

平成 30 年度
(2018 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 ~ 64
2. ISEE International Joint Research Program 65 ~ 87
3. 国際ワークショップ 88 ~ 93
International Workshop
4. 一般共同研究 94 ~ 226
5. 奨励共同研究 227 ~ 228
6. 研究集会 229 ~ 352
7. 計算機利用共同研究 353 ~ 383
8. データベース作成共同研究 384 ~ 390
9. 加速器質量分析装置等利用(共同利用) 391 ~ 399
10. 加速器質量分析装置等利用(委託測定) 400

1. 国際共同研究 目次詳細

(所属・職名は平成31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
小谷亜由美	名古屋大学	生命農学研究科	助教	東シベリア森林における凍土-植生-大気システムの時空間変動	1
Liu Huixin	九州大学	理学研究院地球惑星科学部門	准教授	熱圏重力波と電離圏プラズマバブルの発生関係の検証	3
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遠赤外望遠鏡群と電波望遠鏡群・軌道上望遠鏡群・惑星探査機による木星・火星・金星大気上下結合の研究：その3	5
宮下幸長	Korea Astronomy and Space Science Institute (韓国天文研究院)	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	7
石川 守	北海道大学	地球環境科学研究院	准教授	地下水の動態に注目した永久凍土の変動監視	9
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	12
加藤千尋	信州大学	理学部	教授	改良された汎世界的宇宙線観測ネットワークによる宇宙天気観測Ⅱ	14
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	15
瀨織佑衣	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
魚住禎司	九州大学	国際宇宙天気科学・教育センター	特任准教授	Pc1地磁気脈動の全球的発生・伝播特性に関する研究	19
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	21
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	24
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	26
尾花由紀	大阪電気通信大学	工学部基礎理工学科	准教授	プラズマ圏質量密度の長期モニタリングと経度比較研究	28
中村琢磨	オーストリア科学アカデミー	宇宙科学研究所	任期付き常勤研究員	磁気圏尾部リコネクション過程における乱流的磁気ロープの発達過程の研究	30
吉川顕正	九州大学	国際宇宙天気科学・教育センター	准教授	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	32
伊藤耕介	琉球大学	理学部	助教	太平洋における極端降水現象予測キャンペーンPRECIP2020の準備研究	34

(所属・職名は平成31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
能勢正仁	名古屋大学	基盤研究部門	准教授	低緯度への誘導磁力計観測網の新規展開による高周波数電磁流体波動の研究	36
小島浩司	愛知工業大学	工学部	客員教授	宇宙線をプローブとした太陽風とIMFの断層撮像的観測	38
浅原良浩	名古屋大学	大学院環境学研究科	准教授	U-Pb年代測定のための新たな“若い”ジルコン標準試料の評価に関する予察的研究	42
一本 潔	京都大学	大学院理学研究科附属天文台	教授	彩層微細構造のダイナミクスから探る太陽外層大気励起機構の解明	44
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	46
穂積裕太	電気通信大学	情報理工学研究科 情報・ネットワーク工学専攻	UECポスドク研究員	衛星観測と地上複数点観測から明らかにする移動性電離圏擾乱の全球発生特性	48
野中敏幸	東京大学	宇宙線研究所	助教	宇宙線観測空気シャワー観測装置の惑星間空間擾乱の観測への利用方法の研究	50
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	52
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	53
津田卓雄	電気通信大学	大学院情報理工学研究科	助教	トロムソにおける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	55
齋藤 享	海上・港湾・航空技術研究所	電子航法研究所	上席研究員	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	57
高橋 透	国立極地研究所	研究教育系	特任研究員	オーロラパッチ内部の分極電場	59
寺尾 徹	香川大学	教育学部	教授	多様な水文気候学的地域特性が駆動するアジアモンスーン変動に迫る国際共同研究	61
平原靖大	名古屋大学	環境学研究科	准教授	ALMAアーカイブデータのリトリバル解析によるタイタン気象学の創成	63

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】

地球環境変動が顕在化した現象の一つとして、永久凍土表層の融解があげられる。過去30年間に於いて環北極域の永久凍土地域では、気温上昇に伴う地温の上昇と永久凍土の融解が観測されている (Arctic Monitoring Assessment Program, 2017)。永久凍土表層の融解は、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にフィードバックし、気候変動の駆動因子のひとつになっている (Lorantý et al., 2018)。活動層 (暖候期に融解する地表から1-2mの層) の、融解と凍結の季節サイクルは、永久凍土域における陸域生態系の成立や維持の土台となる現象である。その季節サイクルを逸脱する活動層の深化は、凍土融解の初期現象として現れる (Shuur et al., 2008)。したがって、活動層の深度を決める要因を明らかにしておく必要がある。

そこで本研究では、近年の降水量変動に伴う活動層内の土壌水分の増減が著しく、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の凍土 - 植生 - 大気システムの実態解明を行うことを目的とする。具体的課題として、活動層の深度を決める要因と森林の水・熱・物質循環への影響を明らかにするために、2か所のカラマツ林を対象に、①活動層の空間変動の要因と②時間変動の要因を調査した。

【方法】

東シベリアの Spasskaya Pad (SP) および Elgeei (EG) の2サイトを調査対象とした。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、樹種構成や土壌タイプ、降水量、土壌水分量に違いがある (Kotani et al., 2014)。課題①に関して、昨年までの結果を補足するために2018年6月にEGの林内の4地点において試坑断面を作成し、地表面から10cm間隔で温度と土壌水分の鉛直プロファイルを測定して近傍での連続測定値と比較した。課題②に関しては、両サイトでの地中温度と土壌水分の連続測定値を用いることで、融解深度と温度・水分環境の季節変化とその年々変動を比較した。

【結果・考察】

①活動層の空間変動：EGで調査時 (2018年6月22-23日) の融解深度は20-40cmで、地表から5-10cmの有機物堆積層を除くと、土壌間隙率に近い土壌水分があり (体積含水率約40%)、同サイトでの連続測定からも同程度の値が得られた (図1)。図1(d)はカラマツ成木に近い地点で有機物堆積層が厚く、その下の土壌水分は他地点よりも低かった。②の定点観測では活動層内の水平方向の不均一性にも留意する必要がある。②活動層の時間変動：10-120cmの地中温度の季節変化では、暖候期 (5-9月) には両サイトの違いは小さかった一方、土壌凍結期間にはSPのほうが低温となった。SPに比べてEGでは年最高・最低温度の出現が約1か月遅かった。土壌の凍結 (融解) に伴う潜熱放出 (吸収) により冷却 (昇温) が抑制されるゼロカーテン期間は、土壌水分の多いEGでSPより長かった。さらに、積雪深がEGでSPより大きいことも、EGで冬季の温度低下を抑制した一因として考えられた。一方で暖候期には、融解深度の季節変化には両サイト間に明確な違いがみられなかった。SPでは融解前の地温は低いものの、林内への日射透過率が高く (林内日射量はEGの1.3倍) EGよりも有機物堆積層が薄いことなどから、効率よく地中の昇温が進んだと考えられる。

次に、両サイトの2010-2017年における年々変動を比較したところ、融解深度の季節進行 (特定日の融解深度) では、その年々変動の傾向は両サイトで類似していた (図

2)。たとえば2012年と2013年には、他の年に比べて夏季の融解深度が深く、各深度での融解ゼロカーテン期間が短かった。この両年は、土壌水分や6-8月気温については特異的な年ではなく、融解開始時の5月平均気温が平年よりも高いことが共通していた。両サイトともこの期間の土壌水分は比較的安定しており、気温の年々変動が影響したと考えられる。1998年からの測定値のあるSPサイトでは、1998年から現在にかけて季節融解速度が増加しているが、2005-08年に続いた活動層湿潤化の後に、表層よりも深層での加速が有意であった (Kotani et al. 2019)。これと同期間に、とくに凍結時のゼロカーテン期間が長くなり、活動層表層では湿潤化以前に戻りつつあるが、40cmより深層では湿潤化の痕跡が凍結融解過程に影響を及ぼしている。

【まとめ】

土壌水分、積雪深、林冠および林床の植生被覆の違いを反映して、カラマツ林での活動層の融解深度とその年変動において、両サイト間での相違点がみられた。とくに土壌水分はサイト間の違いをもたらす要因と考えられるが、各サイトでの年々変動への影響は2010年以降では小さかった。さらに、今回明らかになった、暖候期以外の時期に両サイトでの地中温度の違いが大きくなることは、植物活動期の開始やカラマツ落葉後の森林炭素循環に影響を及ぼすと考えられる。活動層内の地温と土壌水分の季節推移と森林蒸発散やCO₂フラックスとの関係を明らかにすることを最終年度の課題としたい。

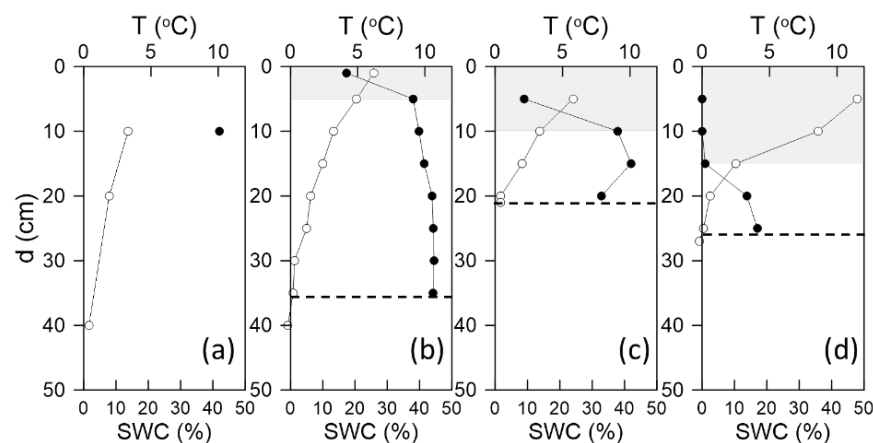


図1：SPおよびEGにおける (a)連続測定、(b,c,d)手動測定による活動層内の温度T(○)と土壌体積含水率SWC(●)の鉛直プロファイル。網掛けは有機物堆積層、破線は融解深度を示す(2018年6月22-23日EGサイト)。

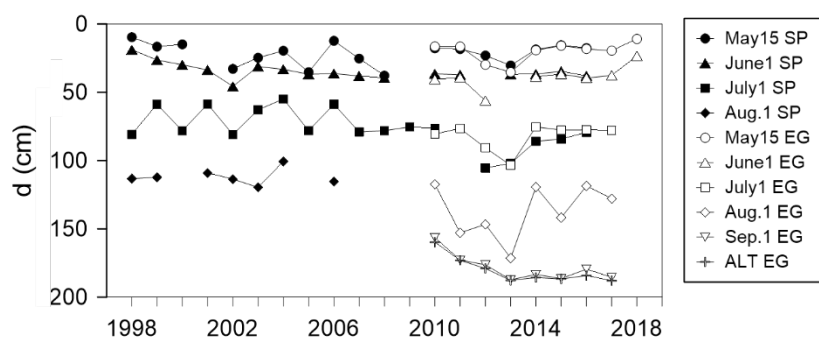


図2：SPおよびEGにおける、ある特定の日の融解深度の年々変動。SPでは2000年、2005年、および2007年以降において、8月1日に120cm(計測最深度)が融解していたため、融解深度の推定ができていない。

【引用文献】

Kotani et al., 2014. Ecohydrol. 7, 209-225. Kotani et al., 2019. Agric. For. Meteorol. 265, 295-309. Loranty et al., 2018. Biogeosci. 15, 5287-5313. Shuur et al., 2008. Biosci. 58, 701-714.

【成果発表】

A. Kotani, T. Ohta, T. Hiyama, T. Nakai, Y. Iijima, T. Maximov. Variation of seasonal thaw depth at permafrost larch forest in eastern Siberia. Japan Geoscience Union meeting, 2018 May 20-24, Makuhari.

小谷亜由美, 太田岳史, 檜山哲哉, T.C. マキシモフ. 東シベリアのカラマツ林における永久凍土の季節融解層. 水文・水資源学会研究発表会2018年9月12-14日, 津.

熱圏重力波と電離圏プラズマバブルの発生関係の検証
The role of thermosphere gravity waves in plasma bubble formation

Liu Huixin 九州大学・地球惑星科学専攻

赤道プラズマバブル(EPB)は、日没後の赤道電離圏F領域に出現するプラズマ不規則構造であり、GPSを用いた測位に不具合を起こすなど大きな影響を与える。EPBの生成メカニズムは日没後の電離圏下部に生じる Rayleigh-Taylor 不安定であると考えられているが、不安定の発生に必要なタネとなる初期擾乱が何かについては謎のままである。その理由の一つは、これまで電離圏下部の中性大気(熱圏)の直接観測は観測手法が限られるため非常に少なく、プラズマ観測から間接的に推測されたものがほとんどであったからである。

本研究は、高度約250kmを飛翔するGOCE衛星によって観測された電離圏F領域下部における大気重力波、中性大気密度と風の直接観測と、電離圏赤道プラズマバブル(EPB)の衛星・地上観測と、高精細EPBモデルを併用して、大気重力波のEPB励起源としての役割を詳細に解明することを目的とする。

今年度の研究成果として以下4つ挙げられる。① GOCE衛星観測から初めて得られて電離圏下部における重力波の全球分布と季節変動などの特徴を5月に開催された日本地球惑星科学連合と12月に開催されたアメリカ地球物理連合で発表した(Liu et al., 2018)。重力波は電離圏赤道プラズマバブルの発生頻度の高い地域ではより活発になることは明らかになった。② 高精細EPBモデルをもちいて、垂直風のプラズマバブルが発生における役割を調べた。そこで、小さいスケールの重力波はより効果的にプラズマバブルのシーズになることがわかった。これらの結果は6月に開催されたAOGS国際会議で発表し(Yokoyama et al., 2018)、現在論文にまとめ、投稿中である(Yokoyama et al., 2019)。③ 地上と衛星からの同時観測により、プラズマバブルの上方にある赤道付近のプラズマプロブを見出した。この観測は、プロブとバブルの位置関係は従来のイメージ(プロブはバブルの両端にある)と違うことにより、プラズマプロブの発生機構を調べるのに面白い事例である。詳しい分析によ

り、これらのレーアなブロブはバブル成長の intermedia フェーズにおける赤道付近で形成された可能性が高いという結論に至る (Wang et al., 2019、投稿中)。④GOCE 衛星中性大気観測と EAR レーダー電離圏不規則体観測を用いて、大気重力波のプラズマバブル発生における役割を調べた。その結果、プラズマバブルは発生した時は大気重力波の活発な時であったことがわかった。しかし、多数プラズマバブルの発生と単プラズマバブルの発生における大気重力波の活動はあまり変わらない。よって、多数と単数を決めるのは、電離圏のプラズマに要因するかもしれない(垂直ドリフトなど)。これらの成果が現在投稿中である (Abadi et al., 2019)。⑤ 2013年のメージャ成層圏突然昇温における F 層シンチレーションの変化を、COSMIC/FORMOSAT-3 衛星観測を用い調べた。その影響は経度によって大きく異なることがわかった。これらの成果が現在投稿中である (Yu et al., 2019)

Abadi, P., Y. Otsuka, K. Shiokawa, **Huixin Liu**, M. Yamamoto, K. Hozumi, T. Tsugawa, P. Supnithi, and T. Le Truong, Roles of pre-reversal enhancement and gravity wave activity on the occurrences of equatorial plasma bubbles, JGR, submitted, 2019.

Wang, Z., **Huixin Liu**, J. Shi, G. Wang, X Wang, Plasma blobs concurrently observed with bubbles in the Asian-Oceanian sector during solar maximum, JGR, under review, 2019.

Yokoyama, T., H. Jin, H. Shinagawa, **Huixin Liu**, Seeding of equatorial plasma bubbles by vertical neutral wind, JGR, submitted, 2019.

Yu, T., H. Ye, **Huixin Liu**, C. Xia, X. Zuo, X. Yan, N. Yang, Y. Sun, B. Zhao, COSMIC/FORMOSAT-3 observations of ionospheric F-layer scintillation weakening during the January 2013 major sudden stratospheric warming event, GRL, submitted, 2019.

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

笠羽 康正、東北大学・大学院理学研究科・地球物理学専攻

1. 研究目的

東北大は、数十年來に渡って宮城・福島に設けた太陽・木星電波観測施設に加え、ハワイ大の協力で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 シュミット望遠鏡 (T40) 可視観測で「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 カセグレン望遠鏡 (T60) 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。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、火星で米探査機 MAVEN および欧探査機 ExoMars Trace Gas Orbiter（2017/4 から本格観測開始）、金星で日 Akatsuki 探査機との連携観測を国際地上観測ネットワークの一翼を担って実施した。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）の活用も連動して行った。さらに、ハワイ大等とは 1.8-m 惑星・系外惑星専用望遠鏡 PLANETS 計画にも取り組んでいる。

2. 研究方法・結果

(1) 木星：「イオトーラスの全体構造・EUV 分光情報」- 「UV オーロラ全発光量」結合の長期データを蓄積する Hisaki 紫外線望遠鏡衛星、および極軌道で「深部・低層-超高層大気」- 「極上空を含む内部-中間磁気圏」結合の長期データを蓄積する Juno 探査機を支える電波-赤外-可視地上観測を実施し、木星システム研究を Arase 等による地球システム研究と並行比較できる機会を提供した。可視域では、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、磁気圏へのマスローディング推定量を与えた。また、IRTF-3m・Subaru-8 では近赤外オーロラ発光による熱圏構造・変動観測、中間

赤外大気光・熱発光の変動観測に成功（成果の一部は Ge et al. (2019)、Kita et al. (2018)、Watanabe et al. (2018)として出版）。電波域では、東北大 IPRT 30m 電波望遠鏡による放射線帯長期観測結果を Hisaki 望遠鏡などによる磁気圏変動情報と連携させ、磁気圏-電離圏間の電場結合に関する研究を実施した（成果の一部は Kita et al. (2019)、Tsuchiya et al. (2019)として出版）。これら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（成果の一部は Nakamura et al. (2019)として発表）。

(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、MAVEN・TGO（火星）・Akatsuki（金星）との共同観測によって、高層大気変動と対流圏-中間圏-熱圏/電離圏結合への示唆を得た。特に火星については 11 年ぶりの全球ダストストーム時の超高層を知る世界唯一の希少なデータとなる。また可視分光による火星流出大気の詳細も試みた。（成果の一部は、Kasaba et al. (2019)、Nakagawa et al. (2018)、Suzuki et al. (2018)、Takami et al. (2018)で発表）。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観測も成功した（成果の一部は Aoki et al. (2018)で出版済）。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・未来」「太陽活動による翻弄」の視点で「兄弟比較惑星学」の一部として遂行している。

(4) ハレアカラ観測施設整備：T40/T60 望遠鏡遠隔運用を支えその整備を継続するとともに、今後の発展を目指して Visible 高分散分光器の開発、MEMS を用いた光マスクシステムの開発、近赤外線 Echell 分光器、中間赤外線レーザーヘテロダイン分光器の開発を進めている。また、ハワイ大等と建設を進める 1.8m 惑星/系外惑星望遠鏡 PLANETS 推進を進めている（経過の一部は Sakanoi et al. (2018)で出版済、また Kagitani et al. (2018)、Sakanoi et al. (2019)で発表）。この開発は、名大・京大の赤外線天文グループを巻き込んだ幅の広いものに発展しつつある。

4. 成果発表

様式 1-1 を参照されたい。

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

宮下幸長

Korea Astronomy and Space Science Institute
Space Science Division

研究体制

代表者： 宮下幸長 (KASI)

共同研究者： Lee Jaejin、Hwang Junga、Kim Hyang-Pyo (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

昨年度は、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、およびERG衛星による内部磁気圏におけるサブストームの磁場双極子化に伴う磁場・高エネルギー粒子・高周波波動の周期的変動に関する解析を進めてきた。前者の解析

に必要な高時間分解能の磁場データの較正にまだ時間がかかるため、2年目の本年度は、後者の解析を進めた。

この解析では、地球から地球半径の4-5倍の距離で観測された3例について調べた。そのうち2例については南極昭和基地でオーロラ爆発を観測したが、拡大したオーロラがERG衛星に磁気的に対応する場所に到達したとき、ERG衛星の場所で磁場双極子化が始まった。磁場双極子化中に、磁場は1分程度の周期で双極子状形状と尾部状形状に交互に振動していた。磁場が双極子状になった時、Pi2周波数の波動の磁力線方向の成分は谷だった。数keVから数100 keVの高エネルギーイオン・電子フラックスは反位相で強まっていたので、磁気音波はスローモードだったことを示唆する。これらの観測は、バルーニング不安定性の特徴と一致し、サブストーム中にかなり地球に近い内部磁気圏でもバルーニング不安定性が起こり得ることを示す。さらに、Pi1周波数から電子サイクロトロン周波数の上までの広い周波数帯で電磁波や静電波が観測されたが、プラズマシートで磁場が双極子状の時に現れる傾向にあることを見出した。この高周波波動は、バルーニング不安定性と結合してオーロラ発光の周期的変動に影響を及ぼしているかもしれない。

この解析結果は、2018年5月に韓国内で開催された韓国宇宙科学会2018年春学術大会と千葉市で開催された日本地球惑星科学連合2018年大会、および2018年12月にアメリカ・ワシントンDCで開催されたアメリカ地球物理学連合秋季大会で発表した。

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。また、バルーニング不安定性との結合など、高周波波動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を進めたい。

地下水の動態に注目した永久凍土の変動監視
Detecting permafrost changes with focuses on ground ice

石川 守（北海道大学・地球環境科学研究所）

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、永久凍土の温度の観測網をグローバルに拡充し、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・点位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）。

モンゴルでは、永久凍土の分布が湿潤な地盤の分布とよく対応し、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、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。

モンゴルに接し、連続的永久凍土帯に位置する東シベリアのヤクーツク近郊には、凍土中の地下水起源の湧水が点在する。Hiyama et al. (2013) は湧水の水文トレーサー濃度（トリチウム濃度やCFCs濃度）を分析し、この地域の湧水が活動層内の地下水（凍土上地下水）と凍土層内の地下水（凍土内地下水）が混合し、地表に湧出したものであることを明らかにした。湧水のバルク年代はモニタリングを行った2009年～2012年の4年間で大きな変化は無く、近年の温暖化による地下環境の激変は検出されなかった。

一方、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。

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2年目）によって、以下に示す結果が得られた。

- 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。これらの結果をまとめた論文が受理・掲載された(Ishikawa et al., 2018)。また、多国間協同で進められているGTN-Pの永久凍土観測の成果を取りまとめた総括的な論文が受理・掲載され(Biskaborn et al. 2019)、ここにモンゴルの長期観測結果も含まれた。
- 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。この分布図上での永久凍土外縁域では高い割合で湧水が枯渇していることが現地調査や衛星画像解析などによって示された。
- 3) 湧水を季節ごとに採水し、そのトリチウム濃度とCFCs濃度を分析した結果、トリチウム濃度とCFC-12濃度の、採水地点ごとの濃度の高低(順位)とそれらの時系列変動に、よい一致が見られた。サーモカルスト地形に存在するGalutでは、前年度の結果と同様、地下氷融解水が湧出していることがわかった。この地点のトリチウム濃度の時系列変化を見ると、時間を経るにしたがってトリチウム濃度が上昇していることから、地下氷融解水の寄与が減少し、近年の降水の寄与が増加している可能性が示唆された。一方、サーモカルスト地形に存在しない湧水(Orookh)のトリチウム濃度の時系列変化を見た場合、近年の降水の寄与が減少している可能性が見出された。その傾向は、採水期間は短いものの、同じくサーモカルスト地形に存在しないTsetserlegでも同様であった。ただし、OrookhのCFC-12濃度の時系列変動に着目した場合、近年の降水の寄与が季節変化することも考えられた。すなわち、暖候期が終了する頃(10月)、暖候期に降水として地表にもたらされ、地下に浸透した水が比較的素早く湧出する可能性も見出された。

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。永久凍土分布域外縁部での湧水の枯渇傾向は、

現段階では十分な数の事例を解析した結果に基づいていない。そのため次年度（最終年度）はハンガイ山脈全域の湧水動態を悉皆的に調査し、各湧水の動態と永久凍土や地形との対応を多くの事例に基づいて解析する。

湧水のトリチウム濃度とCFC-12濃度を定量した結果、サーモカルスト地形に存在し、地下氷に富む場所で湧出する湧水の場合、地下氷融解水の寄与が大きいことがわかった。次年度には、季節別に採水した湧水の分析を全て終了させ、トリチウム濃度とCFC-12濃度の季節変化を生じさせる原因とともに、この地域の永久凍土融解の長期変化傾向について考察し、本国際共同研究をまとめる予定である。

引用文献

- Biskaborn B K, Smith S L, Noetzli J, Matthes H, Vieira G, Streletskiy D A, Schoeneich P, Romanovsky V E, Lewkowicz A G, Abramov A, Allard M, Boike J, Cable W L, Christiansen H H, Delaloye R, Diekmann B, Drozdov D, Etzelmüller B, Grosse G, Guglielmin M, Ingeman-Nielsen T, Isaksen K, Ishikawa M, Johannsson M, Johannsson H, Joo A, Kaverin D, Kholodov A, Konstantinov P, Kröger T, Lambiel C, Lanckman J P, Luo D, Malkova G, Meiklejohn I, Moskalenko N, Oliva M, Phillips M, Ramos M, Britta K, Sergeev S D, Seybold C, Skryabin P, Vasiliev A, Wu Q, Yoshikawa K, Zheleznyak M and Lantuit H 2019 Permafrost is warming at a global scale. *Nature Communications* **10**, 264.
- Hiyama T, Asai K, Kolesnikov A B, Gagarin L A and Shepelev V V 2013 Estimation of the residence time of permafrost groundwater in the middle of the Lena River basin, eastern Siberia. *Environ. Res. Lett.*, **8**, 035040, doi:10.1088/1748-9326/8/3/035040.
- International Atomic Energy Agency 2006 *Use of chlorofluorocarbons in hydrology - A Guidebook*. IAEA Vienna 277p.
- Ishikawa M, Jamvaljav Y, Dashtseren A, Sharkhuu N, Davaa G, Iijima Y Baatarbileg N and Yoshikawa K 2018 Thermal states, responsiveness and degradation of marginal permafrost in Mongolia. *Permafrost and Periglacial Processes* **29** 271-282, doi:10.1002/ppp.1990.
- Saruulzaya A, Ishikawa M and Jambaljav Y 2016 Thermokarst lake changes in the southern fringe of Siberian permafrost region in Mongolia using Corona, Landsat, and ALOS satellite imagery from 1962 to 2007. *Advances in Remote Sensing*, **5**, 215-31, doi:10.4236/ars.2016.54018.

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[1]。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

Modeling of Cloud Microphysics: Can we do better?

超水滴法を使うことにより、数値拡散や計算コストと言ったビン法の直面する数値的問題が解決あるいは低減され、詳細な雲微物理素過程の直接計算が可能となる。超水滴法の持つこれらの利点と将来展望について詳しく論じる論文を米国気象学会誌に投稿し受理された[4]。

Particle-based Cloud Modeling (粒子ベース雲モデリング) に関する国際研究ネットワークの立ち上げ

超水滴法に代表される粒子法を使った雲モデルに対する関心の高まりを受け、国際研究ネットワーク(<http://particle-based-cloud-modelling.network>)を立ち上げた。現在10ヶ国から計20の研究グループが参加している。これによりグループ間の密な連携と情報共有が促進され、粒子ベース雲モデルの開発と応用研究が加速すると期待できる。今後活動

資金の獲得も進めていく。

超水滴法の氷相過程への拡張

氷粒子の形態変化を陽に予報できる精緻な数理モデルに対して超水滴法を適用し、混相雲の中で氷晶が生成・成長し霰・雹・雪片を形成していく様をより忠実に表現することのできる数値モデルを構築した。

孤立した積乱雲の数値実験を通して性能検証を行ったところ、氷粒子の大きさと質量の関係が経験則と概ね整合しているなど、良好な結果が得られた。現在モデルの詳細と性能検証の結果を報告する論文の執筆を進めている。

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評価

GrabowskiとAbadeは、超水滴法の理論的枠組みを使うことで、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[2]。孤立積雲の3次元計算を通してその性能検証を行う共同研究を進めた。

大気粒子の帯電が雲に及ぼす影響の評価

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 (Electro coalescence) を評価する共同研究を推進した。まずは、昨年度に開発した帯電した雲粒同士の衝突併合確率のモデルをより高精度なものに改良した。現実の大気条件を使ったいくつかのケーススタディを通して、Electro coalescenceの影響を評価する実験を現在進めている。

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更に拡大し、雲モデルの開発も進展している。

5. 引用文献

- [1] Shima, S., et al., Q. J. R. Meteorol. Soc. 135, pp.1307-1320 (2009).
- [2] Grabowski, W.W. and G.C. Abade, J. Atmos. Sci., 74, 1485–1493 (2017).

6. 成果発表

査読論文

- [3] Kajino, M., et al., 2019: NHM-Chem, the Japan Meteorological Agency's regional meteorology. J. Meteor. Soc. Japan, 97, <https://doi.org/10.2151/jmsj.2019-020>.
- [4] Grabowski, W.W., H. Morrison, S. Shima, G.C. Abade, P. Dziekan, and H. Pawlowska, 0: Modeling of cloud microphysics: Can we do better?. Bull. Amer. Meteor. Soc., 0, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-18-0005.1>.
- [5] Sato, Y., Shima, S., & Tomita, H. (2018). Numerical convergence of shallow convection cloud field simulations: Comparison between double-moment Eulerian and particle-based Lagrangian microphysics coupled to the same dynamical core. Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 10, 1495–1512. <https://doi.org/10.1029/2018MS001285>

国際発表: 11 件, 日本語発表: 5 件, 国際研究会の主催: 1 件

改良された汎世界的宇宙線観測ネットワークによる宇宙天気観測II

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

加藤 千尋, 信州大学・理学部

宇宙線強度の汎世界的観測ネットワーク(GMDN: Global Muon Detector Network)を用いた宇宙天気研究を展開し、高エネルギー銀河宇宙線の長大なリーチ(ジャイロ半径~0.05 AU, ピッチ角散乱の平均自由行程~0.1 AU)を活かして、大規模な太陽磁場構造の変動の実態と、その中での宇宙線輸送過程を解明することを目的とする。現在太陽活動は第24-25サイクルの極小期を迎え、銀河宇宙線強度は1960年以降最高の強度を記録しようとしている。このような時期は、ドリフト効果など太陽圏全般に亘る大規模な宇宙線輸送過程を研究する絶好の機会である。

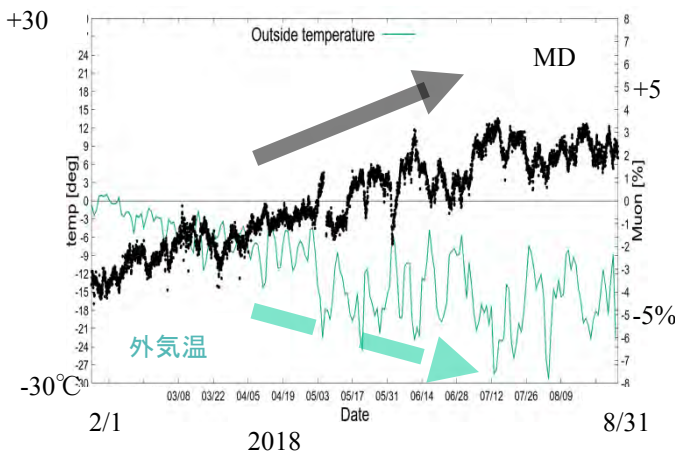


図1 観測されたミュオンの負気温効果

本研究の目標は、(1)メキシコのSciCRTをミュオン計として用い、GMDNが抱える観測の空白域を埋める、(2)南極昭和基地宇宙線計を用いて大気ミュオン強度に対する大気効果の実験的検証を行い、大気効果の補正法を確立することによりGMDNによる宇宙線観測を飛躍的に改良することである。本年度は(2)の昭和基地宇宙線計のデータについて、質的検証を行うと共に、大気効果や宇宙天気現象の観測有無を調べた。図1は昭和基地ミュオン計(MD)によって観測されたミュオンの負気温効果である。同時観測を行っている中性子計データと共に解析し気温効果に関する理解を深めることに繋がるものと期待している。図2は観測された宇宙天気現象の例である。GMDNや他の観測データを用いて解析することでその

構造等を明らかにしたい。これらの結果については、以下の研究集会において発表されている。

- JpGU 2018.5 “南極昭和基地での宇宙線観測による宇宙天気研究”
- JPS 2018.9 “南極昭和基地に新たに設置した宇宙線観測装置を用いた初期解析”
- SGEPS 2018.11 “南極昭和基地での宇宙線観測による宇宙天気研究”
- ISEE シンポジウム太陽圏物理学の最新動向 2019.2 “Space Weather observations using newly installed CR detectors at Syowa Station in the Antarctic”
- JPS 2019.3 “南極昭和基地での宇宙線観測による宇宙天気研究III”

本年度の研究活動の結果、観測データは期待通りの精度を持っており、大気効果及び太陽活動静穏期における宇宙天気現象を観測していることが確認できた。観測は継続しているのでイベントの観測例が増えることを期待している。これらデータの解析によって、宇宙線による宇宙天気研究を飛躍的に発展させるという目的に近づくことができるものと考えている。

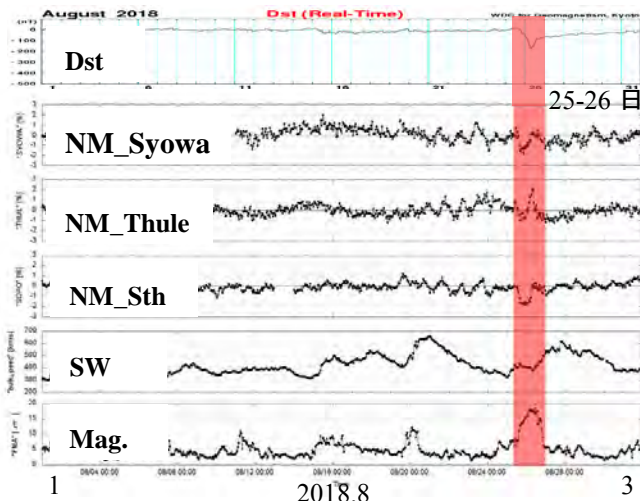


図2 宇宙天気現象の観測例。

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、有機炭素や地下水の巨大な貯蔵庫であり、最新の 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、地下水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した。ここでは、この古環境復元に年代軸を与えるための放射性炭素年代 (^{14}C) 測定について、試料中の様々な有機炭素を利用した比較実験について報告する。

研究方法

本報告で対象とする試料は、ロシア・サハ共和国ヤクーツク市から約 150km 東 ($61^{\circ} 58' \text{N}$, $132^{\circ} 36' \text{E}$) の Churapcha および、約 90km 北東 ($62^{\circ} 33' \text{N}$, $130^{\circ} 57' \text{E}$) の Syrdakh で 2017 年 9 月に採取した永久凍土堆積土および地下水である。ここで地下水はアイスウェッジ (ice wedge) の成長によってできたと仮定し、以降 IW とする。いずれのサイトにおいても、IW は地表層から約 2m 深から下に分布しており、活動層は約 2m であると推定される。 ^{14}C 年代測定の対象とした有機物は、露頭から採取可能な深度 2–3m の層から採取した。IW が分布する堆積層の土層 (約 2.8m 深) からは、大型の植物遺体を採取し、洗浄したものを堆積土層の年代測定対象試料とした。一方、それぞれの露頭からブロック状および円柱状の IW 試料を採取した。IW の年代決定のためには、試料に含まれる様々なタイプの炭素 (気泡中 CO_2 ・Particulate Organic Carbon (POC)・Dissolved Organic Carbon (DOC)・Dissolved Inorganic Carbon (DIC)) を年代測定の対象とした。対象地域の 2m 以深に存在する地下水中には大きな植物遺体は見つからずレスなどの鉱物土粒子が主な混合物であり、他の地域で IW の年代測定に用いられる植物遺体による年代測定 (Meyer et al., 2010 など) が難しい。IW 試料は表面をナイフで削った後、凍結したまま真空パックした。この試料を真空デシケータ内で融解させ、気泡中の CO_2 を回収して、AMS 測定試料の一つとした。融解後の液体試料は、 $0.7\mu\text{m}$ の石英フィルターを通して分別された固形分を POC とした。残った液体試料を使い、凍結乾燥させた残りから DOC を取り出した。DIC 試料作成には、別途用意した IW 試料を、 CO_2 を除去したデシケータ内で融解させた後、丸底フラスコ内に移し、塩化ストロンチウムを加えて炭酸ストロンチウムとして 3–4 日間沈殿させた。フラスコ内を真空に引き、沈殿した炭酸ストロンチウムにリン酸を加えて発生させた CO_2 を DIC 年代測定対象とした。

研究結果と考察

堆積土層中の植物遺体の ^{14}C 年代は 22–24 kBP の範囲であり、ほぼ同時代の堆積層であると考えられる。一方、IW 中の各種炭素の年代は、10–40 kBP と大きなばらつきを示した。IW 中炭素試料の中で、POC 年代が最も古かった (27–40 kBP)。周囲に年代の古い有機炭素が保存されやすい永久凍土帯では再堆積による年代誤差が大きい (Mackay, 1990 など) ため、POC は正確な IW 形成年代を示さない (Lachniet et al., 2012) と考えられる。DOC 年代は、測定対象とする粒径によって 9–25 kBP と大きく変動した。巨大な IW が比較的温暖な完新世に形成されたとは考え難く、また、対象がアイスウェッジと仮定すると、周囲の土層 (植物遺体年代 22–24 kBP) の堆積時期よりも IW 形成年代は若いはずである。したがって、DOC 年代の変動は現段階では説明がつかない。一方、DIC 年代は、Sydakh で 13 kBP、Churapcha で 14–18 kBP と場所による違いがあるものの、他の炭素試料年代に比べると年代幅が狭く、アイスウェッジが形成したと考えられる更新世後期の年代を示している。また、気泡中 CO_2 も DIC 年代と同様の結果を示した。

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 DOC あるいは CO_2 やメタンを測定対象とすることを推奨している。一方、本研究からは、IW 形成年代の推定には DOC や気泡中気体だけでなく、DIC 年代も含めた比較を行い、他の地質学的・古環境学的情報と併せて総合的に考察する必要があることがわかった。特に、大きな植物遺体が得られにくい地下氷の形成年代の推定において、放射性炭素年代測定の対象として DIC を利用することが有効であることが示された。

参考文献

- Lachniet, M., Lawson, D., & Sloat, A. (2012). Revised ^{14}C 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
- Mackay, J. R. (1990). Some observations on the growth and deformation of epigenetic, syngenetic and anti-syngenetic ice wedges, *Permafrost and Periglacial Processes*, 1(1), 15-29, doi: 10.1002/ppp.3430010104.
- Meyer, H., et al. (2010). Lateglacial and Holocene isotopic and environmental history of northern coastal Alaska - Results from a buried ice-wedge system at Barrow, *Quaternary Science Reviews*, 29(27-28), 3720-3735, doi: 10.1016/j.quascirev.2010.08.005.

成果発表

- 佐藤里名・南 雅代・岩花 剛・檜山哲哉, 地下氷の高精度 ^{14}C 年代決定手法の確立, 2018 年度名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定研究シンポジウム, 名古屋, 2019 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(Arc-Continental collision)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世界でも珍しいテクトニクスセッティングに位置している (Ota & Kaneko 2010)。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、現在進行形中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。台湾東部に分布するYuli帯は、台湾造山帯の中で最も変成度の高い領域であるが、その急峻な地形と植生によって詳細な変成履歴は未だに不明な点が多い。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(Beyssac et al., 2002; Aoya et al. 2010)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】本年度はプロジェクト3年目に当たり、これまで炭質物ラマン温度計を用いて分析した泥質変成岩試料の変成温度見積もりデータを精査し、特徴的な温度分布を示す試料に着目してYuli帯の変成履歴に関する議論を行った。また、年代測定を行うため、砂質変成岩からジルコン分離を試みた。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。今年度が最終年度であるため、これまでの分析によって得られた成果を総括して論文にするため、Tsai教授とメールでの綿密な議論を行うとともに、3月に瀨瀨が台湾に赴いて議論を行った。

【研究結果】これまでに得られたデータのうち、変成温度分布が非常に幅広い範囲を示す特徴的な3つの試料(図1)に着目して、その意義と解釈に関する論文を公表した(成果発表1)。論文では、幅広い温度を示す理由として、(1) 碎屑性石墨の混在、(2) 短い変成反応時間における反応速度の異なる石墨の混在について議論した(図2)。得られた温度分布ヒストグラムを見ると、1試料(YL10N01)は2つのピークを示したため、(1) 碎屑性石墨の混在の可能性が高いと結論付けた。一方で、2試料(F10803, C121107)は連続的な1つのピークを示したため、(2) 反応速度の異なる石墨の混在の可能性が高いとした。(2)の仮説が正しい場合は、Yuli帯の変成温度継続時間は100万年よりも短い可能性が示唆された。この継続時間は一般的な広域変成帯と比較すると優位に短く、Yuli帯の変成履歴を議論する上で重要なデータとなる可能性が高い。一方で、変成年代を制約するためにジルコン分離を試みたが、自身はジルコン分離の経験が無く上手くできなかったため、専門の機関(蒜山地質年代学研究所)に依頼した。しかし、専門の機関でもジルコンは分離されなかった。ジルコン分離のために用いた試料は有白色な砂質変成岩であるため、ジルコンを含んでいる可能性が高いと考えていたが、今回の結果から、Yuli帯の砂質変成岩にはジルコンがほとんど含まれていない、という興味深い結果が得られた。この結果は、Yuli帯の物質循環や沈み込み時の化学的環境やを考慮する上で重要な基礎データとなりうる。

【考察・まとめ】Yuli帯は世界的に見て非常に若く、地震活動や地殻変動を議論する上で重要な地質帯である。炭質物ラマン温度計によって得られた変成温度は他の広域変成帯と比較するとバラつきが大きく、その理由として碎屑性石墨の混入と短い変成反応時間が挙げられる。従来、石墨の結晶化度は不可逆であり炭質物ラマン温度計は最高変成温度を反映する、とされていたが、ヒストグラムの分布を考慮すると、後背地の情報や反応時間に関する議論が可能であることを示した。本研究の結果は、Yuli帯の変成履歴の理解に大いに貢献するとともに、炭質物ラマン温度計のデータ解釈においても大きな発展となる成果である。

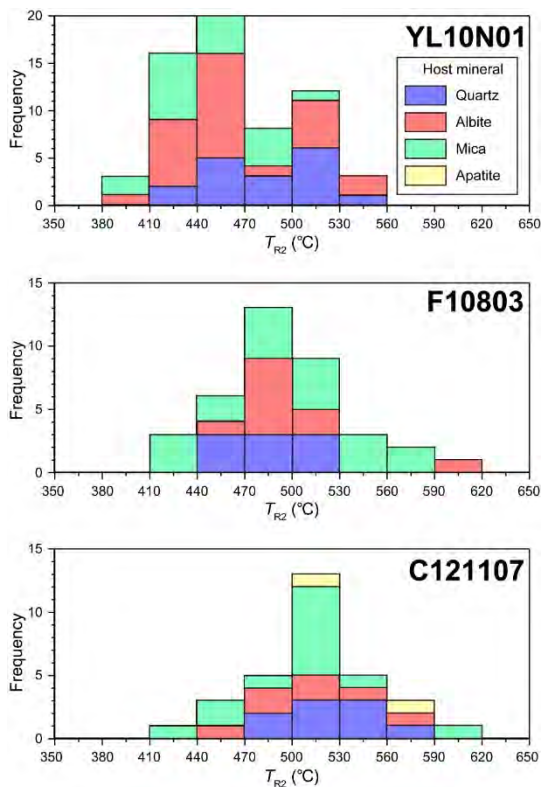


図 1. Yuli 帯の変成温度ヒストグラム

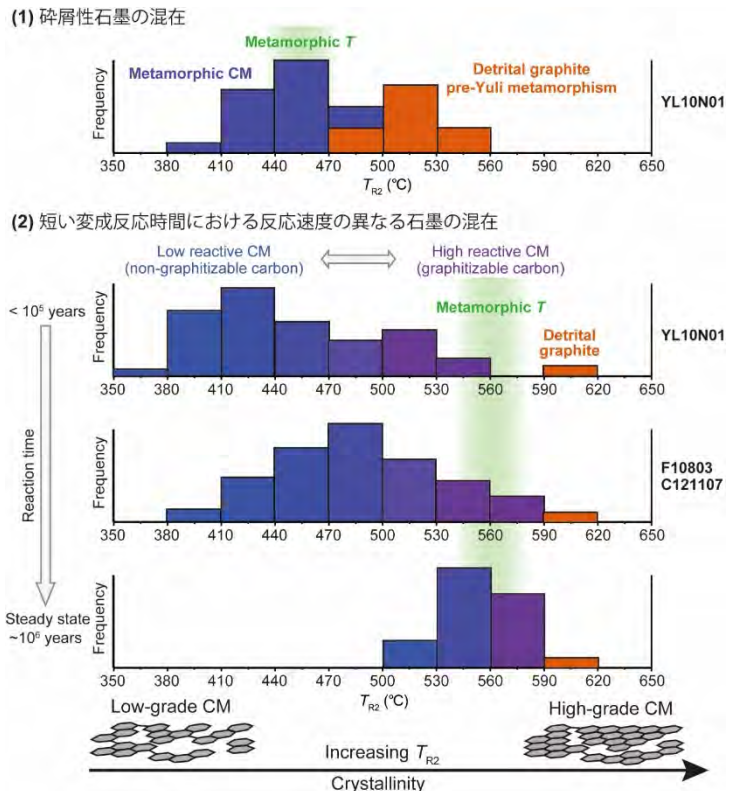


図 2. 幅広い変成温度を示す 2 つのアイデア

【引用文献】

- Aoya, M., Kouketsu, Y., Endo, S., Shimizu, H., Mizukami, T., Nakamura, D., and Wallis, S. (2010) Extending the applicability of the Raman carbonaceous-material geothermometer using data from contact metamorphic rocks: *Journal of Metamorphic Geology*, v. 28, p. 895–914, doi: 10.1111/j.1525-1314.2010.00896.x.
- Beysac, O., Goffe, B., Chopin, C., and Rouzaud, J.N. (2002) Raman spectra of carbonaceous material in metasediments; a new geothermometer: *Journal of Metamorphic Geology*, v. 20, no. 9, p. 858–871.
- Ota, T., and Kaneko, Y. (2010) Blueschists, eclogites, and subduction zone tectonics: Insights from a review of Late Miocene blueschists and eclogites, and related young high-pressure metamorphic rocks: *Gondwana Research*, v. 18, no. 1, p. 167–188, doi: 10.1016/j.gr.2010.02.013.

【成果発表】

学術論文 (査読あり)

1. Yui Kouketsu, Chin-Ho Tsai, Masaki Enami (2019) Discovery of unusual metamorphic temperatures in the Yuli belt, eastern Taiwan: new interpretation of data by Raman carbonaceous material geothermometry: *Geology*, in press

学会発表

2. Yui Kouketsu, Chih-Ying Yeh, Chin-Ho Tsai, Masaki Enami, Wide variety of crystallinity of carbonaceous materials in metasedimentary schists in the Yuli belt, eastern Taiwan, JpGU2018, SMP34-01 (口頭), 千葉県幕張, 2018年5月20日
3. Chih-Ying Yeh, Chin-Ho Tsai, Yui Kouketsu, Masaki Enami, Chiao Liu, A new discovery on spatial variation in metamorphic conditions of metasediments across the Yuli belt, eastern Taiwan: RSCM constraints and tectonic implications, JpGU2018, SMP34-P06 (ポスター), 千葉県幕張, 2018年5月20日

Pc1 地磁気脈動の全球的発生・伝播特性に関する研究

Study on generation and propagation mechanism of global Pc 1 pulsation

魚住 禎司、九州大学 国際宇宙天気科学・教育センター

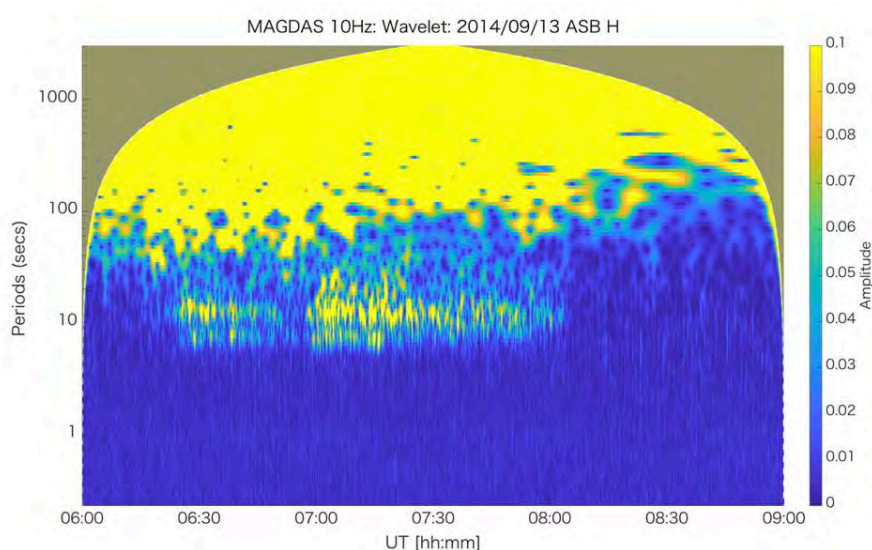
研究目的

EMIC (電磁イオンサイクロトロン) 波動は磁気圏プラズマの高エネルギー化をもたらす波動現象として注目度が高く、宇宙の安全・安心な利用という観点からもその包括的な理解が求められている。2016年12月に打ち上げられた我が国の内部磁気圏探査衛星「あらせ」も EMIC 波動がもたらす波動粒子相互作用の解明が大きな目標となっている。人工衛星による「その場観測」は高精度なデータを取得できる一方、現在どれくらいの規模で EMIC 波動が励起され、どのような分布をしているのかを把握することは困難である。本研究では、九州大学国際宇宙天気科学・教育センター(ICSWSE)が運用する世界最大の地磁気リアルタイム観測ネットワーク (MAGDAS) 観測点に設置されたフラックスゲート型磁力計によって 10Hz サンプリングでデータを取得し、EMIC 波動と密接な関わりを持つ Pc 1-2 帯の地磁気脈動の全球的発生特性とその発生・伝播機構を解明することを目指す。

研究結果

本年度は、過去に MAGDAS 観測点で試験観測されてきた 10Hz サンプリングデータを取りまとめてデータベースを構築し、そのデータの中から典型的な現象例を探し出して初期解析を行なった。下図は北海道の芦別観測点で2014年9月13日に観測されたデータを用いて作図した wavelet スペクトル図である。周期約10秒を挟んで短周期側と長周期側に two-band 構造を持つ Pc 2 脈動が発生していたことが確認できる。この Pc 2 イベントは、日本のみならず、ロシア、台湾、ベトナム、フィリピン、マレーシア、ハワイ、オーストラリア、ブラジル、インドなど、中緯度から磁気赤道域にかけて南北両半球で昼側、夜側同時に発生していた。このイベント例に類似した two-band 構造を持つ高エネルギー重イオンによる EMIC 波動が内部磁気圏で観測されている [Yu et al., 2018 JGR]。この報告例から、本グローバル Pc 2 イベントは内部磁気圏における高エネルギー重イオンによる波動粒子相互作用現象と密接な関係がある可能性が高く、今後の詳細解析によってその発生・伝播機構を明らかにしてゆく必要がある。

本グローバル Pc 2 の two-band 構造は北海道の芦別では顕著であったが、九州の久住観測所では長周期側の脈動の強度は弱く、ほぼ single-band 構造であった。一方でフィリピンのムンテルパ観測所では two-band 構造が見られるなど、世界各地の観測点ごとに band 構造に差が見られた。原因はまだ明らかになっていないが、電離層経路で波動が伝播しているとした場合、地域ごとの電離層の状況の違いによって各 band の波動の伝播に差が生じている可能性がある。この意味からも、九州大学 ICSWSE およびロシア側研究機関が共同所有するイオノゾンデによる電離層観測ともさらに協調して今後研究を進めてゆく必要がある。



図：北海道の MAGDAS 芦別観測点（磁気緯度 36.4° 、 $L=1.54$ ）で 2014 年 9 月 13 日に観測されたフラックスゲート磁力計による 10Hz サンプリングデータから求めた wavelet スペクトル図。Pc 2 イベントが発生した時、芦別観測点は 16~17 LT に位置していた。

成果発表

・論文リスト

- Fujimoto, A., A Yoshikawa, A Ikeda, Global response of Magnetic field and Ionosonde observations to intense solar flares on 6 and 10 September 2017, E3S Web of Conferences 62, 01007, 2018
- Ikeda, A., T Uozumi, A Yoshikawa, A Fujimoto, S Abe, Schumann resonance parameters at Kuju station during solar flares, E3S Web of Conferences 62, 01012, 2018.

・口頭発表

- Uozumi, T. and A. Yoshikawa, A future plan of collaborative study between ICSWSE and IKFIA using MAGDAS 10Hz data, Seminar on the collaborative study between ICSWSE and IKFIA, Yakutsk, Russia, 13 September 2018
- Fujimoto, A., A. Yoshikawa, and A. Ikeda, Global response of Magnetic field and Ionosonde observations to intense solar flares on 6 and 10 September 2017, presented at IX International Conference «Solar-Terrestrial Relations and Physics of Earthquake Precursors», in Paratunka (RUSSIA), 2018 (Oral (Invited Paper), English)
- Fujimoto, A., A. Ikeda, and A. Yoshikawa, FM-CW radar project: goals and a new installation in Peru, presented at JpGU meeting 2018 in Makuhari (JAPAN), 2018 (Oral, English)
- 吉川他、Pi 1-2, Pc 1-2 に関する ERG-MAGDAS 連携観測の報告、名古屋、平成 31 年 3 月 5 日
- 吉川他、磁気圏電離圏結合の観測的研究進展、電磁圏物理学シンポジウム、福岡、平成 31 年 3 月 13 日

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

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、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)。さらに、GCM シミュレーションにおいても、下層大気変動を起源とする電離圏変動に関して、とくに大気重力波、潮汐波の影響について調べている(Miyoshi et al., JASTP 2017; Shinagawa et al., JGR 2017; Tao et al., JGR 2017)。

これまでの研究の経緯を踏まえ、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(地磁気擾乱時・静穏時の両方におけるエネルギー流入)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、ロングイアビンとトロムソ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、その普遍的な特徴や成因を明らかにする。

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、数値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

2018年3月20-21日のEISCATレーダー観測データの解析、および過去の観測との比較

前年度(2017年度)に観測された EISCAT データの解析を実施した。2017年度は、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, $K_p=0\sim 2$ 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。3月20日には, 観測時間帯において惑星間空間磁場 B_z 成分はほぼ南向きであったが, 21日にはほぼ北向きのまま維持されていた。両日共に, ESR32mアンテナデータ(緯度80度付近)において, 高速イオン流や, その準周期的な変動(10~20分周期), 大きなシア(イオン運動の向きの反転)が見られた。また, イオン速度の増大に伴ってイオン温度の上昇も見られた。最も急激な変動では, 10分程度の間約1000 Kの変動が見られた。21日の高速イオン流・温度上昇が見られた時間帯(09:10付近)で, ロングイアビン北側に局所的な高速イオン流が存在したことがSuperDARN観測からも確かめられている(この時のSuperDARN観測では, ポーラーキャップポテンシャル差は29 kVであった)。

EISCATレーダー特別実験

昨年度に引き続き, 藤原, 野澤がトロムソに, また, 小川がロングイアビンに赴き, 2019年3月18日, 19日の7:00-13:00 UTにEISCAT特別実験を実施した。太陽F10.7インデックスは70であり, 太陽紫外線放射の弱い期間の観測となった。また, 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。これまでのEISCATレーダー観測で見られた地磁気静穏時の特徴と同じく, 北向きのESR観測(32mアンテナ観測)ではイオン速度変動や急激なイオン温度変動が見られた。

本研究課題に関連した主な成果発表

論文発表

Yasunobu Miyoshi, Hidekatsu Jin, Hitoshi Fujiwara, and Hiroyuki Shinagawa (2018), Numerical study of traveling ionospheric disturbances generated by an upward propagating gravity wave, *J. Geophys. Res.*, doi: 10.1002/2017JA025110.

Shigeru Fujita, Yuka Murata, Ikuko Fujii, Yasunobu Miyoshi, Hiroyuki Shinagawa, Hidekatsu Jin, Hitoshi Fujiwara (2018), Evaluation of the Sq Magnetic Field Variation Calculated by GAIA, *Space Weather*, <https://doi.org/10.1002/2017SW001745>.

学会発表等

藤原 均, 野澤 悟徳, 小川 泰信, 三好 勉信, 品川 裕之, 陣 英克, 片岡 龍峰, Liu Huixin, Variations of the polar ionosphere, thermosphere, and mesosphere caused by energy inputs from the magnetosphere, 地球惑星科学関連学会連合大会 (JpGU-AGU Joint Meeting), 5月, 幕張, 2018.

野澤 悟徳, 川原 琢也, 津田 卓雄, 藤原 均, 斎藤 徳人, 和田 智之, 小川 泰信, 高橋 透, 三好 勉信, Hall Chris, Brekke Asgeir, Spatial temperature gradients in the polar upper mesosphere and lower thermosphere above Tromsø, 地球惑星科学関連学会連合大会 (JpGU-AGU Joint Meeting), 5月, 幕張, 2018.

埜 千尋, 陣 英克, 品川 裕之, 藤原 均, 三好 勉信, 松村 充, GAIAの極域電場・粒子降込の改良と2017年9月イベントへの適用, 地球惑星科学関連学会連合大会 (JpGU-AGU Joint Meeting), 5月, 幕張, 2018.

松村 充, 塩川 和夫, 大塚 雄一, 品川 裕之, 陣 英克, 三好 勉信, 藤原 均, 埜 千尋, 津川 卓也, 新堀 淳樹, 渡邊 恭子, 西本 将平, 今田 晋亮, 川手 朋子, 李 京宣, GAIA simulations of the ionospheric response to successive X-class solar flares on September 6, 2017, 地球惑星科学関連学会連合大会 (JpGU-AGU Joint Meeting), 5月, 幕張, 2018.

Satoru Nozawa・Yasunobu Ogawa・Hitoshi Fujiwara・Takuo Tsuda・Takuya Kawahara・Norihito Saito・Satoshi Wada・Tetsuya Kawabata・Toru Takahashi・Masaki Tsutsumi・Chris Hall・Asgeir Brekke, Horizontal temperature gradients in the polar MLT region above Tromsø using sodium LIDAR data, 第144回地球電磁気・地球惑星圏学会, 名古屋大学, 11月, 2018.

三好勉信・陣英克・藤原均・品川裕之, 下層大気起源の熱圏重力波により引き起こされた大規模伝播性電離圏擾乱, 第144回地球電磁気・地球惑星圏学会, 名古屋大学, 11月, 2018.

Hitoshi Fujiwara・Satoru Nozawa・Yasunobu Ogawa・Yasunobu Miyoshi・Hidekatsu Jin・Hiroyuki Shinagawa・Chihiro Tao・Ryuho Kataoka・Huixin Liu, Ionospheric heating in the dayside polar region during solar minimum and geomagnetically quiet equinox periods, 第144回地球電磁気・地球惑星圏学会, 名古屋大学, 11月, 2018.

松村充・塩川和夫・大塚雄一・品川裕之・陣英克・三好勉信・藤原均・埜千尋・新堀淳樹・津川卓也, 巨大太陽フレア時の電離圏全電子数変動に対する中性大気組成の影響についてのGAIAシミュレーション. 第144回地球電磁気・地球惑星圏学会, 名古屋大学, 11月, 2018.

陣英克・三好勉信・埜千尋・品川裕之・藤原均・松村充, 大気圏・電離圏結合モデルGAIAの高精度化と検証, 第144回地球電磁気・地球惑星圏学会, 名古屋大学, 11月, 2018.

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

本課題の研究目的は、東南アジアVLF帯電磁波観測ネットワーク (AVON: Asia VLF Observation Network)を中心として、新規に国内で大気電場と95GHz FMCW方式雲レーダ (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)が国内外で展開している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. 研究方法

下部電離圏のグローバルサーキット効果の定量的理解を実現するために、フィールドミルによる大気電場と95 GHz FMCW方式雲レーダ (FALCON-I)による雲および雨の国内同時観測、およびAVONデータ解析を実施する。

3. 研究結果および考察

図1は、2016年7月4日08:30-10:30 UTの雷発生時の千葉大学西千葉キャンパス内 (35.63°N, 140.10°E)で同時観測した(上)大気電場および(下)FALCON-Iによるレーダ反射強度を示す。大気電場は下向きが正、上向きが負であり、建物屋上での相対値である。大気電場は雷雲通過に伴う緩やかな変動および08:50-09:30 UTに見られる雷によるパルス状の速い変動を示している。レーダ反射強度は、高度5 km以下の降雨および高度4-14 kmに雷雲を捉えている。09:00-09:30 UTの高度5 km以上は、地上の降雨強度が強すぎたため、雷雲からのエコーが見えなかった。08:30-08:40 UTに、大気電場は増加しており、従来この増加は雷雲がフィールドミルに接近しているとき、雷雲上層の正電荷により発生し、ちょうど雷雲が大気電場計の頭上に来たとき、雲底の負電荷により大気電場が負に転じるという説明がなされてきた。しかしながら、図1では、大気電場が増加しているとき、すでに高度8-14 kmに雷雲からの反射強度が見られ、つまり雷雲がフィールドミルの頭上にある。したがって、この雷雲上部はアンビルと呼ばれる雲頂が平らになって発達した積乱雲が形成されており、アンビル内の正電荷による大気電場増加であると思われる。また図1の矢印は、雲粒の上向きのみ Doppler速度を表している。矢印以外のエコー部分は全て下向きの Doppler速度を持つ。降雨開始時は雷雲アンビルの上部 (高度10-14 km)に上昇流があり、徐々に雷雲の下部 (~高度7 km)に上昇流が存在してい

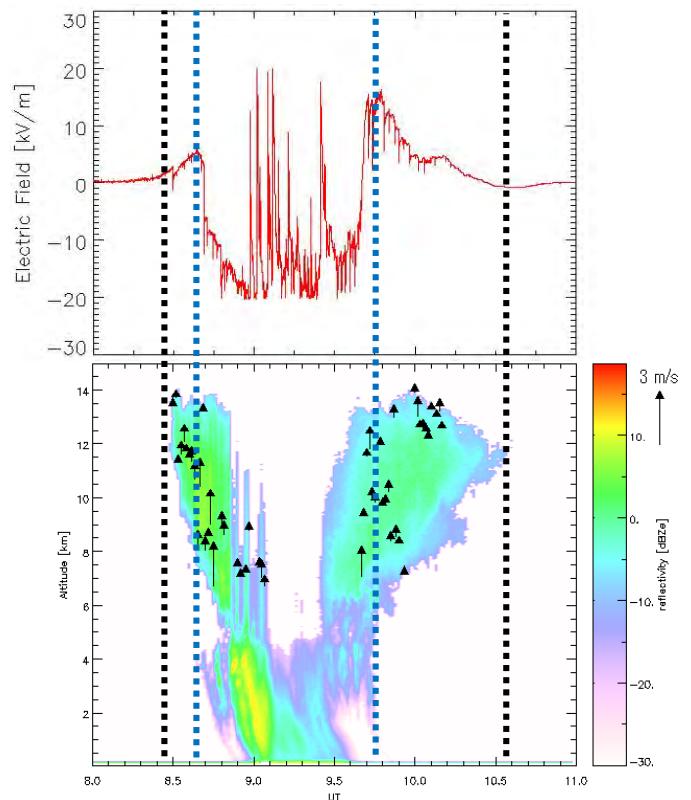


図1 2016年7月4日08:30-10:30 UTの雷発生時の(上)大気電場および(下)FALCON-Iによるレーダ反射強度。図中の黒および青の点線はそれぞれ降雨時刻と雷発生時刻を示す。矢印は雲粒の上向きのみ Doppler速度を示す。

た。また降雨時間の後半は雷雲全体に上昇流が見られるが、その後（10:00 UT頃）、雷雲上部（高度12-14 km）のみに上昇流があり、最後は上昇流が消えていた。

図2は、図1の大気電場変動を拡大したもので、矢印は雷による大気電場変動を示す。

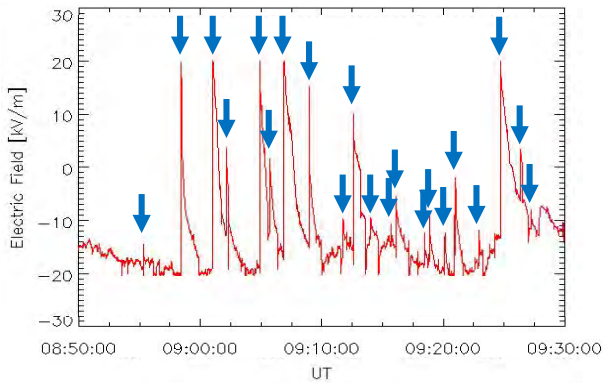


図3 2016年7月4日08:50-09:30 UTに千葉大で観測された雷による大気電場変動。

図3は、株式会社フランクリン・ジャパンが運用するJLDNで推定された、2016年7月4日08:50-09:30 UTの期間の雷発生位置を示す。赤丸は、図2の大気電場変動と同時刻に発生した雷の位置を示す。この期間に、JLDNでは2332個の雷を捉えており、そのうちの21個（0.9%）について大気電場が反応した。この21個の雷のフィールドミルからの距離は21.4-34.2 kmであり、全て下向きの雷であり、ピーク電流は10-83 kAだった。図4に、雷のピーク電流（負が下向き）と大気電場変動の継続時間との相関を示す。相関係数は-0.47であり、また大気電場変動の開始から最大までは全て1 s以下であることから、雷のピーク電流が大きいほど大気電場変動の回復時間が長いことが分かった。この雷発生位置付近を伝搬するLF帯標準電波データ（AVON）は欠測であり、また名大ISEE母子里・鹿児島観測所のVLFデータ中、昼間のtweek空電がなかったため、このイベント時の下部電離圏の推定が困難だった。

成果発表

- [1] (Invited) **Ohya, H.**, K. Nakamori, Y. Suzuki, M. Kamogawa, T. Suzuki, **T. Takano**, T. Takamura, K. Morotomi, **K. Yamashita**, and H. Nakata, Effects of cloud, lightning activities and snowfall on atmospheric electric field using 95-GHz cloud radar FALCON-I, JpGU2018, Chiba, 20 May, 2018.
- [2] **Ohya, H.**, K. Nakamori, M. Kamogawa, T. Suzuki, **T. Takano**, K. Morotomi, H. Nakata, and **K. Shiokawa**, Oscillations of atmospheric electric field during snowfall in the Kanto region, Japan, using a field mill and 95-GHz cloud radar FALCON-I, SGEPPS 2018 Fall Meeting, Nagoya, 25 November, 2018.

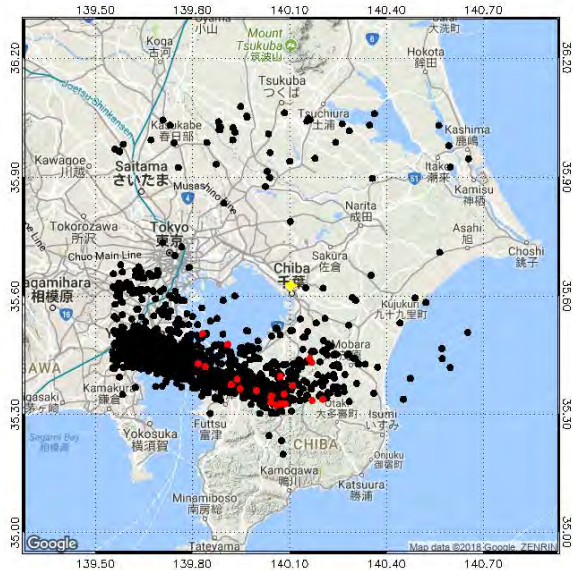


図2 JLDN（株式会社フランクリン・ジャパン）で推定された2016年7月4日08:50-09:30 UTの期間の雷の発生位置。赤丸は図2の大気電場変動と同時刻に発生した雷の位置を示す。黄色の丸は、大気電場計の位置を示す。

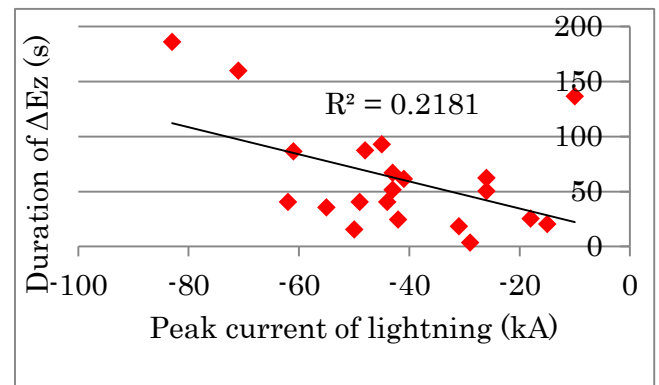


図4 雷のピーク電流（マイナスが下向き）と大気電場変動の継続時間との相関。

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, 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、二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、大気中の成層圏及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・拡散など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 ^{14}C や ^{10}Be など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 ^7Be の詳細な観測は、三つの要因相互の変動関係を明らかにする上で重要であり、且つ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大事である。

本研究は、第23期における観測の蓄積に基づき、極めて特徴的な第24期太陽活動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及ぼす影響について大気運動を含めて評価することが期待でき大きな意義がある。中緯度（山形）と高緯度（アイスランド）での宇宙線生成核種 ^7Be の長期観測結果及び低緯度（タイ、バンコク）で得られた2018年までの観測結果について報告する。

研究方法

北半球中緯度の山形（北緯 38.3° ）、高緯度のアイスランド（北緯 64.7° ）、最高地磁気カットオフ地域であるタイに各々ハイボリュームエアサンプラー（HV1000F, HV500R, 吸引量 $500\sim 1000\text{L}/\text{min}$ ）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、山形大学及び宇宙線研究所柏地下測定設備においてガンマ線測定分析を行い、大気中 ^7Be 濃度及び ^{210}Pb 濃度の連続観測を行っている。

研究結果

高緯度、中緯度、低緯度の ^7Be 濃度年変動

図1は、高緯度（アイスランド）、中緯度（山形）及び低緯度（バンコク）の大気中 ^7Be 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2018年10月までの年変動を示している。本連続観測は、第23期の後半から第24期太陽活動期をカバーしており、太陽磁場の極性反転（ $q_A > 0$ から $q_A < 0$ ）と（ $q_A < 0$ から $q_A > 0$ ）の時期を含んでいる。第23期（2000～2009年）における中緯度の平均 ^7Be 濃度に比べ第24期（2012～2018年）における平均 ^7Be 濃度は16.7%増加している。これに対応する太陽黒点数の減少率は17.3%である。二つの太陽活動期の ^7Be 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期の太陽活動の変動を表していることが分かる。また、この期間のOuluの中性子モニターデータの増加率は2.5%程度であり、大気中での ^7Be の生成は、低エネルギーの

宇宙線強度変動を示していると考えられる。しかし、高緯度のアイスランドの ^7Be 濃度は、23 期と 24 期の平均が減少しており、アイスランド特有の気象効果の影響を考える必要がある。

一方、バンコクの ^7Be 濃度は、2014 年から 2017 年まで下降していたが、2018 年は増加に転じている。バンコクのガラス捕集試料では地中から大気中に拡散している ^{222}Rn の娘核種である大気中の ^{210}Pb 濃度も ^7Be と同時に測定を行っている。図 2 に示す ^7Be 濃度及び ^{210}Pb 濃度の各年平均の変化では、 ^{210}Pb 濃度も 2017 年に対して増加しており気象効果の可能性が高い。図 3 にバンコクのろ紙試料に捕集されたエアロゾルの preliminary な元素分析結果を示す。blank ろ紙との比較から炭素、硫黄、鉄の元素が含まれていることが分かった。

第 24 期の太陽 11 年活動は、間もなく極小になると考えられる。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。

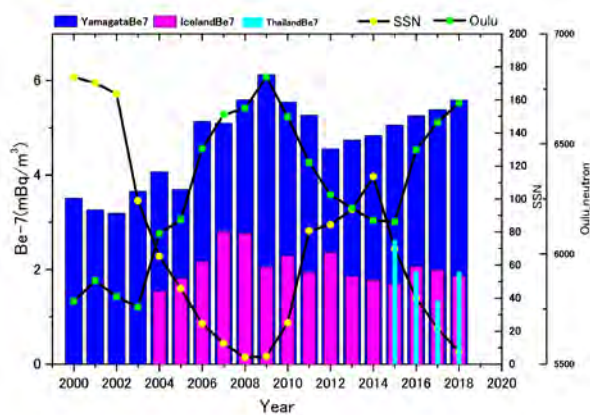


図 1. 山形、アイスランド及びバンコクでの ^7Be 濃度の年変動

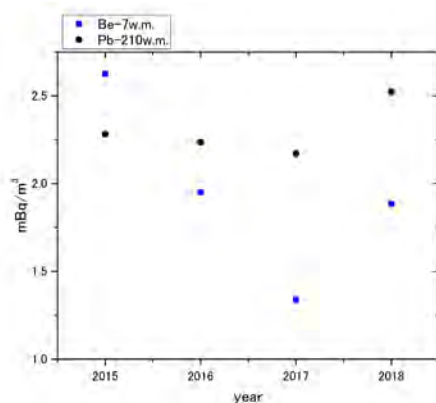


図 2. バンコクでの ^7Be , ^{210}Pb 濃度の年変動

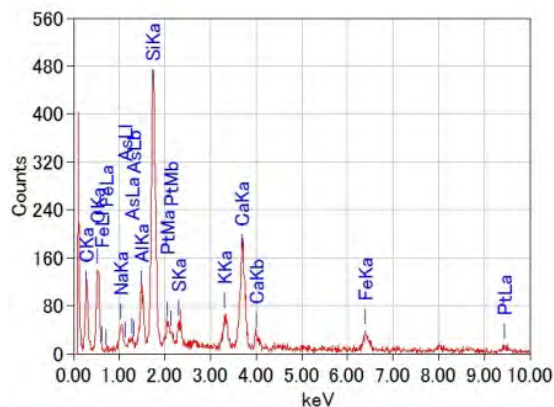


図 3. バンコクで捕集されたエアロゾルの元素分析結果

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、ニュージーランドで2011年以降に取得した約8年分の地磁気データを解析し、ニュージーランド経度帯の $L=2.6$ におけるプラズマ質量密度を調査した。その結果12月の密度が6月の密度よりも高くなる傾向がみられた。またその季節変動振幅は太陽活動度が高いほど大きくなる傾向がみられた。

ニュージーランド経度帯は我々の観測が始まるまで高時間分解能の地磁気観測は行われておらず、プラズマ質量密度の長期観測も本研究が世界初である。

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。

本研究ではこのデータにBerube et al., (2003)の自動検出アルゴリズムを適用して磁力線共鳴振動周波数を抽出し、2011-2018年のプラズマ質量密度を算出した。2017年のプラズマ質量密度をAWDANet-PLASMON観測網のDunedin観測点で得られたWhistler波周波数分散から算出した電子密度と比較したところ、よい一致が見られた。さらにSaturated plasmasphereの季節変動を調べるために、Kpインデックスの過去4日間の最大値が4以下のデータのみを選び、質量密度をプロットしたところ、12月の密度が6月の密度に比べ高い傾向がみられた。またその季節変動振幅は太陽活動度が高いほど大きくなる傾向がみられた(図)。

北米経度帯の過去の研究(Park et al., 1978; Menk et al., 2012)では電子密度、ヘリウム密度、質量密度いずれも6月の密度が12月の密度よりも高くなる傾向が報告されており、プラズマ圏の密度経験モデルを作成する際、データ点の経度帯の偏りには注意が必要であることが明らかになった。

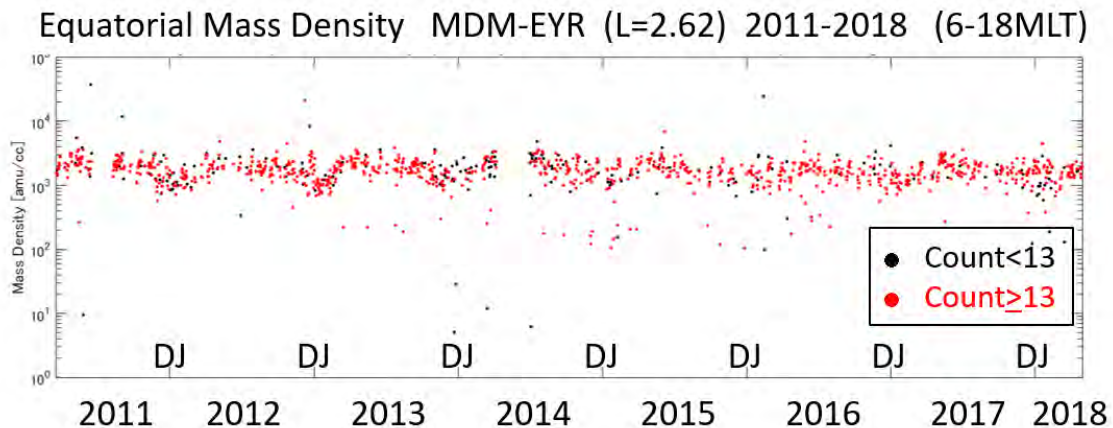


図 2011-2018年の静穏日におけるプラズマ質量密度

成果発表（上記研究のほか、ニュージーランド地磁気データが利用された研究成果も掲載する）

原著論文

1. Clilverd, Mark A., Craig J. Rodger, James B. Brundell, Michael Dalzell, Ian Martin, Daniel H. Mac Manus, Neil R. Thomson, Tanja Petersen, and Yuki Obana (2018). 'Long-lasting geomagnetically induced currents and dharmonic distortion observed in New Zealand during the 7-8 September 2017 disturbed period', *Space Weather*, 16. <https://doi.org/10.1029/2018SW001822>.

研究集会・学会発表

1. 尾花由紀, ニュージーランド経度帯におけるプラズマ圏の長期観測結果について, 2019年3月12日, 電磁圏物理学シンポジウム, 九州大学西新プラザ, 福岡.
2. Kenji Mitani 他, 'Statistical Study of Selective Transport of Energetic Oxygen Ions During Magnetic Storms Observed by Van Allen Probes in 2013-2017', American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting, 10-14 Dec, 2018, Washington D. C., USA.
3. Mark A. Clilverd 他, 'Local time variations in mid-latitude magnetic field perturbations and geomagnetically induced currents during the 07-08 September 2017 geomagnetic storm', The 15th European Space Weather Week (ESWW), November 5 - 9, 2018, Leuven, Belgium.
4. Craig J. Rodger 他, 'Geomagnetically Induced Currents and Harmonic Distortion: Observations from New Zealand', The 15th European Space Weather Week (ESWW), November 5 - 9, 2018, Leuven, Belgium.
5. Tim Divett 他, 'Validating modelled transformer-level GIC flow in New Zealand's South Island with extensive observations', The 15th European Space Weather Week (ESWW), November 5 - 9, 2018, Leuven, Belgium.
6. Kenji Mitani 他, 'Statistical Study of Selective Transport of Energetic Oxygen Ions During Magnetic Storms Observed by Van Allen Probes in 2013-2017', 第144回地球電磁気・地球惑星圏学会総会及び講演会, 2018年11月23日～11月27日, 名古屋大学東山キャンパス, 名古屋.

磁気圏尾部リコネクション過程に置ける乱流的磁気ロープの発達過程
の研究

Study on turbulent development of small-scale magnetic flux ropes
in the magnetotail reconnection

中村 琢磨、オーストリア科学アカデミー・宇宙科学研究所

本プロジェクトでは、主に地球磁気圏尾部領域における磁気リコネクション過程において2次的に生成される乱流現象の解明を目的とし、数値シミュレーション及び人工衛星によるその場観測を用いた研究を行った。磁気リコネクションは、磁気シアのあるプラズマ境界を跨いで磁力線が繋ぎ変わる事で境界に蓄積された磁気エネルギーを爆発的に解放する宇宙プラズマにおいて最も重要なエネルギー変換過程の1つである。特に、地球磁気圏においては尾部電流層に蓄積された磁気エネルギーが解放される事で、オーロラサブストームに代表される大規模磁気圏擾乱が駆動されると考えられており、磁気リコネクション過程を理解する事は磁気圏物理及び宇宙天気研究において最重要課題の1つである。近年、課題代表者らの研究を含む大規模3次元完全粒子シミュレーションを用いた研究によって、磁気リコネクションの発達に伴い3次的にリコネクション層が乱流化する事が示されている。この3次的な乱流現象には主に、ガイド磁場（リコネクション面に垂直な磁場成分）とリコネクション磁場成分との間で起こる2次的テアリング不安定に起因した磁気ロープ形成によるものと、リコネクション層内で2次的に発達するプラズマ波動及び不安定によるものに分類されるが、本研究ではまず前者に注目し、今まで注目されていなかった弱ガイド磁場下における2次的磁気ロープ形成過程を調べた。

具体的には、2015年に打ち上げられた現在世界最大の磁気圏観測ミッションであるMagnetospheric Multiscale(MMS)ミッションによって2017年7月11日に観測された弱ガイド磁場イベントについて、3次元粒子シミュレーション（下記成果[1]）と観測研究（下記成果[2]）の両面から検証した。まずシミュレーション研究では、観測から得られた背景磁場及びプラズマ密度・温度を初期パラメータとして2次元及び3次元粒子シミュレーションを行った。その結果、まず磁力線の繋ぎ変わる磁気拡散領域の構造は2次元及び3次元計算で大きな差がなく2次的である事が確かめられた。この点は、磁気拡散領域をMMS衛星が通過した際に得られたデータと2次元計算結果を用いた疑似観測結果がよく一致していることから確認された。次に、3次元計算特有の結果として、拡散領域の外側ではリコネクション層の淵領域及びリコネクションジェット先端領域に沿って発達する3次的な波動現象が見られた。しかし、本シミュレーション結果から、2次的に発達する磁気ロープの形成は確認できなかった。

次に、このMMSによる2017年7月11日のイベントでは、MMS衛星が拡散領域を通過した後磁気ロープの発生が確かめられている。本研究では、本申請の共同研究者であるTeh博士が主導し、このイベントで観測された磁気ロープについての詳細な観測研究を行った。具体的には、観測された磁気ロープ及び背景磁場の傾きから、観測された磁気ロープが2次的テアリング不安定によって形成された事を突き止めた（下記図1）。この事は、上記の2次的な磁気ロープの形成過程が弱ガイド磁場下でも発生する事を示している。磁気ロープの形成が確かめられなかったシミュレーション結果との差については、拡散領域観測期間に注目した観測データを元にしたシミュレーション研究[1]及び磁気ロープ観測期間に注目したTeh博士の研究[2]では推測したガイド磁場の値が異なっている事が原因である可能性がある。具体的には、拡散領域に注目した場合はガイド磁場が数倍小さく見積もられている。この事は、背景ガイド磁場の強度がイベントを通して時間変化している事を示唆しているが、今後、ガイド磁場の強度を変化させたシミュレーションを新たに行い、改めて観測研究

との比較する事が期待される。

本研究ではさらに、2次的に発達するプラズマ波動・不安定による乱流現象にも注目し、上記のシミュレーション研究にも見られたリコネクションジェット先端領域に発生するプラズマ不安定についての研究も進めた。過去の研究からジェット先端領域では、強い密度勾配層が形成され、それに起因したlower-hybrid drift instability(LHDI)と呼ばれるプラズマ不安定が成長する事が示唆されている。本研究ではまず、共同研究者である梅田博士が主導し、LHDIの成長を理論的に予想する運動論的線形解析ツールの開発に成功した[3]。本ツールでは、磁場と垂直方向にドリフトするプラズマについて完全運動論的な線形分散関係を求める。次に、本ツールを、課題代表者が主導する名古屋大学HPC計算科学連携研究プロジェクトにて本年度に行った3次元完全粒子シミュレーション結果に応用し、ジェット先端領域で発生するLHDIの成長率及び波長が線形解析結果とよく一致する事を確かめた(下記図2)。さらに、これらの結果を元に、現実的な磁気圏尾部のパラメータ下で線形解析を行い、ジェット先端領域のLHDI乱流が磁気圏尾部領域では頻繁に起こり得る事を示した。現在本結果を国際雑誌に投稿するために準備中である。

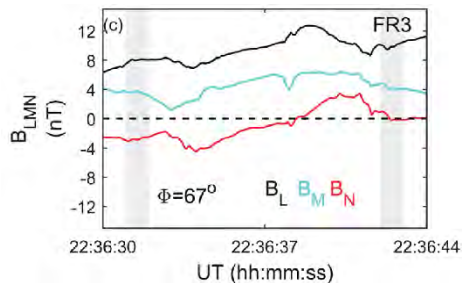


図1：2017年7月11日22:36UT付近のMMS観測結果。1つの磁気ロープ通過時の磁場3成分を示す。磁気ロープ前後(影部分)の背景データから見積もられる2次的テアリング不安定の成長角度と磁気ロープの角度の一致が確認された[2]。

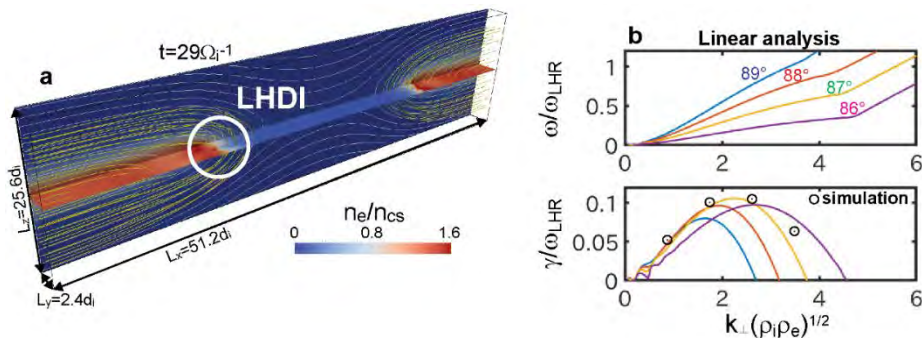


図2：(a)3次元完全粒子シミュレーション結果。リコネクションジェット先端領域にLHDIの成長が見られる。(b)シミュレーションから得られたパラメータを運動論的線形解析ツール[3]に入力した結果。得られたLHDIの成長率とシミュレーション結果から得られた成長率が一致する事が確認された。

【成果発表】 (投稿論文)

- [1] Nakamura, T. K. M., Genestreti, K. J., Liu, Y.-H., Nakamura, R., Teh, W.-L., Hasegawa, H., et al., (2018), Measurement of the magnetic reconnection rate in the Earth's magnetotail. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 123, 9150–9168.
- [2] Teh, W.-L., Nakamura, T.K.M., Nakamura, R., & Umeda, T (2018), Oblique ion-scale magnetotail flux ropes generated by secondary tearing modes. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 123, 8122–8130.
- [3] Umeda, T. & Nakamura, T. K. M. (2018), Electromagnetic linear dispersion relation for plasma with a drift across magnetic field revisited, Physics of Plasmas, 25, 102109

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 densed 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、更なる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することを目的とした研究を3カ年計画で遂行する。

初年度である今年度は、マレーシア域のペナンに新規磁場観測点を設置し、東南アジア赤道稠密観測網を強化するとともに、30年度の共同研究予算を用いてペルー、地球物理学研究所のワンカイヨ観測所にFM-CWレーダーを設置・運用を開始することにより研究の基盤となる観測体制を整えた。これらの観測データを用いて、昼間側で生じる赤道ジェット電流(EEJ)とプラズマバブルの発生頻度の相関性が東南アジア域、南米域で大きく異なることを見いだすなどの初期結果を得ている(Akimoto et al., 2018)。31年度以降は上記に掲げたインデックスの作成、データベースの強化を促進するとともに、学術的成果を積み上げていく予定である。

2018年度 査読付き学術論文リスト

1. [M Abbas, ZZ Abidin, MH Jusoh, OS Bolaji, A Yoshikawa, Features of horizontal magnetic field intensity over northern island of Malaysia, Indian Journal of Physics, 1-112019.](#)
2. [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](#)

3. R Shi, B Ni, D Summers, H Liu, A Yoshikawa, B Zhang, Generation of electron acoustic waves in the topside ionosphere from coupling with kinetic Alfvén waves: a new electron energization mechanism, *Geophysical Research Letters* 45 (11), 5299-5304, doi: 10.1029/2018GL077898
4. Ohtani, S., Motoba, T., Gjerloev, J. W., Ruohoniemi, J. M., Donovan, E. F., & Yoshikawa, A (2018). Longitudinal development of poleward boundary intensifications (PBIs) of auroral emission. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 123. <https://doi.org/10.1029/2017JA024375>
5. 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>
6. EM Takla, A Khashaba, MA Zaher, A Yoshikawa, T Uozumi (2018), Anomalous ultra low frequency signals possibly linked with seismic activities in Sumatra, Indonesia, *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics* doi: 10.1016/j.nrjag.2018.04.004
7. NSA Hamid, VA Wen, NIM Rosli, A Yoshikawa, Changes in Ionospheric Currents System at Southeast Asia Region during Geomagnetic Storm in Solar's Minimum Phase *SAINS MALAYSIANA* 47 (8), 1923-1929, 2018
8. R Umar, SF Natasha, SSN Aminah, KN Juhari, MH Jusoh, NSA Hamid, MH Hashim, ZM Radzi, AN Ishak, SN Hazmin, WZAW Mokhtar, MKA Kamarudin, H Juahir, A Yoshikawa (2018), Magnetic Data Acquisition System (MAGDAS) Malaysia: installation and preliminary data analysis at ESERI, UNISZA, *Indian Journal of Physics*, 1-12, <https://doi.org/10.1007/s12648-018-1318-x>
9. Takahashi, N., Seki, K., Teramoto, M., Fok, M.-C., Zheng, Y., Matsuoka, A., Nana Higashio, Kazuo Shiokawa, Dmitry Baishev, Akimasa Yoshikawa, Tsutomu Nagatsuma (2018). Global distribution of ULF waves during magnetic storms: Comparison of Arase, ground observations, and BATSRUS + CRCM simulation. *Geophysical Research Letters*, 45, 9390–9397. <https://doi.org/10.1029/2018GL078857>
10. NMN Annadurai, NSA Hamid, Y Yamazaki, A Yoshikawa. Investigation of Unusual Solar Flare Effect on the Global Ionospheric Current System, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, <https://doi.org/10.1029/2018JA025601>
11. A Fujimoto, A Yoshikawa, A Ikeda (2018), Global response of Magnetic field and Ionosonde observations to intense solar flares on 6 and 10 September 2017 - E3S Web of Conferences, 2018
12. A Ikeda, T Uozumi, A Yoshikawa, A Fujimoto, S Abe (2018), Schumann resonance parameters at Kuju station during solar flares- E3S Web of Conferences, 2018
13. M Nakahara, A Yoshikawa, T Uozumi, A Fujimoto, Electromagnetic induction responses to geomagnetic disturbances at low-and-mid-latitudes, *Journal of Physics: Conference Series* 1152 (1), 0120352019.
14. T Akiyama, A Yoshikawa, A Fujimoto, T Uozumi, Relationship between plasma bubble and ionospheric current, equatorial electrojet, and equatorial counter electrojet, *Journal of Physics: Conference Series* 1152 (1), 0120222019.
15. ZIA Latiff, MH Jusoh, FAM Kasran, SAE Ab Rahim, M Onn, A Zainuddin, and A. Yoshikawa, The first solar-powered Magdas-9 installation and possible geomagnetically induced currents study at Johor, Malaysia, *Journal of Physics: Conference Series* 1152 (1), 0120302019.
16. SN Ibrahim, MH Jusoh, AA Sulaiman, A Yoshikawa, ZM Radzi, Characteristic of the Disturbed Days Ionospheric Current System in the 180-Degree Magnetic Meridian, *Journal of Physics: Conference Series* 1152 (1), 0120292019.
17. NM Anuar, FAM Kasran, M Abbas, MH Jusoh, SAE Ab Rahim, N Abdul Hadi, A Yoshikawa, Z Mohd Radzi, Assessment of the Geomagnetically Induced Current (GIC) at Low Latitude Region based on MAGDAS Data, *Journal of Physics: Conference Series* 1152 (1), 0120282019.
18. N.N. Anuar, FAM Kasran, ZIA Latif, SAE Ab Rahim, A Manut, MH Jusoh, N. A. Hadi, A. Yoshikawa, Estimation of Time Derivative of Horizontal Geomagnetic Component for GIC Assessment in Malaysia during Quiet Period, 2018 IEEE 8th International Conference on System Engineering and Technology (ICSET), 118-122, 2018.
19. NMN Annadurai, NSA Hamid, A Yoshikawa, Observation of Ionospheric Current during Strong Solar Flare Using Ground Based Magnetometer, *SAINS MALAYSIANA* 47 (3), 595-601
20. 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>.
21. 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>.
22. 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

太平洋における極端降水現象予測キャンペーンPRECIP2020の準備研究
Preliminary research for Prediction of Rainfall Extremes
Campaign in the Pacific (PRECIP2020)

伊藤耕介、琉球大学・理学部

東アジア地域においては、梅雨前線や台風に伴う大雨のみならず、急激に発達する積乱雲によって都市部に集中豪雨をもたらす現象も多発する。このような東アジア域における降水現象の共通理解を目指すとともに、研究者間の連携を図るために、「第13回メソスケール降水システムと顕著気象に関する国際会議 (Conference on Mesoscale Convective Systems and High-Impact Weather in East Asia: ICMCS-XIII)」を2019年3月6日から8日までの3日間にわたって、沖縄県立博物館・美術館において開催した。その翌日(3月9日)には、2020年梅雨期から夏期にかけて台湾と沖縄周辺で地上観測と航空機観測により降水システムや台風の構造を明らかにする共同観測「2020年国際共同観測実験(PRECIP2020 / TAHOPE / T-PARCI)に関する計画会合 (The Planning Meeting for the International Joint Field Experiment in 2020 (PRECIP2020 / TAHOPE / T-PARCI)」を琉球大学において開催した。そして、2020年の集中観測において米国のSEA-POLレーダ、名古屋大学のX帯偏波レーダ、Ka帯偏波レーダを設置する与那国島を米国、台湾、日本の研究者8名で視察した。本報告では名古屋大学宇宙地球環境研究所国際共同研究に関連して実施したこれら一連の活動について報告する。

ICMCSは、East Asia Weather Research Association (東アジア天気研究会)が主体となって韓国・台湾・日本・中国・米国の持ち回りで2000年から継続して1~2年毎に開催されており、今回で13回目となっている。今回のICMCS-XIIIでは、琉球大学と名古屋大学が主担当となり、会場の予約、参加・要旨投稿・参加費の支払いのためのウェブサイト開設、会議のプログラム作成、実際の会議運営などを行った。会議には上記の5か国のほか香港と英国も含めて7か国(地域)から159名の参加があり、3日間で163件の口頭とポスターによる講演が行われた。

3月9日の「2020年国際共同観測実験(PRECIP2020 / TAHOPE / T-PARCI)に関する計画会合」には米国・台湾・香港・日本から32名(米国9名、台湾10名、香港1名、日本からは6機関で12名)の参加があった。米国からは、1月の政府閉鎖により遅れていたPRECIP2020への予算申請が採択された旨の連絡があり、これを受けて、台湾における地上観測体制、日本では与那国島に観測機器を集中させて強化観測を行うこと、航空機観測の体制などが議論された。また、強化観測期間中には、毎日、時間を決めてブリーフィングを行って観測対象や体制を確認すべきであるとの議論がなされた。さらに、数値モデルを用いた予報実験についても議論がなされた。

翌3月10日には、米国のコロラド州立大学Michael Bell准教授とKristen Rasmussen助教、NCARのWen-Chau Lee博士、イリノイ州立大学のDeanna Hince助教、国立台湾大学のMing-Jen Yang教授、琉球大学の

山田広幸准教授、名古屋大学の坪木和久教授と篠田太郎准教授で与那国島のレーダ観測地点の視察を行った。レーダ設置想定地点の地盤、電源の有無、台湾側の視界の広さ（レーダ観測における障害物）などを確認するとともに、島内での宿泊施設や食事の環境、想定される生活費などの観測の基盤となる状況についての調査を行った。これらの調査結果に基づいて、レーダの移設の日程や電源確保についての予算案作成、観測期間中のレーダ運用方法、観測期間中の人員配置（与那国島の食生活を鑑みて、ベジタリアンの方が観測に参加することが困難である旨の助言を行った）などについて、関係者間での検討を行っていく予定である。

名古屋大学からは、本国際共同研究、共同利用・共同研究の研究集会（航空機利用委員会）、地球気候系の診断に関わるバーチャルラボラトリーの形成などの研究経費を利用させていただき、合計で12名分の旅費・滞在費などの支給を行った。本国際共同研究ではペンシルベニア州立大学のAnthony Didlake Jr.博士（助教）の旅費・滞在費を支給した。



写真 （上）ICMCS-XIIIの集合写真。（左下）2020年国際共同観測実験(PRECIP2020 / TAHOPE / T-PARCII)に関する計画会合の様子。Michael Bell准教授による観測計画の説明が行われている。（右下）与那国島空港に到着した関係者。左からWen-Chau Lee博士、Deanna Hence助教、Ming-Jen Yang教授、Kristen Rasmussen助教、Michael Bell准教授。

低緯度への誘導磁力計観測網の新規展開による高周波数電磁流体波動の研究

Study of high-frequency MHD waves by developing an induction magnetometer network toward low latitude

能勢正仁、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

【学術的背景】

(A) Pc1地磁気脈動

地磁気が周期0.2-5秒で正弦波的に変動する現象は「Pc1地磁気脈動」または「EMIC(Electromagnetic ion cyclotron)波動」と呼ばれている。低緯度におけるPc1地磁気脈動については、先駆的な研究がKawamura et al. [1981]によってなされた。それによると、低緯度Pc1脈動の発生頻度は、真夜中から明け方にかけてピークを示し、高緯度Pc1脈動や磁気圏中のPc1脈動(EMIC波動)の発生頻度とは全く異なっている。そのため、低緯度Pc1脈動に関しては、「プラズマ圏とリングカレントの相互作用により夜側で励起されたEMIC波動が、磁力線に沿って電離層に入射後、電離層F層ダクトを通過して低緯度へ伝搬し、Pc1脈動として観測される」というシナリオが提案された。しかし、それ以降、低緯度Pc1脈動の研究は、Webster and Fraser [1985], Bortnik et al. [2008], Nomura et al. [2011]による報告が存在する程度で、あまり活発には行われてこなかった。上記のシナリオは観測データに基づいた更なる検証が求められている。

(B) 電離層アルフベン共鳴現象

電離層アルフベン共鳴現象(Ionospheric Alfvén Resonance, IAR)は、磁場変動のダイナミックスpektrum上で、1Hzから数Hzに亘って複数の周波数バンド(高調波)構造を持つ現象として観測される。1980年代後半以降、フィンランドやロシア、北海道などの高緯度・中緯度で観測の報告が行われてきた。しかしながら、これまでに低緯度においては、ギリシャ(地磁気緯度 33°)での観測報告があるのみである[Bösiinger et al., 2002, 2004]。一方で、低緯度では観測されなかったという主張[Hayakawa, 2004]もあり、低緯度・赤道域におけるIARに関する知見は未だ限定的である。

【目的】

誘導磁力計観測の空白領域となっていた低緯度で、緯度方向のネットワーク観測を世界で初めて展開・構築する。異なる緯度の誘導磁力計のデータを同時に解析し、Pc1地磁気脈動やIARの発生分布がどの程度まで低緯度方向に広がっているかを明らかにする。

【研究の経緯】

2017年末に沖縄県国頭村にて誘導磁力計を設置したが、給電が安定せず定常的なデータ取得を開始できなかった。2018年初夏には落雷により、データロガーがダメージを受け、観測が停止してしまっている。観測装置はドイツ製のため、日本の代理店を通して修理などを依頼するのに時間が掛かり、今年度内に観測を再開することができな

った。

図1は、データロガーが故障する前に取得された2018年2月22日の沖縄県国頭村におけるデータである。シューマン共鳴が基本振動から3-4次高調波まで観測されている。また、14:00-18:00 UTには、東西(By)成分に5 Hz以下のIARが現れている。データロガーの修理が終わり次第、再度現地を訪問して観測を再開し、図1のようなイベントを選び出して解析することで、研究目的を達成するつもりである。

【誘導磁力計観測網の構築計画】

沖縄県国頭村を起点として、台湾・フィリピン・インドネシア・オーストラリアの各国に誘導磁力計を設置し、緯度方向に広がる観測網の構築を計画している。既に以下のような現地協力者と話し合いを進めており、すべての協力者から快諾を得ている。

台湾・・・国立東華大学のWen-Yen Chang教授。

フィリピン・・・アテネオ・デ・マニラ大学のQuirino Sugon Jr. 博士。

インドネシア・・・気象気候地球物理庁のJaya Murjaya博士。

オーストラリア・・・オーストラリア地球科学研究所のTristan Kemp博士。

今年度に配分いただいた研究費からは、将来的に現地観測所で用いるための耐電トランスを購入した。

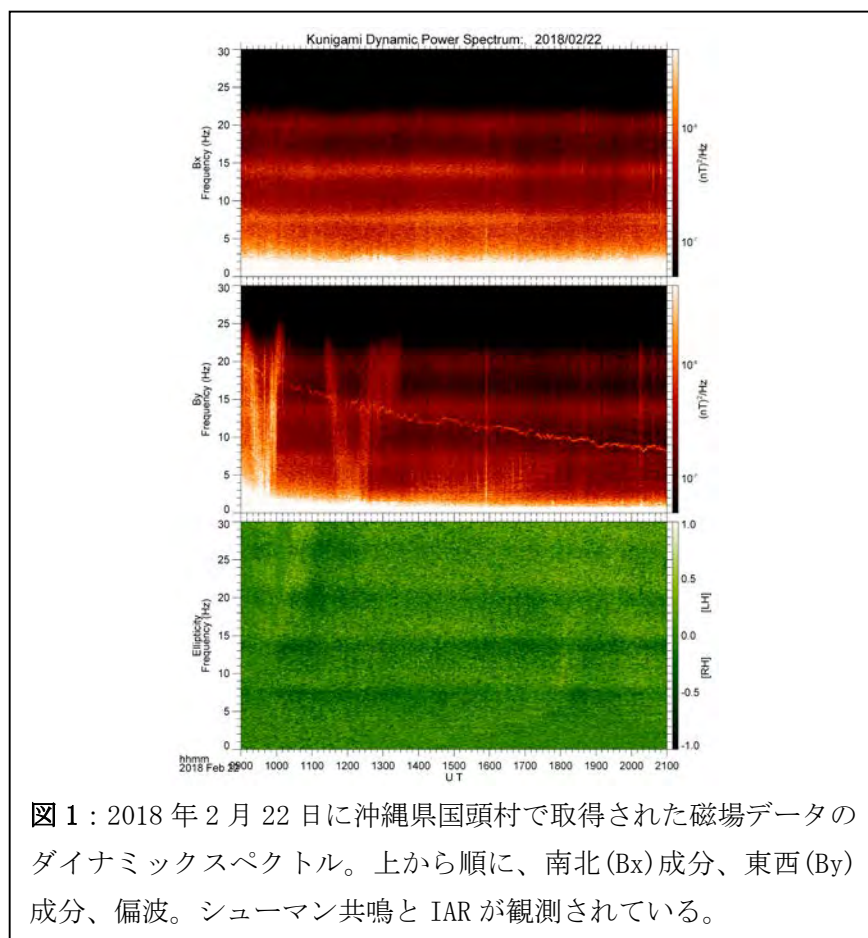


図1：2018年2月22日に沖縄県国頭村で取得された磁場データのダイナミックスペクトル。上から順に、南北(Bx)成分、東西(By)成分、偏波。シューマン共鳴とIARが観測されている。

宇宙線をプローブとした太陽風と IMF の断層撮像的観測

Tomographic observation of solar wind and IMF using cosmic ray as a probe.

小島浩司・愛知工業大学・工学部・土木工学科

研究目的

本研究では、日印共同研究として南インド・タミルナド州ウーティーに設置されている、GRAPES-3 の空気シャワー観測装置と大型宇宙線望遠鏡を用いて、広いエネルギー帯域で、多方向観測を行う。これにより、内部太陽圏の宇宙線密度分布の空間的構造とエネルギー依存性を明らかにし、太陽周辺および内部太陽圏における IMF プラズマ分布の断層的撮像（トモグラフィ）を行うことが、本研究の目的である。また、同様の手法を、名古屋大学宇宙地球環境研究所の 36 平方メートルのミュオン望遠鏡と、メキシコ・シェラネグラ山の宇宙線望遠鏡で得られるミュオンデータにも適用し、全地球規模の観測にする予定である。さらに、GRAPES-3 だけの観測では、統計的に 1 ローテーション（27 日）単位の断層撮像が限界であるが、現在南米ボリビアで建設計画が進められている ALPACA 実験に参加することで、1 日単位での断層撮像も可能となる。

太陽による宇宙線の遮蔽効果は、当然、宇宙線のエネルギーに依存することが予測されてきた。2001 年、藤本らはホバート、坂下、松代の地下ミュオン観測装置の観測データを用い、宇宙線真正恒星時異方性 (Tail In) の大きさが、太陽と地球と Tail In の位置関係 (地球の太陽に対して Tail 側と Tail の反対側の位置関係) によって大きく異なることを利用して、太陽による宇宙線の遮蔽効果 (宇宙線で透視した見かけの太陽の大きさ) と宇宙線のエネルギーの関係を見出した。その結果は、それぞれの観測における宇宙線のメディアンエネルギーと遮蔽効果が逆比例の関係であった (Proceedings of ICRC 2001: 3927)。この解析結果は、各観測の観測期間や観測時期が異なるため平均的描像といえるが、異なるメディアンエネルギーの宇宙線による、疑似的な断層撮像解析とも見なせる。

一方で、太陽周辺のプラズマの状態を直接観測する手段として IPS 観測が広く知られている。IPS で観測できるプラズマの状態は、プラズマの密度分布の変動が中心であり、磁場の変動には感度がない。それに対して、宇宙線観測では太陽の宇宙線の遮蔽効果の利用により、IMF 磁場の大きさやゆらぎを直接観測できることに特徴がある。したがって、太陽による宇宙線強度変動のモジュレーションや遮蔽効果の観測は、IPS の観測と相補的な関係にあり (IPS はプラズマの密度変動・揺らぎの移動に感度があり:宇宙線は磁場変動・揺らぎに感度がある)、太陽周辺から内部太陽圏にいたる IMF プラズマの状態を実験的に確認できる観測手段である。このような、太陽による宇宙線強度のモジュレーションや遮蔽効果をより短期間 (究極的には 1 時間毎) で解析できるようになれば、宇宙天気予報に大きく資することができる。

研究方法

本研究では、多方向ミュオン望遠鏡による、大気ミュオンの観測に加え、宇宙線空気シャワーの精密な入射方向強度の観測を行う。ミュオン望遠鏡の観測が一次宇宙線の強度変動のモジュレーションを利用した間接的な IMF 変化のモニタリングであるのに対して、空気シャワー観測では遮蔽効果の利用により直接的モニ

ターが可能である。

本研究での利用可能な装置はインド・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。また太陽遮蔽効果の解析には GRAPS-3 空気シャワー観測装置が利用可能である。これらの観測装置に加えて，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 100 倍以上のエネルギー領域において解析が可能となる。観測で得られた宇宙線強度変動と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，それらを関連付けているパラメータを推定する。さらに，多方向ミュオン望遠鏡及び空気シャワー観測装置で得られる二次元宇宙線強度分布と，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事ができる。

本研究では，多方向ミュオン望遠鏡による，大気ミュオンの観測に加え，宇宙線空気シャワーの精密な入射方向強度の観測を行う。ミュオン望遠鏡の観測が一次宇宙線の強度変動のモジュレーションを利用した間接的な IMF 変化のモニタリングであるのに対して，空気シャワー観測では遮蔽効果の利用により直接的モニターが可能である。

本研究で利用可能な装置は，インド・ウーティの GRAPES-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。また太陽遮蔽効果の解析には GRAPES-3 空気シャワー観測装置が利用可能である。これらの観測装置に加えて，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 100 倍以上のエネルギー領域において解析が可能となる。観測で得られた宇宙線強度変動と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，それらを関連付けているパラメータを推定する。さらに，多方向ミュオン望遠鏡及び空気シャワー観測装置で得られる二次元宇宙線強度分布と，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ことができる。

GRAPES-3 研究活動報告

2018 年 8 月中旬から 9 月上旬に本研究代表者である愛知工業大学の小島と大阪市立大学の川上がインドに渡航した。またこれとは別に中部大学の大嶋が 8 月上旬から 8 月末日までインドに渡航した。その際に，インド・タタ基礎研究所において，インド側共同研究者と将来の GRAPES-3 のミュオン望遠鏡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行った。またその折，我々 GRAPES-3 グループが公表した，2015 年 6 月 22 日に観測された Cosmic Ray Burst (CRB) の解析結果の論文 (Mohanty et al. PRL 2016) に対する世界の様々なグループからの数々の批判 (APJ 2018 862 (2) :170 他数報) について議論した。主な批判の内容は GRAPES-3 多方向ミュオン望遠鏡の性能や論文の内容評価を錯誤したと考えられる表現であった。それらの批判に対して，2018 年 4 月に公表した反論論文 (Mohanty et al. PRD 2018) に加え，改めて先の CRB に他の事例も加えて，我々の主張の正当性を訴える論文作成の準備を開始した。

宇宙線強度変動と太陽風速度変動の関連性(太陽風効果)について、過去5年間で公表した論文の集大成として、地球から1天文単位以内の領域における、70 GV程度の宇宙線のプロパゲーションを特徴付ける平均自由行程について実験的決定値を計算した結果をまとめ、論文として公表した(Kojima et al. PRD 2018).

また GRAPES-3 のミュオン望遠鏡の高分角度解能かつ高統計精度の能力を存分に発揮した研究として、雷雲の接近に伴うミュオン強度の急激な変動とその異方性について詳細な解析を進めており、2014年12月に観測された雷雲について評価したところ、13億ボルトに達する電位が存在することが明らかになった。この電位の大きさは、これまでに記録された中で最大の値である。結果は、2019年3月に論文(Hariharan et al. PRL2019)として公表した。なお、GRAPES-3 では年間約40~50例の雷雲事象を観測しており、今後、他の事例についても解析をおこなっていく予定である。ミュオンを用いて雷雲を観測した事実は、宇宙線観測が気象現象の観測にも応用できるという重要な意味を持っている。

GRAPES-3の維持管理および拡張に関する活動

2017年度に引き続き、2018年7月から2018年9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・ウーティに滞在し、ミュオン検出器建設作業の指導をおこなった。これにより、比例計数管の製作もほぼ完了し、比例計数管の積み上げも5層を残すのみとなっている。同時期に広島市立大学の田中もインド・ウーティに滞在し、新ミュオン検出器建設に立ち会った。本来、2018年8月には拡張作業が完了する予定であったが、雨期やインド側の予算執行の遅延のため2019年3月現在まだ完了していない(2019年2月予算執行許可がおりたのでまもなく完成する見込み)。

研究成果報告

2018年度本研究に関連する研究成果として以下のように報告する(上記の研究活動報告と一部重複する内容を含む)。2015年6月21日：太陽黒点領域 NOAA 2371 で大規模な CME 発生した。それに伴って生じた6月22日の Cosmic Ray Burst(CRB)観測に関して査読論文(PRL 117, 171101)を2016年に公表した。

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及び学術論文として公表された。それらの批判に反論すべく GRAPES-3 のミュオン望遠鏡の高分解能かつ高統計精度な特性を利用した、より詳細な解析をおこなった。その結果、天空の東西110度の観測視野(FOV)を10度刻みに分割して求めた方位において、通常の太陽時日変化の位相がずれているのに対して GRB の位相がほとんどずれていない事を示して先の GRB についての査読論文の結果の妥当性を主張する論文を2018年4月に公表した(PRD.97.082001)。この様に天空を10度刻みに分解する高分解能かつ高統計精度な GRAPES-3 のような観測は従来多く見られる正方形のシンチレーターを上下間隔1~2mに積み上げた2層構造タイプのミュオン望遠鏡(入射分解能数十度程度)では観測が非常に困難である。

この優れた方位決定精度を最大限発揮したのが雷雲に伴うミュオンの異常変動について、2011年から2014年の期間の184の雷雨についての観測データ収集及び解析である。その中の2014年12月に観測した雷雲中において電位が13億ボルトに達していて、これまで記録された中で最大の値であると推定した(従来記録された値は~1億ボルト)。この結果を2019年3月に論文(PRL. 122. 105101)として公表した。なお、この論文について、学術誌 nature のリサーチハイライト等およそ100のメディアでも公開されている。

地球近傍における70GV程度の剛度の宇宙線のプロパゲーションの平均自由行程については過去5年間にわたり公表した論文の集大成として推定された平均自由行程が~1天文単位程度あることしめし、2018年7月に論文(PRD. 98. 022004)として公表した。

【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(21)」
小島浩司、柴田祥一、大嶋晃敏他、日本物理学会 2018 年秋季大会、14aS37-2
2. 「GRAPES-3 実験における新ミュオン検出器の建設の現状について」
大嶋晃敏他、日本物理学会 2018 年秋季大会、14aS37-9
3. 「GRAPES-3 実験における大型 NaI 検出器の導入について」
田中公一他、日本物理学会 2018 年秋季大会、14aS37-10
4. 「Study of the impact of geomagnetic storms on the Earth's magnetic field by the GRAPES-3 experiment」
Sunil K.Gupta (Tata Institute of Fundamental Research) ISEE International symposium(2019)
5. 「内部太陽圏における銀河宇宙線強度と太陽風速度の関係」
小島浩司、柴田祥一、大嶋晃敏他、平成 30 年度 ISEE シンポジウム(日本語セッション)
6. 「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(22)」
小島浩司、柴田祥一、大嶋晃敏他、日本物理学会 第 74 回年次大会 (2019)、14aK407-5
7. 「GRAPES-3 空気シャワーアレイ拡張の現状について」
大嶋晃敏他、第 74 回年次大会 (2019)、16pK106-7
8. 「GRAPES-3 実験における大型 NaI 検出器の導入について(2)」
田中公一他、第 74 回年次大会 (2019)、16pK106-8

【投稿論文】

1. 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 97, 082001 (April 2018)
2. H. Kojima,S.K. Gupta, A. Oshima, S. Shibata, M. Tokumaru et al., " Measurement of the radial diffusion coefficient of galactic cosmic rays near the Earth by the GRAPES-3 experiment PHYSICAL REVIEW D 98, 022004 (July 2018)
3. B. Hariharan, S. K. Gupta, H. Kojima, A. Oshima, S. Shibata, S. Kawakami, Y. Muraki et al.," Measurement of the Electrical Properties of a Thundercloud Through Muon Imaging by the GRAPES-3 Experiment Physical Review Letters **122**, 105101(March 2019)

U-Pb 年代測定のための新たな“若い”ジルコン標準試料の評価に関する予察的研究

Preliminary research on evaluation of young zircon grains for use as a new secondary U-Pb dating standard

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

山本鋼志、名古屋大学・大学院環境学研究科

REZAEI, Farzad, 名古屋大学・大学院環境学研究科

[研究目的]

イランは、アルプス-ヒマラヤ造山帯の中に位置しており、北部のアルボルス山脈、北西部から南東部のザグロス山脈の2つの山脈(造山帯)に囲まれている。このプレート収束帯における火成活動は、イラン国内に数多く分布する金属・非金属鉱床の生成の重要な要因である。これらの鉱床の成因解析のためには、鉱床母岩の形成時期とそのマグマ源を明らかにし、鉱床と母岩の年代的、成因的關係を知ることが不可欠である。平成29年度 ISEE 国際共同研究「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」では、アルボルスからザグロスに広がる Astar-Baneh 構造帯の金属鉱床の母岩などに含まれるジルコン($ZrSiO_4$)を用いて、ウラン(U)-鉛(Pb)年代測定を実施した。Astar-Baneh 構造帯の鉱床母岩からは30~25 MaのU-Pb年代(e.g. Rabiee et al., submitted)が得られ、また、従来、中生代またはそれ以前の基盤岩と考えられていたザグロス造山帯内の北部サナンダジ-シルジャン帯からは、40 Maの第三紀花崗岩が確認された(Azizi et al., 2019)。このように、イランの火成活動や鉱床の成因解析を進める上で、新生代(65 Ma以降)の年代測定の重要性が格段に増している。世界的にも、U-Pb年代の測定対象は、先カンブリア代や中生代の古い岩石にとどまらず、新第三紀~第四紀にまで広がりつつある(e.g. Cocherie et al., 2009; Tani et al., 2010)。

一方、数10 Maの若い年代値をもつジルコンの標準試料は世界的にも少なく、若いU-Pb年代値の精度確認が不十分である現状がある。U-Pb年代測定では、337~1850 Maの年代値を持つ各種ジルコン標準試料が一次標準、二次標準などに用いられているが、精度確認を行うワーキングスタンダードについてもこれらの“古い”ジルコン標準試料が使われている。名古屋大学環境学研究科のLA-ICP-MSでのU-Pb年代測定では、91500ジルコン試料(1063 Ma)を一次標準、NIST SRM 610 ガラス標準試料を二次標準として、未知試料とともに古いジルコンの91500と若いジルコンのOD-3(33 Ma; Iwano et al., 2013)を測定することにより、若いジルコンの分析精度の確認を行っている(高地ほか, 2015)。しかしながら、OD-3のジルコンはサイズの小さいものやクラックがある粒子も多く、古いジルコンに比べてコンコーディア年代が得られにくいことがある。以上のような国内外の研究動向と実状を踏まえ、精度・確度の高いU-Pb年代データを蓄積していくためには、適用範囲に合わせた“若い”ジルコン年代標準試料が望まれている。

本研究では、イランのザグロス造山帯内の北部サナンダジ-シルジャン帯に分布する第三紀の花崗岩体を対象とし、10~60 Ma程度の若い年代値をもつジルコン標準試料候補の探索と、その年代標準試料の評価を行った。

[研究方法]

本研究では、イランの北部サナンダジ-シルジャン帯の第三紀花崗岩の1岩体を対象として、この岩体から5試料(1試料については平成29年度に予備分析を実施済み)を採取し(Azizi 担当)、それぞれの試料からジルコンを分離し、U-Pb年代測定を行った。まず、岩石試料をジョークラッシャー、ディスクミルを用いて細砕し、篩かけをして数100 μ mのサイズに揃えた。水簸で細粒粉末、軽鉱物を取り除き、乾燥後にネオジム磁石で磁性鉱物を取り除いた。ジョードメタンを使った重液分離後、実体顕微鏡下でハンドピックによりジルコンを集めた。これらのジルコンの分離、その後の薄片の作成は名古屋大学理学部E館内の実験室で行った。名古屋大学環境学研究科設置のGATAN MiniCLを装備した走査型電子顕微鏡(SEM: JEOL JSM-6510LV)で、ジルコン結晶の後方散乱電子(BSE)像とカソードルミネッセンス(CL)像を撮影し、クラックおよび包有物の確認を行った(Azizi, Rezaei 担当)。U-Pb年代測定は、環境学研究科設置のレーザー誘導プラズマ質量分析装置(LA-ICP-MS: Agilent 7700x+ESI社製NWR213)を使用した(浅原、南、山本、Rezaei 担当)。U-Pb年代測定は高地ほか(2015)の手法に従った。火成岩のジルコンU-Pb年代測定では、通常20~30個のジルコン粒子に対し、特にリム部分の測定を集中的に行って年代値を決定するが、本研究は年代標準試料の適性評価を目的としているため、1岩石試料あたり30~50個のジルコン粒子を分析し、さらに一部のジルコン粒子に対してリムとコアなど複数点の分析を行った。ジルコンの分離とU-Pb年代測定は、Aziziが名古屋大学に滞在していた平成30年4月~8月に集中的に実施し、その後、メールで解析と議論を進めた。

[結果と考察]

本研究で分析した4つの花崗岩試料のジルコン U-Pb 年代値はいずれも約 20Ma であり、平成 29 年度の予備分析の年代値とも一致したことから、この岩体全体でジルコン年代の不均質性はないと考えられる。

本研究では、年代標準試料の条件として、岩石については、(i) 将来にも継続的に試料を採取できる岩体であること、(ii) ジルコンの含有量が高いこと、ジルコンについては、(iii) 結晶のサイズは比較的粗粒であること、(iv) インクルージョンなどの不純物が少ないこと、(v) 結晶のコアとリムで年代差がないこと、を設定し、本花崗岩試料の年代標準試料としての適性の確認を行った。具体的には、Azizi が現地調査でその岩体の大きさと試料採取可能な露頭の位置を確認しており、継続的に試料を採取できる見込みである。また、今回分析した5つの試料いずれにおいても、0.5 kg またはそれ以下の花崗岩岩片から数 100 粒のジルコンを容易に回収できており、ジルコンの含有量は高い。ジルコンのサイズは 100~200 μm が多く、また、SEM 観察では目立ったインクルージョン(サイズ、数)は見られず、LA-ICP-MS 分析に適している。ジルコン結晶のコアとリムの年代値は一致しており、いずれのジルコン粒子にも年代値の差は全く見られない。

今回分析した花崗岩 5 試料のうち 2 つの岩石試料のジルコンではコンコーディア年代がほぼ 100%得られたが、残りの 3 試料では 90%程度であり、コンコーディア年代が得られにくいジルコンを含む試料があることが問題点として残っている。この原因を突き止め、ジルコン年代標準試料の信頼性を確立すること、他大学・他研究機関で U-Pb 年代測定を実施している複数の研究室とも連携し、この若いジルコン年代標準試料の年代値を確定させること、が“若い”ジルコン標準試料の実用化に向けた今後の課題である。

以上のように、ジルコン標準試料候補を絞り込み、その“若い”年代標準試料(約 20 Ma)としての適性は概ね確認できた。このイランの北部サナンダジ-シルジャン帯の第三紀花崗岩の地理的、地質学的な詳細および年代値の詳細については今後論文で公表する。

[引用文献]

- Azizi, H., Haddad, S., Stern, R.J., Asahara, Y. (2019) Age, geochemistry and emplacement of the ~40-Ma Baneh granite-appinite complex in a transpressional tectonic regime, Zagros suture zone, northwest Iran. *International Geology Review* **61**, 195-223.
- Cocherie, A., Fanning, C.M., Jezequel, P., Robert, M. (2009) LA-MC-ICPMS and SHRIMP U-Pb dating of complex zircons from Quaternary tephros from the French Massif Central: Magma residence time and geochemical implications. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **73**, 1095-1108.
- Iwano, H., Orihashi, Y., Hirata, T., Ogasawara, M., Danhara, T., Horie, K., Hasebe, N., Sueoka, S., Tamura, A., Hayasaka, Y., Katsube, A., Ito, H., Tani, K., Kimura, J., Chang, Q., Kouchi, Y., Haruta, Y., Yamamoto, K. (2013) An inter-laboratory evaluation of OD-3 zircon for use as a secondary U-Pb dating standard. *Island Arc* **22**, 382-394.
- 高地吉一, 折橋裕二, 小原北士, 藤本辰弥, 春田泰宏, 山本鋼志 (2015) 213 nm Nd: YAG レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析計を用いたジルコンの U-Pb 年代測定: Pb/U 分別補正に NIST SRM 610 を用いるための分析条件最適化. *地球化学* **49**, 19-35.
- Tani, K., Dunkley, D.J., Kimura, J.I., Wysoczanski, R.J., Yamada, K., Tatsumi, Y. (2010) Syncollisional rapid granitic magma formation in an arc-arc collision zone: Evidence from the Tanzawa plutonic complex, Japan. *Geology* **38**, 215-218.

[成果発表]

学会発表

- 浅原良浩, 眞野航大, 壺井基裕, アジジ ホセイン, 申基澈, 李承求. Sr-Nd-Fe isotopic constraints on the origin of Kiruna-type deposit in Zanjan, NW Iran. 日本地球惑星科学連合 2018 年大会, 幕張メッセ(千葉県), 2018 年 5 月.
- Rezaei, F., Azizi, H., Asahara, Y., Yamamoto, K. Geochemical and Sr-Nd isotopic constraints on origin of the Marivan granitoid body, northwest Iran. 日本地球惑星科学連合 2018 年大会, 幕張メッセ(千葉県), 2018 年 5 月.
- 眞野航大, 浅原良浩, 壺井基裕, アジジ ホセイン, 申基澈, 李承求. イラン・ザンジャン州の磁鉄鉱-燐灰石鉱床の鉱石および母岩の化学組成と Sr-Nd-Fe 同位体組成. 日本地球化学会年会, 琉球大学(沖縄県), 2018 年 9 月.
- Rezaei, F., Azizi, H., Asahara, Y., Yamamoto, K. Geochemical constraints of the Eocene granitoid in the northern Sanandaj-Sijan Zone, Zagros Orogen, NW Iran. 日本地球化学会年会, 琉球大学(沖縄県), 2018 年 9 月.
- Rezaei, F., Azizi, H., Asahara, Y., Yamamoto, K. Zircon U-Pb dating and geochemical study on Cenozoic granitoids in the northern Sanandaj-Sijan Zone, Zagros Orogen, NW Iran. 第 31 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), 2019 年 2 月.

彩層微細構造のダイナミクスから探る太陽外層大気励起機構の解明
Observation of fine scale dynamics in chromosphere
to explore the activation of the outer solar atmosphere

一本 潔、京都大学・理学研究科附属天文台

太陽の彩層はスピキュールやモットルと呼ばれる小さなスケール（幅～200km）のジェットや筋構造からできており、それらはプラズマの流れや振動を伴い絶えず動的に変化している。こうした彩層のダイナミクスを介して、彩層はもとより上空の遷移層やコロナへエネルギーが受け渡されていると考えられることから、彩層微細構造にみられる運動場を把握することは、太陽紫外線放射やコロナ加熱ひいては太陽風の生成メカニズムの理解にとって重要である。本研究は、中国雲南天文台フーシャン湖太陽観測所が有する世界最高レベルの解像度を誇る口径1m真空太陽望遠鏡（NVST, Liu et al., 2014, RAS）と、京都大学が開発した高速彩層速度場撮像装置を組み合わせることにより、0.15秒角（約100km）という高い空間分解能で彩層微細構造の速度場とその時間発展を追跡することで、磁束管内を伝播する波動や衝撃波、小規模磁気リコネクションに伴う流れを捉え、エネルギー輸送過程の理解に繋げることを目的とした。

観測は2018年5月26日～6月8日に京都大学から大学院生を含む数名がフーシャン湖太陽観測所に滞在し、雲南天文台のXu博士らの協力の下でおこなった。京都大学が持ち込んだチューナブルフィルター（UTF3 2, Hagino et al 2014, SPIE, 9151）と高速カメラを、NVSTの焦点面観測テーブルに設置し、0.05"/pixの空間サンプリングで水素H α 線おける撮像観測をおこなった。本研究の大きな特徴は、2台のカメラを使ってH α \pm 0.5Åの画像を完全同時に取得することにより、シーイングの影響を大きく低減した視線方向速度場マップを取得する点にある。このようにして短時間に取得された多数の画像ペアをさらに画像処理することにより、望遠鏡の回折限界で決まる空間分解能の速度場マップを得ることが可能となる。図1はこのようにして得られた磁気浮上領域の様子である。H α 中心の画像（左）では磁気浮上に伴う、向きの揃ったループが複数並んで見え、視線速度場マップ（右）では、上昇するループに沿ってガスが両足に流れ落ちている様子が見える。図2はリムの上には存在する静穏型プロミネンスである。ここでも速度場マップ（右）にはプロミネンス内部に複雑で小さなスケールのガスの流れが存在していることがよくわかる。生憎今回の観測期間はフーシャン湖の天候条件に恵まれず、長時間安定した大気の下でデータを得ることが出来なかったが、短時間とはいえ磁気浮上領域やプロミネンスの極めて高い解像度の速度構造を捉えることに成功したことで、彩層微細構造のダイナミクスを詳らかにする本手法の有効性が示されたといえる。

本研究の手法を含めた今回の観測結果は短い論文に執筆中である。

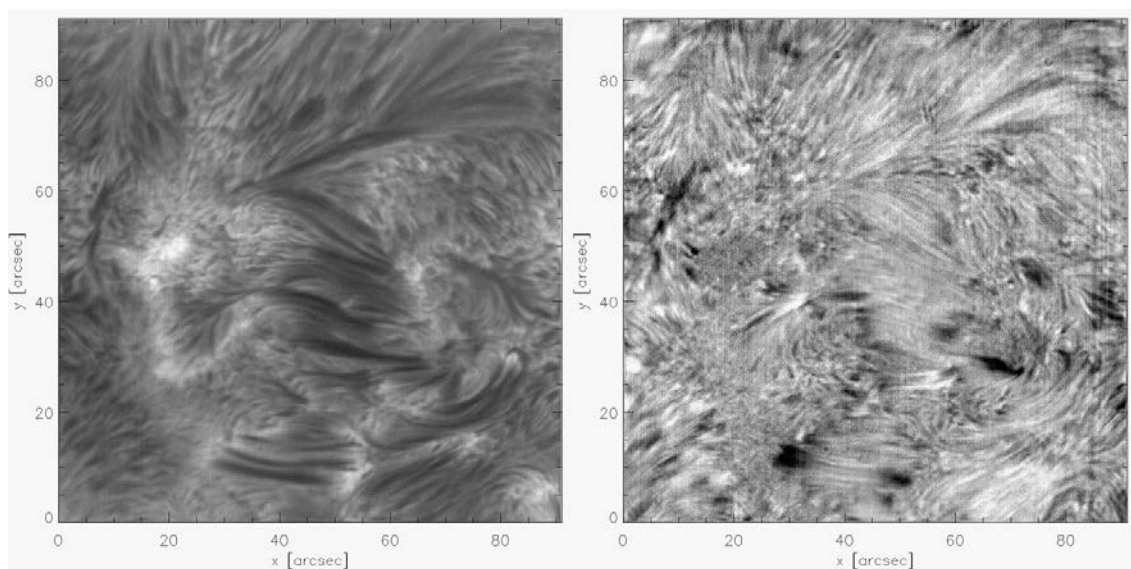


図 1. 2018 年 5 月 31 日の浮上磁場領域。H α 中心画像 (左) と H α \pm 0.5A の差分画像 (右)。差分画像は白が上昇、黒が下降流をあらわす。

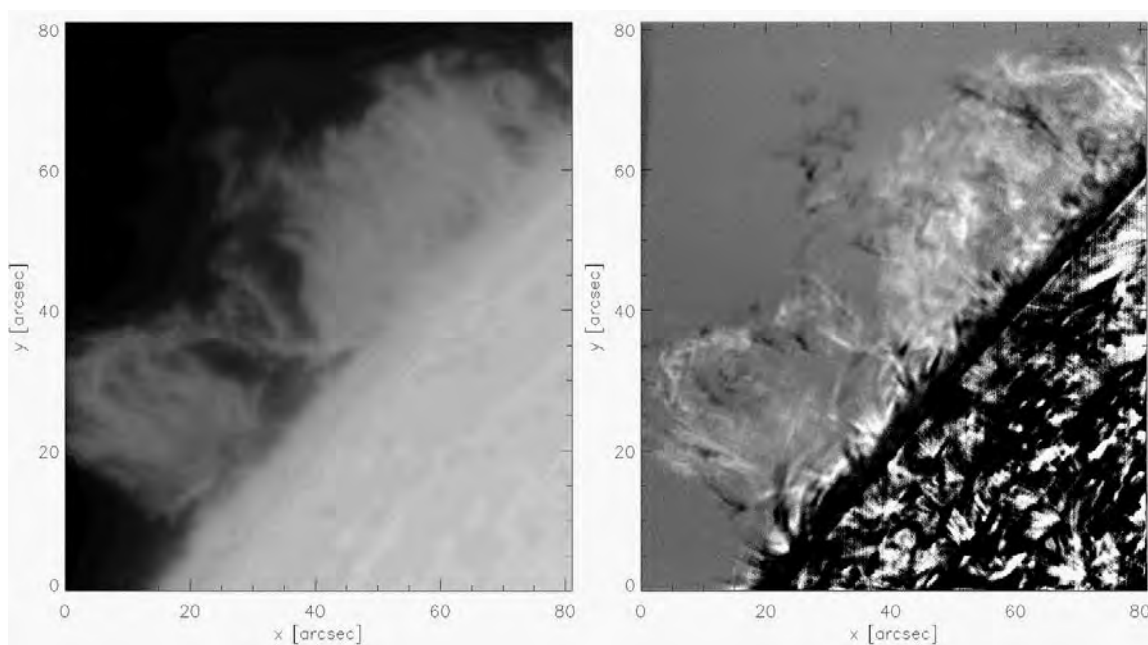


図 2. 2018 年 5 月 31 日の浮上磁場領域。H α 中心画像 (左) と H α \pm 0.5A の差分画像 (右)。差分画像は白が地球から遠ざかる方向、黒が近づく方向をあらわす。

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

2. 研究方法

過去のリモートセンシングデータ (MODIS) から、滞水が確認され、且つ、アジアダスト発生源であるポイントの位置情報を抽出し、現地において目視でドライレイクやワジの位置を特定した (図 1)。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 (KANOMAX社製 Model3886) を用いて計測した。

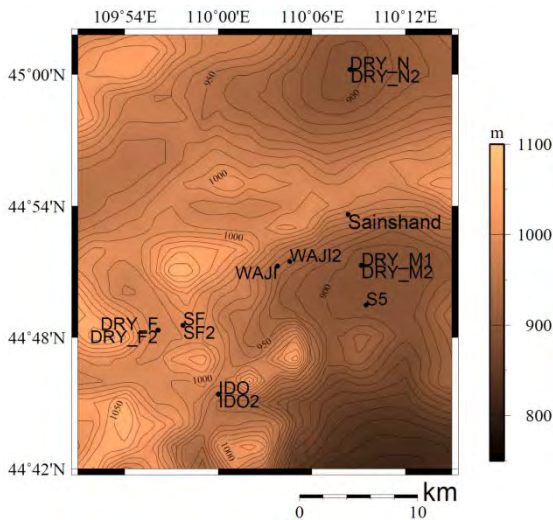


図 1 対象地域



写真 1 飛散実験風景

3. 結果と考察

サインシャンド北部の Dry_N についての結果を示す (図 2)。2017 年の観測では、1600 回転 (地上 1 cm で 7.7m/s 相当) を境界に粒径 3 および $5\mu\text{m}$ のダストは急増していた。一方、2018 年については、増加はみられるが 2017 年の半分程度であった。10 cm 土壌水分量は 2018 年の方が 1% ほど少なかった。過去 2 年間の降水量変遷を図 3 に示す。2017 年の秋季以降は降水量が少なめに推移しているため、滞水が生じることなく、常

に風により飛散しやすかった場が形成されていた可能性がある。引き続き、裏付けを明確にする調査が必要である。また、同地域のサンプル粒子から生物由来物質の確認がなされたが、詳細は調査中である。さらに、同地域でのダストの起こり易さをモデルで検証する目的で、ドローンにカメラと赤外線計測器を取り付け、空間的な分布を観測した(図4)。現在、データを整理している段階であるが、地表面の温度分布や起伏、粗度長などから、ダストデビルの発生について領域気象モデルを用いてシミュレーション解析する予定である。

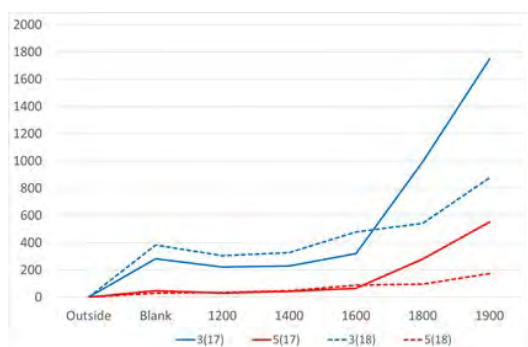


図2 Dry_N 地点の回転数(風速)と粒子数の関係

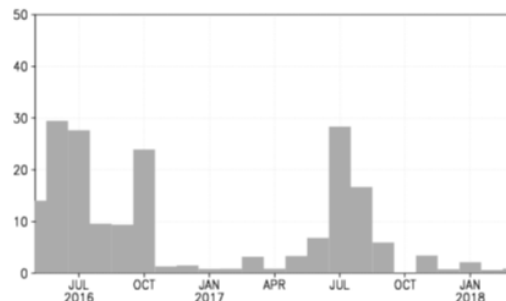


図3 Sainshand 付近の月別降水量 GPCP (Global Precipitation Climatology Centre)

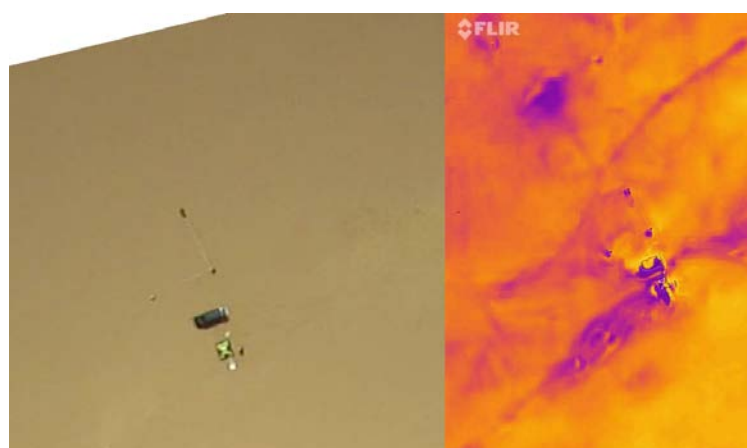


図4 ドローンによる可視画像(左)と赤外線画像(右)

4. 成果発表

Buho HOSHINO, Yuki SOFUE, Yuta DEMURA, Tsendendamba PUREVSUREN, Morine KURIBAYASHI, Kenji BABA, Enkhtuvshin ZOLJARGAL, Katsuro HAGIWARA, Jun NODA, Keiichi KAWANO, Olaf KARTHAUS, Kenji KAI, Detection of dry lake beds formation and estimate of environmental regime shift in semi-arid region, 沙漠研究, 28(5) 109-113, 2018年

馬場賢治, 松本珠季, 星野佯方, モンゴルゴビ砂漠ドライレイク・ワジにおける飛散実験解析, 第6回大気エアロゾルシンポジウム, 北海道大学, 2018年11月9日(2018年度ISEE研究集会経費利用)

衛星観測と地上複数点観測から明らかにする移動性電離圏擾乱の全球発生特性

Study on global characteristic of MSTID with space-borne imaging and ground-based observation network

穂積 裕太、電気通信大学、情報理工学研究科

■ 学術的背景

移動性中規模電離圏擾乱(MSTID)は、日本を含む中緯度域では、もっとも振幅の大きい電離圏擾乱のひとつである。このような電離圏擾乱は電波の伝搬に屈折、遅延、干渉を引き起こし、GPS測位、衛星通信、航空航法システム、電波通信など、電波を用いたシステムに影響を及ぼすため、現象の正確な理解が求められている。これまで、地上からのレーダー観測、大気光イメージング観測や、GPS受信機網による電離圏全電子数(TEC)観測などでMSTIDの特性が調べられてきた。しかしながら、日本上空の観測ネットワークだけではMSTIDの広域構造を捉えられないこと、観測が疎である海上などでは観測が困難であることなどから、MSTIDの広域構造、全球発生特性は未だ不明な点が多い。

■ 目的

高度400kmを飛行する国際宇宙ステーションから大気光を撮像観測する超高層大気観測ミッション(ISS-IMAPミッション)が2012年から2015年に行われた。ISS-IMAPの観測機器、可視近赤外撮像装置(VISI)は電離圏の酸素大気光(630 nm)を撮像観測している。VISIは天底方向に視野を持つため、MSTIDの電離圏擾乱を中低緯度全域において同様の条件観測できる。本研究ではVISIのデータと日本、台湾上空の大気光イメージング観測、GPS-TEC観測を組み合わせ、MSTIDの広域構造、全球発生特性を明らかにすることを最終的な目的としている。これまで研究でMSTIDの典型的振幅はVISIの感度と比較しそれほど大きくないためVISI観測データ中にMSTIDイベントを見つけることは簡単ではないことが分かっていた。そこで今年度はVISI観測データからMSTID変動を効果的に抽出する手法を開発することを目標とした。

■ 研究手法

MSTIDは北半球では通常、北西から南東方向の波面を持つという性質(南半球では南西から北東方向)を持つ。この性質を活用し、IMAP/VISIで得られた大気光2次元画像をそれらの方向に沿って平均をとり、微弱なMSTIDによる変動を効果的に抽出するデータ解析手法を開発した。この解析手法を前後視野で得られたデータに適用し両者を比較することで、MSTIDの構造に対して視線方向の異なる前後視野の見え方の違いの評価を行った。また、開発したデータ解析手法を特定の期間のデータに適用しMSTIDの同定を行った。

■ 研究の結果と考察

・ 前後視野の差異の評価

解析の結果を図1に示す。図から分かるように、前後視野を比較した場合、後視野で見られるMSTIDの振幅は前視野で見られるものより小さい。これは、MSTIDの3次元構造に対する視線方向が前後で異なるため、VISIの前視野視野、後視野の感度が異なるため、と2つの原因があるのではないかと考えられる。また、前後視野間でMSTIDの変動の位相がずれている例も見られる。これは前後視野間での感度の差では説明できず、MSTIDの3次元構造に起因するものと考えられる。MSTID3次元構造の効果を正確に見積もるためにモデルに検証が必要である。今年度は電離圏モデル解析の経験が豊富な台湾・成功大学・Chen助教と打ち合わせの機会を持ち、今後、モデルを用いたMSTID3次元構造の前後視野への見え方評価を行っていく方法を確認した。また、前後視野のMSTID振幅の違いの原因の切り分けのため、感度校正の必要性も改めて認識された。これまでVISIでは地上実験データに基づく感度校正が行われているが、実軌道データと地上イメージャー取得データの比較に基づく感度校正を今後行いたい。これにより時間経過に伴う機器の感度変化を含むより高精度な校正ができる。

・ イベントの同定

2014年5月から2014年7月の観測データに対して上記解析手法を適用し、1次元プロットを目視で確認した結果、50を超えるMSTIDイベントの同定できた。十分な数のMSTIDがIMAP/VISIにより観測できていることが確認できたため、今後統計解析を進めることができると判断した。客観性の高い統計解析を進めるために、目視に頼らない定量的なMSTIDイベントの判断基準を今後開発していくことが必要である。

■ まとめ

MSTIDを波面方向にVISI大気光輝度の平均をとる手法を開発した結果、多数のMSTIDイベントの同定に成功した。また、前後視野によりMSTIDの見え方の違いに顕著な違いが確認された。今後はより高精度な感度校正を行った上で、モデルにより検証を行いながら、前後視野のMSTIDの見え方の違いにおけるMSTIDの3次元構造効果の評価を行いたい。また、客観性の高いMSTIDイベント同定手法を開発し統計解析を進めたい。

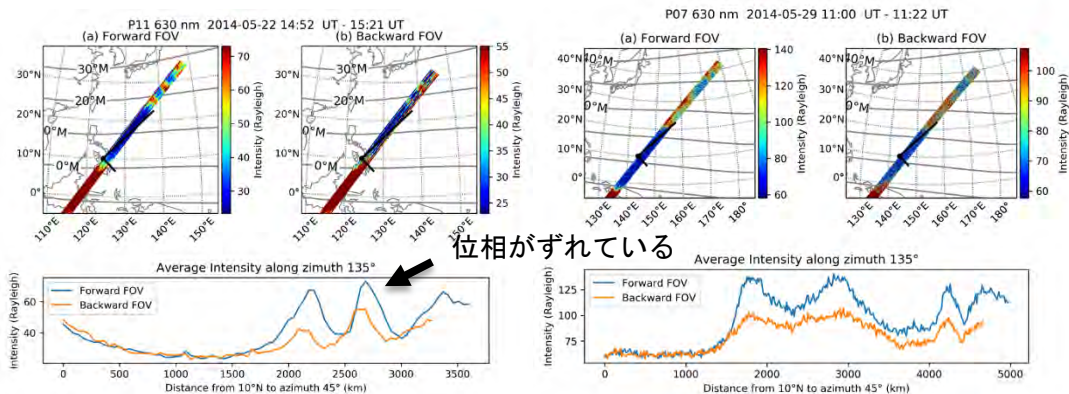


図1：VISI 観測データ中に見られるMSTIDイベントの例

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

研究代表者 野中敏幸、所属:東京大学・宇宙線研究所

研究目的

地上の宇宙線観測装置を用いた、低エネルギーの銀河宇宙線の強度変動と異方性の観測を通して太陽活動による惑星間空間の状態の変化を観測する手法が存在する。[1, 2] 現在、展開されているミュオン計は、信州大学グループによるGMDN、インドタミルナド州に設置されているGRAPES-3ミュオン望遠鏡、長期にわたって安定して稼動している名古屋大学ミュオン望遠鏡が主な装置として存在する。全球的に観測することが衛星観測を補完する上で重要であるという観点から、観測点を地球上により多く確保し、相互に比較できる事が求められている。

本研究は、米国ユタ州の高地に約700平方キロの面積に展開されている空気シャワー観測装置として用いられている 2層式シンチレーション粒子検出器507基を総面積1500㎡のミュオン計として運用する事を目的としている。本研究で用いる検出器には粒子の到来方向の識別能力は無いが、既存の観測ネットワークと共同で惑星間空間をモニターする利点は大きい。本研究によって宇宙線強度モニター装置としての測定の信頼度を確かめ、これらの測定に参加することを目的としている。

研究方法

前述した本研究の目的にあるように、空気シャワー観測装置のモニターデータを転用し、世界の既存の宇宙線モニター装置と同等なデータを得られるようにするには以下の1)～3)の作業が必要になる。

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

研究結果

本年度5月～6月にかけてTAサイト内の中央に設置してある気象計(WXT530)と低消費電力で気圧測定が可能な複合環境データ記録装置(TR-73U ONDOTORI T&D製)の同時測定を行い、気圧計としての動作と、相対変動の設置環境毎の違いを評価した。TR-73Uの記録する気圧の絶対値は-0.6hPa程度の較正が必要であるが、記録される変動は気象計の記録と0.1hPa以内で一致する(表1, 図1)

表1: 気象計(WXT530)と複合データ記録装置の比較

測定器型番	測定器名	基準計との差(hPa)	
WXT530	WS (基準)	-	-
	EM_CL	-0.579	±0.095
TR_73U	EM_LR	-0.583	±0.096
	EM_SK	-0.506	±0.099
	EM_BR	-0.258	±0.096

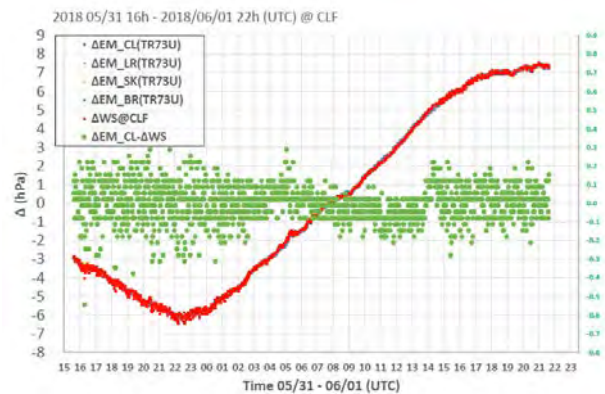


図1: 5つの記録装置の記録した気圧の相対変動。(0.1hPa以内で重なって表示されている。)

この結果を確認した後、TR-73U の連続運用のために本年度ソーラーパネルとバッテリーによる電源、5V電源で動作するデータ送受信のための小型コンピュータなどの資材を購入した。(これにより来年度②の目的を達成する。)

次にデータ解析として、2017年02月11日～02月12日にかけて急激な気圧の上昇を示した際のデータを用いて暫定的な気圧係数を求めた(-0.24%/hPa 図)。通常のミュオン計での気圧効果係数は-0.12%/hPa 程度の影響であり大きく異なる。予備的に標高の異なる2検出器の地点で気圧の同時測定を行い、10分間の係数率の比較を行ったところ6.7hPaの気圧差に対して計数率の比は $1.64 \pm 0.1\%$ (stat)の差であった。求めた気圧計数からの予測(1.61%)と誤差の範囲で一致する。TA実験で用いている薄型のシンチレーション検出器の場合は検出器に吸収層を持たないため、電磁成分の気圧効果の寄与が影響していると理解している。

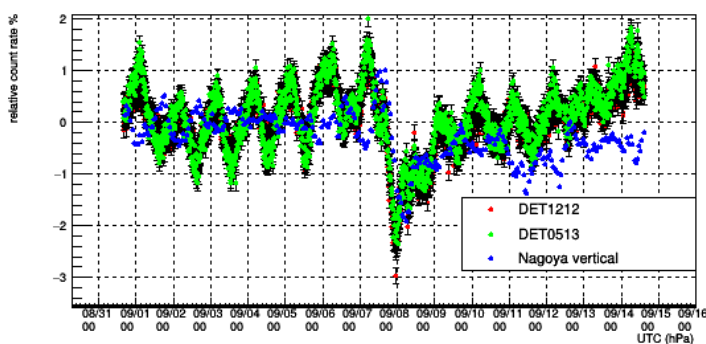
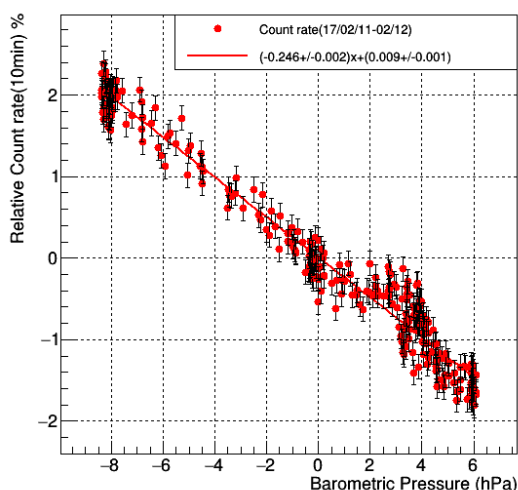


図 2: 気圧変動によるカウントレートの相対変動 図 3: TA 実験検出器と名古屋大学ミュオン計の比較

また得られた気圧係数を用いて、複数の測定装置との比較を行った(図3)。TAサイト内の2つの検出器(DET1212, DET0513)と名古屋大学のミュオン望遠鏡のデータをみるとともに09/07日に発生したForbush decreaseを観測している。データから気温による効果を考慮することでさらに意味のある比較を行う事が可能である。

期待される成果:

以上の活動から2018年度の研究ではデータへの気圧効果を把握するための方法に目処をつけることができた。また測定された気圧変動を元に地表検出器データの気圧効果係数を求めそれを適応することで少数台のデータではあるが他の測定点との比較を行うことができた。2019年度は気圧計の多地点への設置作業と、気温効果を考慮したデータ解析手法を確立する必要がある。これらを行うことによって、既存の銀河宇宙線強度変動を測定する装置群を補完するデータ点として、惑星間空間の擾乱を理解するために有用なデータを提供するものとなると期待される。

成果発表

日本物理学会 2018年 秋季大会 09/14 14pS37 TA実験315: TA実験 全体報告

参考文献:

- [1] K. Munakata et al. Butsuri-Tansa Vol.65 No. 3 (2012) pp. 173-179
- [2] Kozai et al. Earth, Planets and Space 66:151 (2014)

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、高時間分解能の観測装置が必要となる。トロムソにある 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 200Hz（5 ミリ秒間隔）で観測している。一方、トロムソのナトリウム温度/風速ライダーは、ナトリウム層（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、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必ずしも十分とはいえず、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である。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。

研究結果

現有の音響光学素子（AO）2 台に加え、高速波長切り替えのための光学シャッターとして 2 台の AO を本予算により導入し、現有の機械式シャッターを置き換えた新しい光学レイアウトにおけるシステムの検証を行ってきた。計 4 台の AO に対しそれぞれ on/off のトリガー制御を与えることで 3 周波数の切替ができる。AO の反応速度はトリガー信号入力から約 20 ナノ秒で、パルスレーザ射出（1 ミリ秒間隔）における高速周波数切り替えを十分に可能にする。また、射出レーザの高速周波数切り替えに対応する受信カウンタを FPGA で設計・シミュレーションし、1 ミリ秒間隔で周波数が切り替わる場合のデータ取得手法、保存、データ転送などの検討を行った。高速観測に関する今後の課題を明らかにすることができた。

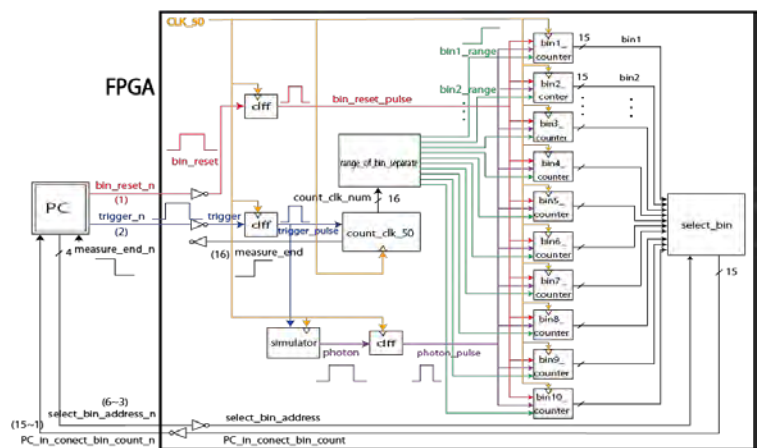


図 1 （上）FPGA を用いたカウンタの構成図
（下）カウンタシミュレーションのテスト画面

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ものである。

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) を同時に観測するシステムを開発し 2 チャンネル入力のネットワーク・ビデオエンコーダで観測を制御するシステムを構築した (図1)。複数枚の大気光画像を重ね合わせて、その時間差分をとることで、安価なカメラで大気中の波動構造を得ることができる (平成28年度名古屋大学宇宙地球環境研究所一般共同研究)。このシステムでは順リアルタイムにデータ公開を目指し、逐次的なデータ転送環境を構築した。

最終年度である2018年度は、これまでに設置した Kühlungsborn の IAP 研究所 (54.1°N, 11.8°E) および Juliusruh 観測サイト (54.6°N, 13.4°E) の大気光カメラのメンテナンスと観測データの総括をおこなった。

Kühlungsborn においては、コントロール PC の不具合にて 2018年度半ばから観測がストップしていた。また、観測データを日本のサーバへアッ



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。

プロードする際にクラウドサービス (Dropbox) を利用していたが、一部データについてはうまく同期できずストレージの容量が小さいローカルの PC にデータが蓄積して観測データが失われる事態となった。そのため、コントロール PC のリプレイスとともに、データ転送環境の更新をおこなった。具体的には、これまで観測時間を固定 (20:00-29:00LT) していたが太陽と月が地平線より十分に低い時間のみを判断しデータとして残すことでデータ転送を効率化し、複数のストレージに保存することで冗長性を確保し観測データが損失する可能性をできるかぎり小さくした。また毎晩の観測終了後には関係者宛にログとサンプル画像を電子メールにて送信する仕組みを構築した (図2)。これにより、装置や観測の不具合に素早く対応できるようになった、本研究で開発したこれらの環境は、今後の大気光観測システムとして標準化していく。

3基目の2波長大気光観測システムの設置によるさらなる広範囲の同時イメージング観測を実施する予定であったが、候補地選定の遅延と上記システムメンテナンスのため実現することができなかった。しかしながら、本研究で得られた2地点観測データにおいても北極での広域イメージング観測という当初の目的は達成できている。数晩において大気重力波構造が得られており、ライダーとの同時観測も実現している。今後は本研究による大気光観測で得られた波動構造と、ライダー・レーダー観測による温度・風速変動の関係から大気重力波が超高層大気に及ぼす影響を定量的に評価するとともに経度方向への広がりを議論していく。さらに、共同で観測を進めてきた IAP において今後も観測体制を維持していく合意が得られたため、さらなる共同観測体制の構築とデータの蓄積が期待される。

成果発表：

成果発表：

1. 鈴木臣, 超高層大気の縞模様で見る地球と宇宙のつながり, 平成30年度第1回「高高度発光現象の同時観測」に関する研究会, 東京, 2018年5月19日.
2. S. Suzuki, T. Nakamura, M. K. Ejiri, K. Tsuno, T. Nishiyama, A. Mizuno, and J. Salvador, Airglow Imaging of Mesospheric Gravity waves Using Near-Infrared Camera, 日本地球惑星科学連合2018年大会, 幕張, 2018年5月22日.
3. S. Suzuki, J. Park, Y. Otsuka, K. Shiokawa, H. Liu, and H. Lüehr, Neutral and plasma density perturbations in the top-/bottom-side ionosphere associated with MSTIDs, 地球電磁気・地球惑星圏学会秋学会, 名古屋, 2018年11月25日.

From: sslab_obs@gmail.com
Subject: AIC obs report [2019-03-26 @KBR]
Date: 26 March 2019 14:10
To: sslab_obs@gmail.com

```
[2019-03-25 15:50:01] check schedule...
today's schedule: 20190325,185000,20190325,232000
[2019-03-25 18:40:00] remove old data and wait
[2019-03-25 18:49:00] remove old data and wait again
[2019-03-25 18:49:00] image storing process is open in 1-min
[2019-03-26 05:10:22] observation is just closed
[2019-03-26 05:10:27] all processes complete!!!
please find the latest image of camera ID 01.
in the directory(ies) 2019/20190325/ # of files: C01 (3240), other(s) (3240)
```



図2: 観測ログのサンプル (2019年3月25日) .

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 大学院情報理工学研究科

研究目的

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

昨年度に引続いて、自動運転によるスペクトログラフの連続連続観測をノルウェー、トロムソで実施した。取得データを用いて複数トピックに関するデータ解析を並行的に進めている。また、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公開している。

干渉フィルター（半値幅 数 nm）を用いた酸素原子発光線 777.4 nm の分光観測における窒素分子発光バンド 1 PG の混入問題に関して、スペクトログラフ観測データに基づいた評価を行った。定量的な評価より、窒素分子発光バンド 1 PG の混入の影響は無視できるものではないことが判明した。従って、干渉フィルターによる分光観測で酸素原子発光線 777.4 nm を観測しようとする際には、窒素分子発光バンド 1 PG の影響を評価することが必須であると考えられる。以上に関して学術論文 (Oyama et al., EPS, 2018) として発表した。

脈動オーロラ明滅時の発光スペクトル変化に着目し、明滅に寄与している原子・分子の波長や降下電子のエネルギーに関する情報を抽出する取組みを進めている。現在は、脈動オーロライベントの選定と複数イベントの解析を並行的に進めている。

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デ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、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。以上に関して学術論文 (Tsuda et al., EPS, 2018) として発表した。

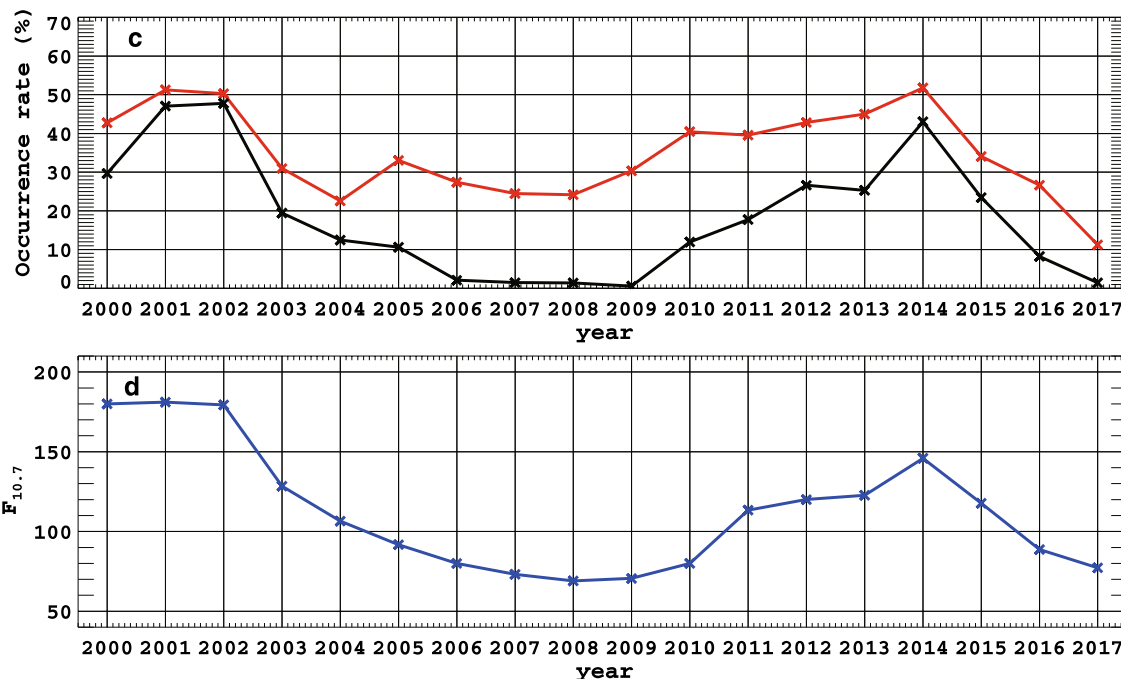


図. 人工オーロラ実験 (赤: 送信周波数 2.8 MHz, 黒: 送信周波数 4.0 MHz) の観測可能性と太陽活動度の関係 (Tsuda et al., EPS, 2018)

学術論文 (査読付)

- (1) M. K. Ejiri, T. Nakamura, T. T. Tsuda, T. Nishiyama, M. Abo, T. Takahashi, K. Tsuno, T. D. Kawahara, T. Ogawa, and S. Wada, Vertical fine structure and time evolution of plasma irregularities in the Es layer observed by a high-resolution Ca^+ lidar, *Earth Planets Space*, 71, 3, doi:10.1186/s40623-019-0984-z, 2019.
- (2) S. Nozawa, T. Kawabata, K. Hosokawa, Y. Ogawa, T. T. Tsuda, A. Mizuno, R. Fujii, and C. M. Hall, A new five-wavelength photometer operated in Tromsø (69.6°N, 19.2°E), *Earth Planets Space*, 70, 193, doi:10.1186/s40623-018-0962-x, 2018.
- (3) T. T. Tsuda, Y. Hozumi, K. Kawaura, K. Hosokawa, H. Suzuki, and T. Nakamura, Initial report on polar mesospheric cloud observations by Himawari-8, *Atmos. Meas. Tech.*, 11, 6163-6168, doi:10.5194/amt-11-6163-2018, 2018.
- (4) S. Oyama, T. T. Tsuda, K. Hosokawa, Y. Ogawa, Y. Miyoshi, S. Kurita, A. E. Kero, R. Fujii, Y. Tanaka, A. Mizuno, T. Kawabata, B. Gustavsson, and T. Leyser, Auroral molecular-emission effects on the atomic oxygen line at 777.4 nm, *Earth Planets Space*, 70, 166, doi:10.1186/s40623-018-0936-z, 2018.
- (5) T. T. Tsuda, M. T. Rietveld, M. J. Kosch, S. Oyama, Y. Ogawa, K. Hosokawa, S. Nozawa, T. Kawabata, and A. Mizuno, Survey of conditions for artificial aurora experiments by the second electron gyro-harmonic at EISCAT Tromsø using dynasonde data, *Earth Planets Space*, 70, 94, doi:10.1186/s40623-018-0864-y, 2018.

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も予想されている。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・コトタバンには及びタイ・バンコクにはMC/MF GNSSシンチレーション受信機が2018年3月に設置され、継続観測を行っている。

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、2015年2~3月のうちシンチレーションが発生した30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、及びDual-Solution Ionosphere Gradient Monitoring Algorithm (DSIGMA)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4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。モデル化されたシンチレーションに伴う衛星排除率は、現在国際民間航空機関(ICAO)の作業部会において、低緯度におけるGBASの性能向上のための基準策定に活用されている。

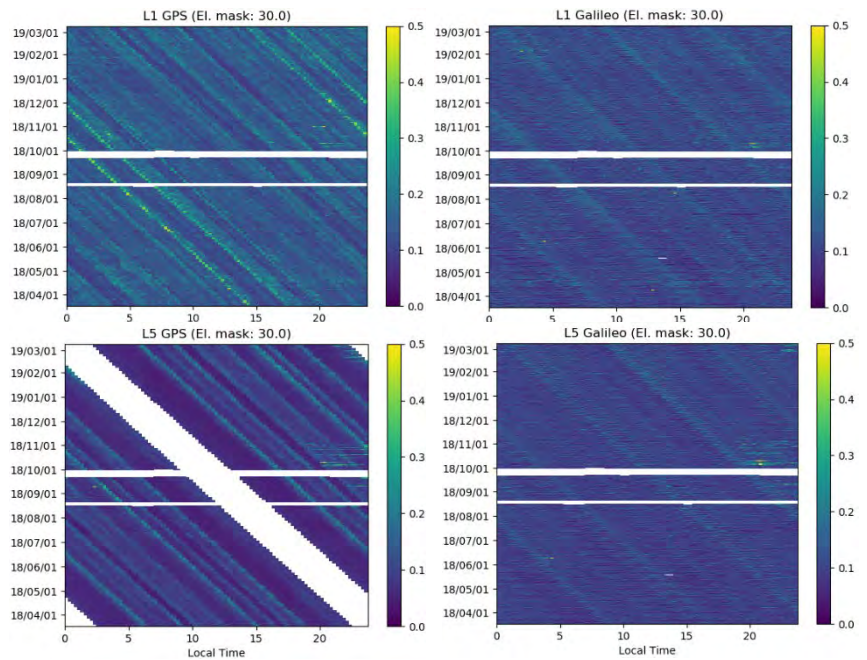


図 1. 2018年3月~2019年3月の、GPS、GalileoのL1及びL5帯のシンチレーション指数(S4)。2018年10月の22~23LT、2019年2月の23~24LT付近にシンチレーション指数の増大が見られる。なおGPSではL5信号を送信する衛星が少ないため、L5信号が受信されない時間帯が発生している。

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、2018年3月から2019年3月までにインドネシア・コトタバンにおいて観測されたデータを解析し、衛星系、信号ごとのシンチレーション発生特性を解析した(図1)。太陽活動が低い時期ではあるが、2018年10月、2019年2月にシンチレーションの発生が確認できた。2018年10月については赤道大気レーダーによる同時観測があり、赤道大気レーダーにおいてもプラズマバブルの発生が確認された。信号特性としては、L1に比べL5信号は雑音レベルが低く、弱いシンチレーションの検出に適していること、GPS L5とGalileo E5aの比較においてはGalileo E5aの方が雑音レベルが低いことがわかった。

今後、さらに観測を継続し、コード擬似距離精度、位相擬似距離精度など、信号品質の評価を行うとともに、衛星とプラズマバブルの相対位置との関係の解析を行っていく予定である。

成果発表一覧

Budtho, J., Supnithi, P., and Saito, S. (2018). Analysis of quiet time vertical ionospheric delay gradients around Suvarnabhumi airport, Thailand. *Radio Science*, 53. doi:10.1029/2018RS006606.

Bumrungrkit, A., Supnithi, P., & Saito, S. (2018). Statistical analysis of separation distance between equatorial plasma bubbles near Suvarnabhumi International Airport, Thailand. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 123, doi:10.1029/2018JA025612.

Saito, S., and Yoshihara, T., Impact assessment of ionospheric scintillation associated with plasma bubbles on GAST-D ground integrity monitors, ION GNSS+ 2018, Miami, 26 March 2018.

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

高橋透、国立極地研究所、研究教育系

学術的背景

近年、オーロラパッチ内部に分極電場が生成されていることが示された(Hosokawa et al., 2008)。この電離圏起源の電場は、磁気圏由来の電場とは異なる形で、ジュール加熱やイオンドラッグに寄与することや、電場が磁力線に沿って磁気圏に伝搬することで、グローバルな磁気圏の対流に影響を与えられ考えられる。従って、オーロラパッチ内部の分極電場の生成メカニズムを理解することは磁気圏-電離圏-熱圏結合を理解する上で重要である。

研究目的

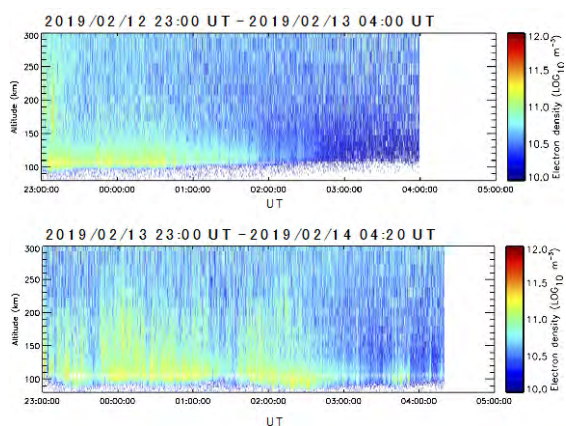
東西に伸びたアーク状の領域が電離され発光するアーク状オーロラとは異なり、オーロラパッチは、数 100 km 程度の局所的な領域が電離され発光している。特に、オーロラパッチ内部で高度 110 km 以下を電離するような高エネルギー粒子降下による電離が起こると、ホール伝導度がペダーソン伝導度に比べて急激に増大する。オーロラパッチ内部では強い電流と、外部の弱い電流との一様性を保つために、分極電場が生成されていると考られている。Hosokawa et al. (2010)では、このメカニズムを検証したが、生成されると見積もられた分極電場と、観測される分極電場の強度が一致しないことを報告している。これは、3次元的に発達する電離圏の電流系を、水平の 2次元の電流のみと仮定し、分極電場の大きさを見積もっていたことに起因すると考えられる。よって、本研究では、EISCAT レーダーと KAIRA レーダーの同時観測を行う。この観測を基に、3次元的な電離圏電流系を考慮することで見積もられた分極電場と、観測された分極電場とを比較することで、オーロラによる分極電場の生成メカニズムを理解することを目的とした。また、同一磁力線に伝搬する分極電場を F 領域で観測することで、分極電場の高高度への伝搬過程を理解することや、ナトリウムライダーを用いた中性大気の温度観測によって、分極電場が引き起こす大気加熱量についても検証を行うことで、プラズマ大気と中性大気のエネルギー的結合過程を理解することを目的として研究を行なった。

研究結果とまとめ

申請者はまず、2015年11月に実施された EISCAT レーダーと KAIRA レーダーの同時観測データの解析を行なった。この結果、これまで提唱されてきたようにホール伝導度の増大によって対流電場と同程度の強度を持つ分極電場がオーロラパッチ内部で生成されていることがわかった。また、分極電場は少なくとも高度約 100 km で生成され 200 km まで伝搬していることを明らかにした。同時に、5~10 uA/m²の沿磁力線電流 (FAC) がオーロ

ラパッチの東西エッジに繋がっており、分極電場の強度を弱める働きをしていたことを示した。この結果を2018年5月に幕張で開催された JpGU と2018年12月にワシントン D. C.で開催された AGU で発表した。この研究は科学論文としてまとめ、2018年11月に Journal of Geophysical Research に投稿し、2019年3月に受理されている。

さらに、FAC のより定量的な値を人工衛星のデータと比較するためにはオーロラパッチのエッジでの電子密度勾配を詳しく推定する必要があることが分かった。そこで申請者は2019年2月に EISCAT トロムソ観測所に渡航し、EISCAT UHF レーダーを用いてオーロラパッチ内部をスキャンする観測を2晩にわたって実施した。この観測ではナトリウムライダーによる中性大気・温度観測も同時に行っている。2晩の内、1晩(2月14日)でほぼ東向きに伝搬するオーロラパッチを観測することができた。観測結果を解析し、結果を報告するために PC を購入し、現在解析と考察を行なっている。結果は、適宜学会や研究集会で報告を行い科学論文としてまとめる予定である。



2019年2月に実施した EISCAT UHF レーダーを用いた特別実験によって観測された電子密度。

多様な水文気候学的地域特性が駆動する
アジアモンスーン変動に迫る国際共同研究

An international research initiative for the Asian monsoon variability
driven by diversified regional hydroclimatological characteristics

寺尾 徹、香川大学教育学部

研究目的

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

アジアモンスーン研究は、継続的にWCRPの枠組みのもと、GEWEX Hydroclimatology Panel (GHP) のRegional Hydroclimate Projects (RHP) の一つとして、1996-2006年のGEWEX Asian Monsoon Experiment (GAME)プロジェクト、2006-2016年の Monsoon Asian Hydro-Atmosphere Scientific Research and Prediction Initiative (MAHASRI)プロジェクトとして展開されてきた。これらのプロジェクトのもと、アジア諸国との研究協力は大きく広がり、熱帯から高緯度域に至る多様な地表面のアジアモンスーン循環に対する役割の明確化などの成果をもたらした。これらの達成の上に立って、現在、Post MAHASRIプロジェクト準備会（世話人：鼎信次郎・寺尾徹）のもと、次期RHPの計画策定が進められている。

MAHASRIプロジェクトを通じて、南アジアの研究者との協力関係が大きく発展した。一方のチベット高原側でも、最近重要な条件の発展があった。中国の研究機関が中心となって水文気候学的研究を展開しているThird Pole Environment (TPE) プロジェクトがGHPの枠組みのもとで検討されている。

本申請（3年計画）は、WCRPの枠組みの元、次期RHP(Post MAHASRIプロジェクト)の計画策定および初動期における国際研究協力体制の構築のための研究者の派遣、および招聘を主要な目的としている。これらの取り組みの中で多くの内外の研究者との共同研究を推進している。

研究結果

本申請は、3年計画の1年目であり、その他の関連する研究プロジェクト（科学研究費補助金、民間の研究助成等との共同研究経費等）と連携して研究を推進してきた。

5月に行われたThe 8th GEWEX Science Conference（2018年5月6-11日@カナダ・Canmore）に3名の研究者を派遣し、次期RHPに向けた検討状況を発表して国際的な所研究者との交流を行い、次期RHPへの多くのsuggestionを得た。

Post MAHASRIプロジェクトのサイエンスプランを練り上げるため、ドラフティング作業会合を、10月6日（香川大学）と、11月12日（首都大学東京）で行い、中心となるコアチームの研究者を中心に全体に共通する5つのQuestionを定式化した。

10月下旬にChileのSantiagoで行われたGHP Panel Meetingでは、Post MAHASRIプロジェクトの構想を作業会合の内容をもとに参加者に説明し、基本的に内容について合意が得られ、Prospect RHPの一つとして認知されるに至った。プロジェクトのウェブページも作成し、基本的な情報を掲載している。2019年8月には札幌でPost MAHASRIプロジェクトのキックオフカンファレンスを開催することを決め、発表している。

プロジェクトの内容を多くの海外の研究者と協議した。これらの研究者には、中国のTPEプロジェクトのAilikun博士や、インド気象局元長官のA. Tyagi教授、ラジャスタン中央大学のS. Das教授、ノースイースタンヒル大学のH. J. Syiemlieh教授、インド工科大学ガウハチ校のS. Dutta教授、ネパールのM. Shrestha博士、バングラデシュのA. T. M. S. Hossain教授らが含まれている。

これらの活動に基づき、南アジア、東南アジアの広い領域にわたるアジアモンスーン

ン降水の特徴の研究も進んだ。バングラデシュの降水同位体の多重スケールでの変動を観測に基づき明らかにするとともに、モデルを用いて降水の元となる水蒸気の起源を推測した研究 (Tanoue et al. 2018)、インド各地の降水パターンの季節変化や年々変動と周辺の循環場との関係を明らかにした研究 (Fukushima et al. 2019)、フィリピンの雨季に見られる1990年代の急激な気候シフトを指摘し、その原因について論じた研究 (Olaguera et al. 2019)、ベトナムの気候変動にともなう2046-65年に超える降水パターン変動のバイアス補正に関する研究 (Trinh-Tuan et al. 2019)、タイの1カ月スケールのダム流入予測に関する研究 (Amnatsan et al. 2018) などである。

その他の外部資金で観測やデータ取得を推進する経費の獲得を目指した。

なお、2019年2月には東京大学で、Indo-Japan Joint Workshop, Socioeconomic / Hydroclimatological Perspectives of Future Asian Monsoonを開催し、Post MAHASRIの周縁の人文社会科学系研究者との共同研究の基盤となる協力関係を強化した。

まとめ

Post MAHASRIプロジェクトが、GEWEXの枠組みの元のProspect RHPとして認められたことで、1年目の目標はほぼ達成された。サイエンスプランのドラフティングも進んでおり、6つのアプローチと全体に共通する5つのQuestionの定式化が行われ、GHPパネルミーティングでも肯定的に受け止められた。多くの内外の研究者とのPost MAHASRIプロジェクトの協議が進んだ。

次年度には、キックオフカンファレンスの開催、サイエンスプランの策定と、プロジェクトのフルRHPへの発展をめざす。

参考文献

- Tanoue, M., K. Ichiyanagi, K. Yoshimura, M. Kiguchi, T. Terao and T. Hayashi, 2018: Seasonal variation in isotopic composition and the origin of precipitation over Bangladesh, *Progress in Earth and Planetary Science*, 5:77.
- Fukushima, A., Kanamori, H. and Matsumoto, J. 2019: Regionality of long-term trends and interannual variation of seasonal precipitation over India. *Progress in Earth and Planetary Science* 6: 20.
- Olaguera, L.M., Matsumoto, J. Kubota, H., Inoue, T., Cayanan, E.O. and Hilario, F.D. 2018: Abrupt climate shift in the mature rainy season of the Philippines in the mid-1990s. *Atmosphere* 9: 350.
- Trinh-Tuan L., Matsumoto J., Tangang F.T., Juneng L., Cruz F., Narisma G., Santisirisomboon J., Phan-Van T., Gunawan D., Aldrian E. and Ngo-Duc, T. 2019. Application of quantile mapping bias correction for mid-future precipitation projections over Vietnam. *SOLA* 15: 1-6.
- Amnatsan, S.; Yoshikawa, S.; Kanae, S. 2018: Improved Forecasting of Extreme Monthly Reservoir Inflow Using an Analogue-Based Forecasting Method: A Case Study of the Sirikit Dam in Thailand. *Water*, 10, 1614.

成果発表

- Terao, T., S. Kanae, J. Matsumoto, Towards establishment of the science plan of the post-MAHASRI RHP. GEWEX Conference, Canmore, Canada, 9, May 2018.
- Terao, T., S. Kanae, J. Matsumoto, Towards the establishment of the post-MAHASRI science plan. JpGU2018, Makuhari, Chiba, 20, May 2018.
- Terao, T., S. Kanae, J. Matsumoto, Upcoming Asian monsoon hydroclimatological research framework under GEWEX, EMS Annual Meeting, Budapest, Hungary, 4, Sep. 2018.
- Terao, T., Potential RHP Post-MAHASRI. GHP Panel Meeting, Santiago, Chile, Oct. 2018.
- Terao, T. et al., A focus of post MAHASRI GEWEX hydroclimatological project: Climate Projection and Subseasonal to Seasonal Prediction of Extreme Severe Storms. International Workshop on Extreme Severe Storms and Disaster Mitigation Strategies, Central Univ. of Rajasthan, India, 24 Dec. 2019.

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

平原 靖大 名古屋大学・環境学研究所

【研究目的】

本研究の目的は、これまでにない高感度・高空間分解能を誇るアタカマリ波サブミリ波干渉計ALMA(Atacama 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、そしてその時間変動を明らかにすることにある。ALMA干渉計では年ごとに望遠鏡素子数や基線長が増え、空間分解能や感度が持続的に向上している。タイタンの場合、観測生データの蓄積量は年間あたり7TByte程度で、今後の推移を考慮するとデータストレージの確保と計算機環境の構築、およびデータ処理のパイプライン化・バッチ化の導入が必要になる。

【研究方法】

本研究では、ALMA共同利用観測アーカイブデータのうち、校正天体として取得されたタイタンおよびイオの多数のスペクトルデータセットの自動解析を行うためのソフトウェアの製作を行った。それは、(1) ALMAデータを処理・解析するためのパッケージCASAの一連の内部処理タスクを、対話モードでなく自動実行するためのpythonスクリプト、(2) CASAタスクのうち、最も長時間の演算処理を必要とするcleanの自動化のための、人工知能の自動画像認識によるマスクパターン製作、(3)スペクトルデータのリトリバル解析パッケージARTS(The Atmospheric Radiative Transfer Simulator)の改良に分けられる。

【研究結果】

研究方法(1),(2)は、産業総合研究所人工知能研究センターのAAIC(AIST Artificial Intelligence Cloud)を利用し、主に名大キャンパス内からのリモート接続下でのAAICへのバッチジョブの投入の実装を目指して諸々の検討と実装を行った。結果を下図1に示す。

自動解析は、まずALMAアーカイブデータセットの自動ダウンロードから始まり、以後、pythonスクリプトによって、listobsを実行し、観測情報を取得し、その内容を基に次のcleanタスクのパラメータを取得し、AIによってマスクを作成しつつ、天体暦(JPL Horizons)を別途取得し、次のドップラー補正タスクcvel,fixplanetsに用いる。最も重要で演算時間を消費するclean処理は、これらのデータを用いて自動的に行い、最終データを得る。

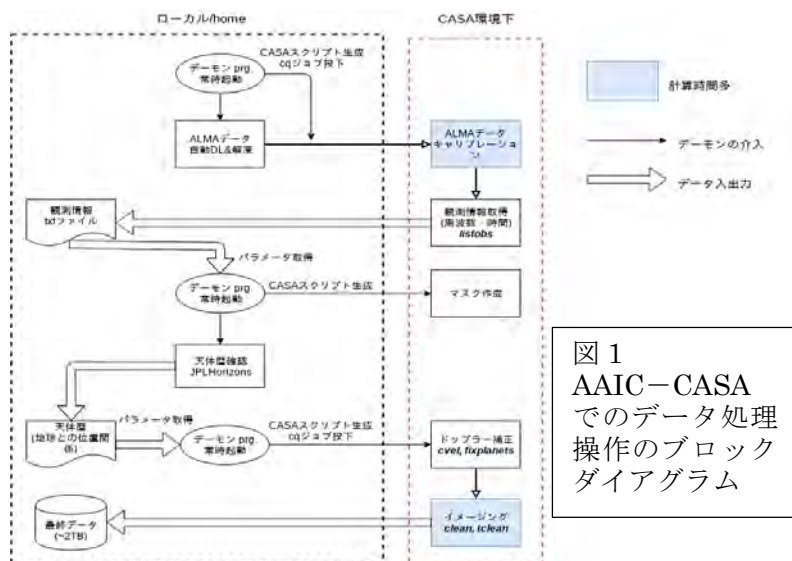


図1
AAIC-CASA
でのデータ処理
操作のブロック
ダイアグラム

この自動処理は、AAICのLinux OSのデーモンプロセスとして行い、個々のCASAタスク

のパラメーターを適宜変更させ、そのCASAスクリプトが書かれたpythonスクリプトを自動的に生成し、自動的にキューに投下することで行う。

研究方法(3)では本来、地球大気のスpekトルのシミュレーション用に開発されたARTSのC++ソースコードの修正に従事した。タイタンやイオの低い大気温度条件(<60K)では計算が破綻する。その原因が分子の分配関数の計算アルゴリズムにあることを見出し、原理式に基づいて修正を行うように修正した。シミュレーション結果を下図2に示す。これにより、様々な大気微量分子のspekトルの計算やリトリーバル解析が可能になった。

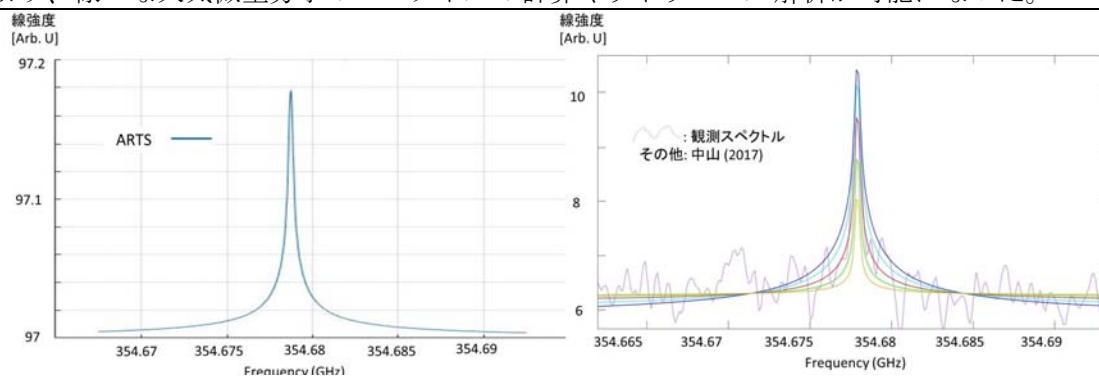


図2 タイタン大気中のHC₃N (J=39-38)spekトル 左:プログラムの改良後のARTSシミュレーション計算結果、右:ALMA観測データの解析結果

【成果論文リスト】

- [1] Kosuke Takami, Hiromu Nakagawa, Takashi Katagiri, Oleg Benderov, Yasuhiro Hirahara, Yasumasa Kasaba, Alexander V. Rodin, Isao Murata, Shin Tamura, "Evaluation and optimization of optical hollow fiber and rectangular hollow waveguide coupler as applications of future mid-infrared heterodyne spectrometer", SPIE Proceedings, Ground-based and Airborne Telescopes VII 10700, 2018
- [2] Sakanoi, T., J. R. Kuhn, S. V. Berdyugina, M. Emilio, M. Kagitani, Y. Hirahara, H. Nakagawa, Y. Kasaba, T. Obara, S. Okano, I. Scholl, A. Berdyugin V. Piroola, "Development of PLANETS telescope and visible-infrared spectrometer for monitoring of planetary and exoplanetary atmospheres", SPIE Proceedings, Ground-based and Airborne Telescopes VII 10700, 2018

【学会発表リスト】

- [1] 鈴木達也、平原靖大、古賀亮一、坂野井健、菅原徹也、"ALMAアーカイブデータ解析によるイオ大気中の火山起源分子の空間分布", 地球電磁気・地球惑星圏学会、2018/11/25
- [2] 伊藤良太、平原靖大、青木祥平、中川広務、笠羽康正、"中間赤外線観測装置のための冷却中空ファイバーガイドの開発", ALMA Workshop for solar system planetary observations, 地球電磁気・地球惑星圏学会、2018/11/27
- [3] 鈴木達也、平原靖大、古賀亮一、坂野井健、他、"ALMAアーカイブデータを用いたイオ大気における火山起源分子の空間分布", ALMA太陽系ワークショップ、国立天文台、2018/12/28
- [4] 古賀亮一、坂野井健、鈴木達也、平原靖大、他、"ひさきとALMAの観測によるイオ大気生成・散逸過程の研究", ALMA太陽系ワークショップ、国立天文台、2018/12/28
- [5] 坂野井健、鍵谷将人、平原靖大、栗田光樹夫、他、"1.8m非軸望遠鏡「PLANETS」計画の現況と今後の展望", 第8回 可視赤外線観測装置技術ワークショップ、国立天文台、2019/2/26

2. ISEE International Joint Research Program 目次詳細

(所属・職名は平成31年3月現在)
(Affiliation and Department are correct as of March 2019)

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. Mahboubeh Asgari-Targhi	Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics	High Energy Astrophysics	Astrophysicist	Comparison of the MHD modeling of solar wind with IPS observations	65
Koustov, Alexandre	University of Saskatchewan	Physics and Engineering Physics	Professor	Polar cap auroras and related ionospheric plasma flows	67
Valentina Zharkova	Northumbria University,	Department of Mathematics, Physics and Electrical Engineering	Professor of Mathematics	Multi-wavelength diagnostics of energetic particles in solar flares	69
Sergii V. Panasenko	Institute of ionosphere	Ionospheric Physics	Head of Department	Artificially induced traveling ionospheric disturbances inferred from GPS and radar data	71
Belakhovsky Vladimir	Polar Geophysical Institute	Labaratory of Aurora	scinetific reseacher	The study of wave-particle interaction in a near-Earth space as observed by the ERG satellite and PGI ground-based instruments	73
Navin PARIHAR	Indian Institute of Geomagnetism	Upper Atmospheric Sciences	Reader	Study of the behaviour of the ionosphere over mid-latitude stations using OI 777.4 and 630.0 nm emission	75
Anukul Buranaprathe prat	Burapha University	Department of Aquatic Science	Assistant Professor, Faculty of Science	Detection and modeling of green Noctiluca bloom in the Gulf of Thailand using satellite ocean color	77
Nariaki Nitta	Lockheed Martin Advanced Technology Center	Solar and Astrophysics Laboratory	Senior Staff Physicist	Origins of Eruptive and Other Solar Flares as Diagnosed with Energetic Electrons	79
Michael J. Kosch	South African National Space Agency	Space Research and Applications	Chief Scientist	New radar method to observe thermospheric neutral density	81
José Francisco Valdés Galicia	Instituto de Geofisica, Universidad Nacional Autonoma de Mexico	Space Science	Professor	Development of new and improved front end electronics for the SciBar Cosmic Ray Telescope.	82
Baolin Tan	National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences	Mingantu Observing Station	Professor	Study of coronal magnetic fields from the joint observations of MUSER and NoRH	84
Antonia Savcheva	Smithsonian-Astrophysical Observatory	High Energy Division	Astrophysicist	Data-Driven Simulations of Active Region Eruptions	86

Comparison of the MHD modeling of solar wind with IPS observations

PI: Mahboubeh Asgari-Targhi (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics)

Below is the description of the research that is currently being undertaken between the PI Dr Asgari-Targhi and the Co-I's Dr. Ken'ichi Fujiki at Nagoya University and Dr. Munehito Shoda at Tokyo University.

The fast-solar wind has velocities ranging from 500 to 800 km/s, and originates in low-density, open magnetic field structures in the solar atmosphere known as coronal holes. The fast wind is believed to be driven by Alfvén waves that are launched in the photosphere and propagate outward along the open field lines. The mechanisms which heat and accelerate the fast-solar wind are not yet fully understood. Alfvén waves are the most promising wave type for transporting energy over large distances in the corona and solar wind. However, it is not clear how the wave energy is transferred to the plasma. Using our recent Reduced Magnetohydrodynamic (RMHD) modeling of Alfvén wave turbulence in open fields, we study the effects of wave turbulence in open magnetic field structures. A major significance of our modeling is that we include the effects of the solar wind outflow on Alfvén wave propagation. The purpose of our collaboration is to test the hypothesis that reflection-driven wave turbulence can provide the energy needed for heating the coronal plasma in the acceleration region of the fast-solar wind. We use RMHD simulations to describe the wave turbulence in an open field stretching from the base of the corona into the heliosphere. We compare our simulated wave dissipation rates with those needed to sustain the background atmosphere. We consider the effects of density fluctuations, which may further boost the level of inward propagating waves and thereby the turbulent heating rate. A major aim of our project is to reveal key observational evidence of these density fluctuations at different positions in open field regions as well as looking for observational insights into the generation, dissipation and propagations of waves in the upper solar atmosphere and the inner heliosphere. We will be testing our modeling results against measurements of Inter-Planetary Scintillation (IPS) observations. This will aid us in implementing realistic values of density fluctuations in our modeling. IPS is the result of density fluctuations in the solar wind when the wind travels

across a line of sight and extends from the observer towards a radio source. Ground-based interplanetary scintillation observations provide estimates of the three-dimensional velocity structure of the inner heliosphere. We use the IPS observations of natural radio sources obtained with the Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE) system at Nagoya University in Japan. The ISEE system consists of the antenna at three sites inside Japan and the observations are obtained with a frequency of 327 MHz (wavelength of 0.92 m). Solar wind velocities are derived from a cross-correlation analysis of the IPS data measured at all three sites. The density irregularities are derived from the fluctuation level of radio frequency signal relative to the source intensity (1997-2009) or a power-spectrum analysis of the IPS data measured at the individual antenna (2010-). We have identified a coronal hole of June 4th 2005. Using the time-series tomography developed by Fujiki et al.[2003], two-dimensional maps of the averaged solar wind velocity and density-irregularity in interplanetary space at distances 0.2-0.5 AU are derived from the observations. The maps will be used to deduce the outflow velocity and density-irregularity measurements from observations at 40-100 R_{sun} . To compare the observations of density and outflow velocity with our modeling, we will be extending the open field in our modeling to larger heights to cover this interval.

Dr. Asgari-Targhi started her collaboration with Dr. Ken'ichi Fujiki at Nagoya University and Dr. Munehito Shoda at Tokyo University in March 2018 when they were awarded the ISEE international joint research program. The ISEE award made it possible for the PI to travel to Japan on 10th June 2018 for the duration of 10 days to stay at Nagoya University and collaborate with the Co-I's. The PI travelled to Nagoya University from 23rd February to 2nd March 2019 attending the International symposium "Recent progress in heliospheric physics by direct measurements of unexplored space plasmas" at Nagoya University.

The PI presented a talk titled "Modeling and observations of density fluctuations in the solar wind" at the Symposium where she showed the modeling results and out lined the comparison with the IPS observations. On both occasions, the PI held meetings with Drs. Kenichi-san and Shoda-san. Since this project consists of extensive modeling and observations, the collaborators involved in the project submitted a proposal to National Science Foundation in the US so the research can continue.

Project Title

Polar cap auroras and related ionospheric plasma flows

Alexander V Koustov

Department of Physics and Engineering Physics, University of Saskatchewan, Saskatoon, Saskatchewan, S7N 5E2, Canada

Purpose: The purpose of the project was to advance our knowledge of plasma flows associated with polar cap aurora. There were 2 major goals for the project: 1) Investigate patterns of plasma flows and 2) Investigate microphysics of plasma structuring processes leading to SuperDARN echoes associated with the polar cap aurora. Although the projects targeted somewhat different aspects, they have one common underlying issue, reasons for occurrence of SuperDARN echoes inside the polar cap.

Methods:

Auroral images from the Resolute Bay camera (supported by ISEE, Prof. Shiokawa) have been mapped on geographic grid where the areas of the SuperDARN echoes have been shown as well. Auroral images were also plotted on standard SuperDARN convection maps built in magnetic coordinates. Significant preliminary analysis on the occurrence of such aurora in correlation with SuperDARN coherent echoes has been done, in the past in cooperation with Dr. K. Hosokawa of the University of Electro Communications (Tokyo), and more recently by the PI with his Graduate student K. Yakymenko. Several interesting events have been identified, but all are for very complex conditions in the interplanetary magnetic field so that the actual magnetospheric drivers of the flows was difficult to pin point.

Results:

Goal 1: The work on the polar cap arcs has not been completed, yet. Currently, more deliberate analysis of SuperDARN plasma flow maps is considered by developing a new method of flow mapping that can produce a pattern under limited data coverage. The hope is that this would allow one to quantify the flows. The work is currently ongoing.

Goal 2: The investigation showed that the number of SuperDARN echoes is extremely low whenever the aurora was seen. This is despite the fact that several years of joint radar-optical observations have been considered (2008-2013). This prompted the PI to expand the project on a more general problem of understanding why the SuperDARN echoes are not seen in the vicinity of optical forms and what controls the onset of echoes in this and other conditions. Expanding further in this direction, multi-year data collected by six polar cap SuperDARN radars, three in

the Northern hemisphere and three in the Southern hemisphere, have been considered. Occurrence of echoes have been assessed versus solar cycle, season and time of the day. Among interesting findings is that the echo occurrence rate does not depend on the electric field magnitude during nighttime which might explain why echoes are not always occur near polar cap arcs in regions of enhanced electric field. The PI continues working on the reasons for polar cap echo occurrence with the thrust on joint observations with the incoherent scatter radar data in the Canadian Arctic.

Period of stay in ISEE:

October 3 – November 1, 2018

List of publications:

1. Occurrence of F region echoes for the polar cap SuperDARN radars, by **A.V. Koustov**, S. Ullrich, P.V. Ponomarenko, **N. Nishitani**, M.F. Marcucci, and W.A. Bristow (2019) Submitted to Earth, Planets, and Space, March 2019, 29 single-spaced manuscript pages including 8 Figures and 3 Tables.

Presentations at ISEE: (<http://cicr.isee.nagoya-u.ac.jp/hokkaido/site1/workshop/h30.html>)

1. A. V. Koustov, S. Ullrich, P. Ponomarenko, **N. Nishitani**, and F. Marcucci, Electron density as a factor affecting SuperDARN echo occurrence rates in the polar cap, Mid-Latitude SuperDARN Radar Workshop, Oct 16-17, 2018, ISEE, Nagoya University.

2. A. V. Koustov, D. Lavoie, P.V. Ponomarenko and S. Ullrich, Validation of Rankin Inlet electron density measurements with the RISR-C incoherent scatter radar, Mid-Latitude SuperDARN Radar Workshop, Oct 16-17, 2018, ISEE, Nagoya University.

3. A.V. Koustov, Contributions of coherent radars to studies of the near Earth's environment, ISEE colloquium #39, 12 October, 2018

http://cicr.isee.nagoya-u.ac.jp/site1/info_e/colloquium.html

Contributed to the work on referees' comments for the paper:

4. N. Nishitani, J. M. Ruohoniemi, M. Lester, J. B. H. Baker, **A. V. Koustov**, S. G. Shepherd, G. Chisham, T. Hori, E.G. Thomas, R.A. Makarevich, A. Marchaudon, P. Ponomarenko, J. Wild, S. Milan, W. A. Bristow, J. Devlin, E. Miller, R. A. Greenwald, T. Ogawa, and T. Kikuchi, Review of the accomplishments of mid-latitude SuperDARN HF radars, "Progress in Earth and Planetary Science", 6:27 <https://doi.org/10.1186/s40645-019-0270-5>

Multi-wavelength diagnostics of energetic particles in solar flares

PI: Prof. Valentina Zharkova
Northumbria University
Newcastle upon Tyne
NE1 8ST UK

PI V. Zharkova visited ISEE at Nagoya University from 10 January 2019 until 1 February 2019.

1. During the visit V. Zharkova has delivered a talk at the seminar ‘Particle acceleration in reconnecting current sheets of the Sun and heliosphere’ – 16 January 2019. VZ explained the results obtained with test particle and particle-in-cell codes, in order to follow individual trajectories of protons and electrons at acceleration at different parts of RCS and energy spectra of each kind of particles. We also will extract polarization and turbulent electric field effects from PIC results and investigate their effect on individual trajectories of each kind of particles for selected magnetic field topologies.

The talk was well attended and led to fruitful discussions and some ideas of future collaboration as on interpretation of high energy particles observed during energetic events so for observing spectral signatures of flaring events via multi-wavelength observations (HXR, SHR, Ly-alpha, H-alpha and radio emission and seismic responses in flaring atmospheres. Using the simulations of realistic plasma heating functions by protons or/and electrons and the momentums delivered by particles to the lower atmosphere we simulated hydrodynamic responses of flaring atmospheres (with the two fluid 1D hydro-radiative code) to different kinds of particles (Zharkova and Zharkov, 2007, 2015; Matthew et al., 2011, Zharkov et al., 2011, Zharkov et al, 2013, Macrae et al, 2018). The simulated parameters (temperature, density, macrovelocity) are used to simulate the radiative models of flaring atmospheres and their spectral signatures from soft X-ray to optical emission and seismic response to shocks generated by the hydrodynamic response to the injection of energetic particles required to account for helioseismic responses in flares detected by using the time-distance diagram (TDD)

(Kosovichev and Zharkova, 1998) and holographic (H) (Donea et al., 1999). The outcomes are compared with those measured from soft X-ray (AIA/SDO), Hydrogen H-alpha emission (SST/CRISP), white light and seismic response (HMI/SDO). This will significantly advance quantitative interpretation of energy transport throughout the whole depth of flaring atmospheres with sunquakes.

We are working with Nagoya team (Prof. Kuzano and Dr. S. Inoue **on the paper** with a working title '**Unusual sunquakes and emission generated by mixed beams during the 6 September 2017 flare**').

2. Attended a talk by Prof. B. Tan (China) on radio observations of solar flares and generation of zebra patterns. Discussion with prof. Tan of his and our previous results (Zharkova and Siversky, 2011, ApJ) led to the idea of a new paper offering an alternative mechanism of generation of zebra patterns via cascading Langmuir waves and their diagnostics from radio emission.

The paper is in a working progress now, title of **the paper** '**Particle-wave interaction of electron beams with flaring atmospheres and generation of zebra patterns**'.

Artificially induced traveling ionospheric disturbances inferred from GPS and radar data

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

1. Purpose

Traveling ionospheric disturbances (TIDs) being manifestations of acoustic-gravity waves (AGWs) or caused by electromagnetic forces and electromagnetic coupling between E and F-regions are responsible for energy transfer and one of the important sources of ionospheric variability. At present, TIDs and AGWs are thought to be ubiquitous and have plenty natural origins such as geomagnetic storms, solar terminators and eclipses, meteorological fronts, etc. There is increasing evidence that rocket launches and powerful radio waves can also generate ionospheric disturbances covering a wide range of periods and scales. The energetics of such man-made sources reached the values where releasing energy should be taken into account during the analysis of dynamical processes in the atmosphere and the geospace. Since the parameters of these artificial disturbances appear to be close to the parameters of natural perturbations, the main problem is to separate these two types of events. For the time being, no detailed physical and mathematical models of the processes in the atmosphere and the ionosphere far away from the man-made source are created. The mechanisms responsible for disturbance generation and its propagation to large distances are not fully understood. It can be due to episodic observations, variety of artificial source effects as well as weak sensitivity of used techniques and methods applied for detection such disturbances.

The aim of this project is to identify and estimate the parameters of the TIDs induced by rocket launches from different spaceports and transmission of powerful radio waves during the operation periods of ionospheric heaters. For achievement of this aim, we will undertake nowcast and retrospective analysis of radar and GPS data using similar approaches and harmonized methods and routines.

2. Facilities and methods

We used the data of Kharkiv incoherent scatter radar (ISR) which was operated using transmitted pulses with 663 and 135 μ s durations. Its frequency is 158 MHz and transmitted power is 1.8 MW. This ISR is the only such kind facility in mid-latitude Europe.

To determine temporal variations in the power of an incoherent scatter signal, its basic estimates in the time interval of 1 min were first done. Then, using the least squares averaging on 120 min interval, the trend was estimated followed by its subtraction and the normalization to this trend. We also applied band-pass filtration procedure for studying the behavior of wave process with definite periods.

The deployment of dense GPS receiver networks over many regions of the Earth (Europe, North America, Japan) has enabled investigations of ionospheric perturbations on spatial scales down to several hundreds of kilometers. The differential TEC maps for European region were also involved to trace the horizontal propagation of TIDs, accompanying EISCAT Tromso heating facility.

3. Results

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

1. Large-distance (1000 – 2500 km) wave disturbances in the electron density were detected in the ionospheric F region with Kharkiv ISR and GPS receiver network during the operation of Sura and EISCAT heating facilities. The effect of high power HF radio waves transmitted far from heated region manifested itself in increasing of relative amplitudes of wave disturbances with periods of 30 – 60 min in the altitude range from 150 to 350 km as well as in appearance wave structures in differential TEC over Europe with apparent horizontal velocity of 300 – 350 m/s.

2. Observed disturbances are likely caused by acoustic gravity wave propagation originated by periodic HF modification of the ionosphere. The most effective mechanism for their generation is shown to be the modulation of ionospheric currents in the upper hybrid resonance region by high power radio waves.

3. It is important to use dense GNSS receiver networks to identify the horizontal propagation of these waves and detect their sources during artificial high energy releases.

We intend to publish a joint paper devoted to the wave-like processes induced by high-energy artificial sources. We also plan to apply the developed method for detection of possible ionospheric response on rocket launches. In particular, we will analyze the parameters of TIDs accompanying launches of “Soyuz” and “Proton” rockets from “Plesetsk” spaceport. For analysis, we will use data provided by a combination of techniques including GNSS receivers, EISCAT ISRs and ionosondes.

4. Period of stay in ISEE and activities

I have visited ISEE and worked with Dr. Yuichi Otsuka during August – September, 2018. During staying in Japan, I took part in seminar, symposium and conference 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 further method development and result obtaining and interpretation.

5. List of publications and presentations

1. Panasenko S.V. Results of joint ionospheric measurements with Kharkiv incoherent scatter and MU radars during near-equinox and solstice periods / S.V. Panasenko, D.V. Kotov, O.V. Bogomaz, Y. Otsuka, M. Yamamoto, H. Hashiguchi, L.Ya. Emelyanov, I.F. Domnin // 12-th MU Radar / Equator Atmospheric Radar Symposium. – September 5 – 6, 2018. – RISH, Kyoto University, Uji Campus. – Uji, Kyoto, Japan, 2018.

2. Panasenko S. Detection of travelling ionospheric disturbances accompanying artificial high-energy source effects on the ionosphere using radar and GPS techniques / S. Panasenko, Y. Otsuka, L.F. Chernogor, I.F. Domnin // Mesosphere-Thermosphere-Ionosphere (MTI) Research Conference. – September 10 – 14, 2018. – NICT. – Tokyo, Japan, 2018.

The study of wave-particle interaction in a near-Earth space as observed by the ERG satellite and PGI ground-based instruments

Belakhovsky Vladimir (Polar Geophysical Institute)

The purpose of the project is to study charge particle dynamics and wave-particle interaction in the Earth magnetosphere and ionosphere with using the ERG satellite observations and conjugate ground-based observations of Polar Geophysical Institute (PGI).

Period of stay: 14 October – 18 November 2018.

Methods:

The experimental base of the project is the ERG satellite data. The ERG (Exploration of energization and Radiation in Geospace) satellite was developed by the Institute of Space and Astronautical Science of JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) for radiation belt studies. The data of other modern satellite projects (GOES, RBSP, THEMIS) was used as well. The ground support of this project is a geophysical observation of PGI at Kola Peninsula. The main observatory is Lovozero – LOZ (64.22N, 114.6E). For the analyses was chosen the time intervals when the ERG satellite was geomagnetically conjugate to the LOZ station. The ERG satellite flies near the LOZ station during approximately 1 hour. So using these instruments we have an opportunity to study in detail fast processes like high-frequency geomagnetic pulsations, VLF waves. The magnetometers, VLF receivers, all-sky cameras of PGI were used.

Results:

It is studied the physical nature and generation mechanism of monochromatic Pc4 pulsations with using ERG satellite data. Such type of the pulsations is existed during very low geomagnetic activity; these pulsations are not seen on the ground magnetometers due to damping in the ionosphere. The question about the generation mechanism of these pulsations is still open. For the event 4 May 2017 according to the ERG satellite data the wave packet of Pc4 pulsations was registered after midnight at 08-10 UT. The pulsations are mostly seen in radial component and also in azimuthal component of the magnetic field; its frequency is about 13 mHz. On GOES-13 satellite located on higher L-shell than ERG satellite the frequency of these pulsations is about 11.5 mHz. This property (decrease of the frequency of geomagnetic pulsations with the increase of L-shell) testifies about the resonance nature of the pulsations. The Pc4 pulsations are accompanied by the pulsations in electron fluxes (in phase) and in proton (anti phase) fluxes. During appearance of the Pc4 pulsations on ERG satellite the injection of electrons (mostly seen in 10-80 keV energetic channels) are registered. This injection is coincide with the small increase of AE index up 200 nT. So this injection is caused by the small substorm. Thus it is found the experimental evidence that injection of electron cloud into the morning sector can be reason of the excitation of monochromatic Pc4 geomagnetic pulsations. There are some theories which can explain this mechanism.

The simultaneous QP emissions registered on ERG satellite and Lovozero station is investigated. There are two types of QP emissions: the type1 of QP emissions is accompanied by the simultaneous ground geomagnetic pulsations with the same frequency, the type2 of QP emissions is

not accompanied. It was found that small-scale geomagnetic pulsations which do not propagate to the ground due to damping in the ionosphere can produce QP emissions. We deeply investigate the event of 28 August 2017. The simultaneous QP emission on the ground and in space was observed during about 70 minutes in the evening sector of MLT. There is very high correlation between QP elements on the ground and in space. The QP emissions was registered in a frequency range 1-2 kHz, the period of QP emissions was approximately 40 seconds. Inside the QP emissions the higher frequency fine structures were observed. It is interesting that according to the ERG satellite data QP emissions are observed only in electric field, in magnetic field QP emissions are not observed. The QP emissions are not accompanied by the geomagnetic pulsations with the same period on the ground-based magnetometers. But according to the magnetometer data of ERG satellite with using spectral analysis it is identified the frequency very close to the frequency of QP emissions. The appearance of these QP emissions can be associated with the small-scale Pc3 pulsations which seen in space and does not seen on the ground due to its damping in the ionosphere. So these QP emissions should be attributed to the QP1 class. Thus even if we don't see geomagnetic pulsations on the ground it does not necessarily indicate that this is QP2 class of QP emissions.

It was done the comparison of aurora substorm activity with the VLF wave activity in the magnetosphere registered by the ERG satellite and on the ground at Lovozero station for the events in March 2017. It was found the decrease of VLF intensity on the ground during appearance of the aurora which can be caused by the damping of the VLF waves in the ionosphere.

Unfortunately there is no digital data for the EFD instrument on ERG satellite. So we can't do the conjugate Pc1/Pi1 studies on ERG satellite and Lovozero station as we plan in application.

It was done attempt to describe the VLF magnetosphere activity with using ERG satellite data (PWE instrument) to find the contribution the VLF mechanism to the electron acceleration up to the relativistic energies. The growth of VLF power is well correlate with the growth substorm activity (AE index). So it's not easy to find at what stage the VLF mechanism have main contribution to electron acceleration.

List of presentations:

Belakhovsky V.B., Shiokawa K., Matsuoka A., Wang S.-Y., Kazama Y., Tam S., Kasahara S., Yokota S., Keika K., Hori T., Shinohara I., Miyoshi Y. The study of the generation mechanism of monochromatic Pc4 pulsations with using ERG satellite data // Physics of auroral phenomena. 42th annual seminar, 11-15 March 2019. Book of abstract. P. 29. 2019.

Belakhovsky V.B., Shiokawa K., Matsuoka A., Kasahara Y., Shinohara I., Miyoshi Y. The conjugate observations of QP emissions on ERG satellite and Lovozero station // Physics of auroral phenomena. 42th annual seminar, 11-15 March 2019. Book of abstract. P. 29. 2019.

Belakhovsky V.B., Shiokawa K., Miyoshi Y. The study of the generation mechanism of monochromatic Pc4 pulsations with using ERG satellite data // 14 conference "Plasma physics in Solar system", 11-15 February 2019. Space Research Institute, Moscow, Russia. P. 271. 2019.

Belakhovsky V.B., Shiokawa K., Miyoshi Y. The conjugate observations of QP emissions on ERG satellite and Lovozero station // // 14 conference "Plasma physics in Solar system", 11-15 February 2019. Space Research Institute, Moscow, Russia. P. 276. 2019 (in Russian).

Study of the behaviour of the ionosphere over mid-latitude stations using OI 777.4 and 630.0 nm emission

Navin Parihar

Indian Institute of Geomagnetism, India

Research Summary

Purpose & Methods:

Ground-based airglow observations have been successfully used to derive physical parameters of the emitting region. Firstly, emission intensities are monitored using ground-based photometers or imaging systems, and then different parameters are derived from their intensity information. Using an empirical approach by Makela et al. (2001), OI 777.4 nm emission intensity ($I_{777.4}$) measurements have been used to derive the electron density maximum of the F-layer (Nm) and its critical frequency (foF2) at Sata (31.0° N, 130.7° E, modified dip angle (modip.) ~40.1°), Shigaraki (34.8° N, 136.1° E, modip. ~43.3°) and Rikubetsu (43.5° N, 143.8° E, modip. ~49.8°) in Japan during 2014-2015. We then compare airglow derived foF2 (foF2^{AIR}) with that of co-located ionosonde for the first time to explore the trustworthiness of this technique. On individual nights, we performed one-to-one comparison using pure visualization and relative deviation module mean technique. We then examined the percentage deviation of two measurements at different intervals in the night using entire database.

Results & Conclusions:

At Sata, one-to-one comparison suggests a good to reasonable agreement between two measurements only in ~12 % of the nights, and the two measurements are generally in poor agreement at all the three stations. We noted an inverse relationship between their deviation and the value of foF2^{ION}. A good to reasonable agreement was seen when foF2^{ION} higher than ~8 MHz. When foF2^{ION} was less than 6 – 7 MHz, the deviations exceeded ~41%. Sata wherein the ionosonde station lay the closest (~24 km) showed better agreement in comparison to those noted over Shigaraki and Rikubetsu (~325 and 245 km, respectively). This indicates the importance of limiting the comparison to airglow and ionosonde stations almost co-located like Sata and Yamagawa. Based on scatter-plots of the correspondence between foF2 and $\sqrt{I_{777.4}}$, we determine new empirical coefficients of the linear relationship between foF2 and $\sqrt{I_{777.4}}$ for $I_{777.4}$ ranging between 6 and 22 Rayleigh and Nm higher than $\sim 1.8 \times 10^{11} \text{ m}^{-3}$. Scatter plot analysis suggests (i) an enhanced contribution of ion-ion recombination to OI 777.4 nm emission intensity, and (ii) the possible contamination due to Q-branch lines of OH (9,4) Meinel bands. We noted the nocturnal and seasonal variation of discrepancies. An important assumption while formulating these empirical equations was that the state of the ionosphere is well-defined by the Chapman's function [Makela et al., 2001] which may not be true depending upon the time, season and location. Ambipolar diffusion above the F-layer peak and both the production and recombination rate below its peak determine the ionospheric plasma density profile. As such temporal, seasonal and spatial deviation from this standard ionosphere will lead to discrepancies between the two measurements. Scale-height of neutrals, plasma, ions

and electrons significantly define the shape of the electron density profile. Makela et al. [2001] used a constant scale height (that of atomic oxygen viz. ~50 km) in their empirical formulations. However, due to ambipolar diffusion, the plasma density decreases exponentially with altitude with the plasma scale height [viz. $k(Ti+Te)/mg$], which is almost twice of the neutral scale height during nighttime. Below the F-layer peak, the recombination rate decreases with the scale height of NO and O₂. And the scale heights above and below the F-layer peak are different. We noted an increase of discrepancies as the night progressed. During the night, temperature decreases and so does the scale-height, and could possibly be linked to an increase in discrepancies with time. Seasonal variation of discrepancies indicates lower deviations during the spring-summer months and the highest deviations during winter. Again, plasma temperatures are higher in summer than in winter; thus, scale-height is comparatively higher in summer and its variations during different seasons could be reason behind the seasonal variability of discrepancies. We have not taken into consideration the complex ionospheric chemistry involving ions, electrons and neutrals that lead to the charge exchange, ion-ion recombination, dissociative recombination, quenching of the excited states by neutrals, etc.. These limitations need to be addressed for a potential reevaluation and use of this technique to study the ionosphere.

Periods of stay in ISEE: 15th January – 30 March 2019

List of publications:

Based on this study, the following draft has been finalized for submission:

Statistical comparison of foF2 inferred from OI 777.4 nm emission intensities with the co-located ionosonde measurements in Japan

(Navin Parihar¹, Kazuo Shiokawa², Sandro M. Radicella³, Yuichi Otsuka², Takuya Tsugawa⁴, Bruno Nava³, Yenca Olivia Migoya Orue³)

¹Indian Institute of Geomagnetism, Navi Mumbai, India; ²Institute for Space-Earth Environmental Sciences, Nagoya University, Nagoya, Japan; ³International Centre for Theoretical Physics, Trieste, Italy; ⁴National Institute of Information and Communications Technology, Tokyo, Japan

Future Work:

Based on the success of the above-mentioned study, the following research problem has been undertaken:

Airglow derived Total Electron Content (TEC) and its statistical comparison with GPS measurements

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

Anukul Buranapratheprat (Burapha University)

Background

The harmful algal bloom (HAB) of green *Noctiluca scintillans*, a dinoflagellate containing a symbiotic green algae named *Pedinomonas noctilucae*, frequently occurs in the Gulf of Thailand nowadays. *N. scintillans* in high density can change seawater color from deep blue to dark green. It is often reported with fish kills due to hypoxia and tourism disruption due to dirty sea water and foul odor. Although the bloom is supposedly related to eutrophication and climate change, little is known about the mechanism of the blooms. It is necessary to understand the behavior of green *Noctiluca* bloom and other HAB species in the Gulf of Thailand to minimize the problems affecting coastal ecosystems and human well-being.

Purposes

1. To investigate the physical, biological, chemical, and optical properties of the green *Noctiluca* bloom and other species blooms.
2. To examine the performance of detecting green *Noctiluca* bloom on satellite ocean color data.
3. To investigate the transport of the green *Noctiluca* blooms.

Methods

Field observations near the main river mouths in the Gulf of Thailand were conducted in the northeast and the southwest monsoon season during July - August and December 2018, respectively. The RAMSES hyperspectral radiometer (320 nm - 950 nm) was used to measure remote sensing reflectance (R_{rs}) at the sea surface to investigate the spectral characteristics of phytoplankton blooms considering with chlorophyll-a, phytoplankton pigment composition and absorption. Satellite data were retrieved within ± 24 hrs. time difference from the sampling periods to examine the boundary of green *Noctiluca* blooms. Sea surface temperature, salinity, dissolved oxygen, pH, and transparency were also measured to understand the environmental conditions of the occurrence.

Results

The super bloom of green *Noctiluca* occurred along the north-eastern coast of the upper Gulf of Thailand between the end of July to the

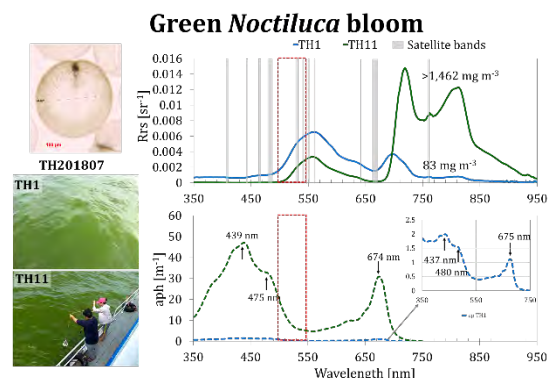


Figure 1 Remote sensing reflectance and absorption coefficient of green *Noctiluca* blooms during field observation in July 2018

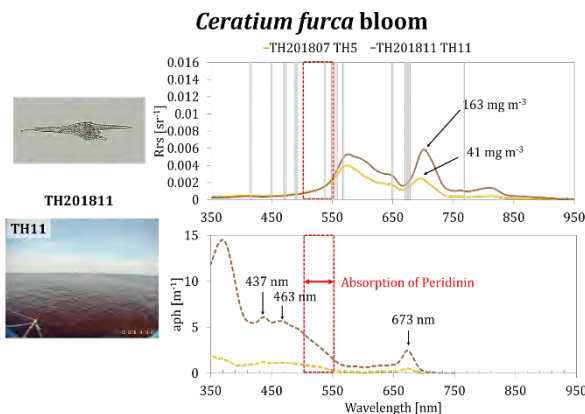


Figure 2 Remote sensing reflectance and absorption coefficient of *C. furca* blooms during field observation in November 2018

early of August 2018. *In situ* R_{rs} spectra of the high cell density ($>1,500,000$ cell L^{-1}) revealed that the R_{rs} was relatively low reflectance in blue wavelength (350 – 500 nm) and extremely high in red to near-infrared (NIR) wavelengths in the region from 700 nm to 900 nm (Figure 1). The rise of R_{rs} in the NIR bands, possibly caused by high content of suspended particulates (i.e., green *Noctiluca* cells), affects the criteria of satellite pixel removal. Those pixels will be

masked based on the maximum iterations of NIR algorithm and atmospheric correction processing.

Dinoflagellate *Ceratium furca* blooms were found to occur in both surveys near the Tha Chin River mouth (the west of the central coast). R_{rs} spectra of the *C. furca* blooms between 500 nm and 550 nm were lower than the spectra of green *Noctiluca* blooms (Figure 2) due to high absorption of peridinin, a specific accessory pigment of dinoflagellates. These crucial features would be used as a criterion to develop the algorithm to distinguish green *Noctiluca* from other species in the future work.

Simulated surface circulation during field observations (Figure 3) is used to explain the distribution and accumulation of green *Noctiluca* or *Ceratium* blooming. Extremely strong

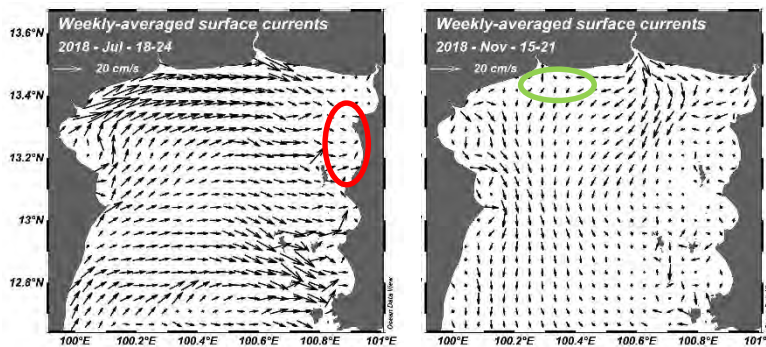


Figure 3 Simulated surface circulation during field observations in the northeast and the southwest monsoon season during July and December 2018, respectively.

Noctiluca bloom near the east coast in July (red circle in Figure 3) occurred because of surface advection from high cell density water located in the middle of the north coast and surface convergence near the east coast. *Ceratium*

blooming near the Tha Chin River mouth (green circle in Figure 3) was located where the influence of river discharge was high and water salinity was low.

Periods of stay in ISEE: 8th – 14th March 2018

List of publications: none

Origins of Eruptive and Other Solar Flares as Diagnosed with Energetic Electrons

Nariaki Nitta (Lockheed Martin Advanced Technology Center)

The main purpose of this proposed investigation is to understand the eruptivity of solar flares in terms of the observed signatures of nonthermal electrons. Solar flares may be associated with different types of eruptions that may produce shock waves or compression regions that are responsible for particle acceleration. Without apparent eruptions, however, electrons are accelerated presumably in magnetic reconnection, producing hard X-ray emission through interaction (bremsstrahlung) with ambient ions (mostly protons) especially from the footpoints of the reconnected loops. Away from the Sun, typically at 1 AU, electrons are observed in situ, in similar energy ranges to those that emit hard X-rays. It is those electrons that can be traced back to eruptions in the solar corona, where we also observe radio bursts. In particular, type II radio bursts signify shock or compression waves, likely related to coronal mass ejections, and type III bursts result from electrons escaping along open field lines that may delineate jets and narrow CMEs.

We have studied a handful of flares that show different eruptive activities (including apparently non-eruptive flares) as found in EUV coronal and white-light coronagraph images. Their hard X-ray spatial and spectral properties were analyzed with RHESSI data, in comparison with Nobeyama Radio Heliograph data when available. To probe their origins further, we also studied magnetograms, magnetic field extrapolations and even numerical simulations. We discussed the possibility of electron acceleration in CME-driven shocks with an emphasis of shock geometry and threshold energies. Lastly, we tried to evaluate the magnitude of CMEs en route to near-Earth space using IPS data. As of writing this report, we are still interpreting what the analysis so far conducted tells us. There was at least one interesting event in our list, which launched a geoeffective CME with a clear flux rope, produced both relatively strong hard X-ray emission and in situ protons and electrons. But this event occurred in an environment where the magnetic field was not strong enough for extrapolations to produce meaningful results. We plan to continue this collaboration, including attempts to use different magnetic field models, until a few papers are published, hopefully within this year.

The PI, Nariaki Nitta, made two trips to Japan, October 13-24 and December 5-18, 2018, and

worked with the Japanese collaborators at ISEE, Kyoto University, ISAS and University of Tokyo. He is grateful to the host, Prof. Masuda, for his hospitality during his stay at ISEE, where he also benefited from discussion with Prof. Kusano, Prof. Leka, Prof. Iwai, Dr. Inoue, Dr. Park, Mr. (now Dr.) Muhamad, Ms. Lin, etc.

New radar method to observe thermospheric neutral density

Prof. Michael Kosch (South African National Space Agency)

Prof. Kosch visited ISEE from 19 November to 7 December 2019 for 4 weeks. He was hosted by Prof. N. Nishitani. The purpose of the visit was to further analyze radar data for a “New radar method to observe thermospheric neutral density” that was developed theoretically using the ion-momentum equation by Prof. Kosch for the SuperDARN coherent-scatter radar observing perpendicular to the magnetic field line. A similar approach had previously been successful and published using the EISCAT incoherent-scatter radar observing parallel to the magnetic field line.

The main activity at ISSE was: (a) selecting a data set from the Syowa radar (completed, selected 00-04UT 25/03/2017), (b) performing the spectral analysis on the EISCAT Dynasonde data to find atmospheric gravity waves (completed, 1.3 milli-Hertz waves found), (c) including the Horizontal Neutral Wind (HWM) model data into the calculation of thermospheric neutral density for the Hankasalmi and Longyearbyen radars (now completed), (d) finding and reading papers on heat flux for the theoretical development (now completed), and (e) writing the manuscript for publication (half completed).

Outstanding tasks include: (a) Performing the spectral analysis on the estimated thermospheric neutral density variability (currently underway), (b) analyzing the Syowa radar data set at both high (0.1s) and low (1s) temporal resolution, and (c) completing the manuscript. These tasks are expected to be completed in May 2019.

Prof. Kosch has presented at conferences on this research topic before, during and after his stay at ISEE (see report form 2-1). He also presented at a research seminar at ISEE on sprites (see report form 2-1). A publication is half written and will be completed for publication (target is May 2019) when the spectral analysis is completed and the analysis of the Syowa radar data is completed.



Development of new and improved front end electronics for the SciBar Cosmic Ray Telescope.

Jose Francisco Valdes Galicia (Instituto de Geofisica, UNAM)

The SciBar Cosmic ray telescope (SciCRT) is installed on the top of the Sierra Negra volcano, in Mexico, with the main goal of observing solar neutrons to investigate the ion acceleration process during solar flares and cosmic ray muons to detect possible anisotropies due to solar interplanetary phenomena. The SciCRT uses scintillator bars to record both energy deposited and direction of the incoming particles with high resolution. The original Data acquisition system for the telescope does not meet the specific requirements for our goals and therefore, to achieve the full performance of the SciCRT as a Cosmic ray detector we need to develop new front end electronics with the following requirements:

- Increase the maximum transfer rate for ADC data read from multi-anode photo-multiplier MAPMT.
- Optimize the system to operate on severe environment conditions (4600 m above sea level).

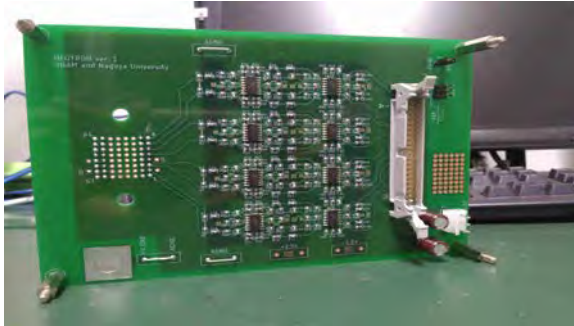
During the period of the stay, from July 23 to September 20, two students from UNAM worked on the design, construction and testing of a prototype version of the front end electronics, capable of reading 16 channels from one 64 channel MAPMT. This work is a joint research between UNAM and ISEE.

The design required the detailed simulation of the process of signal formation in the detector; for this goal Geant4 and other custom made software were used. Following the results of the simulation, the design of preamplifier circuits and system for distributing power supply in the SciCRT with other complementary circuits were done.

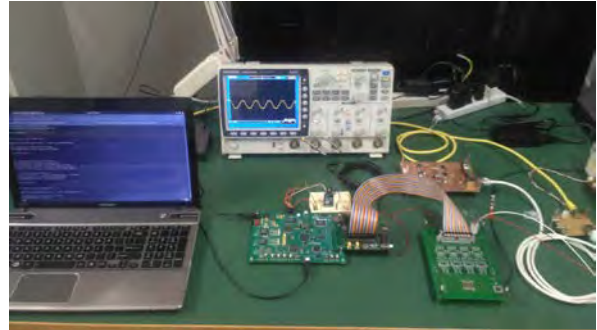
Some of the circuits were built at ISEE with help of technical staff, but the more complex circuit, the preamplifier board, was sent to a special company for manufacture.

Following the construction of the modules, we proceed with the testing. For this purpose, the students worked in the Cosmic ray laboratory at ISEE. The test of the modules was performed using one LED and one 64 MAPMT inside a dark box.

In the figures below it is shown the module built and the setup for testing.



Preamplifier board

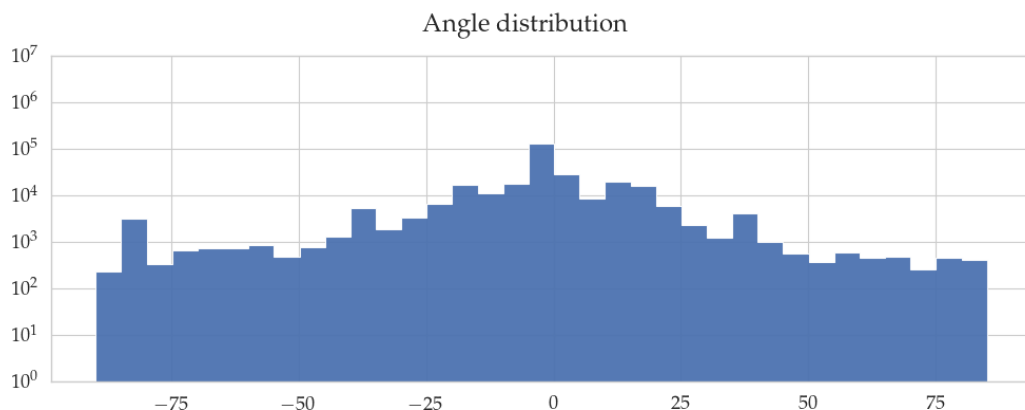


Setup for testing

The testing of the modules was successful and with this We achieve the final goal of our stay. We are now working on a full system for reading all the signals from the MAPMT and on a publication describing in detail the operation of the new system.

Aside from the work on the electronics, the students worked in the analysis of neutral particle data from the SciCRT. In general, they worked on a method to determine the incident angle distribution from the data using the Fourier transform. This method is useful to study the occurrence of a solar neutron events by analyzing if the incident angle distribution corresponds to the direction of the sun.

The following figure shows the corresponding angular distribution from neutral particle data obtained on November 14 2017. In this period of time we do not expect any excess related to Solar neutrons. Therefore the shape of the distribution corresponds to the expected shape from incoming incident radiation without any preferent direction.



Study of coronal magnetic fields from the joint observations of MUSER and NoRH

Baolin Tan (NAOC)

Please write your research summary including purpose, methods, and results, periods of stay in ISEE, and list of publications in maximum two pages.

Summary:

During this joint collaborating year, we mainly have done the research of coronal magnetic field diagnostics from the observation of MUSER and NoRH, especially on the theoretical analysis to derive the magnetic parameters from the solar radio observation parameters and other important issues in solar physics. We finished two papers and submitted to ApJ under review, and one paper is under preparing.

We have adopted the NoRH imaging observation to analyze the small bright points of a prominence on the microwave images in a flare event, and proposed that the small microwave bright points should be related to the small-scale energy releasing in the magnetic flux rope by kink instability. The result has been submitted to ApJ and is under the second review.

Another work is about the quasi-periodic pulsation (QPP) before and during a solar flare observed by MUSER and NoRH images and EUV intensity of AIA/SDO. In this work, we found that the period of QPP shifted from about 3 minutes in the preflare phase with EUV emission mainly in the edge zone to near 2 minutes during the flare impulsive phase with radio emission mainly the flare source region. These two QPP regions are connected by large coronal loops. We interpreted the results from LRC-model and proposed that the electric currents occurred in the active region before the onset of solar flare, which might play a key role to trigger the origin of solar flare.

Additionally, we also adopt the observations of the Japanese radio telescope IPRT (Iitate Planetary Radio Telescope) to study an event of radio spike burst group following a type III burst which occurred just at the beginning of a solar flare. This work is continued now.

Periods of stay in ISEE

We have two members visited ISEE of Nagoya University under the support of joint project:

(1) Prof. Baolin Tan, visiting ISEE during January 7-25, 2019

(2) Dr. Chengming Tan, visiting ISEE during January 31 – February 12, 2019.

Our Japanese Collaborating colleagues (Satoshi Masuda and Kyoto Shibasaki, and Tomoko Kawate, Ayumi Asai, Kyoko Watanabe) have visited the Mingantu Observing Station of NAOC during October 7-12, 2018. They have visited the new generation Chinese Spectral Radioheliograph arrays, and discussed the details of the observation data, and make two presentations to our Chinese colleagues.

Publications:

- (1) Huang J., Tan B.L., Masuda S., Cheng X., Bisoi K.S., & Melnikov V., The localized microwave and EUV bright structures in an eruptive prominence, *ApJ*, under 2nd review
- (2) Tan B.L., Chen N.H., Yang Y.H., Masuda S., & Misawa H., The solar radio spike bursts following a type III burst in an X1.3 flare on 2014 April 25, under preparing.
- (3) Chen X.Y., Yan Y.H., Tan B.L., Huang J., Wang W., Chen L.J., Zhang Y., Tan C.M., Liu D.H., Masuda S., Quasi-periodic pulsations before and during a solar flare in AR 12242, *ApJ*, under 2nd review.

Presentations:

- (1) Tan B.L., Solar radio spectral fine structures and diagnostics of nonthermal processes, Seminar in ISEE, Nagoya University, 21/01/2019
- (2) Masuda K., Purely nonthermal solar flares observed with Nobeyama Radioheliograph, Mingantu Observing Station of NAOC, 09/10/2018
- (3) Shibasaki K., Magnetic moment of thermal plasma: revisiting the Bohr-van Leeuwen theory, Mingantu Observing Station of NAOC, 09/10/2018
- (4) Masuda S., Quarter Century of Nobeyama Radioheliograph and Its Contribution to Space Weather Research (invited talk), AP-RASC 2019, New Delhi, India, March 9-15, 2019

Please use A4 paper (210 x 297 mm) with margin (top and bottom 20 mm, left and right 20 mm).

Data-Constrained and Data-Driven Simulations of Active Region

Eruptions and Time-Dependent Topology Analysis

Antonia Savcheva

(Smithsonian Astrophysical Observatory, 60 Garden st., Cambridge, MA 02138, USA)

Understanding the magnetic field structure, stability, and loss thereof of large-scale sheared and twisted magnetic fields in the solar atmosphere can prove critical to increasing our insight into the triggers and drivers of large space-weather events. It has been known that one option for producing filaments in the solar atmosphere is to collect cool chromospheric material in the dips of the twisted field lines of a magnetic flux rope. Since its field is twisted and sheared it is highly non-potential and hence great for storing magnetic free energy, which can be released to power an eruption like a coronal mass ejection (CME). Filaments have been observed in the solar atmosphere as dark features on a bright background from the smallest scales (at the bases of coronal jets) to the largest polar crown quiet sun filaments that can span more than one diameter of the solar disk out of the active region band.

In this collaboration we will model large active region filaments at the base of sigmoidal active regions since Inoue's MHD code is still Cartesian and is yet impossible to capture large-scale quiet sun filaments and properly model their 3D coronal magnetic field and its evolution toward eruption. We will analyze the topology and stability of the magnetic configuration and their evolution from formation to eruption for famous SDO and Hinode event of Sept 06, 2017. If Inoue's MHD code is extended to spherical geometry NLFFF models exist for two large quiet-sun filaments that erupt as CMEs (12 March 2012 and 19 April 2015) that can be used as initial conditions in the simulation. The challenge with modeling such events is that a precursor to the CME is rarely seen except when the filament is seen along its axis on the limb of the sun in EUV or X-rays and shows up as a tear-dropped cavity. The same inference has been made for active region flux ropes. Savcheva et al. (2012a, b, 2015, 2016) showed that an inverted-teardrop shaped cross section to active region flux ropes is a precursor to CMEs in several modeled sigmoids. On the underside of this inverted tear-drop shape of the current cross section of the flux rope we find a place, where reconnection can take place and can facilitate an eruption, i.e. a topological feature called a hyperbolic flux tube (HFT, Titov et al. 2002) – reminiscent of a generalized X-line in 3D.

In order to model these filaments over their evolution we will use the flux rope insertion method of van Ballegoijen (2004) (details of the current method are given in Savcheva & van Ballegoijen 2009, Savcheva et al. 2012, 2016). The method consists in creating a potential field

extrapolation based on a LoS magnetogram and inserts flux ropes following the path of an observed filament in AIA 304A or 171A. Since we have no prior information on the poloidal and axial flux in the flux rope, we create a grid of models with different combinations of poloidal and axial flux, and let each model relax to a force-free equilibrium state by magnetofriction. The best fit model is chosen based on comparison with suitable loops, or the shape of the filament cavity at different moments in time. The group at the CfA has successfully modeled more than 20 regions using this most highly data-constrained method. The Sept, 2017 event has already been modeled by Inoue's NLFFF method, so a comparison between the two methods will be made. From the best fit-model at a given time we can estimate the free energy and helicity, poloidal and axial flux in the flux rope. Using our brand new unprecedentedly fast 3D magnetic topology tools (Tassev & Savcheva 2017, 2019) we will determine the axis of the flux rope, the distribution of twist, the boundaries of the flux rope, and the locations of any places where the flux rope is connected to the photosphere at a bald patch separatrix surface (BPSS; Titov et al. 1993) or probable sites of reconnection such as the locations of any null points or HFTs. Based on the 3D magnetic field information we can analyze the stability of the flux rope to kink and torus ideal MHD instabilities, which have been hypothesized to be essential in producing CMEs. In addition we will finish modelling the rest of the CMEs in the Feb 2009 region from the previous years of the project and integrate them in one study of how the parameters of the different consecutive eruptions evolved as the region kept rebuilding itself. This will be the final publications in a series of three that will be the culmination of the study of this region.

In addition we will finish modelling the rest of the CMEs in the Feb 2009 region from the previous years of the project and integrate them in one study of how the parameters of the different consecutive eruptions evolved as the region kept rebuilding itself. This will be the final publications in a series of three that will be the culmination of the study of this region. We also plan a collaboration with Toriumi-san (ISAS), where he produces initial conditions for Inoue-san's MHD code with his flux emergence codes in variety of configurations and use the MHD code to further follow the dynamics to see which of these configurations are stable and which are not. Savcheva will apply the 3D topology toolkit at each time step of these simulations to shed important understanding on the importance of topology in loss of stability.

Visit schedule:

The visits of Savcheva to Nagoya University from Boston, MA, USA are requested to be covered by the present collaboration proposal. We plan two visits – one 3 week visit in the fall (Sept-Oct 2019) with one week to visit ISAS for collaboration with Toriumi-san, and one 2 week visit in the spring (Feb-March 2020), during one of the weeks Savcheva will be accompanied by her Ph.D. student, who will assist in NLFFF modeling and topology analysis.

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

(所属・職名は平成31年3月現在)
(Affiliation and Department are correct as of March 2019)

研究代表者 Principal Investigator	所属機関 Affiliation	職名 Position	研究課題名 Project Title	頁 Page
Ilya Usoskin	University of Oulu	Professor, Vice-director of ReSoLVE Centre of Excellence	Extreme solar events: How hostile can the Sun be?	88
Mark Cheung	Lockheed Martin Solar & Astrophysics Laboratory	Staff Physicist	Data-Driven Models of the Solar Progenitors of Space Weather and Space Climate	90
Kanako Seki	University of Tokyo	Professor	International workshop on relations between solar evolution and atmospheric escape from terrestrial planets	92

Extreme solar events: How hostile can the Sun be?

Principal Investigator: Ilya Usoskin (University of Oulu)

Co-investigator and host: Fusa Miyake (ISEE)

The Sun sporadically produces energetic eruptive events, which provide an essential insight into physics of astroparticle acceleration in conditions unreachable in vitro. Moreover, they may affect Earth and form an important hazard for our technologically developed society. Space-based technologies, such as navigation, communication, remote sensing, etc. are vulnerable to the effects caused by such events, which can have dramatic consequences. Although we have quite an extensive dataset of direct data for the last decades, it is still insufficient to address open questions related to extreme solar eruptive events: what is an extreme solar event? How strong can it be? How often do they occur? What can be the worst-case scenario for such an event? These questions were addressed during an ISEE workshop "Extreme solar events: How hostile can the Sun be?" which took place at ISEE during the period of 02 – 06 October 2018 hosted by Dr. Fusa Miyake.

An international team of world-top experts from the relevant research fields (M. Baroni, France; E. Cliver, USA; C. Dyer, UK; H. Hayakawa, Japan; T. Jull, USA; K. Kusano, Japan; H. Maehara, Japan; F. Mekhaldi, Sweden; F. Miyake, Japan; M. Oinonen, Finland; D. Sokoloff, Russia; S. Poluianov, Finland; E. Rozanov, Switzerland; I. Usoskin, Finland; L. Wacker, Switzerland; F. Wang, China) were gathering for the round-table discussion and open-mind brainstorming.

Specific focus areas were:

- Statistic of direct information obtained for the space era using ground-based and space-borne detector over the last decennia.
- Historical (archival) data on extreme solar events in the past.
- Proxy-based data of cosmogenic isotopes (^{14}C recorded in tree rings, as well as ^{10}Be and ^{36}Cl measured in polar ice cores) covering the period of the Holocene (the last twelve millennia).
- Development of models of energetic particle acceleration and transport in the Heliosphere, magnetosphere and atmosphere.
- Statistical properties and probability density function of the extreme event occurrence.
- Estimate of the mean flux of solar energetic particles on the million-year using data on cosmogenic isotopes from lunar rocks.

- Possible consequences of solar extreme events for the modern technological society.

The workshop was organized as a series of review talks presenting the current state of the art, followed by discussions and brainstorming. The final day of the workshop was devoted a discussion of a planned joined publication. During the second day of the workshop, a visit to the ISEE facilities, including the AMS was organized.

As a result, a joint strategy in studying extreme solar particle events has been developed. It was noted that presently there is no overview publication related to this topic, and it was decided to write a joint edited book on the topic of extreme solar events and their consequences, where individual sections are written by experts. The book entitled “Extreme Solar Particle Storms: The hostile Sun” is in preparation now for the IOP (Institute of Physics) publisher (the book contract is signed), with the book delivery deadline in June 2019. The book will contain nine Chapters (Introduction; What can be learned from the modern data? State-of-the-art theory and modelling; Cosmogenic isotopes as proxy for solar energetic particles; Measurements of radionuclides; Characterisation of the measured events; Further search for extreme events; Possible impacts; Concluding remarks).

Overall, the workshop can be regarded as highly successful and leading to a community-wide coordination of efforts in the study of extreme solar events and their possible consequences. This has not only purely academic but also important societal and technological outputs.

International Workshop on Data-Driven Models of the Solar Progenitors of Space Weather and Space Climate

Mark Cheung (Lockheed Martin Solar & Astrophysics Laboratory)

Research Summary

The increasingly dense observational coverage of the solar atmosphere has led to many important insights into the origins of solar activity. At the same time, the increasingly sophisticated numerical models of the interaction between plasma and magnetic fields have provided important lessons on the basic physical mechanisms underlying the observed behavior. State-of-the-art magnetohydrodynamics (MHD) models are now capable of yielding observational diagnostics that are in general agreement with observations (Cheung, Rempel et al. 2019). Yet, if we wish to apply these lessons to forecasting space weather and space climate, many challenges remain. First of all, even with the aforementioned advances in MHD modeling, there remains a wide gap between numerical models and reality as revealed by observations. As observational capacity – in terms of spectral, temporal and spatial coverage – improves, so do the number of observables not explained by the current generation of models. One possible reason is the lack of certain physical ingredients in the models. In this ISEE/CICR International Workshop (November 6th to 9th 2018), we address the key problems remaining in using observational data to constrain and to drive MHD models of solar eruptions.

Before the workshop, participants were briefed on a preliminary set of scientific and technical questions on the topic. Case studies (e.g. NOAA Active Regions 12017 and 12673) were chosen and data sets pertaining to the case studies were curated and shared with the participants. The workshop was scheduled such that mornings were reserved for presentations, and afternoons reserved for data analysis, coding and discussion among small teams. Participants were required to discuss their findings from the previous afternoon of work.

Several new projects resulted from the discussions at this ISEE/CICR Workshop. One example project is led by participant Toriumi, who provided horizontal slices of MHD data to several modelers (Cheung, Inoue, Jiang) for setting boundary conditions of their models. This “hares and hounds” exercise allowed the team to assess the reliability of the models. Dr. Toriumi presented his preliminary findings at the Annual Meeting of the Astronomical Society of Japan in March 2019.

Another new project started between Prof. Kusano with Cheung, Sun and Chintzoglou. Cheung, Sun and Chintzoglou provided a sequence of 3D coronal field models to Prof. Kusano in order for him to test his theory of the double-arc instability (Kusano & Ishiguro 2017). They had a follow-up meeting about this work in December at the American Geophysical Union meeting in Washington DC. Results from this collaboration were presented at the Flux Emergence Workshop held at the University of Tokyo in March 2019.

Park and Sun compared estimates of the (cumulative) helicity flux in the flare productive Active Region 12673 and found discrepancies between estimates from different methods. As a result, Sun has started a collaboration with Pete Schuck (NASA, not at this workshop) to include Doppler velocity measurements in the DAVE4VM algorithm, which is expected to make a difference for regions such as AR 12673, which fast Doppler flows near the polarity inversion line.

Sun and Danilovic started a collaboration to examine ground-based observations of Active Region 12673 taken by the Swedish Solar Telescope. They will study the magnetic field and Doppler velocity flows near the polarity inversion line before the X9 flare on Sep 9th 2017.

As a result of the discussions between participants Rempel, Fan, Cheung, and Sun, they have proposed a new multi-year project to the NASA DRIVE Initiative. The proposed work tackles some of the challenges of data-driven modeling recognized at the ISEE/CICR Workshop.

One stated intended outcome of this ISEE/CICR Workshop is to train early space weather researchers at Nagoya University in the techniques of data-driven MHD simulations. Judging by the active participation by Prof. Kusano and Drs. Inoue, Kaneko, Iijima and Park and Takasao, this goal has been provisionally achieved.

Finally, it is worth pointing out our workshop took place in November 2018, which is relatively late in the Japanese fiscal year. We foresee more publications resulting from this effort appearing in late 2019 and in 2020. The participants and co-Chair Cheung thank ISEE and Professor Kusano for supporting this workshop. Participants acknowledge travel support from the ISEE. Due to the relatively large size of this team, Cheung's NASA grant "Physics and Diagnostics of the Drivers of Solar Eruptions" partially funded travel support for some US-based team members.

International workshop on relations between solar evolution and atmospheric escape from terrestrial planets

Kanako Seki (Graduate School of Science, University of Tokyo)

Venue: Higashiyama Campus of the Nagoya University
<http://en.nagoya-u.ac.jp/access/>

Dates: March 26 (Tue) – 29 (Fri), 2019

Scope of the Workshop:

Solar radiation and solar wind, which are energy sources of various phenomena occurring in the Sun-Earth system, are thought to have changed with the evolution of the Sun. It is predicted from the evolution model of the solar-type stars that the solar radiation in the visible band was fainter in the past than in the present day, as is known in the so-called "faint young sun paradox". On the other hand, it is inferred that the solar radiation in the higher wavelength bands such as UV, EUV, and X-ray, which greatly influence the upper atmosphere and the space environment around planets was stronger than in the present. For example, it is pointed out that EUV radiation of 4 billion years ago was about ten times as much as present [e.g., Ribas et al, 2005]. As for the solar wind, which is the mass release from the sun, there is an estimate that the mass release rate was higher until about 3.8 billion years ago, and the mass release rate before that was about 100 times larger than in the present [eg., Wood et al., 2005]. However, uncertainty is not small in these estimates.

It has been pointed out that such strong EUV radiation from the sun and solar wind caused heating and expansion of the upper atmosphere and massive atmospheric escape from the early planets [e.g., Terada et al., 2009]. However, dependence on solar radiation and solar wind parameters are significant, and it is necessary to reduce the uncertainty of parameters of solar evolution when actually applied to a planet in the solar system including Earth. For example, recent research indicates that ancient Mars had a humid climate and a habitable environment about 4 billion years ago, but now it has only a thin atmosphere and a cold dry climate. The idea that such drastic climate change is caused by atmospheric escape to outer space is considered promising, but its concrete mechanism is far from well understood.

In this workshop, we invited researchers from the fields of solar evolution and the solar-planet interaction system ("planetosphere") to discuss thoroughly for 4 days on the latest research results on the evolution of the sun and the atmospheric escape from terrestrial planets. The objective of the workshop is to clarify the fluctuation range of atmospheric escape and its influence on planetospheric environment due to the uncertainty of understanding of solar evolution. Here we

particularly focus on Mars, where new atmospheric escape observations are accumulated by MAVEN and other satellites.

In order to achieve the above objective, this workshop invited experts in evolution of stellar magnetic fields closely related to EUV radiation and stellar wind evolution. Based on the latest understanding of the solar evolution research, we will select several patterns of possible 4 and 3.5 billion years ago EUV radiation and solar wind conditions. For planetosphere researchers, we invited experts from three research groups that conduct studies of atmospheric escape, especially by global simulations of the solar wind-Mars interaction. We will conduct global simulations of Martian atmospheric escape using different methods (multi-species MHD, multi-fluid MHD, and hybrid). Based on comparison with the simulation results, we will investigate the range of atmospheric escape in light of uncertainties in our understanding of solar evolution, and its influence on Martian environment. In the workshop, we defined the input parameters including solar conditions to the simulations in details based on interdisciplinary discussions. We will summarize the results in a joint research paper on relations between solar evolution and atmospheric ion escape from Mars, to be submitted to *Astrobiology*. In the workshop, we also invited three graduate students for the sake of education of young researchers.

Participants (Affiliation) and presented topics:

- A. Vidotto* (Trinity College Dublin) --- Evolution of the Solar-type star wind & radiation (with emphasis on EUV/XUV)
- Y. Masada (Aichi University of Education) --- Evolution of the Solar/Stellar magnetism
- T. Suzuki (University of Tokyo) --- Evolution of the Solar/Stellar wind
- H. Iijima (ISEE, Nagoya University) --- Solar/Stellar radiation from the viewpoint of radiative MHD simulation
- S. Imada# (ISEE, Nagoya University) --- Solar Terrestrial Environment 3.5 billion years ago: Faint Young Sun Paradox
- D. Brain# (LASP, University of Colorado, Boulder) --- Atmospheric escape processes from Mars
- K. Seki# (University of Tokyo) --- Effects of intrinsic magnetic fields on atmospheric escape from Mars
- S. Sakai (University of Tokyo) --- Effects of the IMF direction on atmospheric escape under a weak intrinsic magnetic field at Mars
- H. Shinagawa (NICT) --- Simulation of the ionosphere (with emphasis on solar and other input parameters)
- H. Nakagawa (Tohoku University) --- Habitability of Mars: Implication from Martian atmosphere observations
- N. Terada# (Tohoku University) --- Multi-species simulation of the atmospheric escape from early Mars
- Y. Ma* (UCLA) --- Multi-fluid simulation of the atmospheric escape from Mars
- S. Ledvina* (SSL, UC Berkeley) --- Hybrid simulation of the atmospheric escape from Mars
- R. Sakata (University of Tokyo) --- Effects of the intrinsic magnetic field on the ion loss from ancient Mars
- N. Yoshida (Tohoku University) --- Seasonal variation of the dayside N₂/CO₂ at 140 km altitude derived from MAVEN/IUVS
- Y. Nakamura (Tohoku University) --- Axisymmetric conductivities of Jupiter's middle- and low-latitude ionosphere: Implication for early Mars magnetosphere

* invited speakers, # SOC members

4. 一般共同研究 目次詳細

(所属・職名は平成31年3月現在)

研究代表者 Principal Investigator	所属機関 Affiliation	所属部局 Department	職名 Position	研究課題名 Project Title	頁 Page
湯口貴史	山形大学	理学部	講師	石英中のTi濃度の定量分析に基づく石英の結晶化プロセスの解明：遠野岩体と土岐岩体を例に	94
小元 久仁夫	元 日本大学	大学院理工学研究科・日本大学文理学部	元教授	ビーチロック試料の正確な膠結年代の決定方法	96
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	98
小島正宜	名古屋大学	(旧) 太陽地球環境研究所	名誉教授	惑星間空間シンチレーションを利用した太陽風研究	99
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	101
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	103
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3	105
佐藤陽祐	名古屋大学	工学研究科総合エネルギー工学専攻	助教	雲解像モデルを用いた雲エアロゾル相互作用の見積もり	107
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	太陽圏物理の総合的研究	109
渡邊恭子	防衛大学校	地球海洋学科	講師	白色光フレアにおける多波長放射スペクトルとその特徴	114
鷺見治一	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	116
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	118
後藤直成	滋賀県立大学	環境科学部	准教授	気候変動観測衛星 (GCOM-C) を利用した琵琶湖におけるクロロフィルa濃度の推定	120
岩崎杉紀	防衛大学校	地球海洋学科	准教授	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	122
村田 功	東北大学	大学院環境科学研究科	准教授	フーリエ変換型分光計で観測された大気微量成分の経年変動	124
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	126
尾形友道	海洋研究開発機構	アプリケーションラボ	研究員	赤道波動のエネルギー伝達経路の診断による熱帯気候の理解と海洋データの付加価値形成	128
宗像一起	信州大学	理学部	特任教授	高エネルギー銀河宇宙線の太陽圏モジュレーション	129

(所属・職名は平成31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
太田充恒	産業技術総合研究所	地質情報研究部門	上級主任研究員	Sr同位体分布図を用いた地殻表層物質の陸海域間の移動過程の解明	131
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	133
中田裕之	千葉大学	大学院工学研究院	准教授	火山噴火に伴う電離圏変動の解析	135
岳藤一宏	情報通信研究機構	電磁波研究所 時空標準研究室	主任研究員	Crabパルサーの長期変動モニターによる星間プラズマゆらぎの検出へむけて	137
エコ シスワン	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懸濁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	138
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	140
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	142
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	144
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 Sprey 測器の開発と海上観測試験	146
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な研究	150
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	152
山田広幸	琉球大学	理学部物質地球科学科地学系	准教授	琉球列島の地上レーダーと航空機を組み合わせた台風強度の最適推定方法の検討	154
野澤 恵	茨城大学	理学部	准教授	宇宙天気インタープリター養成のためのプログラム開発	156
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	158
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	160
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	161
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	163
久保勇樹	情報通信研究機構	電磁波研究所宇宙環境研究室	研究マネージャー	IPSデータを利用した太陽風予測シミュレーション	164

(所属・職名は平成31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
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	166
田中公一	広島市立大学	情報科学研究科	准教授	太陽圏における銀河宇宙線伝播の研究	168
中野佑樹	東京大学	宇宙線研究所	特任研究員	Super-Kamiokandeを用いた太陽フレア由来の ニュートリノに関する研究	170
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	172
能勢正仁	京都大学	大学院 理学研究科	助教	沖縄における誘導磁力計観測に基づく低緯度 Pc1地磁気脈動の解析的研究	174
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	175
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	177
Kyoung-Sun Lee	National Astronomical Observatory of Japan	Solar Science Observatory	Spatially appointed research staff (Project research fellow)	Statistical study on the energy transport process in solar flares using multi- wavelength spectroscopic observations	179
サレム イブラヒ ム サレム モハ メット サレム	東京大学	生産技術研究所	研究員	深層ニューラルネットワークと衛星データを用 いた湖沼・沿岸域の連続水質モニタリング	181
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	183
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	185
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	187
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	ひので・SDO衛星磁場観測データを用いた太陽 活動領域非線形フォースフリー磁場コードの開 発	189
松田昇也	宇宙航空研究開発機構	宇宙科学研究所	宇宙航空プ ロジェクト 研究員	あらせ衛星によるプラズマ波動伝搬特性の解明 と観測戦略立案	190
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	191
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	193
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	195
村田文絵	高知大学	自然科学系理学部門	講師	バングラデシュにおける長期の降水量変動 (1891-2016年)	197

(所属・職名は平成31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
鈴木 臣	愛知大学	地域政策学部	准教授	シングルボードコンピュータを用いた超小型大気光観測装置の開発	199
中北英一	京都大学	防災研究所	教授	Kaバンドレーダーを用いた積乱雲の生成・発達過程に関する研究	200
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	高ベータプラズマ中の運動論的不安定性による低周波波動励起	202
町田 忍	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授	2流体方程式系に基づくMMS衛星データの解析	203
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	沈殿法による水試料の放射性炭素分析法の信頼性	205
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	惑星間空間磁場朝夕成分に依存する夜側沿磁力線電流系の起源	206
津田卓雄	電気通信大学	大学院情報理工学研究科	助教	高エネルギー降下粒子が金属原子層・金属イオン層に与える影響	209
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	210
浅村和史	宇宙航空研究開発機構	宇宙科学研究所	助教	「あらせ」衛星および地上観測によるリングカレントイオンの散乱現象の解析	212
坂野井 健	東北大学	大学院理学研究科	准教授	衛星搭載イメージング可視・紫外撮像光学系の設計と開発	213
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	太陽フレアのリコネクション領域周辺における鉄イオン価数の調査と加熱過程⇒太陽フレアのリコネクション周辺領域における極端紫外線を用いたプラズマ診断	215
三澤浩昭	東北大学	大学院理学研究科	准教授	木星放射線帯長期変動要因の観測研究	217
竹内 誠	名古屋大学	大学院環境学研究科	教授	ジルコン U-Pb年代、Sr同位体分析による美濃・丹波帯堆積岩の地球化学的研究	218
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	220
苗村康輔	名古屋大学	博物館	特任助教	中央アジア造山帯から見つかった古いエクロジャイトの年代測定	222
実松健造	産業技術総合研究所	地圏資源環境研究部門 鉱物資源研究グループ	主任研究員	中国西チンリン造山帯Jiagantan金鉱床中のモナザイトCHIME年代測定	224
道林克禎	名古屋大学	環境学研究科	教授	海洋底橄欖岩と造山型橄欖岩の全岩化学組成の分析	226

石英中の Ti 濃度の定量分析に基づく石英の結晶化プロセスの解明：遠野岩体と土岐岩体を例に
Quantitative determination of Ti concentration in quartz giving crystallization process of quartz: An examples of Tono
and Toki granitic plutons

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

1. 研究目的

石英の結晶化プロセス推定は、カソードルミネッセンス (CL) 像およびチタン (Ti) 濃度を組み合わせる方法が提案されている (例えば, Drivenes et al., 2016). CL 像は, 結晶構造の乱れや結晶中の微量な不純物を反映するため, 結晶成長の様式を推定可能である. 石英中の Ti 濃度は, 石英の結晶化する温度に依存するため, 石英の結晶化温度の推定に利用できる (Wark and Watson, 2006). 石英に含有される Ti はごく微量で, 電子プローブマイクロアナライザ (EPMA) 分析での一般的な分析条件では定量が困難である. そこで前年度までの共同研究では, 名古屋大学・宇宙地球環境研究所 (ISEE) の EPMA を用いて, 石英中の Ti 濃度の高精度定量分析法の開発を行った.

これまでの石英の結晶化プロセス推定においては, 石英の形状や粒径などの記載岩石学的な情報と関連させた議論の例は少ない. そこで本年度の共同研究では, 遠野岩体と土岐岩体の試料に対して, CL 像解析および Ti 濃度定量の 2 つの手法に, 岩石記載の情報を組み合わせることで, マグマティックな石英の結晶化プロセスを解明し, 石英粒子同士の晶出順序に関する議論を行った.

2. 試料と研究方法 (使用した共同利用装置・施設)

本研究では, 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. 石英の CL 像取得は, 山形大学の SEM-CL を用いた. 石英中の Ti 濃度定量は, 名古屋大学 ISEE の EPMA (JXA-733) を用いた. Ti 濃度定量の分析条件は, 分光結晶 (PET) を Ti の検出に 4 つ割り当て, 加速電圧 15 kV, 照射電流 60 nA, ビーム径 20 μm , 1 回の測定時間を 200 s (ピーク: 100 s, バックグラウンド: 50 s ずつ) とし, 同一地点で 8 回 (計 1600 s) カウントした値を積算することにより 1 点の定量値を得る. また, 石英へのダメージのモニタリングのために, PET を 1 つ Si のカウントに割り当てた. この手法により, Ti の検出限界は 15 ppm, 分析値 16–472 ppm に対して誤差は 9–14 ppm の精度で定量値を取得することが可能となる. これは, 石英結晶内部の Ti 濃度の高精度な比較を可能にする.

3. 研究結果・考察

まず, 1 つの石英粒子で数点の Ti 定量を行い, CL パターンとの関係を考察した. その一例として, CL パターン C の石英 (サンプル No.26_Qtz01, 図 1) では, 明色部 (CL コア) で Ti 濃度が高く (170 ± 10 ppm), 暗色部 (リム) に向かうにしたがって Ti 濃度が低下する傾向を有する (最低濃度 27 ± 11 ppm). Wark and Watson (2006) の TitaniQ 地質温度計を用いて結晶化温度を算出すると, Ti 濃度が最も高い CL コアで 815 ± 21 °C, 最も低いリム地点で $611 \pm 54/42$ °C である. これは, 温度低下に従って, この石英の CL コアからリムへ結晶化したことを示唆する. また, CL の高輝度域で高い Ti 濃度を示すことを確認した.

次に, 粒径による Ti 濃度の相違を議論した (図 2). その結果, 比較的粗粒な石英ほど, CL コアにおいて Ti 濃度が高い傾向を有する. CL コアでの高い Ti 濃度は, CL コアが比較的高温で結晶化したことを示唆する. つまり粗粒な石英は, 細粒な石英に比べて先に晶出し, 結晶化時間も長いことを示唆する.

CL パターンと Ti 濃度の関係の議論を行った (図 3). その結果, オシラトリーゾーニングを持つ CL パターンの石英 (パターン A, B) は, Ti 濃度が比較的高い傾向を有する. このことから, オシラトリーゾーニングを持つ石英は, 他のパターンの石英に比べて先に晶出したことが示唆される

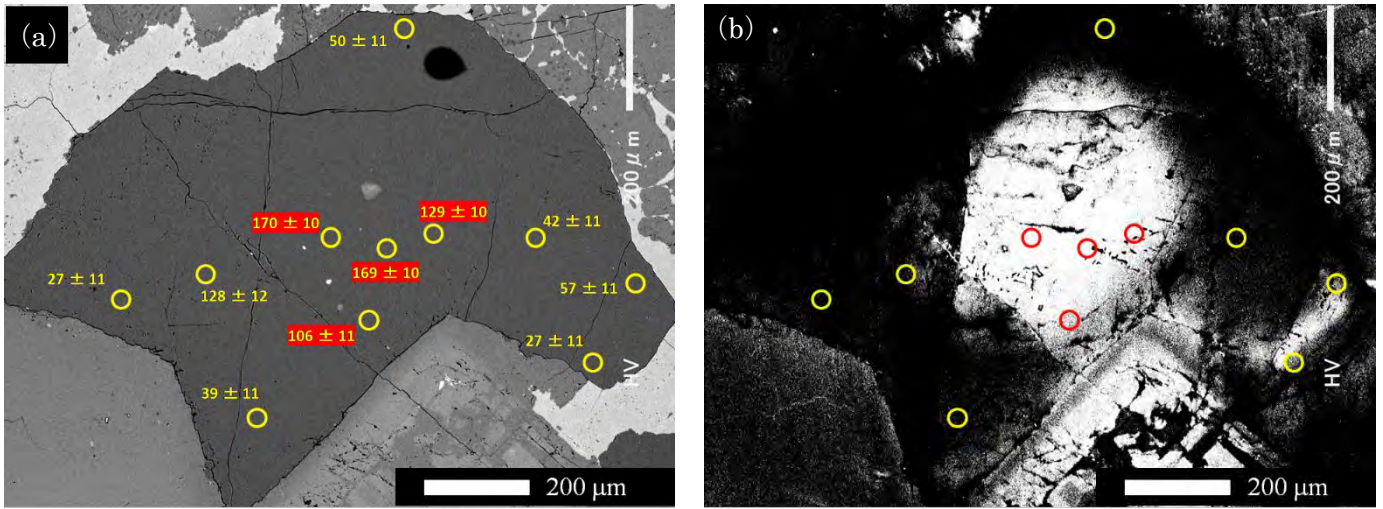


図1 1つの石英粒子内の Ti 濃度の比較

(a) BSE 像, (b) CL 像. 丸印は分析点を示す. それに伴う数字は Ti 濃度 (ppm) を示す.

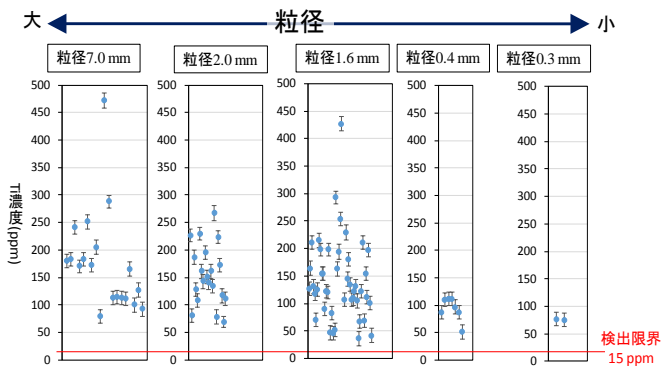


図2 粒径 (0.3 mm~7.0 mm) と Ti 濃度の関係

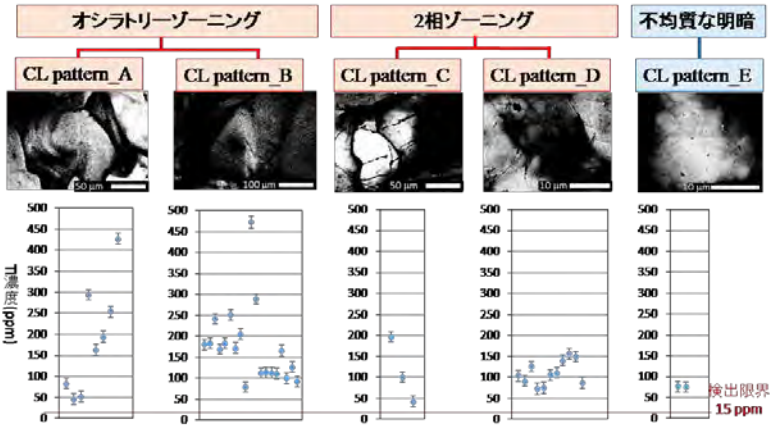


図3 CL パターン (パターン A~E) と Ti 濃度の関係

以上のことから、粗粒かつオシラトリーゾーニングを持つ石英は、マグマ溜り内の現象の温度(時間)変化をより幅広く捉えることを可能にする。今後は、取得したデータをもとに、公表論文の執筆を行う。

4. 引用文献

Drivenes, K., Larsen, R., Muller, A., Sorensen, B. (2016) Crystallization and uplift path of late Variscan granites evidenced by quartz chemistry and fluid inclusions: Example from the Land's End granites, SW England. *Lithos*, 252-253, 37-75.

Wark, D., Watson, E. (2006) TitaniQ: a titanium-in-quartz geothermometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 152, 743-754.

5. 成果発表 (当該年度に行った口頭発表)

- 小北康弘, 加藤丈典, 湯口貴史. カソードルミネッセンス像解析およびチタン濃度定量分析に基づく石英の結晶化プロセスの解明: 北上山地, 遠野複合深成岩体を例に. 日本鉱物科学会 2018 年年会, 山形大学, 9 月 19 日~21 日
- 小北康弘, 加藤丈典, 湯口貴史. 石英の内部構造解析および微量元素組成分析に基づく結晶化プロセス推定. 名古屋大学宇宙地球環境研究所 2018 年度年代測定研究シンポジウム, 名古屋大学, 1 月 31 日~2 月 1 日

ビーチロック試料の正確な膠結年代の決定方法

Development of Determination of Correct Concrete Age for Beachrock

小元久仁夫（元日本大学大学院理工学研究科・日本大学文理学部）

藁谷 哲也（日本大学大学院理工学研究科・日本大学文理学部）

塩見 昌司（日本大学生産工学部）

南 雅代（名古屋大学宇宙地球環境研究所）

1. はじめに

九州以南に発達しているビーチロック（海浜堆積物が海水や陸水中の炭酸カルシウムによって膠結されたもの）は潮間帯で形成されるため、その形成年代と標高は地殻変動や海水準変動を示す重要な指標となっている。ビーチロックの形成年代はこれまで堆積物から採取した貝化石やサンゴ化石などの ^{14}C 年代によって決定されてきた（例えば小元, 2005）。しかしその正確な形成年代は海浜堆積物を膠結した年代であり、膠結物質であるセメント物質から主成分である炭酸カルシウムを取り出して測定すれば得られるが、未だにその分離手法は未開発である。本研究の目的は①ビーチロックの細粒粒子間を膠結している炭酸カルシウムを含むセメント物質を物理的・化学的に分離する手法の開発、②分離したセメント物質の年代からビーチロックの形成年代を明らかにする、③セメント物質の年代と生物化石の年代を比較検討すること。以上を本年度の研究目的とする。

2. 研究方法

海浜堆積物を膠結している炭酸カルシウムは顕微鏡下で確認できるような微量結晶であるため、取り出せたとしても AMS でしか年代決定はできない。また有孔虫化石等の年代決定も同様に AMS に頼らざるを得ない。しかし大型の貝化石や化石サンゴの年代決定は β 線法でも年代決定が可能である。

本年度は各種試料の採取とセメント物質から年代測定試料を収集する試料調製法の開発を行い、分離したセメント物質やビーチロックに含まれていた海洋炭酸塩化石について AMS による ^{14}C 年代測定を行う。試料の採取地点は礫岩質ビーチロックが発達している海岸と、これまで各種の海洋炭酸塩試料を採取してきた宮古島を対象とする。

3. 試料の採取と分析方法

^{14}C 年代測定試料として貝化石、サンゴ化石、石灰砂岩など、最大 40 個を採取することを目標とする。名古屋大学宇宙地球環境研究所の試料調製室の使用は、ほかの研究と競合しないように調整する。年代測定試料の採取とセメント物質の分離は研究代表者の小元が行い、藁谷が試料の整形と物性分析を担当する。加速器質量分析による年代測定は南が行い、 β 線法による大型海洋化石の年代測定は塩見と小元が行う。

4. 研究の経過

礫岩質ビーチロックから試料を採取するため 2017 年 8 月に宮崎県延岡市島浦島南部の「日井の浜」において現地調査を行い、試料を採取した。同一露頭の同一層準から採取し

た試料の種類によって年代差が生ずるかどうかを明らかにするため2018年4月と6月に沖縄県宮古島で現地調査を行い、マイバーバマ、吉野海岸および大浦田原海岸から試料を採取した。

礫岩質ビーチロックからAMSで年代測定可能な炭素量を含むセメント物質を採取する方法について検討した。採取した試料は4月に日本大学文理学部地理学教室の実験室で整形作業を行い、9月に名古屋大学宇宙地球環境研究所において試料調製を行い、12月にTandetron AMSで ^{14}C 年代測定を行った。なお礫岩質ビーチロックから採取したセメント物質の構成元素を確認するため、同志社大学理工学部環境システム学科の横尾頼子先生に分析を依頼した。

5. 研究成果

礫岩質ビーチロックからAMSで測定可能な炭素量を含むセメント物質を採取する方法を考案した。この方法により収集したセメント物質についてAMS ^{14}C 年代測定を行い、ビーチロックの形成年代に関する資料を得ることができた。

すなわち本年度採取した試料から24試料を選別してTandetron AMSで ^{14}C 年代測定を行った。その結果を分析して研究成果のとりまとめと学会での発表を準備中である。礫岩質ビーチロックから採取したセメント物質の構成元素に関しては、元素分析の結果69%が炭酸カルシウムに相当することが明らかになった。この結果とAMS ^{14}C 年代測定結果から、宮崎県延岡市島浦島南部の「日井の浜」の礫岩質ビーチロックの形成年代を決定することができた。また宮古島の3地点から採取した異種試料について年代測定を行った結果、 $\pm 2\sigma$ をこえる年代が得られた。これらの年代は過去に宮古島に襲来した津波の年代(Omoto, 2011)と相関関係が強いことが明らかになった。

なお本研究の成果の一部は2018年5月に仙台市の東北大学理学部で開催された2018年度東北地理学会春季学術大会(小元ほか, 2018)および2019年2月に名古屋大学宇宙地球環境研究所で開催された第31回年代測定研究シンポジウムにおいて発表した。今後研究成果がまとめ次第、内外の学会で発表し、研究論文を投稿する予定である。

謝辞

本研究の遂行にあたり名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定部門の中村俊夫名古屋大学名誉教授、北川浩之教授、池田晃子技術員と、日本大学文理学部地球科学科の山中勝教授、同志社大学理工学部環境システム学科の横尾頼子助教、HGSG Limited, Managing Director, Dr. John Hoyes CPhys, 元兵庫県立播磨特別支援学校の田中好國先生、民宿「遊季」の結城豊広氏の皆様にお世話になった。衷心から謝意を表します。

引用文献

Omoto, K. (2011): The problem of age determination of coral boulders deposited by the Meiwa tsunami and the time of occurrence of past tsunamis. In Proceedings of LSC 2010—Advance in Liquid Scintillation Spectrometry—. *Radiocarbon*, 139-150.

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

小元久仁夫・南 雅代・藁谷哲也・塩見昌司(2019):ビーチロックの正確な膠結年代決定法の開発(予報)—宮崎県島浦島のビーチロックの形成年代—. 季刊地理学, 70(3), 143-144.

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。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た。

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た。本研究では、プラズマ β 値が0.08, 0.32, 1.28をもつ上流中をそれぞれ伝播するアルフベンマッハ数 $M_A = 4, 6$ の垂直衝撃波の電磁粒子シミュレーションのデータ（計6通り）を解析した。

研究結果：上記6通りのシミュレーションのデータを解析し、foot領域での背景磁場に垂直方向のイオン温度 T_{perp} 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、磁場に垂直方向のイオン温度が $(M_A)^2/\beta$ に比例するという解析的表式をより明瞭な形で導出でき、さらにフル粒子シミュレーション結果と一致することを示した（図1）。この結果について論文にまとめ、Physics of Plasmas誌に投稿中である。

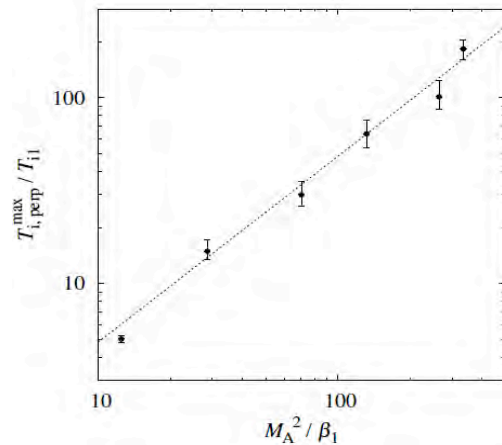


図1 : T_{perp} の $(M_A)^2/\beta$ 依存性。点線は $T_{\text{perp}} \propto (M_A)^2/\beta$ を示す。

Reference: R. Yamazaki, A. Shinoda, T. Umeda, & S. Matsukiyo, “Mach number and plasma beta dependence of ion temperature perpendicular to the external magnetic field in the transition region of perpendicular collisionless shock”, submitted.

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

小島正宜 (旧)名古屋大学太陽地球環境研究所

(1) IPS SQ-tomography の改良

J. M. Sokół が 2012 年頃から OMNI の速度と IPS tomographic analysis による速度とに大きな不一致が現れていることを見つけた。そこでその原因と解決法を調べた。

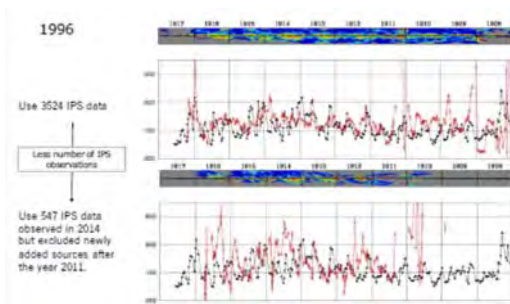


図 1

不一致の主原因は、図 1 に示すように IPS 観測数が減ったことによると思われる。そこで少ない観測数でも信頼度の高い速度図を IPS tomography で作成する方法を考えた。

最も有効な解決方法は図 2 と下表に例示するようにトモグラフィーのイタレーション初期値を 300km/s ではなく 1000km/s の高速とすることがよいことを見つけた。

CT parameters	Vips - Vomni			
initial V	>+200	+200 ~ +100	-100 ~ -200	<-200
300 km/s	12	49	0	0
1000 km/s	0	11	1	0

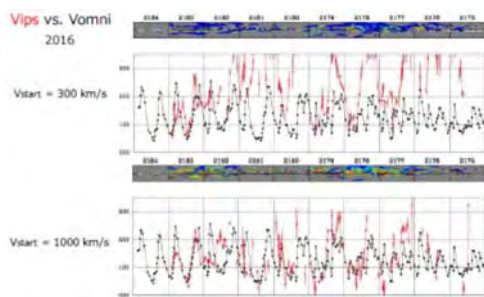


図 2

初期値を 1000 km/s としたときは OMNI の低緯度観測との比較が改善されたが高緯度高速風の観測はどうなるかをさらに調べた。

Ulysses の 1995 年と 1996 年の観測を図 3 で調べたところ系統的な速度不一致の様子はなかった。1986 年から 2017 年までの全期間における spacecraft と IPS の速度差を Carrington rotation ごとに平均して図 4 に示した。Ulysses と OMNI でその統計的な性質は似ており速度 1000 km/s を初期値としたトモグラフィー解析は全緯度、全速度領域において良い結果を得ることが分かった。

今後の課題

1. IPS 観測数が少ないときはトモグラフィーの結果が初期値により異なる原因の解明。
2. トモグラフィーのイタレーション過程で視線積分値が観測値と大きく異なるデータを除くとベターな結果が得られる傾向が見られるが、除かれるデータの素性を調べる必要がある。観測の s/n が悪いのか、一過性の太陽風速度を観測したのか等。

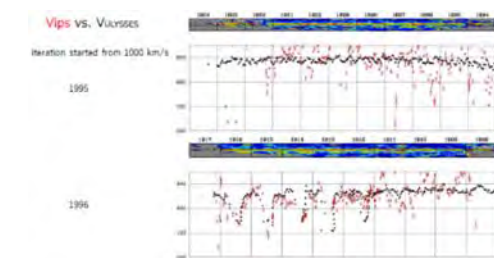


図 3

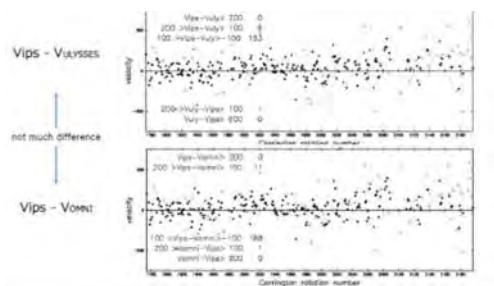


図 4

(2) pseudo-streamer 観測の可能性

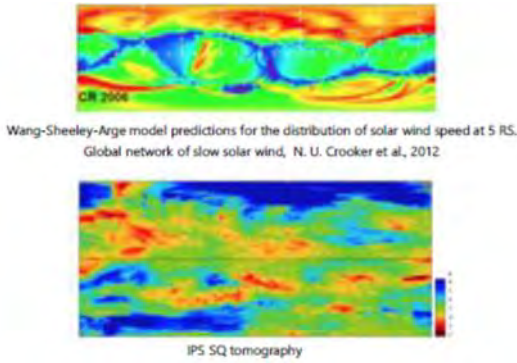


図 5

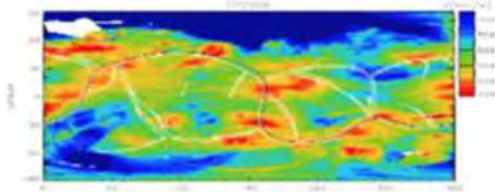


図 6

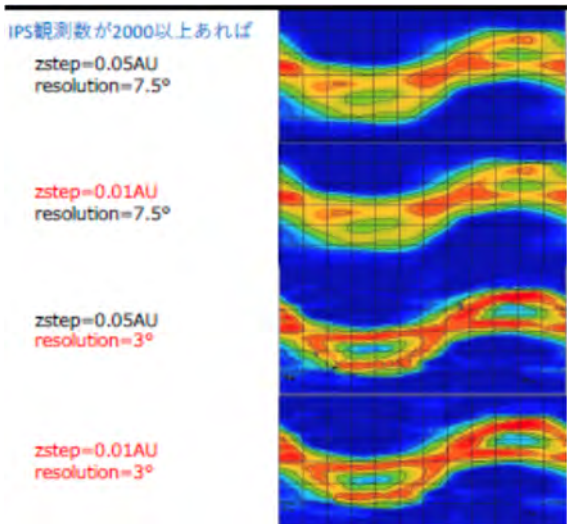
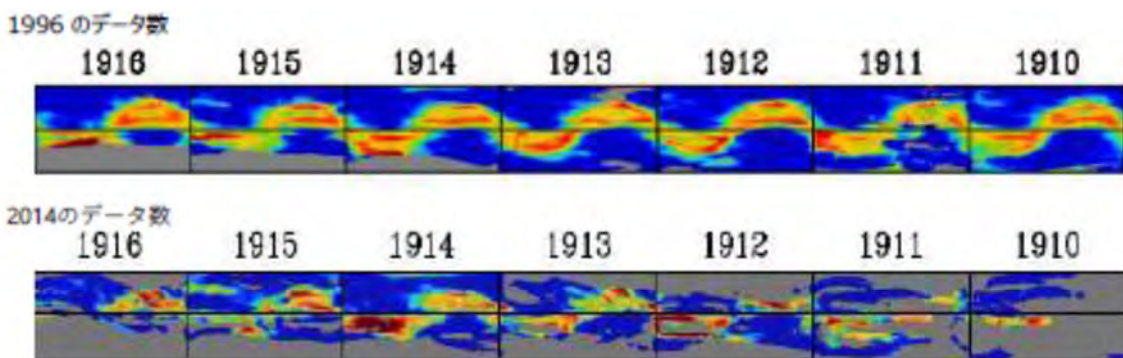


図 7



データ数

CRN	1916	1915	1914	1913	1912	1911	1910
上段	528	583	600	902	821	431	814
下段	80	152	218	163	134	76	61

図 8

図 5 の上図は Crooker et al.(2012) が太陽面磁場解析から予想した CR2006 における pseudostreamer と current sheet を伴う低速風の分布である。下図は IPS 観測で得られたもので、経度 240-360 度において低速風帯が二分している様子がよく一致している。上側の分岐が pseudostreamer に相当する低速風である。これから IPS 観測でも pseudostreamer を捉えうることが分かる。また図 6 は IPS の観測した速度図に、磁場解析から予想される磁気中性線と pseudostreamer の分布を白線で示したものでこれも低速風の分布とよく一致している。

そこで、IPS で捉えられる速度分布構造や速度値がどの程度信頼できるかを調べるために二つのサイン波状の低速風帯が存在するモデルを corotational tomography を用いて解析してみる。解析では約 2000 の IPS 観測を用いて tomography 解析の空間分解能と視線積分の z 積分刻み幅を変えてどれが最適かを調べた。その結果 IPS 観測が 2000 以上有れば分解能=3 度、z 積分刻み幅 0.01AU を用いれば、tomography によりモデルの二つのサイン波状の低速風がほぼ再現できることがわかった(図 7 最下段)。

次に SQ tomography での観測の可能性を同じモデルを用いて調べた。図 8 の上段は IPS 観測数が 1996 年と同じ場合で各ローテーション毎の観測数を下表に示す。下段の図は観測数が少ない 2014 年の場合である。この解析により 1996 年と同程度観測数があれば二本のストリーマーが分解できる。しかし分解度は十分ではない。

鈴木和良 (国立研究開発法人海洋研究開発機構・北極環境変動総合研究センター)

【研究目的】

気候は、大気－陸面相互作用を通して、植生や陸面の水文気候因子(蒸発散量, 土壌水分, 積雪, 流出量, 地下水, 湖沼面積, 活動層厚など)と密接に結びついている。そして、植生と陸面の水文気候因子も、気候に影響を与えている。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)。この原因については未解明であるが、陸面の水文気候因子が前々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高い。また、前年秋の陸水貯留量が、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)。このように、東シベリアやモンゴルでは、水が冬季に凍結保存されることで翌年に持ち越され、時間的な遅れをもって循環している。陸水貯留量は、入力因子である降水量とともに、植物による蒸発散量、湖沼などの水体貯留量などの変動により決定されるとともに、光合成や蒸発散など、植物の活動にも大きく影響する。そこで本研究では、気候－植生－陸面(水文気候因子)の相互作用を解明し、その10年程度の変動を把握することを目的とする。解析対象とする時間スケールは、地上観測データや衛星観測データが充実している2000年以降を対象とする。具体的には、現地観測データ、人工衛星データ(広域の植生指標・葉面積指数・バイオマスなど)、陸水貯留量変動に関する衛星データを用いて、主に北ユーラシアに焦点を当て、そこでの水循環と植生の時間的なラグやその関係の経年変動について検討する。さらに、シベリアの現地観測に基づく検証データによって、衛星観測の妥当性についても検討を加える。

【2018年度研究計画】

各種観測データの経年変動に対するラグ機構と植生や水循環の変動について、セミナー形式の意見交換を行う。本申請の3年目(最終年度)になるため、今後の共同研究の可能性についても議論する。

【セミナー形式による意見交換】

1件の話題提供が行われた。その概要を以下に示す。

「Characteristics of water and carbon transport from Siberian River basins」(話題提供:鈴木和良)

今年度の主要な成果として、今後まとめていく論文の内容について報告した。主要な結果としては、ロシアの4大河流域(オビ川、エニセイ川、レナ川、コリマ川)の2002年から2016年までの水・炭素循環特性、ならびにグリーンランド沿岸凍土域のツンドラにおける原野火災と水文気象状況との関連を報告した。さらに、今年度が最終年度に当たるため、今後の研究の進め方について議論した。その中で、ユーラシア大陸を対象とした成果は出始めているが、まだ植生と水文気候の相互作用と経年変動の研究の緒にすぎたばかりであり、今後さらに大きな体制で共同研究を進める重要性が指摘された。そこで、陸面モデルと陸域炭素循環の研究者2名を新たにメンバーとして追加し、さらに研究対象地域を凍土域に全体に広げた研究へと発展させる方向が確認された。新たな枠組みでは、炭素循環も陽に解析対象とし、2019年度～2021年度までの3年間で、2019年度の一般共同研究に申請を行うことで合意が得られた。

【本年度の主要な成果概要】

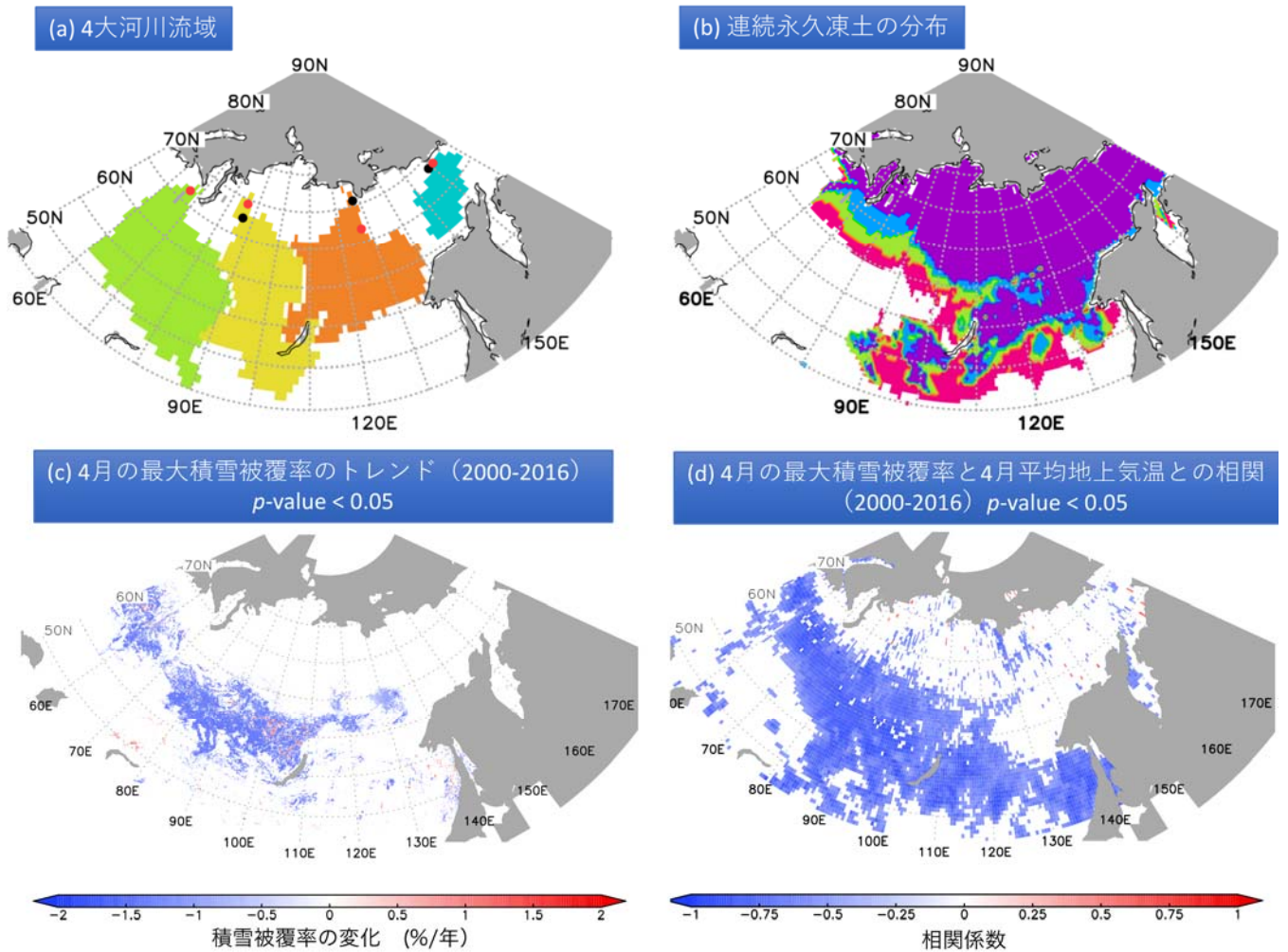


図1(a) 研究対象のシベリア4大河川流域、(b) 連続永久凍土の分類と分布、(c) 4月の最大積雪被覆率の2000-20016年までのトレンド (信頼度95%以上)、(d) 4月の最大積雪被覆率と4月の月平均地上気温との相関係数の分布 (信頼度95%以上)

主要な研究成果を、図1a,1b,1c,ならびに1dに成果の図を示す。MODIS (MOD13)の積雪被覆率データとCRU TS4.02の月気温データを用いた分析結果である。図1bと1cより、永久凍土南限地域で、4月の最大積雪被覆率が17年間で有意に減少していることが明らかになった。これに応じて、4大河川流域の5月の北極海への流入量が有意に増加している。さらに図1dより、4月の平均地上気温と最大積雪被覆率との間には有意に負の相関がある。すなわち2000年以降の春の温暖化によって、永久凍土南限地域における4月の融雪量が増加し、北極海への淡水流入のピークが6月から5月にシフトしてきている可能性が示唆される。

成果発表

1. 鈴木和良 (2018), 衛星観測とデータ同化, 日本リモートセンシング学会誌, 38(2), 111-113.
2. Suzuki, K., and K. Matsuo (2019), Remote Sensing of Terrestrial Water, in Ecological Studies, Vol. 236, : Water-Carbon Dynamics in Eastern Siberia, edited by Takeshi Ohta, Tetsuya Hiyama, Yoshihiro Iijima, Ayumi Kotani and T. C. Maximov, In press, Springer, Tokyo.
3. 招待講演 Suzuki K., K. Matsuo, D. Yamazaki, K. Ichii, Y. Iijima, F. Papa, Y. Yanagi, T. Hiyama, An Overview of Hydrological Variability and Changes in the Arctic Circumpolar Tundra and the Three Largest Pan-Arctic River Basins from 2002 to 2016, The 4th International Conference on Water Resource and Environment (WRE 2018), (台湾高雄市, 2018/07/19)

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】

飛翔体による太陽風の直接観測データからICME中の磁気ロープの3次元構造を決定するためには、モデルとの比較が不可欠である。観測データから磁気ロープ構造を推定するために、force-free (FF) 磁場モデルへのfittingとGrad-Shafranov (GS) 方程式による磁場構造の構築の方法がひろく使用されている。この二つの方法による結果の比較は、それぞれの方法で得られた磁気ロープの軸の方向を比較することに終始していた。今年度の共同研究で西村信行（ISEEの大学院生）FF磁場モデルによる解析法を改善し、磁気ロープ外縁における磁場のピッチ角が多様な値をとれることを示した。これにより、GS方程式による解析で大きな問題点であった磁気ロープ境界の選択条件について、FFモデルから検討を加えることが可能になり、同時に、FF磁場で仮定される磁気ロープの内部構造がGS方程式から検定することも可能になった。

Al-Haddad et al. が注意深く選んだ13例の磁気ロープ (Sol. Phys., 2018) について簡単に検討した結果、FFモデルとGS法で決めた軸の方向がおよそ一致するという初期結果が得られた。今後は、磁気ロープ境界の選び方を詳細に吟味して内部磁場分布についても比較を進めたい。

【考察】

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

上記のことを確認したうえで、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方向となる。

【成果発表】

・論文

Lee, J.-O., Cho, K.-S., Kim, R.-S., Jang, S., Marubashi, K., Effects of geometries and structures of ICMEs on Geomagnetic storms, Sol. Phys. 293, DOI: 10.1007/s11207-018-1344-z.

Nishimura, N., Marubashi, K., Tokumaru, M., Comparison of cylindrical flux rope model fittings with different boundary pitch angle treatments, Sol. Phys. (Accepted for publication, March 2019)

・口頭発表

丸橋克英、石橋弘光、「内部に衝撃波が存在する太陽風磁気ロープの形状解析」、JpGU2018, 幕張、2018年5月24日.

丸橋克英、久保勇樹、西村信行、徳丸宗利、「太陽風磁気ロープを解析するモデルの比較」、SGEPSS、名古屋大学、2018年11月26日.

丸橋克英、久保勇樹、西村信行、徳丸宗利、「太陽風磁気ロープ構造解析の問題点」、平成30年度ISEE研究集会－太陽圏・宇宙線関連共同研究成果報告会、名古屋大学、2019年2月28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3
Establishment of Data pipeline and calibration for
DC / low frequency E-field in Inner Magnetosphere: 3

笠羽 康正、東北大学 惑星大気・プラズマ研究センター

1. 研究目的

Arase (ERG) 衛星に搭載された 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である。この実現には、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する。この成果は Arase 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: 2018/10 打上成功)・木星 (JUICE: 2022/5 打上予定) への日本の研究コミュニティによる展開体力の基礎となる。

2. 研究方法・結果

(1) 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 電位も不安定化する。電場観測精度の低さはどの衛星でも問題で、この案件では 2019 年 2 月にミネソタ大を訪問し、Van Allen Probe (EFW) などと同様の問題を抱える John Wygant 教授らと深い議論を行い、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 1 月～2019 年 2 月に至る暫定解析における Probe 状況は以下の通りである。

A. AC 特性 (Capacity 成分)：高電子密度域 (>100/cc) で 80-90 pF、低密度域 (<10/cc) で ~76pF を中心に、よく電子密度と相関しており、大きな変動・劣化は見られない。

B. DC 特性 (Register 成分)：高電子密度域 (>100/cc) で 20M Ω 以下、低密度域 (<10/cc) で 50-200M Ω と大きく変動し、また 4 つのアンテナ (U1/U2/V1/V2) でそれぞれ違う値を示すと共に、この 2 年間の運用でも時間変化が生じている。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。このため「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 で実施してきたが、後者は周辺プラズマ環境の時間変動に影響される。2019 年度には、時間変化の追跡解析とベストなデータ取得方法、および実データへの反映 (特に波形データに対する反映) を実施していく予定である。また、磁気脈動における E/B 比、電子温度との相関、 $V \times B$ から演繹される電場との比較、衛星本体の wake の影響等の評価検討が進行中の課題である。

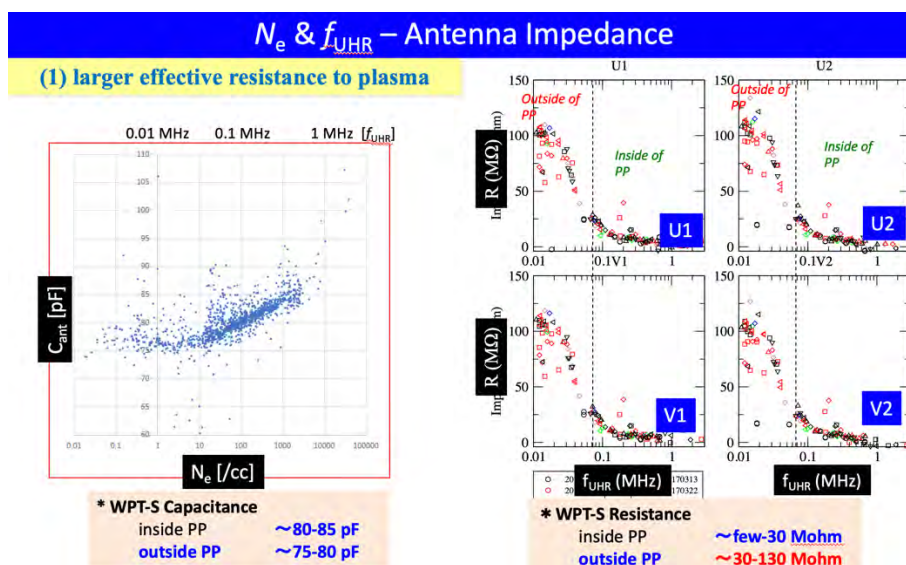


図 1: 暫定的な Probe impedance 評価結果。左:Capacity、右:Resistance

(2) BIAS 電流値の設定 : DC・低周波電場計測には、Probe に適切な Bias 電流を加えて対 Plasma impedance を適切に能動制御する必要がある。(1)の解析に絡んで、各 probe 毎の特性 (具体的には光電子 yield・二次電子 yield) の特性が時間的にも変化しており、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) にするには更に調整が必要であることがわかってきた。2019 年度には、(1)の作業進捗に合わせて Probe 毎に異なった bias 値を与えることも含めた検討と運用への反映を行う予定である

(4) データパイプライン設定および校正 : 2019 年度末までに、スピン毎 (~8sec 分解能) の電場波形 (double probe) および衛星ポテンシャル (single probe)、並びに 1-sec 分解能の電場スペクトル (1~>200Hz) の Level-2 データ作成・公表までを可能とした。Level-2 で適用しているデータ校正は「周辺 plasma の環境に依存しない、センサー電気性能の反映」までとすることとした。実際のサイエンス面における実用には周辺プラズマ環境に依存する校正方法の確立を要することになり、(1)の作業と直結する。なお、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は、衛星 potential そのものが spin 時間内に変動し、これがおそらくは衛星形状・磁場方向等の影響され排除不可能であることもわかってきた。粒子計測・磁場観測 (MGF および PWE/SCM) との結合や Poynting Vector などの電場-磁場双方の観測の利用に向けたデータ保証基準のあり方を含め、2019 年度に一定の指針を提示したいと考えている。また、電場波形データ (64/256/512Hz) ・ポテンシャル波形データ (8Hz/128Hz) の Level-2 公開提供も 2019 年度の課題である。

4. 成果発表

様式 4-1 を参照されたい。

雲解像モデルを用いた雲エアロゾル相互作用の見積もり

Estimation of the radiative forcing of aerosol cloud interaction by using a cloud resolving models

名古屋大学・工学研究科
佐藤陽祐

1、目的

本研究ではエアロゾル輸送モデル (SPRINTARS[1]) と全球雲解像モデル(NICAM[2])を結合した NICAM-SPRINTARS の全球実験とその結果の解析によって、気候予測の最大の不確実性要素であるエアロゾル・雲相互作用の理解の深度化を目指した。従来気候予測に用いられてきた大循環モデル (GCM) はその解像度の粗さから雲を直接計算することができず、エアロゾルが雲に及ぼす影響も直接できないため、エアロゾル・雲相互作用の見積もりには大きな不確実性が伴っている[3]。この不確実性低減に向けて、雲を全球スケールで直接解像することができる全球雲解像モデル NICAM-SPRINTARS の計算を行ってきた。本研究では平成 29 年度までに終了した計算結果を詳細に解析し、エアロゾル・雲相互作用の不確実性を評価した。

2、数値モデルと解析方法

実験に用いた数値モデルは NICAM-SPRINTARS[4]であり、全球 14km 解像度で 1 年間の積分を行った。エアロゾル・雲相互作用の指標の一つとして、Cloud Susceptibility (λ [5]) を用い、雲頂温度が 273 K よりも高い暖かい雲を対象として解析を行った。本研究では NICAM-SPRINTARS の結果から求めた λ と 2000 年代から様々な方法によって求められて、報告されている λ を比較した。

3、実験結果

まず、本研究によって求められた λ と、先行研究で報告されている λ を比較して、エアロゾル・雲相互作用の不確実性の大きさを求めた。図 1 は 2000 年代から先行研究によって求められた λ (図 1 の上から 3 番目以降) と、本研究で求めた NICAM-SPRINTARS から算出した λ の値 (図 1 の上から 2 番目) である。本研究で求められた NICAM-SPRINTARS の λ は負の値を取っており、近年の衛星観測から得られた λ [6]とも、また近年報告されている理論的な考察[7]とも矛盾しない。一方、2000 年代前半の研究では、多くの先行研究が λ を正の値と報告している。しかしながら、先行研究では負の λ を報告している研究も存在していることに加え、衛星観測を用いた最新の結果では、 λ は従来考えられていたよりも 2~3 倍程度大きな正の値になると報告されており (図 1 の一番上[8])、 λ の見積もりの不確かさは大きく、エアロゾル・雲相互作用の不確実性は依然として大きいことが示された。

4、考察と今後の課題

本研究の解析からエアロゾル・雲相互作用の指標 (λ) の見積もりの不確実性は大きいことが明らかになった。この状態で放射強制力を見積もった場合、見積もられた放射強制力にも大きな不確実性が生じるため、放射強制力の見積もりまで、いたることができなかった。このような λ の違いは λ の見積もり方にも起因している可能性があり、まずは、先行研究で求められた λ の算出方法を検証して、同じ条件で λ を算出するなどして、 λ の違いを生む要因を明らかにする必要がある。今後は λ の違いを生む要因を明確にし、その上で、放射強制力の評価を行って行く必要がある。

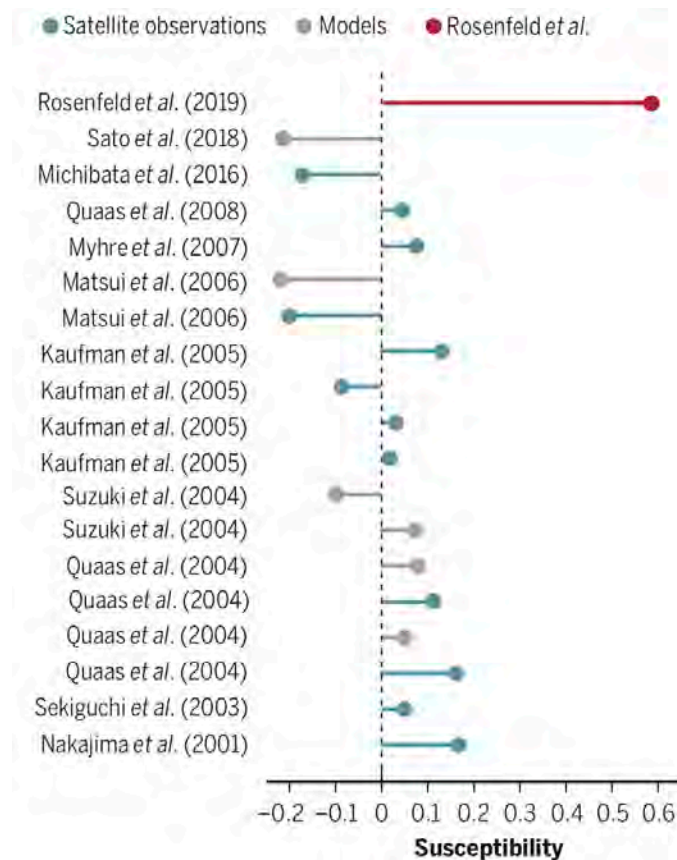


図 1 : 本研究で求めた λ (上から 2 番目) と、先行研究で求めた λ の見積もり。
(Sato and Suzuki, 2019 [9]から引用)

5、研究成果報告

本研究で得られた成果は Science 誌の一般向けの記事 (Perspective) として発表された[9]。

参考文献

1. Takemura T et al., J Geophys Res. 2005;110: D02202. doi:10.1029/2004JD005029
2. Satoh M et al., Prog Earth Planet Sci. 2014;1: 18. doi:10.1186/s40645-014-0018-1
3. Stocker TF et al., IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. IPCC. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press; 2013.
4. Suzuki K et al., Geophys Res Lett. 2008;35: L19817. doi:10.1029/2008GL035449
5. Ghan S et al., Proc Natl Acad Sci. 2016; 201514036. doi:10.1073/pnas.1514036113
6. Michibata T et al., Atmos Chem Phys. 2016;16. doi:10.5194/acp-16-15413-2016
7. Stevens B., J Clim. 2015;28: 4794–4819. doi:10.1175/JCLI-D-14-00656.1
8. Rosenfeld D et al., Science 2019;363: eaav0566. doi:10.1126/science.aav0566
9. Sato Y and Suzuki K., Science 2019;363: 580–581. doi:10.1126/science.aaw3720

研究課題名
太陽圏物理の総合的研究

Study of Solar Terrestrial Physics

代表者、所属機関・部局

村木 綏、 名古屋大学宇宙地球環境研究所

共同利用研究者：柴田祥一(中部大)、長谷川精(高知大)、神谷浩紀、古賀清一(JAXA)

1. 研究目的と共同利用のテーマ

表題のような研究テーマで、太陽地球系に内在する物理の研究を実施している。とりわけその中でも、(1) 太陽のダイナモ活動の理解に基づき長期変動の要因の探索や、(2) 太陽フレアに伴う高エネルギー粒子の生成過程の研究を実施している。テーマ(1)に関しては、村木が実施してきた研究成果は2018年5月発行の *Journal of Astronomy Space Science* 誌に発表された。

一方 長谷川精 (高知大・理学部)氏が中心になって精力的に進めてきた蒙古白亜紀の地層縞の周期解析から、太陽活動や地球の自転軸の変動に基づく地球のグローバルな気象変動を反映する周期の存在が明らかになった。これは太陽地球環境研究所の設立趣旨の根幹に係るような重要な発見である。現在ほぼ論文原稿が完成し、共同研究者の間で回覧する段階であり、2019年度中には発表される予定なので、ここではその内容に触れることは避ける。そこで本報告書では(2)の研究テーマに絞って研究成果を報告する。

2. 太陽粒子加速過程の研究 --- ガンマ線と中性子を利用する---

太陽物理学・宇宙線研究の大きな課題の一つは高エネルギーの粒子がどのように宇宙で作られるのか、そのメカニズムを解明することにある。すなわち太陽宇宙線(Solar Cosmic Rays; SCR) や銀河宇宙線 (Galactic Cosmic Rays ; GCR) の起源を調べるのが研究の主目的の一つとなっている。太陽は地球近傍から加速過程を詳細に観測・追跡 (trace) できる可能性を秘めた天体である。それ故、どの加速モデルが太陽表面における粒子加速過程を最もよく説明できるのか、粒子加速理論を検証できる可能性を秘めた研究対象である。

上記の研究を推進するために、我々は高エネルギー粒子の内、中性のガンマ線と中性子をプローブとして選択し解析している。研究すべきフレアは沢山ある。SOL2011-03-07 flare や SOL-2011-09-25 flare、及び SOL2012-06-03 flare については現在論文を投稿中で referees とやり取りを実施中である。そこでここでは2017年9月4日から10日にかけて発生した太陽フレアについて解析した結果を述べることにする。

2017年9月6日と9月10日の両フレアで高エネルギーガンマ線と中性子がそれぞれ受信され

ているが、ここでは 2017.9.10 event が limb flare で真横から光学的観測ができ、きれいな data が取得されているので、ここでは 9 月 10 日のイベントを他波長観測と比較しながら、得られたガンマ線と中性子の data の解釈を議論する。

今回 2017.9.10 のフレアで顕著なことは、20MeV から 1000MeV 領域の高エネルギーガンマ線 (HE- γ) が、硬 X 線の peak の 2 分後に観測されたという事実で、20MeV 以下のガンマ線の生成時刻と時間差があることである[1]。

図 1 は SDO data のスケッチである。生の写真は分かりづらいので、スケッチで説明する。15:45UT から 15:55UT の 10 分間に盛んに磁気 loop 同士の衝突が見られる。これは野辺山の太陽電波観測グループが以前から主張してきた観測事実と同じである[2]。理論の坂井氏らが盛んに取り扱った X-type の衝突である[3]。

図 2 は FERMI-LAT 衛星が観測した高エネルギーガンマ線の時間発展を硬 X 線の時間発展と比較したものである[1]。高エネルギーガンマ線 (HE- γ) の peak が硬 X 線の peak と 2 分ずれている点に着目してほしい。この図はさらに粒子を加速するのに 2 分間必要であったことを示している。すなわち高エネルギーへの加速は別の場所で起こっている可能性が高い。

図 3 は低エネルギーガンマ線 (LE- γ) と高エネルギーガンマ線 (HE- γ) の時間発展を示したものである[1]。15:56UT から低・高エネルギーガンマ線の放射が同じような時間発展をしているが、15:58U から急激に高エネルギーガンマ線が放出されている。(図 3 の縦軸は対数であることに注意してほしい。) 我々が SEDA-FIB 装置で受信した中性子は、地上 station で高エネルギー中性子が受信されていないことを考慮すると、LE- γ と同時刻に作れたと考えられる。すなわち 15:58UT までは電子とイオンに対して同じような加速機構が働いていたと言えよう。

図 4 は、FERMI-GBM 計測器の観測した硬エネルギー X 線のエネルギースペクトルの時間発展を示している。すなわち上記の 15:45-15:55UT の間に電子の peak energy は数 keV から 40keV まで増加している。電子が加速されている証拠である。最も高いエネルギーの電子は 200keV に至っている。その時刻は 15:56UT である。

図 5 に SEDA-FIB で受信した中性子の微分エネルギースペクトルを示す。中性子が太陽から地球に飛来する間に崩壊する効果は補正されている。エネルギースペクトルはべき 2 乗で表され、かなり硬いスペクトルであることがわかる。

3. 加速粒子の化学組成

ここで加速された粒子の化学組成について考察する。15:58UT の前と後で比較しよう。15:58UT 以前は、加速された粒子が太陽大気を叩いて低エネルギー・ガンマ線や中性子を作った時間帯である。中性 π 粒子の生成はまだ dominant に生成されていない。293MeV の pion 生成 threshold energy に到達している粒子が非常に少ないことが図 2 と 3 からわかる。

一方 15:58UT 以降は、中性 π 粒子の生成が dominant になった時間帯である。この両時間帯について、 n/γ の flux の比をとると前者ではその比が ~ 50 であるのに対して、後者の時間帯では 1.6 ± 0.4 である。この比を GEANT4 による simulation の結果 [4]と比較すると、前の時間帯では

ヘリウム等の原子核が加速された粒子に多く含まれていたことを示唆している。(図7) これは impulsive flare の典型である。一方後の時間帯では、陽子が主成分として加速されたことを示しており、これは gradual flare の典型的な値である。今回の flare では impulsive phase の中にすでに gradual phase と同じ加速機構が含まれていたことが分かった点が新しい。言い換えると gradual phase で加速された種粒子(seed particles)が impulsive phase で準備されていたと言えよう。そして中性子と高エネルギーガンマ線の同時観測から、現象論的に説明されてきた、“impulsive flare では helium ion 等が多く含まれている”という“予測”を、観測で実証できた点が新しい。さらに gradual flare では確かに陽子が主成分となって加速されていることも分かった。我々は 1994 年来の Reames らの予測 [5]を、加速現場を反映するその場(in-situ) 観測で示した。

5. まとめと今後の課題

1. SEDA-FIB で受信している中性子は、電子とほぼ同時に加速されたヘリウムイオンが太陽大気と衝突した際破碎され、地球近傍に飛来したもので、低エネルギーガンマ線(a few MeV, LE- γ)と同時に作られた。LE- γ の方は target になった太陽大気の破碎や励起によって作られたものであろう。
2. 一方、高エネルギーガンマ線(HE- γ)はさらに加速された陽子によって作られたものである。しかしその生成場所は観測では分からなかった。加速過程には中性の衝撃波によるものがあるかもしれない。地上観測で高エネルギー中性子の観測例が少ないのは、おそらく次のステップまで加速が進むような磁場構造が太陽表面に実現されにくいからであろう。
3. 電子やイオンの加速が衝撃波波乗り加速モデルによるソリトン波の作る電場による可能性が非常に高いが[6]、その場所及び加速開始時刻が 磁気ループが盛んに衝突していた時刻なのか (15:45-15:55UT)、プラズモイドが出現した 15:55UT 以降も含むのかまでは解明できなかった。
4. 衝撃波波乗り加速理論[7]は、リコネクションから放出された jet が、jet 先端で $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ のローレンツ力を受け正イオンと負イオンに分離され、その作り出す電場により磁気 loop 内に trap され加熱されたプラズマが加速されるという考え方と等価のように思われる[8]。
5. またこの期間中に発生した X2.2, X9.3, M5.5 events の解析はまだ進んでいないので、2019 年度に何らかの加速理論に貢献するような data を導き出せればと考えている。

References

- 1) Share and Murphy(2018) AMS spring meeting での講演スライドより。
- 2) Hanaoka, Y. (1999) PASJ, 51, 483.
- 3) Sakai J.I. and Shimada, K. (2005) A&A, 436, 711-717.
- 4) Kamiya, K. et al.; Proceeding of ISVHECRI2018 (Nagoya, Japan).
- 5) Reames, D.V. (1994) Adv. Space Res. 15 (7) 41.
- 6) Amano, T. and Hoshino, M (2007) ApJ, 661, 190.
- 7) Fisk, L.A. (1978) ApJ, 224, 1048.
- 8) Chen プラズマ物理入門 page.13, (丸善出版)

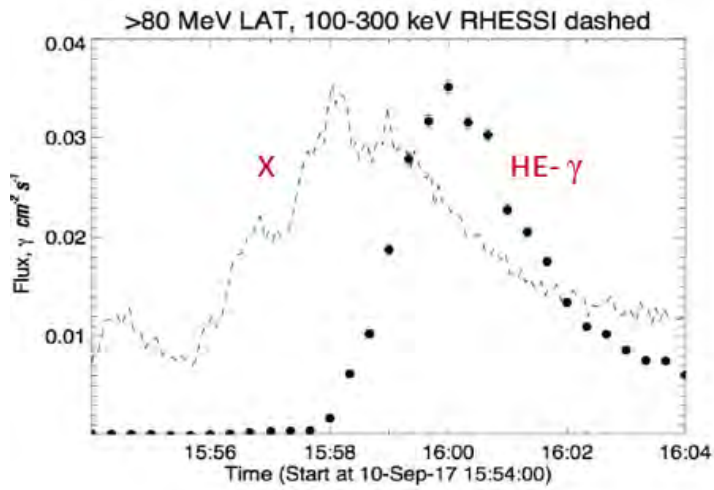


図 2. Fermi 衛星に搭載された NaI hard X-ray 計測器と LAT カロリメーターで計測された高エネルギーガンマ線の時間発展。

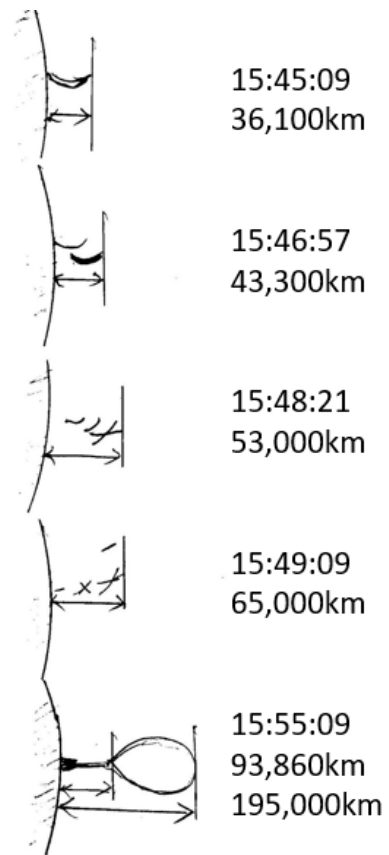


図 1. SOL2017-09-10 flare で観測された紫外線の画像。盛んに loop-loop 衝突が見られる。また Plasmoid の生成も観測された。

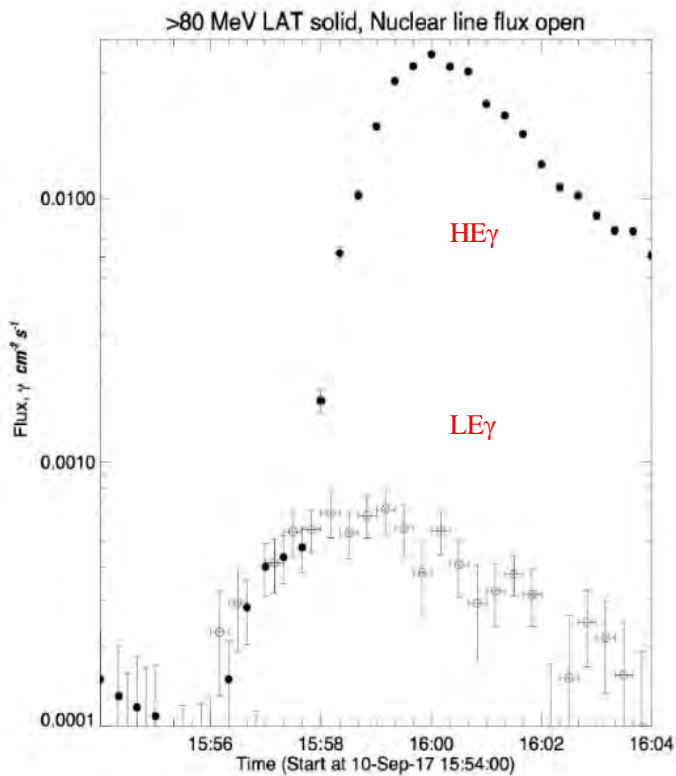


図 3. 図 3 と同じ衛星に搭載された BGO soft gamma-ray 計測器と LAT カロリメーターで計測された高エネルギーガンマ線。Peak に 2 分の時差がある。

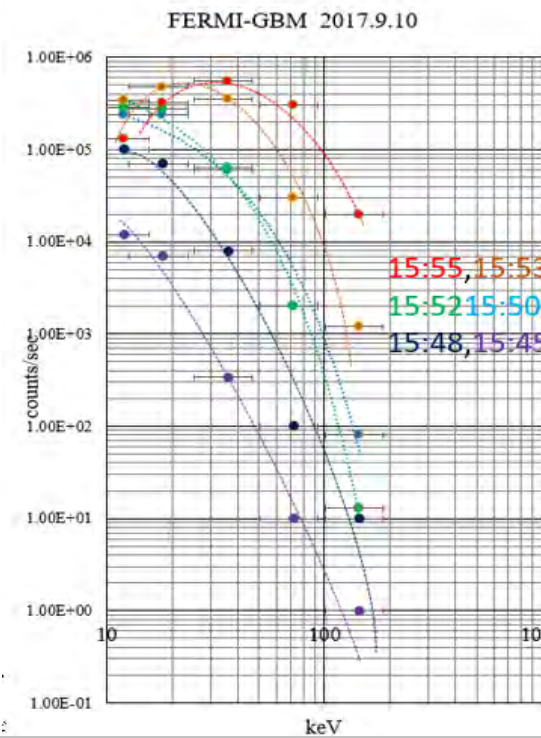


図 4 電子のエネルギースペクトルの時間発展

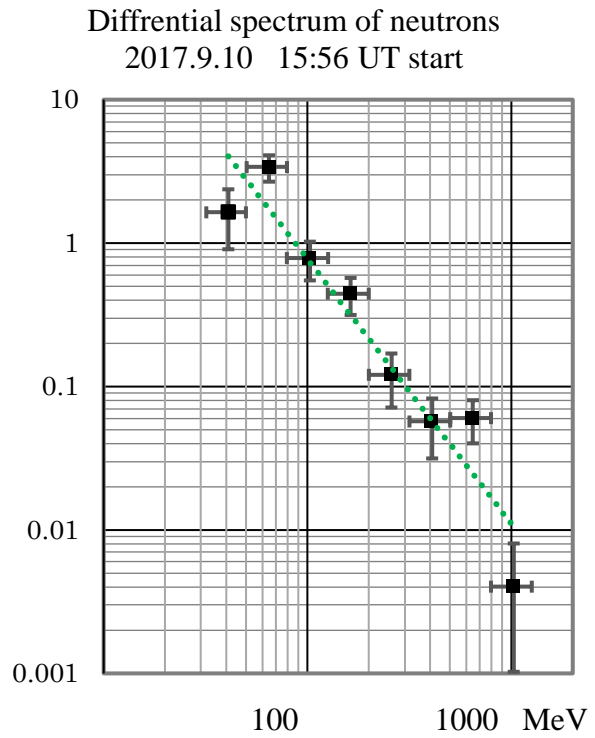


図 5. SEDA-FIB による中性子のエネルギースペクトル

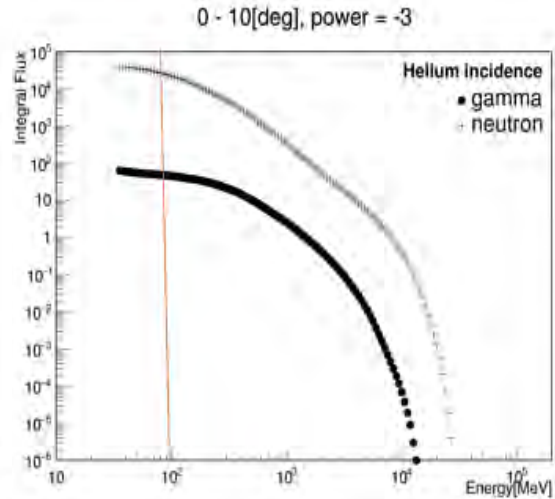
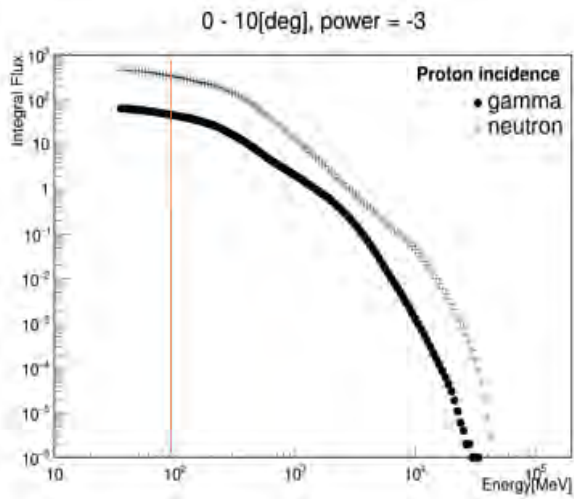


図 6 陽子(左) と ヘリウムイオン(右)が太陽大気と衝突して作り出すガンマ線 (●) と中性子 (+) の積分エネルギースペクトル。 100MeV に引かれた縦線は FERMI-LAT の観測閾値に対応している。SEDA-FIB は 35MeV 以上の中性子を検出できるが、ここでは FERMI-LAT の閾値と合わせるために >100MeV 以上の中性子を選択している。ヘリウムイオンが太陽大気に衝突した時は n/γ 比に約 1000 倍の値が予想される。これは加速された原子核が衝突により陽子と中性子に破碎され、その中性子が太陽から地球にやってくるためである。加速イオンのべきは 3 乗(E_{ion}^{-3})を仮定し、観測点は太陽大気の厚みは $10g/cm^2$ の地点としている。現実には様々な化学組成でもって衝突するのでこのグラフのように 1000 倍にはならないだろう。

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

渡邊恭子、防衛大学校・地球海洋学科

「白色光フレア」は可視連続光の増光を伴う太陽フレアで、一般的には大規模フレアのみに伴う稀な現象である。これまでの観測・研究により、白色光フレアの起源はフレアで加速された非熱的電子であると考えられているが、その発生機構や発光メカニズムはいまだ解明されていない。この白色光フレアの発生条件を探るべく、これまでに我々は、主にひので衛星搭載の可視光・磁場望遠鏡 (SOT) の可視連続光データを用いて統計的な研究を行った。白色光の増光の有無を指標として統計的な研究を行ったところ、白色光増光には大量の非熱的な加速電子が短時間に降り込むことが重要であるという結論を得た (Watana be et al., 2017など)。また、この統計研究より、加速域の磁場強度が白色光増光に関連していることが示唆されたが、その明確な証拠は得られなかった。

フレアループトップの上部にあると考えられている加速域の磁場は、直接には測定されていない。しかし、マイクロ波スペクトルの折れ曲がり周波数を用いることによって、その磁場強度を推定することができる (Dulk 1985)。そこで我々は、2010年1月から2017年12月の間に発生したM3クラス以上のフレアにおいて、白色光の観測機器 (Hinode/SOT, SDO/HMI) と野辺山強度偏波計 (NoRP) で同時に観測されていた51例のフレアイベントを用いて、マイクロ波スペクトルの折れ曲がり周波数の統計解析を行った。本研究を行うにあたって、名古屋大学宇宙地球環境研究所の「ひのでサイエンスセンター@名古屋」と「CIDASシステム」を使用した。

上記51例のフレアイベントを、白色光フレア (WLF: 32例) と非白色光フレア (NWL: 19例) に分類し、それぞれの分類においてマイクロ波スペクトルの折れ曲がり周波数を調べたが、白色光の有無による折れ曲がり周波数の違いは見られなかった。この解析においては、NoRPのデータのみを用いたため、マイクロ波の放射場所を同定していない。このため、ループトップからの放射のみを取り出せておらず、ループ足元からのマイクロ波放射が本結果に影響を与えている可能性が考えられた。

そこで、野辺山電波ヘリオグラフ (NoRH) のマイクロ波とRHESSI衛星の硬X線のイメージをSDO/AIA 193Åのイメージと重ね合わせることで、マイクロ波の放射位置を同定した。マイクロ波放射がループトップに存在していたイベントのみ (全27例、うちWLF: 15例、NWL: 12例) を取り出し、白色光の有無による折れ曲がり周波数の違いを調べた。この結果、折れ曲がり周波数はWLF, NWL どちらでも3例ずつのみ17GHzよりも高くなっており、本解析においてもWLFとNWLで折れ曲がり周波数の違いは見られなかった。

折れ曲り周波数は磁場強度だけでなくフレアの電子密度にも比例するため (Dulk 1985)、折れ曲がり周波数を用いて加速域の磁場強度を考察するには、電子密度の影響も考慮しなければならない。そこで、上記で求めた折れ曲り周波数と、フレアの電子密度をある程度反映していると考えられるフレアの規模との関係についても調べたが、これらの間に関係は見られなかった。Dulk (1985) の関係式を用いて折れ曲り周波数より加速域の磁場強度を考察する研究は、電子密度の影響が大きいいためか、かなり難しいことがわかった。

参考文献

- (1) Watanabe Kyoko, Kitagawa Jun, Masuda Satoshi, 2017, The Astrophysical Journal, 850, 204
- (2) Dulk G. A., 1985, Annual review of astronomy and astrophysics, 23 (A86-14507 04-90) Annual Reviews, 169-224

成果発表

1. Kyoko Watanabe, Shohei Nishimoto, Shinsuke Imada, Tomoko Kawate, Kyoung-Sun Lee, "Derivation of Solar Flare Total Spectra from Flare Geometrical Features", AOGS 15th Annual Meeting, Hawaii, 2018 June 3 – 8
2. Kyoko Watanabe, Kazuhiro Yamazaki, Shin Arima, Yoshimasa Hori, Satoshi Masuda, "Solar Flare Impulsivity and Its Relationship with Other Related Phenomena", AOGS 15th Annual Meeting, Hawaii, 2018 June 3 – 8
3. Kyoko Watanabe, Kosuke Tsuruda, Satoshi Masuda, Säm Krucker, "A systematic study of microwave and hard X-ray observations to search for characteristics of white-light flares", Hinode12, Granada, Spain, 2018 September 10 – 13
4. 鶴田康介, 渡邊恭子, 増田智, Säm Krucker, "マイクロ波及び硬 X 線放射の統計的研究による白色光フレア発生条件の特定", 日本天文学会 2018 年秋季年会, 兵庫県立大学 姫路工学キャンパス, 2018 年 9 月 19 - 21 日
5. 鶴田康介, 渡邊恭子, 増田智, Säm Krucker, "白色光フレア発生に関するマイクロ波スペクトルの折れ曲がり周波数の統計的研究", 太陽研連シンポジウム, 名古屋大学, 2019 年 2 月 18 - 20 日
6. 鶴田康介, 渡邊恭子, 増田智, Säm Krucker, "白色光フレア発生に関するマイクロ波スペクトルの折れ曲り周波数の統計的研究", 日本天文学会 2019 年春季年会, 法政大学 小金井キャンパス, 2019 年 3 月 14 - 17 日

太陽圏構造とダイナミクスの研究

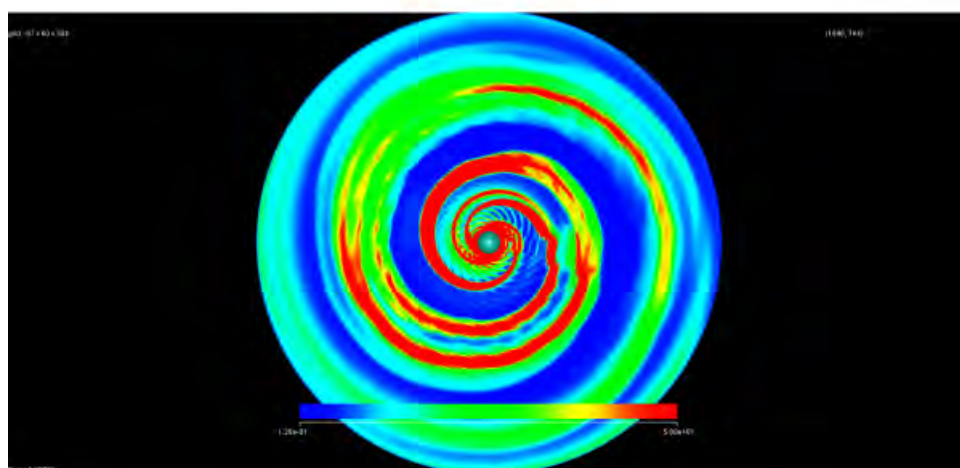
Study of the heliospheric structure and dynamical phenomena

鷲見治一 九州大学国際宇宙天気科学・教育センター

1977年に打ち上げられたVoyager機は太陽圏探査に大きく貢献して来たが、2012年に1号機が、2018年には2号機がヘリオポーズを通過し星間空間に入った。従って今後、引き続き太陽圏の研究を行っていくためには、Voyager観測に依存することは出来ず、別の方法を模索する必要がある。地球の周辺での諸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得られるOMNIデータを使用するのが、当面唯一の方法と考えられる。我々は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。OMNIデータをMHDシミュレーションに於いて、太陽からの距離1 AUにて取り入れるためにはそこでの径方向メッシュサイズを0.01AU程度にせねばならない。外部境界として900AU程度までのシミュレーションを行いためにはシミュレーションボックスを2つに分けて行うことが現実的であると考えている。本研究では1-20AU間と20-900AU間との2領域のボックスに分けた3次元解析のシステムを開発している。1 AU球面上でのOMNIデータの取り込みでは、太陽風プラズマが共回転していると仮定して当日、13日先まで、及び13日後までの計27日間のdaily-dataを黄道面上にて使用する。緯度的には太陽風プラズマのラム圧が緯度依存性がないというユリシーズ観測結果に基づいた配分をしている。現在はシミュレーションプログラムの第1次モデルがほぼ整った段階であり、以下にその結果例を示す。

Preliminary result

pressure

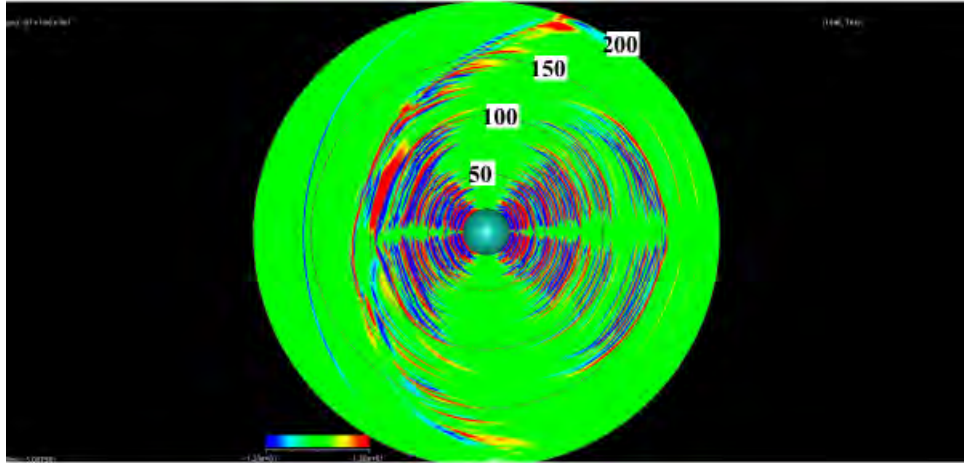


1 AU - 20 AU

Preliminary result

$\mathbf{j} \cdot \mathbf{E}$

$$\nabla \cdot \left(\frac{\mathbf{E} \times \mathbf{B}}{\mu_0} \right) = -\mathbf{j} \cdot \mathbf{E} - \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{B^2}{2\mu_0} \right)$$



20 AU - 200 AU

第1図 preliminary results. 1-20AU、赤道面、圧力(上)、20-200AU、子午面、 $\mathbf{j} \cdot \mathbf{E}$ 、(下).

なお、第1図(下)で $\mathbf{j} \cdot \mathbf{E}$ は主にポインティングフラックスの発散を示していて、太陽風プラズマ中の擾乱間での活発なエネルギーのやり取りが太陽圈内圏から外圏へと運ばれ、継続していることを示していると考えられる。

(以上)

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】

大規模磁気嵐時に、磁場変動が地面に誘導電流を流すために、地面の2地点間に電位差が生じ、電力送電網の変圧器間に準直流の電流が流れる(GIC:geomagnetically induced current)。GICは電離圏に強いジェット電流が流れるオーロラ帯で強いことが知られており、1989年3月にはカナダと米国東部の送電網において9時間におよぶ停電が発生している。我が国においても、関東地域で1989年10月に80アンペア、2003年10月には100アンペアを超える電流が記録されている。これらのGICはカナダの停電時の原因となったGICの推定値、200-300アンペアに比べて決して無視できない。我が国における予想外に強いGICの原因はいまだ不明であるが、高緯度域のGICが地磁気の時間微分(dB/dt)に比例するとされるのに対して、中緯度GICは dB/dt でなく B 、その中でも Y 成分に比例する(Watari他2009SW)ことが鍵を握っている可能性がある。解決すべき課題として2つ挙げられる。1つは、GICと B_y との比例関係が様々な時間スケールを持つ宇宙天気事象全般において成り立つかどうか？2つ目は、なぜ B_x でなく B_y なのか？これらを明らかにして、北海道GICを地磁気から再現するモデルを確立することが目標である。

【30年度の成果】

我々は、様々な時間スケールを持つ宇宙天気事象について、GICの B_y 依存性を調べた。その結果、SC、Pc5などの短時間変動において B_y との相関がよく($cc>0.8$)、磁気嵐などの長時間変動時には相関が悪くなる($cc<0.5$)ことを明らかにした。この周期依存性を理解するために、GICが地面に発生する誘導電場がつくる電位差に起因するという原点に戻り、地殻を一様導体と仮定して、 B_y が地殻に侵入する際に誘導する電場 E_x を計算した。その結果、長周期変動するGICが E_x と相関する($cc>0.8$)結果を得た。一方で、短周期に対してはこれまでどおり、 E_x よりも B_y の相関がよいという結果であった(Kikuchi他 JpGU2018; PSTEP-3 2018)。この結果は、長周期変動磁場に対して、地中の電気伝導度が一様と見なせる一方で、短周期変動する磁場が侵入する浅い地中では電気伝導度が異なることを示唆している。短周期と長周期の両方の事象をひとつのモデルで説明するためには、地中の電気伝導度が多層構造を持つモデルを構築する必要があることを示している。多層モデルでの誘導電場の計算は31年度以降の課題であるが、まず簡単な二層モデルの伝達関数を用いた誘導電場の計算をおこなった。その結果、短周期のSC(図1)と長周期のDP2(図2)、いずれの場合もGICとのよい相関($cc>0.9$)を得た。今後、二層モデルの適用性を様々な事象について調べる必要があるが、単一モデルで地磁気変動からGICを再現する手法を確立できる見込みを得た。

2つ目の課題であるGICの地磁気 Y 成分依存性の原因を明らかにするために、海岸線と送電線が比較的単調に東西に延びる中国地方に着目し、中国電力の協力を得て、2018年3月より山口県周南市の東山口変電所でGIC計測を開始した。また、誘導電場の計算に用いる地磁気データとして、京都大学地磁気解析センターが取得している高知県吾川の磁力計データを用いた。吾川はGIC計測点から離れているが、山口県にもっとも近くにあり、その初期解析(図3)では、GICが概ね B_y に依存する結果を得たことから、適正な位置と見なせると考えられる。今後、詳細な解析をおこなう。

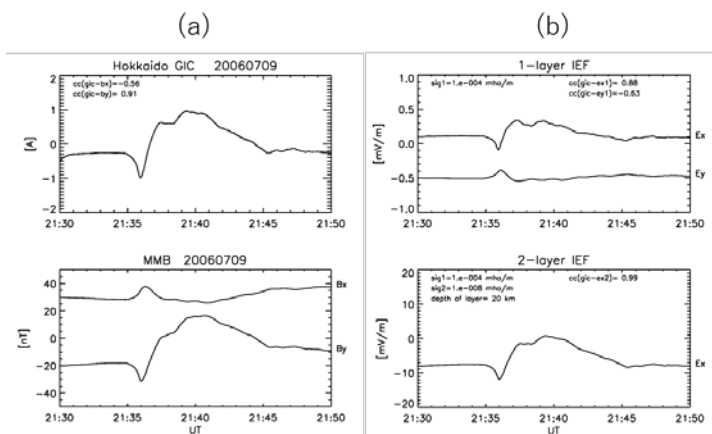


図 1a に SC 時の北海道 GIC(上段)と女満別の地磁気(下段)を示す。図 1b は、一様電気伝導度モデル(上段)と 2 層モデル(下段)で計算した誘導電場を示す。GIC は、By との相関(cc=0.91)が一様モデルの誘導電場 Ex との相関(cc=0.88)より良いが、二層モデルの Ex との相関がよい(cc=0.99)。SC 時の GIC の再現には、二層モデルが適切であることを示す。

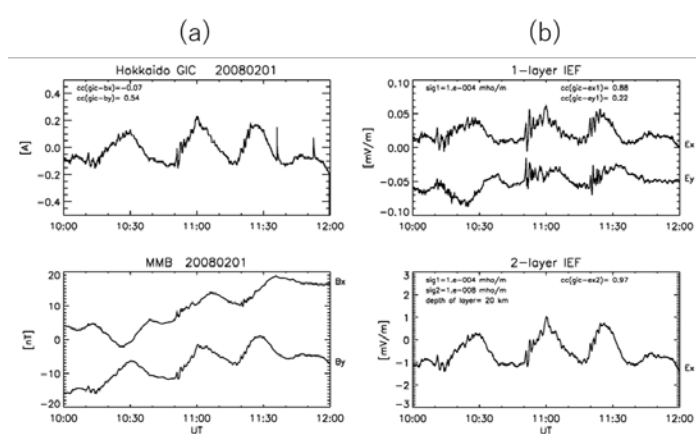


図 2a に 準周期磁場変動時の北海道 GIC(上段)と女満別の地磁気(下段)を示す。図 2b は、一様電気伝導度モデル(上段)と 2 層モデル(下段)で計算した誘導電場を示す。GIC は、By との相関(cc=0.54)がよくないが、一様モデルの誘導電場 Ex との相関(cc=0.88)がよく、さらに二層モデルの Ex との相関がよい(cc=0.97)。準周期磁場変動時の GIC の再現には、二層モデルが適切であることを示す。

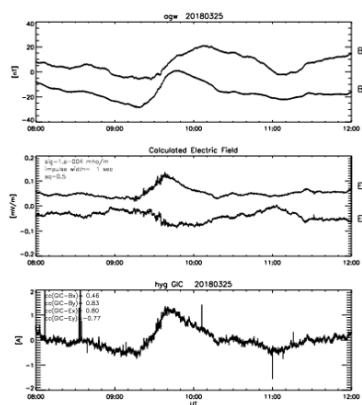


図 3 は、吾川の磁力計データ(上段)、一様モデルで計算した誘導電場(中段)、東山口変電所で計測した GIC(下段)を示す。GIC と地磁気との相関は、Bx(cc=0.46)より By(cc=0.83)がよい点は北海道 GIC と同じ傾向であるが、Ex(cc=0.80)との相関が低くなる点が異なっている。地中の電気伝導度の違いと思われるが、今後の課題である。

【本課題に関する成果発表】

(誌上)

Takashi Kikuchi (2019), Penetration of the magnetospheric electric fields to the low latitude ionosphere, *Advances in Ionospheric Research: Current Understanding and Challenges*, 4.1, Ed. C.S. Huang and G. Lu, John Wiley & Sons, Inc., in press.

(口頭)

1. Takashi Kikuchi, Yusuke Ebihara, Kumiko Hashimoto, Shin-Ichi Watari, Period dependence of reproducibility of the geomagnetically induced currents, PSTEP-3, NIC T, May2018

2. T. Kikuchi, K. K. Hashimoto, Y. Ebihara, Y. Nishimura, I. Tomizawa, N. Nishitani, and T. Nagatsuma, Transmission of the magnetospheric electric fields to the middle and low latitude ionosphere as observed by the Hokkaido SuperDARN radar and HF Doppler sounders, JpGU2018, Makuhari.

気候変動観測衛星（GCOM-C）を利用した琵琶湖における
クロロフィルa濃度の推定

Estimation of chlorophyll-a concentration in Lake Biwa using the Global Change
Observation Satellite (GCOM-C)

後藤直成、滋賀県立大学・環境科学部

【目的】

日本で最大の面積・容積を有する琵琶湖では、1990年以降、過・富栄養だった水質の改善が進んでいる一方で、漁獲量は年々減少傾向にあり、期待されたほどの在来生物群集の“賑わい”は戻ってきていない。また、琵琶湖では、温暖化に起因するさまざまな問題（貧酸素化や生物現存量・多様性の低下、有害藻類の増加など）が徐々に顕在化してきている。これらの問題には、琵琶湖生態系を根本から支えている植物プランクトンが大きく関わっていると考えられ、その動態を詳細かつ正確に把握することが喫緊の重要な課題となっている。

本研究の調査水域である琵琶湖の湖面面積（約640 km²）は愛知県三河湾とほぼ同じであるため、船舶を利用した観測では植物プランクトンの分布動態を広域的かつ連続的に捉えることが困難である。そこで本研究では、2017年12月に打ち上げられた気候変動観測衛星「しきさい」（GCOM-C）を利用して、琵琶湖全域におけるクロロフィルa濃度の分布を連続的に把握し、植物プランクトンの詳細な時空間分布変動を評価することを目的とした。

【方法】

2018年4月～12月（観測回数：7回）、琵琶湖北湖（観測地点：5地点）において船舶観測を行った（図1）。船舶観測では、現場クロロフィルa濃度と懸濁物質濃度（SS）測定用の表層水（深度1 m, 3 m）を採取し、実験室での分析に供した。同時に、水中分光放射照度・輝度計（PRR600-610, Biospherical Instruments）を用いて湖面におけるリモートセンシング反射率を測定した。現場クロロフィルa濃度は、90 %アセトンで色素抽出を行った後、蛍光光度計（TD-700: Turner Designs）を用いたWelschmeyer (1994)の方法により測定した。

衛星観測では、気候変動観測衛星（GCOM-C）搭載の多波長光学放射計（SGLI）によって測定された衛星クロロフィルa濃度（level-2, 空間分解能 250 m）および正規化海水射出放射輝度（380～670 nm, level-2, 空間分解能 250 m）を用いた。取得した衛星データは画像解析ソフトWIM（wimsoft）を用いて解析を行った。

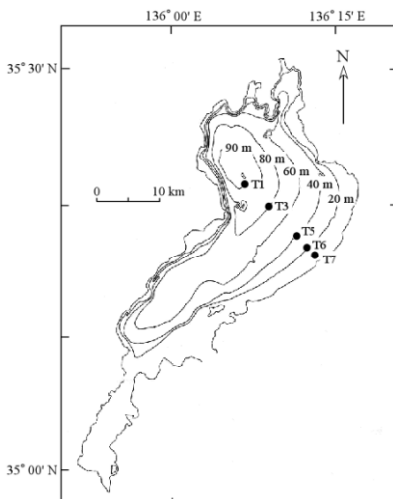


図1. 調査地点（T1～T7）

【結果と考察】

観測期間中、現場クロロフィルa濃度は、0.80（7月26日）～14.18（11月7日）mg m⁻³の範囲を変動し、秋期（11月）に大きく増加した（図2）。観測期間における現場クロロフィルa濃度の平均値は4.68 mg m⁻³であった。現場におけるリモートセンシング反射率（Rrs(λ)）は、Rrs(547)あるいはRrs(555)で最大となり、それらの波長よりも短波長・長波長になるにつれて減少する傾向を示した（図3）。

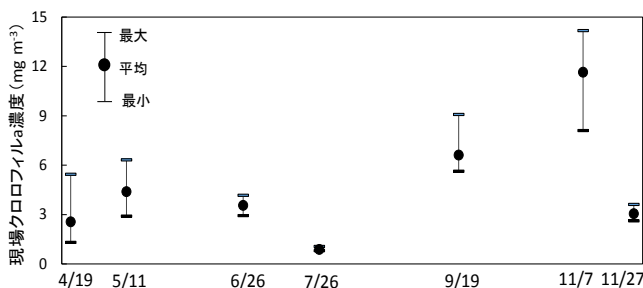


図2. 琵琶湖北湖における現場クロロフィル a 濃度

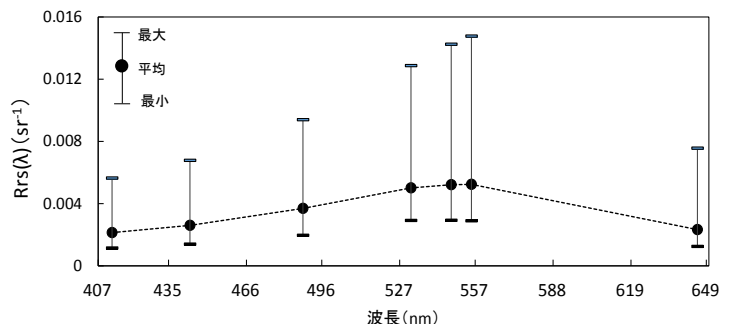


図3. 琵琶湖北湖における現場リモートセンシング反射率

2018年における現場データと衛星データのマッチアップデータ数は計4データ（2018年9月19日）のみであった。2018年9月19日における衛星クロロフィルa濃度分布を図4に示す。衛星クロロフィルa濃度は湖東沿岸域で高く、湖西沿岸域で低い傾向にあり、琵琶湖北湖で頻りに観察される典型的な分布を示した。SGLIの衛星クロロフィルa濃度（レベル2）の空間解像度は250 mであり、非常に詳細なクロロフィルa濃度分布が捉えられている。今後、本データを利用することで、琵琶湖における植物プランクトン群集の分布動態がより詳細に把握できると期待される。しかしながら、その濃度は現場クロロフィルa濃度より低く、過小評価されており、大気補正や水中生物光学アルゴリズム等の見直しが必要であると考えられる（図5）。

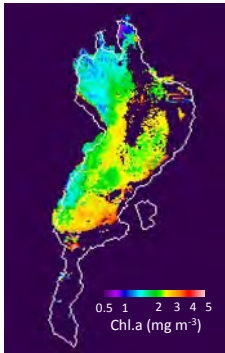


図 4. 2018 年 9 月 19 日の琵琶湖における衛星クロロフィル a 濃度分布

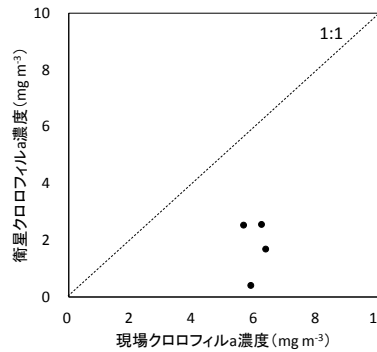


図 5. 衛星クロロフィル a 濃度と現場クロロフィル a 濃度との関係 (2018 年 9 月 19 日)

各波長における衛星リモートセンシング反射率と現場リモートセンシング反射率の関係を図6に示す。衛星Rrs(412)は過小評価されていたが、衛星Rrs(443, 490, 530, 565)は、若干の過小評価ではあるが、現場Rrsに近い値であった。一方、長波長域の衛星Rrs(674)は過大評価となっていた。

衛星データの正確な精度評価は、衛星データと現場データのマッチアップデータ数を増やすことにより可能となる。今後は、琵琶湖における観測を継続して行い、マッチアップデータ数を増やす必要がある。

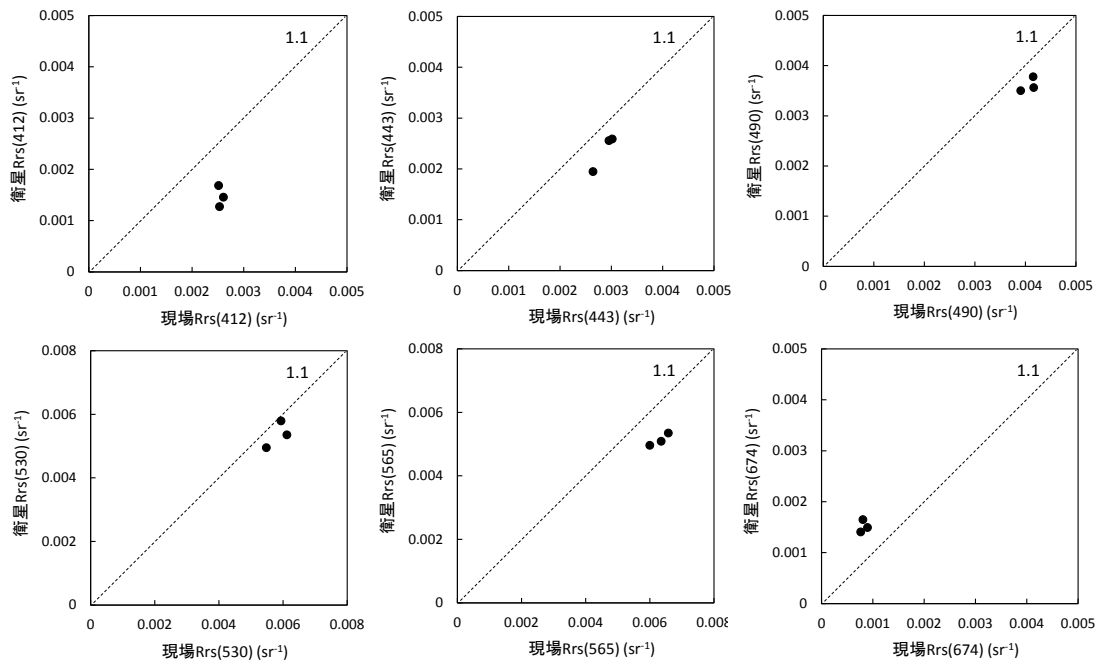


図 6. 各波長における衛星リモートセンシング反射率 (2018 年 9 月 19 日)

正規化海水射出放射輝度と平均太陽照度 ($W/m^2/sr/um$) [412nm:1712, 443nm:1898, 490:1938, 530nm:1850, 565:1797, 674:1502]から算出

【成果発表】

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

発表：後藤直成（2018）衛星リモートセンシングを用いた琵琶湖におけるクロロフィルa濃度の推定．日本リモートセンシング学会 海洋・湖沼リモートセンシング研究会，静岡市，9月5日．

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

本研究は、衛星搭載センサのライダー CALIOP やイメージャ(例、ひまわり 8 号や MODIS)では信号がほぼノイズ以下で観測が難しいが、雲レーダ CloudSat では有意に観測できる雲の成因や特性を地上観測によって明らかにすることを目的とする。CALIOPとCloudSatを用いる雲粒径分布の中では、このような雲は粒径が大きく個数密度が少なければならない。本報告書では、この雲を便宜上 Large-and-Sparse particle Cloud (LSC)と呼ぶ。Radar-lidar 法より、LSC の粒径分布の上下限は、半径が $50 \mu\text{m}$ 以上で個数密度は 10L^{-1} 以下である。Pruppacher and Klett (1997)といった先行研究と比較すると、典型的な巻雲より 1 桁程度個数密度は少ない。LSC は巻雲の一種と考えられる。CALIOP と CloudSat の同時観測の事例から、LSC はその下の過冷却の水雲は消散していることが分かっている。過冷却の水雲はどの緯度にも存在し、LSC は高緯度に存在している。このため、LSC は高緯度の放射や水循環に寄与する可能性がある。

研究方法

雲粒子センサ (Cloud Particle Sensor) 搭載ゾンデ (以降、CPS) を使い、名古屋大学太陽地球環境研究所の陸別観測所 (北海道) を拠点とし夜間に CPS 観測を行った。観測期間は 2019 年 1 月 21 日から 25 日まで、放球日は 21 日 (月齢 15) と 25 日 (月齢 19) である。また、前年度の 2018 年 3 月 22 日 (月齢 4) の放球結果も本報告書で述べる。これらと同時にライダー観測も行った。なお、CPS は夜間しか観測できない。

CPS は内部にレーザ光が出ており、それを粒子が通過するとその散乱強度を計測する。データは 1 秒ごとに CPS センサを通過する粒子の個数、最初の 6 個の散乱強度と偏光成分の散乱強度である。粒径は $2 \mu\text{m}$ 以上で有意に計測できる。LSC の個数密度は CPS の観測限界に近い。そのため、次のように二項検定を用いて信号が有意か否か検定した。

圏界面の 3km 上から風船がバースト高度より 1km 下 (または風船が上昇しているが電波が途絶え観測終了したまでの高度) の間に粒子が計測される確率を p とする。雲が通常存在しない高度であれば、3km や 1km は適当な値でよい。これらで検定結果はほとんど変わらない。通常 p は 10^{-4} 個/s 前後である。成層圏には雲粒子がないので、粒子は計測されることはないはずだが、まれに観測される。これはおそらくトーテックス株式会社の風船 TA-600 に付着しているタルク (浅田製粉株式会社・SW-A) と思われる。タルクの粒径は $5 \mu\text{m}$ 程度で、その粒径 $20\text{--}30 \mu\text{m}$ 以上の凝集体は簡単な振動で落下する。放球作業のことを考えると、放球後に風船に付着しているものは $20 \mu\text{m}$ 以下と考えるのが妥当と考えられる。

帰無仮説として、ある高度で信号がタルクによるものである仮定する。ある高度の信号の出現確率がタルクである確率が 1% 以下であったら帰無仮説を棄却し、その高度の信号が雲によるものとする。このような二項検定を用いることで、雲による信号かそれ以外のものか推定することができる。この結果をライダーと比較し、妥当な結果を得られることができた (図示していない)。

観測結果

2019 年 1 月 21 日は、全体に空が白みかかっていたが、CPS ではほとんど粒子を観測できなかった。月齢 15 で月光による大気散乱が強く、白みが雲によるものか大気によるものか判別できなかった。22 日の天候は 21 日と同じ、23 と

24日は降雪のため観測は中止した。25日は下層に雲があるが、ときおり晴れ間も見られていた。高度1,800mに過冷却の水雲(個数密度:200個/L)があり、そのすぐ下に大きな氷、さらにその下に小さい氷が測定されていた。過冷却の水雲で生成された氷が落下し、昇華により小さくなっていったと考えられる。過冷却の水雲の直上には雲粒は有意に観測されなかった。高度3,000m付近に厚さ100mの小粒径の氷粒の雲(個数密度:数個/L)、7,200mに厚さ8mの水雲(個数密度:数十個/L)があった。通常は厚さ8mの雲はリモートセンシングでは測定することができない。上昇速度がおよそ1m/sであったため、8mの雲厚も連続的に有意に変化していた。

2018年3月22日は快晴ののち霞が出ていた。高度6-10kmに1-10個/Lの氷粒が測定され、高度10-11kmに氷に対する相対湿度が104-105%の層が観測された。この個数密度は、ほぼCPSの観測限界である。ライドの信号からは、水平一様な雲を仮定すると1.4m/sで粒子が落下していた。球形粒子であれば、落下粒子の大きさは130 μ mに相当する。

解析結果

パーセルモデルを用いて2018年の過冷却層で氷粒子が生成された事例を解析した。このモデルは、Lin et al. (2004, JAS)のパーセルモデルの相互比較論文の結果と整合的な結果が得られることは確認している。Homogeneous nucleationが始まると氷粒が大量に生成され観測結果が再現できないので、それを引き起こさないよう氷に対する相対湿度が140%までの計算とした。Heterogeneous nucleationはいまだ解明されていないので、その代わりに半径1 μ mの氷粒を観測と整合的な個数を入れて計算した。放射や衝突併合といった気候は考慮していない。図1はその結果である。結果から、相対湿度が140%であっても落下速度が速いため粒子は半径100 μ mまで達せず、粒子が1km落下した後は相対湿度が減少し次に同程度の大きさの粒子を成長させることができない。このため、落下速度を遅く水蒸気を供給するためには、上昇気流があったと考えることが妥当である。

まとめ

2018年と2019年に計3発のCPS観測を行った。2018年の事例はLSCの可能性がある。月齢が0前後の方が空の状態が分かりやすいためLSC観測には適していた。二項検定を用いて低個数密度のCPSデータを解析した。観測結果を踏まえたパーセルモデルの結果から、上昇気流によって圏界面付近で氷過飽和となり、そこで半径100 μ mの氷粒子が生成され落下していることが推察された。今後は、観測を再現できる妥当な上昇速度、この過程で生成された氷粒子が昇華せずに過冷却の水雲まで達する過程、過冷却の水雲と氷粒子の相互作用を検証していきたい。

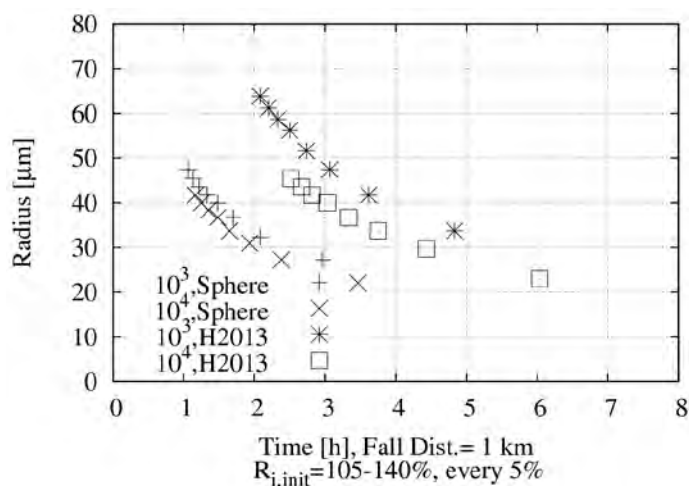


図1. 粒子が1km降下する時間とその時間で成長した粒子半径の関係。終端速度は球形粒子と非球形粒子(H2013)の2種類で計算した。初期条件は、氷に対する相対湿度は105%から140%の間で5%の刻み、1 μ mの氷粒の個数密度を 10^3 と 10^4 /Lとした。気温は-60度で固定している。観測で、高度10-11kmの気温が-60度でほぼ一定であったためである。

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OCSの経年変化、及びHCl、HFの近年の経年変化について報告する。

OCSは対流圏大気中の主な硫黄化合物であり、ユンゲ層などの成層圏エアロゾルの主なソースである。発生源は海洋微生物のほか、人工発生源が多くあるがまだ不明な点も多い。FTIRでは $5\mu\text{m}$ 付近に吸収線が複数あり、この付近のスペクトルから高度分布を求めることが出来る。図1につくばで観測されたOCS全量の2001–2017年の経年変化を示す。観測の関係上2003–2009年に欠測があるが、そのギャップを挟んで増加していること、また2014年頃からは減少に転じていることがわかる。このデータは名古屋大学の陸別の観測結果とともにNDACC/IRWGに提供して共同で解析中であるが、20カ所ほどの世界各地の観測結果は観測地点によってかなり変化の様子が異なっており、今後も引き続き解析を進める予定である。

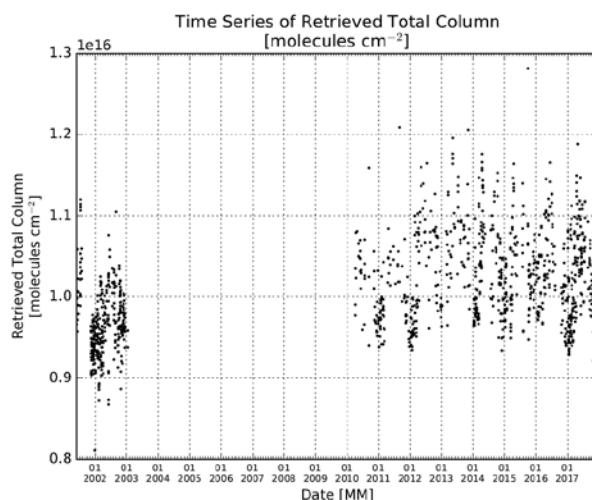


図1. つくばで観測されたOCS全量の2001–2017年の経年変化

HClについては昨年度も報告しているが、今年度はHFも解析した。HFはHCl同様フロン類が主な発生源であるが、代替フロンにも含まれるためHClよりも発生源が多い。そのため経年的な増減に関してはHClとはずれが生じると考えられるが、両者及び気象データから求めた輸送の指標（質量流線関数など）から経年変化の要因が探れるのではと考えた。図2につくばで観測されたHCl全量（左）とHF全量（右）の2001–2018年の経年変化を示す。HFは前述のように発生源が多い分増加傾向がHClより大きめに出るが、2007年を境にした減少から増加の傾向はHClと同様に見られ、その後の減少への転換はHClより若干遅れてみられる。ただ、2017年までの解析の時点で見られていた2015年以降の再増加は、2018年の解析結果を追加したところむしろHCl、HFともに減少傾向となった。2015年までのHCl、HFの減少、増加、減少については今のところ質量流線関数の変化から見た成層圏循環の減速、加速と対応しているが、2015年以降については引き続き観測結果を見ていく必要があるであろう。また、3次元化学輸送モデルとの比較も今後行いたいと考えている。

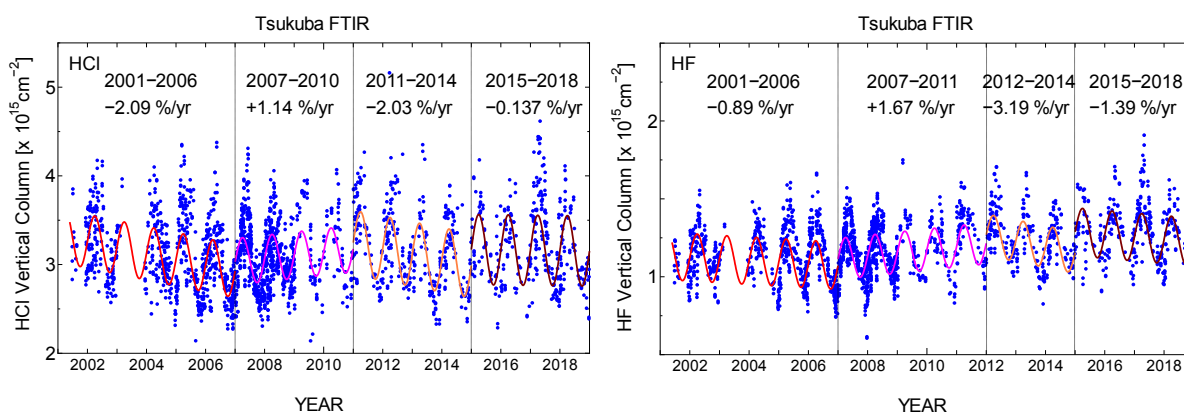


図2. つくばで観測されたHCl全量（左）とHF全量（右）の2001–2018年の経年変化。点線で区切った4つの期間についてのフィッティング曲線と年変化率も示してある。

<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硫化カルボニル(OCS)の増加, 日本地球惑星科学連合 2018年大会, 幕張, 2018年5月.

I. Murata, Y. Tomikawa, I. Morino, H. Nakajima, and Y. Dai, Temporal variation of HCl observed at Tsukuba related to the change of the meridional circulation in the northern lower stratosphere, NDACC Infrared Working Group Meeting, Cocoyoc, Mexico, June, 2018.

I. Murata, Y. Tomikawa, I. Morino, H. Nakajima, Y. Inai, and Y. Dai, Temporal variation of HCl and HF related to the change of the meridional circulation in the northern lower stratosphere, iCACGP-IGAC 2018, Sep. 25-29, 2018.

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

地球温暖化やそれに伴う北極海氷減少は、北半球高緯度域の気象や環境に影響を与える。ユーラシア北部においては、降水量と関連する水循環の経年変動特性が温暖化や海氷減少によって変調している可能性が指摘されている（例えば Fujinami et al. 2016; Hiyama et al. 2016）。将来予測に用いられるモデル群におけるこのような経年変動特性の変調や長期トレンドに関する再現性は、最も気候変動の影響が大きいと言われている北極圏周辺の環境変化や局地的な極端現象の予測を考える上で重要である。しかし、将来の気候変化を予測する気候モデルや地球システムモデルにおける、ユーラシア北部の水循環の経年変動に関する再現性の評価やメカニズムの理解は不十分である。

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におけるユーラシア北部の、特にシベリア域における夏季降水量の経年変動の空間パターンの再現性やモデル間の変動メカニズムの差異を調べ、モデルの不確実性や経年変動メカニズムの理解向上を目的とする。

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 15 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) や海氷の観測値を与えた大気大循環モデルのデータを用いる。また、観測値として GPCP 降水量データを用いる。解析期間は 1979 年から 2008 年までの 30 年間である。

各モデルは水平解像度が異なるため、全モデルデータと GPCP データを $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ の解像度に統一して解析を行った。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 つと GPCP の上位 4 つの EOF モードの空間パターンに対し、クラスター解析を適用してグループ化し、各グループの大気循環の空間パターンの特徴について解析を行った。

研究結果

昨年度は、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（ワード法）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。本年度は、観測値の経年変動特性との関係性を考慮するため、GPCP における上位 4 つの EOF パターンを加えて、昨年度と同様のクラスター分析を適用した。クラスター分析の結果から、GPCP の 4 つの EOF パターンがそれぞれに含まれる 4 つのグループ（Cluster A, B, C, D）に分類し、類似した空間パターンごとに特性をまとめた（図 1）。

Cluster A の EOF パターンの特徴は、東シベリアの正のシグナルである。ここには GPCP の EOF3 が含まれている。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ており、Fujinami et al. (2016) の EOF2 と類似する特徴を示した。

Cluster B の EOF パターンの特徴はシベリア域全体で広く正のシグナルがあることである。ここには GPCP の EOF1 が含まれている。ただし、このグループに含まれるモデルの EOF パターンは 5 つと少ない。このことは多くのモデルが、観測される最も主要な変動特性を十分に再現できていないことを示している。

Cluster C に含まれる 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。このグループの多くの EOF パターンには、シベリア中央部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。このグループに含まれている GPCP の EOF2 パターンとモデルの EOF パターンとの類似性が特に高く、空間パターンに限ればモデルの再現性が良い。

Cluster D に含まれるモデルの EOF パターンの多くが EOF1 である。それに対し、GPCP の EOF4 がこのグループに含まれている (図 2)。これは多くのモデルが共通して、観測値の EOF4 に類似するパターンを最も主要な変動の空間パターンとして持っていることになる。しかし、この要因については本研究では明らかにできなかった。

まとめ

15 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、観測値 (GPCP) から得られる経年変動の主要モードに類似している。しかし、多くのモデルが観測値の EOF1 の空間パターンを再現できていないという課題があることがわかった。また、多くのモデルが共通して、観測値の EOF4 と類似する空間パターンを最も主要な変動の空間パターンとして持っていることが明らかになった。

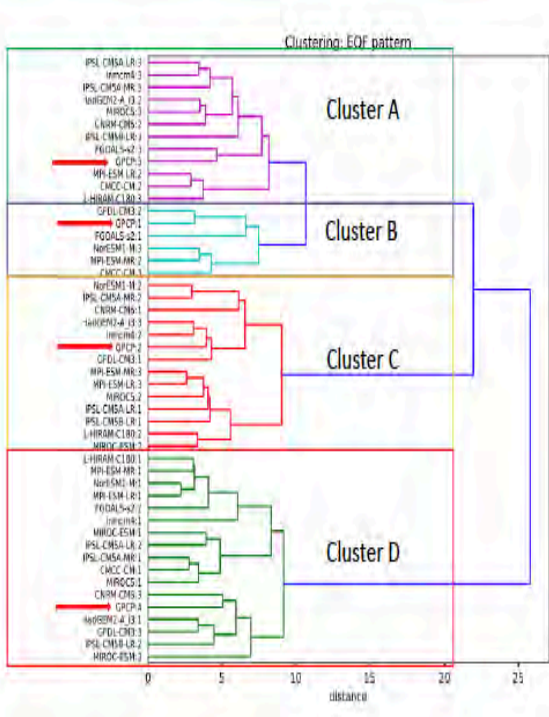


図 1: 各モデルの EOF1-3 の空間パターンと GPCP の EOF1 の空間パターンに対してクラスター分析を行った結果を示すデンドログラム。各項目はモデル名 : EOF の順位を示す。

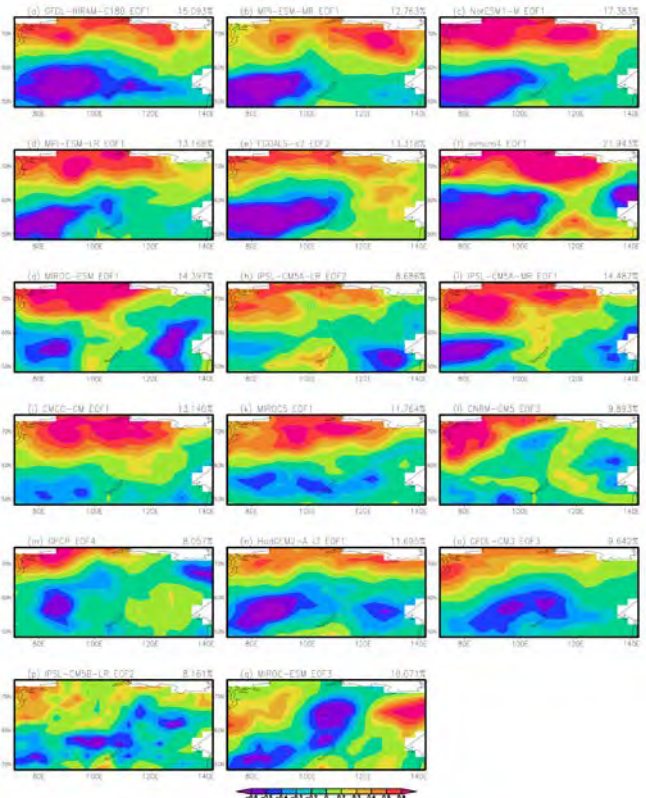


図 2 : Cluster D にグループ化された EOF の空間パターン。各モデルの図の右肩に寄与率を示す。

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 (2018), Interannual variability of summer precipitation over northern Eurasia in multiple climate models: Part II, *JpGU 2018*, May 24, Chiba, JAPAN.

赤道波動のエネルギー伝達経路の診断による熱帯気候の理解と
海洋データの付加価値形成

Identification of energy transfer route by oceanic equatorial waves
for understanding tropical climate

尾形 友道(海洋研究開発機構・アプリケーションラボ)

大気と海洋の様々な長周期(季節内～季節間スケール)波動は熱帯域の気候変動現象(MJO/ENSO/IOD)の発達・終息において重要な役割を担う。これらの波動を解析する際に従来の準地衡流近似に基づく診断理論は中緯度域と熱帯域の接続を統合的に取り扱えないという問題があった。研究代表者の最近の理論研究によってエネルギーフラックスの診断式のブレークスルーがもたらされた(Aiki et al. 2017 PEPS)。これは大気海洋中の擾乱エネルギーのライフサイクル(発達・伝達・消散過程)を緯度帯の制限なくトレースするための強力なツールである。これによって擾乱エネルギーの流れを可視化して定性的に理解するだけでなく、厳密な定量化により各力学過程の最重要なものを明確化することができる。本研究ではこれを適用して、熱帯と中緯度の波動をその相互作用も含めて連続的にトレースすることで、熱帯の主要な気候変動イベントの発達・終息メカニズムを解明する。

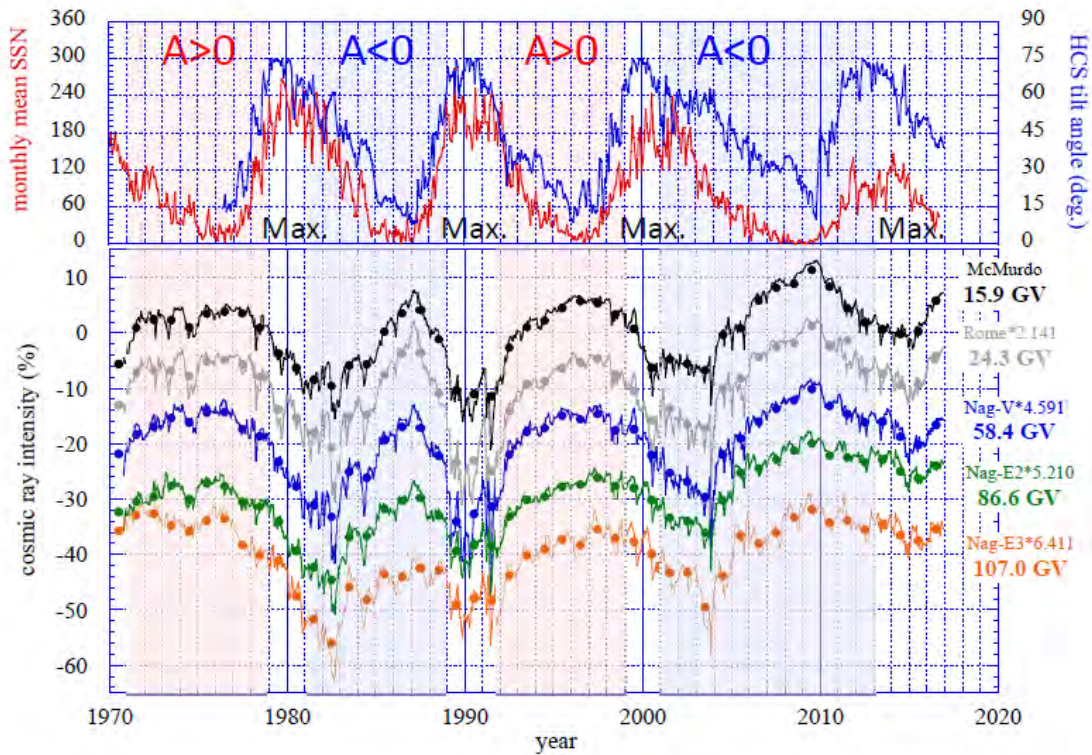
本研究では、今までの研究から課題として残された、1)新しく開発された解析手法(エネルギーフラックス)を用いた海洋波動伝播の解析、2)気候モデルにおける季節内スケール変動とIODなどの気候変動モードの相互作用の解析を行い、熱帯海洋研究の進展を目指す。申請者が従来から取り組んできた赤道域における特徴的な海洋波動(混合ロスビー重力波:例えば Ogata et al. 2008 JGR-O, Ogata et al. 2017 JPO)に新しいエネルギーフラックスを適用したところ、新しいエネルギーフラックスの赤道域での有効性・優位性が確かめられた。本研究では、この解析結果を足掛かりにして、(先行研究では理想化した地形や外力に制限されていた)エネルギーフラックスの適用を、現実的な海洋シミュレーションにも適用し、各種赤道波動における有効性・優位性を検証する。

今年度は、現実的な海洋シミュレーションにおける季節内変動(尾形)および季節変動(相木)にエネルギーフラックスを適用し、赤道海洋波動のエネルギー伝播の特定における新しいエネルギーフラックス(Aiki et al. 2017 PEPS)の優位性を検証した。季節内変動に関する研究成果として、1)鉛直モード展開を用いた、より厳密な三次元場からの二次元場への射影 2)三次元にも適用可能な、新しいエネルギーフラックス表現の展開を行なった。1)の鉛直モード展開により、赤道インド洋での90日周期の海洋変動は鉛直第二モードのみで説明でき、風のエネルギー注入によるケルビン波/ロスビー波伝播が主要である事が示された。一方、30日周期の混合ロスビー重力波による海洋変動は、複数の鉛直モードが寄与しており、モードの重ね合わせによる鉛直伝播が重要である事が示唆された。これは2)の三次元にも適用可能な、新しいエネルギーフラックス表現の展開を促す結果であり、これらの追加解析結果を踏まえた論文を執筆中である。

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

宗像 一起、信州大学・理学部

我々は、地表ミュオン強度に対する大気気温効果の補正法を、多方向ミュオン計の汎世界的観測ネットワーク（GMDN）を用いて開発した。この補正法を1970年から連続観測を継続している名古屋ミュオン計による観測データに適用し、50–100GVの高リジディティ銀河宇宙線強度の長周期変動を世界で初めて導いた。この結果、従来は中性子計による数10GV以下のリジディティ領域に限られていた長周期変動の解析を、100GVにまで拡張して行うことが可能となった。結果を下図に示す。



図の下のパネルが1970–2016に観測された銀河宇宙線強度で、黒色と灰色がMcMurdo及びRome中性子計による観測結果、青・緑・橙が補正後の名古屋ミュオン計により観測結果（17方向計の内3方向計のデータのみを示してある）で、一次宇宙線のリジディティの順に上下にずらしてプロットしてある。●が年平均値、線がCarrington Rotation（CR）平均値である。また、リジディティとともに減少する変動幅を揃えてプロットするため、それぞれ一定の係数倍してある（各カーブの凡例を参照）。この結果から、長周期変動の概要が中性子計とミュオン計で似通っており、変動の振幅がリジディティの約-0.8乗で、リジディティとともに減少していることが判った。

一方でミュオン計による観測結果は、中性子計による結果と異なる様相も呈している。例えば、中性子計による観測で太陽活動極小期に繰返し観られる「peaky top」と「flat top」の様相が、ミュオン計による観測結果ではリジディティの上昇とともにあまり目立たなくなっている。また、中性子計で観測された1970年代半ばの太陽活動極小期 ($A > 0$) の宇宙線強度は、1980年代半ばの太陽活動極小期 ($A < 0$) の宇宙線強度より低いが、ミュオン計で観測された結果ではリジディティの上昇とともにこの大小関係が逆転していることが判る。このことは、銀河宇宙線強度のリジディティ依存性がこの二つの期間で変化していることを意味している。

中性子計を用いたlatitude surveyの結果、同期間にリジディティ依存性が変化しており、数GV近辺でスペクトラムに「cross over」が観られることが過去にも報告されているが(Moraal et al., JGR, 94, 1989)、ミュオン計による図の結果はより高い数十GeV近辺にも「cross over」があることを示唆している。こうした「cross over」はドリフトモデルからも予見されていたが(Reinecke & Potgieter, JGR, 99, 1994)、本研究の結果初めて観測的に確認された。

図の結果を用いると、銀河宇宙線のリジディティ・スペクトラムを年毎またはCR毎に導くことも可能であり、「cross over」と太陽活動の関連も調べることができる。今後この方向での研究を進め、結果を報告して行く予定である。

関連する論文発表：

- K.Munakata et. al., Cosmic-Ray Short Burst Observed with the Global Muon Detector Network (GMDN) on 2015 June 22, ApJ, 862:170 (9pp), 2018 August

関連する学会発表：

- K. Munakata et al., Long-term variation of cosmic ray intensity observed with Nagoya muon detector, ISEE symposium, ISEE, Feb. 26, 2019.
- 宗像一起他、多方向ミュオン計で観測された宇宙線強度の長周期変動、2019年日本物理学会年会、九州大学、2019年3月14日

Sr 同位体分布図を用いた地殻表層物質の陸海域間移動過程の解明
Elucidation of the transfer process of Earth's surface materials between land and sea
using Sr isotopic map

太田充恒、産業技術総合研究所・地質情報研究部門

1. 研究目的

産業技術総合研究所地質調査総合センターは、地殻表層における環境評価の基準図とすべく、河川堆積物・海洋堆積物を用いて、陸海域にまたがる広域元素濃度分布図の整備を進めてきた(今井ほか, 2004, 2010)。2010–2014年度には名古屋大学宇宙地球環境研究所と共同で、食品や考古学資料の産地推定(起源解析)を目的とした、陸域のストロンチウム(Sr)同位体分布図作成に取り組んだ。この結果、1)河川堆積物中のSr同位体比は母岩の値と類似する事、2)Sr同位体比分布は地質図と良く対応する事、3)動植物組織の産地・起源推定には、堆積物中の交換態Srが有効である事、などが明らかとなり、産地推定図としての有効性が明らかとなった(Jomori *et al.*, 2017; Minami *et al.*, 2017)。本研究課題では、これら環境評価・産地推定に継ぐ新たな課題として、堆積物・堆積岩の起源推定や物質移動過程解明へのSr同位体分布図の応用を目指す。今回は、河川堆積物中のSr同位体比が風化・続成作用、運搬・堆積過程で変動が少ないという特徴と、地理情報システムを用いた地形や地質情報の空間解析結果を組み合わせることで、堆積物・堆積岩の起源(母材)推定や背景地質から供給される物質の混合比率の算出への可能性を検討する。

2. 研究方法

調査地域として、北部に白亜紀花崗岩類(領家花崗岩類)、南部に白亜紀堆積岩類(和泉層群)が分布する比較的単順な地質構造を持つ淡路島を選んだ。試料として、淡路島の河床23地点から河川堆積物約2 kgを採取した。河川堆積物は実験室内にて風乾後、ふるいを用いて180 μm以下の細粒砂を分別し、分析試料として用いた。試料をフッ酸–硝酸–過塩素酸を用いて加熱分解し、ICP発光分析装置及びICP質量分析装置にてRbやSrを含む51元素の濃度を測定した。Sr同位体比は、試料を950°Cの高温で加熱して有機物を取り除いた後、フッ酸–過塩素酸を用いて分解した。分解物は塩酸に溶解した後、陽イオン交換樹脂を用いて、Srを分離回収し、名古屋大学表面電離型磁場型質量分析計(VG Sector 54-30)で⁸⁷Sr/⁸⁶Sr同位体比の測定を行った。河川堆積物の母材である各種岩相が河川流域に占める面積比率については、地理情報システムソフトウェア(ESRI社 ArcGIS 10.5)を用いて解析を行った。

3. 研究結果

母岩から河川堆積物形成に至る風化過程の評価として、化学的風化度の評価指標であるChemical Index of Alteration (CIA)を算出した(Nesbitt and Young, 1982)。その結果、河川堆積物のCIAは母岩の値に対して系統的に高い値を示すものの、その差は僅かであることから、著し

く化学風化を受けておらず、母岩の化学組成・Sr同位体比を忠実に反映していると考えられた。実際に、河川堆積物の $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 及び $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ データは、その母岩である花崗岩類および白亜紀堆積岩の値とよく一致した。さらに、花崗岩類および和泉層群を起源として形成された新第三紀・第四紀堆積層が流域に広く分布する河川堆積物試料の $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 及び $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ データは、初期母岩の花崗岩類および白亜紀堆積岩の $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 及び $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ を保持していることも明らかとなった。

次に、流域に花崗岩および白亜紀堆積岩を含む河川堆積物試料中の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ を、花崗岩・白亜紀堆積岩それぞれが流域に単独に分布する河川堆積物試料の流域面積と同位体比を用いて再現することを試みた。その結果、砕屑粒子の供給が各岩石の露出面積に単純に比例するモデルでは再現ができなかった。これは岩石の種類によって風化・削剥への耐性が異なることや地形形状・植生が異なるためと考えられる。淡路島においては、白亜紀堆積岩地帯に比べて花崗岩地帯の方が約10倍風化・削剥されると仮定した時、河川堆積物の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ が最も正確に再現できた。

以上の結果より、河川堆積物はその母岩の同位体比を忠実に反映しており、堆積物・堆積岩の起源推定に使えることが明らかとなった。また、流域に占める岩石の分布面積比率とそのSr同位体比を用いることで、岩石別の風化・削剥に対する耐性評価や土砂供給量算出への応用も可能となることが明らかとなった。

4. 成果発表

今井登, 寺島滋, 太田充恒・南雅代, 多段階の堆積サイクルを経た堆積物・堆積岩における源岩の初期 Sr 同位体比の保持—淡路島の細粒河川堆積物を例に一、地球化学 (in press).

5. 引用文献

- 今井登, 寺島滋, 太田充恒, 御子柴, 岡井貴司, 富樫茂子, 松久幸敬, 金井豊, 上岡晃, 谷口政碩. (2004) 日本の地球化学図. 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 今井登, 寺島滋, 太田充恒, 御子柴(氏家)真澄, 岡井貴司, 立花好子, 富樫茂子, 松久幸敬, 金井豊, 上岡晃. (2010) 海と陸の地球化学図. 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- Jomori, Y., Minami, M., Sakurai-Goto, A. and Ohta, A. (2017) Comparing the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ of the bulk and exchangeable fractions in stream sediments: Implications for $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ mapping in provenance studies. *Applied Geochemistry*, **86**, 70–83.
- Minami, M., Jomori, Y., Suzuki, K. and Ohta, A. (2017) Grain-size variations in $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ and elemental concentrations of stream sediments in a granitic area: Fundamental study on $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ spatial distribution mapping. *Geochemical Journal*, **51**, 469–484.
- Nesbitt, H. W. and Young, G. M. (1982) Early proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, **299**, 715–717.

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、48コアを持つCPUが数百万台以上並列に接続された計算機システムになると発表されている。しかしながら、数百万以上の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アプリケーション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、京コンピュータ上の高並列環境で計算を実行すると、並列化に伴う通信・同期により10%の計算性能劣化が見えてきている。この値を元に「ポスト京」レベルの並列計算環境での計算性能劣化を見積もると、性能劣化が50%程度になると予測される。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磁気圏MHDシミュレーションコードを開発している。この中でHaloスレッドという通信と計算を担当するスレッドの考えとHalo関数と用ばれる領域分割通信に最適化した通信関数を提案したが、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。

本年度は通信最適化されたVlasovコードにHaloスレッド、Halo関数を導入し、その性能評価を行った。Vlasovコードに利用されていた通信はMPIであり、Halo関数内で実際に利用されている通信と同じだが、Halo関数では、通信に伴うデータパッキング/アンパッキングの最適化・通信と他の通信・計算等とのオーバーラップが関数内部的に可能となっている。これらの効果により、Halo関数を導入すると、通信が30%以上高速化されることが確認できた。これによりMHDシミュレーションだけでなく次数の高いVlasovシミュレーションでも効果があり、汎用性の確認がある程度できたと考えられる

・国内研究会発表など

(査読有) Fukazawa, K., T. Soga, T. Umeda, T. Nanri, Performance Evaluation and Optimization of MagnetoHydroDynamic Simulation for Planetary Magnetosphere with Xeon Phi KNL, Parallel Computing is Everywhere: Accelerating Computational Science and Engineering (CSE), Advances in Parallel Computing, 178 - 187, DOI:10.3233/978-1-61499-843-3-178, 2018.

(査読有) K. Fukazawa, M. Ueda, Y. Inadomi, M. Aoyagi, T. Umeda and K. Inoue, "Performance Analysis of CPU and DRAM Power Constrained Systems with Magnetohydrodynamic Simulation Code," HPCC, 2018, pp. 626-631. doi: 10.1109/HPCC/SmartCity/DSS.

2018.00113

深沢圭一郎、梅田隆行、"MHD, VlasovシミュレーションにおけるHalo通信の最適化"、STEシミュレーション研究会 - プラズマ-大気複合システムのシミュレーション研究 - 、東京、2018年9月3日 - 5日.

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

地震や台風などの下層大気が発生する大規模な現象に伴い、大気波動が生じ、これによって電離圏擾乱が引き起こされることが知られている。火山噴火もまた同様に大気波動を発生させるが、火山噴火に伴う電離圏擾乱に関する報告はHeki (2006)などの事例があるものの、まだ十分な解析は行われていない。そこで本研究では、火山噴火に伴う電離圏の変動について、桜島の噴火を対象として、全電子数(Total Electron Content, 以下TEC)を用いて、解析を行った。

2. 研究方法

本研究では、国土地理院のGNSS連続観測システム(GNSS Earth Observation Network : GEONET)より導出されたTECデータを使用した。電離圏貫通点は300kmと仮定し、仰角30度以上に位置する衛星より導出したデータを用いた。解析対象とした噴火は上の表に示した桜島噴火4事例である。これは、噴火の規模を、桜島の西に位置する東郡元において観測された空振データが利用できたためである。表1にも、空振計の最大値を示しており、本研究では、噴火の規模をこの値で評価した。

噴火発生日	時間[UT]	最大値[Pa]
2009/10/3	07:45	294.5
2012/9/19	01:07	49.8
2012/12/3	20:25	24.0
2014/2/12	20:21	71.9

3. 研究結果

それぞれの事例において観測されたTEC変動量と噴火の規模(空振の最大値)との関係を図1に示す。これより、空振計の圧力変動が大きいほど、TEC変動が大きくなる傾向があることがわかる。さらに、TEC変動と火口から貫通点までの距離との関係について解析を行った。これは、噴火により発生した大気波動がエネルギーが火口からの距離応じて減衰していくため電離圏の変動が火口からの距離と逆相関関係を取ることが考えられるためである。最も規模の大きい2009/10/3の事例について、TEC変動の大きさと、噴火口からのその貫通点の距離の関係を図2に示す。図中の点線は、最小二乗法により求めた回帰直線である。データ点の横の数値は、「衛星番号-受信機番号」を示しているが、11-729や11-735などは、回帰直線からかなり下の方に位置しており、その貫通点の位置で期待される値に比べかなり変動が小さいことがわかる。この原因として、(1) 波動の伝搬方向が地磁気の磁場方向とは平行でないこと(e.g., Otsuka et al., 2006), (2) 変動の波面と衛星-受信機の視線方向が直角でないこと(e.g., Heki et al., 2006), の2つの影響が考えられる。そこで、これらの影響を取り除くため、火口からの波動の伝搬を音

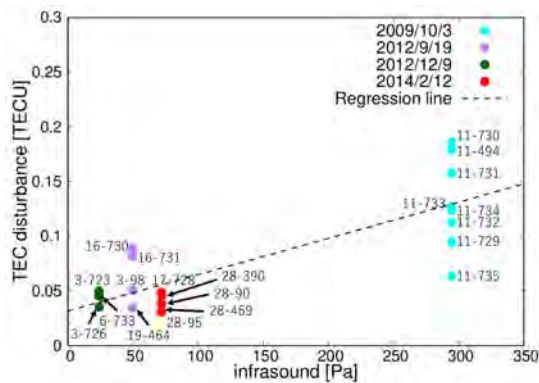


図 1：桜島噴火に伴う空振計による圧力変動最大値（横軸）と TEC 変動（縦軸）

火山噴火との間に相関があることが明らかとなった。ただし、定量的な関係性については、衛星と受信機の位置関係などの影響をより詳細に考慮し、解析を進めていく必要があると考えられる。

波レイトレーシングにより算出し、補正を行った。地磁気ベクトルは IGRF-12 より導出した。その結果を図 2 (b) に示す。補正したデータに対し、補正前のデータと同様に TEC 変動と火口から貫通点までの距離との相関を求めたところ、相関係数は -0.35 から -0.84 となり、TEC 変動の大きさと距離との逆相関が明確となった。

4. まとめ

火山噴火に伴う TEC 変動について、桜島噴火を対象として解析を進めた。その結果、TEC 変動と

5. 参考文献

Heki, K. (2006), Explosion energy of the 2004 eruption of the Asama Volcano, central Japan, inferred from ionospheric disturbances, *Geophys. Res. Lett.*, *33*(14), 1933, doi:10.1029/2006GL026249.

Heki et al. (2006), Detection of ruptures of Andaman fault segments in the 2004 great Sumatra earthquake with coseismic ionospheric disturbances, *J. Geophys. Res.*, *111*(B9), 1133, doi:10.1029/2005JB004202.

Otsuka, Y. et al. (2006), GPS detection of total electron content variations over Indonesia and Thailand following the 26 December 2004 earthquake, *Earth Planet Space*, *58* (2), 159-165, doi:10.1186/BF03353373.

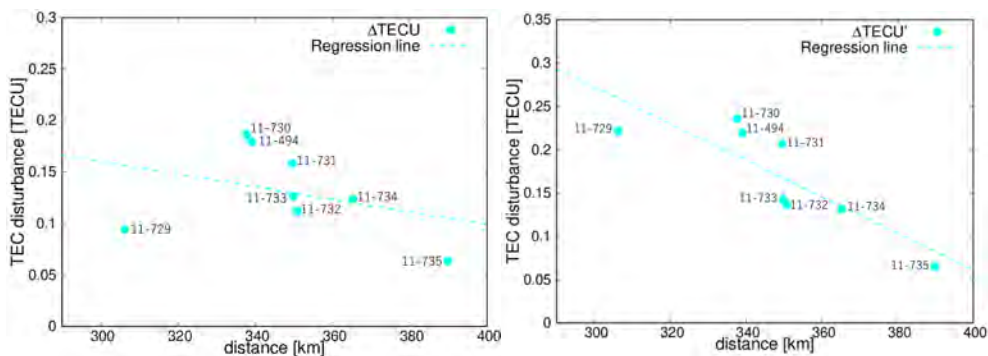


図 2：火口からの距離（横軸）と TEC 変動との相関。左 (a) は補正前、右 (b) は補正後の結果。

Crabパルサーの長期変動モニターによる星間プラズマゆらぎの検出へ
 むけて Measuring the variation of the inter-stellar scintillation
 by long-term Crab pulsar monitoring

情報通信研究機構・電磁波研究所 岳藤一宏

Crabパルサーは2600ほど発見されているパルサー天体のなかでも10例ほどしかないGiant Radio Burst (GRP)が放射されている特異なパルサーである (Knight, H. S., ChJAS 2006)。パルサーは数十kmほどの非常にコンパクトな中性子星であると考えられており、このパルサーと地球間に存在する星間プラズマのゆらぎ (Inter-stellar scintillation, ISS)を検出することができる (Rickett, Nature1969)。Crabパルサー@327MHz帯ではISSは日単位で揺らいでおり、Crabパルサーの長期のモニタリングは非常に重要である。我々は名古屋大学豊川電波観測所のデジタルバックエンドを整備してCrabパルサーの観測を実用化することに成功した。そこで毎日得られたGRPの検出率とGRPの尾の長さから得られたScattering時間が下記図である (俵海人、2018年度修士論文より引用)。ここでScattering時間は数ミリ秒の単発GRPの形から指数関数的に強度をフィッティングして遅延時間を計算している。

図からも分かるように非常に高い精度でGRPの検出率と遅延時間が決定できている。また500 μ 秒近くまでScattering時間が伸びているのはJodrell Bank@610MHzの数十年にわたる観測でも6-7回であり、貴重なデータである。Scattering時間は観測周波数の-4乗に比例するスクリーンモデルや-2.8乗 (Löhmerら2001)とも言われるが、豊川電波観測所の観測周波数327MHzが低い分、遅延が引き延ばされ、よく精度良く決定できると考えられる。

Mckeeら (MNRAS, 2018)はそのJodrell bank観測所での長期にわたる観測から同様にScattering時間とDispersion measureが正の相関があることを報告している。Scattering時間は15日分の積分をおこなったパルサープロファイルから導出している。一方、豊川電波観測所では単発のGRPからScattering時間を計測しているため、より短時間スケールの変動量を測定できるかもしれない。Scattering時間の変動はCrabパルサーを含む星雲での変動が大きく寄与すると考えられており、GRPの頻度揺らぎやScattering時間変化、これらの観測量のスケールファクターなどを今後調査していきたい。同時にCrabパルサーのディスページョンがScattering時間に大きく影響するため、ディスページョンの決定精度を高めることを次年度の課題として解決していきたい。

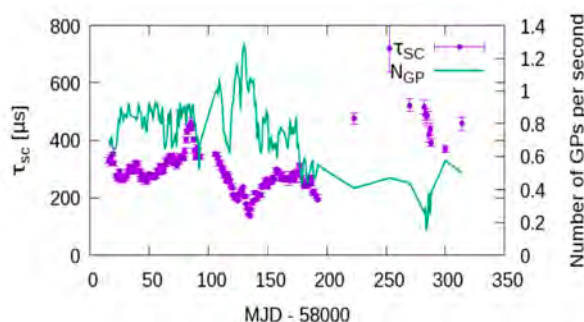


図1 GRP検出率 (緑)とGRPそれぞれのScattering時間 (緑)

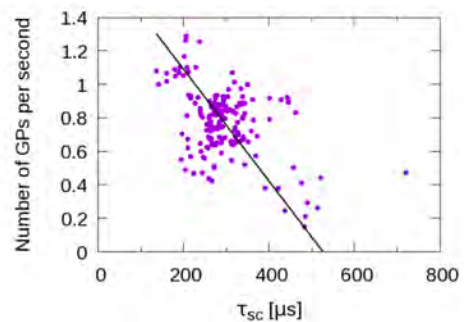


図2 GRP検出率とScattering時間の相関

海色衛星観測による東シナ海での懸濁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

**Dispersion of high-gelbstoff and low-salinity water in the East China Sea in summer:
Influence of the ENSO**

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
地球表層物質循環研究グループ

Research Objectives

Based on satellite ocean color data, Sasaki et al. (2014) have shown an unusual dispersion of the colored dissolved organic matter absorption coefficient (hereinafter a_g , a proxy of dissolved organic matter concentration) during the summer 2010. This study revisited the ECS to investigate interannual variation of, not only a_g , but also sea surface salinity (SSS) and primary production (PP), as the Changjiang fresh (low salinity) water highly correspond to high dissolved organic matter and inorganic nutrients. Study did not investigated only summer 2010, but also all summer data within the 1997 to 2010 period. This study is thus to see interannual variation of dispersion of Changjiang water characterized by low SSS, high a_g , and high PP. Probable responsible factors determining dispersion of Changjiang water and possible teleconnection to climate variation were also investigated.

Methodology

This study utilized SeaWiFS photosynthetically available radiance (PAR, Einstein $m^{-2} d^{-1}$) and remote sensing reflectance (R_{rs} , sr^{-1} , acquired from <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cms>). The MODIS and AVHRR sea surface temperature (SST, $^{\circ}C$, acquired from <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cms> and <http://podaac.jpl.nasa.gov/AVHRR-Pathfinder>) were also used. Phytoplankton biomass (Chl-a, $mg m^{-3}$) and a_g were estimated by means of local ocean color algorithms (Siswanto et al., 2011). Local PP model by Gong and Liu's (2003) was also used. The SSS was estimated from a_g as they are highly correlated (e.g., Sasaki et al., 2014). Other datasets are the Changjiang discharge ($m^3 s^{-1}$) acquired from <http://www.hydroinfo.gov.cn>, precipitation rate ($mm d^{-1}$) from <http://apdrc.soest.hawaii.edu>, and Nino3.4 index from <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices>.

Results and Discussion

Fig. 1 shows spatial distribution of a_g , SSS, PP, and wind field during the summer (July) 1998, 2003, 2009, and 2010. High- a_g and low-SSS water in July 2010 dispersed farther southeastward to the center of the ECS, and turned northeastward to the area south of Kyushu Island, Japan (Fig. 1a, b) which was likely driven by the Kuroshio current (white dashed line). Because the low-SSS water contains high nutrients, similar dispersion pattern also applied to PP (Fig. 1c). Similar southeastward dispersion of low-SSS, high- a_g , high-PP water (hereafter Changjiang-influenced water, CIF) was also observed during July 2003, but no northeastward elongated pattern (Fig. 1i-k). Offshore dispersion of CIF in July 1998 and 2009 was rather limited (Fig. 1e-g, m-o). Wind field spatial patterns during July 2003, 2009, and 2010 were similar (Fig. 1d, h, l).

Meridional dispersions of SSS (Fig. 2a), a_g (Fig. 2b), and PP (Fig. 2c) showed remarkable interannual variations. The farthest southeastward dispersion of CIF was indeed observed during July 2010. Such a unique dispersion was attributed to southeastwery winds (Fig. 2d, e) and high Changjiang discharge (white line in Fig. 2a) due to high precipitation rate (yellow line in Fig. 2a). High discharge in July 2010 was associated with El Nino event peaking in previous winter (e.g., Hardiman et al., 2018).

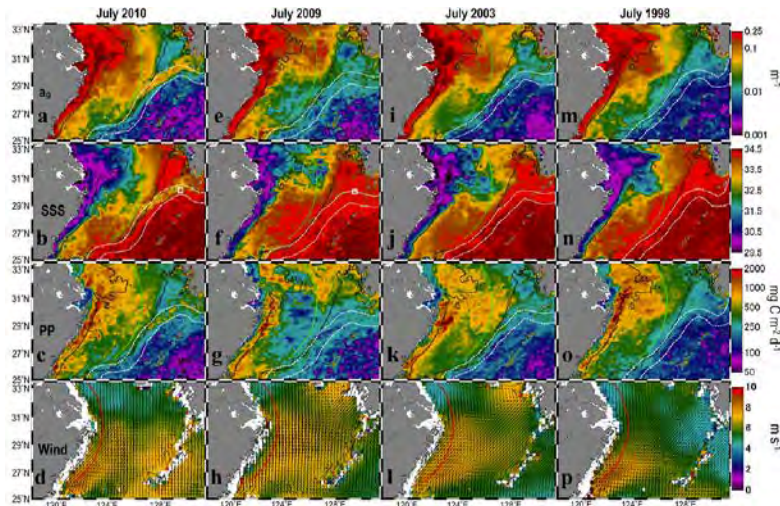


Fig 1. Spatial variations of a_g (a), SSS (b), PP (c), and wind field (d) in July 2010. Panels (e–h), (i–l), and (m–p) are the same as panels (a–d), but for 2009, 2003, and 1998, respectively. White dashed lines indicate the approximate edges of the Kuroshio Current axis. Black dashed lines indicate the 50-m and 200-m isobaths. Green arc is a transect for time series of SSS, a_g , and PP shown in Fig. 2. Red arc is a transect for wind field shown in Fig.2

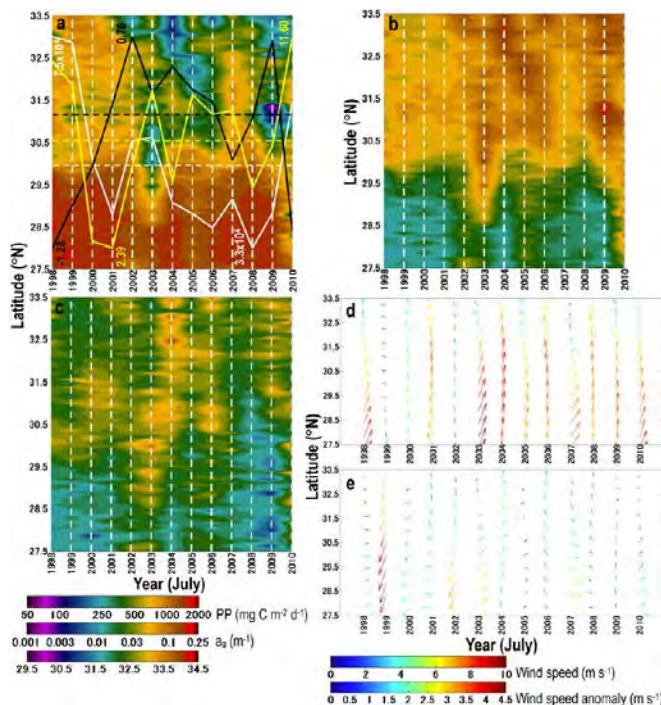


Fig 2. Time series of July SSS (a) from 1998 to 2010 along the green arc shown in Fig. 1. Plots (b) and (c) are the same as (a), but show a_g and PP, respectively. Plot (d) is wind vector (color scale indicates wind speed) derived from red arc shown in Fig. 1. Plot (e) is the same as (d), except for wind vector anomaly. Black, yellow, and white lines in (a) indicate Nino3.4 index, Changjiang discharge, and precipitation rate, respectively.

Southeastward dispersion of CIF was also observed in July 2003, but not as far as that during July 2010. This farther offshore dispersion in 2003 was also likely caused by southwesterly winds, though discharge and precipitation rate were low. But, in July 1998 and 1999, although discharge and precipitation reached the highest, farther southeastward dispersion of CIF was not observed. This was likely caused mainly by direction of wind anomaly, especially in 1999, when wind anomaly was northeasterly and likely to be associated with La Nina event peaking in the previous winter.

References

- 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.
- Sasaki, H., et al., (2014), Unique dispersal of the Changjiang-Diluted Water plume in the East China Sea revealed from satellite monitoring of colored dissolved organic matter (CDOM), *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 25(2), 279-287.
- Siswanto, E., et al., (2008), The long-term freshening and nutrients increases in summer surface water in the northern East China Sea in relation to Changjiang discharge variation, *Journal of Geophysical Research*, 113, C10030.
- Siswanto, E., et al., (2011), Empirical ocean-color algorithms to retrieve chlorophyll-a, total suspended sediment matter, 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.

Achievements

Eko Siswanto, Yongjiu Xu, Joji Ishizaka, 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: Oceans*, 123, 2757-2767, doi:10.1002/2017JC013319.

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、東北大学が名古屋大学宇宙地球環境研究所鹿児島観測所等で観測している 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これまで、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 日に発生した東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0) 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、もともと D 領域がプラズマと中性大気の衝突周波数が高く観測が難しいためであることと、下からの音波・大気重力波の振幅が D 領域高度では F 領域ほど大きくないために、電子密度変動量が非常に小さく検出が難しいためであると思われる。そこで本研究では、電子密度変動を高感度に検出できる 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。地震波の観測データと比較することにより、地震 (固体地球) ~大気圏~電離圏結合解明に貢献できるものと思われる。

2. 観測の概要

本課題では、2011 年 3 月 11 日 05 : 46 UT に発生した東北地方太平洋沖地震を研究対象とした。図 1 に、震央、LF 帯標準電波の伝搬パス、および防災科学技術研究所が運用する F-net 広帯域地震観測網の地震計の位置を示す。LF 帯標準電波の送信局は、JJY60kHz と BPC (68.5 kHz, 中国)、受信局は北海道陸別(RKB)である。強度および位相を観測しており、サンプリング時間は 0.1 s で、高周波のノイズ除去のため 10 s の移動平均を取っている。

3. 研究結果および考察

図 2 に、2011 年 3 月 11 日 05 : 48-06 : 00 UT の (a) JJY60kHz-RKB 伝搬パスおよび (b) BPC-RKB 伝搬パスの LF 波の強度を示す。カラーの線は、Wave hop 法で計算した各パスの各反射波の強度である。たとえば、茶色の線は地表波のみ、青の線は地表波 +1 回反射波、緑の線は地表波 +1 回反射波 +2 回反射波、…、赤い線は地表波 +1 回反射波 +2 回反射波 +… +10 回反射波の合成電界強度を示す。図 2(a) では、05 : 51-05 : 57 UT に 0.1 dB の 100 s 周期の変動が見られ、観測値 (黒い線) と Wave hop 法で計算した 10 回反射波までの合成電界強度 (赤い線) とよく一致している。図 2(b) では、(a) のような 100 s 周期の変動は見られなかった。Wave hop 法の計算結果では、各反射波が逆位相であり、打ち消しあってしまうため、強度の変動量が非常に小さく、観測で地震による変動が見られなかったものと思われる。

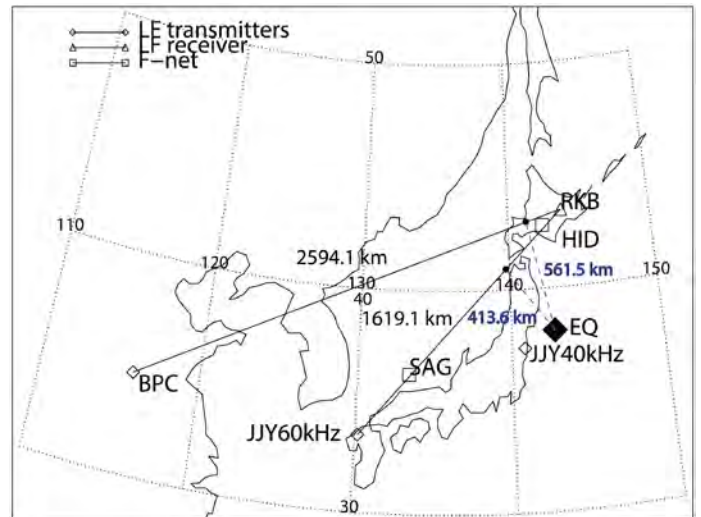


図 1 LF 帯標準電波の伝搬パス、F-net 地震計および震央(EQ)の位置。

図 3 は、2011 年 3 月 11 日 05 : 48-05 : 58 UT の(a) および (b) は図 2 と同じ、(c)は F-net 地震計(HID)で観測された地震波の上下動速度を入力したときの中性大気数値シミュレーション結果を示す。図 3 (c) のカラーは、背景電子密度に対する電子密度の変動分 (%) を示す。LF 波強度の変動が始まる 05 : 52 UT に、LF 波の昼間の反射高度である高度 70 km 前後で、電子密度の変動が始まっている。電子密度の変動分は背景電子密度に対して約 1 % だった。

図 4 は 2011 年 3 月 11 日 05:48-06:00 UT の(a)JJY60kHz パスの強度、(b) (a)のウェーブレットスペクトル、(c)BPC-RKB パスの強度、および(d) (c)のウェーブレットスペクトルを示す。JJY60kHz-RKB パスの振動が 100 s 周期を持つことを示している。

4. 結論

2011 年東北地方太平洋沖地震本震の約 4 分 40 s 後に、JJY60kHz-RKB パスで 100 s 周期の LF 波強度の振動が見られた。地震後の D 領域電離圏変動としては本研究が世界で初めての報告である。F-net 地震計で観測された地震波データとの比較、中性大気シミュレーションおよび Wave hop 法により、この 100 s 周期の振動は地震のレイリー波が震源から JJY60kHz-RKB パスまで地球表面を伝搬し、そこで音波を励起させ、その音波が上昇し、高度 70 km 付近の電子密度を約 1 % 揺らしたことにより発生したものであることが分かった。

成果発表

[1] (論文) **Ohya, H., Tsuchiya, F.,** Takishita, Y., Shinagawa, H., Nozaki, K., and **Shiokawa, K.**, Periodic oscillations in the D region ionosphere after the 2011 Tohoku earthquake using LF standard radio waves, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 123, doi.org/10.1029/2018JA025289, 2018.

[2] (口頭発表) **大矢 浩代, 土屋 史紀**、陸別での LF 帯標準電波観測による 2011 年東北地方太平洋沖地震後の下部電離圏変動、H30 年度陸別ユーザズミーティング、北海道陸別町、H31 年 2 月 15 日。

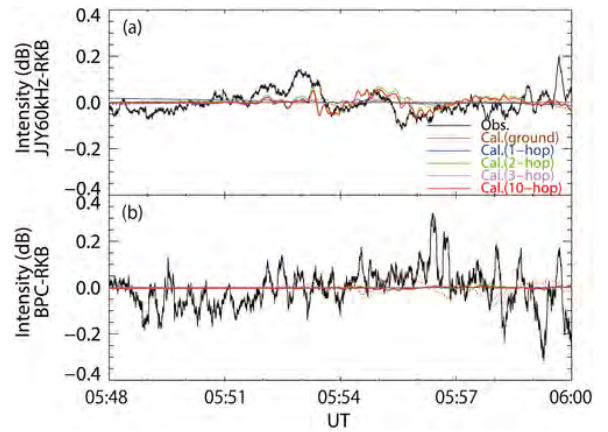


図 2 2011 年 3 月 11 日 05:48-06:00 UT の (a) JJY60kHz-RKB 伝搬パスおよび (b) BPC-RKB 伝搬パスの LF 波の強度。

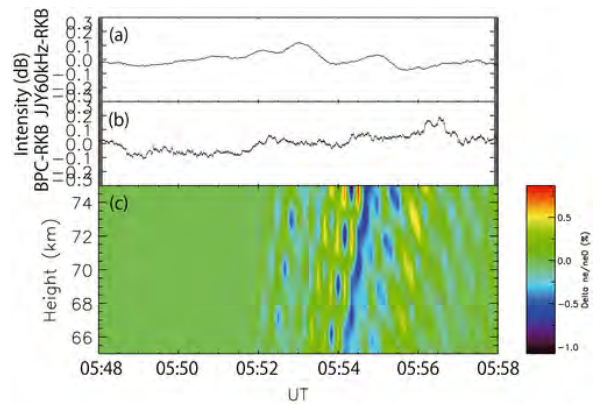


図 3 2011 年 3 月 11 日 05 : 48-05 : 58 UT の (a) および (b) は図 2 と同じ、(c)は F-net 地震計(HID)で観測された地震波の上下動速度を入力したときの中性大気数値シミュレーション結果。

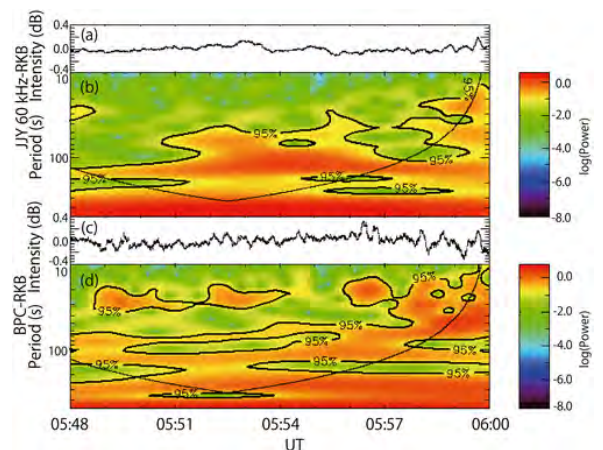


図 4 2011 年 3 月 11 日 05:48-06:00 UT の (a)JJY60kHz パスの強度、(b) (a)のウェーブレットスペクトル、(c)BPC-RKB パスの強度、および(d) (c)のウェーブレットスペクトル。

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¹、高橋 透¹、小川泰信¹、野澤悟徳²
1国立極地研究所・宙空圏研究グループ
2名古屋大学宇宙地球環境研究所

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。H30年度においては、特に、昨年度までに見出した電離層電場上昇に対応した拡散係数の異常増大現象について詳細を調査する。

調査方法

流星により形成された円柱状の電離飛跡から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、昨年度までの我々の研究から、電離層電場の上昇に伴う電子温度上昇によると考えられる D_a の異常増大現象 (中性温度上昇によるとは考えにくい増大) が見出された。これを応用した広域の流星レーダーネットワークにより、電離層電場の水平 2 次元構造に関する知見が得られる可能性がある。極地研、ISEE およびノルウェー北極大の共同運用により得られたトロムソ (69.6N, 19.2E)、ベアアイランド (74.5N, 19.0E)、ロングイヤビン (78.2N, 16.2E) の南北ネットワーク観測データを元に異常増大の空間分布の解析を試みた。

初期結果

統計的に拡散係数の異常増大現象の発生頻度の時刻分布を調べたところ、3 観測地点とも

に夕刻から夜半において緩やかなピークを持つことがわかった。またロンゲイヤビン、ベアアイランド、トロムソの順に発生頻度極大が現れており、高緯度ほど早い時間帯に異常増大がピークを持っており、電離層電場の空間構造を反映したものと想像される。また地磁気活動度によっても、異常増大の出現頻度や時間帯には変化が見られる。

まとめ

両極性拡散係数の異常増大現象から電離層電場の知見が得られる可能性がある。流星レーダーによるネットワーク観測データをもとに、異常増大現象の統計的な振る舞いの調査に着手した。初期成果は日本地球惑星科学連合2019年大会にて発表を予定している。

引用文献

- 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

- 高橋 透、堤 雅基、小川 泰信、野澤 悟徳、Chris Hall、宮岡 宏、
北欧に展開された 3 つの流星レーダーを用いた両極性拡散係数の
異常増大、地球電磁気・地球惑星圏学会、名古屋、2018年11月。
高橋 透、堤 雅基、小川 泰信、野澤 悟徳、Chris Hall、宮岡 宏、
北欧に展開された 流星レーダーによる両極性拡散係数の異常増大
の時間・空間分布の研究、日本地球惑星科学連合2019年大会、幕張、
2019年5月(予定)。

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及びミュー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及び山形大学で連続観測している宇宙線生成核種 ^7Be 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) 及び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ー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・カウンター及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及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

2018 年 12 月 28 日から 2019 年 1 月 6 日まで YU の Quantulus を用いてバックグラウンドの測定を行った。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 日に設定している。また、2018 年度に ISEE の Quantulus は、新しい建物に移設され遠隔操作が可能となった。

研究結果

図 1 は YU で測定されたバックグラウンド計数値の約 10 日間の時間変化と山形市の気圧の時間変化を比較したものである。気圧の増加・減少に伴って計数値が減少・増加していることが分かる。12 月 29 日から 30 日にかけての計数値の減少率は 1hPa 当たり 0.3%であった。

また、ISEE の Quntulus の山形大からの遠隔操作の確認を行った。図 2 は山形大の PC から ISEE の Quntulus を操作している画面である。遠隔操作を行えるようになったことに伴い、他の試料の測定にも共同利用が円滑に進めることができるようになった。

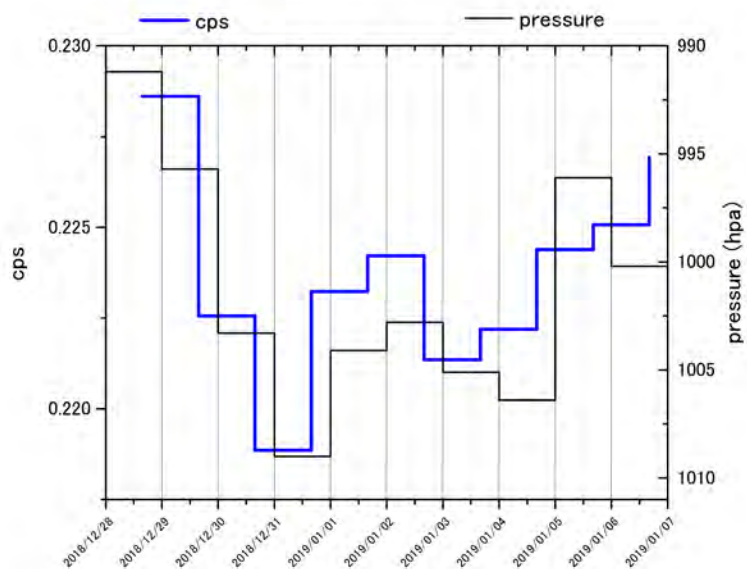


図 1. YU の Quntulus のバックグラウンド計数値と気圧の時間変化

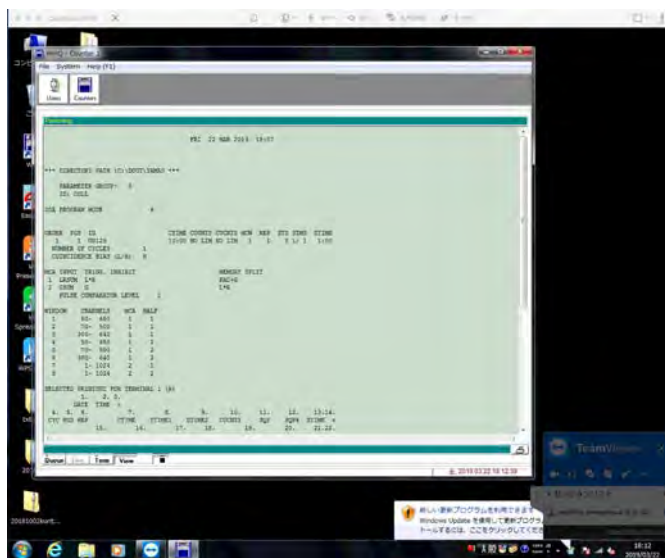


図 2. 山形大学から ISEE の Quntulus を遠隔操作している PC 画面

耐波浪環境シー Sprey 測器の開発と海上試験 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 Sprey 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 Sprey 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 Sprey 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 Sprey 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

H30年度は、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（8粒径レンジ、10Hz）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、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（メモリーカード）を内蔵し、測器回収時に蓋を開けて測定結果を解析した。

H31年度は、将来的に海塩粒子の鉛直フラックスを見積もるための測器再設計を行った。フラックスを見積もるためには【波しぶき光学粒子計】の隣に【超音波風速計】を設置し、粒子数と風速を10Hzの時間刻みで30分間測定し、両者の時系列の相関を計算する。これを実現するためには測器内蔵の時計の時刻同士を精密に同期する必要がある。本研究では次の3つのアプローチを比較検討し、最終的に3番目を採用するに至った。

- 1, 【波しぶき光学粒子計】の信号出力を【超音波風速計】の信号出力と同じ（1つの）データロガーで記録する
- 2, 【波しぶき光学粒子計】内蔵の時計と【超音波風速計】付属の時計の時刻を正確に合わせ、別々のデータロガーに記録する
- 3, 【波しぶき光学粒子計】内蔵の時計の時刻情報を【超音波風速計】付属のデータロガーに記録する（図2）

将来的に海洋観測船の塔上でフラックス測定を行う場合、アプローチ1が実現可能性かどうかを検証するために、新青丸航海（KS-18-13, 和歌山県沖11日間, PI: 東京大学大気海洋研究所・小松准教授）に参加した。船上で【超音波風速計】周辺のデータロガー・配線設備を調査したところ、【波しぶき光学粒子計】は8流計レンジあるので8本以上の信号線が必要なのに対し、【超音波風速計】データロガーの信号入力線には空きが数本しかない状況であった。また船上観測塔における測器設置においても、ケーブル類をできるだけ簡単にして、腐食や漏電を防ぐことが望まれることがわかった。一方、【波しぶき光学粒子計】側の事情としては既にAD変換回路が搭載されているところに、シリアル出力信号（1粒子に対して短いパルス1個）に直して外部のデータロガーに繋ぐのは、内蔵計算処理ソフトウェアの開発がさらに複雑になる可能性がある。これまで【波しぶき光学粒子計】の開発にあたり0.1秒あたり100万個のオーダーの粒子を数えられるよう内蔵ソフトウェアを丹念に改良してきた経緯があるため、計数処理に関する部分を複雑化することに重篤な懸念が生じた。以上の理由によりアプローチ1は採用しないことにした。

アプローチ2は、GPS時計基板を【波しぶき光学粒子計】に組み込むことで実現する可能性があったが、GPS時計基板の信号出力がシリアルであるのに対し、【波しぶき光学粒子計】に既に組み込まれているデータロガーのシリアル入力ポートの空きがないという問題があり中止とした。

最後にアプローチ3として、【波しぶき光学粒子計】に2芯ケーブルソケットを増設し、毎時00分からの30分間の測定の開始から終了時までDC5.0Vの電圧をかけ、アイドル時は無電圧とする案を採用した。この時刻パルスケーブルを【超音波風速計】側のデータロガーに接続することで、2つの測器の時計の時刻を同期することができる(図3)。この設計を用いて本年度は新しい【波しぶき光学粒子計】(4号機)を製作した。

成果発表

相木秀則、田中潔、根田昌典、馬場康之、藤田敏男(2018):海上波しぶき光学粒子計による波浪境界層観測: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、日本地球惑星科学連合2018年大会:海洋と大気の波動・渦・循環力学(A-OS15)、2018年5月20日、幕張メッセ、千葉

https://confit.atlas.jp/guide/event/jpgu2018/session/AOS15_20PO1/detail

<https://confit.atlas.jp/guide/event-img/jpgu2018/AOS15-P01/public/pdf>

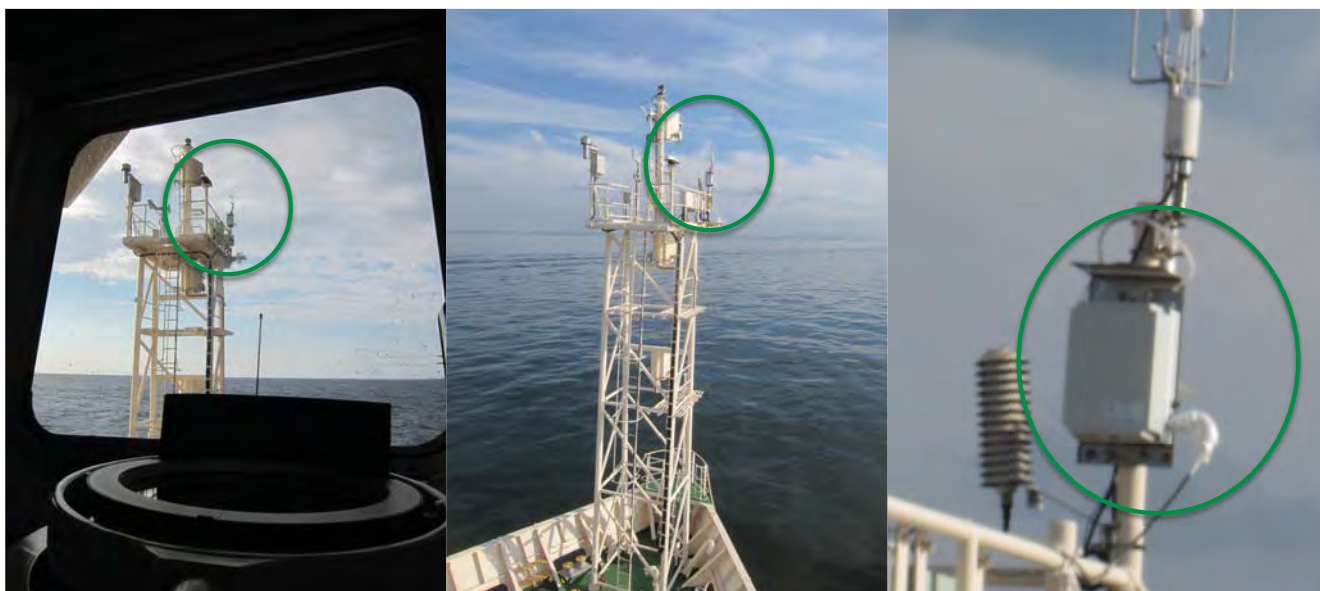


図1:新青丸(和歌山県沖KS-18-13航海)の船首観測塔に【海洋波しぶき光学粒子計】を取り付けた様子。

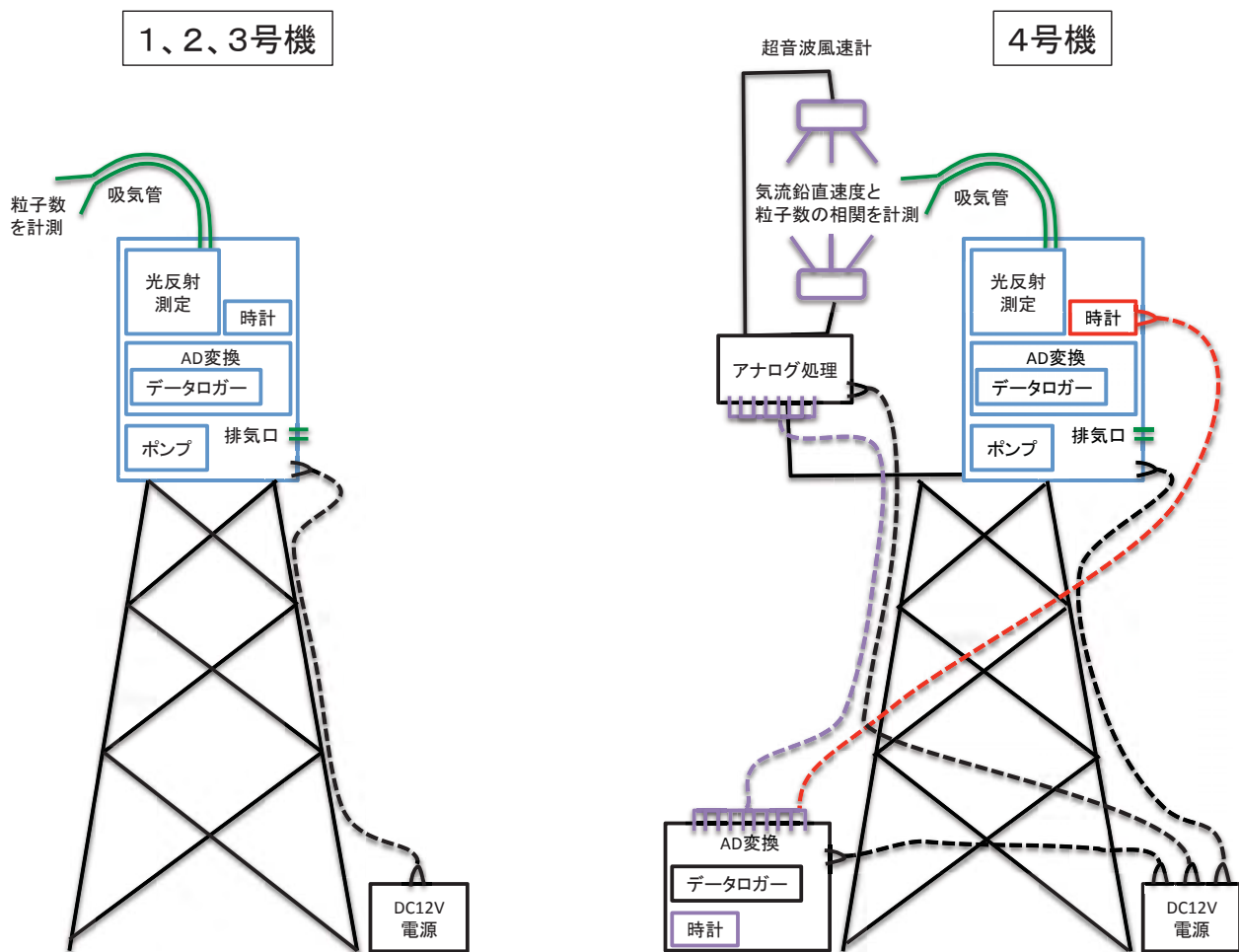


図2：【海洋波しぶき光学粒子計】と【超音波風速計】の信号出力を同期するための配線図（本文：アプローチ3を参照）。

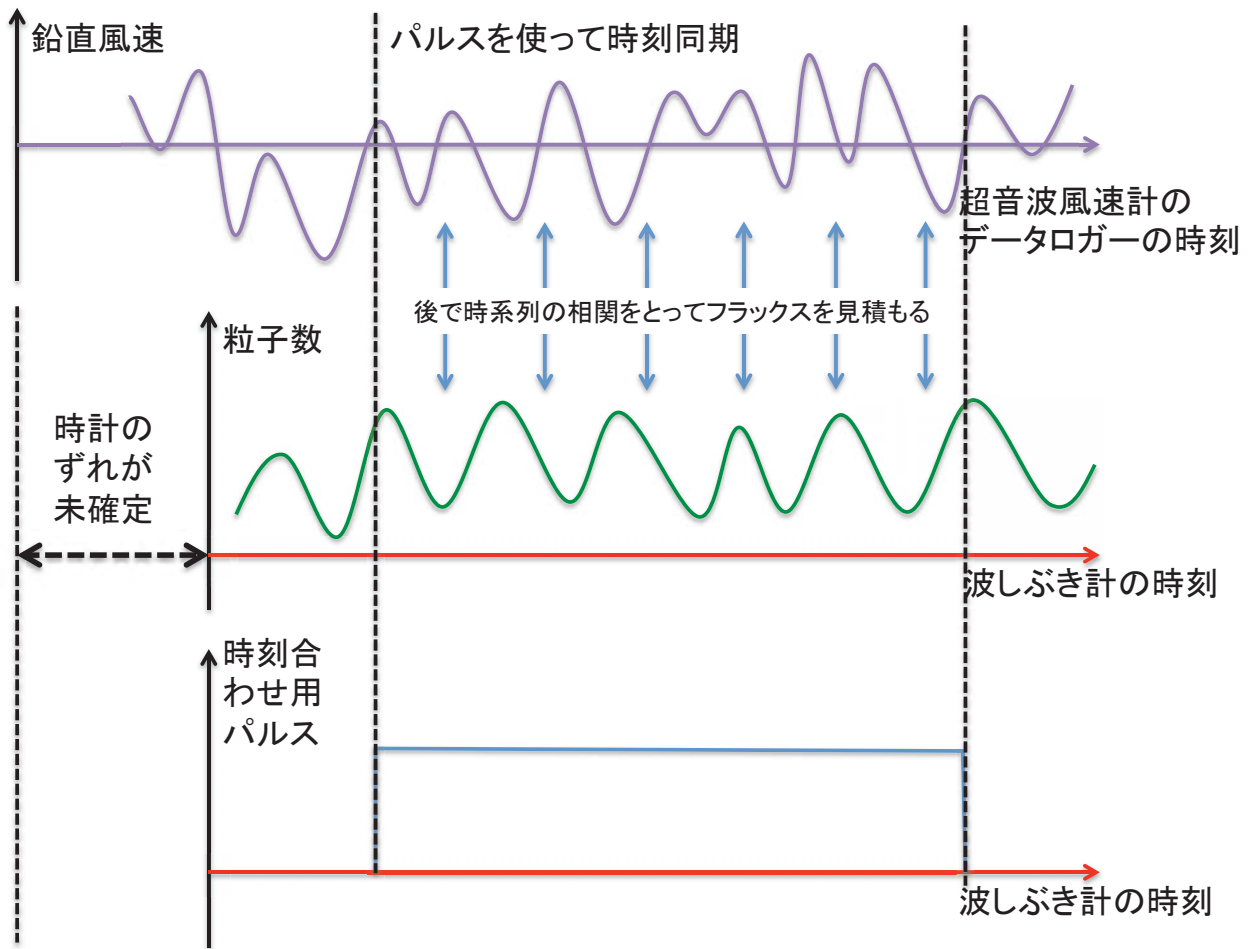


図 3 : 【海洋波しぶき光学粒子計】と【超音波風速計】の信号出力を同期するために必要な信号時系列の模式図 (本文 : アプローチ 3 を参照) .

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）

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

関東山地の花崗岩体や地層を中心に、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 μ m)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時代不明の珪長質火成岩体およびそれらと共存する地層(南蛇井層)の砂岩類である。代表的な4試料(珪長質火山岩1, 凝灰質砂岩1, 砂岩2)について得られた年代は、約0.7億年前から約25億年前の広い範囲にわたる。約0.7億年前の珪長質火山岩は、昨年度の研究で明らかになった後期白亜紀の2期の火成活動のうちの新規活動に対応する。約15-25億年前の先カンブリア時代のジルコンが卓越する砂岩はアジア大陸に起源をもつことを物語る。約1億年前のジルコンが卓越する凝灰質砂岩は、これまでジュラ紀とされてきた地層の年代に修正を迫る結果となった。

4. 考察

関東山地北縁部は西南日本の外帯と内帯の境界をなす中央構造線の東方延長部にあたり、日本列島の生い立ちを探る重要な地域として長年研究が続けられてきたが、複雑な地質構造と岩石や地層の時代判定の難しさ故に、多くの謎が残されている。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火成岩体の年代が昨年度と今年度の研究で判明した。既存のデータも合わせて、この地域に(1)古生代ペルム紀、(2)中生代前期白亜紀、および(3)後期白亜紀のca. 95Ma、(4)後期白亜紀のca. 70Maの少なくとも4期の珪長質火成活動の記録が残されていることが確定した。今回新たに検討対象に加えた南蛇井層は、これまでジルコンのU-Pb年代について検討されたことがなく、初めての年代データとなった。約15-25億年前のジルコンが卓越する砂岩は、その主たる供給源が現在の日本列島ではなく遠く離れたアジア大陸にあったことを浮かび上がらせた。一方、ジュラ紀(145-

201Ma)と推定されてきた南蛇井層の堆積時期は、凝灰質砂岩について得られた ca. 100Ma の年代により、見直しを迫られることになった。測定試料を追加して、この地層の時空分布と碎屑物の供給源を確定する必要がある。

5. まとめ

今回検討した下仁田地域の珪長質火成岩体については、昨年度までの研究と合わせて、少なくとも4期の火成活動史が判明した。しかし、ジュラ紀とされた地層から約100Ma(約1億年前の白亜紀)の碎屑性ジルコンが見出されたことで時代や地質構造の見直しを迫られることになり、さらなる検討を要するという課題が浮かび上がってきた。

6. 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, vol. 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, No. 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, No. 22, 79-94.

CHIME年代測定による隠岐・島後片麻岩類の変成年代の推定 Metamorphic ages of gneisses in the 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)。これらの変成岩類は、主にミグマタイト質片麻岩、泥質片麻岩、花崗岩質片麻岩、角閃岩などからなり、角閃岩相以上の変成作用を広域的に被っている。両輝石マフィック岩やスピネルやコランダムを含む泥質片麻岩なども報告されており、少なくとも一部の変成岩体の変成度は、グラニュライト相まで達している(Hoshino, 1979)。角閃岩相とグラニュライト相の変成作用は、変成時期の異なる複数変成作用、一つの変成作用におけるピーク時と後退時の記録あるいは原岩組成による鉱物組み合わせの違い(浜田ほか, 1996)などにより説明される。しかし、定量的な圧力-温度条件と変成年代の関連性は詳細には得られておらず、どちらの説が正しいのかは未だ不明である。Suzuki and Adachi (1998)によれば、隠岐片麻岩の広域的な変成作用は、約250Maにおきている。また、Tsutsumi et al. (2006)は、わずかに一点ではあるが、片麻岩のジルコンの変成リムから、 $236 \text{ Ma} \pm 3 \text{ Ma}$ の変成年代を得ている。しかし、これらの変成年代が、どの変成圧力-温度条件の時期を示しているのかは、明確ではない。そこで、本研究では、圧力-温度条件に関連する岩石組織と対応付けたCHIME年代測定を実施して、変成圧力-温度条件と変成年代の正確なリンクを行なう。

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 ± ザクロ石 ± 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、ザクロ石とモナズ石の組成マッピングを行なった。また、ザクロ石-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

隠岐片麻岩類のザクロ石の累帯組成構造は、コアでMg濃度が高く均質であり(M1)、包有物境界を挟んで内側リム(M2)から最外殻リム(M3)に向かいMg濃度が徐々に低くなる。このことから、隠岐片麻岩類のザクロ石は、少なくとも3回の変成作用により形成された可能性が高い。M1変成時とM3変成時の圧力温度条件は、ザクロ石のコアと最外殻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、推定したM1変成時条件は、東郷川試料で740-755 °C, 9.1-11.1 kbar, 銚子川試料で800-830 °C, 9.0-12.3 kbarであり、後者の変成度がやや高い。一方、M3変成時の圧力温度条件は、東郷川試料で508-654 °C, 2.1-6.6 kbar, 銚子川沿い試料で638-695 °C, 4.4-5.9 kbarであった。また、相

平衡計算から得られた東郷川試料の M1 時変成条件は, 740-755 °C, 11.0-11.5 kbar であり地質温度圧力計の結果と調和的である。加えて, 全岩組成からザクロ石のコアの組成を取り除いて計算した内側リムが成長したときの M2 時変成条件は, 740-820 °C, 7.0-10.5 kbar であった。

東郷川沿いの試料の大きなザクロ石斑晶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, 1.78-2.12 Ga の原生代の CHIME 年代を示した。これらは, 約 1.83Ga と 2.00 Ga に年代ピークを示す。一方, ザクロ石斑晶リムや小さなザクロ石斑晶に包有されるモナズ石は, 原生代の年代に加えて約 259 Ma の年代値が得られ, 後者の Y_2O_3 濃度は相対的に低い。ザクロ石周辺部のモナズ石は, ペルム-三疊紀 (約 232-250 Ma) やジュラ紀 (162-168 Ma) の年代値が得られ, 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-三疊紀の低圧型高温変成作用(M2)に加えて, 古原生代の中圧型高温変成作用(M1) やジュラ紀の後退変成作用(M3)を被っていることを示唆する。古原生代変成作用の存在は, 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意味する。

引用文献

- 浜田耕一・藤原奈都子・角替敏昭 (1996) 隠岐・島後の銿子・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.
- Tsutsumi, Y., Yokoyama, K., Horie, K., Terada, K., and Hidaka, H., 2006. Contrasting ages between isotopic chronometers in granulites: monazite dating and metamorphism in the Higo Complex, Japan. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, v. 101, p. 289-298.
- 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.

学会発表

川端凌市・今山武志・加藤丈典. 隠岐片麻岩類の変成圧力温度条件と変成年代の推定: 古原生代高温変成作用の可能性について. 第 31 回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, 2019 年 1 月.

Kawabata, R., Imayama, T., and Kato, K.: Estimation of the Metamorphic P-T Condition and Age of the Oki Gneisses: Implication for the Paleoproterozoic High-Temperature Metamorphism. 地球惑星科学連合大会, 幕張メッセ, 2018 年 5 月.

琉球列島の地上レーダーと航空機を組み合わせた台風強度の最適推定方法の検討

Investigation of an optimal method to estimate typhoon intensity using an airplane and ground-based radars in the Ryukyu Islands

山田 広幸 (琉球大学理学部)

研究目的

2020年に計画される、琉球列島周辺の梅雨前線と台風に関する国際共同観測プロジェクト(PRECIP2020)に向け、航空機ドロップゾンデ観測と地上のドップラー気象レーダーを組み合わせ、台風の風速分布と中心気圧を精度良く推定する最適な方法を構築することを目的とする。北西太平洋における台風の位置と強度の推定は、海上の観測が乏しいため、主に静止気象衛星の画像を用いて行われるが、衛星による推定は主観を排除できないことと、強度の急激な変化に対応できない問題がある。このため、南西諸島で運用されるドップラーレーダーを用いて風速分布と中心気圧を推定することを目指す。レーダーで得られる風速分布は地球の曲率の関係で地表より上空の高度2kmのものになるため、航空機ドロップゾンデ観測で得られる気圧と風速の鉛直プロファイルをもとに、地上の風速・気圧に換算する方法を検討する。これらは台風の構造と強度の関係を理解するうえで役立つだけでなく、将来的には台風強度の推定値を予想進路上にある島や陸に対する早期警戒情報として活用することが期待される。

研究方法

ドップラー速度データを用いて高度2kmの風速分布を推定し、次に傾度風平衡を仮定して中心気圧を推定する。中心気圧の推定には、中心から離れた場所の気圧の観測値が必要であるが、陸地の観測点から離れた場所では気圧の観測値を得ることが難しい。本研究では航空機ドロップゾンデ観測で得られる気圧を基準に中心気圧の推定を行う。最大風速に関しては、高度2kmの推定値から地上の風速を得る必要がある。本研究ではドロップゾンデ観測により得られる風の鉛直分布データを用いて2つの高度間の風速の関係を経験的に求め、高度2kmの推定分布をもとに地上の最大風速の水平分布を推定する。航空機ドロップゾンデのデータは、科研費基盤研究(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)の航空機観測で得られるものを使用する。本年度は特に、高度2kmと地上の間の風速分布について調査を行った。

研究結果と今後の課題

2017年台風21号の最盛期におけるドロップゾンデデータを用いて風速の鉛直プロファイルを作成し、高度2kmと地上の風速分布を調べた結果、高度0.5~2.0kmの間での変動は小さく、高度0.5km以下の大気境界層内での風速の減少が多く事例で見られた。これは、過去の研究で指摘されている地表摩擦の影響によるものである。特に、台風強度の指標となる、最大風速が得られる壁雲では、風速が地上と高度1.0kmの間で約15m/sの違いがみられた。これらの結果をもとに、2kmと地表との間での風速の減少率(係数)を算出す

ることになるが、より多くの事例でデータを取得する必要がある。

経費の使途

本研究の経費は、航空機観測専門委員会の経費としてイリノイ大学の Deanna Hence 博士を招聘する旅費に流用したため、経費の使用はない。

成果発表（論文・著書）

山田 広幸, 2018: 世界気象カレンダー2019, (10月担当), ジャムハウス, pp 28.

Wada, A., S. Kanada, and **H. Yamada**, 2018: Effect of air-sea environmental conditions and interfacial processes on extremely intense typhoon Haiyan (2013). *J. Geophys. Res. (Atmospheres)*, **123**, 10.1029/2017JD028139.

山田 広幸, 2018: 台風についてわかっていることと知らないこと, (筆保弘徳 編著, 第1章担当), ベレ出版, pp 22-49. (8月)

Ito, K., **H. Yamada**, M. Yamaguchi, T. Nakazawa, N. Nagahama, K. Shimizu, T. Ohigashi, T. Shinoda, and K. Tsuboki, 2018: Analysis and forecast using dropsonde data from the inner-core region of Tropical Cyclone Lan (2017) obtained during the first aircraft missions of T-PARCII. *Scientific Online Letters on the Atmosphere*, **14**, 105-110.

成果発表（口頭発表）

Yamada, H., 2018: New observation strategies for typhoon intensity over the western North Pacific. 9th World Meteorological Organization International Workshop on Tropical Cyclones (IWTC-IX), Honolulu, Hawaii, 12月4日.

Yamada, H., 2018: New observation strategies for typhoon intensity over the western North Pacific. APEC Research Center for Typhoon and Society 2018 Workshop, Taipei, Taiwan, 11月26日.

Yamada, H., K. Tsuboki, N. Nagahama, K. Shimizu, T. Ohigashi, T. Shinoda, K. Ito, M. Yamaguchi, and T. Nakazawa, 2018: Double Warm-Core Structure of Typhoon Lan (2017) Observed by Dropsondes during T-PARCII. AOGS 15th Annual Meeting, Honolulu, Hawaii, 6月4日.

山田 広幸、坪木 和久、長浜 則夫、清水 健作、大東 忠保、篠田 太郎、伊藤 耕介、山口宗彦、中澤 哲夫, 2018: 民間ジェット機を利用して台風の強度測定を継続して行うための検討. 日本地球惑星科学連合 2018年大会, 幕張メッセ, 千葉県千葉市, 5月22日.

Yamada, H., K. Tsuboki, N. Nagahama, K. Shimizu, T. Ohigashi, T. Shinoda, and K. Ito, 2018: Double warm-core structure of Typhoon Lan (2017) observed by dropsondes during T-PARCII. JpGU meeting, Makuhari Messe, Chiba, Japan. 5月23日.

山田 広幸、坪木 和久、篠田 太郎、長浜 則夫、清水 健作、大東 忠保、伊藤 耕介、中澤 哲夫、山口 宗彦, 2018: 航空機観測で捉えた2017年台風第21号の二重暖気核構造. 日本気象学会春季大会, つくば国際会議場, 茨城県つくば市, 5月16日.

宇宙天気インタプリタ養成のためのプログラム開発
Program development for Space Weather Interpreter training
野澤恵、茨城大学・理学部

1.研究目的

科学成果還元の情報活動やアウトリーチは重要と認識され、その内容も研究者から一方的発信でなく、一般社会からのフィードバックと双方向性が必要となっている。その双方向性を担うインタプリタ（翻訳者、解説者と訳されることもあるが、ここでは広義の仲介者とし、これからはIPと略す）が必要とされている。本研究では、その宇宙天気及び宇宙気候のIPの養成をゴールとして、まず宇宙天気の影響を受けやすい人工衛星運用でのIPを検討する。

2.研究方法

本研究では、タウンミーティング形式の議論の場を形成し、最新の研究成果の発表を研究者が行い、その成果である科学的な知見が実際の宇宙環境に反映されるかの解説をIPが行うことが理想の形であるが、その前段階としての簡易的な取り組みを考え、その養成プログラムの開発を行う。

3.活動報告

3.1 宇宙天気IPの紹介

第62回宇宙科学技術連合講演会の宇宙教育セッションにて「宇宙天気災害から社会インフラを護る～宇宙天気インタプリタ～」と題し、宇宙天気IP構想の紹介を行い、聴衆と活発な議論を行った。宇宙天気インタプリタ以前に非宇宙天気コミュニティにおける宇宙天気の認知度が低いことが明らかになった。

3.2 宇宙天気防災アウトリーチ活動

宇宙天気による災害に関する一般向けの講演活動やコラムの執筆活動を行った。本活動は講演地の地元メディアに取り上げられた（図1参照）。地道なアウトリーチ活動により、草の根から宇宙天気の認知度向上に努めている。



図1 岩手県の地元紙 東海新報の記事（2018年10月16日朝刊）

3.3 宇宙天気が社会インフラに対する影響に関する研究

宇宙天気災害の原因となる現象の分類とその影響を整理し、社会インフラへの影響フロー、現象の規模毎の発生確率等を明らかにした（図2～図4に例を示す）。本研究は、共同研究者の玉置が放送大学大学院修士論文「宇宙天気現象の社会インフラに対する影響に関する研究～ハロウィン・イベント後の宇宙天気災害の整理～」にてまとめた。²⁾

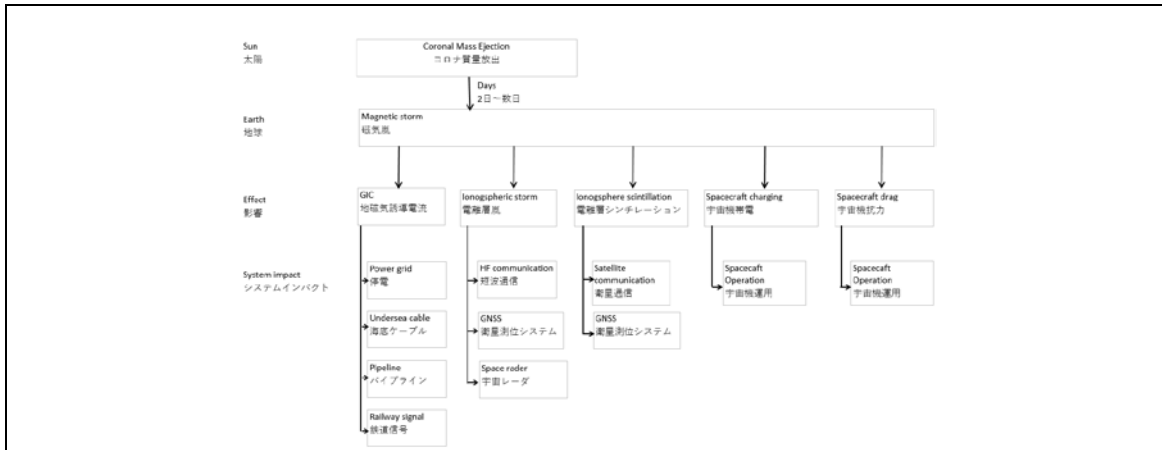


図2 宇宙天気が社会インフラに与える影響フローの例

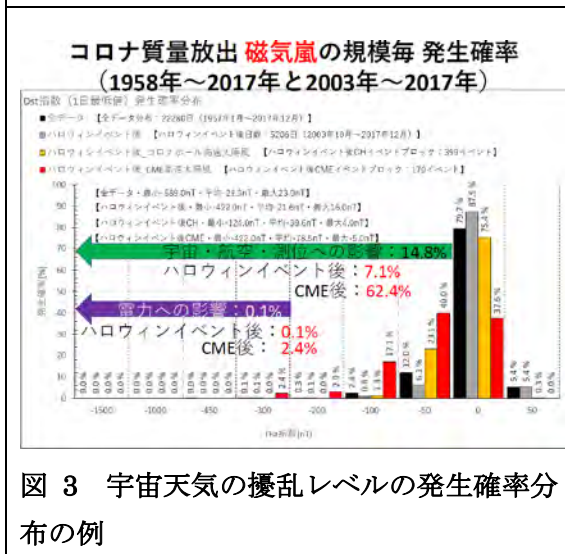


図3 宇宙天気の擾乱レベルの発生確率分布の例

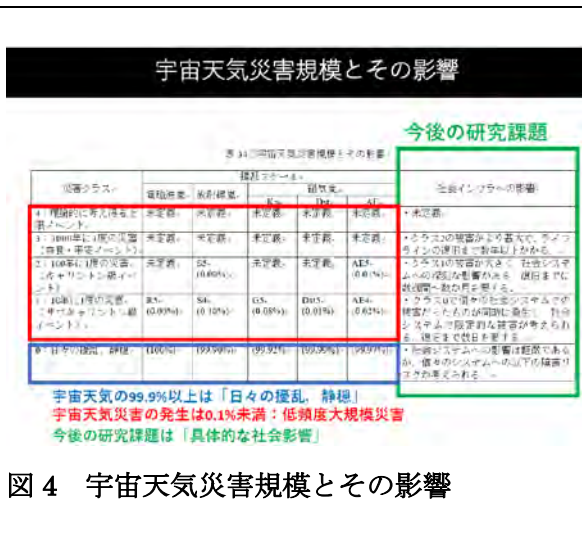


図4 宇宙天気災害規模とその影響

4. 成果論文

- 1) 玉置晋・野澤恵., 宇宙天気災害から社会インフラを守る～宇宙天気インタプリタ～、第62回宇宙科学技術連合講演会講演集、1K07 (JSASS-2018-4241)、2018年。
- 2) 玉置晋、宇宙天気現象の社会インフラに対する影響に関する研究～ハロウィン・イベント後の宇宙天気災害の整理～、放送大学大学院修士論文、2019年。

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。スバルバルの全天大気光イメージャについても、ネットワーク経由での遠隔操作により、冬季の連続観測が問題なく実施できている。今年度は、冬至近くの期間に、557.7 nm と 630.0 nm の観測を短い間隔で繰り返す撮像モードを用いた観測を行い、欧州非干渉散乱レーダーとの同時観測を実施した。2015 年 10 月からは、レゾリュートベイのさらに北に位置するイウレカ (磁気緯度 89 度) において新規の大気光イメージャ観測を開始している。2017 年 12 月にファンの故障に伴って冷却性能が低下し、光学観測ができない状態になったため、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い、メーカーによるファンの交換作業を実施した。2019 年 10 月に、修理が完了したカメラをイウレカに持ち込み、観測システムに復帰させる作業を行った。以降、連続的に観測を行うことができている。上述のように、イウレカについて機器のトラブルがあり、連続観測が安定的にできていない時期が短期間生じているが、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

イウレカにおいて得られた3年分のデータを用いて、極冠パッチの輝度値のUTに対する依存性を調べたところ、イウレカのローカルタイムが夜の時間帯には、輝度値が小さい極冠パッチが多く発生するのに対して、昼側では極冠パッチの発生数は少ないが輝度値が高いものが多いことがわかった。また、イウレカでは、惑星間空間磁場 (Interplanetary Magnetic Field: IMF) の東西成分 (By 成分) が正の時に、極冠パッチが約2倍の頻度で発生していることも明らかになった。これは、IMF By が正の時には、夕方側の高い電子密度領域からプラズマを輸送するような極域対流パターンが形成されていることによって説明できると考えられる。この仮説の正当性を、SuperDARN レーダーのデータを統計的に解析することによって検証した。これらの結果は、極冠パッチの生成が、日照域の空間分布と極域対流の構造の双方に依存していることを強く示唆する。この結果は、地球電磁気・地球惑星圏学会において永田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、特に沿磁力線の空間構造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 IMF のときに観測された Sun-aligned arc について、上空を飛行する Swarm 衛星搭載の磁力計との同時観測事例を解析し、複数機の磁場変動データからアンペアの法則の積分形を用いて算出された沿磁力線電流が光学観測で見られるアークの構造と良く整合することを示した。この結果を受けて、複数機の編隊飛行衛星による磁場観測データを用いた沿磁力線電流の統計解析を実施し、北向き IMF 時には極冠域において細かい沿磁力線電流が発生していることが明らかになった。これらの沿磁力線電流は、そのほとんどが Sun-aligned arc に関係しているものと考えられる。この結果は、地球電磁気・地球惑星圏学会において山内らによって報告された [2]。

これらに加え、レゾリュートベイと南極における地上光学観測、Swarm 衛星による電子密度計測を統計的に処理することによって、極冠パッチの発生頻度がターミネータとカスプの相対的な位置関係によって決まることを明らかにした。この結果は、香川らによって、地球電磁気・地球惑星圏学会、および AGU Fall Meeting において報告された [3, 4]。

★ 学会発表, 論文公表実績等

1. 永田倫太郎, 細川敬祐, 塩川和夫, 大塚雄一, Relationship between the By component of Interplanetary Magnetic Field and occurrence of polar cap patches, 地球電磁気・地球惑星圏学会 (SGEPSS) 第144回総会及び講演会, 名古屋大学, 2018年11月25日
2. 山内淑寛, 細川敬祐, Ohtani Shinichi, 塩川和夫, 大塚雄一, Swarm 衛星を用いた北半球極冠域の沿磁力線電流の統計解析, 地球電磁気・地球惑星圏学会 (SGEPSS) 第144回総会及び講演会, 名古屋大学, 2018年11月25日
3. 香川亜希子, 細川敬祐, 小川泰信, 門倉昭, 海老原祐輔, 陣英克, 塩川和夫, 大塚雄一, Investigation of inter hemispheric asymmetry of polar cap patch occurrence, 地球電磁気・地球惑星圏学会 (SGEPSS) 第144回総会及び講演会, 名古屋大学, 2018年11月25日
4. Kagawa A., K. Hosokawa, Y. Ogawa, A. Kadokura, Y. Ebihara, H. Jin, K. Shiokawa and Y. Otsuka, Interhemispheric asymmetry of polar cap patches: Effect of offset between the geographic and magnetic poles, American Geophysical Union (AGU Fall Meeting), Dec 14, 2018, Washington, D.C.

あらせ衛星を用いた地球内部磁気圏リングカレント
イオン圧力変動に関する研究

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

桂華邦裕、東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻

研究目的

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

研究方法・研究結果

本研究では、あらせ衛星搭載MEP-i粒子検出器で得られたイオンデータ (10-180 keV/q) を用いて、あらせ衛星が2017年に観測した6つの磁気嵐の主相における、水素イオンと酸素イオンのエネルギー密度比の空間分布を調べた。エネルギー密度比は平均的には0.3から1.0の間で、過去の衛星観測と大きな差異は見られなかった。一方で、地心距離に依存する傾向が見られた。特にL値が4より小さい深内部磁気圏では、エネルギー密度比が1.0を大きく超え、5から10に達する場合があった。また、L値が6付近の近地球プラズマシートに近い領域でもエネルギー密度比が1を超える粒子注入(インジェクション)が見られた。

考察

Keika et al. [2018]は、今回と同じ磁気嵐について、深内部磁気圏まで侵入したイオンは主に断熱的に輸送されていることを示した。イオンが輸送中に地球ジオコロナと衝突して消失する(電荷交換によって電荷を失い中性化する)時間スケールは、~50 keV以下では酸素イオンが水素イオンよりも1桁近く長い。深内部磁気圏でエネルギー密度比が極端に大きくなる理由は、断熱輸送中に水素イオンがより早く消失するためと考えられる。一方、大きいL値域の高いエネルギー密度比は、サブストーム活動などに伴い効率的に加速を受けた酸素イオンが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. (2018). Ion energies dominating energy density in the inner magnetosphere: Spatial distributions and composition, observed by Arase/MEP-i. *Geophysical Research Letters*, 45. doi: 10.1029/2018GL080047
- Keika, K., Mass and Charge Dependent Characteristics of Earth's Magnetospheric Plasma, 2nd Asia-Pacific Conference on Plasma Physics, Kanazawa, Ishikawa, November 12, 2018.
- Keika, K., et al., Contribution from proton and oxygen ions to plasma pressure in the Earth's inner magnetosphere: Arase (ERG) observations, 2nd URSI AT-RASC meeting, Gran Canaria, May 28, 2018.
- Keika, K., et al., Spatial distribution of the contributions from electrons, protons, and oxygen ions to energy density in the inner magnetosphere, JpGU 2018 meeting, Makuhari Messe, Chiba, May 22, 2018.

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ッスラーモード・コーラス放射が重要な役割を担うとされる。近年の理論・シミュレーション研究により、コーラス放射との波動粒子相互作用においては、コヒーレントな波動による捕捉を基本とする非線形相互作用の重要性が指摘されている。放射線帯電子の生成過程を理解する上で、内部磁気圏のどの領域で、どのようなタイミングで電子加速過程が生じるかを定量的に明らかにすることは重要である。そのためには、高エネルギー電子の磁気圏内での輸送を扱うグローバルモデルが有用なツールとなるが、コーラス放射との波動粒子相互作用で本質的に重要となる非線形効果をどのように取り入れるかが課題として残されている。本研究課題は、コーラス励起過程を再現する素過程シミュレーションとグローバルモデルとの連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

3年間の研究計画として実施された本研究課題の成果として、第一に、コーラス放射の発生と非線形効果の発生に関わる波動振幅閾値の計算モジュールを開発したことが挙げられる（連携計算1）。このモジュールをグローバルモデルに組み込んで実施されたテスト計算では、ホイッスラーモード波動の線形成長率とともに閾値を計算することで、コーラ

ス放射が発生しうる領域と波動スペクトルの考察に資する結果が得られることが示された。第二に、グローバルモデルの計算結果を初期値として素過程シミュレーションを実施する手法を確立したことが挙げられる。これにより、宇宙天気現象時の内部磁気圏を対象とした連携計算を実施することが可能となった（連携計算2）。

さらに、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も重要な成果となった。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とした。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ことができると期待される。

本共同研究により開発された連携計算手法を、あらせ衛星を始めとする衛星観測結果との比較・考察に活用することにより、放射線帯領域での電子加速過程ならびに波動励起過程における非線形効果の定量的な究明が可能となる。2019年度より開始する共同研究課題ではこの課題に取り組み、衛星観測結果との比較に重点を置いて、モデル計算結果の有効性を検証することを計画している。

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・環境学研究所
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昨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、2018年全体で約80日の観測を実施し、その内の約半分は衛星通過日であった。GOSAT衛星の検証のためのデータを提供し続けている。

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

久保勇樹、情報通信研究機構・宇宙環境研究室

1. 研究目的

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

2. 研究方法

研究の方法としては複数考えられるが、今年度は、NICTで運用している太陽風予測シミュレーション(SUSAN00)によってCMEが惑星間空間を伝搬していく様子を計算し、その結果を用いて疑似的にIPS観測を作り出し、実際のIPS観測データとの比較を行った。

3. 研究成果

本研究では、2017年9月5日にX9.3フレアに伴って発生したCMEをターゲットとして、4種類のCME初期速度(1,000、1,500、2,000、2,500 km/s)でのシミュレーションを行い、疑似IPSデータと観測データとの比較を行った。その結果、IPS観測データを最も良く再現するのは初期速度を1,500km/sとして計算したものであることが分かった。この結果は、複数の初期条件を用いて同時にシミュレーションを行い、誤差の情報などを含んだ予報を行うアンサンブル予報システム開発の第一歩として、重要な結果と言える。

4. 成果発表

① 誌上発表

-Iwai, K., Shiota, D., Tokumaru, M., Fujiki, K., Den, M., and Kubo, Y., Development of a coronal mass ejection arrival time forecasting system using interplanetary scintillation observations, Submitted for publication in EPS

② 口頭発表

-Iwai, K., Shiota, D., Tokumaru, M., Fujiki, K., Den, M., and Kubo, Y., Development of space weather forecast syst

em using interplanetary scintillation (IPS) observations, The 3rd PSTEP International Symposium (PSTEP-3), May 16-18, 2018, Koganei, Japan

-岩井一正, 塩田大幸, 久保勇樹, 田光江, 徳丸宗利, 藤木謙一, 惑星間空間シンチレーション観測を用いたデータ同化型太陽嵐到来予測モデルの開発, 日本天文学会2018年秋季年会, 9月21日, 兵庫県立大学

-岩井一正, 塩田大幸, 徳丸宗利, 藤木謙一, 田光江, 久保勇樹, 惑星間空間シンチレーション観測を用いた内部太陽圏の可視化と太陽嵐到来予測, 第144回地球電磁気・地球惑星圏学会, 11月26日, 名古屋大学

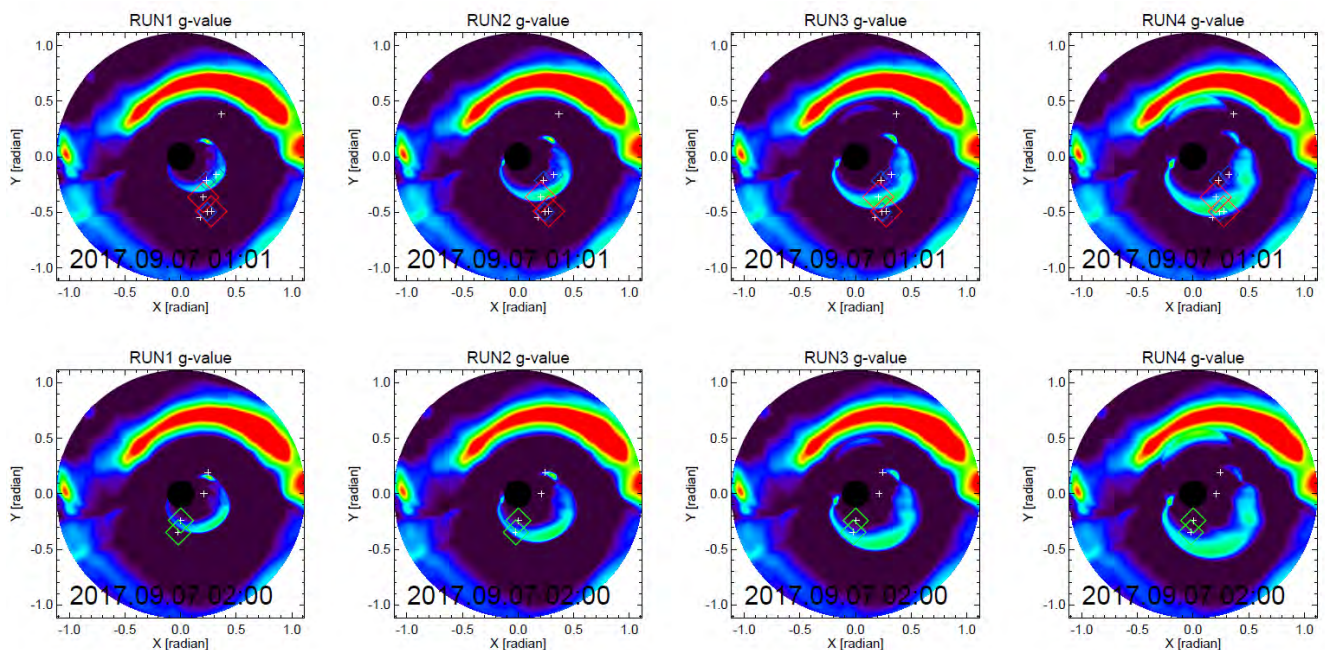
-岩井一正, データ同化シミュレーションによる内部太陽圏の可視化, PSTEPモデル研究会

-岩井一正, 塩田大幸, 徳丸宗利, 藤木謙一, 田光江, 久保勇樹, データ同化シミュレーションによる内部太陽圏の可視化, 太陽研究者連絡会シンポジウム, 2019年2月20日, 名古屋大学

-Iwai, K., Shiota, D., Tokumaru, M., Fujiki, K., Den, M., and Kubo, Y., Development of coronal mass ejection arrival time forecasting system using interplanetary scintillation observations, The 1st International ISEE symposium, Feb. 25, 2019, Nagoya University, Japan

-Shiota Daikou, Three-dimensional MHD modeling of solar corona and inner heliosphere for space weather forecast, International ISEE symposium "Recent progress in heliospheric physics by direct measurements of unexplored space plasmas", Feb. 2019, Nagoya Univ., Japan

-塩田大幸, 岩井一正, 井上諭, 草野完也, 八代誠司, 松本倫明, 太陽圏モデルの取り組み, PSTEP・ISEE研究集会「太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望」, 2019年1月, 小金井



CME の初期速度を 1,000、1,500、2,000、2,500 km/s の 4 種類を仮定して計算した、疑似 IPS データと IPS 観測データの比較。RUN2 (1,500 km/s) が最も良く IPS 観測を再現している。

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

ユーラシア大陸北部は地球規模の水・エネルギー循環において極めて重要な地域である。このうち、北東アジア地域は半乾燥地域であるにも関わらず、夏季を中心に発達した積雲対流がしばしば発生し、強い降水が観測されている。このような積雲対流は不安定成層下で発生しやすいことが知られているが、陸面状態がどのように関与しているのか分かっていない。そこで本研究では、北東アジア地域で発生する深い積雲対流と陸面状態との関係を明らかにすることを目的とする。

2. 研究方法

本研究では、静止気象衛星(GMS-5、GOES-9、MTSAT-1R、MTSAT-2、Himawari-8)を用いて、メソ対流系(MCS)を客観的に抽出した。さらに、MCSが発生した地点において、MCSの発生数時間前における地温分布の特徴を調べた。解析期間は、1996年から2018年までの6月から8月である。解析手法の詳細はTeramura et al. (2019)を参照されたい。

3. 結果

図1にMCSの発生位置の地理的分布と発生日の午前10時における地温の標準偏差($\sigma\text{LST}_{\text{BB}}$)を示す。標準偏差はMCS発生地点の周囲0.35度四方の地温データを用いて算出しており、 $\sigma\text{LST}_{\text{BB}}$ が大きいほど地温が空間的に不均一に分布していることを表す(図1a)。モンゴル東部と中国東部を比較すると、MCS発生日の $\sigma\text{LST}_{\text{BB}}$ はモンゴル東部で高く、中国東部で低い傾向があるが、これは両地域の $\sigma\text{LST}_{\text{BB}}$ の気候値を反映している可能性がある。そこで、図1bではMCS発生日の $\sigma\text{LST}_{\text{BB}}$ が各地点における $\sigma\text{LST}_{\text{BB}}$ のうち上位、中位、下位のどの階級に属しているかを、それぞれ赤点、黒点、青点で示した。モンゴル東部ではMCS発生日における $\sigma\text{LST}_{\text{BB}}$ は通常よりも高い場合(赤点)が多いことが分かる。赤点と青点の数の比を2.5度格子内で算出した結果が図1cである。モンゴル東部では、赤点は青点のおよそ2倍であり、地温の空間不均一性が強くなるにつれて、MCSの発生確率が増加していることが分かる。一方、中国東部では、赤点と青点の比はほぼ1であり、地温の不均一性はMCSの発生確率に影響を与えていないことが分かった。

4. まとめと考察

静止気象衛星データから客観的に検出されたMCSのデータベースを用いて統計解析を行うことで、MCSの発生確率が地温の空間分布と関係していることが示された。一般的にMCSの発生は大気総観場に強く依存するため、トラフや前線の通過を診断することでMCSの発生可能性を総観スケールで評価することは可能である。本研究で明らかにな

った陸面状態がMCSの発生確率に与える影響は、総観規模よりも小さな空間スケールでMCSが発生しやすい場所を特定する際の手がかりとなる可能性がある。一般的な短時間降水の予報では、下層風の収束や水蒸気量の増加など、対流活動の前兆現象であるメソスケール循環を観測によって捕えることが重要である。予報モデルで陸面諸量を考慮することにより、メソ対流系が発生・発達しやすい場所をメソスケール循環が生じる前に特定することが可能になるなど、本成果の応用が期待される。

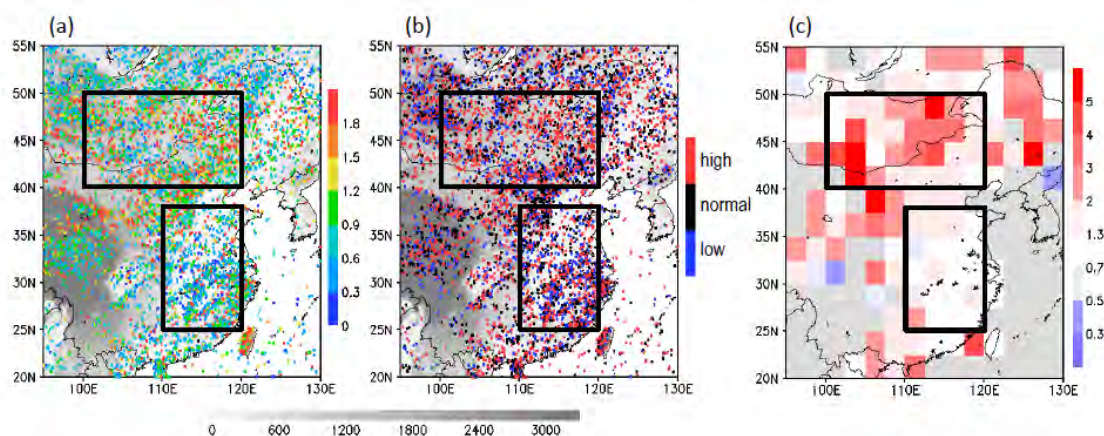


図1: (a)MCSの発生位置の分布と発生日の午前10時における地温空間分布の標準偏差 ($\sigma_{LST_{BB}}$)。 (b) $\sigma_{LST_{BB}}$ の全サンプルに対するMCS発生日における $\sigma_{LST_{BB}}$ の階級。 (c) MCS発生確率の地温空間不均一性に対する感度。

成果発表

Erdenebat, E. and T. Sato, 2018: Role of soil moisture-atmosphere feedback during high temperature events in 2002 over North east Eurasia. *Progress in Earth and Planetary Science*, 5:37, DOI:<https://doi.org/10.1186/s40645-018-0195-4>

Sato, T., E. Erdenebat, and T. Nakamura, 2018: Investigating a possible contribution of land surface processes on extreme hot event in Northeast Eurasia in recent summer. 8th GEWEX Open Science Conference, (Canmore, 2018.05.07)

Teramura, H., T. Sato, and K. Tamura, 2019: Observed evidence of enhanced probability of mesoscale convective system initiations due to land surface heterogeneity in semiarid East Asia. Submitted.

佐藤友徳, 中村 哲, エルデンバト エンフバト, 寺村 大輝, 2019: 総観気象と大気-陸面相互作用, *低温科学*, 77, 印刷中.

寺村大輝, 佐藤友徳, 2018: 北東アジア半乾燥地域におけるメソ対流系の発達に対する大気と陸面の寄与. 日本気象学会2018年秋季大会. (仙台, 2018.10.31)

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

田中公一、広島市立大学・情報科学研究科

【研究目的】

本研究では、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、地球上に展開される多数の観測装置を用いて行う宇宙線観測により、異方性やモジュレーション解析を施すことによって、宇宙線の加速・伝播機構の理解を深めることができる。我々が用いるミュオン望遠鏡は、およそ数十 GV 程度のリジディティの宇宙線を観測することができる。これは、約 0.4 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。両者間は地理経度で約 60 度の差異があり、この差異と地球の自転を利用した連続観測により、広域同時観測が実現できる。

現在、明野ミュオン観測では、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する予定である。

【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る。新ミュオン検出器 16 基のうち 13 基について比例計数管の積み上げが終わり、残すところ 3 基の 5 層のみとなっている。これを取り囲む外壁もほぼ完成している。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、ストレージルームに置かれた比例計数管に新型フロントエンド回路が取り付けられ、試験が行われている。本年度の人的



図 1 新ミュオン検出器（2018 年 8 月現在）。写真手前が北。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。

な活動としては、2018年8月から2018年9月まで、大阪市立大学の林嘉夫名誉教授が GRAPES-3 に滞在し、新ミュオン検出器建設の指導を行った。これにより、比例計数管の製作もほぼ完了し、比例計数管の積み上げも5層を残すのみとなっている。同時期に本研究代表者の田中も GRAPES-3 に滞在し、新ミュオン検出器建設に立ち会った。同時期の8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、大嶋晃敏氏、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った。さらに、川上三郎氏は GRAPES-3 にも訪れた。



図2 ストレージルームに置かれた比例計数管に新型フロントエンド回路が取り付けられ、試験が行われている。

2018年中及び2019年3月にかけて、本研究代表者と学部4年生、および、中部大学の大嶋晃敏氏らが複数回にわたり明野宇宙線観測所に出張し、3基の明野ミュオン観測装置の再整備を進め、データサーバの故障対応、UPSバッテリーの交換を行い、日理絵計数管の時定数、PWAの測定を行なった。そして、本研究代表者が数回中部大学に出張し、GPRAES-3及び明野ミュオン観測のデータ解析について議論した。

【研究成果】

本研究に関する成果として、3篇の査読論文 [1] が出版された。また、日本物理学会で6件の発表を行った。

【学術論文】

1. "比例計数管のシミュレーション (Simulation Study of Proportional Counter Output)", 植田拓真その他, 第20回IEEE広島支部学生シンポジウム"
2. "Measurement of the radial diffusion coefficient of galactic cosmic rays near the Earth by the GRAPES-3 experiment", H.Kojima et al., Phys.Rev.D, Vol. 98, 022004(2018)
3. "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., Phys.Rev.D, Vol.97, 082001 (2018)

【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(21)」
小島浩司、大嶋晃敏、田中公一他、日本物理学会 2018年秋季大会、H14aS37-2
2. 「GRAPES-3 実験における新ミュオン検出器の建設の現状について」
大嶋晃敏、伊藤信夫、田中公一他、日本物理学会 2018年秋季大会、14aS37-9
3. 「GRAPES-3 実験における大型 NaI 検出器の導入について」
田中公一、大嶋晃敏、小島浩司他、日本物理学会 2018年秋季大会、14aS37-10
4. 「大面積高精度 muon 望遠鏡による方位別宇宙線強度変動の研究(22)」
小島浩司、大嶋晃敏、田中公一他、日本物理学会、第74回年次大会(2019年)、14aK407-5
5. 「GRAPES-3 空気シャワーアレイ拡張の現状について」
大嶋晃敏、小島浩司、田中公一他、日本物理学会、第74回年次大会(2019年)、16pK106-7
6. 「GRAPES-3 実験における大型 NaI 検出器の導入について(2)」
田中公一、大嶋晃敏、小島浩司他、日本物理学会、第74回年次大会(2019年)、16pK106-8

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

中野 佑樹、 東京大学 宇宙線研究所

導入・研究目的

太陽フレアは太陽表面で起きる爆発現象であり、磁気エネルギーが熱エネルギーや粒子加速のエネルギーに変換される過程であると考えられている。典型的な太陽フレアでは 10^{29} - 10^{32} ergのエネルギーが100-1000秒の間に解放される。

太陽フレアに伴い大量の粒子が放出されるが、その際の粒子加速機構は未だに解明されていない。X線やガンマ線、中性子などの中性粒子は惑星間磁場の影響を受けないため、粒子加速場所や発生時刻など粒子加速機構を理解する上で重要な役割を果たす。

太陽フレアに伴うニュートリノはHomestake, SN0, Kamiokandeなどでの探索結果が報告されているが有意なシグナルは得られていない[1-3]。一方で、ある理論モデルではSuper-Kamiokande検出器で1つ程度のニュートリノ事象を観測できる可能性が議論されている[4]。

本研究では、Super-Kamiokande(SK)[5]を用いて太陽フレア由来のニュートリノ探索を行い、太陽フレアにおける粒子加速機構に新たな知見を得る事である。

研究方法(太陽フレアニュートリノ探索のためのTime Window設定)

太陽フレア由来のニュートリノの生成過程は大気ニュートリノの生成過程と非常に似通っており、両者のエネルギー帯は重なっている。大気ニュートリノは定常的に観測されるイベントである一方で、太陽フレア由来のニュートリノは太陽フレアにおける粒子加速のタイムスケール程度の間だけ放出されると考えられる。従って、適切なTime Windowを設定することで太陽フレア起源のニュートリノ探索のsignal/noise比を向上させることが期待される。

本研究では、ニュートリノ探索用のTime Windowを決定するために、CIDASシステム(宇宙地球環境研究所統合データサイエンスセンター)において管理されているRHESSIとGOESの観測データを解析した。以下でそれぞれTime Windowの決定方法について述べる。

・軟X線、軟X線ライトカーブの時間微分(GOES)

GOESで観測された軟X線1-8Åのフラックスのピーク値は太陽フレアのクラス分けの指標として広く使用されており、 10^{-4} W/m²以上のピーク値を持つ太陽フレアは最大規模のものであると考えられている。GOES衛星で観測される典型的な軟X線のライトカーブは図1の1段目のようになっている。本研究において対象とする太陽フレアは軟X線のフラックスが 5×10^{-4} W/m²以上のピークをもつ23個の太陽フレアを選んだ。また軟X線のフラックスが 10^{-4} W/m²以上となっている時刻を Time Windowとした。

また、軟X線の情報から粒子加速と相関のある増光部分を取り出すため、軟X線ライトカーブの時間微分を用いた。本研究では、ライトカーブの時間微分をガウス関数でフィットをし、ピークの時間 t_0 からの領域をTime Windowとした。(図1、2段目)

・硬X線、ラインガンマ線(RHESSI)

硬X線に関してはRHESSI衛星のwebサイト¹にあるflare listの中から対象の23フレアについて観測データがあるものを抜き出した。(図1、3段目)

ラインガンマ線に関しては、2.218-2.228MeVのエネルギーを持つ光子のライトカーブをプロットし、増光が見られる直前をBack Groundとして定数フィット、増光部分を一次関数フィット、減光部分を指数関数でフィットした。フィットの結果からBack Groundと増光部分の交点を求め始点とし、また減光部分とBack Groundより 2σ 以上大きい点を求め終点とした。そして、中性子捕獲のタイムラグ[6]を考慮し、始点の100秒前から終点までの間をTime Windowとした。(図1、4段目)

¹ <https://hesperia.gsfc.nasa.gov/rhessi3/data-access/rhessi-data/flare-list/index.html>

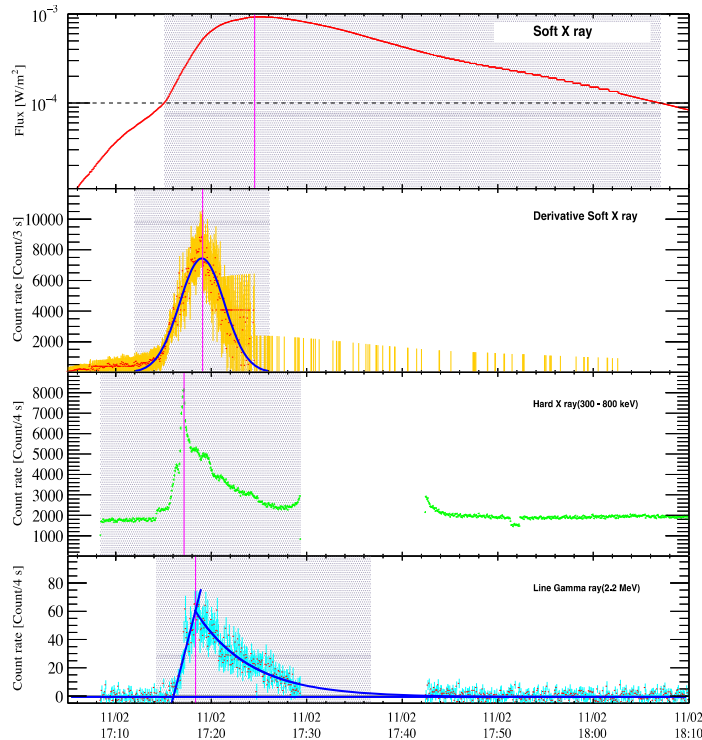


図 1:2003 年 11 月 2 日のイベントに対するライトカーブ。上から順に軟 X 線、軟 X 線の時間微分、硬 X 線、ラインガンマ線。ピンク色の縦線はピークのタイミングを表し、青線はフィットの結果を表す。灰色領域が、本研究で得られた Time Window である。

研究結果・今後の展望

表 1 に本研究で決定した Time Window の情報をまとめた。本研究で決定した Time Window は SK でのニュートリノ探索を想定して作成したものであるが、他のニュートリノ検出器でも利用可能である。今後、本研究で得た Time Window を用いて SK でのニュートリノ探索を行う。また、Time Window の決定手法と結果を合わせて論文として公表予定である。

表 1: Time Window のまとめ

光学的情報	決定可能なフレアの数	1 フレアの平均時間	大気ニュートリノ事象数(SK)
軟 X 線	23/23	2958 秒/flare	0.27 event/ flare
軟 X 線の時間微分	22/23	700 秒/flare	0.07 event/ flare
硬 X 線	13/23	2002 秒/flare	0.19 event/ flare
ラインガンマ線	5/23	1618 秒/flare	0.18 event/ flare

成果発表

1. 日本物理学会秋季大会 (2018 年 9 月 14 日 信州大学) 東京大学 宇宙線研究所 岡本 幸平
2. 日本物理学会春季大会 (2019 年 3 月 16 日 九州大学) 東京大学 宇宙線研究所 岡本 幸平
3. 修士博士発表会 (2 月 22 日 東京大学 宇宙線研究所) 東京大学 宇宙線研究所 岡本 幸平
4. 2018 年度 修士論文 (東京大学大学院) 岡本 幸平

参考文献

- [1] R. Davis, Prog. Part. Nucl. Phys. 32 (1994) 13–32. [2] B. Aharmim et al., Astropart. Phys. 55 (2014) 1–7.
 [3] K. S. Hirata et al., Phys. Rev. Lett. 61 (1988) 2653–2656. [4] D. Fargion et al., Astrophys. J. 3 (2003) 75–86.
 [5] Y. Fukuda et al., Nucl. Instrum. Meth. A 501 (2003) 418–462. [6] W. Q. Gan, The Astrophysical Journal 496 (1998) 992.

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

宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所
伴場 由美

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とを目的とする。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、地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30年度における研究成果・考察

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、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投稿論文としてまとめ、The Astrophysical Journal から出版された。本研究は、2015年3月に発生した太陽活動サイクル24最大の磁気嵐の原因となった、太陽表面からの大規模フィラメント噴出の発生過程を明らかにしたものである。一般的に、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があるが、このイベントの規模はC9.1と小規模であった。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、この大規模フィラメント噴出発生に至る、太陽表面の微細構造および噴出するフィラメント周辺の大規模な磁場構造の変化を詳細に調べた。

観測データ解析の結果、(1) 噴出したフィラメントを支えていた大規模なアーケード磁場の足元に、局所的に強いねじれを持った小規模な磁場構造(太陽面上で約2万kmの領域)が存在していたこと、(2) その局所的にねじれの強い領域では、大規模フィラメント噴出を伴うC9.1フレアの約40分前に、別のC2.4フレアと別の小規模なフィラメント噴出が発生していたこと、(3) さらにC2.4フレアの約1時間半程度前に、C2.4

フレアに伴い噴出する小規模フィラメントの足元で、太陽面上で 700km 程度という微小な発光現象が発生していたこと、を見出した。さらに、NLFFF Modeling の結果から、C2.4 フレア発生直前に、大規模フィラメントを支えていたアーケード磁場の一部がトラス不安定性の臨界条件である decay index $n \sim 1.5$ に達していた。しかし、アーケード磁場に閉じ込められている磁気フラックスロープの軸は $n < 1.5$ に存在していたと考えられ、少なくともこの段階ではトラス不安定性に対して安定であった可能性が高い。一方で、C9.1 フレアに伴って噴出した大規模フィラメント構造の噴出前 24 時間程度に渡る時間変化を観察すると、フィラメントは安定的に、徐々に上昇しているように見えた。しかし、(3)の微小な発光現象が見られた直後に、フィラメントのプラズマの擾乱が観測され、その後噴出した。これらのことから、少なくとも C2.4 フレア発生直後に大規模なフィラメント噴出 (C9.1 フレア) が発生するためには、フィラメントの不安定化を促進する何らかのトリガが必要な可能性が必要であると考えられ、(3)の微小な発光現象を生じた何らかの微小な磁気擾乱がそのトリガの候補として考えられる。

したがって、本研究では、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 (フィラメント) 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というシナリオを提案した。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。

本年度は上記の他に、2017 年 9 月初旬に NOAA12673 領域で連続的に発生した X クラスフレアの発生過程についての研究、草野教授の行う MHD 不安定性の臨界条件に基づく大規模フレア発生予測スキームの開発協力なども実施した。

3. 成果発表

・ 論文発表

- [2] Y. Bamba, S. Inoue, and K. Hayashi, "the Role of a Tiny Brightening in a Huge Geo-effective Solar Eruption Leading to the St Patrick's Day Storm", *The Astrophysical Journal*, 874:73 (11pp), 2019

・ 学会発表

- [1] 伴場由美、井上諭、今田晋亮、草野完也、塩田大幸、「サイクル 24 最大の太陽フレアに伴う宇宙環境擾乱:I. 連続 X クラスフレアの発生過程」、地球電磁気・地球惑星圏学会、名古屋、2018 年 11 月 23-27 日
- [2] 井上諭、塩田大幸、伴場由美、Sung-Hong Park、「サイクル 24 最大の太陽フレアに伴う宇宙環境擾乱: II. 太陽磁場噴出の電磁流体シミュレーション」、地球電磁気・地球惑星圏学会、名古屋、2018 年 11 月 23-27 日
- [3] 塩田大幸、八代誠司、井上諭、伴場由美、「サイクル 24 最大の太陽フレアに伴う宇宙環境擾乱:III. 南向き磁場のモデリング」、地球電磁気・地球惑星圏学会、名古屋、2018 年 11 月 23-27 日
- [4] Y. Bamba, S. Inoue, and K. Hayashi, "the Role of a Tiny Brightening in a Huge Geo-effective Solar Eruption Leading to the St Patrick's Day Storm", 太陽研連シンポジウム, 名古屋, 2019 年 2 月 18-20 日

沖縄における誘導磁力計観測に基づく低緯度Pc1地磁気脈動の
解析的研究

Analytical study of low-latitude Pc1 pulsations observed
by induction magnetometer at Okinawa

能勢正仁、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

【研究目的】

地磁気が周期0.2-5秒で正弦波的に変動する現象は「Pc1地磁気脈動」または「EMIC(Electromagnetic ion cyclotron)波動」と呼ばれており、それが放射線帯電子・リングカレントの発達や減衰に及ぼす影響という観点から、近年、国内・国外において活発に研究が行われている。

低緯度におけるPc1地磁気脈動については、先駆的な研究がKawamura et al. [1981]によってなされた。それによると、低緯度Pc1脈動の発生頻度は、真夜中から明け方にかけてピークを示し、高緯度Pc1脈動や磁気圏中のPc1脈動(EMIC波動)の発生頻度とは全く異なっている。そのため、低緯度Pc1脈動に関しては、「プラズマ圏とリングカレントの相互作用により夜側で励起されたEMIC波動が、磁力線に沿って電離層に入射後、電離層F層ダクトを通過して低緯度へ伝搬し、Pc1脈動として観測される」というシナリオが提案された。しかし、低緯度Pc1脈動の研究はそれ以降、Webster and Fraser [1985], Bortnik et al. [2008], Nomura et al. [2011]による報告が存在する程度で、あまり活発には行われてこなかった。Kawamura et al. [1981]による低緯度での観測結果と、衛星では真夜中から明け方の内部磁気圏(L<4)ではほとんどEMIC波動は観測されないという結果との整合性を説明する必要がある、上記のシナリオは観測データに基づいた更なる検証が求められている。

そこで、この研究では、(1)低緯度(沖縄県)で誘導磁力計による定常観測を行う、(2)誘導磁力計のデータを解析し、低緯度におけるPc1波動の振幅・偏波特性や発生頻度地方時分布を明らかにする、(3)沖縄でPc1波動が観測されているときにArase衛星が夜側内部磁気圏に位置しているようなイベントに着目し、ダクト伝搬EMIC波動の有無や、存在するのならその伝搬・減衰をコントロールする要素を調べる、ことを目的とする。

【研究の経緯】

2017年末に沖縄県国頭村にて誘導磁力計を設置したが、給電が安定せず定常的なデータ取得を開始できなかった。2018年初夏には落雷により、データロガーがダメージを受け、観測が停止してしまっている。観測装置はドイツ製のため、日本の代理店を通して修理などを依頼するのに時間が掛かり、今年度内に観測を再開することができなかった。

以上のような状況に加え、研究代表者が2018年8月に名古屋大学に異動したため、8月1日をもって研究費の使用ができなくなった。そのため、研究費として59,000円の配分を受けたが、最終的に研究費の利用は行わなかった。

ERG衛星搭載中間エネルギー荷電粒子観測器のデータ解析
Data analyses on medium-energy charged particle sensors
onboard ERG

笠原慧、東京大学・大学院理学系研究科・地球惑星科学専攻

【研究目的】

ジオスペース探査衛星ERGの基幹的観測器である、中間エネルギー帯(10-200 keV)のイオン分析器 (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.

【研究内容・結果】

本年度は, (1)観測開始から1年経過した観測器の感度経年変化を踏まえたデータ較正, および(2)ERGサイエンスセンターから公開するデータファイルの内容の議論などを実施した.

結果の一例として, (1)で得られたMEP-iの感度の経年変化を図1に示す. 時間とともに感度が低下していく様子, および2018/2/5に実施した検出器の印加高圧上昇オペレーションを境に感度が回復している様子がわかる.

また, (2)の結果, MEP-i, MEP-eのデータを国内外のコミュニティに広く公開し, それを用いた研究成果が多数得られた.

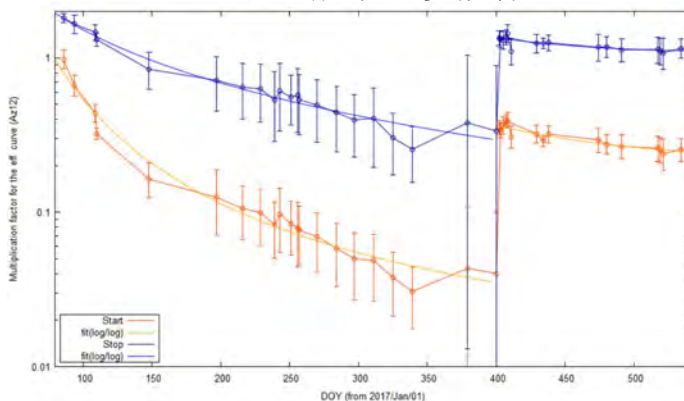


図1 : MEP-i の感度の経年変化.

【発表成果】

- Kasahara, S., S. Yokota, T. Mitani, K. Asamura, M. Hirahara, Y. Shibano, T. Takeshi, "Medium-Energy Particle experiments - electron analyzer (MEP-e) for the Exploration of energization and Radiation in Geospace (ERG) mission", Earth, Planets and Space, doi:10.1186/s40623-018-0847-z, 2018 [Highlighted Papers 2018].
- Smirnov, A. G., E. A. Kronberg, F. Latallerie, P. W. Daly, N. A. Aseev, Y. Y. Shprits, A. Kellerman, S. Kasahara, D. Turner, M. G. G. T. Taylor, "Electron intensity measurements by the Cluster/RAPID/IES instrument in Earth's radiation belts and

- ring current", *Space weather*, doi:10.1029/2018SW001989, 2019.
- Keika, K., S. Kasahara, S. Yokota, M. Hoshino, K. Seki, M. Nose, T. Amano, Y. Miyoshi, I. Shinohara, "Ion Energies Dominating Energy Density in the Inner Magnetosphere: Spatial Distributions and Composition, Observed by Arase/MEP-i", *Geophys. Res. Lett.*, doi:10.1029/2018GL080047, 2018.
 - Imajo, S., M. Nose, A. Matsuoka, S. Kasahara, S. Yokota, M. Teramoto, K. Keika, T. Motoba, B. Anderson, R. Nomura, A. Fujimoto, I. Shinohara, and Y. Miyoshi, "Magnetosphere-ionosphere connection of storm-time Region-2 field-aligned current and ring current: Arase and AMPERE observations", *J. Geophys. Res.*, doi:10.1029/2018JA025865, 2018.
 - Ezoe, Y., Y. Miyoshi, S. Kasahara, T. Kimura, K. Ishikawa, M. Fujimoto, K. Mitsuda, H. Sahara, N. Isobe, H. Nakajima, T. Ohashi, H. Nagata, R. Funase, M. Ueno, G. Branduardi-Raymont, "Ultra light-weight X-ray telescope missions : ORBIS and GEO-X", *J. Astron. Telesc., Instrum. Systems.*, doi:10.1117/1.JATIS.4.4.046001, 2018.
 - Hori, T., N. Nishitani, S. G. Shepherd, J. M. Ruohoniemi, M. Connors, M. Teramoto, S. Nakano, K. Seki, N. Takahashi, S. Kasahara, S. Yokota, T. Mitani, T. Takashima, N. Higashio, A. Matsuoka, K. Asamura, Y. Kazama, S.-Y. Wang, S. W. Y. Tam, T.-F. Chang, B.-J. Wang, Y. Miyoshi, and I. Shinohara, "Substorm-associated ionospheric flow fluctuations during the 27 March 2017 magnetic storm: SuperDARN-Arase conjunction", *Geophys. Res. Lett.*, DOI:10.1029/2018GL079777, 2018.
 - Nose, M., A. Matsuoka, S. Kasahara, S. Yokota, M. Teramoto, K. Keika, K. Yamamoto, R. Nomura, A. Fujimoto, N. Higashio, H. Koshiishi, S. Imajo, S. Oimatsu, Y. -M. Tanaka, M. Shinohara, I. Shinohara, and Y. Miyoshi, "Magnetic field dipolarization and its associated ion flux variations in the dawn side deep inner magnetosphere: Arase observations", *Geophys. Res. Lett.*, DOI:10.1029/2018GL078825, 2018.
 - Kurita, S., Y. Miyoshi, S. Kasahara, S. Yokota, Y. Kasahara, S. Matsuda, A. Kumamoto, A. Matsuoka, and I. Shinohara, "Deformation of electron pitch angle distributions caused by upper-band chorus observed by the Arase satellite", *Geophys. Res. Lett.*, DOI:10.1029/2018GL079104, 2018.
 - Oimatsu, S., M. Nose, M. Teramoto, K. Yamamoto, A. Matsuoka, S. Kasahara, S. Yokota, K. Keika, G. Le, R. Nomura, A. Fujimoto, D. Sormakov, O. Troshichev, Y.-M. Tanaka, M. Shinohara, I. Shinohara, Y. Miyoshi, J. A. Slavin, R. E. Ergun, and P.-A. Lindqvist, "Drift-bounce resonance between Pc5 pulsations and ions at multiple energies in the nightside magnetosphere: Arase and MMS observations", *Geophys. Res. Lett.*, DOI:10.1029/2018GL078961, 2018.
 - Yamamoto, K., M. Nose, S. Kasahara, S. Yokota, K. Keika, A. Matsuoka, M. Teramoto, K. Takahashi, S. Oimatsu, R. Nomura, M. Vellante, B. Heilig, A. Fujimoto, Y. Tanaka, M. Shinohara, I. Shinohara, Y. Miyoshi, "Giant Pulsations Excited by a Steep Earthward Gradient of Proton Phase Space Density: Arase Observation", *Geophys. Res. Lett.*, DOI: 10.1029/2018GL078293, 2018.
 - Miyoshi, Y., T. Hori, M. Shoji, M. Teramoto, T-F. Chang, T. Segawa, N. Umemura, S. Matsuda, S. Kurita, K. Keika, Y. Miyashita, K. Seki, Y. Tanaka, N. Nishitani, S. Kasahara, S. Yokota, A. Matsuoka, Y. Kasahara, K. Asamura, T. Takashima, I. Shinohara, "The ERG Science Center", *Earth, Planets and Space*, DOI: 10.1186/s40623-018-0867-8, 2018.
 - Miyoshi, Y., I. Shinohara, T. Takashima, K. Asamura, N. Higashio, T. Mitani, S. Kasahara, S. Yokota, Y. Kazama, S.-Y. Wang, S. Tam, P.T.P., Ho, Y. Kasahara, Y. Kasaba, S. Yagitani, A. Matsuoka, H. Kojima, Y. Katoh, K. Shiokawa, K. Seki, "Geospace Exploration Project ERG", *Earth, Planets and Space*, doi:10.1186/s40623-018-0862-0, 2018.
 - Mitani, T., T. Takashima, S. Kasahara, W. Miyake and M. Hirahara, "High-energy electron experiments (HEP) aboard the ERG (Arase) satellite", *Earth, Planets and Space*, doi:10.1186/s40623-018-0853-1, 2018.
 - Hikishima, M., H. Kojima, Y. Katoh, Y. Kasahara, S. Kasahara, T. Mitani, N. Higashio, A. Matsuoka, Y. Miyoshi, K. Asamura, T. Takashima, S. Yokota, M. Kitahara and S. Matsuda, "Data Processing in the Software-type Wave-Particle Interaction Analyzer on board the Arase Satellite", *Earth, Planets and Space*, doi:10.1186/s40623-018-0856-y, 2018.
 - Asamura, K., Y. Kazama, S. Yokota, S. Kasahara, and Y. Miyoshi, "Low-energy particle experiments - ion mass analyzer (LEPi) onboard the ERG (Arase) satellite", *Earth, Planets and Space*, doi:10.1186/s40623-018-0846-0, 2018.

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、衛星データ活用において、その基礎となる放射伝達計算の手法開発・改良に関する研究の一環として、3次元放射伝達のための計算手法を開発した。また、開発した手法を高解像度大気モデルによるシミュレーション結果に適用し、10mオーダーの水平変動を持つ空間不均質雲が放射収支に与える影響について調査した。

雲の空間的な変動は、雲粒子による非等方散乱などと相まって放射伝達過程を複雑にし、特に局地的な放射収支に影響する(雲の3次元効果)。しかし、雲の3次元効果の理論的な定量評価には放射伝達計算への入力として雲物理特性を現すパラメータが必要になるが、これらのパラメータ作成のための細かい空間スケールにおける妥当な雲空間分布の取得は一般に困難である。近年、空間解像度が10mオーダーのLarge Eddy Simulation (LES)モデルが理化学研究所において開発されており(SCALE-LES)、物理法則に基づいた雲の空間変動部分の計算が可能となっている。本研究では、SCALE-LESモデルによる海上の低層水滴雲(晴天積雲・層積雲)の発達・衰退過程の計算結果をオフラインで利用して局地的な雲の3次元効果を調査した。SCALE-LESモデルは気圧・気温などとともに雲水量と雲粒子数密度の空間分布を出力する。本研究では、それらから雲粒の粒径分布を仮定して雲の光学特性(消散係数など)、及び大気分子の吸収係数を導出した。また、雲の水平不均質性を加味した放射伝達計算は平行平板近似よりも計算量が非常に増大するため、放射計算の実践には種々の近似や工夫が必要になる。本研究では、球面調和関数による角度方向離散化及び有限体積法による空間離散化に基づく明示的解法を使用した。この解法は放射エネルギーの保存を確約する点が特徴のひとつであり、放射収支の評価に適している。また、赤外放射など、強い大気分子吸収が存在する場合の放射伝達を効率的に計算できる。

SCALE-LESモデルによる雲場の時系列計算結果を入力として算出した広帯域赤外放射フラックス空間分布の結果の一部として、雲層内の放射エネルギー発散・収束の、あるx-z断面でのスナップショットを図1に示す。赤外放射の水平発散による雲の側面や薄い雲の内部の放射冷却が再現され、一方、雲の間隙(即ち晴天域)には水平収束が存在して放射冷却を緩和していることが分る。これらの放射フラックス空間分布の特徴は、平行平板近似では評価できないものである。水平収束・発散の絶対値は最大で約 0.1Wm^{-3} に達している。これは当大気において約 7K/day の加熱・冷却率に対応し、雲の3次元効果による放射冷却・加熱は、雲の成長・衰退過程において無視できない規模であることが示唆される。

今後は巻雲などの他の雲種や気象条件における高解像度大気モデル結果を利用することにより、雲の三次元効果の更なる解明が期待される。その知見は衛星による雲特性リモートセンシング手法改良の一助になると考えられる。

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31年3月18日～19日にかけて行われた「GPMおよび衛星シミュレータ合同研究会」の場で発表を行っている。

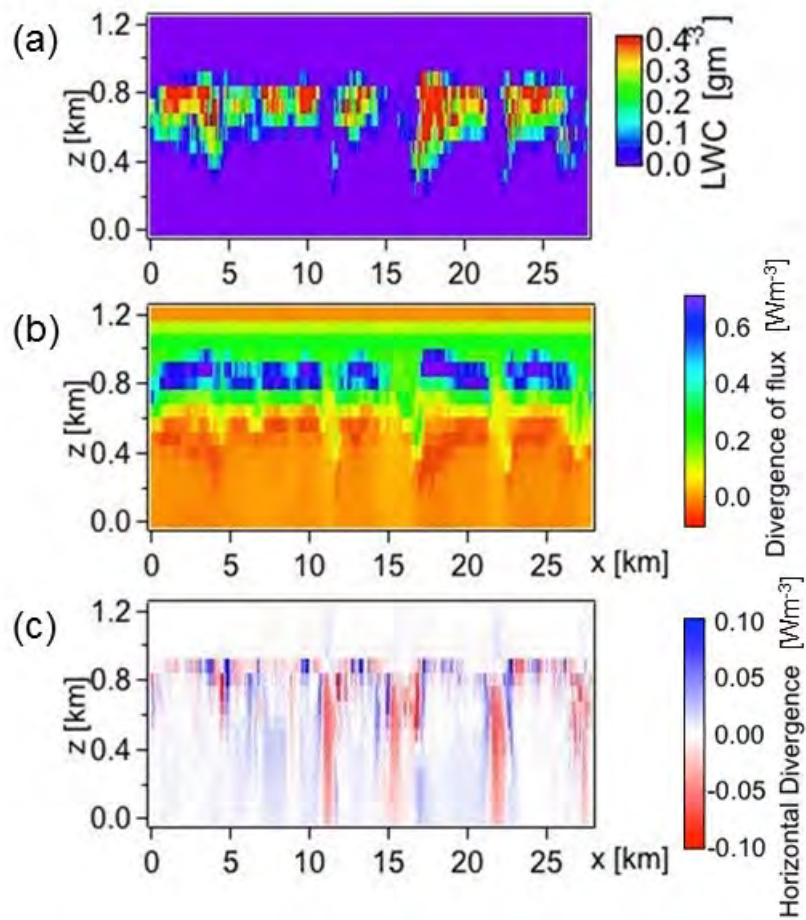


図1. 雲層内の広帯域赤外放射エネルギー発散・収束の、あるx-z断面でのスナップショット。(a)SCALE-LESシミュレーションより得られた雲水量、(b)赤外放射エネルギー発散(負値は収束を表す)、(c)赤外放射エネルギー発散のうちの水平成分。

Statistical study on the energy transport process in solar flares using multi-wavelength spectroscopic observations

Kyoung-Sun Lee (NAOJ)

1. Purpose

In the solar atmosphere, we observe various kinds of the energy release phenomena powered from the solar interior to outer atmosphere by magnetic reconnection, such as, flares and CMEs. Especially, solar flares produce from continuum, to X-ray, whole multiple wavelengths responses, and it is still not well understood how the energy is transported in the whole solar atmosphere and heat the flares as the high temperature (~several 10 million K). There are several different mechanisms for the energy transport process in solar flares has been proposed; 1) electron beam, 2) thermal conduction, and 3) Alfvén wave. The investigation of these energy transport process and the physical mechanisms in solar flares is important to understand not only the heating process in the flares but also the heating process in the solar atmosphere, such as chromosphere to corona. Therefore, we planned to investigate the multi-wavelength spectra in spacecraft observations statistically to confirm which mechanisms are the important role for the energy transport in the solar flares and heating in the solar flare. For this, we have investigated flares which are observed by different spectra from optical to X-ray, and compare the spectra in multi-wavelengths temporally and spatially in statistical way. From the statistical investigation of the flares, first, we tried to understand the dynamics of the plasma during the flare. Second, we tried to understand the low atmospheric response and which energy transport process is dominant in different flares.

2. Methods

We planned to investigate the flare plasma properties in chromosphere and corona using the multi-wavelength (UV-EUV-X-ray) spectroscopy and other imaging and magnetic field data in statistical way. In the previous year, we collected a flare list which is observed by IRIS and Hinode together and appropriate for investigating the energy transport process through the solar atmosphere.

1) Investigation of the evaporation flows dynamics and the energy flux estimation

We used the Hinode/EIS, IRIS, and RHESSI for the spectroscopic observations. From the spectroscopic observations, we can examine the plasma dynamics from measuring the Doppler shift of the spectra, which were formed in different temperatures.

2) Investigation of the energy transport process

We also used the SDO/AIA and SDO/HMI, Hinode/SOT for measuring the low atmosphere response and magnetic field strength. Then, we tried to checking the low atmospheric response using the chromospheric spectra (Mg II from IRIS), WL continuum (SDO/HMI and Hinode/SOT). We also investigated the spatial and temporal evolution and correlation of a low atmospheric response and flaring plasma together with magnetic field variation. We tried to examine the evaporation strength with HXR emission and magnetic field strength to confirm the energy transport process, thermal conduction or electron beam.

3) Collaborative research

For this research, I visited ISEE in October to discuss the research with Imada-san (research collaboration in ISEE) who has been investigating flares with observation and simulation. We discussed about the evaporation flows in a flare and temporal evolution of the different temperature of plasma intensity related to the cooling process after the impulsive heating of the flare.

3. Results

From the investigation of a limb flare and flares in a flare list we made,

- We investigated a limb flare and found the hot loop-top source shows the strong outflows during the impulsive phase and it could be observed evaporation flows between the double loop-top sources.
- From the statistical investigation of the X-ray light curve of the flares and Mg II spectra (chromospheric response) and white light emission (photospheric response), we found a temporal correlation between of the X-ray emission and low atmospheric response depending on the existence of the white light flares.
- We plan to investigate the abundances of the loop-top source for understanding the origin of the heated plasma.
- We plan to investigate relationship of the flare dynamics and the low atmospheric responses more detail. The study could be helpful for understanding the white light flares origins (energy transfer process) and heating mechanism.

4. Periods of stay in ISEE

I visited ISEE at Nagoya University during the period from October 31 to November 2. During the visit, I discussed a flare's dynamics and its temporal evolution of the plasma intensity in different temperature plasma with Dr. Imada to understand their heating and cooling process. We also discussed about the abundances for understanding their hot plasma origin and energy transport process.

5. List of publications (including submitted)

- David M. Long, Louise K. Harra, Sarah A. Matthews, Harry P. Warren, Kyoung-Sun Lee, George A. Doschek, Hirohisa Hara, and Jack M. Jenkins, "Plasma Evolution within an Erupting Coronal Cavity", *ApJ*, 855, 74 (2018)
- Jae-Ok Lee, Kyoung-Sun Lee, Sujin Kim, Kyung-Suk Cho, and Jin-Yi Lee, "The First Observation of Low-Frequency Alfvénic Wave Produced by solar coronal jet on 2017 August 21", *Solar physics*, submitted.
- Louise Hara, Takahiro Hasegawa, Kyoung-Sun Lee, David M. Long, Toshifumi Shimizu, Sarah Matthews, Hirohisa Hara, and Magnus Woods, "Tracking the evolution of hot coronal plasma through 'overlappograms' in response to magnetic flux emergence building up to an M2 flare", *ApJ*, submitted.

Continuous water quality monitoring of lakes and coastal areas using deep neural network and satellite data

サレム イブラヒム サレム モハメット サレム (東京大学)

Ocean color satellites provide a valuable tool for monitoring water quality from space. The missions of ocean color satellites started in 1978 with the launch of Coastal Zone Color Scanner (CZCS) satellite. Since then, there is almost continuous data over water resources. Ocean color satellites measure the water leaving reflectance (Rrs) of water bodies. Converting Rrs to water quality parameters (e.g., chlorophyll-a concentration, absorption, backscattering, etc.) is a challenging task due to two main reasons. Firstly, the scattering of atmospheric gases and aerosols represent ~90% of the recorded signal by satellite over water bodies. Secondly, separation the contribution of each water constituents into the Rrs still require a lot of effort to overcome. Consequently, the proposed research trying to make use of the recent advantages of deep neural network (DNN) to accurately retrieve the constituents' concentrations from Rrs. Deep neural network (DNN) model was created to receive Rrs from different ocean color satellite. The output of the DNN model were seven water quality parameters chlorophyll-a (Chla), nonalgal particles (NAP), absorption coefficients at 442 nm of chlorophyll-a ($a_{ph}(442)$), nonalgal particles ($a_{nap}(442)$) and color dissolved oxygen ($a_{cdom}(442)$) and backscattering coefficients at 2nm of phytoplankton ($bb_{ph}(442)$) and nonalgal particles ($bb_{nap}(442)$). The number of hidden layers were seven layers. The DNN parameters (i.e., weight and bias values) will be determined through the backpropagation method. These parameters will be iteratively adjusted to minimize an objective function (e.g., mean square error) between the NN outputs and the reference outputs. Two simulated datasets each of 100,000 reflectance spectra were used to train and test the DNN model, respectively. Independent simulated dataset based on Hydrolight simulation was used to evaluate the performance of DNN model. In addition, in-situ datasets from East China Sea and NASA bio-Optical Marine Algorithm Dataset (NOMAD) which they represent open ocean and coastal water bodies.

Results reveal that the DNN model had a great potential to overcome the complexity of water bodies to retrieve accurate water quality parameters. The retrieval accuracy during the validation process using simulated dataset was above 90% for all water quality parameters (Fig. 1). The DNN model also provided relatively better retrieval accuracy for total absorption at 442 nm ($R^2 = 0.92$, RMSE = 10.8 mg.m⁻³, Fig. 2a) and absorption of nonalgal particles and color dissolved organic matter at 442 nm ($R^2 = 0.88$, RMSE = 0.3 m⁻¹, Fig. 2b). whereas, both of backscattering of particles and Chla showed high retrieval accuracy with overestimation trend with increasing the concentrations as shown in Figs. 2c and 2d. Currently, we are trying to identify the reason of this overestimation trend. Finally, the $a_{cdom}(442)$ retrieval accuracies were very high for Hydrolight simulation ($R^2 = 0.91$, RMSE = 0.2 mg.m⁻³, Fig. 2a), NOMAD dataset ($R^2 = 0.63$, RMSE = 0.2 mg.m⁻³, Fig. 2b) and East China Sea dataset ($R^2 = 0.64$, RMSE = 0.1 mg.m⁻³, Fig. 2c).

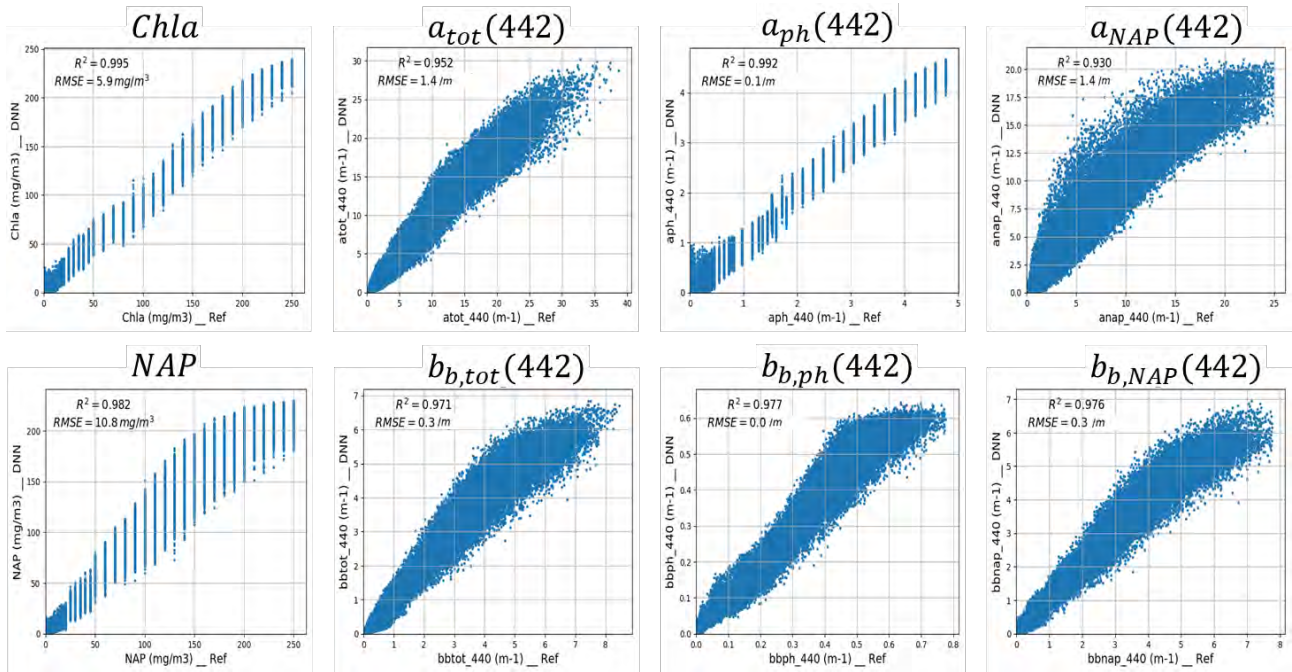


Fig. 1. Validation of DNN model using 100,000 simulated spectra for various water quality parameters.

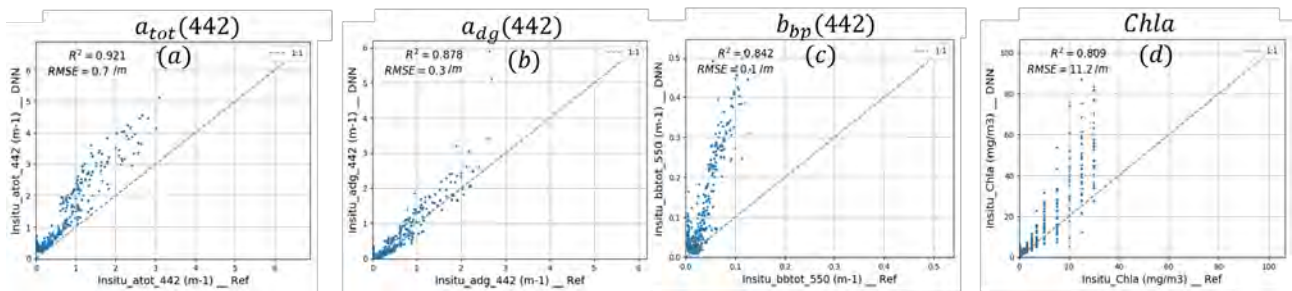


Fig. 2. Validation of DNN model using Hdrolight simulated dataset. a) total absorption at 442 nm; b) absorption of nonalgal particles and color dissolved organic matter; c) backscattering of particles and d) chlorophyll-a concentration.

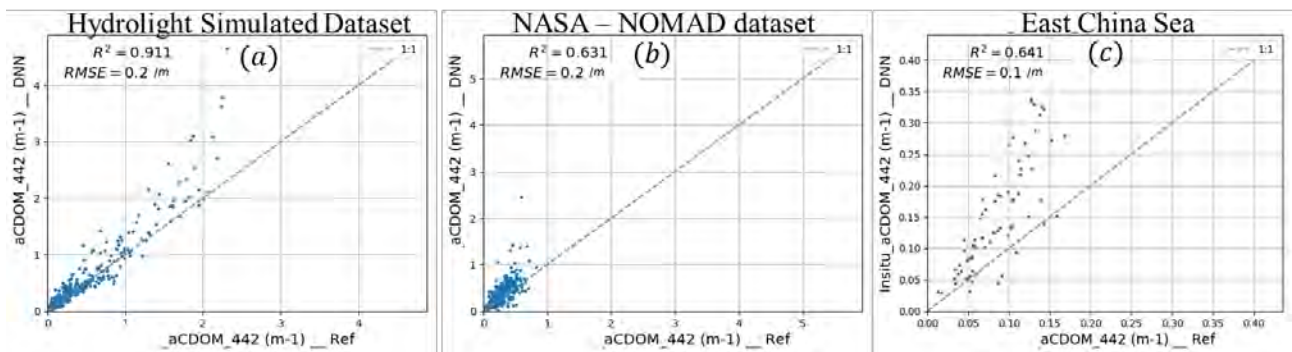


Fig. 3. Validation of DNN model using the absorption of color dissolved organic matter at 442 nm ($a_{cdom}(442)$) for a) Hydrolight simulation; b) NASA-NOMAD and c) East China Sea datasets.

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 (以下 SD radars と記す) 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SD radarsのデータも見る。まずSIの事例を集め、それらについて SGBS 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。

【研究結果と考察】

今年度前半までは、一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。このイベントは Hankasalmi, Finland (磁気緯度59.1°N、磁気経度104.5°E。以下HANと記す) のSD radarでもPykkvibaer, Iceland (磁気緯度64.6°N、磁気経度57.3°E。以下PYKと記す) のSD radarでも観測されており、昨年度はHAN Beam#1とPYK Beam#13のデータのみ解析したが、今年度はHAN Beam#4,7, PYK Beam#0,3,8 も解析した。

このイベントでは、~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 (以下RGと記す) 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ので、この波動現象はFLRにより生じたと考えられる。ただ、HAN Beam#1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 が混在したものである可能性が高いと考えるに至った。

この波動現象の周波数からSchulz [1996] の近似式(磁力線に沿っては等密度と仮定した場合の式)を用いて推定したプラズマ密度は、正午子午面から遠いほど小さい、という傾向を示した。これは、SIによる磁気圏の圧縮が磁気圏正面(nose)から開始し尾部に伝わっていく事とconsistentである。

ただ、各radarともbeam数は#0から#15までの16あるのにまだ全てのbeamsを解析できていないのは、密度を求めるまでの解析の各ステップで目視による確認を行わなければならない為時間がかかり、また、(practicalな問題として) 解析用codesを汎用的に書いていなかったためbeam毎のcode変更が必要となり時間を取られ

た為である。そこで、今年度後半は、プログラムの汎用化を本格的に開始した。また、より本質的な問題：目視確認に要する時間の短縮 のため、FLRを自動同定する方法の開発とそのテストを行った。その方法は、各beam、各RG毎にそのデータにFFTをかけ、その後、同じbeam上で近接した2つのRG'sのデータに位相差法・振幅比法と呼ばれる方法を適用してFLRを自動同定する、というものである。位相差法・振幅比法は隣接した地上磁力計2点のデータからFLRを同定する方法として確立しており、SDのデータにも適用可能である。ただ、位相差法・振幅比法によるFLR同定の自動化についてはこれまで様々な方法が提案されているが確立した方法は無い。我々は現時点までに自動同定のテストプログラムを作成し、1つのbeamにそれを適用し、favorableな結果を得ている。今後はこのプログラムを完成させ、自動で多くのイベントを同定して統計解析を行えるようにする計画である。

【引用文献】

Schulz, JGR, p17385, 1996.

Ponomarenko, Menk, Waters, and Sciffer, Ann. Geophys., p1271, 2005.

Southwood and Kivelson, JGR, p2301, 1990.

【成果発表】

Kawano, Hideaki, Akira Sessai Yukimatu, Nozomu Nishitani, Yoshimasa Tanaka, Satoko Saita, Tomoaki Hori, and Kouhei Iida, Two-dimensional magnetospheric mass-density estimation from FLR events simultaneously observed by two SuperDARN radars, Japan Geoscience Union Meeting 2018, Makuhari Messe, 2018.05.20.

河野 英昭, 行松 彰, 西谷 望, 田中 良昌, 才田 聡子, 堀 智昭, SuperDARN データへの位相差法・振幅比法の適用による FLR の高精度同定, 地球電磁気・地球惑星圏学会 第 144 回 総会・講演会, 名古屋大学 東山キャンパス, 2018.11.27.

Kawano, Hideaki, Akira Sessai Yukimatu, Nozomu Nishitani, Yoshimasa Tanaka, Satoko Saita and Tomoaki Hori, Toward magnetospheric region identification from the SuperDARN data by using FLR signals identified in the data by the gradient method, The Ninth Symposium on Polar Science, Ninth Symposium on Polar Science, National Institute of Polar Research, 2018.12.06.

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では既に首都圏で観測を開始しているが、本研究では、この装置を名古屋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、気象予測へつなげ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)・研究所共同館I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)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。昨年度までの実験で、同建物屋上に設置されているX帯気象レーダーが動作している場合に測定結果に大きな変動成分が乗ることが分かっている。今回は同レーダーが稼働していない状態で実験を行った。

3. 結果

得られた遅延プロファイルの一例を図1に示す(物理チャンネル20、周波数515 MHz)。赤線が実際の遅延プロファイルで、青線は形状を分かりやすくするために移動平均を取ったものである(視認性のため30 dB下げて表示)。遅延時間ほぼ0 μsにあるピークがISEEで受信された直達波である。それ以外に3つのピークを反射体1~3からの反射波として選択した。各ピークの位置関係から反射体のおよその位置が推定可能であり、その結果を図2に示す。厳密には反射波の到来方向を決める必要があるが、反射体2は名鉄神宮駅近くの

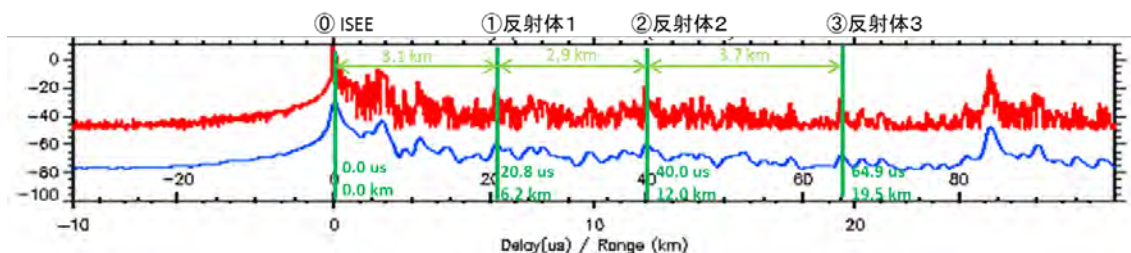


図1：遅延プロファイルの一例(物理チャンネル20、周波数515 MHz)。

ビル、反射体3はららぼーと名古屋みなとアルクス近辺であると思われる。直達波+3つの反射波、合計4つの信号の位相の時間変化をプロットしたのが図3である。各線は非常に似通った大きな変動を示しているが、これは主に放送局と我々の観測装置の局部発信器の位相雑音差が見えているものである。各位相の差を取ることで、図2に示



図2: 観測域の位置関係。瀬戸デジタルタワーからの地デジ波を①ISEEで受信。①~③の各反射体からの反射波も同時に①で受信してエリアA~Cの伝搬遅延を測定する。

す各エリア (A~C) の伝搬遅延変動を得ることができる。今回の観測で得られた水蒸気変動に起因する伝搬遅延変動を図4に示す。各エリアの長さが異なるため、1 km 当たりの遅延量に換算し、視認性のため 100 ps ずつオフセットを付けて表示している。

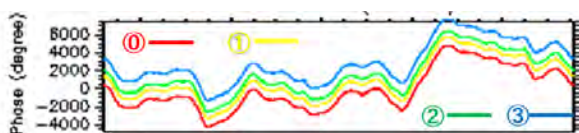


図3: 4つの信号(直達波+3つの反射波)の位相の時間変化。

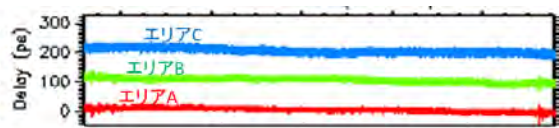


図4: 図3の各位相の差から求めたエリアA~Cの伝搬遅延変動。

4. まとめ

観測時間が約1時間だけだったため変動は大きくは見えていないが、水蒸気による伝搬遅延変動を得ることができた。今後も観測を継続できるように体制を検討したい。

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. 瀨瀬他、地デジ放送波を使った水蒸気量推定手法開発の現状、URSI-F 研究集会、東京工業大学、2018/5/9.
2. 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—首都圏展開の現状と今後の展望—、日本気象学会 2017 年度春季大会、つくば、2018/5/17.
3. 川村他、地デジ放送波を用いた水蒸気量観測の現状、JpGU2018、千葉、2018/5/22.
4. Kawamura et al., Water vapor estimation using digital terrestrial broadcasting waves for prediction of localized heavy rainstorms, AOGS 15th Annual Meeting, Honolulu, 2018/6/6.
5. 川村他、地上デジタル放送波を用いた水蒸気量推定、映像情報メディア学会技術報告、42, 17-20, 2018.
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—首都圏観測展開とその初期結果—、気象学会 2018 年秋季大会、仙台、2018/10/31.
7. 清水他、地上デジタル放送波を用いた水蒸気遅延量の同化手法の開発—観測演算子の設計—、気象学会 2018 年秋季大会、仙台、2018/10/31.

雲・降水観測レーダの航空機観測に関する検討

Feasibility study on cloud and precipitation observation with airborne radar

花土弘、情報通信研究機構 電磁波研究所 リモートセンシング研究室

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、2021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

EarthCARE/CPRの校正・検証用として、NICTではW帯地上設置型雲観測レーダ開発を実施し、その中では校正検証のふたつの要求に対応して、2台のレーダを開発している。一つは EarthCARE/CPR の最小検出感度より高感度の高感度雲観測レーダ（HG-SPIDER）であり、もう一つは EarthCARE/CPRで衛星搭載雲レーダ、衛星搭載降水レーダでは世界初となるドップラー速度計測の検証に関係して、アンテナビーム内の雲分布の不均一性を観測可能な電子走査雲観測レーダ（ES-SPIDER）である。図1に実験用コンテナに設置された状態の二つのレーダを示す。



図1 高感度雲観測レーダ（HG-SPIDER）と電子走査雲観測レーダ（ES-SPIDER）

ES-SPIDER は地上観測時には天頂方向からある鉛直断面内で± 4.5 度の範囲を一次元的に走査可能である。送信はファンビームで行い、受信のみをフェーズドアレイアンテナで送信ファンビーム内を電子走査可能なシステムとなっている。現在、受信ビームの切替は位相器制御による逐次走査方式での観測を行っているが、航空機搭載時には飛翔体の移動を考慮すると、高速のビーム走査が必要であり、そのためには 32 チャンネルの受信素子それぞれに独立して受信可能なデジタル受信器を用意し、計算処理により受信ビームの合成を行うデジタルビームフォーミング (DBF) 機能が必要で、現在、デジタル受信機の調整作業を実施している。この DBF 機能が整備できれば、同時に全受信ビームのデータ取得が可能であり、航空機・衛星などの高速で移動する飛翔体搭載時の効率的な観測が可能となる。2018 年度はこの ES-SPIDER への DBF 機能の整備を実施し、2018 年度日本気象学会秋季大会で発表した。

成果発表（口頭発表）

1. 堀江宏昭・大野裕一・花土弘・久保田実(情報通信研究機構), “EarthCARE/CPR検証用地上設置雲観測レーダの開発状況とテスト観測結果”, 日本気象学会 2018年度秋季大会, 仙台国際センター, 2018年10月31日.

ひので・SDO衛星磁場観測データを用いた太陽活動領域非線形フォース
フリー磁場コードの開発

Nonlinear force-free field code of active region coronal
magnetic field with Hinode and SDO observations

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

太陽フレア・コロナ質量放出は活動領域上空の太陽コロナ磁場に蓄積された磁気エネルギーが解放されることで発生する爆発現象である。しかし、コロナの磁場の直接観測は困難であるため、光球で観測される磁場の分布をもとに、何らかの磁場モデルを用いて外挿する必要がある。本研究では、太陽の観測データを解析するライブラリ Solar Software (SSW) と Interactive Data Language (IDL) が利用できる CIDAS スーパーコンピュータシステムを利用して、半自動的に非線形フォースフリー磁場を計算する環境を整備した。さらに、米国の Solar Dynamics Observatory (SDO) 衛星が観測した太陽表面磁場データを利用し、2010 年以降に現れた比較的大型の太陽活動領域の非線形フォースフリー磁場を計算し、太陽活動領域の 3 次元磁場に関するデータベースの作成を進めている。このシステムはひので衛星可視光磁場望遠鏡で観測されたベクトル磁場も入力として利用可能になっている。このデータベースを利用した活動領域の 3 次元磁場構造の解析を総合解析研究部の林沛萱氏とともに進めている。

また、上記と活動領域の並行し、ひので衛星可視光磁場望遠鏡が観測した太陽極域磁場の解析環境システムの移植を進めた。2018 年 2 月に国立天文台太陽データ解析システム (SDAS) の運用が停止された。これに先立ちこれまで SDAS で進めていた極域磁場データの解析環境を CIDAS に移した。CIDAS システムで動作させるためのプログラムの整備を本年度進めた。2019 年 3 月の太陽の南極の磁場観測データを解析可能になり次第、第 24 太陽活動周期における極域磁場の変動の様子を論文にまとめる予定である。

あらせ衛星によるプラズマ波動伝搬特性の解明と観測戦略立案
Study on plasma wave propagation
in the inner magnetosphere using Arase data

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構
宇宙科学研究所 松田昇也

「あらせ衛星」は、内部磁気圏の物理解明を目的として2016年12月に打ち上げられ、申請者が開発に携わったプラズマ波動観測装置(PWE)をはじめ、6つのプラズマ粒子観測器・磁場観測装置らによる統合観測によって、世界で初めて波動粒子相互作用のその場観測を目指している。特に、PWEには波動粒子相互作用に関わるプラズマ波動の伝搬特性を24時間連続で観測できる工夫を施しており、内部磁気圏物理に対するプラズマ波動の寄与の理解が劇的に進むことが期待されている。

本共同研究では、下記の三つの内容について研究を行った。

i) PWEの観測データを用いた、プラズマ圏EMIC波動の特性解析

電磁イオンサイクロトロン(EMIC)波動は、内部磁気圏で見られるプラズマ波動の一種である。本研究では、特にプラズマ圏内で特徴的な励起要因によって発生する「プラズマ圏EMIC波動」に着目し、その特性解析を行った。磁力線を横切って地球方向に伝搬可能なX-mode whistler wave(magnetic equatorial noise)が、プラズマ圏EMIC波動の励起源となることを観測から示し、励起の要因として、地球周辺の特徴的な重イオン環境が寄与していることを解明した。

ii) 観測機器の高次レベル科学プロダクトの公開に向けたデータ処理系の整備

PWE/WFCは高サンプリングレートの電磁界波形を取得しており、観測開始からの総取得データ量は数百GBにも及ぶ。電磁界波形は、プラズマ波動の高時間・高周波数分解能解析に欠かすことができない重要なデータである。本共同研究では、電磁界波形データ・および高時間・高周波数分解能スペクトルデータの高次レベル科学プロダクト(Level 2 CDF)の公開に向けて、ERGサイエンスセンターと議論を実施し、データ生成パイプラインと公開スキームを確立した。

iii) 地上-衛星間・衛星-衛星間連携観測に向けた観測戦略の立案

あらせ衛星は、高機能な搭載装置によるその場観測だけにとどまらず、ジオスペースを飛翔する他の科学衛星(Van Allen probes, MMS, Geotailなど)との同時多点観測や、地上に設置されたオーロラ全天カメラやVLFアンテナ・誘導磁力計との連携観測を通して物理過程の時間/空間変化を分離し、現象が宇宙空間を伝搬していく様子や地上へと伝わる様子を解明することに貢献している。今後の地上-衛星連携観測や、海外衛星との同時多点観測の機会に集中的にデータを取得するために、特にプラズマ波動の高サンプリングレート波形観測の指針について議論を行った。

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

平成30年度は本研究の最終年度にあたり、これまでの研究をまとめ、主に下記の2つの成果を得た。なお、本研究遂行にあたっては、名古屋大学の大学院生2名の教育研究も本共同研究の一部として実施し、二編の博士論文としてまとめられた。

1. Van Allen Probes衛星観測に基づく磁気嵐時環電流への高エネルギー酸素イオン供給過程の研究

地球周辺の宇宙空間のうち、地球固有の双極子磁場が支配的に効いている領域を内部磁気圏と呼ぶ。地球磁気圏で最大規模の変動現象が磁気嵐であり、磁気嵐は、内部磁気圏に発達する西向き環電流（リングカレント）によって引き起こされるため、リングカレントの発達過程の解明は、宇宙環境の変動を理解するための重要課題である。リングカレントは主に水素イオン(H⁺)と酸素イオン(O⁺)によって担われており、リングカレントの発達を理解するためには、これら二つのイオン種の供給過程を知ることが不可欠である。本研究では、これまでその供給過程がよくわかっていなかった高エネルギー(>150keV)酸素イオンの供給機構を理解するため、二機のVan Allen Probes (VAPs)衛星によるプラズマ観測データを用いて位相空間密度の空間分布を導出し、H⁺とO⁺を比較することで、高エネルギーO⁺のみが増加する(SOI)現象を発見した。さらに、このSOI現象とグローバルな地磁気脈動(低周波ULF波動)との関連性を調べるために、多点地上磁場観測データを解析し、リングカレントへの高エネルギーO⁺の新たな供給過程を提唱した。

まず、2013年4月23日から始まった磁気嵐中のSOI現象の事例研究を行い、VAPs衛星データの解析結果から、H⁺よりも地球に近い領域で高エネルギーO⁺の位相空間密度が増加するSOI現象を発見した。同時期に、VAPs衛星と地上磁場観測点の両方でULF波動が観測され、経度方向の波数は10以下と同定された。SOI現象時に観測されたULF波動は、内部磁気圏外側では高エネルギーO⁺のドリフト-バウンス運動との共鳴(ドリフト-バウンス共鳴)条件を、より内側ではドリフト運動との共鳴(ドリフト共鳴)条件を満たしていた。これらの結果から、上記二つの共鳴機構の組み合わせによってSOI現象を説明でき、これがリングカレントへの高エネルギーO⁺の供給機構であるとの仮説を提唱した [Mitani et al., *JGR*, 2018]。

次に、供給機構の発生頻度を検証するため、SOI現象の統計解析を行った。その結果、2013年から2017年にVAPs衛星が観測した磁気嵐90例のうち30例でSOI現象が同定された。SOI現象は広い経度範囲で観測され、大きな磁気嵐中ほど長時間にわたってより地球に近い領域で発生することが明らかになった。さらに、同時期の多点地上磁場観測網の大規模データ解析の結果、SOI現象発生時には、内部磁気圏外側領域でPc4帯(6.7-22 mHz)が、より内側ではPc5帯(1.7-6.7 mHz)のULF波動が各々強まることが示された。これらの

結果と共鳴条件の考察から、対流輸送の内側限界と Pc5 波動とのドリフト共鳴領域との間にはギャップがあり、高エネルギー $0+$ のみがそのギャップを埋める形で Pc4 波動とドリフト-バウンス共鳴可能であることが示され、第三章で提唱した仮説が SOI 現象の主な発生機構であることが示された。なお平均的には、SOI 現象は磁気嵐時のリングカレントの約 9% を担っていることも明らかとなった [Mitani et al., *JGR*, 2019]。

2. 内部磁気圏モデル結合シミュレーションに基づく Pc5 帯 ULF 波動との相互作用による放射線帯電子の動径輸送とピッチ角分布形成

地球磁気圏最大規模の変動現象である磁気嵐時には、放射線帯が大きく変動することが知られており、この変動に伴う相対論的電子の加速機構の解明は、磁気圏物理学上の重要課題の一つである。有力な仮説として内部加速説と外部供給説があるが、各々の機構が放射線帯の変動にどの程度寄与しているかについては不明な点が多い。外部供給説は、1.6-6.7 mHz の周波数 (Pc5) 帯の低周波 (ULF) 波動と粒子のドリフト運動との共鳴 (ドリフト共鳴) により、内部磁気圏の外側から磁場が強い地球動径方向に輸送され準断熱的に加速される機構である。放射線帯変動の理解が進まない原因の一つとして、観測される位相空間密度 (PSD) から 2 つの仮説を切り分けるのは難しいことがある。本研究は、この困難点を解消するため、新しい数値モデル結合シミュレーションを開発し、内部磁気圏における 3 次元 Pc5 波動分布を導出して、ドリフト共鳴が放射線帯変動に及ぼす影響について PSD 分布を含めて調べることを可能にした。その結果、外部供給説では従来形成されないと考えられていたバタフライ型のピッチ角分布 (磁場に垂直な速度成分より平行な速度成分の粒子フラックスが卓越する分布) が形成されることを見出した。

研究遂行にあたっては、まず理想的な単色 Pc5 波動を仮定し、ドリフト共鳴に伴って形成されるピッチ角分布の特徴の基本的な性質を調べた。Pc5 波動のシミュレーションには、高エネルギーイオンのドリフト運動論に基づく 5 次元分布関数と電磁場変動を同時に解くことができる数値モデル (GEMSIS-RC) を用い、3 次元 Pc5 波動分布を導出した。さらに得られた電磁場変動を、案内中心近似で相対論的電子の運動方程式を高精度で解くことができるテスト粒子モデル (GEMSIS-RB) に入力として与え、Pc5 波動と相対論的電子の相互作用を調べた。その結果、特定の条件下でバタフライ型分布が形成されることを明らかにするとともに、ドリフト共鳴条件の考察に基づき、バタフライ型分布の形成条件を解析的に定式化することに成功した [Kamiya et al., *JGR*, 2018]。

次に、より現実的な Pc5 波動の空間分布を再現するため、太陽風から外部磁気圏までを記述するグローバル MHD モデル (BATS-R-US+CIMI) の結果を、上述の GEMSIS-RC モデルの外部境界条件として用いるモデル結合の計算手法を開発した。開発にあたっては 2 つのモデル間の温度条件及び境界条件の設定を工夫し、外部磁気圏から内部磁気圏に Pc5 波動をシームレスに伝搬させる手法を考案した。こうして得られた 3 次元 Pc5 波動分布を GEMSIS-RB の背景電磁場として用い、放射線帯電子とのドリフト共鳴による動径方向輸送を計算した結果、波動の緯度分布に起因して、単色波との共鳴よりも短い時間スケールでバタフライ型ピッチ角分布が形成されることを示した。この結果は前段落で述べた解析解のうち粒子の最大輸送距離の緯度依存性とも整合している。本研究では、Pc5 波動による放射線帯電子加速をピッチ角分布で評価できる可能性を示すと同時に、モデル結合による Pc5 波動の励起・伝搬過程の新たな研究手段の基盤を開発することができたため、今後、外部、内部励起の Pc5 波動の放射線帯加速への寄与を定量的に調べる研究等に応用したい。

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

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

これまでの研究では，バングラディッシュにおける降水の安定同位体比の観測と，モデルによる水蒸気の起源解析を行った．その結果，降水の安定同位体比の変動は，水蒸気起源の変遷で説明できることが示された．そこで，今年度はインド洋の対流活動についても考察に加え，降水の安定同位体比の決定要因を明らかにすることを目的とする．

研究方法

バングラディッシュの3地点（シレット，ダッカ，チッタゴン）において，2010年に降水の安定同位体比の観測を行った．また，同位体大循環モデル（Global Spectral Model；IsoGSM）による降水同位体比の再現，および水蒸気の起源解析を行った．さらに，NOAAの外向き長波放射量（Outgoing Longwave Radiation；OLR）を85°E-97.5°Eまで帯状平均し，対流活動の季節進行も加えて考察した．

研究結果および考察

赤道付近から研究地域までのOLR，シレットにおける降水量と酸素安定同位体比（ $\delta^{18}\text{O}$ ），IsoGSMによる水蒸気の起源解析について，2010年の経日変化を図1に示す．5月から10月までの夏季モンスーン期には，北緯10°付近から組織化された対流活動域（図の青色； $\text{OLR} < 220 \text{ W/m}^2$ ）が北進しているのが分かる．また，シレットにおける降水の $\delta^{18}\text{O}$ は，プレモンスーン期には-5~0‰であったが，夏季モンスーン期にはOLRの北進に伴って-15‰付近まで低くなる．水蒸気の起源解析では，プレモンスーン期にはベンガル湾やアラビア海起源が多いが，夏季モンスーン期にはインド洋北部および南部起源が多くなる．ポストモンスーン期には太平洋起源や，陸域起源が多くなる．図には示していないが，降水量と同位体比の相関（降水量効果）はチッタゴン以外では認められなかった．

まとめ

これらを総合的に考察すると，プレモンスーン期にはベンガル湾やアラビア海など近海から蒸発した同位体比が高い水蒸気が多く，降水の同位体比も高い．夏季モンスーン期には，インド洋の赤道付近から水蒸気が移動する間にレインアウトによって同位体比が低くなるため，降水の同位体比も徐々に低下する．ポストモンスーン期には，同様に蒸発域から遠く離れた太平洋起源や，陸域起源の低い同位体比を持つ水蒸気が多いため，降水の同位体比は低いことが示された．

以上のように，本研究地域における降水の安定同位体比は，水蒸気の履歴（蒸発域から降水域までのレインアウト効果）が主な決定要因であると考えられる．

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. Progress in Earth and Planetary Science 2018 5:77.

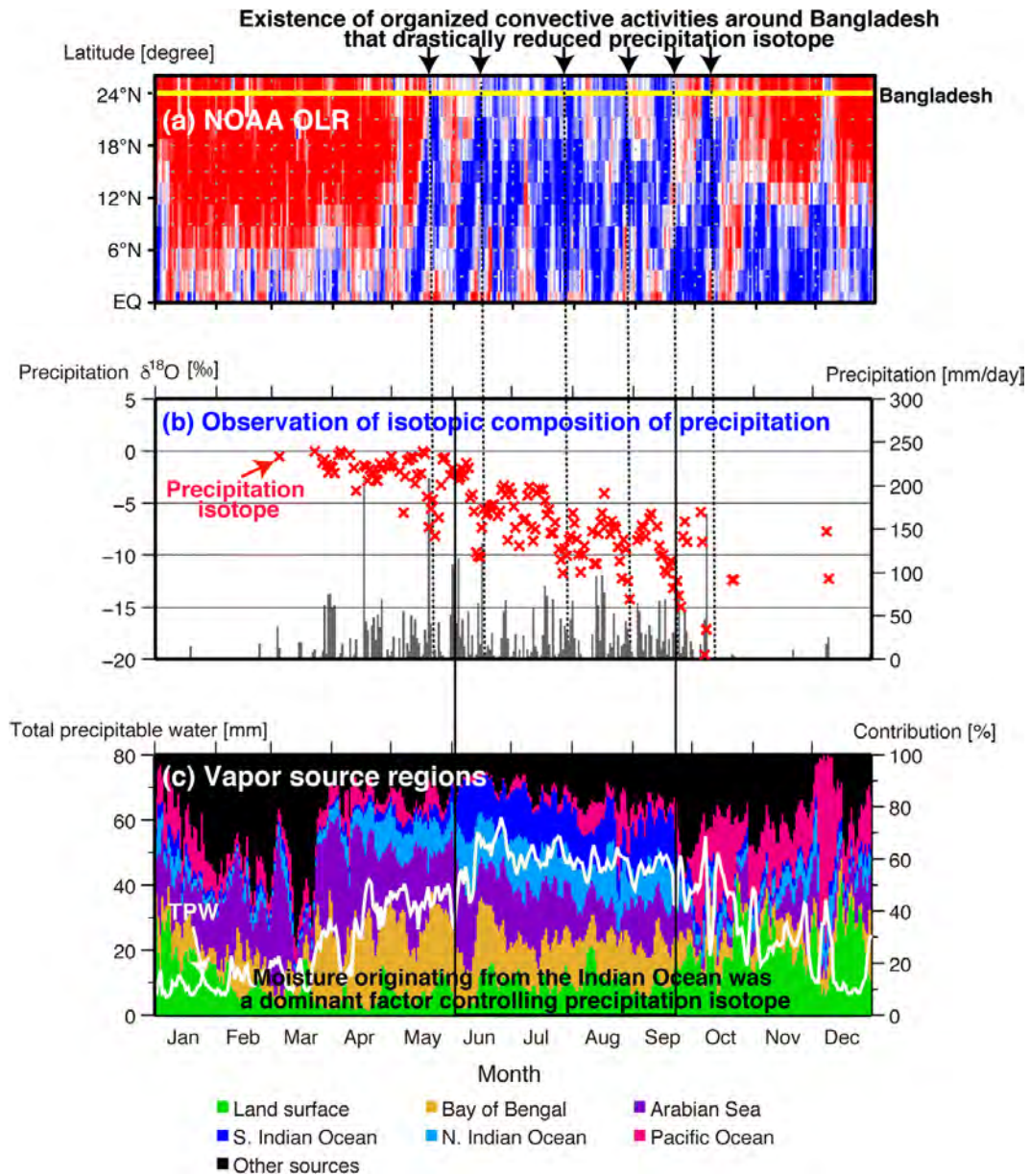


図1 (a)バングラディッシュ周辺の外向き長波放射. (b)シレットにおける降水量と酸素安定同位体比. (c)水蒸気の起源解析の結果.

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。今年度は、大雨事例の循環場についてコンポジット解析を進め、モンスーン季にベンガル湾付近で卓越する季節内変動（Active-Break サイクル）と関係していることが示唆されたことから、季節内変動の振幅と大雨発生日の対応関係を分析し、ブラマプトラ川北岸およびメガラヤ丘陵北側地域で、ベンガル湾付近の対流活動の Break 期と対応した大雨事例が数多く起きていることを明らかにした。

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パーセント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た（循環場データはERA Interimを利用）。さらに、OLRから抽出した対流活動における季節内変動（準2週間周期変動）と各地点での大雨事例との関係について分析した。

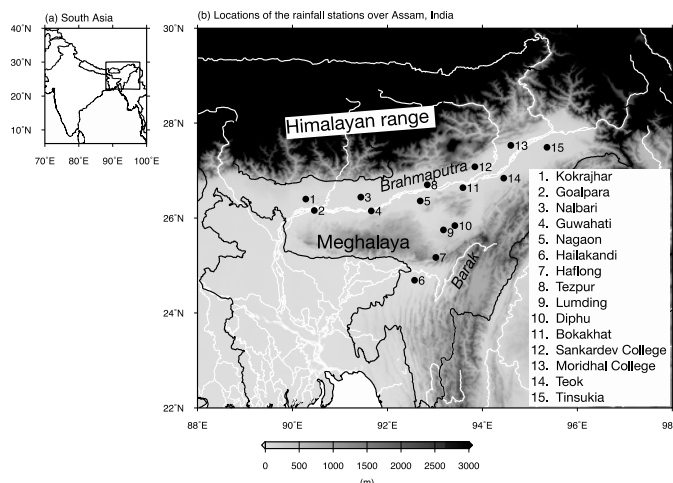


図1 対象観測地点の位置（陰影は標高を表す）

3. 結果と考察

① IMD4グリッドデータと観測における極端な大雨の比較

各観測地点における極端な大雨事例（90, 95, 99パーセントイル値）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ところ、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パーセント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）を中心に、2つのデータ間でのパーセントイル値の乖離が大きい（図2）。この結果は成果論文2にて発表した。

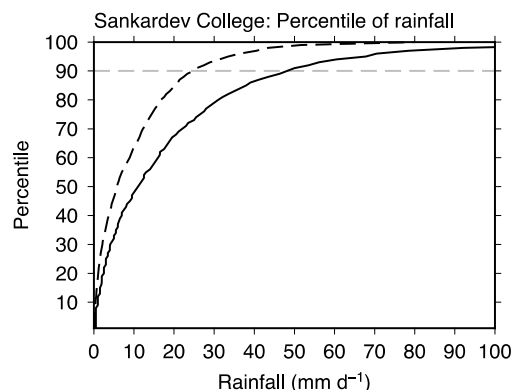


図2 Sankardev Collegeにおけるパーセントイル値（点線）IMD4、（実線）雨量計観測値

② 豪雨事例のコンポジット解析

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（およびラグコンポジット）を作成して特徴的な循環場を分析したところ、最も大雨頻度の高いKokrajhar（メガラヤ丘陵の北面）、ブラマプトラ川北岸（ヒマラヤ山脈南麓）のSankardev College, Moridhal Collegeなどの地点で、ベンガル湾北部を中心に850hPa高度場が高気圧性偏差となり、かつヒマラヤ南麓を中心に、強い西寄りの水蒸気フラックス偏差が見られる時に、大雨が発生していることが明らかになった。これは、モンスーン季におけるモンスーントラフ（低気圧）の活動が、ベンガル湾北部で弱まっている状態（ベンガル湾におけるいわゆるBreak期）に該当する。

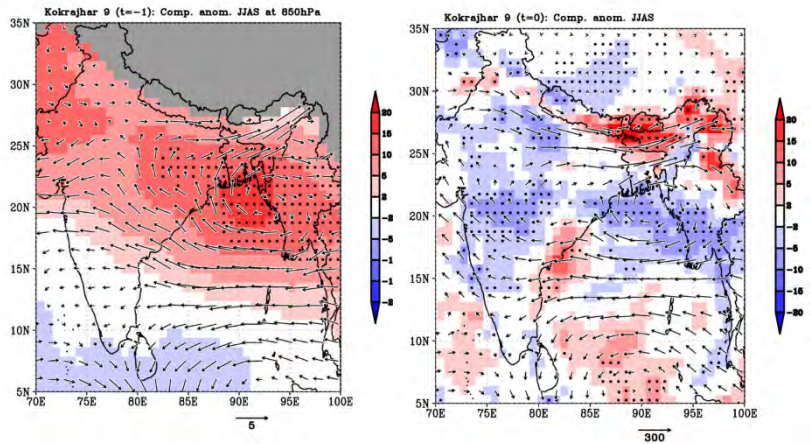


図3 Kokrajhar における 99 パーセンタイル事例の循環場のコンポジット（気候値からの偏差, 99%で統計的有意なグリッドに黒点）左図：事例日 1 日前の 850hPa 高度差と風ベクトル, 右図：事例日当日の鉛直積算水蒸気フラックスとその収束

③ 季節内変動（ベンガル湾における Active-Break サイクル）と大雨の関係

ベンガル湾北部のOLRから抽出した対流活動における準2週間周期の季節内変動サイクル（7-25日周期成分）と、大雨の関係について分析を進めた。モンスーン季（JJAS）における準2週間周期成分と、全地点での99パーセンタイル以上の大雨事例日の対応を調べたところ、ベンガル湾北部で対流活動が弱まったタイミング（ベンガル湾におけるBreak期）に対応する大雨事例が数多く抽出された（図4）。今後は各大雨事例の循環場の違いを、ベンガル湾におけるActive-Breakサイクルとの関係からまとめ、本研究の最終的な結果を成果論文として発表する予定である。

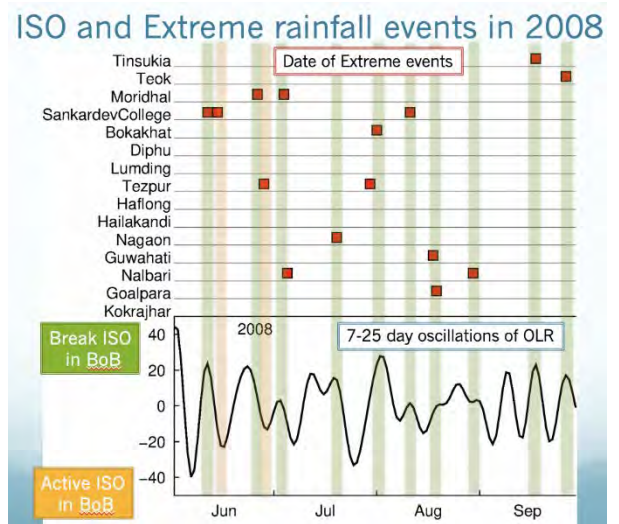


図4 アッサム各地における 99 パーセンタイルを超える大雨日と季節内変動の関係（2008年の例）横軸が日を表す。上図：各地点における6~9月の大雨事例日（赤四角）、下図：OLRから求めた7-25日季節内変動成分の振幅（黒実線）

4. 引用文献

Pai DS, Sridhar L, Rajeevan M, Sreejith OP, Satbhai NS, Mukopadyay M, 2014: Development of a new high spatial resolution (0.25° × 0.25°) 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

（成果論文）

1. [Fukushima A](#), H Kanamori, J Matsumoto (2019) Regionality of long-term trends and interannual variation of seasonal precipitation over India. *Progress in Earth and Planetary Science*, 6:20, <https://doi.org/10.1186/s40645-019-0255-4>
2. [福島あずさ](#) (2019) インド・アッサム州の大雨特性-雨量計とグリッドデータセットの比較より-. 神戸学院大学人文学部紀要 39:49-60. (国際研究会発表)
1. [Fukushima A](#), T Hayashi, T Terao, F Murata, M Kiguchi, Y Yamane, M Tanoue, H Fujinami "Heavy rainfall characteristics and related synoptic conditions in Assam, India" International Workshop on "Extreme Severe Storms and Disaster Mitigation Strategies", Central University of Rajasthan, India, 24-26th Dec. 2018.
2. [Fukushima A](#), "Regionality of long-term trends and interannual variation of seasonal precipitation over India." Inter-Institutional Symposium on Meteorological Research for Improved Water Resources Management, Cotton University, Assam, India, 3rd Mar. 2019.

Bangladeshにおける長期の降水量変動(1891-2016年)
 Long-term rainfall variability over Bangladesh
 during 1891-2016

村田 文絵
 高知大学・教育研究部自然科学系理工学部

【研究目的】 Bangladeshは国土の大部分が低地であり，かつ世界一の年降水量記録をもつメガラヤ高原をはじめとした大雨地域を上流にもち，毎年のように洪水が生じる一方その水を利用した生活が営まれている。そのため降水変動の変化に対する脆弱性が大きい。Bangladeshは，1947年以前は英領インドであり雨量観測が行われていた。しかしそのデータはインド等において紙媒体で保存されており，長期にわたる降水変動の解析はこれまで行われていない。本研究は科研費基盤研究S「過去120年におけるアジアモンスーン変動の解明」(代表：松本淳)において昨年度デジタル化が完了した1891-1947年とBangladesh気象局から入手した1947年以降の雨量データを接続し，過去126年の降水変動を明らかにすることを目的とする。本報告ではEndo et al. (2015)が実施した1950-2008年(59年間)の日降水量を用いた13の降水指標のトレンド解析に基づき，同様の解析を126年のデータにわたって行い，Endo et al. (2015)の結果と比較した。

【研究方法】 Bangladesh国内の23地点で1891-2016年のデータセットが作成された。データは1950年代と1970年代に欠損が多い。これらのデータセットについて，Wijngaard et al. (2003)によって推奨された4つの統計テストを日降水量データについて行い，1%の有意水準でデータが均質であると判定された15地点をトレンド解析に用いた。

【研究結果】 図1に解析結果を示す。Endo et al. (2015)と同様に弱い降水に相当するR03(日雨量1-3mmの降水日数)に大きな増加傾向がみられた。一方RX1day, RX5day(それぞれ年最大日雨量と年5日雨量)はEndo et al. (2015)では減少傾向であった一方で，半数の地点が増加傾向を示した。R10mm, R20mm, R50mm(それぞれ10mm, 20mm, 50mm以上の降水日数)はBangladesh南部で増加傾向である一方で，その他の地域で減少傾向がみられた(傾向は有意ではない)。PRECTOT(年雨量)は3-5月のプレモンスーン季に増加傾向，10-11月のポストモンスーン季に減少傾向を示す地点が多く，季節によって傾向が異なっていた。WDAY(日雨量1mm以上の日数)は6-9月の雨季に他の季節より減少傾向を示す地点が多くみられた。

【まとめと議論】 Bangladeshの15地点について126年間の日雨量データを用いて13の降水指標に関するトレンド解析を行った。最も顕著な傾向を示した指標はR03であり，弱い雨が有意に増加傾向を示す。一方総雨量(PRECTOT)や大雨の発生頻度(R*mm)には増加傾向を示す地点と減少傾向を示す地点の両方が同数程度ありBangladesh全体として顕著な傾向はみられなかった。これはEndo et al. (2015)の結果と同様である一方で，Shahid(2010, 2011)による総雨量及び強雨の頻度が増加傾向にあるという結果とは異なる。隣接するインド北東部では総雨量(Fukushima et al. 2019)及び強雨の頻度(Dash et al. 2

009; Goswami et al. 2010) の減少傾向が指摘されている。

【引用文献】

Endo, N., J. Matsumoto, T. Hayashi, T. Terao, F. Murata, M. Kiguchi, Y. Yamane, and Md. Shah Alam, 2015: Trends in precipitation characteristics in Bangladesh from 1950 to 2008, *SOLA*, **11**, 113-117.

Wijngaard, J.B. et al. 2003: Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series. *Int. J. Climatol.*, **23**, 679-692.

【成果発表】

Masashi Kiguchi, Change of rainfall characteristics in Bangladesh using 126-years record, The 11th annual ACRE meeting, ACRE Japan, ACRE SE Asia, ACRE China-3, and C3S data rescue service (DRS) workshops, 八王子, 2018年11月15日

Kasashi Kiguchi, Change of rainfall characteristics in Bangladesh using 126-years records, Inter-Institutional Symposium on meteorological research for improved water resources management, グワハティ(インド), 2019年3月3日

木口 雅司, バングラデシュにおける126年日降水量を用いた降水特性の変化, 日本地理学会2019年春季大会, 川崎市, 2019年3月20日

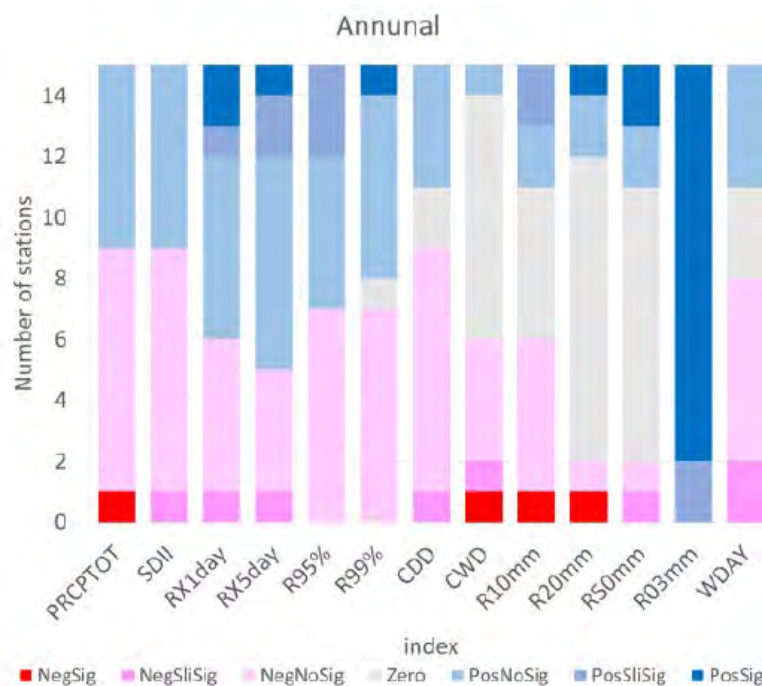


図1. 13の降水指標についてのトレンド解析の結果。青色が増加傾向を示す地点数，赤が減少傾向を示す地点数を示す。濃い色は5%有意水準で有意な地点数。

シングルボードコンピュータを用いた超小型大気光観測装置の開発
Development of ultra-small airglow camera using a single-board computer

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、運動量やエネルギーを運ぶことで中間圏・下部熱圏 (MLT) へ大気変動に大きく寄与する。MLT 領域は中性大気と電離大気の境界として大気の上下結合を考える上で重要な意味を持つ。大気光カメラによるイメージング観測は、超高層大気における大気波動の水平二次元情報が得られるユニークな手法である。特に近年、数千 km に渡って波動が伝搬する様子や、台風起源の重力波が日本を覆う規模で同心円状に熱圏高度まで達している描像が得られているが、これは複数台の光学機器による同時イメージング観測の成果である。多地点化において、観測機の価格を抑え、システムを小型化することが求められる。

本研究は、超小型シングルボードコンピュータである Raspberry Pi を用いた新たな OH 大気光 (700 nm 以上の近赤外域) カメラを開発することで、これまでになく小型化・低廉化された大気光観測システムを検証した。本研究の成功は、理科教育や発展途上国での観測にもつながるため、大気光カメラの速やかな多地点展開が期待できる。名古屋大学が運用している超高層大気イメージングシステム (OMTI) の観測空白を埋め相補的に展開・運用していくことで、観測点直上の悪天候によるデータ取得の機会損失を軽減するとともにこれまでになく超広域観測への展望が開ける。

まずはじめに、高感度 CCD ビデオカメラ (WATEC 910HX) を使用したシステムを Raspberry Pi (RP3 Model B) でコントロールする装置を組み上げた。このシステムでは、カメラで得られるアナログ映像はビデオエンコーダを通して jpeg 画像に変換される。Raspberry Pi は、jpeg 画像 (OH 大気光画像) をデータサーバに転送する役割を担う。その際、観測視野内 (天頂角 90 度) に太陽および月が入らない時間のデータのみを転送する設計をおこなった。太陽や月は微弱な大気光画像を汚染する光源となるため解析に適したデータのみがサーバに蓄積されていく。転送するデータ量をなるべく小さくすることでシステムにかかる負荷を圧え、安定した運用を目指した。

次に、上記システムをさらに小型・低廉化するため、CCD ビデオカメラおよびビデオエンコーダ部分を Raspberry Pi 用のカメラモジュール (NoIR Camera V2: アイオーデータ) へ換装することを試みた。このカメラモジュールは IR フィルタが入っていないため、ゼラチンフィルタ (カットオン波長 700 nm) との組み合わせで安価に OH 大気光観測が可能になると考えた。しかしながら、OH 大気光の構造 (大気波動による縞模様) を得るには至らなかった。ひとつの原因として従来のカメラに比べて感度が弱いことが考えられる。今後は、どの程度画像の精度が低いのかを定量的に評価するとともに、より感度の良いカメラモジュールを用いたシステムの構築を試みる。

Kaバンドレーダーを用いた積乱雲の生成・発達過程に関する研究 Study on initiation and development of cumulonimbus cloud using Ka-band radar

中北英一 京都大学・防災研究所

1. 研究目的

積乱雲の生成・発達段階に関してKaバンドレーダーを主とした現地観測を実施し、①雲粒子の形成・成長特性を調べて積乱雲の生成・発達物理的メカニズムを明らかにすること、②雲粒子形成段階における気流解析を行い、今後発達する防災上危険な積乱雲の特徴を見つけること、を目的とする。

2. 研究方法

2年計画の1年度目である平成30年度には、夏季熱雷を対象として、神戸エリアにて名古屋大学が所有するKaバンドレーダーによる観測を実施した。加えて、申請者が別途研究プロジェクトで神戸市に展開するマルチセンサー観測(GNSS可降水量、ドップラーライダー、境界層レーダー、Xバンドレーダー、フェーズドアレイレーダー、ゾンデ観測)と連携し、積乱雲の生成・発達段階を捉える観測を実施した。Kaバンドレーダーによる雲粒子観測があることで積乱雲の成長過程をシームレスに捉えることが可能となる。本年度は、Kaバンドレーダー観測によって得られる偏波特性から、発達する積乱雲とそうでない雲における雲粒子の形状特性や粒径分布特性を解析した。加えて、ドップラー風速を用いた渦度解析を行い、発達する積乱雲の特徴を解析した。

3. Kaバンドレーダーで捉えた初期積乱雲の特徴解析

2018年8月16日8時から10時にかけて六甲山系上空で発生・発達した4つの積乱雲を対象とした。Kaバンドレーダーで観測されたエコー頂高度の時間変化を調べた。発達したA, C, Dのセルではエコー頂高度が急上昇する時刻があるのに対して、最大降雨強度が最も小さいセルBではエコー頂高度は緩やかに上昇している。エコー頂の急上昇が発達の特徴であると考えられる。CFAD解析(各高度におけるレーダー反射因子Zhの頻度分布を高度方向に並べた図)の結果を図1に示す。Zhが主に粒子の粒径に依存することからCFADは雲内部の粒径分布を示したものと考えられる。発達するセルの発達段階において高い高度ほどZhが大きい値に分布しているが、エコー頂が上昇すると分布の傾向が変化し、ある高度から上ではZhが小さな値に分布している。これは、粒子が上昇し続ける場合には、併合過程が上層ほど進むため粒径が大きくなるが、落下速度が大きな大粒径の粒子が生成すると、小さな粒子のみが上層に運ばれるため上層に行くほど粒径が小さくなると考えられる。発達するセルにおいてエコー頂高度が急上昇することとその段階で粒子の分布が大きく変化することから、発達するセルにおいて、降水セルへの遷移の段階で強い上昇流が発生し、降水粒子の生成が進むことが示唆された。

4. Kaバンドレーダーで捉えた初期積乱雲の渦度解析

都市気象LESモデルの計算結果を利用してレーダー観測による擬似観測値を作成し、レーダー観測による渦度を検証した。観測方向、観測分解能の影響をそれぞれ評価し、Kaバンドレーダーの分解能であれば、数百mスケールの上昇流の周囲に生成する渦度を探知できることを示した。さらにKaバンドレーダーの1分毎の高頻度観測みより渦度の時間変化の

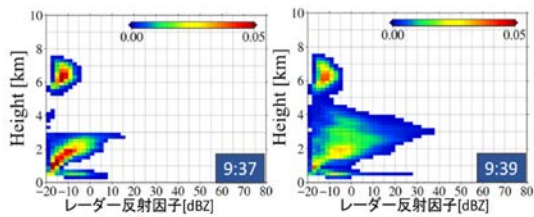


図1:セルD の発達時刻前後におけるCFAD

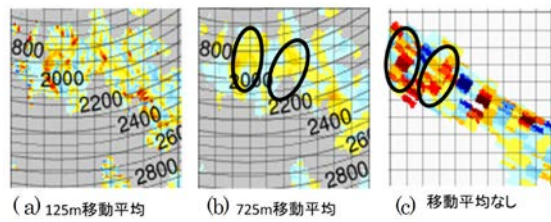


図2: 渦度 (a),(b)Kaレーダー,(c)PAWR

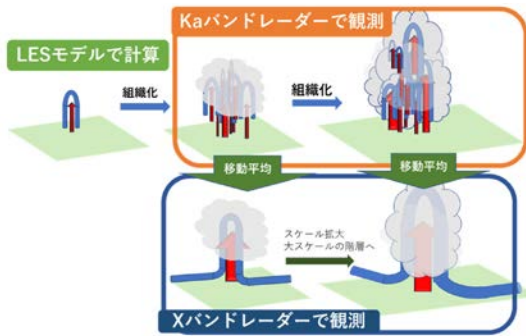


図3:渦度・上昇流のスケール変化の概念図

追跡が可能であることを示した。これは、Kaバンドレーダーの空間分解能の有効性を時間空間スケールの両面において示している。Kaバンドレーダーで捉えられた細かな現象とXバンドレーダー等の分解能で観測した現象とつなげるためにKaバンドレーダーの移動平均を用いたアップスケールリングを行った。図2に示すように、移動平均を施すことでより大きいスケールの現象のみが残り、Xバンド

レーダーで観測されたものと対応している。図3に検証を踏まえた上昇流の発生から積乱雲の発達に至るまでの過程の概念図を示す。LESモデルで示される上昇流は発生後組織化し、積雲や積乱雲のスケールへと変化する。Kaバンドレーダーではセル内部の下部構造を捉えているため渦度分布が複雑である。Xバンドレーダーで観測すると大きなスケールの現象を捉えることになる。これはKaバンドレーダーの観測値を移動平均したものと概ね一致すると考えられる。したがってセルの発生から発達への過程における渦管構造の発展を追跡するためにはセルのスケールに対応したスケールで現象を抽出することが必要であると考えられる。

5. 成果発表

【査読付論文】

- 中北英一・新保友啓・佐藤悠人・山口弘誠・大東忠保：Kaバンドレーダーを利用した積乱雲生成段階に関する研究，土木学会論文集，B1（水工学），第74巻，No.4，pp.55-60，2018.

【講演】

- Nakakita, Eiichi: Kenote Speech, "Overview of fundamental and practical researches on generation and development of baby-rain-cell aloft in a severe storm for urban flash flood risk reduction using various types of weather radars and gestationary satellite", 4th International Conference on Water Resources (ICWR 2018), Bayview Hotel, Langkawi, Malaysia, Nov 28, 2018.
- 中北英一：講演「豪雨のしくみを理解して豪雨災害に備えるーゲリラ豪雨の早期探知と危険性予測を交えてー」、建築物防災講演会、建設交流会館グリーンホール、大阪、2018年9月5日。
- 中北英一：講演「豪雨災害を知るーゲリラ豪雨の早期探知・危険性予測から温暖化による影響までー」、科学技術に関する調査プロジェクト、国立国会図書館調査及び立法考査局科学技術室、国立国会図書館、東京、2018年9月7日。

高ベータプラズマ中の運動論的不安定性による低周波波動励起
Excitation of low-frequency waves by
kinetic instabilities in high beta plasmas

天野孝伸（東京大学・理学系研究科）

地球磁気圏で見られる周期数分程度の低周波電磁流体波動(Pc5波動)の励起要因の一つとして運動論的なプラズマ不安定性が考えられている。線形理論の枠組みは提唱されているものの、励起された波動がプラズマ輸送(拡散)に及ぼす影響については必ずしも理解されていない。磁気圏における不安定性の自由エネルギーとしては圧力勾配や温度異方性が考えられるが、本研究では簡単化のため一様系を用いて温度異方性が励起する不安定性の線形・非線形発展の性質について、ハイブリッドコードを用いた数値シミュレーションによって調べた。具体的には圧力のほぼ無視できる冷たい等方成分を流体として、温度異方性を持った熱い成分を運動論的に扱う手法を用いて、初期に垂直方向の温度が卓越する場合について2次元の数値シミュレーションを行った。このような場合には電磁イオンサイクロトロン不安定性(EMIC)とミラー不安定性という性質の異なる2種類の不安定性が共に存在し、パラメータ依存性はあるものの、通常は前者の方が優勢であることが知られている。しかし数値シミュレーションでは、振幅は小さいものの非線形段階において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分かった。シミュレーション結果の解析から、これはEMIC波動によるピッチ角散乱の結果として形成される非Maxwell分布によってミラー不安定性の条件が満たされるためであると結論付けた。一方で、シミュレーションによって再現された振幅は観測を説明するには小さすぎることも明らかになった。この過程のパラメータ依存性の調査や、磁気圏物理への応用については今後の課題である。

2 流体方程式系に基づく MMS 衛星データの解析

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

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

研究目的

昼側の磁気圏境界では、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。本研究では、磁気リコネクションの中央部において磁力線同士を繋ぎ替える、磁気拡散領域の構造と、その中で生起している物理過程、特に、励起された波動による異常抵抗発生の可能性に焦点を当てて研究を実施した。

研究手法

上述の目的を達成するために、次のような2流体（運動）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。

$$n_e m_e \left(\frac{\partial \mathbf{v}_e}{\partial t} + \mathbf{v}_e \cdot \nabla \mathbf{v}_e \right) = -en_e (\mathbf{E} + \mathbf{v}_e \times \mathbf{B}) - \nabla \cdot \vec{p}_e + \mathbf{R}_e$$
$$n_i m_i \left(\frac{\partial \mathbf{v}_i}{\partial t} + \mathbf{v}_i \cdot \nabla \mathbf{v}_i \right) = en_i (\mathbf{E} + \mathbf{v}_i \times \mathbf{B}) - \nabla \cdot \vec{p}_i + \mathbf{R}_i$$

ここで、 m は質量、 n は密度、 \mathbf{v} はプラズマの並進速度、 e は電荷素量、 \mathbf{E} は電場、 \mathbf{B} は磁場、 \vec{p} はプラズマ圧力テンソル、 \mathbf{R} は波動粒子相互作用に起因する衝突項、さらに、各パラメータの添え字 e 、 i は電子、イオンに関する量であることを表している。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。その特性を用いることによって、4機の衛星の中心（重心）における電子とイオンに関する運動方程式の成立について調べることができる。その際、上式中の衝突項 \mathbf{R} は観測データから直接求めることはできないが、他の項は観測値から直接計算できるため、 \mathbf{R} は式の残差として求めることができる。

研究成果・考察

本研究では、Science 誌で Burch et al. [2016] が、また、JGR 誌で Webster et al. [2018] 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2つのイベントについて、われわれの考案した方法を適用した。図1は Burch et al. のイベントに関する解析結果で、低域混成波帯 ($1/2 f_{LHR} < f < 3/2 f_{LHR}$) の波動強度 (青色) と、電子の衝突項を単位電荷と電子密度の積で割ったベクトルの絶対値 (赤色) がプロットされている。この図から明らかのように、両者は非常に良い相関を示しており、相関係数は 0.74 であった。当該

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行った時に対応し、イオン拡散領域 (Ion Diffusion Region: 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鍵である。この事実は、IDR おいて、静電的な低域混成波 (LHW) が励起され、それが異常抵抗の発生を引き起こしている可能性を示している。地球磁気圏中の無衝突磁気リコネクションにおいては、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、その様な機構によって対向する磁力線を融合させる EDR ではなく、それを取り巻くように存在する IDR において発生する異常抵抗も、磁力線を拡散させ融合させることに関して、ある一定の割合で寄与している可能性を示している点が重要である。

さらに、イオンと電子の衝突項の時間変化を比較したところ、両者に対応するベクトルは、ほぼ反対方向を向いていた。紙面の関係で詳細は省くが、衝突項は、異常抵抗、異常ローレンツ力、レイノルズの歪みで構成されることが示される。イオンと電子の衝突項が互いに打ち消し合うことを含め、得られた結果を理論的に考察することによって、衝突項は LHW による異常抵抗の効果を表していることが結論づけられた。上述した2つのことより、昼側磁気リコネクションの磁気中性線付近で、LHW が異常抵抗に寄与しているという結論を得ることができた。

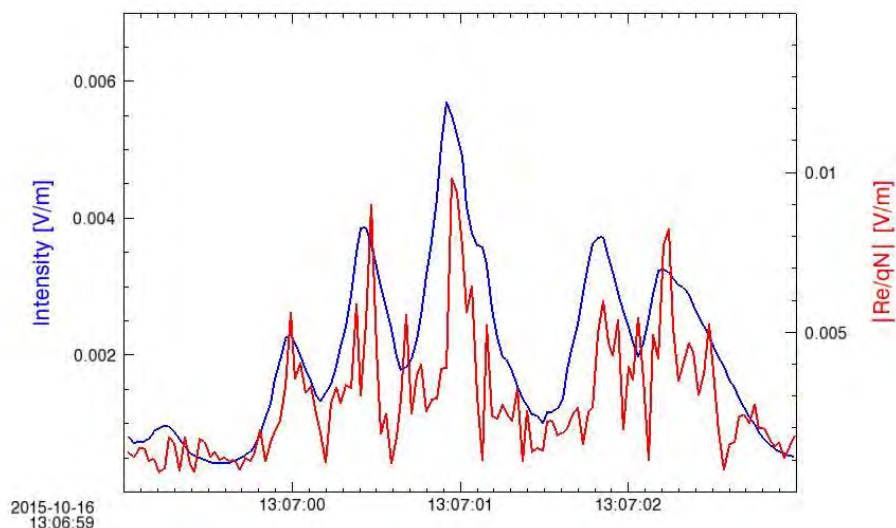


図 1. Burch et al. のイベントにおける波動強度 (青色) と電子衝突項 (赤色) の比較

成果発表

1. Kobayashi, Y. et al., Investigation of the magnetic neutral line region with the frame of two-fluid equations: A possibility of anomalous resistivity inferred from MMS observations, JpGU Meeting 2018, 千葉, 2018 年 5 月 21 日
2. Kobayashi, Y. et al., Investigation of the magnetic neutral line region with the frame of two-fluid equations, 第 144 回 SGEPPSS 総会及び講演会, 名古屋, 2018 年 11 月 27 日
3. Kobayashi, Y. et al., Investigation of the magnetic neutral line region with the frame of two-fluid equations, AGU Fall meeting 2018, Washington DC, USA, Dec 10, 2018

沈殿法による水試料の放射性炭素分析法の信頼性

Reliability of radiocarbon analysis for water samples by precipitation method

高橋浩、産業技術総合研究所・活断層・火山研究部門

研究目的

水試料の正確な ^{14}C 濃度分析のためには、試料中の生物活動による炭素成分への影響を排除する必要があり、そのための処理として、毒物添加が行われている。しかし、調査環境によっては、毒物の使用ができないこともあるため、水試料中の溶存炭素を、炭酸塩の沈殿として固定する「沈殿法」が代替措置として期待される。しかし、水中の硫酸濃度とDIC濃度の比が高くなると、炭酸塩の沈殿が形成しにくくなることが報告されており (Kusakabe, 2001)、試料の化学組成によっては沈殿法による措置がとれない可能性がある。

これまでに、毒物添加を行わない天然試料について、どの程度の時間でどの程度の ^{14}C 濃度の変化が生じるのか、高い硫酸濃度を含む様々な化学組成の水試料について、沈殿法処理による ^{14}C 濃度測定を実施している。本年度は、それらの分析値と他の機関による分析結果を合わせて解析することで、沈殿法処理の信頼性について検証を行い、論文公表を目指した。

研究結果

毒物添加を行わない5つの天然試料について、よりDIC濃度の低い試料で、 ^{14}C 濃度・DIC濃度・ $\delta^{13}\text{C}$ の変化が大きかった。その原因として、試料中の有機物が分解したと想定される試料と、含有するメタンの酸化が想定される試料があることがわかった。これらの結果と水試料を保管する容器の材質についての基礎的なデータを論文として公表した (Takahashi et al., 2019)。

また、様々な化学組成の水試料に対して、沈殿法とヘッドスペース法やバブリング法といった他の手法との分析値を比較すると、硫酸濃度の高い試料では、 ^{14}C 濃度・ $\delta^{13}\text{C}$ ともに大きく結果が外れる分析値もあったが、多くの分析結果で、 $\delta^{13}\text{C}$ がばらつく傾向があったが、 ^{14}C 濃度のばらつきは小さいものであった。この $\delta^{13}\text{C}$ のばらつきは、沈殿法以外の手法においても見られたことから、硫酸が沈殿形成以外の試料処理にも影響しているものと考えられる。DIC濃度が非常に高かったり、低かったりする試料でも、分析値のばらつきが見られた。その原因としては、前者では試料から抽出した CO_2 から適切な量を分離する際に同位体分別を生じたため、後者では外来炭素の混入の影響が大きいためと考えられる。これらの結果をThe 23rd International Radiocarbon Conferenceにて発表し、Radiocarbon誌に投稿を行った。

成果発表 (論文)

Takahashi HA, Minami M, Aramaki T, Handa H, Matsushita M. 2019. Radiocarbon changes of unpoisoned water samples during long-term storage. Nucl Instrum Meth B. doi: 10.1016/j.nimb.2018.11.029.

Takahashi HA, Minami M, Aramaki T, Handa H, Saito-Kokubu Y, Itoh S, Kumamoto Y. (submitted) A suitable procedure for preparing of water samples used in radiocarbon intercomparison. Radiocarbon

成果発表 (学会発表)

Takahashi HA, Minami M, Aramaki T, Handa H, Saito-Kokubu Y, Itoh S, Kumamoto Y. Suitable procedure in preparing water samples for radiocarbon inter-comparison. The 23rd International Radiocarbon Conference, ノルウェー工科大学, 2018/06/20.

惑星間空間磁場朝夕成分に依存する夜側沿磁力線電流系の起源 Origin of the interplanetary magnetic field By-dependent field-aligned current system on the nightside

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

電離圏高度において、昼側カusp領域に惑星間空間磁場朝夕成分 (IMF By) に依存する対流・沿磁力線電流系が存在することはよく知られているが、同様の対流・沿磁力線電流系が夜側にも存在する。IMF南向き時にIMF Byがあると対流セルに朝夕非対称性が現れ、一方が丸く (round cell) もう一方が三日月形 (crescent cell) になる。IMFの向きが朝夕方向から有限北向きになると三日月セルが分裂し、分かれた夜側のセルが真夜中付近まで張り出すことで前述のIMF By依存性を作っているように思える。これを模式的に表したものが図1である。この分裂三日月セルのパターンは、開磁力線と閉磁力線がリコネクションを起こすことで理論上は一応説明できるが、そもそも現象論として分裂三日月セルは確立していない。まず分裂三日月セルの存在を示すことが必要である。本課題の第一歩として、SuperDARNデータを用いて分裂三日月セルの現象論を確立することを目指す。

研究方法

SuperDARNデータを用いて電離圏ポテンシャルを求める。グローバルなポテンシャルパターンを見るためには、極域全体から数多くのレーダエコーが得られていることが必要である。経験的にレーダエコーが多いのは太陽活動極大期の冬半球である。また北半球のほうが南半球よりレーダがカバーする領域が広い。そこで解析を北半球のレーダで期間を2001年11-12月と2002年11-12月に絞り、IMFデータを参照しながら数時間分裂三日月セルのパターンが継続する事象を探した。事象の探索は組織的・網羅的なものではなかったが、IMF By<0の事象を2例、By>0の事象を2例見つけることが出来た。その4例について事例解析を行った。

解析結果

図2から図5に4事象で得られたポテンシャルパターンの例を示す。いずれも北半球のポテンシャルである。図2は2002年12月21日 (事象1)、図3は2001年12月1日 (事象2)、図4は2001年11月16日 (事象3)、図4は2002年12月19日 (事象4) で得られた。事象1と事象2はIMF By<0の事例で、事象3と事象4はIMF By>0の事例である。曲線は等ポテンシャル線 (数値の単位はキロボルト) を表し、点はレーダ観測が存在することを示している。いずれも図1に予想した分裂三日月セルのパターンを示している。

考察

解析結果をみると分裂三日月セルの現象論が確立したように思えるが、実は重大な問題を含んでいる。ポイントは三日月セルが本当に2つに分かれているか否かである。詳しくみると、4事象いずれにおいても、分裂した2つのセルの接点 (流れのよどみ点) 近傍ではエコーがないか、あるいは一方向からの視線速度データしかないことが分かった。すなわちフィッティングされたポテンシャル等高線が現実のものを表していない可能性がある。これは解析した4事象では如何ともしがたい。この困難を克服するためには、よどみ点近傍で十分な数のレーダエコーが複数の方向から観測されている事象を見つけなければならない。事象探索は組織的・網羅的ではなかったが、解析期間をざっと眺めた感じでは、その

ような理想的な事象は見つけれなかった。レーダの位置に偏りがあるので、理想的な観測が可能なUTが限られてしまうという事情もある。

一方数値シミュレーションで分裂三日月セルの再現を試みているが、田中高史氏が開発されたREPPUコードではうまくいっていない。ではシミュレーションでは再現できないのかと言うと、そうでもなさそうだ。田中高史氏の古いコードではそれらしいものが再現されている (Tanaka, *Journal of Geophysical Research*, vol. 104, pp 14,683–14,690, 1999)。また海外のMHDシミュレーショングループの結果でもそれらしいものがある (Fenrich et al., personal communication)。REPPUコードで再現できない理由は不明だが、REPPUコードが極めて数値粘性が低いコードであることが関係しているかもしれない。コード内で人工粘性を増やすことは試みる価値がある。

今後の方針

分裂三日月セルの問題は、観測的アプローチもシミュレーションからのアプローチも壁に当たっており、戦略を練り直す必要がある。本課題は2年計画で申請し本年度はその1年目であったが、一旦休止して出直すことにした。

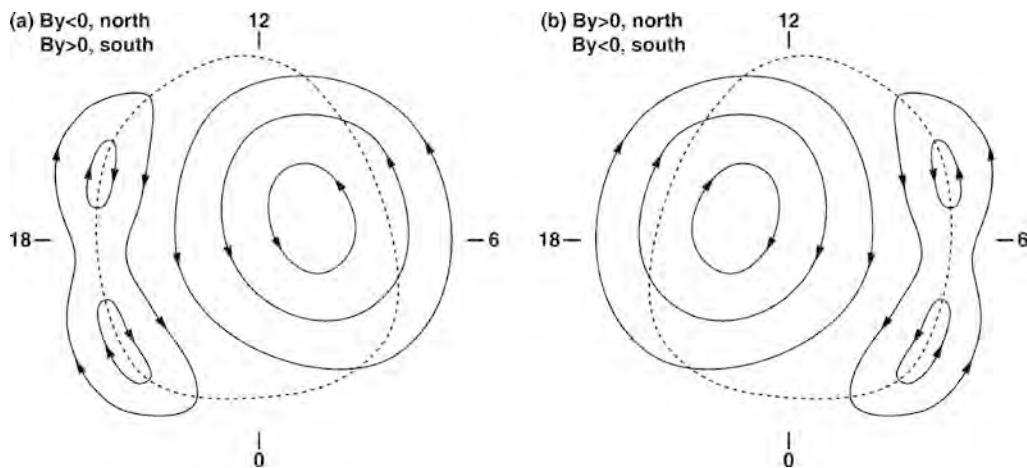


図1 分裂三日月セル (対流) の模式図。点線は磁力線閉閉境界。

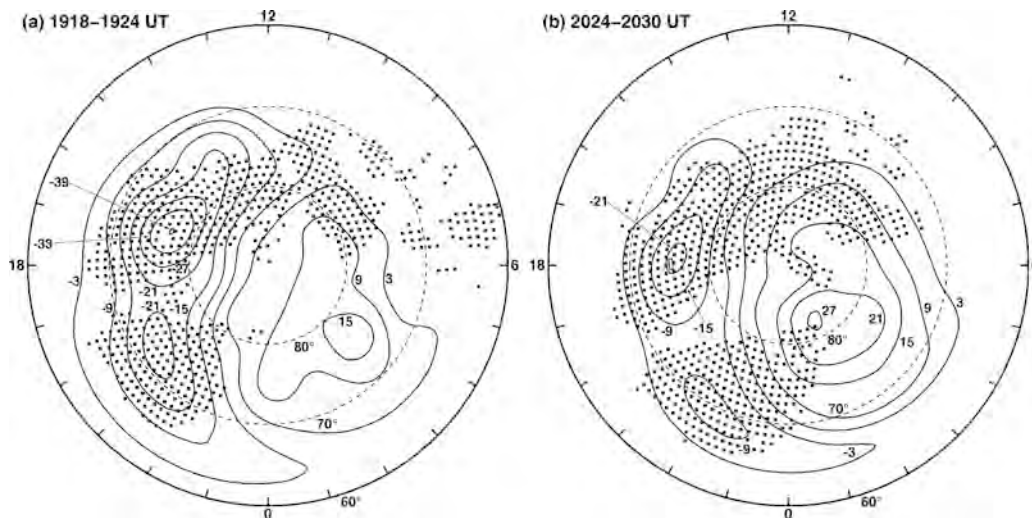


図2 事象1 (2002年12月21日, IMF $B_y < 0$) におけるポテンシャル観測例

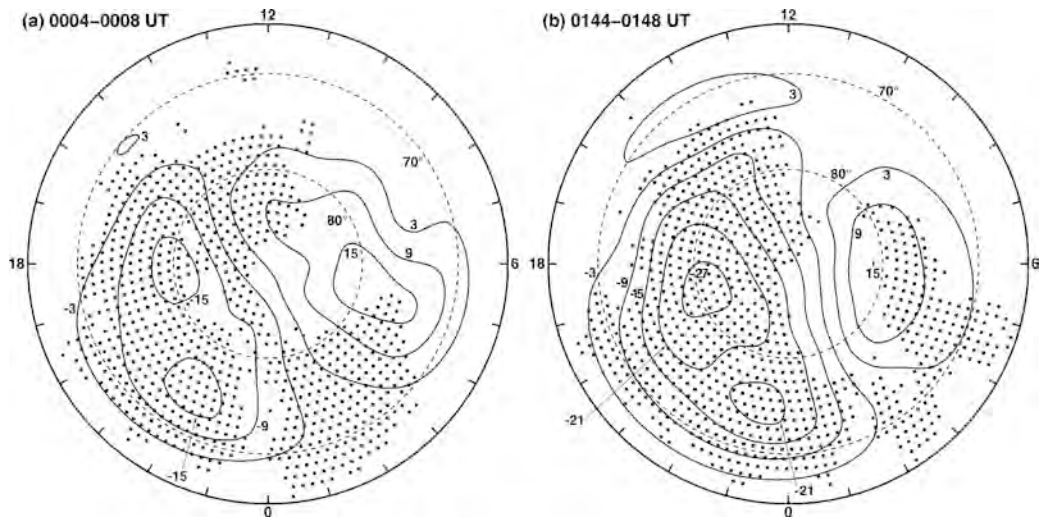


図3 事象2 (2001年12月1日, IMF $B_y < 0$) におけるポテンシャル観測例

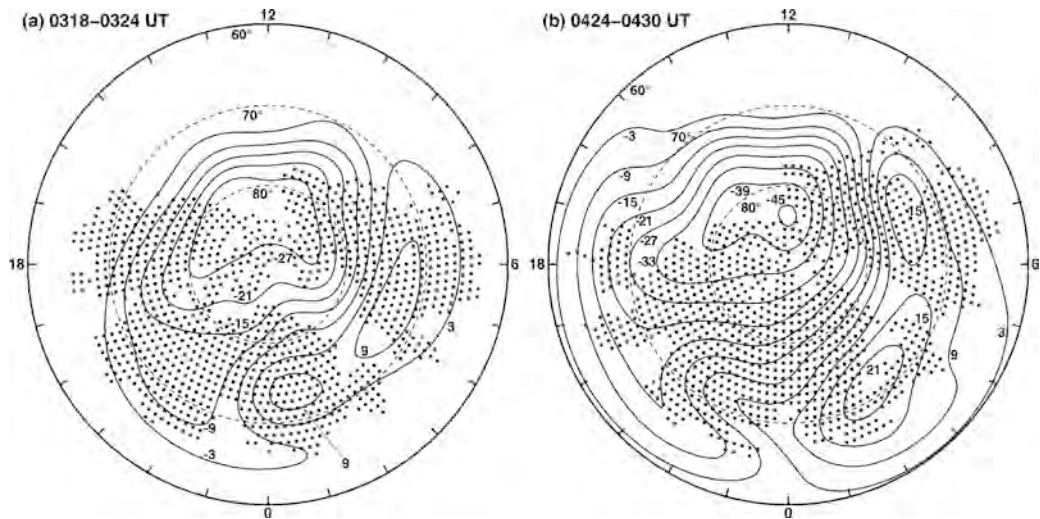


図4 事象3 (2001年11月16日, IMF $B_y > 0$) におけるポテンシャル観測例

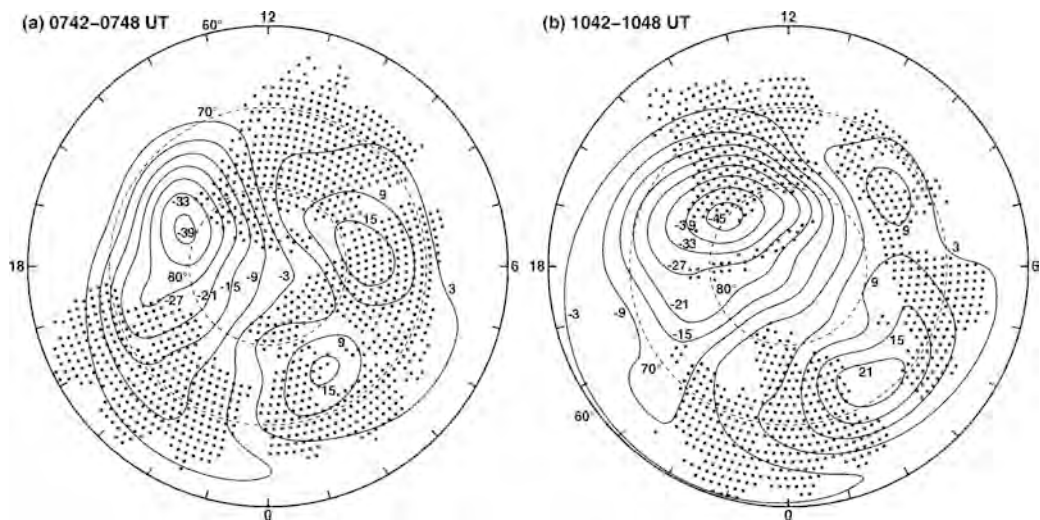


図5 事象4 (2002年12月19日, IMF $B_y > 0$) におけるポテンシャル観測例

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・情報理工学研究所

研究目的

中間圏/下部熱圏領域には流星起源とされるNa原子/Naイオンなどの金属原子層/金属イオン層が分布している。当該高度範囲は、電離圏D/E領域に位置し、磁気圏からの高エネルギー降下粒子による金属原子層/金属イオン層への直接的な影響が予想されるが、その詳細については不明な点が多い。

本研究では、磁気圏から超高層大気へと降り注ぐ高エネルギー降下粒子がNa原子層/Naイオン層などの金属原子層/金属イオン層に与える影響に関する理解を前進させることを目指している。特に、現在入手可能な長期の（複数年以上の）データセットの収集と解析を行い、統計的描像に関する調査を中心に進めていく。

研究進展状況

昨年度に引続いて、複数の金属原子層・金属イオン層について並行的にデータ収集を進め、順次データの解析を進めている。

南極昭和基地 Na ライダー観測から得られた Na データ（2000-2002年）の収集と解析を進め、オーロラ活動活発時に Na 密度が減少する傾向を見出した。この傾向は、昨年調査結果（極軌道衛星 Odin/OSIRIS による Na データを用いた調査結果）と整合的であった。定点観測データである昭和基地 Na データの特徴を活かし、MLT 変化に着目した調査を進めた結果、夕方から真夜中、朝方へと MLT が進むにつれて Na 密度の減少率が大きくなることが判明した。Na 密度減少率の MLT 変化特性は、磁気圏における高エネルギー電子の朝側方向へのドリフトに対応する傾向であると解釈される。以上に関して学術論文 (Tsuda et al., EPS, in prep.) を執筆中である。

高エネルギー電子に対する Na の応答プロセスに関する理解を深める為、観測データの解析に加えて、モデル計算への取組みを進めている。具体的には、大気電離モデルと Na 化学モデルを組合わせて、高エネルギー電子による大気電離効果が駆動する Na 化学過程のモデル計算を試みている。モデル計算に用いる大気電離効果と Na 化学過程に関する計算コードの基礎的な開発は完了しており、今後は、現実的な範囲で様々な条件を与えて計算実験を繰り返すことで、高エネルギー電子に対する Na の応答プロセスに関して詳細に調査していくことを予定している。

Envisat/SCIAMACHY による Mg, Mg⁺ データ（2002-2008年）の収集と解析を進め、オーロラ活動活発時に Mg⁺ 密度が増大する傾向を見出した。一方で、Mg 密度には顕著なオーロラ応答の兆候は確認できなかったが、Mg 密度データについてはデータクオリティが十分ではなかった可能性もあり、より詳細な追加調査/検討が必要な状況にある。また、Na と同様に Mg/ Mg⁺ の応答プロセスを調査する為のモデルを開発することを検討している。

受賞

滝沢響吾（電通大 津田研），地球電磁気・地球惑星圏学会 第 144 回講演会 学生発表賞（オーロラモデル），高エネルギー降下粒子が Na 層に与える影響の化学モデル計算，2018 年 11 月。

電離圏D/E層のプラズマ温度導出と検証
Derivation and verification of plasma temperature in the D- and E-
regions

小川泰信、国立極地研究所・国際北極環境研究センター

研究目的：

太陽風エネルギーの多くは磁気圏を経由して極域超高層大気に流入する。その流入するエネルギーは、激しい時空間変化を有しながら、超高層大気の運動エネルギーや熱エネルギーなどに変換されることが特徴として挙げられる。極域の非干渉散乱（IS）レーダーは、このエネルギー変換過程を知る上で最も強力な観測手法の一つである。ただし、ISレーダーを用いた電離圏D層及びE層におけるプラズマ温度導出には、観測上の様々な制限があることが過去に報告されている。本研究では、平成28-29年度の一般共同研究に引き続き、EISCATトロムソUHF及びVHFレーダーシステムを用いた電離圏D層及びE層のISスペクトルデータを見直すと共に、多変数フィッティング手法を改善することにより、プラズマ物理量導出精度（特にイオン温度導出の下限高度）の向上を目指すことを目的とする。この研究で得られる成果と経験は、次期計画であるEISCAT_3D（送信周波数233MHzのフェーズドアレイ式多点VHFレーダーシステム）における物理量導出プロセスを構築する上で有益である。

研究内容・計画：

（1）2017年1-2月の成層圏突然昇温時の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させた多変数スペクトル解析を、平成29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、成層圏突然昇温時の電離圏D層及びE層のイオン温度及び鉛直イオン速度の導出を進め、研究成果として論文にまとめて出版する。

平成30年度の成果内容：

平成28-30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観測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及び、鉛直イオン速度との対応関係を明らかにした。得られた研究成果を各種学会・シンポジウムで報告すると共に、投稿論文を現在執筆中である。

主な論文：

Nozawa, S., T. Kawabata, K. Hosokawa, Y. Ogawa, T. Tsuda, A. Mizuno, R. Fujii, and C. Hall, A new five-wavelength photometer operated in Tromso (69.6°N, 19.2°E), *Earth, Planets and Space*, EPSP-D-18-00228R1, 70:193, December, 2018.

主な学会講演：

Ogawa, Y., S. Nozawa, M. Tsutsumi, Y. Tomikawa, C. Hall, and I. Haggstrom, Ion temperature variations in the D- and E-region polar ionosphere during stratospheric sudden warming, JpGU2018 meeting, Makuhari Messe, Chiba, Japan, May 20, 2018.

Ogawa, Y., S. Nozawa, M. Tsutsumi, Y. Tomikawa, C. Hall, and I. Haggstrom, Temperature and velocity variations of polar ionosphere during stratospheric sudden warming (SSW), Polar2018 Open Science Conference, Davos, Switzerland, June 20, 2018.

「あらせ」衛星および地上観測によるリングカレント散乱現象の解析
Study of scattering process of ring current ions observed by
the Arase satellite

浅村和史、宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所

磁気嵐時には、内部磁気圏に存在する数keVから100keV以上に存在するイオンのフラックスが増加し、環電流の発達が起こる。この環電流を担うイオンは、速度分布関数における温度異方性やリング分布と呼ばれる異方性によって、電磁イオンサイクロトロン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。

今年度は「あらせ」衛星が取得したイオン種毎の速度分布関数と電界/磁界波動周波数スペクトルを用い、 $10 - 1000\text{eV/q}$ 程度のイオンフラックスが磁力線垂直方向に急峻なピークを持つイベントについて、プラズマ波動との関係を調べた。その結果、このイベントはそのほとんどが磁気赤道付近で検出されていること、また、高い確率で磁気音波と同時に観測されることが分かった。磁気音波はローカルなアルフベンエネルギー程度のエネルギーをもつイオンのリング分布によって生成されると考えられている。一方、本イベントにおけるイオンのエネルギーはアルフベンエネルギーより十分低いため、磁気音波の生成に寄与するとは考えにくく、プラズマ圏に存在する熱的エネルギーイオンが磁気音波によって磁力線垂直方向に加熱されているのではないかと考えられる。ただし、磁気圏イオンがバウンス運動をする中で、電荷交換反応 / クーロン散乱によってロスし、磁気赤道においては磁力線垂直方向成分が残留するなど、異なるメカニズムの可能性も残っており、今後検討を行ってゆく。

衛星搭載イメージング可視・紫外撮像光学系の設計と開発
Design and development of visible and ultra-violet
optical imaging system

坂野井健、東北大学・大学院理学研究科

< 研究目的 >

現在、電磁圏・熱圏研究のコミュニティでは、将来電磁圏・熱圏観測小型衛星計画FACTORSの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。電磁圏・熱圏の物理現象の理解のために、リモートセンシングは重要な手段である。とくに、微細オーロラの高速詳細変動や、広域撮像によるサブストーム関連現象等の中規模～グローバル変動、紫外大気光の全緯度域観測が求められている。将来小型衛星FACTORSによる中高度リモートセンシングは可視と紫外の2波長領域で行われる予定であり、本研究は特にオーロラ発光と大気光発の紫外観測を達成するために必要な技術検討と開発を行うことを目的とする。とくに、我が国では欧米と比較して紫外観測によるオーロラ・大気光などの微弱光観測の経験が乏しいため、最新技術と知見に基づく科学衛星搭載可能な小型軽量の紫外オーロラ・大気光撮像を可能とする装置の検討・基礎開発を行うことが必要である。

< 研究方法 >

本研究課題であるFACTORS衛星からの可視・紫外カメラ撮像装置の検討を具体的に進めるために、衛星高度範囲300～4000km、昼夜の太陽同期軌道、日照時と日陰時のいずれの観測も想定する。地球周回の場合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。現実的に使用可能な2nm程度のバンドパスフィルターを用いる場合、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。この強烈な光による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り、オーロラ・大気光観測に有利である。

これまでH27-28年度に研究代表者はISEE国際共同研究「衛星搭載イメージング光学系用バッフル・ベーンの設計と開発」に基づき将来電磁圏・熱圏小型衛星のための紫外撮像装置の検討を進めてきた。この際にUSB/SSLのFrey氏ならびにColorado大学Schnieder氏らと研究打ち合わせを行い、本計画には分光器ではなく小型軽量となる単色カメラのほうが適当であると判断された。また、紫外光はレンズを透過しないため、ミラーのみで構成される紫外用対物光学系の検討をすすめた。この結果、良好な収差特性をもち、長さ17cm以下の小型軽量の広視野（40x40度以上）対物系の設計を達成した。本研究では、これらの成果を引き継ぎ、さらに可視・紫外撮像装置を実現するために求められる技術課題の検討と識別ならびに基礎開発を進める。

< 研究結果とまとめ >

本研究では、前年度までの検討を踏まえて、オーロラ（坂野井・平原・三好・浅村）ならびに大気光（大山・津田・山崎）についてそれぞれ会合を行い、FACTORS衛星の科学ターゲットと機器性能の最適化を推し進めた。

特に、熱圏中性大気・電離圏ダイナミクスに関する会合を定期的を実施した。ここでは、酸素原子135.6nmと窒素分子LBH-L/LBH-Sから得られるN2/Oの熱圏観測の意義について、NASA/GOLDの静止軌道上から得られた最新データに基づく議論がなされた。

また、紫外線撮像2次元検出器として、MCPとCCDまたはCMOSを組み合わせたIICCDとIICMOS、ならびにMCPを用いない紫外用CCDとCMOSについて、複数のメーカーと交渉しつつ調査した。とくに着目した点は、観測波長(130-180nm)に感度を有することと、耐放射線性能、および入手性と価格である。この結果、紫外CCDもしくはCMOSで対象波長域の量子効率20-30%のものが入手できることが分かった。坂野井・平原・浅村・山崎が検討した結果、高圧電源を必要としない紫外CCDないしはCMOSが適していると判断された。これらの入手性について今後継続的な調査を要する。また、耐放射線性については、来年度以降試験用検出器セットを用いて、若狭湾エネルギー研究センター、または放医研もしくは高崎量子応用研にて試験を行う予定である。

さらに、可視撮像装置について、紫外と比較してより狭い範囲の高空間分解能(～1x1km)が要求されるが、これを達成する視野は8x8°程度であり、れいめい衛星搭載オーロラカメラ(MAC)の対物レンズ性能と一致する。従って、光学系はこれまでの実績に基づく開発が可能と判断された。一方で、可視検出器については高速・低ノイズ特性をもつ科学CMOSの検討が必要である。本年度は、試験用のCMOSカメラを当経費で購入し、基礎的な光学試験を開始した。

< 成果発表 >

Sakanoi, T., M. Hirahara, T. M. Yamauchi, T. Sergienko, K. Asamura, Y. Saito, Shin-ichiro Oyama, H. Kojima, N. Kitamura, Yuichi Tsuda, A. Matsuoka, Y. Miyoshi, K. Hosokawa, N. Yagi, M. Fujiizawa, FACTORS: A future satellite mission for understanding the coupling and transportation processes in the upper atmosphere, 45th Annual European Meeting on Atmospheric Studies by Optical Methods, IRF, Kiruna, Sweden 27-31 August 2018.

Sakanoi, T. Y. Miyoshi, M. Hirahara, K. Asamura, and the Reimei Science Team, Small-scale auroras associated with Alfvén waves and pitch-angle scattering, Auroral Physics: International Space Science Institute Workshop, ISSI, Bern, Switzerland, 6-10 Aug., 2018.

Sakanoi, T., Y. Miyoshi, K. Asamura, K. Hosokawa, M. Hirahara, Y. Saito, T. Tsuda, M. Fukizawa N. Yagi, Auroral and Airglow Imagers in Visible and Far Ultra-Violet Wavelengths for of Future Sounding Rocket and Small Satellite Missions, AOGS the 15th Annual Meeting, Honolulu, USA, 03-08 June 2018.

坂野井 健, 浅村 和史, 平原 聖文, 山内 正敏, Sergienko Tima, 斎藤 義文, 大山 伸一郎, 三好 由純, 細川 敬祐, 八木 直志, 吹澤 瑞貴, 小嶋 浩嗣, 北村 成寿, 津田 卓雄, 松岡 彩子, 脈動オーロラロケット Rocsat-XN と LAMP の開発ならびに将来超高大気観測衛星計画 FACTORS, 第144回 SGPSS総会および講演会, 名古屋大学, 名古屋, Nov. 23-27, 2018.

他、本課題に関係する衛星・飛翔体搭載光学・紫外線撮像装置検討・開発に関する成果発表は、国際学会発表合計12件、国内学会発表合計8件行った。

太陽フレアのリコネクション周辺領域における極端紫外線を用いたプラズマ診断

Plasma diagnostics around a reconnection region by extreme ultraviolet lines in a solar flare

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

本研究の目的は太陽フレアにおいて磁気リコネクション領域を観測的に特定し、極端紫外線の輝線形状の成因に制限をつけることである。フレアに伴い、ループ上部において紫外線・X線の高温輝線の輝線幅が広がる現象が見られる。輝線幅増加の要因はMHD乱流・プラズマ乱流・イオン加熱などが考えられるが、その要因は特定されていない。輝線幅増加は特に、粒子加速との関連性が議論されている(Kawate & Imada 2013)が、リコネクション領域周辺の空間構造との対応が詳細に議論されていなかった。本研究は多波長観測により、非熱的電子分布の空間構造から輝線幅増加の原因に制限をつけるものである。

○研究方法

我々はReuven Ramaty High-Energy Spectroscopic Imager (RHESSI)、Nobeyama Radioheliograph (NoRH)、Atmospheric Imaging Assembly (AIA/SDO)、EUV Imaging Spectrometer (EIS/Hinode)により同時観測されたリムフレアを特定した。フレアは2015年1月14日に発生したGOES C7.7クラスであり、GOES 1-8Åフラックスのピーク時刻は04:56 UTであった。

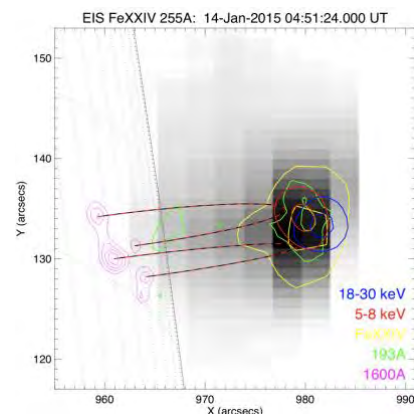


図1 リムフレアのループ構造。

○研究結果

RHESSIの観測より、X線スペクトルは熱制動放射とべき乗分布の制動放射によりよく説明できた。また軟X線源と硬X線源は両方ともコロナにあり、軟X線源の上空に硬X線源が位置していた。一方AIAの観測から、フレアの足元はディスク面上にあることが特定できた(図1)。これらの結果から、数10keV程度のほとんどの加速電子はループ上部周辺で散逸していることがわかった。

EISによる極端紫外線スペクトルから、特に硬X線源のさらに上部でFe XXIV輝線が幅の広い輝線形状を持つことがわかった(図2)。輝線形状を2成分ガウスフィットした結果、幅は60-70km s⁻¹と200-250km s⁻¹に対応していた。

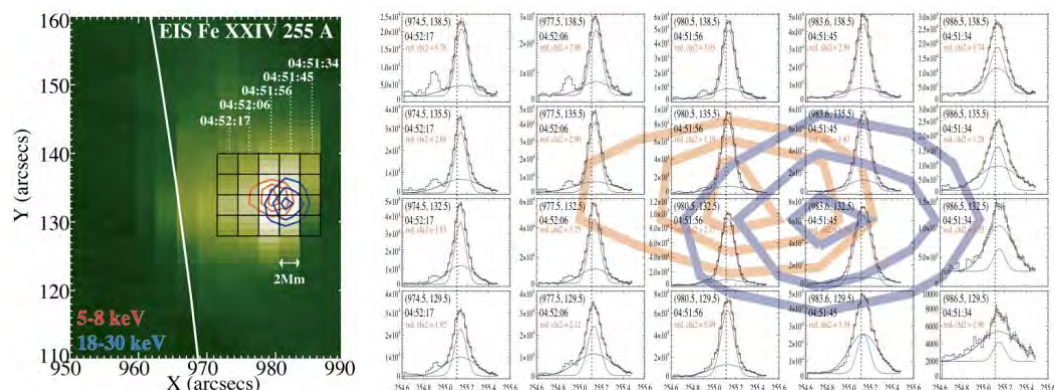


図2 コロナX線源周辺におけるEIS Fe XXIVスペクトル。左右の図ともに、軟X線源(赤)、硬X線源(青)の空間分布を示している。

○考察

RHESSIのスペクトルから熱プラズマの体積エミッションメジャーは $1.8 \times 10^{47} \text{ cm}^{-3}$ であり、硬X線放射領域の密度は $2.4 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ であると推定される。

X線・極端紫外線の観測から、リコネクション領域は極端紫外線の輝線幅の広い領域よりさらに上空に位置していると考えられる。Fe XXIVの輝線幅について、 $60\text{--}70 \text{ km s}^{-1}$ はFe XXIVの典型的な熱運動により発生する幅であると解釈できる。 $200\text{--}250 \text{ km s}^{-1}$ については、次のように考えられる。コロナ磁場を $B \sim 20 \text{ G}$ と仮定するとX線スペクトルから得られた密度をもちいて $v_A \sim 250 \text{ km s}^{-1}$ となり、リコネクションアウトフローに伴うアルフヴェン乱流としてよく説明できる。また、 $200\text{--}250 \text{ km s}^{-1}$ に対応するイオン温度は $40\text{--}50 \text{ MK}$ であり、選択的なイオン加熱として考えられる範囲の値である。一方、明確な構造のないプラズモイドは考えづらい。高エネルギー電子を励起しているプラズマ乱流を考えると、硬X線源と輝線幅の広い構造は一致しておらず、否定できる。また輝線幅増加の要因としてリコネクション電場によるシュタルク効果が挙げられるが、今回の観測結果に相当する電場は $\sim \text{MV m}^{-1}$ であり、現実的ではない。これらの考察から、輝線幅増加の要因はMHD乱流または高温イオンであることが制限できた。

○成果発表

- T. Kawate, S. Krucker, S. Masuda, S. Imada, S. Ishikawa, "Dynamics of high-energy electrons near the reconnection region in a solar flare", Magnetic reconnection 2018, Princeton University, 2018年9月4-8日
- 川手朋子, S. Krucker, 増田智, 今田晋亮, 石川真之介, "コロナ硬X線源周辺領域における極端紫外線を用いたプラズマ診断", 日本天文学会秋季年会2018, 兵庫県立大学, 2018年9月19-21日

木星放射線帯長期変動要因の観測研究

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

三澤 浩昭, 東北大学・大学院理学研究科

[研究目的] 木星から放射されるシンクロtron電波(JSR)は、直接観測のほぼ不可能な木星放射線帯の粒子ダイナミクスの情報を持つ。申請者らはこれまで JSR 強度の連続観測に基づき、数日～週程度の短期の時間スケールの原因を探り、それが太陽変動起因と木星磁気圏変動起因の 2 種あることを示唆してきた。一方、より長い時間スケール、特に数ヶ月～年スケールの変動については、申請者らのグループや米国の研究者らが独立に太陽変動起因の可能性を示唆してきているが、データ取得期間が限定的であることや、十分な観測精度が保証されていないこと等から、変動要因は未解明である。申請者らは過去に ISEE 他の観測施設で JSR 観測を断続的に行ってきたが、本研究では、①JSR の追加観測による長期変化(トレンド)の導出、②過去の JSR 観測で強度較正に用いていた電波星強度の再評価に基づく、高信頼度の JSR 強度の導出、③別周波数での JSR(～別エネルギーの放射線帯粒子の情報)を反映)観測結果との比較も加えた、粒子エネルギーテクスも交えた変動要因の考察から、JSR 長期変動要因の査定を目的とする。

[研究方法] 上記目的達成のための具体的な研究方法は以下の通りである。

- ① ISEE 木曾観測施設の 327MHz 大型アンテナを用いた JSR 強度の追加計測。計測方法は、木星方向と、木星に近接する、強度較正用の或る電波源の方向を短時間に切替ながら交互に計測する方法で実施する。
- ② 電波星の絶対電波強度較正機能を持つ東北大学の VHF-UHF 帯大型アンテナを用いた、①の方法で JSR の強度較正に用いた(る)電波星強度の評価と、今回および過去に求めた JSR 強度の(再)評価を行う。
- ③ 研究協力者(D. Santos-Costa 氏(米国 SWRI)他)提供の 1970 年代以降、および、当研究グループが実施の 1990 年代後半から最近までの 2.2GHz 帯の JSR 強度データと、①、②で得られるデータとの比較を通して長期変動の放射線帯粒子エネルギー依存性を確認し、長期変動要因の候補となる外因(太陽紫外線、太陽風)、内因(木星衛星イオ起源磁気圏プラズマ)の変動との関係を精査するとともに、粒子エネルギー変化に寄与する物理過程(動径拡散やプラズマ波動の関与等)の査定、及び、木星放射線帯長期変動要因の考察を行う。

[進捗状況および第 2 年度以降の予定] 研究初年度の進捗状況と今後の予定は以下の通りである。

- ① 2018 年 7, 8 月に ISEE の木曾観測施設のアンテナを用い、JSR 強度計測を実施した。強度較正用電波源として 1500-147(インド Ooty 観測所カタログ強度 2.7Jy)を使用した。JSR の絶対強度評価には、木星電波に重畳する、銀河背景放射強度の評価が必要であり、この評価を 2019 年度に実施予定である。
- ② 東北大学の VHF-UHF 帯アンテナが、アンテナ駆動系の故障(2018 年 12 月迄)と受信系の不調(2019 年 3 月初旬迄)により、過去の JSR 観測で用いてきた強度較正用電波源の絶対強度計測は 2019 年度以降実施に繰り越しとなった。
- ③ 1970 年代以降の 2.2GHz 帯の JSR 強度データについて、米国の複数の観測所で計測されたデータを入手するとともに、当研究グループが 1990 年代後半から断続的に行ってきた観測結果を加えて、長期的な変動傾向を把握した。このデータと、①、②から今後得られる 300MHz 帯の JSR 強度データとの比較に基づく、木星放射線帯粒子のエネルギーテクス考察が 2019 年度以降の課題となる。尚、2.2GHz 帯の JSR 長期計測に基づく、木星放射線帯粒子のダイナミクスについては、本研究グループも共著者として加わった研究が国際誌に掲載された(Han et al., JGR, doi: 10.1029/2018JA025849, 2018)。この研究では、2.2GHz 帯の JSR 長期変動では、太陽紫外線変動に加えて、太陽風動圧変動が重要であることを示している。本研究では、この成果を踏まえ、300MHz 帯計測で得られる、2.2GHz の JSR より低エネルギーの木星放射線帯粒子でも同様のプロセスが関係しているか、その査定も行ってゆく。

[成果発表等]

- ・学会・研究会発表: 第 144 回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会(2018 年 11 月@名古屋)、第 20 回惑星圏研究会(2019 年 2 月@仙台)、(日本地球惑星科学連合 2019 年大会(2019 年 5 月@幕張: 予定))

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

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

竹内 誠, 名古屋大学・大学院環境学研究科

【研究目的】

日本列島の形成過程を明らかにするため, ジュラ紀付加体中の碎屑物を年代学的・地球化学的に解析し, その後背地の火成作用と堆積盆形成の関係を明らかにする. 特にジュラ紀付加体中の碎屑物は高いSr初生値や先カンブリア時代の碎屑性ジルコンが報告されており, Sr同位体比やジルコンU-Pb年代を用いてその起源を探る. 本年度は花崗岩類から先カンブリア時代の年代が報告されている, ジュラ紀付加体の碎屑物の起源の1つと考えられる, 隣接する飛驒帯の花崗岩類のジルコンU-Pb年代測定を行う.

【研究方法】

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

【研究結果】

Shibata and Nozawa (1986) で先カンブリア時代の年代が報告された飛驒帯花崗岩試料のうち, 工業技術院地質調査所地質標本館(現産業技術総合研究所地質調査総合センター地質標本館)に登録済みの中粒花崗閃緑岩1203D(登録番号R37017), 2901B(R37073), 粗粒花崗岩2901E(R37076)を使用した.

1203D: 本試料のU-Pb年代は, 約230 Maに集中し, 1570, 1920, 1960, 2050, 2550 Maの年代を含む. ジルコン年代の加重平均は 229.3 ± 1.9 Maである. 先カンブリア時代の年代は, ディスコーダントなデータも含めると9点すべてがジルコン粒子のコアの年代である.

2901B: 本試料のU-Pb年代は, 約240 Maに集中し, 1652 Maの年代を含む. ジルコン年代の加重平均は 241.3 ± 3.0 Maである. 先カンブリア時代の年代は, ディスコーダントなデータも含めると3点がジルコン粒子のコアの年代である.

2901E: 本試料のU-Pb年代は, 約240 Maに集中し, 先カンブリア時代の年代は含まない. ジルコン年代の加重平均は 241.4 ± 2.0 Maである.

【考察】

それぞれの試料で最も大きなクラスターからなる年代の加重平均は230~240 Maを示し, 三畳紀の花崗岩マグマの貫入年代を示す. 1203Dと2901BはShibata and Nozawa (1986) で同じ中粒花崗閃緑岩とされたものであるが, 加重平均年代に約10 m.y.差があり, 先カンブリア時代の年代を示すコアをもつジルコン粒子の含有量にも差があり, 別の岩体の可能性がある. また,

Shibata and Nozawa (1986) で粗粒花崗岩とされた2901Eの加重平均年代は2901Bと類似するが, ジルコンの含有量や岩相で大きな差がある.

先カンブリア時代の年代は全て粒子のコアをなすもので, 花崗岩マ

グマに取り込まれた外来ジルコンであり，花崗岩マグマの起源物質が先カンブリア時代の岩石だったか，あるいは先カンブリア時代の岩石が分布する地域に貫入し，取り込んだものと考えられる．よって，Shibata and Nozawa (1986)で報告された先カンブリア時代の年代は貫入年代ではないといえる．

【まとめ】

富山県の飛騨帯加賀沢露頭の Shibata and Nozawa (1986) で中粒花崗閃緑岩とされた2試料 (1203D と 2901B) と粗粒花崗岩とされた1試料 (2901E) について，レーザー・アブレーション誘導結合プラズマ質量分析装置にてジルコン U-Pb 年代を測定した．いずれも貫入年代は 230~240 Ma を示し，三疊紀の花崗岩である．先カンブリア時代の年代は全て粒子のコアをなすもので，花崗岩マグマに取り込まれた外来ジルコンである．

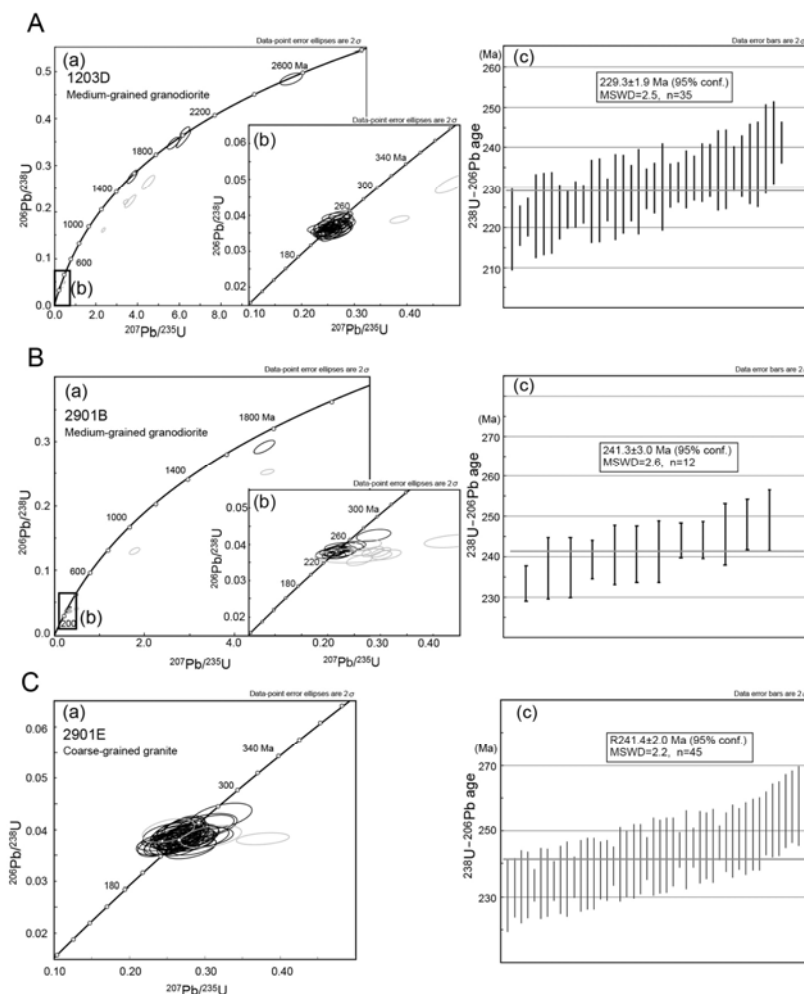
【引用文献】

Shibata, K. and Nozawa, T., 1986, Late Precambrian ages for granitic rocks intruding the Hida Metamorphic Rocks. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **37**, 43-51.

竹内 誠・大川真弘・川原健太郎・富田 覚・横田秀晴・常盤哲也・古川竜太 (Takeuchi, M., Okawa, M., Kawahara, K., Tomita, S., Yokota, H., Tokiwa, T. and Furukawa, R.), 2015, ジルコン U-Pb 年代からみた富山県北東部白亜系陸成層の再定義 (Redefinition of the Cretaceous terrigenous strata in the northeastern Toyama Prefecture based on U-Pb ages of zircon). *地質雑 (Jour. Geol. Soc. Japan)*, **121**, 1-17.

【成果発表】

竹内ほか (印刷中) 飛騨山地加賀沢の花崗岩類のジルコン U-Pb 年代. *地質学雑誌*.



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
Remote sensing of trace gases and aerosols onboard an aircraft

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、名古屋大学

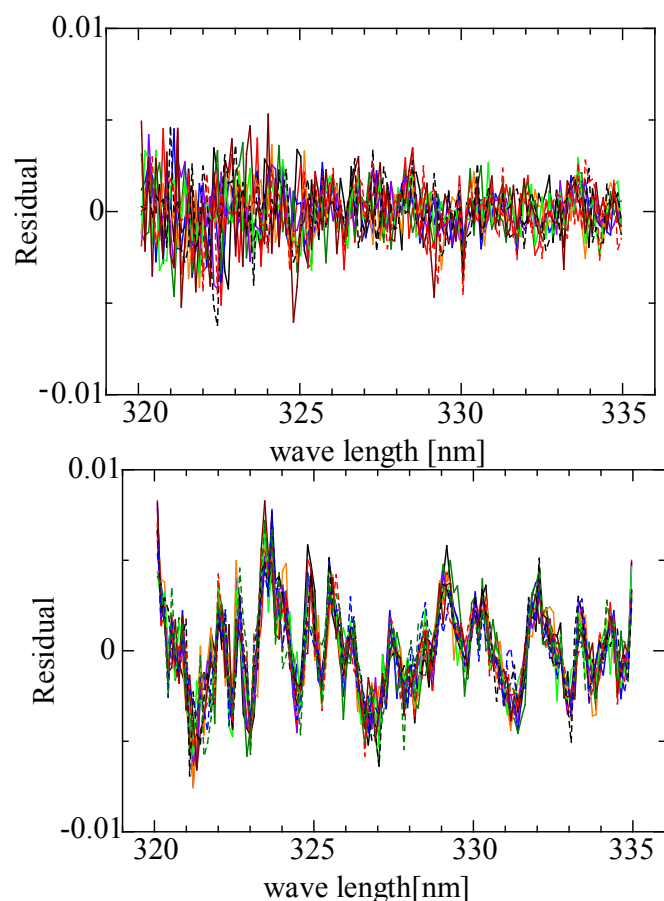
対流圏オゾン、化石燃料の燃焼などで放出される窒素酸化物等のオゾン前駆気体から光化学反応で生成する。日本では、各種規制によりオゾン前駆気体の放出量・大気中濃度ともに減少傾向にあるが、1980年代後半より対流圏オゾン濃度は逆に増加傾向にある。その原因として、アジア大陸などからの越境汚染の影響などが挙げられているが、正確にはまだよくわかっていない。また各種エアロゾルは、その気候影響の重要性から、近年研究が進められており、とくにアジア新興国からの多量の放出の広域影響が注目されている。PM2.5による健康影響も一般に認知されて久しい。

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検証という意味でも、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、エアロゾル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ため無視してよい。今年度は、前年度に引き続き、試作装置を改良するとともに、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。

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。直達光と散乱光の太陽スペクトルの比から、オゾンなどの各分子種のカラム濃度を差分吸光フィッティングで求める際に、各分子種による吸収・散乱以外の残差に着目した。直達光と散乱光を組み合わせた際に、散乱光のみで行う従来 MAX-DOAS 法(上図)に対しランダム成分は減少するが、下図のような、系統的な残差スペクトルが現れることが分かった。これが、求める結果に影響するか、する場合どのようにして除去すべきかを検討している。この系統的な構造の発生原因としては、直達光と散乱光を組み合わせたときのみ現れ、同じスペクトルでも直達光同士あるいは散乱光同士では見られないことから、Ring effect の除去など解析上の問題、散乱光の偏光など観測上の問題の両面から現在検討を進めている。



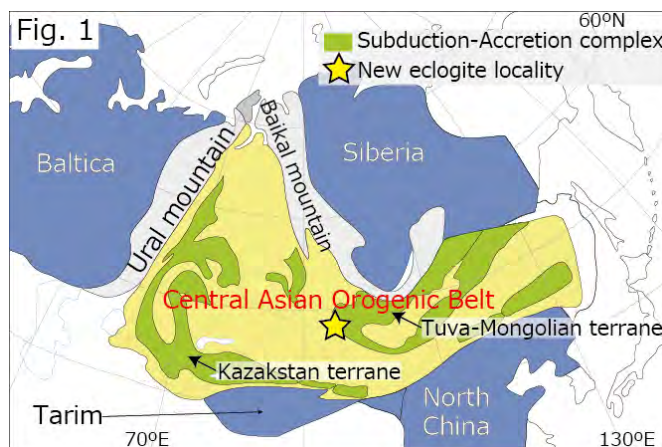
図(上)散乱光のみで行った MAX-DOAS での残差スペクトル、(下) 直達光と散乱光での残差スペクトル

中央アジア造山帯から見つかった古いエクロジヤイトの年代測定
 Age determination of eclogite from the
 Neoproterozoic basement in the CAOB

苗村 康輔

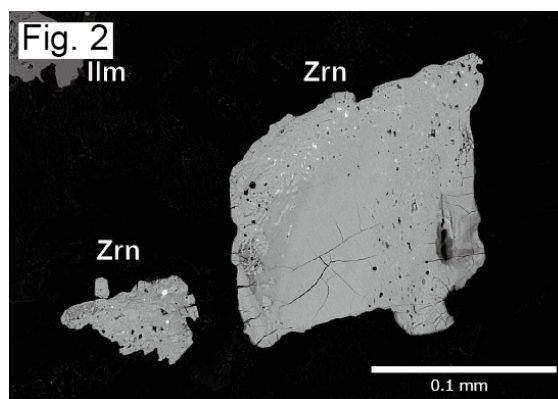
名古屋大学博物館（2019年4月より京都大学理学部）

モンゴルを含む中央アジア地域には、タリム地塊・シベリア地塊・ヨーロッパ楯状地に囲まれた「中央アジア造山帯」が存在する。中央アジア造山帯の基盤岩はロディニア超大陸の周囲に形成されたモンゴル弧とカザフスタン弧であり、7億年以前の年代値を有する花崗岩質地殻で構成される。7億年頃の地質時代は新原生代と呼ばれ、地殻上で最古のエクロジヤイト（50km以上の深度に沈み込んだ玄武岩）の形成された時代である。



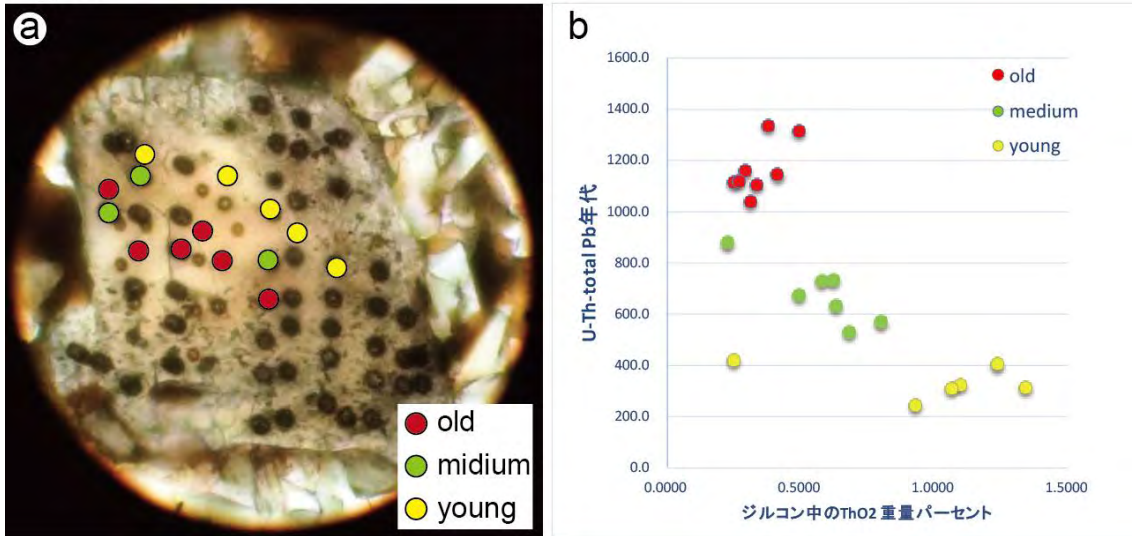
こうした古い地質帯にエクロジヤイトが産出することは稀である。

申請者は、モンゴル北西部のザブハン県から新たにエクロジヤイトを見いだした。ザブハン県には新原生代のモンゴル弧の岩石（Tuva-Mongolia弧という地質帯）が広く分布しており、当該地域も新原生代地殻とされてきた地域だった（図1）。当該地域の主要岩石は石英片岩であり、エクロジヤイトは10メートルサイズのレンズ状に取り込まれて産する。Kozakovほか（2017）は当該地域の変成年代を7億年前と制約した。従って、エクロジヤイトも同様の古い変成年代を持つと推測できるだろう。さらに、当該地域のエクロジヤイトには異様にトリウムに富むジルコン（ $Th_{02} \approx 1$ 重量パーセント）が産することが判明した。このトリウム由来の鉛が10億年以上蓄積されれば、電子プローブマイクロアナライザーで分析可能な濃度に到達すると予想される。そこで、我々は当該地域のエクロジヤイト由来のジルコンのU-Th-total Pb年代をEPMAで測定した（鈴木・加藤，2008）。モンゴル産エクロジヤイトの試料8028には多数のジルコン粒子が観察される。ジルコンは特徴的な内部構造を示し、コア部は均質だがリム部は無数のトリウム酸化物・燐灰石を包有する（図2の白いスポットがトリウム酸化物）。

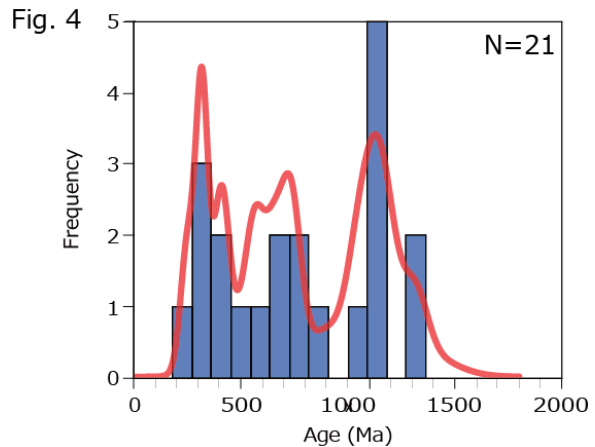


このような特徴は、ジルコンが放射壊変により変質した際に見られるものである。このような変質部は放射鉛が閉鎖系になっていない可能性があるため、年代測定を行うことはできない。今回、ジルコン5粒子からランダムに119点の分析を行った。図3aには分析後のジル

Fig. 3



コン粒子を示した。ジルコン粒子のリム部(変質部)も測定したが、(a)微細な包有物を混在した分析、(b)クラックや変質部を引っかけていない分析点を精査した結果、98点の分析点は棄却された。ジルコンの大部分が変質されているため、年代値をジルコンの成長ゾーニングと関連づけることは困難である。図3bに示したように、ジルコンの年代値はトリウム濃度と負の相関を持つことが分かる。古い年代値を示すジルコンコアはトリウム濃度が0.5重量パーセント以下だが、若い年代値を示す部位は1wt%以上のトリウムを含む。ジルコン中のトリウム含有量はカルシウム濃度と正の相関を示す。ジルコンリムに見られる変質部はトリウムに富む若いジルコンが放射壊変により分解し、トリウム酸化物を析出して形成されたと考えられる。図4では、得られたU-Pb年代値(21点)の誤差を考慮した確率密度分布曲線を赤線で与えている(計算法はSambridge & Compston, 1994に基づく)。確率密度分布に基づいてジルコンの年代値を3つのグループに分類すると、それぞれ



それぞれ 1141 ± 74 Ma, 527 ± 39 Ma, 270 ± 15 Ma という3つの年代値が得られる(誤差は 2σ)。今回、得られたジルコン年代値では、古い年代値は火成作用の年代と考えられる。エクロジャイト変成作用の年代値は、おそらくトリウムに富む若いジルコンの年代値と考えられる。ジルコンは沈み込みプレート内部で起きた炭酸流体活動による溶解-再結晶化作用で変成作用時に若くてトリウムに富むジルコンへと再結晶化したのだろう。従って、エクロジャイト変成作用が起きたのはおそらく新原生代ではなく、古生代後期であり、モンゴルオホーツク海の消滅に伴う沈み込み運動がエクロジャイトを形成した可能性が示唆された。

中国西チンリン造山帯 Jiagantan 金鉱床中のモナザイト CHIME 年代測定
CHIME dating of monazite from the Jiagantan gold deposit
in West Qinling Orogen, China

実松 健造 産業技術総合研究所・地圏資源環境研究部門
大鹿 淳也 中国地質大学・地球資源学院

<研究目的>

西チンリン山脈は、顕生代を通じた北中国地塊と揚子地塊の衝突によって生じた造山帯である。また近年、大型金鉱床の発見が相次いでいる中国有数の産金地帯でもある。研究対象地域は西チンリン造山帯の西縁に位置する。本地域には貫入岩関連型金鉱床、スカルン、造山型金鉱床が分布する。貫入岩に関連した鉱床については248Ma~238Maの年代値が報告されている (Sui et al., 2018) もの、その他の鉱床形成年代は明らかになっていない。2005年に発見されたJiagantan金鉱床は下部三疊紀のLong-wuhe砂泥互層を母岩とする堆積岩胚胎性の造山型金鉱床である。鉱床形成に関連する貫入岩の存在は認められず、鉱化は北西—南東の逆断層によって構造的に規制されている。

変質鉱物は主として石英、アンケル石、方解石、絹雲母であるが、変質が極めて弱いため、絹雲母を使ったアルゴン—アルゴン年代測定が行えない。一方、鉱石、変質母岩には碎屑起源、熱水起源のモナザイトやゼノタイム等のウラン—鉛年代測定が可能なリン酸塩鉱物が含まれる。熱水起源のモナザイトから高分解能の年代を得ることができれば、正確な鉱化年代を測定することができる (Suzuki and Kato, 2008)。

レーザアブレーションICP質量分析法や二次イオン質量分析法を用いた金鉱床のウラン—鉛年代測定については複数の報告 (例えばRasmussen et al., 2001) が存在するが、CHIME法を用いたものは極めて少ない。本研究では、変質鉱物が未発達な金鉱床におけるモナザイトCHIME年代測定の適応性を検証する。

<研究方法>

鉱石サンプルの薄片観察、BSE像観察から、鉱化との関連を示す熱水起源のモナザイトを抽出した。熱水起源のモナザイトの特徴として、ゼノタイムやチタン石との共生関係、黄鉄鉱中の包有物、碎屑性モナザイトの変質・交代、石英硫化物脈中に見られる20 μm以下の粒子が挙げられる (Fig.1)。50~100 μmの碎屑性に対し、熱水起源のモナザイトは最大径40 μm以下である。これら微細な熱水起源のモナザイトをCHIME年代測定に供した。

分析は名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定研究部の日本電子JCXA-733電子線マイクロプローブを用いて、加速電圧15kV・プローブ径5 μm・プローブ電流 1.7×10^{-8} Aの条件で行い、X線はピーク、バックグラウンドともに1200秒間積算した。CHIME年代はKato et al. (1999) によるプログラムを用いて計算した。

<結果>

14のモナザイト粒子に対し41点の分析を行い、うち29点について年代値を得た。モナザイトは REEPO_4 , (Th, U)Ca(PO₄)₂, (Th, U)SiO₄, CaSO₄の4端成分で表わされるので、 $(\text{Ca} + \text{Si}) / (\text{Th} + \text{U} + \text{Pb} + \text{S})$ は1になることが期待されるが (鈴木, 2011)、13測定点で大きく1からはずれた (>4.0)。 $(\text{Ca} + \text{Si}) / (\text{Th} + \text{U} + \text{Pb} + \text{S}) < 3$ の測定結果をTable 1.に示す。結果は69Maから477Maを示し、鉱床の形成年代を制約するには至らなかった。

<考察>

年代が計算できなかった試料についてはPbO含有量が検出下限以下であった。全体にウラン及び鉛の含有量が小さいことが年代値の精度に影響していると考えられる。一部のモナザイト粒子は電子線の照射痕が大きくなっているため、メタミクト化している可能性もある (鈴木, 2011; Fig.1)。また、 $(\text{Ca} + \text{Si}) / (\text{Th} + \text{U} + \text{Pb} + \text{S})$ が1を大きく超える試料についてはSiO₂含有量が高く、石英包有物ないし周辺の石英を測定している可能性が考えられる。モナザイトの粒径に制約があるため、包有物や平滑な表面を測定できなかった可能性が高い (Fig.1)。

<まとめ>

変質鉱物が未発達な造山型金鉱床中のモナザイトを用いてCHIME年代の測定を試みた。ウラン、鉛の含有量が小さい測定点は年代値の誤差が大きい。正確な年代決定にはより多くの測定点が必要であるが、特に粒径20 μm以上で包有物の少ないモナザイト試料が不可欠である。

Table1. CHIME U-Th-Pb data of hydrothermal monazite from the Jiagantan gold deposit. The contents are presented in percentage. Ratio represents (Ca+Si)/(Th+U+Pb+S).

Sample	ThO ₂	UO ₂	PbO	Y ₂ O ₃	CaO	S	SiO ₂	K ₂ O	Nb ₂ O ₅	La ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃	ratio	Age/Ma
1413 mon1	2.5408	0.0919	0.0339	1.0240	0.3374	0.0028	0.2804	0.0528	0.0246	15.04	30.25	1.047	282.5
1413 mon1	1.2590	0.0328	0.0277	1.2554	0.2908	1.5295	0.2656	0.0102	0.0000	14.39	27.00	0.182	477.7
1413 mon2	0.8880	0.0164	0.0100	1.0910	0.2534	2.3771	0.5673	0.0148	0.0079	15.83	27.31	0.180	252.5
1413 mon3	0.5780	0.0058	0.0063	0.8743	0.2252	0.1309	0.0775	0.0029	0.0000	16.24	29.74	0.839	248.9
1413 mon3	0.7901	0.0124	0.0117	1.1278	0.3403	0.0851	0.1104	0.0024	0.0000	14.68	29.38	1.376	333.0
1413 mon3	0.6875	0.0137	0.0046	1.0503	0.3003	0.0906	0.0657	0.0022	0.0000	14.57	29.65	1.172	150.2
1413 mon3	0.5904	0.0102	0.0018	0.9844	0.2869	0.1208	0.0811	0.0051	0.0083	15.00	29.71	1.069	69.1
1413 mon3	0.7547	0.0235	0.0083	1.7207	0.2888	0.0977	0.1275	0.0089	0.0102	12.73	27.06	1.206	237.3
1413 mon3	1.4906	0.0533	0.0060	1.2744	0.3516	0.1158	0.1338	0.0075	0.0000	12.44	26.83	0.896	85.3
1413 mon3	0.7600	0.0588	0.0067	1.8842	0.2007	0.1045	0.1215	0.0062	0.0000	12.26	27.04	0.877	167.0
1413 mon3	1.0764	0.0479	0.0052	1.0296	0.2360	0.1209	0.1027	0.0064	0.0000	12.47	27.51	0.735	100.7
OO06 mon7	2.5743	0.0906	0.0237	1.3010	0.5146	0.0075	0.4760	0.0640	0.0152	16.14	29.59	1.640	196.1
OO10 mon9	0.2327	0.0026	0.0017	0.9798	0.1005	0.0135	0.5287	0.0200	0.0095	15.40	27.78	8.025	170.4
OO10 mon14	0.9677	0.0110	0.0124	1.8679	0.4874	0.0268	0.3075	0.0092	0.0000	14.26	27.68	3.004	293.3
OO10 mon14	0.9364	0.0090	0.0066	1.3650	0.4501	0.0181	0.1446	0.0080	0.0072	15.27	28.82	2.499	161.8
OO10 mon14	1.1024	0.0171	0.0100	1.4589	0.4168	0.0344	0.1466	0.0041	0.0000	14.69	28.23	1.843	203.8

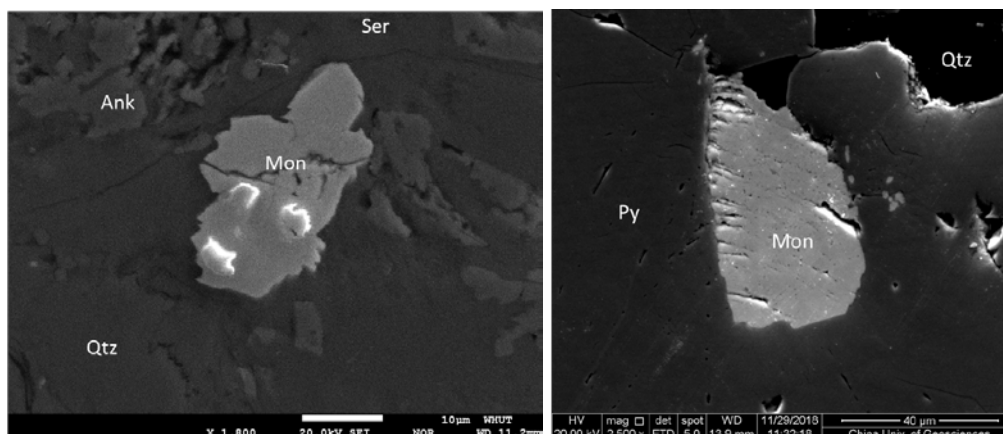


Fig. 1 Back-scattered electron images of monazite grains from the Jiagantan gold deposit.

<引用文献>

- KATO, T., SUZUKI, K. and ADACHI, M. (1999) The computer program for the CHIME age calculation. *Journal of Earth and Planetary Sciences Nagoya University*, 46, 49-56.
- SUI, J., LI, J., JIN, X., VASCONCELOS, P. and ZHU, R. (2008) ⁴⁰Ar/³⁹Ar and U-Pb constraints on the age of the Zaozigou disseminated gold deposit, Xiahe-Hezuo district, West Qinling orogen, China: Implications for the early Triassic reduced intrusion-related gold metallogeny. *Ore Geology Reviews*, 101, 85-899
- Suzuki, K. and Kato, T. (2008) CHIME dating of monazite, xenotime, zircon and polycrase: protocol, pitfalls and chemical criterion of possibly discordant age data. *Gondwana Research*, 14, 569-586
- 鈴木和博 (2011) EPMAによるTh-U-Pb 化学アイソクロン年代測定法の開発と鉱物粒子年代測定への展開. *地球化学*, 45, 113-128
- RASMUSSEN B., FLETCHER I. R. and MCNAUGHTON N. J. (2001) Dating low-grade metamorphic events by SHRIMP U-Pb analysis of monazite in shales. *Geology*; October 2001; v. 29; no. 10; p. 963-966.

海洋底橄欖岩と造山型橄欖岩の全岩化学組成の分析

Whole rock analyses of mantle peridotites derived from oceanic and continental mantle

道林克禎・加藤丈典、名古屋大学・環境学研究所

研究目的

本研究では、蛍光エックス線分析装置を用いて海洋底橄欖岩と造山型橄欖岩の全岩化学組成分析を実施して、橄欖岩の岩石学的特徴を明らかにすることを目的とした。使用した岩石試料は1983年にProtea.5航海で南西インド洋海嶺マリオントランスフォーム断層から採取されたかんらん岩である。このかんらん岩には含水鉱物として多量の角閃石が含まれていることから全岩化学組成が元のかんらん岩から大きく変化している可能性がある。

研究方法

かんらん岩試料を粉砕して粉末状にした後にガラスビードを作成した。その後、蛍光エックス線分析装置によって主要元素組成を分析した。

研究結果

測定したかんらん岩試料の全岩化学組成は、超塩基性から塩基性の化学組成を示した。今後は、この結果を元にしてかんらん岩の吸水反応系を明らかにしていく。

関連した学会発表

柿畑優季, 2019. 南西インド洋海嶺 Marion transform 断層で採取された変形かんらん岩の構造岩石学的特徴. 変成岩などシンポジウム 2019, ホテル竹島, 蒲郡, 3月18日.

Kakihata, Y., Michibayashi, K., Dick, H. J., 2018. Direct evidence of water infiltration from a transform fault: Marion transform fault, Southwest Indian Ridge. AGU Fall Meeting 2018, T21D-0242, Walter E. Washington Convention Center, Washington D.C., USA, 11 December.

柿畑優季・道林克禎・Dick Henry, 2018. トランスフォーム断層下の含水条件におけるマントル延性変形メカニズム. 日本地質学会第125年学術大会(2018つくば特別大会), R2-O-2, 産業総合研究所, つくば, 12月2日.

5. 奨励共同研究 目次詳細

(所属・学年は平成31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
辻根 成	富山大学	大学院理工学教育部 博士後期課程 数理・ ヒューマンシステム 科学専攻	1年	5次精度の保存型無振動スキームのパラメータ チューニングと Vlasov シミュレーションへの 適用	227

5次精度の保存型無振動スキームのパラメータチューニングと
 Vlasov シミュレーションへの適用
 Parameter tuning of a 5th order
 conservative and non-oscillatory scheme
 and its application to Vlasov simulation

辻根 成、富山大学大学院・理工学教育部・博士課程2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・准教授）
 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】 Vlasov シミュレーションはプラズマの位相空間（空間－速度空間）における分布関数を直接取り扱う手法である。いくつか手法が提案されている中、「保存型無振動スキーム」は保存型セミラグランジュ法により質量保存性と計算コスト軽減を実現し、またリミッター機能により分布関数の無振動性と正值性を保証している(Umeda *et al.*, CPC, 2012)。このリミッター機能には分布の勾配を制御するパラメータが存在するため、これらを最適化する必要がある。本研究では、最終的に分布の形状に応じて最適なパラメータが選択される、5次精度の保存型無振動スキームを構築することを目標としている。これまで、5次精度の保存型無振動スキームの最適なパラメータセットを見つけるために、ガウシアン分布に対してフラックスの数値解を求め、解析解との誤差の評価を行った。その結果、第一に、リミッターはガウシアン分布の裾で必要になることがわかった。第二に、誤差が最小となるときの2種類のパラメータには関係性があることが明らかとなった。今回は、分布をガウシアンから、曲率の異なるスーパーガウシアンに変更して、パラメータセットの傾向や誤差について明らかにする。

【研究方法】 分布を曲率の異なるスーパーガウシアンに変更して、フラックスの数値解と解析解の誤差が最小となるパラメータセットの探索を行う。数値解と解析解の誤差はそれぞれの全ての CFL 数に対するフラックスの差を f で割ったものの二乗を平均して求めた。 f が単調増加している場合、数値解となる保存型無振動スキームのリミッターは

$$L_{3-2} = \min[(f_3 - f_2), a_p(f_{max} - f_3)] \quad L_{2-1} = -\min[(f_1 - f_2), b_p(f_3 - f_{min})]$$

と定義される。リミッターは \min 関数によって、勾配がより滑らかなとなる項を選択する。パラメータ a_p , b_p が変化することで、選択される項も変化する。また、フラックスの解析解は以下のようにして求めることができる。

<p>スーパーガウシアン関数</p> $f_{\text{model}} = \frac{n}{\sqrt{2V}\Gamma(\frac{1}{2n}, 0)} \exp\left(-\left(\frac{x}{\sqrt{2V}}\right)^{2n}\right)$ <p>フラックスの解析解</p> $U_{A, i+\frac{1}{2}}(\mu) = \frac{\text{sign}(x_{i+\frac{1}{2}})}{2\Delta x} - \frac{\text{sign}(x_{i+\frac{1}{2}} - \mu\Delta x)}{2\Delta x}$ $- \frac{\text{sign}(x_{i+\frac{1}{2}})}{2\Delta x\Gamma(\frac{1}{2n}, 0)} \Gamma\left(\frac{1}{2n}, \left(\frac{ x_{i+\frac{1}{2}} }{\sqrt{2V}}\right)^{2n}\right) + \frac{\text{sign}(x_{i+\frac{1}{2}} - \mu\Delta x)}{2\Delta x\Gamma(\frac{1}{2n}, 0)} \Gamma\left(\frac{1}{2n}, \left(\frac{ x_{i+\frac{1}{2}} - \mu\Delta x }{\sqrt{2V}}\right)^{2n}\right)$	<p>第2種不完全ガンマ関数</p> $\Gamma(\alpha, \chi) = \int_{\chi}^{\infty} \tau^{\alpha-1} \exp(-\tau) d\tau$ <p>$x_i = i\Delta x$ i : 格子点のインデックス Δx : 刻み幅</p>
---	--

変化する a_p, b_p の中で誤差が最小となるパラメータ a, b を計算した後、最小二乗法によって回帰直線を求めることで誤差が最小となるパラメータ a, b の関係式を導出した。

【研究結果と考察】

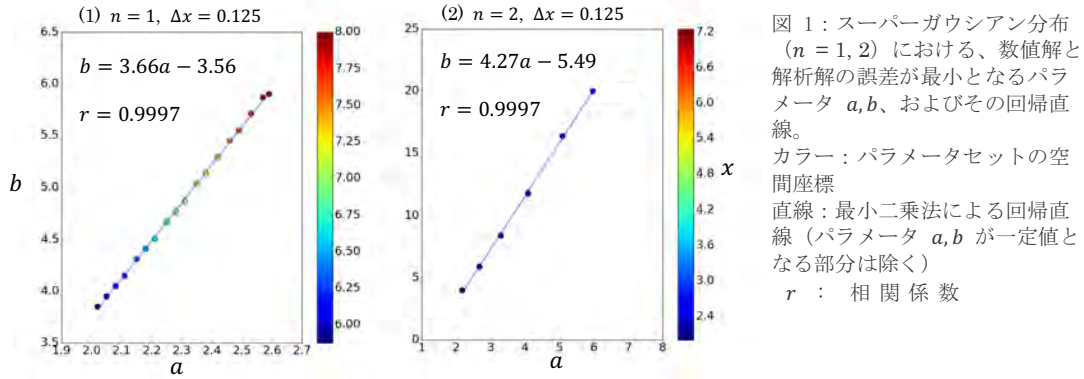


図 1：スーパーガウシアン分布 ($n = 1, 2$) における、数値解と解析解の誤差が最小となるパラメータ a, b 、およびその回帰直線。
 カラー：パラメータセットの空間座標
 直線：最小二乗法による回帰直線（パラメータ a, b が一定となる部分は除く）
 r ：相関係数

図1はスーパーガウシアン分布 ($n = 1, 2$) における、数値解と解析解の誤差が最小となるパラメータ a, b 、およびその回帰直線である。

図1(1)と(2)を比較すると、回帰直線は異なる。つまり、 $a - b$ 関係式は n に依存することがわかる。この他に $a - b$ 関係式は Δx にも依存することがわかった。

次にスケーリング則を導入することで Δx の依存を回避することを考えた。

スケーリング則を用いた回帰直線

$$b_s = \frac{p}{(\Delta x)^q} (a - 2) + d$$

$$d = \frac{b_1(a = 2) + b_3(a = 2)}{2}$$

$$p = \frac{b_1 - d}{a - 2} (\Delta x_1)^q$$

$$q = \log_{\frac{\Delta x_3}{\Delta x_1}} \frac{b_1 - d}{b_3 - d}$$

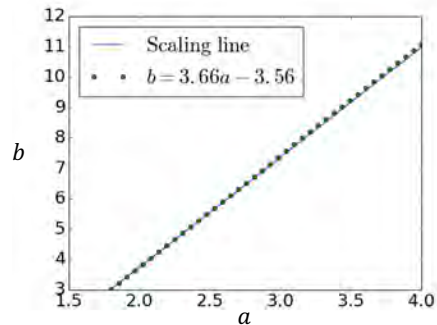


図 2：図 1 (1) の回帰直線（緑点）とスケーリング後の回帰直線（青線）

ここで、インデックス1と2はそれぞれ $n = 1$ における $\Delta x = 0.148, 0.108$ より得られるパラメータ a, b である。図2 は 図1(1) で示された回帰直線とスケーリング後の回帰直線を示している。スケーリング則を導入することで、 Δx を元に $a - b$ 関係式は求まることを確認できる。

この成果は、研究成果[1]で発表した。また、宇宙プラズマ中の不連続構造についても発表を行った[2]。

【研究成果】

[1] 辻根成, 梅田隆行, 成行泰裕 & 春木孝之, Parameter tuning of a 5th order conservative and non-oscillatory scheme with super Gaussian distributions, 日本地球惑星科学連合2018年大会, 幕張メッセ, 2018年5月 (ポスター発表)

[2] N. Tsujine, T. Haruki, T. Umeda, Y. Nariyuki & M. Sato, The condition of electron temperatures to maintain total pressure in contact discontinuities: kinetic simulations, 地球電磁気・地球惑星圏学会 第143回総会及び講演会 (2018年 秋学会), 名古屋, 2018年 11月 (口頭発表)

6. 研究集会 目次詳細

(所属・職名は平成31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
久保田 拓志	宇宙航空研究開発機構	第一宇宙技術部門 地球観測研究センター	主任研究開発員	衛星による高精度降水推定技術の開発とその利用の研究企画のための集会	229
佐藤 永	海洋研究開発機構	北極環境変動総合研究センター	研究員	統合陸域生態系-大気プロセス研究計画 (iLEAPS) : 観測とモデルによる統合的理解	231
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	252
稲津 将	北海道大学	大学院理学研究院	教授	グローバルスケールとメソスケールを貫く気象学	254
原圭一郎	福岡大学	理学部地球圏科学科	助教	大気・雪氷・海洋間の物質交換・循環と極域への物質輸送に関する研究集会	256
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	258
榎並正樹	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授	第31回(2018年度)名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定研究部シンポジウム	259
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	261
根田昌典	京都大学	大学院理学研究科	助教	大気海洋相互作用に関する研究集会	263
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	265
加藤千尋	信州大学	理学部	准教授	太陽地球環境と宇宙線モジュレーション	267
中野満寿男	海洋研究開発機構	シームレス環境予測研究分野	技術研究員	台風セミナー2018	272
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	275
成行泰裕	富山大学	人間発達科学部	准教授	国際研究集会「太陽圏物理学の最新動向」	277
野澤悟徳	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	准教授	EISCAT研究集会	283
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6回アジア海色ワークショップ「第15回日韓海色ワークショップ」の開催	285
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	287

(所属・職名は平成31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
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	288
桂華邦裕	東京大学	理学系研究科	助教	シンポジウム ― 太陽地球環境研究の現状と 将来	289
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	291
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	293
尾花由紀	大阪電気通信大学	工学部基礎理工学科	准教授	「プラズマ圏の観測とモデリング」研究集会	296
佐々井義矩	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	研究員	宇宙素粒子若手の会 2018年秋の研究会（応用 部門）	297
前澤裕之	大阪府立大学	大学院理学系研究科	准教授	東アジア・ミリ-テラヘルツ波受信機技術に関 するワークショップ	298
田中良昌	国立極地研究所	極域環境データサイ エンスセンター	特任准教授	太陽地球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	299
永岡賢一	核融合科学研究所	プラズマ加熱物理研 究系	准教授	実験室・宇宙プラズマ研究会「プラズマ物理 のフロンティア」	301
伊藤耕介	琉球大学	理学部	助教	2020年国際共同観測実験(PRECIP2020 / TAHOPE / T-PARCII)に関する計画会合	303
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	305
松田昇也	宇宙航空研究開発機構	宇宙科学研究所	宇宙航空プ ロジェクト 研究員	あらせ衛星の電場・プラズマ波動観測データ を用いた解析ワークショップ	307
遠藤貴洋	九州大学	応用力学研究所	准教授	東シナ海の物質循環ならびに基礎生産に関わ る物理・化学・生物過程	308
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	大気化学分野における若手研究者の国際交流 およびキャリア形成プログラム	310
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	312
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	314
村上 豪	宇宙航空研究開発機構	宇宙科学研究所 太陽系科学研究系	助教	水星探査の視点から見た惑星磁気圏研究	316
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	317

(所属・職名は平成31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
横山竜宏	京都大学	生存圏研究所	准教授	中間圏・熱圏・電離圏研究会	319
平原聖文	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授	宇宙惑星結合系の包括的理解と将来探査計画： 地球、系内・系外惑星における超高層大気・外 気圏の融合的研究の創設に向けて	321
篠原 育	宇宙航空研究開発機構	宇宙科学研究所・太陽 系科学研究系	准教授	複数衛星観測による内部磁気圏探査	323
篠原 学	鹿児島工業高等専門 学校	一般教育科	教授	地域ネットワークによる宇宙天気観測・教育 活動に関する研究集会	328
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	大気エアロゾルシンポジウム	330
桑原 ビクター 伸一	創価大学	教育学部・工学研究 科	教授	水圏クロロフィル蛍光に関する知識統合と研究 戦略	332
高橋暢宏	名古屋大学	宇宙地球環境研究所 飛翔体観測推進セン ター	教授	JpGUセッション「地球惑星科学における航空機 観測利用の推進」	334
西谷 望	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	准教授	SuperDARN研究集会	337
久保勇樹	情報通信研究機構	電磁波研究所 宇宙環境研究室	研究マネー ジャー	STE研究連絡会現象報告会および現象解析ワー クショップ(第一回：太陽活動遷移の影響)	340
阿部修司	九州大学	国際宇宙天気科学・ 教育センター	学術研究員	STE研究連絡会現象報告会および現象解析ワー クショップ(第二回：磁気圏・電離圏プラズ マ、超高層大気変動の相互作用)	341
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 (第3回)	342
持田陸宏	名古屋大学	大学院環境学研究科	准教授	大気エアロゾルに関わる不均一速度論に関する 国際ワークショップ(第4回)	343
埜 千尋	情報通信研究機構	電磁波研究所 宇宙環境研究室	研究員	STEシミュレーション研究会：プラズマ-大気複 合システムのシミュレーション研究	344
市川 香	九州大学	応用力学研究所	准教授	小型飛翔体による海象観測； 海洋科学は小型 衛星のパートナーをどう選ぶか	345
齋藤義文	宇宙航空研究開発機構	宇宙科学研究所 太陽系科学研究系	教授	極域電離圏における電離大気流出現象のメカニ ズム解明を目指した戦略的研究	347
三澤浩昭	東北大学	大学院理学研究科	准教授	第20回 惑星圏研究会	349
松本 淳	首都大学東京	都市環境科学研究科	教授	第11回ACRE会議	351

衛星による高精度降水推定技術の開発とその水文学への利用の研究企画のための集会
Research project meeting for development and application of high-accuracy satellite precipitation retrieval technique

久保田拓志 宇宙航空研究開発機構 地球観測研究センター

集会の概要：

全球的な降水情報は、大気、海洋、陸面などの間の様々な時間・空間スケールの相互作用の理解のために不可欠なパラメータの1つである。全球的にある程度の時間・空間分解能の降水情報を与える観測手段として、衛星リモートセンシング技術が近年注目されている。全球降水観測計画（GPM）主衛星には、日本が開発した世界初の衛星搭載二周波降水レーダである DPR が搭載されている。

また GPM のプロダクトとして、日本で開発した GSMaP アルゴリズムは、ある程度の時間・空間分解能と精度をもつ降水データを作るために、各種リモートセンシングの情報を組み合わせて使うアルゴリズムの1つである。このアルゴリズムは、まず、マイクロ波放射計から降水強度をリトリバルする。次に、このデータを可視赤外放射計のデータを用いて移流と強度補正をすることで、高い時空間分解能の降水強度を推定する。

本研究集会の目的は、DPR や GSMaP のアルゴリズム開発や衛星降水プロダクトの利用に関連した研究について、現状のまとめを行い、今後の中期的な課題を明確にし、研究の取り組み方を考えることである。

研究報告：

研究集会を2019年3月18日（月）～19日（火）に、名古屋大学環境総合館 1F レクチャーホールで開催した。今回は59名が参加した。今回はGPM研究集会として、GSMaPのみならず、DPRも主な議題としたが、15件ものDPRに関連する発表が集まり、DPRの高い注目度が実感できた。また、前年度までと同じく、衛星シミュレータ研究会との合同研究集会の形をとった。

今回の GPM 関係の発表を大まかに分類すると以下のようになる：

- 1) DPR や GSMaP アルゴリズム(マイクロ波放射計、赤外、雨量計)の開発
- 2) DPR や GSMaP データの検証に関する研究
- 3) DPR や TRMM データなどを用いた降水特性の解析
- 4) GSMaP を用いた極端降水の解析
- 5) GSMaP 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

成果：

今回の研究会で、広い範囲での GPM に関連した研究成果を概観することが出来た。特に、2014 年 2 月の GPM 主衛星の打上げ後、約 5 年間の蓄積による DPR データを用いた発表は大きく次の 3 点に分類できる。

- ・ DPR の二周波観測による降水粒子判別や雨滴粒径分布の解析
- ・ DPR の高感度観測による浅い降水や Anvil の統計解析
- ・ DPR で初めて実現した中緯度観測による降水に関する新たな知見

このような解析は、気象学・気候学的に高い価値があり、世界初の二周波観測や中緯度観測による解析は非常に新鮮で、今後の発展も大きく期待できる。

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 DPR の鉛直情報は、降水プロセスの理解の向上に有用で、衛星シミュレータと組み合わせることで、気候モデルの雲・降水過程の評価に役立つ。特筆すべき研究発表として、DPR による降水粒子情報を基準として、衛星シミュレータ Joint-Simulator を用いて全球雲解像モデル NICAM の降水スキームを評価した研究を挙げる事ができる。DPR によりモデル評価の新たな視点を示した点は、非常に興味深かった。

以上

統合陸域生態系-大気プロセス研究計画 (iLEAPS) : 観測とモデルによる統合的理解

Integrated Land Ecosystem-Atmosphere Processes Study (iLEAPS): Comprehension of processes, and collaborations between observation studies and simulations

佐藤永、海洋研究開発機構・北極環境変動総合研究センター

本研究集会は、2018年9月21日(金)～22日(土)の2日間にわたって、名古屋大学研究所共同館Ⅱ・409室において実施された。14件の話題提供が行われ、それについての質疑応答を行った。主催者・話題提供者を含む参加者数は25名であった。集会初日の夜には、懇親会も行われ、国内を中心とする関連研究者間の交流を深めた。

ところで本研究集会の目的は、大気-陸域プロセスに関心のある研究者が小規模な(議論の行いやすい)会合を持つことで、各自の最新の研究成果を報告し、その統合的理解に向けた情報共有と議論を行うことである。その結果、大気-陸域プロセスをベースとした気候変動予測研究の推進において、今後さらに観測とモデルによる統合を深めることが必要であるとの共通認識を得ることが出来た。

本研究集会の終了後に、引き続き同じ会場にて日本学術会議第24期・第2回iLEAPS小委員会を実施した。この会合では、iLEAPS-Japanは、日本学術会議の第24期において、以下の活動を行うことで合意した。これらは全て、本研究集会で得られた共通認識を具体化するものである。

1) 日本を含むアジアやユーラシアでの研究戦略

・物質循環、特に温室効果ガスや陸域生物起源有機エアロゾルの観測を、データ希薄域であるアジアやユーラシアにおいて、各国との強い連携によって進める。

2) 日本のiLEAPS (iLEAPS-Japan) の今後の方向性

・水・物質循環に関わる陸域生態系モデル開発と、確固たる観測データに立脚したモデル検証研究を推進する。

・観測スキルやモデリングの技術移転・教育を行う。(対象は日本を含む各国の若手研究者)

・緩和策の策定に資する、科学的知見を提供する。



iLEAPS-Japan 研究集会 2018

大気－陸面プロセスの研究の進展：観測とモデルによる統合的理解

要旨集*

開催日 : 2018年9月21日(金)・22日(土)

場所 : 名古屋大学研究所共同館Ⅱ・409室 (地球水循環共用室)

※(兼)

名古屋大学宇宙地球環境研究所
平成30年度共同利用・共同研究(研究集会)
報告書

開催趣旨

iLEAPS (Integrated Land Ecosystem- Atmosphere Process Study : 統合陸域生態系-大気プロセス研究計画) は、大気-陸域境界で生じる物理的・化学的・生物学的な諸過程についての理解の促進を目的とした国際研究計画です。iLEAPS は、持続可能な人間社会の構築を目的とした国際的な研究プラットフォームである Future Earth の、GRPs (Global Research Projects) の一つとして位置づけられています。我が国においては、日本学術会議 環境学委員会・地球惑星科学委員会合同 FE・WCRP 合同分科会の下部組織として iLEAPS 小委員会が設けられています。大気-陸域プロセスに関わる研究としては、これまで野外観測、広域モニタリングデータ解析、数値モデル開発が行われ、個葉の環境応答からグローバルな変動まで様々な時間・空間スケールにおける研究が行われてきました。iLEAPS は、このような多岐にわたる手段から得られた様々な知見の統合的理解を目指しています。本研究集会では、大気-陸域プロセスに関心のある研究者にお集まりいただき、各自の最新の研究成果を報告し、その統合的理解に向けた情報共有と議論を行います。特に、観測とモデルによる統合的理解について議論し、大気-陸域プロセスをベースとした気候変動予測研究の推進において、今後何が必要であるかについて議論します。

文責：佐藤永 (海洋研究開発機構)

プログラム

9月21日(金)

- 13:00~13:05 主催者挨拶とロジ説明 (佐藤永・iLEAPS-Japan 小委員会 幹事)
- 13:05~13:10 主旨説明 (檜山哲哉・iLEAPS-Japan 小委員会 委員長)
- 13:10~13:35 Akihiko Ito^{1,2*}, Kazuya Nishina¹, Kentaro Ishijima³, Shoji Hashimoto^{4,5}, Motoko Inatomi⁴ (¹ NIES, ² JAMSTEC, ³ MRI, ⁴ FFPRI, ⁵ Univ. of Tokyo)
Emissions of nitrous oxide (N₂O) from soil surfaces and their historical changes in East Asia: a model-based assessment
- 13:35~14:00 Kengo Sudo^{1,2*}, Shuyue Zhao¹, Kazuyuki Miyazaki², Akihiko Ito³ (¹ Nagoya Univ., ² JAMSTEC, ³ NIES)
Improving estimation of global BVOCs emissions
- 14:00~14:25 Michihiro Mochida (Nagoya Univ.)
Biogenic secondary organic aerosol and cloud condensation nuclei over a forest in Wakayama, Japan
- 14:25~14:50 Mikita Okamura^{1*}, Masahito Ueyama¹, Akihiko Ito², Hiroki Iwata³, Yoshinobu Harazono¹, Mathias Goeckede⁴ (¹ Osaka Prefecture Univ., ² NIES, ³ Shinshu Univ., ⁴ Max Planck Institute for Biogeochemistry)
Modification of the ecosystem model, VISIT, for predicting carbon fluxes at boreal and arctic ecosystems
- 14:50~15:15 Hisashi Sato (JAMSTEC)
Simulating topographic controls on the abundance of larch forest in eastern Siberia, and its consequences under changing climate
- 15:15~15:30 休憩
- 15:30~15:55 Tomo'omi Kumagai^{1*}, Taro Nakai², Hisashi Sato³ (¹ The Univ. of Tokyo, ² National Taiwan Univ., ³ JAMSTEC)
Simulation of drought-induced tree mortality using a new individual and hydraulic trait-based mechanistic model (S-TEDy)
- 15:55~16:20 Haruki Sakamoto^{1*}, Tomo'omi Kumagai¹ (¹ The Univ. of Tokyo)
A mechanistic model of methane and carbon dioxide emissions on changing soil moisture conditions
- 16:20~16:45 Hiroki Momiyama^{*}, Tomo'omi Kumagai, Tomohiro Egusa (The Univ. of Tokyo)
Effect of forest thinning on low-water discharge from a coniferous plantation watershed in Japan: model analysis
- 16:45~17:10 Julie K. Michelon^{1*}, Tomo'omi Kumagai², Tetsuya Hiyama³, Hatsuki Fujinami³, Kazuho Matsumoto⁴, Tomonori Kume⁵ and Takami Saito⁶ (¹ Nagoya Univ., ² The Univ. of Tokyo, ³ Nagoya Univ., ⁴ Univ. of the Ryukyus, ⁵ Kyushu Univ., ⁶ Forest Research and Management Organization)
Response of a Bornean Rainforest to the Climatic Changes imposed by ENSO during 2009-2015
- 17:10~17:30 第一日目・総括
- 18:00~20:00 懇親会 (レストラン・花の木)

※発表は、プレゼンテーション 15分+質疑応答 10分

9月22日(土)

- 09:00~09:25 Hazuki Arakida^{1*}, Shunji Kotsuki¹, Shigenori Otsuka¹, Yohei Sawada^{1,2},
Takemasa Miyoshi¹ (¹RIKEN-CCS, ²MRI)
Data assimilation experiments with MODIS LAI observations and the dynamic
global vegetation model SEIB-DGVM over Siberia
- 09:25~09:50 Takeshi Ise^{1,2*} (¹Kyoto Univ., ²PRESTO, Japan Science and Technology
Agency)
Recent advancements in studies concerning terrestrial ecosystems
- 09:50~10:15 Takeshi Yamazaki^{*}, Shin Fukui, Toshiki Iwasaki, Takahiro Sasai (Tohoku
Univ.)
Regional Japan Reanalysis Using conventional data
- 10:15~10:30 休憩
- 10:30~10:55 Kentaro Hayashi (NIEAS)
Hotspots of nitrogen cycle under seabird cliffs in Svalbard, the European High
Arctic
- 10:55~11:20 Masayuki Kondo¹, Prabir K. Patra², Kazuhito Ichii^{1,3} (¹Chiba
Univ., ²JAMSTEC, ³NIES)
Narrowing the gap in terrestrial CO₂ budget estimates
- 11:20~11:30 第二日目・総括
- 11:30~11:40 休憩
- 11:40~12:10 第24期・第2回 iLEAPS 小委員会

※発表は、プレゼンテーション 15分+質疑応答 10分

参加者一覧

氏名(五十音順・敬称略)	Name	所属	職位	e-mail
阿部 学	Manabu ABE	海洋研究開発機構	技術副主任	
荒木田 葉月	Hatsuki ARAKIDA	理化学研究所 計算科学研究センター	テクニカル スタッフ	
伊勢 武史	Takeshi ISE	京都大学フィールド科学教育研究センター	准教授	
市井 和仁	Kazuhito ICHII	千葉大学環境リモートセンシング研究センター	教授	
伊藤 昭彦	Akihiko ITOH	国立環境研究所 地球環境研究センター	室長	
植山 雅仁	Masahito UEYAMA	大阪府立大学大学院生命環境科学研究科	准教授	
岡村 幹太	Mikita OKAMURA	大阪府立大学大学院生命環境科学研究科	M1	
金森 大成	Hironari KANAMORI	名古屋大学 ISEE	研究員	
熊谷 朝臣	Tomo'omi KUMAGAI	東京大学大学院農学生命科学研究科	教授	
近藤 雅征	Masayuki KONDO	千葉大学環境リモートセンシング研究センター	特任助教	
坂本 春樹	Haruki SAKAMOTO	東京大学大学院農学生命科学研究科	M1	
佐藤 永	Hisashi SATO	海洋研究開発機構	研究員	
須藤 健悟	Kengo SUDO	名古屋大学大学院環境学研究科	准教授	
高梨 聡	Satoru TAKANASHI	森林総合研究所 関西支所	主任研究員	

白 洋	Yang BAI	名古屋大学大学院環境学研究科	M1	
林 健太郎	Kentaro HAYASHI	農業・食品産業技術総合研究機構農業環境変動研究センター	ユニットリーダー	
平野 高司	Takashi HIRANO	北海道大学大学院農学研究院	教授	
檜山 哲哉	Tetsuya HIYAMA	名古屋大学 ISEE	教授	
Julie MICHELON	Julie MICHELON	名古屋大学大学院環境学研究科	D3	
村岡 裕由	Hiroyuki MURAOKA	岐阜大学流域圏科学研究センター	教授	
持田 陸宏	Michihiro MOCHIDA	名古屋大学 ISEE	教授	
粂山 寛樹	Hiroki MOMIYAMA	東京大学大学院農学生命科学研究科	M1	
森野 祥平	Shohei MORINO	名古屋大学理学部	B4	
山崎 剛	Takeshi YAMAZAKI	東北大学大学院理学研究科	教授	
Daqing YANG	Daqing YANG	名古屋大学 ISEE	特任教授	

発表要旨

Emissions of nitrous oxide (N₂O) from soil surfaces and their historical changes in East Asia: a model-based assessment

Akihiko Ito^{1,2*}, Kazuya Nishina¹, Kentaro Ishijima³, Shoji Hashimoto^{4,5}, Motoko Inatomi⁴

¹ National Institute for Environmental Studies

² Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

³ Meteorological research Institute

⁴ Forestry and Forest Product Research Institute

⁵ University of Tokyo

* Corresponding author (e-mail: itoh@nies.go.jp)

This study assessed historical changes in emissions of nitrous oxide (N₂O), a potent greenhouse gas and a stratospheric ozone-depleting substance, from the soils of East Asia to the atmosphere. A process-based terrestrial ecosystem model (VISIT) was used to simulate the nitrogen cycle and associated N₂O emissions as a function of climate, land use, atmospheric deposition, and agricultural inputs from 1901 to 2016. The mean regional N₂O emission rate in the 2000s was estimated to be 2.03 Tg N₂O yr⁻¹ (approximately one-third from natural ecosystems and two-thirds from croplands), more than triple the rate in 1901. A sensitivity analysis suggested that the increase of N₂O emissions was primarily attributable to the increase of agricultural inputs from fertilizer and manure. The simulated N₂O emissions showed a clear seasonal cycle and interannual variability primarily in response to meteorological conditions and nitrogen inputs. The spatial pattern of the simulated N₂O emissions revealed hot spots in agricultural areas of China, South Korea, and Japan (Fig. 1). The average N₂O emission factor (emission per unit nitrogen input) was 1.38%, a comparable value with previous studies. These biogeochemical results will facilitate identifying ways to mitigate global warming and manage agricultural practices in this region.

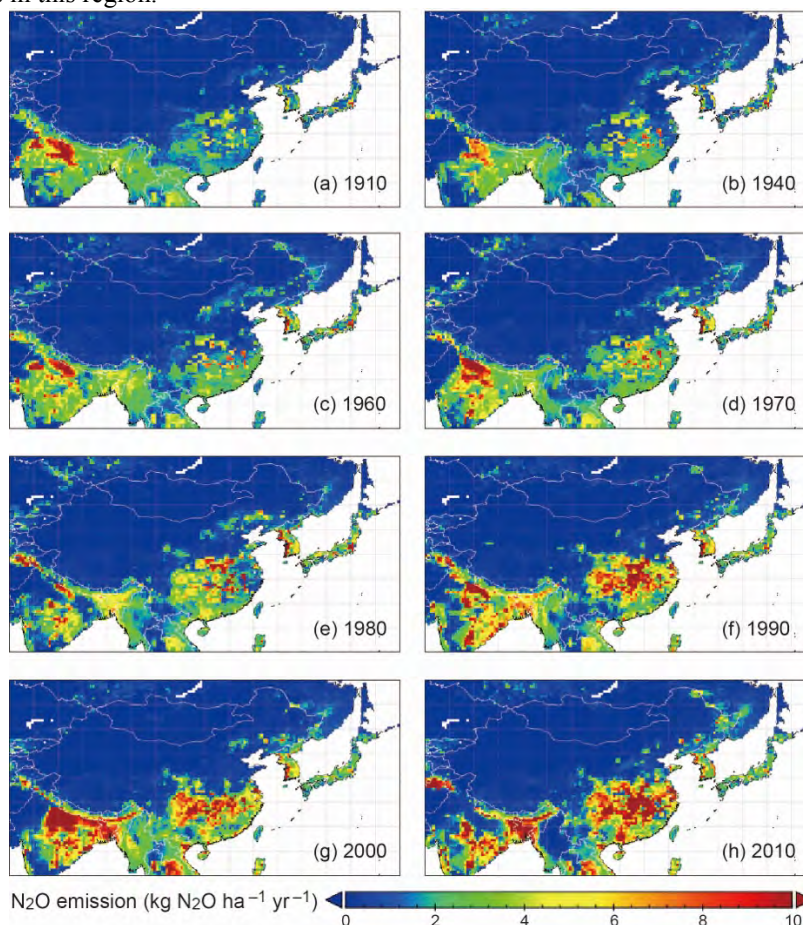


Fig. 1 Historical changes in N₂O emissions in the baseline simulation with VISIT: (a) 1910, (b) 1940, (c) 1960, (d) 1970, (e) 1980, (f) 1990, (g) 2000, and (h) 2010

Improving estimation of global BVOCs emissions

Kengo Sudo^{1,2*}, Shuyue Zhao¹, Kazuyuki Miyazaki², Akihiko Ito³

¹ Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

² Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)

³ National Institute for Environmental Studies (NIES)

* Corresponding author (e-mail: kengo@nagoya-u.jp)

This study improves model estimation of global BVOCs (Biogenic Volatile Organic Compounds) emissions using the ground observations of BVOCs extending over the globe. BVOCs emitted by plants, can affect largely atmospheric chemistry. Isoprene, the most dominant component of BVOCs, can be the precursor of Secondary Organic Aerosol (SOA), which plays a key role in climate change. Therefore, accurate calculation of BVOCs distribution and budget is very important for understanding and predicting climate change and atmospheric environment.

Current estimate of global BVOCs emissions exhibits a large uncertainty. In this study, global BVOCs emission estimate by a land-ecosystem model VISIT is evaluated using observations of concentration and emission of isoprene. This study further tries to optimize the BVOCs emission estimate using sensitivity simulations with a global chemistry climate model CHASER and formaldehyde observations by OMI.

First, this study, focused on uncertainty in the current estimates of BVOCs emissions, derives a correction factor for the emission estimate of the land ecosystem model VISIT by detailed comparison of BVOCs between the CHASER-VISIT model calculations and the ground-based BVOCs observations. For the current estimate of BVOCs emissions by VISIT, this study suggests a correction factor (CF) for isoprene emission as follows: Malaysia~0.1, Amazon and Africa~0.5, Europe ~3, North-America ~2. In this study, satellite observation of formaldehyde (HCHO) which is one of the major products of BVOCs oxidation, is used to verify the above-derived correction factor. Sensitivity experiments with the CHASER model are performed with differentiating BVOCs emission input data and chemical yield (Y) of HCHO from the BVOCs oxidation. Comparison between the OMI HCHO data and sensitivity experiments by the model shows that the correction factor (CF) with 50% reduction of chemical yield of HCHO (Y) most successfully simulates the HCHO distribution. In this case, the global isoprene emission amount is largely reduced from the standard VISIT estimation of 518.5 TgC yr⁻¹ to 371 TgC yr⁻¹.

This study performs another sensitivity experiment where tropospheric OH radical concentrations are significantly reduced by cutting down the global lightning NO_x emission in the model by a factor of 6. In this simulation, it is found that HCHO simulation is improved in the tropics like Amazon due to suppressed HCHO production from oxidation of methane (CH₄+OH→HCHO). This indicates that OH distributions can significantly affect estimate/validation of BVOCs emission using the observed HCHO distributions. Especially, in the Indian Ocean, Indonesia and western Pacific, all the sensitivity experiments obviously overestimate the HCHO observed by OMI, maybe suggesting that OH concentrations are overestimated in these areas.

Biogenic secondary organic aerosol and cloud condensation nuclei over a forest in Wakayama, Japan

Michihiro Mochida^{1*}

¹ Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University

* Corresponding author (e-mail: mochida@isee.nagoya-u.ac.jp)

Terrestrial vegetation emits volatile organic compounds (BVOC) to the atmosphere, resulting in the photochemical formation of organic aerosol, namely biogenic secondary organic aerosol (BSOA). According to the work by Hallquist et al. (2009), more than a half of the global source flux of organic aerosol is attributed to the formation of BSOA. This estimate suggests a large contribution of BSOA to the concentrations of cloud condensation nuclei (CCN), i.e., aerosol particles that act as nuclei when cloud droplets are formed, in the atmosphere. However, the contribution of BSOA to the abundance of CCN is not understood well. The author's research group performed observational studies on the hygroscopic growth and CCN activation of aerosol particles at a forest site in Wakayama, Japan since 2010. In this presentation, the findings from the studies are reviewed to discuss key scientific questions and future directions of research about the subject.

Atmospheric observations were performed at Wakayama Forest Research Station, Kyoto University in August 2010 (Han et al., 2013, 2014; Kawana et al., 2017), and in July and August 2014 (Deng et al., 2018). Both during the observations in 2010 and 2014, the number-size distributions of aerosols and the mass concentrations of aerosol chemical components were measured using a scanning mobility particle sizer and a high resolution time-of-flight aerosol mass spectrometer. During the observation in 2010, A hygroscopicity tandem differential mobility analyzer coupled to a CCN counter (CCNC) and a condensation particle counter (CPC) was operated to obtain two-dimensional aerosol number distributions as a function of the dry diameter and hygroscopic growth factor of the particles, and size-resolved CCN number fractions, respectively. During the observation in 2014, a DMA/CCNC/CPC system (DMA: differential mobility analyzer) was deployed to obtain size-resolved CCN number fractions of aerosol particles.

The study revealed that new particle formation (NPF) occurred at the observation site (Han et al., 2013). Because NPF events lead to the increase of the number concentrations of aerosol particles, it has a potential to increase the number concentrations of CCN as well. Further, the mass concentrations of organic aerosol were found to increase prominently in the daytime, which is likely contributed by the photochemically formed BSOA (Han et al., 2014). The contributions of less hygroscopic particles to the concentration of CCN and that of cloud droplets were potentially large during NPF event days, suggesting a marked contribution from locally formed BSOA (Kawana et al., 2017). Statistical analysis implies that NPF events enhance the contribution of BSOA to CCN concentrations at high supersaturation conditions (Deng et al., 2018).

A possible research subject about the relationship between BSOA and CCN in the future is the evolution of aerosol particles from new particle formation through the condensational growth of aerosols associated with BSOA formation, and the resulting formation of CCN. These processes in forest environments in Japan could be strongly influenced by the inflow of polluted or maritime air masses. How the inflow of different types of air masses affect the formation and growth of aerosol particles and the resulting formation of CCN needs to be studied further. Another important subject is the relationship between the formation of CCN via that of BSOA, and the formation of clouds and subsequent in-cloud chemical processes and precipitation.

References:

- Deng, Y., et al.: Hygroscopicity of organic aerosols and their contributions to CCN concentrations over a mid-latitude forest in Japan, accepted for publication in *J. Geophys. Res. Atmos.* (doi: 10.1029/2017JD027292)
- Han, Y., et al.: Observation of new particle formation over a mid-latitude forest facing the North Pacific, *Atmos. Environ.*, 64, 77–84, 2013.
- Han, Y., et al.: Formation and evolution of biogenic secondary organic aerosol over a forest site in Japan, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 119, 259–273, doi:10.1002/2013JD020390, 2014.
- Hallquist, M., et al.: The formation, properties and impact of secondary organic aerosol: current and emerging issues, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 5155–5236, 2009.
- Kawana, K., et al.: Hygroscopicity and cloud condensation nucleus activity of forest aerosol particles during summer in Wakayama, Japan, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 122, 3042–3064, doi:10.1002/2016JD025660, 2017.

Modification of the ecosystem model, VISIT, for predicting carbon fluxes at boreal and arctic ecosystems

Mikita Okamura^{1*}, Masahito Ueyama¹, Akihiko Ito², Hiroki Iwata³, Yoshinobu Harazono¹, Mathias Goeckede⁴

¹ Graduate School of Life and Environmental Sciences, Osaka Prefecture University, Sakai, Japan

² National Institute of Environmental Studies, Japan

³ Department of Environmental Sciences, Faculty of Science, Shinshu University, Matsumoto, Nagano, Japan

⁴ Max Planck Institute for Biogeochemistry, Jena, Germany

* Corresponding author (e-mail: syc03008@edu.osakafu-u.ac.jp)

Accurate models including high-latitude processes are a necessary tool for predicting carbon dioxide (CO₂) and methane (CH₄) fluxes in northern ecosystems, including wetland, forest, and tundra ecosystems. In this study, we modified a process-based terrestrial ecosystem model, VISIT (Ito and Inatomi, 2012), and simulated CO₂ and CH₄ fluxes of northern ecosystems using the modified model. We incorporated new processes for northern ecosystems into VISIT: dynamics of water table depth and temperature gradient within soil active layer. These processes are highly important for predicting CH₄ flux according to observations. We simulated dynamics of water table depth by a tank model. The tank model was coupled with a scheme of soil temperature gradient. This model took into account seasonal variation of thaw depth. Parameters of the tank model were optimized using observations at each site. We applied and calibrated the model to four selected northern ecosystems at a tussock tundra (Chersky), arctic marsh (Barrow, Harazono *et al.*, 2006), wet tundra (Sag River; Harazono *et al.*, 2006) and lowland forest (Fairbanks; Iwata *et al.*, 2015). All sites were located on permafrost, and thus soil was frozen in winter.

Based on the parameterization, simulation performance in terms of dynamics of water table depth and temperature gradient within soil active layer was improved at each site. After incorporating new processes, simulated seasonal variation and magnitude of the carbon fluxes were improved at each site. The model reproduced the tendency of methane flux to increase with increasing thaw depth. We found that it is necessary to estimate the ground water table considering the soil physical conditions in order to accurately model in the high latitude area. We will discuss general parameterization for water table depth of whole Pan-Arctic area.

References

- Harazono, Y., Mano, M., Miyata, A., Yoshimoto, M., Zulueta, R. C., Vourlitis, G. L., Kwon, H., Oechel, W. C. (2006) *Memoirs of National Institute of Polar Research*, **59**, 79-95
- Ito, A., Inatomi, M. (2012) *Biogeosciences*, **9**, 759–773.
- Iwata, H., Harazono, Y., Ueyama, M., Sakabe, A., Nagano, H., Kosugi, Y., Takahashi, K., Kim, Y. (2015) *Agricultural and Forest Meteorology*, **214–215**, 157–168.
- Gockede, M., Kittler, F., Kwon, M. J., Burjack, I., Heimann, M., Kolle, O., Zimov, N., Zimov, S. (2017). *The Cryosphere*, **11(6)**, 2975-2996.

Simulating topographic controls on the abundance of larch forest in eastern Siberia, and its consequences under changing climate

Hisashi Sato^{1*}

¹ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)

* Corresponding author (e-mail: hsatoscb@gmail.com)

Simulation of drought-induced tree mortality using a new individual and hydraulic trait-based mechanistic model (S-TEDy)

Tomo'omi Kumagai^{1*}, Taro Nakai², Hisashi Sato³

¹ The University of Tokyo

² National Taiwan University

³ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)

* Corresponding author (e-mail: tooomikumagai@gmail.com)

A mechanistic model of methane and carbon dioxide emissions on changing soil moisture conditions

Haruki Sakamoto^{1*}, Tomo'omi Kumagai¹

¹ Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo, Tokyo, Japan

* Corresponding author (e-mail: hsakamoto@fr.a.u-tokyo.ac.jp)

The emission of greenhouse gases into the atmosphere is causing significant changes in climate. Methane is one of the important greenhouse gases, and the estimation of methane emission from wetlands is especially an urgent issue. Due to the rapid climate change, a model applicable to various conditions must be developed.

In this research, a methane and carbon dioxide emission model has been developed based on a carbon-nitrogen cycle model developed by Porporato et al., 2003 (Sakamoto-Kumagai-Porporato model: SKP-model).

To assess this model, a comparison between this new model and an existing model was made. As the existing model, we used a model based on the research by Walter et al., 2000 (W-model). To compare these two models, we changed the soil conditions by changing the temperature and water table.

The responses of the two models changed significantly (Figure 1). First, the reactions against the change of temperature differed among the two models. A 6-degree Celsius rise of soil temperature resulted in an increase of methane emission by 3.5 times in the W-model, and 2.3 times in the SKP-model. According to data in other researches, the emission amount of the W-model seems excessively high, and this occurred because the total amount of carbon in the soil was not considered.

The reactions against the change of the water table also differed. A 20cm decrease of water table resulted in a change of methane emission by 0.35 times in the W-model, and 0.56 times in the SKP-model. As opposed to the W-model, the SKP-model considers the heterogeneity of aerobic and anaerobic respiration, and this is one possible reason for the difference.

This research showed the weaknesses of the previous model and revealed an apprehension that the previous model cannot be applied under the recent change of climate. The SKP-model improved these weaknesses and is capable of making higher accuracy estimations of greenhouse gas emissions under climate change.

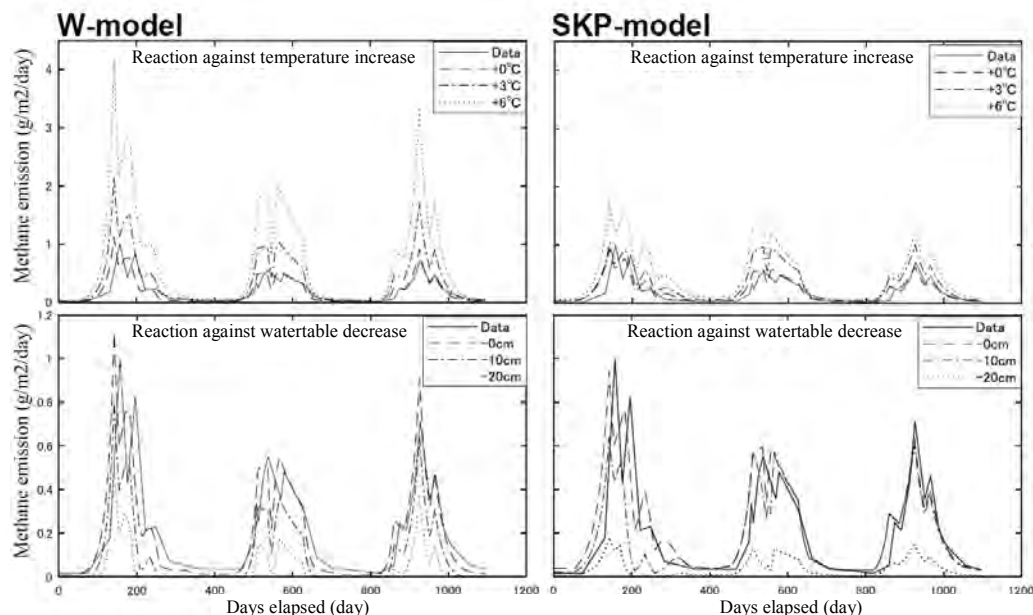


Figure 1 Comparison of the reaction against temperature and watertable change

References

- Porporato, A., D'Odorico, P., Laio F., Rodriguez-Irtube, I., 2003. Hydrologic controls on soil carbon and nitrogen cycles. I. Modeling scheme. *Adv. Water Res.*, 26, 45–58
- Walter, B.P., Heimann, M., 2000. A process-based, climate-sensitive model to derive methane emissions from natural wetlands: Application to five wetland sites, sensitivity to model parameters, and climate. *Global Biochem. Cy.*, 14, 745–765

Effect of forest thinning on low-water discharge from a coniferous plantation watershed in Japan: model analysis

Hiroki Momiyama^{*}, Tomo'omi Kumagai, Tomohiro Egusa

Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo,
1-1-1 Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8657, Japan

^{*} Corresponding author (e-mail: momiyama@fr.a.u-tokyo.ac.jp)

It is said that it is necessary to promote appropriate forest maintenance including forest thinning in order to make forests to apply water resources desirably. However, it has not been fully explained how much effect thinning have on discharge from forested watersheds. It goes without saying that consideration with observation is important but using a computer model of runoff makes it possible to estimate the effect of thinning before observations, which need many samples and take a long time. Therefore, in this study, the simulation is produced to estimate how thinning change discharge. Land-atmosphere interaction process is incorporated into the runoff model to perform the simulation.

In this study, the hydrological, meteorological and geographical data of Ohorazawa catchment area (Kiyokawa Village, Kanagawa Prefecture, 31°28'N, 139°28'E, altitude 650 m, 49.5 ha) is used. The resolution of the DEM is 1 m and the data used in this study is corrected from August 1, 2009, to November 31, 2017. By the observation, the annual average precipitation is 2961.3 mm, and the annual average runoff is 2268.9 mm in this catchment. As a model of runoff, TOPMODEL is used in this study. The effect of topography is considered by "Topographic index" in TOPMODEL. Models of evapotranspiration are also put into this model. Evapotranspiration from forests consists of interception and transpiration. Therefore, the linear model of interception rate and stem density from the previous study is used for interception model, and Penman-Monteith equation is used for transpiration model.

Firstly, parameters in the model are set to fit Ohorazawa catchment. Parameters for evapotranspiration are estimated from the result of short-time period water-budget method, and other parameters are optimized by using SCE-UA method. And then, the change of discharge by thinning is simulated. In this study, it is assumed that evapotranspiration is an only hydrological process which is influenced on by forest thinning. In evapotranspiration, change of transpiration due to thinning is also ignored considering previous studies. On the other hand, the interception rate is changed by stem density with the interception model. Based on this assumption, thinning is simulated by changing the input of stem density from 500 /ha to 3000 /ha. In the simulation, rainfall time series is constructed using random numbers generated from probability distribution and duration curves are compared with observed ones. Later, "end member" and median rain are picked up from time series, and the effect of thinning on the minimum flow rate and average flow rate during the low-water period is simulated by using these rainfalls as input. Differences made by the response of plants to soil moisture is also estimated.

As a result, the interception model and the transpiration model with estimated parameter fit well with the observed evapotranspiration rate. In addition to that, TOPMODEL with parameters optimized by SCE-UA method also go on with observed discharge. In case of rainfall constructed with random numbers, the duration curve is also fit well with observed curves at low discharge rate. The simulation of thinning indicates that discharge rate during low-water is increased by reducing stem density, but the less discharge rate is the less the rate of increase is. This tendency does not change by the response of plants to soil moisture

Response of a Bornean Rainforest to the Climatic Changes imposed by ENSO during 2009-2015

Julie K. Michelin^{1*}, Tomo'omi Kumagai², Tetsuya Hiyama³, Hatsuki Fujinami³, Kazuho Matsumoto⁴, Tomonori Kume⁵ and Takami Saito⁶

¹ Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

² Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

³ Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University

⁴ Faculty of Agriculture, University of the Ryukyus,

⁵ Faculty of Agriculture, Kyushu University

⁶ Forest Research and Management Organization

* Corresponding author (e-mail: julie.k.michelon@telluslab.com)

Tropical rainforests belong to the most important biomes, as they are one of the largest terrestrial carbon sinks^{1,2} and also a consequent source of latent energy^{3,4}. Furthermore, they will be among the first ecosystems to undergo climatic changes in the near future⁵. Understanding how they will respond to those changes is essential. El Niño-Southern Oscillation (ENSO) is an opportunity to study ecosystem response under real climatic change conditions.

Transpiration (Tr), net ecosystem exchange (NEE) and heat fluxes were measured with an eddy covariance system in a natural rainforest in Sarawak, Borneo. Meteorological and soil moisture observations were also conducted. This region does not have phase-locked dry periods and seasonal variations of both air temperature and solar radiation are small. However, it is directly impacted by ENSO events. During the study period, from November 2009 to December 2015, two events were selected : La Niña 2010-2011 and El Niño 2014-2016. Normal conditions were assumed as a third "neutral" period. Comparisons of measured flux and meteorological drivers between the three periods were carried out, and analysis of environmental controls, as canopy conductance (g_c) were made.

Rainfall distributions varied between the three periods, with the highest mean daily precipitation in La Niña. Latent heat (LE), Tr, NEE and g_c had the largest mean daily value during this period too. Tr and NEE were smaller in El Niño than in neutral conditions, while there was no significant difference in the mean value of g_c between those two periods. LE was unexpectedly higher during El Niño than in neutral period.

Whereas understanding how tropical rainforest will respond to climatic changes in the future is essential, it is also important to consider that those regions, and mainly Borneo island with oil palm plantations, are currently undergoing through significant land-use changes. This will affect the regional response. Comparing heat, carbon and water flux between an original rainforest and an oil palm plantation in Borneo, as well as environmental controls, will be the subject of a future study.

References:

- ¹ Skole D., Tucker C., 1993, *Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: satellite data from 1978 to 1988*, Science 260, 1905–1910.
- ² Grace J., Malhi Y., Higuchi N., Meir P., 2001, *Productivity of tropical forest* in: Roy J., Saugier B., Mooney H.A. (Eds.), *Terrestrial Global Productivity*, Academic Press, San Diego, CA, pp 401–426.
- ³ Lean J., Warrilow D.A., 1989, *Simulation of the regional climatic impact of Amazonian deforestation*, Nature 342, 411–413.
- ⁴ Nobre C.A., Selers P.J., Shukla J., 1991, *Amazonian deforestation and regional climate change*, J. Climate 4, 957–988.
- ⁵ Mora C., Frazier A.G., Longman R.J., Dacks R.S., Walton M.M., Tong E.J., Sanchez J.J., Kaiser L.R., Stender Y.O., Anderson J.M., Ambrosino C.M., Fernandez-Silva I., Giuseffi L.M., Giambelluca T.W., 2013, *The projected timing of climate departure from recent variability*, Nature 502, 183–187.

Data assimilation experiments with MODIS LAI observations and the dynamic global vegetation model SEIB-DGVM over Siberia

Hazuki Arakida^{1*}, Shunji Kotsuki¹, Shigenori Otsuka¹, Yohei Sawada^{1,2}, Takemasa Miyoshi¹

¹ RIKEN Center for Computational Science

² Meteorological Research Institute

* Corresponding author (e-mail: hazuki.arakida@riken.jp)

In the previous study, *Arakida et al.* [2017] developed a data assimilation (DA) system based on a particle filter approach with a dynamical global vegetation model known as the SEIB-DGVM (Spatially Explicit Individual-Based Dynamic Global Vegetation Model, *Sato et al.*, 2007), and assimilated the satellite-based MODIS LAI (Leaf Area Index) observations successfully. We extend the previous study to a large domain in Siberia and estimate the state variables including carbon flux, water flux, heat flux, vegetation structure, and parameters related to the phenology of the deciduous needle leaved tree and grass. The initial perturbation of the parameters produced much larger LAI than the observed LAI. DA reduced LAI greatly by optimizing the parameters and made the estimated LAI very close to the observation. This suggests that the DA system work properly at the large domain. Corresponding to the reduction of LAI, the estimated vegetation functions (e.g., GPP and RE), and vegetation structures (e.g., above ground biomass and tree LAI) are also reduced greatly. As a result, most of the estimated variables are highly correlated to the observed LAI. In the previous DA studies, observed LAI is used only for optimization of phenology. In addition, this study suggested the possibility of the DA system with an individual based model to estimate the vegetation structure at large spatial areas.

We made comparisons with the previous studies: carbon flux (FLUXCOM: *Tramontana et al.*, 2016, *Jung et al.*, 2017) estimated by a machine learning method using in-situ flux measurements and various explanatory data, tree LAI (*Delbart et al.*, 2005, *Kobayashi et al.* 2010) estimated by a radiative transfer model and satellite observations, and above ground biomass (*Liu et al.*, 2015) estimated by satellite observations. The results showed high correlations between this study and the previous studies except for above ground biomass. This is probably because above ground biomass of *Liu et al.* [2015] is estimated from microwave-based observations, different from optical-based observations in this study, *Kobayashi et al.* [2010], and FLUXCOM. Our estimation showed larger tree LAI; this may be related to the bias of MODIS LAI (*Kobayashi et al.* [2010]). The estimated GPP and RE are also larger than FLUXCOM. In Siberia, only few field-observed flux data are used for the machine learning, and thus further validation is needed. GPP estimation using solar-induced chlorophyll fluorescence at a large spatial area is expected to improve the DA system. In-situ above ground biomass and tree LAI are also needed for the validation of the estimated vegetation structures.

(References)

- Arakida, H., T. Miyoshi, T. Ise, S. I. Shima, and S. Kotsuki (2017), Non-Gaussian data assimilation of satellite-based leaf area index observations with an individual-based dynamic global vegetation model, *Nonlinear Proc. Geoph.*, 24, 553-567, doi:10.5194/npg-24-553-2017.
- Delbart, N., L. Kergoat, T. L. Toan, J. Lhermitte, and G. Picard (2005), Determination of phenological dates in boreal regions using normalized difference water index, *Remote Sens. Environ.*, 97, 26-38, doi:10.1016/j.rse.2005.03.011.
- Jung, M., M. Reichstein, C. R. Schwalm, C. Huntingford, S. Sitch, A. Ahlström, A. Arneeth, G. Camps-Valls, P. Ciais, P. Friedlingstein, F. Gans, K. Ichii, A. K. Jain, E. Kato, D. Papale, B. Poulter, B. Raduly, C. Rödenbeck, G. Tramontana, N. Viovy, Y. P. Wang, U. Weber, S. Zaehle and N. Zeng (2017), Compensatory water effects link yearly global land CO₂ sink changes to temperature, *Nature*, 541, 516-520, doi:10.1038/nature20780.
- Kobayashi, H., N. Delbart, R. Suzuki, and K. Kushida (2010), A satellite-based method for monitoring seasonality in the overstory leaf area index of Siberian larch forest, *J. Geophys. Res.*, 115, G01002, doi: 10.1029/2009JG000939.
- Liu, Y. Y., A. I. J. M. van Dijk, R. A. M. de Jeu, J. G. Canadell, M. F. McCabe, J. P. Evans, and G. Wang (2015), Recent reversal in loss of global terrestrial biomass. *Nat. Clim. Change*, 5, 470-474, doi:10.1038/nclimate2581.
- Sato, H., A. Itoh, and T. Kohyama (2007), SEIB-DGVM: A new Dynamic Global Vegetation Model using a spatially explicit individual-based approach, *Ecol. Model.*, 200, 279-307, doi: 10.1016/j.ecolmodel.2006.09.006.
- Tramontana, G., M. Jung, C. R. Schwalm, K. Ichii, G. Camps-Valls, B. Raduly, M. Reichstein, M. A. Arain, A. Cescatti, G. Kiely, L. Merbold, P. Serrano-Ortiz, S. Sickert, S. Wolf, and D. Papale (2016), Predicting carbon dioxide and energy fluxes across global FLUXNET sites with regression algorithms, *Biogeosciences*, 13, 4291-4313, doi:10.5194/bg-13-4291-2016.

Recent advancements in studies concerning terrestrial ecosystems

Takeshi Ise^{1,2*}

¹ Field Science Education and Research Center, Kyoto University

² PRESTO, Japan Science and Technology Agency

* Corresponding author (e-mail: ise@kais.kyoto-u.ac.jp)

To carry out predictive studies concerning ecosystems, obtaining appropriate datasets is one of the key factors. Recently, applications of neural network such as deep learning have successfully overcome difficulties in data acquisition and added large datasets for predictive science. For example, deep learning is very powerful in identifying and counting people, cars, etc.

However, for vegetation science, deep learning has not been widely used. In general, differing from animals, plants have characteristics of modular growth. For example, numbers of leaves and stems which one individual plant typically possesses are not predetermined but change flexibly according to environmental conditions. This is clearly different from that the standard model of human face has predetermined numbers of parts, such as two eyes, one mouth, and so on. This characteristics of plants can make object identification difficult.

In this study, a simple but effective technique was used to overcome the difficulty of visual identification of plants, and automated classification of plant types and quantitative analyses were become possible. For instance, when our method was applied to classify bryophytes, one of the most difficult plant types for computer vision due to their amorphous shapes, the performance of identification model was typically over 90% success. With this technology, it may be possible to obtain the big data of plant type, size, density etc. from satellite and/or drone imageries, in a quantitative manner. This will allow progress in predictive biogeoscience.

In addition, there are several advancements in statistical modeling. Here I will briefly discuss probabilistic graphical modeling and sparse estimation. Probabilistic graphical modeling is a computer-intensive statistical modeling for big data, with many independent and dependent variables. In the complex natural ecosystems, there are several cascading cause-and-effect relationships. Probabilistic graphical modeling methods such as Bayesian networks are the powerful tool to explicitly reproduce such relationships. Sparse modeling is another breakthrough in statistical modeling. The framework of this technique can be applied to high-dimension, low-sample-size (HDLSS) data with noise, and the interpretation and forecast of the model are insightful.

Regional Japan Reanalysis Using conventional data

Takeshi Yamazaki^{1*}, Shin Fukui¹, Toshiki Iwasaki¹, Takahiro Sasai¹

¹ Graduate School of Science, Tohoku Univ.

* Corresponding author (e-mail: yamaz@tohoku.ac.jp)

1. Introduction

Atmospheric Science Laboratory, Tohoku University is planning the Regional Japan Reanalysis (RJRA) through the assimilation of conventional observation data into 5-km mesh Japan Meteorological Agency's Nonhydrostatic model one-way nested into the Japanese 55-year reanalysis with Local Ensemble transform Karman Filter. Although we aim at reanalysis covering more than 60 years, we will make a 20-year product using present computer facilities by 2021, as a first step. The product is expected to have homogeneity over the reanalysis period, by assimilating only conventional observation data e.g. ground level pressure and radiosondes observations, not including the data observed with satellites nor other advanced observing systems. This project will be conducted in collaboration with Meteorological Research Institute and other organizations.

2. Application of the RJRA product

What can we do by using the RJRA product?

- Input data for land-surface, ecosystem, hydrological, and other models
- Validating warming effects on mesoscale phenomena
- Estimating precipitation and snowfall amounts, and water resources
- Assessing the sensitivity of regional climate to land-use
- Investigating dynamical mechanisms of mesoscale extreme events
- Lateral boundary conditions for dynamical downscaling
- Improving data assimilation schemes and numerical models

3. Preliminary results

The regional reanalysis assimilating only conventional observations is confirmed to reproduce high-resolution atmospheric fields better than dynamical downscaling methods. Dynamical downscaling methods, which do not include any data assimilation, have been widely utilized to reproduce mesoscale phenomena. However, a long-term integration by dynamical downscaling tends to distort synoptic situations in inner domain. To avoid this, short-term integrations with frequent reinitializations of coarse-mesh analyses is an alternative dynamical downscaling method, which is subject to the so-called spin-up problem. It takes time to organize small-scale convective systems from overly smoothed initial conditions, resulting in underestimation of precipitation. The regional reanalysis assimilating only conventional observations is effective to reduce the synoptic errors and to avoid the insufficient spin-up that are the problems induced by dynamical downscaling methods. Successive cycles of assimilating the observations over inner domain and driving the high-resolution forecast model contribute to constraining synoptic-scale fields without introducing smoothed fields.

Hotspots of nitrogen cycle under seabird cliffs in Svalbard, the European High Arctic

Kentaro Hayashi^{1*}

¹ Institute for Agro-Environmental Sciences, NARO, Japan

* Corresponding author (e-mail: kentaro@affrc.go.jp)

It is known that High Arctic terrestrial ecosystems generally show slow turnover of nutrient due to cold and wet climate. These ecosystems are under limitation of available nitrogen (N) despite of a large pool of N as soil organic matter. Seabirds visiting High Arctic for breeding can make an exceptional hotspots of N cycle in and surrounding their colonies through inputs of labile organic matter as their feces and carcasses rich in N and phosphorous. So-called ornithocoprophilous tundra is formed there with rich vegetation for High Arctic with vascular plants and mosses. With respect to atmosphere-land interactions, such the seabird-driven acceleration of N turnover leads to stimulation of atmospheric emissions of ammonia (NH₃), nitrous oxide (N₂O), and dinitrogen (N₂) (Fig. 1); however, much has been unknown for its degree and spatiotemporal changes.

My research group has investigated N cycle in tundra ecosystems near Ny-Ålesund, Svalbard, the European High Arctic for 5 years with special interests how glacier retreats and bird activities affect the N cycle in tundra soils. I will talk about the nitrification and denitrification properties of soils on two taluses under seabird cliff with different bird density and different land scape, and possible in-situ N₂O emissions from one of the talus with high accumulation of nitrate in soils.

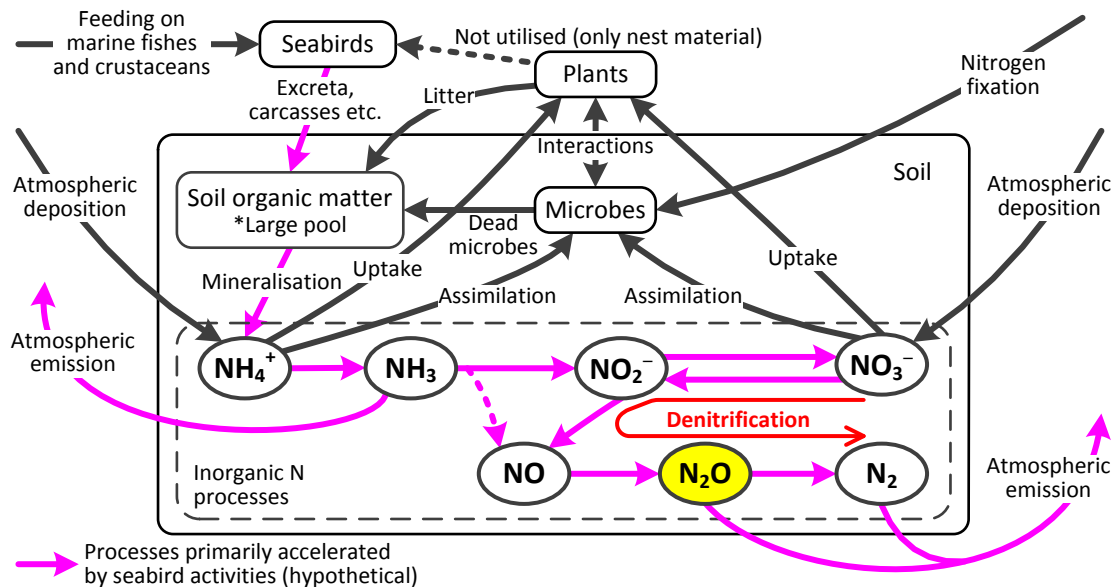


Fig. 1. Seabird-induced acceleration of nitrogen cycle in High Arctic terrestrial ecosystems (hypothetical).

Narrowing the gap in terrestrial CO₂ budget estimates

Masayuki Kondo¹, Prabir K. Patra², Kazuhito Ichii^{1,3}

¹ Center for Environmental Remote Sensing (CEReS), Chiba University, Japan

² Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Japan

³ National Institute for Environmental Studies, Japan

* Corresponding author: Masayuki Kondo (e-mail: redmk92@gmail.com)

Abstract: Terrestrial ecosystems play a critical role in formation of a feedback loop of carbon dioxide (CO₂) in atmosphere by interacting with atmospheric reservoir and climate, and thus directing a course of the future projection of climate change. The research community has spent significant efforts to understand behaviors of terrestrial ecosystems under a steady rise in atmospheric CO₂ concentration and temperature during the recent decades and deepen knowledge about the regional and global patterns of terrestrial CO₂ sinks and sources with top-down and bottom-up modelling approaches (terrestrial biosphere and inverse models, respectively). However, the current estimates of terrestrial CO₂ budgets by those approaches remain inconsistent. As illustrated in the recent IPCC Assessment Report (AR5), the inverse models tend to indicate stronger CO₂ sinks in temperate and boreal regions than the biosphere models. Furthermore, the two modelling approaches exhibited contrasting CO₂ sink–source patterns in the tropics; the biosphere models indicated weak CO₂ sinks and the inverse models strong CO₂ sources. As illustrated by these inconsistencies, a consensus on the geographic distribution of the terrestrial CO₂ budgets has yet to be established among the research community.

To understand the current states of CO₂ budget estimates and of reconciliation between the existing approaches, here we comprehensively compare global and regional CO₂ budgets from the biosphere models from a comprehensive process model intercomparison (TRENDY) and the inversion models including results from the Asia-Pacific-Network (APN) intercomparison. We show an improved level of agreement between the two estimates in relation to regional and global budgets, since the IPCC AR5. We also discuss the remaining issues causing inconsistency between the two estimates.

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30年度に宇宙地球環境研究所の共同利用研究として採択された課題のうち、太陽圏・宇宙線に関連した研究の成果報告会として開催された。平成31年2月25日－28日に太陽圏宇宙線専門委員会によるISEEシンポジウム”Recent progress in heliospheric physics by direct measurements of unexplored space plasmas”が開催されることになったので、本研究集会も日程を合わせて同時開催することとした。また、研究集会「太陽地球環境と宇宙線モジュレーション」も同時開催となった。研究集会は名古屋大学東山キャンパス研究所共同館IIの3階ホールで行われ、64名が参加した。

ISEEシンポジウムには、外国人14名も参加し、2月25日－27日の講演・議論は全て英語で行われた。その中には宇宙地球環境研究所の共同研究に関連した講演も多く含まれていた。特に目についたのは、これまで異なる学会に所属して議論したことのない研究者同士が実は、同じ課題に対して同様の手法で取り組んでいることが分かった点である。例年本研究集会は他の研究集会と合同で行っているが、太陽圏に関する研究集会のテーマと宇宙線に関する研究集会のテーマとは同じ研究集会で講演されているだけで、お互いの講演の関連性は薄いことが多かった。しかし今回は国際研究集会だということもあって、それぞれの講演が研究背景の説明を十分に行ったので、例年の日本語講演よりもむしろ異なる分野の研究者の理解が進んだと思われる。

共同利用研究の報告会に特化した講演は日本語講演として2月28日に行われた。ISEEシンポジウムがなければ参加していなかったであろう研究者が多く参加していたせいか、各講演終了後の議論の時間には、多くの新鮮な質問や議論が寄せられた。これらの議論は各共同研究を今後発展させていく上で有意義であった。また、日本語講演とわかっていて会場にいた外国人からも質問や議論が寄せられた。

日本語講演の講演タイトルと発表者は以下の通りである。

粒子加速から見た2017.9.10 のフレア

村木綏、神谷浩紀、古賀清一、松本晴久、増田智、柴田祥一

BC661 のC14増加とSPE

櫻井敬久、三宅美沙、門叶冬樹

Measurements of 1 to 10 GeV Cosmic-Ray Electron Flux in the CALET Experiment over 3 years

Shoko Miyake, Yotaro Migita, Yoichi Asaoka, Yosui Akaike, Shoji Tori, Toshio Terasawa, Ryuho Kataoka, Kenichi Sakai, for the CALET collaboration

内部太陽圏における銀河宇宙線強度と太陽風速度の関係

小島浩司、大嶋晃敏、伊藤信夫、荻尾彰一、川上三郎、野中敏幸、林嘉男、松山利夫、山崎勝也、柴田祥一、鈴木建司、森下伊三男、高丸尚教、中村亨、田中公一、S. K. Gupta, P. K. Mohanty, S. K. Duggad, S. C. Tonwar

IPS SQ-tomography の改良と pseudo-streamer 観測の可能性

小島正宜、藤木謙一、徳丸宗利

太陽風磁気ローブ構造解析の問題点

丸橋克英、久保勇樹、西村信彦、徳丸宗利

グローバルスケールとメソスケールを貫く気象学
Meteorology across global to mesoscales

稲津 將・国立大学法人北海道大学・大学院理学研究院

本研究集会は下記の趣旨のもと、平成30年9月7日に北海道大学にて実施を予定していた。しかし、同日直前に発生した北海道胆振東部地震とそれに伴う北海道全域の停電のため、実施が不可能になり、研究代表者と名古屋大学教員との相談により、急遽、中止の判断をした。代替設備や発表者の再募集などの時間が取れないことから、別日での実施も行わなかった。下記は、予定していたプログラムである。なお、今年度の内容は来年度に実施することに代える予定である。

集会の趣旨：

本研究集会では、それぞれ独自に発展してきたグローバル気象とメソスケール気象の研究内容および人的な交流も目的とし、相互に強く作用し合うグローバルスケールとメソスケールの気象現象について、観測、統計解析、およびモデリングなど手法を問わず、また気候変動適応の観点も含め、現状の課題について議論します。

研究集会スケジュール：

09:30 ～ 09:35 趣旨説明

09:35 ～ 10:00 稲津將（北大院理）・山田朋人・佐藤友徳・星野剛・初塚大輔
北海道における気候変動適応社会実装の実例～北海道大学・北海道開発局・北海道庁の取り組み～

10:00 ～ 10:25 平田英隆（名大ISEE）・川村隆一・野中正見・坪木和久
グローバル～メソスケールの観点から見る日本南岸における爆弾低気圧の強化過程

10:25 ～ 10:50 栃本英伍（東大AORI）・末木健太・新野宏
竜巻を生ずる温帯低気圧の構造と環境場

10:50 ～ 11:15 藤原圭太（九大院理）・川村隆一・川野哲也
台風の発達・構造変化に対する黒潮の遠隔影響：Chaba(2010)の事例

11:15 ～ 11:40 玉置雄大（北大院理）・稲津將・Dzung Nguyen-Le・山田朋人
夏季九州での強降水イベントにおける降水継続時間のバイアスと総観場の関係

11:40 ～ 12:05 加藤雅也（名大ISEE）・田中智大・立川康人・篠原

瑞生・加藤大輔・坪木和久
雲解像モデルと分布型降雨流出モデルを用いた日々の河川流量シミュレーション

13:20 ～ 13:45 渡邊俊一（気象業務支援センター）・新野宏
DS-JRA55を用いたポーラーメソサイクロンの長期的変動の解析

13:45 ～ 14:10 本田明治（新潟大理）・春日悟・伊豫部勉
日本海側地域に局所的大雪をもたらす総観場・循環場の特徴

14:10 ～ 14:35 山崎哲（JAMSTEC）・本田明治・川瀬宏明
新潟での里雪・山雪とブロッキング・ユーラシアジェット変動との関係

14:35 ～ 15:00 丹治星河（北大院理）・稲津將
力学的ダウンスケーリングに基づく吹雪発生可能性の事例解析

15:00 ～ 15:25 勝山祐太（北大院理）
安価な降雪粒子観測装置の開発

15:25 ～ 15:50 篠田太郎（名大ISEE）・長屋智大・村崎あつみ・大東忠保・鈴木賢士・山口弘誠・山田広幸・川村誠治・坪木和久・中北英一
Ka帯偏波レーダと粒子の直接観測による雲粒・氷晶観測

16:00 ～ 18:30 平成30年7月豪雨検討会
札幌管区気象台の藤川部長による解説の後、研究集会の参加者から図を提示してもらって議論を行います。

大気・雪氷・海洋間の物質交換・循環と極域への物質輸送に
関する研究集会

Workshop on material exchange among atmosphere-cryosphere-ocean
and long-range transport to polar regions

原圭一郎、福岡大学・理学部

■ 研究集会開催とその内容

「大気・雪氷・海洋間の物質交換・循環と極域への物質輸送」を主題とする本研究集会は、極域・寒冷域における物質循環過程・動態に関心があり、観測、モデル、室内実験に携わっている研究者・大学院生が集い、最新の研究成果の紹介と相互理解、今後の研究課題の整理、共同研究の立案を進めるために、気象、大気科学、雪氷学などの様々な視点からデータの比較・議論する場として、平成30年10月22-23日に、名古屋大学 研究所共同館II号館409号室で開催した。本研究集会の延べ参加者数は34名だった。第10回の研究集会となる今年度は、南極・北極大気と雪氷中の黒色炭素（BC）の観測的・モデル的研究の話題が5件と多く、極域のBCの動態とその影響を見る研究の最前線を理解し、更なる課題を確認する上では非常に重要かつ有意義な場となった。また、極域氷床上の光化学反応や水蒸気の動態、極域大気中のエアロゾルの鉛直分布と状態変化、大気中の反応性ハロゲンの動態、同位体から見た大気化学過程などの話題では、一見、別個に見えるものの、データの相互比較をすることで、一連の物質循環過程となっていることが理解でき、今後の共同研究の推進・立案に結びつけられた。この点が、本研究集会を開催する趣旨・目的であり、最大の成果である。

■ 研究集会のプログラム

第10回 大気・雪氷・海洋間の物質交換・循環と極域への物質輸送に関する研究集会

日時：2018年10月22日 13:00 - 23日9:30 - 15:00頃

於：名古屋大学 研究所共同館II号館 4階、409号室

10月22日 13:00～：

13:00～13:05 今回の研究会内容紹介 原・福岡大学

13:05～

インド洋・南極海で観測されたスス含有粒子の形態および混合状態

上田紗也子・名古屋大学

南極昭和基地で観測されたBCの季節変化と起源

原圭一郎・福岡大学

北極域広域に沈着したブラックカーボン粒子の空間分布

森 樹大・東京理科大学

15:00-15:15 (休憩)

北極域のブラックカーボンの数値シミュレーション

松井仁志・名古屋大学

高緯度北極で観測された自由対流圏エアロゾルの季節変化

柴田隆・名古屋大学

偏光ライダーで計測された昭和基地上空のエアロゾル・雲の光学特性

矢吹正教・京都大学

硝酸の光分解による雪氷表面からの窒素酸化物の放出と硝酸の揮散の可能性

竹中規訓・大阪府立大学

10月23日 9:30～:

極域ブラックカーボンの起源推定: 化学・エアロゾルモデルによる全球シミュレーション

須藤健悟・名古屋大学

南極大気中のBrO_xサイクル: 海塩粒子の寄与

原圭一郎・福岡大学

海洋中でのヨウ化物イオン光化学反応による大気中へのヨウ素の放出速度

藪下彰啓・九州大学

東南極における大気硫酸エアロゾルの硫黄同位体組成の季節変動

服部祥平・東京工業大学

13:00～

グリーンランド氷床北東部における積雪の特性

的場澄人・北海道大学

バフィン湾周辺環境がグリーンランド北西部の降雪中のd-excessと化学成分に与える影響について

黒崎豊・北海道大学

積雪中に形成される水浸透経路(水みち)に関する実験的研究

辻滉樹・名古屋大学

総合討論: 今後の課題, 次回開催に向けて・・・など

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 31 年 3 月 7 日～平成 31 年 3 月 9 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)

塩川和夫 (1) Statistical study of auroral/resonant-scattering 427.8-nm emission observed at subauroral latitudes over 14 years (JGR), (2) Simultaneous Arase-ground observations of a purple and green auroral arc (JGR)

津田卓雄 Na layer variation during geomagnetic active days over Syowa, Antarctic (EPS)

尾花由紀 Field-aligned electron density distribution of the plasmasphere estimated from coordinated observation of Arase and Van Allen Probes (JGR)

細川敬祐 Observations of plasma bubbles with low-cost airglow imagers (EPS)

Dan Billett Ion-neutral coupling and Joule heating: FPI, ESR and ASI observations over Svalbard, Norway (JGR)

小川泰信 Collaborative observations between ERG and EISCAT for Geospace research (Polar science)

山本和弘 "Drift-Bounce Resonance of ~10 keV Protons with Second Harmonic Poloidal Waves Triggered by Outward Gradient of Proton Phase Space Density: Van Allen Probe A Observation (JGR)

新堀淳樹 Temporal and spatial variations of storm enhanced density as seen in the global GNSS-TEC variation (JGR)

田中良昌 (1) Evidence of Relativistic Electron Precipitation Driven by Whistler-Mode Chorus Waves (GRL), (2) New metadata database system developed by IUGONET (Data Science Journal)

西野真木 Asymmetric deformation of the Earth's magnetosphere under low-density solar wind (EPS or Ann Geo)

第 31 回 (2018 年度) 名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定研究シンポジウム

The 31st Symposium on Chronological Studies at the Division for Chronological Research, ISEE, Nagoya University

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、2019 年 1 月 31 日 (木) と 2 月 1 日 (金) の両日、研究所共同館Ⅱ・RB2-3F ホールにおいて、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 27 人 (延べ 47 人)、発表は口頭発表が 22 編、ポスター発表が 4 編であった。シンポジウムでは、今年度の同研究部の活動を概観するとともに、共同利用・共同研究に関連して、本学のほか、大学、研究所、民間団体や企業などの研究者、院生によって、環境学、地質学、考古学や文化財科学など幅広い分野に関する発表が行われた。

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、2018 年夏に小学生を対象に行われた「東濃地方の地層について学ぼう」の活動報告がなされた。

発表のリストは以下の通りである。

【口頭発表】

- ・ CHIME の現状と利用 (2018 年度)
- ・ 石英の内部構造解析および微量元素組成分析に基づく結晶化プロセス
- ・ 隠岐片麻岩類の変成圧力温度条件と変成年代の推定：古原生代高温変成作用の可能性について
- ・ 三波川変成帯の年代学
- ・ ローカルオフセットの影響を軽減する ^{14}C ウィグルマッピング法：B-Tm および Hr-FP テフラを例として
- ・ 日本産試料の ^{14}C 年代の暦年較正-纏向遺跡の暦年代-
- ・ 古代近江の鉄生産-操業年代について-(4)-
- ・ 古文書の書跡学的年代と自然科学的年代との関係-特に、平安末期から鎌倉初期の書風について-
- ・ 伝説に関連する可能性の高い遺跡と古文書およびその年代測定
- ・ 名古屋大学ターゲット AMS ^{14}C システムの現状と利用 (2018)
- ・ 北海道岩内平野の沖積層とその下位層の AMS ^{14}C 年代測定および花粉分析
- ・ 札幌市手稲区前田の上部更新統~完新統の AMS ^{14}C 年代測定と花粉分析
- ・ 福島第一原発事故に伴う福島県の放射性物質の汚染 —2018 年の状況(本宮市・蓬田岳)—
- ・ 福島第一原発事故、2018 年福島県の里山の汚染実態 —高松山 (福島市)、芝山 (いわき市・古殿町・平田村) —
- ・ ビーチロックの形成年代を決定する際の問題点
- ・ 北海道厚真川流域の第四紀研究と 2018 年胆振東部地震について
- ・ 炭素 14 に富む韓国釜山ドングラエ温泉水試料のガンマ線分析
- ・ 飛騨山地加賀沢の花崗岩類のジルコン U-Pb 年代
- ・ Zircon U-Pb dating and geochemical study on Cenozoic granitoids in the northern Sanandaj-Sijan Zone, Zagros Orogen, NW Iran
- ・ マレーシア国サラワク州の泥炭湿地における泥炭の堆積速度と構造特性

- 地下氷の高確度 ^{14}C 年代決定手法の確立
- 平成 30 年度地域貢献事業「東濃地方の地層について学ぼう」活動報告
-
-
-
- **【ポスター発表】**
- 大学院理系研究室における PI のリーダーシップ行動
- 青銅器の乾式試料調製法にみられる外来炭素汚染の評価
- 鉄器の湿式試料調製法にみられる外来炭素汚染の評価
- 火山泥流に含まれる木片の ^{14}C 年代：前橋泥流と塚原泥流の例
-

地上赤外分光観測による大気組成変動検出に関する研究集会
Workshop on detection of atmospheric composition change
with a ground-based infrared spectroscopy

村田 功、東北大学大学院環境科学研究科

本研究集会は昨年度初めて開催し、今年度は2回目である。地上赤外分光観測による大気微量成分の研究は、太陽を光源とすることで地表付近のみならず成層圏など上層大気の変動も捉えることが出来る。特に高分解能フーリエ変換型分光計 (FTIR) を用いた観測は多成分同時観測や吸収線型からの高度分布情報導出などの利点があり、またオゾン層破壊や温室効果気体の変動のような全球的な大気環境問題に対しては国際的な協力が不可欠であることから、世界的なネットワークである Network for the Detection of Atmospheric Composition Change/Infrared Working Group (NDACC/IRWG) を中心に各国の研究グループが協力して研究を進めている。

日本でも、1995年に陸別で観測を開始した名古屋大学宇宙地球環境研究所をはじめ、国立環境研究所、東北大学などが NDACC/IRWG に参加し観測・解析を協力して進めてきたが、今後の研究の方向性も含めてまとまった議論を行うことを目的として研究集会を立ち上げた。

今回の研究集会には、名古屋大学、国立環境研究所、東北大学で FTIR 観測を進めてきた研究者を中心に学生を含め計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 NDACC 全体の動向と日本の観測地点 (陸別、つくば) での観測の経緯や現状についての紹介を行った、その後名古屋大学で計画中の都市大気観測サイト予定地の見学を行い、さらに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、解析手法や今後の研究の展開についての議論を行った。また、プログラムにはないが午後には解析プログラムの 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、CFCs、HCHO、CH₄ 等の経年変化の解析が進みつつあり IRWG のネットワークにも貢献していることが再確認され、また日本発の解析としてフロン類や都市大気質の経年変化の研究を提案し、IRWG 全体のデータを使用した研究へと進めていくための準備も進んでいることが示された。研究集会後、それぞれの発表資料は国立環境研究所のサーバーに集めて情報共有を行っている。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
 第2回 地上赤外分光観測による大気組成変動検出に関する研究集会

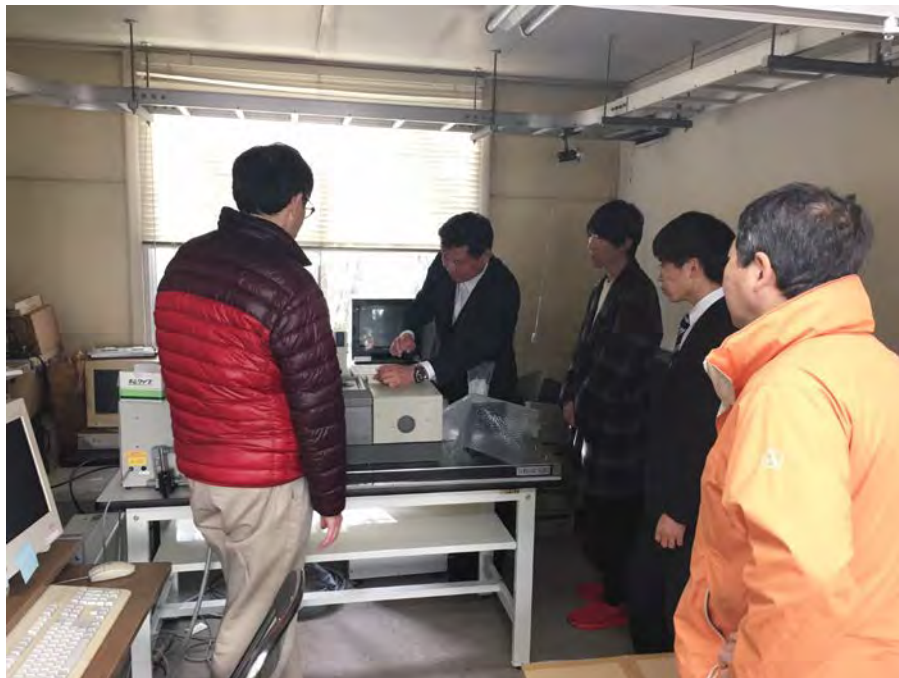
2019/03/14 v1.0

会場：名古屋大学 研究所共同館15階ミーティングスペース(517室)

プログラム

3月18日(月)			
13:00	10 min	村田 功(東北大院理)	あいさつと趣旨説明
13:10	20 min	長濱智生(名大ISEE)	NDACC/IRWG meeting 2018報告と今後の活動報告
13:30	20 min	水野 亮(名大ISEE)	NDACC Steering Committee meeting 2019 in Tsukuba
14:10	20 min	村田 功(東北大院理)	つくば FTIR MIR
14:30	20 min	長濱智生(名大ISEE)	陸別 FTIR MIR
15:00	60min		休憩+実験室見学
16:00	10 min	中島英彰(NIES)	CFCs, HCFCs, HFCs研究の概要とわらい
16:10	20 min	武田真善(東北大院理)	CFCs, HCFCs, HFCsの長期変動
16:30	20 min	村田 功(東北大院理)	フーリエ変換型赤外分光計を用いた地上観測によるつくば上空メタン高度分布の精度検証(代友輝, 村田功, 中島英彰, 森野勇)
16:50	20 min	秦 秀春(名大ISEE)	Tokyo campaign of XCO ₂ measurement with OSA(秦秀春, 松見 豊, 長濱智生)
17:10			1日目終了
懇親会			本山界限
3月19日(火)			
9:30	20 min	村田 功(東北大院理)	つくばFTIRで観測されたHCl, HFの経年変化(村田功, 富川喜弘, 森野勇, 中島英彰, 代友輝)
9:50	20 min	長濱智生(名大ISEE)	都市大気汚染とHCHOの長期変動解析
10:10	20 min		休憩
10:30	40 min	武田真善(東北大院理)	プレトリートバル結果を用いる解析について+議論
11:20	30 min	長濱智生(名大ISEE)	Tik-LI法による解析について+議論
12:00	5 min	村田 功(東北大院理)	閉会あいさつ
12:05			2日目終了

研究集会のプログラム



都市大気観測サイト予定地の見学

大気海洋相互作用に関する研究集会
Research meeting for the study of the air-sea interaction

根田昌典、京都大学・大学院理学研究科

概要：

本研究集会は平成30年12月15日（土）と16日（日）の2日間の日程で京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻大会議室（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38名の参加のもとに18件の一般講演と7件のポスター発表があった。

研究集会の目的：

大気海洋間の相互作用の研究は、従来は物理的な分野における大気海洋の両領域の研究者の共同研究課題であったが、近年は海洋生物や栄養塩などの環境要因の分布やその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。また、Argoフロートによる海洋観測の爆発的な増加や気象庁が維持してきた定線観測データの解析といった手法によって、これまで平均像しか得られていなかった北太平洋の水塊形成過程の変動の把握が可能になりつつあり、さらにその大気海洋間の熱・運動量交換の変動による影響評価の重要性が近年の本研究集会でも報告されている。気候変動研究における大気海洋相互作用の役割についての理解を進めるためにはこれまで以上に新たな視点を必要としており、実態解明のための観測計画やそれと組み合わせるべき数値実験研究の立案が緊急の課題である。

この共同研究集会では、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行う。議論や懇親会において交流を深め、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ものである。

研究集会の内容と結果：

本研究集会は2日間にわたって行われ、ポスター発表を含む25件の一般講演があった。最初の4講演は観測データを基にして海洋のラージスケールの変動現象について調査した研究を集めた。川上（気象庁）は気象庁が蓄積した定線観測の資料を活用して、北太平洋冬季混合層水温の高温偏差に伴って躍層付近の当密度面に低温・低塩化傾向があるという興味深い結果を示した。渦位などの他の指標も導入して表層水塊変動との関係性により客観性を与えることで大気変動との関係性がより明瞭になるとの検討課題も指摘され、冒頭から非常に活発且つ建設的な意見交換がされた。岩坂（海洋大）は1990年代中盤を境にして黒潮続流海域の冬季混合層深度変動の主要因が海面冷却と成層強度の間で変化するというこれまでの報告に対して、海洋長期再解析データを用いることで整合性のある解析を試みた。その結果は従前研究を支持するものであった一方、黒潮続流の蛇行との関係については必ずしも長期にわたる明瞭な関係とはなっていないことも指摘した。山口（東北大）は北太平洋のサブダクション域が特定の領域に限られていることを統一的な基準で判断することによって、従来研究よりも適切な渦位フラックス評価を試みた。岡（大海研）は気象庁137度線観測データを用いて亜熱帯モード水の特徴が長期変動していることを指摘した。亜熱帯モード水形成の10年規模変動と黒潮続流の流路安定性の変動との対応関係が塩分変動を伴うことが成層の強度との関係を示している。これらの4講演の内容を総合的に検討すると、従来指摘されてきたような黒潮続流の不安定期が南側再循環域における成層強度を変化させることによって混合層深度も変わり得るというシナリオについては今後さらに検討すべき課題であることがわかり、今後の研究指針を与える重要なセッションであった。

午後の講演では海洋前線に関する講演が2件あった。大河内（北大）は海洋前線が気候パターンに与えるインパクトについて大気モデルを用いて評価し、水温前線に気候パターンが応答する時間に関して、背景場が影響していることを指摘した。一方、大石（名大ISEE）は北太平洋東部の前線強化・緩和過程を大気海洋相互作用によって説明を試みる研究について発表した。それぞれ空間スケールは異なるが、水温前線という空間方向に非等方的な現象がより大きなスケールの大気変動と密接にかかわる過程について調査されており、高解像度数値モデルによる海洋前線の影響評価を行う際の指針となり得る研究である。Iskandar（東北大）はインドネシア通過流の変動要因を探るための予備調査として、周辺の水塊について詳細に調査した結果を発表した。

西川（北大低温研）はカムチャツカ半島からの淡水供給がアリューシャン低気圧変動と東カムチャツカ海流の変動を結びつける要素ではないかとの作業仮説に基づいた現地調査について報告して初日を終えた。

2日目は理論的研究の講演から始めた。磯辺（九大応力研）は古気候記録から推定される対馬暖流の流量変動を動機として、線形論で解釈される島弧に沿った海流の海峡における分岐流量の推定理論を再検討した。分岐流に加えて主海流の流速まで考えることで多重解の存在する可能性を示した。志村（名大）は熱帯太平洋の波のエネルギーフラックス分布を求め、ケルビン波の東岸反射を再現した。次いで海盆規模でのデータ解析に関する研究報告を行った。飯田（東北大）は北太平洋上への冬季寒気流出量とその消滅率を計算し、それらに見られる主成分パターンがテレコネクションパターンと関連性があることを指摘した。また、中村（北大）は海盆間相互作用という観点から大西洋のSST変動が太平洋中緯度域に影響を与える可能性について検討し、SSTやSLPの分散説明量を解析した。これらは局所的な変動が他海域に影響を与える過程として波動や気団変質過程などに着目しており、相関解析によって得られた描像にさらに一步踏み込んだ視点がみられた。大石（名大ISEE）と日原（JAMSTEC）はそれぞれ新しいデータ同化手法についての研究を紹介した。また、富田（名大ISEE）は衛星観測に基づいて台風下の海面フラックスを推定する試みについて紹介した。亀山（名大）は乱流クロージャモデルを用いて台風や爆弾低気圧といった極端気象現象下での混合層再現実験について検討した。これらはデータ同化手法や衛星観測、混合層モデルといった、ある程度実用化された手法にもさらに向上の余地があることを示した。王（東北大）は編集されたアルゴデータから亜熱帯モード水の変動をSpicinessに着目して解析し、長期変動において広範囲における相関があることを示した。データセットが整備されたことから可能になった解析であり、水塊追跡において当密度面混合による水塊変質を考慮することの重要性を示した。町田（東海大）は駿河湾に見られる降水分布を海上風の収束との関係に着目して解析した。

ポスター発表は7件であった。小泉（東海大）と八木（東海大）は衛星データに基づいた海上風データの特性について調査し、一般的に時空間的に均一と考えられる衛星データを編集する際にも、複数ある衛星データの統合には注意が必要であることを示した。小橋（海洋大）は温帯低気圧が水温の長期変動に影響を与える可能性について検討し、データ解析の結果からメカニズムに踏み込むために慎重な解析を行った。その結果、水温フロントの強化による大気傾圧性の強化をスタートとするフィードバック過程を提唱した。万田（三重大）はシミュレーションと観測データの比較を通じて下層雲形成に対する大気と海洋のフィードバック過程を詳細に解析し、ケーススタディの結果と気候平均でみられる関係の差異を指摘した。本集会でもたびたび指摘されるように、大スケールの現象の素過程を調べることがメカニズム把握に必要であることの好例であろう。桂（大海研）は震災関連研究で、三陸沖の漁業に重要な海洋中の粒子分散過程について調査した。波浪に関する研究は2件あった。根田（京大）は高精度3次元流速計を用いて砕波乱流を評価するための予備観測の結果について報告し、変動する水面下での一定水深流速観測が可能であると報告した。これは、従来観測では平均水面を基準とした観測しかできていないために、水位変動に伴う鉛直面内の非発散流速変化と乱流成分の分離が難しかった問題点の解決に向かう可能性を示している。藤原（京大）は波による水位変動を直接的に再現可能な最新の数値モデルを開発してラングミュア循環を再現した結果とともに、渦度力による乱流成分の近似の適用範囲を評価できる可能性について報告した。直接数値計算によって従来の理論の適用範囲を再評価する試みで、波浪による流速変化のモデル化の根拠について統括的な理解を目指す非常に意欲的な研究である。

まとめ：

今回の集会は、参加者の多くが講演を行い、そのため非常に活発な議論が行われた。特に冒頭の4件の研究は互いに関連性が強く、相補的であることから、互いの結果を参照しながら総合的な討論がなされた。Regional Studyは3件であり、コミュニティの研究動向としては、整備されつつある大量のデータの解析に注目が集まっていることを実感する。また、現場観測に関する研究も1件であるが、近年の観測機器の性能の向上を考えると、大量データの解析のみならず新たな観測によって従来知見を再検討する研究は今後も必要であろう。何件かの発表は必ずしも大気海洋相互作用に関する研究ではないが、理論研究として非常に興味深いものであった。今年度はベテランの研究者の研究発表も多く、単に解析を行うだけではなく、使用したデータセットのバイアスの範囲をあらかじめ検討したうえで解析にあたるというような予備解析の重要性を示した。若い研究者が安易に解析結果の解釈に走ることにに対する警鐘となる好例である。

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。直接的ではなくて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た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けるとともに、そこから科研費や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。

インド洋/太平洋域における海洋循環/環境応用に関する研究集会
Approaches for Indo-Pacific Climate and Hydrospheric Environment

尾形 友道 (海洋研究開発機構・アプリケーションラボ)

平成 30 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 2018 年 9 月 13 日 (木) ~14 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、16 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。今年度はインドネシアからの招待講演者 (Iskhaq Iskandar 氏、A'an Johan Wahyudi 氏) の発表もあり、特にインドネシア多島海を中心とする様々な研究テーマと国際的な諸問題について活発な議論がなされた。また、他の地域における大気海洋研究においても様々な分野からの発表があった。長めの発表時間もあり、従来の学会では聞けない学際的なトピックに関する貴重な意見交換の場になった。全体的な発表内容と集会の今後の方向性を鑑みて英文名は Approaches for Hydrospheric-Atmospheric Environmental Studies in Asia-Oceania としてプログラム編成や告知アナウンスを行った。

集会 1 日目 (9 月 13 日午後) :

まず、Iskhaq Iskandar (Universitas Sriwijaya) からインドネシアにおける降水変動における ENSO/IOD などの熱帯域の気候変動モードとの関連、および地域性に関する基調講演があった。引き続き、安藤健太郎 (JAMSTEC) は東南アジア域における沿岸観測データなどの観測の整備・公開状況とネットワーク化としての取り組み (GEO/AOGEOSS) について発表した。横井覚 (JAMSTEC) は 2015/16 年と 2017/18 年南半球夏季に、スマトラ島南西沿岸域にて、海洋地球研究船「みらい」を用いた集中観測 (Pre-YMC & YMC) の概要と観測結果について紹介した。福富慶樹 (名古屋大) は南半球夏季に海洋大陸域で発達する総観規模波動擾乱の構造と性質を解析し、東インド洋上の下層南風サージ等による中緯度熱帯相互作用による波動擾乱の強制過程と維持過程に重要な背景環境場について議論した。木戸晶一郎 (東大) は赤道インド洋における IOD に伴う垂表層水温の形成メカニズムについて調べ、海洋の季節内変動による非線形効果の寄与について議論した。万田敦昌 (三重大) は近年の観測・シミュレーション技術の向上により明らかになってきた、黄海・東シナ海が梅雨前線帯の季節進行や梅雨末期の集中豪雨等に及ぼす影響を明らかにしたいくつかの研究成果を紹介した。佐々木克徳 (北大) は Argo 観測のグリッドデータを用いて、

南太平洋での等密度面上の **spiciness** 偏差の海盆スケールにおける伝播を調べ、25-25.5sq 面上で北東部から赤道へ流れる北側経路と、中央部の高塩分領域から沈み込む南側経路の 2 か所があることを明らかにした。山上遥航（東大）は南西インド洋域の南アフリカ沿岸を流れるアガラス海流に見られる **Natal Pulse** という特徴的な蛇行に着目し、その発生力学や経年変動の要因について調べた。

集会 2 日目（9 月 14 日午前）：

1 日目に引き続きインドネシアにおける海洋研究の事例として、**A'an Johan Wahyudi** (Indonesian Institute of Sciences) から東インド洋沿岸域における海洋物質循環の観測結果の紹介があり、同位体解析からスマトラ沖の沿岸流による水塊混合の影響を示唆する基調講演があった。升本順夫（東大）はジャワ島南岸に発生する季節的な沿岸湧昇が CMIP5 モデルでどの程度再現されているのかを調べ、局所的な風応力と赤道域からの波動伝播の影響を調べた。木田新一郎（九大）は活発な大気対流活動によってインドネシア多島海に流入する大量の淡水の経路について、潮汐混合パラメタリゼーションを新たに導入した OFES2 と粒子追跡モデルを用いて検証した。井上麻夕里（岡山大）はサンゴ骨格から海水温および塩分が復元できる事を紹介し、ジャワ海のセリブ諸島より採取されたサンゴ骨格の化学成分分析から復元した過去約 70 年間の海水温と塩分の復元結果について紹介した。永井平（東大）は海洋モデルにインドネシア多島海における潮汐による鉛直混合の効果をとり込む事で、水温・塩分に見られる水塊の変質プロセスへの影響を調べた。大石俊（名古屋大）は東南アジア・西部太平洋域においてそれぞれ LETKF (20 メンバー) を使用した高解像度海洋同化システムを構築し、東南アジア領域モデルでの大気強制場への依存性および西部太平洋広域モデルでの 2 種類の同化海面水温（ひまわり 8 号・GCOM-W）を用いた同化海面水温への影響について発表した。小平翼（東大）は内部潮汐の発生と伝搬が黒潮によってどのように変化するかを調べ、黒潮と潮流の双方が強い特徴的な海域として伊豆諸島でのシミュレーション例を紹介した。**Yu-Lin Chang** (JAMSTEC) は幼生ウナギの移動における北西太平洋（フィリピン沖）の海洋循環の影響について、3次元の粒子追跡法を用いた結果を報告した。

H31 年度集会のプログラム

http://co2.hyarc.nagoya-u.ac.jp/labhp/member/aiki/20180913_workshop-asia-oceania.pdf

H30 年度集会の学会ニューズレター報告文

http://kaiyo-gakkai.jp/jos/newsletter/2018/2018_v8_n1.pdf

研究集会 太陽地球環境と宇宙線モジュレーション
Space weather and cosmic ray modulation

加藤 千尋、信州大学・理学部

本研究集会は例年、宇宙線を軸に太陽圏・宇宙天気に関わる話題を扱っている。平成30年度は2月25日から28日の4日間、“太陽圏・宇宙線関連の共同研究成果報告会”及び“国際研究集会「太陽圏物理学の最新動向」”と合同での開催となった。国際シンポジウムとして海外から10名余りの講演者を迎え、太陽圏物理や宇宙天気研究、宇宙線モジュレーション研究等について活発な議論が行われた。参加した研究者には貴重な意見交換の場となったと思われる。開催4日間の参加者は延べ194名であった。

以下は、研究集会(シンポジウム)のプログラムである。

February 25 (Mon)

10:30-10:35 Welcome remarks: Kanya Kusano (Director of ISEE, Nagoya Univ.)

Session 1 Chair: Yasuhiro Nariyuki (Univ. Toyama)

10:35-11:10 Toward the physics-based prediction of solar flares and coronal mass

ejections Kanya Kusano (ISEE, Nagoya Univ.)

11:10-11:45 Three-dimensional MHD modeling of solar corona and inner heliosphere for

space weather forecast Daikou Shiota (NICT)

11:45-12:05 Development of coronal mass ejection arrival time forecasting system using

interplanetary scintillation observations

Kazumasa Iwai (ISEE, Nagoya Univ.), Daikou Shiota, Munetoshi Tokumaru,

Kenichi Fujiki, Mitsue Den, Yuki Kubo

<12:05-13:30 Lunch>

Session 2 Chair: Kazumasa Iwai (ISEE, Nagoya Univ.)

13:30-14:05 Stellar winds and coronae from solar-type stars with different metallicities

Takeru Suzuki (Univ. Tokyo)

14:05-14:40 Three-dimensional, self-consistent MHD simulation of the solar wind

acceleration Munehito Shoda (Univ. Tokyo)

14:40-15:15 Modeling and observations of density fluctuations in the solar wind

Mahboubeh Asgari-Targhi (CfA Harvard-Smithsonian)

<15:15-15:35 Break>

Session 3 Chair: Tohru Hada (Kyushu Univ.)

15:35-16:10 Understanding Coronal Heating and Solar Wind Acceleration: Parker Solar

Probe Marco Velli (UCLA)

16:10-16:45 Studying large-scale and small-scale solar-wind turbulence with Solar

Orbiter: particles and fields

Daniel Verscharen (Univ. College London)

16:45-17:05 The Solar-C_EUVST mission and its contribution to the Sun-Inner

heliosphere connection studies

T. Shimizu (ISAS/JAXA) and Solar-C WG

February 26 (Tue)

Session 4 Chair: Hiroshi Hasegawa (ISAS/JAXA)

9:00-9:20 PIC simulation of a quasi-parallel collisionless shock: Interaction between

upstream waves and field-aligned ion beams

F. Otsuka, S. Matsukiyo, and T. Hada

9:20-9:55 Electron Acceleration at Earth's Bow Shock: MMS Observation

Mitsuo Oka (UC Berkeley)

<9:55-10:15 Break>

Session 5 Chair: Tomoko Nakagawa (Tohoku Institute of Tech.)

10:15-10:35 Decoding Past Solar Activities with Recent-Day Observations and

Historical Documents

Akito D. Kawamura (Kyoto Univ.)

10:35-11:10 Plasma Dynamics in the Solar Corona Revealed by Emission Line

Spectroscopy Hirohisa Hara (NAOJ)

11:10-11:45 Analysis of energy spectra observed by New Horizons: PIC simulation

results versus observations in the environment of Pluto Zhongwei Yang (CAS)

11:45-12:05 Test particle simulation of cosmic ray invasion into the heliosphere

Shuichi Matsukiyo(Kyushu Univ.),

Keisuke Shimokawa, Haruichi Washimi, Tohru Hada, Gary P. Zank

<12:05-13:30 Lunch Break>

Session 6 Chair: Yasuhiro Nariyuki (Univ. Toyama)

13:30-14:05 Properties of pickup ion density variations in the outer heliosheath as a

probe for the heliopause fluctuation Ken Tsubouchi (UEC)

14:05-14:40 Recent Observations from the Voyager Spacecraft

John Richardson (MIT)

14:40-15:15 From IBEX to IMAP: imaging the distant heliosphere by energetic neutral

atoms and interstellar neutral gas

Justyna Sokol (Space Research Centre, PAS)

<15:15-15:35 Break>

Session 7 Chair: Yutaka Matsubara (Nagoya University)

15:35-15:55 Anomalous transport of cosmic rays T. Hada (Kyushu Univ.)

15:55-16:30 Long-term variation of cosmic ray intensity observed with Nagoya muon

detector Kazuoki Munakata (Shinshu University)

16:30-16:50 Modeling of cosmic-ray anisotropy in an MHD-simulated heliosphere

T. K. Sako(ICRR) for the Tibet ASgamma collaboration

16:50-17:10 Multi-TeV cosmic ray anisotropy observation planned in the southern

hemisphere using a new air shower experiment in Bolivia; ALPACA (Andes Large area

PArticle detector for Cosmic ray physics and Astronomy)

Kato Sei (ICRR)for the ALPACA(Andes Large area PArticle detector for Cosmic ray

physics and Astronomy) collaboration

February 27 (Wed)

Session 8 Chair: Chihiro Kato (Shinshu University)

9:00-9:20 Study of the impact of geomagnetic storms on the Earth's magnetic field by

the GRAPES-3 experiment

Sunil K.Gupta (Tata Institute of Fundamental Research)

9:20-9:40 Latest Results from the CALorimetric Electron Telescope (CALET) on the

International Space Station Y.Asaka for the CALET collaboration

<9:40-10:00 Break>

Session 9 Chair: Shuichi Matsukiyo (Kyushu University)

10:00-10:35 Multiple-scale analysis of turbulent transport in strongly compressible

magnetohydrodynamic plasmas Nobumitsu Yokoi (Univ. Tokyo)

10:35-11:10 On the spatial profile of turbulence in magnetically confined plasmas

Makoto Sasaki (Kyushu Univ.)

11:10-11:45 Generation of Alfvénic turbulence and implication to auroral particle

acceleration Tomo-Hiko Watanabe (Nagoya Univ.)

11:45-12:05 Stochastic modeling of pitch angle diffusion by parallel propagating

magnetohydrodynamic waves

Yasuhiro Nariyuki (Univ. Toyama), Makoto Sasaki, Tohru Hada

<12:05-13:30 Lunch Break>

Session 10 Chair: Munetoshi Tokumaru (Nagoya Univ.)

14:05-14:40 An MHD analysis of time-varying outer heliospheric structure using OMNI

solar-wind daily data Haruichi Washimi (Kyushu Univ.)

14:40-15:15 Heliospheric influence on the anisotropy of cosmic rays

Ming Zhang (Florida Institute of Technology)

<15:15-16:00 Break>

16:00 Ceremony for ISEE Award @ ES Hall of the ES building

18:00 Conference dinner @ Restaurant “Hana-no-ki”

February 28 (Thu.)

9:00-11:00 Poster session*

* The meeting for result presentation of collaborative research on heliosphere and

cosmic rays is held simultaneously. All presentations in this meeting will be made in

Japanese.

11:00 Closing

Posters

P1 “What regulates temperature anisotropy in the expanding solar wind?”

Jungjoon Seough, Peter H. Yoon, and Yasuhiro Nariyuki

P2 “Incorporation of kinetic and stochastic effects into nonlinear Alfvén wave models”

Yasuhiro Nariyuki

P3 “Generation of turbulence in Kelvin-Helmholtz vortices at Earth’s magnetopause:

MMS observations”

H. Hasegawa, T. K. M. Nakamura, D. J. Gershman, N.

Kitamura, Y. Saito, A. F.-Vinas, B. L. Giles, C. T.

Russell, B. Lavraud, Y. V. Khotyaintsev, and R. E. Ergu

P4 “Potential Role of Mirror and Ion Bernstein Instabilities on scattering of Pickup Ions

in the Outer Heliosheath”

Kyungguk Min and Kaijun Liu

P5 “Toward a Next Generation Solar Coronagraph: Diagnostic Coronagraph on the

International Space Station”

Su-Chan Bong, Yeon-Han Kim, Seonghwan Choi,

Kyung-Suk Cho, Jihun Kim, Heesu Yang, Jongyeob

Park, Ji-Hye Baek, Jae-Ok Lee, Jungjoon Seough,

Young-Deuk Park, Natchmuthuk Gopalswamy, Jeffrey

S. Newmark, Nicholeen Viall-Kepko, Spiro Antiochos,

O. C. St Cyr, Charles N. Arge

P6 “Solar Observations with ALMA in Cycle 7”

Masumi Shimojo and International development team

for ALMA solar observations

P7 “Space Weather observations using newly installed CR detectors at Syowa base in

the Antarctic”

C.Kato, S.Uchida, S.Kaimi, K.Munakata, A.Kadokura,

R.Kataoka, P.Evenson

P8 “Solar Neutron and Gamma-ray Detector for a 3U CubeSat”

Kazutaka Yamaoka, Hiroyasu Tajima, Kikuko Miyata,

Takaya Inamori, Yoshinori Sasai, Kazuhiro Nakazawa,

Satoshi Masuda, Koji Matsushita, Kazuya Itoh,

Hiromitsu Takahashi, Kyoko Watanabe

台風セミナー2018
Typhoon seminar 2018

中野満寿男（海洋研究開発機構）

台風セミナー2018が、2018年10月26-27日に海洋研究開発機構東京事務所(共用会議室AB)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8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、台風の衛星観測画像を網羅的にまとめたTC Web Pageの構築や、マイクロ波放射計などを用いた衛星観測で大きな実績を上げてきたThe United States Naval Research Laboratory (NRL)のDr. Jeffery D. Hawkinsを講演者として招き、台風衛星観測の基礎から応用まで幅広いトピックについて6時間にわたって講演頂いた。また、招待講演に先立ち、講演内容の理解を促進する目的で、台風衛星観測初学者向けの日本語の講演を、気象庁気象研究所の小山亮氏にお願いした。この試みは前回から導入され好評であったので今回も行ったものである。その他に、国内の研究者による5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14の機関より32名であった(写真)。

Jeff Hawkins氏は、マイクロ波放射計による観測により、台風中心位置の判定や眼のサイズの解析が、特に、発生期や鉛直シアーよって対流と下層の渦が分離されているような場合、上層の雲で眼がよく見えない(CDOの覆われている場合)に静止衛星画像を用いるよりも格段に高い精度で行えることを、数多くの事例を示しながら説明した。さらに、今後数年以内に予算等の都合により、マイクロ波観測衛星が激減することを指摘した。また近年のTC WebPageのupdateの紹介もあった。自動ドボラック法(ADT)の開発や、様々な衛星観測情報を統合した様々なプロダクトの紹介、また衛星コンセンサスによる強度推定などについて、丁寧かつ包括的に紹介していただいた。これに先だって行われた小山亮氏による入門講義では、専門用語(日本語と英語の対応を含む)や放射計(imager)と探査計(sounder)の定義、観測原理のベースとなる大気放射の基礎などについて網羅した。このおかげで、報告者のように衛星観測の門外漢でもJeff Hawkins氏の講演の理解が大分助けられたことを記しておく。国内の研究者による口頭発表では、強い台風の経年変化についての考察や、大アンサンブルデータを用いた、台風の温暖化応答、鉛直シアー下での急発達メカニズムのお考察など幅広いテーマが扱われ、活発な議論が行われた。

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、Jeff Hawkins氏をはじめとする、NRL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。

なお、本研究集会の名古屋大学宇宙地球環境研究所の対応教員である篠田太郎氏は急用により参加できなくなったため、Jeff Hawkins氏の旅費支払いの事務手続きは同研究所から参加していた金田幸恵氏にお願いした。また、本研究集会は名古屋大学宇宙地球環境研究所が主催、日本気象学会台風研究連絡会の共催で実施した。

以下、台風セミナー2018のプログラムを掲載しておく。

招待講演： Dr. Jeffrey D. Hawkins (Retired, United States Naval Research Laboratory)
“Satellite-Based Tropical Cyclone Characterization”

10/26 チュートリアル

9:30-12:30 小山亮（気象研）「台風衛星観測 入門編」

10/26 台風セミナー（1日目）

14:00-14:05 開会のあいさつ

14:05-17:05 招待講演 Dr. Jeffrey D. Hawkins 「Satellite-Based Tropical Cyclone Characterization」（座長：山口宗彦）

17:30-18:00 一般講演1（座長：沢田雅洋）

17:30-18:00 中澤哲夫（気象研）「なぜJMAとJTWCの台風強度に差があるのか？」

10/27 台風セミナー（2日目）

9:30-12:30 招待講演 Dr. Jeffrey D. Hawkins 「Satellite-Based Tropical Cyclone Characterization」（続き）（座長：宮本佳明）

12:30-14:00 昼食

14:00-16:15 一般口頭発表（座長：嶋田宇大）

14:00-14:30 沢田雅洋「HWRPで予報された台風上層構造の大気追跡風による診断」

14:30-15:00 嶋田宇大「急発達事例の抽出と特徴」

15:00-15:15 休憩

15:15-15:45 宮本佳明「270メンバーのアンサンブル実験から得られた急発達開始前の熱帯低気圧の構造変化」

15:45-16:15 金田幸恵「A slower translation speed of a typhoon around Japan in the future warmer climate」

16:15-16:20 閉会のあいさつ



写真 台風セミナー2018 参加者の集合写真

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30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：2019年3月4日（月）-3月5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

コンピーナー：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】

本研究集会では、波浪・高潮および海面物理化学的過程研究に関連した計11件の講演が行われた。本年度の新たな試みとして九州大学応用力学研究所からのYoutube生配信として風洞水槽実験の様子を兵庫県立大学・高垣助教にお願いすることができた。本水槽は九州大学・光易名誉教授により精力的に波浪研究がおこなわれていた時代の歴史的水槽であり、また現在進行中の水槽の改良工事の様子がわかりやすく伝わり大変好評となった。通常講演に関しては、沿岸を対象とした波浪・高潮研究が4件、外洋を対象とした海洋波・海面フラックス研究等が3件、また現業波浪モデル、数値解析や理論研究など幅広い研究テーマを対象とした研究集会となった。

【研究集会の成果】

一昨年度、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。本年度は海面フラックスの直接計測に関する研究テーマが加わったことで、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）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、シニアおよび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】

2019/03/04 (月)

- 13:00-13:30 講演 1 沿岸部における長周期波の挙動に関する分析
松葉義直 (東京大学工学系研究科)
- 13:30-14:00 講演 2 準単色波列による干渉増幅機構
田村仁 (港湾空港技術研究所)
- 14:00-14:30 講演 3 気象庁波浪モデルの現状と課題
伊藤享洋 (気象庁海洋気象情報室)
- 14:30-14:45 休憩
- 14:45-15:15 講演 4 外洋域における海面直下の 3 次元流速変動の観測について
根田昌典 (京都大学大学院理学研究科)
- 15:15-15:45 講演 5 渦相関法による海面フラックスの直接測定について
近藤文義 (海上保安大学校)
- 15:45-16:15 時間調整
- 16:15-16:30 休憩
- 16:30-17:00 講演 6 陸奥湾と仙台湾における周期数時間の副振動
仲井圭二 (株式会社エコー)
- 17:00-17:30 講演 7 波浪・高潮の相互作用を考慮した高潮・波浪推算：2018 年度台風 21 号への適用
金洙列 (鳥取大学大学院工学研究科)

2019/03/05 (火)

- 09:30-10:00 講演 8 水面波と乱流の直接数値計算 - 平均流理論との比較に向けて
藤原泰 (京都大学大学院理学研究科)
- 10:00-10:30 講演 9 風波水槽実験の現況紹介
鈴木直弥 (近畿大学理工学部)
- 10:30-11:00 講演 10 RIAM から水槽実験中継 (youtube 生配信)
高垣直尚 (兵庫県立大学)
- 11:00-11:30 講演 11 風から海洋表層流へのエネルギー入力について解釈のしやすい計算法
相木秀則 (名古屋大学宇宙地球環境研究所)

http://co2.hyarc.nagoya-u.ac.jp/labhp/member/aiki/20190304_workshop-ocean-surface-waves.pdf

国際研究集会「太陽圏物理学の最新動向」
ISEE symposium "Recent progress in heliospheric physics by direct measurements of unexplored space plasmas"

成行泰裕、富山大学・人間発達科学部

本研究集会は、太陽圏物理の基礎問題から宇宙環境変動予測などの応用にかかわるテーマまで、太陽圏物理学の最新動向について議論する場を提供することを目的として開催された。本件研究集会はISEEシンポジウムとして採択していただき、国内外から多くの著名な研究者や新進気鋭の若手研究者を招待講演者として迎えることが出来た。2月25日から3日間にわたり英語による口頭セッションを、最終日の28日は合同開催した「太陽圏・宇宙線関連の共同研究成果報告会」の講演と並行して英語のポスターセッションを行った。講演では、昨年打ち上げられたParker Solar Probeの初期報告を始めとした太陽圏物理の最新の研究成果だけではなく、Solar Orbiter、IMAP、Solar-C、EUVST、Debyeなどの開発中・企画中のミッションについての話題も多く、特に国内から参加した太陽圏関連の研究者の多くにとって貴重な機会となったと考えられる。参加者は4日間でのべ194人であった。ただ、本研究集会の企画段階から主要な招待講演者のひとりであったGary Zank氏が致し方の無い事情で来日できなかった点は残念であった。なお、本シンポジウムの開催にあたって公益財団法人宇宙科学振興会から支援を受けた。

以下に、シンポジウムのプログラムを示す：

February 25 (Mon)

10:30-10:35 Welcome remarks: Kanya Kusano (Director of ISEE, Nagoya Univ.)

Session 1 Chair: Yasuhiro Nariyuki (Univ. Toyama)

10:35-11:10 Toward the physics-based prediction of solar flares and coronal mass

ejections Kanya Kusano (ISEE, Nagoya Univ.)

11:10-11:45 Three-dimensional MHD modeling of solar corona and inner heliosphere for

space weather forecast Daikou Shiota (NICT)

11:45-12:05 Development of coronal mass ejection arrival time forecasting system using

interplanetary scintillation observations

Kazumasa Iwai (ISEE, Nagoya Univ.), Daikou Shiota, Munetoshi Tokumaru,

Kenichi Fujiki, Mitsue Den, Yuki Kubo

<12:05-13:30 Lunch>

Session 2 Chair: Kazumasa Iwai (ISEE, Nagoya Univ.)

13:30-14:05 Stellar winds and coronae from solar-type stars with different metallicities

Takeru Suzuki (Univ. Tokyo)

14:05-14:40 Three-dimensional, self-consistent MHD simulation of the solar wind

acceleration Munehito Shoda (Univ. Tokyo)

14:40-15:15 Modeling and observations of density fluctuations in the solar wind

Mahboubeh Asgari-Targhi (CfA Harvard-Smithsonian)

<15:15-15:35 Break>

Session 3 Chair: Tohru Hada (Kyushu Univ.)

15:35-16:10 Understanding Coronal Heating and Solar Wind Acceleration: Parker Solar

Probe Marco Velli (UCLA)

16:10-16:45 Studying large-scale and small-scale solar-wind turbulence with Solar

Orbiter: particles and fields

Daniel Verscharen (Univ. College London)

16:45-17:05 The Solar-C_EUVST mission and its contribution to the Sun-Inner

heliosphere connection studies

T. Shimizu (ISAS/JAXA) and Solar-C WG

February 26 (Tue)

Session 4 Chair: Hiroshi Hasegawa (ISAS/JAXA)

9:00-9:20 PIC simulation of a quasi-parallel collisionless shock: Interaction between

upstream waves and field-aligned ion beams

F. Otsuka, S. Matsukiyo, and T. Hada

9:20-9:55 Electron Acceleration at Earth's Bow Shock: MMS Observation

Mitsuo Oka (UC Berkeley)

<9:55-10:15 Break>

Session 5 Chair: Tomoko Nakagawa (Tohoku Institute of Tech.)

10:15-10:35 Decoding Past Solar Activities with Recent-Day Observations and

Historical Documents

Akito D. Kawamura (Kyoto Univ.)

10:35-11:10 Plasma Dynamics in the Solar Corona Revealed by

Emission Line

Spectroscopy Hirohisa Hara (NAOJ)

11:10-11:45 Analysis of energy spectra observed by New Horizons: PIC simulation

results versus observations in the environment of Pluto Zhongwei Yang (CAS)

11:45-12:05 Test particle simulation of cosmic ray invasion into the heliosphere

Shuichi Matsukiyo (Kyushu Univ.),

Keisuke Shimokawa, Haruichi Washimi, Tohru Hada, Gary P. Zank

<12:05-13:30 Lunch Break>

Session 6 Chair: Yasuhiro Nariyuki (Univ. Toyama)

13:30-14:05 Properties of pickup ion density variations in the outer heliosheath as a

probe for the heliopause fluctuation Ken Tsubouchi (UEC)

14:05-14:40 Recent Observations from the Voyager Spacecraft

John Richardson (MIT)

14:40-15:15 From IBEX to IMAP: imaging the distant heliosphere by energetic neutral

atoms and interstellar neutral gas

Justyna Sokol (Space Research Centre, PAS)

<15:15-15:35 Break>

Session 7 Chair: Yutaka Matsubara (Nagoya University)

15:35-15:55 Anomalous transport of cosmic rays T. Hada (Kyushu Univ.)

15:55-16:30 Long-term variation of cosmic ray intensity observed with Nagoya muon

detector Kazuoki Munakata (Shinshu University)

16:30-16:50 Modeling of cosmic-ray anisotropy in an MHD-simulated heliosphere

T. K. Sako (ICRR) for the Tibet ASgamma collaboration

16:50-17:10 Multi-TeV cosmic ray anisotropy observation planned in the southern

hemisphere using a new air shower experiment in Bolivia; ALPACA (Andes Large area

Particle detector for Cosmic ray physics and Astronomy)

Kato Sei (ICRR) for the ALPACA (Andes Large area Particle detector for Cosmic ray

physics and Astronomy) collaboration

February 27 (Wed)

Session 8 Chair: Chihiro Kato (Shinshu University)

9:00-9:20 Study of the impact of geomagnetic storms on the Earth's magnetic field by

the GRAPES-3 experiment

Sunil K.Gupta (Tata Institute of Fundamental Research)

9:20-9:40 Latest Results from the CALorimetric Electron Telescope (CALET) on the

International Space Station Y.Asaoka for the CALET collaboration

<9:40-10:00 Break>

Session 9 Chair: Shuichi Matsukiyo (Kyushu University)

10:00-10:35 Multiple-scale analysis of turbulent transport in strongly compressible

magnetohydrodynamic plasmas Nobumitsu Yokoi (Univ. Tokyo)

10:35-11:10 On the spatial profile of turbulence in magnetically confined plasmas

Makoto Sasaki (Kyushu Univ.)

11:10-11:45 Generation of Alfvénic turbulence and implication to auroral particle

acceleration Tomo-Hiko Watanabe (Nagoya Univ.)

11:45-12:05 Stochastic modeling of pitch angle diffusion by parallel propagating

magnetohydrodynamic waves

Yasuhiro Nariyuki (Univ. Toyama), Makoto Sasaki, Tohru Hada

<12:05-13:30 Lunch Break>

Session 10 Chair: Munetoshi Tokumaru (Nagoya Univ.)

14:05-14:40 An MHD analysis of time-varying outer heliospheric structure using OMNI

solar-wind daily data Haruichi Washimi (Kyushu Univ.)

14:40-15:15 Heliospheric influence on the anisotropy of cosmic rays

Ming Zhang (Florida Institute of Technology)

<15:15-16:00 Break>

16:00 Ceremony for ISEE Award @ ES Hall of the ES building

18:00 Conference dinner @ Restaurant "Hana-no-ki"

February 28 (Thu.)

9:00-11:00 Poster session*

* The meeting for result presentation of collaborative research on heliosphere and

cosmic rays is held simultaneously. All presentations in this meeting will be made in

Japanese.

11:00 Closing

Posters

P1 "What regulates temperature anisotropy in the expanding solar wind?"

Jungjoon Seough, Peter H. Yoon, and Yasuhiro Nariyuki

P2 "Incorporation of kinetic and stochastic effects into nonlinear Alfvén wave models"

Yasuhiro Nariyuki

P3 "Generation of turbulence in Kelvin-Helmholtz vortices at Earth's magnetopause:

MMS observations"

H. Hasegawa, T. K. M. Nakamura, D. J. Gershman, N.

Kitamura, Y. Saito, A. F.-Vinas, B. L. Giles, C. T.

Russell, B. Lavraud, Y. V. Khotyaintsev, and R. E. Ergu

P4 "Potential Role of Mirror and Ion Bernstein Instabilities on scattering of Pickup Ions

in the Outer Heliosheath"

Kyungguk Min and Kaijun Liu

P5 "Toward a Next Generation Solar Coronagraph: Diagnostic Coronagraph on the

International Space Station"

Su-Chan Bong, Yeon-Han Kim, Seonghwan Choi,

Kyung-Suk Cho, Jihun Kim, Heesu Yang, Jongyeob

Park, Ji-Hye Baek, Jae-Ok Lee, Jungjoon Seough,

Young-Deuk Park, Natchmuthuk Gopalswamy, Jeffrey

S. Newmark, Nicholeen Viall-Kepko, Spiro Antiochos,

O. C. St Cyr, Charles N. Arge

P6 "Solar Observations with ALMA in Cycle 7"

Masumi Shimojo and International development team

for ALMA solar observations

P7 "Space Weather observations using newly installed CR detectors at Syowa base in

the Antarctic"

C.Kato, S.Uchida, S.Kaimi, K.Munakata, A.Kadokura,

R.Kataoka, P.Evenson

P8 “Solar Neutron and Gamma-ray Detector for a 3U CubeSat“

Kazutaka Yamaoka, Hiroyasu Tajima, Kikuko Miyata,
Takaya Inamori, Yoshinori Sasai, Kazuhiro Nakazawa,
Satoshi Masuda, Koji Matsushita, Kazuya Itoh,
Hiromitsu Takahashi, Kyoko Watanabe

EISCAT 研究集会
EISCAT meeting

野澤 悟徳、名古屋大学宇宙地球環境研究所

開催日:2019年3月1日(金)

開催場所:国立極地研究所 3階セミナー室(C301)

日本は1996年に欧州非干渉散乱(EISCAT)科学協会に加盟後、太陽地球環境研究所(現宇宙地球環境研究所)と国立極地研究所を共同利用機関として、EISCATレーダーを中心に用いて、北極域での拠点観測を実施してきた。近年には、れいめい衛星、あらせ衛星等の衛星やICI-4ロケットキャンペーンなどの飛翔体、ナトリウムライダーやMFレーダー等の地上観測機器との共同観測データや、30年以上に渡り蓄積されたEISCATデータなどを用いることにより、磁気圏-電離圏-熱圏結合や電離圏長期変動などの研究対象において、世界をリードする研究成果を生み出してきている。本研究集会では、現行のEISCATレーダーシステムを用いた研究成果を踏まえ、EISCAT_3D計画(新たな多点フェーズドアレイ観測)と北極域・北極の関連観測、2018年度に実施したEISCAT特別実験の報告を柱とした。研究集会は、国立極地研究所にて、国立極地研究所のEISCAT研究集会との合同開催として実施した。京都大学、電通大学等の11機関から23名が参加し、講演・議論が行われた。

今回のEISCAT研究集会は、以下の3つの課題を中心にプログラムを構成した。

- (1)EISCAT_3D計画の国際的な準備状況や北極のEISCAT関連観測に関する最新情報について、EISCAT Council member や EISCAT SAC member からの報告、および、今後に向けての議論。
- (2)現行のEISCATレーダーシステムや北極域に展開された各種観測装置を用いた最新の研究成果の講演。
- (3)2018年度に実施したEISCATレーダー特別実験の報告。

EISCATレーダーを用いた個々の研究テーマには、中間圏・熱圏・電離圏ダイナミクス、宇宙デブリを含む大気環境計測、オーロラ物理などの幅広い研究分野の内容が含まれる。

研究集会では、最初に、EISCAT_3Dレーダー計画に関する国際状況説明と日本の取り組み、EISCAT_3D技術審査委員会報告について報告がなされた。EISCAT_3Dレーダーの建設は、若干の問題はあるが、順調に進んでおり、2022年に観測開始が予定されている。しかし、欧州4ヶ国(ノルウェー、スウェーデン、フィンランド、英)の予算のみでは、計画当初の性能は達成できず、日本の予算化が国内外で強く望まれている。これらを踏まえて今後のEISCAT_3Dレーダー計画の推進について議論を行った。次に、EISCATレーダーを中心とした研究成果に関する講演が6件行われた。EISCATレーダーと光学機器との同時観測データに基づいたオーロラ関連の講演や、あらせ衛星との同時観測に関する講演がなされた。最後のセッションでは、2018年度に採択された11件のEISCATレーダー特別実験についての実施結果等、報告された。

日本の予算化が未だ実現していないEISCAT_3Dレーダー計画の現状について、国立極地研究所

と名古屋大学宇宙地球環境研究所のメンバーだけでなく、幅広い共同関係者が情報共有し、それを踏まえて、今後どのように発展させていくべきかについて議論したことは、コミュニティーの合意形成の意味でも、予算化実現の意味でも重要である。また、今回は、大学院生の講演が4件あり、次代を担う若手研究者育成の意味で重要である。

2018年度 EISCAT 研究集会（極地研&名大 ISEE 研究集会）

研究集会プログラム（敬称略）：

10:40-10:45

趣旨説明及び事務連絡（宮岡、野澤、小川）

10:45-11:35 EISCAT_3D 計画の現状と今後

（15分）EISCAT_3D 計画に関する国際状況説明と日本の取り組み（野澤）

（15分）EISCAT_3D 技術審査会議報告（小川）

（20分）今後の EISCAT_3D 計画の推進内容・方法などに関する議論・意見交換

11:35-11:50 2018年度の特別実験のまとめ（野澤）

2019年度の特別実験/共通実験に関する情報共有（小川）

（60分間の休憩）

12:50-14:30 EISCAT を中心とした研究成果などの発表（発表 10-13分、質疑応答 5分）

（1）Estimation of the altitude of pulsating aurora（川村）

（2）EISCAT レーダー・あらせ(ERG)衛星連携観測に基づく低高度電離圏から磁気圏への分子イオン供給メカニズムの研究（高田）

（3）EISCAT measurements of temperature and flow around small-scale auroral arcs observed by ALIS cameras（長房 他）

（4）オーロラ領域における中性大気質量密度のメソスケール変動特性（大井川 他）

（5）南極昭和基地大型大気レーダーによる適応的信号処理を用いた電離圏観測（橋本）

（6）あらせ衛星-EISCAT 共同観測（EISCAT 国内推進室）

14:35-16:40 本年度申請/実施した EISCAT 特別実験結果の報告

1 多点・多波長単色イメージャと EISCAT レーダーを用いたオーロラ降下電子エネルギーの時空間変動の観測（研究代表者：田中良昌）

2 オーロラパッチ内部に作られる分極電場（研究代表者：高橋透）

3 太陽活動極小期における昼側極冠域電離圏変動の研究（研究代表者：藤原均）

4 脈動オーロラに伴う地上磁場変動の発生メカニズムの解明（研究代表者：細川敬祐）

5 太陽風変動に対する地球電磁気圏物質輸送の応答（研究代表者：関華奈子）

6 カスプ流出イオンの加速及び加熱機構の解明：SS-520-3号機キャンペーン

（研究代表者：齋藤義文）（注：来年度以降に延期）

7 脈動オーロラに伴うマイクロバースト現象における降下電子特性の解明

（研究代表者：浅村和史）

8 ナトリウムライダーと EISCAT VHF レーダー同時観測による極域下部熱圏・上部中間圏鉛直風の研究（研究代表者：野澤悟徳）

9 あらせ衛星との協調観測によるコーラス波動に伴う放射線帯電子降り込み観測

（研究代表者：三好由純）（注：申請番号7の実験とマージ）

10 オーロラに伴う熱圏加熱の観測実証実験（研究代表者：大山伸一郎）

11 昼側オーロラオーバルの低緯度側に生じるフローチャンネルの ESR 観測

（研究代表者：田口聡）

12 EISCAT レーダー観測データ解析によるスペースデブリ検出の研究

（研究代表者：藤田浩輝）

16:40-17:00 総合討論及び懇談会

第6回アジア海色ワークショップ「第15回日韓海色ワークショップ」の開催 Organizing the 6th Asian (the 15th Korea-Japan) Workshop on Ocean Color 2016 (AWOC/KJWOC 2016)

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
地球表層物質循環研究グループ

1. Workshop Overview

The Asian marine environments, which are surrounded by populous countries and highly sensitive to climate variabilities have been experiencing significant changes, and thereby the marine ecosystems are likely to be highly vulnerable to both climate changes and human activities. Marine environment and ecosystem monitoring are therefore one of the urgent needs for evidence-based policy making; climate change adaptation and mitigation. The Earth observations by satellite remote sensing, especially ocean color remote sensing, provide valuable method to cope with the problem of marine ecosystem changes over a large spatiotemporal scale.

A forum named Korea-Japan Workshop on Ocean Color (KJWOC) to promote ocean color remote sensing application in the Asian region had been carried out since 2003. In the recent years we named KJWOC also as the Asian Workshop on Ocean Color (AWOC) due to increasing participants from the Southeast Asian countries. Last workshop (the 6th AWOC / 15th KJWOC) was hosted by the Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), co-organized by JAMSTEC, Nagoya University (ISEE), and Yokohama National University.



Group photo of the 6th AWOC / 15th KJWOC taken at Yokohama Institute for Earth Sciences

2. Participant/Presenter Number

The 6th AWOC / 15th KJWOC which was held in Yokohama Institute for Earth Sciences (YES), JAMSTEC from 3 to 5 December 2018 was attended by more than 40 participants (see group photo above) from the countries of Thailand, Vietnam, Indonesia, India, Bangladesh, Korea, Japan, and China. The workshop delivered 41 presentations, 28 for oral and 13 for poster presentations. Oral presentation was divided into 5 sessions i.e.; 1) Operational Ocean Color; 2) Ocean Color Optical Property Validation and Retrieval-1; 3) Ocean Color Optical Property Validation and Retrieval-2; 4) Land-Ocean-Atmosphere Interactions-1; 5) Applications of Ocean Color; and 6) global ocean color monitoring studies; 4) ocean color application over regional scale; and 6) Land-Ocean-Atmosphere Interactions-2. The JAMSTEC Headquarter facility tour was also organized on 4 December 2018 (see pictures below taken during the workshop).



Several photos taken during poster session, night gathering, and JAMSEC facility tour

3. Workshop Topics and Outputs

Within the six sessions above, the 6th AWOC / 15th KJWOC covered a wide scope of ocean color studies/applications. Among the presentation topics are; red tide/HAB observation/detection in the coastal waters; fisheries resources and environmental changes; global and regional ocean color missions; ocean color algorithm development and cal/val; atmospheric correction for ocean color observations; primary production changes in the marginal seas/coastal waters; impacts of terrigenous materials on the marine ecosystem through the atmosphere-ocean-land interactions, and teleconnection to global climate changes, etc. Besides as an effective international scientific forum wherein the discussion, information/data exchange/sharing can be conducted, bilateral, multilateral research collaborations can also be promoted/strengthened in the future.

太陽研連シンポジウム「太陽研究の将来展望」
Japan Solar Physics Community Symposium

横山央明、東京大学・理学系研究科

概要

本年度の太陽研連シンポジウムは、国内外で推進されている太陽およびその関連研究について、最新科学成果のレビューに基づく科学討議、また太陽研究の将来についての討議を通じて、将来の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行った。さらに、本年度のシンポジウムでは、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した。

詳細

次世代太陽観測衛星**Solar-C_EUVST**を軸とした将来スペースミッションと太陽研究の将来展望についての議論を行った。**Solar-C_EUVST**からその先の2030年代への展望、来年度初頭に打ち上げられる太陽観測ロケット実験**CLASP2**、国際大気球太陽観測実験**SUNRISE-3**、そしてそれらのミッションで行うサイエンスに関する議論が行われた。太陽研究者各人がどのようにこれらのミッションに参画し貢献していくかを検討するための良い情報が得られる内容であった。さらに、数値モデリングおよび地上観測の視点でどのように現在提案されているミッションに参画していくかが議論され、様々な科学課題に関して重要な連携研究が提案された。

各観測プロジェクトからの報告では、現状報告に加え今後の方針に関する議論もあり、特にスペース観測と地上観測の今後の関係など、活発に議論が行われた。

本年度の博士論文に関する招待講演が4件行われ、若者の最新の研究成果を広くコミュニティで共有することができた。本年度の博士論文は数値シミュレーションを用いた研究が多く、今後の太陽観測研究に期待したい。地球物理分野や核融合プラズマ分野の方々による招待講演、太陽・地球・その他の環境の研究に関する一般講演も行われ、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の共同研究に関して情報共有をすることができた。

最後に現在進行中である新学術領域**PSTEP**の現状と今後についての議論が行われた。**PSTEP**は来年度が最終年度であり、その先をどうするかなど、活発に議論が行われた。

成果

太陽物理学の分野は、この先十年以内に多数の魅力的なミッションが計画されており、そのミッションをどう遂行していくか、さらにはどのようにミッションとミッションを連携させていくか重要である。その方針が、コミュニティ内外での活発な議論により得られた。

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 31 年 3 月 12 日～平成 30 年 3 月 13 日（2 日間）

開催場所：九州大学西新プラザ（福岡市内）

九州大学では、CPMN (Circum-pan Pacific Magnetometer Network、地上磁場観測網)、MAGDAS (MAGnetic Data Acquisition System、地上磁場のリアルタイム・ネットワーク観測)、および FM-CW radar (地上からの電離層電場観測)、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、これらの研究者が研究や将来構想に関して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(中緯度 SuperDARN レーダーによる電離圏プラズマ観測のこれまでの成果の総括的概説、 S_q の地上磁場観測、FLR (磁力線共鳴現象)の地上磁力計と Van Allen Probe 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電子密度の時間空間構造の観測、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(磁気圏電離圏結合、電離圏での電場の低緯度方向伝搬、等)。
- あらせ衛星観測、及びその地上観測と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。

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

桂華 邦裕 (東京大学理学系研究科)
塩川 和夫 (名古屋大学宇宙地球環境研究所)

本研究集会は、東京大学理学系研究科地球惑星科学専攻、東京大学新領域創成科学研究科複雑理工学専攻、および宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所の大学院生を幹事として、平成30年9月5日から9月7日にかけて3日間、東京大学柏キャンパスおよびデュープレックスセミナーホテル（茨城県守谷市）で開催された。この研究集会は、太陽地球環境に関する研究を行う大学院生を中心とする若手会の「夏の学校」と題して行われ、大学院生・学部生・若手研究者など合わせて44名が参加した。太陽地球環境研究において物理現象を包括的に理解するためには、各人の専門性を高めるだけではなく、分野や研究手法の垣根を超えて協力関係を築くことが必須である。本研究集会はその実現を目的としており、異なる研究領域の研究者が議論・交流を行える場を大学院生も含めた若手研究者に提供した。

研究集会では、2件の招待講演に加え、専門分野に別れた少人数の口頭発表、および異分野間の意見交換・交流を目的としたポスター発表が行われた。以下に、本研究集会のスケジュールと口頭発表の参加者を記す。予稿集等の詳細な資料はページ数の都合上ここでは割愛するが、<http://www-space.eps.s.u-tokyo.ac.jp/wakate/>にて集録を公開している。

<スケジュール>

9/5

13:00~13:30 開校式

13:30~15:30 招待講演

1. 金星探査機あかつきが拓いた新しい金星像

中村正人 (宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所教授)

2. 「あらせ」の1年半の軌跡と「みお」の挑戦

松田昇也 (宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所宇宙航空プロジェクト研究員)

19:00~20:00 夕食

21:00~23:00 懇親会

9/6

7:00~ 8:00 朝食

8:40~12:00 口頭発表

12:00~13:00 昼食
 13:00~18:00 レクリエーション
 19:00~20:00 夕食
 21:00~23:00 懇親会

9/7

7:00~ 8:00 朝食
 9:00~11:30 ポスター発表
 11:30~12:00 閉校式

<セッション>

研究集会 2 日目には、専門分野が比較的近い少人数のグループに分かれ、口頭発表を行った(図 1)。各自の口頭発表に基づき、専門的な議論を交わした。また、3 日目には 2 グループに分けて、ポスターセッションを行った。コアタイムを設け、異分野間の交流を促した。

新館 201号室				新館 202号室			
岩本 昌倫	東京大	D2		奈良 佑亮	東京大	D2	
大川 裕貴	名大	M2		西田 有輝	東北大	D1	
加藤 拓馬	東京大	M2		浅見 隆太	東京大	M2	
滑川 拓	東京大	M2		大野 辰遠	北大	M2	
荒尾 昇吾	東京大	M1		荒木 瑞穂	東京大	M1	
武井 智美	名大	M1		伊藤 大輝	名大	M1	
八木 直志	東北大	M1		山川 智嗣	東京大	M1	

新館 301号室				新館 302号室			
新堀 淳樹	名大 特任助教			神谷 慶	名大	D3	
星 康人	東京大	D2		鈴木 文晴	東京大	D2	
鈴木 眞	東京大	M2		石城 陽太	東京大	M2	
土屋 智	名大	M2		渡辺 はるな	東北大	M2	
鈴木 雄大	東京大	M1		梅垣 千賀	東京大	M1	
中村 勇貴	東北大	M1		佐藤 愁太郎	東京大	M1	
葉柴 隆斗	北大	B4		戸田 穂乃香	東海大	M1	

本館 きりぎりす				本館 松虫			
武藤 圭史朗	東京大	D2		古賀 亮一	東北大	D2	
中原 美音	九州大	M2		足田 伶奈	東京大	D2	
平井 あずか	東北大	M2		乾 彰悟	東京大	M2	
惣宇利 卓弥	名大	M1		高田 雅康	東京大	M2	
宮本 太志朗	名大	M1		竹下 祐平	名大	M1	
渡邊 香里	東京大	M1		波多江 真紀	九州大	M1	

図 1：口頭発表のグループ分け

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 カ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、2019 年 1 月、2020 年 1 月の 2 度にわたって打ち上げが予定されている脈動オーロラをターゲットとしたロケット実験を軸とした脈動オーロラの統合研究の実施について、その戦略の議論を集中的に行った。

★ 参加者と講演の内容

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「脈動オーロラ発生時の相対論的高エネルギー電子降下」に関する発表が行われた。また、今年度は、「EMIC 波動と関連して発生するプロトンオーロラやそれに伴う高エネルギー電子の降下減少」に関する講演も行われ、計 19 件の研究発表を通じて、活発な議論が行われた。また、それらの発表に加えて、以下のようなトピックについて時間を設けてディスカッションを行った。

- ロケット実験に関する議論 (Rocksat-XN, LAMP)
- 基本的な課題のまとめ (現状整理)
- 未解決課題の解決ストラテジー
- 新たな課題の抽出、脈動オーロラ関連研究の新しい展開
- 今後の地上観測の維持発展に関する戦略

★ 成果

今回で7度目の開催となる本研究集会を継続することによって、衛星観測・ロケット観測・地上観測・シミュレーションなどの少しずつ異なるバックグラウンドを持つ研究者が密に意見交換をすることができる PsA 研究コミュニティを形成し、維持することができている。このような流れに端を発して、本申請者（細川，三好）が、2014年の AOGS において脈動オーロラのセッションを企画し、国内外から多くの参加者を得ることができた。さらに2015年には、Journal of Geophysical Research 誌に「Pulsating Aurora and Related Magnetospheric Phenomena」というタイトルの Special Issue を組み、計14件の PsA に関する論文が出版された。また、本研究集会の参加者を母体として研究グループを組織し、科研費基盤研究 (S) に申請を行い、平成27年度から5年間の期間について採択されている（名古屋大学、藤井良一特任教授代表）。

平成28年度からは、International Space Science Institute (ISSI) のチームとして PsA の研究チームが採択 (Leader: 三好, Co-Leader: 細川) され、2016年6月、2018年7月の2度にわたってチームミーティングが開催されるに至っている。あらせ衛星打ち上げ後の最初の衛星・地上キャンペーン観測 (2017年3月) では、本研究集会での議論をベースにコンジャンクション観測の計画が練られ、複数の良好な観測事例を得ることができた。これらの同時観測事例のいくつかについては、Geophysical Research Letters における「あらせ衛星特集号」に採録される予定になっている。

また、本研究集会での議論が発端となって計画・提案されてきた PsA 観測ロケットが NASA の複数のロケットプログラムによって採択され、2019年1月、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。

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ついて議論と立案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。現在、宇宙科学研究所の衛星計画に合わせて、宇宙空間からの観測について計画をまとめるタイミングであり、一昨年度、昨年度の本研究集会での議論を受けて、2024年度からの観測実施に向けて「超伝導サブミリ波リム放射サウンダ(SMILES-2)ミッション」のISAS小型衛星への提案と、2026年度からの観測実施に向けて「編隊飛行による地球電磁気圏・熱圏探査衛星(FACTORS)計画」のワーキンググループ立ち上げが2018年に行われている。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、SMILES-2とFACTORSを軸とした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が開催された。

2. 概要

開催日時：平成30年9月12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：54名

3. プログラム

10:35-10:50

宇宙空間からの地球超高層大気観測の現状

齊藤 昭則（京大理）

10:50-11:10

全大気圏衛星観測計画超伝導サブミリ波リム放射サウンダ(SMILES-2)

塩谷 雅人（京大RISH）、齊藤 昭則（京大理）、SMILES-2ワーキンググループ

11:10-11:30

宇宙地球結合系探査衛星計画「FACTORS」の現状と予定

平原聖文（名大ISEE）、齋藤義文、小嶋浩嗣、浅村和史、FACTORS計画準備グループ

11:30-11:50

希薄大気観測に向けた中性粒子分析器の開発

笠原慧（東大理）、沖津由尚、平原聖文、齋藤義文、横田勝一郎

11:50-12:10

SLATSとの共同研究による中性大気密度の推定について

三好勉信、藤原均、東尾奈々、歌島昌由、Huixin Liu

13:10-13:30

国際宇宙ステーション(ISS)からの超高層大気観測の可能性

齊藤 昭則（京大理）

13:30-13:50

火星における宇宙天気・宇宙気候探査計画

関 華奈子（東大理）、山崎 敦、○寺田 直樹（東北大理）、松岡 彩子、中川 広務、横田 勝一郎、笠原 慧、齋藤 義文、坂野井 健、今村 剛、笠羽 康正、塩谷 圭吾、二穴 喜文、熊本 篤志、臼井 寛裕、前澤 裕之、笠井 康子、佐川 英夫、田口 真、三好 由純、原 拓也、黒田 剛史、堺 正太朗、藤田 和央、佐々木 晶、火星宇宙天気・宇宙気候探査検討チーム

13:50-14:45

議論：今後のMTI分野の衛星観測の方向

4. 成果

宇宙空間からの地球超高層大気の観測について、まずは国内外の進行中の衛星観測計画についての紹介がされ、現状についての情報共有がされた。日本国内においては、宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所による公募型小型衛星が研究者グループによるボトムアップによって提案及び実施が可能な仕組みであり、科学観測に用いることができる。この公募型小型衛星に、2018年1月には中間圏・熱圏・電離圏の研究者グループが参加してSMILES-2ワーキンググループとして「全大気圏衛星観測計画超伝導サブミリ波リム放射サウンダ」の衛星提案書が提出されたが、評価の結果不採択となった。この衛星提案書の内容と、不採択の経緯、及び2019年度に行われることが予定されている次回の公募型小型衛星への対応について紹介がされ、その展開へのサポートについて議論された。

次回の公募型小型衛星には、宇宙地球結合系探査衛星計画「FACTORS」の提案も予定されており、その概要の紹介がされ、中間圏・熱圏・電離圏の研究者グループの提案への協力が議論された。FACTORSはワーキンググループが形成されつつあり、今後はそのワーキンググループによって提案書が作成されていくこととなる。また、これらの宇宙空間からの超高層大気の観測では地上からの遠隔観測では不可能な直接的な観測が重要であると認識されており、特に中性大気の直接観測はこれまでも高精度な測定がされていないことから将来の衛星観測において軸となる観測になると考えられている。現在に国内においてもいくつかの中性粒子分析器の開発が進められているが、その開発について紹介がされ、科学的目標から要求される測定精度の議論が行われた。また、低精度ながら中性大気の直接観測を高度300km以下で実施するSLATS衛星（つばめ衛星）についての紹介がされ、観測データの科学的な研究への利用についての議論がされた。また、国際宇宙ステーションからの観測の可能性についても議論がされ、最後に地球以外での観測として火星における観測についての紹介がされ、比較惑星的研究の展開が議論された。

最後には、今後のMTI分野の宇宙からの観測についての議論が行われ、強力な観測提案が行えるように協力していくことが確認された。

「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。本研究集会は、さまざまな手法でプラズマ圏を研究している研究者間の情報共有・知識共有の場とすることを目的に、2015年12月から年1回の割合で開催しており、今回は4回目を数える。

今回の集会では、大阪電気通信大学エレクトロニクス基礎研究所ワークショップ「あらせ衛星が拓く宇宙プラズマ研究」との共同開催とし、10件の講演が行われた。

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、2019年3月30日に大阪電気通信大学駅前キャンパスにて開催された。参加者は国内外の研究機関から学生4名、教員・PD14名の合計18名であり、10件の口頭発表が行われた。この研究集会の特徴として、大阪電気通信大学尾花研究室の学生が聴講するため、各発表の冒頭スライド1-2枚程度に学部生向けのチュートリアル的な説明をお願いしている点がある。これが功を奏して学生以外の聴講者にとっても、より内容に対する理解が深まり、また基本的なものも含め、質問や議論がしやすい雰囲気を作られている。

一日間の短い時間であったが、参加者からは熱心な質疑応答があり、充実した勉強の機会になったとの感想を多数いただいた。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して定着してきていると考えている。

宇宙素粒子若手の会 2018年秋の研究会（応用部門）
YMAP Symposium 2018（Application part）

佐々井義矩、名古屋大学宇宙地球環境研究所、研究員

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6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4日と5日に宇宙線研究所、宇宙線研究者会議の支援によって行われた宇宙素粒子若手の会2018年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18名、うち発表者は4名（5件）であった。4日、5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、

- ・ KamLAND-Zen：小原脩平（京都大学）
- ・ AXEL 実験：小原脩平（京都大学）
- ・ IceCube-Gen2 における新型光検出器 D-Egg の南極氷河特性較正用 LED の最適化：桐木彩由美（千葉大）
- ・ 太陽 g-mode 振動による太陽ニュートリノ強度の周期的な変動探索：中野 佑樹（東京大学）

であった。内容については

<<http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/YMAP/event/conf2018/program.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。参加者の内訳は研究員から学部4年生まで幅広く、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。参加者からは「来年度も参加したい」という意見を多く得られており、今後も継続して開催していきたいと考えている。

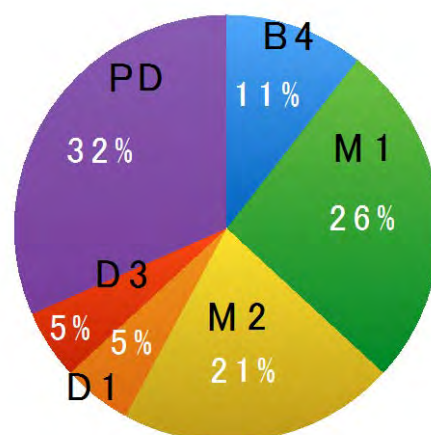


図 1：参加者の内訳

東アジア・ミリ-テラヘルツ波受信機技術に関するワークショップ East Asia workshop on mm/THz wave band receiver technology

前澤 裕之、大阪府立大学大学院理学系研究科物理科学科

1. 研究会の概要

本研究集会は、ミリ-テラヘルツ帯の超高感度ヘテロダイナミック検出器、超伝導フォトン検出器、低雑音増幅器、発振器、機械式冷凍機などの高感度受信機に関わる最先端テクノロジーの創出・基礎技術の拡充・革新的応用を目指すべく、研究者、大学院生、民間企業が産官学の壁を越えて集い、最新の情報を自由闊達に幅広く議論する場を提供することを目的としている。これまでに本研究集会で講演・議論されたミリ-テラヘルツ波帯の技術の多くが実用化され、観測成果として結実してきた。例えば、これらの検出器やシステムの高性能化は名古屋大学ISEEが推進する地球大気環境計測の展開においても大変重要な役割を担っている。また、デバイス製作技術や新素材の開拓により、未開拓のサブミリ/テラヘルツ波まで周波数領域が拡張され、ALMA(日欧米)プロジェクトによる惑星大気や原始惑星系円盤の観測が実現している他、超伝導サブミリ波リム放射サウンダによるSMILES-2衛星による地球・惑星観測計画(WG)も発足している。アジア・欧州・北米で競争が激化するこの分野の将来の展開を見据え、本年は、国内の研究機関・関連民間企業だけでなく、東アジア諸国(台湾・中国・韓国・香港)・東南アジアの研究者が参加し、アジアー帯における国際競争力・推進力の向上・効率化と基礎技術力の裾野拡充・継承を目指す。

2. 報告および成果

2018年12月11日～13日の3日間、関西学院大学(西宮上ヶ原キャンパス)において“The 19th EA Sub-mm-wave Receiver Technology Workshop”として開催した。今回は“The 5th Riken-NICT Joint Workshop on Terahertz Technology”と合同で開催され、22の機関・企業から計104名の参加があり、招待講演3件を含めた口頭講演44件、ポスター講演39件、展示ブース1件という盛況な内容となった。講演では、アタカマ大型ミリ波・サブミリ波干渉計(ALMA)、サブミリ波干渉計(SMA)、南極テラヘルツ望遠鏡(DATE5)、グリーンランド望遠鏡(GLT)などの電波望遠鏡プロジェクトに関連した講演が台湾、韓国、中国からあり、日本からは名古屋大学ISEEの地球大気観測装置、名古屋大学A研のNANTEN2望遠鏡、国立天文台のALMAや野辺山45-m望遠鏡に関わる新規開発などの議論が活発に行われた。また、今回は高速ADコンバータに関するセッションが設けられ、光・電気・超伝導に基づく各技術分野の専門家によるそれらの比較・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。

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381回生存圏シンポジウム（後援：生存圏研究所男女共同参画推進委員会）、平成30年度名大ISEE研究集会、平成30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。また、近年では、地球科学データと古文書データを組み合わせた新しい文理融合研究も行われ、注目されている。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、取得、描画、比較、解析できるツールの活用は欠かせない。また、近年、世界的に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、データについて専門知識のない隣接分野や異分野の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である。

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、オープンデータ・オープンサイエンスの動向等について幅広く講演・議論を行うことを目的とした。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5回目となる。

本年度は、参加者数増、経費削減を目的として、関連した4つの研究集会「現象報告会」、「MTI研究集会」「宇宙空間からの地球超高層大気観測に関する研究会」、「科学とデータ研究集会」と合同で開催した。合同研究集会は、9月10～14日に情報通信研究機構で開催された。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12～14日の期間に実施された。

研究集会報告と成果

9月13日午前には、IUGONET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が行われ、学生を含む22名が参加した。講習では、実際に参加者にツールを使った解析を行ってもらうと共に、初の試みとして、ユーザが所有するデータのロードルーチンの作成にもチャレンジしてもらった。講習は概ね順調に進められたが、時間がやや短かったために多少消化不良気味になってしまったこと、初めてツールを使う受講者にとっては後半のコード作成はやや高度過ぎたこと等が反省点として挙げられる。次回以降の講習会では、受講者の経験値を踏まえて講習内容や時間配分を考慮する等、改善を図りたい。

9月14日には、口頭セッションが開催された。セッションでは、大型研究計画「太陽地球系結合過程の研究基盤形成」の現状が紹介され、大型大気レーダーをはじめとする超高層大気分野の多種多様なデータの共有が成果創出の鍵であることが示された。これに対して、IUGONETプロジェクトがデータ共有、ツール開発、研究者育成等の面で、積極的に貢献していくことを確認した。また、大気レーダー観測データベースをはじめとする複数のデータベースの紹介も為された。特に、これらデータベースの恒久的維持を目指して段階的にデータベースを発展させていく仕組みとして、共同利用機関によるデータベースフェーズアップ公募という新しいアイデアが提案された。さらに、地球惑星科学へのデータサイエンス手法の応用例や、オープンサイエンスに向けた可視化ツールが紹介され、将来的にこれらの手法をIUGONETツール等にも積極的に組み込んでいくことが期待されている。

9月12日には、合同ポスター発表が行われ、特に学生の発表が多く為された。

今回は5つの研究集会による合同開催を行い、開催期間が5日間と長かった。来年度以降も合同で行う場合には、各研究集会の繋がりを強化することで日程を可能な限り短縮し、効率的により高い成果を上げられるよう改善することを検討している。

なお、研究集会の講演資料は、以下のウェブサイトで公開している。

<http://www.iugonet.org/workshop/20180913>

参加者等

別紙様式6-4を参照。

研究集会名
実験室・宇宙プラズマ研究会「プラズマ物理のフロンティア」
研究集会名英文
Laboratory and Space Plasma Workshop - Frontiers in Plasma Physics -

代表者、所属機関・部局
永岡賢一、核融合科学研究所、プラズマ加熱物理研究系

【集会の概要】

プラズマは非線形性の宝庫といわれているが、近年、実験室プラズマや宇宙プラズマを対象とした運動論的研究が進展し、非線形性の理解が大きく進展している。その一例は、粒子の位相空間構造の直接計測による波動粒子相互作用と励起波動の非線形性の検証である。ジオスペース探査衛星「あらせ」(ERG)の本格運用が始まり、ますます観測データを基にした理論モデルの精密な検証が進展すると期待され、同時に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、実験室プラズマと宇宙プラズマの研究は、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。

特に今回は、核融合科学研究所の大型ヘリカル装置(LHD)を使ったプラズマ実験により核融合分野以外へ広く貢献を目指したいという視点で、磁気圏プラズマの最新的话题を紹介いただき、プラズマ実験から貢献ができそうかの議論を事前に行った。2018/11/28に幹事及びLHD実験の関係者で打合せを行い、本研究集会で、磁気圏、実験室の双方から今回選定した話題に関連するレビューを企画して、情報交換の場と位置付けた。選定したトピックは、以下の4つであった。

- (1) サイクロトロン共鳴(イオン、電子ともに)
- (2) 多種イオン系
- (3) ミラー磁場中のサイクロトロン共鳴
- (4) ドリフトバウンスによる速波の励起

【参加者数】

10名(内1名は、海外からのTV参加)

【研究報告】

研究集会は、「実験室・宇宙プラズマ研究会「乱流・輸送・粒子加速」というタイトルで、平成31年3月11日に開催した。今回は、選定した4つのトピックに関連して、磁気圏プラズマとLHDプラズマの双方から、最新的话题提供を招待講演として2

件ずつ依頼した。研究集会の全体構成を図1に示す。

**平成31年度名古屋大学宇宙地球環境研究所 共同研究集会
実験室・宇宙プラズマ研究会「乱流・輸送・粒子加速」**

平成31年3月11日(月)

名古屋大学 宇宙地球環境研究所総合館13F会議室

13:30 - 13:35	事務連絡+挨拶		
【イオンサイクロトロン波・多種イオン】座長:永岡賢一			
13:35 - 14:05	小路真史	名大ISEE	<招待講演>あらせ衛星で観測された電磁イオンサイクロトロン波によるイオン加熱
14:05 - 14:35	笠原寛史	核融合研	<招待講演>多種イオン系下におけるICRF波動を用いたプラズマ加熱研究
14:35 - 14:55	三好由純	名大ISEE	あらせ衛星の観測による複数種イオン存在下におけるX-mode Whistlerからイオンサイクロトロン波動へのモード変換について
コーヒーブレイク			
【イオンサイクロトロン波・波動励起】座長:三好由純			
15:15 - 15:45	伊神弘恵	核融合研	<招待講演>低ピッチ角高エネルギーイオンによるイオンサイクロトロン波-低域混成波帯の波動励起と伝播
15:45 - 16:15	北村成寿	東大・理	<招待講演>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
コーヒーブレイク			
【トピックス】座長:徳沢季彦			
16:35 - 16:55	小林進二	京大エネ研	ヘリオトロン型磁場配位における非共鳴マイクロ波入射によるMeV級高速電子生成とイオンサイクロトロン波-ホイッスラー波帯の波動励起検証
16:55 - 17:15	Jacobo Varela Rodriguez	核融合研	Parametrization of the radio emission from Mercury and terrestrial exoplanets
17:15 - 17:35	永岡賢一	核融合研	アルペン波による高速イオン異常輸送と分布の硬直性の観測
17:35 - 17:45	まとめ		

図1. 研究集会プログラム

【成果】

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。特に、LHDのイオン加熱過程で重要となるイオンサイクロトロン波とイオンバーンシュタイン波のモード変換は、同じブランチの波動を磁気圏でも観測されているとの認識を供給することができた。異なるコミュニティー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。

2020年国際共同観測実験 (PRECIP2020 / TAHOPE / T-PARCII)に関する 計画会合

The Planning Meeting for the International Joint Field Experiment in 2020 (PRECIP2020 / TAHOPE / T-PARCII)

伊藤耕介、琉球大学・理学部

沖縄や台湾に代表される北西太平洋の島嶼部は、猛烈な台風が数多く接近・上陸するほか、九州などに豪雨をもたらす湿った空気の上流域にあたるため、極端大気現象を研究するうえで鍵となる地域である。そこで、沖縄及び台湾を舞台として2020年に重点的な観測を行う国際共同観測実験がアメリカのPRECIP2020、台湾のTAHOPE、日本のT-PARCIIと呼ばれるプロジェクト群として提案され、それぞれのプロジェクトが予算化された。

本計画会合は、各プロジェクトの進捗状況を互いに報告し合うとともに、観測計画の詳細について議論することを目的として2019年3月9日に琉球大学において開催された。参加者は32名で、外国からはアメリカから9名、台湾から10名、香港から1名で、合計12機関から20名が参加し、国内からは名古屋大学・琉球大学・山口大学・気象研究所・海洋研究開発機構・防災科学技術研究所の6機関の12名が参加した。

会合では、はじめにPRECIP2020の研究代表者を務めるコロラド州立大学のMichael Bell准教授によって、NSFから採択の通知があった旨報告があった。その後、計画の詳細について、S-PolKaやSEA-POLなど利用可能な観測機器、観測機器の設置を予定する地点についての検討状況、航空機の利用可能性、全体の年次計画などに関する紹介があった。続いて、TAHOPEの研究代表者を務める国立台湾大学のMing-Jen Yang教授から研究実施体制と台湾での準備状況および年次計画、観測機器の詳細、期待される成果などについて紹介があった。その後、T-PARCIIの研究代表者を務める名古屋大学の坪木和久教授から、南西諸島や台湾で観測を行う意義、これまでの航空機観測の進捗状況と今後の観測計画、レーダーの配置状況、新型のゾンデに関する紹介などが行われた。

各プロジェクトの研究代表者からの紹介ののち、航空機観測に関する議論、地上観測に関する議論、数値モデルの利用に関する議論が行われた。この中では、国際共同研究として行うことを最大限に生かすために、ターゲット期間中に時間を設定してブリーフィングを行うことや電源の確保に関する問題、観測データの共有、多数の数値モデルを用いた比較研究を行うことなどについて話し合われた。

本研究会は、アメリカの政府閉鎖の影響を受けて遅れていたPRECIP2020の採択が通知された直後に開催されたということもあり、参加者の表情は一様に明るかった。日本・アメリカ・台湾が、来るべき観測の準備に向けてお互いに意識を高め、それぞれの目標や現在までの進捗状況を共通認識として持ち、実りある成果を生み出すために必要不可欠な会合として位置づけられるものになったと言える。

名古屋大学からは、本研究集会の他に国際共同研究、地球気候系の診断に関わるバーチャルラボラトリーの形成などの研究経費を利用させていた

だき、合計で12名分の旅費・滞在費などの支給を行った。本研究集会の経費ではイリノイ州立大学のDeanna Hence博士（助教）の旅費・滞在費を支給した。Hence博士には本研究集会に先だって3月6日から8日に沖縄県立博物館・美術館で開催された「第13回メソスケール降水システムと顕著気象に関する国際会議（Conference on Mesoscale Convective Systems and High-Impact Weather in East Asia: ICMCS-XIII）」に参加、講演していただくとともに、翌3月10日には米国のSEA-POLレーダを設置する与那国島の視察も行っていただいた。



Michael Bell 准教授による紹介の様子。活発な議論が交わされた。

航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進
Progress of climate and earth system sciences
by an aircraft observation

小池 真（東京大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻）

日本気象学会は、地球惑星科学連合（JpGU）の海洋、陸上生態系、固体地球など様々な分野の学会の研究者、航空宇宙学会、さらには防災に関わる諸学会の研究者と連携して、学術大型研究計画マスタープラン2020に、「航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進」計画を提案する予定である。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、幅広い分野の連携促進と研究計画の明確化を目的として本研究集会を開催した。

研究集会は12月19日の午後に東京大学本郷キャンパス理学部1号館105号室で開催された。17の大学・研究機関・民間企業から35名の参加者があり、18件の講演が行われた。

研究集会では、航空機を用いた大気中の温室効果気体、反応性気体、エアロゾルや雲の観測、台風の眼への貫入観測などの研究成果に加えて、マスタープラン2020への提案に向けた海洋科学分野、陸上生態系分野、防災分野からの要望、近年の発展が著しい無人航空機を用いた観測事例や法令整備、開発の現状についての講演もあった。また、マスタープラン2020でレンタルの機体として導入を計画しているGulfstream-IVの機体性能についての紹介もダイヤモンドエアサービス社の方から紹介があった。いずれの議論での活発な討論が行われていた。

また、研究集会に先立って、同日の午前中には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。この委員会ではマスタープラン2020の提案に向けて、気象学会以外の学会との連携や、実施体制、航空機運用の形態、無人機への対応などについての議論が行われた。

この研究集会は、旧地球水循環研究センター時代より数えて5回目の研究集会となり、航空機を用いた観測が活発に実施されるようになったことを実感するとともに、観測専用の航空機の導入は地球科学研究の分野により大きなブレークスルーをもたらすことを実感できるものとなってきている。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していくためにも、本研究集会を継続して行っていきたいと考えている。

以下、研究集会の講演題目と講演者のリストを掲載しておく。

1. 小池 真（東大院理）・高橋暢宏（名大宇地研）

航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進

2. 市井和仁（千葉大環境リモセン）

航空機からの陸域生態系観測計画

3. 石坂丞二（名大宇地研）
海洋観測での航空機利用
4. 山口宗彦（気象研）
航空機観測と防災
5. 丹羽淑博（東大海洋アライアンス）他
沖合での巨大津波の検知を目的とした航空機レーダー海面高度観測
6. 高橋保旨（ダイヤモンドエアサービス）他
航空機観測使用航空機の紹介
7. 林 政彦（福岡大理）他
日本南極地域観測隊における無人航空機観測
8. 渡辺幸一（富山県立大）
回転翼航空機を利用した上空大気中の過酸化水素およびホルムアルデヒドの計測
9. 大畑 祥（名大宇地研・高等研究院）他
北極におけるエアロゾル・雲の航空機観測
10. ヨサファット テトオコ スリ スマンティヨ（千葉大環境リモセン）
航空機搭載円偏波合成開口レーダ（CP-SAR）の開発
11. 井之口浜木（JAXA 航空技術部門）
航空機搭載型ライダーによる大気観測
12. 町田敏暢（国立環境研）他
民間航空機によるアジアオセアニア域における温室効果ガスの変動観測
13. 原田賢哉（JAXA 航空技術部門）
無人航空機の開発・利用に関する動向
14. 村上正隆（名大宇地研）他
UAE 上空で観測した日周対流雲の内部構造とその発生環境
15. 坪木和久（名大宇地研）
T-PARCII による台風の航空機観測の概要
16. 伊藤耕介（琉球大理）
2017 年台風第 21 号の航空機観測を用いた強度解析と予測実験
17. 山口宗彦（気象研）
気象庁全球数値予測システムと T-PARCII ドロップゾンデを用いた 2018 年台風第 24 号を対象とした観測システム実験
18. 山田広幸（琉球大理）
T-PARCII 航空機観測で捉えた 2018 年台風第 24 号の内部構造の変化

あらせ衛星の電場・プラズマ波動観測データを用いた解析ワークショップ
Workshop for the plasma wave observations by Arase/PWE

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構
宇宙科学研究所 松田昇也

あらせ衛星は、2017年3月から約1年半の定常観測運用を達成し、現在は後期運用として、ジオスペースのプラズマ粒子・プラズマ波動の統合観測を継続している。あらせ衛星は、高機能な搭載装置によるその場観測だけにとどまらず、ジオスペースを飛翔する他の科学衛星 (Van Allen probes, MMS, Geotailなど) との同時多点観測や、地上に設置されたオーロラ全天カメラやVLFアンテナ・誘導磁力計との連携観測を通して物理過程の時間/空間変化を分離し、現象が宇宙空間を伝搬していく様子や地上へと伝わる様子を解明することに貢献している。

本研究集会は、あらせ衛星に搭載された機器の中でも、特に「プラズマ波動・電場観測器 (PWE)」に着目し、最新の観測データを用いた成果共有の場を提供することを目的として開催した。二日間に及ぶ開催期間に、国内外14の研究機関から、59の研究者・学生を受け入れ、一般公演11件、招待講演8件、チュートリアル講演1件の計20件の科学成果発表があった。特に地上-衛星連携観測や、海外衛星との同時多点観測による成果が多く発表され、「あらせ」の定常観測運用が実りあるものであったことが示された。また、東北工業大学の中川朋子教授による「EFDによる電場観測の基礎」と題されたチュートリアル講演では、取り扱いが容易ではないジオスペースの電場観測データを、正しく用いて解析するためのテクニックが取り上げられ、今後の「あらせ」による科学観測・解析の一層の促進を図る機会となった。

二日目午後には、ERGサイエンスセンターとの協力で「IDL/SPEDASによるデータ解析講習会」を実施し、学部生・大学院生を含む多くの参加者が、IDL/SPEDASによる「あらせ」の電場・プラズマ波動観測データの解析に取り組んだ。講習会終了後に実施したアンケート調査では、参加者の多くから「非常に満足した」という評価が得られた。今後も同様の講習会を通して、「あらせ」のデータ解析・成果創出体制の強化を図っていきたい。



東シナ海の物質循環ならびに基礎生産に関わる物理・化学・生物過程
Physical and biogeochemical processes determining water mass circulation
and primary production in the East China Sea

遠藤 貴洋、九州大学・応用力学研究所

【研究集会の目的】

縁辺海の海洋環境は、生態系の基盤である基礎生産を支えている栄養塩の動態に大きく支配されている。世界的にも有数の生物生産が盛んな縁辺海として知られる東シナ海では、一般的な河川流入による栄養塩の供給に加えて、黒潮亜表層から陸棚底層へと輸送される栄養塩や、ユーラシア大陸からの黄砂やエアロゾルに沈着して海表面から供給される栄養塩が重要な役割を果たすことが指摘されている。しかしながら、これら栄養塩の挙動には、潮汐流・海流や乱流による移流や拡散、プランクトンの光合成や日周鉛直移動など、様々な時空間スケールを持った物理・化学・生物過程が複雑に絡み合っており、その全貌を理解することは容易ではない。特に船舶観測では、時系列観測と広域観測の間に明確なトレードオフが存在し、時間的に密な観測を実施すれば広域の分布が得られず、空間的に広域の観測を実施すれば時間解像度が粗くなり、ともに計測されたデータの代表性を下げることになってしまう。したがって、物理・化学・生物の個々の素過程について、これまで得られた様々な知見を集約・共有することにより、有効的な観測計画を策定することが必要不可欠である。実際、平成27年度に、宇宙地球環境研究所の前身である地球水循環研究センターで実施した、研究集会「東シナ海陸棚域の物質循環と生物生産に関わる物理・化学・生物過程」では、異なる分野の研究者の間で実りある議論をする機会が得られ、その知見をもとに計画した共同観測を東シナ海陸棚域において実施するに至った。

そこで本年度は、海域を陸棚域に限定せず、黒潮流域も含めた東シナ海全域の知見を集約する研究集会を企画した。その知見を踏まえて、7月に予定されていた長崎大学練習船・長崎丸による東シナ海観測航海の具体的な計画を策定するとともに、来年度以降に実施を見据えている韓国の排他的経済水域における観測実施への戦略について議論することを目的とした。

【研究集会の成果】

研究集会は、2018年6月2日（土）・3日（日）に、宇宙地球環境研究所共同館Iの717号室にて開催された。長崎大学練習船・長崎丸への乗船者（遠藤・石坂・武田・張・吉江・野口）を中心とする、九州大学2名、長崎大学1名、愛媛大学2名、富山大学2名、西海区水産研究所1名、名古屋大学3名の計11名が参加した。

一日目は、はじめに、松野（九州大学）に基調講演として、90年代より東シナ海陸棚縁辺域で実施してきた観測で明らかにされた成果や、未解決のまま残されている課題について紹介して頂いた。引き続いて、黒潮流域を含む東シナ海における最新の観測データに基づく研究が6件（石坂・長谷川・武田・吉江・張・野口）、観測結果をもとにした数値シミュレーション（郭）、ならびに、データ同化システム（大石）に関する研究が各1件、合計9件の講演発表が行われた。物理・化学・生物各分野の素過程に関する研究はもちろんのこと、物理場と基礎生産・生物生産の関係に注目した学際的な研究が多く（プログラム参照のこと）有意義な情報交換が行われた。

二日目は、まず7月に予定されていた長崎大学練習船・長崎丸による東シナ海観測航海の具体的な計画を議論した。一日目に行われた講演発表ならびに質疑応答の内容を踏まえて、黒潮が流れる陸棚斜面域に、斜面を横切る方向と、斜面に沿う方向の二測線を設け、前者は3回、後者は1回の定線観測を実施する計画を立案した。また、従来観測項目に加えて、音響ドップラー流速プロファイラーを海底に設置して潮汐流や黒潮の変動を観測すること、ケブラーロープウインチを用いたクリーン採水を実施すること、水中紫外線硝酸塩アナライザー・多波長励起蛍光光度計を用いて栄養塩

や植物プランクトンの組成を観測することなどが決定された。次に、来年度以降に実施を見据えている韓国の排他的経済水域における観測実施への戦略について議論した。長崎大学から文部科学省や外務省に入域申請を出す手続きに時間を要するため、遅くとも10月までには長崎大学への申請書類を準備することを確認し、申請書や添付書類の具体的な内容について議論した。

実際に行われた観測航海では、台風通過のために斜面に沿う測線の観測を割愛せざるを得なかったものの、斜面を横切る測線では計画した通りの観測を実施することができた。次年度に予定している研究集会では、その成果について活発な議論が行われるものと期待される。

【研究集会プログラム】

6月2日(土) 13:30~17:30

- 13:30-13:40 趣旨説明 遠藤 貴洋 (九大応力研)・石坂 丞二 (名大宇地環研)
- 13:40-14:10 松野 健 (九大応力研)
東シナ海陸棚縁部の水温・流速構造と内部波
- 14:10-14:30 石坂 丞二 (名大宇地環研)
長江希積水の張り出しと黒潮
- 14:30-14:50 ○長谷川 徹、清本 容子、西内 耕 (西海区水研)
CK-lineにおける秋季から冬季の栄養塩の動態
- 14:50-15:10 太田 景将 (長大水産)、塩崎 拓平 (JAMSTEC)、○武田 重信 (長大水産・環境)
東部東シナ海における窒素固定藻類の出現状況について
- 15:10-15:20 休憩
- 15:20-15:40 ○大石 俊 (名大宇地環研)・日原 勉 (JAMSTEC)・相木 秀則・石坂 丞二
(名大宇地環研)・宮澤 泰正 (JAMSTEC)・可知 美佐子 (JAXA)
西部太平洋・東南アジア域における高解像度海洋同化システムの構築
- 15:40-16:00 ○吉江 直樹、郭 新宇 (愛媛大 CMES)
東シナ海におけるサブメソスケール渦が海洋生態系に及ぼす影響に関する研究
- 16:00-16:20 郭 新宇 (愛媛大 CMES)
黒潮前線渦に伴う栄養塩輸送と低次生態系に与える影響
- 16:20-16:40 ○張 勁・佐々木 睦月・佐藤未菜 (富山大・院理工)
化学トレーサーによる縁辺海の西部北太平洋への寄与解析
- 16:40-17:00 ○野口 忠輝・張 勁 (富山大・院理工)・関 文凱 (中国海洋大)・陳 炳章
(JAMSTEC)・朱元励・石坂 丞二 (名大宇地環研)・趙 美訓 (中国海洋大)
西部北太平洋亜熱帯域における表層基礎生産と大気由来栄養塩の関係
- 17:00-17:30 総合討論

6月3日(日) 10:00~12:00

- 10:00-11:00 遠藤 貴洋 (九大応力研)：今年度の長崎丸観測計画について
- 11:00-12:00 総合討論：来年度の韓国 EEZ での観測に向けて

大気化学分野における若手研究者の国際交流およびキャリア形成プログラム
International Networking and Career Development Program for Young 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

1989年の地球大気化学国際協同研究計画(IGAC)が発足して5年後の1994年にJoint Meeting on Global Atmospheric Chemistry (8th CACGP Symposium / 2nd IGAC Science Conference)が富士吉田市で開催され、我が国の大気化学研究が国際的に認知される契機となったばかりでなく、今日まで続く大気化学研究の促進に大きなモーメントを与えた(注:iCACGP: International Commission on Atmospheric Chemistry and Global Pollution: 大気化学と地球汚染に関する委員会)。それから四半世紀、国内の研究コミュニティは250人の会員を数えるまでに成長し、学問としても集団としても成熟期に入ったと言える。そのような状況で、2018年にiCACGP-IGAC2018国際会議(正式名称:第14回iCACGP・第15回IGAC合同国際会議)が再び日本(香川県高松市)で開催された。そこで、この機会を活用して、日本国内で活動する大学院生やポストドク研究員が、世界から集まる同世代の若手研究者や著名なシニア研究者と交流するとともに、研究者としてのキャリア形成に資するプログラムを開催し、将来を担う若手研究者が大きく成長する企画を実施した。

iCACGP-IGAC2018国際会議には、世界46カ国から約730人を超す参加者があり、著名なシニア研究者から中堅の研究者はもちろん、ポストドク研究員や大学生研究員など若手研究者の参加は284人であった。また、大気化学で最先端の研究が行われている米国や欧州だけでなく、研究コミュニティの成長が著しい中国やインド、そして南米や東南アジア、アフリカ、オセアニアなどから多様な参加者があり、参加者の約半数が女性研究者であった。日本国内で大気化学やその関連分野において研究活動をする大学院生やなどの若手研究者の参加は約61人であった。

5日間の会期中、全日にわたり国際交流およびキャリア形成のための若手研究者プログラムを同会場で実施した。プログラムの内容は、(1)1986年ノーベル化学賞の李遠哲先生(台湾・中央研究院)から若手研究者へのレクチャー「他人と違うことを恐れるな!」や、英、ポール・ヤング博士による「科学者とソーシャルメディア」、独、マーク・ローレンス博士による「時間管理の方法」、チリ、ローラ・ガヤード博士による「リーダーシップ」といったテクニカルスキルやメンターの講義、(2)若手研究者とシニア研究者が交流するランチ会、(3)若手研究者だけのサイドミーティングやネットワーキング活動、を行なった。

参加した若手研究者からはこれらのプログラムを通してプログラムの内容のみでなく、海外諸国との文化的な背景の違いなどに基づく大気研究に関する視点の違い(最先端の研究を追い求めるか、発展途上国の大気汚染問題の対策・支援のどちらが重要か)など、日本国内の若手研究者のみではなかなか深く触れることができないテーマに関して、海外の研究者(若手もシニアも含めて)と忌憚なく議論し、交流を深める非常に貴重な機会となった、などの声が聞こえた。

本企画により、日本の大気化学研究を担う世代の人材育成に大きな貢献となったと思われる。例えば、若手研究者が自身の研究だけでなく国際的な視点を持つことができるようになったことと思われる。こうした刺激を受けて、大気化学分野における博士課程に進学する学生が増えると大変うれしく思う。成果の影響を広く捉えれば、広く地球・宇宙に関する科学研究に携わる人材育成への貢献となったことと思われる。今後、日本の科学コミュニティの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を日本の研究者が引き続き果たしていくことが期待される。



若手研究者に今こそ行動を！と語りかける李遠哲博士



若手研究者によるネットワーキングの一コマ

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：2018/09/19-09/20

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86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

9/19 TUE.

13:00 ERGプロジェクトの状況（三好/名古屋大, 篠原/ISAS）

13:30 PWEの観測について（笠原/金沢大, 中川/東北工大）

13:50 MGFの観測について（松岡/ISAS）

14:00 LEPiの観測について（浅村/ISAS）

14:10 LEPeの観測について（風間/ASIAA）

14:20 MEPe, iの観測について（笠原/東大）

14:40 HEPの観測について（三谷/ISAS）

14:50 XEPの観測について（東尾/JAXA）

15:00 WPIAの計測について（小嶋/京都大）

15:40 PsA（細川/電通大）

15:50 PWING（三好/名大）

16:00 EISCAT（小川/極地研）

16:10 SuperDARN（堀/名大）

16:20 MMS（北村/東大）

16:45 データ解析報告（吹澤/東北大）

17:00 データ解析報告（宮下/千葉大）

17:15 データ解析報告（平井/東北大）

17:30 データ解析報告（Park/名大）

17:45 データ解析報告（小川/極地研）

9/20 FRI.

9:00 データ解析報告（栗田/名大）

9:15 データ解析報告（堀/名大）

9:30 データ解析報告（松岡/ISAS）

9:45 データ解析報告（松田/ISAS）

10:45 チュートリアル講演（横田/阪大）

11:15 チュートリアル講演（三好/名大）

13:30 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、チュートリアル講演を受けて、粒子データのモーメント計算・ピッチ角分布計算などの発展的ツールを扱った。

**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、東北大学大学院理学研究科

1. 概要

研究会名：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

日程：2018/09/19-09/20

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86名

特記事項：東大・笠原慧准教授代表のISEE研究集会「ERG衛星粒
子観測器データ解析ワークショップ」とのジョイント開催とした。

2. 研究会アジェンダ

9/19 TUE.

13:00 ERGプロジェクトの状況（三好/名古屋大, 篠原/ISAS）

13:30 PWEの観測について（笠原/金沢大, 中川/東北工大）

13:50 MGFの観測について（松岡/ISAS）

14:00 LE_{Pi}の観測について（浅村/ISAS）

14:10 LE_{Pe}の観測について（風間/ASIAA）

14:20 ME_{Pe, i}の観測について（笠原/東大）

14:40 HEPの観測について（三谷/ISAS）

14:50 XEPの観測について（東尾/JAXA）

15:00 WPIAの計測について（小嶋/京都大）

15:40 PsA（細川/電通大）

15:50 PWING（三好/名大）

16:00 EISCAT（小川/極地研）

16:10 SuperDARN（堀/名大）

16:20 MMS（北村/東大）

16:45 データ解析報告（吹澤/東北大）

17:00 データ解析報告（宮下/千葉大）

17:15 データ解析報告（平井/東北大）

17:30 データ解析報告（Park/名大）

17:45 データ解析報告（小川/極地研）

9/20 FRI.

9:00 データ解析報告（栗田/名大）

9:15 データ解析報告（堀/名大）

9:30 データ解析報告（松岡/ISAS）

9:45 データ解析報告（松田/ISAS）

10:45 チュートリアル講演（横田/阪大）

11:15 チュートリアル講演（三好/名大）

13:30 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

* あらせ衛星と地上光学・電波・レーダー観測網とのキャンペーン観測に関する観測戦略と、それを具体化する運用計画について議論した。

* 解析ソフト講習会では、チュートリアル講演を受けて、粒子データのモーメント計算・ピッチ角分布計算などの発展的ツールを扱った。

水星探査の視点から見た惑星磁気圏研究
Study on planetary magnetosphere derived from Mercury exploration

村上豪、宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所

【概要】

第1回研究集会：「水星探査の視点から見た惑星磁気圏研究会」を2019年2月18日～21日に東北大学理学部にて開催した。今回は第20回惑星圏研究会（代表：三澤浩昭）と共催とし、惑星圏研究会の水星セッションとして本研究集会を開催した。

【参加者数】

合計129名、うち外国人14名、若手研究者19名、大学院生32名。

【研究報告】

招待講演を中心として、主に以下の研究内容について発表・議論を行った。

- ・水星における表層・外圏大気・磁気圏相互作用
- ・水星周辺のプラズマ輸送と降り込み
- ・水星磁気圏における惑星起源イオンの輸送と加熱
- ・その場観測による水星外圏大気のカMEへの応答
- ・水星におけるコーラス波動の存在可能性とその重要性
- ・小さな磁気圏の昼側磁気圏界面におけるプラズマ物理過程
- ・ベピコロポ計画に向けた未解決科学課題の整理
- ・水星形成・進化という観点における水星表層化学組成
- ・太陽風が無大気天体に与える宇宙風化作用

招待講演を主とすることで広い範囲の議論をカバーすることができ、水星磁気圏研究に関する全体像の理解と次期水星探査となるベピコロポ計画が取り組むべき未解決課題が明確に整理された。また海外からの主要研究者を招へいたことにより、最新の水星磁気圏研究状況を全体と共有することができた。若手研究者が海外研究者らと関係を構築することにも成功しており、水星探査機が到着する2025年以降のサイエンスを見据えた長いスパンでの研究体制構築にも大きな成果をもたらしたといえる。

また、惑星圏研究会との共催としたことにより、磁気圏に特化した研究のみならず、水星特有の複雑な系を形成する水星表層やその形成・進化についても広い分野の科学者間で議論がなされた。地球や外惑星磁気圏分野の研究者らも多く参加しており、惑星磁気圏という広い視点から見た水星磁気圏探査の持つ意義について明確化することができた。本研究集会は今回が初の試みであったが、以上の点で当初の計画以上の成果を得ることができたといえる。今後も引き続き開催し、さらなる研究の進展を図る。

科学データ研究会
Science Data Symposium

村山泰啓、国立研究開発法人・情報通信研究機構

○集会の概要

現在国際的に、オープンサイエンスおよび研究データ共有の議論が急速に進展しつつあり、デジタル化による社会変革への模索とともに、科学研究の新たな価値や新しい情報共有体制を目指す動きが活発化している。2018年6月、ICSU (International Council of Science) と ISSC (International Social Science Committee) の統合によって発足した ISC (International Science Committee) は、ICSUより引き継いだ2つの学術データ国際事業である、WDSとCODATAを推進しており、我が国は日本学術会議を通じて、夫々の事業運営において顕著な関与・貢献をしてきた。一方学術データ活動のあり方については、各学術分野自体への寄与とともに、多分野融合研究や一般社会からのデータ利用への対応が求められている。そこでこの研究集会では、WDSとCODATAにおける最近の国際動向を踏まえて、我が国のデータ関連活動の活性化と国際連携の強化に向けた情報交換と議論を行った。なおこの研究集会は、日本学術会議情報学委員会・国際サイエンスデータ分科会との共催により、日本学術会議公開シンポジウムとして、学術会議2F大会議室において開催された。

プログラム

10:30-10:35	研究会進行説明	渡邊 堯 (WDS-IPO)
10:35-10:45	開会挨拶	小関敏彦 (東京大学)
10:45-11:05	WDSと我が国の研究データ基盤事業、オープンサイエンスの潮流	村山泰啓 (情報通信研究機構)
11:05-11:30	ICSU-World Data Centerの発展と日本のデータ体制	荒木 徹 (京都大学)
11:30-11:50	極域研究観測事業におけるデータベース整備とデータ出版	門倉 昭 (情報・システム研究機構)
11:50-12:10	デジタル時代の学術コミュニケーションのインフラストラクチャーのあり方について	武田英明 (国立情報学研)
12:10-12:25	海洋分野におけるデータの相互利用の促進	馬場典夫 (海上保安庁)
12:25-13:45	休憩(昼食)	
13:45-14:05	研究データ利活用における科学と社会の将来像〜マルチステークホルダー・ワークショップから見えてきたこと	近藤康久 (総合地球環境学研究所)
14:05-14:25	CODATAにおける科学技術データに関わる国際的取り組みと我が国の役割	芦野俊宏 (東洋大学)
14:25-14:45	総合イノベーション戦略とオープンサイエンス戦略に見る研究データの取扱と研究者コミュニティへの影響	林 和弘 (科学技術・学術政策研究所)
14:45-15:05	総合討論	
15:05-15:25	休憩	
15:25-16:55	International Data Week 2018 (IDW2018), CODATA, WDS 関係者報告 WDS小委員会、CODATA小委員会活動報告 総合討論	
16:55-17:00	閉会挨拶	

○参加者数

参加機関数 21ヶ所

参加者総数 36名

○成果等

我が国では、1957-58年における国際地球観測年（IGY）を機に当時の国際科学会議（ICSU）の主導のもとに結成された World Data Center（WDC）のネットワークに加入し、特に地球科学分野において品質管理された科学データの長期保全と公開態勢の確保における国際連携に取り組んできた。WDC組織は2008年より World Data System（WDS）に移行し、2011年には国立研究開発法人・情報通信研究機構に WDS 国際プログラムオフィスが設置された。この研究会では、これらの世界における科学データ関連活動の流れの再認識のもとに、WDSを軸としたオープンサイエンス・オープンデータに向けた我が国の寄与の強化に向けた取り組みについて議論が行われ、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や、その傘下にある WDS 小委員会において、具体化をすすめることで合意が得られた。また、アジア・オセアニア地域における科学データの保全・公開態勢のボトムアップに向けた WDS 小委員会の活動をサポートするため、2019年5月に中国北京市で開催予定の WDS Asia-Oceania Conference 2019 に対して、積極的な支援を行う事となった。

中間圏・熱圏・電離圏研究会
Mesosphere-Thermosphere-Ionosphere Workshop

横山 竜宏 京都大学・生存圏研究所

1. 研究集会の概要

中間圏・熱圏・電離圏 (Mesosphere, Thermosphere and Ionosphere; MTI) は、地球上層大気が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30年度は、「STE現象報告会」、「宇宙空間からの地球超高層大気観測に関する研究会」、「IUGONET研究集会」、「科学とデータ研究集会」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、助成金を得た京都大学生存圏研究所、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30年9月10-14日(うちMTI研究集会は11-13日の3日間)の日程で開催した。MTI研究集会への参加者は67名、のべ174名であった。また、全期間の参加者は97名、のべ206名であった。

MTI研究集会では、一部未完成となっているMTIハンドブックの最終完成を目指し、主に未完成項目に関連する基調講演者を招待して、基礎知識から最新の研究成果に関する知見を共有した。そして、講演者または聴講した若手研究者が、講演内容を初学者に役立つテキストとして整理し、来年度の4月末までにMTIハンドブックとしてweb上で公開することが決まった。

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21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(当時))、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10日 13:25 – 9月11日 11:55 「平成30年度・第1回 STE(太陽地球環境)現象報告会」

9月11日 13:35 – 9月12日 10:30 「中間圏・熱圏・電離圏 研究集会」

9月11日

MTI ハンドブック part 1

13:35-13:40 趣旨説明

横山 竜宏 (NICT)

13:40-14:40 基調講演：電離圏シミュレーション

品川 裕之 (NICT)

15:00-15:40 中層大気中の物質輸送についてのレビュー

村山 泰啓 (NICT)、坂野井 和代 (駒澤大学)

15:40-16:20 GPS を用いた電離圏電子密度トモグラフィ

齊藤 昭則 (京大理)、山本 衛 (京大 RISH)、齋藤 享 (ENRI)

9月12日

MTI ハンドブック part 2

09:30 - 10:30 基調講演：中層大気における鉛直結合および南北両半球間結合

佐藤 薫 (東大理)

9月12日 10:35 – 14:45 「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12日 15:00 – 17:30 合同ポスターセッション (21件)

9月13日 9:30 – 12:00 「データ解析講習会」

9月13日 13:40 – 16:20 「中間圏・熱圏・電離圏 研究集会」

9月13日

MTI ハンドブック part 3

13:40 - 14:40 基調講演：電離圏イレギュラリティと大気圏-電離圏結合過程

山本 衛 (京大 RISH)

15:00 - 15:40 ニューラルネットワークの関数近似能力と応用

丸山 隆 (NICT)

15:40 - 16:20 磁気圏-電離圏結合の基本原則と未解明問題について

新堀 淳樹 (名大 ISEE)

9月14日 9:30 – 16:40 「IUGONET 研究集会」「科学とデータ研究集会」

宇宙惑星結合系の包括的理解と将来探査計画： 地球、系内・系外惑星における超高層大気・ 外気圏の融合的研究の創設に向けて

Comprehensive understanding and future exploration missions for the space-planet coupling system: Toward the foundation of fusion research for upper atmospheres and exospheres of the Earth, solar-system planets, and exoplanets

平原 聖文 (名古屋大学・宇宙地球環境研究所)

目的・意義

地球・火星・金星など、太陽系における大気惑星は中心星である太陽からのプラズマ流・太陽風に晒されており、磁化・非磁化惑星に拘わらず大気惑星として惑星大気プラズマ・宇宙プラズマ結合系を形成している。地球型惑星に限らず、木星等の巨大ガス惑星・氷惑星においても同様で、これらの超高層大気環境は普遍的な宇宙惑星結合系を代表するものであり、直接観測が唯一可能な研究対象として特筆される。地球磁気圏・電離圏・熱圏、あるいは超高層大気領域における将来直接探査計画が様々に提案されている現状に加え、特に火星超高層大気探査が国外において急速な進捗が認められる事にも、宇宙惑星結合系に関する今後の学術的の意義を認める事が出来る。更には、系内惑星のみならず、最近発見数が加速度的に増加している系外惑星においても、中心星からの恒星風と惑星超高層大気との相互作用による大気流出現象の仮定なくしては観測データに定量的な解釈が与えられない事例もあり、系内・系外大気惑星の超高層大気プラズマと太陽風・恒星風プラズマの包括的理解の重要性が急速に増しつつ状況にある。この様な昨今の学術的展開を背景にして、宇宙惑星結合系における粒子加速、領域・エネルギーの結合、物質・エネルギーの輸送を分野融合的に議論する土壌が醸成されている事に着目しつつ、新機軸の観測機器や超小型・Cubesat 型の探査衛星の開発を具体例とする実証的科学的技術的基盤を構築し、宇宙機や地上大型装置を用いた将来探査・観測計画への提言・推進を視野に入れた実質的・統合的な講演・議論の場とする事を目的として本研究集会を企画した。より具体的な課題としては、宇宙惑星結合系における物質的・電磁的エネルギー授受の素過程、無衝突プラズマ系における本質的な結合過程を担う波動・粒子相互作用、更には無衝突・衝突系の遷移領域としての宇宙プラズマと惑星大気における領域間・エネルギー輸送や電磁氣的結合を基本的な物理過程と考え、宇宙不変的な惑星超高層・外気圏の描像に迫り、かつ、それぞれの研究課題に適合する観測技術基盤の開拓と将来計画の実現を目指して、詳細な物理機構と観測項目の提示・方策に言及しつつ、宇宙惑星結合系科学として統一感のある講演・議論を展開する事を目的とした。これにより、系内・系外惑星外気圏を対象とする実証的・理論的アプローチ、及び将来探査・観測計画の提言・推進も取り込んだ先進的な研究集会を開催した。

日程・開催場所・参加機関・参加者数

本研究集会は 2019 年 3 月 29 日に名古屋市千種区の名古屋大学東山キャンパス・宇宙地球環境研究所において開催され、遠隔会議システムを利用した参加者も含め、国内 8 研究機関と国外 1 研究機関から、24 名の日本人研究者の参加があった。次ページに講演プログラムを示す。

概要

系内・系外惑星、遠隔・直接観測を統括し得る科学意義や技術基盤、将来構想を実質的に共有する事こそ、今後の宇宙惑星系科学の本質であり課題でもありと考え、地球・火星を代表とする系内惑星の超高層大気領域・外気圏の実証的科学的としての遠隔観測・直接探査における解析的研究、及びモデリング/シミュレーション研究に加え、系外惑星の最新の観測的成果、系内・系外惑星を対象とする将来探査・観測計画に関して、開発途上の観測技術も含め多面的に講演を展開し、宇宙惑星結合系としての包括的議論を行った。

表 本研究集会の講演プログラム

時間帯		講演課題・議題	発表者
13:00-13:05		はじめに	平原 聖文
13:05-13:35		極域イオン流出に関連する波動粒相互作用、MMS 衛星による波動の複数点観測から明らかになった課題	北村 成寿
13:35-14:05		波動粒子相互作用による惑星大気プラズマの加速・加熱	加藤 雄人
14:05-14:20		FACTORS 計画における地球大気流出機構観測	平原 聖文
14:20-14:40		FACOTRS 衛星に搭載するプラズマ波動観測器	小嶋 浩嗣
14:40-15:00		電磁気圏探査に向けた超熱的・低エネルギーイオン計測器の開発	浅村 和史 (遠隔)
15:00-15:20		将来探査衛星計画 FACTORS 搭載可視・紫外イメージャーの科学課題と開発検討計画	坂野井 健
15:20-15:40	休憩		
15:40-16:10		現在と過去の地球大気流出の主要ルート	山内 正敏 (遠隔)
16:10-16:40		系外地球型惑星の高層大気観測	亀田 真吾
16:40-17:10		戦略的火星探査：周回・探査技術実証機による火星宇宙天気・気候・水環境探査計画	関 華奈子
17:10-17:30		議論	

まとめ

世界的に見ても、宇宙地球結合系を系内・系外惑星の超高層大気領域・外気圏にまで発展させた宇宙惑星結合系科学の提唱・創設に関しては十分成熟した研究指向・体制を確立しているとは言い難く、名大・宇地研が先導的・主体的に牽引することは、極めて時宜に適ったものと考えられる。特に、宇宙地球結合系、更には系内・系外惑星を対象とする宇宙惑星結合系科学という学術的指向は次期中期計画における重要な一翼を担うものであるため、本研究集会では、普遍的な宇宙惑星結合系という視点から、地球のみならず、系内・系外惑星、そして磁化惑星・非磁化惑星も含め包括的な視点から、惑星周辺の宇宙環境と惑星固有の超高層大気・電離圏磁気圏領域との結合過程の帰結として発現するエネルギー授受・質量/物質輸送に関して、観測的・理論的な研究の現状・将来性を議論した。特に、昨今の計測技術の進歩や探査衛星観測手法の刷新を基盤として、最先端・革新的な観測成果が報告されつつあり、粒子計測・画像取得における高時間/空間分解能化・高感度化の必要性が示された。一方、過去の観測の精査と比較も今後の探査計画策定においては重要な意義を持つ事も確認された。具体的な将来探査計画としては、地球超高層大気・電磁気圏熱圏を日本初の編隊飛行と先端的・革新的計測手法により探査する FACTORS 計画、系外惑星の大気のトランジット効果をロシアの宇宙望遠鏡衛星で分光観測を行う将来計画、宇宙機関・学会主導によるトップダウン方式の月火星計画の中に位置付けられる火星宇宙天気・気候・水循環探査計画、等の現状・意義と方向性・戦略について発表と議論がなされた。特に、機器開発・ボトムアップ主導型の探査衛星計画においては、計測技術・手法における刷新性・独自性の高い開発課題・方策が示された事により、実証的科学的としての宇宙惑星結合系のコミュニティー全体への遡及効果が大きいと考えられるため、今後の斬新で精力的な機器開発と時宜を得た探査計画立案・推進の並進の必要性が認められた。

第 11 回「あらせ」サイエンス会議
複数衛星観測による内部磁気圏探査
Multi-satellite Observations for Geospace
「あらせ」衛星の電場・プラズマ波動観測データを用いた解析ワークショップ
Workshop for the plasma wave observations by Arase/PWE

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構
宇宙科学研究所 篠原育

申請時には「複数衛星観測による内部磁気圏探査」というタイトルで提案をし、2017年3月以降にジオスペースのプラズマ粒子・プラズマ波動の総合観測を開始している「あらせ」衛星の観測を中心として、Van Allen Probes や低高度衛星群との共同観測の研究集会を単独で開催する予定であった。しかし、講演者・参加者の利便性を考え、今回は、宇宙科学研究所の磁気圏・電離圏シンポジウム宇宙研・松田氏提案の共同研究集会と共催の集会として、また、観測トピックスとしても電場・プラズマ波動観測に重点をおくこととして、「あらせ」サイエンス会議およびワークショップとして開催することとなった。

このワークショップは、2019年3月5-6日に名古屋大学において実施され、「あらせ」衛星を中心として、連携衛星観測、連携地上観測それらの統合解析による科学成果についての発表と議論が行われるとともに、「あらせ」衛星の特に DC 電界観測にかかわるチュートリアル講演、さらに「あらせ」衛星観測のプラズマ波動、DC 電場を中心とした解析講習会を実施した。

本ワークショップでは、2日間で59名の参加者があり、一般講演11件、招待講演8件の科学成果報告とチュートリアル講演1件が行われた。

講演では、海外衛星との同時観測による観測成果や衛星-地上の連携観測成果が報告され、活発な議論が行われた。また、招待講演として九州工業大学の藤本氏から、九州工業大学が開発し、現在観測運用中の超小型衛星「てんこう」の紹介があり、「てんこう」と「あらせ」による共同観測や、STP 分野における将来の超小型衛星観測の可能性について議論がなされた。大学院生の修士論文の成果に関する報告も複数件行われ、衛星観測、地上観測それぞれの専門家から多くの質問があった。東北工業大学の中川氏による「EFD による電場観測の基礎」と題されたチュートリアル講演では、科学衛星が観測する DC 電場の計測原理や生データにみられる様々な特徴とその解釈、そしてデータを使用する上での注意点についての説明が行われた。

2日目午後には、ERG サイエンスセンターの協力により、「IDL/SPEDAS によるデータ解析講習会」を実施し、学部生・大学院生を含む多くの参加者が IDL/SPEDAS による「あらせ」の電場・プラズマ波動観測データの解析に取り組んだ。講習会では、中川氏や「あらせ」衛星の各搭載機器 PI によるコメントも随時に織り交ぜられることで、観測データの取り扱いに関する深い情報交換が行われると共に活発な質疑応答がなされた。実際の観測データを用いての講習会はたいへん好評であり、多くの参加者から「非常に満足した」という評価が得られている。今後も同様の講習会や実際の成果創出に向けたワークショップを実施し、「あらせ」および連携観測の観測を活かした成果の創出を計りたいと考えている。

第 11 回 ERG サイエンス会議

あらせ衛星の電場・プラズマ波動観測データを用いた解析ワークショップ

日時: 平成 31 年 3 月 5 日 - 6 日

会場: 名古屋大学宇宙地球環境研究所 研究所共同館 II 3F ホール

主催: 名古屋大学 宇宙地球環境研究所, JAXA 宇宙科学研究所, ERG サイエンスセンター

共催: SGEPSS 内部磁気圏分科会, SGEPSS 波動分科会, 日本学術会議 URSI-H 小委員会

世話人: 松田昇也 (ISAS/JAXA), 三好由純 (名大 ISEE), 篠原育 (ISAS/JAXA)

3/5 (火)

13:00-13:10 趣旨説明ほか

13:10-13:40 プロジェクト概況報告

講演第 1 部 座長: 松田 昇也 (ISAS/JAXA)

13:40-14:00 [招待講演] 尾崎 光紀 (金沢大学) ほか
あらせ衛星と PWING 連携観測より得られたフラッシュオーロラの時空間特徴

14:00-14:15 稲葉 裕大 (名古屋大学) ほか
2017 年 3 月 28 日に Nylora の地上全天カメラとあらせ衛星で
同時に観測されたサブオーロラ帯の SAR アークの初期解析

14:15-14:35 [招待講演] 田中 良昌 (国立極地研究所) ほか
あらせ衛星と地上南北共役点観測による
磁気圏、電離圏、中間圏現象の比較解析

14:35-14:50 新堀 淳樹 (名古屋大学) ほか
全球 GNSS-TEC とあらせ衛星観測を用いた
磁気嵐時のプラズマ圏・電離圏の時間・空間変動について

14:50-15:10 休憩

講演第2部 座長: 三好 由純 (名古屋大学)

- 15:10-15:30 [招待講演] 橋本 弘藏 (京都大学) ほか
Hectometric Line Spectra とプラズマバブルの関連
- 15:30-15:45 竹下 祐平 (名古屋大学) ほか
衛星-地上観測とモデル計算に基づく内部磁気圏 ELF/VLF 波動の時空間発展
: 2017年3月26日-30日の磁気嵐時の初期解析
- 15:45-16:00 Neethal Thomas (名古屋大学) ほか
Investigation of small scale electron density perturbations observed by the
ARASE and Van Allen Probe satellites inside and outside the plasmapause
- 16:00-16:15 藤井 亮佑 (名古屋大学) ほか
Mass dependence of penetration depth of multi-energy ions in the
inner magnetosphere during magnetic storms: Arase observations
- 16:15-16:30 高田雅康 (東京大学) ほか
EISCAT レーダー・あらせ(ERG)衛星連携観測に基づく
低高度電離圏から磁気圏への分子イオン供給メカニズムの研究
- 16:30-16:45 関 華奈子 (東京大学) ほか
Statistical properties of molecular ions in the ring current
observed by the Arase (ERG) satellite
- 16:45-17:00 吉川 顕正 (九州大学) ほか
Pi 1-2, Pc 1-2 脈動に関する ERG-MAGDAS 連携データ解析の報告
- 17:00-17:15 山川智嗣 (東京大学) ほか
Excitation of storm-time Pc5 ULF waves based on the drift-kinetic simulation
- 17:15-17:30 討論
- 18:30-20:30 懇親会(会場: 風来坊 本店, 会費: 学生...3000円(予定), 一般...未定)

3/6 (水)

講演第3部 座長: 篠原 育 (ISAS/JAXA)

- 09:00-09:20 [招待講演] 風間 洋一 (台湾中央研究院) ほか
LEPe+PWE の協調観測による研究成果
- 09:20-09:40 [招待講演] 片岡 龍峰 (国立極地研究所)
あらせ衛星と PANSY の同時観測による研究成果
- 09:40-10:00 [招待講演] 藤本 晶子 (九州工業大学) ほか
九工大てんこう衛星とあらせ衛星による連携研究
- 10:00-10:15 Park InChun (名古屋大学) ほか
Particle simulation for calibrating the HEP data onboard the ARASE satellite
- 10:15-10:25 休憩

講演第4部 座長: 松田 昇也 (ISAS/JAXA)

- 10:25-10:40 吹澤 瑞貴 (東北大学) ほか
静電電子サイクロトロン高調波による低エネルギー電子のピッチ角散乱
- 10:40-10:55 平井 あすか (東北大学) ほか
サブオーロラ帯における IPDP タイプ EMIC 波動と電子降下の統計解析
- 10:55-11:10 三宅 洋平 (神戸大学)
プローブ電界計測に対する衛星帯電・シース・ウェイクの影響について
- 11:10-12:00 [チュートリアル・招待講演] 中川 朋子 (東北工業大学)
EFD による電場観測の基礎
- 12:00-13:00 休憩

13:00-13:50 講習会準備セッション(※希望者のみ)

13:50-17:10 SPEDAS 講習会

研究所共同館 II 313 室

Beginners' course: SPEDAS を使った Arase データ解析の基礎

研究所共同館 II 3F ホール

Advanced course (1): Arase/PWE-EFD による DC 電場解析

Advanced course (2): Arase/MGF, PWE-EFD による ELF 帯波動解析

注: Advanced course は, IDL/SPEDAS の基礎的な使用方法を習得済みであることを前提として進行いたしますので, ご理解いただいたうえでコースを選択していただけますようお願いいたします.

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様になり、研究拠点としてかなりの広がりを持つ様になっている。これらの学校の研究グループは少人数のことが多く、単独で行える観測・研究活動には限界がある。その不足を広域の人的ネットワークを活用することで補い、観測的なつながりを広げる機会を設けるため本研究集会を開催した。

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場合も多いため、より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、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も目指している。また、観測を通じた学生教育に関する情報交換も行いたい。

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 64 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、今井一雅、北村健太郎、高専スペース連携

「高専CubeSatの開発状況および宇宙天気情報のWeb発信について」

全国の高専の宇宙関係の研究者による「高専スペース連携」の活動のひとつとして、超小型衛星CubeSatの開発を行っている。高知高専のCubeSatが、次のイプシロンロケットに搭載される衛星に選ばれ、2020年度に打ち上げられる見通しになった。この衛星は木星電波の観測を目的としており、地上観測グループとのネットワーク研究に向けた検討を行っていききたい。また、徳山高専もSq電流系を観測するCubeSatの開発を進めており、打ち上げの方法は今後の課題だが、地上磁力計ネットワークとの連携を計画していききたい。

また、2003年より継続している「宇宙天気ニュース」について、記事は5600号に達し、アクセスの累計は2200万件を超えたことを報告した。1日あたりのアクセス数は3000件程度になっていて、太陽活動極大の頃と比較すると3分の1程度に減少している。一方、大きな宇宙天気現象がほとんど起きない状態でも、この規模の人々の関心を維持できていると言える。

池田昭大、野澤宏大、篠原 学

「鹿児島高専の超高層大気観測と学生の研究活動」

鹿児島高専では、太陽紫外線、大気電場、磁力計などを設置して観測を継続している。ここで得られた観測データを用いた解析を高専の学生と行い、この研究集会で研究発表を経験させている。高校2年から大学2年に相当する若手年代の学生に挑戦させていて、2012年以降7回の発表を行って来た。学生にとっても大きな経験になっている。

高専は技術者教育を中心に行っているが、あらゆる技術者に必要であるデータ科学教育を行うため、物理実験の授業の中で宇宙天気データを用いることを検討している。太陽風のデータをMATLABで解析する実験を計画している。

柏田元輝、才田聡子

「Webブラウザにおけるオープンサイエンスデータのインタラクティブな可視化ツールの開発」

人工衛星や地上観測などのデータがWebで公開されているが、データを利用するには、データを探し、自分のPCに取り込み、作図するという作業が必要である。これは、初心者には大変な作業であり、得られた結果についてデータを正しく扱っているかどうか分からない。そこで、Webブラウザにおけるインタラクティブな可視化機能とデータ解析機能の搭載をデータ提供機関に向けて提案を行う。

機能としては、マウスオーバーによるデータ値の直接表示、ドラッグによるグラフの拡大・縮小や表示期間の変更などを java script のライブラリを活用して実装している。

今後、様々な形式のデータに対して、この機能の導入を容易にするパッケージを開発したり、Webサイトを公開することで様々なデータ提供機関へ向けて提案を行っていきたい。

逸見勇輔

「SuperDARNレーダーによる地理座標空間におけるTIDの伝搬方向の導出」

SuperDARNによるMSTIDの観測は、昼夜ともに観測可能、海上などのデータも得られるなどの利点がある。MSTIDの伝搬方向の導出については、これまでの目視による解析では、作業に時間がかかる、長期間の解析が難しい、個人差が生じるなどの問題があった。これを解決するため、PCによる自動化に取り組んでいる。

先行研究では、扇型に広がっている観測範囲のデータを、そのまま x-yの座標に置き換えて分析していたので、実際の地理座標に変換する工夫を行い、方位などに歪みのない分析をできる様にした。

これにより、MSTIDの各季節の昼夜の伝搬特性について分析を行ったところ、先行研究よりもより妥当な結果が得られ、解析の精度が高まったと考えられる。

渡邊 堯、加藤泰男、鈴木和博、大矢浩代

「流星に伴う電波放射と異常聴音の共同観測計画」

明るい流星と同時に、「シャー」「パチパチ」という「音」が聞こえたという報告がたくさんある。これらは必ずしも錯覚とは言えない。また、普通の流星の電波観測とは、地上から送出した数十MHzの電波の反射の観測であるが、流星によりELF/VLF帯の電波放射が起きている可能性がある。

1981年8月13日のペルセウス座流星群の火球による電波放射が検出されている。この時は、3方向の光学観測から流星の軌道が求められていて、VLF電波観測に強度の変化が現れていた。通常空電と比べて、より広い範囲の周波数帯に変化が現れていた。

多くの観測事例の解析が必要なので、流星観測ネットワークとの連携や、市民参加によるオープンサイエンスとしての観測態勢の整備を行い、流星によるELF/VLF帯電波発生機構の解明に繋げたい。

成果と今後について

高専の研究グループによる超小型衛星の1号機が今後2年程度で打ち上げられることが決まり、その詳細を電磁研シンポジウムの参加者も含めて広く報告することができた。今後、衛星の製作・運用や地上観測ネットワークとの共同観測など幅広く協力を求めていくことが必要になる。本研究集会を通じて、今後も積極的にアピールを続けることが期待される。

鹿児島高専の池田氏より、物理の授業の中で宇宙天気データを用いたデータ解析実験を計画していることが報告された。実施はこれからであるが、授業を通じて多くの学生が宇宙天気の分野に接する機会を作ることができる。宇宙天気の教育活動の一例として、今後の報告に期待したい。

若手学生の発表としては、名古屋大学と北九州高専から2名が参加した。北九州高専の柏田氏の発表は、最新のWeb技術を宇宙天気データのオンライン解析に応用する内容で、技術系の学生の強みを活かした興味深い研究だった。この様な特色を持った発表が行われるのも本研究集会の成果だと考えている。

第6回 大気エアロゾルシンポジウム
6th Symposium on Aerosol

馬場賢治 酪農学園大学農食環境学群

1. 集会の目的

大気エアロゾルシンポジウムは、酪農学園大学の異分野間共同研究としてバイエアロゾル等の越境物質の変遷や過程、北海道地方への影響等を調べることを目的であった2012年の本学の競争資金「黄砂が運ぶ生物由来物質の時空間解析」（申請者代表）を基に、一般向けに研究成果・情報の公開と様々な研究者との意見交流の場として始まった。その後、科研費等の外部資金を基に北海道に留まらずアジアダストに関する研究が行われ、それらの研究紹介を北海道総合研究所と共に毎年一般から研究者に向けて本シンポジウムにて発信を行っている。会を重ね、我々のチーム発表に加え、名古屋大をはじめとしたアジアダスト研究者を招聘し、物理的、化学的、生物・医学学的な局面から社会科学的な分野に至るまで、多角的な視点からのアジアダスト研究について情報交換の場となってる。本シンポジウムの目的は、様々な分野の研究者が一堂に会し、相互の研究や情報交換をはじめ、新たな研究テーマを発見・展開すること、および国際的な学術や観測の協力関係を構築することにより、社会還元を行うことにある。

2. 集会の概要

研究集会名：第6回大気エアロゾルシンポジウム

日時：2018年11月9日13:15-17:00

場所：北海道大学学術交流会館講堂

主催：ISEE, 酪農学園大学, 北海道総合研究機構環境科学研究センター

後援：日本気象学会北海道支部, 大気環境学会北海道東北支部

前半は物理的な立場からアジアダスト発生域におけるシミュレーション解析やレーダー観測、飛散実験観測による発表が行われた。後半は化学・生物学的な立場からエアロゾル発生源や細菌類と紫外線の関係など公衆衛生関連、およびアンモニウム塩挙動などの発表が行われた。それぞれについて様々な専門分野から質疑がなされ、アプローチの違いによる疑問点が浮き彫りになり、課題などの情報共有が行われた。

参加者は、大学や研究機関をはじめ、大学院生や学部生、気象予報士会の方々、および、一般の方の参加があった。

3. 研究報告と成果

特別講演では、シミュレーション解析と現場を考慮した研究を行っている京大の竹見先生、現場のライダー観測を専門にしている環境研の清水研究員を招聘した。竹見先生は、砂漠域におけるダストデビル

の数値シミュレーション解析を行っており，その発生と物理過程について，背景場から応用まで分かり易く話題提供していた．清水研究員は，ライダー観測による黄砂観測例を紹介し，それらの他分野利用について丁寧に解説をしていた．後半では，京大の丸山先生がエアロゾル発生源となる環境の時生物群構造解析に関する講演があり，バイオエアロゾルの挙動や感染リスクについての話が行われた．その他，酪農学園大や道総研から，現在進められている研究についての報告が行われた．質疑は活発に行われ，講演者から丁寧な説明が行われた．また，様々な課題に対し今後も関係者が連携して情報交換を密に行い，研究の発展と社会還元を行うことを確認した．

4. 研究集会プログラム

- 13:20 「砂漠域におけるダストデビルの数値シミュレーションと発生の物理過程」
竹見哲也（京都大学）
- 14:00 「ライダー観測網 AD-Net による黄砂 3 次元分布の連続観測と多分野での応用」
清水厚（環境研）
- 14:40 「モンゴルゴビ砂漠ドライレイク・ワジにおける飛散実験解析」
馬場賢治・上野華矢・松本珠季・星野仏方（酪農学園大学）
- 15:20 「エアロゾル発生源となる浴室環境の微生物群集構造解析」
丸山史人・藤吉 奏（京都大学）
- 16:00 「札幌の都市環境に浮遊する細菌集団の解析」
鷺見優斗・吉川達哉・大久保寅彦・山口博之（北海道大学）
- 16:15 「大気汚染物質による紫外線からの細菌保護の可能性」
能田淳・富澤颯太・小島うらら・高橋京平・内田玲麻・
村松康和（酪農学園大学）
- 16:30 「北海道における大気中アンモニウム塩の挙動について」
野口泉・山口高志（北海道立総合研究機構）
- 16:50 閉会

水圏クロロフィル蛍光に関する知識統合と研究戦略
Aquatic Chlorophyll Fluorescence: Knowledge Integration and Research Strategy

桑原ビクター伸一、創価大学・教育学部

集会概要：

本研究集会は11月6~7日に名古屋大学研究所共同館Iで開催され、国内の大学・研究機関から18名の参加のもと水圏クロロフィル蛍光に関する11件の講演が行われた。

集会目的：

水圏生物による光合成は、海洋・湖沼の生態系の出発点というだけでなく、大気CO₂吸収を介して全球の気候変化も支配する重要なプロセスである。全ての光合成生物は蛍光を発するクロロフィル（光吸収色素）を保有するため、その蛍光特性を利用する手法が水圏生態系の健全性をモニターするために用いられてきた。近年では、行政による水圏生態系サービスの効率的な管理や藻類の産業的応用（バイオ燃料など）に対する要求が世界的に拡大しており、これが原動力となってクロロフィル蛍光に関する理論および計測技術力が急速に発展している。このような背景から、本研究集会では、国内の水圏クロロフィル蛍光を利用したフィールド研究者を参集し、それぞれの研究内容・成果について幅広く講演・議論を行うことにより、新たなコミュニティの発足、研究者間の情報／知見の集約および共有化を目指した。

研究集会報告と成果：

11月6日のセッションではクロロフィル蛍光の応用研究を軸にした6つの講演が行われた。1個体の原生動物に共生する微細藻類の生理特性から、*in-situ*の多波長励起蛍光を用いた海域毎のプランクトン群集組成の推定まで、幅広いトピックが紹介された。11月7日の5つの講演では、PAM法やFRR法を用いた沿岸～外洋および湖沼におけるブルーム形成や一次生産力に関する研究結果が紹介された。特に、誘導（蛍光）曲線から求められる光合成パラメータの解釈や生産速度の推定法が主題として扱われた。いずれの講演も単なる紹介にとどまらず、質疑応答を介して研究結果に対し活発な意見が交わされた。これにより、個人もしくは1グループの研究では得難い様々な知見を参加者の間で共有できたと考えている。総合討論のまとめとして、本集会の参加者を主体とした国内コミュニティを拡大し、共同研究を推進していくことを合意した。

【プログラム】

11月6日（火）

13:30-13:40 桑原ビクター伸一，三野義尚

「趣旨説明」

13:40-14:05 後藤直成

「水中クロロフィル蛍光計を用いたクロロフィル a 濃度測定法の高精度化」

14:05-14:30 桑原ビクター伸一

「Distinguishing phytoplankton functional types using a multi-excitation fluorometer」

14:30-14:55 石坂丞二

「多波長励起蛍光光度計を用いた伊勢湾と東シナ海における植物プランクトン群集構造の把握」

15:10-15:35 Sandric Leong

「Monitoring of Harmful Algal Blooms in Singapore Waters」

15:35-16:00 藤木徹一，木元克典，石谷佳之，高木悠花

「FRR 法を用いた浮遊性原生動物と藻類の共生関係の解明」

16:00-16:25 三野義尚，藤木徹一，本多牧生，原田尚美，鋤柄千穂

「西部北太平洋における植物プランクトン群集の強光応答」

16:25-17:00

「総合討論 I」

11月7日（水）

09:05-09:30 藤木徹一，原田尚美

「無人海洋観測プラットフォームに搭載可能な高速フラッシュ励起蛍光光度計の開発」

09:30-09:55 小池一彦

「植物プランクトンの生態学的研究に PAM 蛍光法を活用して見えてきたこと」

09:55-10:20 小松一弘，富岡典子，土屋健司，早川和秀，永田貴丸

「FRRF (Fast Repetition Rate Fluorometry)法による湖水中一次生産の測定」

10:35-11:00 風間健宏，霜鳥孝一，早川和秀，今井章雄，小松一弘

「新型高速フラッシュ蛍光光度法（FRRf）を用いた湖沼一次生産速度のリアルタイム測定」

11:00-11:25 鋤柄千穂，三野義尚，岡英太郎，植原量行，根田昌典

「亜熱帯海域における冬季混合と生物応答について」

11:25-12:00

「総合討論 II」

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，ISEE篠田太郎の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。また、他分野（理学以外）との連携も重要視されている。そこで、本セッションでは日本航空宇宙学会長の大林茂先生（東北大学流体科学研究所）を招待講演として招き、地球惑星科学と航空工学の両分野での発表が行われた。また、セッション後に大林先生とマスタープランの提案関係者で打ち合わせを持った。

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、主に口頭発表におけるセッションの概要を示す。

大林先生 航空機と□気象現象について

- ・晴天乱気流~ライダーボーイングの機体で実験
- ・後方乱気流~ ENRI とライダー観測
- ・庄内空港周辺のリアルタイム予測
- ・レーダ観測をデータ同化する
- ・リアルタイム乱気流予測
- ・羽田空港のハンガーウェーブ LESシミュレーション
格納庫からの乱流
後方乱気流とハンガーウェーブの干渉

安河内さん 高高度無人航空機を火星で利用するためのプロペラ検討

- ・プロペラの実験（真空チャンバー）
-プロペラの回転速度，プロペラの径，気圧をパラメータとして実験

山口さん 台風LANの感度解析

- ・2次循環を強化する摂動が効いていた。
軸対称
- ・OSE (observing system experiment.)
- ・ドロップ、ゾンデの同化実験

山田さん 台風LANのドロップゾンデ解析

- ・バボラック法の不確定、低

- ・上層の暖気核と中心気圧の関係、
- ・2次循環メカニズム: 峠からの流入ある、
- ・眼に突入することは可成り多くの収束だけでない

大畑さん 極域でのエアロゾル観測

- ・極域での温暖化進行、ice albedo feedback
- ・エアロゾル (BC、酸化鉄)の役割
- ・極域の下層雲
- ・AWI の観測 (AWI: Alfred Wegener Institute)
POLAR-5(DC 3 AWI 所有) プレーメン空港がベース.
- ・雲粒測定装置
- ・エアロゾルサンプラー・ SP 2
海氷・・・EM-bird etc.

結果

- ・BC 濃度の高い layer .
- ・BC 1個の平均質量 3fg
- ・被覆の厚み厚いものが 7fg
- ・エアロゾルサンプル 硫酸アンモニウムが多い
- ・雲・降水の効果の表じゃ

瀬古さん SSR モードS ダウンリンク-管制用データから水平風, 気温を得る

- ・メソ NAPEX (気象庁メソ解析) マッハ数・新対地酸
- ・雷雨などの同化
- ・航空機のデータを用いた予報で航空機の飛行経路情報

また、ポスターセッションにおいても、工学分野と理学分野の発表が行われ、機器開発と観測といった観点での活発な議論が行われていた。

セッションの前後においてマスタープラン提案に関する会合を実施した。

気象学会関係者による会合では、3月28日行われた日本学術会議のヒアリングにおけるコメントへの対応が議論された。特に、名大側の体制の強化やブレイクスルーの明確化といった点について対処方針を確認した。

航空宇宙学会と気象学会関係者による小集会では、航空宇宙学会のマスタープランへの対応として戦略委員会を立ち上げるとのことであり、気象学会から委員を参加させる方向で調整した。また、今夏に計画されている研究集会では、航空宇宙学会や名大工学部に新たに設置されたフライト工学教育研究センターの関係者を招待することも検討することとなった。



写真：セッション後に実施した会合の様子

3. 参加者数

JpGUのセッションのため講演者と小集会（気象学会—航空宇宙学会会合）参加者のみリスト化した。セッション参加者はおよそ30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、航空宇宙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。

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 30 年度太陽地球環境研究所研究集会「SuperDARN 研究集会」は 2018 年 10 月 16-17 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」として名古屋大学東山キャンパス研究所共同館 II 3F 大講義室において開催された。この研究会は前進の中緯度短波レーダー研究会を含めて今回で 16 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 25 名の研究者が参加した(うち 5 名はテレビ会議によるオンライン参加)。今回は名古屋大学に外国人共同研究員として滞在中のサスカチュワン大学の A.V. Koustov 教授の日程を優先したため、昨年度に実施した他の研究集会との合同開催という形式は取らなかったが、それでも 20 名以上の参加者があった。

世界約 10 ヶ国の国際協力に基づく SuperDARN(Super Dual Auroral Radar Network)は、現在南北両極域に合わせて約 36 基の大型短波レーダーを運用しており、電離圏・磁気圏・熱圏物理を中心とした研究成果を上げている。19 番目・34 番目のレーダーとして 2006 年 11 月および 2014 年 10 月に北海道-陸別第一・第二 HF レーダー(SuperDARN Hokkaido East radar)が完成し、稼働を開始してから当研究会までに約 10 年にわたるデータの蓄積が行われており、論文等の成果も上がりつつある(現在出版済み、印刷中の論文数: 38 編)。また北海道-陸別第一・第二レーダーを始めとする中緯度 SuperDARN による研究成果を網羅したレビュー論文が完成し、平成 31 年 3 月に出版された

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、SuperDARN レーダーにより観測したサブオーロラ帯電高速プラズマフローと電気伝導度の統計的関連性、大規模対流分布の導出手法の開発、等が挙げられる。またレーダー観測の研究成果だけではなく、磁気圏 3 次元シミュレーションを用いた研究成果に関する講演が 2 件、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 4 件行われた。

上記に加えて大型短波レーダー計画を進める上での課題、特に運用体制についても充実した議論を行った。二日目午後の後半のセッションにおいては主に、SuperDARN を使用した研究成果を様々な議論を行った。さらには二日目午後においては 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、次年度は国立極地研の主導での開催とするが、富士吉田市で 2019 年 6 月に開催予定の SuperDARN 国際会議と合同開催することに決定した)。

平成 30 年度極域・中緯度 SuperDARN 研究集会

日時：2018 年 10 月 16 日（火）13:00 ～ 17 日(水) 12:00

場所：名古屋大学東山キャンパス 研究所共同館 II 3F 大会議室

（愛知県名古屋市千種区不老町：地下鉄名古屋大学駅より徒歩 15 分）

地図は下記参照

<http://www.isee.nagoya-u.ac.jp/directions.html>

プログラム

10 月 16 日（火）

【座長：西谷 望（名古屋大学 ISEE）】

1300-1315 西谷望（名古屋大学 ISEE）

概要説明及び北海道-陸別第一・第二レーダーを中心とした SuperDARN 現況報告

1315-1335 行松彰（国立極地研究所）

SuperDARN 近距離エコーと中性大気観測網構築

1335-1355 鈴木秀彦(明治大学)

中緯度帯における夜光雲観測計画

1355-1415 菊池崇(名古屋大学 ISEE)

Penetration of the magnetospheric electric fields to the middle and low latitude ionosphere

1415-1435 田中高史（九州大学）, 海老原祐輔, 渡部正和, 田光江, 藤田茂, 菊池崇, 橋本久美子, 片岡龍峰

Magnetic topology inducing the substorm onset

1435-1455 張玉テイ(名古屋大学 ISEE), 西谷望, 堀智昭

Ionospheric Conductivity Dependence of the Subauroral Polarization Streams

Observed by the SuperDARN Hokkaido East HF Radar

【座長：行松 彰（国立極地研究所）】

1510-1530 A.V. Koustov(名古屋大学 ISEE), S. Ullrich, P. Ponomarenko, 西谷望, F. Marcucci

Electron density as a factor affecting SuperDARN echo occurrence rates in the polar cap

1530-1550 A.V. Koustov(名古屋大学 ISEE), D. Lavoie, P.V. Ponomarenko, S. Ullrich

Validation of Rankin Inlet electron density measurements with the RISR-C

incoherent scatter radar

1550-1610 堀智昭(名古屋大学 ISEE), 西谷望, S. G. Shepherd, J. M. Ruohoniemi, M. Connors, 寺本万里子,

桂華邦裕, 笠原慧, 横田勝一郎, 松岡彩子, 三好由純, 篠原育, J. W. Manweiler,

H. Madanian, C. A. Kletzing

Azimuthally-propagating ionospheric flow fluctuations during storms

1610-1630 生松聡(京都大学理学研究科), 能勢正仁, 寺本万里子, 山本和弘, 松岡彩子, 笠原慧, 横田勝一郎,

桂華邦裕, G. Le, 野村麗子, 藤本晶子, D. Sormakov, O. Troshichev, 田中良昌, 篠原学, 篠原育,

三好由純, J. A. Slavin, R. E. Ergun, P.-A. Lindqvist

Drift-bounce resonance between Pc5 pulsations and ions at multiple energies in

the nightside magnetosphere: Arase and MMS observations

1630-1650 山本和弘(京都大学理学研究科), 能勢正仁, 笠原慧, 横田勝一郎, 桂華邦裕, 松岡彩子, 寺本万里子, 高橋主衛, 生松聡, 野村麗子, Massimo Vellante, Balázs Heilig, 藤本晶子, 田中良昌, 篠原学, 篠原育, 三好由純

Giant Pulsations Excited by a Steep Earthward Gradient of Proton Phase Space Density:
Arase Observation

1650-1705 西谷望(名古屋大学 ISEE), 堀智昭, SuperDARN HOP radars group
Short temporal scale electric field fluctuations inside SAPS structure observed by the
SuperDARN HOP radars (short comment)

1705-1730 総合討論

10 月 17 日 (水)

【座長：西谷 望 (名古屋大学 ISEE)】

0910-0930 三好由純(名古屋大学 ISEE)、篠原育
あらせ衛星の観測計画について

0930-0950 高橋直子(東京大学), 関華奈子, 寺本万里子, M.-C. Fok, Y. Zheng, 松岡彩子, 東尾奈々,
塩川和夫, D. Baishev, 吉川顕正, 長妻努

Global distribution of ULF waves during magnetic storms: Comparison of Arase,
ground observations, and BATSRUS with CRCM

0950-1010 堀智昭(名古屋大学 ISEE), 西谷望, 行松彰, 長妻努, 細川敬祐, 河野英昭, 渡辺正和, 寺本万里子
Arase-SuperDARN collaboration

1010-1030 中野慎也(統計数理研究所), 堀智昭, 関華奈子, 西谷望
A non-parametric regression model for estimation of ionospheric plasma velocity
distribution from SuperDARN data

【座長：堀 智昭 (名古屋大学 ISEE)】

1045-1105 佐藤夏雄(国立極地研究所)
日本の SuperDARN の発展史

1105-1125 長妻努(情報通信研究機構)
(Zoom による発表) King Salmon HF レーダー報告

【座長：西谷 望 (名古屋大学 ISEE)】

1125-1210 総合討論

1330-1700 SD-J discussion(関係者による SuperDARN 運用等に関する議論)

今回および過去の研究会(中緯度短波レーダー研究会を含む)のスライド等は SuperDARN 北海道-陸別 HF レーダーホームページ

<http://cicr.isee.nagoya-u.ac.jp/hokkaido/indexj.html>

で参照することができます。

STE研究連絡会現象報告会および現象解析ワークショップ(第一回: 太陽活動遷移の影響)
STE events report and analysis workshop (1st meeting, focus on solar cycle transition)

久保勇樹、情報通信研究機構・宇宙環境研究室

●開催日時および開催場所

平成30年度・第1回STE(太陽地球環境)現象報告会*1(平成30年9月10-11日、情報通信研究機構)

*1 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、科学とデータ研究集会 と合同研究集会

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: 19名

●研究集会概要と成果

本研究集会は、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、科学とデータ研究集会と合同で開催された。本研究集会は、過去半年間の現象を振り返ることを目的の一つとしているが、過去半年間に大規模な現象が無かったせいもあり、データ科学的な観点からの未知現象解明へのアプローチや、非常に広範囲で観測される太陽高エネルギー粒子現象についての話題、流星電波放射観測に関する話題といった、話題提供的な発表も多く見られた。また、米国 Science & Technology Policy Institute の研究者に、宇宙天気を単なる物理現象としてだけでなく国家の政策としてとらえた研究発表を行ってもらったなど、新しい試みも行われた。また、現象の少ないこの時期の研究集会のあり方についてといった、今後の研究集会の方向性についての討論が行われた。

STE研究連絡会現象報告会および現象解析ワークショップ(第二回: 磁気圏・電離圏プラズマ、超高層大気変動の相互作用)
STE events report and analysis workshop (2nd meeting, focus on magnetosphere-ionosphere-upper atmosphere coupling)

阿部修司、九州大学・国際宇宙天気科学・教育センター

●開催日時および開催場所

平成30年度・第2回STE(太陽地球環境)現象報告会*1(平成31年3月11日、九州大学西新プラザ)

*1 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: 26名

●研究集会概要と成果

本研究集会は、例年と同様に、電磁圏物理学シンポジウム、及び、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で開催された。大規模イベントの発生はなく、静かな現象の報告が多数を占めたが、他方で、太陽黒点の磁場反転に見られる第25太陽周期の兆しや、周期的な巨大コロナホールからの高速太陽風と関連する現象、学生による話題提供、来年度以降の本報告会の進め方などの発表・有意義な議論が行われた。

第3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:
3rd meeting

塩田大幸、情報通信研究機構・電磁波研究所宇宙環境研究室

2019年1月17日(木)～18日(金)の日程で、情報通信研究機構において研究集会「第3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、2018年2月に開催された第2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、研究会に先立ち1月17日(木)午前中に宇宙天気情報を利用する事業者に対して実施した利用状況調査の報告会が開かれたのを受けて、1月17日(木)午後から研究会を開始し、事業者への調査の中で定量的に明らかになってきた各分野(電力・衛星運用(帯電/大気ドラッグ)・電波利用・航空運用)のニーズに対して、観測・モデルの現状整理と研究開発の方向性を議論しました。民間企業、自衛隊からの参加を含めた36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。

PSTEPの最終年度となる2019年度には、これまでのPSTEPで得られた成果やPSTEP内外の具体的な領域間結合に向けた取り組みを総括し、将来的に優先して開発を進めるべき研究テーマの課題解決に向けた議論を進めていく第4回の開催を企画しています。



図：研究集会参加者の集合写真

大気エアロゾルに関わる不均一速度論に関する国際ワークショップ
(第4回)

4th International Workshop on Heterogeneous Kinetics Related
to Atmospheric Aerosols

持田 陸宏、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

大気エアロゾルは太陽光を吸収・散乱し、また雲凝結核として雲の性質に関与することで地球の放射収支に影響を及ぼしている。このため、気候変動のメカニズムを理解する上で、エアロゾルの役割を把握することは重要な課題のひとつとなっている。また、エアロゾルは大気汚染物質のひとつであり、その曝露が人の健康に悪影響を及ぼすことが知られている。この大気エアロゾルの生成や変質に対して、エアロゾル粒子表面の気相/粒子相における不均一反応が重要な役割を果たしていることが明らかになってきた。しかし、このような不均一反応のメカニズムや速度、また大気物質循環に対する影響は良くわかっていない。そこで、大気エアロゾルに関わる大気不均一反応について最新の知見を共有すること、これらの反応過程について鍵となる科学的な問いを見出すこと、そして、当分野における研究の将来の方向性を議論することを目的として、2018年9月24日に高松においてワークショップ「4th International Workshop on Heterogeneous Kinetics Related to Atmospheric Aerosols」を開催した。

本ワークショップでは、カナダ・トロント大学のJonathan P. D. Abbatt 教授とドイツ・ライプニッツ対流圏研究所のHartmut Herrmann 教授により基調講演が行われた。また、カリフォルニア大学アーバイン校、東北大学、香港城市大学、東京大学、北京大学、京都大学、国立台湾大学、山東大学の研究者による招待講演が行われた。そして、これらの講演に関して参加者の間で活発な議論がなされた。これまで、北京・つくば・上海において開催された同名の第1~3回のワークショップによって日中の研究者を中心とした国際交流が続けられてきたが、今回のワークショップは大気化学分野の国際会議である2018 joint 14th iCACGP Symposium and 15th IGAC Science Conferenceのサイドミーティングとして開催したことで、特に幅広い国々の研究者が交流する場とすることができたと考える。なお、ワークショップの講演には、不均一反応に関する研究に取り組んでいる日本の物理化学・分析化学分野の研究者によるものが含まれ、大気化学分野とその関連分野の間の交流の場とすることもできた。

上述の内容のワークショップの開催日の前日には、基調講演者、そのほかの招待講演者や実行委員会委員の一部、当該分野に関係する研究者が参加するプレ会議が開かれ、本ワークショップのテーマに関係する大型研究プロジェクトについて議論が行われた。海外の研究者から大型研究プロジェクトについて意見が得られ、今後のプロジェクトの立案・申請に関する議論を深める機会となった。

STEシミュレーション研究会：
プラズマ-大気複合システムのシミュレーション研究
STE Simulation Workshop：
Simulation Studies on Plasma-Atmosphere Coupled System

埜 千尋、情報通信研究機構 電磁波研究所

2018年9月3日～9月5日の日程で、成蹊大学理工学部14号館において「STEシミュレーション研究会：プラズマ-大気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23件の発表及び、延べ59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、粘性・抵抗・熱伝導が果たす役割とその数値解法に着目した招待講演を企画した。

本研究会の招待講演として、地上から熱圏・電離圏までのシミュレーションについて九州大学の三好勉信氏、粘性・抵抗性リコネクション計算について海洋研究開発機構の蓑島敬氏、輻射抵抗下のリコネクションと天体-磁気圏角運動量輸送について国立天文台（現在中部大学）の高橋博之氏、ブラソフ方程式の高精度数値解法について筑波大学の田中賢氏、磁気圏-電離圏結合シミュレーション研究について九州大学の田中高史氏にご講演いただいた。宇宙プラズマが内包する粘性・抵抗・熱伝導の特性と役割から、大気圏・電離圏による粘性・抵抗の構造形成や宇宙プラズマダイナミクスに及ぼす影響、さらに天文天体環境におけるそれらの発現について、対象領域を跨いで議論する場を持つことができた。

一般講演として、宇宙プラズマや太陽・磁気圏・電離圏環境のシミュレーション研究などの最新成果が報告された。さらに、宇宙天気リアルタイム予測に向けたシステム開発や、シミュレーションと宇宙観測データや室内実験との比較、最新のオーロラ観測からのシミュレーションへの期待の情報提供もあり、シミュレーションの可能性を広げ探る貴重な機会を持てた。通常の学会と異なり、一件あたりの一般講演時間を25分、招待講演を55分確保することで、太陽地球惑星系科学シミュレーション研究における問題意識および今後のシミュレーション研究会の方向性を議論でき、共有が大いに進展した。本研究会の講演プログラムおよび資料は <http://cidas.isee.nagoya-u.ac.jp/simulation/meeting2018/> に公開されている。

小型飛翔体による海洋観測（その3）
— 海洋科学は小型衛星のパートナーをどう選ぶか？ —
Ocean Observations from small flying objects (#3)
How to find/choose suppliers of small satellites for ocean?

市川 香，九州大学・応用力学研究所

この研究集会では、海洋科学の観測に必要な時空間分解能や観測精度を想定しながら、それらの要望を小型飛翔体（特に小型衛星）で解決するにはどのような特性・設計が必要かを具体的に検討することで、理学のニーズと工学のシーズのやり取りを行う機会を創出する。さらに、小型衛星利用者が小型衛星の開発者に要望を出す（または、小型衛星の開発者が利用者のニーズを直接調査する）ような枠組みを作るために、どのような動きが必要かもパネルディスカッションを経て検討する。つまり、海洋のリモートセンシングの専門家と、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、物理量毎の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。

昨年の研究集会のなかで、「ユーザー側の要求を聞いてニーズをくみ上げる仕組み・組織が小型衛星側に整備されていない」点が指摘された。そこで本年度は、海洋科学側が小型衛星を用いた海洋観測を企画した場合に、具体的にどのような手順を踏むべきかに注目して、2018年9月7～8日に以下のように研究集会を実施した。参加者は22名であった。

【招待講演】 9月7日 13:50～17:00

- ①「海洋観測における衛星観測の現状と超小型衛星への期待」（名大 富田 裕之）
- ②「早期・低コストなミッション実証小型衛星プラットフォームの構築」（東大 小畑 俊裕）
- ③「超小型衛星のミッションとその開発方法」（九工大 金 相均）
- ④「UNISEC（大学宇宙工学コンソーシアム）における理学／工学連携」（東京学芸大 鴨川 仁）
- ⑤「小型観測衛星の産業利用の最前線」（野村総研 佐藤 将史）

【パネルディスカッション】 9月8日 10:00～12:45

司会 市川 香（九大）

パネリスト 石坂 丞二（名大），向井田 明（RESTEC），和田章義（気象研）

+ 招待講演者 + 高橋 幸弘（北大；インターネット参加）

講演①では、海洋科学で行われる衛星リモートセンシングを分類した後で、衛星データのプロダクトの開発と現状・問題点を、実際のJ-OFUROデータセットを例に議論した。複

数の大型衛星のデータ画像を合成してプロダクトを作成するが観測頻度に限界があり、海上水温など日変化する物理量ではバイアスが生じる可能性は否定できない。大型の地球観測衛星は今後増えないかもしれないという現状から、小型衛星と共存させて観測精度を担保しつつ観測頻度を上げていく方法が現実的であるという提案がされた。講演②では、CubeSatクラスの小型衛星でもミッションセンサが実装可能となっている現状を紹介し、CubeSatバスの標準化による共同開発やミッション提供など、早期・低コストな小型衛星プラットフォームの構築に向けた取り組み例を示した。講演③では、九工大での多国籍学生によるBIRDプロジェクトが紹介された。地上での安全審査や免許取得などにコストや時間を要する点などの注意が喚起された。講演④は、UNISECの組織の役割や活動の紹介と、地震先行現象検知実証衛星として理学工学連携での活動例が紹介された。Mission Idea Contestに提出する中で、理学的な観測概念から、小型衛星の制約のもとでミッションを作るまでの具体的な過程が示された。講演⑤では、特に産業利用の観点から小型衛星観測事業化に関する話題の提供が成された。非宇宙産業の参入を含めてベンチャーを中心とした革新かつ低コストの観測システムとして小型衛星は期待されている。ただし、投資家や事業者を獲得するには、ユーザーのニーズを明確にし、衛星軌道など制約のある条件で得られる新しいデータがどのくらい有用かを試算する必要がある点が協調された。

パネルディスカッションでは、水産業などに直結する海色リモートセンシングに関する小型衛星での観測案（高橋）や解析例（石坂）と、現業機関での台風予測例（和田）、衛星データの商用利用（向井田）といった観点も含めて討論を行った。複数の衛星打ち上げが常時計画されてはいない現状では、海洋観測船のような「プラットフォームの観測点移動に合わせて余席利用として観測機会を公募する」仕組み・組織は小型衛星では一般的ではなく、衛星打ち上げ計画の段階からユーザーの参加が必要で、計画初期の段階からニーズ側とシーズ側がコンタクトを取ることが求められる。そのためには、例えばアカデミック・ユーザーのコミュニティの形成が重要である。また、どの小型衛星シーズとコンタクトを取れば良いかを調整する役割は重要で、特に、宇宙産業と無関係のベンチャー産業の観測ニーズを考慮できるコーディネーターが存在すると、連携は飛躍的に進むと考えられる。ユーザー側からのリクエストを提示・選別する具体的な方法や、シーズ側の衛星打ち上げターゲットとの整合性の調整など課題は多いが、まずは小型衛星利用に向けたコミュニティ形成に向けての活動が必要であるという結論に至った。

極域電離圏における電離大気流出現象のメカニズム解明を目指した戦略的研究

Strategic Research for understanding Ion Outflow
in the Earth's Polar Ionosphere

齋藤 義文

宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・太陽系科学研究系

本研究集会の当初の目的は、平成31年1月に打ち上げられる予定であった、SS-520-3号機観測ロケット実験の飛行結果を持ち寄り、観測ロケット実験グループ・地上光学観測グループ・地上レーダー観測グループの間の取得データの比較検討を通して成果最大化に向けての議論を行うことであった。SS-520-3号機観測ロケット実験の目的は、昼間側カスプ領域における電離大気加速/加熱・流出現象の直接観測を行い、この電離大気の加速/加熱メカニズムを明らかにすることである。当初、SS-520-3の打ち上げは2017年12月6日から19日の間を目指していたが、噛み合わせ試験の最終段階でタイム試験においてコマンド抜けが確認された。当該実験は海外打上げであることから、機材輸送は打上げ時期の約2か月前（10月中旬）が制約になっていた。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。現時点でこの問題については既に原因の解明と処置が完了している。その後、2018年度冬期の打ち上げを希望していたが、宇宙科学研究所の厳しい予算状況から希望は叶わず、2019年度冬期の打ち上げを目指して準備を進めることとなった。現在の太陽活動度は2020年の活動極小期に向けて低下しているところであり、もともとのターゲットとしていたカスプ領域における電離大気流出現象を狙った打ち上げ機会を捕えることの出来る確率は低くなっているが、同様の電離大気流出現象を伴う少し異なる領域の電離大気流出現象をターゲットとすることで、SS-520-3のサイエンスの目的は十分に達成できる見込みである。そこで、本研究集会では、2019年度冬期の打ち上げを想定し、搭載各観測装置の現在の状況と、今後、噛み合わせ試験の開始までに必要となる作業内容の洗い出しと、それに必要となる経費、延期に伴う実験実施体制の変更についての確認等を行った。更に、太陽活動の極小期に実験を実施する際に、実験目的を達成する確率を上げるために必要となる方策について議論した。

研究集会は、名古屋大学研究所共同館 I 3階 301講義室で、3月28日に開催され、23名の出席者（内3名はZoomによる遠隔参加）があった。研究集会では、活発な議論が行われた結果、

- 1) SS520-3 搭載観測装置 LFAS、FLP、TSA・IMA、DFG、NEI・PWM について、打ち上

げまでの準備作業の実施が必要であること。それらに長いものでは3-4ヶ月の期間を要することが明らかになった。またこれらの準備作業に経費が必要となる機器のあることが併せて明らかになった。

- 2) 元々予定していた2017年12月から2年以上実験が延期になるため、当初から実験に関わっていた大学院の学生については卒業してしまった人が多いが、機器開発のフェーズは終わっているため新たに大学院の学生に実験に参加してもらうこと等で2019年度の実施が実施体制の観点で可能であることを確認することができた。
- 3) 元々ターゲットとしていたカस्प領域に加えて、同様の電離大気流出メカニズムの存在が期待される朝側ポーラーキャップオーロラもターゲットに加えることで、許容できる高い期待値でSS-520-3を実験ウィンドウ期間に打ち上げることができ、SS-520-3のサイエンス目的を達成することが期待できることを確認することができた。
- 4) 朝側ポーラーキャップオーロラをターゲットにする場合、現象が太陽風中の磁場が北向きの時に発生するため、カस्प領域をターゲットにする場合と相補的であること、現象が決まった時間間隔で繰り返し発生するため、地上の光学観測やレーダー観測のリアルタイムデータから、比較的容易に打ち上げタイミングを決定することができること、発生タイミングの推測が比較的容易であるCo-rotating Interaction Region (CIR)の 때가特に有望であることなどが明らかになった。

今回の研究集会で得られたこれらの知見は、2019年度に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。

第20回 惑星圏研究会 The 20th 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20回目の開催となった（初回名称「電波と光による木星磁気圏・大気圏」、現行名称は2006年以降）。この研究領域では現在、日本の研究者が深く関わっている水星、金星、火星、木星の各探査ミッションが継続中であるとともに、地上や地球軌道上からの惑星遠隔観測も実施されており、数多くの興味深い成果が報告されている。また、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。これらの新しい探査ミッションは「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する研究展開・将来検討が非常に重要になってきている。このため、昨年度の研究会では、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、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・ミーティングを行った。今回の研究会は“相互理解の深化”と“国際的な展開”を目指し、昨年度に引き続き、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、第一線で活躍される国内外の多数の研究者(海外招聘者：13名)による基調講演・招待講演を軸にしたプログラムの下、従来の研究会より会期を増やし4日間開催するとともに、全期間、ほぼ終日、講演と議論を行った。尚、会期4日間のうち、最初の3日間は国際セッションとし、英語での講演・議論を行い、最終日の4日目は、特に「水惑星」に関する、国内研究者同士の相互理解を重視し、日本語での講演・議論を行った。

本研究会は、名古屋大学宇宙地球環境研究所研究集会の他、東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻太陽惑星空間系領域、JSPS 新学術領域研究「水惑星学の創成」、同 新学術領域「星惑星形成」A03大気形成論、同 二国間共同：「日本-ベルギー金星・火星大気連携研究」、ISAS/JAXA:木星氷衛星探査JUICE-JAPAN、神戸大学 惑星科学研究センター、東北大学 環境・地球科学国際共同大学院プログラムの共同開催、また、東北大学 宇宙航空研究連携推進委員会の協賛の下で実施された。

参加者数：129 名

内容：

平成31年2月18日～21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72件（基調講演5件、招待講演40件、一般講演27件）、ポスター講演29件の計101件の研究紹介と議論が行われた。本研究会の内容・プログラム等は以下のURLの研究会HPで公開されている。

<http://pparc.tohoku.ac.jp/sympo/sps/>

平成31年2月18日

13:00-13:05 開会の辞

13:05-16:55 「巨大ガス惑星・氷衛星系」セッション

基調講演1 What makes the chemical dichotomy between Jupiter's and Saturn's satellites,
Y. Sekine et al. (Tokyo Inst. Tech.)

他 招待講演8件、一般講演5件

17:05-18:35 ポスターセッション-1 講演 29 件(奇数番号講演コアタイム)

(19:00-21:00 懇親会)

平成31年2月19日

9:00-14:00 「水星・小型天体」セッション

基調講演2 Mercury's surface-exosphere-magnetosphere interaction,
F. Leblanc (LATMOS/CNRS, Sorbonne Univ.)

他 招待講演6件、一般講演3件

14:20-17:40 若手研究者・一般講演者によるセッション-1

招待講演 5件, 一般講演 3件

17:50-19:00 将来構想セッション

一般講演 2件

平成31年2月20日

09:00-11:00 「比較惑星」セッション

招待講演6件

11:10-12:40 ポスターセッション-2 講演 29 件(偶数番号講演コアタイム)

13:40-17:20 「系外惑星」セッション

基調講演3 Theoretical studies of exoplanetary atmospheres: Current understanding and
future perspective, M. Ikoma (Univ. Tokyo)

他 招待講演 5件、一般講演 3件

17:40-18:40 若手研究者・一般講演者によるセッション-2

一般講演 3件

平成31年2月21日

9:00-10:00 若手研究者・一般講演者によるセッション-3

一般講演 3件

10:20-17:40 「水惑星」セッション

基調講演4 Asteroid (162173) Ryugu by Hayabusa2, S. Sasaki (Osaka Univ.) et al.

基調講演5 Climate and Aqueous Environment of Early Mars Inferred from Authigenic Minerals,
K. Fukushi (Kanazawa Univ.)

他 招待講演 9件、一般講演 5件

17:40-17:45 閉会の辞

成果等：

今回は、昨年度の研究会と同様に、本研究会の従来からの対象である STP 研究領域に加え、惑星・衛星の表層下迄含めた領域と、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 分野と惑星科学分野、更には天文学分野の研究発表・議論への参加を募った。昨年は“国内の研究者間の相互理解のための研究会”を主眼に据えて研究会を開催したが、今回は“国際的な動向を識り、新たな共同研究への展開も見据えて議論を行う研究会”の視点も加え、各研究領域の第一線で活躍される海外の研究者を 10 名以上招聘し、会期も 4 日間として、両視点の研究会を並立させた内容とした。この結果、これまで過去最多であった昨年度研究会の約 1.3 倍にあたる 129 名の参加が得られ、国際的な研究現況と近未来の各種ミッションの情報の共有と新しい共同研究に向けた議論も出来得た。また、特に「水惑星学」については、広い領域の研究者間の相互理解が更に深化したと思われる。一方、今回の研究会では多数のプロジェクトの共催支援を得て、多くの国内外の研究者招聘を行い、基調講演・招待講演をコアにしたセッションを企画し得たが、今後の支援は未定であり、次回の研究会の内容・進め方や、(より根本的には)今後の研究会のスタンスは課題となる。

尚、今までの研究会でも実施してきた、本研究領域の将来を担う若手研究者・学位取得直後の大学院生等による研究紹介についても、今回は数セッションに分けて行った(一部の大学院生の講演は国際セッションで行われた)。今回も、ポスター講演も含め、英語・日本語を問わず、活発な討議が行われたことを申し添える。

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 31 年 4 月以降に公開予定である。

第11回 ACRE会議

The 11th ACRE Meeting

松本 淳、首都大学東京・都市環境科学研究科

1. 集会の概要

ACRE (International Atmospheric Circulation Reconstructions over the Earth : 地球の大気循環復元計画) プロジェクトは、過去 200-250 年にわたる世界各地に散在する陸上及び海上の気象観測データをデジタル化すると共に、気象の長期再解析データの品質を向上させることを通じて、大気循環や気候の長期復元をはかる WMO (World Meteorological Organization : 世界気象機構) 傘下での国際研究プロジェクトである。2007 年以来毎年世界各地で開催され、今回 11 回目を迎えた ACRE 会議は、はじめてのアジアでの開催となり、首都大学東京南大沢キャンパス国際交流会館で開かれた。このため、日本はもとより東アジア・東南アジア・南アジア諸国における関連研究者の参加を容易にするため、当研究集会経費の補助も得て、ACRE Japan, ACRE SE Asia, ACRE China のセッションを特別に設けて、アジア域での活動の現状紹介と将来へ向けた気候変動研究の活性化を重視する会議構成とした。例年参加している欧米や豪州諸国からの研究者らも迎え、これまで以上に活発な議論や情報交換、国際研究協力体制の構築を図った。

具体的には 11 月 12 日と 13 日の午前中に ACRE-11, 13 日の午後にヨーロッパ域での ACRE と密接に関連した国際研究プロジェクト C3S-DRS (Copernicus Climate Change Service – Data Rescue Service) ワークショップを開催、14 日に東京都心部での気象観測施設見学等と埼玉県狭山市での茶園での気象観測見学等の 2 つのエクスカージョンを実施し、15 日午前に ACRE-Japan, 午後に ACRE SE Asia-2, 16 日に ACRE China-3 セッションを開催した。また並行して 14 日以外にはポスター展示を行い、15 日の夕刻にはコアタイムを設定した。口頭発表数は、ACRE-11 が 20 件 (うち 2 件はリモート参加), C3S が 5 件 (うち 2 件はリモート参加), ACRE-Japan が 9 件, ACRE SE Asia-2 が 8 件, ACRE China-3 が 14 件 (うち 1 件はリモート参加) で、リモート参加には GoToMeeting ソフトを使用して、本人のパワーポイントによる発表と、その後の会場からの質疑を行った。ポスター発表数は、海外参加者 2 名を除いて大部分が日本人の発表で、合計 24 件の発表があった。

2. 参加者数

会議への参加者数の合計は 90 名、うち海外 48 名が海外からの参加者 (日本への留学生・ポスドクを含む) 国内参加者 42 名であった。

3. 研究報告・成果

ACRE-11 会議では、現在世界各地で活発に進められているデータレスキュー活動の紹介がなされ、さまざまな IT 技術を使っでのデジタル化の手法の紹介や、市民科学の手法によるデジタル化など、あまり日本でなじみのない手法の紹介があった。またアメリカ合衆国の National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) が 2019 年度に公開予定の 1836 年から 2014 年までの 20 世紀再解析 Version 3 の結果の一部が紹介され、船舶や陸上での入力データの充実により、Version 2 より品質向上があることが示された。

ACRE Japanは2017年に組織されたばかりで、国際的なワークショップは今回が初めてとなった。開催国ということもあって、多くのポスター発表を含めて、その多彩な活動が紹介され、アジア域を含むデータレスキューの進展ぶりや、気象研究所による独自の長期再解析データなど、日本国内での活動を広く海外に伝える良い機会となった。ACRE SE Asiaでは、マレーシア、インドネシア、フィリピン、インドでの取組が紹介されたほか、広域的な古気候指標を使用しての長期のアジアモンスーン変動解明の発表もなされた。ACRE Chinaでは、会議に参加した多くの中国人による発表はもちろんのこと、ロシアやチベットでの古い観測記録など、戦前期の中国における気象観測の多様な側面が紹介された。

なお、本会議のプログラムや多くの研究発表のスライドは、ACRE Web Pageでの会議報告の11th ACRE Workshop Report (<http://www.met-acre.org/meetings-and-workshops-1>) に公開されている。総じて充実した研究発表が多く、海外からの参加者からも、良い会議だったとの賛辞を受けることができ、成功裏に会議を開催できたものと自負している。本共同研究によるご支援に深く感謝したい。

次回のACRE会議は2019年4月にアルゼンチンのブエノスアイレスのUniversidad Tecnológica Nacional (UTN)での開催、ACRE Japan, ACRE SE Asia, ACRE Chinaの合同ワークショップは、2019年11月に中国・武漢の中国地質大学での開催が決まっており、さらなる気候変動研究の進展が期待される。



写真 開会セッションの後の集合写真

7. 計算機利用共同研究 目次詳細

(所属・職名は平成31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	電気通信大学	情報理工学研究科 (芳原研究室)	客員研究員	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	353
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	355
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	356
林 啓志	名大 ISEE、中国科学院国家空間科学研究センター	太陽圏環境部門	研究協力員	I PS 解析データに基づいた太陽圏長期変動再現MHDモデル	358
松清修一	九州大学	大学院総合理工学研究科	准教授	準平行衝撃波のマルチスケール構造と粒子加速	360
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異常抵抗発生機構の解明	362
関 華奈子	東京大学	大学院理学系研究科	教授	太陽風・太陽放射条件が火星周辺宇宙環境および大気散逸機構に与える影響の研究	364
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	365
近藤光志	愛媛大学	宇宙進化研究センター	講師	非対称反平行磁気リコネクションの磁気流体計算	367
堺正太郎	東京大学	大学院理学系研究科	特任研究員	固有磁場強度の変遷が惑星大気流出機構へ与える影響に関する研究	369
横山竜宏	京都大学	生存圏研究所	准教授	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	371
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	373
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	375
井上 諭	名古屋大学	宇宙地球環境研究所 総合解析部門	特任助教	解適合格子・多層格子電磁流体力学計算による太陽フレア-CMEダイナミクスの研究	377
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	379
相木秀則	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	准教授	千年スケールの気候変動における海洋モード水の役割	381
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	382

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、電気通信大学・情報理工学研究科

【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が直接相互作用する領域で、宇宙空間における太陽圏の存在を特徴づける上で重要な情報の宝庫と言える。従来の理論では説明つかない諸現象が近年HPを通過したボイジャー探査機による直接観測やIBEX衛星による高速中性粒子 (energetic neutral atom; 以下ENA) 観測から明らかになっており、観測データを解釈するための理論・数値モデルを広汎に開発する必要性が増している。本研究課題では特にHP近傍に局所的に存在するENAフラックスの高い領域 (IBEXリボン) の非定常性に着目する。観測されるENAの起源として最有力視されているピックアップイオン (pickup ion; 以下PUI) は、外部ヘリオシース (outer heliosheath; 以下OHS) においてプラズマと中性粒子との間の電荷交換から生じる粒子であり、これをHP近傍の環境を伝えるプローブとして扱う数値シミュレーションを行う。HP構造の動的な現象を再現し、そこからこのリボン構造を構築することで空間・エネルギー分布特性に関するデータベースをパラメータ別にまとめる。この成果を基にして今後のIBEX、更には来るIMAPミッションにおけるENA観測の解析への活用を目指す。

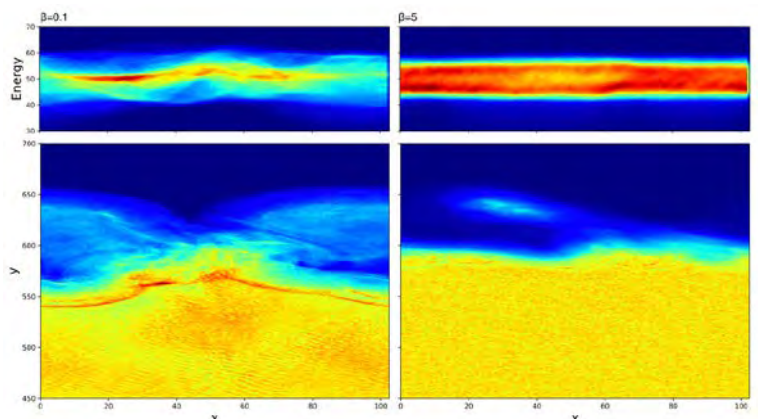
【研究方法】

HP領域を2次元構造に模した数値モデルを作成し、イオンの個別粒子運動を解き進める粒子ハイブリッドコードを用いたシミュレーション計算を名古屋大学情報基盤センターのスーパーコンピュータで行った。本年度は前年度に引き続き、太陽圏プラズマと星間プラズマの間にシアー流が存在する状況から発生するKelvin-Helmholtzモードの不安定性 (KHI) の成長に伴ってOHS中に配置したPUIの密度構造が時間・空間的に変化する過程について、特にプラズマ β が異なるケースの相違点を整理した。

内部ヘリオシース (inner heliosheath; 以下IHS) のパラメータで定義されるプロトンジャイロ周波数・プロトン慣性長で規格化された量を用いて、時間ステップは0.005、空間グリッドは0.2に取った。512×4096グリッドの周期境界を取り、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の磁場旋回速度をアルフベン速度の10倍で与えた。磁場はKHIモードが最も不安定になるように、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】

IHSのプラズマ β を0.1、5としたときの計算結果を下図 (左: $\beta=0.1$ 、右: $\beta=5$) に示す。図の下部がPUI密度を表し、上部はこれをy方向に積分したコラム密度のエネルギー分布図で、IBEX観測を模したものになる。低 β の場合、ENAの元となるPUIの局所的な密集領域の出現が確認できるのに対し、高 β ではエネルギー分布が空間的にほぼ一様となっていることがわかる。KHモードの成長に伴ってHP沿いに発生する渦運動が誘起するHPの振動の影響でOHS側に磁気音波が放出されるが、低 β におけるOHSではsuper-Alfvénicになることから波の急峻化が起きる。このパルス波がPUIを局所的に掃き集める効果があることが確認され、図に示すようなコラム密度における局所構造の形成が説明付けられる。一方高 β の場合OHSでsub-Alfvénicとなっているために同様のパルス波の発生は見られず、一様なコラム密度に反映されている。



【まとめ】

HPの動的現象のうち特にKHIが生じている状況と、そこからENA観測で得られるであろうPUIの空間・エネルギー分布の描像との関連性について、プラズマパラメータ (β) による違いについて検証した。OHSにおいてマッハ数は β 値依存性が高く、その結果OHSに誘起される

磁気波動の性質に現れる違いがPUIの空間分布にも影響を及ぼしていることが明らかになった。本研究で扱ったパラメータはIBEXによる観測精度に対して遥かに小さいため、この成果を直接IBEXリボン構造などと比較することは不適當である。一方IMAPを始めとする将来のミッションにおいては、より高精度の観測データとの比較が可能になるため、HP近傍におけるプラズマ環境を解釈するためのテンプレートとしての活用が期待できる。

【成果発表】

1. 坪内 健、Local concentration of pickup ions in the outer heliosheath: Relevance to the IBEX observation、日本地球惑星科学連合2018年大会、千葉、2018年5月（口頭発表）
2. Tsubouchi, Ken, The Kelvin-Helmholtz instability along the heliopause and the consequent pickup ion dynamics, Asia-Oceania Geosciences Society 15th annual meeting, Honolulu, 2018年6月（口頭発表）
3. 坪内 健、Hybrid simulations on the evolution of the pickup ion density structure associated with the fluctuating heliopause、第144回地球電磁気・地球惑星圏学会、名古屋、2018年11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きており、10年前程度の計算サイズであれば、それほど時間がかからずに計算が可能となってきている。

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。

本年度の計算としては、実際に観測された太陽風を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のシミュレーションを行った。入力が大きく変化するため、シミュレーションが止まってしまうこともあったが、境界条件の調整によりこの問題を解決し、シミュレーションを進めることができた。計算結果は、共同研究に参加している観測系の研究者により解析が進められ、観測結果と良好な相関があることが確認されている。今後、この計算結果の解析を観測されている現象の解明に利用できるように研究を進めていく。

・学会発表

深沢圭一郎、木村智樹、土屋史紀、村上豪、埜千尋、北元、村田健史、観測と協調したグローバル木星磁気圏MHDシミュレーションのデータベース開発、日本地球惑星連合2018大会、幕張、2018年5月20-24日

K. Fukazawa, T. Kimura, F. Tsuchiya, G. Murakami, H. Kita, C. Tao, K. T. Murata, Database Development of Global Jovian Magnetospheric MHD Simulations for Collaboration with Observations, AOGS 15th Annual Meeting, Hawaii, 3-8 June 2018.

K. Fukazawa, T. Kimura, F. Tsuchiya, G. Murakami, H. Kita, C. Tao, T. Tokunaga, K. T. Murata, Open Numerical Simulation Data of Planetary Magnetosphere, AGU Fall Meeting 2018, Washington, D.C., 2018.

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、これまでに行ってきたケルヴィン・ヘルムホルツ不安定性やレイリー・テイラー不安定性において生じていた2次的不安定性の解析を行うために、新たな線形分散ソルバーを開発した。

研究結果

プラズマ中の様々な状況下において磁場を横切るドリフト運動が発生する。このようなドリフト運動はいろいろなプラズマ不安定のエネルギー源となるが、従来の線形分散解析方法では磁場を横切るドリフトをするプラズマは扱えなかった。本研究グループでは、一様プラズマ中を仮定し、磁場を横切るドリフトを分布関数から分離し、ドリフト中心の座標系を用いることで、磁場を横切るドリフトを考慮した新しい線形分散ソルバーを開発した。

また、開発した線形分散ソルバーを、磁気リコネクションのジェット先端のパラメータに適用し、3次元磁気リコネクションの粒子シミュレーションにおいてジェットの先端で生じた運動論的な不安定性の特性が、本線形分散ソルバーで得られた密度勾配ドリフトによる不安定性の特徴とよく一致することが分かった。

成果発表

- Umeda, T., and K. Fukazawa, Performance comparison of Eulerian kinetic Vlasov code between Xeon Phi KNL and Xeon Broadwell, In: AsiaSim 2018, Communications in Computer and Information Science, Vol.946, edited by Liang Li, Kyoko Hasegawa, and Satoshi Tanaka, pp.143-150, 2018. (査読付論文)
- Umeda, T., and T. K. M. Nakamura, Electromagnetic linear dispersion relation for plasma with a drift across magnetic field revisited, Physics of Plasmas, Vol.25, No.10, 102109 (11pp.), 2018. (査読付論文)
- 梅田 隆行, 和田 泰尚, Non-MHD effects in the nonlinear development of the MHD-scale Rayleigh-Taylor instability, 日本地球惑星科学連合 2018 年大会, 幕張メッセ, 2018 年 5 月 23 日. (ポスター発表)
- Umeda, T., Vlasov simulation tutorial, 13th International School/Symposium for Space Simulations, Los Angeles, USA, September 6, 2018. (招待講演)
- 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(3), 第 166 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究会, 北海道立道民活動センター, 2018 年 9 月 27 日. (口頭発表)
- Umeda, T., and K. Fukazawa, Performance Comparison of Eulerian Kinetic Vlasov Code between Xeon Phi KNL and Xeon Broadwell, 18th Asia Simulation Conference (AsiaSim2018), Kyoto, Japan, October 28, 2018. (口頭発表)
- Umeda, T., and Y. Wada, Non-MHD effects in the nonlinear development of the MHD-scale Rayleigh-Taylor instability, 2nd Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (AAPPs-DPP2018), Kanazawa, Japan, November 14, 2018. (ポスター発表)
- 梅田 隆行, 中村 琢磨, Electromagnetic linear dispersion relation for plasma with a drift across magnetic field revisited, 第 144 回地球電磁気・地球惑星圏学会, 名古屋大学東山キャンパス, 2018 年 11 月 25 日. (ポスター発表)
- 梅田 隆行, Xeon プロセッサにおけるブラソフコードの性能チューニング, 第 167 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究会, 沖縄産業支援センター, 2018 年 12 月 17 日. (口頭発表)

I P S 解析データに基づいた太陽圏長期変動再現MHDモデル

IPS-based MHD simulation of heliosphere

林 啓志、中国科学院国家天文台

平成30年度の計算機共同利用研究のテーマとして、題目のとおり、太陽圏全体の物理課程を理解するための基盤としての太陽圏三次元的構造とその時間変化をより現実に則した形で数値的に再現することを目的とし、名古屋大学宇宙地球環境研究所のIPSデータを用いた太陽風速度構造データを用いた太陽圏MHDモデルを申請した。太陽近傍のコロナ等と比し、太陽圏は時間・空間のスケールが比較的大きいため、通常は要請される計算量はそれほど多大ではないが、本研究においては現存するデータすべてを用いた比較的長時間（50年程度）で且つ広範囲（概ね20～50AU程度を目指した）領域での時間・空間変動をとらえることを企図していたため、高性能な大型計算機による並列計算が必須であった。

予備計算とコードなどの確認を終える前の段階で、本共同利用全体の計算時間割り当てを使い切った旨の連絡があり、30年度の研究として申請・提案した本研究を実際に行うことができなかつた事は残念な次第である。別な計算機において、低い時間・空間の解像度による検証計算などはかろうじて終えることはできたので、次年度には是非とも高空間分解能計算を行いたい次第である。

時間変動する太陽や太陽風のようなは、さまざまな観測により得られている。そのような観測にもとづく時系列データを用いた計算モデルの一つとして、IPSデータを用いた太陽圏モデルを提案した次第であった。

このような観測データを基にシミュレーション・モデルを駆動する手法・アプローチは、太陽物理では盛んであり、特に太陽光球面の磁場などの観測データを基にした太陽活動領域のMHDモデルというものも近年さかんである。その流れのなかで、3成分磁場の時系列データを境界条件として、活動領域を模したMHD計算を近年行ったので、ここではそれについて記述する。

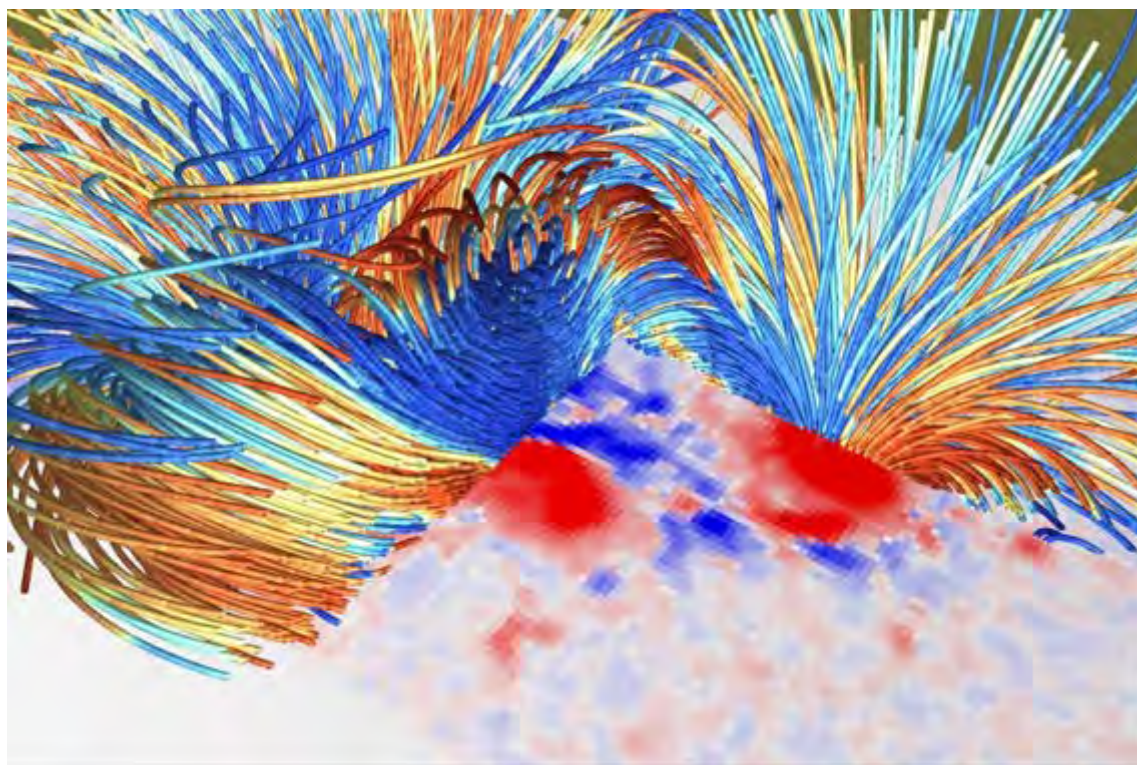
米国のSDO太陽観測衛星に搭載されたHMI 太陽観測望遠鏡により得られた太陽光球面磁場ベクトルの3成分の時系列データを直接的にMHDモデル駆動に用いた計算（2018年の論文; ApJ vol855, 11）を以前行った。これは、境界値磁場駆動に際し、電場を計算したうえでその循環を磁場の時間変化として計算したもので、磁場の発散を理論上ゼロとできる点と観測された磁場3成分にモデル計算の境界値を(差分計算の誤差を除き)一致させることができる点で非常に良好なモデルである。しかし、その代償として、エネルギー保存則を完全に満たすことができない。観測された磁場ベクトルの時間変化を再現するようなプラズマ速度場により駆動することが理想なのであるが、そのような、速度場を求めることはいわゆる ill-posed な問題であるので一般には難しい。そのようななか比較的良好な結果を出すと広く評価されている米国 Schuck 博士による DAVE4VM と呼ばれる速度場逆算解法モデルにより得られる速度場データを十数時間分用意し、それを用いて、MHD駆動モデル計算を行った。その初期的な結果については ApJ Letter 誌 (2019年 vol.871, L 26) にて発表した。

次頁の図は、そのようなプラズマ速度場による駆動モデル計算の一つから得られた磁力線を描写したものである。磁力線上の色は磁場の循環すなわち電流の磁場に対する向きを赤青の色で、電流強度を色の濃さで表したものである。電流の大きさは非ポテンシャル性、すなわち余剰エネルギーの大きさとも関連する。図示されたケースの場合、電流構造は太

陽光球面にあたる底部境界面で与えられるプラズマ速度の影響を受け、磁場余剰エネルギーは新規に生成され、あるいは消費される。磁力線に沿った方向で電流は比較的一定であり、いわゆる **Force-Free** 場に近い状態にあることがわかる。電流の向きが同じであるような磁力線はお互いに引き合い、反対向きの電流は反発しあう性質があるので、このように近接・隣接した磁場構造の中で電流の向きが異なるという結果は、太陽活動領域内におけるエネルギー蓄積過程が空間・時間的に複雑なものであることを示すものである。

図の説明：

MHDシミュレーションによる太陽活動領域の磁場を描写したもの。磁力線を表す曲線上の色は電流の向きと強さを表現し、底部境界平面上の色は観測に基づく磁場の向きと強さをあらわす。いずれも暖色(赤・茶)が負を、寒色(青・藍)が正の値を表現している。四分の一の領域について磁力線の可視化表現を省くことで、活動領域深内部での磁場を図示するとともに、ねじれた磁場構造の断面をみえるようにしている。



(以上)

準平行衝撃波のマルチスケール構造と粒子加速

Multiscale structures of quasi-parallel shock and associated particle acceleration

松清修一、大塚史子（九州大学）
梅田隆行（名古屋大学）

研究目的

地球バウショックの準平行衝撃波上流に形成されているフォアショックと呼ばれる領域では、大振幅波動や高エネルギー粒子が観測されている。本研究では大規模1次元フル粒子計算により、準平行衝撃波と十分発達したフォアショックを含む系を自己無撞着に再現し、その詳細な電磁的構造と粒子加速過程を理解する。

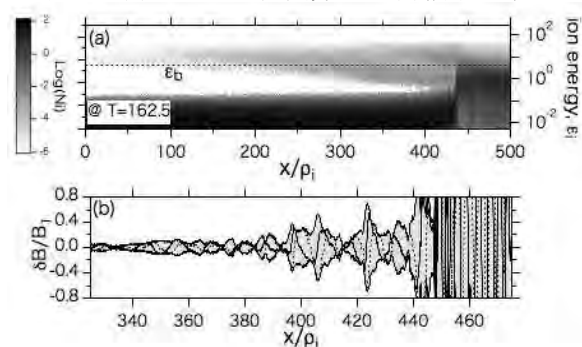
研究方法

本研究では無衝突プラズマの第一原理計算法として知られるフル粒子計算により準平行衝撃波を再現する。衝撃波の生成には一般的なインジェクション法を用いる。準平行衝撃波では、入射イオンの一部が衝撃波面で電磁的に反射され上流に背走し、イオンビームが形成される。このイオンビームの占める領域がフォアショックであり、十分発達した非線形波動が存在する。これら非線形波動は粒子の散乱・加速において重要な役割を担っていると考えられている。本研究では、十分発達したフォアショックを再現するために、衝撃波法線1次元方向に十分な計算領域($L=500\rho_i$)を確保した計算を行った。ここに、 ρ_i は入射イオンの磁場旋回半径である。衝撃波法線方向および入射イオンの流れ x 方向とし、背景磁場は x - z 面内に取り、 x 軸からの角度(衝撃波角, Θ_{BN})を20度とする。衝撃波のマッハ数=6.6、電子ベータ値(=電子の熱的圧力と磁気圧の比)=0.5、イオン/電子温度比=1、イオン/電子質量比=64、電子プラズマ/サイクロトロン周波数比=12.5として大規模計算(空間グリッド数= 5×10^5 、総超粒子数 $>3 \times 10^8$)を行った。

研究結果・考察

図1(a)に $T=162.5$ におけるイオンの空間密度分布(イメージ)を示す。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。また、縦軸は上流静止系で評価したイオンのエネルギーを入射イオンのバルクエネルギーで規格化した値(ϵ_i)であり、横軸は全計算領域 $0 < x < 500\rho_i$ を示す。高密度かつ低エネルギー($\epsilon_i < 0.3$)な領域は入射イオンの熱的成分を示し、低密度かつ高エネルギー($\epsilon_i > 0.3$)の領域は衝撃波面で反射し上流へ背走するイオンビームを示す。図1(b)に同時刻に $325\rho_i < x < 475\rho_i$ の領域に励起された磁場揺動を示す。実線および破線はそれぞれ y および z 成分の磁場揺動である。また、灰色の背景は磁場揺動の包絡線を示す。衝撃波上流遠方($340\rho_i < x < 360\rho_i$ 辺り)では、振幅がほぼ一定で非圧縮な単色波動が励起されている。これはイオンビームをエネルギー源としたイオンサイクロトロン共鳴不安定性によって励起された低周波のアルフヴェン波動である[1]。衝撃波面へ近づくにつれ、磁場揺動の増幅と同時にその包絡線も振動しており、圧縮性の大幅波動へと成長している。これは単色なアルフヴェン波動が入射プラズマに押し流される過

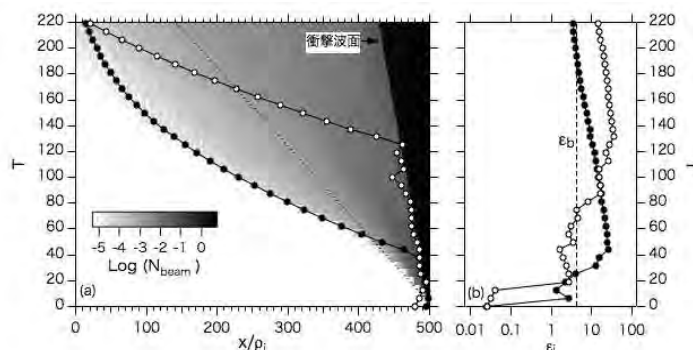
図1. (a)イオンの密度分布と(b)揺動磁場



程で、崩壊不安定性などを経て広帯域化・非線形化したと考えられる。

次に、イオンビームの生成過程を考察する。イオンビームが衝撃波静止系において鏡面反射により生成されたと考えると、運動エネルギーは $\epsilon_b = 4 + \tan^2 \Theta_{BN} = 4.13$ (図 1(a) の点線) である。しかし、イオンはそれより高エネルギーの領域 ($\epsilon_i < 40$) まで広がっており、単純な鏡面反射では説明できない。そこで、上流遠方に到達した高エネルギーイオンビームの軌道を逆追跡し、その生成の

図 2. (a)イオンビームの軌道と(b)そのエネルギー発展



起源を探ったのが図 2 である。図 2 (a) はふたつのイオンビームの $x-t$ 空間における軌道であり、背景はビーム密度を示す。ここで、ビーム密度はイオンエネルギーが $\epsilon_i > 0.3$ を満たす粒子の積分より得た。また、破線は単純な鏡面反射により到達できる境界を示す。ビーム密度分布は $T > 60$ でこの境界を超えて広く分布しており、鏡面反射以外のイオン加速メカニズムを示唆する。図 2 (b) は (a) の粒子軌道に対応するエネルギー ϵ_i の時間発展である。初期に衝撃波面での鏡面反射によって ϵ_b までエネルギーを獲得後も衝撃波面に停滞している間にそれ以上のエネルギーを獲得している。その後、徐々にエネルギーを失いながら上流遠方へイオンビームとして伝搬する。よって、入射イオンの一部が鏡面反射以外のメカニズムによって衝撃波近傍で効率よく加速され、衝撃波上流遠方に高エネルギーイオンビームが生成されたと結論づけた。

まとめ

無衝突衝撃波上流に十分大きな領域を確保した 1 次元フル粒子計算を行い、上流遠方へ伝播する高エネルギーイオンビームの存在を明らかにした。また、イオンビームによる上流波動の励起から非線形発展に至る過程を再現した。衝撃波近傍でのイオンビーム加速メカニズムとして、Sugiyama and Terasawa (1999) [2] が提案した大振幅波動との非共鳴型散乱による衝撃波加速の可能性がある。

引用文献

- [1] Gary, Gosling, and Forslund, *J. Geophys. Res.*, 86, 6691, 1981
 [2] Sugiyama and Terasawa, *Adv. Space Res.*, 24, 73, 1999

成果発表

1. F. Otsuka, S. Matsukiyo, T. Hada, PIC simulation of quasi-parallel terrestrial bow shock, 12th International conference on High Energy Density Laboratory Astrophysics (HEDLA), 倉敷, 2018年5月31日 (ポスター発表)
2. 大塚史子、地球フォアショックの1次元PICシミュレーション、第378回生存圏シンポジウム「実験室宇宙・天体プラズマ物理学に関する研究集会」、京都、2018年8月20日 (口頭発表)
3. F. Otsuka, S. Matsukiyo, T. Hada, PIC simulation of a quasi-parallel collisionless shock: Interaction between upstream waves and field-aligned ion beams, International symposium “Recent progress in heliospheric physics by direct measurements of unexplored space plasmas”, 名古屋, 2019年2月26日 (口頭発表)

無衝突磁気リコネクションにおける異常抵抗発生機構の解明
Generation mechanism of the anomalous 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、数値シミュレーションの実施に先立った予備的な研究として、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 $\delta\mathcal{A}(y, z, t) = \delta\mathcal{A}(z, t) \exp(ik_y y)$ 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., Multi-scale kinetic simulation of magnetic reconnection with dynamically adaptive meshes, *Front. Phys.*, 6, 119, doi:10.3389/fphy.2018.00119, 2018.

2. 口頭発表

- K. Fujimoto, Whistler wave emission and electron acceleration associated with plasmoid collision, 15th Annual Meeting of Asia Oceania Geosciences Society (AOGS-2018), Honolulu, USA, June 5, 2018
- K. Fujimoto & R. Sydora, Electromagnetic turbulence in the reconnection current layer, 13th Annual International Conference on Numerical Modeling of Space Plasma Flows (ASTRONUM2018), Panama City Beach, USA, June 25, 2018 (Invited)
- K. Fujimoto & R. Sydora, Turbulent current layer in collisionless reconnection with anti-parallel configuration, 2018 US-Japan Workshop on Magnetic Reconnection in Space, Solar, Astrophysical, and Laboratory Plasmas (MR2018), Princeton, USA, September 7, 2018

太陽風・太陽放射条件が火星周辺宇宙環境および
大気散逸機構に与える影響の研究

Effects of solar wind and radiation conditions on Martian space
environment and atmospheric escape processes from Mars

関 華奈子、東京大学・大学院理学系研究科地球惑星科学専攻

約40億年前の火星は海を持ち温暖湿潤な気候であったと推定される一方で、現在の火星は寒冷で乾燥した気候を持つ。このような劇的な気候変動を引き起こすには、少なくとも1気圧分程度のCO₂大気が表層環境から取り除かれる必要があると考えられており、宇宙空間への大気散逸が重要な役割を果たしたと期待されているが、そのメカニズムはわかっていない。すなわち、CO₂大気を宇宙空間に逃がすことができる物理機構の解明は、火星気候変動研究の重要課題の一つである。

火星の地質学的な探査結果から、この大規模な気候変動が起こった時期は、火星が固有磁場を失った後の約35-40億年前の間の時期であったと推定されている。太陽型星の観測から、この時期の太陽風や太陽放射は、現在のものとは大きく異なり、太陽風流束は現在の約100倍、超高層大気の状態と大気流出に重要な役割を果たすEUV放射は現在の6~10倍であったと推定されている。

現在の火星は、地球のようなグローバルな固有磁場を持たず、太陽風と火星大気が直接相互作用している。近年の火星探査機による観測結果から、火星においては、低高度まで太陽風や太陽宇宙線が侵入し、大気散逸や地球とは異なるタイプのオーロラを引き起こしていることが観測されている。こうした火星周辺の宇宙環境や大気散逸機構は、約35-40億年前の太陽風や太陽放射条件下ではどのように変化するのであろうか？本研究の目的は、多成分MHD近似による太陽風-火星相互作用系のグローバルシミュレーションに基づき、太陽風条件や太陽放射条件に伴い、火星からの大気散逸機構や火星周辺宇宙環境がどのように変化するかを明らかにすることにある。

計画初年度の平成30年度には、まず、Terada et al. [Astrobio, 2009]で45億年前の火星周辺宇宙環境の数値シミュレーションに適用された実績のある、多成分MHDグローバルシミュレーションコードを使用し、約45億年前の太陽放射および太陽風条件下で、火星が固有磁場を持った場合に、火星大気からのイオン流出率がどのように変化するかを調べた。与えた太陽条件は、上述の先行研究と同じ値を用いており、太陽風動圧は磁気圧に変換すると約4100nTに相当する極端な条件下である。先行研究は固有磁場がない場合のみの研究であったが、本研究では、惑星赤道表面での惑星固有磁場強度を、0, 100, 1000, 3000, 5000 nTの5つの場合について、シミュレーションを行った。その結果、双極子型の固有磁場の存在下では、太陽風動圧が固有磁場の磁気圧より強い条件下では分子イオンの流出を増加させること、固有磁場の磁気圧が太陽風動圧と同程度か強くなると、急激にイオン流出率が下がることなどの初期結果を得た。

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、非線形磁場構造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静止した無衝突衝撃波を再現し、シース領域にあたるその下流域で発生するプラズマ乱流発展を追跡する。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とで、非線形的に発達した磁場構造のもとで、イオン慣性長以下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。

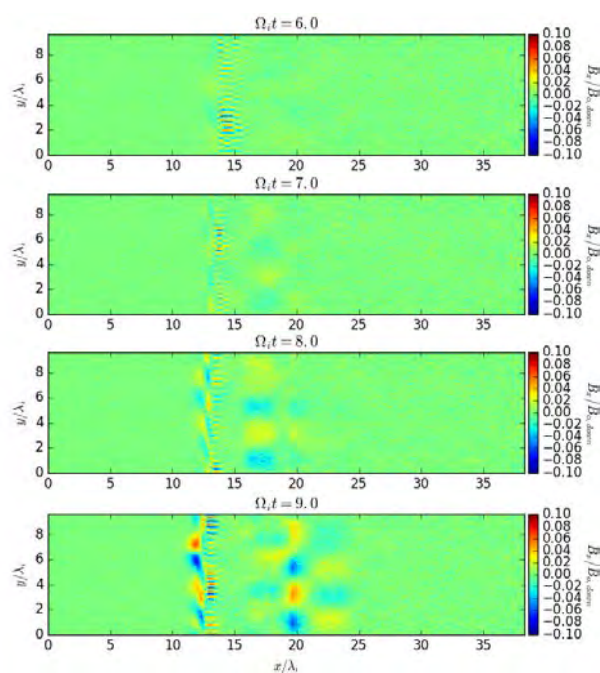
【計算方法】

ショック静止系プラズマ粒子シミュレーション (Umeda et al. 2008) を用いてマッハ数を約4、上流側プラズマ β を0.5とした垂直プラズマ衝撃波を再現する。ここでイオンと電子の間の質量比は100、上流の電子・イオン温度比を1、下流の温度比を5とし、下流のプラズマパラメータを等方的な2流体プラズマを仮定し定義している。計算領域はx方向にイオン慣性長の38.3倍、y方向に9.6倍を与え、2次元平面を仮定している。y方向（背景磁場方向）は周期境界条件としている。衝撃波の位置は計算領域の中心から上流側へ配置することで ($x=12.8$)、下流側のダイナミクスを出来るだけ広範囲に再現出来るように配慮している。

【計算結果および考察】

図は、背景磁場 (y 方向) に対して垂直方向の磁場成分 (x 方向) の 2 次元空間プロットである。上から時間発展を示しており、上流のイオンサイクロトロン角周波数で規格化している。t=6 において、ショックの遷移層付近において y 方向の波数を持った電子空間スケール程度の波動が励起されている。これはショック遷移域で断熱的に加熱された電子が温

度異方性を形成したために生じる whistler 波動の励起に相当すると考えられる。この後、衝撃波の reformation が生じることによって衝撃波面が移動し（磁場 y 成分の時間発展により確認されている）、これに伴い $t=8$ 以降、上流側でリップルと思われる構造が形成される。一方下流側では、リップルの発生に対応するような y 方向にモード 2 の比較的整った構造が現れているのが確認出来る。イオン慣性長の数倍程度の波長を持っているため、上流側から下流域へ進入したイオンがその励起に関与していると推測している。磁



場 z 成分も同様のモード 2 の構造が現れているのを確認したが、 $t=8$ 、 $x=20$ 付近において位相がほぼ揃っており、この付近においては円偏波の特徴を満たしていない。このため現段階ではイオンの断熱加熱に伴うようなイオンサイクロトロン波動では無いと考えている。しかしながら正負の方向に伝搬しているケースを考えると磁場のスナップショットのみから推測は難しいため、実際はより詳細な波動の解析が求められる。

今後さらに下流側でのプラズマの発展を追跡し、励起されている波動がイオンスケールの非線形的な構造を形成していくのかどうかについて研究を進める。特に下流域でのイオンの位相空間密度の解析と併せて、波動の励起原因およびそのモード特性について明らかにする。またこの中で電子スケールの物理がどのように関わってくるのかについて解析を進め、無衝突衝撃波中における電子・イオン間でのクロススケールカップリングの役割について注目した研究を進める。

【成果発表】

Saito, S., Y. Nariyuki, and T. Umeda (2018) Magnetosonic/whistler mode turbulence influenced on ion dynamics, *Phys. Plasmas* 25, 122301 (2018);
<https://doi.org/10.1063/1.5053760>

【参考文献】

T. Umeda, M. Yamao, and R. Yamazaki (2008) Two-dimensional full particle simulation of a perpendicular collisionless shock with a shock-rest-frame model, *Astrophys. J. Lett.*, Vol. 681, L85.

非対称反平行磁気リコネクションの磁気流体計算
MHD simulation of asymmetric magnetic reconnection

近藤光志、愛媛大学宇宙進化研究センター

研究目的

地球磁気圏前面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、電流層を挟んで非対称なプラズマ境界が形成され、非対称磁気リコネクションが起こる。先行研究において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示した[1][2]。特に、これまで指摘されてきたリコネクションファン内のプラズマ速度の最大値が非対称度の増加に伴い減少することも確かめられた。本研究では、リコネクションファン内のみでなく、リコネクション構造全体でのプラズマ流構造を明らかにし、その非対称度依存性を示すため、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

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。なお、電流シートに垂直な方向を y 方向とする。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。抵抗領域は固定せず、電子イオンドリフト速度に依存した異常抵抗モデルを用いて自発的な高速磁気リコネクションを計算している。

研究結果とまとめ

図1は、数値計算で得られた非対称度 $k=2$ の場合のプラズマ流の x 成分(V_x)のカラー等高図と磁場(実線)の時間変化を示している。時間とともに、電流シートを挟んで非対称なプラズモイドが成長し、プラズモイド後方のリコネクションファン内で流速が上がっていることがわかる。一方、図中下側プラズモイドにおいても流速が上がっていることがわかる。この下側プラズモイドにおける流束の上昇は、単純にリコネクションファン内のプラズマがプラズモイド内に侵入しているわけではないことは、これら2つの領域の間で減速領域が存在していることから明らかである。

この減速領域を調べた結果、この領域で x 負方向のローレンツ力が働いていることが明らかになった。このローレンツ力は、上側のプラズマが下側プラズモイドへ侵入することによる磁力線の押し曲げに起因するものである。下側プラズモイドでは、正のローレンツ力により加

速されたプラズマにより流速が上昇することが分かった。この下側プラズモイドの流速の最大値は、リコネクションファン内の流束の最大値を時間とともに上回るようになり、非常に大規模な高速領域を形成することになる。

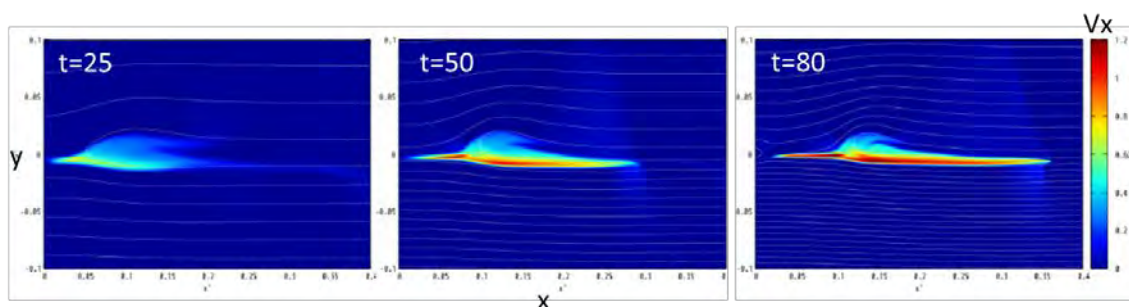


図1、プラズマ流速のx成分（カラー等高図）と磁力線の時間発展

引用文献（成果論文を含む）

1. Nitta, S., and Kondoh, K., "Properties of extremely asymmetric magnetic reconnection", The Astrophysical Journal, 872:147 (17pp), 2019
2. Nitta, S., Wada, T., Fuchida, T., and Kondoh, K., "Critical differences of asymmetric magnetic reconnection from standard models", The Astrophysical Journal, 828:63 (16pp), 2016

成果発表

1. 近藤光志, 「非対称磁気リコネクションにおけるプラズマ加速」, 地球電磁気・地球惑星圏学会2018年秋学会, 名古屋大学 (2018年11月)
2. 清水徹, 近藤光志, 「FKRとLoureiroのテアリング不安定性線形理論の再検証」, 地球電磁気・地球惑星圏学会2018年秋学会, 名古屋大学 (2018年11月)
3. 新田伸也・近藤光志, 「ガイド磁場印加リコネクションの自己相似的時間発展の特徴」, 日本天文学会2018年秋季年会, 兵庫県立大学 (2018年9月)
4. 近藤光志, 「非対称磁気リコネクションの磁気流体計算と昼側磁気圏観測」, STEシミュレーション研究会 - プラズマ・大気複合システムのシミュレーション研究 -, 成蹊大学 (2018年9月)
5. 清水徹, 近藤光志, 「一様抵抗テアリング不安定の線形理論」, STEシミュレーション研究会 - プラズマ・大気複合システムのシミュレーション研究 -, 成蹊大学 (2018年9月)

固有磁場強度の変遷が惑星大気流出機構へ与える影響に関する研究
Effects of the transition of intrinsic magnetic field
on the atmospheric escape from planets

堺正太朗、東京大学大学院理学系研究科

研究目的

惑星の固有磁場は大気流出を考える上で非常に重要な物理量である。特に、固有磁場強度は太陽風と惑星間の相互作用に影響を与え (e.g., Seki et al., 2001), 流出機構自体を変えてしまう可能性がある。一方で、火星は約 40 億年前には温暖で湿潤な機構であったが、その後大気や水が失われ、現在では薄い大気を残すのみとなった。つまり、火星は過去から現在にかけて大規模な大気流出を経験したということである。大気流出の主要機構の一つに、周辺磁場の影響に関連した高層大気からのイオン流出が挙げられる。太古の火星には、現在の火星地殻に残留磁化が存在していることから、全球的な固有磁場が存在していた可能性が考えられている。その固有磁場が大気流出機構へ与える影響を調査することは、火星が過去から現在にかけて起こった気候変動の理解へとつながるのである。

本研究では、まずは火星赤道表面で 100 nT という弱い固有磁場を仮定した時と固有磁場を持たない場合で大気流出機構がどのように変化するかを調査する。

研究方法

本研究では 3 次元多成分一流体電磁流体力学 (MHD) シミュレーションを行う。用いたコードは、もともとは非磁化惑星のモデリング用に構築され (Tanaka, 1993), その後、地球磁気圏や惑星電離圏モデリング用に改良された (e.g., Terada et al., 2009a; 2009b)。本モデルは電離圏から磁気圏までを包括的に解くことが可能で、14 イオン種の連続の式を解いている。本研究では 10 種の中性大気モデル (CO_2 , O_2 , NO , CO , N_2 , O , N , C , He , H) を入力として与えることで、火星高層大気中で主要なイオン (CO_2^+ , O_2^+ , NO^+ , CO^+ , N_2^+ , O^+ , N^+ , C^+ , He^+ , H^+) の物理量を計算する。入力で用いられる中性大気モデルは Terada et al. (2009a) で用いられたものを用いる。イオン - 中性大気の反応率、解離再結合率、光電離率、電子衝突による電離率、イオン - 中性大気・電子 - 中性大気の衝突周波数、電子衝突によるエネルギー消失率、熱伝導率は Terada et al. (2009a and references therein) のものを使用した。また太陽風はパーカースパイラル型のものを用いて計算を行う。計算は CX400 で行った。

研究結果・考察

まず固有磁場を持たない場合は、中心付近にピークを持つ一つの流出経路からイオンが流出する一方で、弱い磁場を仮定した時、大きく 2 つの流出経路があることが明らかとなった (図 1)。一つは高緯度での流出で、カスプのような開いた磁力線が流出に寄与している。もう一つの流出経路は磁気中性面に沿った経路で、磁気圏の脇からの流出である。こちらの流出経路は、磁気圏の脇で固有磁場と太陽風磁場が磁気再結合し、惑星起源プラズマを多く含む磁力線が開くことで流出を促すことが明らかとなった。

流出率は固有磁場がない時, $\sim 3.3 \times 10^{24} \text{ s}^{-1}$ だったのが, 弱い固有磁場を仮定すると, $\sim 4.1 \times 10^{24} \text{ s}^{-1}$ と 25% 程増加した. また, O_2^+ や CO_2^+ の流出率が増加したことから, 固有磁場の存在は, 電離圏下部にある重イオンの流出を促進することを明らかにした.

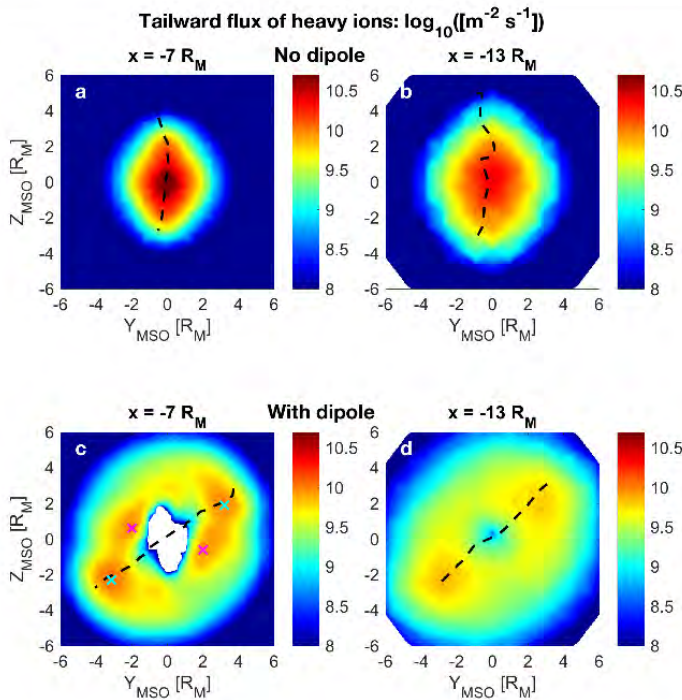


図 1: O_2^+ , O^+ , CO_2^+ の合計流出率フラックス. 上側: 固有磁場がない場合, 下側: 固有磁場を仮定した時.

引用文献

1. K. Seki, R. C. Elphic, M. Hirahara, T. Terasawa, and T. Mukai (2001), On atmospheric loss of oxygen ions from Earth through magnetospheric processes, *Science*, 291(5510), 1939-1941.
2. T. Tanaka (1993), Configurations of the solar wind flow and magnetic field around the planets with no magnetic field: Calculation by a new MHD simulation scheme, *J. Geophys. Res.*, 98(A10), 17,251-17,262.
3. N. Terada, H. Shinagawa, T. Tanaka, K. Murawski, and K. Terada (2009a), A three-dimensional, multispecies, comprehensive MHD model of the solar wind interaction with the planet Venus, *J. Geophys. Res.*, 114, A09208.
4. N. Terada, Y. N. Kulikov, H. Lammer, H. I. M. Lichtenegger, T. Tanaka, H. Shinagawa, and T. Zhang (2009b), Atmosphere and water loss from early Mars under extreme solar wind and extreme ultraviolet conditions, *Astrobiology*, 9(1), 55-70.

成果発表

1. (招待講演) 堺正太郎, 関華奈子, 寺田直樹, 品川裕之, 田中高史, 海老原祐輔, 弱い固有磁場環境下における火星大気流出機構に関するシミュレーション研究, 第 393 回生存圏シンポジウム 生存圏ミッションシンポジウム, 京都大学, 京都府宇治市, 2019 年 2 月 25 日.
2. (Invited) S. Sakai, K. Seki, N. Terada, H. Shinagawa, T. Tanaka, and Y. Ebihara, Effects of an intrinsic magnetic field on atmospheric escape from Mars, Symposium on Planetary Sciences, Tohoku University, Sendai, Japan, 19 February 2019.
3. 堺正太郎, 関華奈子, 寺田直樹, 品川裕之, 田中高史, 海老原祐輔, Effects of an intrinsic magnetic field on the ion escape from Mars, 日本地球惑星科学連合 2018 年大会, PCG23-08, 幕張メッセ, 千葉県千葉市, 2018 年 5 月 20 日.

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 京都大学 生存圏研究所

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、電波伝搬への定量的評価を実施することを目的として、計算されたプラズマバブル内部の微細構造のスペクトル解析を行った。その結果、ある波数を境として、パワースペクトルの指数が変化することが明らかとなった。この特徴は、過去のロケット、衛星観測と類似しており、実際のプラズマバブル内部の微細構造が、シミュレーションにおいても再現されたと考えられる。

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、400m程度までの波長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、枝分かれ(bifurcation)するプラズマバブルの様子と、成長したプラズマバブル内部のスペクトル構造を示す。枝分かれしたプラズマバブルは、徐々に複雑な構造を持ち始め、成熟したバブルの内部は乱流のカスケード構造に類似したスペクトルを持ち始める。プラズマバブルの高度によってスペクトルの構造が異なっており、これらの特徴は、C/NOFS、ROCSAT-1等の低軌道衛星観測や、過去の観測ロケットから得られた特徴とよく一致している。従って、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。

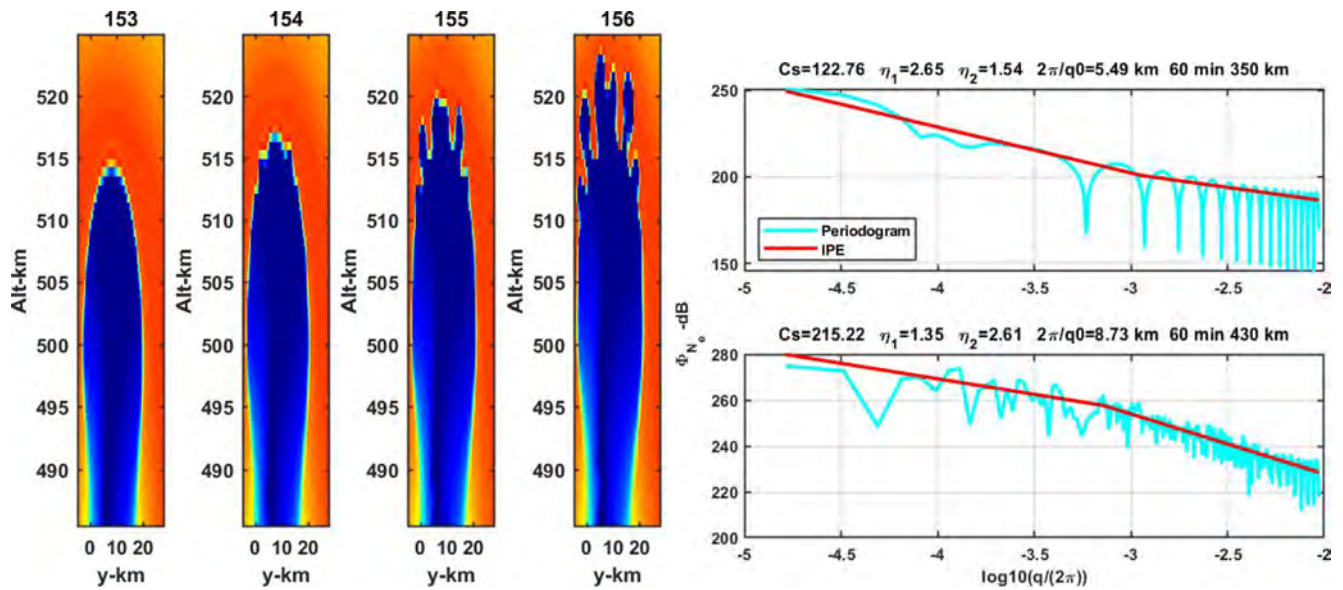


図 1: 枝分かれするプラズマバブルの様子と、プラズマバブル内部のスペクトル構造 (Rino et al., 2018).

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。また、衛星電波への影響を、より定量的に評価する予定である。

成果発表

Rino, C., T. Yokoyama, and C. Carrano, Dynamic Spectral characteristics of high-resolution simulated equatorial plasma bubbles, *Prog. Earth Planet. Sci.*, **5**, 83, doi:10.1186/s40645-018-0243-0, 2018 (13 pages).

Rino, C., C. Carrano, K. Groves, and T. Yokoyama, A configuration space model for intermediate-scale ionospheric structure, *Radio Sci.*, **53**, 1472-1480, doi:10.1029/2018RS006678, 2018.

Yokoyama, T., Recent results of high resolution plasma bubble modeling, 15th International Symposium on Equatorial Aeronomy [Ahmedabad, India: October 2018] (Invited, Oral).

Yokoyama, T., H. Jin, and H. Shinagawa, Neutral wind effects on equatorial plasma bubbles simulated by High Resolution Bubble model, Asia Oceania Geosciences Society 15th Annual Meeting [Honolulu, USA: June 2018] (Invited, Oral).

Yokoyama, T., C. L. Rino, and C. S. Carrano, Spectral characteristics of equatorial plasma bubbles simulated by High Resolution Bubble model, Asia Oceania Geosciences Society 15th Annual Meeting [Honolulu, USA: June 2018] (Invited, Oral).

Yokoyama, T., High Resolution Plasma Bubble Modeling, The 3rd PSTEP International Symposium [Koganei: May 2018] (Poster).

横山 竜宏, Charles Rino, Charles Carrano, プラズマバブル内部のスペクトル解析, PSTEP 研究集会 太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望 第 3 回 [小金井: 2019 年 1 月] (Poster).

横山 竜宏, 陣 英克, 品川 裕之, 熱圏鉛直風によるプラズマバブルシーディング, 第 144 回 地球電磁気・地球惑星圏学会講演会 [名古屋: 2018 年 11 月] (Oral).

横山 竜宏, 熱圏鉛直風によるプラズマバブルシーディング, 第 12 回 MU レーダー・赤道大気レーザーシンポジウム, pp. 89-90 [宇治: 2018 年 9 月] (Oral).

横山 竜宏, 熱圏鉛直風によるプラズマバブルシーディング, 平成 30 年度 名古屋大学太陽地球圏環境研究所 研究集会 STE シミュレーション研究会 [武蔵野: 2018 年 9 月] (Oral).

横山 竜宏, 陣 英克, 品川 裕之, H. Liu, Neutral wind effects on equatorial plasma bubbles simulated by High Resolution Bubble model, 日本地球惑星科学連合 2018 年大会 [千葉: 2018 年 5 月] (Oral).

雲解像モデルシミュレーションによる豪雨の予測と検証
Predictions of heavy rainfall events using cloud resolving atmospheric models and their evaluations

研究課題代表者：茨城大学理学部 若月泰孝
共同研究者 名古屋大学・宇宙地球環境研究所 坪木和久

雲解像大気モデルは、地域スケールの気候再現や気候変化予測において重要な役割を果たしている。高解像度にして雲解像モデルを長期間にわたって計算すれば、積乱雲や積乱雲群を再現可能となるため、豪雨頻度の気候変化予測計算などを実施することができる。関連した多くの研究テーマを挙げることができるが、今年度の本研究では、主に昨年度計算した関東域の夏季を対象とした高解像領域大気モデル実験の解析を進めた。関東域では夏季に積乱雲が頻発する。この中でも注目を集めているのは、豪雨と都市の関係である。都市効果を考慮することによる局地大気循環や雲降水の変化に着目する。なお、この研究は、文部科学省の受託研究「気候変動適応技術社会実装プログラム」と協力して実施したものである。

研究では、気象庁が開発した非静力学雲解像大気モデル（NHM）を用いて、関東域を覆う1km解像度の数値実験を実施した。約一カ月の計算を10年分実施した。この時、夏季の大気不安定環境下で多くの積乱雲が発生していた。ここで、都市効果に関する3種類の実験を実施した。一つは、(a)都市効果を単層都市キャノピーモデル（SPUC; Aoyagi and Seino, 2011）で表現したもの、(b)2つ目は都市を草地として都市を抜いたもの、(c)3つ目は都市を草地としているものの、都市相当の粗度のみを与えた実験である。(a)-(b)で都市効果を、(a)-(c)で都市の熱的效果を、(c)-(b)で都市域の力学的効果を評価することができる。

都市ありから都市なしを引いた降水量の差分を図1に示す。大きなシグナルではないものの、日中午後を中心に、都市域で降水量が増加していることが明瞭にわかる。降水量とも関係する中層雲量について、熱的效果と力学的効果を比較してみた。力学的効果では日中午後の前半に雲量が増加し、熱的效果では日中午後の後半に増加していた。これは、力学的効果である都市域の粗度の影響で昼前から吹く海風が遮断され、都市域の海岸線付近に上昇気流が発生していたためである。熱的效果では、都市域が暖められて下層の混合層が発達する午後の後半を中心に対流を生成する。このように、両方の効果が合わさって、都市域での降水量と雲量増加に寄与していたと推定された。

今後は、より詳細なメカニズムの解明に向けて解析を追加していく。

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.

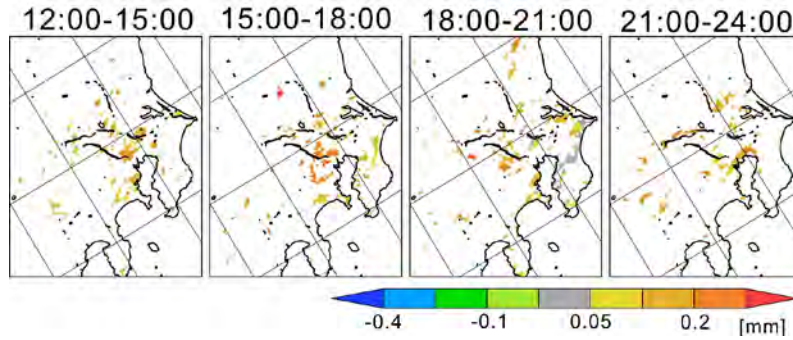


図1: 降水量について、都市あり実験から都市なし実験を引いた差分 (T検定により有意差があった領域のみ)

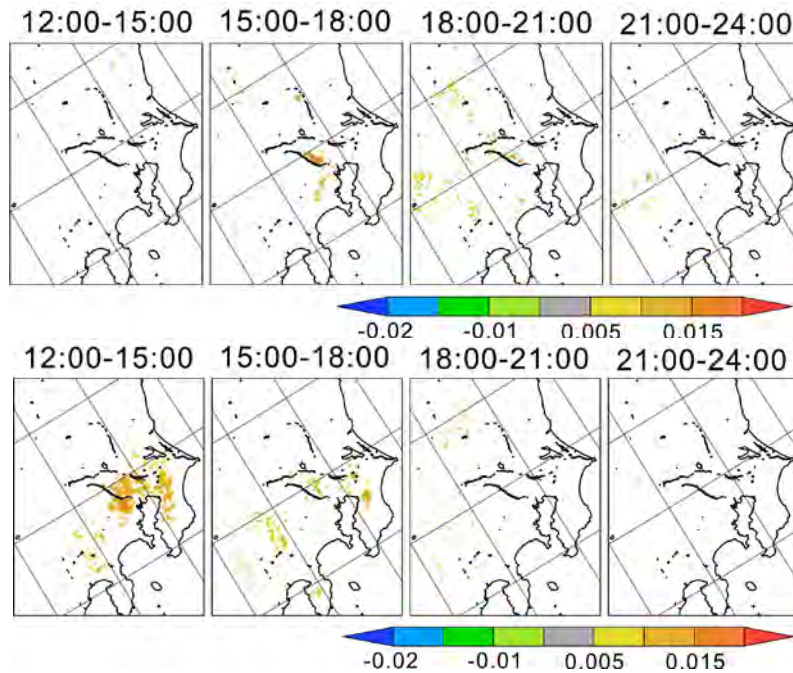


図2: 中層雲量の差分 (上図は熱的效果, 下図は力学的効果) (T検定により有意差があった領域のみ)

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す。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、運用を行なっている。

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。

本年度は、情報通信研究機構において、リアルタイムの太陽フレア・CMEの観測データを入力として、SUSANOO-CMEを複数パターン実行する太陽嵐影響予測システム(図1)の開発を進めている。本研究では、当システムを利用したアンサンブル予測を行う時に、観測から決めることができない自由度のあるパラメータの適切な範囲の設定のために、2017年9月初旬にXクラスフレア4つを引き起こした活発な活動領域NOAA12673の一連の現象を対象として、再現シミュレーションを行った。図2にその結果を得られた地球の位置の太陽風の速度と磁場の南北成分の変動、DSCOVERの観測とともに示している。観測された特徴をよく再現することができた結果を中心にパラメータ範囲決める方針とし現在論文にまとめている。

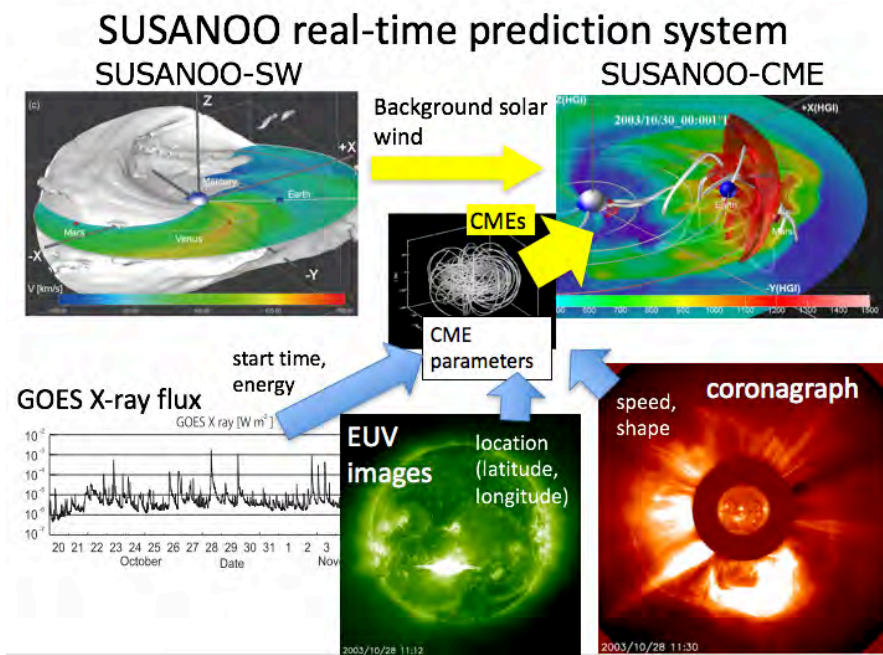


図1 太陽嵐影響予測システムの概要

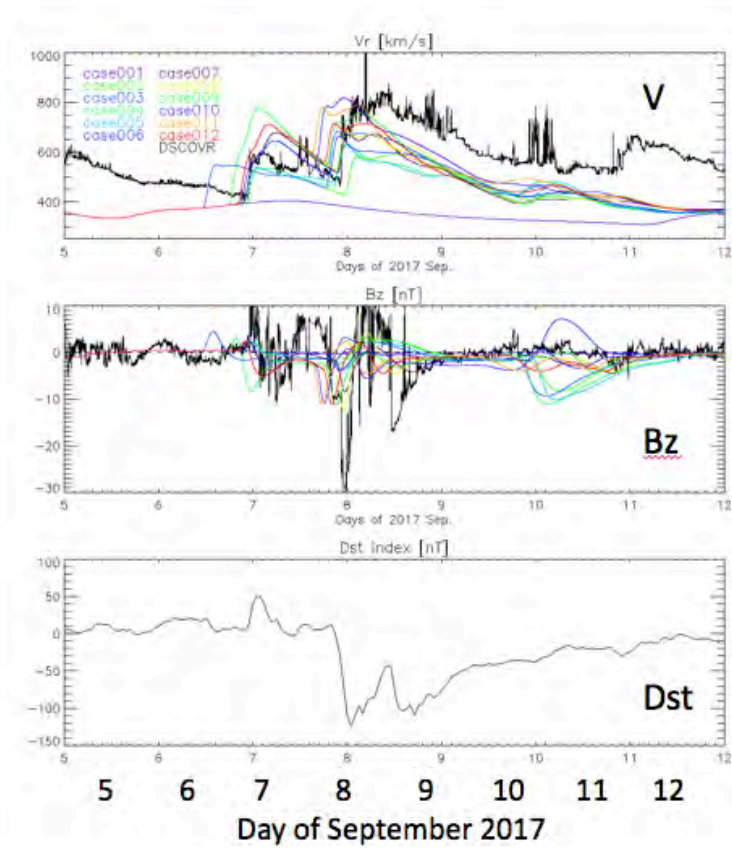


図2 2017年9月初旬の太陽風 in situ観測(黒線：上段：速度、中段：惑星間空間磁場南北成分)とシミュレーション結果。下段はDst indexの時間変化。

解適合格子・多層格子電磁流体力学計算による太陽フレア-CMEダイナミクスの研究

Study of Solar Flare-CME Dynamics using AMR-Nested MHD code

井上 諭 名古屋大学宇宙地球環境研究所

【研究目的】

太陽表面で観測される「太陽フレア」や、大量のコロナガスを惑星間空間に放出する「コロナ質量放出(CME)」は、地球近傍の宇宙空間である磁気圏や電離圏の電磁気環境を激しく乱すことから、宇宙天気予報の観点から重要視されている。また、太陽フレアからCMEに到るまでのダイナミクスは、強い非線形過程で支配されており、非線形電磁流体力学の基礎物理過程の観点からも、非常に興味深い現象である。本研究は、太陽フレアの発生機構からCMEの形成過程までのダイナミクスを明らかにすることが目的である。特に、フレア前に太陽表面に現れる微小な磁場変動から、CMEまでの大きく異なる空間スケールでの現象を、数値的に再現することを目的としている。

【研究方法】

本年は、広大な空間スケールでの現象を数値的に再現するために、多層格子法を実装した電磁流体力学(MHD)コードの開発を実施した。多層格子法を用いることで、必要な箇所(例えば、太陽フレアが発生する領域)に計算格子を十分に割り当てることが可能となり、また非等方格子に比べ、計算速度のコストも良いことが知られている。計算コードは、星形成問題を解くために、共同研究者である松本倫明教授に開発されたSFUMATO¹を太陽活動領域-コロナの問題に応用するために改良した。

本研究では、2014年3月に活動領域12017で発生した、X1フレアの再現を試みた。まず井上らにより開発された非線形フォースフリー磁場外挿コード²を用いて、フレア発生前の太陽表面の観測磁場から、上空の磁場をフォースフリー近似に基づいて数値的に再現した。次に、外挿された磁場と、新たに開発された多層格子を実装したMHDコードを用いて、太陽活動領域の局所領域に擾乱を与えることで、磁場の噴出実験を実施した。

【研究結果・考察】

図1(a)と(b)に、観測磁場から再現されたフレア前の3次元磁場構造を示す。図1(b)は図1(a)の四角で囲まれた領域の拡大図であり、ねじれた磁力線群である「磁気フラックスロープ」がよく再現されている。多層格子を用いることで、図1(b)のように、磁気フラックスロープに十分な格子を集めた。磁気フラックスロープはフレアを起こす磁気エネルギーを蓄積しており、初期の噴出時に磁気リコネクションを伴う激しい磁場変動を起こすことが予想され、このような格子配置を設定した。シミュレーションでは、観測に基づいて、磁気フラックスロープの下部に、フラックスロープよりもさらに小さいスケールの浮上磁

場を擾乱として与えた。その結果、図1(c)に示すように、浮上磁場と磁気フラックスロープが、磁気リコネクションを介して相互作用することで、さらに巨大な磁気フラックスロープが形成され、上空へと噴出していく様子が再現された。具体的には、フレア前には磁気フラックスロープが複数存在しており、浮上磁場を介したフラックスロープ間の磁気リコネクションにより、さらに強くねじれた巨大なフラックスロープへと成長する。噴出するフラックスロープの足元は、観測されたフレアリボンの足元によく一致した。

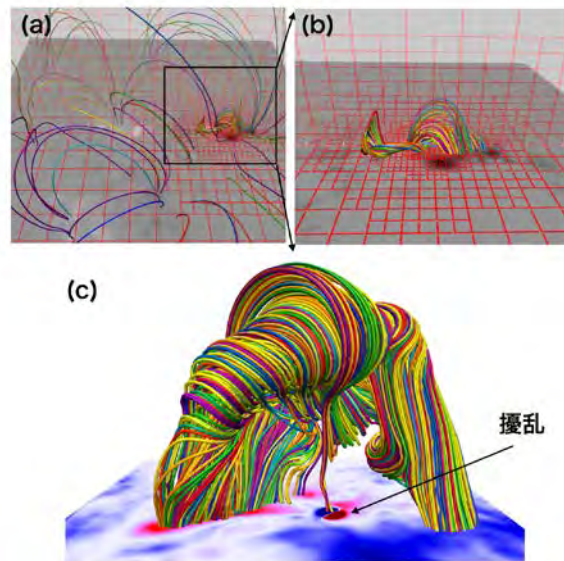


図1:a,X1フレアを発生させた、活動領域12017の太陽表面の観測磁場から、上空の磁場をフォースフリー近似に基づいて、3次元磁場を数値的に外挿した結果。線は磁力線を表しており、直線は計算格子を表している。b.aの四角で囲まれた領域の拡大図。ねじれた磁力線群である「磁気フラックスロープ」が再現されており、ここに計算格子を集中して集めた。c.擾乱として浮上磁場を磁気フラックスロープの下部に与えた際の、磁場のダイナミクス。巨大な磁気フラックスロープが上空へと噴出される様子が再現された。

その一方で、擾乱として与えている浮上磁場の強さが、観測されている磁場の大きさに比べて大きいことや、フラックスロープの噴出の様子が観測と定性的にも一致しないなどの問題も残っており、今後は観測を説明するようなシミュレーションを展開していく必要がある。

【引用文献】

1. Matsumoto, T. "Self-Gravitational Magnetohydrodynamics with Adaptive Mesh Refinement for Protostellar Collapse" PASJ, 59, 905, 2007
2. Inoue, S., Magara, T., Pandey, V.S., "Nonlinear Force-Free Extrapolation of the Coronal Magnetic Field Based on the Magnetohydrodynamic Relaxation Method" The Astrophysical Journal 780, 101, 2014

【成果発表】

1. Satoshi Inoue, Daikou Shiota, Yumi Bamba, and Sung-Hong Park, "Magnetohydrodynamic Modeling of a Solar Eruption Associated with X9.3 Flare Observed in Active Region 12673" The Astrophysical Journal, 867, 1, 83 2018
2. S. Inoue, K. Kusano, T. Matsumoto, M. M. Woods, D. Shiota, Y. Bamba, & T. Miyoshi, "An Origin and Evolution of Solar Eruptive Flux Ropes" AGU Fall Meeting, Washington D. C., U.S., December 10-14
3. S. Inoue, K. Kusano, T. Matsumoto, J. Büchner, & J. Skala "Magnetohydrodynamic Modeling of a Solar Eruptive Flux Tube" Japan Geoscience Union (JPGU) 2018 Makuhari, Japan, 2018 May 20-24

目的

アジアダスト（黄砂）は、社会活動や自然環境に寄与する現象の一つであり、これまでに大規模なプロジェクトが行われ、物理、化学、生物など様々な側面から影響評価が行われている（例えば、Intergovernmental Panel on Climate Change や ADB-GEF [地球環境ファシリティ] 黄砂対策プロジェクトなど）。アジア大陸では、砂漠化、過放牧、過耕作や森林伐採などによって、アジアダストが生じ易い場となっている。このアジアダストに汚染物質付着やそれらによる変質・光化学汚染などが先行研究で観測されており、我々の環境場への影響を明確にすることが求められている。また、近年ではアジアダストにより、ウィルスなどの生物粒子であるバイオエアロゾル輸送の可能性が指摘されている。その一例として、2010年宮崎県での口蹄疫発生に黄砂が関与していることが真木ら（2011）により指摘している。この他に、Makiら（2010）は、黄砂バイオエアロゾルの長距離輸送について研究を行い、日本での観測事実を報告している。バイオエアロゾルを観測する試みは、幾つか存在しているが、ウィルスなどの生物起源物質の保存を考慮した大気場の過程や状況について考察している試みはほとんどない。そこで、本研究では、アジアダストに付着したウィルスなどの生物起源物質が大気場輸送中に保存される環境場について、つまり、アジアダストが凝結核となり、雲水、氷晶、雪などに変遷する雲物理過程を気象モデルやリモートセンシングデータから明らかにし、時空間的な拡散の変遷や多寡を理解する。また、黄砂発生のファクターの一つであるダストデビル生成についても考慮する。

研究方法

気象モデル CReSS やリモートセンシングデータ、ライダーデータを基に、実測と理論（モデル）の双方から、アジアダストの挙動について明らかにする。また、アジアダスト発生源であり、生物由来物質が集積しやすいドライレイクに着目し、同地域の起伏や表面温度、粗度長などを計測し、それらのデータを基にしたダストデビル発生に関する調査について、領域気象モデルを用いて行う。

結果と考察

気象モデル CReSS を用いてシミュレーション解析結果から、対象とするモンゴルゴビ砂漠地域において発生したアジアダストは、偏西風に乗り日本付近に到達することが求められた。同地域のライダーデータからも発生している様子が分かっている。また、人工衛星 CALIPSO データからもアジアダストの移動が認められた。発生源の標高は 1000m ほどであり、さらに境界層が深いことから偏西風に乗り、長距離移動が可能であることが推測できる。偏西風の指向や強さに依存して拡散の差異が考えられる。一方、境界層については、様々な条件があり、これらを分類し、詳細に調べる必要がある。その中で、下層から上昇へダストを運搬する事象の一つとしてダストデビルがある。特に、我々が対象としているドライレイク地域では、生物由来物質が集積しているため、研究を進める必要性が大きい。今回は、現地においてドローンにカメラと赤外線カメラを搭載し撮影を行い、空間的な場の把握を行った（2018年度 ISEE 国際共同研究）。現在は、これらを整理している段階であり、このローカルなシミュレーションを行うことが出来なかったが、今後進めていく予定である。

成果発表：

論文)

Buho HOSHINO, Yuki SOFUE, Yuta DEMURA, Tsedendamba PUREVSUREN, Morine KURIBAYASHI, Kenji BABA, Enkhtuvshin ZOLJARGAL, Katsuro HAGIWARA, Jun NODA, Keiichi KAWANO, Olaf KARTHAUS, Kenji KAI, Detection of dry lake beds formation and estimate of environmental regime shift in semi-arid region, 沙漠研究, 28(5) 109-113, 2018年

口頭発表)

馬場賢治, 松本珠季, 星野仏方, モンゴルゴビ砂漠ドライレイク・ワジにおける飛散実験解析, 第6回大気エアロゾルシンポジウム, 北海道大学, 2018年11月9日

千年スケールの気候変動における海洋モード水の役割
The role of oceanic mode water
in millennial-scale climate variations

相木 秀則, 名古屋大学・宇宙地球環境研究所

研究目的

海洋のモード水とは冬季の冷却によって形成された背の高い海洋混合層が、夏季の加熱によって亜表層に閉じ込められた水塊のことであり、気候変動のメモリー効果を探る指標になっている。地球上の気候システムは、太陽放射によるエネルギー入力の変動と、地球上の大気水圏の固有周期及び、人為起源の温室効果ガス排出の相互関係によって成り立っている。この相互関係の詳細な解明は、名古屋大学宇宙地球環境研究所の主要ミッションのうちの1つである。地球上の大気水圏系の固有周期のうち、氷河期/間氷期に次いで長いサイクルを持つのが、海洋の深層循環であり、世界の大洋を一巡するのに2千年かかる。その出発点であるグリーンランド沖から沈み込んだ高塩低温水は、大西洋子午面循環 (AMOC: Atlantic Meridional Overturning Circulation) の一部となるのであるが、その短期変動 (10年スケール) は、海面水温を通して世界各地の気候に影響を与えていることが近年の研究によってわかってきた。一方で、産業革命以降の地球温暖化にともなう北極海の海水面積の減少にともなって、AMOCは減衰傾向にあり、その影響予測が盛んに研究されている。太平洋・インド洋では海洋中層循環の必要性が、気候変動との関連において、しばしば指摘されており、北西太平洋における貯熱量増加との相互関係の解明が急がれている。

研究内容

本研究で使用した大気海洋陸域結合全球モデルLOVECLIMは、ベルギーの研究グループが開発した簡易数値気候モデルEMIC (Earth-System Model of Intermediate Complexity) である。LOVECLIMを名大の大型計算機CXシステム上で動かしたところ、千年積分/計算時間1日程度で実行することができた。本研究では、海水の状態方程式がモード水の鉛直構造や地理学的分布にどのような影響を及ぼすのかを調べた。海水の状態方程式とは水温、塩分、圧力を入力値として海水の密度を出力する関数のことである。この関数は物性解析から求められた複雑な多項式によって表され、LOVECLIMにはEckart (1958)の式が採用されていた。海水の状態方程式を解釈しやすいように、Vallis (2006)が次のように近似式を提出した。

$$\frac{\rho^{Vallis2006}}{\rho_0} - 1 = \frac{gZ}{c^2} - \alpha(1 + \gamma_B Z)(\Theta - 10) - \frac{\gamma_C}{2}(\Theta - 10)^2 + \beta(S - 35)$$

$$c = 1500, \quad \alpha = 1.67 \times 10^{-4}, \quad \beta = 0.78 \times 10^{-3}, \quad \gamma_B = 1.1179 \times 10^{-4}, \quad \gamma_C = 1 \times 10^{-5}$$

ここで海水の密度 $\rho^{Vallis2006}(\Theta, S, Z)$ は、水温 Θ 、塩分 S 、深さ Z の関数になっている。 ρ_0 と c は海水の基準密度と水中の音速を表す。水温が低いほど密度が高く性質は α によって表され、塩分が高いほど密度が高くなる性質は β によって表される。 γ_B は圧力依存性に関する非線形効果 (thermobaricity) を表す。 γ_C は温度依存性に関する非線形効果 (cabbeling) を表す。本研究では LOVECLIM に Vallis (2006) の状態方程式を実装し、cabbeling の効果が太平洋、大西洋、南大洋のモード水の形成にどのような影響を与えるのかを考察した。

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、惑星の温室効果ガスの流出に及ぼす影響を調査する。

【研究方法】

火星探査機MAVEN搭載の中性大気イオン質量分析器および紫外観測器によって観測された火星熱圏の大気重力波活動度の高度分布と緯度経度分布の成因を解明すべく、誘導磁気圏側からの降込イオンフラックスと火星下層大気・中層大気・下部熱圏の大気大循環モデル (GCM) から得られた大気重力波のスペクトル情報を入力値として、火星熱圏DSMCシミュレーションを実行する。そして励起された音波と大気重力波の組成ごとの振幅や位相差の高度分布特性を解析し、それぞれの波動モードの特定を試みる。そして、それぞれの波動モードの飽和と散逸が、熱圏におけるO, CO_2 , N_2 , Hなどの密度や温度の高度分布にどのような影響を与えるかを定量的に調査する。

DSMCシミュレーションでは分子の平均自由行程を分解する必要があるため、本計算の下側境界 (高度130km) では10m程度の空間分解能で計算格子を配置する必要がある。数100kmの波長をもつ大気重力波を再現するためには、下側境界で数10000程度の格子点数を用い、かつ各格子には数10以上の粒子数を用いる必要がある。本計算では2次元の熱圏DSMCモデルを用い、空間的に変化する格子構造を採用している。

【研究結果】

平成30年度は、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、励起された音波と大気重力波の組成ごとの振幅や位相差の高度分布特性を解析した。そしてそれらを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擾乱生成のどちらがより観測を説明するかを調査した。その結果、誘導磁気圏側からの降込イオンは大気重力波のみならず音波モードも生成している可能性が高く、 CO_2 と N_2 の擾乱振幅比は観測と逆センスになる場所が多いことを示した。本結果は、火星の上部熱圏で多数観測される大気擾乱は、主に下層大気から伝搬する大気重力波に起因することを示唆する。

【成果発表】

(学会・研究会発表)

- 寺田直樹, 寺田香織, 中川広務, 黒田剛史, 火星外圏における大気重力波の DSMC 計算, 気象学会 2018 年度秋季大会, 仙台国際センター, 2018 年 10 月 29 日~11 月 1 日.
- 寺田直樹, 寺田香織, 中川広務, 黒田剛史, 藤原均, 関華奈子, On generation, propagation, and dissipation of gravity waves in the Martian upper atmosphere, 日本地球惑星科学連合 2018 年大会, 幕張メッセ, 2018 年 5 月 20~24 日.

8. データベース作成共同研究 目次詳細

(所属・職名は平成31年3月現在)

研究代表者 Principal Investigator	所属機関 Affiliation	所属部局 Department	職名 Position	研究課題名 Project Title	頁 Page
大川隆志	気象庁地磁気観測所	技術課	技術課長	アナログ時代に遡る高時間分解能地磁気デジタルデータベース	384
大矢浩代	千葉大学	大学院工学研究院	助教	AVON-LF/VLFデータのデータベース化	386
吉川 顕正	九州大学	国際宇宙天気科学・ 教育センター	准教授	MAGDAS/CPMNデータのデータベース化	387
渡邊 堯	情報通信研究機構	統合ビッグデータ研 究センター	招聘専門員	宇宙線WDCデータベース	388
難波謙二	福島大学	環境放射能研究所	教授	福島第一原発事故に関わる放射能・放射線メタ データベースの構築と公開	389

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、柿岡の1924～1925年と女満別の1969年（合計3年分）のアナログマグネトグラムについてデジタル画像化を行った。

気象庁地磁気観測所の職員が、1日毎に記録されているアナログマグネトグラムをすべてチェックし、日付に抜けがないか、欠測や異常値が含まれていないか、また、感度測定のための人為的信号が含まれる時刻等を確認した。その後、マグネトグラム1,085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30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

○飯野英樹、地殻活動・火山活動のための地磁気基準観測、全磁力精密観測のデータベース化、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」平成30年度成果報告シンポジウム、東京大学武田先端知ビル内・武田ホール、平成31年3月14日

5. その他

アナログマグネトグラムのチェックには多大な手間がかかるため、本共同研究に明示的には関わっていない地磁気観測所職員も参加した。

地磁気観測所ホームページ「デジタルデータサービス」において、本共同研究に関連する日本語ページ（「地磁気：アナログ印画紙記録画像」及び「地磁気：毎分値の一部と7.5秒値」）では、下記の共同研究の成果を含むことを表示している。

- ・平成26, 27年度名古屋大学太陽地球環境研究所 所外データベース作成共同研究
- ・平成28, 29, 30年度名古屋大学宇宙地球環境研究所 データベース作成共同研究

また、同サイトの本共同研究に関連する英語ページでは、「the Joint Research Program of the Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE), Nagoya University」の成果を含むことを表示している。

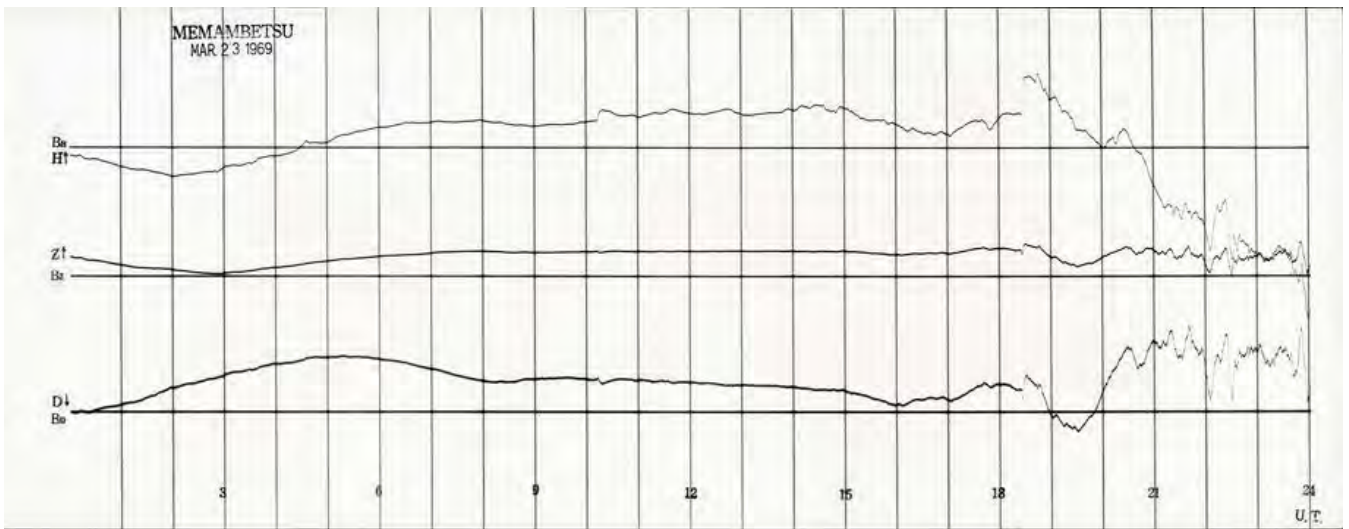
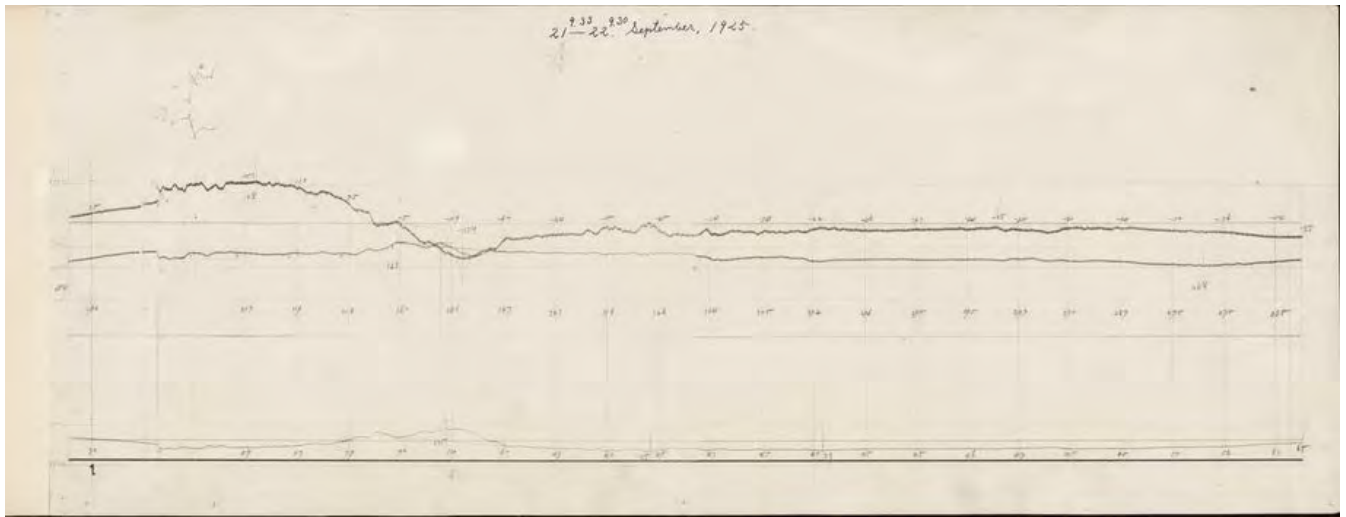


図1 デジタル画像化されたアナログマグネトグラムの例
 水平成分(H)、鉛直成分(Z)、偏角(D)の変化が記録されている。日時はUTC。
 上：柿岡 1925年9月21日02時15分に急始磁気嵐発生
 下：女満別 1969年3月23日18時26分に急始磁気嵐発生

	Year	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010
柿岡	アナログ マグネトグラム				1924 → 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 ----->	2019年		
	(既存)毎秒値							1983 ----->	2019年		
女満別	アナログ マグネトグラム						1969 1975 1974 1984 ↑ デジタル画像化+数値化				
	(既存)毎分値						デジタル画像化	1985 ----->	2019年		
	(既存)毎秒値								1997 -->	2019年	
鹿屋	アナログ マグネトグラム						1970 1975 1974 1984 ↑ デジタル画像化+数値化				
	(既存)毎分値						デジタル画像化	1985 ----->	2019年		
	(既存)毎秒値								1996 --->	2019年	

図2 平成30年度までに実施されたアナログマグネトグラムのデジタル化作業のまとめ。
 デジタル画像及び数値化(毎分値、7.5秒値)したデータは全て公開している。

AVON-LF/VLFデータのデータベース化
Data archives of the AVON-LF/VLF observation network

大矢 浩代、千葉大学・大学院工学研究院

1. 研究目的

本研究目的は、東南アジアVLF帯電磁波観測ネットワーク(AVON)で得られた広帯域水平磁場2成分(南北および東西方向, 0-10 kHz)と、LF/VLF帯標準電波(22.2-68.5 kHz)の強度および位相データのデータベース作成である。水平磁場2成分およびLF帯標準電波のサンプリング周波数は、それぞれ20 kHz と 200 kHz であり、水平磁場2成分については、生波形とダイナミックスペクトルを、LF/VLF帯標準電波は最高で0.1秒分解能の振幅・位相データを、IUGONETを通して公開する。本課題で作成するデータベースにより、東南アジアを中心とした主に中低緯度帯のD領域・下部E領域電離圏研究に貢献できる。その理由は、AVONが東南アジアにおける初めての雷観測ネットワークであり、雷を起源とし、電離圏下端で反射しながら伝搬するtweek空電を非常に数多く受信でき、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30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。

3. 作成したデータベース名

[1] AVON/VLF-B tweek data

(IUGONET)、<http://search.iugonet.org/search.jsp?keyword=AVON&cid01=101>

[2] Standard radio wave phase-amplitude variation data (IUGONET)、

<http://search.iugonet.org/search.jsp?keyword=standard%20radio%20wave&cid01=101>

成果発表

[1] (Invited) **Ohya, H.**, K. Nakamori, Y. Suzuki, M. Kamogawa, T. Suzuki, T. Takano, T. Takamura, K. Morotomi, K. Yamashita, and H. Nakata, Effects of cloud, lightning activities and snowfall on atmospheric electric field using 95-GHz cloud radar FALCON-I, JpGU2018, Chiba, 20 May, 2018.

[2] **Ohya, H.**, K. Nakamori, M. Kamogawa, T. Suzuki, T. Takano, K. Morotomi, H. Nakata, and **K. Shiokawa**, Oscillations of atmospheric electric field during snowfall in the Kanto region, Japan, using a field mill and 95-GHz cloud radar FALCON-I, SGEPS 2018 Fall Meeting, Nagoya, 25 November, 2018.

[3] Maruyama, K., **H. Ohya**, **F. Tsuchiya**, K. Yamashita, Y. Takahashi, T. Takano, and H. Nakata, D-region ionospheric oscillations associated with eruptions of Sakurajima volcano, Japan, using LF transmitter signals, JpGU2019, Chiba, 22 May, 2018.

[4] 丸山慶, **大矢浩代**, **土屋史紀**, 山下幸三, 高橋幸弘, 中田裕之, 鷹野敏明, 火山噴火後のLF/VLF帯標準電波強度変動, 第144回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会、名古屋市、平成30年11月25日。

[5] 丸山慶, 庄子聖人, 大野夏樹, **大矢浩代**, **土屋史紀**, 津川卓也, 西岡未知, 山下幸三, 高橋幸弘, 中田裕之, 鷹野敏明, 火山噴火に伴うLF/VLF帯標準電波の強度変動, 日本大気電気学会第97回研究発表会、岐阜市、平成31年1月11日。

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のデータベースを作成・更新した。データベース作成のため、MAGDAS/CPMN 地磁気ネットワークの地磁気 3 成分 1 秒、1 分値に対し、絶対値校正と温度補正及び IAGA-2002 データ交換形式への変換をおこなった。また、MO などの旧式メディアに保存されているデータを読み取り、古いデータベースを更新した。これらの磁場データより、IUGONET 形式のメタデータ、1 日、3 日、7 日間のクイックルックプロット（磁場 3 成分ラインプロット、FFT スペクトログラム）を作成した。メタデータ、プロットは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) からの閲覧、データは SPEDAS (Space Physics Environment Data Analysis System) からの利用がそれぞれできるようになっている。さらに、現行の MAGDAS 磁力計で記録されている 10Hz サンプルングデータについて、別途データベース化をおこなった。この高時間分解能データは、Pi 1-2、Pc 1-2 に関するあらせ衛星との連携観測など、今後の発展的研究にて多くの利用が見込まれる。

宇宙線 W D C データベース
Database of WDC for Cosmic Rays (WDCCR)

渡邊 堯、国立研究開発法人情報通信研究機構・招聘専門員

研究目的

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/>）。また宇宙線中性子フラックスの変動を起こす太陽・惑星間空間現象、宇宙線の変動と地球環境との関連について研究を行う。

研究方法

世界各国の約 50ヶ所における宇宙線観測所から提供される中性子フラックス観測データ（1時間値）を、品質管理を経て既定のフォーマットによりデータベース化して公開するとともに、関連する太陽地球系観測データとの相関解析を行う。

研究結果

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が、フラックスの増加に伴い、従来からの観測データ整約の方法における問題点が顕在化する可能性が認められるため、今後の動向に注意したい。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、18-19世紀にかけて発生した太陽活動極小期（Dalton Minimum）において、地球規模での低温化と乾燥化による経済活動への影響が確認された。

成果発表

宇宙線データベースについては、年二回（2018年9月と2019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、宇宙線を含めた太陽活動関連の変動が地球環境や経済活動に及ぼす影響について、以下の研究発表を行っている。

T. Watanabe, Multidisciplinary Study of the Earth's Environment in 18th-19th Centuries - A Trial to find an Approach to the Open Data and Open Science, International Workshop on Data Science 2018, Mishima, 平成 30 年 11 月 12-15 日
渡邊 堯、18-19 世紀における自然環境と社会・経済の動向との関係（データによる文理融合研究の試行）、極地研究所、平成 31 年 2 月 22 日

福島第一原発事故に関わる放射能・放射線メタデータベースの構築と公開

Development of meta-database of radiation monitoring for Fukushima Dai-ichi reactor accident

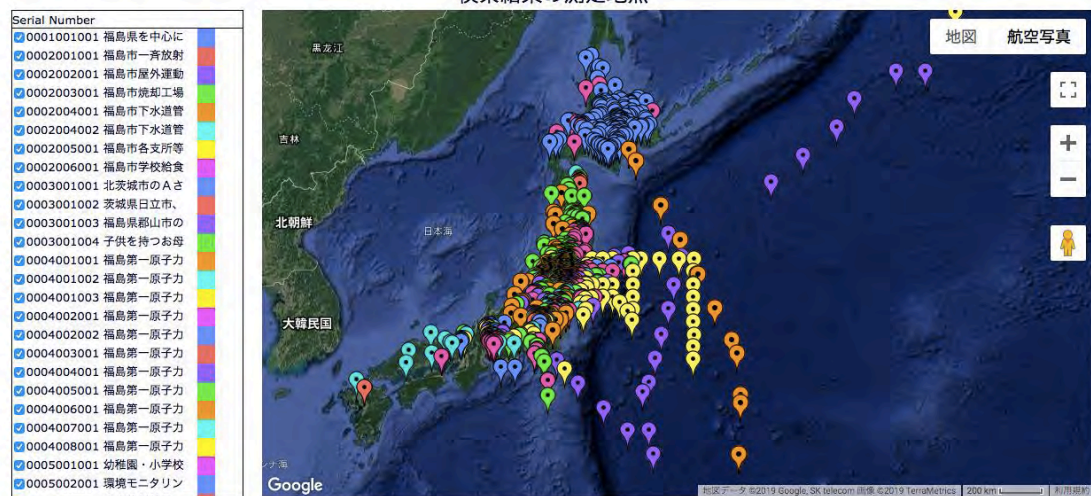
難波 謙二 福島大学・共生システム理工学類 教授

2011年3月に起こった福島第一原子力発電所事故により、大量の放射性物質が環境中に放出された。事故直後から様々な人々によって様々な測定が行われている。本研究では、民間企業、個人、研究者、NPO団体が行った放射能・放射線測定データ群を中心に、放射能・放射線測定メタデータをカタログ化し、測定量、測定日時、H27年からは、地点からデータの所在を検索可能なメタデータベースRADARC311として提供する。新学術領域「放射能環境動態」公募研究として、宇宙地球環境研究所が開発してきたIUGONETをベースにしてメタデータ検索システムが開発され限定公開されている。

本研究は学術会議総合工学委員会下の原発事故対応分科会の活動のひとつとして行われおり、本年度は、第24期の原発事故による環境汚染調査に関する検討小委員会を新たに設置し、2018年5月7日に第1回の会合を行って、放射能・放射線メタデータベースアーカイブズワーキンググループの再始動を決めた。6月24日に第1回ワーキンググループ会合を行って、第23期の活動方針を議論した。2019年2月12日には、第2回小委員会を開催して活動状況を報告した。

本年度におけるメタデータベースの開発成果としては、1) これまでに登録済みのメタデータの英語化、2) 新学術領域「福島原発事故により放出された放射性核種の環境動態に関する学際的研究」での成果のメタデータ登録、等を行った。図に2019年3月現在のメタデータ登録

検索結果の測定地点



all check/clear
チェックした Serial Number のみ表示します。

All Rights Reserved.
Copyright (c) 2016-19 RADARC

録済みの測定地点マップを示す。また、メタデータを保持するレポジトリサーバーPCと公開用検索サーバーのミラーを形成するサーバーPCの老朽化に伴い、ソフトウェア・ハードウェアの更新を行った。本共同利用経費の大半はこのサーバーPC更新に活用した。

福島原発事故に関わる情報・事項をアーカイブ、公開する他の関連アーカイブ機関との情報交換の場として、第2回福島アーカイブ連絡会を2019年3月28日に福島大学環境放射能研究所で開催した。会合には、福島県庁生涯教育課、ふくしま環境創造センター、日本原子力研究開発機構、福島大学うつくしまふくしま未来支援センター等の関連団体が集まり、各活動の紹介と情報交換を行った。また同日には、飯館村の状況を視察し、ふくしま再生の会への訪問も行った。

9. 加速器質量分析(共同利用) 目次詳細

(所属・職名は平成31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
窪田 薫	海洋研究開発機構	高知コア研究所	日本学術振興 会特別研究員 (PD)	長寿二枚貝殻を利用した北西太平洋の海水放射 性炭素濃度の復元	391
小元 久仁夫	元 日本大学	大学院理工学研究 科・文理学部	元教授	ビーチロック試料の正確な膠結年代の決定方法	392
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 Assistant Professor	永久凍土を利用した古環境復元の可能性	393
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	394
青木周司	東北大学	大学院理学研究科	教授	大気中二酸化炭素の放射性炭素同位体比の変動	395
太田充恒	産業技術総合研究所	地質情報研究部門	上級主任研究員	サンゴ・シャコ貝・石灰岩標準物質の ¹⁴ C測定	396
浅原良浩	名古屋大学	大学院環境学研究科	准教授	イラン北西部のタフテ・ソレイマーンおよび周 辺域のトラパーチンの炭素14分析	397
奥野 充	福岡大学	理学部地球圏科学科	教授	樹木試料による名古屋市と福岡市大気のスース 効果の評価	398
西本 寛	愛知大学	経済学部	准教授	能登半島中部に位置する縄文時代の真脇遺跡出 土遺物の14C年代による編年	399

(別紙様式9-1) 平成30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	くぼたかおる 窪田薫		
所属機関	海洋研究開発機構		
部局	高知コア研究所		
職名	外来研究員(日本学術振興会特別研究員PD)		
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:	長寿二枚貝殻を利用した北西太平洋の海水放射性炭素濃度の復元		
英文:	Reconstructions of seawater radiocarbon concentration in the western North Pacific using long-lived bivalve shells		
2. 研究体制			
氏名	所属機関	国	職名
白井厚太郎	東京大学大気海洋研究所	日本	准教授
清家弘治	産業技術総合研究所	日本	主任研究員
南雅代	名古屋大学宇宙地球環境研究所	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)			
岩手県船越湾で見つかった100歳以上の寿命を持つ珍しい二枚貝の一種ビノスガイ(<i>Mercenaria stimpsoni</i>)の殻を用いて、大気中核実験由来のBomb-14C曲線の復元を行なった。2018年度はこれまでに作成した記録のさらなる高時間解像度化に取り組んだ。さらに、船越湾の海底から採取した死殻の年代決定により、2011年3月の大津波の際にビノスガイが大量死していたことの証拠を得た。現在、国際誌に成果を報告すべく論文の執筆を進めているところである。			
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)			
Kubota, K., Shirai, K., Murakami-Sugihara, N., Seike, K., Tanabe, K., Minami, M., Nakamura, T. Bomb-14C Peak in the North Pacific Recorded in Long-lived Bivalve Shells (<i>Mercenaria stimpsoni</i>). <i>Journal of Geophysical Research -Oceans</i> 123. https://doi.org/10.1002/2017JC013678 (2018a).			
Shirai, K. Kubota, K., Murakami-Sugihara, N., Seike, K., Hakozaki, M., Tanabe, K. Stimpson's hard clam <i>Mercenaria stimpsoni</i> ; a multi-decadal climate recorder for the northwest Pacific coast. <i>Marine Environmental Research</i> 133, 49-56 (2018).			
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)			
窪田 薫, 白井 厚太郎, 杉原 奈央子, 清家 弘治, 棚部 一成, 南 雅代, 中村 俊夫. 長寿二枚貝殻を用いた古環境研究. 第13回バイオミネラルゼーションワークショップ(東京大学大気海洋研究所, 柏, 2018.11.9-10). ポスター.			
窪田 薫, 白井 厚太郎, 杉原 奈央子, 清家 弘治, 棚部 一成, 南 雅代, 中村 俊夫. 長寿二枚貝殻を用いた北日本の核実験起源14C記録の作成と古環境学的応用. 日本地球化学会2018年度年会(琉球大学, 2018.9.11-13)口頭.			
Kubota, K., Shirai, K., Murakami-Sugihara, N., Seike, K., M., Tanabe, K., Minami, M., Nakamura, T. North Pacific bomb-14C record reconstructed from long-lived bivalve shells and its application. The 23rd International Radiocarbon Conference (Trondheim, Norway, 2018.6.18). Poster.			
窪田 薫. 日本最長寿二枚貝の殻が記録する核実験の歴史と津波に伴う大量死. 日本地球惑星科学連合 連合大会 2018年大会 (2018.5.20-24, 幕張メッセ, 千葉). 招待講演			
窪田 薫, 白井 厚太郎, 杉原 奈央子, 清家 弘治, 棚部 一成, 南 雅代, 中村 俊夫. 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. 名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定研究部シンポジウム(名古屋大学, 2018.2.2-3). Oral.			
6. その他の成果リスト(著書、特許等)			
窪田 薫, 白井 厚太郎, 杉原 奈央子, 清家 弘治, 棚部 一成, 南 雅代, 中村 俊夫. 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(History of tsunami and atmospheric nuclear tests recorded in shells of bivalve that has the longest lifespan in Japan) 名古屋大学年代測定研究Ⅱ, 1-6 (2018).			

(別紙様式9-1) 平成30年度名古屋大学宇宙地球環境研究所「加速器質量分析装置等利用(共同利用)」報告書			
代表者氏名	おもと くにお 小元 久仁夫		
所属機関	元 日本大学		
部局	大学院理工学研究科・文理学部		
職名	元 教授		
下記の共同研究について、別紙のとおり報告します。			
記			
1. 研究課題名			
和文:	ビーチロック試料の正確な膠結年代の決定方法		
英文:	Development of Determination of Correct Concrete Age for Beachrock		
2. 研究体制			
	氏名	所属機関	国
	小元久仁夫	元日本大学	日本
	藁谷 哲也	日本大学	日本
	塩見 昌司	日本大学	日本
	南 雅代	名古屋大学	日本
3. 研究成果の概要(200字程度でまとめてください)			
研究目的はビーチロックの正確な膠結年代決定法の確立である。本年度は①礫岩質ビーチロックから膠結(セメント)物質採取法を考案し、②この方法により宮崎県島浦島から採取した試料のAMS ¹⁴ C年代測定を行った。③測定試料を元素分析し、CaCO ₃ が69%を占めることを確認した。④同一層序から採取した異種試料の年代差を調査するため宮古島から試料を採取しAMS ¹⁴ C年代測定を行った。			
4. 成果論文リスト(著者名、タイトル、雑誌名、巻号、ページまたはDoi、年、順番は入れ替え可)			
小元久仁夫・南 雅代・藁谷哲也・塩見昌司:ビーチロックの正確な膠結年代決定法の開発(予報)—宮崎県島浦島のビーチロックの形成年代—. 季刊地理学, 70(3), 143-144. 2018年.			
5. 学会発表リスト(著者名、タイトル、学会名、開催場所、年月日)			
小元久仁夫・南 雅代・藁谷哲也・塩見昌司:ビーチロックの正確な膠結年代決定法の開発(予報)—宮崎県島浦島のビーチロックの形成年代—. 東北地理学会. 宮城県仙台市東北大学理学部. 2018年5月19日.			
6. その他の成果リスト(著書、特許等)			
なし			

(別紙様式9-1) 平成30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
	岩花 剛	アラスカ大学	米国
	南 雅代	名古屋大学	日本
	檜山哲哉	名古屋大学	日本
	大野 浩	北見工業大学	日本
3. 研究成果の概要(200字程度でまとめてください)			
<p>永久凍土を利用した古環境復元に年代軸を与えるための試料中の様々な有機炭素を利用した放射性炭素年代測定と比較実験を実施した。IW形成年代の推定には、DOCや気泡中気体だけではなく、DIC年代も含めて比較した上で、他の地質学的、古環境学的情報と併せて総合的に考察する必要がある。我々の比較実験からは、大きな植物遺体が得られにくい地下氷の形成年代の推定において、放射性炭素年代測定の対象としてDICを利用することが有効であることが示された。</p>			
4. 成果論文リスト(著者名、タイトル、雑誌名、巻号、ページまたはDoi、年、順番は入れ替え可)			
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)			
佐藤里名・南 雅代・岩花 剛・檜山哲哉, 地下氷の高確度 ¹⁴ C年代決定手法の確立, 2018年度名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定研究シンポジウム, 名古屋, 2019年2月			
6. その他の成果リスト(著書、特許等)			

(別紙様式9-1) 平成30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	きとう 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 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)			
<p>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3年次の今年度は、群馬県の前橋泥流に加えて長野県側の塚原泥流と塩沢泥流も調査対象を含め、これらに含まれる火山岩塊のSr同位体比から泥流の起源と分布を特定し、泥流に埋没した木片の14C年代から山体崩壊の年代を解明した。これらの泥流は、最終氷期の約2.7万年前に、浅間火山の活動初期に存在した黒斑火山の崩壊により群馬・長野両県側に流下した国内でも過去最大級の山体崩壊を記録した堆積物と考えられる。</p>			
4. 成果論文リスト(著者名、タイトル、雑誌名、巻号、ページまたはDoi、年、順番は入れ替え可)			
佐藤興平・南 雅代・武者 巖・柴田 賢(2019)高崎の烏川に産する巨石「聖石」の起源。群馬県立自然史博物館研究報告書, No.23, 49-56.			
佐藤興平・南 雅代・中村俊夫・柴田 賢・安倍 久・武者 巖・池田信二(2019)火山泥流に含まれる木片の14C不一致年代:前橋泥流と塚原泥流の例。群馬県立自然史博物館研究報告書, No.23, 57-64.			
5. 学会発表リスト(著者名、タイトル、学会名、開催場所、年月日)			
6. その他の成果リスト(著書、特許等)			

(別紙様式9-1) 2019年度名古屋大学宇宙地球環境研究所「加速器質量分析装置等利用(共同利用)」報告書			
代表者氏名	あおき しゅうじ 青木周司		
所属機関	東北大学大学院		
部局	理学研究科		
職名	教授		
下記の共同研究について、別紙のとおり報告します。			
記			
1. 研究課題名			
和文	大気中二酸化炭素の放射性炭素同位体比の変動		
英文	Temporal and spatial variations of atmospheric 14CO2		
2. 研究体制 (宇宙地球環境研究所の担当教員を含めてください)			
氏名	所属機関	国	職名
青木 周司	東北大学		教授
森本 真司	東北大学		教授
南 雅代	名古屋大学		准教授
3. 研究成果の概要(200字程度でまとめてください)			
<p>1994年から2015年までに成層圏において大気球によって採取された大気試料の$\Delta 14CO_2$を分析・解析した。成層圏における$\Delta 14CO_2$の経年変化は単調減少ではなく、時期によって減少期と停滞期が見られた。この現象は宇宙線起源$14C$生成率の時間変化で説明できることが分かった。成層圏の$\Delta 14CO_2$とN_2O濃度の関係を用いて宇宙線起源の平均$14C$生成率を見積もったところ、$1.8 \pm 0.3 \times 10^{26}$ atoms/yearが得られた。また、$\Delta 14CO_2$観測値から推定した成層圏における大気の滞留時間は2.7-3.3年であった。</p>			
4. 成果論文リスト(著者名、タイトル、雑誌名、巻号、ページまたはDOI、年、順番は入れ替え可)			
なし			
5. 学会発表リスト(著者名、タイトル、学会名、開催場所、年月日)			
なし			
6. その他の成果リスト(著書、特許等)			

(別紙様式9-1) 平成30年度名古屋大学宇宙地球環境研究所「加速器質量分析装置等利用(共同利用)」報告書			
代表者氏名	おおたあつゆき 太田充恒		
所属機関	産業技術総合研究所		
部局	地質情報研究部門		
職名	上級主任研究員		
下記の共同研究について、別紙のとおり報告します。			
記			
1. 研究課題名			
和文:	サンゴ・シャコ貝・石灰岩標準物質の ¹⁴ C測定		
英文:	Measurement of ¹⁴ C in coral, giant clam, and limestone reference materials		
2. 研究体制			
氏名	所属機関	国	職名
太田 充恒	産業技術総合研究所	日本	上級主任研究者
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)			
<p>産業技術総合研究所地質調査総合センターが提供する炭酸塩標準物質中の¹⁴C、¹³C、¹²Cの存在比を決定した。現世炭酸塩鉱物である、JCh-1(ハマ珊瑚)・JCt-1(化石シャコ貝)は試料採取時に近い¹⁴C年代が得られた。しかし、¹⁴Cを含まない地質学的に古い物質であるJLs-1(三畳紀石灰岩),JDo-1(ペルム紀ドロマイト)に無視できない量の¹⁴Cが含まれることが明らかとなった。これは、標準物質の製造段階で大気中CO₂を吸収した可能性を示唆しており、¹⁴Cを含まないバックグラウンド補正用の標準試料としては利用できないことが明らかとなった。しかし、この結果から、¹⁴C freeの標準物質作成にあたっては、大気CO₂を含まないのN₂ページ下での厳密な管理下での製造過程が必要であることが分かり、今後の標準物質作成において重要な知見を得ることができた。</p>			
4. 成果論文リスト(著者名、タイトル、雑誌名、巻号、ページまたはDoi、年、順番は入れ替え可)			
5. 学会発表リスト(著者名、タイトル、学会名、開催場所、年月日)			
6. その他の成果リスト(著書、特許等)			

(別紙様式9-1) 平成30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	あきはら よしひろ 浅原 良浩		
所属機関	名古屋大学		
部局	大学院環境学研究科		
職名	准教授		
下記の共同研究について、別紙のとおり報告します。			
記			
1. 研究課題名			
和文:	イラン北西部のタフテ・ソレイマーンおよび周辺域のトラバーチンの炭素14分析		
英文:	14C analysis on travertine in Takht-e Soleyman and its surrounding area, NW Iran		
2. 研究体制			
氏名	所属機関	国	職名
浅原 良浩	名古屋大学	日本	准教授
RASOULI, Hadi	クルジスタン大学	イラン	Assistant professor
KURD, Mehdi	クルジスタン大学	イラン	Assistant professor
GHOLAMI, Sonia	クルジスタン大学	イラン	Assistant professor
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)			
<p>本研究は、イラン北西部に多産するトラバーチンの古環境復元試料としての可能性を検討する第1段階として、タフテ・ソレイマーン地域のトラバーチンの形成年代および形成速度の推定を試みた。具体的には、この地域の円錐状のトラバーチンの山から連続的に採取した25試料と湧水の3試料の14C年代測定を実施した。その結果、形成時期は約8000 BP～4000 BP、成長速度は5～20mm/yrと見積もられた。現時点では形成年代、成長速度ともに推定値の幅が大きく、今後追加分析も含め、詳細な検討を進めていく。</p>			
4. 成果論文リスト(著者名、タイトル、雑誌名、巻号、ページまたはDoi、年、順番は入れ替え可)			
5. 学会発表リスト(著者名、タイトル、学会名、開催場所、年月日)			
浅原良浩, 南雅代, ラズーリ ハディ, アジジ ホセイン. イラン北西部のザグロス山脈に分布する石灰質化学沈殿岩の現地調査報告 - 西アジアの古環境復元に向けて -. 新学術領域研究(研究領域提案型)「都市文明の本質: 古代西アジアにおける都市の発生と変容の学際研究」計画研究B01「古代西アジアをめぐる水と土と都市の相生・相克と都市鉱山の起源」2018年度報告会、筑波大学東京キャンパス、2019年2月23日.			
6. その他の成果リスト(著書、特許等)			
浅原良浩, 南雅代, ラズーリ ハディ, アジジ ホセイン (2019) 西アジアの古環境復元に向けて—イラン北西部のザグロス山脈に分布する石灰質化学沈殿岩の現地調査報告. 新学術領域研究(研究領域提案型)「都市文明の本質: 古代西アジアにおける都市の発生と変容の学際研究」研究成果報告2018年度, 143-148.			

(別紙様式9-1) 平成30年度名古屋大学宇宙地球環境研究所「加速器質量分析装置等利用(共同利用)」報告書			
代表者氏名	おくの みつる 奥野 充		
所属機関	福岡大学		
部局	理学部地球圏科学科		
職名	教授		
下記の共同研究について、別紙のとおり報告します。			
記			
1. 研究課題名			
和文:	樹木試料による名古屋市と福岡市大気のスース効果の評価		
英文:	Evaluation of Suess effect for atmospheric CO2 in Nagoya and Fukuoka cities by tree samples		
2. 研究体制			
氏名	所属機関	国	職名
奥野 充	福岡大学	日本	教授
中村 俊夫	名古屋大学	日本	招へい教員(名誉教授)
北川浩之	名古屋大学	日本	教授
南 雅代	名古屋大学	日本	准教授
3. 研究成果の概要(200字程度でまとめてください)			
1983年から大学周辺大気の大気自動車排気ガス等による汚染の程度や状況を調査する目的として、キャンパス内の松葉を採集しその14C濃度経年変動を調査している。大気中CO2濃度の増加は、化石燃料の燃焼により生成されたCO2による増加であるが、その増加傾向は、大気中CO2の14C濃度の減少傾向と調和している。また、都市部などで大気汚染が危惧される処では、化石燃料の消費が著しく、そこで生育した葉片は明らかにSuess効果が大きいことが明確になってきている。			
4. 成果論文リスト(著者名、タイトル、雑誌名、巻号、ページまたはDoi、年、順番は入れ替え可)			
なし			
5. 学会発表リスト(著者名、タイトル、学会名、開催場所、年月日)			
なし			
6. その他の成果リスト(著書、特許等)			
なし			

(別紙様式9-1) 平成30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	にしもとひろるし 西本 寛
所属機関	愛知大学
部局	経済学部
職名	准教授

下記の共同研究について、別紙のとおり報告します。

記

1. 研究課題名

和文:	能登半島中部に位置する縄文時代の真脇遺跡出土遺物の14C年代による編年
英文:	Chronological study by 14C analyses of archeological remains excavated from the Mawaki aite in the middle of Noto Peninsula.

2. 研究体制

氏名	所属機関	国	職名
西本 寛	愛知大学	日本	准教授
中村 俊夫	名古屋大学	日本	招へい教員(名誉教授)
北川浩之	名古屋大学	日本	教授
南 雅代	名古屋大学	日本	准教授

3. 研究成果の概要(200字程度でまとめてください)

近年、石川県能登半島中部に位置する真脇遺跡において、約400 m² の調査区内に縄文時代晩期の50本もの木柱根が検出された。そのうち、これまでアテ材を使った環状木柱列ではないかと考えられていた木柱群は、7本柱の建物跡と判明した。その他にも掘立柱建物となる遺構も確認されている。この7本の木柱の14C年代測定を行ったところ、紀元前1400年前後の年代が得られた。現在、この年代測定結果を考古学上の知見と比較検討している。これらの50本もの木柱の相互関係を調べるために、他の木柱の年代測定を進めている。

4. 成果論文リスト(著者名、タイトル、雑誌名、巻号、ページまたはDoi、年、順番は入れ替え可)

なし

5. 学会発表リスト(著者名、タイトル、学会名、開催場所、年月日)

なし

6. その他の成果リスト(著書、特許等)

なし

10. 加速器質量分析(委託測定)

- ・ 8 件の申請が有り、そのうち、8 件の測定（340 個）が完了済みである。
- ・ 報告書については割愛。