

平成 29 年度
(2017 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 ~ 56
2. ISEE International Joint Research Program	57 ~ 89
3. 国際ワークショップ International Workshop	90 ~ 93
4. 一般共同研究	94 ~ 239
5. 奨励共同研究	240 ~ 245
6. 研究集会	246 ~ 354
7. 計算機利用共同研究	355 ~ 389
8. データベース作成共同研究	390 ~ 398
9. 加速器質量分析装置等利用(共同利用)	399 ~ 403
10. 加速器質量分析装置等利用(委託測定)	404

1. 国際共同研究 目次詳細

(所属・職名は平成30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
笠羽康正	東北大学	大学院理学研究科・地球物理学専攻	教授	ハワイ展開する小口径望光赤外遠鏡群と電波望遠鏡群・軌道上望遠鏡群・惑星探査機による木星・火星・金星大気上下結合の研究：その2	1
宗像一起	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	3
大矢浩代	千葉大学	大学院工学研究院	助教	東南アジアVLF帯電磁波ネットワーク (AVON) による下部電離圏のグローバルサーキット効果の研究	5
石川 守	北海道大学	地球環境科学研究院	准教授	南限域永久凍土の温度と地下水動態の観測	7
岩花 剛	アラスカ大学	国際北極圏研究センター	Research Associate	永久凍土を利用した古環境復元の可能性	10
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	13
浅原良浩	名古屋大学	大学院環境学研究科	准教授	イラン国内に分布するキルナ型磁鉄鉱一燐灰石 (IOA) 鉱床の年代測定と成因解析	15
額縁佑衣	名古屋大学	大学院環境学研究科	助教	炭質物ラマン温度計とCHIME年代測定法を組み合わせた台湾造山帯の形成史解明	17
尾花由紀	大阪電気通信大学	工学部基礎理工学科	講師	プラズマ圏質量密度の長期モニタリングと経度比較研究	19
吉川顕正	九州大学	国際宇宙天気科学・教育センター	講師	赤道域地磁気変動の稠密観測に基づく太陽地球環境変動モニタリングシステムの開発	21
門叶冬樹	山形大学	理学部	教授	第24太陽活動期における極域から低緯度までの大気中宇宙線生成核種の濃度変動の観測研究	23
藤原 均	成蹊大学	理工学部	教授	北極域総合観測と大気圏・電離圏統合モデル・シミュレーションによる極域熱圏・電離圏変動の研究	25
小島浩司	愛知工業大学	工学部	客員教授	宇宙線で探る太陽風擾乱の空間構造	28
鈴木 臣	愛知大学	地域政策学部	准教授	ヨーロッパ中緯度での地上大気光イメージング観測網の構築	30
土屋史紀	東北大学	大学院理学研究科	助教	高エネルギー電子降下領域の時空間発展の実証的研究	32
宮下幸長	Korea Astronomy and Space Science Institute	Solar and Space Weather Group	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	34
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 環境気象学研究室	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	36

(所属・職名は平成30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
八代誠司	米国カトリック大学	物理学科	助教	噴出型フレアと非噴出型フレアの包括的な比較研究	38
高橋 透	情報・システム研究 機構 国立極地研究 所	研究教育系 宙空圏研 究グループ	特任研究員	脈動オーロラが起こすナトリウム密度変動の研究：ナトリウムライダー・EISCATレーダーの高速観測	40
齋藤 享	海上・港湾・航空技 術研究所	電子航法研究所	主幹研究員	複数衛星系・複数周波数GNSS信号に対するプラズマバブルの影響評価	42
津田卓雄	電気通信大学	情報理工学研究科	助教	トロムソにおけるスペクトログラフ観測に基づく多様なオーロラの発光スペクトルに関する研究	44
川原琢也	信州大学	学術研究院工学系	准教授	ナトリウムライダーを用いた北極域中間圏・下部熱圏領域の高時間分解能温度・風速観測	46
島伸一郎	兵庫県立大学	大学院シミュレー ション学研究科	准教授	雲に関わる多相微物理・化学計算の高度化にむけた国際共同研究の推進	48
寺尾 徹	香川大学	教育学部	教授	インド亜大陸北東部モンスーンの変動メカニズムの解明	50
平原靖大	名古屋大学	環境学研究科	准教授	ALMAアーカイブデータによるタイタン大気の化学組成と変動要因の解明	51
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光学系用バッフル・ベーンの設計と開発	53
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	教授	東南アジアにおけるELF帯電磁波観測を用いた、大規模雷の電氣的、時空間特性に関する研究	55

ハワイ展開する小口径望光赤外遠鏡群と電波望遠鏡群・軌道上望遠鏡群・惑星探査機による木星・火星・金星大気上下結合の研究：その2

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

笠羽 康正、東北大学・大学院理学研究科・地球物理学専攻

1. 研究目的

東北大では、数十年来に渡って宮城・福島に設けた太陽・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・マウイ島ハレアカラ高高度観測施設（標高約3000m）に整備してきた。40cm望遠鏡可視観測でイオ火山ガスからなる「イオトーラス」の構造・量・速度場観測を世界で唯一継続して行い、水星・月のNa希薄大気も含め貴重な長期観測データを提供した。2014年には福島県飯舘村から60cmカセグレン反射望遠鏡を移設し、赤外線観測も可能として観測テーマを金星・火星大気も含め広げている。双方とも東北大が主要観測時間を使用でき（40cm：100%、60cm：85%）、惑星探査機との連携では必須の「短中長期にわたる柔軟な連携運用」が常時可能な貴重な望遠鏡である。本研究は、この望遠鏡の活用を軸に行ったもので、木星で紫外線望遠鏡衛星 Hisaki および米探査機 Juno（2016/7に軌道投入）、火星で米探査機 MAVEN および欧探査機 ExoMars Trace Gas Orbiter（2016/10・12に軌道投入）、金星で日 Akatsuki 探査機との連携観測を行った。

本研究計画は惑星探査機群や惑星専用望遠鏡衛星 Hisaki を支える国際地上観測ネットワークの一翼である。米 Juno 探査機に対しては強力な国際地上観測網が組まれたが、日本の光赤外・電波地上観測は長期継続性の点でユニークな一翼を占めた。金星・火星についても同様で、またプロポーザル採択を要する大型望遠鏡群（ハワイ：Subaru 8m、アタカマ：ALMA サブミリ波干渉計、NASA/DLR 成層圏航空機望遠鏡 SOFIA など）の活用にも成功した。

2. 研究方法・結果

(1)木星：2014年来イオトーラスの全体構造・EUV分光情報とUVオーロラ全発光量の長期データを蓄積する Hisaki 紫外線望遠鏡衛星および2016/7から極軌道で「深部・低層～超高層大気」「極上空を含む内部-中間磁気圏」の初探査を行う Juno 探査機を支える観測を実施。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できる機会を提供した。イオ火山活動に起因する中性ガス大規模分布（ナトリウム D1 発光）およびイオプラズマトーラスの詳細分布（S+ 671.6/673.1nm 発光）の長期観測によって、イオ火山活動度とイオトーラスへの物質供給量、すなわち中性ガス電離で生成される磁気圏プラズマ供給量に指

標を与え、「ひさき」プラズマトーラス密度・温度推定および紫外線オーロラ全発光量と合わせ、磁気圏マスローディング推定量の基礎を形成した。また、この観測を支える熱圏-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(Terada et al. 2018)。木星・土星圏での重要現象「衛星内部からの水放出」の継続的観測につながる水分子イオンを捉える Visible 高分散分光器の開発、および MEMS を用いた光マスクシステムの開発も行った。電波観測設備では、放射線帯を観測する東北大 IPRT 30m 電波望遠鏡の長期観測結果を磁気圏・オーロラ・大気光変動と連携させつつある。5 月には IRTF-3m を用いた近赤外オーロラ発光、5 月・3 月には SUBARU 8m で大気光・熱発光を狙う中間赤外線観測のスポットデータ取得にも成功した(Watanabe et al.)。成果は論文として形成している(e.g. Fletcher et al. 2017, Kasaba et al. 2017a, Tao et al. 2018)。

(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 CO₂ 高層大気発光データの取得に成功した。本観測装置は電波ヘテロダイン並の高分散分解能 $\lambda/d\lambda > 10^6$ を得るもので、2018 年度に予定する MAVEN・TGO (火星)・Akatsuki (金星) との共同観測で高層大気変動と対流圏～中間圏～熱圏・電離圏結合に対する示唆を得る予定である(Takami et al. 2018)。また、サブミリ波干渉計 ALMA, 航空機搭載赤外望遠鏡 SOFIA との短期大型地上観測との連携も実施した (Aoki et al., 2017)。金星では千葉工大ファイバーoptics 装置による金星近紫外光撮像の試験観測にも成功した。これらは地球大気光を用いた大気上下間結合研究に比するもので、「地球のありえた過去・ありえる未来の姿」「磁場がないため太陽活動により翻弄される姿」という視点へ資することで、本コミュニティによる「兄弟比較惑星学」推進の礎の 1 つとなる(Kasaba et al.)。本研究は、日本ーベルギー二国間研究の柱でもある(Kasaba et al. 2018)。

(4) ハレアカラ観測施設整備: 40cm/60cm 望遠鏡群の運用整備を継続実施するとともに、本経費により研究者を現地長期派遣し、ハワイ大等と建設を進める 1.8m 惑星/系外惑星望遠鏡 PLANETS 推進にも現地で寄与した(Sakanoui et al. 2017)。

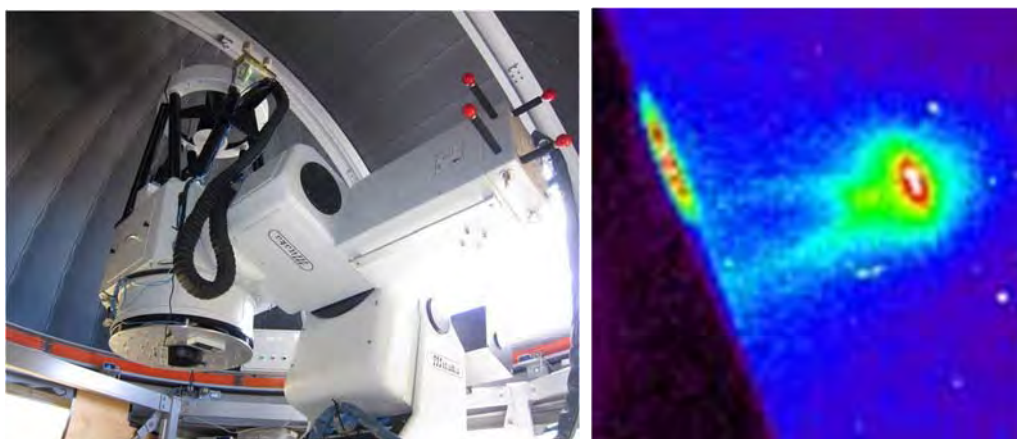


Fig. 東北大 60cm 望遠鏡 T60 (左)と木星をマスクした Io-torus 撮像 (Sakanoui et al.)

4. 成果発表

様式 1-1 を参照されたい。

改良された汎世界的宇宙線観測ネットワークによる宇宙天気観測
Space Weather observations using
the upgraded Global Muon Detector Network (GMDN)

宗像 一起 信州大学・理学部

本研究では2015年6月22日に観測されたCosmic Ray Burst (CRB)の解析を行った。CRBは特定の方向を観測する宇宙線計で約1%の強度増加が見られた現象である。GMDNが10分値で観測したCRBを解析した結果、この現象がIMF中の磁気中性面に伴う宇宙線異方性の卓越によるものであり、ほぼ同期間に観測された大地磁気嵐（最大Kpインデックス8+）に起因するもの（Mohanty+ PRL 2016）ではないことが判った。このことは、磁気嵐中の地球磁場モデル（Tsyganenko+ JGR 2005）を用いた宇宙線軌道計算結果からも確認されている。我々の解析によれば、大振幅異方性が約一時間にわたってその方向と振幅を大きく変化させている様子が観測されたが、この時間スケールは60 GeV宇宙線の旋回半径を太陽風が通過するのに要する時間と一致する。一方、磁気中性面に伴う磁場変動ははるかに短い時間に完了しているため、このことは、高エネルギー宇宙線異方性がIMFの変動に応答する時間スケールが、この事象では1時間程度であることを意味している。同時に、GMDNが1時間以内の「速い」変動も正確に捉える能力を備えていることが実証された。これの結果を論文にまとめ、現在Astrophysical Journalに投稿中である。

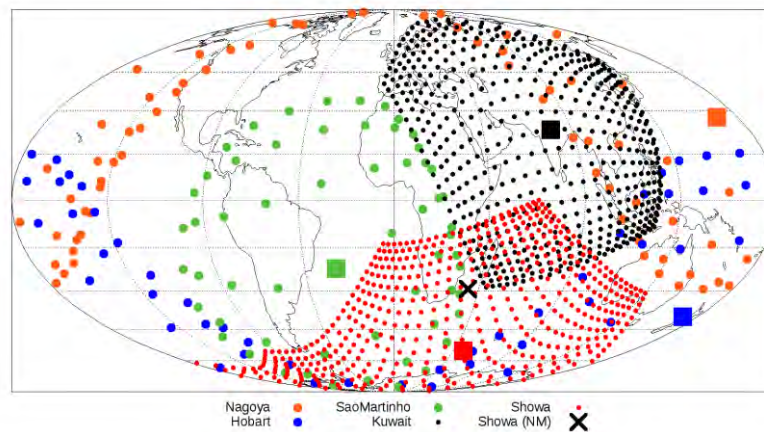
2016年3月にKuwait宇宙線計の拡張が完了し、現在はGMDNの4台の宇宙線計すべてが1分値の観測を行っている。今後はCRBに代表される「速い」変動の研究にもGMDNが威力を発揮することが期待される。



信州大学は国立極地研究所との共同研究により、2018年2月から南極昭和基地で小型ミューオン計（2m²）と中性子モニター（NM64 with 6 BP28 tubes）による新観測を開始した（上図参照）。ミューオン計と中性子モニターは、一次宇宙線が大気中で生成する異なる二次粒子（ミューオンと中性子）を検出するが、生成に必要な閾値エネルギーの違いにより、ミューオン計は中性子計に比べて約5倍高いエネルギーの一次宇宙線に最も高い感度を有する。一方で、二次粒子が大気中を伝播する際に起こす反応の違いにより、ミューオン計と中性子計で観測されたデータには異なる大気効果が含まれる。例えば、ミューオン計データでは、大気気圧効果が中性子計の約1/5である反面、中性子計データにはあまり見られない大気気温効果が目立つ。大気気温効果はミューオン強度に顕著な季節変動を引き起こすため、特に宇宙線密度（強度の等方成分）の変動を解析する際には注意が必要である（Mendonça+ ApJ

2016)。南極昭和基地での両宇宙線計による同時観測は、大気効果をよりよく理解してその補正法を探る上で実験的な拠り所を与えるものである。

一方で昭和基地ミューオン計による地球磁気圏外の観測方向（asymptotic viewing direction）は、ブラジル宇宙線計及びクウェート宇宙線計の観測方向と一部で重なっている（下図参照）。これまで、GMDNの4つの宇宙線計のうちブラジル宇宙線計の観測方向のみが他の宇宙線計の観測方向から孤立しており、観測データを宇宙線計間で較正することの妨げとなっていた。中性子計との同時観測で気温効果が除かれた昭和基地ミューオン計のデータを用いれば、今まで困難だった較正が可能になると期待される。



東南アジア VLF 帯電磁波ネットワーク (AVON) による下部電離圏のグローバルサーキット効果の研究

Study of global circuit effects in the lower ionosphere by using AVON

大矢 浩代、千葉大学・大学院工学研究院

1. 研究目的

本研究の目的は、東南アジア VLF 帯電磁波観測ネットワーク (AVON: Asia VLF Observation Network) を中心として、新規に国内で大気電場と 95GHz FMCW 雲レーダ (FALCON)-I との同時観測を行い、名古屋大学宇宙地球環境研究所 (ISEE) が海外・国内で展開している VLF/LF 帯電磁波観測ネットワークも使用することにより、D 領域・下部 E 領域電離圏のグローバルサーキット効果を定量的に明らかにすることである。

2. 観測

平成 29 年度は 3 年計画の 2 年次であり、国内・千葉大における大気電場観測および 95 GHz FMCW 雲レーダ FALCON-I による雲の定常観測は安定的にデータ取得することができた。AVON については、タイ、インドネシアおよびベトナムにて、機器の不具合を修理あるいは機器の交換を実施し、正常に VLF/LF データ取得を開始することができた。来年度は AVON データを使用した赤道帯・低緯度における大気電場を調べる。

3. 研究結果

3-1. 降雪時における大気電場変動

2016 年 11 月 23-24 日の降雪時に、50-70 km 離れている千葉大、東京学芸大、成蹊高校 (東京都武蔵野市) および柿岡の 4 地点で、大気電場に 70-100 分のほぼフルスケールの大きい振動が見

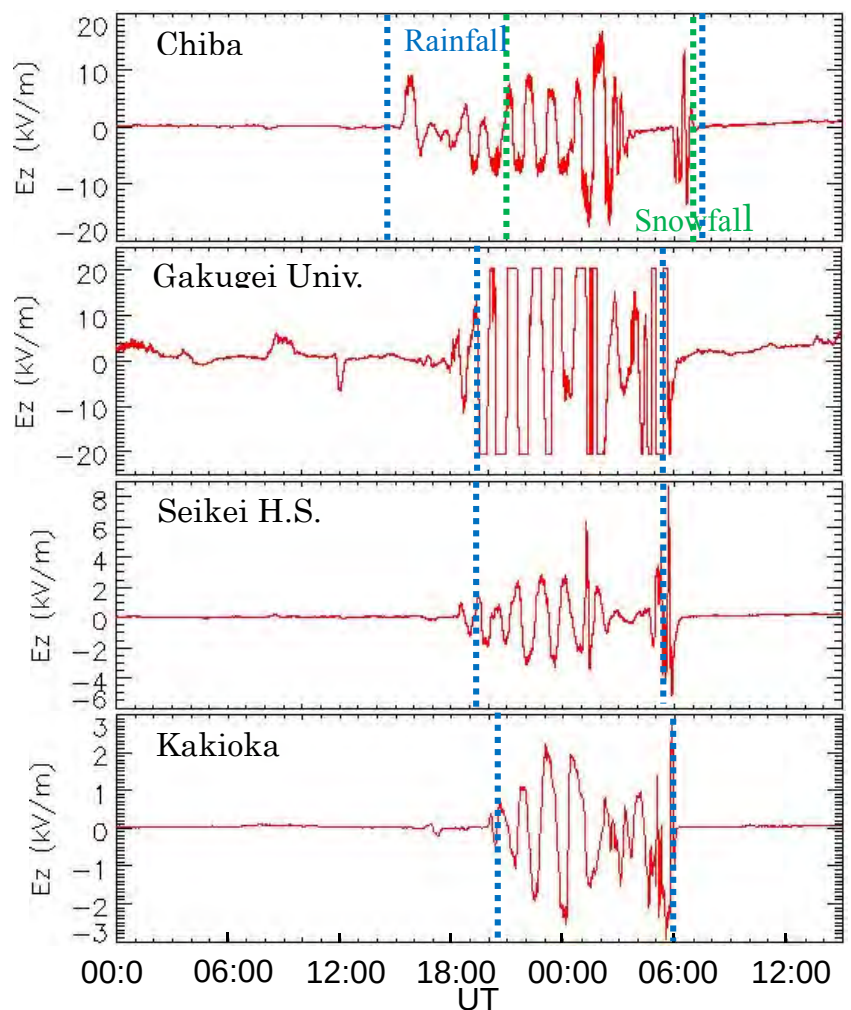


図 1 2016 年 11 月 23-24 の降雪時の、千葉大、東京学芸大学、成蹊高校および柿岡における大気電場変動。

られた (図 1)。このような離れた地点で、似たような長周期の大気電場振動が観測されたのは初めてのことである。縦軸の大気電場の値は、柿岡のみ校正値であり、その他は相対値である。図 2 に、千葉大における大気電場変動 (上)、FALCON-I による雲の反射強度 (中)、および日本無線株式会社 X バンドフェイズドアレイレーダによる雲の反射強度 (下) を示す。千葉大における大気電場振動の周期は 72.8 分であり、FALCON-I および X バンドレーダの高度 1-3 km の雲の反射強度は、約 70 分だった。

3-2. 大気電場の日変化

2016 年 6 月-2017 年 12 月の晴天（ここでは全天カメラによる雲の光学観測で雲量が 10% 以下と仮定した）時 388 日間の夜間の統計を取ったところ、千葉大での観測で 18:00UT に最大値、02:00-03:00UT に最小値をとるカーネギーカーブ(Whipple and Scrase, 1936)に似た日変化を示したことがわかった(図 3)。

成果発表

- [1] 中森 広太、フィールドミルとミリ波雲レーダ FALCON-I との同時観測による大気電場と雲・気象現象との関連性に関する研究、千葉大学大学院工学研究科平成 29 年度修士論文、2018.
- [2] Nakamori, K., Y. Suzuki, H. Ohya, T. Takano, Y. Kawamura, H. Nakata, and K. Yamashita, Correlation between atmospheric electric fields and cloud cover or meteorological phenomena using a field mill and cloud observation data, European Geosciences Union (EGU) General Assembly 2017, Vienna (Austria), 23-28 April, 2017.
- [3] Nakamori, K., Y. Suzuki, H. Ohya, T. Takano, Y. Kawamura, H. Nakata, and K. Yamashita, Response of atmospheric electric fields to cloud parameters using a field mill and 95 GHz cloud radar FALCON-I, JpGU-AGU 2017, Chiba (Japan), May 2017.
- [4] 中森広太、鈴木康樹、大矢浩代、鷹野敏明、河村洋平、中田裕之、山下幸三、フィールドミルによる大気電場と 95GHz 雲レーダ FALCON-I で観測された雲との比較、中間圏・熱圏・電離圏(MTI)研究集会、東京都国分寺市、2017 年 9 月 12-14 日。
- [5] 中森広太、鈴木康樹、大矢浩代、鷹野敏明、河村洋平、中田裕之、山下幸三、95 GHz 雲レーダ FALCON-I で観測された雲パラメータと大気電場との比較、第 142 回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会、京都府宇治市、2017 年 10 月 15-19 日。
- [6] 中森広太、鈴木康樹、大矢浩代、鷹野敏明、河村洋平、中田裕之、高村民雄、山下幸三、諸富和臣、フィールドミルによる大気電場と 95 GHz 雲レーダ FALCON-I による雲・気象現象との同時観測、第 96 回日本大気電気学会研究発表会、東京都新宿区、2018 年 1 月 6-7 日。

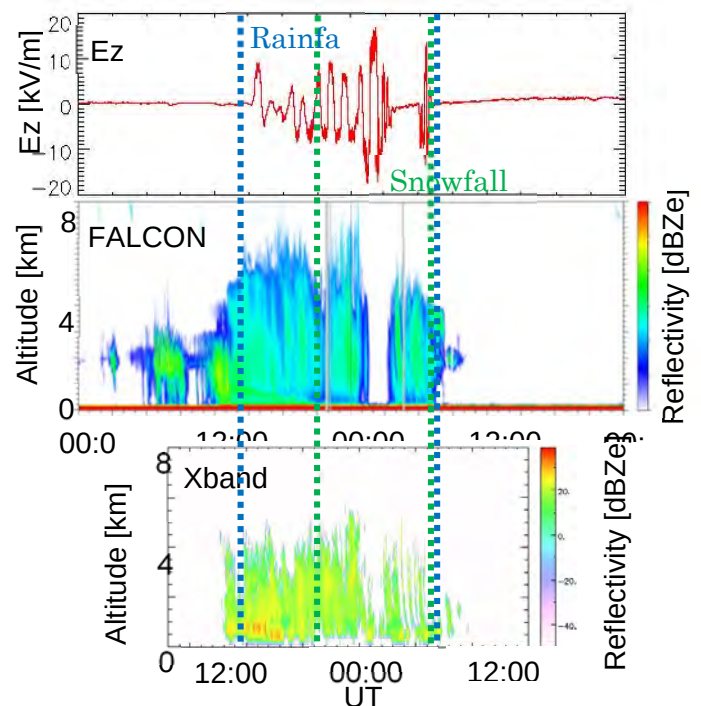


図 2 2016 年 11 月 23-24 日降雪時の大気電場変動(上)、FALCON-I による雲の反射強度(中)および X バンドフェイズドアレイレーダによる雲の反射強度(下)。

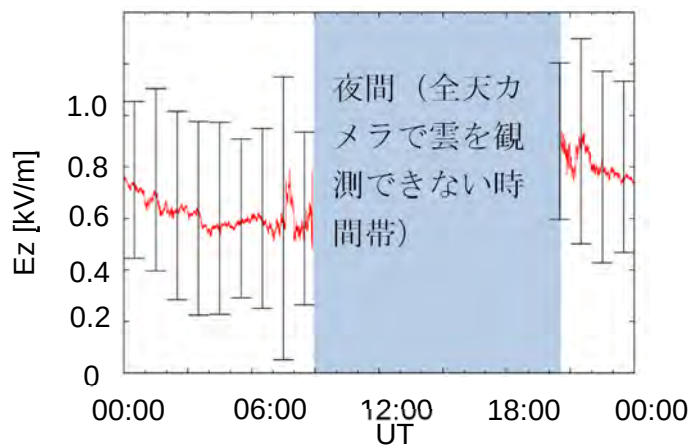


図 3 2016 年 6 月-2017 年 12 月フェアウェザー時の、千葉大における大気電場の日変化。

南限域永久凍土の温度と地下水動態の観測
Monitoring ground temperature and ice of southern boundary
of Eurasian permafrost

石川 守（北海道大学・地球環境科学研究所）

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・点状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、地下水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水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。湧水のパ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、湧水のパ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水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地理学的に評価した。また、研究対象地域に点在する複数の湧水を採取した。採取した湧水はモンゴルから輸送し、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。

結果と考察

本国際共同研究(3年計画の1年目)によって、以下に示す3つの結果が得られた。

1) 地温観測網のデータから年平均地温、活動層厚、年周期性地温振幅深度といった永久凍土の安定性を示す指標を算出し、気候変動に対する永久凍土の応答性を評価した。ここで、安定性は気温変動に対する地温の応答性とした。河川氾濫原や湖沼周辺といった湿潤環境では永久凍土は潜熱効果のため気温変動に対する応答性が低かった。また地温が全層にわたって融点に近い場合も、同様の効果で応答性が低かった。一方、高緯度域や乾燥土壌中に形成された永久凍土は、地温の年振幅が気温のそれに近く、高い気温応答性を示した。

2) 多地点で観測された浅層地温と地表面形状(斜面・凹地度)、植生、標高といった地理情報との相関関係を解析し、永久凍土の分布を高分解能で示した。永久凍土の分布域は従来考えられていたものより狭く、湖沼近辺や北向き斜面に限られることが示された。

3) 湧水のトリチウム濃度とCFCs濃度を分析した結果、ハンガイ山脈の北麓と南麓に点在するサーモカルスト(ChuluutとGalut)で得られた湧水のトリチウム濃度とCFCs濃度は非常に低く、ほぼ地下水起源の湧水であることがわかった。一方、顕著なサーモカルストに付随しない湧水のトリチウム濃度とCFCs濃度は比較的高く、近年の降水により涵養された比較的若い湧水であることがわかった。ただし、ハンガイ山脈の南部に位置するBayanbulag村の唯一の水源地である湧水年代は比較的長く、地下水の融解水が混合している可能性が示唆された。東シベリアの湧水を調べたHiyama et al. (2013)の研究と比較すると、モンゴル・ハンガイ山脈周辺域の湧水年代はバラエティーに富み、年代の古い地下水が湧出しているものもあることから、地球温暖化の影響を受けやすい地域であることがわかった。

まとめ

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した。その結果、湿潤環境では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いことがわかった。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。そして湧水年代からは、東シベリアに比べてバラエティーに富み、サーモカルストのような地下水に富む場所で湧出する湧水には地下水が融解した水が混入していることがわかった。今後は、湧水を少なくとも季節別に採水し、その季節変化を調べる必要がある。

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.
- 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.

永久凍土を利用した古環境復元の可能性
Potentialities of Permafrost usage for paleo-environmental
reconstruction

研究代表者：岩花 剛・アラスカ大学・国際北極圏研究センター

（研究目的）

近年、地球温暖化によって融解が危惧される永久凍土は、有機炭素や地下氷の巨大な貯蔵庫であり、第五次 IPCC 報告書では炭素循環における大きな不確定要素としてこの永久凍土変動を理解する重要性が強調されている。含水率および有機炭素含有率が高く、氷期から現在に続くまで消長の度合いが激しい永久凍土はエドマ層と呼ばれ、北東シベリアやアラスカの陸域に広く分布する。現在でも、気候変動による最も激しい永久凍土変化が観測されている地域である。しかし、これらの地域では氷河・氷床コアによる情報が得られないため、更新世から完新世前期の古環境復元が遅れている。

本研究では、これまでに永久凍土の古環境復元が進んでいない、東シベリアの中央ヤクーチアを中心とした最も大規模なエドマ層の分布域を対象として、地下氷およびエドマ堆積物を採取し、凍土中の有機物や水の同位体を利用した古環境復元を実施することを目的とする。

（研究方法と進捗状況）

研究期間 2 年目の本年度は、ロシア・サハ共和国北東部の Zyryanka 周辺での永久凍土試料の採取を予定通り 2017 年 7 月に実施した。Zyryanka 周辺では、7 地点のエドマ層のアイスウェッジ断面から試料を採取し、ヤクーツク永久凍土研究所の地下実験室に保管した後、2018 年 3 月に試料の予備処理を行った。Zyryanka 試料は、H30 年度に CT スキャンによる内部構造データの取得後に年代測定と地球化学的分析を行う予定である。

一方、アラスカ・ノーススロープにおいても追加の試料採取を行った。これらの試料の一部について、宇宙地球環境研究所の受け入れ研究者（檜山哲哉教授・南雅代准教授・池田晃子技術員）の協力と指導の下、氷試料の放射性炭素年代測定のため、堆積有機物についての前処

理と二酸化炭素精製を年代測定研究部の実験設備を利用して研究代表者が実施した。H30 年度に引き続き試料のグラファイト化を実施し、AMS 加速器によって放射性炭素濃度を測定して年代を決定する予定である。

H28 年度に前処理した放射性炭素年代測定試料（主にロシア・中央ヤクーチアで採取したもの）は、2018 年 3 月に測定が完了した。試料採取場所は、レナ川右岸、ヤクーツク市から約 150km 西（61° 58'N, 132° 36'E）の Churapcha および、約 90km 北東（62° 33'N, 130° 57'E）の Syrdakh である。

（研究結果と考察）

本報告では、ロシア・中央ヤクーチアで採取した地下氷の年代測定について考察する。Churapcha および Syrdakh における永久凍土の露頭からアイスウェッジ（IW）と考えられる地下氷の試料を採取した。IW が貫入する凍結堆積層中に見られた植物片、IW 中の土壌有機物（SOC）および溶存無機炭素（DIC）に対して放射性炭素年代測定を実施した結果を表 1 に示す。IW が貫入する堆積土層の年代は両サイトともに 22,344–24,484 year BP の範囲であり、ほぼ同時代の堆積層であると考えられる。IW 中の SOC 年代は、27,103–35,015 year BP、DIC 年代は、12,801–17,735 year BP であった。これらの年代を 2 地点で比べると、Churapcha の年代の方が数千年程度古い値を含むが、Churapcha 露頭では IW の成長方向に沿ってほぼ全体に亘って採取できた一方、Syrdakh では露頭面積が限られており、IW の一部分を測定している可能性を考えると年代測定結果から両 IW がほぼ同時期に発達したと仮定して考察を進める。

SOC 年代幅が約 8 千年である一方 DIC 年代幅が約 5 千年であり、SOC 年代と DIC 年代の絶対値は 1 万年から 2 万年の差異が見られた。DIC 年代は、試料処理時に年代の古い無機炭素が影響すると考えられたが、SOC 年代よりもかなり若い年代値を示した。IW 形成年代の決定には、IW 中の植物片を用いるのが最も正確と考えられるが、更新世後期の IW の場合、分解の進んでいない有機物の混入はほとんどなく、レスなどの鉱物土粒子が主な混合物である。Lachniet et al. (2012) は、アラスカ・フェアバンクス of 更新世後期の IW の年代について、SOC の値が実際の形成年代よりも 1 万年以上古く測定されると結論しているが、本測定でも同様に SOC 年代には周辺の古い年代を持つ有機炭素の再堆積による誤差が顕著に出たと考えられる。Lachniet et al.

(2012)は、IW の形成年代を最も正確に反映すると考えられる IW 中の溶存有機炭素（DOC）あるいは二酸化炭素やメタンを測定対象とすることを推奨している。これらの IW 中の DOC や温室効果ガスを用いた年代測定は来年度の課題である。DIC による年代決定の試みは、初めて実施されたものであるが、今後、上記の DOC の年代などと比較し、測定値の意味を考察する予定である。

表 1

ロシア・中央ヤクーチアの永久凍土試料の放射性炭素年代測定結果

Site ID	Sample ID	Location	C type	¹⁴ C 測定値		$\delta^{13}\text{C}$	備考
				year B.P.		‰	
Syrdakh	瑞C		DIC	21,120	±110	-32.3	NaOH添加
	中央A		DIC	18,540	±90	-33.6	NaOH添加
	#3	Lower right	DIC	12,801	±59	-9.4	
	#8	Middle right	DIC	12,954	±47	-12.0	
	#3	Lower right	SOC	27,103	±93	-23.9	
	#8	Middle right	SOC	29,861	±129	-25.6	
	Syrdakh-1	280-290cm	Plant	22,344	±67	-26.1	
	Syrdakh-2	280-290cm	Plant	22,669	±70	-26.6	
	Syrdakh-3	280-290cm	Plant	23,063	±62	-28.9	
Churapcha	Churapcha-1	280cm	Plant	24,484	±75	-22.4	
	C-09-4	4.0m_68-97cm	DIC	15,841	±52	-11.1	
	C-32	1.0m-V1.5m	DIC	17,735	±57	-12.0	
	C-33	4.0m-V1.5m	DIC	14,387	±41	-12.1	
	C-34	7.0m-V1.5m	DIC	15,761	±44	-11.8	
	C-09-4	4.0m_68-97cm	SOC	27,387	±96	-25.5	
	C-32	1.0m-V1.5m	SOC	33,687	±164	-22.9	
	C-33	4.0m-V1.5m	SOC	35,015	±168	-23.7	
	C-34	7.0m-V1.5m	SOC	27,389	±127	-25.3	

(参考文献)

Lachniet, M., Lawson, D., & Sloat, A. (2012). Revised ¹⁴C dating of ice wedge growth in interior Alaska (USA) to MIS 2 reveals cold paleoclimate and carbon recycling in ancient permafrost terrain. *Quaternary Research*, 78(2), 217-225. doi:10.1016/j.yqres.2012.05.007

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）

【目的】

永久凍土の表層の融解は、地表面付近の熱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の放出を通して気候変動にフィードバックすることで注目される。一方で、凍土地域の生態系の成立、維持に凍土が果たす役割は大きく、生態系の水・エネルギー・物質循環は凍土表層の融解・凍結過程に強く依存する。

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変動が著しく、森林の水・エネルギー・物質循環への影響があらわれている東シベリアの森林（Iijima et al., 2010; Ohta et al., 2014）を対象として、凍土季節融解層の時空間変動と森林の水・エネルギー・物質循環との関係を解明することを目的とする。この水・エネルギー・物質循環は大気と地中の熱や水分状態の形成に影響をおよぼすことから、東シベリアにおける凍土-植生-大気間の相互作用の解明は急務である。本研究の具体的課題として、①融解層深度と植生・土壌など、地表面環境との関係と②融解層深度の時間変化の要因を調査する。本年度は①を中心に実施した。

【方法】

2017年9月に東シベリアの Spasskaya Pad (SP) および Elgeei (EG) で凍土融解層の調査を実施した。両調査地はいずれもカラマツを中心にカンバやヤナギから構成される森林であるが、樹種構成比や土壌タイプ、降水量、土壌水分量に違いがある。各調査地の50×50mのグリッド測定（10-15m間隔で25点）と約1kmのトランセクト測定（50m間隔で18-24点）として、簡易貫入試験機（TW-035、坂田電機）を用いて凍土層上端深度（貫入抵抗 $N_c \geq 50$ に達した深度）を測定し融解深とした。同測定点で地温、林床被覆、開空度を記録した。他経費で実施した夏季や前年までの調査結果と合わせて、2015-2017年6-7月および9月における融解深の時空間変動を整理した。各グリッド内で連続測定されている地温の鉛直プロファイルを用いて同時期の融解深を推定した（現時点ではEGのみ推定を行い、SPでは複数の鉛直プロファイルが得られその扱いを検討中である）。

【結果・考察】

グリッド測定の貫入試験による融解深と地温プロファイルに基づく推定値の違いは秋季の方が大きく、最大の場合でも測定値の分布幅と同程度であった。トランセクト測定では植生や地形の変化のあるSPにおいて、融解深の変動幅がEGよりも大きかった。全体としては、融解深の平均値は2調査地の差異は小さかったが、変動幅および季節による違いがみられた（図1）。地温プロファイルによる融解深の推定では、融解時の潜熱吸収によるゼロカーテン現象により、ゼロ℃線として一意に決定する不確実性が残り（de Pabro et al., 2014など）、引き続き次年度の課題とする。

夏季融解中の活動層では、融解深が大きいほど N_c 値が小さく土壌が湿潤であることが示唆され、EGにおいても土壌水分が融解速度に影響を及ぼすこと（Iijima et al., 2010）を裏付けた。EGにおける土壌水分と N_c 値との関係については、次年度の現地調査にて確認する。秋季には N_c 値との関係は不明瞭となるが、融解深は林冠閉鎖度率とは正相関（融解深が深いところにカラマツ成木が多いことを反映）、林床・植生指標とは負相関（林床植生および有機層の断熱効果を示唆）がみられたが（図2）、先行研究（Fisher et al., 2016など）に比べると不明瞭であった。地表面の断熱効果については、疎林やツンドラを中心とした先行研究に比べて複雑な空間構造を持つ本調査地の森林では、多数の要素が影響すると考えられる。単相関ではなく複数要素との関係解析を引き続き次年度の課題とする。

【まとめ】

森林群落スケールの凍土季節融解層の融解深は、均一とみなせる50m以下の空間スケールでは夏季の活動層では湿潤土壌ほど融解深が深く、秋季の融解深（最大融解深＝活動層深とみなす）は樹木分布や林床植生との関係がみいだされた。50m以上のスケールでは樹種構成や立地が変化に対応して空間変動幅はより大きくなった。

【引用文献】

- de Pabro et al., 2014: Thermal characteristics of the active layer at the Limnopolar Lake CALM-S site on Byers Peninsula, Antarctica. *Solid Earth* **5**, 721–739.
- Fisher et al., 2016: The influence of vegetation and soil characteristics on active-layer thickness of permafrost soils in boreal forest. *Global Change Biology* **22**, 3127–3140.
- Iijima et al., 2010: Abrupt increase in soil temperature following increased precipitation in a permafrost region, central Lena river basin, Russia. *Permafrost and Periglacial Processes* **21**, 30–41.
- Ohta et al., 2014: Effects of waterlogging on water and carbon dioxide fluxes and environmental variables in a Siberian larch forest, 1998–2011. *Agricultural and Forest Meteorology* **188**, 64–75.

【成果発表】

Kotani A, Nakatsubo M, Ohta T, Hiyama T, Iijima Y, Maximov TC. Active-layer thickness at permafrost. Fifth International Symposium on Arctic Research. Tokyo. 15–18 Jan. 2018.

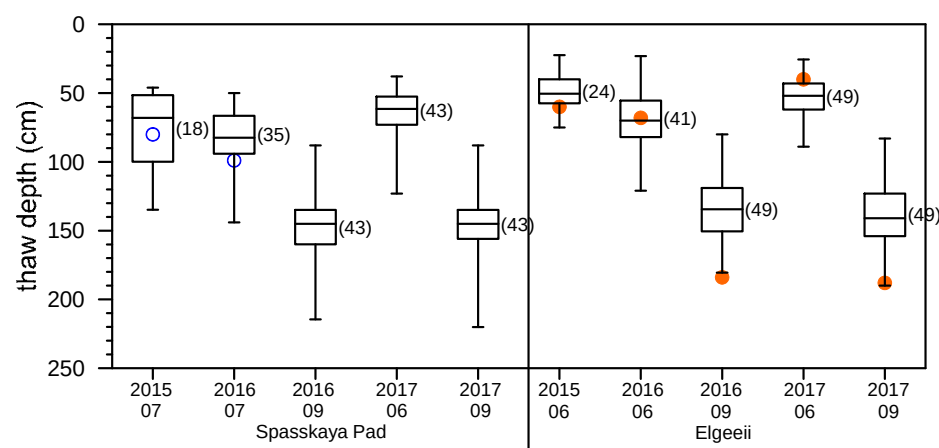


図1 簡易貫入試験による融解深。全測定値を箱ひげ図で中間値、第1・第3四分位、最大・最小値を示す。○は地温測定による推定値、()は測定点数を示す。

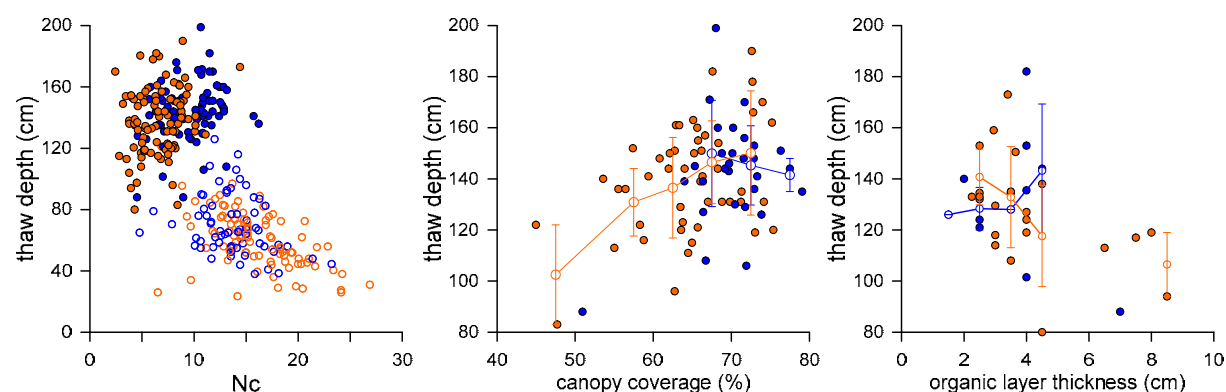


図2 融解深と貫入抵抗（左図：全測定点）、林冠閉鎖度（中図：2017年9月）、有機層厚（右図：2016年9月）との関係。青色でSP、オレンジ色でEG、左図では○6–7月と●9月を示す。中・右図では調査地ごとの区間平均値と標準偏差を示す。

イラン国内に分布するキルナ型磁鉄鉱-燐灰石 (IOA) 鉱床の年代測定と成因解析 Geochronology and genesis of Kiruna-type iron oxide-apatite (IOA) deposits in Iran

代表者: 浅原良浩、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
眞野航大、名古屋大学・大学院環境学研究科

[研究目的]

鉄鉱床の1つである磁鉄鉱-リン灰石(iron oxide apatite, IOA) 鉱床は、マグマ活動に関連して生成したものと考えられており、鉄だけでなく、レアアース(希土類元素: REE)資源としても期待されている。特にリン灰石は REE を高濃度に濃集する鉱物であり、その形成過程の解明は重要である。IOA 鉱床の一種であるキルナ型鉱床は、マグマの分化作用で形成されたと長年考えられてきたが、磁鉄鉱の酸素同位体比や流体包有物の均質化温度から、マグマ源に加え熱水作用の寄与もあるとの指摘もあり、依然として議論は続いている(e.g., Knipping et al., 2015; Nabatian et al., 2013)。これらの鉱床の成因解析のためには、鉱石と母岩の年代的、成因的關係を知ることが不可欠である。

本研究の研究対象は、イラン北西部のザンジャン(Zanjan)地域のキルナ型 IOA 鉱床である。ザンジャン地域は、アルプス造山帯アルボルス山脈にあり、始新世の火成活動が活発な地域である。本研究では、鉱石と鉱床母岩に対し、放射壊変系のストロンチウム(Sr)、ネオジム(Nd)同位体、鉄(Fe)の安定同位体、微量元素存在度、REE 存在度パターンを用いて、キルナ型鉱床の起源を探究した。

[研究方法]

ザンジャン地域での IOA 鉱床の現地調査と鉱石・鉱床母岩の試料採取については、科研費(基盤研究(A)海外学術)が採択されたため、当初計画のとおり、本研究の日本側メンバー2名(浅原、眞野)とイラン側メンバー1名(Azizi)とともに平成29年6月上旬に実施した。この現地調査は、当初計画のメンバーに加え、さらに1名のイラン側の研究者(Dr. Ali Akbar Baharifar, Payame Noor University)の支援を得て行った。この鉱床は後期始新世～前期漸新世(約40 Ma)の安山岩質の火成岩などを母岩としている(Nabatian et al., 2013)。現地調査では、先行研究(Azizi et al., 2009)で報告されているように数多くの断層が確認され、その周囲に塊状の鉱体を伴っていることが観察された。このザンジャンの IOA 鉱床およびその周辺地域から、鉱石とともに母岩試料の採取を行った。

分析試料は、塊状の磁鉄鉱と自形の燐灰石からなる鉱石および鉱床母岩である。鉱石試料は顕微鏡下で磁鉄鉱と燐灰石に分けたのち、酢酸、硝酸および塩酸を用いて段階的に(二次的な)方解石、燐灰石、磁鉄鉱の各成分を溶出した。一部の鉱石試料については、マイクロドリルで燐灰石部分と磁鉄鉱部分をそれぞれ採取し、酸溶出を行った。母岩試料については、粉末化の後にフッ化水素酸分解を行った。その後、鉱石、母岩試料ともに、陽イオン交換カラムと陰イオン交換カラムにより Sr、Nd、Fe を単離した。鉱石および鉱床母岩の試料の化学前処理は、浅原、南らが管理運営する試料前処理用クリーンルーム実験室(名古屋大学環境総合館内)で行った。

Sr 同位体比の測定は、名古屋大学環境学研究科内の表面電離磁場型質量分析計(TIMs: VG Sector 54-30)で、Nd 同位体比の測定は TIMs (GVI IsoProbe-T)で行った。Fe 同位体比の測定は、総合地球環境研究所(京都)および韓国地質資源研究院(KIGAM)の多重検出器付き磁場型 ICP 質量分析装置(MC-ICP-MS: Thermo Neptune plus)で実施した。Rb、Sr、REE を含む微量元素の定量分析は、環境学研究科内の誘導プラズマ質量分析装置(ICP-MS: Agilent 7700x)で、母岩試料の主成分元素の定量分析は蛍光 X 線分析装置(XRF: Rigaku ZSX Primus II)で行った。これらの同位体分析および定量分析は、共同研究者の Azizi が来日した平成29年7月～9月に集中的に実施し、その後データ解析を進めた。

[結果と考察]

磁鉄鉱、燐灰石の REE 濃度はともに高く(Σ REEs = 570~5900 ppm)、特に燐灰石は磁鉄鉱よりも約10倍高かった。磁鉄鉱・燐灰石ともに REE 存在度パターンが負の Eu 異常を示すが、その Eu 異常の程度は磁鉄鉱、燐灰石間に差はなく、ほぼ同一の起源物質から形成されたことが示唆される。一方、母岩試料は、弱い負～弱い正の Eu 異常を示した。鉱石が母岩より有意に大きな負の Eu 異常を持つこと、還元的環境下での長石類による Eu^{2+} の取り込みを考慮すると、磁鉄鉱・燐灰石は鉱床母岩のマグマの結晶分化過程後期に形成したと考えられる。

磁鉄鉱の Fe 同位体組成($\delta^{56}\text{Fe}$)は高温環境下(615~700℃)で形成された磁鉄鉱の $\delta^{56}\text{Fe}$ 値の範囲(+0.08~+0.86‰, Bilenker et al., 2016)に一致しており、ザンジャン地域の磁鉄鉱は高温環境下で形成されたことを示

唆している。また、磁鉄鉱、燐灰石の ϵ_{Nd} 値(+1.5~+2.6)は鉱床母岩の Zaker 石英モンズナイトの値(+1.8~+2.7)と調和的であり、磁鉄鉱・燐灰石がマグマ的な起源を持つことを示唆している。また、磁鉄鉱、燐灰石の Sr 同位体比 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)はそれぞれ 0.7052~0.7058、0.7049 であり、Nd 同位体と同様にマグマ的な値を示した。特に燐灰石の Sr 同位体比は Zaker 石英モンズナイトの値(0.7046~0.7050)と一致することから、これらの Sr の起源は同一であると考えられる。これに対し、磁鉄鉱の値が燐灰石、Zaker 石英モンズナイトの値よりもやや高いことは、それらとは異なる起源を持つ、もしくは同じ起源を持つが熱水の影響を受けその値が高くなったことが考えられる。

以上の結果から、ザンジャン地域のキルナ型鉱床の形成過程は次のように考えられる。まず、マグマの結晶分化作用により長石類に Eu が分配され、その Eu に乏しいマグマから、母岩の Zaker 石英モンズナイトと同じ Sr 同位体比を持つ燐灰石が形成される。その後、マグマは安山岩質の周辺母岩を溶かし込み、燐灰石よりも少し高い Sr 同位体比を持つ磁鉄鉱を形成する。断層により規制された塊状の鉱体が現地調査で観察されたこと、Fe 同位体組成が高温環境下での磁鉄鉱の形成を示唆していること、などを考慮すると、マグマから直接生じるマグマ熱水が鉱化作用を引き起こしたことが考えられる。つまり本研究の結果は、ザンジャン州に産するキルナ型鉱床の成因がマグマ熱水で形成された、熱水性鉱床であることを支持している。

[引用文献]

- Azizi, H., Mehrabi, B. and Akbarpour, A. (2009) Genesis of tertiary magnetite–apatite deposits, southeast of Zanjan, Iran. *Resource Geology* **59**, 330-341.
- Bilenker, L.D., Simon, A.C., Reich, M., Lundstrom, C.C., Gajos, N., Bindeman, I., Barra, F. and Munizaga, R. (2016) Fe–O stable isotope pairs elucidate a high-temperature origin of Chilean iron oxide-apatite deposits. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **177**, 94-104.
- Knipping, J.L., Bilenker, L.D., Simon, A.C., Reich, M., Barra, F., Deditius, A.P., Lundstorm, C., Bindeman, I. and Munizaga, R. (2015) Giant Kiruna-type deposits form by efficient flotation of magmatic magnetite suspensions. *Geology* **43**, 591- 594.
- Nabatian, G. and Ghaderi, M. (2013) Oxygen isotope and fluid inclusion study of the Sorkhe-Dizaj iron oxide-apatite deposit, NW Iran. *International Geology Review* **55**, 397-410.

[成果発表]

論文

- Azizi, H., Haddad, S., Stern, R.J., Asahara, Y. 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*, DOI:10.1080/00206814.2017.1422394 (in press)

学会発表

- 眞野航大, 浅原良浩, 壺井基裕, Hossein Azizi. Sr 同位体および REE パターンを用いたキルナ型鉱床の成因の考察. 2017 年度資源地質学会年会講演会, 東京大学本郷キャンパス(東京都), 2017 年 6 月.
- 眞野航大, 浅原良浩, 壺井基裕, Hossein Azizi, 申基澈. イラン・ザンジャン州のキルナ型鉱床の岩石学的、地球化学的特徴. 2017 年度日本地球化学会第 64 回年会, 東京工業大学(東京都), 2017 年 9 月.
- 眞野航大, 浅原良浩, 壺井基裕, Hossein Azizi, 申基澈. 北西イラン・ザンジャン地域のキルナ型鉱床の Sr-Nd-Fe 同位体分析. 第 7 回同位体環境学シンポジウム, 総合地球環境学研究所(京都市), 2017 年 12 月.
- 眞野航大, 浅原良浩, 壺井基裕, Hossein Azizi, 申基澈, Seung-Gu Lee. キルナ型鉱床の成因に関する Sr-Nd-Fe 同位体組成からの制約. 第 30 回宇宙地球環境研究所年代測定研究シンポジウム, 名古屋大学研究所共同館 II(名古屋市), 2018 年 2 月.

炭質物ラマン温度計とCHIME年代測定法を組み合わせた台湾造山帯の形成史解明
Elucidation of formative history of Taiwan mountain belt combining
Raman carbonaceous material geothermometer and CHIME chronology

瀨 瀨 佑 衣（名古屋大学・大学院環境学研究科）

【研究目的】

台湾は、約6.5 Maに始まり現在も続いているユーラシアプレートとフィリピン海プレートに属する火山弧の衝突によって、3000m級の山脈が連なる衝突型造山帯が形成されている。この台湾造山帯は非常に若い変成作用を被った造山帯であり、その変成条件と年代を制約する事は、現在進行形の造山運動の発達史を理解する上で、非常に重要な地域であると言える。台湾造山帯は、西から東に向かって変成度が上昇する事が知られているが、主に付加体堆積物から構成されているため、定量的な変成温度圧力条件の解析が困難である。加えて、急峻な地形と植生のため、緻密な試料採取に基づく岩石学的分析が進んでいない。これまで、東部のYuli帯において、塩基性－超塩基性岩体における鉱物の化学組成を基にした熱力学的変成条件の解析によって、それらの岩体は周囲の大部分を占める変泥質岩とは異なる高変成度を経験したTectonic Blockとして解釈されてきた。しかし、近年の研究では、Yuli帯の変泥質岩類も高変成度の変成作用を被っている可能性が指摘されており（Keyser et al., 2016）、台湾造山帯の発達史を大幅に見直す必要があると考えられている。本研究では、台湾の地質に精通している国立東華大学のChin-Ho Tsai准教授と協力し、炭質物ラマン温度計と年代測定を用いた試料の分析を通じて、台湾造山帯の地質構造、及び変成履歴を明らかにすることを目的とする。

【研究方法】

本年度は、Tsai准教授の指導学生であるChih-Ying Yehさんを招聘し、台湾東部Yuli帯Juisui地域で採取された15試料の変泥質岩について炭質物ラマン温度計を用いた変成温度の見積り解析を行った（図1）。採取された試料は薄片にし、試料中に含まれる炭質物のラマン分光分析を行った。分析に用いたラマン分光装置は、名古屋大学大学院環境学研究科 地質・地球生物学講座に設置されているThermo Scientific社製のNicolet Almega XRを用いた。分析条件及び温度見積もりは、炭質物ラマン温度計について報告したAoya et al. (2010)に従った。

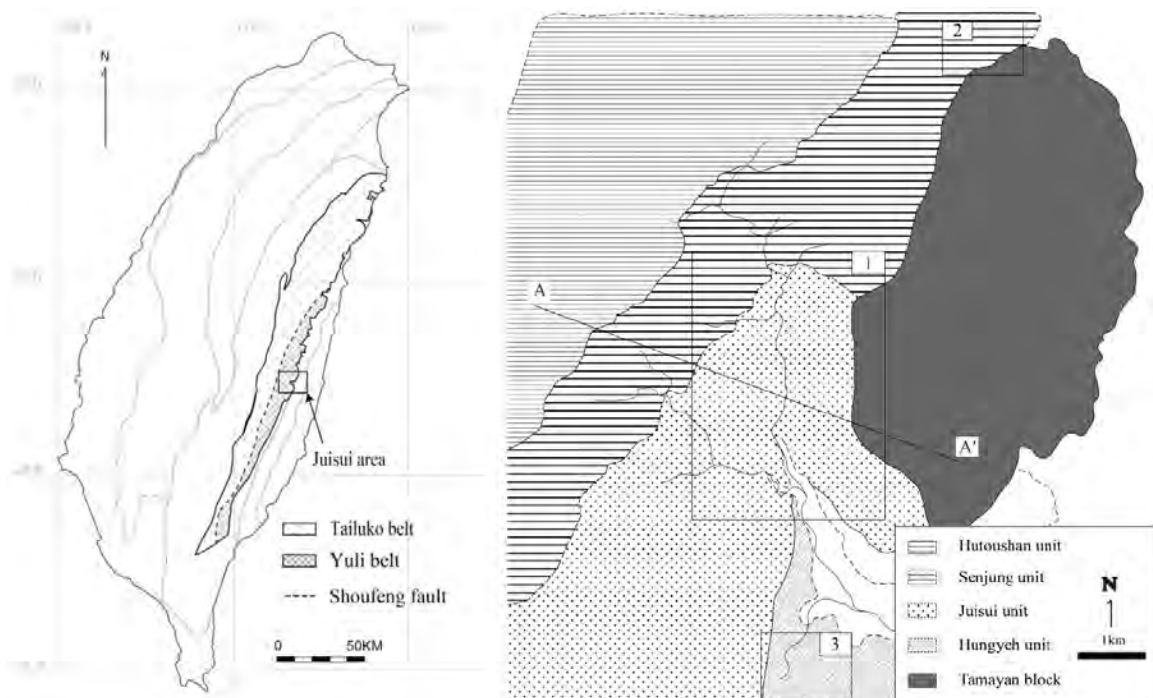


図1 台湾東部Yuli帯の分布とJuisui地域のユニット区分図

【研究結果】

試料は構造的上位のSenjung unitから1試料、中位のJuisui unitから11試料、下位のHungyeh Unitから3試料を分析した。構造的上位のSenjung unitと下位のHungyeh unitは同程度の見積もり温度を示し、平均値は380–400 °C程度であった。また、最低値と最高値の差は最大でも70°C程度で、試料内での大きなばらつきは見られなかった。一方、構造的な中位のJuisui unitは最高値と最低値の差が100°C以上あり、ヒストグラムで見るとバイモーダルなばらつきを示すものが多数確認された。得られた温度は他の2つのユニットよりも高温を示し、最大で600°C以上を示す試料もあった。

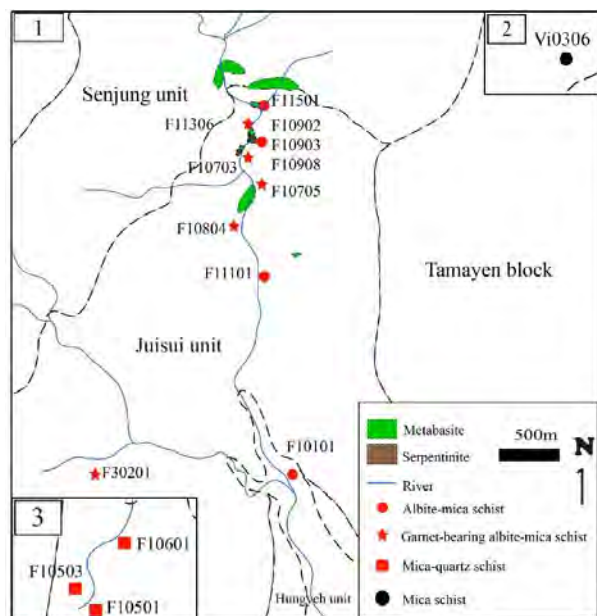


図2 試料採取地点

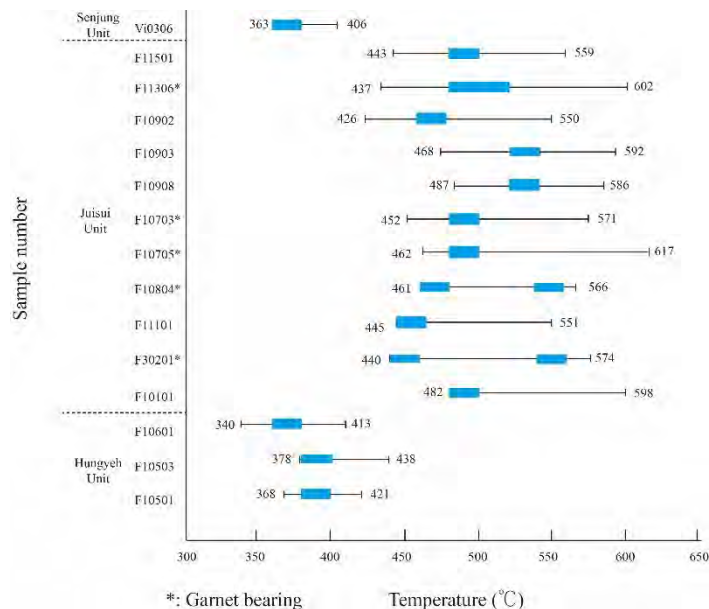


図3 見積もり温度の箱ひげグラフ

【考察】

Senjung unitとHungyeh unitで得られた見積もり温度は380°Cから400°C程度であり、試料内のばらつきは小さいことから、この温度がピーク温度であると解釈できる。一方、Juisui unitで得られた見積もり温度はばらつきが非常に大きく、単に平均値をとるだけでは地質学的に意味のある数字とは言えない。このJuisui unitの近くには、高変成度を経験したTectonic blockと解釈されているTamayen blockが接しており、Juisui unitが全体的に周りのunitよりも高温を示すことから、Juisui unitも高変成度を経験した可能性が示唆される。一方、見積もり温度値のばらつきが大きい原因については、碎屑性炭質物の混入が考えられるが、この仮説を検証するため、次年度に予定しているジルコンの年代測定結果と組み合わせてさらなる考察を進めていく予定である。

【引用文献】

- Aoya, M., Kouketsu, Y., Endo, S., Shimizu, H., Mizukami, T., Nakamura, D., Wallis, S., 2010. Extending the applicability of the Raman carbonaceous-material geothermometer using data from contact metamorphic rocks. *Journal of Metamorphic Geology* 28, 895–914.
- Keyser, W., Tsai, C.-H., Iizuka, Y., Oberhänsli, R., Ernst, W.G., 2016. High-pressure metamorphism in the Chinshui area, Yuli belt, eastern Taiwan. *Tectonophysics* 692, 191–202.

【成果発表】

該当なし

プラズマ圏質量密度の長期モニタリングと経度比較研究
Long-term monitoring and study of meridional structure of
plasma mass density in the plasmasphere

尾花由紀・大阪電気通信大学・工学部基礎理工学科

研究概要

ULF帯の地磁気脈動には、磁力線共鳴振動の性質を持つものがあり、この共鳴振動数を観測することで、磁気圏内のプラズマ質量密度を推定することができる。本研究では、これから迎える太陽極小期に向けてプラズマ質量密度の長期モニタリングを行うことを目的に、ニュージーランドで地磁気多点観測を行った。また、ニュージーランド、ヨーロッパ、アメリカ経度帯の地磁気観測データを解析して磁気嵐中のプラズマ圏密度変化を調査し、Ionosphere Plasmasphere Electrodynamics (IPE) Modelの計算結果と比較した。

研究方法

申請者は2010年度より名古屋大学太陽地球環境研究所「地上ネットワーク観測大型共同研究」等の助成を受け、ニュージーランドにMiddlemarch (MDM, 45.6°S, 170.1°E, L=2.78), Te Wharau (TEW, 41.2°S, 175.8°E, L=2.19)の地磁気観測点を構築してきた。この地域には、MDM, TEWのほかにINTERMAGNET観測点であるEyrewell (EYR, 43.4°S, 172.4°E, L=2.47)がある。この3点のデータを解析し、磁力線共鳴周波数を検出、波動方程式を解くことで、この経度帯のL=2.3-2.6の赤道面プラズマ質量密度を推定することができる。

2017年度はIPE modelの磁気圏側の観測結果との比較研究として、2013年3月及び2015年3月に発生した2つのSt. Patrick's Day磁気嵐イベント、および2017年9月の磁気嵐イベントについてプラズマ圏の変動を調査した。解析にはニュージーランドの地磁気データのほか、北米、ヨーロッパの地磁気データ、あけぼの衛星PWS観測データ、Van Allen Probes衛星のEMFISIS観測データ、HOPE観測データ、ARASE衛星PWE-HFAデータ、MGFデータ等を合わせて解析し、プラズマ圏プラズマの各イオン種が磁気嵐各相で再配置されていく様子を調査した。

研究結果とまとめ

2013年3月及び2015年3月に発生した2つのSt. Patrick's Day磁気嵐イベントでは、プラズマ圏のerosion, plume構造の形成が確認され、さらにplumeが昼側磁気圏界面へと輸送される様子も観測から確認された。一方、IPEモデルの計算結果では、plumeとそれに対応するTongue of ionizationが再現された。またこれらの構造形成に関する磁気圏・電離圏結合過程は対流電場によるExB driftによる輸送が主であることが確認された。

次のステップとして、最近注目が集まる2017年9月の磁気嵐イベントを解析した。観測結果としては、主にARASE衛星のPWE-HFAデータによ

って、昼側磁気圏で深部 ($L < 1.6$) までの erosion が観測された。また plume 構造も確認された。これに対し IPE モデルの計算結果では、Weimer potential model を導入して計算したところ、Cross Polar Cap Potential は最大で 350kV という大きな値を示したにもかかわらず、上記の深い erosion は再現できなかった。Weimer potential model では電場の分布が高緯度に限られるため、低緯度への電場侵入を人為的に作って再計算すると、夜側磁気圏では $L \sim 1.6$ 付近までの erosion が再現されたが昼側ではこのような erosion を起こせなかった。今後、過遮蔽電場、SA PS 等の影響を組み込んで研究を進める予定である。

成果発表

原著論文

1. Mark A. Clilverd, Craig J. Rodger, James B. Brundell, Michael Dalzell, Ian Martin, Daniel H. Mac Manus, Neil R. Thomson, Tanja Petersen, Yuki Obana, 'Long-Lasting Geomagnetically Induced Currents and Harmonic Distortion observed in New Zealand during the 7-8 September 2017 Disturbed Period', submitted for Space Weather (under review).

学会発表

1. Yuki Obana, Naomi Maruyama, Masahito Nosé, Ayako Matsuoka, Mariko Teramoto, Reiko Nomura, Akiko Fujimoto, Yoshimasa Tanaka, Manabu Shinohara, Yoshizumi Miyoshi, Iku Shinohara, 'Study of plasmaspheric refilling using data from the ERG-MFG, the VAPs-EMFISIS, the ground-based magnetometers and the IPE model (Oral)', 第142回地球電磁気・地球惑星圏学会総会及び講演会, 2017年10月15日～10月19日, 京都大学宇治キャンパス, 京都.
2. Naomi Maruyama, George H Millward, Robert Oehmke, Cecelia DeLuca, Raffaele Montuoro, Tzu-Wei Fang, Timothy J Fuller-Rowell, Mariangel Fedrizzi, Joseph A Schoonover, Rashid A Akmaev, Houjun Wang, Zhuxiao Li, Valery Yudin, Weiyu Yang, Mark Iredell, Samuel Trahan, Anthea J Coster, Yuki Obana, Michael Denton, Michael G Henderson, Jacques Middlecoff, Mark Goveett, Rodney A Viereck, Philip G Richards and Adam Kubaryk, 'Evaluating the Impact of Whole Atmosphere Coupling on Storm Time Response in the Ionosphere and Plasmasphere (Oral)', American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting, 11-15 Dec, 2017, New Orleans, USA.
3. Yuki Obana, Naomi Maruyama, Nosé Masahito, Ayako Matsuoka, Mariko Teramoto, Reiko Nomura, Akiko Fujimoto, Yoshimasa Tanaka, Manabu Shinohara, Yoshiya Kasahara, Shoya Matsuda, Atsushi Kumamoto, Fuminori Tsuchiya, Miyoshi Yoshizumi and Iku Shinohara, 'The Study of the plasmaspheric refilling using the data from the ERG, the VAPs, the ground-based magnetometers and the IPE model (Oral)', American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting, 11-15 Dec, 2017, New Orleans, USA.

赤道域地磁気変動の稠密観測に基づく太陽地球環境変動モニタリングシステムの開発

Development of Solar-terrestrial monitoring system based on the dense EEJ observation

吉川 顕正、九州大学・国際宇宙天気科学・教育センター

磁気赤道領域は太陽風-磁気圏-電離圏-大気圏結合系の終着点であり、主磁場が電離層と完全に平行となる幾何学的構造に起因する電気電導度の局所的増加のため、宇宙天気変動の様々な様相が赤道ジェット電流(以下、EEJ)の異常増幅・減衰成分として観測される特異な領域として知られている。しかしながらこうした、EEJ変動を確率、或いは定量的に捉え、太陽地球環境変動監視に役立てようとする試みはこれまで殆ど行われていなかった。

本研究では、EEJ変動から太陽地球環境変動の特性を定量的に捉える事を目的として、(1) EEJの全球変動、及び緯度方向の稠密構造変動を捉える為の全球磁気赤道観測網の構築、(2) EEJの総電流量、緯度方向微細構造、擾乱時強度、振幅の経度依存性等の基本特性を定量化する新型 EE-INDEXの開発、(3) EE-indexの短期・長期変動成分の詳細解析による、「PC指数では捉えきれない磁気圏最深部まで侵入してくる太陽風擾乱」、「IMF反転に伴う極冠電位の急変と低緯度地域の磁場の増減」、「放射線帯電子フラックス変動の要因である太陽風構造特性を推定するプロキシとしての活用評価」、「磁気嵐に起因するプラズマバブルトリガーパターン」、「電離圏ダイナミクスに寄与する短期大気圏擾乱の発現特性」、「EEJと結合した太陽活動ならびに大気圏運動の長周期変動特性」等を定量化・可視化する太陽地球環境インデックスの開発、(4)赤道データ統合環境の構築により、(1)で取得されたデータを準リアルタイム公開し、(2),(3)にあげた本研究を促進する環境を整え、更にそれらの成果を既存の分野横断的大型データベースに統合化する為の調査研究を実施している。

今年度は、南米ペルー域の稠密観測網及びそのリファレンスデータを与えるオーストラリアの地磁気観測点を整備するとともに、ペルーのワンカイヨにFM-CWレーダーを設置、テスト稼働までこぎつけ、EEJの動態を精査するための環境を整えた。構築された南米域の観測網データから、磁気嵐の初層、主相、回復層におけるEEJのLT分布及び緯度方向の2次元構造の可視化に成功した。特に主相、回復層における特異性は著しく、EEJは磁気赤道に於いて午前中、午後にダブルピークを有するLT分布を示すとともに、経度方向には、磁気赤道向けて最も振幅が小さくなるすり鉢構造を持つ事が初期結果として得られた。この結果は現在検証中である。また、プラズマバブルの抑制要因と何らかの関係があると思われるCEJについて調査したところ、CEJの要因が月潮汐と関連している場合はプラズマバブルの発生頻度を抑え込むが、その要因がSporadic E層の出現であれば、プラズマバブルの発生について影響がないことを明らかにした。

論文リスト

1. Yoshikawa A., and R. Fujii (2018), Earth's Ionosphere: Theory and Phenomenology of Cowling Channels, in *Electric Currents in Geospace and Beyond* (eds A. Keiling, O. Marghitu, and M. Wheatland), John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, N.J., doi: 10.1002/9781119324522.ch25
2. Seki, K., Miyoshi, Y., Ebihara, Y., Katoh Y., Amano T., Saito S., Shoji M., Nakamizo A., Keika K., Hori T., Nakano S., Watanabe S., Kamiya K., Takahashi N., Omura Y., Nose ., Mei-Ching Fok., Tanaka T., Ieda A., and Yoshikawa A., (2018), *Earth Planets Space* (2018) 70: 17. <https://doi.org/10.1186/s40623-018-0785-9>
3. ZZ Abidin, MH Jusoh, M Abbas, A Yoshikawa (2018), Application of solar quiet (Sq) current in determining mantle conductivity-depth structure in Malaysia, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2018.01.019> in press.
4. ZZ Abidin, MH Jusoh, M Abbas, OS Bolaji., and A. Yoshikawa (2018), Features of the inter-hemispheric field-aligned current system over Malaysia ionosphere, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2018.01.012>,
5. Kasran F.A.M., Jusoh M.H., Yoshikawa A., Radzi Z.M., MAGDAS/CPMN Group (2018), The Time Derivative of the Horizontal Geomagnetic Field for the Low Latitude MAGDAS Langkawi Station for the Estimation of Geomagnetically Induced Current. In: Suparta W., Abdullah M., Ismail M. (eds) *Space Science and Communication for Sustainability*. Springer, Singapore, https://doi.org/10.1007/978-981-10-6574-3_6
6. Yagova, N.V., Heilig, B., Pilipenko, V.A, Yoshikawa A., Nosikova N.S., Yumoto K., and Reda J. (2017), *Earth Planets Space* 69: 61, <https://doi.org/10.1186/s40623-017-0647-x>
7. Imajo, S., A. Yoshikawa, T. Uozumi, S. Ohtani, A. Nakamizo, and P. J. Chi (2017), Application of a global magnetospheric-ionospheric current model for dayside and terminator Pi2 pulsations, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 122, 8589–8603, doi:10.1002/2017JA024246.
8. S.A. Bello, M. Abdullah, N.S.A. Hamid, A. Yoshikawa, A.O. Olawepo (2017), Variations of B0 and B1 with the solar quiet Sq-current system and comparison with IRI-2012 model at Ilorin, *Advances in Space Research*, Volume 60, Issue 2, 2017, Pages 307-316, ISSN 0273-1177, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2017.02.003>.
9. R. A. Marshall, A Kelly, T Van Der Walt, A Honecker, C Ong, D Mikkelsen, A Spierings, G Ivanovich, A Yoshikawa (2017), "Modeling geomagnetic induced currents in Australian power networks," in *Space Weather*, vol. 15, no. 7, pp. 895-916, July 2017. doi: 10.1002/2017SW001613
10. D. Baishev, S. Samsonov, A. Moiseev, R. Boroev, A. Stepanov, V.K. Vladi, A. Korsakov, A. Toropov, A. Yoshikawa, K. Yumoto (2017), Monitoring and investigating space weather effects with meridional chain of instruments in Yakutia: a brief overview, *Solnechno-Zemnaya Fizika*, 3, (2), 27-35.
11. A Moiseev, D Baishev, V Mishin, T Uozumi, A Yoshikawa, A Du (2017), Features of formation of small-scale wave disturbances during a sudden magnetospheric compression, *Solnechno-Zemnaya Fizika* 3 (2), 36-44
12. W N I Ismail , N S A Hamid, M Abdullah, A Yoshikawa and T Uozumi (2017), Longitudinal Variation of EEJ Current during Different Phases of Solar Cycle, *J. Phys.: Conf. Ser.* 852 012019
13. N S A Hamid, H Liu T Uozumi³, A Yoshikawa and N M N Annadurai (2017) Peak time of equatorial electrojet from different longitude sectors during fall solar minimum , *J. Phys.: Conf. Ser.* 852 012015
14. Hui, D., D. Chakrabarty, R. Sekar, G. D. Reeves, A. Yoshikawa, and K. Shiokawa (2017), Contribution of storm time substorms to the prompt electric field disturbances in the equatorial ionosphere, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 122, 5568–5578, doi:10.1002/2016JA023754.
15. SA Bello, M Abdullah, NSA Hamid, A Yoshikawa, AO Olawepo, Variations of B0 and B1 with the (solar quiet Sq-current system and comparison with IRI-2012 model at Ilorin, *Advances in Space Research*, 2017, accepted
16. Wang, G. Q., M. Volwerk, T. L. Zhang, D. Schmid, and A. Yoshikawa (2017), High-latitude Pi2 pulsations associated with kink-like neutral sheet oscillations, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 122, 2889–2899, doi:10.1002/2016JA023370.
17. Nurul Shazana Abdul Hamid, Wan Nur Izzaty Ismail and Akimasa Yoshikawa, Latitudinal Variation of Ionospheric Currents in Southeast Asian Sector, *Advanced Science Letters* 23(3):1444-1447 · February 2017, DOI: 10.1166/asl.2017.8358.
18. Nurul Shazana Abdul Hamid, Wan Nur Izzaty Ismail and Akimasa Yoshikawa , Longitudinal Profile of the Equatorial Electrojet Current and Its Dependence on Solar Activity, *Advanced Science Letters* 23(2):1357–1360 · February 2017, DOI: 10.1166/asl.2017.8372.
19. MO XiaoHua, ZHANG, DongHe, Larisa GONCHARENKO, ZHANG ShunRong, HAO YongQiang, XIAO Zuo, PE JiaZheng, Akimasa YOSHIKAWA, and CHAU HaDuyen, Meridional movement of northern and southern equatorial ionization anomaly crests in the East-Asian sector during 2002–2003 SSW, *Science China Earth Science* · February 2017, DOI: 10.1007/s11430-016-0096-y
20. Yi Zhang, Z. Zeng, L. Yao, Y. Yokota, Y. Kawazoe, and A. Yoshikawa (2017), Skin Effect of Rotating Magnetic Fields in Liquid Bridge, *Journal of Magnetism* 22(2):333-343, DOI10.4283/JMAG.2017.22.2.333.

第24太陽活動期における極域から低緯度までの大気中宇宙線生成核種の濃度変動の観測研究

Observation of cosmogenic nuclides at high, mid, and low latitude sites during the 24th solar cycle

門叶冬樹、山形大学・理学部

研究目的

宇宙線が地球大気と衝突して大気中に生成する宇宙線生成核種は、2つの重要な役割を担っている。1) 宇宙線生成核種は、生成の閾値が約10 MeVであるため低エネルギーの宇宙線に対するレスポンスを持っており、中性子モニターよりも低エネルギーの太陽モジュレーションを調べることができる。2) 宇宙線生成核種は、大気中の成層圏および対流圏で生成されエアロゾルに付着し、あるいは気体となり地表に降下するため、大気の流れ・拡散等の運動をモニターでき地球大気への太陽活動の影響を調べることができる。長い半減期のC-14やBe-10等の宇宙線生成核種は、過去の宇宙線強度変動、太陽活動、そして地球環境変動の探索に重要なツールである。一方、宇宙線、太陽活動、そして地球環境についてのデータが整っている現代において、短い半減期53日をもつ宇宙線生成核種Be-7の詳細な観測は、3つの要因それぞれの変動関係を明らかにする上で重要である。さらに過去の太陽フレア等の探索を精密化するためのフィードバックともなり重要である。

本研究は、第23太陽活動期における観測の蓄積に基づき、極めて特徴的な第24太陽活動期の停滞期から上昇期、そして下降期の宇宙線生成核種の大気中濃度変動を地球規模により連続観測するものである。これにより太陽活動の地球環境へおよ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大きな意義がある。中緯度（山形）と高緯度（アイスランド）での宇宙線生成核種Be-7の長期観測結果および低緯度（タイ、バンコク）で得られた2017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バンコク（北緯13.4°）に各々ハイボリウムエアサンプラー（HV1000F、HV500R、吸引量500～1000 L/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

図1は、高緯度（アイスランド）、中緯度（山形）および低緯度（バンコク）の大気中Be-7濃度、太陽黒点数（SSN）、Thule（北緯76.5°cut-off rigidity 0 GV）での地上中性子強度の2000年から2017年10月までの年変動を示している。本継続観測は、第23太陽活動期の後半から第24太陽活動期をカバーしている。第24太陽活動期のピーク付近（2012～2014）の黒点数は第23太陽活動期（2000～2002）に比べて43%減少

しているのに対して山形のBe-7濃度は同時期において42%の増加を示した。二つの太陽活動周期のBe-7濃度の変動は、太陽黒点数の変動と逆相関で良い一致を示しており大気中宇宙線生成核種の地表濃度は異なる太陽活動周期の変動を表していることが分かる。

また、第23期から第24太陽活動期の周期長を12年とすると高緯度のアイスランドの第24太陽活動下降期（2016～2017）のBe-7濃度は、第23期（2004～2005）に対して23%増加を示しており、アイスランドにおいても異なる太陽活動期の太陽活動の変動を表していると考えられる。

一方、バンコクのBe-7濃度は、2014年から下降しており山形およびアイスランドと異なった年変動を示している。バンコクのガラスろ紙試料では地中から大気中に拡散しているRn-222の娘核種である大気中のPb-210濃度もBe-7濃度と同時に測定を行っている。図2は、バンコクにおけるBe-7濃度、Pb-210濃度、降雨量、およびPb-210濃度で正規化したBe-7濃度の各年平均の変化を各々示している。2017年のBe-7濃度およびPb-210濃度は2015年に対して各々11.2%、22.4%の減少を示しているが降雨量は61.5%の増加を示した。降雨がwash-outのようにエアロゾルを除去し、バンコクの地表Be-7濃度およびPb-210濃度に影響を与えていることは確かである。しかし、Be-7とPb-210では影響度が異なっておりエアロゾルの粒径や高度分布と雨の成長高度が関係していると考えられる。2017年のBe-7/Pb-210の濃度比は、2015年に対して7.6%増加しており中緯度（山形）の3年間での増加9.3%に近い値を示している。

第24太陽活動期の11年周期は、ここ数年以内で極小になると思われる。北半球3地点での継続観測は、これまでの観測データと比較して大気中宇宙線生成核種の地球規模での太陽活動への応答の詳細を調べるために極めて重要となる。

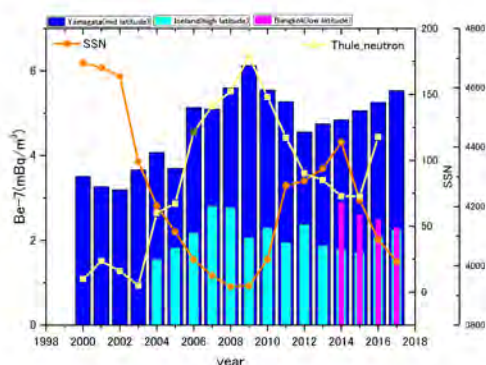


図1 山形、アイスランドおよびバンコクでのBe-7濃度の年変動

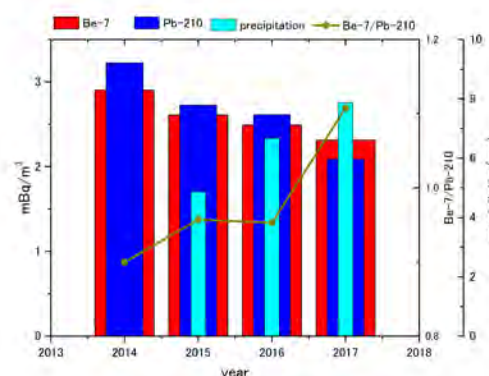


図2 バンコクでのBe-7濃度、Pb-210濃度、降雨量およびBe-7/Pb-210の年変動

北極域総合観測と大気圏・電離圏統合モデル・シミュレーションによる極域熱圏・電離圏変動の研究

Studies of variations of the polar thermosphere and ionosphere with multi-instrument observations and GCM simulations

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)。下層大気起源の熱圏変動に関しては、ナトリウム (Na) ライダー観測を中心に大気潮汐や大気重力波散逸に起因すると考えられる Na 密度変動、温度変動の観測に成功している(Nozawa et al., JGR 2014; Takahashi et al., AnGeo 2014, 2015; JGR 2017)。

これまでの研究経緯を踏まえ、様々なタイプの極冠域へのエネルギー・運動量流入の形態や大気上下結合過程を観測的に理解する (EISCAT レーダーを中心とした北極での総合観測: EISCAT レーダーに加えて、Na ライダーや MF レーダー観測などを実施し、太陽風、地磁気等のオープンなデータを活用する)。また、ロングイアビン (北緯 78.2 度、東経 16.0 度) とトロムソ (北緯 69.6 度、東経 19.2 度) での電離圏変動は地磁気静穏時・擾乱時ともに大きく異なることがこれまでの観測から明らかになっているが、その成因を明らかにする。上記総合観測に加え、極域へのエネルギー流入と熱圏・電離圏変動との関係を GCM シミュレーションにより精査する。

本研究課題における GCM シミュレーションは、名古屋大学宇宙地球環境研究所が中心となって進めている PSTEP プロジェクトと密接に関連し、太陽活動が地球大気の組成変動やエネルギー収支に及ぼす影響を定量的に評価することを目指している。本申請代表者は、PSTEP プロジェクトの科研費(課題名: 中間圏・下部熱圏 H₂O・HO_x 光化学モデルの開発研究)に採択されており、科研費研究課題と ISEE 共同研究課題とが連携することにより、さらに広範囲なテーマについて国際共同研究を展開しようという試みでもある。

本研究課題はまた、VarSITI プログラムにおける「太陽活動が超高層・中層・下層大気に与える影響の解明」、ISWI とも密接な関係を有する。すなわち、本研究課題では、現在特異な状況にある太陽活動と超高層大気変動との関係を精査し、太陽-地球システムに内在するエネルギー結合過程に関する物理機構の解明を目指すものである。

研究方法 (使用した共同研究利用装置・施設等を含む)

2つのサイト(トロムソ, ロングイアビン)での EISCAT レーダー, 及び Na ライダー等により電離圏, 熱圏大気温度変動を観測する。これらの観測に基づき, 広範な緯度領域での昼側電離圏の高速プラズマ流と加熱について定量的に理解する。また, GCM シミュレーション等により, 電離圏変動に伴う熱圏変動のメカニズムについて理解する。

研究結果

2017年3月27日の EISCAT レーダー観測データの解析

2017年3月27日には磁気嵐が発生し, $K_p \sim 5-6$ となった。地磁気擾乱時のデータは当研究グループでの観測例は2012年以來であり, 極冠域とオーロラ帯での電離圏擾乱の特徴を調べる上で極めて有効と考えている。特に昼側電離圏への高エネルギー粒子の降り込みを示す電子密度増大が高度 70 km においても見られていたことは特筆すべき結果である。当研究グループで開発を進めている数値モデル(降下粒子による種々の化学過程モデル)計算によれば, 数 100 keV から 1 MeV 程度のエネルギーを持った粒子の降り込みがあったと考えられる。

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, 2018年3月20日, 21日の 7:00-13:00 UT に EISCAT 特別実験を実施した。太陽活動は極小期へ入っており, 日々の F10.7 インデックスは2月20日から 70 前後でほぼ一定となっていた。観測日の地磁気活動は, $K_p=1 \sim 2$ であり, 地磁気静穏時であった。3方向にビームを固定して ESR(32m: 仰角 30 度方向, 42m: 沿磁力線方向), EISCAT UHF レーダー(仰角 30 度方向)の同時観測を実施した。特に 21 日の観測時間帯においては, 太陽風磁場 B_z 成分がほぼ北向きのまま維持されており, 通常とは異なった極域へのエネルギー流入が生じていたと考えられる。緯度 80 度付近において, イオンドリフト速度の周期的な変動(10~20 分周期)や, 大きなシア(イオン運動の向きの反転)が見られた。

Na ライダー観測

EISCAT レーダー観測に加えて, 下層大気と熱圏・電離圏との結合過程について調べるために, トロムソにて Na ライダー観測を実施した。これまで取得された Na ライダー観測データを用いて, 高度 80-110 km における鉛直風の振る舞いを調べた。12 時間以上データが取得されている 80 晩のデータを解析し, 16 晩について顕著な鉛直風を検出した。オーロラ活動の影響, 大気波動の影響等を踏まえ, 現在その生成過程の解明を進めている。

本研究課題に関連した主な成果発表

論文発表

- Takahashi, T., K. Hosokawa, S. Nozawa, T. T. Tsuda, Y. Hiraki, J. Sakai, Y. Ogawa, M. Tsutsumi, H. Fujiwara, T. D. Kawahara, N. Saito, S. Wada, T. Kawabata, and C. Hall (2017), Depletion of mesospheric sodium during extended period of pulsating aurora, *J. Geophys. Res.*, 122, doi: 10.1002/2016JA023472.
- Tao, C., H. Jin, H. Shinagawa, H. Fujiwara, Y. Miyoshi, Effect of intrinsic magnetic field decrease on the low- to middle-latitude upper atmosphere dynamics simulated by GAIA (2017), *J. Geophys. Res.*, doi: 10.1002/2017JA024278.
- Miyoshi, Y., D. Pancheva, P. Mukhtarov, H. Jin, H. Fujiwara and H. Shinagawa (2017), Excitation mechanism of non-migrating tides, *J. Atmos. Terr-Sol. Phys.*, 156, 24-36, doi: 10.1016/j.jastp.2017.02.012.

学会発表等

- 野澤 悟徳・小川 泰信・藤原 均・川原 琢也・津田 卓雄・斎藤 徳人・和田 智之・高橋 透・堤 雅基・川端 哲也・Hall Chris・Brekke Asgeir, Vertical motion of the neutral atmosphere above Tromsø, 地球惑星科学関連学会連合大会 (JpGU-AGU Joint Meeting), 5 月, 幕張, 2017.
- 小川 洋平・野澤 悟徳・津田 卓雄・川原 琢也・小川 泰信・藤原 均・斎藤 徳人・和田 智之・高橋 透・堤 雅

基・川端 哲也・Hall Chris・Brekke Asgeir, トロムソナトリウムライダーを用いた北極域 SSL の統計解析, 地球惑星科学関連学会連合大会 (JpGU-AGU Joint Meeting), 5 月, 幕張, 2017.

藤原 均・野澤 悟徳・小川 泰信・片岡 龍峰・三好 勉信・陣 英克・品川 裕之, Magnetosphere-ionosphere-thermosphere-middle atmosphere coupling in the polar region, 地球惑星科学関連学会連合大会 (JpGU-AGU Joint Meeting), 5 月, 幕張, 2017.

埜 千尋・陣 英克・品川 裕之・三好 勉信・藤原 均・松村 充, GAIA の極域電場モデル改良, 地球惑星科学関連学会連合大会 (JpGU-AGU Joint Meeting), 5 月, 幕張, 2017.

Satonori Nozawa, Takuo Tsuda, Yasunobu Ogawa, Hitoshi Fujiwara, Takuya Kawahara, Norihito Saito, Satoshi Wada, Toru Takahashi, Masaki Tsutsumi, Tetsuya Kawabata, Chris Hall, and Asgeir Brekke, Vertical motion of the neutral atmosphere in the polar MLT region, EISCAT international symposium 2017, May 26-30, Tokyo, 2017.

Hitoshi Fujiwara, Satonori Nozawa, Yasunobu Ogawa, Yasunobu Miyoshi, Hidekatsu Jin, Hiroyuki Shingawa, Ryuho Kataoka, and Huixin Liu, Studies of disturbances in the polar ionosphere and thermosphere with the EISCAT radar system and whole atmosphere GCM, EISCAT international symposium 2017, May 26-30, Tokyo, 2017.

宇宙線で探る太陽風擾乱の空間構造

Probing the structure of the solar wind disturbance by galactic cosmic rays.

小島浩司・愛知工業大学・工学部・土木工学科

研究目的

太陽表面の大規模な爆発現象によって、太陽フレアやコロナ質量放出（CME）等の現象が起き、惑星間空間に放出された CME はその前面に磁気衝撃波を形成しつつ惑星間空間を伝搬していく。CME はその内部に激しい磁気擾乱を伴う磁気雲があると考えられる。また、太陽風には太陽コロナの磁場構造に応じて太陽風速度が激しく変化する領域が存在する。この領域は太陽の自転とともに回転するので共回転相互作用領域（CIR: corotating interaction region）と呼ばれている。この激しい速度変化は惑星間空間内に複雑な磁気構造を生じさせ、激しい速度変化により形成された磁気衝撃波とともに磁気擾乱を伴う CIR 磁気雲を形成する。このような磁気雲が惑星間空間を伝播する過程で、周辺の惑星間空間磁場（IMF）に影響をおよぼし、太陽圏に侵入した銀河宇宙線に異方性を生ずると考えられる。銀河宇宙線の異方性を連続的に観測することで、太陽風のプラズマ磁気雲の空間的構造と IMF に関連する諸現象の理解につながり、また宇宙天気にも寄与することになると考えられる。

宇宙線強度の空間変動を「異方性」として観測することによって、直接的に惑星間空間の磁場構造を探ることができる。本研究では、方向決定性能を有する多方向ミュオン望遠鏡と世界各地に設置されている宇宙線中性子検出器を用いて、地球近傍の IMF 磁場構造に感度のある比較的エネルギーの低い宇宙線を観測する。今後、さらに進んだ研究として、人工衛星による観測データと惑星間空間シンチレーション（IPS）のデータを組み合わせた解析を今後行っていきたい。

研究方法

本研究では、多方向ミュオン望遠鏡を用いて、大気ミュオンを計測し、間接的に一次宇宙線の強度変動を観測する。各望遠鏡はそれぞれインド・Ooty の GRAPS-3 多方向ミュオン望遠鏡、本研究所・東山キャンパス内の多方向宇宙線ミュオン望遠鏡、および東京大学宇宙線研究所・明野観測所の多方向ミュオン望遠鏡である。これらの望遠鏡に加えて、南北両極域を含む全世界に展開されている中性子検出器のデータを統合的に解析することで、従来の約 10 倍以上の検出面積に相当する望遠鏡としての観測が可能となる。観測で得られた宇宙線強度変動と衛星による惑星間空間プラズマの物理量（太陽風速度等）の変動を比較して、それらに関連付けているパラメータを推定する。さらに、多方向ミュオン望遠鏡で得られる二次元宇宙線強度分布と、IPS データから得られる太陽風の空間的構造とを比較解析することにより、宇宙線の異方性と太陽風の空間構造との関連を明らかにして、磁気雲の 3 次元構造や磁気中性面（カレントシート）の形状の解明を目指す。

GRAPES-3 研究活動報告

2017 年 3 月 6 日～3 月 20 日に本研究代表者愛知工業大学小島とともに大阪市立大学の川上と中部大学の柴田がインドに渡航した、その際に、タタ基礎研究所において、GRAPES-3 インドメンバーと将来の Ooty における GRAPES-3 のミュオン測定装置の拡張とミュオン観測のための光検出素子の半導体化の可能性につ

いて意見交換をおこなった。2017 年度中に小島・大嶋・柴田の 3 名が数回名古屋大学・徳丸研を訪問し、太陽圏内の銀河宇宙線の伝搬過程と CME に関する研究を行う上での意見を求め、IPS データと宇宙線データとを関連させた解析の可能性について議論した。今後、上記の議論をふまえ、IPS 研究者の支援のもとに宇宙線密度の空間分布と CME の空間的ひろがりの関連性についての解析を計画している。

GRAPES-3 の維持管理および拡張に関する活動

2016 年度に引き続き、2017 年 7 月から 2018 年 3 月まで、大阪市立大学の林嘉夫がタタ基礎研究所の客員スタッフとしてインド Ooty に長期滞在し、ミュオン検出器建設作業の指導をおこなった。2018 年 3 月現在で約 3700 本の比例計数管がほぼ完成しており、2018 年 8 月には拡張されたミュオンステーションが稼働する予定である。また 2018 年 3 月 3 日から 3 月 13 日まで中部大学の大嶋が Ooty に滞在して各ステーションの仕上げ作業と比例計数管の特性検査を行った。

研究成果

本研究に関連する研究成果として、2015 年 6 月 21 日:太陽黒点領域 NOAA 2371 で大規模な CME 発生し、それに伴って生じた宇宙線フォルブッシュディクリーズ中の宇宙線強度の異常増加の観測に関して査読論文が 2016 年に出版された。しかしその結果に対して世界の様々グループからの批判があり、その批判が国際会議等の場で公表されたのでそれらの批判に反論して先の査読論文の結果の妥当性を主張する論文を投稿してアクセプトされた。また"GRAPES-3 実験によって測定された、ミュオン強度の大気温度依存性に関して解析を行い、論文としてパブリッシュした。

【日本物理学会・その他学会発表】

1. 「大面積高精度 muon 望遠鏡による方位別宇宙線強度変動の研究(19)」
小島浩司、柴田祥一、大嶋晃敏他、日本物理学会 2017 年秋季大会、14aU31-4
2. 「GRAPES-3 ミュオン検出器の拡張と新型検出器の計画について」
大嶋晃敏、柴田祥一、小島浩司他、日本物理学会 第 73 回年次大会 (2018)、22aK308-11
3. 「大面積高精度 muon 望遠鏡による方位別宇宙線強度変動の研究(20)」
小島浩司、柴田祥一、大嶋晃敏他、日本物理学会 第 73 回年次大会 (2018)、22pK308-5
4. 「銀河宇宙線の異方性と太陽風速度」小島浩司他、平成 29 年度 ISEE 研究集会－
太陽圏宇宙線シンポジウム
5. 「GRAPES-3 ミュオン検出器拡張の進捗報告」大嶋晃敏他、平成 29 年度 ISEE 研究集会－
太陽圏宇宙線シンポジウム

【投稿論文】

1. K.P Arunbabu, S.K. Gupta,A. Oshima , S. Shibata,H. Kojima et al, "Dependence of the muon intensity on the atmospheric temperature measured by the GRAPES-3 experiment", et al "Astroparticle Physics, Vol.94, p.22-28(2017)
2. P.K. Mohanty,S.K. Gupta,A.Oshima,S.Shibata,H.Kojima et al., "Was the cosmic ray burst detected by the GRAPES-3 muon telescope on 22 June 2015 caused by a transient weakening of the geomagnetic field or by an interplanetary anisotropy? " Physical Review D, 27 March 2018, accepted,

ヨーロッパ中緯度での地上大気光イメージング観測網の構築

Development of an airglow imaging network in Europe

鈴木臣 愛知大学・地域政策学部

下層大気の大気擾乱で発生する大気重力波は、運動量を保存しながら上方へと伝搬し、超高層大気の下端である中間圏・下部熱圏 (MLT: 80~120 km) で崩れていく。この時、運動量を解放し MLT 大気を加熱・加速させることで地球規模の大気大循環の形成に貢献する。また一部の波動は、より高高度領域 (熱圏・電離圏) へ侵入し、様々なプラズマ擾乱の種になっていると考えられる。MLT における大気重力波は、大気の上下層の力学的なつながりを議論する上で重要な意味を持つ。本研究では、これまで観測空白領域であった北欧における大気波動の統計的描像を得るとともに、極域気象起源の大気波動が中・低緯度に伝搬する際の経度方向の広がりを解明することを目的として、高感度かつ低廉な大気光カメラシステムを開発し、ドイツ北部において高密度・広域大気光観測ネットワークを展開する。

2017年度は、昨年度にドイツ IAP 研究所 Juliusruh 観測サイト (54.6°N, 13.4°E) に設置したシステムと同様の観測システムを、ドイツ Kühlungsborn の IAP 研究所 (54.1°N, 11.8°E) に設置した (図1左)。これらのシステムは、中間圏界面付近 (高度 85 km) に発光層を持つ近赤外の OH 大気光 (波長 700~900 nm) と電離圏 F 層下部 (250 km) の酸素原子大気光 (630 nm) の 2 チャンネルのビデオ信号を同時に観測し、愛知大学のサーバに jpeg 画像 (4秒露光, 10秒ごと) として転送される。

特に 2017 年度に自動観測プログラムの刷新により、より効率良くデータを転送することが可能になった。これまでは、観測時間を 18:00~06:00LT で固定しており (ビデオエンコードの設定)、日の入り前や日の出後、満月期間といった背景光が強く大気光を撮像することができない時間のデータも、一旦すべてサーバに転送していた。現地のネットワーク負担の軽減と日本において解析する時間のデータを抜き出す手間、ストレージの節約のため、自動観測プログラムの内部で、月のない夜間のみデータを取得する仕様に変更した。



図1: (左) Kühlungsborn に設置した 2チャンネルカメラとコントロール系の写真。 (右) Juliusruh のカメラと観測コントロール系の写真。

開発した観測プログラムは、今後の大気光観測のさらなる多地点化において、データ転送および解析の効率化の面で大きく貢献する。

また、Juliusruh 観測サイトの観測コントロール PC のため画像データの転送がおこなわれていなかったため、PC の交換作業およびシステムのメンテナンスをおこなった（図 1 右）。これら 2 点のステレオ観測により、波動構造の経度方向の広がり（およそ 600 km）とともに大気光発光層を算出することができる。現地 Kühlungsbornではライダー観測も実施されており、大気重力波の振る舞いと超高層大気への作用をより総合的に議論する。

成果発表：

1. 鈴木臣，超高層大気イメージング観測の超多地点展開，九州大学情報基盤研究開発センターシンポジウム「HPCとIoT -観測・計測系IoTとHPCをつなぐ-」，福岡市（九州大学伊都キャンパス），2017年8月25日。
2. 鈴木臣，小型カメラによる大気光イメージング観測ネットワークの構築，気象学会2017秋季大会，札幌市（北海道大学），2017年10月31日。
3. 鈴木臣，OH大気光イメージングによる大気重力波観測，国立極地研究所集会「低廉光学機器による超高層大気ネットワーク計測に関する研究集会」，立川市（国立極地研究所），2018年2月23日。
4. 塩川和夫，鈴木臣，夜間大気光のふしぎ，幻冬舎，2018年3月20日。

高エネルギー電子降下領域の時空間発展の実証的研究

Observation of time and spatial evolutions of high-energy electron precipitation

土屋史紀・東北大学・大学院理学研究科

放射線帯からの高エネルギー電子の損失過程の一つとして、プラズマ波動による電子のピッチ角散乱による大気への降下が考えられている。本研究では、VLF/LF帯の標準電波観測によって高エネルギー電子(>100keV)の大気への降下現象を検出し、磁気嵐・サブストーム時の電子降下現象の時空間発展を観測的に明らかにするとともに、プラズマ波動観測との比較手段を提供する。また、高エネルギー粒子が超高層大気に及ぼす影響を明らかにする観点からも、大気圏に高エネルギー電子が降下した現場を観測できる本研究は有用である。VLF/LF帯の標準電波は世界各国で運用されており、地上と下部電離圏の間を反射し長距離伝搬する。この電波の受信信号の強度・位相の観測から、伝搬の伝搬経路上の熱圏下部・中間圏で発生した電離現象を捉えることができる。放射線帯からの高エネルギー電子の降下の他、落雷により発生する電磁パルスや太陽フレアによる電離現象を捉えることが可能で、現在、国内外9カ所で観測を実施している(ニーオルスン(ノルウェー)、ポーカーフラット(米国)、アサバスカ(カナダ)、ジガンスク(ロシア)、台南、ポンティアナ(インドネシア)、サラブリ(タイ)、名大・陸別観測所、名大・鹿児島観測所)。

2017年は8月にニーオルセンにて受信機の更新作業、12月に鹿児島にてアンテナ故障の復旧作業を実施し、各観測局で自動連続観測が実施されている。2017年3月からはあらせ衛星との同時観測キャンペーンが実施され、キャンペーン期間を中心にコーラスや電磁イオンサイクロトロン(EMIC)波に伴う高エネルギー電子降下現象の同定・解析を実施した。主な研究成果は以下の通りである。

- ・ パルセイティングオーロラ(PsA)に伴う高エネルギー電子降込みの同定
2017年3月27日の磁気嵐中に発生したサブストーム回復相でPsAの出現時間帯に高エネルギー電子の降下現象がアサバスカ上空付近で観測された。PsAの明滅周期に同期して高エネルギー電子の降り込みが起こっていることが初めて観測的に示された(図1)。
(研究成果：(1),(4))
- ・ EMIC(Pc1)、プロトンオーロラの発生と同期した高エネルギー電子降込み
2017年3月22日・27日の磁気嵐中に発生したサブストーム時に、Pc1の発生と同期した高エネルギー電子の降下現象がアサバスカ上空で観測された。27日のサブストームでは、Pc1の発生と同期してアサバスカ上空では孤立プロトンオーロラ(IPA)が発生しており、高エネルギー電子の降り込みが検出されたのは、NLKから送信された24.8kHz標準電波の伝搬経路上にIPAが出現してしていた時間帯のみであった。このことから、EMICによる高エネルギー電子のピッチ角散乱が高エネルギー電子の降り込みを引き起こしたと判断できる。高エネルギー電子の降り込みには、Pc1のパール構造に同期した1分程度の時間変動現象も初めて検出された。(研究成果：(1),(2),(3))
- ・ Pc5に同期した高エネルギー電子降込み
2017年9月7-8日の磁気嵐中のサブストームに伴い、高エネルギー電子の降下現象が検出された。Wavelet解析の結果、標準電波の振幅・位相変動の両方に約10分周期の変動が含まれており、降下電子フラックスがPc5で変調を受けていることが分かった(研究成果：(1),(5),(6))

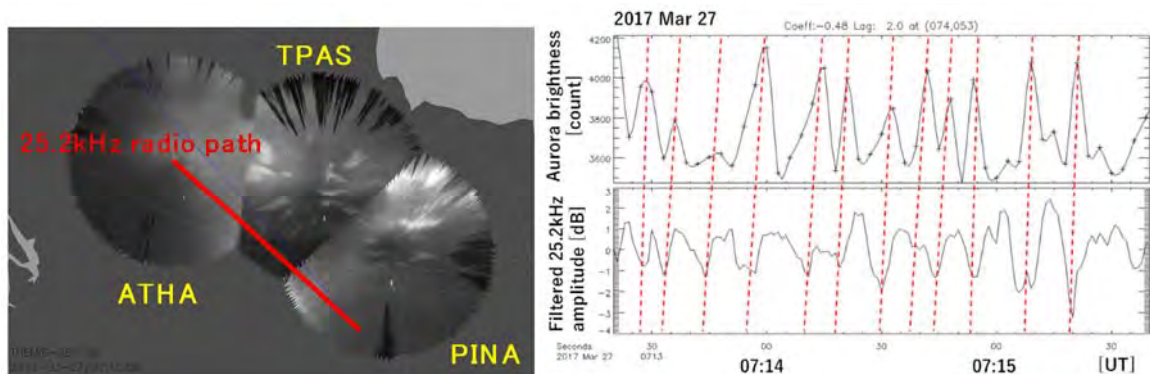


図 1 : (左)高エネルギー電子降下を検出する標準電波の伝搬経路とオーロラを観測する全天カメラ (THEMIS GBO)との位置関係。(右) TPAS の全天カメラ視野内の標準電波の伝搬経路の midpoint に近いピクセルでのオーロラ発光強度変化(上)と 25.2kHz の標準電波受信強度の変動との対応。

成果発表

- (1) Tsuchiya, F., T. Obara, A. Hirai, H. Misawa, K. Shiokawa, Y. Miyoshi, M. Connors, Y. Ogawa, T. Sakanoi, and D. Hampton, Energetic electron precipitations at auroral and sub-auroral latitudes associated with substorm-induced injection, EMIC wave, and ULF pulsation, IAPSO-IAMAS-IAGA2017, Cape Town, 2017-08-27
- (2) Hirai, A., F. Tsuchiya, T. Obara, H. Misawa, K. Shiokawa, Y. Miyoshi, EMIC waves-driven radiation belt electron precipitation into the atmosphere with ground-based observations in the subauroral region, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, Makuhari, 2017-05-20
- (3) 平井あすか, 土屋史紀, 小原隆博, 三澤浩昭, 坂野井健, 塩川和夫, 三好由純, Connors Martin, Hampton Donald, Energetic electron precipitation associated with Pc1/EMIC waves: Six-month LF-wave observations over North America, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 142 回総会・講演会, 宇治, 2017-10-15
- (4) 土屋史紀, 小原隆博, 平井あすか, 三澤浩昭, 塩川和夫, 三好由純, 小川泰信, 大矢浩代, Connors Martin, 坂野井健, Hampton Donald, Energetic electron precipitations observed by VLF/LF subionospheric propagation: ARASE and ground-based observation campaign, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 142 回総会・講演会, 宇治, 2017-10-15
- (5) Ohya, H. and F. Tsuchiya, Observations of energetic electron precipitation into the atmosphere using LF/VLF standard radio waves, The 359th Symposium for Sustainable Humanosphere "International Workshop on radio science and radio application technology", Kanazawa, 2017-10-30
- (6) 宮下拓也, LF/VLF 帯標準電波を用いた磁気嵐中の高エネルギー降下電子の観測, H29 年度千葉大学工学部電気電子工学科卒業論文

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
Solar and Space Weather Group

研究体制

代表者： 宮下幸長 (KASI)

共同研究者： Lee Jaejin (KASI)
Hwang Junga (KASI)
Lee Dae-Young (Chungbuk National University)
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

1年目である本年度は、具体的に以下の2つの解析を実施し、成果発表を行った。ただし、本年度の段階では、ERG衛星のデータの較正があまり進んでなかったため、定性的な初期結果である。今後、較正済みの

高時間分解能のデータを用いてより定量的な解析を進める予定である。

(1) ERG衛星とSwarm衛星の連携観測によるサブストームの磁場双極子化に伴う低周波波動の解析

ERG衛星と低高度衛星であるSwarm衛星が同一かすぐ近くの磁力線上にあり、ERG衛星がサブストームの磁場双極子化を観測した事例について、両衛星によるPi2やPi1脈動の比較を行った。ERG衛星の位置では、磁場双極子化の直前か開始時にPi2脈動が始まり、磁場双極子化中にPi2脈動は強まり、Pi1脈動も励起した。これらの脈動は、磁気音波よりもアルフベン波の成分が強かった。一方、Swarm衛星ではPi1脈動が観測され、ERG衛星と同様に磁気音波よりもアルフベン波の成分が強かった。Pi2脈動については、時間変動と空間変動の両方が混ざるため、注意が必要である。

これらの初期結果について、2017年9月に韓国チェジュ島で開催されたThe 3rd COSPAR Symposium "Small Satellites for Space Research"、および11月に名古屋大学宇宙地球環境研究所で開催されたKorea-Japan Space Weather Workshop 2017で発表した。

今後、ERG衛星の高時間分解能の磁場・電場データを用いてポインティングフラックスを解析し、エネルギーの観点から磁気圏-電離圏結合について考察したい。

(2) 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増大に関する解析

ERG衛星のデータを用いて、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増大について事例解析を行った。磁場双極子化中に、磁場は1~2分周期で振動していたが、磁場が強まった時、数10 keVから数100 keVの高エネルギーイオンと電子の両方が強まっていた。同時に、広帯域の電磁波と電子サイクロトロン周波数の下から上にかけての周波数帯の静電波が見られた。この静電波は、プラズマシートの中心付近で見られたが、そこから離れると弱いか見られなかった。

この解析結果は、2018年5月に韓国内で開催される韓国宇宙科学会2018年春学術大会、および千葉市で開催される日本地球惑星科学連合2018年大会で発表する予定である。

今後は、さらにERG衛星による粒子降り込みやポインティングフラックス等について解析し、地上オーロラ観測データとの比較も行いたい。これらの結果を基に、粒子・波動の周期的増大の磁場双極子化やサブストームの発達における役割について考察したい。

アジアダストホットスポット域からのエアロゾル輸送に関する研究
Research on aerosol transportation from Asian dust hotspot region

馬場賢治 酪農学園大学・農食環境学群環境共生学類

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。そこで、アジアダストに付着したウィルスなどの生物起源物質が大気場輸送中に保存される環境場について、つまり、アジアダストが凝結核となり、雲水、氷晶、雪などに変遷する雲物理過程を気象モデルやリモートセンシングデータから明らかにし、時空間的な拡散の変遷や多寡を理解すること、併せて、アジアダストイベント毎の経路と症状発祥地との関連も含めて評価を行い、それらを基にして、新たに現地での観測を行いながら解釈を行うことを目的として研究を進めている。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。また、輸送過程の理解も進んでいるが、現状モデルでは限界があるため、ダスト粒子を考慮した領域気象モデルを利用する必要がある。これら新たな問題・課題定義から、以下の項目を本研究の目的として行う。

A) アジアダスト発生の理解

- ・地形・植生・水文学的に考慮したアジアダスト発生地 of 把握
- ・現地での簡易風洞実験を用いた砂塵飛散の比較

B) アジアダスト輸送・多寡の理解

- ・ダストを考慮した気象モデルによる輸送・多寡の検証
- ・人工衛星ひまわり・CALIPSOなどを用いたアジアダストの変遷

C) トレーサーとしての理解

- ・現地と日本での同時観測によるバイオエアロゾル・無機物質の同定
- ・飛散地域の粒子に付着した化学的・生物学的特徴の理解

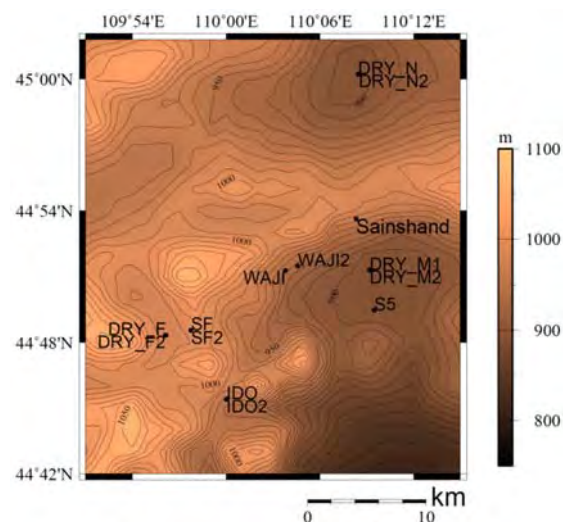


図 1 対象地域

初年度は、上記のうち A と C を中心に行った。

2. 研究方法

過去のリモートセンシングデータから、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)。観測地点では、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った。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した。尚、回転数と風速の関係は表 1 に示す。また、粒径は、0.3, 0.5, 3, および $5\mu\text{m}$ を光学式パーティクルカウンター (KANO

MA X社製 Model3886) を用いて計測した。

3. 結果と考察

各観測地点で計測した飛散実験の結果を図3に示す。風速を段階的に強くしていくと、3および5 μm の飛散粒子量は増加する傾向がみられる。9.0m/s相当になると、飛散量は急激に増加している。しかしながら、場所により大きな差異がみられ、地域依存性が大きいことが確認された。ワジでは土壌水分量が小さい傾向にあり、とくにWAJI2地点では飛散量が多かった。一方、ドライレイクでは、土壌水分量が多めではあるが、飛散量は多めであった。単純に土壌水分量と飛散量の多寡に係る関係性は見られなかった。

今後は、水溜などの存在のタイミングや量、流入物質の量、ダスト粒子の存在量の多寡、土壌形成物質、地形など周辺地域の特徴など、多角的な調査を行うことが必要である。次年度以降は、可能な限り調査項目を増やし、差異について言及したいと考える。また、生物学的特徴も併せて議論する。

表1 送風機の回転数と風速の関係

回転数	風速(地上1cm)	風速(地上5cm)
1200	4.5 $\pm$ 1.0m/s	4.8 $\pm$ 0.6m/s
1400	6.1 $\pm$ 1.2m/s	7.5 $\pm$ 1.0m/s
1600	7.7 $\pm$ 1.3m/s	8.9 $\pm$ 1.0m/s
1800	9.0 $\pm$ 1.6m/s	9.5 $\pm$ 1.2m/s
1900	11.0 $\pm$ 1.6m/s	14.0 $\pm$ 2.2m/s



写真1 飛散実験風景

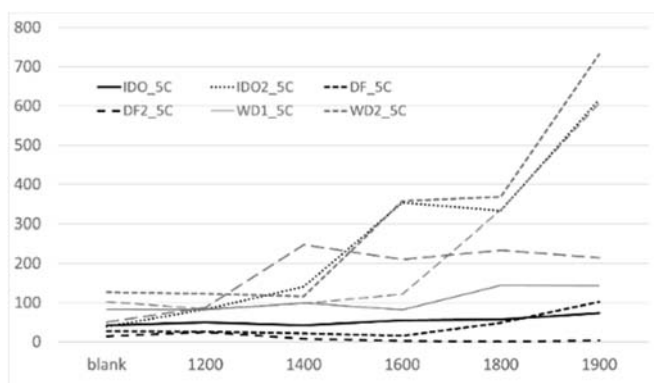


図2 5 μm の飛散量と回転数（横軸）の関係。

成果報告：

馬場ほか、モンゴルゴビ砂漠 Sainshand 付近のバイオエアロゾル集積地における飛散実験について、日本気象学会秋季大会、北海道大学、2017 年 10 月 31 日

噴出型フレアと非噴出型フレアの包括的な比較研究 A comprehensive comparison of eruptive and confined flares

八代誠司、米国カトリック大学・物理学科

【研究目的】

太陽フレアとコロナ質量放出 (Coronal Mass Ejection; CME) は磁気リコネクションで発生する一連のエネルギー解放現象の異なる側面と理解されている。しかし全てのフレアに必ずCMEが存在するのではなく、最大級であるXクラスフレアでも約10%はCMEを伴わない。したがって太陽フレアはCMEの有無により、噴出型(eruptive)と非噴出型(confined) に分類できる。高エネルギープロトン現象や磁気嵐などの主要な宇宙天気現象を引き起こす直接の原因がCMEであることから、フレア発生時のCME付随条件を解明することやCMEの有無によるフレアの特徴を明らかにすることは宇宙天気研究にとって非常に重要である。フレアとCMEの関係について統計的に比較することで両者の関係を明らかにするとともに、宇宙天気予報の精度向上へ貢献を目的とする。

【研究方法】

研究の基盤となる噴出型・非噴出型フレアリストの作成・更新を行った。前年度までに解析が終了した2014例のM・Xクラスフレアに加えて、1996年から2017年に発生した2110例のC3-C9クラスフレアについて、SOHO衛星やSTEREO衛星を用いてCMEの有無を調べた。合計4124例のうち、1164例のフレアは確実にCMEを伴い、2272例にはCMEが確実に無いことを確認した。残りの688例のフレアは、太陽表面の噴出現象が曖昧などの理由でCMEの有無を決定できなかった。この噴出型・非噴出型フレアリストを用いて様々な解析を行った。

【研究成果】

噴出型・非噴出型フレアリストのうち、野辺山電波ヘリオグラフで観測されたフレアについて詳しく調べた。今回弱いフレア (C3-C9クラス) まで範囲を拡張したことで、全イベント数は倍以上になった。より弱いフレア研究対象になったことで、電波強度が強くなるとともにフレアにCMEが付随する割合が増加することがより明確になった (図1)。

2017年9月は太陽活動減衰期であったが、非常に活発な活動領域12673が出現し、4例のXクラスフレア、27例のMクラスフレアを引き起こした。それぞれのフレアについてCMEの有無を調査し、そのうち8例が噴出型であることを確認した (図2)。CME有無の判断が出来なかった3例を除くとフレアのCME付随率は29%であった。活動領域12673はその活

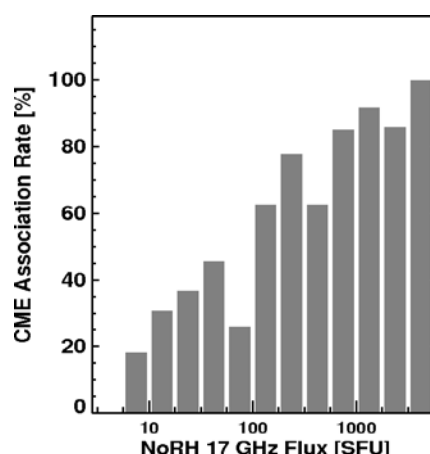


図1 電波強度と CME 付随率。

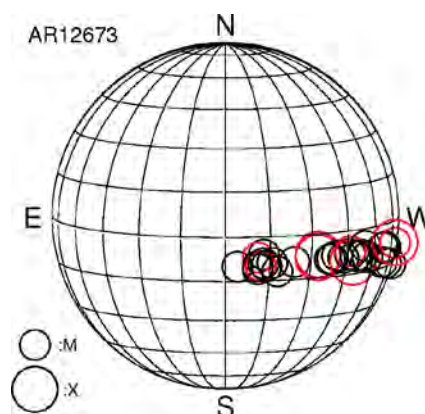


図2 活動領域 12673 で発生した噴出型フレア (赤丸) と非噴出型フレア (黒丸) の発生場所。円の大きさがフレアの大きさに対応する。

動度の高さが注目されたが、CME付随率は平均的であった。この解析は速報的に行い、解析結果は太陽コミュニティ内で共有された。

CME付随率の太陽活動に対する変化を前年度に続き調べた。フレア強度による違いを調べるために、Higher-C (C4.7-C9.9), Lower-M (M1.0-M2.1), Middle-M (M2.2-M4.6), Higher-M (M4.7-M9.9) と X の5クラスに分類し、その年間の発生数を図3a に示す。表示を合わせるために、Higher-C, Lower-M クラスの発生数は半分にしている。太陽周期変化との比較のために、太陽黒点数を灰色の影で表示する。黒点数の増減とフレアの増減が一致していることがよくわかる。

CMEの有無がはっきりと確認できなかったイベントは誤差として扱い、噴出型フレアの年間発生数を図3b に示す。そして噴出型フレア数を全フレア数で割ることで、CME付随率を求め、図3cに示す。フレア強度が強くなるにつれて（水色から赤になるにつれて）CME付随率は30%から90%へと上昇する。これは以前より知られている結果ではあるが（たとえば Yashiro et al., ApJ, 650, L143, 2016）、今回Cクラスまで解析範囲を拡張したこともあり全イベント数は3倍以上になっており、より強固な結果を得ることが出来ている。

第24活動周期のCME付随率は減少傾向にあることを前年度に報告したが、Higher-Cクラスでも同様の結果となることを確認した（図3c）。2017年にフレア数、CME数、CME付随率の上昇が見られるのは、前述の活動領域12673が出現した為である。この活動領域が2017年のCME付随率をほぼ決定しており注意が必要である。

本件の成果で4124例の噴出型・非噴出型フレアリストを作成した。作成された噴出型・非噴出型フレアリストは ICCON ウェブサイト(<https://hinode.isee.nagoya-u.ac.jp/ICCON/>) にて公開している。多くの研究者が使用し、様々な共同研究へと発展している。

【成果発表】

Yashiro, S., et al., SCOSTEP 14th Quadrennial Solar-Terrestrial Physics Symposium, Toronto, Canada, 9 – 13 Jul 2018

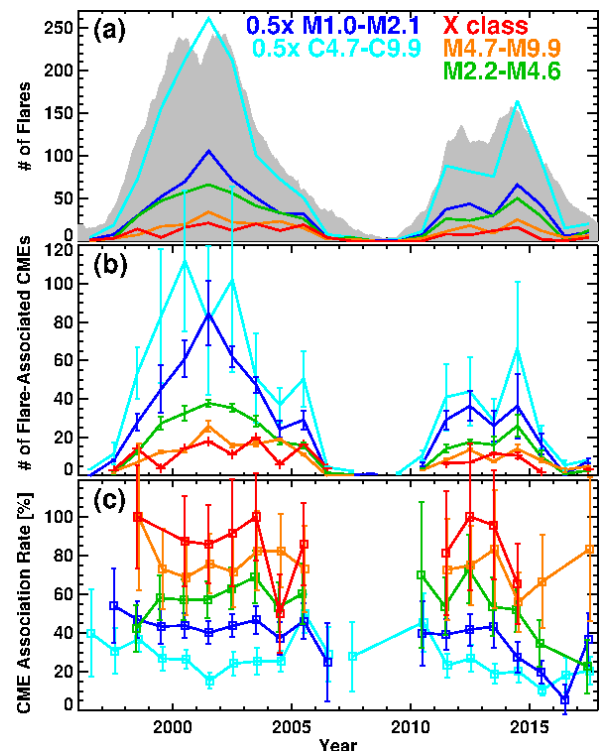


図3 太陽フレアの年間発生数(a), CME が付随するフレアの年間発生数(b), および CME 付随率(c)の年変化。

脈動オーロラが起こすナトリウム密度変動の研究：
ナトリウムライダー・EISCAT レーダーの高速観測
Pulsating aurora-induced Na density depletion：
high-speed Na lidar and EISCAT radar observation

高橋 透 国立極地研究所・研究教育系 特任研究員

研究目的

Takahashi et al. (2017)では、トロムソナトリウムライダー (Naライダー) によるNa密度の5秒値とEISCATレーダーの電子密度の1分値を比較することで、電荷交換反応 (分子イオンとNa原子) を評価した。彼らの研究は移流の効果を完全には取り除けていないことと、限られた時間帯のみに対して行ったイベント解析であるために、統計的描像は明らかにできていないことの二つの点において、未だ発展の余地を残す。そこで、本研究では、2016年度から行ってきた、トロムソNaライダーの高速観測化により実現した、サブミリ秒でのNa密度観測とEISCATレーダーの高速観測を組み合わせた同時観測により、できる限り移流の効果を排除した解析を行う。本研究では、数秒から数十秒の周期で明滅する脈動オーロラの明滅の1つ1つに対して、電子密度増大とNa密度変動の関連性をトロムソNaライダーとEISCATレーダーの高速観測により評価することで、オーロラに伴うNa密度減少の統計的描像を明らかにすることを目的とする。

研究方法

本研究では、EISCATレーダー、トロムソNaライダー、流星レーダーの同時観測キャンペーンをノルウェー・トロムソ (北緯69.6度、東経19.2度) で行なった。キャンペーン観測は00 UTから04 UTに行った。EISCATレーダーは小川泰信准教授と申請者がEISCATレーダーの運用を担当し、申請者と野澤悟徳准教授がNaライダーの運用と解析を担当した。また、水平の移流の効果を見積もる流星レーダーの運用、データの提供はChris Hall教授、堤雅基准教授が担当した。Naライダーでは5方向観測を行い、Na密度導出の時間分解能は0.5秒であった。

研究結果、考察、まとめ

2018年2月18日00-04 UT, 19日00-04UT, 20日00-04 UTにVHFレーダー鉛直向き、パルスコード” manda” で特別実験を行なった。この期間、ほぼ全ての時間で天候は晴れ、共回転相互作用領域の到来に伴って地磁気活動は活発であった。

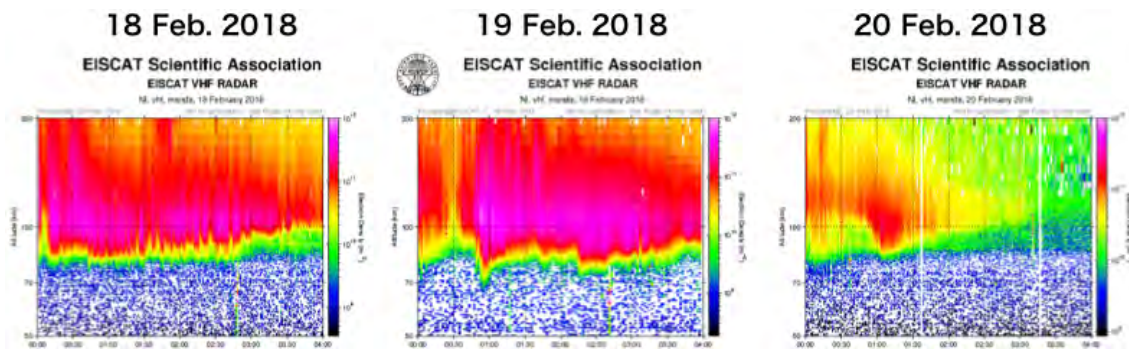


図1. EISCAT VHFレーダーで観測された電子密度。

図1にEISCAT VHFレーダーで観測された電子密度を示す。3期間すべてでオーロラによる高度100 km以下での電離があった。また、高度70 km付近でも電離が見られるなど高エネルギー電子が降り込んだ時間帯も確認できた。

脈動オーロラが出現した2018年2月18日01:10-01:20 UTでNa密度データと電子密度データの比較を行った。Na密度は0.5秒値、電子密度は5秒値で図2に示した。電子密度には、約 $5.0 \times 10^{10} \text{ m}^{-3}$ を背景密度として、 $1.5 \times 10^{11} \text{ m}^{-3}$ をピークに持つ周期的な電離が見られる。一方、Na密度はおよそ $3 \times 10^{11} \text{ m}^{-3}$ から $6 \times 10^{11} \text{ m}^{-3}$ で変動しており、時間変動量が電子密度変動に対して大きく周期的変動は見られない。よって、今後はEMCCDカメラデータから脈動周期を抜き出し、適切な時間、高度積分をNa密度データに対して行うことで、測定誤差（ばらつき）を抑えたデータを作成し、電子密度から抽出した脈動成分との比較検証を行う。これらの解析により、脈動周期に同期した電荷交換反応によるNa密度減少プロセスを明らかにする。

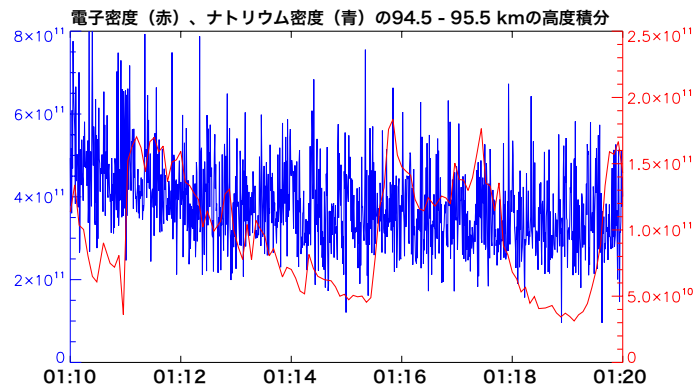


図2. Na密度と電子密度の比較。

参考文献

Takahashi T., K. Hosokawa, S. Nozawa, T. T. Tsuda, Y. Ogawa, M. Tsutsumi Y. Hiraki, H. Fujiwara, T. D. Kawahara, N. Saito, S. Wada, T. Kawabata, and C. Hall, Depletion of mesospheric sodium during extended period of pulsating aurora, Journal of Geophysical Research: Space Physics, 122, doi:10.1002/2016JA023472, 2017.

複数衛星系・複数周波数GNSS信号に対するプラズマバブルの影響評価 Study of impacts of plasma bubbles on multi-constellation multi-frequency GNSS signals

齋藤 享、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

研究背景・目的

衛星測位は社会基盤として重要性を増しており、精密測量、航空航法、時刻同期など様々な社会システムが衛星測位を基盤として成り立っている。衛星測位への依存度が増すに従い、衛星測位の耐障害性の向上の必要性が高まっている。

衛星測位においては、これまでに主に使われてきた米国のGPSに加え、複数の衛星系（欧州Galileo、ロシアGLONASS、中国Beidou、日本QZSS）の信号を組み合わせる用い、さらに複数の周波数(L1: 1.57542GHz, L2: 1.22760GHz, L5: 1.17645GHz)の信号を組み合わせる用いにより、精度の向上と耐障害性の向上を図っている。これらの複数衛星系、複数周波数を用いる次世代の衛星航法システム(GNSS)を、MC/MF (Multi-Constellation Multi-Frequency) GNSSと呼ぶ。

MC/MF GNSSにおいては、複数周波数の組み合わせにより電離圏による伝搬遅延を相殺することができると考えられているが、電離圏が激しく変動する場合はシンチレーションなどにより信号精度が劣化する場合においては複数周波数に依存することは反対にリスクの増大を招く恐れがある。

MC/MF GNSSは、送信信号強度、変調方式、周波数などが衛星系ごとに必ずしも同一ではなく、信号の特性がそれぞれ異なることが知られている。電離圏の伝搬遅延は周波数によって異なり、強度シンチレーションの大きさも周波数ごとにFresnel回折の原因となる電離圏不規則構造の空間スケールの違いから周波数によって異なることが予想されている。さらに、変調形式の違いによっても電離圏擾乱時の信号追尾精度の違いから受信信号品質に違いが出ることが予想されている。しかしながら、MC/MF GNSS信号はごく新しく送信が始まったものであり、衛星系、周波数の違いによる信号ごとの電離圏擾乱の影響の詳細な影響評価はあまり進んでいないのが現状である。

本研究では、電離圏擾乱としてプラズマバブルを対象とし、MC/MF GNSS受信機によって信号品質を衛星系、周波数ごとに評価するとともに、プラズマバブルの発生、発達、伝搬を含む時空間変動と信号品質、測位精度の関係を評価することを目的とする。さらに、データの蓄積の後、プラズマバブルの形状とMC/MF GNSS信号が受ける影響の関係を示すモデルの構築を目指す。

方法

本研究では、平成28年度から3年計画で、MC/MF GNSS受信機によるGNSS信号の観測と大気光全天イメージャによるプラズマバブルの2次元観測を行う。MC/MF GNSS受信機により、GNSS信号の品質(コード擬似距離精度、位相擬似距離精度、信号強度、シンチレーション指数)を測定し、同時に同じ場所から大気光全天イメージャによるプラズマバブルの2次元観測を行い、GNSS信号の品質とプラズマバブルの空間構造との関係を詳細に測定する。また、影響の衛星系による違い、周波数による違いを詳細に調べる。これにより、プラズマバブルにおいてGNSSにとって警戒すべき場所が同定されるとともに、その衛星系による違い、周波数による違いを知ることができる。

本研究では、MC/MF GNSS受信機と大気光全天イメージャの組み合わせを、沖縄県石垣市(北緯24.3°、東経124.2°磁気緯度19.7°)、インドネシア・コトタバン(南緯0.2°、東経100.3°、磁気緯度-9.2°)に設置する。これにより、MC/MF GNSS信号への電離圏擾乱の影響の赤道異常帯と受信点の相対位置による違いを検証するとともに、天候に左右される全天イメージャとMC/MF GNSS受信機の同時観測機会を増やす。

沖縄県石垣市においては、電子航法研究所が5ヶ所に2014年からシンチレーション観測が可能なMC/MF GNSS受信機を設置し観測を行っている。また、電子航法研究所と名古屋大学及び電気通信大学が協力して大気光全天イメージャ観測を2014年から行っている。インドネシア・コトタバンにおいては、インドネシア航空宇宙庁が設置したMC/MF GNSS受信機(シンチレーション観測には非対応)と、名古屋大学が2002年に設置した

全天大気光イメージャがあり、継続的に観測を行っている。インドネシア・コタバンには、MC/MF GNSS シンチレーション受信機を設置し、継続観測を開始する。

得られたデータは、コード擬似距離精度、位相擬似距離精度、信号強度、シンチレーション指数を指標に、衛星系、周波数ごとに信号品質を評価するとともに、品質と、衛星とプラズマバブルの相対位置との関係と比較する。これらを長期的に行い、プラズマバブルの時空間変動とMC/MF GNSS信号が受ける影響の関係を示すモデルの構築を目指す。

結果・考察・まとめ

石垣市の観測データから得られる電離圏全電子数の空間変動の解析の取りまとめを行うとともに、電離圏シンチレーションが衛星航法に与える影響として、地上型衛星航法補強装置(Ground-Based Augmentation System: GBAS)に備えられ、GNSS観測データを様々な形で処理しGNSS補強情報の信頼性を担保するためのインテグリティモニタが受ける影響について評価を行った。2014年8～9月のうちシンチレーションが発生した13日間のデータを用い、電離圏に関連するインテグリティモニタとしてサイクルスリップ、Code-Carrier Divergence (CCD)モニタ、電離圏勾配モニタについて、それぞれの異常検出の指標となる検定統計量について、強度シンチレーション指数(S4)との関係について解析を行った。その結果、これら3つのインテグリティモニタの検定統計量はシンチレーション強度の増大に伴い増大し、シンチレーションの発生に伴ってGBASにおける衛星排除率が増大することがわかった(図1)。モデル化されたシンチレーションに伴う衛星排除率は、磁気低緯度地域において電離圏擾乱の影響をより正しく取り入れたGBASの性能評価を可能とするものである。

MC/MF GNSSシンチレーション受信機を用いた観測については引き続き継続したが、太陽活動の低下に伴い、プラズマバブルの発生頻度は大きく低下し、シンチレーションの発生頻度も大きく低下した。このため、より低緯度での観測を継続して行うため、MC/MF GNSSシンチレーション受信機のうち1台をインドネシア・コタバンに移設することとした。移設は2018年3月に行い、既存の2周波GNSSアンテナを撤去し、3周波(L1, L2, L5)対応アンテナを新設し、これにMC/MF GNSSシンチレーション受信機を接続し、2018年3月17日から連続観測を開始した(図2)。

2018年度は引き続きシンチレーションがGBASインテグリティモニタに与える影響を評価するとともに、その知見を次世代のMC/MF GBASの概念設計に取り入れていく。また、インドネシア・コタバンの観測を継続して行い、MC/MF GNSSシンチレーションデータの収集を行うとともに、プラズマバブルの時空間変動とMC/MF GNSS信号が受ける影響の関係の解析を進めていく予定である。

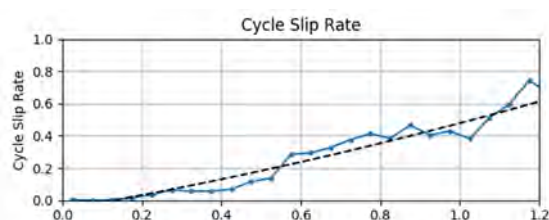


図 1. S4 指数とサイクルスリップ発生率



図 2. インドネシア・コタバンに設置した 3 周波 GNSS アンテナ(左)と受信システム(右)。

成果発表一覧

S. Saito et al., GPS Solutions, "Ionospheric delay gradient model for GBAS in the Asia-Pacific region", 21, 1937-1947, 2017, DOI 10.1007/s10291-017-0662-1.

S. Saito and T. Yoshihara, Evaluation of extreme ionospheric total electron content gradient associated with plasma bubbles for GNSS Ground-Based Augmentation System, Radio Sci., 52, 951-962, 2017, doi:10.1002/2017RS006291.

S. Saito et al., "Preliminary results of impacts of ionospheric scintillations on GAST-D ground integrity monitors", ION International Technical Meeting 2018, Reston, USA, January, 2018.

トロムソにおけるスペクトログラフ観測に基づく多様なオーロラの発光スペクトルに関する研究

Study on a variety of auroral emission spectrum based on spectrograph observations in Tromsø

津田卓雄，電気通信大学・情報理工学研究科

背景と目的

オーロラの形態によってオーロラ電子のエネルギー分布も異なるため，オーロラ発光スペクトルにも多様性が存在するはずである．しかし，過去の研究では，オーロラの形態に紐付ける形で発光スペクトルを計測している例が少ない．また，HF帯の電波を電離圏に送信して，人工的に電離圏の電子を高エネルギー化（加熱）し，その電子（加熱電子）によって励起された大気が発光する現象を人工オーロラと呼ぶが，人工オーロラの発光スペクトルに関する十分な情報が得られていない．

本研究では，ノルウェーのトロムソにおいて，電通大で開発したスペクトログラフによるオーロラ観測，人工オーロラ観測を実施し，多様なオーロラや人工オーロラの発光スペクトルを明らかにすることを目的としている．

研究進展状況

オーロラ・人工オーロラ観測を実施する為，スペクトログラフの整備，調整を国内で進めた．その後，観測場所のトロムソへの設置を行い，現在は冬季連続観測を実施中である．また，共同研究を更に活性化する為の取組みとして，スペクトログラフの観測データは，電通大のウェブページを通じて準リアルタイムで公開している．

脈動オーロラ明滅時の発光スペクトル変化に着目し，脈動オーロライベントの選定と複数イベントの解析を進めている．初期的な取組みとして，酸素原子・窒素分子等の発光輝線・発光バンドの明滅時の発光強度変化に注目することで，明滅に寄与している降下電子のエネルギーに関する情報を抽出する手法を開発中である．

並行して，人工オーロラ実験の計画立案の為の予備調査を実施した．約18年間（2000-2017年）のトロムソ観測所におけるダイナゾンドの観測データを解析し，トロムソ観測所での人工オーロラ実験に適した時期の選定を試みた．その結果，太陽活動極大期が人工オーロラ実験に最適であること，太陽活動極小期には実験成功の可能性が極めて低いことなどを見出した．この結果と近年の低調な太陽活動度を考慮し，今年度の人工オーロラ実験は見送ることにした．数年後の太陽活動極大期を待って，人工オーロラ実験を再度企画する方向で検討を進めることを予定している．

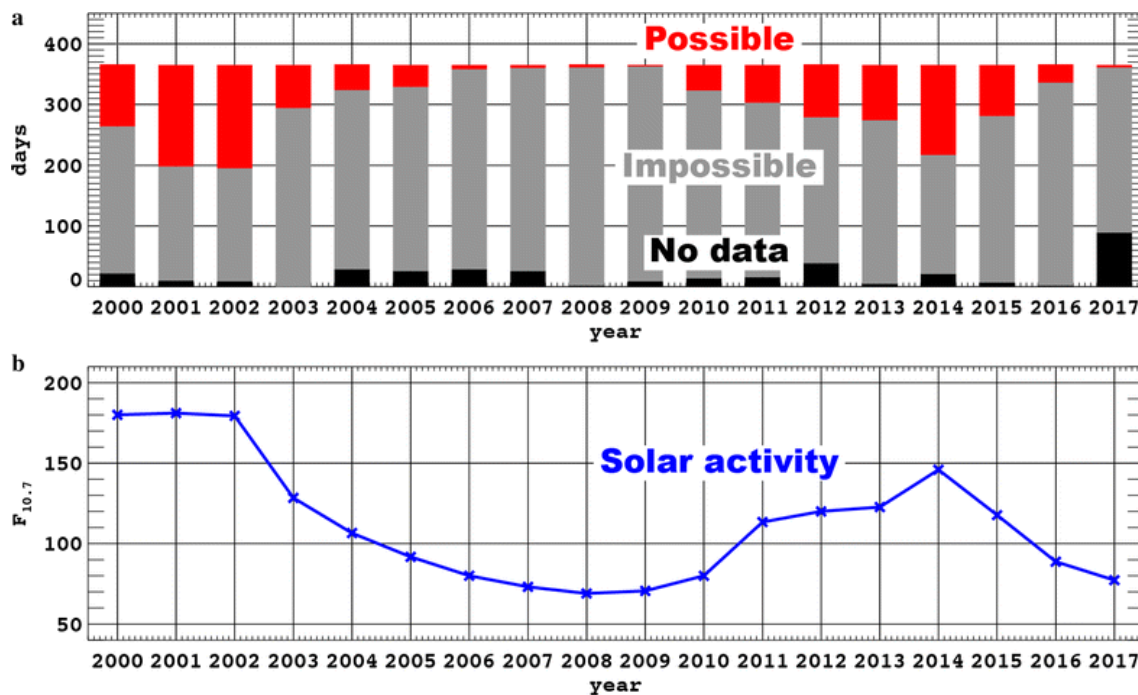


図. 人工オーロラ実験の観測可能性と太陽活動度の関係 (Tsuda et al., EPS, 2018)

学術論文 (査読付)

- (1) T. T. Tsuda, M. T. Rietveld, M. J. Kosch, S. Oyama, K. Hosokawa, S. Nozawa, T. Kawabata, A. Mizuno, and Y. Ogawa, Survey of conditions for artificial aurora experiments at EISCAT Tromsø using dynasonde data, *Earth Planets Space*, 70, 40, doi:10.1186/s40623-018-0805-9, 2018.
- (2) S. Oyama, K. Kubota, T. Morinaga, T. T. Tsuda, J. Kurihara, M. F. Larsen, M. Yamamoto, and L. Cai, Simultaneous FPI and TMA measurements of the lower-thermospheric wind in the vicinity of the poleward-expanding aurora after substorm onset, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 122, 10,864-10,875, doi:10.1002/2017JA024613, 2017.
- (3) M. Kogure, T. Nakamura, M. K. Ejiri, T. Nishiyama, Y. Tomikawa, M. Tsutsumi, H. Suzuki, T. T. Tsuda, T. D. Kawahara, and M. Abo, Rayleigh/Raman lidar observations of gravity wave activity from 15 to 70 km altitude over Syowa (69°S, 40°E), the Antarctic, *J. Geophys. Res. Atmospheres*, 122, 7869-7880, doi:10.1002/2016JD026360, 2017.
- (4) T. T. Tsuda, T. Nakamura, M. K. Ejiri, T. Nishiyama, K. Hosokawa, T. Takahashi, J. Gumbel, and J. Hedin, Statistical investigation of Na layer response to geomagnetic activity using resonance scattering measurements by Odin/OSIRIS, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 5943-5950, doi:10.1002/2017GL072801, 2017.
- (5) T. D. Kawahara, S. Nozawa, N. Saito, T. Kawabata, T. T. Tsuda, and S. Wada, Sodium temperature/wind lidar based on laser-diode-pumped Nd:YAG lasers deployed at Tromsø, Norway (69.6°N, 19.2°E), *Opt. Express*, 25, A491-A501, doi:10.1364/OE.25.00A491, 2017.

招待講演

- (1) 津田卓雄, 斎藤徳人, 野澤悟徳, 川原琢也, 川端哲也, 高橋透, C. M. Hall, 和田智之, 中村卓司, 江尻省, 西山尚典, 阿保真, 津野克彦, J. Gumbel, J. Hedin, 光リモートセンシングによる超高層大気の研究, レーザー学会 学術講演会 第38回年次大会, 京都, 2018年1月.
- (2) T. T. Tsuda, T. Takahashi, S. Nozawa, T. D. Kawahara, T. Kawabata, N. Saito, S. Wada, C. M. Hall, Y. Ogawa, K. Hosokawa, T. Nakamura, M. K. Ejiri, T. Nishiyama, M. Abo, K. Tsuno, J. Gumbel, and J. Hedin, Energetic particle impact on the Na layer, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, Chiba, May 2017.

ナトリウムライダーを用いた北極域中間圏・下部熱圏領域の 高時間分解能温度・風速観測

High resolution observations of neutral temperature and wind in the polar MLT region
using a sodium LIDAR

川原琢也、信州大学・学術研究院工学系

研究目的

極域下部熱圏・中間圏領域では、風速は下層大気から大気波動の影響を受けて ± 100 m/s の範囲で大きく変動する。一方でオーロラ電子が降下しているとき、この領域の変動の時間スケールは数秒（あるいはそれ以下）と極めて短く、オーロラ現象に伴う大気変動の解明には、高時間分解能の観測装置が必要となる。

トロムソ（北緯 69.6 度、東経 19.2 度）にて運用されている EISCAT レーダーでは、電子密度変動を 1 秒程度の時間分解能でとらえることができる。2017 年 1 月にトロムソに導入した 5 波長フォトメーターは、現在オーロラ発光変動を 400Hz で観測している。一方、トロムソで観測を続けるナトリウム(Na)温度/風速ライダーは、Na 層（高度 80-110 km）での中性大気温度・風速計測が可能な強力な観測装置であるが、Na 密度のピーク高度領域における時間・高度分解能は、これまで 3 分・500m となっていた。これはオーロラ変動のタイムスケールから考えると十分とはいえず、より高時間分解能で計測できるライダーにシステムの改良が必要とされていた。

本研究ではレーザ周波数制御部分を新システムに改良し、全システムを最適化して 10 秒以下で大気温度導出を実現し、オーロラ現象にともなう大気温度・風速変動を観測により明らかにすることを目的とする。

研究方法と研究結果

トロムソ Na ライダーで現有の AO システムを用いて高速切り替えの観測実験を行なった。これまでは 5 秒間のデータ積分（5 秒毎にデータを取り込む）で 1 分毎に波長を切り替えるモードであった。2017 年 12 月 12 日から高時間分解能観測の検討・テスト、およびレーザ調整により、2 秒積分で 20 秒毎の波長切り替えモードの運用を行った。これにより、1 分間(3 周波数データ)で中性大気温度・風速・ナトリウム原子密度の導出を行った。図 1 は 2018 年 1 月 22 日の南方向ビーム(Az=180°, El=60°)における時間分解能 1 分・高度分解能 2 km のデータを示す。上段から、受信強度(2 秒値)、Na 密度（1 分値）、視線方向速度（1 分値）、大気温度（1 分値）である。風速と大気温度変動から、大気波動による影響が見てとれる。また、受信強度および Na 密度から、21UT 付近に、Sporadic Sodium Layer (SSL)が見える。この高密度領域付近では、大気温度が短時間で変動していることがわかる。この SSL の解明にも、高時間分解能が必須であり、今年度実現して、1 分値によりデータ導出は、今後に解明に大きく貢献すると思われる。本申請は 3 年計画であり、来年度以降、平成 29 年度経費にて購入した AO 素子を用いた、AO 光学シャッターによる高速波長切り替えの実現に向けて、研究を進めていく。

学術論文（査読付）

- (1) T. D. Kawahara, S. Nozawa, N. Saito, T. Kawabata, T. T. Tsuda, and S. Wada, Sodium temperature/wind lidar based on laser-diode-pumped Nd:YAG lasers deployed at Tromsø, Norway (69.6°N, 19.2°E), Opt. Express, 25, A491-A501, doi:10.1364/OE.25.00A491, 2017.

招待講演

- (1) 野澤悟徳、EISCAT レーダー及びナトリウムライダー観測による極域上部中間圏・下部熱圏変動の研究、田中館賞受賞記念講演、第 142 回地球電磁気・地球惑星圏学会総会・講演会、2017.10.18、京都大学（招

待講演)

- (2) T. D. Kawahara, S. Nozawa, N. Saito, T. Kawabata, T. T. Tsuda, and S. Wada, Sodium temperature/wind lidar based on laser-diode-pumped Nd:YAG lasers deployed at Tromsø, Norway (69.6°N, 19.2°E), Opt. Express, 25, A491-A501, doi:10.1364/OE.25.00A491, 2017. (査読有)
- (3) T. D. Kawahara, Introduction to Na lidar observations: basics for beginners, China-Japan sodium lidar meeting, HeFei (China), Sep 2017. (招待講演)
- (4) S. Nozawa, T. D. Kawahara, T. T. Tsuda, Y. Ogawa, T. Takahashi, N. Saito, S. Wada, H. Fujiwara, M. Tsutsumi, C. Hall, T. Kawabata, Y. Ogawa, and A. Brekke, Sodium LIDAR observations of polar mesosphere and lower thermosphere, Laser Solution for Space and the Earth, OPTICS and PHOTONICS International Congress 2017, Kanagawa, April 2017. (招待講演)

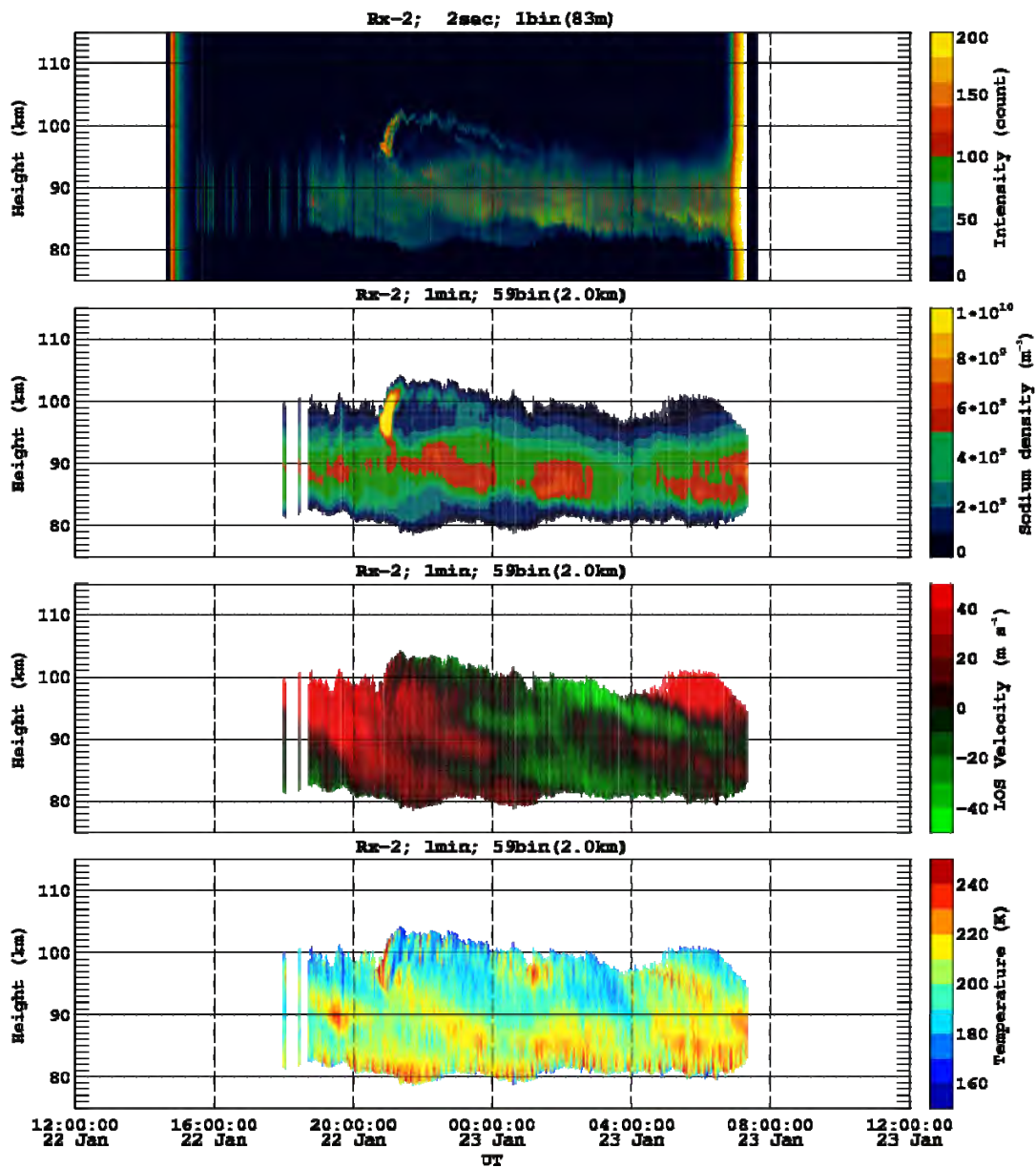


図1. 2018年1月22日の南方向ビームにおける中性大気温度・風速・ナトリウム原子密度。1波長20秒ずつの観測で計1分間(3周波数データ)で導出。時間分解能1分、高度分解能2km。

雲に関わる多相微物理・化学計算の高度化にむけた国際共同研究の推進

Advancing international collaboration to sophisticate cloud related multiphase microphysics and chemistry simulation

島 伸一郎，兵庫県立大学・大学院シミュレーション学研究所

1. 研究目的

大気中には多様な化学組成のエアロゾル粒子が多数漂っている．雲はこのエアロゾル粒子が核となって作られる．エアロゾル粒子の一部は降水とともに大気中から除去されるが，その他大部分の雲粒は蒸発して再びエアロゾル粒子となる．この様に，雲とエアロゾルはお互いに密接に影響を及ぼし合っている．この雲とエアロゾルの相互作用を定量的に評価することは依然として難しく，このことが気象予報・気候変動予測に大きな不確実性をもたらしている．

本研究の目的は、雲とエアロゾルの相互作用を定量的に評価できる数値モデルを世界で初めて実現することである．

2. 研究方法

島(代表)は「超水滴法」(Super-Droplet Method, SDM)と名付けた全く新しい雲微物理モデルを独自に開発した(Shima et al. 2009)．超水滴法はエアロゾル粒子・雲粒・降水粒子の運動と状態変化を，確率的な粒子法を使って統一的に計算する数値計算手法である．従来の手法と違い，時間発展を原理的な物理法則に基づいて精密かつ高速に計算することができる．観測との比較を通し超水滴法の有効性は実証されており，既に実用段階に至っている．しかし，現行の超水滴モデルは液相の雲微物理過程に特化している．

そこで，国際共同研究の推進と拡大を通して，超水滴モデルを，帯電過程や，氷相過程，詳細な大気エアロゾル・化学過程も扱えるように拡張し，原理的法則にもとづいてエアロゾル・雲・降水粒子の運動と状態変化を統一的かつ正確に計算できるようにする．

3. 研究結果、考察

超水滴法の氷相過程への拡張

島(代表)はここ数年かけて，氷を伴う混相雲を扱えるように超水滴法の拡張を進めてきた．氷相過程に関しては，そもそも雲微物理素過程の気象学的理解が甚だ不十分であり，このことが開発に際し大きな困難を生んでいた．しかし，2017年に様々な機会を利用してGrabowski博士(NCAR, USA), Pawlowska研究室のメンバー(Warsaw University, Poland), Stratman博士のチームメンバー(TROPOS, Germany)と議論し得られた知見を積み重ねた結果，最先端の気象学的知見を組み込んだ混相雲用の超水滴型雲解像モデルの初版をついに12月に完成させることができた．簡易な性能検証を行った上で，速やかにモデルの設計詳細を解説する論文を公表する予定である．

超水滴法の拡張による過飽和度に関するSGS乱流ゆらぎモデルの構築

Grabowski博士とAbade助教(Warsaw University, Poland)は、数値計算の際に水蒸気の過飽和度が計算格子内のSGS乱流により揺らぐことを表現する新しい手法を考案した(Grabowski and Abade 2017). 手法の肝となるのは、過飽和度の時間発展を各超水滴の属性として表現した点であるが、これは超水滴法の理論的枠組みを使うことで初めて実現できた画期的な成果である。

TwomeyのCCN活性化モデルの導入による超水滴法の高速化

Grabowski博士、Ziekan研究員(Warsaw University, Poland), Pawlowska教授は、従来型の超水滴法にTwomeyのCCN活性化モデルを導入し、雲の存在する所にだけ超水滴を配置する計算手法を考案した(Grabowski, Ziekan, and Pawlowska 2018). これにより、厳しい計算時間の制約がある数値天気予報においても超水滴法が活用できる可能性が見えてきた。

大気粒子の帯電が雲に及ぼす影響の評価

2017年の12月にZhou教授(East China Normal University, China)の研究員が島研究室に一ヶ月間滞在し、帯電した雲粒の衝突併合を通じた雨粒の形成速度の変化(Electrocoalescence)を評価する研究を推進した。まずは、雲粒の帯電過程のモデルと、Zhou教授らの考案した帯電した雲粒同士の衝突併合確率のモデルを、CReSS-SDMに実装した。その上で、理想化された晴天積雲に対して感度実験を行い、帯電により雨粒の形成が大きく抑制されるという予備的結果を得ることができた。

4. まとめ

以上の通り、超水滴法を軸とする国際共同研究ネットワークが広がってきており、雲モデルの開発も進展している。

5. 引用文献

Shima, S., K. Kusano, A. Kawano, T. Sugiyama, and S. Kawahara, Q. J. R. Meteorol. Soc. 135, pp.1307-1320 (2009).

Grabowski, W.W. and G.C. Abade, J. Atmos. Sci., 74, 1485–1493 (2017).

Grabowski, W.W., Dziekan, P., and Pawlowska, H., Geosci. Model Dev., 11, 103-120, (2018).

6. 成果発表

査読論文

[1] “A grid refinement study of trade wind cumuli simulated by a Lagrangian cloud microphysical model: the super-droplet method”, Sato, Y., Shima, S.-i. and Tomita, H. (2017), Atmos. Sci. Lett., 18: 359–365. doi:10.1002/asl.764.

[2] “On the CCN (de)activation nonlinearities”, Arabas, S. and Shima, S.-I., Nonlin. Processes Geophys., 24, 535-542, 2017.

国際発表: 8 件, 日本語発表: 9 件, 国際研究会の主催: 1 件

インド亜大陸北東部モンスーンの変動メカニズムの解明
Understanding of mechanism of summer monsoon over northeast India
n subcontinent

寺尾 徹、香川大学・教育学部

インド北東部地域は、インドの主要部とは降水変動が異なり、むしろ逆相関であることが古くから知られている。卓越する季節内変動周期も異なっており、インドの多くの地域で40-50日周期が卓越するのに対し、インド北東部地域は10-20日周期が卓越する。対象地域はインドで最も雨の多い地域であり、メガラヤ高原やヒマラヤ山脈の南斜面における地形性降水が顕著である。その雨は河川を通してバングラデシュの洪水をコントロールする主因となる。本研究は、このような独自の特徴をもつインド北東部地域のモンスーン変動メカニズムを解明し、降水変動の予測可能性を議論することを目的とする。地形性降水がインド北東部モンスーン降水量の大きな割合を占めるので、具体的な調査対象として、地形とモンスーンの相互作用による降水メカニズムの理解に焦点を当てる。

申請者らのグループはバングラデシュ気象局、インド・アッサム州ガウハチ大学、インド・メガラヤ州North-Eastern Hill Universityの研究者らと共同でバングラデシュに20地点、インド・アッサム州及びメガラヤ州に20地点の転倒ます雨量計を2004年より設置し現地では入手が難しい時間分解能の高い降水量データを蓄積している。これらのデータはメガラヤ高原の南面で特に特徴的な夜間に活発化する降水活動(e.g. Fujinami et al. 2017)など熱帯で卓越する降水の日変化のメカニズム解明において有用である。またバングラデシュ気象局やインド気象局の協力を得て長期間の気象観測データを収集してきた(e.g. Endo et al. 2015)。複雑地形となる当該地域におけるTRMM/PR地表雨量の過小評価の検出も行った(e.g. Terao et al. 2017)。今年度はこれまで紙媒体で保存されていた旧英領インドであった現バングラデシュ域の19世紀後半から20世紀前半までの降水量データのデジタル化を行った。これに加えてモンスーン季の前の3-5月に頻発するシビアストームについての新聞記事等の文献調査によるストーム発生件数の長期変化の調査や、アッサム地方において有名な茶園で独自に観測される気象データの入手を実施中である。

さらに、乾季と雨季で大きく陸面状態が変化する本研究地域は大気陸面相互作用が大気に大きな役割を果たしている可能性がある。今年度はこの研究の促進のために、本研究を用いて、本研究地域を対象としてこの分野の研究を実施した領域気候モデリングの研究者(Sugimoto et al. 2017)を本研究地域に派遣した。さらに、申請者は本研究地域だけでなくアジアモンスーン域における気象水文研究をリードする枠組みとなってきたMAHASRIプロジェクトの次期代表として2017年10月に行われたTPE-GHP/GEWEX Joint Workshopに参加し、1月及び3月の国内集会を通じて次のプロジェクトの計画の立案中である。

参考文献

- Fujinami, H. et al. 2017: *J. Geophys. Res.* doi:10.1002/2016.JD026116
Endo, N. et al. 2015: *SOLA*, 11, 113-117.
Sugimoto, S. and Takahashi, 2017: *J. Climate*, 30, 921-938.
Terao, T. et al. 2017: *SOLA*, 13, 157-162.

ALMAアーカイブデータによるタイタン大気の化学組成と変動要因の解明 On the origin of the variation of Titan's atmospheric composition by ALMA archive data analysis

平原 靖大 名古屋大学・環境学研究科

【研究目的】

本研究の目的は、高感度・高空間分解能を誇るアタカマリ波サブミリ波干渉計ALMA(Arecibo Large Millimeter/ submillimeter Array)を用いたサブミリ波帯波長域(84~950 GHz)における高分解能分光観測により、土星最大の衛星であるタイタンをはじめとするガス天体大気の組成やダイナミクス、温度分布、そしてその時間(季節)変動を明らかにすることにある。タイタンはALMAにおける強度較正天体として頻繁に観測され、アーカイブデータとして蓄積されていて、それらを逐次解析することで太陽系の惑星や衛星の大気の化学組成と時空間変動がモニター可能である^[1] (昨年度ISEE国際共同研究の成果)。

ALMA干渉計観測データは合成開口パターンの影響を受けており、CLEANとよばれる deconvolution演算^[2]が必須である。このCLEANがデータ解析において最も時間・計算コストのかかる部分で、従来の方法でタイタンのアーカイブデータをすべて解析するとその解析時間は1年あたり1万時間を超える。したがってCLEANを自動化・高速化する方法の開発は今後のALMAデータ利用に有意義である。CLEANでは観測結果の電波強度の強い場所・有意な場所にmaskをかける必要がある。maskの作成において、PSFの影響によるノイズと天体自身の構造を区別する基準はなく、解析者の主観による影響が排除しきれない。

【研究方法】

そこで本年度の国際共同研究では、申請者の研究室で過去に蓄積した土星の衛星タイタンのALMAアーカイブデータとその解析結果を教師データとする深層学習によって上記の課題を解決する自動解析手法を開発した。一般に、深層学習を用いることで、AI(人工知能)は教師データの中から一定の客観的基準を抽出することが可能である。本研究ではCLEAN処理の自動化・高速化のため、画像変換モデル Pix2Pix^[3]を使用し、dirty image(CLEAN処理前画像)からのmask自動作成手法を開発した。そして、AIを標準的なALMA解析ツールCASAと結合し、自動解析プログラムのコーディングを行った。深層学習においては、産総研・人工知能研究センターのAAIC (AIST Artificial Intelligence Cloud)を用いた。

【研究結果のまとめと今後】

図1に、本研究において開発した自動解析プログラムのフローチャートを示す。教師データ数764に対してdiscriminatorの層の数などのハイパーパラメーター探索をすることで、正解となるmaskのピクセル数が平均33.5[pixels]に対して7.6[pixels]の誤差で再現するモデルが得られた^[4]。図2に、深層学習により自動生成されたmaskパターンの例を示す。

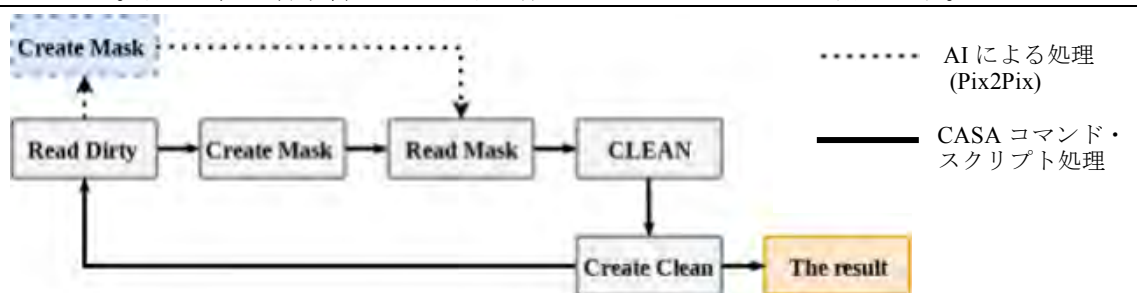


図1: AI-CASA自動解析プログラムでのデータリダクション処理のフローチャート

今後、更に多くのアーカイブデータ解析をすすめる、教師データの逐次追加することにより、U-Netなど、高精度であるがより多くの教師データ数を必要とする深層学習モデルを用い、多くの惑星・衛星観測データの解析に適用可能な自動解析ソフトの開発を進める。2年間の本ISEE国際共同研究によって、パリ天文台の惑星観測グループとの緊密な連携研究体制を構築することができた。今後、この連携体制をさらに強化し、国際共同電波観測施設ALMAのみならず、建設が開始したハワイ・マウイ島ハレアカラ山頂の口径1.8m望遠鏡PLANETSを用いた系内・系外惑星大気分子の赤外線高分解能分光観測の新展開に繋げる。

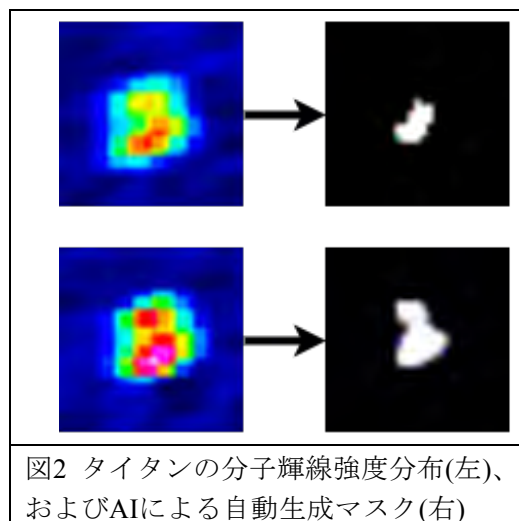


図2 タイタンの分子輝線強度分布(左)、およびAIによる自動生成マスク(右)

【引用文献】

- [1] 中山勇麻、名古屋大学理学部地球惑星科学教室 卒業論文、2016
- [2] B. G. Clark, "An efficient implementation of the algorithm 'CLEAN'", *Astronomy and Astrophysics*, 89(3), 377, 1980
- [3] Isola et al. (2017). "Image-to-Image Translation with Conditional Adversarial Networks". *Computer Vision and Pattern Recognition*, <https://arxiv.org/abs/1611.07004>, 2017
- [4] 鈴木達也、名古屋大学理学部地球惑星科学教室 卒業論文、2017

【成果論文リスト】

- [1] T. Iino and T. Yamada, "Spatially Resolved Sub-millimeter Continuum Imaging of Neptune with ALMA", *Astronomical Journal* 155(2), DOI:10.3847/1538-3881/aaa420, 2018
- [2] T. Iino, H. Namiki, T. Yamada, "A feasibility study of exhaustive analysis of ALMA calibration data for the creation of big-data driven solar system astronomy", *Journal of Space Science Informatics Japan*: Vol. 7, 19-32 2018
- [3] T. Iino, T. Yamada and Y. Tanaka, "A simulation study on terahertz continuum-wave observations of Neptune's atmosphere focusing on future ALMA observation", accepted to the *Journal of Remote Sensing Society of Japan*

【学会発表リスト】

- [1] 高見 康介、中川 広務、佐川 英夫、Krause Pia、青木 翔平、笠羽 康正、村田 功、平原靖大、Oleg Benderov、片桐崇史、"金星中間圏の風速・温度観測に向けた中間赤外ファイバーヘテロダイン分光器の開発"、地球電磁気・地球惑星圏学会、京都大学宇治キャンパス、2017/10/19
- [2] T. Suzuki, Y. Hirahara, T. Kohyama, and R. Nakamura, "Automation of CLEAN task with deep learning", ALMA Workshop for solar system planetary observations, 国立天文台三鷹キャンパス、2017/3/7
- [3] R. Moreno, "Planetary atmosphere observations with ALMA", ALMA Workshop for solar system planetary observations, 国立天文台三鷹キャンパス、2017/3/7
- [4] T. Iino, "ASTE and ALMA observations of outer planets", ALMA Workshop for solar system planetary observations, 国立天文台三鷹キャンパス、2017/3/7

衛星搭載イメージング光学系用バッフル・ベーン的设计と開発
Design and development of baffle and vane for a space-borne
imaging optical system

坂野井健、東北大学・大学院理学研究科

＜研究目的＞

現在、電磁圏・熱圏コミュニティでは、将来小型衛星の観測検討が行われている。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。将来衛星では、高高度観測を計画しており、日照条件下でオーロラ・大気光撮像を可能とする迷光対策や、広視野紫外撮像光学系の開発が必要不可欠である。本研究は、将来小型衛星による地球や火星における中～高高度からの観測により、可視オーロラ詳細観測と紫外広域観測を達成するため要求される技術検討を行う。

＜研究方法＞

地球オーロラを高高度から観測する場合には、迷光源としては衛星から望む惑星日照面（三日月型）と太陽直達光がある。ここでは、衛星高度は、地球オーロラ観測の場合3000km、火星オーロラ観測の場合は10000kmとし、光学系全角視野は8度～15度の範囲と仮定する。地球オーロラ観測時では600nm付近の太陽直達光は60TR/nm、地球日照面は460MR/nmと見積もられる。2nm程度のバンドパス干渉フィルターを用いた場合、これらは地球オーロラに比べてそれぞれ 10^{10} 倍、 10^5 倍明るい。同様に、火星オーロラ観測時では300nm付近の太陽直達光が5TR/nm、火星日照面の明るさが22MR/nmと見積もられる。4nmのバンドパス干渉フィルターを用いた場合、これらは、火星オーロラに比べてそれぞれ 10^{11} 倍、 10^6 倍明るい。この強烈な光源の迷光を低減させるためには、ベーンやバッフルによる遮光光学系が必要である。また、紫外（130-160nm付近）では相対的に太陽光が弱くなるため、オーロラ観測に有利なため、過去の高高度オーロラ観測では紫外撮像系が採用されている。

以上の課題について、平成28年度は広視野紫外撮像を可能とする光学系検討と、海外で紫外オーロラ・大気光撮像の実績のある米国カリフォルニア大バークレー校（UCB）と米国コロラド大・大気宇宙物理研究所（LASP）を訪問した。UCBではIMAGE衛星やICON衛星などで地球オーロラ・大気光紫外観測器開発実績のあるHarald Frey氏と、LASPではMAVENで火星オーロラ・大気光紫外観測実績のあるNick Schneider氏と打ち合わせを行った。平成29年度では、前年度課題となっていた紫外用2次元検出器と耐放射線性可視2次元検出器の選定、遮光光学系の検討ならびにスウェーデンとの共同研究の推進、ならびに科学課題（オーロラ加速機構ならびに熱圏ダイナミクス）と観測装置の整合性の検討を行った。

＜研究結果とまとめ＞

平成28年度はまず科学目的を達成するための観測条件が検討され、紫外は視野40x40度、可視は視野7.5x7.5度のとき、範囲と空間分解能いずれも要求をみたすことが明らかになった（図1）。次に、紫外オー

ロー観測対象を検討し、N2 LBH(140-160nm)または酸素原子(OI) 135.6nmが適当と判断された。この波長で前述の広視野を達成するための反射光学系の設計を行い、アプラナート7枚反射系で明るく($Fno=2.4$)十分に小さな収差像を得られる解を見いだした(図2)。

平成29年度は、遮光光学系についてISAS/JAXA山崎敦氏や東北大中川広務氏らと協力し、SEMI衛星遮蔽光学系[Jackson et al., Solar Phys, 225, 177, 2005]を参考にしつつ検討を行った。この結果、可視イメージャーでは日陰時のみ観測を実施することとした。平成30年3月にはスウェーデン・キルナでの研究会(SRS)に参加し、将来衛星計画FACTORSについて発表するとともに、IRF山内正敏氏、Tima Sergienko氏、Urban Braentstoem氏らと衛星搭載紫外・可視イメージャーについて検討を行った。ここではオーロラ観測の科学意義や観測波長の詳細検討に加えて、スウェーデンが今後の将来衛星計画に機器開発協力・提供や小型衛星提案など多面的な共同体制が議論され、今後とも連絡を密に取り合うことが合意された。観測波長については、可視はオーロラ物理解明の点でN2 1PG(650nm-)またはN2 1NG(391nm or 428nm)が適切で、加えてもし多波長にする場合には熱圏酸素密度観測でN2 VK(290-340nm)が候補となった。一方、紫外ではN2 LBH(140-160nm)とOI(135.6nm)の比から熱圏ダイナミクスが観測できることが議論された。宇宙用2次元検出器について、紫外用にCCDとMCPの両面で検討を行った。また、可視用に宇宙用EMCCDと耐放射線性CMOSの両面で具体的に検討を進めた。

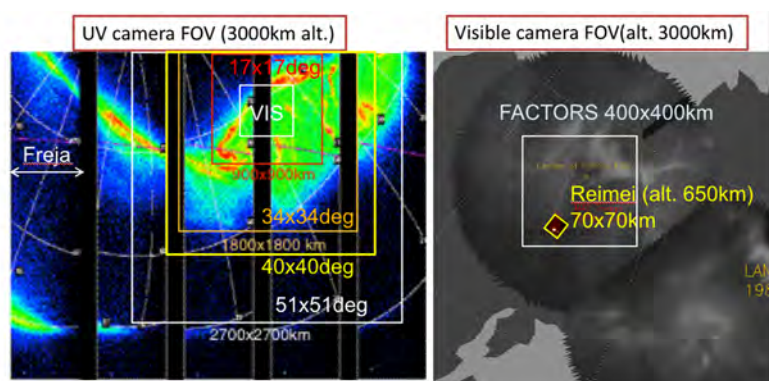


図1. 紫外イメージャー(左)並び可視イメージャー(右)の視野検討。可視では7.5x7.5度の視野で高度3000kmから見たときの範囲400x400kmを描いている。

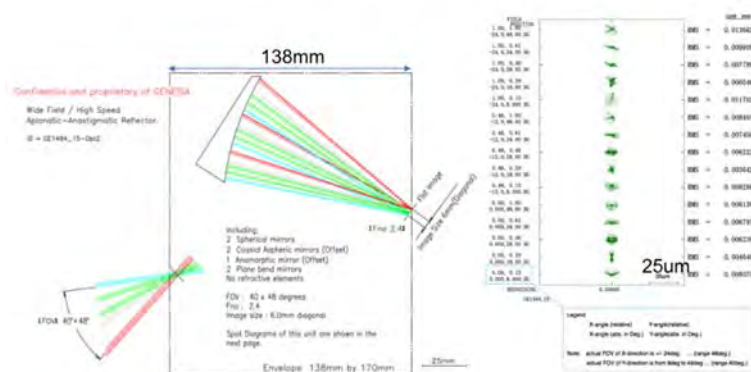


図2. 紫外イメージャーの光学設計例(左)と検出器面のスポット図。特許関連用、左図では7枚鏡のうち結像ミラーのみ描いている。

東南アジアにおけるELF帯電磁波観測を用いた、大規模雷の電氣的、
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のホスト観測点の1つであるWWLLN等の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VLFエネルギー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。また低緯度域での、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。さらに、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。

【研究方法】

1. マレー半島でのELF帯磁場観測への電磁環境調査、テスト観測及び本設置

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、H28年度に引き続き新たな2観測候補地において電磁環境調査およびテスト観測を実施する。その後、H28年度から合わせた4観測候補地から最も電磁環境の良好な地点に観測設備の本設置を実施する。なお、観測点の選定、設置および、観測データの転送と蓄積は、マレーシアの国際共同研究パートナーとの協働により実施する。

2. 国内ELF観測点におけるデータ取得とシステム整備

ISEE北海道陸別観測所に設置されたELF帯磁場観測点において、H29年度夏に近雷により故障した磁場センサーの交換作業を実施し、連続観測を再開する。

【研究結果と考察】

1. マレー半島でのELF帯磁場観測への電磁環境調査、テスト観測及び本設置

H28年度においてテスト観測を実施した2地点はいずれも、落雷に伴うELFトランジェント波形は受信可能ではあるものの、電磁干渉がかなり強い。そこでUPMゴメス教授と協議をして、より電磁干渉の少ないと考えられるマレー半島南東部および北部でのELF帯観測点候補として以下の2地点を紹介いただいた。そこで、これら2地点にて電磁環境調査及びテスト観測を実施した。

(a) UMP（マレーシア大学パハン校）－ 電磁環境調査及び、テスト観測

H29年7月17日～7月18日にかけて、マレー半島南東部沿岸に位置するマレーシア大学パハン校ペカンキャンパスにおいて、Wan Ibrahim先生、Fkee先生の協力のもと、再

生エネルギー施設敷地内に、ELF観測装置(磁場センサー含む)を展開し、一昼夜にわたる連続波形観測を実施した。その結果、水平磁界周波数スペクトルから50 Hzとその高調波を含む電磁干渉は極めて小さく、その時間変動もまた小さいことが判明した。デジタルフィルタ処理による、50 Hz及びその高調波の周波数成分を除去したところ、落雷に伴うELFトランジェント波形が明確に受信できることが分かった。

(b) UniMAP (マレーシア大学プルリス校) – 電磁環境調査及び、テスト観測

H29年7月19日～7月22日にかけて、マレーシア北部のタイとの国境に近いプルリスにあるマレーシア大学プルリス校キャンパス内のモスクの横の敷地内において、Nizam先生らの協力のもと磁場センサーを展開し、数日間にわたる連続観測を実施した。その結果、電力線放射及び高調波による電磁干渉はスペクトルが広く比較的強いことと、100 Hz以下において広帯域の電磁干渉が間欠的に見られることがわかった。デジタルフィルタで除去したところ、落雷に伴うと考えられるELFトランジェント波形が受信できることが確認されたが、上記UMPに比べ波形に頂上されたノイズ成分は大きいことが判明した。

上記のテスト観測結果を踏まえて、H30年3月1日～3月7日にかけて、UMP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帯水平磁場二成分の連続波形観測を開始した。磁場センサーは、施設の建物から80 m程度離れたところに設置され、建物内にはデータ収録システム、UPSおよびルーターが設置された。その結果、前回訪問時のテスト観測と同様に、良好な波形を得ることができた。今後、マレーシアを中心とする東南アジア域の大電荷量落雷の調査を実施していく予定である。なお、本設置は、プトラジャヤ大学ゴメス教授、パハン大学のスタッフ (Nizam博士、Wang講師)、現地の工事会社(ケーブル埋設)とともに実施した。また、建物内からのデータ転送およびデータロガーのコントロールのための、日本からのネット接続も無事確立された。

2. 国内ELF観測点の整備

H29年10月18日～21日にかけて、ISEE北海道陸別観測点の森の中に設置してあるELF磁場観測システムの磁界センサー(東西成分)の交換を実施し、無事終了した。これは、H29年7月上旬に、同東西成分の波形に異常があることが判明したことによる。その後ロガーと信号ケーブルの結線を入れ替えたりした結果、センサー自体の故障であることがほぼ確定されたため、センサーの交換を実施した。現在、データの質は良好であり、波形の連続取得中である。今後、上記のマレーシアの観測結果との照合を実施予定である。

【まとめと今後の展開】

3年計画の2年目であるH29年度には、H28年度のマレーシア国内2観測候補地に加え、さらに2地点において落雷に伴うELF帯電磁放射の連続観測のための電磁環境調査およびテスト観測を実施した。その結果、マレーシア大学パハン校ペカンキャンパスにおけるテスト観測結果が最も良好であることが判明したため、同校に観測設備の本設置を実施した。今後、WWLLN等の落雷標定ネットワーク観測による雷標定データから、マレーシアで観測されたELFトランジェント波形との比較により雷を同定し、E雷落雷電荷モーメントやVLFエネルギーの空間分布を導出する。北海道ISEE陸別観測所にて実施中のELF観測システムの故障対応を行い、無事観測が再開された。

【研究成果発表】

Y. Hobara, J. Yamashita, R. Murai, T. Narita and H. Mitsuzuka, Spatial distributions of lightning electrical properties over Eastern part of Japan by ELF and LL P observations, URSI 2017 GASS, Montreal, Canada, 2017

村井峻, 芳原容英ほか, 風力発電施設への着雷事例を用いた ELF 帯電磁波観測により遠隔推定された落雷電荷モーメントおよび落雷電荷量推定精度の検証, 電気学会 平成29年度電力・エネルギー部門大会, 東京, 2017.

【謝辞】

今回の国際共同研究プロジェクトのおかげで、国内観測点の整備、マレーシアにおける新たな観測点の設置を行うことができました。ISEEおよびマレーシアの共同研究者の方々、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ます。

2. ISEE International Joint Research Program 目次詳細

(所属・職名は平成30年3月現在)
(Affiliation and Department displayed are current as of March 2018.)

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
Daniel Okoh	Center for Atmospheric Research	Space Environment Research Laboratory	Principal Scientific Officer	Investigating plasma bubble propagations using the all-sky airglow images and GNSS Data	57
Jeongwoo Lee	Seoul National University	Physics and Astronomy, Astronomy Program	BK21 Associate Professor	Comparative Study of NoRH microwave maps and SDO/AIA EUV DEM maps	59
Sonomdagva Chonokhuu	National University of Mongolia	Environment and Forest Engineering	Associate Professor	Development of PM2.5 instruments and observation in Mongolia and Japan	61
Wai-Leong Teh	Space Science Centre, Institute of Climate Change	Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM)	Lecturer	Study on the formation of small-scale magnetic flux ropes in the reconnection diffusion region	63
Sergii V. Panasenko	Institute of ionosphere	Ionospheric Physics	Head of Department	Joint observations of travelling ionospheric disturbances using radar and GPS techniques	64
Jing Huang	National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences	Mingantu Observing Station	Associated Professor	Joint study of particle acceleration in solar flares with MUSER and NoRH	66
Ingrid Mann	UiT the Arctic University of Norway	Department of Physics and Technology	Professor	Combining PMSE and wind observations to study coupling processes in the mesosphere	68
Janardhan Padmanabhan	Physical Research Laboratory	Astronomy and Astrophysics	Senior Professor and Dean	The Role of flow angle in determining geo-effectiveness of non-radial solar wind outflows associated with Corotating Interaction Region (CIR) like events	70
Angelos Vouridas	Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory	SES/SRP	Section Supervisor	Investigating Heliospheric Data Assimilation to Improve The CME Arrival Predictions Of MHD Codes	76
Elena Kupriyanova	Central Astronomical Observatory (CAO) at Pulkovo of the RAS	Laboratory of Radio Astronomy	Senior Researcher	Diagnostics of mechanism of quasi-periodic pulsations in the multi-wavelength emission of solar flares	78
Antonia Savcheva	Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics (CfA)	High Energy Astrophysics Division	Astrophysicist	Data-driven magnetofrictional and MHD simulations of space-weather-effective quiet-sun filament eruptions	80
Geeta Vichare	Indian Institute of Geomagnetism	ODA	Associate Professor	Study of the propagation of substorm associated Pi2 pulsations in different local time sectors.	82

(所属・職名は平成30年3月現在)
(Affiliation and Department displayed are current as of March 2018.)

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
Devanaboyina Venkata Ratnam	KL University	Electronics and Communication Engineering	Professor	Development of Ionospheric Weather Forecasting Algorithms for GNSS Users	85
Dao Ngoc Hanh Tam (Tam Dao)	Ho Chi Minh Institute of Physics	Department of Atmospheric and Space Physics	Researcher	Study of the causes of post-midnight field-aligned irregularity at magnetically low latitudes using simulations	87
P K Manoharan	National Centre for Radio Astrophysics (NCRA), Tata Institute of Fundamental Research (TIFR)	Radio Astronomy Centre, NCRA-TIFR	Professor and Head of Radio Astronomy Centre	Inter-calibration of IPS data sets from ISEE and Ooty Observatories	89

Investigation of Plasma Bubble Propagations using the All-Sky Airglow Images and GNSS Data

Dr. Daniel Okoh (Space Environment Research Laboratory, Centre for Atmospheric Research, Nigeria)

This research is the first to report the occurrence frequency of equatorial plasma bubbles and their dependences of local time, season, and geomagnetic activity based on airglow imaging observations at West Africa.

The airglow image data used were obtained from the all-sky optical imager No. 5 of the Optical Mesosphere Thermosphere Imagers (OMTIs) provided by ISEE, and operated by the Space Environment Research Laboratory, Centre for Atmospheric Research. The imager is installed at the laboratory in Abuja (Geographic: 8.99°N, 7.38°E; Geomagnetic: 1.60°S, 79.39°E), it has a 180° fish-eye view covering almost the entire airspace of Nigeria. Plasma bubble visibility on the all-sky imager observations was enhanced by constructing percentage intensity deviations of the images from 1 h running averages of the images.

GNSS data used were obtained from seven GNSS receivers on the Nigerian Permanent GNSS Network, and the GNSS receivers used were selected such that the receiver stations fell within the region covered by the airglow imager. Differences between night-time and day-time ROTIs were computed as a proxy of plasma bubbles using the GNSS data.

Plasma bubbles are observed for 70 nights of the 147 clear-sky nights from 9 June 2015 to 31 January 2017. Most plasma bubble occurrences are found during equinoxes and least occurrences during solstices.

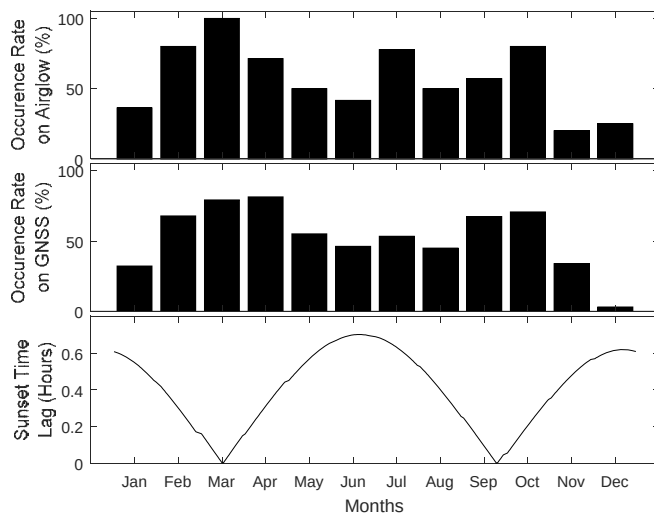


Figure 1. Percentage Occurrence of Plasma Bubbles as observed on the Airglow and GNSS data for the period from June 2015 to January 2017. The bottom panel represents sunset lag time between geomagnetic conjugate points on the same meridian as the all-sky camera station.

The occurrence rate of plasma bubbles was highest around local midnight and lower for hours farther away. On investigating the local time occurrence of plasma bubbles as a function of season, it was found that more post-sunset plasma bubbles occurred around the months of June–September while more post-midnight plasma bubbles occurred around the months of December–March. The post-sunset irregularities were attributed to electrical processes in the evening time equatorial ionosphere, while the post-midnight irregularities were proposed to be connected to tropospheric sources like the dusty harmattan winds which occur between the months of November and March in Nigeria.

In a total of 768 h for which there were clear sky airglow observations as well as GNSS ROTI data, the on/off status of plasma bubble in airglow and GNSS observations were in agreement for 67.2% of the hours. There were 65 h for which plasma bubbles were observed on the airglow images but not on the GNSS data, possibly due to the adopted ROTI threshold for the bubble identification and because GNSS radio paths can miss the plasma bubbles. On the other hand, another 187 h show that plasma bubbles were observed on the GNSS data but not on the airglow images, possibly because high ROTI can be caused by other sources, such as equatorial anomaly. A majority of the plasma bubbles were observed under relatively quiet geomagnetic conditions ($Dst \geq -40$ and $Kp \leq 3$), but there was no significant pattern observed in the occurrence rate of plasma bubbles as a function of geomagnetic activity. We suggest that geomagnetic activities could have either suppressed or promoted the occurrence of plasma bubbles.

My period of stay in ISEE was from 1 June to 31 August 2017. I appreciate the generous support I received during this period, and the warm disposition of staff and students I worked and stayed with at ISEE.

Publication:

Okoh, D., Rabiou, B., Shiokawa, K., Otsuka, Y., Segun, B., Falayi, E., Onwuneme, S., Kaka, R. First study on the occurrence frequency of equatorial plasma bubbles over West Africa using an all-sky airglow imager and GNSS receivers. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 122, 12430–12444, doi: 10.1002/2017JA024602, 2017

Presentation:

Okoh, D. Occurrence Frequency of Equatorial Plasma Bubbles over West Africa using an All-Sky Aiglow Imager and GNSS Receivers. Weekly Seminar of ISEE, Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE), Nagoya University, 07/July/2017

Comparative Study of NoRH microwaves and SDO/AIA EUV DEM

Jeongwoo Lee (Seoul National University)

1. Purpose

We aimed to address one of the most important issues in solar physics: understanding how plasma heating and nonthermal particle acceleration occur during solar flares. For this purpose, we designed a new method that utilizes the microwave data obtained with the Nobeyama Radioheliograph (NoRH) along with the differential emission measure (DEM) derived from the Solar Dynamics Observatory/Atmospheric Imaging Assembly (SDO/AIA). The main idea is that we may use the plasma density derived from SDO/AIA for calculation of thermal microwave flux and subtracting it from the observed NoRH flux will yield the information on the nonthermal particles accelerated during solar flares.

2. Method

(1) Select targets. A composite microwave bursts observed with the NoRH is ideal for this study. (2) Calculate the EUV emission measure using the AIA DEM package developed by Mark Cheung on the simultaneous SDO/AIA six images at 94 Å, 131 Å, 171 Å, 193 Å, 211 Å, and 335 Å. The output is n^2L , per given coronal temperature range, where n is the electron density and L is the line of sight. The temperature range will be set to $(\log T) = [5.7, 7.7]$ in the interval of $d(\log T) = 0.1$. (3) Calculate the microwave free-free emission maps based on the AIA DEM maps derived from the emission measure, n^2L . Compare the DEM-based microwave maps with the simultaneous NoRH maps to identify the regions where free-free or gyrosynchrotron emission dominates. (4) Study the magnetic characteristics of each source using either nonlinear force-free field extrapolation or direct modeling based on EUV images. Use this information to provide magnetic context of the eruptions.

3. Result

We have derived the EM information from the SDO/AIA (E)UV lines of the composite solar flare, SOL2015-06-21T01:42 and SOL2015-06-21T02:36. Using the above method, we were able to identify three distinctive sources: the first one is the main flare source located within the bipolar spot, which consists of both thermal and nonthermal sources. While the nonthermal source expands in width across the polarization inversion line (PIL), the middle part of the nonthermal source weakens and turns into thermal source. As a result, the nonthermal source appears to split into two peaks moving away from the PIL with time, consistent with standard solar flare reconnection model. Second source is another impulsive microwave source, which is also magnetically confined source and entirely nonthermal. This source is very

weak in EUV emission suggesting that thermal particles are depleted, allowing nonthermal electrons to survive longer against Coulomb collisions. Such behavior reminds us of the so-called *cold flares* that emit hard X-rays without accompanying soft X-rays, regarded as evidence for electron acceleration without thermal heating. We also found a thermal source rich in EUV and poor in microwaves. This may be a rare example of a passive receiver of thermal energy from a thermal reservoir through a magnetic channel as identified from EUV images and DEM analysis. In addition, we have explored the magnetic characteristics of each source using a noble method of calculating so-called quasi-separatrix layer, which enables identification of the location of magnetic reconnection during these flares. Finally, we combined these results to address the onset problem of solar eruption due to the double-arc instability (DAI).

4. Scientific Merit

This is the first study that microwave and EUV data are synthesized to serve as a tool for identifying the thermal and nonthermal components. We could implement such capability thanks to the excellent sensitivity of the NoRH (image quality of better than 20 dB) and spatial resolution of the SDO/AIA (0.6 arc sec per pixel). It is remarkable that these two independent instruments, one in space and the other in the ground, could simultaneously detect the subtle interplay between the thermal heating and nonthermal electron acceleration within a complex active region. This demonstrates how the combination of SDO/AIA and NoRH observation can help understanding the nonthermal particle acceleration and thermal heating in solar flares. In addition, we have found the importance of a composite flare in resolving the onset problem of solar eruption.

5. Publications

Main part of the above study was published in a paper titled: *Thermal and Nonthermal Emissions of a Composite Flare Derived from NoRH and SDO Observations* (Lee, J., White, S. M., Jing, J., Liu, C., Masuda, S., & Chae, J. 2017 ApJ, 850, 124). Another study made in collaboration, *Witnessing a Large-scale Slipping Magnetic Reconnection along a Dimming Channel during a Solar Flare* (Jing, J., Liu, R., Cheung, M. C. M., Lee, J., Xu, Y., Liu, C., Zhu, C., & Wang, H. 2017 ApJ Letters, 842, 18) is more focused on the DEM only. As related studies, we also identified magnetic structure for hosting these three sources in a paper, *Magnetic Structure of a Composite Solar Microwave Burst* (Lee, J., White, S. M., Liu, C., Kliem, B. & Masuda, S. 2018 ApJ in press). Another important collaboration has been made that identifies the condition for the eruption produced during this event in a *Flux Rope Formation By A Confined Solar Flare Preceding A Coronal Mass Ejection* (Kliem, B. , Lee, J., White, S. M., Liu, C., & Masuda, S. 2018 ApJ under review) has been favorably reviewed, and now in revision.

6. Period of Stay: total of 30 days in FY2017 at ISEE.

Development of PM_{2.5} instruments and observation in Mongolia and Japan

Sonomdagva Chonokhuu (National University of Mongolia)

Air pollution is a major environmental issue affecting people across the world. According to the World Health Organization (WHO), more than 2 million people worldwide die every year from air pollution. Of all the air pollutants, fine particulate matter (PM) is one of the most hazardous pollution for the human health. The particulate matter causes about 9% of lung cancer deaths worldwide, 5% of cardiopulmonary deaths and about 1% of respiratory infection deaths. According to the WHO, there is mounting evidence that concentration of particulate matter is increasing in Asia. Particulate matter mostly originates from dust storms, grassland fires, burning of fossil fuels in vehicles, power plants, but also various industrial plants generate significant amounts of particulates.

As standard instruments for the continuous monitoring of PM_{2.5} mass concentrations, tapered element oscillating microbalance, beta attenuation, and a hybrid of beta attenuation and light scattering, have been widely used in conjunction with an impactor or cyclone. The PM_{2.5} is expected to be heterogeneously distributed in both indoor and outdoor atmospheres because of its many direct emission sources and secondary formation processes. High-density multi-point observations are needed to understand the source, transport, and sink of PM_{2.5} and its effects on climate, air quality, and human health. However, the above standard instruments are not suitable for these observations because of their relatively high cost, large size, high power consumption, and low temporal resolution (typically >1 h). The development and application of a low-cost palmtop-sized PM_{2.5} sensor, which can measure PM_{2.5} mass concentrations precisely and accurately, is important to achieve high-density multi-point observations. A palmtop-sized PM_{2.5} sensor with low power consumption and high temporal resolution can also be applied to mobile measurements for personal exposure studies.

In this study we have developed PM_{2.5} instruments which is suitable for the observation in Mongolia. For accurate measurement of PM_{2.5} mass concentrations, the sensor is designed to be able to estimate particle sizes from the distributions of light scattering intensities from single particles and to detect small particles with diameter as small as ~0.3 μm by reducing background noise. The performance of the sensor is evaluated based on laboratory and field tests. The validation of the compact PM_{2.5} sensors was performed by simultaneous measurements with large beta-attenuation monitor (BAM) instruments in Nagoya. Good correlation factors were obtained. Even when the PM_{2.5} concentrations

were high than $1000 \mu\text{g m}^{-3}$ in New Delhi, India, good correlation was obtained.

We (Sonomdagva and Matsumi) have installed a small PM_{2.5} instrument in National University of Mongolia in Ulaanbaatar and have measured the PM_{2.5} concentration since August, 2016 (Fig. 2). This time we have installed the instruments in more three sites in in Ulaanbaatar, Mongolia. Figure 1 shows the new observation site in the ger area. Very high concentrations of PM_{2.5} have been observed by our instrument (Fig. 2). Now we are analyzing the observation results.



Figure 1 New observation site in the ger area in Ulaanbaatar, Mongolia.

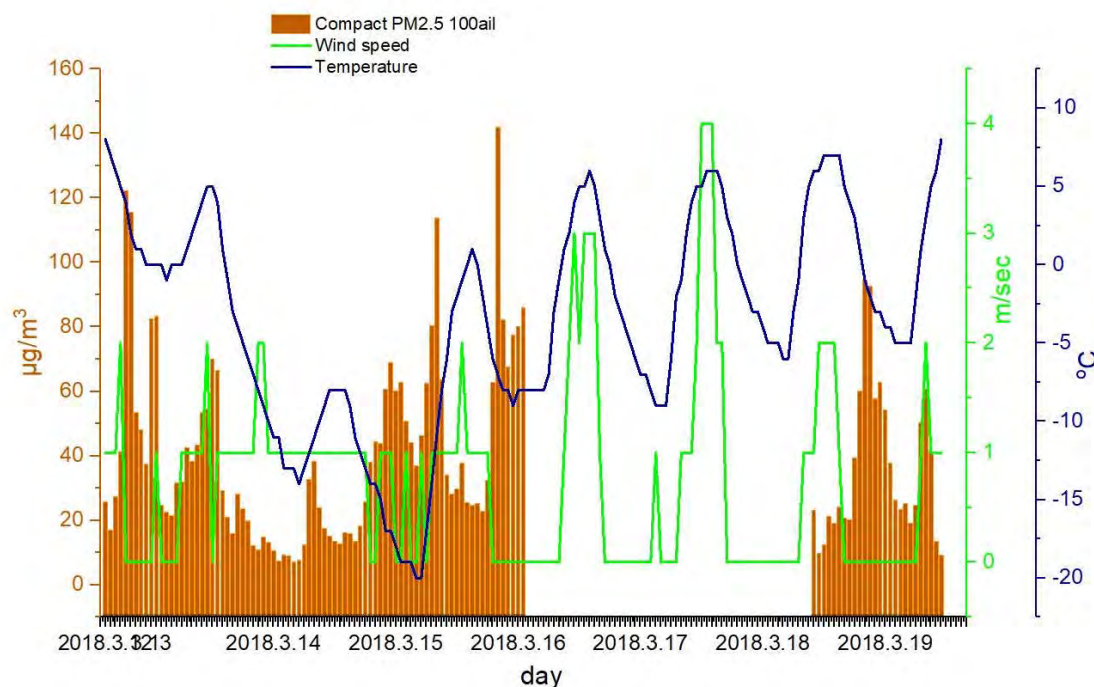


Figure 2 Observation result of PM_{2.5} in the Ger area site in Ulaanbaatar in March 2018.

Study on the formation of small-scale magnetic flux ropes in the reconnection diffusion region

Wai-Leong Teh

(Space Science Centre, Institute of Climate Change, Universiti Kebangsaan Malaysia)

Objectives

Magnetic reconnection is a prime mechanism for rapid energy conversion from magnetic field to kinetic energy in the form of plasma heating and acceleration. Magnetic flux ropes, which are of a helical and twisted magnetic field structure, are formed during magnetic reconnection. Recent in-situ spacecraft observations, for example, Magnetospheric Multiscale Mission (MMS), have found small-scale flux ropes (few ion inertial lengths) near the reconnection ion diffusion region, which is believed to be a prime region for energy conversion. Such small-scale magnetic flux ropes were found to have a significant core field at the center of the flux rope during a small guide-field reconnection, and their flux rope axis is tilted toward the reconnecting magnetic field direction. Yet, the formation of such small-scale flux ropes is not fully understood. Our primary objectives are to investigate the generation mechanism of small-scale flux ropes using a three-dimensional (3-D) particle-in-cell (PIC) simulation of magnetic reconnection with a small guide field and to compare the simulated flux ropes with observations.

Methods

Using supercomputer facilities at the Nagoya University to perform a 3-D PIC simulation of magnetic reconnection with a small guide field (~ 0.1). The 3-D PIC code is provided by T.K.M. Nakamura, who is one of our team members of this joint research program and is responsible for the simulation setup. The initial magnetic field and plasma profiles for the simulation are similar to the previous works by T.K.M. Nakamura, except that a larger simulation domain and a larger ion-to-electron mass ratio are implemented.

Results

Due to the security issues concerned by the Japanese government, the official approval for the access to the supercomputer facilities at the Nagoya University has been unexpectedly delayed and finally granted in January 2018. As a result, the 3-D PIC simulation setup is in progress yet. We have analyzed a magnetotail reconnection event seen by MMS spacecraft, where three ion-scale magnetic flux ropes were observed right after crossing a magnetic X-line. Two of which have the tilted flux rope axis toward the reconnecting magnetic field direction, a result similar to the recent MMS finding at the Earth's magnetopause. The tilted angle more or less agrees with the prediction from the theory of the tearing instability.

Periods of stay

12 – 16 November, 2017

Publications

In progress.

Joint observations of travelling ionospheric disturbances using radar and GPS techniques

Sergii Panasenko (Department of Ionosphere Physics, Institute of ionosphere, Kharkiv, Ukraine)

1. Purpose

Coordinated investigations of traveling ionospheric disturbances (TIDs) are very important for better understanding coupled dynamics of atmosphere and ionosphere. TIDs and acoustic-gravity waves (AGWs) play crucial role in energy and momentum transfer, contribute to their budget and effect on the satellite orbits and radio propagation characteristics. The comprehensive joint study of such wave processes enables to improve atmospheric and ionospheric models, provide new insights into mechanisms and channels of Earth – atmosphere – ionosphere interactions and draw up recommendations to mitigate the TID negative influence on satellite and telecommunication systems.

This project aimed to detect and estimate the characteristics of TIDs using two complementary incoherent scatter (IS) and GPS receiver techniques providing three-dimensional structure of wave processes in electron density. In addition, IS technique yields altitude profiles of TIDs in electron and ion temperatures and vertical plasma drift velocity. The main attention was paid to study of large- and medium-scale TIDs induced by the total solar eclipse of 20 March 2015. For result obtaining, we used the data of Kharkiv IS radar and GPS networks deployed in Western and Northern Europe. The methods and software for joint IS and GPS data analysis were developed which gave possibility to assure consistency and correct interpretation of results.

2. Facilities and methods

We used the data of Kharkiv IS radar (49.6 N, 36.3 E) located in Ukraine which is the only one at middle latitudes of the Central Europe. GPS / TEC data over Europe were acquired with dense European and Finnish GPS networks. The developed method includes four stages allowing characterization of altitude and spatial TID characteristics. The noise and interference removal procedures as well as interpolation of GPS data gaps are made at first. At second stage, we evaluate and extract long term trends to obtain temporal fluctuations in the ionospheric parameters falling into AGW / TID period range (5 – 120 min). Further, spectral analysis is performed to detect prevailing TID periods. It followed by band-pass filtration in time domain and separation of large- and medium-scale TIDs by applying two-dimensional least-squares method to differential TEC variations. Finally, statistical analysis is made for estimation of the amplitudes and propagation characteristics of TIDs.

3. Results

The main results obtained within collaborative project can be summarized as follows.

1. We conducted coordinated measuring campaigns including Kharkiv and Millstone Hill IS radars, Shigaraki MU radar during magnetically quiet and disturbed time intervals. Radar data will be analyzed together with world GPS /TEC data for TID investigations.

2. During solar eclipse of 20 March 2015, we detected both large- and medium-scale TIDs having similar periods about 50 – 60 min. Large-scale TIDs have prevailing north-east and south-east direction over Central and Northern Europe, respectively. Medium-scale TIDs propagated southeastward over both regions. The TIDs with such periods were observed over Ukraine too. The downward phase progression indicates the sources of waves to be located in the lower atmosphere.

3. The map of LSTID horizontal phase velocity vectors is created to demonstrate the main features of large-scale wave propagation.

4. Period of stay in ISEE and activities

I have visited ISEE and worked with Dr. Otsuka during August – September, 2017. During staying in Japan, I took part in seminar, symposium and conference, participated in MU radar observations and met with team members for discussion of methods and obtained results. I would like to express my gratitude to ISEE staff for hospitality and creating excellent conditions for my work as well as to all team members for assistance in method development and result obtaining and interpretation. I hope for continuation of such fruitful collaborative work.

5. Sustainability

The applied approach and developed methods provide sustainable progress in the study of TIDs observed during high energy natural and artificial processes. We plan to investigate such disturbances in the periods of geomagnetic storms, solar terminator moving, meteorological front passage, sudden stratospheric warmings, etc. For cooperation extension, the follow-up project was submitted. It devoted to joint study of TIDs driven by artificial sources, namely, ionospheric heater operation and rocket launches as well as evaluation of similarities and differences of naturally and artificially induced TIDs.

6. List of publications and presentations

1. Sergii V. Panasenko, Yuichi Otsuka, Max Van de Kamp, Leonid F. Chernogor, Takuya Tsugawa, Michi Nishioka. Observation and Characterization of Traveling Ionospheric Disturbances Induced by Solar Eclipse Using Incoherent Scatter Radars and GPS Networks. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. **(in progress)**

2. S. Panasenko, Y. Otsuka, M. Yamamoto, I.F. Domnin. Study of travelling ionospheric disturbances in the European and Japanese longitudinal sectors with Kharkiv incoherent scatter and MU radars. 11-th MU Radar / Equator Atmospheric Radar Symposium. RISH, Kyoto University, Uji Campus, Uji, Kyoto, Japan. 07 – 08/09/ 2017.

3. S.V. Panasenko, Y. Otsuka, T. Tsugawa, M. Nishioka. AGW / TID events over Europe during solar eclipse of 20 March 2015. Mesosphere-Thermosphere-Ionosphere (MTI) Research Conference. NICT, Tokyo, Japan. 12 – 13/09/2017.

4. S.V. Panasenko, D.V. Kotov, L.Ya. Emelyanov, L.F. Chernogor, O.V. Bogomaz, S.V. Katsko, A.E. Miroshnikov, I.F. Domnin. Ionospheric research in Ukraine using Kharkiv incoherent scatter facility. Ionospheric and Magnetospheric Research Seminar. ISEE, Nagoya University, Nagoya, Japan. 01/09/2017.

5. Sergii V. Panasenko, Yuichi Otsuka, Max van de Kamp, Takuya Tsugawa, Michi Nishioka. Large- and medium-scale traveling ionospheric disturbances over Europe induced by solar eclipse as inferred from dense GPS network data. JpGU Meeting 2018. Makuhari Messe, Chiba, Japan. 21/05/2018.

6. Sergii V. Panasenko, Leonid F. Chernogor, Oleg V. Lazorenko, Yuichi Otsuka, Max Van de Kamp. Observations of ultrawideband signals in GPS TEC variations over Europe during solar eclipse. 9th International Conference on ULTRAWIDEBAND AND ULTRASHORT IMPULSE SIGNALS. O. S. Popov Odessa National Academy of Telecommunications, Odessa, Ukraine. 4-9/09/2018.

Joint study of particle acceleration in solar flares with MUSER and NoRH

Jing Huang (National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences)

Purpose:

In solar flares, plenty of particles are accelerated in reconnection region and they transport in solar atmosphere to produce HXR, microwave and cm-dm wavelength bursts. These bursts could be recorded by based-spaced telescope. From the observations and proposed mechanism for these bursts, we could deduce the parameters of the source regions and find more diagnose for particle acceleration, which could be helpful to understand the physical process of particle acceleration. Prof. Yihua Yan is the member of ICCON (The International Consortium for the Continued Operation of Nobeyama Radioheliograph), which began in April 2015 for continued operation of NoRH. The National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Science (NAOC) contributes to the continued operation of NoRH (about 50 thousand per year). Jing Huang and Yin Zhang the members of NoRH Chief Observer to check the status of operation of NoRH. The joint study of the observations of both MUSER and NoRH would find new results on acceleration.

Method:

MUSER (Ming'antu Spectral Radio Heliograph) has the capability of acquiring high temporal, spatial, and spectral resolution over a wide frequency range simultaneously, which could record the bursts processes in a wide region above sunspot. It has two antenna arrays: the low frequency array at 0.4-2 GHz consists of forty 4.5-meter antenna and the high frequency array at 2-15 GHz has sixty 2.0-meter antenna. It recorded both right and left polarization signals of radio emission by spectra and image. NoRH (Nobeyama Radio Heliograph) has operated for more than twenty years, which have recorded lots of new features of solar activities and quiet sun from the images at 17 (I and V) and 34 GHz. The joint observations of MUSER and NoRH would provide us the most whole process of transportation of electrons from chromosphere to high corona. We could deduce the conditions of local plasma, magnetic field and the distribution of energetic electrons, which help us to understand the physical mechanism for acceleration and energy transfer. Radio Fine structures, like type III bursts, zebra pattern, pulsation, fiber and so on are proposed to be related with various of dynamical process in solar atmosphere. Based on the spectral structures from radio spectrometers and the locations from MUSER, we could fine more information related with acceleration and transportation of energetic electrons.

Results:

- (1) We have analyzed a flare event with MUSER and NoRH data in 2014-12-17. The active region has a circular ribbon and the emission density has oscillations at about 200s before the M class flare. After the onset of the flare, the oscillations disappeared and the emission from flare region has no obvious oscillations. The microwave emission at 17 GHz and HXR emission at 25-50 Kev is located on the two parallel ribbons of the main flare region. The emission at 1.7 GHz is deviated a bit from the main flare region. All the emission related with M class flare has no oscillations. We conclude that the 200-s oscillation of active regions ribbon could be the leakage of wave of the sunspot. The reconnection of the flare may destroy the link between the circular ribbon and the sunspot, which would be the reason for the disappearance of the oscillation. And the main acceleration sites is located in the flare region.
- (2) We have analyzed a prominence in the solar limb, which accompanied with a C class flare and an CME. The evolution of prominence could be divided into three phases: slow raise, fast eruption and partial ejection. The microwave emission of prominence showed that there are several local enhancements along the structure of prominence. The bright temperature of the bright spot is about 2 times higher of that of the prominence. The microwave emission at 17 and 34 GHz had equal value of bright Temperature. It may suggest that the emission of these local bright spot is optical thick. High density could be the main reason for this feature. After comparing the emission at microwave and EUV bands, it is found that both emission along the prominence has the local enhancement. It may indicate the localized heating in the flux rope. Hence, we proposed that in the prominence/ flux rope, local reconnection would take place and heat the local plasma which produce high value of bright temperature.

Main list of publications:**Proposed schedule:**

From 2018/01/22-2018/02/10, Chen Xinyao visit ISEE

From 2018/02/04-2018/02/20, Huang Jing and Zhang Yin visit ISEE

Combining PMSE and wind observations to study coupling processes in the mesosphere

Ingrid Mann (UiT the Arctic University of Norway)

From February 19th until February 28th 2018 a group of two researchers from the UiT Space Physics Group visited the Institute of Space – Earth Environmental Research (ISEE) at Nagoya University. UiT's Dorota Jozwicki (PhD) and Carsten Baumann (Postdoc) were hosted by Associate Professor Satonori Nozawa from Division Ionospheric and Magnetospheric Research at ISEE.

Scientific Background:

Among the coupling processes in the solar-terrestrial system the Earth atmosphere at altitudes around 60 to 120 km is of special interest, because it is governed by solar radiative forcing from above and from below by atmospheric waves. The atmospheric waves, notably gravity, tidal, and planetary waves influence the spatial pattern of noctilucent clouds (NLC) observed optically and polar mesospheric summer echoes (PMSE) observed with radar. Both phenomena are observed during the polar summer, similar radar echoes are however also observed during the rest of the year (called PMWE, for winter echoes). The PMSE, PMWE and NLC form in the presence of mesospheric dust, but the mesospheric dust formation and its link to meteors is still an open question. Other local phenomena with wavy spatial structure are sporadic E layers and sporadic sodium layers. The goal of the collaboration is to combine PMSE observations with EISCAT VHF and with observational studies using the other instruments that are at present located at the EISCAT Tromsø site, and in particular the sodium LIDAR that is located there and used for studies of the mesosphere by Dr Satonori Nozawa. Since at present the sodium LIDAR studies are restricted to darkness, we intended to start by comparing the sodium LIDAR and PMWE observations.

Course of the visit:

In order to find a good starting point the visit started with two talks given by both visitors regarding their ongoing research. That was a presentation by Dorota Jozwicki on the radar characteristics of PMSE/PMWE and an overview of the influence of meteoric smoke on the ion chemistry of the lower ionosphere given by Carsten Baumann. These

talks were followed by a presentation given by Dr Nozawa recapitulating the technical details of ISEE's LIDAR system in Tromsø as well as the scientific fields of the connection of sporadic sodium layers with ionospheric sporadic E-layers and the difficulties of the sodium ion chemistry in general.

We were introduced to the ISEE's LIDAR database and are now able to go through the different observation periods and search for common EISCAT PMWE measurements. During the research stay Dorota Jozwicki actually already started to go through the LIDAR database to identify temperature measurements during the same time of EISCAT PMWE measurements. The temperature information within the LIDAR and common PMWE volume pin down a parameter within the advanced spectral analysis of the EISCAT radar spectrum. By doing so one would get a deeper insight into the nature of the PMWE phenomenon.

The discussions on the connection between sporadic sodium layers (SSL) and sporadic E-layers (Es-layers) revealed two possible ways for collaboration. Firstly, extension of existing modeling capabilities of the Na/Na⁺ chemistry and secondly investigations on the role of auroral precipitation on the SSL/Es connection. Carsten Baumann contacted researchers from the Sodankylä Geophysical Observatory to eventually include the Sodium ion chemistry into the Sodankylä Ion and Neutral Chemistry model (SIC). This model can be used in order to understand both, the connection between SSL and Es layers and the influence of auroral precipitation. However, a final decision on this way has yet to be made.

Furthermore the visitors were engaged in the institute's scientific colloquium on the hot topic of Sudden Stratospheric warmings (SSW) and the link to their influence on the equatorial ionosphere. The visit ended with more hands-on work with the EISCAT data analysis software *guisdap* introduced by Dr Nozawa to Dorota Jozwicki.

In the end we want to thank Satonori Nozawa and his colleagues for giving us a warm welcome at the ISEE, for enabling an enjoyable stay in Nagoya and for opening the door for fruitful collaborations now and in the future.

ISEE Work Report

Title of the Proposal: The Role of flow angle in determining geo-effectiveness of non-radial solar wind outflows associated with Co-rotating Interaction Region (CIR) like events

Principal Researchers: P. Janardhan¹, and D. Chakrabarty¹ D. Rout¹

and

Ken'ichi FUJIKI²

Institutions: ¹Physical Research Laboratory, Ahmedabad, India,

²Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Japan

Schedule of the stay at ISEE

Under this proposal two researchers from PRL, India visited ISEE for interactions and discussions with ISEE researchers.

1. Janardhan P (15 May 2017 to 04 June 2017)
2. Rout D (29 October 2017 to 22 November 2017)

Aim of the Proposal:

The solar wind is primarily radial in nature with the azimuthal component of the flow typically being between 10-30 km/sec. On some occasions however, solar wind flows have been observed to be non-radial. A few studies also reveal non-radial solar wind flows associated with interplanetary coronal mass ejections (ICME's). It has been shown (Owens and Cargill, 2004) that the average non-radial or azimuthal component of the solar wind flow is $\sim 30 \text{ km s}^{-1}$. It is also suggested by Pizzo, (1989) that for a co-rotating solar wind structure, the interface acts like a wall and the impinging solar wind gets deflected making it non-radial. Such non-radial solar wind flows arise as fast-moving ICMEs push solar wind plasma aside. In a CIR, the stream interface is defined by rise in solar wind velocity, sharp drop in proton density, sharp rise in proton temperature, and shear in solar wind flow and it is believed that it acts as a boundary or a transition region where the slow solar wind interacts with the fast solar wind (Forsyth and Mars, 1999). During CIR driven storm, the solar wind flow also becomes more non radial for a few hours.

Another class of highly non-radial solar wind outflows, lasting over 24 hours, are the so called solar wind disappearance events (Balasubramanian et al., 2003, Janardhan et al., 2005, 2008a, 2008b). These unusual and unique events are typically characterised by highly non-radial, low density ($< 0.1 \text{ cm}^{-3}$), low velocity ($< 350 \text{ km s}^{-1}$) solar wind outflows whose solar sources are small mid-latitude coronal holes located at central meridian and lying adjacent to large active regions. The degree of deviation from the radial direction also has consequences on geo-effectiveness and space weather (Rout et al, 2017). The geo-effectiveness during various solar phenomena (Interplanetary shocks, solar flares, CMEs and CIRs) have been investigated by several researchers by considering the Dst, Kp and AE indices (Alves et al., 2006, Yermolaev et al., 2012). It is also shown that IP shocks with

similar upstream conditions, such as magnetic field, speed, density, and Mach number can have different geo-effectiveness, depending on their shock normal orientation and it can also reduce the ionospheric convection during nighttime (Oliveira and Raeder, 2015). It shows that the geo-effectiveness of an event can be controlled by the impact angle. It is to be noted that the merging electric field decides the magnetosphere-ionosphere coupling processes (Fejer et al., 2007). Therefore, it will be very interesting to study whether the solar wind non-radial flow influence the merging electric field and hence, the penetration of the merging electric field into the ionosphere. In addition, the aim of this proposed investigation is to address the solar origin of the non-radial flows which are not associated with any CME and CIR and how it affects the magnetosphere-ionospheric coupling. Based on an extensive study (Rout et al., 2017) of 43 CIR events during the deep solar minima of solar cycle of 23 (2006-2010), our recent result shows that the prompt penetration electric field over low latitude ionosphere can be significantly influenced by the solar wind azimuthal flow angle during CIR-induced geomagnetic storms. Further this study revealed that Z component of the interplanetary magnetic field (IMF Bz) and the equatorial electrojet (EEJ) strength are causally related to each other when the average solar wind flow being radial to within 6° at L1. This investigation elicits the important role of average solar wind azimuthal flowangle in determining the geoeffectiveness of CIR events and it can control the space weather impact on terrestrial atmosphere. Therefore, this study raised the question about the causes and solar sources of such extreme non-radial outflows (where the azimuthal flow angle is more than 6 degree) the in the solar wind. The aim of the present proposal is to find out such extreme events and identify the solar and the interplanetary origins associated to these events. In this investigation, the interplanetary solar wind data was taken from ACE and WIND satellites. To study the photospheric magnetic field distribution, synoptic magnetogram data from the Michelson-Doppler-Interferometer (MDI) instrument on board the Solar and Heliospheric Observatory (SOHO) is utilised. Further, using measurements of photospheric magnetic fields and potential field computations, the flows are mapped back to the Sun. This work is carried out in collaboration with Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE), Nagoya University, Japan.

Summary of this investigation

In order to find out the origin of the extreme non-radial events, the cases of where the azimuthal flow angle of solar wind flow exceeded more 6° for a period of 1 day or more in absence of any solar phenomena such as coronal mass ejection (CME) and/or co-rotating interaction regions (CIRs) were taken. For most of the events, the solar wind density at 1 AU was $< 5\text{cm}^{-3}$ for periods of more than 1 day, similar to the well-known ‘‘solar wind disappearance events’’, which show unusual drops in solar wind density at 1 AU ($< 1\text{cm}^{-3}$) for prolonged periods ($> 1\text{ day}$). It is well known that the isotopic ratio of $\text{O}^{7+}/\text{O}^{6+}$ can be used as a good proxy for associating solar wind outflows to either AR or CH (Liewer et al. 2004). It was shown that the solar source of this event could not be pinned down to either an AR or a CH (Janardhan et al. 2008a), as the $\text{O}^{7+}/\text{O}^{6+}$ ratios were sometimes indicative of a CH origin and at other times indicative of an AR origin. It is seen that the $\text{O}^{7+}/\text{O}^{6+}$ ratio is above 0.2 when the low-density flows began, suggesting thatthe solar source was an active region open field (Schrijver and Derosa, 2003). If the ratio, $\text{O}^{7+}/\text{O}^{6+} = 0.2$ change then there is a transition of a coronal hole (CH) source and an active region (AR) source. Sometimes it is also observed that a reverse transitionoccurs in between the CH and AR and it oscillates. The CH-AR-CH-AR type of oscillations implies that there is a constantly evolving and dynamic boundary interface. The charge state ratio $\text{O}^{7+}/\text{O}^{6+}$ thus provides evidence that these flow periods at 1 AU represent the dynamic evolution of an open-closed field coronal hole to active region boundary and also suggests that a fast and dynamical evolutions taking place at the source regions. We thus traced back the events to the Sun, using a

velocity trace back technique combined with a potential field source surface extrapolation, to pinpoint their solar sources. Strikingly, this exercise reveals that the events are all associated with characteristic pairing of an active regions (AR) and coronal holes (CH) located at the central meridian. Further, the dynamical evolution taking place at AR-CH complex regions were examined, using the Extreme Ultraviolet Imaging Telescope and the Michelson Doppler Imager images, that shows new emerging magnetic flux regions and coronal loops, during the trace back dates, disturbing the stable CH configurations and leading to the extreme non-radial events. Therefore, this investigation for the first time, throws light on the causative mechanism of non-radial solar wind flows not associated with CME and CIR. Based on the combined observations, it was found that a rapid evolution takes place in the CH and AR due to a process of interchange reconnection. The exact magnetic topology of the AR-CH region is complicated and it is very difficult to pinpoint the reconnection sites and locations of the opposing polarities involved (Janardhan et al. 2008a).

The manuscript (**On the origin of extremely non-radial solar wind outflows** by D. Rout, P. Janardhan, K. Fujiki, and D. Chakrabarty) is now under preparation. It will be submitted to *Astronomy & Astrophysics* shortly.

Solar polar fields during cycle 24 An unusual polar field reversal

It is important to mention here that this proposal also brought out another research paper while addressing the above mentioned problem. This manuscript (**Solar polar fields during cycle 24 An unusual polar field reversal** by P. Janardhan, K. Fujiki, M. Ingale, Susanta Kumar Bisoi, and Diptiranjana Rout) is undergoing minor revisions in *Astronomy & Astrophysics* and on the verge of acceptance. The summary of this manuscript is explained below.

It is well known that the polarity of the Sun's magnetic field reverses or flips around the maximum of each 11-year solar cycle. This is commonly known as polar field reversal and plays a key role in deciding the polar field strength at the end of a cycle, which is crucial for the prediction of the upcoming cycle. The aim of this investigation was to report a prolonged and unusual hemispheric asymmetry in the polar field reversal pattern in solar cycle 24.

We have examined the polar field reversal process from solar cycles 21–24, spanning the period between Jan. 1975 and Dec. 2016, using magnetic field measurements from NSO/KP and the constructed magnetic butterfly diagram which clearly depicts the field reversal during each solar cycle. Our study highlights the unusual nature and the significant hemispheric asymmetry of the field reversal pattern in solar cycle 24 by examining high latitude solar magnetic fields, poleward of 45° and 78° . The current study shows that the field reversal in the Northern solar hemisphere was completed only by November 2014 as opposed to a recent study by Gopalswamy et al. (2016), which suggested that this process was completed by the end of 2015. It is to be noted that these authors used 17 GHz microwave images to show the absence of microwave brightness enhancement in the polar region during the prolonged zero-field polar field conditions in the Northern hemisphere following 2012 until late 2015. The difference in completion of polar field reversal in the Northern hemisphere is understood from the fact that the 17 GHz microwave emission is generally observed in the lower corona or at best in the chromospheric region, but not at the photospheric level. However, our study of the polar reversal is at the photosphere and is therefore better in pinpointing the time of completion of the polar reversal in the solar Northern hemisphere. This study also shows that the reversal occurred much earlier, in late 2014. The heliospheric signatures of this unusual polar reversal pattern, studied using synoptic maps of solar wind velocities, has shown the development of polar coronal holes in the

Northern hemisphere as late as in October 2016. Since the heliospheric measurements of solar wind velocities are made in the corona at a height higher than that of the 17 GHz microwave emission, it is, thus, expected that the time of the polar reversal pattern could be later than the time of polar reversal known from the 17 GHz microwave brightness enhancement.

The unusual polar reversal pattern, in cycle 24, in the solar Northern hemisphere showed at least two field reversals or zero crossings of the magnetic field while the Southern hemisphere showed only a single unambiguous zero crossing or field reversal. The hemispheric asymmetry of polar field reversal is well known and well discussed by Svalgaard & Kamide (2013) wherein, the authors attributed such hemispheric asymmetry to the asymmetry in solar activity in both the hemispheres. Our study of the variation of toroidal magnetic fields showing a hemispheric asymmetry in solar activity in the sunspot belt regions lends support to the report by Svalgaard & Kamide (2013). The unusual pattern of field reversals in the Northern hemisphere in Cycle 24 can be attributed to multiple surges of solar activity after 2012 that carried the wrong magnetic flux to the solar northpole. It is to be noted that the present study very clearly shows the occurrence of such multiple surge activity for the solar Northern hemisphere during cycle 24.

From our study, we have seen a lower polar flux for cycle 24 as compared to cycle 23, which itself had a comparatively weaker polar field strength than the earlier cycles. The variation of polar cap fields in the latitude range 78° - 90° in Cycle 24 has a similar profile like in Cycle 23 which showed a very good correlation with the meridional flow speed. From the correlation of meridional flow speed and the polar cap fields, it is clear that presumably the meridional flow speed during the declining phase of Cycle 24 was much faster than the earlier Cycle 23 leading to the observed weakness of polar field strengths in cycle 24. Further, the weaker polar field strength noticed in the Northern hemisphere as compared to the Southern hemisphere can be attributed to the multiple surge activities noticed in the Northern hemisphere, which resulted in the reduced field strength due to multiple flux cancellations.

It is known that the strength of the polar field can be used as precursor for predicting the strength of the upcoming cycle. The weaker polar field strength of cycle 24 implies a weaker cycle 25 in keeping with the flux transport dynamo model prediction of (Choudhuri et al. 2007) wherein, the authors used the axial dipole moments of the previous cycle to successfully predict the amplitude of the next cycle. Using the long term variations in unsigned high-latitude (45° - 78°) solar magnetic fields (Janardhan et al. 2015), a prediction of $\sim 62 \pm 12$ has been made for the maximum sunspot number for solar cycle 25 in the old unmodified sunspot number scale indicating a weaker cycle 25 than cycle 24. This study lends support to the prediction that the amplitude of the next cycle 25 will be weaker than the current cycle 24.

Earlier studies (Bisoi et al. 2014; Janardhan et al. 2015) have reported a steady ~ 20 year decline, starting from the mid-1990's to the end of 2014 of solar photospheric fields in the latitude ranges 45° - 78° . It is evident that the photospheric fields continuing to decline in the Northern hemisphere while the field strength in the Southern hemisphere has at least partially recovered and shown an increase since June 2014. It is observed that the photospheric fields in the Southern hemisphere have already approached the minimum in cycle 24, while the Northern hemisphere is still declining and has yet to approach the minimum as of the end of 2017. This asymmetry in the decline in both hemispheres and the continuation of photospheric field decline in the north explain the prolonged zero-field condition and delayed polar reversal of the northern hemisphere. Due to the overall trend is still that of a decline and one would expect that this would continue at least until 2020, the expected minimum of the current cycle 24.

The study of solar photospheric fields and a continuation of the study of solar polar field reversal process is, therefore, of utmost importance in understanding the sun, the solar dynamo process, the solar wind and space weather, more so because of the fact that such a situation on the sun, when solar photospheric fields have been steadily declining for nearly 25 years now and there is speculation that we are probably on the verge of a grand minimum akin to the Maunder minimum (Janardhan et al. 2015; Sánchez-Sesma 2016), is unique and probably unprecedented since systematic solar observations began four centuries ago.

Publications:

1. **Solar polar fields during cycle 24 An unusual polar field reversal.**
P. Janardhan, K. Fujiki, M. Ingale, Susanta Kumar Bisoi, and Diptiranjana Rout [*Under minor revision, nearly accepted, 2018, A&A*]
2. **On the origin of extremely non-radial solar wind outflows** by D. Rout, P. Janardhan, K. Fujiki, and D. Chakrabarty [**Under Prepration**]

Talks:

1. **Declining solar activity: Is the sun going into hibernation? – Janardhan, P. May 2017**
2. **Magnetosphere-Ionosphere-Thermosphere System Under Varying Space Weather Conditions – Rout D., 10 November 2017**

References:

1. Alves M. V., Echer E., and Gonzalez W. D., J. Geophys. Res., 111, A07S05, (2006)
2. Balasubramanian, et al., J. Geophys. Res., 108, 1121-1131, (2003)
3. Bisoi, S. K., Janardhan, P., Chakrabarty, D., Ananthakrishnan, S., & Divekar, A., 2014, Sol. Phys., 289, 41
4. Choudhuri, A. R., Chatterjee, P., & Jiang, J. 2007, Physical Review Letters, 98, 13110
5. Denny M. Oliveira¹ and Joachim Raeder, J. Geophys. Res., 120, 4313–4323, (2015)
6. Fejer, et al., J. Geophys. Res., 112, A10304, (2007)
7. Forsyth R. J., and Marsch E., Space Science Reviews 89, 7–20, (1999)
8. Gopalswamy, N., Yashiro, S., & Akiyama, S. 2016, ApJ, 823, L15
9. Janardhan P., Tripathi D., and Mason H. E., A&A 488, L1–L4 (2008a)
10. Janardhan, et al., J. Geophys. Res., 110, 08101, (2005)
11. Janardhan, P., Fujiki, K., Sawant, H.S., Kojima, M., Hakamada, K. and Krishnan, R., 2008b. J. Geophys. Res **113**, A03102.
12. Janardhan, P., Bisoi, S. K., Ananthakrishnan, S., et al. 2015, J. Geophys. Res., 120, 5306
13. Kahler S. W. and Hudson H. S., J. Geophys. Res., 106, 29239-29248 (2001)
14. Neugebauer M., et al., J. Geophys. Res., 103, 14587- 14600, (1998)
15. Nolte, et al., Solar Phys., 46, 303-322, (1976)
16. Owens M., and Cargill P., Annales Geophysicae 22, 4397–4406 (2004)
17. Pizzo V.J., J. Geophys. Res., 8673-8684, (1989)

18. Rout, D., Chakrabarty, D., Janardhan, P., et al., 2017, *Geophys. Res. Lett.*, L
19. Sánchez-Sesma, J. 2016, *Earth System Dynamics*, 7, 583
20. Scherer K., Marsch E., Schwenn R., and Rosenbaue H., *A&A* 366, 331-338 (2001)
21. Svalgaard, L. & Kamide, Y. 2013, *ApJ*, 763, 23
22. Yermolaev, et al., *J. Geophys. Res.*, 117, A00L07, (2012)

Acknowledgements:

We are very thankful to ISEE International Collaborative Research Program for support in executing this work. We are extremely thankful to Dr. K. Fujiki for all his kind support in this collaborative work. We would also like to express our sincere thanks and appreciation to Dr. Tokumaru, Dr. Iwai and Dr. Shiokawa for the scientific discussion during the stay at Nagoya University.

Investigating Heliospheric Data Assimilation to Improve CME Arrival Predictions of MHD Codes

Dr. Angelos Vourlidas JHU/APL

I visited ISEE on Oct 12- Nov 2, 2017. My host was Dr. Kanya Kusano and my collaborators were Drs. Daikou Shiota (NICT) and Neel Savani (UMBC).

The general purpose of the visit was to investigate whether the prediction of the coronal mass ejection (CME) time of arrival (ToA) provided by MHD models can be improved by updating the model with observational data as the CME propagates into the heliosphere. Such data assimilation has never been attempted with solar/heliospheric models although it is a staple of terrestrial weather modeling.

Because of the relative short duration of this exploratory visit, we decided to focus on two specific objectives: (1) assimilate the STEREO/HI-1 data to SUSANO model for a single event to check whether it improves the ToA accuracy and (2) produce synthetic white light images from the SUSANO model.

Our initial idea to use data from the Sept 6, 2017 CME did not work because the SECCHI/HI observations were corrupted between Sep 6-7 due to onboard compression errors (all SECCHI telescopes were affected actually). We had only 2-3 images, all within 30 Rs, to work with. We decided to go after the events on March 10-13, 2017, where we have observations from both HI-1s in almost quadrature w/ Earth. We also decide to use the j-map approach for the initial comparisons with the SUSANO model.

Progress on objective 1: Unfortunately, I did not have the March 2017 SECCHI data with me. It took some time to download (we need both COR2 and HI) but I had trouble with the software to produce the j-maps. Many of the routines seems to be wired for internal NRL directories. I was not able to resolve the bugs. Also, the online j-maps from JPL archive were also missing for the exact period. So we decided to wait on this until I got better j-maps.

Progress on Objective 2: We accomplished this objective Dr. Shiota produced synthitic white light

images for the March 2012 period that look quite reasonable. We did not proceed with a detailed comparison of the observations until I am able to obtain better HI images.

A considerable amount of my time was devoted in preparing and giving seminars on various CME issues at NAOJ, NICT, and ISEE. In addition, I presented information on the upcoming Parker Solar Probe mission to inform the Japanese Heliophysics community about this exciting mission to be launch on July 31, 2018.

I also advised ISEE students on the use of the data analysis software for STEREO observations. However, our collaboration with my ISEE and NICT colleagues is ongoing. We have agree on the following steps:

- * Dr. Vourlidas: provide high-quality j-maps for March 10-14, 2012 and measure CME height-time for all events. Note: there are multiple CMEs during this period.

- * Dr. Vourlidas: provide the h-t data, for both CME shock and front, along the Earth direction to Dr. Shiota.

- * Dr. Shiota: Check Lugaz et al. (2009) for an early example of comparing model and observed j-maps and assess whether/how the method could be improved.

- * Team: discuss methods for comparing/incorporating model/obs j-maps.

These effort is ongoing. I plan to provide the j-maps and associated information by mid-april. The delay is wholly my own due to my commitments to the preparations for the Parker Solar Probe mission simulations (Feb) and the science planning for the first orbit.

Overall, it was a very enjoyable and productive visit. The administrative support and working environments were excellent. I sincerely hope that my visit marks the beginning of a hopefully long-term collaboration among the ISSE, NICT and JHUAPL groups. I am looking forward interacting my colleagues soon!

Diagnostics of mechanism of quasi-periodic pulsations in the multi-wavelength emission of solar flares

Elena Kupriyanova (Central Astronomical Observatory at Pulkovo of RAS)

The processes of primary energy release of solar flares are one of the widely discussed problems of solar physics. One reason for the slow progress in this field is the lack of observations that could provide information directly from the primary energy release site. Quasi-periodic pulsations (QPPs) observed in the broadband emission of solar flares are known as one of the tools for diagnosing energy release processes, in particular, processes associated with the electron acceleration. For example, the analysis of QPPs makes it possible to determine whether the observed brightness variations are the result of modulation of the acceleration process itself or by modulating the emission of already accelerated particles. Therefore, the purpose of the project is to identify the mechanism of QPPs during the primary flare energy release.

According the proposed work plan during my stay in ISEE from 09/05/2018 to 11/07/2018, the following studies were performed and following results were obtained.

We found a weak solar flare (GOES class C2.3) occurred on December 21, 2015 at the East limb with the unusual QPPs observed at the beginning of the impulsive phase. We analyzed data of the Broadband Microwave Spectropolarimeter (BBMS) in the range 4-8 GHz (radio astrophysical observatory of Badary), Radioheliograph (NoRH) and Radio Polarimeters (NoRP) of the Nobeyama Observatory at 17 GHz, as well as X-ray data from the RHESSI and FERMI satellites.

Analyzing the spectra of the microwave and X-ray emissions the following estimations of the parameters both thermal (3-10 keV) and non-thermal (both 26-55 keV and 4-8 GHz) emissions were obtained: temperature $T \approx 20$ MK, emission measure $EM = [2-6] \cdot 10^{46} \text{ cm}^{-3}$, source size $r \approx 10''$, electron spectral index $\delta \approx 3$, peak frequency of microwave spectrum $f_{\text{peak}} \approx 6$ GHz.

The following results were obtained. In-phase pulsations with a similar period of 12-15 s are found in both microwave and hard X-ray emissions. This is the signature of that the X-ray and microwave emissions are related to the same population of accelerated electrons. Moreover, the pulsations were in phase in the optically thin, and in the optically thick parts of the gyrosynchrotron spectrum. Checking the QPPs through the microwave spectrum allows to find frequency-dependent behavior of the amplitude of the QPPs: the frequency increases, the amplitude decreases. Besides, the rise time of the time profiles at higher frequencies is longer than that at the lower frequencies and that for the non-thermal component of the X-ray emission.

We compared the results of observations with parameters and characteristics of the emissions associated with various pulsation mechanisms. We suggested and tested an empirical self-consistent model of the microwave response on the injections of electrons for this event. The modeling was performed under assumptions: (i) the acceleration of electrons is the continuous process; (ii) the injection at each time is delta-function with the subsequent decay; (iii) the life-time of the electrons

is defined by Coulomb collisions only. The comparison of the results of the modeling with the results of analysis of observations allowed to connect the properties of the QPPs with the quasi-periodic energy release.

The suggested empirical model is a good tool for diagnostics of energy release processes in more powerful flares.

The results of the project were presented at the conferences and seminars:

1. Kupriyanova, Kashapova, Reid, Masuda, Xu, Myagkova “Multi-wavelength observations of solar flares as basement of diagnostics of mechanism of quasi-periodic pulsations”, Fall meeting of the Astronomical Society of Japan, Hokkaido University, Japan, 11-13 September 2018
2. Kupriyanova, Masuda, Kashapova, Zhdanov «A role of the co-phased quasi-periodic pulsations in the energy release of the weak solar flare»: The 4th Asia-Pacific Solar Physics Meeting (APSPM 2017), 7–10 November 2017, Kyoto University, Kyoto, Japan
3. Kupriyanova, Kashapova, Masuda, Zhdanov «In-phased quasi-periodic pulsations as an indicator of the processes of the energy release of weak solar flares», XIII annual meeting “Plasma Physics in the Solar System”, Institute of Cosmic Researches, Moscow, Russia, 12-16 February 2018
4. Kupriyanova, Masuda, Kashapova, Zhdanov “In-phase QPPs as a tester of processes of energy release in a weak solar flare” Second Workshop “Quasi-periodic Pulsations in Stellar Flares: a Tool for Studying the Solar-Stellar Connection” ISSI, Bern, Switzerland, 26 Feb - 2 March 2018
5. Kupriyanova, Masuda, Kashapova, Xu, Reid, Myagkova “Diagnostics of mechanism of quasi-periodic pulsations in the multi-wavelength emission of solar flares”, Seminar at ISEE, Nagoya University, 12.06.2017
6. Kupriyanova, Masuda, Kashapova, Xu, Reid, Myagkova “Diagnostics of mechanism of quasi-periodic pulsations in the multi-wavelength emission of solar flares”, Seminar at ISEE, Nagoya University, 19.06.2017
7. Kupriyanova, Kashapova, Masuda, Reid, Xu, Myagkova “Multi-wavelength observations of solar flares as basement of diagnostics of mechanism of quasi-periodic pulsations”, seminar at KASI, Republic of Korea, 17.11.2017
8. Kupriyanova, Masuda, Kashapova, Zhdanov “About in-phase QPPs in broadband emission of a weak solar flare”, seminar at ISTP, Irkutsk, Russia, 23.11.2017

The paper Kupriyanova, Masuda, Kashapova, Zhdanov “In-phase quasi-periodic pulsations as a tester of processes of energy release in a weak solar flare” is preparing for publishing in a high-score scientific journal in 2019.

Data-driven magnetofrictional and MHD simulations of space-weather-effective quiet-sun filament eruptions

Antonia Savcheva (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics)

As the title suggests, and as outlined in my proposal, the original purpose of the joint research was to perform magnetofrictional (MF), i.e. reduced MHD, and MHD data-constrained and data-driven simulations of large quiet-sun filaments erupting to cause major space weather events. For this purpose, before arriving at ISEE, for her first visit in May 2017, Savcheva had prepared non-linear force-free field (NLFFF) and unstable models produced with the flux rope insertion method (Savcheva et al. 2012) of the AR/QS filament observed with AIA between Aug 4-8, 2012. The models were of the two eruptions on Aug 6 and 8, 2012. Savcheva had equilibrium NLFFF models to be used as I.C. with boundary driving in data-driven MF and MHD simulations that follow the build-up of free energy towards eruption. And unstable magnetic field models, obtained by adding slightly more axial flux to the best-fit NLFFF model, to be used as I.Cs. to data-constrained MHD simulations that concentrate on the dynamics of the eruption, starting from non-equilibrium.

However, when the details of the capabilities of Inoue-san's MHD simulation were discussed when Savcheva first arrived at ISEE, it turned out that the fact that the simulation is Cartesian precludes us from studying large quiet sun filaments that extend over large portions of the solar disk, where curvature effects cannot be ignored (until the simulation is extended to the spherical domain). So, the team decided that we will keep the same methodology and goals, but instead focus on active-region-size eruptions. In particular, we were interested in quickly choosing an event that occurred in a relatively weak-field region, because this is the advantage of the flux rope insertion method - that it can be applied in regions of any field strength and still find a flux rope as long as the existence of one is supported by the observations, while Inoue-san's NLFFF code works best in strong field regions. This is how the idea of the collaboration originated.

At the time Savcheva was working on a series of NLFFFs with her students of the sigmoid that produced several eruptions in Feb 13-18, 2009 and was very well observed by Hinode/XRT and EIS and STEREO. Savcheva produced larger FOV stable NLFFF and unstable models of the Feb-13 eruption. The incorporation of the two codes was done during Savcheva's first visit in May 2017, and a stable I.C. was tested in the MHD code for relaxation.

A successful eruption from an unstable model was achieved in Inoue's MHD code during Savcheva's second visit in September 2017. During that visit we tried different FOVs and started the twist and current analysis of the simulation. This analysis on the original simulation was

almost completed during Savcheva's third visit in March 2018. During that visit, Savcheva also worked on a code for cleaning the photospheric boundary condition for the flux rope insertion method, so that the influence of noise could be reduced, as we suspected initially that could be causing some artefacts. Subsequently an analysis of the $\mathbf{J} \times \mathbf{B}$ forces in the box and different cross-sections showed that the simulation was adequate for further analysis. Example maps of different quantities from one time step computed with the tools implemented in Inoue-san's MHD code are shown in Fig. 1.

During that visit Savcheva also recomputed and relaxed the best-fit stable and unstable models onto larger grids for the eruptions on Feb 17 and 18, so that those eruptions can be simulated and analyzed in the same way. Inoue-san has also exported all time steps of his simulation of the Feb 13 event and a 3D QSL and twist analysis will be performed with the tools that Savcheva and Tassev have developed at the CfA (Tassev & Savcheva 2017, Tassev 2018).

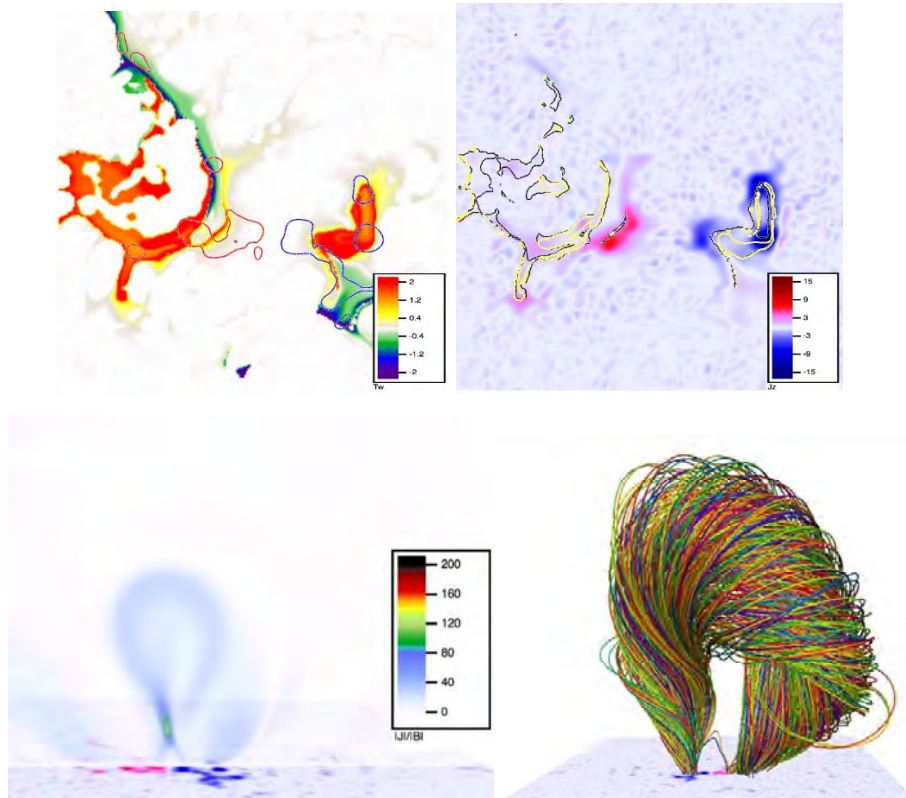


Fig.1 Top left: Twist distribution. Blue and red lines correspond to contours of negative and positive polarities ($t=32.5$ Alfvén time). Top right: J_z distribution. Black and yellow contours correspond to contours of $T_w=1.5$ and $T_w=2.0$, respectively. Bottom left: cross section through the flux rope showing the current sheet underneath. Bottom right: Field lines of the erupting flux rope.

Project Title

Principal Investigator Name (Affiliation)

Geeta Vichare

Indian Institute of Geomagnetism

Navi Mumbai, India

Title:

Study of the propagation of substorm associated Pi2 pulsations in different local time sectors.

Objective:

To understand the magnetospheric- ionospheric dynamics using ground and topside ionospheric observations of substorm associated Pi2s at low latitudes.

Rationale/Background of study:

Pi2 pulsations are a class of ultra-low frequency oscillations of the Earth's magnetic field which are impulsive in nature. These damped oscillations have frequency between 6.6 – 25 mHz, and are generated by a source residing in the night side of the magnetosphere. Pi2s are well known for their occurrence at the time of substorm onset and intensification [Saito et al., *Planet. Space Sci* 1976]. During substorm onset, transient hydromagnetic waves are launched in the near Earth plasma sheet, due to sudden changes in the state of the magnetosphere [Southwood and Stuart, 1979], which are caused by a short circuiting of the cross-tail current to the auroral ionosphere via field-aligned currents at the time of tail current disruption. Pi2 pulsations are the manifestation of these transient hydromagnetic signals generated in the magnetosphere during substorm. As Pi2 is one of the signatures of the substorm phenomena, which can be observed at ground as well as in ionosphere and magnetosphere, it can be considered as an important proxy for understanding the complex electrodynamic processes taking place in the magnetosphere during substorm and the coupling process between magnetosphere and ionosphere.

Although Pi2 is a well observed phenomenon during substorm, its origin in the magnetosphere and its propagation to ionosphere and to ground is still not completely understood. The observation of Pi2 signatures in the daytime low latitude ground stations is another interesting feature. The mechanism through which these oscillations propagate to daytime low latitudes is

still an unsettled issue. Through proposed study we intent to address these key issues.

Methodology:

To investigate the spatial features of the low-latitude Pi2 oscillations, the present study combines the three-component magnetic field measurements from a dense network of low-latitude ground stations (Magnetic latitudes $\leq 50^\circ$) distributed around the globe and the Swarm multi-satellites located at day and night local times. The Swarm mission is a constellation of three satellites (Swarm-A: Alpha, Swarm-B: Bravo and Swarm-C: Charlie) of which two satellites Swarm-A and Swarm-C orbits side by side at an altitude of ~ 460 km, whereas Swarm-B moves at a higher altitude of ~ 520 km with its orbit shifted in longitude. This provides a unique opportunity to have simultaneous observations from the topside ionosphere at different local times.

The substorm associated Pi2 pulsations are firstly identified using magnetic field measurements (1 second resolution) from ISEE ground magnetometer data, together with AL and Wp indices. The oscillations in the compressional, toroidal, and poloidal components at satellite and H, D, and Z components at ground are characterized by estimating their coherence, amplitude, and cross-phase angle with respect to H at midnight ground observation. We identified coherent Pi2 oscillations in all the three magnetic field components at satellite and ground. The variation of these characteristic features with longitude and latitude is useful to understand the longitudinal/latitudinal extent of these waves.

Results:

The investigations of the characteristics of the Pi2 oscillations from space and ground platforms in different local times, in all the three magnetic field components at satellite and ground can provide insight into the mechanisms responsible for the observed Pi2s.

The analogous pairs of magnetic field components above and below the ionosphere (satellite compressional with ground H and satellite toroidal with ground D) found to have identical phase during night and opposite phase during day.

Poloidal component above the ionosphere is found to oscillate in-phase (out-of-phase) with the midnight ground H in the southern (northern) hemisphere at night, suggesting field aligned currents associated with substorm current wedge (SCW) as a source at night.

The phase and amplitude of H on ground undergo significant change near the dawn terminator, whereas H oscillates mostly in-phase with respect to midnight ground H at other LTs.

The oscillations in D component have phase reversal near midnight, dawn, dusk, and noon

meridians with opposite hemispheres having opposite phase.

These Pi2 characteristics observed globally above and below the ionosphere suggest that the source for nighttime and daytime Pi2s are oscillating field aligned currents and ionospheric currents, respectively.

Periods of stay in ISEE:

First Visit of Dr. Geeta Vichare: 24-29 October 2017

Second Visit of Dr. Geeta Vichare: 11-13 March 2018; 14-16 March 2018- attended Space weather conference at Kyushu University

Visit of Dr. Neethal Thomas: 27-30 September 2017

List of Publications:

- (1) "Study of low-latitude Pi2 pulsations using conjugate observations from the Swarm satellites and globally distributed ground network", Neethal Thomas, K. Shiokawa, G. Vichare (Manuscript ready for submission)
- (2) "Study of storm-time currents using Swarm multi-satellite mission", G. Vichare, N. Thomas, K. Shiokawa, A.K. Sinha, A. Bhaskar (Manuscript under preparation)

List of Presentations:

Following papers presented at Space weather meeting held at Kyushu University during 14-15 March 2018

- (1) Conjugate observations of the low-latitude Pi2 pulsations from longitudinally distributed ground network and Swarm satellites, N. Thomas, K. Shiokawa, G. Vichare
- (2) Ring current studies using swarm measurements, G. Vichare, n. Thomas, K. Shiokawa, A.K. Sinha, A. Bhaskar

Development of Ionospheric Weather Forecasting Algorithms for GNSS Users

Dr. D. Venkata Ratnam

Professor, ECE, K L University., Guntur, India

Summary:

The Space weather refers to the conditions on the sun and thermosphere, magnetosphere, and ionosphere that can affect the performance and reliability of Global Navigation Satellite Systems (GNSS) and can endanger the human health and life (National Space Weather Programme Strategic Plan). Efficient real-time modelling of the ionospheric effects on GNSS observations is a key goal of the growing number of operational GNSS constellations. However, the most accountable errors for GNSS based technology due to space weather are Total Electron Content (TEC) induced-GNSS signal delays, scintillations and solar bursts. However, the TEC time series derived from GPS measurements is useful and provides an opportunity for developing a ionospheric forecasting tool to alert about threats due to ionospheric irregularities on their position computation. Moreover, identifying an effective multivariate forecasting technique is very essential to alert the Global Navigation Satellite System (GNSS) users under various space weather conditions. The major factors, namely, geomagnetic activity (Ap), solar Extreme Ultraviolet (EUV) irradiance (F10.7p), periodic oscillations (annual, semi-annual, terannual and biennial oscillations) and long-term trend are considered in multivariate ARMA model as input parameters along with real time TEC observations. The proposed model is twofold: first, the impact of solar, geomagnetic, trend and periodic factors on TEC has been investigated from linear model. Second, ARMA method is applied for forecasting each factor. Later, a novel ionospheric forecasting algorithm based on the fusion of Principal Component Analysis and Artificial Neural Networks (PCA – NN) method to forecast the ionospheric TEC values. Solar index (F10.7), geomagnetic index (Ap), TEC data over the span of 20 years (1997-2016) over Japan Grid Point (134.05°E and 34.95°N) are used to apply artificial intelligence methodologies. Hence, in this joint research project, a novel forecasting tool for ionospheric variations due to space weather conditions is intended for early warning messages to GNSS users and GNSS receiver designers. For this, we have implemented the principal component analysis (PCA) to extract the most regular TEC patterns from the TEC time series to build a regional ionospheric TEC climatological model.

Methods:

- Principal Component Analysis (PCA) method, and Neural Networks (NN).
- Multivariate Singular Spectrum Analysis With Kernel-based Extreme Learning Machine Approach.
- Multivariate TEC Forecast model based on Linear time series model and Auto Regressive Moving Average Model (ARMA)

Results: Figure 1 shows the GPS measured TEC values along with the VTEC values plot obtained using NN model, PCA-NN model and IRI model for 1997-2008. The plot in blue is the TEC values plot during the training data period (1997-2007) and the plots in black, red, green and pink are the testing data periods in case of GPS measured TEC, NN model, PCA-NN model and IRI models respectively. It can be inferred from Figure 1 that the TEC values forecasted using the NN algorithm does not accurately match the measured values unlike the PCA-NN model.

Figure 2 represents the annual, semi-annual, biennial and terannual components of ionospheric periodic TEC variations and trend component in 1st-5th panels of Figure 2 for training period (2009-2015) and their corresponding forecasted VTEC values using multivariate ARMA model are shown in red color during test period (2016 year) over Bengaluru GNSS station, India. Similarly, the VTEC values of solar and geomagnetic components during the training period are also given as inputs for ARMA model to forecast (1-hour ahead) their future contributions for the test period.

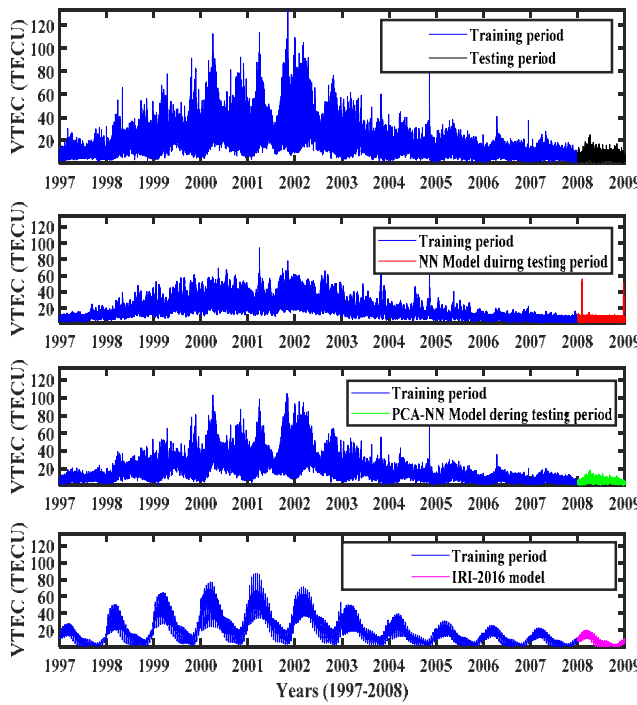


Fig.1. PCA-NN TEC forecasting results

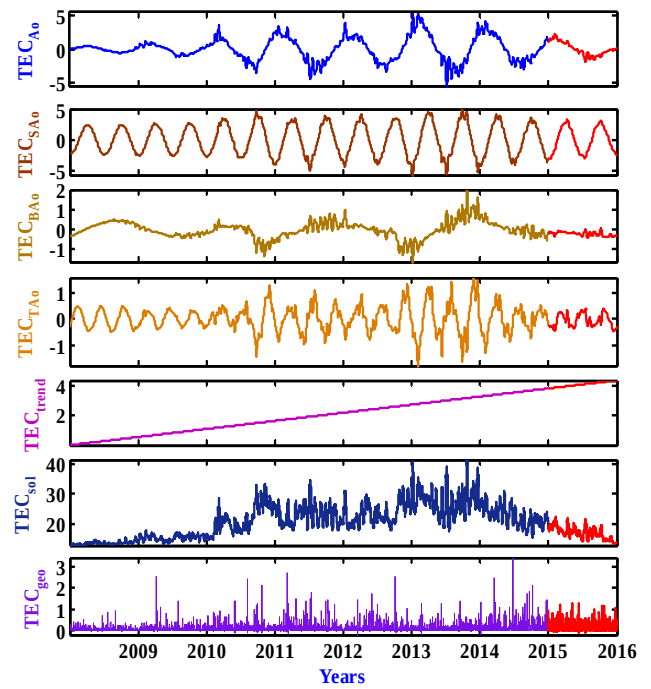


Fig.2. Forecast results using multivariate ARMA model

Periods of stay in ISEE: The stay duration (20 July 2017-20 Oct 2017)

List of Publications:1. Sivavaraprasad G, D.Venkata Ratnam, and Ostuka. Y, "Multicomponent Analysis of Ionospheric Scintillation Effects using Synchrosqueezing Technique for Monitoring and Mitigating their Impact on GNSS Signals" Journal of Navigation, 2018 (Minor Revision). (Impact Factor: 1.6)

2. D.Venkata Ratnam, Yuichi. Otsuka, G.Sivavaraprasad, and. J R K Kumar Dabbakuti, "Development of Multivariate Ionospheric TEC Forecasting Algorithm using Linear Time Series Model and ARMA over Low-latitude GNSS Station", Advances in Space Research (Elsevier), 2018.doi.org/10.1016/j.asr.2018.03.024 (**In press**) (Impact Factor: 1.5)

3. I.Lakshmi Mallika, D. Venkata Ratnam, Y. Ostuka, G.Sivavaraprasad, Saravana Raman, "A New Hybrid Ionospheric Total Electron Content Forecasting Algorithm Based on PCA NN Method Using GEONET TEC Maps Data over Japan", IEEE JSTARS, 2018. (Under preparation) (Impact Factor: 2.9)

4. G Sivavaraprasad, Yuichi Otsuka, Nitin Kumar Tripathi, V Rajesh Chowdhary, and D.Venkata Ratnam, Mohammed Afzal Khan "Spatial and Temporal Characteristics of Ionospheric Total Electron Content over Indian Equatorial and Low-Latitude GNSS Stations", IEEE International Conference on Signal Processing and Communication Systems, 4-5 January-2018, K L University, Guntur, India. Published in the IEEE digital explorer (Scopus Indexed).doi.10.1109/SPACES.2018.8316326

5. J R K Kumar Dabbakuti, Otsuka Yuichi, Sahithi K and D. Venkata Ratnam, ""Modeling and Forecasting of Ionospheric TEC Variations based on Multivariate Singular Spectrum Analysis With Kernel-based Extreme Learning Machine Approach"", (Under Preparation)

List of Presentations:

D.Venkata Ratnam, Yuichi. Otsuka, J R K Kumar Dabbakuti, and Sivavaraprasad G, "Ionospheric TEC forecasting model based on linear time-series and ARMA methods over a Low latitude GNSS Station", SGEPS fall meeting in 2017, Kyoto, Japan, 16-19. October, 2017.

Study of the causes of post-midnight field-aligned irregularity at magnetically low latitudes using simulations

Dao Ngoc Hanh Tam (Ho Chi Minh City Institute of Physics)

I. Objectives

We aim to find the generating mechanisms of post-midnight FAIs at low latitudes in the solar minimum. In this study, we use Ground-to-topside model of Atmosphere and Ionosphere for Aeronomy (GAIA) model to investigate the relationship of plasma bubble or irregularity generation at post-midnight with midnight temperature maximum (MTM) and tidal waves. We compare GAIA model with the observational data to reveal the physical mechanism of post-midnight plasma irregularities in equatorial and low-latitude regions.

II. Methodology

Based on GAIA model, we examined the Growth rate of Rayleigh-Taylor instability (GRT) at magnetic equator. The factors contributing to the GRT around midnight at magnetic equator have been estimated considering the upward ExB drift caused by the eastward electric field (E) and magnetic field (B), with the g/v_{in} drift driven by gravitational acceleration where v_{in} is the ion-neutral collision frequency. It is found that the enhancement of GRT around midnight caused by the ascent of the altitude of bottom-side of F-layer ($h'F$) through increasing g/v_{in} , and that the ascent of $h'F$ is attributed to the relatively weak westward electric fields. The enhancement of $h'F$ related to the neutral winds contributes to the generation of plasma bubbles at around midnight. We tried to examine the effect of neutral wind, temperature and the occurrence of irregularities to propose the cause of FAIs around midnight in low-latitude regions.

Based on the midnight FAIs observed in Southeast Asia, we found that post-midnight FAIs related to plasma bubble and generated around midnight. These results also show the equatorward neutral winds related to MTM possibly driven by tidal waves near magnetic equator. The equatorward winds also can uplift the bottomside of F-layer and cause the enhancement of growth rate of Rayleigh-Taylor instability. This growth rate increase causes plasma bubble as well as post-midnight FAIs inside. We use data from GAIA model to have the picture in the relation of $h'F$, neutral wind, and MTM.

III. Results

We found that the GRT simulated by the GAIA model enhanced at midnight during June solstice and low solar activities. The local time and seasonal variations of GRT are consistent with the occurrence rate of post-midnight FAIs observed with VHF radar in Kototabang [Otsuka *et al.*, 2012]. Consequently, the GAIA model can reproduce the condition that the Rayleigh-Taylor instability likely occur. The increase of $h'F$ causes the enhancement of g/v_{in} , the decrease of westward electric field causes the enhancement of E/B around midnight. They could contribute to the R-T Instability around magnetic equator.

In order to investigate the relationship between neutral temperature and meridional neutral wind, we investigated the latitudinal variation of $h'F$, the divergence of neutral wind and temperature around midnight along 100° longitude in summer solstices in five years. We found that the neutral wind convergence coincides with the peak of the neutral temperature e.g. MTM. In June solstices, the altitude $h'F$ increasing at around 10°

N near magnetic equator could relate to the convergence of neutral wind and MTM at equatorial latitude in the northern hemisphere. In other seasons of solar minimum years, MTM is also associated with the convergence of the neutral wind. We can see that the peak of MTM in June solstice occurs around 10°N of the northern hemisphere, however, locations of MTM in other seasons are near magnetic equator of the southern hemisphere. Therefore, convergence of neutral wind in June solstice can increase h'F near magnetic equator and enhance GRT. This is the reason why FAIs appear more frequent in June solstices in the solar minimum. The seasonal variation in the location of the thermospheric temperature related to the MTM corresponds to the seasonal variation of the occurrence of post-midnight FAIs.

Regarding the longitudinal variations, *Dao et al.* [2011] investigated the post-midnight irregularities observed with C/NOFS and found that the four-wave structure of $\Delta N/N$ enhancement is obvious in June and July of 2008-2009. This four-wave pattern could result from a propagating wavenumber-3, non-migrating diurnal tides. They also found that during equinoxes, the four peaks are present with more disturbed peak amplitudes but not as strong during June and July. This four-wave pattern is not evident during December. Based on the longitudinal variation of divergence of the thermospheric wind in 4 seasons taken from GAIA model, we found that the convergence of the neutral winds related to MTM also shows the four-wave structure in June solstices and equinoxes before midnight. Location of MTM in June solstice near magnetic equator in Northern hemisphere could cause the occurrence of irregularities in the low latitude regions.

For a brief summary, we found that in June solstices the increase of bottomside F-layer contributes the enhancement of GRT. The upturn of altitude h'F near magnetic equator could have resulted of convergence of equatorward neutral winds from both hemispheres, which is associated with an MTM occurring around the magnetic equator. These results suggest that the equatorward neutral winds can uplift the F layer at low latitudes and increase GRT causing irregularities around midnight. The equatorward thermospheric winds in both hemispheres could also intensify the eastward current that generates the large polarization electric field. A case study of plasma bubble in Southeast Asia [*Dao et al.*, 2017] is an observational evidence for the role of the equatorward thermospheric winds at low latitudes in the generation of post-midnight FAIs in June 2011. Theoretically, data estimated from GAIA model a suitable support for this event.

* **Reference**

1. Otsuka, Y., K. Shiokawa, M. Nishioka, and Effedy (2012), ***VHF radar observations of post-midnight F-region field-aligned irregularities over Indonesia during solar minimum***, Indian J. Radio Space Phys., 41, 199–207.
2. Dao, E., M. C. Kelley, P. Roddy, and others (2011), ***Longitudinal and seasonal dependence of nighttime equatorial plasma density irregularities during solar minimum detected on the C/NOFS satellite***, Geophys. Res. Lett., 38, doi:10.1029/2011GL047046.
3. Dao, T., Y. Otsuka, K. Shiokawa, and others (2017), ***Coordinated observations of post-midnight irregularities and thermospheric neutral winds and temperatures at low latitudes***, J. Geophys. Res. Space Physics, 122, doi:10.1002/2017JA024048.

IV. Periods of stay in ISEE

May 12 - August 5: stayed at Division 2, ISEE, Nagoya University.

V. List of publications

Not yet.

The intercalibration of IPS data sets from ISEE and Ooty Observatories

P K Manoharan, NCRA-TIFR

It is well known to the heliophysics community that the significant studies on the physical properties of the solar wind and on understanding of space weather events are being carried out based on interplanetary scintillation measurements at the Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE), Nagoya University, Japan and Radio Astronomy Centre, National Centre for Radio Astrophysics (NCRA), TIFR, India. The active collaboration between the solar wind groups of ISEE and Ooty, NCRA has have provided several successful and important results on the understandings of the physical properties of the solar wind as well as the propagation characteristics of space weather events in the inner heliosphere. The IPS measurements from these institutions have provided an impressive data base for nearly four solar cycles.

The important advantage among the ISEE and Ooty IPS observations is the same observing frequency of 327 MHz, which is best suited to probe solar wind density structures at heliocentric distances in the range of ~20–250 solar radii. The main purpose of my visit was to combine the ISEE and Ooty IPS data sets and to determine the 'scintillation-distance' curve for ISEE measurements. Such curves are extremely important to determine the normalized scintillation indices, which are crucial in tracking space weather events in the Sun-Earth distance. For IPS data sets available between Ooty and ISEE, the comparison of scintillation indices could be made for several strong sources and the standardization of scintillation-distance curves could be achieved.

The trackability of the Ooty Radio Telescope is useful to get simultaneous scintillation observations between Ooty and ISEE. The comparison of a large number of simultaneous measurements available between Ooty and ISEE yielded several interesting results. Some of them are listed below:

- Scintillation index curves have been established for ISEE observations.
- For a given source, when the time difference between Ooty and ISEE observations is less than 30-min of time, the IPS power spectra from these observatories are compared and they look identical, which has been confirmed on more than one source. In excess of 90% of the simultaneous power spectra, which in fact exceed couple of hundreds, compare excellently well and the sensitivity difference between the telescopes has also been evidently shown. This result is a phenomenal one that two independent observatories separated by a large geographical position provide the identical results. It essentially validates the importance of single station IPS measurements in space weather monitoring studies.
- Despite the fact that more 90% of the simultaneous spectra match identically, few spectra between Ooty and ISEE show some remarkable difference, which has some comprehensive information on the solar wind structures passing along the individual line of sight to the radio source. More analysis will be taken up to explore the physical properties.
- This visit has also been useful for discussions with other Japanese astrophysical groups (e.g., pulsar group) to initiate more collaborative studies.

It was a scientifically fruitful visit. We plan to publish collaborative paper(s) on the above studies.

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

(所属・職名は平成30年3月現在)
(Affiliation and Department displayed are current as of March 2018.)

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
Dr KD Leka	NorthWest Research Associates		Senior Research Scientist	International Workshop on Water-Carbon Dynamics in Eastern Siberia	90
今田晋亮 Shinsuke Imada	名古屋大学 Nagoya University	宇宙地球環境研究所 Institute for Space- Earth Environmental Research	助教 assistant professor	Ionospheric Plasma Bubble Seeding and Development	92

Operational Flare Forecasts: a systematic community comparison

Dr. KD Leka (Nagoya University /
ISEE; NWRA/Boulder)

Purpose:

Solar flares are energetic and sudden releases of energy associated with complex magnetic fields in the lower solar atmosphere, with resulting near-Earth disturbances occurring within minutes of initial detection. True

forecasting is required in the context of potential impacts to communication, positioning, and timing services. Today's operational algorithms generally provide probabilistic forecasts for flares above a defined Soft X-Ray threshold to occur within a given time interval. Routine operational forecasts have been produced for decades by (for example) the Space Weather Prediction Center of the US National Oceanic and Atmospheric Administration and the UK MetOffice. With the recognition of space weather as an international threat, new flare forecasting systems are being developed around the world. The purpose of this workshop was to directly compare the performance of these algorithms over a variety of agreed-upon operational settings (different event thresholds, validity periods, forecast latencies). The benchmarks developed would be then available for evaluating future methods.

Workshop Period / Place / Participants:

Participation was limited to only fully operationally-deployed systems, excluding those algorithms in a developmental or research stage. This still brought together representatives from 14 different qualifying methods. The face-to-face meeting was held 31 October – 02 November 2017 at ISEE / Nagoya University; some representatives participated remotely. Of note, all methods submitted forecasts ahead of time, with which Drs. Leka and Park prepared some preliminary results to enable fruitful discussion.

Results:

Topics discussed during the workshop were numerous and very technical in nature. “What constitutes an operational forecast” began the discussion; by consensus there is no requirement regarding human participation, but it was agreed that operational systems must provide forecasts “no matter what.” As such, missing forecasts in the submissions are flagged for explicit handling in the calculation of evaluation metrics. Other topics included combining categorical

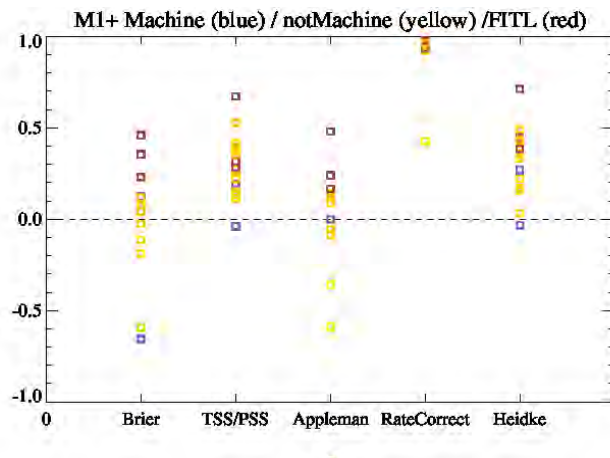


Figure 1: an example preliminary result from the "General Characteristics" analysis, showing the anonymous performance for numerous evaluation metrics as a function of whether Machine Learning algorithms were used, not used, or if there was a "Forecaster In The Loop." Surprisingly, the ML-based results were not routinely best.

forecasts into exceedance forecasts, the impacts of variable climatology estimates (solar cycle variations), and accommodating differing forecast issuance times. As expected, the participants had a long discussion regarding metrics; it was decided that generally speaking the metrics which would be used would be those that did not require or impose probability thresholds, since that can unfairly penalize those methods that optimized using different thresholds. Hence, metrics would focus on evaluating the methods as probabilistic forecasts (using, e.g., the Receiver Operating Characteristic [ROC] plots, Reliability plots, Brier scores, Gini coefficients, and Ranked Probability Score [RPS]).

The initial evaluation results were initially presented in a completely anonymous manner in order to focus on broad performance characteristics rather than ranking or competition. Reliability plots, ROC curves, and standard skill scores were presented. Of note was the *wide* variation of performance, but also the generally poor performances overall. Forecast methods were grouped according to broad algorithm methodologies to investigate the causes of performance differences. One example from such a grouping is shown in Figure 1, which compares the performance of algorithms using Machine Learning techniques to those using other statistical classifiers or associations, and to those for which a human is still involved (“Forecaster In The Loop”, or FITL). Of note, very few machine-learning based methods have transitioned to being fully operational. Separately, the large fraction of currently-running operational methods that are based on the historical McIntosh classification system for active regions contrasted with the small number of methods which perform independent quantitative evaluation of active region evolutionary, magnetic field, or model-corona characteristics.

Three publications are thus far planned (see Form 3-1): an analysis of performance results based on the numerous broad categories discussed, a short paper that indeed presents the methods' rankings according to numerous metrics (where it is almost guaranteed that the top performer by one metric will not be the top performer as judged by another metric), and an analysis of a recent “case study” of operational forecasts – with an in-depth analysis of the insights and difficulties associated with interpreting case studies. Numerous presentations of the results will be given at multiple international meetings in the upcoming months.

The workshop website, with data and analysis code, will eventually be released to the community. It will include the data needed for testing new evaluation metrics, and code to apply evaluation metrics to new method results in the same manner as done for the workshop-related publications. Thus, this workshop will provide a legacy of benchmarks for evaluating the performance of future operational flare-forecasting algorithms.

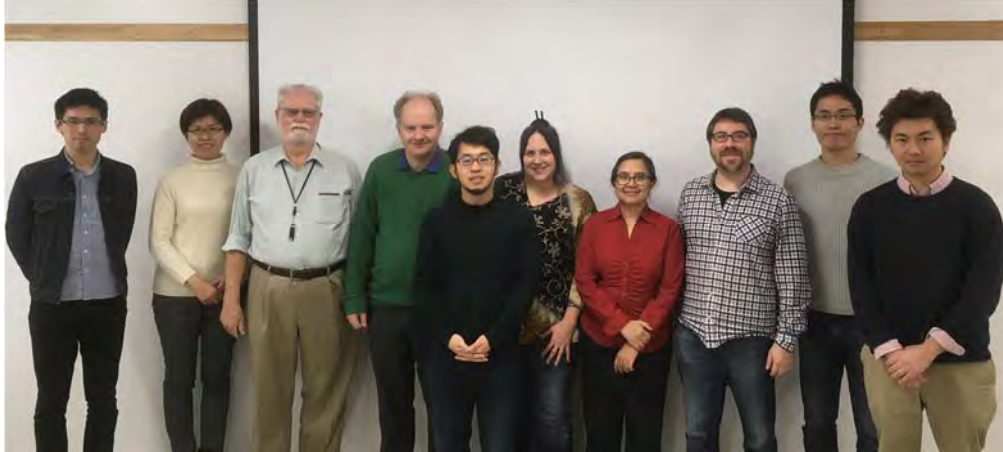
The Solar Cycle Prediction Workshop in Nagoya

Shinsuke Imada (Nagoya University, ISEE)

It is thought that the longer-term variations of the solar activity may affect the Earth's climate. Therefore, predicting the next solar cycle is crucial for the forecast of the "solar-terrestrial environment". To build prediction schemes for the next solar cycle is a key for the long-term space weather study. Recently, the relationship between polar magnetic field at the solar minimum and next solar activity is intensively discussed. Because we can determine the polar magnetic field at the solar minimum roughly 3 years before the next solar maximum, we may discuss the next solar cycle 3 years before. Further, the longer term (~5 years) prediction might be achieved by estimating the polar magnetic field with the Surface Flux Transport (SFT) model. Recently, we are developing a prediction scheme by SFT model and adapting to the Cycle 25 prediction. The predicted polar field strength of Cycle 24/25 minimum is several tens of percent smaller than Cycle 23/24 minimum. The result suggests that the amplitude of Cycle 25 is weaker than the current cycle. To evaluate the robustness of our result, it is very fruitful to compare the results done by the other foreign groups which use SFT model to predict. Below the list of members of the workshop who study next solar cycle prediction extensively.

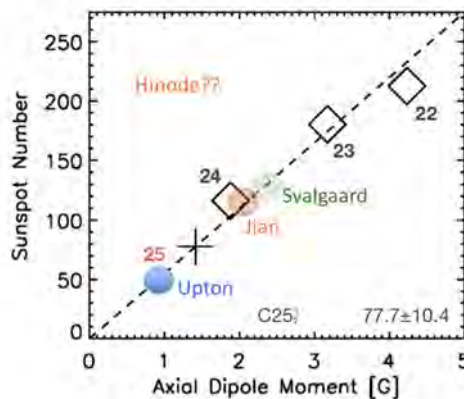
Members:

L. Upton (HAO/NCAR)
R. Cameron (MaxPlanck Institute)
M. Dikpati (HAO/NCAR)
A. Munoz-Jaramilo (South West Research Institute)
L. Svalgaard (Stanford Univ.)
J. Jiang (Beihang Univ.)
D. Shiota (NICT)
H. Hotta (Chiba Univ.)
K. Kusano (Nagoya Univ.)
H. Iijima (Nagoya Univ.)
M. Fujiyama (Nagoya Univ.)
S. Imada (Nagoya Univ.)



The workshop was held from November 27th (Mon) to December 2nd (Saturday) at Nagoya University (Higashiyama Campus) Research Institute Building II Room 409. First two days, we have review each own research, and found several differences in the results. Below is the summary for the final prediction results in several groups.

Next solar cycle prediction



There are three important detail pointss for comparison; 1) assumption used in the model, 2) numerical scheme, 3) initial and boundary conditions. The assumptions used in the model are different in some points. However, after several discussions, we conclude that the differences in assumption should not be the main reason for the differences in each result. Second, we have found that the numerical schemes which are used in the studies are all different. The effect itself is also very minor, we believe. To confirm it, we will test the cycle prediction problem by using the same initial and boundary conditions. Then, this point will be clarified. The last point is critical, we think. We will start to predict the next solar cycle by using the same initial and boundary conditions, and then discuss which condition affect the result deeply. These comparison study will be submitted to PASJ as a collaboration study paper.

4. 一般共同研究 目次詳細

(所属・職名は平成30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
伴場由美	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	太陽面爆発・噴出現象の発生機構解明および発生予測を目指した統計的研究	94
堀田英之	千葉大学	大学院理学研究科	特任助教	平均場モデルを用いた次期太陽活動周期予測	96
佐藤正樹	東京大学	大気海洋研究所	教授	衛星観測データを利用した雲物理スキームの改良	97
川手朋子	宇宙航空研究開発機構	宇宙科学研究所	研究開発員	極端紫外線及び硬X線観測による太陽フレアにおける加速電子数診断	99
笠羽康正	東北大学	大学院理学研究科・地球物理学専攻	教授	内部磁気圏DC電場・低周波電場波動における地上データ処理・校正手法の確立：その2	101
浅岡 聡	神戸大学	内海域環境教育研究センター	助教	海洋観測とリモートセンシングを融合させた瀬戸内海の基礎生産量の測定法の開発	103
湯口貴史	山形大学	理学部	講師	石英中のTi濃度の定量分析から導く深成岩体中の石英の結晶化プロセスの解明	105
宗像一起	信州大学	理学部	教授	宇宙線ネットワーク観測による宇宙天気研究	107
高垣直尚	兵庫県立大学	工学研究科機械工学専攻	助教	台風下における風波の碎波機構の解明とモデリング	109
藤谷雄二	国立環境研究所	環境リスク・健康研究センター	主任研究員	自動車排ガス起源SOAの物理化学特性の測定	111
阿部 学	海洋研究開発機構	統合的気候変動予測研究分野	技術副主任	地球システムモデルを用いたシベリア域における大気水循環の経年変動特性の解明	113
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	ユーラシア大陸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	115
渡邊恭子	防衛大学校	地球海洋学科	講師	白色光フレア統計解析による太陽フレアにおける粒子加速機構の研究	117
竹谷文一	海洋研究開発機構	地球表層物質循環研究分野	主任研究員	洋上における蛍光性エアロゾル粒子の時空間個数分布の解析	119
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の大気観測に基づくガスー粒子分配特性の把握	121
小島正宜	名古屋大学	(旧) 太陽地球環境研究所	名誉教授	単一アンテナを用いたIPS観測による太陽風速度解析の評価	123
一柳錦平	熊本大学	大学院先端科学研究部	准教授	水安定同位体を用いたバングラディッシュ周辺における水蒸気の起源解析	125
大橋勝文	鹿児島大学	学術研究院理工学域工学系	准教授	大気中の温室効果ガス計測システムの装置開発	127

(所属・職名は平成30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
山崎 了	青山学院大学	理工学部 物理・数理学科	准教授	高ベータプラズマ中を伝播する無衝突衝撃波の研究	129
大矢浩代	千葉大学	大学院工学研究院	助教	LF帯標準電波を用いた地震後のD領域電離圏変動	130
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の経年変動	132
深沢圭一郎	京都大学	学術情報メディアセンター	准教授	宇宙プラズマ流体シミュレーションのための超並列計算フレームワークの開発	134
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	太陽活動と日照時間の相関研究	135
堤 雅基	国立極地研究所	宙空間研究グループ	准教授	北極域流星レーダーで観測される両極性拡散係数を利用した極域中間圏の電子温度推定の検討	139
Kyoung-Sun Lee	National Astronomical Observatory of Japan	Solar Science Observatory	Spatially appointed research staff (Project research fellow)	Investigation of the EUV/UV spectrum during the flares through the simulation and observation	141
加藤俊吾	首都大学東京	都市環境学部 分子応用化学コース	准教授	大気微量成分のリモート地での長期変動測定	143
鷲見治一	九州大学	国際宇宙天気科学・教育センター	客員教授	太陽圏構造とダイナミックスの研究	144
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	航空機観測と数値モデル計算によるエアロゾル-雲相互作用研究	145
柴田 隆	名古屋大学	環境学研究科	教授	GOSAT検証のための陸別観測所におけるエアロゾル・雲のライダー観測	146
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	147
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	149
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	151
細川敬祐	電気通信大学	大学院情報理工学研究科	准教授	光と電波を組み合わせた極冠域電離圏の3次元観測	153
本多牧生	海洋研究開発機構	地球環境観測研究開発センター	上席技術研究員	気象イベントに伴う海洋生物地球化学の変動	155
根田昌典	京都大学	大学院理学研究科 地球惑星科学専攻	助教	耐波浪環境シースプレー測器の開発と海上観測塔試験	157
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	159

(所属・職名は平成30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
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	沈殿法による海水試料の放射性炭素分析の高精度化に関する研究	161
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	163
廣川 淳	北海道大学	大学院地球環境科学研究院	准教授	不飽和炭化水素のオゾン分解で生じるクリーギー中間体と有機酸の反応性に関する研究	165
植村 立	琉球大学	理学部 海洋自然科学科 化学系	准教授	沖縄県の鍾乳洞における滴下水の ¹⁴ C濃度	167
岩崎杉紀	防衛大学校	地球海洋学科	准教授	ライダと雲粒子ゾンデによる大粒子・低個数密度の雲の観測	169
佐藤友徳	北海道大学	大学院地球環境科学研究院	准教授	北ユーラシアにおける降水の年々変動に対する大気と陸面の役割	171
河野光彦	関西学院千里国際キャンパス / Australian National University	関西学院千里国際高等部理科 / Research school of Physics and Engineering Visiting Fellow	教諭 / Visiting Fellow	高校生に対する地球環境教育研究	173
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	175
中田裕之	千葉大学	大学院工学研究科	准教授	火山噴火に伴う電離圏変動の解析	177
吉田英一	名古屋大学	博物館	教授	炭酸塩天然コンクリーション形成速度の算出	179
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バックグラウンド時間変動の遠隔地間の比較測定	181
高橋けんし	京都大学	生存圏研究所	准教授	レーザー分光法による温室効果気体のフラックス計測	183
今山武志	岡山理科大学	自然科学研究所	准教授	CHIME年代測定による隠岐・島後片麻岩類の変成年代の推定	184
鈴木 臣	愛知大学	地域政策学部	准教授	高感度カメラによる大気光の多地点同時観測	186
渡辺正和	九州大学	国際宇宙天気科学・教育センター	准教授	惑星間空間磁場北向き時の極域電離圏対流駆動機構	187
佐藤興平	気象庁	気象大学校	非常勤講師	日本の揺籃期地殻に関する年代的研究	189
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	海色衛星観測による東シナ海での溶存有機物質と低次生産量の時空間変動：気候変動による長江流量変化の影響	191
和田龍一	帝京科学大学	生命環境学部	准教授	大気中窒素酸化物測定装置の開発	193

(所属・職名は平成30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
西田 哲	岐阜大学	工学部機械工学科機械コース	准教授	シリコンナノ構造膜中の微粒子凝集メカニズムの解明	195
浦塚清峰	情報通信研究機構	電磁波研究所	統括	航空機SARと他センサー同時搭載を目指した運用性についての検討	196
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-放射線帯エネルギー階層間結合機構の研究	197
馬場賢治	酪農学園大学	酪農学研究科/農食環境学群 環境共生学類環境気象学研究室	准教授	アジアダストに付着したバイオエアロゾルの時空間変遷	199
花土 弘	情報通信研究機構	電磁波研究所	研究マネージャー	雲・降水観測レーダの航空機観測に関する検討	201
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	203
若月泰孝	茨城大学	理学部	准教授	MPレーダと雲解像モデルを利用した降水量の推定・予測に関する研究	204
野澤 恵	茨城大学	理学部	准教授	NoRHによる太陽コロナ磁場診断とIPS観測による太陽風との統計的解析	206
川村誠治	情報通信研究機構	電磁波研究所	主任研究員	地上デジタル放送波を用いた水蒸気遅延測定	207
持田陸宏	名古屋大学	大学院環境学研究科	准教授	冬季における名古屋の都市エアロゾルの雲凝結核活性	209
福島あずさ	神戸学院大学	人文学部	講師	夏季インド北東部・アッサム州の豪雨に対する季節内変動の影響	210
薮下彰啓	九州大学	大学院総合理工学研究院	准教授	二酸化窒素とヨウ化物イオンの反応による気相へのヨウ素放出	212
津田卓雄	電気通信大学	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	214
薄 良彦	大阪府立大学	大学院工学研究科 電気・情報系専攻 電気情報システム工学分野	准教授	高解像度気象シミュレーションデータを用いた洋上電力システムの運用技術に関する研究	216
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 FLR 現象の統計的解析	218
加藤雄人	東北大学	大学院理学研究科地球物理学専攻	准教授	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	220
大嶋晃敏	中部大学	工学部	准教授	太陽圏における銀河宇宙線伝播の研究	222
村田文絵	高知大学	教育研究部自然科学系理学部門	講師	世界最多雨地域における雨滴の特徴とモンスーン気流場との関係	224

(所属・職名は平成30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
三澤浩昭	東北大学	大学院理学研究科	准教授	木星放射線帯粒子変動要因の観測研究	225
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	内部磁気圏における運動論的不安定性による磁気流体波動励起	226
鈴木善晴	法政大学	デザイン工学部	教授	SOMIによるクラスタ解析に基づいた局地的豪雨の発生発達可能性に関する研究	227
宮田佳樹	金沢大学	先端科学・イノベーション推進機構	博士研究員	遺跡出土遺物を用いた古食性、古環境復元研究	228
佐藤尚毅	東京学芸大学	自然科学系	准教授	西部北太平洋暖水域の海面水温分布と熱帯じょう乱との間の相互作用の解析	229
大友陽子	北海道大学	大学院工学研究院環境循環システム部門 資源循環工学分野 環境地質学研究室	日本学術振興会特別研究員 (SPD)	初期太古代石墨片岩中に含まれるモナザイトを対象としたCHIME年代測定の検討	231
岩崎博之	群馬大学	教育学部	教授	XRAINデータから得られる降水粒子情報を用いた落雷予測の基礎研究	233
浅村和史	宇宙航空研究開発機構	太陽系科学研究系	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	235
北 和之	茨城大学	理学部	教授	航空機を用いた大気微量気体、エアロゾルのリモートセンシング	236
エティエン スクリペク	京都大学	大学院理学研究科	研究員	領家変成作用時におけるモナズ石の挙動解明	238

太陽面爆発・噴出現象の発生機構解明
および発生予測を目指した統計的研究

Statistical Study of Solar Explosive and Eruptive Phenomena
for Its Triggering Process and Prediction

伴場 由美
宇宙航空研究開発機構/宇宙科学研究所

1. 研究目的・方法

本研究では、太陽面爆発・噴出現象の発生予測精度向上を目指し、フレア・CMEのトリガ過程およびその発生条件を定量的に明らかにする。このため、以下の手法を用いて、フレア・CME発生予測にとって真に有効なパラメータとその臨界値を定量的に決定し、各パラメータのフレア・CME発生の物理過程の各段階における寄与を明らかにする。

- ① 個々のイベント解析および理論モデルとの比較による、フレア・CME発生の物理過程の理解、およびその発生の指標となり得るパラメータの候補の決定：

ひので・SDO・IRISなどの太陽観測衛星による活動領域データを詳細に解析し、光球面における小規模磁場構造による擾乱などが、どのようにして活動領域の大規模磁場構造のトポロジー変化を引き起こすのかを調べる。また、フレア・CME発生の原因となりうる小規模な擾乱現象を特徴づける、観測データから導出可能なパラメータの候補を決定する。

- ② フレア・CMEイベントの統計解析による、予測パラメータの評価：

①で候補としてあげたパラメータを、SDO衛星データを用いて自動的に測定し、それぞれのパラメータのフレア・CMEとの相関を調べることで、予測に有効なパラメータとその臨界値を決定する。

2. 平成 29 年度における研究成果・考察

本年度は、本共同研究計画(3年計画)の2年目に相当する。昨年度より継続して行っているイベント解析(上記①)として、2014年10月に現れた巨大黒点 NOAA12192 で発生した X1.6 フレアに対し、IRIS 衛星・SDO 衛星データの解析結果を論文として出版した(下記 3-[1])。これは、フレア発生の前兆として観測される、彩層における小スケールかつ短時間の発光現象(precursor brightening)における彩層のダイナミクスを、IRIS 衛星による分光観測データを用いて詳細に調べたものである。これにより、Kusano & Bamba et al. 2012 (KB12)で提案されるような、活動領域中に現れる特徴的な小規模磁場と、活動領域の大局的磁場の間の磁気リコネクション(フレアのトリガとなる小規模リコネクション)が、光球上部～彩層下部という低高度で発生している具体例を観測的に示した。一方、本年(2017年)9月初旬に NOAA12673 領域で連続的に発生した X クラスフレアに対しても、Hinode/EIS による分光観測データを用いて同様の解析を進めている。この場合は、小規模リコネクションが、前述の NOAA12192 の例に比べて高高度のコロナ中で発生した可能性が高い結果が得られた。このことから、小規模リコネクションは、トリガとなりうる小規模磁場構造の空間スケールに依存して、太陽大気の幅広い高度で発生しうることが示唆される。当該イベントに関しては、現在進行中の SDO, Hinode/SOT, XRT などのデータを用いた、光球面磁場構造および彩層～コロナに至る各層の発光現象の詳細解析結果と併せて、投稿論文としてまとめる予定である。

本年度はさらに、①のイベント解析として、2015年3月15日に発生した小規模フレアに伴うフィラメント噴出の発生過程に関する詳細研究を、現在投稿論文としてまとめている。大規模な磁気嵐などの多くは X クラスフレアと関係して起こるという経験的印象に反し、この

イベントの規模は C9.1 と小規模であったにもかかわらず、今太陽活動サイクル最大の磁気嵐を引き起こした。我々は Hinode 衛星・SDO 衛星による観測データと Non-linear Force Free Field (NLFFF) Modeling を組み合わせて、このフィラメント噴出の発生メカニズムを詳細に調べた。その結果、噴出したフィラメントを支えていたコロナ磁場(アーケード磁場)の足元に存在していた、局所的にねじれた小規模な磁場構造(太陽面上で 2 万 km 程度)の領域で、C9.1 フレアの約 40 分前に発生した C2.4 フレアが、アーケード磁場を擾乱したことが、大規模噴出現象の原因であることがわかった。局所的にねじれた小規模磁場構造の付近の光球面では、C9.1 フレアの約 2 時間前に、さらに小規模な磁場擾乱(太陽面上で 700km 程度)が観測された。これらのことから、太陽面上でわずか 700km 程度の微細な磁場擾乱が、十万 km スケールの大規模構造の不安定化の原因となり、地球に大きな磁気嵐をもたらしたフィラメント噴出の原因となったことを明らかにした。これは、大規模フレアのみならず、太陽表面の小規模な擾乱であっても、地球に影響を与える宇宙天気現象の原因となりうることを示唆する例である。

②の統計解析として、SOD 衛星によって観測された 32 例のフレアイベントについて、KB12 で提案するフレア発生条件との整合性を評価した研究論文が受理された(下記 3-[2])。本研究では、光球面視線方向磁場と光球上部～遷移層に見られる precursor brightening の幾何学的構造の特徴から、それぞれのフレアイベントのトリガ領域を特定できるか、もしできるならばそのトリガ領域の特徴は KB12 で提案されているものと一致するかを調べた。その結果、32 イベントのうち、およそ 3 割のイベントについて、幾何学的特徴からトリガ領域の特定が可能であること、さらにそのうちの半数以上が KB12 の提案するフレアトリガ条件と一致するという結果が得られた。また、その他の 7 割のイベントについては、幾何学的条件のみからではトリガを特定することは困難であったが、例えばフィラメント噴出や近接する周辺領域で発生した小規模イベントとの位置的・時間的關係を詳細解析したところ、半数以上についてトリガ領域が特定できることがわかった。したがって、KB12 で提案するフレアトリガ機構と発生条件が、太陽面上で発生するフレアイベントの一定数を説明可能なことを示唆する結果が得られた。本研究でトリガ領域が特定できなかったフレアイベントについては、例えばシンク不安定など、太陽表面に小規模磁場構造として現れるトリガを必要としない物理過程で説明可能ななど、今後の研究で明らかにしていくことが重要であると考えられる。

3. 成果発表

- 論文発表

- [1] **Y. Bamba**, K. S. Lee, S. Imada, K. Kusano,
"Study on the Precursor Activity of the X1.6 Flare in the Great AR 12192 with SDO, IRIS, and Hinode", *The Astrophysical Journal*, 840, 116-129, doi: 10.3847/1538-4357/aa6dfe
- [2] **Y. Bamba** and K. Kusano,
"Evaluation of the Applicability of a Flare Trigger Model based on the Comparison of Geometric Structures", *The Astrophysical Journal*, accepted

- 学会発表

- [5] **Y. Bamba**, S. Inoue, K. Hayashi, "o of Geo-effective Solar Eruption on 15 March 2015", SPD Meeting, Portland, Oregon, USA, August 22-25, 2017
- [6] **Y. Bamba**, K. S. Lee, S. Imada, K. Kusano, "Study on Precursor Activity of the X1.6 Flare in AR 12192", Hinode-11/IRIS-8, Seattle, Washington, USA, May 30 - Jun 2, 2017
- [7] **Y. Bamba**, S. Inoue, K. Hayashi, "Triggering Scenario of Geo-effective Solar Eruption on 15 March 2015", Daiwa Anglo-Japanese Foundation Workshop, Sarry, UK, July 19 - 21, 2017
- [8] 伴場由美, 井上諭, 林啓志,
"St Patrick's Stormの原因となったフィラメント噴出のトリガに関する研究",
地球電磁気・地球惑星圏学会, 京都, 2017年10月

平均場モデルを用いた次期太陽活動予測
Prediction of the next solar cycle using mean-field model

堀田英之、千葉大学・大学院理学研究院

研究目的：

太陽磁場は11年の周期を持って変動していることが知られているが、個々の11年周期にも変動があり、次に来る太陽活動がどの程度の活動になるかを知ることが、長期の宇宙天気を考える上で重要な課題となる。これまでの共同研究では、極小期の極磁場の強度と次の周期の黒点数が良く相関することを利用して、次期太陽周期活動を予測した。現在の磁場状況を数値計算に入れ込み、時間発展を計算することで、数年後の極磁場を予測するのだ。次期太陽活動を予測する過程で極小期の数年前から極小期まで、極磁場がほとんど変わらなくなる期間があることを発見した(Iijima et al., 2017)。本年度は、これまでの共同研究の成果をまとめて論文化するとともに、この停滞期の発生する原因について考察をおこなった。

研究方法：

これまでの共同研究で開発した、太陽表面の磁場の時間発展を追う表面磁束輸送モデル(Baumann et al., 2004など)を用いて、黒点の非対称性の効果について調査した。一般に、太陽黒点は西側にある先行黒点より、東側にある後行黒点の方が大きくなる傾向がある。これまでの表面磁束輸送モデルではこの効果が無視されていたが、この非対称性を表面磁束輸送モデルに入れることで、極磁場形成がどのように変わるかを調査した。

研究結果：

黒点の非対称性を入れると、極磁場形成が抑えられることがわかった。これは、やや大きい後行黒点が赤道をまたいで発生してしまうためだと考えた。非対称性が大きければ大きいほど、極磁場形成の効率は下がっており、太陽観測を満足する非対称性も確かめた。

引用文献

Baumann et al., 2004, A&A, 426, 1075

Iijima et al., 2017, A&A, 607, L2

衛星観測データを利用した雲物理スキームの改良 Improvement of cloud-microphysical scheme by using satellite observational data

佐藤正樹、東京大学・大気海洋研究所

研究目的

計算速度の速さから全球モデルでは2モーメントバルク法雲物理スキームが主流であるが、雲微物理過程で仮定されているパラメータには不確実性が残っている。前年に引き続き、衛星観測データを用いて2モーメントバルク法雲物理スキーム改良する方法を提案する。

1. 研究方法

Non-hydrostatic Icosahedral Atmospheric Model (NICAM; Tomita and Satoh [2004], Satoh et al. [2008 and 2014])に搭載されている2モーメントバルク法雲微物理スキーム(NDW6:Seiki and Nakajima, 2014)をkinematic driver model (KiD, Shipway and Hill, 2012)に搭載する。同様に2モーメントビン法雲微物理スキーム(Kuba and Fujiyoshi, 2006, Kuba and Murakami, 2010)もKiDに搭載する。それらから計算される雲物理量をJoint-Simulator(Hashino et al., 2013, JGR)の入力として、レーダ反射因子・光学的厚さ・LWPなどを求め衛星観測データから得られるプロダクトを作成し、スキーム間の比較を行う。差をもたらす原因や改善すべき雲物理過程を探る。この知見を基にして、バルクスキームを衛星観測データと比較し、改善することが可能になる。

2. 研究結果

層平均レーダ反射因子の雲頂からの光学的深さに対する変化率がこのバルク法スキームはビン法スキームに比べて雲頂付近で小さいことがわかった。昨年度行った感度実験からこの変化率の差は雨滴の落下速度の差がもたらす雨水量の鉛直分布の差によるものであることが確かめられているので、雨滴の平均落下速度を計算する際に用いられる、雨滴粒径分として仮定されているガンマ分布のshape parameterの影響を詳しく調べる数値実験を行った。雨滴の質量でガンマ分布を表した場合のshape parameterは、Marshall-Palmer分布では-2/3、NDW6の設定値では-1/3であるが、これを0および1と大きくしていくと、地表面積算降水量や層平均レーダ反射因子の雲頂からの光学的深さに対する変化率がビン法と近くなることがわかった。shape parameterが大きいということは分布の幅が小さいことを意味していて大きい雨滴の数が少ないということを意味する。ビン法で計算される雨滴粒径分布をガンマ分布で近似した場合もshape parameterを1としたものが元の分布に近いことも確かめられた。

3. まとめ

バルク法の結果をビン法から得られる結果と比較する代わりに、衛星観測から得られる層平均レーダ反射因子の雲頂からの光学的深さに対する変化率や地表面降水量などの観測値と比べれば、バルク法の雨滴粒径分として仮

定されているガンマ分布のshape parameterの適切な値というものが地域ごとに得られる可能性を示すことができた。

4. 引用文献

- Hashino, T., M. Satoh, Y. Hagihara, T. Kubota, T. Matsui, T. Nasuno, and H. Okamoto, 2013: Evaluating cloud microphysics from NICAM against CloudSat and CALIPSO. *J. Geophys. Res.*, **118**, 1-20, doi:10.1002/jgrd.50564.
- Kuba, N. and Y. Fujiyoshi, 2006: Development of a cloud microphysical model and parameterizations to describe the effect of CCN on warm cloud. *Atmos. Chem. Phys.*, **6**, 2793-2810, doi:10.5194/acp-6-2793-2006.
- Kuba, N. and M. Murakami, 2010: Effect of hygroscopic seeding on warm rain clouds – numerical study using a hybrid cloud microphysical model. *Atmos. Chem. Phys.*, **10**, 3335-3351, doi:10.5194/acp-10-3335-2010.
- Marshall, J. S. and W. M. K. Palmer, 1948: The distribution of raindrops with size. *J. Meteor.*, **5**, 165-166.
- Satoh, M., T. Matsuno, H. Tomita, H. Miura, T. Nasuno, and S. Iga, 2008: Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model (NICAM) for global cloud resolving simulations. *J. Comp. Phys.*, **227**, 3486-3514, doi: 10.1016/j.jcp.2007.2.006.
- Satoh, M. and Coauthors, 2014: The non-hydrostatic icosahedral atmospheric model: Description and development. *Progress in Earth and Planetary Science*, **1**, doi: 10.1186/s40645-014-0018-1.
- Seiki, T. and T. Nakajima, 2014: Aerosol effects of the condensation process on a convective cloud simulation. *J. Atmos. Sci.*, **71**, 833-853. doi: 10.1175/JAS-D-12-0195.1.
- Shipway, B. J. and A. A. Hill, 2012: Diagnosis of systematic differences between multiple parameterizations of warm rain microphysics using a kinematic framework. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* **138**, 2196-2211. doi:10.1002/qj.1913.
- Tomita, H. and M. Sato, 2004: A new dynamical framework of nonhydrostatic global model using the icosahedral grid. *Fluid Dyn. Res.*, **34**, 357-400, doi: 10.1016/j.fluidyn.2004.03003.

極端紫外線及び硬X線観測による太陽フレアにおける加速電子数診断 Diagnostics of the number of accelerated electrons in solar flares by EUV and HXR spectroscopy

川手 朋子（宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所）

○研究目的

硬X線の分光観測から電子数を見積ると、加速された電子を全て標準的な活動領域コロナから供給した場合、その領域の電子全てを加速に用いなければならない結果コロナが真空になる、といういわゆる「number problem」が問題となっている。これまでの観測の問題点として、加速された電子数を硬X線のみから見積もり、コロナの密度を仮定して計算してきたことがあげられる。そこで本研究では硬X線観測と同時に紫外線の観測からコロナ電子密度を見積もり、それぞれの観測で得られた値を比較・調査した。

○研究方法と結果

本研究では2015年3月17日に発生したM1.1フレアについて焦点をあてた。このフレアはディスクイベントではあるが、Reuven Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager (RHESSI)衛星でループ足元およびループ上空に硬X線源が確認された。我々は同時観測していたひので衛星搭載極端紫外線分光撮像装置(EIS)を用いて、ループ上空の硬X線源周辺の熱的電子密度をFe XIV輝線強度比(Young et al. 2007)から見積もった。その結果、フレアのインパルス相における熱的電子密度は $5 \times 10^9 \text{ cm}^{-3}$ であった。またFe XIVから見積もった電子密度がプラズマ全体の密度構造を反映しているかを確認するため、Solar Dynamics Observatory衛星搭載Atmospheric Imaging Assemblyのフィルタ観測から微分エミッションメジャー(Aschwanden & Boerner 2011)を導出し、コロナにおける硬X線源周辺のプラズマの温度構造を確認した。その結果、インパルス相初期において全温度帯でエミッションメジャーが増加しているものの、それ以外ではFe XIV形成温度の寄与が1-2桁程度卓越しており、Fe XIVで導出した電子密度はコロナ硬X線源周辺の熱電子の密度として良いと考えられる。

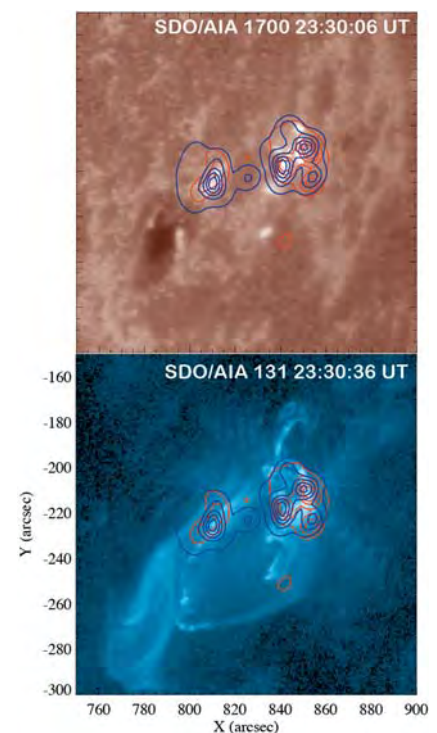


図1 彩層・コロナの構造と硬X線源の位置。赤等高線は12-25keV、青等高線は25-50keVのX線強度を示す。

足元・コロナの硬X線源スペクトルを位置分解しながら導出することにより、非熱的電子数の上限を見積もった。コロナ源を thin-target 放射 (Lin 1974) であると仮定すると、非熱的電子密度の上限は $3.4 \times 10^9 \text{ cm}^{-3}$ と見積もられた。一方ループ足元における硬X線を thick-target 放射 (Brown 1971) によるものであると仮定すると、下限として $3.6 - 4.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ と見積もられた。

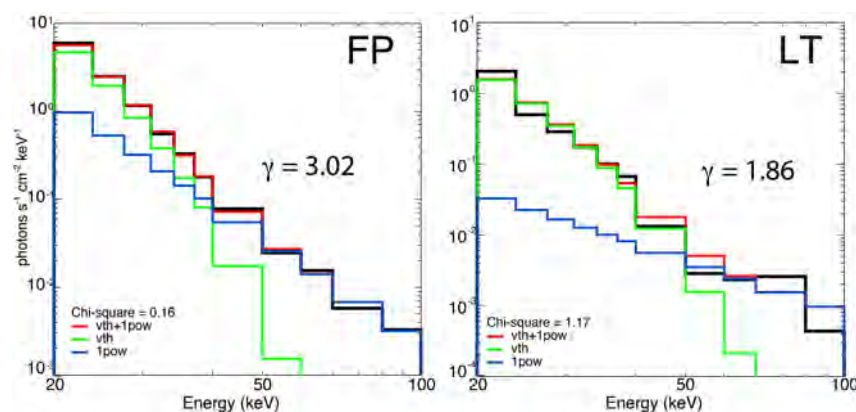


図2 足元(FP)、ループ上空(LT)それぞれの硬X線スペクトル(黒)。色はモデルフィッティング結果を示し単温度熱制動放射(緑)、べき分布(青)を仮定した。

○考察とまとめ

ループ上空の電子が全て非熱的であった場合、コロナに存在する熱的電子数と同程度であるがわかった。一方、足元で硬X線を放射している電子はEUVで見積もられるコロナの密度の7-9倍以上を必要とすることがわかった。この結果から、エネルギー解放領域周辺における電子密度はコロナ中からの電子供給で説明出来るが、thick-targetモデルを信じるならば、足元の硬X線放射を説明するためにはローカルなループ上空以外からの電子供給が存在することを示唆する。

○引用文献

- Aschwanden, M. J. & Boerner, P, ApJ, vol. 732, pp. 81 (2011)
 Brown, J.C., SoPh, vol. 18, pp. 489 (1971)
 Lin, R.P., SSRv, vol.16, pp. 189 (1974)
 Young et al, PASP, vol. 59, pp.857 (2007)

○成果発表

ポスター発表

川手朋子、今田晋亮、増田智、石川真之介

「太陽フレアのエネルギー解放領域における熱的・非熱的電子数診断」

太陽研連シンポジウム、京都大学、2018年2月19-21日

内部磁気圏DC電場・低周波電場波動における
地上データ処理・校正手法の確立：その2
Establishment of Data pipeline and calibration for
DC / low frequency E-field in Inner Magnetosphere: 2

笠羽 康正、東北大学・大学院理学研究科・地球物理学専攻

1. 研究目的

Arase (ERG) 衛星に搭載された Plasma Wave Experiment (PWE) は、地球内部磁気圏でのプラズマ波動-粒子相互作用を的確に検出し、磁気圏内のグローバルな物質・場のエネルギー収支・交換・伝搬を定量評価する手段となる。その実現には、磁気圏構造変動とプラズマ輸送の情報を握る DC 電場・低周波電場波動の精度を確実なものとし、その励起・伝搬過程の定量評価とその物理的役割の解明を可能とする必要がある。これに向け、2. に述べる作業を実施した。この成果は ERG による内部磁気圏観測の不可欠な基礎を形成し、またより制約が厳しくプラズマ環境も異なる水星 (BepiColombo)・木星 (JUICE) への展開体力の基礎となる。

2. 研究方法・結果

(1) イベントトリガーモード： PWE には、BepiColombo/MDP に申請者が搭載した機能を発展させる形で、日本初の試みとして「狙う波動-粒子相互作用イベントを自律検知して生観測データをダンプするイベントトリガモード」など新規機能を実装している。DC 電場・低周波電場波動が絡むキーイベント (Whistler、EMIC 等を含) を確実に捉えるオンボードロジックを整えた。2017 年度は、Telemetry downlink 量を十分に確保できたため、トリガーモードを使ったデータ取得選別を行う必要がなかったが、運用が厳しくなる 2018 年度ではこの実利用が課題となる。

(2) Probe 表面素材の電子特性： ERG 軌道は近地点が 300km と低く、酸素原子による Probe 表面素材へのダメージ (不導体化) が米国研究者により指摘された。遠地点が高く Lobe に突入すること、また Storm 時の大規模高温 Electron 所在のため、Probe 電位も不安定化しうる。電場観測精度の低さはどの衛星でも問題で、現象の掌握およびありえる劣化の時間遷移推定・補償方法を検証した。2017 年 3-6 月段階までの Probe 状況は、初期成果論文 (Kasaba et al., 2017) に取り込んで報告済だが、WPT-S1/2/3/4 の 4 つの probe 間で 3 割程度の不均一性が見えるものの、時間劣化は見出されず、この点は朗報である。ただし評価に用いた「BIAS-SWEEP 法」(0.5sec で BIAS 値を相当範囲で動かす) では Probe 電位が Bias 電位に追従しきれないこともわかってきた。この補正のため、2017/12 から「BIAS-SLOW-SWEEP 法」(4sec-step でゆっくり BIAS 値を相当範囲で動かす) をマクロ CMD で実施可能とした。今後の運用で、この評価を含めた時間変化を追試していく。より高周波で得られる Capacity 成分との比較評価も今後実施する。

(3) BIAS 電流値の設定： DC・低周波電場計測には、Probe に適切な Bias 電流を加え対

Plasma impedance を適切に能動制御する必要がある。PWE 初期運用では BIAS 電流値として 37.5 nA を設定しようとしたが、過剰で時に probe 電位が発散することが判明し、2017 年 3 月開始の観測運用では 18.8 nA へ下げた。さらに、初期論文形成における referee とのやり取りを含むその後の検討で増大させ、2017/11/21 16:20 以降から 3.75 nA (BIAS 電圧 2.8125 V) とした。この間の電場・ポテンシャルの周辺プラズマに対する感度評価は今後の課題だが、対 plasma impedance を 100 Mohm (plasma pause 外 : UHR 周波数 < 20kHz) ~ 数 Mohm (近地点近傍 : UHR 周波数 > 100 kHz) にできることを確認している (see (2))。

(4) データパイプライン設定および校正 : データ校正を含む Level-1' データの生成を定常化させ、公表を行う Level-2 データ作成の準備を終了させた。これに伴い、2017 年 11 月に発覚した「時刻付エラー問題(最大 1sec、スピン面内で最大 45deg の回転となる)の修正方法を確立し、2018 年 3 月頭にこの全補正を終了した。また、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についても検討を開始しているが、これはかなりの難問であることがわかってきた。今後、磁場観測 (MGF および PWE/SCM) と感度・位相情報を整合させるとともに、Poynting Vector などの電場-磁場双方の観測量を得て初めて導出可能な物理量の精度を確保していく。

(1) (2) (3) (4) とも、ERG による内部磁気圏観測の不可欠な基礎を形成するのみならず、より Telemetry や運用の制約が厳しくプラズマ環境も異なる水星 (BepiColombo) ・木星 (JUICE) への展開体力の基礎を形成する。

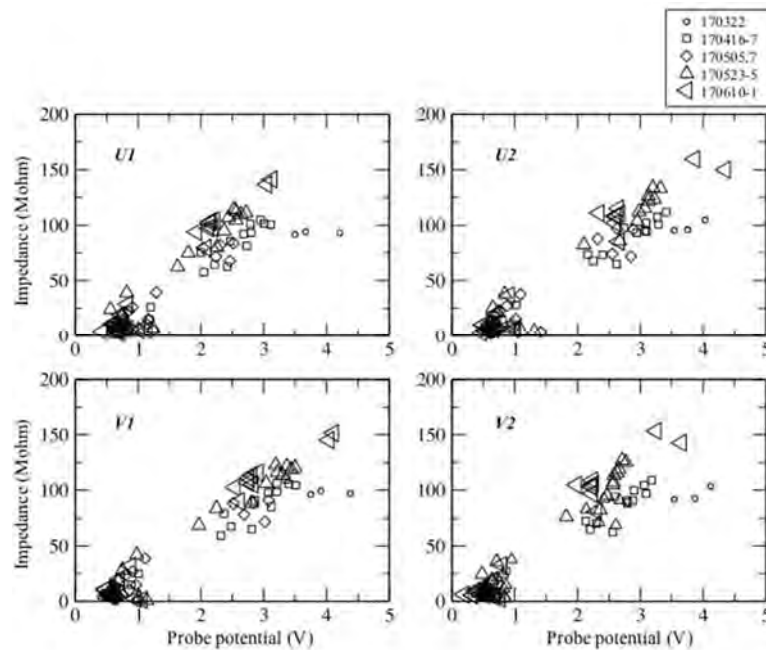


Fig. WPT のシースプラズマ impedance のうち抵抗成分 [from Fig. 9, Kasaba et al. 2017]s

4. 成果発表

様式 4-1 を参照されたい。

海洋観測とリモートセンシングを融合させた瀬戸内海の基礎生産量の測定法の開発 A novel method of primary production determination in Seto Inland Sea using analytical and remote sensing techniques

浅岡 聡、神戸大学・内海域環境教育研究センター

【研究目的】

瀬戸内海は、かつて世界に類を見ない高い漁業生産力を誇っていた。これは、海洋の食物連鎖の転送効率が高いためである。ところが、この30年余りで瀬戸内海の漁業生産量は半減し、その一因として栄養塩流入負荷削減に伴う基礎生産の低下が指摘されている。基礎生産は植物プランクトンの光合成による単位時間かつ海洋の単位面積あたりの炭素生産量である。

先行研究においては、基礎生産は国内では ^{13}C 同位体、海外では ^{14}C 放射性同位体を用いて求められてきた。しかし、これらの手法は洋上で4時間培養し、かつ同位体実験は莫大なコストがかかるため、高頻度の測定は困難であった。そのため、これまで基礎生産は湾や灘の中央部などの限定的な地点で測定されてきた。この他に、人工衛星画像によって、海水中のクロロフィル濃度を測定し、基礎生産を間接的に推定する方法も報告されてきた(Behrenfeld and Falkowsk, 1997)。しかし、人工衛星画像は、陸起源の有色溶存有機物のスペクトル干渉のため、最も基礎生産が高いと考えられている沿岸域の基礎生産を人工衛星画像から推定することは困難であった。

本研究では、これまでの手法で不可能であった、高頻度かつ沿岸域を含めた広域の基礎生産を推定する方法を開発すること目的とした。

【研究方法】

基礎生産の実測値は環境省環境研究総合推進費S-13「持続可能な沿岸海域実現を目指した沿岸海域管理手法の開発」プロジェクトで測定したデータを用いた。海水サンプルは、広島湾7地点（2014年～2015年の四季各4回）、安芸灘の6地点（2015年～2016年の四季各4回）、瀬戸内海西部（広島湾1地点、安芸灘1地点、燧灘4地点、備後灘4地点、備讃瀬戸3地点で2016年11月のスポットサンプル）にて採取した。 ^{13}C 法にて基礎生産を、海水の水温、塩分、光量を多項目水質計で測定した。基礎生産は広島大学環境安全センター梅原亮特任助教に協力いただいた。リモートセンシングによる海洋のクロロフィル濃度および基礎生産の推定においては、高い時空間分解能を持つ(500 x 500 mで1日8回の高頻度毎時観測が可能)GOCI/COMSを用い、衛星プロダクトデータはKorea Ocean Satellite Center (KOSC, http://kosc.kiost.ac.kr/eng/p10/kosc_p11.html)からダウンロードした。また、水柱の基礎生産および炭素同化効率の推定は、(Kameda & Ishizaka, 2005)を参考にした。また、適宜、名古屋大学の石坂丞二教授、神戸大学海事科学研究科中田聡史特命助教に協力いただいた。

【結果と考察】

広島湾における基礎生産の衛星推定値と実測値の相関係数は $r=0.216$ となり無相関であった。そこで、炭素同化効率を実測値から推定した経験式で修正すると衛星推定値と実測値の相関係数は $r=0.869$ に向上し、かつ一次回帰式の傾きは0.96であった(図1)。したがって、広島湾において基礎生産の時空間変動を概ね推定できた。

広島湾を除く瀬戸内海西部海域の基礎生産の衛星推定値と実測値の相関係数は $r=0.371$ であった(図2)。広島湾同様に炭素同化効率を実測値から推定した経験式で修正したが、衛星推定値と実測値の相関係数は $r=0.370$ となり精度の向上は認められなかった。原因として、特に安芸灘において春から夏にかけて硝酸塩濃度が $1\text{ }\mu\text{mol L}^{-1}$ を下回っており、栄養塩制限のため実測値の基礎生産が低く、衛星推定値は栄養塩制限を考慮できていないためと考えられる。課題は残るものの、衛星による基礎生産の推定はオーダーレベルでは実測値を再現できており、瀬戸内海全域に本法を拡張して、瀬戸内海の基礎生産の時空間変動を見積もった(図3)。例として2016年1月(冬)、

3月（春）、7月（夏）、10月（秋）の平均の瀬戸内海の基礎生産の衛星推定値を示す。1月は陸域の影響を受ける沿岸域および、陸域からの流入負荷が多い大阪湾、播磨灘北部、備讃瀬戸、広島湾で他の海域より基礎生産が高い傾向を示した。春では瀬戸内海全域で春のブルームが観測され、大阪湾奥の基礎生産量は $800 \text{ mg-C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ に達した。夏では伊予灘や大阪湾西部、播磨灘や燧灘の中央では基礎生産量が $200\text{-}260 \text{ mg-C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ に低下した。原因は栄養塩の枯渇と考えられた。秋には再びブルームが観測され瀬戸内海全域で基礎生産量が $240\text{-}800 \text{ mg-C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ に達した。

基礎生産は海洋の炭素収支にも直結するため、今後、本研究の進展により沿岸域を含めた全球の炭素循環、地球温暖化など気候変動を解明するための重要な知見が得られると考えている。

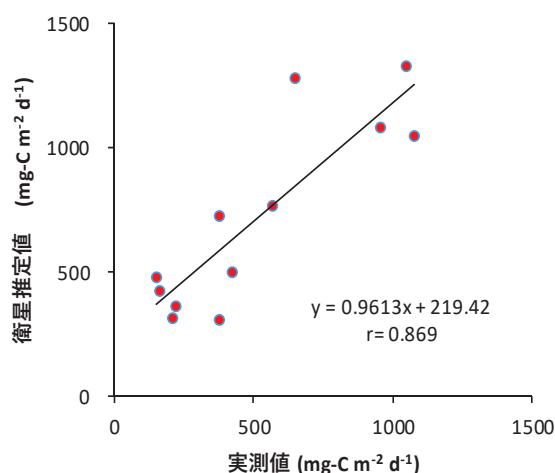


図1 広島湾における基礎生産の実測値と衛星推定値の比較

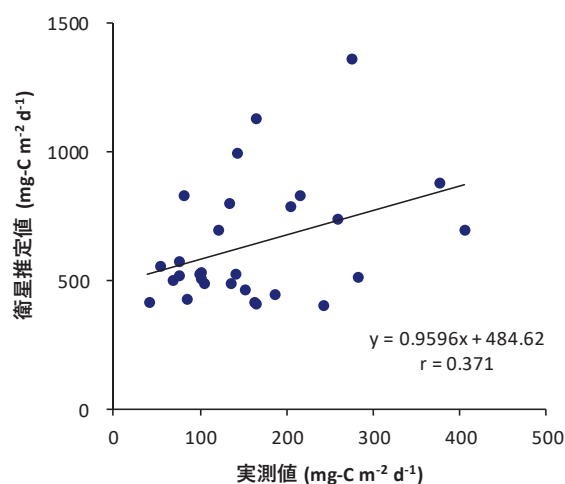


図2 広島湾を除く瀬戸内海西部海域における基礎生産の実測値と衛星推定値の比較

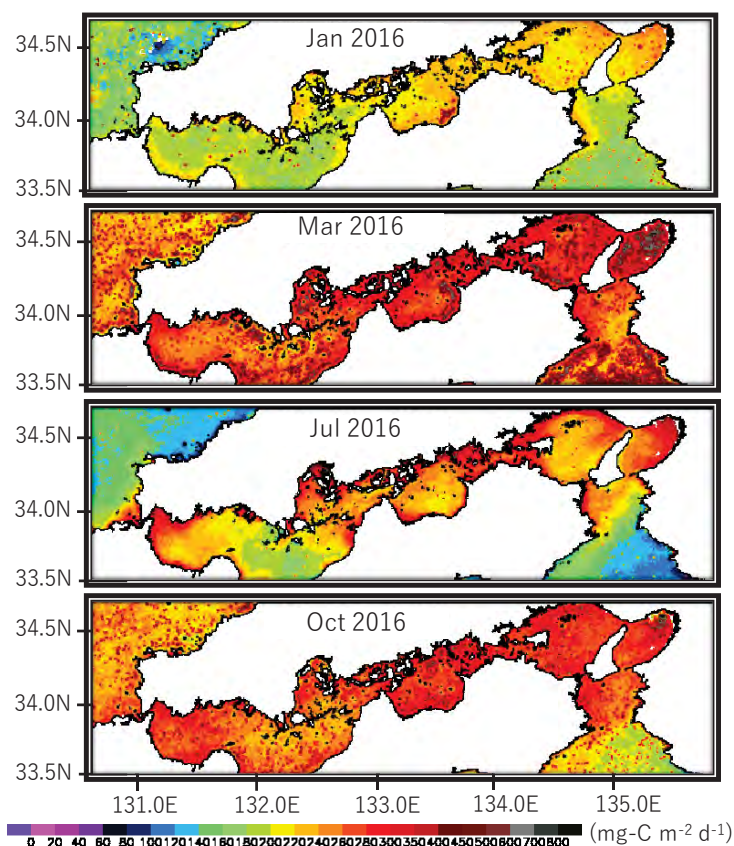


図3 人工衛星から推定した瀬戸内海の基礎生産の時空間変動

【引用文献】

Behrenfeld, M. J., Falkowski, P. G., 1997. *Limnol.*

Oceanogr., 42, 1-20.

Kameda T., Ishizaka J. 2005. *J. Oceanogr.*, 61,663-672.

【学会発表】

Nakada, S., Kobayashi, S., Hayashi, M., Ishizaka, J., Akiyama, S., Fuchi, M., Nakajima M., High-resolution observation of river plume by using geostationary ocean color satellite, 2017 年日本地球惑星科学連合大会, 幕張メッセ, 2017 年 5 月 22 日

Umehara A., Asaoka S., Otani S., Fujii N., Miyagawa H., Nakai S., Okuda T., Ohno M., Nishijima W., Biological productivity on lower trophic levels in inter-tidal and sub-tidal areas in Hiroshima Bay, Japan, The Third Asian Marine Biology Symposium, Japanese Association of Benthology, Kumamoto Prefectural University, Kumamoto, Japan, 2017.11.3-5

石英中の Ti 濃度の定量分析から導く深成岩体中の石英の結晶化プロセスの解明

Crystallization process of quartz in the granitic pluton desuced from
the quantitative determination of Ti concentration

小北康弘 山形大学大学院 理工学研究科

加藤丈典 名古屋大学 宇宙地球環境研究所

湯口貴史 山形大学 理学部 理学科 地球科学分野

1. 研究目的

珪長質深成岩体の石英の結晶化は、主要鉱物中で最も遅いタイミングで生じる。このため結晶化プロセスは、花崗岩質マグマの貫入・定置過程の解明に有用となる。これらのデータは、将来に渡っての地質環境長期安定性を評価する上で不可欠となる高精度の地質履歴の再現に寄与するものとなる。結晶化プロセスの解明にはカソードルミネッセンス像（CL 像）と微量元素組成を組み合わる手法を用いる。微量元素の含有量は、結晶成長に反映する（Drivenes et al., 2016）。また、チタン（Ti）濃度を用いた地質温度計により、結晶化温度を決定できる（Wark and Watson, 2006）。前年度の共同研究では、石英中の Ti 濃度の定量手法を構築し、遠野岩体の石英の Ti 濃度を取得した。本共同研究では、遠野岩体と土岐岩体の試料に対して、Ti 濃度の定量データを拡充し、石英の形状と関連づけて結晶化プロセスを検討した。

2. 試料と分析方法

本研究では、岩手県に位置する遠野複合深成岩体と岐阜県に位置する土岐花崗岩体を試料として用いた。岩石試料から薄片を作成し、偏光顕微鏡にて石英の記載を行った。その際、形状、産状により石英を 5 つに区分した：①他形、②半自形、③包有石英、④最大粒径の石英、⑤黒雲母と接する石英。これらの石英の CL 像の取得は、CL 観察装置を付属した電子顕微鏡（SEM-CL：JEOL-IT100A）を用いた。

名古屋大学の EPMA（JCXA-733）を用い、石英中の Ti 濃度を測定した。分析条件は、加速電圧 15 kV、照射電流 60 nA、ビーム径 20 μm 、測定時間 200 s（peak：100 s、background：50 s ずつ）とした。また、Ti のカウント数を稼ぐために分光結晶（PET）を 4 つ用いてカウントした。定量分析の結果から、Wark and Watson（2006）の地質温度計により石英の結晶化温度を導出した。

3. 研究結果・考察

(1)検出限界

石英中の Ti 濃度定量において、上記の分析条件での検出限界（40ppm）を求めた。

(2)遠野岩体

岩石薄片 4 枚中の石英 5 粒子に対して Ti 濃度を測定した。その一例として、半自形の石英で取得した Ti 濃度のラインプロファイルを図 1、図 2 に示す。図 1a は半自形の石英の組成像、図 1b は対応する位置の CL 像である。CL 像（図 1b）は、粒子中央の部分が比較的明色で、周辺部が暗色を呈する。このことから、この石英は中央部（コア）から周辺部（リム）にかけて結晶化していったことが推定できる。この石英において、左端からコアを通り右端までの 40 点で Ti 濃度定量を行った（図 2）。コアの分析点は石英の左端から 16～18 点目の分析点である。図 2 は、16、17 点目から左端に向かうにつれて、Ti 濃度が系統的に下がる傾向を示す。これは、この石英がコア付近から左端のリムにかけて結晶化したことを反映している。一方、コアから右端にかけては、Ti 濃度の系統的な変化は認められない。この領域は、CL 像（図 1b）でも明暗がまだらに分布しており、Ti 濃度が結晶化の際の不均質性をとらえていることが示唆される。

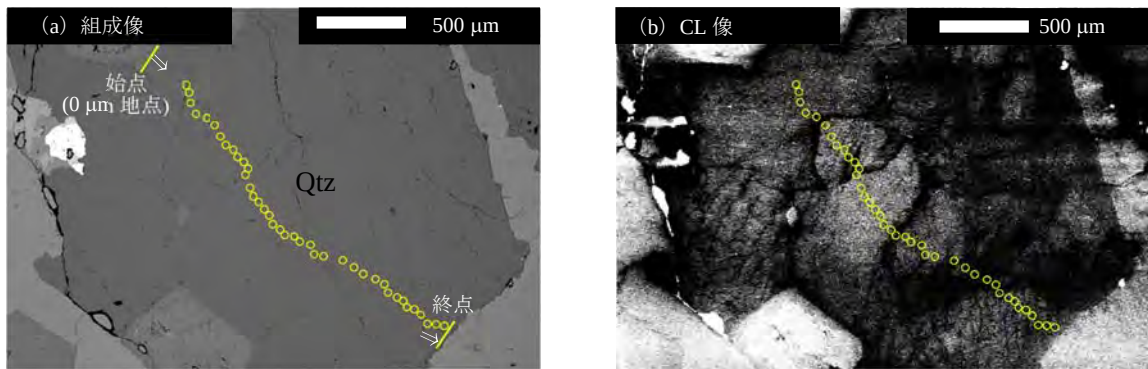


図1 半自形の石英の組成像(a)および CL 像(b)
図中の○印は、Ti 濃度を定量した分析地点を示す。

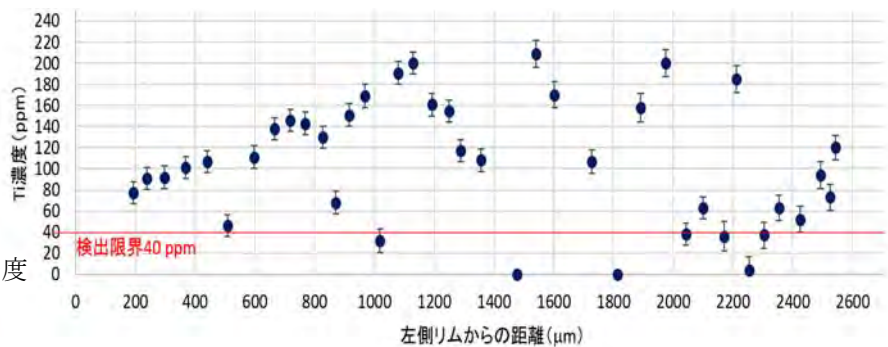


図2 半自形の石英中の Ti 濃度
ラインプロファイル

(3)土岐岩体

岩石薄片 9 枚中で、形状、産状の異なる 5 種類の石英粒子に対して Ti 濃度を測定した。その一例として、白雲母黒雲母花崗岩中の最大粒径の石英で取得した Ti 濃度の関係を図 3、4 に示す。図 3a は最大粒径の石英の組成像、図 3b は対応する位置の CL 像である。CL 像（図 3b）は、中央部から周辺に向かって累帯状のパターンを示す。このことから、この石英はコアから周囲に向かって累帯状に成長したと推定できる。この石英において、図 3b に示す 3 点で Ti 濃度定量を行った。図 4a は 3 点の Ti 濃度、図 4b は Ti 濃度が検出限界以上の 2 点での結晶化温度を示す。コアの結晶化温度は 736 ± 26 で、この石英で最も高い傾向がある。今後は、さらなる詳細な議論のために、5 区分した石英それぞれの Ti 濃度データの拡充を行う。

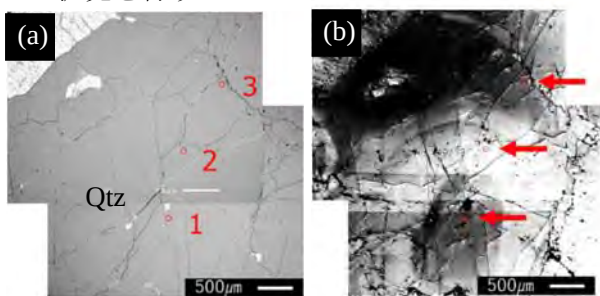


図3 最大粒径の石英の組成像(a)および CL 像(b)

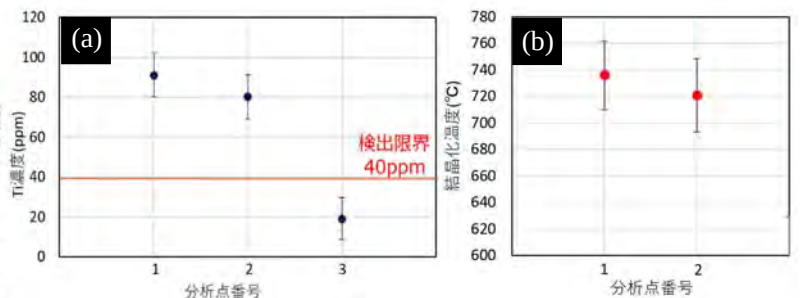


図4 最大粒径の石英の Ti 濃度(a)および結晶化温度(b)

4. 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.

宇宙線ネットワーク観測による宇宙天気研究
Space weather study based on the global network of cosmic ray
observations

宗像 一起、信州大学・理学部

GMDNとSSEとの統合に向け、南極昭和基地で2018年2月から小型ミュオン計と中性子計による同地点連続観測を開始した(図参照)。この観測は国立極地研究所との共同研究プロジェクトによるものである。ミュオン計と中性子モニターは、一次宇宙線が大気中で生成する異なる二次粒子(ミュオンと中性子)を検出するが、生成に必要な閾値エネルギーの違いにより、ミュオン計は中性子計に比べて約5倍高いエネルギーの一次宇宙線に最も高い感度を有する。一方で、二次粒子が大気中を伝播する際に起こす反応の違いにより、ミュオン計と中性子計で観測されたデータには異なる大気効果が含まれる。例えば、ミュオン計データでは、大気気圧効果が中性子計の約1/5である反面、中性子計データにはあまり見られない大気気温効果が目立つ。大気気温効果はミュオン強度に顕著な季節変動を引き起こすため、特に宇宙線密度(強度の等方成分)の変動を解析する際には注意が必要である(Mendonça+ApJ 2016)。南極昭和基地での両宇宙線計による同時観測は、大気効果をよりよく理解してその補正法を探る上で実験的な拠り所を与えるものである。

一方で昭和基地ミュオン計による地球磁気圏外の観測方向(asymptotic viewing direction)は、ブラジル宇宙線計及びクウェート宇宙線計の観測方向と一部で重なっている(下図参照)。これまで、GMDNの4つの宇宙線計のうちブラジル宇宙線計の観測方向のみが他の宇宙線計の観測方向から孤立しており、観測データを宇宙線計間で較正することの妨げとなっていた。中性子計との同時観測で気温効果が除かれた昭和基地ミュオン計のデータを用いれば、今まで困難だった較正が可能になると期待される。



また、2015年6月22日に観測されたCosmic Ray Burst (CRB)の解析を行った。CRBは特定の方向を観測する宇宙線計で約1%の強度増加が見られた現象である。GMDNが10分値で観測したCRBを解析した結果、この現象がIMF中の磁気中性面に伴う宇宙線異方性の卓越によるものであり、ほぼ同期間に観測された大地磁気嵐(最大Kpインデックス8+)に起因するもの(Mohanty+ PRL 2016)ではないことが判った。このことは、磁気嵐中の地球磁場モデ

ル (Tsyganenko+ JGR 2005) を用いた宇宙線軌道計算結果からも確認されている。我々の解析によれば、大振幅異方性が約一時間にわたってその方向と振幅を大きく変化させている様子が観測されたが、この時間スケールは60 GeV宇宙線の旋回半径を太陽風が通過するのに要する時間と一致する。一方、磁気中性面に伴う磁場変動ははるかに短い時間に完了しているため、このことは、高エネルギー宇宙線異方性がIMFの変動に応答する時間スケールが、この事象では1時間程度であることを意味している。同時に、GMDNが1時間以内の「速い」変動も正確に捉える能力を備えていることが実証された。これらの結果を論文にまとめ、現在Astrophysical Journalに投稿中である。

2016年3月にKuwait宇宙線計の拡張が完了し、現在はGMDNの4台の宇宙線計すべてが1分値の観測を行っている。今後はCRBに代表される「速い」変動の研究にもGMDNが威力を発揮することが期待される。

台風下における風波の砕波機構の解明とモデリング Modelling on wave breaking under tropical cyclone

高垣直尚、兵庫県立大学・機械工学専攻

近年，大型化および頻発化する台風・ハリケーン等の熱帯低気圧は強風・大雨・高潮などを引き起こし，洋の東西を問わず世界各国の人・社会・経済に甚大な被害を与えている．これらの被害を最小に抑えるためには，台風を含む気象予測モデルを用いて台風の進路および強度を正確に予測する必要がある．ごく近年，報告者らのグループおよび米国・マイアミ大学のグループは，台風下の海洋表面を通した運動量・熱輸送量などの風速依存性が，風速30メートル以下の通常の風速域における依存性と全く異なることを明らかにしている^{1,2)}．したがって，台風等の強度を正確に予測するためには，荒天下の激しい波しぶきや気泡の巻き込みを伴う大波の砕波機構を解明し，さらに砕波強度と気液界面を通しての運動量輸送量の関係を明らかにすることが必要不可欠である．そこで本研究では，造波装置を利用し，風洞水槽内での大波の発生方法の解析をすることを目的とした．

台風のシミュレータである高速風洞水槽（全長24m，幅0.8m，最大水深0.8m，京都大学所有，図1）および大型風波水槽（全長54m，幅1.5m，九州大学所有）で得られた水位変動データ等の解析を行った³⁻⁵⁾．具体的には，海上10mの位置における風速基準で5～69m/sの測定条件において測定されたデータを使用した．水位変動データ等は，レーザドップラ流速計，位相ドップラ流速計，高速度カメラ，抵抗式波高計などを用いて測定された．解析手法は，渦相関法，ゼロアップクロス法，

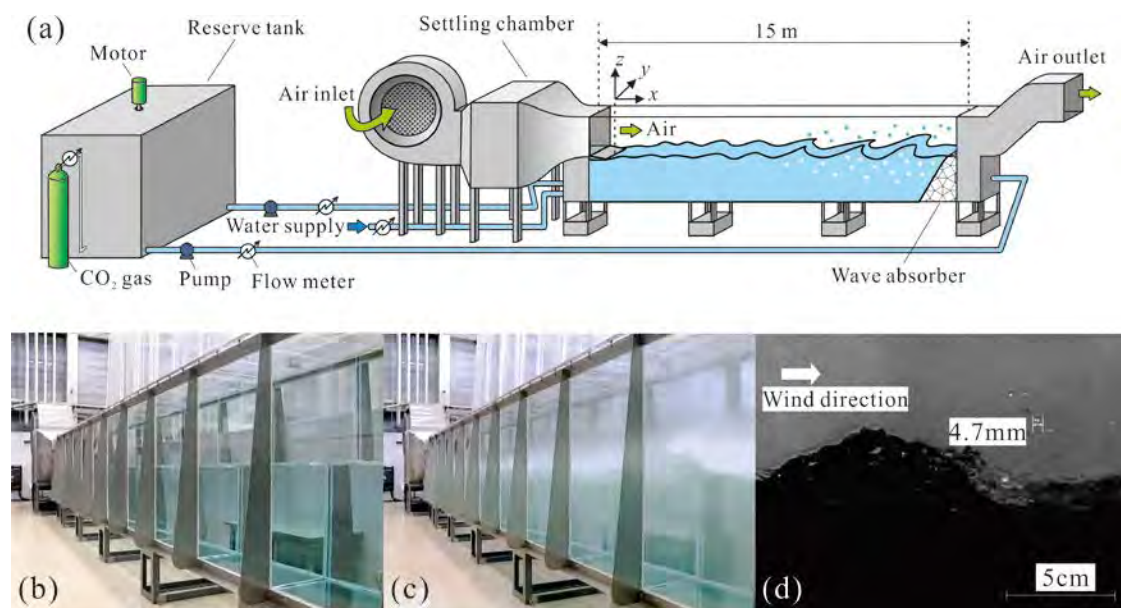


図1 (a)高速風洞水槽の概要¹⁾，(b, c)水槽内部の水面の様子¹⁾，それぞれ風速が7，67m/s．
(d)水槽の側面から撮影された飛散する液滴および巻き込み気泡の様子⁶⁾．

スペクトル法，コスペクトル法等を用いた．図2に，風波の波高と吹送距離の関係を示す．図中の測定値は，既往研究⁷⁾で提案された吹送距離則（実線）によく一致していることから，造波装置により作成された風波も従来の吹送距離則に一致する可能性がある．本報告では紙面の都合上省略するが，造波装置により作成された風波，吹送距離則以外にも，分散関係式や鳥羽の3/2乗則などの風波のもつ基本的な特徴も備えていることを確認した．

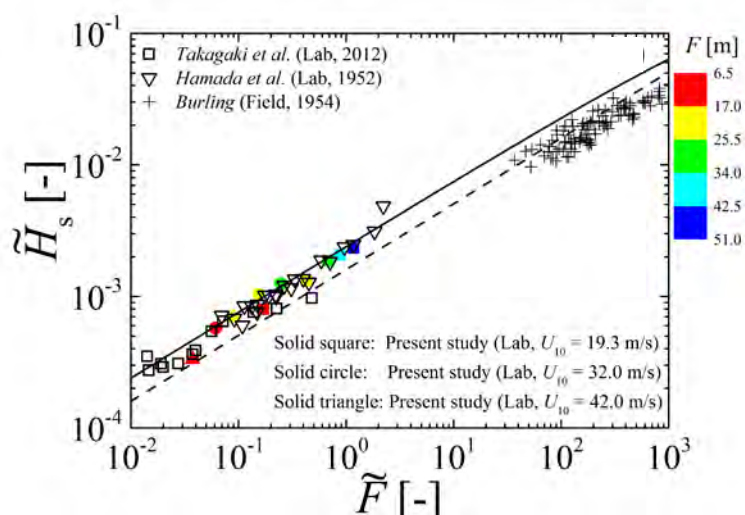


図2 波高と吹送距離との関係．波高 H_s および吹送距離 F は重力加速度 g および風速 U_{10} を用いて正規化されている．文献³⁾を元に作成．

引用文献

- 1) Takagaki, N., et al. (2012), Strong correlation between the drag coefficient and the shape of the wind sea spectrum over a broad range of wind speeds, *Geophys. Res. Lett.*, 39, L23604.
- 2) Komori, S., et al., (2018), Laboratory Measurements of Heat Transfer and Drag Coefficients at Extremely High Wind Speeds, *Journal of Physical Oceanogr.*, DOI:10.1175/JPO-D-17-0243.1.
- 3) Takagaki, N., et al., (2017), Loop-type wave-generation method for generating wind waves under long-fetch conditions, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 34, pp2129-2139.
- 4) Takagaki, N., S. Komori, N. Suzuki, K. Iwano, and R. Kurose (2016), Mechanism of drag coefficient saturation at strong wind speeds, *Geophys. Res. Lett.*, 43, doi:10.1002/2016GL070666.
- 5) 高垣直尚，高風速下かつ長吹送距離における風波気液界面を通しての熱輸送機構，波浪研究集会，名古屋大学，2018年3月5日．
- 6) 高垣直尚，(2017)，台風下における海水面の微粒化，ケミカルエンジニアリング，62 (2)，pp5～12，化学工業社．
- 7) Wilson, B. W., (1965), Numerical prediction of ocean waves in the North Atlantic for December, 1959, *Dtsch. Hydrogr. Z.*, 18, 114–130, doi:10.1007/BF02333333.

自動車排ガス起源SOAの物理化学特性の測定
Measurement of physicochemical properties of SOA derived
from vehicle emissions.

藤谷 雄二、国立研究開発法人国立環境研究所・
環境リスク・健康研究センター

研究目的

ディーゼル排ガス由来のSOAを評価するために、大型ディーゼル車の混入率が高い交差点である実環境において取得されたエアロゾルの化学成分の連続測定データを因子分析し、一次有機エアロゾルと二次有機エアロゾルSOAの有機エアロゾルに対する寄与評価を行った。

研究方法

川崎市池上新町にある川崎臨港警察署前交差点で測定を行った。当該交差点は、東西に産業道路があり、南北には川崎駅と工場地帯を結ぶ道路が直交し、さらに産業道路に重層して首都高の高架道路がある。この交差点の北側には、住宅街が広がっている。南西側には池上新田公園が面しており、その一角の交差点に近い場所に国立環境研究所が設置した観測小屋がある。

この小屋にスス粒子-エアロゾル質量分析計（SP-AMS）を設置し、PM_{1.0}の化学成分の連続計測を行った。測定結果は昨年度報告した通りであるが、本年度は2016年の冬季に得られたAMSのデータのうち、有機エアロゾルOAを対象とし、因子分析の一種であるPositive Matrix Factorization（PMF）解析を行った。解析はPMF Evaluation Tool（ver. 2.08D）（Ulbrich et al., 2009）により行った。本研究では因子数を6とした。

研究結果、考察

図1に得られた各因子の濃度と寄与の日内変動を示す。因子の日内変動パターン、既知の発生源や物質、あるいは過去に得られた質量スペクトルとの類似性、他の汚染物質濃度との相関関係などから、総合的に各因子を解釈した。ここでは整数質量数の結果に基づくが、高分解能質量スペクトル（HRスペクトル）のPMF解析結果とも合わせて解釈した。因子1（F1）およびF4はそれぞれ低揮発性含酸素有機エアロゾル（LV00A）および半揮発性含酸素OA（SV00A）と解釈した。これらは m/z 44の CO_2^+ あるいは m/z 43の $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}^+$ と相関が高いこと、HRスペクトルのPMF結果で得られている酸素炭素比から判断した。F2は調理由来有機物（COA）と解釈した。これは朝昼夜と濃度が増加していること、肉料理や過去にCOAと解釈された質量スペクトルと類似していること、COAの指標である m/z 98の $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}^+$ の時間変動と極めて高い相関があること、交差点付近には焼肉店が多く存在することなどが理由である。F3、F6はそれぞれ発生直後の炭化水素（HOA）、HOAに近い含酸素有

機物（NOA）と解釈した。これらの因子は朝方に大きなピークがあること、交差点側からの風向時に高濃度であること、炭化水素の指標である m/z 43 の $C_3H_7^+$ や m/z 55 の $C_4H_7^+$ 、 rBC や NO_x 濃度と相関が高いこと、DEP の質量スペクトルと特に類似していることを根拠とした。NOA は HR スペクトルの結果から窒素炭素比が他の因子と比べて高いことからそのように解釈した。最後に F5 をバイオマス燃焼由来の因子と解釈した。野焼き由来の質量スペクトルとの類似性やレボグルコサン粒子の質量スペクトルと比較的近いこと、またレボグルコサンに特徴的な m/z 57 の $C_4C_9^+$ もしくは $C_3H_5O^+$ 、 m/z 60 の $C_2H_4O_2^+$ 、 m/z 73 の $C_3H_5O_2^+$ の特徴がみられ、さらには m/z 29 が支配的であった（萩野ら、2008）ことが理由である。ただし、HR スペクトルの PMF 結果では同様の特徴がみられず、解釈の精査が必要である。HOA、HOA に近い NOA を自動車排気由来とすると、 $PM_{1.0}$ 中の有機エアロゾルへの寄与は約 32%（HOA:18%、NOA:14%）であった。なお、HOA や NOA は自動車以外の例えば石油燃焼等の寄与も含まれている可能性があるため、この割合は自動車排気寄与としては上限と考えられる。一方、SOA の寄与は約 40%（LV00A:24%、SV00A:16%）であった。

大型ディーゼル車の混入率が高い交差点で、かつ、冬季でありながら、一次有機エアロゾルよりも二次有機エアロゾルの方の寄与が高い結果となった。

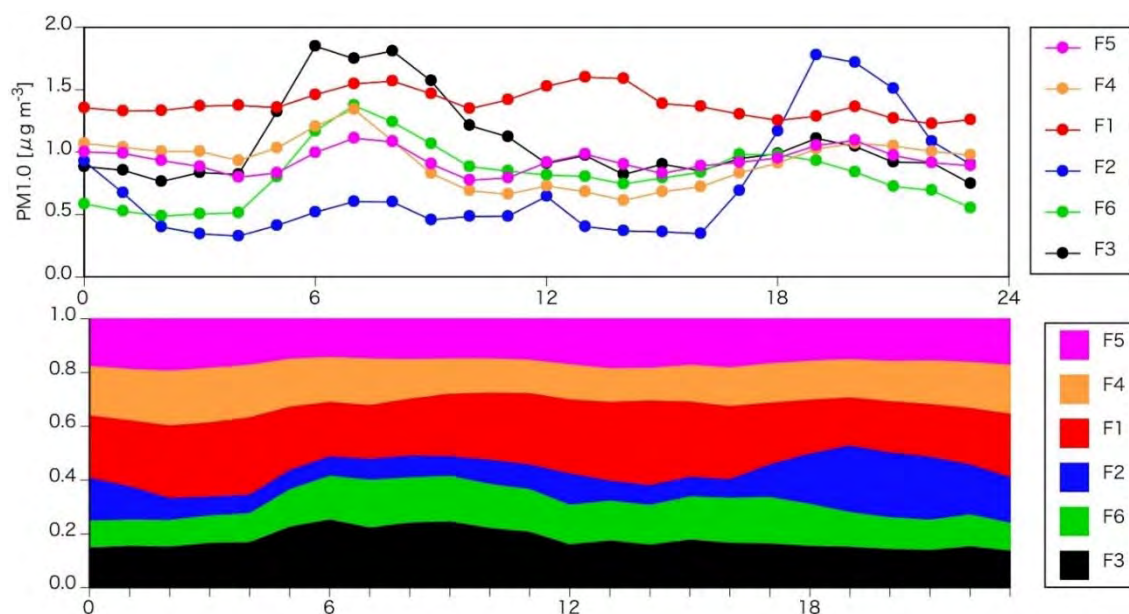


図1 SP-AMS データの PMF 解析の結果 2016 年 1-2 月

地球システムモデルを用いたシベリア域における大気水循環の経年変動特性の解明 Study on interannual variations of atmospheric water circulation in Siberia using earth system model

阿部 学 海洋研究開発機構・統合的気候変動予測分野

はじめに

シベリア域を中心としたユーラシア北部の夏季降水量の経年変動は、ユーラシア北部の生態系を含む陸域環境の維持や変化にとって重要な問題である。一方、夏季の降水を含めた北半球高緯度域の水循環は地球温暖化やそれに伴う北極海の海水減少により大きな影響を受け、水循環の経年変動特性が変調されている可能性がある(例えば、Fujinami et al. 2016; Hiyama et al. 2016)。しかし、それらの実態把握やそのメカニズムの理解は不十分である。地球温暖化に伴う将来の環境変化の緩和や適応には、数十年から百年スケールの変化だけでなく、環境に大きな影響を与えうる極端現象に関連する経年変動のメカニズムを理解することも重要である。

研究目的

本研究は、気候変動の将来予測に用いられている気候/地球システムモデル実験の結果を用いてユーラシア北部の夏季降水量の経年変動特性を調べ、近年の地球温暖化や北極海水減少がシベリア域の夏季降水量の経年変動特性に与える影響を明らかにすることを目的とする。

研究方法

本研究では、気候変動の将来予測に用いられている 16 の気候/地球システムモデルによる過去の気候変動再現実験データを解析する。また、モデルの内部変動に関する不確実性を低減させるため、海面温度 (SST) や海水の観測値を与えた大気大循環モデルのデータを用いる。解析期間は 1979 年から 2008 年である。

各モデルは水平解像度が異なるため、全モデルデータを $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ の解像度に変換し解析を行った。各モデルについて、シベリア域を中心としたユーラシア北部における夏季平均降水量データに EOF 解析を適用し、経年変動の主要モードの時空間特性を抽出した。各モデルの上位 3 つの EOF モードの空間パターンに対しクラスター解析を用いてグループ化し、各グループの大気循環の空間パターンの特徴や海水変化の影響について解析を行った。

研究結果

昨年度、ユーラシア北部における夏季降水量の経年変動の主要モードを抽出するために、各モデルについて EOF 解析を実施した。昨年度得られた各モデルの上位 3 つの EOF モードの空間パターンのすべてに対してクラスター分析 (ウォード法) を適用し、空間パターンの類似性を基準にグループ化を行った。その結果を図 1 に示す。クラスター分析の結果から、グループを大きく 4 つのグループに分け、本年度はその 4 つのグループの中から、2 つのグループを中心に解析を行った。

1 つ目のグループの EOF パターンの特徴は、シベリア中央部から西部に正のシグナルがあることである。EOF のスコア時系列と 850hPa のジオポテンシャル高度の回帰係数の比較解析から、このグループの多くの EOF パターンには、シベリア中央付近の低気圧性循環が関係していることがわかった。また、このグループの EOF パターンや大気循環の特徴は、Fujinami et al. (2016) の EOF1 に類似するものであった。

もう 1 つのグループの EOF パターンの特徴は、東シベリアに正のシグナルのあることである(図 2)。関係する大気循環場の特徴を調べた結果、このグループはシベリア域の東西ダイポールのな循環場変動と関連し、Fujinami et al. (2016) の EOF2 と類似する特徴を示した(図 3)。

まとめ

16 の気候/地球システムモデルから得られるユーラシア北部の降水量の経年変動の主要モードは、観測データから得られる経年変動の主要モードに類似していた。また、この主要モードに関係する大気循環場の特徴についても、多くのモデルで観測の間で類似していた。しかし、2 つのグループに含まれる EOF の寄与率は Fujinami et al. (2016)の結果と比べると小さかった。このことから、モデルの経年変動は観測と類似した特徴をもつが、その特徴は観測と比べると弱いと考えられる。

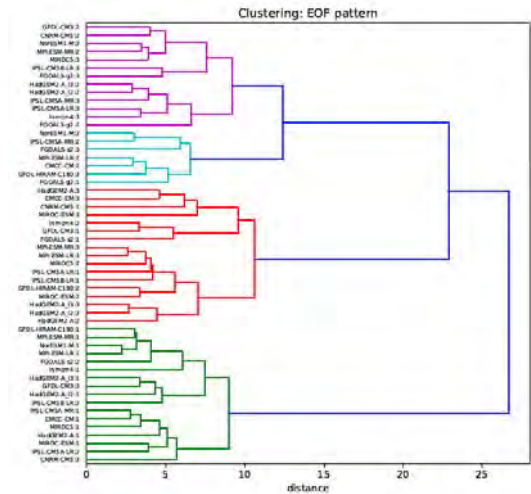


図 1 各モデルの EOF1～EOF3 の空間パターン全てに対してクラスター分析を行った結果を示すデンドログラム。各項目はモデル名：EOF の順位を示す。

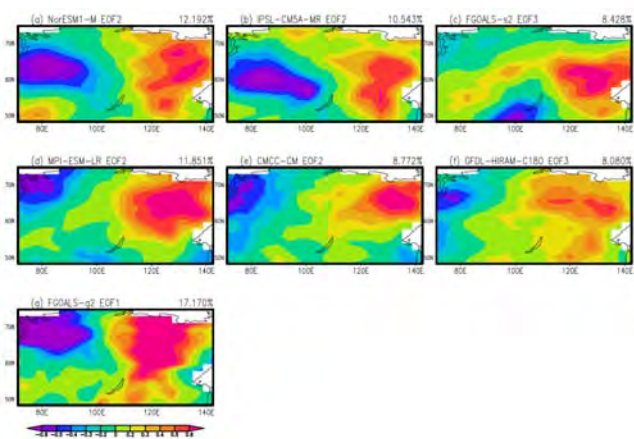


図 2 クラスター分析によってグループ化されたモデルの EOF の空間パターン。東シベリアに正のシグナルをもつグループ。各モデルの図の右肩に寄与率を示す。

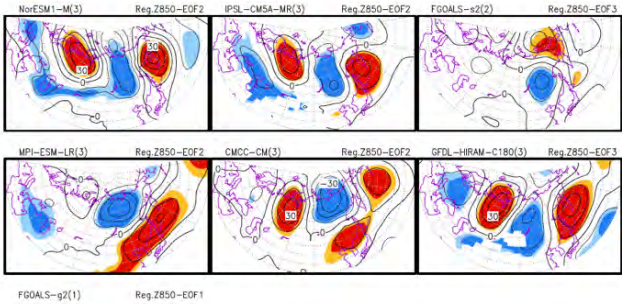


図 3 図 2 によって示されてグループの EOF のスコア時系列と 850hPa のジオポテンシャル高度の回帰係数の分布（等値線）。カラーは統計的有意性を示す（濃：99%、淡：95%。寒色系：負の回帰係数、暖色系：正の回帰係数。）。モデル：FGOALS-g2 はデータが利用できなかったために示すことができない。

引用文献

Fujinami, H., Yasunari, T. and Watanabe, T. (2016), Trend and interannual variation in summer precipitation in eastern Siberia in recent decades. *Int. J. Climatol.*, 36: 355–368. doi:10.1002/joc.4352
Hiyama, T., H. Fujinami, H. Kanamori, T. Ishige, and K. Oshima (2016), Recent interdecadal changes in the interannual variability of precipitation and atmospheric circulation over northern Eurasia, *Environmental Research Letters*, 11(6), 065001, doi:10.1088/1748-9326/11/6/065001.

成果発表

Abe, M., H. Fujinami, and T. Hiyama (2017), Interannual variability of summer precipitation over northern Eurasia in multiple climate models, *JpGU-AGU Joint Meeting 2017*, May 20-25, Chiba, JAPAN.

【研究目的】

寒冷圏の植生や凍土からなる地表面要素は、陸面の水文気候因子と密接に結びつき、大気－陸面相互作用を通して、北極周辺の気候に強く影響を与えている。特に、ユーラシア大陸の東シベリア・モンゴルなどの乾燥した寒冷地域では、大気－陸面相互作用が顕著であると指摘されている(松村, 2014)。例えば、冬季の北大西洋振動(NAO)に対して、夏季のシベリアの正規化植生指数(NDVI)が1年のラグをもつことが報告されている(Wang et al. 2004)。この原因は不明だが、陸面の水文気候因子が前年の冬の気候を記憶し、当該年の植生と大気に影響している可能性がある。また、前年秋の陸水貯留量の変動が、前年夏の気候を記憶して当該年のレナ川の河川流出量に影響していることが報告されている(Suzuki et al., 2016)。水循環や植生は、陸面の水文気候因子が凍結保存されることで記憶され、時間的な遅れをもって循環していると考えられる。陸水貯留量は、入力因子である降水量変動とともに、植物による光合成および蒸発散、さらに湖沼などの面積変動によって決定されと同時に、光合成や蒸発散に大きく影響する。そこで本研究では、気候－陸面水文因子－植生の相互作用の解明とその10年程度の変動の把握を目的とする。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、ならびに衛星データより取得可能な広域の植生物理量(植生指標、葉面積指数、バイオマスなど)と陸水貯留量の変動と水循環や気候と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、シベリアやモンゴル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、衛星データ(MODIS、ALOS2 や GRACE など)から、植物活動や水文気候因子の指標を抽出し、ユーラシア大陸スケールでの相互相関について分析する。そして、陸面過程と植物活動の相互作用を考察する。さらに、広域の相互作用を、現地観測データに基づき検証を行う。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を考察する。

【研究計画】

2016年度の結果に基づき、各種データを統合解析し、植生と水文気候因子の相互作用についてセミナー形式の意見交換をする。

【セミナー形式による意見交換】

4件の話題提供が行われた。その概要を以下に示す。

(1) ガルトバヤル サロール(名古屋大学環境学研究科・大学院生)「モンゴルにおける暖候季の降雨と大気陸面過程に関する水文気候学的研究」

昨年度の共同研究打ち合わせの総合討論の中で、降水システムについて、降水量だけではなく、その頻度や強度の変化について調べる必要があると述べられていた。その総合討論の課題について解析を行った研究として見ることが出来る。森林と草原では、回数の上では対流性降水は森林地域で多いが、降水量の総量としては草原域の方が対

流性降水が多いという結果が報告された。地表面からの顕熱や土壌水分状態が、対流性降水と相互作用を持つ可能性を示唆している。

(2) 市井和仁(千葉大学環境リモートセンシング研究センター)「Recent changes in terrestrial CO₂ fluxes in Siberia by multiple bottom-up and top-down estimations」

植生による二酸化炭素収支の広域推定に関して、次に示す3つの話題提供がなされた。(1)現場観測によるフラックス観測データに基づき機械学習による広域推定の話で、データセットは2000–2015年までの15年間利用可能である。(2)植生指数(NDVI)よりもクロロフィル(葉緑素)蛍光として放出される(太陽光誘発クロロフィル蛍光:Sun-Induced Fluorescence, SIF)を用いた方が光合成による二酸化炭素吸収量の推定に有利である。(3)モデルの相互比較のデータ解析によると生態系二酸化炭素収支にとって二酸化炭素濃度増加、いわゆる二酸化炭素の施肥効果がもっともインパクトが大きそうだが不確実性は大きい。

(3) 飯島慈裕(三重大学大学院生物資源学研究科)「永久凍土地域の水域・貯水量変動 (最近の論文 review による考察)」

Remote Sensing と Nature Geoscience の2本の論文で、ツンドラ域の水循環変動のレビューを紹介した。北極域ツンドラの近年の乾燥化傾向を示す実態について、湖沼面積が地形分類ごとの異なる変動要因で拡大・縮小している様子と、ツンドラの凍土融解に伴うサーモカルストポリゴンの発達、水路化を促し、流出を加速しつつある可能性を指摘した。

(4) 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)「北極域の水循環」

今年度の主要な成果発表として論文の内容について報告した。さらに、今後進めていく予定の解析について議論し、ツンドラ域に加えて灌木域を含め、陸水貯留量解析や凍土変動解析を行っていくことになった。

【本年度の主要な成果概要】

北極圏陸域の約8割の面積を占めるツンドラ域(以下「北極ツンドラ域」という)を対象として、衛星観測データと陸面再解析データの統計解析を行った結果、夏の気温が15年間で約2°C上昇していることを明らかにした。年平均気温には温暖化の兆候がないにも関わらず、北極海周辺に広く「夏季の温暖化」が進行していることを示した初めての成果である。また、温暖化に伴って北極ツンドラ域からの蒸発散量が増加し、過去15年間で水の高さが2cm(約1,106億t)の乾燥化を引き起こしていることも併せて明らかにした。一方、永久凍土分布の異なる北極大河川を対象とした解析から、永久凍土の存在が水循環や温暖化の加速を緩和していることを明らかにした。

来年度は、各種データを統合解析し、植生と水文気候因子の相互作用についてデータや知識の共有をより一層進め、参加研究者による論文等の成果発表を活性化させる方向性を確認した。

成果発表

Suzuki, K.; Matsuo, K.; Yamazaki, D.; Ichii, K.; Iijima, Y.; Papa, F.; Yanagi, Y.; Hiyama, T. Hydrological Variability and Changes in the Arctic Circumpolar Tundra and the Three Largest Pan-Arctic River Basins from 2002 to 2016. Remote Sens. 2018, 10, 402.

プレスリリース:夏の北極は15年間で約2°C上昇〜「夏季の温暖化」と乾燥化のスパイラル〜

記事掲載:朝日新聞、日経新聞、電気新聞、科学新聞、財経新聞、環境金融研究機構など多数に、論文成果が記事として取り上げられた。

白色光フレア統計解析による太陽フレアにおける粒子加速機構の研究
Statistical analysis of WLFs and investigate
particle acceleration mechanism in solar flare

渡邊 恭子、防衛大学校・地球海洋学科

「白色光フレア」は稀な現象で、その発生機構や発光メカニズムはよく分かっていない。この白色光フレアの発生条件を探るべく、我々はひので衛星搭載の可視光・磁場望遠鏡(SOT)の白色光のデータを用いて統計的な研究を進めてきた。本解析を行うにあたって、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。「ひので」/SOT は観測視野が限られており、白色光の増光現象が視野外で発生している可能性もあるため、SDO (Solar Dynamics Observatory) 搭載の HMI (Helioseismic and Magnetic Imager) の可視連続光バンドも用いて解析を進めた。

「ひのでフレアカタログ⁽¹⁾」より、「ひので」/SOT の可視連続光バンドで観測された M クラス以上のフレアは、2016 年 2 月までで 101 例あり、そのうち白色光の増光が確認された白色光フレアイベント (WLF) は 49 例、「ひので」/SOT・SDO/HMI どちらでも白色光の増光が見られなかった非白色光フレアイベント (NWL) は 52 例であった。

上記の 101 例の「ひので」白色光観測データを用いて、白色光フレアの発生条件を求めるための統計解析を進めた。まず、WLF と NWL のフレア継続時間を調べたところ、WLF の継続時間が NWL と比べて明らかに短いことが分かった。次に WLF と NWL の温度とエミッションメジャーの関係を調べたところ、WLF は NWL より温度が高く、エミッションメジャーが小さい傾向があった。この関係より、WLF の加速域の磁場は NWL より強いことが示唆された⁽²⁾。次に、これらのイベントにおけるフレアリボン(SDO/AIA 1600 Å)のサイズとリボン間距離、フレアリボン下の光球磁場強度について調べたところ、フレアリボンサイズは太陽フレアの規模とほぼ一致しており、リボン間距離は WLF の方が短い傾向が見られた。また、光球磁場強度は WLF と NWL で特に違いはなく、光球磁場強度はあまり白色光の発光に影響していないことが分かった。

先行研究より、白色光フレアは硬 X 線と良く相関していることが知られているため、RHESSI 衛星のデータとの関連性も調べた。上記の 101 例の観測イベントのうち、27 例のイベントが RHESSI でも 50keV 以上の硬 X 線を伴って観測されていた。このうち WLF は 17 例、NWL は 10 例であった。

各フレアにおける硬 X 線の全エネルギーを調べたところ、平均で NWL よりも WLF の方が大きいことが分かった。また、観測された硬 X 線の全エネルギーと太陽フレアの継続時間を比較したところ、WLF と NWL の間に境界線があることが確認された。この結果は、単位時間当たりの加速電子の注入量(impulsivity)が白色光増光を発生する条件のひとつになっていることを示している。以上の解析結果は成果発表 1 の通り論文として発表した。

白色光だけでなく、Impulsivity と CME との関係性についても検証を行った。長寿命フレアと関連性を指摘されている CME の発生は、impulsivity との関係は見られなかったが、太陽フレアの規模と継続時間との関係性が見られた。

参考文献

- (1) Watanabe, K., S. Masuda, and T. Segawa, Solar Physics, 279, 317-322, 2012.
https://hinode.isee.nagoya-u.ac.jp/flare_catalogue/
- (2) Shibata and Yokoyama, ApJ, 526, L49-L52, 1999.

成果発表

1. Kyoko Watanabe, Jun Kitagawa, Satoshi Masuda, "Characteristics that Produce White-light Enhancements in Solar Flares Observed by Hinode/SOT", The Astrophysical Journal, Vol.850, Issue.2, article id.204, pp.1-13, 2017
2. K. Watanabe, S. Masuda and M. Ohno, "Capability of the accelerated protons as the origin of white-light emission of solar flare", Proceedings of the 35th International Cosmic Ray Conference, PoS(ICRC2017)150, pp.1-8, 2017
3. Kyoko Watanabe, Shin Arima, Yoshimasa Hori, Satoshi Masuda, "Solar flare impulsivity and its relationship with white-light flares and with CMEs", JpGU-AGU Joint Meeting 2017, Makuhari Messe, Chiba, Japan, 2017 May 20-25
4. Kyoko Watanabe, Satoshi Masuda, Masanori Ohno, "Capability of the accelerated protons as the origin of white-light emission of solar flare", 35th International Cosmic Ray Conference (ICRC2017), Busan, Korea, 2017 July 12-20
5. Kyoko Watanabe, Satoshi Masuda, "Capability of the accelerated protons as the origin of white-light flare", AOGS 14th Annual Meeting, Singapore, 2017 August 6-11
6. 渡邊恭子, 沼田広葵, Kyoung-Sun Lee, 「太陽フレアにおける彩層応答と白色光放射との関係」, 日本天文学会 2017 年秋季年会, 北海道大学, 2017 年 9 月 11-13 日
7. Kyoko Watanabe, Kazuhiro Yamazaki, Shin Arima, Yoshimasa Hori, Satoshi Masuda, "Solar flare impulsivity and its relationship with white-light flares and with CMEs", AGU fall Meeting 2017, New Orleans, 2017 December 11-15
8. 渡邊恭子, 山寄一弘, 有馬伸, 堀巖允, 増田智, 「白色光フレア・CME の発生条件と太陽フレア放射の関係」, 太陽研連シンポジウム「太陽研究の将来展望」, 京都大学, 2018 年 2 月 19-21 日
9. 渡邊恭子, 「フレア:粒子加速研究からの観点」, 太陽研連シンポジウム「太陽研究の将来展望」, 京都大学, 2018 年 2 月 19-21 日
10. 渡邊恭子, 山寄一弘, 有馬伸, 堀巖允, 増田智, 「太陽フレアの impulsivity と白色光・CME との関係 II」, 日本天文学会 2018 年春季年会, 千葉大学, 2018 年 3 月 14-17 日

洋上における蛍光性エアロゾル粒子の時空間個数分布の解析 Analysis of fluorescent aerosol particles in the marine atmosphere

竹谷 文一、海洋研究開発機構・地球表層物質循環研究分野

【はじめに】

人間活動だけでなく自然にも起源をもつ大気エアロゾルは、地球大気の放射収支変化や、凝結核・氷晶核化を通じ雲・降水過程に影響を及ぼすことが知られている。さらに、海洋への沈着を通して海洋生態系への栄養塩供給にも深く関わり、地球システムに広く影響を与えている。その中でもバイオエアロゾル粒子は鉱物粒子より氷晶核生成能が高いことが、室内実験により、示されている。波飛沫から発生した生物由来(バイオエアロゾル)粒子が、特に土壌粒子の影響が少ない外洋域では氷晶核濃度に大きな寄与を持つとモデル計算から示唆されている。しかしながら、海洋上でのバイオエアロゾル粒子の個数濃度に関する情報が乏しく、その可能性に関する検証ができていないのが現状である。近年、エアロゾル粒子に直接紫外光を照射することで粒子からの自家蛍光を検出し、蛍光性バイオエアロゾルの測定手法が提案されている。本研究では、この蛍光法を用いた装置を利用して、蛍光性(バイオエアロゾル)粒子の濃度把握のため、北極海、ベーリング海、西部北太平洋上でのリアルタイム観測を行なった。

【観測および装置】

海洋地球研究船「みらい」での船上観測は2016年8月22日に青森県八戸市を出港し、2016年10月4日に同様に青森県八戸市に帰港するスケジュールであった。航跡図をFig.1に示した。単一蛍光粒子リアルタイム計測装置(WIBS4)を内蔵したシェルターを船の最上階のデッキに設置し、直接装置に大気を導入し、大気中に存在する蛍光性粒子の測定を行なった。本装置では、635nm赤色連続光レーザーを利用し、粒子の検出を行い、その散乱光から粒径、および粒子形状に関する情報を取得し、またそれを駆動信号として、同一粒子に280nm および370nmのランプパルス光を時間差で粒子に照射し、粒子内の蛍光物質を励起し、蛍光を検出する。バンドパスフィルターを利用し、本装置で検出する蛍光は3種類であり、どれか1つでも蛍光を検出した場合、その粒子を蛍光性粒子とし、これらの蛍光をすべて同時に検出した粒子は生物由来粒子として用いた(表1)。本研究では、 $0.6\mu\text{m}$ 以上の粒径の粒子に対して、蛍光パターンなどの解析を行なった。

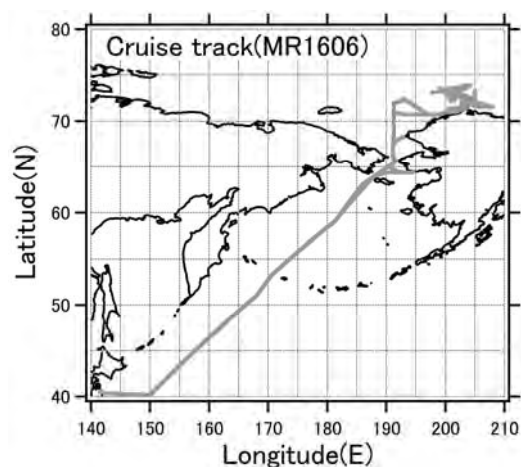


Fig.1 本観測の航跡図(灰色)

【結果および考察】

自船の排煙の影響を分離して、解析を行なった。Fig.2に航跡線上でWIBS-4を用いて取得した粒子の経時変化を示した。中緯度ではその個数濃度が高い一方、高緯度域(北極海上)では粒子濃度が低く、さらには蛍光性粒子濃度も低い結果が得られた。また、9月後半の北緯55-60度付近のベーリング海上では高濃度の粒子が観測され、その約50%が蛍光性粒子であることが確認された。この気塊は後方流跡線および衛星解析からシベリア森林火災の影響を強く受けている可能性が示唆された。高緯度域では蛍光性粒子濃度は低いが、FL3の蛍光パターンの粒子が検出した蛍光粒子の約70%を占めることが確認された。

表1 蛍光パターンの組み合わせ

Excitation	Detection A	FL1	FL2	FL3	FL12	FL23	FL13	FL123
280nm	Ch1 (310-400nm)	○	-	-	○	-	○	○
280nm	Ch2 (420-650nm)	-	○	-	○	○	-	○
370nm	Ch3 (420-650nm)	-	-	○	-	○	○	○

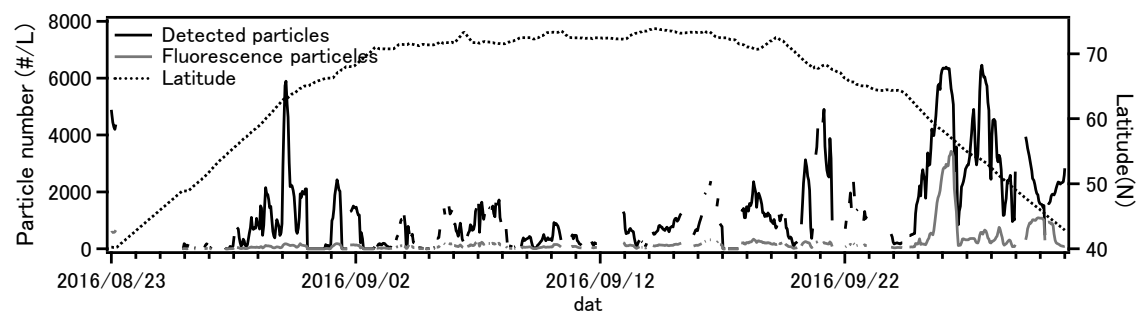


Fig.2 航跡線上でWIBS4を用いて取得した粒子の経時変化
黒線：検出した粒子の総個数濃度、灰色線：蛍光粒子個数濃度、
黒点線：緯度

成果論文
なし

学会発表

竹谷文一，宮川拓真，滝川雅之，金谷有剛，駒崎雄一，Petr Mordovskoi，高島久洋，遠嶋康徳：北極海上における大気粒子の船上観測：ブラックカーボン粒子計測、第34回エアロゾル科学・技術研究討論会、芝浦工業大学、2017年8月4日

粒子状有機硝酸全量の大気観測に基づくガス-粒子分配特性の把握
Characterization of gas-particle partitioning based on atmospheric observation of
particulate total organic nitrates

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、近年注目されている。特に、半揮発性の中間生成物 SVOC の詳細把握が必要となっている。窒素酸化物 NO_x (NO , NO_2) と VOC の酸化反応(対流圏オゾン O_3 の生成過程)において、 O_3 と同時に生成する有機硝酸類 organic nitrates (ONs, RONO_2) は重要な 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。また、ONs 生成特性の解明された VOC は限られている。同時に、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、数え落としなく網羅的に包括測定する ONs 全量測定は、エアロゾル(SOA)評価のために有意義である。研究代表者はこれまでに、文献¹⁾を参考にしつつ、ONs から NO_2 への熱分解変換器 TD とレーザー誘起蛍光法 NO_2 計(LIF- NO_2)を組み合わせた ONs 全量計 TD/LIF-ONs の構築、活性炭デニューダー CD を用いた粒子状有機硝酸全量 ONs(p) 測定器 CD/TD/LIF- ONs(p) の実現、を行なってきた²⁾。ただし、LIF 法は装置が大掛かりで可搬化が課題となっていたため、これまでの研究によりキャビティ減衰位相シフト法 NO_2 計(CAPS- NO_2)を用いて可搬的な ONs 全量計 TD/CAPS-ONs を実現した³⁾。前年度の共同研究では、CD と TD/CAPS-ONs を組み合わせ、汎用的かつ高確度な粒子状 ONs 全量計 CD/TD/CAPS- ONs(p) を実現し、都市郊外大気での ONs(p) 測定試験に挑戦して、装置の実用性を検証した⁴⁾。そこで本研究では、 ONs(p) 観測事例の蓄積と有機硝酸類のガス-粒子分配特性の支配要因の検証を行なった。

【研究の方法と結果・考察】 前回構築した活性炭デニューダー CD は、長期使用において活性炭粉末が配管内を飛散する問題点が発覚した。そこで今回は、粒径の大きい活性炭を用いて構築した改良版 CD を採用した。CD/TD/CAPS- ONs(p) 計を用いて、早稲田大学所沢キャンパス(埼玉県所沢市)において、都市郊外大気の観測を 2017年3月24日～4月10日、4月20日～6月6日、6月30日～8月16日(延べ114日間)に実施した。ONs のガス-粒子分配を検証するため、試料の CD 通過・不

通過を 3 分毎に切り替え、CD 通過時に粒子状の ONs(p) を、CD 不通過時にガス状と粒子状の有機硝酸の総和 ONs(g+p) を、交互に測定した。その結果、夜間無人時にも観測を継続して長期にわたる連続測定に成功し、本装置の実用性を確認した。観測結果を用いて ONs(p) と ONs(g+p) の相関解析を実施したところ、期間全体の両者間の回帰直線の傾きから、今回観測した大気試料における有機硝酸類の平均的なガス-粒子分配比は約 6 % とわかった(図)。夜間と日中を分けて解析したところ、分配比は夜間 11 %、日中 4 % となり、 ONs は日中よりも夜間に粒子に取り込まれる割合が高いことが示された。こうした挙動の要因を探るべく、相対湿度 RH によってデータを分けて解析したところ、 $\text{RH} < 60 \%$ 、 $60 \% < \text{RH} < 80 \%$ 、 $\text{RH} > 80 \%$ のガス-粒子分配比はそれぞれ 5 %、5 %、8 % となり、 ONs の粒子への分配が相対湿度に依存している可能性を示した。

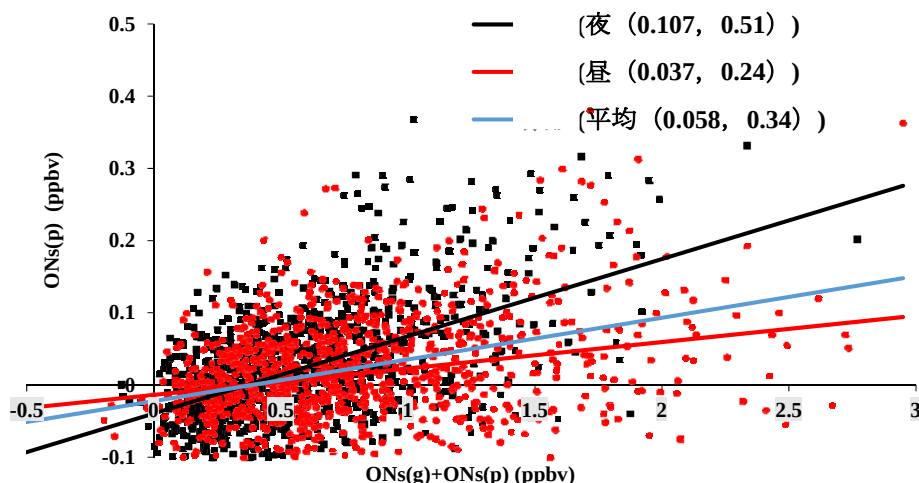


図 ONs(g)+ONs(p) と ONs(p) の相関解析結果(昼夜別; g: ガス状、p: 粒子状)。夜/昼/平均(回帰直線の傾き, 相関係数)と表記。

【参考文献等】

- 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.

【成果発表】

洪 征翌、松本 淳(2017): 第23回大気化学討論会, P-24.
 松本 淳(2018): *大気環境学会誌*, **53(1)**, 1-12.

要旨

IPS で太陽風速度を求める方法には相関解析法(CCRF) と spectrum fitting (SP) 法がある。CCRF 法で得られる速度値(V_{CCRF}) は、視線 z に沿い分布する太陽風速度 $V(z)$ の視線に垂直な成分が荷重平均されたものである。このため CCRF 法で得られる高速風の速度は実速度より遅くなる。一方 SP 法で得られる速度値(V_{sp}) は、観測で得られたスペクトルを最もよく表せる速度であるので CCRF 法のような視線積分によるバイアス効果を受けていない。しかし実際の SP 法は解析速度を上げるために一様速度構造の太陽風モデルを用いるため一様構造を仮定したことにより起因するバイアスをもっている。

V_{CCRF} と V_{sp} のそれぞれから CT 法で太陽風構造を求める方法について評価を行ってきた。2016 年までの研究では、 V_{CCRF} で用いる CT 解析で入力データを単純に V_{sp} で置き換えた結果、「 V_{sp} をトモグラフィー法に応用しても V_{CCRF} を用いた場合とよく似た速度構造を再現できるが、太陽活動期のような速度構造が複雑なときは V_{sp} を用いた場合は速度が速めになる」という結果を得た。その後 CT 解析法を今回報告するように改良した結果、 V_{CCRF} でも V_{sp} 法でも太陽活動に関係なくよく似た速度構造を得ることができるようになった。

CT 解析法の評価は、太陽活動静穏期と活動期の太陽風構造を太陽風モデルとしてそれぞれの CT 法で求まる太陽風構造がモデルをどの程度再現できるかで行った。

1. 観測データの準備

モデル太陽風で次式を用いて IPS 観測をシミュレートしスペクトルと CCRF を求める。

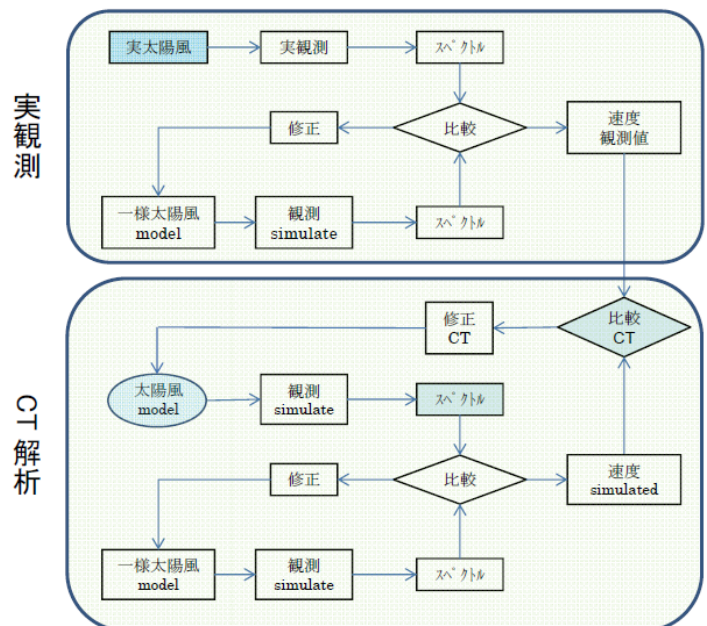
$$P_c(f) = \iint \frac{1}{V(z)} G\left(-\frac{2\pi f}{V(z)\cos(\theta)}, q_y, z\right) \exp\left(i\frac{2\pi f}{V(z)\cos(\theta)}\xi\right) dz dq_y \quad (1)$$

$$C(t) \propto \int P_c(f) \exp(i2\pi ft) df \quad (2)$$

V_{CCRF} は式2の CCRF のタイムラグより求める。SP 法では、スペクトル空間構造は等方 ($\gamma=1$)、power law index $\alpha=1.7$ に固定し、さらに視線上の太陽風速度分布 $V(z)$ は z に依らず一様と仮定して best のスペクトルフィッティングが得られる速度を iteration で求めこれを観測値 V_{sp} とする。

2. CT 解析

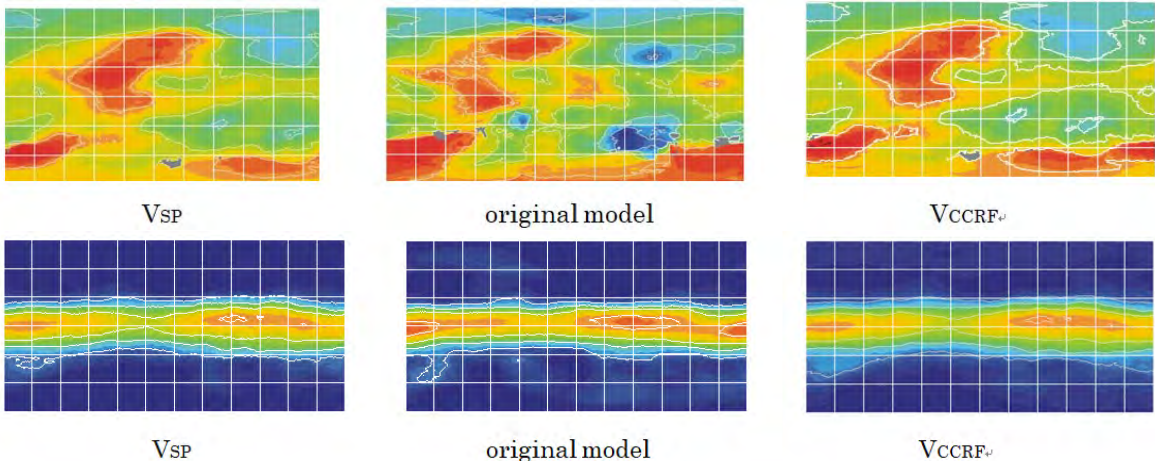
CT 解析の最終目標は実太陽風構造(右図 青四角)を最もよく表す model 太陽風 1(青楕円)を得ることである。第一ステップで一様速度分布の model 太陽風で観測をシミュレートしスペクトルデータ(青四角)を作成する。このスペクトルを実観測データの SP 解析と同じ方法(一様太陽風でスペクトルフィッティング)で速度(simulated)を求める。このようにして得られた速度(simulated)を観測速度値と比較(CT)して CT 法で model 太陽風を修正する。第二ステップでは、修正された model 太陽風で再度観測を simulate してスペクトル(青四角)を求め、第一ステップと同じプロセスで速度



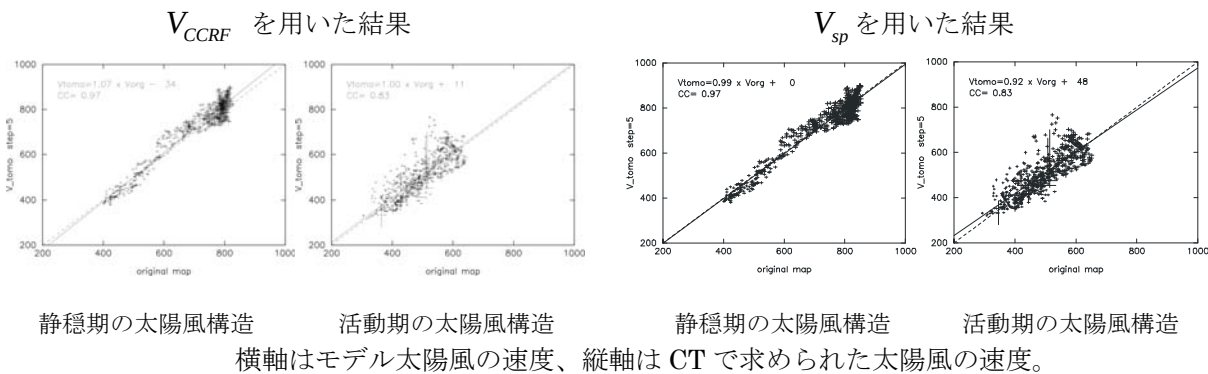
(simulated)を求め、観測速度値と比較して CT 法で model 太陽風を更に修正する。このプロセスを5回繰り返し最終結果に至る。2016 年からの改良点は、2回目以降のイタレーションでも第一ステップと同じように一様太陽風構造を用いることである。

3. 結果

太陽静穏期および活動期の2モデルを「実太陽風」として用い、CTで得られた太陽風と緯度・経度構造の相関を調べた結果を以下に示す。



上段：太陽活動期の太陽風構造。下段：太陽活動静穏期の太陽風構造。中央がモデル、左右が V_{sp} と V_{CCRF} を用いたそれぞれの CT 結果。



	V_{SP}		V_{CCRF}	
太陽活動	静穏期	活動期	静穏期	活動期
相互相関値	0.97	0.83	0.97	0.83
回帰直線	$V_{sp}=0.97 \times V_{mdl} + 0$	$V_{sp}=0.92 \times V_{mdl} + 48$	$V_{CCRF}=0.92 \times V_{mdl} + 48$	$V_{CCRF}=1.00 \times V_{mdl} + 11$

4. 結論

この相関解析の結果から IPS 観測から太陽風構造を求めるのに今回用いたCT法を用いるならば、速度は CCRF 法によるものでも SP 法によるものでも大差がないことが分かった。

水安定同位体を用いたバングラディシュ周辺における水蒸気の 起源解析

Analysis of water vapor origin around Bangladesh by using stable water isotopes

一柳 錦平，熊本大学・大学院先端科学研究部

研究目的

バングラディシュの3地点（シレット，ダッカ，チッタゴン）において，2010年に降水の水安定同位体比の観測を行い，その変動要因について水蒸気の起源解析を行った．そこで今年度は，プレモンスーン期（4-5月），夏季モンスーン期（6-9月），ポストモンスーン期（10-11月）に分けて，水蒸気起源を推定することを目的とする．

研究方法

バングラディシュ周辺における水蒸気の起源解析を行うために，Global Spectral Model（IsoGSM；Yoshimura et al., 2008）による降水同位体比の再現，および色水解析を行った．さらに，Japanese 55-year reanalysis（JRA-55；Ebita et al., 2011）を用いて，シレット，ダッカ，チッタゴンにおける10日間のバックトラジェクトリ解析を行った．

研究結果および考察

バングラディシュ3地点では降水量の季節変化は異なるが，降水同位体比は3地点とも同様の季節変化をしている．同位体大循環モデル（IsoGSM）を使って推定した水蒸気起源と合わせて考察すると，プレモンスーン期では近縁のベンガル湾やアラビア海起源の高い同位体比を持つ水蒸気が多く，夏季インドモンスーン期では遠方のインド洋南部起源の低い同位体比を持つ水蒸気が多くなり，ポストモンスーン期では遠方の太平洋起源や陸域起源の低い同位体比を持つ水蒸気が多くなることが示唆された．

さらに，バングラディシュ3地点の850hPaにおけるバックトラジェクトリ解析の結果と，蒸発量－降水量の分布を図1に示す．プレモンスーン期の水蒸気の軌跡は，近隣のベンガル湾やアラビア海を通っており，これらの海域では蒸発量が多く，水蒸気の同位体比は高いと推定できる．夏季インドモンスーン期には水蒸気の軌跡は，遠方のインド洋南部から西部を通って，ベンガル湾やアラビア海に達している．バングラディシュ近海では蒸発量が少ないため，遠方から来た同位体比の低い水蒸気が多いと推定できる．プレモンスーン期には水蒸気の軌跡は，主に遠方の太平洋からインドシナ半島を通っており，陸域起源や遠方から来た同位体比の低い水蒸気が多いと推定できる．

まとめ

以上の解析により，バングラディシュ周辺の降水同位体比の季節変動は，主に水蒸気起源の変遷が原因であることが示唆された．

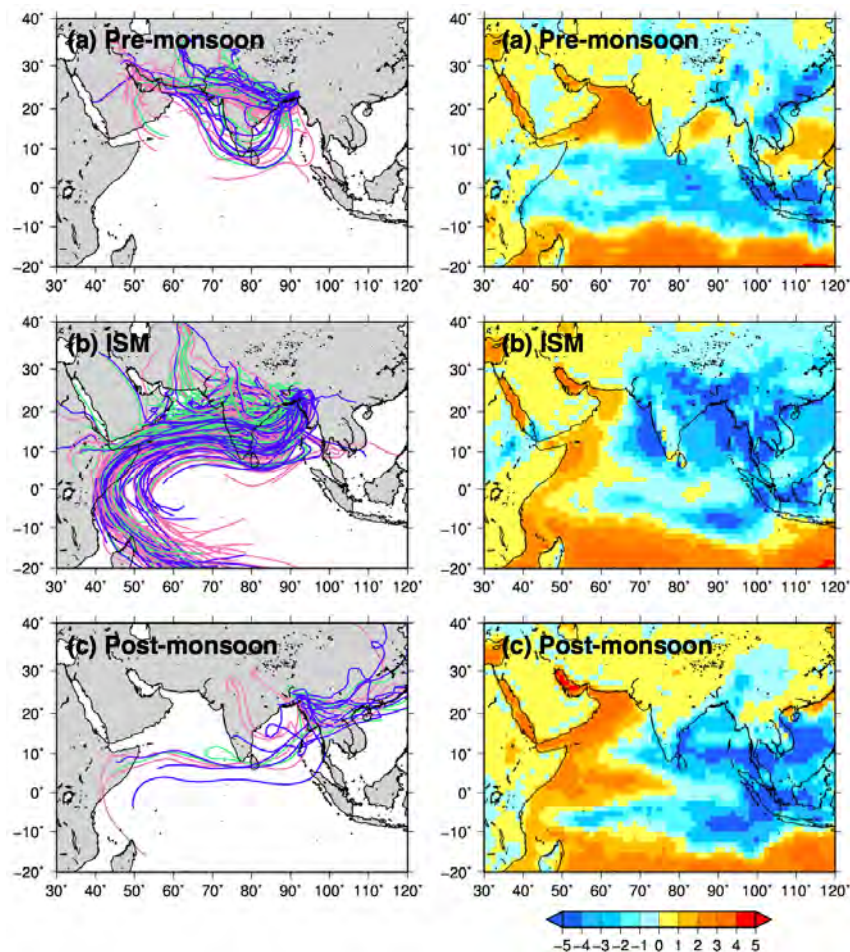


図 1 : バックトラジェクトリ解析の結果 (左) と, 蒸発量 - 降水量 (m m/day) の分布 (右) . 上から順に, (a) プレモンスーン, (b) 夏季インドモンスーン, (c) ポストモンスーンを示す. 右図の線の色は, シレット (赤), ダッカ (緑), チッタゴン (青) を示す.

引用文献

- Ebita, A., S. Kobayashi, Y. Ota, M. Moriya, R. Kumabe, K. Onogi, Y. Harada, S. Yasui, K. Miyaoka, K. Takahashi, H. Kamahori, C. Kobayashi, H. Endo, M. Soma, Y. Oikawa, and T. Ishimizu (2011) The Japanese 55-year Reanalysis "JRA-5": An Interim Report., SOLA, 7, 149-152.
- Yoshimura K, Kanamitsu M, Noone D, Oki T (2008) Historical isotope simulation using Reanalysis atmospheric data. J Geophys Res, 113(D19):D19108. doi:10.2910/2008JD010074

成果発表

- Tanoue, M., K. Ichiyanagi, K. Yoshimura, M. Kiguchi, T. Terao, T. Hayashi, Seasonal variation in isotopic composition and origins of precipitation over Bangladesh. (2017/10/14, PEPSに投稿, 修正中, PEPS-D-17-00058) .

研究目的

大気中の温室効果ガスの増加が地球の環境に大きな影響を及ぼすために、世界中の多くの研究機関で温室効果ガス量の観測が地上に設置した高分解能 Fourier-transform spectrometer (FTS)により行われている。そこで、研究代表者は、FTS よりも設置が容易で安価な計測器である Fiber-Etalon Solar Carbon (FES-C)計測器や Optical Spectrum Analyzer(OSA)による温室効果ガス量計測システムの開発を進めている。これらのシステムでは、太陽光に含まれる温室効果ガスの吸収スペクトルを観測し、温室効果ガスの濃度を変えながらシミュレートしたスペクトルと比較して観測時の温室効果ガス量を算出する。この解析には大気層を複数の層に分割した大気モデルと各高度の大気成分の情報が不可欠である。そこで、松見豊教授が担当している「二酸化炭素安定同位体レーザー分光計」や「大気中二酸化炭素・オゾン濃度測定装置」から得られる二酸化炭素安定同位体、二酸化窒素、オゾンなどの大気成分比率から、高度分布および時系列の変化を見積もり、当方の解析システムに反映させることで、より正確な温室効果ガス量を解析できるシステムの開発を進めている。同時に、社会活動により温室効果ガスである二酸化炭素を大量に排出している大都会である東京に注目し、東京学芸大学付属高校に OSA を設置して、観測を進めている。

研究手法

2016 年 8 月まで、東京学芸大学付属高校に OSA を設置して二酸化炭素のカラム量を計測したが、OSA の感度特性を計測するために、OSA による測定システム一式を東京学芸大学付属高校から国立環境研究所に移設し、2016 年 8 月から 2017 年 6 月まで国立環境研究所の FTS との同時計測を行った。

国立環境研究所のデータ解析は、東京学芸大学付属高校での OSA 観測結果を解析する手法で行った。Goddard Earth Science Data and Information Services Center (GES DISC)の再解析データ[1]から観測地・観測時間で内挿した値から高度・気象データを算出し、気象庁が提示しているつくば市(国立環境研究所の所在地)の地上気象データで補正を行った。高度・気象データにより観測地の二酸化炭素吸収スペクトルをシミュレートした結果と観測スペクトルとを比較することで、観測地・観測時刻の二酸化炭素濃度を求めた。

国立環境研究所から提供された FTS による観測データと OSA の観測データそれぞれの観測時刻が一致していないので、10 分間の平均値で両データを比較した結果、OSA の感度係数を 1.003 と見積もった。

研究結果および考察

国立環境研究所が所有する FTS と同時観測した OSA の観測データに対して感度係数 1.003 で補正したデータを図 1 に示す。この感度係数の補正により、高精度な FTS と OSA の観測データを重ねることができた。

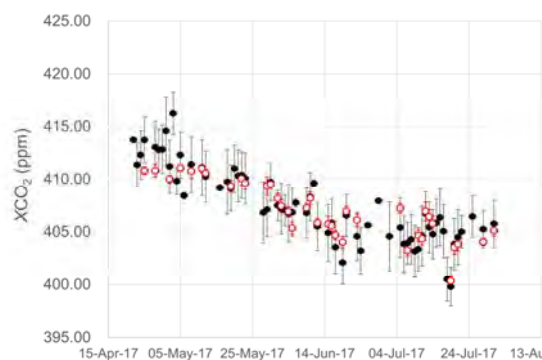


図 1 国立環境研究所での同時計測

FTS (○) と補正した OSA (●) の計測データ

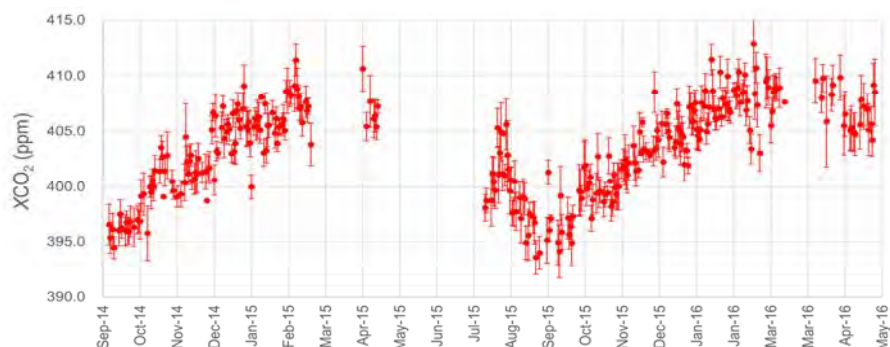


図2 東京学芸大学附属高校の観測データから見積もった二酸化炭素濃度

衛星時間 10 時から 14 時の XCO₂ の平均値(●)、エラーバー衛星時間 10 時から 14 時の標準偏差

そこで、平成 26 年 8 月から平成 28 年 6 月まで計測した観測データを GES DISC の高度・気象データと気象庁の東京における気象データを用いて算出した大気中の二酸化炭素濃度に対して、感度補正 1.003 で補正した測定結果を図 2 に示す。

北半球の夏は植物の光合成が活発に行われるために XCO₂ の減少が期待されるが、図 2 を見ると 2015 年 7 月に XCO₂ が増加する期間があることがわかる。この増加の原因を探るためにアメリカ海洋大気局 National Oceanic and Atmospheric Administration(NOAA)が公開している The Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model(HYSPLIT) [2]による流跡線解析を行った。その結果、XCO₂が増加する期間の最大移動距離が短い期間が続くことがわかった。

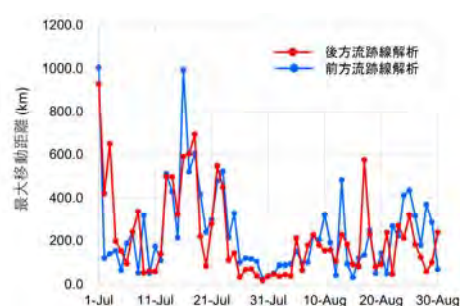


図3 東京学芸大学附属高校を起点とする HYSPLIT による 12 時間の流跡線解析より見積もった最大移動距離

参考文献

[1] <https://disc.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/FTPSubset2.pl>

[2] <https://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>

成果発表

論文成果リスト

なし

国内学会・研究集会発表リスト

Xiu-Chun Qin, Tomoki Nakayama, Yutaka Matsumi, Masahiro Kawasaki, Ryoichi Imasu, Masafumi Ohashi, “Ground-based measurement of column-averaged mixing ratios of carbon dioxide in Tokyo by a portable optical spectrum analyzer”, 13th IWGGMS, Helsinki, Finland, 6-8 June, 2017.

高ベータプラズマ中を伝播する無衝突衝撃波の研究
Study of collisionless shocks propagating into high-beta plasma

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（高エネルギー宇宙線）の生成過程および高マッハ数衝撃波等で見られる磁場の増幅過程は複雑に相互作用していると考えられる。これらの物理過程を完全に解明するには、衝撃波の長時間スケールの発展を多次元モデルで追う必要がある。これまで申請者らは低マッハ数の無衝突衝撃波のシミュレーションを行い、衝撃波遷移層近傍で励起される種々の波動について調べてきた。ただし、これらは比較的小さなプラズマ・ベータ値をもつ上流媒質中を伝播する衝撃波の計算であり、天体衝撃波の特徴とは必ずしも一致せず、もっと高いベータ値に対する衝撃波の計算が必要である。本研究では高ベータプラズマ中を伝播する無衝突衝撃波のシミュレーションのデータを解析し、論文としてまとめることを目指す。

研究方法：我々は高効率の計算手法を取り入れた2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、アルフベンマッハ数 $Ma = 4, 6$ の垂直衝撃波の電磁粒子シミュレーションのデータを解析する。それぞれのマッハ数に対してプラズマ・ベータ値 β を 0.08, 0.32, 1.28 と変化させて行ったシミュレーションのデータ（計6通り）がすでにある。

研究結果：暫定的な結果として、ベータ値が大きくなるにつれて、(1) イオンの温度非等方度が小さくなるために衝撃波面のリップル構造のゆらぎが小さくなり、(2) 電子の温度非等方度が大きくなるために衝撃波遷移層での磁力線に平行伝播するホイッスラー波が顕著になり、さらに(3) 衝撃波遷移層での変形二流体不安定性による波動が目立たなくなる、といった傾向を得た。本年度は、上記6通りのシミュレーションのデータを解析し、footからovershoot領域にかけてのイオン・電子の温度非等方度により励起される波動の β 依存性を調べた。本共同研究により昨年10月に名古屋大学ISEEの梅田隆行を訪問し研究打合せを行った。その結果、28年度に導出した磁場に垂直方向のイオン温度が Ma^2/β に比例するという解析的表式とシミュレーション結果が一致することがわかった。この結果について論文準備中である。またシミュレーション結果からもとめたイオン温度比をもちいてイオン温度非等方不安定の線形成長率を求めたところ、衝撃波面のリップルの見えない高 β の場合の成長率が、リップルが見える低 β の場合とあまり変わらないことがわかった。今後はイオン・電子両方の磁場に平行・垂直な方向の温度について詳細に解析し、温度非等方不安定の各モードの線形成長率とシミュレーション結果の比較を行う予定である。

LF帯標準電波を用いた地震後のD領域電離圏変動

Variations in the D-region ionosphere after earthquakes using LF transmitter signals

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)および名古屋大学宇宙地球環境研究所(ISEE)が観測しているLF帯標準電波のデータを用いて、地震後のD領域電離圏変動を明らかにすることである。地震後の電離圏変動は、GPS-電離圏全電子数(TEC)データを用いた研究が精力的になされており、たとえば2011年3月11日に発生した東北沖太平洋地震(M9.0)の約7分後から数時間の間、震源域付近から同心円状に伝搬する大気波動の報告がある[Tsugawa et al, 2011]。これは地震地表波(レイリー波)や津波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ものである。しかし、地震後のD領域変動の報告はほとんどない。それは、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。しかし、地震で発生した下からの中性大気波動を理解するために、研究の空白域となっているD領域電離圏を明らかにすることは重要である。そこで本研究では、AVONおよびISEEのLF帯標準電波のデータを用いて、地震後のD領域電離圏変動を明らかにする。

2. 観測および地震の概要

2011年3月11日05:46:18 UTに発生した2011年東北地方太平洋沖地震(Mw 9.0)後のD領域電離圏変動について調べた。震央位置および使用したLF帯標準電波の伝搬パスの位置を図1に示す。LF波はJJY佐賀(JJY 60 kHz)送信-陸別(RKB)受信およびBPC(中国, 68.5 kHz)送信-RKB受信の2つの伝搬パスについて調べた。JJY福島(40 kHz)局は、本震発生後に停波したため使用できなかった。各伝搬パスの距離は、SAG-RKBパス1619.1 km, BPC-RKBパス2594.1 kmである。震央から各LF波パスまでの最短距離は、SAG-RKBパスで413.6 km,

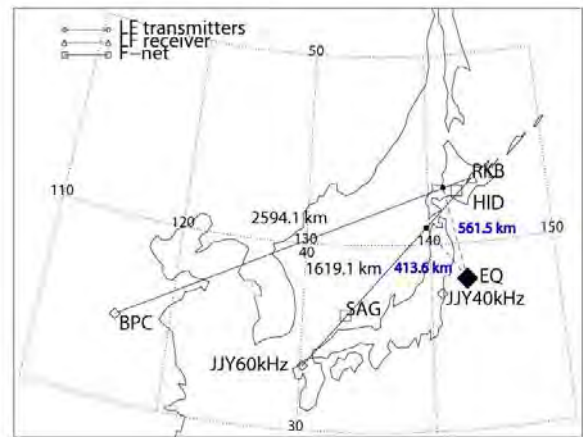


図1 震央および使用したLF帯標準電波の伝搬パスの位置

受信機のアンテナはモノポールアンテナで、サンプリング周波数

3. 結果

200 kHz, 各送信電波の垂直電場成分0.1 s値を観測している。

本震から4分42 s後に、これらLF帯標準電波の強度に100 s周期の振動が見られた(図2)。地震後のD領域電離圏の現象が見られたのは、本研究が初めてである。100s周期振動の強度変化量は約0.1 dBであり、これはD領域高度の背景電子密度に対して約1%の電子密度変化量に相当することがわかった。図3は、地表波と1-10回反射波、およびレイリー波による到達時間差を考慮した波線法による計算結果を示す。IRI-2012電子密度モデルを使用した波線法の計算では、05:51-05:57 UTに見られる100 s周期振動をよく再現していることがわかる。この100 s振動はレイリー波によって励起され鉛直上方伝搬した音波によるものであると

結論づけられた。

成果発表

- [1] Ohya, H., F. Tsuchiya, Y. Takishita, H. Shinagawa, K. Nozaki, and K. Shiokawa, Periodic oscillations in the D-region ionosphere after the 2011 Tohoku Earthquake using LF standard radio waves, Journal Geophysical Research, 2018 (submitted).
- [2] Ohya, H., Y. Takishita, F. Tsuchiya, H. Shinagawa, K. Nozaki, K. Shiokawa, H. Nakata, and Y. Miyoshi, D-region ionospheric oscillations measured by LF transmitter observations after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, European Geosciences Union (EGU) General Assembly 2017, Vienna (Austria), 22-30 April, 2017.
- [3] Ohya, H., Y. Takishita, F. Tsuchiya, H. Shinagawa, K. Nozaki, K. Shiokawa, H. Nakata, and Y. Miyoshi, D-region oscillations of LF transmitter signals after the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, JpGU-AGU 2017, Chiba (Japan), 20-25 May, 2017.
- [4] Ohya, H., F. Tsuchiya, H. Shinagawa, K. Nozaki, and K. Shiokawa, D-region ionospheric signatures observed in LF standard radio waves after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, SGPSS Fall Meeting 2017, Kyoto (Japan), 15-19 October, 2017.
- [5] Ohya, H., and F. Tsuchiya, Observations of energetic electron precipitation into the atmosphere using LF/VLF standard radio waves, The 359th Symposium for Sustainable Humanosphere "International Workshop on radio science and radio application technology", Kanazawa, 29-30 October, 2017.
- [6] 大矢浩代、土屋史紀、陸別観測所で観測された下部電離圏変動現象、陸別 20 周年記念シンポジウム、北海道陸別町、2017 年 11 月 8-9 日。
- [7] 大矢 浩代、土屋 史紀、品川 裕之、野崎 憲朗、塩川 和夫、LF 帯標準電波を用いた東北地方太平洋沖地震後の D 領域電離圏変動、MTI 研究集会、東京都国分寺市、2017 年 9 月 12-14 日。

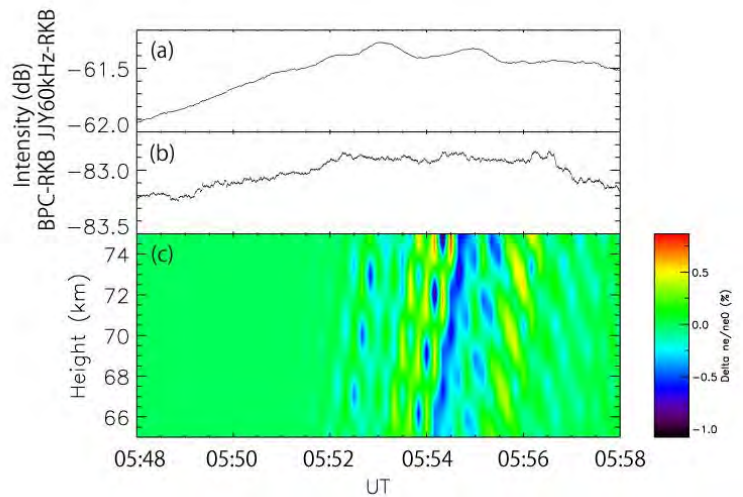


図 2 2011 年 3 月 11 日東北地震本震後の(a)JJY 60 kHz-RKB の強度、(b) BPC-RKB の強度、(c)中性大気シミュレーションにより得られた電子密度変化。

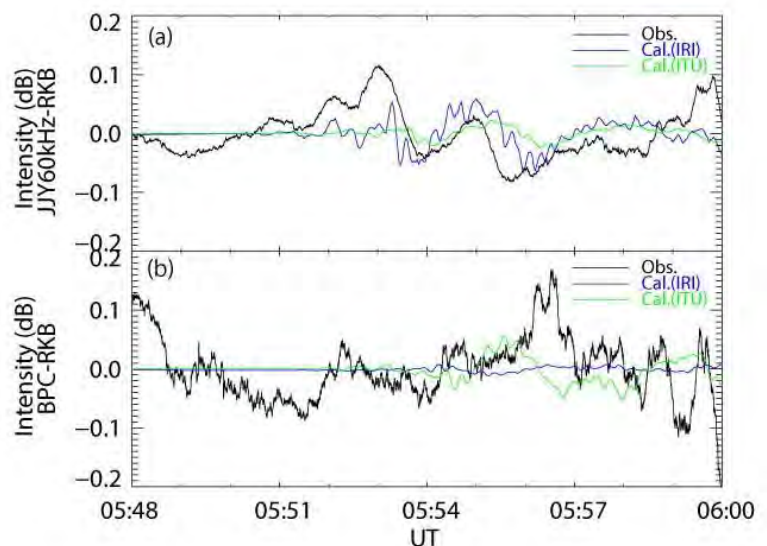


図 3 2011 年 3 月 11 日東北地震本震後の各伝搬パスにおける強度の観測値と波線法による計算値との比較。(a) JJY 60 kHz-RKB 伝搬パス、(b) BPC-RKB 伝搬パス。

フーリエ変換型分光計で観測された大気微量成分の経年変動
Trend 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。今年度は HCl の近年の経年変化について報告する。

HCl は塩素のリザーバー分子であり、成層圏では通常は塩素の大半は HCl, ClONO₂ といったリザーバー分子として存在する。ところが極域で特殊な条件がそろうと活性な塩素への変換が起こり大規模にオゾンを破壊する。そのため、成層圏の HCl や ClONO₂ の量はオゾン層破壊の重要な指標となる。HCl は 1980 年代までは数%/年で増加していたが、フロン規制によって対流圏の塩素量が 1990 年代に減少に転じると HCl の増加率も鈍り、2000 年代に入って減少傾向が見られるようになった。ところが、ユングフラウで観測を行っているベルギーのグループが 2007 年頃から HCl が再び増加していることを見だし、つくばも含めた NDACC の 8 つの観測点の HCl 経年変化を調べたところ北半球の観測点のみ 2007 年以降増加に転じていることがわかった (Mahieu et al., 2014)。しかし、3 次元化学輸送モデルを用いた解析からこの再増加は短期的な大気循環の変動によることが分かり、フロン規制は問題なく機能していることがわかった。

HCl 再増加の原因が短期的な大気循環の変動なのであれば、その後また HCl は減少に転じるはずである。そこで、その後のつくばのデータを解析してみたのが図 1 である。予想通り 2012 年以降は若干の減少傾向が見られる。さらに 2016 年頃からは三度増加しているようにも見えるが、これはあと数年先まで観測しないとはっきりしたことはいえないであろう。気象データを用いて循環の変化を調べてみると、図 2 のようになった。これは質量流線関数の変化をみたもので、(a)が HCl が減少していた 2006 年より前の 4 年分の平均と再増加した 2007-2010 年の平均との差、(b)が 2007-2010 年の平均と増加が止まった 2012 以降の 4 年分の平均との差である。赤枠で囲った北半球下部成層圏を

比較すると負（青）から正（赤）に変わっており、これは循環が減速から加速に変わったことを示している。2007 年を境に成層圏の循環が減速したことが HCl の再増加の原因だったが、2012 年以降は加速に転じており、観測された HCl の減少傾向に対応することが確認できた。

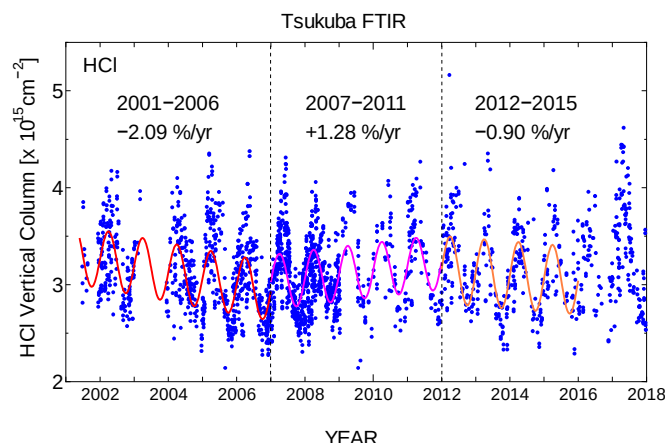


図1. つくばで観測されたHCl全量の2001－2017年の経年変化。点線で区切った3つの期間についてのフィッティング曲線と年変化率も示してある。

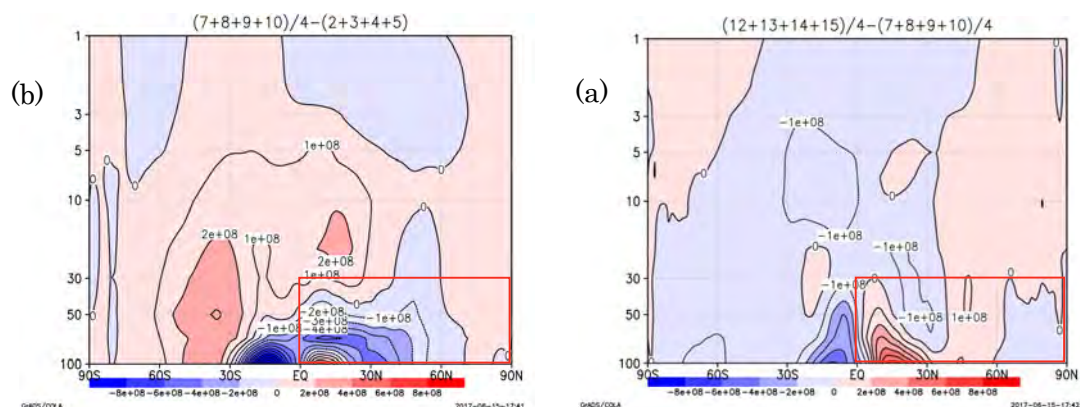


図2. 質量流線関数の変化。(a) 2002-2005年の平均と2007-2010年の平均との差、(b) 2007-2010年の平均と2012-2015年の平均との差。（国立極地研究所富川喜弘准教授提供）

<成果発表>

村田 功, 中島 英彰, 森野 勇, FTIR で観測されたつくばにおけるエタンの近年の増加およびその後の減少, 日本地球惑星科学連合 2017 年大会, 幕張, 2017 年 5 月.

代 友輝, 村田 功, 中島 英彰, 森野 勇, 富川 喜弘, フーリエ変換型赤外分光計を用いたつくばでの地上観測による HCl 全量の再減少, 日本地球惑星科学連合 2017 年大会, 幕張, 2017 年 5 月.

Dai Y., I. Murata, H. Nakajima, I. Morino, and Y. Tomikawa, Redecrease of HCl total column density observed with Fourier Transform Infrared Spectroscopy at Tsukuba, NDACC Infrared Working Group Meeting, Paris, France, June, 2017.

宇宙プラズマ流体シミュレーションのための超並列計算フレームワークの開発

Development of massively parallel computing framework for fluid simulation of space plasma

深沢 圭一郎、京都大学・学術情報メディアセンター

現在、世界中で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2020年頃に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」の開発が進められている。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-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、CPU周波数向上の限界から、多数のコアを持つCPUが100万台以上並列に接続された計算機システムになると計画されている。しかしながら、高い並列化効率を維持して「ポスト京」を利用できる宇宙プラズマシミュレーションコードがあるか不明な状態である。

一般に宇宙プラズマを流体的に数値計算で解く（シミュレーションする）場合は、格子計算であり、空間格子を分割することで並列計算を行い、並列計算機の性能を活用してきた。しかし、並列数を大きくすると、並列化に伴う通信・同期により計算性能劣化が見えてきている。例えば、「京」を用いて我々の惑星磁気圏MHDシミュレーションコードを3万並列し、計算すると、「京」を1ノード利用した場合に比べ、並列化効率が10%程度劣化することが分かっている。このような現状のまま「ポスト京」のような高並列計算機を利用すると、並列化に伴うオーバーヘッドが全計算時間の半分以上を占めてしまう可能性が高い。この問題を解決するために、我々は並列化効率の劣化を必要最低限に抑え、エクサフロップス級計算機に対応した惑星磁気圏MHDシミュレーションコードを開発している。これまでにHaloスレッドという通信と計算を担当するスレッドを提案しているが、本研究ではこのHaloスレッドを一般化し、宇宙プラズマ流体シミュレーション全般に適用できるフレームワークを作成することを目的としている。

2017年度では、HaloスレッドをISEEの教員が開発しているVlasovコードに導入するために、MHDコードとの計算手法の違い、高次元計算による計算量・通信量増大、通信パターンの違いを調査した。我々はHalo通信を効率的に行うHalo関数を開発しており、これは3次元計算であるMHDコードに最適化されていたため、Vlasovコードで扱われる5次元空間に最適化したHalo関数を作成し、その効果を調べた。その結果従来の通信と比べて、20%以上の高速化が達成できた。通信は計算と同様に繰り返し行われるため、シミュレーション時間全体を高速化することが可能となった。

2018年度では、このHalo関数をHaloスレッドに導入し、本研究の目的である、宇宙プラズマ流体シミュレーション全般に適用できるHaloフレームワークを作成する計画である。

・国内研究会発表など

1. （査読有）深沢圭一郎、森江善之、曾我武史、高見利也、南里豪志、HaloスレッドとHalo関数を用いたMHDシミュレーションの高効率並列化、HPCS21017、2017年。
2. 深沢圭一郎、梅田隆行、南里豪志、MHDシミュレーションコードのXeon Phi KNLでの性能評価、STEシミュレーション研究会、2017年

太陽活動と日照時間の相関研究

Study of the effect of solar activity to the cloud formation process

名古屋大学・宇宙地球環境研究所

村木 綏

今年は太陽中性子関係で 3 つのテーマについて ISEE 共同研究費を用いて研究を進め、また年代計測では一個の研究テーマについて研究を進めたので、その件に関してここに報告する。

① 2011.3.7 event の解析

このイベントはフレアのサイズとしては M3.7 と中型であったにも係わらず、数々の重要な情報をもたらした。まず FERMI-LAT 衛星に搭載されたカロリメータで高エネルギーガンマ線が検出されたことである。ガンマ線の放出は数時間にも及び、ガンマ線のエネルギーは 4GeV まで及んだ。次にこのイベントに連動して、メキシコの高山に設置された中性子望遠鏡(SONTEL)が、通常の中性子による増加とは異なるタイプの計数率の増加を検出したことである。かつ宇宙ステーションに搭載された太陽中性子検出器では太陽から 50~800Me のエネルギーを有した太陽中性子が検出されたことである。

太陽中性子望遠鏡の data はそれまでに検出されたことのない特徴を有していた。通常中性子が上部の 30cm という厚いプラスチック・シンチレータの中で核反応により陽子を作り出す過程では、陽子はシンチレータを通過する際、電離損失でエネルギーを失い、プラスチック・シンチレータ内で止まり、容器の下部に設置された比例計数管まで漏れ出す割合は少ない。しかし今回のイベントにおいては図 1 に示すように、典型的な中性子イベントと比較するとシンチレータ下部に漏れ出てきた成分が一桁程度多いのが特徴である。

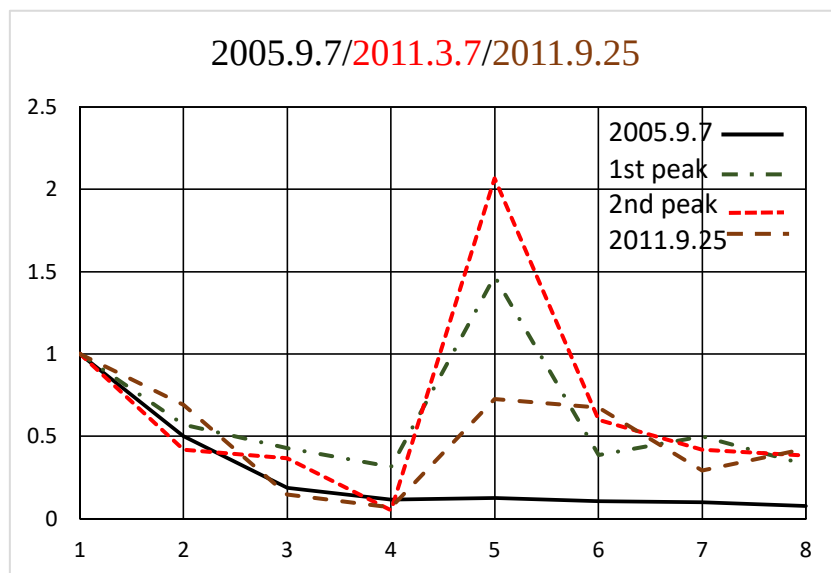
この特徴を解釈できる仮説は、シンチレータに入射した粒子は中性子ではなく、ガンマ線と解釈すれば説明できる。すなわちガンマ線はシンチレータ内部で、電子・陽電子対に変換される。電子や陽電子は質量が陽子に比べて軽いため最小電離作用でシンチレータを通過する。ちなみにシンチレータの厚みは 30cm であるのでガンマ線が荷電粒子に変換される効率は 53%である。すなわちメキシコの高山（4,600m）に設置された受信機で検出されたイベントは地上（高山ではあるが）に設置された観測装置で、史上初めて太陽からのガンマ線の受信に成功した例と言えるだろう。この内容を論文にまとめて現在 Astroparticle Physics に投稿中である。

もちろんこの内容に関して韓国釜山で開催された第 35 回宇宙線国際会議に反論の論文が Bramillitt(及び Ahluwalia)によって投稿された。(我々は事前に議論はしていない。) 彼らの批判は(i)雷によって作られた可能性、(ii)FERMI-LAT 衛星がメキシコのイベントが検出された時刻にガンマ線が検出されていないこと、(iii)3 つ目は 1 時

間後に観測された 2 回目の **peak** に対して、すでに太陽がメキシコの上では傾いていてハワイでも検出されるべきなのに報告がないという内容であった。

i の内容に関しては著者自身がメキシコの気象データ関係を調べてその可能性が無いことを記述している。また ii に関しては、著者自身が **SONTEL** と **FERMI-LAT** の観測時間が重複していないためとしている。iii に関しては我々が再調査したところ、マウナケア山頂の国立天文台のスバルドーム内に設置されている太陽中性子望遠鏡に 3σ 程度の弱い信号が含まれていることが確認できた。また ii に関しては、**impulsive flare** の **peak** 時の強度がその後に長時間継続する **gradual flare** の強度に比べて 1000 倍程度強いことは 1991.6.15 の一連のフレアで **CGRO** 衛星によって観測されている。

さらに興味あることは同じようなイベントが **Tibet (4,300m)** に設置された太陽中性子望遠鏡でも観測されたことである。本イベントは 2011.9.25 **M7.4 event** に付随して観測された。詳しくは延べないが、図 1 の破線で示すように、40cm 厚のプラスチック・シンチレータの下部に設置された比例計数管の計測値に異常が見られた。ちなみに **Tibet** 八羊丁 (ヤンパーチン) に設置された中性子望遠鏡の面積は 9m^2 でメキシコ・シエラネグラ山のものは 4m^2 である。



(図の説明) 上図で実線が 2005.9.7 の太陽中性子イベントのもの。一点鎖線は 2011.3.7 イベントの最初の **peak** の時に得られたデータ。破線 (間隔の短い方) は約 1 時間後の 2 回目のフレアの時の値。そして破線 (長い方) は **Tibet** で 2011.9.25 に受信されたフレアに伴うデータ。横軸の数字は 1~4 **channel** までがシンチレータで得られた計測値の比で、第 1 チャンネルに規格化されている。Channel 5~8 はシンチレータ下部に置かれた比例計数管の値で、第 1 チャンネルに規格化されている。2005.9.7(実線)と比較すると Ch5~8 の差は歴然としている。

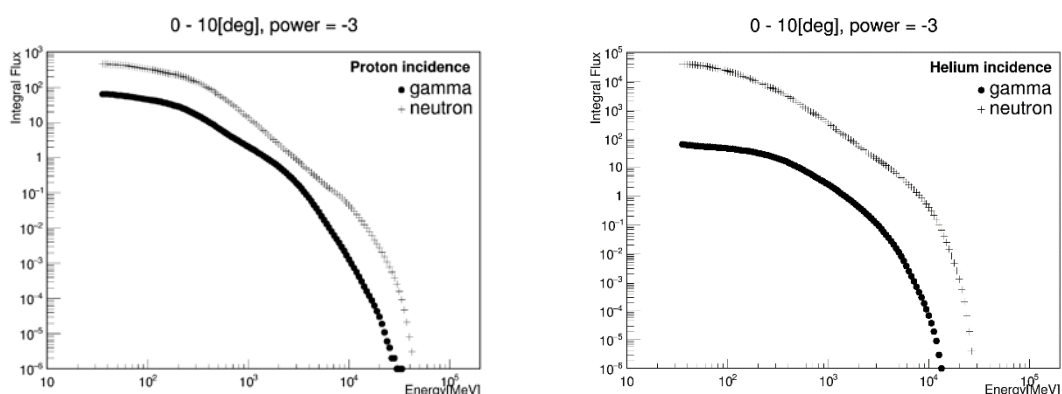
② 2012.6.3 event の解析

このイベントは極めて特徴的な **impulsive flare** である。フレアは約 1 分間の間、その強度が 1000 倍に増光した。これだけならそれでお終いであるが、このフレアでは高エネルギーガンマ線が **FERMI-LAT** 衛星で、また中性子が **SEDA-FIB** で受信されたのである。約 1 分間で本当に陽子を数 GeV まで加速できるのであろうか？ もし加速されるのなら一体どのような加速模型で説明可能なのか？ これらを調査するうえで格好のイベントであると考え、集中的に解析を進めてきた。しかも今回は同時刻に **FERMI-LAT** 衛星と中性子計測装置が宇宙空間で同時にこのフレアを計測することができたからである。

解析の結果、100MeV 以上の、中性子の flux とガンマ線の flux の比 (n/γ) が約 1000 倍と、非常に高いことが特徴的であることがわかった。はたしてこの高い観測値の n/γ 比が説明できるであろうか？

そこでモンテカルロ・シミュレーションを実施することにした。想定したシミュレーションは太陽の光球面上、3,000km 上空より、陽子・ヘリウム・炭素・酸素・窒素の原子核を打ち込み、太陽の光球面から飛び出してくる中性子やガンマ線のエネルギーと角度分布を求め、地球の上空での n/γ 比が出るか否かを知る計算である。光球面の 10^7km^2 をシミュレーション空間として設定した。計算は高エネルギーや原子核実験で用いられている **GEANT4** を用いた。計算は JAXA(筑波)の計算機を利用し、共同研究者の神谷浩紀が実施した。

計算の結果、もしヘリウム等の原子核が選択的に加速されているのなら、観測された高い n/γ 比を出せることが分った。また **order estimation** ではあるが、**shock** 加速理論では説明が困難であることも分かった。理論的に説明可能なのは、**Litvinenko** や **Somov** が提唱している、直流電場加速なら説明できる可能性がある。何故なら **reconnection sheet** 内で形成された電場 V で電荷 Ze の荷電粒子は、 $E=ZeV$ より効率的に加速エネルギー (E) を得ることになるからである。**reconnection sheet** に直角に電場が形成されているかはまだわからない。下図にヘリウムが太陽大気にスペクトル E^{-3} で入射した時の中性子 (+)とガンマ線 (●) のエネルギースペクトルの結果を示す。大気の厚さはこの場合 $10\text{g}\cdot\text{cm}^2$ とした。原子核入射の場合は n/γ 比が $\sim 1,000$ に近くなることが予想される。



左：陽子

右：ヘリウム

③ 2017.9 月に巨大なフレアに伴う中性子の観測

2017.9 月に巨大なフレアが出現した。このフレアに伴い宇宙ステーション搭載 SEDA-FIB は 9 例の中性子イベントを捉えた。地上観測装置やひので衛星による磁場観測、FERMI-LAT 衛星 data との合同解析等が考えられるが、これらは 2018 年度の研究課題となるだろう。ここでは SEDA-FIB が観測した例数の表を発表するのみにしたい。これらの成果は PSTEP 報告会(2 月 27 日)、太陽圏シンポジウム(2 月 21 日)及び日本物理学会(3 月 22 日、東京理科大)にて随時発表された。

peak #	重要度	day	month	start	maximum	half max	class	new#	観測中性子数	SEDA	SDO 解析時間
1	O	4	Sep	2028	2033	2037	M5.5	1	82		20:20 – 21:10
		4	Sep	2210	2214	2219	M2.1				
2	O	5	Sep	103	108	111	M4.2	2	62		00:50 – 01:30
3	O	5	Sep	433	453	507	M3.2	3	110		04:10 – 05:00
4		5	Sep	633	640	643	M3.8			日陰	
5		5	Sep	1737	1743	1751	M2.3			日陰	
6	O	6	Sep	857	910	917	X2.2	4	102		08:40 – 10:00
7	O	6	Sep	1153	1202	1210	X9.3	5	130	X→O	11:40 – 12:50
		6	Sep	1551	1556	1603	M2.5				
8		7	Sep	459	502	508	M2.4		10+(10)	X→O	
9		7	Sep	1011	1015	1018	M7.3		20	日照	09:40– 10:30
10	O	7	Sep	1420	1436	1455	X1.3	6	79	日照	14:15 – 15:10
11	O	7	Sep	2350	2359	14	M3.9	7	64	日照	23:30 – 00:30
12		8	Sep	740	749	758	M8.1		33	日照	07:30 – 08:15
13	O	8	Sep	1509	1547	1604	M2.9	8	117	日照	15:00 – 16:40
14		8	Sep	2333	2345	2356	M2.1		41	日照	23:15 – 00:20
15		9	Sep	1050	1104	1142	M3.7		27+(52)	X→O	10:40 – 11:30
16	O	10	Sep	1535	1606	1631	X8.2	9	67	O→X	15:35 – 17:00

④ 太陽活動の気象への影響に関する研究テーマに関しては 2 つのことを報告して置く。白亜期の地層に見られる縞縞学に係る解析はほぼ終了し、解釈と論文公表の段階に入った。本作業は高知大学の長谷川精氏を中心にその作業が行われている。一方太陽のダイナモ活動に係る研究はまとめの段階に入り、4 月に投稿予定である。

以上名大宇宙地球環境研究所の共同利用経費を利用して本年度実施した内容を報告する。

2018 年 3 月 16 日

北極域流星レーダーで観測される両極性拡散係数を利用した 極域中間圏の電子温度推定の検討

An electron temperature measurement technique in the polar mesosphere using meteor radars

堤 雅基、国立極地研究所・宙空圏研究グループ

研究目的

流星レーダーにより観測される両極性分子拡散係数を用いて上部中間圏から下部熱圏域の大気温度を観測する手法が開発され、大気波動研究などに応用されている。本研究ではその手法をさらに発展させた極域での電子温度推定法の開発を目的とする。

研究方法

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

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

高度 110 km 程度以下においては、概ね T_e および T_i は中性大気温度 T_n に等しく ($T_e = T_i = T_n$)、 $D_a = 2D_i$ の関係が成り立つとされ、この関係を元に中性大気温度情報を取り出す手法が開発され実用化されている [e.g. Tsutsumi et al., 1994; 1996; Hocking et al., 1999]。

ところが、我々は北極域での流星レーダー・Na 温度ライダー・EISCAT レーダーの同時観測から、中性大気温度増大とは無関係の D_a 増大が頻繁に観測されることを初めて見出した。電離層電場の増大に伴い、Farley-Buneman 不安定 [Farley, 1963; Dimant and Sudan, 1995] によって増大した電子温度が D_a 増大として観測されると考えられ、昨年度の報告書において報告した。今年度は、北極に複数展開されている流星レーダーのネットワーク観測データをもとに、中間圏の D_a 増大 (電子温度増大) の水平構造を探ることとした。図 1 に、解析に用いた 3 台の流星レーダー (極地研、ISEE、トロムソ大の共同研究により運用) の地理的位置関係を示す。

研究結果

3 つのレーダーは、南北に 1000 km 以上にわたるネットワークを形成しており、時間分解能 10 分程度で水平構造解析を行うことができる。解析データからは冬期を中心に D_a の異常増大が広範囲にわたってみられ、時々刻々とダイナミックに変化する様子が捉えられた (例: 図 2)。

考察・まとめ

D_a 増大は冬期にはオーロラ現象などに伴いごく日常的に観測され、極域中間圏がより上層からの影響を色濃く示している証であると考えられる。本年度試みた D_a の水平構造推定は世界で初めての試みと思われる。今後、オーロライメージャー観測や SuperDARN 観測などの面的な観測手段と併せ行う事で、極域中間圏・熱

圏の上下結合の定量的な理解に貢献できると考えている。

引用文献

- Dimant et al., J. Geophys. Res., 100, 14, 605-623, 1995.
Farley, J. Geophys. Res., 68, 6083-6097, 1963.
Hocking, Geophys. Res. Lett., 26, 3297-3330, 1999.
McKinley, Meteor Science and Engineering, McGraw-Hill, New York, 1961.
Tsutsumi et al., Radio Sci., 29, 599- 610, 1994.
Tsutsumi et al., J. Geophys. Res., 101, 9425-9432, 1996.

成果発表

- 1 M Tsutsumi, Y Ogawa, S Nozawa, and C Hall, Anomalous ambipolar diffusion observed using meteor radars in northern high latitudes, Bern, Switzerland, 8-12 January 2018.
- 2 Masaki Tsutsumi, Yasunobu Ogawa, Satonori Nozawa, and Chris Hall, Anomalous ambipolar diffusion observed using meteor radars in northern high latitudes, The 15th International Workshop on Technical and Scientific Aspects of MST Radar, Tachikawa, Tokyo, 30 May 2017.

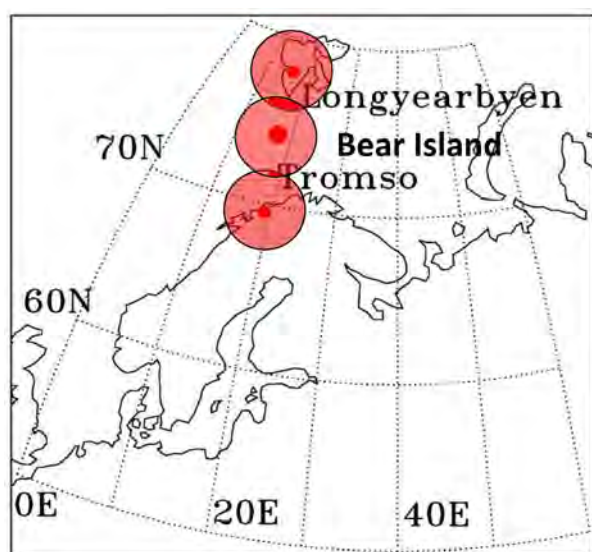


図1：両極性拡散係数の水平構造解析に使用した3つの流星レーダーの地理的位置関係。Longyearbyen, Bear Island および Tromsø のレーダーを使用した。

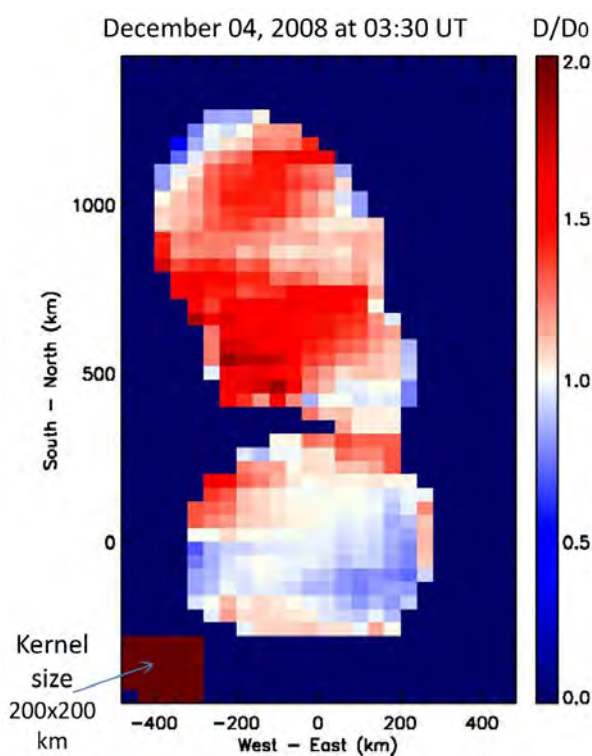


図2：両極性拡散係数変動量(D_a/D_{a0})の水平構造の推定例(2008年12月4日03:30UT)。

In order to understand the whole spectrum properties during the flare with its different characteristics, statistical investigation of the flare properties is needed. In this research topic, we have planned to investigate the trend of the whole EUV spectrum properties during the flare with the flares' strength, duration, and size of their source region. For this, our original plan was as below. First, we use the 1D MHD simulation to produce the flaring loop with the different characteristic of flares. Second, we synthesize the EUV spectrum using the simulated results, density, and temperature with CHIANTI atomic database. Third, we compare the results with the observations, such as, Hinode/EIS or recent launched satellite, SDO/EVE. This part was performed by Dr. Watanabe Kyoko and her student (Nishimoto). Then, I investigated the relationship of the evaporation flows and the low atmospheric response statistically.

Purpose: If we could investigate the plasma dynamics in the flaring region and their response in whole EUV and continuum spectrum in multi-wavelength, it would give a clue for understanding how the energy transported and how the plasma response to the transported energy. So far, several case studies showed there are some plausible energy transport process, such as, electron beam or thermal conduction or Alfvén waves. For understanding the process depending on the different flares (which shown the different characteristics), we have investigated the plasma dynamics and the low atmospheric heating signature statistically.

Method

- Collecting flare events observed by EUV-UV spectroscopy

We made a list of 60 flare events, which were observed by IRIS (Interface region imaging spectrograph). Especially, IRIS has UV spectra through chromospheric, and coronal (flaring), such as, Mg II, Si IV, and Fe XXI. We have examined the velocity structures in those spectra and heating signatures.

- Investigation of the plasma dynamics in flares

From the spectroscopic observations, we can examine the plasma dynamics from measuring the Doppler shift of the spectra, which were formed in different temperatures. We measured the Doppler shift from Si IV and Fe XXI using IRIS flare observations by multi-gaussian fitting for the spectra.

- Investigation of the low atmospheric heating signatures

For checking the low atmospheric heating, we investigated the location and timing of WL flare in continuum and Mg II triplet emission.

- WL flares: We examined WL flare existence using the SDO/HMI and Hinode/SOT continuum images.

- Mg II triplet emissions: Pereira et al. (2015) suggested that Mg II triplet absorption becomes emission when the low atmosphere is heated. Then, we investigated the spectral changes of Mg II triplet during flares.

Then, we compare those datasets for understanding the relationship of flare plasma dynamics and low atmospheric heating process.

- Collaborative research: The original plan of the collaborative research has been done by mostly Dr. Watanabe Kyoko and her student using the Dr. Imada's simulation code. I've mainly investigated the research topic mentioned above. For this research, I've collaborated with Dr. Imada in Nagoya University, and Watanabe Kyoko in National Defense Academy of Japan. For the discussion, I visited Nagoya University in February.

Results

- We found that when the flare occurs, there are some strong flows in Fe XXI, Si IV (typically, blue shift in Fe XXI, red shift in Si IV) along the flare ribbon or flaring loop footpoints
 - Mg II triplet mostly becomes emission during flares along the flare ribbons and footpoints of the flaring loop region, which is correlated with the dynamic region spatially and temporally.
 - WL continuum also enhanced during several flares (17 flares), but not in all the flares.
- Still, we are investigating this topic, and plan to examine the HXR data to check the energy deposition from the HXR (or non-thermally accelerated electrons).

*** List of the presentations and papers related to this research**

- Presentations (Title / Author / Conference / Year)

1. "Spectroscopic and stereoscopic observation of a loop-top source of an M1.3 limb solar flare" (E-poster) / Kyoung-Sun Lee, Hirohisa Hara, Shinsuke Imada, and Kyoko Watanabe / Hinode 11/ 2017 May
2. "Multi-Wavelength Spectroscopic Observations of a White Light Flare Produced Directly by Non-thermal Electrons" (poster) / Kyoung-Sun Lee, Shinsuke Imada, Kyoko Watanabe, Yumi Bamba, and David H. Brooks / SPD 2017 / 2017 July
3. "IRIS observation for the flares occurred at the AR 12297 during 2015 March 9-15" / Kyoung-Sun Lee / Daiwa workshop / 2017 August
4. "Spectroscopic and stereoscopic observation of a loop-top source of an M1.3 limb solar flare" (oral) / Kyoung-Sun Lee, Hirohisa Hara, Shinsuke Imada, Kyoko Watanabe, and Anand D. Joshi / ISEST 2017 / 2017 September
5. "Spectroscopic observation of a loop-top source of an M1.3 limb solar flare" (poster) / Kyoung-Sun Lee, Hirohisa Hara, Shinsuke Imada, Kyoko Watanabe, and Anand D. Joshi / APSPM 2017 / 2017 November
6. "Statistical analysis of observational data for total solar flare spectra" / Shohei Nishimoto, Kyoko Watanabe, Shinsuke Imada, Tomoko Kawate and Kyoung-Sun Lee / JPGU 2017 / 2017 May

- Papers (Title / Author / Journal / Year)

1. "Study on Precursor Activity of the X1.6 Flare in the Great AR 12192 with SDO, IRIS, and Hinode" / Bamba Yumi, Kyoung-Sun Lee, Shinsuke Imada, and Kanya Kusano / ApJ 840, 116 / 2017
2. "Plasma Evolution within an Erupting Coronal Cavity" / David M. Long, Louise K. Harra, Sarah A. Matthews, Harry P. Warren, Kyoung-Sun Lee, George A. Doschek, Hirohisa Hara, and Jack M. Jenkins / ApJ, 855, 74 / 2018

大気微量成分のリモート地での長期変動測定
Long-term observation of atmospheric trace gas species at remote area

加藤俊吾、首都大学東京・都市環境学部

【背景】 大気中のほとんどの大気微量成分はOHラジカルとの反応により除去され、大気中濃度は発生量とOHラジカルによる除去によってコントロールされる。もし長期的に大気中のOHラジカル濃度が減少することがあれば、例えば温室効果ガスであるメタン濃度の増加につながり、地球温暖化に影響することになる。近傍からの排出の影響をうけにくい母子里のような地点での大気微量成分の長期濃度変動傾向を観測することにより、間接的にOHラジカルの平均的な濃度傾向に関する情報が得られないか検討を行った。

【測定】 北海道の名古屋大学母子里（北緯 44.4° 東経 142.3° ）にて CO と O₃ の地表濃度の自動連続測定を行った。CO は Thermo Environmental Instruments の Model48C, O₃ は Dylec の Model1100 で測定した。水蒸気や温度による影響があるため、CO 計には一時間ごとに触媒で CO を除去したガスを導入し(Thermo Environmental Instruments Model96)、ゼロ点の補正を行った。また週に一度の頻度で金属容器に大気サンプリングを行い、濃縮装置(Entech7000)と GC-FID(Agilent6890)により炭素数 2 から 10 の VOC の濃度をそれぞれ分けて分析を行った。

【結果・考察】 OH ラジカルとの反応で大気中寿命が 2 月程度の CO 濃度は 2003 年以降減少が見られている。もし OH ラジカル濃度の増加によるものなら、VOC も減少傾向を示すはずであるが、そのような傾向はみられなかった。各 VOC は OH との反応性が違うため、それらの比をとることで OH ラジカルの影響をよりとらえやすくなると考えいくつかの VOC 比の冬季 (12 月-2 月) を平均した変動を調べた (図)。しかし、OH ラジカルの変動を示すような整合性のある比の変動は見られなかった。これより、CO の減少は発生量の変動による影響が大きいと考えられた。

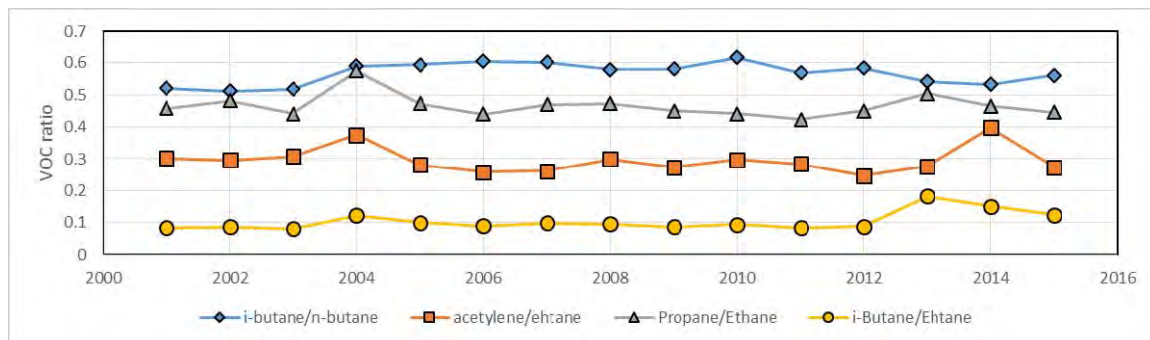


図 母子里における冬季(12-2月)のいくつかの VOC 比の長期変化

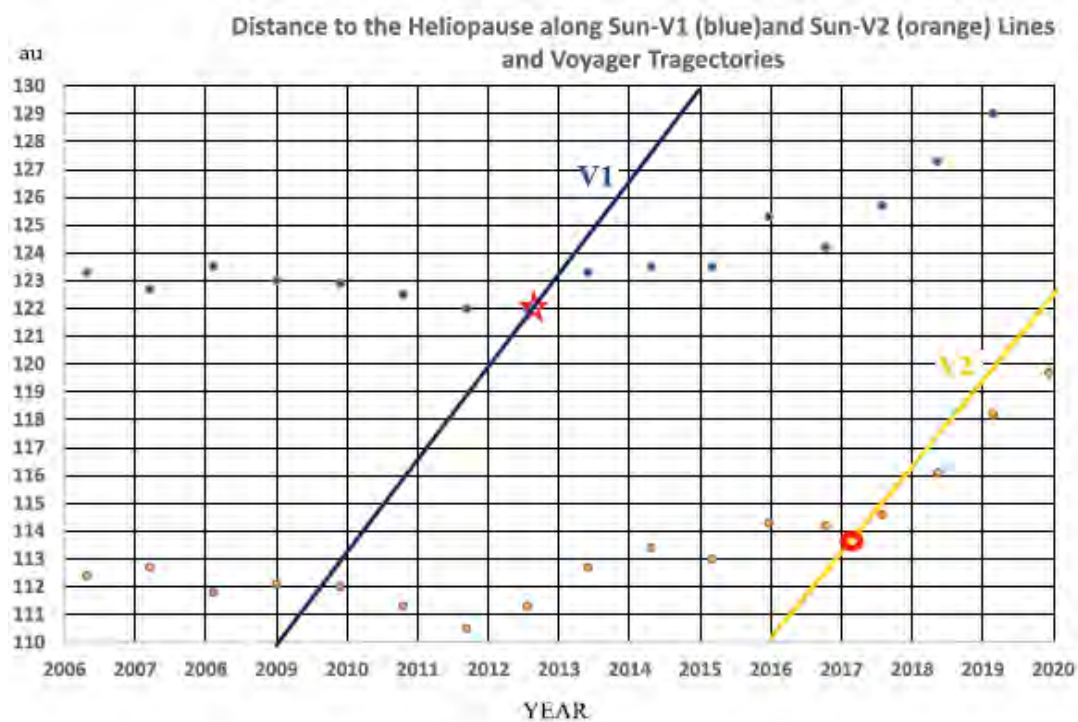
太陽圏構造とダイナミックスの研究

Study of the heliospheric structure and dynamic phenomena

鷲見 治一 九州大学国際宇宙天気科学・教育センター
アラバマ大学CSPAR研究所

田中 高史 九州大学国際宇宙天気科学・教育センター

太陽圏ヘリオポーズの大きさは太陽風プラズマの活動度に大きく依存している。地球の周辺での探査機による、太陽風プラズマの密度、速度及び磁場強度の観測からOMNIデータが得られている。これを利用して、太陽圏外圏におけるヘリオポーズの大きさ及び形状を、MHDシミュレーション解析によって高精度で得られる可能性を追求している。その第一歩として、未だ粗い精度ではあるが、ボイジャー2号（V2）がいつ頃ヘリオポーズを越えるかの予想解析を行った。一例として、掲載された論文中の図を以下に示す。引き続き高精度の解析法を検討中である。



第1図 ヘリオポーズの大きさの年変動。太陽-V1線（青色）及び太陽-V2線（黄色）に沿ったヘリオポーズの太陽からの距離、およびV1（青色）及びV2（黄色）の軌道。赤色星印はV1がヘリオポーズを越えた位置を示し、赤色丸印は現在（2017年3月）のV2の位置を示している。

論文：H.Washimi, T.Tanaka,&G.P.Gary, Time-varying heliospheric distance to the Heliopause, ApJ 846*L9, 2017

航空機観測と数値モデル計算によるエアロゾル-雲相互作用研究
Study of aerosol-cloud interactions using aircraft and numerical modeling

小池 真、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】

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。またエアロゾル自身の光吸収は、大気の加熱を通じて鉛直安定度を変化させ、対流活動や雲形成過程に影響する。このような雲微物理特性や大気の鉛直安定度の変化は、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。また近年、人為的な酸化鉄も大気加熱として重要である可能性が指摘されている。本研究の目的は、今後の西太平洋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、どのような成果が上がるのか、研究計画を作成することである。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が得られることが期待される。

【研究方法】

これまで東京大学、名古屋大学、気象研究所などで実施された航空機観測により得られた知見を整理するとともに、数値モデル計算により、どのような観測が数値モデル計算予測向上に役立つのかを検討する。また世界の航空機観測の現状についても検討を行う。

【研究結果】

研究所担当教員と研究集会「航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進（平成 29 年 12 月 25 日に東京大学で開催）」などで議論をおこなった。このような議論に基づき、今後の西太平洋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、どのような成果が上がるのか、より具体的な研究計画を作成することができた。航空機観測では、人為的な酸化鉄の測定など、新しい技術開発の利用となるため、柔軟な運用が必要であることが確認された。

【考察】

世界の航空機観測研究の動向や大気水圏科学の研究動向などを継続的に確認し、引き続きより良い計画を作成していくことが必要である。

【まとめ】

今研究では、研究集会「航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進（平成 29 年 12 月 25 日に東京大学で開催）」を通じて、航空機観測と数値モデル計算によるエアロゾル-雲相互作用研究を実施することができた。

【成果発表】

(1) 誌上発表 <論文（査読あり）>

Moteki, N., K. Adachi, S. Ohata, A. Yoshida, T. Harigaya, M. Koike, Y. Kondo, Anthropogenic iron oxide aerosols enhance atmospheric heating, Nature Communications, 8:15329, DOI: 10.1038/ncomms15329, 2017.

(2) 口頭発表（学会等）

GOSAT検証のための陸別観測所におけるエアロゾル・雲のライダー観測
Lidar observations of aerosols and clouds at Rikubetsu
observatory as the validation for GOSAT

柴田隆, 名古屋大学・環境学研究科
内野修, 国立環境研究所

目的

2009年1月に打ち上げられた温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT)は、搭載されたフーリエ変換分光器(FTS)で測定された地球からの放射スペクトルより、二酸化炭素やメタンなどの温室効果気体の濃度分布を求める。濃度を導出する際、大気中に存在する粒子状物質(エアロゾルや雲)は濃度の精度を大きく左右する。このため、衛星観測に与えるエアロゾルや雲の影響を正しく評価するには、これらの実測データが必須である。本研究はGOSAT衛星の検証のため、エアロゾルと雲を観測するために、ライダーを陸別観測所に設置し、これらの高度分布を観測することを目的とする。

方法

観測は検証に晴天率が高く、その他好立地条件を満たす陸別観測所にライダーを設置し、衛星が上空を通過するタイミング(三日に一度、午後1時)に合わせてその前後2時間、合計4時間観測して、エアロゾルや雲の高度分布を求める。観測所に設置したライダーはNd:YAGレーザを光源とする2波長のMie偏光ライダーで、受信系は平行偏光成分を強弱2系統で受信することによりダイナミックレンジを1桁以上改善している。測定はPCで自動制御されるが、レーザの電源投入と制御プログラムの実行開始は手動で行う必要があり、ネットワークを介して遠隔操作を行う。ライダー観測はネットワークを介して行うが本年度から主な操作は国立環境研究所から操作するような体制とした。

結果

昨年度に引き続き観測を続行し、2017年全体で76日の観測を実施し、その内衛星通過日は37日であった。GOSAT衛星の検証のためのデータを提供し続けている。

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. 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。

【研究結果】

平成29年度はVarSITI/ISEST WG4が選んだ10例の太陽－地球間擾乱現象について事例研究を行い、以下の結果を得た。

1. ただ一つの例外を除いて、ICME中の磁気ロープ構造は源となった太陽擾乱の発生領域の磁気中性線に平行な軸をもつことを確認した。
2. 上記の例外となった現象（2015年6月23日に地球に到達したICME）については、6月21日01:30UT頃発生フレアーがその発生源と広く考えられているが、実際はその前日、6月20日にはすでに発生していたことがIPS観測から確かめられた。

【考察】

この種の研究では、ICMEの発生源となる太陽擾乱を正しく同定することが不可欠であり、さらに、ICMEが地球に到達した場合、磁気ロープのどの部分を地球が通過するかによって観測される太陽風磁場の形態が大きく変わることがあるので、ICMEの伝搬に関する詳細な解析が必要であることが明らかになった。

STEREO衛星データやIPS観測によるCME, ICMEの追跡により、惑星間空間中の伝搬過程でICMEの構造（磁場強度を含む）がどのように変化するかを子細に検討することが今後の研究を進めるカギになる。

【成果発表】

・論文

Marubashi, K., Cho, K.-S., and Ishibashi, H., Interplanetary magnetic flux ropes as agents connecting solar eruptions and geomagnetic activities, Sol. Phys. 292: 189, doi: 10.1007/s11207-017-1204-2, 2017.

・口頭発表

Marubashi, K., Cho, K.-S., and Ishibashi, H., Analysis of the ISEST/MiniMax24 WG4 campaign events on the linkage between CMEs and solar wind disturbances, JpGU2017, Makuhari, 2017 年 5 月 23 日。

Marubashi, K., Cho, K.-S., and Ishibashi, H., What we can learn from the ISEST WG4 campaign study of Sun-Earth events?, ISEST 2017 Workshop, 韓国済州島、2017 年 9 月 18 日。

Marubashi, K., Ishibashi, H., Nishimura, N., and Tokumaru, M., CME でとび出す磁束と太陽風磁気ロープが運ぶ磁束、SGEPSS, 京都大学、2017 年 10 月 18 日。

丸橋克英、「ISEST キャンペーンイベントの解析における IPS 観測の重要性」、平 29 年度 ISEE 研究集会ー太陽圏宇宙線シンポジウム、名古屋大学、2018 年 2 月 20 日。

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していない。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することすら、ほとんどできていない。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】

本年度は、電離機構部の設計・試作に着手しつつ、並行して、試験に必要なクリンブース内の設備の整備を進めた。特に、電離のための電子源として、従来から海外の探査で用いられてきたレニウムタングステンのフィラメントを検討するとともに、新たにBaO含浸カソードの適用も検討することとした。

【研究結果】

- フィラメント電子銃について：試作品では7-8Wで100uA程度の出力を得た。これは、従来の海外の探査で達成されている~1W, 100uAという値と比べると、一桁近く消費電力が高い。この初期試験の結果を議論し、電力がほとんどフィラメントの輻射として逃げているとの解釈から、熱設計を見直した改良版を現在試作中である。
- BaO含浸カソードについて：BaO含浸カソードは地上では様々な用途に用いられており、レニウムタングステンフィラメントの電子銃に比して低電力で大電流が得られるのが特徴であるが、これまで探査機搭載の実績はない。本研究では、探査目的のパラメタにカスタマイズしたカソードを設計・製造する海外メーカを発掘し、現在試作中である。設計段階の熱解析によると、1Wで1mAの電流が得られる見込みである。

【発表成果】

- 沖津 由尚、笠原 慧、杉田 精司、斎藤 義文、平原 聖文、横田 勝一郎, "火星における hot oxygen 密度測定に向けた探査機搭載用質量分析装置のイオン化源の開発", JpGU, 幕張, 2018/05/21, ポスター
- 笠原慧, 沖津由尚, 平原聖文, 斎藤義文, 横田勝一郎, 三浦弥生, 奥野衛, 吉岡和夫, 杉田精司, "超小型探査機による惑星観測に向けた粒子計測器の開発", 惑星科学会秋季講演会, 口頭発表, 大阪, 2017年9月27日

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

【研究方法】

本年度は, 放射線帯領域における波動粒子相互作用の現れの一つである, 「コーラス波動による電子のピッチ角散乱が引き起こす脈動オーロラ」に着目した. 脈動オーロラ発生時にERGが赤道付近を通過していたイベントに着目し, 電子の速度分布とVLF波動のデータを解析することとした.

【研究結果】

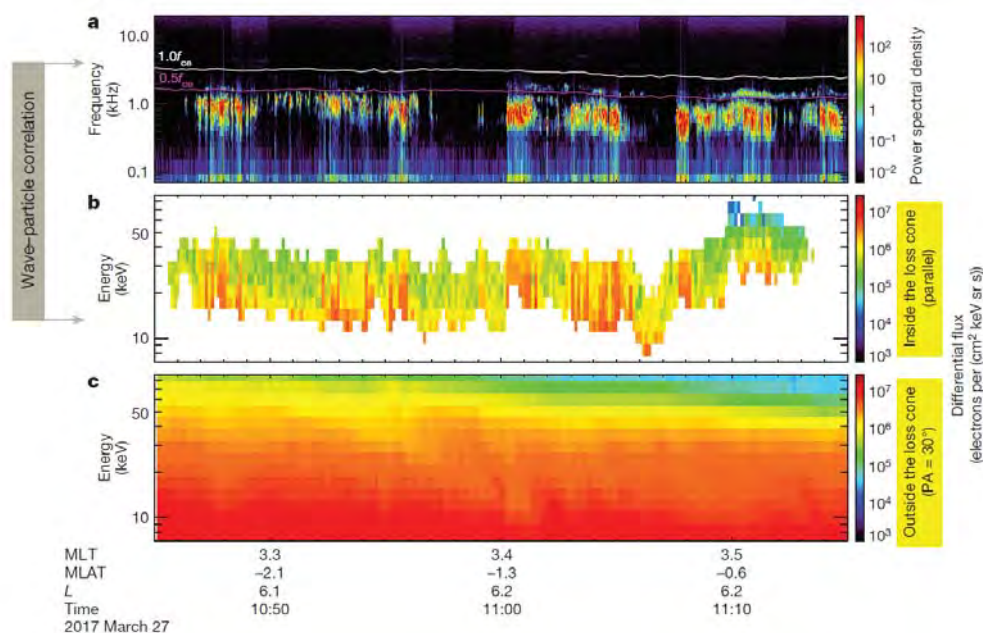


図1 : ERGのin-situ観測結果. **a**, 磁場のf-t図, **b**, 電子のE-t図 (ロスコーン内) , **c**, 電子のE-t図 (ロスコーン外) . Kasahara *et al.*, *Nature*, 2018より転載.

L~6の赤道面付近におけるERG衛星の観測により、コーラス波動の強弱とロスコーン内高エネルギー電子フラックスが明瞭に相関していることが明らかになった。これは、コーラス波動によるピッチ角散乱で電子がロスコーンに急激に侵入するという仮説を初めて実証したものであり、脈動オーロラの生成機構を決定づけるものである。

【発表成果】

- Kasahara, S., Y. Miyoshi, S. Yokota, T. Mitani, Y. Kasahara, S. Matsuda, A. Kumamoto, A. Matsuoka, Y. Kazama, H. U. Frey, V. Angelopoulos, S. Kurita, K. Keika, K. Seki, I. Shinohara, "Pulsating aurora from electron scattering by chorus waves", *Nature*, 2018, doi:10.1038/nature25505.
- Kasahara, S., S. Yokota, T. Mitani, K. Asamura, M. Hirahara, Y. Shibano, K. Yamamoto, and T. Takashima, "Medium-Energy Particle experiments (MEPs) for the Exploration of energization and Radiation in Geospace (ERG) mission", (Final Paper Number: SM31E-03), AGU, Oral (Invited), New Orleans, Session Date: Thursday, 13 December 2017.
- Kasahara, S., S. Yokota, T. Mitani, K. Asamura, M. Hirahara, Y. Shibano, and T. Takashima, "MEP-e: Medium-Energy Particle experiments - electron analyzer", The 3rd ERG Mission Science Workshop, Oral, Taiwan, 07 September 2017.
- (Alphabetical order) Asamura, K, N. Higashio, M. Hirahara, S. Kasahara, Y. Kazama, H. Matsumoto, T. Mitani, W. Miyake, Y. Suto, T. Takashima, B.-J. Wang, S.-Y. Wang, K. Yamamoto, S. Yokota, "Charged particle measurements in the radiation belts by ERG", AOGS, Oral (Invited), Singapore, 09/August/2017.
- (Alphabetical order) Asamura, K, N. Higashio, S. Kasahara, Y. Kazama, T. Mitani, S.-Y. Wang, K., and S. Yokota, "Charged particle measurements in the radiation belt by ERG (Arase)", PLASMA学会, 口頭発表(招待講演), 姫路, 2017年11月23日.
- 笠原慧, 横田勝一郎, 三谷烈史, 浅村和史, 平原聖文, 高島健, "Medium-Energy Particle experiments - electron analyzer (MEP-e) for the ERG satellite mission", SGEPSS秋学会, 口頭発表, 京都, 2017年10月16日.
- (Alphabetical order) Asamura, K, N. Higashio, M. Hirahara, S. Kasahara, Y. Kazama, H. Matsumoto, T. Mitani, W. Miyake, Y. Suto, T. Takashima, B.-J. Wang, S.-Y. Wang, K. Yamamoto, S. Yokota, "Charged particle measurements in the radiation belts by ERG", 地球惑星科学連合2017年大会, ポスタ発表, 幕張, 2017年5月24日.

光と電波を組み合わせた極冠域電離圏の 3 次元観測

3D observations of polar cap ionosphere with radar and optics

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。今年度の観測シーズンは、現地の観測機器とのネットワーク接続に問題があったため、10 月末にレゾリュートベイに渡航し、システムのメンテナンス作業を行った。現地の観測 PC への日本からのネットワーク接続の再設定、時刻同期の方法の変更などを行い、それ以降は順調に観測を行うことができています。観測データは、現地の観測サイトの管理をしているスタッフによってシリコンディスクにコピーされ、日本まで輸送されている。今年度も、SRI International, ボストン大学, サスカチュワン大学などと共同で Resolute Bay Incoherent Scatter Radar (RISR-N) と、レゾリュートベイ OMTIs 全天イメージャによる「光と電波を組み合わせた極冠域電離圏の 3 次元観測」を実施した。これらに加える形で、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。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。イウレカの全天イメージャについても、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。現地で観測所のメンテナンスをしている Toronto 大学の Pierre Fogal 博士と連絡を取りながら、修理のためにカメラを日本に積み戻す作業を行っている。上述のように、幾つかのトラブルがあり、連続観測が安定的にできていない時期が生じているが、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した希少な広域データが揃いつつある。現在、これらの光学観測機器と、Super Dual Auroral Radar Network (SuperDARN) や EISCAT, AMISR (RISR-N) などの非干渉散乱レーダー、GPS 全電子数観測といった電波による電離圏観測を組み合わせ、極冠域超高層大気現象の構造を広域に、かつ 3 次元的に明らかにするための研究を進めている。

★ 研究成果

2 年にわたるイウレカイメージャの観測データから、極冠パッチに伴う密度増大を抽出し、その発生頻度がどのような太陽風擾乱に依存しているかを解析した。その結果、コロナ質量放出 (Coronal Mass Ejection: CME) に伴って発生する極冠パッチが少数であることを明らかにした。また、約 70% の極冠パッチが共回転相互作用領域 (Corotation Interaction Region: CIR) に伴って発生することを大量データに基づいて示した。これらに加え、太陽風擾乱の性質に対応して、極冠パッチの空間構造が変化することも明らかにした。CIR は、太陽表面のコロナホールを起源とする擾乱であり、太陽の自転に伴って再帰的に出現することが知られているため、本研究の成果は、CIR に伴って発生する極冠パッチの出現予測が可能であることを意味しており、宇宙天気面で大きな意味を持つ。この成果は、地球電磁気・地球惑星圏学会 (SGEPSS) において、岡村らによって報告された [1]。

イウレカにおける観測を新たに始めたことで、極冠オーロラ近傍の電流系に関しても理解を深めることができた。イウレカ、レゾリュートベイにおいて、北向きの惑星間空間磁場 (Interplanetary Magnetic Field: IMF) のときに観測された Sun-aligned arc 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た。特に、全天イメージャによってオーロラアークの構造を押さえながら、アーク近傍の沿磁力線電流 (FAC) の兆候を調べた。この結果、これまで単機の衛星によって得られたデータの時間変化から導かれてきた FAC の空間構造は、アークの時間変動が速い場合に実際の構造と大きく乖離することが明らかになった。この結果は、SGEPSS において山内らによって報告された [2]。

これらに加え、イウレカにおいて得られた 2 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。IMF Bz が負の時、イウレカのローカルタイム夕方付近から夜にかけて極冠パッチの輝度値が徐々に低くなっていくこと、冬至付近の夜に最も極冠パッチの輝度値が低く秋分・春分方向に徐々に輝度値が高いものが増えることから、パッチは顕著な季節変化及び UT 変化を示すことが明らかになった。これは、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、SGEPSS において永田らによって報告された [3]。

★ 学会発表、論文公表実績等

1. 岡村紀, 細川敬祐, 塩川和夫, 田口聡, 大塚雄一, 小川泰信, 磁気北極付近における大気光観測を用いた CME, CIR 発生時に伴う極冠パッチの性質, 地球電磁気・地球惑星圏学会, 京都大学, 2017年10月16-19日
2. 山内淑寛, 細川敬祐, 大谷晋一, 塩川和夫, 大塚雄一, 全天大気光イメージャと Swarm 衛星を用いた極冠オーロラ近傍の電流系に関する研究, 地球電磁気・地球惑星圏学会, 京都大学, 2017年10月16-19日
3. 永田倫太郎, 細川敬祐, 塩川和夫, 大塚雄一, カナダのイウレカで観測される極冠パッチの統計的性質: UT, 季節, IMF Bz 依存性, 地球電磁気・地球惑星圏学会, 京都大学, 2017年10月16-19日

気象イベントに伴う海洋生物地球化学の変動 Variability in Marine Biogeochemistry caused by Meteorological event

本多牧生 (海洋研究開発機構 地球環境観測研究開発センター)
Eko Siswanto (海洋研究開発機構 地球環境観測研究開発センター)
相木秀則 (名古屋大学 宇宙地球環境研究所)

【目的】

西部北太平洋亜熱帯海域は海洋表層の栄養塩濃度が極めて低い貧栄養海域であるが、同海域の植物プランクトンによる基礎生産力は富栄養の西部北太平洋亜寒帯海域のものに匹敵するかそれ以上であることが、これまでの生物地球化学的定点観測研究で明らかにされてきた (例えば Honda et al. 2017)。同海域の基礎生産力を維持する栄養塩の供給メカニズムとして中規模低気圧性渦に加え、台風など気象擾乱に伴う海洋表層の移流・混合・拡散過程の変動が考えられる。本研究では西部北太平洋亜熱帯海域での定点観測結果と数値シミュレーションから、台風の通過に伴う栄養塩の供給が同海域の基礎生産力および炭素フラックスにどの程度貢献するかを定量的に評価することを目的とした。

【研究方法】

(1) 定点観測

西部北太平洋亜熱帯海域の基礎生産力と炭素フラックスの時系列変化を推定するために、観測定点 KEO (北緯約 32.5 度 / 東経約 144.5 度) の水深約 5000m に時系列式セジメントトラップを設置し、2014 年 7 月 - 2016 年 7 月の 2 年間、18 日間隔で沈降粒子を時系列的に捕集した。得られた沈降粒子の化学分析を実施し、有機炭素フラックスを算出した。一方、観測定点 KEO には米国海洋大気庁 (NOAA) が表層ブイ (KEO ブイ) を係留しており、時系列的な海洋気象・海洋物理データが取得されている (<https://www.pmel.noaa.gov/ocs/KEO>)。本研究ではこれらのデータを解析に利用した。

(2) 数値シミュレーション

台風による栄養塩の拡散供給を推定するために、鉛直 1 次元乱流クロージャーモデルで数値シミュレーションを行った。このモデルでは、Meller-Yamada-Nakanishi-Niino スキーム (Furuichi et al. 2012) に基づいて、乱流運動エネルギーと鉛直渦拡散・粘性係数を逐次見積もり、それを用いて流速、水温、塩分の鉛直分布の時系列変化を計算した。2014 年 9 月 1 日 0 時に KEO ブイで取得された流速、水温、塩分を初期値として、同じく KEO ブイで得られた観測値に基づく大気海洋間フラックス (CORE 3.0b: 1 時間毎) を外力として与えて一ヶ月間積分した。

【結果と考察】

(1) 有機炭素フラックスの季節変動

観測 1 年目の 2014 年 9 - 10 月、2015 年 1 月および 2015 年 4 - 5 月に有機炭素フラックスの顕著なピークが見られた。これらのピークは生物起源のオパールフラックスや炭酸カルシウムフラックスの増加によるものであり、深海で粒子フラックスのピークが現れる以前に海洋表層有光層に栄養塩が供給され基礎生産力が増加したことを示唆するものであった。

(2) 栄養塩の供給メカニズム：冬季混合と低気圧性渦

KEO ブイで観測された水温鉛直分布時系列から 2014 年 12 月後半 - 2015 年 4 月前半に、冬季冷却混合による亜表層水の海面までの湧昇が見られた。この時期には亜表層の栄養塩が有光

層にもたらされるためその後の春季の基礎生産力を増加させ、2015年4-5月の水深5000mの有機炭素フラックスのピークとして現れたと考えられる。一方、冬季以外には亜表層水が海面まで湧昇している様子は観測されなかったが、2014年7-8月および2014年11月に低水温の中層水が水深100m付近まで湧昇していたことが観測された。衛星データの解析の結果、同時期に海面高度偏差 (SSHA) が大きく低下しており、観測点KE0を低気圧性渦が通過したことが明らかとなった。観測点KE0周辺では同時期の水深100m付近は有光層内であり植物プランクトンの生息可能水深である。従って2014年9-10月、2015年1月に見られた有機炭素フラックスの増加は、2014年7-8月および2014年11月に低気圧性渦がKE0を通過した際に栄養塩を含む中層水を水深100mまで湧昇させた結果、同水深付近で基礎生産力が増加し沈降粒子が形成された結果であると推察された。ただし2014年7-8月の低気圧性渦通過と9-10月の水深5000mにおける有機炭素フラックスピークの時間差は、これまで報告されている沈降粒子の沈降速度から計算すると、少し大きなものであった。そこで低気圧性渦以外の栄養塩供給メカニズムについての考察が必要となった。

(3) 栄養塩供給メカニズムとしての台風の評価

2014年9月9日台風14号 (T1417) がKE0付近を通過した。KE0ブイの水温鉛直分布を解析すると、台風通過時に亜表層水の湧昇は見られないものの、台風通過後約10日間にわたって水深50m付近に近慣性内部波が発生していたことが明らかとなった。このことは近慣性内部波により同水深の拡散係数が増加し、栄養塩の拡散供給が発生していた可能性が示唆された。そこで数値シミュレーションにより水深50m付近の拡散係数の変化を推定し、気候値 (World Ocean Atlas 2013) による同水深の栄養塩 (硝酸) 濃度勾配を用いて栄養塩の拡散供給を推定した。数値シミュレーションの結果、台風通過後、水深50mの拡散係数は $10^{-2.5} \text{ m}^2 \text{ sec}^{-1}$ 程度まで増加した。その後は徐々に低下し9月15日頃に元の $10^{-5} \text{ m}^2 \text{ sec}^{-1}$ に戻った。この拡散係数の増加と硝酸の濃度勾配 ($0.034 \text{ mmol-N m}^{-4}$) から、同期間に台風による拡散混合の活発化により水深50m以浅に供給された硝酸 (N) フラックスは約 $2.4 \text{ mmol-N m}^{-2}$ と試算された。このNが全て基礎生産に使用されたと仮定し、炭素 (C) /N取込比が6.6 (レッドフィールド比) だとすると、台風により増加した基礎生産力は 158 mg-C m^{-2} となる ($2.4 \times 6.6 \times 12 \text{ mg mmol}^{-1}$)。先行研究 (Honda et al. 2017) から、この基礎生産力の0.6%のみが水深5000mまで沈降すると仮定すると、台風による栄養塩の供給により増加した水深5000mの有機炭素フラックスは 0.95 mg-C m^{-2} となる (158×0.006)。これは実際に観測された有機炭素フラックスの増加 (24 mg-C m^{-2}) のわずか約4%に過ぎない。以上、本研究結果からは台風は栄養塩供給の重要なメカニズムにはなっていなかったことが結論づけられた。

【引用文献】

- Honda et al. (2017) Comparison of carbon cycle between the western Pacific subarctic and subtropical time-series stations: highlights of the K2S1 project. J Oceanogr 73:647-667 doi:10.1007/s10872-017-0423-3.
- Furuichi N, Hibiya T, Niwa Y (2012) Assessment of turbulence closure models for resonant inertial response in the oceanic mixed layer using a large eddy simulation model. J Oceanogr 69:285-294 doi:10.1007/s10872-011-0095-3.

【成果発表】

- (論文発表) Honda et al. Impact of cyclonic eddies on biogeochemistry in the oligotrophic ocean based on biogeochemical / physical / meteorological time-series at station KEO. Submitted to Progress in Earth and Planetary Science.
- (口頭発表) Honda et al. Impact of cyclonic eddies on biogeochemistry in the oligotrophic ocean based on biogeochemical / physical / meteorological time-series at station KEO. Ocean Carbon Hot Spot Workshop. Moss Landing, CA USA, 25-26 September 2017.

耐波浪環境シースプレー測器の開発と海上観測塔試験 Marine-field Tests of an Experimental Sea-Spray Spectrometer Probe

根田 昌典，京都大学・大学院理学研究科

研究目的

従来の大気化学研究では衛星や地上ライダー観測によって上空数百mから数kmにかけてのエアロゾル分布と雲物理の関係解明を推進してきた。ところが海洋性エアロゾルの生成源である海面近傍（海面から海上数mまでの範囲）のシースプレー観測は国内ではあまり行われていない。本申請は台風のような強風・高波下における粒径分布と海面波砕や白波との関係を計測できるようなシースプレー装置の実用化をめざし、昨年度完成した試作機を海洋観測塔に設置し、夏季海上での連続観測試験を行う。海面近傍のシースプレー観測の実現に向けて段階的な試験観測を実施し、試作機の検証や精度の確認、高頻度観測（10Hz）化に伴う技術的な問題点の抽出と解決方法の検討を行うことが本研究の目的である。将来的に観測結果をシースプレーのバルク式と照合し、ISEE気象学・海洋学研究室で運用している大気・海洋・波浪（CReSS-NHOES）結合数値シミュレーションの機能拡張に応用する予定である。

研究内容

本研究では、所内担当教員の相木准教授と共同で開発した、宇宙地球環境研究所の共同利用機器である海上波しぶき光学粒子計（写真1）を用いて、和歌山県田辺湾湾口にある京都大学防災研究所白浜海象観測所管理の田辺中島高潮観測塔において連続観測試験を実施した。観測システムは完全独立方式で、2台並列DC鉛バッテリーを外部電源とし、測器筐体内部にデータロガーを内蔵した。粒子径本体は観測塔北側の平均海面から約12.5mの高度にある手すり部分に設置した。5mm径チューブを筐体上部から折れ曲がらないように外側に伸ばして、観測時間中は内部ポンプを動作させて周辺空気をセンサー部に取り込む設計とした。筐体接合部は防水テープでシーリングすることによって防水機能を向上させている。観測塔への設置は2017年7月6日に行い、同8月10日まで連続観測を行った。観測は3時間おきに10分間行い、当初設計通り10Hzで（6000サンプル）各0.3, 0.5, 0.8, 1.0, 3.0, 5.0, 10.0, 15.0 μm の粒径ごとのカウント値を記録した。

図1は粒径ごとのカウント値の時間変化を示す。期間中、8月7日に白浜を直撃した台風による強風と7月18日の強風が白浜空港において観測されるなど、最大風速が10m/sを超えた日が2回あった。台風時には最大19



写真1：（左）シースプレー測器の内部，（中央）観測塔に設置した状態，（右）測器を設置した観測塔全景（赤丸は測器設置箇所を示す）

m/sの風速が観測されており、本観測はこれらの強風時にも正常な観測を維持し、気象擾乱に対する耐久性があることがほぼ実証された。これらの強風時には $5\mu\text{m}$ 以上の粒径粒子を含め、全粒径でカウント数の顕著な増加が観測され、本装置を用いた観測結果と従来知見との整合性が確認された。また、強風時に大径粒子の顕著な増加が観測されている一方、風速がそれほど大きくない場合でも粒径の大きな粒子が観測された場合があった。風向や波浪の状況など、風速以外の条件が粒子増加に対してどのような影響を持つのかについては、今後様々な環境で観測を実施することで明らかにしていく必要がある。また、比較的小さい粒径粒子の変動においても、強風の影響は非常に顕著な増加がみられる。7月17日や8月2日などのように、小粒径粒子の増加が必ずしも大粒径粒子の増加を伴わないケースがみられるなど、粒径の確率分布は必ずしも相似形とならない可能性があり、今後の観測によって明らかにするべき課題は多いと思われる。

まとめ

本研究は、宇宙地球環境研究所共同利用機器「海上波しぶき光学粒子計」を利用して、沿岸域海上での粒子粒径分布の約1か月間にわたる連続試験観測を行った。観測期間中は台風襲来による最大風速約20m/sの環境にも耐え、今後の観測に対する耐久性を確認できた。強風時に観測された顕著な粒子増加傾向は従来知見と整合的であり、粒子径の観測結果はおおむね妥当なものであった。また、強風時には大粒径の粒子が顕著に増加することに加え、強風時以外でも増加する場合があった。また、小径粒子も強風時には顕著に増加し、大径粒子の増加にするものの、小径粒子の増加時に大径粒子の増加が顕著に見られない場合があるなど粒径の確率分布は必ずしも一定ではないことが観測された。今後の観測によって、海上環境変化に対する海塩粒子を始めとする海上粒子分布の変動とその要因について調査することが今後の課題である。

成果発表

相木秀則、根田昌典、田中潔、久島萌人、由布圭 (2017): シースプレー測器による海上観測計画：海面砕波と海洋性エアロゾル生成の時空間構造を捉える、日本惑星科学連合学会2017年度大会, MIS15-P04, 2017年5月24日、幕張メッセ、千葉

相木秀則、田中潔、根田昌典、馬場康之 (2018): シースプレー測器による海上波浪境界層観測：海面砕波と海洋性エアロゾル生成の時空間構造を捉える、日本エアロゾル学会主催ミニ研究集会「大気-海洋境界層における大気物質の役割-数値計算の視点から」、2018年1月19日、東京理科大学、東京

相木秀則、田中潔、根田昌典、馬場康之 (2018): シースプレー測器による海上波浪境界層観測、平成29年度名古屋大学宇宙地球環境研究所共同利用集会「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」、2018年3月5日—6日、名古屋大学宇宙地球環境研究所共同館I-301号室、名古屋市

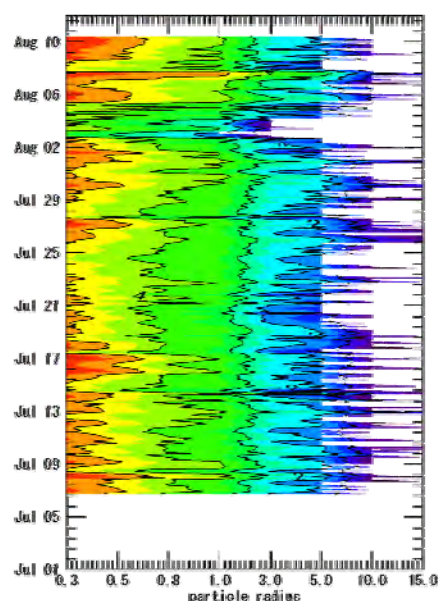


図1: 粒径(横軸)ごとのカウント値の時間変化、カラー表示はカウント値の常用対数で示され、等値線は1.0 間隔で表示した。

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、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）2016年1-2月及び2017年1-2月のEISCATキャンペーン観測で得られた電離圏D層及びE層のISスペクトルデータを用いて、フィッティング変数を様々に変化した多変数スペクトル解析を、平成28年度に引き続き実施する。

（２）（１）で得られた結果の信頼性を把握するために、同時刻・同高度のトロムソナトリウムライダーや流星レーダーなどの観測データで導出される中性大気温度変動との比較研究を実施する。その解析研究及び検証結果を基に、電離圏D層及びE層のイオン温度の導出可能高度の下限値を判断する。

平成29年度の成果内容：

平成28-29年度には、頭脳循環を加速する戦略的国際研究ネットワーク

ク推進プログラム「太陽地球環境における高エネルギー粒子の生成と役割：気候変動への影響を探る」（平成26-28年度、代表：水野亮教授）も活用してEISCATレーダー観測及び解析研究を進め、電離圏D層及びE層イオン温度の導出手法の改善とトロムソ流星レーダーデータを組み合わせた検証を実施した。その結果、2017年1-2月のEISCAT UHFレーダー観測（共通実験観測を提案・採択）による長時間積分データを用いて、成層圏突然昇温時のD層及びE層イオン温度の日変化を明らかにした。得られた研究成果をEISCAT国際シンポジウム及びSGEPSS秋学会で報告すると共に、投稿論文を現在執筆中である。

主な論文：

Adachi, K., S. Nozawa, Y. Ogawa, A. Brekke, M. Hall, and R. Fujii, Evaluation of a method to derive ionospheric conductivities using two auroral emissions (428 and 630 nm) measured with a photometer at Tromsø (69.6°N), Earth, Planets and Space, EPSP-D-16-00217, 69: 90. doi:10.1186/s40623-017, July, 2017.

主な学会講演：

Ogawa, Y., S. Nozawa, M. Tsutsumi, and I. Haggstrom, D- and E-region ion temperature measured with EISCAT radar facility, The 18th EISCAT symposium, NIPR, Tokyo, 2017年5月27日

Ogawa, Y., K. Hosokawa, S. Oyama, Y. Miyoshi, H. Miyaoka, Y. Tanaka, S. Nozawa, R. Kurita, K. Shiokawa, T. Sakanoi and R. Fujii, Estimating the energy of pulsating aurora electrons: simultaneous observations with multi-wavelength all-sky imagers and EISCAT, The 18th EISCAT symposium, NIPR, Tokyo, 2017年5月27日

Ogawa, Y., Y. Miyoshi, K. Shiokawa, K. Hosokawa, S. Oyama, A. Kero, S. Nozawa, K. Seki, Y. Tanaka, T. Sakanoi, Iku Shinohara, Y. Miyashita, R. Fujii, H. Miyaoka, A. Kadokura, K. Asamura, Y. Katoh, Y. Kasahara, H. Kojima, A. Matsuoka, S. Kurita, S. Matsuda, T. Mitani and the ERG - EISCAT joint project team, Coordinated Arase (ERG) satellite and EISCAT radar observations, The 142nd SGEPSS meeting, Kyoto University, 16 October, 2017.

沈殿法による海水試料の放射性炭素分析の高精度化に関する研究 Optimization of high precision radiocarbon analysis for seawater sample by precipitation method

代表者：高橋浩（産業技術総合研究所・活断層・火山研究部門）

分担者：南 雅代（名古屋大学・宇宙地球環境研究所）

研究目的

水試料の ^{14}C 濃度を正確に分析するためには、試料採取から化学処理にいたる間に、水に含まれる生物活動等による ^{14}C 濃度の変化があってはならない。これを防止するためには、試料採取現場での毒物添加が有効であるが、汽水域や沿岸域での調査では毒物の使用が制約される。そこで、水試料中の炭素を炭酸塩の沈殿としてその場で固定してしまう「沈殿法」が ^{14}C 濃度分析の前処理手法として期待される。この沈殿法を用いて、高精度な ^{14}C 測定が可能になれば、面倒な水試料の運搬の必要がなくなり、大量の水試料の分析が容易になる。また、沈殿法を用いれば、水試料分析用の CO_2 ガス精製ラインも必要なく、炭酸塩の沈殿をリン酸と反応させて CO_2 を発生させればよいから、分析が容易である。

しかし、これまでの研究により、試料水中の硫酸濃度が高くなると炭酸塩の沈殿を形成しにくくなることがわかっている。本研究では、硫酸濃度の高い試料での炭酸塩の沈殿回収率を高めるために、沈殿法の最適条件を明らかにすることを目的とする。

研究方法

現行の実験手順では、炭酸ストロンチウムの沈殿生成の後に上澄みを廃棄するが、このときに生成した沈殿の損失が考えられる。現行のシステムを改変しないで、沈殿回収率を上げるために、沈殿が生成した溶液のかく乱を最小限に留めたまま、上澄み液を廃棄するために、ピペットを用いる手順の検討を行った。次に、人工海水を通常濃度の4倍、1倍、1/2倍、1/10倍と変化させて、炭素回収率の変化を調査した。濃度を4倍に設定した試料については、塩化ストロンチウム溶液を添加した後の上澄み液に、再び、塩化ストロンチウム溶液を添加して、沈殿の回収率が増加するのを確認する実験を行った。また、炭酸水素ナトリウムと硫酸ナトリウムを混合した溶液を作成して、硫酸濃度と炭酸濃度の比を変化させた場合の炭素回収率の違いについて調査を行った。さらに、一部の試料については、 ^{14}C 濃度を測定した。

研究結果・考察

ピペットを用いる手法は、通常の上澄みを流し出す手法に比べて、沈殿の回収率の大幅な改善は見られなかった。通常的手法では炭素回収率が非常に低くなったケースもあったが、ピペットを用いる手法では低い回収率を示したケースは見られなかった。このことから、通常的手法では沈殿回収にムラがあるのに対して、ピペットを用いる手法の方が安定して沈殿回収が行えることが示唆される。

人工海水の濃度と炭素回収率の間には、明確な関係が見られ、人工海水の濃度が低いものほど、炭素回収率が高く、83%～20%の範囲で変化した。先行研究では、硫酸濃度と炭酸濃度の比が一定以上となると、沈殿形成が阻害されることが示されているが、この実験では硫酸濃度と炭酸濃度の比は一定であるにもかかわらず、炭素回収率に違いが見られた。硫酸濃度と炭酸濃度を変化させた溶液による実験では硫酸濃度の割合上昇とともに回収率の低下が見られたが、硫酸と炭酸濃度を海水と同程度から、硫酸濃度のみを減少させていたため、全体の濃度レベルの変化による違いに関するデータが得られていない。希釈による効果が見られるのかについて結論を出すためには、さらに追加実験が必要である。

上澄み液に塩化ストロンチウム溶液を添加する実験では、1回目と2回目で炭素回収率に差が見られなかった。人工海水の濃度が高いため、効果が見られなかったのか、硫酸塩を効率的に除去する条件が整っていなかったのかわからない。pH等の条件を変化させた実験が必要となると考えられる。

得られた ^{14}C 濃度結果は、4～15 pMCと幅があった。炭素濃度が低い試料や炭素回収率の低い試料、実験操作の過程が複雑であった試料で現代炭素の混入があったと考えられる。沈殿法は多くの化学処理過程を伴うため、炭素濃度が低い試料や炭素回収率の低い試料では、現代炭素の混入の影響が出やすいものと考えられる。

まとめ

硫酸濃度の高い試料で沈殿法による処理を効率的に実施するためには、希釈の効果が高いことがわかったが、 ^{14}C 濃度が高くなる可能性も示され、さらに検証が必要である。沈殿形成を多段階で行う手法については、可能性が見いだせていないが、理論的には硫酸濃度と炭酸濃度の比を変化させることができると考えられることから、追加実験を実施して、検証を継続すべきである。また、成果発表を実施した国際会議において、試料をガス化して、塩化バリウム溶液（本研究での塩化ストロンチウムに相当）に注入する手法が提案されていた。バックグラウンドが高いという欠点があるため、実験操作の改善が必要であるが、ガス化することで硫酸による阻害を回避できるため、有効な手法であると期待でき、今後、検討を行うべき項目となると考えられる。

研究成果

論文

Takahashi, H.A., Minami, M., Aramaki, T., Handa, H. and Matsushita, M. Radiocarbon changes of unsterilized water samples during the long-term storage. *submitted to Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*

学会発表

Takahashi, H.A., Minami, M., Aramaki, T. and Kimura, H. 「Radiocarbon changes of unsterilized water samples during the long-term storage」 The 14th International Conference on Accelerator Mass Spectrometry , オタワ大学, 2017年8月16日

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
Simulation of the "Himawari" Observation
using Radiative Transfer Model and its Applications

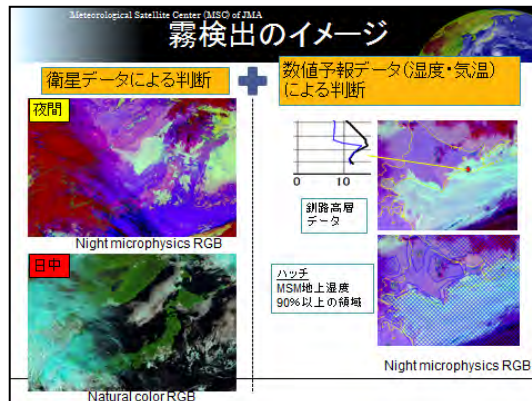
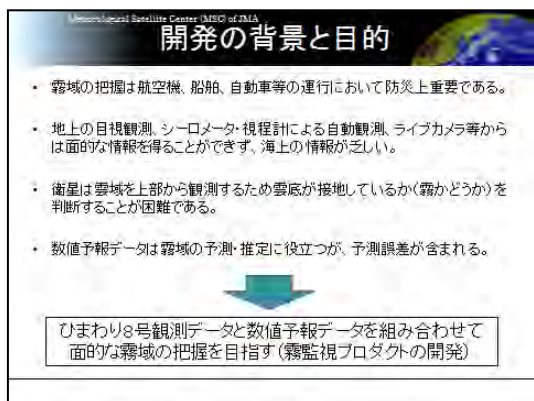
大野 智生 気象庁気象衛星センターデータ処理部

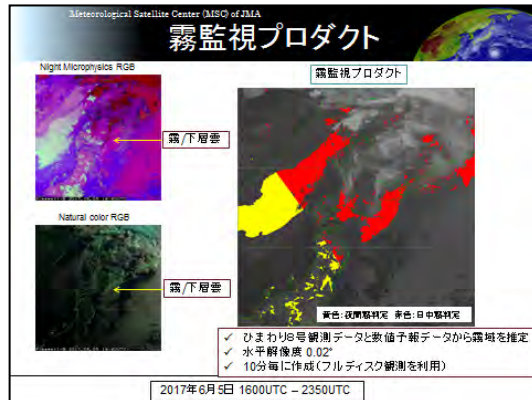
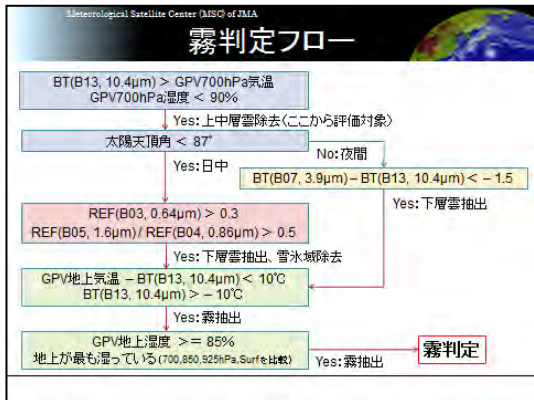
本研究は、静止気象衛星ひまわり8号及び9号データの特長である高時空間解像度観測データを活用し、雲・エアロゾル過程の高度な理解を得、ひいては同データを数値予報に適切に同化させて予報精度の向上に資するための開発を行うものである。本年度の研究においては、航空機、船舶、自動車等の運航において防災上重要である霧域の把握のためのプロダクト開発を行った。

霧域の把握においては、目視による地上観測、シーロメータによる雲低高度観測、ライブカメラ等が役立っているが、これらからは面的な情報を得ることが困難であり、海上における情報も乏しい。一方で、衛星観測は広域かつ面的な監視が可能であることが利点の一つであるものの、上空からの観測であるがゆえに下層の雲域が接地しているか（霧かどうか）を判断することが困難である。また、数値予報データは霧域の予測・推定に有効ではあるが、予報誤差が含まれる。このため、気象衛星センターでは、数値予報データとひまわり観測データを適切に組み合わせて霧域の判別を行う霧監視プロダクトを開発している。

本プロダクトでは衛星から見える霧域を対象としているため、上中層雲の下に霧が存在する場合は対象外（衛星からは検出が不可能）となるが、日中は可視・近赤外バンドの反射率を、夜間は赤外バンドの輝度温度を利用することにより下層雲域の判別を行い、数値予報データの気温・湿度を加味することで抽出された下層雲域が霧かどうかの判定を行うことが出来るようになった。

本成果については、名古屋大学宇宙地球環境研究所において平成30年3月12日～13日にかけて行われた「GSMaPおよび衛星シミュレータ合同研究集会」の場で発表を行っている。





SYNOP・SHIP霧観測による評価

昼夜比較

陸海比較

評価期間 2015年8月1日～2016年7月31日

評価対象領域 20° N-50° N, 120° E-150° E

スレットスコア = $FO/(FO+FX+XO)$
 バイアススコア = $(FO+FX)/(FO+XO)$
 適中率 = $(FO+XO)/N$
 空振り率 = $FX/(FO+FX)$
 見逃し率 = XO/M
 検定率 = FO/M
 ETS = $(FO-SF)/(FO+FX+XO-SF)$
 SFR = $FO/(FO+FX)$
 PC = M/N

		霧監視プロダクト(MSM利用版)			
		昼		夜	
		SYNOP(陸)	SHIP(海)	SYNOP(陸)	SHIP(海)
事例数		12416	1318	12999	976
霧観測数		969	88	1476	41
スレットスコア		0.329	0.314	0.349	0.426
バイアススコア		1.094	1.284	1.295	1.122
適中率		0.917	0.923	0.874	0.964
空振り率		0.526	0.575	0.542	0.435
見逃し率		0.482	0.455	0.407	0.366
ETS		0.290	0.279	0.287	0.407

		SYNOP・SHIP観測		計
		観あり	観なし	
霧プロダクト 監視判定	あり	適中(FO)	空振り(FX)	FO+FX
	なし	見逃し(XO)	適中(XO)	XO+XO
計		M	X	N

※ SYNOP・SHIP地点に最も近い1格子の霧判定結果について評価を行った

＜評価対象＞

- ・S15観測温度 > GPV700hPa気温 かつ GPV700hPa湿度 < 90% (上中層雲がない)
- ・目視観測で 雲量0 または 下層雲量1 または 霧 (霧雲に雲の育ちがわかる)
- ・太陽天頂角 < 85° (夜間) または 太陽天頂角 < 85° (日中)

SYNOP霧観測による評価

昼夜比較

夏冬比較

評価期間 夏: 2016年6月1日～2016年8月31日
冬: 2016年12月1日～2017年2月28日

評価対象領域 20° N-50° N, 120° E-150° E

スレットスコア = $FO/(FO+FX+XO)$
 バイアススコア = $(FO+FX)/(FO+XO)$
 適中率 = $(FO+XO)/N$
 空振り率 = $FX/(FO+FX)$
 見逃し率 = XO/M
 検定率 = FO/M
 ETS = $(FO-SF)/(FO+FX+XO-SF)$
 SFR = $FO/(FO+FX)$
 PC = M/N

検証結果	霧監視プロダクト(MSM利用版)			
	昼		夜	
	真	冬	真	冬
事例数	2895	4529	2347	4973
霧観測数	667	122	631	178
スレットスコア	0.340	0.187	0.398	0.281
バイアススコア	1.034	1.082	1.214	1.640
適中率	0.769	0.962	0.744	0.947
空振り率	0.501	0.697	0.480	0.647
見逃し率	0.484	0.672	0.369	0.421
ETS	0.217	0.173	0.242	0.260

		SYNOP・SHIP観測		計
		観あり	観なし	
霧プロダクト 監視判定	あり	適中(FO)	空振り(FX)	FO+FX
	なし	見逃し(XO)	適中(XO)	XO+XO
計		M	X	N

※ SYNOP・SHIP地点に最も近い1格子の霧判定結果について評価を行った

＜評価対象＞

- ・S15観測温度 > GPV700hPa気温 かつ GPV700hPa湿度 < 90% (上中層雲がない)
- ・目視観測で 雲量0 または 下層雲量1 または 霧 (霧雲に雲の育ちがわかる)
- ・太陽天頂角 < 85° (夜間) または 太陽天頂角 < 85° (日中)

不飽和炭化水素のオゾン分解で生じるクリーギー中間体と有機酸の
反応性に関する研究

Studies on the reactivity of Criegee intermediates generated
from hydrocarbon ozonolysis with organic acids

廣川 淳、北海道大学・大学院地球環境科学研究所

【研究目的】

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、有機酸などとの反応を通して、硫酸、ヒドロペルオキシド（過酸化水素）、オリゴマー体などを形成し、大気中の二次有機エアロゾルの生成に影響を及ぼすことが示唆されているが、その反応過程には不明な点が多い。本研究ではクリーギー中間体と気体状有機酸との反応生成物の測定を通してクリーギー中間体の反応性を調べるための実験研究を計画した。平成29年度は、エチレンのオゾン分解から生成するクリーギー中間体 CH_2OO の長鎖有機酸に対する反応性を調べる実験を行った。

【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、エチレン C_2H_4 、オゾン O_3 、有機酸（ヘキサン酸 $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{COOH}$ またはオクタン酸 $\text{C}_7\text{H}_{15}\text{COOH}$ ）、および水蒸気 H_2O を導入し、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ることで、有機酸、水蒸気の濃度を測定した。また、反応生成物の同定には、 Cl^- を試薬イオンとしたCIMSも併用した。エチレンおよびオゾンの体積混合比はそれぞれ34 ppmv、3 ppmvとした。有機酸の体積混合比は、ヘキサン酸で0.12 ppmv、オクタン酸で0.024 ppmvとし、水蒸気濃度を約 1.8×10^{15} から 2.6×10^{17} molecules cm^{-3} （25°Cの相対湿度で約0.2から33%）の範囲で変化させた。

【研究結果・考察】

エチレンのオゾン分解から生成する CH_2OO は、水分子との反応が非常に遅いが、水二量体 $(\text{H}_2\text{O})_2$ との反応性が高いことがこれまでの研究からわかっており[1]、フローチューブ内で起こる CH_2OO の反応は、以下の3つに分類される。



ここで反応(1)が CH_2OO と有機酸との反応、反応(2)が CH_2OO と水二量体との反応を表す。反応(3)は(1)、(2)以外のすべての反応を含んでいる。反応(1)および(2)の二分子反応速度定数を

それぞれ k_1 および k_2 で表し、反応(3)の擬一次反応速度定数を k_3 で表すと、反応による有機酸濃度の減少量 $\Delta[\text{Organic acid}]$ に対して以下の関係式が成り立つ。

$$\Delta[\text{Organic acid}]^{-1} = \frac{1}{k_1[\text{Organic acid}]y_{\text{CH}_2\text{OO}}\Delta[\text{O}_3]}(k_2[(\text{H}_2\text{O})_2] + k_1[\text{Organic acid}] + k_3) \quad (4)$$

ただし $y_{\text{CH}_2\text{OO}}$ は、エチレンのオゾン分解から安定化 CH_2OO が生成する収率を表す。有機酸濃度を一定に保ち、水蒸気濃度を変化させたときに測定された有機酸濃度と水蒸気濃度から $\Delta[\text{Organic acid}]$ と $[(\text{H}_2\text{O})_2]$ を求め、 $\Delta[\text{Organic acid}]$ の逆数を $[(\text{H}_2\text{O})_2]$ に対してプロットすると、式(4)から予想されるように直線関係が得られた。最小二乗法により求められたプロットの直線の傾きと、 $\Delta[\text{O}_3]$ の測定値、 k_2 および $y_{\text{CH}_2\text{OO}}$ に対して先行研究で報告されている値[2]を用いることにより、反応(1)の二分子反応速度定数 k_1 は、ヘキサン酸、オクタン酸ともに $k_1 = (1.9 \pm 0.7) \times 10^{-10} \text{ cm}^3 \text{ molecule}^{-1} \text{ s}^{-1}$ と決定された。

また、生成物の分析から、 CH_2OO とヘキサン酸、オクタン酸との反応では、付加生成物だけでなく、そこから水が脱離した酸無水物も生成することが見いだされた。酸無水物の割合は、ヘキサン酸の場合で0.1–0.4、オクタン酸の場合で0.3–0.5であった。 CH_2OO と酢酸の反応では酸無水物の生成が観測されなかったことから、有機酸が長鎖になると、酸無水物の生成が有利となることが示唆された。また、加湿条件に比べ、乾燥条件下で酸無水物の収率は高くなった。今後本手法は、大気化学過程に関係性の高い、より複雑なクリーギー中間体の反応性の研究にも応用できることが期待される。

【引用文献】

- [1] M. A. Khan et al., *Environ. Sci.: Processes Impacts*, **20**, 437–453, 2018.
 [2] R. Yajima et al., *J. Phys. Chem. A*, **121**, 6440–6449, 2017.

【成果発表】

原著論文

R. Yajima, Y. Sakamoto, S. Inomata, and J. Hirokawa, "Relative reactivity measurements of stabilized CH_2OO , produced by ethene ozonolysis, toward acetic acid and water vapor using chemical ionization mass spectrometry", *J. Phys. Chem. A*, **121**, 6440 – 6449, 2017.

口頭発表

R. Yajima, Y. Sakamoto, S. Inomata, and J. Hirokawa, "Relative reactivity of stabilized Criegee intermediate from ethene ozonolysis toward acetic acid and water vapor", 33rd Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics, 2Y1, Nagoya, Japan, June 7-9, 2017.

沖縄県の鍾乳洞における滴下水の ^{14}C 濃度 Radiocarbon concentration of dripwaters in caves, Okinawa

代表者：植村 立(琉球大学・理学部海洋自然科学科)
分担者：浅海竜司(琉球大学・理学部物質地球科学科)
南 雅代(名古屋大学・宇宙地球環境研究所)

1. 研究目的

石筍は、鍾乳洞内で降水を起源とする滴下水から形成される炭酸カルシウム結晶であり、U/Th 年代によって絶対年代を与えることができる点で貴重である。石筍は鍾乳洞周辺の降水量を連続的に記録しており、陸域の古気候復元試料として注目されている。特に酸素同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$) は降水の $\delta^{18}\text{O}$ および量的効果を反映するため、古気候復元に用いられている。

沖縄県には洞窟が豊富に存在し、年代測定に必要な U 濃度も本州と比べると高く、石筍を用いた古環境復元研究に適している。近年、 $\delta^{18}\text{O}$ だけでなく、石筍中の ^{14}C から算出される dead carbon の寄与率 (DCF) も、降水量のプロキシとして注目されつつある。つまり、時間依存以外の ^{14}C 変動を、樹木年輪から求められている過去の大気の ^{14}C 変動と比較することで、降水量などの古気候のプロキシとして使えると指摘されている。しかし、石筍の ^{14}C を用いて古環境復元を行うにあたっては、石筍のもととなる滴下水の ^{14}C 濃度を測定し、石灰岩由来の炭素寄与率を求め、補正する必要がある。本研究においては、南大東島の星野洞を対象とし、滴下水の ^{14}C 濃度を測定し、古気候復元に有効な石筍かどうかの検討を行うことを目的とする。

2. 実施内容

南大東島は、環礁が数回の隆起を経てできたサンゴの島であり、島内には、多数の洞窟が存在する。昨年度、南大東島の星野洞の 1 地点の滴下水を採取し(右図の採取地点)、溶存無機炭素の ^{14}C 測定を行った。今年度は、星野洞の別の地点の滴下水、秋葉地底湖の水、山下洞の滴下水・池の水、ならびに今村洞の滴下水の ^{14}C 濃度を測定した。また、南大東島における、石灰岩由来の炭素の影響のない現代大気の ^{14}C 値を求めるため、洞窟の上部の陸地に生育している大東ビロウ、ガジュマルの葉の ^{14}C 濃度を測定した。星野洞において、観光用通路工事の際折られた石筍(下の写真: HSN1, 全長 246.2 mm) の 150 mm から 196 mm の間の 10 試料に対して、 ^{14}C 測定を行なった。



星野洞から採取された石筍



星野洞内の滴下水採取地点

3. 結果と考察

滴下水の ^{14}C 濃度は、大部分の観測地点(星野洞 2 地点と他の 2 洞窟の 2 地点)で 90.9 pMC から 96.5 pMC と、ほぼ同じような値を示した。一方、星野洞の 1 地点の滴下水は 69.7 pMC と低い ^{14}C 濃度を示し、同じ洞内でも、滴下地点によって DCF の絶対値には大きな差がある可能性が示唆された。

石筍の U/Th 年代を国立台湾大学にて測定した結果、7500–6000 yr BP の年代を示し、成長速度が $180\text{ }\mu\text{m/yr}$ と速く、ほぼ一定であることがわかった。この石筍は、砂質成分をほとんど含まないため、高分解能かつ高精度の測定が可能であり、年代軸がかなり正確に付与されたことにより、古環境復元をするのに、非常に適したツールであると言える。石筍の ^{14}C 値に対し、採取した地点の滴下水が示す ^{14}C 値を用いて DCF 補正を行った後、IntCal13 較正曲線(樹木年輪などから得られている過去の大気の ^{14}C 変動曲線)と比較すると、石筍の ^{14}C 変動曲線は IntCal13 曲線にほぼ一致した。一方で、寒冷期は温暖期に比べて、石筍の DCF がわずかに小さくなる傾向が見られた。これは、乾燥化により降水量が減少し、土壌湿潤度が低下したために、降水中の溶存無

機炭素が土壌 CO₂と交換する程度が大きくなり、その結果として、石筍の DCF が小さくなったためと考えることができる。今回得られた結果は、この石筍の DCF を用いて、古環境情報を引き出すことが可能であることを示しており、今後、¹⁴C 分析を引き続き行い、 $\delta^{18}\text{O}$ 変動と比較しながら古環境復元を行なって行く予定である。

研究成果

学会発表

大嶺佳菜子・植村 立・眞坂昂佑・浅海竜司・Chuan-Chou Shen・Mahjoor Ahmad Lone, 沖縄県南大東島の石筍に記録された完新世中期における気候変動と太陽活動の関係, 日本地球惑星科学連合 連合大会 2017 年大会, 幕張メッセ, 千葉 (2017 年 5 月)

Kanako Omine, Ryu Uemura, Kosuke Masaka, Ryuji Asami, Mahjoor Ahmad Lone, Yu-Chen Chou and Chuan-Chou Shen, A stalagmite-inferred high-resolution hydroclimate record at 6-7.5 ka in Okinawa, Japan, American Geophysical Union Fall meeting, New Orleans, USA (2017 年 12 月)

ライダーと雲粒子ゾンデによる大粒子・低個数密度の雲の観測

Large sparse cloud observations by lidar and cloud particle sondes

岩崎杉紀、防衛大学校・地球海洋学科

目的

本研究の目的は、雲粒子センサ (CPS) ゾンデとライダーを用いた粒径が大きく個数密度が少ない雲 (Large-Sparse Cloud、以降 LSC) の存在やその特徴を観測から明らかにすることである。LSC は、衛星搭載雲レーダでは有意に観測できるが、衛星搭載ライダーでは有意に観測できない雲である。通常はその逆で、ライダーのほうが雲をより観測できる。LSC は特殊な雲である。しかし、筆者の発表以外その報告例がないため、LSC はほぼ未知の現象である。気象や気候に与え影響は不明である。そこで、CPS を用いて雲粒子の粒径、個数密度、形状 (球形か非球形か) の鉛直分布を推定する。さらに CPS 観測は観測日時と場所が限られているため、衛星データも用い CPS 観測やその知見を補完する。

研究方法

名古屋大学太陽地球環境研究所の陸別観測所を拠点とし、2018 年 1 月 20 日から 25 日と 3 月 18 日から 23 日、CPS ゾンデ観測 (風船に CPS を取り付け放球) を行った。1 月の観測は筆者の事務手続きの遅れと風向きが観測に不適 (風船が陸地に落ちる可能性が高い) のため観測ができなかった。このため、3 月 18 日から 23 日まで再度観測を行った。両期間とも陸別観測所を利用した。国立環境研究所が同観測所に設置しているライダーで雲観測を行っていただいた。

今回は地表面が小雪の時に、雪雲の上にあるかもしれない LSC を狙った。LCS が過冷却の水雲を解消し、雪を降らせているかもしれないと衛星観測の結果が出たためである (後述)。なお、LSC は目に見えない程度の薄い雲とされているので、昨年度の最初の CPS は晴天時に放球した。しかし、まったく雲粒子を観測できなかった。昨年度の轍を踏まないためでもある。

3 月 18 日から 20 日はほぼ晴天で雲観測に適さない日だった。21 日 (祝日) の 20 時時点では、これ以上ない晴天で CPS 観測に不適で、22 日夜は陸地に落ちる可能性が予想されていたため放球に不適と認識していた。今回も CPS 観測はできないと思っていた。しかし、その晩はライダーにいくつか問題が発生したにもかかわらず遠隔でライダーを動かしていただいたので、まったく観測ができないよりも良いと思い CPS ゾンデを 22 日の 00:46 に放球した。放球時、ライダーのレーザ光は一直線に天頂に伸びており、その直線上に雲は肉眼では確認できなかった。

CPS ゾンデの結果は、予想に反し高度 4.5 から 10km までまんべんなく雲があった。ただし星が透けて見えるほど光学的に薄い雲であった。クイックルックでは個数密度が 10^4 個/m³ 以下で粒径が 60 μ m 以上と推定された。おそらく探していた LSC と思われる。しかし、CPS 観測の解析は本報告書の締め切りまでに終わられないので、以下では補完的な解析である衛星データ解析の進捗状況を述べる。

衛星データ解析には、衛星搭載ライダー CALIOP と衛星搭載雲レーダ CloudSat の 2007 年前後のデータを用いた。CALIOP も CloudSat も同軌道で 15 秒以内とほぼ同じ時刻に同地点を観測している (今年の 2 月まで同期観測を行っていた)。両データのうち、次の条件をすべて満たす信号が 500m 以上連続するものを LSC とした。

A: 積算した消散係数 < 0.1 (ほぼ減衰していないライダー信号で判断する。上層に親雲のような通常の雲があり、その下に LSC がある場合はこの条件で除外される)

B: 1064nm の後方散乱係数 $< 10^{-5}$ /m/str (この値は CALIOP の 1064nm のデータのノイズレベル。昼は 532nm の波長ではこれよりノイズレベルが高いため不使用)

C: レーダ反射因子 > -15 dBZ (CloudSat で有意に測定できる)

研究結果

図 1a は各緯度のうちいずれかの高度に雲が存在する出現回数をその雲のうち LSC であった出現回数で割ったものである (LSC の出現頻度 $P(\text{LSC})$)。高緯度に出現頻度が高いものの、冬であれば北海道の緯度 (北緯 44 度程度) でも出現する可能性が 4% ほどあることを示している。4% と低いのは、条件 A の制約のせいかもしれない。

過冷却の水雲の出現割合 $P(\text{SC})$ と氷晶 (氷の凝集体ではなく、空中で平らな面を水平に保持している粒子) の出現割合 $P(2D)$ を九州大学のプロダクト KU-type を用いて導出した。KU-type は CALIOP の信号を利用している。これらを利用し、LSC と過冷却の水雲が (高さが異なるが同地点に) 同時に出現する割合を $P(\text{LSC})$ と $P(\text{SC})$ の積で割ったもの、LSC と氷晶が同時に出現する割合を $P(\text{LSC})$ と $P(2D)$ の積で割ったものを図 1b に示す。仮に LSC、過冷却の水雲、氷晶が独立事象であればこれらの割合は 1 になる。1 以下となれば両事象は共存しにくく、1 以上となれば両事象は共存しやすいこととなる。図 1b より過冷却の水雲と LSC は共存しにくく、氷晶と LSC は共存しやすいことがわかる。これからは因果関係はわからないが、LSC (詳細省くが粒径は $100\ \mu\text{m}$ で下降速度は 1m/s 程度のものがある) が過冷却の水雲に落下し、何らかのプロセス (水滴が凍ることで発生する潜熱による大気の運動など・Hallet-Mossop プロセスが効くほど暖かくはない) により氷晶を生成しているのではないかと考えるのが妥当と思われる。

まとめ

名古屋大学太陽地球環境研究所の陸別観測所を拠点とし、CPS ゾンデとライダの同時観測を行った。これらのデータは観測終了直後のためまだ初期解析しか出来ていないが、簡易結果などを見る限り、個数密度が少ない大粒径の雲を測定できたので、狙っていた LSC が観測できたものと思われる。

観測とは別に行った衛星データの統計解析では、LSC の下には過冷却の水雲は少なく、出来立ての氷雲が多かった。LSC は 1m/s 程度で落下するため、LSC が落下している過程で水雲を氷雲に変えている可能性がある。今後は LSC の定義をして研究をしやすくすること、LSC の生成消滅過程の解明、LSC が混合層雲に及ぼす役割や LSC が過冷却の水雲を解消することによる放射の変化といった LSC が気象や気候に与える影響を調べていきたい。

なお、本観測所は観測支援体制が充実しており、ライダもあるが、晴天が多く雲観測にはそれほど向かず、内陸にあるためゾンデが陸に落ちやすくゾンデ観測にもそれほど向かない。将来的には別の観測場所を模索したほうが良いかもしれない。

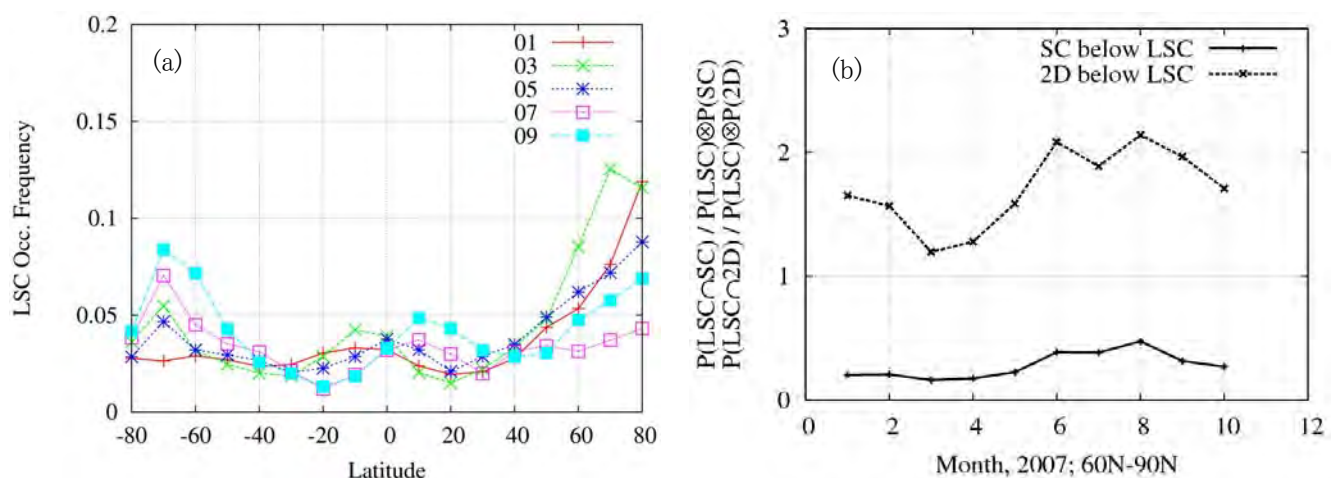


図1 (a) LSC の月ごと・緯度ごとの出現頻度。(b) LSC と過冷却の水雲が同時に発生した割合を $P(\text{LSC})$ と $P(\text{SC})$ の積で割ったもの (実線)、LSC と氷晶が同時に発生した割合を $P(\text{LSC})$ と $P(2D)$ の積で割ったもの。

北ユーラシアにおける降水の年々変動に対する大気と陸面の役割
Roles of atmosphere and land processes on interannual
variation of precipitation over Northern Eurasia

佐藤友徳 北海道大学大学院地球環境科学研究院

1. 背景と研究目的

中高緯度に広がる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。Fujinami et al. (2016)は広域の夏季降水と大気循環場を解析し、東シベリアの湿潤化、モンゴルの乾燥化傾向を示した。また、Erdenebat and Sato (2016)はモンゴルの少雨に伴う乾燥化傾向が熱波の頻度を増加させていると報告した。両者の研究で示されている降水量の変化がどのように駆動されているのか要因は明らかになっていないため、本研究では当地域の降水量変動、特に夏季の対流性降水の発生環境の要因分析を行うことを目的とした。

2. 研究方法

静止気象衛星GMSのIR1データを用いて対流活動の日周期性と総観場との関係を調べた。モンゴル周辺において夏季の対流活動が活発となる午後（現地時13-21時）において、同日の午前（現地時3-9時）よりも雲頂温度が -40°C 以下（約300hPa面に相当）となる面積が顕著に増加した日（以降、対流活発日と表記）を抽出し総観場の特徴を調べた。解析対象期間は1998年から2002年の6～8月である。また、大気循環場の解析にJRA55再解析データを用いた。

3. 研究結果と考察

図1に対流活発日の500hPa面ジオポテンシャル高度場の偏差を示す。モンゴル周辺において対流活動の日変化が活発となる日は、対象領域の東に高気圧偏差、西に低気圧偏差が確認できる。この特徴はモンゴル周辺の異なる場所に対象領域を設定した場合も共通している。500hPa面の高・低気圧偏差に対応して、水平風の偏差も時計回り・反時計回りの循環を示している。対流活動の日変化が顕著であった領域は高気圧の後面に位置しており、モンゴル-ロシア国境付近を対象領域とした場合には南からの風、モンゴル中央部を対象領域とした場合には南東からの風が、それぞれ対象領域へと吹いている。対象領域の西側に位置する低気圧偏差は順圧的な構造をしており、寒冷渦に対応していると考えられる。

対象領域における相当温位の鉛直分布を見ると、対流活発日には550hPaより下層で対流不安定な成層が確認でき、これが対流活動の日変化、特に午後に活発な対流が発達できる背景場となっている。この高相当温位の層は主に温位の高い気塊から成っており、850hPa面では対象領域が高温偏差場となっていることに対応する。一方で前述した南東風の流入は、夏季東アジアモンスーンからの湿潤気塊の流入も示唆している。

4. まとめ

モンゴル-ロシア国境付近における対流活動に対して、静止気象衛星データおよび再解析データを用いて、対流活動の日変化に関連する総観場の抽出を行った。高気圧が通過した後に西側から背の高い低気圧偏差が接近している条件で、対流活動の日変化が活発となることが分かった。したがって、寒冷渦の接近と夏季アジアモンスーン由来の下層の暖湿気流による成層不安定の両方が乾燥地域での活発な対流活動の発達に寄与していると考えられる。

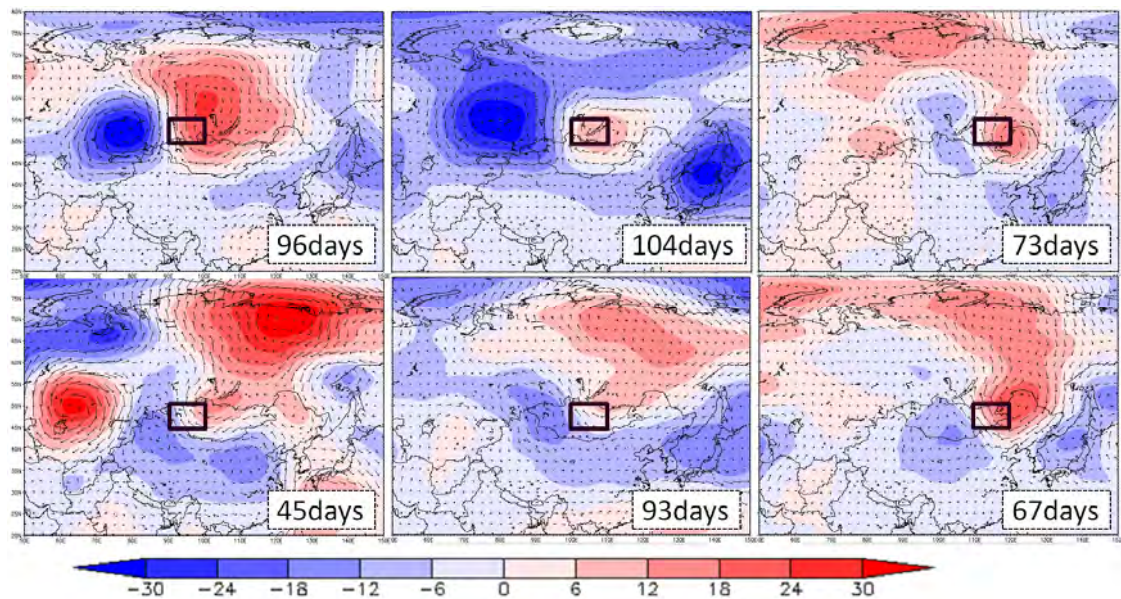


図 1: 対流活発日における 500hPa 面ジオポテンシャル高度偏差場 (単位: m) の合成図。図中の四角は対流活発日を判定した際の対象領域を表す。

成果発表

- Erdenebat, E., and T. Sato, 2017: Intense soil moisture-atmosphere feedback during high temperature event in 2002 in Northeast Eurasia. 日本気象学会2017年秋季大会, 札幌. (2017.10.30)
- 佐藤友徳, 2017: 北東ユーラシアにおける大気-陸面相互作用ー特に暖候期の水循環に関連してー. 日本気象学会2017年秋季大会(統合的陸域圏研究連絡会), 札幌. (2017.10.30)
- Erdenebat, E., and T. Sato, 2017: Soil moisture-atmosphere feedback enhances temperature during 2002 heat wave event in Northeast Eurasia. Asian Conference on Meteorology 2017, Busan. (2017.10.23)
- Erdenebat, E., and T. Sato, 2017: Abnormal Temperature Events in Northeastern Eurasia in the Summer of 2002 Under Different Wave Propagation Patterns. AOGS 14th Annual Meeting, Singapore. (2017.08.09)

高校生に対する地球環境教育研究
Research of Education on Earth Environments for High School Students

河野光彦，関西学院千里国際高等部
津高絵美，関西学院千里国際高等部
松見 豊，名古屋大学宇宙地球環境研究所

【はじめに】

文部科学省答申[1]では，学校教育全体で育成すべき資質・能力の三つに柱として，「知識・技能」「思考力・判断力・表現力など」「学びに向かう力・人間性など」を示しており，学習指導要領の改訂では，これらを踏まえた教育の質的な大転換を促している。世界的規模で次々と新しい難題に直面する今日では，知識を持っているだけでは不十分であることから探究活動が重視されはじめ，新学習指導要領ではそれが明確にあらわされている。このような背景から高等学校の理科教育においてもその能力育成は最重要視されており，「主体的・対話的で深い学び」を目指す取り組みが多く行われるようになってきている。[2] そういった教育方法の開発はTransversal Skills（21世紀型スキル）の観点から，多岐にわたるステークホルダーが協働して行うことが推奨されている[3]。

【研究目的】

本研究は，複雑な環境現象に対して総合的に地球を理解しそれらの科学的本質から問題解決につなげて行こうとする高校生を養成するための教育法開発を目標としている。平成27年度においては，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の開発と実践を行った。平成28年度には，問題設定型学習で獲得が期待されるものの一つとして21世紀型スキルを養う事に焦点を当ててプログラム内容を発展させ検証する必要性が見えてきた。したがって，本研究の目的は，第1に研究者による直接指導の効果的方法を検討し実践すること，その効果を生徒の作品から評価することである。また第2には，継続して地球環境に関する授業・実習・見学を実施し，生徒が獲得した学力・スキルを21世紀型スキルの観点から評価することである。

【研究方法】

第1の目的，研究者による直接指導の効果的方法を検討し実践することについては，生徒が問題を見だし観察や実験を計画する学習活動，問題設定型学習としての教育方法を引き続き発展させる。生徒が知識やスキルを獲得する過程に対して，教員がそれを支援し，生徒の作品を評価する形で目的を達成する。また第2の目的，生徒が獲得した学力・スキルを21世紀型スキルの観点から評価することについては，観察や実験の結果を分析し解釈する学習活動を生徒に求める。さらに科学的な概念を使用して考え説明することを求め，リフレクションを実施する学習活動を生徒に求める。生徒は，a)参加応募，b)事前ワークショップ参加，c)2週間の大気観測実験，d)名古屋大学宇宙地球環境研究所での見学・実習の順に進み，b，dの実施後にリフレクションを所定の用紙で行い，最後に一連の学習成果をA0ポスターにまとめることとした。

【研究結果】

関西学院千里国際高等部2年生男子1名，2年生女子3名，1年生女子2名と男性引率教員1名の計7名が，12月18日（月）の名古屋大学宇宙地球環境研究所での見学や実習を体験したが，今年度も事前の11月30日（木）に関西学院千里国際キャンパスにて，松見豊教授による地球環境観測研究のワークショップと，名古屋訪問前に生徒が行なう観測実験・研究の

解説がなされた。生徒はその後には渡されたPM2.5測定装置を用い、本校のみならず通学路や自宅近辺において2週間大気観測実験を行った。その観測結果は名古屋大学訪問時に研究所の専門研究者に向けて発表した。訪問日程は日帰り、午前10時から午後5時まで名古屋大学に滞在し取材は参加者全員がひとつのグループで行った。名古屋大学宇宙地球環境研究所の松見豊教授の研究室においては、地球環境に関する授業・実習・見学を、名古屋大学物質科学国際教育センターでは、菱川明栄教授から「化学反応している分子は見えるか」という最先端の研究内容を聞き、実験室見学のあと大学院生と必要な学習についての議論をすることができた。

生徒たちの観測結果発表の内容は、学校内外の15地点でPM2.5量を数秒間隔で測定し、場所によるPM2.5の量の違いや差を評価することによって、改善するための対策を考えるというものであった。「地下鉄や人混みの中はPM2.5量が増加し、特に乗車人数が増えるとPM2.5の値が一気に高くなった」という結果から、「政府は国民にどこからどのぐらいPM2.5が出ているのかを知らせる必要がある」と結論付けた。

【考察】

第1の目的、研究者による直接指導の効果的方法を検討し実践することについては、生徒の作品（事前調査プレゼンテーション・リフレクション・ポスター）から、題材について測定実験を通して学べたと同時に、主体的に疑問を持ち、それを解決するために直接教授に質問し議論をすることができていた。そのため、今回の指導は効果的な方法だと結論づけられる。また第2の目的、生徒が獲得した学力はポスターから題材について一通りの理解をしていることが読み取れた。加えて、生徒が獲得したスキルについては21世紀型スキル（①批判的・創造的思考、②対人スキル、③内省的スキル、④グローバルな市民性、⑤心身の健康）の観点を評価すると、生徒6名全員のリフレクションにこれらのうち特に①～④を発揮している記述が見られた。

【結言】

一昨年から検討していた継続的な研究者による直接の指導を、3年目も実施することができた。また、昨年から導入した教材から、研究者の直接指導により学力の獲得、21世紀型スキルを発揮し深められていることが確認できた。そのため、一連の学習プログラムの効果を示すことができた。一方、本研究の限界は、まだ参加者が10名に満たない小グループでの検証にとどまったことである。よって、今後の課題はスケールアップした際に同じ質を保った指導体制を構築し、大人数の参加に対応できる環境整備を進めていくことである。3年の研究継続の中で、本年度はもっとも多い参加者、現時点では理系志望ではない生徒の参加もあり、参加者の裾野を広げられた。高大連携の具体的な施策と効果を示すことができたことは3年間の研究意義と言える。

【参考文献】

- [1] 幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について（答申）（中教審第197号）
- [2] 文部科学省（2009）『学習指導要領における「環境教育」に関わる主な内容の比較』高等学校学習指導要領
- [3] UNESCO Bangkok Office（2015）『Transversal Skills in TVET: Pedagogies and Assessment』9Asia-Pacific Education System Review Series

【成果発表】

◎津高 絵美，河野 光彦，松見 豊，中山 智喜，高校生に対する地球環境教育研究：高大連携の継続した取組，日本教育工学会 第33回全国大会，島根大学，2017年9月16日（土）

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、京大生生存圏研究所
橋本 久美子、吉備国際大学農学部

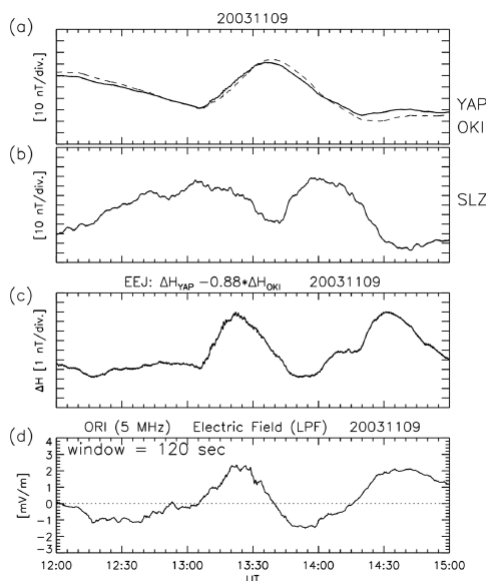
【研究目的と方法】

磁気圏から極域・赤道を含むグローバル電離圏へ流れる電流は、磁気圏・電離圏・地面 (MIG) 伝送線システムにより伝送される (Kikuchi, JGR2014)。この MIG 伝送線システムの構成要素である地面電離圏導波管では、極域から赤道へ伝搬するゼロ時 TM (TM0) モード波が電離圏電流とこれと対をなす地面電流を低緯度方向へ伝送する (Kikuchi and Araki, JATP1979)。このモデルは、宇宙天気分野の重要課題の一つである地磁気誘導電流 (GIC) が TM0 波の波面電流を介した電離圏電流のリターンであることを予想させる。実際、Watari 他 (SW2009) は、北海道で記録された GIC が地磁気 Y 成分 (B_y) とよい相関関係にあることを示し、 B_y が TM0 モード波の磁場成分である可能性を指摘した。また、Braendlein 他 (JGR2012) はチリにおける GIC に日変化や季節変化があることを示し、GIC と電離圏電流が TM0 モード波により結合されているとした。一方、TM0 モード波は磁気嵐やサブストームの電磁エネルギーが低緯度・赤道電離圏へ伝送されることを説明しており (Kikuchi 他 JGR2000, 2008, 2016)、電離圏電場、地上磁場および GIC のデータを総合することにより、磁気圏で発生する電磁エネルギーが電離圏で消費され、最終的に地中で消費されるメカニズムの理解が進むと期待される。

【29年度の成果】

我々はまず、サブストーム時の電磁エネルギーが低緯度電離圏へ伝送されることを低緯度 HF Doppler 観測と赤道磁力計観測により検証し、論文として公表した (Hashimoto 他, JGR2017)。この論文では、図1に示すように、夜間の低緯度で substorm 発生と同時に過遮蔽電場が伝搬し、夜側の赤道電離圏でジェット電流を流すことを明らかにした。この結果は、昼間だけでなく、夜間においても、電磁エネルギーが地面電離圏導波管で伝送されることを示している。

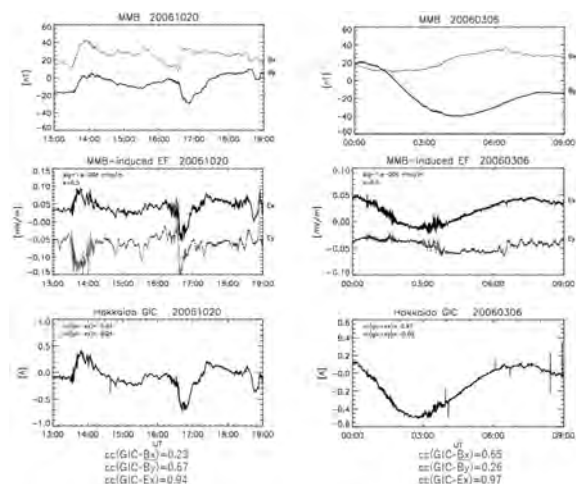
(図1) 上から、(a)磁気赤道(YAP)と低緯度(OKI)で真夜中前(2230MLT)に観測されたサブストーム positive bay、(b)昼間(1030MLT)のブラジル磁気赤道(SLZ)で観測されたサブストーム過遮蔽電場による counterelectrojet、(c)OKI の positive bay が沿磁力線電流



(current wedge)によるとして YAP の positive bay から差し引いて求めた equatorial electrojet、(d)日本(Oarai)で HF Doppler sounder で観測された過遮蔽電場を示す。この結果は、substorm 発生と同時に、昼間だけでなく夜間の低緯度・赤道電離圏へ電磁エネルギーが伝送されることを示す。 (Hashimoto et al., JGR 2017)

次に我々は、電磁エネルギーが地面に到達することにより誘導される GIC を解析した。北海道での GIC 解析では、Watari 他(2009) が明らかにしたように、SC 等の短時間変動では地磁気 B_y との相関がよい ($cc > 0.9$)。しかし、今回の解析で、磁気嵐や地磁気日変化等の長時間変動に対する相関が悪い ($cc < 0.5$) ことを見いだした。この強い周期依存性を詳細に調べるために、 B_y が地中で誘導する電場を均一導体中の一次元拡散方程式の解として計算した。観測

された B_y との convolution として得た誘導電場の例を図 2 に示す。この結果は、GIC と B_y との相関が悪い長周期変動の場合において、GIC と誘導電場との間に高い相関($cc>0.9$)が得られることを示している。したがって、磁気嵐環電流による B_x が小さい磁気擾乱においても B_y またはその誘導電場が強い場合には、強い GIC が流れる可能性を示している。これまでの先行研究と合わせて考えると、GIC と地磁気との関係は、地下電気伝導度、緯度、海岸線と送電線相互の関係およびこれらの地磁気に対する方向、そして磁気圏電離圏電流を持つ地方時依存など、多くの要因が関係すると予想される。GIC とこれらの要因との関係を明らかにするために、今後、PSTEP で実施している東北、関東、および中国地方での観測データの解析を進める。



(図 2)(左上段)連続するサブストーム時の B_x , B_y 、(左中段) B_x , B_y により誘導された電場 E_y , E_x 、(左下段)北海道女満別で観測された GIC。(右上段)地磁気日変化を示す B_x , B_y 、(右中段) B_x , B_y により誘導された電場 E_y , E_x 、(右下段)北海道女満別で観測された GIC。

GIC はサブストーム時では、 B_x よりも B_y との相関がよいが、周期が長くなる日変化では、 B_y より B_x との相関がよい。しかし、両者ともに、 B_y により誘導される電場 E_x との相関がよい。周期による違いがあるが、GIC が B_y に強く依存することを示している。

【本課題に関する成果発表】

(誌上)

1. Hashimoto, K. K., T. Kikuchi, I. Tomizawa, and T. Nagatsuma(2017), Substorm overshielding electric field at low latitude on the nightside as observed by the HF Doppler sounder and magnetometers, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 122, doi: 10.1002/2017JA024329.
2. Tanaka, T., Y. Ebihara, M. Watanabe, M. Den, S. Fujita, T. Kikuchi, K. K. Hashimoto, and R. Kataoka(2017), Global simulation study for the time sequence of events leading to the substorm onset, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 122, 6210–6239, doi:10.1002/2017JA024102
3. Takahashi, N., Y. Kasaba, Y. Nishimura, A. Shinbori, T. Kikuchi, T. Hori, Y. Ebihara, and N. Nishitani(2017), Propagation and evolution of electric fields associated with solar wind pressure pulses based on spacecraft and ground-based observations, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 122, 8446–8461, doi:10.1002/2017JA023990.

(口頭)

1. 菊池崇、海老原祐輔、橋本久美子、田中高史、亘慎一、中緯度 GIC 予測、JpGU-AGU 2017、幕張、5/22
2. 菊池崇、海老原祐輔、橋本久美子、亘慎一、地磁気から再現する誘導電流の周期依存性、SGEPSS 2017、宇治、10/19。
3. Hashimoto, K. K., T. Kikuchi, I. Tomizawa, J. Chum, D. Buresova, Latitude and local time variations of stormtime electric fields as observed with HF Doppler sounders and SuperDARN, JpGU-AGU 2017、5/22
4. Hashimoto, K. K., T. Kikuchi, I. Tomizawa, J. Chum, D. Buresova, Night-side overshielding electric fields during the geomagnetic storm as observed with HF Doppler sounders, SGEPS2017,宇治、10/19。

火山噴火に伴う電離圏変動の解析
Analysis of ionospheric disturbances associated with volcanic eruptions

中田 裕之、千葉大学・大学院工学研究院

1. 背景, 目的

近年, 地震に伴う電離圏変動に関する研究が進んできているが, 同様の発生メカニズムによる変動として, 火山噴火に伴う変動が挙げられる。これまでも火山噴火に伴う変動は観測されているが, 地震に比べ事例数が少ないため, その発生メカニズムについては不明な点も多い。本研究では, 浅間山噴火に伴う電離圏変動について解析を行った。

2. 方法

Heki [2006]では, 2004年9月1日20時2分に発生した浅間山噴火に伴い, GPS-TEC変動が発生することが報告されている。このTEC変動は, 地震時と同様に, 噴火口である波源の南側において変動が顕著であるが, その変動周期は, 地震でよく見られる変動周期 (3~4 mHz) に比べ高い (7 mHz程度)。その違いの原因を明らかにするために, 本研究では, HFドップラーによる観測結果を利用し, GPS-TEC変動との比較を行った。本研究で用いたHFドップラー観測は電気通信大学調布キャンパスより送信され, 菅平観測所にて受信されたデータである (図1参照)。

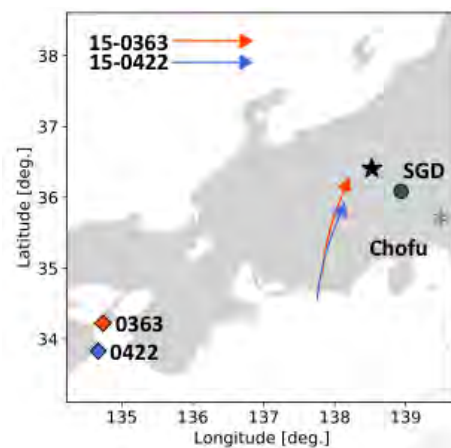


Figure 1: HF ドップラー送受信点
と GPS 受信点・電離圏貫通点の位置

3. 結果

図2に, GPS-TECとHFドップラーの観測結果を示す。上段の2つはGPS-TECの時系列データを示し, 下段にHFドップラーの時系列データを示す。矢印は, GPSの貫通点の位置の移動の様子を表している。” Volcanic Eruption”と示した縦線は噴火の発生時刻を表している。これらのデータの特徴として, GPS-TECにはスパイク状の変動が現れていることがわかる。また, ”Arrival time”と示した縦線では, 音波のレイトレーシングにより求めた大気波動の伝搬時間を示している。いずれも, スパイク状の変動の発生時刻と極めて良い一致を示しており, これらの変動が噴火により生じた変動が上空に伝搬したことにより発生したことがわかる。さらに, HFドップラー観測により明らかになった結果として, スパイク状の変動の発生後に, 周期の長い変動が発生していることが明らかとなった。この変動周期は約4分程度の周期の変動であり, 地震発生後に見られる変動と同じ周期を持つ変動である。これは, 大気波動が下層電離圏と地表面での共鳴することで発生するものであり, スパイク状の変動に比べ振幅が小さかったことから, GPS-TECではこの長周期の変動は検出できず, 変動発生直後のスパイク状の変化のみが観測されたものと考えられる。

4. 考察・まとめ

2004年9月の浅間山噴火はブルカノ式噴火と呼ばれる、激しい噴火を伴う噴火である。今回観測された電離圏変動は、その順番から、スパイク状の変化は噴火に伴い発生した大気波動により発生したものと考えられる。また、その後の変動は地震時でも観測されるものであり、噴火が大きかったため、巨大地震時と同様に、このような変動が発生したと考えられる。GPS-TECで見られた変動の周期が地震に比べて長いのは、今回の変動の発生メカニズムが共鳴ではなかったことによることが、GPS-TECとHFドップラーにおいて明らかになった。

5. 参考文献

Heki, Explosion energy of the 2004 eruption of the Asama Volcano, central Japan, inferred from ionospheric disturbances, *Geophys. Res. Lett.*, **33**, 1933, doi:10.1029/2006GL026249, 2006.

6. 成果発表

長南光倫、中田裕之、大矢浩代、鷹野敏明、富澤一郎、津川卓也、西岡未知、GPS-TECとHFドップラーを用いた火山噴火に伴う電離圏変動の解析、第142回地球電磁気・地球惑星圏学会総会及び講演会、京都大学宇治キャンパス、2017年10月16日。

Aritsugu Chonan, Hiroyuki Nakata, Hiroyo Ohya, Toshiaki Takano, Ichiro Tomizawa, Takuya Tsugawa, Michi Nishioka, Ionospheric disturbances associated with volcanic eruptions observed by GPS-TEC and HF Doppler sounding, URSI General Assembly and Scientific Symposium, Montreal Convention Center, Montreal, Canada, 2017/8/21.

長南光倫、中田裕之、大矢浩代、鷹野敏明、富澤一郎、津川卓也、西岡未知、Ionospheric disturbances associated with volcanic eruptions observed by GPS-TEC and HF Doppler sounding, 日本地球惑星科学連合2017年大会、幕張メッセ、千葉市、2017年5月25日。

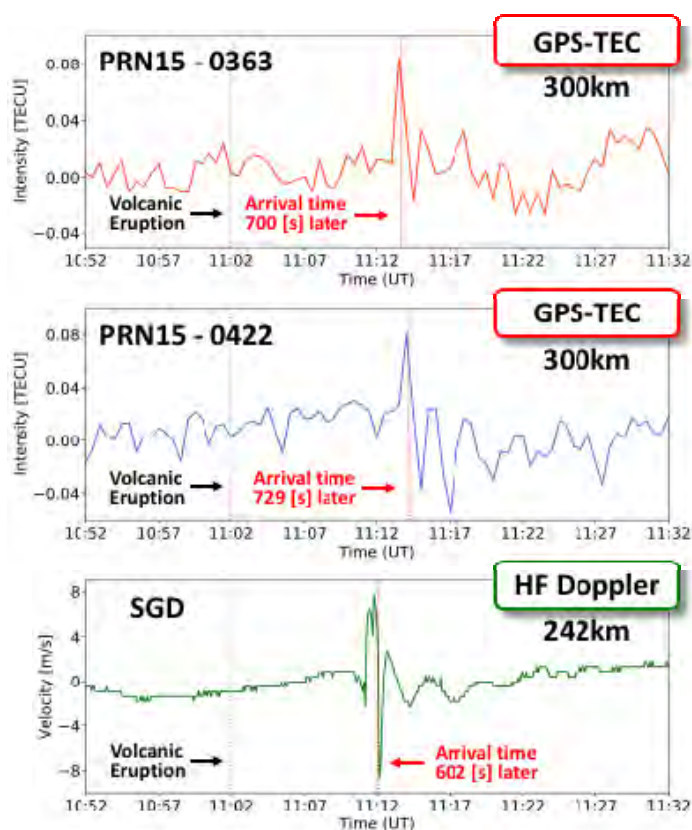


Figure 2 2004年9月1日の浅間山噴火に伴うGPS-TEC変動（上段、中段）とHFドップラー周波数変動（下段）

炭酸塩天然コンクリーション形成速度の算出 Estimation on formation speed of natural carbonate concretion

代表者：吉田英一（名古屋大学博物館）

分担者：浅原良浩（名古屋大学大学院環境学研究科）

南 雅代（名古屋大学宇宙地球環境研究所）

1. 研究目的

炭酸塩コンクリーションは、世界各地の様々な地質時代の海成層に普遍的に産する球状の炭酸塩（ CaCO_3 ）の団塊である。その成因や形成速度に関しては、これまであまりわかっていなかったが、研究代表者が中心となって推進している最近の研究により、数ヶ月～数年/cmといった急速での形成メカニズムを有していることが明らかになりつつある。 CaCO_3 は、地球上に普遍的に存在し、生命活動にも不可欠な物質であり、 CO_2 の固定物質としても知られる素材である。 ^{14}C 結果から炭酸塩コンクリーションの急速な形成速度が明らかになれば、さまざまな応用への可能性を秘めている。そこで、本研究では、炭酸塩コンクリーション中の ^{14}C に着目することにより、炭酸塩コンクリーションの形成速度に具体的な年代指標を入れることを目的とする。

2. 実施内容

昨年度は、アメリカのユタ州エスカランテ及びホワイトクリフの炭酸塩球状コンクリーションならびに周辺マトリックス岩石等を分析した。今年度は、埋没していた地層の年代から 5000 年位を示すと予想される鹿児島島の炭酸塩コンクリーション、現在成長中の北海道羅臼の炭酸塩コンクリーションに対して ^{14}C 測定、ならびに $\delta^{13}\text{C}$ の測定を行った。鹿児島試料に対しては、

No. 1：(1) 炭酸コンクリーション部分、(2)：(1)の炭酸コンクリーション内部の貝殻部分

No. 2～5：炭酸コンクリーション部分、No. 6, 7：貝殻部分

の ^{14}C 年代を測定した。

羅臼試料に対しては、貝殻部分、貝殻中の炭酸コンクリーション部分、外側マトリックス部分の ^{14}C 年代を測定した。

それぞれの試料は粉碎後、リン酸と反応させ、発生した試料ガスを CO_2 精製ガラスラインにて精製した。精製された CO_2 ガスを鉄触媒下、水素を用いて 620°C で6時間加熱して還元し、グラファイトを作成した。このグラファイトをアルミニウム製ターゲットホルダーに詰め、 ^{14}C 年代を測定した。

3. 研究成果

鹿児島試料の炭酸コンクリーション部分は 440–1000 BP、貝殻部分は 4600–8700 BP の ^{14}C 年代を示し、炭酸コンクリーションのほうがかなり若い年代を示した。羅臼試料は、貝殻部分が 14000 BP、炭酸コンクリーション部分が 17000 BP であり、炭酸コンクリーションのほうが古い年代を示した。昨年度の結果と同様、炭酸コンクリーションから得られる年代はさまざまであり、これは、炭酸塩コンクリーションが形成するときに取り込んだ炭素がさまざまな年代をもっていたためと考えられる。

他方、愛知県知多半島の先端部に分布する中新統師崎層群下部豊浜累層中にみられる長径約1.5 m の巨大ドロマイト質コンクリーションについて、その形成過程を明らかにすることを目的に、堆積学および地球化学的な種々の観察・分析を行った結果、埋没深度数100 mに達するまでのごく初期続成過程においてメートルサイズの巨大なコンクリーションが形成することが示された。その形成時間は数十年と見積もられ、これまで考えられていた巨大炭酸塩コンクリーションの形成速度よりもはるかに速いことが確認された。さらに、これらの天然に産する炭酸コンクリーションのサイズを解釈するモデルを構築した。

4. 今後の展望

得られた炭酸コンクリーションの ^{14}C 年代値と、 $\delta^{13}\text{C}$ 値、元素濃度との関係を詳細に調べ、 ^{14}C 値が示す年代の意味を明らかにする。また、炭酸コンクリーションが起源になって形成したと考えられるアメリカのユタ州ならびにモンゴル砂漠の Fe コンクリーションに対し、その形成過程を考察する。

研究成果

論文

村宮悠介・吉田英一・山本鋼志・南 雅代 (2017) 初期続成過程における巨大球状炭酸塩コンクリーション形成. 地質学雑誌, 11, 939-952.

村宮悠介・吉田英一・窪田 薫・南 雅代 (2018) 炭素・酸素同位体比から見た玄能石コンクリーションの形成過程. 年代測定研究, 2, 12-17.

Yoshida, H., Yamamoto, K., Minami, M., Nagayoshi, K., Sirono, S. and Metcalfe, R. (2018) Generalized conditions of spherical carbonate concretion formation around decaying organic matter in early diagenesis. Scientific Reports, in press

学会発表

村宮悠介・吉田英一 (2017) 始新統幌内層における玄能石コンクリーションの形成. 地質学会, 愛媛大学, 2017年9月16日

低バックグラウンドベータ線計数装置によるバックグラウンド時間変動の
遠隔地間の比較測定

Measurements of background rates using Quantulus counters located in distant place

門 叶 冬 樹、山 形 大 学 ・ 理 学 部

研究目的

本研究は、名古屋大学宇宙地球環境研究所（ISEE）と山形大学（YU）に設置している低バックグラウンドベータ線計数装置（Quantulus）を用いて、地表付近での宇宙線中性子強度およびミュオン強度の時間変動に起因する地表付近の放射線強度変動を測定し、中性子モニターデータおよび山形大学で連続観測している宇宙線生成核種 Be-7 の日変動と比較することを目的としている。Quantulus は、液体シンチレータ試料を鉛遮蔽体（約 670 kg）、ガード用液体シンチレーションカウンターで囲まれた測定室に置き、バックグラウンドを極力除去して試料からベータ線を測定する装置である。データはガード・カウンターからの信号、ガード・カウンターと試料との同時計数信号、そしてこれらの信号との反同時計数信号が試料から取得できる。ガード・カウンターは中性子にも感度があり、且つガード・カウンターと試料との同期信号はほとんどミュオンであると考えられる。

本研究では 2 地点の Quantulus を同時期に稼働させ、ガード・カウンターおよび同期信号の計数値変化を記録して約 600 km 離れた 2 地点でのバックグラウンドの時間プロファイルを調べる。その結果を宇宙線生成核種データおよび中性子モニターデータと比較し、遠隔地の地表付近での放射線環境における宇宙線の短時間での時間変動について調べる。

研究方法

2017 年 10 月 13 日から 11 月 12 日まで ISEE と YU に設置した 2 台の Quantulus を用いてバックグラウンドの同時測定を行った。バックグラウンドは鉛遮蔽されたガード・カウンターの計数値であり、時間分解能は 1 日に設定した。

結果

図 1 は ISEE と YU で測定された計数値の約 1 か月の時間変化を示している。10 月 22 日と 10 月 29 日に同期したピークが計測されている。1 番目のピークの増加率は ISEE が 2.4%、YU が 2.8%であった。2 番目のピークの増加率は ISEE が 3.2%、YU が 2.2%であった。図 2 と図 3 は、ISEE と YU の計数値時間変化プロファイルと名古屋市と山形市の気圧変化の時間変化を比較したものである。明らかに両地点とも計数値ピークは低気圧の時に同期している。1 番目のピーク時の気圧変化率は名古屋市が-1.8%、山形市が-2.2%であった。2 番目のピークの変化率は名古屋市が-1.8%、山形市が-1.5%であった。計数値の低気圧との

同期は宇宙線ミュオンの気圧効果を表していると考えられる。ISEE の計数値ピーク変化と名古屋市の気圧変化はほぼ同期しているが、YU の計数値ピーク変化は山形市の気圧変化より位相がずれている可能性がある。

今回の結果からバックグランド計数値に気圧が影響していることが分かったため、今後、時間分解能を上げて 2 地点の気圧変化と計数値変化の詳細を調べる予定である。

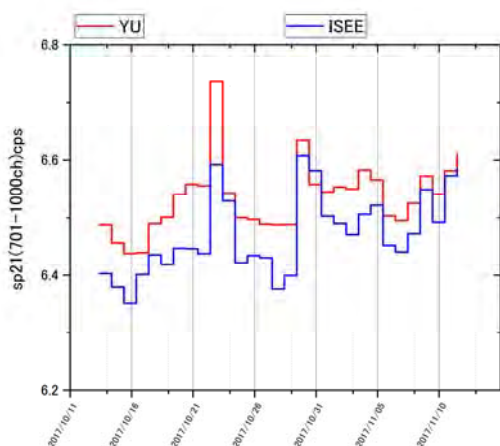


図 1 ISEE と YU の Quantulus のバックグランド計数値の時間変化

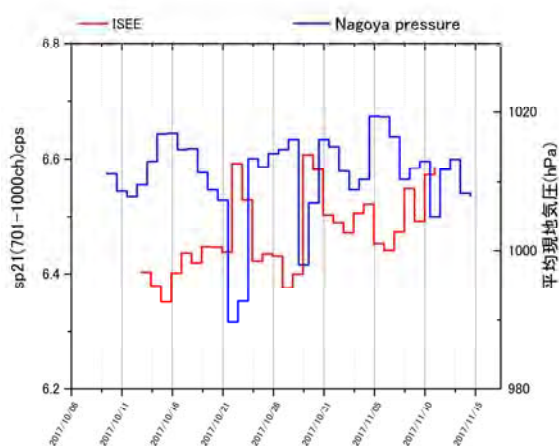


図 2 ISEE のバックグランド計数値と名古屋市の気圧の時間変化

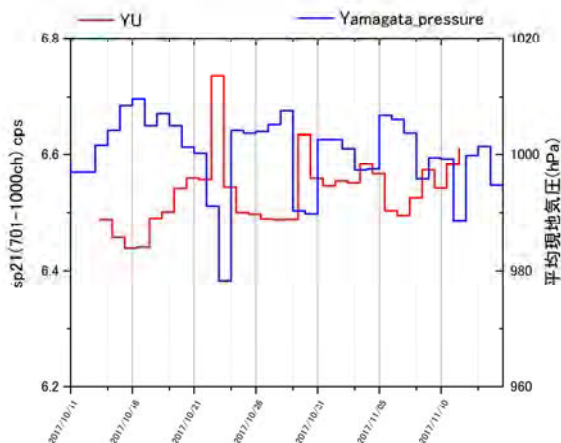


図 3 YU のバックグランド計数値と山形市の気圧の時間変化

レーザー分光法による温室効果気体のフラックス計測

Laser spectroscopic measurements of greenhouse gas fluxes from terrestrial ecosystems

高橋 けんし(京都大学・生存圏研究所)

背景と目的

微量物質を介した大気圏と陸域生態系とのカップリングは、大気中の化学過程や放射収支などへの関与を通じて、グローバルな温暖化をはじめとする大気環境変動に重要な影響を及ぼす。CO₂や水蒸気のフラックス計測は、非分散型赤外分光法により90年代ごろから盛んに行われているものの、CH₄やN₂Oといった第二、第三の放射強制力を示す気体のフラックスを高精度に計測する研究は未だに不十分である。その理由の一つは、CO₂以外微量成分を超高感度に現場で計測する手法が未発達であるためである。本研究の目的は、半導体レーザー吸収分光法を用いることによって、CH₄やN₂Oといった、CO₂やH₂Oよりも濃度の低い物質をターゲットにして、そのフラックス計測法を開拓することである。

研究方法

2017年度は、1.65 μmの半導体レーザー吸収分光法と閉鎖循環型チェンバー法とを組み合わせ、溪畔湿地の土壌表面および湿地に自生するハンノキからのメタン放出フラックスの計測を行った。観測は滋賀県大津市内にある国有林内にて実施した。レーザー分光装置は観測小屋の中に設置した。土壌フラックスの空間不均質性およびハンノキの個体差を見るために、土壌およびハンノキの幹に、各々三個ずつのチェンバーを設置し、タイムシェアリング方式で合計六点のフラックスの自動測定を行った。2017年度はまた、水田からのメタン放出を渦相関法により計測することにも挑戦した。

結果と考察

観測サイトにある溪畔湿地は、季節的な土壌環境の変動に加えて、まとまった降水イベントによる数時間から数日程度の比較的短時間な変動も起こる。土壌から放出されるメタンは、微生物活動の季節性に伴う変動に加えて、降水に起因する過渡的な数日程度の変動が加わっていることが示された。また、サイトに自生するハンノキからメタンが放出されていることが分かった。これは微生物活動によって生産された土壌中のメタンが、樹木内部を移動・拡散することに起因すると考えられる。樹木を介したメタン発生と、土壌表面からのメタン発生の寄与率を定量化することが次の狙いである。そのためには、最低数年程度はデータの蓄積が必要になるものと考えている。

CHIME年代測定による隠岐・島後片麻岩の変成年代の推定 Metamorphic ages of gneisses in Oki-Dogo Island using CHIME age dating

今山 武志、岡山理科大学・自然科学研究所

1. はじめに

島根県の日本海沖に位置する隠岐・島後には、隠岐片麻岩とよばれる高温型の広域変成岩類が島北東部の半径約 8 km のほぼ円形の地域に分布している (山内ほか, 2009)。隠岐片麻岩類は、隠岐島後北東部に産出し、ミグマタイト質片麻岩、泥質片麻岩、花崗岩質片麻岩などからなる。これらの片麻岩類は、古生代初期頃に形成され、約 250 Ma に広域的な変成作用を被っているとされる (Suzuki and Adachi, 1994)。その一方で、角閃岩相 (3-4 kbar, 580-680 °C) とグラニュライト相 (750-820 °C) の二つの変成作用が知られている (Hoshino, 1979; 浜田ほか, 1996) もの、約 250 Ma の変成年代がどの変成圧力-温度条件の時期を示すかは不明であった。また、隠岐片麻岩は、複数変成作用を被っているとすると、ペルム-三畳紀以外の時期に変成作用を被った可能性もある。本研究では、岩石組織と対応付けた U-Th-Total Pb Chemical Isochron Method (CHIME) 年代測定を実施して、変成年代と変成圧力温度条件のリンクを行ない、隠岐片麻岩類の形成過程を推定した。

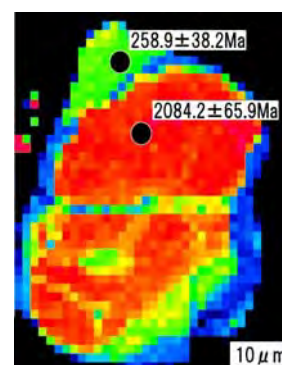
2. 試料と研究手法

隠岐・島後の野外調査を実施して、ミグマタイト質片麻岩や泥質片麻岩などの試料を採取した。これらの片麻岩類の代表的な鉱物組み合わせは、黒雲母+白雲母+石英+斜長石+カリ長石 ± ギクロ石 ± 珪線石であり、角閃岩相上部から一部グラニュライト相までの変成作用を被っていると推定される。隠岐島後の東郷川、銚子川から採集してきた 4 試料の片麻岩類について、偏光顕微鏡観察、各鉱物の定量化学組成分析、ギクロ石とモナズ石の組成マッピングを行なった。また、ギクロ石-黒雲母-斜長石-石英地質温度圧力計 (Perchuk, 1985; Hoisch, 1990) により変成圧力温度条件を推定した。その後、モナズ石のマッピングと組織に基づいて、名古屋大学宇宙地球環境研究所にて CHIME 年代を測定した。

3. 結果

測定試料のギクロ石の累帯組成構造は、コアで Mg 濃度が高く、リムに向かい Mg 濃度が低くなる。このことから、隠岐片麻岩類はピーク変成作用の後に後退変成作用を被っている。変成ピーク時と後退変成時の圧力温度条件は、ギクロ石のコアとリムの組成およびそれらと平衡とみなされる黒雲母や斜長石の組成を用いて計算した。その結果、東郷川沿いの試料の変成ピーク時と後退変成時の圧力温度条件は、それぞれ 718-758 °C、6.4-8.8 kbar と 508-654 °C、2.1-6.6 kbar であった。同様に、銚子川沿いの試料の推定した変成ピーク時と後退変成時の圧力温度条件は、803-829 °C、9.0-10.3 kbar と 638-695 °C、4.4-5.9 kbar であった。したがって、銚子川沿いの試料は、東郷川沿いの試料に比べ、より高温の変成作用を被っている。

東郷川沿いの試料のギクロ石コアに包有されるモナズ石の Y_2O_3 濃度は 1.7-2.2 wt. % であり、1999-2089 Ma の CHIME 年代を示した。一方、ギクロ石リムに包有されるモナズ石は、1893-2084 Ma に加えて約 259 Ma の年代値が得られ、後者は相対的に低い Y_2O_3 濃度を示す (右図)。ギクロ石周辺部のモナズ石は、約 232-250 Ma と 162-168 Ma が得られ、後者は相対的に高い Y_2O_3 濃度を示す。これらの結果は、隠岐片麻岩類は、ペルム-三畳紀の変成作用に加えて、古原生代の高温変成作用 (約 720-760 °C, 6-9 kbar) を被っていることを示しており、隠岐片麻岩類の原岩年代は、従来推定されている古生代初期の年代よりも著しく古いことを示唆する。



ギクロ石リムに包有されるモナズ石の Y 濃度分布と CHIME 年代

4. 今後の展開

本研究において、基質部のモナザイトとザクロ石のモナザイト包有物を区分して、CHIME 年代測定を実施した結果、前者はペルムー三疊紀の変成年代を主に示すのに対して、後者は古原生代の変成年代を示すことがわかった。今後は、分析する試料数を増やすとともに相平衡計算などを用いて、空間的な圧力－温度条件を推定し、古原生代とペルムー三疊紀変成作用の関連を明らかにしていく。また、北中国・南中国地塊、韓国京畿地塊・嶺南地塊の変成作用と比較して、北東アジアのテクトニクスの解明に貢献していく。

引用文献

- 浜田耕一・藤原奈都子・角替敏昭 (1996) 隠岐・島後の銚子・有木川流域に分布する隠岐変成岩の岩相記載と変成履歴. *島根大学教育学部紀要 (自然科学)*, 30, 53–72.
- Hoisch, T. D. (1990) Empirical calibration of six geobarometers for the mineral assemblage quartz + muscovite + biotite + plagioclase + garnet. *Contributions to mineral and petrology*, v. 104, p. 225-234.
- Hoshino, M. (1979) Two-pyroxene amphibolites in Dogo, Oki islands, Shimane-ken, Japan. *Jour. Japan, Assoc. Min. Petr. Econ. Geol.*, 74, 87–99.
- Perchuk, L. L., Aranovich, L. Y., Podel'skii, K. K., Lavrant'eva, I. V., Gerasimov, V. Y., and Fed'kin, V. V. (1985) Precambrian granulites of the Aldan shield, eastern Siberia, USSR. *Journal of Metamorphic Geology*, 3, 265-310.
- Suzuki, K., Adachi, M. (1994) Middle Precambrian detrital monazite and zircon from the Hida gneiss on Oki-Dogo Island, Japan: their origin and implication for the correlation of basement gneiss of Southwest Japan and Korea. *Tectonophysics*, 235, 277–292.
- 山内靖喜・沢田順弘・高須 晃・小室裕明・村上 久・小林伸治・田山良一, 2009. 西郷地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 121p.

高感度カメラによる大気光の多地点同時観測
Multi-point airglow imaging with high-sensitivity camera system

鈴木臣 愛知大学・地域政策学部

下層大気で励起される大気波動は、運動量を保存しながら上方へと伝搬していき超高層大気の下端である中間圏・下部熱圏（MLT）へ運動量やエネルギーを運ぶことで、この領域の大気変動に大きく寄与することが知られている。MLT 領域は中性大気と電離大気の境界、超高層大気への中継点でありMLT 大気のダイナミクスは大気の上下結合を考える上で重要な意味を持つ。近年、精力的な地上からの大気光イメージング観測により、超高層大気波動のグローバルな活動分布の描像が得られつつある。また、イメージング観測網の整備により、広範囲に広がる波動の検出が可能となった。本研究では、申請者が開発した低廉大気光カメラによる観測と名古屋大学宇宙地球環境研究所が運用している超高層大気イメージングシステム（OMTI）との同時観測を実施し、低廉大気光カメラの性能評価および改良につなげる。低廉大気光カメラは民生品の高感度CCDビデオカメラを用いており、低価格・小型の観測システムである。低廉大気光カメラのみの観測でも波動構造が確認されているが、詳細な性能評価（どれくらいの大気光強度変動をもつ波動が撮像できるのかなど）をおこなう必要がある。本研究で得られる知見や成果は、今後の日本における超高密度・多地点同時イメージング観測網の礎となる。

2017年度は、昨年度に開発した大気光画像からの波構造の抽出処理の再調整をおこなった。これまで、信楽のテスト観測データ（OH大気光：4秒露光，10秒サイクル）を用いて、1分ごとに画像合成し、さらに5分後の合成画像との差分を計算することで水平波長数十kmの大気重力波構造の可視化をおこなっていた。2017年度に愛知大学校内（豊橋市）で、信楽と同様の観測をおこない上記の処理をおこなったものの、波構造の検出には至らなかった。街明かり（野球場照明を含む）の増加が主な原因と考えられ、以下の変更をおこない都市部での大気光観測を試みた：1）強い光源方向のドームに黒テープでマスク，2）サイクル時間を6秒に変更（1分間の画像合成を作成するための元画像の増加），3）ゲインの調整。これらの処理により、愛知大学においても波構造を検出できることが確認することができた。ただし、転送データ量が増えることと、観測サイトの光害の強さにより設定を変える必要があることは今後の多地点展開において好ましくない。今後は、観測データを増やして光害による観測限界の調査するとともに保存・転送する画像の量・サイズを考慮して最適な観測パラメータを探り、大気光観測の多地点展開を効率的に進める。

成果発表：

1. Suzuki, S., T. Nakamura, M. K. Ejiri, M. Tsutsumi, T. Nishiyama, K. Tsuno, and A. Mizuno, Airglow imaging of mesospheric gravity waves using near-infrared camera, CEILAP seminar, CEILAP Buenos Aires, 2017年11月27日.

惑星間空間磁場北向き時の極域電離圏対流駆動機構 Driving mechanisms of polar ionospheric convection during northward interplanetary magnetic field periods

渡辺 正和 九州大学 国際宇宙天気科学・教育センター

研究目的

磁気圏－電離圏結合系におけるいわゆる「Dungey対流」は近年のシミュレーション研究で（従来の描像とは違った形で）かなり理解が進んだ。太陽風の運動エネルギーが一旦カスプの熱エネルギーに変換された後、カスプからマントルに亘る領域で熱エネルギーを電磁エネルギーに変換するダイナモが形成される。これに対し、惑星間空間磁場（IMF）北向き時の対流を駆動するダイナモの理解は発展途上である。本研究は磁気圏－電離圏対流をSuperDARN観測とシミュレーションで比較しその駆動機構（太陽風から電離圏へのエネルギーの流れ）を理解することを目的とする。IMF北向き時の磁気圏を直観的に理解することは難しく、観測とシミュレーションは車の両輪である。電離圏対流をシミュレーションと観測で比較・擦り合わせを行うことで、複雑な磁気圏の物理過程を理解する。

研究方法

数値シミュレーションとその可視化・解析は主に九州大学の設備を用いて行った。数値コードは田中高史氏が開発されたREPPUを用いる。一方、観測データ解析は名古屋大学宇宙地球環境研究所の資源（SuperDARNデータとその解析ソフトウェア）を使わせていただいた。名古屋大学のワークステーションにアカウントをいただき、そこにインストールされている解析ソフトを用いて電離圏対流を可視化した。また対流パターンとともに磁気圏の情報として、磁力線開閉境界を表す指標も重要になる。もしSuperDARNの視野上空を飛ぶ低高度人工衛星があればそのデータを活用する。数値計算で得られる特異な対流パターンが観測データに現れる事例を探し事例解析を行う。

研究結果

かねてより、IMF時計角をパラメータとして変化させて電離圏対流パターンがどう変化するか計算をおこなっていた（図1）。時計角が 20° まで北向きになると（図1e）、高緯度に反転した対流セルが現れる。このうち、夕方側・朝方側のどちらか一方は閉磁力線の領域に現れる。このことはあまり知られていない。この反転対流セルの起源についてシミュレーション結果の解析を行い、付随して現れる沿磁力線電流（図2）とともにその物理機構をある程度説明できた（成果発表1）。一方観測面では、図1b（時計角 35° ）の対流パターンの事例を調べた。いくつかの事例を見出すことができたが、現時点では十分な成果に至っていない。その理由は(1) SuperDARNのエコーが少なく対流パターンが断片的であること、(2) 上空を飛ぶ人工衛星との同時観測がないこと、である。(1)に関しては、SuperDARNデータの解析アルゴリズムが改訂されて既存のアルゴリズムよりかなり多くのエコーが検出できるようになったと聞いている。本研究は今年度で終わりだが、将来的には、再処理されたデータを組織的に調査することで(1)とともに(2)も克服できる可能性があると思っている。

成果発表

1. Watanabe, M., S. Fujita, T. Tanaka, Y. Kubota, H. Shinagawa, and K. T. Murata (2018), A magnetohydrodynamic modeling of the interchange cycle for oblique northward interplanetary magnetic field, *Journal of Geophysical Research Space Physics*, 123(1), 272–286, doi:10.1002/2017JA024468.
2. Tanaka, T., Y. Ebihara, M. Watanabe, M. Den, S. Fujita, T. Kikuchi, K. K. Hashimoto, and R. Kataoka (2017), Global simulation study for the time sequence of events leading to the substorm onset, *J. Geophys. Res. Space*

Physics, 122(6), 6210–6239, doi:10.1002/2017JA024102.

3. Tanaka, T., T. Obara, M. Watanabe, S. Fujita, Y. Ebihara, and R. Kataoka, Formation of the Sun-aligned arc region and the void (polar slot) under the null-separator structure (2017), J. Geophys. Res. Space Physics, 122(4), 4102–4116, doi:10.1002/2016JA023584.

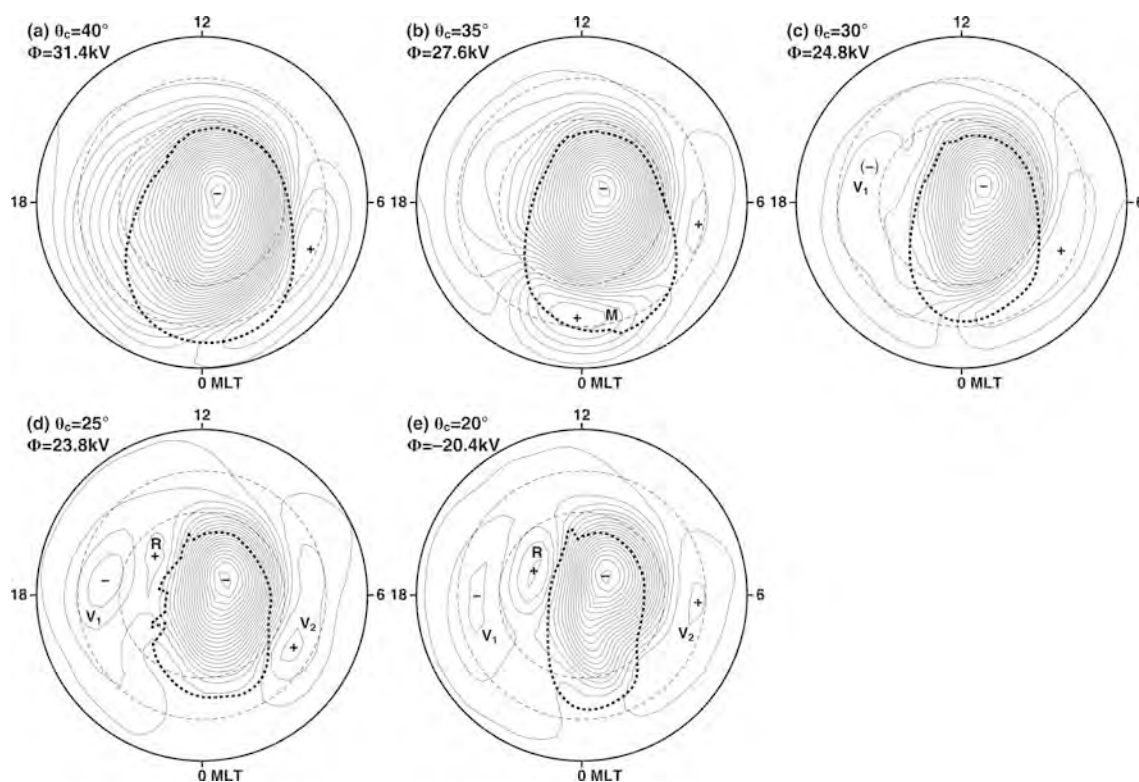


図 1 IMF 時計角 θ_c を (a) 40° から (e) 20° まで変えたときの (ただし $B_y > 0$) 北半球電離圏ポテンシャル。等高線は 0.5kV 毎。太い点線は磁力線開閉境界。最縁部は磁気緯度 70° 。

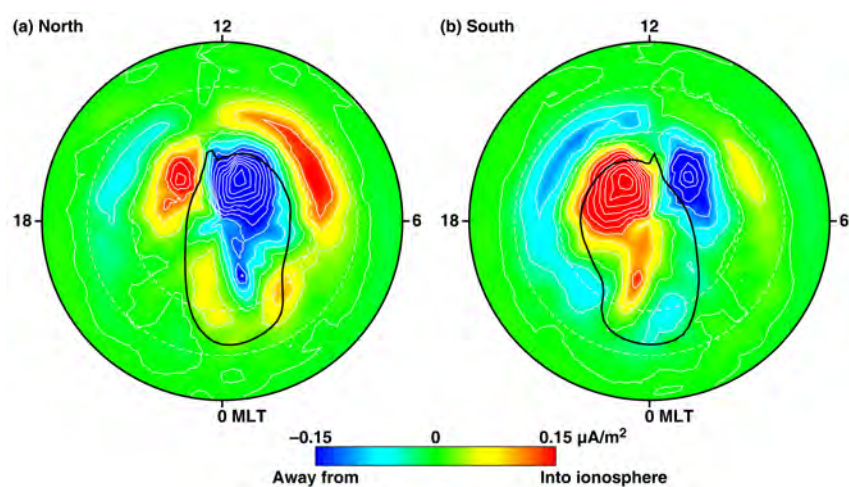


図 2 図 1e ($\theta_c = 20^\circ$) に対応する (a) 北半球での (b) 南半球での沿磁力線電流。太線は磁力線開閉境界。最縁部は磁気緯度 70° 。

日本の揺籃期地殻に関する年代的研究

Chronological study on the Japanese earth's crust in its infancy

代表者：佐藤興平（気象庁・気象大学校）

分担者：南 雅代（名古屋大学・宇宙地球環境研究所）

竹内 誠（名古屋大学・大学院環境学研究科）

加藤丈典（名古屋大学・宇宙地球華僑研究所）

柴田 賢（元名古屋大学・年代測定資料研究センター）

1. 研究目的

日本の大地を構成する岩石や地層のほとんどは2億年よりも若い中生代以降のものである。しかし、その一部には5.5～2.5億年も前の古生代のものが含まれている。古い地質体の産出は散点的で、後の造山運動に捲き込まれて原形を留めていないものが多く、既存の年代測定法では形成年代を正確に知ることができなかった。本研究では、後生的な影響を受けにくいジルコンの U-Pb 年代を求めて、日本の初期地殻形成史を解き明かすことを目的とする。既存の K-Ar 法や Rb-Sr 法あるいはフィッシュン・トラック法による年代測定では、閉鎖温度が低いため2次的な熱的影響を完全に除外することが難しく、得られた結果は年代の上限を示すに過ぎないという限界があった。これに対して、名古屋大学で開発されたモナザイト・ジルコンの CHIME 年代測定法は、ミクロン・オーダーの高分解能をもつ迅速な微小領域年代測定法として威力を発揮しつつあり、近年開発されたジルコンの LA-ICP-MS による年代測定法は、空間分解能の点では CHIME 法に及ばないが、比較的若い年代も鉱物ごとの測定が可能になってきた。本研究では、これらの新手法を駆使して、関東山地の試料を中心としてジルコンの年代を求め、日本列島の地殻形成史をさぐる。

2. 研究方法

関東山地の花崗岩類を中心に、既存の手法で年代付けされた試料あるいは年代不明の岩体から新たに採取した岩石からジルコンを分離し、名古屋大学大学院環境学研究科の LA-ICP-MS を用いて U-Pb 年代を測定する。この手法はジルコン1粒ごとの年代測定が可能だけに、鉱物分離過程での汚染は絶対に避けなければならない。このため、岩石粉碎過程を含めて異質ジルコン混入の可能性を排除すべく細心の注意を払った。ジルコンの抽出はパンニング法によった。無作為に抽出した約100粒のジルコン結晶を接着剤でスライドガラスにマウントして研磨し、研磨面の CL（カソード・ルミネッセンス）画像を観察して、火成岩起源なのか捕獲結晶なのかを判定した。火成岩の年代を得るために主にジルコン結晶の外形に調和的なオシラトリー累帯構造を示す部分にレーザー・プローブ（径 25 μm ）を当てて年代を測定したが、結晶の核部に見出された捕獲結晶についても可能な限り測定した。

3. 研究結果

今回検討対象とした年代不明の岩体は、ナップ・テクトニクス研究発祥の地である関東山地北縁部の下仁田地域で重要な位置を占めながら、破碎や変質によって信頼のおける年代値が得られていなかった珪長質火成岩体である。代表的な5試料（花崗岩3、凝灰岩2）について得られた年代は、約70 Ma と約100 Ma に2分され、この地域で後期白亜紀に少なくとも2期の珪長質火成活動があったことが明らかとなった。古生代の可能性が指摘されていた花崗岩体は後期白亜紀（約100 Ma）の岩体であり、これまで古第三紀とされてきた凝灰岩体は70 Ma 頃の後期白亜紀の岩体であることが判明した。

4. 考察

関東山地北縁部には古生代ペルム紀と中生代白亜紀の珪長質火成岩（主に花崗岩）が分布するが、その多くは小規模な構造岩塊や礫として存在する。その中でも比較的大きくまとまった分布をしながら年代が不明であった岩体の年代が判明したことは、今後の考察に重要な束縛条件を与える。白亜紀の砂岩（跡倉層）中には古生代だけでなくジュラ紀の碎屑性ジルコンも多産するので、その起源に興味をもたれたが、今回の検討で時代不詳の岩体はなくなり、ジュラ紀花崗岩体が残存する可能性は極めて低くなったとみられる。

5. まとめ

今回検討した下仁田地域の花崗岩体は、関東山地北縁部に分布する珪長質火成岩体の中で最大規模をもつにもかかわらず時代未詳で、一部はペルム紀との説もあり、日本列島の地殻形成史の議論において無視できない

存在であったが、後期白亜紀と判明し、西南日本内帯の構造要素であることが確定した。古第三紀とされてきた凝灰岩体も後期白亜紀であることが判明した。

引用文献

柴田 賢・高木秀雄(1989) 関東山地北部の花崗岩類の年代. 同位体からみた中央構造線と棚倉構造線の関係. 地質雑, 95, 687-700.

佐藤興平・柴田 賢・内海 茂(2015) 関東山地北縁部の異地性岩塊や礫岩に含まれる珪長質火成岩類の年代: 跡倉ナップ実像解明の歴史と今後の課題. 群馬県立自然史博物館研究報告, 19, 69-94.

佐藤興平・竹内 誠・鈴木和博・南 雅代・柴田 賢(2018) 関東山地北西縁下仁田地域に産する珪長質火成岩体の U-Pb ジルコン年代. 群馬県立自然史博物館研究報告, 22, 79-94.

成果発表

論文

佐藤興平・南 雅代・中村俊夫・柴田 賢・児嶋美穂・武者 巖(2018) 木片の ^{14}C 年代測定による前橋泥流堆積時期の再検討(予察). 群馬県立自然史博物館研究報告書, No.22, 95-101

佐藤興平・竹内 誠・鈴木和博・柴田 賢・南 雅代(2018) 関東山地北西縁下仁田地域に産する珪長質火成岩体の U-Pb ジルコン年代. 群馬県立自然史博物館研究報告, No.22, 79-94.

学会発表

佐藤興平・竹内 誠・南 雅代・中村俊夫・武者 巖・柴田 賢(2018) 関東山地北縁部に産する内帯型火成岩類の U-Pb ジルコン年代. 第 30 回(2017 年度)名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定研究シンポジウム(2018 年 2 月 2 日).

海色衛星観測による東シナ海での溶存有機物質と低次生産量の時空間変動：気候変動による長江流量変化の影響

Spatiotemporal variability of colored dissolved organic matter and primary productivity in the East China Sea observed by ocean color sensor: Impact of climate change through Changjiang Discharge

エコ シスワント、国立研究開発法人海洋研究開発機構
地球環境観測研究開発センター

1. Research Objectives

The East China Sea (ECS) is one of the marginal seas in the sub-tropical region of the northwestern Pacific Ocean which is largely affected by both human activities and global climate changes. Recent study by Yang et al. (2015) showed a long-term decline of precipitation and construction of reservoir are responsible for the observed long-term declines of freshwater and sediment discharged into the ECS through the Yangtze River (Changjiang). Not only freshwater and sediment, Changjiang also supplies nutrients and organic materials into the ECS. Sediment (by varying light availability) and nutrient together control primary production (PP) in the ECS and depend on the area one controlling factor can be more dominant than another.

Many studies (e.g., Hardiman et al., 2018) mentioned that the Changjiang discharge largely affected by climate change of El Nino/La Nina through precipitation variation. Therefore, there is possibility that global climate change by varying phytoplankton controlling factors via atmosphere-ocean physical interactions will affect the ECS's PP. The objective of this research collaboration is thus to elucidate how the climatic variability by controlling the variability of terrigenous materials affect the PP in the ECS.

2. Methodology

Ocean color data used include SeaWiFS photosynthetically available radiance (PAR, Einstein $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$) and remote sensing reflectance (R_{rs} , sr^{-1}) acquired from the OBP (http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cms). Sea surface temperature (SST, $^{\circ}\text{C}$) retrieved by the MODIS Aqua (http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cms) and the AVHRR (http://podaac.jpl.nasa.gov/AVHRR-Pathfinder) were also used.

Total suspended sediment (TSM $\mu\text{g l}^{-1}$) and colored dissolved organic matter absorption coefficient (CDOMa, m^{-1}), a proxy of organic material was estimated by applying the YOC algorithm proposed by Siswanto et al. (2011). The PP was computed based on Gong and Liu's (2003) PP model. Phytoplankton biomass indexed by chlorophyll-a concentration (Chl, mg m^{-3}) was predicted from R_{rs} with the use of YOC Chl algorithm. The study also used the Yangtze River discharge (DIS, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) as it controls the resources (light and nutrients) for PP.

3. Results and Discussion

Fig. 1 shows satellite-derived Chl (left panels) and PP (right panels) in different seasons. The spatial patterns and magnitudes of both variables were consistent with Chl and PP in situ observations reported by Gong et al. (2003). Highest Chl and PP were observed in July (Fig. 1c, g) which were attributed to high nutrient discharged by the Changjiang peaking also in July. Chl and PP were still relatively high in fall (Fig. 1d, h). Lowest PP over the western area, especially in December and March (Fig. 1a-b, e-f) and in general over the coastal area were attributed to high TSM induced by intense vertical mixing. This high TSM reduced light availability than can be used for photosynthetic process in the water column. The importance of TSM in controlling light availability was also reflected from the long-term trend data in the western shelf of the ECS (indicated by dashed box in Fig. 2). Tendency of declining TSM in the western part of the box likely improved light availability, as a result, PP has tended to elevate there, and vice versa in the eastern part of the box.

Besides suspended sediment, the Changjiang discharge also supplies freshwater containing high concentrations of organic carbon and nutrients. Fig. 3 shows spatial variations of Changjiang-influenced water (hereafter CIW) characterized by high CDOMa (Fig. 3a, e, i, m), low surface sea salinity (SSS, Fig. 3b, f, j, n), and high PP (Fig. 3c, g, k, o) in July for the years 2010, 2009, 2003, and 1998. Years 2003 and 2010 show a wide and further southeastward expansion of CIW. A filament like intrusion of high CDOMa, low SSS, and high PP into the Kuroshio main axis was however obvious only in the year 2010. Southeastward dispersion of CIW was spatially limited in the year 2009 which was likely due to low Changjiang discharge. Changjiang discharge is however not the only factor determining offshore dispersion pattern of CIW. This can be deduced by relatively narrower CIW offshore dispersion in 1998 (compared to 2003 and 2010) though Changjiang discharge in 1998 was the highest.

Highest discharge in 1998 was likely associated with ENSO event. Weak northward winds (or strong southward wind anomaly, Fig. 3p) likely tend to push CIW more onshoreward. The CIW would be transported more southeastward when northeastward wind anomaly prevails (Chang et al., 2014), as can be expected in July 2003 and 2010 (Fig. 3d, l).

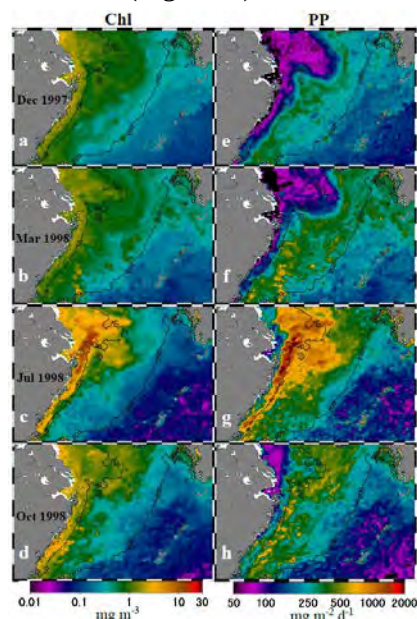


Fig 1 (left). Spatial variability of Chl during the winter (December 1997) (a), early spring (March 1998) (b), summer (July 1998) (c), and fall (October 1998) (d). (e–h) Same as a–d, but for PP. The time intervals associated with the Chl and PP estimates were selected to be comparable to those of in situ observations by Gong et al. (2003). Black dashed lines indicate the 50-m and 200-m isobaths.

Fig 2 (right). Spatial variation of correlation coefficient (r) between TSM (a), PP (b) against time. Negative (positive) r indicates decreasing (increasing) trend over the period of SeaWiFS observation (September 1997 – December 2010).

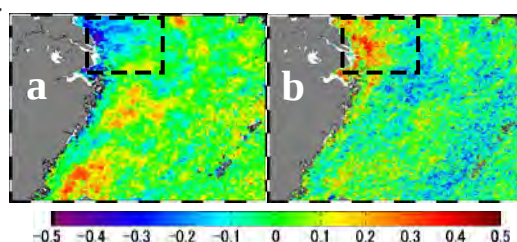
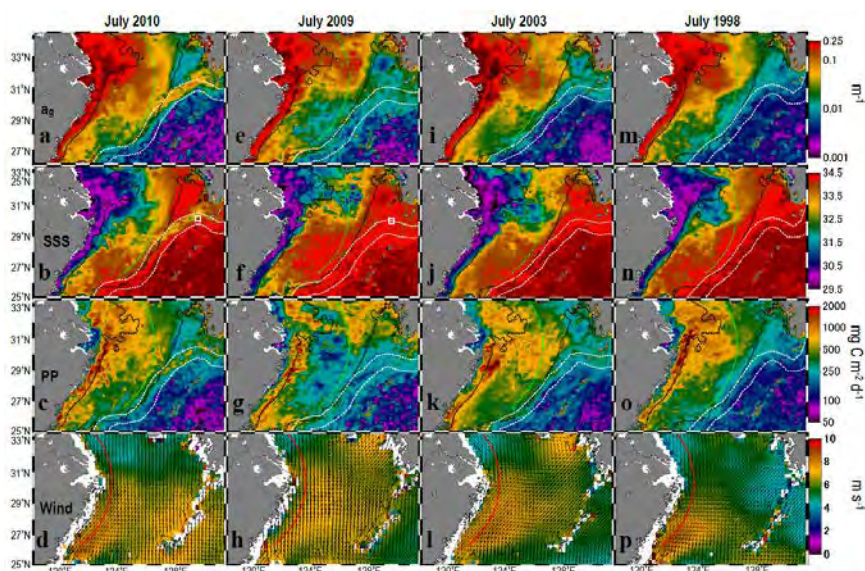


Fig 3 (right). Spatial variations of a_g (a), SSS (b), PP (c), and wind field (d) in July 2010. Panels (e–h), (i–l), and (m–p) are the same as panels (a–d), but show data from 2009, 2003, and 1998, respectively. White dashed lines indicate the approximate edges of the Kuroshio Current axis. Black dashed lines indicate the 50-m and 200-m isobaths.



4. Summary

The ECS's PP especially during winter and spring in the inner shelf water was largely determined by TSM whereby water column light availability was controlled. The CIW occupied largely the ECS shelf water especially during the summer when the Changjiang discharge reached its highest. Offshore dispersion of CIW in July 2010 seemed to be peculiar as it also showed an intrusion into the Kuroshio main axis. The behavior of CIW water offshore dispersion was largely controlled by the Changjiang discharge and wind field (mainly wind direction anomaly).

References

- Gong, G.-C., et al., (2003), Seasonal variation of chlorophyll *a* concentration, primary production and environmental conditions in the subtropical East China Sea, *Deep-Sea Research II* 50:1219-1236.
- Gong, G.-C., and G.-J. Liu (2003), An empirical primary production model for the East China Sea, *Continental Shelf Research*, 23:213-224.
- Hardiman, S.C., et al., (2018), The asymmetric response of Yangtze river basin summer rainfall to El Niño/La Niña, *Environ. Res. Lett.*, accepted, doi:10.1088/1748-9326/aaa172.
- Siswanto, E., et al., (2011), Empirical ocean-color algorithms to retrieve chlorophyll-*a*, total suspended sediment, and colored dissolved organic matter absorption coefficient in the Yellow and East China Seas, *Journal of Oceanography*, 67:627, doi:10.1007/s10872-011-0062-z.
- Yang, S.L., et al., (2015), Decline of Yangtze River water and sediment discharge: Impact from natural and anthropogenic changes, *Scientific Report*, 5:12581, doi:10.1038/srep12581.

Achievements

- Siswanto, E., Xu, Y., Ishizaka, J. (2018), A rare dispersion of low-salinity, high-gelbstoff, high-primary production water in the East China Sea during the summer of 2010: Possible influence of the ENSO, *Journal of Geophysical Research* (submitted)
- Siswanto, E., Xu, Y., Ishizaka, J. (2017), Pronounced southeastward dispersion of low-salinity, high-productivity water in the East China Sea in summer 2010, *International Symposium of Remote Sensing 2017*, 17-19 May 2017, Nagoya University.

大気中窒素酸化物測定装置の開発
Development of high-sensitivity instruments
for detection of atmospheric NO₂

和田 龍一，帝京科学大学・生命環境学部

1. 研究目的

オゾンとは人体や植物の生長に悪影響をあたえる。窒素酸化物はオゾンの前駆物質である。正確かつ高い時間分解能にてオゾンや窒素酸化物の濃度を計測することは、地球環境問題を理解し、解決を図る上で重要である。本研究では名古屋大学宇宙地球環境研究所松見豊教授の研究グループが保有する高感度高時間分解の特徴を持つ NO₂ レーザー分光計測装置の改良を行った。

2. 研究方法

正確かつ高い時間分解能を持った NO_x の計測には、2 台の LIF 装置を用いた方がよいことが H27 年度の名古屋大学太陽研共同利用研究から示された。H28 年度の共同利用研究にて松見研究室が保有する NO₂-レーザー分光計測装置 (NO₂-LIF) のパーツを用いて、2 台目の LIF 装置の立ち上げを試みたものの、1 台目と共有で使用する部品が存在したことから同時に 2 台の LIF を用いた計測はできなかった。本年度 (H29 年度) の共同利用研究にて、2 台の LIF を独立に同時に稼働した計測を実施した。現有 LIF 装置を 1 号機、新たに立ち上げた LIF 装置を 2 号機とした。2018 年 1 月 29 日 18:00-1 月 31 日 9:00 まで約 2 日間、2 台の LIF 装置を用いて山梨県上野原市にて外気の NO₂ 濃度の計測を行った。計測装置の写真を図 1 に示す。



図 1. 計測装置写真

3. 研究結果と考察

計測結果を図 2 に示す。1 号機と 2 号機の測定値はともに 0 から 25 ppb の範囲で同様の時間変化を示したものの、測定結果に違いが生じた。1 号機と 2 号機で得られた NO₂ 濃度の相関を図 3 に示す。両者の決定係数は 0.974 と、高い相関が得られたものの、傾きは 0.922、切片は -0.944 ppb であった。2 号機は外部からの光に影響をより強く受けることが分かっていることから、違いが生じた原因として、校正作業を室内の蛍光灯を

つけて行った為、低減しきれていない光が2号機の計測値に影響を与えた可能性がある。1号機と同様のバッフルを2号機に取り付けるなどし、2号機の外部の光から受ける影響を少なくする必要がある。

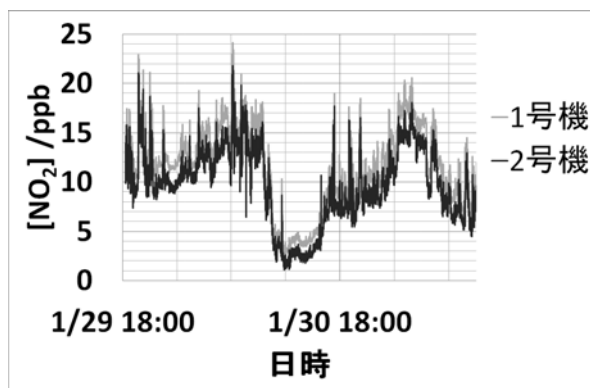


図 2. 外気測定結果

4. まとめ

名古屋大学松見研究室が保有する NO₂ レーザ分光計測装置の高感度化と当装置を応用した NO_x を計測可能な装置の開発を検討した。2 台の LIF を用いた同時計測を実施できたものの、2 号機による正確な計測ができなかった。原因として外部の光の影響が考えられ、影響を低減する工夫を施す必要があることが分かった。今後検討を継続し 2 台の LIF 装置を用いて、高時間分解能にて NO_x を計測可能な装置を開発する。

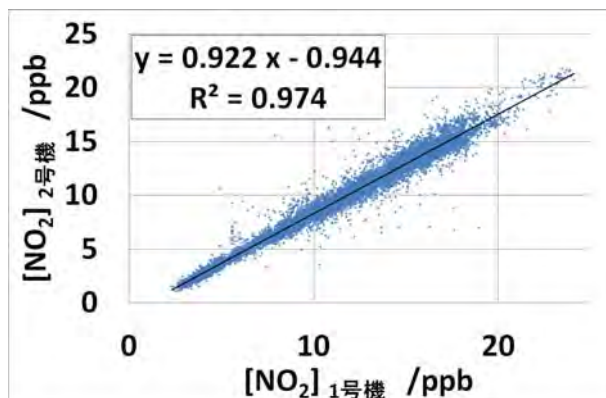


図 3. 1 号機と 2 号機測定濃度の相関

5. 成果発表（当該年度に行った口頭発表）

【原著論文】

- ・ R. Wada, Y. Matsumi, T. Nakayama, T. Hiyama, Y. Fujiyoshi, N. Kurita, K. Muramoto, S. Takanashi, N. Kodama, 2017. Isotopic variations of CO₂ and H₂O associated with a typhoon and the Akisame front, *Isot. Environ. Health Stud.* **53**, 646-659.

【口頭発表】

- ・ 和田龍一, 松見豊, 中山智喜, 米村正一郎, 谷 晃, 中野隆志, 加藤俊吾 山岳道路沿道における窒素酸化物濃度と変動要因の解明. 第 58 回大気環境学会年会, 2017 年 9 月 6 日-2017 年 9 月 8 日, 神戸市（兵庫医療大学）, p485.

以上

シリコンナノ構造膜中の微粒子凝集メカニズムの解明 Investigation of aggregation mechanism of fine particles in nanostructured silicon film

西田 哲、岐阜大学・工学部

1. はじめに

報告者らの研究グループではプラズマCVDプロセス中に原料ガスを高速で供給することにより通常法と比較して1000倍速い $\mu\text{m/s}$ オーダーの高速で製膜を行うことのできるプラズマジェットCVD法を開発し研究を行ってきた。本手法では通常の膜だけではなく構造が非常に疎で数十nmの微粒子が凝集したような膜も $\mu\text{m/s}$ で製膜することができることがわかった。このような構造の凝集体は材料がシリコンであればリチウムイオン二次電池の電極材料として利用できる可能性が示されている。現状ではこのようなナノ粒子の凝集体を作成するには微粒子を液相法などで作成しそれを凝集させるため数時間単位の時間がかかる。そのため本手法を用いることにより凝集体の作成時間を大幅に短縮できる可能性がある。しかしながら、本手法での凝集体作製については過去に報告がないため実験条件と凝集体の堆積量の関係が明らかになっていない。本研究では、生産性向上の観点から製膜条件と堆積量の関係を明らかにし、凝集体生成のメカニズムについて理解することを目的とする。

2. 実験方法

実験には非平衡プラズマCVDを用いた。原料ガスの供給ノズルを兼ねた電極に高周波電源を用いて電圧を印加し基板を設置した対向の平板電極との間に放電を行う。原料ガスにはシランと水素の混合ガスを用いた。プラズマジェットCVD法では製膜チャンバー内を800 Pa、ノズル内部の圧力を数万Paにし、ノズル前後で高い圧力比とすることで高速噴流で原料ガスをチャンバー内に導入する。ノズルと基板間の距離は10 mmとした。プラズマジェットCVD法では製膜形状が居所的になるため基板側を円運動させることにより平滑化している。今回はではシラン、水素のガス流量をパラメータとし実験を行った。評価は走査型電子顕微鏡で断面の観察と粒子径の測定を行い、電子天秤で堆積量を評価した。

3. 実験結果

どの実験条件でも数十nmのシリコン微粒子が凝集した構造となり実験条件による微細構造に大きな違いはなかった。また、堆積量についてはシラン流量を30, 45, 90sccmで一定とし総ガス流量を最大1800 sccmまで変化させた場合、総流量が小さくなるほど堆積量が増加する傾向があった。実験条件によって変化するがノズル1つあたりの堆積量は約500mg/hrであり、原料ガス中のシランの反応率は約5%であった。総ガス流量が600sccm以下の条件では、3cm×3cmの銅基板上に±10%程度で厚み数ミクロンの膜を1分かからずに堆積できることが分かった。

4. 考察

今回の結果からはシリコン微粒子は気相中で生成、成長しており、それがガス供給の主噴流により基板へと運ばれていると考えられる。総流量が大きくなることで流速が速くなり、微粒子が基板上に堆積するのではなく基板以外の部分へ輸送されそこに付着することで、基板上での堆積量が減少したのと考えられる。

航空機 SAR と他センサー同時搭載を目指した運用性についての検討
(Feasibility study on the operation of multi-sensor boarding
on same aircraft with SAR)

浦塚清峰、情報通信研究機構 電磁波研究所

1. 研究目的

名古屋大学宇宙地球環境研究所では研究用の共用航空機の導入に向けての検討を進めている。この共用航空機の運航には、各搭載センサー間の運用の調整が必要となる。一方、NICT では航空機 SAR(Pi-SAR2)の開発と実験運用を行っているが、これまでは単独のセンサーによる観測を行ってきた。航空機を他の航空機センサーと相乗りできれば、観測機会の増加や複数データの利用による相乗効果が期待できるが、運用方法は課題の一つである。この課題についての解決のための方策・指針を得ることを目的とする。

2. 研究概要

本課題の目的達成のため、現行の運用形態による航空機 SAR の実験に際し、問題点の把握を行う。平成 29 年度においては、主に災害時における航空機 SAR の運用時の状況をもとに考察を進めた。

御嶽山および熊本地震時に Pi-SAR2 による観測を行った(文献 1,2)実績を振り返ることにより、他のセンサーを同時運用した場合の制約条件についてまとめた。(1) 航空機の高度、飛行パス、(2)機内のリソース(レイアウト、電力等)、(3)タイミング(機器搭載、観測要員の予定等)が制約として挙げられる。このうち(2)は事前に調整が可能である。しかし災害時には時間の制約の中で(1),(3)の項目を満足するのは難しい。ただし、搭載機器が常設に近ければ、より調整は容易である。

一方、非災害時においても、高精度の計測(文献 3)を行う場合にも、同様の制約を想定する必要がある。しかしこの場合は事前調整次第で可能なセンサーを選択することは可能である。

参考文献

- 1: 上本ほか, 火山噴火、及び地震による被災地域の Pi-SAR2 観測, 日本地球惑星科学連合大会, 幕張メッセ, 2017 年 5 月.
- 2: Nadai, A. et al., "Damage Assessment using Airborne Polarimetric and Interferometric SAR: Pi-SAR2", 32nd URSI Symposium, Montreal, August 2017.
- 3: Uemoto, J. et al., "Extraction and height estimation of artificial vertical structures based on the wrapped interferometric phase difference within their layovers", ISPRS J. Photogrammetry and Remote Sensing, 139, 14-29, 2018.

数値モデリングおよびデータ解析に基づく
環電流-放射線帯エネルギー階層間結合機構の研究
Study of the ring current and radiation belt couplings based on numerical modeling and data analysis

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

ジオスペース最大規模の変動現象である宇宙嵐 (geomagnetic storm) 時には、放射線帯が大きく変動することが知られており、この変動機構の解明は、国際ジオスペース探査の主目標となっている。放射線帯電子の加速過程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新しい環電流モデルを開発してきた。この新モデルの特徴は、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、この新環電流モデルを基軸として、Pc5帯のULF波動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。グローバルな場の変形には寄与しないより高いエネルギーの放射線帯電子については、別途申請者らが開発してきた放射線帯粒子の統計的テスト粒子計算コード[Saito et al., 2010]を用いて記述することで、ULF波動による電磁場変動が相対論的電子の加速／消失に与える影響について検証する。また、Van Allen Probesおよび今年度打ち上げ予定のERG衛星の観測データ解析を進め、モデリング結果と比較することで、モデル計算結果の検証と実際の宇宙嵐への適用可能性について考察する。こうした研究を通して、環電流によるPc5波動の励起など、環電流ダイナミクスが内部磁気圏電磁場構造に与える影響を評価するとともに、Pc5波動による相対論的電子輸送が拡散的に記述できる条件を明らかにし、輸送係数がどのように決定されるのかを明らかにすることを目指している。

本研究には2つの柱がある。1つめの柱は、上述の2つの数値モデル（環電流モデルと放射線帯モデル）を組み合わせ、ULF波動が放射線帯電子の加速・輸送に果たす役割を理解することである。本年度は、昨年度に行った、輸送機構の基本的性質を押さえた研究をまとめた。特に、同じエネルギーの相対論的電子に着目した場合、ピッチ角による共鳴するL値の位置の違いから、特定の領域に限って、バタフライ分布を形成することを論文にまとめ、国際学術誌Journal of Geophysical Researchに掲載が決定している。また、より現実的なULF波動での放射線帯電子の輸送を調べるため、NASAのGSFCのシミュレーショングループと協力し、外部磁気圏のグローバルMHDシミュレーションと、上述の環電流コードの結合の基礎研究を開始した。初期結果は、来年度のJpGU meetingにて発表予定である。

本研究の2つ目の柱は、Van Allen Probes衛星等を用いたデータ解析研究である。昨年度に引き続き、イオン種毎の環電流イオンの供給および消失過程に着目し、2013年4月の磁気嵐について、イオン質量分析器データと同時期の地上磁場観測データの解析を行い、結果を論文にまとめた。酸素イオンと水素イオンの輸送タイミングの違い、エネ

ルギー毎の輸送機構の違いに着目して、解析を行った結果、高エネルギー酸素イオンの拡散的輸送が宇宙嵐の発達に寄与する可能性が示唆されており、得られた結果を国際学術誌Geophysical Research Lettersに投稿した。また、この研究で発見された高エネルギー酸素の選択的輸送について統計解析を開始した。なお、上記2つの研究は、名古屋大学の大学院生の研究テーマの一部となっており、研究経費はそのための打合せ旅費として使用した。

アジアダストに付着したバイオエアロゾルの時空間変遷 Spatiotemporal change of Asian dust with bioaerosols

馬場賢治 酪農学園大学 農食環境学群

目的

アジアダスト（黄砂）は、社会活動や自然環境に寄与する現象の一つであり、これまでに大規模なプロジェクトが行われ、物理、化学、生物など様々な側面から影響評価が行われている。また、近年ではアジアダストにより、ウイルスなどの生物粒子であるバイオエアロゾル輸送の可能性が指摘されている。その一例として、2010 年宮崎県での口蹄疫発生に黄砂が関与していることが真木ら（2011）により指摘している。この他に、Maki ら（2010）は、黄砂バイオエアロゾルの長距離輸送について研究を行い、日本での観測事実を報告している。バイオエアロゾルを観測する試みは、幾つか存在しているが、ウイルスなどの生物起源物質の保存を考慮した大気場の過程や状況について考察している試みはほとんどない。そこで、本研究では、アジアダストに付着したウイルスなどの生物起源物質が大気場輸送中に保存される環境場についての理解やそれらの多寡や変遷について時空間的な解釈を行う。

研究方法

気象モデル CReSS やリモートセンシングデータ、ライダーデータを基に、実測と理論（モデル）の双方から、アジアダストの挙動について明らかにする。併せて、アジアダストイベント毎の経路と症状発祥地との関連も含めて評価を行う。

結果と考察

我々が観測を始めた 2012 年以降を中心に大型計算機上において、気象モデル CReSS を用いてシミュレーション解析を行った。実際現地観測を行った時期に必ず大規模なアジアダストが発生している訳ではないため、事例解析が中心となった。この期間内でタイミングよくアジアダストが現地においてライダーや目視において観測され、日本付近でも黄砂として観測された例は 2012 年のみであった。2012 年の事例について、CReSS の結果を用いて、後方流跡線解析を行った。4 月 30 日に札幌で黄砂が観測されたため、これに基づく後方流跡線解析はモンゴル南部のゴビ砂漠付近を起源としていた（図 1）。Sainshand と札幌のライダーによるエアロゾル観測の結果からは、Sainshand 付近において、4 月 29 日に発生したアジアダストを捉えており、翌 30 日には札幌においてアジアダストが観測されている。一方、アジアダスト発現日の 29 日 9 時を初期値としたモンゴルゴビ Sainshand からの拡散実験によると、アジアダストは同地域から北海道方向に指向している（図省略）。対流圏下層から中層にかけて、アジアダスト群は南北方向にほとんど拡散せずに、東へ運搬されていた。アジアダストは上空まで巻き上げられ、偏西風に乗り、1 日程度で日本付近まで到達することが確認できる。図 2 は CALIPSO による大気中のエアロゾルを判別したものであり、Feature type の 3 がアジアダストに相当する。

一方、実際の物質の特定について明らかにする必要があるため、観測したバイオエアロゾルをメタゲノム分析によりアジアダスト発生地（モンゴルゴビ砂漠）と飛散先（札幌）で比較をすると、札幌において普段現れない型を持つ生物由来物質がアジアダストイベント時に幾つか現れ、それはモンゴルゴビと同じ型であることが確認された（現在修正投稿中）。これらから、フットプリントとしてバイオエアロゾルが利用出来、物理

的な側面と生物・化学的な側面から、モンゴルゴビ砂漠から日本へのアジアダスト流入が確認出来た。

偏西風が強い場合にアジアダストが発生する訳でもなく、春までの降水量や前年の植物生産量などが効いてくるため、事例を増やす必要がある。

今後の課題

アジアダストの発生や境界層を超えて自由大気に入るメカニズムについては未解明な部分があるため、事例を増やし、モデルデータや観測データから理論的に解明することが急務である。現地でのバイオエアロゾルのソースと考えられるドライレイクやワジを中心に、バイオエアロゾルの種別の調査を行い、解析中である。また、同地域で簡易風洞実験を用いて、バイオエアロゾルの発生についても予備実験調査を行っている。今後、これらを基に多角的に理解を行う予定である。

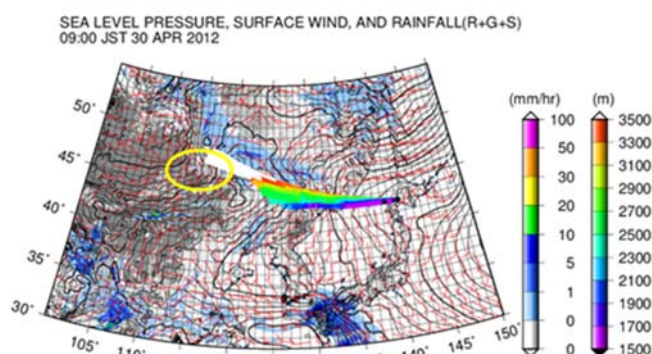


図1 2012年4月30日00UTCの地上気圧・風・降水量分布および24時間の後方流跡線。黄色い枠線がモンゴルゴビに相当。

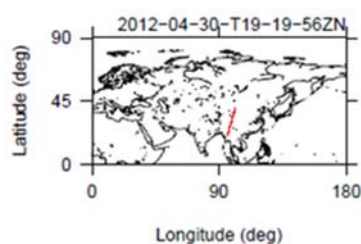
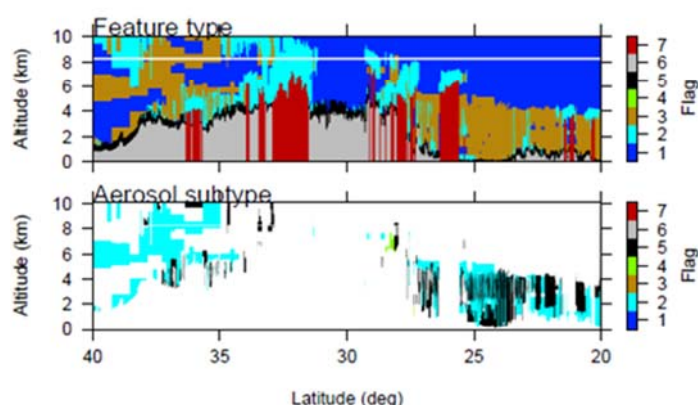


図2 CALIPSOによるエアロゾル判別。衛星軌道（上段：赤線）、Feature type（中段）、および、Aerosol subtype（下段）。



Feature typeが3、且つ、Aerosol subtypeの水色がアジアダスト（黄砂）に相当。

成果発表：

馬場ほか、CALIPSOを用いた2012年4月のダストストームの時空間変遷について、日本気象学会、名古屋大学、2016年10月28日。

馬場ほか、モンゴルゴビ砂漠 Sainshand 付近のバイオエアロゾル集積地における飛散実験について、日本気象学会秋季大会、北海道大学、2017年10月31日

1. 研究目的

本課題は、情報通信研究機構(NICT)が開発したW帯の地上設置型雲レーダ、Ka帯の衛星搭載降水レーダ部分モデルなどの、航空機観測への利用可能性に関して検討するものである。W帯の雲レーダは、2019年度に打上が予定されている衛星搭載雲レーダ(Earthcare/CPR)の地上検証実験に向けて開発されており、従来のレーダにない電子走査機能を有するなど航空機搭載のメリットがある一方で、重量・寸法・形状・機械環境・レドーム・無線局免許などの点で、航空機搭載を行うためには解決すべき課題が多数存在する。Ka帯の衛星搭載降水レーダ部分モデルは、2014年に打ち上げられ、現在軌道上で運用中の衛星搭載二周波降水レーダ(GPM/DPR)のKa帯レーダの部分モデルで、こちらについても同様の利点と課題が存在する。本課題では、これら課題の洗い出しを行い、航空機搭載の実現に向けての解決策を検討する。これらのレーダの航空機搭載が実現できれば、上空からの雲・降水システムの詳細観測が可能となる。

2. 研究方法

航空機搭載レーダでの雲・降水観測の一つの重要な観測量である、ドップラー観測データの解析手法について、NICTで開発・航空機観測実験を実施された Ku帯(13.8 GHz)の航空機搭載降雨レーダ(CAMPR)の全ヒットデータを使って実施するため、1996年から2001年に実施された航空機観測実験データの調査を実施した。調査結果の一部については、2017年5月25日に国立オリンピック記念青少年総合センターで開催された「日本気象学会2017年度春季大会」において、“情報通信研究機構での偏波気象レーダ開発について”という発表を行なった。

3. 本年度の研究結果

CAMPR(Kuバンド航空機搭載降雨レーダ)を利用し、上空から真下方向やそれ以外の入射角での降雨、海面散乱の観測データが多数あるが、その多くは積分モードでの観測データであり、解析手法に関する検討に利用可能な全ヒットデータは、容量が大きく、転送時間が長く必要になるので、航空機実験では、少数の測定例に限定され、さらに鉛直真下方向以外の観測例は、1999年夏季の X-Baiu-99 と 2001年冬季の WMO-2001 の2例であった。図1にその後者の冬季の海上での観測例を示す。

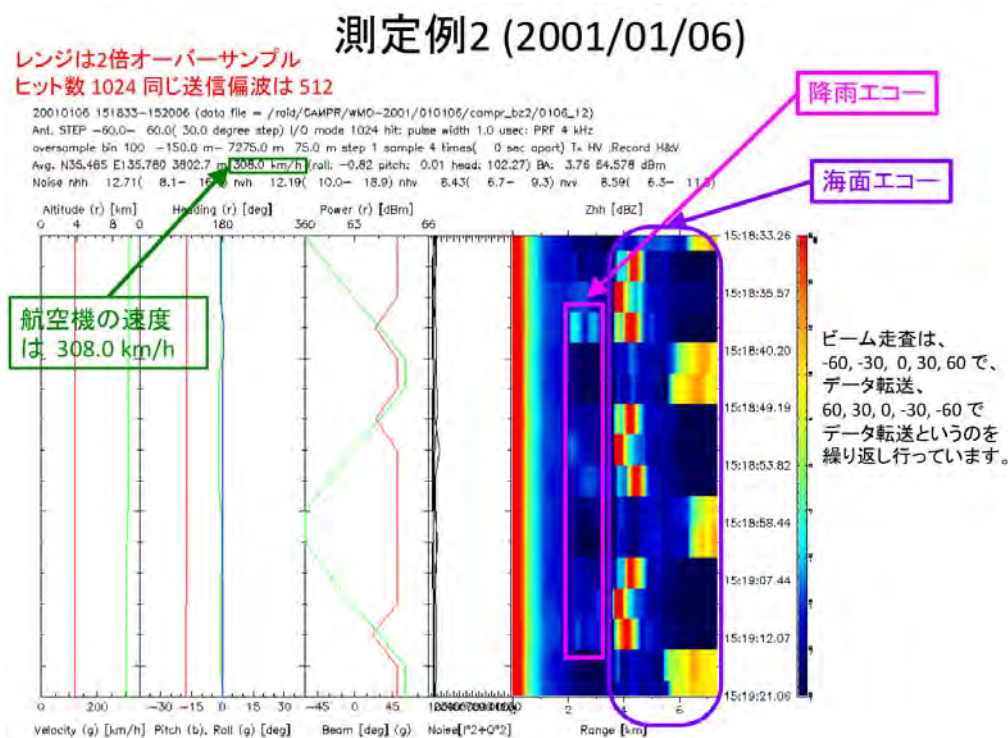


図1 CAMPR(Kuバンド航空機搭載降雨レーダ)による全ヒットデータが取得された

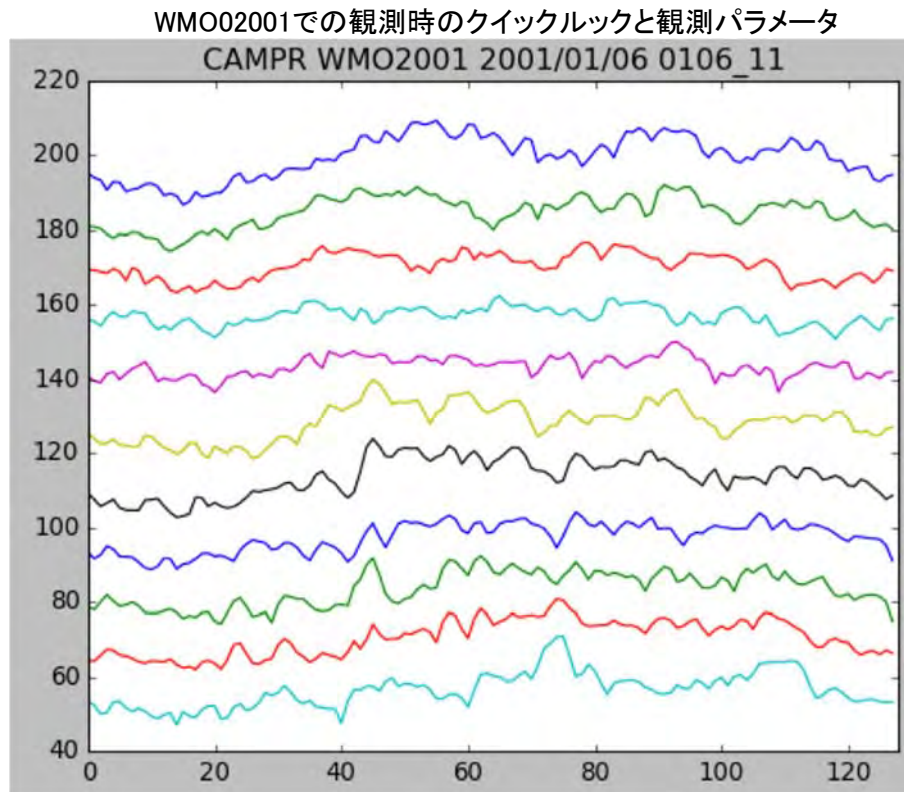


図2 全ヒットデータから計算された海面エコー・降雨エコーのドップラースペクトラム(主偏波)

図2に示すのは、全ヒットデータ(連続 1024 ヒットの観測データで、送信偏波は HV 切替であったため、主偏波 H送信H受信 または V送信V受信は、半分の 512 ヒット) から、通常の FFT で計算されたドップラースペクトラムで、CAMPRアンテナのビームの広がりに伴う、ドップラースペクトラムのピークの広がりが発生していて、このままの処理では、海面エコー・降雨エコーの分離が容易ではない。海面エコー・降雨エコーの適切なモデル化を行い、それらのパラメータ推定手法を実データを用いて検討を実施する必要がある。

成果発表(口頭発表)

1. 花土弘・佐藤晋介・中川勝広・堀江宏昭・佐藤健治・大野裕一・井口俊夫(情報通信研究機構)、高橋暢宏(名古屋大学), “情報通信研究機構での偏波気象レーダ開発について”, 日本気象学会 2017 年度春季大会, 国立オリンピック記念青少年総合センター, 2017 年 5 月 25 日.

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、地球内部磁気圏リングカレントを規定するプラズマ圧の増加により発達するが、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、2016年12月20日に打ち上げられたジオスペース探査衛星あらせ(ERG)で得られるデータを主に用いて、リングカレントイオンの生成過程およびイオン圧の時間空間変動と質量依存を調査し、磁気圏プラズマの輸送および加速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データを用いて、あらせ衛星がこれまで観測した6つの磁気嵐の主相と初期回復相における、水素および酸素イオンのエネルギー密度の空間分布を調べた。次に、エネルギー密度に対してどのエネルギー帯が多く寄与しているか、各粒子種について調べ、その「寄与エネルギー帯」が地心距離にどのように依存するか調べた。その結果、水素イオンの寄与エネルギー帯は、深内部磁気圏(L値が4~5以下)では20-80 keV、静止軌道付近(L値が4~5以上)では40-100 keVであった。また、酸素イオンの寄与エネルギー帯は深内部磁気圏では水素イオンと同じであったが、静止軌道付近では60-150 keVであった。

考察

今回の結果のうち、寄与エネルギー帯が地心距離に依存する点は、低エネルギーイオンほど地球近くまで輸送されることと一致する。静止軌道付近における寄与エネルギー帯の質量依存は、サブストーム活動などに伴い酸素イオンが効率的に加速を受け、内部磁気圏圧力増加に影響を与えていることを示唆している。

成果発表

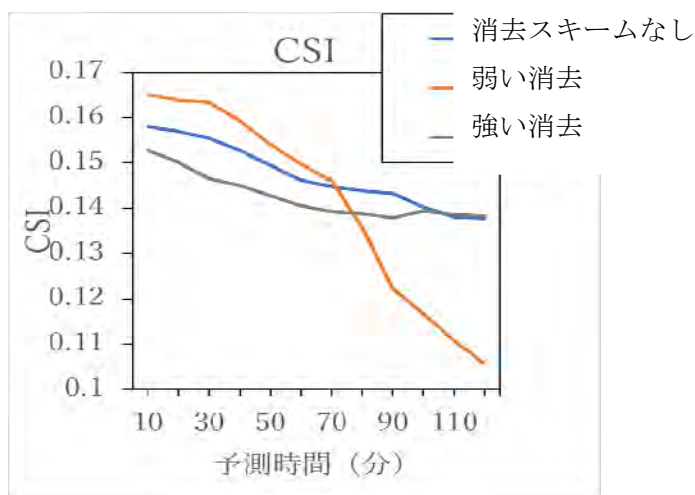
- Keika, K. et al., Energy and mass dependence of the contribution to storm-time plasma pressure observed by Arase/MEP-i, AGU Fall Meeting 2017, New Orleans, December 12, 2017.
- Keika, K. et al., Energy and mass dependence of the contribution to storm-time plasma pressure: Arase/MEP-i observations, SGPSS 2017 Fall Meeting, Kyoto University, October 17, 2017.
- Keika, K., Multi-spacecraft simultaneous observations of magnetospheric ion dynamics on storm and substorm time scales, Van Allen Probes - Arase Joint Meeting, Kyoto University, October 14, 2017.

MPレーダと雲解像モデルを利用した降水量の推定・予測に関する研究
Studies on estimation and prediction of precipitation using
MP radar and cloud-resolving model

若月 泰孝・茨城大学・理学部

本研究では、名古屋大学が所有するX-band MPレーダ（X-MP）を降水量の推定予測に用いる研究を実施した。名古屋大学のX-MPは沖縄県の琉球大学に設置されている。ここでルーチンの運用されているX-MPのスキャンモードを、国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）沖縄電磁波技術センターの方向に向けて、下層大気のみ鉛直方向にスキャンする（RHIスキャン）ように修正した。この観測データを収集すると同時に、NICTに設置してある地上の雨滴粒径分布観測データを収集した。観測データの分析は現時点で終わっておらず継続中である。

雲解像モデルを用いた短時間降水予測研究を推進している。上流下層加湿法（若月，2015）に基づく予測を、九州北部豪雨に適用した。この予測は、2時間程度先までの予測を10分毎に更新するもので、レーダ観測情報をデータ同化している。この際、観測にない偽物の強雨を消すスキームを導入した。降水のない領域は、周辺大気場になじむようにナッジングでフォーシングをかける。この時、強い強制をかけると60分程度さきまでの強雨の予測精度は顕著に向上したが、逆に2時間程度先までの予測精度を著しく低下させた（図）。一方弱めの消去フォーシングをかけると、直近での劇的なスコア改善は見られなかったが、全体的にはスコアは比較的良好な結果となったが、消去スキームを導入しない場合との差はあまり見られなかった。強い強制をかけると、降水システムの維持に関わる周辺大気場の構造を壊してしまう可能性があるため、予測精度が長期間維持しないと考えられる。



図：九州北部豪雨を対象とした上流下層加湿法による短時間降水予測での10mm/h以上の降水強度の予測のスレットスコア（CSI）。横軸は予測時間（若月と五十嵐，2017）

参考文献

若月泰孝, 2015: 上流下層加湿による積雲対流の予測実験. 土木学会論文集B1(水工学), 71(4), I_505-I_510

若月泰孝, 五十嵐大地, 2017: 上流下層加湿法による短時間降水予測実験. 日本気象学会2017年度秋季大会予稿集

NoRHによる太陽コロナ磁場診断と
IPS観測による太陽風との統計的解析
Statistical analysis of solar coronal magnetic study of NoRH
and solar wind of IPS obserbation

野澤 恵， 茨城大学・理学部

Introduction

太陽大気はプラズマで構成されており、太陽上の様々な現象は磁場と密接に関わっている。特にコロナ中では磁場がプラズマの挙動を支配しており、コロナの磁場を測定することはコロナ中の諸現象を理解することに繋がる。しかし、光学観測によるコロナ磁場の測定はその光量の乏しさから非常に困難である。

一方、電波観測を用いればコロナ磁場の測定が可能になる。電波による磁場測定手法を初めて示したのが Bogod & Gelfreikh (1980) である。その原理は、磁場存在下のプラズマから放射される熱制動放射の右円偏波と左円偏波で有意な強度差が発生することを利用し、その強度差から視線方向磁場を求めるというものである。また、Iwai & Shibasaki (2013) では、野辺山電波ヘリオグラフ (以降 NoRH) を用いた磁場測定手法を確立した。しかし同時に、NoRH によって得られる偏波成分は彩層成分とコロナ成分の積分量であるという結論に達している。

本研究では、NoRH によって彩層・コロナ磁場の測定を行い、更に 2 層大気の仮定及び SDO 衛星の観測データを用いることで彩層とコロナの偏波成分の分離を行った。そしてそれらの観測データを用い、太陽風のプロトン密度と速度との相関を調べる。

Analysis

SDO/HMI の光球視線方向磁場と NoRH 17 GHz から得られた偏波の分布及び極性が一致していることが確認された。また、領域ごとの詳しい考察を行った結果、先行研究と同じく、活動領域中心部では彩層とコロナの偏波成分が混在しているという結果が得られた。本研究で使用した理論ではこの活動領域中心部の成分分離を行うことは出来ず、その分離にはさらなる付加的データや、モデルとの比較が必要であるという結論に達した。

Results

彩層磁場の弱い活動領域外縁部では、得られる偏波成分のほとんどがコロナ起因のものであり、100 - 400 G 程度のコロナの視線磁場強度を得ることが出来た。しかし、この値はあくまでエミッションメジャーで重み付けのされた量であり、未だに多くの曖昧さを抱えている。また、コロナ磁場の詳細な 3 次元構造を議論するには NoRH の 17 GHz での偏波観測だけでは不十分であり、将来的には複数の周波数で偏波観測を行う必要があるという結論に達した。ただし、フレアを発生させない弱い活動領域でないと、この磁場診断が難しいため、統計的な数を得るだけのイベントを見出すことができず、IPS観測による太陽風などとの相関を取るまでには達しなかった。

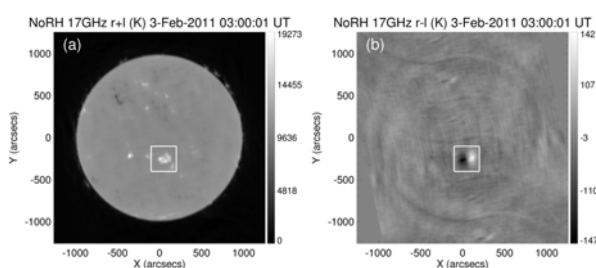


Figure 1 2010 年 7 月 16 日 4:00(UT) に 17 GHz で観測された太陽全面の電波強度 (I) と偏波量(P)

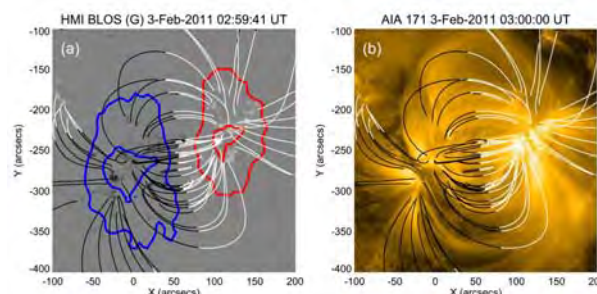


Figure 2 Figure1 と同じ領域を SDO で観測したもの。磁場と 171A の紫外線にポテンシャル磁場と NoRH で観測された磁場を重ね合わせた。

地上デジタル放送波を用いた水蒸気遅延測定
Measurement of propagation delay due to water vapor
using digital terrestrial broadcasting waves

川村 誠治、情報通信研究機構・電磁波研究所

1. 研究目的

情報通信研究機構（NICT）では、地デジ放送波の伝搬遅延を精密に測定することで水蒸気を推定する手法の研究開発を進めている[1]。本手法が確立して多点展開が進めば水蒸気を面的に常時モニターすることが可能となり、局地的大雨(通称ゲリラ豪雨)などの時空間スケールの小さな極端現象の予測精度向上も期待できる。

NICTでは既に東京で観測を開始しているが、本研究では、この装置を名古屋大学に持ち込んで観測を行う。東京とは異なるエリアで異なる電波塔からの地デジ放送波を観測することで新たに遭遇する課題に対応し、観測システムの改良を進めること、及び、実際の観測データを継続して取得し、気象予測へつながる観測研究を行うことを目的としている。近い将来、観測装置をより小型化して都市部で多点展開することを計画しており、本課題は名古屋域での展開の足がかりとなるものである。

2. 手法

名古屋大学宇宙地球環境研究所(ISEE)の屋上に地デジアンテナ及びNICTで開発している地デジ波遅延測定装置を設置し、伝搬遅延測定を実施する。名古屋大学から約10 km離れている瀬戸デジタルタワー（送信出力3 kW、図1参照）から送信されている地デジ放送波の直達派と反射波を同時に受けて、直達波と反射波の遅延差

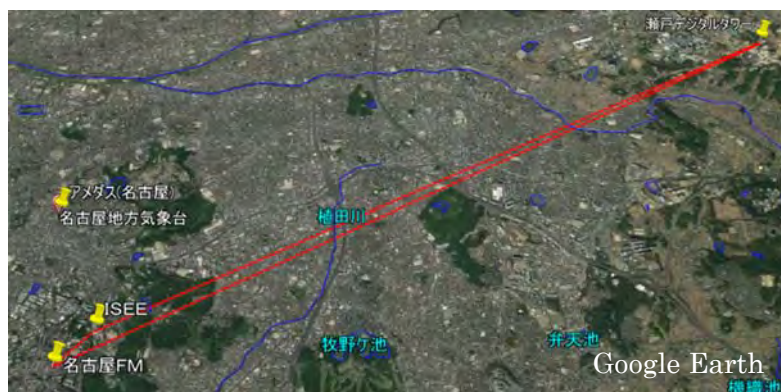


図 1: 観測配置図。

から、受信地点と反射体との間の水蒸気変動量を伝播遅延量変動という形で推定する。今回反射体として使ったのは、ISEEから南西約700 mに位置する名古屋FM送信所鉄塔である。位置関係は図1に示す通りであり、得られる伝搬遅延量変動は主にISEEと名古屋FM送信所鉄塔の間のものと考えることができる。

3. 本年度の研究結果

測定結果の例を図2に示す。赤線は2017年11月9日0時から11時まで(2017年11月8日15UTから9日2UTまで)の約11時間分の地デジで測定した伝搬遅延量変動(1 kmあたりの遅延量に換算)である。青線はISEEから北北西約2 kmに位置するアメダス名古屋(図1参照)で測定された地上気温・気圧・湿度から計算した1 kmあたりの遅延量である。アメダスを用いて計算した伝搬遅延量は、一点観測の値が1 kmの間一様と仮定して算出したものであり、かつその測定点は地デジ測定点とは約2 km離れている。このため両者は必ずしも一致する必要はないが、大きな変動の様子は比較的良い一致を示している。ただし、地デジによる測定値(赤線)は100 ps程度の非常に大きな変動幅を持ったランダムな数分周期の変動を

伴っている(赤線が太く見えている部分)。これはこれまでの関東での測定例には見られない特徴である。

この大きな変動の原因を検討した。今回使用している測定装置はソフトウェア無線デバイスであるUSRP-N210を用いており、これにテレビ受信用のドーターボードTVR X2を組み込んで信号をAD変換している。TVRX2はAGC(自動利得制御)が切れない仕様になっている。仮にフェージングによる受信信号強度変動が起こっている場合、その強度変動をAGCが補正するときに位相変動を伴ってしまっている可能性が考えられる。そこで、2018年1月9日～10日にかけてTVRX2の代わりにAGC機能の付いていないドーターボードWBXを持ち込んで試験観測を実施した。その結果、受信信号強度変動は起こっておらず、WBXでも同様の大きな位相変動が観測されたため、この現象がフェージングによるものではないことが分かった。

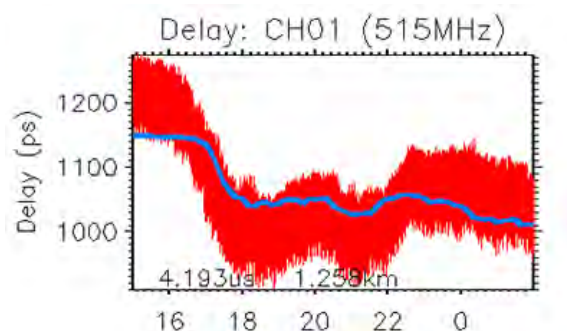


図 2: 地デジで測定した約 11 時間分の伝搬遅延量変動(赤)。青はアメダス名古屋の測定値を持ち知恵計算した値。

地デジ測定装置はISEE屋上のX帯気象レーダのコンテナ内に置いてある。試行錯誤の結果、このレーダの運用を停止したところ位相変動が無くなり、位相変動の原因が同レーダによるものであることが判明した。

4. まとめ

ISEE屋上で地デジを用いて測定した伝搬遅延変動は、アメダス名古屋の観測値から計算した変動と大きな傾向が良い一致を示し、妥当な観測ができていることが分かった。一方で地デジ測定の伝搬遅延には100 ps程度の大きな変動が乗っており、その変動の原因が同位置にて運用しているX帯気象レーダにあることが分かった。今後、測定場所を近くの建物に移して試験観測を継続する予定である。

参考文献

1. Kawamura, S., et al. (2017), Water vapor estimation using digital terrestrial broadcasting waves, *Radio Sci.*, 52, doi:10.1002/2016RS006191.

成果発表(口頭発表)

1. Kawamura et al., Water vapor estimation using digital terrestrial broadcasting waves, JpGU 2017, Chiba, 2017/5/23.
2. 川村他、地デジ放送波の複数の反射波を用いた水蒸気推定、気象学会 2017 年度春季大会、代々木、2017/5/25.
3. Kawamura et al., Water vapor measurement using propagation delay of digital terrestrial broadcasting waves, MST radar workshop, Tachikawa, 2017/5/30.
4. Kawamura et al., Water Vapor Measurement System using Digital Terrestrial Broadcasting Waves, 38th Conference on Radar Meteorology, Chicago, 2017/8/29.
5. 川村他、地デジ放送波を用いた水蒸気観測の現状、SGEPSS2017 年度秋大会、京都、2017/10/16.
6. 川村他、地デジ放送波を用いた水蒸気量推定手法の研究開発-遅延量の絶対値推定-、気象学会 2017 年度秋季大会、北海道、2017/11/1.

冬季における名古屋の都市エアロゾルの雲凝結核活性
Cloud condensation nucleus activity of urban aerosol
over Nagoya in winter

持田陸宏、名古屋大学・大学院環境学研究科

大気エアロゾルは雲凝結核 (CCN) として作用することで雲の生成に関与し、それによって地球の放射収支に影響を及ぼしている。都市域のエアロゾルの CCN 活性は、域内におけるエアロゾル・前駆気体の多様な放出や、域外からのエアロゾルの流入の影響が、気象条件等によって変動することが考えられ、その特徴の把握は容易ではない。本研究では当初、冬季の名古屋における大気エアロゾルの CCN 活性の特徴を把握するための観測を実施する予定であったが、今回は観測の実施を見送った。本研究に寄与する取り組みとして、名古屋で過去に採取した大気エアロゾル試料を用い、エアロゾルの CCN 活性を規定する因子のひとつである表面張力の解析を行った。

表面張力の解析には、2013 年の夏季に名古屋で取得した大気エアロゾル試料 (3 試料) を用いた。まず、フィルタ上に捕集されているエアロゾル成分を水で抽出し、異なる濃度の抽出物水溶液を作成した。そして、表面張力計 (DM-301、協和界面科学株式会社) を用いて、抽出物水溶液の表面張力を懸滴法によって測定した。この測定では、針先に液滴を作成した上、撮影された液滴の形状を Young-Laplace 法によってフィッティングすることで表面張力を求めた。なお、この測定では動的表面張力に着目し、測定開始直後から 5 分後までの表面張力の変化を調べた。CCN の実時間観測では、エアロゾル粒子の表面張力の情報が得られず、粒子のバルク吸湿性と表面張力がそれぞれどの程度 CCN 活性に寄与しているのかを把握することが課題として残されている。本研究で得られたデータは、今後、客観的なデータスクリーニング法を適用した上で最終化する必要があると考えられるが、名古屋の実大気 CCN の観測データを解釈する上で役立つと期待される。なお、今回の表面張力の解析には夏季に取得された大気エアロゾル試料を用いたが、冬季には、光化学活性が弱まることで二次的なエアロゾル成分の生成が抑制される、低い気温により半揮発性物質の粒子化が促進されるという特徴が考えられる。これまでに採取した冬季の大気エアロゾル試料を対象とする同様の実験による表面張力の季節性の解析について考えたい。また、未実施となった冬季の名古屋における CCN の実時間測定について、今回の結果を踏まえて検討を行いたい。

謝辞：本研究は、名古屋大学大学院環境学研究科の中村優亜氏と協力して行われた。表面張力の測定は、名古屋大学工学研究科の長野方星教授と岡智恵美研究員の協力により行われた。本研究の解析は、名古屋大学大学院環境学研究科の陳慶彩博士、鄧彦閣氏、小川修平氏、北海道大学の宮崎雄三博士、川上裕実氏の協力により行った大気エアロゾル水抽出物の CCN 活性の解析の一環として実施した。

夏季インド北東部・アッサム州の豪雨に対する季節内変動の影響 Effects of intraseasonal oscillations on heavy rainfall over Assam, India during summer

福島 あずさ（神戸学院大学人文学部・講師）

1. 研究目的

本研究は、インド北東部に独自に設置した雨量計により、地上観測に基づく降水現象の地域特性と季節内変動との関連性を明らかにすることを目的とする。特にアッサム州内のブラマプトラ川北岸でモンスーン季に頻発する大雨（日雨量100-200mm程度）の要因に着目し、ヒマラヤ南縁での降水現象に対する大気循環場の季節内変動（準2週間周期変動等）の影響について解析する。本年度はデータセットの延長（2012-16年の追加）を行った上で、各観測地点において日降水量が90パーセンタイル値を超える事例を抽出し、インド気象局によるグリッドデータセットとの比較を行った上で、事例の分析を進めた。

2. 研究方法

インド・アッサム州内に設置している15地点の転倒ます型雨量計のデータを用いた（図1）。対象期間はQCの済んでいる2007年1月-2016年12月とした。またデータの検証及び比較のため、インド気象局が作成した1901-2013年の日降水量グリッドデータセット（IMD4）（Pai *et al.* 2014）を利用した。

降水特性を把握するため、各地点の降水強度別頻度を求め、地域差を比較した。その後各地点で日降水量99パーセンタイル値の事例を抽出し、グリッドデータと降雨特性を比較した上で、循環場のコンポジット図を作成し、分析した（循環場データはERA Interimを利用）。

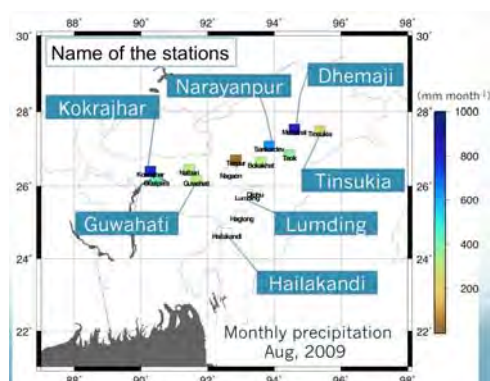


図1 対象観測地点の位置（色は2009年8月の月降水量値を表す）

3. 結果と考察

① 降水階級別頻度の地域性

アッサムの15地点の雨量計観測データから、降水強度別に5階級に分けた降水頻度を集計し、全降水頻度に対する比を求めた。図2によれば、州西部（Kokrajhar, Goalpara, Nalbari）およびブラマプトラ川右岸（Sankardev College (North Lakhimpur), Dhemaji）および州南部（Haflong, Hailakandi）において強い雨（降雨強度50mm day⁻¹以上）の寄与率が高い傾向がみられた。

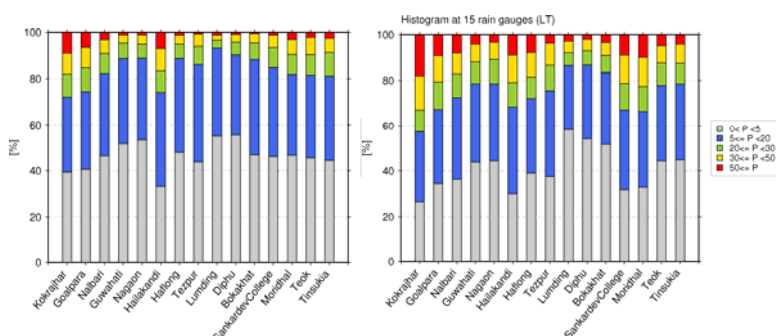


図2 各地点の降雨強度別頻度の寄与率

（左）IMD4,（右）雨量計観測値

② IMD4グリッドデータと観測における極端現象の比較

次に極端な大雨事例について、グリッドデータと雨量計観測値の比較を行った。具体的には、90, 95, 99パーセンタイル値を算出して散布図を作成した（図3）。結果から、多くのケースでIMD4のデータは観測値を下回っており、その傾向はより極端な大雨現象を意味する99パーセンタイル値で特に大きいことがわかった。また、強雨頻度が大きい地点（Kokrajhar, Sankardev College, Haflong）で、99パーセンタイル値の乖離が大きいことも明らかになった。いくつかの事例を分析したところ、この要因として、局地的に起こる強雨事例でグリッドデータが十分に解像できていないケー

スが見つかった．したがってこれらの事例の解析には，雨量計観測データをグリッド化せず，地点ベースで分析するのが適切ではないかと考えられる．

③ 豪雨事例のコンポジット解析

地点毎に，日降水量99パーセンタイル値を超える事例について，大気循環場のコンポジット図を作成した．最も豪雨頻度の高いKokrajhar（アッサム州西部）は，期間中に15事例があり，そのうち9事例がモンスーン季（JJAS）にあたる．図4は850hPaの高度と風のコンポジット（左図）および水蒸気フラックス（鉛直積算）（右図）を，気候値（全期間平均）からの偏差で表している．これらによれば，ベンガル湾北部からバングラデシュの沿岸部にかけて正偏差（高気圧性偏差）域が広がる．一方で観測点付近はヒマラヤ南麓を中心に，弱い低気圧性偏差となっており，水蒸気の強い収束が起こっている．水蒸気フラックスは西からの移流強化を示唆しており，ベンガル湾周辺からの南あるいは南東寄りの移流が弱まるタイミングでの豪雨の発生が示唆される．

次年度は，今年度の成果に加え，昨年度に行った 50mm h^{-1} を超える事例のケースの分類を踏まえ，特にモンスーン最盛期（6-8月）の事例を中心に，季節内変動との対応関係について解析を進め，本研究全体の成果としてまとめたいと考えている．

4. 引用文献

Pai DS, Sridhar L, Rajeevan M, Sreejith OP, Satbhai NS, Mukopadhyay M, 2014: Development of a new high spatial resolution ($0.25^\circ \times 0.25^\circ$) Long Period (1901-2010) Daily gridded rainfall data set over India and its comparison with existing data sets over the region. *MAUSAM*, **65**, 1-18.

5. 成果発表

（国内学会・研究集会発表）

1. 福島あずさ “Regionality of long-term trend and interannual variation of seasonal precipitation over India（インドにおける季節降水量の長期トレンドおよび経年変動の地域性）” 南アジア研究集会「アジアにおけるグローバル問題群を考える－南アジア諸国と日本の比較を中心に－」奈良女子大学，奈良，2017.12.17.
2. Fukushima A, Hayashi T, Terao T, Murata F, Kiguchi M, Yamane Y, Tanoue M, Fujinami H “Rainfall characteristics of Assam, India -comparison of the rain gauge observation and the gridded data-” XI IGU Commission Seminar, B. Borooah College, Guwahati, Assam, India, 9th Feb. 2018 (Invited)
3. Fukushima A “Rainfall characteristics of Assam, India -comparison of the rain gauge observation and the gridded data-” International workshop on Hydro-meteorological modeling for flood prediction in North East India, ICRC Cotton University, Guwahati, Assam India, 7th Mar. 2018

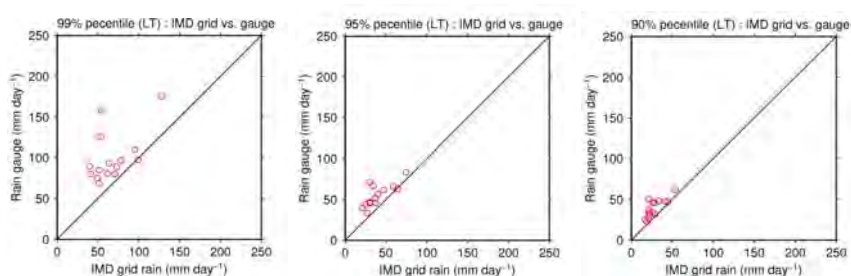


図3 雨量計観測とグリッドデータ（IMD4）における観測値の差
（横軸：IMD4，縦軸：雨量計観測値）

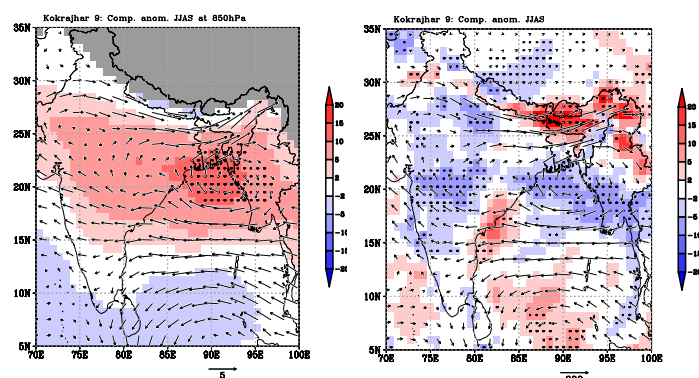


図4 Kokrajharにおける90パーセンタイル事例の循環場のコンポジット（気候値からの偏差，99%で有意なグリッドにハッチ）
左図：850hPa高度差と風ベクトル，右図：水蒸気フラックスとその収束（鉛直積算）

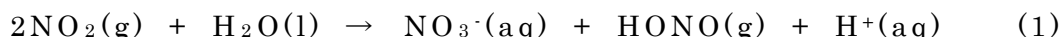
二酸化窒素とヨウ化物イオンの反応による気相へのヨウ素放出

Gaseous iodine emission from the reaction of
nitrogen dioxide with aqueous iodide

藪下 彰啓、九州大学・総合理工学研究院

研究目的

ヨウ素は対流圏オゾン破壊やエアロゾルの生成に関与しており、大気環境や気候に影響を及ぼしている。ヨウ素の大気中における反応機構は比較的明らかになっているが、そのヨウ素の放出源は十分に解明されていない。本研究で計測するヨウ素分子に関して、沿岸域では藻類などによる放出が知られているが、外洋では未解明な部分が多い。外洋の放出源として、これまでの研究によりオゾンとヨウ化物イオンの不均一反応によるヨウ素分子の無機的放出が提案されている。新たなヨウ素分子の放出過程の一つの可能性として、大気汚染ガスである二酸化窒素($\text{NO}_2(\text{g})$)と海水中に微量に含まれるヨウ化物イオン(I^-)の反応を探り、その反応によって気相中に放出されるヨウ素($\text{I}_2(\text{g})$)の計測を試みた。また、水微粒子中に0.1 mM程度のハロゲン化物イオンが存在すると NO_2 の取り込み係数が(1)の反応に比べ100倍程度増加することが明らかになっている。さらにこの反応時間は数ms程度である。



もしこのような速い取り込み反応が起こるのであれば、同時に早いヨウ素の生成が起こる可能性がある。そこで、30分程度の遅い反応と数秒オーダーの早い反応の両方の計測を試みた。

研究方法

ガラスセル内に0.5-50 mMヨウ化カリウム水溶液($\text{KI}(\text{aq})$)を70 mL注ぎ、 $(0.5-4.0) \times 10^{14} \text{ molecules cm}^{-3} \text{ NO}_2(\text{g})$ を総流量3 slmで流入させて反応させた。室温、圧力100 Torrで実験を行った。キャビティーリングダウン分光法(CRDS)を用いて、531.4-532.4 nmの領域で波長掃引を行い、吸収スペクトルを測定した。続いて $\text{I}_2(\text{g})$ のみを流入させて同波長範囲のスペクトルを測定して比較し、 $\text{NO}_2(\text{g})$ と $\text{I}^-(\text{aq})$ の反応による $\text{I}_2(\text{g})$ の放出を確認した。

次に、流入させた $\text{NO}_2(\text{g})$ と生成した $\text{I}_2(\text{g})$ 濃度の時間変化の計測を試みた。 $\text{I}_2(\text{g})$ と $\text{NO}_2(\text{g})$ は531.4-532.4 nmの範囲で両方とも吸収をもつ。そこで、532.198と532.305 nmの波長で上述と同様の条件の下、それぞれ測定を行い、 $[\text{NO}_2(\text{g})]$ と $[\text{I}_2(\text{g})]$ の時間変化測定を試みた。

結果

50 mM $\text{KI}(\text{aq})$ に $4.0 \times 10^{14} \text{ molecules cm}^{-3} \text{ NO}_2(\text{g})$ を導入して30分間閉鎖系で保持し、波長掃引を行い気相に放出された成分の吸収ス

ペクトルと、 $\text{I}_2(\text{g})$ 吸収スペクトルを測定して比較し、 $\text{NO}_2(\text{g})$ と $\text{I}^-(\text{aq})$ の反応により $\text{I}_2(\text{g})$ が放出されていることを確認した(図1)。

次に $\text{NO}_2(\text{g})$ と $\text{I}^-(\text{aq})$ の反応によって気相中に放出される $[\text{I}_2(\text{g})]$ と $[\text{NO}_2(\text{g})]$ の時間変化測定を試みた。 $\text{KI}(\text{aq})$ 濃度を0.5, 2.5, 5, 50 mMと変化させ、フロー時間10分間でそれぞれ測定した。この結果、 $\text{I}_2(\text{g})$ の気相への放出は確認されなかった。数秒オーダーでは $\text{I}_2(\text{g})$ は放出されない可能性が示唆された。

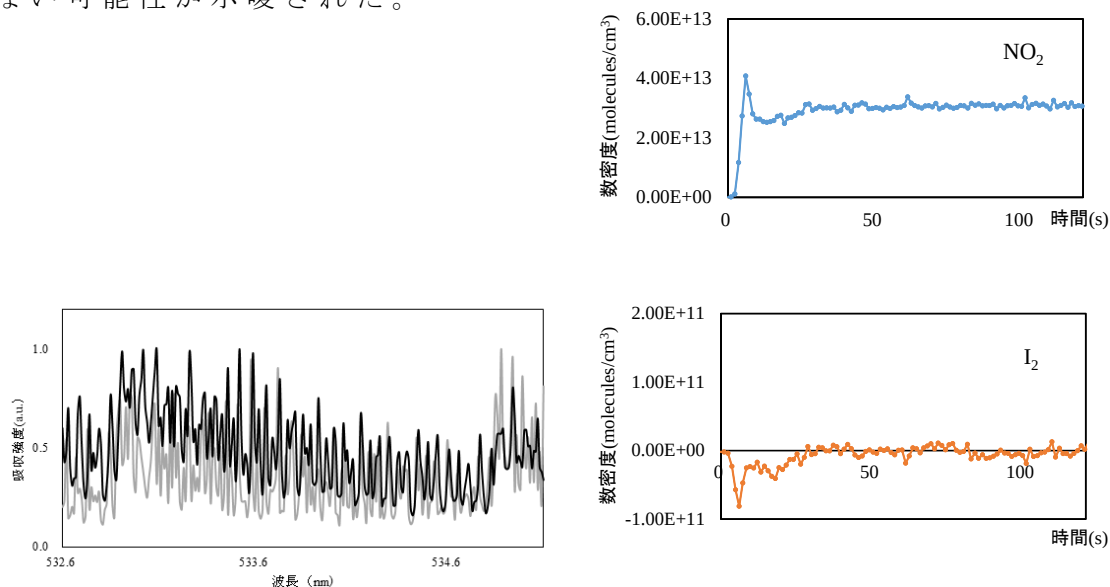


図1 50 mM $\text{KI}(\text{aq})$ に 4.0×10^{14} molecules/ cm^3 $\text{NO}_2(\text{g})$ を流入させてから30分後の吸収スペクトル(灰色)とヨウ素吸収スペクトル(黒色)

図2 2.5 mM $\text{KI}(\text{aq})$ に 5.0×10^{13} molecules/ cm^3 $\text{NO}_2(\text{g})$ を流入させたときの $\text{NO}_2(\text{g})$ と $\text{I}_2(\text{g})$ の濃度変化

まとめ

遅い反応については、(2)(3)反応によって生成したヨウ素であると考えられる。



現在の実験条件下において、数秒の早い反応時間では $\text{NO}_2(\text{g})$ と $\text{I}^-(\text{aq})$ の反応によって気相へ $\text{I}_2(\text{g})$ は放出されなかった。今後は $\text{KI}(\text{aq})$ の濃度依存性、 $\text{NO}_2(\text{g})$ の濃度依存性、pH依存性などを調べ、反応機構の解明を行う。

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

背景と目的

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領域・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、統計的性質に関する調査を中心に進めていく。

研究進展状況

Odin/OSIRISによる極軌道可視分光観測から得られたNa原子の密度データ(2004-2010年)の収集と解析を進めた。AE指数を基準にしてNa原子密度データを分類し、オーロラ活動の活発化に伴ってNa原子密度がどのように変化するか調査した。その結果、オーロラ活動が活発になると両極域の高度~95 km以上の領域でNa原子密度が減少する傾向にあることを見出した。

更に、Odin/OSIRISによる極軌道衛星データ(LT固定データ)に加え、地上定点観測データである南極昭和基地ライダー(69.0°S, 39.6°E)によるNa原子の密度データ(2000-2002年)を用い、特にMLT特性に着目して調査を進めた。Odin/OSIRISのデータ解析と同様に、AE指数を基準にしてNa原子データを分類し、オーロラ活動の活発化に伴ってNa原子密度がどのように変化するか調査した。その結果、オーロラ活動が活発になると高度~94 km以上でNa原子密度が減少する傾向が見られ、Odin/OSIRISの結果で見られた高度~95 km以上におけるNa原子密度の減少傾向と整合的であった。また、Na夕方から真夜中、朝方へとMLTが時間進行するにつれてNa原子密度の減少率が大きくなることが判明した。オーロラ降下粒子フラックスの増大がMLTの時間進行に伴って起こる傾向と整合的である。以上のことから、オーロラ降下粒子による効果
並行して、オーロラ降下粒子が起こすNa原子密度の減少プロセスをより詳細に理解するため、Naの化学過程に関するモデル開発に着手している。

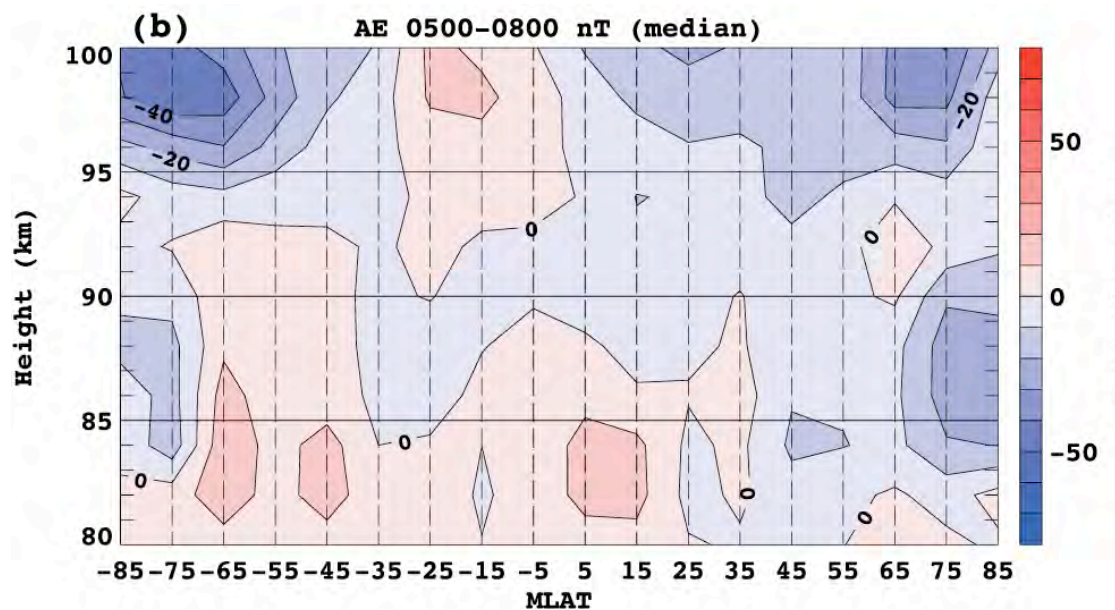


図. オーロラ活動活発時の Na 密度の変動成分 (Tsuda et al., GRL, 2017)

学術論文 (査読付)

- (1) T. T. Tsuda, M. T. Rietveld, M. J. Kosch, S. Oyama, K. Hosokawa, S. Nozawa, T. Kawabata, A. Mizuno, and Y. Ogawa, Survey of conditions for artificial aurora experiments at EISCAT Tromsø using dynasonde data, *Earth Planets Space*, 70, 40, doi:10.1186/s40623-018-0805-9, 2018.
- (2) S. Oyama, K. Kubota, T. Morinaga, T. T. Tsuda, J. Kurihara, M. F. Larsen, M. Yamamoto, and L. Cai, Simultaneous FPI and TMA measurements of the lower-thermospheric wind in the vicinity of the poleward-expanding aurora after substorm onset, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 122, 10,864-10,875, doi:10.1002/2017JA024613, 2017.
- (3) M. Kogure, T. Nakamura, M. K. Ejiri, T. Nishiyama, Y. Tomikawa, M. Tsutsumi, H. Suzuki, T. T. Tsuda, T. D. Kawahara, and M. Abo, Rayleigh/Raman lidar observations of gravity wave activity from 15 to 70 km altitude over Syowa (69°S, 40°E), the Antarctic, *J. Geophys. Res. Atmospheres*, 122, 7869-7880, doi:10.1002/2016JD026360, 2017.
- (4) T. T. Tsuda, T. Nakamura, M. K. Ejiri, T. Nishiyama, K. Hosokawa, T. Takahashi, J. Gumbel, and J. Hedin, Statistical investigation of Na layer response to geomagnetic activity using resonance scattering measurements by Odin/OSIRIS, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 5943-5950, doi:10.1002/2017GL072801, 2017.
- (5) T. D. Kawahara, S. Nozawa, N. Saito, T. Kawabata, T. T. Tsuda, and S. Wada, Sodium temperature/wind lidar based on laser-diode-pumped Nd:YAG lasers deployed at Tromsø, Norway (69.6°N, 19.2°E), *Opt. Express*, 25, A491-A501, doi:10.1364/OE.25.00A491, 2017.

招待講演

- (1) 津田卓雄, 斎藤徳人, 野澤悟徳, 川原琢也, 川端哲也, 高橋透, C. M. Hall, 和田智之, 中村卓司, 江尻省, 西山尚典, 阿保真, 津野克彦, J. Gumbel, J. Hedin, 光リモートセンシングによる超高層大気の研究, レーザー学会 学術講演会 第38回年次大会, 京都, 2018年1月.
- (2) T. T. Tsuda, T. Takahashi, S. Nozawa, T. D. Kawahara, T. Kawabata, N. Saito, S. Wada, C. M. Hall, Y. Ogawa, K. Hosokawa, T. Nakamura, M. K. Ejiri, T. Nishiyama, M. Abo, K. Tsuno, J. Gumbel, and J. Hedin, Energetic particle impact on the Na layer, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, Chiba, May 2017.

高解像度気象シミュレーションデータを用いた
洋上電力システムの運用技術に関する研究
Research on operation technologies of offshore power systems
using high-resolved weather simulation data

薄 良彦，大阪府立大学・工学研究科

研究目的・方法

本研究の目的は，高解像度気象シミュレーションのデータを利用した洋上電力システムの運用技術に関する検討である。研究方法としては，貴研究所で開発されてきた雲解像モデル（CReSS）によるシミュレーションデータを用いること，ならびに電力システムの数理モデリング手法を採用し，①シミュレーションデータに基づく実地洋上ウィンドファームのアセスメント，ならびに②洋上ウィンドファームからの電力輸送に必要な交流・自励式直流送電混在システムのモデリングの検討を行った。

研究結果

- ① CReSSデータに基づく実地洋上ウィンドファームのアセスメントを実施した。具体的には，空間解像度2km/時間解像度30分の予測データ，ならびに空間解像度200m/時間解像度1秒の予測データを用いて，茨城県神栖市沿岸の洋上ウィンドファームにおける風況ならびに風力出力を評価し，実測データとの比較検討を行った。この結果，CReSSが風向ならびに風速スペクトルの評価に有効であることを明らかにした。この結果は貴研究所所員との共著論文として出版された[1]。
- ② CReSSデータの組み込みを想定した，交流・自励式直流送電混在システムのモデリングを実施した。具体的には，欧州北海における洋上ウィンドファームならびにヨーロッパ大陸側の広域交流システム，それらを連系する自励式直流送電のモデル化に向けた取り組みを進めた。この結果については国内学会で報告を行った[2]。また，この研究テーマについて，JSTのプロジェクトとしてノルウェーならびにドイツと共同研究を2018年4月に開始するに至り，今後の展開の基礎を本年度の貴研究所における取り組みで与えることができた。

まとめ

本研究では，CReSSシミュレーションデータを用いた洋上ウィンドファームのアセスメント，ならびに交流・自励式直流送電混在システムのモデリングを行った。なお，前年度の研究成果が共著論文として出版されたことを付記する[3]。

成果発表

- [1] F. Raak, Y. Susuki, K. Tsuboki, M. Kato, S. Eguchi, and T. Hikiyara, Assessment of offshore wind farm characteristics with the cloud resolving storm simulator: A case

study in Japan, Wind Energy, Doi:10.1002/we.2176, March 2018.

- [2] 大橋悠介, 薄良彦, 石亀篤司, 舟木剛, 自励式変換器を用いた交直混在システムの動特性モデリングに関する一検討, 電気学会電力・エネルギー部門大会, ポスターセッションP46, pp. 91-92, 明治大学, 2017年9月.
- [3] F. Raak, Y. Susuki, K. Tsuboki, M. Kato, and T. Hikihara, Quantifying smoothing effects of wind power via Koopman mode decomposition: A numerical test with wind speed predictions in Japan, Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol.8, no.4, pp.342-357, October 2017.

SIに伴い中緯度 SuperDARNで観測されるFLR現象の統計的解析
SI-associated FLR phenomena 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においては、その受信信号のうち sea/ground backscattered signals (以下 **SGBS** と記す)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 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。上記論文のeventsではSIとの関連は見られなかった。また同eventsにおいて **SGBS** 中にFLRの観測例も報告されており、そのFLRにより生じる磁力線固有振動もpoloidal modeと解釈されている。しかし、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SuperDARN 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** 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】

昨年度後半に開始した、名古屋大学・宇宙地球環境研究所・修士課程・飯田剛平氏(指導教員：西谷准教授)が発見した 1 event についての解析研究を継続発展させた。昨年度はHankasalmi, Finland (磁気緯度59.1°N、磁気経度104.5°E。以下HANと記す) のSuperDARN radarのBeam #1のデータの解析まで進んでいたが、本年度になってこのイベントがPykkvibaer, Iceland (磁気緯度64.6°N、磁気経度57.3°E。以下PYKと記す) のSuperDARN radarでも同時観測されている事が認識され、まずPykkvibaer Beam#13の解析を開始した。このeventでは、HAN Beam#1においてもPYK Beam#13においても~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範囲内において観測された。その振幅と位相はFLRに典型的にみられる緯度依存性を持っていた。ただ、HAN Beam#1のみならずPYK Beam#13においてもVLOS(視線方向速度)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 (以下 **IBS** と記す) が混在したものである可能性が高いと考えるに至った。この波動現象がFLRであるとしてその周波数から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、HAN Beam#1で62.5 ams/cc、PYK Beam#13で64.6 ams/ccであり、PYKの方がやや大きかった(有意な差であるか否かは今後検証の必要がある)。

【考察、まとめ】

この波動が **IBS** の波動であるとする本研究の本来の研究目的(上記)からはやや外れる事になるが、興味深い現象であるので解析を続けている。SIが生じた~15hr UTにはPYKのLT (local time) は~15hr、HANの

LTは～18hrであり、PYKの方が昼側であった。FLRが生じた緯度はPYKがHANより～1° 大きい程度だったのでSI前の密度はPYKの方が少し小さい程度であったとすると、SIによる圧縮効果は昼間側の方が大きい、という良く知られた性質を本観測は示している可能性がある。ただ、62.5と64.6が有意な差であると断定するのは難しいため、今後他のBeamsのデータを網羅的に見ていく必要がある。

このイベントの解析終了後は、本来の研究目的に戻り、中低緯度での SGBS の振動及びそれによりFLRが生じていると見られるeventsを探し、見つかったeventsについて上記と同じ解析方法で統計的に解析したい。

【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】

河野 英昭, 行松 彰, 西谷 望, 田中 良昌, 才田 聡子, 堀 智昭, 飯田 剛平, SuperDARN 2 点で SC 時に同時観測された磁力線共鳴現象からのプラズマ圏密度推定, 地球電磁気・地球惑星圏学会 第 142 回総会・講演会, 京都大学宇治キャンパス, 2017.10.19.

河野 英昭, 行松 彰, 田中 良昌, 才田 聡子, 西谷 望, 堀 智昭, 飯田 剛平, Toward magnetospheric region identification based on the FLR observed by SuperDARN Radars: Study of an event observed by two radars at an SC, 第 8 回極域科学シンポジウム, 国立極地研究所, 2017.12.05.

河野英昭, 西谷 望, 行松 彰, 田中良昌, 才田聡子, 堀 智昭, 飯田剛平, SuperDARN 2 点で同時観測された SC 時 FLR からのプラズマ圏密度 2 次元推定, 名古屋大学宇宙地球環境研究所 研究集会「電磁圏物理学シンポジウム」, 福岡・九州大学医学部百年講堂, 2018.03.14.

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にすることは重要である。そのためには、高エネルギー電子の磁気圏内での輸送を扱うグローバルモデルが有用なツールとなるが、コーラス放射との波動粒子相互作用で本質的に重要となる非線形効果をどのように取り入れるかが課題として残されている。本研究課題は、コーラス励起過程を再現する素過程シミュレーションとグローバルモデルとの連携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携計算を実施する。具体的な連携計算としては、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（連携計算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（連携計算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

本研究課題の成果として、高エネルギー電子の初期速度分布に与える温度異方性と数密度を広いパラメータレンジでサーベイ計算を実施した結果について整理しまとめたことが挙げられる。素過程シミュレーションを様々な初期条件を用いて実施して、コーラス放射の発生条件に関わるパラメータを定量的に明らかにした。この成果に基づいて、グローバ

ルモデルの結果から得られる内部磁気圏での高エネルギー電子フラックスならびにホイッスラーモード波動の線形成長率の空間分布から、どの領域でコーラス放射が発生し得るかの評価に用いる。また、2017年3月から定常観測が開始された「あらせ衛星」の観測結果は本研究課題にも密接に関わることから、シミュレーション結果と衛星観測結果の比較・考察についても検討を開始した。研究計画最終年度となる平成30年度には、開発した手法をさらに発展させると共に、あらせ衛星をはじめとした内部磁気圏における衛星観測結果との比較を通じて、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を定量的に究明することをねらう。

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

大嶋晃敏・中部大学・工学部

【研究目的】

本研究では、日本とインドに設置した大型ミュオン望遠鏡を用いた宇宙線連続観測により、宇宙線強度変動と太陽活動との関係、及び宇宙線異方性と惑星間空間磁場（IMF：Interplanetary Magnetic Field）の構造との関係について調べる。これにより、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】

内部太陽圏において太陽活動の影響を受けるエネルギーの低い銀河宇宙線は、IMF との相互作用などにより複雑な流れを形成している。これを地球上で観測すると、さまざまな宇宙線の異方性として観測される。このような宇宙線の流れは、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、地球上に展開した多数の観測装置を用いた宇宙線観測により、異方性を観測し、モジュレーション的解析を施すことによって、宇宙線の加速・伝播機構の理解を深めることができる。我々が用いるミュオン望遠鏡は、およそ数十 GV 程度のリジディティの宇宙線を観測することができる。これは、約 0.4 au の巡回半径に相当する空間領域を観測することになり、IMF の構造の観測にもつながる。

本研究では、GRAPES-3 実験（インド）、本研究所（東山）、および東京大学宇宙線研究所明野観測所の各ミュオン望遠鏡を用いて、銀河宇宙線の連続観測を実施する。GRAPES-3 と明野観測所のミュオン検出器は、共に比例計数管を 4 層に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。両者間の距離は、地理経度で約 60 度であり、この地理経度の違い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 ミュオン観測も、検出面積を 2 倍（1,120 m²）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し、観測が再開される予定である。

【研究活動報告】

現時点で、GRAPES-3 実験のミュオン検出器の拡張作業は大詰めを迎えつつあり、2018 年 8 月頃までには検出器とその建屋構造が完成する。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である。（図 1）。新ミュオン検出器に向けて開発された、フロントエンド回路（図 2）は、すでに既存のミュオン検出器（ミューステーション 3）に設置され、試験的な運用が行われている。本年度の人的な活動としては、2017 年 7 月から 2018 年 3 月まで、大阪市立大学の林嘉夫氏が、GRAPES-3 に滞在し、新ミュオン検出器建



図 1 新ミュオン検出器（2018 年 3 月現在）。写真右側が北。建屋の壁構造の大半が完成している。この後、天井部（吸収層）の建設が行われる。

設の指導を行った。これにより、比例計数管の製作もほぼ完了し、16 器のうち 10 器について、比例計数管の積み上げ（4 層）が完了している。残りの 6 器についても、それぞれ 2～3 層を残すのみとなっている。また、本研究代表者も 2018 年 3 月に約 1 週間、GRAPES-3 に滞在し、建設作業に携わり、比例計数管の製作手順のまとめを行った。一方、同じく 2018 年 3 月には、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が、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い、滞在期間中に投稿した。



図 2 新型フロントエンド回路は、既存のミュオン検出器に設置され試験運用されている。

2017 年中及び 2018 年 3 月にかけて、広島市立大学の田中公一氏が、複数回にわたり中部大学に来校し、GPRAES-3 及び明野ミュオン観測のデータ解析について議論した。また、本研究代表者、広島市立大学の田中公一氏と大学院生により、明野ミュオン観測の再整備を進めた。

【研究成果】

本研究に関する成果として、1 篇の査読論文 [1] が出版され、1 篇 [2] が受理された。また、1 篇の論文が投稿中である。その他、日本物理学会で 3 件、ISEE 研究集会 - 太陽圏シンポジウムで 2 件の発表を行った。

【学術論文】

1. "Dependence of the muon intensity on the atmospheric temperature measured by the GRAPES-3 experiment", K.P Arunbabu et al, Astroparticle Physics, Vol.94, p.22-28(2017)
2. "Was the cosmic ray burst detected by the GRAPES-3 muon telescope on 22 June 2015 caused by a transient weakening of the geomagnetic field or by an interplanetary anisotropy?", P.K.Mohanty et al., Physical Review D, 27 March 2018, accepted.

【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(19)」
小島浩司、柴田祥一、大嶋晃敏他、日本物理学会 2017 年秋季大会、14aU31-4
2. 「GRAPES-3 ミュオン検出器の拡張と新型検出器の計画について」
大嶋晃敏、小島浩司、柴田祥一他、日本物理学会 第 73 回年次大会、22aK308-11
3. 「大面積高精度 muon 望遠鏡による方位別宇宙線強度変動の研究(20)」
小島浩司、柴田祥一、大嶋晃敏他、日本物理学会 第 73 回年次大会、22pK308-5
4. 「銀河宇宙線の異方性と太陽風速度」
小島浩司、柴田祥一、大嶋晃敏他、「平成 29 年度 ISEE 研究集会 - 太陽圏シンポジウム」
5. 「GRAPES-3 ミュオン検出器拡張の進捗報告」
大嶋晃敏、小島浩司、柴田祥一他、「平成 29 年度 ISEE 研究集会 - 太陽圏シンポジウム」

世界最多雨地域における雨滴の特徴とモンスーン気流場との関係
Relationship between raindrop size characteristics and monsoon airflow
over the highest rainfall area

村田 文絵, 高知大学理工学部

インド北東部に位置するメガラヤ高原の南斜面及びその周辺は、平均年間降水量が1万ミリを超えるチェラプンジやマウシンラムといった地点を含み、世界最多雨地域として知られる。この地域におけるモンスーン季の降水は顕著な季節内変動をもち、数日続く降水活発期が周期的に生じる。しかし、この降水活発期についてOLRのコンポジット解析を行うと、この地域の対流活動が活発であると検出できない(Murata et al. 2017)。このことは大雨をもたらすこの地形性降水の背が低いことを表している。一方TRMM 2A25 V7データセットによるレーダー雨量と雨量計との比較から、このメガラヤ高原の南斜面及びその周辺の地域は、周辺平野部と比べてモンスーン季の雨量を半分程度も過小評価している(Terao et al. 2017)。しかしこの傾向はプレモンスーン季の雨量にはみられず、季節による雨の違いがある。

本研究では、JAXA PMMプロジェクトの予算で、2017年5月初旬に多雨地点チェラプンジとカウンターパートであるNorth Eastern Hill Universityのキャンパスの2地点にそれぞれOTT社の光学式雨滴粒度分布計Parsivelを設置した。また、同じ期間インド熱帯気象研究所がインパクトタイプの雨滴粒度分布計をそばに設置して、比較観測を行っている。現地で特に3-5月に頻発する雷の影響を極力回避するために、観測装置の電源は太陽電池パネルからの充電で賄っている。観測場所はインド気象局の協力の下、インド気象局チェラプンジ観測所の敷地内に設置した。2017年11月と2018年3月にデータ収集を行ったが、ほぼ継続的にデータが取得できた。ただし、雨量計との比較の結果明らかに雨が降っているにも関わらず降水量がゼロの時間帯もあることがわかった。これはおそらくレーザーの受信部が大雨の影響を受けて正常な観測の実施が困難となるために起こっているようにみえる。

初期解析として季節毎の雨滴粒度分布の特徴を比較した。一般的な特徴として、降水強度が強いほど雨滴の代表粒径として用いた中央粒径 D_m は大きい。そこで降水強度に対する D_m の関係について調べた。プレモンスーン季は非常に弱い降水強度でも非常に大きな D_m が観測される場合がある。プレモンスーン季は大気的不安定度が非常に高く100mm/h程度かそれ以上の強い降水強度がしばしば観測される。一方モンスーン季の中の降水活発期においては、日雨量300mm程度の大雨が Continuing しているにも関わらず日雨量に対して20-30mm/h未満の弱い降水強度による寄与が最も大きく、これはプレモンスーン季と大きく異なる特徴であった。降水強度- D_m の関係は、プレモンスーンに比べてモンスーン季は大きな降水強度において相対的に D_m が小さい傾向がみられた。これは地形性降水において寄与が大きいといわれる暖かい雨過程でのこれまでの研究と整合的である。観測中ポストモンスーン季である10月下旬にも日雨量300mmを超える大雨日があった。総観場をみると弱い低気圧性擾乱の影響を受けていた。この日の雨は40mm/h程度の降水強度の雨が総雨量に最も大きく寄与するという点でプレモンスーン季やモンスーン季と異なっていた。

参考文献

- Murata, F. et al. 2017, *J. Climate*, 30, 8237-8251.
Terao, T. et al. 2017, *SOLA*, 13, 157-162.

木星放射線帯粒子変動要因の観測研究

Observational study of variation processes of relativistic particles in 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ロtron電波(JSR)は、直接観測のほぼ不可能な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で強度変化を起こす現象について研究を行い、その現象が①太陽紫外線照射量変動と関連を持つ成分、②木星磁気圏で自励的に発生すると考えられているサブストーム型現象の出現と関連を持つ成分の2種が存在する可能性を示してきた。一方で、これら①、②のプロセスでは説明の難しい第3の成分(③)がある可能性が示され、従来はその存在が疑問視されてきた太陽風変動と関連する成分である可能性が改めて示唆されてきており、この成分-③の存在の検証と成因の考察が新しいテーマになってきている。本研究では、特に、この成分-③の存在の検証と、太陽風変動との関連の査定を目的として研究を行ってきた。

[研究方法] 上記目的達成のために、本研究は観測・データ解析に基づく以下を内容とする計画を進めてきた。A.電波望遠鏡を用いた連続観測に基づく JSR 強度変動計測、B.MF 帯電波による木星極域変動の連続モニター・データの解析に基づく磁気圏広域活動の評価、C.磁気圏変動要因と目されるイオ火山性ガス・プラズマの発光モニター・データに基づく JSR 変動への寄与の評価、また、D.木星位置で想定される太陽紫外線および太陽風データに基づく JSR 変動への寄与の評価。

[進捗状況] 研究最終年度の本年度は、太陽風プラズマ、磁気圏プラズマの直接計測データを併用しての解析・考察が可能となる、木星周回探査機 JUNO の近木点通過時期付近の2017年5月15～19日 UT(JUNO PJ6)と12月8～17日 UT(同 PJ10)の2回 JSR のキャンペン観測を行い、データ解析を進めている。また、昨年度までに実施した JSR キャンペン観測(2016年5～6月、2017年3月実施)データについても解析を進めた。現況は以下の通りである。

- A. JSR 観測: NICT 鹿島の 34m 電波望遠鏡を用いて 2.3GHz 帯の JSR 強度観測を実施した。観測方法は、観測帯域内に混入する人工電波成分(RFI)を除去した強度導出を可能とするための全観測帯域のスペクトル観測を採用した。また、インドの大型電波干渉計 GMRT を用いた 1.4GHz での JSR イメージング観測を観測期間内にスポット的に実施した。強度観測データについては RFI の評価に基づく JSR 強度導出を、干渉計観測データについてもイメージングを進めている。
- B. 木星磁気圏現象の変動特性: 木星周回探査機 Galileo で取得された過去の木星磁気圏直接観測データと、地球近傍で取得された WIND 衛星の木星 MF 帯電波(HOM)観測データの比較精査から、凡そ 3～7 日で準周期的に強度変動を示す特異な電波成分が、木星磁気圏尾部域で発生する自励的な磁気再結合現象と関係することを見出し、HOM をマーカーにして木星の磁気圏現象を俯瞰することが可能となることを示した。この“特異な”HOM の出現と JSR 観測期間の対応関係は、2016年5～6月期と2017年3月期は出現、2017年5、12月期には出現無しであった。
- C. イオ火山性プラズマの発光量変動特性: HISAKI 衛星によるイオ火山性プラズマ発光の2015年の連続観測データの解析から、発光量には日単位の変動が生じる場合があり、その変動は外側～内側へ伝搬する傾向が示された。またこの現象はオーロラ発光量の短期変化とも同期しており、内部磁気圏で発生したインジェクション現象との関与が示唆された。この現象と JSR 観測期間の対応関係(および B の“特異な”HOM との関係)は現在精査中である。
- D. 太陽紫外線・太陽風の変動特性: 上記の JSR 観測期間について、木星で想定される太陽紫外線強度と太陽風パラメータの変動を見積もった(前者は太陽 F10.7 で代用、後者は Tao-model(Tao+, 2005)を使用)。太陽紫外線変化については、JSR 観測期間内で、2016年5～6月期には 20%程の増減、他期間は 10%以内で推移していた。一方、太陽風(動圧)は 2017年3月期以外の期間は、静穏時変動に対し有意に大きい、 $0.1 \sim 0.3 \text{ nPa}$ の変化が含まれていた。

[総括] 本年度まで都合 4 度の JSR 強度およびイメージングのキャンペン観測を実施した。これらの期間についての JSR 変動要因候補成分-①～③について、各観測期間について解析・精査を行った。未知成分-③の探索を行うには、成分-①太陽紫外線変動、②自励変動(～磁気圏尾部域の磁気再結合)が含まれず、成分-③の候補である太陽風変動が含まれる時期が好適と考えられるが、この時期として 2017 年 12 月期が該当することが示された。現在、この直近に行った JSR 観測のデータ解析精査を優先的に進めており、本研究期間後とはなるが、この成果発表も次年度に行っていく。

[成果発表等]

・学会・研究会発表: 第 142 回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会(2017 年 10 月@宇治)、第 19 回惑星圏研究会(2018 年 2～3 月@仙台)、(日本地球惑星科学連合 2018 年大会(2018 年 5 月@幕張: 予定))

内部磁気圏における運動論的不安定性による磁気流体波動励起
Excitation of magnetohydrodynamic waves via kinetic instabilities in the inner magnetosphere

天野孝伸(東京大学・理学系研究科)

地球の内部磁気圏領域は平均的には双極子磁場の支配的な低ベータ領域であるが、磁気嵐時などにはプラズマシートからのプラズマ供給によって、リングカレント粒子のプラズマ圧が磁気圧と同程度になることが分かっており、このような場合のプラズマダイナミクスを調べるのが本研究の大きな目的である。特に、内部磁気圏領域での低周波磁気流体(MHD)波動(ULF波動)の起源として考えられてきたプラズマ不安定性の理解を目指し、背景プラズマをMHDとし、リングカレント粒子のみを運動論的に扱う独自開発の数値シミュレーションモデルを用いて研究を行った。

今年度は内部磁気圏を模擬したモデルとして、磁力線の曲率を無視したスラブ配位のもとで、磁気圧とリングカレント成分のプラズマ圧力がバランスした平衡状態を初期条件とした数値シミュレーションを実施した。ここでリングカレント成分に温度異方性($T_{\text{perp}} > T_{\text{para}}$)を与えた場合は、パラメータによってミラー不安定性と電磁イオンサイクロトロン(EMIC)不安定性が励起され得る。ただし、本研究で考えるパラメータ領域ではEMIC不安定性の方がミラー不安定性よりも優勢である。ところが、初期にミラー不安定性の条件を満たさない場合であってもミラー不安定性に特徴的な磁気圧とプラズマ圧の負相関が現れることがシミュレーション結果から分かった。シミュレーションで得られた分布関数データの解析から、これは初期にEMIC不安定性によって励起されたAlfven波によるピッチ角散乱がbi-Maxwellian分布とは異なる分布を形成し、これがミラー不安定性に対する運動論的な不安定条件を満たすことが分かった。今後はこの過程が起こる条件、特に磁気圏物理への適用可能性について議論を進めていく予定である。

SOM によるクラスタ解析に基づいた局地的豪雨の発生発達可能性に関する研究
Study on the generation and development probability of local torrential rains
based on cluster analysis using SOM

法政大学デザイン工学部 鈴木善晴

近年、我が国ではゲリラ豪雨とも呼ばれる、局地的豪雨が急激に発達する事例が増加しており、都市河川の氾濫や土砂災害などに伴う人的被害が頻発化する傾向にある。このような局地的に発生する豪雨は時間・空間スケールが極めて小さく、各々が独立した発達システムを持つため、気象モデルを用いた旧来の予測システムでは予測が難しい。このような問題に対し、国土交通省では X バンド MP レーダ（以下、MP レーダ）を用いた観測網 X-RAIN を整備し、豪雨の監視体制を強化するなどの対策に力を入れている。

しかしながら、ゲリラ豪雨が発生・発達するメカニズムはまだ十分に明らかにされておらず、その予測には多くの課題が残されている。「積乱雲のタマゴ」と呼ばれる上空でできた局地的豪雨をもたらす可能性がある降水セルに着目し、大気中の渦度・渦管とタマゴとの関連性の解明を目的とした研究が行われているものの、積乱雲のタマゴが豪雨へ発達するかどうかを予測するための手法は確立されていない。

そこで本研究では、X-RAIN により観測された偏波レーダ情報から積乱雲のタマゴの抽出を行うとともに、複数の GPV データより算出した大気場指標を用いてタマゴの発達事例と非発達事例における大気場の特徴の違いについて解析を行う。また、自己組織化マップ SOM によるクラスタ解析に基づいた積乱雲のタマゴの発生・発達可能性に関する評価手法の検討を行う。使用する GPV データは、雲解像モデル CReSS(解像度 2km)、メソ数値予報モデル MSM (解像度 5km)、局地数値予報モデル LFM (解像度 2km) からの計算出力データとし、対象期間は 2014 年～2016 年の 3 年間における夏季期間（6 月～9 月）とする。本稿では、平成 29 年度における本研究の進捗状況について述べる。

平成 29 年度は主に MSM の GPV データを使用し、CAPE, SSI, K 指数, 可降水量, 相対湿度, バルクリチャードソン数, 風の収束及び渦度の 8 つの大気場指標を算出し解析に用いた。MSMGPV とは、水平格子間隔 5km, 鉛直 13 層で 3 時間間隔のデータである。K 指数とは、各高度における気温と露点温度を基に算出する値であり、値が大きいほど雷雨発生の確率が高い。また、X-RAIN の合成雨量図および偏波レーダ情報を基に作成した鉛直断面図を利用し、目視で 155 個の積乱雲のタマゴ（発達事例 106 事例, 非発達事例 49 事例）を抽出し、偏波レーダ情報, 降水粒子の種類, ドップラー渦度, MSMGPV から算出した大気場指標を用いて、積乱雲のタマゴの発達構造について解析を行った。ドップラー渦度とは、MP レーダによって観測されるドップラー風速を用いて算出した渦度である。次に、SOM を使用した積乱雲のタマゴのクラスタ解析を行った。SOM とは、ニューラルネットワークの一種であり、非線形かつ複雑な多次元データのパターン分類に適している。本研究では、正規化した偏波レーダ情報, 大気場指標, ドップラー渦度, 降水粒子の種類から 22 パターンの組み合わせを設定し、SOM の入力データとした。抽出した全ての積乱雲のタマゴに対してクラスタ解析を行い、その後の発達と非発達が正しく判別されたタマゴの割合から判別精度を求めた。

現状の成果としては、積乱雲のタマゴの発達・非発達と K 指数やドップラー渦度などとの関係性についていくつかの知見が得られており、SOM によるクラスタ解析において最も判別精度の高い組み合わせで約 80% という結果が得られているものの、さらなる関係性の明確化と判別精度向上のためには空間解像度が高く時間間隔が短い GPV データを使用する必要があることから、今後はより多くの事例を抽出したうえで CReSS および LFM の GPV データを用いた解析に取り組む予定である。

遺跡出土遺物を用いた古食性，古環境復元研究
Reconstruction of paleo diets and environment using archaeological remains

宮田佳樹、金沢大学・先端科学イノベーション推進機構・ベンチャー
ビジネスラボラトリー

【研究目的】

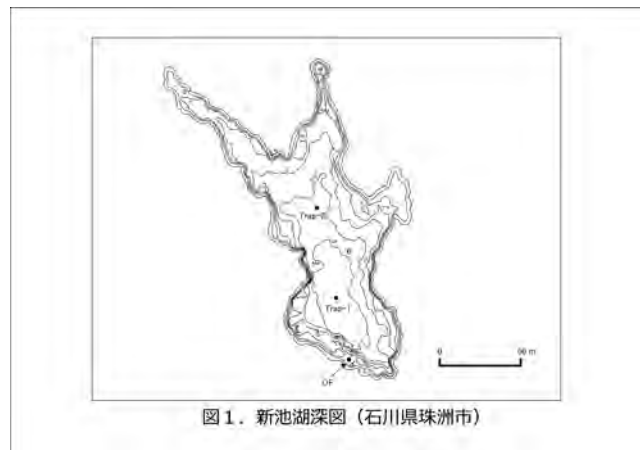
縄文，弥生時代の遺跡の同一包含層から出土した明瞭なコンテクストの複数種類の遺物（炭化材，炭化種実，土器付着炭化物，人骨，動物骨，貝など）のみかけの炭素年代測定差を比較検討し，遺物の安定同位体組成，土器残存有機物脂質分析，分子レベル炭素同位体分析などを活用することで，遺物の食性，生息域などの生態系情報も含めた当時の遺跡環境を現代と比較検討しつつ復元すること。

【研究方法】

現代の生態試料を含む各遺物試料の放射性炭素濃度を名古屋大学宇宙地球環境研究所のタンデム加速器を利用して測定する。

【研究結果】

2016年8月7日に採取した池水の4点の溶存無機炭素（DIC）中の放射性炭素濃度（ DI^{14}C 値）を測定した。それぞれ，（試料名， $\Delta^{14}\text{C}$ （‰））=（ISSIN-Trap1-2.5M-2， $+26.0 \pm 3.0$ ），（ISSIN-Trap1-2.2M， $+7.0 \pm 3.0$ ），（ISSIN-Trap2-1.2M， $+13.0 \pm 4.0$ ），（ISSIN-Trap1-2M， -6.0 ± 4.0 ）であった。



【まとめ】

4試料の測定結果に過ぎないが，能登半島新池（石川県珠洲市）の集水域から，流入してくる供給水中の溶存無機炭素（DIC）中の放射性炭素濃度（ DI^{14}C 値）は，ほぼ採取時の大気よりも低い濃度を示すことがわかった。

【成果発表】

1. 宮田佳樹，南雅代，中村俊夫，下濱貴子，畑山智史，長尾誠也，多田洋平，佐野雅規，中塚武（2018）水稻稲作導入から安定期にかけての北陸地方の遺跡環境復元-八日市地方遺跡（石川県小松市）を例として-，第3回名古屋大学宇宙地球環境研究所シンポジウム，2018年2月1日～2日，名古屋大学，名古屋。
2. Miyata, Y., Minami, M., Nakamura, T., Shimohama T., Tada, Y., Sano, T. and Nakatsuka, T. (2017) Radiocarbon dating on archaeological remains from the Youkaichijikata site, Ishikawa, Japan, 14th International Conference on Accelerator Mass Spectrometry, 14th - 18th Aug., 2017, at the University of Ottawa, Ottawa, Canada.

西部北太平洋暖水域の海面水温分布と熱帯じょう乱との間の相互作用
の解析

Analyses of the interaction between the sea-surface temperature and the tropical disturbances over the western North Pacific warm pool

佐藤尚毅、東京学芸大学・自然科学系

北半球夏季の西部北太平洋暖水域では、北側の海面水温(SST)がより高くなることが知られている(Sato et al. 2006)。また、この海域で台風が発生、発達するときは、海上風の強化に伴ってSST勾配が気候平均よりも強化される(Sato et al. 2008)。これらの研究は、大気から海洋への影響を明らかにしたものである。本研究では、逆に海洋から大気への影響に着目し、この海域の南北SST勾配が台風の発生、発達に与える影響を数値実験によって評価した。

本研究では、領域気象モデルWRFver3.1.1を用いて、数値実験を行った。水平格子間隔は10kmとした。6～8月に暖水域で発生した台風のうち標準実験での再現性が良かった2005年台風9号(2005年7月31日に発生)を解析対象とした。SST勾配の影響を調べるために、台風発生時にSSTの南北勾配が顕著に大きくなった事例について合成したSSTを与えた「勾配実験」と、SSTをおおよそ中間値である29.4℃の一樣とした「平滑実験」を行い、両者を比較した(図1)。初期時刻は台風発生の2日前とした。

初期時刻から48時間後の海面気圧や海上風速をみると、勾配実験に比べて平滑実験の方が台風がよく発達し、また進路が南寄りになっていることがわかる(図2)。台風中心付近の気温の南北鉛直断面を調べたところ、勾配実験では対流圏下層での気温勾配が大きくなり、台風の軸が高温な北側に傾斜していることが明らかになった(図は省略)。気温勾配が温度風の関係を通して東西風の鉛直シアを強化し、台風の軸を南側に傾斜させて、発達の効率を低下させたと考えられる。また、渦度収支解析の結果、勾配実験で北側で正の渦度傾向が強く見られた(図は省略)。このことは平滑実験に比べて勾配実験の方が台風が北進していることと整合的である。この正の渦度傾向は水平収束によるものであり、北側で下層の暖湿な空気により積雲対流が強化されたためにもたらされたと考えられる。

本研究の結果より、暖水域でのSSTの南北勾配が台風の発生、発達に有意な影響を与えていることが分かった。この海域のSSTを高精度に観測、予測し予報モデルに取り込むことが発生・発達期の台風進路や強度の予測の精度向上に貢献することが示唆される。

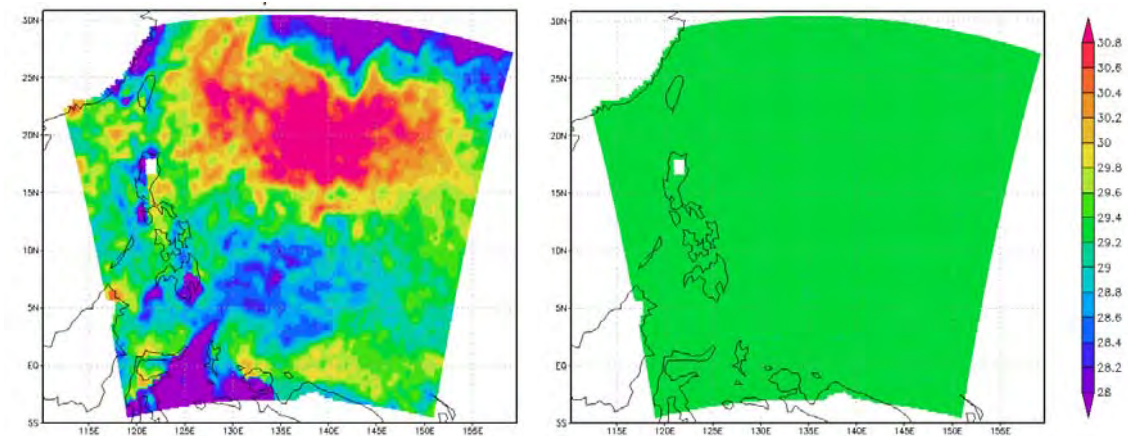


図 1 : モデルに与えた SST [°C] 。左が勾配実験、右が平滑実験。

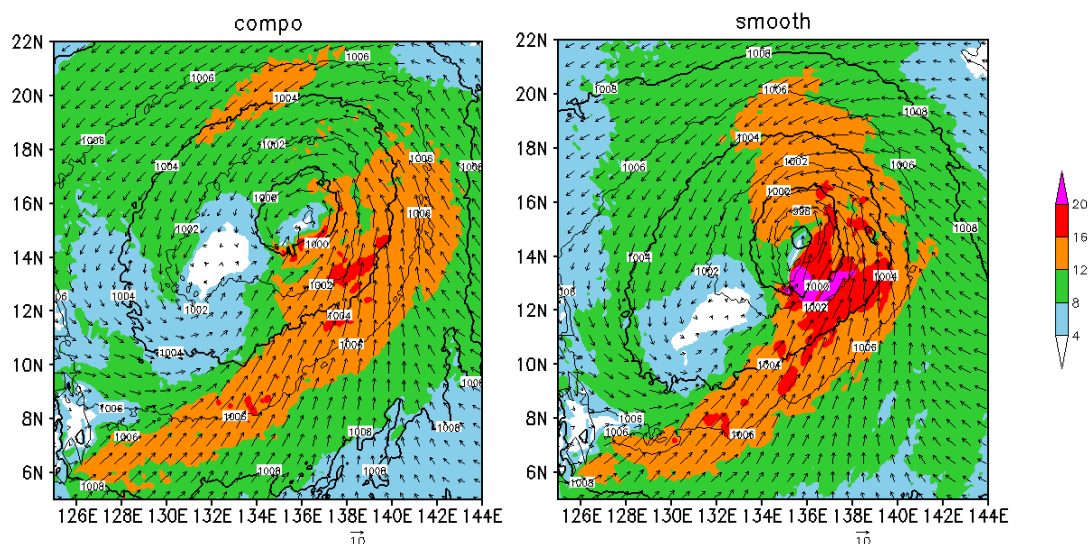


図 2 : 2005 年 7 月 31 日 12 時 UTC における海上風ベクトル (矢印) と海上風速 [m/s] (色)、海面気圧 [hPa] (等値線)。等値線間隔は 2hPa。左が勾配実験、右が平滑実験。

引用文献

- Sato, N., H. Tokinaga, R. Shirooka, and N. Sugimotohara, 2006: Influence of mechanical mixing on a low summertime SST in the western North Pacific ITCZ region. *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L14608, doi:10.1029/2006GL025997.
- Sato, N., R. Shirooka, M. Yoshizaki, and Y. N. Takayabu, 2008: Meridional SST gradient in the western North Pacific warm pool associated with typhoon generation. *Geophys. Res. Lett.*, **35**, L12803, doi:10.1029/2008GL033987.

成果発表

中山 尋人、佐藤 尚毅：西部北太平洋暖水域の水温勾配が及ぼす発生・発達期の台風への影響、日本気象学会、2017 年 11 月 2 日。

初期太古代石墨片岩中に含まれるモナザイトを対象としたCHIME年代測定の検討

CHIME dating of monazite in the early Archaean graphitic schist

大友陽子¹, 加藤丈典²

¹北海道大学大学院工学研究院環境循環システム部門

²名古屋大学宇宙地球環境研究所

1. 研究目的

最古の生命の痕跡は約38億年前の岩石が分布するグリーンランド・イスア表成岩帯で発見されている (Rosing, 1999; Ohtomo et al., 2014)。しかしながら、当時どのような微生物圏が地球表層に広がっていたのか詳細は不明である。イスア表成岩帯で発見されている生命の痕跡は¹²Cに富むグラファイトであり、同じ層にはモナザイトやゼノタイム、ジルコンが共存している。これら希土類含有鉱物の起源として、岩石形成時に混入した場合と、変成作用中に流体から沈殿した場合が考えられるが、もし岩石形成時に混入したとすれば当時の地球表層環境をその化学組成に反映している可能性がある。そこで本研究では、生物由来グラファイトと共存するモナザイトやゼノタイム、ジルコンのCHIME年代測定から、これらの鉱物の成因に制約を与えることを目的とした。

2. 研究方法

CHIME年代測定には名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定研究部所属のEPM Aを用いた。グラファイトと共存するモナザイトやゼノタイム、ジルコンのサイズは数 μm ~10 μm であり、またしばしばクラックが入っている為に、微小領域の測定が可能なCHIME法であってもビームがうまく当たらず正確な測定ができないという問題がある。本分析ではできるだけ多くの粒子の測定を行い、妥当な測定値が算出されたもののみを採用した。2017年度の総測定数は159点、測定が成功したのはモナザイト8点、ジルコン8点、ゼノタイム10点であった。

3. 研究結果及び考察

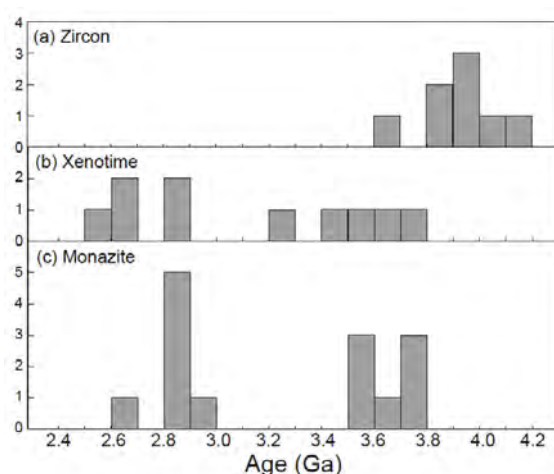


図 1. 生物由来グラファイトと共存するジルコン、ゼノタイム、モナザイトのCHIME年代。(a) ジルコン、(b) ゼノタイム、(c) モナザイト。

分析の結果、ジルコンの年代は39~38億年前にピークを持ち、ゼノタイムやモナザイトよりも古い値を示した。この年代は過去の研究で示されたイスア表成岩帯の形成年代 (Nutman et al., 2009) と同等かそれよりも古いことから、当時の大陸地殻からもたらされた碎屑物由来であり、変成作用がジルコン年代に与えた影響は少ないと考えられる。一方でゼノタイム及びモナザイトの年代は約37億年前と約27億年前の2箇所ピークを持つことがわかった。石墨片岩が見つかった地域は約37億年前に

形成され、ほぼ同時期に昇温変成作用を受けた後に約27億年前に後退変成作用を受けたことが先行研究により示されている (Nutman et al., 2009; Frei et al., 2002)。ゼノタイム及びモナザイトの年代はこれら2度の変成作用を記録していると考えられる。しかしながら、イスア表成岩帯の形成年代と昇温変成作用の年代が近いこと、及びCHIME年代の誤差を考えると、本結果のみでゼノタイムやモナザイトの初生年代を確定するには、鉱物の微小領域観察など補佐データが必要である。

4. まとめ

グリーンランド・イスア表成岩帯の生物由来グラファイトを含む岩石について、グラファイトと共存するモナザイト、ゼノタイム及びジルコンのCHIME年代測定を行った。ジルコン年代は39~38億年前を示したのに対して、ゼノタイム及びモナザイトは約37億年前と約27億年前の2箇所ピークを持つことがわかった。しかしながらCHIME測定の成功率は16%程度と低く、希土類鉱物の抽出・樹脂包埋により測定易い断面を多数用意するなど、測定成功率を上げるための試料準備が必要である。

5. 謝辞

CHIME年代測定に際し、共著でもある加藤丈典先生には大変お世話になった。また、本分析は日本学術振興会特別研究員研究奨励費及び名古屋大学宇宙地球研究所平成29年度一般共同研究（課題名：初期太古代石墨片岩中に含まれるモナザイトを対象としたCHIME年代測定の検討）の支援を受けた。この場を借りて心より感謝の意を表する。

6. 引用文献

- Rosing, M. T. ^{13}C -depleted carbon microparticles in >3700-Ma sea-floor sedimentary rocks from west Greenland. *Science* **283**, 674-676 (1999).
- Ohtomo, Y., Kakegawa, T., Ishida, A., Nagase, T. & Rosing, M. T. Evidence for biogenic graphite in early Archaean Isua metasedimentary rocks. *Nature Geoscience* **7**, 25-28. (2014).
- Nutman, A. P., Friend, C. R. L. & Paxton, S. Detrital zircon sedimentary provenance ages for the Eoarchaean Isua supracrustal belt southern West Greenland: Juxtaposition of an imbricated ca. 3700Ma juvenile arc against an older complex with 3920-3760 Ma components. *Precambrian Research* **172**, 212-233. (2009).
- Frei, R., Rosing, M. T., Waight, T. E. & Ulfbeck, D. G. Hydrothermal-metasomatic tectono-metamorphic processes in the Isua supracrustal belt (West Greenland): A multi-isotopic investigation of their effects on the Earth's oldest oceanic crustal sequence. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **66**, 467-486. (2002).

7. 成果発表

- Ohtomo, Y., Kato, T., Otake, T. & Kakegawa, T. Depositional environment of graphite-bearing metasedimentary rocks and banded iron formations in >3.7 Ga Isua Supracrustal Belt, West Greenland. JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 幕張, 2017年5月20-25日.

XRAINデータから得られる降水粒子情報を用いた落雷予測の基礎研究
Basic study on lightning prediction using precipitation
particle information obtained from XRAIN data

岩崎博之（群馬大学教育学部）

研究目的 毎年、日本では落雷による構造物や人への被害が起きている。落雷の基礎研究は、工学的な避雷対策の視点に重点がおかれ、落雷特性を積乱雲との発達との関係で考察した気象学的研究は少ない。その理由の1つは、積乱雲の内部において電荷分離過程を担う霰分布などの雲物理学的情報が不十分だったことである。この共同研究では、全球落雷観測網(WWLLN)データなどの落雷データを用いて落雷特性を調査し、かつ、国土交通省Xrain観測網データから得られる積乱雲内部の霰の時空間変動と雷特性の関係を議論することを最終目的としている。今年度は、その準備段階として、次の2つの副課題を設けた。

課題1. 全球落雷観測網(WWLLN)データを利用した落雷特性の気候学

課題2. Xrainデータを使った粒子判別方法の習得

研究方法 目標1を達成するために、WWLLN落雷データを用いて、多重雷を構成する電撃(stroke)の時間間隔の特徴を調べる。目標2については、宇宙地球環境研究所から提供されたXrainデータ処理プログラムと粒子判別プログラムを用いる。

研究結果

課題1の成果：落雷特性の気候学

夏期の落雷の50%以上は、複数回の電撃(stroke)から構成される多重雷である。その電撃の時間間隔の平均値は、領域・季節により、15–90msと大きく変動している。この電撃時間間隔の平均値を決める要因について考える。2009–2016年の日本周辺で検出された雷撃に対して、次の雷撃が1) 10–200msの時間内で、b) 半径5km以内(WWLLN落雷の位置精度に相当)に検出された場合、同一地点に落雷したと見なす。つまり、多重雷に伴う後続雷撃と考える。

第1図は、九州周辺の冬・春・夏に検出された多重雷の電撃時間間隔の頻度分布である。頻度は、その合計が1になるように規格化している。各季節の頻度分布は対数正規分布で近似できるが、その最頻値は気温の高い季節に電撃間隔が長くなる特徴が見られる。北海道周辺と東日本周辺でも同じ季節依存性があり、同じ季節ならば気温の高い南の領域で電撃時間間隔が長くなる規則性も認められる(図略)。

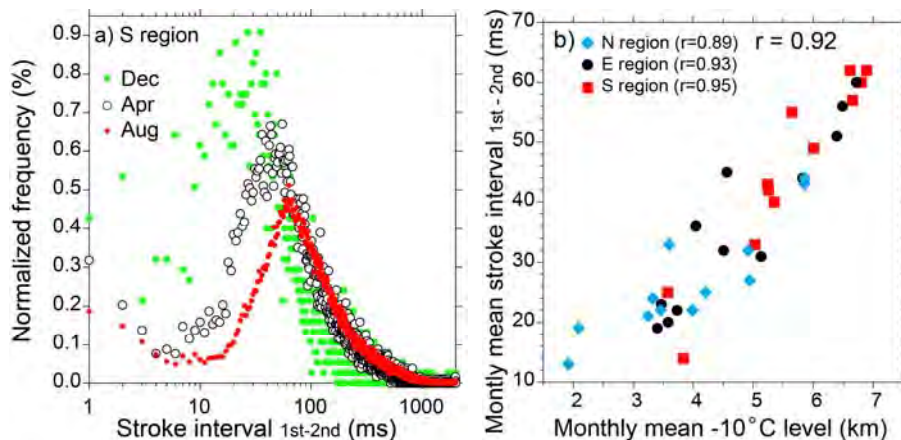


図1(左)：九州周辺の冬・春・夏に検出された多重雷の電撃時間間隔の頻度分布。

図2(右)：落雷地点の-10°C高度の月平均値と電撃間隔の月平均値の関係。北海道周辺(N)，東日本周辺(E)と九州周辺(S)の領域毎に印を変えている。

この規則性を積乱雲内の電荷分離機構に注目して考える。気温が高くなると積乱雲内で負電荷が蓄積する -10°C 高度も高くなるため、この規則性は、雷撃時間間隔と -10°C 高度の変動に置き換えることができる。そこで、JRA55から推定した個々の落雷地点の -10°C 高度の月平均値と雷撃時間間隔の月平均値を比較する。図2に示すように、相関係数は0.9を越え、負電荷が蓄積する -10°C 高度が高くなるにつれて雷撃間隔が長くなる明瞭な関係が認められる。詳細は省くが、 -10°C 高度の季節変化と空気の絶縁破壊電圧との関係を使えば、雷撃時間間隔の平均値の季節変動は解釈できる。

しかし、図1に見られる様に、同じ季節であっても、雷撃時間間隔は10msから数100msの範囲で大きく変動している。後続雷撃の形成には、第1雷撃後の残存した負電荷がダートリーダーに移動するJ過程が重要な役割を担っている。そして、その雷撃時間間隔の変動はJ過程による負電荷供給速度などの差異に対応すると考えられるので、積乱雲内の霰の時空間変動が、雷撃時間間隔に影響している可能性がある。今後は、この可能性を検討するために、Xrain偏波レーダーデータから得られる降水粒子の種類と雷撃時間間隔の関係について解析を進めていく。

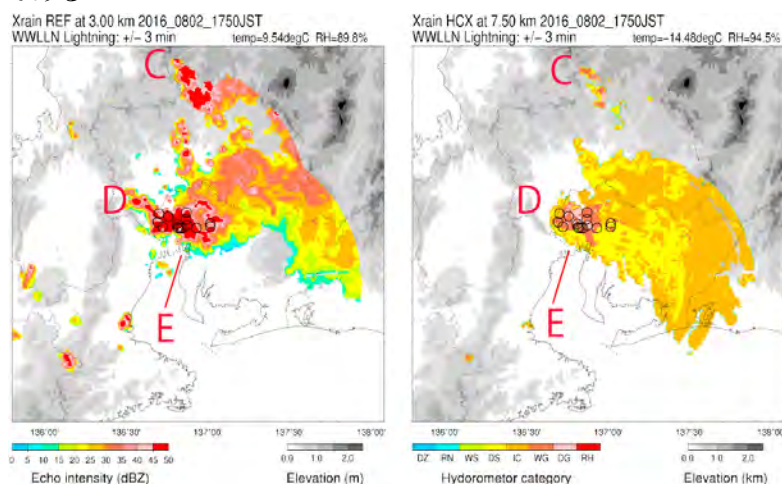
課題2: Xrain偏波情報の処理システムの構築

宇宙地球環境研究所から提供されたXrainデータ処理を用いて、Xrain偏波情報の処理システムを構築した。一部の提供されたprogramに強い機種依存性があり、名古屋周辺のデータ以外は処理ができなかった。今後、機種依存性を解決し、日本全国のXrainデータを解析する予定である。

2016年8月2日に愛知県西部に大雨と落雷がもたらされた。第3a図は、17.50のXrainデータから求めた高度3.0kmのエコー強度分布である。図中には、 17.50 ± 3 分に検出されたWWLLN落雷の位置を示している。45dBZ以上のエコー強度を持つE域に、落雷が集中している。落雷の発生には、 $-10 \sim -20^{\circ}\text{C}$ 高度において、霰が関与した電荷分離が起きる必要がある。Xrainデータの偏波情報を用いて、気温が -15°C に対応する高度7.5kmの粒子判別を行った結果を見ると(第3b図)、落雷が集中しているE域のみに霰(WG: Wet GraupelとDG: Dry Graupel)が認められる。

一方、同じように強いエコー強度(>45dbZ)が、C域とDにも認められるが、そこには落雷が検出されていない。18.30までに検出された落雷も3事例と、E域に比較して、極めて少ない。高度7.5kmの降水粒子の種類を調べると、C域では霰が検出されているが、その面積は狭く、 $-10 \sim -20^{\circ}\text{C}$ 高度においても霰が占める体積は少ない。また、D域では、高度7.5kmまでエコーが達しておらず、 $-10 \sim -20^{\circ}\text{C}$ 高度で霰は判別されていない。

これらの落雷と霰分布の特徴は、着氷電荷分離機構の考え方やこれまでの観測的研究の結果と整合的である。これは、宇宙地球環境研究所から提供された処理programを用いることで、雷研究にXrain偏波情報を活用できることを意味している。今後は、このXrain偏波情報を用いて、多重雷の雷撃時間間隔の変動を決める要因についての研究に移行する予定である。



第3図 2016年8月2日17.50の高度3.0kmのエコー強度分布(a)と降水粒子の種類の分布(b)。図中の○は、 ± 3 分に検出された落雷地点を示す。

「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・太陽系科学研究系

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。

本研究では、波動粒子相互作用による環電流イオンの消失過程を理解することを目的とし、2016年12月に打ち上げられた「あらせ」衛星によってその場直接観測されたイオンの速度分布関数データを解析する。本研究では $10 - 25,000\text{eV/q}$ のエネルギー帯をカバーする LEPi 観測器のデータを使用することとし、まず、LEPi 観測データの較正を行った。LEPi 観測データは JAXA で取得後、一次処理によって必要なデータが抽出され、名古屋大に設置されている ERG サイエンスセンターに送られる。ERG サイエンスセンターでは較正処理に必要な粒子検出効率の推定、角度チャンネル間の相対補正などが行われる。

LEPi 観測器は飛行時間分析法を用いて粒子の速度を分析し、粒子種弁別を行っている。飛行時間分析法では 2種類の信号 (START信号、STOP信号と呼ぶ) の検出時間差を計測するが、START信号のみで STOP 信号が出現しなかったイベントのカウントレート、STOP信号のみで START 信号が出現しなかったイベントのカウントレート、START信号、STOP信号とも出現したイベントのカウントレートの情報を用いて、検出効率を推定することができる。しかし、この検出効率推定手法を用いる際には、背景高エネルギー粒子などによるコンタミノイズが除去されている必要がある。このため、エネルギー掃引時間 (0.5秒) ではノイズカウントレートは変化しないなどの仮定のもと、ノイズカウントレート推定を行うこととした。これにより、観測対象のイオンに対する検出効率推定が可能になり、質量分析性能のエネルギー依存性といったマイナーないくつかの課題を残すものの、物理量への変換が行うことができた。

これらの研究について、共同研究者である名古屋大学の三好准教授、Kistler特任教授と打ちあわせを行った。

航空機を用いた大気微量気体、エアロゾルのリモートセンシング

北 和之、茨城大学理学部
金谷 有剛、海洋研究開発機構
小池 真、東京大学
入江 仁士、千葉大学
松見 豊、坪木和久、中山智喜、名古屋大学

対流圏オゾンは、化石燃料の燃焼などで放出される窒素酸化物等のオゾン前駆気体から光化学反応で生成する。日本では、各種規制によりオゾン前駆気体の放出量・大気中濃度ともに減少傾向にあるが、1980年代後半より対流圏オゾン濃度は逆に増加傾向にある。その原因として、アジア大陸などからの越境汚染の影響などが挙げられているが、正確にはまだよくわかっていない。また各種エアロゾルは、その気候影響の重要性から、近年研究が進められており、とくにアジア新興国からの多量の放出の広域影響が注目されている。PM2.5による健康影響も一般に認知されて久しい。

オゾン、窒素酸化物のような微量気体およびエアロゾルの、アジア新興国などからの広域影響を理解するには、地上モニタリングネットワークなどによる観測だけでは不十分で、人工衛星からのモニタリングが望まれている。航空機からのリモートセンシングも、人工衛星観測の試験観測および Validation という意味でも、また輸送中の変化を理解するためのプロセス研究の上でも重要な役割を果たしうる。本研究では、航空機から、特に地表付近のオゾンや二酸化窒素のリモートセンシングを高精度で行う可能性について、検討を行っている。

2012年9月に航空機観測をつくば市上空にて実施した。可視・紫外域分光器 Maya2000Pro 2台、オゾン計2台を航空機に搭載し、高高度約 8.9km と低高度約 800m の2高度で実施した。航空機からの分光観測は、成層圏成分を分離するため、天頂散乱光と地表散乱・反射光の2方向について行った。成層圏成分による太陽光吸収は両方向で共通と考えられるため、2方向で測定した太陽散乱光スペクトルから求めたカラム量の差分をとることで、成層圏成分を除去でき、中一下部対流圏成分のみが検出できると期待していた。しかし、観測時の条件では、天頂散乱光には観測高度直上からの多重散乱光の寄与が非常に大きくなったため、下部成層圏オゾンによる吸収が地表散乱光でのそれに比べ非常に大きいため光路長差が小さくなり、放射伝達モデル計算と観測値は誤差範囲内で一致したものの、期待していた精度で対流圏オゾンカラム濃度を求めることは難しかった。この問題を解決する一つの方法として、天頂散乱光の代わりに太陽直達光を用いて航空機高度から上でのカラム量を求めることがあげられる。しかし通常太陽直達光は太陽を追尾して分光器に導入して測定するが、姿勢が短期間のうちに大きく変化する航空機からは難しい。そこで、太陽を追尾するのではなく、テフロン板など拡散板を用いて太陽直達光をサンプリングする方法を考えた。まず地上で MAX-DOAS 分光観測装置に天頂方向に設置した拡散板からの直達光も測定できる装置を開発することにした。拡散板からは散乱光も散乱されてはいつてくるが、雲の影響が小さい条件では、直達光成分が数桁強いいため無視してよい。今年度は、この装置を試作するとともに、模擬観測と放射伝達シミュレーションによりそ

の効果を検討することにした。

2017 年 11 月 9 日、茨城大学水戸キャンパスの理学部 G 棟の屋上に設置されている観測室内にて観測を行った。分光器は Ocean Optics 社 MAYA2000-pro を使用し、昼から夕方にかけて、太陽直達光および仰角 20 度および 70 度からの散乱光のスペクトルを測定した。図 1 のように、太陽直達光および仰角 20 度散乱光スペクトルの比から求めたオゾンカラム濃度（改良法）と仰角 20 度および 70 度からの太陽散乱光のスペクトルの比から求めたオゾンカラム濃度（従来法）のランダム誤差を比較した。両者で、光路長が異なるため傾斜オゾンカラム量の差（ ΔSCD ）の値は異なる。直達光は散乱光に比べ大気状態によらず安定なため、ランダム誤差は平均 28%減少し、精度が向上する効果が確認できた。

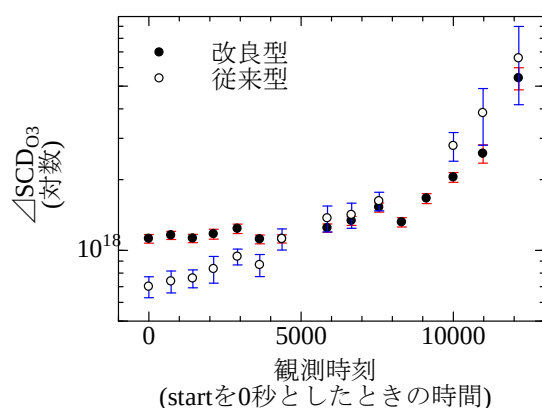


図 1

放射伝達シミュレーションでは、一番大きな誤差要因となるエアロゾルによる光路長の誤差を見積もった。シミュレーションには、ブレーメン大学で開発された SCIATRAN ver.3 を用いた。模擬観測と同様に、太陽直達光および仰角 20 度および 70 度からの散乱光について、光路長を決定するエアマスファクター(AMF)が、基準としたエアロゾル消散係数高度分布から±10,20%変化させたときの影響を、図 2 に示す。図 2(左)は太陽直達光と仰角 20 度散乱光の AMF の差（改良法）、図 2(右)は仰角 70 度および 20 度散乱光の AMF の差（従来法）の基準ケースに対する相対差を示したものである。様々なケースについて比較したが、直達光を用いた場合、明らかに AMF の誤差も小さくなることが分かった。

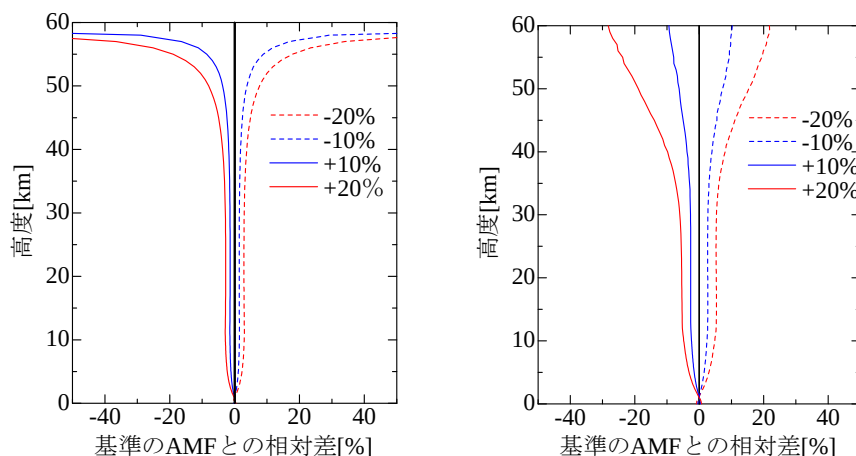


図 2

Understanding the behaviour of monazite during metamorphism (Ryoke belt, SW Japan)

Etienne SKRZYPEK¹, Takenori KATO², Tetsuo KAWAKAMI¹

(¹Department of Geology and Mineralogy, Kyoto University; ²ISEE, Nagoya University)

Purpose

A recurrent question pertaining to high-temperature metamorphic belts is the time-scale of elevated temperature conditions. Assessing the time-scale of a tectono-metamorphic evolution can be based on the analysis of appropriate minerals called geochronometers. Monazite, a light rare earth element-bearing phosphate is a suitable geochronometer because it contains significant amounts of Thorium and Uranium. However, the reactions by which monazite forms, grows or resorbs remain unclear. The main goal of the study is therefore to constrain the behaviour of monazite with increasing temperature. This can be done in the Ryoke belt (SW Japan) where rocks belonging to a Cretaceous metamorphic gradient are exposed. Our secondary goal is to estimate the age and time-scale of medium- to high-temperature conditions in the western part of the Ryoke belt.

Methods

We collected a total of 12 metamorphic rock samples along the metamorphic gradient exposed in the Iwakuni-Yanai area of the Ryoke belt (Yamaguchi Pref.). The samples are labeled RK0 to RK12 in order of increasing temperature conditions. Metamorphic textures, i.e. minerals that coexist or replace monazite, were observed by optical and electron microscopy (Kyoto University). The average grain size of monazite was measured by image analysis. Monazite age dating was performed by two methods (**Figure 1**): laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry (LA-ICP-MS, Gakushuin University) and electron microprobe analysis (EMP, ISEE Nagoya). Additional zircon analyses were done by LA-ICP-MS (Kyoto University).

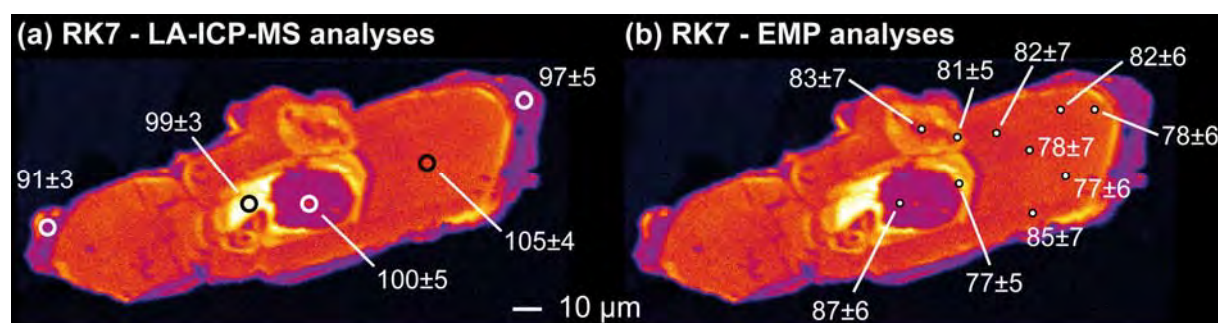


Figure 1. Comparison between LA-ICP-MS and EMP monazite dating results shown on X-ray map for Uranium distribution. Note the presence of several compositional domains. (a) $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages (Ma) with 2σ absolute error, laser spot diameter was 5 μm . (b) Total Th-U-Pb ages (Ma) with 2σ absolute error, electron beam diameter was 3 μm .

Results

Metamorphic textures reveal that monazite is stable from ~ 450 °C/1 kbar to ~ 880 °C/6 kbar in metamorphosed sedimentary rocks of variable composition. From low- to high-grade conditions we infer: (1) the initial nucleation of monazite aggregates after allanite (~ 425 °C), (2) monazite coarsening and coalescence driven by incipient monazite recycling, i.e. dissolution of small grains to grow larger ones by Ostwald ripening (500–600 °C), (3) a first major recycling stage enhanced by fluid liberation due to muscovite breakdown (600–630 °C), (4) a second major recycling stage assisted by an increase in the proportion of anatectic melt due to biotite breakdown (> 850 °C).

Zircon age dating yields $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ dates between 103 and 97 Ma which are ascribed to the timing of high temperature conditions. A succession of four compositional domains (I, II, III, IV) is recognized in monazite and age dating by EMP and LA-ICP-MS reveals two age groups (**Figure 1**). For domains I to III, some relatively old $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ dates (99–95 Ma) represent minimum estimates for the timing of prograde to peak metamorphism, while the nearly similar oldest $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ date for domain IV (93 ± 7 Ma) points to rapid cooling from peak temperature conditions. A more dominant population of younger Th–U–Pb and $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ dates is ascribed to age resetting by heterogeneous annealing of the monazite crystal lattice. The youngest concordant $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ date of 86 ± 4 Ma is correlated with the end of medium temperature conditions (< 200 – 300 °C) below which monazite, in metamorphic rocks as well as in the surrounding granitoids, eventually behaved as a closed isotopic system (**Figure 2**).

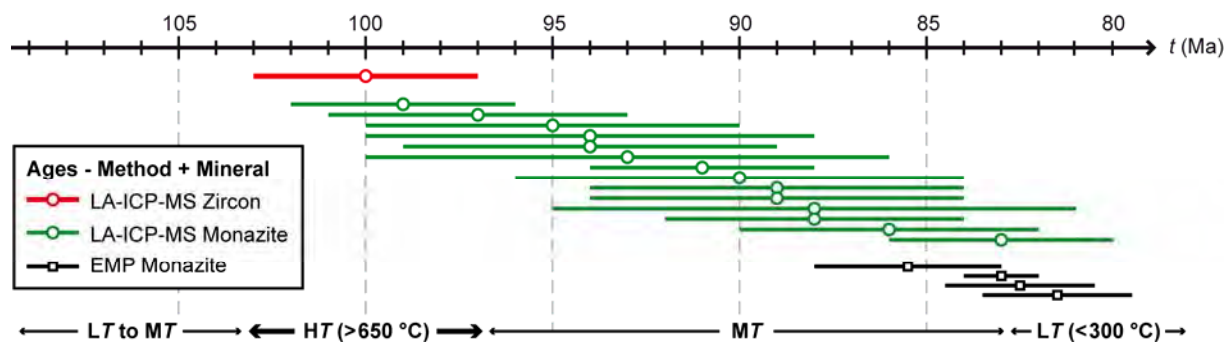


Figure 2. Summary of age dating results for zircon and monazite. The timing of Low, Medium and High Temperature conditions in the Ryoke belt (SW Japan) is indicated.

Period of stay in ISEE

December 12th 2017.

Publication

SKRZYPEK E., KATO T., KAWAKAMI T., SAKATA S., HATTORI K., HIRATA T., IKEDA T., 2018. Monazite behaviour and time-scale of metamorphic processes along a low pressure/high temperature field gradient (Ryoke belt, SW Japan). *Journal of Petrology*, submitted.

5. 奨励共同研究 目次詳細

(所属・学年は平成30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
金田和鷹	東北大学	大学院理学研究科	博士課程後 期3年	多波長観測に基づく太陽電波放射過程の研究	240
辻根 成	富山大学	大学院理工学教育部 博士前期課程 知能情 報工学専攻	博士課程1年	不連続構造のブラソフシミュレーション	242
中川美和	愛媛大学	大学院理工学研究科 先端科学特別コース 環境科学分野	博士後期課 程3年	リモートセンシングによる黒潮および黒潮内側 域における植物現存量の時空間変動解析	244

多波長観測に基づく太陽電波放射過程の研究
Study of the radiative processes of solar radio bursts based
on multiwavelength observations

金田和鷹、東北大学大学院・理学研究科・D3
三澤浩昭、東北大学大学院・理学研究科・准教授

【研究目的】

太陽の大気「コロナ」では、100万度を超える高温プラズマと磁場との相互作用により、様々な爆発現象が発生する。コロナでの爆発により加速されたプラズマ粒子は、周囲のプラズマ振動を引き起こし、強力な電波（電波バースト）を放射する。太陽フレアに伴って放射される電波バーストには、特異な時間・周波数変動を示す微細なスペクトル構造が多数存在することが知られている。これらの微細構造は電波放射過程におけるミクロスケールのプラズマ素過程を反映していると考えられており、フレア発生領域のプラズマ環境を理解するうえで強力なリモートセンシングのツールとなり得るものである。しかし、その放射過程に関しては未解明の問題が多く存在する。特にゼブラパターン（ZP）と呼ばれる微細構造については、数多くの放射モデルが提案されているが、結論は出ていない。このZPの放射過程を解明することが、本研究の目的である。今年度は、前年度に引き続きZPの発生条件に関するデータ解析とZPに見られる準周期的変動と太陽コロナ中の磁気流体波動の関係に関する解析を行った。

【研究結果】

(A) ZPの存否によるIV型バーストの出現特性の違い

ZPは全てのIV型バーストに出現するわけではなく、出現時間・周波数帯もさまざまである。このことはIV型バーストの出現のほかにZPの発生する条件があることを示唆している。前年度の研究では、ZPを伴うIV型バーストと伴わない現象の比較により、継続時間の長いフレアのピーク以降にZPの発生頻度が高くなっていることを明らかにした。今年度はさらに、ZPの縞の周波数間隔がどのような周波数変化を示すか、によって3種類に分類（Tan et al. 2014）し、それぞれの出現特性を統計的に調べた。しかし、各分類の出現特性に明確な違いは確認できなかった。この点に関しては、ZPの他のスペクトル特性（強度変化など）による分類が有効である可能性がある。

(B) ZPの準周期変動とコロナ中の磁気流体波動

近年、可視光や極紫外線波長における高分解撮像装置により、コロナ中で多様な磁気流体波動が観測されている。これらの波動はコロナ加熱やコロナプラズマ診断の観点から非常に重要視されている。電波波長帯では、準周期的な強度変動が磁気流体波動の兆候として知られている。本研究では、ZPの縞構造に見られる準周期的変動に関するデータ解析を行い、それが短周期の伝搬性磁気流体波動により生じていることを初めて明らかにした。この結果は、コロナ中の磁気流体波動研究に対する高分解電波スペクトル観測の有効性を示したものであり、今後、同様の観測によりコロナにおける短周期磁気流体波動の理解がさらに進むことが期待される。

【まとめ】

本研究では、ZPの放射過程を解明することを目的として、多波長観測データを用いた総合的なデータ解析を行った。上記の結果（A, B）から、ZPが放射されているコロナ領域における背景プラズマの状況や、ZPと磁気流体波動との関係が明らかになった。また、ZPの発生機構に関しては、ZPの多様なスペクトル、偏波特性から複数の異なる発生機構により生じたZPが混在している可能性が考えられる。あるZPがどの機構により生じたものであるかを特定するためには、高空間分解能を持つ電波干渉計と高時間・周波数分解能の電波分光計との同時観測が必要である。

【成果発表】

（論文発表）

1. K. Kaneda, H. Misawa, K. Iwai, S. Masuda, F. Tsuchiya, Y. Katoh, and T. Obara, Detection of Propagating Fast Sausage Waves through Detailed Analysis of a Zebra-pattern Fine Structure in a Solar Radio Burst, *The Astrophysical Journal Letters*, 855, L29, 2018, doi: 10.3847/2041-8213/aab2a5
2. 金田和鷹、Study of Zebra Patterns in Solar Radio Bursts and Physical Processes in the Corona、博士論文、2017年

（学会発表）

3. 金田和鷹、三澤浩昭、岩井一正、増田智、土屋史紀、小原隆博、加藤雄人、太陽電波ゼブラパターンにおける縞構造の時間変動、JpGU-AGU Joint Meeting 2017、千葉、2017年5月24日
4. K. Kaneda, H. Misawa, K. Iwai, S. Masuda, F. Tsuchiya, T. Obara and Y. Katoh, Temporal Variation of Zebra Stripes in Type IV Solar Radio Bursts, AOGS 14th Annual Meeting, Singapore, 2017 August 8
5. 金田和鷹、三澤浩昭、岩井一正、増田智、土屋史紀、小原隆博、加藤雄人、太陽電波ゼブラパターンの準周期変動、日本天文学会2017年秋季年会、北海道、2017年9月11日
6. 金田和鷹、三澤浩昭、岩井一正、増田智、土屋史紀、加藤雄人、小原隆博、伝搬性ファストソーセージモード波動により変調された太陽電波ゼブラパターンの観測、第142回SGEPSS総会・講演会、京都、2017年10月16日
7. K. Kaneda, H. Misawa, K. Iwai, S. Masuda, F. Tsuchiya, Y. Katoh, and T. Obara, Detection of Propagating Fast Sausage Waves through a Detailed Analysis of a Zebra Pattern Fine Structure in a Solar Radio Burst, 2017 AGU Fall Meeting, New Orleans, 2017 December 13
8. 金田和鷹、太陽電波バースト中のゼブラパターンおよび太陽コロナにおける物理過程の研究、太陽研連シンポジウム「太陽研究の将来展望」、京都、2018年2月21日

不連続構造のブラソフシミュレーション Vlasov simulation of discontinuous structures

辻根 成、富山大学大学院・理工学教育部・博士課程1年
佐藤 雅弘、富山大学大学院・理工学研究部・教授

【研究体制】

春木 孝之（富山大学大学院・理工学研究部・講師）
成行 泰裕（富山大学・人間発達科学部・准教授）
梅田 隆行（所内担当教員）

【研究目的】 プラズマ中の不連続構造である接触不連続は、不連続面を挟んだ領域 1 と 2 で磁場の变化とプラズマ流がなく、圧力が一様な密度の境界層である。しかし、その安定した存在については未だ議論されている。これまで、MHD 方程式から導かれる Rankine-Hugoniot 条件を用いて、Hybrid 法 (Wu *et al.* GRL, 1994) や Particle-In-Cell (PIC) 法 (Lapenta and Blackbill GRL, 1996) による数値シミュレーションが行われてきた。また、Tsai *et al.* は電子とイオンの 2 流体運動方程式から圧力の条件 $(p_1 - p_2)(p_{e1} - p_{e2}) < 0$ 、そして静電ポテンシャルを考慮した位相空間の構造より温度の条件 $(T_{i1} - T_{i2})(T_{e1} - T_{e2}) < 0$ を導き、Vlasov シミュレーションを用いて、電子ヒートフラックスがなくなるため接触不連続は安定であると結論付けた (Tsai *et al.* JGR, 2009)。その後、接触不連続の存在が観測データによって示唆され、その高数密度領域における電子とイオンの温度比は Tsai *et al.* が用いた初期条件よりも十分に小さいことが分かった (Hsieh *et al.* GRL, 2014)。

本研究の目的は、運動論的プラズマにおける接触不連続面の安定性を調べることである。今回は、観測データを基本モデルとして領域 1 と 2 の電子温度比を様々に変化させて 1 次元静電 Vlasov シミュレーションを行い、Tsai *et al.* が提案する条件が温度比の変化に依存するかどうかについて確認する。

【研究方法】 接触不連続における Tsai *et al.* の提案条件を検証するため、1D-1V Vlasov シミュレーションを行った。計算スキームは4次精度の保存型無振動スキーム (Umeda *et al.* CPC, 2012) である。システムサイズは空間 8000 メッシュ、速度空間 400 メッシュである。接触不連続のシア層、特にイオン密度の崩れ方に着目する。

表 1 に初期条件を示す。一番右の列の Tsai's は、Tsai *et al.* の提案条件を満足しているかどうかを表す。Run0 は観測データをベースにした初期値である。比較のため、電場の効果を計算しないフリーストリーミングのシミュレーションも行った。

表 1. シミュレーションの初期条件

	T_{e1}/T_{i1}	T_{e2}/T_{i2}	T_{e1}/T_{e2}	Tsai's
Run1	0.05	0.3	0.3	○
Run2	0.16	0.3	0.8	○
Run0	0.2	0.3	0.98	○
Run3	0.25	0.3	1.2	×
Run4	0.15	0.3	1.5	×
Run5	0.16	0.3	1.6	×
Run6	0.40	0.3	1.7	×
Run7	0.59	0.3	2.2	×
Run8	0.9	0.3	2.7	○

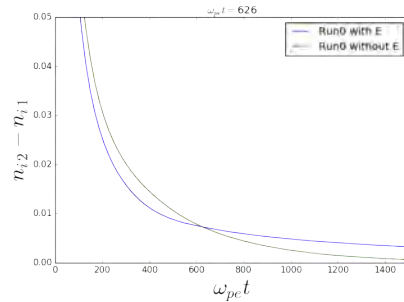


図 1. イオンの数密度の傾きの時間変化

【研究結果と考察】 図 1 は、Run0 の場合の境界層におけるイオン数密度の傾き（青線：電場あり、緑線：電場なし）の時間変化を示している。いずれも時間が経過すると、不連続面が滑らかになっている。時間 $\omega_{pe}t = 626$ 前までは、電場ありの方が不連続面は滑らかであるが、それ以降は電場なしの方が傾きの滑らかである（この時間を t_1 とする）。この傾向は全ての Run において確認することができた。

表 2. 時間 t_1 と t_2 における遷移層の長さ

	L_1/λ_D	L_2/λ_D	L_2/L_1	T_{e1}/T_{e2}
Run1	42	205	5	0.3
Run2	45	207	5	0.8
Run0	46	205	4	0.98
Run3	49	204	4	1.2
Run4	53	203	4	1.5
Run5	55	207	4	1.6
Run6	57	212	4	1.7
Run7	70	280	4	2.2
Run8	97	532	5	2.7

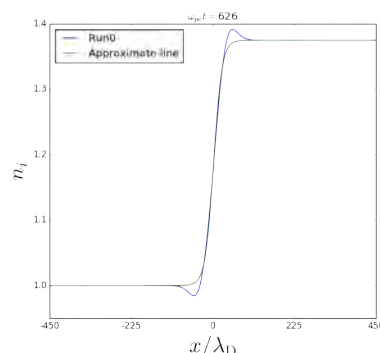


図 2. イオン数密度および $\tanh(x)$ による近似した線

次に、その t_1 から十分経過した時間を t_2 (t_1 の 5 倍) とする。それぞれの時刻で不連続面は $\tanh(x)$ で近似できるとして、遷移層の長さを見積もった。表 2 に、それぞれの遷移層の長さ L_1 および L_2 をまとめた。全ての Run において遷移層は時間とともに広がっている。つまり、初期条件が Tsai *et al.* の提案条件を満たしていたとしても、接触不連続の構造は安定ではないことが分かった。図 2 は Run0 の場合の t_1 におけるイオン数密度および $\tanh(x)$ による近似曲線をプロットしている。遷移層では両者はおおむね一致している。

数値シミュレーションによる接触不連続の構造は安定ではないことが分かったので、Tsai *et al.* の圧力および温度の条件を改めて確認した。第一に、圧力の条件は静電ポテンシャルの空間変化を考慮した 2 流体運動方程式からは導出できないが、Rankine-Hugoniot 条件から求まることが分かった。つまり、圧力の条件は MHD 方程式から導かれる。第二に、2 流体運動方程式と断熱変化の式から温度の条件が求まり、電子またはイオンの比熱比に依存することが分かった。つまり、温度の条件は比熱比に依存するが 2 流体方程式から導かれる。第三に、静電ポテンシャルの変化があったとしても、温度は変化しないことを確認した。そもそも、準中性を仮定すれば、Tsai *et al.* が示す静電ポテンシャルを記述できない。よって、温度ではなく数密度に着目する必要があることがわかった。

これらの成果をまとめ論文を執筆中である。この成果の一部は、研究成果[1,3]で発表した。また、保存型無振動スキーム中のパラメータの最適化についても発表を行った[2]

【研究成果】

- [1] 辻根成, 春木孝之, 成行泰裕, 梅田隆行, 接触不連続のVlasov シミュレーション, プラズマ科学のフロンティア2017研究会, 土岐, 2017年 8月 (ポスター)
- [2] N. Tsujine, T. Haruki, M. Sato, Y. Nariyuki and T. Umeda, Parameter tuning of a 5th order Conservative and Non-oscillatory Scheme for Vlasov simulations, 地球電磁気・地球惑星圏学会 第142回総会及び講演会 (2017年 秋学会), 宇治, 2017年 10月 (ポスター)
- [3] N. Tsujine, T. Haruki, M. Sato, Y. Nariyuki and T. Umeda, Temperature dependence of contact discontinuities in Vlasov simulations, Joint meeting of 26th International Toki Conference and 11th Asia Plasma & Fusion Association Conference, Toki, December 2017 (ポスター)

Analysis of the spatio-temporal variation of phytoplankton in the Kuroshio and Kuroshio inside regions
by remote sensing techniques

中川美和、愛媛大学・理工学研究科先端科学特別コース・博士後期課程 3 年
郭新宇、愛媛大学・沿岸環境科学研究センター・教授

研究目的

申請者は昨年度、黒潮および黒潮内側域の影響を強く受ける西部瀬戸内海全域において、海表面の高解像度 Chl.a 濃度の時空間分布を観測し、衛星による Chl.a 濃度が季節ごとに推定精度が変動するかについて調べた。その結果、春季では比較的海表面濁度の海域において過大評価の傾向、夏季においては、強い潮汐による活発な鉛直混合層の発達している海域において過小評価であることが明らかとなった。しかし、この比較では衛星観測が海表面の Chl.a 濃度のみを捉えているという前提で行ったものであり、それ以深の Chl.a 濃度との比較は行っていなかった。そこで本研究では、先行研究のような海表面の高解像度観測に加え、鉛直断面観測も実施し、衛星がどの水深までの Chl.a 濃度を捉えているのかを調べることを目的とした。

研究方法

<研究船による高解像度観測の実施>

本研究では、愛媛大学沿岸環境科学研究センター所有の研究船「いさな」(巡航速度約 21kt)を用いて、伊予灘における約 30km のラインにおいて初夏の弱成層期(5/29-6/13、8 回)と盛夏の強成層期(7/24-8/03、7 回)の期間に 2 日間隔で現場観測を実施した(図 1)。



図 1. 観測領域(左)と観測点(右)

1. 表層海水の連続測定：航走中、水深 1m から連続的に汲み上げられる表層海水をクロロフィル濁度計・水温塩分計を設置した遮光コンテナに掛け流し、それぞれの項目を連続的に測定した。この連続測定に用いる各機器は、水平解像度が約 600m(20 ノット航走時)になるように設定した。
2. 鉛直断面観測：観測ラインにおいて 0.9~1.4km 間隔の測点(I4-I8)で RINKO-Profiler、硝酸塩センサーを用いて Chl.a 濃度、水温・塩分、硝酸塩濃度を測定した。

<衛星 Chl.a 濃度の精度評価>

本研究では、現場観測より得られた Chl.a 濃度データを用いて、弱成層期と強成層期の海色衛星センサー MODIS(JAXA)と弱成層期の静止衛星 GOCI(中田聡史氏(神戸大学)より提供)の Chl.a 濃度との推定精度評価を行った。

研究結果・考察

<表層観測による実測値と各衛星による観測値の比較>

まず、MODIS と現場実測値を比較すると、弱い成層期では衛星観測が過大評価の傾向を示した。それに対して強い成層期では衛星観測が過小評価であった。観測日ごとに RMSE を算出すると、特に強い成層期の観測衛星の誤差は大きく、RMSE の最大値は 0.59mg/m^3 であった。

また、GOCI と現場実測値を比較すると、観測日ごとの RMSE については MODIS の結果と大きな違いはなかった。しかし、MODIS に比べて現場実測値から大きく外れた値は見られなかった。

<各衛星による観測値と現場観測による Chl.a の鉛直断面と鉛直平均濃度>

5 月 29 日の現場 Chl.a 濃度の鉛直断面では、伊予灘の東側(I4)の 17m 付近で SCM(垂表層クロロフィル極大)が見られた。一方、西側(SA)では鉛直混合が発達しており、Chl.a 濃度は鉛直一様であった(図 2 上段)。また、この日の衛星観測値と現場実測値から算出した鉛直平均 Chl.a 濃度を比較すると、MODIS と GOCI の両方で海面から 15m 付近の平均 Chl.a 濃度を捉えていた(図 2 中段および下段)。特に GOCI の方が現場 Chl.a 濃度の東西勾配を捉えていた(図 2 中段右)。

一方、6 月 3 日の SCM は伊予灘のフロント付近の 20-30m で見られた(図 3 上段)。また、南部(I8)では 15m 付近で Chl.a 濃度が高くなっていた。この日の衛星観測値と現場実測値から算出した鉛直平均 Chl.a 濃度を比較すると、MODIS は東西にほぼ一様で現場観測から得られた東西勾配やフロントを捉えていなかった(図 3 中段左)。それに対して、GOCI は東西勾配は捉えていたが SCM は捉えられていなかった。(図 3 中段右)

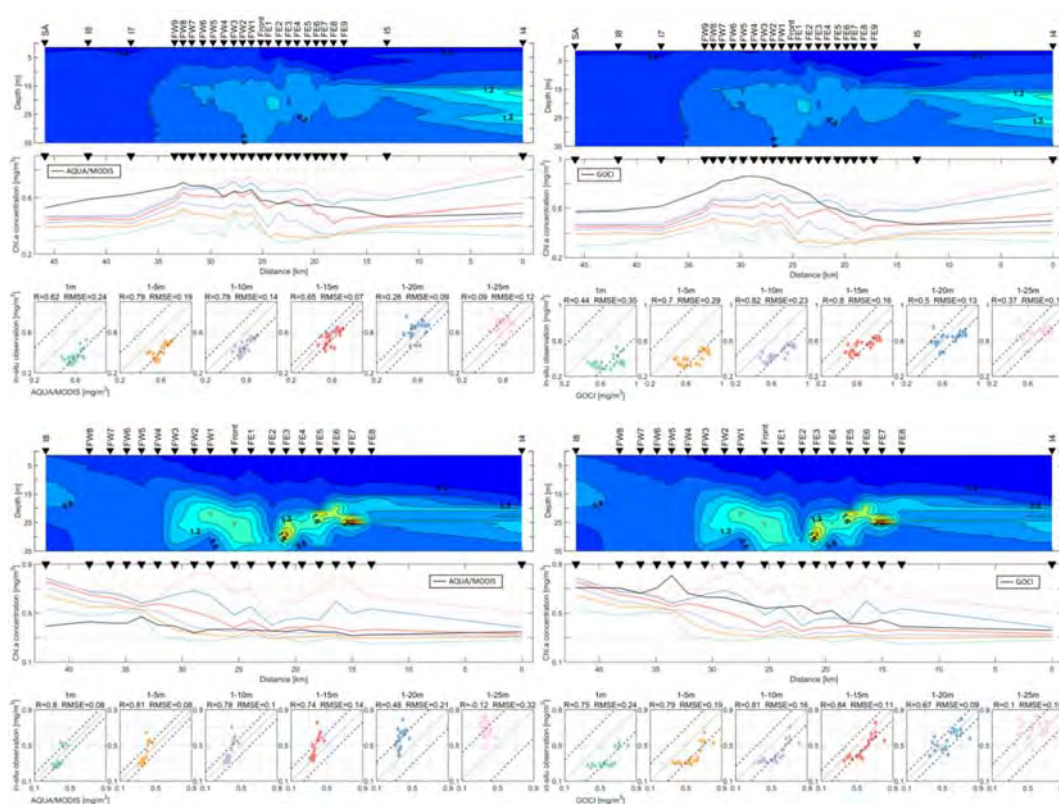


図 2. 2017 年 5 月 29 日における現場観測による Chl.a の鉛直断面図(上段)と積算水深別鉛直平均濃度(中段)、および MODIS(左)と GOCI(右)による観測値と積算水深別鉛直平均濃度との散布図(下段)

図 3. 2017 年 6 月 3 日における現場観測による Chl.a の鉛直断面図(上段)と積算水深別鉛直平均濃度(中段)、および MODIS(左)と GOCI(右)による観測値と積算水深別鉛直平均濃度との散布図(下段)

まとめ

本研究では、いくつかの水深層に分けて鉛直平均 Chl.a 濃度を算出し、その値と衛星 Chl.a 濃度との比較を行った。その結果、衛星観測では、海面から SCM の直上までの鉛直平均濃度を捉えていることが明らかとなった。

6. 研究集会 目次詳細

(所属・職名は平成30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	研究集会名 Workshop Title	頁 Page
山本 衛	京都大学	生存圏研究所	教授	第15回MSTレーダーワークショップ	246
松原 豊	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	准教授	太陽圏・宇宙線関連の共同研究成果報告会	247
宗像一起	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	249
田村 仁	海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所	海象情報研究グループ	研究官	海洋波および大気海洋相互作用に関するワークショップ	250
中野慎也	統計数理研究所	モデリング研究系	准教授	宇宙環境の理解に向けての統計数理的アプローチ	252
植田宏昭	筑波大学	生命環境系	教授	気候科学と古気候プロキシ研究の接点創出	254
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	256
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	257
金谷有剛	海洋研究開発機構	地球環境観測研究開発センター	研究開発センター長代理	第8回国際DOAS（差分吸収分光法）ワークショップ	259
吉川顕正	九州大学	大学院理学研究院	講師	シンポジウム ― 太陽地球環境研究の現状と将来	263
家森俊彦	京都大学	大学院理学研究科	教授	世界科学データシステム・アジア大洋州会議2017	265
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（その2）―超小型衛星『群』プラットフォームによる高頻度即時観測とその将来―	266
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	大気化学若手研究者ショートコース2017	268
青梨和正	気象研究所	台風研究部第1研究室	室長	衛星による高精度降水推定技術の開発とその利用の研究企画のための集会	273
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衛星粒子観測器データ解析ワークショップ	275
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	276
増永浩彦	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	准教授	衛星データシミュレータの開発および応用研究に関わる研究集会	278

(所属・職名は平成30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	研究集会名 Workshop Title	頁 Page
根田昌典	京都大学	大学院理学研究科地球惑星科学専攻	助教	大気海洋相互作用に関する研究集会	283
今村隆史	国立環境研究所	環境計測研究センター	センター長	第23回大気化学討論会	285
田中良昌	国立極地研究所	宙空圏研究グループ	特任准教授	太陽地球環境データ解析に基づく超高層大気の空間・時間変動の解明	292
坪内 健	東京工業大学	理学院地球惑星科学系	研究員	外部太陽圏とピックアップイオン	294
横山竜宏	情報通信研究機構	電磁波研究所宇宙環境研究室	主任研究員	中間圏・熱圏・電離圏研究会	295
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 地球惑星科学における航空機観測利用の推進	297
尾花由紀	大阪電気通信大学	工学部基礎理工学科	講師	「プラズマ圏の観測とモデリング」研究集会	299
松田昇也	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	日本学術振興会特別研究員 (PD)	ERG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	300
阿保 真	首都大学東京	システムデザイン学部	教授	第22回大気ライダー研究会	301
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	302
三宅洋平	神戸大学	計算科学教育センター	准教授	STEシミュレーション研究会：太陽地球惑星系複合システムのシミュレーション研究	304
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	305
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5回アジア海色ワークショップ「第14回日韓海色ワークショップ」の開催	307
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	准教授	極域電離圏における電離大気流出現象のメカニズム解明に向けた戦略的観測計画	309
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	311
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	312
宮岡 宏	国立極地研究所	国際北極環境研究センター	教授	第18回EISCAT国際シンポジウム	313
寺本万里子	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	特任助教	北海道-陸別短波レーダー10周年記念研究集会	315

(所属・職名は平成30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	研究集会名 Workshop Title	頁 Page
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	317
横井喜充	東京大学	生産技術研究所	助教	太陽物理に関するヘリシティ研究会	318
西谷 望	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	准教授	極域・中緯度SuperDARN研究集会	320
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	323
加藤雄人	東北大学	大学院理学研究科	准教授	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	325
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観測・教育活動に関する研究集会	327
長濱智生	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	准教授	陸別観測施設設立20周年記念シンポジウム「宇宙から地球まで」	329
勝川行雄	自然科学研究機構国立天文台	太陽観測科学プロジェクト	准教授	DKIST初期観測計画ワークショップ	331
堀 智昭	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	特任准教授	中緯度SuperDARNレビューのためのフォローアップワークショップ	333
横山央明	東京大学	大学院理学系研究科地球惑星科学専攻	准教授	太陽研連シンポジウム	335
柴田一成	京都大学	大学院理学研究科附属天文台	教授	アジア太平洋太陽物理学会合2017	337
池田大輔	東京大学	宇宙線研究所	特任助教	宇宙素粒子若手の会 2017年秋の研究会 (応用部門)	339
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2017	340
大野知紀	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	特任研究員	台風セミナー2017	342
家田章正	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	助教	磁気圏ダイナミクス研究会	344
三澤浩昭	東北大学	大学院理学研究科	准教授	第19回 惑星圏研究会	346
前澤裕之	大阪府立大学	大学院理学系研究科物理科学科	准教授	第18回ミリ波テラヘルツ波受信機ワークショップ	348
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	349

(所属・職名は平成30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	研究集会名 Workshop Title	頁 Page
永岡賢一	核融合科学研究所	ヘリカル研究部	准教授	実験室・宇宙プラズマ研究会「乱流・輸送・粒子加速」	351
榎並正樹	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授	第30回（2017年度）名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定研究シンポジウム	353

第15回MSTレーダーワークショップ
The 15th Workshop on Technical and Scientific Aspects of MST
Radar

山本衛、京都大学・生存圏研究所

1 研究集会の実施概要

MSTレーダーワークショップ(正式名称: Workshop on Technical and Scientific Aspects of MST Radar)は、大気レーダーに関する最新の科学技術について、研究成果の発表ならびに情報・意見交換することを目的として、第1回が1983年に米国で開催され、その後2~3年毎に各国で開催されてきた。第4回MSTレーダーワークショップを1988年に京都大学超高層電波研究センター(現 生存圏研究所)主催で、京都で開催して以来、今回は29年ぶりの日本での開催である。

前回より、ワークショップで扱う範囲がISレーダーによる電離圏研究にも拡大されており、今回は18th EISCAT Symposium(主催: 国立極地研究所)と併催し、両ワークショップ/シンポジウムで計15のセッション(内、6つの合同セッション)を設けた。全体で146件の口頭発表(内、招待講演31件)及び87件のポスター発表が行われた。参加者はこれまでの最高であって、19カ国から計182名(国外120名、国内62名)であり、参加機関は計84(国外66、国内18)であった。うちMSTレーダーワークショップに関係する出席者は、62機関から110名であった(様式6-3、様式6-4)。

本研究集会においては、大気レーダーに関連するハードウェア・信号処理技術・観測科学成果などの発表・議論・情報交換に留まらず、EISCAT関連研究者と電離圏研究のより活発な議論を行うことができた。限られた日数でより多くの一般発表を行うため、基調講演の時間は設けず、多くの時間を口頭発表の時間に割り当てた。替わりに、各セッションにおいて、2~4件の招待講演枠を設け、著名研究者によるレビュー講演などが行われた。また、本研究集会からの論文を集めた特集号を**Earth Planets and Space**誌に企画しており、現在、投稿論文の査読作業が進められている。

京都大学、国立極地研究所、名古屋大学、九州大学では、大型研究計画「太陽地球系結合過程の研究基盤形成」の将来計画を有している。本計画は、日本学術会議のマスタープラン2014・2017の重点大型研究計画、文部科学省のロードマップ2014に選定された。本計画は、地球に太陽エネルギーが流入する過程、ならびに、それに対する地球周辺環境の応答を解明することを目的としており、太陽光エネルギーが最大となる赤道域に「赤道MUレーダー」、太陽風に起因する電磁エネルギーが集中する北極域に「EISCAT_3Dレーダー」の、いずれも世界最先端の大型大気レーダーを設置することを目指している。本ワークショップ(シンポジウム)では、これらについても議論することができ、計画推進に大いに役立った。

太陽圏・宇宙線関連の共同研究成果報告会
Meeting for result presentation of collaborative research
on heliosphere and cosmic rays

松原豊、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

本研究集会は、平成29年度に行われた名古屋大学宇宙地球環境研究所の共同利用研究のうち、太陽圏・宇宙線に関連した研究の成果発表の場として開催された。共同利用研究だけを集めて研究集会を行うと、全体として脈絡のない単なる報告の羅列になってしまう。従って太陽圏宇宙線分野では、例年話題をしぼった研究集会と合同で、太陽圏宇宙線シンポジウムとして研究集会を開催している。平成29年度は「外部太陽圏とピックアップイオン」研究集会と「太陽地球環境と宇宙線モジュレーション」研究集会との合同で平成30年2月20日－22日に名古屋大学研究所共同館Iの301講義室で開催された。太陽圏での地球近傍での粒子加速から、銀河系外の天体における宇宙線加速に至るまで、エネルギー・空間スケールが何桁も異なる話題に対して活発な議論が行われた。平成29年度に共同利用研究を行った課題だけではなく、平成30年度以降に共同研究を行おうとしている課題に関する講演があったのも新鮮であった。のべ90名が参加した。

平成29年度ISEE研究集会－太陽圏宇宙線シンポジウム

2月20日

13:00-13:40	大平豊 東大	超新星残骸衝撃波中のピックアップイオン
13:40-14:00	坪内健 東工大	Heliopause における Kelvin-Helmholtz 不安定の成長に伴う外部 heliosheath 中のピックアップイオン密度構造について
14:00-14:20	松清修一 九州大	太陽圏境界の PIC 計算：圧縮性 VLISM 乱流の起源
14:20-15:00	山崎敦 ISAS	ひさき衛星による惑星間空間ヘリウム分布の光学観測
15:20-15:40	銭谷誠司 京大生存圏	非対称磁気リコネクションのプラズマ粒子シミュレーション
15:40-16:00	丸橋克英 NICT	ISEST キャンペーンイベントの解析におけるIPS観測の重要性
16:00-16:40	鷲見治一 九州大	太陽圏外圏、構造及び長短期時間変動の解析－将来構想
16:40-17:00	河村聡人 京大	Fates of Small Dusts Under a Toy Model of an Extreme Heliospheric Environment

- 17:00-17:20 田中周太 甲南大 中性星間物質の恒星への降着について
- 2月21日
- 9:00-9:40 三宅芙沙 名大 ISEE 年輪の炭素 14 を用いた古太陽活動の復元
- 9:40-10:00 櫻井敬久 山形大学 23 期～24 期太陽活動および太陽フレアへの大気中 Be-7 濃度変化の応答
- 10:00-10:40 栗田直幸 名大 ISEE 太陽活動の変化は南極の水循環に影響を及ぼしているのか？
- 11:00-11:40 山岡和貴 名大 ISEE 人工衛星を用いた宇宙空間からの太陽中性子観測
- 11:40-12:00 村木綏 名大 ISEE 2017 年 9 月のフレアに伴う太陽中性子 8 例の紹介
- 12:00-12:20 神谷浩紀 JAXA 太陽表面の磁場中で加速イオンが衝突で生成する高エネルギーガンマ線と中性子のエネルギースペクトルに関するシミュレーションの結果報告
- 13:40-14:00 宇佐見俊介 核融合研 ガイド磁場磁気リコネクションにおけるリング状速度分布の形成ー水素イオンのピックアップライクな運動ー
- 14:00-14:20 中村佳昭 信州大理 チベット空気シャワーアレイで観測された太陽の影と太陽磁場強度
- 14:20-15:00 宗像一起 信州大理 宇宙線異方性観測の現状
- 15:00-15:20 小島浩司 愛工大 銀河宇宙線の異方性と太陽風速度
- 15:20-15:40 大嶋晃敏 中部大 GRAPES-3 ミューオン検出器拡張の進捗報告
- 16:00-16:40 野田浩司 東大 ICRR CTA-LST で探る系外天体における宇宙線加速
- 16:40-17:20 川田和正 東大 ICRR ALPACA 計画による新しい宇宙線観測とその周辺
- 2月22日
- 9:00-9:40 常定芳基 大阪市大 テレスコープアレイによる超高エネルギー宇宙線観測最新結果
- 9:40-10:00 野中敏幸 東大 ICRR テレスコープアレイ実験での宇宙線空気シャワー中の μ 粒子観測と銀河宇宙線強度変動の観測計画
- 10:00-10:20 森下美沙希 名大理 GRAINE 計画：2015 年豪州気球実験フライトデータによる東西効果の測定
- 10:20-10:40 成行泰裕 富山大 一方向伝搬する太陽風磁気流体波のカスケード過程
- 10:50-11:30 浅岡陽一 早大理工 CALET による 2 年間の宇宙線観測成果
- 11:30-12:10 清水雄輝 神奈川大工 宇宙線反粒子探索計画 GAPS

太陽地球環境と宇宙線モジュレーション
Space weather and cosmic ray modulation

宗像一起、信州大学・理学部・教授

本研究集会では、最近発展が著しい宇宙線の衛星観測や地上観測結果にもとづき、宇宙天気、宇宙線加速・起源等に関する研究の現状を議論された。「外部太陽圏とピックアップイオン」研究集会及び「太陽圏・宇宙線関連の共同研究成果報告会」との合同開催により、異なる融合研究プロジェクトに関連する分野の研究者が一堂に会し、各プロジェクトによる研究成果について検討するとともに、個々の研究者の最新の研究内容についても協議し、今後のプロジェクト推進に資することが出来た。この点が本研究集会の最大の特徴であり、大きな成果である。

3日間の参加者数は計45名（延べ91名）に上り、計28件の講演が行われた。そのうち、本研究集会では8件を招待講演とし用意し、年輪中の炭素14を用いた古太陽活動の研究、太陽活動と南極の水循環の研究、太陽中性子・ガンマ線・高エネルギー電子の衛星観測、超高エネルギー宇宙線の地上観測の現状を議論した。

例えば、最近PAMELAやAMSで発見された陽子エネルギースペクトラムの数百GeVでのhardeningは、これまで銀河起源と思われてきた宇宙線中に、ピックアップイオンが太陽圏で加速された成分が大きく寄与している可能性がある。本研究集会は、こうした可能性を議論するうえでも格好の場を提供できた。

海洋波および大気海洋相互作用に関するワークショップ
Workshop on ocean surface waves and air-sea interactions

田村 仁 港湾空港技術研究所・海象情報グループ

本ワークショップは、平成29年度名古屋大学宇宙地球環境研究所研究集会として採択され（代表：田村仁）下記のとおり開催された。

開催日時：2018年3月5日（月）-3月6日（火）

会場：名古屋大学・東山キャンパス・ 研究所共同館1-301号室

コンビーナー：田村仁（港湾空港技術研究所）

相木秀則（名古屋大学）

鈴木直弥（近畿大学）

【研究集会の内容】

本研究集会の招待講演として、まず初めに岐阜大学・田中光宏教授より「2層流体系における波動乱流について」のタイトルで、三波共鳴による内部波の発達と関連する波動乱流理論に関する研究発表が行われた。引き続き、海洋内部波および海洋表層乱流に関する理論的・数値モデル研究として4件、海洋波の室内実験および観測研究として7件、気象津波に関する数値モデル研究として1件、さらに海外気象機関及び気象庁における波浪結合モデルの研究動向1件の計14件の講演が行われた。

【研究集会の成果】

昨年度に引き続き海洋波を中心に大気海洋相互作用に関連する研究テーマを対象として議論を行った。さらに本年度からは海洋内部波の研究テーマを設けることで、より広範囲にわたる海洋の波動現象に関して研究紹介・情報交換を行うことができた。最新の海洋波動研究成果を分野横断的に情報共有する場が日本国内には存在しないのが現状であるなかで、本年度も学際的（海洋学、気象学、機械工学、海岸工学、船舶工学、リモートセンシング）な研究集会の特色を生かし、活発な議論を行うことができた。特に、所属学会等の枠組みを超えて、若手波浪研究者間の交流ができたことは本研究集会の最大の成果であった。本研究集会が継続して学際的海洋波動研究集会の中心を担うことで、今後の日本国内全体の海洋波研究レベルの向上が期待されるとともに、新たな研究の発展の可能性も大いに期待される。

【講演プログラム】

2018/03/05（月）

13:00-14:00 招待講演 2層流体系における波動乱流について

田中光宏（岐阜大学）

14:00-14:30 講演1 狭域スペクトル中のパラメトリック不安定

大貫陽平（九州大学応用力学研究所）

14:30-14:45 休憩

14:45-15:15	講演 2	日本海底層水におけるGyroscopic Waveの三波共鳴 伊藤海彦（北海道大学大学院水産科学院）
15:15-15:45	講演 3	海洋内部波の砕波に伴う乱流混合のパラメタリゼーション 伊地知敬（東京大学大学院理学系研究科）
15:45-16:15	講演 4	水面波と海洋表層乱流の双方向相互作用のシミュレーションに向けて 藤原泰（京都大学大学院理学研究科）
16:15-16:30	休憩	
16:30-17:00	講演 5	高風速下かつ長吹送距離における風波気液界面を通しての熱輸送機構 高垣直尚（兵庫県立大学工学研究科）
17:00-17:15	講演 6	シースプレー測器による海上波浪境界層観測 相木秀則（名古屋大学宇宙地球環境研究所）
17:15-17:45	講演 7	漂流ブイによる波浪データ・推算の検証 久木幸治（琉球大学理学部）
17:45-18:00	講演 8	海外気象機関及び気象庁における波浪結合の動向と展望 高谷 祐平（気象庁気象研究所）
2018/03/06（火）		
09:30-10:00	講演 9	伊勢湾における波浪の時空間変動 片岡智哉（東京理科大学理工学部土木工学科）
10:00-10:30	講演 1 0	富山湾におけるうねり性波浪 田村仁（港湾空港技術研究所）
10:30-11:00	講演 1 1	日本沿岸における方向スペクトルの常時観測 藤木峻（港湾空港技術研究所）
11:00-11:15	休憩	
11:15-11:45	講演 1 2	沿岸での長周期波発達過程の現地観測および数値解析 松葉義直（東京大学大学院工学系研究科）
11:45-12:15	講演 1 3	気象津波の発生に関わる沿岸波動 福澤克俊（東京大学大学院理学系研究科）

宇宙環境の理解に向けての統計数理的アプローチ
Statistical approach for comprehensive understanding of space
environment

中野 慎也，統計数理研究所・モデリング研究系

測位衛星，通信衛星，気象衛星などの人工衛星をはじめとする社会インフラ障害の予測，リスク解析の必要性が高まるとともに，衛星観測，地上観測を活用した宇宙環境，電離圏・磁気圏環境のモニタリング，短期予測の重要性が高まっている．電離圏，磁気圏環境の変動の把握，短期予測には，数値シミュレーションに様々な観測データの情報を取り入れるデータ同化などの統計数理に根ざした手法が大きな役割を果たす．また，衛星の計画，軌道設計などにおいては，長期的な宇宙環境変動の特性を解析する「気候学的」アプローチも重要であり，そのための統計モデリング技術も，ますます重要性を増していくと考えられる．このような現状を踏まえ，統計数理的アプローチや機械学習的アプローチに基づく宇宙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，宇宙環境の把握，予測のための統合的解析・モデリング研究を創始することを目的として本研究集会を企画した．

なお，本研究集会は，平成23年度から平成27年度までの5年間にわたって名古屋大学，統計数理研究所で交互に開催したデータ同化に関する研究集会を発展させ，広く関連手法やその応用研究についても情報交換を進めることを狙って平成28年度から開催しているものである．平成28年度は10月に統計数理研究所で開催し，今回が2回目となる．特に今回は，宇宙地球環境研究所に気象分野等の研究者も多数在籍することから，電離圏・磁気圏分野に限らず，気象・海洋分野の研究者や機械学習の研究者を集め，電離圏－磁気圏や大気－海洋といった異なる領域を結合したシステムにおけるデータ同化を重点テーマとし，広い視点で議論を行った．

今回のプログラムを以下に示す．

名古屋大学宇宙地球環境研究所研究集会

「宇宙環境の理解に向けての統計数理的アプローチ」

日時：2017年12月22日(金) 13:30~17:20

場所：名古屋大学共同教育研究棟II 3F講義室

13:30-14:00

太田 守，笠原 禎也，松田 昇也，松岡 彩子，疋島 充，笠羽 康正，尾崎 光紀，八木谷 聡，土屋 史紀，熊本 篤志 「あらせ衛星データのプラズマ波動伝搬方向解析」

14:00-14:30

鈴木 文晴，岡田 真人，吉岡 和夫，吉川 一朗 「大気・プラズマの光学観測データに対するLassoを利用した変動周期のスプース推定」

14:30-15:00

徳永 旭将「バイオイメージ解析におけるベイズ統計と機械学習の応用」

15:00-15:20 (休憩)

15:20-15:50

上野 玄太「結合モデルへのデータ同化」

15:50-16:20

石橋 俊之, 藤井 陽介, 小林 ちあき, 高谷 祐平, 入口 武史, 豊田 隆寛, 齊藤 直彬, 杉本 裕之「全球大気(及び海洋)解析のためのデータ同化研究」

16:20-16:50

藤井 陽介, 小林 ちあき, 石橋 俊之, 高谷 祐平, 入口 武史, 豊田 隆寛, 齊藤 直彬, 杉本 裕之「気象研究所大気海洋結合同化システムの開発と再解析実験」

16:50-17:20

中野 慎也「内部磁気圏統合データ同化システム開発の現状」

太田守氏(金沢大)はプラズマ波動伝搬方向の推定手法について発表し, 鈴木文晴氏はスパース推定手法を用いた惑星大気等の光学観測データの解析事例について紹介した. 徳永旭将氏(九州工業大)は, ライフサイエンスの題材を中心に最新の統計学や機械学習の考え方やその応用研究について紹介した. 上野玄太氏(統数研)は2つの時定数の異なるシステムを結合させた比較的単純なモデルにデータ同化を行った実験結果について紹介し, 議論を展開した. 石橋俊之氏(気象研)は様々な手法による全球モデルへのデータ同化の結果について紹介し, それに続いて藤井陽介氏(気象研)は時定数の異なる大気と海洋が結合したモデルへのデータ同化システム開発の現状や課題について議論した. 中野慎也(統数研)による発表も予定されていたが, それまでの議論が非常に盛り上がり時間がなくなったため, 次回に持ち越すことにした.

今回は, 結果的に6件の講演数となったが, 比較的新しい統計手法や機械学習の応用に関する話題, 大気-海洋結合系のデータ同化に関する話題など, 各講演で議論が盛り上がり, 非常に有意義であったと考えている.

気候科学と古気候プロキシ研究の接点創出
Feasibility Study of Conjunction between Climate Dynamics
and Proxy-based Sciences

植田 宏昭 筑波大学 生命環境系

気候・海洋力学の専門家と古気候・古海洋学の専門家が協力し、長期の気候変動の総合的な理解を促進するコミュニティの形成を目途に本研究集会を開催した。研究集会を契機に、気候科学と古気候変動学の共同研究体制を整備し、これまで個別に収集されてきた古気候プロキシデータを、地点間の整合性が取れたアジアモンスーン変動として整理・検証を行う体制を構築した。

集会は平成29年9月22日（金）の11時から17時まで、名古屋大学宇宙地球環境研究所 研究所共同館II 409号室にて、事前登録不要の公開形式で開催し、7名の講演者による各40分の講演を行うとともに、今後の課題等について質疑応答を実施した。参加者総数は10機関、25名であった。また、同日9時より、共同館Iの6階617にて、釜江陽一・阿部紘平（筑波大）より、地球軌道要素とアジアモンスーンに関する研究成果の紹介の後、筑波大学・立命館の共同研究に関する打ち合わせを行った。

研究集会では、植田から趣旨説明ならびにアジアモンスーン変動を軸に据えた物理過程の新たな見方と気候科学モデリングに関する将来展望について報告された。プロキシ研究については、中川毅・北場育子（立命館大学）、長谷川精（高知大）により琵琶湖、水月湖、大阪湾、モンゴルなどで取得されたプロキシデータから得られた知見の紹介がなされた。

長谷川は白亜紀中期“温室期”の湖成年縞記録の解析から、①地球軌道要素変動の万～十万年周期、②ダンスガード・オシュガー・サイクル（DOC）に類似した千年周期、③太陽活動と類似した十～百年周期の気候変動について紹介した。特に②の知見からは、氷期の気候モードでのみ見られたDOCに類似した変動が白亜紀にも見られることから、現在よりも温暖な気候モードにも千年周期の急激な気候変動を引き起こす安定解が存在した可能性が示唆された。多田はWJとITCZの挙動がforcingの種類により異なり、AMOCやorbital precessionでは、南北平行移動、CO₂やsolar forcingでは、南北対称移動となることが重要で、南北半球のモンスーンの挙動もこれに似ている、あるいはITCZの南北振動を抑制したり増幅したりする可能性を示した。

気候変動のメカニズムを考える上で、銀河宇宙線-雲仮説は時に軽視されがちであるが、北場はこの仮説を古気候学的に検証した例を紹介した。具体的には、地磁気逆転期には地球磁場が弱まり、地球大気に侵入する宇宙線量が極端に増加することを、また大阪湾堆積物の分析によって、この時に寒冷化が起こっていたことを紹介した。地磁気逆転期には、陸の顕著な寒冷化と夏季モンスーンの弱化も起こっていたことを示し、一連の気候変化を説明するメカニズムとして、雲の増加による日傘効果が重要である可能性が示唆された。また、宇宙線と気候変動については、三宅芙沙(名古屋大)による宇宙線生成核種 ^{14}C 、 ^{10}Be を用いた過去の太陽活動に関する最新の研究成果の紹介がなされた。

気候科学に関しては、温暖化予測の不確実性や気候感度について、気候モデリングの立場から塩竈(国立環境研究所)は「19世紀以降の気候変動の検出と要因分析」、「2100年までの気候変動将来予測」、「気候感度」など温暖化研究に関するIPCC報告書の記述、研究事例を解説し、さらに最新の気候モデル相互比較プロジェクトを紹介した。その上で、温暖化モデル研究と古気候研究の連携の可能性や課題などを議論した。総合討論では、古気候プロキシ分野、気候科学分野、宇宙物理分野等が継続的に連携していくことを確認した。



名古屋大学宇宙地球環境研究所Q&A研究会

気候科学と古気候プロキシ研究の接点創出

11:00-11:30 植田宏昭(筑波大) 様々な時代のアジアモンスーン変動の統合化
 11:30-11:35 中川毅(立命館大) 古気候学が過去の気候変動を定量的に評価するための試み
 11:35-12:15 北場真子(名古屋大) 宇宙線と地球の気候
 昼食
 13:30-14:10 多田隆治(東大) 不安定気候と気候変動
 14:10-14:50 長谷川裕(筑波大) 白亜紀温暖期：気候変動のメカニズムを明らかにする
 休憩
 15:00-15:40 三宅芙沙(名古屋大) 宇宙線生成核種 ^{14}C 、 ^{10}Be を用いた過去の太陽活動
 15:40-16:20 塩竈秀夫(国研) 産業革命以降の気候変動と古気候研究の連携
 16:20-16:40 総合討論

日時 平成29年9月22日(金)
 11:00~16:40

場所 名古屋大学宇宙地球環境研究所 研究所共同館00409号室

17:00~(飛行機に乗る) レストラン花の木(立食)

趣旨：
 地質学的証拠(プロキシ)に基づく気候変動の地球気候の過去・現在・未来の姿をシームレスに理解する上で重要なピースをあつめていく。地球温暖化予測の精度向上・不確実性の低減。異常気象の代表として気候変動の本質的理解を地球歴史から学ぶ。既存の学問体系を超えた挑戦的なテーマをあつめていく。

お問い合わせ
 植田宏昭(筑波大)
 u6529@u-tokyo.ac.jp
 中川毅(立命館大)
 n2k2g@u-rkyo.ac.jp

超高層大気・電磁気圏研究の成果公表のための
論文執筆ワークショップ
Paper-writing workshop for studies of upper atmosphere,
ionosphere, and magnetosphere

塩川和夫（名古屋大学宇宙地球環境研究所）

開催期間：平成 30 年 1 月 4 日～平成 30 年 1 月 6 日（3 日間）

開催場所：伊良湖シーパーク&スパ（愛知県田原市）

本研究集会は、「論文を書くこと」を主眼として開催し、グローバルな現象を取り扱う超高層大気・電磁気圏プラズマの学問分野において、日本に限らず世界の研究者に向けて研究成果を発表し、議論を行っていくことを目的とした。そのために進め方として

- ・研究会の最初に、各人が執筆する論文の内容を短時間で説明する。
- ・長時間の論文執筆時間をとる。
- ・2 日目の午後および 3 日目に、各人が進捗状況を 5-10 分くらいずつ発表する。
- ・夜遅くまで会場を使用できるようにする。

という形式を取った。雑用やメールの来ない隔離された環境で、各自は毎日朝 9 時から深夜 12 時過ぎまで集中して論文執筆を行うことができた。

参加者の執筆論文タイトル一覧（参加者名、タイトル、投稿予定雑誌の順）

1. 塩川 和夫 Tall purple auroral rays in the postmidnight sector and global Pc1 pulsations observed at the CIR-associated solar-wind density enhancement on March 21, 2017 (GRL)
2. 尾花 由紀 The Study of the plasmaspheric refilling using the data from the ERG, the VAPs, the ground-based magnetometers and the IPE model (JGR)
3. 尾崎 光紀 Coordinated Arase satellite and ground-based observation of pulsating electron aurora (GRL)
4. 田中 良昌 Simultaneous observation of Polar Mesosphere Winter Echoes and magnetospheric plasma waves (GRL)
5. 野村 麗子 ULF modulation of EMIC wave (GRL)
6. 津田 卓雄 NLCs observed by HIMAWARI-8 (ACP)
7. 大矢 浩代 Correlations between atmospheric electric field and cloud parameters using a W-band cloud radar FALCON-I (JGR)
8. 細川 敬祐 Simultaneous observations of pulsating aurora with multi-point high-speed all-sky cameras and ARASE satellite (GRL)
9. 新堀 淳樹 ①Temporal and spatial variations of ionospheric trough during a geomagnetic storm based on global GPS total electron content data analysis ② Seasonal variation of the amplitude of the main impulse (MI) of geomagnetic sudden commencements in the low-latitude and equatorial regions (①GRL, ②JGR)
10. 坂井 純 Fine structure of seasonal variations in night-time F-layer altitude revealed by HF Doppler observation (JGR)
11. 三好 由純 Wide energy electron precipitations by chorus waves: Arase and EISCAT observations" (GRL)
12. 小川 泰信 Arctic and Antarctic multi-wavelength imager system for aurora and airglow observations（その他に 3 編ほど）（Polar Sci.）

インド洋/太平洋域における海洋循環/環境応用に関する研究集会
Approaches for Hydrospheric-Atmospheric Environmental Studies in Asia-Oceania

尾形 友道（海洋研究開発機構・アプリケーションラボ）

平成 29 年度名古屋大学宇宙地球環境研究所研究集会として、「インド洋/太平洋域における海洋循環/環境応用に関する研究集会」を 2017 年 11 月 9 日（木）～10 日（金）に名古屋大学東山キャンパスにて開催した。インド洋/太平洋域における海洋関連の研究集会を開催することにより、大気水圏域における地球変動予測に関する海洋の重要性を議論し、衛星観測/海洋観測/モデリングの相補的な研究や、環境/防災分野への貢献を促す事を目的に、13 人の発表と 30 人程度の集会参加者が集まり、活発な議論がなされた。

集会 1 日目（11 月 9 日午後）：

まず、安藤健太郎（JAMSTEC）が基調講演として「IOC/WESTPAC（政府間海洋学委員会西太平洋地域小委員会）の活動の紹介と日本の貢献」を発表した。国連教育文化科学機関(UNESCO)の一組織である政府間海洋学委員会(IOC)の地域小委員会の一つである西太平洋地域小委員会(WESTPAC)の活動の現状と、設立以降の日本による IOC/WESTPAC への貢献を紹介し、WESTPAC が担当する海域での問題点と将来への期待を議論した。

三野義尚（名古屋大学）は「北部タイランド湾における底層の酸素消費」を発表した。季節的に貧酸素水塊が生じる北部タイランド湾で底層水中の酸素消費速度について調査し、2014-2015 年にかけて 7 回実施した観測結果を紹介した。

高橋洋（首都大）は「アジアモンスーンの季節降水量の予測可能性と年々変動」を発表した。観測データなどから、アジアモンスーンの季節降水量の予測可能性と海や陸との関係について議論した。

金田幸恵（名古屋大学）は「雲解像大気・海洋結合領域モデルを用いた Typhoon MEGI (2010) の再現実験」を発表した。雲解像大気・海洋結合領域モデル CReSS-NHOES (Aiki et al., 2015)を用いて、最低中心気圧が 885hPa に達した非常に強い台風 Typhoon Megi (2010) のシミュレーション結果を報告した。

佐々木克徳（北海道大学）は「東シナ海の海面水温フロントの経年変動に対する梅雨前線の応答」を発表した。東シナ海の黒潮に伴う海面水温フロントの経年変動に対する梅雨前線の応答について、観測データを用いて解析を行った。

西井和晃（三重大学）は「中緯度海洋前線の存在が西風ジェット気流に与える影響」を発表した。海面水温の大きな南北勾配によって特徴付けられる中緯度海洋前線帯の存在が、中緯度西風ジェット気流の軸をより極側に偏倚させることを、大気大循環モデル実験に基づいて示した。

集会 2 日目 (11 月 10 日午前) :

升本順夫 (東京大学) は「東部インド洋湧昇研究イニシャティブと HIOE-2」の現況を紹介した。東部インド洋湧昇研究イニシャティブは湧昇域の物理と生物地球化学過程を明らかにするための国際的な共同研究であり、2015 年から始まっている HIOE-2 の主要研究プロジェクトの 1 つともなっている。

堀井孝憲 (JAMSTEC) は「インドネシアの潮位データを活用したスマトラ・ジャワ島沖の沿岸湧昇の観測研究」を発表した。インドネシアの潮位データなどを用いて行った当海域の沿岸湧昇のシグナルについての観測研究を紹介した。

今田由紀子 (気象研究所) は「熱帯海洋高解像度結合モデルによる気候の再現」を発表した。熱帯海洋高解像度ネストモデルを気候モデル MRI-ESM1 と結合し、熱帯海洋の高解像度化が基本場や ENSO 等の現象の再現に与えるインパクトを調べた。

福富慶樹 (名古屋大学) は「海洋大陸上を通過する低周波 Kelvin 波の性質と降水活動」を発表した。周期 1 週間以上の対流活動結合赤道 Kelvin 波の東進に伴う海洋大陸上の強雨発生への影響を、過去 38 年間の衛星観測データと大気再解析データを用いて調べた。

尾形友道 (JAMSTEC) は「SINTEX-F2 季節予測における ENSO スプレッド」を発表した。SINTEX-F2 季節予測の不確実性を調べるため、Nino-3 スプレッドに対して先行するシグナルをラグ回帰により抽出した解析結果を報告した。

相木秀則 (名古屋大学) は「東南アジア域の海洋環境数値モデル研究の展望」を発表した。JAXA・JAMSTEC との連携のもと、ひまわり 8 号海面水温の同化システムをアジア・オセアニア沿岸域において運用する準備を進めており、その状況を紹介した。

第8回国際DOAS（差分吸収分光法）ワークショップ
8th International DOAS (Differential Optical Absorption Spectroscopy) Workshop

金谷 有剛、国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境観測研究開発センター

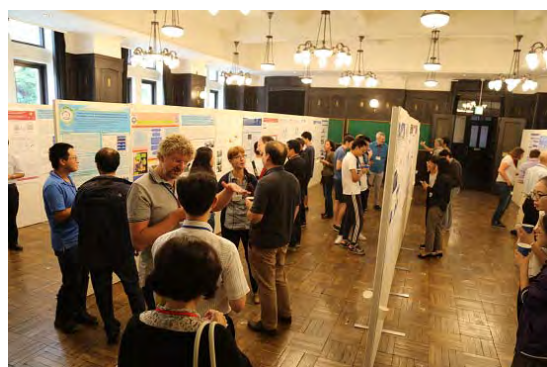
平成29年9月4日（月）～6日（水）の3日間、横浜市開港記念会館において、第8回国際DOAS（差分吸収分光法）ワークショップを開催した。101名（うち国内19名、海外82名）の参加者を得て、42件（うち招待講演2件）の口頭発表と68件のポスター発表がなされた。「差分吸収分光法」は、地球の大気組成（ガス・エアロゾル）に関する衛星・現場計測手法として、近年重要性が高まっているものであり、今回、本方法の研究開発に携わる世界トップレベルの研究者が一堂に会し、最先端の知見や情報を交換することができた。

トピックスは、装置・アルゴリズム開発から、衛星観測とその検証、地上観測を含む標準化、各種環境計測への適用まで、多岐にわたった。打上が迫るSentinel 5P/TROPOMI, GEMS, EMI/GF-5といった衛星センサの準備状況や、現在実施中の衛星観測とその検証、地上ネットワーク観測(Pandonia, MADRAS, SKYNETなど)の動向、2016年にオランダで行われた相互比較観測CINDI-2の結果などが報告され、衛星・地上観測に関する、調和のとれた総合的な推進に関する議論がなされた。衛星観測の差分吸収解析からはエアロゾル・雲に関するプロダクトも導出されるようになり、名古屋大学宇宙地球環境研究所の融合研究プロジェクト「雲・エアロゾル過程」を推進するために有用な情報も多くもたらされた。また、微量気体の新たな計測に関する発表も多くなされた。具体的には、一酸化ハロゲン類(BrO , IO)に関する、極域や熱帯対流圏での新たな観測結果が報告されるとともに、都市大気汚染で重要な亜硝酸やグリオキザールなどの計測や大気質の診断に関する発表もなされた。さらに、火山由来の二酸化硫黄(SO_2)ガス計測に対する差分吸収法の有用性とUAVによる日本の火山での計測例についても示され、大気環境と火山化学などの異分野間連携も促進された。ファブリ・ペロー干渉計を利用した差分吸収カメラの進展についても報告された。

ワークショップの最後に、DOAS法の今後の発展について議論した。ハードウェアに関しては、小型分光器の利用に関する注意点や、高分解能での衛星観測から完全な太陽光スペクトル情報を得るアイディアなどが議論された。スペクトル解析やアルゴリズムに関しては、 O_4 （酸素分子の衝突錯体）や水蒸気の吸収断面積改訂や、複数光軸を用いるMAX-DOAS観測からの最適な高度分布導出法が議論された。衛星観測と標準化に関しては、時空間分解能が格段に向上する静止衛星からの観測

などが議論された。また、DOAS観測と化学輸送モデルを組み合わせた解析についても、排出量・輸送・化学的変質を大気化学的に議論する観点で、また、高度方向を含む、大気組成の3次元的な分布を正確におさえていく観点で、重要性が議論された。

これらの発表や議論の中で、我が国の研究者が主導して行ってきた地上ネットワーク観測や高度分布導出法の開発、測定法比較等に関する成果を幅広く発信することができた。また、名古屋大学宇宙地球環境研究所が進める、光学技術に基づく大気微量成分やエアロゾルの大気観測や、基礎技術開発等の関連研究を発展させるための有意義な情報交換がなされた。これらにより、国際連携を強化するとともに名古屋大学を含む国内のコミュニティを活性化させることができた。



本ワークショップの集合写真と、ポスター発表・ディスカッションの様子。

8th International DOAS Workshop

Oral

			Chair
Sep 4, Monday	Day 1 AM		
9:20	Welcome speech, Logistics, invited talks		Y. Kanaya
9:40	O1-01 Ulrich Platt	Recent Advances in Passive and Active DOAS	
10:05	O1-02 Ryunosuke KAZAHAYA et al.	Recent SO ₂ emission rates observations at volcanoes in Japan: pragmatic application of DOAS for volcanology	
	Day 1 AM2, Instruments and Imaging observations		
10:30	O1-03 Martin Horbanski et al.	The ICAD NO ₂ Instrument: Mobile Measurements to Investigate Trace Gas Distributions and Personal Exposure	G. Pinardi
10:50	O1-04 Denis Pöhler et al.	Measure Real Driving NO _x Emissions of Vehicles and Detection of Manipulated Emission Systems with the ICAD	
11:10	Photo + coffee break (at poster room)		
11:30	O1-05 Alexis Merlaud et al.	The Small Whiskbroom Imager for atmospheric composition monitoring (SWING): results from the AROMAT (2014-2015) and AROMAPEX (2016) campaigns	U. Platt
11:50	O1-06 Katja Bigge et al.	Heidelberg Airborne DOAS Instrument on HALO	
12:10	O1-07 Naohiro Manago et al.	Imaging MAX-DOAS measurement of NO ₂ : observation of urban air pollution and exhaust from airplanes	
12:30	O1-08 Hyunkee Hong et al.	Tropospheric NO ₂ observation using airborne GeoTASO over the Korea peninsula during KORUS-AQ	
12:50	lunch		
	Day 1 PM satellite		H. Eskes
14:20	O1-09 Jhoon Kim et al.	Geostationary Environment Monitoring Spectrometer (GEMS)	
14:40	O1-10 Jianguo Liu et al.	The Environmental trace gases Monitoring Instrument (EMI) onboard the GF-5 satellite: development and pre-launch	
15:00	O1-11 Wonei Choi et al.	Development of an aerosol height retrieval algorithm using the O ₄ absorption based on GEMS measurements	
15:20	O1-12 Andreas Richter et al.	Cloud effects on satellite retrievals of tropospheric NO ₂ over China	
15:40	coffee break (at poster room)		
16:00	O1-13 Song Liu et al.	An improved retrieval of NO ₂ column for GOME-2 instrument	H. Lee
16:20	O1-14 Nicolas Theys et al.	Retrieval of Sulfur Dioxide from OMI and GOME-2 satellite sensors: algorithmic developments for S5P and S5	
16:40	O1-15 I. De Smedt et al.	A new HCHO satellite product developed within the Quality Assurance for Essential Climate Variables (QA4ECV) project and its validation.	
17:00	O1-16 Alba Lorente et al.	Surface reflectance anisotropy, clouds and NO ₂ : changing perspectives for GOME-2A and OMI Lessons learned from QA4ECV project	
17:20	O1-17 Henk J. Eskes et al.	New tropospheric NO ₂ retrieval products for OMI and GOME-2, resulting from the European Quality Assurance For Essential Climate Variables (QA4ECV) project	
17:40-19:30	poster		
Sep 5, Tuesday	Day 2 AM harmonization		A. Piters
9:10	O2-01 Gaia Pinardi et al.	Satellite nadir NO ₂ validation based on direct-sun and MAXDOAS network observations	
9:30	O2-02 Pinhua Xie et al.	MAX-DOAS network in China and its application to regional air quality monitoring	
9:50	O2-03 Alexander Cede et al.	The operational near-real time algorithms used in the Pandora network	
10:10	O2-04 Yugo Kanaya et al.	MAX-DOAS Network Observations in Asia and Russia (MADRAS) since 2007: Overview, OMI satellite data validation and update in 2017	
10:30	O2-05 Hitoshi Irie et al.	MAX-DOAS observations as part of the international remote sensing network SKYNET	
10:50	O2-06 F. Hendrick et al.	HCHO and NO ₂ MAXDOAS retrieval strategies harmonization within the EU FP7 project QA4ECV	
11:10	coffee break (at poster room)		
	Day 2 AM2 halogens		R. Volkamer
11:30	O2-07 Jan-Marcus Nasse et al.	LP-DOAS long-term measurements at Neumayer III, Antarctica: Instrument performance and results	
11:50	O2-08 William R. Simpson et al.	Comparison of satellite and ground-based observations of BrO in the Arctic using multiple view geometries per day	
12:10	O2-09 Saki Kato et al.	Iodine monoxide variations observed by shipborne MAX-DOAS over the tropical Pacific Ocean	
12:30	O2-10 Theodore K. Koenig et al.	Maximizing degrees of freedom in MAX-DOAS retrievals of BrO from remote tropical marine mountaintops	
12:50	lunch		
14:00-15:20	poster		
	Day 2 PM, CINDI-2 and algorithms		A. Richter
15:20	O2-11 Karin Kreher et al.	CINDI-2 semi-blind MAX-DOAS intercomparison – data analysis and results	
15:40	O2-12 Jan-Lukas Tirpitz et al.	Comparison of MAX-DOAS and ancillary profiling results during CINDI-2	
16:00	O2-13 Sebastian Donner et al.	Different ways of elevation calibration of MAX-DOAS instruments during the CINDI-2 campaign	
16:20	O2-14 Yang Wang et al.	MAX-DOAS measurements of lower tropospheric ozone during the CINDI-2 campaign using the temperature dependence of ozone absorption - Part 1: development of the retrieval algorithm	
16:40	short break (10 min)		
16:50	O2-15 T. Wagner et al.	Is a scaling factor required to obtain closure between measured and modelled O ₄ absorptions? - A case study for two days during the MADCAT campaign	Y. Wang
17:10	O2-16 Udo Frieß et al.	Comparison of algorithms for the retrieval of aerosol and trace gas vertical profiles using synthetic MAX-DOAS data	
17:30	O2-17 Ankie J.M. Piters et al.	Validation of MAXDOAS tropospheric NO ₂ profiles with NO ₂ -sonde data	
19:00	dinner		
Sep 6, Wednesday	Day 3 AM&PM: spectrum analysis, flux & environmental observations		J. Stutz
9:20	O3-01 Jonas Kuhn et al.	Hardware DOAS – can DOAS algorithms be replaced by the use of trace gas specific optical elements?	
9:40	O3-02 Martin Tiefengraber et al.	About spectral stray light correction in DOAS applications	
10:00	O3-03 Johannes Lampel et al.	Recent advances in the spectral retrievals of UV/VIS DOAS data	
10:20	coffee break		
10:40	O3-04 Jochen Stutz et al.	Vertical concentration profile and flux measurements using active long-path DOAS	J. Chong
11:00	O3-05 Ting Wang et al.	Recent 10-Year Characteristics of SO ₂ Amount over China	
11:20	O3-06 S. Hoque et al.	First MAX-DOAS observations of formaldehyde and glyoxal in Southeast Asia and South Asia	
11:40	O3-08 Junsung Park et al.	HCHO column retrieval from direct sun measurements using Pandora over the Korean peninsula in 2016 during the KORUS-AQ campaign	P. Xie
12:00	O3-09 Kyung-Eun Min et al.	Airborne measurement of glyoxal over the Korean peninsula using newly developed CEAS (Cavity Enhanced Absorption Spectroscopic) system	
12:20	lunch		
13:45	discussion: towards a new sail from Yokohama Future of DOAS: (a) Hardware and (b) analysis (5 min introduction + 15 min discussion) Future of Satellite observations and harmonization (5 min introduction + 15 min discussion) Future of DOAS: application (5 min introduction + 15 min discussion)		A. Cede, T. Wagner M. Van Roozendael U. Frieß
15:00-15:10	closing		

P-01	Johannes Lampel et al.	Detection of water vapour absorption around 363nm in measured atmospheric absorption spectra and its effect on DOAS evaluations
P-02	Johannes Lampel et al.	Performance of EnviMeS MAX-DOAS systems during different field campaigns
P-03	Chengxin Zhang et al.	Lab Evaluation of Nitrogen Dioxide Spectral Analysis of the Environmental trace gases Monitoring Instrument
P-04	Fengcheng Wu et al.	High-resolution observations of trace gas spatial distribution based on airborne imaging DOAS instrument
P-05	Haoran Liu et al.	Long-term ground based observations of HONO in the Beijing-Tianjin-Hebei Region, North China
P-06	Yoshihiro Nakashima et al.	Contributions of vehicular emissions and secondary formation to nitrous acid concentrations measured by incoherent cavity enhanced absorption spectroscopy
P-07	Wei Tan et al.	Estimation of local emissions and transported pollutants contributions to the air quality in Hefei, China, using mobile MAX-DOAS observations
P-08	Y. Maruyama et al.	Spatiotemporal inhomogeneity in nitrogen dioxide (NO ₂) over Fukuoka observed by Car MAX-DOAS
P-09	Zhaokun Hu et al.	Observation of Vertical Column Density and Emission Flux of NO ₂ by A New Mobile Two Axis Paths Differential Optical Absorption Spectroscopy Technique by A New Mobile Two Axis Paths Differential Optical Absorption Spectroscopy Technique
P-10	Claudia Rivera et al.	Mobile mini-DOAS measurements of the outflow of nitrogen dioxide from Toluca City, Mexico
P-11	Martin Horbanski et al.	The ICAD NO _x Instrument: High Precision Measurements during the s-b-s- Campaign Hohenpeißenberg 2016
P-12	Tamaki Fujinawa et al.	Feasibility Study for the Observation for NO ₂ Air Pollution Using High Spatial Resolution Mini-satellites
P-13	Leonardo M.A. Alvarado et al.	New glyoxal and formaldehyde products from multiple satellite instruments
P-14	Jiwon Yang et al.	A performance comparison of three algorithms for sulfur dioxide slant column density retrievals from a space-borne sensor: standard DOAS and multi-windows DOAS, PCA
P-15	Hanlim Lee et al.	GEMS NO ₂ retrieval algorithm and error analysis
P-16	Wenqiang Zhang et al.	Cloud fraction and cloud height retrieval using O ₂ -O ₂ absorption band and O ₂ B-band
P-17	Oleg Postlyakov et al.	First experiments on high-detailed mapping of tropospheric NO ₂ using GSA hyperspectral imager on board Resurs-P satellite aimed to natural resource investigation
P-18	Sang Seo Park et al.	Effect of temperature-dependent O ₄ cross section on slant column density from satellite measurements
P-19	Juan Cuesta et al.	Transboundary ozone pollution across East Asia: daily evolution and photochemical production analyzed by innovative multispectral satellite observations
P-20	Li Su-wen et al.	Research of optical properties of atmospheric particles measured with active differential optical absorption
P-21	Yajing Xiang et al.	Mixing Layer Height Determination by LP-DOAS and MAX-DOAS Observations
P-22	Jiawei Zhang et al.	Retrieval of aerosol extinction profiles from MAX-DOAS and comparison with collocated measurements
P-23	Jamrud Aminuddin et al.	Development of an LED-based long-path system for multi-wavelength measurement of aerosol extinction near the
P-24	Chengzhi Xing et al.	MAX-DOAS retrieval of aerosol extinction properties in Beijing, China
P-25	Ajit Ahlawat et al.	Design of Low Cost, Light Weight Optical Particle Counter with a Novel Retrieval Algorithm
P-26	Jin Xu et al.	Observation of CO ₂ regional distribution based on Airborne Weighting Function Modified DOAS in the North China
P-27	Shin'ichiro Okude et al.	Near-infrared long-path DOAS measurement of carbon dioxide concentration over the urban canopy
P-28	Sebastian Donner et al.	Investigation of the 3D distribution of tropospheric formaldehyde (HCHO) at the city of Mainz (Germany) using measurements of a 4 azimuth MAX-DOAS instrument
P-29	Min Qin et al.	Airborne cavity enhanced absorption spectroscopy measurements of tropospheric NO ₂ distributions over North China
P-30	Stefan Schmitt et al.	Unidentified atmospheric absorption structure observed by DOAS near Hamburg harbour, Germany
P-31	Stefan Schmitt et al.	Measurements of ship emissions of NO ₂ and SO ₂ using LP-DOAS near Hamburg harbour, Germany
P-32	Jihyo Chong et al.	Optical remote sensing measurements of NO ₂ and SO ₂ using a ground-based MAX-DOAS instrument near the Pyeongtaek power plant during the MAPS-Seoul 2016 Campaign
P-33	Qianqian Hong et al.	Ship-based MAX-DOAS measurements of NO ₂ , SO ₂ , and HCHO during Yangtze River Campaign (YRC)
P-34	Witlock, Folkard et al.	Monitoring shipping emissions in the German Bight using MAX-DOAS measurements
P-35	J.-L. Tirpitz et al.	Retrieval of Vertical Aerosol and Trace Gas Distributions from Polarization Sensitive Multi-Axis DOAS measurements
P-36	Steffen Beirle et al.	Parameterisation-based profile inversion of MAX-DOAS measurements
P-37	Steffen Beirle et al.	On the spectral calibration of reference spectra and fitting of the instrumental spectral response function for DOAS
P-38	Tim Bösch et al.	Introduction into IUP Bremen's new MAX-DOAS profile retrieval algorithm BOREAS
P-39	Julia Remmers et al.	Retrieving 3D distributions of aerosols and trace gases with MAXDOAS
P-40	Zhuoru Wang et al.	Long-term MAX-DOAS measurement at the Environmental Research Station Schneesfernerhaus (UFS), Germany
P-41	Yang Wang et al.	Intercomparison of HONO profiles derived from MAX-DOAS observations during the CINDI-2 campaign
P-42	Yang Wang et al.	Retrieval of regional emission maps of pollutants using MAX-DOAS measurements and HYSPLIT trajectory simulations in Xingtai, China
P-43	Xin Tian et al.	HCHO measurements by two Dimension Scanning MAX-DOAS during CINDI-2
P-44	M. Van Roozendaal et al.	Central reprocessing of CINDI-2 MAX-DOAS NO ₂ , O ₄ , HCHO and O ₃ slant column data
P-45	Nan Hao et al.	MAXDOAS measurements of air pollutants at SORPES station in Nanjing, China
P-46	Ka Lok Chan et al.	Observations of tropospheric aerosols and NO ₂ in Hong Kong using ground based MAX-DOAS
P-47	Daewon Kim et al.	Temporal characteristics of HCHO column from Pandora measurements in Seoul, Korea: Comparison with OMI
P-48	Jianzhong Ma et al.	MAX-DOAS measurements of tropospheric NO ₂ and SO ₂ vertical column densities over urban Beijing and its surrounding rural area
P-49	Jeongsoon Lee et al.	DOAS measurement and calibration in industrial complex
P-50	Jia Jia et al.	Increase of tropospheric ozone over Arabian Sea during pre-monsoon season
P-51	Hyeonwoo Kang et al.	Comparison between OMI-TOMS and OMI-DOAS Ozone Columns over High SO ₂ Regions
P-52	Isao Murata et al.	Measurements of stratospheric ozone and nitrogen dioxide with spectrometer type balloon-borne optical ozone sensor
P-53	Peter K. Peterson et al.	Comparison of BrO profile retrievals by O ₄ scaling and optimal estimation techniques from airborne limb viewing DOAS measurements
P-54	Jan-Marcus Nasse et al.	Seasonal variability of tropospheric halogen trace gases in coastal Antarctica: A comparison of co-located LP-DOAS and MAX-DOAS observations
P-55	Y. H. Luo et al.	Ground-based MAX-DOAS Observations and the source investigations of boundary layer BrO in Ny-Ålesund, Arctic
P-56	Kristof Bogner et al.	Bromine release in the high Arctic: what is the impact of Arctic haze?
P-57	Sora Seo et al.	Combination of different satellite observations of BrO over Antarctica
P-58	F. Hendrick et al.	The ESA FRM4DOAS project: Towards a quality-controlled MAXDOAS Centralized Processing System
P-59	Karin Kreher et al.	GAIA-CLIM traceability chain and uncertainty quantification study for ozone measured with UV-visible spectroscopy
P-60	Robert Ryan et al.	Using MAX-DOAS measurements to understand tropospheric ozone production in Melbourne during the TIMTAM
P-61	Jamie D. Halla	DOAS measurements in Auckland: Are they necessary?
P-62	Takaya Okuzaki et al.	Causes leading to enhancements in sulfur dioxide concentration observed by MAX-DOAS in Kyusyu
P-63	Elsa Wilken et al.	Retrieval advances of BrO/SO ₂ molar ratios from NOVAC
P-64	Alexander Engeln et al.	LED based Quartz Enhanced Photoacoustic Spectroscopy: A cost effective Solution for in-situ Detection of Volcanic Sulfur Dioxide?
P-65	Viviana Burbano et al.	DOAS applications as NOVAC network in Colombia
P-66	Rainer Volkamer et al.	Chemical Coupling of Halogens and OVOC over Tropical Oceans
P-67	Rainer Volkamer et al.	Optical Closure Studies of O ₂ -O ₂ dSCD and RSP measurements
P-68	Yanlin Guo et al.	Observation of nocturnal nitrate radical by LP-DOAS near an industrial area, Shanghai

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

吉川 顕正（九州大学大学院理学研究院）
塩川 和夫（名古屋大学太陽地球環境研究所）

本研究集会は、九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻の大学院生を幹事とし、平成 29 年 9 月 5 日から 9 月 7 日にかけて 3 日間、福岡県で開催され、若手研究者、大学院生、学部生を含め、47 名が参加した。この研究集会は、若手会夏の学校と題し、研究者同士の交流や議論を通して、専門性を高め、知識の幅を広げていくことなどを目的として開催された。本研究では、口頭発表、ポスター発表、招待講演が行われ、活発な議論が行われた。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。セッションの予稿集などの資料などは、ページ数の関係により割愛する。本研究集会の内容は、<http://denji102.geo.kyushu-u.ac.jp/denji/wakate/2017natsu/journey.html> にて公開されている。

<スケジュール>

9 月 5 日

12:30 九州大学 箱崎キャンパス集合・受付

13:00 - 14:00 招待講演 1

篠原育 先生（宇宙科学研究所准教授）

タイトル：「あらせ」衛星の概要と科学衛星開発

14:00 - 14:40 開校式

14:50 - 15:50 招待講演 2

鷺見治一 先生(九州大学 国際宇宙天気科学・教育センター 客員教授)

タイトル：太陽圏外圏構造とダイナミックスの研究

16:00 - 16:30 写真撮影

16:30 - 18:00 ホテルへ移動

18:00 - 20:00 夕食・風呂

20:00 - 22:00 懇親会

9 月 6 日

07:30 - 09:00 朝食

09:00 - 11:30 口頭発表

12:00 - 14:00 昼食、箱崎キャンパスへ移動

14:00 - 18:00 レクリエーション

18:00 - 19:00 ホテルへ移動

19:00 - 21:00 夕食、風呂

21:00 - 23:00 懇親会

9 月 7 日

07:30 - 09:00 朝食

09:00 - 10:30 箱崎キャンパスへ移動

10:30 - 12:30 ポスター発表

12:30 - 13:00 閉校式

<口頭発表>

二日目の口頭発表では以下の七グループに分かれ、研究発表を行った。また、三日目のポスター発表は二つのグループに分け行った。

一班	名前	所属	二班	名前	所属
助教	☆新堀 淳樹	名古屋大学 宇宙地球環境研究所	PD	☆松村 充	名古屋大学 ISEE
M2	北村 佑輔	京都大学 SPEL	M2	遠藤 友	東北大学 PPARC
M2	安倍松 侑太	九州大学 SEE	M2	杉山 俊樹	名古屋大学 ISEE
M1	石城 陽太	東京大学 宇宙科学研究所 太陽系科学研究系	M2	大筆 想	九州大学 SEE
M1	土屋 智	名古屋大学 ISEE	M1	乾 彰悟	東京大学 関研究室
B4	鳥海 克成	東北大学 惑星大気	M1	大早田 翼	東海大学 三宅研究室
三班	名前	所属	四班	名前	所属
PD	☆今城 峻	京都大学 地磁気センター	D2	☆横山 佳弘	京都大学 SPEL
M2	飯田 剛平	名古屋大学 ISEE	M2	坂本 明香	名古屋大学 ISEE
M2	荒川 峻	東北大学 PPARC	M2	寺田 鋼一朗	東北大学 惑星大気
M1	Walia Nehpreet Kaur	東京大学 関研究室	M1	朝日 啓太	北海道大学 惑星宇宙
M1	郭 哲也	東海大学 三宅研究室	M1	田寺 慶樹	東海大学 三宅研究室
M1	小林 勇貴	名大ISEE 総合解析研究部	B4	吉田 奈央	東北大学 惑星大気
五班	名前	所属	六班	名前	所属
D1	☆星 康人	東京大学 宇宙科学研究所 太陽系科学研究系	D1	☆高見 康介	東北大学 惑星大気
D1	山本 和弘	京都大学 SPEL	M2	川嶋 貴大	名大ISEE 総合解析研究部
M2	原谷 浩平	名古屋大学 ISEE	M2	青柳 優介	九州大学 SEE
M2	西 勝輝	名古屋大学 ISEE	M1	高木 佑基	名古屋大学 ISEE
M2	三村 恭子	東北大学 PPARC	M1	伊師 大貴	首都大 宇宙物理実験
M1	中原 美音	九州大学 SEE	B4	中村 勇貴	東北大学 惑星大気
七班	名前	所属			
D1	☆生松 聡	京都大学 SPEL			
M2	三浦 翼	名大ISEE 総合解析研究部			
M1	大野 辰遼	北海道大学 惑星宇宙			
M1	秋山 鷹史	九州大学 SEE			
B4	戸田 穂乃香	東海大学 三宅研究室			

世界科学データシステム・アジア大洋州会議2017
WDS Asia-Oceania Conference 2017

家森俊彦、京都大学・理学研究科

ICSUは、全ての学術分野における研究データの収集・保全と公開を推進するため、World Data System (WDS)を2008年に設置した。WDSは現在約90のデータセンター等から成るメンバー組織を数えるが（日本は3組織）、欧米に偏在しており、アジア・大洋州の、特に東南アジアは完全な空白地帯となっている。近年この地域は、環境問題や経済活動における重要性が著しく増しているのにも関わらず、データの収集・保全や公開態勢の構築が遅れている。そこで、日本、中国、インド、オーストラリアにおけるWDSメンバーと、WDSの活動計画に賛同するこの地域のデータセンター等との連携により、WDSを軸としたアジア・大洋州地区におけるデータ関連機関のネットワークを構築し、情報基盤の整備を推進することを目的として本会議を開催した。

前日に開催したcooperative eventも含めると、全体の参加者は109名（国内日本人参加者62名、外国人参加者47名）で、中国（台湾を含む）からの17名を始めとして、インド、フィリピン、タイ、マレーシアなど16ヶ国からの参加があり、口頭発表53件、ポスター発表31件と、予想より多くの参加と発表があった。

その結果、この会議は、これまで低調であったアジア・オセアニア域におけるデータ活動を国際的に推進するための人的ネットワークの形成の端緒となり、今後以下のような活動を継続することで、全体の合意が得られた。

- (1) WDS Asia-Oceania Network（仮称）の開設
（参加各国における連絡担当者を指名）
- (2) WDSメンバー申請、データ・リポジトリ認証の促進
- (3) 旧WDCとWDSとの連携を確保
- (4) キャパシティ・ビルディング活動の支援
- (5) Future Earth, GEO, RDA, CODATAなどの国際組織との連携
- (6) 地域活動から浮かび上がった問題点の国際共有
- (7) WDS Asia-Oceania Conferenceの継続開催

小型飛翔体による海象観測（その2）
— 超小型衛星『群』プラットフォームによる高頻度即時観測とその将来—
Ocean observations from small flying objects;
on real-time data acquisition using small satellite constellation

市川 香, 九州大学応用力学研究所

1. 集会の概要

広大な海洋・海上気象を観測するには、上空からの俯瞰の視点を持つことが重要である。近年の小型飛翔体技術の発達により、宇宙機関でない研究者・企業といったレベルでも上空からの視点を持てるようになってきた。この研究集会では、気象・海洋研究の専門家と、ゾンデ・バルーン・ドローン・超小型衛星などの小型飛翔体の専門家が一堂に会することで、プラットフォームごとの観測特性（分解能・観測頻度・観測範囲・観測期間）と、現象の時空間スケールなどの要求量をマッチングさせ、今後どのような方向性の開発・研究をすることでニーズとシーズが一致するかを模索するものである。

2016年12月、米ミシガン大学が主導する海洋風観測プロジェクト「Cyclone GNSS: CYGNSS」は、8機の小型衛星群の同時打上げに成功した。CYGNSSは、1機の高性能センサー搭載の大型衛星ではなく、8機の超小型衛星「群」を編成することで観測頻度を高め、サイクロンのような移動や変化の早い現象に対し高頻度で即時性の高い観測を可能としている。

シリーズで開催している本研究集会の2017年度は、CYGNSSのような高頻度データの有効活用の意見交換を行うとともに、超小型衛星群による気象・海洋観測の有効性とその将来について議論した。

2. 参加者数

集会は2017年7月7日及び8日に実施し、各々40名と36名の参加者があった。

3. 集会報告

研究集会は、招待講演とパネルディスカッションの形式で実施した。

【招待講演】

- ① 「世界の小型観測衛星最新状況と超小型SAR衛星の開発」（東京大学 小畑俊裕）
 - ② 「超小型衛星のコンステレーションの実現性と将来」（明星電気 萱場英毅）
 - ③ 「GNSS・雷放電・超小型衛星撮像による台風観測」（北海道大学 高橋幸宏）
 - ④ 「名大で実施している気球・ドローン・航空機を用いた気象観測」（名古屋大学 篠田太郎）
 - ⑤ 「CYGNSSの現状と海象・海洋観測」（九州大学 市川香）
- の5件の講演を行った。

講演①は、世界の小型観測衛星最新状況と日本の「革新的研究開発推進プログラム（ImPACT）」で実施している超小型衛星の開発状況と活用展開、及びSARを含む海象向けセンサーの超小型衛星での活用についての報告である。全天候型のSARセンサーによる高頻度即時観測が可能になりつつあり、特に欧米での実用化・商業化の速度は目覚ましい。

講演②は我が国の産業界が海洋観測側に「超小型衛星のコンステレーション」を供する技術ポテンシャルを有するかの説明であり、実用面やコスト面での検討課題は残るものの、技術的には欧米と同程度の超小型衛星観測網はコマーシャルベースで実現可能であることが示された。

講演③は北海道大学を中心に国際共同で計画されているフィリピン付近での台風ナウキャスト研究に関するプロジェクトの紹介である。地上からの雷観測と超小型衛星による画像観測とを組み合わせることにより迅速な台風ナウキャストが行える可能性が示された。

講演④は名古屋大学で実施している気球・ドローン・航空機を用いた気象観測研究が紹介され、衛星観測データの組み合わせによる広域データの高精度観測の実例が示された。

講演⑤は米国のCYGNSSプロジェクトの現状報告である。CYGNSS衛星群によるサイエンスデータの取得は2017年3月31日から始まり、衛星の状態は現在も良好である。観測データ（GPSの反射電波強度）から風速を求めるアルゴリズムも順次改訂中であり、年末までには新しいアルゴリズムが整備される見込みである。また、観測データ受信には和歌山大学の12mアンテナが利用可能であり、一般非公開のデータの観測要求も可能であることが紹介された。なお、この講演は内閣府の宇宙開発戦略推進事務局が運営する「みちびき（準天頂衛星システム）」のホームページでも紹介された（http://qzss.go.jp/news/archive/cygnss_170814.html）。

【パネルディスカッション】

パネルディスカッションは、市川（九州大学）を司会とし、①②④の上記招待講演者に以下の3名のパネリストを加えて、衛星プラットフォームや観測技術の研究開発側（衛星側）と、実際に観測データを利用しているユーザー研究者側（観測側）とで意見を交換した；石坂丞二（名古屋大学／生物・漁業）・富田裕之（名古屋大学／海面フラックス推定）・平子敬一（慶應大学／超小型衛星）。

まず観測側から、静止衛星による光学観測を例として高頻度観測の有益性が示された。ただし、光学観測では雲直下の海洋観測が欠測となるため、小型SARやGNSS-Rなどマイクロ波による全天候型観測への期待も出された。これに対し衛星側からは、超小型衛星は目標点への指向精度安定度要求が厳しいため、分解能と観測幅のバランスが厳しい光学観測よりも電波利用観測の方が得意であるという意見が出された。一方、電波観測はデータ量が多くなるため、オンボード処理によるデータ圧縮や地上でのデータハンドリングによりデータ量を低減する工夫を観測側・衛星側双方で検討する必要があるが示された。

また、観測側では大型衛星搭載の高精度センサーと小型衛星の高頻度観測の組み合わせへの期待が述べられたが、衛星側からは複数のセンサー群をメンテナンスする難しさも指摘された。

パネルディスカッションで特に大きな議論となったことは、ユーザー側（海洋観測側）の要求を聞いてニーズを汲み取る仕組み・組織が小型衛星側に整備されていないことである。衛星に依存する「制約条件」と、「有意義な観測になるための要求条件」を協議・共有する仕組み・組織が必要だという意見が大勢であった。次年度以降は、本研究集会をこのようなマッチングを行う場の一つと位置付けて、引き続き精力的に研究交流を行うことが必要であるという結論が出された。

4. まとめ

昨年度及び一昨年度の研究集会で、一つのプラットフォームで現象を把握するよりも、複数飛翔体を組み合わせて観測を行い、面的観測領域の相互補完を行うとともに、観測対象や時間遅れ、観測精度も含めてお互いの不得意をカバーすることが適切であることは認識されていた。本年度の研究集会により、複数小型衛星のコンステレーションは、小型SARやGNSS-Rなどにより静止衛星では観測できない雲下の高頻度観測に特に有望であること、大型衛星搭載の高精度センサーとの組み合わせによる高精度観測に期待が持てることが理解できた。また、地上と宇宙からとで観測項目を分けての同時観測を行うことの有効性（例えば、フィリピンでの台風ナウキャストの研究）も認識された。

更に議論を持続・深化させ、個別研究のニーズとシーズとのマッチングを促進するため、名古屋大学飛翔体観測推進センターの共同利用研究の一環として、本研究集会を次年度以降も毎年継続して実施することとした。

大気化学若手研究者ショートコース2017
Career Development Short Course for Early Career Scientists
in Atmospheric Chemistry

谷本浩志、国立環境研究所 地球環境研究センター

香川県高松市で開催された第23回大気化学討論会の終了後、フェリーで小豆島に移動して、小豆島ふるさと村において「大気化学若手研究者ショートコース2017」を開催しました。ちょうど1年後に高松で開催される iCACGP-IGAC2018 国際会議でも Early Career Program が開催されますが、今回はその対象となる学生および学位取得後3年未満の研究者を主な対象にしつつ、一般参加も17名あり、2017年10月4日午後から2日間にわたって27名が合宿を行いました。



図1 講習を受ける若手研究者たち

今回が初の試みとなる大気化学ショートコースですが、その背景と動機は以下の通りです。現在、大気化学は日本においても学問として成熟し、さらなる国際化はもとより世界の大気化学研究をリードしていく役割が日本の研究者に求められています。また、次世代を担う研究者の育成も急務です。そこで、日本で大気化学研究に携わる若手研究者のキャリア形成を支援することを目的に、国際的な視野を与えるとともにプレゼンテーションや文章執筆のスキル、研究者としての人生の在り方などを考える機会を設けたかったと考えました。日本大気化学会、名古屋大学宇宙地球環境研究所、日本学術会議 IGAC 小委員会、iCACGP-IGAC2018 国際会議 LOC、国立環境研究所が共同で開催準備を行いました。

初日は、あと1年に迫った iCACGP-IGAC2018 国際会議の概要と Early Career Program を紹介し、その主催者である IGAC および iCACGP の紹介を行いました。2日目は、午前と午後に分けて口頭発表のプレゼンスキルアップセッションを行ったほか、研究者のキャリア形成における国際会議での口頭講演の重要性をお話しました。また、お二人に講演をして頂きました。大気化学の先駆者であり、今も現役である秋元肇先生(国立環境研究所 客員研究員, AGU フェロー)には「研究者としてのフィロソフィー:50年間の研究者人生から」という題目で、研究者人生を振り返って、研究者として生きる上で大事なこと、職業としての科学者のことなど、次世代を担う人が将来を切り拓いていく上での指針となる話をして頂きました。



図2 若手研究者たちの口頭発表を聞く一般研究者たち

尾崎美恵氏(NPO 法人 四国夢中人 代表)には「四国を EU 大統領に売り込む! 資金・経験・スタッフ

なしからのスタート」という題で「何もないところから何かを作る」ことの意義，熱意と実行力の大事さをお話し頂きました。3 日目は，Early Career Program/Travel Grant Application: How to write CV & Statement of Interest という内容で，履歴書の大事さや書き方の講習を行いました。

参加者は M1 学生からポスдок研究員までと幅広く，「自分の研究を基に活発な議論ができた」，「縦横の交流ができた」，「研究についての重要な視点を学べた」といった感想を多く頂きました。



図 3 瀬戸内海をバックに参加者の集合写真



Career Development Short Course for Early Career Scientists in Atmospheric Chemistry

4-6 October 2017

Furusato-Mura, Shodoshima Island, Kagawa, Japan

Program (final version, 30.9.2017)

The objective of this short course is to provide early career scientists with an opportunity to learn international scientific activities, scientists' career and life, and some skills to be successful.

Organizers: JpSAC, Nagoya University ISEE, IGAC-Japan NC, iCACGP-IGAC2018 LOC, NIES

Day 1, 4 October 2017

- 13:40 サンポート高松集合
 引率：池田恒平、坂田昂平、岡本祥子（国立環境研究所）
- 14:10 サンポート高松発フェリー
- 15:10 小豆島池田港到着
- 15:30 小豆島ふるさと村到着、チェックイン
- 17:00 コースの趣旨・内容説明
 谷本浩志、竹川暢之、岡本祥子、池田恒平、坂田昂平
- 17:30 IGAC の紹介および iCACGP の紹介
 谷本浩志（国立環境研究所, IGAC SSC co-chair）
 竹川暢之（首都大学東京, iCACGP SSC member）
- 18:00 iCACGP-IGAC2018 国際会議の概要紹介：あと 1 年
 谷本浩志
- 18:30 iCACGP-IGAC Early Career Program 紹介
 竹川暢之、坂田昂平
- 19:00 夕食、懇親会

Day 2, 5 October 2017

- 09:00 口頭発表のプレゼンスキルアップセッション（1）
 竹川暢之
- 10:30 コーヒーブレイク
- 11:00 国際会議での口頭講演と研究者のキャリアについて
 谷本浩志
- 11:30 質問および議論
- 12:30 昼食、集合写真
- 13:30 研究者としてのフィロソフィー：50 年間の研究者人生から
 秋元 肇 先生（国立環境研究所, AGU Fellow）
- 14:30 コーヒーブレイク
- 15:00 「四国を EU 大統領に売り込む！」資金・経験・スタッフなしからのスタート



尾崎美恵 様 (四国夢中人 <http://muchujin.jp>)

- 16:00 コーヒーブレイク
 16:30 口頭発表のプレゼンスキルアップセッション (2)
 竹川暢之
 19:00 夕食、懇親会

Day 3, 6 October 2017

- 09:00 ソーシャル・フィールドアクティビティについて
 岡本祥子
 10:00 Early Career Program/Travel Grant Application: How to write CV & Statement of Interest
 谷本浩志
 12:00 小豆島ふるさと村チェックアウト
 13:00 iCACGP-IGAC2018 国際会議ショートコース会場視察
 19:00 視察終了

List of presentations:

- 葛西 光希 (北海道大学)
 GOSAT および OCO-2 観測データを用いた温室効果ガス濃度の地域的増加に関する解析
 秦 秀春 (名古屋大学)
 アレー型赤外センサの小型分光器を用いた太陽光分光の大気 CO₂ カラム測定装置の開発
 平山 友基 (神戸大学)
 沖縄県辺戸岬および長崎県福江島における NO₂ カラム濃度変動について
 坂田 昂平 (国立環境研究所)
 大気-海洋間における有機硫黄の相互作用に関する研究
 李 一君 (名古屋大学)
 対流圏オゾンの三酸素同位体組成定量
 孫 翠枝 (首都大学東京)
 Calibration of the laser induced incandescence - mass spectrometric analyzer (LII-MS)
 吉田 淳 (東京大学)
 Abundance and microphysical property of anthropogenic iron oxide aerosols in East Asia
 水津 明穂 (東京大学)
 北太平洋の大気エアロゾルの挙動と地球環境への影響
 内田 健斗 (首都大学東京)
 熱脱離型エアロゾル質量分析計におけるイオン化効率の分子量依存性
 丁 懂 (名古屋大学)
 都市大気中 HONO の同位体組成の時間変化
 關 博則 (名古屋大学)
 Rio gallegos における 110GHz 帯での成層圏 O₃ 観測
 染谷 有 (東京大学)
 GOSAT による大気中アンモニアの全球観測



山田 明憲 (千葉大学)

GOSAT/TANSO-FTS TIR バンドから CH_4 同位体比を導出する試み

Contact:

iCACGP-IGAC 2018 Conference:

Hiroshi Tanimoto (tanimoto@nies.go.jp, tel: 029-850-2930)

iCACGP-IGAC2018 Early Career Program:

Nobuyuki Takegawa (takegawa@tmu.ac.jp), tel: 042-677-2532, ext: 3446)

Kohei Sakata (sakata.kohei@nies.go.jp, tel: 029-850-2762)

衛星による高精度降水推定技術の開発とその利用の研究企画のための集会

Research project meeting for development and application of high-accuracy satellite precipitation retrieval technique

青 梨 和 正 気 象 研 究 所 台 風 研 究 部

集会の概要：

近年、地域的な降水特性（強さ、タイプ、頻度）の変動や、強雨や干ばつなどの極端な事例が世界的に注目されている。また、全球的な降水情報は、大気、海洋、陸面などの間の様々な時間・空間スケールの相互作用の理解のために不可欠なパラメータの1つでもある。全球的にある程度の時間・空間分解能の降水情報を与える観測手段として、衛星リモートセンシング技術が近年注目されている。これは、稠密な降水観測システム（地上雨量計や降水レーダ）が利用できる地域は地球のごく一部であり、海上や極域、人口過疎地域等では、観測がほとんどないためである。

我々の開発した、GSMaP アルゴリズムは、ある程度の時間・空間分解能と精度をもつ降水データを作るために、各種リモートセンシングの情報を組み合わせて使うアルゴリズムの1つである。このアルゴリズムは、まず、マイクロ波放射計から降水強度をリトリバーする。次に、このデータを可視赤外放射計のデータを用いて移流と強度補正をすることで、1時間毎約 10 km の時空間分解能の降水強度を推定する。また、GSMaP アルゴリズムは、マイクロ波放射計から降水強度をリトリバーする際に、TRMM 衛星搭載のレーダデータを元にした降水物理量のモデルを使っているのが特徴である。

本研究集会の目的は、GSMaP アルゴリズムに関連した研究について、現状のまとめを行い、今後の中期的な課題を明確にし、研究の取り組み方を考えることである。

研究報告：

研究集会を2018年3月12日（月）～13日（火）に、名古屋大学理学南館 1 階セミナールームで開催した。今回は X X 名が参加した。今回のGSMaP研究集会は、「GPMの研究&開発」を主な議題としたが、GSMaPアルゴリズム開発に限らず、広い範囲でのGSMaPに関連した研究成果が発表された。また、前回と同じく、衛星シミュレータ研究会との合同研究集会の形をとった。

今回のGSMaP 関係の発表を大まかに分類すると以下のようになる：

- 1) GSMaP アルゴリズム(マイクロ波放射計、赤外、雨量計)の補正法等の開発
- 2) GSMaP データの検証に関する研究
- 3) GPM, TRMM, GSaP データなどを用いた降水擾乱の解析
- 4) GSaP データを利用した水文等の研究

衛星シミュレータ関係の発表を大まかに分類すると以下のようになる：

- 1) 衛星シミュレータ等を使ったデータ同化の研究
- 2) 衛星シミュレータ等を使った雲物理研究
- 3) ひまわり 8 号を用いた各種プロダクトの開発

成果：

今回の研究会で、広い範囲での GSMP に関連した研究成果を概観することが出来た。特に、今後の GSMP アルゴリズムの開発の柱として重要である、マイクロ波放射計アルゴリズムやレベル 3 のアルゴリズムの補正について、いくつかの興味深い発表があったことは特筆される。また、GSMP データなどを用いた温帯低気圧に伴う降水の評価や、アトモスフェリックリバーと切離低気圧の解析は、非常に興味深い発表であった。一方、課題として、高緯度の固体降水のリトリーバルについて発表が少なかった。

また、衛星シミュレータを使った衛星、数値モデル、及びデータ同化コミュニティ間の交流が広がっていることが分かった。特に、実際の衛星観測値と、数値予報システムの出力からの衛星シミュレータ計算値との差を使った雲物理パラメタリゼーションスキームの検証は、今後主流になると期待される。一方で、同化システムやリトリーバルアルゴリズムなど、衛星観測値の逆問題を解くために必要な、衛星シミュレータを使った研究も発表された。また、ひまわり 8 号の観測を使った、霧や積乱雲などの監視プロダクトや、ひまわり 8 号とフェーズドアレイ気象レーダの同時観測を利用した解析なども興味深かった。

以上

ERG衛星粒子観測器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衛星粒子観測器データ解析ワークショップ
日程：2017/09/14-09/15
場所：東北大学大学院理学研究科理学合同C棟4階講義室
参加者数：のべ92名
特記事項：東北大・加藤雄人准教授代表のISEE研究集会「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」とのジョイント開催とした

2. 研究会アジェンダ

9/14 THU. (プロジェクト・PIチームによる発表)

11:00 ERG計画の概要 (三好さん/名古屋大)
11:20 HEPの観測について (三谷さん/ISAS)
11:50 XEPの観測について (東尾さん/JAXA・リモート参加)
13:30 LEPeの観測について (風間さん/ASIAA)
14:00 LEPiの観測について (浅村さん/ISAS)
14:30 MEPeの観測について (笠原/東大)
15:00 MEPiの観測について (横田さん/ISAS・リモート参加)
16:00 MGFの観測について (松岡さん/ISAS)
16:30 WPIAの計測について (加藤さん/東北大)
17:00 Discussion

9/15 FRI. (観測・解析状況報告)

09:30 観測報告・議論 (寺岡さん/大阪府立大)
09:45 観測報告・議論 (吹澤さん/東北大)
10:00 観測報告・議論 (山本さん/京都大)
10:35 観測報告・議論 (高橋さん/東京大)
10:50 キャンペーン観測について (細川さん/電通大)
11:20 Discussion
13:00-17:00 SPEDAS講習会

3. 成果

* 観測器PIから機器仕様・データ内容の解説をすることで，ユーザ（特に学生）の理解を深めた

* 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

* 解析ソフト講習会では受講者のレベルに応じて複数のクラスを設定し，それぞれ受講者は基礎的・応用的な描画・解析手法を習得した

脈動オーロラ研究集会

The Pulsating Aurora Meeting

細川 敬祐 (電気通信大学・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 ヶ年の計画で採択されている。研究集会では、この科研費による PsA 研究プロジェクトによって行われてきた地上観測に関連する成果や、衛星・地上・数値シミュレーションを融合した形で行なわれようとしている PsA 研究の方向性に関して意見交換を行った。また、今年度は、2016年12月に打ち上げられた「あらせ衛星 (ERG)」による衛星・地上共同観測の結果を共有する時間を設け、今後の成果の創出に向けた議論を集中的に行った。

★ 参加者と講演のラインナップ

計 29 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「内部磁気圏におけるプラズマ波動と PsA の関連性」、「EMIC 波動と関連する脈動プロトンオーロラ」に関する講演が行われ、計 20 件の研究発表を通じて、活発な議論が行われた。講演内容の概要を以下に示す。

1. オーロラと EMIC 波動の関連に関する議論: 1 件
2. 多波長光学観測による降下電子エネルギー推定に関する議論: 3 件
3. PsA に伴う高エネルギー電子の降り込みに関する議論: 3 件
4. PsA の空間変化 (形態) に関する議論: 4 件
5. 脈動オーロラの時間変化とコーラス波動との関係に関する議論: 4 件
6. 脈動オーロラの周期性を決める要因に関する議論: 4 件
7. PsA ロケットに関するセッションと今後の観測計画: 1 件

以上の講演に加えて、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。

- PsA の時間変化とコーラス波動との関係: いままでのモデルで解釈できるか?
- PsA に伴う高エネルギー電子の降り込み: いままでのモデルで解釈できるか?
- 脈動の周期を決める要因: 主脈動の統計結果の解釈・位置づけ, ULF との対応はあるか?
- 脈動オーロラの空間変化 (時間変化スケール様々): 形状決定要因, 分極電場, 放射状 PsA
- 降下電子エネルギーの MLT 依存性: コーラスの特性で説明できるか?
- 降下電子エネルギーのパッチ内の分布
- 今後, 観測とシミュレーションをどう比較していくか?

★ 成果

今回で 6 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 月に第一回のチームミーティングが北京において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。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, 2020 年 1 月にそれぞれノルウェーのアンドーヤ, アラスカのポーカーフラットから打ち上げられることとなった。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。

衛星データシミュレータの開発および応用研究に関わる研究集会
Workshop on the development and applications of satellite data simulator
s

増永浩彦 名古屋大学 宇宙地球環境研究所

本研究集会は、宇宙地球環境研究所共同利用・共同研究の一環として採択された二つの研究集会課題「衛星による高精度降水推定技術の開発とその利用の研究企画のための集会」（代表：気象庁気象研究所 青梨和正氏）および「衛星データシミュレータの開発および応用研究に関わる研究集会」（代表：増永浩彦）の合同集会として、2018 年 3 月 12 日（月）および 13 日（火）にわたり開催された。いずれも研究所前身の旧地球水循環研究センター当時から進めてきた研究集会の流れを汲んでおり、前者は全球降水データプロダクト GSMaP の開発者を中心に 2009 年度から続く伝統ある研究集会、いっぽう後者は衛星シミュレータ活用の普及を狙って 2013 年度に立ち上げた比較的新しい課題である。経緯は異なるものの両課題は研究分野において深いつながりがあり、その特色を生かすべく合同研究集会を立ち上げて今回が 5 年目になる。両研究集会を通じて参加者は 45 名を数えた。

研究集会の講演は、衛星降水アルゴリズム開発から実利用も視野に入れたデータ解析研究まで幅広く、プロダクト開発・改良における技術力の深化に感銘を受けると同時に、当研究コミュニティの裾野の広さを再確認することとなった。今回はひまわり 8 号観測データの活用にかかわる講演が 6 件にのぼり、打ち上げから 3 年を超えた新世代静止気象衛星の有用性を改めて認識した。地球観測衛星ミッションの将来にさまざまな懸念が指摘される昨今だが、地球観測にかかわる研究の現場では先進的な成果がつつぎと生まれつつある。このような地道で献身的な研究活動こそが、衛星地球観測の今後を支える基盤を作り上げていくものと信じている。

次ページに合同研究集会のプログラムを添付する。

「GSMaP および衛星シミュレータ合同研究集会」

名古屋大学宇宙地球環境研究所平成 29 年度研究集会

「衛星による高精度降水推定技術の開発とその利用の研究企画のための集会」

(研究代表者：気象研究所 青梨和正、名大側担当者：増永浩彦)

&

名古屋大学宇宙地球環境研究所平成 29 年度研究集会

「衛星データシミュレータの開発および応用研究に関わる研究集会」

(研究代表者：増永浩彦)

日時： 2018 年 3 月 12 日 (月) ～13 日 (火)

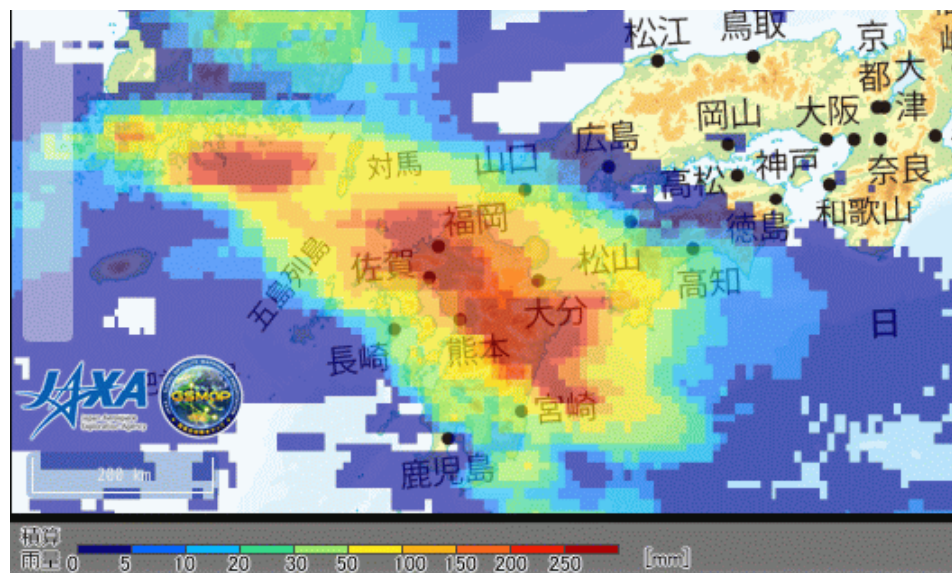
場所： 名古屋大学理学南館 1 階セミナールーム

2017/7/6

00:00-23:59 JST

九州北部豪雨

GSMaP_NRT



プログラム

3 月 12 日 (月) 13:30～17:40

座長 増永浩彦(名古屋大)

13:30-13:40 はじめに 青梨和正(気象研)

13:40-14:00 「暖かい雨に対する雲物理スキームの比較実験」

久芳奈遠美(東京大)・清木達也(JAMSTEC)・
鈴木健太郎・Woosub Roh・佐藤正樹(東京大)

14:00-14:20 「Evaluations of mixed-phase clouds

over the Southern Ocean in NICAM using J-simulator」

Woosub Roh(東京大)・Tempei Hashino(九州大)・

Tatsuya Seiki(JAMSTEC)・Masaki Satoh(東京大)

14:20-14:40「沖縄周辺の梅雨前線における Ka 帯レーダーの偏波パラメータと

雲・降水粒子の微物理特性の関係」

長屋智大・篠田太郎・大東忠保(名古屋大)・鈴木賢士(山口大)・山田広幸(琉球大)・

川村誠治(NICT)・山口弘誠・中北英一(京都大)・坪木和久(名古屋大)

14:40-15:00「CloudSat と CALIPSO 衛星データを用いた巻雲成長の地域特性」

清木達也・小玉知央(JAMSTEC)・佐藤正樹(東京大)・端野典平(九州大)・

萩原雄一郎(JAXA)・岡本 創(九州大)

15:00-15:20 (休憩)

15:20-15:40「衛星及び現場観測データによる対流雲の自発的凝集化の検出と解析」

門屋寿樹・増永浩彦(名古屋大)

15:40-16:00「熱帯海洋上における短時間降水変動特性に関する衛星とモデル解析」

金丸佳矢・佐藤正樹(東京大)

16:00-16:20「南北半球差に注目した温帯低気圧に伴う降水の解析」

C. Kodama(JAMSTEC)・B. Stevens・T. Mauritsen(MPI)

・T. Seiki*(JAMSTEC)・M. Satoh(東京大)

16:20-16:40 (休憩)

16:40-17:00「気象庁全球モデルを用いたひまわり 8 号全天候輝度温度の

シミュレーション」

入口武史・岡本幸三(気象研)・端野典平(九州大)・中川雅之・青梨和正(気象研)

17:00-17:20「ひまわり 8 号霧監視プロダクトの開発」

丸山拓海(気象庁)・石田春磨(気象研)・中鉢幸悦(ハレックス)

17:20-17:40「ひまわり 8 号観測による東南アジア域の積乱雲検出」

隅田康彦・鈴江寛史(気象庁)

懇親会(花の木)

3 月 13 日(火) 09:00~15:50

座長 高橋暢宏(名古屋大)

09:00-09:20「気象衛星ひまわり 8 号によるトゥルーカラー再現画像」

村田英彦・隅田康彦*・齋藤幸太郎(気象庁)

09:20-09:40 「アジアモンスーン域におけるひまわり 8 号降雨推定プロダクトの

精度検証」

広瀬民志・樋口篤志(千葉大)・重 尚一・山本宗尚(京都大)

09:40-10:00 「ひまわり 8 号とフェーズドアレイ気象レーダ同時観測による

2016 年 8 月 4 日の房総半島で発生した積乱雲に関する事例解析」

樋口篤志・野澤仁史(千葉大)・諸富和臣(日本無線, 千葉大)・小林文明(防大)・

鷹野敏明・高村民雄(千葉大)・岩下久人(明星電気)・竹中栄晶(JAXA, 千葉大)・

中島 孝(東海大)

10:00-10:20 (休憩)

10:20-10:40 「GSMaP を用いた atmospheric river と切離低気圧の相乗効果に伴う

降水の統計的調査」

辻 宏樹・高藪縁(東京大)

10:40-11:00 「GPM/DPR を用いた地上レーダデータの補正と豪雨事例解析への適用」

下妻達也・瀬戸心太(長崎大)

11:00-11:20 「マイクロ波放射計を用いた全球地表水マップおよび高解像度冠水マップの

作成」

峯 浩然・瀬戸心太*(長崎大)

11:20-11:40 「GSMaP を利用した全球陸面シミュレーションモデル(YEE)の検証」

山本晃輔(JAXA)・芳村 圭(東京大)・沖 理子・可知美佐子(JAXA)

(写真撮影・昼食・休憩)

座長 青梨和正(気象研)

13:00-13:20 「GSMaP の最近の進展(特に ATMS 用アルゴリズムの開発)」

久保田拓志・田島知子・山地萌果・沖 理子(JAXA)

13:20-13:40 「GSMaP による異常気象モニタリングの検討」

田島知子・久保田拓志・沖 理子(JAXA)

13:40-14:00 「GSMaP と他の衛星観測データを用いた降水プロダクト間の比較 II」

古澤(秋元)文江・増永浩彦(名古屋大)

14:00-14:20 「リトリバーバルアルゴリズムの陸上での誤差の統計的解析と環境変数との

関連」

青梨和正(気象研)

14:20-14:40 (休憩)

14:40-15:00 「GSMaP 信頼度フラグの検証」

山地萌果・田島知子・久保田拓志・沖 理子(JAXA)

15:00-15:20 「大気下層安定度を用いた GSMaP 地形性降雨推定手法の改良」

山本宗尚・重 尚一(京都大)

15:20-15:40 「地域毎の降雨特性を考慮した GSMaP Gauge 補正方法」

妻鹿友昭・牛尾知雄(首都大学東京)

15:40-15:50 まとめ 増永浩彦(名古屋大)

大気海洋相互作用に関する研究集会 Meeting for the study of air-sea interaction phenomena

根田昌典、京都大学・大学院理学研究科

概要：

本研究集会は平成29年11月18日と19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33名の参加のもとに12件の一般講演と2件の特別講演があった。

研究集会の目的：

本研究集会は中緯度域における大気海洋相互作用に関する研究を中心課題とした研究集会である。特に、海洋生物や栄養塩などの分布や特性と混合層変動などの物理過程との関係の重要性が注目されている。黒潮続流周辺海域では活発な大気海洋相互作用が生じ、近年は海洋から大気循環に与える影響が数多く報告されている。また、海洋表層ではサブダクションが起これ、物質循環や生物化学過程に大きな影響を及ぼしている。この海域に特徴的な短い時空間スケールの大気海洋擾乱がこのような諸プロセスに与える影響を調べるためには分野横断的な観測とともに、関連する研究者がさまざまな視点から包括的な議論を行う機会を設ける必要がある。

そこで、この共同研究集会は、大気海洋相互作用に関する研究を精力的に行っている日本中の研究者と院生などの若手研究者が一同に会し、大気海洋相互作用研究についての進捗状況を共有し、分野横断的な議論をすることによって交流を深め、この解析の更なる萌芽的な着眼点を見出すことによる研究チームの形成など、この研究分野における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、12件の一般講演とともに、特別セッションを設けた。特別セッションは「観測機器は家電か？」をテーマとした。研究者と技術者・サポート企業間のコミュニケーションが重要であることは一般論としては理解されているが、試行錯誤をしながら弱い共同体として新しい測器を開発するような視点が欠けているのではないかという問題意識からの企画である。今回、観測機器開発企業の立場から（株）ゼニライトブイの小森茂典氏、観測支援の立場から（株）マリンワークジャパンの田口正樹氏にご講演をお願いした。小森氏はブイによる波浪観測技術の発展を技術的側面から説明し、通信技術やブイ自体の重量など、波浪観測の冗長性を確保するために様々な技術的制約を克服する必要があったことを示した。特に、波浪観測の総合的なデザインはその目的にのっとって決定されることを強調し、有効な観測技術の発展には研究者との情報共有が不可欠であることを強調した。田口氏は、観測支援の重要な側面として機器メンテナンス重要性を強調し、機器の誤作動や中断の原因として、機器の精度維持や電池の信頼性に至るまでの検証が行われている現状を講演された。また、現実的には金銭的、時間的制約などから機器メーカーによる正規メンテナンス以外でのメンテナンスが行われることがあることを指摘するとともに、安易なサードパーティー製品の利用による観測が機器の不良を招きかねないことに警鐘を鳴らした。両氏の指摘は、観測機器が非常に狭い目的のために開発・維持されている製品であり、一般的な使用という家電製品のような概念はあてはまらず、研究者のニーズと直結していることを再確認するものであった。観測機器の高度化に伴い、今後さらに機器開発企業や観測サポートと研究者の密接な連絡が必要であるということについての意見交換がなされた。

今回は研究集会前日にJ-OFUROの利用者講習会が行われ、J-OFUROグループの代表である富田裕之博士（名古屋大学）が実施に当たった。J-OFUROは今回バージョン3に更新され、それに伴って様々な解析機能も追加された。その利用方法などを含め、本研究集会に関連した企画として実施されたものである。参加者は12名で、参加者からはおおむね好評であった。本研究集会は元々衛星観測に関わる研究者の研究会として始まった経緯もあり、衛星による海面フラックス観測とその有効利用は、大気海洋相互作用研究において特に重要であるという共通認識を持っている。衛星による観測手法の発展に伴って衛星データの利用者の範囲も格段に広がり、観測機器と同様にデータセットの家電化が進んでいるが、衛星データは各物理量の直接観測値ではないことを認識し、その利点や利用可能な範囲を正しく理解しておく必要がある。このような講習会は、データを正しく使うために非常に重要な取り組みであり、各研究者にも広く認識してもらいたいと思う。講習会の

報告は初日に一般講演として富田（名古屋大）が行った。

一般講演は上記のJ-OFURO講習会の報告を含めて12件あり、初日から活発な議論が行われた。初日は比較的スケールの大きな現象に関する研究報告があり、午前中は3件の報告があった。西川（北大低温研）は漂流ブイの移動履歴とモデルを利用した粒子追跡の結果を比較し、北太平洋移行領域における亜熱帯水の輸送経路を明らかにするための取組について報告した。ブイ観測の欠測などのトラブルの報告もあり、のちに招待講演の小森、田口両名からも有力な情報提供があり、特別講演を企画した意義が感じられる講演であった。Shilimkar（北大）は太平洋とインド洋の水位変動がインドネシア通過流を通じて関係性を持ちうるかどうかについて検討した。10年スケールでは通過流量の変動と両大洋の水位差が強い相関関係が見受けられ、これは主に太平洋側の水位変動が影響しているとの研究成果であった。ENSOスケールでは水位変動自体が不明瞭であるなど、検討課題はあるが、最近話題となっている太平洋10年規模変動の影響評価として興味深い内容であった。一方、吉田（気象庁）は日本近海の海面水温に見られる10年規模変動について、気象庁が蓄積している観測データをまとめたCOBE-SSTを用いてその海域特性を検討した発表を行った。これまでの解析で断片的に得られていた、夏季と冬季で影響を受ける現象のソースが南方と北方にそれぞれあることを示す解析結果とともにその影響が強く表れる海域が異なることが、長期データの解析により信頼できる情報として得られたことを報告した。気象庁の持つ膨大な蓄積データセットは今後様々な解析に利用されることで、長期変動の原因とふるまいを明らかにするために非常に重要であることを示す研究成果であると思われる。

午後の一般講演では、生化学変動についての研究発表があった。Maure（名古屋大）は日本海、豊田（気象研）は北太平洋東部亜熱帯モード水形成海域における植物プランクトンブルーム発生機構の解析を行い、ともに短期的な鉛直混合の重要性を指摘した。季節スケールでのブルーム発生の理解がこれまでの主流であったが、短期的な現象の寄与の重要性を指摘したこれらの研究は、今後の生化学分野において、乱流混合プロセスの働きを物理的に突き詰めていくことが重要であるという方向性を示している。山田（海洋研）はモード水形成メカニズムの視点を生化学物質の分布に導入し、中規模渦変動の影響が長期変動の解析には却ってノイズとして働く可能性を指摘した。

2日目は、大規模変動の素過程となる現象の解析についての講演をまとめた。大貫（応力研）はWigner変換を波動方程式に一般的に適用して作用素の演算に射影して、波数空間内のエネルギー密度を一般的に求める手法を開発した。「その手法は家電化できませんか？」という質問は、新しい理論の適用可能性を一般に広げることの意義を感じさせる面白い質問であった。Lee（海洋大）はラングミュアサーキュレーションをパラメタライズした大循環モデルによる感度実験からその影響を評価した。桂（海洋研）は海水内部混合と海面フラックスの影響の切り分けの尺度としてスパイシネスに着目し、北太平洋東部亜熱帯モード水の形成過程とその散逸過程を調査し、東部亜熱帯モード水形成量の年々変動がソルトフィンガーによって徐々に散逸しながら亜熱帯循環の流線に沿って下流に伝搬することを示した。着目する物理量を工夫することで、これまで見えにくかった過程がわかりやすくなる好例で、吉田（気象庁）の研究成果とともに、長期観測データの有効活用が今後の重要なアプローチのひとつになることを予感させる研究であった。植原（東海大）による東海大学で取り組んでいる駿河湾プロジェクトについての紹介があった後、最後の講演は中田（九大総理工）が博多湾における局所大気海洋相互作用の海陸風に対するインパクトについての研究を紹介した。

まとめ：

今年度の一般講演では、物理的手法を生化学的現象の解析に積極的に用いた研究が3件あり、この分野の方向性のひとつの可能性を示していると思う。また、長期観測データを利用することで、これまで断片的に考えられてきた長期変動現象のメカニズムを再訪することで、従来理論の確認とともに新たな理論構築の可能背が広がっていることが示された。本研究会は大気海洋相互作用現象の解析の方向性を探ることを重要なテーマとしており、これらの発表は参加者の研究指針に示唆を与えるものであった。また、今年度実施した特別セッションは極めて好評であった。本研究集会のような自由度の高い研究集会ならではの企画であり、教育的効果や研究者の間の共通認識のレベルの向上を目指すうえでも非常に有意義であると考えられる。

波浪や混合の素過程を直接的に扱う研究についての新たなアプローチに関する研究も見られ、素過程を明らかにしながら大規模な現象に拡張していくマルチスケールの視点の重要性が確認された。直接的ではなくとも海洋や大気の物理現象に対して互いを単に境界条件としてではなく結合系の一部としての大気海洋現象だという視点をもつ研究は散見される。このような視点の重要性を意識して議論していく必要性を感じる。

この研究会から派生しているいくつかの小グループ内での勉強会も頻繁に開かれるようになっている。それらのいくつかは科研費や新青丸、白鳳丸といった公募航海への応募も行われている。今後も大気海洋相互作用にかかわる現象解析を行う研究者の交流や情報交換、また互いに啓発しあうための機会として本研究集会の重要性を再確認した。

第23回大気化学討論会
JpSAC Annual Meeting 2017

今村隆史、国立環境研究所・環境計測研究センター
谷本浩志、国立環境研究所・地球大気化学研究室

2017年10月2日～4日、香川県高松市のサンポートホール高松において、第23回大気化学討論会を開催しました。この会場では、ちょうど一年後となる2018年9月25日～29日にThe 2018 joint 14th iCACGP Quadrennial Symposium and 15th IGAC Science Conference (iCACGP-IGAC2018国際会議)が開催される予定です。そこで、今回の討論会は「プレ大会」として、来年に向けて国内の機運を高める目的もあり開催されました。また、素晴らしい温泉宿が近くにあったことも、今回の高松開催の大きな動機となりました。

今回は一般81名、学生33名の合計114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を併せて29件で、いずれの発表においても20分の時間枠いっぱいまで活発な質疑応答が行われました。なお、招待講演として、香川大学の寺尾徹教授（アジアモンスーンと成層圏対流圏大気交換）と石塚正秀准教授（乾燥地における黄砂発生機構の解明に関する観測研究）にご講演いただきました。58件を数えたポスター発表では、3日間にわたって掲示し続けたこともあって、ポスター発表時間のみならず休憩時間においても、参加者同士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、新しい運営委員会の活動を広く紹介し、意見交換を促進するために「イブニングセッション」を行いました。各委員会およびワーキンググループからの活動報告や、iCACGP-IGAC2018国際会議に関する情報が行われました。

昼の討論会に加えて、夜も活発な交流が行われ、来年度のiCACGP-IGAC2018国際会議に向けて、日本の大気化学研究者のアクティビティと意欲の高さを感じる討論会だったと思います。



第23回大気化学討論会の集合写真



サンポートホール高松での口頭講演の様子

第23回大気化学討論会 口頭発表プログラム

2017年10月2日(月)

講演時間	講演番号	タイトル	発表者
13:00 — 13:10	開会挨拶・LOCアナウンス		
物質循環Ⅰ 座長：中島 英彰			
13:10 — 13:30	K-1-1	成層圏へ流入する大気の起源の変動と成層圏大気の年齢	稲飯 洋一
13:30 — 13:50	K-1-2	硫酸・硝酸の三酸素同位体組成を指標とした南極の大気酸化環境の解析	石野 咲子
13:50 — 14:10	K-1-3	GOSATおよびOCO-2観測データを用いた温室効果ガス濃度の地域的増加に関する解析	葛西 光希
14:10 — 14:30	K-1-4	小笠原諸島・父島大気エアロゾル中に存在する低分子ジカルボン酸等の長期変動から見た大気環境変化	河村 公隆
14:30 — 14:45	休憩(15分)		
14:45 — 15:05	K-1-5	東アジアから北極域へのブラックカーボンおよび一酸化炭素の長距離輸送イベントの解析	池田 恒平
15:05 — 15:25	K-1-6	Role of Asian monsoon circulation on columnar CH ₄	Naveen Chandra
招待講演 座長：関山 剛・江口 菜穂			
15:25 — 15:45	S-1	アジアモンスーンと成層圏対流圏大気交換 (招待講演)	寺尾 徹
15:45 — 16:05	S-2	乾燥地における黄砂発生機構の解明に関する観測研究 (招待講演)	石塚 正秀
16:05 — 18:00	ポスターセッション (16:05-17:05奇数番号、17:05-18:00偶数番号)		
18:00 — 19:00	移動		
19:00 — 21:00	懇親会		

2017年10月3日(火)

時間	講演番号	タイトル	発表者
8:55 — 9:00	LOCアナウンス		
観測・解析手法開発Ⅰ 座長：宮川 拓真			
9:00 — 9:20	K-2-1	中国で観測されたオゾン時空間分布のクラスター解析	林田 佐智子
9:20 — 9:40	K-2-2	FTIR観測から解析された南極昭和基地上空のCFCおよびHCFCカラム量の変動	武田 真憲
9:40 — 10:00	K-2-3	MAX-DOAS observations of formaldehyde and glyoxal	H.M. Syedul Hoque
10:00 — 10:20	K-2-4	アレー型赤外センサの小型分光器を用いた 太陽光分光の大気CO ₂ カラム測定装置の開発	秦 秀春
10:20 — 10:40	休憩(20分)		
観測・解析手法開発Ⅱ 座長：中村 篤博			
10:40 — 11:00	K-2-5	ドローン(UAV)を用いた秋田上空の温室効果ガス観測	井上 誠
11:00 — 11:20	K-2-6	東京スカイツリー(R)における温室効果ガスと関連物質の観測	寺尾 有希夫
11:20 — 11:40	K-2-7	全陸域の粘土鉱物分布マップ開発	伊藤 昭彦
11:40 — 12:00	K-2-8	高知工科大学の環境ディープラーニング研究について	中根 英昭
12:00 — 14:00	集合写真・昼食休憩(2時間)		
対流圏化学・エアロゾルⅠ 座長：岩本 洋子			
14:00 — 14:20	K-2-9	東アジア域における人為起源酸化鉄エアロゾルの動態	吉田 淳
14:20 — 14:40	K-2-10	Size-resolved aerosol hygroscopicity at a forest site in Wakayama, Japan	DENG Yange
14:40 — 15:00	K-2-11	都市近郊森林における実大気へのオゾン添加による 二次粒子生成の観測：未知のSOA生成過程の存在	中山 智喜
15:00 — 15:20	K-2-12	対流圏オゾンの三酸素安定同位体組成定量	李 一君
15:20 — 15:35	休憩(15分)		
15:35 — 16:15	総会・奨励賞受賞講演 佐藤知紘（情報通信研究機構）		
16:15 — 18:00	ポスターセッション (16:15-17:10奇数番号、17:10-18:00偶数番号)		
18:00 — 19:00	イブニングセッション		

2017年10月4日(水)

時間	講演番号	タイトル	発表者
8:55 — 9:00	LOCアナウンス		
物質循環Ⅱ 座長：齋藤 尚子			
9:00 — 9:20	K-3-1	MICS-ASIA III領域モデル比較 - 北京・東京の都市域および隠岐における地表オゾン -	秋元 肇
9:20 — 9:40	K-3-2	2008年以降の八方尾根におけるオゾン濃度減少の要因：ラニーニャの気候継続による中国からの輸送の減少	岡本 祥子
9:40 — 10:00	K-3-3	質量フラックスで考察した大気微量成分の移流拡散について	関山 剛
10:00 — 10:20	K-3-4	大気―海洋間における有機硫黄の相互作用に関する研究	坂田 昂平
10:20 — 10:40	休憩(20分)		
対流圏化学・エアロゾルⅡ 座長：角皆 潤			
10:40 — 11:00	K-3-5	クリーギー中間体は大気エアロゾルの成長にどのように関与しているのか？	江波 進一
11:00 — 11:20	K-3-6	Dark condition NO ₃ and O ₃ aging of toluene SOA	Sathiyamurthi Ramasamy
11:20 — 11:40	K-3-7	α-ピネンSOA中の高度酸化物（HOM）およびオリゴマーの生成	佐藤 圭
11:40 — 12:00	K-3-8	道路緑化樹木であるカエデ属のテルペン類の放出測定	望月 智貴
12:00 — 12:20	K-3-9	燃焼発生源の酸化鉄による放射強制力	伊藤 彰記
12:20 — 12:30	学生優秀賞の発表・表彰、閉会		
解散			

第23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	Mars Terahertz Sensor on Micro-Satellite	Richard Larsson
P-02	JUICE/SWI木星圏氷衛星観測に向けた非局所熱平衡放射伝達モデルの構築	山田崇貴
P-03	日本各地におけるビタミンD生成に必要な日光照射時間	中島英彰
P-04	情報通信研究機構のHealth care Assist by air Pollution ESTimation (HAPIEST) プロジェクト	笠井康子
P-05	小型衛星搭載型高水平分解能NO ₂ 観測フィージビリティ検討	藤縄環
P-06	日本および南極上空における成層圏N ₂ O isotopoculeの高度分布とその変動	豊田 栄
P-07	大気硫黄同位体循環モデルの開発と成層圏硫酸エアロゾルの生成起源の解析	新開万純
P-08	スペクトル取得型光学オゾンゾンデによる成層圏オゾン、二酸化窒素の観測	村田 功
P-09	化学気候モデルのアンサンブル実験による北極域オゾン層破壊の塩素濃度および温室効果ガス濃度依存性の解析	秋吉英治
P-10	3次元化学気候モデルへのヨウ素触媒サイクルの導入状況の報告	山下陽介
P-11	陸別FTIR観測に見られる成層圏HCNの長期変動	長濱智生
P-12	GOSATおよび大気輸送モデルNICAM-TMの温室効果ガス気柱平均濃度の比較解析	八田寛道
P-13	GOSATの観測によるアンモニア高濃度地域でのアンモニア、二酸化炭素、メタン濃度の比較	染谷 有
P-14	GOSAT TANSO-FTS TIRより導出されたメタンの上部対流圏の季節変動について	江口菜穂
P-15	バイオマス燃焼における一酸化炭素及び二酸化炭素の大気中濃度変動の解析	小坂真悟
P-16	GOSAT/TANSO-FTS TIRバンドからCH ₄ 同位体比を導出する試み	山田明憲
P-17	人為源二酸化炭素の増加による鉛直濃度勾配の長期変化	松枝秀和
P-18	シベリアにおけるタワーネットワークを用いたCO ₂ とCH ₄ の連続測定	笹川基樹
P-19	ラドン観測による温室効果ガスデータの選別手法	坪井一寛

P-20	可搬型FTSを介したつくば及び陸別TCCONデータの相互比較	大山博史
P-21	MAX-DOASによって観測された九州の二酸化硫黄濃度変動の要因解析	奥崎昂也
P-22	名古屋の都市大気エアロゾルに含まれる雲凝結核の濃度の規定因子	矢井ひかり
P-23	鳥取における越境大気汚染物質の連続観測	定永靖宗
P-24	所沢におけるPANsと有機硝酸の連続観測	洪 征翌
P-25	所沢における実大気試料のオゾン反応性観測の試み	松本 淳
P-26	東京都心部における大気中亜硝酸濃度測定	豊田瑛大
P-27	都市大気中HONOの同位体組成の時間変化	丁 懂
P-28	長崎県福江島および沖縄県辺戸岬におけるNO ₂ カラム濃度 変動について	平山友基
P-29	KORUS-AQ期間の福江MAX-DOAS観測：地上・航空機・衛星観測・モデルとのNO ₂ 統合解析	金谷有剛
P-30	チリ・アルゼンチンにおけるオゾン、エアロゾル観測網の開発 2	水野 亮
P-31	ナノ粒子組成分析計の開発と初期性能評価	村上功一
P-32	熱脱離型エアロゾル質量分析計におけるイオン化効率の分子量依存性	内田健斗
P-33	揮発性有機化合物のOH酸化により生成する試料大気の大気HO _x ラジカル反応性測定	中川真秀
P-34	エアロゾル表面における揮発性有機化合物のオリゴマー生成	石塚紳之介
P-35	モノテルペンのO ₃ 分解生成物の反応によるSOA生成	竹川秀人
P-36	大気中酸素濃度や炭素同位体比等を用いた化石燃料起源CO ₂ の分離手法の検討	保科 優
P-37	土壌からのガス放出の酸素濃度依存性	米村正一郎
P-38	直鎖アルケンのオゾン反応におけるsyn/anti-Criegee中間体の分岐比推定	内田里沙
P-39	北東アジアにおける1-ニトロピレン二次生成量評価	猪股弥生

P-40	九州沖縄地方の完全雲天時の日射透過率トレンドについて	堤 之智
P-41	北太平洋における大気中ポテンシャル酸素（APO）の分布について	遠嶋康徳
P-42	定期貨物船舶を用いたアジア太平洋域における大気モニタリングデータセットの構築	奈良英樹
P-43	春季深江丸研究航海にて観測された瀬戸内海海上PM2.5の濃度変化について	川本雄大
P-44	瀬戸内海周辺域における大気エアロゾル中の窒素成分を中心とした化学的特徴	中村篤博
P-45	蛍光染色に基づくバイオエアロゾル計数 -陸域・海洋上での事例-	宮川拓真
P-46	秋季の東シナ海および本州南岸沖で採取された微小エアロゾルの形態と混合状態	岩本洋子
P-47	大気から森林生態系に沈着したHNO ₃ の直接流出率定量化	角皆 潤
P-48	森林大気エアロゾルにおけるPBAPs指標としての脂肪族第二級アルコール	宮崎雄三
P-49	富士山頂における窒素酸化物濃度の変動とその要因の解明	和田龍一
P-50	森林域におけるエアロゾルの光学的特性の導出の検討	青木一真
P-51	ディープラーニングを用いた降雨現象の予測	小島慶之
P-52	理論計算によるドップラー幅を考慮した光吸収断面積	藤原綾香
P-53	大気化学モデルの開発と還元的条件下への適用	生沼美穂
P-54	排出インベントリと逆推計手法によるSLCP関連物質排出量の評価	黒川純一
P-55	Interannual variability of global hydroxyl (OH)	Prabir K. Patra
P-56	東アジアの地表オゾン濃度再現性に関するモデル間相互比較：MICS Asia IIIの初期結果	永島達也
P-57	PM2.5に対する固定燃焼発生源起源の半揮発性化合物の寄与評価	森野 悠
P-58	成層圏～下部熱圏の気温/風速/化学種観測を目指す SMILE-2	鈴木 睦

太陽地球環境データ解析に基づく超高層大気の空間・時間変動の解明
Investigation of temporal and spatial variations in the upper atmosphere,
based on comprehensive analysis of solar-terrestrial environment data

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352回生存圏シンポジウム、平成29年度名大ISEE研究集会、平成29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、グローバル地上観測網で得られた多種多様な観測データを包括的に解析する必要がある。これら多様なデータを利用する分野横断型研究・融合研究において多くの研究成果を上げるためには、使い易いデータベースや効率的にデータを検索、描画、解析できるツールの活用は欠かせない。また、近年、オープンデータやオープンサイエンスが強く推進されるようになり、データについて知識のない人々にもアクセスや解析が容易になるよう、ハードルを下げる努力が必要となっている。

上記のことを踏まえ、本研究会では、太陽地球系物理学分野の研究者、データ提供者、データベース開発者、情報学研究者等が集まり、太陽地球系物理学分野の重要研究課題、分野横断型研究の最新成果、必要なデータベースや解析ツール、オープンサイエンスの動向等について幅広く講演・議論を行った。なお、本研究集会は、同名称で平成26年度から連続で開催しており、今回は4年目となる。

できる限り多くの研究者、学生に参加してもらうため、今回は初の試みとして「中間圏・熱圏・電離圏研究集会」、「極域・中緯度SuperDARN研究集会」、「宇宙からの超高層大気観測に関する研究会」と合同で開催した。合同研究集会は、9月11～15日に情報通信研究機構（NICT）において開催した。本研究集会「太陽地球環境データ解析に基づく超高層大気の空間・時間変動の解明」は、9月13～15日の期間に実施された。

研究集会報告と成果

本研究集会が行われた9月13～15日の3日間で、計77名が参加した。

9月13日午後には、全研究集会共通のポスターセッションが開催された。ポスターセッションでは、多種多様な超高層大気関連データを用いたサイエンスのポスター発表20件が行われ、活発な議論が行われた。

9月14日午前には、IUGONETプロジェクトが開発している超高層大気データの解析ツール「SPEDAS」やウェブツール「IUGONET Type-A」に関するデータ解析講習セッションが行われた。このセッションでは、実際に参加者にツールを使ってもらい、データの検索、イベント発見、データロード、プロット、解析を一通り経験していただいた。今回4つの研究集会を合同開催したため、データ解析講習セッションに初参加の研究者、学生が大幅に増加し、特に学生は学部生を含む約20名が参加した。今回は、2012年3月5-11日の太陽フレア、磁気嵐イベントの解析を例に講習を実施した。講習は比較的スムーズに進行し、概ね好評であった。また、参加者には、過去の講習会資料を整理したPDFファイル、ツールに関するユーザズマニュアル等をCDにコピーし、配布した。さらに、いくつかの遠方の大学で聴講の希望があったため、講習のストリーム配信も実施した。本講習会により、学生を中心に多様な超高層大気データの特徴や効率的且つ高度な解析方法を紹介することができ、データの利用促進、共同研究推進に貢献できたと考えている。

9月15日には、口頭セッションが開催され、超高層大気データやスペースデブリデータ、歴史文献等を用いた分野横断型研究に加え、オープンデータ・オープンサイエンスの動向、次世代リポジトリシステムの報告、地球科学分野のデータベースやIUGONETツールについての講演、議論等が為された。特に、高専の科学教育における地球科学データ、ツールの利用についての講演等もあり、高専や地方大学の教育のために科学データ

ベースや解析ツールをどのように改良し、役立てていくかを考える上で、非常に参考になった。

なお、この講習セッションを録画した動画をDVDへコピーし、希望者に配布する予定である。研究集会のプログラム及び講演資料は、次のウェブサイトに掲載している。

<http://www.iugonet.org/workshop/20170914>

外部太陽圏とピックアップイオン
Outer heliosphere and pickup ions

坪内 健、東京工業大学理学院・東工大特別研究員

本研究集会は、近年の Voyager 探査機や IBEX 衛星の観測によって研究が著しく進展している外部太陽圏において、特に星間物質と接するその境界領域で展開されるプラズマの物理過程を理解する上で重要となるピックアップイオンの寄与に焦点を当て、その最新の研究成果の公表を主目的として、「太陽地球環境と宇宙線モジュレーション」研究集会（以下「宇宙線」集会）、「太陽圏・宇宙線関連の共同研究成果報告会」（以下「成果報告会」）との合同開催の形で、また地球電磁気・地球惑星圏学会波動分科会の後援で、名古屋大学宇宙地球環境研究所を会場として平成30年2月20日-22日の3日間の日程で開催した。

3日間の参加者数は、太陽圏・宇宙線両集会合わせて計45名（延べ人数91名）に上り、計28件の講演が行われた。そのうち本集会においては3件を招待講演として、ピックアップイオンの基礎物理過程としての衝撃波加速、今後の外部太陽圏観測を予見する構造計算、ピックアップイオンの粒子源となる星間中性粒子の光学観測に関する発表が行われた。一般講演では、太陽圏境界における粒子ダイナミクスと電磁場擾乱の関連性、恒星圏と星間物質の相互作用、磁気リコネクションに見られるイオンのピックアップ過程などに関する研究成果が報告され、本研究分野の今後の展望を占う上で重要な情報交換を進めることができた。

外部太陽圏の特性およびピックアップイオンの振舞は太陽活動や高エネルギー宇宙線と密接に関連付けられるものであり、これらの理解も必須である。今回「宇宙線」集会・「成果報告会」との合同開催によって単独の研究集会では望み難い広汎な話題にも触れることができ、宇宙物理における太陽圏の位置付けを改めて考察する上でも有意義なものであった。

中間圏・熱圏・電離圏研究会
Mesosphere-Thermosphere-Ionosphere Workshop

横山 竜宏、情報通信研究機構・電磁波研究所

1. 研究集会の概要

中間圏・熱圏・電離圏 (Mesosphere, Thermosphere and Ionosphere; MTI) は、地球上層大気と宇宙との境界を成す領域であり、太陽や宇宙からの粒子及び電磁エネルギーの流入による影響に加え、下層大気からも変動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がある。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。

2. 研究報告・成果等

平成29年度は、「極域・中緯度SuperDARN 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」、「IUGONET研究集会」との共同開催とし、異なる分野の研究者同士の交流を図ることも目的とした。名古屋大学宇宙地球環境研究所のほか、助成金を得た京大生存圏研究所、国立極地研究所、情報通信研究機構の共同主催として、情報通信研究機構(東京都小金井市)において平成29年9月11-15日(うちMTI研究集会は12-14日の3日間)の日程で開催した。MTI研究集会への参加者は75名(全期間94名)、のべ144名(全期間201名)であった。今年度は、昨年から継続するMTI Grand Challengeセッション「成層圏・対流圏から見る MTI との結合」と「磁気圏・プラズマ圏から見る MTI との結合」において、6名の招待講演者を招き、主に隣接領域を専門とする研究者の視点から MTI分野で解決すべき課題の洗い出しを行うことを狙いとした。MTI領域のセッションに普段来ない下層大気や磁気圏を専門とする研究者が参加し、研究の視点を広げることで議論の活性化につながった。MTI関連プロジェクトでは、過去の研究集会において作成されたMTIハンドブックの利用状況の調査結果が報告され、来年度以降の未完成項目の作成について議論が行われた。また、ポスターセッションにおいては、若手研究者や学生を中心に20件の発表があった。若手研究者や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ており、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、共同開催の意義は十分に見られたと考えられる。

3. 研究会世話人

横山 竜宏(代表・情報通信研究機構)、新堀 淳樹(名古屋大学)、鈴木 臣(愛知大学)、鈴木 秀彦(明治大学)、津田 卓雄(電気通信大学)、富川 喜弘(国立極地研究所)、西岡 未知(情報通信研究機構)

合同研究集会プログラム

9月11日13:30-9月12日12:00「極域・中緯度SuperDARN 研究集会」

9月12日13:30-16:30「中間圏・熱圏・電離圏（MTI）研究集会」

MTI Grand Challenge セッション1「磁気圏・プラズマ圏から見るMTIとの結合」

- あらせ衛星による観測 三好 由純（名古屋大学ISEE）
- プラズマ圏とMTIの結合～地磁気観測をベースとして～尾花 由紀（大阪電気通信大学）

MTI関連プロジェクト1「MTIハンドブックの今後」

- MTIハンドブックの概要と現在までの経緯 細川 敬祐（電気通信大学）
- MTIハンドブックのアンケート結果と今後の方針について 横山 竜宏（情報通信研究機構）

9月13日9:30-10:40 MTI関連プロジェクト2

- JpGU「大気圏・電離圏」「MTI Coupling」セッション提案検討 大塚 雄一（名古屋大学ISEE）
- IUGONETツールの実践的活用法 田中 良昌（国立極地研究所）

9月13日11:00-15:30「宇宙空間からの地球超高層大気観測に関する研究会」

9月13日15:30-17:00

合同ポスターセッション（20件）

9月14日9:30-12:00 「IUGONET講習会」

9月14日13:30-16:30「中間圏・熱圏・電離圏（MTI）研究集会」

MTI Grand Challenge セッション2「成層圏・対流圏から見るMTIとの結合」

- 衛星データに見られる成層圏突然昇温と成層圏・中間圏・下部熱圏の大気循環 岩尾航希（熊本高等専門学校）
- 地上ミリ波大気微量分子観測による中間圏・成層圏の結合現象の研究 長浜智生（名古屋大学ISEE）
- 熱帯中層大気半年振動（SAO）のシミュレーションの改善に向けて 柴田清孝（高知工科大学）
- 中層大気版全球非静力学モデルNICAMが再現した基本場・大気重力波 小玉知央（海洋研究開発機構）

9月15日10:00-16:00「IUGONET 研究集会」

以上

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2017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、国立環境研究所 町田敏暢、JAMSTEC 鈴木力英の3名である）。マスタープラン2017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が航空機観測の中核機関として位置づけられている一方で、地球惑星科学分野全般をカバーすることも求められている。そこで、これまで直接的な関係の薄かった分野の研究者を招待することにより、セッションの充実を図り、飛翔体観測推進センターの活動を地球惑星科学分野全般に広げることにつなげることを目的としている。

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、口頭発表では地球惑星科学の航空宇宙分野から首都大学東京の牛尾教授、固体地球惑星科学からは名古屋大学の鈴木教授、地球人間圏科学からは千葉大の近藤教授に講演頂き、航空機観測の各分野での利用について議論を行った。それぞれのゲストスピーカーからのコメントを以下に示す。

（牛尾先生コメント）

宇宙電磁気学（雷放電）・・・衛星からの雷観測のための航空機利用、宇宙研等ではバルーンを利用するプロジェクトが立ち上がっている、そちらとの連携も考えてはどうか。また、望遠鏡を搭載することを検討してはどうか。航空工学は、ややもすると、この分野よりも大きい、その中で科学利用を位置付けることになるかもしれない。活動が制限される可能性もある？

（近藤昭彦先生コメント）

航空機利用に様々な形態がある（ヘリ、ドローン、飛行艇、SAR、）。無人機の可能性も広がっている。地球人間圏：役に立つ地球科学が必要。階層的なリモートセンシングの方法論を整理・理論化することが重要。

（鈴木康弘先生コメント）

活断層研究は航空機リモセンに支えられてきた（航空機写真）。熊本地震では「だいち」が活躍した。地面踏査が必要であるが、それを補うものは、航空機である。ドローンも有力であるが、広域的な観測が必要。国土地理院も熊本地震の時に観測を実施（4月15日）。その他では、資源などがあるかと思う。

（NICT上本さんコメント）

航空機SARでは10 km 高度、斜めに観測するので、火山の影響を受けにくい

また、セッションに先立って小集会を開催し、地球惑星科学分野間での航空機利用やマスタープランにおける活動方針について議論を行った。その中では、地球惑星科学の航空機を利用するコミュニティでコンソーシアムのようなものを設立してはどうか、という議論も行った。それについては、関係者の中では前向きなコメントが寄せられ、設立準備に必要なことを検討することとなった。

マスタープランに向けては、

- ・ 気象衛星などの開発では、米国はNASAが検証などでコミットしている。衛星の校正に航空機を利用するなど、地道な取り組みもクローズアップしたほうがよい。天気予報の改善に直接影響している。
- ・ 大型研究計画の重点領域に採択されることが他省庁に説明するときにも重要
- ・ 文科省のロードマップに載せても、予算的に厳しい。
- ・ マスタープラン2014は気象学が中心で、2017では地球惑星科学に広げた。2020には、工学を入れるかどうかを議論すべき。・・・航空工学分野と議論は重ねたほうがよい。
- ・ 設立の趣旨をマスタープラン2020だけを目指にするのではなく、国内の航空機を用いた科学研究を一層推進させることを目指す方がよい。

といったコメントが寄せられた。



写真：セッション開始前に実施した小会合の様子

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むけて、様々な分野の研究者との連携が深まり、マスタープラン2020の策定に向けた方向性が見えてきた。

「プラズマ圏の観測とモデリング」研究集会
Workshop on Observation and Modeling of the Plasmasphere

尾花由紀・大阪電気通信大学・工学部基礎理工学科

概要

内部磁気圏にはeVからMeVに及ぶ幅広いエネルギー帯に属するプラズマが存在しており、プラズマ波動を介して互いに影響を及ぼし合っている。その中で最も低エネルギーの階層に属す「プラズマ圏」は波動粒子相互作用の背景場を規定するものとして重要な役割を担っているが、これまでプラズマ圏を研究対象とする研究者間の情報共有は必ずしも活発とは言いがたい状況にあった。本研究集会はその様な問題意識に立ち、「プラズマ圏」に焦点を当てた研究集会を開催するものである。2015年12月に開催した最初の研究集会から3回目を数える今回の集会は、名古屋大学宇宙地球環境研究所の松田昇也博士が主催する「ERG衛生の電場・プラズマ波動観測データを用いた解析ワークショップ」との共同開催の形を取り、プラズマ圏とプラズマ波動に関する研究成果と観測・解析手法の情報共有を行い、今後の共同研究の機会を醸成する場となることを目指した。

詳細

本研究集会は、前述の通り二つの研究集会の共同開催の形を取り、2018年3月26-28日の3日間にわたって名古屋大学にて開催した。参加者は国内外の研究機関から学生12名、教員・PD32名の合計44名であり、24件の口頭発表が行われた。初日は様々な手法による電離圏・プラズマ圏の研究の話題、二日目からはプラズマ波動関連の話題で後半ほど高エネルギーのプラズマを対象とした研究の話題となるようにプログラムを組んだ。また三日目の午後は「ERG衛生の電場・プラズマ波動観測データを用いた解析ワークショップ」のSPEDASデータ解析講習会が行われた。

講演では、あらせ衛星打ち上げ後のイベントとして注目が集まっている2017年3月27日磁気嵐や2017年9月7日磁気嵐に関するイベントスタディ、あらせ衛星、Van Allen Probes衛星、地磁気、SuperDARN等の諸観測データや数値計算を用いた研究など、多彩な研究成果が発表された。また二日目の最後にはVan Allen Probes-あらせ共同観測キャンペーンに関する討論時間を設け、三日目には金沢大学の笠原禎也教授から「あらせPWE観測データからの伝搬ベクトル解析の原理」と題したチュートリアル講演をいただいた。

三日間を通して参加者からは熱心な質疑応答が続き、プラズマ圏とプラズマ波動に関する研究成果と観測・解析手法の情報共有する場を作り、今後の研究を深化させる良い機会となったと考えている。

ERG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 ERG/PWE

松田昇也 名古屋大学・宇宙地球環境研究所

あらせ（ERG）衛星に搭載されたプラズマ波動観測器PWE(Plasma Wave Experiment)は、DC~10 MHzの電界と数Hz~100kHzの磁界のスペクトル・波形を計測する。特に、PWEのサブシステムの一つであるWFC/OFAは、スペクトルマトリクスと呼ばれる観測データを24時間連続で取得し、プラズマ波動のモードや伝搬方向等を詳細に解析することを可能としている。本研究集会では、定常観測開始からおおよそ1年の間に取得されたプラズマ波動観測データを用いた最新の成果を共有し、今後の観測戦略立案と、更なる成果創出に向けた議論を充実させることを目指した。

本研究集会は、大阪電気通信大学の尾花由紀准教授主催の研究集会「プラズマ圏の観測とモデリング」との合同開催とし、主に1日目はプラズマ圏関連の話題について議論を行い、2日目と3日目はプラズマ波動関連の話題について取り上げた。研究集会には、国内外の機関から学生12名、教員・PD32名の計44名が参加した。3日目の午前中までは、あらせ衛星による観測データなどを活用した最新の研究成果に関する計24件の講演を頂いた。講演内容には、科学データの較正に関する話題もみられ、今後あらせ衛星の科学観測データを公開していく上での見通し等についても、議論を深めることができた。

研究集会の後半は、名古屋大学のERGサイエンスセンターの協力の下、同センターが整備を進めている解析ツール（IDL/SPEDAS, およびERGプラグイン）を用いた解析講習会を実施した。講習に先立ち、PWEの主任研究者(PI)である笠原禎也教授(金沢大学)からチュートリアルトークを頂き、PWEで取得している科学データの仕様やプラズマ波動の伝搬方向解析の原理について理解を深めた。同解析手法を集中的に取り上げた講義の機会はかつて無く、参加者からは熱心な質疑応答がみられた。



講習会は、参加者の習熟度に合わせて二つのコースのいずれかを選択可能とし、Beginners' courseではIDL/SPEDASの基礎的な使い方と、現在公開されているあらせ衛星のprovisional CDFを用いたデータ解析の手法を取り上げた。Advanced courseでは、PWEが観測したスペクトルマトリクスデータを用いて、波動粒子相互作用の重要な役割を担う「コーラス波動」の伝搬方向解析に取り組んだ。知識を要するスペクトルマトリクス解析に関して、参加者のスキルアップを図ることができ、今後の成果創出に向けた後押しができたと考えている。

第 2 2 回 大 気 ラ イ ダ ー 研 究 会
22nd Workshop on Lidar Observation of Atmosphere

阿 保 真、首都大学東京・システムデザイン学部

ライダー観測技術・データ解析手法、観測評価法、大気科学分野からの観測要求、将来計画、最近のトピックスなどに関連する研究討論を目的として開催してきた大気ライダー研究会も今回で22回目を迎えた。今回の研究会では、各大学・研究機関から13件の講演があり、3つのセッション「対流圏エアロゾル観測」、「対流圏ライダー観測」、「ライダー技術、成層圏・中間圏ライダー観測」を設けて議論を深めた。参加者は企業も含めて12機関から26名であった。今回は新しい試みとして「最近の成層圏エアロゾルの増加 ～カナダ森林火災の影響～」と題した特別報告会を開催した。これは、タイムリーな話題として2017年初夏にカナダ西部太平洋の山岳地で発生した大規模な森林火災により火災積雲が発生し、その煙が高度13kmの成層圏まで到達した事が報告されていることに対し、日本のライダー観測者により行われている地上ライダー（北極ニーオルスン、つくば、フィリピン、陸別、佐賀、福岡）並びに衛星搭載ライダーCALIOPによる成層圏エアロゾルのライダー観測結果を持ち寄り、その観測状況を議論した。

以下に当日の一般講演題目の一覧を示す。

- ・ ゴビ砂漠のライダーネットワークが捉えた寒冷前線システムによるダスト層の発達
- ・ シーロメーターとダスト係留気球の同時観測から得られたゴビ砂漠におけるダストの鉛直粒径分布と MECF の算出
- ・ 近年におけるモンゴル・ウランバートル市の冬季大気汚染に対する観測的研究
- ・ ひまわり 8 号 Dust RGB と地上ライダーが捉えた、2017 年 5 月の東アジア広域ダストイベント解析
- ・ GOSAT 検証のための国内外の TCCON サイトにおけるライダー観測の現状
- ・ 北極対流圏エアロゾルの季節変化
- ・ 水蒸気ライダー観測を用いたデータ同化実験
- ・ ラマンライダーによる海上水蒸気変動観測
- ・ 近赤外 3 波長 DIAL による境界層中の CO₂ 濃度、エアロゾル、気温鉛直分布の同時観測
- ・ 地上付近のエアロゾル鉛直分布把握のための取り組み
- ・ イメージおよびライダー観測による雲のフラクタル次元計測
- ・ ライダーで観測された北極成層圏エアロゾルの季節変動
- ・ 南極昭和基地における波長可変共鳴散乱ライダー観測の現状

研究集会名 科学データ研究会
研究集会名英文 Science Data Symposium

村山泰啓（国立研究開発法人情報通信研究機構）

本研究会は、オープンデータ・オープンサイエンスに代表される科学データ関連活動の国際動向と、国内における取組みに関する情報の共有と、今後の活動方針に関する合意形成のため、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 (World data System) 小委員会の主導による WDS 国内シンポジウム（第7回）、データ利活用協議会研究会の合同研究会として、平成29年3月8日（木）に、東京都千代田区（科学技術振興機構別館）にて開催され、28名の出席者、14件の講演があった（別紙：プログラム）。研究会では、日本学術会議、文部科学省、内閣府に加えて、各研究コミュニティで進められているオープンデータ・サイエンスへの取り組み、WDSなどの科学データ関連国際組織における最近の動向について報告があり、データ・リポジトリの国際認証への取り組みなどについて、活発な議論が行われた。また科学データの分野間利用の促進については、太陽活動の変化による宇宙線フラックス変動予測の研究において、長期的観測データの利用態勢の確保の重要性が指摘された。また分野間データ利用による新研究分野創成の可能性に関して、太陽活動の長期的変化や火山活動などの自然的要因による地球環境の変動と、地球規模における社会経済活動の変化との間の因果関係に関する研究例の紹介があった。WDS 関連国内活動については、この数年間における WDS 小委員会と関連データ組織の活動報告が行われ、今後の活動方針に関する議論が行われた。その結果、当面 WDS 小委員会を、国内データ活動の活性化の具体的なアクションについて議論を行う場とするとともに、宇宙地球科学系分野主体の旧 WDC (World Data Center) などの、WDS に関連したデータ組織間の連絡調整組織を設置することで、大筋の了解が得られた。

名古屋大学宇宙地球環境研究所研究集会（2017 年度）

科学データ研究会・WDS 国内シンポジウム（第 7 回）

日時：2018 年 3 月 8 日（木）10:30-17:30

会場：科学技術振興機構（JST）東京本部別館、2 階会議室 A①

研究会情報：<http://takashiwatanabe.wixsite.com/wds-japan>

10:30-10:40	研究会趣旨・ロジ説明	研究会世話人	
10:40-11:10	オープンサイエンス・データに関する国内外の動向	村山泰啓	情報通信研究機構
11:10-11:40	研究利活用協議会 (RDUF) の活動紹介	武田英明	国立情報学研究所
11:40-12:00	World Data System 活動の紹介 - レポジトリの認証等-	家森俊彦	京都大学地磁気 WDC
		村山泰啓	情報通信研究機構
		*渡邊 堯	WDS-IP0
12:00-12:20	DIAS のレポジトリ認証について	絹谷弘子	東京大学地球観測データ統融合連携研究機構
12:20-13:30	昼食		
13:30-13:50	オープンチームサイエンス～オープンサイエンスパラダイムに基づく超学際研究の方法論構築に向けて	近藤康久	総合地球環境学研究所
13:50-14:10	文理融合データによる新共同研究テーマの模索（例：近世における社会・経済の動向と自然環境変化との関連）	渡邊 堯	WDS-IP0
14:10-14:30	OMNI データを用いた太陽圏外圏及び銀河宇宙線輸送のシミュレーション解析計画	鷲見治一	九州大学宇宙天気科学・教育センター
14:30-14:50	極域環境データサイエンスセンターの活動紹介	門倉 昭	情報・システム研究機構データサイエンス共同利用基盤施設
14:50-15:10	極域データに関するグローバル活動と WDS との連携	金尾政紀	国立極地研究所
15:10-15:30	WDC for Ionosphere and Space Weather の活動より	陣 英克	情報通信研究機構
15:30-15:50	JAMSTEC におけるデータ活動の報告	坪井誠司	海洋研究開発機構
15:50-16:00	休憩		
16:00-16:20	内閣府を中心としたオープンサイエンス政策の動向	林 和弘	文部科学省科学技術・学術政策研究所
16:20-16:40	第 22-23 期学術会議における WDS 小委員会の活動報告	渡邊 堯	WDS-IP0
16:40-17:00	第 24 期学術会議・WDS 小委員会の活動計画	村山泰啓	情報通信研究機構
17:00-17:30	ディスカッション		

STEシミュレーション研究会 -太陽地球惑星系複合システムのシミュレーション研究-
STE Simulation Workshop: Simulation Studies of Solar-Terrestrial-Planetary Complex System

三宅 洋平、神戸大学計算科学教育センター

2017年9月6日～9月8日の日程で、神戸大学統合研究拠点・惑星科学研究センターにおいて「STE シミュレーション研究会-太陽地球惑星系複合システムのシミュレーション研究-」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55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、太陽地球惑星系シミュレーションと惑星大気・固体惑星・惑星形成を含めた広義の惑星科学分野の融合をテーマに掲げた。太陽地球プラズマ環境から惑星大気・固体惑星表面までを含めた複合シミュレーションの可能性を探るとともに、各分野共通の課題である次世代スーパーコンピューティングに向けた先進的計算手法を議論する場を提供した。

本研究会の招待講演として、惑星形成高性能シミュレーションについて神戸大学の牧野淳一郎氏、火星大気のラージエディースミュレーションについて理研 AICS の西澤誠也氏、金星大気の高解像度シミュレーションについて神戸大学の樫村博基氏、惑星大気・プラズマシミュレーションについて東北大学の寺田直樹氏にご講演いただいた。また本研究集会のテーマに合わせ、磁気圏―熱圏―電離圏結合の超高層電磁気現象への影響や、グローバル磁気圏環境と放射線帯高エネルギー環境の結合計算の試みなど、領域間／スケール間結合モデルの構築・高度化に向けた活発な議論がなされた。一般講演としても、宇宙プラズマや磁気圏・電離圏環境のシミュレーション研究の最新成果が多数報告されたが、内容はこれのみにとどまらず、近年主流となりつつあるメニーコア型計算プロセッサに対応した高性能プラズマ計算手法や、マルチスケール性を考慮するための新数値解法の開発の進捗も紹介された。これらの特色あるセッションにはスーパーコンピューターのベンダー企業からの参加もあり、太陽地球惑星系科学とハイパフォーマンスコンピューティング分野との連携の重要性を確認し合う貴重な機会となった。通常の学会と異なり、一件あたりの講演時間を30分確保することができ、STE シミュレーション研究における問題意識の議論、共有が大いに進展した。なお本研究会の講演資料は <http://cidas.isee.nagoya-u.ac.jp/simulation/meeting2017/>に公開されている。

地上赤外分光観測による大気組成変動検出に関する研究集会
Workshop on detection of atmospheric composition change with
a ground-based infrared spectroscopy

村田 功、東北大学大学院環境科学研究科

地上赤外分光観測による大気微量成分の研究は、太陽を光源とすることで地表付近のみならず成層圏など上層大気の変動も含めた研究が進められてきた。特にフーリエ変換型分光計 (FTIR) を用いた観測は他成分同時観測や吸収線型からの高度分布情報導出などの利点があり、またオゾン層破壊や温室効果気体の変動のような全球的な大気環境問題に対しては国際的な協力が不可欠であることから、世界的なネットワークである Network for the Detection of Atmospheric Composition Change/Infrared Working Group (NDACC/IRWG) や Total Carbon Column Observing Network (TCCON) を中心に各国の研究グループが協力して研究を進めている。日本でも、1995年に陸別で観測を開始した名古屋大学宇宙地球環境研究所をはじめ、国立環境研究所、東北大学、情報通信研究機構などが研究を進めている。

上記の日本の研究者はこれまでも観測・解析を共同研究として行うなど協力してきたが、日本での観測開始から20年以上が経ち長期間のデータが蓄積されてきたこと、NDACC/IRWGで共通に使われている解析プログラムがSFIT2からSFIT4へと進化し日本のグループでもSFIT4の導入が完了したことから、ここで一度国内の研究状況を総括し、今後の研究の方向性や新規サイト計画に関する議論を行うことを目的とした研究集会を開催することとした。

研究集会では、これまで名古屋大学、国立環境研究所、東北大学でFTIR観測を進めてきた研究者および学生計7名が参加し、2日間で十分な時間を取って議論を行った。プログラムを次ページに示すが、初日はまずそれぞれの観測地点（陸別・母子里、つくば、昭和基地）での観測の経緯や現状についての紹介を行い、その後個別のトピックスの報告を行った。二日目もトピックスの報告を行ったあと、今後の研究の展開についての議論を行った。また、解析プログラムのSFIT4についての情報交換も行った。

今回の研究集会により、各観測地点で蓄積されてきた長期データを使ってHCl、CCl₄、C₂H₆、CH₄等の経年変化の解析が進みつつありIRWGやTCCONのネットワークにも貢献していることが再確認され、また今後は日本発の解析としてフロン類や都市大気質の経年変化の研究を提案し、IRWG全体のデータを使用した研究へと進めていくべきであるとの認識で一致した。研究集会後、それぞれの発表資料は国立環境研究所のサーバーに集めて情報共有を行っている。現在はこの成果を元にそれぞれ研究を進めつつあり、次年度以降も研究の進展状況や具体的な手法についての情報交換を行うための研究集会を是非行いたいと考えている。

名古屋大学宇宙地球環境研究所 (ISEE) 研究集会
「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」

		国立環境研究所 地球温暖化研究棟・会議室1
		2017/11/14 final
11月14日		
13:00-13:10	開会あいさつと趣旨説明	村田 功(世話人:東北大院環境)
セッションI	NDACC関連	
13:10-13:40	30 NDACCにおける赤外分光観測	長濱 智生(名大ISEE)
13:40-14:10	30 陸別・母子里における赤外分光観測	長濱 智生(名大ISEE)
14:10-14:40	30 陸別・母子里における初期観測	中島 英彰(NIES)
14:40-15:10	30 つくばにおける赤外分光観測	村田 功(東北大院環境)
セッションII	TCCON関連	
15:10-15:40	30 衛星及び地上FTIRによる温室効果ガスの観測	森野 勇(NIES)
15:40-16:30	休憩(および施設見学)	
セッションIII	研究成果	
16:30-16:50	20 南極昭和基地における赤外分光観測	中島 英彰(NIES)
16:50-17:10	20 南極昭和基地(2014-2017)における赤外分光観測	武田 真憲(東北大院環境)
17:10-17:40	30 HClのトレンド関係	代 友輝(東北大院環境)
17:40-18:00	20 CFCs, HCFCs, HFCs	武田 真憲(東北大院環境)
18:00	1日目終了	
19:00	懇親会	
11月15日		
セッションIV	研究成果	
9:00-9:30	30 CCl4の長期変動観測	長濱 智生(名大ISEE)
9:30-10:00	30 CH4の長期変動観測	村田 功(東北大院環境)
10:00-10:10	30 つくばで観測されたCH4データの検証	代 友輝(東北大院環境)
10:10-10:40	30 2015年初冬の北海道陸別観測所におけるCOカラム平均混合比(XCO)急増の原因解析	砂田 知基(名大ISEE)
10:40-11:00	休憩	
11:00-12:00	30 2007/2011年南極昭和基地におけるFTIR観測による塩素化合物の挙動	中島 英彰(NIES)
セッションV	今後の展開	
12:00-12:40	20 C2H6等微量成分の長期トレンド	村田 功(東北大院環境)
12:40-13:30	休憩	
13:30-14:00	20 分光観測データを用いたHCFC/HFCの挙動監視とインベントリー推計	中島 英彰(NIES)
14:00-14:30	20 都市大気の大気質評価	長濱 智生(名大ISEE)
14:30-14:45	休憩	
セッションV	SFIT4関連	
14:45-16:45	120 SFIT4の概要と使用にあたってのポイント	武田 真憲(東北大院環境)
16:45-17:15	50 個別問題に関するディスカッション	全員
17:15-17:20	閉会あいさつ	長濱 智生(共同世話人:名大ISEE)
17:20	2日目終了	

第5回アジア海色ワークショップ「第14回日韓海色ワークショップ」の開催
The 5th Asian (14th 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
地球環境観測研究開発センター

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 is therefore one of urgent needs for evidence-based policy making; climate change adaptation and mitigation. The Earth observations by satellite remote sensing, especially remote sensing of ocean color, provide valuable method to cope with the problem of marine ecosystem changes over a large spatial coverage and within short and long time scales.

A forum named Korea-Japan Workshop on Ocean Color (KJWOC) to promote ocean color remote sensing application in the Asian region had been initiated by Korean and Japanese scientists since 2003. Since then, the KJWOC has been an annual meeting for ocean color community in this region, and due to increasing participants from the Southeast Asian countries, the KJWOC has sometime been changed to the Asian Workshop on Ocean Color/KJWOC (AWOC/KJWOC).



Photo session of participants taken during the 5th AWOC/14th KJWOC 2017 in Korea

2. Participant Number

The last workshop in 2017 was the 5th AWOC/14th KJWOC series and was hosted by Pusan National University, Korea. The workshop was held from 14 to 15 December 2017 in Sangnam International House. Attended by more than 40 participants (group photo above) from the countries of Korea, Japan, Thailand, Vietnam, Indonesia, and USA, the 5th AWOC/14th KJWOC 2017 delivered 34 presentations, 24 for oral and 10 for poster presentations. Oral presentation was divided into 5 sessions i.e.; 1) ocean color monitoring for harmful environments; 2) ocean color research with GOCI and MODIS; 3) global ocean color monitoring studies; 4) ocean color application over regional scale; and 5) GOCI updates. Arranged by Pusan National University after the workshop, participants also visited the Haedong Yongkung-sa Temple.

3. Workshop Topics and Outputs

Within the five sessions as mentioned above, the 5th AWOC/14th KJWOC covered a wide spectrum of ocean color studies/applications. Among the presentation topics are; coastal water quality monitoring; fisheries resources and environmental changes; novel observations of marine environments; 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 annual forum wherein the communication, discussion, information/data exchange/sharing can be conducted, bilateral, multilateral research collaborations can also be promoted/strengthened.

極域電離圏における電離大気流出現象のメカニズム解明に向けた戦略
的観測計画

Strategic Observations for understanding Ion Outflow
in the Earth's Polar Ionosphere

齋藤 義文

宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・太陽系科学研究系

本研究集会の目的は、平成29年12月にノルウェーのスピッツベルゲン諸島スバルバードから打ち上げられる予定であったSS-520-3号機観測ロケット実験の飛翔後に、取得したデータを持ち寄って、科学成果の最大化を目指して、観測ロケット、地上レーダー観測、地上光学データの総合的な検討と議論を行うことであった。SS-520-3の打ち上げは平成29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（タイマシーケンス中の火工品発火や搭載機器類の動作確認）において、コマンド抜け、すなわち搭載機器の高圧電源が入らないなどの不具合事象が確認された（火工品点火については問題なし）。FTAにより背後要因等技術的な調査を進めたところ、ロケットアビオニクス動作不安定が起因となって、イベントに係る一部のコマンドが送出されていないことが分かった。当該実験は海外打上げであることから、機材輸送は打上げ時期の約2か月前（10月中旬）が制約になっていた。しかし、出荷時期までに当該不具合事象の技術的な確認および処置の完了がさせることが困難であると判断されたため、実験実施の延期を決定した。

SS-520-3号機観測ロケット実験が延期となったことから、平成30年度以降の打ち上げに向けて本研究集会では、もし平成29年度に予定通り観測ロケットを打ち上げていたらどのような成果が得られたであろうか？という問いをテーマにして、観測ロケットの打ち上げ条件の確認、打ち上げの際に使用すべきリアルタイム観測データの確認などを、実際に打ち上げ期間として予定していた期間の、地上レーダー観測データ、地上光学観測データ、太陽風モニターデータ等を収集してデータの検討・議論を実施した。研究集会には23名の出席者（内4名はZoomによる参加）があり、活発な議論が行われた。

その結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) ロケット打ち上げ可能日は、コロナホールの状況と太陽の自転周期を利用することで、約1ヶ月前の段階でほぼ推定できる。
- 2) 1ヶ月前の段階で、数日ウィンドウを伸ばした方がいいと判定できた場合には、ウィンドウの延長を試みる（そのためには定量的な説明が必要）。
- 3) SS-520-3号機観測ロケットを現在予定している Elevation 80度で打ち上げる場合、Kp 指数が3以上でないとロケット軌道のAPEX付近でターゲットを捉えることがで

きない。

- 4) 前ソーラーサイクルの Kp 値を見ても、Kp 3 以上となることがあることから、平成 30 年度に打ち上げることができるのならば、昼間のカスプ狙いで SS-520-3 号機観測ロケットを打ち上げることができそうである。一方、前ソーラーサイクルの太陽活動極小期は 2009 年度であり、この極小期の Kp は 3 未満であり、SS-520-3 号機観測ロケットを現在予定している Elevation80 度で打ち上げることはできない。

これら知見は、平成 30 年度以降の SS-520-3 号機観測ロケットの打ち上げを成功させるために極めて有用な情報であり、今後打ち上げまでの間に更に検討を進めて SS-520-3 号機観測ロケット実験を成功させるのに役立つものである。

本研究集会では、上記の SS-520-3 号機観測ロケット実験に関する検討・議論に加えて、地球極域電離圏特にカスプ周辺の領域における未解決の問題を、最新の人工衛星による観測結果に詳しい研究者による講演と、議論によって再確認した他、SS-520-3 号機観測ロケット実験の先にある、次期衛星計画(FACTORS 衛星計画)について、ワーキンググループ設立申請に向けた準備状況の確認と、今後のスケジュールなどの議論も行った。これにより、今後の衛星計画の具体化に向けて解決すべき課題を明らかにすることができた。

電磁圏物理学シンポジウム Symposium on Electromagnetospheric Physics

河野英昭（九州大学国際宇宙天気
科学・教育センター）
塩川和夫（名古屋大学宇宙地球環境研究所）

開催期間：平成 30 年 3 月 14 日～平成 30 年 3 月 15 日（2 日間）

開催場所：九州大学医学部百年講堂（福岡市内）

九州大学では、MAGDAS/CPMN (MAGnetic Data Acquisition System/Circum-pan Pacific Magnetometer Network、地上磁力計ネットワークによるリアルタイム観測)、および FM-CW radar (地上レーダーによる電離層電場観測)、により、汎地球的規模で、地上から地球電磁圏を観測・モニタリングしてきた。

九州大学ではまた、グローバルシミュレーションによる電磁圏の研究も進めてきた。これも、汎地球的規模の視点での研究である。

汎地球的志向性を持った観測・シミュレーションを行っている日本国内の研究者は上記九大以外にも多数存在する。表記の名古屋大学宇宙地球環境研究所研究集会の目的は、これらの研究者が議論を交わす場を用意し、それによってこの観測・研究の方向性を促進・強化する事であり、研究集会当日には この目的に沿い、広い範囲の発表・議論が観測とシミュレーションで分かれる事なく行われた。大学院生・大学学部生の参加・発表も行われた。

本研究集会の発表内容例を挙げると以下の通り多岐にわたっている。

- 地上観測研究の具体例が複数紹介された（SuperDARN レーダーによる電離圏プラズマ流速観測からの電磁圏電場や密度の推定、 S_q や ULF 波動の地上磁場観測、Pi2 脈動の地上磁力計と低高度衛星 SWARM による同時観測、PWING によるサブオーロラ帯地上ネットワーク観測、GPS 信号を地上で受信する事で得られる TEC データを用いた電離圏内空間構造の観測、等）。
- グローバルシミュレーションに関する発表も複数行われた（サブストーム、沿磁力線電流、 S_q 、ULF 波動、等）。
- 地上観測とグローバルシミュレーションの比較に関する発表も複数行われた（ S_q や ULF 波動のシミュレーションと観測の比較、等）。
- 地上観測とあらせ衛星観測の連携観測についての発表も行われた。

これらの発表は電磁圏物理学の今後の発展に寄与するものである。本「電磁圏物理学シンポジウム」に参加し発表された方々に心より感謝したい。

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
STE events report and analysis workshop

阿部修司、九州大学・国際宇宙天気科学・教育センター

●開催日時および開催場所

- ・平成 29 年度・第 1 回 STE（太陽地球環境）現象報告会及び現象解析ワークショップ*1（平成 29 年 9 月 26 日、京都大学理学研究科セミナーハウス）
- ・平成 29 年度・第 2 回 STE（太陽地球環境）現象報告会*2（平成 30 年 3 月 13 日、九州大学医学部百年講堂）

*1 世界科学データシステム・アジア-オセアニア会議と連携開催

*2 太陽地球系科学に於ける地上観測の現状と課題、電磁圏物理学シンポジウム、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と合同開催

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：延べ約 60 名

●研究集会概要と成果

第 1 回報告会は、世界科学データシステム・アジア-オセアニア会議と連続し、多くの外国人研究者の参加の下で開催された。それに伴い、講演は全て英語とした。定例報告に加え、本研究集会直前に発生した複数回の X クラスの太陽フレアに伴う現象について、多くの報告・活発な議論がおこなわれた。第 2 回報告会は、例年と同様複数の研究集会と合同で開催された。第 1 回で報告された太陽フレア以降、大規模イベントの発生はほぼなく、静かな定例報告となったが、昨年打ち上げられた、あらせ衛星の高エネルギー電子観測状況のハイライト報告、海外の研究者や学生による話題提供、来年度の本報告会の進め方・共同開催の可能性等について有意義な議論が行われた。

第18回EISCAT国際シンポジウム
The 18th EISCAT International Symposium

宮岡宏、国立極地研究所・国際北極環境研究センター

開催日：2017年5月26日～5月31日

開催場所：国立極地研究所 大会議室

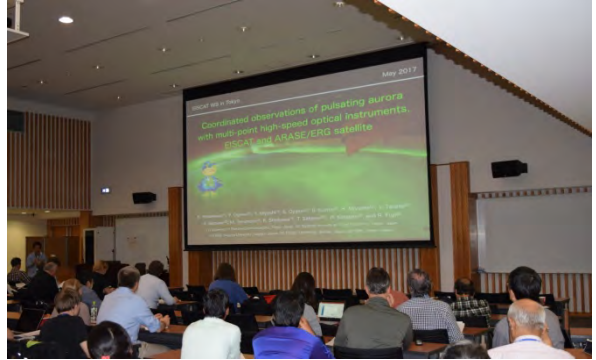
本シンポジウムは、欧州非干渉散乱（EISCAT）レーダー関係者（科学者や技術者）が一同に会し、太陽地球系科学やレーダー工学、プラズマ科学等の最先端の研究成果を発表及び議論することを目的として、主に EISCAT 科学協会加盟国が持ち回りで隔年開催している集会であり、日本では 2001 年以來の開催であった。今回は特に、（１）第 15 回 MST レーダーワークショップ（正式名称：Workshop on Technical and Scientific Aspects of MST Radar）と同時開催することで、EISCAT レーダーと共通点が多いレーダー観測技術や観測領域などの研究内容を幅広く議論する、（２）開催日程を 2017JpGU-AGU Joint Meeting（5 月 20-25 日、幕張）の直後に設定し、関連研究者の新規参加による新たな共同研究への発展やコミュニティの活性化に寄与する、ことなどを意図してシンポジウムを企画した。

今回のシンポジウムでは、MST レーダーワークショップと合わせて計 15 のセッション（その内、6 つの合同セッション。詳細は http://eiscat.nipr.ac.jp/about/18th_eiscat_symposium.html に記載。）を設け、146 件の口頭発表（その内、招待講演は 31 件）及び 87 件のポスター発表が行われた（EISCAT シンポのみでは計 88 件の発表）。参加者は 19 カ国から計 182 名（国外 120 名、国内 62 名。学生は 28 名。EISCAT シンポのみでは計 69 名）であり、参加機関は計 84（国外 66、国内 18）であった。本シンポジウムでは、極域電離圏・熱圏やオーロラ物理などの研究成果発表に加え、2016 年 12 月打ち上げられた日本の科学衛星「あらせ（ERG）」と EISCAT レーダーとの共同観測による初期結果報告や、EISCAT_3D レーダーの最新情報に基づく科学的・技術的な議論・検討が新たに行われた。今後の方向性として、2017 年 6 月に計画実施が決定した EISCAT_3D レーダーを含め、世界中の既存及び新規 MST/IS レーダー間の連携をさらに深め、汎地球的な国際共同観測・共同研究を推進することが挙げられる。

本シンポジウム及びワークショップで発表された論文は、Earth, Planets and Space (EPS) の特集号として出版される予定である。本シンポジウムの開催にあたり、名古屋大学宇宙地球環境研究所の国際研究集会及び、情報・システム研究機構本部の「国際ネットワーク形成・MoU 推進プロジェクト」、地球電磁気・地球惑星圏学会の国際学術研究集会の助成をいただいた。その内、名古屋大学宇宙地球環境研究所の国際研究集会助成により、5 名の国外・国内研究者の旅費支援を行うことができ、参加者の拡大に繋がったと考えている。厚く感謝申し上げる。



(写真1) 集合写真



(写真2) 会場内の様子

北海道-陸別短波レーダー10周年記念研究集会
10th anniversary symposium for the Hokkaido HF radar

寺本万里子(名古屋大学宇宙地球環境研究所)

11月8日(水)及び9日(木)に、「北海道-陸別短波レーダー10周年記念研究集会」を、ISEE研究集会「陸別観測施設設立20周年記念シンポジウム 一宇宙から地球まで」と同時に陸別町役場において開催した。

北海道-陸別レーダーは、陸別観測所から北西に約20km離れた陸別町ポイントマムに設置され、第一レーダーが2006年11月に、第二レーダーが2014年10月にそれぞれ稼働を開始している。両短波レーダーは、世界約10か国の国際協力に基づき運用されているSuper Dual Auroral Radar Network (SuperDARN)の全約35基のうちの2基として位置付けられるが、同ネットワークの中で、現時点において最も低い地磁気緯度に位置しており、この地理的特性を生かして2018年3月時点で36編の査読付き論文が国際学術誌に出版されている。また、短波レーダー観測で扱える研究対象は、太陽フレアから磁気圏・電離圏・熱圏・上部中間圏の変動、さらには巨大地震に伴う電離圏変動まで多岐にわたっている。

本シンポジウムには、短波レーダーや陸別観測施設に関連した関係者や観測データを利用する国内外の研究者等約30名が出席し、陸別観測所20周年記念シンポジウムとレーダーサイト10周年記念シンポと併せて、雪氷・気象、電磁気圏、大気、レーダー科学に関する招待講演6件と、陸別観測と関連した太陽地球系科学に関する15件の研究発表が行われた。なお、シンポジウムの最終プログラムを下に示す(資料1)。レーダーサイト10周年記念シンポジウムは陸別観測所20周年記念シンポの1セッションとして実施され、1件の招待講演及び4件の研究発表が行われた。

シンポジウムを通じて、レーダー観測をベースとした太陽地球系研究の議論とそれを通じた異なる分野の研究者間の交流を促進することができた。特に陸別観測所20周年記念シンポに参加する他分野の研究者からも様々なコメントが寄せられた。

シンポジウムの終了後、ポイントマムのレーダーサイトへの見学会が開催され、計8名の参加者が現地を訪問し、レーダー装置やアンテナアレイを見学した(前日の記念式典に出席した松下名古屋大学理事も、宇宙地球環境研究所教員の案内でレーダーサイトを見学した)。

(資料1) シンポジウム最終プログラム

11月8日				
9:00-9:50	20周年記念セレモニー	50	(司会:水野 亮 名古屋大学陸別観測所長) あいさつ 野尻 秀隆 陸別町長 松下 裕秀 名古屋大学理事 上出 洋介 リクト宇宙地球科学館長 草野 元也 名古屋大学宇宙地球環境研究所長	
9:50-10:00	諸連絡	10	世話人・長濱 智生	
10:00-11:00	セッションI		座長・長濱 智生(名大ISEE)	
10:00-10:30	30 招待講演	30	亀田 貴雄(北見工大)	陸別町での雪水分野の実験および最近の研究成果の紹介 ー深層掘削機開発実験、南極雪上滑走路造成実験、日本一寒い町、陸別の実証ー 南極の降雪量を測る ー陸別での降雪観測を利用してー
10:30-11:00	30 招待講演	30	小西 啓之(大阪教育大)	
11:10-12:00	セッションII		座長・寺本 万里子(名大ISEE)	
11:10-11:40	30 招待講演	30	長妻 努(NICT)	SuperDARN観測と宇宙天気 北海道・陸別短波レーダーを用いたPi2地磁気変動の研究 ～あらせ衛星との共同観測にむけて～
11:40-11:55	15	15	寺本 万里子(名大ISEE)	
12:00-13:30	休憩	90		
13:30-15:00	セッションIII		座長・水野 亮(名大ISEE)	
13:30-14:00	30 招待講演	30	青木 周司(東北大院理)	地球規模炭素循環に関する最近の研究成果について 衛星及び地上FTIRによる温室効果ガスの観測と陸別における成果 環境データの新しい解析手法ー深層学習 国立環境研究所の研究成果の発信 ー陸別での観測結果を中心としてー 陸別観測所FTIRによる成層圏・対流圏微量分子の長期変動研究
14:00-14:15	15	15	森野 勇(NIES)	
14:15-14:30	15	15	中根 英昭(高知工科大)	
14:30-14:45	15	15	広兼 克憲(NIES)	
14:45-15:00	15	15	長濱 智生(名大ISEE)	
15:00-15:30	休憩	30		
15:30-17:30	セッションIV		座長・塩川 和夫(名大ISEE)	
15:30-16:00	30 招待講演	30	Ioannis Daglis (U. Athens & 名大ISEE)	Storm-substorm relation and its connection to geospace energetic particles 陸別観測所におけるオーロラ・大気光と磁場観測 陸別・信楽の大気光画像を用いた中間圏・熱圏波動の水平位相速度分布の長期統計解析 陸別観測所で観測された下部電離圏変動現象 陸別観測所におけるELF帯磁場観測
16:00-16:15	15	15	塩川 和夫(名大ISEE)	
16:15-16:30	15	15	土屋 智(名大ISEE)	
16:30-16:45	15	15	大矢 浩代(千葉大)	
16:45-17:00	15	15	村井 峻(電通大)	
18:00-20:00	懇親会	@セレモ浜田		
11月9日				
9:00-9:50	セッションV		座長・西谷 望(名大ISEE)	
9:00-9:15	15	15	西谷 望(名大ISEE)	SuperDARN北海道・陸別第一・第二HFレーダーによる電離圏プラズマ・超高層大気変動の研究 陸別を含む大型短波レーダー網で観測される磁気圏急圧縮に伴う電離圏対流変動 SuperDARN北海道・陸別短波レーダーによるサブオーロラ帯高速流の電気伝導度依存性(太陽天頂角)の研究
9:15-9:30	15	15	飯田 剛平(名大ISEE)	
9:30-9:45	15	15	張 玉ティ(名大ISEE)	
9:50-10:10	休憩	20		
10:10-11:30	セッションVI		座長・町田 敏輔(NIES)	
10:10-10:40	30 招待講演	30	塩谷 雅人(京大RISH)	地球大気科学における地上観測と衛星観測 陸別町でのFTIR観測の立ち上げとその後の歩み 陸別におけるミリ波オゾン観測 20年間の経年曲折 陸別観測所ミリ波分光放射計による成層圏・下部中間圏オゾンの観測
10:40-10:55	15	15	中島 英彰(NIES)	
10:55-11:10	15	15	水野 亮(名大ISEE)	
11:10-11:25	15	15	大山 博史(NIES)	
11:30-11:55	セッションVII	25	まとめと将来展望	
11:55-12:00	閉会あいさつ	5	世話人・水野 亮	

第2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:
2nd 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

2018年2月26～27日の日程で、名古屋大学環境総合館において研究集会「第2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2017年1月に開催された第1回に引き続き、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及び予測へ向けた展望を、分野を超えて幅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いたしました。

今回は、前回は時間の制約上取り上げなかった長期変動や放射線帯モデルの研究について集中した議論が行われるとともに、全国ニュースで取り上げられました2017年9月初旬の活動領域AR12673での太陽活動にともなう現象について様々な観点からの研究報告や議論が行われました。またPSTEP内で編集を進めている宇宙天気ハザードマップについての紹介と研究者への協力要請の講演や、PSTEPに深く関連するISEE国際ワークショップの開催報告が行われました。

国内外から46名の研究者の参加があり、非常に実りのある議論が展開されました。今後は、具体的なモデル間の連携について議論を進めていく第3回の開催を2018年度に企画しています。



図：研究集会参加者の集合写真

太陽物理に関するヘリシティ研究会

Helicity Thinkshop 3

横井 喜充, 東京大学・生産技術研究所

(1) Helicity Thinkshop 3の概要

ヘリシティ (helicity) は場のもつ螺旋性のことである。さまざまなヘリシティ (運動・磁気・電流・クロスなど) は, エネルギーとならんで流体や電磁流体方程式の基本的物理量である。回転や磁場が存在すると流体や電磁流体方程式の鏡映対称性が破れ, その非対称性はヘリシティによって表現される。乱流のエネルギーがゆらぎの強度を表すのに対して, ヘリシティはゆらぎのトポロジカルな性質を表す。ヘリカルな乱流場ではダイナモ作用で大規模な磁場や渦構造が生成される。ヘリシティは太陽・地球やさまざまな宇宙天体の力学および磁場現象と密接な関係にある。例えば太陽の磁場活動はフレアや太陽風を通じて地球環境にも大きな影響を与える。したがって, ヘリシティと力学および磁場的活動との関係を広く深く理解することは, 学術上のみならず実用上も大きな意義がある。

Helicity Thinkshopは, ヘリシティに関する理論・シミュレーション・観測・実験の知見をさまざまな分野の研究者によって共有し, 研究を強力に推進することを目的に開催されてきた。その起源はChapman Conference on Magnetic Helicity in Space and Laboratory Plasma (1998年, 米Boulder) に遡る。今回, 国際研究集会助成 (名古屋大学宇宙地球環境研究所, 生産技術研究奨励会, 鹿島財団) を受けて, 2017年11月19-24日に東京大学生産技術研究所でHelicity Thinkshopが日本で初めて開催された。

数学, 物理, 天文, 宇宙物理, 地球物理, 工学など広い分野から理論・観測・実験・数値計算で世界の第一線に立つ研究者が60名 (外国より35名, 日本より25名) 集まった。海外からの参加者は, イギリス, フランス, ドイツ, オーストリア, イタリア, ロシア, ギリシア, イスラエル, アメリカ合州国, 中国, 韓国, インド, エジプトと多岐にわたった。

11月19日のRegistration and Receptionに続き, [11/20] Helicity Fundamentals, [11/21] Helicity and Turbulence in Solar and Stellar Dynamos, [11/22] Helicity in the Solar Atmosphere, [11/23] Helicity in the Solar and Stellar Systems, [11/24] NAOJ Tourというセッションが行われた。ヘリシティ研究のさまざまな側面 (トポロジー, 地球物理, 天体磁場, 太陽活動の予測) について最新の成果を共有し議論が行われた。また, 11/22と11/23にはDiscussionが行われ, 最新の研究成果に関する議論と併せて, 将来の研究の方向について考えた。

(2) 開催期間 2017年11月19日~2017年11月24日 (6日間)

(3) 開催場所 東京大学 生産技術研究所

(4) 参加人数 (発表者数)

外国人 35名 (29名) 日本人 25名 (11名) 合計 60名 (40名)

(5) 参加した外国人の国別内訳

イギリス 6名 フランス 5名 ドイツ 3名 オーストリア 2名
ロシア 6名 ギリシア 1名 イスラエル 2名 アメリカ合州国 3名
中国 3名 韓国 2名 インド 1名 エジプト 1名

(6) 主催者又は実行組織

Scientific Organizing Committee (SOC) of Helicity Thinkshop 3
(Helicity Thinkshop 3 組織委員会)

(7) 申請者の役割

Chair of the SOC
(組織委員長)

(8) 成果・今後の展望

この研究会には、数学者、天体物理学者、宇宙物理学者、太陽物理学者など多岐にわたる研究者が参加し、多角的な視点からヘリシティが議論された。

第1日目の「Helicity Fundamentals」のセッションでは、位相幾何学（トポロジー）の視点からゲージ不変な積分量である「line helicity」や「quadratic helicity」という概念が提出され、太陽磁場観測との比較でその有用性が議論された。第2日目の「Helicity and Turbulence in Solar and Stellar Dynamos」セッションでは、太陽と恒星ダイナモ中でのヘリシティと乱流についての議論が行われた。第3日目の「Helicity in the Solar Atmosphere」のセッションでは、太陽表面および太陽大気中でのヘリシティに関する話題が提供され、ヘリシティと太陽フレア発生の関係から太陽フレアの予測にヘリシティを用いる可能性が議論された。第4日目の「Helicity in the Solar and Stellar Systems」では太陽系・惑星間空間でのヘリシティが議論され、乱流起電力の衛星観測に関する報告などもなされた。また第5日目には国立天文台太陽観測所へのツアーを行った。

今後の課題

巨大レイノルズ数の天体宇宙現象では、強い非線型性に伴う乱流・ゆらぎを扱うため、スケール依存性を議論する必要がある。大域スケールの保存量であるヘリシティの研究と局所スケールのヘリシティ密度を扱う研究とをつなぐ概念を構築する必要性が議論された。その他に、今後の研究課題として

- ゲージ依存性：コンパクト族を形成するかどうかパラメータ空間を研究できるのか；
- クロス・ヘリシティ：どれだけ重要で、さらにどれだけ考えたり理論に組み入れる必要があるのか；
- モデリングと観測の収束：何を観測するか、どのヘリシティをどうやって正しく計測するか；
- 太陽大気を通じてのヘリシティ流束：十分に検討されていない；
- もっとも重要な研究課題は何か；
- そもそもヘリシティはどれだけ重要なのか：不可欠なのか、単に有用なだけか。

といった諸点が挙げられた。

研究会での発表内容は、研究会webサイト：

<http://science-media.org/conferencePage.php?v=23>

より、会議のプログラム、アブストラクト集、参加者リストの他、プレゼンテーション・ファイルがダウンロード可能である。

この研究会の成果は、会議参加者のMitchell BergerとAnthony Yeatsが編集者となり、Journal of Plasma Physics (Cambridge University Press) のSpecial Issue on Topological Methods in MHD, Fluids, and Plasmasとして出版される予定である。原稿締め切りは2019年7月を予定している。

さらにこの研究会は、この現組織委員であるNobumitsu Yokoi（申請者）とAlexei Pevtsovらが中心となって北欧理論物理学研究所（Nordic Institute for Theoretical Physics: NORDITA）での「Solar helicities in theory and observations: implications for space weather and dynamo theory」というプログラムに受け継がれ、2019年3月4日-29日にSweden Stockholmで開催される予定である。

極域・中緯度SuperDARN研究集会 SuperDARN meeting

代表者 西谷 望(名古屋大学宇宙地球環境研究所)

平成 29 年度太陽地球環境研究所研究集会「SuperDARN 研究集会」は 2017 年 9 月 11-12 日、3 研究機関(名古屋大学宇宙地球環境研究所・国立極地研究所・情報通信研究機構)共催の研究集会「極域・中緯度 SuperDARN 研究集会」として情報通信研究機構 小金井本部 本館 4 階 国際会議室において開催された。この研究会は前身の中緯度短波レーダー研究会を含めて今回で 15 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 43 名の研究者・技術者が参加した。今回は「MTI 研究集会」「IUGONET 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」との共催という形式を取ったため、例年よりも多くの参加者があった。

世界 12 ヶ国の国際協力に基づく SuperDARN(Super Dual Auroral Radar Network)は、現在南北両極域に併せて約 35 基の大型短波レーダーを運用しており、電離圏・磁気圏・熱圏物理を中心とした研究成果を上げている。19 番目・34 番目のレーダーとして 2006 年 11 月および 2014 年 10 月に北海道・陸別第一・第二 HF レーダー(SuperDARN Hokkaido East radar)が完成し、稼働を開始してから当研究会までに約 10 年にわたるデータの蓄積が行われており、論文等の成果も上がりつつある(現在出版済み、印刷中の論文数: 36 編)。

今回の研究会においては日本を中心とした各 SuperDARN レーダー運用の昨年以来の経緯、現状が報告された。また海外の SuperDARN レーダーの動向に関する報告も行われた。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。具体的な研究成果の研究テーマとして、Sudden Impulse に伴う電離圏対流変動の特性、SuperDARN レーダー他により観測した ULF 波動やオメガバンドオーロラ、サブオーロラ帯電高速プラズマフローと電気伝導度の統計的関連性等が挙げられる。またレーダー観測の研究成果だけではなく、磁気圏 3 次元シミュレーションを用いた研究成果に関する講演が 3 件、2016 年 12 月に打ち上げられた人工衛星「あらせ」の観測結果に関連した講演が 3 件行われた。

多彩な発表内容からわかるように、研究会が対象とするテーマが少しずつ広がりつつある。通常交流があまり多くない電磁気圏分野の研究者と電離圏・熱圏分野の研究者が 1 つの研究会に参加し、現象の正しい解釈について様々な意見を出し合うことができたことは非常に有意義であった。これに加えて大型短波レーダー計画を進める上での課題、特に運用体制についても充実した議論を行った。二日目午後の後半のセッションにおいては主に、2016/12/20 に打ち上げられた ERG/あらせ人工衛星と SuperDARN 及びその他の地上観測装置との協力について様々な議論を行った。さらには一日目午前においては SD-J discussion として、関係者を中心として SuperDARN 運営にかかる実質的な議論を行った。

会議中には短波レーダーグループとしての将来計画、および今後の戦略の議論も行った。近年研究対象が中緯度から高緯度を含めたグローバルな領域に広がりつつあることを踏まえ、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を決定した(その後の議論で、次年度は名古屋大学での開催が決定した)。

平成 29 年度極域・中緯度 SuperDARN 研究集会

日時：2016 年 9 月 11 日（月）13:40 ～ 12 日（火）12:00

場所：情報通信研究機構 小金井本部 本館 4 階 国際会議室

<http://www.nict.go.jp/about/hq.html>

プログラム

10:30 - 12:20 SD-j-core SD-J discussion

（主に SD-Japan core member による今後に向けた打合せ）

【座長：堀 智昭（名古屋大学 ISEE）】

13:40 - 13:55 北海道・陸別第一・第二レーダーの 2016-2017 年度報告

西谷 望（名古屋大学 ISEE）

13:55 - 14:15 SuperDARN 昭和 SENSU レーダー現況と第 IX 期南極観測計画

行松 彰（国立極地研究所）

14:15 - 14:30 King Salmon HF レーダー観測の現状

長妻 努（情報通信研究機構）

14:30 - 14:50 Storm/Substorm 時の対流/過遮蔽電場による中低緯度電離圏擾乱

菊池 崇（名古屋大学 ISEE）

【座長：長妻 努（情報通信研究機構）】

15:10 - 15:30 昼側沿磁力線電流系再考

渡辺 正和（九州大学）

15:30 - 15:50 北向き IMF 条件下での磁気圏電離圏対流駆動機構

藤田 茂（気象大学校）

15:50 - 16:10 Development of convection to the substorm

田中 高史（九州大学）

16:10 - 16:30 大型短波レーダーや地上磁場で観測される Sudden Commencement

に伴う電離圏対流変動

飯田 剛平（名古屋大学 ISEE）

9 月 12 日（火）

【座長：西谷 望（名古屋大学 ISEE）】

09:30 - 09:50 Statistical study of Ionospheric Conductivity (SZA)

Dependence of the SAPS using the SuperDARN Hokkaido East HF Radar

張 玉テイ（名古屋大学 ISEE）

09:50 - 10:10 オメガバンドオーロラのドリフト速度と SuperDARN で観測した電

離圏流速との同時観測

佐藤 夏雄（国立極地研究所）

10:10 - 10:30 Evolution of ionospheric convection and ULFs during the
27 March 2017 storm:ERG-SuperDARN campaign

堀 智昭 (名古屋大学 ISEE)

【座長：行松 彰 (国立極地研究所)】

10:50 - 11:10 ERG-SD によって観測された Pi2 地磁気脈動の初期解析の報告

寺本 万里子 (名古屋大学 ISEE)

11:10 - 11:30 2017 年 4 月 4 日の ERG-SuperDARN キャンペーン期間における大規模
電離圏対流変動

西谷 望 (名古屋大学 ISEE)

11:30 - 11:50 SuperDARN Japan web サイトの紹介

門脇 優香 (国立極地研究所)

11:50 - 12:00 SuperDARN-ERG 共同観測の現状 (コメント)

堀 智昭 (名古屋大学 ISEE) 14:30 closing

今回(極域・中緯度 SuperDARN 研究集会)および過去の研究会(中緯度短波レーダー研究会)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。

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

今後10年間の地球超高層大気領域の宇宙空間からの観測に関して、具体的な計画の作成及びそのための体制作りを行うことを目的として本研究会を開催した。

電離圏・熱圏・中間圏などの地球超高層大気領域において、飛翔体による宇宙空間からの観測は、地上観測と数値モデルとともに研究を構成する大きな柱の一つである。日本の研究コミュニティにおいても、1978年打ち上げのIonosphere Sounding Satellite-b衛星など多くの観測が行われており、近年で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。そのISS-IMAPミッションの観測終了を受けて、将来に向けて宇宙空間からの観測について計画をまとめる時期に差し掛かっており、そのための議論が2015年度から行われている。また、より広く磁気圏分野も含めたコミュニティにおいても将来の飛翔体からの観測についての議論が始まっており、JAXA宇宙科学研究所の飛翔体計画のロードマップへ反映させるための準備も進められている。Kこのロードマップは赤道MUレーダー、EISCAT、南極昭和基地観測など、大規模な地上観測施設の将来計画とも密接に関わるものであり、GAIAモデルなどの大規模な数値モデルの開発とも関わるものである。このような状況を受けて、今後10年間の地球超高層大気領域の宇宙空間からの観測に関して、具体的な計画の作成及びそのための体制作りを行うことを目的として本研究会を行なった。

2. 概要

開催日時：平成29年9月13日

場所：情報通信研究機構 小金井本部

世話人：齊藤 昭則（京都大）、大塚 雄一（名古屋大）

参加者数：59名

3. プログラム

11:00 - 11:15 人工衛星によるMTI領域の観測計画

齊藤 昭則（京都大学）

11:15 - 11:30 磁気圏・電離圏・熱圏結合機構の実証的研究に向けた編隊飛行による探査衛星計画

平原 聖文（名古屋大学ISEE）、齋藤 義文、小嶋 浩嗣

11:30 - 11:45 SMILES-2衛星観測計画

塩谷 雅人（京都大学RISH）

11:45 - 12:00 SMILES-2観測装置の検討状況

落合 啓（情報通信研究機構）

13:00 - 15:00 議論：SMILES-2衛星観測提案に向けて

4. 成果

宇宙からの地球超高層大気の観測について具体的な議論を進めるために、宇宙科学研究所での公募が予定されている小型衛星への提案を予定しているミッションを中心として発表と議論を行った。衛星観測計画としてはサブミリ波・THzによる成層圏・中間圏・熱圏・電離圏探査を行うSMILES-2衛星と、磁気圏・電離圏・熱圏結合機構の実証的研究に向けた編隊飛行による探査衛星FACTORSとの2つの衛星計画に関してその計画の概要の発表を行った。その後、2018年1月の提案に向けて準備を進めているSMILES-2衛星についての議論を行った。SMILES-2衛星は2THzによる酸素原子のリム方向の観測によって、下部熱圏における視線方向の速度、温度、密度の計測が可能であり、サブミリ波の観測によって中間圏のNO_x, HO_xなどの微量成分の分布の計測も行える。これらの観測を低緯度・中緯度・高緯度において行うことで高度80kmから150kmの遷移領域における下層大気からの影響と磁気圏からの影響とを明らかにすることができる。このようなSMILES-2衛星の観測によって達成される科学目標についての議論が行われ、観測装置に求める感度などの性能や、衛星軌道などによって決められる観測領域などの観測パラメータなどについての議論も行われ、今後の衛星観測提案に向けて議論を深めていくことが確認された。

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・理学研究科

宇宙嵐時に生じる放射線帯外帯の消失と再形成過程には、内部磁気圏で発生するプラズマ波動との相互作用過程が重要な役割を果たすと考えられているが、地球電磁圏の様々な物理プロセスが密接に関わっており、未解明の問題が多く残されている。2016年12月20日に打ち上げられたERG衛星を中核とするERGミッションでは、放射線帯物理の解明を目的として、内部磁気圏でのプラズマ総合観測と地上観測およびシミュレーションとを連携した統合研究が行われる。

本研究集会では、放射線帯電子の消失・加速過程を解明するために、ERG衛星によるプラズマ総合観測および波動粒子相互作用解析装置(S-WPIA)による相互作用観測結果をどのように活用すべきかを、地球電磁圏の衛星観測・地上観測ならびにシミュレーション研究を専門とする研究者を一同に集めて議論する。特に、S-WPIAによる観測をどの領域で、どのタイミングで行うことが放射線帯物理の解明に有効かを検討する。

研究集会は東北大学・北青葉山キャンパスの理学合同C棟を会場に、「あらせ衛星粒子観測器データ解析ワークショップ」(代表 東京大学・笠原慧 准教授)との共催で、平成29年9月14日(木)~15日(金)の日程で開催された。プログラムは以下のとおり。

平成29年9月14日(木)

11:00	ERG計画の概要	三好由純(名古屋大学)
11:20	HEPの観測について	三谷烈史(JAXA/ISAS)
11:50	XEPの観測について	東尾奈々(JAXA)
13:30	LEPeの観測について	風間洋一(Academia Sinica)
14:00	LEPiの観測について	浅村和史(JAXA/ISAS)
14:30	MEPeの観測について	笠原慧(東京大学)
15:00	MEPiの観測について	横田勝一郎(JAXA/ISAS)
16:00	MGFの観測について	松岡彩子(JAXA/ISAS)
16:30	WPIAの計測について	加藤雄人(東北大学)
17:00	Discussion	

平成29年9月15日(金)

09:30	観測報告・議論	寺岡毅(大阪府立大学)
09:45	観測報告・議論	吹澤瑞貴(東北大学)

10:00 観測報告・議論 山本和弘（京都大学）
10:35 観測報告・議論 高橋直子（東京大学）
10:50 キャンペーン観測について 細川敬祐（電気通信大学）
11:20 Discussion
13:00-17:00 講習会

研究集会には延べ92名の参加者があり、あらせ衛星搭載機器責任者による一連の講演を通じて、あらせ衛星による観測と現状を参加者で共有した後、一般講演による内部磁気圏研究の最新の研究成果をふまえて、波動粒子相互作用研究の今後の展開を議論した。研究集会二日目の午後には、ERGサイエンスセンターの支援を受けてあらせ衛星データ解析講習会を実施した。

地域ネットワークによる宇宙天気観測・教育活動に関する研究集会

Workshop on Regional Network for Space Weather Observation and Education

篠原 学、鹿児島工業高等専門学校・一般教育科

研究集会の概要

様々な地域の地方大学や高等専門学校に宇宙天気分野の研究者が所属するようになり、それぞれは少人数であることが多いものの、拠点としての広がりや密度は次第に大きくなっている。この特徴を研究ネットワークとして発展させる機会を設けるため、本研究集会を開催した。

これらの学校では、高等専門学校のように学生の教育に重点を置きながら研究活動を行っている面が強く、高校生から大学の学部生に相当する若い年代の学生に対して、基礎的な内容を含めた研究発表の機会を与えることで、より高いレベルの観測活動・研究へ向かう意欲を高めることができると考えている。

本研究集会は「電磁圏物理学シンポジウム」と合同で開催した。これにより、より多くの研究者へ観測・教育活動をアピールすることができたと考えている。

参加者数

のべ 92 名（電磁圏物理学シンポジウムと合計の人数）

研究発表とその概要

篠原 学

「"宇宙天気ニュース"による宇宙天気情報の発信」

宇宙天気ニュースは、2017年7月に、累計2,000万アクセス、記事5,000号を記録した。太陽活動の低下に伴って減少しているが、2017年の累計は163万件、1日あたり3,000~4,000件程度を推移している。2017年9月に発生したX9の大規模フレアでは、1日に52,000件と、過去2番目に多いアクセス数を記録した。数日間のアクセス数の推移を分析すると、Twitterや速報メールによる情報拡散の効果や、新聞などのニュースサイトによる影響などを細かく調査することができた。宇宙天気情報を有効に発信するための手がかりとなる。

久田直也 西谷望 堀智昭

「北海道-陸別HFレーダーで観測されるMSTIDの伝搬方向の自動導出」

これまで、MSTIDの解析の多くは目視で行われてきたが、三次元FFTの手法を用いた自動解析を試みた。HFレーダーのドップラー速度のデータをピクセルデータに変換し解析を行う。南西方向・南東方向への伝播の様子を、季節毎に昼夜それぞれの解析を行った。夜間は全て南西方向に20~100m/sの速度を持ち、昼間は一意に定まらない事が分かった。三次元FFTの手法が応用可能であることが確かめられた。

梅村宜生、田中良昌、阿部修司、新堀淳樹、能勢正仁、上野悟（京大）、IUGONETプロジェクトチーム

「国内外における超高層データの利用状況と今後の展望」

IUGONET第二期へ向けて、積極的に外部へ提供することと利用者目線を重視している。各データのQLは合計1,200万枚に達しており、この後、3,000万枚程度になる見込み。大量のデータの中から、関連の高いデータを紹介する機能を作成する。解析ルーチンでは、様々なデータを統一的に扱えるよう、共通のひな形を整える。また、高専など学校の授業で取り扱いやすいよう、取得できるデータの形式に工夫を加えたい。

菊池崇、海老原祐輔、橋本久美子、亘慎一

「地磁気誘導電流の地域依存性」

磁気圏からの電磁波により地面に誘導電流(GIC)が発生し、2地点間に電位差が生じ、送電線に電流が流れる。中・低緯度域でも十分強い電流が流れる(数十~百A)ことが分かってきた。北海道のGICの観測によると、Pi 2、サブストームでは、Byとの相関が良い。一方、SqはBxと相関が良く、周期の依存性が見られる。これは、地下の導体の分布に関係し、深さ方向の構造との関係で周期依存性が現れると考えられる。GICの発生は、海岸線と送電線の方法や地下電気伝導度分布の違いなど、地域依存性が大きい。今後、中国・九州などでの観測が必要である。

橋本久美子、北村健太郎、海老原祐輔、菊池崇

「中国電力におけるGIC測定」

山口県周南市にある東山口変電所の協力を得て、2018年3月に測定器を設置し、地磁気誘導電流(GIC)の観測を開始する。中国地方の送電ネットワークは、東西に伸びる海岸線に沿った配置になっていて、GICと地磁気の関係について、地域依存性を含めた観測・研究に適している。東山口変電所とは、徳山高専を通じて観測協力を依頼することが可能となった。地域的な人脈も重要な要素である。今後、測定機器の追加が見込めるので、2か所めの観測点を探す計画である。

福森美月、池田昭大、野澤宏大、篠原学

「鹿児島県の地上磁場変動」

鹿児島県の桜島は、噴火回数の多い活発な火山である。他の火山において、火山活動に伴う地上磁場変動の影響が報告されているので、桜島について同様の解析を行った。磁場の一日の変動幅を、X成分、Z成分について求め、Z/Hの比の長期変化を2003～2017年について調べた。桜島の活動が少なかった2003～2008年は、0.8程度だったが、噴火回数が増加した2009～2016年は、1に近い値に変化していた。

野澤宏大、池田昭大、篠原学

「太陽紫外線の地上観測」

鹿児島において、太陽紫外線UV-A、Bの観測を継続しており、火山活動によるSO₂の影響を、UV-Bの吸収量の変化として観測を試みている。2018年3月から、霧島連山新燃岳の噴火活動が活発になり、4,500mの噴煙を上げる日も発生している。この中で、3月3日、6日にUV-Bの吸収量が大きくなっていた。この日は、風向きが新燃岳から観測地点の方向に向いていたため、火山ガスが流れてきた影響と考えられる。また、13日にも吸収が強まったが、この日の風向きより桜島の噴火の影響の可能性がある。

北村健太郎、高専スペース連携

「高専連携による電離層電流観測CubeSatの開発計画」

各地の高専に所属する宇宙理学・工学の教員が、30名ほど連携して研究活動を進めている。H26年度より宇宙人材育成事業を継続しており、その中で、CubeSat開発とそれを通じた学生の教育を行っている。CubeSat製作では、技術教育だけでなく、サイエンスミッションの実施も目標としており、徳山高専と高知高専において、電離層電流の観測と木星電波の観測を行う2機のCubeSatを製作している。ISSからの投下による低軌道衛星を計画しており、3か月程度の運用寿命を見込んでいる。

田中良昌、梅村宜生、阿部修司、新堀淳樹、能勢正仁、上野悟

「IUGONETによる異分野データ融合に向けた試み」

超高層大気研究の特徴は、宇宙から地表に及ぶグローバルな観測、扱う物理量が多種である、様々な周期の変動を含み長期変化も重要であることなどがある。これにより、IUGONETは多種多様な物理量データを取り扱うという特徴を持っている。第二期の活動では、オープンデータ、オープンサイエンスへの貢献、国際展開や人材育成などに力を入れている。アウトリーチ活動として、講習会を国内・国外で行っており、アジア、アフリカで積極的な活動を進めている。

成果と今後について

橋本氏による中国電力でのGIC観測は、徳山高専北村氏との人的ネットワークにより実現が可能となった研究である。継続的に本研究集会を行ってきたことによる成果のひとつとすることができ、観測開始後の成果が期待される。

今年は、鹿児島高専の2年生(高校2年生相当)の福森氏による研究発表が行われた。初めての研究発表であり、内容はデータ解析の初期段階であるが、今後も本研究集会の参加を目標に、更に高いレベルの解析を目指して欲しいと考えている。各地の高専学生へ、研究発表の呼びかけを続けていきたいと考えている。

高専グループによるCubeSatの開発は、実機の製作へ向けて動き出しており、サイエンスミッションとしての内容の具体性から、今後、他の観測ネットワークとの連携の議論が始まると考えられる。本研究集会を通じて、幅広く検討が行われることが期待できる。

陸別観測施設設立20周年記念シンポジウム「宇宙から地球まで」
The 20th anniversary symposium of Rikubetsu Observatory
"From Space to the Earth"

長濱智生、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

11月8日（水）及び9日（木）に、「陸別観測施設設立20周年記念シンポジウム ―宇宙から地球まで―」を、ISEE研究集会「北海道-陸別短波レーダー10周年記念研究集会」と同時に、北海道陸別町及び国立研究開発法人国立環境研究所と共同で開催した。

陸別観測施設は、1997年10月に本研究所の前身である太陽地球環境研究所と国立環境研究所が陸別町立りくべつ宇宙地球科学館の2階部分に陸別観測室及び陸別成層圏観測室としてそれぞれ開設したもので、以降20年にわたり赤いオーロラ（低緯度オーロラ）や温室効果ガス、オゾン層破壊気体等の観測を行ってきました。また、2006年にはSuperDARN北海道陸別短波レーダーをポントマム地区に新たに設置し、その後設置された2号機と併せて10年以上継続して電離圏観測を進めるなど、多くの最新鋭の観測装置が設置され、国内有数の太陽地球系環境の観測拠点となっている。

さらに、陸別町と宇宙地球環境研究所を含んだ観測施設に関連する国内の5研究機関による社会連携協議会によって、最先端で研究する科学者による一般向け講演会や小中学校での出前授業を継続して行うなど、町と連携した地域貢献活動も積極的に行われてきた。

これらの活動を記念して、本シンポジウム開催に先立ち、北海道陸別町タウンホールで陸別観測施設設立20周年記念セレモニーを行った。設立20周年記念セレモニーには、観測施設に関連した約30名の関係者・研究者が出席し、野尻秀隆陸別町長から歓迎の挨拶と設立20周年への祝辞をうけた。また、松下裕秀名古屋大学理事があいさつを行い、大学の3つの大きな役割（研究の推進、学生の教育、地域社会への貢献）のすべてに関連した取り組みを陸別で実現できていることへの感謝と今後変わらずの協力をお願いした。また、上出洋介りくべつ宇宙地球科学館長、草野完也宇宙地球環境研究所長もそれぞれあいさつを行った。

本シンポジウムには、陸別観測施設に関連した関係者や観測データを利用する国内外の研究者等約30名が出席し、雪氷・気象、電磁気圏、大気、レーダー科学に関する招待講演6件と、陸別観測と関連した太陽地球系科学に関する15件の研究発表が行われた。なお、シンポジウムの最終プログラムを下に示す（資料1）。

雪氷・気象セッションでは招待講演を中心に、陸別の気象環境を利用したこれまでの実験・研究が紹介された。レーダーセッションでは、SuperDARNレーダーによる研究成果を中心に発表があった。大気セッションでは、地球温暖化に関連する温室効果気体の地球規模での観測と陸別の果たす役割について発表がなされ、また陸別で長期間行われている成層圏オゾンの変動観測の結果について発表がなされた。電磁気圏セッションでは陸別でのオーロラ・大気光の撮像観測や地磁気観測データを利用した研究発表がなされた。

シンポジウムを通じて、陸別での観測をベースとした太陽地球系研究の議論とそれを通じた異なる分野の研究者間の交流を促進することができた。

(資料1) シンポジウム最終プログラム

11月8日				
9:00-9:50	20周年記念セミナー	50 (司会:水野 亮 名古屋大学陸別観測所長)		
		あいさつ	野原 秀隆 陸別町長 松下 裕秀 名古屋大学理事 上出 洋介 リーベック宇宙地球科学館長 草野 完也 名古屋大学宇宙地球環境研究所長	
9:50-10:00	諸連絡	10	世話人・長濱 智生	
10:00-11:00	セッションI	雪氷・気象	座長:長濱 智生(名大ISEE)	陸別町での雪氷分野の実験および最近の研究成果の紹介 ー深層雪崩機開発実験、南極雪上滑走路造成実験、日本一寒い町、陸別の実証ー 南極の降雪量を測る ー陸別での降雪観測を利用してー
10:00-10:30	招待講演	30	亀田 貴雄(北見工大)	
10:30-11:00	招待講演	30	小西 啓之(大阪教育大)	
11:10-12:00	セッションII	レーダーI	座長:寺本 万里子(名大ISEE)	SuperDARN観測と宇宙天気 北海道-陸別短波レーダーを用いたP2地磁気擾乱の研究 ーあらせ衛星との共同観測にむけてー
11:10-11:40	招待講演	30	長妻 努(NICT)	
11:40-11:55		15	寺本 万里子(名大ISEE)	
12:00-13:30	休憩	90		
13:30-15:00	セッションIII	大気I(温暖化関係)	座長:水野 亮(名大ISEE)	地球規模炭素循環に関する最近の研究成果について 衛星及び地上FTIRによる温室効果ガスの観測と陸別における成果 環境データの新しい解析手法ー深層学習 国立環境研究所の研究成果の発信 ー陸別での観測結果を中心としてー 陸別観測所FTIRによる成層圏・対流圏微量分子の長期変動研究
13:30-14:00	招待講演	30	青木 周司(東北大院理)	
14:00-14:15		15	森野 勇(NIES)	
14:15-14:30		15	中根 英昭(高知工科大)	
14:30-14:45		15	広兼 克憲(NIES)	
14:45-15:00		15	長濱 智生(名大ISEE)	
15:00-15:30	休憩	30		
15:30-17:30	セッションIV	電磁気圏	座長:塩川 和夫(名大ISEE)	Storm-substorm relation and its connection to geospace energetic particles 陸別観測所におけるオーロラ・大気光と磁場観測 陸別・信楽の大気光画像を用いた中間圏・熱圏波動の水平位相速度分布の長期統計解析 陸別観測所で観測された下部電離圏変動現象 陸別観測所におけるELF帯磁場観測
15:30-16:00	招待講演	30	Ioannis Daglis (U. Athens & 名大ISEE)	
16:00-16:15		15	塩川 和夫(名大ISEE)	
16:15-16:30		15	土屋 智(名大ISEE)	
16:30-16:45		15	大矢 浩代(千葉大)	
16:45-17:00		15	村井 峻(電通大)	
18:00-20:00	懇親会	@セレモ浜田		
11月9日				
9:00-9:50	セッションV	レーダーII	座長:西谷 望(名大ISEE)	SuperDARN北海道-陸別第一・第二HFレーダーによる電離圏プラズマ・超高層大気変動の研究 陸別を含む大型短波レーダー網で観測される電離圏急変に伴う電離圏対流変動 SuperDARN北海道-陸別短波レーダーによるサブオーロラ帯高緯度の電気伝導度依存性(太陽天頂角)の研究
9:00-9:15		15	西谷 望(名大ISEE)	
9:15-9:30		15	飯田 剛平(名大ISEE)	
9:30-9:45		15	張 玉ティイ(名大ISEE)	
9:50-10:10	休憩	20		
10:10-11:30	セッションVI	大気II(成層圏関係)	座長:町田 敏暢(NIES)	地球大気科学における地上観測と衛星観測 陸別町でのFTIR観測の立ち上げとその後の歩み 陸別におけるミリ波オゾン観測 20年間の経年変化 陸別観測所ミリ波分光放射計による成層圏・下部中間圏オゾンの観測
10:10-10:40	招待講演	30	塩谷 雅人(京大RISH)	
10:40-10:55		15	中島 英彰(NIES)	
10:55-11:10		15	水野 亮(名大ISEE)	
11:10-11:25		15	大山 博史(NIES)	
11:30-11:55	セッションVII	まとめと将来展望	座長:水野 亮、長濱 智生(名大ISEE)	
11:55-12:00	閉会あいさつ	5	世話人・水野 亮	

DKIST 初期観測計画ワークショップ
DKIST Critical Science Plan Workshop

勝川 行雄、国立天文台・太陽観測科学プロジェクト

[概要]

DKIST (Daniel K. Inouye Solar Telescope)はアメリカ・National Solar Observatory (NSO)がハワイ・マウイ島に建設中の口径4m太陽望遠鏡である。2019年にファーストライトを迎え、2019-2020年にCritical Science Plan (CSP)と称する初期観測を実施する。DKISTは太陽表面で50km以下の空間スケールまで分解できる圧倒的な解像度と、高い偏光分光能力により、太陽の光球・彩層の研究を一変させると期待されている。DKISTを推進しているアメリカNSOは、CSP Development Workshopを2017-2018に開催し、DKISTの初期観測で狙う優先度の高い科学課題を同定し、その科学課題に取り組むためにDKISTでどのように観測するのか、初期観測計画をまとめようとしている。

本ワークショップはCSP Workshopのひとつであり、特に太陽大気中での磁気リコネクションや乱流現象に焦点をあてて議論を行うものである。日本の太陽物理コミュニティは、「ひので」衛星がもたらす広視野かつ連続的な光球磁場観測やコロナの観測をDKISTと共同で行うことで、DKISTのみではカバーすることが難しいフレア発生のメカニズムの研究などに応用することを目指している。さらに、JAXAに提案中の公募型小型衛星Solar-C EUVSTで実現される遷移層・コロナの高い分光診断能力を、DKISTによる高解像度な光球・彩層磁場観測と組み合わせることで、光球・彩層・遷移層・コロナの間のエネルギー輸送・散逸プロセスを明らかにすることを目指している。本ワークショップによって、DKISTの観測システムについて理解を深めるとともに、優先度の高い科学課題についてアメリカ・NSOの研究者と議論を行い、共同観測を今後実施していくための基石とする狙いである。

ワークショップを以下のように開催した。

期間・場所：2018年2月26日(月)～28日(水) @ 名古屋大学 坂田・平田ホール

参加人数：30名（うち海外機関からの参加は8名、2カ国）

HP: <https://eclipse2017.nso.edu/science/dkist/dkist-critical-science-plan/workshop-1-2/>

[成果]

ワークショップでは、アメリカ・NSOの研究者からDKISTの装置とCritical Science Plan (CSP)の概要を紹介してもらうとともに、「ひので」やALMAとの共同観測で狙うサイエンスについて、国内の研究者に講演してもらった。また、近年進展がめざましい彩層の数値シミュレーションの結果から、DKISTなら観測できる可能性のあるプロミネンス高速流や彩層のジェット現象の紹介をしてもらった。DKISTの観測装置を使いこなすためには、多様なスペクトル線を科学目的に応じて組み合わせた観測プログラムを計画することが重要である。彩層磁場診断に適したスペクトル線やコロナ観測に適したスペクトル線について、過去に行われた研究と長所・短所をまとめた資料を作成してもらい紹介をしてもらっ

た。講演資料は全てNSOのワークショップのホームページにアップロードしたので、ワークショップ参加者に限らず、DKISTで観測しようとする研究者が閲覧することでき、観測計画を作成する際に役立ててもらうことが可能である。

ワークショップではDKISTの5つのファーストライト装置の機能・性能を模擬するソフトウェアInstrument Performance Calculator(IPC)を使って、観測する波長の選択や必要な測定精度、感度を達成する上で必要な露出時間などについて学習した。さらに各自からDKISTでやりたい観測を提案してもらい、Science Use Case (SUC)として、科学目的や観測内容、装置の設定を記した観測提案書のドラフトを作成した。本ワークショップを通して新しく21個のSUCが提案された。海外で開催された他のCSPワークショップと比較しても、数多くのアイデアが提案されたワークショップとなった。海外の参加者からも若手(学生、ポスドク)が活発にアイデアを出し議論に加わったのがよかったというコメントをもらった。

提案されたSUCはDKISTの国際的なコミュニティの誰もが閲覧しやりとりすることができるよう、JIRAサイトに登録されている。2018年3月現在、SUCは全体で160件にのぼっており、今後国内外の研究者とやりとりしながら共同研究グループを組織して最終的な観測提案に発展させていく計画である。また「ひので」やSolar-C_EUVSTとの共同観測の重要性を、Science Working Group (SWG)や国際会議等の場で発信していくことで、日本の太陽研究者がDKISTの観測データを使える機会を最大限にしていく必要がある。

[ワークショッププログラム・写真]

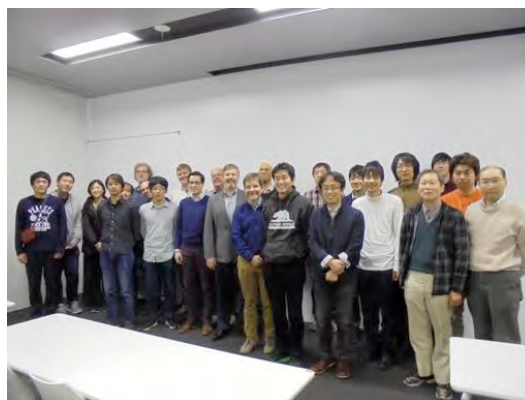
Mon Feb 26

- 10:30 Greetings from the organizers (Katsukawa et al.)
- 10:45 Lessons learned from the HSV workshop (McKenzie)
- 11:15 Introduction of CSP (Rast)
- 11:30 Introduction of DKIST instruments (Schad)
- 12:30 Lunch
- 13:30 Chromospheric line diagnostics capability I (Quintero Noda)
- 13:55 Chromospheric line diagnostics capability II and coronal diagnostic (Schad)
- 14:20 Further diagnostics accessible with DKIST (Reardon)
- 14:45 Introduction/demonstration to IPC, using existing SUC (Reardon+Schad)
- 15:30 Break
- 15:45 1-slide 2-minute presentation of possible science use cases (all; Katsukawa moderates)
- 16:30 Organize in two splinter sessions. Start working (together) on one use case. Details on JIRA etc to be given within the splinters
- 18:00 Adjourn
- 19:00 Workshop dinner



Tue Feb 27

- 9:00 Synergy with HINODE (SOT-SP: Shimizu, EIS: Imada)
- 10:00 Synergy with ALMA (Okamoto)
- 10:30 break
- 11:00 Insight on chromospheric dynamics from current ground-based observations (Vissers)
- 11:30 Insight on chromosphere dynamics from numerical simulations
 - Expected signatures of spicule formation and evolution (Iijima)
 - Expected signatures of prominence condensation and eruption (Kaneko)
- 12:00 Lunch
- 13:00 Work on SUCs development using IPCs within splinters
- 15:30 Break
- 16:00 Continue SUC development using IPCs
- 17:00 Reconvene in plenary session to address general issues/questions etc.
- 18:00 Adjourn



Wed Feb 28

- 9:00 Complete SUC development using IPCs within splinters.
- 12:00 Lunch
- 13:00 Presentation of newly made SUCs / Summary discussion
- 15:30 Break
- 16:00 Introduction of EUVST capability (Imada)
- 16:30 Adjourn &

中緯度 SuperDARN レビューのためのフォローアップワークショップ Review of mid-latitude SuperDARN follow-up workshop

代表者 堀 智昭(名古屋大学宇宙地球環境研究所)

平成 29 年度太陽地球環境研究所研究集会「中緯度 SuperDARN レビューのためのフォローアップワークショップ」は 2018 年 1 月 9-12 日、名古屋大学研究所共同館 II 4F409 室にて開催された。同ワークショップは、2017 年 1 月 10-14 日に同室にて開催された ISEE/CICR 国際ワークショップ"Review of the accomplishments of the mid-latitude SuperDARN network"のフォローアップの役割を果たすものであり、中緯度 SuperDARN に関するレビュー論文を完成させることを主たる目的としている。

世界 12 ヶ国の国際協力に基づく SuperDARN(Super Dual Auroral Radar Network)は、現在南北両極域に併せて約 35 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。その中で 2005 年頃より稼働を開始した中緯度 SuperDARN ネットワークは多岐にわたる分野で目覚ましい成果を上げており、関連論文も含めて 100 編以上の論文を出版している。

集会には、前回の国際ワークショップで設定した 5 つのカテゴリー(Convection, Irregularities, Propagation, Ion-neutral Coupling, MHD waves)のリーダーの内 4 人(Mike Ruohoniemi, Jo Baker, Sasha Koustov, Mark Lester)が来日して参加し(残り 1 人のリーダーである Simon Shepherd および若手代表の Evan Thomas は Zoom 会議により一部参加)、日本側参加者である西谷、堀とともに、前回からのレビュー論文の執筆の進展、細かい内容・形式に関する議論・確認、等を行った。また上記以外の時間は実際の執筆作業に費やされた。

会議終了時には、実際の文章の大部分が書かれ、あとは残りの文章の完成及び細部のフォーマットの統一、修正を残すだけになった(目次を添付)。集会の最後においては、進行状況の確認、今後の進め方について議論・確認が行われた。関係者への内容確認も含めて数回論文原稿を回覧し、最終的には 2018 年 5 月末までに投稿するというスケジュールが設定された。

なお、集会の合間の 1 時間を活用し、SuperDARN 総責任者である Mark Lester 氏による ISEE/CICR colloquium が ISEE のスタッフ、学生を対象として開催され、約 20 名の参加者があった。同氏が所属するイギリス・レスター大学の研究グループによる最近の研究活動の紹介が行われ、学生も含めて非常に有意義な交流が行われた。

Review of the accomplishments of mid-latitude SuperDARN

Contents (tentative, showing only sections – subsections omitted)

Abstract

1. Introduction
2. Convection
3. Ionospheric Irregularities
4. HF Propagation Analysis
5. Ion-Neutral Interactions
6. Magnetohydrodynamic Waves
7. Future directions

太陽研連シンポジウム Japan Solar Physics Community (JSPC) Symposium

横山 央明、東京大学・大学院理学系研究科地球惑星科学専攻

【集会の概要】

太陽研連シンポジウムは、太陽研究者連絡会（太陽研連）が組織する、太陽物理学に重心をおいた研究集会である。太陽研連（Japan Solar Physics Community ; JSPC）は、全国の大学および研究機関で太陽物理学やそれに関連した学問を研究している研究者や大学院生が参加した研究コミュニティ団体であり、現在の会員数は約200名である。

太陽研連シンポジウムは、主に日本国内で推進されている太陽およびその関連研究について、最近の科学成果をレビューすることで、太陽研究動向を広くかつより深く理解をし、また太陽研究の将来について参加者同士で討議して研究方向性についての共通意見形成を図ることを主たる目的としている。これは、限られた発表時間のなかで成果発表講演を行う通常の学会とは主たる目的が異なっており、レビューに基づく科学討議や研究方向性の合意形成に重心を置いている。加えて、太陽研究と、太陽系科学（地球惑星磁気圏でのプラズマ物理や惑星科学）、宇宙天気・宇宙気候といった地球環境への太陽影響研究、天文学（恒星物理、ブラックホールなど磁気流体物理）や実験室プラズマ（磁気リコネクション）など、共通の物理を扱う周辺の研究領域との研究交流がますます重要となっていることから、そのような研究領域との研究交流を促進させ、学際的な研究アイデアを膨らます機会としても本シンポジウムは位置付けられている。

現在、日本の太陽物理学分野では、次期太陽観測ミッションEUVSTを中心とした将来計画の明確化が課題となっている。そのため、今年度の太陽研連シンポジウムでは、日本のスペースおよび地上観測からの太陽研究の方向性・将来像をコミュニティ・ワイドに検討することとした。また、「ひので」を中心とした近年の太陽観測衛星や地上観測で得られた観測的成果および数値シミュレーションで得られた理論的成果など、太陽物理学の進展を共有した。加えて、太陽物理周辺諸分野の研究進展をレビューすることで太陽物理学との関連、位置付けおよび将来展望を議論する。特に、「あらせ」など太陽系科学分野の動向や太陽型星スーパーフレアについて議論するセッションを設けた。主要なセッションは下記の通りであった。

- 観測所・プロジェクト報告
- 小型EUVSTミッションと太陽研究の将来展望
- 太陽物理学の直近成果および周辺分野との連携

本研究集会は主要な大学・研究機関の持ち回りで開催しており、今回は京都大学大学院理学研究科で開催された。

【参加者数】

本研究集会には、主に国内から80名を超える参加者があった。シニア層から、大学院生・学部生まで幅広い参加があり、日本での太陽物理学分野の中心的なシンポジウムであることを裏付けている。

【集会の成果】

本研究集会は主要な大学・研究機関の持ち回りで開催しており、今回は京都大学大学院理学研究科で開催された。今年度のシンポジウムでは特に、「あらせ」など太陽系科学分野の動向や太陽型星スーパーフレアについて議論するセッションを設けた。

●観測所・プロジェクト報告

各観測所・プロジェクトから、現状の報告や直近の成果などが報告された。

●小型EUVSTミッションと太陽研究の将来展望

EUVSTミッションで想定される観測ターゲットとして、太陽大気中の波動現象、スピキュール、彩層ジェット現象、太陽風加速、磁気リコネクション、粒子加速機構、フレアトリガー機構、コロナ磁場推定などについて、科学的課題の研究の進展やEUVSTでの展望が報告された。また、EUVST打ち上げ頃に想定される、PhoENiXなど他の飛翔体計画との連携、ALMAや地上大型光学望遠鏡との連携、国内の地上望遠鏡の将来展望、太陽系科学との連携などについて報告・議論がなされた。

●太陽物理学の直近成果および周辺分野との連携

スーパーフレアや星震学、恒星分光解析、ジオスペース「あらせ」による成果報告、太陽観測衛星・飛翔体「ひので」「IRIS」「CLASP」による研究成果や、Parker Solar Probeなどの将来の衛星ミッションでの観測提案、ALMAや東北大の電波望遠鏡AMATERASによる研究成果、理論・シミュレーション研究の進展、人工知能AIを活用した太陽フレア予測研究の進展など、幅広い分野についての報告があった。

本シンポジウムでは上記のように、日本の太陽物理学分野における進展や将来展望が報告され、加えて議論の時間を十分に確保したことから、活発な意見交換がなされた。研究者コミュニティとしては、今後引き続き、EUVSTが打ち上がる頃の太陽物理学研究の展望や、地上望遠鏡との連携、さらにより長期の戦略について、加えて分野を超え周辺分野(恒星物理、太陽圏・惑星科学、プラズマ物理など)との一層の連携について、継続して議論する必要性の認識を共有した。



写真:シンポジウムの様子

アジア太平洋太陽物理学会合2017
Asia-Pacific Solar Physics Meeting 2017

柴田 一成、京都大学・大学院理学研究科附属天文台

【集会の概要】

アジア太平洋地域における太陽物理学研究は、日本の太陽観測衛星「ひので」（2006年～）、インドの太陽X線観測衛星「SOXS」（2003年～）、中国の新太陽電波ヘリオグラフ（2015年～）や口径1m真空太陽望遠鏡（フーシャン湖NVST、2011年～）、米国の口径1.6m太陽望遠鏡（ビッグベアNST、2011年～）など、人工衛星・地上観測の装置の観点だけでも、著しい発展を遂げています。また、アジア太平洋地域の急速な太陽物理学分野の発展に伴い、中国・インド、日本・韓国といった2国間連携を中心とする国際共同研究の推進も活発に行われています。特に日本では、天文学分野において、学会の国際化の議論、学会誌の統合、東アジア各国の天文学会と合同開催などの議論が10年以上にわたり続けられており、この流れをリードする形で、申請代表者（柴田）を中心に、2013年春の天文学会年会の企画セッションの枠を用いて太陽物理学・宇宙天気に関する日韓天文学会合同のセッションを開催しました。

本研究集会「アジア太平洋太陽物理学会合（Asia-Pacific Solar Physics Meeting: APSPM）」は、この地域の太陽物理学分野の研究交流を一層加速し、最新の研究成果を共有したり、共同研究を推進したりすることを企図し、2011年から2年に1度開催されています。今回、通算第4回目となるAPSPMは、初めて日本で開催されました。また今回の研究集会では特に、アジア太平洋地域における、太陽物理学分野周辺の研究領域（太陽系科学、宇宙天気・宇宙気候、恒星物理学）との研究交流をも促進されるよう、招待講演者選定やプログラム作成に配慮をしました。

本研究集会では、4つのセッション「装置開発の進展と将来計画」「太陽外層大気の電磁流体プロセス」「太陽フレア・噴出現象と宇宙天気予報」「太陽内部構造と太陽・恒星活動サイクル」を設け、それぞれに基調講演・招待講演を、また一般講演の枠を設けました。

加えて本研究集会は、この地域の途上国支援・若手支援の側面も持ち合わせています。本研究集会は、名古屋大学宇宙地球環境研究所研究集会経費の他、新学術「太陽地球圏環境予測（PSTEP）」、国立天文台、京都大学教育研究振興財団からの支援を受けて開催されましたが、これらの財政的な援助により、アジア太平洋地域を中心に多くの国からの参加を受け入れることができました。

【参加者数】

今回の会議では、15ヶ国（日本・中国・インド・韓国・台湾・オーストラリア・米国・インドネシア・チェコ・マレーシア・サウジアラビア・ロシア・ノルウェー・ニュージーランド・英国）から150名（内、海外からは90名）に上の参加がありました。本研究集会の基幹国（日本・中国・インド・韓国・台湾・オーストラリア・米国）以外の、発展途上国を含む多くの国から参加者がありました。



会議の集合写真（京都大学国際科学イノベーション棟シンポジウムホールにて）

【集会の成果】

4つのセッションでは、総数50件の口頭講演がありました。また、ポスター講演は90件ありました。本研究集会は、若手研究者を対象とした表彰の制度も充実しています。今回は、これまでの研究業績に対するYoung Career AwardがP. F. Chen氏（中国）に贈呈されました。その記念講演では、参加者が熱心に聞き入り、質疑応答でも時間を忘れて議論が展開されていました。また、本研究集会中の講演に対するBest Presentation Awardが設けられていたため、口頭講演の研究内容もさることながらプレゼン技術も大変高く、ポスター発表の時間も、各所で活発に議論する姿が各所で見られました。本賞は、今回はG. Hazra氏（インド）、鳥海 森氏（日本・国立天文台）、Q. Hao氏（中国）に贈られました。

本研究集会では、太陽物理学分野周辺の研究領域との研究交流を促進するため、特に、セッション「太陽フレア・噴出現象と宇宙天気予報」を設け、太陽噴出現象・宇宙天気予報を主要議題の一つとしました。加えて、セッション「太陽内部構造と太陽・恒星活動サイクル」では、太陽活動の長期予報（太陽磁場生成機構）についても、議論しました。

今回の研究集会を通して、今後、アジア太平洋地域に展開されているさまざまな観測施設のデータ解析が促進され、またそれらを通じた学生・若手研究者・発展途上国の研究者等を支援することが可能になると期待されます。さらに、今後アジア太平洋地域の大型将来計画として、すでに建設・開発が始まっている米国・ハワイのDKISTやインドのAditya衛星をはじめ、インド2m望遠鏡、中国8m望遠鏡、日本小型EUVST衛星等がありますが、これらはいずれも国際協力を必要とする大きなプロジェクトであり、本研究集会によって計画の内容を共有することができました。これにより、アジア太平洋地域における人材交流を促進しより強固な協力関係を築くことができると期待されます。

宇宙素粒子若手の会 応用部門

池田大輔、東京大学宇宙線研究所

本研究集会は、2016年3月に発足した宇宙素粒子若手の会が運営を担い、10月17日に東京大学柏キャンパス宇宙線研究所にて開催された。研究会の応用部門として、検出器の基礎物理以外の分野への応用を中心に議論を行った。今回は環境測定と物理を題材とし、基礎物理とその応用に対して理解を繋げることを目的とした。

なお本研究集会は、10月15日と16日に宇宙線研究所、宇宙線研究者会議の支援により行われた宇宙素粒子若手の会秋の研究会と連続して開催し、参加者の募集等を一体化して行った。これはできる限り多くの参加者に旅費を支給するためである。

参加者は21名、うち発表者7名であった。15・16日の研究会と合わせ、参加者全員がどちらかで口頭発表することとした。

発表題目は

- ・ テレスコープアレイ 実験地表検出器を用いた空気シャワーフロント構造の研究：高木 芳紀（大阪市大）
- ・ 地下の環境中性子測定：水越 隼太（大阪大）
- ・ TA実験における魚眼CCDを用いた夜間天候モニタリングシステムの開発：中村 凌（信州大）
- ・ Radon monitoring in the Kamioka Mine : Guillaume Pronost（東大 ICRR）
- ・ 方向に感度を持った暗黒物質探索実験NEWAGE：池田 智法（神戸大）
- ・ GRAINE2018年気球実験準備状況：中村 悠哉（名古屋大）
- ・ Measurement of $\Gamma(K^{+} \rightarrow e\nu)/\Gamma(K^{+} \rightarrow \mu\nu)$ using stopped K^{+} in J-PARC E36 Experiment：伊藤 博士（神戸大）

であった。内容についてはhttp://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/YMAP/event/event_sub/conf2017/index.htmlで公開している。

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。

各発表では、応答関数などの特性、データ解析法、較正法、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・開発などについての議論が行われた。これにより、宇宙線観測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った。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。活発な議論や質問を通じて参加者同士の交流も深まった。参加者へのアンケートでは約8割が「来年度も参加したい」と回答しており（残りは「どちらともいえない」）、今後も継続して開催していきたいと考えている。

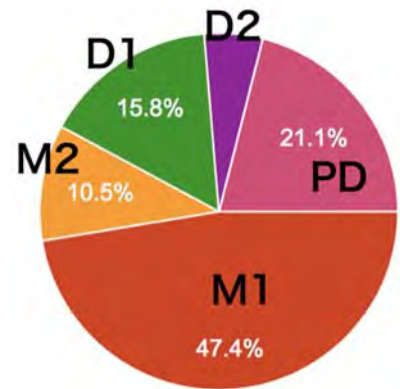


図 1：参加者の内訳

太陽観測データにおける特徴検出ワークショップ2017
Feature Recognition in Solar Observation Workshop 2017

飯田 佑輔、関西学院大学・理工学部

【概要】

太陽観測は、太陽全球からより微細な構造を目指して進んできた。しかし、このような微細構造と太陽全球の活動性との関係は、人の目や手を基本とした解析で迫ることは難しい状況である。そこで、膨大な観測データから必要な情報を取り出す手法として、コンピュータによる画像認識手法を習得する、ワークショップ型の研究会を開催した。本年度は、太陽の彩層・コロナなどの外層大気観測データで見られる、磁気ループ構造の検出手法をAschwanden博士が作成したOCCULT-2コードを元にして学んだ。

本ワークショップは、平成30年3月26日-29日の3日間において、国立天文台三鷹キャンパスで行われた。学部生から准教授までの16名が参加した。初日は、OCCULT-2コードの基本原理の説明、また主催者が準備した解析用データ（Hinode/SOT, XRT, EIS, SDO/AIA, IRIS, Hida/DST）の説明を行い、各自でOCCULT-2コードの実行を行なった。2、3日目は各々が興味ある解析データの解析を行った。2・3日目の午後に、各自の進捗状況やさしあたっている問題共有を行う、報告会を行った。

【成果】

X線におけるシグモイド構造検出

太陽フレアの発生前に、磁気ループのS字または逆S字構造（シグモイド構造）が見られることが報告されている。Hinodeに搭載されたX線望遠鏡のデータにOCCULT-2を適用することで、シグモイド構造の検出に挑戦した。

シグモイド検出に当たって問題となったのは、OCCULT-2ではループ構造追跡の際に、曲率が大きく変化しないという過程を用いていることである。通常のコロナ磁気ループ構造は、ポテンシャル磁場構造に近いので、曲率が大きく変化することはない。しかし、磁気エネルギーが蓄積されていると考えられるシグモイド構造では、曲率の正負が変化する。そこで、OCCULT-2コードのループ追跡部分を書き換えることで、シグモイド形状まで適用できるように拡張を行った。Hinode/XRTの観測データに適用した結果を図1に示す。図1より、S字構造を捉えている（青線）。一方で、太さのあるループ構造は、検出されていないこともわかる。

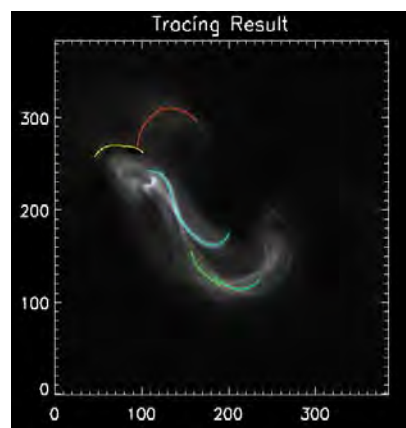


図1. Hinode/XRTに適用した結果。背景が観測されたX線イメージ、実線が改良したOCCULT-2で検出されたループ構造。

H α 線におけるファイブリル構造検出

太陽黒点周囲の彩層では、ファイブリルと呼ばれる筋状の吸収構造が見られる。京都大学飛騨天文台 DST 望遠鏡による、高空間分解能の H α 線画像に OCCULT-2 を適用することで、ファイブリルの自動検出に挑戦した。

図 2 に、OCCULT-2 コードへの入力パラメータ変化をさせ、さらにループ検出前の masking 手法を変更して得られた結果を示す。背景は観測された H α 線画像を示し、このデータでは中心部に黒点が見える。黒点を中心として、その周囲に渦巻き状に存在している黒い筋状構造がファイブリルである。この検出パラメータでは、比較的良好に筋状構造の向きを捉えている。一方で、太い筋ではいくつかのループに分かれて検出される等の問題点も見られる。

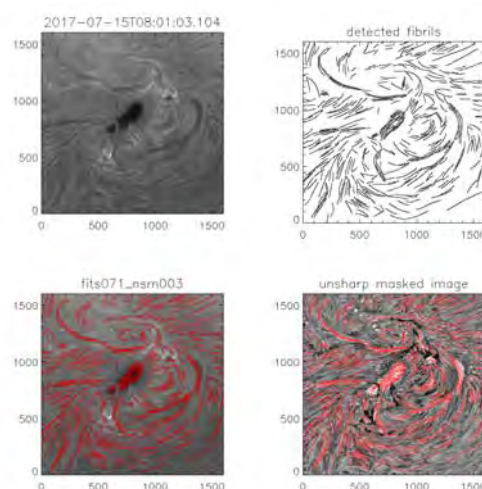


図 2. Hida/DST の H α データに適用した結果。背景が観測された H α 線におけるイメージ、実線が OCCULT-2 で検出されたループ構造。

ALMA における筋状構造検出

近年から観測を始めた ALMA 望遠鏡 (Atacama Large Millimeter / submillimeter Array) は、これまでにない高空間分解能の彩層観測データを提供している。そのような高空間分解能データにおける筋状構造の検出に挑戦した。

本課題で問題となったのは、ALMA データで見られる干渉縞構造である。ALMA の干渉計データから画像復元を行う際に、高空間分解で復元を行うとどうしても干渉縞が生じてしまう。OCCULT-2 コードでは、そのような微細な干渉縞を検出してしまふことが分かった。そこで、敢えて低空間分解能で画像復元を行うことで、ある程度干渉縞の検出を抑制できることがわかった。

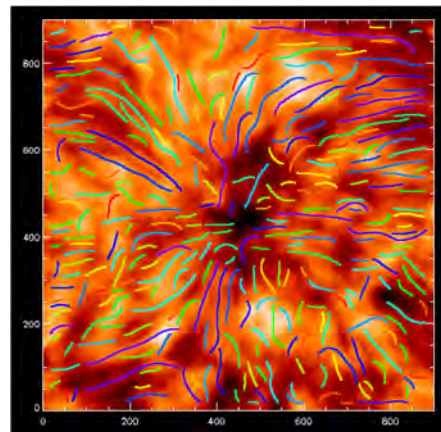


図 3. ALMA による彩層観測データに適用した結果。背景が観測された彩層イメージ、実線が OCCULT-2 で検出されたループ構造。放射状の筋構造に加えて、横方向の干渉縞も検出されている。

台風セミナー2017
Typhoon seminar 2017

大野知紀（海洋研究開発機構）

台風セミナー2017が、2018年3月23-24日に名古屋大学(研究所共同館I 3階大講義室/研究所館II 3階RB2-3ホール)で開催された。このセミナーは、台風研究において「これまでに何が理解され、いま何が理解されていないのか、もしくは理解することが求められているのか？それらの理解のためにはどうすればよいのか？」を徹底的に議論する試みとして2011年にはじまり、第7回目となる今回は、名古屋大学宇宙地球環境研究所と日本気象学会台風研究連絡会の共催として行われた。

本研究集会での主要なイベントとして、2日間の日程において、台風内部コア領域に関する精力的な観測・モデル研究により大きな実績を上げてきたThe United States Naval Research LaboratoryのDr. Daniel P. Sternを講演者として招き、台風の内部コアおよび境界層について、詳細でありながらも包括的にまとめられた内容を6時間あまりにわたって講演頂いた。また、新しい参加者の中にはセミナーの内容が難しく感じられた方もいる、といった先の開催における意見を基に、台風研究の入門的な講義の時間を設けることを試みた。今回は名古屋大学の辻野智紀博士に台風物理学の入門的な内容を講義頂いた。その他に、国内の研究者による7件の口頭発表が行われた。参加者は講演者のほか、国内外の研究者や学生、気象庁職員、民間企業の関係者など10の機関より28名であった。

Daniel Stern氏は、台風の内部コア領域の航空機観測の歴史を繙くことを出発点とし、台風の内部コアに関する研究コミュニティにおけるコンセンサスの一部は、非常に数の少ない研究事例に基づいてなされてきたことを解説した。また、対流圏中層に形成される暖気核構造の詳細な形成メカニズムの解析結果を示し、軸対称的な二次循環が成因であるといった、一般的に理解されている描像が必ずしも成立せず、構造変化への理解向上の余地があることを解説した。また、今回の新たな試みであった入門講義では、辻野智紀氏は台風の構造・発達の理論について、最低限必要な基礎知識から丁寧に解説した。大学院生をはじめとした若手の参加者も積極的に議論に参加した他、参加者の理解やその体系に個性が見られ、幅広い参加者の間で盛んな議論が行われた。国内の研究者による口頭発表では、名古屋大学を中心として実施されている台風の航空機観測、および得られたデータを用いた研究の他、台風の温暖化応答や気象庁強度予報モデルSHIPSの現業利用に向けた取り組みなど幅広いテーマが扱われた。

今回のセミナーでは、質疑応答に十分な時間をかけられるよう、また参加者全員が研究背景を理解した上で講演者の発表内容について議論できるように工夫した。また、質疑に時間に十分な余裕を持たせることで、様々な背景をもつ研究者による活発な議論が起こっており、各

テーマに対する講演者と参加者の理解は確実に深まっていた。また、Daniel Stern氏のグループと今後の共同研究を進めていくために必要な結びつきも得ることができた。



写真 台風セミナー2017 参加者の集合写真

磁気圏ダイナミクス研究会
Workshop on magnetospheric dynamics

家田章正、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

本研究集会は、磁気圏ダイナミクスを理解することを目的とし、2018年3月19日(月)-20日(火)に、名古屋大学内にて開催され、講演28件、出席者77名であった。本研究会では、下記プログラムの様に、地球磁気圏研究者だけではなく、太陽研究者、惑星研究者が参加した。例えば、典型的なアルフベン速度は、磁気圏サブストームと太陽フレアで類似しているが、非磁化惑星においては大きく異なることなど、磁気圏ダイナミクスを広い視野から理解する試みが行われた。

研究集会名：磁気圏ダイナミクス研究会

日時：2018年3月19日(月)-20日(火)

場所：名古屋大学 野依記念学術交流館（名古屋市千種区不老町）

研究集会世話人：

家田章正、三好由純、増田智（名大ISEE）、門倉昭（極地研）、田口聡（京大）、齋藤義文（宇宙研）、寺田直樹（東北大）

一日目（3/19（月））

1300：受付開始

1325：開会

1330-1500：座長：増田智

1330-1345：今田晋亮（名大）：フレアとサブストームにおける共通性

1345-1400：塩川和夫（名大）：サブストーム発生機構に関する議論

1400-1415：草野完也（名大）：太陽フレアの開始過程

1415-1430：原田裕己（アイオワ大）：MAVENとMars Expressによる火星磁気圏ダイナミクス観測

1430-1445：清水徹（愛媛大）：FKRテアリング不安定性理論の検証

1445-1500：家田章正（名大）：尾部リコネクション領域の移動

1500-1530：休憩

1530-1730：座長：寺田直樹

1530-1545：高田拓（高知高専）：惑星間空間磁場に応答する水星磁気圏の調査

1545-1600：二穴喜文（Swedish Institute of Space Physics）：Solar Wind Interaction and Impact on the Venus Atmosphere

1600-1615：今井雅文（アイオワ大）、他：Jupiter's Auroral Radio Sources as Viewed from Juno

1615-1630：寺田直樹、寺田綱一郎（東北大）：強磁場惑星の電離圏電気伝導度について

1630-1645：小原隆博（東北大）：Transpolar Arc 出現時に発生するオーロラオーバルの部分的増光について

1645-1700：門倉昭（極地研）：SCに伴うオーロラ活動と磁気圏変動

二日目(3/20(火)) :

0900-1015: 座長: 三好由純

0900-0915: 高橋直子(東大)、他: 磁気嵐・サブストーム活動度とのPc5脈動の関係性についての研究

0915-0930: Hwang Junga (KASI)、他: Roles of hot electrons in generating upper-hybrid waves in the earth's radiation belt

0930-0945: 北村成寿(宇宙研)、他: MMS衛星観測データを用いた外部磁気圏におけるイオンとEMIC波動間のエネルギー輸送の直接計測

0945-1000: Heqiucen XU(名大): Statistical analysis of severe magnetic fluctuations in the near-Earth plasma sheet observed by THEMIS-E

1000-1015: 藤田茂(気象大)、他: Variations of the dayside magnetosheath and the cusp and their relations to the substorm

1015-1030: 休憩

1030-1145: 座長: 梅田隆行

1030-1045: 近藤光志(愛媛大): 地球磁気圏昼側境界における非対称磁気リコネクション: 数値計算と観測の比較

1045-1100: 田口聡(京大)、他: 北向きIMF時のカusp電子オーロラの太陽風速度依存性

1100-1115: 銭谷誠司(京大)、他: Kinetic modeling of magnetic reconnection: Reconnecting the dots

1115-1130: 上野玄太(統数研): 分布関数からデータ同化へ

1130-1145: 片岡龍峰(極地研)、サブストームオンセットの衛星地上同時観測データ紹介

1145-1300: 休憩:

1300-1430: 座長: 今田晋亮

1300-1315: 関華奈子(東大)、他: あらせ衛星観測に基づく内部磁気圏分子イオンの特性の研究

1315-1330: 西塚直人(NICT): 太陽フレアの磁気リコネクション観測とサブストームとの比較

1330-1345: 宮下幸長(KASI)、他: A case study of near-Earth magnetotail conditions at substorm and pseudosubstorm onsets

1345-1400: 三好由純(名大): あらせ

1400-1430: 議論: 磁気圏衛星観測の現状と将来

1430: 閉会

第19回 惑星圏研究会 The 19th 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19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。また、2018年秋の打上げが間近の日欧水星探査ミッションについては科学検討が本格化している。一方、2020年代の打上げを目指した火星や木星及びそれらの衛星をターゲットとした探査ミッションの科学検討や搭載機器開発も精力的に進められている。これらは「水惑星・氷衛星」という新しい視点でのサイエンスを含んでおり、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、更には、比較惑星学的な広い視点での系外天体研究等に対しての研究展開・将来検討が更に重要になってきている。今回の研究会は、これらの背景を鑑み、惑星・衛星の外層～表層～下層を結んだ研究、比較惑星学的な視点での研究に特にスポットを当て、これまでの本研究会で主テーマであった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、先ずはこれら広い領域の研究者同士の相互理解とのためのキックオフ・ミーティング的な意味合いを持つ、従来の本研究会より拡大した内容・構成とした。このため、STP領域、惑星科学領域の多くの機関の研究者からなるSOCを立ち上げ、両領域の第一線で活躍される多くの研究者による基調講演・招待講演を軸にしたプログラムの下で開催した。

尚、本研究会は、名古屋大学宇宙地球環境研究所研究集会の他、東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻太陽惑星空間系領域、新学術領域研究「水惑星学の創成」、地球電磁気・地球惑星圏学会 小型天体環境分科会、神戸大学大学院理学研究科・惑星科学研究センター、東北大学宇宙航空研究連携推進委員会との共同開催で実施した。

参加者数：100 名

内容：

平成30年2月27日～3月1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48件（基調講演10件、招待講演25件、一般講演13件）、ポスター講演39件の計87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.gp.tohoku.ac.jp/workshop.html>

平成30年2月27日

13:00-13:05 開会の辞

13:05-14:45 若手セッション

招待講演6件（博士課程学生、修士課程2年生 計6名による研究紹介と議論）

15:00-17:50 惑星気象学セッション

基調講演1 比較惑星気象学の現状と将来展望，高木征弘（京産大）

基調講演2 地球のエネルギー収支と気候，早坂忠裕（東北大）

基調講演3 データ同化の現状と将来展望，杉本憲彦（慶大）

他 招待講演 4件

18:00-19:00 ポスターセッション-1 講演 39 件（奇数番号講演コアタイム）

平成29年2月28日

8:40-09:00 惑星気象学セッション（続）

招待講演 1件

09:00-12:30 巨大惑星・系外天体セッション

基調講演4 衛星研究の現状と将来展望, 木村 淳(阪大)

基調講演5 巨大惑星磁気圏研究の現状と将来展望, 木村智樹(理研)

基調講演6 巨大惑星大気研究の現状と将来展望, 佐柳邦男(ハンプトン大)

他 招待講演 5件, 一般講演 1件

13:30-14:30 ポスターセッション-2 講演 39 件(偶数番号講演コアタイム)

14:30-18:20 水惑星学セッション

基調講演7 地球型惑星の形成と大気・海の起源について, 玄田英典(東工大)

基調講演8 火星の脱ガス進化史に関するレビュー, 小池みずほ(東大)

他 招待講演 4件、一般講演 4件

18:35-19:15 将来構想セッション

一般講演 4件

19:30-21:00 懇親会

平成30年3月1日

9:00-12:25 月・地球セッション

基調講演9 日本の月探査の新しい時代, 春山純一(ISAS)

基調講演10 磁気圏研究の現状と将来展望, 三好由純(名大)

他 招待講演 5件、一般講演 1件

12:25-12:30 閉会の辞

成果等：

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、また、系外天体研究迄含めた広い領域の研究紹介と議論の機会を設け、STP 分野、惑星科学分野の多数の研究者の参加により（昨年までの本研究会と較べ2〜3割増）、研究現況と近未来の各種ミッションの情報を共有出来た。また、海外在住の研究者による本領域研究の世界的動向と将来計画等の紹介と併せて議論もなされ、今後の将来展望・新規計画を考案してゆく大事な機会ともなった。今回は各研究領域の相互理解を深めるために、各講演者には、研究背景の紹介にも特に留意頂くとともに、専門用語の理解のし易さを重視し、従来、国際化を意識した本研究会の講演形式であったスライド等の英文標記を今回は特に推奨せず、和文標記も受け付けた。各講演者には分かり易い研究紹介も行っており、今回の研究会の企画意図・講演方式は参加者からは好評であった。尚、先回の研究会でも実施した、本研究領域の将来を担う若手研究者・学位取得直後の大学院生等による研究紹介についても、今回は特に独立したセッションを設けて行った（このセッションの口頭講演者はポスター講演も併せて行った）。フレッシュな講演の数々に対し、ポスター講演も含め、特に活発な討議が行われたことも申し添える。

尚、本研究会の講演の要旨・スライドは、研究会 HP において平成 30 年 4 月以降に公開予定である。

第18回ミリ波テラヘルツ波受信機ワークショップ
Workshop on mm-wave and THz detector technology

前澤 裕之、大阪府立大学大学院理学系研究科物理科学科

1. 研究会の概要

本研究集会は、地球惑星科学や天文学のミリ・サブミリ波帯の電波観測の鍵を握るミリ-テラヘルツ帯の超高感度ヘテロダイン検出器、超伝導フォトン検出器、低雑音増幅器、発振器、機械式冷凍機などに関わる最先端テクノロジーの創出・基礎技術の拡充・応用を目指すべく、最新の情報を幅広く議論する場を提供することを目的としている。超伝導ミクサ検出素子の高感度性能は、電波天文学を飛躍的に発展させ、さらには地球大気観測にも応用されてきた。例えば国際宇宙ステーションの日本実験棟(きぼう)暴露部に搭載した超伝導サブミリ波リム放射サウンダ(SMILES) (JAXA/NICT)や名古屋大学宇宙地球環境研究所が推進する地球中層大気計測装置などで威力を発揮してきた。今後、さらなる技術や新素材の革新により、未開拓波長域であるテラヘルツ領域への高周波化などによる地球惑星大気観測や天文学観測の発展や、既存の枠にとらわれない観測の創出が期待される。本年も大阪府立大学、名古屋大学、NICT、JAXAや国立天文台、KEK、理化学研究所、東京大学、電気通信大学、茨城大学、筑波大学、関西学院大学をはじめ、関連民間企業含め、全国で活躍するこの分野の研究者・エンジニアが一同のもとに集い、国際競争力・推進力の向上・効率化、基礎技術力の裾野拡充・継承、人材育成を目指す。

2. 報告および成果

2018年2月22日～23日の2日間、国立天文台(三鷹)において「第18回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ」として開催した。今回は「第4回 理研NICT合同テラヘルツワークショップ」と合同で開催され、18の機関・企業から計120名の参加があり、招待講演4件を含めた口頭講演23件、ポスター講演50件、展示ブース1件という盛況な内容となった。講演では、次世代のSMILES2プロジェクトや、名古屋大学ISEEの地球大気観測装置、ALMAや国立天文台、筑波大、名古屋大、大阪府立大が運用する電波望遠鏡に関わる新規開発、KEKによるCMB偏光観測実験のための新機能受信機開発などの議論が活発に行われた。また、100Gbit/sを目指す300GHz帯無線通信技術や、InP HEMT、磁性薄膜を用いたミクサ、THz-TDSによる高额定数測定の高精度化、テラヘルツ光子計数、量子カスケードレーザによるTDS、変調器型光コム、小型テラヘルツ波光源に向けたマイクロリング共振器を用いた光周波数コム光源、パラメトリック波長変換によるテラヘルツ光スペクトルの観測などの基礎技術についても熱い議論が行われた。これらは、将来の地球大気環境計測や電波天文学の、高感度化、高信頼の較正、コストダウン/低消費電力化/小型化、高周波・広帯域化、高速処理・周波数高分解能計測のなどの発展/応用や、さらなる萌芽的なサイエンスの研究の展開において、重要かつ横断的な要素技術であり、今後より濃密な議論・情報交換を行っていくことが望まれる。

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）の様々な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（仮題）」計画を提案する予定である。マスタープラン2020への提案に向けて、これまでに作成した提案書を基にして、改めて地球観測用航空機の仕様や観測対象・観測計画についての議論を深め、相互理解を促進することを目的として本研究集会を開催した。

研究集会は12月25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。12の大学・研究機関・民間企業から29名の参加者があり、10件の講演が行われた。この研究集会は、旧地球水循環研究センター時代より4回目の研究集会である。これまでの研究集会の議論に基づいて競争的資金に応募し、採択された気象分野における2件の航空機観測の研究課題（科学研究費補助金基盤S「豪雨と暴風をもたらす台風の力学的・熱力学的・雲物理学的構造の量的解析（研究代表者：坪木和久名古屋大学教授）」およびアラブ首長国連邦降水強化プログラム「乾燥・半乾燥地域における降水強化に関する先端的研究（研究代表者：村上正隆名古屋大学特任教授）」）による航空機観測が研究集会に先立って実施されていた。研究集会では、これらの観測の初期解析の結果が複数の講演により紹介された。また、ドイツにおける民間航空機を用いた温室効果ガス観測の現状や、ドローンを用いた植生観測の現状、北極における人為起源酸化鉄観測の計画などについての紹介もあり、活発な議論が行われていた。

研究集会に先立って、同日の午前中に地球科学分野における観測用航空機の導入に向けた委員会も開催された。この委員会では航空宇宙学会との連携や、導入すべき機種の見直し、JAXAとの連携や航空気象分野での現在の課題などについての議論が行われた。

今後とも、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するとともに、地球惑星科学分野の観測を行うための専用航空機の導入に向けた議論を行っていくためにも、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。

- ・ UAE 降水強化プロジェクトにおける航空機観測の概要と初期解析結果
村上正隆（名古屋大学）他
- ・ 民間旅客機を利用した国内外の大気微量成分観測の紹介
梅澤 拓（国環研）他
- ・ 航空機観測による人為起源酸化鉄の大気中濃度の解明

- 茂木信宏（東大院理）他（講演は小池 真による）
- 地球表層物質循環研究のための有人・無人航空機の利用
金谷有剛（JAMSTEC）他
 - T-PARCII プロジェクトにおける台風の航空機観測：台風 LAN の航空機観測の概要
坪木和久（名大宇地研）
 - 航空機ドロップゾンデ観測で捉えた 2017 年台風 21 号の多重暖気核構造
山田広幸（琉球大理）他
 - 気象庁全球予測システムを用いた T-PARCII ドロップゾンデのインパクト実験
山口宗彦（気象研）他
 - JNoVA を用いた 2017 年台風 21 号航空機観測の同化実験（序報）
伊藤耕介（琉球大理）他
 - 航空機搭載フェーズドアレイ気象レーダの検討について
高橋暢宏（名大宇地研）
 - 第 2 回環境科学の航空機観測に関する国際学会（ICARE2）参加報告
篠田太郎（名大宇地研）

実験室・宇宙プラズマ研究会「乱流・輸送・粒子加速」
Laboratory-Space Plasma Workshop on
“Turbulence, Transport, Acceleration”

代表者、所属機関・部局
永岡賢一
核融合科学研究所
ヘリカル研究部

1. 研究集会の目的

ジオスペース探査衛星「あらせ」(ERG)の打ち上げが成功し、磁気圏プラズマの詳細なデータが、磁気嵐や粒子加速過程などの研究が新たな展開をもたらすと期待されている。新たに得られるデータの解析や物理的解釈において、実験室プラズマ研究の専門家との情報交換は大変有用になると思われる。また、「あらせ」で得られるであろう分布関数の詳細なデータなどは、実験室プラズマの研究にも新たな展開をもたらすことも期待されている。これまでの連携でも繰り返し強調されてきたように、両者は、相補的な側面を持っており、協力関係を構築することで両分野の研究領域を加速する効果が期待される。本研究会では、「あらせ」の最新成果を含めて、波動粒子相互作用、粒子加速、粒子輸送、プラズマ加熱など『運動論的』をキーワードに、宇宙プラズマと実験室プラズマの交流の場を提供し、研究の最新情報を交換すると共に新しい共同研究の開拓に繋げることを目的とする。

2. 研究集会の概要

研究代表(永岡賢一)と世話人(三好由純)に東北大学加藤雄人氏を加えた3名で幹事を構成し、研究会の柱となる話題提供者を議論した。実験室からは、実験室磁化プラズマにおける流れ構造の形成に関する講演を九州大学の稲垣氏に依頼し、宇宙プラズマからは、衛星観測による電磁イオンサイクロトロン波動の非線形相互作用の実証に関して、名大ISEEの小路氏に講演を依頼した。あらせ/ERGの最新情報に関する紹介も含めて、9件の講演を構成して2017年12月7日に研究会を行うことができた。以下にその概要をまとめる。

三好氏(名大ISEE)は、2016年12月に打ち上げられたあらせ(ERG)衛星計画の背景、目的を概観し、最新の運用状況を報告した。波動計測、粒子計測ともに順調にデータ取得できおり、新しい観測結果も一部紹介された。多くの質疑が行われ、磁気圏に起こる様々な波動現象に関する空間構造、時間発展に関する衛星観測上の限界や利点について集中的に議論が展開した。

永岡氏(核融合研)は、磁場閉じ込め核融合プラズマ中の高エネルギーイオンが励起するアルベン波に関する実験の概要を紹介し、磁気圏プラズマのコーラスなどの波動励起現象との類似性、相違性について議論した。また、今年から始められたLHD野重水素実験により高エネルギーイオンの輸送研究が新たな展開に入っていることが紹介された。

小路氏(名大ISEE)は、THEMIS衛星観測からイオンサイクロトロン波に伴う位相空間上のイオンホール観測を報告した。位相空間上のイオンホール構造により周波数ドリフトの原因と考えられている波動粒子相互作用の非線形効果の実証に成功した。

北村氏(宇宙科学研究所)は、MMS衛星観測データを使ってEMICモードがミラーモードと相関を持つことやこの2つのモードは伝搬方向が異なることなどを紹介した。粒

子のジャイロ運動に関して位相バンチの原因などについて、議論が展開された。

稲垣氏（九大応力研）は、直線プラズマ実験から磁場に沿った流構造と粒子輸送が複雑に関連していることを紹介し、ダンジェロモードとドリフト波の干渉の重要性を指摘した。輸送チャンネルどうしの干渉現象をCross-ferroic plasma turbulenceと命名し、より普遍的な乱流の理解を目指す研究を議論した。

小菅氏（九大応力研）は、磁化プラズマ中の乱流中に形成される帯状流（Zonal flow）とStreamerの2種類のメソスケール構造の選択則の視点から、平行方向速度シアの影響について論じた。

前山氏(名大理)は、ジャイロ運動論シミュレーションを電子スケールに拡張し、イオンスケールの乱流と電子スケールの乱流が共存する系の非線形輸送シミュレーションを紹介し、電子スケールの乱流が、イオンスケールにも影響することを指摘した。

松井氏（京大）は、レーザー照射されたクラスターターゲットのシミュレーション研究を紹介し、クーロン爆発波面以外にも衝撃波構造が形成されることを紹介し、それがイオン加速に重要な役割をもつことを議論した。

安藤氏（金沢大）は、カスプ磁場構造にプラズマが流入した場合のプラズマの振舞いと電位構造の形成に関する実験を紹介した。イオンと電子の断熱領域と非断熱領域の相違について議論した。

3. まとめ

実験室プラズマと宇宙プラズマでは、完全に同じ現象を議論することはできないが、多くの関連性、共通性、相違性に関して議論が深まった。異なるコミュニティ間の議論により各々の研究を多角的にみることができたことが、本研究会の大きな成果であり、今後の研究を加速するものと考えている。

4. 研究会プログラム

平成29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・宇宙プラズマ研究会「乱流・輸送・粒子加速」			
平成29年12月7日(木)			
名古屋大学共同教育研究棟 II 3F講義室			
11:00 - 11:05	事務連絡・挨拶		
【トピックス】			
11:05 - 11:30 三好由純	名大ISEE	あらせ衛星の最新情報(仮)	
11:30 - 11:55 永岡寛一	核融合研	実験室トラスプラズマの高エネルギー粒子閉じ込め研究 - LHD重水素実験から -	
		昼休み	
【波動粒子相互作用】			
13:00 - 13:45 小路真史	名大ISEE	<招待講演>衛星観測による電磁イオンサイクロトロン波動の非線形相互作用の実証	
13:45 - 14:10 北村成寿	宇宙科学研	波動粒子相互作用直接計測(WPIA)による電磁イオンサイクロトロン(EMIC)波動とイオンの相互作用領域の同定	
		コーヒーブレイク	
【乱流・構造形成】			
14:30 - 15:15 稲垣進	九大応力研	<招待講演>実験室磁化プラズマにおける流れ構造の形成	
15:15 - 15:40 小菅佑輔	九大応力研	平行流を伴うドリフト波乱流におけるパターン形成と選択	
15:40 - 16:05 前山伸也	名大理	核融合プラズマにおける電子スケール乱流の影響	
		コーヒーブレイク	
【粒子加速・構造形成】			
16:25 - 16:50 松井隆太郎	京都大学・ 関西光科学研究 所	レーザー照射されたクラスターターゲット中で生成する無衝突プラズマ境界層における準安定非線形波の形成とイオン加速に関するシミュレーション研究	
16:50 - 17:15 安藤利博	金沢大理	スピンドルカスプ磁場の片側半分にあるプラズマが生成する静電ポテンシャルの測定	
17:15 - 18:00	まとめ		

第 30 回（2017 年度）名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定研究シンポジウム

The 30th Symposium on Chronological Studies at the Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University in 2017

榎並正樹、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

年代測定研究部は、2018 年 2 月 1 日（木）と 2 日（金）の両日、研究所共同館において、一年間の活動を広く報告するために、表題のシンポジウムを開催した。参加者は 39 人（延べ 62 人）、発表は口頭発表が 28 編であった。シンポジウムでは、まず今年度の同研究部の活動を概観するとともに、研究機関研究員による 2 件の研究報告が行われた。また、共同利用・共同研究に関連して、本学のほか、大学、研究所、民間団体や企業などの研究者、院生によって、環境学、地質学、考古学や文化財科学など幅広い分野に関する発表が行われた。

今回の新しい試みとして名古屋大学宇宙地球環境研究所と日本原子力研究開発機構東濃地科学センターとの研究協力についての紹介がなされた。そして、シンポジウムの最後のセッションでは、名古屋大学地域貢献事業として、2017 年夏に小学生を対象に行われた「東海の地球環境史を学ぼう」の活動報告がなされた。

講演のリストは以下の通りである。

【口頭発表】

- ・ 名古屋大学タンデトロロン AMS¹⁴C システムの現状と利用（2017）
- ・ CHIME の現状と利用（2017 年度）
- ・ 福島第一原発事故に伴う福島県の放射性物質の汚染-2017 年の状況-
- ・ 福島第一原発事故、2017 年福島市渡利・小倉寺の里山の汚染実態
- ・ 北海道厚真川上流厚幌ダム地域の地形面区分、¹⁴C 年代測定および花粉分析に基づく 6 万年前以降の環境変動の解明
- ・ 北海道南西部の手稲前田コア、岩内コア、狩場山麓 a コア、厚真 AZK-101 コアおよび奥尻島北部稲穂岬露頭における AMS¹⁴C 年代測定と花粉分析
- ・ 水稲稲作導入から安定期にかけての北陸地方の古環境復元研究-八日市地方遺跡（石川県小松市）を例として-
- ・ 永久凍土を利用した古環境復元の可能性
- ・ 被熱動物骨の炭酸ヒドロキシアパタイトを用いた ¹⁴C 年代測定の可能性
- ・ 蝦夷錦の ¹⁴C 年代測定と山丹交易の開始について
- ・ 古写経切の ¹⁴C 年代測定-奈良時代古写経を中心に-
- ・ キルナ型鉱床の成因に関する Sr-Nd-Fe 同位体組成からの制約
- ・ 三波川変成岩類の CHIME モナザイト年代
- ・ 関東山地北縁部に産する内帯型火成岩類の U-Pb ジルコン年代
- ・ ¹⁴C 年代測定による前橋泥流堆積時期の再検討
- ・ 宮古島南東、マイバーバマ東部に打ち上げられたハマサンゴの ¹⁴C 年代とその意義
- ・ ボリビア国南部のウユニ塩湖周辺における湖トウファ形成と年代測定
- ・ 御嶽火山噴煙の時空変化 2014~2018

- ・ 日本最長寿の二枚貝殻に刻まれた津波と大気圏核実験の履歴
- ・ 屋久杉年輪の ^{14}C 濃度測定による 12-14 世紀の太陽活動の調査
- ・ 最近 5 万年間の広域テフラの年代研究の進展：レビュー
- ・ モルタルを用いた ^{14}C 年代測定の検討
- ・ 古代近江の鉄生産-操業年代について-(3)
- ・ 名古屋大学宇宙地球環境研究所と日本原子力研究開発機構東濃地科学センターとの研究協力
- ・ 家庭用放射線測定器による $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の半減期の見積り
- ・ 平成 29 年度地域貢献事業「東海の地球環境史を学ぼう」活動報告
- ・ 最終氷期後期における南シベリア・バイカル湖の流入河川水量変動
- ・ 安全・高効率・高精度なケイ酸塩微化石殻の酸素同位体比測定に向けて

7. 計算機利用共同研究 目次詳細

(所属・職名は平成30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
坪内 健	東京工業大学	理学院 地球惑星科学系	研究員	太陽圏境界領域におけるピックアップイオンダイナミクス	355
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	357
齊藤慎司	名古屋大学	大学院理学研究科	特任准教授	磁気圏シース領域での電子運動論を含んだミラーモード不安定性の研究	358
井上 諭	名古屋大学	宇宙地球環境研究所 総合解析研究部	特任助教	観測磁場データに基づいた太陽フレア・CMEの電磁流体シミュレーション	359
梅田隆行	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	講師	プラズマ境界層における流体的不安定性のブラソフシミュレーション	361
近藤光志	愛媛大学	宇宙進化研究センター	講師	磁気圏サブストームの計算機シミュレーション	363
松清修一	九州大学	大学院総合理工学研究院	助教	無衝突衝撃波遷移層における微視的不安定性	365
横山央明	東京大学	理学系研究科	准教授	プラントル数の大きな熱対流における乱流レイノルズ応力に関する研究	367
横山竜宏	情報通信研究機構	電磁波研究所宇宙環境研究室	主任研究員	赤道プラズマバブルの生成機構解明と発生予測に向けた研究	369
林 啓志	中国科学院空間科学中心	宇宙天気グループ	訪問研究員	IPS データに基づく太陽圏MHDモデルによるSTEREO 探査機地点太陽風の再現	371
藤本桂三	北京航空航天大学	宇宙・環境学院	副教授	無衝突磁気リコネクションにおける電気抵抗発生機構の解明	372
草野完也	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授	太陽フレアの数値予測に関する研究	374
町田 忍	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授	粒子プラズマシミュレーションと衛星データ解析を用いた非対称磁気リコネクションの物理過程の実証的研究	376
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 環境気象学研究室	准教授	アジアダストに付着したバイオエアロゾルの時空間変遷	379
品川裕之	情報通信研究機構	電磁波研究所・宇宙環境研究室	研究員	全大気圏-電離圏結合モデル(GAIA)を用いた宇宙環境じょう乱の研究	381
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	383
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	内部太陽圏磁気流体モデルを用いた南向き惑星間空間磁場予測手法の開発	385
寺田直樹	東北大学	理学研究科	准教授	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	387
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	高エネルギー粒子ハイブリッドコードの開発	389

太陽圏境界領域におけるピックアップイオンダイナミクス
Dynamics of interstellar pickup ions in the vicinity of the heliospheric
boundary region

坪内 健、東京工業大学・理学院

【研究目的】

太陽圏境界（heliopause；以下HP）は太陽風プラズマと星間物質を隔てる接線不連続面として近似できる一方、2012年にHP面を通過したボイジャー1号の観測からは、HP構造が単純な不連続面とは限らないことが示唆されている。またIBEX衛星による高速中性原子（energetic neutral atom；以下ENA）観測からは、“IBEXリボン”と呼ばれるENAフラックスの高い領域がHP近傍に局所的に存在することが示されており、HP構造を理解する上で多くの未解明の課題が明らかになってきた。IBEXリボンを構成するENAの粒子源は、主に太陽圏内部で中性化された太陽風がHP外部（outer heliosheath；以下OHS）で再度帯電した数keV程度のピックアップイオン（pickup ion；以下PUI）で、これが更に中性化された結果としてのENAがIBEX衛星で検出されたと考えられている。これよりPUIはHP構造の特徴を示すプローブの役割を果たしていると思なすことができる。本研究では特徴的なHP構造の下でPUIが受ける影響について、特にイオンの運動スケールに起因するものを明らかにすることを目的とした数値シミュレーションを実行する。HP構造での発生が考えられる現象として、太陽圏内部から伝わってきた衝撃波との相互作用や界面での不安定性に基づく動的な変動（磁気リコネクションやケルビン・ヘルムホルツ（KH）不安定など）に特に着目し、これらに対応するPUIの分布特性の検証結果を用いて、逆にHPで発生している物理過程をIBEX衛星で観測されたENA分布から推測することに活用する。

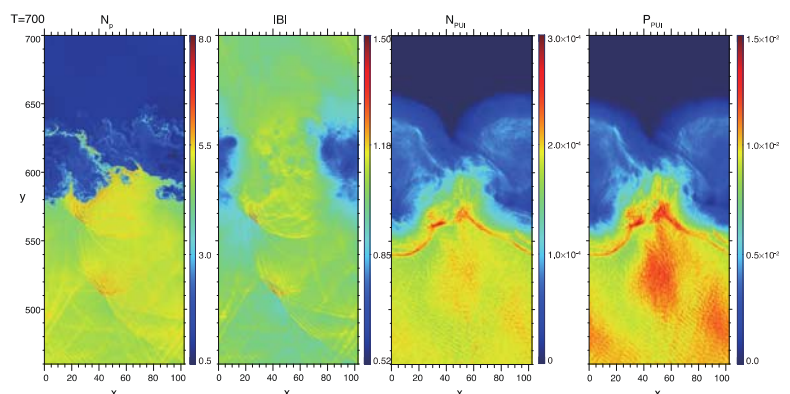
【研究方法】

HP領域を2次元構造で表現した数値モデルを作成し、粒子ハイブリッドコード（イオンを個別粒子として、電子は電荷中性を保証する質量ゼロの流体として扱う）を用いたシミュレーション計算を名古屋大学情報基盤センターのスーパーコンピュータで行った。本年度は星間プラズマと太陽圏プラズマの流れの間にシアが存在する状況を設定し、そこから発生するKHモードの不安定性の成長に伴い、OHS中に配置されたPUIの密度構造が受ける時間的・空間的な変動の特徴を検証した。

時間ステップ、空間グリッドはそれぞれ太陽風で定義されるプロトンジャイロ周波数の逆数、プロトン慣性長で規格化した量として0.005、0.2を与え、計算空間は512x4096グリッドの周期境界を与えた。速度遷移層の厚さを0.8、星間プラズマと太陽圏プラズマの密度比を5、PUI密度を星間プラズマの0.004%、速度空間におけるPUIの磁場旋回速度を太陽圏プラズマで定義されるアルフベン速度の10倍で与えた。磁場はKHモードが最も不安定となるためにシミュレーション面（xy）に対し垂直（z方向）に取り、シミュレーション空間全体で圧力平衡を満たすように設定した。

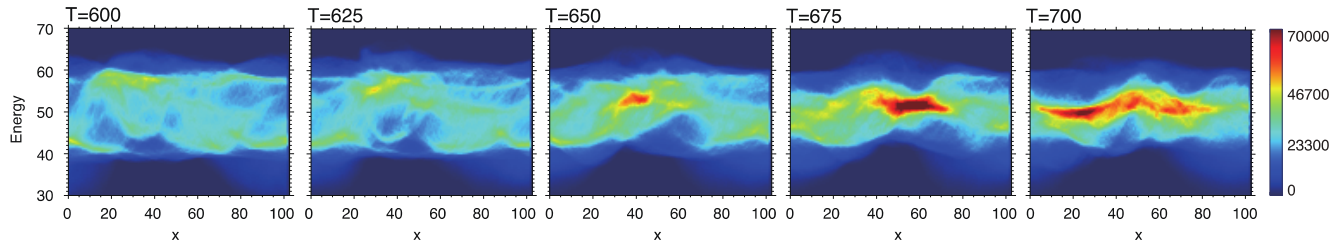
【研究結果】

右図はKHモードが十分に成長した後の各種物理量の空間分布を示す（左からプラズマ密度、磁場強度、PUI密度、PUI圧力）。HPの位置は $y=600$ で、上部が太陽圏、下部がOHSを表す。KH自体は初期の線形成長段階を経て、渦同士合体から乱流生成に至った状態にある。プラズマ密度・磁場より、OHS内にパルス状の構造が形成され



ているが、これはOHS内のプラズマが高マッハ数であることによるshocklet的なものであることを示唆しており、その影響下でPUIの局所的な集中が確認できる。

下図はy方向に積分したPUI密度のx方向プロファイルエネルギー別に示し、その時間変化の様子を左から並べたものである。この図より、KHの成長に伴ってPUIが上図で見られたような局所的な密集を通じて空間拡散していく過程が確認できる。これをIBEX衛星の観測を模したものと捉え、HPにおけるKH不安定の痕跡として解釈することが可能となる。



【まとめ】

前年度に引き続き、HPでKH不安定が成長する過程においてOHSのPUI密度構造が示す変動を検証した。本年度は、前年度の計算で露見した初期条件の不具合（圧力平衡条件の非成立、境界における非物理的な波動の反射など）を修正するとともに、x方向の空間スケールを拡大した計算を行うことにより、KH渦を非線形成長段階まで十分に保ったまま全体のプラズマ構造をより正確に追跡できるようになった。その結果、研究の到達目標の一つであるIBEXリボン構造の成因を探る上で、形成過程におけるHP上のプラズマ不安定性の寄与について、特に時間非定常性をもたらす可能性を議論する段階に達することになった。

【成果発表】

1. 坪内 健、Pickup ion dynamics in the velocity shear layer across the heliopause、日本地球惑星科学連合2017年大会、千葉、2017年5月（口頭発表）
2. 坪内 健、Evolution of pickup ion density structures in the outer heliosheath、第142回地球電磁気・地球惑星圏学会、京都、2017年10月（口頭発表）

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

近年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、観測が始まっている。このように木星ではGalileo探査機の観測と合わせて、観測からの研究が進んでいるが、木星磁気圏全体を同時に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、何と関連づけられるのかなどを理解することが難しい。一方で、数値シミュレーションでは近年の計算機の発展により、計算時間はかかるが、MHD近似に近い計算も可能となっており、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計算が可能となってきた。

このように、数値シミュレーション結果と比較可能な観測結果の蓄積、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、計算機を利用した。

計算としては、解像度 $1.5R_J$ （木星半径）のシミュレーションモデルを用いて、木星磁気圏での標準的な条件（太陽風動圧 $0.001\sim 0.1\text{nPa}$ 、IMF $0.1\sim 1.0\text{nT}$ ）を入力パラメータにし、それぞれの条件で準定常状態まで計算を行った。これにより、ある特定太陽風条件での磁気圏構造が理解でき、実際にHISAKIの観測結果から得られている現象と比較が行われている。次に、HISAKI観測結果やJunoの観測結果から、太陽風動圧の急峻な変化がどのように磁気圏に影響を与えるかを調べるために、様々な時間スケールで動圧を大きく変化させたシミュレーションを行った。この計算からは動圧変化が与える磁気圏への影響がどのような時間スケールになっているかを評価することができた。

今後は、実際に観測された太陽風か観測を元に数値シミュレーションで再現した太陽風を入力とし、特定観測期間の磁気圏構造をシミュレーションし、より観測との共同研究を進めていくことを計画している。

・ 投稿論文

Kimura, T., Y. Hiraki, C. Tao, F. Tsuchiya, P. Delamere, K. Yoshioka, G. Murakami, A. Yamazaki, H. Kita, S. Badman, K. Fukazawa, I. Yoshikawa, M. Fujimoto, Response of Jupiter's Aurora to Plasma Mass Loading Rate Monitored by the Hisaki Satellite During Volcanic Eruptions at Io, JGR, accepted, 2018.

・ 学会発表

K. Fukazawa, Y. Kato, R. J. Walker, T. Kimura, F. Tsuchiya, G. Murakami, H. Kita, C. Tao, K. T. Murata, A New Approach to Modeling Jupiter's Magnetosphere, AGU Fall Meeting 2017, New Orleans, 2017/12/13.

磁気圏シース領域での電子運動論を含んだミラーモード不安定性の研究

Mirror mode instability with electron kinetic process
in magnetosheath region

齊藤 慎司、名古屋大学・大学院理学研究科

【研究目的】

本研究は地球磁気圏シース領域内に存在するミラーモード磁場について、イオンスケールから電子スケールの物理までを含めた非線形発展、およびその散逸に伴うプラズマ加熱プロセスの理解を目的としている。ミラーモード不安定性は、比較的プラズマ β の高い領域で発生し、イオンの温度異方性（磁場に対して垂直方向温度が平行方向温度より高い）が起源となり背景磁場を変形させるような磁場変動を起こす。イオン慣性長より大きな構造を励起し、波数ベクトルは背景磁場に対して準垂直方向で、励起された磁場構造は周波数の実部がゼロとなるモードとして特徴付けられる。シース乱流磁場の摂動はイオン慣性長スケール以下まで存在していることが示唆されており、ミラーモードの非線形発展に伴うエネルギーカスケードによって小スケールへのエネルギー輸送が起きていることが考えられる。このようなエネルギー輸送およびその散逸・加熱プロセスを理解するために、本研究ではプラズマ粒子シミュレーションを用いてイオンスケールから電子スケールまでの運動論を含めた計算を行う。これによりミラーモード磁場の非線形発展を計算し、イオン慣性長以下での物理を含めた波動エネルギー散逸過程について研究を行う。

【計算方法】

名古屋大学のスーパーコンピュータシステムFX100を用いて、並列化された粒子シミュレーションコードによる高 β プラズマ（ $\beta=1$ ）中でのイオンの温度異方性不安定性について数値実験を行った。セル当たりのイオン電子ペアの数を256とし、 4096×4096 の二次元空間グリッドでの計算を2048並列により計算を行った。

【計算結果および考察】

昨年度の実績をもとに、初期パラメータを調整し再度イオンサイクロトロン周期の数倍程度まで実施したが、熱的ノイズの影響の問題が現状まだ解決されず、ミラーモード不安定性の成長を確認するに至っていない。現在比較的極端なパラメータで数値実験を開始しており（イオン・電子質量比16，イオン温度異方性10）、まずは波動の励起を確認し、そこからどの程度までより現実的なパラメータまで落とし込めるかについて検討を行う。この検討を踏まえてミラーモードの励起から非線形発展まで現実的なコンピュータリソースで実施可能かどうかを見積もり、次年度前半中には研究方針の転換が必要かどうかの判断を行う。

観測磁場データに基づいた太陽フレア・CMEの電磁流体シミュレーション MHD Simulation of Solar Flares and CMEs Based on the Observed Magnetic Fields

井上 諭 (名古屋大学宇宙地球環境研究所)

【研究目的】

本研究の目的は、宇宙天気予報において極めて重要な課題として位置付けられている、太陽フレアからコロナ質量放出(CME)までの一連のダイナミクスを数値的な観点から明らかにすることである。本年度は、巨大な太陽フレア(X-class フレア)を起こした複数の活動領域における太陽磁場の噴出現象の電磁流体力学(MHD)シミュレーションを実施し、そのダイナミクスを明らかにすることを試みた。太陽表面の観測磁場データから非線形フォースフリー磁場を3次元空間に数値的に外挿し、外挿された磁場を初期条件とした電磁流体シミュレーションを実施した。

【結果】

I. 活動領域 11158

昨年度に引き続き、2011年2月にM6.6フレアを引き起こした活動領域11158の数値モデリングを実施した。数値的な外挿により再現されたねじれた磁場が平衡状態を失うことで、上空へと上昇し、その上昇過程で周囲のねじれた磁力線と磁気リコネクションを介して融合することで、より巨大でかつよりねじれた磁気フラックスロープが形成されて上空へと加速的に放出される様子が再現された。コロナの磁場環境から、フラックスロープの上昇が抑制される場所(あるいは加速される場所)は理論的に予測されており(Kliem & Török 2006)、多くの観測的研究から支持されている。ところが本研究では、フラックスロープの上昇の抑制が理論的に予測される場所であっても、フラックスロープの運動と磁気リコネクションの非線形相互作用が、フラックスロープをさらに加速させる可能性を指摘した。この結果は、フラックスロープの加速、つまりCMEの形成過程は単純な理論モデルで全てを説明できないことを意味しており、それらを理解するためには、太陽プラズマの非線形ダイナミクスを十分に理解する必要があることを意味している。本研究成果は成果発表1にまとめられた。

II. 活動領域 12017

2014年3月29日にX1フレアを起こした活動領域12017の数値モデリングを実施した。本研究は英国との国際共同研究で進められている。本年は、フレア前後を含んだ太陽の光球面磁場の時系列データを用いて非線形フォースフリー磁場を計算し、3次元磁場構造の時間発展を調べた。その結果、フレア前に蓄積されていたねじれの一部がフレア後に緩和しているのを確認した。フレア前の太陽観測磁場データと分光観測から、この緩和した領域において、光球面の磁気フラックスの対消滅やコロナ中で高速上昇流などが観測されており、数値モデリングの結果は観測結果

と良く整合性がとれていることを確認した。本結果は、成果発表 2 にまとめられ投稿中である。

III. 活動領域 12673

2017 年 9 月の大フレア(X9.3)の数値モデリングを実施した。図 1a に示すようにフレア前には複数のねじれた磁力線が存在し、その放出過程で磁気リコネクションを介して巨大かつ強くねじれた磁気フラックスロープが形成されることが明らかになった。また、フラックスロープはその非線形過程でキンクモードに対して不安定化して、図 1b のように、その上昇過程でよじれることもわかった。このよじれは、地球近傍で観測された南向き磁場を説明するのに、重要な役割を果たすかもしれないことが示唆された。本研究成果は、投稿論文として準備中である。

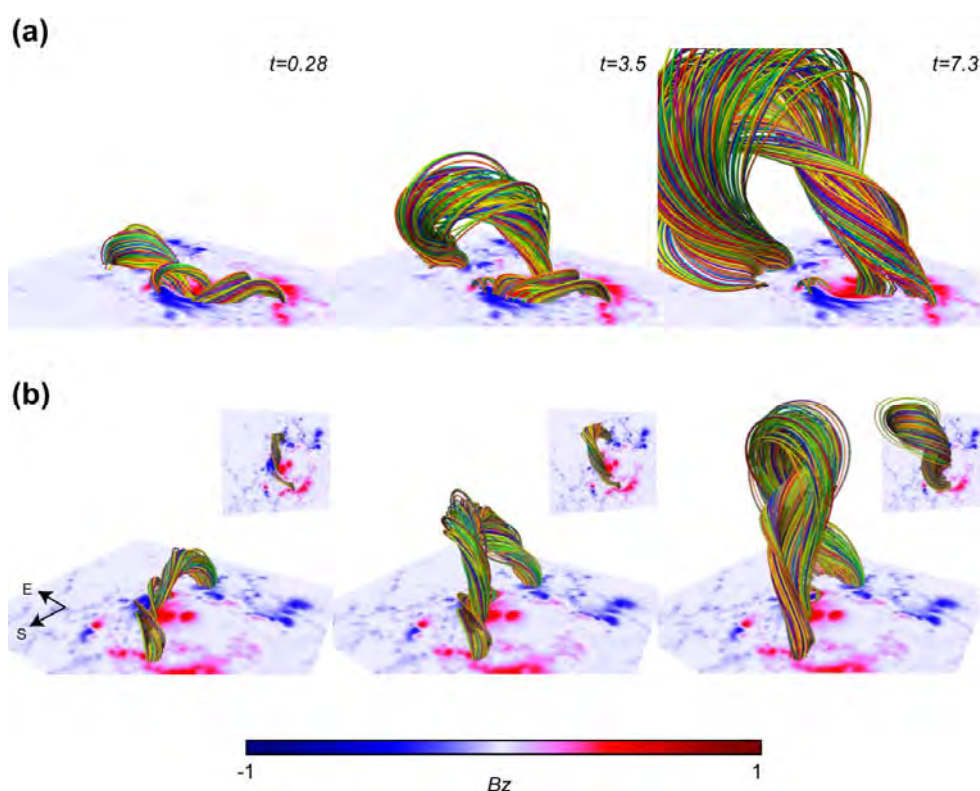


図 1: 太陽光球面磁場から数値的に外挿された 3 次元磁場(非線形フォースフリー磁場)を用いた MHD シミュレーションの結果。線は磁力線を表しており、パネル a と b は異なる角度から見た磁力線のダイナミクスをそれぞれ表している。

【成果発表(査読論文)】

- [1] Inoue, S., Kusano, K., Büchner, J. & Skala, J. “Formation and Dynamics of a Solar Eruptive Flux Tube”, *Nature Communications*, 9, 174
- [2] Woods, M. Inoue, S., Harra, L., Matthews, S., K. Kusano, & Kalmoni, N. “The Triggering of the 29-March-2014 Filament Eruption” *The Astrophysical Journal*, Under Review.

プラズマ境界層における流体的不安定性のブラソフシミュレーション Vlasov simulations on fluid-scale instabilities in plasma boundary layers

梅田隆行、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

研究目的

従来の研究では、時間および空間スケールの異なるマルチ物理問題に対して、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。しかしジオスペースでは、イオン・電子やグローバル・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おり、これらを理解することが重要である。本研究では、次世代のマルチスケール・マルチフィジックスシミュレーション手法としてブラソフコードに注目し、その研究開発を行う。また、ジオスペースのスケール間結合に関する諸現象に適用する。

研究方法

本研究において開発した、無衝突プラズマの第一原理運動論を記述するブラソフ方程式とマックスウェル方程式を自己無撞着に解き進める超並列ブラソフシミュレーションコード(Umeda et al. IEEE 2012)を用いる。ブラソフ方程式は、1次元保存型・無振動・正值性保障スキーム(Umeda EPS, 2008; Umeda et al. CPC 2012)をベースとした多次元保存型解法(Umeda et al. CPC, 2009)により安定に解き進め、マックスウェル方程式は陰的時間空間領域差分(FDTD)法により解き進めている。また、プラズマが作る電流は電荷保存法により求めている。今年度は、レイリー・テイラー不安定性の空間2次元・速度2次元のシミュレーションを新たに実行した。

研究結果

レイリー・テイラー不安定性(RTI)はこれまで流体シミュレーションのみで研究されてきた。本研究では世界で初めてRTIの第一原理運動論シミュレーションを行った。初期密度勾配層の幅に対するイオン慣性長やイオンジャイロ半径を変化させた3通りのシミュレーションを行った結果、ホール効果およびジャイロ運動効果があまり効かない場合には磁気流体力学(MHD)シミュレーションでみられるような重力軸に対して対称なキノコ型・泡型の密度構造が発達した。RTモードの波長がイオン慣性長に近い場合(ホール効果が影響する場合)には、RTモードが重力軸に対して非対称に発達し、キノコ型の密度構造がイオンジャイロ運動と逆向きに渦を巻いた。またRTモードの波長がイオン街路半径に近い(ジャイロ運動効果が影響する)場合には、イオンジャイロ半径スケールの新たな不安定性が生じた。しかし、この小スケールのモードは流体の交換を促すRTモードの速度場の成長には影響を与えないことが分かった。また、この小スケールのモードの成長には、電子の応力テンソルや熱輸送テンソルが影響していることを示唆した。

成果発表

Umeda, T., and K. Fukazawa, Performance measurement of Eulerian kinetic code on the Xeon Phi KNL, Proceedings of HPC Asia 2018, P1 (4pp.), 2018. (査読付論文)

Umeda, T., and Y. Wada, Non-MHD effects in the nonlinear development of the MHD-scale Rayleigh-Taylor instability, Physics of Plasmas, Vol.24, No.7, 072307 (10pp.), 2017. (査読付論文)

梅田隆行, 宇宙プラズマの運動論シミュレーション, 第 34 回計算数理工学フォーラム, 名古屋大学東山キャンパス, 2018 年 3 月 16 日. (招待講演)

Umeda, T., and Y. Wada, Vlasov simulation of the Rayleigh-Taylor instability, 25th International Conference on Numerical Simulation of Plasmas (ICNSP 2017), Leuven, Belgium, September 19, 2017. (口頭発表)

梅田 隆行, 深沢 圭一郎, Xeon Phi KNL におけるブラソフコードの性能評価(2), 第 162 回ハイパフォーマンコンピューティング研究発表会, くまもと県民交流館パレア, 2017 年 12 月 18 日. (口頭発表)

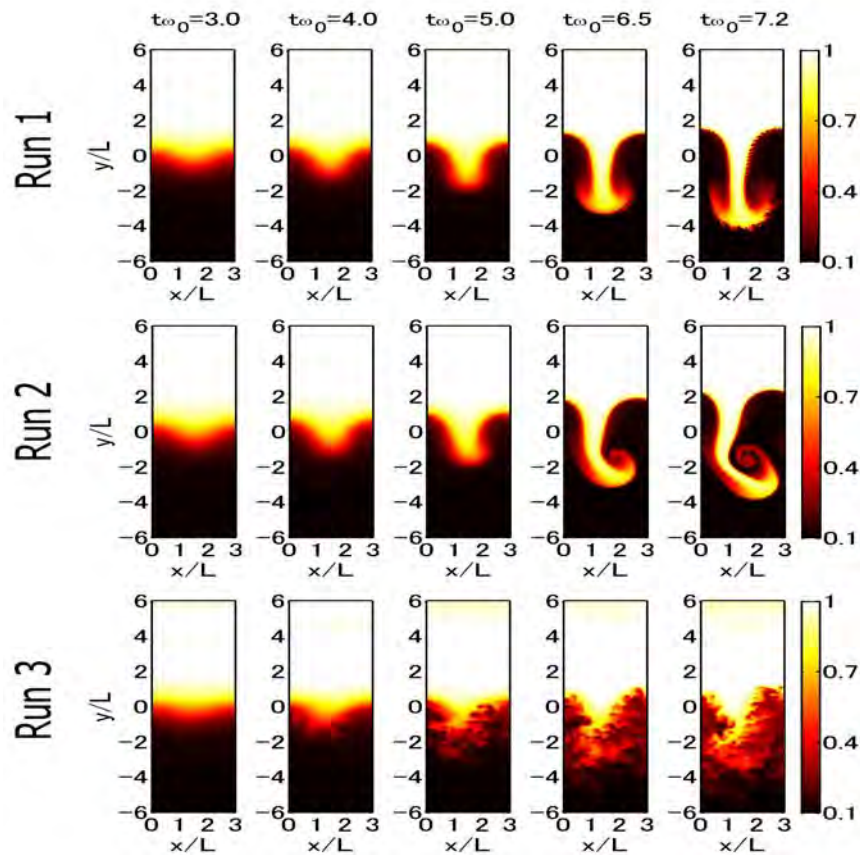


図 1: Runs 1-3 におけるレイリー・テイラー不安定性の非線形発展。カラーはイオン密度を表す。Run 1 は RT モードの波長がイオン慣性長およびジャイロ半径よりも長く MHD-like な発展をする。Run 2 は RT モードの波長がイオン慣性長に近く、Run 3 は RT モードの波長がイオンジャイロ半径に近い。

磁気圏サブストームの計算機シミュレーション Computer Simulations of Geomagnetospheric Substorm

近藤光志、愛媛大学・宇宙進化研究センター

研究目的

地球磁気圏前面における太陽風磁場と地球磁気圏磁場の磁気リコネクション領域では、太陽風プラズマと地球磁気圏プラズマの境界で電流層を挟んで非対称なプラズマ境界が形成され、磁気圏尾部とは大きく異なる非対称磁気リコネクションが起こる。非対称磁気リコネクションにおいては、対称磁気リコネクションのペチェック型とは大きく異なるリコネクション構造が形成されることを磁気流体シミュレーションにより先行研究において示した[1]。特に、対称磁気リコネクションと大きく異なる点の一つが、電流シート両側からの拡散領域への流入プラズマがぶつかるスタグネーション点(s点)と磁気リコネクション点(x点)の位置が分かれて、拡散領域では主に磁気シースのプラズマが加速される点にある。本研究では、このs点とx点のずれを詳しく調べるため、非対称反平行磁場環境における自発的高速磁気リコネクションの数値計算を行った。

研究方法

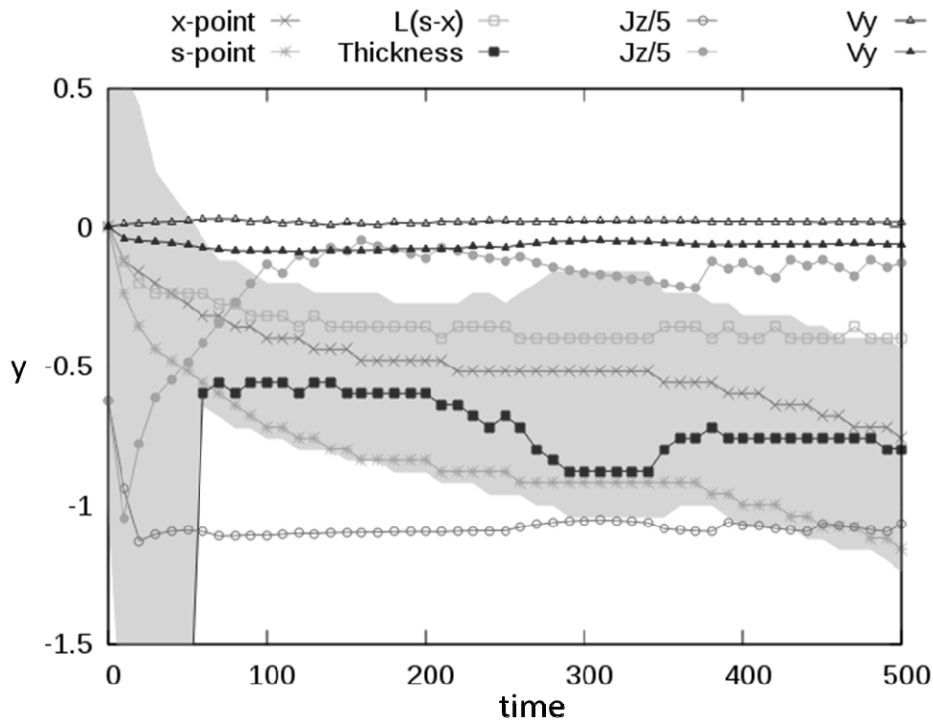
2次元磁気流体シミュレーションを行う。本研究のシミュレーションでは、境界条件に依存しない自発的な磁気リコネクションを実現するために、大規模な二次元空間を計算している。1次元の等温ハリス平衡解を設定し、電流シートを挟んで正負x方向に磁場を与える。本研究では、地球磁気圏前面の非対称な磁場環境における磁気リコネクションを調べるため、 $y < 0$ の領域の磁場強度を1とし、 $y > 0$ の領域の磁場強度を $1/k$ とし、パラメータ k を非対称度と呼ぶこととする。原点付近に初期擾乱を与え、磁気リコネクションを発展させる。拡散領域内でのx点とs点の分離に注目するため、異常抵抗のx方向への分布を固定し、x点がx方向に分離しないようにする。

研究結果

数値計算により得られた、磁場非対称度 $k=2$ の場合のy軸上のx点、s点、拡散領域およびx点とs点の距離 $L(s-x)$ の時間変化を図に示す。x点は拡散領域内のシース側（磁場強度の弱い側）に、そしてs点はその磁気圏側（磁場強度の強い側）に移動している。ただし、拡散領域全体は、yの負方向、つまり磁気圏側に移動している。x点とs点は時間とともに分離し、距離 $L(s-x)$ は時間とともに広がっていき、拡散領域幅が一定になるとほぼ同じタイミングで $L(s-x)$ も一定になっていく。ただし、拡散領域幅はゆっくりと広がっていく一方で、 $L(s-x)$ はほぼ一定のままであるため、 $L(s-x)$ は拡散領域幅に完全に依存しているわけではない。また、s点付近から接触不連続面がx方向に延び、リコネクションジェットについてもx点よりも下側、s点付近から高速なジェットとしてx方向に流れており、接触不連続面の正負y方向に広がって分布していることがわかった。

まとめ

本研究の結果、電流シートを挟んで磁場強度の非対称な非対称磁気リコネクションにおいて拡散領域内でのx点s点の分離と拡散領域幅の関係を示し、s点から延びる接触不連続面の構造を示した。



x (リコネクション) 点 (濃い×印)、s(スタグネーション)点 (薄い×印) および拡散領域 (グレーハッチ) のy方向位置の時間変化。白抜き四角□がs点とx点の距離、黒四角■が拡散領域の幅にそれぞれ1をかけたものを示している。

引用文献

1. 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. Shimizu, T., Kondoh, K., and Zenitani, S., " Numerical MHD study for Plasmoid Instability in Uniform Resistivity", *Phys. Plasmas*, 24, 112117, 2017
2. 近藤光志, 「非対称リコネクションにおける拡散領域と接触不連続面の磁気流体数値計算」, 宇治リコネクションワークショップ 2017, 京都大学 (2017 年 10 月)
3. 近藤光志, 「非対称磁気リコネクションの磁気流体計算」, 地球電磁気・地球惑星圏学会 2017 年秋学会, 京都大学 (2017 年 10 月)
4. 新田伸也・近藤光志・丸山翔也, 「非対称磁気リコネクションの強非対称極限での振る舞い」, 日本天文学会 2017 年秋季年会, 北海道大学 (2017 年 9 月)
5. 近藤光志, 「非対称磁気リコネクションの大規模磁気流体計算」, STE シミュレーション研究会 -太陽地球惑星系複合システムのシミュレーション研究-, 神戸大学 計算科学教育センターおよび惑星科学研究センター (2017 年 7 月)
6. 近藤光志, 「太陽コロナ・惑星磁気圏磁気リコネクションの磁気流体計算」, 九州天文ゼミ, 愛媛大学 (2017 年 7 月)

無衝突衝撃波遷移層における微視的不安定性 Microinstabilities in the transition region of a collisionless shock

松清修一、九州大学・大学院総合理工学研究院

研究目的

宇宙の無衝突衝撃波におけるエネルギー散逸過程および粒子加速過程のカギを握る衝撃波遷移層に着目し、そこで励起される微視的不安定性を、高精度の2次元フル粒子計算によって再現する。これによって、微視的不安定性が衝撃波の散逸過程や粒子加速過程に与える影響を定量的に理解する。

研究方法

本研究では、衝撃波遷移層のフットと呼ばれる領域に着目する。フット領域は、衝撃波面で反射された一部の入射イオンが上流にせり出す領域で、その空間サイズはイオンの磁場回旋半径 (ρ_i) 程度である。高マッハ数の超臨界衝撃波では、無視できない量の反射イオンが生成されるため、フット領域は入射イオンと電子、反射イオンから成る3成分プラズマとしてモデル化でき、各成分のバルク速度の違いを源として電子スケール ($\ll \rho_i$) のさまざまな微視的不安定性が励起されることが知られている。ここではこのフットの一部 ($L \sim \rho_i/5$) をとりだして局所近似を適用した2次元周期境界フル粒子計算を行った。平均的な衝撃波面 (計算領域外) を y - z 面とし、入射および反射イオンの流れの方向をそれぞれ x 方向、 $-x$ 方向とする。計算空間は x - y 面とし、 y 方向に背景磁場をとる。座標系は電子の静止系とする。昨年度から引き続いて、衝撃波のマッハ数=5、反射イオンの相対密度=25%、電子ベータ値 (=電子の熱的圧力と磁気圧の比) =0.2、イオン/電子温度比=1、イオン/電子質量比 $\mu=1836$ 、電子プラズマ/サイクロトロン周波数比の2乗を $\tau=100$ として大規模計算 (空間グリッド数=2048×8192、総超粒子数=6.4×10⁹) を行った。

研究結果・考察

図1に、揺動電磁場および電子、イオンのエネルギー時間発展を示す。 $T \sim 0.2$ 付近に見られる揺動電磁場の指数関数的増幅は、電子サイクロトロンドリフト不安定性 (ECDI) と、ワイベル不安定性によるものである。ここに、時間はイオンサイクロトロン振動数の逆数 Ω_i^{-1} で規格化している。

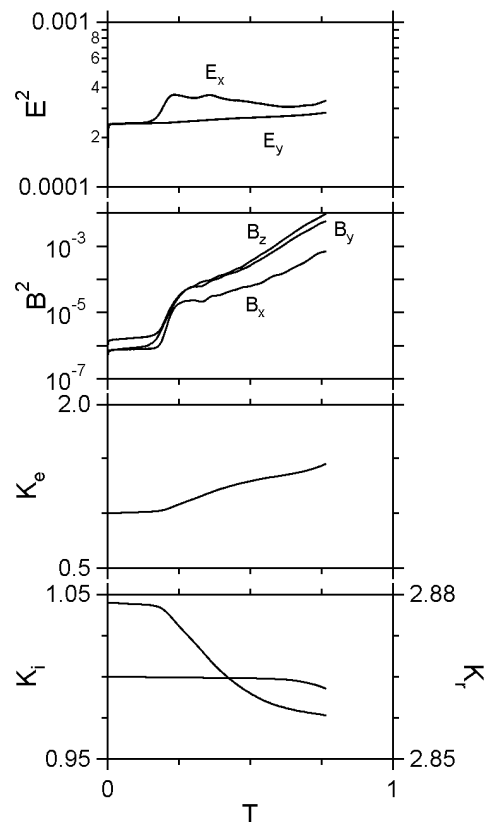


図 1. 各種エネルギーの時間発展

ECDIによって増幅された電場 E_x は、その後電子のエネルギー (K_e) 上昇を伴いつつ緩やかに減衰している。一方、揺動磁場 B_y, B_z は増幅を続け、 $T \sim 0.75$ で依然として成長途中である。この少し前から E_x が増幅に転じており、また K_e も上昇率を上げている。これらは変形2流体不安定性 (MTSI) によるものである。ECDIとMTSIは波数スペクトルで区別することができる。図2に、 $T = 0.49, 0.75$ における E_x 成分の波数スペクトルを示す。 $T = 0.49$ では、非線形発展により広帯域化したECDIがMTSIよりも大きな振幅を持っているが、 $T = 0.75$ になるとECDIは減衰して、代わってMTSIが支配的になっている。以上は、代表者の過去のケーススタディ [1] およびH28年度までに行った τ の小さな場合 ($\tau = 4, 25$) の計算結果と同様の特徴である。Muchietti and Lembege (2013)[2]は、ECDIのみに注目した1次元計算を行い、 τ が大きくなるとECDIが支配的になると述べている。本研究でも、 τ を大きくしていくことでECDIの影響がしだいに強くなることを確認したが、最終的にはMTSIが支配的となった。一方、ECDIの成長はベータ値に依存することも確認した。ベータ値が0.1を下回る場合には、ECDIの役割が顕著になる可能性がある。

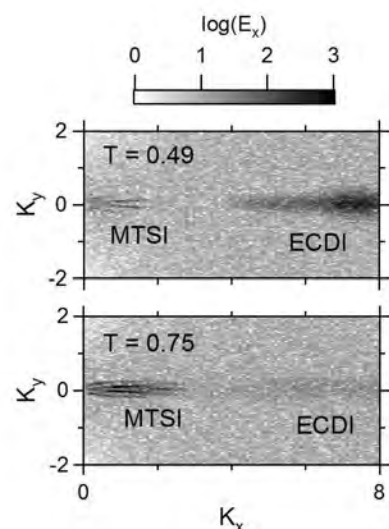


図 2. 2 つの時刻における電場 E_x 成分の波数スペクトル

まとめ

無衝突衝撃波遷移層で起こる微視的不安定性を、地球軌道付近の現実に近い宇宙空間のパラメータを用いて再現する2次元フル粒子計算を行った。質量比 (μ) を現実の値に保って周波数比 (τ) を大きくしても、MTSIとECDIの競合過程に質的な変化が無いことを示した。ただし、ベータ値が十分小さい場合には、ECDIの相対的な重要性が増す可能性がある。

文献

- [1] Matsukiyo and Scholer, *J. Geophys. Res.*, 111, A06104, 2006
- [2] Muschietti and Lembege, *J. Geophys. Res.*, 118, 2267, 2013

成果発表

口頭発表

1. 松清修一、梅田隆行、垂直衝撃波遷移層の微視的不安定性、H29年度名古屋大学宇宙地球環境研究所 共同研究集会「STEシミュレーション研究会 - 太陽地球惑星系複合システムのシミュレーション研究 -」、神戸、2017年9月8日
2. 松清修一、無衝突衝撃波の理論的研究、地球電磁気・地球惑星圏学会第142回講演会「田中館賞受賞記念講演」、京都、2017年10月24日
3. 松清修一、松本洋介、高ベータ超臨界衝撃波の内部構造、日本物理学会第73回年次大会「3学会合同宇宙セッション 宇宙プラズマ」、野田、2018年3月23日

プラントル数の大きな熱対流における乱流レイノルズ応力に関する研究 Research on Turbulent Reynolds Stress in High-Prandtl Number Thermal Convection

横山央明（東京大学・理学系研究科）

【研究背景・研究目的】

太陽磁気活動の 11 年周期の起源は未解明である。磁場はプラズマガスの対流運動由来のダイナモ作用によって増幅されるため、太陽内部の対流を正しく理解することが問題解決の鍵である。しかしながら、我々の太陽熱対流に対する理解は未だ不十分である。特に近年、数値計算や混合距離理論から得られる対流速度が速すぎることを示す様々な証拠が見つかり、深刻な問題となっている（太陽熱対流問題 / solar convective conundrum）。

乱流渦による磁場の引き伸ばし効果に起因する乱流ダイナモは、従来の混合距離理論では無視されており現行のいかなる数値計算でも十分に捉えきれていないため、熱対流問題における理論と観測とのギャップを生んでいる要因の一つであると考えられる。近年行われた高解像度数値計算の結果、乱流ダイナモが活発になると乱れた磁場のローレンツ力が実効的な粘性として振る舞うと同時に乱流熱拡散を抑制するため、実効的プラントル数（粘性と熱拡散の比）が上昇することが示された[1]。そこで本研究では、高プラントル数熱対流の数値計算を行い、本質的に磁化された熱対流の性質を調べることを目的とした。研究の実際は、大学院生の戸次有人が修士学位研究として実施した。

【本年度前半の研究内容】

高プラントル数レジームでは、対流による熱輸送が非局所的かつ効率的になり成層が対流安定化するため、対流速度が抑制されることが予想された。そこで当初の予定を変更し、本年度前半は上記の物理機構を数値的に実証するために非回転系における対流数値計算に従事した（膨大な数値資源を要する課題ではなかった為 ISEE のスーパーコンピュータは用いていない）。その結果、高プラントル数レジームでは対流層下部に亜断熱層が形成され深部で駆動される大スケールの対流速度が選択的に抑制されることが示された[2]。

【本年度後半の研究内容】

上記の研究で用いたモデルを局所 f 平面モデルへと拡張し回転の効果を取り入れた一連の数値計算を行うことで、対流による熱エネルギー輸送に加えて角運動量輸送の性質がどのようなプラントル依存性を持つのか調べた。主要な結果は以下の 2 点である。

- 回転の効果は熱輸送効率を下げ成層はより超断熱的になる為、プラントル数の上昇に伴う速度場の抑制は回転によって打ち消される傾向を持つ。
- 高プラントル数レジームでは、対流速度が抑制されるにも関わらず、対流ブルームによ

って角運動量が動径下向きに輸送される性質を持つ。これは、大局的には極加速型差動回転が実現されてしまうことを示唆している[3]。

すなわち、高プラントル数レジームにおけるプルーム状対流は、熱エネルギー輸送の問題に関して理論と観測とのギャップを緩和するが、角運動量輸送まで考慮すると観測との乖離をむしろ広げてしまうため、最終的な解決策にはなりえないことを示している。今後は、本研究で考慮していなかった乱流磁場のローレンツ力が実効的な粘性を強化する効果や、太陽表面の磁気熱対流から深部対流への非局所的な影響などを吟味する予定である。

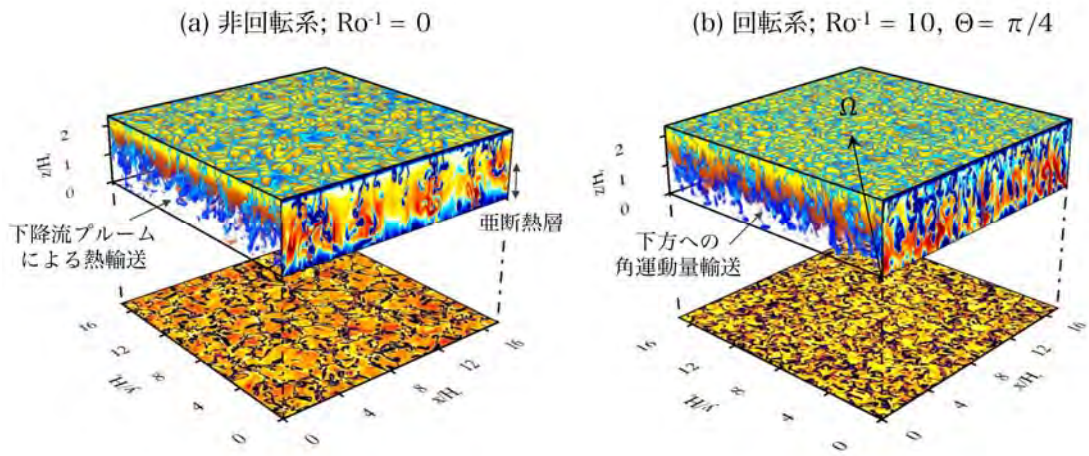


図 1: (a) 非回転系と (b) 回転系における高プラントル数熱対流の様子. エントロピー擾乱の 3 次元構造を示している. ロスビー数 Ro 以外のパラメータは固定 ($Pr = 20, Re = 30$).

参考文献

- [1]. H. Hotta, M. Rempel, & T. Yokoyama., 2015, *ApJ*, **803**, 42
- [2]. Y. Bekki, H. Hotta, & T. Yokoyama., 2017, *ApJ*, **851**, 74
- [3]. B. Karak, M. Miesch, & Y. Bekki., 2018, submitted to *Physics of Fluids*

成果発表

- ・ Y. Bekki, H. Hotta, & T. Yokoyama., “Effects of Prandtl Number on Stratified Thermal Convection with and without Rotation”, *Helicity Thinkshop 3*, Tokyo, Japan. 2017. 11.
- ・ Y. Bekki, H. Hotta, & T. Yokoyama., “Role of the Effective Prandtl Number on the Convective Amplitude, Stratification and Angular Momentum Transport”, *IAU Symposium 340*, Jaipur, India. 2018. 2.
- ・ 戸次有人, 堀田英之, 横山央明. “太陽熱対流問題に対する実効的プラントル数の効果”. 日本天文学会 2018 年春季年会, 千葉. 2018. 3.
- ・ 戸次有人. “太陽熱対流速度・成層・角運動量輸送に対する実効的プラントル数の効果”. 東京大学理学系研究科地球惑星科学専攻修士論文. 2018. 3.

赤道プラズマバブルの生成機構解明と発生予測に向けた研究

Understanding and forecasting of equatorial plasma bubble

横山 竜宏 情報通信研究機構 電磁波研究所

研究目的

電離圏のプラズマは、その運動が中性大気との衝突によって強く支配されているため、中性大気と電離大気の相互作用を解明することは電離圏の物理過程を理解する上で非常に重要である。局所的なプラズマ密度の不規則構造を伴う電離圏擾乱が発生した場合には、電波の振幅、位相の急激な変動(シンチレーション)が生じるため、GPS等による電子航法に障害を及ぼすことが知られている。このような電離圏擾乱の発生機構を解明し、発生を事前に予測することが、科学・実用の両面から求められている。本研究では、特に深刻な障害の原因となる赤道スプレッドF(プラズマバブル)の生成機構解明と発生予測を目指し、低緯度電離圏数値モデルを用いたプラズマバブル生成に関する研究を実施する。

昨年度までに、プラズマバブルを非常に高い空間分解能で再現できるモデルを完成させ、プラズマバブル内部の複雑な非線形過程、プラズマバブルの東西非対称性の形成メカニズム等を明らかにした。本年度は、空間分解能を向上させ、磁力線直交方向に最大200mの分解能でプラズマバブル内部の微細構造を再現することに成功した。GPS電波にシンチレーションを起こすスケール(300-400m)を直接再現することがほぼ可能となり、シンチレーションの定量的な評価を行えることが期待できる。

研究手法

本研究は計算機利用共同研究として、情報連携基盤センターのスーパーコンピュータを利用した。正イオンとして NO^+ (E領域)と O^+ (F領域)の2種類を与える。各イオンと電子の連続の式、運動方程式、電流保存の式は以下で与えられる。

$$\frac{\partial N_i}{\partial t} + \nabla \cdot (N_i \mathbf{V}_i) = S_i \quad (1)$$

$$q_j(\mathbf{E} + \mathbf{V}_j \times \mathbf{B}) + M_j \mathbf{g} - \frac{\nabla(N_j k_B T)}{N_j} + M_j \nu_{jn}(\mathbf{U} - \mathbf{V}_j) = 0 \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{J} = \nabla \cdot \left[e \left(\sum_i N_i \mathbf{V}_i - N_e \mathbf{V}_e \right) \right] = 0 \quad (3)$$

磁気赤道を中心とするダイポール座標系を用い、磁気赤道上で高度88-1270km、緯度方向に ± 20 度、経度方向に3.4度の領域を確保した。磁力線直交方向のグリッド間隔を200mまで向上させることで、40m程度までのパワースペクトルを求めることが可能となる。

結果と今後の課題

図1に、成長したプラズマバブルの東西-鉛直断面と、赤道面上、高度460kmにおけるプラズマ密度の東西方向の変動を示す。従来の結果と比較して、より微細な内部構造が形成されている。C/NOFS、ROCSAT-1等の低軌道衛星観測で得られた特徴とよく一致しており、実際のプラズマバブル内部の複雑な構造が再現されたと考えられる。

今後は、全球大気圏電離圏モデルから得られる背景の条件を本研究で開発した領域モデルに組み入れ、プラズマバブルの生成について検討を進める予定である。

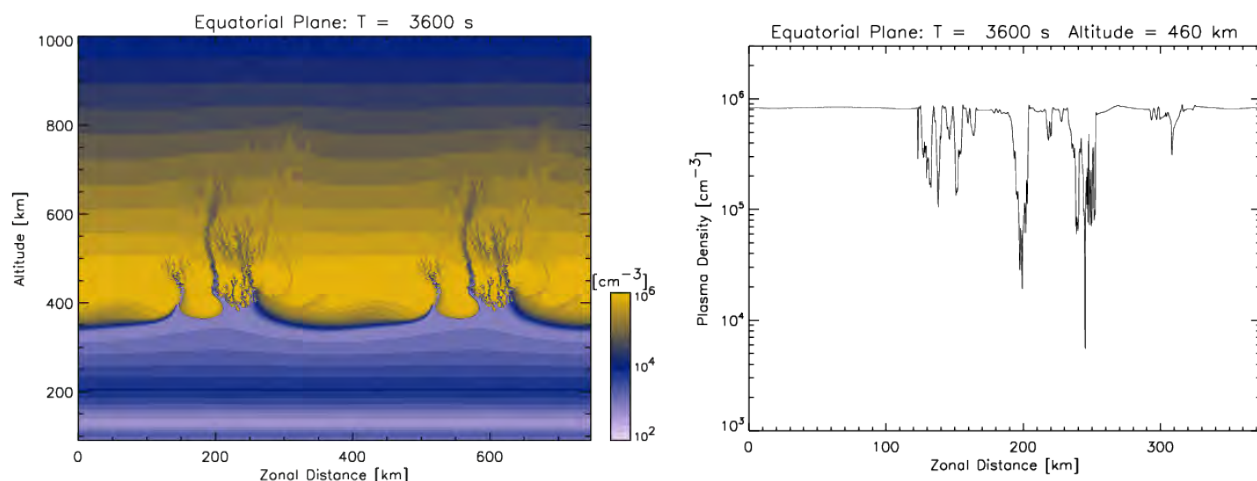


図 1: 赤道面におけるプラズマ密度分布と、高度 460km における東西方向の電子密度変動。

成果発表

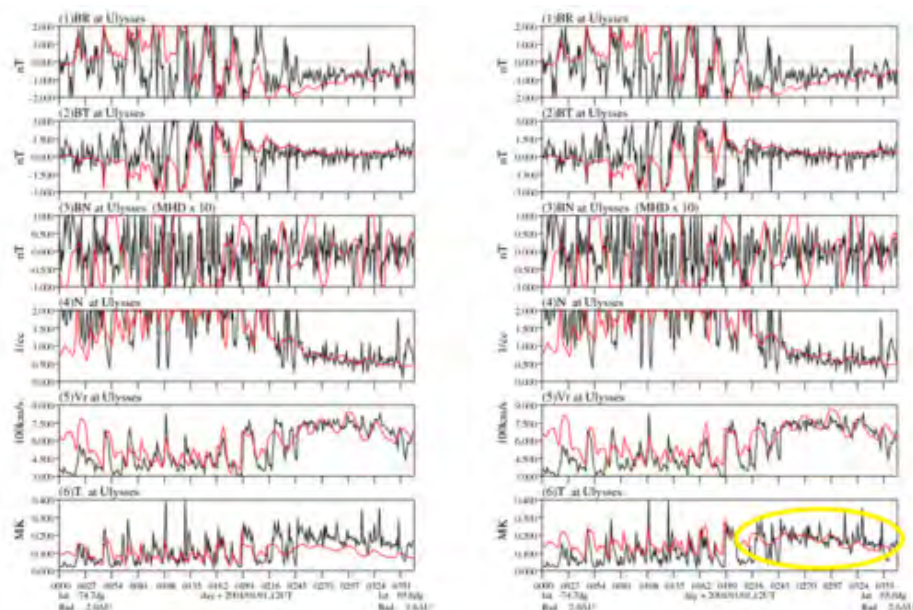
- Yokoyama, T., and C. Stolle, Low and midlatitude ionospheric plasma density irregularities and their effects on geomagnetic field, *Earth's Magnetic Field*, Space Science Series of ISSI vol. 60 edited by C. Stolle, N. Olsen et al., 503-527, 2017.
- Yokoyama, T., A review on the numerical simulation of equatorial plasma bubbles toward scintillation evaluation and forecasting, *Prog. Earth Planet. Sci.*, **4**, 37, doi:10.1186/s40645-017-0153-6, 2017 (13 pages).
- Tulasi Ram, S., K. K. Ajith, T. Yokoyama, M. Yamamoto, and K. Niranjana, Vertical rise velocity of equatorial plasma bubbles estimated from Equatorial Atmosphere Radar (EAR) observations and HIRB model simulations, *J. Geophys. Res. Space Physics*, **122**, 6584-6594, doi:10.1002/2017JA024260, 2017.
- Yokoyama, T., S. Tulasi Ram, K. K. Ajith, M. Yamamoto, and K. Niranjana, Vertical rise velocity of equatorial plasma bubbles estimated from Equatorial Atmosphere Radar observations and High-Resolution Bubble model simulations, 2017 AGU Fall Meeting [New Orleans, USA: December 2017] (Oral).
- Yokoyama, T., C. L. Rino, C. S. Carrano, K. M. Groves, and P. A. Roddy, Spectral analysis of equatorial plasma bubbles obtained by high-resolution bubble model and C/NOFS satellite, XXXIIInd International Union of Radio Science General Assembly and Scientific Symposium [Montreal, Canada: August 2017] (Invited, Oral).
- Yokoyama, T., S. Tulasi Ram, K. K. Ajith, and M. Yamamoto, Plasma bubble rise velocity estimated from EAR observation and High-Resolution Bubble model, 15th International Workshop on Technical and Scientific Aspects of MST Radar [Tachikawa: May 2017] (Oral).
- Yokoyama, T., C. L. Rino, C. S. Carrano, K. M. Groves, and P. A. Roddy, Spectral analysis of equatorial plasma bubbles obtained by high-resolution bubble model and C/NOFS satellite, JpGU-AGU Joint Meeting 2017 [Chiba: May 2017] (Invited, Oral).
- 横山 竜宏, S. Tulasi Ram, K. K. Ajith, 山本 衛, K. Niranjana, 数値シミュレーションと赤道大気レーダー観測によるプラズマバブル上昇速度の推定第 142 回 地球電磁気・地球惑星圏学会講演会 [宇治: 2017 年 10 月] (Oral).
- 横山 竜宏, S. Tulasi Ram, K. K. Ajith, 山本 衛, K. Niranjana, 数値シミュレーションと赤道大気レーダー観測によるプラズマバブル上昇速度の推定第 11 回 MU レーダー・赤道大気レーダーシンポジウム, pp. 86-88 [宇治: 2017 年 9 月] (Oral).
- 横山 竜宏, プラズマバブルシミュレーションの高解像度化, 平成 29 年度 名古屋大学太陽地球環境研究所 研究集会 STE シミュレーション研究会 [神戸: 2017 年 9 月] (Oral).

IPS データに基づく太陽圏MHDモデルによるSTEREO 探査機地点太陽風の再現

IPS-based MHD model for predicting solar wind at STEREO space probes

林 啓志、中国科学院・空間科学センタ

数十年にわたる名大IPS観測の他に類を見ない特徴の一つとして、複数の太陽周期という長い時間スケールと惑星間空間全球という幅ひろい空間範囲における太陽風の諸量、とくに太陽風プラズマ速度の実際の情報を提供できる点をあげる事が出来る。我々はこの利点を生かし、(a) 視線積分データであるIPS太陽風速度データから静穏太陽風三次元構造を復元する手法を作成していた。また、(b) 太陽近傍の太陽圏最内部での短期的な非定常性についての観測データに基づく情報を導入する手法および(c) 太陽長期変動の太陽風（とくに温度とプラズマ密度）への影響を考慮した経験則（関数の引数に時刻を導入したもの）を開発していた。29年度では、これら3つの手法を統合したMHDモデル計算を構築し、計算結果を幅広い太陽経度をカバーする米国STEREO探査機の実測データと比較・検証することを企図した。計算機利用承認後の利用日数が短かった為、検証・評価については30年度にずれ込む事となったが、モデル統合および緩やかに変動する太陽風の静穏成分のMHDモデル計算については終える事ができた。



上の二図はユリシズ探査機による太陽風諸量の太陽経度走査の実測値（黒線）と計算による再現（赤線）を比較したものである。上から磁場(動径・経度・緯度成分)、プラズマ密度、速度、温度の6つの量を実測時間を横軸に、描いたもの。期間は2001年の1年間。左図は手法(a)と(b)のみを導入したモデル、右図は手法(c)を導入した新規モデルにより得られた一年にわたって時間的に連続した計算結果を用いて作成された。第三の手法要素導入による顕著な弊害もなく、これまでは難しかった太陽高緯度における太陽風の高温状態の再現について良化・改善された（黄色楕円で囲んだ部分）。

無衝突磁気リコネクションにおける電気抵抗発生機構の解明
Generation mechanism of the electric resistivity in
collisionless reconnection

藤本桂三、北京航空航天大学 宇宙・環境学院

【研究目的】

磁気リコネクションは、太陽フレアや磁気圏サブストームにおいて効率的なエネルギー開放を実現するプロセスとして着目されている。磁気リコネクション過程は磁気中性線（X線）近傍に発生する電気抵抗を介して、磁力線が繋ぎ変わる（散逸する）ことによって初めて実現可能となる。しかしながら、粒子間の衝突周波数が極めて低い宇宙プラズマにおいて、効率的なエネルギー開放を可能にする電気抵抗生成機構は未だに十分には解明されていない。電気抵抗発生機構の1つとして、プラズマ波動による運動量輸送（異常輸送）が挙げられる。最近の、地球磁気圏における衛星観測や実験室プラズマにおける直接観測から、磁気X線近傍で強い電磁波動が検出されている。また、大規模3次元粒子シミュレーションでも、観測結果と矛盾しない波動モードが発生することが確認されている。我々は、線形波動解析から、このモードが電流層におけるフローシアアによって励起される新しい不安定性（電流層シアア不安定性）であることを突き止めた。本研究では、粒子シミュレーションと線形波動解析により電流層シアア不安定性の線形および非線形特性を調べ、波動による電気抵抗発生機構を明らかにすることを目的とする。

【研究方法】

本年度は、外国為替法及び外国貿易法にともなう該非判定に多くの時間を要したため、数値的線形波動解析に焦点を絞って研究を進めた。電流層シアア不安定性は2流体方程式系を線形化することによって得られる。背景の電流層プロファイルは、準定常磁気リコネクション過程に特有な電流層構造（密度勾配無し）を模擬して、以下のように与える。

$$\begin{aligned}n_{i0}(z) &= n_{e0}(z) = n_0 = \text{const}, \\B_{x0}(z) &= -B_{0i} \tanh(z/\delta_i) - B_{0e} \tanh(z/\delta_e), \\V_{sy0}(z) &= -V_{s0} / \cosh^2(z/\delta_s), \\T_{s0}(z) &= - \int^z q_s V_{sy0}(\xi) B_{x0}(\xi) d\xi,\end{aligned}$$

微小擾乱は $\delta A(y, z, t) = \delta A(z, t) \exp(ik_y y)$ のように与え、2流体方程式系を線形化する。線形化方程式系は時間発展方程式となるため、yz平面内で random noise を初期条件として数値的に解くことにより、最大成長率をもつ波動モードの特性を調べることができる。数値手法としてはLax-Wendroff法を用いた。

【研究結果・考察】

これまでの研究では、シミュレーション結果と比較するため質量比が100 ($m_i/m_e=100$)

の場合のみについて解析を行なっていた。それに対し、本研究では、さまざまな質量比についての解析も実施し、電流層シア不安定性の質量比依存性を調べた。その結果、線形成長率は、質量比の増加とともに大きくなることが明らかになった。これは、質量比が大きくなるにつれて、電子電流層の厚さが相対的に（イオン慣性長に比べて）より小さくなり、電子フローシアが大きくなるためである。このことから、シミュレーションでは非現実的なパラメータ ($m_i/m_e=100$) を用いていたが、現実的なパラメータの下でも電流層シア不安定性は十分励起し得ることがわかった。これは、磁気リコネクションの観測結果とも整合的である。

【成果発表】

1. 投稿論文

- Fujimoto, K. and R. D. Sydora, Linear theory of the current sheet shear instability, J. Geophys. Res., 122, 5418-5430, doi:10.1002/2017JA024079, 2017.
- Fujimoto, K., Bursty emission of whistler waves in association with plasmoid collision, Ann. Geophys., 35, 885-892, doi:10.5194/angeo-35-885-2017, 2017.

2. 口頭発表

- K. Fujimoto, Plasma waves and their roles in collisionless magnetic reconnection, 12th Annual International Conference on Numerical Modeling of Space Plasma Flows (ASTRONUM2017), St. Malo, France, May, 26, 2017 (Invited)
- K. Fujimoto, Lower-hybrid waves in the reconnection current layer, 7th East-Asia School and Workshop on Laboratory, Space, and Astrophysical Plasmas (EASW-7), Weihai, China, July 24, 2017 (Invited)
- K. Fujimoto, Generation of the bursty bulk flows in collisionless magnetic reconnection, 14th Annual Meeting of Asia Oceania Geosciences Society (AOGS-2017), Singapore, August 8, 2017
- K. Fujimoto, 3D outflow jets originated from collisionless magnetic reconnection, 32nd International Union of Radio Science General Assembly and Scientific Symposium (URSI2017-GASS), Montreal, Canada, August 25, 2017

太陽フレアの数値予測に関する研究 Study of Numerical Prediction of Solar Flares

草野 完也、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

1. 研究目的

太陽フレアは太陽コロナ磁場に蓄積されたエネルギーが突発的に解放される太陽系最大の爆発現象である。大型の太陽フレアは衝撃波を伴うコロナ質量放出 (CME)、高エネルギー粒子、X線などを放出することで、地球の電磁気圏・大気圏に大きな影響を与え、衛星・通信・測位などの社会システムに障害をもたらす場合がある。それ故、フレアの発生を事前に予測することは、そうした社会システムの障害を回避するために重要な課題である。また、非線形不安定性に起因する太陽フレアの発生機構を解明することは、プラズマの非線形ダイナミクスの理解の深化をもたらす。しかし、各国の宇宙天気予報機関によるフレア発生予測の信頼性は低いままであり、過去 30 年間改善していない。これは太陽フレアの発生機構の理解が十分ではないことを示唆している。

本研究では上記のような背景のもと、太陽表面磁場の観測データに基づく数値シミュレーションによって太陽フレアの発生を予測するためのモデル開発とそれを用いた太陽フレア発生機構の解明を目的とする。我々はこれまでのシミュレーションと観測データ解析の比較を通して、大きなスケールでのシア磁場による自由エネルギーの蓄積と 2 種類の特徴的な構造を持つ小さなスケールの磁場の相互作用がフレア発生に重要な役割を果たしていることを見出した (Kusano et al. 2012)。本研究ではその成果のもとに事項に示す複数の方法で、フレア発生の予測を試みる。さらに、各方法による予測精度を定量的に評価し、従来の経験的なフレア予測の結果とも比較することで、より精度の高いフレア予測スキームを開発する。さらに、そのスキームを利用してフレアが起きる場合と起きない場合の本質的な違いを明らかにすることにより、フレア発生の物理機構を探る。

2. 研究結果

(1) 非線形フォースフリー磁場 (NLFFF) データベースの構築とフレア予測スキームの開発:

太陽中心子午線を通過した比較的大きな活動領域について、ひの

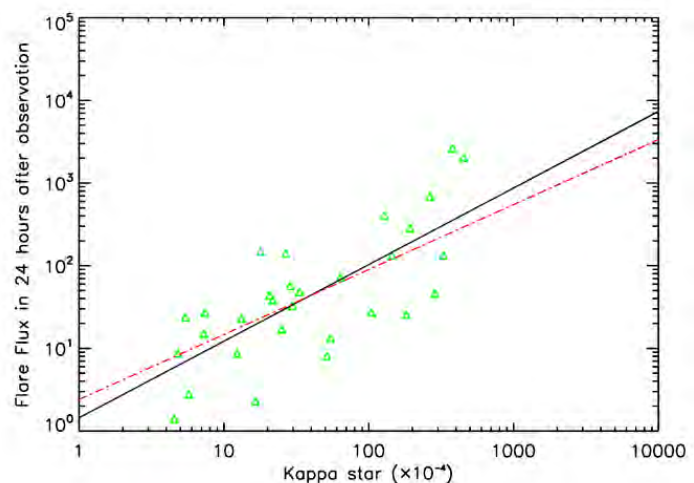


図 1 : κ * パラメタとフレア活動度の関係

で衛星及びSDO衛星が観測した太陽表面のベクトル磁場データを境界条件として NLFFF を計算し、世界で初めての「活動領域 3 次元磁場データベース」を構築した。その結果、我々がフレア発生の原因として提案したダブルアーク不安定性の臨界パラメタのプロクシーである κ^* とフレア活動の間に高い相関関係があることを見言い出した (図 1)。また、大規模フレアが発生した 2 つの活動領域では κ^* パラメタの時間変化も計算した。その結果、 κ^* は大規模フレアが発生する前に一定の閾値を超え、フレア発生後急激に減少して閾値を下回ることを見出した (図 2)。これらの結果は、 κ^* パラメタがフレア発生の必要条件を与えることを示唆しており、大規模フレアの発生予測に応用できる可能性を示すことができた。

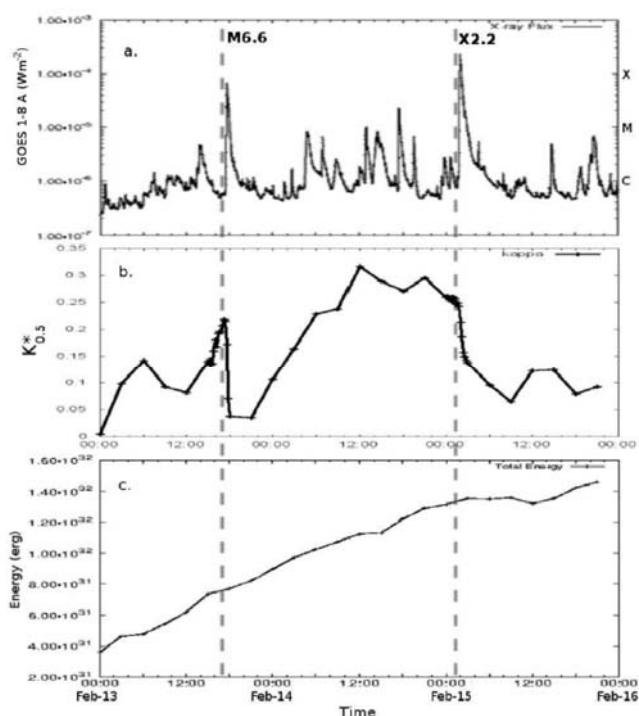


図 2：太陽活動領域 NOAA11158 におけるフレア軟 X 線フラックス (上)、 κ^* パラメタ (中)、全自由エネルギー (下) の時間変化。

(2) 太陽面爆発の原因となる電磁流体力学 (MHD) 不安定性のシミュレーション：

太陽活動領域に磁気ヘリシティを注入すると共に、小規模双極子磁束を太陽面に入射することにより、不安定化する過程の 3 次元 MHD シミュレーションを実施し、不安定化モードを特定する研究を進めた。その結果、不安定化の臨界状態がダブルアーク型 (或いはシグモイド型) の磁場構造を持つことが示された。さらに、計算結果はこの臨界状態を超えてシステムが不安定化する過程を κ パラメタの変化によって予測できることを示唆した。

(3) コロナ質量放出 (CME) の形成条件を探る 3 次元磁場解析：

太陽フレアと CME の相互関係は重要な研究課題でありながら未だに明確な結論が得られていない。我々はフレアが発生した際に CME が発生するかどうか、フレアリボンに含まれる磁束と活動領域全体の磁束の比が重要なパラメタになるという鳥海ら (2017) の研究を参考に、ベクトル磁場観測データから計算された NLFFF の磁場構造と CME 発生確率の関係を統計的に調べた。その結果、磁場の捻じれ (magnetic twist) が一定値より大きな領域の磁束とその領域を覆う磁束の比が特定の閾値を超えた場合に、その領域で発生するフレアが高い確率で CME を伴うことを見出した。その結果から、フレアが CME を伴うことを予測したときの TSS (True Skill Statistics) が 0.78 に達することを明らかにした。この結果は、磁場観測データから CME の発生をある程度予測することができることを意味するものである。

粒子プラズマシミュレーションと衛星データ解析を用いた 非対称磁気リコネクションの物理過程の実証的研究

Empirical study on physical processes in asymmetric magnetic reconnection
via full-particle plasma simulations and spacecraft data analyses

町田 忍 名古屋大学宇宙地球環境研究所
小林 勇貴 名古屋大学宇宙地球環境研究所

研究目的

申請の課題について今年度は地球磁気圏昼側の磁気リコネクションに焦点をあてて研究を行った。その領域では、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ことが知られている。図1は、電流層中心($x/\lambda = 2.8$)の左側がマグネトシート、右側が磁気圏の設定として再現された非対称磁気リコネクションのシミュレーション結果であり、 y 方向の電子の流速と電流を示している。対称磁気リコネクションとは異なり、ホール電流系を作る電子の高速流が電流層の磁気圏側に発生している。昨年、一昨年は、この非対称磁気リコネクション起源の電子高速流に着目し、人工衛星のイベントデータと粒子シミュレーションの比較研究を行ったが、今年度は中央部に位置する電子およびイオンの磁気拡散領域について研究を行った。

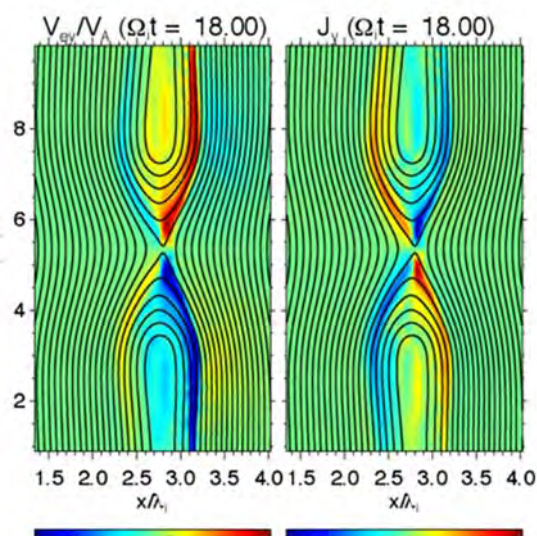


図1. 粒子シミュレーションで再現された非対称磁気リコネクションの y 方向の電子速度構造(左)と電流構造 (右)

研究手法

前節で述べたように、本研究課題では、磁気リコネクションの中央部に位置して反対方向を向いた磁力線同士をつなぎ変える役割を果たす電子およびイオンの磁気拡散領域の構造と、その中で生起している物理過程の解明に焦点を当てる。そのために、次のような2流体方程式と呼ばれる電子とイオンを別々の流体として扱う枠組みを用いて、問題の解明に取り組んだ。

$$n_e m_e \left(\frac{\partial \mathbf{v}_e}{\partial t} + \mathbf{v}_e \cdot \nabla \mathbf{v}_e \right) = -en_e(\mathbf{E} + \mathbf{v}_e \times \mathbf{B}) - \nabla \cdot \vec{p}_e + \mathbf{R}_e$$

$$n_i m_i \left(\frac{\partial \mathbf{v}_i}{\partial t} + \mathbf{v}_i \cdot \nabla \mathbf{v}_i \right) = en_i(\mathbf{E} + \mathbf{v}_i \times \mathbf{B}) - \nabla \cdot \vec{p}_i + \mathbf{R}_i$$

MMS 衛星は4機が立体的に配位されることから、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。それらの値を用いると、4機の衛星の中心（平均位置）における電子とイオンに関する2流体運動方程式の成立について調べることができる。

研究成果・考察

本研究では、図2(a)に示すような Science 誌で Burch et al. [2016]が報告している MMS 衛星が電子拡散領域 (Electron Diffusion Region: EDR) の近傍を通過しているデータについて、上記の方法を適用した。この事例に関する昼間側磁気リコネクションの構造に対する衛星の軌道を模式的に示したものを図2(b)に再掲する。4機の MMS 衛星は、EDR に最接近する直前に南側ジェット領域から上流側の昼間側磁気圏に出て、そこから EDR をかすめて北側ジェット領域に飛行していった。

(a)

(b)

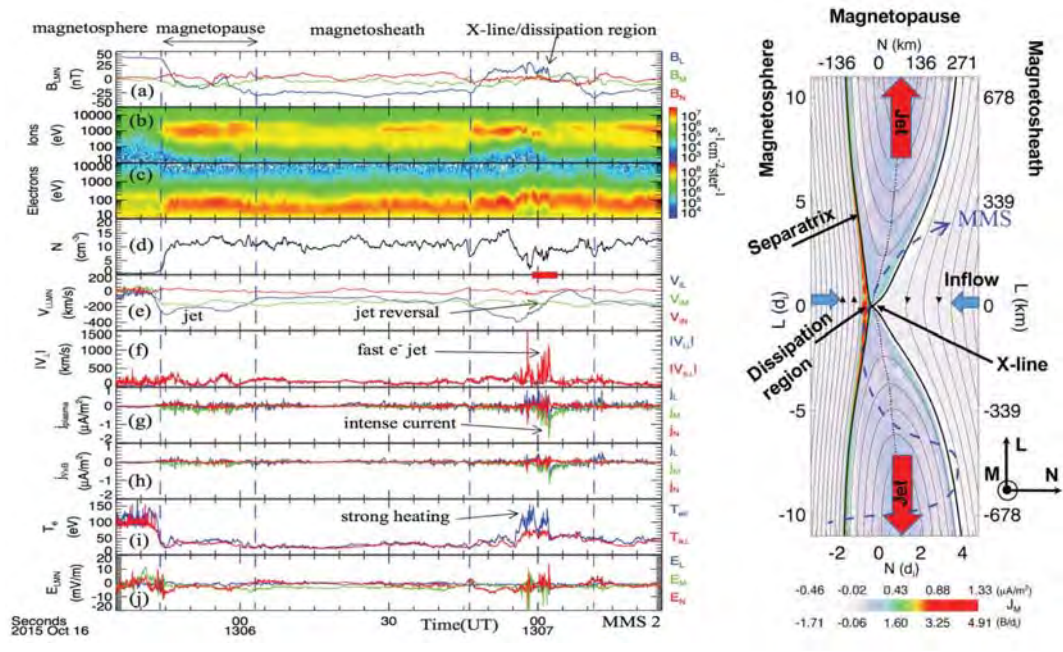


図2. (a) MMS 衛星で観測された諸物理量、(b)衛星の軌道、およそ L 軸は北向き、M 軸は夕方向き、N 軸は磁気圏界面の法線向き

その時の MMS 衛星データに基づいて求められた電子衝突項（ベクトルの）絶対値を素電荷と電子密度の積で割った量と、電場波動観測によって得られた波動のダイナミックスペクトルおよび低域混成波帯

($1/2f_{LHR} < f < 3/2 f_{LHR}$) の波動強度を図3に示す。図からわかるように、電子の衝突項を素電荷と電子密度の積で割った量と、低域混成波帯の波動強度が驚くほど高い相関を持っている。この時間帯は、MMS衛星が EDR に最接近する直前に南側ジェット領域から上流側の昼間側磁気圏に出ていた時に対応し、イオン拡散領域 (IDR) の内部に相当する領域で見いだされた現象である点が重要である。この事実は、IDR おいて、静電的な低域混成波が励起され、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、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原因があるとされているが、それが発生する EDR を取り巻くように存在する IDR における異常抵抗も、磁力線を拡散させ融合させることに関して、ある一定の割合、寄与している可能性がある。しかし、われわれのグループでは、今回の観測を支持するような粒子シミュレーションの結果が得られなかった。また、過去において、他のグループによって、該当する結果が報告されていないか文献調査を行ってみたが、今のところ、そのような成果は見あたらなかった。その原因の一つとして、現存する粒子シミュレーション空間分解能が十分でないために、本来励起される低域混成波を系内に励起できないのではないかと考えている。このように非常に興味深い結果が得られているので、ぜひ来年度も継続して原因の解明を進めたい。

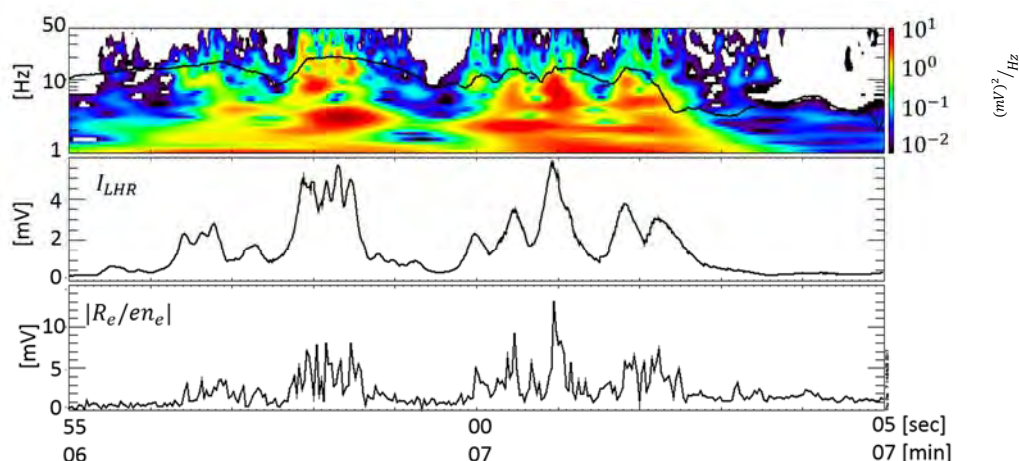


図2．（上段）MMS衛星で観測された低周波動のダイナミックスペクトル、（中段）低域混成波帯の電場波動強度、（下段）電子の衝突項を素電荷と電子密度の積で割った値

成果発表

1. Y. Kobayashi, S. Machida, N. Kitamura, Y. Saito, Investigation of the magnetic neutral line region with the frame of two-fluid equations : A possibility of anomalous resistivity inferred from MMS observations, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 千葉, 2017年5月
2. Y. Kobayashi, S. Machida, N. Kitamura, Y. Saito, A. Ieda, S. Imada, and Y. Miyoshi, Investigation of the magnetic neutral line region with the frame of two-fluid equations, 第142回SGEPSS総会及び講演会, 京都, 2017年10月

アジアダストに付着したバイオエアロゾルの時空間変遷 Spatiotemporal change of Asian dust with bioaerosol

馬場賢治 酪農学園大学 農食環境学群

目的

アジアダスト（黄砂）は、社会活動や自然環境に寄与する現象の一つであり、これまでに大規模なプロジェクトが行われ、物理、化学、生物など様々な側面から影響評価が行われている（例えば、Intergovernmental Panel on Climate Change や ADB-GEF [地球環境ファシリティ] 黄砂対策プロジェクトなど）。アジア大陸では、砂漠化、過放牧、過耕作や森林伐採などによって、アジアダストが生じ易い場となっている。このアジアダストに汚染物質付着やそれらによる変質・光化学汚染などが先行研究で観測されており、我々の環境場への影響を明確にすることが求められている。また、近年ではアジアダストにより、ウィルスなどの生物粒子であるバイオエアロゾル輸送の可能性が指摘されている。その一例として、2010 年宮崎県での口蹄疫発生に黄砂が関与していることが真木ら（2011）により指摘している。この時のアジアダストについて、宮崎県付近で発症直前に黄砂が飛来しており、人工衛星の解析から、先に口蹄疫が発症した中国・甘粛省を経由して飛来している。この他に、Maki ら（2010）は、黄砂バイオエアロゾルの長距離輸送について研究を行い、日本での観測事実を報告している。バイオエアロゾルを観測する試みは、幾つか存在しているが、ウィルスなどの生物起源物質の保存を考慮した大気場の過程や状況について考察している試みはほとんどない。そこで、本研究では、アジアダストに付着したウィルスなどの生物起源物質が大気場輸送中に保存される環境場について、つまり、アジアダストが凝結核となり、雲水、氷晶、雪などに変遷する雲物理過程を気象モデルやリモートセンシングデータから明らかにし、時空間的な拡散の変遷や多寡を理解する。また、アジアダストイベント毎の経路と症状発祥地との関連も含めて評価を行い、それらを基にして、新たに現地での観測を行いながら解釈を行う。本研究では、今まで行われていなかった雲物理過程の変遷がバイオエアロゾルの保存と輸送に与える影響を評価する。この成果は、時空間的なバイオエアロゾルの挙動が示され、家畜などの伝染病予防や方策が見込まれることから、社会的な還元が出来ることが期待される。

研究方法

気象モデル CReSS やリモートセンシングデータ、ライダーデータを基に、実測と理論（モデル）の双方から、アジアダストの挙動について明らかにする。併せて、アジアダストイベント毎の経路と症状発祥地との関連も含めて評価を行う。

結果と考察

2012 年以降に現地観測を行っているため、それに合わせて気象モデル CReSS を用いて計算を行った。その計算結果を用いて、後方流跡線解析すると、札幌で黄砂が観測する場合は、中国北部からモンゴル南部のゴビ砂漠付近を起源とするアジアダストが多くみられた（図 1）。また、ライダーデータからモンゴルゴビ砂漠の Sainshand 現地ステーション付近でアジアダストが発生した時間を初期時間として仮想的にサンプルを卷いた実験からは、北海道付近を指向していることが求められた（図 2）。現地では境界層が深い影響で、偏西風に乗り易く、対流圏下層から中層にかけてのダスト群はあまり南北方向に拡散しないまま運ばれている。但し、アジアダスト発生回数のサンプルが少ないため、今後も事例を増やす必要がある。現段階では、個々の事例解

析において境界層の発達の様相やアジアダスト輸送に関して特徴を明らかにすることが急務である。

一方、バイオエアロゾルをメタゲノム分析によりアジアダスト発生地（モンゴルゴビ砂漠）と飛散先（札幌）で比較をすると、アジアダストイベント時には普段現れない型をもつ生物由来物質が幾つか特定された（現在修正投稿中）。これらから、モンゴルゴビ砂漠起源の物質が移動していることが裏付けられた。

今後の課題

境界層を超えて自由大気に入るメカニズムについては未解明な部分があるため、事例を増やしてモデルデータや観測データから理論的に解明することが必要である。

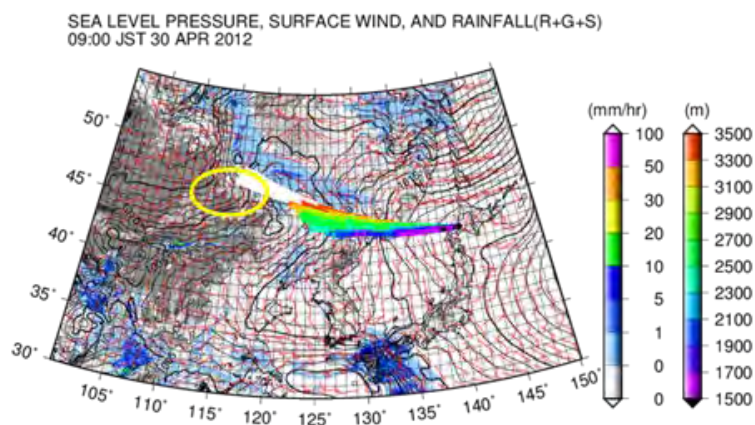


図1 2012年4月30日00UTCの地上気圧・風・降水量分布および24時間の後方流跡線（色は高度を示す）。黄色い枠線がモンゴルゴビに相当。

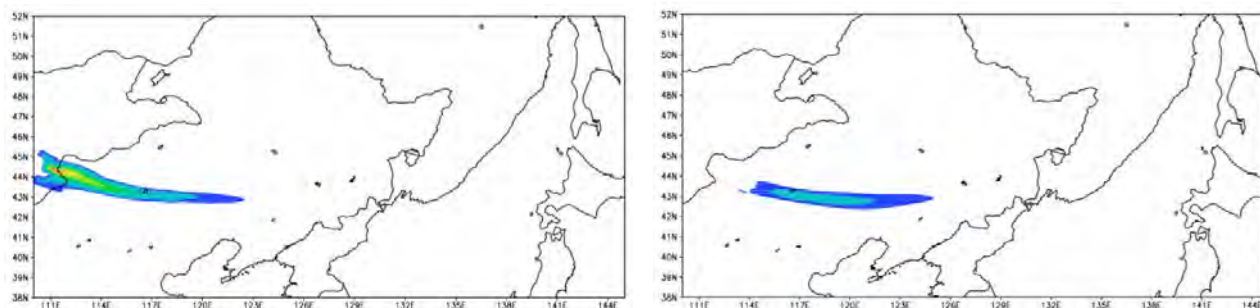


図2 モンゴルゴビ砂漠付近からの前方流跡線 12時間後（左：高度3184m，右：5380m）

成果発表：

馬場ほか，CALIPSOを用いた2012年4月のダストストームの時空間変遷について，日本気象学会，名古屋大学，2016年10月28日。

全大気圏－電離圏結合モデル(GAIA)を用いた宇宙環境じょう乱の研究

Study of space environment disturbances using the whole atmosphere-ionosphere coupled model GAIA

品川裕之（情報通信研究機構・電磁波研究所・宇宙環境研究室）

研究の目的

本研究は、情報通信研究機構で開発された全大気圏－電離圏結合モデルGAIA(Ground-to-topside model of Atmosphere and Ionosphere for Aeronomy)を用いて、下層大気起源の大気波動の影響、磁気圏の電磁エネルギーの影響、降り込み粒子の影響、太陽フレアの影響などを含めた総合的なシミュレーションを行うことにより、宇宙環境現象、特に、宇宙天気予報で重要となるプラズマバブル、スボラディック E 層、電離圏嵐などの電離圏じょう乱現象を定量的に解明することを目的とする。

本年度の研究結果

(1) GAIA モデルの高精度化と高速化

前年度開発した水平分解能 1 度の GAIA モデルを用いてテスト計算を行った結果、条件によっては数値が異常になる場合があったため、原因の究明を行い、安定かつ正確に計算ができるように改良を行った。改良版を用いた計算の結果、従来モデルでは再現できなかった水平スケール数 100km の熱圏・電離圏構造を再現することが可能となった。このモデルを用いて電離圏の波動を再現した論文を作成し、出版された[Miyoshi et al., 2018]。

(2) フレア時の電離圏変動のシミュレーション

前年度構築した太陽フレア時の X 線・EUV スペクトルモデルを入力して実行する GAIA を用いて、さまざまなフレア時の電離圏変動のシミュレーションを行った。また、太陽フレア時の電離圏下部領域(E 層、D 層)におけるイオン・中性組成変動を調べるため、化学反応過程モデルの開発も進めた。

(3) プラズマバブルモデルと GAIA の結合

NICT で開発したプラズマバブルモデルに GAIA から得られる背景場を入力として、プラズマバブルの伝搬のシミュレーションの試験を行った。その結果、パラメータの整合性などについて問題があり、結合のスキームを検討する必要があることがわかった。

(4) GAIA を用いたプラズマバブル発生確率予測方法の研究

GAIA のシミュレーションデータからプラズマバブルの線形成長率を求めることにより、プラズマバブル発生確率予測を行う方法について調べた。その結果、モデル中の線形成長率の大きさが発生確率の指標として有意な情報を与えることがわかった。この結果は、プラズマバブル発生確率予測の新しい手法となる可能性がある。この結果を基に論文を作成し、出版された [Shinagawa et al., 2018]。

(5) 極域電離圏パラメータの GAIA への導入

極域電離圏ポテンシャルの経験モデル(Weimer モデル)を GAIA の入力としたシミュレーションのテストを行い、初期の結果を得た。本年度は、実際の太陽風パラメータを入力として与えて、熱圏・電離圏のダイナミクスと構造の変化を求め、結果を検討した。

(6) GAIA を用いたスボラディック E (Es) 層の発生率に関する解析

本研究では、GAIA のシミュレーションデータから求めた中性風シアーによる鉛直方向のイオン収束率を求め、観測で得られた Es 層の発生データと比較した。その結果、イオン収束率のグローバル分布と Es 層の発生率が比較的良く対応していることがわかった。このことは、GAIA を用いることにより Es 層の発生がある程度予測できる可能性を示唆している[Shinagawa et al., 2017]。本年度は、この結果に基づいて、ある地点における日々の Es 層発生予測方法についての検討を行った。

論文

1. Shinagawa, H., Y. Miyoshi, H. Jin, and H. Fujiwara (2017), Global distribution of neutral wind shear associated with sporadic E layers derived from GAIA, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 122, doi:10.1002/2016JA023778.
2. Maruyama, T., H. Shinagawa, K. Yusupov, and A. Akchurin (2017), Sensitivity of ionosonde detection of atmospheric disturbances induced by seismic Rayleigh waves, *Earth Planets Space*, 69:20, doi: 10.1186/s40623-017-0600-z.
3. Miyoshi, Y., D. Pancheva, P. Mukhtarov, H. Jin, H. Fujiwara, and H. Shinagawa (2017), Excitation mechanism of non-migrating tides, *J. Atmos. Terr-Sol. Phys.*, 156, 24-36, doi: 0.1016 /j.jastp.2017.02.012.
4. Tao, C., H. Jin, H. Shinagawa, H. Fujiwara, and Y. Miyoshi (2017), Effect of intrinsic magnetic field decrease on the low- to middle-latitude upper atmosphere dynamics simulated by GAIA, *J. Geophys. Res.*, 122, 9751-9762, doi: 10.1002/2017JA024278.
5. Watanabe, M., S. Fujita, T. Tanaka, Y. Kubota, H. Shinagawa, and K. T. Murata (2018), A magnetohydrodynamic modeling of the interchange cycle for oblique northward interplanetary magnetic field. *J. Geophys. Res.: Space Physics*, 123, 272–286. <https://doi.org/10.1002/2017JA024468>
6. Shinagawa, H., Y. Miyoshi, H. Jin, H. Fujiwara, T. Yokoyama, and Y. Otsuka (2018), Daily and seasonal variations in the linear growth rate of the Rayleigh-Taylor instability in the ionosphere obtained with GAIA, *Progress in Earth and Planetary Science*, 5:16 <https://doi.org/10.1186/s40645-018-0175-8>.
7. Miyoshi, Y., H. Jin, H. Fujiwara, and H. Shinagawa (2018), Numerical study of Traveling Ionospheric Disturbances generated by upward propagating gravity wave, *J. Geophys. Res.: Space Physics*, <https://doi.org/10.1002/2017JA025110>.
8. Fujita, S., Y. Murata, I. Fujii, Y. Miyoshi, H. Shinagawa, H. Jin, and H. Fujiwara (2018), Evaluation of the Sq magnetic field variation calculated by GAIA, *Space Weather*, <https://doi.org/10.1002/2017SW001745>.

口頭発表

1. Shinagawa, H., H. Jin, Y. Miyoshi, H. Fujiwara, Predictability of thermosphere-ionosphere variations originating from the lower atmosphere using GAIA, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 幕張メッセ国際会議場, 2017 年 5 月 23 日.
2. 品川 裕之, 陣 英克, 三好 勉信, 藤原 均, 横山 竜宏, 大塚雄一, 埜 千尋, GAIA を用いたプラズマバブル発生予測について, 第 142 回地球電磁気・地球惑星圏学会, 京都大学宇治キャンパス, 2017 年 10 月 19 日.
3. 品川 裕之, 大気圏・電離圏モデルに関する最近の話題, 高緯度電離圏の電気力学過程およびその磁気圏や熱圏との結合過程に関する研究集会, 京都大学理学部, 2017 年 11 月 15 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
models and their evaluations

若月 泰孝・茨城大学・理学部

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、関東域の夏季を対象とした高解像領域大気モデル実験を実施した。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2種類の実験を実施した。一つは、都市効果を単層都市キャノピーモデル（SPUC; Aoyagi and Seino, 2011）で表現したものと、都市の粗度効果のみを考慮し、熱的效果を入れなかったものの2種類である。都市効果を抜いた実験も実施していたが、今年の中には終わらなかった。

SPUCは、夜間のヒートアイランド現象に大きく影響を及ぼした。深夜から早朝の最低気温は、東京近郊の都市域だけ有意に高くなった。一方、雲降水プロセスに関しては、熱環境ほど大きな違いを示さなかった。SPUCを用いると、午後から夜にかけて都市の混合層高度が高くなった。混合層の発達には、都市域で低気圧偏差を作り出し、夕方を中心として、収束が強化された。それらの変化に伴い、東京から神奈川の湾岸域を中心として雲量の増加がみられた。ただし、雲量増加のシグナルは、混合層高度の上昇や低気圧化、収束強化のシグナルと比べるとわずかしかない。これは、混合層高度の発達とともに、乾燥化も進んでしまったためである。水蒸気混合比は有意に減少していた。降水量の変化については、雲量以上に不明瞭で、ほとんど違いは見られなかった。

Kusaka et al. (2014)は、4km解像度と少し粗い計算ではあるものの、都市効果で降水が増加することを数値モデルシミュレーションで示唆した。本研究は、都市を完全に抜いた実験が終了していないので、類似の比較はできないが、この結果を用いて考察すると、都市の影響で雨が増えるのは、主に都市の力学効果によるものと推定できる。さらなる調査が必要である。

参考文献

- Aoyagi, T. and N. Seino, 2011: A square prism urban canopy scheme for the NHM and its evaluation on summer conditions in the Tokyo metropolitan area, Japan. *J. Appl. Meteorol. Climatol.*, 50: p. 1476-1496.
- Kusaka, H., A. Suzuki-Parker, Y. Takane, N. Furuhashi, 2014: Mechanism of Precipitation Increase with Urbanization in Tokyo as Revealed by Ensemble Climate Simulations. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 53, 824-839.

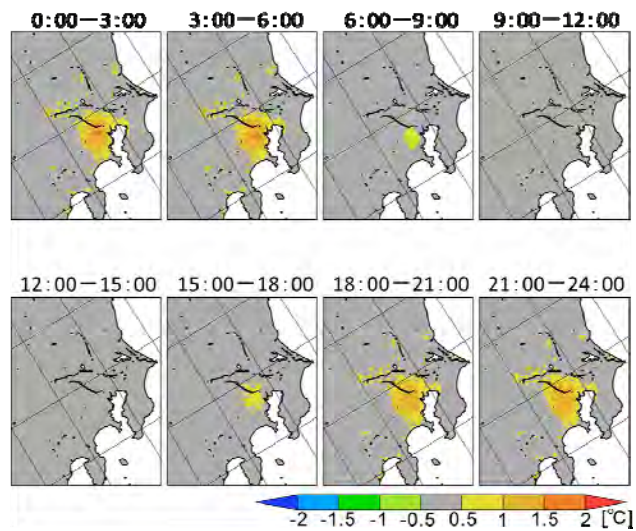


図1： 2m気温の時刻別の比較（SPUCありマイナスSPUCなし）

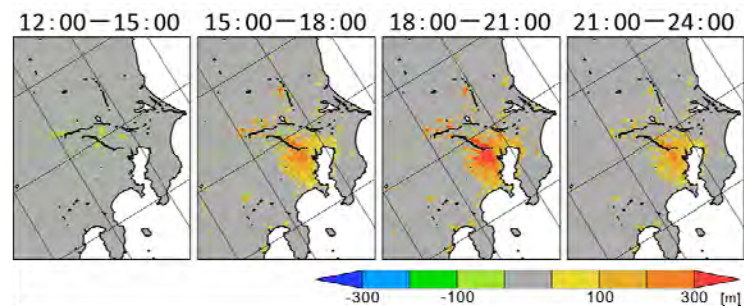


図2： 混合層高度の時刻別の比較（SPUCありマイナスSPUCなし）

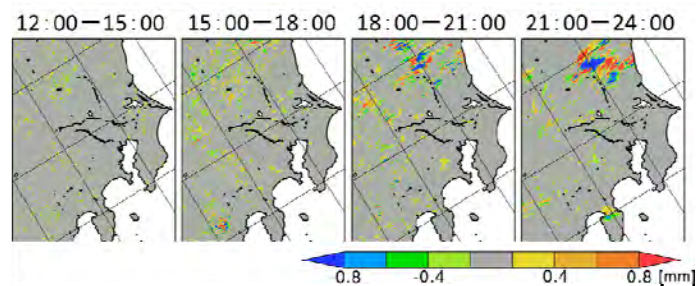


図3： 降水量の時刻別の比較（SPUCありマイナスSPUCなし）

内部太陽圏磁気流体モデルを用いた南向き惑星間空間磁場予測手法の開発

Prediction of Arrival of Southward Interplanetary Magnetic Field based on MHD simulation of the inner Heliosphere

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

太陽から流出するプラズマである太陽風・コロナ質量放出(CME)は、地球に到来すると磁気圏環境に擾乱をもたらし、時には電磁波による通信や安定した電力供給網などの社会インフラに深刻な被害をもたらすことが知られている。太陽風・CMEの影響を予測し、警戒情報を発信する活動は、「宇宙天気予報」とよばれ、日本では情報通信研究機構が予報業務を担っている。一方で、太陽風・CMEの起源の理解にとって重要なコロナ加熱・太陽風加速・CME形成過程は、太陽地球系物理学における未解明の研究課題である。これらは共通して太陽の複雑な磁場構造によるものであるが、コロナ磁場の直接計測は非常に困難を伴う。よって現在、測定が可能な太陽表面(光球)の磁場観測結果に基づいて太陽コロナ・惑星間空間を再現する数値モデルを用いたモデリングが、太陽風・CMEの影響予測に最も有効な手段となっている。

我々はこれまで、YinYang格子を用いて太陽コロナ・惑星間空間を再現するMHDシミュレーションコードの開発を行ってきた。このコードを用いて、毎日の光球の磁場観測データから太陽風・放射線帯の宇宙天気予報を行う全自動宇宙天気予報システム(SUSANOO, Shiota et al., 2014)を開発し、運用を行っている。

現在のSUSANOOの太陽風予測は、予測結果がよく合う時期もあれば全く合わない時期もある。予測が合わなくなる原因は、太陽風モデル自体の問題とCMEが発生・到来したことによる問題がある。よって本研究では、SUSANOO-CME (Shiota & Kataoka 2016)のCMEモデルを、情報通信研究機構の宇宙天気予報での利用に向けた準備研究と、太陽風モデル改良を行うことで宇宙天気予報の予測精度向上につなげることを目指している。

2017年9月初旬、太陽に活発な活動領域NOAA12673が急速に発展し、Xクラスフレア4つを含む52の太陽フレアが発生(図1)、それらに伴う現象による社会影響がニュースにも取り上げられ、注目を浴びたことが記憶に新しい。本研究では、これらの一連のイベントのCMEの再現を試み、リアルタイムSUSANOO-CMEシステムの構築を進めた。一部の太陽フレアに伴い3回の地球方向に向けたハローCMEが発生、衝撃波が地球の位置を通過した。そのうち2回目の衝撃波通過時9月7日から8日にかけて南向きの惑星間磁場が到来し(図2下段)、磁気嵐が發展した。

本研究では、リアルタイムでCME到来前に得られる観測データのみからCME予測を可能にする手法を模索した。その結果、地球(日本)に影響を耐えたX9.3クラスフレアに伴うCMEの発生位置およびCME内部のフラックスロープの回転角が、地球に到来する太陽風プロファイルを大きく変えうることが明らかになった。観測された太陽風プロファイルをよく再現したケースの結果を図2に示す。予報での利用のためには、CMEパラメータを自動で与える仕組みが必要であり、これらの決めることが難しいパラメータを変動させてアンサンブル予測を行うシステムを開発している。

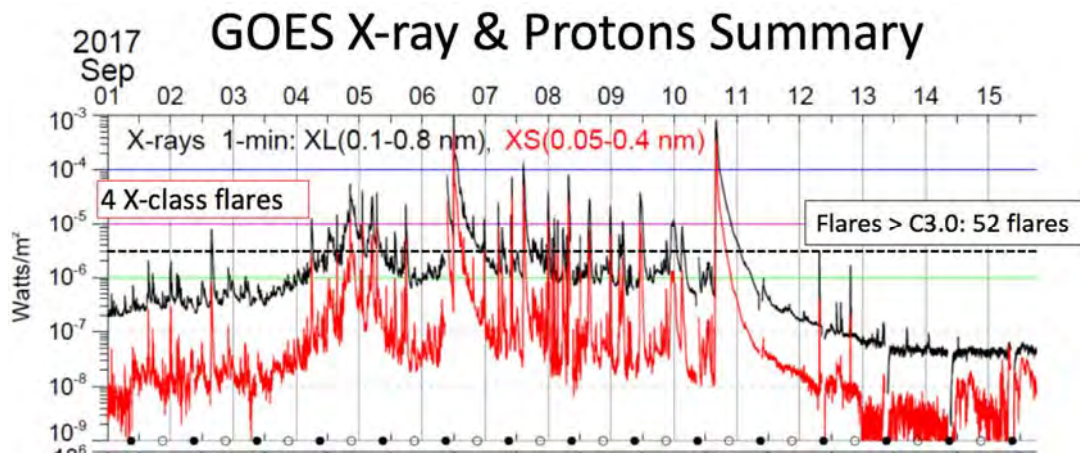


図1 2017年9月前半のGOES衛星によるX線強度の変動。

(https://satdat.ngdc.noaa.gov/sem/goes/data/new_plots/2017/goes15/summary/)

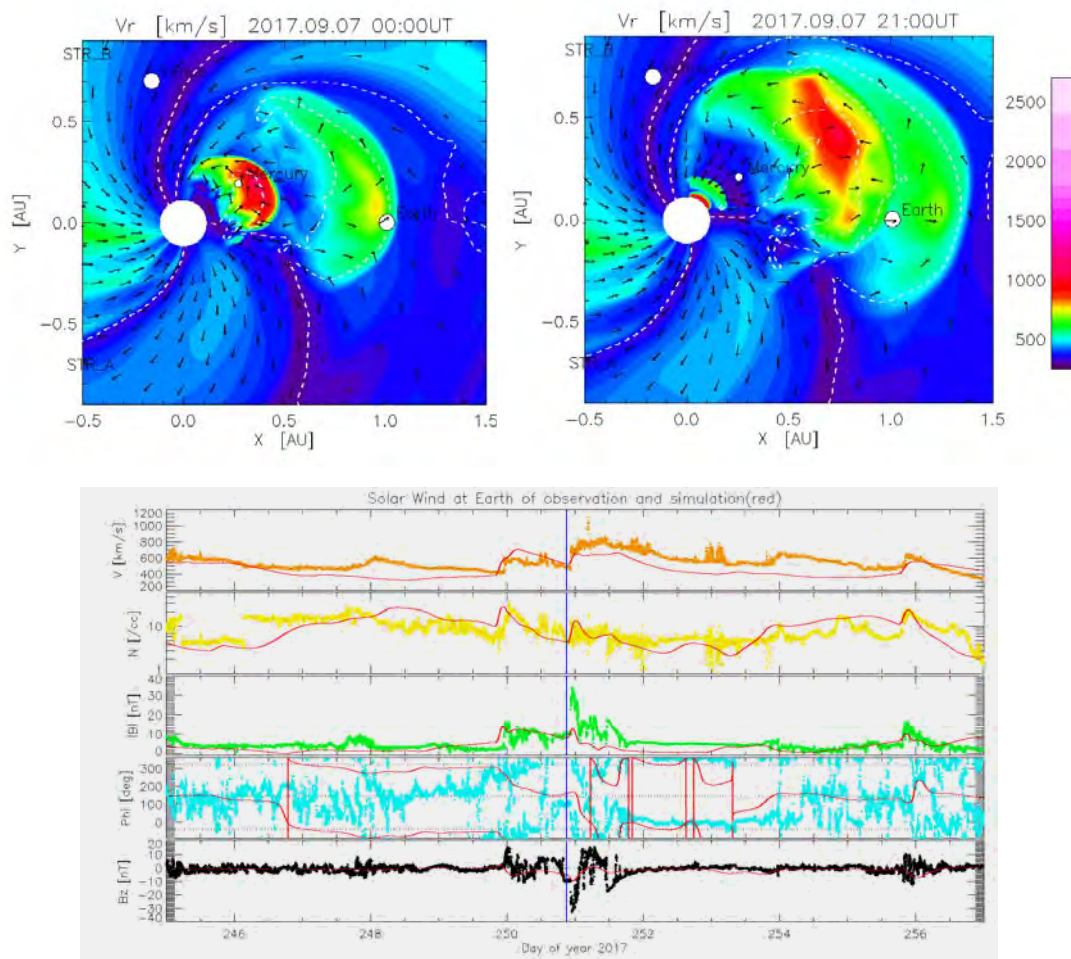


図2 SUSANOO-CMEで再現されたCMEの伝搬の様子(上段)。下段は、地球の位置での太陽風変動のグラフ(赤線)とDSOVRによる太陽風 in situ 観測(色)。縦の青線(DOY250.875)が右上段の9月7日21:00 UTに対応する。

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 (NGIMS) によって観測された火星上部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の下層大気・中層大気・下部熱圏の大気大循環モデルから得られた大気重力波のスペクトル情報や風速場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する。それらをMAVEN探査機が取得したデータと比較し、誘導磁気圏側からの降込イオンと下層大気からの大気重力波による加熱効率のどちらがより観測を説明しうるかを比較調査するとともに、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がどのような影響を受け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】

平成29年度は、前年度までに初期的な開発を行った火星熱圏DSMCモデル[K. Terada et al., 2016]に、大気重力波の分散・分極関係式を用いて下側境界から大気重力波を入力し、様々な鉛直波長スペクトルの大気重力波の伝播・飽和・散逸特性を調査した。そして、MAVEN探査機のNGIMS観測データを用いて火星上部熱圏における大気重力波の活動度の高度分布と緯度経度分布を解析し[N. Terada et al., 2017]、数値実験結果と探査機観測の組成ごとの振幅や位相差を比較することにより、火星上部熱圏および外圏底近傍で観測される大振幅擾乱は鉛直波長が200km以下の大気重力波では説明がつかない (鉛直波長が200km以上の重力波が必要もしくは他の要因により生成) ことを明らかにした。

【成果発表】

(論文発表)

- Terada, N., F. Leblanc, H. Nakagawa, A. S. Medvedev, E. Yigit, T. Kuroda, T. Hara, S. L. England, H. Fujiwara, K. Terada, K. Seki, P. R. Mahaffy, M. Elrod, M. Benna, J. Grebowsky, and B. M. Jakosky, Global distribution and parameter dependences of gravity wave activity in the Martian upper thermosphere derived from MAVEN/NGIMS observations, *Journal of Geophysical Research*, 122, pp.2374–2397, doi:10.1002/2016JA023476, 2017.
- Terada, K., N. Terada, H. Shinagawa, H. Fujiwara, Y. Kasaba, K. Seki, F. Leblanc, J.-Y. Chaufray, and R. Modolo, A full-particle Martian upper thermosphere-exosphere model using the DSMC method, *Journal of Geophysical Research*, 121, pp.1429-1444, doi:10.1002/2015JE004961, 2016.

(学会・研究会発表)

- Terada, N., K. Terada, H. Nakagawa, F. Leblanc, A. S. Medvedev, E. Yigit, T. Kuroda, H. Fujiwara, and K. Seki, Gravity waves in the Martian exosphere, 地球電磁気・地球惑星圏学会第142回総会および講演会, 2017年10月15日～2017年10月19日, 京都大学宇治キャンパス (京都府宇治市)
- 寺田 直樹, 惑星大気・プラズマシミュレーション, STEシミュレーション研究会・太陽地球惑星系複合システムのシミュレーション研究-, 2017年9月6日～2017年9月8日, 神戸大学統合研究拠点 (兵庫県神戸市) (招待講演)
- Terada, N., K. Terada, H. Nakagawa, F. Leblanc, A. S. Medvedev, E. Yigit, T. Kuroda, T. Hara, S. L. England, H. Fujiwara, K. Seki, P. R. Mahaffy, M. Elrod, M. Benna, J. Grebowsky, and B. M. Jakosky, Thermospheric Perturbations at Mars, Venus, and Earth: Solar Wind or Lower Atmosphere Forcing?, Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 14th Annual Meeting, Singapore, 6-11 August 2017. (Invited)
- Terada, N., K. Terada, H. Nakagawa, S. Maeda, F. Leblanc, A. S. Medvedev, E. Yigit, T. Kuroda, T. Hara, S. L. England, H. Fujiwara, K. Seki, P. R. Mahaffy, M. Elrod, M. Benna, J. Grebowsky, and B. M. Jakosky, MAVEN/NGIMS observations and full-particle DSMC modeling of gravity waves in the Martian upper thermosphere, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, Makuhari Messe, Chiba, 20-25 May 2017.

高エネルギー粒子ハイブリッドコードの開発
Development of Energetic-Particle Hybrid Simulation Code

天野孝伸(東京大学・理学系研究科)

宇宙プラズマでは高エネルギーの非熱的粒子が背景の熱的プラズマや、磁場と同程度のエネルギー密度を持つ場合がしばしば見られる。熱的プラズマのジャイロ半径や慣性長よりも十分空間スケールが大きい巨視的なダイナミクスは電磁流体(MHD)で精度良く近似されるが、高エネルギー成分が存在する場合にはそのジャイロ半径が大きいため MHD スケールにおいても運動論効果が無視できない。本研究では高エネルギー粒子の運動論を取り入れ、背景プラズマについては電磁流体(MHD)として近似し、両者を自己無撞着に連立させた高エネルギー粒子ハイブリッドコードの開発を行った。

本研究では流体近似した電子・イオンの 2 成分に加えて、任意の質量・電荷を持つ運動論的成分から成る系を考えた。これにより、(1)MHD, (2)準中性 2 流体, (3)ハイブリッドのいずれのモデルにもある極限において帰着する、より一般的なモデルを構築することに成功した。このモデルはこれらの中間的な場合として、本研究の目的である高エネルギー粒子ハイブリッドモデルを含有する。特にこのモデルでは質量や電荷についても任意であるため、高エネルギー電子成分の運動論効果についても正しく考慮していることは特筆に値する。

本研究で新たに開発した並列化された 3 次元シミュレーションコードを用いて、実際にこれらの特徴を確認した。シミュレーションコードは HLL-UCT と呼ばれる $\text{div}(\mathbf{B})=0$ を保証する近似リーマン解法による流体・磁場の時間発展と、PIC 法を用いた運動論的成分の発展を同時に扱う。開発したコードは系の固有モードや種々の線形不安定性を理論予測通りに再現することを示した。また、温度異方性が励起する firehose 不安定性について、(1)熱的成分が温度異方性を持つ場合、(2)非熱的成分が温度異方性を持つ場合、の両者について数値シミュレーションを行ったところ、両者の非線形発展が顕著に異なることも明らかになった。これは同じプラズマベータ・温度異方性を持つ場合でも、圧力を保持する成分のジャイロ半径などの違いが不安定性の非線形発展を支配することを意味し、MHD スケールにおいても高エネルギー粒子の運動論効果が重要になる可能性を示唆する結果である。

8. データベース作成共同研究 目次詳細

(所属・職名は平成30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
大矢浩代	千葉大学	大学院工学研究院	助教	AVONデータベースの作成	390
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	391
吉川顕正	九州大学	国際宇宙天気科学・教育センター	講師	MAGDAS/CPMNデータのデータベース化	393
加古真一郎	鹿児島大学	学術研究院 理工学域工学系	助教	複数衛星観測データを用いた全球海上風ベクトルデータセットの構築	394
渡邊 堯	情報通信研究機構	ICSU WDS International Programme Office	上級顧問	宇宙線WDCデータベース	396
高田 拓	高知工業高等専門学校	ソーシャルデザイン 工学科	准教授	れいめい衛星搭載の磁力計GASのデータベース 作成・整備	397

AVONデータベースの作成
Data archives of the AVON observation network

大矢 浩代、千葉大学・大学院工学研究院

1. 研究目的

本研究の目的は、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(19.8-68.5 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成分は生波形を, 標準電波は振幅及び位相の平均値をIUGONETを通して公開する。水平磁場2成分は, ダイナミック・スペクトルも公開する。AVONはあらせ(ERG)衛星プロジェクトの地上観測ネットワークのうちの一つであり, 打ち上げ後はERG衛星データとの比較により, 内部磁気圏から下部電離圏への高エネルギー降り込み粒子の解明に貢献できるものと思われる。また名古屋大学宇宙地球環境研究所が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

平成29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。

成果発表

[1] Ohya, H., Y. Takishita, F. Tsuchiya, H. Shinagawa, K. Nozaki, K. Shiokawa, H. Nakata, and Y. Miyoshi, D-region ionospheric oscillations measured by LF transmitter observations after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, European Geosciences Union (EGU) General Assembly 2017, Vienna (Austria), 22-30 April, 2017.

[2] Ohya, H., Y. Takishita, F. Tsuchiya, H. Shinagawa, K. Nozaki, K. Shiokawa, H. Nakata, and Y. Miyoshi, D-region oscillations of LF transmitter signals after the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, JpGU-AGU 2017, Chiba (Japan), 20-25 May, 2017.

[3] Ohya, H., F. Tsuchiya, H. Shinagawa, K. Nozaki, and K. Shiokawa, D-region ionospheric signatures observed in LF standard radio waves after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, SGEPPSS Fall Meeting 2017, Kyoto (Japan), 15-19 October, 2017.

[4] Ohya, H., and F. Tsuchiya, Observations of energetic electron precipitation into the atmosphere using LF/VLF standard radio waves, The 359th Symposium for Sustainable Humanosphere "International Workshop on radio science and radio application technology", Kanazawa, 29-30 October, 2017.

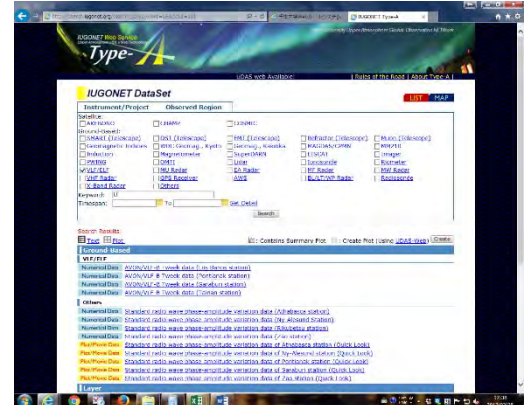


図 1 IUGONET Type-A での AVON 検索画面

(<http://search.iugonet.org/search.jsp?keyword=AVON&cid01=101>).

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ヤ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、女満別と鹿屋の1974～1976年（合計6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2,038枚の高精度スキヤニング作業（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

平成24年度から29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。

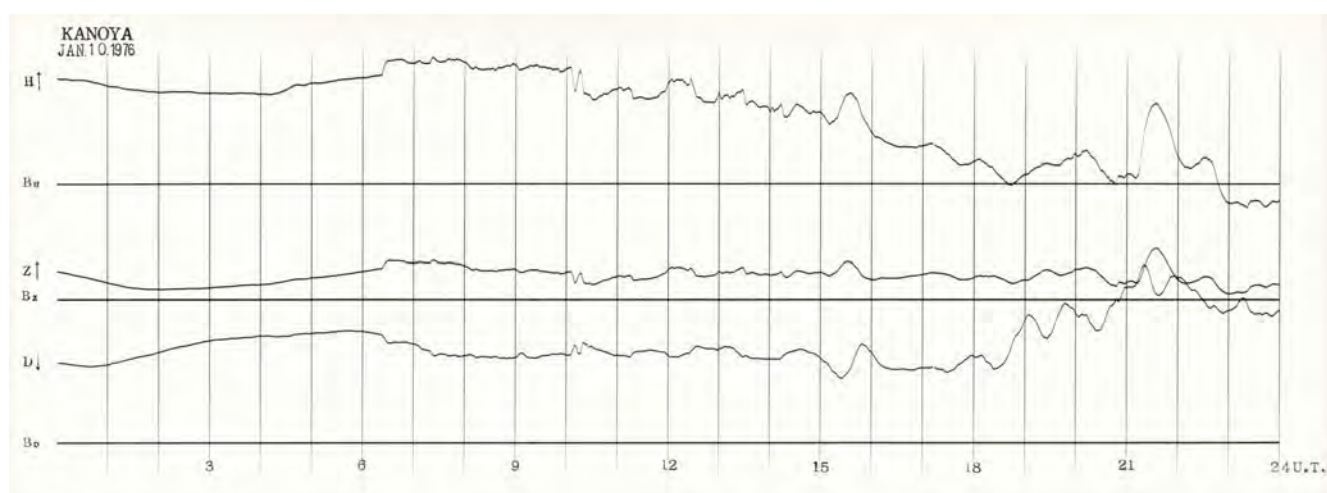
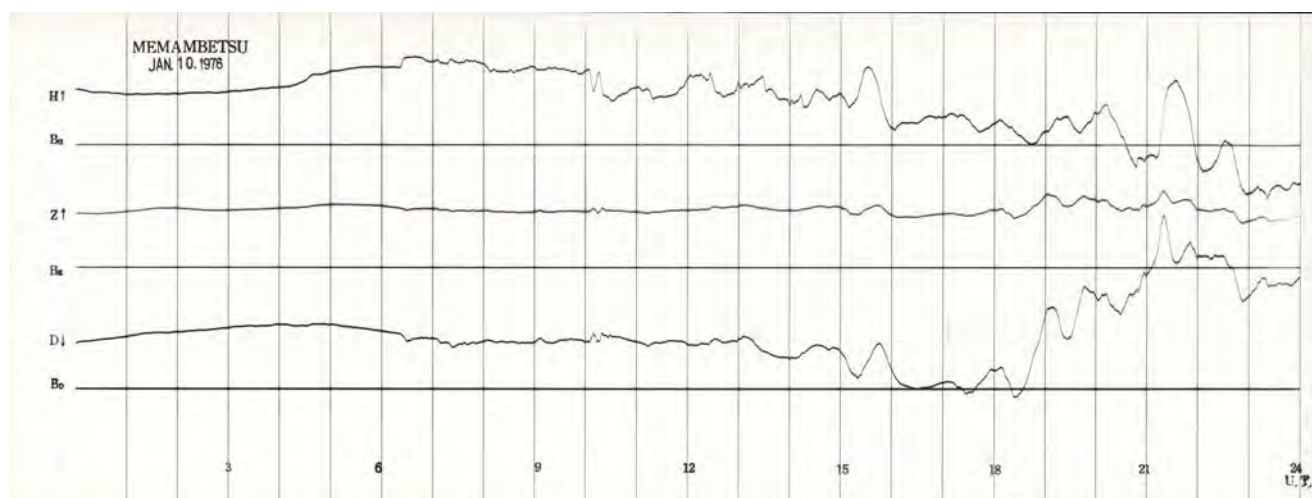


図1 デジタル画像化されたアナログマグネトグラム。
1976年1月10日0時～24時の女満別（上）と鹿屋（下）の例。水平成分(H)、鉛直成分(Z)、
偏角(D)の変化が記録されている。なお、両観測地点で6時22分に磁気嵐が発生した。
日時はUTC。

Year	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010
柿岡	アナログ マグネトグラム	1926 → 1955 デジタル画像化		1956 → 1983 デジタル画像化+数値化						
	(既存)毎分値						1976 ----->	2018年		
	(既存)毎秒値						1983 ----->	2018年		
女満別	アナログ マグネトグラム					1974 1978	1979 1984			
						↑ デジタル画像化	↑ デジタル画像化+数値化			
	(既存)毎分値						デジタル画像化	1985 ----->	2018年	
(既存)毎秒値								1997 -->	2018年	
鹿屋	アナログ マグネトグラム					1974 1978	1979 1984			
						↑ デジタル画像化	↑ デジタル画像化+数値化			
	(既存)毎分値						デジタル画像化	1985 ----->	2018年	
(既存)毎秒値								1996 --->	2018年	

図2 平成29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。

MAGDAS/CPMNデータのデータベース化 MAGDAS/CPMN Database

吉川 顕正、九州大学・国際宇宙天気科学・教育センター

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を継続するため、各観測点に設置されている磁力計に接続されたデータ保存用コンパクトフラッシュカードを更新した。MAGDAS/CPMN 地磁気ネットワークの地磁気 3 成分 1 秒、1 分値、及び 10Hz サンプルングデータについて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。この磁場データより、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）への登録をおこなった。また、これらのデータを SPEDAS（Space Physics Environment Data Analysis System）より利用できるようにするための読み込みプログラムを作成し、登録をおこなった。

Information

Quick Look Images and How to Analysis about MAGDAS Data (ICSWSE, Kyushu University, Japan) was added, 22 Feb. 2018.



The MAGDAS (MAGnetic Data Acquisition System) is worldwide magnetometer array operated by International Center for Space Weather Science and Education (ICSWSE), Kyushu University, and now being deployed in order to carry out space weather studies and educations.

We need to clarify the dynamics of geospace plasma changes during magnetic storms and auroral substorms, the electro-magnetic response of iono-magnetosphere to various solar wind changes, and the penetration and propagation mechanisms of DP2-ULF range disturbances from the solar wind region into the equatorial ionosphere. By using this new MAGDAS data, we can conduct real-time monitoring and modeling of (1) the global 3-dimensional current system (2) the ambient plasma density for understanding the electromagnetic and plasma environment changes in the geospace, and so on.

Examples (MAGDAS):
2006/10/03: <http://search.iugonet.org/search.jsp?cid=208&to=2006/10/03&cid01=101&stype=2>
2012/03/10: <http://search.iugonet.org/search.jsp?cid=208&to=2012/03/10&cid01=101&stype=2>

Examples (MAGDAS and Dst/AE):
2006/10/03: <http://search.iugonet.org/search.jsp?cid=232&cid=208&to=2006/10/03&cid01=101&stype=2>
2012/03/10: <http://search.iugonet.org/search.jsp?cid=232&cid=208&to=2012/03/10&cid01=101&stype=2>

Detailed information:
MAGDAS: <http://data.icswse.kyushu-u.ac.jp/>
ICSWSE: <http://www.icswse.kyushu-u.ac.jp/>

IUGONET Type-A (<http://search.iugonet.org/list.jsp>) での MAGDAS データ公開告知

複数衛星観測データを用いた全球海上風ベクトルデータセットの構築 Construction of ocean surface wind vector dataset using multi-satellite observations

加古真一郎、鹿児島大学 理工学域工学系

1. 研究目的

大気海洋間の熱・運動量・淡水フラックスを定量的に把握することは、大気と海洋の相互作用を正しく理解する上で非常に重要である。我々の研究グループは、衛星観測に基づく海面フラックスデータセットとして、Japanese Ocean Flux Data Sets with Use of Remote Sensing Observations (J-OFURO)を2000年頃から世界に向けて発信し、その後、推定精度等を向上させたJ-OFURO2の公開も行った。2016年度には、複数の人工衛星データを統合することで、海面フラックスの推定に必要な不可欠な海上風の全球データセットの更なる高精度・高時空間解像度化を実現し、J-OFURO3の一部としてデータ配信を開始した。本研究の目的は、このデータセットをより一層拡張し、それを全世界に配信するためのウェブページを整備することで、大気海洋結合システムの解明やその研究の発展に貢献することにある。

2. 研究方法

表1に本研究で利用した衛星データの詳細を示す。本研究では、この表に示す衛星データを全て単純平均することで日平均スカラー風速を推定しているが、風向データは散乱計とWindSATからしか得られないため、それらに最適内挿法(Kako et al., 2011)を適用することで日平均値を推定していることに注意されたい。このようにして得られた風向・風速の日平均値を用いて、空間解像度0.25度の全球海上風ベクトルデータセットを構築した。

表1 海上風データセット作成に用いた人工衛星(括弧内はデータの提供元)

マイクロ波散乱計	OSCAT (PO. DAAC), ASCAT (PO. DACC), QuikSCAT (PO. DAAC)
マイクロ波放射計	SSMIs (RSS; 以下括弧内は提供期間を示す), AMSR-E (RSS), TMI (RSS), WindSAT (RSS), AMSR2 (RSS)
時間解像度	6時間毎のデータから計算した日平均値
空間解像度	0.25° × 0.25°

3. 研究成果

本研究では、海上風のデータセットの構築を1991年から2016年までの期間で行い、その内、精度検証が完了した1996年から2013年までの18年間分のデータセットの公開を<https://j-ofuro.scc.u-tokai.ac.jp>にて開始した。トップページのスクリーンショットを図1に示す。ここでは、データセットのダウンロードだけでなく、現場観測値や他の全球データプロダクトとの比較結果、データ利用のためのツールやサンプルコード、さらにはデータセットの詳細を記した公式ドキュメントも含めて配信している。また、データ利用のための講習会を開くなどして、新たに作成したロゴ(図2)と共に、J-OFURO3の



図1 本研究で構築したデータを配信するJ-OFURO3のWebページ

普及と宣伝を行っている。その甲斐あってか、NHK のサイエンス ZERO「巨大海流 黒潮」や Masunaga et al. (2018)にて、我々のデータセットが使用されるなどその効果が出始めている。

4. まとめ

本研究では、人工衛星観測データに基づく海面熱・運動量・淡水フラックス推定に必要な海上風ベクトルデータセットの構築を 1991 年から 2016 年の期間で行い、このデータセットのウェブ上での配信を開始した(ウェブ上での配信は、1996 年から 2013 年まで)。また、このデータセットを含む J-ORUF03 のリファレンス論文を作成し、Tomita et al (2018)として投稿中である。今後は、データ期間を逐次延長しながら、準リアルタイムにデータセットを公開できる様なシステム作りを行う計画である。



図 2 J-OFURO3 のロゴ

引用文献

1. Kako, S., A. Isobe, and M. Kubota, 2011: High resolution ASCAT wind vector dataset gridded by applying an optimum interpolation method to the global ocean. *J. Geophys. Res.*, **116**, D23107, doi: 10.1029/2010JD015484.
2. Masunaga R., H. Nakamura, H. Kamahori, K. Onogi, S. Okajima, 2018, JRA-55CHS: An Atmospheric Reanalysis Produced with High-Resolution SST, SOLA, 14, 6-13, doi.org/10.2151/sola.2018-002
3. Tomita H., T. Hihara, S. Kako, M. Kubota, and K. Kutsuwada, 2018, An Introduction to J-OFURO3, a Third-Generation Japanese Ocean Flux Data Set Using Remote-Sensing Observations, submitted to Journal of Oceanography (in revision)

成果発表

1. Tomita H., S. Kako, T. Hihara, M. Kubota, and K. Kutsuwada, Introduction to a new satellite-derived air-sea flux data set J-OFURO3, AOGS 2017 annual meeting, Singapore, Aug. 2017
2. 富田裕之・加古真一郎・日原勉・久保田雅久・轡田邦夫、衛星観測に基づく海面フラックスデータセット J-OFURO3 で見る台風、H29 年度京都大学防災研究所共同研究集会「台風研究会」激昂化する台風災害の要因解明と減災へ向けて、2017 年 9 月 29 日
3. 富田裕之・加古真一郎・日原勉・久保田雅久・轡田邦夫、J-OFURO3 で見る黒潮続流域周辺の海面熱フラックスの特徴、日本海洋学会秋季大会、宮城、2017 年 11 月
4. 高橋優・轡田邦夫・富田裕之・加古真一郎・日原勉、高解像度全球海上風・海面応力格子データセットの精度検証、日本海洋学会秋季大会、宮城、2017 年 11 月
5. 富田裕之、J-OFURO3 のオープンデータサイエンス、日本海洋学会秋季大会、宮城、2017 年 11 月

宇宙線WDCデータベース
Database of WDC for Cosmic Rays

渡邊 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/>)。近年、特に旧ソ連圏観測所のデータの取り纏めと公開を行っていたロシア科学アカデミー電離層研究所(IZMIRAN)の活動が停滞気味で、データの更新が殆ど行われておらず、公開サイトへのアクセスも殆ど不可能な状態となっている。そこで可能な限り、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。また最近では、強い太陽フレア等によって発生するGLEなどの突発現象の宇宙天気予警報を主目的としたN MDB (Neutron Monitor Data Base、<http://wwwnmdb01.physik.uni-kiel.de/ikiwiki/>)でデータ公開を行う観測所も増えてつつあるが、1分単位の高時間分解能のデータを基本としているが、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、順次観測所等に照会中である。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、年二回(2017年9月と2018年3月)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。研究面では太陽活動に伴う宇宙線現象と、宇宙線フラックスの変化が地球環境に及ぼす影響に関する研究を継続しており、特に18-19世紀にかけて発生した太陽活動極小期(Dalton Minimum)と、同時期に欧州において発生した穀物価格上昇や社会情勢の変化との関連について、経済学系研究者との共同研究を進めている。

れいめい衛星搭載の磁力計GASのデータベース作成・整備
Database production and management of magnetometer GAS
onboard Reimei Satellite

高田拓、高知工業高等専門学校・ソーシャルデザイン工学科

【研究目的】

本研究では、れいめい衛星に搭載されたGASデータを科学データとして扱いやすい形式に変換し、GASデータベースの作成・整備を行った。GASデータの補正処理を行い、プラズマ粒子データと比較することにより、沿磁力線電流が適切に推定されていることを確認した。

【研究方法】

図1では、黒線で示された磁場の3成分は、赤線で示されたIGRF (International Geomagnetic Reference Field) 10モデルによる地球固有磁場の値と、同じような値を示している。磁場データの黒線は太い帯状に見えるが、これは短時間での磁場変動は大きく、大きなノイズ成分を含んでいるためである。また、MACの起動時と測定開始時には、縦の矢印で示すようにスパイク状のノイズが見られ、MACの測定中は、横向きの矢印で示す区間に階段状の磁場変動（オフセット）が見られる。MACの起動中（縦の点線の間の区間）に誘導磁場の影響を受けていることが分かる。MAC起動から測定開始の間（16:09:26~33）には、スパイク状のノイズに加えて、オフセットノイズが時間的に変動している。沿磁力線電流に伴う誘導磁場成分を評価するためには、磁場変動のノイズ等をできるだけ軽減し、オフセットノイズを調整する必要がある。

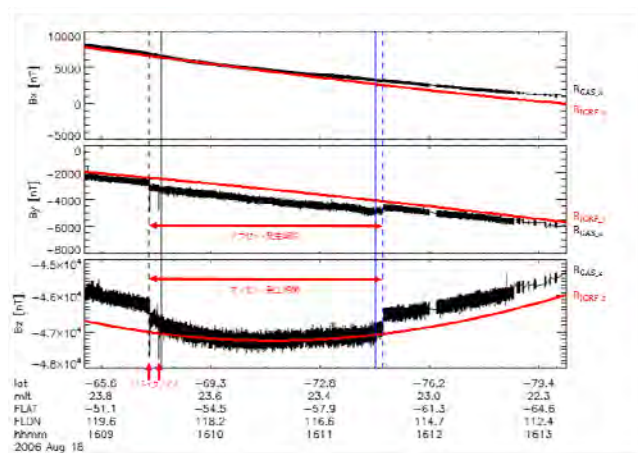


図1：GASによって測定された磁場データ：衛星座標系での磁場の3成分（黒線）と、IGRFモデルによる地球の固有磁場（赤線）。縦線は、MACのコマンド実行時刻（順に、起動、測定開始、測定終了、停止）。

【研究結果】

ここでは、補正データの磁場変動が沿磁力線電流による影響を反映しているかを確認した結果を示す。図2に、GASの補正データによる東向きの磁場変動成分、ピッチ角ごとの電子・イオンのエネルギー時間スペクトラムを示す。補正前のGASデータ（水色：オフセットのみ考慮）は、ノイズ成分が非常に大きい。補正データである赤線は、沿磁力線電流による緩やかな変動を明確に示している。れいめい衛星が南半球にいて、上向きの沿磁力線電流を北から南へと横切るとき、沿磁力線電流の北側では西向き、南側では東向きの誘導磁場を感じる。東向きを正とすると、磁場変動の東向き成分が増加傾向にあれば、沿

磁力線電流は上向き，減少傾向にあれば下向きとなると考えられる．また，衛星速度はほぼ等しいので，増減区間が短ければ，沿磁力線電流の空間スケールも小さく，増減区間が長ければ，空間スケールが大きいことを示している．図2の上部には，磁場変動の増減と時間長さを踏まえて，沿磁力線電流の向きと空間スケールを模した矢印を描いている．一方，観測範囲のプラズマ粒子が主な電流の担い手である場合，電子の降り込み量が多ければ，電流は上向きに，イオンの降り込み量が多ければ，電流は下向きに流れているはずである．例えば，16:11:00前後のD区間では，電子の降り込み（ピッチ角120-180°）が強く，上向きの電流があることが分かるが，それに対応して磁場の東向き成分は増加しており，上向き電流であること示唆している．16:10:22~16:10:30のB区間では，0.8 keV程度とエネルギーが低く，フラックス量の小さな電子の降り込みがあり，弱い沿磁力線電流であることが推測されるが，小さいながらも明確な磁場変動の増加が見られた．以上より，沿磁力線電流がある場合，対応する電子やイオンの特徴を確認した．

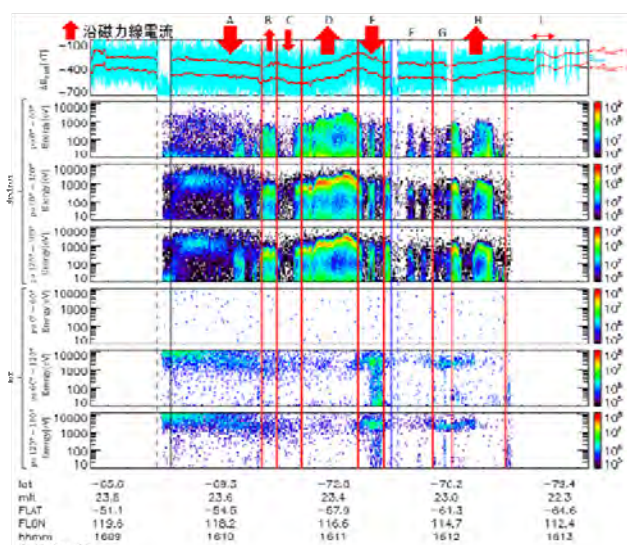


図2：校正後のGASデータ（東向き成分）とピッチ角毎の電子・イオンのエネルギー—時間変動の対応

【まとめ】

本研究では，姿勢制御用の磁力計GASのデータを処理し，沿磁力線電流の大きさや向きについて議論できるかどうかの評価を行った．座標変換，機器依存の高周波のノイズ成分の平均化，および，MACの起動に伴う磁場変動の除去等の補正を行い，データベースとして整備した．また，ESA/ISAデータと比較することで，GASの補正データによる磁場変動が，沿磁力線電流による変動とよく合うことを確認した．一方で，補正データの磁場変動は，比較的規模の小さな沿磁力線電流に対しても，よく対応することが分かった．現時点では，多くの沿磁力線電流を適切に検知できる磁場変動のデータベースとなっている．

れいめい衛星の磁力計データの作成・整備に関しては，磁力計データの補正プログラムの最終調整を行い，GASデータベース作成のためのスクリプトなどを準備し，データベース化を行っているところである．GASデータベース作成に関わる検討結果や成果は論文にまとめており，引用文献に示す査読付き学術誌に掲載されている．

データベースの公開アドレス：<http://reimei.stelab.nagoya-u.ac.jp/tgas/>

※データベースには，複数のバージョンがあり，v1、v2（4 Hzサンプリング）、v5（10 Hzサンプリング）、v5_plot（プロット画像）のディレクトリ内に各々置かれている．

【引用文献】

益岡葵、高田拓、平原聖文、浅村和史、れいめい衛星搭載磁力計GASのデータベース作成・整備：沿磁力線電流の推定のために、宇宙科学情報解析論文誌（査読誌）、6号、pp.63-71、2017

9. 加速器質量分析(共同利用) 目次詳細

(所属・職名は平成30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
岩花 剛	アラスカ大学フェアバンクス校	国際北極圏研究センター	Research Associate	永久凍土を利用した古環境復元の可能性	399
Simon Wallis	東京大学	大学院理学系研究科地球惑星科学専攻	教授	アンデス山脈における湖段丘の変形と地殻におけるマグマ流動	400
池盛文数	名古屋市環境科学調査センター	環境科学室	研究員	大気エアロゾルの炭素フラクションの14C測定	401
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	402
宮田佳樹	金沢大学	先端科学・イノベーション推進機構 ペンチャー・ビジネス・ラボラトリー	博士研究員	遺跡出土遺物を用いた古食性、古環境復元研究	403

(別紙様式9-1) 平成29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	岩花 剛		
所属機関	アラスカ大学フェアバンクス校		
部局	国際北極圏研究センター		
職名	Research Assistant Professor		
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:	永久凍土を利用した古環境復元の可能性		
英文:	Potentialities of Permafrost usage for paleo-environmental reconstruction		
2. 研究体制			
氏名	所属機関	国	職名
岩花 剛	アラスカ大学	米国	Research Associate
南 雅代	名古屋大学	日本	准教授
檜山哲哉	名古屋大学	日本	教授
大野 浩	北見工業大学	日本	助教
3. 研究成果の概要(200字程度でまとめてください)			
ロシア・中央ヤクーチアのChurapchaおよびSyrdakhにおける永久凍土の露頭からアイスウェッジ(IW)と考えられる地下氷の試料を採取した。IWが貫入する凍結堆積層中に見られた植物片、IW中の土壌有機物(SOC)および溶存無機炭素(DIC)に対して放射性炭素年代測定を実施した結果、IWが貫入する堆積土層の年代は両サイトともに22, 344-24,484 year BPの範囲であり、ほぼ同時代の堆積層であると考えられる。IW中のSOC年代は、27,103-35,015 year BP、DIC年代は、12,801-17,735 year BPであった。SOC年代とDIC年代の絶対値は1万年から2万年に開きが見られた。DIC年代は、試料処理時に年代の古い無機炭素が影響すると考えられたが、SOC年代よりもかなり若い年代値を示した。SOC年代には周辺の古い年代を持つ有機炭素の再堆積による誤差が顕著に出たと考えられる。IW中のDOCや温室効果ガスを用いた年代測定は来年度の課題である。DICによる年代決定の試みは、初めて実施されたものであるが、今後、上記のDOCの年代などと比較し、測定値の意味を考察する予定である。			
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)			
該当なし			
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)			
Go Iwahana, Cathy Wilson, Brent Newman, Jeffrey Heikoop, Bob Busey , Near-Surface Profiles of Water Stable Isotope Components and Indicated Transitional History of Ice-Wedge Polygons Near Barrow, AGU Fall meeting, New Orleans, Dec 2017.			
6. その他の成果リスト(著書、特許等)			

(別紙様式9-1) 平成29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	Simon Wallis		
所属機関	東京大学		
部局	大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻		
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:	アンデス山脈における湖段丘の変形と地殻におけるマグマ流動		
英文:	Lake shoreline deformation and crustal magmatic flow in the Andes		
2. 研究体制			
氏名	所属機関	国	職名
Simon Wallis	東京大学	日本	教授
花本夏輝	名古屋大学	日本	M1
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)			
ボリビア南部ウユニ塩湖域にはかつて広大な湖が存在していたが、現在はほぼ消滅している。盆地の斜面には、湖の存在を示す段丘地形が確認でき、多くの段丘には多孔質炭酸塩岩であるトゥファが付着している。本研究では、^{14}C年代測定法およびU/Th 法により、この段丘トゥファの年代測定を行った結果、主に17–10 ka に形成したことが明らかになり、先行研究と調和的である。また、トゥファの形成年代と標高の組み合わせることにより、盆地が中心付近で最大20 m 程度隆起したことを明らかにした。隆起量とその分布がかつて存在した湖水の消滅に伴った盆地への加重の減少による粘弾性反応プロセスが明らかになった。			
4. 成果論文リスト(著者名、タイトル、雑誌名、巻号、ページまたはDoi、年、順番は入れ替え可)			
Nicola Clark Simon Wallis, Flamingos, salt lakes and volcanoes: hunting for evidence of past climate change on the high Altiplano of Bolivia, <i>Geology Today</i>, v.33, 101–107, https://doi.org/10.1111/gto.12186, 2017			
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)			
花本夏輝・ウォリス サイモン・鷺谷 威・南 雅代・Chuan-Chou Shen・Chun-Yuan Huang、ボリビア国のウユニ塩湖周辺に分布する湖トゥファの年代と 構成、日本地質学会第124年学術大会(2017愛媛大会)、松山市、2017年9月18日			
6. その他の成果リスト(著書、特許等)			

(別紙様式9-1) 平成29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	いけもり ふみかず 池盛 文数		
所属機関	名古屋市環境科学調査センター		
部局	環境科学室		
職名	研究員		
下記の共同研究について、別紙のとおり報告します。			
記			
1. 研究課題名			
和文:	大気エアロゾルの炭素フラクションの14C測定		
英文:	Measurement of carbonaceous fractions in atmospheric aerosols		
2. 研究体制			
氏名	所属機関	国	職名
池盛文数	名古屋市環境科学調査センター	日本	研究員
中山智喜	名古屋大学	日本	講師
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)			
名古屋で捕集した炭素質エアロゾルについてこれまでに14C測定を行った試料に対し発生源指標となる有機物の測定を行った。季節別の発生源指標と、14Cから得られる化石燃料起源や生物起源の炭素と比較した。特に生物起源炭素については、秋冬に植物起源の指標と、また春については花粉の指標と相関が見られた。また炭素フラクションの分離の条件を確立し、元素状炭素試料を作成した。			
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)			
5. 学会発表リスト(著者名、タイトル、学会名、開催場所、年月日)			
池盛文数、長谷川瞳、中山智喜、名古屋における大気粒子中のニトロ化芳香族炭化水素類について、第34回エアロゾル科学・技術研究討論会、東京都江東区、2017年8月			
池盛文数、中山智喜、長谷川瞳、夏季、秋季におけるPM2.5中の有機トレーサーとニトロ芳香族炭化水素類の昼夜別観測、第58回大気環境学会年会、兵庫県神戸市、2017年9月			
6. その他の成果リスト(著書、特許等)			

(別紙様式9-1) 平成29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	さとう こうへい 佐藤興平		
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 by the collapse of volcanoes		
2. 研究体制			
氏名	所属機関	国	職名
佐藤興平	気象庁	日本	非常勤講師
南 雅代	名古屋大学	日本	准教授
加藤丈典	名古屋大学	日本	准教授
柴田 賢	名古屋大学	日本	元年代測定資料研究センター長
3. 研究成果の概要(200字程度でまとめてください)			
山体崩壊は過酷な被害をもたらす火山活動の一つである。そのような火山災害の予測・軽減に資するため、過去の山体崩壊堆積物の時空分布と岩石化学的特性から、崩壊の原因と崩壊物流下のメカニズムの解明を目指した。3年計画2年次の今年度は前橋泥流に着目して、これに含まれる火山岩塊のSr同位体比から泥流の分布を把握し、泥流に埋没した木片の¹⁴C年代から山体崩壊の時代を解明した。この泥流は浅間火山から70 km以上も流下してきた過去最大級の山体崩壊堆積物と考えられる。			
4. 成果論文リスト(著者名、タイトル、雑誌名、巻号、ページまたはDoi、年、順番は入れ替え可)			
佐藤興平・南 雅代・中村俊夫・柴田 賢・児嶋美穂・武者 巖(2018)木片の ¹⁴ C年代測定による前橋泥流堆積時期の再検討(予察)。群馬県立自然史博物館研究報告書, 22, 95-101.			
佐藤興平・南 雅代・中村俊夫・武者 巖・柴田 賢(2018)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:木片の ¹⁴ C年代と火山岩塊のSr同位体比からみた前橋泥流の時空分布。名古屋大学年代測定研究, 2, 35-39.			
5. 学会発表リスト(著者名、タイトル、学会名、開催場所、年月日)			
佐藤興平・南 雅代・中村俊夫・柴田 賢・児嶋美穂・武者 巖(2018) ¹⁴ C年代測定による前橋泥流堆積時期の再検討。第30回(2017年度)名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定研究シンポジウム, 名古屋大学, 2018年2月2日.			
6. その他の成果リスト(著書、特許等)			

(別紙様式9-1) 平成29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	みやた よしき 宮田佳樹		
所属機関	金沢大学		
部局	先端科学・イノベーション推進機構 ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー		
職名	博士研究員		
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:	遺跡出土遺物を用いた古食性, 古環境復元研究		
英文:	Reconstruction of paleo diets and envirnment using archaeological remains		
2. 研究体制			
氏名	所属機関	国	職名
宮田佳樹	金沢大学	日本	博士研究員
南雅代	名古屋大学	日本	准教授
中村俊夫	名古屋大学	日本	招聘教員
落合伸也	金沢大学	日本	助教
下濱貴子	小松市	日本	主幹
3. 研究成果の概要(200字程度でまとめてください)			
2016年8月7日に採取した池水の4点の溶存無機炭素(DIC)中の放射性炭素濃度(DI14C値)を測定した。それぞれ, (試料名, $\Delta 14C$ (‰)) = (ISSIN-Trap1-2.5M-2, $+26.0 \pm 3.0$), (ISSIN-Trap1-2.2M, $+7.0 \pm 3.0$), (ISSIN-Trap2-1.2M, $+13.0 \pm 4.0$), (ISSIN-Trap1-2M, -6.0 ± 4.0)であった。 4試料の測定結果に過ぎないが, 能登半島新池(石川県珠洲市)の集水域から, 流入してくる供給水中の溶存無機炭素(DIC)中の放射性炭素濃度(DI¹⁴C値)は, ほぼ採取時の大気よりも低い濃度を示すことがわかった。			
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)			
Miyata, Y., Minami, M., Nakamura, T., Shimohama T., Tada, Y., Sano, T. and Nakatsuka, T. (2017)			
Radiocarbon dating on archaeological remains from the Youkaichijikata site,			
Ishikawa, Japan, 14th International Conference on Accelerator Mass Spectrometry, 14th –			
18th Aug., 2017, at the University of Ottawa, Ottawa, Canada.			
6. その他の成果リスト(著書、特許等)			

10. 加速器質量分析(委託測定)

- ・ 4件の申請が有り、そのうち、4件の測定（57個）が完了済みである。
- ・ 報告書については割愛。