere, AOGS 16th Annual Meeting, Suntec convention center, Singapore, 28 Jul -2 Aug, 2019.

Sakanoi, T., M. Hirahara, T. Tsuda, K. Asamura, Y. Miyosho, T-H. Watanabe, T. Nishiyama, S-I. Oyama, T. Saito, K. Hosokawa, H. Kojima, N. Kitamura, Y. Ogawa, M. Yamauchi, A. Matsuoka, N. Yagi, M. Fukizawa, G. Ishizawa, Visible and ultraviolet imagers for auroral and airglow observations by FACTORS - a future satellite mission for understanding the coupling and transportation processes in the upper atmosphere, JpGU 2019, Makuhari Messe, Chiba, 26-30 May 2019.

・国内学会・シンポジウム（FACTORSの発表4件：うち3件を以下に列挙、関連オーロラ研究発表6件）

平原 聖文, 齋藤 義文, 小嶋 浩嗣, 浅村 和史, 三好 由純, 北村 成寿, 坂野井 健, 宇宙地球結合系探査計画「FACTORS」 FACTORS衛星によるオーロラおよび宇宙から地球へのエネルギー流入過程の観測計画検討, 第20回宇宙科学シンポジウム, 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所, 相模原, Jan. 8-9, 2020.

三好 由純, 浅村 和史, 坂野井 健, 平原 聖文, 渡邊 智彦, 西山 尚典, 海老原 祐輔, 細川 敬佑, 小川 奏信, 塩川 和夫, 八木 直志, 吹澤 瑞貴, Park InChun, FACTORS-領域間結合研究チーム, FACTORS計画におけるイオン加速, 関連計測機器の検討状況, 第20回宇宙科学シンポジウム, 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所, 相模原, Jan. 8-9, 2020.

坂野井 健, 八木 直志, 平原 聖文, 浅村 和史, 三好 由純, 大山 伸一郎, 津田 卓雄, 斎藤 義文, 細川 敬祐, 渡邉 智彦, 山内 正敏, Park Inchun, 小嶋 浩嗣, 北村 成寿, 松岡 彩子, FACTORS搭載可視・紫外カメラならびにオーロラロケットLAMP可視カメラによる微細-広域オーロラダイナミクス, 第146回 SGEPSS総会および講演会, 熊本市国際交流会館, 熊本, Oct. 23-27, 2019.

（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、愛知工業大学・工学部

2020年3月下旬に本研究代表者である愛知工業大学の小島と大阪市立大学の川上がインドムンバイ及びOotyに渡航して太陽圏における太陽を中心とした動径方向の宇宙線の密度勾配と太陽活動の関連を示す論文の作成及びGRAPES-3ミューオンテレスコープの拡張工事の視察を行う予定であったが、新型コロナウィルスの広範囲な感染によりインド入国ビザが取り消され、今年度内インド渡航計画を次年度に延期した．これとは別に中部大学の大嶋が2019年12月20日から2020年1月2日までインドOotyに渡航してGRAPES-3ミューオンテレスコープに関して下記の活動を行った。

現在、GRAPES-3では、ミューオンテレスコープの拡張作業が進められている。今年度は本申請研究費を用いて、中部大学の大嶋晃敏が、12月21日から1月2日にかけてGRAPES-3のある南インド・ウーティに滞在した。滞在期間中に、①ミューオンテレスコープ建設の進捗状況の確認、②日本側からの必要物資の確認、③開発中の回路設計についての打合せ、④データ解析手法、⑤日印協力の推進についての議論を行なった。ミューオンテレスコープ建設の現状は、検出器（比例計数管：3,776本）の組上げが完了、外壁の建設が完了、屋根部（吸収層の底の部分）の建設が完了している（図1）。今後は、建屋への窓・扉の取付け作業、内装及び電源ラインの整備とネットワークの整備を行なう予定である。また、建屋内部のインフラが整い次第、中心部の検出器を用いて、ミューオン検出の試験運用を開始する予定である。

図１．新ミューオンテレスコープの全景（左図）と内部（右図）。 検出器 16 基（モジュール）の組上げが完了し、内装作業（電源ラインとネットワーク）が進んでいる。

開発中の回路に関して、フロントエンド（アンプ及びディスクリミネーター）の開発が終わり、2019年9月に既存のミューオンテレスコープへのインストールが完了し、運用を開始した（図2）。

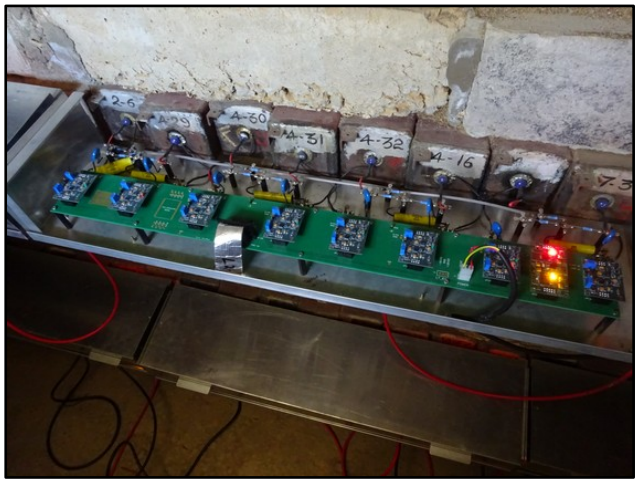


図 2. 既存のミューオンテレスコープの内部（左）。全ての検出器について、新しく開発したフロントエンド回路（アンプ及びディスクリミネーター）（右）への置き換えが完了した。

また、バックエンド回路については、FPGAベースで開発が進み、機能としてはほぼ完成したと言って良い状況にある。現在、既存のミューオンテレスコープ（ステーション1のモジュール0）において、既存のデータ収集システムと並行運用し、全ての比例計数管のカウントレート、モジュール内のAny-2, Any-3, 4-foldの取得、全ての比例計数管のパルス幅分布の記録を開始した。

ミューオンテレスコープの拡張作業は比例計数管の積み上げ作業がほぼ終了し、現在低エネルギー放射成分をカットするための2m厚さのコンクリート吸収層設置作業を実施中である。これに加えて検出・記録用の新回路システム設置が完了すれば、2020年度後半には新しいバージョンのテレスコープによる60GeVから1TeV程度の広範囲なエネルギーの宇宙線の観測の開始が期待される。また、2019年7月24日～8月1日に米国ウィスコンシン州マディソンで開催された第３６回宇宙線国際会議においていくつかの発表を行い、プロシーディングスに９報の論文を投稿した。

銀河系内宇宙線源探査に向けたCTA望遠鏡の改良と可能性評価
Evaluation of the potential of improved CTA telescopes for Galactic cosmic-ray origin researches

中森健之、山形大学・理学部

研究目的

地球に到来する宇宙線は10の20乗eVにも到達する極めて幅広いエネルギー帯域に渡り、べき乗則のスペクトルを持つ。スペクトルの折れ曲がりがある$10^{15.5}$eV（knee領域）まで宇宙線を加速している天体（PeVatron）は銀河系内に存在すると考えられ、超高エネルギーガンマ線の観測を通じて加速源の探査が行われている。例えば若い超新星残骸RX J1713.7-3946や銀河中心は、硬いTeVガンマ線スペクトルを持つことが知られる銀河系内天体であり、PeV宇宙線の供給源として有力である。しかしながら現行の観測装置では感度が十分でなく、knee宇宙線加速の確定的な証拠となる300 TeV付近のガンマ線スペクトルは、従来の観測装置で測定の前例がない。

Cherenkov Telescope Array（CTA）は国際協力で開発と建設が進められている、次世代の超高エネルギーガンマ線天文台である。大・中・小口径の大気チェレンコフ望遠鏡群を数十台規模で設置することで、観測できるエネルギー帯域と感度を飛躍的に向上する。CTAの高感度観測が実現すれば、未知の宇宙線加速天体が発見されるだけでなく、上記に挙げた天体のイメージやスペクトルをより精密に測定することが期待される。PeVatronの探索と加速機構、そして伝搬の様子を明らかにするためには、100 TeV領域のガンマ線スペクトル精度を向上させるだけでなく、スペクトルの空間構造も重要である。このエネルギー帯域は、バックグラウンドとなる宇宙線陽子や電子の混入率が非常に低いため、感度は観測時間に比例する。つまりCTAの高感度観測を、より長時間行うことが必要となる。

大気チェレンコフ望遠鏡は通常、月光下では観測を行わない。ガンマ線が地球大気で生成する空気シャワーからの微弱なチェレンコフ光に対してS/N比が低下することと、焦点面検出器の光電子増倍管が損傷することが主たる理由である。しかしながら、およそ5 TeV以上のガンマ線はハードウェア閾値を上げることで問題なく検出できると見積もられており、PeVatron観測は原理的に可能である。また、焦点面検出器を半導体光センサで構成すれば月光下で使用しても長期安定動作することが知られている。本研究は光子統計を効率的に稼ぐために、CTA天文台が使われない月齢期間をPeVatronの観測時間として利用する道を開拓する。

研究方法

ctoolsという多目的ガンマ線観測シミュレータを用いて、超新星残骸RX J1713.7-3946のCTAによる観測を模擬したイベントデータを生成した。観測天体に関するパラメタを初めとするセットアップの詳細は我々の先行研究（Acero et al., 2017）に準じる。現在までにH.E.S.

S.望遠鏡で観測されているガンマ線放射の主成分は電子起源であると仮定し、PeV宇宙線起源のガンマ線放射が10%程度混在しているモデルを設定した。電子・陽子成分のカットオフエネルギーはそれぞれ15・300 TeVとした。シミュレーションを行うには装置応答関数（IRF）が必要となる。CTA内部でのみ提供されていた、月光下を想定して夜光量を30倍に設定された試作IRFを用いた。小口径望遠鏡群のみを使用した観測が想定されたIRFである。200時間の観測シミュレーションを行い、特に100 TeV付近のガンマ線スペクトル決定精度の評価を行った。

結果

RX J1713.7-3946を月光下の200時間の観測で得られる、2-150 TeVのガンマ線イメージを図１に示す。長時間の観測によって、高エネルギー帯域でも放射形状を議論できる十分な統計量が得られることが分かった。また最尤法によるスペクトル解析の結果、隠れた陽子成分を52-100 TeVで7σを超える有意度で検出できた。長時間観測の期待通り、先行研究での月明りのない50時間観測よりも精度が向上することが分かった。

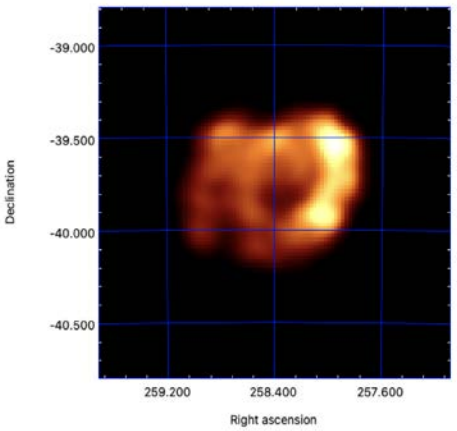


図１CTA小口径望遠鏡だけを用いて月光下で200時間観測したRX J1713.7−3946のイメージ。2-150 TeVのガンマ線イベントを使用。

一方で、本研究で使用したIRFには改善すべき３つの点が明らかとなった。１つ目IRFは200 TeVまでしかカバーしておらず、真に評価を行いたい領域である300 TeVまで検証できてない。２つ目は、月光下のIRFは試作段階で解析の最適化が不十分であり、宇宙線バックグラウンドを更に除去して感度が向上する可能性があることである。さらに３つ目として、月光下の小口径望遠鏡による観測データと、月のない夜のフルアレイによる観測データをマージした解析ができる体制が整備できていない。そのためソフトウェアの理由により、CTAの広帯域観測性能を引き出せていない。

本研究経費による出張で、フランスCPPMのCostantini氏と意見交換を行った。IRFの生成には膨大な量の宇宙線モンテカルロシミュレーションが必要で、個人レベルで生成することは現実的ではない。シミュレーションチーム、IRF作成チーム、ctools開発チームと問題点を共有する必要があるという結論を得た。

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。初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、必要な物品を調達する。次年度以降は、ライダーを改良し連続定常観測を行う。観測データの蓄積と共にデータ解析を進め、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を把握する。また、ラパスでの観測強化に加え、新規のライダー観測サイトとなる候補地の検討も行う。

３　研究結果

ラパスに設置されたライダーの改良に向け、現地視察しシステム設計を行った（図１）。改良コストを抑えるためにレーザー送信部は既存のままとし、受信部のみを改造することとした（右図点線部）。レーザーは直線偏光しており、大気エアロゾルによる後方散乱光の水平・垂直成分をキューブ型偏光子によって分離し、各々の光強度を２つの光電子増倍管（PMT）によって計測する。背景光による擾乱を抑え日中での信号ノイズ比の向上を図ると共にPMTの保護のために、バンドパスフィルターを各検出器の前に配置する。上記の偏光子、バン

ドパスフィルター、そしてPMTを一体型モジュールにすることで、偏光測定の安定化とシステムの小型化を図ることとした。研究予算の減額から物品調達は次年度とし、今年度は現地視察とシステム設計を行うと共に、考案したシステムにおいて必要となる物品の選定までを実施した。また現行のライダーシステムの検討から、本システムでは532nmと共に1064nmでの２波長同時レーザー送信が可能であり、比較的簡便な改造によって２波長でのミー散乱ライダー計測が実現できることが判明した。よって、エアロゾル計測情報の拡張として将来的な実施が期待される（但し、送受信部の光学部品の変更や1064nm用の検出器が必要など、比較的高額な改造費が必要となる）。

また、新規ライダー観測サイトの候補地選定を見据え、上記した改良前および改良後のライダーのデータ解析システムの構築を進めると共に、既存のSAVER-Netライダーデータ用の解析システムの見直しを進めた。ライダーデータのノイズ算出や校正定数推定のスキームを見直すと共に自動化処理の高速化も検討した。

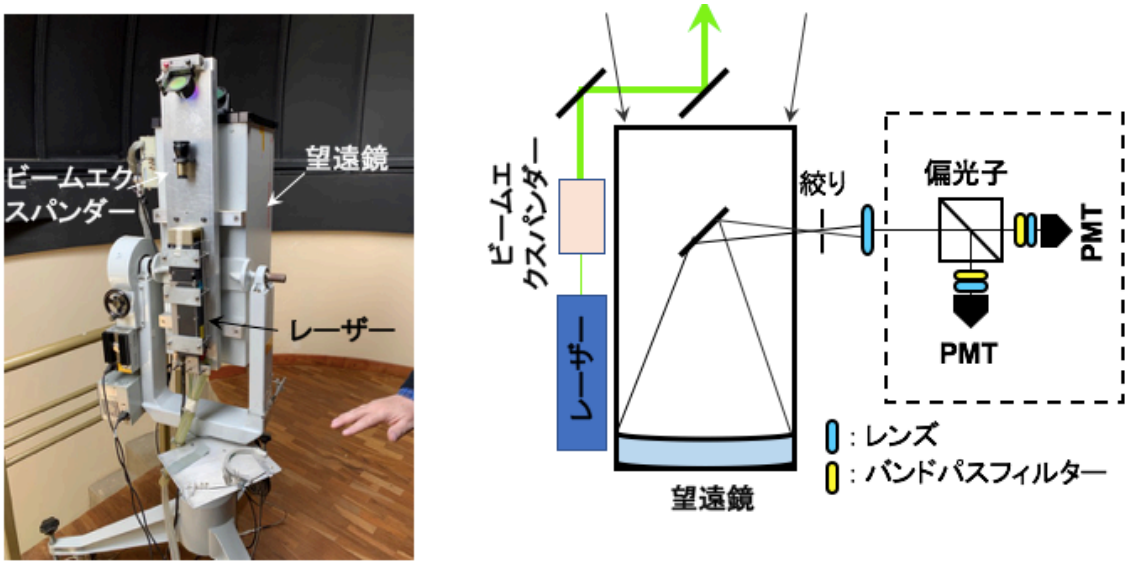


図１　ボリビア国ラパスに設置されている波長532nmのミー散乱ライダーシステム（左図）と改良システム（波長532nmの偏光ミー散乱ライダー）の構成（右図）

４　成果発表

西澤智明、神慶孝、清水厚、杉本伸夫、高機能ライダーを用いたエアロゾルの５次元分布観測、地球環境、24(1),43-52, 2019.（査読有）

T. Nishizawa, A. Higurashi, R. Kudo, H. Okamoto, K. Sato, E. Oikawa, and M. Fujikawa, “Algorithms to retrieve optical and microphysical properties of aerosol, cloud, and precipitation from ATLID, MSI, and CPR measurements”, The 8th International EarthCARE science workshop, Fukuoka, November 2019.

神慶孝, 西澤智明, 2020, “大気エアロゾル・雲計測ライダー”, レーザー学会学術講演会第 40 回年次大会、仙台、2020 年 1 月.

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)。

現在、太陽活動は再び極小期へと推移していることから、新たな極小期のデータを取得して 2007 年-2008 年の極小期データとの比較により、太陽活動極小期に特徴的な電離圏変動を抽出できるものと期待される。特に、昼側極冠域電離圏は、観測手段が限定されることから、他の領域に比べて十分な観測が実施されていない。本研究では、緯度約 75～83 度の範囲の昼側電離圏を EISCAT レーダーシステムによってモニターし、また、GCM シミュレーションを実施することにより、極域電場が通常よりも高緯度に分布している際の電離圏変動の特徴を調べることを目的とする。地磁気擾乱時には、加熱領域が狭い範囲に集中していることで、従来とは違った電離圏変動を捉えることが出来るものと考えている(当グループの GCM シミュレーションからも予測されている)。

研究方法（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（2019 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予定し，現地観測には，申請者(藤原)，共同研究者(野澤・小川)が赴く。観測期間の太陽風，磁場データ等により極域へのエネルギー流入について理解する（観測結果の解析等は，藤原，野澤，小川，Hall が実施)。

＊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

2019 年 3 月 18-19 日の 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。一方，地磁気擾乱時にはトロムソ上空で激しい電離圏変動が現れ，また，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，まとめの作業を行っている。

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。また，大気圏・電離圏統合モデル(GAIA)に関して，極域での物理過程の高精度化を試みたほか，長期計算のための各種試験をおこなった。

EISCAT レーダー特別実験

昨年度に引き続き，藤原，野澤がトロムソに赴き，2020 年 3 月 17 日，18 日の 7:00-13:00 UT に EISCAT 特別実験を実施する予定であったが，世界的な新型コロナウイルスの感染拡大により，上記期間での特別実験は取りやめることとなった。観測開始が可能となった場合，2020 年度前半に EISCAT 現地スタッフに依頼して本計画での特別実験を実施したいと考えている。

本研究課題に関連した主な成果発表

学会発表等

三好勉信・藤原均，中間圏界面における NOx・HOx 光化学過程の全大気大循環モデルへの導入，地球惑星科学関連学会連合大会 (JpGU-AGU Joint Meeting)，5 月，幕張，2019.

陣 英克・三好 勉信・垰 千尋・品川 裕之・藤原 均，Climatological features of the upper atmosphere reproduced by a revised version of a whole atmosphere-ionosphere coupled model GAIA，地球惑星科学関連学会連合大会 (JpGU-AGU Joint Meeting)，5 月，幕張，2019.

藤原 均・三好 勉信・歌島 昌由・Liu Huixin，Investigation of the thermospheric mass density variations below 200 km，地球惑星科学関連学会連合大会 (JpGU-AGU Joint Meeting)，5 月，幕張，2019.

品川 裕之・陣 英克・三好 勉信・藤原 均・横山 竜宏・大塚 雄一，GAIA を用いた赤道プラズマバブルの発生・成長を支配するパラメータの解析，地球惑星科学関連学会連合大会 (JpGU-AGU Joint Meeting)，5 月，幕張，2019.

野澤 悟徳・津田 卓雄・斎藤 徳人・高橋 透・川原 琢也・小川 泰信・藤原 均・和田 智之・小川 洋平・Hall Chris・Brekke Asgeir，Statistical study of Sporadic Sodium Layer (SSL) observed at Tromso，地球惑星科学関連学会連合大会 (JpGU-AGU Joint Meeting)，5 月，幕張，2019.

品川 裕之・陣 英克・垰 千尋・三好 勉信・藤原 均，リアルタイム GAIA を用いたスポラディック E 層発生予測，地球電磁気・地球惑星圏学会，10 月，熊本，2019.

藤原 均・野澤 悟徳・小川 泰信・三好 勉信・陣 英克・品川 裕之・垰 千尋，Characteristics of the ionospheric variations in the dayside polar region，地球電磁気・地球惑星圏学会，10 月，熊本，2019.

垰 千尋・陣 英克・品川 裕之・三好 勉信・藤原 均，長期計算に向けた GAIA 極域入力の改良，地球電磁気・地球惑星圏学会，10 月，熊本，2019.

陣 英克・三好 勉信・垰 千尋・品川 裕之・藤原 均，　大気圏－電離圏結合モデル GAIA 新バージョン の開発と性能評価，地球電磁気・地球惑星圏学会，10 月，熊本，2019.

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

本申請は、WCRPの枠組みの元、次期RHP(Post MAHASRIプロジェクト)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、多様な水文気候学的地域特性の解明とモンスーン変動メカニズムに関する成果を出すことを主要な目的としている。

そして特に、インド亜大陸北部、ネパールのヒマラヤ南縁域における活動の進展を重点的に推進している。北極・南極に次ぐ第3の極とも称せられるチベット高原と、陸上最多雨地域のある南アジアのインドモンスーン域とに挟まれた、夏季アジアモンスーンの最も緯度の高い顕著な加熱域であるチベット高原南縁域の重要性は高い。2018-19年の活動により、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) を立ち上げるとともに、インド亜大陸北部を中心にした地域における極端シビアストームの早期警戒システムの構築を目指したモデリングに焦点を当てた研究プロジェクトESSDMS (Extreme Severe Storm and Disaster Mitigation Strategy) が開始されている。

これらの到達点に立ち、今年度は3年計画の2年目として以下の2点を目的として推進することとした。

①時期RHPの具体化を図り、国際的なプレゼンスを高めること。

②インド・ネパール・バングラデシュを含むヒマラヤ山岳南縁域の具体的な観測体制(AMY-II South Asia)の構築と、高分解能数値モデル計算結果の検証に関する共同研究の実施

【研究方法】

2019年度はそれぞれの目的を果たすため、以下の研究計画に沿って実施した。

①Post MAHASRIプロジェクトの具体化。特に、正式なプロジェクト名称の確定とキックオフ行事の実施。GEWEXでの10月にメルボルンで予定されているGHPパネルミーティングに代表を送り、次期RHPとしてプロジェクトを正式に確認されるように働きかける。特にサイエンスプランの立案を進めること。

②南アジアでの上記プロジェクトの具体化と、極端ストームの予測をテーマにした高分解能数値モデル計算結果の検証のため、ネパール・インド・バングラデシュの研究者のもとを訪問し、共同研究を展開すること。

【研究結果】

次期RHPの正式名称を決定し、Asian Precipitation Experiment (AsiaPEX) を立ち上げた。AsiaPEXは、GEWEXのProspective RHPとして承認された。サイエンスプランもGHP Panelに対して提出し、評価に付されている。AsiaPEXは、アジアモンスーン域の多様な水文気候学的特性を持つ諸地域の研究に支えられて、各地域での観測的研究を基盤に、大気水文モデリング、リモートセンシングの発展を検証するなかで、多様な水文気候学的地域特性がアジアモンスーンの多重スケール変動を駆動するメカニズムを、陸上の降水過程のS2S(Subseasonal to Seasonal)予測に焦点を当てて

解明することを目指している。ウェブページも発足し、2019年8月にはキックオフカンファレンスを北海道大学で開催した(Fig. 1)。名古屋大学でのワークショップに基づいて、レビューペーパーを出版する準備も進めている。

南アジア域のプロジェクトも進んだ。南アジアの降水を対象とした諸研究のうち、Fujinami et al. (2020)は、総観規模擾乱の特徴を解析し、Huda et al. (2019)は、バングラデシュにおける急速な開発による人為的な影響が著しい新しいタイプの洪水に関する社会学的・理工学的研究成果をまとめて発表した。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の展開を検討した。

Fig. 1: AsiaPEX Kick-off Conference.

【考察・まとめ】

AsiaPEXのサイエンスプランの具体化が進んでおり、これをいっそう充実させることにより、AsiaPEXをGHPのフルRHPに昇格させることが残された課題である。また、2019年度を通じて南アジアの気候学研究が大きくAsiaPEXへ合流しつつある。特に東アジアから南アジアにかけての諸研究の協調によるアジア水文気候学研究の効果的推進が2020年度にかけて展望される。

【引用文献】

Fujinami, H., H. Hirata, M. Kato and K. Tsuboki, 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.

Huda, N., T. Terao, S. Murayama and Y. Suenaga, 2019: Detection of water logging floods in Bengal Mega-Delta from peoples's perception underpinned by hydrometeorological dataset. Journal of Recent Advances in Marine Science and Technology, 13, 60-79.

【成果発表】

Terao, T., 2019: Objectives and Overarching Key Questions of AsiaPEX. AsiaPEX Kick-off Conference, Sapporo, 28 Aug. 2019.

宇宙圏からのエネルギー流入に対する下層大気の大気潮汐の応答
Response of atmospheric tides near the surface to energy inputs from the outer space

坂崎貴俊、京都大学・大学院理学研究科

【研究目的】

昨今の研究により、我々の生活に影響を及ぼす地球大気の変動には、対流圏のみならず成層圏・中間圏といった中・上層大気の変動の影響が色濃く現れることが明らかになってきた。一方上層大気は宇宙圏からのインプットの影響を大きく受ける。そこで本研究では大気の基本的な周期変動である地上の大気潮汐（熱潮汐）変動が、宇宙圏からの外部強制力（特に、太陽短波放射の短周期変動）に対して、中層大気を介してどのように応答するのかを明らかにすることを目的とする。

【研究手法】

最新の大気再解析データであるERA-5の地上気圧データ(Hersbach et al., 2019)を用いた[解析期間: 1979-2016, 時間分解能: 1時間]。時空間フーリエ解析により、地上大気潮汐のうち最も卓越する半日周期太陽同期成分(Semidiurnal migrating tide; 以下、S2潮汐と呼ぶ)の日別値を計算した。

太陽活動の指標として、SOLAIS HEPPAの太陽放射強制力データ、うちSolar Spectral Irradiance (SSI)の日別値を用いた（Matthes et al., 2017）。なおS2潮汐は主として太陽光の紫外線によるオゾン層加熱によって励起されることから(e.g., Sakazaki and Hamilton, 2017)、SSIを紫外領域(200-400 ㎛)で積分したものを太陽放射強制力の指標として用いる（以下、SSI-indexと呼ぶ）。

SSI-indexに対してスペクトル解析を行ったところ、太陽の自転に伴う27日周期の変動が最も卓越していた。そこで本研究ではこの変動に焦点を絞り、SSI-indexの27日周期変動（バンドパスフィルターで抽出）が極大・極小値を取る日を基準日として、S2潮汐振幅のラグコンポジット解析を行った。

【結果と議論】

図1はラグコンポジット解析の結果を示す。S2潮汐は、1Pa（平均振幅に比して1%)程度の振幅でSSI-indexの変動と同期した変動を示すことが新たに分かった。ただしその周期はおよそ13日程度と、インデックスの周期のおよそ半分である。また、S2振幅はSSI-indexの極大・極小からいずれも6-7日程度遅れて極大を取る。これらの結果は、S2潮汐はSSI-indexの27日周期変動に応答した変動を示すものの、応答の大きさはSSI-indexがニュートラルな時に極大を取ることを示唆している。S2の多くはオゾン層で励起されることが知られるが、SSIが極大を取るときに必ずしもS2を励起しやすい加熱構造になっていないと考えられる。

【今後の課題と展望】

まずはこれらの結果の堅牢さを確かめるために、他の現場観測データ・気候モデルを用いた解析結果との比較を行うことが必須である。現場観測データとしては、ジャカルタの高精度地上気圧データの結果との比較を進めている（K. Hamilton氏との共同研究）。また、気候モデルについては、本研究でも使用したSSIを外部強制として用いた地球システムモデル実験(CMIP6)の結果解析に着手している（気象研究所との共同研究）。結果の堅牢さを確かめたのち、オゾン層加熱分布の解析等を行うことでそのメカニズムについても明らかにしていきたい。

また成層圏オゾンは、高エネルギー粒子の振込み等の要因でも変動することが知られており、今後はこれらが大気の短周期変動に与える影響についても調査を行いたい。

【参考文献】

・Hersbach, H. et al., Global reanalysis: goodbye ERA-Interim, hello ERA-5. *ECMWF Newsletter* **159**, 17-24, 2019.

・Matthes, K., et al., Solar forcing for CMIP6 (v3.2). *Geosci. Model Dev.*, 10, 2247-2302, 2017

・Sakazaki, T., and K. Hamilton, Physical Processes Controlling the Tide in the Tropical Lower Atmosphere Investigated Using a Comprehensive Numerical Model. *J. Atmos. Sci.*, 74(8), 2467 – 2487, 2017.

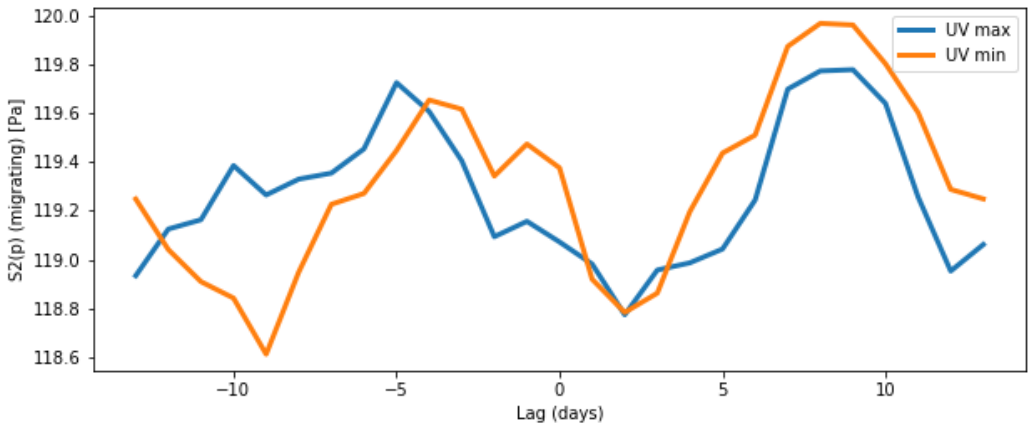


図１：SSI-indexの27日周期成分が（青線）最大、（橙線）最小となる日を基準日としたS2潮汐（地上気圧）の振幅（単位：Pa）のラグコンポジット解析（1979-2016年のERA5大気再解析データを使用。

（別紙様式１－２）

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　酪農学研究科/農食環境学群

１．研究の目的

バイオエアロゾルを観測する試みによる報告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の論文はほとんどない．バイオエアロゾルのメタゲノム解析から，アジアダスト発生地と飛来地において一部同定されたことから，客観性を持たせるためには更なる観測が必要である．また，生物由来物質が集積しやすい場所での飛散過程も調査する必要がある． 本研究では，アジアダスト発生地域のうち，流水により集積したことが考えられるドライレイクやワジにおいて，簡易風洞実験による砂塵飛散実験の比較やその粒子に付着した化学的・生物学的な理解を昨年に引き続き行う．

２．研究方法

過去のリモートセンシングデータ（MODIS）から，滞水が確認され，且つ，アジアダスト発生源であるポイントの位置情報を抽出し，現地において目視でドライレイクやワジの位置を特定した（図1）．この地点において，送風機とチャンバー，およびテントを設置し（写真１），簡易的な風洞実験を行う．送風機の回転数を徐々に段階的に増加させ，風を地表面に当て，巻き上がった特定の大きさの粒子数をテント内で計測する．また，粒径は，0.3，0.5，3，および5μｍを光学式パーティクルカウンター（ＫＡＮＯＭＡＸ社製　Model 3886）を用いて計測する．

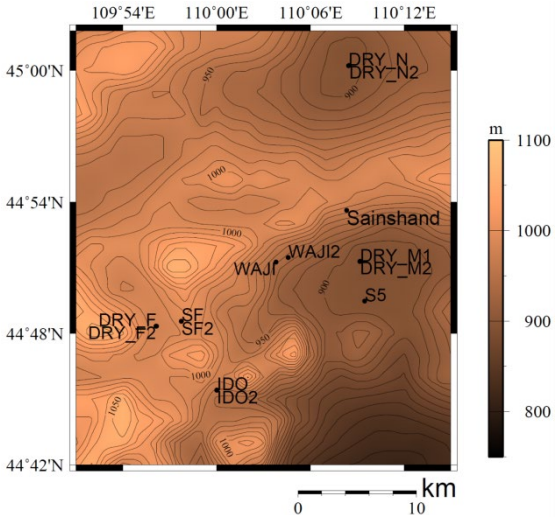


図 1　対象地域

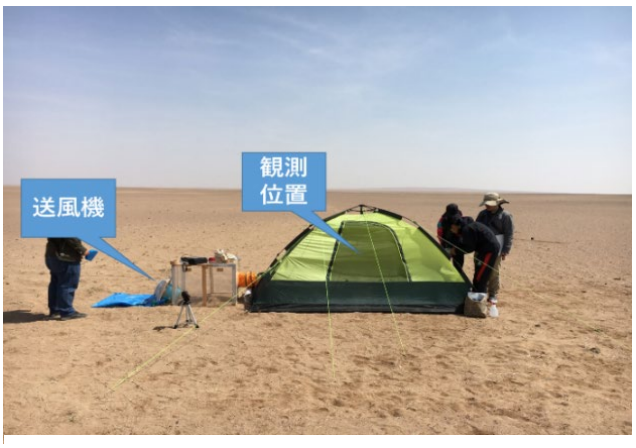


写真 1 飛散実験風景

３．結果と考察

春期の観測は，新型コロナウイルスの影響で残念ながら，行うことは出来なかった．状況が収まり次第，観測を敢行し，経年的な状況の変動やローカルな大気循環場について理解を深めていきたい.

成果発表：

論文）

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

（別紙様式１－２）

機械学習を用いた磁力線共鳴振動周波数の自動同定とプラズマ圏長期モニタリング

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

尾花由紀　大阪電気通信大学・工学部基礎理工学科

本研究は、我々が2011年からニュージーランドに展開している地磁気観測網で得られた約8年分の地磁気データを機械学習によって解析し、磁力線共鳴振動周波数の自動検出手法を確立することを目的としている。またその結果を用いてニュージーランド経度帯の内部磁気圏におけるプラズマ質量密度の高精度な長期モニタリングを行うものである。解析結果は、Ionosphere-Plasmasphere Electrodynamics (IPE) モデルを使った数値計算結果と比較し、日照の偏り、磁気圏電場の変動、電離圏加熱など、プラズマ圏プラズマの供給・損失に寄与する諸過程の効果を評価する計画である。

研究1年目にあたる2019年度は、畳み込みニューラルネットワーク法を使った機械学習で、磁場変動データから磁力線共鳴振動の有無を自動的に判定することを目指した。畳み込みニューラルネットワーク法は、画像中の物体認識においてカテゴリ分類を行うのに有力な手法である。 まず機械学習に必要な教師データを作成するところから着手した。ニュージーランド地磁気観測網のMDM-EYR観測点で2011ー2018年に得られた磁場変動データからパワー比と位相差を算出し、1日分毎に1枚のダイナミックプロットにしたものを用意した。その上で磁力線共鳴振動現象が「昼側の長時間にわたって見受けられる」「短時間だけ見受けられる」「見受けられない」の３つのカテゴリに目視で分類し、モデルを学習させた。次にこれを別途作成したEYR-TEW観測点で得られた地場変動データから算出したパワー比と位相差の画像に適用して判定器の開発と評価を行った。

この作業と並行して、Berube et al. (2003)が提唱する統計解析手法による自動判別の改良にも取り組んだ。これはのちに機械学習による判別が完成した時に求められた密度を比較するためである。Berube手法についていくつかのパラメータを数パターンに変化させ、かつPowerRatioの傾き判定の際に平滑化FFT計算結果を用いるか否かなど、最良の組み合わせを得るための試行実験を行った。その結果を図に示す。上段がEYR-TEWの磁場変動南北成分のパワー比、下段が磁場変動南北成分の位相差である。また左側は時間・周波数方向それぞれに一定の幅をもたせて平滑化する前、右側が平滑化後のそれぞれの値を示したものである。また各図の中にプロットされた黒丸が自動検出された磁力線共鳴振動周波数である。

今後、畳み込みニューラルネットワーク法のほか、テンプレートマッティング法を使った

パターン検出をもちいて、磁場変動データから磁力線共鳴振動周波数を自動的に同定する研究に取りかかる。また自動検出で得られたプラズマ質量密度をIPEモデルの計算結果と比較する研究を進める予定である。

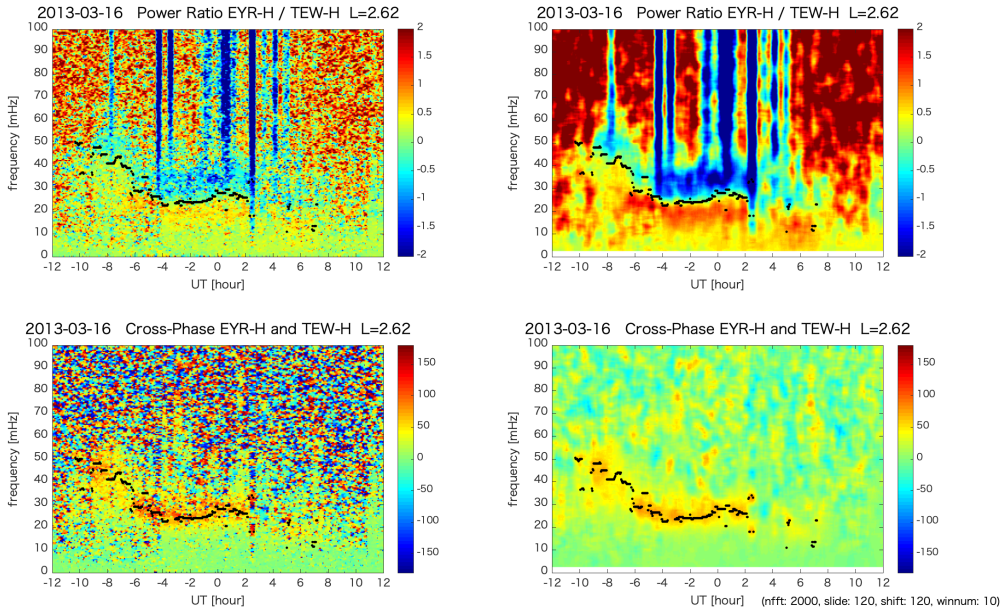


図　Berube et al. (2003)が提唱する統計解析手法の改良版による自動判別の結果。全てEYR-TEWの磁場変動南北成分を用いて計算した値を示している。上段はパワー比、下段は位相差。また左側は平滑化前、右側が平滑化後のそれぞれの値を示す。各図の中にプロットされた黒丸が自動検出された磁力線共鳴振動周波数である。

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20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2019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2019年までの年変動を示している。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。2017年から2019年の3年間のBe-7の平均濃度は、アイスランド、山形、バンコクにおいて各々2.0 mBq/m^3、5.7 mBq/m^3、1.7 mBq/m^3であった。高緯度と低緯度の濃度は中緯度の濃度の約30%～35%であった。また、2019年の太陽黒点数は2018年に比べて約51%減少しており中性子強度は約1.3%の増加であった。これに対してアイスランド、山形、バン

コクの Be-7 濃度は、各々約 25%、5%、44%の増加であった。中性子強度の増加度との比較からもアイスランド、バンコクの増加度は、直接的な宇宙線強度の太陽変調と考えることはできない。地球規模の大気移流の変化等と比較する必要があり、第 25 期を迎える 2020 年の観測データが重要となる。

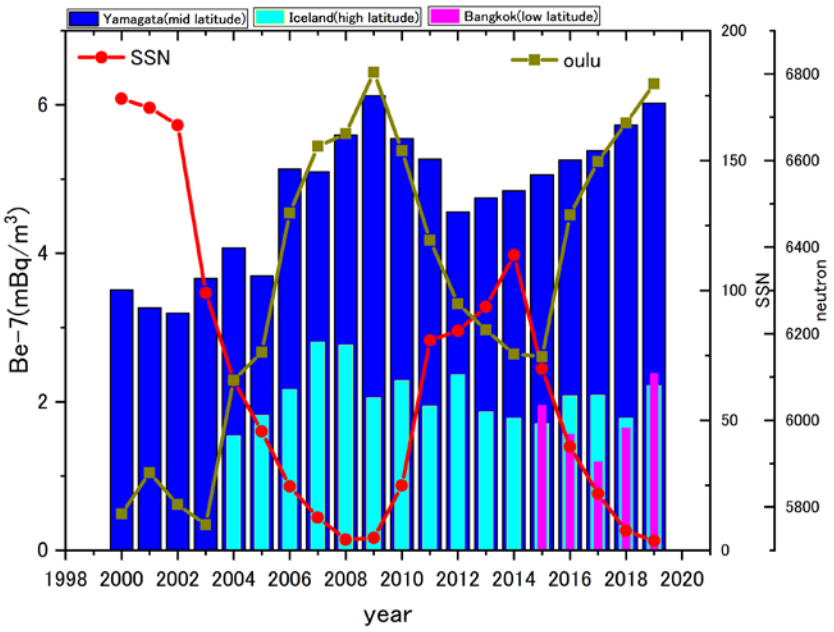


図 1. 2000 年から 2019 年までの高緯度、中緯度および低緯度の大気中 Be-7 濃度、太陽黒点数（SSN)、oulu での地上中性子強度の年変動

[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) “Yearly variations in Be-7 concentrations in surface air at Iceland and Japan for 15 years from 2003: Solar modulation of cosmogenic nuclide”
H. Sakurai, Y. Kawamura, F.Tokanai, et al., 第 10 回極域科学シンポジウム 2019/12/04

2) “Prolonged production of 14C during the ~660 BCE solar proton event from Japanese tree rings”
H. Sakurai, F.Tokanai, et al., Scientific Reports (2020) 10:660

Pc1 地磁気脈動の全球的発生・伝播特性に関する研究

Study on generation and propagation mechanism of global Pc 1 pulsation

吉川顕正、九州大学・理学研究院

ダイナミックに変動する太陽地球環境を反映して、磁気圏・電離圏結合システムでは、様々な周期帯の地磁気脈動現象が観測される。地磁気脈動の内、周期0.1~5秒程度で振動するPc1脈動は、内部磁気圏での高エネルギー粒子生成の担い手であるEMIC(イオンサイクロトロン共鳴電磁波)とともに発生し、磁力線をつうじて電離圏へと伝達することが知られている。本研究の目的は、地上で観測されるPc 1地磁気脈動のグローバルな発生・伝播特性を解明する国際共同研究を推進し、内部磁気圏におけるEMIC発生状況と、高エネルギー粒子生成過程のリアルタイムモニタリングへと繋がる予測研究を発展させる事にある。

従来こうした、Pc 1 地磁気脈動の特性を調べる研究は誘導磁力計による観測データを用いて進められてきた。誘導磁力計では多点で観測される波形の直接比較が難しかったが、本研究では通常よりも高時間分解(10Hz)性能を持つMAGDS9型フラックスゲート磁力計の観測データを解析に用いることによって、波形・振幅の直接比較、位相差、伝播特性、より正確な偏波特性など、これまでとは異なる観測量で全球領域の Pc 1 の発生・伝播特性を調査することができることが期待される。

解析の結果、高緯度Pc1は主に朝側から夕方側に多く観測され、中低緯度Pc1は主に真夜中側をピークに観測されることが確認された。一方、高緯度Pc1は顕著な季節変化は見られず、中低緯度Pc1は10-3月に多く見られることが確認された。これは従来誘導磁力計での観測データから得られた特性とほぼ一致している。更に我々は変動周期が5−10秒であるPc2脈動が、強い磁気嵐中に全球的に励起されていることを確認した。このPc2脈動ダブルバンド構造を持つなどの特徴を持ち、衛星との同時観測により、O+の高エネルギー化に伴うEMIC波動として内部磁気圏で励起されていることが示唆された。また、グローバルに観測されるPc2帯脈動は6LTと11-15LTの主に昼間側に多く見られ、3-7月に多く分布するといった地方時分布と季節依存性を確認した。この結果は、Pc1-2脈動では同じ発生・伝播メカニズムをもつという従来的な考えを大きく修正するものであった。

今後の課題として、このような Pc1-Pc2 脈動に関する偏波特性解析を進め、グローバルな発生特性の精密な様相を明らかにするとともに、FM-CW データやイオノゾンデのデータとの比較による電離層構造変化との関連性、PWING による高緯度地域での Pc1 発生特性、ERG 衛星による宙空環境での EMIC 発生特性の同時解析等、包括的なアプローチによる内部磁気圏―高緯度―中低緯度―磁気赤道領域結合過程解明の研究アプローチについても議論する予定である。

ALMAアーカイブデータのリトリーバル解析によるタイタン気象学の創成
A frontier study for Titan meteorology by retrieval analysis of ALMA archive data

平原　靖大　名古屋大学・環境学研究科

In this study, we found the effects of volcanism to generate the Io's atmosphere. Io's atmosphere is thin (several nbar) and is dominated by SO_2 (~90%)[1]. Oxygen and sulfur atoms in the upper atmosphere are escaped and ionized, and then generate Io plasma torus around Io's orbit[2]. Io's volcanism can be classified in two types. One is effusive eruption. Lava directly flows out of a volcano and onto the ground. The other is explosive eruption. Gases in the magma under volcanoes suddenly froth, and are ejected SO_2-rich gas through the volcanic vent (called plume)[3]. In powerful volcanoes such as Loki and Pele, lava eruptions sometimes accompany with plume. Which type of eruptions emit gasses enough to change the profile of Io's atmosphere and Io plasma torus is still unknown.

We demonstrated the spatial and velocity distribution of SO_2 emissions by analyzing ALMA archive data on 20 March 2018. As shown in Figure 1, we found presumed volcanically active areas in the east side and northern high latitude region (Volcano 1) and in the west side near the equator (Volcano 2). In Region 1, high and low velocity components are clearly identified in the velocity distribution before ingress (Figure 2). The Doppler shift of the high velocity component relative to the low velocity is ~0.6 km/s. The result suggests the significant volcanic plume generated atmospheric dynamics and supply SO_2 gases to the upper atmosphere. In Volcano 2, we cloud not detect the high velocity

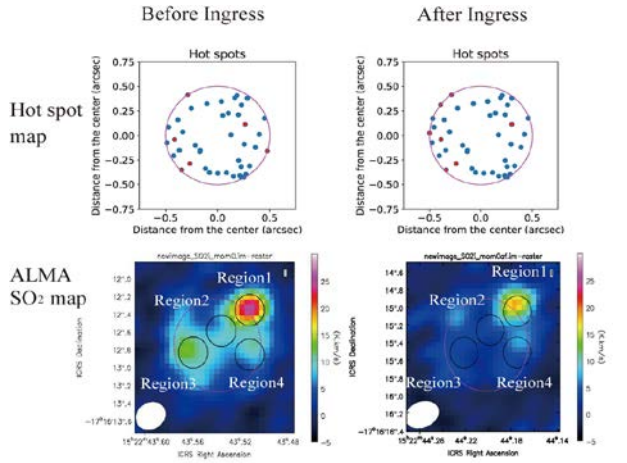


Figure 1: *upper*： Distribution of hot spots on Io's disk in the same periods. Longitude and latitude of hot spots are referred from Cantrall et al. (2018).
lower： Integrated intensity maps of SO_2 346.652 GHz (19(1,19)-18(0,18)) and SO 346.528 GHz (9(8)-8(7)) emissions before and after Ingress. Unit is K·km/s. Red circles show Io's disk and white ovals show the beam size.

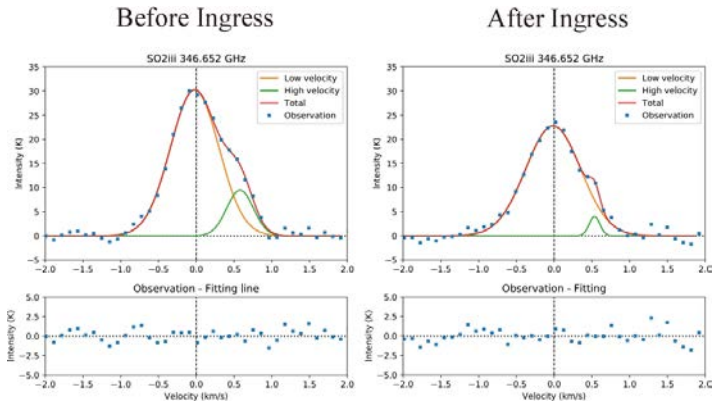
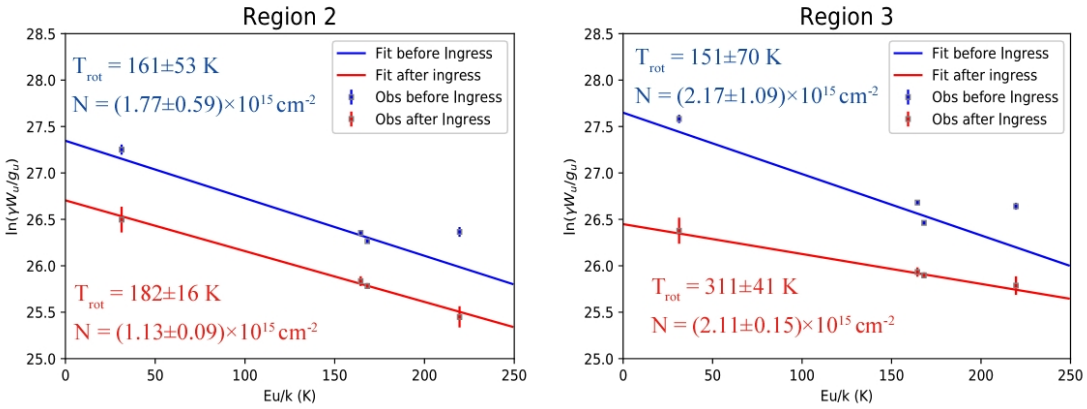


Figure 2. Spectra of SO2 346.652 GHz for Region 1 shown in the Figure 1, before and after ingress. Solid lines show composite fitting line of Gaussian function (red line), low (orange) and high velocity components (green). The lower plots show residuals for the fit.

component of SO_2 gas. However, the rotational temperature of SO_2 is 311±41 K after the ingress, much higher than temperature of sublimation atmosphere (~100-200 K). It might reflect the temperature of low velocity gases which are emitted from volcanoes or/and heated by a hot lava lake in Volcano 2 (Figure 3).

We also observed the enhancement of Io plasma torus on the dusk side by Hisaki ultraviolet satellite with EXCEED[4] in the same period of the ALMA observation. This result suggests the direct volcanic input of SO_2 gases may trigger the enhancement of Io plasma torus. We detected gases that may be emitted by effusive and explosive eruptions from ALMA archive data simultaneously.



Population diagrams of Io's SO_2 atmosphere in four regions before (blue) after ingress (red). The values in the top or bottom are estimated rotational temperature and column density. Definitions of x and y axis are shown in the text. Square marks with error bars show the observation results and solid lines show linear fitting of the observation.

References: [1] Moullet et al. A&A 482(1) 279-292 (2008), [2] Schneider and Bagenal, "Io's neutral clouds, plasma torus, and magnetospheric interaction", In R. M. C. Lopes, & J. R. Spencer (Eds.), Io after Galileo, A new view of Jupiter's volcanic moon (pp. 265–286). Springer, [3] Jessup et al. Icarus 169(1) 197-215 (2004), [4] Koga et al. Icarus 299 300-307(2018)

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．図1に，脈動オーロラの ON と OFF の発光スペクトルを示す．両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が確認できる．図2に，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) を示す. 630.0 nm 付近に OI630.0 nm による輝線状の発光は確認できない. 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が確認できる. 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. 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, in prep.) の執筆に着手している.

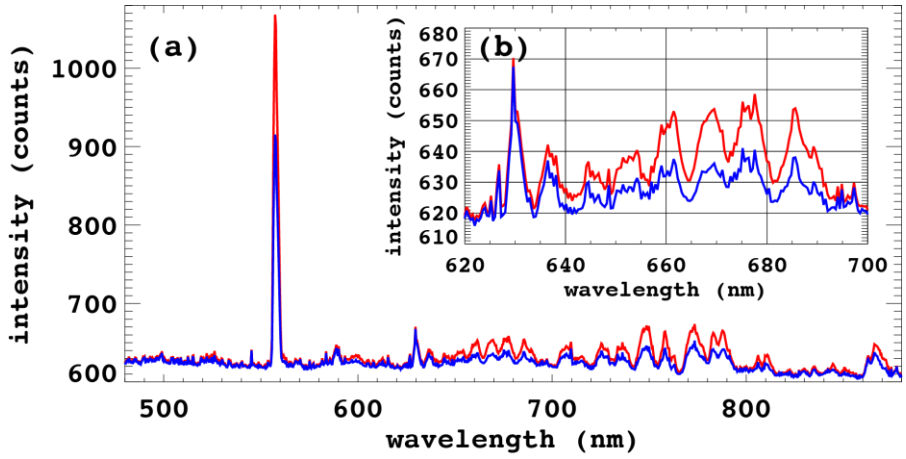


図1. 脈動オーロラの ON (赤) と OFF (青) の発光スペクトル (Tsuda et al., JGR, in prep.).

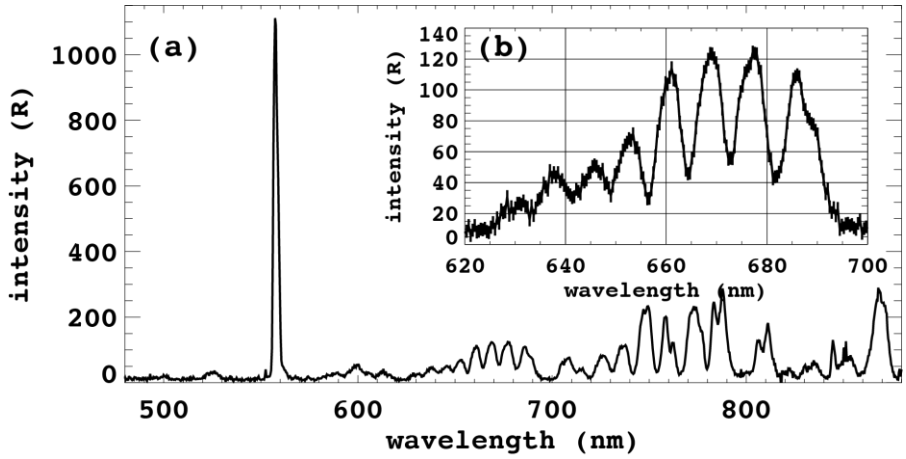


図2. 脈動オーロラの明滅スペクトル (ON と OFF の差分スペクトル) (Tsuda et al., JGR, in prep.).

研究発表

(1) C. Li, T. T. Tsuda, K. Hosokawa, S. Nozawa, T. Kawabata, A. Mizuno, S. Oyama, and J. Kurihara, An event analysis on pulsating aurora observed by an optical spectrograph at Tromsø, Norway,

ISAR-6, Tokyo, March 2020. (oral)
(2) T. T. Tsuda, C. Li, K. Hosokawa, S. Nozawa, T. Kawabata, A. Mizuno, S. Oyama, and J. Kurihara, A pulsating aurora event observed by an optical spectrograph at Tromsø, Norway, AGU Fall Meeting 2019, San Francisco, USA, December 2019. (poster)
(3) C. Li, T. T. Tsuda, K. Hosokawa, S. Nozawa, T. Kawabata, A. Mizuno, S. Oyama, and J. Kurihara, Spectra of pulsating aurora emissions observed by an optical spectrograph at Tromsø, Norway, The Tenth Symposium on Polar Science, Tokyo, December 2019. (poster)
(4) 李成宇, 津田卓雄, 細川敬祐, 野澤悟徳, 川端哲也, 水野亮, 大山伸一郎, 栗原純一, ノルウェーのトロムソで観測された脈動オーロラ発光の波長特性, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 146 回講演会, 熊本, 2019 年 10 月. (ポスター)

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・SOLAR-Cプロジェクト

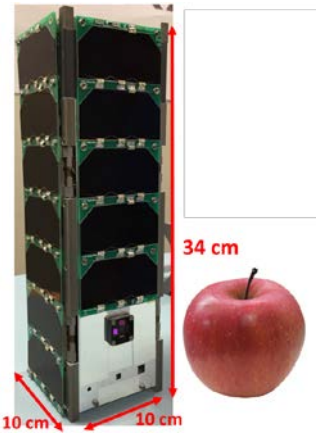
太陽は高エネルギープラズマで満たされており、「プラズマの加熱」、「磁気リコネクションによるエネルギー解放」、「粒子の加速」など、プラズマ現象の宝庫である。これらのプラズマ素過程は、宇宙空間の至る場所で起きており、それぞれの環境（太陽、地球磁気圏、マグネターなど）でプラズマの状態に差異はあるが、物理過程には共通点が多数あり、宇宙プラズマ物理における重要研究課題である。

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、今回の申請はその1年目である。

2019年度（計画1年目）は、米国のキューブサット計画 MinXSS （ http://lasp.colorado.edu/home/minxss/ ；図１）で取得した太陽・軟X線スペクトルデータの解析手法の習得を目的とし研究を行った。我々は、FOXSI で取得したX線集光撮像分光観測データを持っているが、観測時間が約5分に限られる観測ロケット実験では太陽フレアを観測することは困難である。実際、FOXSIではフレアの観測は行えていない。一方で、MinXSS-1 は、2016年5月～2017年5月の約1年間にわたって観測を行なっており、太陽フレアも数多く観測している。ただし、MinXSS は空間分解能を持っておらず、太陽全面からの軟X線を時間・エネルギー分解して観測している。この様に、「空間分解能は持っていないが、長時間の観測が行える MinXSS」 と 「空間・時間・エネルギーの3つの分解能を同時に実現しているが、観測時間が約5分間に限られた FOXSI」 は相補的な関係にある。

□ 1 ．MinXSS の□ □
（3U のキュ□ブサット）



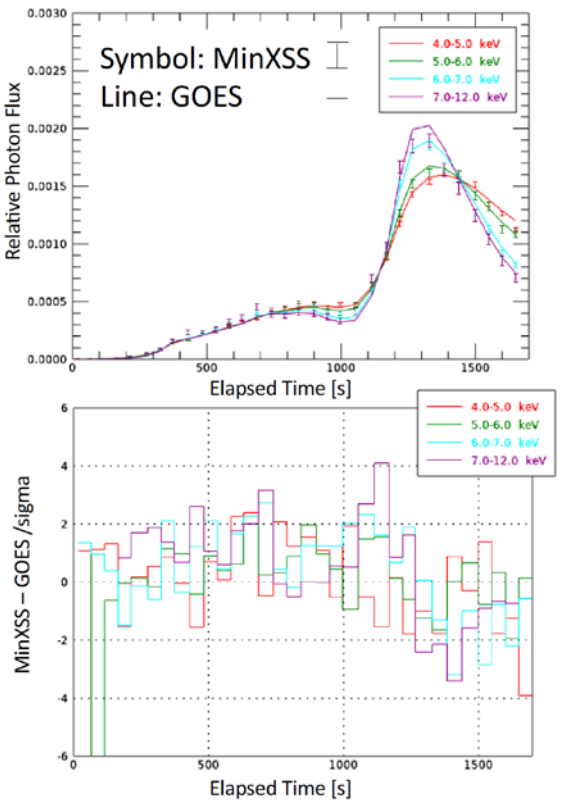
本研究（1年目）では、MinXSS 計画を実施している米国コロラド大学ボルダー校・LASP（http://lasp.colorado.edu/home/）と Southwest Research Institute（https://www.boulder.swri.edu/）を訪問し、MinXSSのコアメンバーである Dr. Amir Caspi の指導のもと、MinXSS データの解析手法を取得した。この訪問には成影、川手（研究員）、長澤（大学院生・修士1年）の3名が参加した。帰国後は定例の解析検討会を開催し（2019年度中に合計8回開催）、長澤が中心となってMinXSSのデータ解析を進めてきた。本研究は長澤の修士論文のテーマの一つにもなり、日本天文学会2020年春季年会で発表を行った（長澤ら；http://www.asj.or.jp/nenkai/archive/2020a/pdf/M39a.pdf）。以下に、本研究の成果の一部を示す。

MinXSSのデータには、生データ(Level 0 data)と較正済データ(Level 1 data)が存在するが、MinXSSのデータを深く理解するために、Dr. Caspiの指導の元、Level 0 data から Level 1 data を作るという基礎中の基礎から解析手法をマスターした。これらのノウハウはMinXSSのデータ解析マニュアルとしてまとめた（現在も、更新中）。また、MinXSSが観測したフレアのデータベースも作成した。

その後、1つのMクラスフレア（中規模のフレア）に注目し、GOES衛星のデータも用いた解析を開始した。図２は、「MinXSSが観測したX線スペクトル」と「GOESから求めた単温度を仮定した場合の熱放射スペクトル」のエネルギー帯域毎のライトカーブの比較である。MinXSS（X線スペクトル）の時間変化は、低エネルギー側（≲ 7 keV）ではGOESから求めた単温度熱放射とほぼ一致したが、高エネルギー側（≳ 7 keV）ではフレアのピーク付近でGOESとのズレが大きく（MinXSSの方が早くフラックスが上昇）、単温度熱放射では説明できないことが分かった。このことは、7 ~ 12 keVに非熱的な成分が存在する可能性を示唆している。今後、RHESSI衛星（硬X線観測衛星）のデータも用い、非熱的成分の存在を詳しく調査する予定である。

今回の結果は、軟X線帯域のスペクトルが持つ情報の重要性を示すものであり、FOXSI や MinXSS によって太陽X線観測が新しいステージに入ったことを意味する。 そして、PhoENiX 衛星計画で実現を目指す「太陽フレアに対するX線帯域の集光撮像分光観測」の科学的価値の一端を証明した。

□ ２．□□ フレアの□ X □ エネルギ□□□□ のライトカ□ブ
□□ ：MinXSS と GOES から□ たライトカ□ブ
□□ ：MinXSS と GOES の□ □



なお、MinXSSのデータは、高エネルギーX線天文学の研究者らからも注目されており（長澤も高エネルギーX線天文学の研究室に所属）、本研究は、学際的研究として発展し始めている。

以上

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

高橋　透
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

■研究目的・研究方法

東西に伸びたアーク状の領域が電離され発光するアーク状オーロラとは異なり、パッチ状オーロラ、またはオーロラパッチは、数100 km程度の局所的な領域が電離され発光している。オーロラパッチ内部は、オーロラ降下粒子によって中性大気が電離されることで、外部より電気伝導度が高い。オーロラパッチ内部では強い電流と、外部の弱い電流との一様性を保つために、分極電場が生成されていると考えられている。Hosokawa et al. (2010)では、このメカニズムを検証したが、生成されると見積もられた分極電場と、観測される分極電場の強度が一致しないことを報告している。申請者が新たに欧州非干渉散乱（EISCAT）レーダーとKilpisjärvi Atmospheric Imaging Receiver Array(KAIRA)レーダーの同時観測データを用いた研究を行ったところ、元来の水平方向のみの2次元的な電流系ではなく、沿磁力線電流も含めた3次元的に発達する電離圏の電流系を考慮しなければならないことを示した。よって、本研究では、EISCATレーダーとKAIRAレーダーを用いて観測された電場とオーロラパッチ内部の電子密度勾配から見積もられた沿磁力線電流の強度を比較することで、オーロラによる分極電場の生成メカニズムを理解することを目的とする。さらに、ロングイヤビンで行われるロケット実験と全天カメラのデータを用いた観測によって、分極電場が電離圏擾乱の成長に与える影響を明らかにする。また、同時にナトリウムライダーを用いた中性大気の温度観測によって、分極電場が引き起こす大気加熱量についても検証を行うことで、プラズマ大気と中性大気のエネルギー的結合過程の調査も行う。

■研究結果・考察・まとめ

分極電場の生成メカニズムに関する研究は3カ年の研究機関の内、1年目に遂行しており、既にその結果を論文としてまとめ、2019年4月に受理・出版された。2020年度は分極電場の生成メカニズムを明らかにした上で、ロケット観測によって得られたデータに基づいて分極電場が電離圏擾乱の生成に及ぼす影響について集中して調査した。

2019年4月から過去に打ち上げられたVISION-2, TRICE-2, CAPER-2ロケットのデータの解析から着手した。これらのロケットの内、VISION-2ロケット（2018年12月に打ち上げ）は打ち上げ後、ロケットはカスプオーロラの上空を飛翔し、そのフットプリントで630.0 nmと557.7 nmの発光が激しく変動した。ロケットに搭載された電子密度、電場の観測装置でも、オーロラの発光変動とほぼ同時に大きな変動が観測された。VISION-2で観測された電子密度と電場成分から電離圏擾乱の成分を抽出し、オーロラの発光強度の時間変化とを比較した。その結果、630.0 nmの発光強度の増加と10 mスケールの電離圏擾乱の強度の増加に比例関係が見られることが分かった。これは、630.0 nmの発光層が位置するF領域を電離するオーロラ降下粒子が10 mスケールの電離圏擾乱の生成に重要な役割を果たしていたことを示唆する。これまでオーロラ降下粒子による電離は主に1 kmスケール以上の大きいスケールの電離圏擾乱を生成することが示されてきたが(Kelley et al., 1982)、この観測で、より小スケールの電離圏擾乱も生成される可能性が示された。

また、557.7 nmの発光強度が4.5 kRを越えると電離圏擾乱は減衰することが分かった。これは557.7 nmの発光高度領域である約150 km付近の電気伝導度が、強いオーロラ発光と同時に高められ、E領域とF領域間で沿磁力線方向に荷電粒子が動きやすくなり、F領域の分極電場を弱めたためと考えられる。電離圏擾乱が減衰するメカニズムを観測した例は少なく、現在、この結果を論文としてまとめ、投稿する予定である。

上記の解析研究に加えて、ロケット観測キャンペーンに参加するために2019年11月24日から12月9日の日程でノルウェー領スピッツベルゲン島ロングイヤビンに渡航した。この期間中、研究代表者はEISCATスバールバルレーダーを合計約40時間運用し、ロケット打ち上げの判断基準となる電離圏パラメータのリアルタイムの提供を行った。期間中、ICI-5, CHI, C-REX-2ロケットが打ち上げられる予定で、研究代表者の滞在中にはICI-5ロケットが11月25日にニーオールスンから打ち上げられた。このデータに関しては現在解析中である。

さらに、オーロラパッチ内部に生成された分極電場が一因と考えられる流星レーダーで観測された拡散係数の異常増大に関して、トロムソ大学のJuha Vierinen氏とLeibniz Institute of Atmospheric Physics (IAP)のJorge Chau氏と議論を行った。この議論から地磁気擾乱時と地磁気静穏時における拡散係数の異常増大の発生確率を導き出し、地磁気地方時の夕方と朝方にオーロラオーバルのエッジ付近でその発生確率が高いことが分かった。特に朝方にはオーロラパッチが出現することが多く、オーロラパッチ内部の分極電場が拡散係数の異常増大の生成原因であることを強く示唆する結果を得た。この研究に関しては現在論文を執筆中である。

東南アジアにおけるELF帯電磁波観測を用いた、大規模雷の電気的、時空間特性に関する研究

Spatio-temporal characteristics and electrical properties of intensive lightning over Southeast Asia using ELF observations

芳原容英, 電気通信大学・Ⅱ類（融合系）電子情報学プログラム

【研究目的】

落雷からの電磁放射のうちELF帯放射は、その波長の巨大さゆえ、大地と電離層の間の3次元的な球殻状コンデンサー中の電磁波動の伝搬となる。また、VLF/LF帯観測から導出される落雷ピーク電流とは独立した、落雷電荷モーメントの遠隔導出が可能である。本研究では、マレーシア国内の共同研究者とともに、マレー半島に新規ELF観測点を構築することにより、既存の国内に設置したISEE観測所敷地内の観測点と合わせて、東南アジア域におけるELF帯観測ネットワークを構築する。この新規ELF観測ネットワークと申請者グループの展開する既存の落雷標定ネットワーク観測から落雷電荷モーメントやピーク電流等の詳細な時空間分布を導出し、その季節変化や背後にある気象特性を調査することで、大きな電荷モーメントを有する落雷発生機構の解明や、中間圏発光現象発生領域の調査を行う。特に、マレーシア国内での詳細な落雷電荷量の空間分布を導出し、雷災害ハザードマップを作成することで、同国において近年大きな問題となっている、大電荷量を伴う落雷の電力設備等への雷災害の軽減に貢献する。さらに低緯度域での、雷嵐に伴う大気波動や、電磁界による大気と上層プラズマとの結合過程について、上記落雷電荷モーメント、VLFエネルギー時空間分布とVLF帯送信電波受信による電離層擾乱観測や、レーダー、光学観測との併用により調査する。

【研究方法】

本研究代表者が日本国内に展開中のELF帯電磁場観測（周波数帯 1 Hz ~ 1 kHz）からの知見を最大限利用のうえ、マレー半島において設置候補地を複数選定し、４観測候補地にて電磁環境調査を実施した結果、最も電磁環境の良好な地点に観測設備の本設置を実施した。具体的には、2018年3月1日～3月7日にかけて、UMP(マレーシア大学パハン校)キャンパス内の再生エネルギー関連施設敷地内に磁界センサーを埋設し、ELF帯水平磁場2成分の連続波形観測を無事開始した。

【研究結果と考察】

以下に、マレー半島でのELF帯磁場観測による初期データ解析結果を紹介する。本報告書では2019年3月31日におけるELF帯電磁場観測事例を紹介する。図１は、3月31日11時43分22秒(UT)に、クアラルンプール上空で発生した落雷から生じたELF帯磁場パルスを示している。

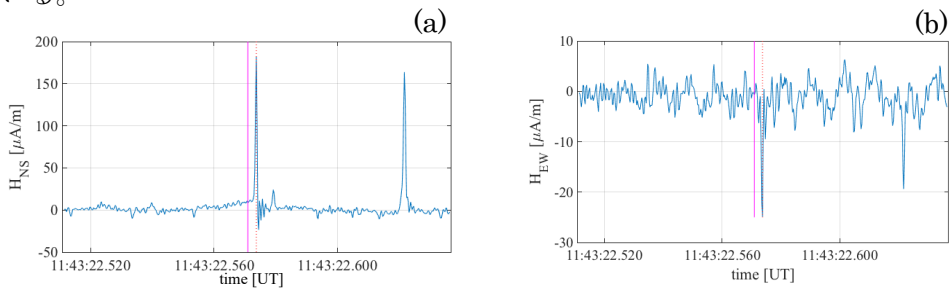


図１： UMPにて観測された、ELF帯水平磁場の時間波形。それぞれ、(a)南北成分、(b)東西成分を示す。縦線（赤）は落雷発生時刻を示す。

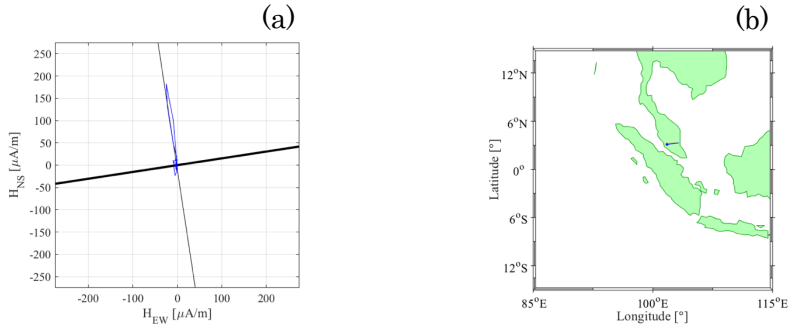


図２：図１のイベントのホドグラム(a)および、(a)を用いた方向探査結果

図１の時間波形のうち時間軸中心付近にある雷放電を源とするパルス対して、ホドグラムを作成し、方向探査を行った結果を、雷標定データと比較したところ、到来方位及び発生時間との対応からクアラルンプール上空で発生した落雷によるものと同定された。この落雷は負極性で、ピーク電流値は19 kA程度と小さいが、ELF帯パルス振幅と落雷地点までの距離から計算された落雷電荷モーメントQdsは560 Ckmにも及ぶ大電荷量雷であることが判明した。中和された電荷の高さを10 kmとすると、50 Cの電荷量に対応する。

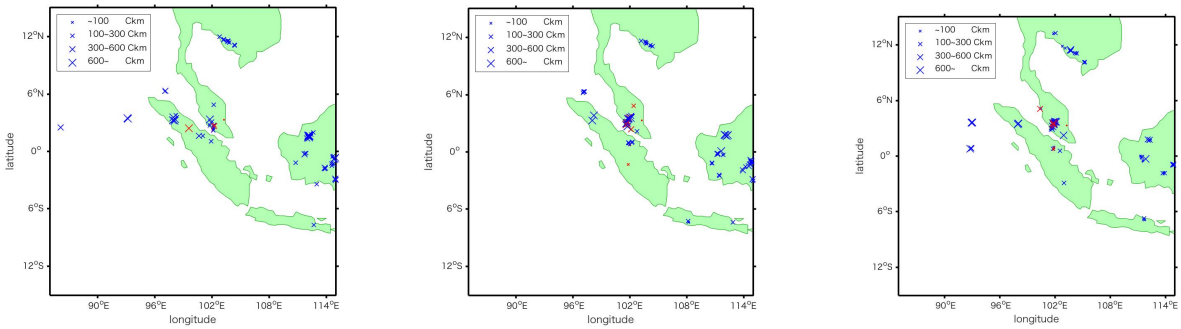


図３：11:30, 11:40,11:50分から10分間落雷地点の空間分布例。Xの大きさと色はそれぞれQdsの大きさと落雷極性（赤：生極性、青：負極性）を示す。

図３より、活発な雷活動がクアラルンプール、スマトラ等北部、カンボジア南部、及びカリマンタン島に確認できる。多くの落雷は負極性であり、一般的な夏季雷の様相を示している。特に、クアラルプールとスマトラ島付近においてQdsが600 Ckmを超える大規模落雷が多数確認でき、クアラルンプールでは正極性雷の発生数も他領域と比較してより多いことが分かる。

【まとめと今後の展開】

今回の研究成果から、雷加活動が常時極めて活発な東南アジアにおいて、高感度のELF帯磁場観測により、広いダイナミックレンジを有するQdsの導出に初めて成功した。今後、解析期間を全ての観測期間に延長することで統計解析を実施し、Qds, Ip等に注目した落雷空間分布の季節、年変化を導出する。また、得られた空間分布から雷災害ハザードマップを作成することで、東南アジア域において近年大きな問題となっている、大電荷量を伴う落雷の電力設備等への雷災害の軽減に貢献する。さらに、今回の報告までに成果が報告できなかった、雷嵐に伴う大気波動や、電磁界による大気と上層プラズマとの結合過程についての調査を引き続き鋭意進めていく予定である。

【研究成果発表】

1. Y. Hobara, R. Kitamura, T. Narita, D. Ohta and T. Tsuya, Lightning Charge Estimation over Eastern Part of Japan by ELF and LLS Observations, 2019 URSI AP-Rasc, New Delhi, India, 10th March 2019

2. R. Kitamura, Y. Hobara, M. Sato, Y. Takahashi, T. Adachi, T. Ushio and M. Suzuki, Global distributions of Lightning Electrical Energy Estimated by Optical Observations from International Space Station, 2019 URSI AP-Rasc, New Delhi, India,10th March 2019

3. Y. Hobara, Lightning applications to severe weather and power grid systems, National Conference on Severe Weather (NCSW-2019), Kolkata University, Kolkata, India, 19th March 2019

4. Y. Hobara, Lightning Charge Moment Changes Deduced from Highly Sensitive ELF Magnetic Field Observations in Southeast Asia, EMC Sapporo &APEMC2019, Sapporo, Japan, 5th June 2019

5. Y. Hobara, ELF transient observations to mitigate damage to power grid systems, 4th International Symposium on Lightning Research (ISLR2019), Selangor, Malaysia, 28th August 2019

6. Y. Hobara, Lightning Applications to Natural Hazard Mitigation, 2019 URSI-Japan Radio Science Meeting, Tokyo, Japan, 5th September 2019

【謝辞】
今度の国際共同研究プロジェクトのおかげで、期間中には国内観測点の整備、マレーシアをベースとする高感度ELF観測を開始することができた。塩川教授をはじめとするISEEメンバー、マレーシアの共同研究者の方々、およびISEE陸別観測点の関係者の皆さまにこの場を借りて厚くお礼申し上げるとともに、今後も引き続き、当該研究を鋭意進め、成果を発表していく予定である。

2. ISEE International Joint Research Program 目次詳細

（所属・職名は2020年3月現在）
(Affiliation and Department displayed are current as of March 2020.)

（注1）：新型コロナウイルスの影響で中止
（注2）：新型コロナウイルスの影響で2020年度に延期し実施
（注3）：新型コロナウイルスの影響で2020年度に延期し中止

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
David Tsiklauri	Queen Mary University of London	School of Physics and Astronomy	Senior Lecturer (tenured associate professor)	Investigation of the role of kink MHD waves in flare trigger model	58	
Stepan Poluianov	University of Oulu, Fiinland	Space Climate Research Unit and Sodankylä Geophysical Observatory	Postdoctoral researcher	Model of production-transport-deposition of cosmogenic isotopes over Antarctica with verification with experimental data		(注3)
Rangaiah Kariyappa	Indian Institute of Astrophysics, Koramangala, Bangalore 560034, INDIA	Solar & Space Physics Division	Former Professor & Chairman	UV & EUV Solar Irradiance Variability and their impacts on Earth's Climate & Space Weather	60	
Tulasiram Sudarsanam	Indian Institute of Geomagnetism	Space Weather and Upper Atmospheric Science	Associate Professor	Prompt penetration of convection/overshielding electric fields during the onset of substorms	66	
Baolin Tan	National Astronomical observatories of Chinese Academy of Sciences (NAOC)	solar physics	Professor	Testing diagnosing of the coronal magnetic field from solar radio observations	68	
Matthias Förster	GFZ German Research Centre for Geosciences	Section 1.1 (Space Geodesy)	senior scientist (retired)	Relation of Swarm satellite and SuperDARN ground-based ion drift measurements	70	
Iskhaq Iskandar	University of Sriwijaya	Physics	Professor	Variability in satellite-derived surface chlorophyll-a, Ekman transport and sea surface temperature in the Banda Sea	72	
Anukul Buranaprathe prat	Burapha University	Department of Aquatic Science	Assistant Professor, Faculty of Science	Detection and modeling of green Noctiluca bloom in the Gulf of Thailand using satellite ocean color	74	
Mykola Gordovskyy	University of Manchester	School of Physics and Astronomy	Research Associate	Fluid-kinetic modelling of magnetic reconnection in solar flares and their impact on the heliosphere	76	(注2)
Viswanathan Lakshmi Narayanan	National Atmospheric Research Laboratory	Not Applicable	INSPIRE Faculty	Investigation of the relationship between nighttime electrified medium scale traveling ionospheric disturbances and middle latitude spread F	78	
Seth Claudepierre	The Aerospace Corporation	Space Sciences Department	Member of the Technical Staff	Collaborative radiation belt science: Using multi-spacecraft observations to further our understanding of wave-particle interactions in the Earth' s magnetosphere		(注3)
Samuel Krucker	Univeristy of Applied Sciences Northwestern Switzerland	Institute for Data Science	Professor	The NoRH/RHESSI flare catalogue: statistical paper and planning for the future	80	
Kim Nielsen	Utah Valley University	Physics	Associate Professor	Energetics of Arctic Stratospheric and Mesospheric Coupling Due to small-scale gravity waves	82	
Pravata K. Mohanty	Tata Institute of Fundamental Research (TIFR)	Department of High Energy Physics	Fellow	Tomographic study of galactic cosmic anisotropy in near-Earth space by Multi-directional cosmic ray observations	84	
Ondrej Santolik	Institute of Atmospheric Physics	Department of Space Physics	Senior research scientist / Professor	Investigation of electromagnetic wave phenomena using multipoint measurements		(注3)

Hiroatsu Sato	German Aerospace Center (DLR)	Institute of Communications and Navigation	Research scientist	Imaging meter-scale density irregularities associated with midlatitude TIDs	86	

Investigation of the role of kink MHD waves in flare trigger model

PI David Tsiklauri (Queen Mary University of London)

ABSTRACT. The ability to predict the occurrence of solar flares in advance is important to humankind due to the potential damage they can cause to Earth's environment and infrastructure. It has been shown in Kusano et al. (2012) that a small-scale active region (AR) with its flux reversed relative to the potential component of the overlying field appearing near the polarity inversion line (PIL) is sufficient to effectively trigger a solar flare. In this study we perform further 3D magnetohydrodynamic simulations to study the effect that the motion of these small-scale AR on the effectiveness of flare triggering. The effect of two small-scale ARs colliding is also simulated. The results indicate that the strength of the triggered flare is dependent on how much of the overlying field is disrupted by the AR. Motion along the PIL can dramatically increase the strength of the flare increasing the peak Kinetic Energy (KE) more than threefold in the most extreme case simulated. Motion across the PIL or rotation of the AR however are seen to detract from the strength from the strength of the flare. Colliding AR also produce a much stronger flare as the flares triggered by each individual AR coalesce. These results show that significantly stronger flares can result from having multiple such AR or simply from the motion of such an AR along the PIL of a sheared overlying field.

The main findings of pioneering work by Kusano et al. (2012) were systematically surveying the nonlinear dynamics caused by a wide variety of magnetic structures in terms of three-dimensional magnetohydrodynamic simulations. As a result, they determined that two different types of small magnetic structures favor the onset of solar eruptions. These structures, which should appear near the magnetic PIL, include magnetic fluxes reversed to the potential component or the non-potential component of major field on the PIL. The central finding of Kusano et al. (2012) was their Fig. 2, where they considered maximum kinetic energy achieved during a solar eruption as a function of shear angle $\theta 0$ and the injected small-scale field azimuthal orientation φe . It was found that large values of $\theta 0$ close to 90° and $\varphi e = 180^\circ$ produces the most favorable conditions for the solar flares. In this work we consider the most favorable condition for the solar flares as in Kusano et al. (2012), but now in addition we impose linearly polarized oscillation on the emerging small-scale AR. We study the effect of amplitude and frequency variation of linearly polarized oscillations of single, emerging ARs and collision of two emerging ARs on solar flare efficiency. Our motivation is two-fold:

(i) We would like to investigate how oscillations in the AR, both linear and torsional, might affect the previous results of Kusano et al. (2012). Such oscillations can come from a Alfv/'en waves travelling along the emerging magnetic flux tube that extends from solar corona down to below photosphere.

(ii) Sunspots are known to collide/coalesce. Hence we would like to study how this affects the amount of energy released during the flare modelled by emerging and at the same time colliding, small-scale fields interacting with an overlaying, pre-existing field with $\theta 0 = 80^\circ$ and $\varphi e = 180^\circ$ configuration.

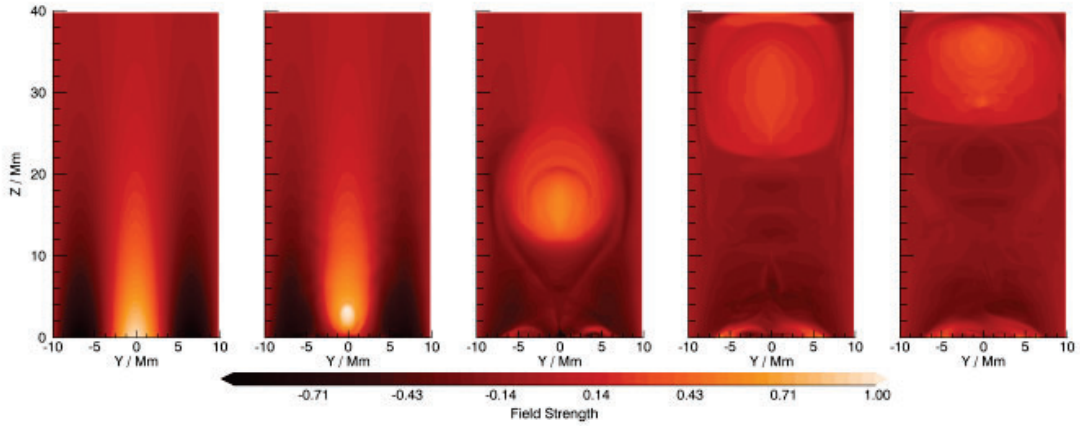


Figure 1. Contour plots of B_x through the plane $x = 0$ at times 0, 5, 10, 15 and 20 τ_A for the simulation in which $A_x = 4$ Mm, $f = 1.0\ \tau_A^{-1}$ showing clearly the magnetic reconnection and subsequent CME formation.

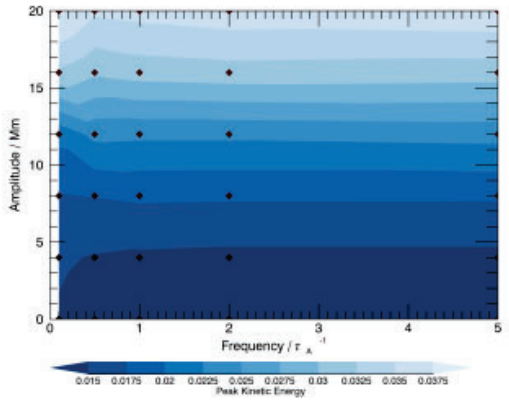


Figure 2. A contour plot of the peak kinetic energy for different values of amplitude A_x and frequency f with amplitude A_y fixed at 4 Mm.

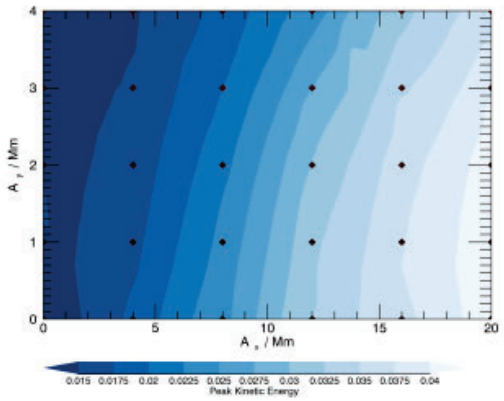


Figure 3. A contour plot of the peak kinetic energy for different values of amplitudes A_x and A_y with frequency fixed at $f = 1\tau_A^{-1}$.

We find that movement of the small-scale AR along the PIL increases the strength of the flare triggered whilst movement of the AR away from the PIL decreases the flare strength, as illustrated in above figures. Torsional motion seems to have little effect on the flares although sustained rotation that moves the AR too far from its most favourable orientation (180◦ relative to the PIL) does reduce the strength of the flare. Finally collisions lead to more energetic flares due to both the movement of the individual AR and the coalescence of the flares triggered by each emerging AR.

periods of stay in ISEE

C. Boocock, 6-24 May, 2019; D. Tsiklauri, 17-24 August, 2019

list of publications

C. Boocock, K. Kusano, and D. Tsiklauri, "The Effects of Oscillations and Collisions of Emerging Active Regions on the Triggering of Solar Flares" Submitted to ApJ

Conferences: results will be presented at the next UK Roy. Astron Soc. National Astronomy meeting 2020

Project Title: *EUV, UV & X-ray Solar Irradiance Variability and their Impacts on Earth's Climate & Space Weather*

Principal Investigator Name (Affiliation)
Dr. R. Kariyappa
Former Professor, Indian Institute of Astrophysics
Bangalore 560034, India

This research work was carried out in collaboration with Shinsuke Imada (ISEE/Nagoya University), Kanya Kusano (ISEE/ Nagoya University), H.N. Adithya (PhD student, YIESPL/IIA), Joe Zender (ESA/ESTEC), L. Dame (CNRS/LATMOS), G. Giono (KTH), Mark Weber (CFA/Harvard), and E.E. DeLuca (CFA/Harvard).

This project was supported by ISEE/Nagoya University under ISEE International Joint Research Program. My period of stay in ISEE was from 16 June to 18 July 2019. I appreciate the generous support and hospitality that I received during this period, and the warm disposition of staff and students I worked and stayed at ISEE. Particularly I am very thankful to Dr. Kanya Kusano (Director) and Dr. Shinsuke Imada for their constant support and for a productive discussion which lead to many interesting and important results.

Project Summary:

The Sun is the primary source of energy responsible for governing both the weather and climate of Earth. For that reason alone, one would expect that changes in the amount and type of energy Earth received from the Sun could alter weather and climate on the Earth. The variations in the EUV, UV & X-ray irradiance are produced by surface manifestation of solar magnetic activity. Considering the variations in the solar EUV, UV & X-ray flux may cause significant changes in the Earths climate, understanding the physical origin of EUV, UV & X-ray irradiance changes is an extremely important issue in Solar and Space Physics and in Solar Terrestrial Physics.

Recently we have worked on PROBA2/SWAP & SDO/AIA spatially resolved full-disk images to understand the EUV & UV solar irradiance variability measured using PROBA2/LYRA instrument and published a large number of research papers. During my visit to ISEE under this program, we had a long discussion on Solar X-ray irradiance and decided to work on Hinode/XRT full-disk spatially resolved soft X-ray images to understand total solar X-ray flux variations measured by GOES (1-8 A). For the first time we have analysed the XRT full-disk X-ray images to segment the different coronal features. We have developed an algorithm in Python to analyse the XRT images for the period from 2007 to 2012 in two filters namely, Al mesh and Ti poly and segmented automatically the different coronal features such as

Active Regions (ARs), Coronal Holes (CHs), Background (BGs) and X-ray Bright Points (XBPs). We have estimated the total intensity of all these features and of the full-disk and compared with total solar X-ray flux measured in 1-8 A from GOES instrument and with solar cycle. It is found that all the coronal soft X-ray features are well correlated with GOES X-ray flux variations and with the sunspot numbers. We found that the active regions are more responsible for solar X-ray irradiance variations compared to other features. In addition the number of XBPs appears to be anti-correlated with the solar activity, but need to be confirmed with further studies. The time series of all the features will contribute to total solar X-ray irrdaince variability and shown that the variations in integrated solar X-ray flux (GOES 1-8A) can be explained by spatially resolved and segmented full-disk soft X-ray images (Hinode/XRT).

Scientific Background:

Since the radiative output of the Sun is one of the main driving forces of the terrestrial atmosphere and climate system, the study of solar energy raises is of increasing interest. Although the long-term change in total solar irradiance (the solar energy flux integrated over the entire spectrum) is considered to be one of the major natural forces of the Earths climate system, the study of extreme ultraviolet (EUV) and ultraviolet (UV) and X-ray irradiance variability is equally important in solar physics and in solar terrestrial atmosphere. Indeed, EUV irradiance is the main energy input for the Earths upper atmosphere with important effects on the ionosphere and thermosphere. The solar EUV and UV & X-ray fluxes thus play a major role in Solar-Terrestrial relationships. Understanding their variability is thus an important issue for space weather and climate applications. Understanding the EUV and UV & X-ray irradiance variability from spatially resolved intensity and magnetic field observations of the Sun from Space and Ground based Missions is an important issue in space weather and climate applications.

In the recent years we made a detailed studies to understand the EUV & UV solar irradiance from spatially resolved full-disk intensity and magnetic field images observed by PROBA2/SWAP, SDO/AIA

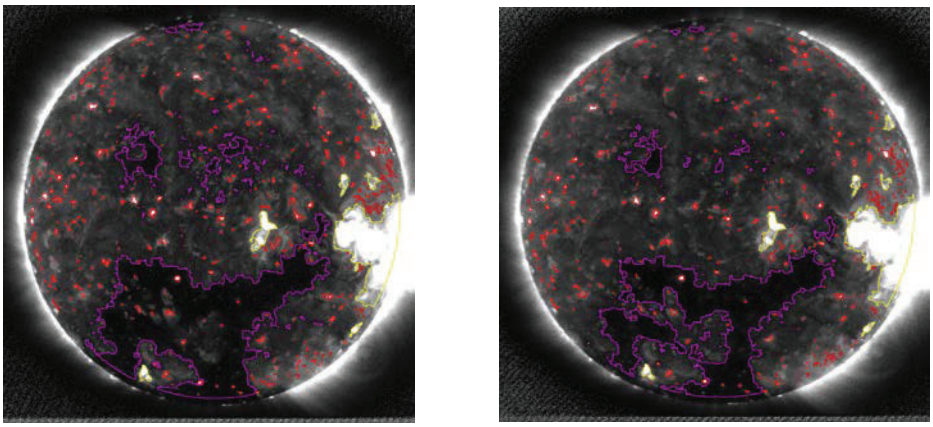


Figure 1: Segmented solar X-ray images obtained with Hinode/XRT in Ti poly (left image) and Al mesh (right image) filters on 13-01-2008

and SDO/HMI instruments. We determined the contribution of the different features and the role of

magnetic field to EUV & UV irradiance variability. In the present project we proposed to use Hinode/XRT full disk X-ray images for the period from 2007 to 2012 and segregate the different features (such as active regions, coronal holes, background and x-ray bright points) of the solar corona. Finally and combinedly to determine the role of UV, EUV & X-ray irradiance variations on Earth's Climate & Space Weather.

Observational Data and Image analysis:

We have used full-disk spatially resolved X-ray images for the period 2007 - 2012 observed by Hinode/XRT instrument simultaneously in two filters: Ti poly and Al mesh filters. A segmentation algorithm has been developed in Python to segment automatically the different coronal features (such as active regions - ARs, coronal holes - CHs, background regions - BG and X-ray bright points - XBPs) based on intensity criteria and their morphology and sizes of the features. We derived the total intensity of all the segmented features for the entire period and estimated their contributions to total full-disk intensity and to total solar X-ray flux measured in 1-8 A using GOES.

The preliminary results of these analysis are presented in this report.

Preliminary Results:

For the first time the full-disk soft X-ray images obtained from Hinode/XRT have been analysed & compared with GOES (1-8A) total X-ray irradiance. We have segmented the different coronal X- ray magnetic features (ARs, BGs, XBPs & CHs) to understand their intensity variations. We derived the total intensity of individual features and the full disk intensity values in the two filters (Ti poly & Al mesh). We found that all the features show intensity variations as a function of solar magnetic cycle (sunspot numbers). In addition to intensity values of all the features, we have identified and counted automatically the X-ray bright points over the entire disk for the whole period from 2007 to 2012. We found that there is an indication of anti-correlation of total number of XBPs with solar cycle, need to be confirmed with detailed studies.

Variations in the quantities resulting from the segmentation, namely the integrated intensity of Ars/CHs/QS/FD regions, are compared with the GOES 1-8A Solar X-ray irradiance variations. We found that the X-ray full-disk intensity over ARs/CHs/QS/FD is well correlated with the GOES Solar X-ray (1-8 A) irradiance variations. We observed that all the coronal features will contribute significantly to total solar X ray irradiance. We noticed that sophisticated feature identification and segmentation tools are important in providing more insights into the role of various coronal features in both the short- and long-term changes in the solar X-ray irradiance. The spatially resolved and segmented full-disk X-ray images (XRT) will help to explain fully the total solar X-ray flux variations, measured Sun as a Star (by GOES).

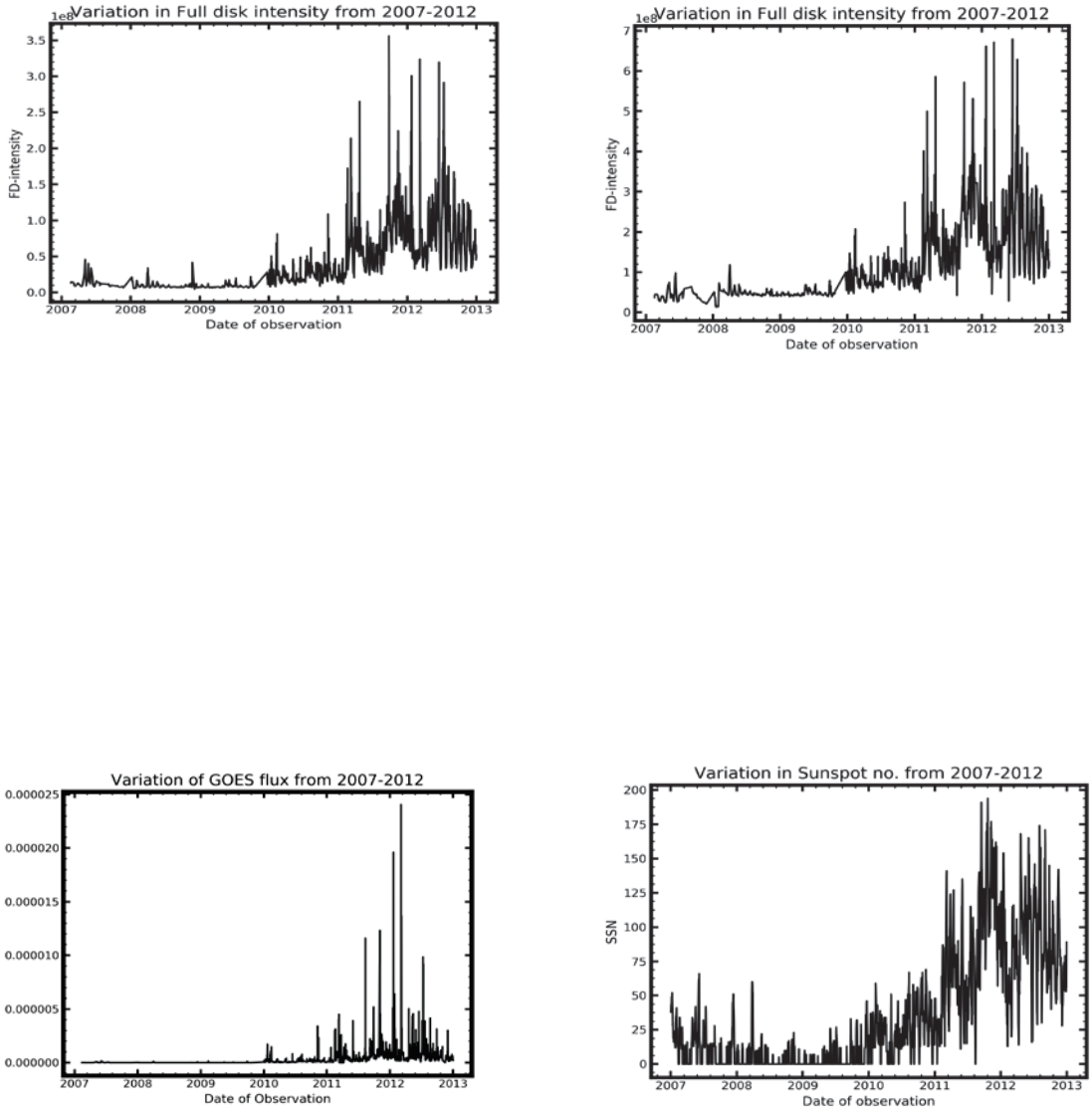


Figure 2: Variation of total intensity of the full-disk solar X-ray image observed in Ti poly (top left) & Al mesh (top right) filters, GOES (1-8 A) total solar X-ray flux (bottom left panel) and for comparison Sunspot Numbers (bottom right panel) for the period: 2007 to 2012.

Importance of this project and Future Work:

The importance of this project is to understand the physical mechanism of the variability of solar EUV, UV & X-ray irradiance, segment the various features, the contribution of different magnetic features, and to determine the impacts of EUV, UV & X-ray irradiance on Earth's Climate and Space Weather. Particularly the Hinode/XRT full-disk images have not been used earlier to study the solar X-ray irradiance variability. So it is important to use them to explain the solar X-ray flux variability. This research effort will lead to the PhD thesis work of Mr. H.N. Adithya.

(i) Since we have observations at least in two filters (Ti poly and Al mesh) simultaneously and their

corresponding temperature response curves, we plan to derive the temperature of different coronal features and for the full-disk and to study the temperature variations associated with the features and finally to derive the temperature maps of the full solar corona;

(ii) We plan to compare the full-disk segmented intensity images with SDO/HMI full-disk magnetograms to determine the magnetic field of all the features;

(iii) This research effort will help to determine the role of magnetic field in the solar X-ray irradiance variability, similar to the work done recently by us on the role magnetic field in EUV & UV irradiance variations;

(iv) Construction of intensity field, magnetic field and temperature maps of the full-disk solar corona;

(v) Estimation of the impacts of EUV, UV & X-ray irradiance on Earth's Climate and space weather;

(vi) This research effort will be a part of the PhD thesis of Mr. H.N. Adithya.

Seminar:

I gave a seminar on "Coronal & Photospheric Magnetic Features from Spatially Resolved Images to Understand EUV & UV Solar Irradiance Variability & their impacts on Earth's Climate and Space Weather" on June 26, 2019 at ISEE.

Visited NAOJ:

I visited National Astronomical Observatory of Japan (NAOJ), Mitaka from June 30 to July 04, 2019 on the invitation of Dr. Tetsuya Watanabe for a scientific discussion with the faculty members of Solar Physics Division on solar X-ray irradiance, and given a seminar on EUV & UV Solar Irradiance.

Papers presented at the International Conferences/Symposium/Meetings:

(i) Adithya, H.N., Kariyappa, R., Shinsuke, Imada, Kanya Kusano, Zender, J.J., Dame, L., Giono, G., Mark Weber, and Deluca, E.E., "Solar X-ray Irradiance Variability & its Impacts on Earth's Climate & Space Weather - Preliminary Results, presented at the PSTEP4/2ISEE International Symposium held on January 28 - 30, 2019, ISEE/Nagoya University, Nagoya, Japan - presented by R. Kariyappa.

(ii) Adithya, H.N., Kariyappa, R., Shinsuke, Imada, Kanya Kusano, Zender, J.J., Dame, L., Giono, G., Mark Weber, and Deluca, E.E., Solar X-ray Irradiance Variability from Spatially Resolved Full-Disk Images from Hinode/XRT, presented at 5th Asia Pacific Solar Physics, February 3-7, 2020, Pune, India - presented by H. N. Adithya.

Publications - in progress:

(i) Adithya, H.N., Kariyappa, R., Shinsuke, Imada, Kanya Kusano, Zender, J.J., Dame, L., Giono, G., Mark Weber, and Deluca, E.E.: 2020, Contribution of Coronal Magnetic Features to Total Solar X-ray Irradiance Variability, in preparation.

(ii) van der Zwaard, R., Bergmann, M., Zender, J.J., Kariyappa, R., Giono, G. and Dame, L.: 2020, Segmentation of coronal features to understand the solar EUV and UV irradiance variability III. Inclusion and Analysis of Bright points, A&A, under review.

(iii) Giono, G., Zender, J.J., Kariyappa, R., and Dame, L.: 2020, Understanding the long-term

periodicities seen in the EUV/UV solar irradiance, Daily segmentation of EUV/UV images over a 7-years period to investigate irradiance periodicities from days to month, To be Submitted to A&A.

Project Title: Prompt penetration of convection/overshielding electric fields during the onset of substorms

Tulasiram Sudarsanam
Associate Professor
Indian Institute of Geomagnetism, India

Purpose

The main purpose of this project work is to investigate the Prompt Penetration Electric Fields during the onset of substorms and its impact on the equatorial and low-latitude ionosphere. Further, it is also proposed to investigate the MLT dependence on the eastward/westward polarity of PPEF during the substorms.

Method

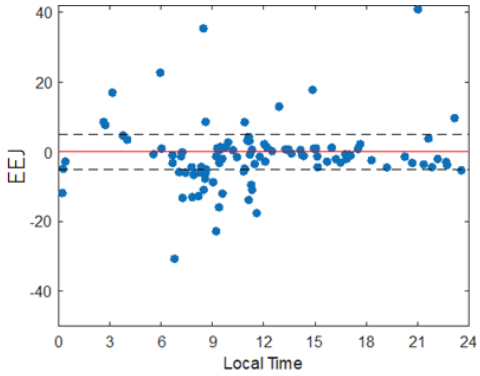
A multi-observational approach is adopted in this investigation. The ground based magnetometer observations from Indian, Japanese and Brazilian sectors have been analyzed to study the equatorial electrojet variations during the onset of substorms. A novel selection criteria have been defined to automatically detect the onset of isolated substorms from long term observations of Wp-index, AU/AL indices using a computer program. The substorm selection criteria includes (i) A sharp increase in Wp-index (magnitude ≥ 0.4 nT @ ≥ 0.05 nT/min) from a quiescent pre-epoch state (standard deviation of previous 30 min ≤ 0.1 nT), (ii) A simultaneous decrease in AL (magnitude ≤ -500 nT), (iii) The background solar wind conditions must be steady i.e., peak-to-peak changes in IEFy ≤ 2.5 mV/m and standard deviation of dynamic pressure must be less than 1 nPa over the 45 minutes centered on the time of substorm onset. The criterion (i) and (ii) detects the onset of a substorm while criterion (iii) ensures the steady background SW conditions. Hence, the observed changes in the EEJ can be chiefly considered as PPEFs in response to the onset of substorms. Further, the SuperDARN HF radar and ground based GPS-TEC observations have also been considered to investigate the low-latitude ionospheric response to the PPEFs induced due to the onset of substorms. Both the case study and the statistical investigations have been made. Salient results are briefly summarized hereunder.

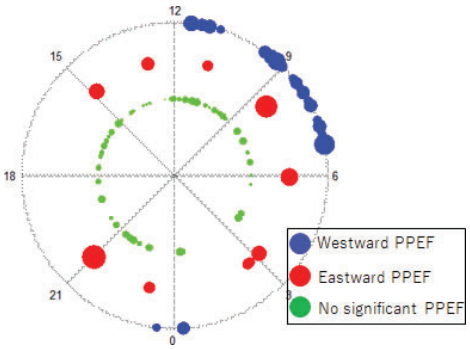
Summary of results

The strong substorm event occurred around 1730 UT under steady southward IMF Bz conditions during the St. Patrick's day storm on 17th March 2015 has been investigated to study the PPEF effects at low-latitudes. The equatorial electrojet (EEJ) exhibited a substantial increase indicating strong eastward PPEF with the onset of substorm. Further, enhanced westward electrojet currents have also been observed on the night side (Japanese sector). The strong eastward PPEF during this event has caused the equatorial super fountain and rapid redistribution of low-latitude plasma into symmetric EIA crests within 15 minutes over the Brazilian sector. The high latitude convection maps from SuperDARN observations indicates that the reconfiguration of convection cells in the southern high latitudes during this event and the resultant enhancement of convection electric field led to this eastward (westward) PPEF on day (night) side [Tulasi Ram et al., 2019].

A statistical study is further carried out to investigate the polarity of PPEF during the onset of isolated

substorms and its local time dependency using long term EEJ observations (2001-2012) from the Indian sector and Wp index measurements from ISEE. A total 102 isolated substorms detected using a computer program based on the above selection criteria have been analyzed to investigate the EEJ response and its MLT dependency. While most of the isolated substorms (68 cases) do not cause significant disturbances in the EEJ (≤ 5nT), about 10 cases caused eastward EEJ disturbance (> 5 nT) while the other 24 substorms have caused westward EEJ disturbance (< -5 nT). The below figures show the local distribution of EEJ disturbances. It can be seen from these figures that the westward EEJ disturbances are mostly confined to morning sector i.e., 06 – 12 LT. However, the eastward EEJ disturbances, though only 10 cases, do not exhibit any local time preferences. Further investigation on the factors responsible for the dawn-to-noon sector preference of westward EEJ response is currently underway





Visit to ISEE

The PI, Dr. S. Tulasiram has visited Nagoya University during the period from 23rd Dec 2019 – 07th Feb 2020 and conducted the above joint research investigations along with the host professor Prof. K. Shiokawa and his group at ISEE, Nagoya University under ISEE international joint research program – 2019. Additional collaborative investigations are also carried out on the solar wind density control on the PPEF and Dilatory and downward development of shorter scale irregularities in the plasma bubbles during the this visit.

List of Publications

- S. Tulasi Ram, B. Nilam, N. Balan, Q. Zhang, K. Shiokawa, D. Chakrabarty, Z. Xing, K. Venkatesh, B. Veenadhari and A. Yoshikawa, Three different episodes of prompt equatorial electric field perturbations under steady southward IMF Bz during St. Patrick's day storm, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 124, https://doi.org/10.1029/2019JA027069, 2019.
- S. Tulasi Ram, B. Nilam, K. Shiokawa, M. Nose, The prompt penetration electric fields during the onset of isolated substorms, J. Geophys. Res., 2020 (under preparation).
- B. Nilam, S. Tulasi Ram, K. Shiokawa, N. Balan and Q. Zhang, The solar wind density control on the Prompt Penetration electric Field and Equatorial Electrojet, J. Geophys. Res., 2020 (under review).
- S. Tulasi Ram, K. K. Ajith, T. Yokoyama, M. Yamamoto, K. Hozumi, K. Shiokawa, Y. Otsuka and G. Li, Dilatory and downward development of 3-meter scale irregularities in the Funnel-like region of a rapidly rising Equatorial Plasma Bubble, Geophys. Res. Lett., 2020 (under review).

Project Title：Testing diagnosing of the coronal magnetic field from solar radio observations

Baolin Tan

(National Astronomical Observatories of Chinese Academy of Sciences)

Under the support of this joint project, we use the multi-wavelengths observations, including radio observations of MUSER, NoRH, and IPRT/AMATRAS, and EUV imaging observations of AIA/SDO to diagnose the nonthermal processes and precursors of solar flares and investigate the related energy release and particle acceleration. We published 3 collaborative papers in ApJ, and our results are in following:

(1) We demonstrated 3 types of solar fast-drifting radio bursts (FDRBs), including type III pair bursts, narrowband stochastic spike bursts, and spike-like bursts. Although all of them have fast frequency-drifting rates, but they are intrinsically different from each other in frequency bandwidth, drifting rate, and statistical distribution which are possibly generated from different accelerating mechanisms. The type III pair bursts may be triggered by high-energy electron beams accelerated by the flaring magnetic reconnection, spike bursts are produced by the energetic electrons accelerated by a termination shock wave triggered by the fast reconnecting plasma outflows impacting the flaring loop top, and the spike-like bursts are possibly generated by nonthermal electrons accelerated by moving magnetic reconnection triggered by interaction between CME and the background magnetic fields.

(2) We study a solar eruptive prominence associated to a flare/CME event by microwave and EUV observations. The evolution can be divided into three phases: slow rise, fast expansion, and ejection. In the slow-rise phase, the prominence continuously twists with a patch of bright emission appearing around the top. When one leg interacts with the local small-size loops, the fast expansion is initiated and the flare takes place. The prominence grows rapidly accompanying with a series of localized bright points. These localized bright structures, first appearing at the top and then scattering in the entire prominence structure, are co-spatial with EUV bright threads, fibers, or spots in both high- and low-temperature passbands. They display significant temporal variations on the scale of 3-5 s in the microwave observations. This behavior could be interpreted in the frame of the small-scale and short-term process of energy releases in the twisted magnetic structure.

(3) From the analysis of radio images observed by MUSER at frequencies of 1.2-2.0 GHz for the first time, microwave images by the NoRH, UV and EUV images by AIA/SDO, and a magnetogram by HMI/SDO, we found three different QPPs in a solar flare: UV-QPPs with a period of 4 min at 1600 Å images near the center of the active region lasting from the preflare phase to the impulsive phase; EUV-QPPs with a period of about 3 min along the

circular ribbon during the preflare phase; and radio QPPs with a period of about 2 min at frequencies of 1.2-2.0 GHz around the flaring source region during the impulsive phase. We suggest that the 4 min UV-QPPs should be modulated by the sunspot oscillations, and the 3 min EUV-QPPs are closely related to the 2 min radio-QPPs for their source regions connected by a group of coronal loops. We propose that the intermittent magnetic reconnecting downward and upward plasmoids may be the possible trigger of both the preflare 3 min EUV-QPPs and the impulsive 2 min radio-QPPs. The possible mechanism is LRC-oscillation, which is associated with the current-carrying coronal loops, and the existence of preflare QPPs may be a possible precursor to solar flares.

Periods of stay in ISEE: Prof Baolin Tan and Dr. Chengming Tan visited and stayed in ISEE from 2019 October 25 ttill November 6.

List of publication:

(1) Tan B.L., Chen Nai-hwa, Yang Ya-hui, Tan C.M., Masuda S., Chen X.Y., Misawa H., Solar Fast Drifting Radio Bursts in an X1.3 Flare on 2014 April 25, 2019, ApJ, 885:90

(2) Chen X.Y., Yan Y.H., Tan B.L., Huang J., Wang W., Chen L.J, Zhang Y., Tan C.M., Liu D.H., Masuda S., Quasi-periodic pulsations before and during a solar flare in AR 12242, ApJ, 2019, 878，78

(3) Huang J., Tan B.L., Masuda S., Cheng X., Susanta B., and Melnikov V.F., The localized microwave and EUV bright structures in the eruptive prominence, 2019, ApJ, 874, 176

We also presented several reports in international scientific conferences:

(1) Tan Baolin, Solar radio spectral fine structures and diagnostics of non-thermal processes (Oral presentation), CESRA2019, Potsdam, Germany, 2019 July 8-13

(2) Tan Baolin, Radio Precursor of Solar Flares (Oral presentation), ISEE seminar, Nagoya University, Japan, 2019 October 30

(3) Tan Baolin, Introduction of Solar Radio Research in NAOC (Oral presentation), ISEE Seminar, Nagoya University, Japan, 2019 October 29.

(4) Tan, Baolin, Radio Precursors of Solar Flares (Oral presentation), Russian conference of solar physics in 2019, Saint Petersberg, Russia, 2019, October 9

Project Title

Relation of Swarm satellite and SuperDARN ground-based ion drift measurements

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

Purpose:

Our study aimed on comparisons of Swarm satellite and SuperDARN ground-based ion drift measurements, focusing on the Japanese radar facilities of the SuperDARN network, Hokkaido East ("hok") and West ("hkw"). We planned both statistical analyses of the ion drift behavior and some closer investigations of selected periods in the sense of individual case studies of geomagnetic storm periods. It was intended, that the synoptic view of satellite and ground-based observations provides some clues for a better understanding of the relation between larger- and smaller-scale ion drift structures and the physical coupling processes within the complex M-I-T system.

Methods:

The Swarm satellites on their near-polar orbits are equipped with two Thermal Ion Imager (TII) sensor heads at the front side of the satellites. The analyses of the ion images on the CCD cameras allow in principle a 3-D vector record of the ion drift with the vertical and horizontal cross-track components from the respective sensor heads and the along-track component from both sensors independently. It appeared however, that due to various problems with the sensor heads (contamination by water vapor) and charging effects in the near-spacecraft environment, it was useful to develop first a simplified data set with the cross-track ion drift component only. The initial release (version 0101) of the data set dates from November 2016, an improved, better calibrated version 0202 was issued just during my second stay at ISEE in February 2020. We used the horizontal cross-track component of the TII sensors which is almost aligned with SuperDARN line-of-sight drift measurements for comparisons during overflights. For the data extraction and visualization we used the SPEDAS software, provided from ISEE.

Results:

The task of direct comparisons of ion drift components of the cross-track TII on the one hand side and of the l.-o.-s. SuperDARN observations on the other necessitated some IDL software development of reading and mapping the data accordingly. The 2-Hz TII level-1b satellite data are given as daily cdf-files; the SuperDARN drift values were deduced using the SPEDAS software package. It appears, that the in-situ satellite drift component measurements have generally larger magnitudes, sometimes considerable by more than factor 2. This was already shown in previous studies (e.g., Koustov et al., 2019, doi: 10.1029/2018JA026245), and seems to be valid also for the latest data issue (version 0201). A systematic, comprehensive statistical study could not be done during the relatively short run time of this project. This has to be postponed to a later stage of continuing cooperation, providing an even better calibration and improved data interpretation of the TII drift measurements will be available then. Minor structures as, e.g., the subauroral polarization streams (SAPS) could be identified and compared without doubt and were used for a few event studies like the one in the publication.

Periods of stay in ISEE:

1.) 30 June – 05 July 2019
2.) 16-26 February 2020

Publications:

1.) Astafyeva, E., Bagiya, M. S., Förster, M., & Nishitani, N. (2020).
"Unprecedented Hemispheric Asymmetries During a Surprise Ionospheric Storm:
A Game of Drivers". Journal of Geophysical Research: Space Physics, **125,** e2019JA027261. https://doi.org/10.1029/2019JA027261.

Presentations:

1.) "Interhemispheric differences of the high-latitude ionospheric convection deduced from Cluster EDI drift measurements", M. Förster and S. Haaland,
Workshop on Pulsating Auroras, July 2-3, 2019, ISEE, Nagoya.

2.) "Symmetries and asymmetries of the Earth's magnetic field and their implications for the magnetosphere-ionosphere-thermosphere (M-I-T) coupling",
M. Förster, 61st Colloquium at the ISEE, February 20, 2020.

Variability in satellite-derived surface chlorophyll-a, Ekman transport and sea surface temperature in the Banda Sea

Iskhaq Iskandar
University of Sriwijaya, Indonesia

Background

The Banda Sea, bordered by the Southern Molucca islands (i.e. Seram, Sula and Buru Islands) on the north and Nusa Tenggara Islands Chain on the south, Sulawesi Island on the west and Papua Island on the east, is located on the route of Indonesian Throughflow (ITF). The ITF transports water masses into the Banda Sea through the Makassar Strait/Flores Sea in the west and the Molucca Strait on the North with major transport is coming from the Makassar Strait (Gordon and Fine, 1996). There two outflow channels of ITF from the Banda Sea, namely the Ombai Strait and the Timor Passage. The ITF plays an important role on the global ocean and climate circulation (Lee et al., 2002) and ecosystem dynamics (Iskandar et al., 2010). Using coupled bio-physical model, Iskandar et al. (2010) demonstrated that the ITF provides nutrient reach-water that sustained surface chlorophyll-a bloom in the southern Java during the positive Indian Ocean Dipole (IOD).

Purpose

This study is designed to evaluate the seasonal and interannual variation of physical and biological ocean parameters in the ITF region, in particular in the Banda Sea and its surrounding seas.

Data and Methods

The chl-a concentration data were obtained from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) on board of the Terra and Aqua satellites. Monthly data at 9 km spatial resolution from January 2003 until December 2015 were downloaded from the Ocean Colour web site (http://globcolour.info).

The SST dataset were derived from the daily Optimum Interpolation Sea Surface Temperature (OI-SST) of the NOAA. The data cover a period of January 2003 to December 2015. Monthly averages were calculated from these daily fields. The spatial resolution of the SST data is 0.25°×0.25°. In order to evaluate the dynamical forcing underlying surface chl-a variation in this area, surface wind data obtained from the ECMWF ERA5 reanalysis were used to calculate the Ekman transport. The data cover a period from January 2003 to December 2015 having horizontal resolution of 0.25°.

We examine their temporal means and seasonal cycles. We, then, removed the seasonal cycles to analyze at the nonseasonal variability. The nonseasonal variability is, in turn, divided into interannual and intra-annual timescales.

Results

Our analysis on the spatial temporal variability of physical and biological ocean parameters in the Banda Sea is still in progress. However, during our analysis, we found another interesting

result from the western part of the ITF, namely in the Karimata Strait, which connects the South China Sea and the internal Indonesian seas through the Java Sea.

Monthly climatological fields of the surface chl-a in the Karimata Strait during the northwest monsoon (December – March) until the spring monsoon-break (April – May) are presented in Figure 1 (*left*). Interestingly, the observed high chl-a concentration in the Karimata Strait during the northwest monsoon shows opposite situation with that observed along the western coast of Sumatra and along the southern coast of Java, which shows a low chl-a concentration during this season. It may suggest different mechanism underlying the chl-a bloom in the Karimata Strait. This high chl-a concentration during the northwest monsoon season could not be explained solely by the wind dynamics. As previously suggested, the enhancement of surface chl-a within the Indonesian seas (e.g. the Karimata Strait, the Java Sea and the Banda Sea) during the northwest monsoon season could be related to the increased of precipitation thus river discharge into the coastal region. High precipitation was observed (mainly over the land) from December until April (Figure 1, *right*). In particular, the highest precipitation was observed over the Sumatera in December and January co-occurred with the observed high chl-a concentration in the Karimata Srait. We hypothesize that the increase of precipitation may cause an increase of allochthonous nutrient from the land through the several river discharges in the eastern coast of Sumatra.

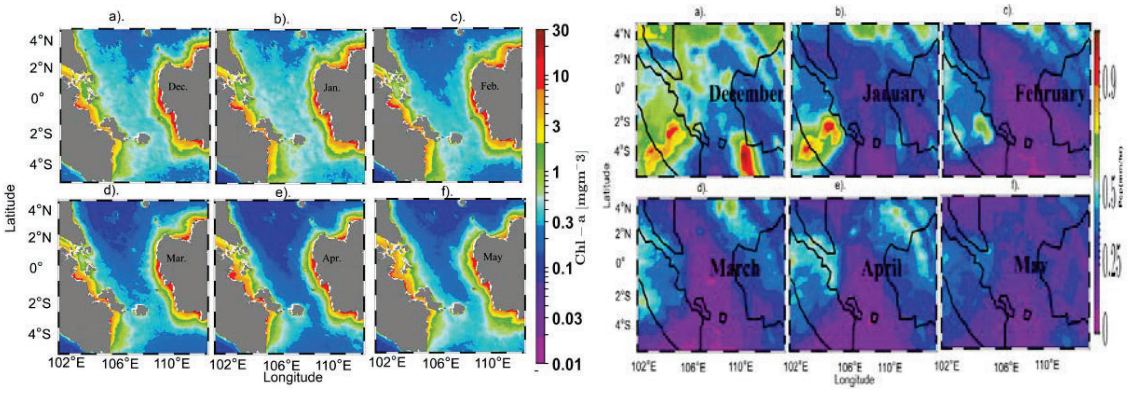


Figure 1. Monthly climatology of surface chl-a (*left;* mg/m^{-3}) and precipitation (*right;* mm/hr) in the Karimata Strait during the northwest monsoon season (December – March) until the spring monsoon-break (April – May).

Period of stay in ISEE

1. Qurnia Wulan Sari : 5 – 14 November, 2019
2. Iskhaq Iskandar : 2 – 8 February, 2020.

List of Publication

Based on this study, we are still working to finalize a manuscript:

Seasonal and Interannual Variations of Surface Chlorophyll-a Variations in the Karimata Strait (to be submitted to IEEE Journal of Selected Topic in Applied Earth Observations and Remote Sensing)

Authors: *Iskhaq Iskandar, Qurnia W. Sari, Eko Siswanto and Joji Ishizaka*

Detection and modeling of green *Noctiluca* bloom in the Gulf of Thailand using satellite ocean color

Anukul Buranapratheprat (Burapha University)

Background

Harmful algal blooms (HABs) in the upper Gulf of Thailand (UGoT) are frequently caused by green *Noctiluca scintillans*, a dinoflagellate containing a symbiotic green alga named *Pedinomonas noctilucae*. The intensive bloom potentially causes massive fish mortality due to rapidly reducing oxygen in the water column and causes tourist disruption due to dirty seawater and foul odor. In this study, the differences in the apparent colors and pigment composition between green *Noctiluca* and other HABs (e.g., *Ceratium furca* and diatoms) are used to develop an algorithm for identifying the green *Noctiluca* bloom using ocean color remote sensing techniques and studied on its variability.

Purposes

1. To develop an algorithm to identify green *Noctiluca* blooms based on satellite ocean color data,
2. To investigate its variability in the relationship with the dynamical processes.

Methods

In situ bio-optical data and phytoplankton pigment compositions collected at the sea surface in wet and dry seasons between 2017 and 2018 were used to develop the algorithm. Phytoplankton community composition was estimated by the CHEMTAX program based on HPLC phytoplankton pigments. Each *in situ* remote sensing reflectance (R_{rs}) spectrum (320 nm – 950 nm) is identified as the blooming type by comparing it with the percentage of phytoplankton composition of the same survey station. The identified R_{rs} was normalized by $R_{rs}547$ to reveal the specific spectral characteristics of plankton groups. A cluster analysis was performed to classify the normalized R_{rs} into related phytoplankton groups.

The HABs algorithm was applied to satellite data to identify the location of green *Noctiluca* blooms. The satellite R_{rs} was verified with *in situ* R_{rs} to assess accuracy. The blooming area was then validated with the reported HABs occurrence in UGoT. The satellite green-*Noctiluca* bloom images were then compared with the simulated surface circulation using Princeton Ocean Model (POM) to explain the variability of green *Noctiluca* blooming in the same period.

Results

Eight classes of phytoplankton were derived by HPLC-CHEMTAX (i.e., dinoflagellates, cryptophytes, prymnesiophytes, chrysophytes, chlorophytes in exponential stage, chlorophytes in stationary stage, cyanobacteria, and diatoms (Figure 1a). Green *Noctiluca* was classified in chlorophytes_1 (exponential phase) and chlorophytes_2 (stationary phase). The phytoplankton composition of each survey station comparing to in situ R_{rs} (Figure 1b) and the $R_{rs}547$ normalized R_{rs} (Figure 1c) could classify the R_{rs} data into five groups, including 1) green *Noctiluca* blooms, 2) *Ceratium furca* blooms, and 3) diatoms blooms, and 4) mixed species, and 5) non-bloom waters.

We firstly focused on the MODIS wavelengths. Using cluster analysis of the normalized $R_{rs}547$ and $R_{rs}667$ showed five clusters of water types (Figure 1d). The cluster of green *Noctiluca* blooms was within 0.5 of the both normalized R_{rs}. The one of *C. furca* was within 0.5 of the normalized $R_{rs}488$

and over 0.5 of the normalized $R_{rs}667$. Diatoms were between 0.5 and 1 and between 0 and 0.5 of the normalized $R_{rs}488$ and $R_{rs}667$, respectively. Mixed species was also between 0.5 and 1 of the normalized $R_{rs}488$ and over 0.5 of the normalized $R_{rs}667$. Also, the non-bloom cluster was over 1 of the normalized $R_{rs}488$.

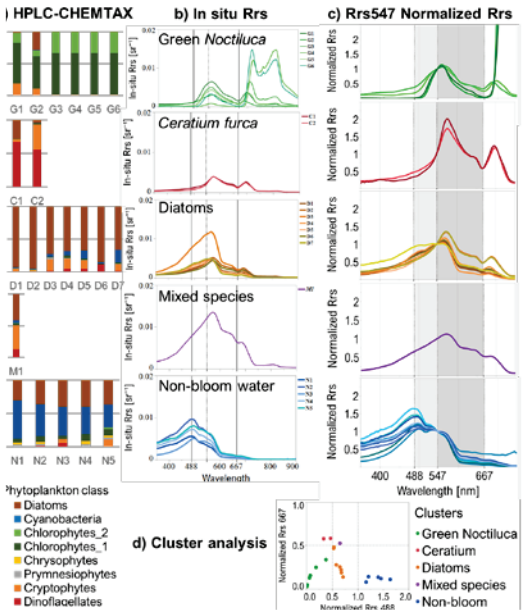


Figure 1 Results of each step of the HABs algorithm development.

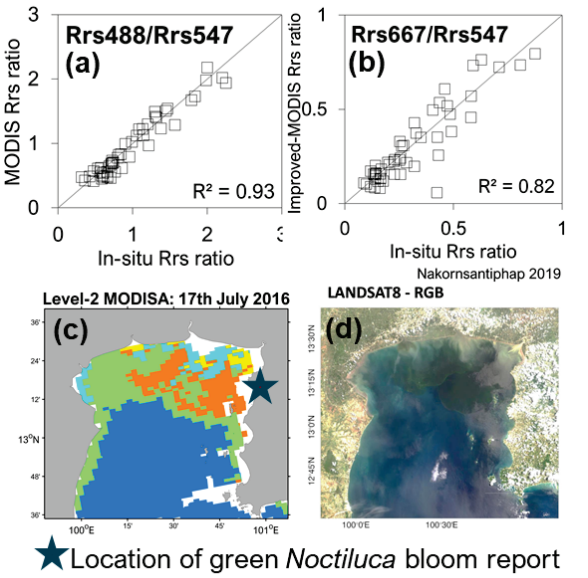


Figure 2 MODIS R_{rs} verifications (a-b) and the MODIS HABs image validated by comparing with the reported *Noctiluca* bloom (c) and the expected area of green *Noctiluca* bloom on Landsat 8 on July 17th, 2016 (d).

The incompatibility between the satellite and in situ R_{rs} appeared in the normalized $R_{rs}667$. The satellite R_{rs} data, thus, was improved the accuracy (Figure 2b). Then, the criteria of five clusters were applied to the satellite MODIS data (Figure 2d). The satellite image on July 17th, 2016 showed the broad area of green *Noctiluca* bloom in the east of UGoT. It was consistent with the dark greenish area on Landsat 8 RGB image (Fig. 2c and 2d) and with the report of green *Noctiluca* bloom at the eastern coast. This indicated that the algorithm could apply to investigate the location of green *Noctiluca* blooms using MODIS data in UGoT. The algorithm would be applied to other modern satellites such as VIIRS and GCOM-C in future works.

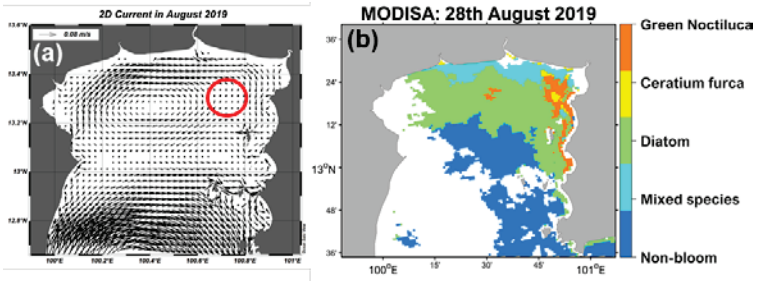


Figure 3 Simulated depth-averaged circulation comparing with the MODIS HABs classification in August 2019

Simulated depth-averaged circulation in August 2019 (Figure 3a) is used to explain the occurrence of green *Noctiluca* bloom during the field observation on August 5-6, 2019. The accumulation of *Noctiluca* cell was found in the east of UGoT (red circle) because of river water advection following seasonal circulation. The development of convergence in that area may also play a significant role in plankton cell accumulation. The blooming patchiness was expected to move to the east coast at the end of this month as shown in Figure 3b.

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

List of publications: none

Project: "Fluid-kinetic modelling of magnetic reconnection in solar flares and their impact on the heliosphere"

Investigators: from the University of Manchester - Dr Mykola Gordovskyy (PI), Prof Philippa K. Browning, Dr Gregory Vekstein, from ISEE - Prof Kanya Kusano and Dr Satoshi Inoue.

Background: Energetic particles carry a substantial part of the energy released in solar flares. A fraction of these particles escape from the solar corona into the interplanetary space, causing major disturbances in the heliosphere and near-Earth environment. The aim of this joint collaborative project is to investigate how solar energetic particles escape from the solar corona into interplanetary space. The key method is computational modelling using a framework combining MHD and test-particle approaches.

This project consists of two main elements. Firstly, we investigate how different topological configurations of magnetic field in the corona affect the properties of solar energetic particles and the fraction of energetic particles managing to escape from the solar corona. Secondly, we use the developed computational approach to model an actual flaring event.

The main added value of this collaboration is the combination of expertise in the solar coronal magnetic field reconstruction and MHD modelling of actual solar flares (Kusano et al. 2012 ApJ 760-31; Muhamad et al. 2017 ApJ 842-86; Inoue et al. 2018 Nat 9-174) with the expertise in MHD-test-particle (MHDTP) modelling (Gordovskyy et al. 2010 ApJ 720-1603; 2014 A&A 561-A72).

Timeline: 01/04/2019-31/03/2020

During the course of the project, MG, PKB and GV had a number of online meetings with our ISEE counterparts - Prof Kanya Kusano and Dr Satoshi Inoue. In June 2019 MG and GV visited ISEE for one week, and had a number of in depth discussions with ISEE colleagues, obtained MHD data for an individual flaring event and adapted it for test-particle simulations. (Another visit, originally planned for March 2020, has been postponed due the coronavirus travel restrictions).

The main outcomes of the project:

- We have considered proton and electron acceleration in three different generic models involving unstable twisted magnetic fluxtubes in the solar corona. In two of the models - one with open and one with closed ambient magnetic field - the twisted fluxtube did not erupt. In the third model, the twisted fluxtube did erupt. It was found that even in the configuration with the erupting fluxtube and ambient magnetic field "open" into the interplanetary space, the number of particles escaping into the interplanetary space was below 10-15%. This result is consistent with observational estimations, showing that the number of energetic electrons escaping into the interplanetary space after solar flares is much lower than a number of energetic electrons precipitating in the corona (Krucker et al. 2007 ApJ 663-L109). Our provisional interpretation for this effect is that the field strength in the "closed" magnetic field is, on average, higher than in "open" magnetic field and, hence, "closed" magnetic field is more efficient in capturing energetic particles. These results will be prepared for publication in the Astronomy & Astrophysics later this year.

- We have constructed an MHDTP model of an actual X-class flare which occurred on 06/09/2017. Using this model, we have investigated spatial and temporal characteristics of the acceleration region, and evaluated the properties of energetic particles (their spatial distribution, temporal evolution and energy spectra). Furthermore, using the trajectories of energetic electrons, we have calculated locations and relative intensities of the photospheric

hard X-ray (HXR) bremsstrahlung sources. Based on these results, we have prepared a manuscript, which is expected to be submitted to the Astrophysical Journal by the end of May 2020. Furthermore, these results have been reported during the Solar Orbiter meeting (University of St Andrews, January 2020).

- We have identified two other solar flares which will be investigated using MHDTP modelling during this year – X-class flares which occurred on 13/02/2011 and 15/02/2011. We have obtained and analysed HXR observations of these flares by RHESSI. The next step will be to calculate particle distributions for these events and predict the locations and intensities of hard X-ray sources. By comparing the synthetic hard X-ray maps with those observed by RHESSI, we will be able to test the reliability of the MHD-test-particle approach in modelling individual flaring events.

  This result will provide an important basis for future work. When our MHDTP computational framework is adapted for modelling individual flaring events, it will be very useful for interpreting remote observations of non-thermal emission (HXR, microwave, low-frequency radio) from individual solar flares, as well as their in-situ observations in the inner heliosphere by two new instruments – Parker Solar Probe and Solar Orbiter missions.

Investigation of the relationship between nighttime electrified medium scale traveling ionospheric disturbances and middle latitude spread F

Viswanathan Lakshmi Narayanan
(UiT The Arctic University of Norway)

Purpose

It is currently believed that the spread F in middle latitudes are caused by nighttime electrified medium scale traveling ionospheric disturbances (EMSTIDs). However, it is noted in the earlier works that spread F does not occur whenever EMSTIDs occur. We proposed to investigate the relationship between nighttime EMSTIDs and middle latitude spread F in detail. Meanwhile, the affiliation of the Principal Investigator has changed and as a consequence, additional research is done on the mesospheric dynamics and its role in altering sodium densities. This latter work has led to interesting preliminary results that are submitted for the forthcoming EGU General Assembly meeting as given in the publications section.

Methods

We approach the problem of relationship between EMSTIDs and spread F with the help of GPS TEC data and ionosonde measurements over Japan with plans to utilize airglow imaging observations at a later stage. We selected the summer months of recent solar maximum year of 2014. This is done to have a few days without EMSTIDs so that we can also identify whether spread F forms when there is no EMSTIDs. If we select solar minimum year, it is likely that spread F and EMSTIDs will form every day making the discrimination difficult. However, being a weak solar maximum year, almost every night has EMSTID signature in summer 2014. We studied the GPS TEC data around the ionosonde measurement sites of Wakkanai (45.16^{o}N, 141.75^{o}E geographic; 38.46^{o}N quasi dipole), Kokubunji (35.71^{o}N, 139.49^{o}E geographic; 28.72^{o}N quasi dipole), Yamagawa 31.20^{o}N, 130.62^{o}E geographic; 24.54^{o}N quasi dipole) and Okinawa (26.68^{o}N, 128.15^{o}E geographic; 20.01^{o}N quasi dipole) during May to August 2014. The standard deviation of detrended TEC and average of ROTI indices are made for a region of 300 square kilometer centered at the ionosonde sites. The existence of spread F and sporadic E are noticed from respective ionosonde measurements. An enhancement in the standard deviation of detrended TEC (dTEC) indicates existence of EMSTIDs.

Results

Earlier works have shown that spread F occurs only for part of the time when there are EMSTIDs. Our results confirm the earlier findings in that the observed spread F events almost always occur when there is some presence of EMSTIDs. However, on rare instances spread F

occurs without corresponding existence of EMSTIDs. Couple of examples are shown in the Figure below. Among the variety of parameters checked, the figure shows the standard deviation of dTEC as indication for existence of EMSTIDs along with the blue stars representing spread F. Note that there is spread F without noticeable EMSTID activity over Wakkanai on 3 May (left image) and Yamagawa on 24 July 2014 (right image). The other stations have spread F with reasonable EMSTIDs. Another general trend we noticed is that the amplitude of the EMSTID perturbations during existence of spread F is relatively higher when the latitude of the observation location is lower. This is seen often with higher amplitude EMSTIDs over Yamagawa and Kokubunji compared to those over Wakkanai. We identify that high spatio-temporal resolution data is required from middle latitude E and F region ionosphere to comprehensively understand the processes linking the EMSTIDs and spread F formation.

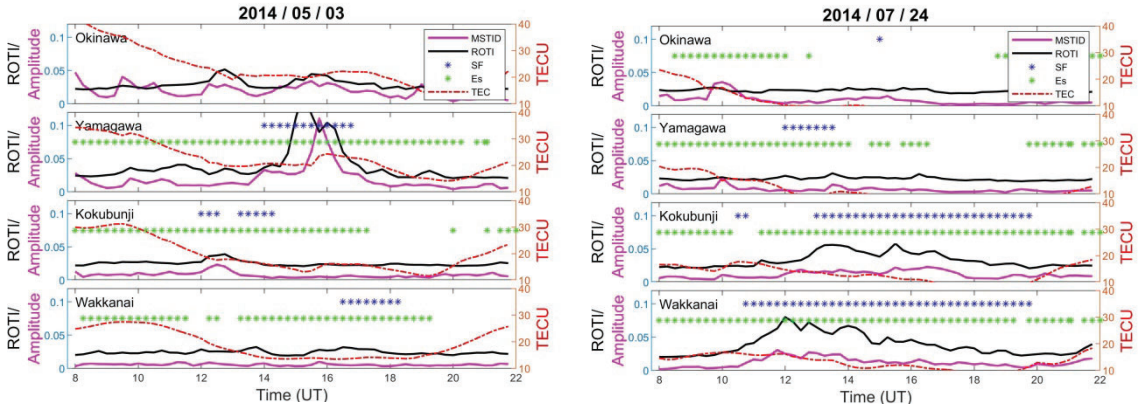


Figure 1. TEC parameters, spread F and sporadic E occurrences on 3 May and 24 July 2014

Period of stay in ISEE

Viswanathan Lakshmi Narayanan stayed in ISEE, Nagoya University between 10 December 2019 and 15 January 2020 to carry out the abovementioned works. Part of the work is completed before the visit and remaining is being continued till now.

List of publications

V. L. Narayanan, S. Nozawa, I. Mann, S. Oyama, K. Shiokawa, Y. Otsuka, N. Saito, Mesospheric fronts in airglow images and the variation of the bottomside sodium layer densities measured by a sodium lidar at Tromsø, Norway, submitted to the EGU General Assembly 2020.

The NoRH/RHESSI flare catalogue: statistical paper and planning for the future

Säm Krucker, FHNW & UC Berkeley

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

During my research stay at University of Nagoya as visiting professor in May through July 2018, I compiled a list of jointly observed large flares establishing the NoRH/RHESSI large flare catalogue. The catalogue contains statistical results on peak flux, time evolution, and imaging. With the RHESSI mission now being decommissioned, this set of events is the final catalogue and contains the best available data on jointly observed flares in microwaves and hard X-rays for years to come.

During my research stay from October 21 through November 21, 2019, we completed the following tasks:

1) We wrote a paper containing the main statistical results obtained so far. The papers main finding is the correlation plot between radio and hard X-ray peak flux that extends over 4 orders of magnitude, corroborating that a single accelerator produces both, the microwave and hard X-ray emitting electrons (see Figure 1). By restricting the correlation to flares with the same source geometry, we showed that the correlation further improves. We got positive feedback from the referee, and the paper will be accepted by end of March 2020.
2) We analyzed the strong event within our sample (Feb 25, 2014) with a peak flux above 20k SFU for which the standard imaging approach fails with a new approach. The event is included in the statistical paper mentioned above.
3) We made plans for future collaborative effort between UCB, FHNW, and ISEE to further

exploit the unique set of events selected in the NoRH/RHESSI catalogue. This includes the analysis of common events seen with the SUZAKU/WAM instruments, and the search for the smallest non-thermal flares with peak fluxes at 17 GHz below 1 sfu seen by NoRH.

List of publication:

- Krucker, Masuda, & White, 2020, Astrophysical Journal, under review

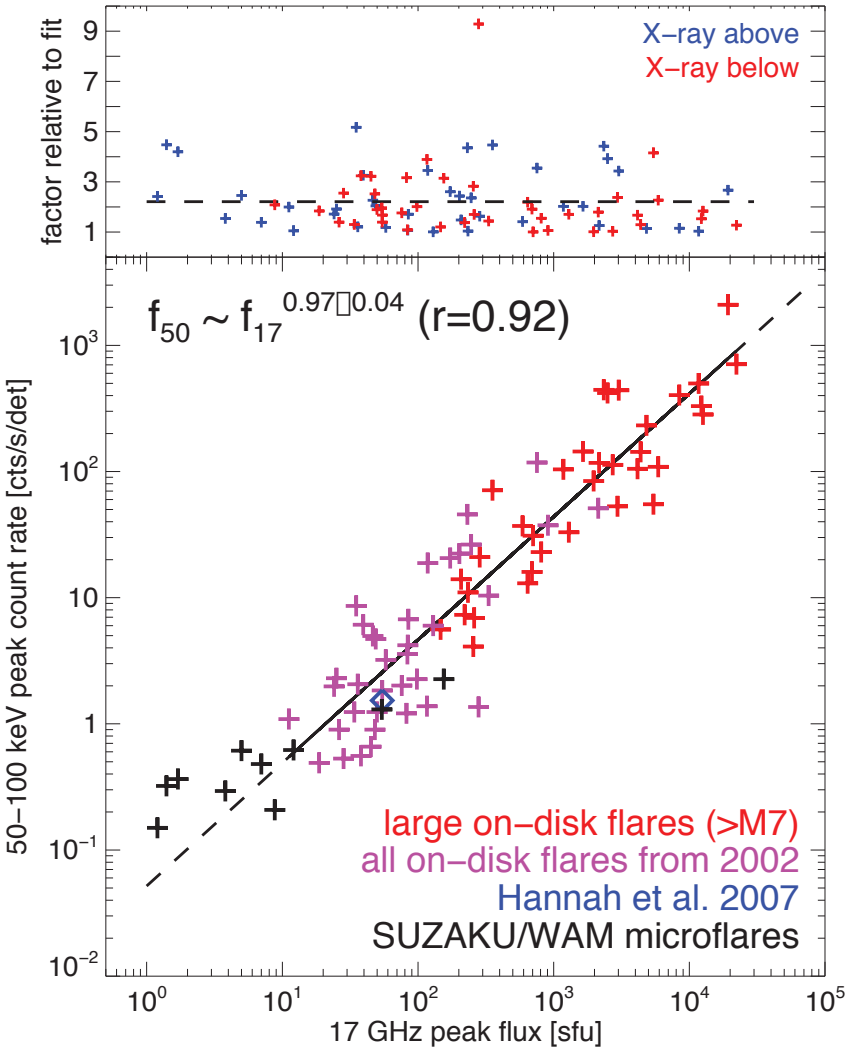


Figure 1: Correlation plot between the 17 GHz peak flux and the 50-100 keV peak count rate. Top panel show the factor of deviation from the fit. Note the linear correlation over more than 4 orders of magnitude with an averaged scatter of about a factor of 2.

Energetics of Arctic Stratospheric and Mesospheric Coupling Due to Small-scale Gravity Waves

Kim Nielsen (Utah Valley University)

Comment: The COVID-19 pandemic overlapped the period of this project and put some restrictions on the progress of the project as well as presenting the work at conferences. We will pursue the remaining part of the project and publications as soon as the COVID-19 restrictions allow. Specifically, this limited the effort involving the airglow image analysis.

Background

Small-scale gravity waves play a major role in energy transfer throughout the atmosphere and near-space environment, and therefore are essential to include on both weather and climate model studies. However, due to their small structure, they are difficult to implement into these models. Instead, they are often parameterized through an ensemble effect of energy transfer, with the assumption that the energy transported from the source is deposited at the wave breaking level. This assumption is questionable as we know from observations that energy may be dissipated at various altitude levels as the waves propagate through the atmospheric layers. This intermittent energy and momentum transport are not well documented in the literature.

Objectives

1. Investigate the energetics of gravity waves in the Arctic upper mesosphere and lower thermosphere (MLT) utilizing the derived temperature and winds from the Na lidar situated at Tromsoe, Norway.
2. Extend the data product capability of the Na lidar system to include its Rayleigh signal in the stratosphere for exploration of stratospheric gravity wave analyses.
3. Combine coincident lidar and airglow imaging to explore the vertical and horizontal characteristics of energy/momentum transfer in the MLT region by individual gravity waves.

Methodology

The Na lidar data used in this study to date included profiles obtained over the period January 2013 – February 2019, and was categorized into three quality tags: low, medium, high, based on the duration of nightly measurements (high: 6> hours and no intermittent data gaps). Extracting wave information from lidar signals have been done in numerous studies utilization a wide range of processing options. According to *Ehard et al., (2015)* the recommended method to extract gravity wave information from lidar profiles is to utilize spectral filtering method with a Butterworth filter.

To prepare the lidar data for proper signal processing, the data was mirrored to resemble a periodic signal prior spectral analysis. To assess the energy content in the wave field, a Butterworth filter was applied to extract the wave components of interest, the nightly background temperature and natural frequency profiles were determined, and the gravity wave potential energy density was calculated as a function of altitude. The wavelet/S-transform analysis was applied to the data to assess the variability of the wave field as a function of period and altitude.

Results

Our objectives are restricted to wave fields exhibiting periods on the scale of a few hours and down to a few minutes as well as limited in vertical wavelength by the altitude range covered by the lidar but

also the minimum vertical resolution of an airglow imaging systems. One can filter in time or spatial domain (or in principle in both). The recommendation by *Ehard et al., (2015)* is spatial filtering, which we also confirmed in our analysis. Following the methodology outlined above, Figure 1 shows a case study profile of the potential energy density as a function of altitude.

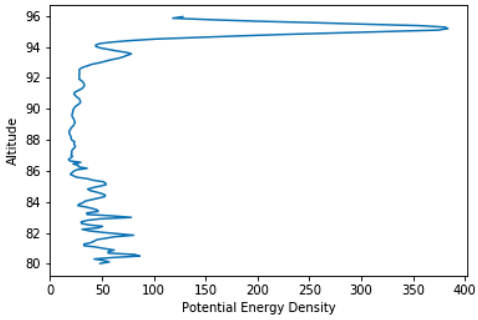


Figure 1: Example potential energy density profile for a wave field observed on January 9th, 2014.

The accumulative potential energy density typically observed in the Na lidar data varies between ~600-900 J/kg, which is within the range reported by other studies. We observe from the figure that the potential energy density exhibits variability across the altitude range, and it is this variability we are seeking to quantify. Typically, we see a decrease most likely due to wave breaking and dissipation in the altitude range 85-90 km with a subsequent increase suggesting 1) that the wave field did not experience wave breaking but rather underwent intermittent energy transfer, or 2) the wave field experienced wave breaking and secondary waves formed which propagated the energy upward. Further analysis is needed to evaluate these scenarios.

Figure 2 shows an example result of the wavelet analysis revealing the spectral characteristics of the wave field (power spectral density as a function of wavelength and altitude). This result suggest the majority of the wave power is contained in the gravity waves with small vertical wavelength (2-4 km), and there is suggestive evidence of wave generation of a 4 km vertical wavelength signal near 94 km, suggesting possibility (2) above (secondary wave generation) plays a role in the observed energy transfer.

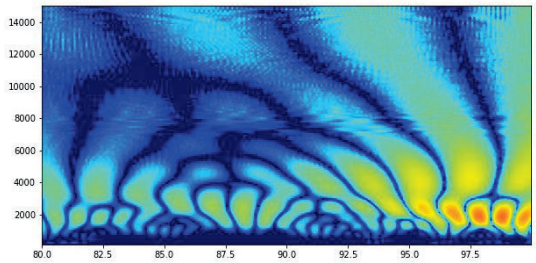


Figure 2: Wavelet power spectral density as a function of altitude (horizontal axis) and vertical wavelength (vertical axis).

In addition to Na resonance scattering signals, the Na lidar observations have been accumulating Rayleigh scattering signals in the major atmospheric particles, such as N_2 and O_2, from the stratosphere to the mesosphere. The Rayleigh scattering signals can be used for getting temperature data in the height range. Thus, such temperature data would provide important information on the coupling of upward propagating atmospheric waves into upper mesosphere and lower thermosphere. During the current project, we have developed a software to derive temperature data from the Rayleigh scattering signals. After the brief validation on the calculated temperature data, we have processed data covering the period between 2011 to 2019. The obtained long-term temperature data would be expected to advance our understanding of the vertical coupling in the polar atmosphere thorough the atmospheric waves.

Periods of Stay in ISEE January 6 – 26, 2020

List of Publications None

Tomographic study of galactic cosmic anisotropy in near-Earth space by Multi-directional cosmic ray observatory

P. K. Mahanty (Tata Institute of Fundamental Research, India)

The propagation of galactic cosmic rays (GCRs) through the heliosphere and especially their interaction with the interplanetary magnetic field in the inner heliosphere impacts the space weather. The significance of characterizing the GCR propagation is self-evident, since it can provide a practical capability of forecasting effects of space weather that have implications for the successful operation of technological infrastructure on Earth and in space. There is an active ongoing participation of several Japanese scientists in the GRAPES-3 experiment located in Ooty, India which contains the world's largest (560 m^2) muon telescope that detects GeV muons produced by the interaction of cosmic rays in the atmosphere. Its observations enable to monitor the electromagnetic environment of the near Earth space through detection of tiny changes in the cosmic ray intensity variation even in a short timescale of minutes. The GRAPES-3 has recorded an uninterrupted 20-year data base of muon intensity with the highest sensitivity covering solar cycles 23 and 24. The space weather studies through the diffusion of high-energy GCRs are extremely valuable since they serve as a probe of relatively larger scale structures in the interplanetary space and provide information complementary to that obtained from the low-energy measurements using space-based probes and neutron monitors. The ISEE international joint research program had supported the visit of two scientists from TIFR, India to Nagoya during October 2016. During the visit, the work on the measurement of radial diffusion coefficient of GCRs in the heliosphere using the GRAPES-3 muon data from the period 2000 to 2005 obtained from two independent methods (i) the correlated variations of solar wind velocity and GCR flux (Kojima et al., Physical Review D 91, 121303(R) (2015)) and (ii) the GCR radial density gradient from Swinson flow (Kojima et al. Astroparticle physics 62 (2015) 21)) were extensively discussed. It was found that the radial diffusion coefficient from the two independent methods yielded a similar value of ~10^{19} m^2 s^{-1} at 1 AU, characterizing the diffusion of GCRs at 77 GV. From this value of radial diffusion coefficient, the mean free path length for parallel diffusion was estimated to be 1.2 AU at 77 GV. These results led to a publication in a peer reviewed journal (Kojima et al., Phys. Rev. D 98 (2018)). This work has been further extended to examine the dependence of these parameters on the solar activity based on the sunspot number. With the support of the ISEE international joint research program for 2019-2020, two team members from TIFR, Mumbai including the PI of this project and Prof.

S.K. Gupta visited Nagoya during the period of 16 February to 7 March 2020 to discuss the analysis and preparation of a paper on these results. A brief summary of the activities performed during the visit is described below.

Profs. H. Kojima, S. Shibata, A. Oshima, Y. Muraki, S. Kawakami, Y. Hayashi, S.K. Gupta, and Dr. P.K. Mohanty met at the Chubu University and had very extensive discussion over the work carried out by Prof. H. Kojima on the relation between the cosmic ray density gradient and the sunspot number. Similar analysis as performed for the two papers mentioned above were extended to 17 years of GRAPES-3 data for the period from 2000 to 2016. The cosmic ray intensity variation with solar wind velocity was found to have a strong anti-correlation with the sunspot number. A strong linear correlation between GCR density gradient and sunspot number was observed. Several new ideas emerged during the discussion. Writing of a manuscript on this work to publish it in a peer reviewed journal was started during the visit. The finalization of the paper was expected during the visit of Profs. H. Kojima, S. Shibata and S. Kawakami to TIFR, Mumbai later in March 2020 which unfortunately had to be cancelled due to the Covid-19 outbreak.

A seminar was delivered by Prof. S.K. Gupta at the Nagoya University on 25 March 2020 with the title “Study of Cosmic Rays by GRAPES-3: A powerful messenger in the universe”. The seminar discussed about the result of the transient weakening of Earth’s magnetic shield by the GRAPES-3 muon telescope and its potential for accurate prediction of arrival of solar storms. The measurement of the record break potential during thunderstorm using the GRAPES-3 muon data was also highlighted. It was attended by several faculty members of the ISEE. Although many of them do not work in cosmic rays, however the topic was a common interest to several members and led to fruitful discussions.

Members including Profs. H. Kojima, A. Oshima, S. Kawakami, Y. Hayashi, S.K. Gupta, Y. Nakamura and Drs. P.K. Mohanty, K. Yamazaki and T. Nonaka visited the Akeno Observatory in the Yamanashi prefecture during 1-3 March 2020. Prof. K Tanaka from Hiroshima joined the discussion through Skype. It was a rare opportunity to have a meeting of so many members at one place. A very fruitful discussion occurred to analyse the GRAPES-3 muon data as well as the Akeno muon telescope data. A discussion occurred to upgrade the Akeno muon telescope which operates 3 modules similar to GRAPES-3.

In summary, the visit was very productive though it had to be shortened by a week due to the pandemic. The PI and the team members are thankful to the support of the ISEE.

Imaging meter-scale density irregularities associated with midlatitude TIDs

Hiroatsu Sato (DLR)

Purpose

The objective of this ISEE International Joint Research Program is to understand small scale density structures down to meter scale associated with midlatitude Traveling Ionospheric Disturbances (TIDs) by using L-band spaceborne Synthetic Aperture Radar (SAR) and GNSS observations. TIDs are wave-like plasma density perturbations propagating in the ionosphere. Night time TIDs, often observed at middle latitude, can have typical scale sizes of several hundreds of kilometers and wavelength of a few hundreds of kilometers. It is reported that the 3-m scale field-aligned irregularities in F region simultaneously with night time TIDs. We aimed to experimentally better understand the small scale structure of TID.

Method

The propagation of TIDs can be efficiently monitored by two-dimensional total electron content (TEC) maps from ground GPS/GNSS receiver network. In addition, low-frequency synthetic aperture radar (SAR) systems have been suggested to achieve the mapping of small- scale ionospheric TEC distributions at a finer resolution than do GPS/GNSS measurements. Therefore we have used simultaneous observation of MSTID over Japan by using data from GEONET GNSS data and ALOS/ALOS-2 SAR systems.

Results

When an event of night time MSTID over Japan was observed by GEONET TEC on 2019-08-20, ALOS 2 acquired ground SAR images from Chiba to Niigata area. The perturbation component of GNSS TEC modulation is approximately 0.5 TECU. From the quad pol SAR data, we have estimated Faraday rotation of SAR signals originated from ionsopheric propagation and converted it to SAR-TEC map over approximately 50x400 km swath. Our preliminary analysis shows that 0.5 TEC modulations are also found in SAR TEC when mapped to F region altitudes near TID wave front. We will further investigate this observation with intention to achieve km scale TEC mapping as a continuation of the research project and we aim at a scientific publication this year.. Figure 1 shows GEONET TEC and SAR observation of the MSTID event.

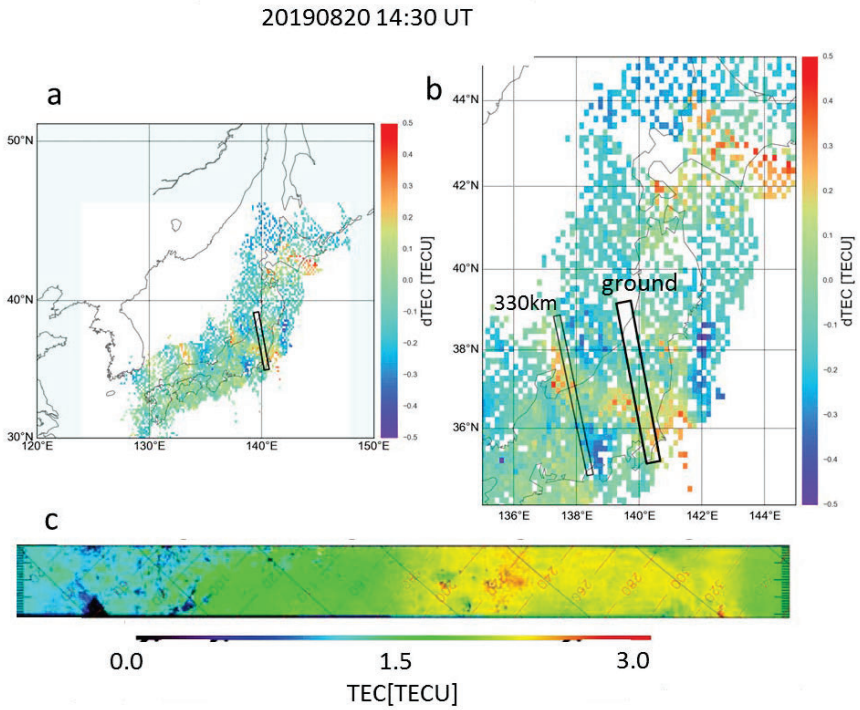


Figure 1 (a) GENET TEC observation of MSITD on 2019-08-20. (b) TEC perturbation near SAR observation frame at groudn and projection at 330 km altitude. (c) Estimated SAR TEC.

Research stay at ISEE

I have stayed at ISEE between October-November 2019 and January – March 2020. During these stays, I have participated SGEPSS in Kumamoto and PSTEPS symposium in Nagoya. I was also given an opportunity to hold a seminar for ISEE Division for Ionospheric and Magnetospheric Research where I enjoyed fruitful discussion with the lab members.

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

（所属・職名は2020年3月現在）
(Affiliation and Department displayed are current as of March 2020.)

（注1）：新型コロナウイルスの影響で中止
（注2）：新型コロナウイルスの影響で2020年度に延期し実施
（注3）：新型コロナウイルスの影響で2020年度に延期し中止

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
Kazuo Shiokawa	Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University	Professor	VarSITI Summarizing Workshop	88	
Toru Terao	Kagawa University	Professor	International workshop on decadal challenges for the convincing climate projection and S2S scale prediction of Asian monsoon system	89	
Noriyuki Narukage	National Astronomical Observatory of Japan (NAOJ)	Assistant Professor	FOXSI data analysis workshop		（注3）

VarSITI Summarizing Workshop

Kazuo Shiokawa (Center for International Collaborative Research (CICR), Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE), Nagoya University, Japan)
Katya Georgieva (Space Research and Technology Institute (SRTI), Bulgarian Academy of Sciences, Bulgaria)

VarSITI Summarizing Workshop was held as an ISEE/CICR international workshop in ISEE, Nagoya University on November 11-15, 2019. This workshop was designed to summarize the 5-year scientific achievements of the SCOSTEP's VarSITI (Variability of the Sun and Its Terrestrial Impact) program (http://www.varsiti.org/) of 2014-2018. Ten scientists (project co-leaders and working group leaders of VarSITI) were joined from Bulgaria, Canada, China, Croatia, Japan, New Zealand, and USA, and draft of five review papers were written. These review papers will be submitted to Progress in Earth and Planetary Science (PEPS) for the special issue of VarSITI.

During this workshop, Nat Gopalswamy, the former SCOSTEP President, presented glass plaques to Ms. Mai Asakura, Newsletter secretary of CICR/ISEE for recognition of 5-year editorial support of VarSITI Newsletter, and to Mr. Mitko Danov of SRTI, Bulgaria, for recognition of 5-year support of VarSITI website operation.

Participants of the VarSITI Summarizing Workshop

International workshop on decadal challenges in Asian monsoon process studies

Toru Terao (Kagawa University)

[Purpose]

Our objective of the workshop is to discuss about the publication of a review paper titled as "Decadal Challenges in Asian Monsoon Process Studies" from the Bulletin of the American Meteorological Society.

This paper aims to clarify the challenge of the hydroclimate science in upcoming decade for two practical foci, the convincing and useful climate projection and S2S scale prediction of the Asian monsoon system. Here the Asian monsoon system includes all seasons including winter, and all Asiatic countries which are under the influence of the monsoon climate. These challenges correspond to that for the Asian Precipitation Experiment (AsiaPEX) which is the successor of the MAHASRI project. AsiaPEX is now under planning as a prospect RHP (Regional Hydroclimatological Project) under GEWEX framework.

[Period and Place]

We hosted a workshop entitled ‘International Workshop on Decadal Challenges in Asian Monsoon Process Studies’ in 2-5 September 2020 in Nagoya University. International and Japanese researchers (25 in total, from 7 countries (China, India, Japan, Korea, Nepal, Netherland, USA, including 1 remote) participated in.

[Results]

In this workshop, we clarified the key challenges that have to be addressed for above foci during the next decade. We discussed strategic research targets for the understanding of the Asian monsoon process to accomplish convincing climate projection and S2S scale prediction. Under this discussion, we suggested the plan for the process studies, modelling initiatives, and coordinate observation projects.

Two major topics, extremes and climate reconstruction, that are well-timed for upcoming decade, were discussed in detail. Extremes are already becoming a hot topic for adaptation to the climate change. It is expected to be exacerbated in near future because of the global warming, although the detection and prediction of the nature of extreme events are very challenging still now. This workshop suggested the key point to understand the mechanisms and to transfer knowledge to the public. Climate reconstruction has become a hot topic because of recent advancement of data rescue, and their utilization. So much undigitized data still exist in different places and media. Data rescue activity should be accelerated. Recent activities for climate reconstruction by reanalysis technology foster potential usability of rescued data. This workshop proposed some areas to be addressed using rescued data to reconstruct recent 200-year climate change.

Based on this discussion, we further concluded the expected abstract of the review paper. The abstract will be submitted very soon in this April.

In this paper, we will describe the overall significance of AsiaPEX project, which will attract global monsoon and hydroclimatolgical research community. It will present the societal impact of the AsiaPEX project such as disaster mitigation and SDGs (sustainable development goals) under the changing climate. It will further

discuss about the scientific challenges of the AsiaPEX project which are largely relevant to diverse hydroclimatological condition, complex topography, nonlinear land-atmosphere and multiscale interactions inherent to Asian hydroclimate system. Key issues and questions in the AsiaPEX will be stated clearly.

[Planned Publications]

Terao, T. and co-authors: AsiaPEX: Challenges and Prospects in Asian Precipitation Processes. Bulletin of American Meteorological Society.

Das, S. and co-authors: AsiaPEX South Asia: Precipitation and Hydrological Processes over the South Asian Land Mass. International Journal of Climatology.

４．一般共同研究 目次詳細

（所属・職名は2020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
湯口貴史	山形大学	理学部	講師	石英中のTi濃度の定量分析に基づく石英の結晶化プロセスの解明：富山県黒部川花崗岩と宮崎県大崩山花崗岩を例に	91
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	93
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	95
小島正宜	名古屋大学	（旧）太陽地球環境研究所	名古屋大学名誉教授	惑星間空間シンチレーションを利用した太陽風研究	97
野村麗子	自然科学研究機構国立天文台	RISE月惑星探査検討室	特任研究員	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MIMの研究開発	99
丸橋克英	情報通信研究機構	電磁波研究所　宇宙環境研究室	協力研究員	太陽擾乱現象の惑星間空間伝搬に関する研究	101
村木　綏	名古屋大学	宇宙地球環境研究所宇宙線部門	名誉教授	2017年9月に観測された巨大フレアにおける高エネルギー粒子加速過程の研究	103
篠塚賢一	福岡工業大学	総合研究機構	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	104
竹内　誠	名古屋大学	大学院環境学研究科	教授	ジルコン U-Pb年代、Sr同位体分析による美濃・丹波帯堆積岩の地球化学的研究	106
鷲見治一	九州大学	国際宇宙天気科学・教育センター	学術研究員	太陽圏構造とダイナミックスの研究	108
中山智喜	長崎大学	水産・環境科学総合研究科	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	110
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　北極域気候変動予測研究ユニット	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	111
エコ　シスワント	海洋研究開発機構	地球環境観測研究開発センター	研究員	瀬戸内海における生物光学的要素の時空間変動	113
中野佑樹	東京大学	宇宙線研究所（附属神岡宇宙素粒子研究施設）	特任研究員	Super-Kamiokandeを用いた太陽フレア由 来のニュートリノに関する研究	115
赤田尚史	自然科学研究機構　核融合科学研究所	ヘリカル研究部	准教授	山形蔵王で観測される樹氷中宇宙線生成核種濃度	117
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１	118
山本一清	名古屋大学	大学院生命農学研究科	准教授	ドローンを利用した森林生態系のリモートセンシング	120

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
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	122
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	123
加藤雄人	東北大学	大学院理学研究科地球物理学専攻	教授	グローバル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	125
松本　淳	早稲田大学	人間科学学術院	教授	粒子状有機硝酸全量測定装置の湿度に対する応答の検証	127
佐藤友徳	北海道大学	大学院地球環境科学研究院	准教授	ユーラシアの積雪に対する北極海氷変動の影響の評価	129
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	131
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	133
横田勝一郎	大阪大学	大学院理学研究科	准教授	宇宙機搭載用高分解能イオン質量分析器の開発	135
廣川　淳	北海道大学	大学院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	137
亀山宗彦	北海道大学	大学院地球環境科学研究院	准教授	北極海洋域におけるメタン炭素同位体比を用いた水圏環境評価	139
渡邉恭子	防衛大学校	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	141
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	143
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	144
菊池崇	名古屋大学宇宙地球環境研究所		名誉教授	磁気圏電離圏電流伝送モデルを応用した中緯度地磁気誘導電流の研究	146
寺本万里子	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	特任助教	あらせ衛星観測データを用いた地磁気脈動の研究	148
河野光彦	関西学院千里国際キャンパス / 関西学院大学	関西学院千里国際高等部理科 / 理工学部	教諭 / 研究員	持続的地球環境のための高校生のできる課題	150
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	152
町田　忍	名古屋大学		名誉教授	2流体方程式系に基づくMMS衛星データの解析	154

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
細川敬祐	電気通信大学	大学院情報理工学研究科	准教授	極冠パッチに伴う磁場擾乱の観測的研究	156
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	助教	あらせ衛星を用いた地球内部磁気圏リングカレントイオン圧力変動に関する研究	158
小元久仁夫	元日本大学	大学院理工学研究科・文理学部	元教授	ビーチロック試料の正確な膠結年代決定方法	159
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	161
三澤浩昭	東北大学	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	163
関　華奈子	東京大学	大学院理学系研究科地球惑星科学専攻	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	164
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荷電粒子観測器のデータ解析	165
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	中性粒子質量分析器の開発	167
鈴木臣	愛知大学	地域政策学部	准教授	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	168
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	169
鈴木和良	海洋研究開発機構	北極環境変動総合研究センター	主任技術研究員	凍土域における植生と水文気候の相互作用と経年変動に関する研究	171
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	173
浅村和史	宇宙航空研究開発機構	宇宙科学研究所	助教	「あらせ」衛星および地上観測によるリングカレントイオンの散乱現象の解析	174
尾形友道	海洋研究開発機構	アプリケーションラボ	研究員	赤道波動のエネルギー伝達経路の診断による熱帯気候の理解と海洋データの付加価値形成	175
小川泰信	国立極地研究所	国際北極環境研究センター	准教授	電離圏D/E層のプラズマ温度導出と検証	176
天野孝伸	東京大学	理学系研究科地球惑星科学専攻	准教授	温度異方性を起源とするプラズマ波動励起	178
村田文絵	高知大学	教育研究部自然科学系理工学部門	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	179
中北英一	京都大学	防災研究所	教授	Kaバンドレーダーを用いた積乱雲の生成・発達過程に関する研究	181

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
馬場賢治	酪農学園大学	酪農学研究科/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	183
竹川 暢之	首都大学東京	理学研究科	教授	雲過程はブラックカーボン混合状態の変化をもたらすか?	185
久保勇樹	情報通信研究機構	電磁波研究所　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	187
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	190
大野智生	気象庁　気象衛星センター	データ処理部	部長	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	192
岳藤一宏	情報通信研究機構	電磁波研究所　時空標準研究室	主任研究員	Crabパルサーの長期変動モニターによる星間プラズマゆらぎの検出へむけて	194
サレム　イブラヒム　サレム　モハメット　サレム	東京大学	生産技術研究所	研究員	深層ニューラルネットワークと衛星データを用いた湖沼・沿岸域の連続水質モニタリング	197
太田充恒	産業技術総合研究所	地質情報研究部門	上級主任研究員	Sr同位体分布図を用いた地殻表層物質の陸海域間の移動過程の解明	199
奥山　圭一	九州工業大学	大学院工学研究院・先端機能システム工学研究系	教授	”あらせ”と”てんこう”を用いたジオスペース観測	202
小池　真	東京大学	大学院理学系研究科・地球惑星科学専攻	准教授	航空機・地上観測と数値モデル計算によるエアロゾルと雲に関する研究	203
野澤恵	茨城大学	理学部	准教授	宇宙天気インタープリンター養成のためのプログラム開発	204
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	助教	ALMAフレア観測に向けた野辺山電波ヘリオグラフによる粒子加速研究	206
津田卓雄	電気通信大学	大学院情報理工学研究科	助教	高エネルギー降下粒子が金属原子層・金属イオン層に与える影響	207
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	208
森島邦博	名古屋大学	高等研究院	特任助教	原子核乾板を用いた宇宙線ミューオンフラックスの測定	210
田村　亨	産業技術総合研究所	地質情報研究部門	主任研究員	Development of Quaternary dating with optically stimulated luminescence methods	212
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課程への寄与推定	213
渡邉　堯	情報通信研究機構	戦略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	215

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
纐纈　佑衣	名古屋大学	大学院環境学研究科	助教	ランプロファイアー岩脈の全岩化学組成と鉱物化学組成分析によるマグマの成因解明	216

石英中の Ti 濃度の定量分析に基づく石英の結晶化プロセスの解明：富山県黒部川花崗岩と宮崎県大崩山花崗岩を例に

Quantitative determination of Ti concentration in quartz giving crystallization process of quartz: An examples of Kurobegawa and Okueyama granitic plutons

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　山形大学理学部　地球環境学科
加藤丈典　名古屋大学　宇宙地球環境研究所

1. 研究目的

珪長質の深成岩体において，岩体内部での岩相が異なっても石英は共通して普遍的に産出するケースがしばしば観察される。例えば，平成 30 年度の共同研究で対象とした遠野複合深成岩では，3 岩相（主岩相，中心部相，周辺部相）に共通して石英が観察される。このため，石英の結晶化プロセスの解明は，深成岩体全体の形成プロセスの把握へと発展可能な課題である。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 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。そこで前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，遠野複合深成岩体の石英を例として Ti 濃度の高精度定量分析法の開発を実施した。2019 年度の共同研究では，これまで構築した手法を富山県の黒部川花崗岩体および宮崎県の大崩山花崗岩体の石英に対して適用する。本年度は以下の議論を実施した：1）異なる岩体に対しても同様の手法で Ti 濃度が定量可能か。2）CL 観察に基づく内部構造と Ti 濃度との関係性の解明。

2. 試料と研究方法（使用した共同利用装置・施設）

本研究では，富山県の黒部川花崗岩体および宮崎県の大崩山花崗岩体の石英をサンプルとして用いた。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。この手法により，Ti の検出限界は 15 ppm，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，石英結晶内部の Ti 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生成に対する定量分析結果について報告する。黒部川花崗岩体は Ti 含有鉱物が乏しく，石英はメルト中のチタンが乏しい状態で結晶化されたことが推察される。石英の CL 観察の結果，明瞭なゾーニングは発達しておらず，低輝度で均質な内部構造が多く観察される。上述の Ti 定量分析の結果，石英の破壊もなく，妥当な定量値を取得できた。Ti 濃度は 16 ± 11 ppm から 116 ± 11 ppm の幅を有し，全点の加重平均は 36 ± 6 ppm（N = 60）となった。結晶化温度の導出は，今後妥当な活動度の決定が必要となる。次に，石英粒子内部で複数点の Ti 濃度の定量を行い，CL パターンとの関係を考察した。その一例として，石英中に複数のサブグレインが観察される石英（サンプル No. 009-1a1；図 1A）を示す。この石英では CL 観察に基づく内部構造に対して明瞭な傾向を示さない。つまり，CL 像の輝度の明暗と Ti 濃度が関連しない可能性を示す。

次に、大崩山花崗岩体の石英に対する定量分析結果に関して報告する。大崩山花崗岩体は Ti 含有鉱物に富んでおり，石英はメルト中ではチタンに富んだ状態で結晶化されたことが推察される。石英の CL 観察の結果，オシラトリーゾーニングなどの累帯構造を持つ内部構造がしばしば観察される。Ti 定量分析の結果，非破壊にて定量値を取得できた。石英の Ti 濃度は 17 ± 11 ppm から 382 ± 10 ppm の幅を有し，全点の加重平均は 93 ± 11 ppm（N =148）となった。結晶化温度の導出は，今後妥当な活動度の決定が必要となる。仮に TiO_2 の活動度を 1 として計算を行うと 17 ± 11 ppm の値は結晶化温度 566 ± 93℃となり，382 ± 10 ppm の値は結晶化温度 938 ± 20℃を示す。さらに，石英粒子内部で複数点の Ti 濃度の定量を行い，CL パターンとの関係を考察した。石英中にオシラトリーゾーニングが観察される石英（サンプル No. BG-01；図 1B）を例に示す。この石英では，コアの CL 低輝度域において，302 ± 11 ppm を持つのに対して，上部の高輝度域では 23 ± 10 ppm を示す。つまり，CL 像の輝度の明暗と Ti 濃度が関連しない可能性を示す。

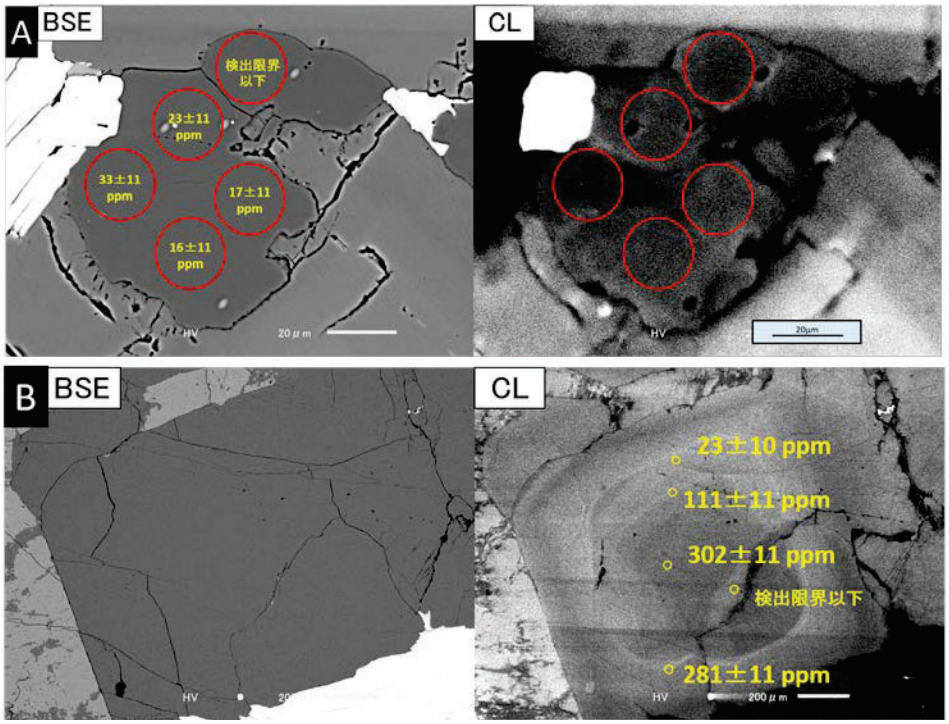


図 1 黒部川花崗岩体（A）および大崩山花崗岩体（B）の
石英の化学組成像（BSE 像），CL 像およびチタン濃度

以上の点から、前年度までに構築した手法で，黒部川花崗岩体および大崩山花崗岩体の石英においても，妥当な Ti 濃度が定量可能であることを把握した。また，本年度の対象とした黒部川花崗岩体および大崩山花崗岩体の石英では，CL 像の輝度に対して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。これは前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性質である。Ti 濃度と CL 像の輝度に相関を有する石英とそうでない石英について今後検討を続ける。

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）

小北康弘，加藤丈典，湯口貴史．東北日本，遠野複合深成岩体の冷却プロセスの推定：石英の結晶化温度に着目したアプローチ ．ESR 応用計測研究会・ルミネッセンス年代測定研究会・フィッション・トラック研究会 2019 年度 合同研究会，岐阜県土岐市，11 月

小北康弘，加藤丈典，湯口貴史．結晶質岩体に産出する石英の結晶化温度推定．原子力学会中部支部 2019 年度研究会，名古屋大学，12 月

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】

2019年5月～12月にかけて琵琶湖北湖（観測地点：5地点）において船舶観測と衛星観測を同時に行った。船舶観測では，現場クロロフィルa濃度（$Chl_{in\text{-}situ}$）測定用の湖水を採取（深度1 m, 3 m）し，分析に供した。同時に，水中分光放射照度・輝度計（PRR600-610, Biospherical Instruments）を用いて現場におけるリモートセンシング反射率（$Rrs_{in\text{-}situ}(\lambda)$）を測定した。なお，$Chl_{in\text{-}situ}$は，90 %アセトンで色素抽出を行った後，蛍光光度計（TD-700: Turner Designs）を用いたWelschmeyer (1994)の方法により測定した。

衛星観測では，GCOM-C/SGLIによって測定された正規化海水射出放射輝度$nL_w(\lambda)$（level-2，空間分解能250 m）をJASMES（JAXA）から取得し，$nL_w(\lambda)$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（$Rrs_{sate}(\lambda)$）を求めた。

【結果と考察】

各波長における$Rrs_{sate}(\lambda)$と$Rrs_{in\text{-}situ}(\lambda)$の関係を**図1**に示す。$Rrs_{sate}$(490, 530, 565)は比較精度が高く，現場リモートセンシング反射率に近い値を示した（ただし，春期は精度が低下する傾向にあった）。一方，Rrs_{sate}(412, 443, 674)は上記の波長における値と比較して精度が低く，負の値も存在した。

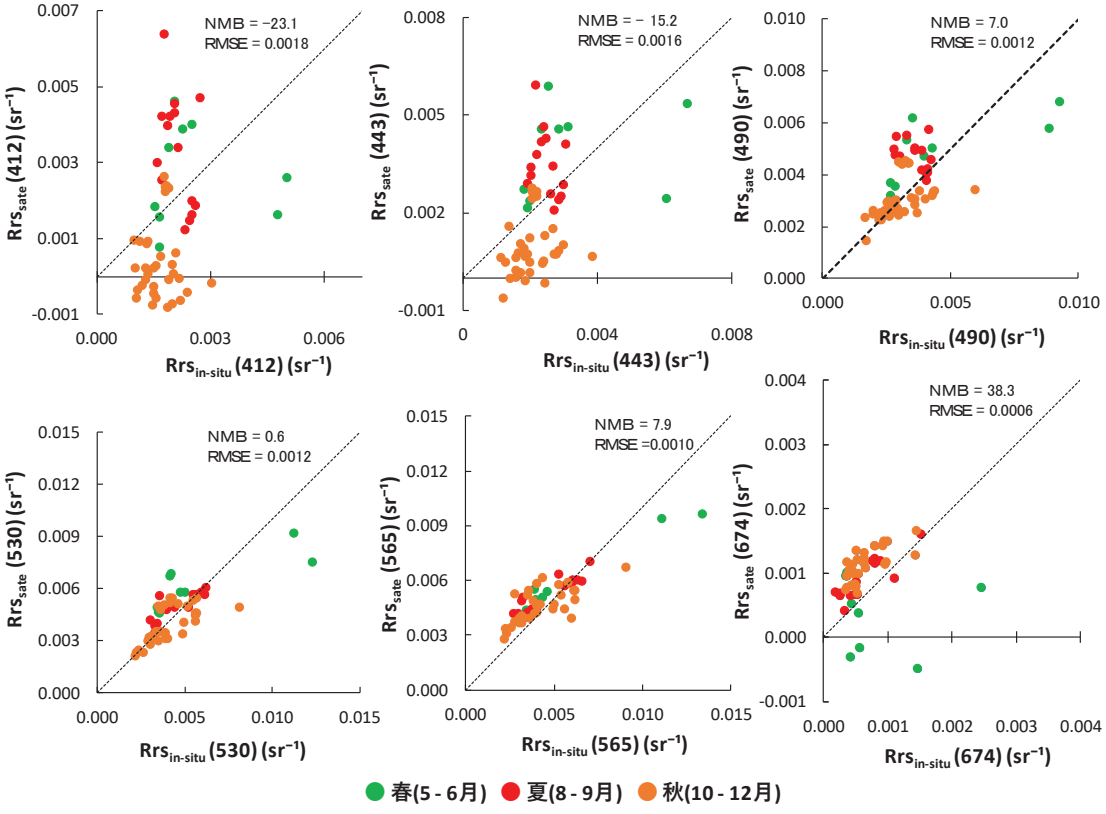


図 1. 衛星リモートセンシング反射率（$Rrs_{sate}(\lambda)$）と現場リモートセンシング反射率（$Rrs_{in\text{-}situ}(\lambda)$）との関係．　図中の点線は 1：1 ラインを示す。

衛星クロロフィルa濃度の算出に用いる反射率比の波長の組み合わせを検討した結果，490 nmと565 nmの組み合わせがもっとも精度が高かったため，本研究では，衛星クロロフィルa濃度の算出に$Rrs_{sate}(490/565)$を用いることとした。**図2**に$Rrs_{sate}(490/565)$と$Rrs_{in\text{-}situ}(490/565)$との関係を示す。$Rrs_{sate}(490/565)$は比較的精度が高く，現場における$Rrs_{in\text{-}situ}(490/565)$に近い値を示した。

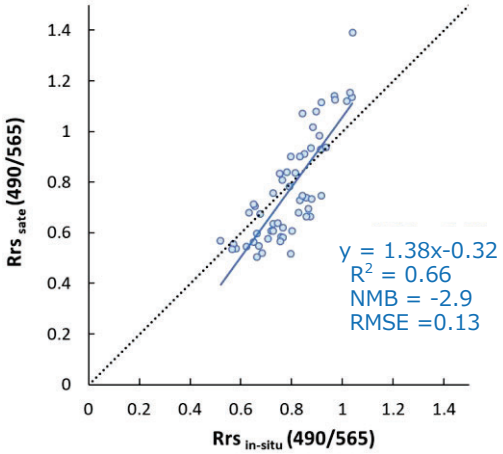


図 2. $Rrs_{sate}(490/565)$と $Rrs_{in\text{-}situ}(490/565)$との関係．図中の点線は 1：1 ラインを示す。

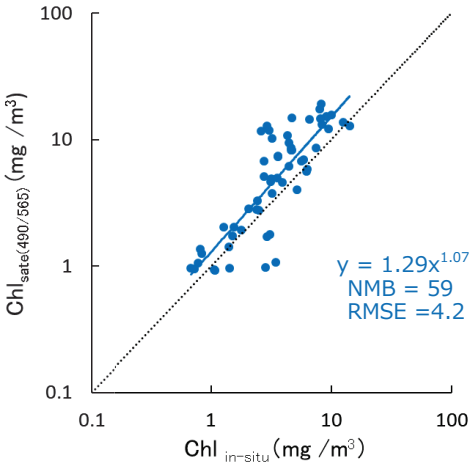


図 3. $Rrs_{sate}(490/565)$から推定したクロロフィル a 濃度（$Chl_{sate(490/565)}$）と現場クロロフィル a 濃度（$Chl_{in\text{-}situ}$）との関係．

本研究では，MODISの標準水中生物光学アルゴリズムの係数を最適化した以下の式と$Rrs_{sate}(490/565)$から衛星クロロフィルa濃度（$Chl_{sate(490/565)}$）を算出した。その結果得られた$Chl_{sate(490/565)}$は現場におけるクロロフィルa濃度を過大評価する傾向にあった（**図3**）。今後は，この過大評価を抑えて精度を高めるために，水中生物光学アルゴリズムおよび衛星リモートセンシング反射率の補正法を検討する必要がある。

本研究で用いた水中生物光学アルゴリズム

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

$$C_0=0.512,\ C_1=-9.655,\ C_2=18.876,\ C_3=90.673,\ C_4=108.247$$

【成果発表】

論文：塚本浩貴，後藤直成，吉原亜悠，高木裕太，新井那莉，林正能，石坂丞二（2019）衛星リモートセンシングを用いた琵琶湖におけるクロロフィル a 濃度の推定．リモートセンシング学会誌 39 (2)：103-111.

発表：塚本浩貴，林正能，石坂丞二，後藤直成．高解像度光学観測衛星「しきさい（SGLI)」を用いた湖沼における水質モニタリングの可能性．海洋理工学会，京都大学，2019 年 11 月 20 日．

大賀雄介，後藤直成，石坂丞二．琵琶湖北湖における SGLI のリモートセンシング反射率データの検証．日本リモートセンシング学会　海洋・湖沼リモートセンシング研究会，名古屋，2019 年 9 月 11 日．

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６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：これまでレーザー実験のプラズマ自発光イメージ計測によって衝撃波面と考えられていた不連続面は、実はそうではなく電子スケールの接触不連続面であるという示唆を得ていたが（Umeda, Yamazaki et al. 2019, PoP)、実験データとの詳細比較により、このことを確認できた。PIC計算ではパラメータ探査を行い、背景磁場が3.0T以上であれば、現在の我々の実験装置でMSを生成可能であることがわかった。そこで、2019年度の実験では外部磁場を3.6Tかけたショットを行い、データを取得でき、2019年秋の日本物理学会にて発表した。現在、1次元PICシミュレーションの結果と比較しながら実験結果の物理的解釈の議論を進めている。

発表論文：

[1] "Full particle-in-cell simulation of the interaction between two plasmas for laboratory experiments on the generation of magnetized collisionless shocks with high-power lasers", T. Umeda, R. Yamazaki, Y. Ohira, N. Ishizaka, S. Kakuchi et al. (2019), Physics of Plasmas, 26, 032303 (8pp)

[2] "Mach number and plasma beta dependence of the ion temperature perpendicular to the external magnetic field in the transition region of perpendicular collisionless shocks", R. Yamazaki, A. Shinoda, T. Umeda, & S. Matsukiyo (2019), AIP Advances, 9, 125010 (4pp)

学会発表：

[1] "Shock Waves in Astrophysical and Laboratory Plasmas", R. Yamazaki, The 14th Asia-Pacific Physics Conference (November 17-22, 2019, Kuching, Malaysia)

[2] "Toward the generation of magnetized collisionless shocks with high-energy lasers", R. Yamazaki et al., Workshop to bring together experts on High Energy Astrophysics from Japan and Israel (July 18-23, 2019, RIKEN, Wako, Japan)

[3] "Full particle-in-cell simulation of the interaction between two plasmas for laboratory experiments on the generation of magnetized collisionless shocks with high-power lasers", T. Umeda, R. Yamazaki, Y. Ohira, 15th symposium of Interrelationship between Plasma Experiments in the Laboratory and in Space (September 2-6, 2019, Tokyo, Japan)

[4]「大型レーザー激光XII号を用いた磁化プラズマ中を伝播する無衝突衝撃波の生成実験(1)：実験デザインの決定」，角地 真，山崎 了，田中 周太，冨田 沙羅，河村 有志郎 他37名，日本物理学会 2019年秋季大会（2019年9月17日-20日，山形大学）

[5]「大型レーザー激光XII号を用いた磁化プラズマ中を伝播する無衝突衝撃波の生成実験(2)：輻射流体およびプラズマ粒子シミュレーションの結果との比較」，瀬井 柊人，山崎 了，田中 周太，冨田 沙羅，河村 有志郎 他37名，日本物理学会 2019年秋季大会（2019年9月17日-20日，山形大学）

[6]「大型レーザー激光XII号を用いた磁化プラズマ中を伝播する無衝突衝撃波の生成実験(3)：トムソン散乱計測の結果」，石坂 夏槻，山崎 了，田中 周太，冨田 沙羅，河村 有志郎 他37名，日本物理学会 2019年秋季大会（2019年9月17日-20日，山形大学）

惑星間空間シンチレーションを利用した太陽風研究
Study of the solar wind using interplanetary scintillation

小島正宜　名古屋大学

2019年度はトモグラフィー解析法(IPS CT)改良のための考察を行った。その目的は IPS CT で得られた太陽風速度構造の高緯度に ULYSSES の観測しなかったような 850 km/s 超の高速が現れることがあるので、その信頼性を調べるのが目的である。

IPS CT では、①電波散乱は弱散乱であり②そのために厚みのある電波伝搬媒質である太陽風を多層の thin screen の重ね合わせと考え Born 近似を適用できると仮定する。そこで問題となるのは太陽風の厚みをどのように考えるかである。現在は、視線に沿い地球から2AU の距離までの太陽風物理量が重畳されたものを IPS は観測していると仮定しているが果たしてそれで良いのかを考察する。

調べ方は、CT 解析で視線積分範囲をいろいろと変え、得られた太陽風速度構造と in situ 観測（ULYSSES と OMNI）とを比較して評価する。まず用いる IPS データであるが、850km/s で一様分布する太陽風モデルで IPS を視線積分 2AU でシミュレートすると 750km/s 以下の速度しか得られない。しかし実際には 850km/s 超の速度が IPS で観測されているが何故かを調べたところ、惑星間空間擾乱によるもので無く共回転太陽風によるものであることが分かった。IPS が観測したこの超高速風については今後の検討事項である。

視線積分範囲が CT の結果にどのように影響するかを考える。IPS で観測された速度 $V_{IPS\,OBS}$ を 850 km/se とする。IPS のシミュレーションは次式で行う。視線に垂直な面に投影された速度に荷重 w を乗じたものを視線積分した結果が観測されるものである。

$$V_{\text{ips simulation}} = \int_0^{2AU} w(z) V_{\text{model}}(z) \cos\left[\theta(z)\right] dz$$

そこで CT 解析を始める model の 0 次近似を IPS の観測値と同じ V_{model}=850 km/s と仮定し上式で 2AU の積分を行うと $V_{simulate}$= 750 km/s が得られる。そのため観測値とシミュレーション値の差 △＝$V_{IPS\,OBS}$－$V_{simulate}$=100 km/s が CT 解析での model 修正に用いられる。そのためにモデルの速度 V_{model} は 100 km/s 高く修正されてしまう。シミュレーション値 $V_{simulate}$ が V_{model} よりも低くなるのは視線積分で θ が大きくなる遠方まで積分してしまうのが一因と考えられるので、積分範囲をいろいろと変えてその効果を考察した。また荷重のかけ方も高速風ほど荷重が高くするとどうなるかも考察してみた。

結果

solar minimum でかつ高緯度の Ulysses 観測がある 1995 年の観測を用いて考察を行った。

○視線積分の範囲

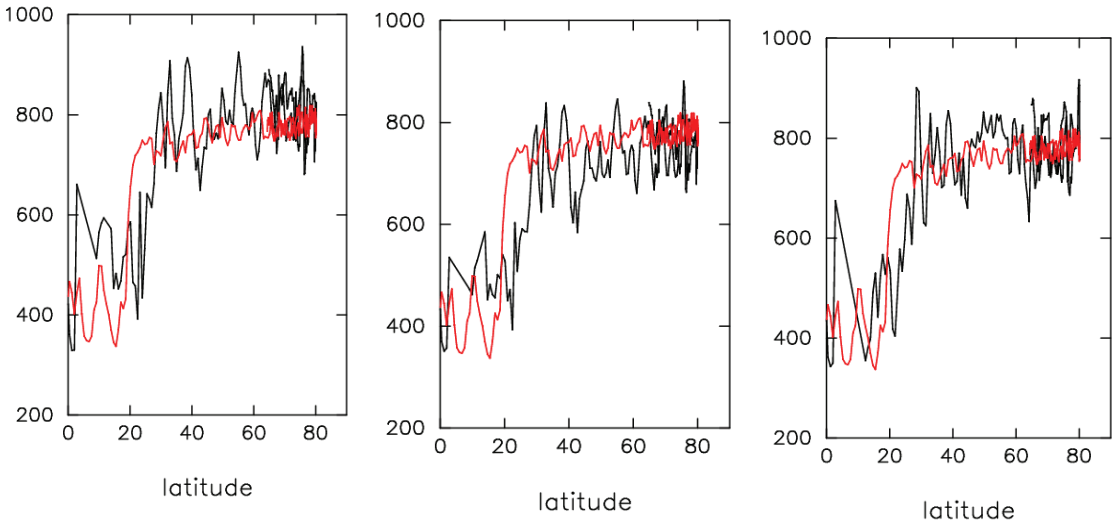
・現行の 0－2AU は要検討。

・荷重関数最大値の位置よりも地球側の寄与を弱める、あるいは遠方を弱めるのは効果ありそう。地球側と遠方側の両方を同様に弱めるのは良くない。

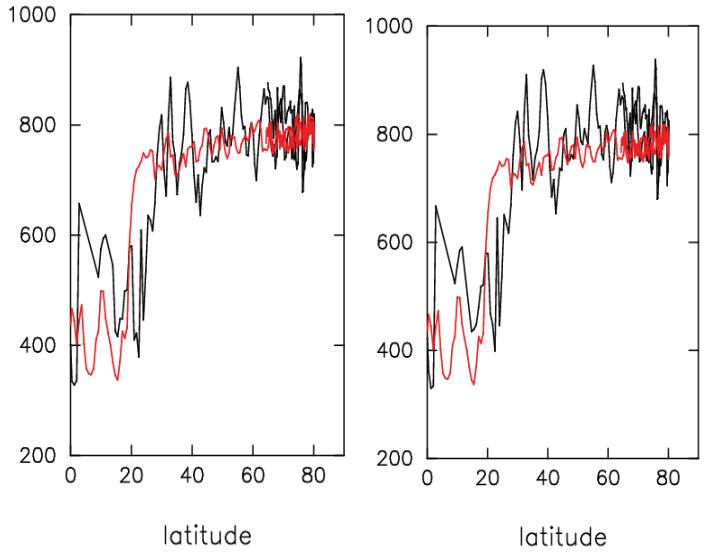
○荷重のかけ方

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。しかし要検討。

1995 年の ULYSSES の軌跡に沿い IPS CT 図から取り出した速度緯度構造。赤線は ULYSSES.。左端：積分範囲を地球より 2AU まで。中央：荷重関数最大値点より地球側の寄与を減らす。右端：荷重関数最大値点より遠方の寄与を減らす。



左図：荷重関数の $\alpha = 0.2$　右図：$\alpha = 0.5$



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 MIM の研究開発
Development of the magnetic impedance (MI) sensor on the sounding rocket experiment LAMP

野村麗子，自然科学研究機構国立天文台 RISE 月惑星探査プロジェクト

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．

研究方法

2020 年冬季に打上げ予定の観測ロケット実験 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．その実験を目指して，本年度は 3 つの準備①デジタル処理部と MI センサ部の噛み合わせ試験，②Raspberry Pi を用いたデジタル処理部の製作と③地上試験による MI センサの温度特性の取得を実施した．

研究結果・報告

① デジタル処理部と MI センサ部の噛み合わせ試験：磁場観測器 MIM として完成させるため，デジタル処理部と MI センサ部を持ち寄ってインターフェイスの試験を行った．基本的には問題なく動作することがわかった．

② 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っているが，30 分あたり十数回異常値を取得す

ることがわかった．現在は異常値を取得した場合に，記録しない仕組みにプログラムを改良中である．

③ 地上試験による MI センサの温度特性の取得；地上試験にて MI センサの温度特性を取得し，温度補正がどの程度有効か，ロケット実験で実際に打上げる前に確認をする．-30 度から 50 度の範囲においてセンサの温度特性を取得した．今後温度補正がどの程度有効か，調査を進める予定である．

太陽擾乱現象の惑星間空間伝搬に関する研究
Study on propagation of solar transients in interplanetary space

丸橋克英、情報通信研究機構・電波研究所・宇宙環境研究室

【研究目的】

太陽の擾乱現象（フレアー、CME等）は太陽風中に特徴的な構造（ICMEと総称する）を形成する。ICMEが地球に到達すると地球周辺の宇宙環境に大きな擾乱を引き起こす。太陽の擾乱現象とICMEの関係が明らかにされれば、太陽の観測に基づいて地球周辺の宇宙環境擾乱を予測することが可能になり、宇宙環境擾乱を発生よりも2日程度前に予報できることになる。この研究の目的は「太陽擾乱現象によって生じるICMEがどのような（特に磁場の）構造をもち、惑星間空間をどのように伝搬するか」に関して応用可能な知見を得ることである。

【研究方法】

1. ACE, Wind等の太陽風観測データからICME内部にある磁気ロープ構造を決定し、SOHO,STEREO,SDO等の太陽観測と比較することにより、ICMEの構造と太陽擾乱の発生源の構造との関係を考察する。
2. 磁気ロープ構造の決定にはモデルが必要であり、採用するモデルにより結果が異なるのが現状である。この現状を打破するために、異なるモデルの特性を検討し、それぞれの適用条件を明確にする。
3. STEREO衛星のCME, ICME観測データ、名古屋大学その他のIPS観測データを利用して、ICMEの3次元構造、太陽風中の伝搬による変形等について解析する。特に、観測されたICME形状の非対称性の原因について考察する。

【研究結果】

飛翔体による太陽風の直接観測データからICME中の磁気ロープの3次元構造を決定するためには、モデルとの比較が不可欠である。観測データから磁気ロープ構造を推定するために、force-free(FF)磁場モデルへのfittingとGrad-Shafranov（GS）方程式による磁場構造の構築の方法がひろく使用されている。

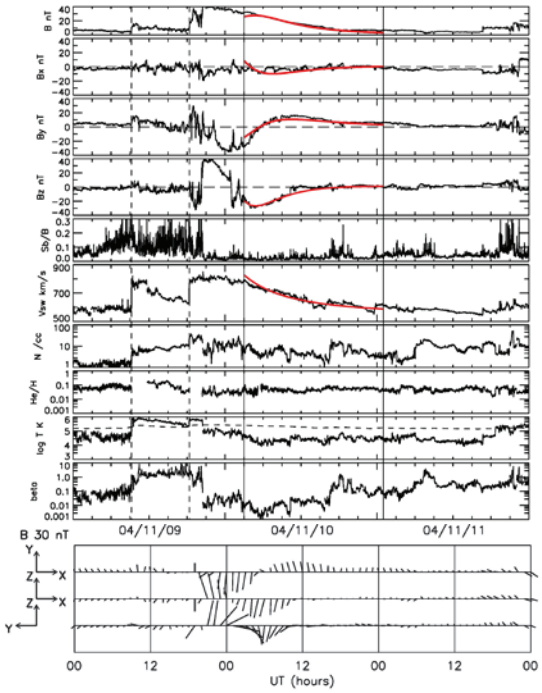
GS法はFF-fittingに比べて、プラズマ圧の効果を含んでいる点、磁気ロープの断面形状と内部構造を仮定しない点ですぐれた解析法であるが、対称性に関して強い制約を課しているために解析に応用できる範囲が限定的になってしまう。これに対してFF-fittingでは、多くの拡張モデルが考案されており、適用範囲が広いという特徴がある。特に昨年度から共同研究で西村信彦（ISEEの博士課程院生）が開発したFFモデルは磁気ロープ外縁における磁場ピッチ角が多様な値をとれることを示す優れたものである。GS法では、磁気ロープ境界の選択条件が大きな問題であったが、西村のFFモデルと比較することにより、有意な検討が可能になった。また同時に、FF磁場で仮定される磁気ロープの内部構造をGS法により検定することも期待できるようになった。

Al-Haddad et al. が注意深く選んだ対称性のよい13例の磁気ロープ(Solar Phys., 2018) について簡単に検討した結果、FFモデルとGS法で決めた軸の方向がおよそ一致するという初期結果が得られた。

非対称性の大きい磁気ロープについても考察を進め、衛星観測で非対称に見える磁気ロープの解析には(1)磁気ロープの膨張（収縮）(2)磁気ロープを運ぶ太陽風の加速（減速）(3)周囲の太陽風との相互作用による磁気ロープの変形の効果を判別する企てを始めた。従来、この３つの効果は等価的な膨張効果で代表してきたが、それでは不十分なことを示唆する磁気ロープの事例は少なくはなかった。挿入した磁気ロープの図は、非対称性が強く膨張率が大きすぎる結果となる例で

ある。

赤線がfitting結果であり、磁気ロープの流れのスピードは690km/s、膨張率は0.084/hrs、つまり太陽―地球間の伝搬中に11倍に膨張するという結果になっている。



【考察】

GS法は数学的にすぐれた解析法であるが、本質的に2次元構造を仮定しており、対称性に関しても厳しい制限が課せられているため、適用できる磁気ロープ例が限定されるという問題がある。一方、FF磁場モデルでは、曲率をもつ磁気ロープ（トーラス型）へのfitting、磁気ロープの膨張など多様なモデルが考案されている。GS法が適用できる磁気ロープの観測例について、FFモデルfittingで得られた内部磁場分布との一致が確認されれば、FF磁場による太陽風磁気ロープの記述が一般的に正しいと考えることができると言えるだろう。

おわりに、FF法とGS法の比較をさらに進めるためには、GS法を以下のように改良する必要がある。まず、GS法をトーラス型の磁気ロープに拡張することがなによりも求められることである。つぎに、非対称な磁気ロープが扱えるように、加速（減速）の効果、膨張（収縮）の効果をモデルに組み入れることが必要である。もう一つの非対称の原因となる構造の変形については、GS法では自然に求められる可能性がある。

このような改善をした上で、FF法とGS法を組み合わせることにより磁気ロープ構造の実態がさらに理解されることを期待したい。

【成果発表】

・論文

Nishimura, N., Marubashi, K., Tokumaru, M., Comparison of cylindrical flux rope model fittings with different boundary pitch-angle treatments, Solar Phys (2019) 294:49, doi: 10.1007/s11207-019-1435-5.

Nishimura, N., Marubashi, K., Tokumaru, M., Comparison of toroidal flux rope model fittings with different boundary pitch-angle treatments, Solar Phys (2020) 295:40, doi: 10.1007/s11207-020-01607-1

・口頭発表

丸橋克英、久保勇樹、西村信彦、徳丸宗利、Nada Al-Haddad、太陽風磁気ロープ構造解析の問題点：フォースフリーモデル対GS法、JpGU2019、幕張、2019年5月29日.

和 文 課 題 名

2017 年 9 月に観測された巨大フレアにおける高エネルギー粒子の加速過程の研究

英 文 課 題 名

Study of particle acceleration processes in the flare observed on September 2017

代 表 者 、 所 属 機 関 ・ 部 局

村 木　綏　　名 古 屋 大 学 ・ ISEE ・ 名 誉 教 授

共同利用報告書

研究分担者　柴田祥一（中部大学)、古賀清一（JAXA)、神谷浩紀（JAXA）
研究所参加教員　田島宏康、松原　豊、増田　智

実績報告

2017 年 9 月 4 日から 10 日にかけて、太陽活動静穏期では珍しい巨大太陽フレアが何例も太陽表面で発生した。それに伴い高エネルギーガンマ線や太陽中性子が様々な宇宙観測計器によって受信された。我々はその中でも高エネルギーに加速された電子が制動放射で放出した硬X線のエネルギースペクトルの時間発展に注目した。

Fermi-LAT 衛星で観測されたエネルギースペクトルは今までの時間発展と異なるエネルギースペクトルを示した。　それは各エネルギーバンドのエネルギースペクトルが同時に強度を増大させるのではなく、エネルギースペクトル全体が時間とともに高いエネルギーにシフトしていく変動であった。式で表現すると、$P(E,t)=P_0(E_0,t_0)(1+\Delta p/p)^n$で表現できる。ここで $P_0(E_0,t_0)$は 時間 t_0のエネルギーE_0の flux を表し、そのエネルギーの flux が時間 t の時には E になることを表している。n は衝撃波との衝突回数を表す。このような事例が X クラスのフレア 2 例に伴って観測された。

この仕事のまとめは 2019 年の 7 月米国ウイスコンシン大学で開催された第 36 回国際宇宙線・宇宙物理会議で発表した。論文は下記から down load 可能である。

Proceeding of Science (2019) 1150.pdf

また高山に設置された観測装置が太陽フレアに伴って太陽からの高エネルギーガンマ線を検出した。これは高価な衛星を用いなくても地上の高山（～高度 5,000m class）に観測装置を設置すれば、太陽ガンマ線を検出できることを示した最初の論文を、日本天文学会誌に発表した。事例は 2011 年 3 月 7 日と 2011 年 9 月 25 日に、メキシコ（4,800m）とチベット(4,300m)に設置されている太陽中性子望遠鏡で観測された。

論文は　PASJ (2920)72(2)1-17　 doi 10.1093/pasj/psz141　に発表された。

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、福岡工業大学情報システム工学科

研究目的：近年、化石燃料などの燃焼により、反応性の高い窒素が大気へ放出され、大気からの窒素降下物が増加傾向にある。そのため、施肥などの人為起源の窒素負荷を受けない森林域にも大きな影響を与えている。大気から沈着した窒素が渓流水へ流出するまでの窒素循環のプロセスを解明することは、下流域への森林が持つ多面的機能を評価するうえで重要である。

森林における水の循環は、降水が、土壌を浸透し地下水となり、最終的に渓流水として湧水する。この水の移動に伴い、降水に溶存して負荷された大気起源のNO_3^-は、森林内部の窒素循環に即座に取り込まれ、渓流に流出時には森林起源のNO_3^-に置き換わる。降水としてインプットした水が、森林に滞留している時間が長くなると、大気起源のNO_3^-が置き換わる割合が多いと考えられる。同時に、NO_3^-の起源の変化は森林の生産速度は気温による影響を受けやすいため、夏と冬といった季節の違いにより森林の窒素循環速度は変化する。

森林の代表的な窒素循環は、樹冠の葉面からや森林土壌の根茎や微生物といったNO_3^-吸収，有機物分解による硝化反応によるNO_3^-生成がある。また、嫌気的環境下では脱窒反応により森林からNO_3^-が取り除かれる。以上のように、森林の窒素循環は様々なNO_3^-利用やNO_3^-生成が複雑かつ可逆反応で起きている。これらのプロセスを介した起源を特定するために、安定同位体比分析手法が使われてきた。しかし、森林のNO_3^-循環は複雑で可逆的なプロセスであるため、$\delta^{15}N$, $\delta^{18}O$の２種のトレーサーのみの分析では、窒素循環を解明することは困難であった。そこで、大気で生成されるNO_3^-のトレーサーとして用いることができる$\Delta^{17}O$を分析することにより、降水を介した大気起源のNO_3^-負荷が森林起源のNO_3^-に置換される過程を$\Delta^{17}O$の値から検討が可能である(Tsunogai et al., 2018;Nakagawa et al., 2018)。この新指標を用いることで、渓流水のNO_3^-が地形変化や季節変化から森林起源のNO_3^-に置換される過程を検討することができる。

そこで、本研究では森林へインプットした降水が土壌に水が滞留している時間が極度に短いと考えられる屋久島西部林道を流れる山岳渓流を調査地とした。屋久島は、世界でも珍しい山岳島嶼であり、急勾配な河川が多くみられる。また、山岳域の年降水量は8,000mとの報告があり、河川の伏流している滞留時間も短いと考えられる。大気期限のNO_3^-が森林起源のNO_3^-に置換される過程を、地形変化や季節変化から明らかにすることを目的とした。源流部から河口部までサンプリングを行うことで、流域面積や斜面勾配の変化の変化、夏と冬のサンプリングにより季節による変化を明らかにする。

方法：調査地は屋久島の中でも急峻な地形を持つ西部域を流れる川原2号沢を調査渓流とした。川原2号沢は国割岳(1,323m)を山頂に持つ長さ2kmの渓流であり、流域の平均勾配が40°と急勾配の斜面を持ち急勾配である。また、林道が存在していないため標高1,260mまで5時間か

けて登頂し、標高0mまで6時間かけ下山しながら標高100mごとに渓流水をサンプリングした。冬季の2018年12月18日と2019年1月14日と夏季の2019年9月4日の合計3回サンプリングを行った。渓流試料水は、研究室に持ち帰ったのちに溶存イオン成分をイオンクロマトグラフィー(Metrohm Co., Compact IC 761)で分析を行った。また、NO_3^-中の窒素・酸素安定同位体比($\delta^{15}N$, $\delta^{18}O$, $\Delta^{17}O$)は名古屋大学角皆研究室にて安定同位体用気体質量分析計(Finnigan MAT252)にて分析を行った。

結果と考察：標高ごとにおける渓流水中のNO_3^-濃度をFig.1に示す。NO_3^-は、標高が高い源流部場所で60μmol/Lとなり800mの標高の地点の濃度と比較して高くなる傾向がみられた。9月(21.2μmol/L)と12,1月(18.4, 27.7μmol/L)となり季節による濃度の違いは見られなかった。標高における$\delta^{15}N$, $\delta^{18}O$, $\Delta^{17}O$の値の変化を図.2,3,4に示す。$\delta^{15}N$の値は標高と関係がみられず、季節変化による違いも見られなかった。これは、森林の脱窒や硝化の影響が可逆的に進行しているためであると考えられる。しかし$\delta^{18}O$の値は標高が高い場所から下流に行くに従い、値が減少する傾向がみられ、標高が高い場所では、大気を起源に持つNO_3^-の流入がみられると推測される。また、同様の傾向が$\Delta^{17}O$においても見られた。しかし、$\Delta^{17}O$の0mの地点では、サンプリングの季節に違いが少なくなり、9月と12, 1月(0.05, 0.94, 1.42‰)は同程度の大気を起源に持つNO_3^-が渓流水中に流出してきている。つまり、標高の高い場所では、季節により森林が利用するNO_3^-の循環速度の違いがみられたが、0mの地点では、季節によらず、森林窒素循環の影響を同程度受けたよく涵養された水が流出してきている。

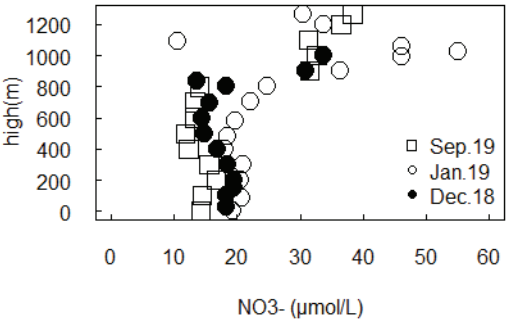


Fig.1 標高とNO_3^-濃度の変化

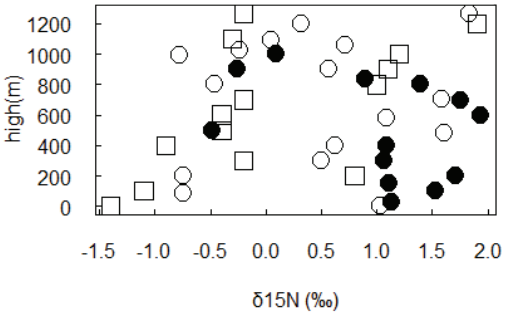


Fig.2 標高と$\delta^{15}N$の変化

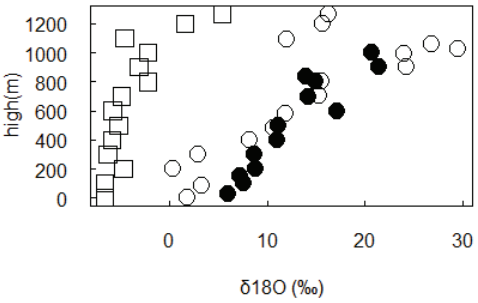


Fig.3 標高と$\delta^{18}O$の変化

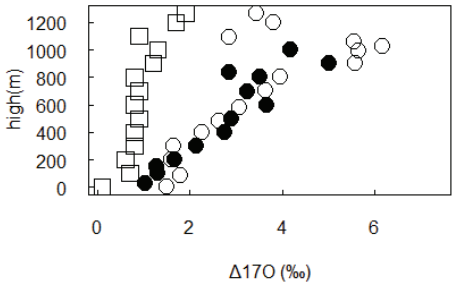


Fig.4 標高と$\Delta^{17}O$の変化

まとめ：夏、冬とNO_3^-濃度の変化は大きく変わらないが、季節によりNO_3^-の起源が大きく異なる渓流水が流出してきていることが分かった。

成果発表：○篠塚賢一, 永淵修, 中澤暦, 奥田青州, 手塚賢至, 手塚田津子, 尾坂兼一, 金谷整一、急峻な地形が川原2号沢の水質形成に与える影響、日本地球科学会年会、沖縄、2018年9月11日

ジルコンU-Pb年代,Sr同位体分析による美濃・丹波帯堆積岩の地球化学的研究

Geochemical study on sedimentary rocks in the Mino-Tanba Belt using zircon U-Pb dating and Sr isotopic analysis

竹内　誠（名古屋大学大学院環境学研究科）
佐藤興平（気象大学校）
柴田　賢（元名古屋大学年代資料研究センター長）
南　雅代（名古屋大学宇宙地球環境研究所）

【研究目的】

日本列島の形成過程を明らかにするため，ジュラ紀付加体中の砕屑物を年代学的・地球化学的に解析し，その後背地の火成作用と堆積盆形成の関係を明らかにする．特にジュラ紀付加体中の砕屑物は高いSr初生値や先カンブリア時代の砕屑性ジルコンが報告されており，Sr同位体比やジルコンU-Pb年代を用いてその起源を探る．本年度はジュラ紀付加体と考えられている関東山地下仁田地域の南蛇井層の地質構造と砂岩の後背地解析を行った．

【研究方法】

南蛇井層砂岩のジルコンのU-Pb年代測定のためのジルコンの分離および研磨については，竹内ほか（2015）に従った．ジルコンU-Pb年代測定は，宇宙地球環境研究所南　雅代教授の指導の下，大学院環境学研究科のレーザー・アブレーション誘導結合プラズマ質量分析装置（Agilent 7700xおよびESI NWR-213レーザーシステム）を用いた．

【研究結果】

南蛇井層砂岩8試料の砕屑性ジルコンU-Pb年代を測定した.その結果,5試料は最も若い年代はジュラ紀で,そのほかにジュラ紀から三畳紀及び1900 Maを中心とする先カンブリア時代の年代からなることがわかった．一方，ジュラ紀付加体とされている南蛇井層分布域から採取した砂岩3資料からは，最も若い年代が100-82 Maを示した．

ジルコンのCL像では，2400 Maのコアを持ち，1870 Maのリムを示す粒子が多い．また，これらの粒子は中生代の年代を示すものよりも大きく，一部は円磨された形態を示す．

【考察】

最も若い年代がジュラ紀を示す砂岩は，ジュラ紀以降の堆積したことを示し，従来報告されている放散虫化石が示す堆積年代と矛盾しない．よって,これらの砂岩を含む地層はジュラ系であると言える．しかし,付加体か前弧海盆堆積物かは,今後のさらなる検討が必要である．

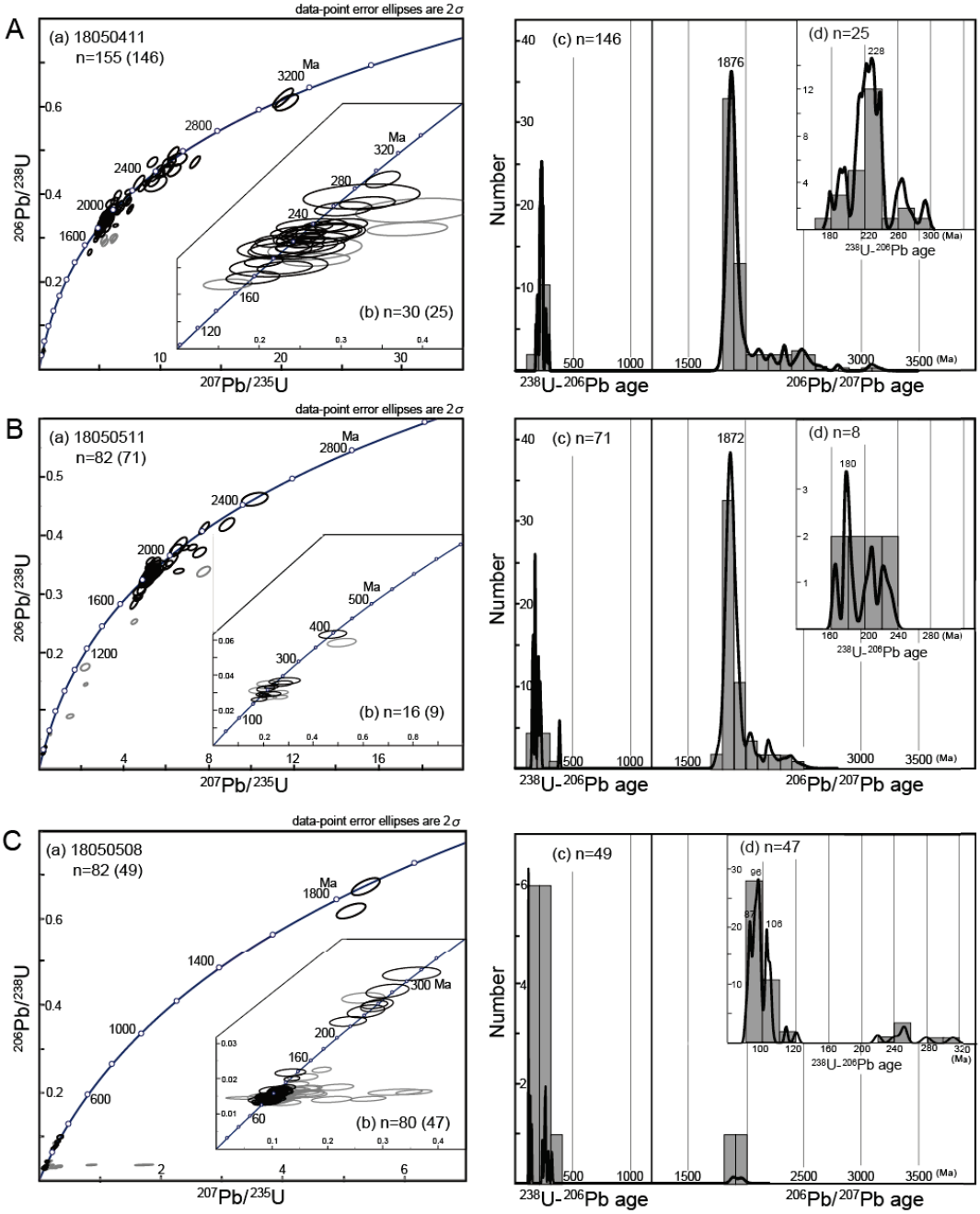
一方，最も若い年代が後期白亜紀を示す砂岩は，明らかに後期白亜紀以降に堆積したものである．白亜紀の砂岩がジュラ系とされる南蛇井層分布域に存在することが新しく明らかになった.地質調査の結果,これらの白亜紀砂岩は，ジュラ系南蛇井層中の断層に沿って挟み込まれていることが明らかになった．南蛇井層の南側には従来知られている白亜系の他に砂岩を主体とする白亜系の存在も明らかになった．

ジルコンU-Pb年代による砂岩の後背地の結果，ジュラ紀砂岩では先カンブリア時代の1870 Maに大規模な変成・火成作用が生じた大陸地域の岩石を起源とすることが判明した．また，先カンブリア時代の岩石に加えて，ペルム紀末から中期ジュラ紀の火成岩が分布するアジア大

陸東縁の沈み込み帯を起源とすることが明らかになった．

【成果発表】

佐藤興平・竹内　誠・李　雨嘯・南　雅代・柴田　賢（印刷中）関東山地北西縁の下仁田地域に産する南蛇井層：ジルコンのU-Pb年代による予察．群馬県立自然史博物館研究報告．



第 1 図　南蛇井層砂岩中の砕屑性ジルコンの U–Pb 年代（分析試料 8 試料の内 3 試料を示す）
それぞれの試料の(a)はコンコーダントなデータ（黒色楕円）とディスコーダントなデータ（灰色楕円）をプロットしたコンコーディア図．n はその図にプロットされたデータ総数で，括弧内の数字はコンコーダントなデータの数．(b)は(a)の 60 Ma から 500 Ma 部分の拡大図）．(c)は全てのコンコーダントなデータを用いた年代ヒストグラムおよび年代分布確率曲線で，1200 Ma より若い年代は ^{238}U–^{206}Pb 年代，1200 Ma 以上の古い年代は $^{206}Pb/^{207}Pb$ 年代で示した．(d)は(c)の 100 Ma から 320 Ma 部分の拡大図．

太陽圏構造とダイナミックスの研究
Study of the Heliospheric Structure and Dynamical Phenomena

（１行スペース）
鷲見治一　九州大学国際宇宙天気科学・教育センター
（２行スペース）

Voyager1号機は2012年、2号機は2018年に夫々、太陽圏の外部境界面（ヘリオポーズ）を越え、星間空間（銀河空間）領域に入った。ヘリオポーズの位置は太陽風プラズマのラム圧の時間的変動に伴って変動していると考えられているが、現時点でのVoyager探査機を追い越すほどの速い動きが起きる徴候はない。従ってVoyager探査機による太陽圏領域の直接観測は終了したと考えられている。

太陽圏外圏の研究は単に物理的な興味だけでなく、銀河宇宙線の太陽圏内圏への輸送という環境問題に関連しても重要であり、今後はVoyager観測に代わる観測を用いた解析が必要と考えられている。我々は昨年に引き続いて、地球を周回する探査機から得られるOMNI太陽風プラズマ観測データを用いて太陽圏MHDシミュレーション解析を行い、時間変動する3次元グローバル太陽圏構造を明らかにすることをめざして解析を進めている。その中間報告を以下に行う。

単純にOMNI観測データを太陽圏空間に取り込む場合は1点観測データとしてしか扱えないので、如何に3次元データとして取り扱うかが問題となる。地球から見ると太陽自転は27日周期であるので、太陽風プラズマが太陽自転に伴って共回転していると仮定し、当該観測の日及び13日前まで及び13日後まで毎日の観測データを併せて用いることによりヘリオグラフィック座標の経度方向の2次元データとして扱うことが出来る。緯度依存性については、ユリシーズ観測で得ることが出来た、太陽風ラム圧については緯度依存性がない（Mc Comas et al. ApJ,2008）に基づき、低緯度（南北緯度45度以下と仮定）ではOMNIプラズマ速度及び密度を利用、高緯度（45度以北及び以南）では速度を1.5倍、密度をラム圧が低緯度側と同じになる値を用いている。以上の仮定により、赤道から離れた領域での細かいプラズマ変動の再現は無理であるが、グローバル太陽圏の構造及びその時間変動の再現は可能と期待している。

MHDシミュレーションの内部境界をOMNIデータと合わせて太陽から１AUの距離の球面にせねばならない。通常動径方向のメッシュサイズは約100分の1程度の細かさにせねばならないので、1000AUスケールの広大な領域の計算のためにはシミュレーションボックスを２つに分ける必要がある。我々は第1のボックスは1-20AU、第2のボックスは20-900AUとしている。

昨年に続く改良を重ね、第1及び第2ボックスのシミュレーション結果は改善されてきている。2000年１月1日からのOMNIデータ取り込みを開始し現在に至るまでの毎日のシミュレーションテストランを行った。その結果の途中例を図１及び図2に示す。

今後は外部境界条件である太陽から900AUの距離にある星間空間での媒質及び磁場を調整してシミュレーション結果がV1及びV2の両方のヘリオポーズ通過時に合致するような解を求めたい。それには今後も長期間の時間がかることと推測している。惑星間空間磁場に太陽磁気モーメントのチルトアングル効果を組み入れることも検討を始めている。

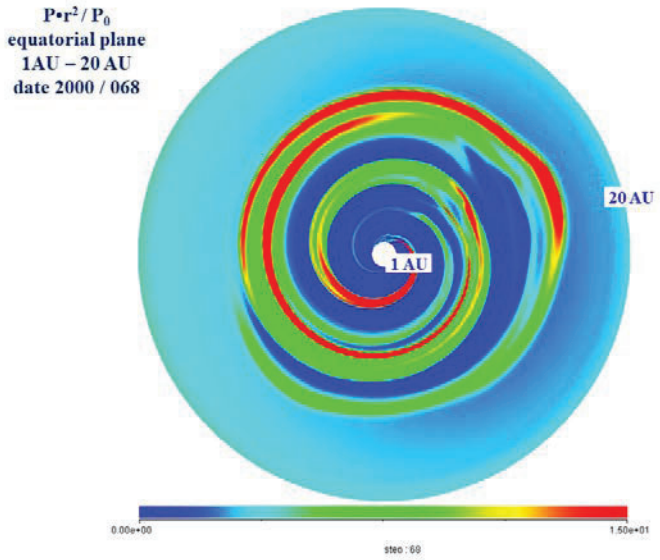


図 1　第 1 ボックス（1-20AU）赤道面における太陽風プラズマ圧の空間分布の例

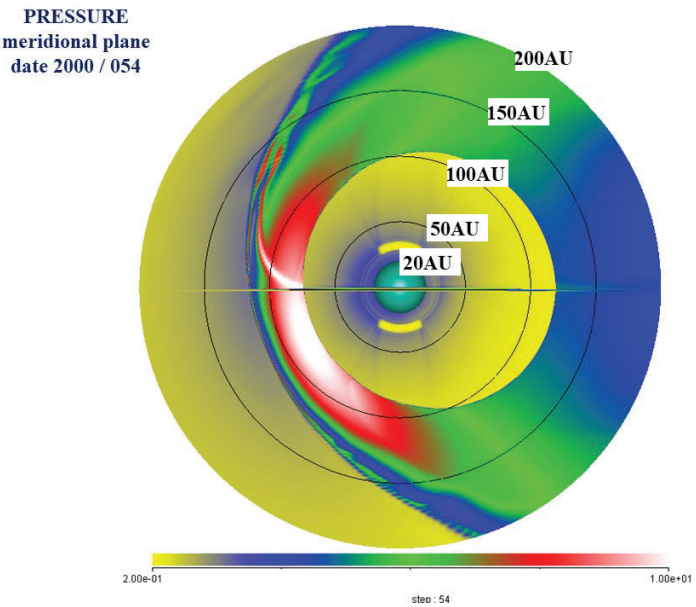


図 2　第 2 ボックス（20-900AU）子午面から 20-200AU 領域のみを取り出した場合の太陽風プラズマ及び星間空間媒質の圧力空間分布の例

文献 Astrophys. J. Letters 846:L9, 2017 'Time-varying heliospheric distance to the heliopause' by H. Washimi, T. Tanaka, & Gary P. Zank

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。観測の様子を図1に示した。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、2019年夏季より、パナソニック社と共同開発した小型PM2.5センサ(Nakayama *et al., Aerosol Sci. Technol.* (2018))を2台用いることで、実大気条件と乾燥条件におけるPM2.5重量濃度の連続観測を行っている。

【結果と考察】夏季もしくは秋季に沖縄近海を通過した合計7個の台風（2018年の21、25号および、2019年の9、11、13、17、18号）について、台風接近時の光学式粒子計数器で測定したエアロゾル粒子（直径0.3～10ミクロン）の粒径分布から算出したエアロゾル重量濃度と、風速との関係について調べた（図2）。その結果、平均風速が10 m/s増加するに従い、エアロゾル粒子の重量濃度が50μg/m^{3}程度増加することがわかった。観測されたエアロゾル重量濃度は、台風による強風で発生する海塩粒子の発生量の風速依存性を反映していると考えられる。今後、実大気条件と乾燥条件におけるPM2.5重量濃度の観測結果の解析を進める予定である。

図 1：琉球大学千原キャンパスでのエアロゾル粒子の粒径分布およびPM2.5重量濃度の観測の様子

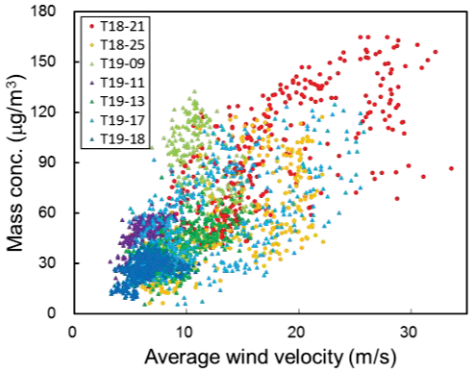


図 2： 7 個の台風通過時に光学式粒子計数器で測定した直径 0.3 から 10 ミクロンのエアロゾル粒子の全重量濃度と平均風速の関係

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

近年、北極海ではユーラシア大陸側で海氷が大きく減少し、その傾向は年々顕著になっている。これは地球温暖化の影響の一つと考えられる。そのため、海氷減少に伴う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ことは、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必要不可欠である。ユーラシア北部では、タイガやツンドラにおいて植生と大気との間の熱や水の交換、それらと大気循環場の変化との関連性があるものと考えられており、その理解は、ユーラシア北部や北東アジアの気候変化の予測や、気候変化に対する対策を講じる上で重要である。本共同研究では、気候モデルによる実験において、北極海の海氷減少によるユーラシア北部の大気水循環の変化に伴う降水量への影響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による影響の割合を定量化することを目的としている。

研究目的

本年度は、最新の 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について解析し、その再現性や変化トレンドに関連する大気循環場の変化について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、及び、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

MIROC6 の過去再現実験 50 メンバーの 1951 年から 2014 年について、1951－1980 年、1971－2000 年、1990－2014 年という 3 期間に分けて、それぞれの期間における夏季平均降水量の線形トレンドの 50 メンバー平均値を調べ、観測データとしてデラウエア大学が提供している降水量データ(Willmott & Matsuura 2001)における同期間の線形トレンドとの比較を行った。MIROC6 では 1951－1980 年のユーラシア北部の降水量の 50 メンバーを平均したトレンドは極東からシベリア域を中心に減少トレンドを示し、1971 年以降、このトレンドの分布は反転し、極東・東シベリアを中心に増加トレンドを示している（図 1）。これらのトレンドを観測と比較すると、50 メンバーを平均しているため全体的にトレンドの値が小さい。つまり、各メンバーでトレンドの空間分布の特徴にばらつきがあることが推察される。一方、50 メンバーを平均したトレンドの空間分布については、1951－1980 年はシベリア域で減少トレンドを示し、1971 年以降はシベリア域（特に東シベリア）で降水量の増加トレンドがみられ、観測データと類似していることがわかった。

d4PDF における東シベリアー極東域の近年の降水量増加トレンド

東シベリアと極東域における降水量の長期変化傾向について、1951-2010 年間の d4PDF データを用いて、温暖化影響の評価を行った。観測された降水量はこの領域で 1990–2010 年の期間に、増加傾向が顕著であった。d4PDF の過去再現実験においても同様な増加傾向が示された。一方で、d4PDF の非温暖化実験ではこの顕著な増加傾向はみられなかった。降水量増加傾向を示すメンバーの下層循環場の解析から、1990-2010 年の期間では、北極海上において低気圧傾向が強化されており、対象領域内に西及び北西風に伴う水蒸気輸送量が増加していることが明らかになった。また、両実験の下層大気循環場トレンドのアンサンブル平均の差は、近年の温暖化影響により、北極海で低気圧傾向、中緯度帯で高気圧傾向を示す正の AO と同様な気圧パターンを示し、そのパターンが長期的に持続する傾向を示していた。そのため、対象領域では、過去再現実験で（非温暖化実験ではみられなかった）高気圧傾向を示すアンサンブルメンバーが増加しており、対象領域の降水量増加傾向に西風に伴う水蒸気輸送量が大きく寄与していた。

まとめ

気候モデルによる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は観測と完全には一致していないが、近年の温暖化に伴う降水量増加トレンドやその分布特性は観測と類似する点があることがわかった。今後は大規模アンサンブル実験というメリットを活かし、降水量の変化トレンドの空間分布特性と大気循環場や海氷変化との関係性を解析し明らかにする。

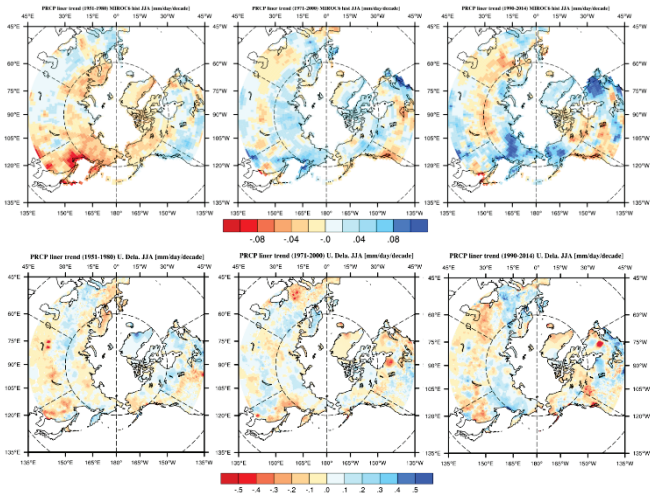


図 1 夏季降水量に関する線形トレンド。上段:MIROC6 の過去再現実験 50 メンバーの平均値。下段:デラウエア大学提供の降水量データ。左:1951－1980 年、中央:1971－2000 年、右:1990－2014 年。単位:mm day^{-1} decade^{-1}

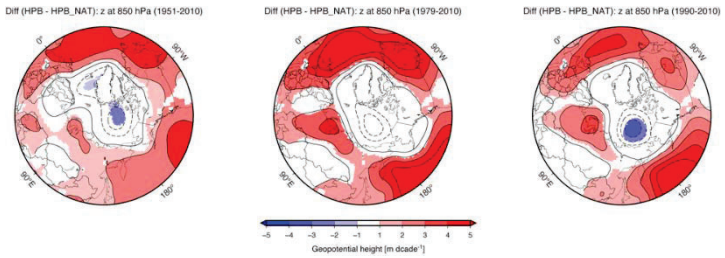


図 2 850hPa 高度場の各年代(1951-2010 年、1979-2010 年、1990-2010 年)別のトレンドにおける過去再現実験(HPB)と非温暖化実験(HPB_NAT)のアンサンブル平均の差。カラーは有意水準 98%以上で有意なグリッドを示す。

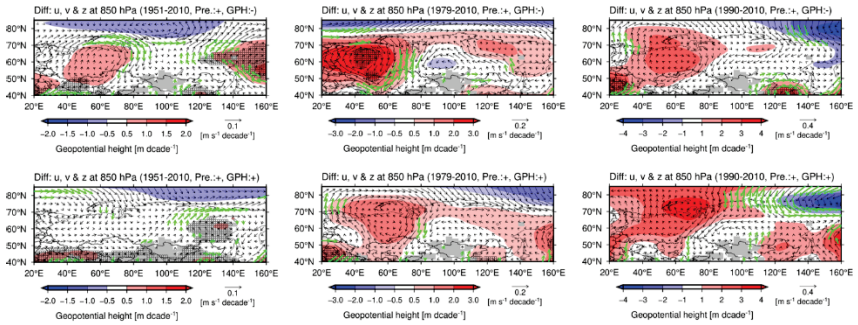


図 3 各年代(1951-2010 年、1979-2010 年、1990-2010 年)別における、東シベリア－極東域の領域平均の降水量が増加トレンドを示すアンサンブルメンバーの 850hPa 高度場と風系場のトレンドのコンポジット平均の過去再現実験(HPB)と非温暖化実験(HPB_NAT)の差。上段)対象領域の 850hPa 高度場について、低気圧傾向を示すアンサンブルメンバー

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, M. et al., 2020: Features of spatial pattern in trend of summer precipitation over Northern Eurasia after 1950 in ensemble members of MIROC6 historical simulation, ISAR6 online meeting, March 18-April 10 2020.

Kanamori et al. 2020: Long-term in summer precipitation associated with the global warming over Siberia in a large ensemble of GCM simulations, ISAR6 online meeting, March 18-April 10 2020.

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

Three field observations during summer 2010 were carried out to measure the inherent and apparent optical properties of the western Seto-Inland Sea, Japan (**Figure 1**). The properties measured included chlorophyll-a concentration (Chl-a, mg m^{-3}), phytoplankton absorption coefficient at 440 nm (a_{ph440}, m^{-1}), gelbtoff absorption coefficient at 440 nm (a_{g440}, m^{-1}), total suspended matter (TSM, g l^{-1}), and hyperspectral remote sensing reflectance (Rrs, sr^{-1}). Besides optical properties, sea surface salinity (SSS) was also measured. To investigate Rrs spectral shape association with phytoplankton groups, especially harmful algal bloom (HAB) responsible phytoplankton, the number of dinoflagellate *Karenia mikimotoi* was counted. The first observation was conducted in July 2010 when diatoms flourished, the second was in August 2010 when dinoflagellate *K. mikimotoi* density was high in the Beppu Bay. The third observation was carried out in September 2010 when there was no phytoplankton bloom.

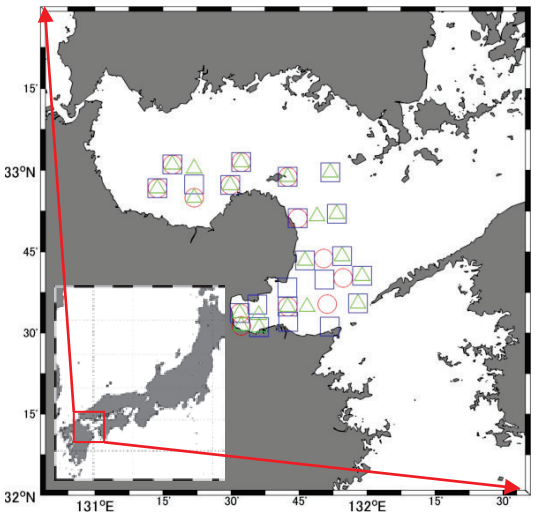


Figure 1. Location of stations at which in situ inherent and apparent optical property, SSS, and *K. mikimotoi* cell number data were collected. Red circles, blue squares, and green triangles are observation stations respectively for July 2010, August 2010, and September 2010.

Phytoplankton Chl-a was highly correlated with aph (r = 0.97), whereas ag showed a strong correlation with surface salinity (r = 0.88) (**Figure 2**). The highest Chl-a measured during diatom bloom and during *K. mikimotoi* high density was 14.3 mg m^{-3} and 5 mg m^{-3}, respectively. In the blue spectral domain, aph in diatom bloom waters was about three times higher than that in waters with high density of *K. mikimotoi*. Strong a_{ph440} – Chl-a correlation allows Chl-a to be retrieved semi-analytically. River plume is also possible to be tracked from ocean color observation due to strong SSS – a_{g440} inverse correlation.

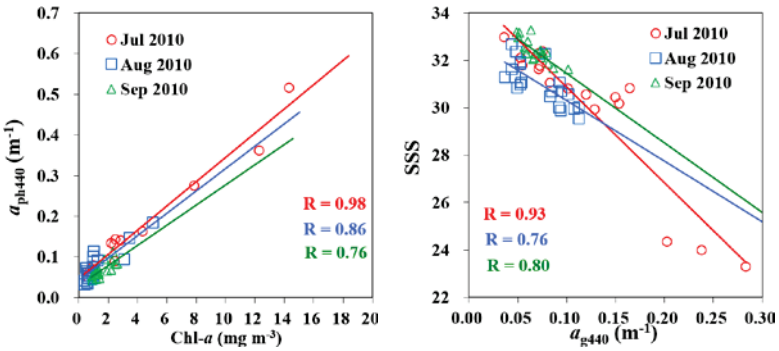


Figure 2. (Left) Scatter plot of a_{ph440} against Chl-a. (Right) Scatter plot of SSS against a_{g440}. Red circles, blue squares, and green triangles are data respectively for July 2010, August 2010, and September 2010. Variable vs variable correlation coefficient for each cruise was also mentioned.

In situ Rrs measured during diatom bloom and *K. mikimotoi* high density showed different spectral shapes, particularly in the slope of Rrs between the blue (440 nm) and the green (550 nm) bands. The blue-green spectral slopes during diatom bloom were much steeper than that during the high density of *K. mikimotoi* (**Figure 3**). For HAB detection algorithm development, more in situ Rrs data are required to generate hyperspectral libraries of phytoplankton groups and other types of waters in the Seto-Inland Sea. The flatter Rrs spectral slope during *K. mikimotoi* bloom previously reported based on satellite ocean

color data only in the Seto-inland Sea, Japan (Siswanto et al., 2013) but also in the European coastal waters (Kurekin et al., 2014). It is thus worth investigating, with more datasets, whether such a spectral shape difference can be used universally to distinguish *K. mikimotoi* bloom from diatom bloom.

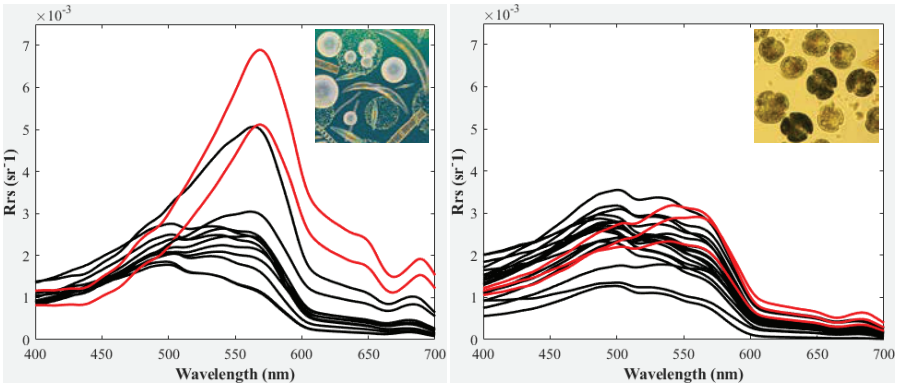


Figure 3. (Left) Rrs spectral variation collected in July 2010. (Right) Same as (left) but that collected in August 2010. Rrs of waters with high diatom (red lines) has a steep slope between blue and green bands. The spectral slopes of Rrs during high *K. mikimotoi* cell numbers are flatter (red lines) than those during high diatom concentration.

References:

Kurekin, A.A., Miller, P.I., Van der Woerd, H.J. (2014). Satellite discrimination of *Karenia mikimotoi* and Phaeocystis harmful algal blooms in European coastal waters: Merged classification of ocean color data. Harmful Algae, 31, 163-176. doi:10.1016/j.hal.2013.11.003

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

Super-Kamiokandeを用いた太陽フレア由来のニュートリノに関する研究
Study of neutrinos from solar flare using 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。

研究の成果

データ解析の結果、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。

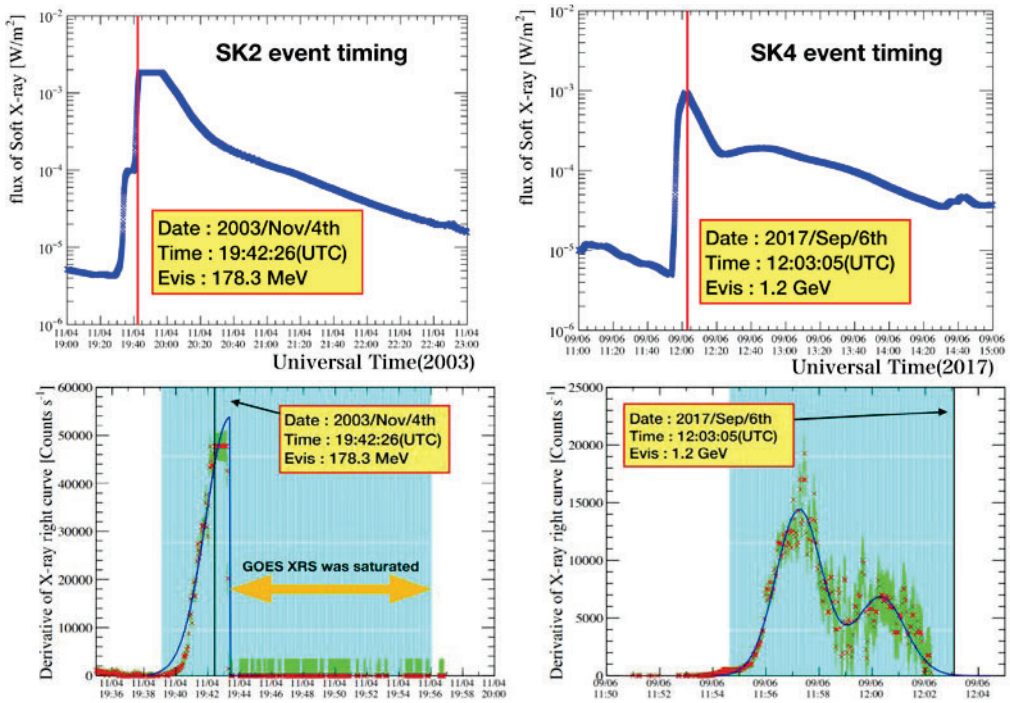


図 1. Soft X 線の光度曲線（上図）と光度曲線を微分した場合（下図）の時間分布と、Super-Kamiokande 実験で観測されたニュートリノ事象候補の時刻（縦線）。枠内は観測日時、時刻、エネルギー。下図の水色の領域はこのチャンネルで決定された探索時間幅である。

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。

研究成果発表:

(1) 岡本 幸平 他Super-Kamiokande collaboration, 「スーパーカミオカンデ実験における太陽フレア起源のニュートリノ探索(III)~スーパーカミオカンデのデータ解析」日本物理学会 秋季大会 (2019年9月17日 山形大学) 【口頭発表】

(2) 岡本 幸平 他Super-Kamiokande collaboration, 「Search for Neutrinos associated with Solar Flare in Super-Kamiokande」国際会議 TAUP 2019 (2019年9月9-13日 富山国際会議場) 【ポスター発表】

(3) 岡本 幸平,「Super-Kamiokande実験における太陽フレア由来のニュートリノ探索」宇宙素粒子若手の会(YMAP) (2019年10月18日名古屋大学) 【口頭発表】

(4) K. Okamoto et al., Development of a method for determining the search window for solar flare neutrinos」arXiv:1909.10715【pre-print 査読中】

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.

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。生成過程の概略を図２に示す。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、蔵王を含む東北地方の一部の山岳地帯（八甲田や八幡平など）でしか見ることができない自然現象であるため、生成過程）や化学組成等について研究が行われてきている。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た。ここでは、^{7}Be濃度について検討を行った結果について報告する。

2016-2017年冬季に採取した試料の^{7}Be濃度は、12月や1月は比較的高い濃度が多く、2月や3月になると低くなる傾向にあった。最大値は2016年12月19日の13.01 Bq/L、最小値は2017年2月13日の0.52 Bq/Lであった。12月や1月は西高東低の気圧配置になることが多く、冬から春に移行していくと南岸低気圧の飛来が多くなるため、^{7}Be濃度は空気塊の移流コースの違いを反映していると予想される。そこで、後方流跡線解析と衛星水蒸気画像を組み合わせたルート解析、高層天気図を用いた対流圏界面と286kの温位層の変動を合わせて解析した。その結果、高層大気で生成された^{7}Beは西シベリア地域で対流圏へ供給され、その空気塊が日本に飛来した際に濃度が上昇することが示唆された。今後、2017-2018年冬季についても解析を実施したい。

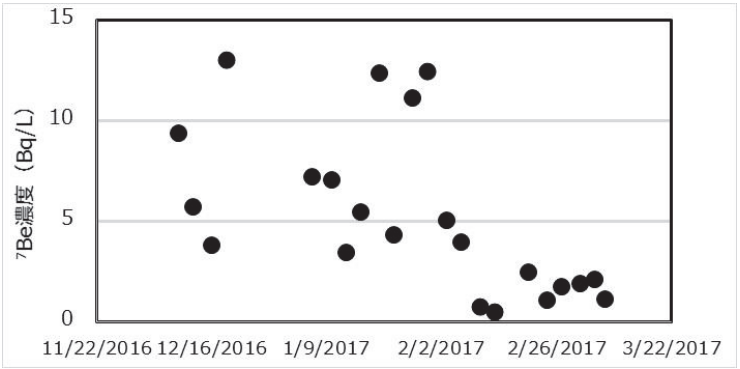


図 蔵王の着氷に含まれる^{7}Be濃度の時系列変動

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１

Enhancement of the Inner Magnetospheric Research by the provision of the calibrated data for Arase DC and low frequency E-field: 1

笠羽　康正、東北大学　惑星大気・プラズマ研究センター

１．研究目的

Arase (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**) の Level-2 データ作成・公表を確実に進めた。この Level-2 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。また、電場波形データ (64/256/512Hz)・ポテンシャル波形データ (8Hz/128Hz) の Level-2 公開提供も準備を終了させている。

(2) 電場およびポテンシャルの評価

実際のサイエンス面における実用には周辺プラズマ環境に依存する校正方法の確立を要することになる。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、これがおそらくは衛星形状・磁場方向等の影響されており、一見排除不可能である。東北工大の卒業研究にご協力いただき、以下の結果を得ることができた。

A.プローブ電位波形は、正弦波からずれる。プローブ電位の増減は、電場に沿った方向へ衛星本体から光電子が流入・流出しやすい効果が出ている可能性がある。デバイ長がアンテナ長に匹敵するような状況で強調される可能性があり、調査を継続予定である。(**石原 誉, 田**

牧 麟太郎, ジオスペース探査衛星あらせで観測した電位差波形にひずみが見られる原因, 東北工業大学卒業論文, 2020 年 3 月）

B. 衛星電位そのもののゆらぎが大きくなる。観測電位差の振幅に対する衛星電位のゆらぎが大きい場合、電場精度が悪化する。衛星スピン軸が太陽指向方向からずれ、衛星側面に対する太陽光の当たり方にスピン変動が生じることがその原因となる可能性があり、調査を継続予定である。(猿田 陸, 人工衛星「あらせ」の衛星電位が電場観測に与える影響, 東北工業大学卒業論文, 2020 年 3 月）

(3) Arase 衛星による電場計測を用いた成果創出のサポート：

以下の成果創出などにおける電場計測の評価に貢献した。

・ULF 波動の電場成分計測： Takahashi et al., American Geophysical Union 2019 fall meeting, 2019 年 12 月 など

・粒子加熱に絡む磁気音波の電場成分計測: Asamura et al., American Geophysical Union 2019 fall meeting 2019 年 12 月 など

・電子加熱に絡む電磁イオンサイクロトロン波動の電場成分計測: Shoji et al., American Geophysical Union 2019 fall meeting 2019 年 12 月 など

・磁気脈動の電場成分計測: Teramoto et al., Remote detection of drift resonance between energetic electrons and ultralow frequency waves: Multisatellite coordinated observation by Arase and Van Allen Probes. Geophys. Res. Lett., 46, 11642-11651 (2019), doi:10.1029/2019GL084379; Teramoto et al., American Geophysical Union 2019 fall meeting 2019 年 12 月 など

・オーロラアーク source 領域における電場計測: Shiokawa et al., American Geophysical Union 2019 fall meeting 2019 年 12 月 など

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。そのため、従来人が行っていた森林調査や間伐後の検査等にドローンが利用可能かについて、検討が始められているが、現状では研究例も限られ、十分な成果が得られている状況にはない。

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を対象として、ドローンによる空撮画像を利用した森林情報計測手法の有効性及び課題について知見を得ることを目的とした。

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、森林3次元計測システムOWLにより、2019年10月17日にプロット内全立木の位置座標・胸高直径（DBH）の計測を行った。

一方UAV空撮は、2019年12月4日に撮影高（離発着点からの高度差）50m,70m,90m,110m,130mにより実施した。空撮は、DJI Phantom4 Pro ver.2（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0.5m）（以後、UAV樹頂点とする）を算出した。さらに、2014年4月に同地域で観測さ

れた航空機LiDARデータを用い、UAVの処理と同様に解像度0.5mで樹冠抽出処理を行い、樹頂点座標（以後、LiDAR樹頂点とする）を算出し、両者のマッチングにより、UAV樹頂点の位置座標（X・Y座標のみ）の補正を行うとともに、樹冠抽出率及び樹頂点座標の比較を行った。なお、2014年以降に対象地で間伐等を実施した記録は残されていない。

研究結果・考察

表１．プロット別・撮影高別樹冠抽出率（単位は％）

高度	プロット						平均
	1	2	3	4	5	6	
50m	68.2	69.6	80.0	80.0	82.6	88.0	78.1
70m	63.6	78.3	85.0	75.0	82.6	84.0	78.1
90m	63.6	69.6	75.0	80.0	82.6	80.0	75.1
110m	77.3	78.3	85.0	80.0	78.3	80.0	79.8
130m	77.3	73.9	80.0	80.0	82.6	88.0	80.3

表１に示したプロット別・撮影高別樹冠抽出率が示すように、撮影高による樹冠抽出率に差異は認められなかった（P>0.05）。しかし、撮影枚数は撮影高50m時の425枚に比べ130m時は91枚と、同じオーバーラップ率・サイドラップ率であれば撮影高とともに撮影枚数は減少する。撮影枚数の増加は撮影時間及び解析時間の増加を伴うため、撮影高による樹冠抽出率への影響がないのであれば、より高い撮影高での空撮が実用的であると考えられた。

まとめ

森林計測を前提とした空撮においては、撮影高による樹冠抽出率への影響は認められず、撮影時間及び解析時間の点から、より高い撮影高での空撮が実用的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（2020）撮影条件の差異がSfM処理に与える影響の評価　第131回日本森林学会大会，2020年3月，名古屋大学

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

Zhang et al.（2015, 2016）で考慮されていない宇宙線粒子組成、組成ごとのエネルギースペクトラム、一次宇宙線に対する空気シャワーアレイの応答性能等をすべて考慮した宇宙線粒子軌道計算を行い、Tibet空気シャワー実験による観測結果との定量的な比較を行った。太陽圏磁場モデルにはWashimi等によるMHDシミュレーション結果（Washimi et al., ApJ, 809, 2015）を用いた。

先ずZhang et al.（2015, 2016）と同様の方法による5.3 TeVの陽子のみの軌道計算による観測結果とのベストフィットは、Zhang et al.の結果と同様に1次異方性を主成分とする銀河異方性を与えるものの、χ^2/自由度が2544/1292=2.0であり統計的に上手くフィット出来ていないことが判った。次に、宇宙線粒子組成、組成ごとのエネルギースペクトラムを考慮した計算結果と観測結果とのベストフィットを行ったが、χ^2/自由度は2434/1292=1.9とほとんど改善しないことが判った。この原因は1次と2次の大規模異方性のみを仮定したモデルにあり、観測結果を再現するにはより高次の異方性まで考慮する必要があることが判った。

そこで、銀河異方性を6次のまでのルジャンドル球関数で級数展開し、合計48個の展開係数をフリーパラメータとして求めた。その結果、χ^2/自由度は1874/2008=0.93に改善し、統計的に妥当なベストフィット結果を得るためには高次の異方性の寄与を考慮する必要があることが判った。一方で、展開係数から求めた異方性の振幅は次数とともに急激に減少し、高次異方性の位相は太陽活動周期で変化するMHDモデルごとに大きく異なる。これに対して3次以下の大規模異方性にはそのような変化は見られない。したがって、約10年間の平均値であるTibet空気シャワー実験による観測結果を正しく再現するためには、こうした時間変動を考慮する必要があることが判った。

これらの点を踏まえ、太陽活動周期で変動するMHDシミュレーション結果の用意を現在進めている。またZhang et al.が使用したMHDシミュレーション結果（Pogorelov et al.）も入手し、それに基づくベストフィットを行うための準備も進めている。

学会発表等：

- Amenomori et al., Modeling of the anisotropy of galactic cosmic rays in an MHD-simulated heliosphere, Proc. of 36th International Cosmic Ray Conference (Madison), July 31st, 2019 (poster presentation).
- 佐古崇志ほか、チベット実験で観測された宇宙線異方性の太陽圏磁場による変調(1)、日本物理学会第75回年次大会（Web発表）。

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。本年度からの研究では、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。今年度はまずメタ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、メタンの解析で得られる典型的なDOFs (Degree of Freedoms)は3程度である。これは3つの独立した高度情報を得られるということであるので、対流圏、下部成層圏、それ以上の高度、に分けてみることにした。対流圏カラム (0-8 km) について東北大学の大気海洋変動観測研究センターで観測している航空機サンプリングのデータから求めたカラムと比較したところ、質のよいデータ (RMS≦1.5%) を選べば標準偏差1.7%程度で一致する (ただし平均で2.9%過小評価) ことが分かった。これによりメタンの高度分布の精度がある程度確認できたので、高度毎のカラムの経年変化を描いたのが図1である。増加率を見てみると、カラム全量が+0.72%/年であるのに対し、0-8 kmは+0.79%/年、8-16 kmは+0.44%/年、16-24 kmは+0.26%/年と、増加は主に対流圏で起きていることが分かる。また、季節変化の位相も対流圏と成層圏ではほぼ反転しているが、これは対流圏ではOHとの化学反応による変化が主な要因であるのに対し、成層圏では鉛直輸送が主な要因であることを反映しており、この点からも高度分布が精度よく導出できていることが分かる。

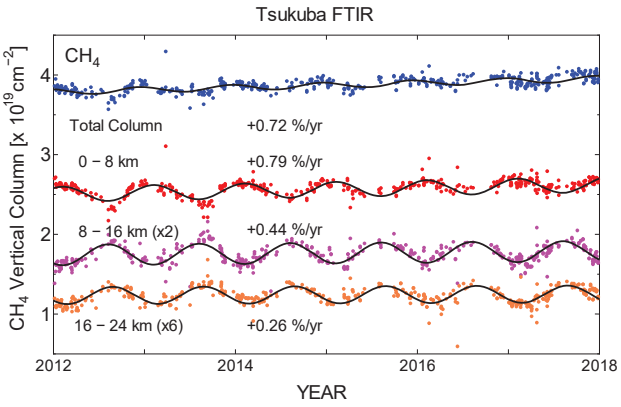


図 1. メタンの高度毎のカラムの経年変化

HClとHFのカラム全量の経年変化については前年度までの研究でも報告しているが、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。これまでの解析でHCl、HFともに数年単位の増減が見られ質量流線関数の変化から見た成層圏循環の減速・加速と対応していたが、2019年の解析を行って追加したところ、2017年頃からの減少傾向がはっきりした (図2にHClの結果を示す)。図3に示す4年間の増加率で見ても2018年 (2016－2019年) は負に転じている。この減少が成層圏循環で説明できるかどうかは今後調べるが、環境研秋吉英治氏らによるMIROC3.2 化学気候モデル (CCM)では2015－2017年頃の増加が再現されておらず (図3の青い棒グラフ)、この数年の増減が力学で説明可能なのかそれともCFC-11 などの放出量の変化の影響が見えているのか引き続き解析を行う予定である。

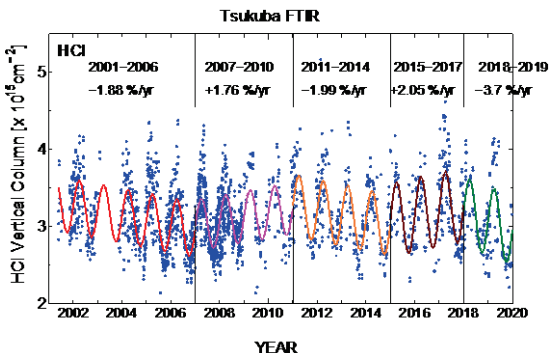


図 2. HCl カラム全量の経年変化

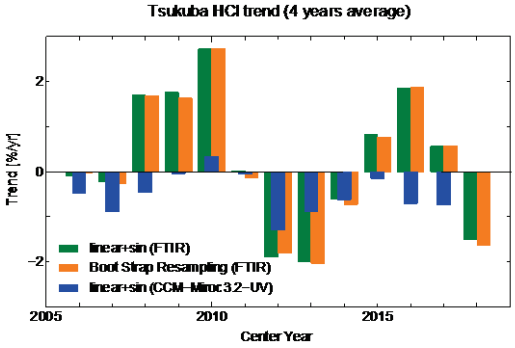


図 3. HCl 増加率の観測とモデルの比較

このほか、今年度はHCHO, NH_3, COの解析を進め、HCHOについては共著論文としてACPのディスカッション論文に公開されている。NH_3とCOについては発生源の推定などを行い、大気化学討論会で発表した。

＜成果発表＞

Corinne Vigouroux, Bavo Langerock, Carlos Augusto Bauer Aquino, Thomas Blumenstock, Martine De Mazière, Isabelle De Smedt, Michel Grutter, James Hannigan, Nicholas Jones, Rigel Kivi, Erik Lutsch, Emmanuel Mahieu, Maria Makarova, Jean-Marc Metzger, Isamu Morino, Isao Murata, Tomoo Nagahama, Justus Notholt, Ivan Ortega, Mathias Palm, Gaia Pinardi, Amelie Röhling, Dan Smale, Wolfgang Stremme, Kim Strong, Ralf Sussmann, Yao Té, Michel van Roozendael, Pucai Wang, and Holger Winkler, TROPOMI/S5P formaldehyde validation using an extensive network of ground-based FTIR stations, Atmos. Meas. Tech. Discuss., https://doi.org/10.5194/amt-2020-30, 2020

I. Murata, Y. Tomikawa, I. Morino, H. Nakajima, H. Akiyoshi, and Y. Dai, Temporal variation of HCl and HF at Tsukuba related to the change of the meridional circulation in the northern lower stratosphere, 2019 Joint NDACC-IRWG and TCCON Meeting, Wanaka, New Zealand, May 20 - 24, 2019.

Y. Dai, I. Murata, I. Morino, and H. Nakajima, Validation of methane tropospheric column observed by FTIR at Tsukuba with airplane sampling, 2019 Joint NDACC-IRWG and TCCON Meeting, Wanaka, New Zealand, May 20 - 24, 2019.

代 友輝、村田 功、中島 英彰、森野 勇, フーリエ変換型赤外分光計を用いた地上観測によるつくば上空メタン高度分布の精度検証, 日本地球惑星科学連合2019年大会, 幕張, 2019年5月.

村田 功、中島 英彰、森野 勇, 武田 真憲、つくばFTIRで観測されたNH_3の2018, 2019年増大イベント, 第24回大気化学討論会, 蒲郡, 2019年11月.

鈴木 大将、中島 英彰、村田 功、森野 勇、FTIR観測によるつくばにおけるCOの経年変化、第24回大気化学討論会, 蒲郡, 2019年11月.

I. Murata, Y. Tomikawa, I. Morino, H. Nakajima, and H. Akiyoshi, Temporal variations of HCl and HF observed at Tsukuba related to the change of the meridional circulation in the northern lower stratosphere, The 10th Symposium on Polar Science, Tokyo, Dec. 3-5, 2019.

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

３年間の研究計画として実施する本研究課題初年度の成果は以下の通りである。

連成計算１について、コーラス放射の発生と非線形効果の発生に関わる波動振幅閾値の計算モジュールを組み込んだグローバルモデルによる計算を、2017年3月に発生した磁気嵐を対象に実施した。あらせ衛星による観測結果とグローバルモデルによる計算結果を比較

するとともに、非線形波動成長理論に基づいて導出された閾値と最適振幅（optimum amplitude）をそれぞれグローバルモデルにより示されるパラメータを用いて計算した。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錬成計算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。以上の成果は米国地球物理学連合2019年Fall Meetingで報告された。また、関連する科研費課題が本共同研究の研究組織メンバーにより申請されている。

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。2020年度は衛星観測結果との比較に重点を置いて、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。

粒子状有機硝酸全量測定装置の湿度に対する応答の検証
Validation of the analyzer for particulate total organic nitrates in view of response to humidity

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。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）にてオゾンと同時に生成する有機硝酸類 ONs ($RONO_2$) 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、ONs 生成特性の解明された VOC も限られる。二次生成するガス状・粒子状の ONs も多様で、個別成分分析による網羅は困難である。以上のことから、二次生成するガス状・粒子状の ONs を数え落としなく包括測定する ONs 全量測定は、エアロゾル（SOA）評価に有用である。研究代表者はこれまでに、文献[1] を参考にしつつ、活性炭デニューダー（CD)、ONs の NO_2 への熱分解変換器（TD)、キャビティ減衰位相シフト法 NO_2 計（CAPS-NO_2）、を組合せた粒子状有機硝酸全量 ONs(p) 測定器 CD/TD/CAPS-ONs(p) を実現し、都市郊外での大気観測に基づく有機硝酸類のガスの特性やガス－粒子分配特性の支配要因を検証した[2-6]。その結果、ONs の粒子への分配が相対湿度に依存する可能性を示した。本研究は、試料を粒子乾燥管に導入して ONs(p) の変化を調べ、測定装置の湿度応答特性を把握して、大気観測での ONs の粒子分配比が ONs(p) 計の特性（湿度依存性）に起因するのか、実大気での ONs の挙動を反映したのか、検証する。

【研究の方法と結果・考察・まとめ】　構築済の ONs(p) 計と入手済の粒子乾燥管（東京ダイレック製ディフュージョンドライヤー3062・以下DD）および温湿度計（ヴァイサラ製HMI41指示計およびHMP45プローブ）を組合せて試料を DD に通す際の ONs(p) を調べて、測定装置の湿度に対する応答特性を実験的に検証した。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粒子状有機硝酸 ONs(p) を一定濃度含む試料を発生させつつ、試料の DD への通過／不通過、および加湿の有／無、の 2 x 2 = 4 通りについてに ONs(p) を測定し、湿度変化に対する装置応答を調べた。試料の湿度は ONs(p) 計の直前で温湿度計によってモニターした。(a) DD 通過に伴う ONs(p) 信号の変化… 試料

を加湿した場合と加湿しない場合の両者とも、DD 通過によって ONs(p) 信号が約 8 % 減少した。このことから、DD 通過に伴って ONs(p) が DD の配管・継手・乾燥剤によって約 8 % 消失することがわかった。(b) 加湿による ONs(p) 信号の変化… DD を通過した場合と通過しない場合の両者とも、試料加湿によって ONs(p) 信号が約 9 % 減少した。このことから、加湿に伴って ONs(p) が約 9 % 減少することがわかった。以上を総合すると、DD 通過や加湿といった個々の要素による ONs(p) 信号の減少は見られたものの、それらを補正するとONs(p) 計そのものには有意な湿度依存性が見られなかった（図D）。ONs(p) 計本体の特性として明確な湿度依存性を確認できなかったことから、都市郊外大気観測での ONs の粒子分配比の湿度依存性は、実大気中の ONs 挙動を反映していたものと推測される。

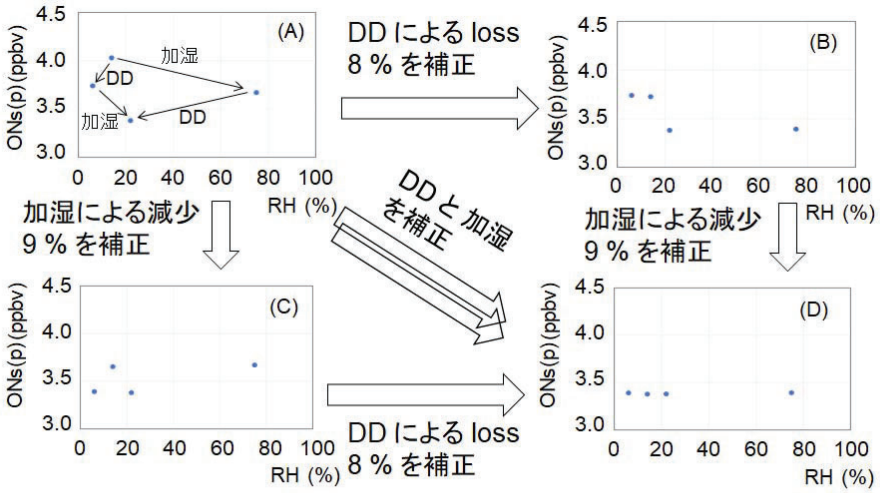


図 ONs(p) 計の湿度応答測定の結果と解釈。
ONs(p) の湿度依存性 (A) は DD 通過と加湿の影響を受けている。
DD 通過と加湿の影響を補正すると、ONs(p) 計には明確な湿度依存性が見られない (D)。
ONs(p) 計本体への湿度による干渉は確認されない。

【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.

【成果発表】

松本淳(2019): 第24回大気化学討論会, P-29.

ユーラシアの積雪に対する北極海氷変動の影響の評価
Evaluating the influence of Arctic sea ice change on Eurasian snow cover

北海道大学・大学院地球環境科学研究院　佐藤友徳

１．はじめに

ユーラシア大陸北部は地球全体の水・エネルギー循環や炭素循環において極めて重要な地域である。近年、北極域の温暖化増幅や北極海の海氷面積縮小に伴い、ユーラシア大陸北部を含む環北極域の環境変化が注目を集めている。大気場の特徴として、ユーラシア大陸を経由して北極海へと輸送される水蒸気が極域の温暖化増幅の原因であることが指摘されている。一方、北極海からユーラシア大陸へと輸送される水蒸気の動態はあまり研究されていない。特に、北極海の海氷面積が顕著に減少している秋には海面からの蒸発量が増加していることが観測から明らかになっているが、蒸発した水蒸気が陸域にどのような影響を与えているのか未解明の点が多い。

申請者らはバレンツ・カラ海近傍の内陸における春の積雪偏差が引き続く夏のユーラシア大陸北部の気温分布と関係していることを明らかにした（Sato and Nakamura, 2019）。しかし、この積雪偏差を形成するメカニズムは未解明であり、前述した北極海の海氷減少に関連する海から陸への水蒸気輸送との関係も否定できない。そこで、本課題では、北極海の海氷変動がユーラシア大陸北部の積雪偏差とどのように関連しているのかを明らかにすることが目的である。ただし、当該地域の積雪変動を広範囲かつ高い精度で観測することは容易ではない。そのため、ここでは寒候期の降水量の変動について調べることとする。

２．データと方法

解析にはオイラー型の2次元水蒸気輸送モデル（Yoshimura et al., 2004; Sato et al., 2007）を使用し、北極海や北大西洋などの海域とユーラシア大陸北部の間の水蒸気輸送過程を調査する。モデルの入力として必要な3時間ごとの降水量、鉛直積算水蒸気フラックス、蒸発散量、可降水量は、JRA-55再解析データの解析値および予報値を使用した。なお、3時間ごとの降水量と蒸発散量は、JRA-55の予報値をベースとしつつ、各月の気候値が参照データの気候値と一致するように補正を施している。降水量についてはGPCP降水量を、蒸発散量については大気水収支式の残差として算出される蒸発散量を補正のための参照データとしている。実験は各年の1月1日に開始した。解析期間は1982年から2008年である。

３．結果

図1にバレンツ・カラ海の海氷面積変動とユーラシア中高緯度域の降水量変動の関係を示す。10～11月にかけて海氷面積が小さいほど沿岸海域で降水量が増加する傾向が確認できる。11月になると海岸近傍の陸域でも降水量が増加しており、両者には有意な相関がみられた。この結果は、Wegmann et al. (2015)のラグランジュモデルを用いた解析結果とも類似している。さらに、水蒸気輸送モデルの結果をみると、11月に陸域で増加した降水量に対して、北極海起源の水蒸気の割合が増加していることが分かった。

一方、陸域で降水が生じた日の大気循環場を見ると、北寄りの下層風を伴い北極海からの水蒸気輸送が強まった事例だけでなく、南寄りの下層風が卓越する日も多くみられた。今後はこれらの日にも着目し、寒候期の陸域における水蒸気輸送プロセスを調べる必要がある。

引用文献

Sato, T. and T. Nakamura, 2019: Intensification of hot Eurasian summers by climate change and land-atmosphere interactions. Scientific Reports, 9, 10866(2019), DOI: 10.1038/s41598-019-47291-5

Sato, T., M. Tsujimura, T. Yamanaka, H. Iwasaki, A. Sugimoto, M. Sugita, F. Kimura, G. Davaa, and D. Oyunbaatar, 2007: Water sources in semi-arid Northeast Asia as revealed by field observations and isotope transport model. J. Geophys. Res. -Atmospheres, 112, D17112, DOI: 10.1029/2006JD008321

Yoshimura, K., T. Oki, and K. Ichiyanagi, 2004: Evaluation of two‐dimensional atmospheric water circulation fields in reanalyses by using precipitation isotopes databases. J. Geophys. Res. -Atmospheres, 109, DOI: 10.1029/2004JD004764

Wegmann1, M. Orsolini, Y. Vázquez, M., Gimeno, L., Nieto, R., Bulygina, O., Jaiser, R., Handorf, D., Rinke, A., Dethloff, K., Sterin, A., and Brönnimann1, S., 2015: Arctic moisture source for Eurasian snow cover variations in autumn. Env. Res. Lett., 10, 054015, DOI:10.1088/1748-9326/10/5/054015

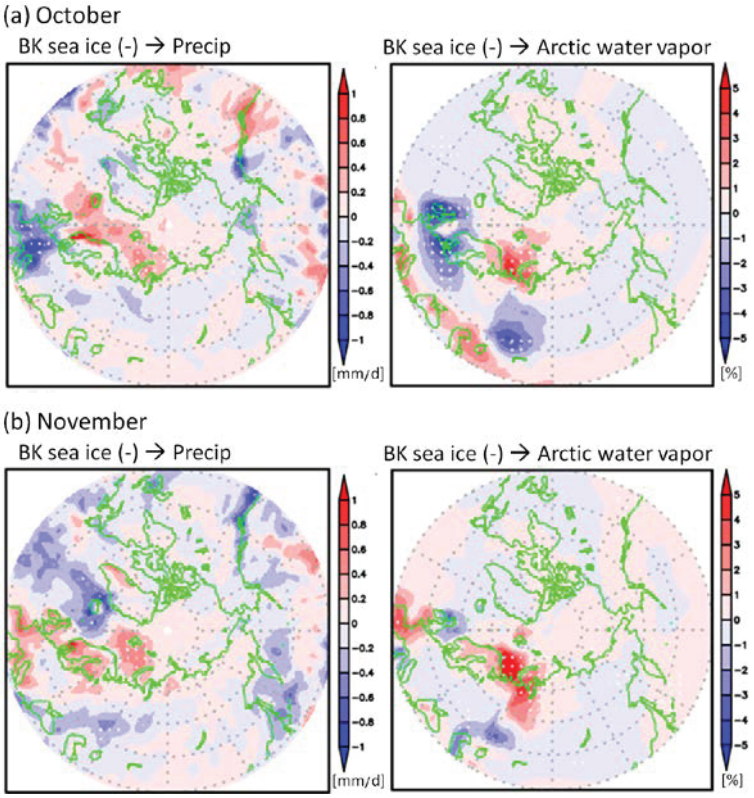


図 1: バレンツ・カラ海における(a)10 月と(b)11 月の海氷面積率偏差に回帰した同月の(左)降水量と(右)北極海で蒸発した水蒸気の割合。海氷面積率偏差は標準化し符号を反転させている。

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

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

研究代表者：河野英昭、九州大学・国際宇宙天気科学・教育センター
研究所担当教員・共同研究者：西谷　望、名古屋大学・宇宙地球環境研究所
共同研究者：堀　智昭、名古屋大学・宇宙地球環境研究所
行松　彰、国立極地研究所・教育研究系
田中良昌、国立極地研究所・教育研究系
才田聡子、北九州工業高等専門学校・生産デザイン工学科

【研究目的】

SI (Sudden Impulse) は太陽風動圧の急増現象で、地上では磁場強度の急増として観測される。SIは圧縮性波動fast mode wavesとして磁気圏内を伝わる。それが近地球磁気圏の磁場・プラズマを(座標原点=地球として)動経方向に振動(poloidal-mode oscillation)させうる事、そしてそれが磁力線固有振動(Alfven modeでの振動)と共鳴(Field Line Resonance, **FLR**)しうる事が報告されている [e.g., *Southwood and Kivelson*, 1990]。しかしFLRにおいてこれまで主に注目されていた磁力線固有振動はtoroidal mode (東西方向の振動)であった。地上磁場ではこの成分が頻繁に観測されるためである。

一方高緯度SuperDARN radars (以下 **SD** 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、昨年度は、名古屋大学・宇宙地球環境研究所・修士課程(一昨年度修了)・飯田剛平氏 (指導教員：西谷准教授) が発見したSIイベント1例の解析研究を行った。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、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FLRイベントの観測されたRGはHAN Beam#1とPYK Beam#13とで異なっていた。また、この他の上記

beamsについては、FLRが目視同定できたbeamsもできなかったbeamsもあり、同定出来たbeamsにおけるFLR観測RGもbeamsによって異なっていた。

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る。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。

【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, Toward the automatic identification of FLR signals in the SuperDARN data by using the gradient method, Japan Geoscience Union Meeting 2019, Makuhari Messe, Chiba, Japan, 2019.05.29.

Hideaki Kawano, Akira Sessai Yukimatu, Nozomu Nishitani, Yoshimasa Tanaka, Satoko Saita, and Tomoaki Hori, The amplitude-ratio and the cross-phase methods to automatically identify FLR in the SuperDARN VLOS data, SuperDARN Workshop 2019, Highland Resort Hotel & Spa in Fujiyoshida, Japan, 2019.06.05.

河野 英昭, 行松 彰, 西谷 望, 田中 良昌, 才田 聡子, 堀 智昭, Mark Lester, Automatic identification of FLR events in the SuperDARN VLOS data by using the Gradient methods, 熊本市国際交流会館, 2019.10.13.

Hideaki Kawano, Akira Sessai Yukimatu, Nozomu Nishitani, Yoshimasa Tanaka, Satoko Saita, Tomoaki Hori, and Mark Lester, Automatic FLR identification and density estimation from SuperDARN VLOS data to identify magnetospheric regions, National Institute of Polar Research, Tenth Symposium on Polar Science, 2019.12.04.

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19～25日の７日間である。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のゴム製チューブを波しぶき計本体上部から折れ曲がらないように吸引口まで伸ばし、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左はSATによる気温、OPGAによるH_2O密度、CRDSによるH_2OとCO_2の混合比、そして波しぶき計による0.3μm以上の粒子数密度を10Hzで計測した30分間の時系列の観測例である。この図から各物理量の変動に相関、または逆相関の関係、つまり変動の相似性がみられた。気温変動は最大0.6K程度の振幅で鉛直風速とは正の相関、H_2O密度と混合比はそれぞれ最大1.8g/m^3、0.16%程度の振幅で気温変動と同様に鉛直風速とは正の相関がみられた。CO_2混合比は最大1.4ppm程度の振幅で鉛直風速とは負の相関がみられた。これらから、顕熱と潜熱は海面から大気へ放出、CO_2は大気から海面へ吸収されていることが分かる。粒子数密度（10Hz間の計測粒子数）変動は、最大約300個を超える振幅で鉛直風速とは正の相関がみられ、海塩粒子が海面から大気へ放出されている様子が観測された。また粒子数密度の変動は他の物理量とは異なりスパイク状の変動がみられる。これは海面が局所的に破砕することによって放出された海塩粒子を捉えているものと思われる。

図２右は0.3、0.5、0.8、1.0、3.0、5.0μmの粒径別に表した粒子数密度変動を図２左とは異なる観測時間における時系列を示している。粒径が大きくなるにつれ、数密度の絶対値とともに変動の大きさも小さくなるものの、異なる粒径間に変動の相似性がみられた。しかしながら、10μm以上の粒径における粒子数密度は観測期間中に変動する様子を捉えることはできなかった。

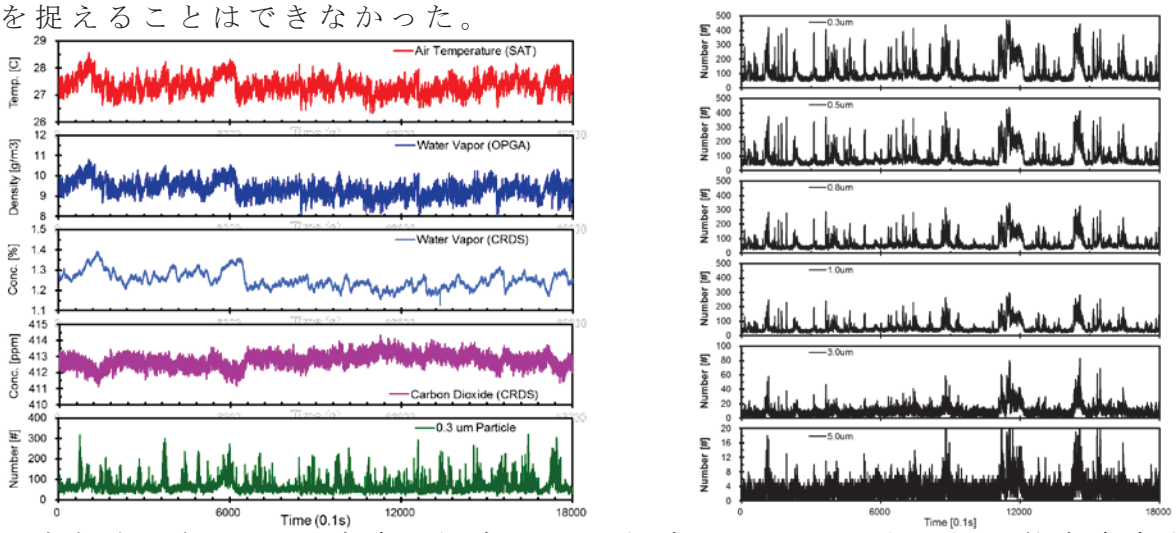


図２　大気中の気温、H_2O密度と混合比、CO_2混合比、0.3μm以上の粒子数密度変動（左）、粒径別に表した粒子数密度の変動（右）の観測例

まとめ

本研究は、宇宙地球環境研究所の共同利用機器「海上波しぶき光学粒子計」を利用し、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。１週間の観測期間中に幾度と強風を伴う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得ることができ、渦相関法における評価の精確性を示す指標となる大気乱流により生じる物理量変動の相似性について、波しぶき計において計測した粒子数密度の変動が、他の物理量の変動と相似性を示す結果を得た。一方で、粒子数密度の変動が、他の物理量間では変動が生じているにもかかわらず、生じない、また相似性がみられないといったデータもみられた。さらに、今回の観測において、吸引量の異なる２台の波しぶき計の並行観測を行い、粒径別にみると粒子数密度の絶対値また変動値の違いもみられた。後者については、放出量の評価誤差につながるため、今後、この要因についても明らかにしていく予定である。

成果発表

近藤文義，小宮秀治郎，登尾浩助，相木秀則，轡田邦夫，植松光夫，塚本修：微気象学的手法を用いた外洋域における海面フラックスの直接測定，日本地球惑星科学連合2019年大会，AOS19-04，幕張，2019年 5月

宇宙機搭載用高分解能イオン質量分析器の開発
Development of a spaceborne high-resolution ion mass spectrometer

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開発を行うことを目的としている．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．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．最近の地球放射線帯観測衛星「あらせ」に搭載されたイオン分析器にも質量分析器は備わっていて，数種類のイオンがそれぞれ独自の現れ方をするのが観測されている．

本研究で開発を目指すイオン質量分析器は，「あらせ」搭載の飛行時間計測（TOF：Time-of-flight)型質量分析器の発展型で，質量分解能は「あらせ」搭載品のM/ΔM～5に対して，M/ΔM>50-100を目指すものである．このような高分解能のイオン質量分析器は，太陽風・地球磁気圏のイオン種の完全に分別するだけでなく，存在比の低いイオン種の検出も可能である．比較的軽量な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期待できる．

【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ていた．今年度は設計結果を元に試作モデルを製作し，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．複数のエネルギーにおいて，He+，N+，O+を用いて質量分析性能を検証した．

【研究結果】

1例として2keV O+ビームを使用した場合の質量分析結果を図1に示す．820ns程度の位置に半値幅で8ns以下の飛行時間分布が出来ている．

この試験結果は数値モデルで得られた結果とほぼ等しく，設計通りの製作が実証されている．

【まとめ】

本研究成果は直近の探査計画として火星衛星搭載用イオン質量分析器開発への利用を予定している．2020年度からエンジニアリング開発が始まるため，今回の設計及び試験結果に基づき分析器の設計製造を行う予定である．

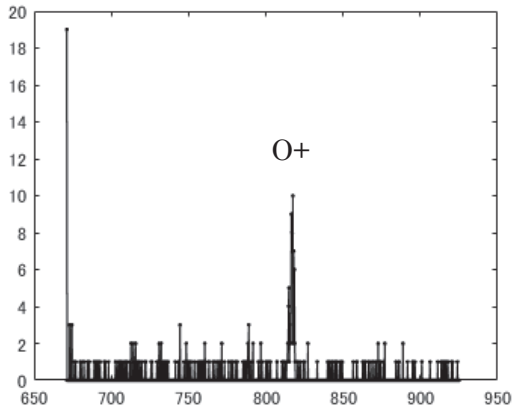


図１：2keV O+ ビームを用いた試験時の飛行時間分布

【成果発表】

- 出口雅樹，横田勝一郎，寺田直樹，松岡彩子，斎藤義文，　火星衛星探査計画 MMX 探査機搭載用イオンエネルギー質量分析器 MSA の設計，日本惑星科学会　2019年　秋季講演会，京産大，2019. 10/7
- 横田 勝一郎，寺田 健太郎，齋藤 義文，西野 真木，清水 久芳，高橋 太，太陽風イオンによるスパッタリングを利用した小型天体の遠隔質量分析，地球電磁気・地球惑星圏学会　第146回総会・講演会，熊本，2019.10/23
- S. Yokota, Mass spectrometry in the ERG and other missions, Korea-Japan Space Weather Workshop 2019, KASI, 2019. 11/28
- 横田 勝一郎，齋藤 義文，西野 真木，浅村 和史，松岡 彩子，Secondary Ion Observations of Small Bodies for Remote SIMS Analyses, Symposium on Planetary Sciences 2020, 東北大, 2020. 2/18
- 横田 勝一郎，月周回及び月面での質量分析，衛星系研究会2020，東北大，2020. 2/20

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。

【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。今年度は，ギ酸をある一定濃度に固定し，水蒸気濃度を変化させて，それに伴う 1-ヒドロキシエチルヒドロペルオキシド HEHP の変化を CIMS で追跡した。これを 1 セットの実験として，固定するギ酸濃度を変えて，同様の実験を繰り返した。得ら

れた結果から速度論的な情報を得るため，2 つの仮定をおいた。まず，これまでの実験的，理論的な研究から，*syn* 体と H_2O および$(H_2O)_2$の反応は非常に遅いことが報告されているので［1］，反応 2s および 3s を無視できると仮定した。また，解析を精度よく行うため，ひとまず *anti* 体と$(H_2O)_2$の反応 3a も，2a に比べて無視できると仮定した。以上の仮定の下で解析を行い，*anti* 体と H_2O との反応 2a の速度定数 k_{2a}に対する，反応 1a および 4a の速度定数の相対値を実験結果から決定したところ，それぞれ $k_{1a}/k_{2a} = (7.5 \pm 0.3) \times 10^3$および $k_{4a}/k_{2a} = (3.5 \pm 0.2) \times 10^{15}$ molecules cm^{-3}と求められた。

クリーギー中間体の直接検出による k_{1a}［2］および k_{2a}［3-5］の報告値から k_{1a}/k_{2a}を見積もると，本研究で得られた値より数倍大きい値，$(2 \pm 1 \sim 5 \pm 4) \times 10^4$となった。これは，Welz ら［2］が減圧条件（4 Torr）下で得た k_{1a}が，大気圧下ではより低くなっていることを示唆している。また，k_{4a}に対して直接検出による報告値はないが，理論計算により報告されている値［1］を用いると，k_{4a}/k_{2a}は$(2.3 – 6.7) \times 10^{15}$ molecules cm^{-3}と見積もられ，我々の結果はこの範囲の中に入る。ごく最近の反応速度研究［5］は，*anti* 体と$(H_2O)_2$の反応が高い水蒸気濃度の下では無視できないことを報告しており，今後は，反応 3a を考慮に入れた実験と解析を行う予定である。

【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] Sheps et al., *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **16**, 26701 – 26706, 2014.
[5] Lin et al., *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **18**, 28189 – 28197, 2016.

【成果発表】

川越博之, 坂本陽介, 猪俣敏, 廣川淳,「クリーギー中間体が関与する大気反応過程の研究」，第 24 回大気化学討論会，蒲郡，2019 年 11 月 5－7 日。

北極海洋域におけるメタン炭素同位体比を用いた水圏環境評価

亀山宗彦、北海道大学・大学院地球環境科学研究院

【研究目的】

ロシア北東部は陸域及び陸棚域において永久凍土が発達している。この永久凍土内には土壌有機物由来のメタンが多く蓄積されていることが知られている。近年の地球温暖化による永久凍土の融解によって、このメタンが大気に放出され、温室効果ガスであるメタンが地球温暖化に対する正のフィードバックをもたらす可能性が指摘されている。陸域における永久凍土の融解に伴うメタンの放出に関する研究は比較的行われているが、陸棚域の海底からの海水を通したメタン放出に関する研究は近年ロシア北岸での研究結果が報告され始めたばかりであり研究例に乏しい（Shakhova et al., 2010）。最近の研究船を用いた大気観測では夏期にベーリング海峡付近で高濃度のメタンが観測されている。これは恐らく永久凍土中に含まれるメタンの一部を検出しているものであるが、それが陸域から大気中に放出されたものであるか、陸上の永久凍土から河川を通してもしくは大陸棚の海底から水塊中に放出され、それが大気中へ出たものであるか明らかではない。

本研究の目的は海水中のメタン濃度及び炭素同位体比の測定を通して北極域における陸域および陸棚域から海洋水塊中へのメタンの付加の程度を確認し、将来予測されている地球温暖化に伴う永久凍土の融解が及ぼす海水中及び大気中へのメタン放出量を推定することである。本目的を達成するために本共同研究期間内では北極海周辺で既に採取されている海水試料のメタン濃度及び炭素安定同位体比測定を行うものとする。

【研究方法】

本共同研究期間内では海洋研究開発機構「みらい」MR19-03C航海（2019年9月27日～11月10日）で採取された海水試料の分析を行った。本航海中ではベーリング海峡からチャクチ海、ボーフォート海といった北極海広域を水平・鉛直方向に網羅する約200試料の採取が行われた。本共同研究期間内ではそのうち半数の100試料の分析を行うことで海域におけるメタン分布の概要を把握した。

分析には名古屋大学大学院環境学研究科の生物地球化学グループの海水中メタン及び亜酸化窒素濃度・同位体比連続測定装置（Hirota et al., 2010）が使用された。本装置は高純度ヘリウムを用いて試料海水中のメタンを含む微量気体を抽出し、目的種であるメタン及び亜酸化窒素のみを冷媒を用いて低温度（液体酸素・ドライアイス温度）に保たれた捕集管内に濃縮するパージ＆トラップ法と高感度安定同位体質量分析計を組み合わせた全自動の分析装置である。

【実施概要・結果】

2019年6月10日～16日の間で名古屋大学を訪問し、試料の分析を行った。本研究期間内で見込んでいた約100試料の分析を行った。自動分析装置では分析1試料あたり1時間を要するため、計画時点では9日間の分

析期間を設けていたが、申請者の研究室の研究生を同行させることで期間を短縮し実質5日間で分析を完了することができた。

分析の結果から、ベーリング海峡から広がる大陸棚における観測点で比較的高濃度の溶存メタンが検出された。また、炭素安定同位体比は外洋海水中で-55--50‰であった一方で、高濃度が検出された大陸棚の観測点では-65--60‰と比較的低い値であることが分かった。これは海底で生成した低い炭素同位体比を持つメタンが水塊に付加されていることを示している。さらに今後分析を進めることで広域のメタン濃度・炭素同位体分布を明らかにすることで、分布の特徴やその制限因子の解明に繋げる。

【引用文献】

Hirota, A., U. Tsunogai, D. D. Komatsu, and F. Nakagawa (2010) Simultaneous determination of δ15N and δ18O of N2O and $\delta^{13}C$ of CH_4 in nanomolar quantities from a single water sample. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 24, 1085-1092.

Shakhova, N., I. Semiletov, A. Salyuk, V. Yusupov, D. Kosmach, and Ö. Gustafsson (2010) Extensive Methane Venting to the Atmosphere from Sediments of the East Siberian Arctic Shelf. *Science*, 327, 1246-1250.

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現象である白色光フレアは、大量の加速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。また、白色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。これまでの研究からも、加速域における強い磁場の存在が示唆されている(1)。これより本研究では、白色光フレアの成因を探るために、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、野辺山強度偏波計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て、加速域付近の磁場を統計的に見積もった。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見積もる統計解析を行った。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。ν_{peak}は放射領域の磁場強度だけでなく、フレアループ内の電子密度などによっても変化するため(2)、この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ることが分かった。

次に、ひので可視光磁場望遠鏡(SOT)で観測された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・青の可視連続光データより導出した。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（シュテファン・ボルツマンの法則が成り立っている）ことも確認できた。これより、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と考えられる。

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 and Shinsuke Imada, “White-light Emission and Chromospheric Response by an X1.8-class Flare on 2012 October 23”, The Astrophysical Journal, Volume 891, Number 1, Article id.88, 2020
2. 鶴田康介, "白色光フレア発生に関わる多波長観測データの統計解析", 防衛大学校理工学研究科 修士論文, 2020 年 3 月
3. 鶴田康介, 渡邉恭子, 増田智, Säm Krucker, "マイクロ波スペクトルの折れ曲り周波数と白色光放射温度の統計解析による白色光フレア発生条件の探索", JpGU Meeting 2019, Makuhari Messe, Chiba, Japan, 2019 May 26 – 30
4. Kyoko Watanabe, Kosuke Tsuruda, Satoshi Masuda, Säm Krucker, "Microwave Turn-over Frequencies, Emission Temperatures, and Impulsivity for White-light Solar Flares", AOGS 16th Annual Meeting, Singapore, 2019 June 28 – August 2
5. Kyoko Watanabe, Kosuke Tsuruda, Satoshi Masuda, Säm Krucker, "A systematic study of non-thermal emissions to search for characteristics of white-light flares and comparison with magnetic features", Hinode-13, The University of Tokyo, Japan, 2019 September 2 – 6
6. 渡邉恭子, 岩田陽介, 佐々木力椰, 北田昌也, 増田智, "太陽フレアにおける非熱的電子のスペクトルと磁場構造の関係", 日本天文学会 2019 年秋季年会, 熊本大学黒髪キャンパス, 2019 年 9 月 11 - 13 日
7. 鶴田康介, 渡邉恭子, 増田智, Säm Krucker, "白色光放射温度・磁場領域の統計解析による白色光フレア発生条件の探索", 日本天文学会 2019 年秋季年会, 熊本大学黒髪キャンパス, 2019 年 9 月 11 - 13 日
8. Kyoko Watanabe, Kosuke Tsuruda, Satoshi Masuda, Säm Krucker, "A Statistical Study of Magnetic Features of White-light Flares", 2019 AGU fall meeting, San Francisco, USA, 2019 December 9 – 13
9. Kosuke Tsuruda, Kyoko Watanabe, Satoshi Masuda, Säm Krucker, "Statistical Analysis of Magnetic Features of White-light Flares", PSTEP-4, Nagoya University, Japan, 2020 January 28 – 30
10. 鶴田康介, 渡邉恭子, 増田智, Säm Krucker, "白色光フレア発生に関わる多波長観測データの統計解析", 太陽研連シンポジウム, 国立天文台, 2020 年 2 月 17 - 18 日
11. 渡邉恭子, 鶴田康介, 増田智, Säm Krucker, "白色光フレアと磁場の関係についての統計的研究", 日本天文学会 2020 年春季年会, 筑波大学筑波キャンパス, 2020 年 3 月 16 - 19 日

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、いわゆる「ポスト京（富岳）」の開発が2021年頃を目途に進められている。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「ポスト京」は、ARMという新しいCPUアーキテクチャを採用し、CPUが多数のコアから構成される。また同時演算実行数に効くSIMD幅の増大など現在存在するCPUと比べ大きな変更がある。そのため、既存のコードがこの新しいCPUをうまく利用できるのかは不明な状態である。

一方、これまで京の重点課題とされてきた分野では、この新しいCPU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このCPUに対して最適化する手法を研究し、ポスト京が利用できる際に備えることを目的とする。

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。現在ポスト京のCPUを利用することはできないが、理化学研究所にあるポスト京シミュレータを利用することで、ある程度の性能予測は可能であり、本研究でもこのシミュレータを利用した。シミュレータ利用に伴うNDAのため、詳しい結果を書くことは出来ないが、京コンピュータとは異なった最適化が有効であるということが確認できた。

また、研究代表者の所属部署においてポスト京と同様のCPUアーキテクチャを搭載した計算機システム（ThunderX2搭載サーバ）が導入され、それを利用した性能評価も行った。ポスト京のCPUとは異なり、同時演算回数が少なく、高速メモリも搭載していないが、現在主流のCPUであるXeonと比べて、8割程度の実行性能が確認できた。これらの結果により、ポスト京では新たな最適化が必要だが、CPUアーキテクチャが変わることによる性能低下は少ないことが示唆された。来年度はポスト京と同じ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、また、研究代表者の所属部署にも同CPUを搭載した性能評価用システムが導入されることになっており、これらを利用した性能評価、最適化を進めていく。

・学会発表

深沢圭一郎、加藤雄人、三宅洋平、南里豪志、Development of cross-reference framework for macro- and micro-scale simulations of the magnetosphere、STE シミュレーション研究会、2019 年

・論文リスト

深沢圭一郎、惑星磁気圏 MHD シミュレーションコードによる ThunderX2 ARM プロセッサの性能評価、情報処理学会研究報告、2019-HPC-172(1)、1-6、2019.

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。2014 年 6 月 6 日桜島噴火や今後アジア域で発生する火山噴火をターゲットにし，空白域となっている D 領域での高度変動により，電子密度変化を推定する。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。2019年度は，防災科学技術研究所の地震計ネットワーク(F-net)，京都大学防災研究所の空振計データも使用し，桜島火山噴火後の下部電離圏変動を調べた。

3. 研究結果

VLF/LF帯標準電波の送受信局および桜島の位置を図1に示す。JJY60kHz-TWNおよびJJI-TWNの伝搬パスのウェーブレットスペクトルを図2に示す。図2の赤の縦線は、NRLMSISE-00 中性大気モデルを用いてD領域電離圏での電波反射点に火山噴火によって励起した音波が到達する時刻を示す。JJY60kHz-TWNおよびJJI-TWN パスの振幅に噴火後04:12-04:30 UT にかけて 2-6 mHz の周波数成分が現れていた。表1に、VLF/LF波強度と地震計/空振計とのコヒーレンスで、95%有意水準を超えた周波数を示す。共通して、1.9，4.2，および6.1 mHz の周波数成分が見られた。これらの周波数成分の音波の垂直波数を計算した

ところ、4.2 mHz は高度 102 km 以上はエバネッセントモード、それ以下は伝搬可能であり、音波による影響が考えられる。1.9 mHz は地表から高度 160 km までエバネッセントモードであり音波によるものではなく、6.1 mHz は音波がどの高度でも伝搬可能であり、音波による影響が示唆される。

成果発表

[1] Maruyama, K., H. Ohya, F. Tsuchiya, K. Nozaki, K. Yamashita, Y. Takahashi, H. Nakata, and T. Takano, Sub-ionospheric effects of volcano eruptions using VLF/LF standard radio waves, JpGU2019, Chiba (Japan), 29 May, 2019.

[2] Maruyama, K., H. Ohya, F. Tsuchiya, K. Nozaki, K. Yamashita, Y. Takahashi, H. Nakata, and T. Takano, Variations in the D-region ionosphere associated with volcanic eruptions observed by VLF/LF standard radio waves, URSI-JRSM2019, Chofu (Japan), 6 September, 2019.

[3] 丸山 慶, 大矢 浩代, 土屋 史紀, 野崎 憲朗, 山下 幸三, 高橋 幸弘, 中田 裕之, 鷹野 敏明, Sub-ionospheric effects of volcano eruptions using VLF/LF standard radio waves, 第146回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会、熊本県熊本市、2019年10月24日。

[4] 丸山 慶, 大矢 浩代, 土屋 史紀, 野崎 憲朗, 山下 幸三, 高橋 幸弘, 中田 裕之, 鷹野 敏明, 火山噴火に関連したVLF/LF帯標準電波強度変動, 日本大気電気学会第98回研究発表会、静岡県静岡市、2020年1月10日。

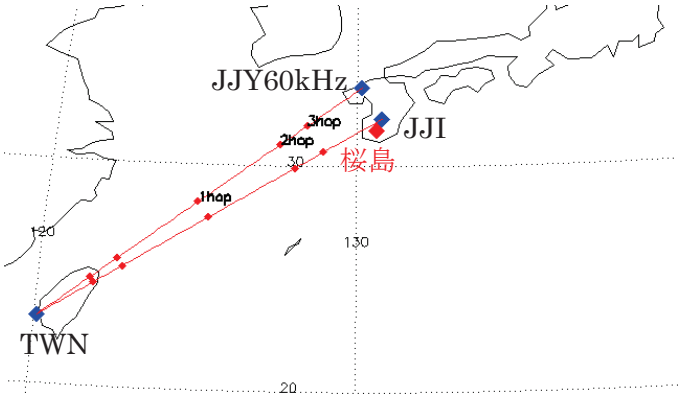


図 1　VLF/LF 帯標準電波の伝搬パスおよび桜島の位置関係

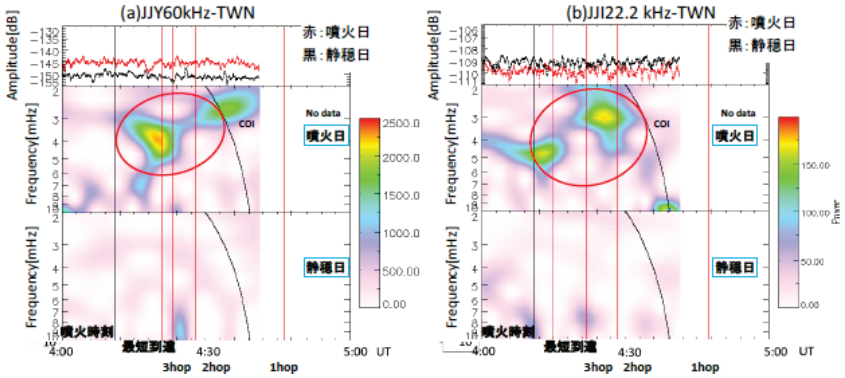


図 2　2014 年 6 月 6 日 04:11 UT 桜島噴火前後の VLF/LF 波強度のウェーブレット解析 (a) JJY60kHz-TWN および(b) JJI-TWN

表 1　VLF/LF 波強度と地震計/空振計とのコヒーレンスで 95%有意水準を超えた周波数

		JJY60kHz-TNN	JJI
LF/VLF transmitter signals	JJY60kHz-TNN		
	JJI	1.9,3.0,4.2,6.1,9.1	
Seismic wave data F-net	SBR	1.5,2.5,3.9,6.1,7.8,8.9	1.5,3.4,4.9,6.8,7.8,8.2
	FUK	2.0,3.5,4.9,6.1,6.8,7.9,8.9	2.0,3.4,4.2,8.2
	STM	1.5,2.5,4.9,6.1,7.8,8.7	1.5,4.0,5.8,7.9,8.8
Infrasonic meter		1.9,4.2,6.1,7.3	2.5,3.8,4.2,5.5,8.5

[mHz]

磁気圏電離圏電流伝送モデルを応用した中緯度地磁気誘導電流の研究
Study of midlatitude GICs with the magnetosphere-ionosphere current transmission model

菊池崇、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
橋本久美子、吉備国際大学農学部

【研究目的と方法】

大規模磁気嵐時に、磁場変動が地面に誘導電流を流すために、地面の2地点間に電位差が生じ、電力送電網の変圧器間に準直流の電流が流れる(GIC: Geomagnetically Induced Current)。GICは電離圏に強いジェット電流が流れるオーロラ帯で強いことが知られており、1989年3月にはカナダと米国東部の送電網において9時間におよぶ停電が発生している。我が国においても、関東地域で1989年10月に80アンペア、2003年10月には100アンペアを超える電流が記録されている。これらのGICはオーロラ帯で記録されるGICに比べて決して無視できない。このため、大規模磁気嵐時に我が国で流れるGICを推定するモデルの確立が課題である。我々はこれまで北海道で計測されたGICが地磁気Y成分(By)により地中で誘導される電場と比例することを明らかにした(Kikuchi et al., JpGU2019; Kikuchi et al., Space Weather, under review)。特に、地中の電気伝導度が2層からなるモデルで計算した電場との相関がよい(相関係数>0.9)ことを示した。

【2019年度の成果】

北海道GICのBy依存と海岸線効果の関係を調べるために、海岸線と送電線が東西に延びる山口県新山口変電所(SYG)でGIC測定をおこなった(図1)。初期結果を図2に示す。柿岡地磁気観測所(KAK)の地磁気Bx, By(上段左)との相関を計算し、Bx, Byが誘導する電場Ey, Exを電気伝導度1層(上段右)および2層(下段右)としたモデルで計算したEx,Eyとの相関を計算した。SYGで計測されたGIC(下段左実線)は2層モデルで計算した誘導電場(下段左点線)と良く一致した(cc=0.95)。しかし、1層モデルでの相関も0.93と高く、1層モデルでの再現性も良いことが示された。今後、東山口(図1)のGICについて、1層および2層モデルによる再現性を調べ、地磁気変動からのGIC再現モデルの確立を目指す。

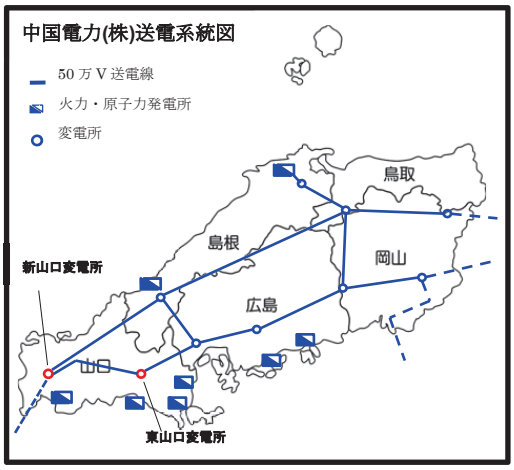


図1　中国電力送電網の東山口変電所と新山口変電所(赤印)。海岸線と送電線はほぼ地磁気緯度線に沿っており、地磁気成分依存性の海岸線効果を調べるのに適している。

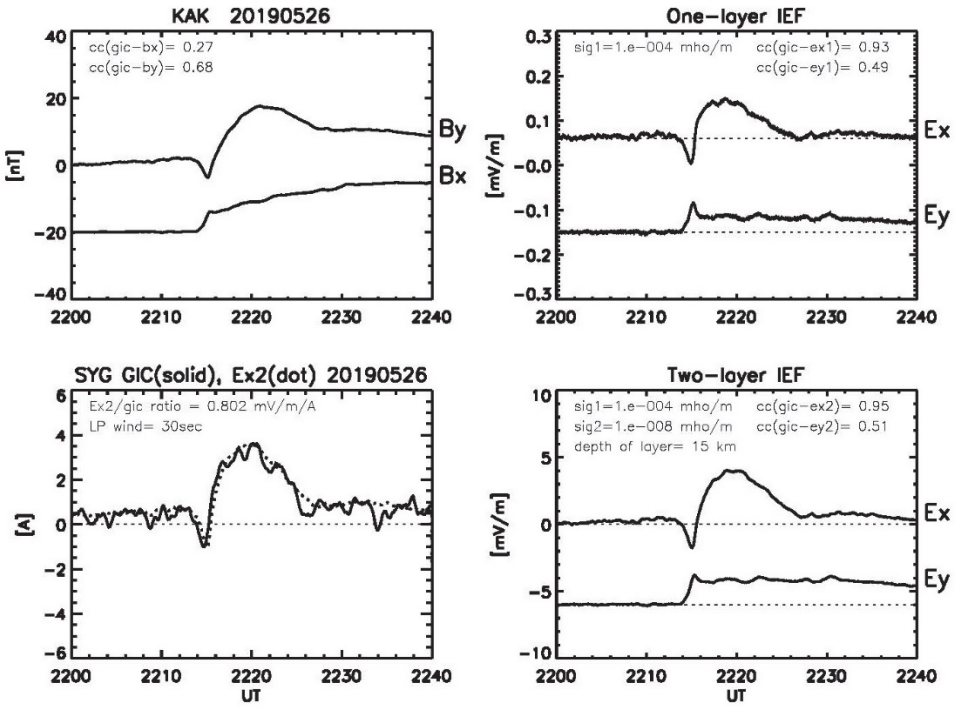


図 2. 地磁気急始(SC)時の Kakioka(KAK)の地磁気 Bx, By （上段左)、および新山口変電所 (SYG)で測定した GIC（下段左実線)。地中の電気伝導度 1 層モデルで計算した誘導電場、Ex, Ey（上段右)、および電気伝導度 2 層モデルで計算した誘導電場、Ex, Ey（下段右)。GIC と 1 層モデルの Ex と相関がよく(cc=0.93)、2 層モデルの Ex との相関はさらによい(cc=0.95)。

【本課題に関する成果発表】

Takashi Kikuchi (2020), Penetration of the magnetospheric electric fields to the low latitude ionosphere, Advances in Ionospheric Research: Current Understanding and Challenges, 4.1, Ed. C.S. Huang and G. Lu, John Wiley & Sons, Inc.

Kikuchi, T. Y. Ebihara, K. K. Hashimoto, and S. Watari, Reproducibility of the geomagnetically induced currents in Hokkaido with a two-layer conductivity model, Space Weather under review.

Hashimoto, K. K., T. Kikuchi, I. Tomizawa, K. Hosokawa, J. Chum, D. Buresova, M. Nose and K. Koga, Penetration electric fields observed at middle and low latitudes during the 22 June 2015 geomagnetic storm, EPS under review.

T. Kikuchi, Y. Ebihara, K.K. Hashimoto, S. Watari, Reproducibility of the geomagnetically induced currents in Hokkaido with a two-layer conductivity model, JpGU2019, May 26-30, 2019

Takashi Kikuchi, Penetration of the magnetospheric electric fields to the low latitude ionosphere -observations and transmission mechanism-, Seminar at AFRL, Albuquerque, USA .Jan. 16, 2020.

あらせ衛星観測データを用いた地磁気脈動の研究

Study for Ultra Low Frequency waves observed by Arase satellite

寺本万里子、九州工業大学大学院工学研究院

【研究目的】

太陽風やオーロラ爆発によって地球磁気圏内を伝搬する擾乱が、地球を取り巻く地磁気の固有振動と一致することによって、地磁気には周期 1 秒から 600 秒の正弦波が連続的に観測される。この地磁気に観測される正弦波は地磁気脈動と呼ばれている。地磁気脈動は周期やその形態によって分類されるが、本研究では放射線帯粒子の増減に関与する Pc5 脈動（周期 150-600 秒）とサブストームオンセットに伴う Pi2 脈動（周期 40-150 秒）に注目する。あらせ衛星のデータを中心として海外の内部磁気圏を飛行する衛星観測や SuperDARN や地上磁場観測などの地上観測データを組み合わせ、脈動の空間的な波動の特徴を調べ、放射線帯粒子やサブストームとの関連を明らかにする。

【方法】

2016 年 12 月に打ち上げられた、あらせ衛星は、軌道傾斜角 31 度という軌道を持ことから磁気赤道面から高緯度までの広い範囲を観測できる。この、あらせ衛星の軌道の利点を生かし、本年はあらせ衛星で観測される Pi2 脈動と Pc5 脈動の統計解析を行った。

Pi2 脈動の統計解析

地上低緯度磁場観測点から Pi2 脈動を選びだし、あらせ衛星の電場・磁場データにて観測される Pi2 脈動との相関を計算し、イベントリストを作成した。イベントリストのうち地上 Pi2 と相関の高いものを内部磁気圏で観測される Pi2 脈動とし、内部磁気圏での Pi2 脈動の存在確率、位相差、振幅の大きさの空間分布を調べた。

Pc5 脈動の統計解析

あらせの磁場データに観測される擾乱のパワーを FFT によって 5 分ごとに計算したのち、Pc5 の周波数帯で積分して、Pc5 脈動パワーの時系列データを作成した。Pc5 パワーの時系列データを太陽風データと比較し、速度や密度や動圧との関係を調べた。

【結果と考察】

Pi2 脈動の統計解析

地上磁場と相関が高い Pi2 は磁場の Compressional 成分が最も多く、観測頻度はプラズマ圏内部の磁気赤道面付近夜側が最も高かった。夜側プラズマ圏外の高緯度（30-45 度）付近でも Compressional 成分に Pi2 脈動が観測された。一方電場では、Pi2 脈動は radial 成分と azimuthal 成分に同程度観測され、プラズマ圏内部の磁気赤道面付近が最も観測確率が高く、磁気赤道から離れるに従い、観測確率は低くなる傾向が見られた。電場・磁場に見られる Pi2 脈動の位相差を計算したところおよそ 90 度となり、定在波の特徴を持つことがわかった。これらの結果は内部磁気圏で観測される Pi2 脈動はプラズマ圏の空洞共鳴によって引き起こされていることを示唆している。

Pc5 脈動の統計解析

Pc5 脈動のパワーを Dst 指数と比較したところ、Dst 指数が大きく変化するタイミングで Pc5 脈動のパワーも大きく変動することがわかった。一方、Pc5 脈動のパワーを太陽風速度と比較したが、過去の研究で報告されるような太陽風速度が早くなるところで Pc5 脈動のパワーが高くなるという傾向は見られなかった。今後は、同時期に内部磁気圏の磁気赤道面での観測を行なっている RBSP 衛星で同様の解析を行い、あらせの結果と比較することで、Pc5 脈動と太陽風との関係をさらに詳細に調べていく予定である。

【成果発表】

Teramoto, M. et al., Pi2 pulsations observed by the Arase satellite inside and outside the plasmasphere, 2020 ERG Science and Space Weather Workshop, Taiwan, January 13, 2020.

Teramoto, M. et al., Pi2 pulsations observed by the Arase satellite inside and outside the plasmasphere, AGU Fall meeting 2019, San Francisco, USA, December 10, 2019.

寺本万里子ほか、あらせ衛星が観測したプラズマ圏内外の Pi2 地磁気脈動、地球電磁気・地球惑星圏学会第 146 回総会・講演会 、熊本、2019 年 10 月 23 日

Teramoto, M. et al., Pi2 pulsations observed by the Arase satellite inside and outside the plasmasphere, JpGU2019, Chiba, Japan, May 29, 2019.

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，関西学院千里国際高等部
津髙絵美，関西学院千里国際高等部
水野　亮，名古屋大学宇宙地球環境研究所

【はじめに】

国際社会では国連(2018)が中心となり「持続可能な開発目標（SDGs）」という共通の目標を掲げられており，わが国でも持続可能な開発の実現に向けた努力が行われている。今後も国内および国際の両面において更なる取組を進めているところであるが，その中でも「地球」「教育」といったキーワードは最も重要視され野心的な目標要素の中核に据えられている。しかしながらSDGsにおける気候変動分野において，中等教育での取り組みではそれが科学的な内容を含むことから，遅れが目立つように思われる。

【研究目的】

本研究は，地球環境問題をとりまく様々な事象について高校生が総合的に理解するのみならず，主体的かつ継続的に問題解決のために取り組める教育方法の開発を主たる目的とする。特に地球環境を科学的本質から理解し，問題解決のための視点や方法や見出すスキルの養成に重点をおく。筆者らは平成29年度までに，地球温暖化やオゾン層破壊にかかわる問題を考えていくための教材研究ならびに教育方法・評価方法の開発と実践を行っが，これらの研究では１ヶ月に満たない教育実施期間であった。よって，幅広い科学的基礎学力を持たせるための，より効果的で持続可能な教育的効果について詳細なデータが得られたとは言い難い。そのため，本研究では教育実施期間を半年もしくはそれ以上と設定し，生徒の成長とともに適切な教育を持続させることがねらいである。これまでその効果が認められていたものと同様に，地球大気環境における国際共同研究の最前線にいる研究者から直接その基礎を学習することによって，グローバルリーダーとしての視点を培うことを重要目標とした。さらに，継続的な事前学習をすることによって生徒の意欲を引き出し，後続の学習や広がりによい効果をもたらすであろうと考えた。

【研究方法】

継続的な事前学習として，夏休み明けの8月下旬から本格的な文献輪読会をはじめた。事前学習日１回につき生徒（高校生）１人が順番に担当者となり，レジュメを作って解説していった。指導教員はそれに詳しい解説を入れていった。11月下旬に高校内で学習内容と成果の口頭発表行った。短期的な直前学習として名古屋大学宇宙地球環境研究所への訪問に先立つ2週間前に，同研究所の水野が高校で講義した。その時，高校生には地球環境科学の基本的なキーワードについて調査・自主学習し，名古屋大学訪問時に発表する課題が課された。11名の高校生が名古屋大学を訪問し，課題を発表後フィードバックを得たほか，講義の後半部分や実験装置の見学なども行った。さらに，事後学習として訪問時に学んだことの復習や，関連する簡単な演示実験も行った。継続学習として，実験装置開発やプログラミングの学習を始めようとしたところであるが，COVID19感染拡大防止のための休校によって未実施となっている。本研究では，訪問時の記録をリフレクションの形で生徒に報告させている。内容は，「生徒の貢献度合いの自己評価」，「発見の記録」，「研究者や生徒同士でのコミュニケーション内容」，そして「感想」などである。これらのデータを自記式質問紙のデー

タとして，科学的アーギュメントの様相を分析するため，４種のコミュニケーションスタイル：①対話者間の相互に関連しない単一の理由を述べる，②自己の主張や他者の主張を関連づけたり精緻化したりする，③自己の主張が他者の示した主張と相容れない理由を述べながら反証する，④互いの主張を理解し共通基盤の観点から説明し直す，を用いて分析した。

【結果】

生徒のリフレクションからは貢献度合いの自己評価は65～88%，訪問時の講義内容はどの生徒も興味を持つものではあったが，専門的な部分もあり生徒は完全に理解できなかったことが読み取れる。一方，発見の記録は具体的になされており，第一線で活躍する科学者による講義で新たにわかった「分からないこと」を自分で学習するに足る情報は掴めている。コミュニケーションスタイルに関する記述からは，科学者による講義や生徒の課題発表の際に質問をしていた生徒とそうではない生徒によって，スタイルの多様性に違いがみられた。また，事前学習に多く参加していた生徒はより具体的で理解が深まった記述をしていた。

【考察】

生徒は日頃研究者に接する機会がなく，熱意を持った研究者に実際に会えたことが，嬉しかったと記録している生徒が多く，研究者に対する肯定的な印象を育て，将来の見通しが得られたことは生徒に対する第一の肯定的な影響であった。また，質問をしていた生徒の方が多様なコミュニケーションスタイルの記録を有しており，知識の共同的な構成が進んでいっていることが推察される。その場で質問を作るには，知識があるほど有利である。来年度に向けて，事前学習の段階で当日科学者に聞く質問を蓄積していくとさらに多くの生徒が多様なコミュニケーションスタイルを実践することにつながる可能性がある。他にも，高校の科学を学ぶ際に最前線の議論をする機会の有用性が見らた。誰もが答えを持たない問題について，他者や自身の中での科学的アーギュメントを経て納得のいく説明を導き出してゆく研究者の姿を見せられたことは，大学との共同研究だからこそ実現できたことである。

【結言】

持続的地球環境のために高校生ができる取り組みとして，事前学習の本格的な文献輪読会，学習内容と成果の口頭発表，直前学習として名古屋大学宇宙地球環境研究所の研究者による講義，同研究所訪問時の生徒による課題の発表，講義，実験装置の見学，事後学習として訪問時の講義内容の復習や，関連する演示実験を行い，学習プログラムを開発した。本年度の研究成果として，生徒の学習成果が知識面に留まらず，研究者から直接教授される機会や，研究室見学などの体験が将来の見通しを描くこと，さらに新たなことを学ぶ意欲につなげていこうとする姿勢がリフレクション記録の分析から明らかとなった。今後の課題として事前課題の際により具体的な質問を蓄積していくことが見えてきた。

【引用文献】

高垣マユミ，(2011)“認知的/社会文化的文脈を統合した学習環境のデザイン研究”，心理学評論，vol. 54，no. 3，2011.

United Nations, “About the Sustainable Development Goals - United Nations Sustainable Development.”, United Nations Sustainable Development, 2018, www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/. Accessed 27 Mar. 2020.

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】

サブメソスケールの大気現象観測を視野に入れて、鉛直方向（地表から上空まで）を重視したPM2.5連続測定システムを構築し、性能検証のための実証実験を行う。松見豊研究室で開発された小型の低重量PM2.5測定装置（図1、共同利用装置）をカプセルに封入して小型ドローンのペイロードとする（図2、共同利用装置）。測定カプセルを吊り下げたドローン（図3）は、地表に固定された観測所にはないメリット「場所を選ばない」「地表から上空まで連続計測可能」をもつ、機動的なPM2.5飛行測定システムになる。

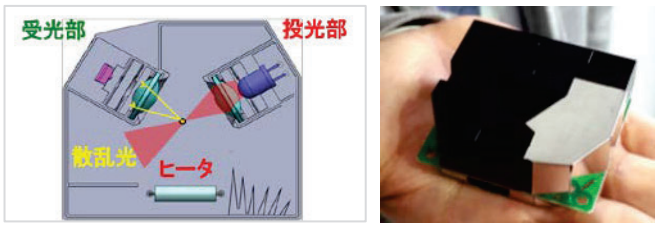


図 1. PM2.5 測定装置 左：構造図　　右：外観

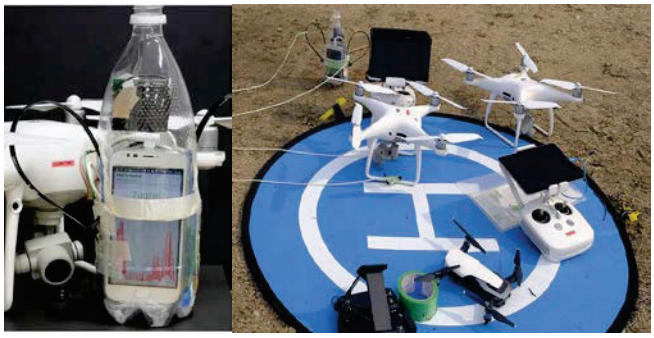


図 2. 測定装置を封入したカプセルとドローン

図 3. カプセルの吊り下げ

図 4.　PM2.5 測定中のカプセル　左：高度 300m、右：高度 500m　（ドローンカメラ撮影）

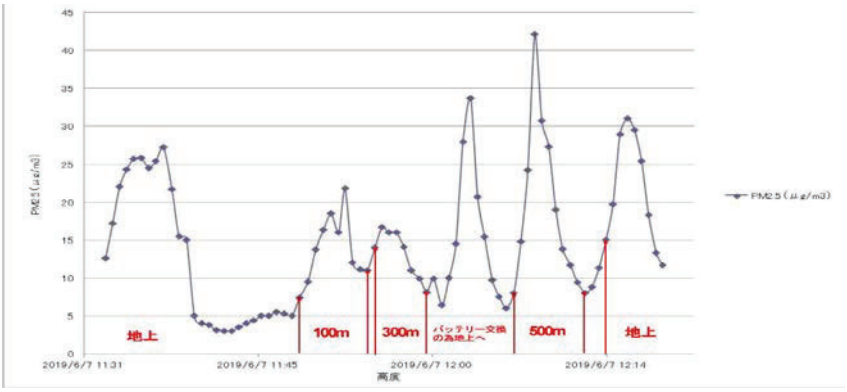


図 5. PM2.5 測定結果（地表、高度 100m、300m、500m）

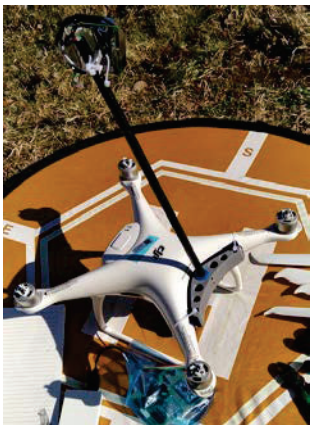


図 6. 上部マウント

図 7. 秋吉台「山焼き」の煙柱（ドローン撮影）

【実証実験】
山口県「秋吉台」、長崎県「対馬金田城」、北海道「日勝峠」において、ドローン観測システムの実証実験を実施した。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（高度0m）で測定を開始した。離陸後、100m、300m、500mの各高度において、5分ずつホバリングさせてPM2.5測定を行った（図3,4,5）。

【まとめと課題・展開】
実証実験では、本観測システムを使用して上空のPM2.5を測定し、鉛直方向の分布データを得ることができた。ドローンの下側に測定カプセルを配置したため、横風やドローンの気流を受けたカプセルやロープの揺動を抑えることが困難であった。改善策として、測定装置をドローンに上側に配置する上部マウント方式を採用することにした（図6）。現在はカプセル内のUSBメモリに測定データを記録しているが、テレメトリの導入を準備している。
竜巻や塵旋風など、大気中に微粒子が浮遊し視覚的にも観察しやすいサブメソスケール大気現象の3次元的に観測・モデル化を目指す。予備段階として、秋吉台の「山焼き」イベントにおいて煙柱の空中撮影を行った（図7）。また、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中継通信システムの研究に着手した。

【成果発表（口頭発表）】
岡本渉, 眞部広紀, 松見豊, 中西幸弘, 山崎高幸他：
火星UAVを想定した縦孔探査と大気観測のミッション構想、
第63回宇宙科学技術連合講演会OS43火星の飛行探査 2019年11月8日

２流体方程式系に基づく MMS 衛星データの解析

Analysis of MMS spacecraft data based on the frame of two-fluid equations

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

宇宙プラズマ中における異常抵抗の発生は、理論研究によってその存在が指摘されて久しいが、その一方で、観測的な検証は大幅に立ち遅れていた。しかし、近年打ち上げられた MMS 衛星で取得されたデータを２流体方程式に基づいて解析することにより、その解明に向け大きく道が開かれた。本研究では、太陽風磁場の向きに応じて太陽風起源のプラズマと磁気圏起源のプラズマによる非対称磁気リコネクションが起こる昼側の磁気圏境界に着目し、磁気拡散領域の構造と、その中で生起する物理過程、特に、励起された波動による異常抵抗の発生に焦点を当てて研究を実施した。

研究手法

上述の目的を達成するための鍵は、電子とイオンを別々の流体として扱う次のような２流体（運動）方程式を用いることにある。

$$n_e m_e \left(\frac{\partial \boldsymbol{v}_e}{\partial t} + \boldsymbol{v}_e \cdot \nabla \boldsymbol{v}_e\right) = -e n_e (\boldsymbol{E} + \boldsymbol{v}_e \times \boldsymbol{B}) - \nabla \cdot \overleftrightarrow{p_e} + \boldsymbol{R}_e$$

$$n_i m_i \left(\frac{\partial \boldsymbol{v}_i}{\partial t} + \boldsymbol{v}_i \cdot \nabla \boldsymbol{v}_i\right) = \quad e n_i (\boldsymbol{E} + \boldsymbol{v}_i \times \boldsymbol{B}) - \nabla \cdot \overleftrightarrow{p_i} + \boldsymbol{R}_i$$

ここで、mは質量、nは密度、$\boldsymbol{v}$はプラズマの並進速度、eは電荷素量、$\boldsymbol{E}$は電場、$\boldsymbol{B}$は磁場、$\overleftrightarrow{p}$はプラズマ圧力テンソル、$\boldsymbol{R}$ は波動粒子相互作用に起因する衝突項、さらに、各パラメータの添え字 e、 i は電子、イオンに関する量である事を表している。

MMS 衛星は４機が立体的に配位されているため、衛星で観測されたスカラー量の空間勾配（∇）やベクトル量の発散（$\nabla\cdot$）、回転（$\nabla\times$）などを差分法によって計算することができる。その特性を用いることによって、４機の衛星の中心（重心）における電子とイオンに関する運動方程式の成立について調べることができる。その際、上式の中の衝突項 $\boldsymbol{R}$ は観測データから直接求めることはできないが、他の項は観測値から直接計算できるため、$\boldsymbol{R}$ は上式の残差として求めることができる。さらに、その結果を MMS 衛星の波動データと比較することによって、励起波動に起因すると考えられる異常抵抗の存在を検証することが可能となる。

研究成果・考察

昨年度は、Burch et al. [2016] が Science 誌で報じた、MMS 衛星が電子拡散領域（Electron Diffusion Region: EDR）を通過したイベントに関する解析結果を報告した。そこで、今年度

は、さらに Webster et al. [2018] が JGR 誌で報告したイベントを加えて行なった解析結果を報告する。

図 1a は Burch et al.、図 1b は Webster et al. のイベントについて実施した解析の結果である。ともに、低域混成波帯（$1/2\ f_{LHR} < f < 3/2\ f_{LHR}$）の波動強度（青色）と、電子の衝突項を単位電荷と電子密度の積で割ったベクトルの絶対値（赤色）が示されている。図から明らかなように、低域混成波帯の波動強度と電子の衝突項の大きさは非常に良い相関を示している。両イベントにおいて、当該の時間帯は、MMS 衛星がイオン拡散領域（Ion Diffusion Region: IDR）の内側を飛行していた。この事実は、IDR おいて、静電的な低域混成波（LHW）が励起され、それが異常抵抗の発生を引き起こしている可能性を示している。地球磁気圏中の無衝突磁気リコネクションにおいては、EDR 内での電子慣性あるいは、電子圧力テンソルの非対角成分で表される電子粘性に、磁場の拡散と融合の原因があるとされているが、その様な機構によって対向する磁力線を融合させるだけではなく、EDR を取り巻いて存在する IDR においても、ある一定量の磁力線が異常抵抗によって拡散され融合する可能性のある点が重要である。

さらに、イオンと電子の衝突項の時間変化を比較したところ、両者に対応するベクトルは、ほぼ反対方向を向いていた。衝突項は、異常抵抗、異常ローレンツ力、レイノルズ歪みで構成されることが示されるが、イオンと電子の衝突項が互いに打ち消し合うことを含め、得られた結果を理論的に考察することによって、衝突項は LHW による異常抵抗の効果を表していることが結論づけられた。

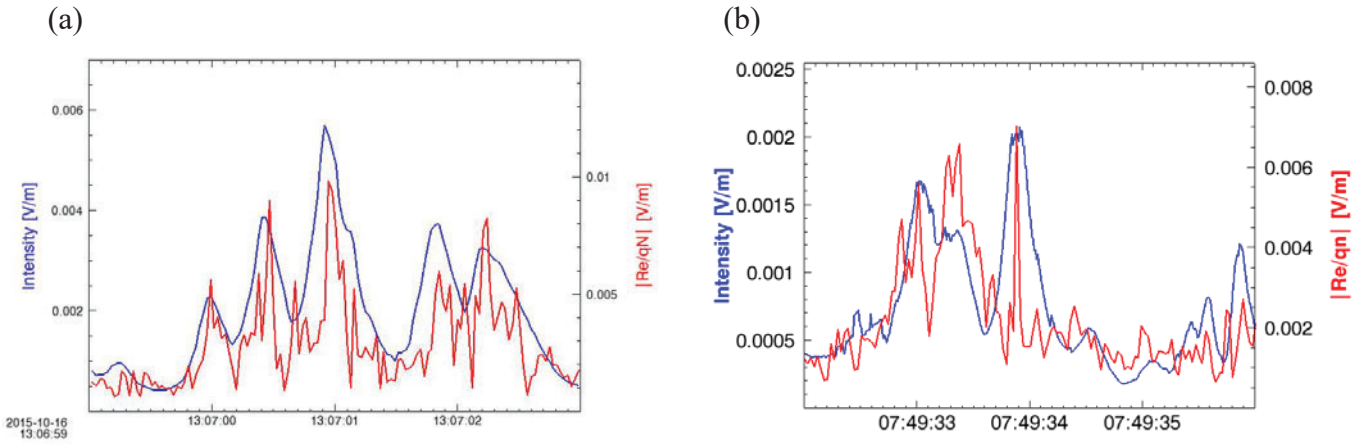


図 1. (a) Burch et al.[2016] のイベント、(b) Webster et al. [2018] のイベントにおける波動強度（青色）と電子衝突項（赤色）の比較

成果発表

1. Y. Kobayashi et al., Application of two-fluid equations to MMS data: A possibility of anomalous resistivity in the dayside magnetic reconnection, submitted to Geophysical Research Letters, Feb 2020.

極冠パッチに伴う磁場擾乱の観測的研究

Observational study of magnetic field variation associated with polar cap patches

細川 敬祐 (電気通信大学大学院情報理工学研究科)

★ 研究の概要

2005 年 1 月より，極冠域に位置するカナダのレゾリュートベイ (磁気緯度 82.9 度) において，多波長高感度全天イメージャ (Optical Mesosphere Thermosphere Imagers: OMTIs) を用いた夜間大気光観測を実施している．今年度もこれまでと同様の観測を実施したが，CCD カメラにノイズが入る問題が発生していることが明らかになり，今後，現地に渡航して，対策を講じる必要性が生じている．レゾリュートベイでの観測に加える形で，2011 年冬季より，京都大学/電気通信大学がノルウェーのスバールバル諸島で運用している全天大気光イメージャとの広域同時観測を実施し，極冠パッチや極冠オーロラの広域イメージングに取り組んでいる．スバールバルの全天大気光イメージャについても，ネットワーク経由での遠隔操作により，冬季の連続観測が問題なく実施できている．今年度は，冬至近くの期間に，557.7 nm と 630.0 nm の観測を短い間隔で繰り返す撮像モードを用いた観測を行い，欧州非干渉散乱レーダーとの同時観測を実施した．特に，2020 年 1 月の昼間側の観測では，557.7 nm の画像中に昼間側の脈動オーロラが多く捉えられており，現在，その発生特性について解析を進め JpGUで発表を行うべく準備をしている．また，スバールバルでは，安価な小型カメラによる観測が国立局地研究所の小川泰信准教授が行なっており，大型の大気光カメラとのデータの比較を行なった結果を，Earth Planets and Space 誌に論文として発表した．2015 年 10 月からは，レゾリュートベイのさらに北に位置するイウレカ（磁気緯度 89 度）において新規の大気光イメージャ観測を開始している．2017 年 12 月にファンの故障に伴って冷却性能が低下し，光学観測ができない状態になったため，修理のためにカメラを日本に積み戻す作業を行い，メーカーによるファンの交換作業を実施したうえで，2019 年 10 月から観測を再開している．観測再開後は，良好なデータを取得することができている．上述のように，レゾリュートベイとイウレカでの観測に関して機器のトラブルがあったものの，少なくとも 2 シーズンについては，北米域の 2 地点（レゾリュートベイ，イウレカ）とヨーロッパ域（スバールバル）の 1 地点の計 3 地点からの極冠域電離圏大気光計測を実施することができており，これらの光学観測機器によって観測された極冠パッチの内部を Swarm 衛星が飛翔した際に得られた磁場変動の解析を進めてきている．

★ 研究成果

イウレカにおける観測を新たに始めたことで，極冠パッチ近傍の微細な電流が作り出す磁場変動の解析を行うことが可能になった．イウレカ，レゾリュートベイにおいて，南向きのIMF のときに観測された極冠パッチについて，上空を飛翔する Swarm 衛星搭載の磁力計との同時観測事例を解析し，パッチの外縁部における磁場変動を確認した．予備的な検討では，1) 極冠パッチの外縁部に大きなプラズマ密度の勾配が存在するために流れる反磁性電流が作り出す磁場変動，2) 極冠パッチ内部の電気伝導度上昇に伴う分極がパッチの外縁部に流す沿磁力線電流によって作られる磁場変動，のいずれかが確認できることを予想していたが，現時点では，外縁部において系統的に有意な振幅をもつ磁場変動を検出するには至っていない．上記の研究と並行して，イウレカにおいて得られた 3 年分のデータを用いて，極冠パッチの輝度値の UT に対する依存性を調べたところ，イウレカのローカルタイムが夜の時間帯には，輝度値が小さい極冠パッチが多く発生するのに対して，昼側では極冠パッチの発生数は少ないが輝度値が高いものが多いことがわかった．また，イウレカでは，惑星間空間磁場（Interplanetary Magnetic Field: IMF) の東西成分（By 成分）が正の時に，極冠パッチが約 2 倍の頻度で発生していることも明らかになった．これは，IMF By が正の時には，夕方側の高い電子密度領域からプラズマを輸送するような極域対流パターンが形成されていることによって説明できると考えられる．この仮説の正当性を，SuperDARN レーダーのデータを統計的に解析することによって検証した．これらの結果は，極冠パッチの生成が，日照域の空間分布と極域対流の構造の双方に依存していることを強く示唆する．この結果は SuperDARN Workshop で報告されたあと，論文としてまとめられ，Polar Science 誌に投稿されている．これらに加え，これまでの極冠域での極冠パッチ，極冠オーロラの研究をまとめる形で 2 篇のレビュー論文を筆頭著者として執筆し，Space Science Review 誌に掲載された．これらの論文は，International Space Science Institute (ISSI) で取りまとめが行われている「Auroral Physics」というレビュー書籍として出版される予定である．

★ 学会発表，論文公表実績等

1. Hosokawa, K., M. Nagata, K. Shiokawa, Y. Otsuka, IMF By dependence of polar cap patch occurrence: statistics using airglow data from Eureka, Canada in comparison with SuperDARN convection patterns, SuperDARN Workshop, Fuji, Jun 6, 2019
2. Hosokawa, K., Y. Ogawa and S. Taguchi, Imaging of polar cap patches with a low-cost airglow camera: pilot observations in Svalbard, Norway, Earth, Planets and Space, 71, 2019
3. Hosokawa, K., K. Shiokawa, Y. Otsuka and S. Taguchi, What controls the luminosity of polar cap airglow patches? : implication from airglow measurement in Eureka, Canada, American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco, USA, Dec 13, 2019
4. Hosokawa, K., Y. Zou and Y. Nishimura, Airglow Patches in the Polar Cap Region: A Review, Space Science Review, 215, 2019
5. Hosokawa, K., A. Kullen, S. Milan, J. Reidy, Y. Zou, H. Frey, R. Maggiolo and R. Fear, Aurora in the Polar Cap: A Review, Space Science Review, 216, 2020
6. Hosokawa, K., M. Nagata, K. Shiokawa and Y. Otsuka, What controls the luminosity of polar cap airglow patches?: implication from airglow measurements in Eureka, Canada in comparison with SuperDARN convection pattern, Polar Science, submitted

あらせ衛星を用いた地球内部磁気圏リングカレントイオン圧力変動に関する研究

Study on the evolution of ring current ion pressure distributions using the ARASE spacecraft

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

研究目的 磁気嵐は､地球内部磁気圏に流れるリングカレントを規定するプラズマ圧およびその空間勾配の増加により発達する。プラズマ圧を担う粒子(リングカレントイオン)は数keVから数100 keVの水素および酸素イオンである。本研究では、あらせ衛星で得られるデータを主に用いてイオン圧の時間空間変動と質量依存を調査し、リングカレントイオンの生成に関連する磁気圏プラズマの加速および輸送過程の特徴を明らかにする。

研究方法・研究結果 本研究では、あらせ衛星搭載MEP-i粒子検出器で得られたイオンデータ（10-180 keV/q）を用いて、あらせ衛星が2017年に観測した2つの磁気嵐の主相におけるイオンエネルギー密度および、それに対して大きく寄与しているエネルギー帯について調査した。特に、近尾部領域（静止軌道付近および以遠）について、質量と電荷が異なるイオン種（H+、He+、He++、O+、O++）を比較した。その結果、より重いイオンが多くのエネルギーを得ていること、同じ質量のイオンでは電荷が小さいイオンがよりエネルギーを得ていること、エネルギー取得率は電荷よりも質量に大きく依存すること、が明らかになった。

考察 近尾部内部磁気圏を含む磁気圏尾部には太陽風起源の電場が印加されている。イオンがこの電場ポテンシャルを横切ることでエネルギーを得る場合、エネルギー取得量は質量に依らず電荷に正比例する。しかし、本研究で得られた上記の結果はこの性質に一致しない。この結果は、磁気圏尾部でイオン加速を引き起こす有効な電場が突発的あるいは局所的であることを示唆している。He+、O++、O+の旋回運動や両極域低高度を往復するミラー運動に匹敵する時間空間スケールを持つ、サブストーム活動に伴う磁気リコネクションや地球向き高速流の時間空間発展が重要な役割を担っていると考えられる。

成果発表

- K. Keika et al., Ion energization in the near-Earth magnetotail observed by Arase, AGU Fall Meeting 2019, Moscone Center, San Francisco, December 9, 2019.
- K. Keika, Transport and energization of ionospheric ions in Earth’s magnetotail: Recent multi-spacecraft observations, APPC 2019 14th Asia-Pacific Physics Conference, Kuching, Malaysia, November 18, 2019.
- K. Keika et al., Mass- and charge-dependent ion energization in Earth’s magnetotail: Arase observations, SGEPSS 2019 Fall Meeting, Kumamoto, October 26, 2019.
- K. Keika, Characteristics of ion kinetic energies dominating plasma pressure: Spatial distributions and mass dependence, Ion Composition of Sun-Earth System meeting 2019, Durango, Colorado, August 3, 2019.
- K. Keika et al., Oxygen-proton differences in ion energies dominating plasma pressure: Dependence on storm phases and solar wind drivers, JpGU Meeting 2019, Makuhari Messe, Chiba, Japan, May 29, 2019.

ビーチロック試料の正確な膠結年代決定方法

Development 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・文理学部

１．研究目的

ビーチロックは海浜堆積物が潮間帯において海水や陸水中の炭酸カルシウムによって膠結されて形成される。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。また近年その強固な物性が海岸侵食に対して護岸的な働きをするとの観点から土木工学的な見地からも注目されている。ビーチロックの形成年代はこれまでビーチロックから採取した生物化石の年代が近似値を示すと考えられてきた。しかし上記の試料の年代は生物の死亡年代を示すのみであり，直接ビーチロックの膠結年代を示すものではない。その正確な年代は膠結物質（セメント物質）を直接測定すれば得ることができる。本研究においては，ビーチロックの細粒物質間を膠結，または生物化石表面に付着しているセメント物質（炭酸カルシウム）を物理的・化学的に分離する手法を確立し，分離したセメント物質の年代と生物化石の年代を比較検討することにより，ビーチロックの正確な膠結年代を決定する方法の開発を目的とする。

２．研究方法

年代測定試料とする膠結物質はaragonite needlesであり，顕微鏡下で分離しなければならない微量試料のため，AMSでしか年代決定はできない。有孔虫化石等の微化石も同様にAMSによらざるを得ない。しかし大型の貝化石や化石サンゴの年代決定はβ線法でも年代決定が可能である。

本年度はビーチロックの存在が報告されている福井県越前海岸（東ほか，1982），長崎県佐世保市（西村，1972），沖縄県阿嘉島，座間味島および津波（小元，2005，2007）から試料を採取する。採取した試料は共同研究者の所属する日本大学文理学部で岩石カッターを使用して形状を整える。AMS試料の調製は名古屋大学宇宙地球環境研究所において行う。試料の元素分析は研究分担者の所属する同志社大学理工学部に，また試料採取地点から採取した湧水および小河川水の分析は名古屋大学宇宙地球環境研究所に依頼する。上記とは別に試料のXRF（蛍光X線）分析を名古屋大学宇宙地球環境研究所に依頼する。

３．研究結果

年代測定試料は5月に福井県越前海岸，8月に長崎県佐世保市，10月には沖縄県阿嘉島，座間味島，沖縄島の備瀬海岸および津波で野外調査を行い，越前海岸を除く5地点から採取した。採取した試料について9月に名古屋大学宇宙地球環境研究所において試料調製を行った。10月に採取した試料は12月に日本大学文理学部で岩石カッターを使用して試料の形状を整えた。10月に津波から採取した試料を除く全ての試料は試料調製を終えて，すでに石墨にしてAMSによる測定の順番待ちになった。^{14}C年代測定以外の試料の分析状況は元素分析とXRF分析は結果待ちである。湧水および小河川水の水質分析は完了した。

AMSによる年代測定結果が3月24日に届いた。その年代はすべて当初の予想年代と乖離した結果となった。その原因に関する検討は今後の課題であるが，測定結果にもとづき明らかになった事項は次の通りである。①長崎県佐世保市の海岸から採取したセメント物質は炭酸塩の含有量がきわめて低く測定不能であった。また膠結した砂礫（ビーチロック）の下位から採取した貝殻試料3個は＋Modernとなった。②沖縄県阿嘉島から採取したセメント物質の年代は貝殻およびサンゴ試料の年代より古い。③座間味島のセメント物質の年代は貝殻試料やサンゴ試料の年代より新しい。④南西諸島で最古のビーチロックである沖縄県備瀬海岸のビーチロックの形成年代は7200 BPと報告されている（小元，2007）。その下位から採取した貝化石および砂質付着物，サンゴ化石の年代は，すべて上記の年代よりも新しく，年代が逆転した。

次年度に向けての課題として，①令和元年度に測定した試料の年代の検討。特に＋Modern試料の多い原因の検討が必要である。②礫岩質ビーチロックに付着しているセメント物質の元素分析数を増やすこと。③大津波の影響が少ない海岸に発達するビーチロックを対象にして試料を採取し，同一層序から採取した試料の種別によってどのような年代差が生ずるのかを明らかにする必要があること。④以上の諸点について検討し，最終年度として3年間の研究を総括する必要がある。

４．引用文献

小元久仁夫 2005年3月．南西諸島から採取したビーチロックの ^{14}C 年代と安定同位体比（$\delta^{13}C$）—測定資料とその分析—．日本大学文理学部自然科学研究所「研究紀要」．**40**, 1-27.

小元久仁夫（2007）：南西諸島で最古のビーチロックとその意義．日本大学文理学部自然科学研究所「研究紀要」．**42**：1-14.

田中好國（2018）：日本の温帯性ビーチロックの分布と特徴．愛媛の地理，25，37-51.

西村暉暉希（1972）：佐世保市にあるbeachrockと考えられる礫岩．長崎県地学会誌，17，17-18.

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

５．成果発表（当該年度に行った口頭発表を含む）

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．東北大学理学部．2019年5月18日．仙台市． 季刊地理学，71(3), 136-137.

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(2)**，82-88.

小元久仁夫・藁谷哲也・池田晃子・横尾頼子・塩見昌司（2020）：宮崎県北部，島浦島南部の日井の浜に発達する礫岩質ビーチロックの ^{14}C 年代．季刊地理学，（査読中）

小元久仁夫（2020）：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，（査読中）

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。これにより、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。これら両観測に関する作業は近々完了する予定である。

図 1　新ミューオン検出器（2019 年 11 月現在）。写真手前が北。建屋の壁や天井部の構造が完成している。この後、天井の上に吸収層の建設が行われる。

【研究活動報告】

現時点で、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る。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っている。これを取り囲む外壁と天井も完成している（図 1）。その後、フロントエンド回路（信号増幅回路と波高弁別回路）とバックエンド回路の設置を行い、本格観測を開始する予定されている。新ミューオン検出器に向けて開発された、フロントエンド回路は、ストレージルームに置かれた比例計数管に新型フロントエンド回路が取り付けられ、試験が行われている。本年度の人的な活動としては、2019 年 11 月から 2020 年 1 月まで、本研究代表者の田中、および、

広島市立大学の 2 人の学生が交代で GRAPES-3 に滞在し、観測実験に立ち会った。同時期の 12 月に共同研究者の大嶋晃敏氏も GRAPES-3 に滞在し、観測実験に立ち会った。一方、愛知工業大学の小島浩司氏と中部大学の柴田祥一氏、大阪市立大学の川上三郎氏は、タタ基礎研究所（ムンバイ）に滞在し、インド側共同研究者らと論文のまとめ作業を行う予定であったが、世界的なコロナウィルスの影響により中止になった。また､2 月から 3 月にかけて共同研究者であるタタ基礎研究所の S.K.Gupta 氏と P.K.Mohanty 氏が来日し、論文作成および今後の日印協力について議論を行なった。

本研究代表者が数回中部大学に出張し、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、2019 年 4 月と 6 月にかけて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。そして、

【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 6 件の発表を行った。

【学術論文】

1. "Dependence of hadronic interaction models in atmospheric electric field simulations for GRAPES-3", B. Hariharan, et. al., Proceedings of Science PoS(ICRC2019), pp186
2. "Energy spectrum and composition measurements of cosmic rays from GRAPES-3 experiment", F. Varsi, et. Al., Proceedings of Science PoS(ICRC2019), pp449
3. "Simulation of atmospheric pressure effects on particle densities measured by GRAPES-3", M. Zuberi, et. Al., Proceedings of Science PoS(ICRC2019), pp502

【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(23)」、小島浩司、大嶋晃敏、田中公一他、日本物理学会　2019 年秋季大会、19aT13-8
2. 「GRAPES-3 空気シャワーアレイ拡張の現状」、大嶋晃敏, 伊藤信夫、田中公一他、日本物理学会　2019 年秋季大会、17pT11-10
3. 「GRAPES-3 実験における大型 NaI 検出器の導入について(3)」、田中公一,、大嶋晃敏、小島浩司他、日本物理学会　2019 年秋季大会、17pT11-11
4. 「大面積高精度 muon 望遠鏡による方位別宇宙線強度変動の研究(24)」、小島浩司、大嶋晃敏、田中公一他、日本物理学会、第 75 回年次大会(2020 年)、16pK17-12
5. 「GRAPES-3 空気シャワーアレイ拡張の現状について」、大嶋晃敏、小島浩司、田中公一他、日本物理学会、第 75 回年次大会(2020 年)、18pK14-11
6. 「GRAPES-3 実験における大型 NaI 検出器の導入について(3)」、田中公一、大嶋晃敏、小島浩司他、日本物理学会、第 75 回年次大会(2020 年)、18pK14-12
7. 「Temperature Dependence of NaI Detector Used for Radiation Observation」, Takuya Ueoka, Takuma Ueda, Koichi Tanaka, Akitoshi Oshima, The International Workshop on Electronics, Information and Communication (IWEIC2019) , 8 Nov. 2019

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

三澤 浩昭, 東北大学・大学院理学研究科

[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、本研究では、①JSR の追加観測による長期変化(トレンド)の導出、②過去の JSR 観測で強度較正に用いていた電波星強度の再評価に基づく、高信頼度の JSR 強度の導出、③別周波数での 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、粒子エナージェティクスも交えた変動要因の考察から、JSR 長期変動要因の査定を目的とする。

[研究方法] 上記目的達成のための具体的な研究方法は以下の通りである。

① ISEE 木曽観測施設の 327MHz 大型アンテナを用いた JSR 強度の追加計測。計測方法は、木星方向と、木星に近接する、強度較正用の或る電波源の方向を短時間に切替えながら交互に計測する方法で実施する。

② 電波星の絶対電波強度較正機能を持つ東北大の VHF-UHF 帯大型アンテナを用いた、 ①の方法で JSR の強度較正に用いた(る)電波星強度の評価と、今回および過去に求めた JSR 強度の(再)評価を行う。

③ 研究協力者(D. Santos-Costa 氏(米国 SWRI)他提供の 1970 年代以降、および、当研究グループが実施の 1990 年代から最近までの 2.2GHz 帯の JSR 強度データと、①、②で得られるデータとの比較を通して長期変動の放射線帯粒子エネルギー依存性を確認し、長期変動要因の候補となる外因(太陽紫外線、太陽風)、内因(木星衛星イオ起源磁気圏プラズマ)の変動との関係を精査するとともに、粒子エネルギー変化に寄与する物理過程の査定、及び、木星放射線帯長期変動要因の考察を行う。

[進捗状況および 2020 年度の予定] 現在までの進捗状況と今後の予定は以下の通りである。

① ISEE 木曽観測施設のアンテナを用いた新規の JSR 強度計測については、観測機会の検討不足により実施に至らず、大きな反省点となった。次年度には確実に情報が得られるよう、観測計画を推敲中である。一方、1990 年代～2000 年代に観測した過去データの再検を行い、同期間に実施された 2.2GHz 帯の JSR 強度データと、長期的な変動傾向はマッチすることを見出した。本結果の最終確認は、②の結果も踏まえ、次年度に実施する。

② 東北大の VHF-UHF 帯アンテナの受信系不調と、300MHz 帯の外来性広帯域人工雑音(RFI)の混入により、結果的に 2019 年度には①データの強度較正が不十分であった。次年度前半に改善出来るよう、現在、受信系改良と RFI 回避を図っている。尚、過去に JSR 強度較正に用いた電波星に対しては、①計測と同様に ISEE 木曽観測施設のアンテナでも再計測を行うことを検討しており、過去観測データとの比較から、電波星強度の永年変化の有無を確認してゆく。

③ JSR の変動をもたらす相対論的電子の変動過程の中で、JSR 放射によるエネルギー消失は高エネルギーの電子～高周波数帯の JSR 変動、波動-粒子相互作用によるピッチ角散乱によるエネルギー消失は低エネルギーの電子～低周波数帯の JSR 変動への寄与が想定される(de Pater and Goertz, JGR, 1990; de Pater et al., Icarus, 2003 他)。外因・内因に加え、それらの諸過程による高・低周波数の JSR 変動～高・低エネルギーの相対論的粒子変動への影響を量的に評価するために、動径拡散に基づく数値モデルの準備に着手した。次年度には、この数値モデルを用いて、①、②の定量的査定に基づく 300MHz 帯の JSR 長期変動と 2.2GHz 帯の JSR 変動を同時に説明しうる生成・消失パラメータ探索を実施し、放射線帯粒子長期変動の物理過程と変動要因候補の選別を行ってゆく。

[関連研究成果発表等]

・講演集録:Misawa, H. et al., Examination of the relation between Jupiter's inner magnetosphere and magnetic reconfiguration events, Proc. 21st Symp. Planet. Sci., Online Proc.: http://pparc.tohoku.ac.jp/sympo/sps/, 2020.

・学会・研究会発表: 日本地球惑星科学連合 2019 年大会(2019 年 5 月@幕張), 第 146 回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会(2019 年 10 月@熊本), 第 21 回惑星圏研究会(2020 年 2 月@仙台)

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(geopace 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、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。計画初年度である本年度は、磁気圏尾部プラズマシートからのイオン入射も模した初期条件を与え、その後の高エネルギーイオンの時間発展をシミュレートすることで、ドリフト-バウンス共鳴による波の励起条件を調べた。その結果、ピッチ角が90°付近のイオンはドリフト共鳴によりPc5帯のULF波動を、より磁力線に沿ったピッチ角を持つイオンはドリフト-バウンス共鳴によりPc3-4帯のULF波動を各々励起することが明らかとなった。

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、宇宙嵐時に限定的に環電流域を含む磁気圏の広い領域で観測される分子イオンに着目し、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行った。2017年9月8日の磁気嵐中の同時観測データを解析した結果、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が示された。また、低高度からのイオンの上向き輸送を安定的に引き起こすためには、電離大気と中性大気が類似の速度を持っていることが重要であることが示唆された。

ERG衛星搭載中間エネルギー荷電粒子観測器のデータ解析
Data analyses on medium-energy charged particle 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．

【研究内容・結果】

本年度は，ERG衛星搭載中間エネルギー粒子分析器の観測について，(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）を議論した．オンラインでの定常的な打合せに加え，学会・研究集会とひもづけた直接会合の場も設け，緊密な情報共有を図った．

その結果，放射線帯領域のロスコーン内の中間エネルギー電子が赤道近傍で急増し，北向き電子はMLAT > -10°，南向き電子はMLAT < 10°のみでロスコーンが著しく埋まる，という統計的結果を示した（図１，Kasahara et al., 2019, GRL）．これは，中間エネルギー帯電子のコーラス波動によるピッチ角散乱が|MLAT| < 10° で集中的に起こっていること，そしてその散乱の程度が，非線形理論からは必ずしも自明とは言えないstrong diffusionの水準に，実際に達していることを示す成果である．このほか，中間エネルギーイオン質量分析器・電子分析器のデータを用いて，複数の解析結果を論文として出版した．

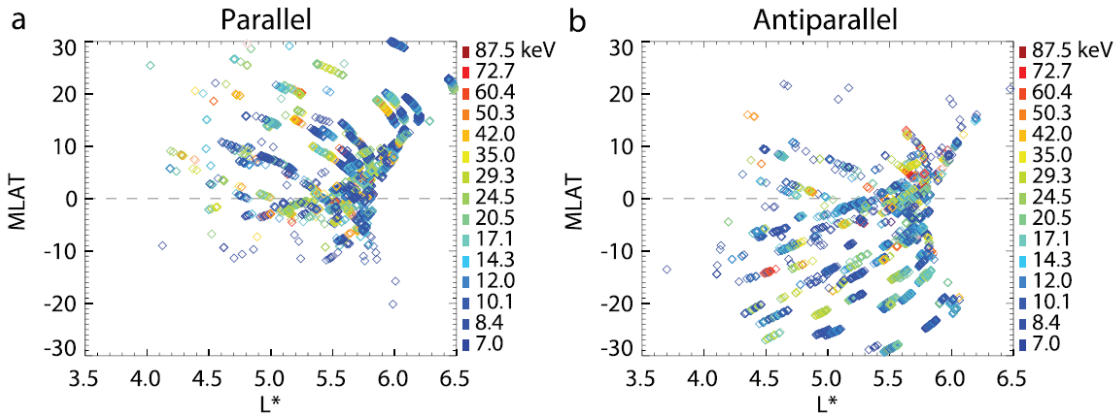


図１：ロスコーンの埋まるイベントの空間分布．

【発表成果】

- 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", Geophys. Res. Lett., doi:10.1029/2019GL085499, 2019.
- Liu, N., Z. Su, Z. Gao, H. Zheng, Y. Wang, S. Wang, Y. Miyoshi, I. Shinohara, Y. Kasahara, F. Tsuchiya, A. Kumamoto, S. Matsuda, M. Shoji, T. Mitani, T. Takashima, Y. Kazama, B-J. Wang, S-Y. Wang, C-W. Jun, T-F Chang, S.W.Y. Tam, S. Kasahara, S. Yokota, K. Keika, T. Hori, and A. Matsuoka, "Comprehensive observations of substorm-enhanced plasmaspheric hiss generation, propagation, and dissipation", Geophys. Res. Lett., doi:10.1029/2019GL086040, 2020.
- Kistler, L., C. Mouikis, K. Asamura, S. Yokota, S. Kasahara, Y. Miyoshi, K. Keika, A. Matsuoka, I. Shinohara, T. Hori, N. Kitamura, P. Steven, I. Cohen, D. Delcourt, "Cusp and Nightside Auroral Sources of O+ in the Plasma Sheet", J. Geophys. Res., doi:10.1029/2019JA027061, 2019.
- Seki, K., K. Keika, S. Kasahara, S. Yokota, T. Hori, K. Asamura, N. Higashio, M. Takada, Y. Ogawa, A. Matsuoka, M. Teramoto, Y. Miyoshi, and I. Shinohara, "Statistical properties of molecular ions in the ring current observed by the Arase (ERG) satellite", Geophys. Res. Lett., doi:10.1029/2019GL084163, 2019, [Editors' Highlights in Eos] .
- Imajo, S., M. Nose, S. Kasahara, S. Yokota. A. Matsuoka. K. Keika, T. Hori, M. Teramoto, K. Yamamoto, S. Oimatsu, R. Nomura, A. Fujimoto, I. Shinohara, and Y. Miyoshi, "Meridional Distribution of Middle-energy Protons And Pressure-Driven Currents in the Nightside Inner Magnetosphere: Arase Observations", J. Geophys. Res., doi:10.1029/2019JA026682, 2019.

中性粒子質量分析器の開発
Development of neutral particle 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】
地球の大気が超高層領域を通じて宇宙空間に流出している事実はよく知られているが，その流出メカニズムについては諸説あり，観測に基づく定量的な理解には至っていないのが現状である．これまで宇宙空間における流出イオンの観測は多く行われてきたが，それらは流出の結果を見ているようなものであり，流出を引き起こす現場の物理過程に迫りきれていない．また，これまでのイオン観測は，質量分解能が粗く，窒素と酸素の流出の違いを議論できるようなデータは限られている．この現状を打破する一つの鍵は，超高層空間の根元における中性粒子の観測である．中性粒子の密度，温度，流れは大気流出を規定する基礎的なパラメタであるため，その精密計測は非常に重要である．また，高質量分解能の観測により窒素，酸素を分離してその変動の差異を調べる事は物理過程の大きな制約となるほか，同位体比を詳しく調べる事で，時間軸を遡った過去の大気進化の歴史を紐解く事も可能になる．一方，我が国では，これまで中性粒子質量分析器の飛翔体搭載実績が極めて乏しい．そこで本研究では，(1)名古屋大学で進めている，速度分布計測可能な分析器と，(2)東京大学で準備している，高質量分解能型質量分析器および電離機構部の開発を効率的に進める事を目的とし，設計・製作・試験作業を協力して実施する．開発自体には，科研費等の資金獲得が不可欠であるため，そのための打合せ等も，本課題のスコープの一つである．

【研究内容・成果】
開発を東京大学，名古屋大学でそれぞれ進めたほか，その内容や実験設備整備，および競争的資金獲得に関する打合せを実施した．高質量分解能型質量分析器については，オービトラップ部前段のイオン時間収束部の試作・試験を実施し，< 1us程度の十分短時間の間にイオンをオービトラップ部に注入できることを実証した．また，電離機構部についても試作試験を実施した．電離機構部については，イオン電流が予想よりも1-2桁程度低く，設計時には想定していなかったフィラメントの位置ずれが問題になっていることがわかった．この部分を考慮し，修正を加えた試作機を現在設計中である．

【発表成果】
- 川島桜也，笠原慧，齋藤義文，横田勝一郎，平原聖文，杉田精司，" In-situ太陽系探査を目指したOrbitrap質量分析器の開発", JpGU，幕張，2019年5月．
- 川島桜也，笠原慧，齋藤義文，横田勝一郎，平原聖文，杉田精司，"太陽系探査を目指したOrbitrap型質量分析器の開発", 惑星科学会，京都，2019年10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，"Development of an Ion Source for Future Solar System Explorations", JpGU，オンライン開催，2020年5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．

初年度の2019年度は，2018年1月20日に大気光で観測された大気重力波構造（水平波長37 km, 位相速度 85 m/s, 周期7分）をライダー温度データから抽出することを試みた．大気光観測視野内において，1分分解能のライダー観測では5方向すべてのビームで大気光観測と同程度（周期7分程度）の温度変動を捉えることに成功した．また，ライダーの鉛直方向ビームで得られた鉛直風速変動と，大気光観測で得られた大気重力波のパラメータおよびライダーによる水平風速場から重力波の線形理論を用いて算出された鉛直風速変動を比較した結果，変動振幅はほぼ同程度であり，その時間変化も類似していた．これらの結果から，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．しかしながら，5方向のライダーデータのみから位相速度，水平波長を同定することは今回観測された波動のスケールとライダービームのジオメトリから困難であった．今後は，大気光とライダーの同時観測から水平波長 70-80 km 程度の大気重力波イベントを探し，ライダー観測のみから小スケール大気重力波の同定とパラメタリゼーションを試みる．

成果発表：

Suzuki, S., and S. Nozawa, Observational evaluation of temperature and wind perturbations associated with small-scale gravity waves, SGEPSS 2019, 熊本, 2019年10月24日.

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、搭載イメージャーにより可視と紫外の2波長領域で高度数千kmからリモートセンシングが行われる計画である。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開発能力向上が不可欠である。本研究は、これに必要な検討・基礎開発を国内共同研究者と推進する。2019年度は、本課題の3年計画の2年目である。

【研究方法】

紫外オーロラ撮像装置の開発に関連して、本研究では共同研究者と協力して以下の課題に取り組む。（1）FACTORSの科学目的に最適化した紫外撮像装置の仕様検討、（2）紫外130-200nmのFUV帯に感度を持つCCDまたはCMOS2次元アレイ検出器、（3）FUV帯に特化した光学系、（4）検出器読み出し・駆動エレクトロニクスの検討。

計画の2年目である2019年度は、（2）の紫外線検出器の課題に取り組む。特に、紫外線2次元検出器として、高圧を用いるMCPとCCDを組み合わせたICCDにするか、高圧を用いないCCDもしくはCMOSとするかを検討する(山崎・坂野井)。加えて、課題（3）の紫外FUV域に特化した光学系の設計を行う。本課題申請に関連し、2015-2016年度にISEE国際共同研究「衛星搭載イメージング光学系用 バッフル・ベーンの設計と開発」（代表者：坂野井健）において、衛星搭載紫外撮像装置の検討を行ってきた。この際、米国UCバークレー校Harald Frey氏ならびにコロラド大学Nick Schneider氏らと研究打ち合わせを行い、大型となる分光器ではなく小型軽量となるイメージャーのほうがFACTORSに適当であると判断された。本年度の研究では、これをさらに進めて、理学目的と整合的な光学設計を具体的に検討する。

また、オーロラや大気光観測波長を選択するための紫外用狭帯域バンドパスフィルターの情報収集を行う。さらに、これらの紫外カメラ設計と並行して、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（平原・浅村・三好)。本研究費は、この会合に必要な旅費と、解析・検討結果を保存するためのHDD購入のために用いる。

【研究結果】

課題（2）について、本年度の共同研究者ならびに米国NASAのIMAGE・ICON衛星等で紫外イメージャー・分光器の開発実績をもつUCバークレー校のHarald Frey博士との協議の結果、高圧を用いない紫外CCDもしくはCMOSを採用することとした。この方針により、国内ならびに国内メーカーとコンタクトをとり、複数回技術会合を開催し、検討を重ねた。この結果、130-200nmのFUV帯における感度、有効画素数、ノイズ、読み出し速度など、光学設計に有用な具体的な技術パラメーターを知ることができた。今後、詳細な装置設計のために、検出器の選定を具体的に進めることが必要である。

課題（3）について、本研究と関連する2015-2016年度にISEE国際共同研究において、紫外波長帯で有効なミラーのみで構成される対物光学系の検討をすすめ、長さ17cm以下に収まる広視野(45° x45° 以上)の設計を達成していた。しかしながら、2019年度のFACTORSのロケット打上げ後の衛星軌道投入検討より、当初案のような昼夜太陽同期軌道ではなく、軌道面の地方時が時々刻々変化していく軌道となる可能性が増した。この軌道では、衛星日陰観測時間が低下するため、日陰時のみ観測の可視カメラの運用が限定的となる。FACTORSの理学主目的の一つはオーロラ微細構造の解明であり、可視カメラはこれに貢献する予定であったが、この観測時間は低下する見込みとなった。このような状況下で、紫外カメラは従来の45° x45 ° のような広角撮像 ではなく、オーロラ微細構造を高速観測しうる

性能が要求されることとなった。この場合、紫外観測において空間分解能を向上させるとともに、検出効率をあげて高速撮像することが求められる。このためには、広角反射系ではなく紫外用レンズを用いた屈折系のほうが有利である。理学目的との整合性を共同研究者と検討した結果、紫外カメラには数km/pixel, 時間分解能を数フレー ム/sec程度が必要とされた。この場合の視野は20° x20° 以下であるため、透過効率の高い紫外用CaF2材料をもちいたコンパクトな屈折レンズ系で製作設計可能であることがわかった。本年度の研究では、この設計解を見いだした(坂野井)。今後さらに改良を行うことは不可欠であるが、紫外カメラで詳細・高速撮像の実現可能性に見通しがたちつつある。

また、紫外用狭帯域バンドパスフィルターについて国外業者と会合を行い、製作可能であることと技術仕様を知ることが出来た。今後、ジオコロナ(H Ly-alpha: 121nm) の迷光除去法に具体的な検討が必要である。さらに、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を解析し、画像・粒子同時観測成立性について検討した。この結果、全体の運用時間中に画像―粒子同時計測が成立する時間と、その時のカメラ視野と磁力線の傾きの角度を定量的に導出した。この解析結果は、今後の全ての機器の運用計画に役立つ。

【ま と め】

本年の研究により、理学目的達成に求められる紫外線撮像装置の仕様検討や、紫外検出器や光学系などの装置設計をすすめることができた。今後は、より具体的な理学パラメータと技術パラメータならびに製作可能性を検討し、装置設計を具体的に進めて技術成立性を向上するとともに、本年度達成できなかったジオコロナ除去法の検討などの課題について取り組む。

【成 果 発 表】

・ 査 読 付 き 論 文 （1件）

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 , Diffuse and Pulsating Aurora, Space Sci. Rev., vol 216, 4, https://doi.org/10.1007/s11214-019-0629-3.

・国際学会（FACTORSの発表2件、関連オーロラ研究発表4件）

Sakanoi, T., M. Hirahara, K. Asamura, Y. Miyoshi, T-H. Watanabe, T. Nishiyama, S-I. Oyama, Y. Saito, K. Hosokawa, M. Yamauchi, H. Kojima, N. Kitamura, Y. Ogawa, A. Matsuoka, Design of Visible and Ultraviolet Imagers for FACTORS - A Future Satellite Mission for Understanding the Coupling and Transportation Processes in the Upper Atmosphere, AOGS 16th Annual Meeting, Suntec convention center, Singapore, 28 Jul -2 Aug, 2019.

Sakanoi, T., M. Hirahara, T. Tsuda, K. Asamura, Y. Miyosho, T-H. Watanabe, T. Nishiyama, S-I. Oyama, T. Saito, K. Hosokawa, H. Kojima, N. Kitamura, Y. Ogawa, M. Yamauchi, A. Matsuoka, N. Yagi, M. Fukizawa, G. Ishizawa, Visible and ultraviolet imagers for auroral and airglow observations by FACTORS - a future satellite mission for understanding the coupling and transportation processes in the upper atmosphere, JpGU 2019, Makuhari Messe, Chiba, 26-30 May 2019.

・国内学会・シンポジウム（FACTORSの発表4件：うち3件を以下に列挙、関連オーロラ研究発表6件）

平原 聖文, 齋藤 義文, 小嶋 浩嗣, 浅村 和史, 三好 由純, 北村 成寿, 坂野井 健, 宇宙地球結合系探査計画「FACTORS」 FACTORS衛星によるオーロラおよび宇宙から地球へのエネルギー流入過程の観測計画検討, 第20回宇宙科学シンポジウム, 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所, 相模原, Jan. 8-9, 2020.

三好 由純, 浅村 和史, 坂野井 健, 平原 聖文, 渡邊 智彦, 西山 尚典, 海老原 祐輔, 細川 敬佑, 小川 奏信, 塩川 和夫, 八木 直志, 吹澤 瑞貴, Park InChun, FACTORS-領域間結合研究チーム, FACTORS計画におけるイオン加速, 関連計測機器の検討状況, 第20回宇宙科学シンポジウム, 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所, 相模原, Jan. 8-9, 2020.

坂野井 健, 八木 直志, 平原 聖文, 浅村 和史, 三好 由純, 大山 伸一郎, 津田 卓雄, 斎藤 義文, 細川 敬祐, 渡邉 智彦, 山内 正敏, Park Inchun, 小嶋 浩嗣, 北村 成寿, 松岡 彩子, FACTORS搭載可視・紫外カメラならびにオーロラロケットLAMP可視カメラによる微細-広域オーロラダイナミクス, 第146回 SGEPSS総会および講演会 (poster), 熊本市国際交流会館, 熊本, Oct. 23-27, 2019.

凍土域における植生と水文気候の相互作用と経年変動に関する研究

Interannual variations and interaction between vegetation and hydroclimate in permafrost regions

鈴木和良（海洋研究開発機構）

【研究目的】

本研究では、気候－植生－陸面（水文気候因子）の相互作用を解明し、その 10 年程度の変動を把握することを目的とする。解析対象とする時間スケールは、地上観測データや衛星観測データが充実している 2000 年以降を対象とする。具体的には、現地観測データ、人工衛星データ（広域の植生指標・葉面積指数・バイオマスなど）、陸水貯留量変動に関する衛星データを用いて、主に北ユーラシアに焦点を当て、そこでの水循環と植生の時間的なラグやその関係の経年変動について検討する。さらに、シベリアの現地観測に基づく検証データによって、衛星観測の妥当性についても検討を加える。

【研究内容】

現地観測データ、再解析データ、衛星データ（MODIS、ALOS2、GCOM-C/W、GRACE など）を用いて、植物活動や水文気候因子、炭素収支の指標を抽出し、大陸スケールでの相互相関について分析する。さらに、現地観測データに基づきその検証を行う。各種パラメータの経年変動に対する温暖化の影響や相互作用についても考察する。

【研究計画】

●令和元年度：各種観測データの経年変動に対するラグ機構と植生や水・炭素循環の変動について、セミナー形式の意見交換を行う。

●昨年度の一般共同研究の成果を論文として取りまとめる。

【2019 年度実施概要】

1. セミナー形式の意見交換

4 件の話題提供が行われた。その概要を以下に示す。

● 「北東ユーラシアにおける夏季降水量の長期変化傾向」 金森大成(名古屋大学)

d4PDF を用いた過去再現実験と温暖化実験との比較から，シベリア域における降水量変動解析とその地理的分布特性を解析した．降水量特性のシベリア域における東西パターンの変化や南からの水蒸気移流の効果が重要という指摘であった．ただし，d4PDF の過去再現実験データと再解析データとの比較から，両者の傾向が異なっていることが分かっている．

● 「SENTINEL-1 データを用いた永久凍土融解による地表面変動」 細谷篤志（千葉大学大学院）

マイクロ波合成開口レーダーによる観測データを用い，シベリア域における永久凍土融解に伴う地形変化を分析した．様々な要因による誤差を取り除き，地形変化を抽出することの問題点が指摘された．

● 「衛星降水量データからみた東シベリアの夏季降水特性」 飯島慈裕（三重大学）

JAXA の GPM プロジェクトの一環として，衛星降水量の検証を報告した．現場データは空間的に限定されるため，領域気候モデル WRF を用いた降水シミュレーションを行っている．その結果から，WRF の地表面からのフラックスを 0 と仮定すると，モデルの再現性が悪くなるという結果が示された．

● 「同位体トレーサーモデルによる水循環の成分分離の試み」 朴昊澤（JAMSTEC）

同氏の開発している陸面生態系モデル CHANGE に，同位体トレーサーを導入することで，地表面における水循環構成の成分分離の試みが示された．例えば，土壌水分の鉛直プロファイルに，降雨と降雪の寄与がどの程度あるのかや，古い水と新しい水を区別することの利点が述べられた．

● 「大陸規模融雪の早期化とシベリア 4 大河川の流出変動」 鈴木和良（JAMSTEC）

大陸規模融雪の早期化とシベリア 4 大河川の流出変動，コリマ川における流出変動解析，ならびにマイクロ波リモートセンシングによる水循環変動の監視と評価についての話題提供を行った．コリマ川流域での水循環解析から，雪氷変動やオホーツク海における海氷変動とコリマ川の降水量変動が関係している可能性を指摘した．

2. 今後のシベリア域における研究展開に対する総合討論

まず**「作業仮説や課題」**として以下のものが挙げられた．

- 積雪変動と夏の小雨：大気循環場の影響，極端現象の将来予測．
- 長期または周期的変動：AO が正，年々変動と温暖化の影響，2010 年以降の変化に注目すべき．
- オビ川流域の長期変動：観測データに基づく変動抽出が不可欠．
- 大スケールの現象とス小ケールの現象：流域単位，陸域貯留量に注目した解析．CMIP6 を活用．

次いで**「科学的問い等」**については以下のポイントが挙げられた．

- 植生変動と水循環の関係は不明瞭：植生変動が緩慢なため，蒸発散推定に大きな誤差（機械学習，リモンセンの活用が必要）
- 過去～現在までの変動：ティッピングポイントに注目．
- 上層と下層植生の分離
- 朴さんのモデルに集約；マルチモデルアンサンブルや全球モデルと異なりプロセスを詳細に再現可能．

3. 論文への取りまとめ

成果発表の論文 2 として取りまとめ，現在投稿中である．

成果発表

1. 鈴木和良・松尾功二 (2020), GRACE による陸水貯留量変動推定と水文科学分野での応用，日本水文科学会誌, 50 巻 1 号, 1-15.
2. Suzuki, K., T. Hiyama, K. Matsuo, K. Ichii, Y. Iijima, and D. Yamazaki (2020), Accelerated continental-scale snowmelt and ecohydrological impacts in the four largest Siberian river basins in response to spring warming, Hydrological Processes, 査読中.

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の放射性炭素濃度は，環境中での炭素動態，特に人為起源炭素の循環の理解や水の年代測定にとって重要な指標である．これまで，名古屋大学では，水試料から二酸化炭素を抽出する手法として，炭酸塩沈殿を生成させる手法（沈殿法）を用いてきたが，沈殿生成に必要な時間が長いことから，ヘッドスペース法による二酸化炭素の分離手法を採用し，名古屋大学における処理ラインの確立を目指す.

研究結果

沈殿法やキャリアーガスを用いたヘッドスペース法処理による水試料の放射性炭素濃度測定の相互比較を行うと，基本的には妥当な結果を得ることができたが，硫酸イオン濃度が高い水では沈殿法による処理に不確実性があった（論文公表）．沈殿法では，処理に必要な時間が長いこと以外にも問題点があることがわかった．一方，従来のヘッドスペース法による試料処理では，キャリアーガスを使用しており，通常，高純度ガスのボンベが必要となる．しかし，事業所で使用できる高圧ガスの量には上限があり，導入の妨げとなっている．名古屋大学においても例外ではなく，高圧ガスボンベを使用せずに試料処理を可能とするために，産業技術総合研究所で行なっている手法を採用した．この手法では，反応容器の試料ガスは，真空ライン内との圧力差を利用した拡散によって導入される．

反応容器は，真空コックとセプタム口を備えたジョイントとフラスコの組み合わせで構成される．容器にリン酸と回転子を入れて真空引きした後に，セプタムから注射針を使って試料を注入する．真空ラインに接続して，拡散によりガスを導入し，冷媒トラップによる捕集と精製を行なった．ガスの拡散範囲に冷媒トラップを含まないように設定することで，反応容器から真空ラインに入り込む水の量を最低限に抑えた．実験により，このシステムのブランクは無視できるほど小さいことや，抽出された二酸化炭素ガスの炭素同位体比の再現性が十分に高いことが示され，国際学会において発表を行った．また，本研究で検証した手法を，寒冷地における地下氷の年代測定に関する研究に適用し，その成果を国際学会において発表した.

成果発表（論文）

Takahashi HA, Minami M, Aramaki T, Handa H, Saito-Kokubu Y, Itoh S, Kumamoto Y. (2019) A suitable procedure for preparing of water samples used in radiocarbon intercomparison. Radiocarbon, 61, 1879-1887.

Takahashi HA, Minami M, Aramaki T, Handa H, Matsushita, M. (2019) Radiocarbon changes of unpoisoned water samples during long-term storage, Nucl. Instruments Meth. Phys. Res. B 455, 195–200.

成果発表（学会発表）

Takahashi, H. A., Handa, H. Minami, M., Sato, R. Nakamura, T. New procedure of CO_2 extraction for radiocarbon analysis of DIC in water samples at Nagoya University and Geological Survey of Japan. The 8th East Asia Accelerator Mass Spectrometry Symposium, Nagoya Univ., 2019/12/03.

Sato, R., Minami, M., Iwahana, G., Hiyama T. Radiocarbon ages of POC, DOC, and DIC in ground ice in Siberian permafrost. The 8th East Asia Accelerator Mass Spectrometry Symposium, Nagoya Univ., 2019/12/03.

「あらせ」衛星および地上観測によるリングカレントイオンの散乱現象の解析

Study of scattering process of ring current ions observed by the Arase satellite and ground-based observations

浅村和史、宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所

磁気嵐時には、内部磁気圏に存在する数keVから100keV以上に存在するイオンのフラックスが増加し、環電流の発達が起こる。この環電流を担うイオンは、速度分布関数における温度異方性やリング分布と呼ばれる異方性によって、電磁イオンサイクロトロン（EMIC）波動や磁気音波波動といったプラズマ波動を励起する。その一方で、環電流イオンはプラズマ波動によってピッチ角散乱を受け、ロスコーン内に散乱されたイオンは大気へと降りこみプロトンオーロラを引き起こすなどによって消失する。この消失過程は電荷交換反応やクーロン衝突などとともに内部磁気圏イオンの主要な消失過程の一つと考えられている。

昨年度までに「あらせ」衛星が取得したイオン種毎の速度分布関数と電界/磁界波動周波数スペクトルを用い、10－1000eV/q 程度のイオンフラックスが磁力線垂直方向に急峻なピークを持つイベントについて、プラズマ波動との関係を調べた。その結果、このイベントはそのほとんどが磁気赤道付近で検出されていること、また、高い確率で磁気音波と同時に観測されることが分かった。磁気音波はローカルなアルフベンエネルギー程度のエネルギーをもつイオンのリング分布によって生成されると考えられている。一方、本イベントにおけるイオンのエネルギーはアルフベンエネルギーより十分低いため、磁気音波の生成に寄与するとは考えにくく、プラズマ圏に存在する熱的エネルギーイオンが磁気音波によって磁力線垂直方向に加熱されているのではないかと考えられる。

このため、本年度は本イベントの中から磁気音波波動の一次周波数が 2-10Hz 程度と低いイベントを選択し、電界/磁界の波形データとイオンの三次元速度分布関数データを用いて WPIA（波動粒子相互作用解析）手法を用いた解析を行った。「あらせ」衛星搭載低エネルギーイオン質量分析器（LEPi）の出力データはカウントデータであり、そのサンプリングタイムは 15ms 程度であるため、高周波波動に対して WPIA 手法を用いることは困難である。このため、解析にあたっては低周波で波動が観測されたイベントを選択している。バンドパスフィルタにより磁気音波の一次周波数帯のみを取り出し、WPIA 法によって $W = \Sigma f(\boldsymbol{E} \cdot \boldsymbol{v})$（$f$：速度分布関数、$\boldsymbol{E}$：電界ベクトル、$\boldsymbol{v}$：イオンの速度ベクトル）を求めたところ、磁気音波が 10－100eV/q 程度のイオンを加熱しているという結果を得た。また、近傍の周波数帯において EMIC 波動が観測されていたため同様の解析を行ったところ、イオンが波動にエネルギーを与えているとの結果を得た。このことは、磁気音波波動が低エネルギーイオンの加熱を介して EMIC 波動を励起するエネルギー輸送過程が存在することを示唆している。現在はまだ数例の解析にとどまっているが、今後、他のイベントについても解析を試みる。

また、以上の研究に加えて、名古屋大学宇宙地球環境研究所所属の大学院生（理学研究科）、学部学生（工学部）とLEPiデータを用いた共同研究を実施し、それらの成果は学位論文としてまとめられた。

赤道波動のエネルギー伝達経路の診断による熱帯気候の理解と海洋データの付加価値形成

Identification of energy transfer route by oceanic equatorial waves for understanding tropical climate

尾形　友道（海洋研究開発機構・アプリケーションラボ）

大気と海洋の様々な長周期（季節内～季節間スケール）波動は熱帯域の気候変動現象(MJO/ENSO/IOD)の発達・終息において重要な役割を担う。これらの波動を解析する際に従来の準地衡流近似に基づく診断理論は中緯度域と熱帯域の接続を整合的に取り扱えないという問題があった。研究代表者の最近の理論研究によってエネルギーフラックスの診断式のブレークスルーがもたらされた（Aiki et al. 2017 PEPS）。これは大気海洋中の擾乱エネルギーのライフサイクル(発達・伝達・消散過程)を緯度帯の制限なくトレースするための強力なツールである。これによって擾乱エネルギーの流れを可視化して定性的に理解するだけでなく、厳密な定量化により各力学過程の最重要なものを明確化することができる。本研究ではこれを適用して、熱帯と中緯度の波動をその相互作用も含めて連続的にトレースすることで、熱帯の主要な気候変動イベントの発達・終息メカニズムを解明する。

本研究では、今までの研究から課題として残された、1）新しく開発された解析手法（エネルギーフラックス）を用いた海洋波動伝播の解析、2）気候モデルにおける季節内スケール変動とIODなどの気候変動モードの相互作用の解析を行い、熱帯海洋研究の進展を目指す。申請者が従来から取り組んできた赤道域における特徴的な海洋波動（混合ロスビー重力波：例えばOgata et al. 2008 JGR-O, Ogata et al. 2017 JPO）に新しいエネルギーフラックスを適用したところ、新しいエネルギーフラックスの赤道域での有効性・優位性が確かめられた。本研究では、この解析結果を足掛かりにして、（先行研究では理想化した地形や外力に制限されていた）エネルギーフラックスの適用を、現実的な海洋シミュレーションにも適用し、各種赤道波動における有効性・優位性を検証する。

今年度は、現実的な海洋シミュレーションにおける季節内変動（尾形）および季節変動（相木）にエネルギーフラックスを適用し、赤道海洋波動のエネルギー伝播の特定における新しいエネルギーフラックス（Aiki et al. 2017 PEPS）の優位性を検証した。季節内変動に関する研究成果として、鉛直モード展開により、赤道インド洋での90日周期の表層（0-100m深）での海洋変動は、鉛直第二モードのみで説明でき、風のエネルギー注入によるケルビン波/ロスビー波伝播が主要である事が示された。一方、30日周期の混合ロスビー重力波による海洋変動は、鉛直第一と第二モードの双方が寄与していた。これはモードの重ね合わせによるエネルギーの鉛直伝播を示唆しており、三次元にも適用可能な、新しいエネルギーフラックス表現の展開を促す結果である（Aiki et al. in preparation）。新しいエネルギーフラックスではエネルギー注入域からのエネルギー伝播を適切に表現しており、優位性が確かめられた。解析結果は国際的な査読誌に受理された（Ogata, T., & Aiki, H. (2019). The pathway of intraseasonal wave energy in the tropical Indian Ocean as identified by a seamless diagnostic scheme. *SOLA.*）。

電離圏D/E層のプラズマ温度導出と検証
Derivation and verification of plasma temperature in the D- and E-regions

小川泰信、国立極地研究所・国際北極環境研究センター

研究目的：

太陽風エネルギーの多くは磁気圏を経由して極域超高層大気に流入する。その流入するエネルギーは、激しい時空間変化を有しながら、超高層大気の運動エネルギーや熱エネルギーなどに変換されることが特徴として挙げられる。極域の非干渉散乱（IS）レーダーは、このエネルギー変換過程を知る上で最も強力な観測手法の一つである。ただし、ISレーダーを用いた電離圏D層及びE層におけるプラズマ温度導出には、観測上の様々な制限があることが過去に報告されている。本研究では、平成28-29年度の一般共同研究に引き続き、EISCATトロムソUHF及びVHFレーダーシステムを用いた電離圏D層及びE層のISスペクトルデータを見直すと共に、多変数フィッティング手法を改善することにより、プラズマ物理量導出精度（特にイオン温度導出の下限高度）の向上を目指すことを目的とする。この研究で得られる成果と経験は、次期計画であるEISCAT_3D（送信周波数233MHzのフェーズドアレイ式多点VHFレーダーシステム）における物理量導出プロセスを構築する上で有益である。

研究内容・計画：

（1）2018年1月及び2019年1月のEISCAT共通実験（CP）で得られた電離圏D層及びE層のISスペクトルデータを用いて、成層圏突然昇温発生前後の中間圏・下部熱圏におけるイオン温度及び速度変動を導出する。

（2）EISCATレーダーによるイオン温度観測と同時刻・同高度のトロムソナトリウムライダー観測データで得られる中性大気温度との比較研究を実施する。

2019年度の成果内容：

（1）2018年1月10-31日08-20UT及び、2019年1月2-10日08-20UTに実施されたEISCAT共通実験で得られたデータを重点的に解析した。あいにく両CP観測期間は共に、成層圏突然昇温（SSW）の発生日を含んではいない。初期解析の結果、2018年1月のSSW発生前の期間には、(i)1時間分のデータを積分してISスペクトルフィッティングを行うことにより、高度90 km付近までのイ

オン温度を精度良く導出できること、(ii)高度86-100 kmではイオンの下降流が継続して生じていたこと(各日の平均速度は約2m/s)などを明らかにした。

(2)2020年1月より名大ISEEで研究を進めているAudrey Schillings博士との共同研究の一環で、太陽風擾乱時の極域電離圏・下部熱圏変動に着目して、EISCAT-ナトリウムライダー同時観測イベントのサーベイ及び、総合解析のための準備を進めた。具体的には、2013年12月8日及び2015年11月10日の両CMEイベント時に得られたEISCAT及びナトリウムライダーデータを用いて、磁気圏から電離圏へのエネルギー注入量及び、ジュール加熱率の変化を定量的に調査している。

主な論文:

Ogawa, Y., Y. Tanaka, A. Kadokura, K. Hosokawa, Y. Ebihara, T. Motoba, B. Gustavsson, U. Brandstrom, Y. Sato, S. Oyama, M. Ozaki, T. Raita, F. Sigernes, S. Nozawa, K. Shiokawa, M. Kosch, K. Kauristie, C. Hall, S. Suzuki, Y. Miyoshi, A. Gerrard, H. Miyaoka, and R. Fujii, Development of low-cost multi-wavelength imager system for studies of aurora and airglow, Polar Science, POLAR_2019_29, March, 2020.

主な学会講演:

Ogawa, Y., S. Nozawa, M. Tsutsumi, Y. Tomikawa, C. Hall, and I. Haggstrom, Ion temperature variations in the D- and E-region polar ionosphere during stratospheric sudden warming, The 146th SGEPSS fall meeting, 2019年10月24日.

温度異方性を起源とするプラズマ波動励起
Excitation of plasma waves driven by temperature anisotropy

天野孝伸（東京大学・理学系研究科）

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存在し，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を考えると，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不安定となる．これらはそれぞれ電子，イオン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．今年度は主に，地球バウショックの遷移層および磁気シース領域におけるホイッスラー波について，MMS衛星によって得られたデータを用いて波動解析および分布関数解析を行った．

衝撃波においては，上流（太陽風）から衝撃波下流にかけての磁場増大に伴う断熱圧縮によって温度異方性が生じ，ホイッスラー波が励起されていると定性的には理解できる．しかし，実際の電磁場の波形観測データからは，コヒーレントで微細な波束構造が多数発見された．また，100ms程度以下という非常に短い時間で電子の温度異方性（分布関数）が変動する様子が観測された．これは断熱圧縮による異方性生成と波動励起およびそれに伴う電子散乱による異方性解消が準定常的に起こっているのではなく，両者のダイナミックなせめぎ合いが起こっていることを示唆する結果である．

磁気シースのホイッスラー波は，イオンの温度異方性が作ったと思われるミラーモードと呼ばれる磁場強度の強弱に伴い観測されるコヒーレントな波動である．観測的には磁場強度の極小領域でホイッスラー波が観測されていることから，波の励起源が磁場極小領域であると考えられていた．やはりMMS衛星によって得られた観測データの詳細解析を行い，磁場強度の極小とポインティングフラックスの反転するタイミングが一致することを示した．この性質は過去の研究の予想と一致するが，観測的に同定された波動励起領域は想像以上に小さな領域に局在化していることが分かった．なお，ミラーモード中のホイッスラー波励起の特徴は，定性的には内部磁気圏におけるコーラス波動の励起と同じ構造であるものの，磁気シースではコーラス波動のような周波数変動は観測されない．この差の原因については今後の更なる研究により明らかにする必要がある．

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。これまで我々の研究グループではこの地域のモンスーン季の季節内変動に着目し、この地域において顕著な準2週間周期変動が卓越し、特徴的な総観規模スケールの変動が本地域に降水活発期をもたらすことを示した。その一方でプレモンスーン季におけるこの地域の総観規模スケールの変動の理解はまだ不足している。本年は主にプレモンスーン降水の特徴を新しいデータも用いて明らかにした。

2. データ

本研究ではバングラデシュにおける1891-2016年の23地点における日降水量データと共に2010-2014年にCox's BazarとKheppuparaで観測されたバングラデシュ気象局のS帯気象レーダー画像とGSMaPを用いた。また2010-2012年の間のThe World Wide Lightning Location Network(WWLLN)(Rodger et al. 2006)による雷位置標定データを用いた。総観場の調査にはJRA55再解析データを用いた。

3. 研究結果

バングラデシュに23地点ある長期(1891-2016年)日降水量データに対して主成分分析を行うと，南北に差がある降水分布を示す第2主成分(寄与率7.4%)，及び北東部とそれ以外に差がある降水分布を示す第4主成分(寄与率3.8%)の季節変化から，プレモンスーン季に特徴的に北部，或いは北東部で降水が卓越する分布が多く観測されることを示す。

バングラデシュで2010-2014年に観測されたS帯降雨レーダーをRafiuddin et al. (2010)を参考に弧状型，線状型，分散型，広域型の4つにわけて分類して月別発生数を調べた。その結果，プレモンスーン季に特徴的に弧状型が卓越する一方で，分散型と広域型はモンスーン季に卓越することを示す。ただ，レーダー観測のほとんどは8-18LSTに行われている。VLF帯の電波を検知して世界中の落雷位置と時刻を観測する雷ネットワークのひとつであるThe World Wide Lightning Location Network (WWLLN)の2010-2012年のデータを用いてバングラデシュの降雨レーダーと比較したところ，レーダーによる降水分布と落雷位置はよく一致する。一方WWLLNデータはおそらくセンサー数とセンサー分布が変化するために，年により雷検出数は大きく異なっていた。落雷位置のクラスターを降水システムとみなして降水システムの数とその発生位置の分布を解析した結果，プレモンスーン季は特徴的にバングラデシュ北東部で降水システム発生が多く，また降水システムのほとんどは北西から南東方向へ移動する。

GSMaP日降水量分布とJRA55再解析データを用いて，2007-2013年の間で顕著だったプレモンスーン降水について総観場の事例解析を行った。Yamane et al. (2013)等で指摘されているバングラデシュへの925hPaでの南からの高相当温位の空気の流入，500hPaでの北西からの低相当温位の空気の流入，500hPaや200hPaにおけるトラフがみられた。ま

た，日本でみられる温帯低気圧に伴う降水変動と比べて雨が降りやすい期間が長く3–5日程度続く事例が多くみられた。

4. 考察と今後の課題

バングラデシュにおけるプレモンスーン降水はメガラヤ高原に隣接する北東部やヒマラヤ山脈周辺に現れるものが多いことから，地形をトリガーとして発生する降水システムが多いと示唆される。下層での相対的に暖湿な南風の流入は潜在不安定な大気安定度を形成し，地形性上昇を対流発生のトリガーをするために必要と考えられる。一方下層での南風の流入はインド亜大陸上の熱的低気圧の形成に伴ってプレモンスーン季には850hPaより下層に持続的に現れる。プレモンスーン降水時は上層が低気圧偏差であることが多いことから偏西風擾乱の影響は示唆されるものの日本とは異なり数日以上にわたって降水が生じやすい期間が続くことも多い。今後はバングラデシュ上空における上層の偏西風擾乱の特徴に着目した解析が必要である。

6. 引用文献

Rafiuddin et al., 2010: Characteristics of monsoon precipitation systems in and around Bangladesh, *Int., J. Climatol.*, 30, 1042-1055.

Rodger et al., 2006: Detection efficiency of the VLF World-Wide Lightning Location Network (WWLLN): initial case study, *Ann. Geophys.*, 24., 3197-3214.

Yamane et al. 2013: Synoptic situations of severe local convective storms during the pre-monsoon season in Bangladesh, *Int. J. Climatol.*, 33, 725-734.

7. 成果発表

Murata, F., S. Azuma, 2019: Prefered environmental conditions of precipitation systems around Bangladesh observed by ground-based radars, AOGS, シンガポール(2019年7月29日), 口頭発表

村田文絵，寺尾徹，木口雅司，福島あずさ，田上雅浩，林泰一，井上知栄，松本淳，バングラデシュにおけるプレモンスーン降水をもたらす総観場，日本気象学会秋季大会，福岡(2019年10月30日)，ポスター発表

Murata, F., S. Kashiramoto: Characteristics of thunderstorms in Bangladesh based on WWLLN dataset, 2nd International workshop on “Extreme severe storms and disaster mitigation strategy”, ラジャスタン(インド) (2020年2月27日), 口頭発表

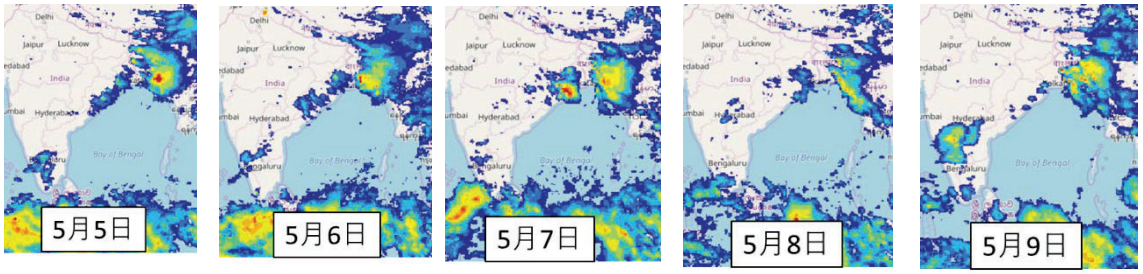


図1: GSMaPによるバングラデシュ周辺の日降水量分布。コンターが赤に青，黄，赤に変化するにつれて降水強度が強い。2013年5月5日から9日まで継続してバングラデシュ周辺で降水が続いている。

Kaバンドレーダーを用いた積乱雲の生成・発達過程に関する研究
Study on initiation and development of cumulonimbus cloud using Ka-band radar

中北英一　京都大学・防災研究所

1. 研究目的

積乱雲の生成・発達段階に関してKaバンドレーダーを主とした現地観測を実施し、①雲粒子の形成・成長特性を調べて積乱雲の生成・発達物理的メカニズムを明らかにすること、②雲粒子形成段階における気流解析を行い、今後発達する防災上危険な積乱雲の特徴を見つけること、を目的とした。

2. 研究方法

2年計画の2年度目である2019年度には、夏季熱雷と積雲生成を対象として、神戸エリアにて名古屋大学が所有するKaバンドレーダーによる観測を実施した。加えて、申請者が別途研究プロジェクトで神戸市に展開するマルチセンサー観測（GNSS可降水量、ドップラーライダー、境界層レーダー、Xバンドレーダー、フェーズドアレイレーダー、ゾンデ観測）と連携し、積乱雲の生成・発達段階を捉える観測を実施した。Kaバンドレーダーによる雲粒子観測があることで積乱雲の成長過程をシームレスに捉えることが可能となる。本年度は、昨年度に実施したKaバンドレーダーを主眼にした解析に加えて、Xバンドレーダーであるパラボラアンテナ型のレーダー（以降XバンドMPレーダー）とフェーズドアレイレーダーの3者を総合的に用いて、渦管解析を行った。

3. KaバンドレーダーとXバンドレーダーで捉えた積乱雲の渦管解析

（1）フェーズドアレイレーダーを用いた渦管解析

鉛直方向の空間分解能および時間分解能に優れたXバンドフェーズドアレイレーダー（以降PAR）を用いて更なる詳しい渦度分布の解析を行った．まず、PARで捉えた積乱雲の渦度分布の鉛直断面を調べたところ、水平スケール1km程比較的小さな渦度分布が鉛直に数kmほどつながった渦管構造を捉えていることがわかった．Kaバンドレーダーほど感度と水平分解能に優れてはいないために数百メートルスケールの渦管を捉えてはいないものの，鉛直分解能に優れたPARを使うことで，比較的スケールの小さな1km程の渦管構造を捉えることができたと考えられる．また、図1に小スケール渦度の30秒毎の変化を示すが、小スケール渦度の詳細な時間変化を追えることがわかった．この変化は時間分解能が5分のXバンドMPレーダーでは観測できず、PARの渦管探知が有用であることを示した。

次いで、反射強度でも小スケールの現象を捉えられると考え高時間分解能PARを使って解析を行った．図2にPARで捉えた2分ごとの反射強度の時間変化を示す．赤い四角で囲んだPARで観測できる3つのエコーの塊が，上下しながら急激に発達する様子がわかる．この3つのエコーの塊は，水平スケールが2km程度であることから，水平スケールが１km程度の塔状の雲の塊であるタレット内の降水粒子を捉えていると考えられる．以上から時間・鉛直分解能に優れたPARを用いることで，積乱雲の小さな要素であるタレットを捉えていることが示唆される。さらに内部の渦度分布を調べた．図3は2つのタレットが時間変化する様子の一瞬間を切り取った図を示す．この後右のタレット②はそのまま勢力が衰えた一方，左のタレット①はその後上空10kmまで急激に発達した．左右のタレット内の渦度分布

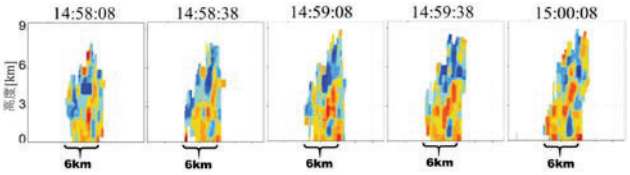


図1: 小スケール渦度の30秒毎変化

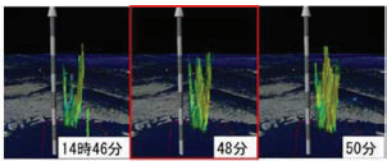


図2: ＰＡＲで捉えたタレット構造

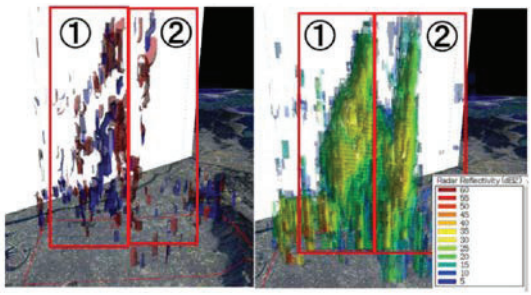


図3: タレットの比較
（左：渦度、右：エコー）

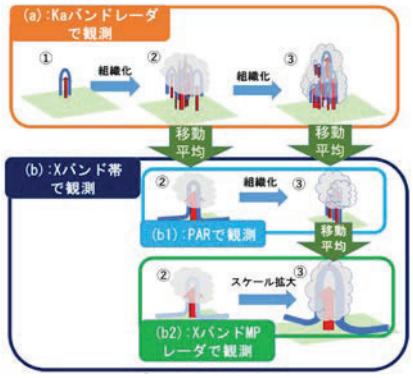


図4: 渦管発達の統合理解

を調べると急激に発達するタレットの渦度分布は，勢力が衰えるタレットに比べて値が大きく，鉛直に高く伸びていることがわかる．このことから積乱雲内の小さなスケールの渦度分布が，同様に小さなスケールの現象であるタレットの発達と関連があるとわかった。

（２）KaバンドレーダーとXバンドレーダーで捉えた積乱雲の渦管の統合解析

昨年度から調べてきたKaバンドレーダーにPARとXバンドMPレーダーを加えて総合的に渦管解析を行い、以下のようなメカニズムの理解に至った。概念図を図4に示す。近くの上昇流が互いに混じりあい大スケール上昇流として融合し，渦管も同様に組織化、融合化すると考えられる．渦度の融合の過程については近接する渦が相互に影響しあい，互いの周りを回るように変化しながら融合するプロセスにより大スケールの渦度へと変化すると考えられる．Kaバンドレーダーで観測できる雲粒子のみの発達初期段階で，強い上昇流によって複数の小スケールの渦管が組織化するイメージが(a)に示されている．大スケールの渦管は，Xバンドレーダーによって観測でき，(b1②)(b2②)のようにPAR，XバンドMPレーダーによって観測できる．その際XバンドMPレーダーは鉛直分解能がPARに比べて低いため，PARで捉えられる渦管の一部のみを捉えることになる。さらに上昇流・渦管の融合プロセスによって，(b1)のように渦管の組織化，(b2)のようにスケールの拡大化が起こり，PARはXバンドMPレーダーでは捉えきれない小スケールの渦管を捉えることになる．また、積乱雲発達初期のタレット内の反射強度，渦管の変動は(b-1)(b-2)の上昇流・渦管の融合過程を捉えたと推測される．

4. 成果発表

【査読付論文】

- 中北英一・高尾充政・新保友啓・山口弘誠・中川勝広，Kaバンドレーダとフェーズドアレイレーダを用いたゲリラ豪雨発達初期の積乱雲詳細解析，土木学会論文集B1（水工学），Vol.75，No.2，pp.1171-1176，2019.

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，そのご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，数キロ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，2.5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，場の物理的な解釈する．

【研究成果と考察】

本年度は2019年11月から2020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30箇所あまりに気象ロガーを設置し，観測を行った．機器の回収を行ったばかりであるため，データの収集作業中である．そのため，本年度は過去のデータを用いて解析を進めた．図は気象レーダー（カラートーン），および，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うと，同

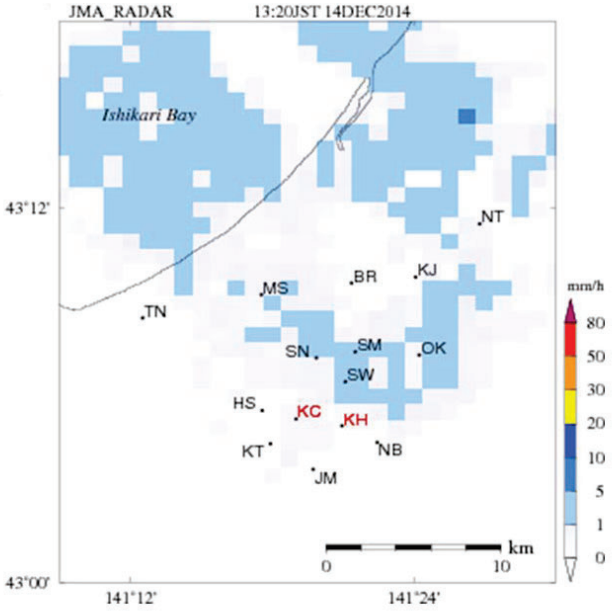


図　気象レーダー（カラートーン），および気温低下と気圧上昇地点（赤文字）

規模の水平スケールで現象が再現された．一部は，2019年度気象学会秋季大会においてポスター発表を行った．

【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理解を進める予定である．さらに，気圧場の変化が内耳に影響を与えることから，疾病との関係を調査したいと考える．

【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．

雲過程はブラックカーボン混合状態の変化をもたらすか?
Does cloud processing alter the mixing state of black carbon aerosols?

竹川　暢之 (首都大学東京・理学研究科)

1. 研究目的

ブラックカーボン (BC) 粒子は地球大気の放射収支に複雑かつ重大な影響を与える。BCの気候影響を考える上で、内部混合状態 (BCと他成分が同一粒子に存在するか否か) が重要なパラメータである (Jacobson, 2001)。BCの光吸収効率はその内部混合状態に強く依存し、コア・シェル型のときに光吸収増幅効果が大きくなると推定されている (Adachi et al., 2010)。

大気中のBC混合状態は様々な要因で決まり、都市域ではコア・シェル型だけでなく付着型も一定頻度で観測されている (Moteki et al., 2014)。従来の研究では、大気化学反応や雲過程の進行とともにBCが被覆されてコア・シェル型の内部混合状態が形成されると考えられてきた。この考え方に従えば、大陸の発生源近傍から離れた領域スケールの汚染空気では、ほとんどのBCはコア・シェル型として存在することになる。一方、首都大が近年東アジアで実施した大気観測の結果によれば、大陸から1,000 km程度以上離れた場所でも、無視できない頻度で付着型BCが見出された (Sun et al., submitted)。付着型BCではコア・シェル型のような光吸収増幅効果がないため、その生成過程および大気中の実態を解明することは、BC放射効果を推定する上で重要である。

付着型BCを生成する過程として、BCと他粒子の凝集と、雲の蒸発に伴う再結晶が考えられる。前者は著しい高濃度条件を除けば無視できるはずである。そこで、雲過程がBC混合状態を変化させるという仮説を考えた。本研究は、実験室において本仮説を検証することを目的としている。

2. 研究方法

当初計画では、実験室でBCと硫酸塩のコア・シェル型粒子を生成し、この粒子を雲凝結核カウンタ (CCN計) に通して雲粒化・乾燥させた後に、混合状態の変化をレーザー誘起白熱光BC検出装置 (SP2) により測定する計画であった。しかしながら、凝縮法による粒子生成条件の最適化が困難であったため、当初目的を達成しうる範囲で、より簡便な方法に切り替えた。

図1に実験セットアップを示す。実験室においてBC粒子 (Fullerene soot) と硫酸アンモニウムの混合溶液をネブライザで噴霧して液滴粒子を生成する。この粒子を拡散ドライヤで乾燥させた後にインパクタで捕集し、走査型電子顕微鏡 (SEM, VE-9800, Keyence, Inc.,) で観察を行う。これにより、コア・シェル型粒子の潮解過程は再現できないものの、液滴生成後の再結晶を模擬することができる。本方法では、解析できるサンプル数に限りがあることが難点であるが、研究試行段階としては効率的かつ確実な方法であると判断した。また、SEMの観察に先立って、BC粒子のみの場合の粒径分布を走査型電気移動度分級装置 (SMPS) で測定した。

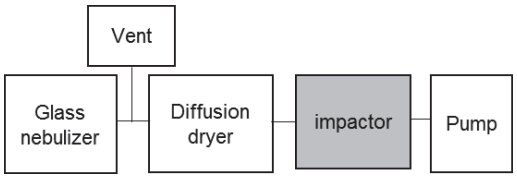


図 1. 実験セットアップの概念図。BC 粒子と硫酸アンモニウムの混合溶液をネブライザで噴霧し、拡散ドライヤで乾燥させた後にインパクタで捕集する。捕集した粒子を走査型電子顕微鏡で観察する。

3. 結果と考察

BC粒子の粒径分布は粒径100 nm以下にピークを持つ分布となっており、大気中のBC粒子に概ね近いことが確認できた。インパクタの捕集面には石英繊維フィルタとカーボンテープを試行した。石英繊維フィルタは粒子捕集効率が高いものの、SEMでの観察が困難であることから、カーボンテープを採用した。BCと硫酸アンモニウムの混合比を変化させて観察を行い、BC濃度0.1 wt%、硫酸アンモニウム濃度50 mM (~0.7 wt%) を暫定的な最適条件とした。この濃度比は、おおよそ大気中の質量濃度比に近い。図2に観察結果の例を示す。粒子総数に対しては、BCを含まない硫酸アンモニウム粒子が多かったが、これは濃度比を反映していると考えられる。元素分析は行っていないため、原理的にはBCか硫酸アンモニウムか区別することはできないが、電子線の照射によって後者は徐々に揮発することを利用すれば区別が可能である。前述の通り解析できる粒子数に限りがあるものの、混合粒子の中ではコア・シェル型より付着型の方が多く観察された。

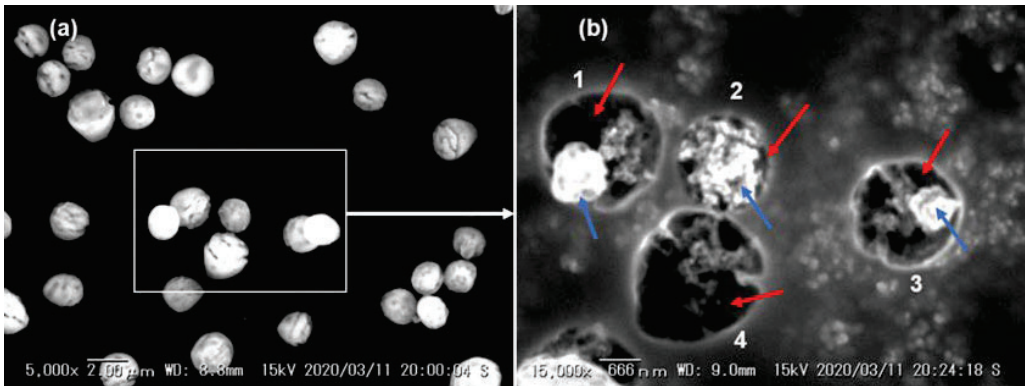


図2. BCと硫酸アンモニウム混合粒子 (液滴から乾燥) のSEM画像の例。左は電子線の集中照射前、右は照射後の拡大像を表す。右図で、青がBC粒子、赤が硫酸アンモニウム粒子であり、粒子1と3は付着型、粒子2はコア・シェル型と推定される。電子照射により硫酸アンモニウムが揮発する過程で物理的な位置関係にも変化が見られるため、遷移過程の注意深い観察が必要である。

4. まとめ

本研究では、BCと硫酸アンモニウムを含む液滴を乾燥させて粒子化することにより、雲過程を模擬した再結晶に伴う混合状態変化を調べた。初期解析では付着型粒子が多く観察され、当初仮説を裏付ける結果が得られた。ただし、サンプル数が限られているために一般化することは難しい。今後は、オンライン装置との併用により様々な条件でデータを取得し、仮説の検証を目指す。

引用文献

Adachi, K., S. H. Chung, and P. R. Buseck (2010), Shapes of soot aerosol particles and implications for their effects on climate, J. Geophys. Res., 115, D15206.

Jacobson, M. Z. (2001), Strong radiative heating due to the mixing state of black carbon in atmospheric aerosols, Nature, 409, 695-697.

Moteki, N., Y. Kondo, and K. Adachi (2014), Identification by single-particle soot photometer of black carbon particles attached to other particles: Laboratory experiments and ground observations in Tokyo, J. Geophys. Res. Atmos., 119, 1031-1043.

Sun, C., K. Adachi, K. Misawa, H. Cheung, C. Chou, and N. Takegawa, Mixing state of black carbon particles in Asian outflow observed at a remote site in Taiwan in the spring of 2017, J. Geophys. Res. Atmos., submitted.

成果発表

なし

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。

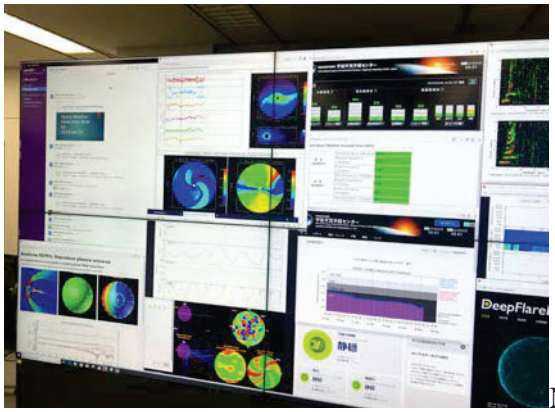
２．研究方法

今年度は、昨年度開発した、太陽風予測シミュレーション(SUSANOO)によってCMEが惑星間空間を伝搬していく様子を計算し、その結果を用いて疑似的にIPS観測を作り出し、実際のIPS観測データとの比較を行うという方法（SUSANOO－IPS予測シミュレーション）を、複数のCME現象に適用して、この手法の有効性の検証を実施した。また、SUSANOOが経験モデルを用いて簡略化している約20太陽半径程度までを数値シミュレーションで計算することで、太陽風予測精度の向上が期待されるが、そのため、コロナー太陽風遷移領域の数値シミュレーションと、IPSの観測の比較を行った。

３．研究成果

本研究では、2017年9月5日にX9.3フレアに伴って発生したCMEを含む十数例のハローCME現象を対象に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、SUSANOO－IPS予測シミュレーションでは、CME到来予測時間の平均誤差はおおよそ5時間未満にまで減少させることが可能ということが分かった。この結果は、複数の初期条件を用いて同時にシミュレーションを行い、誤差の情報などを含んだ予報を行うアンサンブル予報システムが、単一のCME伝搬シミュレーションによるCME到来予測よりも高い予測精度を示す可能性を示唆しており、重要な結果と言える。また、本シミュレーションを、NICTの宇宙天気予報センターに常時準リアルタイムに表示し、宇宙天気予報業務への実利用が2019年5月より開始された。また、SUSANOOが簡略化しているコロナー太陽風遷移領域を数値シミュレーションの結果が置き換えることによる更なる予測精度の向上を目指し、コロナー太陽風遷移領域のシミュレーション結果とIPS観測の比較を実施した。

その結果、現状では、IPSとシミュレーションの速度にあまり良い相関は見えず、コロナー太陽風シミュレーションとIPS観測の定量的な比較を行うためには、IPSデータの取り扱い方法や、数値シミュレーションの更なる改良を含めて、まだまだ課題がたくさんあることが示された。


NICT 宇宙天気予報センターでの実利用の様子。

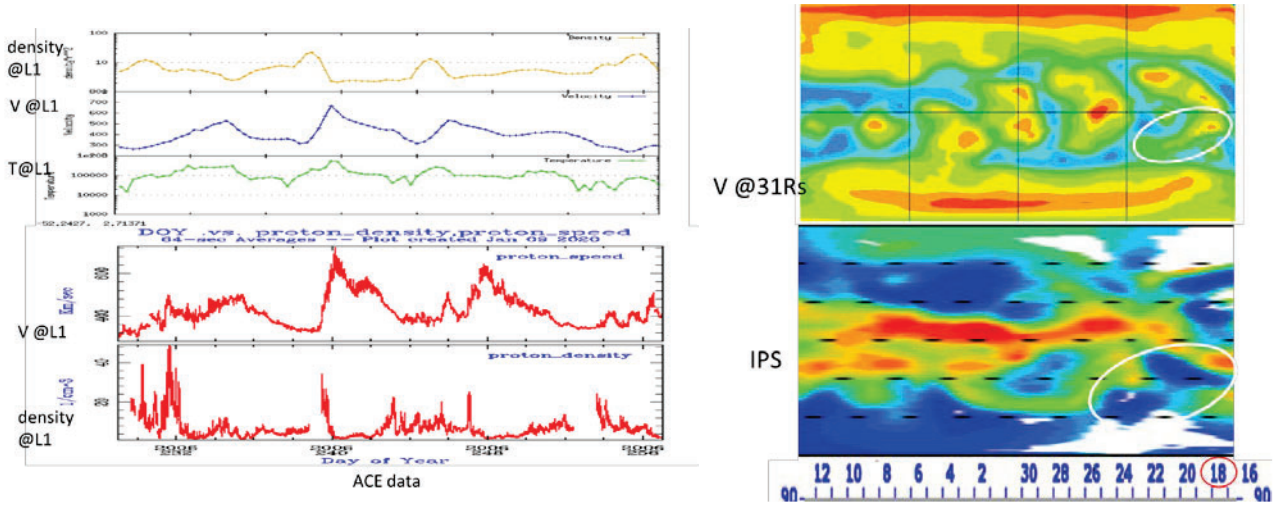


図１：コロナー太陽風シミュレーション結果。（左）L1 点での太陽風観測との比較。（右）31Rs での IPS との比較。定性的な傾向は比較的一致しているように見える。

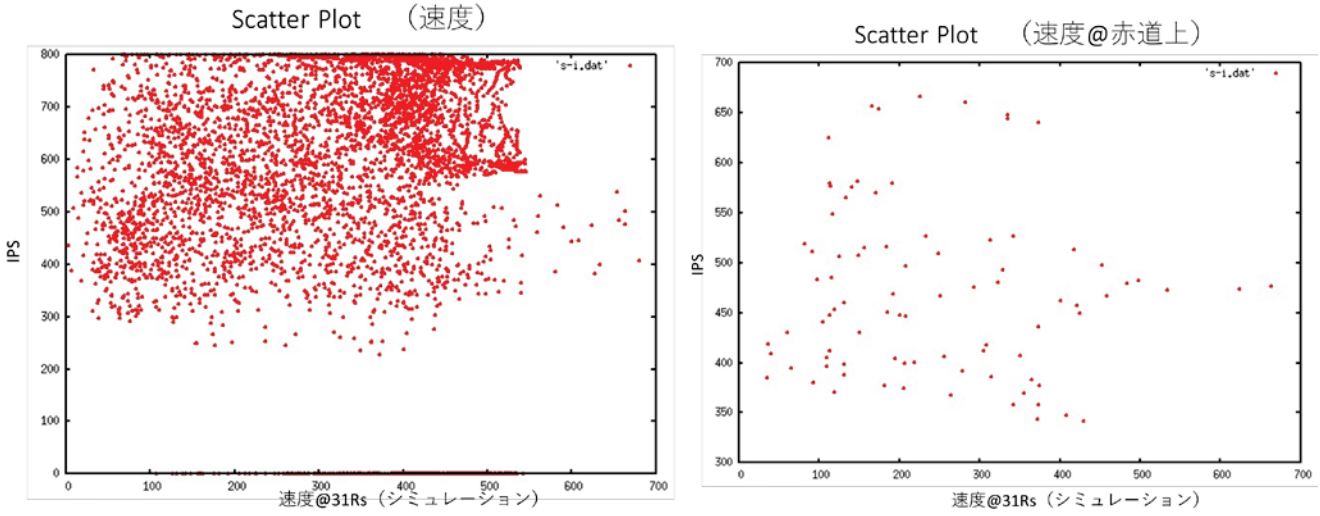


図２：定量的な速度を比較。あまりきれいな相関らしきものは見えない。数値シミュレーションの改良はもちろんのこと、IPS データの取り扱い方法などにもまだ検討の余地があることが示唆される。

４．　成果発表

① 誌上発表

1. Iwai, K., Shiota, D., Tokumaru, M., Fujiki, K., Den, M., and Kubo, Y., Development of a coronal mass ejection arrival time forecasting system using interplanetary scintillation observations, EPS, 71, 39, 2019

② 口頭発表

1. Kazumasa Iwai, Daikou Shiota, Munetoshi Tokumaru, Kenichi Fujiki, Mitsue Den, and Yûki Kubo, Development of coronal mass ejection arrival time forecasting system using interplanetary scintillation observations, 日本地球惑星科学連合2019年大会, 幕張メッセ, 2019/05/27
2. 岩井一正, 電波観測を用いたデータ同化型太陽嵐到来予測モデルの構築, 第7回PSTEP領域会議,JAMSTEC横浜研究所,2019.10.09-11
3. Kazumasa Iwai, Heliospheric physics and space weather using IPS, Korea-Japan Space Weather Workshop 2019,KASI（韓国）, 2019/11/28
4. 岩井一正、塩田大幸, IPS 観測データを用いた太陽嵐到来予測モデルの開発と内部太陽圏研究, 「太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望」第4 回, 名古屋大学,2019.12.26-27
5. Kazumasa Iwai, D. Shiota, M. Tokumaru, K. Fujiki, M. Den, and K. Kubo, Development and operation of a coronal mass ejection arrival time forecasting system using interplanetary scintillation observations, The 4th PSTEP International Symposium (PSTEP-4) and the 2nd ISEE Symposium “Toward the Solar-Terrestrial Environmental Prediction as Science and Social Infrastructure”,名古屋大学, 2020.01.28-30
6. Daikou Shiota, Seiji Yashiro, Kazumasa Iwai, Development of real-time prediction system of CME arrival and magnetic field with SUSANOO-CME MHD simulation, 日本地球惑星科学連合2019年大会, 幕張メッセ,2019/05/27
7. 塩田大幸, 八代誠司, 岩井一正, 片岡龍峰, 宇宙天気予報での利用を目的とした太陽圏MHDシミュレーションの開発進捗と今後の方向性,STEシミュレーション研究会 広島大学, 2019/09/24
8. Daikou Shiota, Seiji Yashiro, Kazumasa Iwai, Operational MHD simulation of inner heliosphere to predict CME arrival and its internal magnetic field, L5 Consortium meeting, Stanford University, CA, USA,2-10/10/02
9. 塩田大幸, 八代誠司, 岩井一正, Angelous Vourlidas, Carlos R Braga, Neel Savani, 内部太陽圏MHDシミュレーション（SUSANOO）を用いた太陽嵐影響予測システムの開発とデータ同化に向けた取り組み, 宇宙地球環境の理解に向けての統計数理的アプローチ,名古屋大学, 2019.12.19
10. 塩田大幸, 八代誠司, 岩井一正, 片岡龍峰,内部太陽圏MHDモデルSUSANOO-CMEを用いた宇宙天気予測システムの開発状況と今後の展望, 「太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望」第4 回,名古屋大学,2019/12/26
11. Daikou Shiota, Seiji Yashiro, Kazumasa Iwai, Ryuho Kataoka, Development of real-time prediction system of CME arrival and magnetic field with SUSANOO-CME MHD simulation, The 4th PSTEP International Symposium (PSTEP-4) and the 2nd ISEE Symposium “Toward the Solar-Terrestrial Environmental Prediction as Science and Social Infrastructure”,名古屋大学, 2020/01/29

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の検出効率測定および水道水試料についてテスト測定を行った。図1は、山形大学のQuantulus によりトリチウム標準試料を測定した結果である。標準試料トリチウムは約100チャンネル付近にピークをもち、200チャンネルまで分布している。標準試料の強度から検出効率は60.7%であった。さらに水道水試料5 mlにシンチレータ5 mlを入れた測定スペクトルを図1に示す。標準試料のスペクトルに近い形を示している。計数率は、0.038 cpsであった。今後、雨水等について測定を行い比較する。

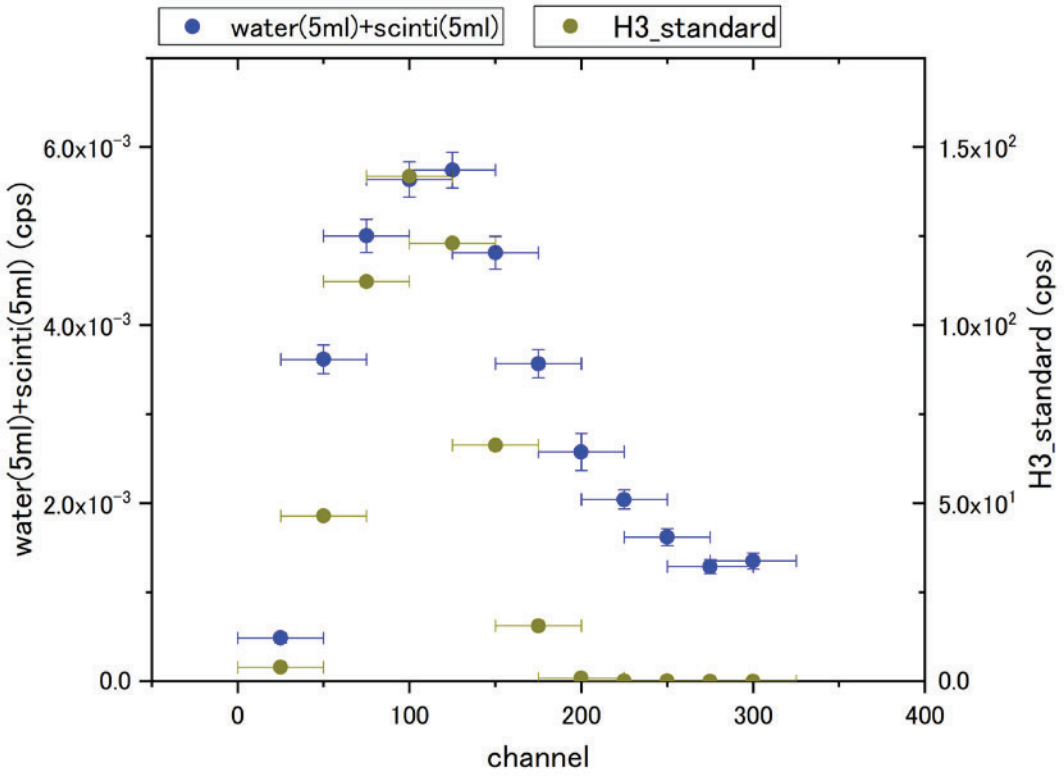


図1. 山形大学Quantulusで測定したトリチウム標準試料および水道水試料の計数スペクトル

Voronoi粒子の氷雲放射計算への導入と ひまわり8号観測データ放射量校正への応用

Introduction of Voronoi-aggregate Particle into Ice Cloud Radiative Transfer Calculation and Application for Radiometric Calibration of Himawari-8 Observation Data

大野智生　気象庁気象衛星センターデータ処理部

本研究は、氷雲の放射伝達計算に関する新たな知見である「Voronoi粒子」と呼ばれる粒子形状を導入することで、静止気象衛星ひまわり8号（及び9号）の放射量校正の不確かさを低減できることを示し、ひまわり観測データの定量的な利用に資するものである。

近年の気象衛星観測の充実は著しく、中でも静止気象衛星においては2015年に正式運用を開始したひまわり8号を皮切りに時間・空間・波長分解能および観測精度が大幅に改良された新世代の光学イメージャが次々搭載されている。このため、定性的な利用の多かった従来よりも定量的なデータ利用のニーズが一層高まっている。更に、気候監視や全球モデルへのデータ同化を目的に世界中の複数の気象衛星観測を一つのデータセットにまとめ上げる試みも近年盛んになっている。これらの要望を的確に満たすためには、放射量校正すなわち観測放射輝度の定量評価を適切に実施し、利用者に情報を提供する必要がある。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、世界中の気象衛星運用機関が集い、不確かさが小さく且つ衛星間で一貫した放射量校正手法の開発が議論されている。同枠組み内で可視近赤外バンドについて提案されている手法の一つに、赤道付近の至る所で見られ安定した太陽光反射率を示す発達した対流雲（以下、発達対流雲）の観測を校正に利用する手法が挙げられる。

上記手法においては、観測幾何条件を考慮するために発達対流雲の双方向反射率分布関数（BRDF）を放射計算等により把握する必要があるが、発達対流雲内に存在する氷晶粒子は、六角柱等の単純形状の粒子が凝集した複雑且つ非対称の形状を持つことが知られており（図1a）、この形状による散乱特性が放射計算を困難にしている。そうした形状を再現するためVoronoi分割を用いて作成されたのがVoronoi粒子である（図1b右上）。本研究では、RSTAR7にてVoronoi粒子やその他形状（球形、六角柱）で構成された氷雲を仮定した放射伝達計算を行い、散乱特性の差異を検討した。更に各粒子形状を用いた氷雲のBRDFを作成し、他衛星による観測事実に基づいたBRDF（Bhatt et al., 2017）と比較を行ったところ、Voronoi粒子のBRDFが最も良く整合していることを確認した（図2）。このBRDFを上記校正手法に適用することにより、発達対流雲の観測角度条件による放射輝度差を適切に打ち消し、より不確かさの小さい校正が実施可能になると考えられる。

参考文献

- Bhatt et al. (2017): Development of Seasonal BRDF Models to Extend the Use of Deep Convective Clouds as Invariant Targets for Satellite SWIR-Band Calibration. https://doi.org/10.3390/rs9101061
- Schmitt and Heymsfield (2010): The Dimensional Characteristics of Ice Crystal Aggregates from Fractal Geometry. https://doi.org/10.1175/2009JAS3187.1
- Ishimoto et al. (2012): Irregularly shaped ice aggregates in optical modeling of convectively generated ice clouds. http://dx.doi.org/10.1016/j.jqsrt.2012.01.017

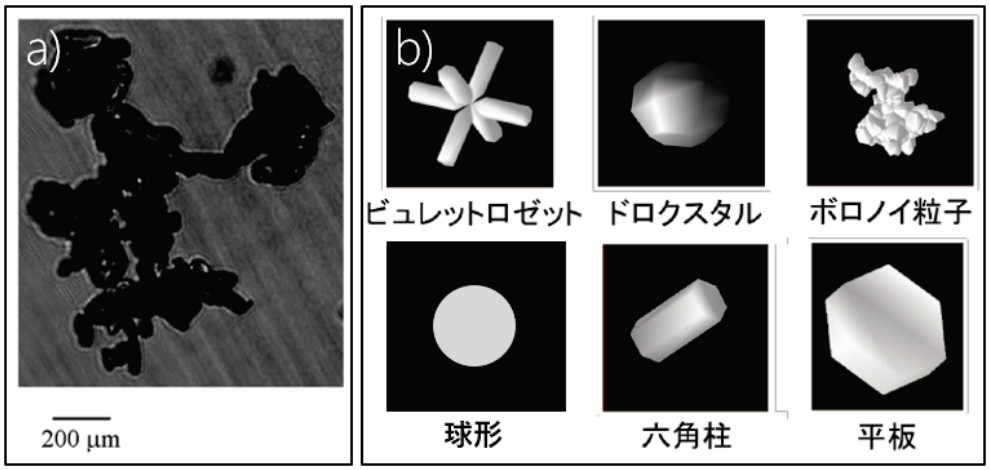


図1. a)観測された氷雲粒子の例（Schmitt and Heymsfield, 2010）。b)氷雲の放射計算時に仮定される粒子形状の例（Ishimoto et al., 2012）。図中右上がVoronoi粒子に該当する。

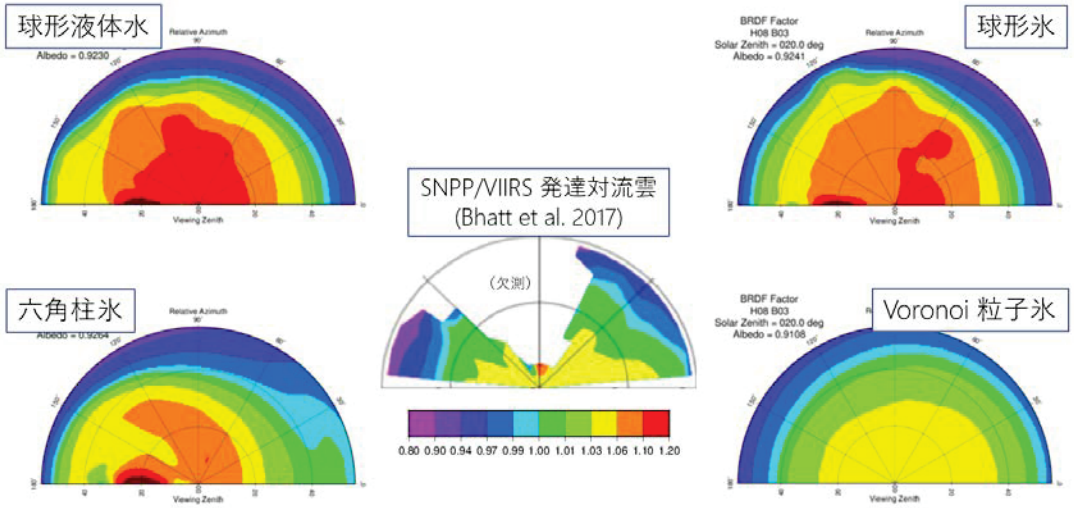


図2. 各粒子形状を仮定した放射計算により得られた、雲頂のBRDF（周囲）とSNPP/VIIRSによる発達対流雲観測に基づき生成されたBRDF（中央）。各図の極座標動径は衛星天頂角（0～55°）、偏角は相対方位角（0～180°）を示す。領域内の平均値を1として規格化している。算出時の条件は対象波長=0.64μm、雲の光学的厚さ=200、雲粒有効半径=20μm、太陽天頂角=20°（中央のみ22.5°）とした。

Crabパルサーの長期変動モニターによる星間プラズマゆらぎの検出へむけてMeasuring the variation of the inter-stellar scintillation by long-term Crab pulsar monitoring

宇宙航空研究開発機構　臼田宇宙空間観測所　岳藤一宏

Crabパルサーは2600ほど発見されているパルサー天体のなかでも10例ほどしかないGiant Radio Burst(GRP)が放射されている特異なパルサーである(Knight, H. S., ChJAS 2006)。パルサーは数十kmほどの非常にコンパクトな中性子星であると考えられており、このパルサーと地球間に存在する星間プラズマのゆらぎ（Inter-stellar scintillation, ISS）を検出することができる（Rickett, Nature1969）。Crabパルサー@327MHz帯ではISSは日単位で揺らいでおり、Crabパルサーの長期のモニタリングは非常に重要である。

我々は名古屋大学豊川電波観測所におけるデジタルバックエンドの整備を行い、Crabパルサーからのジャイアントパルス検出の成功、さらに東北大学飯舘観測所と干渉実験を成功させた。2019年度は複数回、東北大学飯舘観測所との干渉実験を実施した。名古屋大学豊川観測所ではクエーサを観測して、その受信振幅の揺らぎを太陽風によるシンチレーション（IPS）と捉え、通過する複数のクエーサから太陽風を推定している。このIPS観測で使用されるスケジュール、インドのGMRTで作成されたコンパクトクエーサーカタログ(TGSS,150MHz)を比較しコンパクトかつ任意の強度より強い天体を選んだスケジュールを作成している。もちろんIPS観測でもコンパクト天体を選出しているが、450kmの干渉実験ではさらにコンパクトな天体が必要となる。作成したスケジュールに従って飯館電波望遠鏡と豊川観測所の間で干渉実験を実施した。Table1はその結果である。通常であれば、天体強度とSNRは相関性を持つが、この結果は相関性が低い。この要因はもちろんシステムに起因する可能性もあるが、感度が1日で数倍も変動する可能性は低いと考えられるため、太陽近傍を観測したことによる可能性が考えられる。結論としては、UT3時あたりの南中時付近（3C152,3C158,3C48,3C119）でフリンジが出ていない。豊川観測所が南中する天体をドリフトスキャンするため、太陽の影響を受けており、干渉計実験でその影響が出ていると推測できる。逆に言えばフラックスから太陽の影響を計測できる可能性もあり、この原因についても今後追及したい。

Table 1　干渉実験結果(2019 年 6 月 25 日）。 数字があるものはその天体の 60 秒で積分した SNR（∝天体強度）である。　“N”と表示された結果は不検出である。1ch は豊川 V 偏波と飯舘 A 面 H 偏波の組み合わせで、2ch は飯舘側が B 面 H 偏波、3ch は飯舘側が A 面 V 偏波、飯舘側は B 面 V 偏波である

UT DOY176	source	1ch	2ch	3ch	4ch	TGSS[Jy]
2:42	3C152	n	n	n	n	24.0
2:59	3C158	n	n	n	n	25.9
4:39	3C190	n	n	21.3	16.1	20.8
5:30	3C208	n	n	10.8	7.6	23.1
5:47	3C216	7.9	7.3	12.3	7.2	28.4
6:29	3C230	n	n	31.4	26.3	26.9
6:45	3C237	8.7	n	74.3	70.1	27.0
7:56	3C255	8.8	n	56.1	39.5	15.1
8:20	3C263	n	n	13.7	11.1	20.5
11:25	1448+638	n	n	n	n	20.6
22:15	3C48	n	n	n	n	67.0
23:20	3C119	n	n	n	n	18.0

この実験では Crab パルサーの観測も同時に実施している(Table2 の 3C144、Taurus-A)。Crab パルサーの観測は UT 2 時（日本時間お昼 11 時）に行われ、南中から 15 度以内であった。興味深いことに、Crab パルサー近辺の 3C152 や 3C158 のフリンジが検出できていないにもかかわらず、Crab パルサーからのジャイアントパルス（GP）は検出できている（図 1 はその結果で、豊川観測所と飯舘観測所（2 ビーム、2 偏波の 4 合成）の比較である)。Crab パルサーのジャイアントパルスは 300MHz 帯ではミリ秒の時間幅であるが、VLBI は数秒以上の積分時間が必要となる。まだ推測段階ではあるが 2 つの可能性を考えている。まず 1 点目は太陽シンチレーションの時間スケールがちょうど干渉計の数秒から数十秒とするところに最もインパクトがある。2 点目は、空間スケールで 300MHz 帯の電波望遠鏡で観測できるでは問題なく、450km の干渉計ではシンチレーションの影響がある。もちろん Crab パルサーの GRP をそれぞれの局で観測した結果も受信傾向が異なっており、短時間であっても何らかの影響があったと考えている。

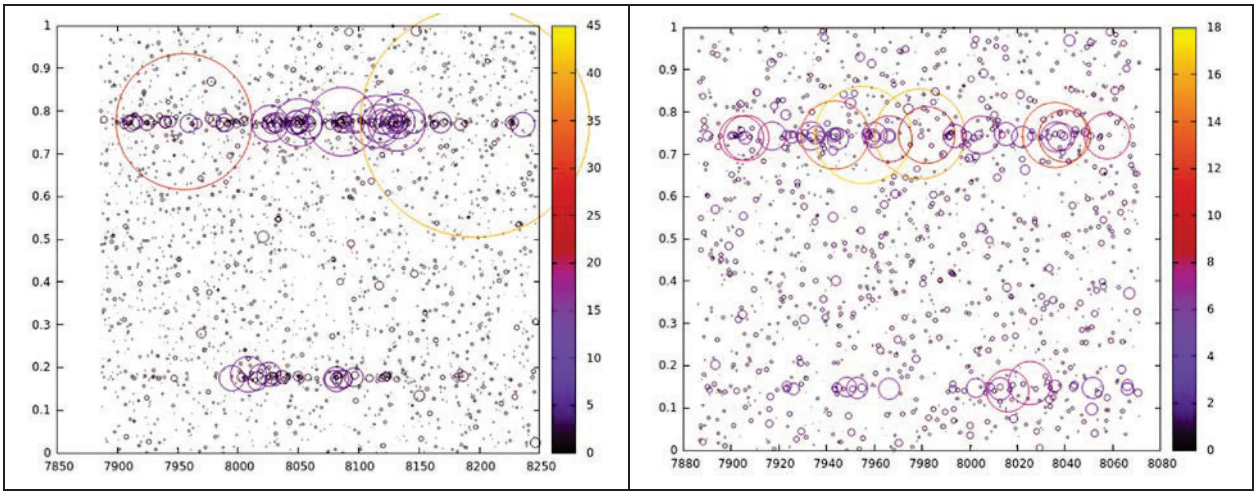


図 1　Crab パルサーの同時検出（左：豊川観測所、右：飯舘観測所 4ch を合成）。横軸 UT0 時からの経過秒、縦軸がパルサー位相。

深層ニューラルネットワークと衛星データを用いた湖沼・沿岸域の連続水質モニタリング

Continuous water quality monitoring of lakes and coastal areas using deep neural network and satellite data

サレム　イブラヒム　サレム　モハメット　サレム（京都先端科学大学）

Water quality monitoring is vital tool to determine the pollution-prone areas which will help to conserve our planet. Contrary to open oceans, monitoring inland lakes and coastal areas is relatively a challenging task due to the presence of nutrients and organic matters that flows with a huge amount from the land. Researchers have been developing algorithms and techniques to monitor various waterbodies using satellite data. Deep neural network (DNN) is one of the promising techniques for water quality particularly with the recent advantages in this field such as overcome the vanishing gradient issue. Training & testing DNN required huge amount of dataset. However, one of the main obstacles is the limitation of in-situ measurements that cover various trophic statuses. The simulated dataset could provide a proper solution for that limitation. Therefore, the main objectives of our research are to 1) evaluate the current technique to simulate water leaving reflectance (Rrs) and 2) provide a reliable simulated dataset that represents various trophic statuses on a global scale.

The in-situ dataset that used to evaluate the current techniques was collected from global sites (i.e., East China Sea “ECS” & NASA “NOMAD”) as well as Japanese sites (i.e., Ise Bay & Ariake Bay). The in-situ dataset represents a wide range of trophic statuses with a chlorophyll-a (Chl_a) concentration ranged between 0.001 to 60 mg.m^{-3}. Ciotti et al., [2002] proposed one of the famous techniques to simulate specific phytoplankton absorption (a_{ph}^{s}). Our evaluation for Ciotti technique showed its limitation to represent a_{ph}^{s} as shown in Fig. 1a, in which the simulated a_{ph}^{s} spectra using Ciotti technique shown in black, whereas in-situ a_{ph}^{s} spectra at different sites shown in other colors. Ciotti technique failed to represent the a_{ph}^{s} spectra magnitude at 450nm & 680nm and a_{ph}^{s}spectra shape between 520nm and 660nm. Thus, the in-situ a_{ph}^{s} spectra were classified into 10 classes using Hierarchical clustering technique (Fig. 1b). Ternary plot shown in Fig. 2 illustrates the relative contributions (percent) of absorption of phytoplankton, NAP and CDOM to the total absorption in case of various sites (Fig. 2a) and among 10 classes (Fig. 2b). In the case of global sites, the NAP represented < 15 % of total absorption (Fig. 2a). Most of classes 1-4 belonged to Global sites, whereas, classes 6-10 represented Japanese sites (Fig. 2b). To improve the simulation of Rrs, new algorithms to select phytoplankton absorption (a_{ph}) and a_{ph}^{s} at 440 nm based on Chl_a were proposed to replace Ciotti technique. the scatter plots in Fig. 3 show high correlation between Chl_a and a_{ph} & a_{ph}^{s} with R^2 of 0.73 and 0.70, respectively. Using these algorithms will provide a realistic selection of a_{ph}^{s}, resulting in an improvement in the simulation of Rrs.

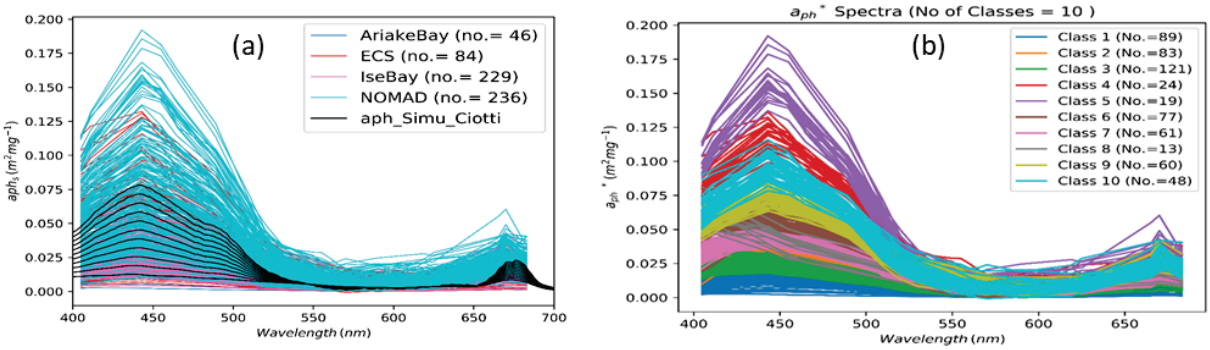


Fig. 1. (a) comparision between the similated Specific absorption spectra (a_{ph}^{s}) (in black) comparing with in-situ a_{ph}^{s}. (b) The spectra of in-situ a_{ph}^{s} were clasified into 10 classes using hierarchical clustering.

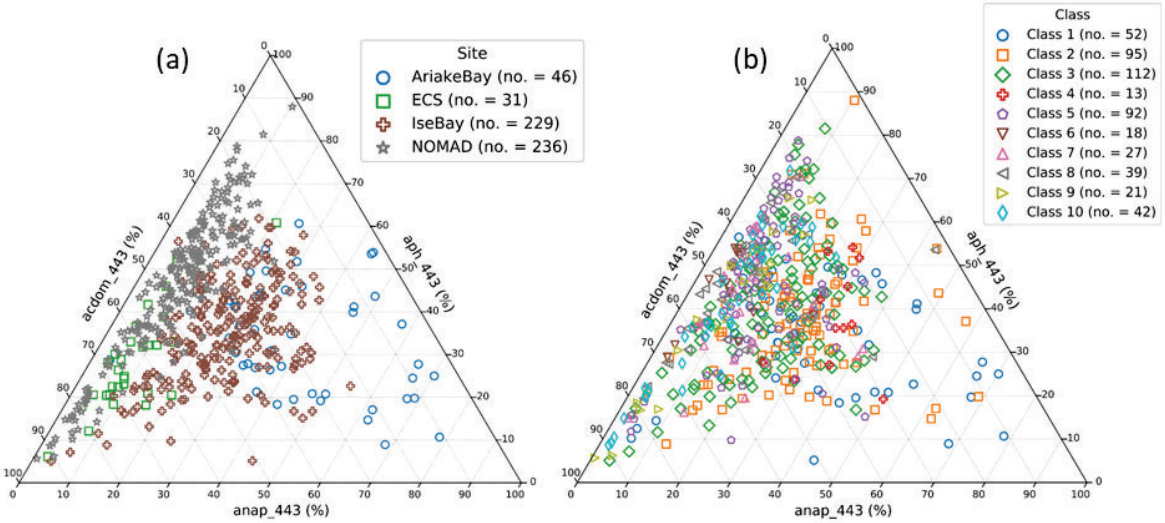


Fig. 2. Ternary plot showing the relative contributions (percent) of absorption of phytoplankton, NAP and CDOM to total absorption. The color and symbol represent the (a) sampling site and (b) class corresponding to the 10 classes shown in Fig. 1.

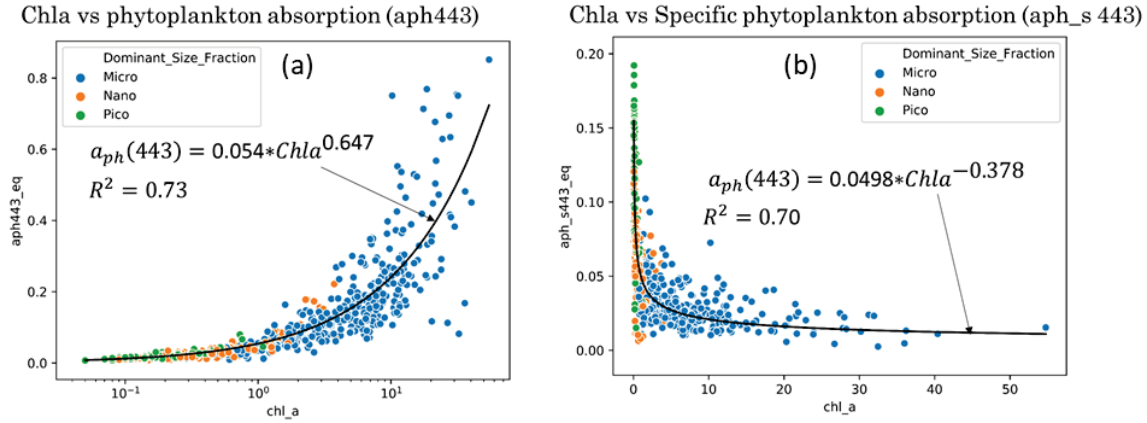


Fig. 3. Scatter plots of chlorophyll-a (Chl_a) verses (a) absorption of Chl_a at 443 nm and (b) specific absorption of Chl_a at 443 nm.

Sr 同位体分布図を用いた地殻表層物質の陸海域間の移動過程の解明

Elucidation of the transfer process of Earth's surface materials between land and sea using Sr isotopic map

太田充恒、産業技術総合研究所・地質情報研究部門

1. 研究目的

産業技術総合研究所地質調査総合センターは、地殻表層における環境評価の基準図とすべく、河川堆積物・海洋堆積物を用いて、陸海域にまたがる広域元素濃度分布図の整備を進めてきた（今井ほか, 2004, 2010）。2010―2014年度には名古屋大学宇宙地球環境研究所と共同で、食品や考古学資料の産地推定（起源解析）を目的とした、陸域のストロンチウム（Sr）同位体分布図作成に取り組んだ。この結果、1）河川堆積物中のSr同位体比は母岩の値と類似する事、2）Sr同位体比分布は地質図と良く対応する事、3）動植物組織の産地・起源推定には、堆積物中の交換態Srが有効である事、などが明らかとなり、産地推定図としての有効性が明らかとなった（Jomori *et al.*, 2017; Minami *et al.*, 2017）。本研究課題では、これら環境評価・産地推定に継ぐ新たな課題として、堆積物・堆積岩の起源推定や物質移動過程解明へのSr同位体分布図の応用を目指す。2018年度の一般共同研究では、地質構造が比較的単純な淡路島と対象とし、河川堆積物はその母岩の同位体比を忠実に反映しており、堆積物・堆積岩の起源推定に使えることを明らかにした（太田・南, 2019）。今年度は、九州地方全域と広域のSr同位体分布図を用いて、詳細な背景地質と河川堆積物のSr同位体比の関係や、Sr同位体分布図を用いた“もの”の産地推定に応用できるかについて検討を行った。

2. 研究方法

調査地域は天草島・屋久島などの離島域を含む九州地方である。試料として、河床307地点から採取した河川堆積物を用いた。現地で2kgほど採取した河川堆積物は実験室内にて風乾後、ふるいを用いて180 μm以下の細粒砂を分別し、分析試料として用いた。試料をフッ酸－硝酸－過塩素酸を用いて加熱分解し、ICP発光分析装置及びICP質量分析装置にてRbやSrを含む51元素の濃度を測定した。Sr同位体比は、試料を950ºCの高温で加熱して有機物を取り除いた後、フッ酸－過塩素酸を用いて分解した。分解物は塩酸に溶解した後、陽イオン交換樹脂を用いて、Srを分離回収し、名古屋大学表面電離型磁場型質量分析計（VG Sector 54-30）で$^{87}Sr/^{86}Sr$同位体比の測定を行った。河川堆積物の母材である各種岩相が河川流域に占める面積比率については、地理情報システムソフトウェア（ESRI社 ArcGIS 10.5）を用いて解析を行った。

3. 研究結果

九州地方は、北部に白亜紀以前の変成岩や白亜紀花崗岩を基盤とし、南部はジュラ紀-新第三紀の付加体を基盤とする。これらの基盤岩を阿蘇火砕流堆積物や入戸火砕流堆積物など、主

に第四紀の火山性物質で広く覆われる。九州本島の河川堆積物は、100 km^2に1点の割合と非常に粗い空間密度で採取されているが、白亜紀および古第三紀の花崗岩、白亜紀高圧変成岩、第四紀火山岩類を母岩とする河川堆積物の$^{87}Rb/^{86}Sr$及び$^{87}Sr/^{86}Sr$データは、それぞれの母岩の値とよく一致した。このことから、河川堆積物を用いて作成したSr広域分布図は、背景地質を忠実に反映した分布を示すことが明らかとなった。

次に、ジュラ紀付加体および白亜紀-古第三紀付加体由来の河川堆積物の$^{87}Rb/^{86}Sr$及び$^{87}Sr/^{86}Sr$データは、四国や紀伊半島で得られたこれらの付加体由来の河川堆積物と類似した値を示した。今後、中部、関東地方の付加体由来の河川堆積物の$^{87}Rb/^{86}Sr$及び$^{87}Sr/^{86}Sr$データについて系統的な変化を調べることで、付加体形成時における空間的および時間的な後背地の地質の変化を知る手がかりになる可能性がある。

九州地方北部には、筑豊炭田など炭層を伴う古第三紀の正常堆積物が分布している。この地域で採取された河川堆積物は、古第三紀付加体由来の河川堆積物の$^{87}Rb/^{86}Sr$及び$^{87}Sr/^{86}Sr$とほぼ同じ値を示した。この結果は、古第三紀の付加体および正常堆積物の起源物質が共通しており、その堆積（形成）場が海溝域であったか浅海域であったかの違いに過ぎないことを反映していると解釈された。以上の結果より、河川堆積物はその母岩の同位体比を忠実に反映しており、空間精度の粗い広域Sr分布図でも堆積物・堆積岩の起源推定に使えることが明らかとなった。

4. 成果発表

太田充恒・南雅代「考古学資料・農作物の来歴・産地推定に向けた広域Sr同位体比図の作成」，表示・起源分析技術研究懇談会第 21 回講演会，東京電機大学，2019 年 8 月 8 日（依頼講演）.

太田充恒「日本の地球化学図を用いた物質の起源・産地推定への応用」，プラズマ分光研究会第 106 回講演会，堀場製作所東京セールスオフィス，2019 年 5 月 31 日（依頼講演）.

5. 引用文献

今井登，寺島滋，太田充恒，御子柴，岡井貴司，富樫茂子，松久幸敬，金井豊，上岡晃，谷口政碩. (2004) 日本の地球化学図. 産業技術総合研究所地質調査総合センター.

今井登，寺島滋，太田充恒，御子柴（氏家）真澄，岡井貴司，立花好子，富樫茂子，松久幸敬，金井豊，上岡晃. (2010) 海と陸の地球化学図. 産業技術総合研究所地質調査総合センター.

Jomori, Y., Minami, M., Sakurai-Goto, A. and Ohta, A. (2017) Comparing the $^{87}Sr/^{86}Sr$ of the bulk and exchangeable fractions in stream sediments: Implications for $^{87}Sr/^{86}Sr$ mapping in provenance studies. *Applied Geochemistry*, **86**, 70–83.

Minami, M., Jomori, Y., Suzuki, K. and Ohta, A. (2017) Grain-size variations in $^{87}Sr/^{86}Sr$ and elemental concentrations of stream sediments in a granitic area: Fundamental study on $^{87}Sr/^{86}Sr$ spatial distribution mapping. *Geochemical Journal*, **51**, 469–484.

太田充恒, 南雅代 (2019) 多段階の堆積サイクルを経た堆積物・堆積岩における源岩の初期 Sr 同位体比の保持―淡路島の細粒河川堆積物を例に―. 地球化学 **53**, 59–70.

”あらせ”と”てんこう”を用いたジオスペース観測
Geospace observations by ″Arase″ and ″Ten-koh″

Isai Fajardo Tapia, 奥山圭一, 九州工業大学院, 宇宙システム工学研究系

Abstract

This report summary presents the observation results of the space environment obtained by the Ten-Koh satellite and during the conjugation operation with the ARASE satellite. A brief overview of the Ten-Koh satellite mission is presented followed by the results summary obtained from the Liulin detector. The extended report contains additional information about the satellite operations history, satellite observations, and failure events and their correlation with some space weather parameters.

The Ten-Koh satellite mission overview

The Ten-Koh satellite is a small satellite of 23.5 Kg mass, that was developed over a period of 16 months mainly at Kyushu Institute of Technology (Kyutech), while some payload instruments were designed and developed in parallel in Australia, Bulgaria, and the USA [1]. Ten-Koh is based on the platform of a previous small deep-space probe Shinen-2, developed and launched by Kyutech in 2014. The main structure of Ten-Koh is composed of a CFRP composite shell with a rigid internal load-bearing structure made of aluminum alloy (Al 6061-T6). The satellite was launched on 29 October 2019, as a piggyback of the GOSAT-2 launch on-board the H2-A rocket F40. After the launch, the final orbit was confirmed to have a quasi-Sunsynchronous orbit with an inclination of 97.8 degree, an orbital period of 96.6 minutes, 4 revisit times per day over the Kyutech ground station, a revisit cycle of 9 days, and a local equator crossing time of descending node at 13:00 hours. The satellite mission have the following primary objectives:

- To characterize the plasma environment around a spinning spacecraft
- To detect MeV-range electrons in LEO and investigate the space environment in the presence of an extreme low solar activity
- To investigate the change of physical properties of LATS (Lightweight Ablator series for Transfer vehicle) and CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) material samples exposed to the space environment

One of the main payload instruments is the charged particle detector (CPD), composed by 8 CMOS detectors and the Liulin spectrometer, all mounted on a 3D-printed structure made of polyether ether ketone (PEEK) for static guard. The present report includes the data observed by the Liulin spectrometer, which uses the definition of the absorbed dose to measure the deposited energy in 256 channels.

$$Dose: D\,[Gy] = \frac{K \sum_{i=1}^{256} [E_i \cdot i]}{MD} \frac{1}{J} \frac{1}{kg} \tag{1}$$

Where D is the measured dose (in Gy); K is a coefficient that relates the conversion of joules into MeV, Gy into μGy and time in seconds into hours; E_i is the energy loss in the channel i in the detector. The particles flux is computed as the sum of the events number in channel i divided by the area of the detector and the real exposition time

$$Flux: \Phi \frac{1}{cm^2 \cdot s} = \frac{\sum_{i=1}^{256} A_i}{S_d \cdot \Delta t} \tag{2}$$

Where Φ is the flux (in $particles/cm^2/s$), A_i is the number of events in channel i, S_d is the detector area (in cm^2), and Δt is the Liulin real exposition time.

Ten-Koh satellite observations from the CPD-Liulin detector

The determination of the particle type contribution to the data was performed following the procedure showed in [2] and by using equations 1 and 2. Using 198 Liulin spectra data available, the particle type separation resulted in the latitudinal distribution of figure 1.

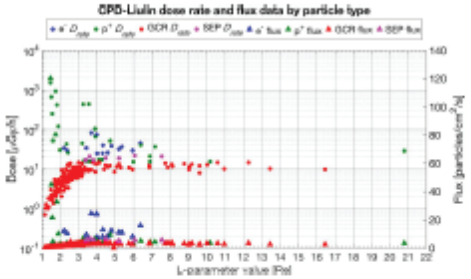


Figure 1: Liulin major particle distribution from the spectra data. 198 spectra data were measured between 19 Nov 2019 and 19 Jan 2019.

The averaged spectra for the dose rate and the integral flux of the separated particle contribution (as a function of the deposited energy), is presented in figure 2.

TID effects inside of the satellite

The TID effects are directly evaluated by computing the dose rate from the Liulin spectrometer and presented in a latitudinal distribution along the satellite orbit. Each spectrum has an average exposition time of 29.6 seconds, or a spatial separation of 222 km. When considering the cumulative dose, GCR becomes the second-highest source after protons, which is presented in figure 3.

The dose rate distribution for electrons agrees with the presence of those in the outer belt region. It is approximately evenly distributed for $3 < L < 7$ (the outer radiation belt) and presents an increased dose rate value for $3 < L < 4$. This increased value comes from spectra data measured when the satellite was flying outward from the SAA. In the case of protons, the highest dose rate occurs at $1 < L < 2$ due to the inner belt trapped protons from the SAA. This is expected even behind the shielding of the external structure of the satellite (presence of protons with energies > 39 MeV). SEP events are present at higher latitudes ($L > 3$). Due to the solar conditions at the time of the data acquisition, a low number of SEP events were expected to encounter. From the dose rate measured data, the cumulative dose from the 198 spectra obtained provides the average dose contribution of each particle and the total dose latitudinal distributions presented in figure 4.

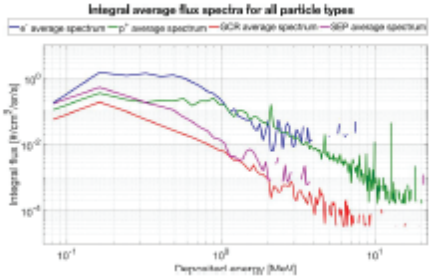


Figure 2: Liulin major particle contribution from the average spectra data. 198 spectra were analyzed.

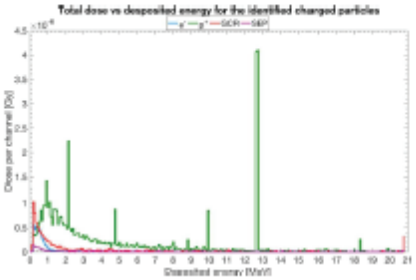


Figure 3: Total dose as a function of the deposited energy for each of the four major particle contributors.

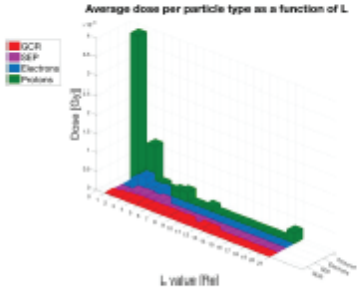


Figure 4: Average dose per particle as a function of L.

Conclusions

Preliminary analysis of the CPD-Liulin data has shown that this main mission was able to acquire data within the expected ranges. The Liulin detector has detected electrons, protons and galactic cosmic rays, which provides information about the radiation environment inside the spacecraft. Above all, the in-orbit data have shown that the university-built satellite worked as intended, which is a success in its own right due to the limited resources that were available for its development.

The joint observations with the ARASE satellite were carried out for short periods of time due to the limited conjunction points (typically in the order of 3 minutes or less for the period between Dec 2018 and Jan 2019). However, the Liulin observations showed that small-satellites could be used as a complement to other missions investigating the space environment.

References

1. Isai Fajardo, Aleksander A. Lidtke, Sidi Ahmed Benkoukha, Jesus Gonzalez-Llorente, Rafael Rodrigues, Rigoberto Morales, Dmytro Faizullin, Minazu Matsuoka, Naoya Urakami, Ryo Kawauchi, Masayuki Miyazaki, Naofumi Yamagata, Ken Hatanaka, Farhan Abdullah, Juan J. Rojas, Mohamed Elhady Kenik, Kiruki Cosmas, Tuguldur Ulambayar, Premkumar Sagarti, Doug Holland, Tsvetan Dachev, Sean Tuttle, Roger Dudziak, and Kei-ichi Okuyama. Design, Implementation, and Operation of a Small Satellite Mission to Explore the Space Weather Effects in Leo. Aerospace 2019, 6(10):108, oct 2019.
2. T. P. Dachev, N. G. Bankov, B. T. Tomov, Yu N. Matviichuk, Pl G. Dimitrov, D.-P. Häder, and G. Horneck. Overview of the ISS Radiation Environment Observed during the ESA EXPOSE-R2 Mission in 2014–2016, Space Weather, 15(11):1475–1489, 2017.

航空機・地上観測と数値モデル計算による エアロゾルと雲に関する研究
Study of aerosol-cloud interactions using aircraft and ground-based measurements and numerical modeling

小池真、東京大学、理学系研究科

１．研究目的

エアロゾルは雲凝結核や氷晶核として働くことにより、雲粒の相（水滴/氷晶）やその粒径分布に影響を与える。このような雲微物理特性の変化は、降水や雲粒の蒸発などを介して雲の厚さや雲量といった雲のマクロな構造に影響を与える。アジアは世界的に見ても人間活動により大気中のエアロゾル濃度が高いレベルにあり、雲・降水に対し他の領域よりも強く影響していると考えられる。また黄砂として知られるダスト濃度も高く、氷晶核として強く影響している可能性がある。一方において、北極は近年において急激な地球環境変化が起きており、エアロゾルや雲の影響が注目されている。本研究の目的は、今後の西太平洋や北極での航空機観測においてどのような観測を実施、その結果、どのような成果があがるのか、研究計画を作成することである。

２．研究方法

これまでの東アジアや北極で私たちや他の研究グループが実施してきた航空機観測や地上観測をレビューするとともに、今後の観測研究の在り方について検討する。このような検討により、今後さまざまな観測計画を立案するための科学的戦略が立てられるとともに、必要な観測機や数値モデルの整備などを実施するための知見を得る。

３．結果・考察・まとめ・成果発表

東アジアおよび北極で日本の航空機が観測可能なエリアの再調査を実施した。また今後のエアロゾル・雲研究の重要な課題について整理した。そしてこれらの課題を解決するための測定項目・機器および観測戦略についてまとめた。

これらの研究成果は、日本気象学会、日本大気化学会、日本航空宇宙学会が日本学術会議の大型研究マスタープラン2020に共同提案した「航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進」計画の立案に反映された。

小池真，航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進，日本地球惑星連合2019年大会，幕張メッセ，2019年5月26-30日.
小池，高橋暢宏，岩崎俊樹，伊藤健，航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進：大型研究マスタープラン2020への提案，大気化学討論会，愛知， 11月5日-7日.
小池真，高橋暢宏，岩崎俊樹，伊藤健，航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進：大型研究マスタープラン2020への提案，日本雪氷学会・日本雪工学会共済 2019年雪氷研究大会，山形，2019年9月9日.

宇宙天気インタプリタ養成のためのプログラム開発
Program development for Space Weather Interpreter training

野澤恵、茨城大学・理学部

1.研究目的

科学成果還元の広報活動やアウトリーチは重要と認識され、その内容も研究者から一方的発信でなく、一般社会からのフィードバックと双方向性が必要となっている。その双方向性を担うインタプリタ（翻訳者、解説者と訳されることもあるが、ここでは広義の仲介者とし、これからはIPと略す）が必要とされている。本研究では、その宇宙天気及び宇宙気候のIPの養成をゴールとして、まず宇宙天気の影響を受けやすい人工衛星運用でのIPを検討する。

2.研究方法

本研究では、タウンミーティング形式の議論の場を形成し、最新の研究成果の発表を研究者が行い、その成果である科学的な知見が実際の宇宙環境に反映されるかの解説をIPが行うことが理想の形であるが、その前段階としての簡易的な取り組みを考え、その養成プログラムの開発を行う。

3.活動報告

3.1　第64回宇宙科学技術連合講演会

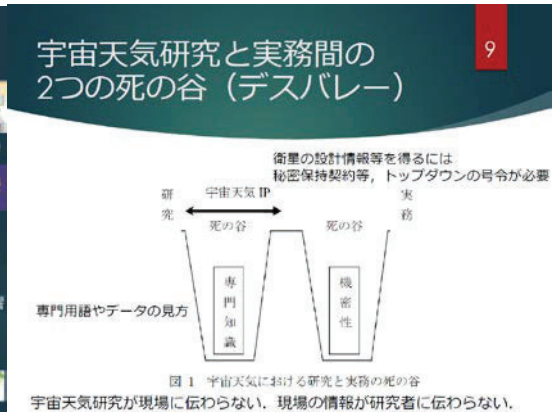
第64回宇宙科学技術連合講演会（2019年11月7日，徳島県徳島市、アスティ徳島）の宇宙教育セッションにて「宇宙天気インタプリタの実践報告と育成計画」と題し[1)]、宇宙天気IP構想の紹介を行った。研究と社会の間に死の谷（デスバレー）が存在し、大学等の研究機関での素晴らしい研究成果も残念ながら、社会の現場には届いていない現実とその打開策として宇宙天気IPの役割が重要であると述べた。

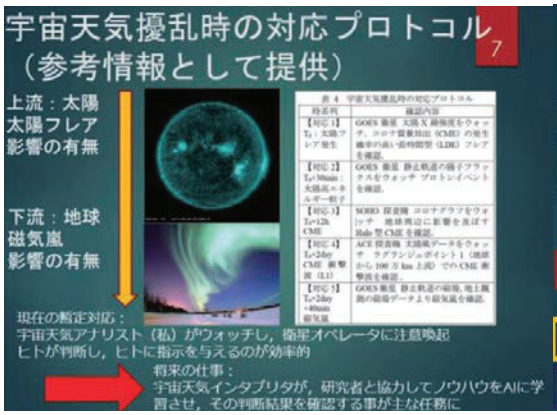
3.2　第16回宇宙環境シンポジウム

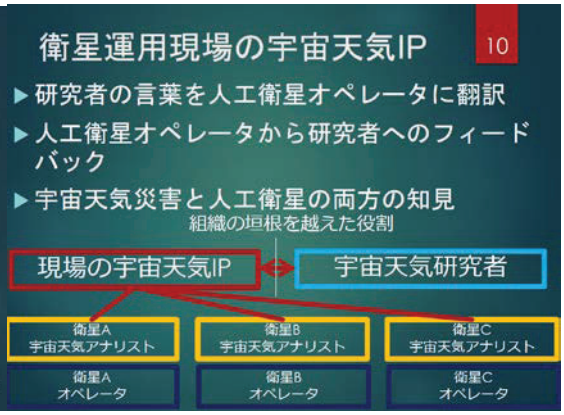
第16回宇宙環境シンポジウム（2019年11月13日、神奈川県横浜市、東京都市大横浜キャンパス）にて「社会インフラを護る宇宙天気インタプリタ」と題し[2)]、宇宙天気IP構想の紹介を行った。宇宙環境の理工学研究、実務利用者が集まる中で3.1で述べた「死の谷」問題、特に宇宙天気災害に対する衛星運用現場への杞憂を述べた。現状では、宇宙天気擾乱時には有志が衛星オペレータに対して注意喚起を行っている状況に、関係者は危機感を募らせた。

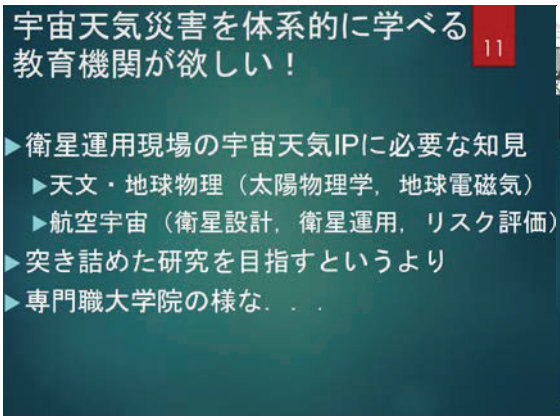
3.3　宇宙天気防災勉強会

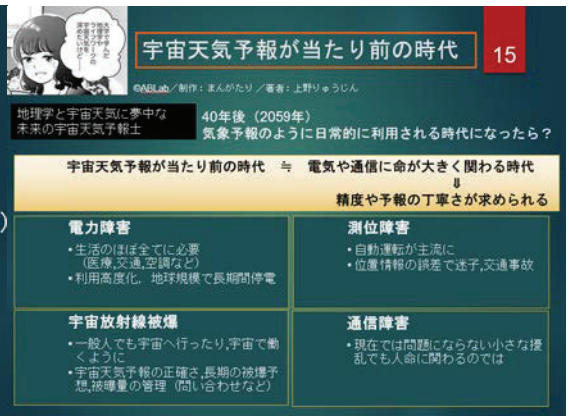
タウンミーティング形式の議論の場の形成の準備段階として、月一回ネットミーティング形式で宇宙天気防災勉強会を実施している。参加者は、宇宙天気研究者・学生、宇宙開発、宇宙教育、宇宙事業投資関係者等である。











4.成果論文

1)玉置晋.石田彩貴.野澤恵.、宇宙天気災害から社会インフラを護る～宇宙天気インタプリタ～、第63回宇宙科学技術連合講演会講演集、2H04（JSASS-2019-4352）、2019年.

2)玉置晋.石田彩貴.野澤恵.、社会インフラを護る宇宙天気インタプリタ、第16回宇宙環境シンポジウム講演論文集（ISSN 2433-2232(Online) JAXA-SP-19-009）、p65-67、2020年.

ALMAフレア観測に向けた野辺山電波ヘリオグラフによる粒子加速研究
Study of particle acceleration using NoRH forward the preparation of ALMA flare observations

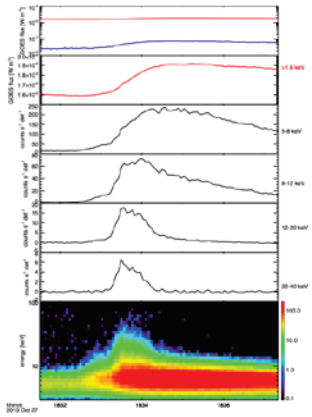
下条圭美、国立天文台・アルマプロジェクト

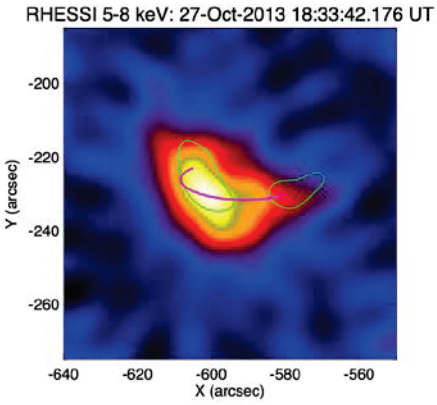
ミリ波による太陽観測においての科学目標は、太陽フレアによって加速される電子を観測し、太陽フレアにおける粒子加速過程を明らかにすることである。太陽における粒子加速を理解することは、太陽圏の高エネルギー粒子環境を理解する上で重要なだけでなく、宇宙の至る所で起きている粒子加速の理解にも重要である。

2000年代以降、他波長の観測では1秒角をきる空間分解能の観測が当たり前となり、10秒角の空間分解能の野辺山電波ヘリオグラフ（NoRH）の電波画像データと他波長画像データとの比較による科学成果の創出が難しくなっている。2016年から太陽観測提案の受付を始めたアタカマ大型ミリ波/サブミリ波干渉計（ALMA）は、66台のアンテナにより、これまでにない高空間分解能でのミリ波太陽画像を提供している。この空間分解能を用いて太陽フレア内の加速された電子の空間分布を得ることができ、他波長の観測の比較により太陽フレアの中でどのループに加速電子が局所化しており、そのループの磁場構造や物理状態を調べることができるだろう。このような解析により、太陽の粒子加速研究は大きく進展すると思われる。しかし、ALMAの科学観測ではいまだフレアの観測例は存在していない。ALMAが太陽専用の観測装置ではないため太陽観測時間が短いことと、ALMA太陽観測が開始したのが太陽極小期に近くの減衰期であったためである。次期太陽極大期にむけ、これまでのNoRHにて観測されたフレアデータとALMAの静穏領域の観測データを基に、優れた観測提案をALMA観測所へ提出すべく、事前準備を行うのが、本共同研究の目的である。

本年度は、客員でISEEに滞在されていた、RHESSI衛星計画のPIでありSolar Orbiter搭載の硬X線太陽望遠鏡(STIX)のPIでもあるSäm Krucker博士(FHNW, UCB)とも共同研究し、ALMAの太陽コミッション(観測手法開発)キャンペーン中において、不完全ながら観測された小さなフレア(GOESクラス C1.9)[1]のRHESSI衛星による硬X線画像合成およびスペクトル解析を行った(下図)。その結果、ALMAにより非熱的放射を捉えている可能性があることがわかった。今後は、このデータの詳細解析を行い、ALMAへの観測提案を洗練していく予定である。

[1] 下条圭美「アルマ望遠鏡による太陽観測」天文月報2018年5月号





高エネルギー降下粒子が金属原子層・金属イオン層に与える影響
Impact of the energetic particle precipitation on the metallic atom/ion layers

津田卓雄, 電気通信大学・情報理工学研究科

研究目的

中間圏/下部熱圏領域には流星起源とされるNa原子/Naイオンなどの金属原子層/金属イオン層が分布している. 当該高度範囲は, 電離圏D/E領域に位置し, 磁気圏からの高エネルギー降下粒子による金属原子層/金属イオン層への直接的な影響が予想されるが, その詳細については不明な点が多い.

本研究では, 磁気圏から超高層大気へと降り注ぐ高エネルギー降下粒子がNa原子層/Naイオン層などの金属原子層/金属イオン層に与える影響に関する理解を前進させることを目指している. 特に, 現在入手可能な長期の (複数年以上の) データセットの収集と解析を行い, 統計的描像に関する調査を中心に進めていく.

研究進展状況

昨年度に引続いて, 複数の金属原子層・金属イオン層について並行的にデータ収集を進め, 順次データの解析を進めている.

南極昭和基地 Na ライダー観測から得られた Na データ (2000-2002年) の収集と解析を進め, 昨年度のデータ解析でオーロラ活動活発時に Na 密度が減少する傾向を確認した. この傾向は, 一昨年度の調査結果 (極軌道衛星 Odin/OSIRIS による Na データを用いた調査結果) と整合的であった. 今年度は, 昭和基地の CNA データを併用して, 高エネルギー降下粒子と Na 密度の直接比較を進めた. その結果, CNA の増大に呼応する Na 密度の顕著な減少を見出した. 更に, 定点観測データである昭和基地 Na データの特徴を活かし, MLT 変化に着目した調査を進めた結果, 夕方から真夜中, 朝方へと MLT が進むにつれて Na 密度の減少率が大きくなることが判明した. Na 密度減少率の MLT 変化特性は, 磁気圏における高エネルギー電子の朝側方向へのドリフトに対応する傾向であると解釈される. 以上に関して学術論文 (Tsuda et al., EPS, in prep.) を執筆中である.

Envisat/SCIAMACHY による Mg, Mg^+ データ (2002-2008年) の収集と解析を進め, オーロラ活動活発時に Mg^+ 密度が増大する傾向を見出した. 一方で, Mg 密度には顕著なオーロラ応答の兆候は確認できなかったが, Mg 密度データについてはデータクオリティが十分ではなかった可能性もあり, より詳細な追加調査/検討が必要な状況にある.

高エネルギー電子に対する Na の応答プロセスに関する理解を深める為, 観測データの解析に加えて, モデル計算の取組みを進めている. 具体的には, 大気電離モデルと金属組成化学モデルを組合わせ, 高エネルギー電子による大気電離効果が駆動する金属組成化学過程のモデル計算を試みている. モデル計算に用いる大気電離効果と Na/Na^+ 化学過程, Mg/Mg^+ 化学過程に関する計算コードの基礎的な開発は完了しており, 今後は, 現実的な範囲で様々な条件を与えて計算実験を繰り返すことで, 高エネルギー電子に対する Na/Na^+, Mg/Mg^+ の応答プロセスに関して詳細に調査していくことを予定している.

研究発表

津田卓雄, 中村卓司, 江尻省, 西山尚典, 津野克彦, 野澤悟徳, 斎藤徳人, 川原琢也, 川端哲也, 高橋透, 阿保真, 和田智之, 光リモートセンシングによる地球超高層領域の大気組成の観測, レーザー学会 学術講演会 第 40 回年次大会, 宮城, 2020 年 1 月. (招待講演)

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いる。これまで非常に強い勢力の2017年台風第21号、そして猛烈な勢力の2018年台風第24号の中心で観測を行うことに成功し、台風の力学的・熱力学過程に関する重要なデータを取得している。台風の中心を貫通する飛行は、これらの過程だけでなく雲物理過程、放射過程の理解の上でも重要であり、様々な測器を用いた観測の発展が期待される。しかし、飛行の安全性については確証が得られていない。上記の2事例では、台風の強度がピークに達した後に観測が行われているが、米国における過去の飛行実績によると、強度が急速に増加する「急発達」の期間において、対流圏下層で非常に強い揺れが報告されている。米国と異なり、上記のプロジェクトでは対流圏上層を飛行するため、下層の非常に強い風の影響は受けないものの、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、対流圏上層にも飛行に影響をもたらす大気現象の存在が想定される。これらの現象を観測するのは非常に難しく、安全性の検討は困難である。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

雲解像モデルを用いて台風が急発達して猛烈な勢力に至るまで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水平シアーと鉛直速度の水平勾配の分布を調べる。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。本年度は台風の急発達の数値シミュレーションの実績がある2008年台風第6号(Fengshen)について、全球雲解像モデルNICAMの計算結果を用いて解析を行った。水平解像度は3.5kmである。

研究結果と今後の課題

中心気圧が911hPaまで低下する急発達時において、台風の中心から200kmの範囲にある各格子点で相対渦度と鉛直速度を計算し、その3次元ヒストグラム(Contoured Frequency by Altitude Diagram, CFAD)を作成し、ピーク値の高度分布を調べた。その結果、強い渦度のピークは高度0.5km付近にあり、その強度はメソサイクロン（竜巻をもたらす積乱雲の回転）と同程度であり、高度の増加とともに急速に

弱まることが分かった。米国NOAAによるハリケーン観測で使用される飛行高度3kmと、T-PARCIIで使用した飛行高度13.8kmとを比較すると、後者の強さは前者の半分程度であることがわかった。

この強度が小型ジェット機の航行にどの程度の影響を与えるかはさらなる調査が必要であるが、安全に航行できる高度を見出すことは、台風航空機観測の計画立案や、観測用航空機の機種選定において有用であると考えらえる。さらに、汎用的な民間旅客機で台風の中を安全に通過する航空路を開拓する上でも役立ち、年々逼迫するアジア域の航空輸送効率の向上にも貢献すると期待される。

成果発表（論文・著書）

Ohigashi, T., K. Tsuboki, Y. Suzuki, **H. Yamada**, K. Nakagawa, 2019: Characteristics of upper-tropospheric outflow-layer clouds of Typhoon Francisco (2013) observed by hydrometeor videosonde. *Atmospheric Research*, **235**, 104736, https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104736 (12 月受理)

成果発表（口頭発表）

山田 広幸, 2019: 琉球列島の地上レーダーと航空機を組み合わせた台風強度の最適推定方法の検討. 「航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進」研究集会, 東京大学理学部, 東京都文京区, (12 月 23 日), 口頭発表.

Yamada, H., N. Ito, A. Morita, 2019: Discrete Propagation of Convective Rainbands Observed in the Ryukyu Islands, Severe Weather and TAHOPE Planning Workshop, Taipei, Taiwan, (10 月 14 日), 口頭発表.

山田 広幸, 2019: 琉球列島の地上レーダーと航空機を組み合わせた台風強度の最適推定方法の検討, 名古屋大学宇宙地球環境研究所 ISEE コミッティーミーティング, 名古屋大学, 名古屋市, (6 月 19 日), 招待講演.

Yamada, H., K. Tsuboki, T. Shinoda, H. Kubota, Y. Takahashi, N. Nagahama, K. Shimizu, T. Ohigashi, K. Ito, M. Yamaguchi, and T. Nakazawa: 2019: A change in the inner-core structure of Typhoon Trami (2018) as observed through upper-tropospheric aircraft reconnaissance of T-PARCII. 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 千葉市, (5 月 30 日), 招待講演.

山田 広幸, 坪木 和久, 篠田 太郎, 久保田 尚之, 高橋 幸弘, 長浜 則夫, 清水 健作, 大東 忠保, 伊藤 耕介, 山口 宗彦, 中澤 哲夫, 2019: New observation strategies for typhoon intensity over the western North Pacific. 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 千葉市, (5 月 28 日), 口頭発表.

山田 広幸, 坪木 和久, 篠田 太郎, 久保田 尚之, 高橋 幸弘, 長浜 則夫, 清水 健作, 大東 忠保, 伊藤 耕介, 中澤 哲夫, 山口 宗彦, 2019: 航空機観測で捉えた 2018 年台風第 24 号の内部構造の変化, 日本気象学会春季大会, 東京都渋谷区, (5 月 18 日), 口頭発表.

原子核乾板を用いた宇宙線ミューオンフラックスの測定

Measurement of cosmic-ray muon flux with nuclear emulsion

（１行スペース）
森島邦博、名古屋大学・理学研究科
（２行スペース）

研究目的

本研究では、原子核乾板を用いた宇宙線ミューオンのエネルギースペクトルの測定手法の開発を行う。

代表者らは宇宙線ミューオンを利用した巨大物体内部の可視化技術「宇宙線ミューオンラジオグラフィ」の技術開発を進めており、これまでに原子炉やピラミッドなどに適用し、その手法はさまざまな分野へと広がりつつある。宇宙線ミューオンラジオグラフィは、観測対象を通過する宇宙線ミューオンの飛来方向を３次元的に検出する事で行う。検出したミューオンの飛来方向分布から観測対象を通過した際の宇宙線ミューオンの吸収量を推定する事で観測対象内部に存在する物質量（密度長）を求める事が出来る。この吸収量の推定のためには、観測対象へ入射する宇宙線ミューオンの特性（飛来方向分布とエネルギースペクトル）を理解する必要がある。特に、宇宙線ミューオンのエネルギースペクトルは低エネルギー領域（10GeV以下）において実測データが十分ではない。このエネルギー領域は、石造構造物（密度2g/cm^{3}程度）の場合には厚さ20m程度に相当する。このような厚さの対象としては、高速道路の盛土、堤防などが考えられるため、低エネルギー領域のミューオンフラックスの実測は、社会インフラの老朽化検査などへの応用に資する貴重なデータとなる。また、これまでに得られている他の実験データやモデルとの比較においても重要なデータとなる。

研究方法

一様性が高い物質でありその厚さを自由に変えた試験が容易な水と水中での観測に適した原子核乾板を組み合わせることで、宇宙線のエネルギー分布とその天頂角依存性を測定するための手法の確立および測定を行う。

原子核乾板は、銀塩写真フィルムの一種であり、電源不要・軽量・コンパクトな検出器である。防水・防塵性を備えた遮光フィルム（アルミラミネートフィルム）に入れて用いる事で水中での使用も含めた任意の場所での宇宙線の測定が可能である。また、原子核乾板は広い天頂角に渡ってそのフラックスの測定が容易である。これらの特徴を生かし、水中の異なる深度に原子核乾板を設置して宇宙線を観測する事で、各々の原子核乾板の設置深度に対応するエネルギーを閾値とした宇宙線ミューオンの積分フラックスを測定して任意の方向のエネルギー分布を導出する。

結果とまとめ

名古屋大学理学部C館前に水深83cmの簡易プールを設置して宇宙線

を観測した。水深0cm、6cm、31cm、53.5cm、76.5cmに原子核乾板検出器を設置して4日間（94.8時間）にわたり宇宙線を観測した。例えば、水深76.5cmでは196MeV以上のエネルギーのミューオンが原子核乾板により検出される。観測中の気温平均は26.9℃、水温平均は26.4℃、気圧平均は1012.3hPaであった。図1に観測装置の概観、図2に各々の水深に設置した原子核乾板から得られた天頂方向の積分フラックスを示す。この結果は、電子なども同時に計測している事が考えられるが、本研究により、水中でのミューオンのエネルギースペクトル観測の手法を確立した。今後は、天頂角依存性の導出及びより深い水深での観測を進める計画である。

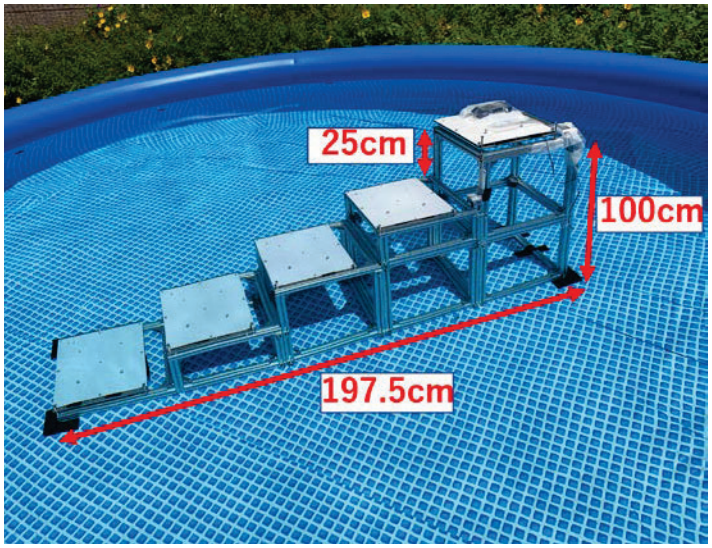


図1．簡易プールに設置した原子核乾板検出器の概観

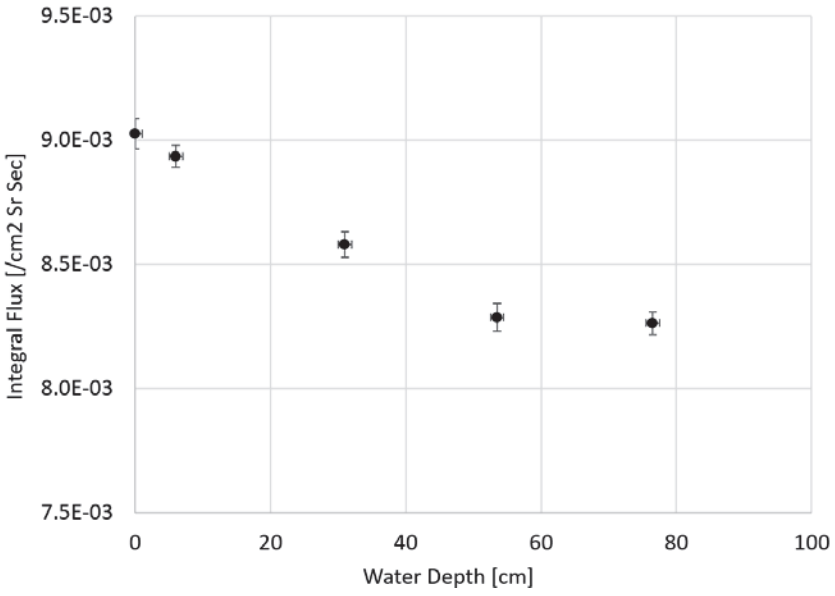


図2．観測結果

光励起ルミネッセンス（OSL）年代測定法による第四紀編年の高度化
Development of Quaternary dating with optically stimulated luminescence methods

田村　亨、産業技術総合研究所・地質情報研究部門

研究目的

光励起ルミネッセンス（OSL: Optically-Stimulated Luminescence）年代測定法は，自然放射線による鉱物粒子の損傷に起因する発光現象を利用した年代測定方法である．放射性炭素年代測定に比べて適用年代範囲が数十年～数十万年と広いこと，また石英や長石の堆積物粒子に直接適用できることが特徴で，非常に汎用的な第四紀年代測定法である．その一方で，放射性炭素年代測定が適用できる200～4万年前の地層では，放射性炭素年代よりも精度の面で劣る．また，信頼性の結果が得られるには，粒子が堆積直前に太陽光に露光してルミネッセンス信号がリセットされている必要があるため，河川や海底，湖底などでは信頼性が十分に保証されない．そこで，名古屋大学宇宙地球環境研究所で得られる放射性炭素年代と比較することで，沿岸域の沖積層等のOSL年代の妥当性を検証し，信頼性の高い年代値の評価方法の検討を行った．

研究方法

本研究で用いた堆積物・貝殻・植物片の試料は，ベトナム中部Hoi An近傍のThu Bong川三角州，ベトナム南部Can Gioのマングローブ林地下の沖積層から採取した．それぞれの地域においてボーリングにより深度40mまでの堆積物試料を掘削し，堆積物の記載に基づく柱状図を作成した上でOSL年代測定用の堆積物と，貝殻・植物片を採取した．OSL年代のための試料処理と測定は産業技術総合研究所で行い，放射性炭素年代のための試料処理は名古屋大学宇宙地球環境研究所において行い測定は同研究所のタンデム加速器において行った．得られたOSL年代と放射性炭素年代を比較し，両地域の浅海域の堆積物に応用した場合のOSL年代の妥当性を検討した．

研究結果

Thu Bong川，Can Gioともに，OSL年代は放射性炭素年代によく一致した．Thu Bong川では1000～9000年前，Can Gioでは現在～5000年前の年代が得られた．Thu Bong川では最大20 m，Can Gioでは最大25 mの水深で形成された堆積物が認められたが，OSL年代は全体に放射性炭素に整合的であった．また両地域ともに石英だけでなく，露光によるリセットが起こりにくい長石についてもOSL年代を求めたが，両者はよく一致した．

考察・まとめ

浅海環境，特にMekong河三角州の近傍であるCan Gioでは浅海域の濁度が高く，浅海底では太陽光への露光が期待できないが，今回石英と長石のOSL年代と放射性炭素年代との整合的な結果は，粒子が浅海底に運搬される前の海岸や河川を通過する時に露光したと考えられる．また，石英と長石のOSL年代の比較は，露光状態を確かめるのに有用と考えられているが，それがベトナムの2つの地域の浅海底でも有効であることがしめされた．今後さらに同様の研究を積み重ねることで，OSL年代測定の精度・信頼性を高めることができる．今年度の成果のうち，Can Gioでの結果を国際学会でポスター発表した（Collins et al., 2019）．

引用文献

Collin DN, Tamura T, Nguyen VL, Ta TKO, Mao L, Ishii Y, Kitagwa H, Nakashima R, 2019. Palaeoenvironmental evolution of Holocene-Modern back-barrier mangroves in the northern Mekong River delta, Vietnam. INQUA2019, Dublin, 2019年7月26日.

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

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（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え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。バイオエアロゾルが、氷晶核として重要な役割を果たしているか理解するためには、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必要があり、森林内と上空での観測と、多層陸面モデルを用いて林床から発生した胞子の放出の仮想実験を行った。

研究方法：

観測は、2018年6月25日から7月4日にかけ、つくば実験植物園とその上空で行った。植物園内の樹林(高さ約15m)の林床(高さ1.2m)と直上(約20m)でバイオエアロゾル濃度の測定を実施し、また森林直上では緩和渦集積法によるバイオエアロゾルフラックス推定も実施した。さらに、ヘリコプターによる樹林の上空高さ500mでのバイオエアロゾルのサンプリングも実施した。バイオエアロゾルの濃度は、サンプリングフィルタ上のバイオエアロゾルを、DAPI色素によりDNAを染色することで検出し、顕微鏡観察で個数密度を求め、数密度に換算した。その大きさから主要なバイオエアロゾルは真菌胞子と考え、以下のモデルでは半径3μm（Wittmaack, 2005）を中心とする粒子として扱うことにした。

観測結果からフラックスを推定するため、森林内部のエアロゾルの乱流拡散や沈着過程の鉛直分布を計算できる多層大気ー植生ー土壌モデル SOLVEG（Katata and Ota, 2017）を用いた。樹林上で観測された風速・気温・摩擦速度（運動量フラックス）・顕熱フラックスの観測データとモデル計算を比較し、観測結果が早朝を除きほぼ一致していることから、モデルにより樹林内での微気象学的状況はほぼ再現できているものと考えられる。

研究結果：

予想と異なり、林床と樹林直上でのバイオエアロゾル濃度はほぼ等しく、また樹林直上でのバイオエアロゾルフラックス観測値はしばしば下向きで、大気から森林内に沈着している状況であった。こ

のことは、観測地点の風上により強いバイオエアロゾル放出域があり、観測地点の森林からの放出と、上空からの沈着が拮抗している状況と推測される。

2高度での観測値に整合するように、モデル内で地上0.1mの高度にバイオエアロゾル放出フラックスを与えた。その結果、観測期間平均で林床からのバイオエアロゾルの放出率は$3.3\pm2.8\times10^{-2}$ μg m^{-2} s^{-1}と推定され、また林床から樹林内を通過し、その上空へのバイオエアロゾルの潜在的な放出フラックスは、放出の約6割に当たる$2.0\pm1.8\times10^{-2}$ μg m^{-2} s^{-1}と推計された。この結果は，過去の大気化学輸送シミュレーションで示された値の範囲内であった。

まとめ：

地上観測と森林上空での観測を実施し、モデル計算と組み合わせることにより、林床から樹林上の大気へのバイオエアロゾルフラックスを推定することが可能であることが分かった。しかし、今回観測を実施した樹林は不均一性が高く、フラックス推定には必ずしも適していないことが分かった。また、その後、林床と樹林直上、およびヘリコプターでサンプリングしたバイオエアロゾルの構成種が一致しないことがわかり、樹冠からのバイオエアロゾル放出や、風上からの輸送の影響も考慮する必要があることが分かった。今後は、それらのことも考慮した観測と解析が必要になる。森林直上とヘリコプター高度とのギャップを埋めるために、係留気球やドローンなどで、その間の高度でのサンプリングも実施する日宇町があると考えられる。

参考文献：

Hoose and Möhler (2012) Atmos. Chem. Phys., 12 , pp. 9817-9854.
Katata and Ota (2017) JAEA-Data/Code 2016-014, JAEA., pp. 35.
Wittmaack (2005) Sci. Total Environ., 346, 244-255.

成果発表：

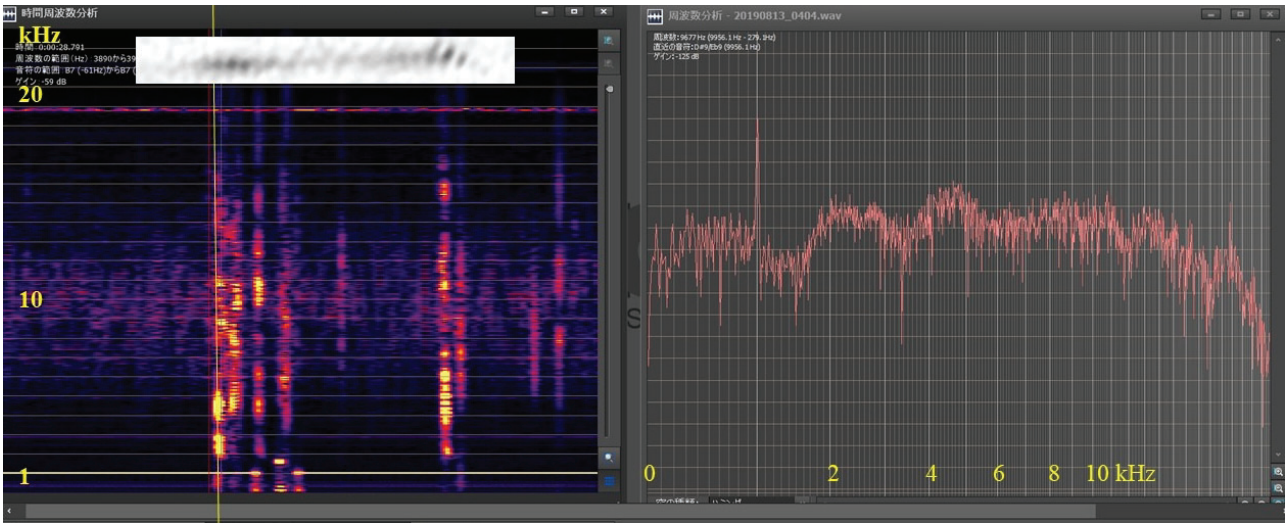
Yasuhito Igarashi, Kazuyuki Kita et al., Fungal spore involvement in the resuspension of radiocaesium in summer, Scientific Reports, 9(1)/ 1954, 2019

南光太郎，堅田元喜，北和之，反町篤行，保坂健太郎　多層陸面モデルを用いた真菌胞子の森林上空への乱流拡散過程の解析　第60回大気環境学会　東京農工大学　府中キャンパス　2019年9月18-20日

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・戦略プログラムオフィス

明るい流星（火球）伴って発生すると言われているELF/VLF領域の電波については、観測例が少ない上、発生機構も不明であるため、多くの観測事例を集めることが、本研究の主な目的である。そこで8月13日早朝に極大となるペルセウス流星群などの流星群の活動期においてVLF電波観測を行い（豊川市）、日本流星研究会会員による流星ビデオ観測との比較を行った。特にペルセウス流星群については、いくつかの火球について観測例が得られたが、火球の光度の極大時に通常の雷起源の空電とは異なる周波数特性を持つ強いパルス状の電波放射が観測された。地面と電離層下面との間の空間を、導波管モードで伝わる雷空電の場合は、遮断周波数である約1.8 kHzとその高調波において、電波強度の増大が見られることが多いが、流星起源と思われる電波の場合は、それよりも高い2.5 kHzあたりとその高調波を中心とした±5 kHzのスペクトル領域で電波強度の増大が見られる例が複数個得られた（下図参照）。また同様の現象が、12月に発生したふたご座流星群についても観測されている。しかしこのような周波数領域における電波強度の増大は、これまで知られている電離層電波伝播における特性周波数には見られないものであり、電波発生機構の考察を進めるとともに、更に多くの観測事例を収集する必要がある。なお今回の観測において、アマチュアによる流星ビデオ観測の時刻精度に、最大１秒程度の時刻偏差が認められたケースが多かったため、次年度においては時刻管理の徹底を要請する必要がある



2019年8月13日04:24:24 (JST)前後に出現した、-4等級の火球に伴って観測されたELF/VLF電波。左図：電波放射のダイナミック・スペクトル。上はビデオ観測による火球の光度変化。約0.4秒の間隔で２回の爆発的増光が発生し、それぞれに対応して強い電波パルス群が見られる（一部は雷起源の空電）。右図：最初に観測された強い電波パルスの周波数スペクトル。横軸は周波数、縦軸は相対電波強度。2.5 kHzとその高調波を中心とした±5 kHzのスペクトル領域で、電波強度の増大が見られる

ランプロファイアー岩脈の全岩化学組成と鉱物化学組成分析によるマグマの成因解明

Elucidation of magma origin of Lamprophyre diyes by whole rock chemical composition and mineral chemical composition analysis

纐纈佑衣（名古屋大学・環境学研究科）

【研究目的】　岐阜県揖斐郡揖斐川町の旧春日村(春日地域)にはランプロファイアーと呼ばれる高Mg安山岩岩脈が産する。Suzuki and Shiraki (1980)によると、ランプロファイアー岩脈のマグマの成因はマントルの直接溶融であるとしているが、その後本地域でのランプロファイアーの詳細な研究はなされていない。そのため、春日地域のランプロファイアーは複数のマグマの貫入による複合ランプロファイアーであるが、どのようなマグマがどのようなタイミングで貫入したのかは明らかになっていない。

本研究では、春日地域において露頭の保存状態が良い複合ランプロファイアー岩脈について、全岩化学組成と鉱物化学組成を分析することによって、マグマの起源や固結した環境を推定することを目的とする。中部地域に産する白亜紀後期のランプロファイアーを、地球化学及び岩石学的な視点から解析することによって、島弧―海洋系プレート収束域における地下深部におけるマグマ活動の理解につなげることを目的とする。

【研究方法】　全岩化学組成は、名古屋大学宇宙地球環境研究所所有のXRF(株式会社島津製作所製XRF-1800)を用いた。主要元素は管電圧40kV、管電流70mA，微量元素は管電圧40kV、管電流95mAにて分析した。詳細な分析条件は、中崎ほか(2004)及び吉田ほか(2016)に従った。鉱物の化学組成は、名古屋大学岩石鉱物学研究室所有のEPMA(日本電子株式会社製JXA-8800R)を用いて、15kV, 12nAで分析を行った。

【研究試料】　春日地域の粕川沿いに塩基性ホルンフェルスを切ってほぼNS 走向を持つランプロファイアー岩脈が認められる。分析対象とした岩脈は，幅が1m以上あり、川に沿って走る県道からもよく観察できる(図1)。この岩脈は外側部から内部部に向かって岩石の色が変化し、塩基性ホルンフェルスとの境界面に平行に発達する幅20–30 cm の外側部分(KSN05-1)と岩脈の内側部分(KSN05-2a, KSN05-2b, KSN05-3)に区分できる。内側岩脈の中央部はその周縁部や外側岩脈に比べて斑晶を含めてより粗粒である.

【研究結果】　全岩化学組成から、分析したランプロファイアー岩脈はSiO_2が53–55 wt.%の中性的な組成を示した(表1)。一方で、高いMgO (4–6 wt.%), Cr (51–157 ppm), Ni (14–51 ppm)量を示す。鉱物の化学組成を分析した結果、クロムスピネルのCr#[=Cr/(Cr + Al)]及びMg#[=Mg/(Mg+Fe2+)]値は、それぞれ0.40–0.82および0.25–0.65であった。斑晶として産する角閃石は、Si < 6.25 apfuのパーガス閃石であり、石基部のものは斑晶に比べてややSiO_2に富む。TiO_2濃度は3 wt.%に達する。これらの結果は、Suziki and Shiraki (1980)と調和的な結果である。

【考察･まとめ】Suzuki and Shiraki (1980) は, ランプロファイアーマグマの成因を高H_2O 分圧下でのマントルの直接溶融に求めている．なお，斎藤・沢田 (2000) は，石英閃緑岩−閃緑斑岩として記載した岩脈のいくつかが，ランプロファイアーと類似して高いMgO (6.9–8.5 wt%), Cr (180–422 ppm) およびNi (89–109 ppm) 含有量を示すことに着目し，Suzuki and Shiraki (1980) と同様に，それらはマントルと共存可能なメルトに由来するとしている．これらの石英閃緑岩−閃緑斑岩岩脈は 80–70 Ma のK-Ar 年代を示しており，それらと化学組成が類似するランプロファイアー岩脈も，同じ時期に活動した可能性が高い.

【引用文献】

中崎峰子・壷井基裕・金川和世・加藤丈典・鈴木和博, 2004, X 線分析装置XRF-1800 による岩石の定量化学分析. 名古屋大学博物館報告, 20, 79–91.

斎藤　眞・沢田順弘, 2000, 横山地域の地質. 地域地質研究報告（5万分の1 地質図幅). 地質調査所, 126p.

Suzuki, K. and Shiraki, K., 1980, Chromite-bearing spessartites from Kasuga-mura, Japan, an their bearing on possible mantle origin andesite. Contrib. Mineral. Petrol., 71, 313–322.

吉田澪代・加藤丈典・南 雅代・榎並正樹, 2016, 蛍光X 線分析法による岩石試料の定量化学分析：(1) 主成分元素. 名古屋大学年代測定研究, 1, 66–71.

【成果発表】

榎並正樹・纐纈佑衣・加藤丈典・壷井基裕・丹羽健文、「岐阜県西部・揖斐川町春日地域の火成岩と接触変成岩」 地質学雑誌 巡検案内書、in press

図 1 ランプロファイアー岩脈

表1 全岩化学組成の分析結果

Sample	KSN02a	KSN05-1	KSN05-2a	KSN05-2b	KSN05-3
Major elements		40kV, 70mA			
wt.%					
SiO_2	47.8	55.3	54.7	53.8	53.0
TiO_2	2.93	0.98	1.01	1.00	0.95
Al_2O_3	12.8	18.4	18.6	18.3	17.0
Fe_2O_3*	14.4	6.63	6.19	6.95	7.51
MnO	0.21	0.12	0.12	0.14	0.14
MgO	4.87	3.91	4.01	4.59	6.21
CaO	8.94	7.40	7.43	7.61	7.79
Na_2O	3.45	3.12	3.07	2.91	2.62
K_2O	2.26	1.77	2.09	2.01	1.94
P_2O_5	0.41	0.30	0.31	0.31	0.29
Total	98.1	97.9	97.5	97.6	97.5
*: total iron as Fe_2O_3					
Trace elements		40kV, 95mA			
ppm					
As	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1
Ba	556	630	750	649	511
Co	54	28	26	30	36
Cr	126	51	52	76	157
Cu	n.d.	27	n.d.	n.d.	19
Nb	22	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ni	39	14	17	22	51
Pb	4	6	7	4	6
Rb	21	58	68	65	60
S	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Sr	198	440	445	421	392
Th	5	8	9	9	8
V	310	163	162	169	181
Y	36	24	25	24	23
Zn	123	62	69	69	77
Zr	164	132	130	121	115

５.奨励共同研究 目次詳細

（所属・学年は2020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
岡本幸平	東京大学	宇宙線研究所付属神岡宇宙素粒子研究施設	修士課程2年	太陽観測衛星を用いた太陽フレア由来のニュートリノ探索のためのTime Windowに関する研究	218
平井あすか	東北大学	大学院理学研究科	博士課程前期2年	IPDPタイプ EMIC波動による放射線帯電子降下消失現象の解明	220
吹澤瑞貴	東北大学	大学院理学研究科　地球物理学専攻　惑星プラズマ・大気研究センター	修士課程2年	静電電子サイクロトロン高調波による低エネルギー電子降下と脈動オーロラ発光	222
西本将平	防衛大学校	地球海洋学科	博士課程後期1年	太陽フレア放射スペクトル予測モデルの構築	224

和文課題名太陽観測衛星を用いた太陽フレア由来のニュートリノ探索のための Time Windowに関する研究

英文課題名Study of Time Window for searching for neutrinos associated with solar flare using solar monitoring satellite

岡本　幸平、東京大学　宇宙線研究所

導入・研究目的

太陽フレアによって加速された荷電粒子は太陽大気中の原子核と衝突し、電子型もしくはミュー型のニュートリノを生成する[1]。太陽フレア由来のニュートリノに関する議論は1970年代から行われている[2,3,4]が、これまでに太陽フレア由来のニュートリノを有意に観測した事例は報告されていない。観測されれば、粒子加速機構の理解が深まる。太陽フレア由来のニュートリノは大気ニュートリノのように幅広いエネルギーを持つため、ニュートリノ検出器での観測事象に関して、バックグラウンド事象と区別することが難しい。そこで、太陽表面で陽子加速が起こっている時間帯(Time Window)を、太陽観測衛星のX線やガンマ線の情報を用いて決定する事で、ニュートリノ観測のS/N比の向上する。すなわち、ニュートリノが生成された時刻をより正確に決定する事で、太陽フレア由来のニュートリノを検出できる可能性が高まる。本研究課題では、Super-Kamiokande[5]やIceCube[6]、KamLAND[7]等のニュートリノ検出器を用いて、太陽フレア由来のニュートリノを探索するためのTime Windowを太陽観測衛星から得られた光学的情報から決定し、太陽フレアの粒子加速機構に関する研究を推進する。

研究方法(太陽フレアニュートリノ探索のためのTime Window設定)

太陽フレア由来のニュートリノの生成過程は大気ニュートリノの生成過程と非常に似通っており、両者のエネルギー帯は重なっている。大気ニュートリノは定常的に観測されるイベントである一方で、太陽フレア由来のニュートリノは太陽フレアにおける粒子加速のタイムスケール程度の間だけ放出されると考えられる。従って、適切なTime Windowを設定することで太陽フレア起源のニュートリノ探索のsignal/noise比を向上させることが期待される。

本研究では、ニュートリノ探索用のTime Windowを決定するために、CIDASシステム(宇宙地球環境研究所統合データサイエンスセンター)において管理されているRHESSIとGOESの観測データを解析した。以下でそれぞれTime Windowの決定方法について述べる。

・軟X線、軟X線ライトカーブの時間微分(GOES)

GOESで観測された軟X線1-8Åのフラックスのピーク値は太陽フレアのクラス分けの指標として広く使用されており、10^{-4} W/m^2以上のピーク値を持つ太陽フレアは最大規模のものであると考えられている。GOES衛星で観測される典型的な軟X線のライトカーブは図1の1段目のようになっている。本研究において対象とする太陽フレアは軟X線のフラックスが5 x 10^{-4} W/m^2以上のピークをもつ23個の太陽フレアを選んだ。フレアの始まりの時刻として、NOAAで定められているTime windowの始まりの時刻を、フレアの終わりの時刻として、軟X線フラックスが10^{-4} W/m^2以上を下回る最初の時刻を選んだ。

また、軟X線の情報から粒子加速と相関のある増光部分を取り出すため、軟X線ライトカーブの時間微分を用いた。本研究では、ライトカーブの時間微分をガウス関数でフィットをし、ピークの時間t_0からの領域をTime Windowとした。

・硬X線、ラインガンマ線(RHESSI)

RHESSIで観測された100-800 keVエネルギーを持つ光子のライトカーブをプロットし、増光が見られる直前をBack Groundとして定数フィット、増光部分を一次関数フィット、減光部分を指数関数でフィットした。フィットの結果からBack Groundと増光部分の交点を求め始点とし、また減光部分とBack Groundより2σ以上大きい点を求め終点とした。ラインガンマ線に関しては、2.218-2.228MeVのエネルギーを持つ光子のライトカーブをプロットし、 硬X線と同様にして、ライトカーブをフィットした。中性子捕獲のタイムラグ[8]を考慮し、始点の100秒前から終点までの間をTime Windowとした。

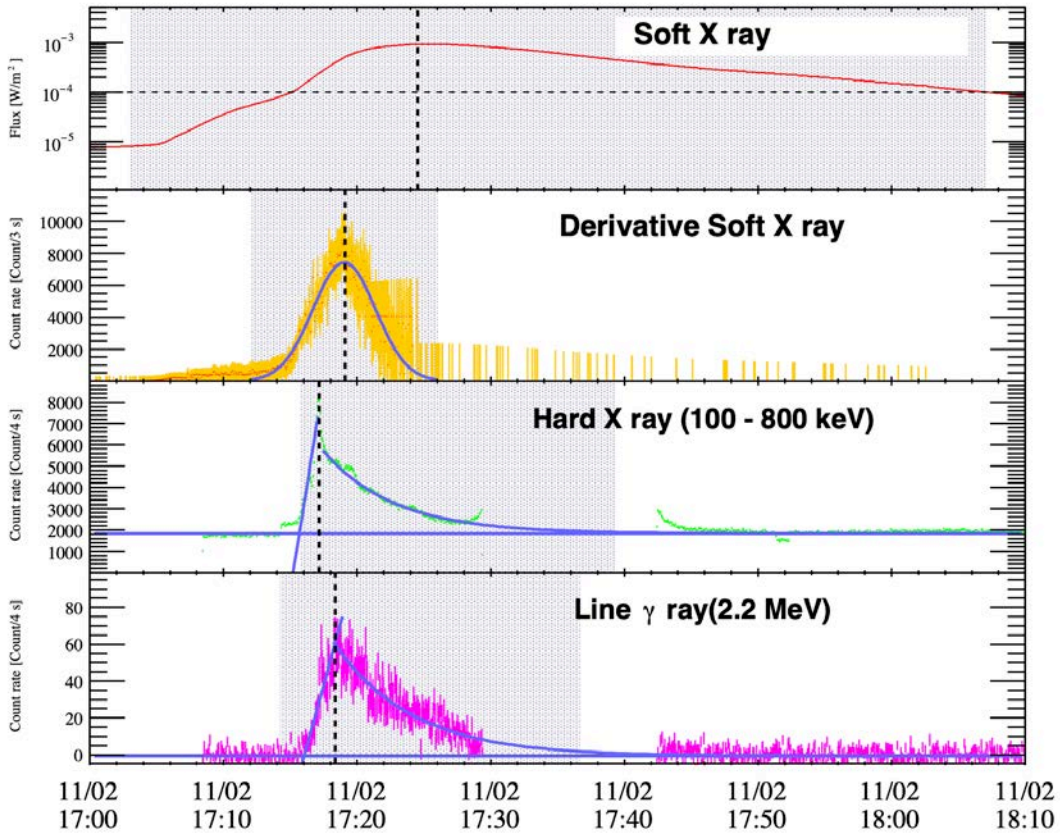


図 1:2003 年 11 月 2 日のイベントに対するライトカーブ。上から順に軟 X 線、軟 X 線の時間微分、硬 X 線、ラインガンマ線。黒の破線はピークのタイミングを表し、青線はフィットの結果を表す。灰色領域が、本研究で得られた Time Window である。

研究結果・今後の展望

表1に本研究で決定したTime Windowの情報をまとめた。本研究で決定したTime Windowのうち、最も短い軟X線の微分を用いれば、例えばSKでの太陽フレアニュートリノ探索のバックグラウンド事象を0.067 events/flare程度にすることができる。 また、Time Windowの結果と決定法を合わせて論文として発表予定(Solar Physic)である。

成果発表

Development of a method for determining the search window for solar flare neutrinos

K.Okamoto et al., (Solar physics に提出中 arXiv:1909.10715)

参考文献

[1] D. Fargion et al., Astrophys. 3(2003) 75-86.

[2] R. Davis, Prog. Part. Nucl. Phys. 32 (199) 13-32.

[3] B. Aharmim et al., Astropart. Phys. 55 (2014) 1-7.

[4] K. S. Hirata et al., Phys. Rev. Lett. 61 (1988) 2653-2656.

[5] Y. Fukuda et al., Nucl. Instrum. Meth. A501 (2003) 418-462.

[6] A. Achterberg et al., Astropart. Phys. 26, 155 (2006).

[7] A. Gando Phys. et al., Rev. Lett. 117, 109903 (2016)

[8] W. Q. Gan, The Astrophysical Journal 496 (2) (1998) 992.

IPDPタイプEMIC波動による放射線帯電子降下消失現象の解明
Radiation belt electron precipitation caused by IPDP-type EMIC waves

平井あすか、東北大学・大学院理学研究科・博士課程1年
小原隆博、東北大学・大学院理学研究科・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。電磁イオンサイクロトロン波動（Eelectromagnetic ion cyclotron: EMIC）波動は、磁気圏で発生するプラズマ波動であり、放射線帯電子を効果的に散乱し、大気に降下消失させうることが、衛星や地上観測で明らかにされている（Miyoshi et al. 2008他）。EMIC波動は磁力線に沿って磁気圏まで伝搬することができ、地上でPc1地磁気脈動として観測される。近年の観測から、1時間で0.1から1,2Hz程度周波数が上昇する、Intervals of pulsations of diminishing periods（IPDP）タイプのEMIC波動が効果的に電子を降下させることが示唆されている（Hendry et al. 2016他）。しかしIPDPと電子降下との因果関係およびそのメカニズムは明らかにされておらず、これらを解明することによって、放射線帯消失現象に対するEMIC波動の寄与について、理解が進むことが期待される。本研究では、電子を効果的に散乱させ得るEMIC波動が、どのような状況で発生するかを明らかにすることを目的にし、EMIC波動とそれに伴う電子降下現象の統計解析を行った。

【研究方法】

本研究では、2016年11月から2018年12月の期間の地上観測データを用い、電子降下に関連するEMIC波動の統計解析を行った。EMIC波動はアサバスカ（カナダ）に設置されている誘導磁力計（PWING）により観測された。EMIC波動イベントの同定を客観的に実施するために、Bortnik et al. (2007)よる波動自動検出アルゴリズムを用いた。当初は、解析対象とするEMICイベントをIPDPタイプに制限する計画であったが、IPDPタイプのEMIC波動が特に強い電子散乱を引き起こすことを予言する理論研究は今日まで知られていない。このため、本研究ではまずすべてのEMIC波動イベントを解析対象とすることにした。

電子降下イベントは、VLF/LF帯標準電波観測から検出を行った。米国のNDKから25.2kHz、NLKから24.8kHzの電波が送信されており、アサバスカに設置されている電波受信機でそれらの信号が受信される。電波の伝搬経路上の電離圏下部で発生した電離現象を捉えることができ、100keV以上の電子降下を検出可能である。EMIC波動により散乱された電子の降下のみを検出するために、EMIC波動の出現と時間的対応のある受信信号の変化のみを、イベントとして検出した。

【研究結果】

約2年の統計解析期間で、999例のEMIC波動イベントを検出した。そのうち23例で、電子降下イベントが発生していた。EMIC波動の発生頻度のローカルタイム分布では、朝側で発生頻度が高くなる結果が得られた。一方、電子降下を伴う23例では、全て夕方側から真夜中のローカルタイムで発生していた。地磁気活動度とEMIC波動発生頻度のローカルタイム分布を比較すると、AL指数やSYM-H指数が低いほど、夕方側で発生頻度が高くなった。また、解析期間を磁気嵐の各相に分類しEMIC波動の発生頻度を調べたところ、電子降下を伴う23例のEMIC波動イベントは、それ以外のイベントに比べて、磁気嵐の主相中に発生しやすいことが示された。これらの結果から、夕方側で発生するEMIC波動は、磁気嵐やサブストームの地磁気擾乱時に発生しており、電子降下を引き起こすEMIC波動も同様に夕方側で、特に磁気嵐の主相時に発生しやすいことがわかった。

理論研究から、プラズマ密度の高い領域では、EMIC波動と相互作用する電子の共鳴エネルギーが減少することが示されている（Summers and Thorne, 2003他）。本研究の結果と理論研究から、EMIC波動が電子を効果的に散乱し、大気に降下させるためには、磁気嵐やサブストーム時に、プロトンがプラズマポーズの内側まで注入され、発達したリングカレントとホットなプロトンが同じ領域に存在することであると予想される。この予想が確かかどうかを調べるために、衛星データを用い、プラズマポーズの位置を確かめてイベントを分類するとともに、リングカレントプロトンのピッチ角分布を調べる予定である。

【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、Martin, Connors、Statistical study of IPDP type EMIC wave-related electron precipitation at subauroral latitude、日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 幕張, 千葉, 2019 年 5 月 29 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、Martin Connors、Statistical study of EMIC wave-related electron precipitation at subauroral latitude、第 146 回地球電磁気・地球惑星圏学会総会・講演会, 熊本市国際交流会館, 熊本, 2019 年 10 月 23 日（ポスター）

[3] A. Hirai, F. Tsuchiya, T. Obara, Y. Kasaba, Y. Katoh, H. Misawa, K. Shiokawa, Y. Miyoshi, S. Kurita, M. Connors, Statistical study of EMIC wave-related electron precipitation at subauroral latitude, AGU 2019 Fall Meeting, San Francisco, U.S., 10 December 2019 (ポスター)

[4] 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、Martin, Connors、Spatial and temporal characteristics of EMIC wave-driven energetic electron precipitation from ground-based observations、PSTEP-4 & ISEE-2、名古屋大学坂田・平田ホール、名古屋、2020 年 1 月 28-30 日（ポスター）

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1年
坂野井　健、東北大学大学院・理学研究科・准教授

【研究目的】

脈動オーロラとは数秒から数十秒の周期をもって明滅を繰り返すオーロラであり、数keVから数十keVの高エネルギー電子が磁気赤道面で励起されたコーラス波と呼ばれるプラズマ波動と相互作用することによって電離圏に降り込み、オーロラを発光させていることが先行研究により示されている (Miyoshi et al., 2015; Nishimura et al., 2010)。一方、コーラス波以外のプラズマ波動としては、静電電子サイクロトロン高調 (ECH) 波という静電波が数百eVから数keVの低エネルギー電子を電離圏に降り込ませることができる。Fukizawa et al. (2018)では衛星によって観測されたECH波と地上全天カメラによって観測された脈動オーロラ発光の強度の時間変化に相関があるイベントが報告された。本研究では、ECH波によりオーロラ発光に寄与するような低エネルギー電子が電離圏に降り込んでいるかを人工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】

ECH波によって低エネルギー電子が磁気赤道面付近から電離圏に降下しているかを確かめるため、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ECH波と、低エネルギー電子分析器 (LEP-e) によって観測された電離圏に降下するロスコーン内の電子フラックスの間で相互相関係数を計算し両者の関係を調べた。

【研究結果・考察】

図1(a) 内の赤線はECH波強度を、図1(b) 内の赤線はコーラス波強度の時間変化を示す。図1(a)、1(b) 内の青線はどちらも4.8 keVのロスコーン内の電子フラックスを示す。この期間のECH波との相互相関係数は0.42であるのに対して、コーラス波は−0.053であり、ECH波の方が相対的に大きく統計的にも有意であった。他のエネルギーに対しても相互相関係数を計算した (図1(c))。その結果、ECH波は約5 keVの電子を、コーラス波は約9 keVの電子をロスコーン内に散乱し電離圏に降下させていることが示唆された。

OFAによって観測されたECH波が5 keVの電子をロスコーン内に拡散することができるかを調べるために、ピッチ角拡散係数を計算した。その結果、電子温度を1 eV、ECH波の伝搬角を87.5° という条件下において、5 keVの電子に対するピッチ角拡散係数が他のエネルギーのピッチ角拡散係数よりも大きくなり、今回の解析結果を説明することができることが分かった。また、LEP-eによって観測された5 keVの電子フラックスは明るさ約4 kRのオーロラ発光に寄与することがモデル計算により確かめられた。

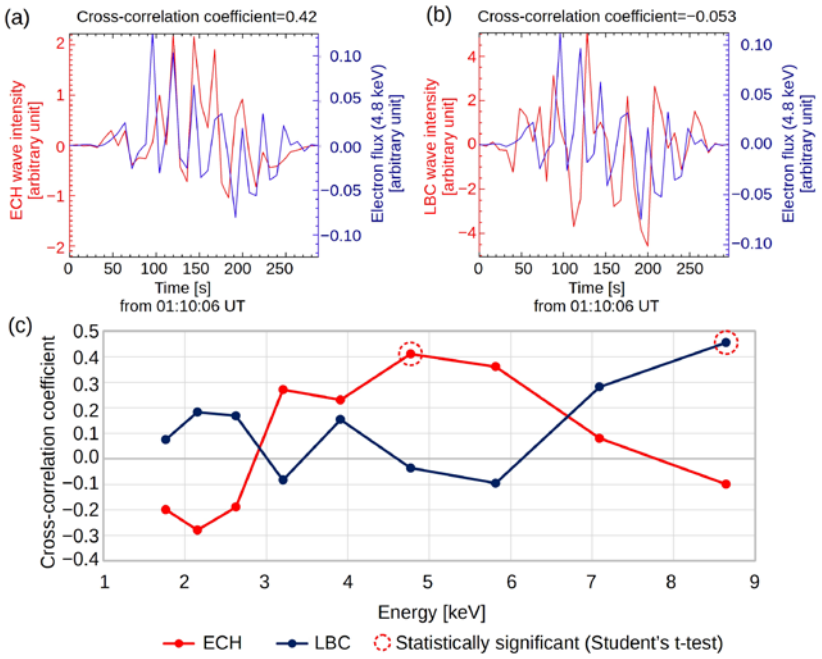


図 1 (a) ECH 波強度（赤線）と 4.8 keV のロスコーン内の電子フラックス（青線)。(b) コーラス波強度（赤線）と 4.8 keV のロスコーン内の電子フラックス（青線)。(c) ロスコーン内の電子フラックスと ECH 波との相互相関係数（赤線）およびロスコーン内の電子フラックスとコーラス波との相互相関係数（青線)。

【引用文献】

Fukizawa, M., Sakanoi, T., Miyoshi, Y., Hosokawa, K., Shiokawa, K., & Katoh, Y. (2018). Electrostatic Electron Cyclotron Harmonic Waves as a Candidate to Cause Pulsating Auroras. *Geophysical Research Letters*, *45*(12), 661–668. https://doi.org/10.1029/2018GL080145

Miyoshi, Y., Saito, S., Seki, K., Nishiyama, T., Kataoka, R., Asamura, K., et al. (2015). Relation between energy spectra of pulsating aurora electrons and frequency spectra of whistler-mode chorus waves. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 1–9. https://doi.org/10.1002/2015JA021562.

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】

M. Fukizawa, T. Sakanoi, Y. Miyoshi, Y. Kazama, Y. Kasahara, S. Matsuda, S-Y. Wang, and S.W.Y. Tam, Low Energy Electron Precipitation Caused by Electrostatic Electron Cyclotron Harmonic Waves Based on Arase Observations, AGU 2019 Fall Meeting, San Francisco, CA, USA, 2019/12/13 (poster)

（他、口頭発表1件、ポスター発表2件）

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1年
指導教員：渡邉恭子、防衛大学校・理工学研究科・准教授

太陽フレアにおいては、マイクロ波からガンマ線まで、様々な電磁波の増光が観測される。これらの放射のうち特にEUVやX線は、地球電離圏の電子密度を急激に変化させ、通信障害現象であるデリンジャー現象を引き起こすことが知られている。このためデリンジャー現象の予測にはこれらの電磁波の観測が必要であるが、EUV領域のスペクトル観測は観測機器が運用されていた期間に限られている。最近では、SDO/EVE MEGS-Aが2010年4月から観測を始めたが、CCDの電源の故障により2014年5月に観測を終了している。このように太陽フレアのEUV放射スペクトルデータは限られており、デリンジャー現象の予測には用いることができないため、常に観測されているX線の観測データなどから太陽フレア放射スペクトルを再現する予測モデルが構築されている。現在、最も広く使用されているモデルはFlare Irradiance Spectral Model (FISM)[1,2]であるが、FISMは経験則に基づいたモデルであるため、フレア放射の物理過程を理解することはできない。そこで本研究では、太陽フレア放射の物理過程が明確な数値計算モデルを用いて太陽フレアスペクトルの予測モデルの構築を目指している。

我々のモデルでは、CANS1Dパッケージ[3]を用いた1次元流体力学計算とCHIANTI原子データベース[4]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て太陽フレアEUV・X線放射を求めている(以下、CANS+CHIANTI)[5,6]。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33イベントについて、このCANS+CHIANTIを用いて太陽フレア放射スペクトルを求め、観測値との比較を行った。まずスペクトルの比較を行ったところ、CANS+CHIANTIの計算結果は太陽フレア発生時のEUV放射の時間積算スペクトルをよく再現していた（図1)。また、いくつかのEUVラインの立ち上がり時間についても調べたところ、良い相関が得られていた。FISMで予測精度が低い140Å以下の波長のEUV放射エネルギーを観測値と比較した結果、FISMは観測値の半分以下のエネルギー量であったが、CANS+CHIANTIは観測値をよく再現していることが分かった（図2)。以上の結果より、我々のCANS+CHIANTIのモデルは、観測されたEUV放射スペクトルを良く再現していることが分かった。

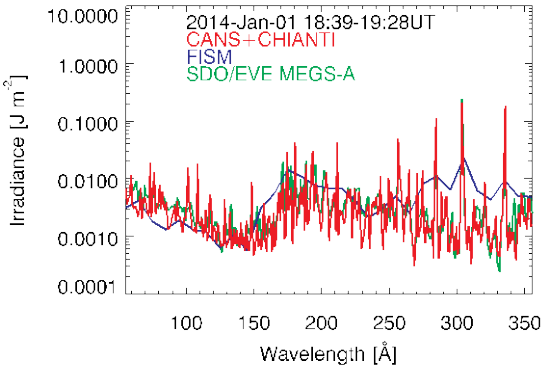


図1　2014年1月1日に発生したM9.9クラスフレアの積算スペクトル．積算時間はフレア開始時から終了時間．

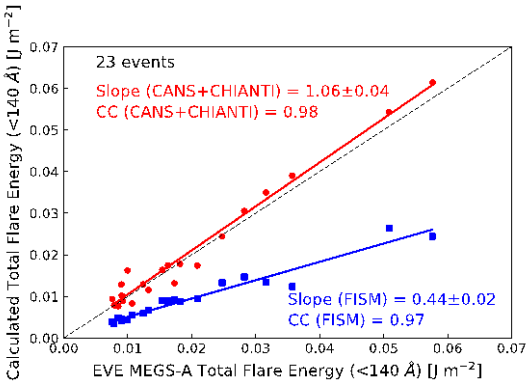


図2　フレアにおけるEUV放射エネルギー(<140Å)の数値計算モデル(CANS+CHIANTI, FISM)の値と観測値(SDO/EVE)との比較．

参 考 文 献

（1） Chamberlin, P. C., Woods, T. N. & Eparvier, F. G., 2007, Space Weather, 5, 7, S07005

（2） Chamberlin, P. C., Woods, T. N. & Eparvier, F. G., 2008, Space Weather, 6, 5, S05001

（3） Coordinated Astronomical Numerical Software; http://www-space.eps.s.u-tokyo.ac.jp/~yokoyama/etc/cans/

（4） Dere, K. P., Del Zanna, G., Young, P. R., et al., 2019, ApJS, 241, 22

（5） Imada, S., Murakami, I., & Watanabe, T., et al., 2015, Physics of Plasma, 22, 101206

（6） Kawai, T., Imada, S., Nishimoto, S., et al., 2020, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, under review

成 果 発 表

1. Shohei Nishimoto, Kyoko Watanabe, Shinsuke Imada, Tomoko Kawate, Kyoung-Sun Lee, “Statistical and observational research of solar flare for constructing total emission spectra prediction model”, JpGU Meeting 2019, Makuhari Messe, Chiba, Japan, 2019 May 26 – 30
2. Kyoko Watanabe, Shohei Nishimoto, Shinsuke Imada, Tomoko Kawate, Kyoung-Sun Lee, "Statistical and Observational Research of Solar Flare Spectra for Total Emission Spectra Prediction Model", AOGS 16th Annual Meeting, Singapore, 2019 June 28 – August 2
3. Shohei Nishimoto, Kyoko Watanabe, Shinsuke Imada, Toshiki Kawai, Tomoko Kawate, Kyoung-Sun Lee, “Construction of Solar Flare EUV Emission Spectral Prediction Model’’, East-Asia School and Workshop on Laboratory, Space, and Astrophysical Plasmas, Nagoya University, 2019 July 29 – August 2
4. Shohei Nishimoto, Kyoko Watanabe, Shinsuke Imada, Toshiki Kawai, Tomoko Kawate, Kyoung-Sun Lee, “Construction of Solar Flare EUV Emission Spectral Prediction Model’’, Hinode-13, The University of Tokyo, Japan, 2019 September 2 – 6
5. 西本将平, 渡邉恭子, 今田晋亮 , 河合敏輝, 川手朋子, Kyoung-Sun Lee, "太陽フレア EUV 放射スペクトル予測モデルの構築", 日本天文学会 2019 年秋季年会, 熊本大学黒髪キャンパス, 2019 年 9 月 11 – 13 日
6. Shohei Nishimoto, Kyoko Watanabe, Shinsuke Imada, Toshiki Kawai, Tomoko Kawate, Kyoung-Sun Lee, “Statistical and Observational Research of Solar Flare EUV Spectra and Geometrical Features for Predicting Total Flare Emission Spectra’’ 2019 AGU fall meeting, San Francisco, USA, 2019 December 9 – 13
7. Shohei Nishimoto, Kyoko Watanabe, Shinsuke Imada, Toshiki Kawai, Tomoko Kawate, Kyoung-Sun Lee, “Validation of EUV dynamic spectra during solar flare’’, PSTEP-4, Nagoya University, Japan, 2020 January 28 – 30
8. Kyoko Watanabe, Shohei Nishimoto, Shinsuke Imada, Toshiki Kawai, Mitsuru Matsumura, Tomoko Kawate, Kyoung-Sun Lee, Hidekatsu Jin, “Solar flare EUV spectra and effect to the Earth’s atmosphere’’, PSTEP-4, Nagoya University, Japan, 2020 January 28 – 30
9. 西本将平, 渡邉恭子, 今田晋亮, 河合敏輝, 川手朋子, Kyoung-Sun Lee, "観測データを用いた太陽フレア多波長スペクトルモデルの検証", 太陽研連シンポジウム, 国立天文台, 2020 年 2 月 17 - 18 日
10. 西本将平, 渡邉恭子, 今田晋亮, 河合敏輝, 川手朋子, Kyoung-Sun Lee, "観測データによる太陽フレア EUV 放射スペクトルモデルの検証", 日本天文学会 2020 年春季年会, 筑波大学筑波キャンパス, 2020 年 3 月 16 - 19 日

６.研究集会 目次詳細

（所属・職名は2020年3月現在）

（注1）：新型コロナウイルスの影響で中止
（注2）：新型コロナウイルスの影響で2020年度に延期し実施
（注3）：新型コロナウイルスの影響で2020年度に延期し中止

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
谷本浩志	国立環境研究所	地球環境研究センター	地球大気化学研究室 室長	大気化学討論会	226	
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	234	
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		（注1）
稲津　將	北海道大学	大学院理学研究院	教授	グローバルスケールとメソスケールを貫く気象学	236	
大塚雄一	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	准教授	シンポジウム　－　太陽地球環境研究の現状と将来	238	
南　雅代	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	准教授	第32回（2019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		（注1）
横山央明	東京大学	理学系研究科	准教授	ひので科学/実験室宇宙分野横断プラズマ科学合同会議	243	
伊藤彰記	海洋研究開発機構	気候モデル高度化研究プロジェクトチーム	主任研究員	大気エアロゾル降下物とその生物地球化学的循環と気候への影響	245	
三好隆博	広島大学	大学院理学研究科	助教	STEシミュレーション研究会：計算プラズマ物理の新潮流	246	
エコ　シスワント	海洋研究開発機構	地球環境観測研究開発センター	研究員	第7回アジア海色ワークショップ「第16回日韓海色ワークショップ」の開催	247	
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	249	
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		（注1）
加藤千尋	信州大学	理学部	教授	太陽地球環境と宇宙線モジュレーション		（注1）
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	251	
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	電磁圏物理学シンポジウム		（注1）
大村善治	京都大学	生存圏研究所	教授	第9回VLF/ELF電波による電離圏・磁気圏リモートセンシング研究集会	252	（注2）
永岡賢一	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	253	
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		（注1）

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
細川敬祐	電気通信大学	大学院情報理工学研究科	准教授	脈動オーロラ研究集会	255	
飯田佑輔	関西学院大学	理工学部	契約助手	太陽観測データにおける特徴検出ワークショップ2019	257	
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	259	
竹見哲也	京都大学	防災研究所	准教授	台風セミナー2019	262	
渡邉智彦	名古屋大学	大学院理学研究科	教授	第9回実験室・宇宙・天体プラズマに関する東アジアスクールとワークショップ	264	
三澤浩昭	東北大学	大学院理学研究科	准教授	第21回　惑星圏研究会	266	
中野慎也	情報・システム研究機構	統計数理研究所	准教授	宇宙地球環境の理解に向けての統計数理的アプローチ	268	
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衛星粒子観測データ解析ワークショップ	270	
一本潔	京都大学	大学院理学研究科附属天文台	教授	太陽研連シンポジウム	272	
高橋暢宏	名古屋大学	宇宙地球環境研究所飛翔体観測推進センター	教授	JpGUセッション「地球惑星科学における航空機観測利用の推進」	274	
藤木徹一	海洋研究開発機構	地球環境観測研究開発センター　海洋生態系動態変動研究グループ	主任技術研究員	水圏クロロフィル蛍光に関する知識統合と研究戦略 2		（注1）
尾形友道	海洋研究開発機構	アプリケーションラボ	研究員	インド洋/太平洋域における海洋循環/環境応用に関する研究集会	276	
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	水星探査の視点から見た惑星磁気圏研究	278	
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)		（注1）
今田晋亮	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	講師	太陽サイクル25において行うべき太陽地球科学	279	
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	281	
細川佳志	東北大学	ニュートリノ科学研究センター	研究員	宇宙素粒子若手の会　2019年秋の研究会	286	
西谷　望	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	准教授	国内SuperDARN活動の現状と将来に関する研究集会	287	
篠原　育	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	准教授	複数衛星観測によるジオスペース探査	292	（注2）
田島宏康	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授	宇宙プラズマにおける粒子加速ワークショップ	293	
小池　真	東京大学	大学院 理学系研究科地球惑星科学専攻	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	295	

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
長妻　努	情報通信研究機構	経営企画部　企画戦略室	プランニングマネージャー	SuperDARN ワークショップ2019	297	
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		（注1）
久保勇樹	情報通信研究機構	電磁波研究所　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)	312	
田中良昌	国立極地研究所	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	313	
町田敏暢	国立環境研究所	地球環境研究センター	室長	陸別ユーザーズミーティング	315	
松田昇也	宇宙航空研究開発機構	宇宙科学研究所	宇宙航空プロジェクト研究員	あらせ衛星の電場・プラズマ波動観測データを用いた解析ワークショップ	317	（注2）
北川浩之	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授	第8回東アジア加速器質量分析シンポジウム	318	
加藤雄人	東北大学	大学院理学研究科	教授	ERGミッションによる内部磁気圏波動粒子相互作用の観測戦略検討会	320	
持田陸宏	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授	iLEAPS/IGAC-Japan合同研究集会2019	322	
水野亮	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授	NDACC サイエンスワークショップ　in つくば	323	
篠原　学	鹿児島工業高等専門学校	一般教育科	教授	地域ネットワークによる宇宙天気の観測・教育活動に関する研究集会		（注1）
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	325	
齋藤義文	宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所	太陽系科学研究系	教授	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計画	327	（注2）
相木秀則	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	准教授	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		（注1）
市川　香	九州大学	応用力学研究所	准教授	小型飛翔体による海象観測； 海洋『研究』に小型衛星は(本当に)必要か？	329	
石川久美	宇宙科学研究所	太陽系科学研究系	宇宙航空プロジェクト研究員	地球磁気圏撮像観測に関する研究会	331	
村山泰啓	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	研究統括	科学データ研究会	333	
熊本篤志	東北大学	大学院理学研究科	准教授	2019年外惑星磁気圏国際会議	334	
草野完也	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授	第2回ISEE国際シンポジウム： PSTEP-4 科学研究と社会基盤としての太陽地球圏環境予測	336	

大気化学討論会
Symposium on Atmospheric Chemistry

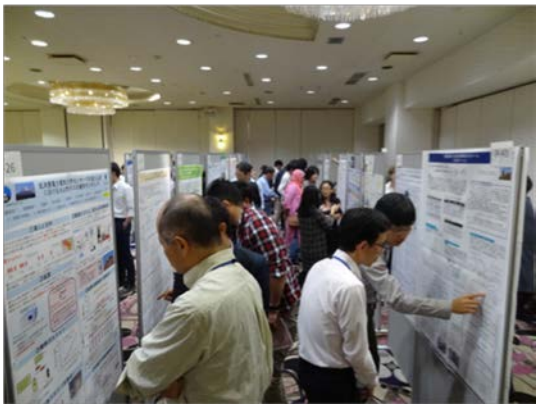
谷本浩志、国立環境研究所・地球大気化学研究室

2019年11月5日～7日、愛知県蒲郡市のホテル明山荘において、第24回大気化学討論会を開催しました。2018 joint 14th iCACGP Quadrennial Symposium and 15th IGAC Science Conference (iCACGP-IGAC2018国際会議)の日本開催年となった2018年は大気化学討論会を開催しなかったので、2017年の第23回（高松）以来となります。また、伝統であった合宿形式が2013年を最後に久しく開催されていなかったため、会員の多い名古屋大学が主管となった今回の大気化学討論会は、合宿形式での開催となりました。なお、名古屋大学が主管となった大気化学討論会は、2000年の第6回（鳥羽）、2007年の第13回（名古屋大学東山キャンパス）に続き、3回目となります。

今回は一般69名、学生25名の合計94名が参加され、3日間にわたって活発な発表と議論が行われました。口頭発表は招待講演1件を併せた計29件で、いずれの発表においても時間枠いっぱいまで活発な質疑応答が展開されました。なお、学会特別企画として日本学術会議が公募している大型研究に関する特別セッションを6日午後に開催し、招待講演として、東京大学の小池真准教授に「航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進」計画に関してご紹介していただきました。また52件を数えたポスター発表では、3日間に渡る掲示を許容出来たこともあって、コアタイムのみならず休憩時間等においても、参加者どうしが活発に議論する様子が随所で見受けられました。また、恒例となった学生優秀発表賞は、3名が受賞されました。

本討論会では、合宿形式恒例の「ナイトセッション」を5日および6日の各夜に開催し、世代を超えた熱い議論が深夜まで展開される様子が見られました。日本の大気化学研究のアクティビティの高さとさらなる発展の可能性を感じさせる討論会となりました。

口頭講演の様子



ポスター講演の様子

第24回大気化学討論会　口頭発表プログラム

2019年11月5日（火）

時間	講演番号	タイトル	発表者
13:00 ー 13:10	開会挨拶・LOCアナウンス		
短寿命気体観測　座長：藤縄 環			
13:10 ー 13:30	K-1-1	バイオマスバーニングプルームのキャラクタリゼーション：スカイラジオメーターとMAX-DOASによる同時観測	入江 仁士
13:30 ー 13:50	K-1-2	2地点MAX-DOAS観測とドップラーライダーの風観測を統合したNO2の時空間変動要因解析	植木 洸亘
13:50 ー 14:10	K-1-3	雷により生成する窒素酸化物(LNOx)の地上観測	和田 龍一
14:10 ー 14:30	K-1-4	Long-term vertical profiling of ozone over the Central Himalayas	Naja Manish
14:30 ー 14:50	休憩(20分)		
エアロゾルⅠ　座長：木名瀬 健			
14:50 ー 15:10	K-1-5	航空機からのナノ粒子排出特性	竹川 暢之
15:10 ー 15:30	K-1-6	極域対流圏中の海塩・ハロゲンサイクル	原 圭一郎
15:30 ー 15:50	K-1-7	Hygroscopic properties of water-soluble matter in atmospheric submicrometer aerosol collected in Okinawa	DENG Yange
15:50 ー 16:10	K-1-8	海洋地球研究船「みらい」での大気観測データと大気化学輸送モデル「IMPACT」を用いた氷晶核の起源推定	伊藤 彰記
16:10 ー 16:20	休憩(10分)		
16:20 ー 18:20	ポスターセッション（120分，前半：奇数番号、後半：偶数番号）		
18:20 ー 19:00	自由時間（入浴など）		
19:00 ー 21:00	夕食		
21:00 ー 23:00	ナイトセッション		

2019年11月6日(水)午前

時間	講演番号	タイトル	発表者
8:55 ー 9:00	LOCアナウンス		
長寿命気体・成層圏観測　座長: 森本 真司			
9:00 ー 09:20	K-2-1	湖沼のMethane Paradoxの説明に「酸化環境下のメタン生成」は本当に必要なのか？: 同位体比を指標に用いた検証	角皆 潤
9:20 ー 09:40	K-2-2	対流圏二酸化炭素の高精度三酸素同位体異常定量法開発	常川 駿
9:40 ー 10:00	K-2-3	大気中アルゴン濃度の高精度観測に基づく海洋貯熱量および大気拡散分離の評価	石戸谷 重之
10:00 ー 10:20	K-2-4	南極春季極渦内における塩素化合物の変動と化学反応について	中島 英彰
10:20 ー 10:40	休憩(20分)		
衛星観測・モデル　座長: 染谷 有			
10:40 ー 11:00	K-2-5	ひまわり8号データを用いたGOSAT衛星の雲判定精度の検証	北村 克樹
11:00 ー 11:20	K-2-6	GOSAT 及びGOSAT-2 短波長赤外プロダクト検証の進捗状況	森野 勇
11:20 ー 11:40	K-2-7	高解像度モデルによる複雑地形上での移流拡散シミュレーションの再現特性について	関山 剛
11:40 ー 13:00	昼食休憩(1時間20分)		

2019年11月6日(水)午後

エアロゾル II　座長: 森野 悠			
13:00 – 13:20	K-2-8	Barrowにおける BC粒子の湿性沈着フラックスの季節変動	森 樹大
13:20 – 13:40	K-2-9	極域黒色炭素の起源と沈着除去過程の評価	大西 貴都
13:40 – 14:00	K-2-10	黒色炭素(BC)エアロゾル濃度の季節変化、及び北極域への輸送の解析	山下 陽介
14:00 – 14:20	K-2-11	日中・夜間における富士山頂での新粒子生成イベントの観測	五十嵐 博己
14:20 – 14:35	休憩(15分)		
14:35 – 15:15	総会・奨励賞受賞講演		
学会特別企画: 大型研究公募提案について*　座長: 谷本 浩志			
15:15 – 15:35	S	航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進: 大型研究マスタープラン2020への提案	小池 真
15:35 – 17:35	ポスターセッション(120分, 前半: 奇数番号、後半: 偶数番号)		
17:35 – 19:00	自由時間(入浴など)		
19:00 – 21:00	懇親会		
21:00 – 23:00	ナイトセッション		

2019年11月7日（木）

時間	講演番号	タイトル	発表者
8:55 － 9:00	LOCアナウンス		
発生源と影響評価　座長：斉藤 拓也			
9:00 － 09:20	K-3-1	日本の主要樹木由来のギ酸と酢酸の放出スクリーニング測定	望月 智貴
9:20 － 09:40	K-3-2	日本全国地方自治体の空気キレイ度の定量化	佐藤 知紘
9:40 － 10:00	K-3-3	メタン削減による大気汚染・温暖化抑制効果の評価	須藤 健悟
10:00 － 10:20	K-3-4	日本における廃棄物由来メタンの限界排出削減費用：制度等の現状を踏まえた全国レベルでの削減費用の検証	山田 大地
10:20 － 10:30	休憩(10分)		
エアロゾル III　座長：持田 陸宏			
10:30 － 10:50	K-3-5	観測事実に基づく金属―有機配位子の大気液相反応に関する研究	坂田 昂平
10:50 － 11:10	K-3-6	Laboratory online analysis of organic aerosol using a thermal desorption–proton transfer reaction–mass spectrometer	Sathiyamurthi RAMASAMY
11:10 － 11:30	K-3-7	エアロゾル中のテルペン由来過酸化物の分解メカニズム	江波 進一
11:30 － 11:50	K-3-8	オゾン生成に対するOHラジカル未知反応性およびエアロゾルのHOxラジカル取り込みの影響	河野 七瀬
11:50 － 12:10	K-3-9	HO_2ラジカルの大気エアロゾルへの取り込み速度の測定	坂本 陽介
12:10 － 12:25	閉会式・学生優秀賞の発表・表彰		
解散			

第24回大気化学討論会　ポスター発表一覧

ポスター番号	タイトル	発表者
P-01	北極域におけるブラックカーボンの航空機観測	岩田 拓己
P-02	東アジア域の人為起源ブラックカーボン排出量の検証	池田 恒平
P-03	中国からのブラックカーボン排出量急減：長崎県福江島における10年間観測からの証拠	金谷 有剛
P-04	夏季の富士山および東京スカイツリーで捕集されたブラックカーボン粒子の形態と混合状態	市毛 友彬
P-05	有機エアロゾル蒸発速度の数値モデリング	森野 悠
P-06	Characterization of organic aerosol in a cold-temperate forest area of Japan	Afsana Sonia
P-07	Characterization of fractionated organic aerosol components using FT-IR: one-year sampling Results from Beijing aerosol	周 瑞辰
P-08	長崎における大気エアロゾル中のイミダゾール類の分析	新 拓実
P-09	SPES法を用いた単一粒子の光学特性の推定と福江島における観測への応用	高砂 裕也
P-10	大気エアロゾル粒子に観られる硫酸塩粒子の形態と 室内実験による再現	上田 紗也子
P-11	金属元素及び半金属元素を主体とするエアロゾルの 大気中濃度と存在形態	木名瀬 健
P-12	筑波実験植物園におけるきのこ胞子の飛散観測	石塚 正秀
P-13	Seasonal variation and controlling factors of aerosol acidity in Nagoya	Qinping Song
P-14	2018-2019年の東京スカイツリーにおける雲凝結核の測定	横山 晶美
P-15	全球大気光化学場における雲分布の役割	松田 涼樹
P-16	大気二次汚染物質を対象とした大気質モデル間相互比較	山地 一代

P-17	Implementation of HONO chemistry into a chemistry-climate model CHASER and its impacts on tropospheric chemistry	HA Thi Minh Phuc
P-18	超小型テラヘルツ火星探査機（TEREX-1)の観測感度解析	髙橋 幸大
P-19	超小型テラヘルツ波センサ受信機サブシステムの開発	中川 真秀
P-20	東南アジアにおける衛星観測とCTMを用いたNH_3の変動解析	桐山 悠祐
P-21	TANSO-FTS-2/GOSAT-2熱赤外バンドデータによる各種大気微量成分導出可能性の検討	染谷 有
P-22	大気微量分子観測用多周波ミリ波分光放射計の開発	水野 亮
P-23	夏季北太平洋亜寒帯域の大気・海水のDMSとCO_2の経度分布	永尾 一平
P-24	乾季の東部インド洋における大気汚染物質の変動	川本 雄大
P-25	小型センサを用いた長崎・雲仙岳周辺でのPM2.5の高度依存性の観測	中山 智喜
P-26	低消費電力電気化学センサーでの富士山頂における火山性ガスの越冬モニタリング	加藤 俊吾
P-27	C2クリーギー中間体が関与する大気反応過程の研究	川越 博之
P-28	cis/trans-2-buteneおよび3-hexeneのオゾン反応からのアルカン生成　ー低圧での測定結果-	内田 里沙
P-29	粒子状有機硝酸全量測定に対する共存物質による干渉の検証	松本 淳
P-30	都市域上空における航空機搭載型差分吸収計によるNO_2カラム量の導出	藤縄 環
P-31	2013-2018年に千葉で観測された 窒素酸化物、VOC、対流圏オゾン濃度のトレンド	米川 大地
P-32	FTIR観測によるつくばにおけるCOの経年変化	鈴木 大将
P-33	日本における気温変動と地表オゾン濃度の相関	永島 達也
P-34	実大気観測におけるオゾン反応性全量への個別成分寄与の評価	松本 淳

P-35	対流圏オゾンの三酸素安定同位体組成定量	許 昊
P-36	降水用自動サンプラーの試作及びこれを用いた短時間化学組成変化の定量化	嶺野 雄登
P-37	都市大気中二酸化窒素および亜硝酸ガスの三酸素同位体組成の時間変化	中川 書子
P-38	アジアにおけるNH3排出インベントリとその不確実性要因	黒川 純一
P-39	中国の農業残渣焼却がNOx放出量に与える影響分析	呂 暁萍
P-40	下水処理施設の活性汚泥由来の亜硝酸ガス発生量測定と 発生メカニズムに関する研究	峰島 知芳
P-41	つくばFTIRで観測されたNH_3の2018, 2019年増大イベント	村田 功
P-42	高分解能FTIRによる大気汚染関連物質の変動解析	長濵 智生
P-43	温室効果ガス等測定用標準ガススケール （NIESスケール）	笹川 基樹
P-44	気象庁におけるレーザー分光法を用いたメタンおよび二酸化炭素の新較正装置	石島 健太郎
P-45	南鳥島における大気中二酸化炭素の濃度および安定同位体比の変動	村山 昌平
P-46	南太洋における大気中O2/N2比及びCO2濃度の連続観測	森本 真司
P-47	Combined ship and aircraft-based validation of satellite CO_2 observations over the open oceans – initial results	Astrid Müller
P-48	上部対流圏のメタンの季節・季節内変動について	江口 菜穂
P-49	波照間で観測されたメタンとエタンの関係	斉藤 拓也
P-50	大気中酸素濃度の観測に基づく全球炭素収支の長期変化の推定	遠嶋 康徳
P-51	質量比混合法により調製された高精度酸素標準ガスを用いた巡回比較実験	青木 伸行
P-52	北半球における対流圏N_2O安定同位体組成の長期変動	豊田 栄

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」を開催した。この研究集会では、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、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。

この成果をふまえて、本年度は観測データの解析結果を中心に、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企画した。そして前年度と同様、集約した知見をもとに7月に予定されていた長崎大学練習船・長崎丸による東シナ海観測航海の具体的な計画を策定した。

【研究集会の成果】

研究集会は、2019年６月２日（日）・３日（月）に、宇宙地球環境研究所共同館Iの717号室にて開催された。長崎大学練習船・長崎丸への乗船者（遠藤・石坂・張・近藤・吉江）を中心とする、九州大学２名、長崎大学１名、愛媛大学２名、富山大学２名、名古屋大学８名の計１５名が参加した。

一日目は、7月に予定されていた長崎大学練習船・長崎丸による東シナ海観測航海を念頭において、東シナ海陸棚斜面上の黒潮フロント渦に伴う栄養塩輸送ならびに植物プランクトン分布に関する観測結果（吉江）、過去に東シナ海で行われた黒潮フロント渦の断面観測の結果（石坂）、東シナ海における鉄の化学的な存在形態に関する観測結果ならびにクリーン採水による新たな研究の可能性（近藤）について、講演発表が行われた。これらの講演発表ならびに質疑応答の内容を踏まえて、観測航海の具体的な計画を議論した（遠藤）。黒潮の上流から下流にかけて陸棚斜面を横切る３本の測線を設け、半日に一測線ずつ、一測線当たり合計２回の定線観測を実施する計画を立案した。さらに、海底に設置した音響ドップラー流速プロファイラーの近傍で、乱流微細構造プロファイラー、および、水中紫外線硝酸塩アナライザー・多波長励起蛍光光度計を用いた時系列観測を実施することや、定線観測点でのCTD観測の結果をもとに数点を選び、ケブラーロープウインチを用いたクリーン採水、および、マルチコアサンプラーを用いた採泥を実施することが決定された。

二日目は、まず松野（九州大学）に、先代の長崎丸による東シナ海陸棚縁辺域での観測で明らかにされた成果や、未解決のまま残されている課題を紹介して頂いた。続いて、東シナ海への黒潮の入り口にあたる、台湾東沖での栄養塩濃度の季節変動なら

びにその下流への影響に関する数値シミュレーション（郭）、海面高度や水温だけでなく塩分の時空間変動を考慮したデータ同化システム（大石）、セシウム同位体比を用いた西部北太平洋と縁辺海との間の物質輸送の推定（張）について講演発表が行われた。このように、物理・化学・生物各分野の素過程に関する研究に加えて、物理場と基礎生産・生物生産の関係に注目した学際的な研究(詳細はプログラム参照のこと)に関する合計７件の講演発表があり、有意義な情報交換が行われた。

実際に行われた観測航海では、梅雨前線通過に伴う悪天候や測器の不具合のため、時系列観測の一部を割愛せざるを得なかったものの、定線観測についてはほぼ計画通りに実施することができた。次年度に予定している研究集会では、その成果について活発な議論が行われるものと期待される。

【研究集会プログラム】

6月2日（日）14:00～17:30

14:00-14:10　趣旨説明　遠藤 貴洋（九大応力研）・石坂 丞二（名大宇地環研）

14:10-14:40　○吉江 直樹、加部 晏諒、大城 一輝（愛媛大CMES）、堤 英輔（東大大海研）、武田 重信（長大水産・環境）、郭 新宇（愛媛大CMES）
Nutrient and phytoplankton dynamics in the continental slope region of the East China Sea associated with the Kuroshio frontal eddy

14:40-15:10　石坂 丞二（名大宇地環研）
1999 年・2000 年の東シナ海フロント渦断面観測

15:10-15:40　近藤 能子（長大水産・環境）
東シナ海における鉄の化学的存在形態

15:40-16:00　休憩

16:00-17:30　遠藤 貴洋（九大応力研）
今年度の長崎丸観測計画について

6月3日（月）10:00～12:00

10:00-10:30　松野 健（九大応力研）
長崎丸（３代目）による東シナ海の観測

10:30-11:00　郭 新宇（愛媛大CMES）
台湾東部における栄養塩濃度の時間変化と影響範囲

11:00-11:30　○大石 俊（名大宇地環研）・日原 勉（JAMSTEC）・相木 秀則・石坂 丞二（名大宇地環研）・宮澤 泰正（JAMSTEC）・可知 美佐子（JAXA）
塩分の時空間変動を考慮した高解像度海洋データ同化システムの構築

11:00-12:00　○張 勁、祝 嗣騰（富山大・院理工）、神林 翔太（福島大）、松野 健（九大応力研）、堤 英輔（東大大海研）、武田 重信（長大水産・環境）、井上 睦夫、長尾 誠也（金沢大・環日本海研究セ）、髙山 勝巳（九大応力研）、小川 浩史、安田 一郎（東大大海研）
Material transport between the marginal seas and western North Pacific using Neodymium and Radiocesium isotopes

グローバルスケールとメソスケールを貫く気象学
Meteorology across global to mesoscales

稲津　將、北海道大学・大学院理学研究院

2019年9月27日（金）に，「グローバルスケールとメソスケールを貫く気象学」研究集会を北海道大学理学部8号館309号室において開催した．この研究集会の目的は、それぞれ独自に発展してきたグローバル気象とメソスケール気象の研究内容および人的な交流も目的とし、相互に強く作用し合うグローバルスケールとメソスケールの気象現象について、観測、統計解析、およびモデリングなど手法を問わず、また気候変動適応の観点も含めて、現状の課題について議論しようというものである。2018年度にも9月に北海道大学で開催を予定していたが、開催前日に北海道胆振東部地震の影響で中止となっていた。今回は2014年度、2015年度に続いて通算で3回目の開催である。

研究集会には、大学や研究所など10の組織から23名の参加があった。また、レーダ観測、全球モデルや領域モデル、将来気候実験の結果の解析とその農業分野への適用事例の紹介など、合計で12件の講演があった。本研究集会における講演のタイトルと講演者を下に示す。研究集会の参加者は概ね気象学会に所属しているが、普段の学会期間中は平行した異なるセッションに参加し、発表していることが多い。このようなメンバーが同一の研究集会で発表し、議論を行うことで、専門用語や研究の方向性などについて、理解の共通化を図ることに貢献できたのではないかと考える。今後も、数年間にわたって、このような分野間を結ぶような研究集会を行っていくことで、お互いの研究分野の課題を理解し、新しい研究課題の開拓を行っていきたい。

1. 村上貴一（農研機構北海道農業研究センター）・広田知良
   北海道冬季厳寒条件における気象予測の研究
2. 下田星児（農研機構北海道農業研究センター）・濱嵜孝弘・西尾善太・村上貴一・小南靖弘・広田知良
   北海道の小麦生産増加に対するオホーツク海高気圧の寄与と地域メソスケール気象から提案しうる農業適応策
3. 加藤雅也（名古屋大学）
   雲解像モデルと分布型降雨流出モデルを用いた日々の河川流量シミュレーション
4. 横山千恵（東京大学）・高薮縁・荒川理・尾瀬智昭
   初夏の日本付近における将来の降雨特性変化の推定－GPM衛星観測とCMIP5マルチ気候モデル予測を組み合わせて－
5. 金田幸恵（名古屋大学）・坪木和久・高薮出
   日本東海上を北上する台風の将来変化予測実験

6. 川瀬宏明（気象研究所）・宮坂貴文・今田由紀子・仲江川敏之
地球温暖化に伴う日本の極端降水の変化とその要因分析
7. 本田明治（新潟大学）・春日悟・山崎哲・川瀬宏明・山根省三
寒冷渦：グローバル現象とローカル現象をつなぐ架け橋
8. 川添祥（海洋研究開発機構）
日本における竜巻発生の環境場検証と将来変化予測
9. 辻野智紀（北海道大学）・郭鴻基・尤虹叡・坪木和久
夏季の台北盆地における熱雷の組織化に対する対流圏中層の水蒸気と水平風の役割：2018 年 6 月 30 日の事例
10. 稲津將（北海道大学）
海面気圧エミュレータと気圧・降水変換器
11. 篠田太郎（名古屋大学）・大東忠保・山田広幸・皆巳幸也・坪木和久
Ka 帯偏波レーダで観測される KDP 極大領域の時間変化が示すもの
12. 久保田尚之（北海道大学）
フィリピン　マニラに豪雨をもたらす大気循環場

写真　「グローバルスケールとメソスケールを貫く気象学」研究集会の様子

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

大塚　雄一　名古屋大学宇宙地球環境研究所・電磁気圏研究部

本研究集会は、名古屋大学宇宙地球環境研究所の大学院生を幹事として、2019年9月4日から9月6日にかけて3日間、国立中央青少年交流の家（静岡県御殿場市）で開催された。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45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、4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、http://www.isee.nagoya-u.ac.jp/~fujii_ryo/index.htmlにて集録を公開している。

<スケジュール>

9/4 (水)
14:30~15:00　開校式
15:00~17:00　招待講演
1. 学術論文を書いてあなたの業績を科学界に残しましょう
塩川　和夫（名古屋大学宇宙地球環境研究所教授）
2. 能動型電波センサによる宇宙からの地球観測
大木　真人（宇宙航空研究開発機構研究開発員）
20:00~22:30　懇親会

9/5 (木)
9:00~11:00　口頭セッション
11:00~13:00　昼食：野外炊事
13:30~16:30　レクリエーション
20:00~22:30　懇親会

9/6 (金)
9:00~11:00　口頭セッション
11:00~11:30　閉校式

<セッション>
研究集会2日目及び3日目には、4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

日時	名前	学年	タイトル
5日 09:00-09:20	伊藤 大輝	M2	Flux decrease of outer radiation belt electrons associated with solar wind pressure pulse: A Code coupling simulation of GEMSIS RB and GEMSIS GM
5日 09:20-09:40	入江 陽仁	B4	ニューラルネットワークによるデータ解析
5日 09:40-10:00	千葉 翔太	M1	電波掩蔽観測による太陽コロナの準周期変動と太陽活動度による依存性
5日 10:00-10:20	宮本 太志朗	M2	高エネルギー電子降下によるオーロラの形態変化とCNAの変動
5日 10:20-10:40	佐藤 陽平	M1	人工衛星軌道変化から探る熱圏大気密度の変動
5日 10:40-11:00	今城 峻	PD	Meridional Distribution of MiddleEnergy Protons and Pressure Driven Currents in the Nightside Inner Magnetosphere: Arase Observations
6日 09:00-09:20	菅生 真	M2	惑星探査用高エネルギー電子観測器のASIC開発
6日 09:20-09:40	吹澤 瑞貴	D1	Pitch angle scattering by electrostatic electron cyclotron harmonic waves based on Arase observations
6日 09:40-10:00	稲葉 雄大	M1	2017年3月28日にあらせ衛星で観測されたSARアークのソース領域における初めてのプラズマ・電磁場観測
6日 10:00-10:20	渡邊 香里	M2	Dependence of ion and electron temperatures on bulk flow speed in the near Earth reconnection regions
6日 10:20-10:40	田邉 正樹	M1	太陽風と火星起源イオンのフォボス表面への衝突の数値実験
6日 10:40-11:00	中村 勇貴	M2	Axisymmetric conductivities of Jupiter's middle and low latitude ionosphere

セッション2

日時	名前	学年	タイトル
5 日 09:00-09:20	西村 晟八	M1	イオプラズマトーラスへのエネルギー供給過程の特定
5 日 09:20-09:40	武井 智美	M2	2 重殻式エネルギー分析器の開発
5 日 09:40-10:00	滑川 拓	D1	PARM-HEP による高エネルギー電子降下の観測
5 日 10:00-10:20	篠原 淳志	B4	未定
5 日 10:20-10:40	村瀬 清華	M1	大型大気レーダーPANSY で観測される中間圏エコー強度のオーロラ活動依存性
5 日 10:40-11:00	鈴木 駿久	M2	惑星大気観測のための PLANETS 望遠鏡の主鏡支持機構の開発状況
6 日 09:00-09:20	横田 駿太郎	M1	木星極域ヘイズの偏光観測
6 日 09:20-09:40	藤井 亮佑	M2	Statistical analysis for trunk structure of ring current ions ring Arase ion observations
6 日 09:40-10:00	梅垣 千賀	M2	地球バウショックにおけるコヒーレントなホイッスラーモード波動の解析：MMS 衛星による複数衛星観測
6 日 10:00-10:20	内藤 豪人	M1	ハワイで得られた大気光画像に見られる中間圏・電離圏波動の水平位相速度分布の統計解析
6 日 10:20-10:40	江崎 陽大	M2	天体プラズマ中のシンクロトロンメーザー不安定性の数値実験

セッション3

日時	名前	学年	タイトル
5 日 09:00-09:20	坂田 遼弥	M2	太古火星からのイオン散逸に対して固有磁場が与える影響
5 日 09:20-09:40	野村 太志	M1	磁気インピーダンスセンサを用いた地磁気観測システムの開発
5 日 09:40-10:00	山本 和弘	D3	Eastward Propagating Second Harmonic Poloidal Waves Triggered by Temporary Outward Gradient of Proton Phase Space Density: Van Allen Probe A Observation
5 日 10:00-10:20	吉田 理人	M1	最新の気象再解析データ ERA5 における南極域での大気重力波再現性
5 日 10:20-10:40	田中 勇人	B4	飛翔体上での圧力（大気密度）の正確な測定を行うための方法に関する検討
5 日 10:40-11:00	杉山 玄己	M1	ピリカ望遠鏡を用いた天王星の多波長撮像観測
6 日 09:00-09:20	佐藤 愁太郎	M2	機械学習を用いた非線形独立成分分析法によるひさき衛星データの解析
6 日 09:20-09:40	高須 浩平	M2	IMF 南向き時の昼間の極冠域に見られるゆっくり動く微弱なオーロラの性質
6 日 09:40-10:00	野村 香菜枝	M1	超小型衛星搭載に向けた超高精度フィルタ吸収セルの開発
6 日 10:00-10:20	竹下 祐平	M2	Global spatio-temporal development of magnetospheric ELF/VLF waves based on ground-satellite observation and RAM simulation
6 日 10:20-10:40	石城 陽太	D1	P3T 法を用いた惑星系形成の N 体計算コードの開発
6 日 10:40-11:00	伊藤 義起	M1	Dependence of whistler wave amplitudes on scattering process of relativistic electrons in the Earth radiation belts

セッション4

日時	名前	学年	タイトル
5 日 09:00-09:20	前田 咲穂	M1	ナトリウムライダーによる大気不安定性の測定
5 日 09:20-09:40	田中 杜雄	M1	Poleward motion of the inverted-V accompanying downward field-aligned current
5 日 09:40-10:00	中田 勝之	M1	toroidal top hat 型静電分析器の設計
5 日 10:00-10:20	大野 辰遼	D1	惑星雷観測装置の開発
5 日 10:20-10:40	深見 岳弘	B4	磁気嵐時における電離圏電子密度構造について（論文レビュー)
5 日 10:40-11:00	赤玉 裕匡	M1	モンテカルロ法を用いた宇宙風化シミュレーション
6 日 09:00-09:20	戸田 穂乃香	M2	あらせの HEP による放射線内帯の高エネルギー粒子観測
6 日 09:20-09:40	山川 智嗣	M2	Excitation of storm time Pc5 ULF waves by ring current ions based on the drift kinetic simulation
6 日 09:40-10:00	葉柴 隆斗	M1	観測ロケット搭載用イオンドリフト速度測定器の開発
6 日 10:00-10:20	大井川 智一	D1	カスプ領域における中性大気質量密度異常の数値モデリング
6 日 10:20-10:40	荒木 瑞穂	M2	地球近傍での磁気リコネクション境界領域における粒子加熱に関する統計解析
6 日 10:40-11:00	惣宇利 卓弥	M2	磁気嵐時におけるオーロラ帯や中緯度電離圏での TEC 変動と SuperDARN レーダーで観測された電離圏エコーとの関係

ひので科学／実験室宇宙分野横断プラズマ科学合同会議
Hinode-13/IPELS 2019

横山央明、東京大学・大学院理学系研究科

概要
本会議は、ひので科学会議と分野横断プラズマ科学会議IPELSとの共同開催として2019年9月2日月曜から9月6日金曜まで東京大学本郷キャンパスにて開催された。参加者数は、20か国から約200名であった。

ひので科学会議は，「ひので」衛星による科学成果を議論することを目的に，日米欧の持ち回りで毎年開催されている。「実験室宇宙分野横断プラズマ科学会議(IPELS)」は，実験室と宇宙科学・天体物理学におけるプラズマ科学について基礎物理的観点から議論して，新たな知見を共有して学際的な共同研究を育てることを目的とする。本提案の国際研究集会では，これまでにない試みとして，ひので会議とIPELSの共同開催を企画した。共同開催ということで，両会議それぞれのこれまで通りの成果報告だけではなく，「ひので」を基盤とした太陽物理学・天文学の成果を縦軸に，プラズマ物理学を横軸として，相互交流・情報交換，さらには共同研究の可能性の策定などを目的とした。具体的な課題内容としては，(a) フレア・磁気エネルギー蓄積，(b)コロナ・彩層加熱，(c)熱対流，(d)太陽磁場周期活動など天文現象を縦糸とし，(1)衝撃波，(2)粒子加速，(3)自己組織化，(4)磁気リコネクション，(5)波動と乱流，(6)ダイナモなどプラズマ物理を横糸とする内容でセッション構成を構築した。

成果
会議の成果として，(1)後発のIRIS衛星やCLASPロケット実験などとの共同観測により，新たな知見を出し続ける「ひので」の成果を確認し，さらなる発展性の方向性を明らかにしたこと，(2)また現在計画中のSolar-C_EUVSTを始めとする将来計画の策定，(3)今回は特にIPELSとの共同開催ということで，実験室プラズマ物理学分野の磁気リコネクションやAlfven波，ダイナモ実験の成果を太陽観測データと突き合わせることで新たな知見の共有が達成できた。特に目玉のひとつであった、太陽圏・地球磁気圏分野でのParker Solar Probe探査機の最新成果の現状についてプロジェクトサイエンティストのRaoufi博士に話していただけたことで議論が盛り上がり、近々出版される観測結果への期待を高めた。また合同開催ということで、それぞれの研究者間の交流が深まったことから、今後、それぞれの分野の若手の交換留学、相互の研究会への招待や、研究資金獲得での共同申請など、あらたな展開が見込める。
日本の太陽物理学コミュニティでは、現在Solar-C_EUVST衛星を計画・申請中であるが、この会議でも、その特別セッションを企画して、同時期に稼働する、Parker Solar Probe（太陽への接近軌道で運用中）、ESAのSolar Orbiter（2020年打上予定）、米国NSOの4m望遠鏡DKISTなどとの協調観測の可能性について深く議論した。互いのプロジェクト

の現状について具体的に議論しあったことで、今後どのような科学をすすめるべきか、運用上どのような課題がのこるか、について明確化できた。今後、プロジェクトを計画・実行するうえで研究会という形だけではなく、人の相互訪問での交流を積極的にすすめることで、具体的な共同研究にすすめることが可能であろう。プラズマ実験が、プラズマ放出のMHD不安定やAlfven波、ダイナモなどさまざまなMHD物理機構について、多面的に研究がなされていることを共有できた。太陽コミュニティにとっては、磁気リコネクション実験がよく知られていたが、これに加えて太陽大気で起こる現象について、プラズマ実験分野と共同研究する将来方向性が開けたと思う。

集会ウェブサイト。プログラムを掲載。

https://hinode.nao.ac.jp/meeting/hinode-13/

参加者の集合写真

大気エアロゾル降下物とその生物地球化学的循環と気候への影響
Workshop on Atmospheric deposition of aerosols and their effects on biogeochemical cycles and climate

伊藤　彰記、海洋研究開発機構

■ 開催：令和元年 12 月 23 日（月）- 24 日（火）

■ 会場：名古屋大学 宇宙地球環境研究所 研究所共同館 II-409 室 （名古屋市千種区不老町）

■ 出席者　国内外の研究者約 19 名

■ ワークショッププログラム　別紙の通り
http://acg.isee.nagoya-u.ac.jp/mtg/NUWSAgenda_web.pdf

■ 会合の概要

■ 本研究集会は、大気エアロゾル降下物が物質循環を通して、海洋生態系・気候へ影響を与える素過程に関する理解を深める目的で開催した。5 件の海洋から大気への化学物質供給を通した気候への影響に関する発表が行われ、5 件の大気から海洋への栄養塩供給による海洋生態系への影響に関する発表が行われた。また、将来構想検討会では、海洋生態系と大気化学に関する議論も行った。今後の地球環境研究に有益な知見が得られる会合となった。

以上

STEシミュレーション研究会：計算プラズマ物理の新潮流
STE Simulation Workshop: New Trends in Computational Plasma Physics

三好　隆博、広島大学大学院理学研究科

2019年9月24日～26日の日程で、広島大学東千田キャンパス東千田未来創生センターM302講義室において「STEシミュレーション研究会：計算プラズマ物理の新潮流」を開催した。本研究集会では、3日間で21件の発表、及び延べ50名の参加があった。

太陽地球惑星系は様々な領域や非線形物理過程が競合した複合システムであり、これを総合的に理解するために、計算機シミュレーションが果たしてきた役割は極めて大きい。科学衛星による観測結果の定量的な解釈や物理素過程の理解には、シミュレーション研究が大きな役割を果たしている。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、太陽地球系プラズマシミュレーションの課題と展望について名古屋大学の草野完也氏、天体プラズマ分野から粒子法による磁気流体シミュレーションについて鹿児島大学の塚本裕介氏、核融合プラズマ分野から格子法による運動論的シミュレーションについて日本原子力研究開発機構の井戸村泰宏氏、素粒子分野のハイパフォーマンスコンピューティングの最新動向について広島大学の石川健一氏、深層学習の物理研究への応用可能性について株式会社Preferred Networksの柴山拓也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、情報交換を本企画で行うことができた。また今回は、研究会開催地広島大学から極限宇宙研究拠点長の深沢泰司氏に天体高エネルギー現象の観測的研究最前線についてご講演いただき、計算プラズマ物理との共同研究の重要性について議論を行った。

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などの最新成果が報告された。さらには、宇宙ジェットやカイラル磁気流体、新たな可視化手法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25分、招待講演50分と十分に確保することによって、太陽地球惑星系科学シミュレーション研究の問題意識や今後の方向性をしっかりと議論することができ、それらの共有が大いに進展した。本研究集会の講演プログラムおよび資料はhttp://cidas.isee.nagoya-u.ac.jp/simulation/meeting2019/に公開されている。

第 7 回アジア海色ワークショップ「第 16 回日韓海色ワークショップ」の開催
The 7th Asian (16th 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 therefore one of the urgent needs for evidence-based policy making; climate change adaptation and mitigation. The Earth observations by satellite remote sensing, especially ocean color remote sensing, provide valuable method to cope with the problem of marine ecosystem changes over a large spatiotemporal scale.

A forum named Korea-Japan Workshop on Ocean Color (KJWOC) to promote ocean color remote sensing application in the Asian region had been carried out since 2003. In the recent years we named KJWOC also as the Asian Workshop on Ocean Color (AWOC) due to increasing participants from the Asian countries. Last workshop (the 7th AWOC / 16th KJWOC) was hosted by Burapha University (Thailand), co-organized by the Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), and Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE), Nagoya University.

Group photo of the 7th AWOC / 16th KJWOC taken in front of workshop venue (Central Laboratory Building), Burapha University, Thailand.

2. Participant/Presenter Number

The 7th AWOC / 16th KJWOC which was held in Burapha University, Thailand from 11 to 14 December 2019 was attended by more than 60 participants (see group photo above) from the countries of Thailand, Indonesia, India, Korea, Japan, and China. The workshop delivered 41 presentations, 30 for oral and 11 for poster presentations. Oral presentation was divided into 8 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.

Several photos taken during opening ceromony, oral presentation, and poster presentation sessions.

3. Workshop Topics and Outputs

Within the eight oral sessions and poster session the 7th AWOC / 16th KJWOC covered wide scope of ocean color studies/applications. Among the presentation topics are; red tide/HAB observation/detection in the coastal waters; fisheries resources and environmental changes; global and regional ocean color missions; ocean color algorithm development and cal/val; atmospheric correction for ocean color observations; primary production changes in the marginal seas/coastal waters; impacts of terrigenous materials on the marine ecosystem through the atmosphere-ocean-land interactions, and teleconnection to global climate changes, etc. Besides as an effective international scientific forum wherein the discussion, information/data exchange/sharing can be conducted, bilateral, multilateral research collaborations can also be promoted/strengthened in the future.

大気海洋相互作用に関する研究集会
Research Meeting for the Study of the Air-sea Interaction

根田昌典、京都大学、大学院理学研究科

概要：

本研究集会は令和元年12月14日（土）と15日（日）の2日間の日程で京都大学理学部セミナーハウス（京都市左京区）において開催され、国内の大学・研究機関などから32名の参加のもとに11件の一般講演と5件のポスター発表があった。参加者の1名は海外からスカイプを通じての参加であった。

研究集会の目的：

最近の大気海洋間の相互作用の研究における動向として２つの重要な方向性が挙げられる。ひとつは、物理的な側面から捉えられた現象が海洋生物や栄養塩などの環境要因の分布やその特性にどのような影響を及ぼしているかという視点であり、近年特にその重要度が増している。また、Argoフロートによる観測網の充実や気象庁が維持してきた定線観測データの公開によって、10年を超える時間スケールの変動現象の実証研究が可能になるなど、解析可能な現象の時間スケールが拡大されている。これらのデータを有効に利用するためには、精度や適用範囲などが明確にされたデータセットの構築は非常に重要である。今年度の研究集会は、長期データの活用という視点を一つの中心テーマとして実施する。

物理過程と生物化学過程の関係や短期変動から長期変動に至るまで、本研究集会での議論を発露とした研究のレンジは広がりつつある。研究集会は、国内の研究者と大学院生などの若手研究者が一同に集め、個別研究の進展とともに俯瞰的な視点からの分野発展に関する議論を行い、個別研究から分野横断的な総合科学への発展に資することを目的とする。

研究集会の内容と結果

本研究集会は2日間にわたって行われ、ポスター発表を含む16件の講演があった。1日目は北太平洋の水温密度場を対象とした口頭発表4件と、ポスター発表5件を行った。村田（東大院理）は領域海洋モデルの結果を用いた混合層熱収支解析を通して、水温偏差再出現過程をより詳細に確認することを試みた。これに対して、収支解析で得た水温偏差寄与項が前年の偏差を反映しているかどうかをどのように確認するのかという点について活発に議論が行われた。この議論は、そもそも再出現過程とはどのようなものであるのかという問題意識に根差しており、本研究集会特有の非常に興味深い講演となった。続いて小橋（海洋大）はNakano et al.(2015)の課題であった137度線上の亜熱帯前線の変動要因について、ロスビー波による遠隔的な影響よりも亜熱帯モード水の厚さ変化による可能性が高いことを137度線観測データとアルゴデータの解析から示した。川上（気象庁）は137度線観測データの長期解析によって黒潮の流量変化に関して調査した結果を報告した。今回の結果では、気圧変動場と黒潮流量の関係の整合性を示すことに留まっているが、今後さらに議論を進めていくことが期待できる内容であった。木下(JAMSTEC)は気象研究者の立場から、総観規模の波動とジェットの間の渦活動度フラックスの利用についての研究内容を紹介した。大気海洋相互作用研究を海洋学の立場から行う場合、これまでは相互作用プロセスは1次元的なものに限定される傾向が強かったことは事実であり、気候に与えるインパクトの評価という点で考察が足りていないということは反省点である。今回、直感的な説明によ

ってそのメカニズムを紹介してくれたことは、今後の海洋分野からの相互作用研究の発展に対する大きな寄与となることを期待したい。

ポスター発表セッションでは、参加者がそれぞれのポスターを回ることで活発な議論が行われた。福永（東海大）は海上風ベクトルデータセット間の差異の海洋大循環モデルへの影響評価を行い、東海大学が構築したデータセットの優位性について報告した。中村（東海大学）は駿河湾内の複数点水温連続観測データを用いて、湾内の水温変化の時空間特性を検討する研究の初期解析を行った。秋元（海洋大）は長期的な熱収支解析のための混合層定義の手法についての初期調査について報告した。また、岡本（東北大）はインド洋における卓越気候モード時の海洋内部変動の詳細を調べる研究についての初期解析の結果を示した。長谷川（東北大・JAMSTEC）は新しく取り組み始めた親潮域の海底圧力変化の解析について紹介した。これらの発表は、将来的な展望のもとに初期的な段階での研究報告であるが、解析の前提となる事実の把握に向き合っており、堅実に研究を進める姿勢が見られることは大変良いことであると思う。

なお、ポスター発表においてはスカイプで参加した桂（スクリプス海洋研究所）が積極的に議論に参加した。彼がスカイプで接続したノートPCを持って各ポスターを訪れてくれた八木博士（東海大）と小橋博士（海洋大）には特段の謝意を記しておく。

2日目は7件の講演があった。Adiwira（東北大）はインド洋における亜熱帯モード水の変動解析を目指して、最近公開された水温塩分データセットであるISAI-15のデータの特徴について報告した。前田（京大）はインド洋南部に定在するマスカレン高気圧の変動がモンスーン強度変化を含めたインド洋気候にどのような影響を与えうるのかを調査することを目指した初期解析を行い、南極環状モードの指標の正負に対するマスカレン高気圧の南北位置偏差に非対称性があることを示した。三部（東北大）は統計的なクラスタリング手法を用いて客観的に北西太平洋の亜寒帯前線の同定を試みた。議論を進める中で、水塊分布という視点で解析するという方向性も示された。これらの講演における議論は若い研究者の研究の位置づけという点に重点を置いたものであり、将来的な研究の進行に非常に良い影響を与えるものと考えている。富田（名大ISEE）はJ-OFURO3のデータセットの紹介を行うとともに、台風下の海面フラックス推定についての初期解析結果を示した。議論を進める過程で、台風直下以外の領域にも海面フラックスへの影響があることが指摘され、台風研究の新たな視点となりうる。飯田（東北大）は最近注目されているベーリング海北端の海氷変動と北太平洋の気候パターンの関連性を調べ、大気場と海洋の移流との相互作用による新たなテレコネクションパターンを提唱した。よく整理された研究であり、建設的な議論が行われた。八木（東海大）は衛星データを基にした風ベクトル格子データを用いて、回転成分などの微分量についての相互比較を行った。平野（東海大）は駿河湾における水温変動と黒潮流軸との関係性を調べた。外洋からの反時計回りの流入が黒潮とどのように関係しているのかについての成果が期待される。

まとめ

今年度の集会は例年よりも参加者が少なかったが、研究の枠組みという視点からの議論の時間をとることができた。長期データを用いた研究も多くみられ、J-OFURO3に関する講演もあったことなどから、当初の目的に沿った集会が運営できたと考えている。最近の長期観測データの蓄積による研究の進捗は目覚ましく、本年度の研究集会でも多くの報告があったが、海洋から大気、もしくは大気から海洋への影響評価という、現象のシークエンシャルなストーリーについての解析から一歩進めて、相互作用過程を精査することによって個々の物理プロセスにフィードバックという概念を導入することの重要性を忘れてはならないと考えている。次年度においてこの問題については集中して議論したい項目である。今後も大気海洋相互作用にかかわる現象解析を行う研究者の交流や情報交換、また互いに啓発しあうための機会として本研究集会の重要性を再確認した。

衛星地球観測シナリオ研究会
Satellite Earth observation scenario study group

本多嘉明、千葉大学環境リモートセンシング研究センター

衛星地球観測の世界動向は、約 130 の新しいミッションが検討され、着実に実施の方向で動いている。これまでこの分野で日本は米国、欧州に比肩する位置を確保していた。しかるに、昨今の日本の将来計画が未定でこの位置を確保することが難しくなっている。

本研究会は 2019 年 5 月 10 日、6 月 10 日、7 月 2 日、6 月 19 日、7 月 16 日、8 月 9 日、9 月 12 日、9 月 26 日、9 月 30 日、10 月 7 日、10 月 16 日、10 月 17 日、10 月 23 日、12 月 17 日、12 月 23 日、12 月 26 日、2020 年 1 月 22 日、1 月 24 日、2 月 26 日、3 月 9 日の 20 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。2017 年度は第 1 回衛星地球観測ミッション試行公募(TF)の結果をまとめるとともに 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、本研究会で購入したテレビ会議システムを利用したひまわり検討の会合を 12 月 2 日、26 日、1 月 14 日、2 月 6 日、2 月 14 日、2 月 28 日、3 月 30 日に開催した。このテレビ会議システムを導入したことにより、遠隔地の研究者と円滑な会議を行うことができ、有効に活用することができた。

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）

研究集会名：　第９回VLF/ELF電波による
電離圏・磁気圏リモートセンシング研究集会
研究集会名英文：VERSIM 2020 Virtual meeting

京都大学生存圏研究所　大村善治

VERSIM （VLF/ELF Remote Sensing of the Ionosphere and Magnetosphere）国際共同研究作業部会は、国際電波科学連合(URSI)と国際地球電磁気学超高層物理学連合（IAGA）の連携の下にホイッスラー空電による磁気圏のリモートセンシング研究の作業部会が 1975 年に設立されたことに始まり、次第に研究領域も電離圏・磁気圏の電磁波動現象へと拡大されて、1989 年に VERSIM ワーキンググループと改名されて現在に至っている。一方、名古屋大学宇宙地球環境研究所（ISEE）では、歴史的にもホイッスラー空電の研究が長く続けられてきたのみならず、現在も、地上の VLF 電波観測網による磁気圏・電離圏観測および「あらせ」衛星による放射線帯の直接観測が活発に行われている。最近では、VERSIM ワークショップは 2 年毎に世界各地で研究集会が開催されてきており、その第 9 回目の研究集会が 2020 年 3 月に京都で開催される予定であった。コロナウィルス蔓延のために２０２０年３月の開催は不可能となったため、2020 年 11 月にバーチャルで開催した。本研究集会では、京都大学生存圏研究所のスペース・プラズマ研究グループが ISEE の地上・衛星観測の研究グループとも協力して、世界中から関連する研究者１７０名余りを集め、磁気圏・電離圏のプラズマ構造とその力学、波動粒子相互作用、波動波動相互作用の非線形過程、波動による高エネルギー粒子降下、磁気圏・電離圏の電磁波動伝搬等、VERSIM ワーキンググループの研究テーマに関する最新の研究成果を発表し議論した。

（別紙様式６－３）研究集会の参加状況
（別紙様式６－４）研究集会の参加者リスト (Participants List)

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

代表者、所属機関・部局
永岡賢一、核融合科学研究所、プラズマ加熱物理研究系

【研究集会の概要】

実験室プラズマと宇宙プラズマでは、波動粒子相互作用が関与するプラズマ物理の素過程の研究が進展している。特に速度分布関数に関する計測による運動論的なモデルの検証が進み、非線形現象の理解が新たな展開を迎えている。これまでの研究会形式の情報交換や共通する研究課題の抽出により、まだまだ多くの共通の課題が存在し、情報交換や意見交換による新ら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。2019年度は、「あらせサイエンス会議」と合同研究集会を企画し、より多くの宇宙プラズマ関係者との交流を広げることを計画した。

基本的な構成は、３日間の研究集会の前半に、本研究集会のセッションを構成し、後半をあらせサイエンス会議のセッションとした。本研究集会のセッションになるべく多くの宇宙プラズマ関係者に参加いただき議論できるように、チュートリアル講演３件と招待講演４件を企画し、実験室プラズマと宇宙プラズマのレビュー的な講演の充実を目指した。講演者の選定には、あらせサイエンス会議の幹事である篠原氏と笠原氏にも議論に参加いただいた。また、ZOOMによるネット配信を行った。

【参加者数】

４３名（２日間のべ６７名）。ZOOMによる遠隔参加者は含まれていない。詳細は別紙。

【研究集会の成果】

４つのセッションでプログラムを構成し、それぞれのセッションは、なるべくチュートリアル講演＋招待講演＋一般公演とし、実験室プラズマと宇宙プラズマの話題が両方含まれるようにプログラムした。天野氏による丁寧なチュートリアル講演は、実験室プラズマの研究者にとって、磁気圏プラズマの粒子軌道と輸送特性を理解するのに大変役立った。それぞれの講演者の話題は、物理的な素過程が実験室・宇宙の双方に関連するものや、計測手法や解析手法に共通性がみられるものが多く、議論が盛り上がり、予定した時間を超過する状態となったことは反省点であるが、また一方で、研究集会が成果を上げた証拠でもある。特に昨年度ま

でと違い、あらせサイエンス会議との合同開催であったため、参加者が例年と比べて非常に多く、幅広いテーマにわたり議論が行われた点を成果として強調したい。各講演者の資料は、パスワード付きで参加者に公開され、双方の情報交換の場として、貴重な資料を共有することもできた。プログラムの最後に、議論の時間を設けて、現状の実験室プラズマ研究の情勢と宇宙プラズマとの連携の動向、及び、本研究集会で議論された共通の話題を整理して紹介した。今回は、合同研究集会として開催し、研究集会としては十分に目的を達成できた。今後さらに発展させ、新しい共同研究の創出にもつながるように考えていきたい。

【研究集会のプログラム】

平成31年度名古屋大学宇宙地球環境研究所　共同研究集会
「実験室・宇宙プラズマ研究集会」「あらせサイエンス会議・解析ワークショップ」合同研究
平成31年9月17日（火）ー9月19日（木）
東京大学理学部1号館7階 710室
プログラム（案）

ZOOM URL
9/17 https://zoom.us/j/117526954
9/18 https://zoom.us/j/868093633
9/19 https://zoom.us/j/709579339

9月17日

13:00 - 13:10			事務連絡＋挨拶
【実験室・宇宙プラズマ１】座長：加藤雄人			
13:10 - 13:55	天野孝伸	東大・理	<チュートリアル講演>内部磁気圏の運動論・波動励起
13:55 - 14:30	北村成寿	東大・理	<招待講演>磁気圏シース領域のミラー構造内の磁場極小付近での小スケールのホイッスラーモード波動
14:30 - 14:55	樋田美栄子	核融合研	高速イオンによる低域混成共鳴周波数帯の波の不安定性についての粒子シミュレーション研究
			コーヒーブレイク
【実験室・宇宙プラズマ２】座長：永岡賢一			
15:15 - 16:00	浅村和史	ISAS	<チュートリアル講演>ジオスペースのプラズマ計測
16:00 - 16:35	池添竜也	九大・応力	<招待講演>実験室高温ミラープラズマにおけるアルベンイオンサイクロトロン波動の励起とその役割
16:35 - 17:00	小林進二	京大エネ研	トーラス型閉じ込め磁場配位における確率的静電加速とホイッスラー周波数帯波動励起の観測
17:00 - 17:25	藤原大	核融合研	大型ヘリカル実験装置における高エネルギー粒子計測機器

9月18日

【実験室・宇宙プラズマ３】座長：笠原慧			
9:00 - 9:45	永岡賢一	核融合研/名大理	<チュートリアル講演>実験室プラズマにおけるコヒーレントモードと粒子の相互作用に関する研究
9:45 - 10:20	山本和弘	京大理	<招待講演>あらせ衛星で観測されたpoloidal/compressional ULF波動とリングカレントイオンの相互作用
10:20 - 10:45	三好由純	名大ISEE	ジオスペースの電子輸送に関するモデリングについて
			コーヒーブレイク
【実験室・宇宙プラズマ４】座長：三好由純			
11:05 - 11:40	齋藤晴彦	東大新領域	<招待講演>磁気圏型実験装置RT-1におけるプラズマ研究の進展
11:40 - 12:05	小路真史	名大ISEE	あらせ衛星によるEMIC波の非線形波動粒子相互作用の直接計測
12:15 - 12:30	川面洋平	東北大学際	MRI乱流におけるAlfven的揺動と圧縮的揺動の配分
12:30 - 12:50			議論（今後の研究集会・共同研究について）
			以降は、あらせサイエンス会議

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．特に，今年度は，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 博士を招待し，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，2020 年 12 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）の詳細なサイエンスターゲットの把握，打ち上げ条件や地上サポート観測の体制の整備についても，その戦略を集中的に議論した．

★ 参加者と講演の内容

計 30 名の参加者があり，例年テーマとして掲げている「脈動オーロラの時間変動を作り出す要因」や「脈動オーロラ発生時の相対論的高エネルギー電子降下」に関する発表が行われた．また，今年度は，「EMIC 波動と関連して発生するプロトンオーロラやそれに伴う高エネルギー電子の降下減少」に関する講演も行われ，計 19 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，以下のようなトピックについて時間を設けてディスカッションを行った．

- ロケット実験に関する議論（LAMP）
- 基本的な課題のまとめ（現状整理）
- 未解決課題の解決ストラテジー
- 新たな課題の抽出，脈動オーロラ関連研究の新しい展開
- 今後の地上観測の維持発展に関する戦略

★ 成果

今回で 8 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）．

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，2020 年 12 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．

太陽観測データにおける特徴検出ワークショップ2019
Feature Recognition in Solar Observation Workshop 2019

飯田　佑輔、関西学院大学・理工学部

【概要】

JAXA や NASA を始めとした2000年代からの衛星観測により、太陽観測データはビッグデータと呼べる規模になってきている。一方で、近年は深層学習を始めとした情報科学技術の発展が著しく、それらの本格的な利用による新しい成果創出が期待できる。本研究集会では、情報科学技術の本格的な利用を目指して、情報科学分野から２名の講師を招待して深層学習技術に関するワークショップを行った。

令和元年９月１７日−１９日の３日間、関西学院大学上ヶ原キャンパスにて行った。大学院学生から教授までの１６名が参加した。初日は、講師による深層学習技術に関する２講演、主催者によるPython基礎講習会、Keras/TensorFlowによる深層学習テスト計算を行った。２日目も主催者が準備したGOES X-ray Fluxデータの説明を行い、その後は各々でそれを用いたデータ解析実習を行った。最終日には、各自の成果報告会を行った。以下ではその中から２つの成果を報告する。

【成果】

1. フレアリボンパラメータを用いたフレアクラス推定

太陽フレアの発生に伴う、可視光フレアリボンはフレアの特徴をよく反映することが知られる（Toriumi et al., 2017; Kazachenko et al., 2017)。特に、フレアリボン間の距離とフレア継続時間は相関係数 0.83 という高い相関を示し、ほぼ線形に比例する。また、フレアリボン内の磁束量は GOES X-ray flux のピーク値と 0.6-0.7 程度の相関を示す。そこで、活動領域の磁束量・面積とフレアリボンのそれらと誤差の６パラメータから GOES X-ray flux のピーク値の予測モデルを Keras/TensorFlow を用いて作成した。3,000 イベントを学習データ、137 イベントを検証データとした。相関を示すモデルが構築できたが、学習精度はエポックとバッチサイズにも大きく依存し、モデルの収束性等を調べる必要があることがわかった。

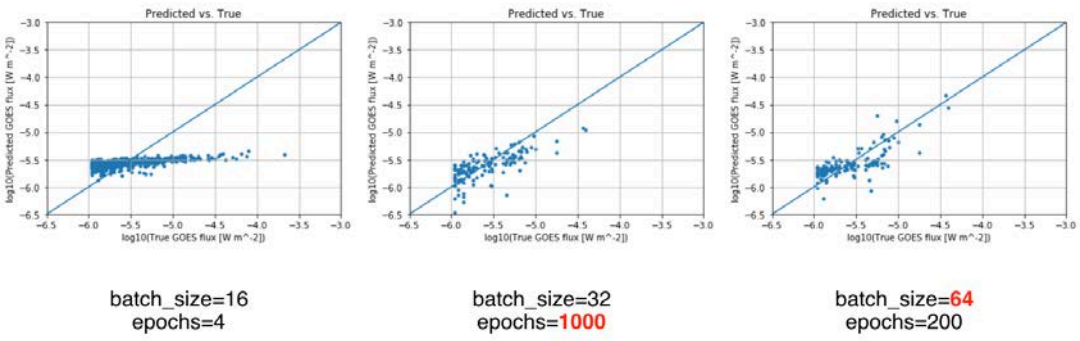


図 1. エポックとバッチサイズを変えた際の学習結果の変化。

2. GOES X-ray Flux の立ち上がりからの Peak Flux 予測

6500 個のフレアデータにおいて、GOES X-ray Flux の立ち上がり時間データ（ピークの 400-200 秒前，時系列方向に 200 点）から Peak Flux の予測モデルを構築した。フラックスデータは対数をとり、活性化関数はハイパボリックタンジェント、評価関数は残差二乗和、４層の寸胴型の深層学習モデルを用いた。図 2 は 774 個のフレアデータに作成したモデルを適用した結果である。どちらも良い相関を示しているが、エポック数 50 はまだ学習途中の段階であることが見て取れ、重要な学習パラメータとなっていることがわかる。

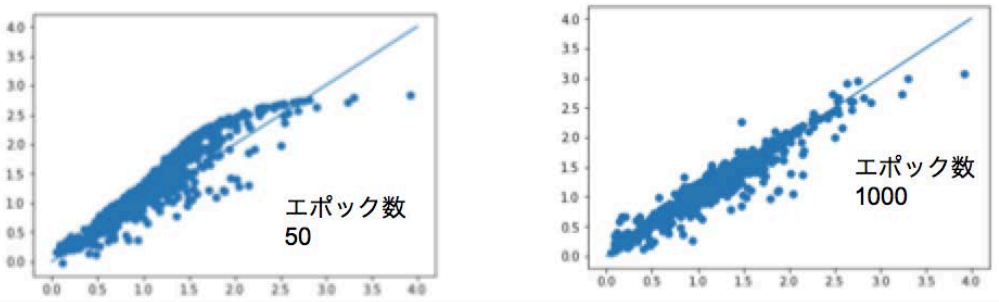


図 2. X 線立ち上がりデータからのフレアピーク予測とエポック数による学習変化。バッチサイズはともに 128。

図 3. 本ワークショップ参加者の集合写真

宇宙空間からの地球超高層大気観測に関する研究会
Workshop on the space-borne observation of the Earth's upper atmosphere

齊藤 昭則、京都大学・大学院理学研究科

1. 目的

電離圏・熱圏・中間圏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なプログラムであり、2019年度には次期衛星提案公募が行われるため、重要な時期である。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：2019年9月12日
場所：京都大学　宇治キャンパス　木質材料実験棟（木質ホール）
世話人：齊藤 昭則（京都大)、大塚 雄一(名古屋大)
参加者数：33名

3. プログラム

【座長：齊藤昭則】

13:00-13:20　MTI 領域の衛星観測計画について
齊藤昭則（京大院理）

13:20-13:40　FACTORS 計画の現状・予定
平原聖文（名大 ISEE)、FACTORS 計画推進グループ

13:40-14:00　FACTORS 衛星計画におけるイオン流出過程の解明に向けた検討状況
北村成寿（東大院理）

14:00-14:20　静止衛星搭載と FACTORS 搭載紫外・可視イメージャの観測計画と開発
坂野井 健（東北大理）、坂口香織、津川卓也、穂積裕太、八木直志、吹澤瑞貴、齊藤昭則、津田卓雄、平原聖文、浅村和史、三好由純、大山伸一郎、齋藤義文

14:20-15:00　FACTORS 衛星計画とイメージング観測に関する議論

（休憩 15:00-15:20）

【座長：大塚雄一】

15:20-15:50　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）、趙孟佑、Kateryna Aheieva、Necmi Cihan Orger、SPATIUM Project Members

15:50-16:10　全大気圏衛星観測 - 超伝導サブミリ波リム放射サウンダ (SMILES-2)
塩谷雅人（京大 RISH）、齊藤昭則、坂崎貴俊、落合啓、Philippe Baron、 西堀俊幸、鈴木睦、阿部琢美、前澤裕之 、大山伸一郎

16:10-16:30　SMILES-2 観測装置と衛星の検討状況
落合 啓（NICT）、Philippe Baron、入交芳久、西堀俊幸、長谷川 豊、鈴木 睦、鵜沢佳徳、藤井泰範、前澤裕之、真鍋武嗣、水野 亮、長濱智生、木村公洋、齊藤昭則、塩谷雅人

16:30-17:00　電離圏衛星観測と SMILES-2 衛星計画に関する議論

4. 成果

宇宙空間からの地球超高層大気の観測について、まずは国内外の進行中の衛星観測計画についての紹介がされ、現状についての情報共有がされた。観測が開始し成果が出始めている静止軌道からの電離圏・下部熱圏の紫外線イメージング観測であるGOLDミッションや、打ち上

げに成功したCOSMIC-2衛星群の現状に加えて、今後に打ち上げ・観測開始が予定されている、米国ICON衛星、スウェーデンMATS衛星などの状況が報告された。また、国内の動向としてSLATS（つばめ）衛星、国際宇宙ステーション、大学衛星などの状況が報告された。次に、ISAS公募型小型衛星提案として、ワーキンググループが発足し提案に向けて準備が進められている「編隊飛行による地球電磁気圏・熱圏探査衛星(FACTORS)計画」と、継続して検討が進められている「超伝導サブミリ波リム放射サウンダ(SMILES-2)ミッション」の2つの計画の推進について現状の紹介と提案に向けた議論を行った。両計画とも科学目標、観測装置について具体的な検討が進んでおり、SMILES-2衛星は、前回の提案時において大きな課題点として指摘された、電力とコストについての見直しを進めており、実現可能な提案がまとめられるとの見込みが報告された。これを受けて次回の公募に向けて提案書の作成などでの協力を進めることが同意された。また、大学による小型衛星の開発と運用についての報告がされ、従来の宇宙機関による観測とは異なるアプローチには大きな可能性があることが理解された。今後の方向性としては、まずはISAS公募型小型衛星への提案とその採択に向けて協力して進めていくことと、多様な機会を用いた宇宙からの観測の可能性を模索していくこととされた。

台風セミナー2019
Typhoon seminar 2019

竹見哲也、京都大学・防災研究所

2019年4月15-16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台風セミナー2019を京都大学防災研究所にて開催した．このセミナーは，台風研究において「これまでに何が理解され，いま何が理解されていないのか，もしくは理解することが求められているのか？それらの理解のためにはどうすればよいのか？」を徹底的に議論する試みとして，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．

9回目の開催となる今回は，現代台風理論の基礎となるWISHEメカニズムを提案されたマサチューセッツ工科大学のKerry Emanuel教授を招待講演者として招き，3つのテーマについて合計6時間にわたる講演をしていただいた．1つめのテーマは「定常状態の台風のエネルギーと構造について」であった．Emanuel先生は台風がカルノーサイクルエンジンに似た特徴をもち，絶対角運動量とエンタルピーという物理量を基本とすること，そして，上端境界付近ではリチャードソン数がカギとなるパラメータである可能性を指摘した．参加者からは，リチャードソン数による制約に関して多くの質問が集まった．2つめのテーマは「台風強化の力学」である．1つめのテーマに引き続き，絶対角運動量とエントロピーの流入を重要視しつつ，台風強化の方程式を定式化した．定常状態の特徴が水蒸気と摩擦の交換係数の比に依存するのに対し，台風強化は下端の大気境界層が湿ること，及び，到達可能な台風強度と現状の台風強度の差に依存していることが広く理解された．最後のテーマは「気候変動化における台風リスク」であった．最初の2つのテーマが高度に理想化・抽象化された台風に関する議論であったのに対して，現実的な台風によるリスクをデータに基づいて紹介した．気候変動状況下における台風については，多くの議論にあるため，その真偽についての質問が多かったが，同時に，そのリスクを一般社会にどのように伝えていくべきか，といったコミュニケーションの問題についても参加者から多くの発言があった．

Emanuel先生が台風研究の第一人者であることから，日本国内だけでなく台湾からの来訪者も含めて，17機関から合計で56名の参加があった．日本国内の台風研究者についても第一人者から中堅研究者，若手研究者，そして多くの大学院生（17名）や学部学生（5名）まで幅広い年齢層からの参加があったことは特筆に値する会合であったと考えられる。Emanuel先生の口調は，終始穏やかであったが，現実的な世界を踏み越えて，あるべき仮定にもとに新たな世界を切り開こうとする研究スタイルに，多くの参加者は力強さを感じたことだろう．また，講演では，どのような着想・アイデアから，Emanuel先生が記念碑的な式に到達したのかということが丁寧に述べられ，研究に対する態度や発想法，時代背景という点で多くの参加者が感銘を受けていた．また，懇親会にでも多くの若手研究者や学生と語り合っていらっしゃり，研

究の面白さを伝えようとする姿勢に主催者一同も感銘を受けた．

今回の台風セミナー2019では，Emanuel先生の講演に先立ち，初学者のために，日本語での「軸対称的な台風の物理学」(2時間)と「台風と地球温暖化」(1時間)に関するチュートリアルが行われた．これらの講演は，特に初学者がEmanuel先生の講演の理解を深める上で重要なものであったと考えられる．また，最新の研究成果に関する口頭発表も8題発表され，議論を通じて各人の研究に対する相互の理解が深められた．

なお，今回の台風セミナーはEmanuel先生の都合で4月中旬という新年度開始直後に開催されることとなった．このため，航空券の取得などを新年度の共同利用経費で賄うことが困難であることが予想されたため，Emanuel先生の旅費や滞在費は寄付金により賄い，共同利用・共同研究の経費は申請しなかった．

図 1 全体集合写真．最前列中央が Emanuel 先生.

図 2 Emanuel 先生による招待講演の様子

第9回実験室・宇宙・天体プラズマに関する東アジアスクールとワークショップ
9th East-Asia School and Workshop on Laboratory, Space, and Astrophysical Plasmas (EASW9)

渡邉智彦、名古屋大学・大学院理学研究科

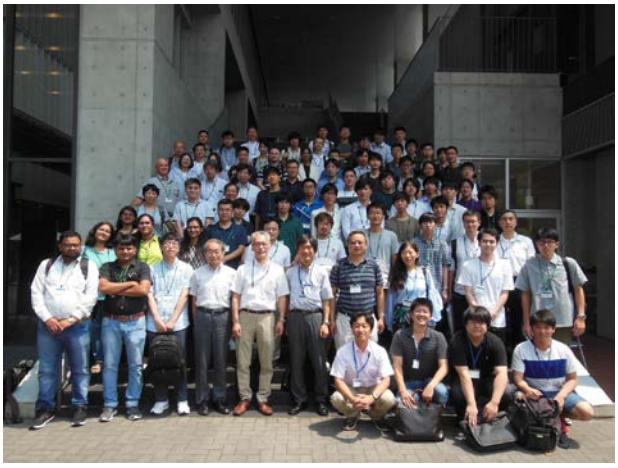
2019年7月29日から8月2日にかけて、名古屋大学理学研究科とISEEとの共同主催により、第9回実験室・宇宙・天体プラズマに関する東アジアスクールとワークショップ（9th East-Asia School and Workshop on Laboratory, Space, and Astrophysical Plasmas; 以下EASW9)を名古屋大学・ES総合館において開催いたしました。本会合の目的は、プラズマ物理学を共通項とした学際分野の交流を通じ、各分野におけるプラズマ研究の進展に寄与するとともに、第一線の研究者によるプラズマ物理学の普遍性の探求に資することがあげられます。これを通じ、東アジア地域での大学院生・若手研究者の交流促進と、当該学術分野の将来の発展に貢献することを目的としています。

この会合の特色は、東アジア地域を中心として、プラズマ物理を軸に、実験室、宇宙、天体と異なる分野における大学院生と若手研究者を対象としたサマースクールを実施するとともに、最先端の研究成果も議論する場としてのワークショップを開催する点にあります。すなわち、核融合や実験室プラズマ、宇宙・天体プラズマの広い領域をカバーする学際的交流と、大学院生・若手研究者の育成の両立を目指した会合です。そのために会議のプログラムとしては、通常の国際会議とは大きく異なる構成を取っています。特に、90分の時間を割り当てたLectureを設定したこと、さらに大学院生や若手研究者向けに口頭発表の機会を設けたことが特徴として挙げられます。

Lectureについては、国際組織委員会においてテーマ選定および講師の人選を行い、分野のバランスを考慮しつつ魅力的なプログラムになるように配慮しました。その結果、無衝突磁気リコネクションから始まり、核融合プラズマの磁気流体現象、天体での粒子加速、天文情報学、天体での磁気流体乱流、核融合プラズマ中の流れと乱流、ジャイロ運動論的シミュレーション、太陽ダイナモ、電離層プラズマ、星形成過程の物理、といった多彩なテーマについて、著名な研究者によるLectureプログラムを構成することができました。さらに国内外から、18名の招待講演者を招き、最先端の研究成果についての発表も行われました。

会議へは、総勢108名（学生60名)、そのうち海外から39名の参加者があり、これまでのEASW会議でも最も盛況なものとなりました。これもひとえに、ISEE共同研究とともにPSTEPプロジェクトなどにより、国内外からの大学院生の旅費・滞在費などをサポートいただけたおかげです。この場をお借りして、改めて感謝申し上げます。第10回となる次回

は、中国で開催される予定です。さらに充実したサマースクールとワークショップとなるよう、日本からも多くの大学院生・若手研究者が参加され、国際的かつ学際的な交流を深めていただければ幸いです。



会場前での会議参加者との写真

第21回 惑星圏研究会
The 21st 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21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、日本の研究者が深く関わっている水星、金星、火星、木星の各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惑星遠隔観測も実施されており、数多くの興味深い成果が報告されている。最近、2020年代に打上と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、同年代に打上と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。これらの新しい探査ミッションは「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、昨年度迄の研究会では、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、本研究会の長年のテーマであるSTP領域研究に加え、惑星科学領域研究を積極的に取り上げ、STP領域、惑星科学領域の多くの機関の研究者からなるSOCの下で、広い領域の国内外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、従来同様に広い研究領域の多機関の研究者からなるSOCを立ち上げ、特に、①2020年代に日本が深く関わる探査の開始が予定される水星、火星・木星とその衛星に関わる研究について、研究者間の相互理解の深化と深い議論、及び、②現行＆始動済の探査プロジェクトの“次”の将来計画を検討してゆくためのブレーンストーミングを主テーマに選定し、現行プロジェクトの推進者や次代プロジェクトの提案者等の招待講演を軸にしたプログラムを編成し、3日間午前・午後のフル開催による講演と議論を行った。

本研究会は、名古屋大学宇宙地球環境研究所研究集会の他、東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻太陽惑星空間系領域、JSPS 新学術領域研究「水惑星学の創成」、同 新学術領域「星惑星形成」A03大気形成論、同 基盤研究A:「火星大気進化」、神戸大学 惑星科学研究センター、また、東北大学 宇宙航空研究連携推進委員会の共催・協賛の下で実施された。

参加者数：102 名（一般：64名、学生：38名）

内容：

2020年2月17日～19日に実施した本研究会のタイム・スケジュールを以下に記す。今回の研究会では口頭講演54件（招待講演17件、一般講演37件）、ポスター講演30件の計84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/

2020年2月17日
9:00-9:05 開会の辞
9:05-12:45「惑星の水進化」セッション #1
　　招待講演「固体天体における水環境進化とハビタビリティ：現状と課題」Y. Sekine et al. (Tokyo Inst. Tech.)他 招待講演 3件、一般講演 4件
13:15-13:45「将来構想」セッション #1
　　一般講演 2件
13:45-18:00「月から火星へ」セッション #1,2

招待講演「Water and the Mantle Evolution in the Moon and Mars」M. Ogawa(Univ. Tokyo)
他 招待講演 5件、一般講演 4件
18:00-19:30 ポスターセッション　講演 30 件

2020年2月18日
9:00-9:45　「惑星の水進化」セッション #2
招待講演「彗星探査ミッション Comet Interceptor」 S. Kasahara et al.(Univ. Tokyo)
他 一般講演1件
9:45-12:20 「大気無し天体とその環境」セッション#1, #2
招待講演「Plasma Environments of the Moon and Mercury」Y. Harada(Kyoto Univ.)
他 招待講演3件、一般講演2件
12:50-13:20「将来構想」セッション #2
一般講演 2件
13:20-15:10 「大気無し天体とその環境」セッション#3
招待講演「The Approach for the Origin of the Water through the Remote D/H Observation」K. Yoshioka et al.(Univ. Tokyo)
他 招待講演1件、一般講演2件
15:25-17:45 若手研究者・一般講演者によるセッション#1
一般講演 7件
17:50-19:00 「将来構想」セッション #3
一般講演 4件

2020年2月19日
09:00-11:55 若手研究者・一般講演者によるセッション#2, #3
一般講演 8件
11:55-12:00 口頭講演セッション 閉会の辞
13:00-16:00 「将来構想」セッション #4
一般講演 1件他、将来計画・プロジェクト等 自由議論

成果等：

今回の研究会では、特に、①2020 年代に日本が深く関わる探査の開始が予定される水星、火星・木星とその衛星に関わる研究について、研究者間の相互理解の深化と深い議論を行うセッションと、②現行&始動済の探査プロジェクトの“次”の将来計画を検討してゆくためのブレーンストーミング的な議論を行うセッションを企画し、①ではプロジェクト推進に関わるキーパーソンによる招待講演と一般講演、②では将来プロジェクトの提案者等による内容紹介とフリーディスカッションを行った。今回は、①、②とも広領域の研究者間の相互理解と議論重視のコンセプトでの企画であり、詳細な、或いは、微妙なテーマについてもしっかり理解と議論を行うため、講演・議論・発表資料の言語は日本語主体となったが（昨年度迄は発表資料は原則英語）、今回は日本語を解さない参加者はおらなかったこともあり、企画意図通り進め得たと考えている。②については、海外からの参加者による、海外での将来探査計画の現状と見通し等の紹介があり、そうした計画への対応の議論を通して、本研究会に関係するコミュニティーの在り方や今後の研究会の進め方についての議論も行われ、将来の「惑星圏研究」の推進・展開面でも有意義な会合となったと考えている。一方、プログラム面では全体的に日程が押してしまい、ポスター講演に対する議論等が初日夕刻のポスター発表コアタイム以外は寂しい印象もあり、この点は次年度に予定する“第 22 回惑星圏研究会”のプログラム面での課題となろう。

尚、これまでの研究会でも実施してきた、本研究領域の将来を担う若手研究者や学位取得直後・博士課程進学予定の大学院生による研究紹介についても、今回も優先的に口頭で講演頂いた。限られたコアタイムとはなったが、ポスター発表も含め、活発な討議が行われたことを申し添える。

[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 2020 年 4 月以降公開。

宇宙地球環境の理解に向けての統計数理的アプローチ
Statistical approaches for understanding space-earth environment

中野慎也，統計数理研究所・モデリング研究系

本研究集会は，統計数理的あるいはデータ科学的アプローチに基づく宇宙地球環境の包括的な解析，モデリング研究に関心を持った研究者を一堂に集めて情報交換を行い，宇宙地球環境の把握，予測のための統合的解析・モデリング研究を促進することを目的に毎年開催している．元々，2011年よりデータ同化に焦点を当てた研究集会として開催してきたが，2016年度より統計科学や機械学習などを含むデータ科学，統計数理的な手法の活用について広く情報交換する場として開催しており，今回で通算9回目となる．今回は，2019年12月19日に名古屋大学宇宙地球環境研究所 共同館II 3F会議室において，以下のようなプログラムで実施した．

[プログラム]

10:50 - 11:10
金子岳史，Park Sung-Hong，草野完也
「太陽プラズマ噴出を対象とした観測データ駆動型磁気流体シミュレーション」
11:10-11:30
三好由純
「データ同化による地磁気指数の推定」
11:30-11:50
上野玄太
「ヒストグラムモデルの情報量規準」
11:50-12:20
石川佳治（招待講演）
「シミュレーションデータウェアハウス：データベース技術に基づくシミュレーションデータの管理と分析」
12:20 - 13:20　　（休憩）
13:20-13:40
河合敏輝，今田晋亮
「遺伝的アルゴリズムを用いた微小太陽フレアの解析」
13:40-14:00
采女昇真
「cGANを用いた黒点スケッチ画像から太陽磁場画像の生成」
14:00-14:20
富田裕之
「衛星観測と機械学習による海面フラックス推定」
14:20-14:40
清水淳史，中田裕之，大矢浩代，鷹野敏明
「機械学習を用いたイオノグラムにおけるスプレッドFの自動検出」
14:40-15:00
渡邉堯
「Proxy環境データの解析における問題点（18-19世紀における太陽活動と地球・社会環境との関係）」

15:00 - 15:20　　(休憩)
15:20-15:40
菅野湧貴
「大気・海洋分野におけるビッグデータの取り扱い」
15:40-16:00
大石俊
「西部太平洋・東南アジア高解像度海洋データ同化システムの構築」
16:00-16:20
塩田大幸, 八代誠司, 岩井一正, Angelos Vourlidas, Carlos R Braga, Neel Savani
「内部太陽圏MHDシミュレーションSUSANOOを用いた太陽嵐影響予測のデータ同化に向けた取り組み」
16:20-16:40
藤井陽介
「準ニュートン法と海洋データ同化・予測システムでの利用について」
16:40-17:00
中野慎也, 南拓人, 高橋太, 松島政貴, 藤浩明, 清水久芳
「アンサンブル変分法による地磁気永年変化の予測」

午前から午後の最初にかけての時間帯は，数値シミュレーションをデータ科学や統計数理的な手法と組み合わせた多様な研究についての講演があった．特に今回は，名古屋大学大学院情報学研究科の石川佳治先生より，招待講演として，シミュレーション結果の分析のためのデータウェアハウスシステム開発の事例についての話題提供も受けた．その後，午後の前半の時間帯で，機械学習の手法の応用について講演があり，太陽や電離圏，大気，海洋など様々な分野への適用事例について活発に議論を行った．午後の後半の時間帯は，数値シミュレーションと観測データを融合させるデータ同化の応用研究についての紹介がなされ，太陽風，海洋，地球内部といった多様な事例について情報交換を行った．昨今の機械学習の応用研究の広がりもあって，今回は当初予想していたよりも参加者が増えたため，各講演の時間に制約があったものの，統計的，数理的手法の応用に関する様々な話題について情報交換することができ，非常に有意義な集会となった．

ERG衛星粒子観測データ解析ワークショップ
Workshop for the plasma particle observations by 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

１．概要

研究会名：ERG衛星粒子観測データ解析ワークショップ
日程：2019/09/18-09/19
場所：東京大学　本郷キャンパス　理学部1号館710室
参加者数：のべ75名
特記事項：核融合研・永岡賢一准教授代表のISEE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」（2019/09/17-18）との連続開催とした.

２．研究会アジェンダ

【あらせサイエンス会議１】座長：北村成寿

14:00 -	14:25	山川智嗣	東大・理	Study of the excitation mechanism of ULF waves in Earth's magnetosphere based on the drift-kinetic model
14:25 -	14:50	大野敦裕	東北大	Drift resonance of energetic electrons with Pc 4-5 ULF waves and modulation of whistler-mode chorus
14:50 -	15:15	高橋直子	東大・理	Relative contribution of ULF and chorus waves to the radiation beltvariation
15:15 -	15:40	伊藤大輝	名大ISEE	Flux decrease of outer radiation belt electrons associated with solar wind pressure pulse: A Code coupling simulation of GEMSIS-RB and GEMSIS-GM
15:40 -	16:05	藤井 亮佑	名大ISEE	Statistical analysis for trunk structure of ring current ions using Arase ion observations
				コーヒーブレイク

【あらせサイエンス会議２】座長：高橋直子

16:25 -	16:50	戸田穂乃香	東海大	Geant4 Model Calculation and Energetic Particle Observation with HEP/Arase in the Inner Radiation Belt
16:50 -	17:15	笠原慧	東大・理	放射線帯における Whistler chorus波動による 電子のピッチ角散乱： strong diffusionの緯度分布
17:15 -	17:40	Chae-Woo Jun	名大ISEE	Spatial distributions of EMIC waves under different geomagnetic conditions during the Van Allen Probes and ERG era
17:40 -	18:05	能勢正仁	名大ISEE	Longitudinal Structure of Oxygen Torus and Its Coincidence with EMIC Wave in the Inner Magnetosphere: Van Allen Probe B and Arase Observations of the 12 September 2017 Event

9月19日

【あらせサイエンス会議3】座長：三好由純

9:30 -	9:45	小川泰信	NIPR	EISCAT観測について
9:45 -	9:55	堀智昭	名大ISEE	Arase-SuperDARN collaboration
9:55 -	10:05	細川・三好		PsAプロジェクトについて
10:05 -	10:15	塩川和夫	名大ISEE	PWINGプロジェクトの現状
10:15 -	10:25	北村成寿	東大・理	MMS観測について
				コーヒーブレイク

【あらせサイエンス会議4】座長：笠原慧

10:45 -	11:00	篠原・三好		あらせプロジェクトレポート・議論
11:00 -	11:10	笠原禎也	金沢大	ERG/PWEのレポート
11:10 -	11:20	栗田怜	名大ISEE	ERGサイエンスセンター報告
11:20 -	12:00	風間洋一	ASIAA	<チュートリアル講演>
				ランチ

【あらせWS】

13:00 -	17:00	ERGサイエンスセンタ		SPEDAS講習会

３．成果

＊学生・PDが初期解析状況を発表して，解析の手法・方針等について観測器PIと直接議論した

＊「実験室・宇宙プラズマにおける波動励起と粒子加速・加熱」とのジョイント開催とすることで，分野境界領域の研究に関する知識・理解の交流を実施できた

＊粒子機器(LEP-e)のPIがチュートリアル講演を実施し，粒子観測データの基礎から応用まで解説し，データ解析研究者の理解を深めた.

＊解析ソフト講習会では，チュートリアル講演を受けて，粒子データ解析作業に有用な発展的ツールを扱った.

太陽研連シンポジウム「太陽研究の現状と将来展望」
JSPC Symposium “Present and future prospects of solar physics”

一本　潔、京都大学大学院理学研究科附属天文台

太陽研連シンポジウムは、太陽研連(太陽研究者連絡会)が主催し、年一回開催される定例研究集会である。太陽研連は、全国の大学および研究機関で太陽物理学やそれに関連した研究を行う研究者や大学院生が参加する研究コミュニティ団体である。現在の会員数は 205 名(3 月 9 日現在)であり、今回のシンポジウムには全会員の四割である 80 名が参加した。

現在、日本の太陽物理学分野では、衛星計画や小型飛翔体計画、さらに、海外との連携も含めた地上観測計画、新学術領域研究「太陽地球圏環境予測:我々が生きる宇宙の理解とその変動に対応する社会基盤の形成」(PSTEP)以降の宇宙天気・宇宙気候の研究計画など、将来の研究の方向性を定める重要な時期にある。現在の日本の太陽物理学分野を包括し今後の議論を行うため、1) 飛翔体研究の現状を踏まえた次期観測衛星計画の進捗、2) 地上観測研究の現状を踏まえた次世代地上光学観測の戦略、3) 数値シミュレーションおよび太陽物理周辺諸分野との連携による太陽物理学の展望、の三部に分けて本研究集会を実施した。当初、開催期間を 3 日間の予定で研究会を企画したが、焦点を絞って密に議論できるようにプログラムを上記のように工夫した結果、2 日間での開催となった。

本会では、太陽や内部太陽圏のレビューや今年度の学位論文の発表だけではなく、核融合分野における乱流研究と太陽研究との協力や、他の主系列星と太陽の比較研究なども講演され、分野の現状を認識し近接分野との協力関係を議論することができた。今回レビューを行った Parker Solar Probe(PSP)や Solar Orbiter により、内部太陽圏の知見が大幅に広がりつつある。特に昨年 12 月に発表された PSP の初期成果では、これまでの想定と異なる現象が多く発見された。これらの現象を理解するためには太陽大気中の現象との関係を明らかにすることが不可欠である。このように太陽大気と内部太陽圏をシームレスに扱う観測的・理論的フレームワークが重要であることが再認識され、太陽研究において重要かつ挑戦的な課題が示された会となった。

一方、次期衛星計画 SOLAR-C_EUVST や、実施中または計画中の飛翔体計画(Sunrise3, CLASP3,FOXSI4,PhoENiX)、先日ファーストライトを迎えた大口径太陽望遠鏡 DKIST プロジェクトへの参画などの状況が紹介された。またこれらを網羅し、今後 20 年の研究ロードマップを示すため太陽研連にて作成し、昨年 11 月に JAXA/ISAS へ提出された「太陽・

太陽圏研究領域の目標・戦略・工程表(2019 年版)」も紹介された。将来計画の実現、およびこれらの科学成果を最大化するためにコミュニティとしてのどのようにサポートしていくのか、またサポートに必須な人的資源をどう確保していくのか議論された。解決策が示せたわけではないが、今後の戦略を考える上で重要な議論となった。

JpGU 地球惑星科学における航空機観測利用の推進
JpGU Promotion of Application and Utilization of Aircrafts for Earth sciences)

高橋暢宏、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

1. 目的

本研究集会は，日本気象学会が中心となって日本学術会議のマスタープラン2020に応募した「航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進」に基づいて実施するJpGUでのセッションである（コンビーナーは高橋の他に，東京大学 小池真，国立環境研所　町田敏暢，ISEE篠田太郎の3名である）．マスタープラン2020への提案では，宇宙地球環境研究所飛翔体観測推進センターを航空機観測の中核機関として位置づけ，科学的には地球惑星科学分野全般をカバーするほか航空工学の分野との連携も行っている。

なお，本研究集会は名古屋大学における研究集会ではなく，JpGUの航空機観測セッションの招待講演者等に対する助成として活用するものである.

2. 概要

本セッションは口頭発表のセッションとポスター発表に分かれるが、主に口頭発表におけるセッションの概要を示す.

坪木： 航空機からのドロップゾンデ観測について
- 台風LAN、台風TRAMIの観測概要
- 大気最下層での気圧補正法について

山田：新たな台風観測について
- 航空機による台風の目の貫入について
- 地上レーダを用いた台風の風速・気圧推定手法
- 2020年の観測計画について

山口：台風TRAMIへのドロップゾンデ観測の予測精度改善の評価
- 気象庁全球モデルへの適用
- 改善度合いに対する評価

茂木：航空機観測で得られた黒色炭素と酸化鉄の特徴について
- これまでの航空機観測の概要
- 人為起源の酸化鉄の温室効果や海洋への鉄供給の効果

原田：南極でのロガロ翼UAVによるエアロゾル観測
- 複数高度における水平分布の観測からエアロゾルの発生のメカニズム推定
- トラジェクトリー解析によるソースの推定

林：UAVにおける測風法について
- ピトー管や姿勢情報による推定とホドグラフ測風の比較

また、ポスターセッションにおいても，工学分野と理学分野の発表が行われ，機器開発と観測といった観点での活発な議論が行われていた.

セッション後にマスタープラン提案に関する会合を実施した.

気象学会関係者による会合では，5月27日行われたJpGUでの大型研究セッションでのヒアリングにおけるコメントの確認を行うとともに、今後強化すべき点や準備事項の確認を行った。

写真：セッション後に実施した会合の様子

３．参加者数

JpGUのセッションのため講演者と小集会（気象学会―航空宇宙学会会合）参加者のみリスト化した。セッション参加者はおよそ40名超であった。

４．成果等

航空機観測に関するマスタープランに関して、これまでの議論から、日本における航空機観測を実行する上での考え方の整理やストロングポイントの整理ができヒアリングにおいては高評価を得られた。また、今後の活動方針を決めることができた。

JpGU後の進展として、航空機観測の提案はマスタープランの重点課題のヒアリングに進み（2019年9月）、最終的に重点課題に採択された（2020年1月）。今後は、このような取り組みを強化して、文科省ロードマップ2020などを通じた予算化への道筋をつけてゆきたい。

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 Indo-Pacific Climate and Hydrospheric Environment

尾形 友道（海洋研究開発機構・アプリケーションラボ）

2019 年 11 月 8 日（木）～9 日（金）に、標記の集会を名古屋大学宇宙地球環境研究所にて開催し、アジア–オセアニアを取り囲む海洋・気象・水文研究の動向について議論した。この集会の目的は、衛星観測/現場観測/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である。今年度も昨年度に引き続きインドネシアからの招待講演者（Iskhaq Iskandar 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。

まず 1 日目は、Iskhaq Iskandar 氏（Universitas Sriwijaya）からインドネシアにおける海面水温（SST）変動におけるメカニズム、および ENSO/IOD などの熱帯域の気候変動モードとの関連に関する基調講演があった。引き続き、堀井孝憲氏（JAMSTEC）はスマトラ・ジャワ島沿岸域における沿岸観測データを用いた沿岸域での湧昇シグナルに関する結果を紹介した。富田裕之氏（ISEE・名大）は自ら作成に寄与している衛星観測をベースにした海面フラックスのデータセットを用いて、高解像度での台風通過時のフラックス変動について明らかにした。Eko Siswanto 氏（JAMSTEC）は最近 20 年のデータを用いて、南東アジア域における海洋生態系の長期変動メカニズム、特に気候変動の影響について議論した。Jutarak Luang-on 氏（ISEE・名大）はタイランド湾におけるクロロフィル a の季節変動および年々変動における解析結果を紹介した。笹井義一氏（JAMSTEC）北太平洋域の生態系として、黒潮続流域における生態系の変動メカニズムについて、渦解像の高解像度海洋-生物モデルのシミュレーションにより議論した。一方、東南アジア域のモンスーン気象に関する研究例として、藤波初木氏（ISEE・名大）はベンガル湾でのモンスーン低気圧に関する急速な発達について、メソスケールの降水系システムとの関係から調べた。高橋洋氏（首都大）は夏季アジアモンスーンに対応した、フィリピンにおける降水量の変動と SST 変動との関係について、観測データからの解析結果を紹介した。また、大気海洋力学の基本的な問題として、松田拓朗氏（東大）はエネルギー収支における Lorenz ダイヤグラムの修正とその解釈例を提示し、オーストラリア西方沖の Leeuwin 海流への適用例を示した。

２日目は、安藤健太郎氏 （JAMSTEC）からインド洋・太平洋域における国際的な海洋研究への取り組みの動向について、2021 年からの計画作成に向けた日本を含めた各国の状況について発表した。永井平氏（東大）は海洋モデルにインドネシア多島海における潮汐による鉛直混合の効果を取り込むための乱流直接観測を紹介し、水温・塩分に見られる水塊の変質プロセスへの影響を議論した。小坂由紀子氏（ISEE・名大）は過去 1000 万年相当の日本海の海底堆積物に含まれる魚歯/骨片化石のネオジム同位体比を分析し、過去の日本海に流入した海水の起源を復元した研究を紹介した。源田亜衣氏（岡山大）はサンゴ骨格から海水温および塩分が復元できる事を紹介し、ジャワ海より採取されたサンゴ骨格の化学成分分析から復元した過去約 70 年間の海水温と塩分の復元結果について紹介した。山上遥航氏（東大）は大気海洋結合モデル（MIROC6）を用い、海洋モデルの水平解像度の高解像度化に対するアジアモンスーンへの影響について、海洋表層の力学の寄与や大気のテレコネクションの影響に着目して発表した。山田洋平氏（JAMSTEC）は雲解像全球大気モデル（NICAM）を用い、強いエルニーニョ年である 1997 および 2015 年における強い台風発生数に対して SST だけでなくモンスーントラフの再現性が重要である事を発表した。

以上の 16 名の発表者を含む 30 名あまりの参加者との間で、分野間の垣根を超えた若手～中堅研究者を中心とした活発な議論や交流がなされた。東南アジアでの大気海洋研究例として、インドネシアからの研究者を招いたのは（日本からではなく、現地研究者からの）東南アジア域での研究事情を知る貴重な機会であったと思う。これまでの３回で行われたインド洋/太平洋域の分野横断的な研究発表や議論をさらに活発にし、大気水圏と人間圏の現在と未来を考え、学際的な共同研究が自然に育まれるような場を提供したい。

2019 年度集会のプログラム
http://www.isee.nagoya-u.ac.jp/meetings/20191107.html

水星探査の視点から見た惑星磁気圏研究
Study on planetary magnetosphere derived from Mercury exploration

村上豪、宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所

【概要】
第2回研究集会：「水星探査の視点から見た惑星磁気圏研究会」を2019年11月7日～8日に名古屋大学東山キャンパスにて開催した。今回はJAXA/ISAS：磁気圏電離圏シンポジウム、名古屋大学ISEE：太陽サイクル25において行うべき太陽地球科学、新学術領域研究：太陽地球圏環境予測(PSTEP)と共催とし、シンポジウム「内部太陽圏探査の新展開　～第25太陽活動周期に向けて～」として本研究集会を開催した。

【参加者数】
合計23名、うち外国人2名、若手研究者4名、大学院生1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
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のキックオフの場として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。

太陽サイクル25において行うべき太陽地球科学
Solar Terrestrial Environment Researches to be performed during solar cycle 25

今田晋亮、名古屋大学宇宙地球環境研究所

【概要】

究集会：「太陽サイクル25において行うべき太陽地球科学」を2019年11月7日～8日に名古屋大学東山キャンパスにて開催した。今回はJAXA/ISAS：磁気圏電離圏シンポジウム、名古屋大学ISEE：水星探査の視点から見た惑星磁気圏研究会、新学術領域研究：太陽地球圏環境予測(PSTEP)と共催とし、シンポジウム「内部太陽圏探査の新展開　～第25太陽活動周期に向けて～」として本研究集会を開催した。

【参加者数】

合計23名、うち外国人2名、若手研究者4名、大学院生1名。

【研究報告】

招待講演を中心とし、主に以下のような講演を行い、これからの内部太陽圏探査の共同観測及び内部太陽圏モデリング開発に関して議論を行った。現在進行中の衛星探査計画（Parker Solar probe, Solar Orbitor, BepiColomboなど）や、今後の衛星計画の詳細を理解する事ができ、さらにどのような共同観測ができるか、モデル計算との共同研究ができるかが十分に議論でき、非常に有意義な研究会であった。今後、内部太陽圏の共同研究に発展しうるだけの十分な情報交換・共有が行えた。

プログラム

November 7:

13:35-13:55　Y. Miyoshi, Introduction & Heliospheric System Observatory toward Solar Cycle 25

13:55-14:35　G. Murakami, (Tutorial) Contribution of the BepiColombo mission to inner heliospheric science

14:35-15:15　Y. Narita (Tutorial), Introduction to Solar Orbiter mission

15:30-16:10　K. Munakata (Tutorial), High energy cosmic rays and the heliosphere

16:10-16:50　M. Oka (Tutorial), Solar Energetic Particles

16:50-17:10　T. Shimizu, What Contributions Can be Made with Recent Solar Observations for the inner heliosphere investigations?

17:10-17:30　K. Shibasaki, Solar wind acceleration by Kelvin force

November 8.

09:00-09:40　A. Matsuoka (Tutorial), MHD and whistler waves at the interplanetary shock and their

contribution to the solar wind heating

09:40-10:10 D. Shiota (Tutorial), MHD modeling of Inner heliosphere for space weather forecast

10:30-11:10 NourEddine Raouafi (Tutorial), Parker Solar Probe: First Results After Three Solar Encounters and Outlook

11:10-11:50 M. Shoda (Tutorial), Some predictions for Parker Solar Probe from direct numerical simulation of the fast solar wind

13:00-13:40 M. Tokumaru (Tutorial), Key issues on the solar wind from exploration of the inner heliosphere in Cycle 25

13:40-14:20 T. Imamura (Tutorial), Radio occultation observations of the solar corona using spacecraft

14:20-15:00 S. Imada(Tutorial), Science Objectives of Solar-C

15:20-15:40 R. Kataoka, Solar protons and radiation exposure at Mars

15:40-16:20 K. Iwai (Tutorial), Next generation heliospheric observation instrument: design of the new radio telescope for the IPS observations

16:20-16:40 S. Miyake, MHD-SDE hybrid simulation of the cosmic-ray modulation (Gm7)

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．研究集会の概要

中間圏・熱圏・電離圏（Mesosphere, Thermosphere and Ionosphere; MTI）は、高度50 km以上の地球上層大気圏を指し、宇宙と下層大気の境界を成すインターフェイスの役割を担っている大気層である。そのため、この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、下層大気起源の大気重力波による大気擾乱の影響が様々な物理・化学過程を経て伝搬し、幅広い時間・空間スケールで変動する特徴を持っている。また、同領域は通信や衛星測位など人類活動への影響の観点も重要視されている。地球電磁気・地球惑星圏学会（SGEPSS）の分科会の１つである中間圏・熱圏・電離圏(MTI)研究会は、このような MTI 領域を研究対象とする研究者の集まりであり、平成10年から研究集会「MTI研究集会」を毎年１回開催してきた。これまでのMTI研究集会では、SGEPSSなど学会とは異なる企画を催し（ハンドブックの作成や学生・若手研究者のエンカレッジ、次期衛星観測ミッションに向けた検討など）、国内MTI研究分野の共通課題への対応や発展の促進を目指してきた。本年度のMTI研究集会は、学生・若手研究者のエンカレッジを目的として開催した。

２．研究報告・成果等

令和元年度は、異なる分野の研究者同士の交流を図ることも目的として、「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」、「IUGONET研究集会」との共同開催に加え、これまで京都大学生存圏研究所で開催されてきた「MU/EARシンポジウム」との同時開催にした。名古屋大学宇宙地球環境研究所のほか、助成金を得た京都大学生存圏研究所、国立極地研究所の共同主催として、京都大学生存圏研究所（京都府宇治市）において令和元年9月9 - 13日(うちMTI研究集会は10-12日の3日間)の日程で開催した。その結果、これまでMTI研究集会に参加していなかった参加者も加わり、異分野間の研究者・学生の交流や当該分野の研究に関する最新の動向などの情報交換がなされた。なお、今年度のMTI研究集会の参加者数は、66名、のべ148名であった。

今回のMTI研究集会では、MTI分野の学生・若手研究者の育成の観点から、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できることを目指し、その内容に関する質疑応答時間を多く配分した。その結果、若手研究者や学生から11件(全

体件数：16)の口頭発表があり、本研究会を通じて彼らの研究の視野が広がり、今後の研究指針、問題点の解決策等の貴重な研究アドバイスを得ることができた。

また、ポスターセッションでは、若手研究者や学生を中心に8件の発表があった。本セッションでも若手研究者や研究始めたての学生らをエンカレッジするために長めのコアタイムを設けた。その結果、中堅からシニアの研究者が彼らのポスター発表を熱心に聴き、議論する姿が見られた。共同開催された他の研究集会への参加者も多く、共同・同時開催の意義は十分にあったと考えられる。昨年度のMTI研究集会でも同セッションは開催しており、本セッションで発表した学生(当時大学院修士課程1年)は、その後、ポスター発表で得られた研究アドバイスを基に研究成果を論文にまとめ、以下の査読付き論文が地球物理学の権威である国際誌「Journal of Geophysical Research」に受理された。

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, doi:10.1029/2019JA026713, 2019.

このようにMTI研究集会が目的と掲げているMTI分野の学生・若手研究者の育成と彼らによる研究成果の創出が達成できていると判断できる。また、本年度に本研究集会に参加した学生・若手研究者が各自の研究成果を論文にまとめている最中であり、来年度以降にそれらが出版されると考えられる。

３．研究会世話人

冨川 喜弘（代表・国立極地研究所）、新堀 淳樹（名古屋大学）、津田 卓雄（電気通信大学）、西岡 未知（情報通信研究機構）、Hozumi Kornyanat（情報通信研究機構）、横山 竜宏（京都大学生存圏研究所）

４．MTI 研究集会プログラム

9 月 10 日（火）@総合研究実験１号棟 HW401

【座長：冨川喜弘（極地研)】

15:00-15:20 SuperDARN/mid-latitude SuperDARN - past, present and future

○西谷望（名大 ISEE)、SuperDARN Pis

15:20-15:40 磁気圏電場による低緯度電離圏変動-HF Doppler 観測-

○菊池崇（名大 ISEE)、冨澤一郎、橋本久美子、海老原祐輔、細川敬祐

15:40-16:00 Relationship between the large TEC fluctuation and ionospheric echoes observed by the SuperDARN radars in the auroral zone and midlatitudes

during a geomagnetic storm
○惣宇利卓弥（名大 ISEE）、新堀淳樹、大塚雄一、津川卓也、西岡未知、William Bristow、J. Michael Ruohoniemi、Simon G. Shepherd、西谷望

9 月 11 日（水）@木質ホール
【座長：西岡未知（NICT）】
10:20-10:40 Intermediate layer の時間変化に対する中性風の影響に関した 3 次元数値シミュレーション
○安藤慧（京大院理）、齊藤昭則、品川裕之、宮崎真一
10:40-11:00 ハワイで得られた大気光画像に見られる中間圏・電離圏波動の水平位相速度・パワースペクトル密度分布の統計解析
○内藤豪人（名大 ISEE）、塩川和夫、大塚雄一、坂野井健、齊藤昭則、中村卓司
11:00-11:20 Variations of CNA (cosmic noise absorption) by EEP (energetic electron precipitation) and changes of the auroral morphology
○宮本太志朗(名大 ISEE)、大山伸一郎、小川泰信、細川敬祐、栗田伶、三由純、片岡龍峰、宮岡宏、Tero Raita
11:20-11:40 全球 GNSS-TEC データを用いた磁気嵐時におけるグローバルな電離圏電子密度変動の特徴とその生成要因について
○新堀淳樹(名大 ISEE)、大塚雄一、惣宇利卓弥、津川卓也、西岡未知
（昼休み 11:40-13:00）

【座長：穂積 Kornyanat（NICT）】
13:00-13:40 [Invited] What radars are teaching us about small scale ionospheric irregularities and why should we care?
○J.-P. St-Maurice（ISEE/Nagoya Univ.）
13:40-14:00 Case study on plasma blobs concurrently observed with bubbles in the Asian‐Oceanian sector
○Zheng Wang（Kyushu Univ.）, Huixin Liu
14:00-14:20 Utilizing 4D-var technique to image South African regional ionosphere
○Nicholas Ssessanga（RISH/Kyoto Univ.）, Yong Ha Kim, Mamoru Yamamoto, John Bosco Habarulema
14:20-14:40 What have we done to link ionospheric research to radio propagation users?
○Kornyanat Hozumi（NICT）, Hiroyuki Nakata, Susumu Saito, Takashi Maruyama, Ryo Kakao, Takuya Tsugawa, and Mamoru Ishii
14:40-15:00 Influence of Atmospheric Tides on the occurrence of Counter Electrojet

○Dupinder Singh（Kyushu Univ.）

9 月 12 日（木）@木質ホール

【座長：津田卓雄（電通大）】

10:00-10:40 [Invited] Comparative study for upper atmosphere between Earth and Mars (and Venus)

○中川広務（東北大）

10:40-11:00 カスプ領域の中性大気質量密度に対する電子降下と Joule 加熱の果たす役割

○大井川智一（京大院理）、品川裕之、田口聡

11:00-11:20 ISS-IMAP/VISI 観測による中間圏大気重力波の変動とプラズマバブルの発生特性について

○岡田凌太（京大院理）、齊藤昭則、池田孝文、品川裕之、津川卓也、坂野井健

11:20-11:40 IMAP/VISI で見えている複数の MSTID イベント

○穂積裕太（電通大）、斉藤昭則、西岡未知、Chia-Hung Chen、大塚雄一

「合同ポスターセッション」

（ポスターボードサイズ 縦 90cm×横 90cm）

9 月 11 日（水） 15:00-17:00@木質ホール

【MTI 研究集会】

P01 ひまわり 8 号全球画像を用いた極中間圏雲の自動検出手法の開発

○川浦健斗（電通大）、津田卓雄、穂積裕太、安藤芳晃、細川敬祐、鈴木秀彦、中村卓司、村田健史

P02 低コスト大気光カメラシステムの開発

○小松大介（電通大）、津田卓雄、Kim Nielsen

P03 Es 層の研究に向けた Fe/Fe+モデルの基礎開発

○佐久間智治（電通大）、津田卓雄、品川裕之

P04 イオノゾンデの受信アレイを用いた電離圏エコー到来方向の推定

○西岡未知（NICT）、前野英生、近藤巧、津川卓也

P05 The variation of F2-peak due to CO2 increase: experiment with GAIA model

○阿部宇宙（九州大）、Huixin Liu、垰千尋

P06 南極昭和基地 PANSY レーダーによる電離圏沿磁力線不規則構造のイメージング観測

○香川大輔（京大院理）

P07 トロムソナトリウムライダー５方向同時観測データを用いた北極域下部熱圏・中間圏大気安定度の研究

○前田咲穂（名大 ISEE）、野澤悟徳、津田卓雄、川原琢也、斎藤徳人、和田智之、高

橋透、川端哲也

P08 Sodium layer observations over Tibet and Beijing, China

○Yuan Xia（ISEE/Nagoya Univ.）, Satonori Nozawa, Sakiho Maeda, Guotao Yang, Xuewu Cheng, Faquan Li, Jihong Wang, Yong Yang, Xin Lin

【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】

P09 オーロラトモグラフィ逆問題解析手法

○田中良昌（極地研）、門倉昭、小川泰信

宇宙素粒子若手の会　2019年秋の研究会
YMAP Symposium 2019

細川佳志、東北大学・ニュートリノ科学研究センター

本研究集会は10月16日～10月18日に名古屋大学東山キャンパス宇宙地球環境研究所にて開催された。2016年3月に発足した宇宙素粒子若手の会が毎年運営を担い、今年で5回目である。様々な宇宙線分野の研究者の発表を募集することで、分野を横断した議論を促し、基礎物理とその応用の研究を理解することにより、将来の宇宙線研究の計画の着想を得ることを目的としている。なお本研究集会は、ISEEの共同利用と宇宙線研究所・宇宙線研究者会議の後援を受けており、より多くの参加者に旅費を支給している。

活発な議論のために事前に参加登録していた参加者には口頭発表をすることを勧めており、27名の参加者の中で本共同利用から旅費を支給したのは4名であり、発表題目は、

・飛行型標準光源を用いた大気蛍光望遠鏡の較正：中澤新（信州大学）

・新型大気蛍光望遠鏡 CRAFFT における完全自動観測システムの実装:岩倉広和(信州大学)

・シミュレーションを用いた新型大気蛍光望遠鏡の検出部の検討：窪田悠人（信州大学）

・TA 実験における CLF を用いた大気透明度観測：中村智行（信州大学）

であった。内容については

<http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/YMAP/event/conf2019/program.html>

で公開している。

また参加者は学部1年からポスドクまで幅広く(図1)、活発な議論や質問を通じて参加者同士の交流も深まっている。自分の専門と異なるテーマに触れる事、そして参加者同士の交流を重視し、パラレルセッションを置かず全ての発表を聴けるようにした。発表題目としては、テレスコープアレイ実験などの宇宙線観測実験やスーパーカミオカンデ実験などの希少事象探索実験におけるデータの解析や較正の方法や様々な検出器を用いた環境測定法、または関連した観測機器の設計・開発が多かった。これにより研究にあたって直面する問題や注意すべき点への参加者の理解が深まり、参加者が観測機器開発やデータを利用する際の助けになると期待できる。また2日目にはExcursionとして名古屋大学のF研究室の原子核乾板の開発見学を行なっており、参加者からは「発表公演だけでなく、検出器装置の開発の現場も見学できて良かった。来年度もぜひ参加したい」という意見を多く得られており、5回目以降も継続して開催していきたいと考えている。

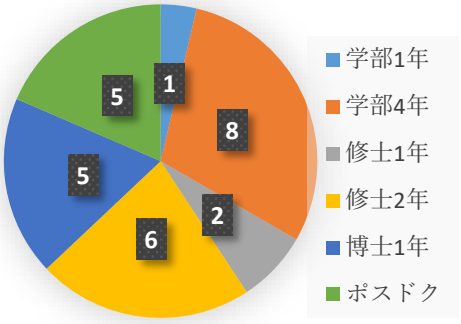


図1 参加者人数の内訳

国内SuperDARN活動の現状と将来に関する研究集会
Japanese SuperDARN meeting: present and future

代表者 西谷 望(名古屋大学宇宙地球環境研究所)

令和元年度太陽地球環境研究所研究集会「国内 SuperDARN 活動の現状と将来に関する研究集会」は 2019 年 6 月 3-7 日、5 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・九州大学・電気通信大学)共催の国際会議「SuperDARN 2019 Workshop」の一部としてハイランドリゾート ホテル&スパ(山梨県富士吉田市)において開催された。例年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 17 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。今回は SuperDARN 2019 Workshop が 12 年ぶりに日本で開催されることに伴い、同国際会議の一環として開催するという形式をとった。会議には磁気圏・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 78 名の研究者が参加した。うち海外からの参加者は 48 名、国内参加者は 30 名であった。

世界約 10 ヶ国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 37 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 13 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: 43 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完成し、平成 31 年 3 月に出版されている。

今回の国際会議においては各 SuperDARN レーダー運用の昨年以来の経緯、現状が報告された。その後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。具体的なサイエンスのテーマは以下の通りである。A. Polar Cap Phenomena. B. Multi-Scale Electromagnetic Coupling. C. MTI. D. Inner Magnetosphere. E. Plasma Flow and Convection. F. Solar Effect on HF propagation.上記に加えて SuperDARN レーダー計画を進める上での課題、特にソフトウェア・ハードウェア・運用体制についても充実した議論を行った。また今回は前年度逝去した A.D.M. Walker 名誉教授に対する memorial session も実施された。

会議においては、西谷が 2019 年 3 月に出版された中緯度 SuperDARN のレビュー論文を軸にしたレビュー講演を行った。また佐藤名誉教授が日本の SuperDARN 活動に関する historical review を発表した。その他にも日本人による招待講演が 4 件行われ、SuperDARN に関連した日本国内の研究活動をアピールした。

会議中には海外との研究者だけでなく国内研究者間の交流も盛んになされ、SuperDARN 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。議論の結果、次年度以降も今後も名古屋大学・国立極地研究所・情報通信研究機構 3 研究機関の共催で極域・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で合意した (その後の議論で、次年度は国立極地研の主導での開催とすることに決定した)。

SuperDARN Workshop 2019 Fuji, Japan

NIPR SuperDARN Science meeting 2019

国内 SuperDARN 活動の現状と将来に関する研究集会

日時 2019 年 6 月 2 日 ～ 7 日

場所 山梨県富士吉田市、ハイランドリゾート ホテル＆スパ

プログラム

口頭発表 (* 招待講演)

Latest Project Session

	Mamoru Ishii (NICT)	NICT Research and Operation for Space Weather

Multi-Scale Electromagnetic Coupling

*	Akimasa Yoshikawa (Kyushu Univ.)	MAGDAS project: Research for global and local electromagnetic coupling from polar to equatorial ionosphere
	Shin-ichiro Oyama (ISEE, Nagoya U) , Anita Aikio , Mark G. Conde, Heikki Vanhamäki, Ilkka Virtanen, Thomas Ulich, Lassi Roininen, Pekka Verronen, Takeshi Sakanoi	Spatial distribution of the polar thermospheric wind acceleration and importance of the 2D measurement
*	Yoshimasa Tanaka (NIPR), Takanori Nishiyama, Akira Kadokura, Mitsunori Ozaki, Mitsunori Ozaki, Yoshizumi Miyoshi, Kazuo Shiokawa, Shin-Ichiro Oyama, Ryuho Kataoka, Masaki Tsutsumi, Koji Nishimura, Kaoru Sato, Yoshiya Kasahara, Atsuki Kumamoto, Fuminori Tsuchiya, Mizuki Fukizawa, Mitsuru Hikishima, Shoya Matsuda, Ayako Matsuoka, Iku Shinohara, Masahito Nosé, Tsutomu Nagatsuma, Manabu Shinohara, Akiko Fujimoto, Mariko Teramoto, Reiko Nomura, Akira Sessai Yukimatu, Keisuke Hosokawa, Masafumi Shoji, Ralph Latteck	Simultaneous observation of magnetospheric plasma waves and PMWE observed by Arase satellite and MST radars

Review and Tutorial Talk

	N. Nishitani (ISEE, Nagoya Univ.), J.M. Ruohoniemi, M. Lester, J.B.H. Baker, A.V. Koustov, S.G. Shepherd, G. Chisham, T. Hori, E.G. Thomas, R.A. Makarevich, A. Marchaudon, P. Ponomarenko, J.A. Wild, S.E. Milan, W.A. Bristow, J. Devlin, E. Miller , R.A. Greenwald, T. Ogawa, T. Kikuchi	Mid-latitude SuperDARN Review Paper

MTI

*	Kazuo Shiokawa (ISEE, Nagoya Univ.), The PWING team	Ground-based multi-point network observation of the inner magnetosphere at subauroral latitudes by the PWING project

Inner Magnetosphere

	T. Hori (ISEE, Nagoya Univ.), N. Nishitani, A. S. Yukimatu, T. Nagatsuma, K. Hosokawa, H. Kawano, M. Watanabe, Y. Miyoshi, I. Shinohara	Special-time observations for SuperDARN-Arase satellite conjunction
*	Y. Miyoshi (Nagoya Univ.) , I. Shinohara, T. Takashima, K. Asamura, S-Y. Wang, Y. Kazama, S. Kasahara, S. Yokota, T. Miatni, N. Higashi, Y. Kasahara, Y. Kasaba, S. Yagitani, A. Matsuoka, H. Kojima, Y. Katoh, K. Shiokawa, K. Seki, T. Hori, M. Shoji, S. Kurita, C-W. Jun, M. Teramoto, S. Matsuda, M.T.F. Chang, the ERG project group	Geospace Explorations by the ERG/Arase project
	Hideaki Kawano (Kyushu Univ.), Akira Sessai Yukimatu, Nozomu Nishitani, Yoshimasa Tanaka, Satoko Saita, Tomoaki Hori	Amplitude-ratio and the cross-phase methods to automatically identify FLR in the SuperDARN VLOS data

Plasma Flow and Convection

	Shinya Nakano (The Institute of Statistical Mathematics), Tomoaki Hori, Kanako Seki, Nozomu Nishitani	Modeling of ionospheric convection pattern with SuperDARN data using localized vector-valued basis

Historical Review

	Natsuo Sato (NIPR), Tadahiko Ogawa, Hisao Yamagishi, Akira Sessai Yukimatu, Nozomu Nishitani, Takashi Kikuchi, Kenro Nozaki, Tsutomu Nagatsuma	History and Progress of Japanese SuperDARN Project

Storm Time Disturbances

	Takuya Sori (Nagoya Univ.), Atsuki Shinbori,	Relationship between the large TEC fluctuation

Yuichi Otsuka, Takuya Tsugawa, Michi Nishioka, William Bristow, J. Michael Ruohoniemi, Simon G. Shepherd, Nozomu Nishitani	and ionospheric echoes observed by the SuperDARN radars in the auroral zone and midlatitudes during a geomagnetic storm
Atsuki Shinbori (Nagoya Univ.), Yuichi Otsuka, Takuya Sori, Takuya Tsugawa, Michi Nishioka, William Bristow, J. Michael Ruohoniemi, Simon G. Shepherd, Nozomu Nishitani	Temporal and spatial evolutions of storm-time ionospheric disturbances in the low and midlatitudes as seen in the GNSS-TEC and SuperDARN radar observations

ポスター発表

Data Processing and Analysis

Yuka Kadowaki (PEDSC), Akira Sessai Yukimatu, Tsutomu Nagatsuma, Nozomu Nishitani, Tomoaki Hori, Keisuke Hosokawa, Masakazu Watanabe, Hideaki Kawano, Kaori Sakaguchi, Aoi Nakamizo	Current Status of SuperDARN JAPAN database and website

Inner Magnetosphere

Kento Oya (ISEE, Nagoya Univ.), Nozomu Nishitani, Tomoaki Hori	Occurrence characteristics and geomagnetic activity dependence of SAPS observed by the SuperDARN Hokkaido East and West HF Radars
S. Saito (NICT), Y. Miyoshi, S. Matsuda, S. Kurita, Y. Kasahara, A. Kumamoto, F. Tsuchiya, A. Matsuoka	Origin of fast fluctuation of energetic electron precipitation: Data-driven simulations using the ERG plasma wave observations
N. Nishitani (ISEE, Nagoya Univ.), T. Hori	Multiscape Coupling of Sub-auroral Polarization Streams Observed by the SuperDARN Hokkaido East / West radars
T. Hori (ISEE, Nagoya Univ.), N. Nishitani, S. Nakano, K. Seki, J. M. Ruohoniemi, S. G. Shepherd, K. Keika, M. Teramoto, A. Ieda	SECS reconstruction of ionospheric flow map from SuperDARN observations on St. Patricks day 2015 storm

Magnetospheric Physics

Kiyoka Murase (SOKENDAI), Ryuho Kataoka, Yoshizumi Miyoshi, Hervert Akihito Uchida, Yoko Fukuda, Yusuke Ebihara, Donald Hampton	Sporadic appearance of 10-ms-order flashing variation in flickering aurora
Sota Nanjo (The University of Electro-Communications), Yuta Hozumi, Keisuke Hosokawa	Fine-scale visualization of aurora in a wide area using color digital camera images from the International Space Station

Yasubumi Kubota (NICT), Aoi Nakamizo, Kaori Sakaguchi, Mitsue Den, Yuki Kubo, Tsutomu Nagatsuma, Takashi Tanaka	Real-time magnetosphere simulator for space weather using REProduce Plasma Universe code
Keisuke Hosokawa (University of Electro-Communications), Michitaro Nagata, Kazuo Shiokawa, Yuichi Otsuka	IMF By dependence of polar cap patch occurrence: statistics using airglow data from Eureka, Canada in comparison with SuperDARN convection patterns
Aoi Nakamizo (NICT), Akimasa Yoshikawa	Deformation of Ionospheric Potential Pattern by Ionospheric Hall Polarization

Plasma Flows and Convection

Masakazu Watanabe (Kyushu Univ.), Shigeru Fujita, Takashi Tanaka	Origin of the twin reverse convection cells for northward interplanetary magnetic field periods

Wave Propagation and its Characteristics

Keisuke Hosokawa (University of Electro-Communications), Hiroyuki Nakata, Kumiko Hashimoto, Ichiro Tomizawa, Jun Sakai, Takashi Kikuchi, Kenro Nozaki	A network of HF Doppler sounding systems in Japan: possible collaboration with SuperDARN
Takuya Tsugawa (NICT) , Michi Nishioka, Hideo Maeno, Takumi Kondo, Mamoru Ishii, Jong-Yeon Yun, Young-Sil Kwak	Collaborative ionosheric observations using VIPIRs in Japan and Korea
Y. Hamaguti (ISEE, Nagoya Univ.), N. Nishitani, T. Hori	Receiving the SuperDARN Hokkaido East HF radar signal at a remote station using the USRP
Akira Sessai Yukimatu (NIPR)	Reassessment of SuperDARN/SENSU near-range echoes

今回の Workshop では事前に合意を得た上、上記の通り国内機関所属の研究者による発表についてのホームページを作成し、公開しています(海外期間の研究者による発表については、参加者のみで発表資料を共有)。

今回および過去の研究会(中緯度短波レーダー研究会を含む)のスライド等は SuperDARN 北海道-陸別 HF レーダーホームページ
http://cicr.isee.nagoya-u.ac.jp/hokkaido/indexj.html
で参照することができます。

（別紙様式６－２）

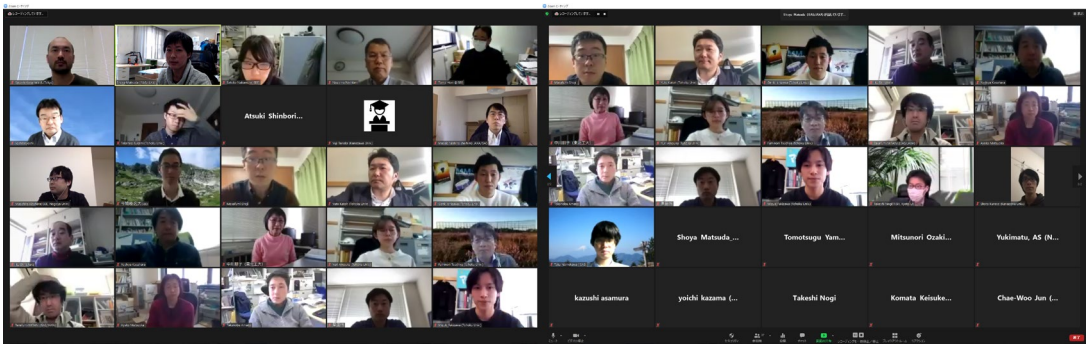
複数衛星観測によるジオスペース探査
Multi-satellite observations for Geospace

篠原育　宇宙航空研究開発機構　宇宙科学研究所

近年，あらせ衛星や Geotail 衛星など日本の衛星を含む，磁気圏探査衛星による「その場」観測点が充実していることから，複数衛星観測データの解析を行うことが当たり前になり，新たな科学成果が創出されている．しかし，複数衛星の観測結果を齟齬なく解釈するためには，各衛星観測の特徴を理解した上で，異なる L 値や地方時ごとのプラズマ・高エネルギー粒子や波動の分布特性，磁力線のトポロジーを念頭においた解析が必要となるなど，複数衛星データ解析には考慮すべきことが多い．

本研究集会では，あらせ衛星を中心とした内部磁気圏の多点観測の解析結果の報告を中心に，ジオスペースの衛星観測に係る研究者を交えて，あらせ衛星と他の衛星の観測データを使った研究を紹介して頂いたり，解析の進め方についての議論を行ったりするなど，複数衛星観測による最新の科学成果を共有することを狙った．

本研究集会は，「あらせ衛星の電場・プラズマ波動観測データを用いた解析ワークショップ」と同時に２つの研究会をマージした形で実施した．二日間の日程で，延べ 100 名を超える参加者が研究集会に参加し，あらせ衛星や搭載機器の運用状況報告（7 件）に加え，18 件の科学解析結果報告がなされた．1 日目午後には，もう一方の研究会の企画として，ERG サイエンスセンターで新規に開発したプラズマ波動解析ツール「ISEE_Wave」を使った解析講習会が実施された．本研究集会は，コロナウイルス感染症拡大防止の観点からオンラインで開催した．オンライン開催を円滑に進めるために事前の準備に労力を要したが，当日は目立ったトラブルもなく，オンライン開催特有の利点も享受しながら，無事に研究集会を開催することができた．



図：研究集会 1 日目の開催風景

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

【概要】

本WSシリーズでは，宇宙プラズマにおける粒子加速を研究テーマとする多様な分野の研究者が既存の研究者コミュニティを越えて議論を行い，相互の知見を共有・融合することで粒子加速物理の本質に迫ることを目指している．

前回のWSでは，太陽フレアにおける粒子加速の理解を目指し検討中の「PhoENiX」衛星計画を軸に科学的な議論を行った．また，PhoENiX に必要な基礎技術を実証した観測ロケット実験「FOXSI-3」が実現した，最新の太陽X線観測結果も共有した．

今回のWSでは，PhoENiXによる熱的・非熱的プラズマ診断を想定し，新世代のSi検出器のエネルギー分解能で得られたスペクトルからどのような物理量が得られるか，その定量評価についてX線天文衛星「すざく」などで得られている知見をもとに議論する．また過去の太陽観測衛星「ひのとり」「ようこう」の分散型分光観測についても議論を行い，太陽および宇宙X線観測による物理量診断の情報交換をした．

【プログラム(敬称略)】

1日目 - 8月20日（火）

13:00-13:15：はじめに
13:15-13:45：成影 典之 (NAOJ)「PhoENiX衛星計画の概要と関連ミッション」
13:45-14:15：渡邊 鉄哉 (NAOJ)「太陽プラズマの軟X線高分散分光観測」
14:15-14:35：休憩
14:35-15:05：岡 光夫 (UCB)「RHESSIによる太陽フレア診断」
15:05-15:35：三石 郁之 (名古屋大)「極めて X 線活動性の高い G 型星の観測的特徴」
15:35-16:05：岩切 渉 (中央大)「MAXI-NICER連携によるRS CVn型連星からの巨大恒星フレア観測」
16:05-16:25：休憩
16:25-16:55：小山 勝二 (京都大)「宇宙非平衡プラズマの診断」
16:55-17:25：石川 久美 (JAXA)「「すざく」による地球磁気圏からの電荷交換X線放射の系統解析」

２日目 - 8月21日（水）

10:00-10:30：山口 弘悦 (JAXA)「CMOSセンサーでもできる非平衡プラズマ診断」
10:30-11:00：後藤 基志 (NIFS)「Study of helium-like argon spectra in LHD」
11:00-11:15：休憩
11:15-11:45：小高 裕和 (東京大)「宇宙X線偏光観測の展望と新しい天体物理診断」
11:45-12:15：政井 邦昭 (首都大)「放射スペクトルから探る粒子加速過程」
12:15-13:30：休憩
13:30-14:00：坂尾 太郎 (JAXA)「PhoENiXで期待される観測対象について」

14:00-14:30 ： 萩野 浩一（東京理科大)「PhoENiXの検出器感度と想定されるスペクトル」
14:30-15:00 ： 金子 岳史（名古屋大)「PhoENiX性能評価に向けた熱的高温プラズマの直接数値計算」
15:00-15:20 ： 休憩
15:20-17:00 ： 全体討論
17:00-17:15 ： まとめ

招待講演者(敬称略/五十音順)：
石川 久美（宇宙研)
岩切 渉（中央大)
小高 裕和（東京大)
金子 岳史（名古屋大)
後藤 基志（核融合研)
小山 勝二（京都大)
政井 邦昭（首都大)
三石 郁之（名古屋大)
山口 弘悦（宇宙研)
渡邊 鉄哉（国立天文台)

世話人：川手 朋子，坂尾 太郎，篠原 育，上野 宗孝（JAXA)，
岡 光夫（カリフォルニア大学バークレー校)，
中澤 知洋，田島 宏康（名古屋大)，成影 典之（国立天文台)

共 催：
名古屋大学・宇宙地球環境研究所（ISEE)
名古屋大学・素粒子宇宙起源研究機構（KMI)
JAXA・宇宙科学研究所
科研費・基盤研究(A)「太陽軟Ｘ線撮像分光で拓く磁気再結合・粒子加速研究の新地平：ロケット実験から衛星へ」（代表者：成影 典之）

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、陸上生態系、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」計画を提案している。本研究集会は、このマスタープラン採択後の研究を考慮して、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した。

研究集会は12月23日の午後に東京大学本郷キャンパス理学部1号館710号室で開催された。14の大学・研究機関・民間企業から26名の参加者があり、10件の講演が行われた。

研究集会では、最初にマスタープラン2020への応募状況と現時点では採否の連絡は無いことが小池（東京大学）から報告があった。その後、前半には無人航空機（マルチコプター、固定翼機）の開発の現状、関連する政策の変化、観測事例についての紹介行われた。一方、後半には観測結果のデータ同化手法や氷晶雲観測の計画、台風を対象とした衛星観測や地上観測と航空機観測の組み合わせた解析手法などについての紹介がされた。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ていた。

また、研究集会に先立って、同日の午前中にはマスタープラン2020の採否が出た後の対応について、観測用航空機の導入に向けたアクションを議論するための委員会も開催された。

この研究集会は、旧地球水循環研究センター時代より数えて6回目の研究集会となる。この研究集会の開始後、航空機を用いた観測が活発に実施されるようになるとともに、数値モデルを用いた研究とのデータ同化を通じた連携、将来的に検討されるであろう無人航空機を利用した地球環境観測についての議論が活発になっていることを実感している。今後については、マスタープラン2020への採否が一つの大きな分岐点になると考えられるが、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を研究者間で共有していくためにも、本研究集会を継続して行っていきたいと考えている。

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. 小池　真（東京大学大学院理学研究科）・高橋暢宏
   航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進：計画概要と今後の展望
2. 原田賢哉（JAXA次世代航空イノベーションハブ）
   無人航空機の開発・利用に関する動向
3. 蔵並昌武（JAXA次世代航空イノベーションハブ）
   小型無人機の取組とJAXA発ベンチャーについて

4. 林　政彦（福岡大学理学部）
　　多様な小型無人航空機による地球観測
5. 菊地亮太（JAXA 航空技術部門・DoerResearch 株式会社）
　　航空機搭載型ライダーを用いた機体動揺低減技術の研究開発
6. 菊地亮太（DoerResearch 株式会社）・大林茂・三坂孝志・焼野藍子・吉村僚一
　　航空気象分野におけるデータ同化適用事例の紹介
7. 村上正隆（名古屋大学宇宙地球環境研究所・気象庁気象研究所）・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・Walter Strapp・Lyle Lilie・Tom Bond
　　航空機観測計画　－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－
8. 山口宗彦（気象庁気象研究所）
　　衛星搭載合成開口レーダーによる海上風観測との連携の可能性について
9. 山田広幸（琉球大学理学部）伊藤耕介・篠田太郎・高橋暢宏・村上正隆・坪木和久・中澤哲夫・山口宗彦
　　琉球列島の地上レーダーと航空機を組み合わせた台風強度の最適推定方法の検討
10. 坪木和久（名古屋大学宇宙地球環境研究所）
　　2020 年度の航空機観測プロジェクト概要

（別紙様式６－２）

SuperDARN Workshop 2019

代表者 長妻 努(情報通信研究機構 電磁波研究所)

令和元年度太陽地球環境研究所研究集会「SuperDARN Workshop 2019」は 2019 年 6 月 3-7 日、5 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・九州大学・電気通信大学)共催の国際会議としてハイランドリゾート ホテル&スパ(山梨県富士吉田市)において開催された。SuperDARN は、短波レーダー観測装置を有する米国・英国・カナダ・日本・オーストラリア・南アフリカ・フランス・中国・イタリア・ノルウェーの研究機関で構成される国際コンソーシアムであり、観測データを用いた科学研究の成果発表や観測装置の運用等の実務的な打合せも行う国際研究集会として SuperDARN Workshop を毎年開催している。2018 年にフランスで開催された同 Workshop において、2019 年の日本開催が決議され 12 年ぶりに日本における同 Workshop 開催となった。会議には磁気圏・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 78 名の研究者が参加した。うち海外からの参加者は 48 名、国内参加者は 30 名であった。

短波レーダー観測装置は広範囲の電離圏プラズマ運動の計測が可能であり、SuperDARN は極域から中緯度をグローバルに観測するネットワークを構築(現在、北半球 23 基、南半球 13 基のレーダーが運用中)・発展させ、宇宙環境の監視や宇宙天気に関する基礎的研究を推進している。NICT は米国アラスカ州 King Salmon に短波レーダー観測装置を有しており、およそ東経 140～180 度、北緯 60～80 度の領域をカバーする電離圏観測を行っている。

本ワークショップは地上・人工衛星観測データを用いた電離圏・磁気圏変動の解析的研究やモデリング研究、新たな計測・データ処理技術や研究プロジェクト等に関する最新成果を紹介する 63 件の口頭発表と 37 件のポスター発表があり、活発な質疑応答が行われた。会議においては、石井室長(情報通信研究機構)から、情報通信研究機構における宇宙天気研究と予報業務の現状が紹介され、併せて広域ネットワーク観測の重要性が示された。また、西谷准教授（名古屋大学）が中緯度 SuperDARN のレビュー論文を軸にしたレビュー講演を行った他、佐藤名誉教授（極地研）が日本の SuperDARN 活動に関する historical review を発表した。その他にも日本人による招待講演が 4 件行われ、SuperDARN に関連した日本国内の研究活動を大いにアピールした。また、観測スケジュールの策定・調整や計測データ処理手法の標準化に関する Working Group 会合、各観測装置の PI(筆頭研究者)によるビジネス会合などの実務的な打合せも行われた。我が国は、情報通信研究機構を含む 3 研究機関が 5 基の短波レーダー観測装置を運用していることから、SuperDARN における重要な一翼を担っている。今回の国際ワークショップを通じて、宇宙天気研究における広域ネットワーク観測の重要性がいっそう認識され、今後の宇宙天気予測モデル等に対して広域ネットワーク観測がもたらす期待と、SuperDARN における我が国の貢献を大きくアピールすることができた。

Program

SuperDARN Workshop 2019

2-7 June at Fuji, Japan

This workshop is supported by National Institute of Communications Technology, National Institute of Polar Research, Institute for Space-Earth Environmental Research, and Inoue Foundation for science.

SuperDARN Workshop 2019 Fuji, Japan
NIPR SuperDARN Science meeting 2019
Japanese SuperDARN meeting: present and future
Workshop Time table

Date	Start	End	Slot	Presenter *Authors*	Title
2019/06/02 (Sun.)					
	17:00	19:00	2:00		Reception and Ice breaker
2019/06/03 (Mon.)					
Opening Session	8:30	8:50	0:20	LOC	Opening Session
Introduction Session	8:50	9:10	0:20	Mark Lester	SuperDARN Status Report
Chair: Tsutomu Nagatsuma	9:10	9:20	0:10	Pasha Ponomarenko *Pasha Ponomarenko[1], Daniel Billet[2], Emma Bland[3], Angeline Burrell[4], Keith Kotyk[1], Marina Schmidt[1], Simon Shepherd[5], Kevin Sterne[6], Evan Thomas[5], Maria-Theresia Walach[2],* *1. University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada* *2. Lancaster University* *3. The University Centre in Svalbard* *4. U.S. Naval Research Laboratory, Washington D.C., USA* *5. Dartmouth College* *6. Virginia Tech*	Data Analysis Working Group Report
	9:20	9:30	0:10	Kevin Krieger *Kevin Krieger[1], Kevin Sterne[2], Paul Breen[3]* *1. University of Saskatchewan* *2. Virginia Tech* *3. British Antarctic Survey*	Data Distribution Working Group Report
	9:30	9:40	0:10	Evan Thomas *Evan Thomas[1]* *1. Dartmouth College*	Scheduling Working Group Report
	9:40	9:50	0:10	Kevin Sterne *Kevin Sterne[1], Tomo Hori[2], Rob Fear[3], Keisuke Hosokawa[4], Mike Ruohoniemi[1], Jim Wild[5]* *1. Virginia Tech* *2. Nagoya University* *3. University of Southampton* *4. University of Electro-Communications* *5. Lancaster University*	Spacecraft Working Group Report
Latest Project Session **Chair: Mamoru Ishii, Maria Federica Marcucci**	9:50	10:10	0:20	R. Todd Parris *R. Todd Parris[1], Todd Pedersen[1], Eugene Dao[1], Ralph Kelly[2], Sushil Kumar[3], Julie Moses[4]* *1. Air Force Research Laboratory* *2. Space Dynamics Laboratory* *3. Universitt of the South Pacific* *4. Air Force Office of Scientific Research*	Equatorial ionospheric HF radar: Simulation, design, and plans
	10:10	10:30	0:20		Coffee Break
	10:30	10:50	0:20	Jingye Yan *Jingye Yan[1]* *1. National Space Science Center (NSSC), Chinese Academy of Sciences*	Mid-latitude HF radar in China

	10:50	11:10	0:20	Maria Federica Marcucci	The Dome C North radar: first light

Maria Federica Marcucci [1], David Biondi [1], Alessandro Cirioni [2], Igino Coco [3], Angelo De Simone [4], Simona Longo [2], Angelo Olivieri [4], S. Massetti [1], Enrico Simeoli [4], Andrea Satta [5]
1. INAF-Istituto di Astrofisica e Planetologia Spaziali, Rome, Italy
2. CNR-Dipartimento Terra Ambiente, Rome, Italy
3. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Rome, Italy
4. CNR-Dipartimento Reti e Sistemi Informativi, Rome, Italy
5. CNR-Istituto per lo studio degli impatti Antropici e Sostenibilità in ambiente marino, Rome, Italy

	11:10	11:30	0:20	J. Klenzing	petitSat - A 6U CubeSat to examine the link between MSTIDS and ionospheric plasma density enhancements

J. Klenzing [1], R.L. Davidson [2], G.D. Earle [3], A.J. Halford [4], S.L. Jones [1], C. Martinis [5], N. Paschalidis [1], R.F. Pfaff [1], J.M. Smith [1],
1. NASA / GSFC, Greenbelt, MD, USA
2. Utah State University, Logan, UT, USA
3. Virginia Tech, Blacksberg, VA, USA
4. The Aerospace Corporation, Chantilly, VA, USA
5. Boston University, Boston, MA, USA

	11:30	11:50	0:20	Mamoru Ishii	NICT Research and Operation for Space Weather

Mamoru Ishii [1]
1. National Institute of Information and Communications Technology

	11:50	12:10	0:20		Photo Session
	12:10	13:30	1:20		Lunch Break
Polar Cap Phenomena **Chair: A. V. Koustov, Nozomu Nishitani**	13:30	13:50	0:20	A. V. Koustov	Variations in occurrence of polar cap SuperDARN echoes and their causes

A. V. Koustov [1], S. Ullirich [1], P. V. Ponomarenko [1], N. Nishitani [2], M. F. Marcucci [3], W. A. Bristow [4]
1. University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada
2. Nagoya University, Nagoya, Japan
3. Institute for Space Astrophysics and Planetology, Rome, Italy
4. University of Alaska Fairbanks, Fairbanks, USA

	13:50	14:10	0:20	Qing-He Zhang	Formation and Evolution of Polar Cap Ionospheric Patches and Their Associated Upflows and Scintillations: A Review

Qing-He Zhang [1], Zan-Yang Xing [1], Yong Wang [1], Yu-Zhang Ma [1]
1. Institute of Space Sciences, Shandong University, Weihai, China

	14:10	14:30	0:20	Motoharu Nowada	Ionospheric Flow Patterns Associated with Nightside Distorted Transpolar Arc: A Possible Formation Process Deduced from SuperDARN Measurements

Motoharu Nowada [1], Jun Yang [1], Adrian Grocott [2], Robert C. Fear [3]
1. Shandong Provincial Key Laboratory of Optical Astronomy and Solar-Terrestrial Environment, Institute of Space Sciences, Shandong University, Weihai, People's Republic of China.
2. Space and Planetary Physics Group, Department of Physics, Lancaster University, Lancaster, UK.
3. Department of Physics and Astronomy, University of Southampton, Southampton, UK.

	14:30	14:50	0:20	Qing-He Zhang	A long-lasting auroral bright spot around magnetic north pole: Is it the evidence of stable magnetic reconnection?

Qing-He Zhang [1], Guo-Cheng Shen [1], Yong-Liang Zhang [2], Kjellmar Oksavik [3], Michael Lockwood [4], Zan-Yang Xing [1], Yu-Zhang Ma [1]
1. Institute of Space Sciences, Shandong University, Weihai, China
2. The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory, Laurel, Maryland, USA
3. Birkeland Centre for Space Science, University of Bergen, Bergen, Norway
4. Department of Meteorology, University of Reading

	14:50	15:10	0:20	Andrew Kiene	The search for ion-neutral coupling and Joule heating in the polar cap

A. Kiene [1], W. A. Bristow [1], M. G. Conde [1], D. L. Hampton [1]
1. University of Alaska Fairbanks

	15:10	15:30	0:20		Coffee Break

Multi-Scale Electromagnetic Coupling
Chair: Paul Prikryl, Masakazu Watanabe

15:30 16:00 0:30 Akimasa Yoshikawa * Invited Talk
MAGDAS project: Research for global and local electromagnetic coupling from polar to equatorial ionosphere

Akimasa Yoshikawa [1]
1. International Center for Space Weather Science and Education, Kyushu University, Japan

16:00 16:20 0:20 Paul Prikryl
Solar wind imprint on gravity waves and intensification of tropical cyclones

Paul Prikryl [1,2]
1. Physics Department, University of New Brunswick, Fredericton, NB, Canada
2. Geomagnetic Laboratory, Natural Resources Canada, Ottawa, ON, Canada

16:20 16:40 0:20 Shin-ichiro Oyama
Spatial distribution of the polar thermospheric wind acceleration and importance of the 2D measurement

Shin-ichiro Oyama [1,2,3], Anita Aikio [2], Mark G. Conde [4], Heikki Vanhamäki [2], Ilkka Virtanen [2], Thomas Ulich [2], Lassi Roininen [5], Pekka Verronen [6], Takeshi Sakanoi [7]
1. ISEE Nagoya U
2. U. Oulu
3. National Institute of Polar Research
4. GI UAF
5. Lappeenranta-Lahti University of Technology
6. Finnish Meteorological Institute
7. Tohoku U.

16:40 17:10 0:30 Yoshimasa. Tanaka * Invited Talk
Simultaneous observation of magnetospheric plasma waves and PMWE observed by Arase satellite and MST radars

Yoshimasa Tanaka [1,2,3], Takanori Nishiyama [1,3], Akira Kadokura [1,2,3], Mitsunori Ozaki [4], Mitsunori Ozaki [4], YoshizumiMiyoshi [5], Kazuo Shiokawa [5],Shin-Ichiro Oyama [1,5,6], Ryuho Kataoka [1,3], Masaki Tsutsumi [1,3], Koji Nishimura [1,2,3], Kaoru Sato [7], Yoshiya Kasahara [4], Atsuki Kumamoto [8], Fuminori Tsuchiya [8], Mizuki Fukizawa [8],Mitsuru Hikishima [9],Shoya Matsuda [9], Ayako Matsuoka [9],Iku Shinohara [9], Masahito Nosé [5], Tsutomu Nagatsuma [10], Manabu Shinohara [11],Akiko Fujimoto [12], Mariko Teramoto [5], Reiko Nomura [13], Akira Sessai Yukimatu [1,3], Keisuke Hosokawa [14], Masafumi Shoji5, Ralph Latteck [15]
1. National Institute of Polar Research, Japan
2. Polar Environment Data Science Center, Joint Support-Center for Data Science Research, Research Organization of Information and Systems, Japan
3. The Graduate University for Advanced Studies, Japan
4. Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University, Japan
5. Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Japan
6. University of Oulu, Finland
7. The University of Tokyo, Japan
8. Graduate School of Science, Tohoku University, Japan
9. Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency, Japan
10. National Institute of Information and Communications Technology, Japan
11. Kagoshima National College of Technology, Japan
12. Kyushu Institute of Technology, Japan
13. National Astronomical Observatory of Japan
14. The University of Electro-Communications, Japan
15. eibniz-Institute of Atmospheric Physics, Kühlungsborn, Germany

18:00 20:00 2:00 Data Distribution WG meeting at "Fuyou" Located at B1 floor

20:00 22:00 2:00 Spacecraft WG & Schedule WG meeting (Joint) at "Fuyou" Located at B1 floor

20:00 25:00* 5:00* PI meeting at "Sakura"* Located at 2nd floor

* The "Sakura" room can be used until 1 am, 4th June.

2019/06/04 (Tue.)

Review and Tutorial Talk
Chair: Tsutomu Nagatsuma

8:30 9:00 0:30 Nozomu Nishitani — Mid-latitude SuperDARN Review Paper

N. Nishitani [1], J.M. Ruohoniemi [2], M. Lester [3], J.B.H. Baker [2], A.V. Koustov [4], S.G. Shepherd [5], G. Chisham [6], T. Hori [1], E.G. Thomas [5], R.A. Makarevich [7], A. Marchaudon [8], P. Ponomarenko [4], J.A. Wild [9], S.E. Milan [3], W.A. Bristow [7], J. Devlin [8], E. Miller [10], R.A. Greenwald [2], T. Ogawa [11], T. Kikuchi [1]
1. ISEE, Nagoya Univ.
2. Virginia Tech
3. Univ. of Leicester
4. Univ. of Saskatchewan
5. Thayer School of Engineering, Dartmouth College
6. BAS
7. Univ. of Alaska Fairbanks
8. IRAP, University of Toulouse,CNRS,CNES
9. Univ. of Lancaster
10. APL
11. NICT

9:00 9:40 0:40 J. Michael Ruohoniemi * Tutorial Talk — Review of Magnetosphere-Ionosphere Coupling and Recent Results from Coordinated Observations

J. Michael Ruohoniemi [1]
1. Virginia Tech

Data Processing and Analysis
Chair: Pasha Ponomarenko, Mike Kosch

9:40 10:00 0:20 Evan Thomas — Empirical ground scatter classification and geolocation

Evan Thomas [1], Simon Shepherd [1]
1. Dartmouth College

10:00 10:20 0:20 Coffee Break

10:20 10:40 0:20 Pasha Ponomarenko — Validation of the SuperDARN range-finding algorithms in

Pasha Ponomarenko [1], Kathryn McWilliams [1], Jean-Pierre St.-Maurice [1]
1. University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada

10:40 11:00 0:20 Pasha Ponomarenko — Advantages and limitations of IQ-based SuperDARN interferometry

Pasha Ponomarenko [1], Kathryn McWilliams [1], Jean-Pierre St.-Maurice [1]
1. University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada

11:00 11:20 0:20 Ailan Lan — AgileDARN radar calibration: internal and external calibrations

Ailan Lan [1]
1. National Space Science Center (NSSC), Chinese Academy of Sciences

11:20 11:40 0:20 Angeline G. Burrell — Comparison of different interferometer calibration methods

Angeline G. Burrell [1], Aurélie Marchaudon [2], Gareth Chisham [3], Pasha Ponomarenko [4], Simon Shepherd [5]
1. U.S. Naval Research Laboratory, Washington D.C., USA
2. Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie (IRAP)/ Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Toulouse, France
3. British Antarctic Survey, Cambridge, UK
4. University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada
5. Dartmouth College, Hanover, NH, USA

11:40 12:00 0:20 M. J. Kosch — A novel technique to estimate the altitude of SuperDARN HF radar backscatter

M.J. Kosch [1], E. Bland [2], T. Matamba [1], T. Yeoman [3], M.T. Rietveld [4], N. Nishitani [5]
1. South African National Space Agency
2. The University Centre in Svalbard
3. University of Leicester
4. EISCAT Scientific Association
5. Nagoya University

12:00 13:30 1:30 Lunch Break

13:30 13:50 0:20 Marina Schmidt — PyDARN: Python Data Visualization Library

Marina Schmidt [1], Ashton Reimer [2], Kathryn McWilliams [1]
1. University of Saskatchewan
2. SRI Interanational

	13:50	14:10	0:20	Marina Schmidt	Software Practices: are they Practical for Scientists?
				Marina Schmidt [1] *1. University of Saskatchewan*	
	14:10	14:30	0:20	R. A. Stoneback	pysat : A Bridge Between Worlds
				R. A. Stoneback [1], A. G. Burrell [2], J. Klenzing [3] *1. The University of Texas at Dallas* *2. Naval Research Laboratory* *3. NASA*	
MTI **Chair: Tim Yeoman, Keisuke Hosokawa**	14:30	15:00	0:30	Kazuo Shiokawa * Invited Talk	Ground-based multi-point network observation of the inner magnetosphere at subauroral latitudes by the PWING project
				Kazuo Shiokawa [1], The PWING team [2] *1. Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE), Nagoya University, Japan* *2. Members of the ERG-Ground Coordinated Observation Team (PWING Project)*	
	15:00	15:20	0:20	Subir Mandal	Information on gravity wave propagation characteristics over long duration in the upper atmosphere as obtained using digisonde measurements
				Subir Mandal [1], Duggirala Pallamraju [1], Deepak K. Karan [1], Pradip Suryawanshi [1] *1. Physical Research Laboratory, Navrangpura, Ahmedabad, India*	
	15:20	15:40	0:20	Patrick Espy	Measuring Planetary Waves and Tides in the MLT at 60°N Using a Longitudinal Array of SuperDARN Radars
				Wim van Caspel [1], Patrick Espy [1], Robbert Hibbins [1] *1. Norwegian University of Science and Technology and BCSS*	
	15:40	16:00	0:20		Coffee Break
	16:00	16:20	0:20	D. D. Billett	Multi-instrument Observations of Dayside Ion-Neutral Coupling in the Auroral Zone
				D. D. Billett [1], K. Hosokawa [2], A. Grocott [1], J. A. Wild [1], A. L. Aruliah [3], Y. Ogawa [4], S. Taguchi [5] *1. Lancaster University* *2. University of Electro-Communications* *3. University College London* *4. National Institute of Polar Research* *5. Kyoto University*	
	16:20	16:40	0:20	T. K. Yeoman	SuperDARN elevation angle measurements of artificially-induced HF radar backscatter during a period of simultaneous topside and bottomside ion line enhancements induced in ionospheric modification experiments.
				T. K. Yeoman [1], T. Rexer [2], B. Gustavsson [2], T. Leyser [3], M. Rietveld [4], T. Grydeland [5] *1. Department of Physics and Astronomy, University of Leicester, UK.* *2. Institute for Physics and Technology, Arctic University of Norway* *3. Swedish Institute of Space Physics, Uppsala, Sweden* *4. EISCAT Research Association, Ramfjordmoen , Norway* *5. Northern research institute, Tromso, Norway*	
Inner Magnetosphere **Chair: Jo Baker, Hideaki Kawano**	16:40	17:00	0:20	Joseph B. H. Baker	An examination of inner-magnetosphere shielding by Region-2 Field-Aligned Currents
				Bharat Kunduri [1], Joseph B. H. Baker [1], J. Michael Ruohoniemi [1] *1. Space@VT*	
	17:00	17:20	0:20	T. Hori	Special-time observations for SuperDARN-Arase satellite conjunction
				T. Hori [1], N. Nishitani [1], A. S. Yukimatu [2], T. Nagatsuma [3], K. Hosokawa [4], H. Kawano [5], M. Watanabe [5], Y. Miyoshi [1], I. Shinohara [6] *1. ISEE, Nagoya Univ.* *2. NIPR, SOKENDAI* *3. NICT* *4. UEC* *5. Kyushu Univ.* *6. JAXA/ISAS*	
	19:30	21:30	2:00		Data Analysis WG meeting at "Fuyou" Located at B1 floor

2019/06/05 (Wed.)

8:30 9:00 0:30 Y. Miyoshi — Geospace Explorations by the ERG/Arase project
* Invited Talk

Y. Miyoshi [1], I. Shinohara [2], T. Takashima [2], K. Asamura [2], S-Y. Wang [3], Y. Kazama [3], S. Kasahara [4], S. Yokota [5], T. Miatni [2], N. Higashi [2], Y. Kasahara [6], Y. Kasaba [7], S. Yagitani [6], A. Matsuoka [2], H. Kojima [7], Y. Katoh [7], K. Shiokawa [1], K. Seki [4], T. Hori [1], M. Shoji [1], S. Kurita [1], C-W. Jun [1], M. Teramoto [8], S. Matsuda [2], M.T.F. Chang [1], the ERG project group
1. Nagoya University, Japan
2. JAXA, Japan
3. ASIAA, Taiwan
4. University of Tokyo, Japan
5. Osaka University, Japan
6. Kanazawa University, Japan
7. Kyoto University, Japan
8. Kyushu Institute of Technology, Japan

9:00 9:20 0:20 Maksim Chelpanov — Observing a sub-Alfvenic compressional magnetospheric wave with intermediate azimuthal wave number using the EKB radar and the two RBSP spacecraft

Olga Mager [1], Maksim Chelpanov [1], Pavel Mager [1], Dmitri Klimushkin [1], Oleg Berngardt [1]
1. Institute of Solar-Terrestrial Physics

9:20 9:40 0:20 Hideaki Kawano — Amplitude-ratio and the cross-phase methods to automatically identify FLR in the SuperDARN VLOS data

Hideaki Kawano [1], Akira Sessai Yukimatu [2], Nozomu Nishitani [3], Yoshimasa Tanaka [2], Satoko Saita [4], Tomoaki Hori [3]
1. International Center for Space Weather Science and Education, Kyushu University, Japan
2. National Institute of Polar Research, and Department of Polar Science, SOKENDAI, Japan
3. Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Japan
4. National Institute of Technology, Kitakyushu College, Japan

Radar Technique
Chair: Bill Bristow, Todd Parris

9:40 10:00 0:20 K. Kotyk, M. Detwiller — Borealis Project Update: A Digital Radar Design for SuperDARN Using Software-Defined Radios

K. Kotyk [1], M. Detwiller [1], K. Krieger [1], K. McWilliams [1]
1. University of Saskatchewan

10:00 10:20 0:20 Bill Bristow — SuperDARN Developments to Enable Studies of Wave Polarizaiton

W.A. Bristow [1], Tim Theurer [1], Bryant Klug [1]
1. University of Alaska Fairbanks

10:20 10:40 0:20 Coffee Break

10:40 11:00 0:20 Draven Galeschuk — Optimization of ICEBEAR analysis and interferometry

Draven Galeschuk [1], Glenn Hussey [1], Devin Huyghebaert [1], Kathryn McWilliams [1], Jean-Pierre St.-Maurice [1], Juha Vierinen [2],
1. University of Saskatchewan
2. University of Tromso

11:00 11:20 0:20 Xiang Deng — Implementation of Digital Multi-beam Forming in AgileDARN

Xiang Deng [1], Jingye Yan [2], Ailan Lan [1], Ji Wu [2], Jiaojiao Zhang [1], Wei Wang [1]
1. Key Laboratory of Microwave Remote Sensing, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China
2. National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China.

11:20 11:40 0:20 R. A. Greenwald — Tauscan Multipulse Sequences Alternative Multipulse Sequences and Processing that Overcome Many of the Shortcomings of Traditional SuperDARN Techniques

R. A. Greenwald [1]
1. Virginia Tech

	11:40	12:00	0:20	R. Todd Parris R. Todd Parris[1], Todd Pedersen[1] 1. Air Force Research Laboratory	Multistatic SuperDARN
	12:00	13:15	1:15		Lunch Break
	13:15	19:40	6:25		Excursion + Dinner

2019/06/06 (Thr.)

Plasma Flow and Convection
Chair: Gareth Chisham, Kathryn Macwilliams

	8:30	8:50	0:20	Adrian Grocott *A. Grocott [1], J. N. Delaney [1], M.-T. Walach [1]* *1. Lancaster University*	Azimuthal fast flows in the nightside ionosphere: interplanetary magnetic field, auroral activity and latitude dependence
	8:50	9:10	0:20	M.-T. Walach *Maria-Theresia Walach [1], Adrian Grocott [1], Frances Staples [2], Evan G. Thomas [3]* *1. Lancaster University* *2. Mullard Space Science Laboratory, University College London* *3. Thayer School of Engineering, Dartmouth College*	Influences of the equatorward SuperDARN expansion on data coverage and measured parameters
	9:10	9:30	0:20	Gareth Chisham *Gareth Chisham [1], Mervyn Freeman [1]* *1. British Antarctic Survey*	Modelling probability distributions of vorticity fluctuations in the polar ionosphere
	9:30	9:50	0:20	A. R. Fogg *A. R. Fogg [1], M. Lester [1], T. K. Yeoman [1], S. M. Imber [1], S. E. Milan [1], E. G. Thomas [2], H. Sangha [1]* *1. University of Leicester* *2. Dartmouth College*	An Improved Estimation of SuperDARN Heppner-Maynard Boundaries using AMPERE data
	9:50	10:10	0:20	Shinya Nakano *Shinya Nakano [1], Tomoaki Hori [2], Kanako Seki [3], Nozomu Nishitani [2]* *1. The Institute of Statistical Mathematics* *2. Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya* *3. Graduate School of Science, University of Tokyo*	Modeling of ionospheric convection pattern with SuperDARN data using localized vector-valued basis
	10:10	10:30	0:20		Coffee Break
	10:30	10:50	0:20	Kathryn McWilliams *Kathryn McWilliams [1], Michael Earl [1]* *1. University of Saskatchewan*	A Comparison of the Auroral Electrojet Index to Overhead SuperDARN Convection Velocities
	10:50	11:10	0:20	Angeline G. Burrell *Angeline G. Burrell [1], Russell A. Stoneback [2], Manbharat Dhadly [3], Gareth Chisham [4], Tim K. Yeoman [4]* *1. U.S. Naval Research Laboratory, Washington D.C., USA* *2. University of Texas at Dallas, Richardson TX, USA* *3. British Antarctic Survey, Cambridge, UK* *4. University of Leicester, Leicester, UK*	Seasonal influences on plasma convection at solar maximum
	11:10	11:30	0:20	R. A. Stoneback *R. A. Stoneback [1], A. G. Burrell [2]* *1. The University of Texas at Dallas* *2. Naval Research Laboratory*	Characterizing the spatio-temporal response of high latitude convection using SuperDARN and DMSP

	11:30	11:50	0:20	Xiangcai Chen	Comparative Analysis of Plasma Drift Measurements Inferred from Ground-based DPS-4D and SuperDARN HF Radar over Zhongshan Station, Antarctic
				Xiangcai Chen [1] *1. Polar Research Institute of China*	
	11:50	12:10	0:20	Jianjun Liu	Transient ionospheric convection associated with magnetospheric sudden compression as observed by SuperDARN radar
				Jianjun Liu [1], Hongqiao Hu [1], Xiangcai Chen [1] *1. Polar Research Institute of China*	
	12:10	13:30	1:20		Lunch Break
Historical Review **Chair: Tsutomu Nagatsuma**	13:30	13:50	0:20	Natsuo Sato	History and Progress of Japanese SuperDARN Project
				Natsuo Sato [1], Tadahiko Ogawa [2], Hisao Yamagishi [1], Akira Sessai Yukimatu [1], Nozomu Nishitani [3], Takashi Kikuchi [3], Kenro Nozaki [2], Tsutomu Nagatsuma [2] *1. National Institute of Polar Research* *2. National Institute of Information and Communications Technology* *3. Nagoya University*	
Dave Walker's Special Session **Chair: Ray Greenwald, Judy Stepenson**	13:50	14:10	0:20	Ray Greenwald	Contributions of Professor A. David M. Walker to the Success and Recognition of STARE and SuperDARN
				R. A. Greenwald [1] *1. Virginia Tech*	
	14:10	14:30	0:20	Tim Yeoman	Some highlights of Dave Walker's many contributions to ULF wave research
				Tim Yeoman [1] *1. University of Leicester*	
	14:30	14:50	0:20	Adrian Grocott	High speed flows in the nightside ionosphere during quiet solar wind conditions
				A. Grocott [1] *1. Lancaster University*	
	14:50	15:00	0:10	Judy Stephenson	Anthony David Mortimer Walker (1937-2018)
				Judy Stephenson [1] *1. University of KwaZulu-Natal*	
Solar Effect on HF propagation **Chair: Sessai Yukimatu**	15:00	15:20	0:20	Simon G Shepherd	SuperDARN Observations during the 2017 Solar Eclipse
				Simon G Shepherd [1], Evan G Thomas [1] *1. Thayer School, Dartmouth College*	
	15:20	15:40	0:20	J. M. Ruohoniemi	A Study of Effects of Solar Flares on Ionosphere and Radio Wave Propagation
				S. Chakraborty [1], J. B. H. Baker [1], J. M. Ruohoniemi [1], S. Bailey [1], R. Fiori [2], N. Nishitani [3] *1. Virginia Tech* *2. NRCan, Earth Science Sector* *3. Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University*	
	15:40	16:00	0:20		Coffee Break
Poster Session	16:00	18:00	2:00		Poster Session
	18:00	18:30	0:30		(Break)
	18:30	21:00	2:30		Banquet

2019/06/07 (Fri.)

Storm Time Disturbances

Chair: Mike Ruohoniemi, Tomo Hori

8:30	8:50	0:20	J. M. Ruohoniemi	A deep learning-based approach to forecast the onset of magnetic substorms

M. Maimaiti [1], B. Kunduri [1], J. M. Ruohoniemi [1], J. B. H. Baker [1]
1. Virginia Tech

8:50	9:10	0:20	Takuya Sori	Relationship between the large TEC fluctuation and ionospheric echoes observed by the SuperDARN radars in the auroral zone and midlatitudes during a geomagnetic storm

Takuya Sori [1], Atsuki Shinbori [1], Yuichi Otsuka [1], Takuya Tsugawa [2], Michi Nishioka [2], William Bristow [3], J. Michael Ruohoniemi [4], Simon G. Shepherd [5], Nozomu Nishitani [1]
1. Nagoya University
2. National Institute of Information and Communications Technology
3. University of Alaska
4. Virginia Tech
5. Thayer School of Engineering, Dartmouth College

9:10	9:30	0:20	Atsuki Shinbori	Temporal and spatial evolutions of storm-time ionospheric disturbances in the low and midlatitudes as seen in the GNSS-TEC and SuperDARN radar observations

Atsuki Shinbori [1], Yuichi Otsuka [1], Takuya Sori [1], Takuya Tsugawa [2], Michi Nishioka [2], William Bristow [3], J. Michael Ruohoniemi [4], Simon G. Shepherd [5], Nozomu Nishitani [1]
1. Nagoya University
2. National Institute of Information and Communications Technology
3. University of Alaska
4. Virginia Tech
5. Dartmouth College

9:30	9:50	0:20	Ashanthi Maxworth	ePOP/SWARM E and SuperDARN Observations during November 05 2018 Geomagnetic Storm

Ashanthi Maxworth [1], Glenn Hussey [1], Kathryn McWilliams [1], Eliana Nossa [2], Andrew Ya [3]
1. University of Saskatchewan
2. Naval Research Laboratory
3. University of Calgary

9:50	10:10	0:20	M.-T. Walach	SuperDARN observations during geomagnetic storms, geomagnetically active times and enhanced solar wind driving

Maria-Theresia Walach [1], Adrian Grocott [1]
1. Lancaster University

10:10	10:30	0:20	Coffee Break
10:30	11:50	1:20	Closing Session
11:50	13:10	1:20	Lunch Break

Closing Session

Chair: Tsutomu Nagatsuma

Optional tour to the Hokkaido radar site (SuperDARN Onsite School 2019) on June 8-9, 2019

SuperDARN Workshop 2019 Fuji, Japan

Posters

Category	#	Title ***Authors***
Data Processing and Analysis	1	Current Status of SuperDARN JAPAN database and website *Yuka Kadowaki [1,2,3], Akira Sessai Yukimatu [1,4], Tsutomu Nagatsuma [5], Nozomu Nishitani [6], Tomoaki Hori [6], Keisuke Hosokawa [7], Masakazu Watanabe [8], Hideaki Kawano [8], Kaori Sakaguchi [5], Aoi Nakamizo [5]* *1. National Institute of Polar Research, Tokyo, Japan* *2. Polar Environment Data Science Center (PEDSC),* *3. Res. Org. of Information and Systems (ROIS), Tokyo Japan* *4. Dep. of Polar Science, Sch. of Multidisicplinary Sciences, The Graduate Univ. for Advanced Studies (SOKENDAI), Japan* *5. National Institute of Information and Communication Technology (NICT), Japan* *6. Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE), Nagoya Univ. Aichi, Japan* *7. Univ. of Electro-Communications (UEC), Tokyo, Japan* *8. International Center for Space Weather Science and Education (ICSWSE), Kyushu Univ., Fukuoka, Japan*
	2	Where are we now? Moving towards adaptive, high-latitude coordinates *Angeline G. Burrell [1], Gareth Chisham [2], Steve E. Milan [3]* *1. U.S. Naval Research Laboratory, Washington D.C., USA* *2. British Antarctic Survey, Cambridge, UK* *3. University of Leicester, Leicester, UK*
	3	Identifying ground scatter and ionospheric scatter signals by using their fine structure *Oleg I. Berngardt [1], Ivan A. Lavygin [1], Valentine P. Lebedev [1], Konstantine V. Grkovich [1]* *1. Institute of Solar-Terrestrial Physics of the Siberian Branch of the RAS*
Inner Magnetosphere	4	Occurrence characteristics and geomagnetic activity dependence of SAPS observed by the SuperDARN Hokkaido East and West HF Radars *Kento Oya [1], Nozomu Nishitani [1], Tomoaki Hori [1]* *1. Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University*
	5	Superposed Epoch Analysis of Nightside Subauroral Ionospheric Convection Response to Sudden IMF Bz Turnings *M. Maimaiti [1], J. B. H. Baker [1], J. M. Ruohoniemi [1], Bharat Kunduri [1],* *1. Virginia Tech*
	6	Origin of fast fluctuation of energetic electron precipitation: Data-driven simulations using the ERG plasma wave observations *S. Saito [1], Y. Miyoshi [2], S. Matsuda [3], S. Kurita [2], Y. Kasahara [4], A. Kumamoto [5], F. Tsuchiya [5], A. Matsuoka [3]* *1. NICT* *2. ISEE, Nagoya University* *3. ISAS/JAXA* *4. Kanazawa University* *5. Tohoku University*
	7	Study of Solar Zenith Angle Dependence of Subauroral Polarization Streams Observed by the SuperDARN HF Radars *Y. Zhang [1], N. Nishitani [1], T. Hori [1], S.G. Shepherd [2], W.A. Bristow [3]* *1. ISEE, Nagoya Univ.* *2. Thayer School of Engineering, Dartmouth College* *3. Univ. of Alaska Fairbanks*
	8	Multiscape Coupling of Sub-auroral Polarization Streams Observed by the SuperDARN Hokkaido East / West radars *N. Nishitani [1], T. Hori [1]* *1. ISEE, Nagoya Univ.*

9 SECS reconstruction of ionospheric flow map from SuperDARN observations on St. Patricks day 2015 storm

T. Hori [1], N. Nishitani [1], S. Nakano [2], K. Seki [3], J. M. Ruohoniemi [4], S. G. Shepherd [5], K. Keika [3], M. Teramoto [6], A. Ieda [1]
1. ISEE, Nagoya Univ.
2. ISM
3. The Univ. of Tokyo
4. Virginia Tech.
5. Dartmouth College
6. Kyushu Institute of Technology

Magnetospheric Physics

10 High latitude signatures of the interaction of the Earths magnetosphere with an ICME

A. R. Fogg [1], M. Lester [1], S. E. Milan [1], H. Sangha [1], T. K. Yeoman [1], M. Lester [1], H. Sangha [1]
1. University of Leicester

11 Sporadic appearance of 10-ms-order flashing variation in flickering aurora

Kiyoka Murase [1], Ryuho Kataoka [2], Yoshizumi Miyoshi [3], Hervert Akihito Uchida [1], Yoko Fukuda [4], Yusuke Ebihara [5], Donald Hampton [6]
1. SOKENDAI
2. National Institute of Polar Research
3. Nagoya University
4. National Institute for Environmental Studies
5. Kyoto University
6. University of Alaska

12 Multi-point analysis of ionospheric responses to foreshock transients using SuperDARN radars

Xueling Shi [1], Joseph Baker [1], J. Michael Ruohoniemi [1], Michael Hartinger [2]
1. Virginia Tech, Blacksburg, Virginia, USA
2. Space Science Institute, Boulder, Colorado, USA

13 Fine-scale visualization of aurora in a wide area using color digital camera images from the International Space Station

Sota Nanjo [1], Yuta Hozumi [1], Keisuke Hosokawa [1]
1. The University of Electro-Communications

14 Real-time magnetosphere simulator for space weather using REProduce Plasma Universe code

Yasubumi Kubota [1], Aoi Nakamizo [1], Kaori Sakaguchi [1], Mitsue Den [1], Yuki Kubo [1], Tsutomu Nagatsuma [1], Takashi Tanaka [2]
1. National Institute of Information and Communications Technology
2. Kyushu University

15 IMF By dependence of polar cap patch occurrence: statistics using airglow data from Eureka, Canada in comparison with SuperDARN convection patterns

Keisuke Hosokawa [1], Michitaro Nagata [1], Kazuo Shiokawa [2], Yuichi Otsuka [2],
1. University of Electro-Communications
2. ISEE, Nagoya University

16 Deformation of Ionospheric Potential Pattern by Ionospheric Hall Polarization

Aoi Nakamizo[1], Akimasa Yoshikawa[2]
1. National Institute of Information and Communications Technology, Japan
2. Faculty of Sciences, Kyushu University

MTI

17 New methods for studying atmospheric winds and tides in SuperDARN meteor scatter using data from the mid-latitude Falkland Islands radar

Gareth Chisham[1], Neil Cobbett[1]
1.British Antarctic Survey

18 Spatially Resolved Neutral Wind Response Times During High Geomagnetic Activity Above Svalbard

D. D. Billett [1], J. A. Wild [1], A. Grocott [1], A. L. Aruliah [2], A. M. Ronksley [2], M.-T. Walach [2] M. Lester [2]
1. Lancaster University
2. University College London

19 Multi Taper Analysis of a MSTID event above Antarctica

T. Atilaw [1], J.A.E. Stephenson [2], Z. Katamzi-Joseph [1]
1. South African National Space Agency
2. School of Chemistry and Physics, University of KwaZulu-Natal

20 Temporal and spatial variation of GPS TEC and phase scintillation during substorms and auroral breakups

Paul Prikryl [1,2], James M. Weygand [3], Reza Ghoddousi-Fard [4], P. T. Jayachandran [2], David R. Themens [2], Anthony M. McCaffrey [2], Bharat S. R. Kunduri [5], Emma Spanswick [6], Yongliang Zhang [7], Akira Sessai Yukimatu [8],
1. Physics Department, University of New Brunswick, Fredericton, NB, Canada.
2. Geomagnetic Laboratory, Natural Resources Canada, Ottawa, ON, Canada
3. Earth, Planetary and Space Sciences, University of California, Los Angeles, CA, USA
4. Canadian Geodetic Survey, Natural Resources Canada
5. Bradley Dept. of Electrical and Computer Engineering, Virginia Tech, Blacksburg, VA, USA
6. Dept. of Physics and Astronomy, University of Calgary, AB, Canada
7. Johns Hopkins University Applied Physics Lab, Laurel, MD, USA
8. National Institute of Polar Research, Tokyo, Japan

Plasma Flows and Convection

21 Real-time global convection mapping

Evan Thomas [1], Simon Shepherd [1]
1. Dartmouth College

22 A new way to identify and quantify the sources of ionospheric convection

Jone Peter Reistadl [1], K. M. Laundal [1], A. Ohma [1], E. G. Thomas [2], N. Østgaard [1], S. Haaland [1,3], K. Oksavik [1,4], S. E. Milan [5,1],
1. Birkeland Centre for Space Science, University of Bergen, Bergen, Norway
2. Thayer School of Engineering, Dartmouth College, Hanover, USA
3. Max Planck Institute for Solar System Research, Göttingen, Germany
4. Arctic Geophysics, University Centre in Svalbard, Longyearbyen, Norway
5. Department of Physics and Astronomy, University of Leicester, Leicester, UK

23 Origin of the twin reverse convection cells for northward interplanetary magnetic field periods

Masakazu Watanabe [1], Shigeru Fujita [2], Takashi Tanaka [1]
1. Kyushu Universit
2. Meteorological College

24 Velocity of SuperDARN echoes at intermediate radar ranges

A.V. Koustov [1], M. R. Luciuk [1], R.G. Gillies [2]
1. University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada
2. University of Calgary, Calgary, Canada

25 Direct-From-Data Basis Functions for SuperDARN Flow Characterisation and Prediction

Robert Shore [1], Mervyn Freeman [1], Gareth Chisham [1]
1. British Antarctic Survey

Radar Technique

26 Design of Low-Cost Software Defined Radio for SuperDARN Radar

Paul Kennedy [1], J. Michael Ruohoniemi, PhD [1], Kevin Sterne [1], Robert McGwier, PhD [1], Joseph Baker, PhD [1]
1. Virginia Tech

27 Using Tauscan-11 to Measure Phi0

R. A. Greenwald [1]
1. Virginia Tech

28 RadioICE: A bistatic multi-frequency HF Sounder in Antarctica

Alex T. Chartier [1], Ethan S. Miller [1]
1. Johns Hopkins APL

Wave Propagation and its Characteristics

29 A raytracing simulation of HF ionospheric radar performance at African equatorial latitudes

C. M. Michael [1], T. K. Yeoman [2], D. M. Wright [1], S. E. Milan [1], M. K. James [1]
1. Department of Physics and Astronomy, University of Leicester, UK.

30 Polarization Measurements of Proton Whistlers and other Natural Low-Frequency Radio Emissions Observed by ePOP- RRI

Ashanthi Maxworth [1], Glenn Hussey [1], Fraser Hird [1], George Sofko [1], Gordon James [2], Andrew Yau [2]
1. University of Saskatchewan
2. University of Calgary

31 A network of HF Doppler sounding systems in Japan: possible collaboration with SuperDARN

Keisuke Hosokawa [1], Hiroyuki Nakata [2], Kumiko Hashimoto [3], Ichiro Tomizawa [1], Jun Sakai [1], Takashi Kikuchi [4], Kenro Nozaki [5]
1. University of Electro-Communications
2. Chiba University
3. Kibi International University
4. ISEE, Nagoya University
5. National Institute of Information and Communications Technology

32 Variations in PolarDARN Doppler characteristics

G. Burrell [1], Clayton Coker [1]
1. U.S. Naval Research Laboratory, Washington D.C., USA

33 Simulations and Measurements of Radio Frequency Radiation (RFR) for a SuperDARN Radar

Kevin Sterne [1], Kevin Krieger [2]
1. Virginia Tech
2. University of Saskatchewan

34 Echo occurrence in the polar ionosphere as measured by Dome C East radar

Maria Federica Marcucci [1], Igino Coco [2], Stefano Massetti [1], Simona Longo [3], David Biondi [1], Enrico Simeoli [4], Aurélie Marchaudon [5], Alexandre Koustov [6], Victoriya Forsythe [7], Giuseppe Consolini [1],
1. INAF-Istituto di Astrofisica e Planetologia Spaziali, Rome, Italy
2. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Rome, Italy
3. CNR-Dipartimento Terra Ambiente, Rome, Italy
4. CNR-Dipartimento Reti e Sistemi Informativi, Rome, Italy
5. Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie, Toulouse, France
6. Institute of Space and Atmospheric Studies, Department of Physics and Engineering Physics, University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada
7. University of Alaska, Fairbanks, USA

35 Numerical Modelling of SuperDARN HF Radio Propagation in a Realistic Ionosphere

Etienne Foucault [1], Pierre-Louis Blelly [1], Aurélie Marchaudon [1], Sébastien Trilles [2]
1. IRAP (CNRS, UPS, CNES), Toulouse, France
2. Thales Alenia Space, Toulouse, France

36 Collaborative ionosheric observations using VIPIRs in Japan and Korea

Takuya Tsugawa [1], Michi Nishioka [1], Hideo Maeno [1], Takumi Kondo [1], Mamoru Ishii [1] Jong-Yeon Yun [2], Young-Sil Kwak [3]
1. National Institute of Information and Communications Technology, Japan
2. Korean Space Weather Center, National Radio Research Agency, Korea
3. Korea Astronomy and Space Science Institute, Korea

37 Receiving the SuperDARN Hokkaido East HF radar signal at a remote station using the USRP

Y. Hamaguti [1], N. Nishitani [1], T. Hori [1]
1. ISEE, Nagoya Univ.

38 Reassessment of SuperDARN/SENSU near-range echoes

Akira Sessai Yukimatu [1]
1. National Institute of Polar Research Dep. of Polar Science, Sch. of Multidisicplinary Sciences, The Graduate Univ. for Advanced Studies (SOKENDAI)

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

2019年度・第1回STE（太陽地球環境）現象報告会*1（2019年9月9~10日、京都大学宇治キャンパス）

*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：22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、過去半年間の現象を振り返ることを目的の一つとしているが、過去半年間に大規模な現象が無かったせいもあり、データ駆動方式による太陽地球系物理現象の相互作用の解明提案や、地磁気誘導電流の観測、モデリングについての現状、流星電波放射観測に関する話題といった、話題提供的な発表も多く見られた。また、今回は台風19号が関東地方を直撃した影響により、関東地方からの参加予定者が移動困難となったことを受けて、ZOOMでの講演を実施するなどの新しい試みも行われた。

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、国立極地研究所・宙空圏研究グループ

集会の概要

本研究集会は、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405回生存圏シンポジウム、令和元年度名大ISEE研究集会、令和元年度極地研研究集会との共催で開催された。

地球の超高層大気は、太陽から絶えず流入してくる太陽放射と太陽風の影響を強く受けると共に、下層大気で発生した大気重力波の上方伝播による大気擾乱の影響も受ける。また、この領域は、上下結合に加え、両極域から赤道に至る緯度間結合も強く、ここで観測される変動現象を理解する上で、人工衛星、及び、地上拠点観測、グローバル地上観測で得られた多種多様な観測データを組み合わせた解析が欠かせない。一方、これらのデータを駆使する融合研究において、迅速に且つ高度な科学成果を創出するためのデータ解析手法（相関解析、スペクトル解析、トレンド解析、データ同化、逆問題解析など）やそのツールが開発されているが、その適用方法や効果が十分に共有されておらず、自助努力に依存している状態である。そこで、本研究会では、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・解析ツール開発者が集まり、知識や動向の共有を通じて、各々に最適な解析方法を見出すとともに、研究成果の高度化、総合解析・総合理解への道筋を構築することを目的とした。また、学生・若手研究者が主体的にデータ解析手法やそのツールの使い方を学べる場として、実際の解析ツールを用いたデータ解析講習会を開催した。

今年度は、関連した「STE現象報告会」、「MTI研究集会」、「宇宙空間からの地球超高層大気観測に関する研究会」の3つの研究集会と合同で開催し、且つ、「第13回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム」と同時期に同機関で開催することにより、参加者の増加、経費の削減を図った。加えて、上記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ることで、高い相乗効果を狙った。また、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。

研究集会報告と成果

9月12日午後には、本分野で広く利用されているデータ解析ソフトウェア「Interactive Data Language (IDL)」の講習会、並びに、その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」の講習会を開催し、学生、若手研究者24名が参加した。講習会では、参加者が各自ノートPCを持参し、解析ソフトウェアを使った基礎的なデータ解析を行った。前半のIDL基礎講習では、Harris Geospatial株式会社の現役エンジニアの方に講習を依頼し、IDL初心者のための基礎的な使い方だけでなく、経験者にとっても非常に役に立つ実践的な情報を提供していただいた。特に、研究室に配属されたばかりの経験の浅い学部生に対して、データ解析への導入の良い機会を提供できたと考えている。後半のSPEDAS講習では、超高層大気データのロード、プロットといった基本操作に加えて、データ解析の前処理やフィルター、周波数解析等、実際の研究で利用頻度の高い解析手法を重点的に体験していただいた。これらの講習により、初心者から経験者までツールを使った一通りのデータ解析を経験していただくことができ、学生や若手研究者がより主体的に各自の専門的な研究を進めていくための環境が整ったと考えられる。また、これらのツールは、名古屋大学宇宙地球環境研究所で公開されている磁力計、イメージャ、レーダーデータ等の多様な地上観測データ、並びに、衛星観測データの総合解析に広く利用されており、データの利用促進や共同研究の発展に貢献すると期待される。

9月13日には、口頭セッションが開催され、31名が参加者した。セッションでは、学生・若手研究者を中心に、12件の講演が為された（予定していた13件のうち、1件がキャンセルとなった）。講演では、人工衛星・地上観測データの比較解析、観測・シミュレーションデータの比較解析、画像解析、地磁気モデル計算、レーダーデータ信号処理、周波数解析、画像や時系列データからの現象の自動検出等、様々な解析手法が紹介された。また、それぞれの解析方法の問題点や利用範囲、各自の研究で直面している課題とその解決策についても議論された。講演時間が限られていたため、全ての講演について議論の時間が十分だったとまでは言えないが、

お互いの研究内容や進捗についての情報交換ができ、今後の継続的な議論、共同研究への発展等が見込まれる。本研究集会で議論されたツールや解析手法は、宇宙地球環境研究所が掲げる融合研究プロジェクトで扱う観測データにも応用可能と考えられ、今後のプロジェクトの発展に貢献することが大いに期待される。また、9月11日午後には、合同ポスター発表も行われ、活発な議論が為された。

なお、研究集会の講演資料は、以下のIUGONETプロジェクトウェブサイトで公開している。（http://www.iugonet.org/workshop/20190912）。

（別紙様式６－２）

陸別ユーザーズミーティング
Rikubetsu Users' Meeting

町田敏暢、国立環境研究所・地球環境研究センター

【概要】

本研究集会は、令和元年2月13日、14日の２日間、北海道足寄郡陸別町の陸別町役場会議室で開催された。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の研究者を中心に、複数機関の観測所ユーザー計12名が参加し、観測所で得られた成果の報告と観測所の今後の運用に関する意見交換が活発に行われた。また、本研究集会終了後の14日の午後には、名古屋大学の地域貢献事業の一環として陸別町および北海道大学、北見工業大学、国立環境研究所、国立極地研究所と共に運営されている陸別町社会連携連絡協議会が開催され、陸別小学校・陸別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等の報告と来年度計画に関する議論が行われた。

【研究集会の目的】

陸別観測所は、1997年の発足当時からりくべつ宇宙地球科学館の２階部分を借り受け、国立環境研究所と共同で運用（国立環境研究所側の呼称は成層圏総合観測室）を行ってきた。発足から20年以上に渡り、成層圏および対流圏の大気微量成分および地磁気変動、大気夜光（重力波）のモニタリング、低緯度オーロラの観測を続け、取得されたデータはISEEのウェブページはもとより、NDACC（大気組成変動検出のための国際ネットワーク）、TCCON(全量炭素カラム観測ネットワーク)のデータベースに登録され、広く世界の研究者に活用されている。近年では、国立環境研究所に加え、東北大学、電気通信大学、北海道大学の観測装置を観測所に設置し、共同研究の範囲を広げている。こうしたユーザーの意見をもとに観測装置のプラットフォームとしての観測所の改善をはかるとともに、観測所で得られる科学的データを用いて新たなサイエンスを切り開く新規ユーザーを開拓するための情報交換、意見交換の場となることを目指して本研究集会を開催した。

【研究集会の内容・成果】

1日目に対流圏および成層圏の大気微量成分、温室効果ガス関連の話題、2日目に電離圏/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、令和元年度は大きな問題もなく、順調にデータが取得されていることが報告された。今回は、気象庁から国立環境研に入られた堤之智先生と防衛大学校の岩崎杉紀先生に特別講演をお願いした。堤先生には、温室効果ガスやオゾン層破壊物質関連の全球的な監視体制の世界的な枠組みについてお話しいただき、最近の大きな２つの流れであるGCOSとGEOSSについて、それぞれの背景や特色についてわかりやすく解説していただいた。また、岩崎先生は衛星データを陸別でのゾンデ観測から得られた雲の興味深い話を紹介いただいた。東北大および電通大の観測については残念ながら担当研究者の都合がつかず代読となったが、千葉大の大矢先生から東北大が陸別で進めているVLF/LF帯標準電波観測のデータに火球に伴う電離圏の応答が見られたと解釈される現象を見つけたという興味深い報告があった。

次年度の観測所運用に関する議論では、国立環境研究所の赤外線フーリエ分光計(FTIR)のアップグレードの計画が報告され、観測所内の機器のレイアウト、および新しい機材の搬入・搬出等について、今後も情報交換を密にして進めていくことが確認された。また来年度のユーザーズミーティングは陸別観測所だけでなく、ISEEの持田グループがエアロゾルのモニタリング観測を開始しようとしている母子里観測所も合同で陸別・母子里ユーザーズミーティングとして開催し、来年以降もそのように開催していく方針となった。

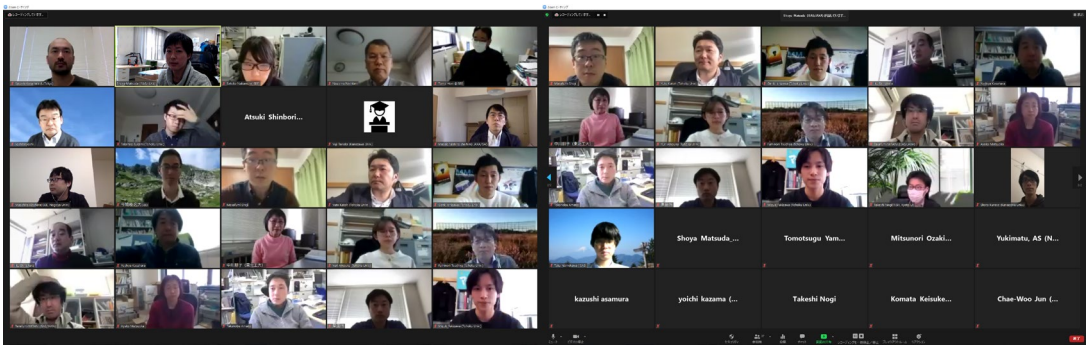
R1年度　陸別ユーザーズミーティング　プログラム（案）				
日時：2/13（木） 15:00 - 17:00,　　2/14（金） 9:30 - 11:30				
会場：陸別町役場会議室				
発表時刻	発表時間	発表者	所属	演題　　（）は仮題
2/13（木） 15:00 - 17:00				
はじめに				
15:00 - 15:05	（ 0:05 ）	水野　亮		
オゾン/成層圏/温室効果ガス				
15:05 - 15:20	（ 0:15 ）	水野　亮	（名大ISEE）	「陸別ミリ波分光計によるオゾン観測」
15:20 - 15:35	（ 0:15 ）	長浜　智生	（名大ISEE）	「陸別FTIRによる成層圏・対流圏大気組成モニタリング」
15:35 - 15:40	（ 0:05 ）	町田　敏暢	（国環研）	（国環研のまとめで何かひとこと）
15:40 - 15:55	（ 0:15 ）	森野 勇	（国環研）	「陸別NIES FTIRによるTCCON観測運用結果」
特別講演				
15:55 - 16:15	（ 0:20 ）	堤 之智	（国環研）	「全球の温室効果ガス観測に関する枠組みの現状と課題について」
休憩				
16:15 - 16:30	（ 0:15 ）	[含Zoomの準備]		
特別講演　（zoom参加）				
16:30 - 16:50	（ 0:20 ）	岩崎　杉紀	（防衛大）	「中高緯度に広がる肉眼では見えない/見えにくい雲の衛星と地上観測 」
天文台報告				
16:50 - 17:05	（ 0:15 ）	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」
2/14（金） 9:30 - 11:30				
オーロラ/磁気圏/電離圏				
9:30 - 9:45	（ 0:15 ）	塩川 和夫	（名大ISEE）	「陸別観測所におけるオーロラ・大気光と磁場観測」
9:45 - 10:00	（ 0:15 ）	芳原 容英（塩川　代読）	（電通大）	「陸別におけるELF帯磁場観測の現状報告」
10:00 - 10:15	（ 0:15 ）	西谷　望	（名大ISEE）	「SuperDARN北海道-陸別第一・第二HFレーダーの2019年度活動報告 」
特別講演				
10:15 - 10:40	（ 0:25 ）	大矢 浩代（＋土屋史紀）	（千葉大）	「陸別でのVLF/LF帯標準電波観測による火球に関連する下部電離圏変動」
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				
10:40 - 11:20	（ 0:40 ）			

（別紙様式６－２）

あらせ衛星の電場・プラズマ波動観測データを用いた解析ワークショップ
Workshop for the plasma wave observations by Arase/PWE

松田昇也　宇宙航空研究開発機構　宇宙科学研究所

ジオスペースにおける「プラズマ波動」は，高エネルギー粒子加速やオーロラ粒子の降り込み等を引き起こすことで知られる重要な存在である．「あらせ衛星」が 2017 年 3 月に定常観測を開始して以降，搭載されたプラズマ波動・電場観測器 PWE の観測によって，ジオスペースにおける波動粒子相互作用のその場観測や，特徴的な軌道を生かしたプラズマ波動の空間分布の解明など，多くの成果が創出されてきた．また，米国の Van Allen probes をはじめとした，ジオスペースを飛翔する複数衛星の観測を生かした同時多点観測によって，現象の空間的な広がりまでもが明らかにされつつある．本研究集会では，あらせ衛星に搭載されたプラズマ波動観測器 PWE によるプラズマ波動観測に着目し，将来の観測戦略立案を見据えて，最新の科学成果を共有すること狙った．二日間の日程で，延べ 100 名を超える参加者が研究集会に参加し，あらせ衛星や搭載機器の運用状況報告（7 件）に加え，18 件の科学解析結果報告がなされた．1 日目午後には，ERG サイエンスセンターで新規に開発したプラズマ波動解析ツール「ISEE_Wave」を使った解析講習会を実施した．開催に先だって，金沢大学の笠原禎也教授から「あらせ PWE 観測データを用いた到来方向推定」の演題でチュートリアル講演を賜り，プラズマ波動の伝搬特性解析技術の習得を図った．講習会参加者には，事前収録された ISEE_Wave の紹介ムービーおよびマニュアルを配布し，講師とのオンライン質問セッションを通して理解を深める場を提供した．本研究集会は，コロナウイルス感染症拡大防止の観点からオンラインで開催した．オンライン開催を円滑に進めるために事前の準備に労力を要したが，当日は目立ったトラブルもなく，オンライン開催特有の利点も享受しながら，無事に研究集会を開催することができた．なお，本研究集会は名大 ISEE 研究集会「複数衛星観測によるジオスペース探査」との同時開催とした．



図：研究集会 1 日目の開催風景

第 8 回東アジア加速器質量分析シンポジウム
The 8th East Asia Accelerator Mass Spectrometry Symposium (EA-AMS 8)

北川浩之、名古屋大学・宇宙地球環境研究所
南　雅代、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

【実施内容】

東アジア加速器質量分析シンポジウムは、放射性炭素（^{14}C）、ベリリウム-10（^{10}Be）、ヨウ素-129（^{129}I）等の測定手法の開発、宇宙科学、地球科学、環境科学などへの応用研究に関する情報交換の場であり、日本・中国・韓国の加速器質量分析機関が中心となり、2年ごとに開催されてきた。今回は、名古屋大学宇宙地球環境研究所が中心となり、2019年12月3日から6日に名古屋大学 坂田・平田ホールにて第8回東アジア加速器質量分析シンポジウム（EA-AMS 8）を開催した。本シンポジウムでは、「Space and earth environmental Science」、「New facility and status report」、「AMS development / Technical development/Heavy nuclides」、「General AMS application / Carbon-14 age calibration and archeological application」の4つのセッションが企画され、4件の基調講演を含む34件の口頭発表が行われた。基調講演では、「過去の太陽フレアなどのイベントの検出」、「中国原子能科学研究院の加速器質量分析施設の紹介」、「^{10}Beと^{26}Alを使った岩陰遺跡の年代測定」、「中国レス堆積物の^{10}Be分析によるアジアモンスーンの長期変動の復元」といった、多様な研究分野での最新の研究成果についての講演が行われた。ポスターセッションでは、加速器質量分析の広範囲の研究への応用研究についての42件の研究成果が発表された。また、初日には加速器質量分析メーカからの最新情報の提供を目的としたセッションが設けられ、シンポジウム終了後の翌日には、福井県三方五胡へのエクスカーションを実施し、縄文博物館・年縞博物館を訪れた。

【成果】

前回までの EA-AMS の主要な参加者は、日本・韓国・中国の研究者であった。第 8 回目の開催となる本シンポジウムでは、韓国（8 名）、中国（33 名）に加え、台湾（7 名）、香港（1 名）、米国（3 名）、オーストラリア（4 名）、スイス（3 名）、オランダ（2 名）、フィリピン（1 名）、ポーランド（2 名）からの総数 115 名の参加者があり、より国際的なシンポジウムとなった。

本シンポジウムの主催である名古屋大学宇宙地球環境研究所の特色を生かし、セッション「Space and earth environmental Science I, II, III」を企画した。米アリゾナ大学 A.J.T. Jull 教授による基調講演「Evidence for solar-flare and other cosmic-ray events in the ^{14}C record in tree ring and in the other records」（宇宙地球環境研究所三宅准教授・ハンガリー原子核研究所 I. Planyusuhkina 博士と共同発表）が行われ、過去の巨大太陽フレアの発生による宇宙線強度の変化に関する最新の研究成果が紹介された。また、中国科学院 W. Zhou 教授による基調講演「A long time-scale record of East Asian monsoon rainfall from Chinese loess ^{10}Be」も行われた。本セッションでは、12 件の一般講演があり、宇宙地球環境研究を推進するうえで加速器質量分析法による同位体分析の重要性について共通認識が得られた。

セッション「New facility and status report」では 13 件の講演があり、新たに設置された加速器質量分析施設の紹介、加速器質量分析施設の現状などの講演が行われた。中国を中心に加速器質量分析施設の整

備が進んでいること、炭素 14 年代測定に限らず、環境学、海洋学、宇宙科学などの多様な研究分野での取り組みについての情報交換がなされた。

セッション「AMS development / Technical development / Heavy nuclides」では、5 件の講演があり、加速器質量分析装置及び試料調整についての話題が提供された。近年、施設整備が進められた中国原子能科学研究院、広西師範大学、国立台湾大学の加速器質量分析施設の状況説明など、加速器質量分析施設を整備していく上で有用な情報が得られた。

セッション「General AMS application / Carbon-14 age calibration and archeological application」では、オーストラリア ANSTO の D. Fink 博士によって基調講演「Constraining the Age of Aboriginal rock art using cosmogenic Be-10 and Al-26 dating of rock shelter collapse in the Kimberley region, Australia」が行われた。加速器質量分析法による宇宙線照射年代測定法を熟知していない研究者にも興味が得られるように工夫された講演であり、考古学への新たな加速器質量分析法の応用について学ぶよい機会となった。なお、この Fink 博士の講演は理学部地球惑星科学科 2 年生の学生 20 名にも聴講してもらい、後日、興味や疑問をもった点についてレポートを課した。英語の発表であったにもかかわらず、Fink 博士がわかりやすい英語で発表してくれたおかげか、皆よく理解しており、地球科学と考古学の融合研究に興味を持ったことが伺えた。

今回のシンポジウムの 1 つの特徴として大学院生を含む若手研究者の参加が多数であり、優れた研究成果の発表が行われた。若手研究者の人的交流を促し、研究者ネットワークの形成の 1 つの機会となったことは特記できる成果と考えている。

【外国人招聘者】（うち、本研究集会で旅費を支給した者は 下線 記載）

Hongtao Shen (Guangxi Normal University, China)

Weijian Zhou (Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, China)

Junghun Park (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Korea)

Wan Hong (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Korea)

Gwan-Ho Lee (Korea Institute of Science and Technology, Korea)

Hong-Chun Li (Department of Geosciences, National Taiwan University, Taiwan)

Quan Hua (Australian Nuclear Science and Technology Organisation (ANSTO), Australia)

David Fink (Australian Nuclear Science and Technology Organisation (ANSTO), Australia)

Timothy Jull (University of Arizona, USA and ICER, Institute for Nuclear Research, Debrecen)

【刊行物】

「Agenda & Abstract」85 pp.を発行した。（2019 年 12 月 2 日刊行）

「Proceedings of The 8th East Asia Accelerator Mass Spectrometry Symposium and The 22nd Japan Accelerator Mass Spectrometry Symposium」124 pp.を発行した。（2020 年 3 月 31 日刊行）

ERGミッションによる内部磁気圏波動粒子相互作用の観測戦略検討会

Observation planning of wave-particle interactions in the inner magnetosphere by the ERG mission

加藤雄人・東北大学大学院理学研究科

１．概要

研究会名：ERG衛星粒子観測データ解析ワークショップ
日程：2019/09/18-09/19
場所：東京大学　本郷キャンパス　理学部1号館710室
参加者数：のべ75名
特記事項：東京大学・笠原慧准教授代表のISEE研究集会「ERG衛星粒子観測データ解析ワークショップ」とのジョイント開催とし、核融合研・永岡賢一准教授代表のISEE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」（2019/09/17-18）との連続開催とした。

２．研究会アジェンダ

【あらせサイエンス会議１】座長：北村成寿

14:00 -	14:25	山川智嗣	東大・理	Study of the excitation mechanism of ULF waves in Earth's magnetosphere based on the drift-kinetic model
14:25 -	14:50	大野敦裕	東北大	Drift resonance of energetic electrons with Pc 4-5 ULF waves and modulation of whistler-mode chorus
14:50 -	15:15	高橋直子	東大・理	Relative contribution of ULF and chorus waves to the radiation beltvariation
15:15 -	15:40	伊藤大輝	名大ISEE	Flux decrease of outer radiation belt electrons associated with solar wind pressure pulse: A Code coupling simulation of GEMSIS-RB and GEMSIS-GM
15:40 -	16:05	藤井 亮佑	名大ISEE	Statistical analysis for trunk structure of ring current ions using Arase ion observations
				コーヒーブレイク

【あらせサイエンス会議２】座長：高橋直子

16:25 -	16:50	戸田穂乃香	東海大	Geant4 Model Calculation and Energetic Particle Observation with HEP/Arase in the Inner Radiation Belt
16:50 -	17:15	笠原慧	東大・理	放射線帯における Whistler chorus波動による 電子のピッチ角散乱： strong diffusionの緯度分布
17:15 -	17:40	Chae-Woo Jun	名大ISEE	Spatial distributions of EMIC waves under different geomagnetic conditions during the Van Allen Probes and ERG era
17:40 -	18:05	能勢正仁	名大ISEE	Longitudinal Structure of Oxygen Torus and Its Coincidence with EMIC Wave in the Inner Magnetosphere: Van Allen Probe B and Arase Observations of the 12 September 2017 Event

9月19日

【あらせサイエンス会議3】座長：三好由純

9:30 -	9:45	小川泰信	NIPR	EISCAT観測について
9:45 -	9:55	堀智昭	名大ISEE	Arase-SuperDARN collaboration
9:55 -	10:05	細川・三好		PsAプロジェクトについて
10:05 -	10:15	塩川和夫	名大ISEE	PWINGプロジェクトの現状
10:15 -	10:25	北村成寿	東大・理	MMS観測について
				コーヒーブレイク

【あらせサイエンス会議4】座長：笠原慧

10:45 -	11:00	篠原・三好		あらせプロジェクトレポート・議論
11:00 -	11:10	笠原禎也	金沢大	ERG/PWEのレポート
11:10 -	11:20	栗田怜	名大ISEE	ERGサイエンスセンター報告
11:20 -	12:00	風間洋一	ASIAA	<チュートリアル講演>
				ランチ

【あらせWS】

13:00 -	17:00	ERGサイエンスセンタ		SPEDAS講習会

３．成果

＊学生・PDが初期解析状況を発表して，解析の手法・方針等について観測器PIと直接議論した

＊「実験室・宇宙プラズマにおける波動励起と粒子加速・加熱」とのジョイント開催とすることで，分野境界領域の研究に関する知識・理解の交流を実施できた

＊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観測戦略と、それを具体化する運用計画について議論した.

＊粒子機器(LEP-e)のPIがチュートリアル講演を実施し,粒子観測データの基礎から応用まで解説し，データ解析研究者の理解を深めた.

＊解析ソフト講習会では,チュートリアル講演を受けて，粒子データ解析作業に有用な発展的ツールを扱った.

iLEAPS/IGAC-Japan 合同研究集会 2019
iLEAPS/IGAC-Japan Joint Workshop 2019

持田陸宏、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

持続可能な地球社会の実現をめざす国際協働研究のプラットフォームであるフューチャー・アースには、大気／陸域境界のエネルギー・物質の交換やそれに関わる諸過程の解明を目指すiLEAPS、また、大気化学の視点から物質循環・大気過程・化学組成の解明を目指すIGACなどが組織されている。iLEAPS・IGACの学術分野の課題には、温室効果気体や生物起源揮発性有機化合物の大気陸域間の収支や、気候と生態系の相互作用における大気微量成分の役割など双方にまたがるものがあり、今後、これらの課題に両分野の研究者が連携して取り組むことが重要になると考えられる。そこで、日本学術会議のiLEAPS・IGAC小委員会の委員を含む双方の学術コミュニティの研究者が集い、大気陸域間の相互作用に関わる研究について話題提供と討論を行うため、2019年9月6,7日に名古屋大学東山キャンパスにおいて「iLEAPS/IGAC-Japan合同研究集会2019」を開催した。本研究集会では、両分野にまたがる重要課題を明確にし、その解明に向けた今後の研究の展望を得ること、また、両分野が連携した研究の推進に向けて、iLEAPS・IGAC小委員会や国内の両コミュニティで今後重要となる取り組みを見出すことを目標とした。

本集会では、iLEAPSおよびIGACのそれぞれの学術コミュニティの研究者により、合わせて19件の講演が行われた。メタンのエミッション/フラックス、大気中の窒素化合物・揮発性有機化合物・生物起源有機エアロゾル、陸域の炭素収支、植生の変化、水循環などに関する話題提供が行われ、また、これらの講演では、現場での観測研究、リモートセンシングによる研究、モデル研究と異なる手法の研究について紹介がなされた。各講演とそれに対する質疑応答、また総括の時間における議論を通して、これまで交流の機会が乏しかったiLEAPS・IGAC両分野の間の交流を深める場とすることができたと考える。本集会は2日間の限られた時間での取り組みではあるが、これによってiLEAPS・IGACの学術コミュニティの間の意見交換が進み、境界・融合領域の研究に向けた連携の契機となることを期待したい。なお、本研究集会の期間中には、IGAC小委員会のメンバーのオブザーバー参加が可能な形で、第24期・第3回iLEAPS小委員会が開催され、iLEAPSやIGACを含む研究プログラム間の連携が話題として取り上げられた。フューチャー・アースに関わる各小委員会の連携の強化を探る上でも、今回の研究集会の取り組みは有意義であったと考える。

NDACC サイエンスワークショップ in つくば
NDACC Science Workshop in Tsukuba

水野亮、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

概要：
2019年に大気微量成分の国際的な地上観測ネットワークであるNDACC（Network for the Detection of Atmospheric Composition Change）の運営委員会が日本で開催されることになった。この運営委員会の開催時期に合わせた2019年10月17日、18日の２日間、つくば国際会議場、国立環境研究所、気象研究所、高層気象台で、NDACC運営委員会メンバーと日本の関連分野の研究者が情報交換し、今後の連携や相互協力を議論するためのワークショップを開催した。NDACC運営委員を含めて32名（２日間でのべ52名）の研究者が参加し、初日に研究発表と議論、2日目は観測施設の見学を行った。

研究集会の目的：
NDACCは世界中の70以上の観測ステーション、160以上の測器からの観測データを集約し提供している研究者のボランティア的な組織で、主要な観測ステーション、地域、測定技術などのそれぞれから選出された運営委員が毎年運営委員会を開催し、質の高いデータを継続的に広範囲から取得し公開するために活動を続けている。今年度、そのNDACCの運営委員会が、1999年に札幌-陸別で開催されて以降20年ぶりに日本のつくばで開催されることとなった。運営委員会には、大気組成変動の地上観測と理論に関する世界中の第一線の研究者が集結し、最新の観測データや観測／解析技術に関する最先端の動向を知る絶好の機会である。そこで、運営委員会と絡めて1日半程度、日本の研究者が参加してサイエンスおよび観測技術についてNDACC運営委員会メンバーと議論するための研究集会を開催し、日本の大気組成変動に関わる観測技術・手法からサイエンスをNDACC運営委員会と共有し、専門性の高い質の良い情報交換や議論を通して日本の研究のさらなる向上を目指して本研究集会を開催することとした。

研究集会の内容：
名古屋大学陸別観測所のFTIRやミリ波分光計など国内のNDACCの公式測器による観測の概要紹介および最新の研究成果の紹介から、民間航空機を用いた温室効果ガス計測である国立環境研究所のCONTRAIL、国立環境研究所を中心に東アジア地域に展開しているエアロゾル・雲観測のライダー観測網であるAD-Net、北海道大学を中心に実施されている水蒸気ゾンデ観測、船舶上のMAX-DOAS観測などの日本ならではの特色のある観測やその成果が紹介され、今後NDACC観測網とどのような連携、協力が可能かなどの議論がなされた。また、GOSAT、GOSAT2などの現状報告やSMILESの後継として検討されているSMILES-2計画など、地上観測と相補的な衛星観測における日本のアクティビティーも紹介され、情報交換がおこなわれた。

NDACC Science Workshop

17 October, 2019

9:30a Welcome – Chiho Watanabe (President, NIES)

9:40a Workshop Overview – Hideaki Nakajima (NIES)

9:45a A Renewed Impetus for Expanding Global Trace-Gas Measurement Networks – R. Weissv(SIO) and R. Prinn (MIT)

10:00a The TROPOMI Validation Campaign (TROLIX'19) – K. Kreher (BK Scientific)

10:15a The Total Carbon Column Observing Network – Activities Operated by Japanese Organizations and Satellite Data Validation with TCCON – I. Morino (NIES)

10:30a The Latest Status of the GOSAT and GOSAT-2 Projects – T. Matsunaga (NIES)

10:45a Ground-Based Greenhouse Gas Observations by NIES – Y. Terao (NIES)

11:00a The CONTRAIL Commercial Airline Measurements of Atmospheric Trace Gases –T. Umezawa (NIES)

11:15a Lidar Research at MRI – T. Sakai (MRI, JMA)

11:30a Group Photo, Immediately Followed by Lunch

2:30p Aerosol and Cloud Observations Using a Network of Ground-Based Lidars (AD-Net) –T. Nishizawa (NIES)

2:45p An Introduction to the Aerological Observatory and Meteorological Instrument Center –R. Niimi (Aerological Observatory, JMA)

3:00p Balloon Sounding Activities in Japan: SOWER, and Contributions to SHADOZ and GRUAN– M. Fujiwara (Hokkaido University)

3:15p A Proposal for Satellite Observation of the Whole Atmosphere: The Superconducting Submillimeter-Wave Limb Emission Sounder (SMILES-2) – M. Shiotani (RISH, Kyoto University)

3:30p UV-Vis Multi-Axis / Direct-Sun (MAX DOAS) Observations around Japan and on Research Vessels – Y. Kanaya (JAMSTEC)

3:45p Research Activity and Instrument Development for Microwave Measurements at Nagoya University – A. Mizuno (ISEE, Nagoya University)

4:00p Long-Term Monitoring of Tropospheric and Stratospheric Trace Gases Using Ground-Based FTIRs in Japan – T. Nagahama (ISEE, Nagoya University)

18 October, 2019

Tour of NIES, including the FTIR (I. Morino), Lidar (T. Nishazawa), GOSAT (T. Matsunaga), and UV-B (T. Nakajima). Possible site visit to the Meteorological Research Institute (MRI) and the Japanese Meteorological Administration (JMA) Aerological Observatory (Tateno)

1:30p Bus departs from the Okura Frontier Hotel Epochal

1:45p Arrive at NIES – 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki, 305-8506 Japan

1:45p Tour of the FTIR (H. Nakajima), Lidar (Y. Jin), and GOSAT (T. Matsunaga; tentative)

2:45p Bus departs from NIES

2:50p Arrive at MRI – 1-1 Nagamine, Tsukuba, Ibaraki, 305-0052 Japan

2:50p Tour of MRI, including the Aerosol, Water Vapor, and Ozone Lidar (Sakai, Nagai)

3:30p Transfer to the Aerological Observatory

3:30p Tour of the Aerological Observatory, including the Dobson, Meteorological Instrument Verification Center, and Observation Field (Narita, Abo, Mori, Niimi, Ueno)

5:00p Bus departs from the Aerological Observatory

5:15p Return to the Okura Frontier Hotel Epochal

第4回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: 4th 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

2019年12月26日(木)～27日（金）の日程で名古屋大学宇宙地球環境研究所にて、「第4回太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望」を開催しました。本研究集会は、太陽・太陽圏・地球電磁気圏・大気圏からなる連続的で複雑なシステムである太陽地球圏を対象とするモデル研究の現状と課題および予測へむけた展望を、分野を超えて広く議論することを目的として、新学術領域研究「太陽地球環境変動予測（PSTEP)」との共同主催として開催しました。これまで、2017 年 1 月の第 1 回、2018 年 2 月の第 2 回では、太陽地球圏の多岐にわたるモデルについて基礎から最先端の研究開発状況を各専門家から紹介いただき、課題や展望を議論しました。2019年 1 月の第 3 回では、宇宙天気情報利用状況調査報告会を受けるかたちで開催し、調査結果を踏まえて課題を整理し、各モデル研究の対応状況や PSTEP の残された期間で取り組むべき課題を議論しました。

PSTEP 最終年度である今回は、当該分野の展望を共有するとともに次の研究計画等へ発展させる土台作りの一助となることも目的の一つとして、PSTEP で達成したことよりもむしろ新たに見えてきた課題・今後取り組むべき研究課題に重点を置いた講演をしていただきました。PSTEP の重点課題（ 被ばく・衛星帯電・GIC・電波伝搬 ）に関連したセッションでは、どのご講演も次に向けた問題意識が明確に示され、これは PSTEP のもう一つの大きな成果であると強く感じました。加えて、大規模計算サイエンスのセッションでは、計算機科学の観点も交えた最先端の話題提供があり、異なるモデルを結合する際の現実的問題を克服する可能性を議論しました。最後に将来課題セッションでは、PSTEP 課題にとらわれず、各専門家から問題意識が示され活発な議論が展開されました。

年末の慌ただしい日程でしたが、多数の現地参加に加えて、Zoom での Web 会議としても参加受付を試みたことで、講義で多忙な方の参加や企業からの参加も実現できましたので、今後の研究会開催手法の方向性として有力な方法であることが確認できました。手探りで始まった当集会ですが、モデル研究をキーワードにこのよう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。

図１：研究集会参加者の集合写真

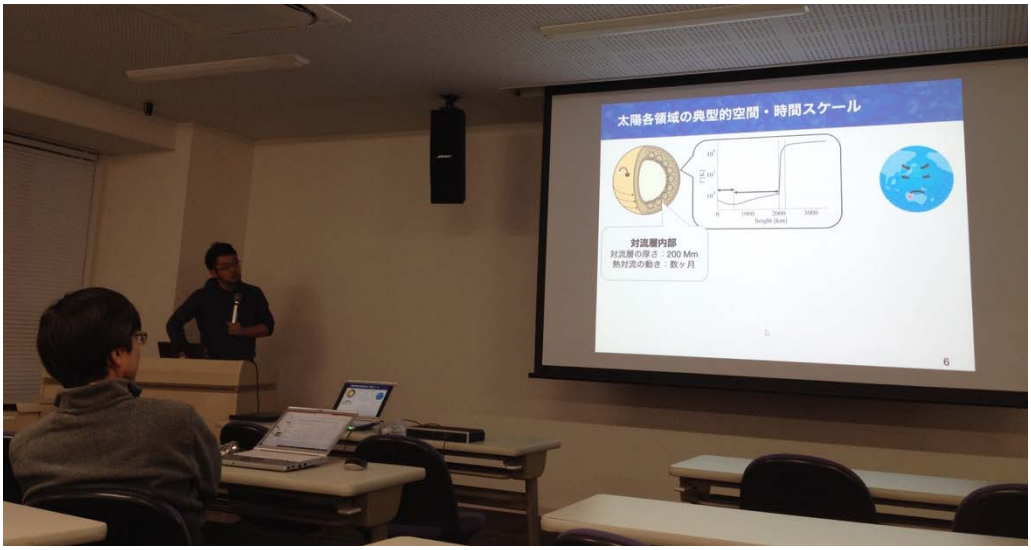


図２：講演の様子

（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計画
Strategic Planning of the Research for understanding Ion Outflow in the Earth's Polar Ionosphere

齋藤　義文
宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・太陽系科学研究系

本研究集会はコロナウィルスの影響で 2019 年度研究集会を繰り越して開催させていただいたものである。研究集会の当初の目的は、2020 年 1 月に打ち上げられる予定であった SS-520-3 号機観測ロケットの飛翔前に、観測実施に向けたターゲットの最終確認と実験実施に向けた搭載機器の準備状況及び射場で必要となる作業の確認を行うことであった。一方、コロナウィルスの影響によって実施できなかった 2020 年度研究集会は、SS-520-3 号機観測ロケットの飛翔後に飛翔結果を持ち寄り、観測ロケット実験グループ・地上光学観測グループ・地上レーダー観測グループの間の取得データの比較検討を通して成果最大化に向けての議論を行う目的で開催する予定にしていた。残念ながら、SS-520-3 号機観測ロケット実験は、コロナウィルスの影響で 2021 年度冬期に延期となってしまったため、本研究集会は、2021 年度の打ち上げに向けた準備を行う集会という位置づけに変更して開催させていただくことにした。研究集会は、zoom を用いたオンライン会合として、3 月 16 日に開催され、22 名の出席者があった。

SS-520-3 号機観測ロケット実験の目的は、昼間側カスプ領域における電離大気加速/加熱・流出現象の直接観測を行い、この電離大気の加速/加熱メカニズムを明らかにすることである。当初、SS-520-3 の打ち上げは 2017 年 12 月 6 日から 19 日の間を目指していたが、噛み合わせ試験の最終段階でタイマ試験においてコマンド抜けが確認され、出荷時期までに当該不具合事象の技術的な確認および処置を完了させることが困難であると判断されたため実験実施の延期を決定したという経緯がある。現時点でこの問題については原因の解明と処置が完了しているが、2018 年度、 2019 年度冬期の打ち上げは、予算の関係で実現できなかった。その後 2020 年度冬期の打ち上げを目指したが、コロナウィルスの関係でさらに１年の打ち上げ延期を余儀なくされ、2021 年度の打ち上げを目指すことになった。2020 年度は太陽活動の極小期となったため、もともとのターゲットとしていたカスプ領域における電離大気流出現象に加えて、同様の電離大気流出現象を伴う極冠オーロラ上空における電離大気流出現象をターゲットに加えることにした。そうすることによって、ターゲットを狙って打ち上げることのできる日数を増やすことが可能となり、SS-520-3 のサイエンスの目的は十分に達成できる見込みを

得た。本研究集会では、2021 年度冬期の打ち上げを想定し、搭載各観測装置の現在の準備状況、フライトまでに必要となる作業内容の洗い出しを行った他、太陽活動極小期から回復傾向にある状況を考慮して、ターゲットとして、カスプ領域に重きをおくか、極冠オーロラ上空に重きを置くのかについて、2020 年度の 11 月から 1 月にかけての射場周辺領域からの地上観測データ、人工衛星による太陽風のモニターデータなどを参照しつつ議論を行った。

研究集会で活発な議論が行われた結果、以下の成果が得られた。

1） SS520-3 搭載観測装置 LFAS、FLP、LEP、NLP、TSA・IMA、DFG、NEI・PWM、SAS について、打ち上げに向けた観測装置の準備状況と、射場作業で必要となる作業についての情報を共有することができた。

2） 元々ターゲットとしていたカスプ領域と、朝側ポーラーキャップオーロラ上空の両方をターゲットとできる、決まった時間を打ち上げの時間として設定することをベースラインとすることを決めた。ただし、打ち上げの数ヶ月前からの、太陽黒点の状況をみた上で最終的な打ち上げ時間を決めることにした。

今回の研究集会で得られたこれらの成果は、2021 年度に SS-520-3 号機観測ロケット実験を成功させるために役立つものである。SS-520-3 号機観測ロケット実験の成果は、その先に行うべき STP 分野の次期衛星計画 FACTORS の計画策定にもつながるため、今回の研究集会で得られた成果は単なる一つの観測ロケット実験だけでなく、より将来の計画にも影響を与える成果であると言える。

小型飛翔体による海象観測（その４）
―海洋研究に小型衛星は（本当に）必要か？―
Ocean Observations from small flying objects (#3)
Do ocean sciences really require microsatellites?

市川　香、九州大学・応用力学研究所

本研究集会のこれまでのシリーズでは、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。海洋防災・監視など海洋実利用目的に小型衛星が非常に有効であることが議論され、小型衛星観測は「あると非常に便利なツール」という共通認識が得られた。ただし、実利用でなく研究目的では、低精度で長期間の常時観測よりも、高精度だが短期集中の観測を必要とする比重が高くなるため、「他とは交換できない不可欠なツール」なのか、「あれば便利だが、より低予算の代替方式と交換可能なツール」なのかの認識は統一されていない。そこで2019年度は、「学術研究目的」に焦点を絞った場合での小型衛星の有効性を議論する。研究集会では、海象リモートセンシングと小型衛星開発の専門家による招待講演（2019年11月18日）と、パネルディスカッション(同19日)を行った。
参加者は31名であった。
（実施場所：名古屋大学 宇宙地球環境研究所 研究所共同館2 409 号室）

＜プログラム＞
【招待講演】 11月18日 13:30～17:30
①特定海域の観測網の充実
　a) HF レーダや定期船を利用した観測　　市川 香（九大 応力研）
　b) 漁船など Ship of Opportunity を利用した観測　　高山勝巳（九大 応力研）
　c) 漂流型ブイによる波浪観測　　小平 翼（東大 新領域）
②静止衛星による常時観測　　石坂丞二（名大 宇宙地球環境研）
③データ同化などによる観測の時空間拡張
　a)沿岸海況のモデリング　　碓氷典久（気象研究所）
　b)台風のモデリング　　和田章義・岡本幸三（気象研究所）
【パネルディスカッション】 11月19日 9:30～12:00
・司会：　市川 香（九大）
・パネリスト：　講演者、及び
　高橋幸弘（北大 理）、小畑俊裕（東京大学/株式会社 Synspective）

○招待講演（2019年11月18日）
はじめの3件では、沿岸など特定の海域で現場観測数を増やす取り組みと、その研究成果が報告された。講演①-aでは、沿岸海洋で支配的な潮汐成分を分離するのに、海洋レーダや定期船による反復観測が有効であることが示された。講演①-bでは、対象海域を航行する漁船などを利用して水温と塩分の計測を増やす取り組みについて報告された。特に塩分は衛星観測の分解能が粗いので、現場観測が有用である。講演①-cは波浪に関する現場データに関する講演で、観測域や観測機会は人工衛星には圧倒的に劣るものの、強風などの極端条件や、海氷が混在する境界領域などの把握には現場観測が有効である。また、波浪

スペクトルや伝播方向が得られる点も現場観測の利点である。
　続く講演②では、究極の時間分解能を持つ静止衛星の海色観測で、既に多くプロダクトが作成されていることが報告された。また、一般に光学観測は衛星姿勢やセンサー感度などの影響を受けやすく、長期連続データの作成には衛星間の相互検証が不可欠である。このため、多数の超小型衛星で高品質な長期データを作成するのは現実的に難しく、別の利用法の方が適しているとの提言があった。
　講演③の２件は、観測データの情報を時空間に展開させて仮想的にデータ個数を増やすデータ同化を紹介した。講演③-aでは、4D-Varを導入した気象庁の日本近海海洋同化システムで、黒潮の上流域の変動が下流に伝播して日本近海の流況を変える様子が紹介された。講演③-bでは、昨年の台風15号と19号を例に、台風の進路予測や強度予測に加え、自発的な避難行動のために信頼できる災害被害の予測を作成する必要性が報告された。

○パネルディスカッション(2019年11月19日)
　市川香（九大）を司会として、前日の講演者及び高橋幸弘（北大 理。ネット経由）、小畑俊裕（東京大学/株式会社 Synspective）が参加して、パネルディスカッションを実施した。パネルディスカッションの模様は以下の写真の通り。

パネルディスカッション実施状況

　パネルディスカッションでは「大型衛星と超小型衛星とでのデータ取得の違い」「モデル化に必要なデータ」「海ゴミの超小型衛星での観測可能性」等、海洋データ取得やモデル化に関する超小型衛星の活用について広範に議論された。例えば、超小型衛星は on-demand での観測対応が容易で、例えばカメラ露光時間を延ばすなどの変更が可能といったメリットがあり、特定のターゲットを細かく計測するような海洋の学術研究観測に有用であると考えられた。一方、観測機器の校正や複数センサーの相乗り搭載の観点から、観測センサー規格の標準を定めておく利点も議論された。例えば、海洋のコミュニティから標準化した観測機器を宇宙側に提案することが有効な方法であること、また、実績ベースの標準化側が適切であるため「CubeSat」、(JAXA の)「革新実証衛星」での実証といったステップを踏んで標準化を行う案が示された。ただ、海洋側からの要求項目が出て、衛星側が適切なものを考える、とい流れはまだできていない。これまでのこの研究会シリーズで、「海洋側」と「超小型衛星」双方の研究開発内容や考え方、プロセスはお互いに理解が進んでいることから、次年度は、海洋科学や防災・減災、産業を含め、どのような超小型衛星ミッションが考えられるかのアイディア出しの「ブレーンストーミング」を実施することとした。

地球磁気圏撮像観測に関する研究会
Science meeting for geospace imaging

石川久美、JAXA 宇宙研

包括的な磁気圏理解に向け、様々な観測手法が取られる中、我々は新たに超小型衛星による 地球磁気圏X線撮像計画GEO-Xを立案した。本研究集会の目的は、X線と超小型衛星、という 新しい観測手法が加わる磁気圏研究において、各観測手法での現状や将来の展望、発展を続ける 衛星技術や観測装置の紹介を通じて、将来の分野横断型の磁気圏観測研究について議論することとした。

会議は招待講演11件と一般講演5件からなり、話題に応じて3つのセクションに分けた。第一が「衛星プロジェクトの展望」であり、JAXA宇宙研における衛星プロジェクト公募、超小型衛星を活用したプロジェクトの現状と展望、磁気圏観測の歴史と撮像の意義、GEO-X計画の概要、ジオコロナ観測について発表があった。第二が「シミュレーションの現状と将来」であり、すざく衛星による地球周辺の観測結果、グローバルMHDシミュレーションを用いた観測予測、あらせ衛星による観測結果、Cusp の地上観測について報告があった。第三が「超小型プロジェクトの観測技術」で、推進系、望遠鏡、検出器、可視光防護フィルタ、超小型衛星バスについての講演があった。これにより当初目的としていた将来の磁気圏観測に向けた広い議論を行うことができ、大変有意義であった。最後のまとめと議論においては、磁気圏撮像の重要性や、宇宙研プロジェクトに応募する際の制度設計についての議論があり、今後の衛星プロジェクト提案に向けて弾みが付いた。

参加者は名古屋大3名、東大3名、大阪大1名、北海道大1名、JAXA5名、首都大8名、関東学院大1名、立教大1名、気象大/極地研1名、電通大1名の合計25名であり、名簿記載がない、飛び入り参加の方々も2-3名見受けられた。以下にプログラムを添付する。

・プログラム(敬称略)

10:00-10:10 江副祐一郎(首都大):はじめに

[衛星プロジェクトの展望]
10:10-10:30 満田和久(JAXA):TBD & TBR - JAXA 宇宙研の衛星プロジェクト設計について
10:30-10:50 上野宗孝(JAXA) : 超小型衛星を活用した宇宙科学プロジェクトの推進について
10:50-11:10 中村正人(JAXA) : 磁気圏観測の発展の歴史、その意義
11:10-11:30 江副祐一郎(首都大):GEO-X 計画
11:30-11:50 亀田真吾(立教大) : ジオコロナ観測と系外惑星科学への展開

11:50-13:00 休憩

[観測、シミュレーションの現状と将来]
13:00-13:20 伊師大貴(首都大):「すざく」衛星を用いた地球磁気圏における電荷交換X線発光の系統解析
13:20-13:40 朝倉一統(大阪大):すざく衛星の観測による太陽風電荷交換反応由来のSi XIV輝線の発見
13:40-14:00 三好由純(名古屋大):SWCXに関するシミュレーションとGEO-Xで目指す科学
14:00-14:20 藤田茂(極地研):Global MHDシミュレーション結果からみたcusp
14:20-14:40 笠原慧(東大): あらせ搭載機器、観測結果
14:40-15:00 細川敬祐(電気通信大学): 地上観測で見えるカスプオーロラの動的特性の紹介

15:00-15:30 休憩

[超小型プロジェクトの観測技術] 15:30-17:10
15:40-16:00 永田晴紀(北海道大): ハイブリッドキックモータの検討状況について
16:00-16:20 石川久美(JAXA):MEMS X線望遠鏡について
16:20-16:40 中嶋大(関東学院大): 超小型衛星に向けたX線イメージングセンサの検討状況について
16:40-17:00 三石郁之(名古屋大): GEO-X 搭載用可視光防護フィルター開発の現状
17:00-17:20 船瀬龍(JAXA): 超小型衛星の現在とこれから

17:10-17:30:まとめと議論

:科学データ研究会：WDS 国内シンポジウム（第８回）

Science Data Symposium: WDS Domestic Symposium (No.8)

村山泰啓、情報通信研究機構・戦略的プログラムオフィス

【集会の概要】

宇宙・地球系科学分野における、大規模データの活用や共有に向けた国際的な動きの中で、地球規模かつ異分野間の情報流通とデータの相互利用が、あらゆる研究分野において重要な課題となっている。宇宙・地球系科学分野は、早くより学会レベルにおいてデータの積極的公開と共有の重要性が認識されていることにより、多領域データの国際的な利活用について議論する上で、重要かつ先導的な研究領域となっている。一方科学データに関する国際協力においては、World Data System (WDS) の主導のもとに、国際的データ共有のFAIR原則 (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) に準拠した、データの長期保全・公開態勢の確保に向けて、広範な議論が進行しつつある。そこでこの研究会においては、最近各研究分野でも対応が議論されている、研究データのリポジトリ認証など、データ・サイテーション関連活動に向けたインフラ整備、分野横断型データ利用システムの構築を行っている研究者や実務者の参加をもとに、FAIR原則について認識を深め、今後の行動計画について協議を行った。なおこの研究会は日本学術会議情報学委員会国際サイエンスデータ分科会・WDS小委員会によるWDS国内シンポジウム（第８回）との合同で開催した。参加者数は29名であった。以下にプログラムを付す。

2019 年度名古屋大学宇宙地球環境研究所研究集会
科学データ研究会：WDS 国内シンポジウム（第８回）
会場：TKP 御茶ノ水カンファレンスセンター・ホール２Ｂ

時間帯 *	講演等タイトル	講演者（所属略称）
10:00-10:10	開会挨拶	村山泰啓（NICT）
10:10-10:30	ERG サイエンスセンターにおけるデータレポジトリ	三好由純（名古屋大 ISEE）
10:30-10:50	宇宙科学のデータ利用性とその課題	篠原　育（JAXA）
10:50-11:10	ROIS-DS PEDSC（極域環境データサイエンスセンター）の活動	門倉 昭（ROIS-DS）
11:10-11:30	研究データのデータ出版・引用とそれを取り巻く現状の分析	能勢正仁（名古屋大 ISEE）
11:30-12:00	WDS、WDS-IPO における最近の動向と今後の展望	村山泰啓(NICT)
12:00-12:10	WDS に関するコメント	藤井良一（ROIS）
12:10-12:40	コメント、ディスカッション（科学データ関連活動の将来構想、国際連携）	
12:40-14:00	昼食	
14:00-14:20	オープンサイエンス政策の研究データ基盤整備とドメイン別研究データ基盤	林　和弘（学術政策研）
14:20-14:35	ROIS-DS 施設主催の国際集会の動向 - WDS との連携を中心に	金尾政紀（ROIS-DS）
14:35-14:50	WDS によるアジア・オセアニア地域連携活動	渡邉　堯（WDS-IPO）
14:50-15:05	ベルモント・フォーラム共同研究活動におけるデータ共有の取り組み	近藤康久（総合地球環境研）
15:05-15:20	京都大学の研究データに関する全学アンケート調査報告	家森俊彦（京都大学術情報）
15:20^15:40	CODATA の活動と 4DATA	芦野俊博（東洋大）
15:40-15:50	休憩	
15:50-17:00	WDS 小委員会関連報告・コメント・ディスカッション	

2019年外惑星磁気圏国際会議
Conference on Magnetosphere of the Outer Planets 2019 (MOP 2019)

熊本篤志，東北大学大学院理学研究科

【概要】

外惑星磁気圏会議（MOP）は，全世界の巨大惑星（木星・土星・天王星・海王星）磁気圏の研究者が一堂に会し，現在進行している惑星探査ミッションや地上観測で得られた最新の観測結果や，それらに基づく解析・モデリング・シミュレーション研究の成果を報告し，議論することを目的とした国際シンポジウムである．これまでは米欧を中心に数年間隔で夏に開催されることが慣例だったが，2019 年夏の MOP 2019 は仙台で開催されることになった．これは，アジア地域・日本では初の開催であり，2011 年夏に一度内定されていながら震災のため延期されてきた仙台開催でもあった．MOP 2019 は，2019 年 6 月 3 日（月）～7 日（金）の 5 日間に東北大学片平キャンパスのさくらホールおよび東北大学北青葉山キャンパスのあおばサイエンスホールで開催され，総数 170 名の参加者を得て，169 件の講演発表が行われた．主催は東北大の研究者を主なメンバーとする MOP 2019 LOC（代表：笠羽康正・東北大教授）で，共催団体として地球電磁気・惑星圏学会(SGEPSS)，日本惑星科学会(JSPS)に加わっていただいた．運営経費・国内参加者旅費の一部を，名大 ISEE（研究集会），JAXA/ISAS（JUICE-J），東北大（GP-EES)，仙台観光国際協会（コンベンション開催助成）に支援いただいた．

【参加者数】

総数：170 名．海外：118 名（うち学生 24 名)，国内：62 名（うち学生 23 名）

【研究報告】

講演総数は 169 件で，口頭が 69 件（うち 19 件は Invited)，ポスターが 100 件だった．
6 月 3 日から 7 日までの主な Time Table を以下に示す．

日付	時間	内容
6/3	午前	口頭セッション：Aurora - In situ, Juno's Recent Results (1/2)
	午後	口頭セッション：Aurora - In situ, Juno's Recent Results (2/2) 口頭セッション：Aurora - Remote Sensing
6/4	午前	口頭セッション：Aurora - Theory & Modeling 口頭セッション：Cassini Grand Finale & PPO
	午後	口頭セッション：Radiation Belts ポスターセッション１
6/5	午前	口頭セッション：Hisaki Summary 口頭セッション：Magnetic Flux and Plasma Transport, and Plasma Heating
	午後	口頭セッション：Structure ポスターセッション２

6/6	午前	口頭セッション：Moon Interactions
	午後	Excursion / Banquet
6/7	午前	口頭セッション：MI Coupling, Ionosphere, Dust 口頭セッション：Dynamics

シンポジウムの詳細なプログラムは以下の URL からも参照できる.

プログラム　　http://pparc.tohoku.ac.jp/sympo/mop/wp-content/uploads/2019/05/MOP2019_program_agenda.pdf

【成果等】

米国の木星探査機 Juno，日本の惑星望遠鏡衛星 Hisaki，米国・欧州の土星探査機 Cassini などの最新の成果が紹介され，活発な議論が行われた．次回 2021 年夏の MOP の開催場所が，ベルギー・リエージュに決定された．今回，日本だけではなく，中国・タイからも予想以上に多くの参加者があり，アジア地域で開催する重要性が示された点でも有意義だった．シンポジウムの各種情報，講演要旨集は以下の URL からも参照できる.

各種情報　　http://pparc.tohoku.ac.jp/sympo/mop/
講演要旨集　　http://pparc.tohoku.ac.jp/sympo/mop/wp-content/uploads/2019/05/MOP2019_program_book.pdf

第2回ISEE国際シンポジウム：PSTEP-4 科学研究と社会基盤としての太陽地球圏環境予測
The 2nd ISEE International Symposium: PSTEP-4 ″Toward the Solar-Terrestrial Environment Prediction as Science and Social Infrastructure″

草野完也、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

2020 年1 月28 日（火）～ 30 日（木）、名古屋大学 坂田・平田ホールにて、第4 回PSTEP 国際シンポジウム（PSTEP-4）を、名古屋大学宇宙地球環境研究所のISEE シンポジウム（ISEE-2）との合同で実施しました。このシンポジウムは新学術領域「太陽地球圏環境予測（PSTEP）」が実施する最後の国際シンポジウムとして、当領域の研究成果を発信すると共に、それをもとにして今後の新たな研究の方向を国際的な立場から議論する目的で開催したものです。新型コロナウィルスの影響により、大変残念ながら中国からの参加が直前でキャンセルされましたが、本シンポジウムには日本、米国、英国、ドイツ、イタリア、カナダ、ベルギー、メキシコ、インド、ペルーから100 名を超える研究者が参加しました。

本シンポジウムでは、PSTEP の４つの計画研究（A01 ～ A04）に関係する口頭セッションとポスター発表が実施されました。口頭セッションでは、国外からの招待講演者と領域関係者による講演48 件が、ポスターセッションでは59 件の発表がなされました。シンポジウムのアジェンダはWEBページhttp://www.pstep.jp/news/20200127.htmlをご参照ください。

セッションA01 では、A01 予報システム班の研究活動として電波伝搬シミュレータ、衛星帯電、航空機被ばく管理システム、宇宙天気ハザードマップおよびAI を用いた太陽フレア発生予測システムについての研究結果を紹介しました。また、Onsager 博士、Talaat 博士（米国）、Gonzalez-Esparza 博士（メキシコ）、Andries 博士（ベルギー）による招待講演を頂き、A01 班の活動とのこれまでの協力および今後の連携の可能性について検討を進めました。

セッションA02 では、A02 太陽嵐班の研究活動として、太陽面磁場観測と電磁流体モデルに基づくフレア発生予測スキームの開発、太陽嵐の連携観測による地球影響の実時間予測、および次世代宇宙天気予報の基盤形成に関する成果を紹介しました。また、Leka 博士、Berger 博士、八代博士、Martinez Pillet 博士（米国）をお招きし、A02 班の活動に関係する米国の最新動向や将来計画に関するご講演をいただき、今後の連携の可能性について議論を行いました。

セッションA03 では、A03 地球電磁気班の活動成果に関する報告を口頭およびポスター発表で行い、宇宙放射線、電離圏、GIC 研究の進展のハイライトをご紹介いたしました。また、Fuller-Rowell 博士、 Knipp 博士、Huba 博士、Love 博士（ 米国)、Horne 博士(英国)、Connors 博士(カナダ) をお招きし、A03 の活動に関わる宇宙放射線、電離圏、GIC 研究に関する欧米の最新の動向についての講演をいただき、新たな連携研究の可能性についての議論も深めました。

セッションA04 では、A04 周期活動班の研究活動として、太陽周期活動の観測・解析・

予測、および、太陽活動変動の気候影響に関するモデル予測についての成果を紹介しました。また、Chatzistergos 博士（ドイツ）、および、Marsh 博士（米国）、Spiegl 博士（ドイツ）には、それぞれ対応する課題に関して海外の最新動向について招待講演をいただきました。新型ウィルスの影響でZhou 博士（中国）が参加できなかったのは残念ですが、これまで築いてきた共同研究をさらに発展できればと思います。本領域は太陽地球圏環境予測に関する基礎科学と予報運用との間の「死の谷」を克服し、両者の相互発展を目指して進められてきました。本シンポジウムでも、この点に焦点を当てた議論が展開されました。

本領域では、太陽フレア、コロナ質量放出、地球放射線帯変動、電離層擾乱、地磁気誘導電流、太陽放射線被曝、人工衛星帯電、電波伝搬障害、次期太陽周期活動予測、太陽気候影響に関する様々な研究が展開され、5 年前には考えられなかった新世代の予測研究を、分野を超えた連携によって実現することができました。本シンポジウムでは、こうした新しい学術の開拓につながる本領域の研究成果が、海外の研究者からも高く評価されました。このシンポジウムでの活発な議論を通して、本領域の研究成果がさらに発展することを強く願っています。

なお、このシンポジウムの成果を中心として、Earth, Planets and Space (EPS) 誌にSpecial Issue “Solar-Terrestrial Environment Prediction: Toward the Synergy of Science and Forecasting Operation of Space Weather and Space Climate” を出版する予定で、4 月30 日まで論文投稿を受け付けています。本領域に限らず多くの研究論文が投稿されることを期待しています。投稿方法などの詳細はhttps://earth-planets-space.springeropen.com/pstepをご覧ください。

また、本シンポジウムは名古屋大学宇宙地球環境研究所のISEE Award（宇宙地球環境研究所賞）の授賞式も併せて行われました。この賞は宇宙地球環境研究の発展と宇宙地球環境研究に関わる分野融合及び新分野開拓を目的として、宇宙地球環境研究所の共同利用・共同研究に基づく優れた研究活動に授与されているものです。今回は、本領域とも関係が深いカリフォルニア大学サンディエゴ校 IPS 研究グループにISEE Award が授与され、同グループの代表者であるB. V. Jackson博士が受賞記念講演 “Global HeliosphericRemote Sensing: A Brief Recent History” を行いました。

PSTEP-4&ISEE-2 国際シンポジウム 参加者集合写真（坂田・平田ホール前にて）

ISEE Award(宇宙地球環境研究所賞) 授賞式の集合写真

７.計算機利用共同研究 目次詳細

（所属・職名は2020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	338
深沢圭一郎	京都大学	学術情報メディアセンター	准教授	木星磁気圏衛星観測に対するパラメータサーベイ型シミュレーション	340
林　啓志	NWRA	Boulder 支局	Research scientist	ＩＰＳ速度データに基づく太陽圏複太陽周期のＭＨＤモデル	341
関　華奈子	東京大学	大学院理学系研究科地球惑星科学専攻	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	342
辻野智紀	国立台湾大学	大気科学研究科	博士研究員	領域雲解像モデルにおける双方向ネスティングシステムの開発と適用	343
坪内　健	電気通信大学	情報理工学研究科（芳原研究室）	客員研究員	プラズマ密度構造から探る太陽圏境界変動	345
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	347
馬場賢治	酪農学園大学	酪農学研究科/農食環境学群　環境共生学類	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	349
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	351
相木秀則	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	准教授	千年スケールの気候変動における海洋モード水の役割	354
寺田直樹	東北大学	理学研究科	教授	火星熱圏における大気重力波の伝搬・飽和・散逸過程のDSMCシミュレーション	357
若月泰孝	茨城大学	理学部	准教授	雲解像モデルシミュレーションによる豪雨の予測と検証	359

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

データ構造の変更：従来の particle-in-cell 粒子コードは、粒子番号に基づいたループ構造を持つ。しかし、粒子番号と空間格子の位置は無関係であり、粒子が空間格子の電磁場データにアクセスする場合および、粒子の電荷・電流を空間格子に配置する場合に、メモリへのランダムアクセスが発生し、演算性能が低下する。ランダムアクセスによる性能低下を回避するには、粒子番号を空間格子上の位置に基づいて並べ替える必要がある。近年では、天文学分野の重力多体コードで用いられているような、空間格子の位置に紐づいた粒子のデータ構造を採用し、空間格子と粒子番号の多重ループ構造を持つコードもあり、粒来の粒子コードと比べて 10 倍以上の計算速度を達成している。本研究では、空間格子に紐づいた粒子コードを新たに開発し、従来のコードおよびソーティングを施した従来のコードとの性能比較を行う。

研究結果

データ構造を変更した新たな particle-in-cell 粒子コードを開発し、Xeon プロセッサ上で従来のコードとの性能比較を行った。格子に対して繰り返し演算を行う新しいプログラム構造は、粒子のみに対して繰り返し演算を行う従来のプログラム構造に対して数倍高速であることを示した。一方で、新しいプログラム構造は粒子データのソートが必須であり、計算カーネル部の高速化に伴ってソートカーネルの負荷が目立つようになった。今後、より高速かつスケーラビリティの高いスレッド並列ソーティングアルゴリズムを探す必要がある。またプログラムの高速化に伴って、電流密度の計算における OpenMP の reduction 演算のオーバーヘッドも目立つようになったため、ループタイリングなどによる演算順序の変更により、reduction 演算を用いない計算法に変更する必要があることが分かった。

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)
- Nakamura, T. K. M., T. Umeda, R. Nakamura, H. S. Fu, and M Oka, Disturbance of the front region of magnetic reconnection outflow jets due to the lower-hybrid drift instability, Physical Review Letters, Vol.123, No.23, 235101 (6pp.), 2019. (査読付論文)
- Yamazaki, R., A. Shinoda, T. Umeda, and S. Matsukiyo, Mach number and plasma beta dependence of the ion temperature perpendicular to the external magnetic field in the transition region of perpendicular collisionless shocks, AIP Advances, Vol.9, No.12, 125010 (4pp.), 2019. (査読付論文)
- Umeda, T., Multi-step Boris rotation schemes for Lorentz force equation of charged particles, Computer Physics Communications, Vol.237, pp.37-41, 2019. (査読付論文)
- 梅田 隆行, プログラムモデルの異なる PIC コードの性能測定, 第 172 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会, 沖縄産業支援センター, 2019 年 12 月. (口頭発表)
- Umeda, T., Paradigm shift in program structure of particle-in-cell simulations, International Conference on Parallel Computing (ParCo2019), Prague, Czech, September 2019. (口頭発表)
- Umeda, T., R. Yamazaki, and Y. Ohira, Full particle-in-cell simulation of the interaction between two plasmas for laboratory experiments on the generation of magnetized collisionless shocks with high-power lasers, 15th symposium of Interrelationship between Plasma Experiments in the Laboratory and in Space (IPELS), Tokyo, Japan, September 2019. (口頭発表)
- Umeda, T., and T. K. M. Nakamura, Electromagnetic linear dispersion relation for plasma with a drift across magnetic field, Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 16th Annual Meeting, Singapore, July 2019. (ポスター発表)
- Umeda, T., Self-reformation of rippled perpendicular collisionless shocks: Full particle simulations, 14th International Conference on Numerical Modeling of Space Plasma Flows (ASTRONUM 2019), Paris, France, July 2019. (招待講演)
- 梅田 隆行, 中村 琢磨, Electromagnetic linear dispersion relation for plasma with a drift across magnetic field, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 幕張メッセ, 2019 年 5 月. (ポスター発表)

木星磁気圏衛星観測に対するパラメータサーベイ型シミュレーション
Parameter survey simulation for observations of Jovian magnetosphere

深沢圭一郎、京都大学・学術情報メディアセンター

2013 年に日本が上げた惑星観測宇宙望遠鏡 HISAKI の観測により、木星周辺環境の長時間にわたる観測データが貯まってきており、木星磁気圏の時空間変化がどのようになっているか明らかになりつつある。また、Juno 探査機が 2016 年 7 月に木星に到着し、観測が開始されており、HISAKI の観測との比較も可能となってきている。木星磁気圏ではこれまでも Galileo 探査機による長期間周回観測があり、観測主体の研究が進んでいるが、磁気圏全体を複数点で観測することはできないため、観測された現象が磁気圏内でどのように生成されているか、どのようなことに影響しているかなど時空間にわたる変化を理解することが難しい。

一方で、木星磁気圏数値シミュレーションでは、近年の計算機の発展により、計算時間は膨大になるが MHD 近似に近い計算も可能となってきており、10 年前程度の計算サイズであれば、それほど時間がかからずに磁気圏全体の計算が可能となっている。

このように、HISAKI による数値シミュレーションと比較可能な観測結果が蓄積されはじめていること、また、観測条件に合わせるような様々な入力パラメータでの高速な計算が可能な状況を踏まえ、本研究では、木星磁気圏研究において、観測と比較することを前提にした、パラメータサーベイ型木星磁気圏シミュレーションを行うことを目的としている。

本年度では、これを更に進めて、HISAKI の観測だけで無く Juno の観測結果に対応するために、Juno が観測をしているある特定期間の磁気圏シミュレーションを行った。Juno では木星到着前に太陽風データも観測しており、この太陽風データを利用し、現実的な入力パラメータでのシミュレーションを行った。このシミュレーション結果と観測には、相関があることが分かり、観測結果の説明に利用できることを確認した。これらの成果は AGU において報告されている。

・学会発表

(Invited) Kimura et al., Recent updates on the Hisaki observations for Jupiter's magnetosphere and Io's atmosphere, AGU Fall Meeting 2019.

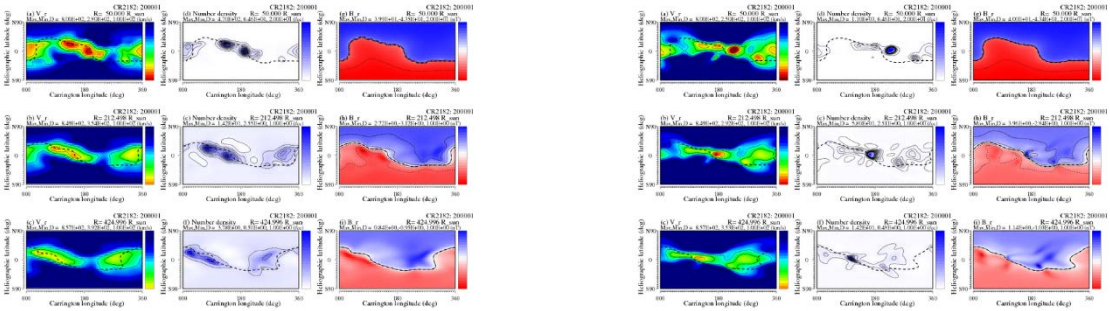
K. Fukazawa, T. Kimura, T. Tokunaga, S. Nakano, Application of Machine Learning to magnetospheric physics and preparation of training data for global magnetospheric configuration and physics, AGU Fall Meeting 2019.

ＩＰＳ速度データに基づく太陽圏複太陽周期のＭＨＤモデル
MHD simulation of multi-solar cycle variation based on IPS velocity data

林　啓志、NWRA、Boulder

太陽周期にともなう太陽圏プラズマ流（太陽風）の三次元的な状況を、探査機の直接的な測定だけで決定することは現状では不可能である。その一方、そのような三次元的なデータは、宇宙物理、とくに宇宙天気の分野において、重要である。たとえば、CME などに始まる太陽風擾乱の地球への伝搬を予想するにあたり、平穏時の太陽風構造を三次元的に把握することは決定的に重要であるし、銀河宇宙線の伝搬などの太陽系外からの影響を考察する上でもマクロ的な太陽圏の状態の把握は高エネルギーの太陽系内浸潤過程を理解する上で役立つであろう。われわれは、名大 IPS(interplanetary scintillation) 観測データのうち特に太陽風速度についてのデータと太陽光球面磁場データを主な入力とする、MHD 太陽風三次元トモグラフィ法を開発してきた。これは現状では唯一の太陽圏全体の太陽風プラズマを計測する手段である IPS 観測と MHD 方程式を同時に満たすような三次元解を求める解析手法である。

本研究では複数の太陽周期での適用の改良を図ると同時に、最近の太陽風のより新しいデータを取り入れたモデリングの進展を企図し、欧州電波望遠鏡群（LOFAR）の IPS 観測データを組み合わせたモデル計算を、2016 年 10 月の時期に対して行った。左図は LOFAR のデータを使った場合、右図は使わなかった（名大 IPS データのみの）場合でそれぞれ MHD-IPS トモグラフィにより複像された緯度・経度図を表す。LOFAR データを加える事で、特に低速風領域(左列、褐色部分) の分布に違いが表れた。差異は遠方（図の中段（１AU）と下段（２AU)）にて MHD 非線形性により強調され、密度(中列)と磁場強度(右列)の圧縮領域の違いとして表れる。これら結果についての論文を準備中である。



(左) 名大 IPS データとともに欧州 LOFAR による IPS 観測データを同時に用いて復元した太陽風構造。(右)名大 IPS データのみを用いたもの。LOFAR による観測が行われた 2016 年 10 月における太陽光球面磁場データを太陽風磁場を決定するために用いている。

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 intrinsice 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 EUV 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が、本研究では、継続時間が長かったと思われる典型的な太陽風パラメータを中心にシミュレーションを行う太陽風条件を選定した。まず、太陽風磁場の方向については、太陽風の Parker spiral で決まる方向を仮定し、先行研究と同じ 45 億年前相当の太陽条件下で、惑星固有磁場強度を変えてシミュレーションを行った。また、次に、同様のシミュレーションを、35 億年の太陽風および太陽放射の条件下で行い、45 億年前相当の太陽条件下での結果と比較した。

その結果、弱い固有磁場を持つ場合には、現在の太陽条件下と同様、大気流出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、大気流出率は減少に転じることも明らかになった。図 4 に示されているように、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ことが示された。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調べた結果、太陽風動圧が固有磁場の磁気圧より強い条件下では、固有磁場の存在が大気流出率を増加させるが、磁気圧が弱くなると減少に転じることなどが明らかになった [Sakata et al., *J. Geophys, Res.*, 2020]。

領域雲解像モデルにおける双方向ネスティングシステムの開発と適用
Development and application of an interactive nesting in a cloud-resolving model

辻野 智紀（国立台湾大学 大気科学研究科）

研究目的

近年頻発する豪雨や強風災害の多くは、水平スケールが 200 km 程度のメソスケール気象擾乱（メソ擾乱）によってもたらされ、その高精度な数値予報は防災の観点から重要である。メソ擾乱は水平スケール 20 km 以下の積乱雲群によって構成され、水平スケール 2000 km 程度の高・低気圧の流れと水蒸気供給によって移動、維持する。メソ擾乱の高精度な予報には、個々の雲を表現可能な（2 km 以下の）水平解像度で、かつメソ擾乱周辺の高・低気圧を覆う広い領域を粗い解像度で、互いの情報を領域境界で交換しながら同時に数値計算することが要求される。このような手法は双方向ネスティングと呼ばれる。本研究では、既存の数値大気モデルに新たに双方向ネスティング手法を導入し、現実的なメソ擾乱のシミュレーションを試みる。既に実装されている数値モデルではメソ擾乱の再現性の改善のみに着目されている。本研究ではそれに加えて、メソ擾乱を計算する高解像度シミュレーションの結果が高・低気圧を計算する低解像度シミュレーションの結果に与える影響も調査する。

研究手法

本研究では CReSS (Cloud-Resolving Storm Simulator) に双方向ネスティング手法を導入し、2018 年 6 月 30 日と同年 8 月 17 日において台湾北部の台北盆地で発生した豪雨事例のシミュレーションに適用する（実験名：2wy-nest)。このとき、高解像度シミュレーションは 1 km（1K 領域)、低解像度シミュレーションは 5 km（5K 領域）の水平解像度で実施される。双方向ネスティングの性能を検証するため、同事例に対して、1K 領域の結果を 5K 領域の境界にフィードバックしない実験（1wy-nest）および 1K と 5K 領域を同時ではなく別々に計算する実験（Off-nest）も実施する。共同研究者（Kuo 教授）のグループにおいて実施された特別観測プロジェクトの取得データを用いて、シミュレーション結果の妥当性が検証される。

結果と考察

導入された双方向ネスティングシステムによる 2wy-nest 実験の計算時間は、1wy-nest 実験の約 1 割程度の増加にとどまったため、実事例の数値シミュレーションの実施には充分な処理速度を有していると考える。本報告書では 8 月 17 日の事例のみ示す（6 月 30 日の事例は成果発表 1 にて発表)。この事例は東シナ海に台風が存在し、台湾周辺は台風に吹き込む南西風が卓越した（図略)。日中に陸面が短波放射で加熱され、典型的な海風が台北盆地に流入した。15 LST に盆地内で顕著な積乱雲の発達を観測し、台北市では 59 mm h^{-1} の顕著な降水を観測した（図 1a)。2wy-nest 実験の結果はこの発達した積乱雲に伴う強いレーダ反射強度を示しており（図 1b)、1wy-nest や Off-nest（図 1c, 1d）に比べて現実的な積乱雲を再現している。

5K 領域に含まれる台風についてみると、2wy-nest 実験と 1wy-nest 実験で最大 100 km 程度の経路差が見られる (Off-nest は 1wy-nest と同様に 1K 領域から情報が入ってこないので 1wy-nest と全く同じ結果となる)。さらに中心気圧についても最大約 10 hPa の差を生んでいる。これは台風中心に流れ込む下層の流れとその流れに伴う水蒸気供給の差によるものと考えられる。2wy-nest 実験では台風の風上側にあたる台北盆地で顕著な降水が発生したため、1wy-nest に比べて乾燥した空気が中心に流れ込む。また風上での降水に伴う水蒸気の凝結は大気を加熱し、対流圏下層の気圧を低下させる。この台風中心の風上側における気圧低

下は下層での台風に向かう流れを弱め、台風の経路が南へ偏った可能性がある。

まとめ

数値大気モデル CReSS に新しく双方向ネスティングシステムを導入し、顕著な降水の実事例に対してシミュレーションを行った。双方向ネスティングは高解像度領域での降水を観測と同様に再現していた。双方向ネスティングによる高解像度領域から低解像度領域へのフィードバックが、低解像度領域における台風の経路と強度の両方に影響を与えた。

成果発表

1. 辻野 智紀, 郭 鴻基, 尤 虹叡, 坪木 和久, 夏季の台北盆地における熱雷の組織化に対する対流圏中層の水蒸気と水平風の役割：2018 年 6 月 30 日の事例. 「グローバルスケールとメソスケールを貫く気象学」研究集会, 札幌, 2019 年 09 月 27 日（口頭）.

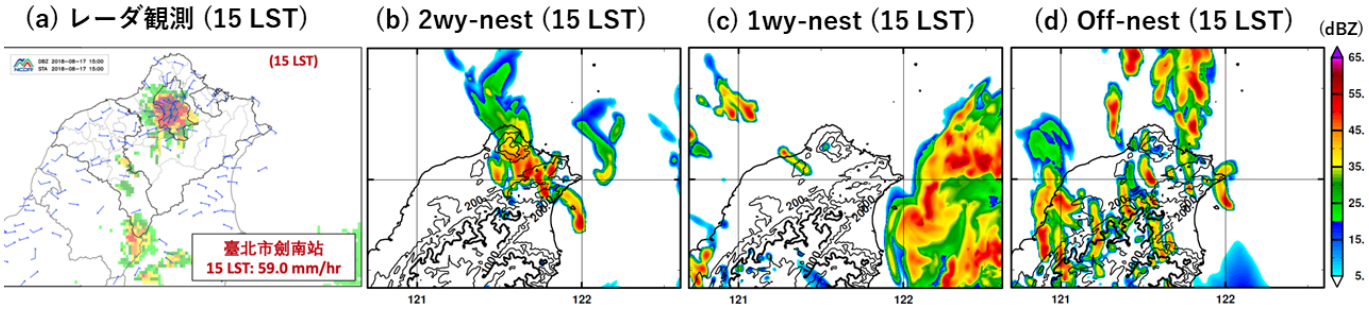


図 1: 8 月 17 日の事例における 15 LST でのレーダ反射強度（カラー; dBZ）と標高（等値線; m）。(a) は中央気象局による観測値、(b) から (d) はそれぞれ CReSS による 2wy-nest, 1wy-nest, Off-nest での 1K 領域で計算されたレーダ反射強度を示す。中央気象局レーダ観測は国立台湾大学 尤 虹叡 博士より提供。

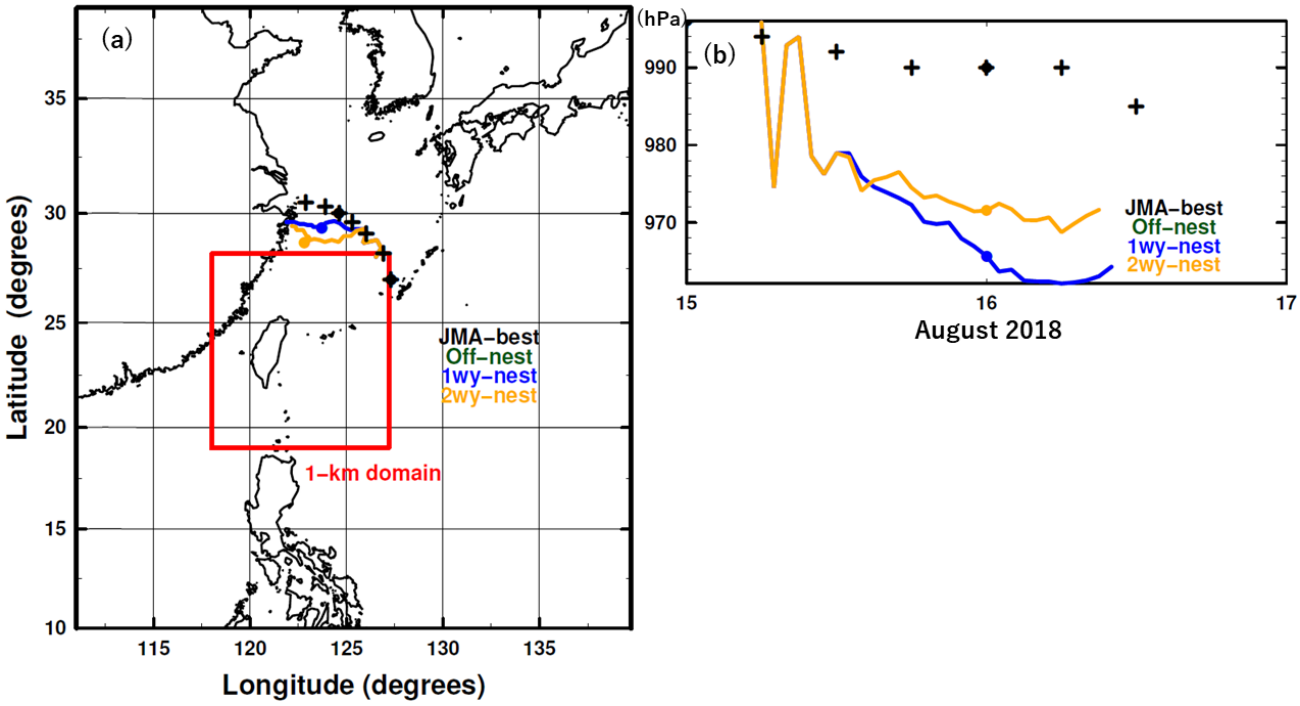


図 2: 8 月 17 日の事例における (a) CReSS シミュレーションの計算領域と各実験での台風経路、(b) 各実験での中心気圧の時間変化。黒色の十字は気象庁ベストトラックを示す。(a) における赤線で囲まれた領域が 1K 領域、描かれている領域全体が 5K 領域をそれぞれ表す。

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】

太陽風プラズマで満たされた太陽圏は高エネルギー宇宙線の内部への侵入を遮減する働きを備えている。その仕組み、特に空間・時間依存性の解明にあたっては、境界領域（heliopause; 以下HP）で太陽風と星間物質との間に生じる相互作用の物理過程を理解することが不可欠である。2012年にボイジャー1号が、2018年に2号がそれぞれHPを通過したが、いずれもHPの遷移層が単純な不連続面ではないことを示唆している。本研究課題においては、その非一様・非定常性の物理特性の解明を主目的とする。HP周辺領域は多成分の粒子・プラズマ環境下にあるという特徴があり、特に高速のイオンと中性粒子との荷電交換で生成される高速中性粒子（ENA）は太陽風磁場の影響を受けずに直進することから、これを検出するIBEX衛星の観測によってHPの全体構造を捉えることが可能になった。本研究ではこのENAおよびその起源粒子となるピックアップイオン（PUI）の密度・エネルギー構造の変動に関する数値シミュレーションによる検証を通じて、ENA観測とHP構造変動との関連性を明らかにする。

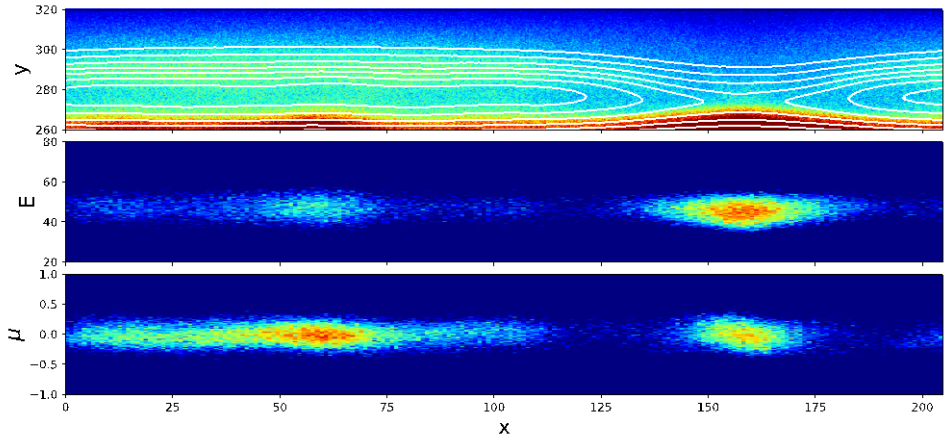
【研究方法】

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。本年度は太陽風磁場と星間磁場が反転した状態で接する状況を想定し、HPで発生する磁気リコネクションの成長がHP近傍に分布するPUIの密度構造に反映される過程およびこれを観測として検出したときに予想される特性について検証する。物理量は外部ヘリオシース（outer heliosheath; 以下OHS）のパラメータで定義されるプロトンジャイロ周波数・プロトン慣性長で規格化し、時間ステップは0.005、空間グリッドは0.2に取った。シミュレーション空間は*xy*面で定義される1024×2048グリッドの周期境界を設定し、太陽風側と星間プラズマ側で互いに反平行となる磁場を与えるとともに、両側で全圧力（プラズマ＋磁場）が均衡を保つようにプラズマ温度を与えた。磁場遷移層の厚みは0.8、星間プラズマと太陽風プラズマの密度比は5、磁場強度比は2とした。

”IBEXリボン”として知られる局所的なENA放射構造には、HP近傍のプラズマ環境が投影されていると予想されていることから、その起源粒子であるPUIをOHS内に配置し、密度は星間プラズマの0.01%の密度とした。PUIの背景磁場に対する旋回速度は、太陽風速度に該当するアルフベン速度の10倍として磁場垂直成分のリング状分布で与えた。*xy*面で定義されるシミュレーション空間において初期磁場は*x*成分のみを与え、全ての物理量は*x*方向に一様とした。HPに垂直な方向に*y*軸を取る。

【研究結果】

シミュレーション結果（$t = 500\,\Omega_p^{-1}$）を次ページの図に示す。上の図は*xy*空間におけるPUI密度を示し、白線は磁力線を表す。磁力線は$(x,\ y) \sim (160,\ 270)$において再結合が生じ、その両側に磁気島が形成されてPUIは内部に取り込まれている。HPは$y \sim 270$の位置に該当し、$y < 270$がOHS、$y > 270$が内部ヘリオシース（太陽風側）となる。磁気再結合自体は図で示した時間以前から複数の箇所で発生していて、時間の経過とともに隣接する磁気島同士の合体を繰り返している。真ん中の図はPUI密度の*y*方向への積分値をエネルギー別に示したもので、IBEX衛星などで検出されるENAを模したものとなる。図から、強いemissionが再結合領域に集中して現れていること、エネルギーは初期に与えたリング分布の速度に対応していることがわかる。また*x*~60のあたりにも若干弱めのemissionがあるが、これは2つの磁気島が合体する以前の再結合領域に該当している。下の図はPUIのピッチ角θに対する$\mu = \cos\theta$の分布を示す。PUIの速度は初期状態において磁場垂直方向にのみ与えられていたので、μの分布は全領域で0になる。一方この図から、再結合領域以外の所ではピッチ角が拡散している様子が表されている。再結合領域では磁気リコネクションに伴って磁力線が磁場垂直方向に動くために$\mu = 0$はそのまま保持されるのに対し、その外側では磁力線の曲率半径より大きなジャイロ半径を持つPUIの速度に磁場平行成分が現れることを意味している。



【考察】

IBEX衛星で観測されるENAの中でも特に、”IBEXリボン”と呼ばれる局所的に強いENA放出領域はその起源としてHPからすぐ外側のOHSに存在するPUIが最有力視されている。そこで本研究は、HPで発生する現象の特性がPUIのエネルギー分布情報の中に埋め込まれているという仮定の下で磁気リコネクションに焦点を当て、その成長過程に対応するPUI密度構造の示す特徴について考察する。

PUIが中性粒子との電荷交換反応を起こしてENAとなるまでの典型的な時間スケール（年単位）の間はピッチ角散乱を起こさずにリング状分布を保つことが、IBEXリボンを形成するために必要な条件と考えられている。本研究結果より、μ~0が長時間保たれるのは太陽風側と星間プラズマ側との間で磁力線の再結合が起こった領域に限られ、またその領域においてPUIの積分密度に顕著な増加が確認された。これよりIBEXリボンとして観測されたENAの空間構造に切断が見られる場合、その領域に磁気リコネクションが発生している可能性に関する議論への発展が今後期待できる。

【成果発表】

1. 坪内　健、Structural variations in the pickup ion density associated with magnetic reconnection at the heliopause、日本地球惑星科学連合 2019 年大会、2019 年 5 月、千葉
2. Tsubouchi, Ken, Properties of the heliopause fluctuations embedded in the pickup ion density profiles, American Geophysical Union 2019 Fall meeting, San Francisco, December 2019

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

地球磁気圏の反太陽方向（地球磁気圏尾部）領域では、磁気圏が太陽風により引き延ばされ、その反平行磁場で形成された電流シート中で磁気リコネクションが起こっている。一方、地球磁気圏前面の磁気圏境界では、尾部領域とは異なり、太陽風磁場と地球磁気圏磁場の異なるプラズマ領域間で、電流シートを挟んで非対称な磁気リコネクションが起こっている。これまで、非対称磁気リコネクションにおいても、対称磁気リコネクションの延長として、Petscheckモデルを拡張したモデルで磁気リコネクションを議論されてきた。しかしながら、昨年までの我々の研究[1,2]により、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が示されてきた。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。

本研究では、非対称磁気リコネクションにおけるプラズモイド構造と高速および低速プラズマ流を理解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。シミュレーションの初期状態として、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。

研究結果とまとめ

プラズマ流構造の全体像を調べるため、図１に磁気リコネクション点からプラズモイド先端を含む領域のプラズマ流x成分のカラー等高図と磁場構造を示す。また、非対称度依存性を調べるため、非対称度k=1, 1.1, 1.4, 2.0の4パターンの結果を示す。k=1の対称磁気リコネクションの場合、明らかにプラズマ流の最大速度は、スローショックに挟まれたリコネクションファン内で観測される。一方、k=1.1～2.0

の非対称磁気リコネクションでは、非対称度が大きくなるにつれ、最大速度が観測される領域が、リコネクションファンから下側(低ベータ側)プラズモイド内に移行する。また、k>1の場合、リコネクションファンの形状が高ベータ側に歪み、デルタ型の低速領域が広がっていくことが分かる。

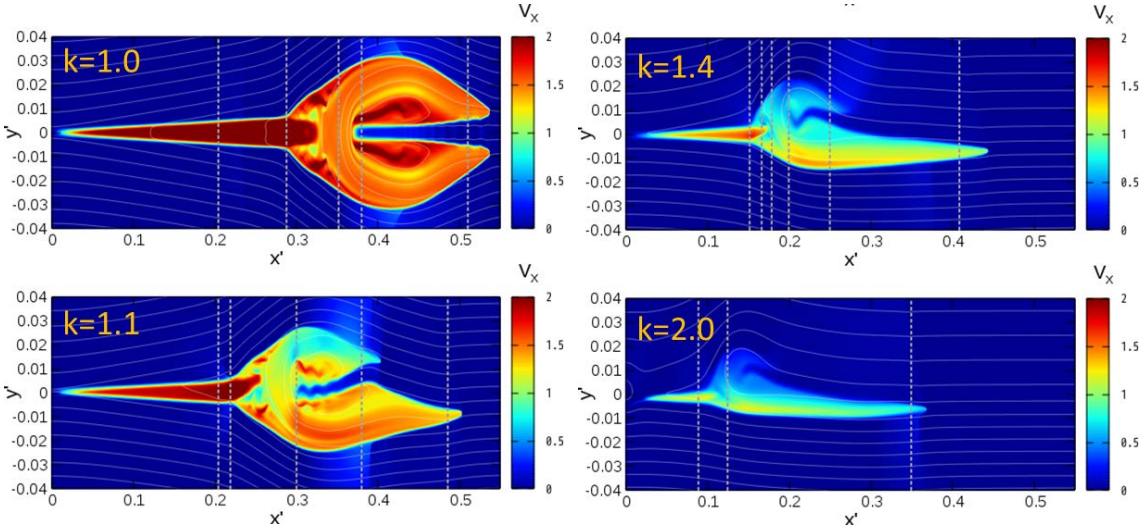


図1、非対称度k=1, 1.1, 1.4, 2.0における時刻t=80でのプラズマ流速のx成分（カラー等高図）と磁場構造（実線）

引用文献（成果論文を含む）

1. Nitta, S., and Kondoh, K., "Properties of extremely asymmetric magnetic reconnection", The Astrophysical Journal, 872:147 (17pp), 2019
2. 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

成果発表

1. 近藤光志，「非対称磁気リコネクションアウトフローの構造」，地球電磁気・地球惑星圏学会2019年秋学会，熊本大学（2019年10月）
2. 近藤光志，「非対称磁気リコネクションのMHDシミュレーションによる大規模構造の理解」，宇治リコネクションワークショップ2019，熊本大学（2019年10月）
3. 新田伸也・近藤光志，「ガイド磁場印加リコネクションの自己相似的時間発展：リコネクションレイトについて」，日本天文学会2019年秋季年会，熊本大学（2019年9月）
4. 近藤光志，「非対称磁気リコネクションの大規模構造」，STEシミュレーション研究会 -計算プラズマ物理の新潮流-，広島大学（2019年9月）

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　酪農学研究科/農食環境学群

１．研究の目的

バイオエアロゾルを観測する試みによる報告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の論文はほとんどない．バイオエアロゾルのメタゲノム解析から，アジアダスト発生地と飛来地において一部同定されたことから，客観性を持たせるためには更なる観測が必要である．また，生物由来物質が集積しやすい場所での飛散過程も調査する必要がある． 本研究では，アジアダスト発生地域のうち，流水により集積したことが考えられるドライレイクやワジにおいて，簡易風洞実験による砂塵飛散実験の比較やその粒子に付着した化学的・生物学的な理解を昨年に引き続き行う．

２．研究方法

過去のリモートセンシングデータ（MODIS）から，滞水が確認され，且つ，アジアダスト発生源であるポイントの位置情報を抽出し，現地において目視でドライレイクやワジの位置を特定した（図1）．この地点において，送風機とチャンバー，およびテントを設置し（写真１），簡易的な風洞実験を行う．送風機の回転数を徐々に段階的に増加させ，風を地表面に当て，巻き上がった特定の大きさの粒子数をテント内で計測する．また，粒径は，0.3，0.5，3，および5μｍを光学式パーティクルカウンター（ＫＡＮＯＭＡＸ社製　Model 3886）を用いて計測する．

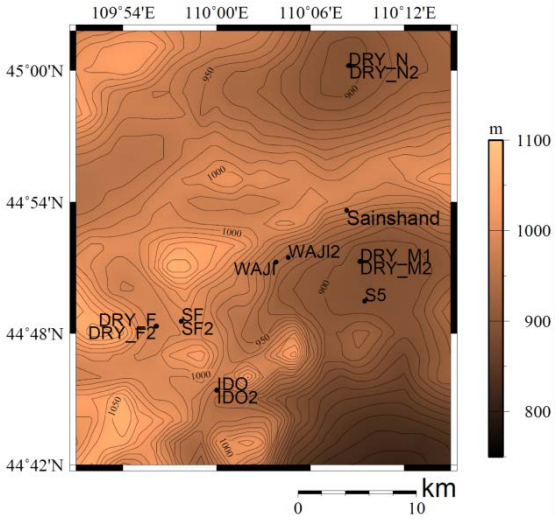


図 1　対象地域

写真 1 飛散実験風景

３．結果と考察

春期の観測は，新型コロナウイルスの影響で残念ながら，行うことは出来なかった．状況が収まり次第，観測を敢行し，経年的な状況の変動やローカルな大気循環場について理解を深めていきたい.

成果発表：

論文）

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

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 Nonlinear 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月に現れた活動領域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引き起こすなど、太陽活動周期24で最も活動的であり、フレアの発生機構についての研究が多数なされてきている。中でも、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の報告(Vemareddy 2019)や、理論的側面では、Inoue et al. (2018)では、磁気流体シミュレーションにより磁気フラックスロープの噴出がフレアを起こしたとする見解を示している。しかしながら、3次元磁場構造の観点からエネルギー蓄積過程の詳細な研究はなされておらず、さらには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だ明らかになっていない。そこで、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日まで磁力線の捻れ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する。

【研究結果】

(1) 9月4日の時点で3本の磁気フラックスロープA, B, Cが形成されており(図1)、AがX9.3フレアを引き起こした。(2) Bは他2本と捻れの方向が異なり、9月4日UT12:00頃から急成長する様子が再現された。(3) Mフレアが連続して発生している間、AIA1600Åは主にB周辺で顕著な増光を示した。

【考察】

(1)の結果から、X9.3フレア発生2日前の段階から大規模フレア発生の可能性が示唆される(成果発表(3)-1)。また、(2)および(3)の結果から、連続するMフレアはBの急成長に起因すると考えられ、連続するMフレアの中で最も大規模であった9月4日UT20:30頃発生のM5.5フレアについて、外挿された磁場構造とAIA1600Åの初期発光及びフレアリボンの増光箇所の詳細な比較から、図2に示したシナリオが考えられる(成果発表(2)-1, (3)-2)。

【引用文献】

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
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

【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: “Nonlinear force-free field modeling of the flare-productive magnetic field observed in the solar active region 12673”
   誌名: The Astrophysical Journal (投稿準備中)

(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” (poster)
   学会名: The 4th PSTEP International Symposium, Nagoya, 2020 Jan.

(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、永田伸一、一本潔
   題目: 「非線形フォースフリー磁場モデリングに基づいた活動領域12673におけるエネルギー蓄積過程とフレアの発生機構に関する研究」 (口頭発表)
   学会名: 日本天文学会2019年秋季年会、熊本大学、2019年9月
2. 著者: 山崎大輝、井上諭、永田伸一、一本潔
   題目: 「非線形フォースフリー磁場モデリングに基づいた活動領域12673におけるエネルギー蓄積過程とフレアの発生機構に関する研究II」 (口頭発表)
   学会名: 日本天文学会2020年春季年会、筑波大学、2020年3月

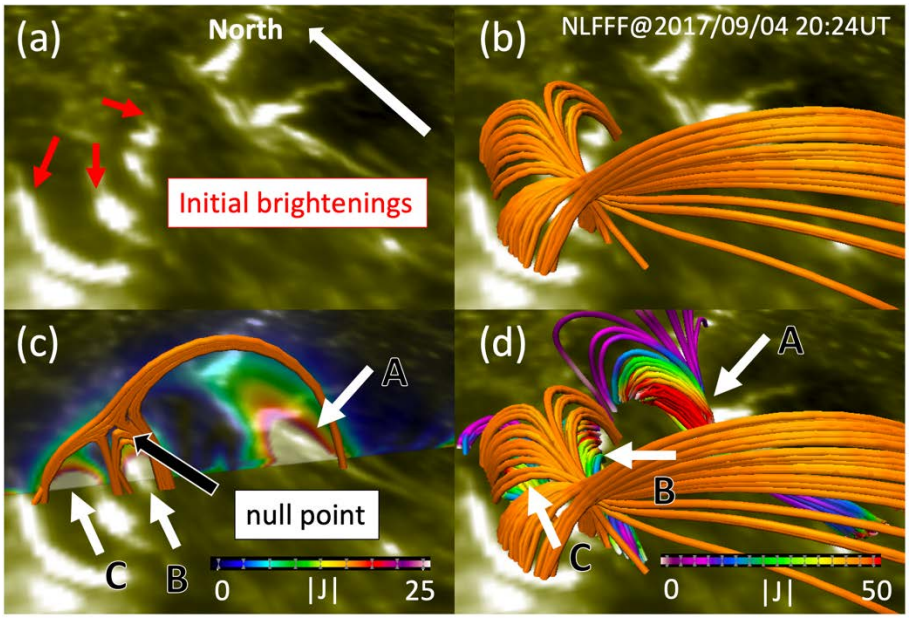


図 1. AIA 1600Å撮像データおよび外挿結果, (a) M5.5 フレアの初期発光, (b) 初期発光と大局的な磁場構造, (c) 大局的な磁場構造と高さ方向の電流密度分布, (d) 磁気フラックスロープ A, B, C と大局的な磁場構造.

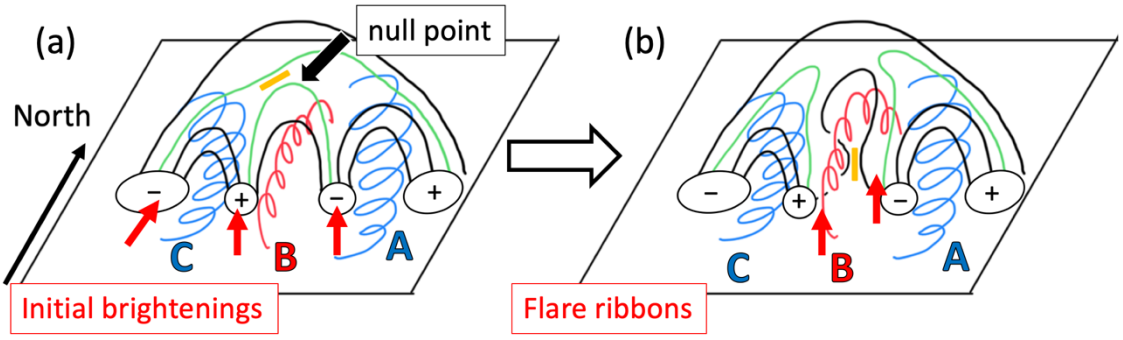


図 2. M5.5 フレアの発生シナリオ，黒線は大局的な磁場構造，緑線は磁気リコネクションに関わる磁力線，捻れた青線及び赤線は磁気フラックスロープ A, B, C，黄色で示したのは電流シート. (a) M5.5 フレア発生前の磁場構造, (b) M5.5 フレア発生後の磁場構造.

千年スケールの気候変動における海洋モード水の役割
The role of oceanic mode water in millennial-scale climate variations

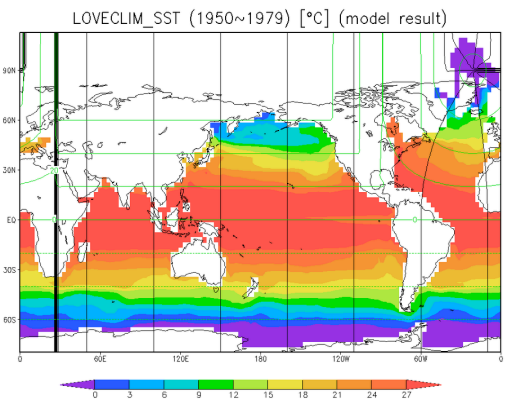
相木　秀則，名古屋大学・宇宙地球環境研究所

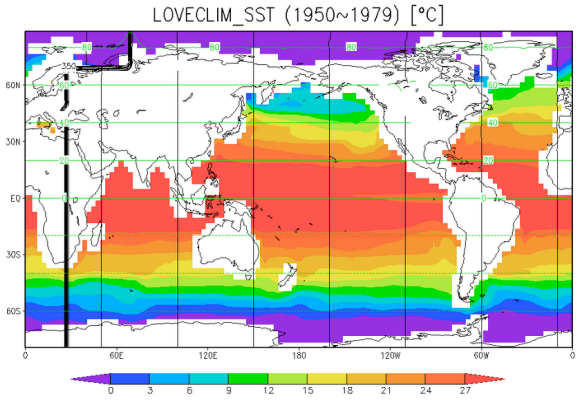
研究目的

海洋のモード水とは冬季の冷却によって形成された背の高い海洋混合層が、夏季の加熱によって亜表層に閉じ込められた水塊のことであり、気候変動のメモリー効果を探る指標になっている。地球上の気候システムは、太陽放射によるエネルギー入力の変動と、地球上の大気水圏の固有周期及び、人為起源の温室効果ガス排出の相互関係によって成り立っている。この相互関係の詳細な解明は、名古屋大学宇宙地球環境研究所の主要ミッションのうちの１つである。地球上の大気水圏系の固有周期のうち、氷河期/間氷期に次いで長いサイクルを持つのが、海洋の深層循環であり、世界の大洋を一巡するのに２千年かかる。その出発点であるグリーンランド沖から沈み込んだ高塩低温水は、大西洋子午面循環（AMOC: Atlantic Meridional Overturning Circulation）の一部となるのであるが、その短期変動（10年スケール）は、海面水温を通して世界各地の気候に影響を与えていることが近年の研究によってわかってきた。一方で、産業革命以降の地球温暖化にともなう北極海の海氷面積の減少にともなって、AMOCは減衰傾向にあり、その影響予測が盛んに研究されている。太平洋・インド洋では海洋中層循環の需要性が、気候変動との関連において、しばしば指摘されており、北西太平洋における貯熱量増加との相互関係の解明が急がれている。

研究内容

本研究で使用した大気海洋陸域結合全球モデルLOVECLIMは、ベルギーの研究グループが開発した簡易数値気候モデルEMIC（Earth-System Model of Intermediate Complexity）である。前年度には、海水の状態方程式がモード水の鉛直構造や地理学的分布にどのような影響を及ぼすのかを調べるために、Eckart (1958)の式、Vallis (2006)の式、UNESCOの式をそれぞれ実装して1000年積分の結果を比較した。LOVECLIMの海洋・海氷コンポーネントCLIOでは、北極点に計算格子の特異点が現れることを防ぐために、緯度経度座標系を歪めることによって対処している。このためモデル結果を通常の可視化ソフトで表示すると、下図左のように北極海の位置がずれてしまいモード水の体積収支の計算が複雑に





なっていた。今年度は可視化ソフトGrADS（Grid Analysis and Display System）のPDEF機能を使って下図右のように正しい位置に北極海が表れるように解析コードのアルゴリズムを改良した。具体的には下記のプログラムのように、射影先の経度と緯度を3°間隔のグリッドで用意して、それぞれの点についてモデル座標グリッドのどこ値を参照すればよいのかをリストした。まず射影元グリッドをモデル歪座標グリッドの10倍細かくとって、モデル歪座標グリッドに格納されている実際の経度と緯度の情報を線形内挿補完し、射影先の経度と緯度と最も近い点を同定することで、射影元であるモデル歪座標グリッドの場所を決定することとした。このアルゴリズムを用いることで、海洋・海氷モデルCLIOの内部で歪座標グリッドを定義した際に使用したであろう複雑な公式を直接参照することなく、可視化ソフトGrADS用の射影情報を準備することができた。

```
do jj = 1, 57
do ii = 1, 120
    lon = (ii-1)*3.0e0+1.5        射影先の経度
    lat = (jj-1)*3.0e0-79.5e0     射影先の緯度
    mindist = 400.0d0
    do j = 1, 641   モデル歪座標の10倍細分グリッド（射影元緯度グリッド）
    do i = 1, 1200  モデル歪座標の10倍細分グリッド（射影元経度グリッド）
       ci = int(1 + (i-1)*0.1)   モデル歪座標グリッド
        cj = int(1 + (j-1)*0.1)   モデル歪座標グリッド
        a = (i-1)*0.1-int((i-1)*0.1)  隣接するモデル歪座標グリッドとの端数
        b = (j-1)*0.1-int((j-1)*0.1)  隣接するモデル歪座標グリッドとの端数
        clon = mtlon(ci,cj)*(1.0-a)*(1.0-b) + mtlon(ci+1,cj)*a*(1.0-b) + &   射影元の経度
                mtlon(ci,cj+1)*(1.0-a)*b + mtlon(ci+1,cj+1)*a*b
        clat = mtlat(ci,cj)*(1.0-a)*(1.0-b) + mtlat(ci+1,cj)*a*(1.0-b) + &   射影元の緯度
                mtlat(ci,cj+1)*(1.0-a)*b + mtlat(ci+1,cj+1)*a*b
        crot = murot(ci,cj)*(1.0-a)*(1.0-b) + murot(ci+1,cj)*a*(1.0-b) + &  射影元の北極向き
                murot(ci,cj+1)*(1.0-a)*b + murot(ci+1,cj+1)*a*b
        dist = min((clon-lon)**2+(clat-lat)**2, &
                    (clon-lon-360.0d0)**2+(clat-lat)**2)   射影先と射影元の距離
        if (dist < mindist) then
            mindist = dist
            gi(ii,jj) = 1 + (i-1)*0.1e0     射影元のモデル歪座標グリッド
            gj(ii,jj) = 1 + (j-1)*0.1e0     射影元のモデル歪座標グリッド
            gr(ii,jj) = crot
            gd(ii,jj) = mindist
        endif
        if(gi(ii,jj) == 120.0e0) then
            gi(ii,jj) = 119.9999e0
        endif
    enddo
    enddo
enddo
enddo

open(unit=20, file='dclio-xpyp.pdef', form='unformatted', status='replace', action='write',
access='direct', recl=120*57, iostat=err)

write(20,rec=1,iostat=err) gi
```

```
write(20,rec=2,iostat=err) gj
write(20,rec=3,iostat=err) gr
write(20,rec=4,iostat=err) gd
```

GrADSのコントロールファイルには下記の行をくわえることで自動的に射影して描画することができる。

```
PDEF 120 65 bilin stream binary-big ^dclio-xpyp.pdef
```

火星熱圏における大気重力波の伝搬・飽和・散逸過程のDSMCシミュレーション

DSMC simulations of propagation, saturation, and dissipation processes of gravity waves in the Martian thermosphere

寺田直樹、東北大学・大学院理学研究科

【研究目的】
本研究は、火星熱圏DSMC（Direct Simulation Monte Carlo）モデルを用いて、下層大気から伝搬する大気重力波ならびに熱圏で直接励起される大気重力波の伝搬・飽和・散逸過程を調査し、熱圏の大気組成分布に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。近年、地球のみならず火星の中間圏や熱圏においても、下層大気で生成された大気重力波が大規模風速場や熱収支に影響を及ぼす可能性が指摘され、注目を集めている。本研究では、火星大気大循環モデルから得られた重力波のスペクトル情報や風速場情報、並びに誘導磁気圏側からの降込イオンフラックスを入力値として火星熱圏DSMCシミュレーションを実行し、大気重力波が火星熱圏の組成分布に及ぼす影響を定量的に調査する。そして、得られたシミュレーション結果を用いて、火星探査機MAVENによって得られた火星上部熱圏における大気重力波の活動度分布の成因解明を試みる。さらにMAVENやMars Express探査機が観測した重いイオン（CO_2^+）の宇宙空間への高い流出比率に着目して、大気重力波の効果が、惑星の温室効果ガスの流出に及ぼす影響を調査する。

【研究方法】
火星探査機MAVEN搭載の中性大気イオン質量分析器および紫外観測器によって観測された火星熱圏の大気重力波活動度の高度分布と緯度経度分布の成因を解明すべく、誘導磁気圏側からの降込イオンフラックスと火星下層大気-中層大気-下部熱圏の大気大循環モデル（GCM）から得られた大気重力波のスペクトル情報を入力値として、火星熱圏DSMCシミュレーションを実行する。そして励起された音波と大気重力波の組成ごとの振幅や位相差の高度分布特性を解析し、それぞれの波動モードの特定を試みる。そして、それぞれの波動モードの飽和と散逸が、熱圏におけるO, CO_2, N_2, Hなどの密度や温度の高度分布にどのような影響を与えるかを定量的に調査する。
DSMCシミュレーションでは分子の平均自由行程を分解する必要があるため、本計算の下側境界（高度130km）では10m程度の空間分解能で計算格子を配置する必要がある。数100kmの波長をもつ大気重力波を再現するためには、下側境界で数10000程度の格子点数を用い、かつ各格子には数10以上の粒子数を用いる必要がある。本計算では2次元の熱圏DSMCモデルを用い、空間的に変化する格子構造を採用している。

【研究結果】
令和元年度は、誘導磁気圏側からの降込イオンフラックスや下層大気から伝搬する大気重力波の鉛直波長や振幅等を変化させて様々なスペクトルについて火星熱圏DSMCシミュレーションを実行した。そして火星熱圏DSMCシミュレーションにおいて励起・伝搬する音波と大気重力波の組成ごとの振幅や位相差をMAVEN探査機の観測データと比較し、降込イオンと大気重力波による擾乱生成のどちらがより観測を説明するかを調査した。その結果、降込イオンは大気重力波モードと音波モードの両者を生成し、降込み領域近傍を除いてはCO_2とN_2の擾乱振幅比が観測と逆センスになることを示した。その一方で、下層大気から伝搬する大気重力波のうちで鉛直波長が200kmを超すモードは観測と整合する振幅の高度分布やCO_2とN_2の擾乱振幅比が得られた。本結果は、火星の上部熱圏で多数観測される大振

幅の大気擾乱は、下層大気から伝搬する大気重力波に主に起因することを示している。さらに、無衝突の外圏においても観測される大振幅大気波動の特性を調べるべく、鉛直波長が長い大気重力波を印加したDSMCシミュレーションの結果を解析した。その結果、外圏底より上側の構造は、外圏底における水平構造をそのまま反映（分子の弾道軌道を反映）しており、波面は完全に水平方向に向くことを明らかにした。この結果は、探査機の軌道沿いの観測のみでは導出が困難であった大気重力波の水平/鉛直波長を観測的に切り分ける方法に示唆を与えるものとなった。さらに初期火星や系外惑星の上層大気における大気重力波の影響を調査すべく、太陽EUV放射が強い条件における上層大気のDSMCシミュレーションを実行し、膨張大気の鉛直組成・温度等の基本構造を得た。

【成果発表】
（学会・研究会発表）

- 寺田 直樹, 寺田 香織, 藤原 均, 遅進流体力学的散逸のDSMCシミュレーション, STEシミュレーション研究会：計算プラズマ物理の新潮流, 広島（広島大学東千田キャンパス）, 2019年9月24-26日.
- Terada, K., N. Terada, and H. Fujiwara, DSMC simulation of slow hydrodynamic escape from Earth-like exoplanets, Planet2/RESCEU Symposium 2019, From Protoplanetary Disks through Planetary System Architecture to Planetary Atmospheres and Habitability, Okinawa (Bankoku Shinryokan), 2019年10月14-18日.
- 寺田 香織, 寺田 直樹, 藤原 均, 地球類似惑星における遅進流体力学的散逸の DSMCシミュレーション：外圏底近傍の断熱冷却について, 日本惑星科学会 2019 年秋季講演会, 京都（京都産業大学神山ホール）, 2019年10月7-9日.
- 寺田 香織, 寺田 直樹, 藤原 均, 地球型惑星における遅進流体力学的散逸の DSMC シミュレーション, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 千葉（幕張メッセ）, 2019年5月26-30日.

雲解像モデルシミュレーションによる豪雨の予測と検証
Predictions of heavy rainfall events using cloud resolving atmospheric models and their evaluations

研究課題代表者：茨城大学理学部　若月泰孝
共同研究者　名古屋大学・宇宙地球環境研究所　坪木和久

雲解像大気モデルは，地域スケールの気候再現や気候変化予測において重要な役割を果たしている．高解像度にして雲解像モデルを長期間にわたって計算すれば，積乱雲や積乱雲群を再現可能となるため，豪雨頻度の気候変化予測計算などを実施することができる．関連した多くの研究テーマを挙げることができるが，今年度の本研究では，主に昨年度計算した関東域の夏季を対象とした高解像領域大気モデル実験の解析を進めた．関東域では夏季に積乱雲が頻発する．この中でも注目を集めているのは，豪雨と都市の関係である．都市効果を考慮することによる局地大気循環や雲降水の変化に着目する．なお，この研究は，文部科学省の受託研究「気候変動適応技術社会実装プログラム」と協力して実施したものである．

研究では，気象庁が開発した非静力学雲解像大気モデル（NHM）を用いて，関東域を覆う1km解像度の数値実験を実施した．約一カ月の計算を10年分実施した．この時，夏季の大気不安定環境下で多くの積乱雲が発生していた．ここで，都市効果に関する３種類の実験を実施した．一つは，(a)都市効果を単層都市キャノピーモデル（SPUC; Aoyagi and Seino, 2011）で表現したもの，(b)２つ目は都市を草地として都市を抜いたもの，(c)３つ目は都市を草地としているものの，都市相当の粗度のみを与えた実験である．(a)-(b)で都市効果を，(a)-(c)で都市の熱的効果を，(c)-(b)で都市域の力学的効果を評価することができる．ここまでは昨年度から継続して実施していたものだが，今年度は地球温暖化した将来の環境を想定した実験を実施した．以下，特に将来気候について示す．

将来気候実験では，20世紀末に比べ21世紀末に約4℃気温が上昇することを仮定した．気候モデルデータに基づき，温暖化による昇温量は上層ほど大きく，相対湿度は不変と仮定した．将来気候についても(a), (b), (c)の実験を実施し，その差分を解析することで，都市効果の気候変化を評価した．その結果，地球温暖化によってヒートアイランド強度（(a)-(b)で評価）がわずかに弱化することがわかった（図1）．また，それは熱的効果によってもたらされていた．同時に，早朝の混合層高度は，温暖化によって上昇していた（図略）．混合層高度の上昇に対応する鉛直温位分布は，本来図2の赤のようになり，地上の気温は都市部でより大きく上昇するはずだが，実際はヒートアイランド強度が弱化しており，下がっている．これと対応するように，都市域では，早朝に下降流の偏差シグナルと対応する温位偏差構造がみられた（図2）．ヒートアイランド強度が温暖化によって弱化するという結果は，過去に報告のない結果であり，今後のメカニズム理解に向けたさ

らなる研究が期待される．

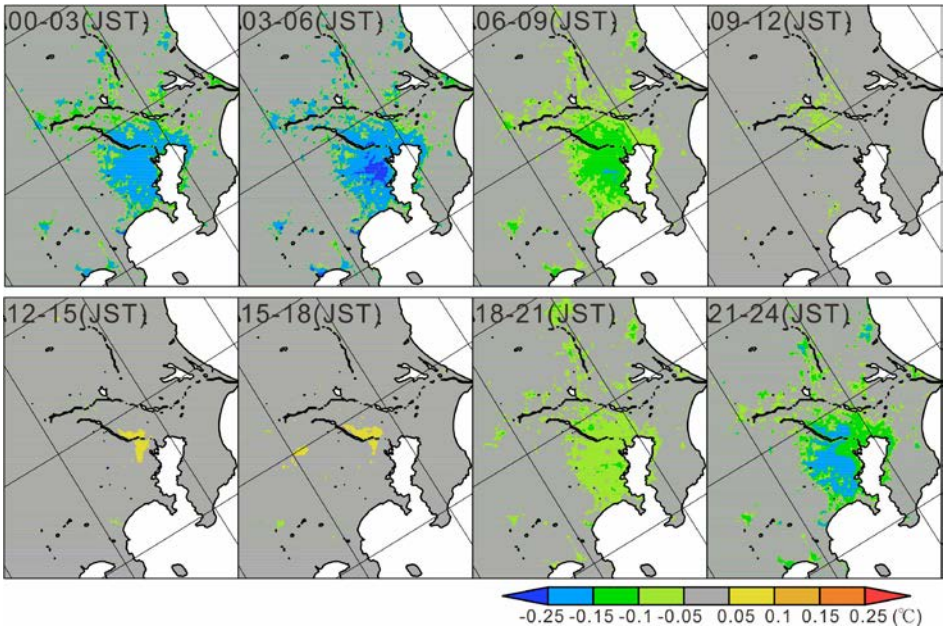


図1:3時間ごとのヒートアイランド強度（地表面気温の(a)-(b)）の気候差分

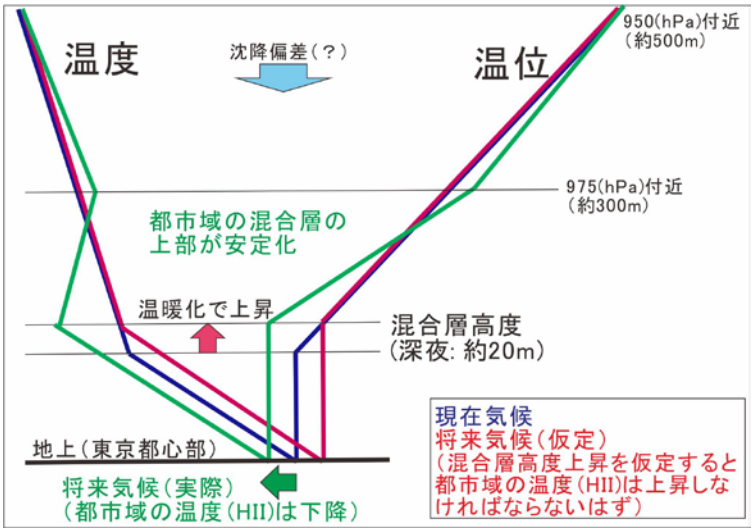


図2: 温位の鉛直分布の概念図（現在気候（青），混合層高度が温暖化によって上昇したことを仮定した場合(赤),将来気候実験結果(緑)）

８．データベース作成共同研究 目次詳細

（所属・職名は2020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
大川隆志	気象庁地磁気観測所	技術課	技術課長	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	361
大矢浩代	千葉大学	大学院工学研究院	助教	AVONで観測されたLF/VLF帯電磁波データのデータベース化	363
土屋史紀	東北大学	大学院理学研究科	助教	AMATERASで観測された高分解能太陽電波バーストデータのデータベース化	364
吉川 顕正	九州大学	理学研究院・地球惑星科学部門	准教授	MAGDAS/CPMNデータのデータベース化	366
渡邉　堯	情報通信研究機構	戦略的プログラムオフィス	招聘専門員（非常勤）	宇宙線WDCデータベース	367

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

大川隆志　　気象庁地磁気観測所技術課

１．目的

現在、地球電磁気学・宇宙空間物理学の分野で広く使われているデジタル収録のデータはそのほとんどが1970年代以降のものであり、それ以前は紙媒体によるアナログデータである。気象庁地磁気観測所には、アナログマグネトグラムと呼ばれる地磁気の変動を印画紙に記録したデータが保管されており、国際地球観測年以降については日本国内の3観測点（柿岡、女満別、鹿屋）における観測記録が揃っている。

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1968年と鹿屋の1968～1969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1,118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2019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

なし

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。

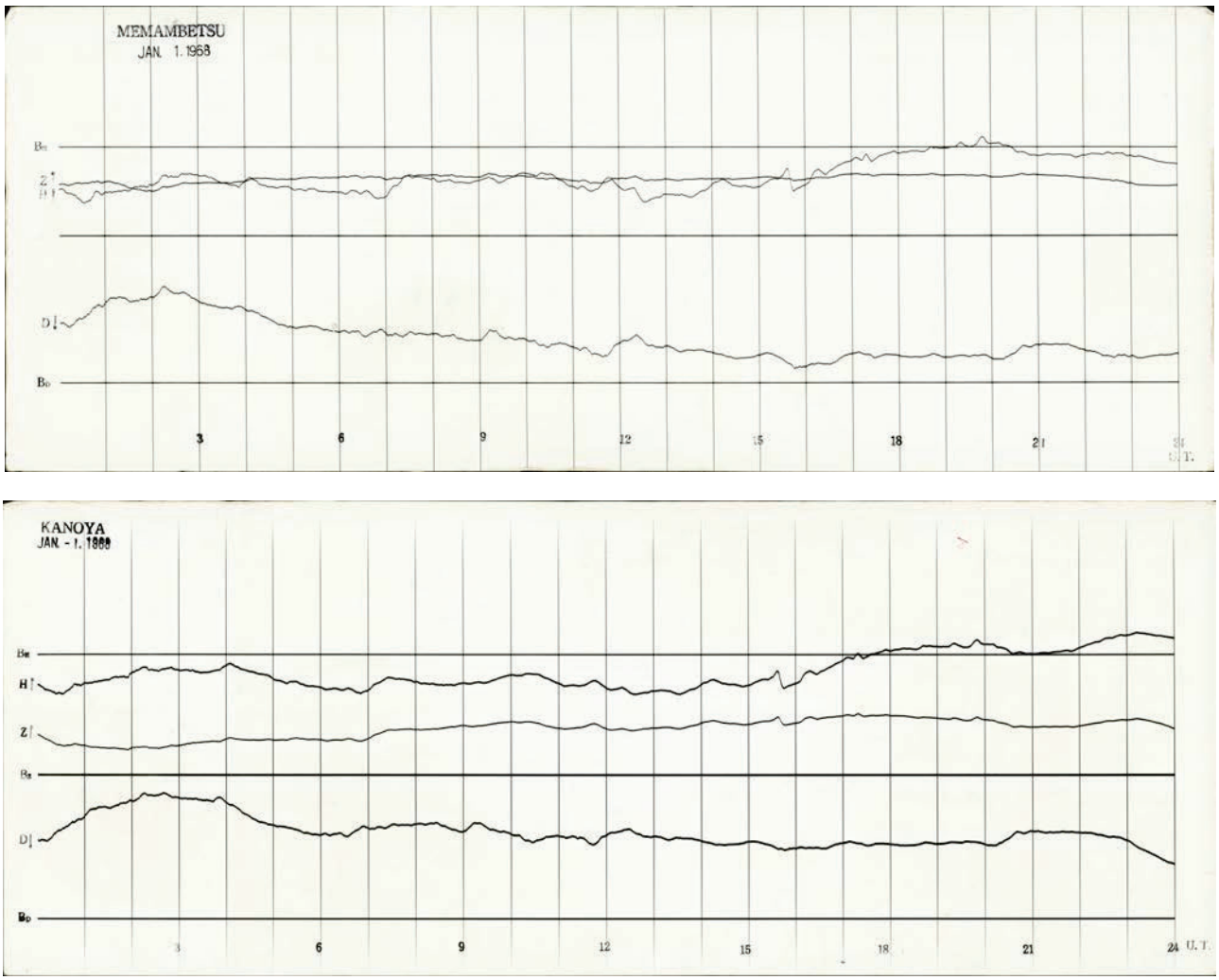


図1　デジタル画像化されたアナログマグネトグラムの例（上：女満別、下：鹿屋）
水平成分(H)、鉛直成分(Z)、偏角(D)の変化が記録されている。日時はUTC。

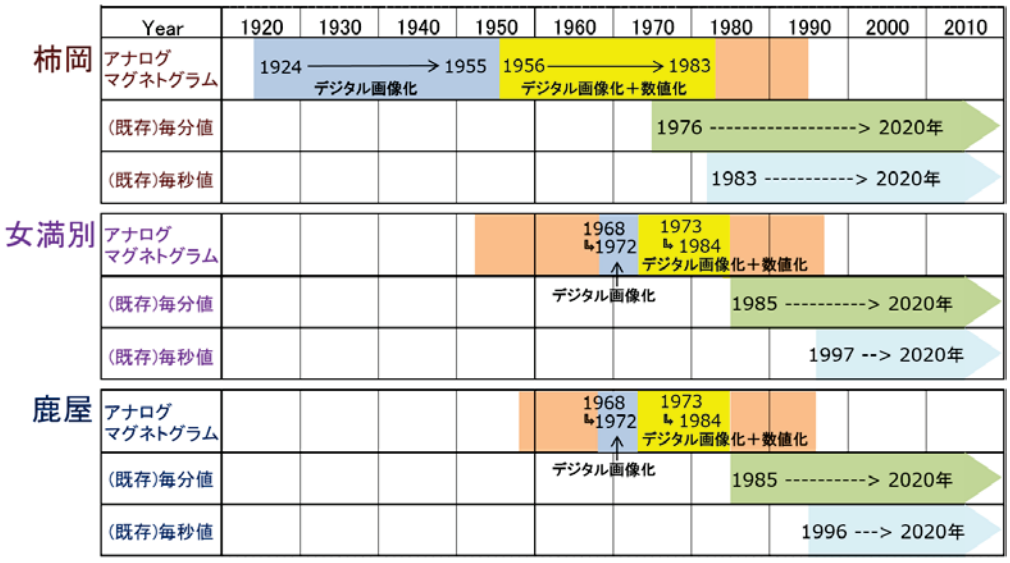


図2　本年度までに実施されたアナログマグネトグラムのデジタル化作業のまとめ。
デジタル画像及び数値化（毎分値、7.5秒値）したデータは全て公開している。

AVONで観測されたLF/VLF帯電磁波データのデータベース化
Data archives of the LF/VLF electromagnetic waves observed by AVON

大矢　浩代、千葉大学・大学院工学研究院

1. 研究目的

本研究目的は，東南アジアVLF帯電磁波観測ネットワーク(AVON)で得られた広帯域水平磁場2成分（南北および東西方向，0-10 kHz）と，LF/VLF帯標準電波(22.2-68.5 kHz)の強度および位相データのデータベース作成である。水平磁場２成分およびLF帯標準電波のサンプリング周波数は，それぞれ20 kHz と 200 kHz であり，水平磁場２成分については、生波形とダイナミックスペクトルを、LF/VLF帯標準電波は最高で0.1秒分解能の振幅・位相データを、IUGONET（http://search.iugonet.org/list.jsp）を通して公開する。本課題で作成するデータベースにより，東南アジアを中心とした主に中低緯度帯のD領域・下部E領域電離圏研究に貢献できる。その理由は，AVONが東南アジアにおける初めての雷観測ネットワークであり，雷を起源とし、電離圏下端で反射しながら伝搬するtweek空電を非常に数多く受信できるためである。また名古屋大学宇宙地球環境研究所（名大ISEE)が1976年から定常観測している国内でのVLF/ELF帯電磁波データベースと組み合わせて，中低緯度帯の下部電離圏の長期変動解明に貢献できる。

2. データベース作成

2019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データは毎時00-02分，10-12分，20-22分，30-32分，40-42分および50-52分の12分間，水平磁場2成分（東西および南北）観測しており，1地点あたり1年間で8 TB のHDDを必要とした。

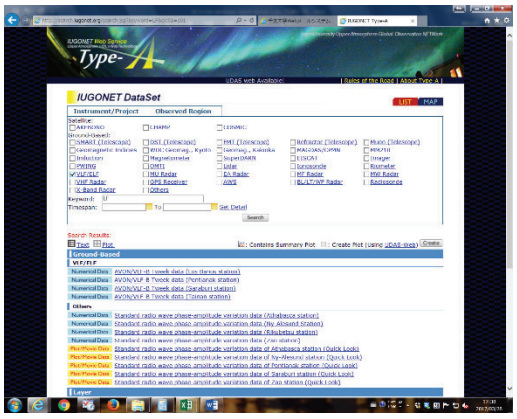


図 1　IUGONET Type-A での AVON 検索画面（http://search.iugonet.org/search.jsp?keyword=AVON&cid01=101）。

成果発表

[1] **Hiroyo Ohya**, Kodai Yamanobe, **Kazuo Shiokawa**, Yoshizumi Miyoshi, **Fuminori Tsuchiya**, Kozo Yamashita, Yukihiro Takahashi, Solar flare effects of the D-region ionosphere using daytime tweek atmospherics, URSI-JRSM2019, Chofu (Japan), 6 September, 2019.

[2] Maruyama, K., **H. Ohya**, **F. Tsuchiya**, K. Nozaki, K. Yamashita, Y. Takahashi, H. Nakata, and T. Takano, Sub-ionospheric effects of volcano eruptions using VLF/LF standard radio waves, JpGU2019, Chiba, 29 May, 2019.

[3] K. Maruyama, **H. Ohya**, **F. Tsuchiya**, K. Yamashita, Y. Takahashi, H. Nakata, and T. Takano, Variations in the D-region ionosphere associated with volcanic eruptions observed by VLF/LF standard radio waves, URSI-JRSM2019, Chofu, 6 September, 2019.

[4] 丸山　慶，**大矢　浩代**，**土屋　史紀**，野崎　憲朗，　山下　幸三，高橋　幸弘，中田　裕之，鷹野　敏明，Sub-ionospheric effects of volcano eruptions using VLF/LF standard radio waves，第146回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会、熊本県熊本市、2019年10月24日。

AMATERAS で観測された高分解能太陽電波バーストデータのデータベース化

Data archives of the high-resolution solar radio burst observed by AMATERAS

土屋史紀, 三澤浩昭, 小原隆博, 藤本達也, 関佑一朗(東北大・理)
増田 智, 岩井一正 (名古屋大学・ISEE)

東北大学では、太陽電波バースト観測を目的とした VHF-UHF 帯高感度スペクトル偏波計 AMATERS を定常的に運用している。太陽電波電波バーストは太陽コロナ中での粒子加速現象の発動を示すことから、粒子加速の有無を示す指標として使用できる他、電波スペクトル上に現れる微細構造から太陽コロナや活動領域で生じるプラズマ素過程を研究する機会を提供できる。

本研究では、既に公開済みの低時間・低周波数分解能のデータ(dt=1s,df=1MHz)に加え、高時間・高周波数分解能データ(dt=10ms,df=61kHz)のデータベースを構築した。具体的な実施内容は、(1)既存データベースのデータ保管領域の拡張、(2)高分解能データフォーマットの仕様検討とデータの生成、(3) QL プロットの作成、及び(4)ロードプロシージャの準備と公開、である。データベースの拡張、高分解能データの生成、SPEDAS に登録される IDL ベースのロードプロシージャの準備は完了し、ユーザがデータにアクセスし、解析を実施することが可能になった。QL プロットの作成とロードプロシージャの登録、QL を閲覧するための Web インターフェースの作成が今後の課題である。表 1 にデータの仕様と公開 URL、図に QL プロットの一例を示す。

高分解能データは太陽電波バーストの発生時間帯のみアーカイブしており、強度分解能は 8bit である。ただし、静穏時太陽電波強度から 25dB を超える強い電波バースト発生した時は強度分解能 16bit のデータもアーカイブする。高分解能データが存在する日時は、http://radio.gp.tohoku.ac.jp/db/IPRT-SUN/DATA2/ から公開している。また、AMATERS 及びデータベースの説明はデータセンターの Web ページ(http://pparc.gp.tohoku.ac. jp/data/iprt/)から公開している。

表 1 AMATERAS 高分解能データの仕様

ファイル形式	Fits 形式 （1 分間データで 1 ファイル）
分解能	時間分解能:10ms, 周波数分解能:61kHz, 強度分解能:8bit 又は 16bit
ファイルサイズ	8bit 分解能データ：約 75Mbyte, 16bit 分解能データ：約 150MByte
データ公開サイト	8bit 分解能：http://radio.gp.tohoku.ac.jp/db/IPRT-SUN/l1/high08/ 16bit 分解能：http://radio.gp.tohoku.ac.jp/db/IPRT-SUN/l1/high16/ QL：http://radio.gp.tohoku.ac.jp/db/IPRT-SUN/l1/png/

謝辞：高分解能データの仕様決定と IDL 版ロードプロシージャの準備は IUGONET プロジェクトの協力により実施されました。

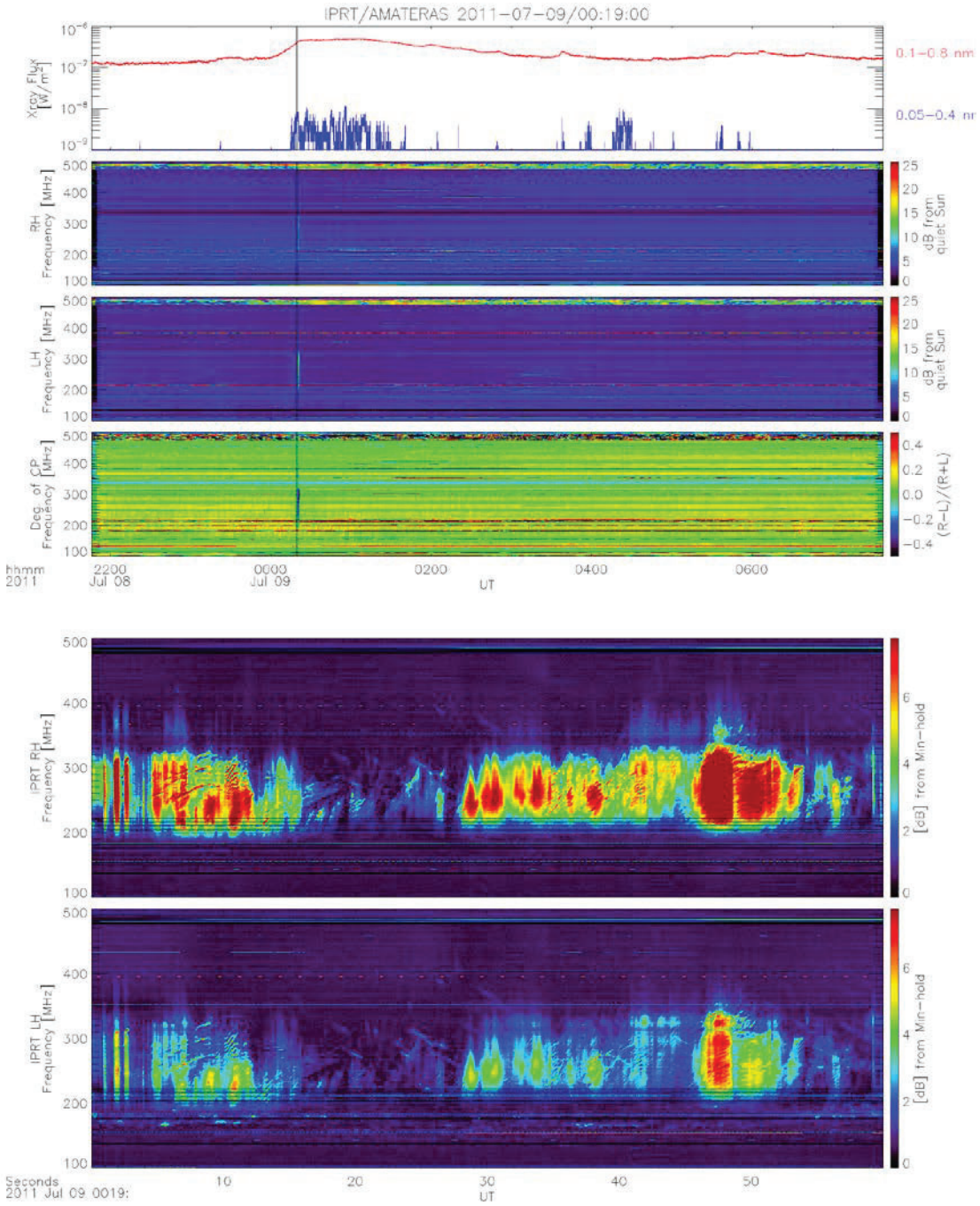


図１：2011/7/9 に発生した IV 型バーストの例。上から GOES15 X 線データ、低分解能データ(右回り偏波、左回り偏波、円偏波度)、高分解能データ(右回り偏波、左回り偏波)。

成果

三澤浩昭, 土屋史紀, 小原隆博, 藤本達也, 関 佑一朗, 東北大太陽電波望遠鏡の運用状況, 太陽研究者連絡会シンポジウム, 2020 年 2 月 17-18 日, 国立天文台三鷹, 2020.

三澤浩昭, 笠羽康正, 熊本篤志, 土屋史紀, 木村智樹, 北 元, 佐藤愼也, 小原隆博, 寺澤敏夫, 榎戸輝揚, 岳藤一宏, 久保勇樹, P. Zarka, 低周波電波天文観測への誘い - 東北大の取組：現在～近未来 -, 日本天文学会 2020 年春季年会, 講演資料の web 公開による開催(URL 公開は 3/31 以降), 2020.

MAGDAS/CPMNデータのデータベース化
MAGDAS/CPMN Database

吉川顕正、九州大学・理学研究院・地球惑星科学部門

九州大学にて実施している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、CD-R や MO 等の旧式メディアに保存されているデータを読み取り、古いデータベースを更新した。これらの磁場データより、IUGONET 形式のメタデータ、1日、3日、7日間のクイックルックプロット（磁場3成分ラインプロット、FFTスペクトログラム）を作成し、大学間連携プロジェクトIUGONETで開発されたメタデータ・データベース（IUGONET Type-A）を更新した。データは SPEDAS（Space Physics Environment Data Analysis System）からの利用ができるようになっている。また、現行の MAGDAS 磁力計で記録されている 10Hz サンプリングデータについて、別途データベース化をおこなっている。この高時間分解能データは、Pi 1-2、Pc 1-2 に関するあらせ衛星との連携観測などでの利用が見込まれる。さらに、FW-CW レーダー観測について、2002年から2017年までの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、研究に利用できる実データ及び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。

宇宙線WDCデータベース
Database of WDC for Cosmic Rays

渡邉　堯、情報通信研究機構・WDS 国際プログラムオフィス,上級顧問

全世界約50ヶ所の宇宙線中性子観測観測データ（1時間値）を収集して、不良データの除去や基本的な観測情報のチェックを行った後、統一フォーマットによるデータベースの公開を行う（http://cidas.isee.nagoya-u.ac.jp/WDCCR/）。ロシアのIZMIRANによって公開されていた旧ソ連圏を中心とするデータの公開サイトへのアクセスが出来ない状況が続いているため、可能な限り、各観測所が独自で公開しているデータの取得を行っているが、フォーマットや欠測の表示方法がまちまちなため、個別にデータベース化ソフトの作製が必要となっている。そこで今後、はほぼリアルタイムで宇宙線観測データを公開している、NMDB（Neutron Monitor Data Baseよりデータ収集を行う方向にシフトしつつあるが、従来の1時間単位のカウント数への換算に必要な基本的情報（倍率、バイアス量など）が不足しているため、過去データとの整合性を確認しながら作業を進めている。本年度は主として2018-2019年に取得されたデータについてデータベース収録を行ったが、最近では重要な観測所であっても、観測データの公開が遅れているケースが見られるため、国際的な協働体制の構築が望まれる。上記のような事情により、当WDCが保有する長期的安定性が確保されたデータベースの存在意義は、益々高まっている。宇宙線データベースについては、ほぼ年二回定期的に開催されたSTE現象報告会（宇宙地球環境研究所研究集会）において、宇宙線関連現象の報告を行っているが、近年の太陽活動レベルの低下傾向に伴って宇宙線フラックスの増加が見られ、地球環境への影響や宇宙機の太陽光発電パネル等の寿命短縮が懸念されているため、今後とも高品質データの保全・公開に万全を期したい。

９.加速器質量分析装置等利用(共同研究) 目次詳細

（所属・職名は2020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
安藤佑介	瑞浪市化石博物館		学芸員	日本産Thalassina（オキナワアナジャコ属：十脚目，オキナワアナジャコ科）の再検討	368
佐藤興平	気象庁	気象大学校	非常勤講師	火山体崩壊に起因する火山災害軽減のためのパイロット研究	369
森本真司	東北大学	大学院理学研究科	教授	大気中二酸化炭素の放射性炭素同位体比の変動	370
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-Gorveh地域のトラバーチンの炭素14分析	371
小元 久仁夫	元日本大学	大学院理工学研究科・文理学部	元教授	ビーチロック試料の正確な膠結年代決定方法	372
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	373
奥野　充	福岡大学	理学部地球圏科学科	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	374
西本　寛	愛知大学	経済学部	准教授	能登半島中部に位置する縄文時代の真脇遺跡出土遺物の14C年代による編年	375
奥野　充	福岡大学	理学部地球圏科学科	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	376
田村　亨	産業技術総合研究所	地質情報研究部門	主任研究員	光励起ルミネッセンス（OSL）年代測定法による第四紀編年の高度化	377

（別紙様式9-1）2019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	安藤佑介（あんどうゆうすけ）
所属機関	瑞浪市化石博物館
部局	
職名	学芸員

下記の共同研究について、別紙のとおり報告します。

記

1. 研究課題名

和文	日本産 *Thalassina*（オキナワアナジャコ属：十脚目，オキナワアナジャコ科）の再検討
英文	Fossil Thalassina (Decapoda, Thalassinidae) of Japan: Revisited

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
安藤佑介	瑞浪市化石博物館	日本	学芸員
林　誠司	名古屋大学	日本	講師
南　雅代	名古屋大学	日本	教授

3. 研究成果の概要（200字程度でまとめてください）

愛媛県宇和島市の海岸の転石（ノジュール）として約70年前に採集され（たことになっている），1951年に *Thalassina anomala*（オキナワアナジャコ：十脚目，オキナワアナジャコ科）として記載された標本（Imaizumi, 1951）の由来について検討を行った．炭素同位体年代測定を行った結果，これまで後期更新世のものとされていた標本の形成は5,990から5,804cal BC（完新世）であることが明らかになった．しかしながら，採集地付近に完新世の地層は存在せず，あわせて分類学的検討の結果別の現生種（現在南半球のみに生息）であることが明らかになり，その由来は不確実である．

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）

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）

Yusuke Ando, Hisayoshi Kato, Masayo Minami & Hiroaki Karasawa. Fossil Thalassina (Decapoda, Thalassinidae) of Japan: Revisited. 7th Symposium on Mesozoic and Cenozoic Decapod Crustaceans, Slovenia, 17–21 June, 2019.

6. その他の成果リスト（著書、特許等）

なし

（別紙様式9-1）2019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 興平（さとう こうへい）
所属機関	気象庁
部局	気象大学校
職名	非常勤講師

下記の共同研究について、別紙のとおり報告します。

記

1．研究課題名

和文	火山体崩壊に起因する火山災害軽減のためのパイロット研究
英文	A pilot study for mitigation of volcanic hazards caused the collapse of volcanoes

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
佐藤興平	気象庁	日本	非常勤講師
柴田 賢	名古屋大学	日本	元年代測定資料研究センター長
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）

常時観測火山である活動的な浅間火山で過去に起こった大規模な山体崩壊の実態を探るため，野外調査を継続し，火山泥流で運ばれた巨大な火山岩塊のSr同位体と埋没木片の^{14}C年代のデータを補充して，泥流の時空分布と規模を解明した．今年度は，それらのデータを総合して，約2.7万年前に起こった主な山体崩壊の規模が5km^{3}を超え，発生した砕屑物の流走距離は群馬県側だけでも谷沿い80km以上に及んだことを指摘するとともに，巨石運搬のメカニズムとこの破局的な事変が当時の旧石器時代の人びとにも影響を及ぼした可能性を考察した．

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）

佐藤興平・南 雅代・柴田 賢・武者 巌（2020）：巨石のSr同位体と埋没木片の^{14}C年代からみた前橋泥流，群馬県立自然史博物館研究報告，No.24, 49–60.

佐藤興平・南 雅代（2020）：榛名・小野子・子持火山の基盤を構成する火山岩類の岩石化学的特徴：天然記念物「岩神の飛石」との比較，群馬県立自然史博物館研究報告，No.24, 61–70.

5．学会発表リスト（著者名、タイトル、学会名、開催場所、年月日）

南 雅代・佐藤興平・中村俊夫・柴田 賢．木片の炭素14年代測定による前橋泥流の流下・堆積時期の再検討，日本質量分析学会同位体比部会2019，北海道登別，2019年11月

6．その他の成果リスト（著書、特許等）

（別紙様式9-1）2019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（もりもと） 真司（しんじ）
所属機関	東北大学
部局	大学院理学研究科
職名	教授

下記の共同研究について、別紙のとおり報告します。

記

1．研究課題名

和文	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 $^{14}CO_2$

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
森本真司	東北大学	日本	教授
青木周司	東北大学	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）

本年度は、まず大気中CO2の精製ラインの改修を行い、大量（標準状態で5L）の大気試料からのCO2精製作業を省力化した。日本上空の対流圏及び北極ニーオルスン基地で採取されている大気試料のCO2濃度分析とCO2精製を継続実施し14C分析に備えるとともに、その一部についてグラファイト化を行った。さらに北極ニーオルスン基地で観測されている大気中CO2濃度及びO2濃度データを入手・解析し、化石燃料起源の濃度変動シグナルについて検討した。来年度は14C分析を集中的に実施し、大気中CO2の14C変動の実態と化石燃料起源CO2の影響を明らかにする。

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) 2019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地域のトラバーチンの炭素14分析
英文	14C analysis on travertine in Takab-Ghorveh (Qorveh) area, NW Iran

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
淺原 良浩	名古屋大学	日本	准教授
RASOULI, Hadi	クルジスタン大学	イラン	Assistant professor
張 玉博	名古屋大学	日本	M1
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)

イラン北西部に多産するトラバーチンの古環境復元試料としての可能性を検討するため、本研究では、TakabおよびGhorveh地域のトラバーチンの形成年代の推定を試みた。具体的には、トラバーチン周辺の湧水15試料のDICの14C年代測定を実施した。その結果、小さな湧水の14C年代は40 kBPと古く、湧水の池(直径約100 m)の14C年代は18 kBPと比較的若いことがわかった。これらの結果を、Takabのトラバーチンの14C年代値(平成30年度実施)と対比したところ、このトラバーチンの形成時期は8～5 kBPと見積もることができた。今後、14C年代の追加分析とともに、化学組成およびSr同位体の分析も行い、トラバーチンの形成年代および成長速度の推定、湧水の起源解析を進める。

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)

張 玉博, 淺原 良浩, 南 雅代, ラズーリ ハディ, アジジ ホセイン, 14C ages and chemical compositions of travertines in northwest Iran: An attempt on paleoenvironmental reconstruction in west Asia, 日本地球化学会第66回年会, 東京大学, 2019年9月17日.

6. その他の成果リスト(著書、特許等)

金子将己. Geochemical evaluation of groundwater and surface water in northwesten Iran, 名古屋大学理学部地球惑星科学科卒業論文, 2020年3月.

（別紙様式9-1）2019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
	大学院理工学研究科・文理学部
職名	元教授

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
南　雅代	名古屋大学	日本	教授
塩見昌司	日本大学	日本	准教授
大八木英夫	南山大学	日本	准教授
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（200字程度でまとめて下さい）

長崎県佐世保市，沖縄県阿嘉島，座間味島，備瀬海岸および津波で試料を採取した。AMSによる年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ない，測定の順番待ちになって また同志社大学理工学部には元素分析を依頼し，湧水および小河川水の水質分析は名古屋大学の環境研究所で行った。3月24日にAMSによる年代測定結果の通知があった。その内容は，ほぼ全て年代が予想していた年代より新しく，既存の年代と乖離していた。今後その原因について検討する。

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（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(2)，82-88.

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）

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．

東北地理学会．宮城県仙台市東北大学理学部．2019年5月18日．仙台市．季刊地理学，71(3)，136-137.

6．その他の成果リスト（著書、特許等）

なし

(別紙様式9-1) 2019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 (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
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	准教授

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14C測定に関して、従来のヘッドスペース法を改良したガスボンベを使用しない手法の検証を実施した。今年度の測定では、改良した処理手法で得たガスの14C濃度は、高い再現性があることがわかった。ガス収率と14C濃度には明瞭な関係が見られなかったが、収率の違いによる14C濃度の変化が非常に小さいか、14C濃度が非常に低いために変化が分かりにくいといったことも考えられるため、さらなる検証が必要と考える。

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)

Takahashi HA, Minami M, Aramaki T, Handa H, Saito-Kokubu Y, Itoh S, Kumamoto Y. (2019) A suitable procedure for preparing of water samples used in radiocarbon intercomparison. Radiocarbon, 61, 1879-1887.

Takahashi HA, Minami M, Aramaki T, Handa H, Matsushita, M. (2019) Radiocarbon changes of unpoisoned water samples during long-term storage, Nucl. Instruments Meth. Phys. Res. B 455, 195-200.

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)

Takahashi, H. A., Handa, H. Minami, M., Sato, R. Nakamura, T. New procedure of CO_2 extraction for radiocarbon analysis of DIC in water samples at Nagoya University and Geological Survey of Japan. The 8th East Asia Accelerator Mass Spectrometry Symposium, Nagoya Univ., 2019/12/03.

Sato, R., Minami, M., Iwahana, G., Hiyama T. Radiocarbon ages of POC, DOC, and DIC in ground ice in Siberian permafrost. The 8th East Asia Accelerator Mass Spectrometry Symposium, Nagoya Univ., 2019/12/03.

6. その他の成果リスト(著書、特許等)

(別紙様式9-1) 2019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(みつる)
所属機関	福岡大学
部局	理学部地球圏科学科
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	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	Chrnological study of tephras and archaeological sites in eastern Aleutian Islands

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
奥野 充	福岡大学	日本	教授
南 雅代	名古屋大学	日本	教授
中村俊夫	名古屋大学	日本	招へい教員(名誉教授)
藤木利之	岡山理科大学	日本	准教授
Virginia Hatfield	アリュート博物館	日本	館長

3. 研究成果の概要(200字程度でまとめてください)

フォックス諸島, アナングラ島において泥炭層の掘削調査を行なった. 同島では最古のアレウト遺跡が知られている. 今回の掘削では深度約1.7mまで泥炭層があり, これまで記載されているAsh IIIとAshIVが確認された. 予察的な年代測定(3点)では, 1720～3055 BPとこれまでの年代(約8000 BP)より非常に若いものが得られた. その理由は明らかでなく, 今後, さらに測定を増やし, 検討する必要がある.

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)

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)

奥野 充, Arkady B. Savinetsky, Olga A. Krylovich, Virginia L. Hatfield, フォックス諸島, アナングラ島の泥炭層の掘削調査, 国際火山噴火史情報研究集会 2019-1, 福岡大学, 2019年7月14日

奥野 充・中村俊夫・佐藤鋭一・Arkady B. Savinetsky・Olga A. Krylovich・Virginia L. Hatfield, アラスカ, フォックス諸島のアナングラ島の泥炭層の層序と年代. 2019年度東北地理学会・北海道地理学会秋季学術大会, 北海学園大学(札幌), 2019年9月14日

6. その他の成果リスト(著書、特許等)

なし

（別紙様式9-1）2019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	西本（にしもと） 寛（ひろし）
所属機関	愛知大学
部局	経済学部
職名	准教授

下記の共同研究について、別紙のとおり報告します。

記

1. 研究課題名

和文	能登半島中部に位置する縄文時代の真脇遺跡出土遺物の14C年代による編年
英文	Chronologcal study by 14C analyses of archeological remains excavated from the Mawaki aite in the middle of Noto Peninsula.

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
西本 寛	愛知大学	日本	准教授
中村俊夫	名古屋大学	日本	招へい教員（名誉教授）
北川浩之	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）

能登半島の北部地域の富山湾に面した平野部に位置する真脇遺跡は、約6000年前から2400年前までの縄文時代の人々の居住域であり、遺跡からはさまざまな遺物が発掘されている。最新のステージでは、住居跡と判断される場所から、既に68本の木柱根が発掘されている。今回新たに追加して、十数本の木柱根について14C年代測定を行った。他の出土遺物の年代と合わせて、真脇遺跡の14C年代編年をまとめることが出来た。

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）

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）

1) Toshio Nakamura, Masaaki Kanehara, Masayo Minami, Hideki Takada: A chronological study of wooden columns excavated at the Mawaki archeological site of the Noto Peninsula, central Japan. INQUA (International Union for Quaternary Research)-2019, Dublin., Ireland, July 23-31, 2019.

6. その他の成果リスト（著書、特許等）

(別紙様式9-1) 2019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(みつる)
所属機関	福岡大学
部局	理学部地球圏科学科
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	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 (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
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)
北川浩之	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)

名古屋地区における大気中二酸化炭素の濃度について、化石燃料起源の二酸化炭素の割合を定量化し, いわゆるスース効果を評価するために、1983年から名古屋大学東山キャンパスに生育する松の木の葉を採取し、その14Cの含有率を調査してきた。その結果、14C含有率には、核実験起源の14Cからの寄与が依然残留しているが、この寄与率は経年と共に減少し、化石燃料起源の二酸化炭素の寄与率が増加してきている事が明らかになっている。今回、2019年に形成された松葉の14C含有率から、この傾向が継続していることが示された。

4. 成果論文リスト(著者名、タイトル、雑誌名、巻号、ページまたはDOI、年、順番は入れ替え可)

1) Toshio Nakamura, Masayo Minami, Akiko Ikeda, Tomoko Ohta, Masami Nishida and Hiroyuki Kitagawa (2020) Maintenance records in the last two decades of the HVEE 14C AMS system at Nagoya University. Proc. of the 8th East Asia AMS symposium and the 22nd Japan AMS symposium, Nagoya University, Dec. 3-6, 2019, p.37-43.

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)

1) 中村俊夫・南　雅代・小田寛貴・池田晃子・山根雅子・西田真砂美・若杉勇輝・佐藤里名・澤田　陸・酢屋徳啓・北川浩之:名古屋大学AMS 14C測定の現状と応用研究(2019). タンデム加速器及びその周辺技術の研究会、神戸大学、2019/07/05-06.

6. その他の成果リスト(著書、特許等)

(別紙様式9-1) 2019年度名古屋大学宇宙地球環境研究所「加速器質量分析装置等利用(共同利用)」報告書	
報告年月日	2020年5月29日
代表者氏名	田村(たむら) 亨(とおる)
所属機関	産業技術総合研究所
部局	地質情報研究部門
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	光励起ルミネッセンス(OSL)年代測定法による第四紀編年の高度化
英文	Development of Quaternary dating with optically stimulated luminescence methods

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
田村 亨	産業技術総合研究所	日本	主任研究員
北川浩之	名古屋大学	日本	教授
石井祐次	産業技術総合研究所	日本	ポスドク

3. 研究成果の概要(200字程度でまとめてください)

いくつかの第四紀試料に対し、光励起ルミネッセンス(OSL)年代測定を炭素14年代測定と合わせて実施し、両者の年代を比較することで、OSL法の信頼性の検証を行った。用いた試料は、ベトナム中部Hoi An近傍のThu Bong川三角州、ベトナムCan Gioのマングローブ林地下の沖積層から採取した堆積物・貝殻・植物片である。Thu Bong川では1000～9000年前、Can Gioでは現在～5000年前の年代が得られ、いずれにおいても、OSL年代は炭素14年代によく一致する結果となり、OSL年代の信頼性が確認できた。

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)

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)

Collin DN , Tamura T, Nguyen VL, Ta TKO, Mao L, Is hii Y, Kitagwa H, Nakashima R, 2019.

Palaeoenvironmental evolution of Holocene–Modern back–barrier mangroves in the northern Mekong River

delta, Vietnam. NQUA2019, Dublin, 2019年7月26日

6. その他の成果リスト(著書、特許等)

なし

１０.加速器質量分析(委託分析)

・12件の申請が有り、そのうち12件（216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。