平成 28 年度
（2016 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

１．国際共同研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1 ～ 50

２．ISEE International Joint Research Program・・・・・・・・・・・・ 51 ～ 61

３．国際ワークショップ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・62 ～ 66

４．一般共同研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・67 ～ 245

５．奨励共同研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 246 ～ 255

６．研究集会・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・256 ～ 343

７．計算機利用共同研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・344 ～ 392

８．データベース作成共同研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 393 ～ 411

９．加速器質量分析装置等利用(共同利用)・・・・・・・・・・・・・・・・412 ～ 454

１０．加速器質量分析装置等利用(委託測定)・・・・・・・・・・・・・・・455

１.国際共同研究 目次詳細

（所属・職名は平成29年3月現在）

研究代表者	所属機関	所属部局	職名	研究課題名	頁
笠羽　康正	東北大学	大学院理学研究科・地球物理学専攻	教授	ハワイ展開する小口径望光赤外遠鏡群と電波望遠鏡群・軌道上望遠鏡群・惑星探査機による木星・火星・金星大気上下結合の研究	1
岩花　剛	アラスカ大学	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	3
淺原　良浩	名古屋大学	環境学研究科	講師	Chibanian（千葉時代）の地球磁場逆転にかかるテクタイトの精密年代測定	5
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	7
大矢　浩代	千葉大学	大学院工学研究科	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	11
宗像　一起	信州大学	理学部	教授	改良された汎世界的宇宙線観測ネットワークによる宇宙天気の観測	13
纐纈　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	16
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	主幹研究員	複数衛星系・複数周波数GNSS信号に対するプラズマバブルの影響評価	18
藤本　晶子	九州大学	国際宇宙天気科学・教育センター	学術研究員	電離圏電場と地上磁場同時観測に基づくグローバルPc5波動の研究	20
小島　浩司	愛知工業大学	工学部	客員教授	宇宙線で探る太陽風擾乱の空間構造	22
土屋　史紀	東北大学	大学院理学研究科	助教	高エネルギー電子降下領域の時空間発展の実証的研究	25
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	27
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	29
吉川　顕正	九州大学	国際宇宙天気科学・教育センター	講師	赤道域地磁気変動の稠密観測に基づく太陽地球環境変動モニタリングシステムの開発	31
尾花　由紀	大阪電気通信大学	工学部基礎理工学科	講師	プラズマ圏質量密度の長期モニタリングと経度比較研究	34
寺尾　徹	香川大学	教育学部	教授	インド亜大陸北東部モンスーンの変動メカニズムの解明	36
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面爆発のメカニズム	37
平原　靖大	名古屋大学	環境学研究科	准教授	ALMAアーカイブデータによるタイタン大気の化学組成と変動要因の解明	39

研究代表者	所属機関	所属部局	職名	研究課題名	頁
Tsun-Thai Chai	Tunku Abdul Rahman University	Department of Chemical Science, Faculty of Science	Associate Professor	スズ鉱山跡地に生育する植物の環境修復能力の比較	41
高橋　透	情報・システム研究機構 国立極地研究所	研究教育系宙空圏研究グループ	特任研究員	脈動オーロラによる中間圏ナトリウム密度減少の観測	43
八代　誠司	米国カトリック大学	物理学科	助教	噴出型フレアと非噴出型フレアの包括的な比較研究	45
坂野井　健	東北大学	大学院理学研究科	准教授	衛星搭載イメージング光学系用バッフル・ベーンの設計と開発	47
芳原　容英	電気通信大学	情報・ネットワーク工学専攻	教授	東南アジアにおけるELF帯電磁波観測を用いた、大規模雷の電気的、時空間特性に関する研究	49

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

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

笠羽　康正、東北大学・大学院理学研究科・地球物理学専攻

１．研究目的

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

本研究計画は惑星探査機群や惑星専用望遠鏡衛星 Hisaki を支える国際地上観測ネットワークの一翼である．米 Juno 探査機に対しては強力な国際地上観測網が組まれたが、日本の光赤外・電波地上観測は長期継続性の点でユニークな一翼を占めた。金星・火星についても同様で、またプロポーザル採択を要する大型望遠鏡群（ハワイ：IRTF 3m、アタカマ：ALMA サブミリ波干渉計、NASA/DLR 成層圏航空機望遠鏡 SOFIA など）の活用にも成功した．

２．研究方法・結果

(1)木星： 2014 年来イオトーラスの全体構造・EUV 分光情報と UV オーロラ全発光量の長期データを蓄積する Hisaki 紫外線望遠鏡衛星，2016/7 に軌道投入され 5-6 月には太陽風モニター・磁気圏モニターとしてそれ以降は極軌道を巡る「深部・低層～超高層大気」「極上空を含む内部-中間磁気圏」の初探査を行う Juno 探査機を支える観測を実施．木星システム研究を ERG 等による地球システム研究と同時並行に比較できる重要機会を我々に提供した．

イオ火山活動に起因する中性ガス大規模構造分布（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）を長期継続観測により，イオ火山活動度

とイオトーラスへの物質供給量の指標，中性ガス電離で生成される磁気圏プラズマ供給量の指標をえて，「ひさき」によるプラズマトーラス密度・温度推定および紫外線オーロラ全発光量と合わせ、磁気圏マスローディング推定量提供の基礎を形成した．また，この観測を支える熱圏-電離圏-磁気圏結合に伴う電流・ポテンシャルモデル開発も併せて進めた．木星・土星圏での重要現象「衛星内部からの水放出」の継続的観測につながる水分子イオンを捉えるVisible高分散分光器の開発・活用も開始することができた．電波観測設備では，放射線帯を観測する東北大IPRT 30m電波望遠鏡の長期観測結果を磁気圏・オーロラ・大気光変動と連携させつつある．また、6月・2-3月にはIRTF 3m・SUBARU 8mで海外研究者と共同観測し，オーロラ・大気光・熱発光のスポットデータの取得にも成功した．

(2) 火星：火星探査機MAVENによる紫外線リモート観測と磁場・粒子In-situ観測を組み合わせで超高層大気観測・大気散逸観測が本格化している．2016年度は60cm望遠鏡に冷凍機駆動による「中間赤外線レーザーheterodyne 分光器・２号機」の装着作業・試験観測を実施した。本観測装置はNASA/GSFCおよびケルン大グループと共同開発し、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、液体窒素を不要とする２号機でより柔軟な遠隔運用を可能とした．これにより，2017 年度から高～低高度の密度・温度・速度場データと結合させ、下層の大気擾乱（最大級は「ダストストーム」）の超高層大気変動との相関を追跡し、火星大気の対流圏～中間圏～熱圏・電離圏結合に対する示唆を得る準備となった．また既に進めてきた Mars Express および 2017 末に観測が本格化する Mars Trace Gas Orbiterの赤外線分光観測から得られる大気水平・鉛直分布データとの結合のため、サブミリ波干渉計ALMA,航空機搭載赤外望遠鏡SOFIAとの短期大型地上観測との連携も実施した．

(3)金星 ：金星探査機 Akatsuki とともに火星同様の分光観測の準備を行うとともに，Subaru/COMICSによる中間赤外線同時観測を実現させた．また2017年度開始予定の千葉工大カメラによる連携観測の準備を進めた．これらは地球大気光を用いた大気上下間結合研究に比するものであり、また「地球のありえた過去・ありえる未来の姿」「磁場がないため太陽活動により翻弄される姿」という視点へ資することで、本コミュニティによる地球-金星-火星の「兄弟比較惑星学」推進の礎の１つとなるものである。

(4) ハレアカラ観測施設整備 ：40cm/60cm 望遠鏡群の運用整備を継続実施するとともに、本経費により研究者を現地長期派遣し，ハワイ大等と建設を進める 1.8m 惑星/系外惑星望遠鏡PLANETS推進に現地で寄与した。後者に搭載予定の可視分光偏光観測機DiPol2による系外惑星試験観測も継続し、その開発に寄与した。

４．成果発表

様式1-1を参照されたい．

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

代表：岩花　剛、アラスカ大学・国際北極圏研究センター
共同研究者：檜山哲哉・Ahn Jinho・A.N.Fedorov・斉藤和之

（研究目的）

近年、地球温暖化によって融解が危惧される永久凍土は、有機炭素や地下氷の巨大な貯蔵庫であり、第五次 IPCC 報告書では炭素循環における大きな不確定要素としてこの永久凍土変動を理解する重要性が強調されている。含氷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、中央ヤクーチアを中心とした最も大規模なエドマ層の分布域を対象として、地下氷およびエドマ堆積物を採取し、凍土中の有機物や水の同位体を利用した古環境復元を実施することを目的とする。

（研究方法と進捗状況）

本年度予定されていた永久凍土研究試料の採取は予定通りに完了した。2016 年 9 月までにアラスカ北部を対象とした複数地点において、露頭やトンネルの壁面からコアラーやチェーンソーを利用したサンプリングを実施した（図１）。2016 年 9－10 月には、東シベリア・ヤクーツク近郊における同様のサンプリングを実施した。得られた試料は、氷脈分布を記述し、一部を蒸発の影響がないように融解させて、アラスカ大学安定同位体計測施設にて抽出した水の酸素・水素安定同位体比を測定した。また、試料を凍結乾燥させ、前後の質量と体積から含氷率を求めた。永久凍土試料のガス成分は水上置換で捕集し、ガス含有量を測定するとともに、ガス組成分析を行った。アラスカの試料の一部について、ガスクロマトグラフおよび安定同位体比質量分析装置を用いて、温室効果ガスの濃度と安定同位体組成を測定した。また、ヤクーツクの試料については、現地で 41 のガスサンプルを抽出して輸出許可を待つ段階である。この内 13 サンプルについては、試料を 2 つ用意してモスクワ大学の共同研究者によって予備的なメタン濃度分析が実施された。

これまでに採取した試料のうち、地下氷の一部を冷凍乾燥させ、残留した固形物から有機物を採取して炭素年代測定の依頼分析を行った。H28 年度中には、試料の一部について研究代表者が宇宙地球環境研究所の受け入れ研究者（檜山哲哉教授・南雅代准教授・池田晃子技術員）の協力と指導の下、氷試料中の堆積有機物、堆積物中の無機炭素、溶存無機炭素（DIC）についての前処理と二酸化炭素精製を名古屋大学年代測定部の実験設備を利用

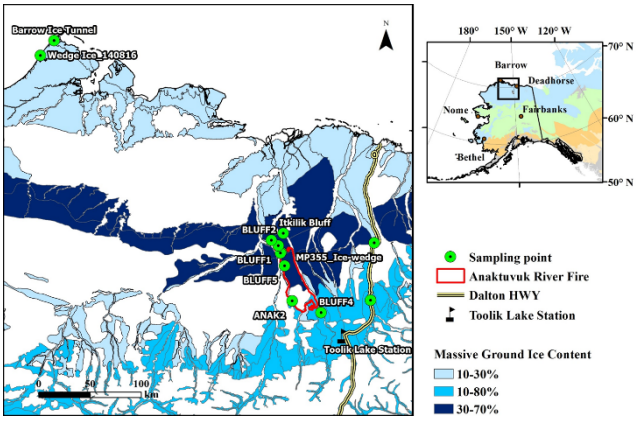


図１　地下氷採取地点（緑マーカー）の位置図

して実施した。来年度にかけて、引き続き試料のグラファイト化を実施し、AMS 加速器によって放射性炭素同位体比を測定して年代を決定する予定である。

（研究結果と考察）

アラスカの地下氷から抽出した気体成分のメタン濃度は、各サイトの平均値として 50 – 14,000 ppm と大きな空間変動を示した。凍土中の気泡体積は地下氷中で 3 – 5 %、堆積凍土中で 1%程度である。一方、シベリアの 13 試料については、これまでの文献値と同様に、メタン濃度が 1 – 16 ppm とアラスカの試料に比べて非常に低い値を採ることが分かった。

アラスカの試料については、一部依頼分析によって大まかな年代を把握した。今回対象とした永久凍土試料は、更新世中後期から完新世前期まで様々な年代を示したが、メタン濃度との明確な対応は見られなかった。しかし、メタン濃度が非常に低かった Itkilik サイトとシベリアのサンプリング地点の年代が 2－3 万年前と考えられ、同様の気候・水文環境において類似したプロセスにより地下氷中の気泡が形成された可能性がある。エドマ氷の形成は更新世の中後期あるいは完新世前期の寒冷期に集中していた。

一方、アラスカ・スワード半島の Kougarok サイトで採取した約 1.5m の永久凍土コアについて氷脈分布、含氷率、有機物含有量および水安定同位体比のプロファイルを得た。この分析からは、火災を経験したツンドラの永久凍土層が一時的に融解し、その時点まで保存されていた比較的古い地下氷が、最近天水と入れ替わり、新たな永久凍土層を形成していることが示唆された。また、含氷率プロファイルや水安定同位体の分別シグナルから古水文環境の変化についての情報が永久凍土中に保持されている可能性を指摘した（Iwahana et al., 2016：別紙様式 0-1 参照）。こうした永久凍土から得られる過去の水文環境情報は、来年度以降実施予定の炭素年代測定結果と併せて永久凍土を用いた古環境復元の可能性についての検討に利用する。

（まとめ）

3 年計画の第一年目として、これまでの予備調査による試料の分析により、対象地点の古水文情報の一部が明らかにした。また、新たにアラスカ・シベリアでの試料採取に成功し、一部は地球雪氷学的・地球化学的分析および放射性炭素年代測定のための試料調整を実施中である。依頼分析による試料の年代測定の結果から、採取したエドマ氷の形成年代は、更新世中後期と完新世前期に大きく分けられることがわかった。H29 年度以降に得られる年代測定情報と古環境情報から、永久凍土を用いた古環境復元の可能性について考察する。

Chibanian（千葉時代）の地球磁場逆転にかかるテクタイトの精密年代測定
Precise dating of tektite possibly related to Chibanian magnetic reversal

研究代表者：淺原良浩、名古屋大学・環境学研究科
研究協力者：李　承求、韓国地質資源研究院
：田中　剛、名古屋大学・宇宙地球環境研
：南　雅代、名古屋大学・宇宙地球環境研

＜研究目的＞

千葉県房総半島上総層群中に地磁気の逆転層が見出されている。その中の火山灰層から、約 77 万年の精細な U-Pb 放射年代が得られ、それらを含む地質時代に「千葉時代」の命名が期待されている [1)]。なぜこの時代に地磁気の逆転が起こったか？　同時期には、もうひとつ地球史上の大事件が知られている。それは東南アジアからオーストラリアにかけてのテクタイトシャワーである。

テクタイトは、隕石の種類のひとつと考えられた時期もあったが、現在ではその化学組成や同位体組成から、地球の物質が何らかの衝撃で数十キロメートルの高空に打ち上げられ溶融し、再度地表に落下したものと考えられている。世界に４ヶ所知られているテクタイトの落下地域のうち、本申請研究で扱う東南アジア、オーストラリアに跨がるものが大規模で最も若く、その溶融（落下）年代として、70〜75 万年の K-Ar 年代、Ar-Ar 年代が報告されている [2)]。しかしながら、この年代値は、約 40 年前のやや古い測定値であり、大きな誤差を含んでいる。

落下したテクタイトの総量はジャワ島だけでも１億トンを下らないといわれ [3)]、それを打ち上げた天体落下の衝撃の巨大さが推し量られる。“地球の永久磁石は、衝撃により磁区の並びが乱れ、磁界が弱まる。”巨大天体が地球に与えた大衝撃による地球磁場の擾乱の可能性やそのメカニズムについては、その専門の方々の研究に俟つとして、本申請研究では、地磁気の逆転時期の年代 77 万年と、これまでに得られているテクタイトの生成年代の差が事実なのか、あるいは『同時』なのか、を最新の年代測定技術により、複数のテクタイト試料についてより厳密に確認する。

＜試料と研究方法＞

本研究の試料となり得るテクタイトは、フィリピン、インドネシア、ベトナム、タイ、ラオス，中国南部からオーストラリア一帯および、その周辺海域に広く見出される。最近は類似のテクタイトが北米大陸にまで分布しているとの調査結果も出されている [4)]。本研究では、テクタイト分布地域の中央となるベトナムおよびタイからそれぞれ２個のテクタイト、計４試料を分析対象とした。タイのテクタイトは、テクタイトの希ガスを研究された、大阪大学名誉教授の松田准一先生から頂いたもので、ベトナムのテクタイトは、地学標本を扱っているニチカ（京都）から購入したものである。

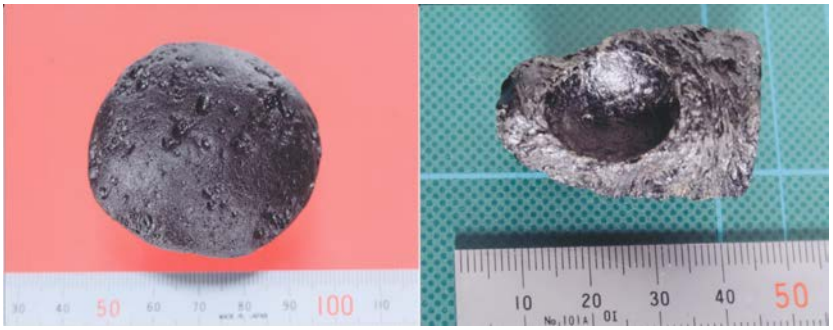


図 1：本研究で分析したテクタイト。左はベトナム産 約 80 g、右はタイ産 約 20 g。タイ産のテクタイトは、上部に凹みがある。これは、地上の礫などの上にテクタイトが未固結の状態で落下したことにより形成された雌型と考えられる。

テクタイトは、粘板岩化学組成のガラスであるが、原岩が完全に溶融しなかった融け残り岩片を含むテクタイトは、K-Ar 年代測定法ではより古い岩片の影響が残る。本研究ではそのチェックも含め、韓国地質資源研究院でテクタイトの薄片を作成し、偏光顕微鏡下で内部構造をチェックした。副屈折を示す明るい斑点が多数見られたが、これらの多くは薄片作成時に取り込まれた塵埃と思われ、テクタイトの内部に不均質は認められなかった [5)]。

テクタイト試料は蒸留水に浸し、超音波洗浄後に風乾し、瑪瑙乳鉢を用いて粉砕した。K-Ar 放射年代測定に用いることから、1 mm の篩、0.5 mm の篩、0.25 mm の篩を重ね、１〜0.5 mm、0.5〜0.25 mm、0.25 mm 以下、の３フラクションを回収した。粗い２つのフラクションは、K-Ar 年代測定に、0.25 mm 以下の細粒フラクションは、さらに細粉化し、化学分析に用いた。

＜結果＞

韓国地質資源研究院の蛍光 X 線分析装置を用いて主成分元素組成を、韓国地質資源研究院の ICP-MS (Perkin Elmer Nex ION 350X 型)および名古屋大学環境学研究科の ICP-MS（Agilent 7700x）を用いて微量元素組成を測定した。両地域のテクタイトについて得られた主要成分元素、微量成分元素の組成は相互に類似しており、東アジアのテクタイトの化学組成に極めて近い、一般的な化学組成を持つことが判明した [5)]。

上述のように 1.0〜0.5 mm および 0.5〜0.25 mm の粒度にそろえたテクタイト試料を、年代測定のためのアルゴン（Ar）の同位体分析に用いた。アルゴンの分析は、韓国極地研究所（KOPRI）の希ガス同位体分析室（長尾研究室）においてなされた。分析結果を年代値とともに表 1 に示す。

表 1：テクタイトの K-Ar 年代測定の結果。

Sample (grain size)	Sample used	Pottasium	error	$[^{36}Ar]$	error	$^{40}Ar/^{36}Ar$	error	$[^{40}Ar\text{-}rad]$	error	**K-Ar age**	error	Air-fraction
	mg	wt.%		10^{-9} cc/g				10^{-9} cc/g		Ma		%
Thai (1.0–0.5 mm)	367.51	2.11	0.11	0.092	0.010	814.8	129.6	47.42	0.60	**0.579**	0.073	36.6
Thai (0.5–0.25 mm)	428.88	2.11	0.11	0.122	0.013	699.2	106.9	48.76	0.58	**0.595**	0.073	42.6
Vietnam (1.0–0.5 mm)	458.74	1.99	0.10	0.125	0.013	1156.2	176.7	106.83	1.26	**1.382**	0.171	25.7
Vietnam (0.5–0.25 mm)	281.25	1.99	0.10	0.142	0.016	621.9	99.1	45.80	0.61	**0.593**	0.076	47.9

5% error is assumed for K concentrations.

いずれの分析においても、^{36}Ar から推計される大気アルゴンの含有量は少量であった。タイの２試料とベトナムの 0.5 mm〜0.25 mm の試料の K-Ar 年代値は 60 万年で、良く一致している。しかしながら、ベトナムの 1.0〜0.5 mm のより粗粒な試料は、138 万年と古い年代値を示す。これは、試料の一部分に融け残り岩片が含まれていたことによると考えられる。

＜考察・まとめ＞

テクタイトの衝撃形成年代を求める事を目的として、タイおよびベトナムからのテクタイト計４試料の化学組成と K-Ar 放射年代測定を行った。今回分析したテクタイトの２つの産出地域は 100 km 以上離れているにも関わらず、19 微量元素をふくむ化学組成は相互に類似していることが判った。K-Ar 放射年代は 60 万年であり、既発表値 [2, 4)] よりやや若い年代であった。ベトナムのテクタイトの一測定は、138 万年と際立って古い年代を与えたが、これは融け残り物質が存在したことによると考えられる。得られた値が既発表値よりやや若いことから、落下年代の地域的変化の有無を探るため、オーストラリア／東南アジアのテクタイトを含めたより詳細な年代測定が望まれる。

＜文献＞

1) Suganuma, Y., Okada, M., Horie, K., Kaiden, H., Takehara, M., Senda, R., Kimura, J-I., Kawamura, K., Haneda, Y., Kazaoka, O. and Head, M.-J. (2015) Age of Matsuyama-Brunhes boundary constrained by U-Pb zircon dating of a widespread tephra. *Geology* **43**, 491-494.

2) O'Keefe, J.A. (1976) Tektites and Their Origin. Elsevier, Amsterdam, pp.254.

3) 松田准一（2008）テクタイト：松田准一・坎本尚義共編　地球化学講座 第２巻『宇宙・惑星化学』　第６章 p.190-208，培風館 pp. 291.

4) Schwarz, W. H., Trieloff, M., Bollinger, K., Gantert, N., Fernandes, V. A., Meyer, H.-P., Povenmire, H., Jessberger, E. K., Gugliemino, M. and Koeberl, C. (2016) Coeval ages of Australasian, Central American and Western Canadian tektites reveal multiple impacts 790 ka ago. *Geochim. Cosmochim. Acta* **178**, 307-319.

5) 淺原良浩，Lee Seung-Gu，南 雅代，Choi Jisu，長尾敬介，田中 剛（2016）松山 - ブルン地磁気逆転期とテクタイト衝撃形成期の年代比較．名古屋大学年代測定研究 **I**，72-77.

＜2016 年度に行った成果の発表＞

淺原良浩，Lee Seung-Gu，南 雅代，Choi Jisu，長尾敬介，田中 剛 (2017) 松山 - ブリュンヌ地磁気逆転期とテクタイト衝撃形成期の年代学的比較研究．第29回（2016年）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（名古屋大学宇宙地球環境研究所，2017年１月30〜31日）口頭発表.

淺原良浩，Lee Seung-Gu，南 雅代，Choi Jisu，長尾敬介，田中 剛（2016）松山 - ブルン地磁気逆転期とテクタイト衝撃形成期の年代比較．名古屋大学年代測定研究 **I**，72-77.

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

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

研究代表者　藤原　均，成蹊大学・理工学部

共同研究者

野澤悟徳　名古屋大学・宇宙地球環境研究所

三好勉信　九州大学・大学院理学研究院

小川泰信　国立極地研究所

Chris Hall　ノルウェー北極大学

研究目的

極域熱圏・電離圏領域，特に極冠域での熱圏・電離圏は極めて複雑に変動することが，これまでの観測から明らかとなっている（例えば，Innis and Conde, 2001； Lühr et al., 2004; Liu et al., 2005; Fujiwara et al., AnGeo 2007; Carlson et al.,2012; Fujiwara et al., EPS 2012, AnGeo 2014)。これらの研究によって提起された極冠域での熱圏・電離圏変動の研究課題の主なものは，例えば，以下のとおりである。

1) 下層大気，オーロラ帯において励起された大気波動・擾乱が極冠域においてどの程度の振幅を持ち，維持,又は消滅するのか？ 擾乱の励起源は何か？

2) 高温の中性大気・プラズマを生成するための極冠域でのエネルギー源は？

3) 極冠域での高速中性風，プラズマ流の生成機構は？

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上記課題に取り組んできた。特に，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。例えば，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)。

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）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, ロングイヤ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, その成因を明らかにする。上記総合観測に加え, 極域へのエネルギー流入と熱圏・電離圏変動との関係を GCM シミュレーションにより精査する。

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, 及びナトリウムライダー等により電離圏, 熱圏大気温度変動を観測する。これらの観測に基づき, 広範な緯度領域での昼側電離圏の高速プラズマ流と加熱について定量的に理解する。また, GCM シミュレーションにより, 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

昨年度に引き続き, 藤原、野澤、小川がトロムソに赴き、2017 年 3 月 14 日、27 日に EISCAT 特別実験を実施した。当初、連続した 2 日間に ESR と KST の同時観測を実施する予定であったが、3 月 14 日に ESR 送信機不具合が発生したため、この日は KST 観測のみを実施し、残る 1 日の実験は ESR の復旧後、3/27 に実施した（観測時間はともに 7:00UT~13:00 UT)。

3 月 14 日、観測期間中の太陽・地磁気活動度は以下の通りであった。太陽 F10.7 指数 : 70, Kp 指数: 0-1。今回のデータは, 太陽活動極小, 地磁気静穏時のデータの例としてこれまでのデータ、GCM 計算結果とあわせて詳細な解析を実施する予定である（ロングイヤビン、トロムソともに静穏な電離圏が観測されているときの下層大気起源と思われる大気重力波のシグナルを詳細に解析する)。3/27 には磁気嵐が発生し、Kp～5-6 となった。地磁気擾乱時のデータは当研究グループでの観測例は 2012 年以来であり、局冠域とオーロラ帯での電離圏擾乱の特徴を調べる上で極めて有効と考えている。

EISCAT 観測に加えて、下層大気と熱圏・電離圏との結合過程について調べるために、トロムソにて Na 観測を実施した。また, トロムソ Na ライダーを用いた上部成層圏大気温度の導出手法の開発を進めるとともに, 下部熱圏における中性大気温度とイオン温度との比較研究を実施した。

これまでに得られたデータ, 及び GCM シミュレーションから, 地磁気静穏時における昼側極域電離圏・熱圏変動について以下が示された。

(1) カスプ近傍の電離圏では, 地磁気活動静穏時においても高速イオン流やジュール加熱が存在する。
Kp～1-2 程度のコンディションにおいても, ロングイヤビン北部では高温, 高速イオン流の領域が常に現れる一方で, トロムソ上空では静穏な電離圏状態となっている。これらは, オーロラオーバルが収縮した際の昼側極域電離圏の特徴と考えられる。
(2) 電離圏が静穏な状態のとき, ロングイヤビン近傍やトロムソ上空において, 下方から伝播してきたと考えられる大気重力波のシグナルが常に得られる。

上記の性質は, 地磁気静穏時の昼側極域電離圏の特徴であり, 磁気圏からのエネルギー流入や下層大気からの変動の影響が常に電離圏に及んでいることを示すものである。

本研究課題に関連した成果発表

論文発表

T. Takahashi, K. Hosokawa, S. Nozawa, T. T. Tsuda, Y. Ogawa, M. Tsutsumi Y. Hiraki, H. Fuji wara, T. D. Kawahara, N. Saito, S. Wada, T. Kawabata, and C. Hall, Depletion of mesospheric sodium during extended period of pulsating aurora, Journal of Geophysical Research: Space Physics, 122, 1212-1220, doi:10.1002/2016JA023472, 2017.

学会発表等

招待講演

Miyoshi, Y., H. Jin,H., H. Fujiwara, Shinagawa, Behavior of Gravity waves in the thermosphere simulated by high resolution GAIA,JpGU 2016 meeting, Makuhari Messe, Chiba, 22 May- 26 May, 2016.

Miyoshi, Y., H. Fujiwara, H. Jin,H., Shinagawa, Vertical propagation of gravity waves in the thermosphere simulated by GAIA,International Symposium on the Whole Atmosphere (ISWA), Tokyo, 14 September-16 September, 2016.

一般講演

Hitoshi Fujiwara・Yasunobu Miyoshi・Hidekatsu Jin・Hiroyuki Shinagawa・Satonori Nozawa・Yasunobu Ogawa・Ryuho Kataoka・Huixin Liu, Studies of the thermosphere and ionosphere with the EISCAT radar and whole atmosphere/ionosphere model: GAIA, 地球惑星科学関連学会連合大会, 5 月, 幕張, 2016.

品川 裕之・陣 英克・三好 勉信・藤原 均・横山 竜宏・大塚 雄一, Occurrence probability of plasma bubbles deduced from GAIA simulation data, 地球惑星科学関連学会連合大会, 5 月, 幕張, 2016.

陣 英克・三好 勉信・藤原 均・品川 裕之・垰 千尋, Development of a whole at mosphere-ionosphere model GAIA for higher accuracy and its application toward data assimilation modeling, 地球惑星科学関連学会連合大会, 5 月, 幕張, 2016.

野澤 悟徳・小川 泰信・津田 卓雄・藤原 均・堤 雅基・ホール クリス・ブハート ステファン・斎藤 徳人・和田 智之・川原 琢也・高橋 透・川端 哲也・日比野 辰哉・滝田 真太郎・ブレッケ アスゲイル, Variations of the polar lower thermosphere and mesosphere in February 2016 using EISCAT radar, meteor radar, MF radar, and sodium LIDAR observations, 地球惑星科学関連学会連合大会, 5 月, 幕張, 2016.

Hitoshi Fujiwara・Satonori Nozawa・Yasunobu Ogawa・Ryuho Kataoka・Yasunobu Miyoshi・Hidekatsu Jin・Hiroyuki Shinagawa・Huixin Liu, Ionospheric weather in the dayside polar cap region, 地球惑星科学関連学会連合大会, 5 月, 幕張, 2016.

垰 千尋・陣 英克・品川 裕之・藤原 均・三好 勉信, 全球大気モデル GAIA による中低緯度熱圏・電離圏ダイナミクスの主磁場依存性, 地球惑星科学関連学会連合大会, 5 月, 幕張, 2016.

陣 英克・三好 勉信・藤原 均・品川 裕之, Tidal variabilities and their effects on the upper atmosphere during stratospheric sudden warmings studied with a long-term whole atmosphereionosphere simulation, 地球惑星科学関連学会連合大会, 5 月, 幕張, 2016.

藤原 均・三好 勉信・陣 英克・品川 裕之, 地球・惑星超高層大気微量成分のモデリング研究, H28 年度名古屋大学宇宙地球環境研究所 研究集会「STE シミュレーション研究会 -太陽地球惑星系探査とシミュレーション研究-」, 8 月 31 日～9 月 2 日, 東北大学, 2016.

藤原 均・三好勉信・東尾奈々, 宇宙機・宇宙デブリ軌道予測のための宇宙環境モデリング研究, 第 60 回宇宙科学技術連合講演会, 9 月, 函館アリーナ, 2016.

藤原 均・三好 勉信・陣 英克・品川 裕之・Liu Huixin・松村 充, 中間圏・熱圏での大気微量成分のモデリング研究, 第 140 回地球電磁気・地球惑星圏学会, 9 月 19 日-23 日, 九州大学伊都キャンパス, 2016.

陣 英克・三好 勉信・藤原 均・品川 裕之・垰 千尋, 大気圏電離圏シミュレーションを用いた大気上下結合の解析および精度改良に向けた取り組み, 第 140 回地球電磁気・地球惑星圏学会, 9 月 19 日-23 日, 九州大学伊都キャンパス, 2016.

垰 千尋・陣 英克・品川 裕之・藤原 均・三好 勉信, 全球大気モデル GAIA による中低緯度熱圏・電離圏ダイナミクスへの主磁場強度の役割, 第 140 回地球電磁気・地球惑星圏学会, 9 月 19 日-23 日, 九州大学伊都キャンパス, 2016.

野澤 悟徳・小川 泰信・津田 卓雄・藤原 均・堤 雅基・三好 勉信・Hall Chris・Buchert Stephan C.・斎藤 徳人・和田 智之・川原 琢也・高橋 透・川端 哲也・Brekke Asgeir, 成層圏突然昇温にともなう北極域下部熱圏・中間圏変動, 第 140 回地球電磁気・地球惑星圏学会, 9 月 19 日-23 日, 九州大学伊都キャンパス, 2016.

三好 勉信・陣 英克・藤原 均・品川 裕之, 重力波が熱圏・電離圏におよぼす影響について, 第 140 回地球電磁気・地球惑星圏学会, 9 月 19 日-23 日, 九州大学伊都キャンパス, 2016.

松村 充・塩川 和夫・品川 裕之・陣 英克・藤原 均・三好 勉信, GAIA モデルを用いた太陽フレアに対する電離圏応答のシミュレーション, 第 140 回地球電磁気・地球惑星圏学会, 9 月 19 日-23 日, 九州大学伊都キャンパス, 2016.

品川 裕之・陣 英克・三好 勉信・藤原 均・横山 竜宏・大塚 雄一, GAIA の長期シミュレーションデータから推定するプラズマバブル発生特性, 第 140 回地球電磁気・地球惑星圏学会, 9 月 19 日-23 日, 九州大学伊都キャンパス, 2016.

藤原 均・三好勉信・陣 英克・品川裕之・野澤悟徳・小川泰信・片岡龍峰・Huixin Liu, 地球・惑星熱圏大気の研究, 名古屋大学宇宙地球環境研究所 研究集会, 12 月 26 日～28 日, 立教大学, 2016.

藤原均・三好勉信・陣英克・品川裕之, 中間圏・下部熱圏大気微量成分の光化学モデル開発, 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」, 1 月 26 日～27 日, 学, 名古屋大学, 2017.

Hitoshi Fujiwara・Yasunobu Miyoshi・Hidekatsu Jin・Hiroyuki Shinagawa, Satonori Nozawa・Yasunobu Ogawa・Ryuho Kataoka・Liu Huixin, Variations of the polar thermosphere and ionosphere revealed from the EISCAT radar observations and whole atmosphere GCM simulations, Small workshop and group discussion before PSTEP-2, March 21-22, Kyoto University, 2017.

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・大学院工学研究科

1．研究目的

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

2.　観測

平成 28 年度は 3 年計画の 1 年次であり，まずは大気電場と雲との相関を調べるため，国内の大気電場と雲の同時観測を開始した。2016 年 6 月 1 日に，千葉大学西千葉キャンパス内工学系総合研究棟 2 の屋上（海抜約 55 m）にフィールドミル（Boltek 社，EFM-100）を設置し，大気電場の定常観測を開始した（図 1)。その隣に，雲の光学観測のため全天カメラを設置した（図 2)。フィールドミルから約 76m の地点で,95GHz雲レーダ FALCON-I が雲の反射強度やドップラー速度の定常観測を行っている(図3)。FALCON－I は気象で通常使用される X バンドレーダ(9 GHz)より送信周波数が一桁高いため，空間分解能がよく，雲のより細かい内部構造や雨粒の高度，雲からの落下状況を詳しく知ることができる。



図 1　フィールドミルの概観



図 2　全天カメラ



図 3　FALCON-I

3.　研究結果

3-1 雲量自動検出プログラムの開発と観測結果

全天カメラにより取得される雲画像の RGB 値を解析し、雲量を自動推定するプログラムを作成した。2016 年 6-11 月のうち 6 日間の雨でなかった日の大気電場と雲量との相関を取ったところ、雲量が多いと大気電場が小さくなる傾向が確認された（図 4)。雲量が多いと雲によってシールドされ、大気電場が減少したと考えられる。また、雲量が多いとき、大気電場の分散が小さかった。

3-2 雷接近時の大気電場変動

2016 年 7 月 4 日 08:30 UT から 10:30 UT に、雷雲接近による大気電場変動が確認された（図 5）。この大気電場変動から、雷雲の接近・通過に伴い変化した正に増加、負に減少、正に増加の全体的変動と、急激なパルス状の変動の 2 パターンの変動が見られた。前者からは、通常考えられている雷雲位置と大気電場変動の関係とは異なる結果が得られた。本イベントでは、アンビルが真上に来ると下向き大気電場が増加し、降雨時に上向き大気電場が増加した。これはアンビル中の正電荷からの影響であると考えられる。後者では、大気電場がピーク値を取ったのは 12 点であった。これは近隣で発生した雷の影響であると考えられる。

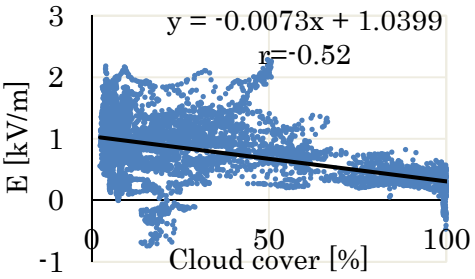


図 4　大気電場と雲量との相関

3-3　降雪時の大気電場変動

2016 年 11 月 23 日の降雪時に，千葉大と柿岡の両方で，似たような周期の大気電場振動が見られた（図 6）。千葉大では約 73 分と 55 分，柿岡では約 98 分と 54 分の周期性がある。この原因について，今後 FALCON-I で得られたレーダ反射因子の周期解析を行い，調べる予定である。

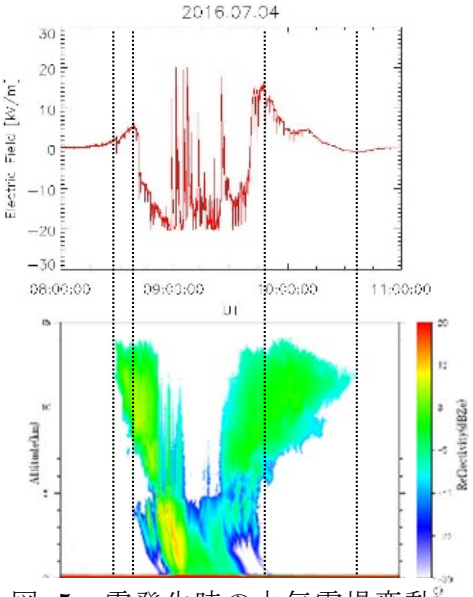


図 5　雷発生時の大気電場変動（上）および FALCON-I によるレーダ反射因子（下）

成果発表

[1] 中森広太，鈴木康樹，大矢浩代，鷹野敏明，河村洋平，中田裕之，フィールドミルによる大気電場および 95GH z 雲レーダ FALCON-I による雲の同時観測の初期結果，第 140 回地球電磁気･地球惑星圏学会講演会，福岡，2016 年 11 月 21 日

[2] 中森広太，鈴木康樹，大矢浩代，鷹野敏明，河村洋平，中田裕之，山下幸三，フィールドミルによる大気電場と全天カメラおよび 95GH z 雲レーダ FALCON-I による雲の同時観測，日本大気電気学会，神戸，2017 年 1 月 5 日

[3] 大矢浩代，中森広太，鈴木康樹，中田裕之，鷹野敏明，山下幸三，大気電場と 95GH z 雲レーダ FALCON-I による雲との同時観測，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，福岡，2017 年 3 月 15 日

[4] K. Yamashita, Y. Kubono, Y. Takahashi, J. Hamada, J. Matsumoto, Study on early detection of thunderstorm based on electromagnetic measurement in ELF-VLF band, Japan Geoscience Union 2016,Chiba (Japan), 2016 年 5 月 24 日

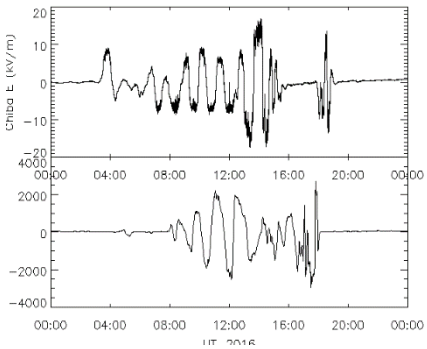


図 6　降雪時の千葉大（上）および柿岡（下）の大気電場変動

[5] 山下幸三，高橋幸弘，増田拓，岩男辰雄，虫明一彦，ELF-VLF 帯電磁界計測に基づいた雷放電観測による積乱雲早期検知の検討，第１０回 MU レーダー・赤道大気レーダーシンポジウム，宇治，2016 年 9 月 9 日

[6] 森永 洋介、土屋 史紀*、小原 隆博、三澤 浩昭、本間 規泰、佐藤 光輝、大矢 浩代，北陸冬季雷が下部電離圏に及ぼす影響，日本地球惑星科学連合 連合大会 2016 年大会，幕張（幕張メッセ），2016 年 5 月 22 日

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

宗像一起　信州大学・理学部

インドの大型ミューオン計GRAPE3は、2015年6月22日の大地磁気嵐に伴って約一時間だけ宇宙線強度が増加する「Cosmic Ray burst」を観測し、その原因が地球磁場の減少によるものと報告した（Mohanty et al., Phys. Rev. Lett., 117, 2016）。これに対してGMDNによる観測結果を解析した結果、このイベントで約１％の振幅の宇宙線異方性がIMFの反転に伴って位相を大きく変えたことが明らかとなった。すなわち、この変化により異方性の方向が視野に入った宇宙線計が、約１％の強度増加を観測したことになる。これまでGMDNによる観測結果は1時間単位で議論されることがほとんどであったが、GRAPE3が報告したような短時間の変化を正しく理解するためには、少なくとも1分値の観測が必要である。2016年3月にKuwait宇宙線の検出面積が拡張されたことに伴い、GMDNの全宇宙線計で1分値の観測を開始することができた（図１．参照）。

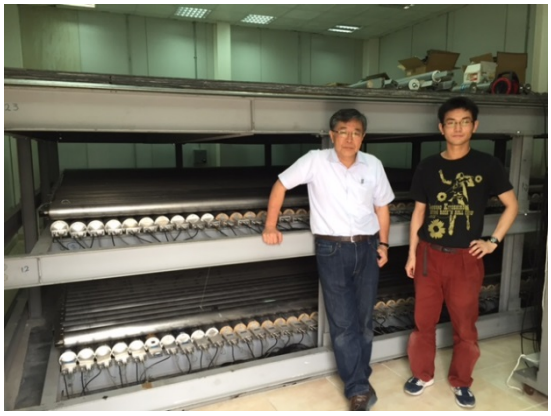


図１．　拡張されたKuwaitミューオン計

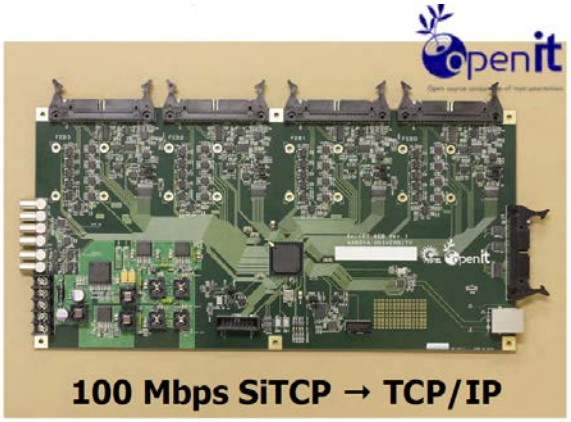


図２．SciCRT用新型データ計測基板

メキシコ・シエラネグラ山頂に設置されたSciCRT宇宙線計をミューオン計として利用するため、計数率の高いミューオンを少ない死時間で計測可能な新計測システムを開発してSciCRT宇宙線計に設置した（図２．参照）。新システムによる連続観測を開始し、現在その稼働状況を試験中である。

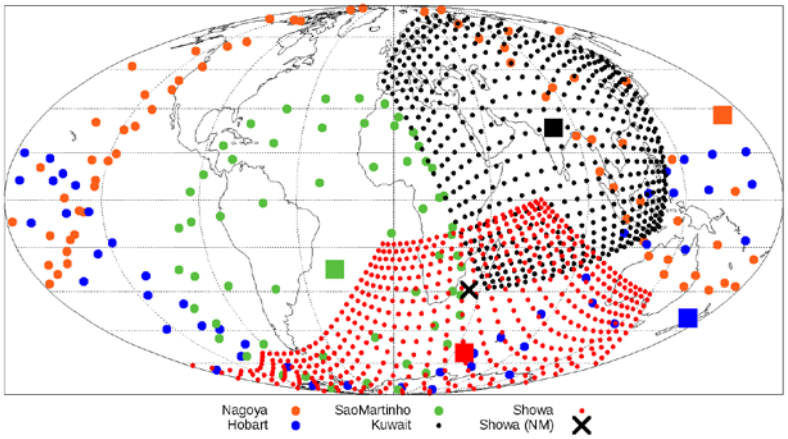


図３．南極昭和基地宇宙線計の磁気圏外宇宙における観測方向　●がミューオン計、×が中性子計による観測方向。●は Kuwait ミューオン計の観測方向を示す。

国立極地研究所の一般研究観測計画として、南極昭和基地での中性子モニターとミューオン計による宇宙線観測計画を開始した。昭和基地での中性子計とミューオン計による同地点・同時観測により、磁気圏外のほぼ同じ方向から入射する宇宙線量を、約５倍異なる二つのエネルギー領域で観測できる。また、同地点で観測される宇宙線は、大気中や地球磁気圏中でほぼ同じ経路を経て検出器に到達するため、大気変動や地磁気変動に対する応答の違いを正確に調べることも出来る。また、昭和基地ミューオン計による観測方向は、既存の GMDN のミューオン計によるものと良くオーバーラップしており、データの観測所間での較正も容易に行うことが出来る（図３．参照)。

論文成果リスト：

- Oriz et al., Observation of cosmic ray hadrons at the top of the Sierra Negra volcano in Mexico with the SciCRT prototype, Advances in Space Reaserach, 56, 201802025, 2016 (February 16).
- M. Kozai et al., Average spatial distribution of cosmic rays behind the interplanetary shock-- Global Muon Detector Network observations –, Astrophys. J., 825:100 (19pp), 2016 (July 10).
- R. R. S. Mendonça et al., Temperature effect in secondary cosmic rays (muons) observed at ground: analysis of the global muon detector network data, Astrophys. J., 830:88 (25pp), 2016 (October 20).

国内学会発表リスト：

- 佐々井義矩ほか、SciCRT による太陽中性子観測Ⅵ、日本物理学会第 71 回年次大会、東北学院大、2016 年 3 月 21 日（21pAZ-1）
- 土屋　暁ほか、SciCRT による太陽中性子観Ⅶ、日本物理学会第 71 回年次大会、東北学院大、2016 年 3 月 21 日（21pAZ-2）
- 中村佳昭ほか、SciCRT 検出器を用いた銀河宇宙線観測計画Ⅸ、日本物理学会第 71 回年次大会、東北学院大、2016 年 3 月 21 日（21pAZ-3）
- 佐々井義矩ほか、SciCRT による太陽中性子観測Ⅷ、日本物理学会 2016 年秋季大会、宮崎大、2016 年 9 月 24 日（24aSQ-3）
- 土屋　暁ほか、SciCRT による太陽中性子観測Ⅸ、日本物理学会 2016 年秋季大会、宮崎大、2016 年 9 月 24 日（24aSQ-4）
- 佐々井義矩ほか、SciCRT による太陽中性子観測Ⅹ、日本物理学会第 72 回年次大会、大阪大、2017 年 3 月 19 日（19pK41-2-3）
- 土屋　暁ほか、SciCRT による太陽中性子観測 XI、日本物理学会第 72 回年次大会、大阪大、2017 年 3 月 19 日（19pK41-2-4）

国際学会発表リスト：

- R. Mendosa et al., Observation of 45 years solar cycle modulation in the cosmic ray intensity observed by the Nagoya muon detector、IAUS328、Maresias (Brazil), 17-21 October, 2016（poster）.
- K. Munakata et al., Cosmic ray observations at Syowa Station in Antarctica for space weather study, The Seventh Symposium on Polar Science, Institute of Statistics and Mathematics, 29 November , 2016.

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

纐纈佑衣 （名古屋大学大学院環境学研究科）

【研究目的】

台湾は、約6.5 Maに始まり現在も続いているユーラシアプレートとフィリピン海プレートに属する火山弧の衝突によって、3000m級の山脈が連なる衝突型造山帯が形成されている。この台湾造山帯は非常に若い変成作用を被った造山帯であり、その変成条件と年代を制約する事は、現在進行形の造山運動の発達史を理解する上で、非常に重要な地域であると言える。台湾造山帯は、西から東に向かって変成度が上昇する事が知られているが、主に付加体堆積物から構成されているため、定量的な変成温度圧力条件の解析が困難であるとされていた。加えて、急峻な地形と植生のため、緻密な試料採取に基づく岩石学的分析が進んでいない。これまでの変成岩岩石学的研究は、主に変泥質岩中に産出する塩基性－超塩基性の岩体に着目し、その中に含まれる鉱物の化学組成を基にした、熱力学的変成条件の解析が主であったが、それらの岩体は周囲の変泥質岩とは異なる変成履歴をもつTectonic Blockとして解釈されてきた。しかし、近年の研究では、変泥質岩類も高変成度の変成作用を被っている可能性が指摘されている（Keyser et al., 2016）。また、Beyssac et al. (2007)は、近年開発された炭質物ラマン温度計を、炭質物を含む変泥質岩に適用し、大まかな温度構造を明らかにした。これらの先行研究によって、台湾造山帯の変成条件が次第に定量的に評価されるようになってきている。しかし、分析に用いられた試料は限られており、台湾造山帯全体の温度構造を議論するには不十分である。また、いくつかの研究において、砕屑性ジルコン年代や変成年代が報告されているが、こちらもデータが不十分であり、台湾造山帯の発達史の全容解明にはほど遠い状態である。本研究では、台湾の地質に精通しているChin-Ho Tsai准教授と協力し、炭質物ラマン温度計及びCHIME年代測定法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、主に炭質物ラマン温度計を用いた変成温度の見積り解析を行った。分析に用いたラマン分光装置は、名古屋大学大学院環境学研究科 地質・地球生物学講座に設置されているThermo Scientific社製のNicolet Almega XRを用いた。分析条件は、炭質物ラマン温度計について報告したAoya et al. (2010)に従い、532 nm Nd-YAGレーザーを用いて1点につき30秒の分析を行った。試料表面のレーザー照射強度は、約1mWに設定し、1試料につき30点以上を分析した。試料中に含まれる炭質物のラマン分光分析は、7月にChin-Ho Tsai准教授が来日した際に、2試料（Garnet zone C121107 , Albite zone F10803）について行った。得られたデータの解析は、榎並正樹教授と纐纈が行った。測定された炭質物ラマンスペクトルは、ピーク解析ソフトPeakFit ver.4.12 (SeaSolves Software Inc.)を用いて、G-band (~1580 cm^{-1}), D1-band (~1350 cm^{-1}), D2-band (~1620 cm^{-1}), D3-band (~1520 cm^{-1})にピーク分離し、炭質物ラマン温度計に用いられる面積比パラメーターR2 (=$[D1/(G+D1+D2)]_{Area}$)を算出した。最高到達温度は、Aoya et al. (2010)で報告されている下記の式(1)を用いて導出した。

$$T(^{\circ}\mathrm{C}) = 221 \times R2^2 - 637.1 \times R2 + 672.3 \quad (1)$$

【結果と考察】

共同研究を始めるにあたって、予備分析してあった試料（YL10N01）は、測定によって見積もられた温度が396℃から555℃まで幅広い温度を示した。また、平均温度は466℃であるものの、頻度分布で見ると、430℃付近と520℃付近にピークを持つバイモーダルな特徴を示した（図1）。そして、これら炭質物ラマン温度計によって得られた温度は、偏光顕微鏡下で観察される鉱物組合せと組織から予想される変成度よりも有意に高い温度条件であることが明らかとなった。一方、今年度に測定した2試料C121107とF10803は、予備分析試料と同様に、それぞれ387–617℃及び335–618℃の幅広い温度を示したが、明瞭なバイモーダルは示さず、470℃付近にピークを示した（図1）。

本年度は予定していた院生の来日が、日程の都合上できなかったため、分析試料が2試料にとどまった。予備分析の結果も含めて3試料で議論を進める事は困難であるが、炭質物ラマン温度計の適用が進んでいる他の変成帯（例えば西南日本三波川変成帯）の結果と比較すると、見積もられる温度範囲が幅広い事が特徴的である。これは、炭質物の反応速度を考慮すると、台湾造山帯が非常に若い事に起因していると考えられる。来年度はさらに分析試料数を増やす事で、台湾造山帯全体の温度構造並びに炭質物の反応速度についても考察を進めていく予定である。

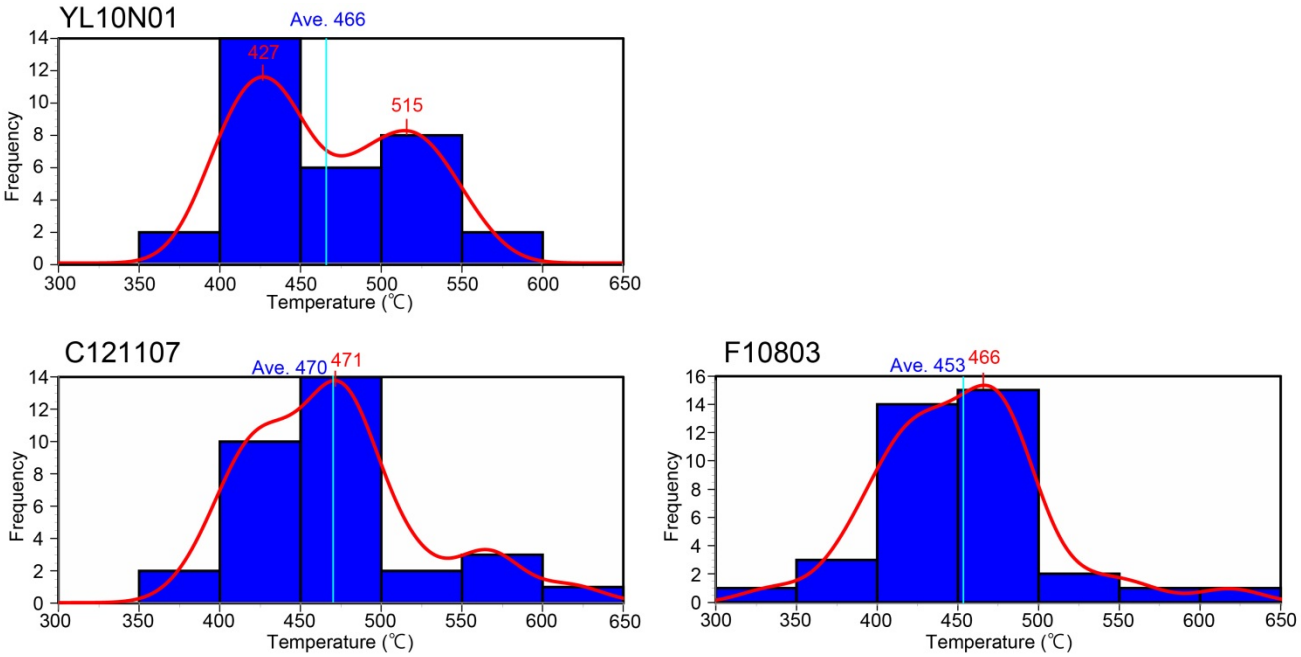


図 1 炭質物ラマン温度計を用いて見積もられた温度の頻度分布

【引用文献】

Aoya, M., Kouketsu, Y., Endo, S., Shimizu, H., Mizukami, T., Nakamura, D., Wallis, S., 2010. Extending the applicability of the Raman carbonaceous-material geothermometer using data from contact metamorphic rocks. Journal of Metamorphic Geology 28, 895–914.

Beyssac, O., Simoes, M., Avouac, J.P., Farley, K. A., Chen, Y.G., Chan, Y.C., Goffé, B., 2007. Late Cenozoic metamorphic evolution and exhumation of Taiwan. Tectonics 26, TC6001, doi:10.1029/2006TC002064

Keyser, W., Tsai, C.-H., Iizuka, Y., Oberhänsli, R., Ernst, W.G., 2016. High-pressure metamorphism in the Chinshuichi area, Yuli belt, eastern Taiwan. Tectonophysics 692, 191–202.

【成果発表】

該当なし

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を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て用い、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て用いることにより、精度の向上と耐障害性の向上を図っている。これらの複数衛星系、複数周波数を用いる次世代の衛星航法システム(GNSS)を、MC/MF（Multi-Constellation Multi-Frequency）GNSSと呼ぶ。

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

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

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

方法

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

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

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

た全天大気光イメージャがあり、継続的に観測を行っている。ここでは、MC/MF GNSS受信機と全天大気光イメージャの観測を継続するとともに、プラズマバブル発生季の春分、秋分前後の1週間程度の間、シンチレーション観測が可能なMC/MF GNSS受信機を持ち込んでキャンペーン観測を行う。

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

石垣において大気光イメージャと電離圏シンチレーション受信機を用いたプラズマバブルの同時観測を継続的に実施し、プラズマバブルとシンチレーションの空間対応に関する解析を行った。図1は、石垣において観測されたプラズマバブルの大気光画像と、同時に観測されたGNSS衛星の位置とシンチレーション強度(S4指数)の例を示したものである。シンチレーションはプラズマバブルの辺縁部分で強まる傾向が見られることがわかった。平成29年度は、プラズマバブルとシンチレーションの空間対応に関する解析を進めるとともに、衛星系、周波数による影響の違いに着目した解析を行う予定である。

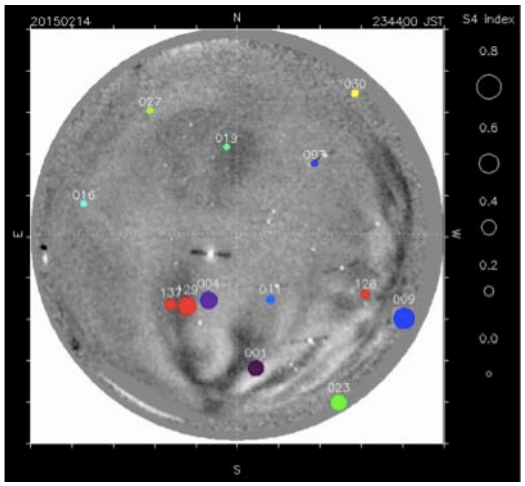


図 1.石垣において観測されたプラズマバブルの大気光画像(1 時間平均からの差分)とシンチレーションの対応。図中の○は衛星位置とシンチレーション強度(S4 指数)を示す。上下左右が北南東西に対応する。

インドネシア・コトタバンにおいては、平成29年2月にMC/MF受信機を持ち込んで試験観測を実施し、試験データを取得した(図２)。試験観測においては弱いながらもプラズマバブル様の電離圏変動を検出した。平成29年度は、今回の試験観測の結果を元にMC/MFシンチレーション受信機によるキャンペーン観測を行うとともに、継続的なMC/MF観測のための検討を行う予定である。

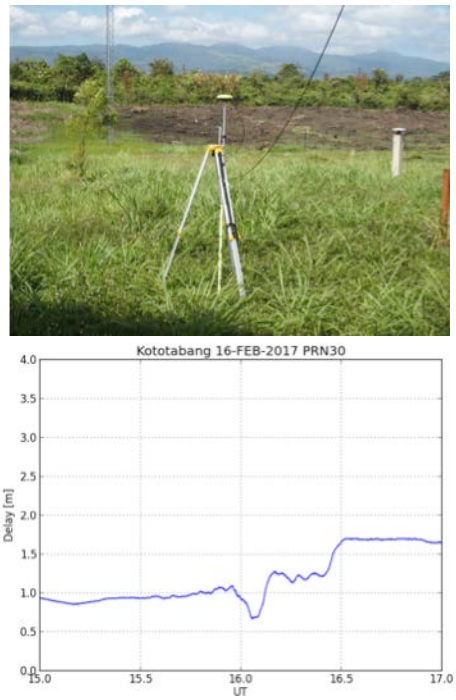


図 2.インドネシア・コトタバンにおける試験観測(上)及び検出した電離圏遅延量(全電子数)変動(下)。

成果発表一覧

[1] T. Feuele, M. Stanisak. S. Saito, T. Yoshihara, GBAS Interoperability Trials and Multi-Constellation/Multi-Frequency Ground Mockup Evaluation, Proceedings of the SESAR Innovation Days (2016) EUROCONTROL. ISSN 0770-1268

[2] Abadi Prayitno, 大塚 雄一 , 塩川 和夫 , Liu Huixin, 品川 裕之、Investigation of equinoctial asymmetry in the latitudinal variation of scintillation drift and neutral wind、地球電磁気・地球惑星圏学会、九州大学、2016 年 11 月

[3] 高見 晃平 , 細川 敬祐 , 斎藤 享 , 小川 泰信、小型で安価な大気光イメージャを用いたプラズマバブルの観測、地球電磁気・地球惑星圏学会、九州大学、2016 年 11 月

[4] K. Hosokawa, K. Takami, S. Saito, and Y. Ogawa, Simultaneous observations of plasma bubbles by a low-cost imager and GNSS receivers in Ishigaki, Japan, Workshop on GNSS and SAR Technologies for Atmospheric Sensing, Kyoto University, March 2017.

電離圏電場と地上磁場同時観測に基づくグローバルPc5波動の研究

Study of global Pc 5 waves based on ionospheric radars and magnetometers

藤本　晶子、九州大学・国際宇宙天気科学教育センター

【研究目的】

太陽エネルギーの帰着点と言える赤道域において最も優勢な磁場変動は、昼側の磁場変動に現れる「赤道ジェット電流（EEJ）[Chapman, 1951]」であるが、EEJには様々な地磁気擾乱が重畳し、その基本変動を変調させている。その１つに、赤道域で観測される2分～10分の準周期的地磁気脈動（Pc5）がある。1990年代以降、高緯度Pc5と同期する赤道域Pc5はグローバル波動として報告され[Pathan et al., 1999; Motoba et al., 2002,2003]、その発生機構は、極域電場の赤道域への伝播[Motoba et al.,2002](以降、「電場侵入モード」)が提唱されている。一方、磁気圏内Pc5波動の電場・磁場変動が直接電離圏、地上の電場・磁場変動として現れる「磁気圧縮モード」も発生機構の候補[Ziesolleck and Chamalaun, 1993]に挙げられ、発生機構の確固たる合意は得られていない。赤道域という特異な領域において、Pc5のモードを特定する事は、赤道Pc5の発生特性、励起・伝播機構を解明でき、さらには電磁エネルギーの極域から赤道域までの伝搬の理解につながる。以上より、「電場侵入モード」、「磁気圧縮モード」を観測値から適切に抽出することが直接的な解決策であるが、地上磁場のみでは磁気圏・電離圏に起源をもつ様々な変動要因が重畳するために、上記２モードの特定は困難である。そこで、電離圏の情報を直接得られるレーダーを用いて、電離圏電場と地上磁場の位相差からモードの分離・特定を行うという着想を得た。 特に、極域電場侵入によるグローバルPc5を実証するために、伝播過程の緯度方向に関しては極域、低緯度、赤道域電離圏での同時電磁場観測を行い、経度方向伝播については昼－夜の同時電磁場観測を実施することが有用である。

本研究では、九州大学国際宇宙天気科学・教育センターが運用するFM-CWレーダーの日本経度ラインを基準とし、ペルーの新規設置を含めた昼夜同時電離圏電場観測と地上磁場観測の統合解析に基づき、Pc5波動の「電場侵入モード」と「磁気圧縮モード」を切り分け、赤道Pc5の発生特性、励起・伝播機構を明らかにする。

【研究方法・結果】

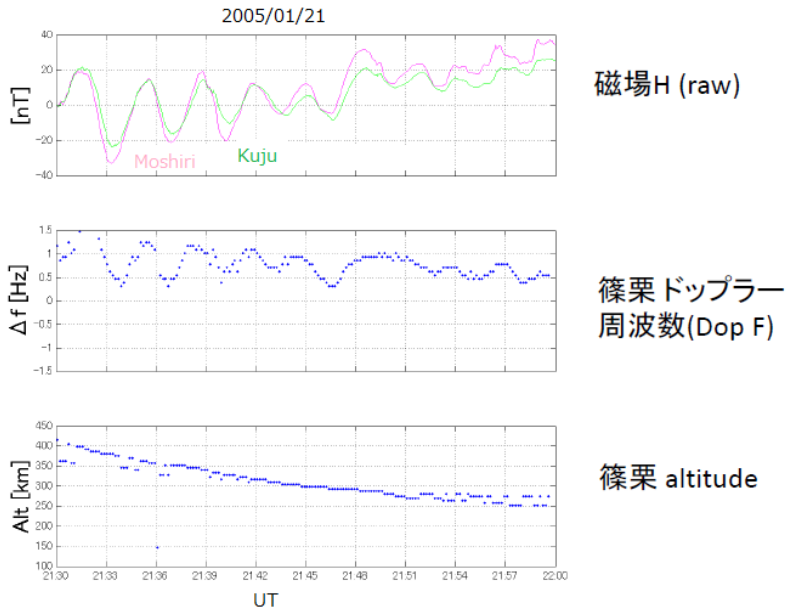
研究１：ペルー新規FM-CWレーダー拠点構築

電離圏電場観測の昼 - 夜同時観測において２つの地方時での観測電場の位相差関係から、Pc5波動モード特定ができる。この昼 - 夜電場同時観測を実現するために、既設FM-CWレーダー拠点（ロシア、日本、フィリピン）がある日本経度ラインの反対半球に位置するペルーに新規FM-CWレーダーの設置を計画した。

本年度のレーダー設置に向けて準備していたが、設置直前にペルー協力研究機関IGP側の設置受入条件が変更されたことに伴い、FM-CWレーダー設置を本年度中に実施することが困難になった。そのため、現地にて設置場所の相談・視察ならびに早期設置に向けた研究打合せを実施した。電波環境や施設設備などを直接確認するとともに、2017年9月にFM-CWレーダーを設置することで合意を得た。

研究２：既存FM-CWレーダー観測点の保守整備とオペレーション最適化

国内観測点（福岡市篠栗）のFM-CWレーダーの保守整備ならびに、アーカイブデータ整理を行った。電離圏電場観測における観測パラメータの最適化（研究1）とデータ解析（研究3）に関連して、データベース化されていない未処理データの整備ならびに事例解析を実施した。右図は、低緯度において、周期3分程度のPc5波動の地磁気変動と同期して、FM-CWレーダーによる電離圏電場観測においても同周期の変動をとらえている例である。地上磁場と電離圏電場観測で同時観測されるPc5波動検出するため、右図に示すQL図をアーカイブデータに対して作成した。



[周期３分程度の地磁気変動に同期する、FM-CWレーダーで観測されたドップラー周波数変動]

【考察・まとめ】

本年度は、予定していたペルー国内でのFM-CWレーダー設置を実施できなかったが、2017年9月に設置する方向で現地協力機関と調整することができた。既存のFM-CWレーダー観測点に関しては、保守整備するとともに蓄積しているデータの詳細な解析に向けてデータベースを整備することで、統計解析に向けた準備段階を完了させた。次年度以降、ペルーでのFM-CWレーダーの構築を完了するとともに、観測データの事例・統計解析を実施するとともに、研究成果を学会等にて発表する予定である。

【成果発表】

なし

宇宙線で探る太陽風擾乱の空間構造

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

小島浩司・愛知工業大学・工学部・土木工学科

研究目的

太陽表面の大規模な爆発現象よって，太陽フレアやコロナ質量放出（CME）等の現象が起きる．その中でも CME の内部には激しい磁気擾乱を伴う磁気雲があると考えられる．このような磁気雲が惑星間空間を伝播する過程で，周辺の惑星間空間磁場（IMF）に影響をおよぼし，太陽圏に侵入した銀河宇宙線に異方性を生ずると考えられる．銀河宇宙線の異方性を連続的に観測することで，太陽風のプラズマ磁気雲の空間的構造と IMF に関連する諸現象の理解につながり，また宇宙天気にも寄与することになると考えられる．

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

研究方法

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

GRAPES-3 研究活動報告

タタ基礎研究所の S.K. Gupta と P.K Mohanty 氏が，2016 年 10 月に名古屋大学宇宙地球環境研究所及び中部大学に来訪するために来日した．中部大学にて GRAPES-3 日本メンバーとミューオン観測データの解析について議論をおこなった．2017 年 3 月 5 日～3 月 15 日に大阪市立大学の川上と中部大学の柴田がインドに渡航した（愛知工業大学の小島も同行予定であったが，急性肝不全による緊急入院のため断念した），その際に，タタ基礎研究所において，GRAPES-3 インドメンバーと将来の Ooty における GRAPES-3 のミューオン測定装置の拡張とミューオン観測の精度向上の可能性について意見交換をおこなった．2016 年度中に小島・大嶋の 2 名が数回名古屋大学・徳丸研を訪問し，CME に関する研究を行う上での意見を求め，IPS データと宇宙線データとを関連させた解析の可能性について議論した．今後，上記の議論をふまえ，IPS 研究者の支援のもとに

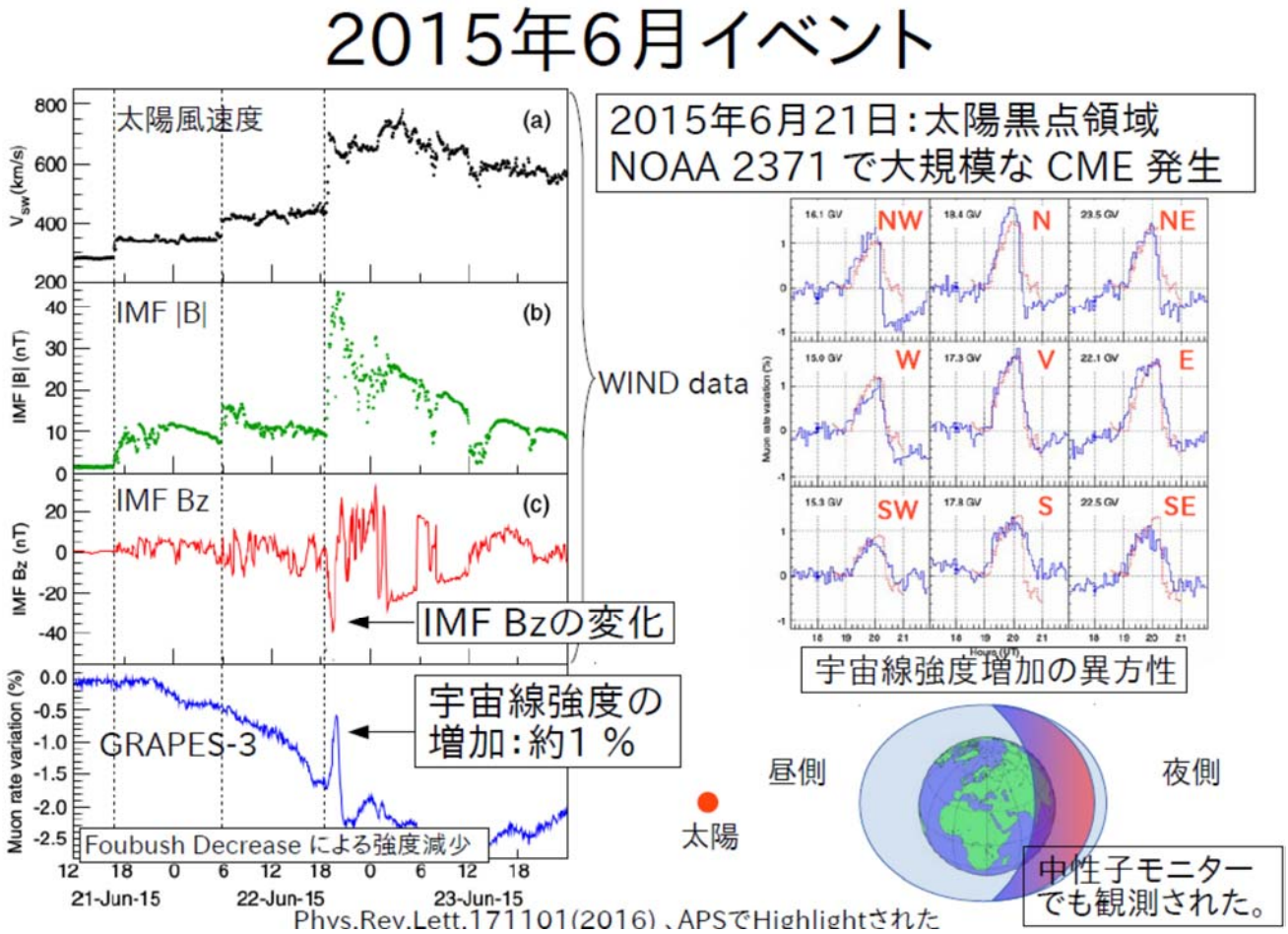
宇宙線密度の空間分布と CME の空間的ひろがりの関連性についての解析をおこなう予定である．なお，本研究予算でデータ解析用・資料製作装置拡張のためのパーツとデータ保管用の HDD を購入した．

GRAPES-3 の維持管理および拡張に関する活動

2015 年度に引き続き，2016 年 10 月まで，大阪市立大学を定年退職した林嘉夫がタタ基礎研究所の客員スタッフとしてインド Ooty に長期滞在し，ミューオン検出器建設作業の指導をおこなった．2017 年 3 月現在で約 2200 本の比例計数管が完成しており，計画本数 3700 本にむけ，100 本/月のペースで製作している．

研究成果

本研究に関連する研究成果として, 2015 年 6 月 21 日 : 太陽黒点領域 NOAA 2371 で大規模な CME 発生し，それに伴って生じた宇宙線フォルブッシュディクリーズ中の宇宙線強度の異常増加の観測に関して査読論文が出版された．その結果を以下に示す。



【日本物理学会・その他学会発表】

1. 小島浩司、柴田祥一、大嶋晃敏他、「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(18)、」物理学会（２０１６年秋季大会)、宮崎大学木花キャンパス、２０１６年９月２４日
2. Akitoshi Oshima et al,「 Current status of the expansion for the GRAPES-3 project」,平成 28 年度 ISEE 研究集会ー太陽圏シンポジウム、名古屋大学　宇宙地球環境研究所（研究所共同館Ｉ）、平成 29 年 3 月 1 日
3. 小島浩司、柴田祥一、大嶋晃敏他、「GRAPES-3 実験拡張計画の進捗報告」、日本物理学会第７２回年次大会、大阪大学豊中キャンパス、２０１７年３月１７日

【投稿論文】

1. P.K. Mohanty,　S.K. Gupta,A. Oshima , S. Shibata,H. Kojima et al,”Transient Weakening of Earth’s Magnetic Shield Probed by a Cosmic Ray Burst”,PHYSICAL REVIEW LETTERS ,PRL 117, 171101 (2016) ,21 OCTOBER 2016
2. P.K. Mohanty,S.K. Gupta,A.Oshima,S.Shibata,H.Kojima et al.,“Fast fourier transform to measure pressure coefficient of muons in the GRAPES-3 experiment“,Astroparticle Physics, Vol.79,2330(2016), published

高エネルギー電子降下領域の時空間発展の実証的研究

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

土屋史紀　東北大学・大学院理学研究科

放射線帯からの電子の損失過程、並びに、高エネルギー粒子が超高層大気に及ぼす影響を明らかするために、大気圏に高エネルギー電子が降下した現場を観測する必要がある。また、高エネルギー電子の降下を引き起こす主要因はプラズマ波動による電子のピッチ角散乱であり、電子の降下現象の観測は、プラズマ波動観測との比較を行う上でも重要である。本研究では、VLF/LF 帯の標準電波観測によって高エネルギー電子(>100keV)の降下現象を検出し、磁気嵐・サブストーム時の電子降下現象の時空間発展を観測的に明らかにするとともに、プラズマ波動観測との比較手段を提供する。

本研究では、2016 年 10 月にアラスカ(ポーカーフラット実験場)に設置されている LF 帯電波受信装置(2014 年 10 月設置)のメンテナンスとアップデートを行い、ノルウェー・ニーオルセン、カナダ・アサバスカ、北海道・陸別を含めたネットワーク観測体制を整えた。このネットワーク観測は「あらせ衛星」プロジェクトの地上観測ネットワークと位置付けられており、今後あらせ衛星との共同観測を推進する。VLF/LF 帯の標準電波観測は PWING で設置を行っている地上観測装置の一つともなっており、今後、観測の空白域となっているロシア(ジガンスク)への設置も計画している。2016 年 12 月には、名古屋大学宇宙地球環境研究所の鹿児島観測所に、他の観測点と同様の広帯域 LF 帯受信装置（10kHz-100kHz）を新規設置し、鹿児島観測所で長年運用されてきた JJY40KHz の標準電波観測の継続が可能となった(図 1)。



図 1 ：鹿児島観測所に設置された LF 帯標準電波観測装置(2016/12/17-19 設置)

観測網の整備・運用と並行して、サブオーロラ帯での電子の降り込み現象の解析を実施している。これまでのニーオルセン、アサバスカ、アラスカでの観測から、(1)サブストームのインジェクションに伴う高エネルギー降下、(2)ULF (Pc5)に変調を受けた高エネルギー降下現象が検出されてるが、アサバスカで観測された LF 帯標準電波の位相変動を誘導磁力計(名大 ISEE)の観測データと比較した結果、EMIC との対応が非常によい高エネルギー電子の降り込み現象を検出した。図 2 にアサバスカより低緯度の標準電波局(60kHz、送信局:米国 WWVB) から送信された電波の受信信号の位相変動と誘導磁力計データの比較を示す。UT7:00-9:20 に見られる位相の上昇が高エネルギー電子の降り込みによるものと考えている。位相変化の時間より EMIC の出現期間が長いのは、位相変動が標準電波の伝搬経路上で生じた電子降下現象のみを表しているのに対し、EMIC は伝搬特性を持ち、標準電波の伝搬経路から離れた場所の現象も観測されているためと考えられる。EMIC と電子降下領域の位置関係をより詳細に把握するため、今後、EMIC の偏波解析やプロトンオーロラ観測との比較を実施する。このイベントは、EMIC が発生しやすいと考えられている夕方側ではなく、真夜中付近の LT で発生している。今後、統計解析を通して現象の出現の特徴を詳細に調査していく予定である。

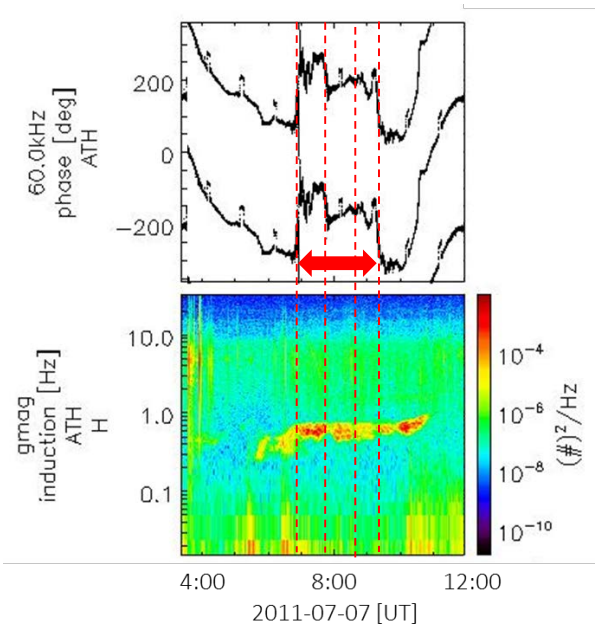


図 2：アサバスカで観測された標準電波の移動変化(上図・赤矢印)と EMIC(下図)。UT7:00-9:20 に見られる位相の上昇が高エネルギー電子の降り込みによるものと考えており、位相変化量と EMIC の強度変化との間には良い対応関係が見られる(赤破線)。UT4 時からの位相の減少と UT10 時以降の上昇は日没、日照による下部電離圏の電離度変化を反映したものである。

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、大気中の成層圏および対流圏で生成され、エアロゾルに付着するかあるいは気体となり地表に降下するため、大気の移流・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。特に長い半減期を持つC-14やBe-10などの宇宙線生成核種は、過去の宇宙線強度変動や太陽活動、そして地球環境変動の探索に重要なツールである。一方、宇宙線、太陽活動、そして地球環境についてのデータが整っている現代において、短い半減期５３日をもつ宇宙線生成核種Be-7の詳細な観測は、３つの要因相互の変動関係ｚ密化するためにフィードバックできる貴重なデータを提供する。本研究は、第23期太陽活動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。ここでは中緯度(山形)と高緯度(アイスランド)でのBe-7の長期観測結果および低緯度（タイ、バンコク）で得られた2016年までの観測結果について報告する。

研究方法

北半球中緯度の山形(北緯38.3°)、高緯度のアイスランド(北緯64.7°)、最高地磁気カットオフ地域であるタイに各々ハイボリュームエアーサンプラー（HV1000F、HV500R,吸引量500L～1000L/分）を設置してガラスろ紙に集塵した。回収したろ紙試料は、山形大学および宇宙線研究所柏地下測定設備にてガンマ線測定分析を行い、大気中Be-7濃度およびPb-210濃度の連続観測を行った。

研究結果

１）中緯度と高緯度のBe-7濃度年変動

図1は、中緯度（山形）よび高緯度（アイスランド）の大気中 Be-7 濃度、太陽黒点数（SSN)、Thule（北緯 76.5° cut-off rigidity 0 GV）での地上中性子強度の 2000 年から 2016 年までの年変動を示している。　第 24 期の太陽黒点数は、上昇期の 2009 年～2011 年の３年間で 16 倍の増加であり、下降期の 2014 年～2016 年の３年間で 65%の減少である。これに対して山形の Be-7 濃度は、15%の減少と 8.6%の増加である。Be-7 濃度の太陽活動期の開始期の急激な黒点数変化

への反応は、直線的ではないが太陽モジュレーションを表わしている。しかし、Thule の中性子強度は、2009 年から 2015 年まで下降し 10%の減少であり、2016 年に増加している。山形 Be-7 濃度は 2013 年から増加に転じており,中性子強度より３年早い。

アイスランドの Be-7 濃度は、2008 年から 2015 年まで下降しており 38%の減少であり、中性子強度の４倍近い変動である。これらの観測結果は、高緯度への低エネルギー銀河宇宙線および太陽宇宙線の入り込みを反映していると考えられ、第 24 期の１１年変動についての観測が重要となる。

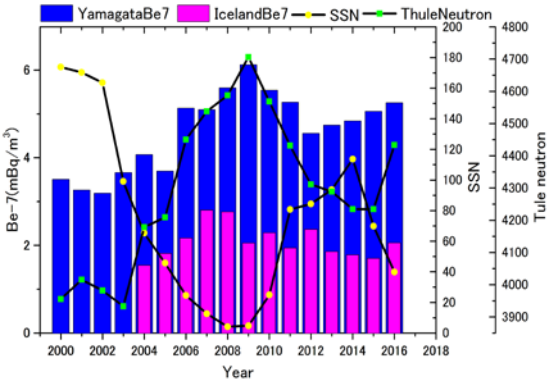


図１山形、アイスランドでの Be-7 濃度の年変動

２） 低緯度地域タイ・バンコクにおける Be-7 濃度変動

図２にタイ・バンコクにおける 2014 年から３年間の Be-7 と Pb-210 の日濃度変動を示す。12 月から５月にかけて Be-7 濃度が高い季節変動が明瞭であり、地表起源の Pb-210 は同様な季節変動であるが、Be-7 より１か月程度位相が早い。バンコクにおける Be-7 濃度の季節変動と地球規模での大気移流の関係を調べるために HYSPLIT 流跡線解析を行った。図３は、バンコクに流入する各月の流跡線を示している。流跡線は、10 月から２月の大陸経路、３月から５月の太平洋経路、そして５月から９月のインド洋経路の３つのパターンに分類できる。大陸経路と太平洋経路は Be-7 濃度が高い季節にインド洋経路は Be-7 濃度が低い季節に対応していると考えられるが、各経路での生成量との関係を調べる必要がある。

３）金峰年輪試料の C14 測定

キャリントンフレアー（1859）時の年輪を春材・夏材に分けて測定を行った。春材と夏材で C14 濃度に違いがあった。

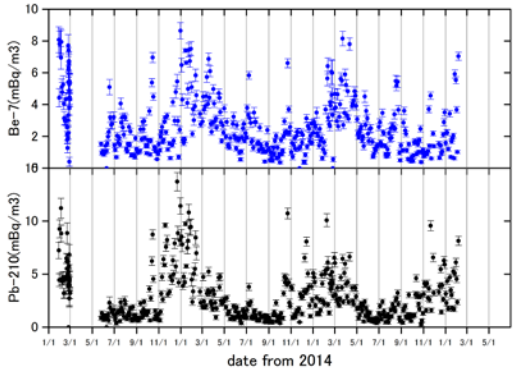


図２ 3年間のタイ・バンコクでの Be-7,Pb-210濃度の日変動

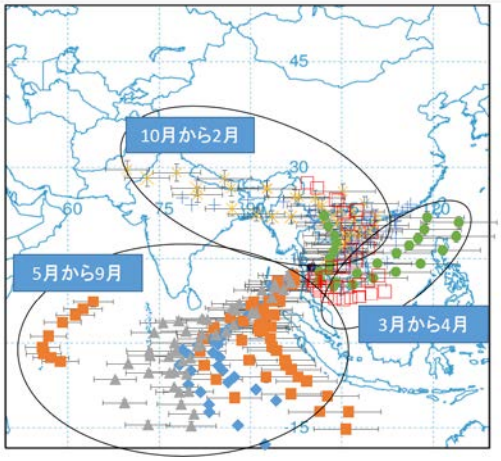


図３バンコクに流入する各月の流跡線

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

下層大気の気象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．

2016年度は，前年度の観測システムに改良を加え，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た．２機のカメラにそれぞれの大気光波長を通す光学フィルタを取り付け，ビデオエンコーダ（2 チャンネル入力）で観測を制御する．露光時間 4 秒のビデオ信号は 10 秒毎に１枚の画像として自動で保存される．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）．このシステムでは観測画像は1晩で約 5,800枚（計 600 MB）となるが，順リアルタイムにデータを公開するため，クラウドサービスを利用した逐次的なデータ転送環境を構築した．非力なマシンでもデータ転送が安定しておこなえ，将来はより簡易なシステム（例えばデータストレージ・データ転送にPCではなく携帯電話を用いたよりシンプルでインフラが整っていない場所にも設置可能なシステム）への展開も可能である．また，２波長の大気光画像をサーバに転送し，観測画像データをウェッブ上に自動でアップロードする環境を整備した（ただし，観測画像データの公開環境は簡易版であるため，次年度によりリアルタイム性を重視するとともに，過去のアーカイブにも容易にアクセスで

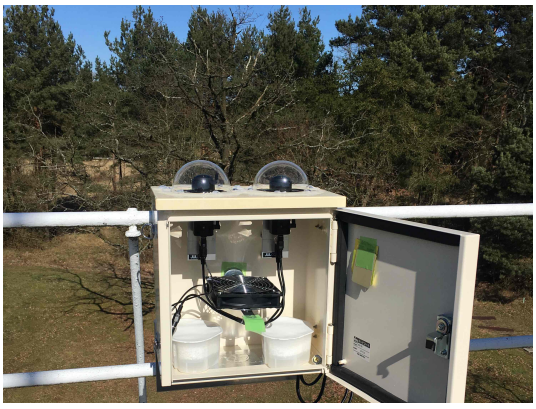




図1:（上）Juliusruh 観測所建物の屋上に設置した２波長大気光カメラと（下）観測コントロール系の写真.

きる仕組みに改良する予定）．さらに，開発した観測機を屋外で運用するためのハウジングも制作もおこなった．

愛知大学構内での数晩のテスト観測を実施した後，2017年3月22日に，ドイツ IAP 研究所に出張し，同観測所の研究者とともに Juliusruh 観測サイト（54.6°N, 13.4°E）に製作した大気光カメラを設置した（図１）．これにより，2015年度に設置したドイツ Kühlungsborn の IAP 研究所（54.1°N, 11.8°E）の大気光カメラと視野がオーバラップした観測がおこなえ，大気光の発光層高度の推定も可能となる．観測される波動の高度を見積もることができることは，同地点で運用されているレーダーやライダーとの同時観測を実施する上で非常に重要となる．ただし，Kühlungsborn のカメラは OH 大気光のみを観測しているため，次年度は 630 nm 大気光観測用カメラを追加し，さらに両サイトのカメラと観測視野がかぶるような位置に３基目の２波長大気光観測システムを設置して，広範囲の同時イメージング観測を実施する予定である．

成果発表：

1. 鈴木臣，中間圏重力波観測用低廉大気光カメラの性能評価３：画像処理，日本地球惑星科学連合2016年大会，幕張，2016年5月24日．
2. Suzuki, S., K. Shiokawa, Performance Evaluation of Low-Cost Airglow Camera for Mesospheric Gravity Wave Measurements, American Geophysical Union 2016 Fall meeting, San Francisco, 2016年12月14日．

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ーとしての活用評価」、「磁気嵐に起因するプラズマバブルトリガーパターン」、「電離圏ダイナミクスに寄与する短期大気圏擾乱の発現特性」、「EEJ と結合した太陽活動ならびに大気圏運動の長周期変動特性」等を定量化・可視化する太陽地球環境インデックスの開発、(4)赤道データ統合環境の構築により、(1)で取得されたデータを準リアルタイム公開し、(2),(3)にあげた本研究を促進する環境を整え、更にそれらの成果を既存の分野横断的大型データベースに統合化する為の調査研究を実施する。

今年度は、本経費を用いて、マレーシア域トレガンヌ、及びジョホールバルの２観測点を設置し、東南アジア域における観測網の稠密化を行った。EE-index 変動を時間帯ごとに区切って積分することによってその時間に流れる EEJ の総量を求め、プラズマバブルとの関係性についての調査を行った。その結果、日没付近(17:00~19:00LT)を積分したものでは、積分値が大きいほどプラズマバブルが発生しやすく値が負になると発生しにくいことがわかり、Uemotoet al.,(2010)と同様な結果が得られた。プラズマバブルが発生するときには PRE が発達しやすいため EUEL の値が大きくなりやすく、積分値が負になるときには CEJ が発生していることが考えられる。その結果 F 層下部高度が上

昇しにくく、PRE も発達しづらくなるため、プラズマバブルも発生しにくくなると考えられる。

また、日中(07:00~17:00LT、09:00~15:00LT)を積分したものに関しては、積分値が大きいほどプラズマバブルが発生しやすいことがわかり、Uemotoet al.,(2010)とは異なる結果が得られた。先行研究では EEJ の大きさを磁気赤道でエンハンスする部分のみで定義しており、Sq 成分は取り除いた上でプラズマバブルとの関係を調べていた。しかし、本研究では EE-index を用いており、EEJ の大きさは Sq 成分も考慮した上で算出されている。このため、EEJ を用いてプラズマバブルの予測を予測するには Sq 成分も含めて考える必要がある可能性がある、などの初期結果を得た。

論文成果リスト

1. SA Bello, M Abdullah, NSA Hamid, A Yoshikawa, AO Olawepo, Variations of B0 and B1 with the solar quiet Sq-current system and comparison with IRI-2012 model at Ilorin, Advances in Space Research, 2017, accepted

2. GQ Wang, M Volwerk, TL Zhang, D Schmid, A Yoshikawa, High‐latitude Pi2 pulsations associated with kink‐like neutral sheet oscillations, Journal of Geophysical Research: Space Physics, 2017, accepted

3. Rabiu, A. B., Folarin, O. O., Uozumi, T. and Yoshikawa, A. (2016) Simultaneity and Asymmetry in the Occurrence of Counterequatorial Electrojet along African Longitudes, in Ionospheric Space Weather: Longitude and Hemispheric Dependences and Lower Atmosphere Forcing (eds T. Fuller-Rowell, E. Yizengaw, P. H. Doherty and S. Basu), John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA. doi: 10.1002/9781118929216.ch2

4. Ohtani, S., and A. Yoshikawa (2016), The initiation of the poleward boundary intensification of auroral emission by fast polar cap flows: A new interpretation based on ionospheric polarization, J. Geophys. Res. Space Physics, 121, doi:10.1002/2016JA023143. (Selected as Editor's Highlight)

5. Takahashi, K., M. D. Hartinger, D. M. Malaspina, C. W. Smith, K. Koga, H. J. Singer, D. Frühauff, D. G. Baishev, A. V. Moiseev, and A. Yoshikawa (2016), Propagation of ULF waves from the upstream region to the midnight sector of the inner magnetosphere, J. Geophys. Res. Space Physics, 121, 8428-8447, doi:10.1002/2016JA022958.

6. Imajo S., A. Yoshikawa, T.Uozumi; S. Ohtani, A. N.Sodnomsambuu Demberel, B. M. Shevtsov (2016), Solar terminator effects on middle-to-low latitude Pi2 pulsations, Earth, Planets and Space, 68 (1), 13768 (1), 137.

7. Uozumi, T., A. Yoshikawa, S. Ohtani, S. Imajo, D. G. Baishev, A. V. Moiseev, and K. Yumoto, (2016), Initial deflection of middle-latitude Pi2 pulsations in the premidnight sector: Remote detection of oscillatory upward field-aligned current at substorm onset, J. Geophys. Res. Space Physics, 121, doi:10.1002/2015JA021698.

8. Nishimura N., T.Kikuchi; Y.Ebihara, A.Yoshikawa, S.Imajo; W. Li, H. Utada, Evolution of the current system during solar wind pressure pulses based on aurora and magnetometer observations, , Earth, Planets and Space, 68 (1), 144, (2016).

9. Bisoi,OS. K., D. Chakrabarty, P. Janardhan, R. G. Rastogi, A. Yoshikawa, K. Fujiki, M. Tokumaru, and Y. Yan (2016), The prolonged southward IMF-Bz event of 2?4 May 1998: Solar, interplanetary causes and geomagnetic consequences, J. Geophys. Res. Space Physics, 121, 3882-3904, doi:10.1002/2015JA022185.

10. Bolaji, O. S., E. O. Oyeyemi, O. P. Owolabi, Y. Yamazaki, A. B. Rabiu, D. Okoh, A. Fujimoto, C. Amory-Mazaudier, G. K. Seemala, A. Yoshikawa, and O. K. Onanuga, Solar Quiet Current Response in the African Sector Due to a 2009 Sudden Stratospheric Warming Event, J. Geophys. Res. Space Physics, 2016 August 6,doi:10.1002/2016ja022857.

11. Tsuda, T., M. Yamamoto, H. Hashiguchi, K. Shiokawa, Y. Ogawa, S. Nozawa, H. Miyaoka, and A. Yoshikawa, A proposal on the study of solar-terrestrial coupling processes with atmospheric radars and ground-based observation network, Radio Sci., 51, doi: 10.1002/2016RS006035, 2016.″
12. Fujimoto, A., T. Uozumi, S. Abe, H. Matsushita, S. Imajo, J. K. Ishitsuka, and A. Yoshikawa, Long-term EEJ Variations by Using the Improved EE-index, Sun and Geosphere, Vol.11, Issue 1, 2016
13. Moiseev, A.V., D. G. Baishev, V. A. Mullayarov, S. N. Samsonov, T. Uozumi, A. Yoshikawa, K. Koga, and H. Matsumoto (2016), The Development of Compression Long-Period Pulsations on the Recovery Phase of the Magnetic Storm on May 23, 2007, Cosmic Research, 2016, Vol. 54, No. 1, pp. 31-39.

国内学会・国際学会・招待講演リスト

1. Yoshikawa A., Magnetosphere-Ionosphere Coupling, The SCOSTEP/ISWI International School on Space Science, November 7-17, 2016, Sangli, Maharashtra, India (Invited lecture)
2. 吉川顕正、磁気圏電離圏結合, 平成２８年度「磁気圏・電離圏シンポジウム」、電離圏・磁気圏探査衛星検討リサーチグループ第１回会合」、10/14-15, 2016,宇宙科学研究所, 神奈川県相模原市、招待講演
3. 吉川顕正、磁気圏電離圏結合ダイナミクスの無撞着な記述：境界条件を超えて、「磁気圏複合系研究会・プラズマシート極域電離圏投影問題研究会」、9/20-21, 2016, 国立極地研究所、東京都立川市、招待講演
4. 吉川顕正、Alfven 波による一般化された 3 次元磁気圏電離圏結合, 名大 ISEE/極地研/NICT/京大 RISH 共同主催「中間圏・熱圏・電離圏 (MTI) 研究集会」/(第 321 回生存圏シンポジウム), 8/29-31,2016, 情報通信研究機構, 東京都小金井市、招待講演
5. Yoshikawa A., (B,V) Paradigm of Magnetosphere-Ionosphere Coupling, URSI Asia-Pacific Radio Science Conference (URSI AP-RASC 2016), Soul, Korea, August 24, 2016, (Invited)
6. Yoshikawa A., Magnetosphere-Ionosphere coupling by shear Alfven wave, Impact of Space Weather on Earth COSPAR Capacity Building Workshop August 15 - 26, 2016, Paratunka, Kamchatka, Russia, (invited lecture)

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

研究目的

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

研究方法

申請者は2010年度より名古屋大学太陽地球環境研究所「地上ネットワーク観測大型共同研究」等の助成を受け，ニュージーランドにMiddlemarch (MDM, 45.6°S, 170.1°E, L=2.78), Te Wharau (TEW, 41.2°S, 175.8°E, L=2.19)の地磁気観測点を構築してきた．TEWは2016年度開始当時観測を停止していたので，本研究で現地での改修・再設置作業を行った．

ニュージーランドの地磁気観測点は，申請者が整備した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．この手法を用いて2013年3月及び2015年3月に発生した2つのSt. Patrick's Day磁気嵐イベントについてプラズマ圏の変動を調査した．解析にはニュージーランドの地磁気データのほか，北米，ヨーロッパの地磁気データ，あけぼの衛星PWS観測データ，Van Allen Probes衛星のEMFISIS観測データ，HOPE観測データ等を合わせて解析し，プラズマ圏プラズマの各イオン種が磁気嵐各相で再配置されていく様子を調査した．またその結果をIPE Modelの計算結果と比較した．

研究結果とまとめ

解析の結果，2つのSt. Patrick's Day磁気嵐イベント中のプラズマ圏には，それぞれ特徴的な経度方向の不均一構造があることがわかった．2013年のイベントではニュージーランドとUKの経度帯でプラズマ圏のerosionがみられたが，アメリカ経度帯ではerosionがみられなかった．2015年のイベントではUKとアメリカ経度帯でプラズマ圏のerosionがみられたが，ニュージーランド経度帯ではerosionがみられなかっ

た．太陽風から推定した磁気圏対流電場の時間変動を調べると，ニュージーランド経度帯は対流が発達した時間帯にその影響を受けやすい夜側にあり，erosionが起きないことは考え難い．

そこでerosionの発生と同時にO^+など重イオンが増加したために質量密度が減少しなかったのではないかと考えた．実際，IPEモデルに光電子や環電流による加熱を追加すると，プラズマ圏のO^+が増加し，観測結果を説明できるように思われた．しかしながらあけぼの衛星PWS観測データで見るかぎりニュージーランド経度帯の電子密度は減少しておらず，観測結果を重イオンの増加で説明することは難しいかもしれない．この点については3月に行われたプラズマ圏研究集会でいくつかの指摘を受けており，今後引き続き調査を行う．

成果発表

1. N. Maruyama, P.G. Richards, M. Denton, M. G. Henderson, Y. Obana, J. Raeder, M. R. Hairston, M. Fedrizzi, T. J. FUller-Rowell, T.-W. Fang, M. Codrescu, 'Investigation of the distribution of cold plasmas across geospace during storms using the IPE model (Poster)', American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting, 12-16 Dec, 2016, San Francisco, USA.

2. Y. Obana, N. Maruyama, 'Measurement and Modeling of the Plasmasphere during the St. Patrick's Day 2013 and 2015 Storms', 第140回地球電磁気・地球惑星圏学会総会及び講演会, 2016年11月19日～11月23日, 九州大学伊都キャンパスキャンパス, 福岡.

3. 尾花由紀, 中田真由美, 寺内和也, 'ニュージーランド経度における内部磁気圏プラズマ質量密度の季節変動について (Seasonal variation in equatorial plasma mass density in the New Zealand meridian) (Oral)', 日本地球惑星科学連合2016年大会, 22-26 May 2016, 幕張, 千葉.

4. 尾花由紀, 丸山奈緒美, 熊本篤志, 'プラズマ圏のerosionとrefillingにおける局所構造について', 名古屋大学宇宙地球環境研究所研究集会「プラズマ圏の観測とモデリング」, 2017年3月6日-7日, 大阪電気通信大学駅前キャンパス, 大阪.

5. 丸山奈緒美, 尾花由紀, P. Richards, M. Fedrizzi, T. Fuller-Rowell, A. Coster, M. Denton, M. Henderson, M. Hairston, J. Raeder, 'Plasmasphere Modeling: from the Aspect of Ionosphere-Plasmasphere Coupling', 名古屋大学宇宙地球環境研究所研究集会「プラズマ圏の観測とモデリング」, 2017年3月6日-7日, 大阪電気通信大学駅前キャンパス, 大阪.

6. 丸山奈緒美, 尾花由紀, 'Measurement and Modeling of the Plasmasphere during the St. Patrick's Day 2013 and 2015 Storms', Mini GEM workshop, San Francisco, USA, 11 Dec 2016.

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

寺尾　徹、香川大学・教育学部

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

申請者らのグループはバングラデシュ気象局，インド・アッサム州ガウハチ大学，インド・メガラヤ州North-Eastern Hill Universityの研究者らと共同でバングラデシュに20地点，インド・アッサム州及びメガラヤ州に20地点の転倒ます雨量計を2004年より設置し観測を行ってきた。Terao et al. (2017)は，2004-2013年におけるこれらの雨量計とTRMM 2A25 V7データセットでPRレーダーが上空を通過するタイミングのデータを比較した。その結果，メガラヤ高原の南斜面から山麓地域にわたってTRMMデータによる降水量に大きな過小評価がみられることがわかった。この地域はプレモンスーン季(3-5月)にも多量の降水量が観測されるが，プレモンスーン季の過小評価はモンスーン季に比べて大きくなかった。一方バングラデシュ平野部及びインド・アッサム州のブラマプトラ盆地内の雨量計観測点では過小評価は大きくなかった。

2017年2月21-22日に本研究費を使用して招聘したバングラデシュの研究者2名を含め，バングラデシュ7名(内2名は北大学生)，インド・アッサム州1名，ネパール1名の研究者が参加して名古屋大学で研究集会”International workshop for climate variability and related studies over North East Indian subcontinent”を実施した。インド北東部地域のモンスーンについて研究する現地研究者はまだ非常に少なく，今回の集会によって日本人研究者と現地研究者だけでなく近隣の国の研究者同士が情報交換する良い機会となった。例えば，モンスーン季におけるインド北東部地域とインド主要部の降水変動の逆相関関係については，ネパール気象局はこの関係について把握していることがわかり，バングラデシュ気象局の研究者からも原因に関して質問が出され，情報交換を行うことができた。

参考文献

Terao, T., Murata, F., Kiguchi, M., Fukushima, A., Tanoue, M., Ahmed, S., Choudhury, S. A., Syimelieh, H.J., Cajee, L., Bhagabati, A., Bhattacharya, P., Dutta, S., Mahanta, R., Hayashi, T., ″Direct validation of TRMM 2A25 near surface rain over the northeastern Indian subcontinent using a tipping bucket raingauge network″, *SOLA*, submitted.

彩層微細構造のダイナミクスから探る太陽面爆発のメカニズム
Observation of fine scale dynamics of solar chromosphere to explore the solar eruption

一本潔、京都大学・理学研究科附属天文台

【研究目的】

太陽フレアは大量の高エネルギー粒子を生成するとともに紫外線・X線を急激に増光させ、また、ダークフィラメント（プロミネンス）の噴出はコロナ質量放出（CME)を伴い、いずれも太陽圏環境に急激な変動をもたらす。これら太陽の爆発現象は、太陽面下の対流運動によって励起され、コロナに蓄積された磁気エネルギーが突如解放されて、プラズマの運動エネルギーや熱エネルギーに変換される過程として理解されているが、その発生機構と予測は太陽物理学及び宇宙地球環境予測において未解決な重要課題である。これら大規模な爆発現象は、より小規模な要素的エネルギー解放過程の連鎖、集合によって生じていると考えられ、それは彩層の微細構造のダイナミクスとして観測される。すなわち、フレア時には彩層で多数の輝点（フレアカーネル）が次々と光りだし、プラズマの局所的な激しい運動が励起され、また、ダークフィラメントの不安定化においてもその構造はダイナミックに運動する多数の微細な筋構造の集合体として観測される。そして、大規模な不安定化を誘発するトリガーが彩層における局所的な磁気リコネクションであるとすると、それも彩層プラズマの小さなスケールの運動の変化として見いだされることが期待される。すなわち、彩層の微細スケールのプラズマ運動を把握することは、フレアやフィラメント放出のメカニズムを理解し、発生を予測する上で重要なヒントを与えるものと考えられる。

さらに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上空のコロナへエネルギーが伝達されていることは疑いようもないため、彩層の微細ダイナミクスの成因を理解することは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も本質的に重要であろう。

本研究では雲南天文台フーシャン湖観測所が有する世界最高レベルの解像度を誇る太陽望遠鏡と、京都大学が近年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、彩層の速度場構造をかつてない高い分解能、すなわち、0.15秒角（約100km）の空間分解能と2秒程度の時間分解能で観測する。第1の目的は、フレアまたはダークフィラメント噴出における微細な彩層構造の速度場を空間分解して捉え、不安定化のメカニズムを理解することである。また、フレアオンセット時の個々のフレアカーネルにおける彩層プラズマの動的応答を詳細に捉え、彩層へのエネルギー注入過程、およびその要因である高エネルギー粒子の形成、伝播過程に迫ることも重要な目標である。一方、スピキュールなど普遍的に存在する彩層微細構造のプラズマ運動を捉え、それらの形成機構およびコロナへのエネルギー伝達過程の一端を理解することを第2の目的とする。特に個々のスピキュールを分解してその３次元的な速度構造を捉えることにより、それが彩層の磁束管内を上に向かって伝播する衝撃波によって形成されるのか、ジェットの軸周りの回転運動を伴う捻れアルフベン波によって形成されるのか、という現在対立するスピキュールの成因モデルを識別することができると考えている。

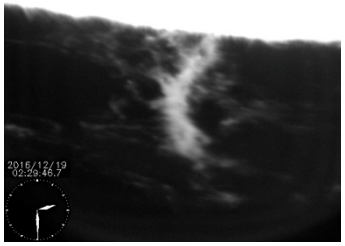
なお、本研究の研究課題は、VarSITIで推進される4つのプロジェクトのうち、MiniMax 24/ISEST（International Study of Earth-affecting Solar Transients）と密接に関連し

た研究テーマでもある。

【研究方法】
本研究では京都大学が近年開発した高速彩層速度場撮像装置を雲南天文台撫仙湖太陽観測所が有する口径１ｍの真空太陽望遠鏡に設置することで、彩層の速度場構造をかつてない解像度で観測する。高速彩層速度場撮像装置は、液晶遅延素子により約0.1秒の応答時間で透過波長を制御できる狭帯域フィルターを要とし、これに２つの高速カメラを組み合わせることで代表的な彩層ラインであるＨα線（6563A）の+/-0.5Aの波長における画像を同時に取得することを可能とするものである。+/-0.5Aの画像の差分をとることによりＨα線の波長シフト（プラズマの視線方向速度）を求めることができるが、両画像を完全に同時に取得することで地球の大気揺らぎ（シーイング）による波長シフトの計測誤差を大幅に低減し、２次元的な速度場情報を従来に無い精度と時間分解能で取得することができる。一方撫仙湖太陽観測所はシーイング条件の良いこともあり、口径１ｍの望遠鏡による理論的分解能（Ｈα線で太陽面上約 100km）を達成できる機会も多々ある。
本研究課題では、上野、木村、大辻、萩野の４名が狭帯域フィルターを持参して計11日間フーシャン湖太陽観測所に滞在し、雲南天文台のLiu Zhong、Xiaoli Yan 博士らと協力して観測を行なった。

【観測結果】
今回の滞在期間中は、残念ながら概してあまり良い天候には恵まれず、また、フレアやフィラメント噴出現象には遭遇できなかったが、初めてセットアップした観測システムを予定どおり機能させることができ、以下に示す有益なデータが取得できた。

2016-12-14（水）曇時々晴：
・ディスクセンター付近のスピキュール（モットル）（但し観測継続時間は約３分間のみ）
2016-12-17（土）晴時々曇：
・ディクスセンター付近のダークフィラメント
・北西リム上の活動的なプロミネンス
2016-12-19（月）晴時々曇：
・東リム上の活動的なプロミネンス（右図）
2016-12-21（水）晴後曇：
・新しい活動領域(S05E15,AR番号無し)の浮上磁束管やコンパクトな発光現象
2016-12-23（金）曇時々晴：
・ディスクセンター付近のダークフィラメント



なお、今回の観測では、後に画像回復処理に掛けられるよう、ある時刻において、１秒間に100画像を取得してあり、これを数秒ごとに繰り返した。

【まとめ】
現在、得られたデータに対し、シーイングによる影響を低減するための画像回復処理（スペックルマスキング）を行なっており、今後、観測されたターゲットごとに分類して日本と中国の参加研究者が分担し、「研究目的」で述べた事象に着目しながら解析を行い、成果としてまとめる。

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

平原　靖大　名古屋大学・環境学研究科

【研究目的】

本研究の目的は、これまでにない高感度・高空間分解能を誇るアタカマミ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。

タイタンの表面での大気圧は地球の約1.5倍、気温は90K～94Kであり、その殆どがN_2(～98%)とCH_4(～2%)で構成され、残りを多種多様な有機分子が占めている。これらの有機分子は大気上層で宇宙線や紫外線による解離と再結合反応によって生成し下層に輸送されていると考えられている。タイタンは地軸が26.7°傾いていることから公転周期約30年の季節変動が存在し、季節ごとに大気の移動や温度の変化を生じる。

【研究方法】

本研究では、タイタンの視直径(~1")とほぼ同等の空間分解能を有するALMAを用いた、過去の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の多数のスペクトルデータセットを詳細に解析し、化学的に不安定な炭素鎖分子HC_3N(シアノアセチレン)の純回転スペクトル計18種の強度の空間分布と、輻射輸送モデル計算に基づいた高度1000kmまでの鉛直分布、および１年間での時間変動を導出した。

【研究結果】

2012年前後に取得されたALMA観測データの解析の結果、タイタンの北極のみに極端に偏在している時期が存在することが確認された(例：図1)。また、タイタン大気の温度、密度、およびHC_3Nの濃度の高度分布をパラメータとした放射伝達計算を行った(図2)。様々な鉛直分布モデルを参考に最尤解を探索した結果、過去に提示されたCordiner et al.(2014) [1]やMarten et al. (2002)[2]によるHC_3Nの鉛直分布や、Nakamoto et al.(2016)[3]により導出された安定有機分子CH_3CN(メチルシアナイド)の鉛直分布とは異なり、高度70㎞付近の比較的低高度からHC_3Nが非常に豊富に存在しており、高度450㎞付近(成層圏)で存在度が極大値を示すことが明らかになった。

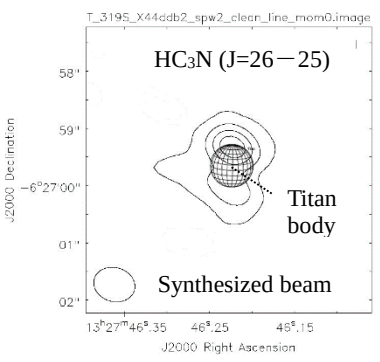


図１　タイタン大気における HC_3N J=26–25 の輝線強度分布

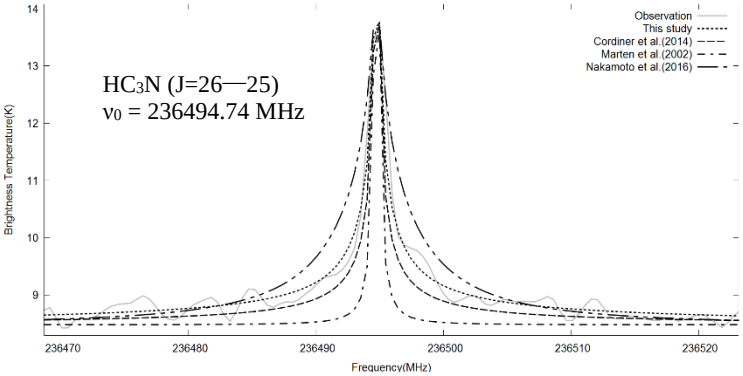


図２　タイタン大気における HC_3N J=26–25 のスペクトルと輻射輸送計算結果の比較

【考察】

タイタンでは春分点と秋分点を境とする季節変動により、夏側の極から冬側の極への大気循環(pole to pole circulation)が起こる。タイタンでのHC_3Nの分布が北極と南極に偏在し赤道で少ないことは、その影響によるものと考えられる。一方、本研究での輻射輸送計算により、HC_3Nは大気上層での大気循環の影響や宇宙線・紫外線の影響を受けにくい大気下層に多く存在することが明らかになった。探査機カッシーニの観測によると、C_2H_2 (アセチレン)も両極の下層に偏在していることが報告されている(Vinatier et al. 2015[4])。大気上層から下層へのHC_3Nの鉛直方向の大気循環輸送以外に、下記の中性―ラジカル反応：

$$C_2H_2 + CN \rightarrow HC_3N + H \qquad [1]$$

によるHC_3Nの生成が相当の寄与をしていると考えられる。

【今後】

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。次年度においてはこれらの開発要素にも取り組み、米欧やアジアの研究グループと協力しつつ、2013年以降のタイタンに対するALMAアーカイブデータの解析を進める。

【引用文献】

[1] Cordiner, M. A., Nixon, C. A., Teanby, N.A, et al. 2014, Astrophysical Journal Letters, 795, L30

[2] Marten, A., Hidayat, T., Biraud, Y., & Moreno, R. 2002, Icarus, 158, 532.

[3] Nakamoto, S. 名古屋大学環境学研究科　2015 年度修士論文

[4] Vinatier, S., Bézard, B., Nixon, C. A., et al. 2010, Icarus, 205, 559

【成果論文リスト】

[1] Iino, T., Ohyama, H., Hirahara, Y., Tsukagoshi, T. & Takahashi, T. ASTE Observation of Jupiter's Stratospheric Carbon Monosulfide (J=7-6) in 19 Years After the Cometary Impact, The Astronomical Journal, 152(6), pp. 179-183, 2016

[2] Iino, T., Yamada, T. & Tanaka Y. Development of the Terahertz Numerical Radiative Transfer Calculation Code for the New ALMA Continuum Observation of Neptune: An Application of New HITRAN CIA Catalog, Journal of Remote Sensing Society of Japan (In revision)

【学会発表リスト】

[1] 仲本悟、平原靖大、飯野孝浩、中山勇麻、ALMAアーカイブデータ解析によるTitan大気中のCH3CNの鉛直分布、JpGU Meeting, 千葉, 2016/5/22

[2] 飯野孝浩, 平原靖大他、アルマ干渉計を用いた海王星成層圏HCN(J=4-3)観測, JpGU Meeting, 千葉, 2016/5/22

[3] 飯野孝浩、ALMAとの連携による、ガス惑星大気の高空間分解能・低分散中間赤外分光観測、地上赤外線観測による太陽系内天体の観測戦略ワークショップ、三鷹、2016/9/8

[3] Iino, T., Nakamoto, S., Tsukagoshi, T., Tanaka, K., Tanaka, Y., Hirahara, Y. ALMA Observation of Neptune's Spatially-resolved Stratospheric HCN (J = 4-3), AAS-DPS meeting #48 Pasadena, 2016/10/16-21

[4] 平原靖大、GIGMICSの開発と惑星大気科学への応用、第16回CPS月惑星探査研究会、神戸大学、2016/10/11

[5] 水野亮、ミリ波・サブミリ波による惑星大気観測、地球型惑星圏環境に関する研究集会、立教大学、2016/12/27

スズ鉱山跡地に生育する植物の環境修復能力の比較

Comparative evaluation of phytoremediation potential of plants growing in ex-tin mining lands.

Tsun-Thai Chai
Tunku Abdul Rahman University, Department of Chemical Science

Study purpose

Ex-tin mining lands are common in Peninsular Malaysia, particularly in the states of Selangor and Perak, owing to the history of Malaysia being the world's premier tin producer in the past decades (Yap, 2007). Ex-mining lands are commonly contaminated by heavy metals. Phytoremediation is an inexpensive pollutant-removing strategy using plants. Wild plants in ex-mining sites are promising candidates as phytoremediators. However, physiological properties and biochemical mechanisms of the heavy metal tolerance of such phytoremediators are not fully understood. In this study, we characterised the phytoremediation potential of *Waltheria indica*, a common wild plant in numerous ex-tin mining sites in Perak. Specific objectives of the study were:

1. To determine heavy metal contents in shoot and root samples of *W. indica* and in soil samples
2. To predict phytoremediation capacity of the plant based on translocation and bioconcentration factors
3. To study physiological and biochemical parameters of *W. indica* in the five locations with different levels of soil heavy metal contents

Materials & Methods

Plant materials were collected from five study sites during 27-30 September 2016. The sites were located within 11 km from the city centre of Kampar, Perak, Malaysia. GPS coordinates of the five sites are: Site 1 (4°20'23.5"N101°08'08.5"E), Site 2 (4°21'52.7"N101°05'36.5"E), Site 3 (4°17'20.7"N101°08'02.9"E), Site 4 (4°15'04.0"N101°11'35.8"E) and Site 5 (4°20'12.2"N101°08'55.4"E). For heavy metal analysis, soil, shoot and root samples were dry-ashed and analysed by using inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS). The ability of the plant to accumulate heavy metals was estimated by using bioconcentration factor (BCF, ratio of metal concentration in plant roots to soil) and translocation factor (TF, ratio of metal concentration in plant shoots to roots), as described in Yoon et al. (2006). Gas exchange parameters were measured using a portable photosynthesis system (LCpro-SD). Chlorophyll contents were measured according to Barnes et al. (1992). Peroxidase activities were measured according to Maehly and Chance (1954). Catalase activity and lipid peroxidation assays were performed as in Dhindsa et al. (1981).

Results

BCF for various metal elements varied with plant locations (**Table 1**). BCF for the tested metals at all sites, except As (Site 3), Pb (Site 5) and U (Sites 4 and 5), showed values of more than 1. *W. indica* growing at Site 2 had the highest capacity to accumulate Mn in root tissues (BCF= 412.80), followed by Sr (BCF= 271.27).

Table 1: Phytoremediation capacity of the model plant species based on bioconcentration factor (BCF) of 10 selected heavy metals. Data are mean ± standard errors (n=3).

Site	Li	Mn	Co	Ni	Ga	As	Sr	Cd	Pb	U
1	42.73±3.65	102.55±17.69	30.27±11.32	33.29± 7.17	215.88±159.28	7.52± 2.99	190.14±19.53	84.36±10.24	7.88± 6.74	7.46± 3.97
2	66.25±1.22	412.80±106.10	23.09± 1.79	54.43±13.92	21.75± 7.84	31.74±8.68	271.27±25.57	60.70± 6.68	23.35± 8.65	5.15± 1.60
3	4.55± 0.14	4.42± 0.51	2.13± 0.27	13.82± 0.94	10.95± 1.48	0.55± 0.09	39.23± 3.05	138.16±3.62	6.29± 0.54	9.64± 1.46
4	10.59±0.90	6.93± 0.46	1.16± 0.17	8.14± 1.12	2.55± 0.16	1.24± 0.31	7.69± 0.37	129.21±30.67	5.11± 1.38	0.53± 0.09
5	2.12± 0.23	5.28± 2.30	4.18± 0.20	29.32± 6.07	2.63± 0.57	1.36± 0.09	36.64± 5.25	54.58± 18.38	0.84±0.10	0.28± 0.07

TF values ranged between 0 and 6 (**Table 2**). Overall, 54% of TF values were less than 1. For Site 3, TF for all metals, except for Uranium, exceeded 1. *W. indica* from Site 5 was the most efficient in accumulating Cd in its shoots (TF= 5.05). *W. indica* from Site 3 which exhibited good translocation capacity for Mn (TF= 4.18) and Li (TF= 4.09).

Table 2: Phytoremediation capacity of the model plant species based on translocation factor (TF) of 10 selected heavy metals. Data are mean ± standard errors (n=3).

Site	Li	Mn	Co	Ni	Ga	As	Sr	Cd	Pb	U
1	1.48 ± 0.39	1.61 ± 0.07	0.56 ± 0.01	1.92 ± 0.01	0.80 ± 0.003	0.52 ± 0.03	0.93 ± 0.04	0.69 ± 0.07	0.17 ± 0.01	0.08 ± 0.02
2	0.78 ± 0.10	1.71 ± 0.06	0.85 ± 0.04	1.47 ± 0.04	0.65 ± 0.01	0.77 ± 0.05	0.96 ± 0.03	0.46 ± 0.03	0.22 ± 0.02	0.32 ± 0.03
3	4.09 ± 0.01	4.18 ± 0.83	2.08 ± 0.12	2.17 ± 0.07	1.74 ± 0.09	3.90 ± 0.41	1.43 ± 0.25	2.48 ± 0.20	1.09 ± 0.15	0.72 ± 0.14
4	0.43 ± 0.06	1.62 ± 0.15	0.64 ± 0.01	1.42 ± 0.05	0.92 ± 0.05	0.45 ± 0.01	1.45 ± 0.02	0.95 ± 0.09	0.49 ± 0.07	0.31 ± 0.03
5	0.89 ± 0.06	3.75 ± 0.22	0.58 ± 0.04	0.37 ± 0.05	2.19 ± 0.42	1.60 ± 0.005	1.21 ± 0.01	5.05 ± 0.31	1.17 ± 0.25	0.44 ± 0.08

Volumetric water content of the soils was very low because of sandy soil. The soil was dry especially in Sites 2 and 3. Maximum photosynthetic rate at light saturation was high in Site 1, but low in Site 2 and 3. Among the physiological

parameters investigated, there were no significant differences among the specific leaf area in samples collected from all five sites (**Table 3**). Total chlorophyll contents in Sites 2 and 4 were both higher compared with Sites 1, 3 and 5. No differences were found for the ratios of chlorophyll a: chlorophyll b across the five sites.

Table 3: Soil moisture content, photosynthetic rates, specific leaf area and chlorophyll contents. Data are mean ± standard errors (n>5).

Site	Volumetric Water Content of the soil (m^3 m^{-3})	Maximum Photosynthetic Rate (μmol m^{-2} s^{-1})	Specific Leaf Area (cm^2/g DW)	Total chlorophyll content (mg/g FW)	Ratio of chl a: chl b
1	0.063 ± 0.033 [a]	21.0 ± 2.6 [a]	126.25 ± 2.27 [a]	1.15 ± 0.13 [a]	5.56 ± 0.50 [a]
2	0.044 ± 0.022 [ab]	12.1 ± 6.4 [b]	94.14 ± 6.97 [a]	2.31 ± 0.35 [b]	5.48 ± 0.55 [a]
3	0.024 ± 0.015 [b]	11.1 ± 7.3 [b]	122.13 ± 16.89 [a]	1.16 ± 0.16 [a]	5.05 ± 0.39 [a]
4	0.077 ± 0.037 [a]	16.7 ± 2.5 [ab]	117.17 ± 4.05 [a]	2.00 ± 0.13 [b]	6.46 ± 0.36 [a]
5	0.060 ± 0.028 [a]	16.6 ± 6.3 [ab]	119.45 ± 9.17 [a]	1.40 ± 0.13 [a]	6.37 ± 0.58 [a]

Different superscript letters in the same column denote values with statistically significant differences ($P < 0.05$) according to the Fisher's LSD test.

There were no significant differences among the catalase activities in leaf samples collected from Sites 1, 3, 4, and 5 (**Table 4**). For Site 2, catalase activity in leaf samples was at least 5.5-fold lower than that of other sites. Peroxidase activity varied broadly across the five sites. Peroxidase activity of samples from Site 2 was the lowest among all sites, although not significantly different from that in Sites 4 and 5. Peroxidase activity of samples from Site 3 was the highest among all sites. The lowest levels of lipid peroxidation were detected in samples from Sites 1 and 2, whereas the highest level in Site 5.

Table 4: Catalase and peroxidase activities and level of lipid peroxidation (calculated as TBARS content) in leaf samples. Data are mean ± standard errors (n=3).

Site	Catalase specific activity (μmol H_2O_2 decomposed / min / mg protein)	Peroxidase specific activity (nmol tetraguaiacol produced / min / mg protein)	Thiobarbituric acid-reactive substances (nmol TBARS/g FW)
1	55.55 ± 11.07 [a]	92.24 ± 36.17 [a,c]	59.93 ± 12.43 [a]
2	8.91 ± 3.52 [b]	10.35 ± 1.75 [b]	64.95 ± 13.06 [a]
3	49.66 ± 7.27 [a]	130.14 ± 28.49 [a]	112.35 ± 13.76 [b]
4	65.52 ± 5.55 [a]	27.51 ± 2.09 [b,c]	128.56 ± 2.42 [b]
5	71.46 ± 17.02 [a]	43.20 ± 8.63 [b,c]	179.40 ± 9.76 [c]

Different superscript letters in the same column denote values with statistically significant differences ($P < 0.05$) according to the Fisher's LSD test.

Discussions

W. indica growing in different ex-tin mining sites showed different phytoremediation capacities for various metal elements. Overall, BCF data indicate that the species of *W. indica* is suitable for phytoextraction. Phytoextraction is a plant-based approach for the removal of contaminants from soils and concentrates them into harvestable tissues. BCF data also indicate that *W. indica* is suitable for remediation of Mn and Sr-contaminated soils. Most metals were highly accumulated in *W. indica* roots and remained there, while some metals were further translocated to the shoots. The immobilisation of contaminants through absorption by roots is known as phytostabilisation. TF data indicates that *W. indica* at Site 3 was more efficient in translocating heavy metals compared with the same species in other sites. This correlated with the highest peroxidase activity in Site 3, suggesting that this enzyme may have protective value in the plant tolerance against potential heavy metal stress. However, the overall low TF values for Site 1 in comparison to Site 5 do not correlate with peroxidase activities in the two sites. Thus, peroxidase activity does not appear to be a reliable indicator of the plant's ability to phytoremediate metal-contaminated soils. Similarly, catalase activity and lipid peroxidation levels did not correlate with phytoremediation capacity of the plants in the five sites.

Conclusion

W. indica is potentially useful for the phytoextraction and phytostabilisation of heavy metal-contaminated soils. Physiological and biochemical parameters investigated did not correlate with phytoremediation potential of the species in the five ex-tin mining sites. Thus these parameters are not good predictors of phytoremediation potential. A more comprehensive characterisation of the physiological and biochemical characteristics may be more useful in future.

References

Barnes, J.D., Balaguer, L., Manrique, E., Elvira, S., & Davison, A.W. (1992) A reappraisal of the use of DMSO for the extraction and determination of chlorophylls a and b in lichens and higher plants. *Environmental and Experimental Botany*, 32: 85–100

Dhindsa, R.S., Plumb-Dhindsa, P., & Thorpe, T.A. (1981) Leaf senescence: Correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *Journal of Experimental Botany*, 32: 93-101

Maehly, A.C. & Chance, B. (1954) The assay of catalases and peroxidases. *Methods of Biochemical Analysis*, 1: 357-424

Yap,K.M.(2007) Tin mining in Malaysia- Is there any revival?. *Jurutera*, 12-18

Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q., & Ma, L. Q. (2006). Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Science of the Total Environment*, *368* (2), 456-464

脈動オーロラによる中間圏ナトリウム密度減少の観測
Observation of mesospheric sodium density depletion due to pulsating aurora

髙橋透、国立極地研究所・研究教育系宙空圏研究グループ

太陽風のエネルギーは、オーロラ電子の降下やオーロラ電流系の強化などの形で極域の地球大気に注入される。太陽風エネルギーの入力に対する地球大気の物理的・化学的応答の把握は、太陽から地球大気へ供給されるエネルギーの散逸を理解する上で欠かすことができない。これまでの研究では、ディスクリートオーロラ内部の温度上昇や、オーロラアーク近傍における中性風速の急峻な変動が報告されてきた(Kurihara et al., 2006; Kosch et al., 2010)。これらの現象は、主として、オーロラ電流によるジュール加熱や、磁気圏電場の印加に伴うイオンドラッグなどの物理的プロセスによって駆動されていると考えられているが、それらの物理過程のみでは、現象のすべてを説明できないことが分かっている。これは、中性大気の応答に対する化学的応答の貢献を定量的に評価せず、その寄与が未解明な点に本質的に起因する。

研究目的

中間圏のナトリウム密度は、大気波動やその散逸により生成される乱流によって常に変動を受けている。これらの寄与と区別するためには、地球大気へのエネルギー入力が準周期的に行われる事例について、数秒スケールの高速観測により化学的応答の時間特性を調べていくことが望ましい。本研究でターゲットとする脈動オーロラは、磁気圏での波動粒子相互作用によって電子が数秒から数十秒の周期で電離圏に降下することで、準周期的な明滅を示す現象である。脈動オーロラを作り出す電子のエネルギーは高く（最高 200 keV、Miyoshi et al., 2015）、100 km 以下の高度を効率的に電離する。本研究では、数十秒周期で明滅する脈動オーロラに対する中間圏大気の化学的応答、特に応答が内包する早い時間変動を、光、電波、レーザーによるリモートセンシングと理論的考察を組み合わせて、定量的に解明することを目的とする。

研究方法

本研究はノルウェー・トロムソの EISCAT トロムソ観測所において、EISCAT レーダー、ナトリウムライダー、流星レーダー、全天カメラのキャンペーン観測を実施した。トロムソ UHF レーダーを用いて、電離圏 E 領域の電子密度の導出を行なった。これらの観測には脈動オーロラの数秒の周期の明滅に伴った電子密度、Na 密度の変動を捉える為に、1 秒以下の時間分解能での観測を実施した。ナトリウムライダーは現行の 5 秒分解能からサブミリ（0.2 秒）秒での観測が可能になるように観測ソフトウェアの開発を行い、ナトリウムライダーの観測系に組み込んだ。

研究結果

2016 年 10 月 28 日から 2016 年 11 月 7 日までと、2017 年 1 月 24 日から 2017 年 2 月 6 日までの 2 回、合計 25 日間にわたってノルウェー・トロムソ観測所に滞在し、EISCAT レーダー、ナトリウムライダーの観測に従事した。これらの期間内に EISCAT レーダーを 25 時間運用した。天候不良やナトリウムライダーのレーザー送信系の不調により、長時間の同時観測を成立させるには至らなかったが、2017 年 2 月 1 日、2 日の晩の合計 6 時間において、ナトリウムライダーとの同時観測が成立した。この同時観測データに関して現在、解析を行っている。

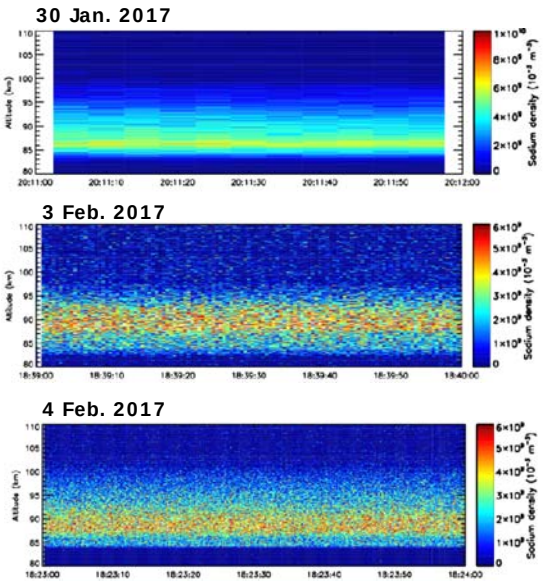


図 1. ナトリウムライダーで観測された Na 密度。上段がこれまでの時間分解能での Na 密度、中段、下段が本研究で開発した観測ソフトによって実現した高速観測によって得られた Na 密度(0.5、0.2 秒分解能)。

同時に、高速観測用のナトリウムライダーの観測ソフトウェアの開発を行った。このソフトウェアを用いて、2017 年 2 月前半には最速 0.2 秒分解能での Na 密度の導出を行うことに成功した。中性大気温度と同時に導出された Na 密度の時間分解能としては、世界最速であり今後の解析によって、数秒のスケールでオーロラによって変動する中性大気が内包する化学反応過程のより詳細なメカニズムに関する新たな知見が得られることが期待できる。

まとめ

本研究では、ナトリウムライダーと EISCAT レーダーを使って 1 秒以下の分解能で Na 密度、電子温度を導出し、脈動オーロラに伴う Na の化学的応答を理解することを目的として研究を遂行した。今年度 EISCAT 観測所には 24 日間滞在し、EISCAT レーダーを 25 時間運用した。天候不良や観測機器の不調等があったものの、2 晩合計 9 時間において、EISCAT レーダーとナトリウムライダーの同時観測が成立した。この同時観測ではナトリウムライダーは 1 秒時間分解能で Na 密度を導出することができる観測モードであった。

また、ナトリウムライダーの高速観測化も行った。現段階では 0.2 秒分解能での観測に成功しており、今後脈動オーロラに追従する Na 密度変動の研究をより詳細に行うことを可能にしている。本結果は、データ解析を行い、来年度の EISCAT 国際シンポジウム等の学会、研究集会で報告し、議論を深め、投稿論文としてまとめる予定である。

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

八代誠司、米カトリック大学・物理学科

【研究目的】

太陽フレアはコロナ質量放出(Coronal Mass Ejection; CME)を伴う噴出型(eruptive)と、伴わない非噴出型（confined）の２種類に分類できる。太陽フレアとCMEは磁気リコネクションで発生する一連のエネルギー解放現象の異なる側面と理解されているが全てのフレアに必ずCMEが存在するのではなく、最大級であるXクラスフレアでも約10%はCMEを伴わない。そして高エネルギープロトン現象や磁気嵐などの主要な宇宙天気現象を引き起こす直接の原因がCMEであることから、フレア発生時のCME付随条件を解明することやCMEの有無によるフレアの特徴を明らかにすることは宇宙天気研究にとって非常に重要である。フレアとCMEの関係について統計的に比較することで両者の関係を明らかにするとともに、宇宙天気予報の精度向上へ貢献する。

【研究方法】

研究の基盤となる噴出型・非噴出型フレアリストを作成した。1996年-2015年発生したすべてのMクラス、Xクラスフレアについて、SOHO衛星やSTEREO衛星を用いてCMEの有無を調べた。フレアとCMEの紐付けは発生のタイミングを合わせるだけでは不十分で、フィラメント噴出やDimming などの太陽表面に現れるCMEに付随する現象を確認する必要がある。SDO衛星、STEREO衛星、「ひので」衛星で取得されるEUV像やX線像だけでなく地上観測されるＨα線像を用いて噴出現象を調べた。コロナグラフ観測がある2014例のフレアについて丁寧に調べ、869例のフレアは確実にCMEを伴い、860例にはCMEが確実に無いことを確認した。残りの285例のフレアは、太陽表面の噴出現象が曖昧などの理由でCMEの有無を決定できなかった。

【研究成果】

噴出型・非噴出型フレアリストのうち、野辺山電波ヘリオグラフで観測されたフレアについて調べ、電波強度が強くなるとともにフレアにCMEが付随する割合が増加することを発見した。成果はSolar Physics with Radio Observations, Nagoya, Sept. 9-10, 2016 にて発表した。作成されたフレアリストを ICCON ウェブサイト(https://hinode.isee.nagoya-u.ac.jp/ICCON/) にて公開した。

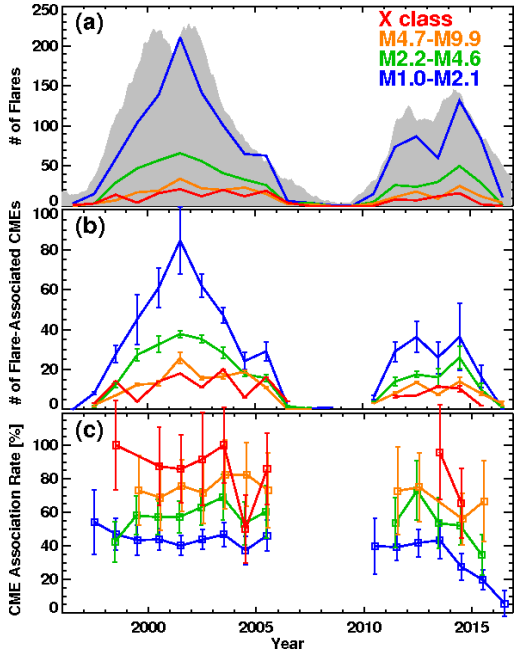


図１　太陽フレアの年間発生数(a), CME が付随するフレアの年間発生数(b), および CME 付随率(c)の年変化。

次にフレアのCME付随割合が太陽活動に対して変化するのか否かを調べた。フレア強度による違いを調べるために、Lower-M(M1.0-M2.1), Middle-M(M2.2-M4.6), Higher-M(M4.7-M9.9) と X の４クラスに分類し、その年間の発生数を図1a に示す。太陽周期変化との比較のために、太陽黒点数を灰色の影で表示してある。2000年ごろの左の山が第23太陽活動周期、右の山が第24太陽活動周期である。次にCMEが付随したフレアの年間の発生数を図1b に示す。ここで、CMEの有無がはっきりと確認できなかったイベントは誤差として扱い、その半数がCME有りと仮定した。そして、CMEが付随するフレア数を全フレア数で割ることで、CME付随率を求めた(図1c)。フレア強度が強くなるにつれて（青から赤になるにつれて）CME付随率は40%から90%へと上昇することがわかる。太陽活動周期23から24の前半までは、各フレアレベルでほぼ同じ値で推移していたが、2014年から急激に減少したことを発見した。第24 太陽周期は北半球が2012年に、南半球は2014年に活動のピークがあった。黒点数、フレア数は2014年の方が多かったが、CME数は2012年の方が多かった。

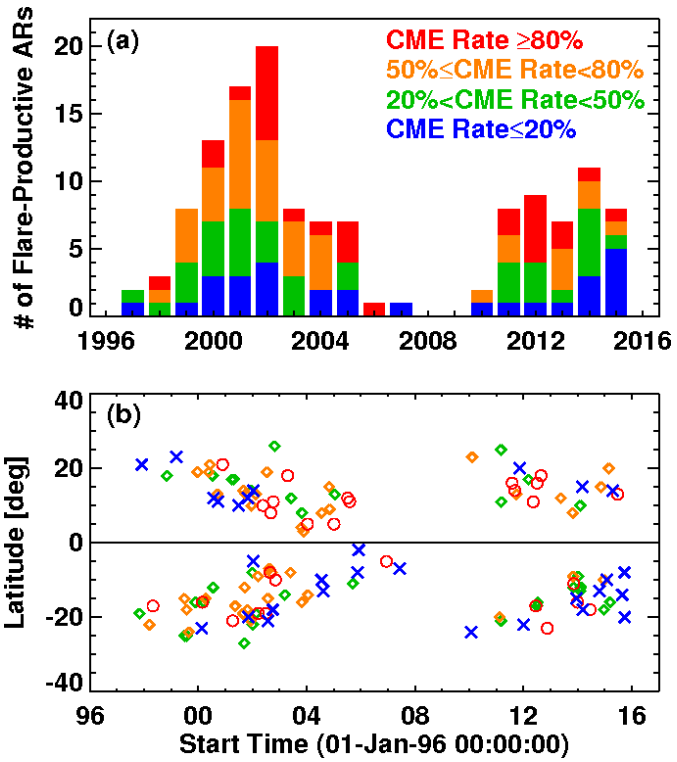


図２ CME 付随率でわけたフレアプロダクティブな活動領域の数(a)と緯度(b)の太陽周期変化。

なぜCME付随率が減少したのかを調査した。少なくとも５個以上のM,Xフレアが発生したフレアプロダクティブな活動領域を選び出し、活動領域ごとにフレアのCME付随率を求めた。図2a にフレアプロダクティブな活動領域の数の年変化を示す。CME付随率で色分けしてある。第24太陽周期の南半球に出現した活動領域の約半数が、フレア活動は高くてもCMEを発生しない CME-Poor な活動領域であったことを発見した(図2b)。CME-Poor活動領域としてNOAA AR 12192が有名であるが、似たような活動領域が第24太陽周期の南半球に多数出現したことを発見した。

【成果発表】

Yashiro, S., Gopalswamy, N., Akiyama, S., Makela, P. and Masuda, S., CME association rate of solar flares in cycles 23 and 24, AGU Fall Meeting, San Francisco, December 2016

Yashiro, S., Gopalswamy, N., Akiyama, S., Makela, P. and Masuda, S., CMEs in solar cycle 24 and their space weather consequence, The 2nd PSTEP International Symposium, Kyoto, March 2017

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
Design and development of baffle and vane for a space-borne imaging optical system

坂野井健、東北大学・大学院理学研究科

＜研究目的＞

現在、電磁圏・熱圏コミュニティでは、将来小型衛星の観測検討が行われている。その搭載装置候補の一つにオーロラ・大気光撮像装置ある。将来衛星では、高高度観測を計画しており、日照条件下でオーロラ・大気光撮像を可能とする迷光対策や、広視野紫外撮像光学系の開発が必要不可欠である。本研究は、将来小型衛星による地球や火星における中～高高度からの観測により、可視オーロラ詳細観測と紫外広域観測を達成するため要求される技術検討を行う。

＜研究方法＞

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

以上の課題について、平成28年度は広視野紫外撮像を可能とする光学系検討と、海外で紫外オーロラ・大気光撮像の実績のある2グループを訪問し最新の情報収集を行う。地球紫外オーロラ・大気光の撮像に関して、米国カリフォルニア大バークレー校のHarald Frey氏はIMAGE衛星やICON衛星の紫外撮像を担当している実績があり、またれいめい衛星データ解析でも協力関係がある。また、火星オーロラについては、米国コロラド大・大気宇宙物理研究所（LASP）Nick Schneider氏はMAVEN探査機紫外分光器IUVSを担当した実績があり、火星CO2+紫外オーロラで成果を挙げており、MAVENの最新成果と装置設計両面から共同研究は不可欠である。

＜研究結果とまとめ＞

平成28年度は、まず紫外オーロラ観測装置の検討を進めた。この結果、観測対象は酸素原子（OI）135.6nmまたは窒素分子LBHが適当と判断された。また、光学系は分光器と単色イメージャーのそれぞれ長所短所を比較し、本計画では小型軽量となる単色イメージャーのほうが適当であると判断された。また、ジオコロナ（Ly-alpha 121nm）を除去のためにBaF2やCaF2フィルターを用いる案が検討された。また、紫外光学系については、狭視野光学系と広視野光学系の2通りがいずれもアプラナートによる反射系で設計された。狭視野光学系は3枚鏡系で、視野2x2°、Fno=6.0、焦点距離f=380mm、広視野光学系は7枚鏡系で視野40x48°、Fno=2.4、焦点距離f=5.28mmで、いずれも検出器前面で十分に収差の小さな像がえられることを解析により確認した。

また、コロラド大LASPならびにカリフォルニア大バークレー校SSLには、3月14-19日にかけて連続して訪問した。コロラド大LASPではNick Schneider准教授、Sonal Jain研究員らと、最新のMAVENの火星紫外オーロラや大気光観測成果や、我々の火星オービターからの紫外撮像観測計画について情報交換がなされた。カリフォルニア大バークレー校SSLでは、Harad Frey研究員ならびにChris Chaston研究員と、欧米のオ

ーロラ・磁気圏観測衛星の最近の動向や我々の地球オーロラ・大気光観測計画について情報交換がなされた。とくに、オーロラ紫外撮像ならびに可視撮像いずれも検出器に放射線被曝をさけるためにCMOSがよいことが示唆された。また、ミラーの反射率は0.9を越えるものが入手可能であり、今年度設計した7枚反射系でも十分実現可能であると判断された。

＜成果発表＞

・査読付き論文

1 Sakanoi, T., M. Kagitani, H. Nakagawa, T. Obara, Y. Kasaba, S. Okano, J. R. Kuhn, S. V. Berdyugina, I. F. Scholl and M. Yoneda (2017), Optical and IR observations of planetary and exoplanetary atmospheres, SPIE Newsroom, DOI: 10.1117/2.1201612.006817.

2 Nakagawa, H., S. Aoki, H. Sagawa, Y. Kasaba, I. Murata, G. Sonnabend, M. Sornig, S. Okano, J. Kuhn, J. M. Ritter, M. Kagitani, T. Sakanoi, M. Taguchi, K. Takami(2016), IR heterodyne spectrometer MILAHI for continuous monitoring observatory of Martian and Venusian atmospheres at Mt. Haleakal, Hawaii, Planet. Space Sci., DOI information: 10.1016/j.pss.2016.04.002.

3 Nishiyama, T., Miyoshi, Y., Katoh, Y., Sakanoi, T., Kataoka, R., Okano, S. (2016), Substructures with luminosity modulation and horizontal oscillation in pulsating patch: Principal component analysis application to pulsating aurora, J. Geophys. Res. A121 (3), pp. 2360-2373, DOI: 10.1002/2015JA022288.

・国際学会発表

1 Iwata, T., T. Sakanoi, H. Nakagawa, J-P. Bibring, V. Hamm, C. Pilorget, T. Nakamura, S. Aoki, S. Crites (ISAS/JAXA), and Y. Kasaba, Near-Infrared Hyperspectral Imager NIRS4/MacrOmega on MMX, Intern. Session of Symposium on Planetary Science 2017, Tohoku Univ., Sendai, Feb. 20-22, 2017.

2 Sakanoi, T., et al., Near-field imaging and SNR estimation, MMX mission remote sensing science meeting, Tohoku Univ., Sendai, 28-29 Nov., 2016.Sakanoi, T., T. Iwata, T. Nakamura, T. Kasaba, M. Taguchi, H. Nakagawa, M. Kagitani, A. Yamazaki, S. Aoki, T. M. Sato, Development of Near- and Mid-Infrared Imaging Spectrometers for the Martian Moon's Sample Return Project and Future Planetary Missions, 13th Annual Meeting AOGS, Beijing, 31 Jul to 5 Aug, 2016.

3 Sakanoi, T., T. Iwata, T. Nakamura, Y. Kasaba, M. Taguchi, H. Nakagawa, M. Kagitani, A. Yamazaki, S. Aoki, T. M. Sato, Development of near- and mid-infrared imaging spectrometers for the Martian moon's sample return mission and next generation space projects, Intern. session of JPGU 2016, Makuhari Messe, May 22-26, 2016.

・国内学会等

1 坂野井健他，夜側オーロラ領域のサイエンス，平成28年度磁気圏・電離圏シンポジウム，宇宙科学研究所，10月14-15日，2016.

2 坂野井健，他，MMX搭載検討のAOTF素子を用いた近赤外ハイパースペクトルイメージャー，第16回CPS月惑星探査研究会「太陽系探査を目指した，観測装置に関するワークショップ」，10月11-12日，2016.

3 平原 聖文，齋藤 義文，大山 伸一郎，浅村 和史，横田 勝一郎，坂野井 健，小嶋 浩嗣，宇宙地球結合系探査に向けた編隊飛行衛星計画とプラズマ・中性粒子分析器開発，及び開発環境整備，日本地球惑星科学連合2016年大会，幕張，May 22-26, 2016.

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

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

芳原容英, 電気通信大学・Ⅱ類（融合系）電子情報学プログラム

【研究目的】

落雷からの電磁放射のうちELF帯放射は、その波長の巨大さゆえ、大地と電離層の間の３次元的な球殻状コンデンサー中の電磁波動の伝搬となる。また、VLF/LF帯観測から導出される落雷ピーク電流とは独立した、落雷電荷モーメントの遠隔導出が可能である。本研究では、マレーシア国内の共同研究者とともに、マレー半島に新規ELF観測点を構築することにより、既存の国内に設置したISEE観測所敷地内の観測点と合わせて、東南アジア域におけるELF帯観測ネットワークを構築する。この新規ELF観測ネットワークと申請者のホスト観測点の１つであるWWLLN等の既存の落雷標定ネットワーク観測から雷落雷電荷モーメントやVLFエネルギーの詳細な時空間分布を導出し、その季節変化や背後にある気象特性を調査し、大きな電荷モーメントを有する落雷発生機構の解明や、中間圏発光現象発生領域の調査を行う。また低緯度域での、雷嵐に伴う大気波動や、電磁界による大気と上層プラズマとの結合過程について、上記落雷電荷モーメント、VLFエネルギー時空間分布とVLF帯送信電波受信による電離層擾乱観測や、レーダー、光学観測との併用により調査する。さらに、マレーシア国内での詳細な落雷電荷量の空間分布を導出し、雷災害ハザードマップを作成することで、同国において近年大きな問題となっている、大電荷量を伴う落雷の電力設備等への雷災害の軽減に貢献する。

【研究方法】

１．マレー半島でのELF帯磁場観測システムの展開に向けた電磁環境調査とテスト観測

本研究代表者が日本国内に展開中のELF帯電磁場観測（周波数帯 1 Hz ~ 1 kHz）からの知見を最大限利用のうえ、マレー半島において設置候補地を複数選定し、電磁環境調査およびテスト観測を実施する。なお、観測点の選定、設置および、観測データの転送と蓄積は、マレーシアの国際共同研究パートナーとの協働にて実施する。

2. 国内ELF観測点の整備

ISEE北海道母子里観測所敷地内で実施させていただいているELF観測に関して、ISEE北海道陸別観測所への移設にむけ、電磁環境調査調査と、機材の設置を実施する。

【研究結果と考察】

１．マレー半島におけるELF帯電磁環境調査とELF磁場波形テスト観測

マレー半島でのELF帯観測点候補として以下の２地点を候補地として選定し、現地にて電磁環境調査及びテスト観測を実施した。

(a) UPM（プトラジャヤ大学キャンパス内)

H２８年８月２９日～９月４日にかけて、クアラルンプール近郊の都市であるプトラジャ

ヤにあるプトラジャヤ大学において、Prof. Gomesの協力のもと、雷観測施設敷地内にELF観測装置(磁場センサー含む)を展開し、数日間にわたる連続観測を実施した。その結果、５０Hz以上の周波数において多くの時間的に変動する電磁干渉が見られた。そこでディジタルフィルタ処理により、５０ Hz以下の周波数成分を抽出したところ、落雷に伴うELFトランジェント波形が受信できることが分かった。

(b) UTM（マレーシア工科大学）ジョホールバルキャンパス

Ｈ２９年３月１９日～３月２３日にかけて、マレーシア南端のジョホールバルにあるマレーシア工科大学のProf. Abdul-Malekを訪問し、キャンパス内の丘にある観測所にてELF観測装置、磁場センサーを展開し、数日間にわたる連続観測を実施した。その結果、電力線放射及び高調波による電磁干渉が強いものの、これらの放射周波数が安定しているため、ディジタルフィルタで除去したところ、インダクションコイルセンサーのアッパーカットオフ周波数である1 kHzまで、落雷に伴うELFトランジェント波形が多数受信できることが確認された。

2. 国内ELF観測点の整備

Ｈ２８年８月２５日～２７日にかけて、ISEE北海道陸別観測点の森の中にELF磁場観測システムの仮設置（コイルは地上）および連続テスト観測を開始した、ELFトランジェントの観測結果が良好であったので、同年１０月２６日～２８日にて本設置を実施し無事終了した。現在、データの取得中であり、上記のマレーシアの観測結果との照合を実施予定である。

【まとめと今後の展開】

3年計画の初年度であるH28年度には、研究方法に記述されたように、マレーシア国内２地点において落雷に伴うELF帯電磁放射の連続観測のための電磁環境調査およびテスト観測を実施した。その結果、UTM (マレーシア工科大学) ジョホールバルキャンパスおよび、UPM(プトラジャヤ大学キャンパス内)の両地点において落雷に伴うELF帯トランジェントの受信が確認された。なお、受信環境はUTMの方が卓越しており、周波数１kHzまでの広帯域で観測が可能であるが、UPMにおいては、電磁干渉のため40 Hz以下の周波数での観測のみが可能であることが確認された。今後の展開として、まずテスト観測中に受信されたトランジェントの落雷源の位置同定および電荷モーメントの導出が喫緊の課題である。これには日本の観測点のデータも用いる。また、今回のマレーシアの観測候補２点のうち電磁環境のより良好なUTMを第一候補として、現在現地の共同研究者から提案されている北部および東部の別の候補地も検討した上で、最終決定し、連続観測を開始する。

北海道ISEE母子里観測所敷地内にて実施中の、ELF帯トランジェント電磁場観測設備の移設に向け、ISEE陸別観測所にてELF周波数帯における電磁環境調査、数か月にわたるテスト観測を経て、新たにELF帯磁場観測設備の本設置を実施し、無事連続観測を開始することができた。

【研究成果発表】

Y. Hobara, J. Yamashita, T. Narita, H. Mitsuzuka, "Electrical properties of lightning over northern part of Japan by using ELF and LLP observations", European Geosciences Union General Assembly 2016 Vienna, Austria, 17-22 April, 2016.

Y. Hobara, " A study on global temperature and thunderstorm activity by using the data of Schumann resonance observed in Japan", The Atmospheric Global Electric Circuit (GEC), Mitzpe Ramon, Israel, 5-10 February 2017.

【謝辞】

今回の国際共同研究プロジェクトのおかげで、国内観測点の移設及び、マレーシアに於ける新たな観測点の設置にむけ大きな前進がみられました。ISEEおよびマレーシアの共同研究者の方々、ISEE陸別観測点の関係者の皆さまにこの場を借りて厚くお礼申し上げます。

２．ISEE International Joint Research Program 目次詳細

（所属・職名は平成29年3月現在）
(Affiliation and Department are correct as of March 2017)

研究代表者	所属機関	所属部局	職名	研究課題名	頁
Olawale Segun BOLAJI	University of Lagos	Dpeartment of Physics	Senior Lecturer	The role of day-to-day plasma movement in triggering and modifying ionospheric irregularities	51
Jing Huang	National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences	Solar Radio Research Group	Associated Professor	Joint investigation of solar activities by MUSER and NoRH	53
Sunil.K. Gupta	Tata Institute of Fundamental Research (TIFR)	Department of High Energy Physics	Senior Professor	Study on dynamics of galactic cosmic rays in the heliosphere	55
Jozsef Kota	The University of Arizona	Lunar and Planetary Laboratory	Senior Research Scientist	Study of Ground Based Cosmic Ray Observations	56
Hsiu-Shan Yu	University of California, San Diego	Center for Astrophysics and Space Sciences	Assistant Research Scientist	Three-dimensional tomograpic analysis using integrated global IPS data sets from MEXART and ISEE observations	58
Park Kyung Sun	Chungbuk National University	Department of Astronomy and Spacce Science	Visiting Professor	The study of the magnetospheric phenomena for the dipole tilt effect by using a Global MHD simulation	60

The role of day-to-day plasma movement in triggering and modifying ionospheric irregularities

Bolaji, O.S. (Department of Physics, University of Lagos, Nigeria)

Purpose

A significant factor, which ionospheric irregularity is known for is its peculiarity to equatorial and low latitude (ELL). The equatorial latitude is well-known region characterized by equatorial ionization anomaly (EIA) due to vertical drift of plasma (Vz) that produced daily EIA troughs and crests (Hanson and Moffet, 1966) modulated by meridional wind. Apart from gravitational Rayleigh-Taylor (R-T) instability, a well-known process that explains ionospheric irregularity, efforts of Risbeth (1971), Raghavarao et al. (1988), Sridharan et al. (1994), Fejer et al. (1999), de Paula et al. (2015) have shown that electron density gradient, eastward electric field, Vz, eastward winds in the presence of the westward gradient, vertical winds and meridional winds play key role in the day-to-day variability of ionospheric irregularity. For example, Raghavarao et al. (1988), Alex et al (1989), Jayachandra et al. (1997), Rama Rao et al. (1997) used few ionosondes to investigate the role of evening EIA on ionospheric irregularities. These limited ionosondes were unable to clearly depict the EIA troughs and crests because the number of stations used are inadequate. Stations around 20^0 dip of the equator classified as the crests by Raghavarao et al. (1988), Alex et al (1989), Jayachandra et al. (1997), Rama Rao et al. (1997) are questionable, as they may not, since the EIA feature varies from one day to another. This question is partly answered in the works of de Paula et al. (2015) as their attention is more focused on the weakening of Vz and equatorward thermospheric meridional wind at Sao Jose (17.3^0S dip latitude) during sudden stratospheric warming (SSW) event of 2012/2013. Also, different threshold values of Vz have been suggested for the occurrence of ionospheric irregularity (Basu et al., 1996; Fejer et al., 1999; Whalen, 2003; Anderson et al., 2004; Huang et al., 2010). Apart from the shortcoming that their investigations were made at a fixed location (the EIA trough, along the crest and crest could not be identified), it is clearer that the discrepancies in the Vz threshold values is due to differences in the plasma magnitudes at different locations at sunset that was not given attention to. A critical issue here, which has not been addressed is whether the plasma density around the ELL and its movement from one location to another must reach some threshold value or not for the generation/modulation of ionospheric irregularity. This crucial issue arises from the fact that the weakened Vz at Sao Jose reduced scintillations activity during SSW (Fig 1a). de Paula et al. (2015) attributed this to equatorward thermospheric wind that transported the plasma away from Sao Jose (Fig 1b). This signifies that the plasma will accumulate somewhere else (new location) and the condition of ionospheric irregularity at the new location with respected to the former depleted location remains unresolved. This indicates that apart from the periods of SSW, there is difference in the location of EIA crests and troughs on day-to-day basis over the ELL that as well produced difference

in the magnitudes of plasma around 1800-2000 LT. Hence, the role played by plasma and its transportation along the EIA crest having different magnitudes at different locations on daily basis around 1800-2200 LT (evening-night period) as regard ionospheric irregularity remains opened for thorough investigations.

To address these shortcomings, I will like to answer the following questions during my stay at ISEE:

1. Where is EIA trough, along the crest and crest and their extent of locations on daily basis?
2. What is the threshold TEC and Vz values at identified EIA trough, along the crest and the crest that could generate/modulate ionospheric irregularity?
3. Since meridional wind moves plasma accumulation from one location to another on daily basis, what is their threshold values for equatorward and poleward direction?
4. What are the physical mechanisms responsible for the above questions?

Methods

This work will be carried out within the ELL over the Asian sector during months of high (equinoctial months; March and September) and low (June and December) occurrence of ionospheric irregularities around 1800-2200 LT. The densely populated GPS receivers over Asia will be mapped from the Asian hemispheric geomagnetic equators to closer to the middle latitudes. These will reveal the daily plasma density distribution with respect to plasma transportation from one location to another. Of course, not all these locations along the Asian crest with potential of becoming the EIA crest will have scintillation monitors, but some of them will have OMTI or VHF radar that could complement it to observe and measure ionospheric irregularity. For example, along the Asian crest is the ISEE three closely spaced GPS receivers that measure ionospheric scintillation and determined the ionospheric plasma drift. This is co-located with the Equatorial Atmosphere Radar (EAR) at Kototabang (0.20^0S, 100.32^0E, geomagnetic latitude 10.6^0S) that could observe coherent echoes due to field aligned irregularities and as well produced the vertical drift is a host to varieties of atmospheric instrumentations including Magnetometer (210 MM) and All-sky imager. The FPI and VHF radar will as well reveal the role played by meridional wind along the Asian crests on daily basis.

Results

In-Progress.

Periods of stay in ISEE

November 19th to December 18th, 2017.

List of publications in maximum two pages

No publication yet. Results in-progress.

Joint investigation of solar activities by MUSER and NoRH

Jing Huang[1], Baolin Tan, Chengming Tan, and Xiao He[2]
(1. National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences
2. Peking University, School of Physics)

MUSER recorded the radio emission from the Sun at 0.4-15 GHz and NoRH recorded the radio emission from the Sun at 17 and 34 GHz. The joint analysis of MUSER and NoRH data could help us to understand the radio emission from chromosphere, corona and even in the bottom of interplanetary space. We could study both quiet sun and solar bursts based on the observational features deduced from NoRH and MUSER data.

From April 2016 to now, we have studied several solar flare events with NoRH and MUSER data and also investigated quiet sun comparing with model results. Jing Huang and Xiao He have analyzed an eruptive flux rope at the solar limb. They found that bright point with small size in the flux rope appeared when the flux rope grew up. The bright point distributed in the whole flux rope before it ejection and the intensity of individual bright point become weak when the flux rope grew up into lager size. After the flux rope ejection, the bright point became weaker and disappeared. This bright point could be emitted by thermal plasma inside the flux rope with higher temperature than the local plasma. This may indicate that reconnection with small size occurred inside the flux rope, which thermalize the local plasma. The main flare took place after the ejection of flux rope and nonthermal emission of electrons emitted from the underlying flaring loops. This work firstly found the small size of reconnection inside the eruptive flux rope.

Based on the support of ISEE international joint research program, the team members have visited Nagoya University for twice:

09-11/09/2016, Yihua Yan, Baolin Tan, Chengming Tan and Jing Huang attended the meeting ‘Solar Physics with Radio Observations’ held in Nagoya Universityand presented talks. The titles of their reports are listed as following:

Yihua Yan: Recent Progress of MUSER

Baolin Tan: Solar microwave Zebra pattern burst and its source region

Chengming Tan: Radio Emission Diagnosis of Solar Atmospheric Model

Jing Huang: Quasi-periodic acceleration of electrons in solar flares

16-24/01/2017, Baolin Tan and Chengming Tan visited ISEE for nine days. Baolin Tan presented a talk on "solar microwave type III bursts and the diagnostics of flaring source

regions" in an informal meeting on solar radio physics in Nagoya University on January 20, discussed the observations of solar radio zebra pattern obtained by a Japanese radio spectrometer AMATERAS. In most time of the visit, Baolin Tan discussed the pre-flare VLPs with Japanese collaborators and analyzed the NORH and NORP observations to find out the evidence of preflare VLP. Chengming Tan presented a report on "Study of the radio quiet Sun" in the seminar on solar radio physics. During the visit, he learned how to use the NoRH/NoRH data, and compare the observation of the radio quiet Sun with the theoretical results.

22-31/01/2017, Jing Huang visited Nagoya University and studied a flare event on July 23, 2016, which occurred at solar limb with two successive filament eruption. From NoRH observations, two sources could be found in the flaring region, which are related to two individual loop structures. The filaments were originated from the same region, which is located between these radio sources. We have analyzed the spectral evolution of the radio emission and found that the spectral index become hard when the filament move faster. The movement of filament would affect the acceleration process of electron.

Study on dynamics of galactic cosmic rays in the heliosphere

Sunil.K. Gupta (TIFR)

There is an active ongoing participation of several Japanese scientists in the GRAPES-3 experiment located in Ooty, India which contains world's largest (560 sq.m) muon telescope that detects GeV muon. The contribution of Japanese collaborators has been critical in its success. The GRAPES-3 provides an uninterrupted 17-year data base of muon intensity with highest sensitivity covering cycles 23 and 24. With the help of this data base, manifestation of space weather events triggered by CMEs, flares, coronal holes etc. leading to Forbush decreases, and various solar and sidereal anisotropies can be probed with unprecedented sensitivities (Nonaka 2006, Subramanian 2009, Arunbabu 2013 2015, Kojima 2016a 2016b).

In Nonaka (2006), we showed that the time structure of Forbush decrease of 29 October 2003 could be studied in great detail as well as its rigidity spectrum could be measured with fairly high accuracy. In subsequent, analysis of data it was shown that a combination of multi-rigidity GRAPES-3 data could be used to measure the turbulence in the IMF in magnetic clouds propagating in interplanetary space (Subramanian 2009). This work was followed by further studies that showed that CME sheath region was mainly responsible for generation of Forbush decrease in GRAPES-3 data with shock region playing a minor role. This study depended on the use of GRAPES-3 multi-rigidity data. Subsequent analysis showed that the Forbush decreases typically lag behind the IMF by several hours, and lag corresponds to time taken by high-energy protons to diffuse into the IMF via cross-field diffusion. Thus, high rigidity events associated with CMEs are caused primarily by the cumulative diffusion of protons across the IMF in the turbulent sheath region between the shock and the CME (Arunbabu 2015).

The sensitivity of GRAPES-3 data can be gauged from the fact that even a small change in atmospheric pressure cause significant change in the detected muon rate (P.K. Mohanty 2016), and similarly data are very sensitive to changes in atmospheric temperature (K.P. Arunbabu 2017). One could measure tiny amplitude of Swinson flow followed by accurate measurement of radial density gradient at high rigidity of 77 GV (H. Kojima 2016a). This was followed by the measurement of dependence of galactic cosmic ray intensity variation on the changes in solar wind velocity (Kojima 2016b). The recent work done during the last visit of Indian physicist to Nagoya led to the measurement of radial diffusion coefficient of galactic cosmic rays as well as the mean free path for parallel diffusion by two independent methods (Kojima 2017 to be submitted). In future, it is proposed to take this work forward by exploring several of these lines of research through visits of Indian scientists to Nagoya and those of Japanese scientists to India.

Study of Ground Based Cosmic Ray Observations

Jozsef Kota (The University of Arizona, Tucson Arizona, USA)

I was fortunate to visit ISEE at the Nagoya University and I am most grateful for the opportunity to work together with Japanese scientists in the period of September 15 to October 14, 2016. A significant part of my time was spent at the Shinshu University, Matsumoto, working with Co-Investigator Professor Kazuoki Munakata, with whom we have a long relation of joint research. The joint work during my visit focused on understanding and modeling the ground based galactic cosmic ray (GCR) measurements, which has been a primary subject of common interest. I have been working for several years with Professor K. Munakata, who is one of the best experts in the field. Below, I briefly describe our joint work which was carried out during my visit, and which has been continuing since last fall.

The energy spectrum of galactic cosmic rays (GCRs) ranges from MeV to 10^20 eV. The heliospheric magnetic field (HMF) carried by the expanding solar wind constitutes a barrier that reduces the flux of GCRs in the inner heliosphere. This solar modulation effect is efficient below a few GV, and gradually decreases toward higher energies. Some of these heliospheric effects are still present at hundreds of GeV. The transition region where solar modulation ceases is arguably the most advantageous regime to study the large-scale magnetic structure of our heliosphere. In this region solar effects appear in the directional anisotropies of GCRs, which can be observed as solar diurnal variations and/or North-South asymmetries in GCR count rates on the rotating Earth.

Modeling the transport of GCRs above ~20GeV is a challenging task. The standard diffusive transport equation (known as Parker-equation) is robust and works well at low energies, but becomes inaccurate and ultimately breaks down at high particle energies where the gyro-radius of GCRs become large. We have been working to fill this gap in our understanding by comparing Neutron Monitor and Muon Detector data spanning over for 11-year solar cycles. This is a natural continuation of an earlier work led by Professor Munakata, and published in The Astrophysical Journal (**791**:22, 2014) and The Earth, Planets and Space (**66**, 151, 2014).

The Nagoya multi-directional muon telescope is a most valuable instrument since it covers four 11-year solar cycles and, by the virtue of multi-directional observations, it gives an excellent possibility to separate different components of the anisotropy. We used Nagoya data together with a set of Neutron Monitor data to cover lower energies. We employed two

theoretical modeling tools. We had an older 3-dimensional numerical code solving the diffusive Parker equation. In the past couple of years we have been developing a new simulation tool in another directions: concerning high GCR energies (above 50 GeV), where the diffusion model is inapplicable. During our work we obtained encouraging preliminary results and also encountered some difficulties which led us to incorporate major improvements in our 3-D code of diffusive transport.

Employing our numerical codes we investigated various solar effects such as the strength and polarity of the HMF, as well as the effects of the tilted heliospheric current sheet (HCS) dividing the two polarity hemispheres of the solar dipole. The tilt of the HCS is thought to be one of the important parameters of solar modulation. The simulation results successfully reproduced robust qualitative features such as the observed phase-shift of the solar diurnal variation between the consecutive 11-year solar cycles. This shows that particle drifts, which are sensitive to the polarity state of the Sun, are indeed important in the transport of GCRs through the heliosphere. We are still working on more quantitative results.

GCR anisotropies are as small as a fraction of a percent. We encountered difficulties in modeling the North-South (NS) anisotropy, which is a small and delicate effect. This difficulty was most likely connected with the boundary condition used near the Sun, and led us to revise our 3-D code and incorporate a new scheme to resolve this problem. The revised code led to a significant improvement, and now our newer simulation results reproduce the qualitative features of the measured NS anisotropy as well. We are working on a survey of parameter dependence and expect conclusive results by this summer. An abstract on our preliminary results has been submitted to the 35th International Cosmic Ray Conference, and hopefully we shall be able to present our finding at the Conference in Busan, Korea, in July, 2017.

We still foresee two publications in peer reviewed scientific journals. We must obtain sufficient material in the first half of 2017, and submit two articles for publication in the second half of 2017. During my stay in Japan two invited colloquia were given, one at ISEE Nagoya, the other one at Shinshu University, Matsumoto.

Invited Colloquia:

Kota, J.: Voyager-1 beyond the Heliopause: Lessons and Challenges, September 29, 2016, Shinshu University, Matsumoto, Japan

Kota, J.: Understanding Voyager Observations in the Interstellar Space, October 12, 2016, Nagoya University, Nagoya, Japan 12th ISEE/CICR Colloquium.

Three-dimensional tomograpic analysis using integrated global IPS data sets from MEXART and ISEE observations

Hsiu-Shan Yu (University of California, San Diego)

Purpose:

Remote-sensing interplanetary scintillation (IPS) data can provide information on heliospheric structures over an extended period of time during their outward propagation beyond the near-Sun regions. The University of California, San Diego (UCSD) time-dependent tomographic analyses, when employing IPS data, reconstruct three-dimensional (3D) volumetric velocities and densities of the solar wind. These include the solar wind background environment, transient features such as coronal mass ejection (CMEs), and more stable ones like stream/co-rotating interaction regions (SIRs/CIRs). The 3D reconstructions, with data from Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE, formerly STELab), Japan, have provided a real-time low resolution prediction of global solar features throughout the inner heliosphere having a time cadence of about one day. The spatial resolution are also limited by the IPS observational coverage and signal-to-noise of each radio source observed. An ISEE IPS time-dependent 3D reconstruction has a resolution of 20° × 20° in latitude and longitude, and 0.1 AU in radial distance.

The IPS data from the ISEE arrays has been continuously available and reliable. The scintillation level (*g*-level, which serves as a proxy for solar wind bulk density) has been obtained year round since the end of 2010, and the three-site IPS velocity and *g*-level have been generally available in near-real-time from May through December [*Tokumaru et al.*, 2011, *Radio Science*, *46*, RS0F02; *Tokumaru*, 2013, *Proc. Japan Academy, Ser. B*, *89*, 67-79]. However, this system sometimes has breakdowns and data outages, and data are valid when radio sources are overhead (as at most radio IPS systems or stations). This permits only one observation from a given radio source in a single day, and thus means that the fastest CMEs evolving on short time scales and arriving at Earth in less than a day can be missed on any given day. The Worldwide IPS Stations (WIPSS) network gathers IPS groups around the world (ISEE, Japan; MEXART, Mexico; Ooty, India; Pushchino, Russia; LOFAR, Netherlands; and MWA, Australia) and the members have recently agreed to adopt a more uniform data analysis system. These groups collaborate internationally to study the solar wind features throughout the inner heliosphere and strive to improve the capability of space weather forecasting using IPS techniques. The Mexican Array Radio Telescope (MEXART) began full-time dedicated IPS operation in early 2013, and now obtains IPS data for use and comparison with that from ISEE, and other IPS systems. Combining IPS observations from different sites around the world could greatly reduce data outage due to poor longitudinal coverage of the individual radio sites and also improve the spatial and temporal resolution of the analysis.

Methods:

The MEXART radio array is dedicated to IPS observations and situated 8 hours in longitude east of ISEE, views radio sources prior to those at ISEE by this amount of time. Scintillation signals provide *g*-level measurements from MEXART in a way similar to those from ISEE. However, unlike at ISEE, where IPS velocity is determined by correlating the signals measured between multiple stations, MEXART fits observations of the scintillating spectral power from a single radio site to a theoretical solar wind model [*Manoharan*, 2010, *Solar Phys.*, *265*, 137-157; and references therein] that provides a measure of the solar wind speed, parameter circled in red).

$$P(f) = c\int_{-T}^{\infty} \frac{dz}{V_x(z)} \int_{-\infty}^{\infty} dq_y \sin^2\left(\frac{q^2 z_0 \lambda}{4\pi}\right) e^{-\left(\frac{q z_0 \Theta}{2.35}\right)^2} R^{-4} q^{-\alpha}$$

Frequency of intensity fluctuations

Diffractive function (Fresnel function)

Visibility function of the source

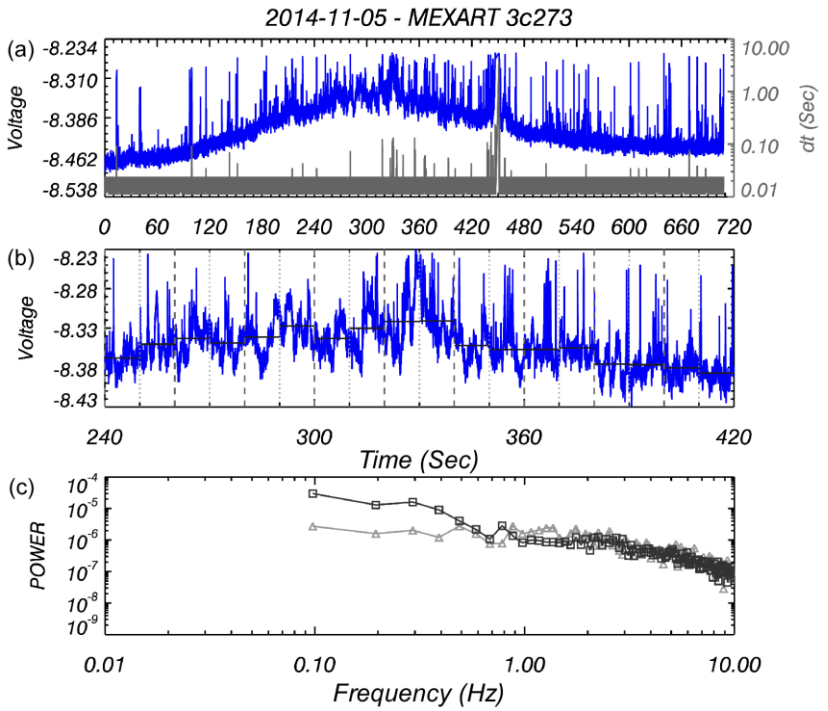
Wave number of solar wind irregularities

Mejia-Ambriz *et al.* [2015, *Solar Phys.*, *290*, 2539-2552], using preliminary measurements, show that *g*-levels and single-site speeds obtained from the lower-frequency 140 MHz MEXART array generally match those from ISEE 327 MHz. Thus we believe that the MEXART array can fill data gaps at times not covered by ISEE, and extends sky coverage to southerly locations poorly viewed by the more northerly ISEE arrays. However, in a recent test study of combining ISEE and MEXART data, we found that the MEXART *g*-level values has an IPS factor for excursions set to be 0.5 to fit in with the values from ISEE. In order to understand why this mismatch occurs and provide an integrated ISEE-MEXART data set for use by the UCSD tomographic technique, I have reanalyzed the observed time series of intensity fluctuations from two radio sources (3C273 and 3C298) and used Fast Fourier Transfer to obtain the power spectrum for solar wind model fitting.

Results:

Using combined worldwide IPS data sets requires agreed-upon criteria and in addition, a way to adjust each data set to fit to a standard when some of these criteria are not easily met, since no current IPS radio observatory is identical to another. The most easily-obtained quantity in IPS analyses is g-level from an individual radio source. However, (for instance) just how the time series is obtained over the interval necessary to provide a power spectrum, and how the noise level is subtracted from the spectrum are all unique to a given radio observatory. Additionally, determining the error and mean value of g-level has generally not been standardized.

Figure (a) shows a sample the time series (blue curves) of the intensity fluctuations from radio sources 3C273. We can see that several glitches (specifically one at 330 s, and another at 440 s) appear in the time series. I also discovered an unaccounted-for time cadence (gray curves below the time series) irregularity in the time series, i.e., that there is a variation of the time between the recorded data time stamps by almost a factor of two which is unlike the ISEE data that has a constant time stamp variation. Figure (b) shows the time series around the central observation time. This three-minute data is divided into 18 segments and each black line denotes the average of 10-second data segment. Figure (c) shows the average power spectrum of 18 FFT of 10-second data segments (black curve and squares) and the off-source (gray curve and triangles). The power spectrum does not appear to be as smooth as the one provided by the MEXART group and it is unclear at this stage how the RC constant (that results in a fall-off in power to high frequencies) was removed. It is also unclear how the data was recorded and we suspect this might also be the cause of the factor of two difference in the *g*-level response we observe when the ISEE and MEXART data are combined in the tomography analysis. Furthermore, the power difference obtained from the radio source and the off-source is smaller than we expected and further confirmation about this from the MEXART group is needed. Clearly, only power lower than about 0.5 Hz can provide the scintillation level used to obtain g-level from our on and off source analyses for this sample radio source.



Periods of stay in ISEE:

With the travel fund from ISEE, I was able to travel from San Diego, U.S.A. to Nagoya, Japan and worked with Dr. Tokumaru and Dr. Fujiki during the following periods: (1) January 12th to 20th, 2017, (2) February 27th to March, 4th, 2017, and (3) March 20th to March 28th, 2017.

List of publications:

Yu, H.-S., Jackson, B.V., Buffington, A., Hick, P.P., Yang, Y.-H., Chang, O., Tokumaru, M., 2017, 'IPS observed ICME events reconstructed by the UCSD time-dependent tomographgy', submitted to Space Weather.

Jackson, B.V., Yu, H.-S., Hick, P.P., Buffington, A., Gonzalez-Esparza, A., Rodriguez, E., Mejia-Ambriz, J., De La Luz, V.H., Chang, O., Tokumaru, M., Kojima, M., Nishimura, N., Nozaki, N., Fujiki, K., Hayashi, K., Bisi, M.M., Odstrcil, D., Kim, J, and Yun, J., 2016, 'Use of the UCSD IPS Tomography Program for Predicting Heliospheric Plasma Parameters from World Interplanetary Scintillation Stations (WIPSS)', invited oral presentation at the Reunion Anual 2016 Union Geofisica, Puerto Vallarta, Mexicana, 30 October - 4 November.

Yu, H.-S., Jackson, B.V., Buffington, A., Hick, P.P., Chang, O., Tokumaru, M., 2016, 'The 2014 August 19 CME VarSITI ISEST Event Observed in ISEE IPS Observations with the UCSD Time-dependent Tomography', poster and oral presentation, SHINE workshop, 11-15 July, Santa Fe, NM

Yu, H.-S., Jackson, B.V., Buffington, A., Hick, P.P., Tokumaru, M., Odstrcil, Kim, J., Yun, J., 2016, 'The UCSD Time-dependent Tomography and IPS use for Exploring Space Weather Events, AGU Session SH22B-06 oral presentation, San Francisco, 12-16 December.

The study of the magnetospheric phenomena for the dipole tilt effect by using a Global MHD simulation

Kyung Sun Park (Chungbuk National University)

Research summary:

1. Introduction

The interaction of the solar wind with the Earth's magnetosphere produces various phenomena, such as substorms and aurora, in the polar region. The orientation of the IMF has significant effects on determining magnetospheric dynamics including substorm, storm, convection pattern and the FAC system. [Fairfied and Cahill, 1966; Reiff and Bursh, 1985: Cowley and Lockwood, 1992]. When the IMF turns southward, the energy of the solar wind is efficiently trapped by magnetic reconnection in the magnetosphere, and convection and currents within in the magnetosphere increase. Therefore, the magnetic reconnection is a key for understanding the dynamics of the Earth's magnetosphere. The effectiveness of the dynamics depends on the magnetic reconnection rate and location on the magnetopause.

2. Previous study

There have been many studies of dayside magnetopause reconnection by using global MHD simulation. Park et al. [2006, 2009] showed for the case of southward IMF with a positive dipole tilt (30 deg) that the dayside magnetic reconnection tends to occur efficiently at locations where the IMF encountered the weakest field along the geomagnetic field line, and the magnetosheath magnetic field line was antiparallel to the geomagnetic field. However, few attempts have been made to understand to the effect of the dipole tilt angle. The reconnection rate at the dayside magnetopause for dipole tilt angle has not been evaluated quantitatively by global simulation. Also, there is a need of further research as comparative investigation by observation.

3.Purpose of study

We need to understand how the dayside and tail reconnection works only due to the dipole tilt effect by using a global MHD simulation. What is the structure of the reconnection line during the dipole tilt angle. If possible we will compare the results of satellite observation data during the magnetopause crossing.

4. Simulation Result

A 3-dimensional global MHD simulation of interaction between the solar wind and the earth's magnetosphere has been carried out for the dipole tilt in order to study magnetospheric dynamic and polar phenomena. In this case, for the southward. In this case, for the southward interplanetary magnetic field (IMF) was imposed has two hours, we have studied what are happening the magnetosphere for the positive dipole tilt and where the dayside reconnection is occurring. Dayside reconnection occur about R = 10.5 ~ 11.4R_E near the magnetic equator and tail reconnection occur about X= 14 ~ 18R_E when the positive dipole tilt increase. Both the central plasma sheet and the magnetic neutral sheet are raise up in the midnight meridian. The hinging distance increase about ~14% during the increase dipole tilt angle.

Presentation list:

1. Kyung Sun Park, Dae-Young Lee, and Tatsuki Ogino, The Study of the Magnetospheric Phenomena for the Dipole Tilt by using a Global MHD Simulation, The Korean Space Science Society-2016 spring conference, Gangneung in Korea, 28-29/04/2016
2. Kyung Sun Park et al, Global MHD simulation study of the vortex at the magnetopause boundary for the southward IMF and steady solar wind conditions, JpGU-AGU join meeting 2016, Chiba in Japan, 22-26/05/2016
3. Kyung Sun Park, Hyomin Kim, Tatsuki Ogino, C. R. Clauer, J. M. Ruohoniemi, D.-Y. Lee, and D.-H. Lee, Global MHD simulation of magnetospheric and ionospheric response to a sudden increase solar wind dynamic pressure during northward IMF, AOGS 2016, Beijing in China, 31/7-5/8/2016

Schedule of the stay at ISEE

1. January 15-21, 2017
2. March 27-31, 2017

３.国際ワークショップ 目次詳細

（所属・職名は平成29年3月現在）

研究代表者	所属機関	所属部局	職名	研究課題名	頁
Yoshihiro Iijima	Mie University	Graduate School of Bioresources	Associate Professor	International Workshop on Water-Carbon Dynamics in Eastern Siberia	62
Hisao Takahashi	Instituto Nacional de Pesquisas Espacias (INPE)		Head of Aeronomy Division, INPE	Ionospheric Plasma Bubble Seeding and Development	63
Nozomu Nishitani	ISEE, Nagoya University		Associate Professor	Review of the accomplishments of the mid-latitude SuperDARN network	65

International Workshop on Water-Carbon Dynamics in Eastern Siberia

Dr. Yoshihiro Iijima (Graduate School of Bioresources, Mie University)

Hydro-climatological influences on terrestrial ecosystem along with the concurrent global warming have been severely manifested in high-latitude regions of Northern Hemisphere. Land surface with underlying permafrost in eastern Siberia, developed under cold climate for seventy thousand years, faces unanticipated environmental changes in particular. The ecosystem ranging from boreal forest to tundra in this region has specific eco-hydrological characteristics and vulnerabilities in terms of water and carbon dynamics under symbiotic relationship with permafrost existence. Permafrost ecosystem change and its impacts on sustainability of natural environment under the current global warming are major serious issues in the high-latitude regions of Northern Hemisphere.

The subject of this international workshop, therefore, expects to enhance integrative discussion on water-carbon dynamics influenced due to changing permafrost ecosystem based on increasing knowledges by multi-disciplinary international collaboration researches carried out during the recent decades. The primary aim of the workshop is to motivate all the participants as principal author(s) in each chapter of a science book on water-carbon dynamics in eastern Siberia. The workshop had been held in ISEE, Nagoya University from 19 to 21 January, 2017 with 12 participants including 3 researchers from Sakha Republic, Russia.

In the first and second days, the presentation by all participants has been made as following individual research topics corresponding to chapters of planned book: 1) General Introduction of environmental conditions (Prof. Ohta), 2) Science research history from Soviet Union Time (Dr. Maximov, Dr. Fedorov, and Dr. Desyatkin), 3) Atmospheric water cycle (Dr. Iijima instead of Dr. Ohshima), 4) Water cycle in forest (Dr. Kotani), 5) Carbon dioxide cycle in forest (Dr. Maximov and Dr. Kotani), 6) Water cycle in stable isotope ecology (Dr. Sugimoto), 7) Water-carbon cycle in dendro-ecology (Dr. Tei), 8) Permafrost-forest dynamic (Dr. Iijima and Dr. Fedorov), 9) River discharge (Dr. Hiyama), 10) Remote Sensing in Terrestrial Water (Dr. Suzuki), and 11) Water-carbon cycle modelling (Dr. Yamazaki and Dr. Park) as summarized in Form 3-1.

We had intensive discussion on each research topics in terms of contents and structure of the chapters during the first and second days of the workshop. Most important outcomes of the workshop is to share the long-term scientific knowledges on permafrost ecosystem and environmental changes done by Russian researchers, which can be connected to the knowledges of them based on recent intensive bilateral (Russia and Japan, Russia and Netherlands, and others) and international (among them) field-based researches. In the last part of the second day and the third day, direction of the book for contents and confirmation for writing formats has been discussed and summarized as “Discussed Items on the Workshop”.

We have started to write all chapters and we plan to publish the book entitled “Water-carbon dynamics in eastern Siberia” from Springer by 2019 (within 2 year after the workshop).

Ionospheric Plasma Bubble Seeding and Development

Hisao Takahashi (Instituto Nacional de Pesquisas Espacias (INPE), Brazil)

1. Purpose:

The present workshop is aimed at organizing in depth discussion by key world scientists on the topic of ionospheric plasma bubbles (IPB) and to review what we know today and we do not know, and what we want to know for the next step. The ionospheric plasma irregularities (bubbles) in the low to middle latitudes have been subject of extensive research during the last few decades. Different observation techniques (ionosonde, VHF radar, IS radar, optical imagers, GNSS receiver network, satellite onboard in situ measurement, beacon etc.) have been used to investigate different physical parameters and manifestations of the bubbles. Recent progress of global circulation model (GCM) including coupling process between lower and upper atmosphere as well as simulation models of IPB have also made significant progress in the last 20 years. The workshop, therefore, intends to summarize the past and present on-going research works on IPB and to find out what we want to take as next steps to achieve further progress in the field.

2. Period: Nov. 29 – Dec. 2, 2016
3. Place: Room 409, Research Institute Building II
   Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE), Nagoya University
4. Results:

This workshop was held in co-operation with PSTEP (Project for Solar-Terrestrial Environment Prediction). Its Organizers were Dr. H. Takahashi (Convener) (Brazil), Dr. M. A. Abdu (Co - convener) (Brazil), Dr. Y. Otsuka (ISEE local organizer), and Prof. K. Shiokawa (ISEE local organizer). 23 participants from 8 countries actively discussed generation of plasma bubbles in the equatorial ionosphere.

Program of this workshop is shown below:

All presentations are invited.

Nov. 29 (Tue)

10:10-10:20 Opening remarks

10:20-11:05 N. Balan: "Onset conditions of equatorial spread F obtained using HF Doppler and ionosonde observations"

11:20-12:20 M. A. Abdu: Review-1: "Some Outstanding Issues on the Short Term/Day-to-Day Variability in the Equatorial Plasma Bubbles Development"

14:00-14:45 G. Li: "Observational study of EPB in the Chinese low latitude region"

14:45-15:30 K. Shiokawa: "Observations of plasma bubble disappearance"

16:00-17:00 M. Yamamoto: Review-2: "Findings on onset of plasma bubble from our

studies: Irregularity echo behavior from EAR, large-scale wave structure (LSWS) from satellite-ground beacon, and statistics with GAIA model"

17:00-17:45 K. Kornyanat (Kukkai): "NICT activity on plasma bubble observation in Asia-Oceania"

Nov. 30 (Wed)

10:00-11:00 R. Tsunoda: Review-3: "Upwelling Paradigm for the Development of Equatorial Plasma Bubbles: Fact or Fiction?"

11:20-12:05 Tulasi Ram: "Unusual enhancement/inhibition of Equatorial Plasma Bubbles during Active Space Weather periods"

14:00-14:45 B. A. Carter: "The role of coupled thermosphere-ionosphere models in understanding the daily occurrence variability of Equatorial Plasma Bubbles"

14:45-15:30 H. Shinagawa: "Occurrence characteristics of plasma bubbles deduced from GAIA simulation data"

16:00-16:45 T. Yokoyama: "High-resolution modeling of equatorial plasma bubble"

16:45-17:30 M. Ishii: "Needs-Seeds matching for EPB research"

Dec. 1 (Thu)

10:00-11:00 C. Huang: Review-4: "The postsunset vertical plasma drift: the controlling factor for the generation of equatorial plasma bubbles"

11:20-12:00 Round Table-1: (Observation and Model)

14:00-14:45 S. R. Fabiano: "AMISR-14 observations of equatorial F-region irregularities"

14:45-15:30 H. Takahashi: "Plasma bubble observation by groundbased optical and GPS Radio-wave measurements"

16:00-16:45 A. Saito: "Space-borne observation of equatorial plasma bubbles by ISS-IMAP/VISI"

16:45-17:30 T. Tsugawa: "Plasma bubble monitoring using GNSS-TEC and SEALION observations"

Dec. 2 (Fri.)

10:00-11:00 Y. Otsuka: Review-5: "Review of post-midnight irregularities during solar minimum period"

11:20-12:00 Round Table-2: (New measurements)

14:00-14:45 Round Table-3: (Workshop Review and Special issue)

14:45-15:00 Closing Remark

---

5. List of publications (plan):

We are planning to publish 5 review papers, 12 contributed papers and one preface as a special issue in Journal of Progress in Earth and Planetary Science (PEPS). This special issue will come on October, 2017.

Review of the accomplishments of the mid-latitude SuperDARN network

Nozomu Nishitani (ISEE, Nagoya University)

ISEE/CICR International Workshop on "Review of the accomplishments of the mid-latitude SuperDARN network" was held at Room 409 in Research Institute Building II during January 10 to 14, in co-operation with the JSPS Grant Program "Study of dynamical variation of particles and waves in the inner magnetosphere using ground-based network observations (PWING Project)." 15 participants from 5 countries intensively discussed accomplishments and future directions of the mid-latitude SuperDARN network.

The Super Dual Auroral Radar Network (SuperDARN) is a network of HF radars deployed in the high- and mid-latitude regions of both hemispheres that is designed for studying the dynamics of the ionosphere and upper atmosphere on global scales. As of April 01, 2016 there is a total of 34 SuperDARN radars, 22 in the northern and 12 in the southern hemispheres.

SuperDARN achieved official status in 1995 when the Principal Investigators' Agreement was signed. Until about 2004, the SuperDARN radars were only able to monitor the regions of the ionosphere and upper atmosphere above about 60 deg geomagnetic latitude. Ionospheric and upper atmospheric phenomena in the subauroral or mid-latitude regions were largely inaccessible to the radars.

The first mid-latitude SuperDARN radar, located below 50 deg of geomagnetic latitude and looking north-eastward, began operating at the NASA Wallops Flight Facility on Wallops Island, Virginia (U.S.) in 2005. The second mid-latitude radar began operations in Hokkaido (Japan) in 2006. This was followed by the construction of second radar in Virginia directed toward the north-west at Blackstone. The success of these first radars in making novel and scientifically important observations led to a major initiative to build a chain of radars that extends across North America and the northern Pacific Ocean into eastern Asia. As a result, there are now 10 mid-latitude SuperDARN radars in the northern hemisphere and additional radars are under construction or planned.

Over the past 11 years of the operation of mid-latitude SuperDARN radars, a number of scientific discoveries have been made encompassing processes in the magnetosphere, ionosphere, thermosphere and upper mesosphere and covering a wide latitudinal / longitudinal extent, with significant contribution by the Japanese mid-latitude SuperDARN group. It is, therefore, a good approximate point of time to review the new scientific results and critically

assess these achievements. Consequently, we organized an international workshop in Japan that reviewed the research achievements of the mid-latitude SuperDARN radars and also identify scientific directions for the next 10 years.

The workshop began by creating the list of papers (mostly done before the meeting). We also made discussion to have a common idea of what the 'mid-latitude SuperDARN' is. The total number of the mid-latitude SuperDARN papers was 93. Then we categorized those papers into several topics. We finally determined 5 major scientific topics (which will be shown later).

One we set the major topics, we separated the participants into groups of those topics and assigned a leader for each major topic. After this, most time of the workshop was spent for the discussion within each group. Near the end of the workshop, the leader of each group made a presentation of the result of discussion and (for some of the group) part of sketch of the paper content.

Each chapter of the review paper is set as follows:

1. Overview / definition of mid-latitude SuperDARN
2. Basics of SuperDARN (brief description of irregularities / wave propagation / hardware / operation modes)
3. History / motivation of mid-latitude SuperDARN
4. Convection
5. Ionospheric irregularities
6. Propagation effects
7. Ionosphere / neutral atmosphere coupling
8. Magnetohydrodynamic (MHD) waves
9. Future directions

We also discussed future directions of the mid-latitude SuperDARN network with a wide variety of aspects. In particular, we invited Dr. Yoshi Miyoshi (ISEE, Nagoya Univ.) to the workshop on the fourth day. He gave presentations of the latest status of the ERG/Arase spacecraft, which was successfully launched on December 20, 2016, and prospect of the collaboration between the ERG/Arase spacecraft team and the SuperDARN groups. Then we discussed the possible collaboration.

After the meeting we have been continue the discussions and work on the paper by e-mail. We set the first deadline of the draft as May 15, 2017. We proposed to have a follow-up workshop for 2017 FY to discuss the editorial issues for the ISEE joint research program (workshop), which was approved with partial support. Finally, we plan to publish the final version of the paper in Progress in Earth and Planetary Sciences (PEPS).

４.一般共同研究 目次詳細

（所属・職名は平成29年3月現在）

研究代表者	所属機関	所属部局	職名	研究課題名	頁
小島　正宜	名古屋大学	（旧）太陽地球環境研究所	名誉教授	IPS観測による太陽風研究	67
加藤　俊吾	首都大学東京	都市環境学部　分子応用化学コース	准教授	光化学オキシダント関連物質のリモート地での長期変動測定	69
堤　雅基	情報・システム研究機構 国立極地研究所	宙空圏研究グループ	准教授	トロムソ流星レーダーとナトリウムライダーによる大気重力波解析手法の開発	71
藤谷　雄二	国立研究開発法人国立環境研究所	環境リスク・健康研究センター	主任研究員	自動車排ガス起源SOAの物理化学特性の測定	73
堀田　英之	千葉大学	理学研究科	特任助教	平均場モデルを用いた次期太陽活動周期予測	75
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	76
高橋　けんし	京都大学	生存圏研究所	准教授	レーザー分光法による温室効果気体のフラックス計測	78
渡邉　恭子	防衛大学校	地球海洋学科	講師	白色光フレア統計解析による太陽フレアにおける粒子加速機構の研究	79
湯口　貴史	山形大学	理学部	講師	TitaniQ温度計を用いた結晶化温度の決定のための石英中のTi濃度の定量分析	81
滝川　哲太郎	長崎大学	大学院水産･環境科学総合研究科	准教授	日本海南西海域における現場海洋観測と人工衛星GCOM-Cによるリモートセンシング	83
大橋　勝文	鹿児島大学	学術研究院理工学域工学系	准教授	大気中の温室効果ガス計測システムの装置開発	85
佐藤　正樹	東京大学	大気海洋研究所	教授	衛星観測データを利用した雲物理スキームの改良	87
岩崎　杉紀	防衛大学校	地球海洋学科	准教授	ライダと雲粒子ゾンデによる大粒子・低個数密度の雲の観測	89
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	90
米村　正一郎	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構	農業環境変動研究センター	主席研究員	レーザ分光法による連続二酸化炭素安定同位体炭素比測定を用いた土壌炭素フローの理解	92
本多　牧生	国立研究開発法人海洋研究開発機構	地球表層物質循環研究分野	上席技術研究員	気象イベントに伴う海洋生物地球化学の変動	93
竹谷　文一	国立研究開発法人海洋研究開発機構	地球表層物質循環研究分野	主任研究員	洋上における蛍光性エアロゾル粒子の時空間個数分布の把握	96
菊池　崇	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	名誉教授	伝送線モデルを応用した磁気圏電離圏結合の研究	98

研究代表者	所属機関	所属部局	職名	研究課題名	頁
エコ　シスワント	国立研究開発法人 海洋研究開発機構	地球表層物質循環研究分野	研究員	海色衛星観測による東シナ海での懸濁物の時空間変動	100
阿部　学	国立研究開発法人 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	102
鹿島　基彦	神戸学院大学	人文学部	准教授	北太平洋域の大気大循環場が台湾北東沖黒潮に及ぼす影響	104
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	ジオスペース探査衛星ERG搭載機器MEPsフライトモデルの性能試験	105
松本　淳	早稲田大学	人間科学学術院	教授	粒子状有機硝酸全量の大気観測に基づくガス－粒子分配の評価	107
成行　泰裕	富山大学	人間発達科学部	准教授	ブラソフ方程式の高精度数値解法の開発と宇宙プラズマ現象への応用	109
西田　哲	岐阜大学	工学部機械工学科機械コース	准教授	プラズマCVD中での微粒子を利用した凝集構造膜の作製	111
佐藤　興平	気象庁	気象大学校	非常勤講師	日本の揺籃期地殻に関する年代的研究	113
山田　広幸	琉球大学	理学部物質地球科学科地学系	准教授	地上レーダーと航空機を用いた台風強度の最適推定方法の検討	115
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	117
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	119
和田　龍一	帝京科学大学	生命環境学部	准教授	大気中窒素酸化物・オゾン濃度測定装置の改良	121
小池　真	東京大学	大学院理学系研究科・地球惑星科学専攻	准教授	航空機観測と数値モデル計算によるエアロゾル－雲相互作用研究	123
大友　陽子	北海道大学	大学院工学研究院環境循環システム部門 資源循環工学分野 環境地質学研究室	日本学術振興会特別研究員（SPD）	初期太古代石墨片岩中に含まれるジルコン，モナザイト，ゼノタイムのCHIME年代測定	125
村木　綏	名古屋大学	宇宙地球環境研究所 宇宙線研究部	名誉教授	太陽活動が地球気候へ与える影響の研究	127
大矢　浩代	千葉大学	大学院工学研究科	助教	LF帯標準電波を用いた地震後のD領域電離圏変動	134
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	136
佐藤　永	国立研究開発法人 海洋研究開発機構	地球表層物質循環研究分野	研究員	気候変動下における東南アジア熱帯林の応答予測	137
勝俣　昌己	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	主任技術研究員	偏波レーダーを用いた海洋性メソスケール降水系の研究	139

研究代表者	所属機関	所属部局	職名	研究課題名	頁
宗像　一起	信州大学	理学部	教授	宇宙線ネットワーク観測による宇宙天気研究	141
根田　昌典	京都大学	大学院理学研究科	助教	耐波浪環境シースプレー測器の開発と海上試験	143
鈴木　和良	国立研究開発法人 海洋研究開発機構	地球表層物質循環研究分野	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	145
森岡　昭	東北大学	理学研究科	名誉教授	サブストーム強度分布から探る磁気圏エネルギー解放過程	147
廣川　淳	北海道大学	大学院地球環境科学研究院	准教授	不飽和炭化水素のオゾン分解で生じるクリーギー中間体と有機酸の反応性に関する研究	149
中田　裕之	千葉大学	大学院工学研究科	准教授	台風に伴う電離圏変動の解析	151
鷲見　治一	九州大学	国際宇宙天気科学・教育センター	客員教授	太陽圏構造とダイナミックスの研究	153
Kyoung-Sun Lee	National Astronomical Observatory of Japan (NAOJ)	Hinode Science Center	Spatially appointed reserch staff(Project reserch fellow)	Investgation of elemental abundance of flares using Hinode/EIS	154
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	156
佐藤　尚毅	東京学芸大学	自然科学系	准教授	現地観測データを用いた、気象じょう乱に伴う黒潮続流の変動の解析	158
中村　健治	獨協大学	経済学部国際環境経済学科	教授	名大X/KaレーダによるGPM主衛星上の二周波降水レーダのデータ検証	160
薄　良彦	大阪府立大学	大学院工学研究科　電気・情報系専攻　電気情報システム工学分野	准教授	高解像度気象シミュレーションデータの洋上電力システム解析・運用への利用に関する研究	162
西山　尚典	情報・システム研究機構 国立極地研究所	研究教育系	助教	脈動オーロラの全自動解析手法の開発と時空間特性の統計的導出	164
薮下　彰啓	九州大学	大学院総合理工学研究院	准教授	高感度レーザー吸収分光法を用いた安定炭素同位体比分析	166
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	168
伊藤　耕介	琉球大学	理学部	助教	航空機を用いた台風観測ミッション	170
馬場　賢治	酪農学園大学	農食環境学群 環境共生学類　環境気象学研究室	准教授	アジアダストに付着したバイオエアロゾルの時空間変遷	172
川村　誠治	国立研究開発法人 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	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	174
中田　聡史	神戸大学	海事科学研究科	特命助教	GOCIデータを用いた高解像度塩分動的マップの作成・補完方法の開発	176

研究代表者	所属機関	所属部局	職名	研究課題名	頁
藤本　晶子	九州大学	国際宇宙天気科学・教育センター	学術研究員	ERG衛星とMAGDAS地磁気観測網に基づくグローバルPc5波動マップの構築	178
花土　弘	国立研究開発法人情報通信研究機構	電磁波研究所リモートセンシング研究室	研究マネージャー	雲・降水観測レーダの航空機観測に関しての検討	179
高橋　浩	国立研究開発法人産業技術総合研究所	活断層・火山研究部門	主任研究員	沈殿法による海水試料の放射性炭素分析の高精度化に関する研究	180
中根　英昭	高知工科大学	環境理工学群	教授	レーザーとドローンを用いたメタン空間分布測定システムの開発	182
三浦　和彦	東京理科大学	理学部第一部	教授	自由対流圏における新粒子生成と雲凝結核への成長に関する研究	184
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	187
天野　孝伸	東京大学	理学系研究科	准教授	自己無撞着な内部磁気圏数値モデル	188
行松　彰	情報・システム研究機構 国立極地研究所	研究教育系	准教授	SuperDARN北海道-陸別レーダーによる超高層大気高精度観測	189
大嶋　晃敏	中部大学	工学部	准教授	太陽圏における銀河宇宙線伝播の研究	190
堀　和明	名古屋大学	環境学研究科	准教授	海水準変動や気候変動が河川・海岸地形の形成に与える影響の解明	192
藤木　利之	岡山理科大学	理学部基礎理学科	講師	花粉分析による高分解能なアジア地域の植生変遷史の解明	193
門叶　冬樹	山形大学	理学部	教授	２台の低バックグラウンドベータ線計数装置による遠隔地間のバックグラウンド時間変動の測定	195
後藤　直成	滋賀県立大学	環境科学部	准教授	衛星リモートセンシングを利用した大規模湖におけるクロロフィルa・SS濃度の推定	197
持田　陸宏	名古屋大学	大学院環境学研究科	准教授	沖縄の大気エアロゾルに含まれるフミン様物質のキャラクタリゼーション	200
近藤　美由紀	国立研究開発法人国立環境研究所	環境計測研究センター　応用計測化学研究室	研究員	森林大気の二酸化炭素の^{14}Cの高精度分析に向けた試料調整法の共同開発	201
石丸　隆	東京海洋大学	海洋システム観測研究センター	特任教授	セジメントトラップ実験による福島沖底層生態系における放射性物質の移行過程に関する研究	203
皆巳　幸也	石川県立大学	生物資源環境学部環境科学科	准教授	自由対流圏における大気微量成分の輸送と洗浄に関する研究	205
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	206
鈴木　臣	愛知大学	地域政策学部	准教授	高感度カメラによる大気光の多地点同時観測	208
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	209

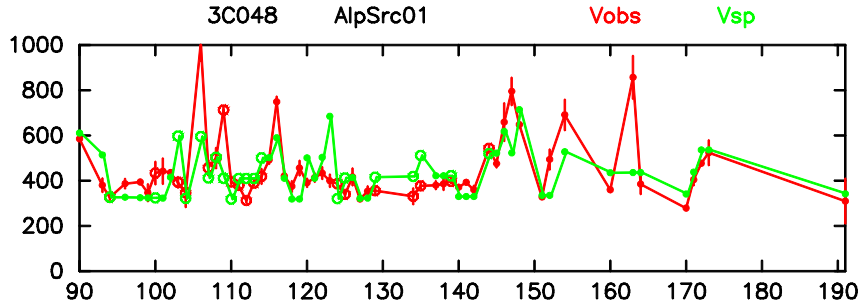
研究代表者	所属機関	所属部局	職名	研究課題名	頁
町田　敏暢	国立研究開発法人 国立環境研究所	地球環境研究センター	室長	航空機と数値モデルを利用した東アジアにおけるCO2フラックスの評価	211
河野　光彦	関西学院千里国際キャンパス / Australian National University	関西学院千里国際高等部理科 / Research school of Physics and Engineering	教諭 / Visiting Fellow	高校生に対する地球環境教育研究	213
川手　朋子	宇宙航空研究開発機構　宇宙科学研究所	ひのでプロジェクト	研究開発員	太陽フレアの彩層蒸発における高温プラズマ診断	215
田上　高広	京都大学	大学院理学研究科	教授	チーク年輪同位体比モデルを用いたインドネシアジャワ島の環境変遷解析	217
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	218
小川　泰信	情報・システム研究機構 国立極地研究所	国際北極環境研究センター	准教授	電離圏D/E層のプラズマ温度導出と検証	220
村田　文絵	高知大学	教育研究部自然科学系理学部門	講師	世界最多雨地域における夜雨型降水とモンスーン気流場との関係	222
岩井　一正	情報通信研究機構	電磁波研究所	協力研究員	太陽電波の観測的研究を通じた宇宙天気予測システムの開発	223
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	225
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	電離圏対流パターンの観測ーシミュレーション比較	227
若月　泰孝	茨城大学	理学部	准教授	MPレーダと雲解像モデルを利用した降水量の推定・予測に関する研究	229
関　華奈子	東京大学	大学院理学系研究科	教授	数値モデリングおよびデータ解析に基づく環電流-放射線帯エネルギー階層間結合機構の研究	232
三谷　烈史	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	ERG衛星搭載HEPの半導体検出部の低エネルギー側の応答評価	234
津田　卓雄	電気通信大学	情報理工学研究科	助教	人工オーロラを活用した地上リモートセンシングによる酸素原子密度観測の検討	236
宮田　佳樹	金沢大学	環日本海域環境研究センター	博士研究員	遺跡出土遺物を用いた古食性，古環境復元研究	238
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	240
高垣　直尚	兵庫県立大学	工学研究科 機械工学専攻	助教	台風下における風波の砕波機構の解明とモデリング	242
三澤　浩昭	東北大学	大学院理学研究科	准教授	木星放射線帯粒子変動要因の観測研究	244
野澤　恵	茨城大学	理学部	准教授	IPS観測による太陽風と人工衛星のCCD画像から検出されたspeckleとの統計的解析	245

IPS観測による太陽風研究
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

IPS data を用い太陽風速度を求める方法には二つある。その一つは、複数のアンテナで受信されたIPSデータの相互相関解析による方法（CCRF法）で、ISEE研で常用されている方法である。もう一つの方法は、IPS信号のスペクトル解析から求める方法（spectrum fitting 法）である。後者の方法は、観測に用いるアンテナは１基あればよいが、スペクトル解析において free parameter が多く難がある。そこで本研究ではスペクトル解析により求められる速度の評価を行ってきた。

前年度までの研究で spectrum fitting は、フィットすべきパラメータ数が増えるとスペクトル形状のフィティングは良くなるが、速度の正確さは悪くなることを報告した。そこで、今年度はどのような条件の時に推測される速度の正確さが悪くなるのかを調べた。下図は ISEE の CCRF 法で得られた速度（赤）と spectrum fitting 法で得られた速度（緑）を比較したものである。spectrum fitting では太陽風速度分布は一様でスペクトルの空間構造は等方の仮定をした。たとえば５月 27 日と６月３日において両者の違いが大きい。



そこで解析において使用するモデルを以下の4通りに変えて試してみた。

・スペクトルの非等方性を考慮する

・スペクトルの高周波域は s/n が悪く、低域は電離層シンチレーションやシステムの利得変動の影響を受けている可能性があるのでフィッティングする周波数帯を狭くする。

・太陽風速度の一様空間分布の仮定をやめる。

・inner scale の影響を考える。

結果は下表に示すようにどの方法を用いてもスペクトルフィッティング解析を大きく改善することはできなかった。

model	27 May		3 June	
	spectrum fitting	*V*	*spectrum fitting*	*V*
anisotropic spectrum	no change	no improve	better	no improve
narrower fitting range	better	no improve	no change	no improve
structured SW	no improve	no improve	no improve	no improve
inner scale	no improve	—	no improve	—

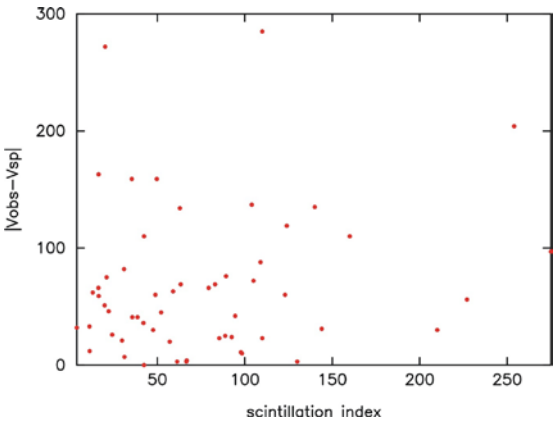
そこでどのような観測には spectrum fitting 法を適用すべきでないか、そのデータ除外基準を３通り検討した。

・回帰性の太陽風でなく等方スペクトルの仮定をすべきでない ICME を観測したのではないか。

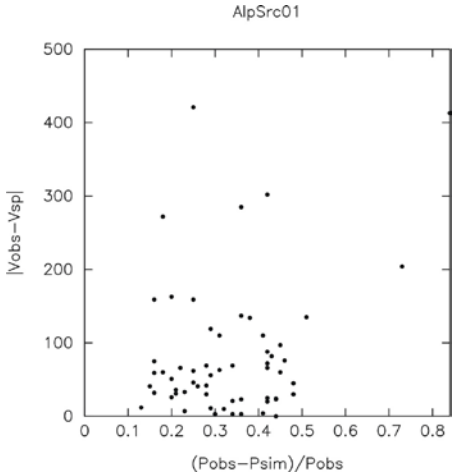
・スペクトルフィッティングの悪さと速度推測の悪さに相関はないか。

・シンチレーションの弱いデータは s/n が悪く速度推測が悪くなっていないか。

結果は、下図、下表に示すようにどの除外基準も適用できなかった。



シンチレーション強度と速度推定精度



スペクトルフィッティング精度と速度推定精度

除外基準	*exclusion from analysis*	
ICME	no	no
rating of fitting	no	no
scintillation index	no	no

光化学オキシダント関連物質のリモート地での長期変動測定
Long-term observation of trace species related to oxidant at remote area

加藤俊吾、首都大学東京・都市環境学部

【はじめに】

北半球、とくに東アジア地域は人口が密集している地域であり、人為活動から放出される大気微量成分が都市域だけでなくリモート地域にまで輸送され、半球内や同緯度帯での濃度に影響を及ぼしていることが考えられる。とくに光化学オキシダント（対流圏オゾン）は生物への影響・地球温暖化への寄与があり、その濃度変動が注目されている。人為活動により放出される大気微量成分として一酸化炭素（CO）がある。大気中からはOHラジカルにより除去されるが、大気中の寿命は1-2ヶ月程度と比較的長く、人為活動の指標として利用することができる。揮発性有機化合物（VOC）はさまざまな種類があるが人為活動からの放出が多い。COやVOCは光化学オキシダント生成の前駆体であるため、これらの長期的な濃度変動を把握することは重要である。また、大気微量成分のほとんどがOHラジカルにより反応が開始され大気中から除去されるため、大気中OHラジカル濃度は大気化学反応で決定的に重要である。北海道母子里は内陸ではあるがリモート地として日本付近の代表的な濃度を観測することができると考えられるため、長期観測を行った。

【測定】

北海道の名古屋大学母子里（北緯 44.4°東経 142.3°）にて CO と O_3の地表濃度の自動連続測定を行った。CO は Thermo Environmental Instruments の Model48C, O_3は Dylec の Model1100 で測定した。水蒸気や温度による影響があるため、CO 計には一時間ごとに触媒で CO を除去したガスを導入し(Thermo Environmental Instruments Model96)、ゼロ点の補正を行った。また週に一度の頻度で金属容器に大気サンプリングを行い、濃縮装置(Entech7000)と GC-FID(Agilent6890)により炭素数 2 から 10 の VOC の濃度をそれぞれ分けて分析を行った。

【結果・考察】

図に 2001 年からの CO（月平均値）および VOC の例としてアセチレンの長期濃度変動を示す。冬季高濃度・夏季低濃度の季節変動が繰り返されている様子が分かる。シベリアの森林火災などの影響などによる変則的な高濃度が例外的にあるが、長期的には CO は 2003 年あたりから徐々に減少する傾向にあることが見て取れる。この傾向は他のリモート地の観測でも見られており、測定の問題ではなく北海道でも実際に濃度減少をしていると考え

られる。この間、中国などの経済活動が停滞したわけではなく、技術的な改善により放出地点での CO 排出量が減少していることが考えられるが、それ以外にも CO の除去反応、つまりは大気中 OH ラジカル濃度が増加している可能性もある。一方、アセチレンの長期濃度変動を見ると、とくに減少している傾向は見られない。大気中 OH ラジカルが増加していた場合にはアセチレンの除去反応も促進されて濃度は減少するはずである。アセチレンの放出量が増加している可能性もあるが、母子里の観測結果からは大気中 OH ラジカル濃度の増加を支持するものではなかった。

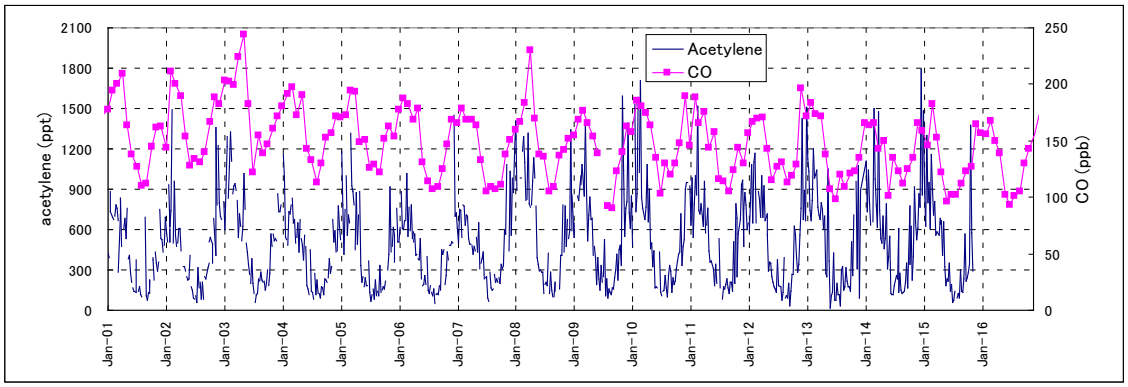


図　母子里での一酸化炭素とアセチレンの長期濃度変動

トロムソ流星レーダーとナトリウムライダーによる大気重力波解析手法の開発

Development of analysis method of atmospheric gravity waves using Tromso meteor radar and Na lidar

堤　雅基、国立極地研究所・宙空圏研究グループ

研究目的

流星レーダーを用いて電離流星飛跡からのエコーを観測すると、エコー強度の減衰から、両極性分子拡散係数を推定できる。これ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きた[e.g. Tsutsumi et al.,1994;1996; Hocking et al.,1999]。本研究ではその手法をさらに発展させた中性大気温度推定法および電子温度推定法の開発を目的とする。

研究方法

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

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

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考えられる。さらに、分子拡散は温度の関数であることから、D_a を中性大気温度情報源として利用できる。Tsutsumi et al. [1996]の手法では、主に大気重力波などに伴う大気温度変動に着目し、中性大気温度 T_n と D_a の相対変動量の関係式を導いた。

$$\frac{T_n'}{T_{n0}} = \frac{1}{2}\frac{D_a'}{D_{a0}} \qquad \text{式2}$$

ここで、T_{n0} および D_{a0} はそれぞれ中性大気温度および両極性拡散係数の時間平均値、T_n' および Da' はそれぞれ時間変動量である。

研究結果

静穏時のトロムソおよびロングイヤービン流星レーダー観測では、風速および両極性拡散係数変動の双方で大気波動に伴うと考えられる位相が時間とともに下向き伝搬する構造が認められる。式 2 の関係を使って風速および温度変動からそれぞれ大気波動の運動エネルギーおよびポテンシャルエネルギーを求め、両者の比較からブラントバイサラ振動数を推定する手法を開発し、国際学会において発表を行った（成果発表１）。

一方、電離層擾乱時の D_a は、風速場とは明らかに異なる高度方向に揃った急激な増大を示す場合のあることが本研究で初めて見出された。トロムソでは、名大 ISEE のナトリウム温度ライダーによる中性大気温度観測が行われており、2012 年 1 月の 1 ヶ月間のデータを元に D_a の変動と比較したところ、全体的には両者は良い一致を示し中性大気温度変動に対応した変動が観測されていると考えられる。しかし D_a に時折みられる大幅増大はナトリウム温度ライダー観測に対応するものが見られず、中性大気温度が増大しているのではないことが示された。

2012 年 1 月に EISCAT UHF レーダーで同時観測された下部熱圏電子温度およびイオン温度を調べてみると、顕著な D_a 増大が観測された時間帯には、電子温度とイオン温度ともに増大が見られる傾向がある（図）。特に電子温度において高度 100 ㎞以下に及ぶ下層高度まで上昇がとらえられている。高度 105-110km における電子温度とイオン温度の比(Te/Ti)を見積もると（図の最下段）、D_a に大きな増大の見られない時間帯では概ね 1 付近であるのに対し、増大の見られる時間帯においては比が最大 5 からそれ以上に及んでい

る。式１から分るように、*Te/Ti* の増加は D_a の増大を意味し、少なくとも定性的には観測結果と整合的である。おそらく流星エコー観測高度においても *Te/Ti* が１より有意に大きくなっていると想像され、イオンは中性大気との十分な衝突により磁化されていないのに対し、電子はすでに磁化されて中性およびイオン温度よりも高い温度となっていることを示していると考えられる。

考察・まとめ

下部熱圏における電子温度増大は、Buchert et al.[2008]の報告にもあるように、電離圏電場の影響による Farley-Buneman 不安定[Farley, 1963; Dimant and Sudan, 1995]電子加熱が原因と考えられる。電場と D_a および電子温度の間の定量的な関係について観測結果をもとにさらに調べており、流星レーダーを用いた中間圏・下部熱圏の電子温度推定手法実現について検討中である。D_a 異常増大についてこれまでに得られた結果は、国内の２件の研究集会において報告した（成果発表 2,3）。

引用文献

Buchert et al., Ann. Geophys., 26, 2837-2844, 2008.
Dimant et al., J. Geophys. Res., 100, 14, 605-623, 1995.
Farley, J. Geophys. Res., 68, 6083-6097, 1963.
Hocking, Geophys. Res. Lett., 26, 3297-3330, 1999.
McKinley, Meteor Science and Engineering, McGraw-Hill, New York, 1961.
Tsutsumi et al., Radio Sci., 29, 599- 610, 1994.
Tsutsumi et al., J. Geophys. Res., 101, 9425-9432, 1996.

成果発表

1 Atmospheric gravity wave study based on meteor temperature, Masaki Tsutsumi, Multistatic meteor radar workshop, IAP, Kuhlungsborn, Germany, 31 May-2 June, 2016.
2 堤雅基、小川泰信、野澤悟徳、Chris Hall、北極域の流星レーダーにより観測される両極性拡散係数の異常増大、地球電磁気・地球惑星圏学会第 140 回総会・講演、九州大学、2016 年 11 月 21 日
3 堤雅基、小川泰信、野澤悟徳、 Chris Hall、北極域流星レーダーで異常増大の観測された両極性拡散係数の考察（招待講演）、第 30 回大気圏シンポジウム、JAXA 本部、2016 年 12 月 5 日

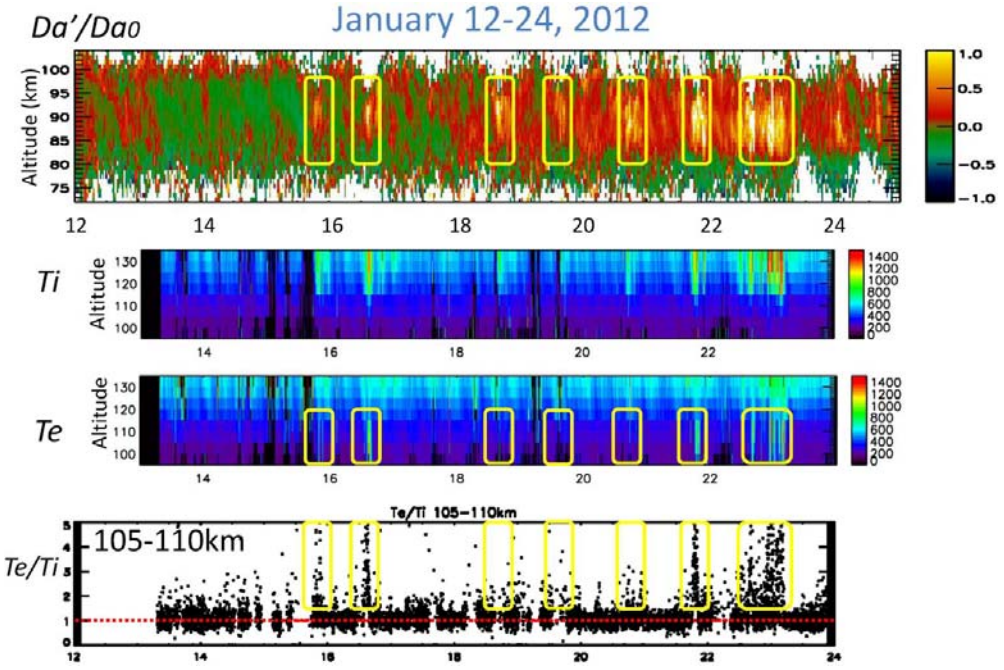


図　2012年1月にトロムソ上空で観測された両極性拡散係数相対変動量（流星レーダー）、および電子温度・イオン温度とその105-110kmにおける比（EISCAT UHFレーダー）。

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

藤谷雄二、国立研究開発法人国立環境研究所・
環境リスク・健康研究センター

研究目的

ディーゼル排ガス由来のSOAを評価するために、大型ディーゼル車の混入率が高い交差点である実環境においてエアロゾルの化学成分の連続測定を行なった。

研究方法

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

この小屋で、2016年の冬季、夏季に、スス粒子–エアロゾル質量分析計（SP-AMS）による$PM_{1.0}$の化学成分の連続計測を行った。SP-AMSはタングステン蒸発器により600℃で揮発する非難燃性成分（土壌構成酸化物および元素状炭素以外）を、また、波長1064 nmのNd:YAG連続発振型レーザー蒸発器によるレーザー誘起白熱法により光吸収性の難燃性黒色炭素（rBC）を含むエアロゾルを蒸発させる。蒸発された成分は、電子衝撃法でイオン化されたのちに高分解能飛行時間型質量分析計（HR-ToF-MS）で測定される。データの解析にはHigh Resolution ToF-AMS Analysis Toolkit v1.16を用いた。本研究では、精密質量数のデータの解析結果を示す。

研究結果、考察

図1と図2にSP-AMSの測定結果を示す。冬季、夏季とも有機物は主成分（有機物、rBC、硝酸（塩）、硫酸（塩）、アンモニウム、塩化物（Chl））の約半分を占めていた。冬季は次に硝酸塩、硫酸塩の順であった。夏季は硫酸塩の濃度が高くなり硝酸塩の濃度は著しく下がった。これは気温が高いため粒子態として存在しにくく気相に多く存在していたためと考えられる。

冬季の日内変化を見ると、有機物と硝酸塩が大きく濃度が変動していた。有機物は7時台と19時台にピークが見られた。硝酸塩の朝方のピークは有機物のピークから少し遅れて8時台になっており、13時台にもピークが見られた。rBCは7時台のみのピークであった。

朝方の濃度の増加は自動車の走行量が増えるためであり、NOx や個数濃度の変化も同様である。普通貨物車の走行パターンは 4 時台から 6 時台にかけて急増する。14 時までは走行量が多い状況であり、14 時台から急激に減少する。この走行量の変化に加えて、日中大気境界層が発達するため、地表付近の汚染物質の濃度が薄まり、rBC などは朝方のみのピークとなったと考えられる。夕方の有機物濃度の増大は自動車起源以外にも要因があったと考えられる。一方、夏季の日内変化を見ると、冬季とは異なる日内変動が見られた。朝方の有機物と rBC の増加は冬季と同様の結果であったが、有機物や硫酸塩は日中にも濃度が高いままであった。これは二次生成が原因と考えられる。今後は本データを用いて PMF 解析などを行い、有機物について、一次粒子、二次粒子の寄与の切り分けを行う予定である。

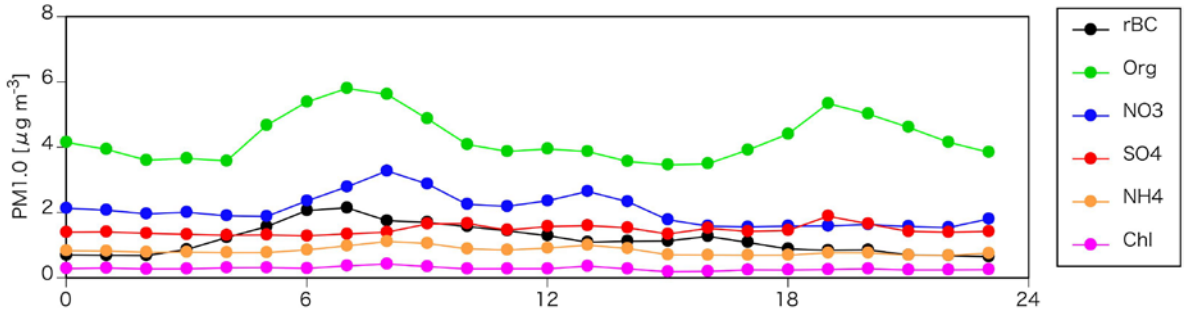


図 1　SP-AMS による $PM_{1.0}$主要成分の連続測定結果　日内変動（冬季観測平均）

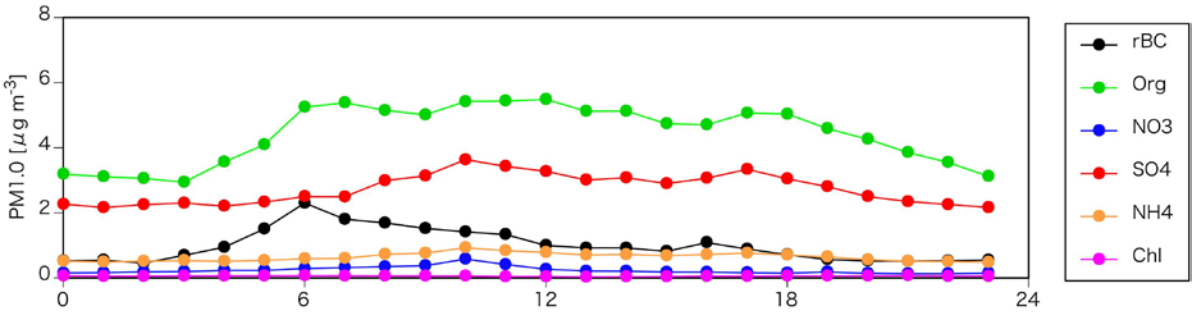


図 2　SP-AMS による $PM_{1.0}$主要成分の連続測定結果　日内変動（夏季観測平均）

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

堀田英之、千葉大学・理学研究科

磁束輸送モデルを用いた太陽活動予測手法の開発・実際の予測をおこなった。広く知られているように太陽の活動は11年の周期を持って変動しているが、一つ一つの11年周期もまた変動している。例えば、2008年ごろに始まった今回の11年周期は最近100年間で最も活動度が低かった。太陽活動はフレアやコロナ質量放出といった爆発現象を通して、地球に影響を与える。また、最近では太陽の地球機構への影響を指摘する研究もある。このように、太陽活動を理解することは宇宙地球環境を理解する上で重要である。本共同研究では、磁束輸送モデルを用いた手法をとることにした。これまでの観測から、サイクルn-1とサイクルnの間の極小期に観測される極磁場(もしくはダイポールモーメント)は、サイクルnの極大期の黒点数とよく相関することが知られている。よって、極小期がくれば次のサイクルの黒点数を予測することが可能である。次の極小期は2020年に来ると考えられているが、我々は現在でも、予測できるのではないかと考えた。これまでの数周期のデータを見ると、極小期の数年前からダイポールモーメントがほとんど変化しなくなる期間があることを発見した。この原因は、まだよくわかっていないが、黒点数自体が減ること、黒点ペアの傾きが小さくなることが要因としてあげられる。いずれにせよ、2017 年現在で、2020年までほとんどダイポールモーメントが変化しないと考えられる可能性が高いことがわかった。そのことから現在のダイポールモーメントを見積もってやると、2025年に来ると考えられる次の極大期では、現在の周期より数十%ほど黒点数が少なくなるだろうと予測した。本成果は、すでに論文化が済んでおり、投稿間近である。本共同研究の費用は全て旅費に用いた。東京・千葉・名古屋で直接顔を合わせ、研究方針・結果の解釈を議論することで円滑に研究を進めることができた。

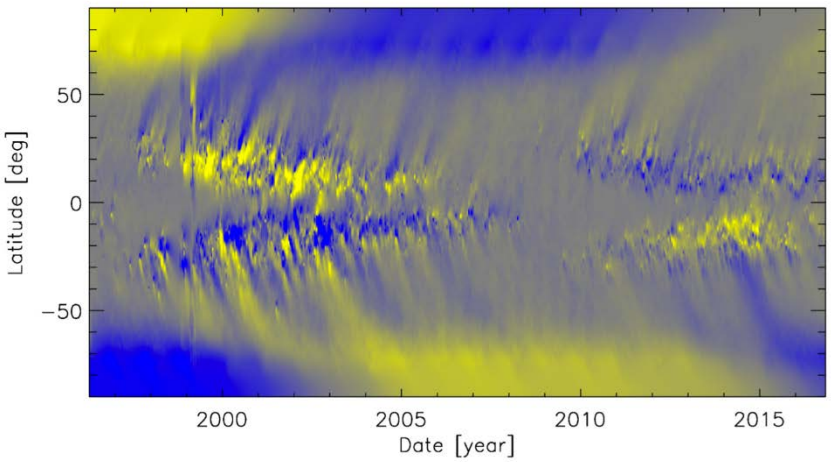


図 1　磁束輸送モデル(観測データ+数値計算)を用いて、得られた太陽表面磁場の進化の様子

太陽面爆発・噴出現象の発生機構解明 および発生予測を目指した統計的研究
Statistical Study of Solar Explosive and Eruptive Phenomena for Its Triggering Process and Prediction

伴場由美
宇宙航空研究開発機構/宇宙科学研究所

1. 研究目的・方法

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

① 個々のイベント解析および理論モデルとの比較による、フレア・CME発生の物理過程の理解、およびその発生の指標となり得るパラメータの候補の決定：
ひので・SDO・IRISなどの太陽観測衛星による活動領域データを詳細に解析し、光球面における小規模磁場構造による擾乱などが、どのようにして活動領域の大規模磁場構造のトポロー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28年度における研究成果・考察

本年度は、①のイベント解析として、主に2014年10月に現れた巨大黒点NOAA12192で発生した複数のXクラスフレアについての解析の論文化を行った。特徴的な3つのフレアリボンを見せたX1.0フレアについて、ひので・SDO衛星による磁場構造の詳細解析と、草野教授による数値シミュレーションを比較した結果を、下記3-[3]としてまとめ、*The Astrophysical Journal*に受理された(現在出版に向けた準備中)。当該論文にまとめた成果は、数値シミュレーションよりもはるかに複雑な磁場構造のもとで発生したフレアイベントであっても、そのトリガ過程は我々の提案するフレアトリガモデルで説明可能であり、フレア発生条件も我々のモデルと定量的に一致することを示した例である。これにより、数値シミュレーションで考えられているフレア発生のための幾何学的条件が、実際の太陽表面ではより柔軟である可能性を示した。

さらに、同活動領域で発生した別のX1.6フレアに対し、IRIS衛星による分光観測データの解析を行い、下記3-[2]としてまとめ、現在査読者からのコメントを受けて改訂を行っている。この研究では、我々のフレアトリガモデルで提案しているような、光球面に現れる特徴的な小規模磁場構造の上空で、フレア発生前に短時間の発光現象(プリフレア

発光)として観測される彩層のダイナミクスを、IRIS衛星による分光観測データを用いて解析したものである。これにより、我々のモデルで提案している、活動領域中に現れる小規模な磁場構造と、活動領域の大局的磁場の間の小規模な磁気リコネクションが、光球上部から彩層下部という低高度で発生していること、さらにそれがフレアを引き起こす大規模な磁気リコネクションに先行して起こっていることを確かめた。

また、①の個別イベント解析から②の統計解析に移る前段階としてこれまでに行った、SDO衛星によって観測された32イベントの解析により、様々なフレアイベントに対する我々のモデルの適用可能性を準統計的に評価した結果を、下記3-[1]としてまとめた。このうえで、①のイベント解析や草野教授による数値シミュレーションから見出された、特に大規模フレア発生と関係がある可能性が高いパラメータを、SDO衛星による太陽全面磁場データから測定し、フレア発生の有無との相関の統計的評価までを自動的に行うプログラムの開発を行った。本年度は、この自動解析プログラムの基礎を構築することに成功した。このプログラムでは評価するパラメータを随時追加していくことが可能で、今後新たにパラメータを追加し、また、将来的にはフレア発生の有無に加えて、フレアの規模やCMEの有無との相関も評価することが可能である。

3. 成果発表

・論文

[1] Y. Bamba and K. Kusano, “Evaluation of the Consistency between a Flare Trigger Model and Observations of SDO/HMI and AIA”, *Publications of the Astronomical society of Japan* (under review)

[2] Y. Bamba, K. S. Lee, S. Imada, and K. Kusano, “Study on the Pre-flare Activity of the X1.6 Flare in the Great AR 12192 with SDO, IRIS, and Hinode”, *The Astrophysical Journal* (under review)

[3] Y. Bamba, K. Kusano, S. Inoue, and D. Shiota, “Triggering Process of the X1.0 Flare in the Great Active Region NOAA 12192”, *The Astrophysical Journal* (accepted)

・学会発表

[1] Y. Bamba, and K. Kusano, “A Flare Trigger Model Based On Satellite Observations”, NOAA Space Weather Workshop, Broomfield, CO, USA, April 26-29, 2016

[2] Y. Bamba, and K. Kusano, “Current Status and Further Issues of the Observational Study for Solar Flare Trigger Process”, Hinode-10, Nagoya, Japan, September 5-8, 2016

・その他、一般向け解説記事

天文月報第109巻(2016年9月号)、伴場由美、

"「ひので」/可視光磁場望遠鏡で迫る太陽フレア発生過程の謎"

レーザー分光法による温室効果気体のフラックス計測

Laser spectroscopic measurements of greenhouse gas fluxes from terrestrial ecosystems

髙橋　けんし(京都大学・生存圏研究所)

背景と目的

微量物質を介した大気圏と陸域生態系とのカップリングは，大気中の化学過程や放射収支などへの関与を通じて，グローバルな温暖化をはじめとする大気環境変動に重要な影響を及ぼす．CO_2や水蒸気のフラックス計測は，非分散型赤外分光法により 90 年代ごろから盛んに行われているものの，CH_4や N_2O といった第二、第三の温室効果気体のフラックスを高精度に計測する研究は，いまだに不十分である．その理由の一つは，CO_2以外微量成分を超高感度に現場で計測する手法が未発達であるためである．本研究では，半導体レーザー吸収分光法を用いることによって，CH_4や N_2O といった，CO_2や H_2O よりも濃度の低い物質をターゲットにして，そのフラックス計測法を開拓することである．

研究方法

平成 28 年度は，1.65 μm の半導体レーザー吸収分光法と閉鎖循環型チェンバー法とを組み合わせ，森林環境下におけるメタンガスの土壌フラックスの計測を行った．観測は滋賀県大津市内にあるヒノキの人工林にて実施した．レーザー分光装置は観測小屋の中に設置した一方，土壌フラックスの計測装置は森林内の林床に設置した．フラックスの空間不均質性を見るために、土壌環境の異なる三地点にチェンバーを設置し、タイムシェアリング方式で三地点のフラックスの自動測定を行った．

結果と考察

水分不飽和な環境にある土壌表層と大気との間のメタンガス交換フラックスの測定からは，1 年を通してほとんどの期間に CH_4吸収が観測された．また，気温が上昇するにつれて CH_4吸収の増加が観測されたが，その大きさは三プロットにおいて最大で数倍程度も異なっていた．この理由として，土壌中に存在するメタン資化細菌とメタン生成菌の活性度の温度依存性とダイナミカルな競合が考えられる．

成果発表

Sakabe, Takahashi et al., Impacts of riparian wetlands on the seasonal variations of watershed-scale methane budget in a temperate monsoonal forest revealed by plot-scale and ecosystem-scale flux measurements, American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco, 2016.12

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

渡邉恭子、防衛大学校・地球海洋学科

「白色光フレア」は約 150 年以上前に世界で初めて観測された太陽フレア現象である。しかし、白色光フレアは稀な現象で、その現象を観測すること自体が難しいこともあり、その発生機構や発光メカニズムは、発見から150年以上経った現在でも解明されていない。その起源が太陽フレアに伴って発生した高エネルギー加速粒子であることは近年の衛星観測などによって分かってきたが、高エネルギー加速粒子はほぼ全てのフレアで存在が確認されているにもかかわらず、白色光の増光はごく少数の大規模フレアからしか観測されていない。

この白色光増光の条件を探るべく、我々はひので衛星搭載の可視光・磁場望遠鏡（SOT）の白色光のデータを用いて統計的な研究を進めてきた。本解析を行うにあたって、名古屋大学宇宙地球環境研究所の「ひのでサイエンスセンター@名古屋」を使用した。「ひので」/SOT は観測視野が限られており、白色光の増光現象が視野外で発生している可能性もあるため、SDO（Solar Dynamics Observatory）搭載の HMI（Helioseismic and Magnetic Imager）の可視連続光バンドも用いて解析を進めた。

「ひのでフレアカタログ[1]」より、「ひので」/SOT の可視連続光バンドで観測された M クラス以上のフレアは、2016 年 2 月までで 101 例あり、そのうち白色光の増光が確認された白色光フレアイベント（WLF）は 49 例（うち X クラスフレア 11 例、M クラスフレア 38 例）、「ひので」/SOT・SDO/HMI どちらでも白色光の増光が見られなかった非白色光フレアイベント（NWL）は 52 例 （うち X クラスフレア 5 例、M クラスフレア 47 例）であった。

上記の 101 例の「ひので」白色光観測データを用いて、白色光フレアの発生条件を求めるための統計解析を進めた。まず、WLF と NWL のフレア継続時間を調べたところ、WLF の継続時間が NWL と比べて明らかに短いことが分かった。次に WLF と NWL の温度とエミッションメジャーの関係を調べたところ、WLF は NWL より温度が高く、エミッションメジャーが小さい傾向があった。この関係より、WLF の加速域の磁場は NWL より強いことが示唆された[2]。次に、これらのイベントにおけるフレアリボン（SDO/AIA 1600 Å）のサイズとリボン間距離、フレアリボン下の光球磁場強度について調べたところ、フレアリボンサイズは太陽フレアの規模とほぼ一致しており、リボン間距離は WLF の方が短い傾向が見られた。また、光球磁場強度は WLF と NWL で特に違いは無かった。これより、フレアリボン間距離は WLF の方が短いという先行研究の結果が確かめられ[3]、光球磁場強度はあまり白色光の発光に影響していないことが分かった。

先行研究で白色光フレアは硬 X 線と良く相関していることが知られているため、RHESSI 衛星のデータとの関連性も調べた。上記の 101 例の観測イベントのうち、27 例のイベントが RHESSI でも 50keV 以上の硬 X 線を伴って観測されていた。このうち WLF は 17 例（うち X クラスフレア 6 例、M クラスフレ 11 例)、NWL は 10 例 （うち X クラスフレア 2 例、M クラスフレア 9 例）であった。

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

現在、上記の解析結果について投稿論文を作成中である。

参考文献

（1） Watanabe, K., S. Masuda, and T. Segawa, Solar Physics, 279, 317-322, 2012.
https://hinode.isee.nagoya-u.ac.jp/flare_catalogue/

（2） Shibata and Yokoyama, ApJ, 526, L49-L52, 1999.

（3） Kitagawa, J., Master thesis, Nagoya University, 2015.

成果発表

1. Kyoko Watanabe, Satoshi Masuda, Masanori Ohno, "Statistical approach for the origin of white-light emission of white-light flares", 15th RHESSI Workshop, Graz Austria, 2016 July 26 - 30
2. Kyoko Watanabe, "Hinode Flare Catalogue and Solar Flare Activities in Solar Cycle 24", AOGS 13th Annual Meeting, Beijing China, 2016 July 31 - August 5
3. Kyoko Watanabe, "Characteristics that Produce White-Light Enhancements in Solar Flares Observed by Hinode/SOT", AOGS 13th Annual Meeting, Beijing China, 2016 July 31 - August 5
4. Kyoko Watanabe, Satoshi Masuda, Masanori Ohno, "Statistical approach for the origin of white-light emission of white-light flares", Hinode-10, Nagoya Japan, 2016 September 5 – 8
5. 渡邉恭子、増田智、大野雅功、「白色光フレアにおける白色光発光の起源についての検証」、日本天文学会 2016 年秋季年会、愛媛大学、2016 年 9 月 14 - 16 日
6. 渡邉恭子、有馬伸、堀巌允、増田智、「太陽フレアの impulsivity と白色光・CME との関係」、日本天文学会 2017 年春季年会、九州大学、2017 年 3 月 15 - 18 日
7. Kyoko Watanabe, Shin Arima, Yoshimasa Hori, Satoshi Masuda, "Solar flare impulsivity and its relationship with white-light flares and with CMEs", PSTEP-2, Kyoto Univ., 2017 March 23 - 24

TitaniQ 温度計を用いた結晶化温度の決定のための石英中の Ti 濃度の定量分析

Quantitative determination of Ti concentration in quartz, giving crystallization temperature with TitaniQ thermometer

湯口貴史、小北康弘　山形大学　理学部　地球環境学科
加藤丈典　名古屋大学　宇宙地球環境研究所

1.　研究目的

石英の結晶化プロセスは，カソードルミネッセンス像（CL 像）や微量元素組成を組み合わせて取得することにより解明できることが報告されている（Wark and Watson，2006）．微量元素の含有量は，結晶成長の様式を反映する（Drivenes et al., 2016）．また，石英中のチタン（Ti）濃度を用いた地質温度計により，結晶化温度を決定できる（Wark and Watson，2006）．彼らは，石英中の Ti 濃度の定量に電子プローブマイクロアナライザー（EPMA）を用いているが，測定値の誤差が大きいという問題点を指摘している．以上のことを踏まえ本研究では，遠野複合深成岩体の石英を対象とし，CL 像および Ti の高精度定量分析を組み合わせることで，石英の結晶化プロセスの解明のための手法を構築する．本研究では，EPMA を用いて測定誤差の少ない Ti 濃度の定量を行うために，最適な測定条件を見出す．

2.　試料と分析方法

本研究では，岩手県北上山地南部に位置する遠野岩体から採取した岩石試料を用いた．試料から薄片を作成し，偏光顕微鏡観察を行い石英の形状や産状を記載した．本研究では，粒径 5〜6 mm と比較的大きな半自形の石英を対象としている．粒径が大きな石英は，比較的長い期間に結晶成長していることが期待でき，成長構造を観察するのに適する．半自形の石英について，CL 観察装置を付属した電子顕微鏡（SEM-CL）を用いて CL 像を取得し，その成長構造を観察した．

続いて，名古屋大学の EPMA を用い，測定誤差が小さくなるような分析条件を試行し，最適な条件を見出した．その後，適切な分析条件のもとで遠野岩体の石英中の Ti 濃度を測定した．定量分析の結果から，Wark and Watson（2006）の地質温度計により石英の結晶化温度を導出した．

3.　研究結果・考察

名古屋大学の EPMA（日本電子株式会社製 JCXA-733）を用い，加速電圧 15kV で電流値やビーム径を様々に変えて Ti 濃度を測定した．測定時間は，Si 濃度の減衰をとどめるために，各々の条件とも 2500 s 以上とした．また，Ti のカウント数を稼ぐために，分光結晶（PET）を 4 つ用いてカウントした．その結果，Ti 濃度の定量には、電流値：60 nA，ビーム径：20 μm，測定時間：200 s 以上の条件が適切であることを見出した．

先に決定した条件に基づいて Ti 濃度の相対誤差を算出した. 1 か所で複数回の分析を行うことにより，Ti のカウント数を稼ぎ，相対誤差を小さくした．その結果，1 点において 8 回の分析を行い，積算することで，相対誤差を 10 %以内に収めることができることを明らかにした．具体的には，Ti の分析値が 80〜150 ppm のとき，誤差は 8.6〜9.2 ppm 程度となる．

遠野岩体における半自形の石英について，そのコアからリムまでの領域（図 1A）で Ti 濃度を測定した．その一例として，5 列目のデータを図 2 に示す．Ti 濃度は，1 か所につき 8 点分析し，その結果を積算して求めた．図 2 の各測定値は，8 点を 1 セットとして，32 セットの Ti 濃度を表す．

Ti 濃度は，石英のコアとリムで明瞭な差があり，変動を有するが，全体的にはコアからリムにかけて減少する傾向が認められる（図 2）．定量分析の結果から，Wark and Watson（2006）の地質温度計により石英の結晶化温度を求めた．結晶化温度は，コアからリムにかけて約 50 ℃低下していることが読み取れ

る（図 3）．このことから，この石英は約 50 ℃冷却される間に，コアからリムまで 1.3 mm 成長したことが明らかになった．

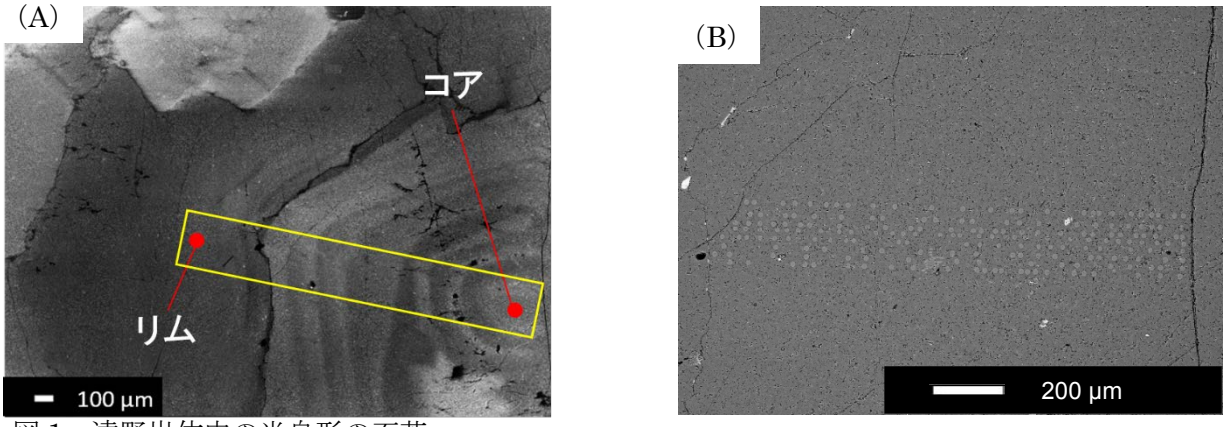


図 1　遠野岩体中の半自形の石英

（A）CL 像：黄色い四角の領域内で分析を行った．コアからリムまで 1.3 mm の幅を有する．

（B）分析後の BSE 像：白い●が，分析点である．

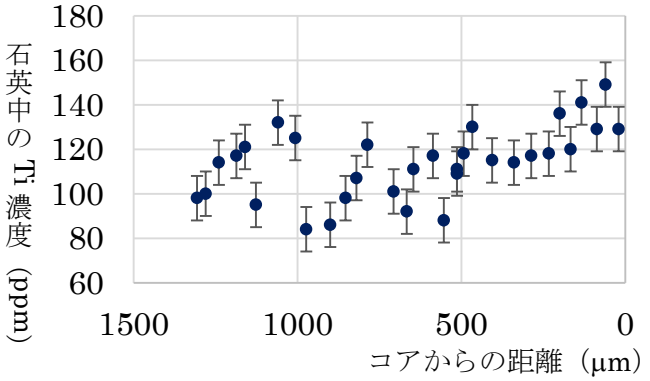


図 2　コアからの距離に対する Ti 濃度の変化

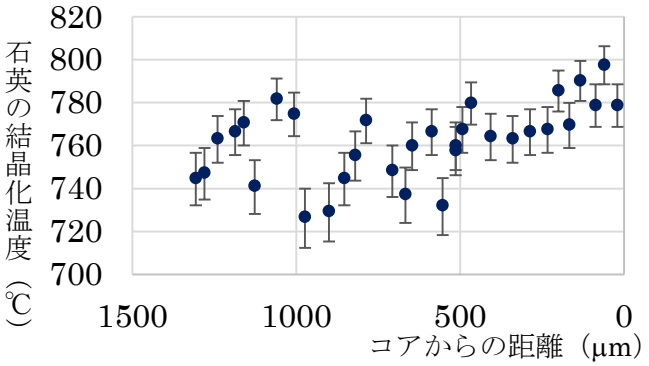


図 3　コアからの距離に対する結晶化温度の変化

4.　まとめ

本研究では，EPMA を用いて測定誤差の少ない Ti 濃度の定量のために，最適な測定条件を見出した．Ti 濃度の定量には，電流値：60 nA，ビーム径：20 µm，測定時間：200 s が適切であると判断した．この条件で，1 点において 8 回の分析を行い，積算することで，Ti 濃度の相対誤差を 10 %以内に収めることができる．

対象とした半自形の石英は，コアとリムで Ti 濃度に差が認められた．結晶化温度はコアからリムにかけて約 50 ℃下がっている．このことから，この半自形の石英では，約 50 ℃の温度低下の間に，結晶のコアからリムまで 1.3 mm 成長したことが言及できる．

5.　文献

Drivenes, K., Larsen, R., Muller, A. and 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.

日本海南西海域における現場海洋観測と人工衛星GCOM-Cによるリモートセンシング
Hydrographic survey and GCOM-C remote sensing in the southwestern Japan Sea

滝川　哲太郎（長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科）
石坂　丞二（名古屋大学宇宙地球環境研究所）

【目的】宇宙航空研究開発機構（JAXA）では，気候変動観測衛星「GCOM-C」を打ち上げる予定である．GCOM-Cでは，250 mや500 mの高空間解像度で，海面水温とクロロフィル（Chl）のデータが得られる．GCOM-Cの水温・Chlの高空間解像度プロダクトが成功すれば，帯状のChl分布などのサブメソスケール（十数km程度）現象の観測研究が飛躍的に進歩することが期待されている．Takikawa et al. (2016) によると，日本海南西海域はサブメソスケール現象が卓越する海域である．本研究では，日本海南西海域で，船舶による表層水の連続観測を行い，GCOM-Cの高解像度プロダクトと比較しうるデータを得る．本報告では，2016年4月に観測された当海域における表層Chlの特徴的な時空間変化について紹介する．

【海洋観測・解析】2016年4月19日から4月23日にかけて，山口県沖合の日本海南西海域において，水産大学校練習船「耕洋丸」のサーモサリノ（日本海洋株式会社製）による表層約2 m深の水温・塩分・蛍光強度観測を行った．データ取得の時間間隔は30秒とし，航路上の表層水をモニターした．解析には5分平均したデータを用いた．

表層水モニタリング中にCTD観測を27回行い，水温・塩分・Chlの鉛直プロファイルを得た．CTDに取り付けられたロゼット採水器を用い，標準採水層（10, 20, 30, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 300, 500 dbar, 最深層）で塩分・Chl（75 dbar以浅）測定のための試水を得た．CTDの塩分・Chlは，試水を分析した結果を用い較正した．ここで，Portasal Salinometer 8410A (Guildline Instruments社製)を用い塩分検定を行った．Chl色素の抽出には，n,n-ジメチルホルムアミド(DMF)を使用した．その後，10AU Fluorometer (Turner Designs社製)を用いWelschmeyer法によるChl-*a*の分析を行った．滝川ほか (2009) の方法により，較正済の2 dbar深のCTDデータを用い，サーモサリノで得られた水温・塩分・蛍光強度を補正した（図1）．

【結果・考察】航海の前半と後半に分けて，表層水のモニタリング結果を図2に示す．航海前半，東経131度15分の観測線上の北緯35度34分以北の海域で，Chl-*a*濃度が1.5 mg/m^{3}以上の海域となり，最大で3.7 mg/m^3（4月21日14時15分～14時20分）を観測した．この高Chl水は，低温・低塩分の海域と大よそ一致して分布していた．翌日（航海後半）には，この高Chl域の近傍で，Chl-*a*濃度が0.6 mg/m^{3}と低い値を示した（4月22日05時20分，北緯35度41.8分，東経131度06.9分）．人工衛星Aqua (MODIS) による海色画像（4月19日）によると，船舶で観測されたような高いChl濃度は観測されていない（図3）．ただし，帯状のChl分布が観測されており，複雑なフロントを形成していた．本船舶観測で得られたChlの時空間変化は，フロントの移動やフロント近傍での植物プランクトンの増加など複数の要因によって生じたと考えられる．

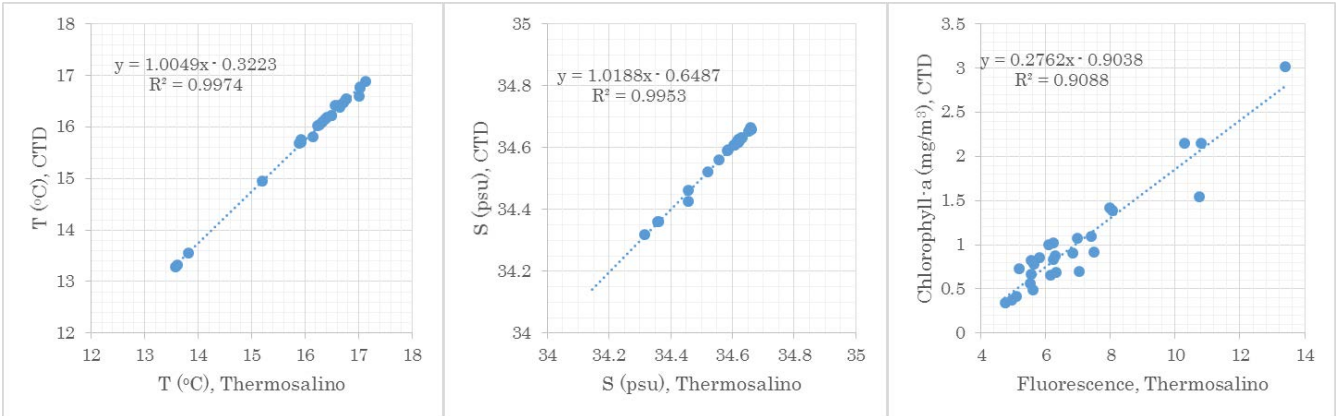


図1. 水温・塩分・Chl-*a*（蛍光強度）の散布図．サーモサリノとCTD（較正済）による観測値をそれぞれ横軸と縦軸にとり，両者を比較した．

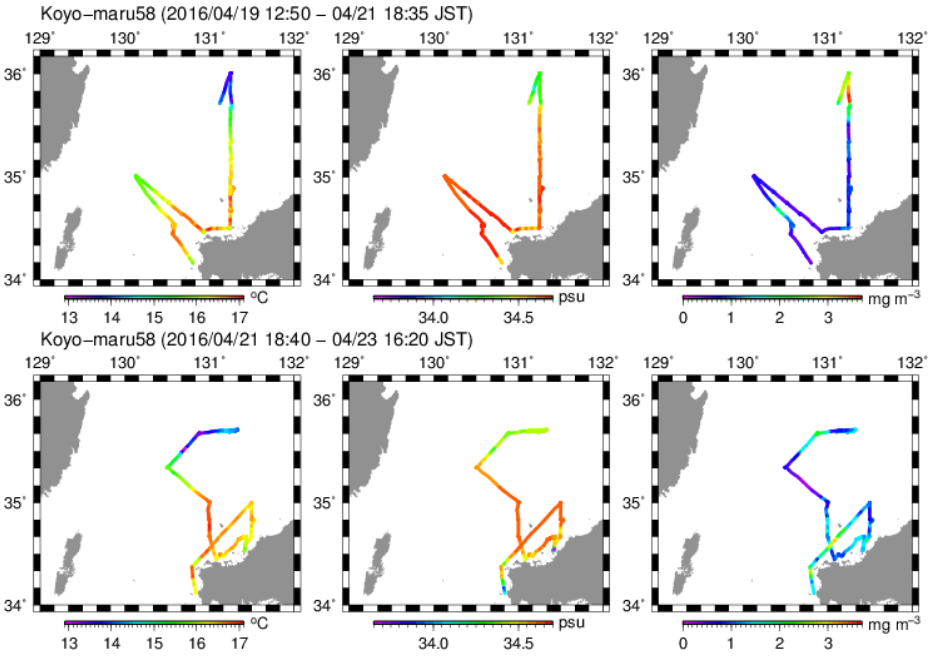


図2. 航路上の表層水温・塩分・Chl-*a*. 上図と下図に，それぞれ航海前半（2016年4月19日12時50分～4月21日18時30分）と後半（2016年4月21日18時40分～4月23日16時20分）の結果を示す．

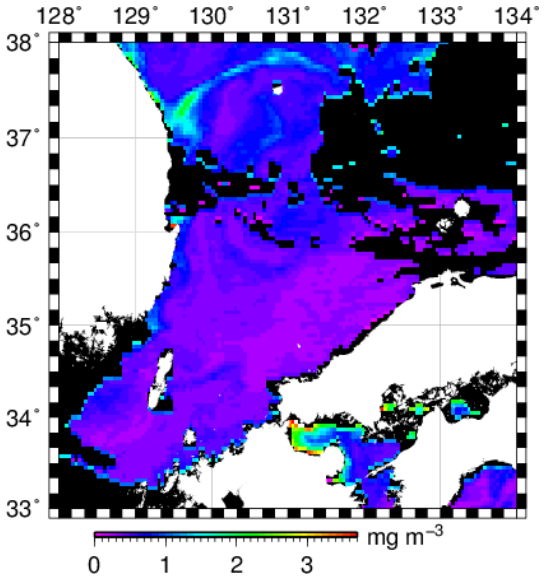


図3. 人工衛星Aqua（MODIS）によるChl-*a*の分布（2016年4月19日）．NASAのOceanColor Webから Level 3データをダウンロードした（https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/l3）．

【謝辞】現場海洋観測の実施には，水産大学校練習船「耕洋丸」の船長をはじめとする乗組員の皆様の協力が不可欠でした．ここに，耕洋丸の鎌野忠船長，そして水産大学校練習船に関わられた皆様に感謝いたします．

引用文献

滝川哲太郎，秦一浩，上野俊士郎，河村真理子，森本昭彦，宮地邦明：2009年初夏，隠岐諸島東方海域における海洋構造と大型クラゲ(*Nemopilema nomurai*)の分布．海と空，**86**，13-22（2010）

Takikawa T, Morimoto A, Onitsuka: Subsurface nutrient maximum and submesoscale structures in the southwestern Japan Sea. *Journal of Oceanography*, **72**, 529-540 (2016)

大気中の温室効果ガス計測システムの装置開発

Development of greenhouse gas observation system in the atmosphere

大橋　勝文、鹿児島大学、学術研究院理工学域工学系

研究目的

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

研究手法

東京学芸大学付属高校にOSAによる観測結果を解析するために、図１の▼で示す観測場所周りのGoddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC)の再解析データから観測地・観測時間で内挿した値から高度・気象データを算出して、さらに気象庁が提示している観測場所・観測場所付近の地上の気象データで、補正を行った高度・気象データにより観測地の吸収スペクトノレをシミュレートすることで観測データを解析した。



図 1. データベースに記載されている高度・気象データのデータ点（▼）と観測場所

研究結果および考察

東京学芸大学付属高校の屋上に設置した OSA による温室効果ガス量計測システムによる平成 26 年 8 月から平成 28 年 6 月まで計測した観測データを GES DISC の高度・気象データと気象庁の東京における気象データを用いて算出した大気中の二酸化炭素濃度を図２に示す。観測地は北半球のため、夏に太陽の高度が高く植物の活動が活発になり二酸化炭素量が低下する、一方、冬には化石燃料の暖房器具を使用するために二酸化炭素が増え、二酸化炭素を消費する植物の活動が気温の低下とともに抑えられるため二酸化炭素量が増加すると報告されている[1]。そこで、図２のデータに対して季節変動を考慮した式(1)で Fitting を行った。

$$XCO_2(t) = Intercept + Trend \times t + \frac{Amp_1}{2} \times \cos\left(2\pi \frac{t-\Phi_1}{365}\right) + \frac{Amp_2}{2} \times \cos\left(4\pi \frac{t-\Phi_2}{365}\right) \qquad (1)$$

図２に示す赤線の Fitting 結果を見ると、夏に二酸化炭素濃度が低下し、冬に濃度が増加する季節変動が観測されている。さらに、二酸化炭素濃度が 1 年間に 2.7ppm 増加することが見積もられた。この値は、年平均 2ppm 増加していることを示している。

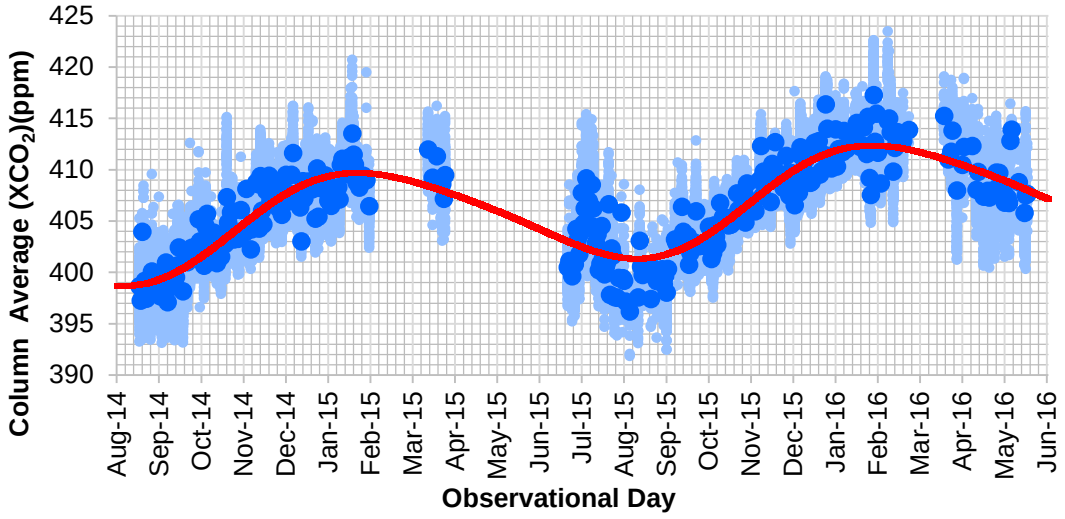


図２　東京学芸大学付属高校の観測データから見積もった二酸化炭素濃度の平成 26 年から平成 28 年までの変化

薄い青丸●：XCO2、 濃い青丸●：衛星時間 10 時から 14 時の XCO2 の平均値、赤線 式(1)による Fitting 曲線

参考文献

［1］M. Inoue et al., Atoms. Chem. Phys., 13, 9771-9788　(2013).

成果発表

論文成果リスト

なし

国内学会・研究集会発表リスト

K. Fujimoto, M. Ohashi, X.-C. Qin, T. Nakayama, M. Kawasaki, Y. Matsumi, R. Imasu, Y. Tanaka, Y. Nakano, "CO_2 column measurement in Tokyo Metropolitan Area by a compact optical spectrum analyzer",第 22 回大気化学討論会、札幌、平成 28 年 10 月 12 日

国際学会・海外研究集会発表リスト

Xiuchun Qin,Liping Lei, Zhonghua He, Zhaocheng Zeng, Masahiro Kawasaki, Masafumi Ohashi, Yutaka Matsumi,”Preliminary Assessment of Methane Concentration Variation Observed over Sichuan Basin by GOSAT in China”, 12th International Workshop on Greenhouse Gas Measurements from Space. (IWGGMS), 京都大学吉田 京都大学百周年時計台記念館、平成 28 年 6 月 8 日

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

佐藤正樹、東京大学・大気海洋研究所

１．研究目的

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

２．研究方法

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

３．研究結果

このバルク法スキームは、雲粒数密度が降水効率に及ぼす影響をよく表現できているものの、ビンスキームに比べて地表面付近の雨滴数密度が多く、地表面降水量が少なく、層平均レーダ反射因子の雲頂からの光学的深さに対する変化率が雲頂付近で小さいことがわかった。この変化率はbulk collection efficiency と正の相関があると言われているが(Suzuki et al., 2010, Kuba et al., 2015)、この研究ではバルク法スキームで使われているbulk collection efficiencyとビン法スキームから計算されるbulk collection efficiencyに相当する量は近い値となっていることが確かめられた。この変化率の差は雨滴の落下速度の差がもたらす雨水量の鉛直分布の差によるものであることが確かめられた。バルク法スキームでは衝突分裂が過大評価され、地表面付近の雨滴数密度が多くなっていること、また雨滴の落下速度が過大評価され、層平均レーダ反射因子の雲頂からの光学的深さに対する変化率が雲頂付近で小さくなっていることが確かめられた。これを改善するためにバルク法スキーム内のパラメータであるequilibrium mean volume radius を大きくし、雨滴粒径分として仮定されているガンマ分布のshape parameter を大きくした数値実験を行った。その結果、地表面付近の雨滴数密度、雲頂付近の層平均レーダ反射因子の雲頂からの光学的深さに対する変化率ともにビン法スキームのものに近づいた。さらに雲底下の蒸発量が減り地表面降水量がビン法スキームのものに近づいた。このことから、雨滴数密度の地上観測および衛星観測データから作成される層平均レーダ反射因子と雲頂からの光学的深さの関係を表す図などが大気の条件（雲凝結核数密度、雲内上昇流速度など）の情報とともに得られるのであればこれらから、バルク法スキーム内のパラメータであるequilibrium mean volume radiusや雨滴粒径分として仮定されているガンマ分布のshape parameterを調整することができることがわかった。

４．まとめ

2モーメントバルク法雲微物理スキームで使われているパラメータのequilibrium mean volume ra

diusおよび雨滴粒径分として仮定されているガンマ分布のshape parameterを調節することにより、バルク法スキームで計算される地表面降水量、地表面付近の雨滴数密度、雲頂付近の層平均レーダ反射因子の雲頂からの光学的深さに対する変化率などが2モーメントビン法雲微物理スキームで計算されるものと近い値をとるようになることがわかった。これらは衝突分裂の過大評価、雲底下の蒸発量の過大評価、雨滴落下速度の過大評価を改善できたことによるものである。これらから雨滴数密度の地上観測および衛星観測データから作成される層平均レーダ反射因子と雲頂からの光学的深さの関係を表す図などが大気の条件（雲凝結核数密度、雲内上昇流速度など）の情報とともに得られるのであればこれらから、バルク法スキーム内のパラメータであるequilibrium mean volume radiusや雨滴粒径分として仮定されているガンマ分布のshape parameterを適正な値に調整することができることがわかり、2モーメントバルク法雲微物理スキームの衛星観測データを用いた改良が可能になった。

５．　引 用 文 献

Hashino, T., M. Satoh, Y. Hagihara, T. Kubota, T. Matsui, T. Nasuno, and H. Okamoto, 2013: Evaluating cloud microphysics from NICAM against CloudSat and CALIPSO. *J. Geophys. Res.*, **118**, 1-20, doi:10.1002/jgrd.50564.

Kuba, N. and Y. Fujiyoshi, 2006: Development of a cloud microphysical model and parameterizations to describe the effect of CCN on warm cloud. *Atmos. Chem. Phys.*, **6**, 2793-2810, doi:10.5194/acp-6-2793-2006.

Kuba, N. and M. Murakami**,** 2010: Effect of hygroscopic seeding on warm rain clouds – numerical study using a hybrid cloud microphysical model. *Atmos. Chem. Phys.*, **10,** 3335-3351, doi:10.5194/acp-10-3335-2010.

Kuba, N., K. Suzuki, T. Hashino, T. Seiki, and M. Satoh, 2015: Numerical experiments to analyze cloud microphysical processes depicted in vertical profiles of radar reflectivity of warm clouds. *J. Atmos. Sci.*, **72**, 4509-4528, doi:10.1175/JAS-D-15-0053.1

Satoh, M., T. Matsuno, H. Tomita, H. Miura, T. Nasuno, and S. Iga, 2008: Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model (NICAM) for global cloud resolving simulations. *J. Comp. Phys.*, **227**, 3486-3514, doi: 10.1016/j.jcp.2007.2.006.

Satoh, M. and Coauthors, 2014: The non-hydrostatic icosahedral atmospheric model: Description and development. *Progress in Earth and Planetary Science*, **1**, doi: 10.1186/s40645-014-0018-1.

Shipway, B. J. and A. A. Hill, 2012: Diagnosis of systematic differences between multiple parameterizations od warm rain microphysics using a kinematic framework. *Q. J. R Meteorol. Soc.* **138**, 2196-2211. doi:10.1002/qj.1913.

Tomita, H. and M. Sato, 2004: A new dynamical framework of nonhydrostatic global model using the icosahedral grid. *Fluid Dyn. Res.*, **34**, 357-400, doi: 10.1016/j.fluiddyn.2004.03003.

６．成 果 発 表

○国際学会口頭発表

N. Kuba, K. Suzuki, M. Sato, T. Seiki, and W. Roh (2016) Impacts of cloud microphysical schemes on precipitation of shallow warm clouds. 国際雲降水学会(International conference on clouds and precipitation; ICCP　7 月 Manchester, UK)

Roh, W., Satoh, M., Nasuno, T. (2016), Evaluations of microphysics in a global cloud system model using TRMM/AMSR-E and a satellite simulator. 国際雲降水学会(International conference on clouds and precipitation; ICCP　7 月 Manchester, UK)

○国内学会口頭発表

久芳奈遠美・鈴木健太郎・佐藤正樹・清木達也・Woosub Roh（2016）暖かい雨に対する雲物理スキーム比較実験 気象学会春季大会（5 月・東京）

ライダと雲粒子ゾンデによる大粒子・低個数密度の雲の観測
Large sparse cloud measurements by lidar and cloud particle sondes

岩崎杉紀、防衛大学校・地球海洋学科

目的

本研究のきっかけは、見えない・見えにくい雲の下に過冷却の水雲の層（または地上まで水雲？）があり、そこから（その中で？）雪が降っている事例を申請者が衛星データの中に見つけたことである。この雲の下のみ雪が降っていたので、見えない・見えにくい雲は降雪に重要と思われる。しかし、この雲の正体は何であろうか。どのような条件の時に現れるのだろうか。分かっていない。

本研究では、雲粒の形状（球形か非球形か）と個数を測れるセンサである CPS 雲ゾンデ（以下 CPS）を風船に取り付け放し（放球し）、それらの量の鉛直分布を測定する。これより、雲の基本的な量である雲粒子の粒径分布の直接観測を行い、その雲の生成消滅過程を調べることを本研究の目的とする。

方法

CPS とライダで雲が同期観測できる陸別観測所を観測起点に選んだ。観測期間は、2016 年 12 月 23 日を挟んだ一週間とした。23 日深夜に衛星搭載ライダと雲レーダが陸別付近を通過するためである(これらの衛星との同期は 1 か月に 2 回程度しか出来ない)。放球は、風船が海に落ちると予想された時、降雪時、上昇速度は可能な限りゆっくり（2-3m/s）、を満たすよう行った。また、衛星同期観測も試みた。

結果

当初の放球は 22 日深夜（22 日から 23 日にかけ札幌では 91cm の積雪）を狙っていたが、風が弱くゾンデが陸に落ちる可能性があったので断念した。

放球 1 回目（23 日深夜）は、衛星と同期観測ができるタイミングで放球した。しかし、快晴のため現象をとらえることは出来なかった。

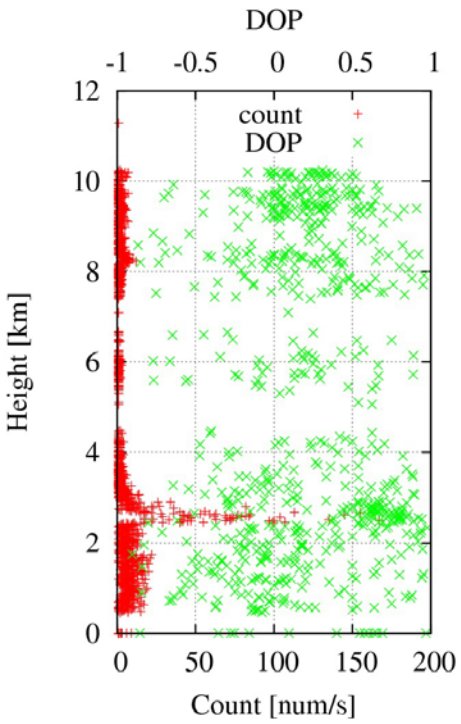


図1　CPSの1秒当たりの粒子の個数（+）とDOP（×）の鉛直分布。

放球 2 回目（24 日深夜）は、小雪が舞うなか放球した。図 1 は、1 秒当たりに計測された粒子の個数と粒子形状の指標となる DOP の鉛直分布を示す。1 個/s は 3×10^3個/m^3に対応するのだが、補正を行うと 1 桁程度大きくなることがある。補正は今後の検討課題である。DOP は、垂直偏光を利用した指数で、その値が 0.5 から 1 だと球形粒子、それ以外だと不規則形状粒子となるものである。図 1 より、高度 2.5km 付近（気温-10 度前後）厚さ 0.5km の過冷却な水雲以外は氷雲であったと思われる。この下は降雪、この上の高度 6km 付近は粒子個数が少ない。この事例は、本研究のきっかけとなった衛星の事例と同じ雲・降雪構造かもしれない。

今後の課題

現在の CPS の標準データは、まだ大きさに換算できていない。大きさを導出し、粒径分布を求める。また、導出された粒径分布から、高度 6km 付近の視程の導出や、ライダやレーダで観測したらどのような信号となるか見積もり、衛星データと比較する。また、10 分ごとの地上レーダとも比較する。

成果発表

日本気象学会 2017 年度春季大会に発表予定である。

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
Establishment of Data pipeline and calibration for DC / low frequency E-filed in Inner Magnetosphere

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

2016年12月に打ち上げられた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、磁気圏内でのグローバルな物質・場のエネルギー収支・交換・伝搬を定量評価できる手段となる。その実現には、磁気圏構造変動とプラズマ輸送の情報を握る DC 電場・低周波電場波動のデータ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、以下の作業を Themis や Van Allen Probes 観測データ、海外実験測定結果、および ERG PWE のエンジニアリング実機性能評価を合わせる形で実施する。成果は， ERGによる内部磁気圏観測の不可欠な基礎を形成し、またTelemetryや運用の制約が厳しくプラズマ環境も異なる水星(BepiColombo)・木星(JUICE)への展開体力の基礎となる.

２．研究方法・結果

(1) イベントトリガーモード

PWEには，BepiColombo/MDPに申請者が搭載した機能を発展させる形で、日本初の試みとして「狙う波動-粒子相互作用イベントを自律検知して生観測データをダンプするイベントトリガモート」など新規機能を実装した。Themis・Van Allen Probes 観測データおよび ERG 実観測データを用いて、DC電場・低周波電場波動が絡むキーイベント（Whistler、EMIC等を含）を確実に捉えるロジックの検証・更新を金沢大に設置した地上試験設備で検証を行い，オンボードロジックの検証・更新をERG打ち上げ前までに終了させた。
実機での使用は2017年度の課題となる.

(2) Probe表面素材の電子特性

ERG軌道は近地点が300kmと低く、酸素原子によるProbe表面素材へのダメージ(不導体化)が米国研究者により最近指摘された。また遠地点が高くLobeに突入すること、またStorm時の大規模高温Electron所在のため、電場計測に伴うProbe電位が不安定化しうる。電場観測精度の低さはVAP観測でも指摘されてきており、Themis・Van Allen Probesや過去の低軌道衛星（Astrid-2、FAST など）の衛星電位・電場データ、表面素材試験結果、ERG 実観測データを用いて、Probe 表面状態・対 Plasma インピーダンス（光電子 yield・二次電子 yield・表面電気伝導度による）の時間遷移推定とその補償方法を検証した。なお，JAXA

とともに行った Probe 表面状態・対 Plasma インピーダンスの ERG 想定軌道環境における劣化時間遷移は，想定軌道における想定環境下では「無視可能なもの」という結果で，UC Berkeley による試験結果とは必ずしも一致していない．MMS では劣化が見られるという非公式情報（上記提供を行った Sweden/IRFU メンバーとの会話）もあり，Sphere 表面処理方法の差など，さらなる掘り下げが要請されるところである．

2017 年 3 月段階までの PWE 初期運用では，WPT-S1/2/3/4 の４つの probe 間で，３割程度の不均一性が見えている．今後の運用で，この時間変化を追試していく必要がある．このパラメータは，Probe - Plasma 間インピーダンスの決定要因であり，DC～数 Hz の宇宙空間電場・波動の測定精度に直結するものとなる．

(3) BIAS 電流値

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 を適切にアクティブ制御する必要がある。ERG 軌道がカバーするプラズマ密度・温度環境およびその時間・空間変動は幅が大きすぎ、Akebono や Geotail のような一意値では適切な計測が不可能である。「PWE エンジニリアリングモデル＋Dummy ロード」システムによる模擬試験結果も踏まえ、適切なオンボード校正・地上データ校正方法を確立し、磁場観測（MGF および PWE/SCM）とのゲイン・位相情報を適切に整合させ、Poynting Vector などの電場-磁場双方の観測量を得て初めて導出可能な物理量の精度を確保するとともに，時間遷移を追跡可能な適切なオンボード校正・地上データ校正方法を確立した．

2017 年 3 月段階までの PWE 初期運用では,3.75 nA の BIAS 電流を付加することで,対 plasma impedance を 100 Mohm （plasamapause 外：UHR 周波数 < 20kHz）～ 数 Mohm（近地点近傍：UHR 周波数 >100 kHz）にできることを確認し，この設定で本格運用に入りつつある．

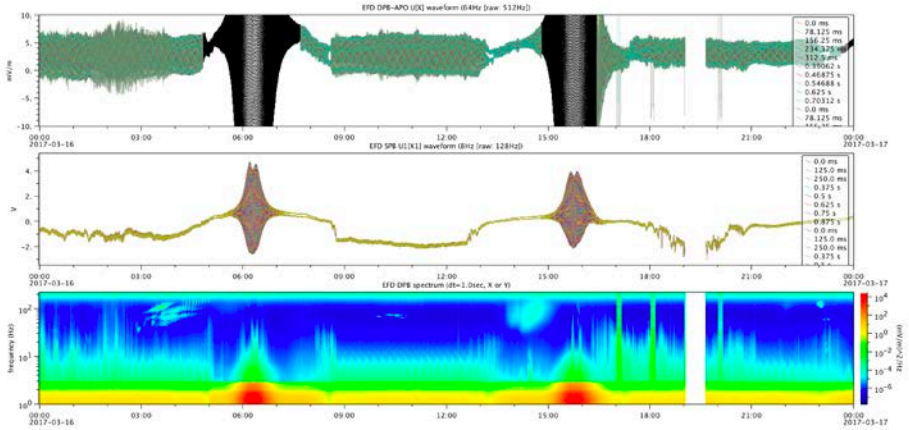


Fig. ERG-PWE EFD 初期データ on 2017/3/16. 上から DC 電場, Potential, Spectrum(1-220Hz)

４．成果発表

様式 4-1 を参照されたい．

レーザ分光法による連続二酸化炭素安定同位体炭素比測定を用いた土壌炭素フローの理解

Understanding soil carbon flow using laser-spectroscopy of CO_2 stable carbon isotope

米村正一郎、農研機構・農業環境変動研究センター

【研究目的】
これまでの共同研究によってSTE研の松見グループが培った炭素安定同位体比連続測定技術を応用して、農業環境技術研究所の生態系ガス交換の測定システムを開発してきた。昨年度は植物の葉内通導性を求めるための装置が完成した。また、昨年度、農業環境技術研究所のエアロダイン分光計の光路長が7.2mから36mに延長が行われた。そしてより低濃度での二酸化炭素の安定同位体比の変化が測れるようになった。この安定同位体炭素比測定技術の改良をどのようにして土壌のガス交換に活かしていくかについて更なる検討が必要である。この研究課題は土壌炭素循環に対して、どのように同位体比測定技術上の諸問題を解決するべく議論を行うことを目的とする。

【研究方法】
土壌およびミミズに安定炭素同位体Cでも^{13}C比率の高い稲わらサンプルやブドウ糖を添加することにより、発生してくる二酸化炭素の$\delta^{13}C$がどう変化するかをエアロダイン分光計によって測定を行う同位体添加手法の確立が必要である。しかしながら、まず、添加をしなくてもどの程度の同位体分別効果が起きるのかを土壌について調べる必要がある。これらについて、土壌ガス交換量自動測定システムで火山灰黒ボク土対象に実験を行い松見教授と議論を行った。

【研究結果と考察】
以下の研究結果が得られた。
◎土壌温度やCO_2濃度を変化させた時に土壌そのもののCO_2の放出（温度を上げた際やCO_2濃度を下げた際）と吸収（濃度を下げた時やCO_2濃度を挙げた際）が見られた。CO_2吸収が見られたということは生物現象であるとは考えられず非生物現象であると考えられる。
◎この非生物過程により、CO_2の同位体分別効果（$\Delta^{13}CO_2$をキーリングプロット的な同位体比で表現）が見られた。温度を上昇させた時に土壌から脱着によりCO_2放出が見られたが、まず軽いCO_2から脱着が行われることが分かった。さらに、途中で急に重いCO_2が脱着し始め最後に一定の同位体比が落ち着いた。逆に温度を下げた場合には、CO_2の吸収が見られたが徐々に同位体比が徐々に重くなっていく傾向が見られた。

【まとめ】
黒ボク土に関しては、同位体添加をしなくても同位体分離が見られた。このため、同位体添加を行う場合には同位体差が大きい添加方法を考える必要がることがわかった。

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

本多牧生　（海洋研究開発機構　地球表層物質循環研究分野）
Eko Siswanto　（海洋研究開発機構　地球表層物質循環研究分野）
相木秀則　（名古屋大学　宇宙地球環境研究所）

【研究目的】

台風や爆弾低気圧等の気象イベントは海洋浅海域の流体力学に大きな影響を与えるため引いては海洋表層域の低次生産や物質循環を変動させる。これまでも台風の通過に伴う海洋表層の低次生態系・生産の増加等が衛星データ解析結果を中心に報告されてきている。一方、2011 年 3 月に発生した東京電力福島第一原子力発電所（FNPP1）事故に関する海洋観測研究では、事故により放出された放射性セシウムの一部が FNPP1 沖浅海海底堆積物に沈積しておりその海底堆積物が気象イベントにより再懸濁（再浮遊）し移動している可能性が示唆されている。しかし数値シミュレーションによりそのメカニズムが定量的に支持（裏付け）された研究は必ずしも多くない。また衛星データ解析だけでは海洋表層域の低次生産の変動は推定できるが海洋内部の生物地球化学変動は不明であった。そこで本研究では時系列式セジメントトラップで捕集された沈降粒子の時系列変動を、利用可能な気象データ、海洋物理データおよび衛星データと比較して定性的にその関係を明らかにした後、数値シミュレーションによりそれらの関係を半定量化することを目的とする。平成 28 年度は 2011 年～2015 年に FNPP1 沖で捕集された沈降粒子の放射性セシウムデータの時系列変動を整理するとともに、大気海洋波浪結合領域モデルを用いて再現された福島沖海底の流向流速の時系列変動と比較し両者の連関性について考察する。

【研究方法】

(1) セジメントトラップ実験による沈降粒子中放射性セシウムの時系列観測

FNPP1 南東沖約 100km の大陸斜面（観測点 F1: 北緯 36 度 29 分/東経 141 度 29 分、海底水深 1300m）の水深 500m と 1000m に時系列式セジメントトラップを係留、2011 年 7 月～2015 年 9 月まで時系列で沈降粒子を捕集、捕集された粒子中の放射性セシウム-134（^{134}Cs:半減期約 2 年）、-137（^{137}Cs：半減期約 30 年）を測定した。

(2) 数値シミュレーションによる FNPP1 沖海底付近の流向流速の再現

潮汐あり高解像度海洋３次元物理場再解析プロダクト（JCOPE-NEDO: 水平解像度 1/36 度, Miyazawa et al. 2009; Varlamov et al., 2015）の 1 時間毎の出力を解析して、FNPP1 沖海底付近流向流速と風向との関係を調べた。この再解析プロダクトは、気象庁の現業予報モデル結果のナウキャスト部分(MSM)を大気外力として海洋データ同化モデルを動かした結果であるので、台風や爆弾低気圧による海洋内部の擾乱が詳細に含まれている。

【研究結果と考察】

(1) セジメントトラップ実験による沈降粒子中放射性セシウムの時系列観測

2011 年 7 月～2012 年 7 月には、^{137}Cs フラックスが 2011 年 9 月～10 月、12 月～2012 年 1 月に増加した（図 1)。2012 年 7 月～2013 年 7 月には、やや高めの ^{137}Cs フラックスが 2012 年 10 月頃に観測された。2013 年 7 月～2014 年 7 月には、2013 年 9 月～10 月に顕著なピークが観測された。2014 年 10 月～2015 年 7 月には放射性セシウム濃度、フラックスともに低くなったが、2015 年 1 月～2 月に両者が増加した。^{137}Cs と同様に半減期 2 年の ^{134}Cs もほぼ全ての試料から検出され、同様な時系列変化を示した。観測された ^{137}Cs フラックスの季節変動が海洋表層の生物活動の季節変動と異なること、捕集粒子の主要成分が鉱物起源物質であること、水深 1000m のセジメントトラップの ^{137}Cs フラックスが水深 500m のものより大きいこと、表層海水の ^{137}Cs 濃度・^{137}Cs の海水-粒子分配係数・全粒子フラックスから経験的に推定される ^{137}Cs フラックスより、セジメントトラップで観測された ^{137}Cs フラックスが数倍～数十倍高いこと、等から、セジメントトラップで捕集された ^{134}Cs は、海洋表層から鉛直的に沈降したものに加え、海中を水平的に移動してきたものであると示唆された。捕集粒子の ^{137}Cs と過剰放射性鉛（^{210}Pb）の比（^{137}Cs/^{210}Pb$_{ex}$）が FNPP1 沖陸棚（海底 200m 以浅）海底堆積物の同比と同程度であることから、FNPP1 事故起源の放射性セシウムを吸着した浅海域の堆積物が、冬季や荒天時に再懸濁して大陸斜面方向へ運ばれたと推定された。特に、2013 年秋季に観測された ^{134}Cs フラックスの増加は、福島沖を通過した複数の台風の影響によるものと推定された（Buesseler et al. 2015, 本多と乙坂 2016)。このことは同時期に FNPP1 南

方沖の沿岸海底付近（観測点C: 北緯37度/東経141度付近、水深80m）で観測された台風通過時の流れ・波浪増加による海底せん断力増加と海底付近濁度の上昇（八木ほか 2015）により支持された。

(2) 数値シミュレーションによる福島沖海底付近の流向流速の再現

上記観測点Cにおける2012年10月～2014年10月の流れによる海底せん断力は、冬季に小さく、夏季から秋季にかけて増加する傾向を示した（八木ほか2015）。一方、同地点の同期間の流速を数値シミュレーションしたところ、再現された流速の2乗（海底せん断力の指標）は同様の季節変動傾向（冬季に低く秋季に高い）を示した。そこで再現された流速の2乗とF1で観測された^{137}Csフラックスを比較した（図1）。その結果、2011年の秋、2012年の秋、2013年の秋の^{137}Csフラックスの増加と流速の2乗が良い正の相関関係を示し、特に台風通過時は沿岸海底付近の流速の増加により海底せん断力が増加し、結果、放射性セシウムを含む海底堆積物が再懸濁し水平輸送されている、という推察を支持するものとなった。また数値シミュレーションの結果、同地点の流向は1年を通じて南東方向および正反対の北西方向が卓越しており、潮汐により流向が変化していることが窺えた。一方、2015年1月の^{137}Csフラックス増加時には流速（流速の2乗）が必ずしも増加していなかった。ただし同時期には宮城県女川町沿岸で高い波高が観測されており（気象庁ホームページ：波浪に関するデータ http://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/db/wave/chart/daily/coastwave.html?year=2017&month=3&day=8&hour=12）波浪による海底せん断力の増加があったと推定された。今後は波浪による海底せん断力の変動についても考察する必要がある。また対象海域の流向流速の変化を時空間的に把握することが、海底堆積物の挙動をより詳細に把握するためには重要と考えられた。

【結論】

FNPP1沖浅海海底堆積物に沈積した放射性セシウムの一部は、海底付近流速（や波浪）の増加による海底せん断応力の増加時、特に台風などの気象イベント発生時、に再懸濁し、大陸斜面に向かって水平輸送され続けている。

【引用文献】

Buesseler KO, German C, Honda MC, Otosaka S, Black E, Kawakami H, Manganini S,, Pike S.: Tracking the fate of particle associated Fukushima Daiichi cesium in the ocean off Japan. Environmental Science and Technology, ″49, 9807-9816″, DOI: 10.1021/acs.est.5b02635 (2015).

本多牧生、乙坂重嘉：福島原発事故由来の放射性物質が付着した海底堆積物の再懸濁と水平輸送過程、日本原子力学会誌 58, 4, 24-27 (2016).

Miyazawa, Y., R. Zhang, X. Guo, H. Tamura, D. Ambe, J.-S. Lee, A. Okuno, H. Yoshinari, T. Setou, and K. Komatsu: Water mass variability in the western North Pacific detected in a 15-year eddy resolving ocean reanalysis, J. Oceanogr. 65, 737-756, (2009)

Varlamov, S. M., X. Guo, T. Miyama, K. Ichikawa, T. Waseda, *and* Y. Miyazawa: M_2 baroclinic tide variability modulated by the ocean circulation south of Japan, J. Geophys. Res. Oceans, 120, 3681-3710, doi:10.1002/2015JC010739. (2015)

八木宏、杉松宏一、小口哲史、川俣茂、中山哲巖、磯崎由行: 常磐いわき沖海域における底面せん断力の特徴と底質濁度輸送について. 土木学会論文集B2（海岸工学）**71**, 2, I 391-I 396 (2015).

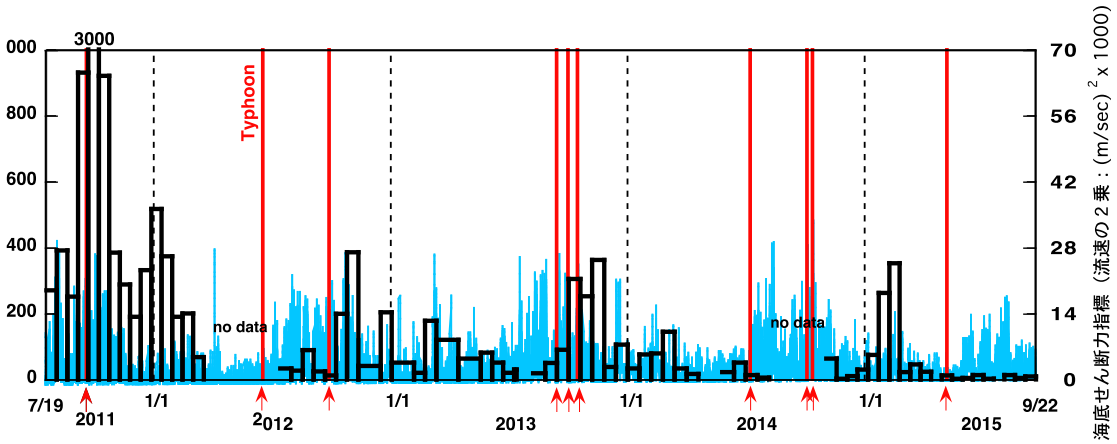


図１　2011 年 7 月～2015 年 9 月、観測点 F1 の 1000m セジメントトラップで観測されたに ^{137}Cs フラックス（棒グラフ）と数値シミュレーションで求められた観測点 C の海底せん断力指標（流速の 2 乗）（線グラフ）。矢印の縦線は FNPP1 周辺および福島沖を台風が通過した時。no data はセジメントトラップデータがない期間。

洋上における蛍光性エアロゾル粒子の時空間個数分布の把握
Ship-based observation of fluorescent aerosol particles

竹谷文一、海洋研究開発機構・地球表層物質循環研究分野

【はじめに】

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

【観測および装置】

2014年の夏季から秋季に実施された海洋地球研究船「みらい」の航海MR14-04 (釧路-ダッチハーバー)およびMR14-05 (ダッチハーバー-横浜8)で観測を実施した。単一蛍光粒子リアルタイム計測装置(WIBS4)を内蔵したシェルターを船の最上階のデッキに設置し、直接装置に大気を導入し、大気中に存在する蛍光性粒子の測定を行なった。本装置では、635nm赤色連続光レーザーを利用し、粒子の検出を行い、その散乱光から粒径、および粒子形状に関する情報を取得し、またそれを駆動信号として、同一粒子に280nm および370nmのランプパルス光を時間差で粒子に照射し、粒子内の蛍光物質を励起し、蛍光を検出する。バンドパスフィルターを利用し、本装置で検出する蛍光は3種類であり、どれか1つでも蛍光を検出した場合、その粒子を蛍光性粒子とし、これらの蛍光をすべて同時に検出した粒子は生物由来粒子として用いられる(表1)。本研究では、0.8μm以上の粒径の粒子に対して、蛍光パターンなどの解析を行なった。

【結果および考察】

自船の排煙の影響を分離して、解析を行なった。航海では風速と検出したエアロゾル粒子濃度に正相関があり、本装置で主に海塩粒子の検出を行えていることが確認された。表2に>70Nにおける蛍光性粒子の割合を示した。すべての蛍光が検出された蛍光性バイオエアロゾル粒子の平均粒子数は微小、粗大粒子合わせて1.3 ± 1.4個/Lと計測された。過去にアラスカ北部の航空機観測では、IN(氷晶核)の個数濃度が0.8個/Lと報告されており、さらに成分分析で炭素質の寄与が大きいことが示されており、生物由来の蛍光性エアロゾルの観測値とよく一致して

いることから生物由来のエアロゾルが寄与している可能性が示唆された。

表１蛍光パターンの組み合わせ

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

表２　北極海上で取得した蛍光粒子のパターン

FL	Fine particles (0.8-2.5μm)	Coarse particles (>2.5μm)
FL1	0.8 ± 0.8 L^{-1} (0.09%)	0.5 ± 0.6 L^{-1} (0.09%)
FL2	6.5 ± 6.6 L^{-1} (0.73%)	6.8 ± 7.5 L^{-1} (0.73%)
FL3	1.0 ± 0.9 L^{-1} (0.11%)	0.3 ± 0.4 L^{-1} (0.11%)
FL12	1.6 ± 4.0 L^{-1} (0.18%)	1.5 ± 1.5 L^{-1} (0.18%)
FL23	0.2 ± 0.5 L^{-1} (0.02%)	0.3 ± 1.1 L^{-1} (0.02%)
FL13	0 ± 0 L^{-1} (0.0%)	0 ± 0 L^{-1} (0.0%)
FL123	**0.5 ± 1.6 L^{-1} (0.06%)**	**0.8 ± 1.1 L^{-1} (0.06%)**
FL	10 ± 14 L^{-1} (1.2%)	10 ± 12 L^{-1} (5.7%)
Particles #	903 ± 775 L^{-1}	176 ± 146 L^{-1}

成果論文

竹谷文一、金谷有剛、中山智喜、上田紗也子、松見　豊、定永靖宗、岩本洋子、松木　篤「レーザー誘起白熱法を用いて観測された春季能登スーパーサイトのブラックカーボン特性」エアロゾル研究, 31(3), 194-202, 2016

学会発表

竹谷 文一 , 宮川 拓真 , 駒崎 雄一, 高島 久洋 , 金谷 有剛　「北極海、ベーリング海、西部北太平洋上でオンライン計測による蛍光性粒子解析」第 22 回大気化学討論会、北海道大学、2016 年 10 月 12 日

TAKETANI FUMIKAZU, KANAYA YUGO , Nakayama Tomoki , Ueda Sayako , MATSUMI YUTAKA , SADANAGA YASUHIRO , IWAMOTO YOKO , MATSUKI ATSUSHI「Property of Black Carbon Particles Measured by a Laser-Induced Incandescence Technique in the Spring at Noto Peninsula, Japan」American Association for Aerosol Research 35th Annual Conference、ポートランド, 2016/10/13

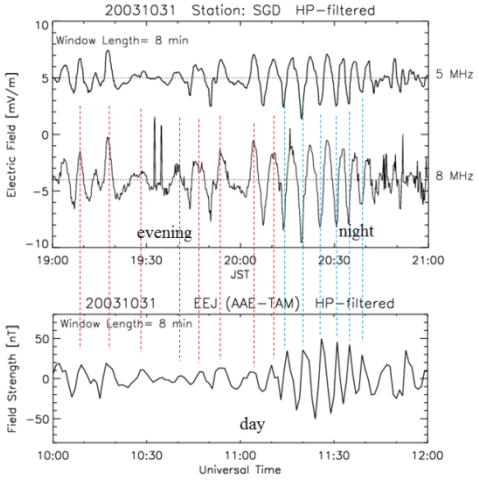
伝送線モデルを応用した磁気圏電離圏結合の研究
MI coupling studies using the transmission line model

菊池　崇、名古屋大学太陽地球環境研究所
西村　幸敏、カリフォルニア大学大気海洋科学科

【研究目的と方法】

磁気圏で発生した電磁エネルギーはAlfven波により沿磁力線電流を伴って極域電離圏へ伝送され、地面と電離圏E層で構成される導波管(EIW: Earth-ionosphere waveguide)のゼロ次TM（TM0)モード電磁波によって赤道電離圏へ伝送される[Kikuchi and Araki, 1979]。この結果、太陽風衝撃波が磁気圏境界で生成するSCの初期インパルス（PI）や主インパルス（MI）の電場と電流は1分程度で極域電離圏へ達し、中緯度や赤道へ瞬時（観測では10秒以内）に伝搬する[Araki, 1977; Kikuchi, 1986]。TM0モード波により伝送される電離圏電場は、さらにAlfven波により内部磁気圏へ伝搬するため、内部磁気圏における電場変動は極域電離圏電場変動の後ただちに開始する[Nishimura et al., 2009, 2010]。しかし一方、PIやMIのピークには赤道で10秒から数10秒程度の時間遅れが報告されている[Kikuchi et al., 1996; Takahashi et al., 2015]が、ピークの時間遅れは、EIWを有限長伝送線で置換したMagnetosphere-Ionosphere-Ground(MIG) 伝送線モデル [Kikuchi, 2014]で説明された。このモデルでは、1個のTM0モード波が伝送する電離圏電流・電場は小さいが、有限長伝送線を往復する多くのTM0モード波の積分効果により10秒から数10秒の時定数を持って電流・電場が強くなることが示された。2015年度には、このモデルをSC時の中緯度電離圏電場の理解に応用した[Kikuchi et al., 2016]が、2016年度には、PC5地磁気脈動電場の理解に応用した。

【２８年度の成果】



電気通信大学のHF Dopplerデータと情報通信研究機構の地磁気データを解析し、グローバルPc5地磁気脈動に伴う中緯度電離圏電場と赤道の磁場変動を解析して、相互の位相関係の地方時特性を調べることにより、赤道Pc5磁場変動がDP2型電離圏電流によるものであることを同定し、中緯度電離圏電場が電離圏電流に付随してMIG伝送路を伝搬するポテンシャル電場であることを同定した。中でも、Pc5電場の特性のうち、磁気嵐急始（SC）電場に見られる夕方異常に注目した。夕方異常は、電場の向きが昼と夜で逆転すると同時に夕方で昼間の向きと同じでかつ、電場強度が昼間より大きいことが特徴である[Kikuchi et al., 2016]。

図（上段）にグローバルPc5時にHF Dopplerサウンダーにより観測された中緯度電離圏電場を示し、図（下段）に昼間のアフリカゾーンで観測された赤道ジェット電流、EEJ(AAE-TAM)を示す。赤破線で示したように、夕方（1900-2010JST）の電場は昼間のEEJと同位相となるが、夜間(2010-2040JST)では青破線で示すように逆位相となる。この結果は、Pc5電場が電離圏電流に付随するポテンシャル電場であることを示しており、夕方異常が電離圏電気伝導度のHall効果と昼夜の非一様性に起因する電位分布特性に起因することを示している。成果をAOGS2016の招待講演他で発表し、論文準備中である。また、Pc5電場とEEJの定量関係を詳細に解析したところ、EEJが電離圏電気伝導度に依存するために、相互の関係に太陽天頂角依存があることが明らかになった。現在、この成果を論文としてまとめている。

【本課題に関する成果発表】
(論文準備中)
1. Kumiko Hashimoto, Takashi Kikuchi, Ichiro Tomizawa, Tsutomu Nagatsuma, Cowling conductance estimated from the equatorial electrojet and midlatitude ionospheric drift velocity during the Halloween storm PC5 events, in preparation.

(2016年発表論文)
1. Sandeep Kumar, B. Veenadhari, S. Tulasi Ram, S.-Y. Su, T. Kikuchi (2016), Possible relationship between the equatorial electrojet (EEJ) and daytime vertical E _ B drift velocities in F region from ROCSAT observations, Advances in Space Research, 58, 1168-1176.
2. Tanaka, T., M. Watanabe, M. Den, S. Fujita, Y. Ebihara, T. Kikuchi, K. K. Hashimoto, R. Kataoka (2016), Generation of field-aligned current (FAC) and convection through the formation of pressure regimes: Correction for the concept of Dungey's convection, J. Geophys. Res. Space Physics, 121, doi: 10.1002/2016JA022822.
3. Nishimura, Y., T. Kikuchi, Y. Ebihara, A. Yoshikawa, S. Imajo, W. Li, H. Utada (2016), Evolution of the current system during solar wind pressure pulses based on aurora and magnetometer observations, EPS DOI: 10.1186/s40623-016-0517-y
4. Kikuchi, T. and K. K. Hashimoto (2016), Transmission of the Electric Fields to the Low Latitude Ionosphere in the Magnetosphere-Ionosphere Current Circuit, Geoscience Letters, DOI: 10.1186/s40562-016-0035-6.
5. Kikuchi, T., K. K. Hashimoto, I. Tomizawa, Y. Ebihara, Y. Nishimura, T. Araki, A. Shinbori, B. Veenadhari, T. Tanaka, and T. Nagatsuma (2016), Response of the incompressible ionosphere to the compression of the magnetosphere during the geomagnetic sudden commencements, J. Geophys. Res. Space Physics, 121, doi:10.1002/2015JA022166.

（2016年口頭発表）
1. T. Kikuchi, K.K. Hashimoto, I. Tomizawa, Y. Ebihara, Y. Nishimura, et al., Response of the incompressible ionosphere to the compression of the magnetosphere during the geomagnetic sudden commencements, JpGU 2016, Makuhari,
2. T. Kikuchi, K.K. Hashimoto, Y. Ebihara, T. et al., Generation and Propagation of Penetration Electric Fields to the Low Latitude Ionosphere during Substorm and storms, AOGS 2016 Beijing (invited).
3. T. Kikuchi, K. K. Hashimoto, Y. Ebihara, I. Tomizawa, T. Tanaka, T. Nagatsuma, Evening anomaly of the penetration electric fields at mid-equatorial latitudes during space weather disturbances, AOGS 2016 Beijing (invited).
4. 菊池崇、橋本久美子、海老原祐輔、冨澤一郎、田中高史、長妻努, 中低緯度電離圏における磁気圏起源電場の夕方異常, SGEPSS 2016, 九州大学、福岡。
5. T. Kikuchi, K.K. Hashimoto, Y. Ebihara, T. Tanaka, I. Tomizawa, T. Nagatsuma, Transmission of the magnetospheric electric fields to the lowlatitude ionosphere during storm and substorms, AGU 2016, San Francisco.

海色衛星観測による東シナ海での懸濁物の時空間変動
Spatiotemporal variability of suspended matter in the East China Sea observed by ocean color sensor

エコ　シスワント、国立研究開発法人海洋研究開発機構
地球表層物室循環研究分野

1. Background and Objectives

The East China Sea (ECS) is perhaps one of the marginal seas in the sub-tropical region of the northwestern Pacific Ocean which has been largely affected by both human activities and global climate changes. Recent study by Yang et al. (2015) showed a long-term decline of precipitation and construction of reservoir are responsible for the observed long-term declines of freshwater and sediment discharged into the ECS through the Yangtze River system.

However, recent impacts of both declines in freshwater and sediment loads on the ECS marine ecosystem has not been fully discerned. Phytoplankton primary production (PP) in the western ECS is largely limited by light availability whose variability is largely determined by total suspended mater (TSM) (e.g., Gong et al., 2003). Thus, understanding spatiotemporal variability of TSM and its impact on PP over a long-term period in the ECS is off particular important to understanding long-term changes in the ECS marine ecosystem. Within the standpoints of satellite remote sensing observations and land-ocean interaction studies respectively, TSM is probably among the easiest in-water substances/agent amenable to ocean color sensor (e.g., Siswanto et al., 2011) and links directly land and ocean environments. The main objective of this study is thus to understand variability of TSM and its impact on PP in the ECS within the period of modern ocean color missions (from September 1997 to present).

2. Methodology

Ocean color data used include SeaWiFS photosynthetically available radiance (PAR, Einstein m^{-2} d^{-1}) and remote sensing reflectance (Rrs, sr^{-1}) acquired from the OBPG (http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cms). This work used sea surface temperature (SST, °C) by the AVHRR (http://podaac.jpl.nasa.gov/AVHRR-Pathfinder) and the MODIS Aqua (http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cms). TSM was estimated by applying the YOC TSM algorithm proposed by Siswanto et al. (2011). The PP was computed based on Gong and Liu's (2003) PP model. Chl-a was predicted from Rrs with the use of Siswanto et al.'s (2011) YOC Chl-a algorithm. The study also used the Yangtze River discharge (DIS, m^{-3} s^{-1}) as it controls the resources (light and nutrients) for PP.

Because total fields of PP, TSM, and DIS exhibit strong seasonal cycles, this study thus used PP, TSM, and DIS anomaly fields, i.e., a departure from monthly climatological mean. To identify spatially long-term trends of PP and TSM, pixel-based correlations of PP, TSM against time (monthly unit) were derived.

3. Results and Discussion

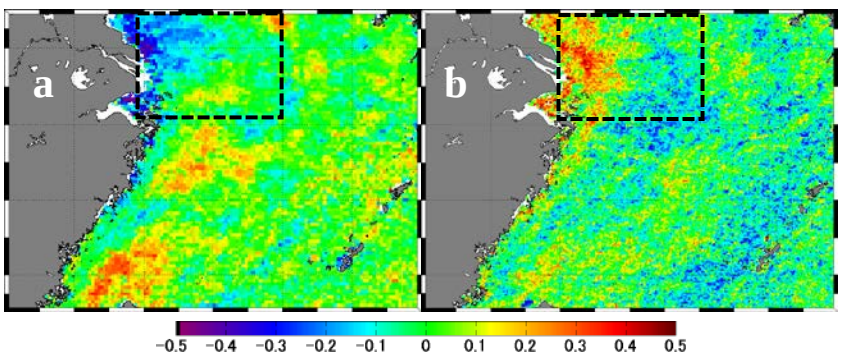


Figure 1. Spatial variation of correlation coefficient (*r*) between TSM (a), PP (b) against time. Negative (positive) r indicates decreasing (increasing) trend over the period of SeaWiFS observation (September 1997 – December 2010). Dashed box indicates the area for averaging TSM and PP in Figure 2.

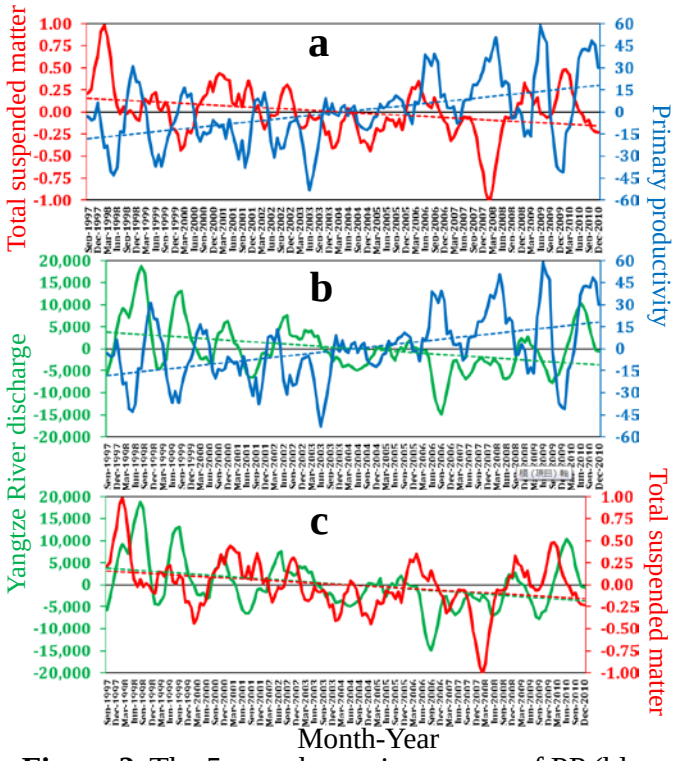


Figure 2. The 5-month running means of PP (blue lines), TSM (red lines), and Yangtze River discharge (green line) within the period from September 1997 to December 2010 (~13 years).

Figure 1a shows coefficient of correlation (*r*) between TSM and time, whereas Figure 1b does one between PP and time. As indicated by negative *r*, TSM over the area east of the Yangtze River mouth tends to decline within 13-year SeaWiFS mission. In contrast, PP tends to increase as indicated by positive *r*. In the offshore area, PP tends to decrease, whereas TSM tends to increase. By averaging PP and TSM over the dashed box in Figure 1, PP (TSM) tends to increase (decrease) (Figure 2a).

It is obvious that, in terms of interannual time scale, PP also inversely oscillates with TSM (Figure 2a), confirming that TSM plays a role in controlling light availability for phytoplankton growth. The DIS is well-known as the main source of nutrients controlling PP in the ECS (e.g., Siswanto et al., 2008). But, it is surprising that PP is negatively correlated with DIS in terms of both long-term and interannual time scales (Figure 2b). On the other hand, DIS is positively correlated with TSM, although in terms of interannual time scale, a symmetric oscillation is not obvious (Figure 2c). The aforementioned relationships among PP, TSM, and DIS indicate that in the area east of Yangtze River mouth, terrigenous suspended sediment loaded by Yangtze River is more important than the loaded nutrients in controlling PP variability.

Recent studies mentioned that both TSM and TSM flux decline following declining DIS caused by a decline in precipitation and dam construction over the Yangtze River basin (e.g., Yang et al., 2015; Dai et al., 2016). Many studies expected that PP in the ECS will decrease following DIS (hence nutrient flux) reduction associated with dam construction (e.g., Gong et al., 2006). But, this work shows that, declining DIS increases PP, mainly because of declining TSM which improves water column light availability. Improving light availability (due to DIS decline) over a normally nutrient-laden area of the ECS may thus increase PP in the future, but more frequent red tide events may also be anticipated.

4. Summary

Water column light availability in the inner-shelf of the ECS east of Yangtze River mouth has been improved within the 13-year SeaWiFS mission due to reductions of DIS and discharged TSM. Phytoplankton in this region likely benefit from the water column light improvement, rather than receive detrimental effect associated with reduction of nutrient flux.

References

Dai, Z., et al., (2016), Decline in suspended sediment concentration delivered by the Changjiang (Yangtze) River into the East China Sea between 1956 and 2013, Geomorphology, published online, http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.06.009.

Gong, G.-C., et al., (2003), Seasonal variation of chlorophyll a concentration, primary production and environmental conditions in the subtropical East China Sea, Deep-Sea Research II 50:1219-1236.

Gong, G.-C., and G.-J. Liu (2003), An empirical primary production model for the East China Sea, Continental Shelf Research, 23:213-224.

Siswanto, E., et al., (2008), The long-term freshening and nutrient increases in summer surface water in the northern East China Sea in relation to Changjiang discharge variation, Journal of Geophysical Research, 113:C10030, doi:10.1029/2008JC004812.

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.

Yang, S.L., et al., (2015), Decline of Yangtze River water and sediment discharge: Impact from natural and anthropogenic changes, Scientific Report, 5:12581, doi:10.1038/srep12581.

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

地球温暖化は低緯度域に比べると高緯度域でより大きいと予測されており、その影響とみられる北極海氷減少はすでに始まっている。温暖化や海氷減少は、ユーラシア北部の水循環に影響を与える可能性がある。 例えば、Fujinami et al. (2016) は、1980 年以降東シベリア域で夏季降水量が増加したことを報告している。 また、Hiyama et al. (2016) は、近年の北極海氷減少がシベリア域の夏季降水量の経年変動特性を変調させる可能性について議論している。シベリア域の夏季降水量の変化は、現在と将来のユーラシア北部の生態系を含む陸域環境にとって重要な問題である。そして、地球温暖化に伴う将来の環境変化の緩和や適応には、水循環システムの理解向上と信頼できる将来予測が重要である。

研究目的

本研究は、近年の地球温暖化や北極海氷減少がシベリア域の夏季降水量の経年変動特性に影響を与えているのかどうかを評価し、将来の気候変動の予測に用いられている気候/地球システムモデル実験の結果を用いてユーラシア北部の夏季降水量の経年変動の特性を調べることを目的とする。

研究方法

本研究では、将来の気候変動予測に用いられている 16 の気候/地球システムモデルによる過去の気候変動再現実験データを解析する。また、モデルの内部変動に関する不確実性を低減させるため、海面温度 (SST) や海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。解析期間は 1979 年から 2008 年である。

各モデルは水平解像度が異なるため、全モデルデータを 2°×2°の解像度に変換し解析を行った。各モデルについて、シベリア域を中心としたユーラシア北部域における夏季平均降水量データに対し 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。

研究結果

各モデルのユーラシア北部における夏季（6-7-8 月）平均降水量の空間分布は、観測値の分布の特性を十分に再現していた。観測で得られた東シベリア域の夏季降水量の増加傾向（Fujinami et al. 2016）とは異なり、シベリア地域で平均した夏季降水量が顕著な増加を示すモデルは無かった。

ユーラシア北部における夏季降水量の経年変動の主要モードを抽出するために、各モデルについて EOF 解析を実施した(図 1)。 EOF によって得られた空間パターンはモデル間で異なったが、多くのモデルが、変動の全分散に寄与する割合の高い上位 3 つの EOF パターンの中に、観測で見られた経年変動の主要モード（東西シーソーパターン）に類似したパターンを含んでいることが明らかになった。

Hiyama et al. (2016) は、1990 年前後の 2 つの期間におけるユーラシア北部の夏季降水量の経年変動の空間パターンが異なることを示し、この差異と北極海氷減少との関係について議論している。そこで、抽出した EOF パターンのスコア値の頻度分布特性が 1990 年前後で異なるかを調べるために、各モデルの最初の 10 年間（1979-1988）と過去 10 年間（1999- 2008 年）の EOF スコア値の頻度を比較した。その結果、多くのモデルで、スコア値の平均値または分散値が 2 つの期間で変化した EOF パターンがあった。しかし、それらの EOF パターンはモデル間で類似していなかった。このことから、モデルによって時空間特性は異なっている

が、ユーラシア北部の夏季降水量の経年変動に対して北極海氷分布変化、または、地球温暖化の影響があることが示唆された。

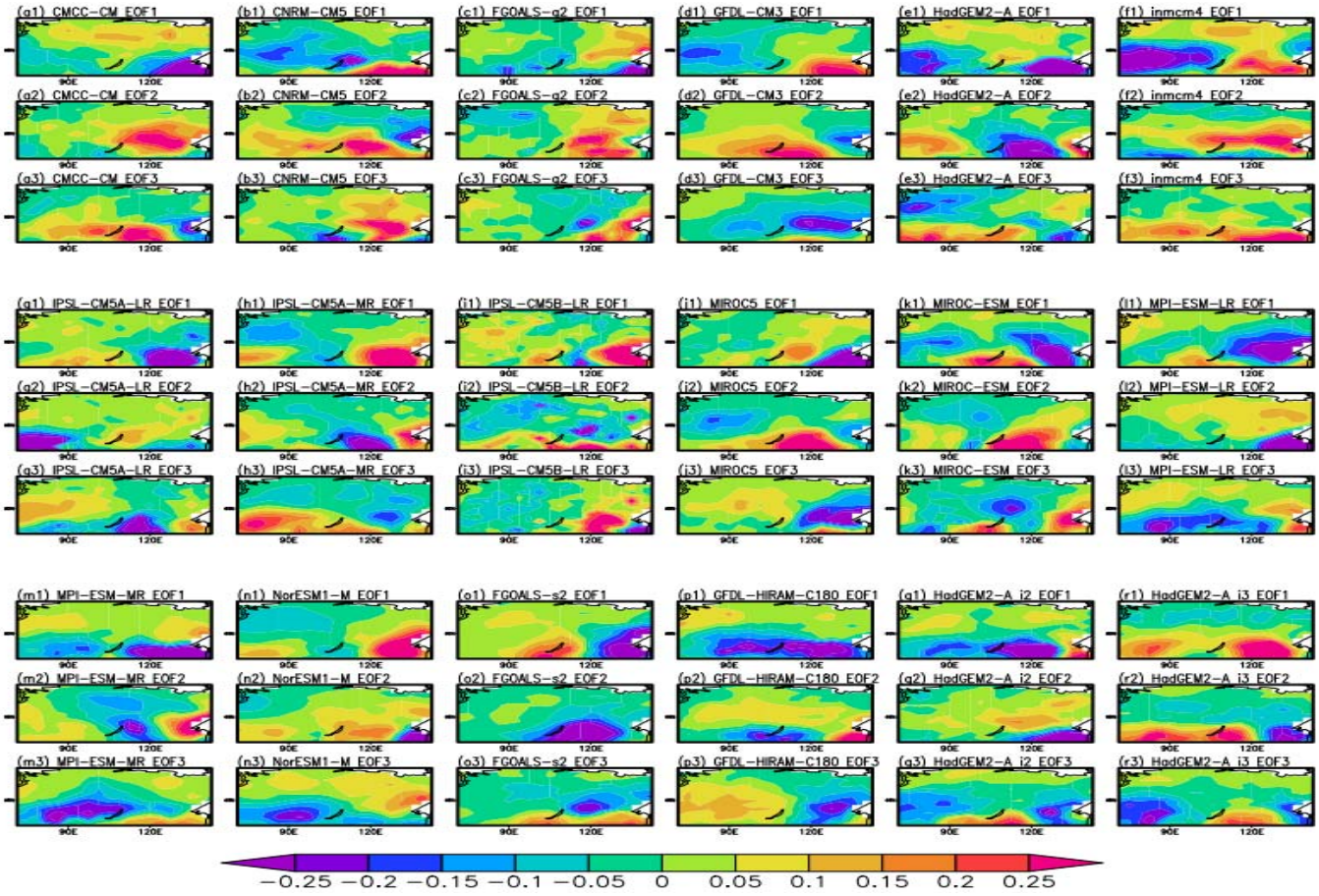


図 1. 各モデルの夏季（JJA）平均降水量に関する EOF 解析によって得られた EOF パターン。寄与率の高い方から上位 3 番目まで（EOF１、EOF2、EOF3）を示す。HadGEM2-A についてはパラメーター設定が異なる３つ場合がある。

まとめ

ユーラシア北部における経年変動の特徴は、モデル間で大きく異なっていた。しかし、観測データで見られた東西シーソーモードは、ほぼすべてのモデルにおいて経年変動の主要モードの一つとして含まれていたことがわかった。また、いくつかのモデルでは、1980 年以降にユーラシア北部の夏季降水量の経年変化の特性が変調されいる可能性を示唆する結果が得られた。今後は EOF パターンに関連する大気循環場を解析し、変動機構を解析する。さらに、モデル間での EOF パターンの類似性を基準にした、変動機構の類似性や北極海氷減少のような温暖化による影響についても調査する予定である。

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.

北太平洋域の大気大循環場が台湾北東沖黒潮に及ぼす影響

Effects arrive on the Kuroshio northeast of Taiwan caused by the atmospheric general circulation

鹿島基彦（神戸学院大・人文）

1. 研究目的

2004 年 7 月に発生した遠州灘沖の黒潮大蛇行の発生原因は 2003 年 9 月の台湾北東沖黒潮の流速大増加がきっかけとなった可能性が指摘されている（Usui et al., 2008）。台湾の位置する 23°N 付近は東方から多くの中規模渦が黒潮に合流し、黒潮を変動させることが知られている。この 2003 年の流速大増加も例外ではなく、台湾東沖で黒潮に合流した高気圧性中規模渦によるものと考えられている。

本研究では、黒潮大蛇行の原因究明に先立ち、台湾北東沖の黒潮表層流速を詳細に観測する HF レーダと海面高度計等から台湾北東の黒潮が中規模渦から受ける影響を詳細に考察する。

2. 研究方法

2003 年 9 月の台湾北東沖黒潮の流速大増加は 9.3Mhz の HF レーダ（情報研究開発機構）により表層に関して時空間的に高分解能に観測されている。加えて、FORA-WNP30 から深い深度での流速等を推定できる。また、諸海面高度計データも加えて、この大増加の発生原因に考えられている高気圧性中規模渦の挙動と、その発生・成長域に考えられる北太平洋低中緯度帯の状況、特に中規模渦の活動量、海上風速、海面水温南北勾配の間の応答関係を確認した。なお、海上風速は J-OFURO の海上 10 m 風速、海面水温は気象庁 NINO.3 および NOAA の SST100 等も用いた。

3. 研究結果と考察

中規模渦の形成と成長の直接のエネルギー源は海上風と考えられるため、赤道帯と中緯度帯の海面水温緯度格差によって駆動されるハドレー循環の強度の経年変動に伴う北太平洋低中緯度帯の海上風速の経年変動が中規模渦の考察に重要と考えられる。

解析の結果、北太平洋低中緯度帯の中規模渦の運動エネルギー（MKE: Mesoscale Kinetic Energy）に数年～10 年周期の経年変動が見られ、さらに、エルニーニョ（ラニーニャ）期に数か月遅れて、北太平洋低中緯度帯の海上風速の南北成分は強く（弱く）なり、MKE も増大（低下）する傾向が見られた。

2002 年の MKE 増大期に発達したと見られる 20°N 帯の北太平洋中東部の渦群が、約 1 年かけて台湾東沖に到達し黒潮に合流した時に 2003 年 9 月の黒潮流速大増加が発生していたと考えられる。

4. まとめ

台湾北東沖黒潮流速、北太平洋低中緯度帯の中規模渦と海上風速、海面水温分布の間に応答関係から、黒潮大蛇行の発生に、北太平洋低中緯度帯の中規模渦を介して、エルニーニョ現象が関係すると考えられる。しかし、不明瞭な部分も多く更なる検証が必要である。さらに、海上風速の変動による MKE の変動メカニズムについて NICAM-COCO 等の大気海洋結合モデルの進歩と高解像度化により明らかになることが期待される。

引用文献

・Usui, N., H. Tsujino, Y. Fujii and M. Kamachi (2008): Generation of a trigger meander for the 2004 Kuroshio large meander. *J. Geophys. Res.* **113**, doi:10.1029/2007JC004266.

ジオスペース探査衛星ERG搭載機器MEPsフライトモデルの性能試験

Laboratory tests of Medium-Energy Particle sensors (MEPs) onboard ERG

笠原慧，東京大学　大学院理学系研究科
（研究集会申請時の所属：宇宙科学研究所・太陽系科学研究系）

【研究目的】

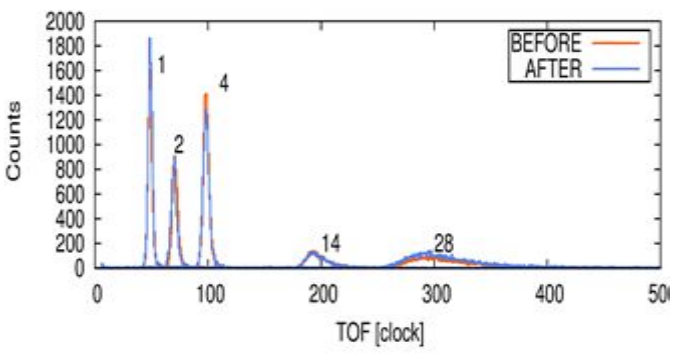
ジオスペース探査衛星ERGの基幹的観測器である，中間エネルギー帯(5-200 keV)のイオン分析器，電子分析器プロトフライトモデルの機能性能確認を行う．ERG衛星のターゲットは放射線帯における相対論的電子の加速・消失であるが，そのメカニズムとして有力な候補が波動粒子相互作用である．電子を加速・消失する電磁波動を励起するのが中間エネルギー帯のイオン・電子であると考えられているが，実証的な観測結果はこれまで乏しい．このエネルギー帯の粒子分析技術は世界的に未熟で、特に国内では初めての開発である．

【研究方法】

国際共同利用施設・設備である，「飛翔体搭載機器開発用クリーンルーム環境」において，クリンベンチ及び真空槽を利用し，ERG衛星搭載中間エネルギー粒子分析器MEP-i/eの機能性能確認作業を実施した．クリンベンチでのセッティング作業後，真空槽内でのコマンド・テレメトリの機能確認と性能評価試験を実施した．同じく国際共同利用施設・設備である「機器較正用イオン・電子ビームライン」を使用し，センサオプティクスの確認を実施した．

【研究結果】

今回の性能データ取得は，2015年度に続き2度目であった．1度目は衛星振動試験前，2度目である今回は衛星振動試験後であり，前後の比較（で性能が変わっていないこと）が最も重要な検証項目であった．これに関して，分析器のエネルギー・角度特性やイオン質量計測データを詳細に確認し，性能に問題がないことを検証できた．得られたデータの一例として，質量スペクトルの計測結果を以下に示す．なお，本研究課題の対象となったMEPe/MEPiは，ERG衛星に搭載されて2016年12月20日20:00:00JSTに無事打上げられ．順調に初期観測データが取得できている．



【成果】
S.Kasahara, S.Yokota, M.Takefumi, K.Asamura, M.Hirahara, T.Takashima, K.Yamamoto, ″Ground calibration results of Medium-Energy Particle analysers (MEPs) for ERG″, JpGU, 幕張, 2016/05/23

S. Kasahara, S. Yokota, T. Mitani, K. Aasamura, M. Hirahara, T. Takashima, and K. Yamamoto, ″Data products of Medium-Energy Particle analysers (MEPs) onboard ERG″, SGEPSS, 九州大, 2016/11/12

粒子状有機硝酸全量の大気観測に基づくガス−粒子分配の評価
Evaluation of gas-particle partitioning based on atmospheric observation of particulate total organic nitrates

松本淳, 早稲田大学・人間科学学術院

【研究目的】 対流圏における重要なエアロゾル生成過程の一つとして、揮発性有機化合物 VOC の大気ラジカルとの反応に伴う二次有機エアロゾル SOA の生成が、近年注目されている。特に、半揮発性の中間生成物 SVOC の詳細把握が必要となっている。窒素酸化物 NOx (NO, NO_2) と VOC の酸化反応(対流圏オゾン O_3 の生成過程)において、O_3 と同時に生成する有機硝酸類 organic nitrates (ONs, $RONO_2$) は重要な SVOC の一種となりうるため、そのガス−粒子分配に関する研究が不可欠である。VOC は膨大な種類が存在し、個別成分分析による網羅的な挙動把握は困難である。また、ONs 生成特性の解明された VOC は限られている。同時に、二次生成するガス状・粒子状の ONs も多様で、個別成分分析による網羅は困難である。以上のことから、二次生成するガス状・粒子状の ONs を、数え落としなく網羅的に包括測定する ONs 全量測定は、エアロゾル(SOA)評価のために有意義である。研究代表者はこれまでに、文献[1] を参考にしつつ、ONs から NO_2 への熱分解変換器 TD とレーザー誘起蛍光法 NO_2 計(LIF-NO_2)を組み合わせた ONs 全量計 TD/LIF-ONs の構築、活性炭デニューダー CD を用いた粒子状有機硝酸全量 ONs(p) 測定器 CD/TD/LIF-ONs(p) の実現、を行なってきた[2]。ただし、LIF 法は装置が大掛かりで可搬化が課題となっていたため、前年度の共同研究にてキャビティ減衰位相シフト法 NO_2 計(CAPS-NO_2)を用いて可搬的な ONs 全量計 TD/CAPS-ONs を実現した[3]。そこで本研究では、CD と TD/CAPS-ONs を組み合わせ、汎用的かつ高確度な粒子状 ONs 全量計 CD/TD/CAPS-ONs(p) を実現した。さらに、都市郊外大気での ONs(p) 測定試験に挑戦し、装置の実用性を検証した。

【研究の方法と結果・考察】 まず、TD/CAPS-ONs に活性炭デニューダーCD を組み合わせた CD/TD/CAPS-ONs(p) 計を構築した。CAPS 向けの CD は、ガス成分(NO_2,ONs)の除去率と ONs(p) 通過率を担保するために、CAPS の試料流量を考慮して新たに製作した。本装置を用いて、早稲田大学所沢キャンパス(埼玉県所沢市)において、都市郊外大気の観測を 2016年6月30日、7月1, 2, 4, 5, 6, 7日に実施した。今回は、夜間無人時にも装置を稼働させ、連続測定の可能性を探った(7月5-7日)。また、ONs のガス−粒子分配

を検証するため、試料の CD 通過・不通過を 3 分毎に切り替え、CD 通過時に粒子状の ONs(p) を、CD 不通過時にガス状と粒子状の有機硝酸の総和 ONs(g+p) を、交互に測定した。その結果、観測期間には有効なデータとして727点の測定値が得られ、本装置の実用性が示された。さらに観測結果を用いて ONs(p) と ONs(g+p) の相関解析を試みたところ、両者間の回帰直線の傾きから、今回観測した大気試料における有機硝酸類の平均的なガス－粒子分配比は約 9 % とわかった(図)。本研究で構築した ONs(p) 計を用いることで、夏季の都市郊外大気における粒子状有機硝酸 ONs(p) の観測とガス－粒子分配比の評価が十分に可能であることを示した。今後は、本手法により ONs を介した SOA 生成を把握することで、研究所の大気化学分野における SOA 研究に貢献できると期待される。

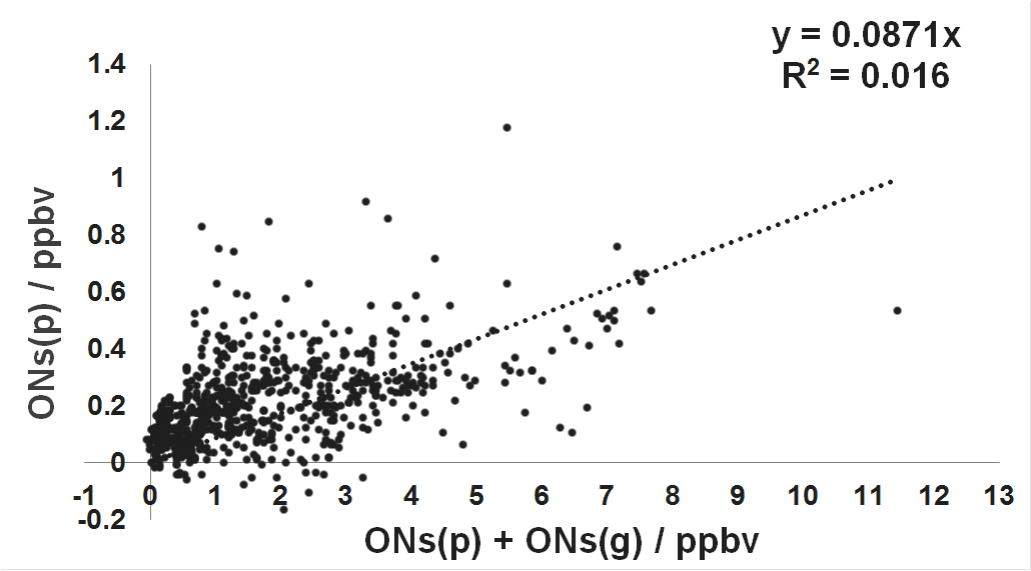


図 2016/6/30, 7/1,2,4,5,6,7 測定分の ONs(p) と ONs(g+p) の間の相関解析結果。

【参考文献等】

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

2) 松本淳(2014): *エアロゾル研究*, **29(S1)**, 47-54.

3) 松本淳(2015): 第21回大気化学討論会, P-7.

【成果発表】

洪征翌、松本淳(2016): 第22回大気化学討論会, P-41.

ブラソフ方程式の高精度数値解法の開発と宇宙プラズマ現象への応用
Development of high accuracy numerical scheme and application to space plasma phenomena

成行 泰裕，富山大学・人間発達科学部・准教授

研究体制

春木 孝之（富山大学大学院・理工学研究部・講師）
辻根 成（富山大学大学院・理工学教育部・修士 2 年）
梅田 隆行（所内担当教員）

研究目的

ブラソフ方程式系(Vlasov-Maxwell 系)は宇宙プラズマの基礎方程式系として用いられることが多く、この系を直接数値解析するブラソフシミュレーションは宇宙環境変動の予測に理解が不可欠な宇宙プラズマ現象の解析に広く貢献し得るものである。ブラソフ系を直接数値的に解く場合、数値拡散に伴う人工的な加熱・拡散過程が存在するため、メモリの使用を抑えつつ高精度でプラズマの運動を計算することが課題となっている。そこで本研究課題では、ブラソフシミュレーションで用いられる数値解法の高精度化および幅広い宇宙プラズマ現象への応用について取り組む。本年度は、過去の共同研究で開発した 4 次関数による補間を用いたスキーム(PIC-4; Umeda et al, CPC, 2012)を 5 次精度へ拡張したもの[1]に対してパラメータの精査および 2 流体不安定性などの代表的なテストを行う。

研究結果・考察

Figure 1(a)は実空間・速度空間各 1 次元の静電ブラソフ系における 2 流体不安定性における粗視化エントロピー(Dai and Wang, Phys. Plasmas, 2016)

$$S(L,t) = -\int F_L(x,v_x,t)\log F_L(x,v_x,t)dxdv_x$$

の時間発展を示したものである。ここで、

$$F_L(x,v_x,t) = \frac{1}{L}\int_{x-\frac{L}{2}}^{x+\frac{L}{2}} f(x',v_x,t)dx'$$

であり、(b)(c)はそれぞれ 3 次精度の PIC 法(PIC-3)および 5 次精度の PIC 法(PIC-5)

[1]この拡張自体は研究代表者と所内担当者が研究代表者の高知高等専門学校在籍時に刈谷大地氏と共同研究を行った際に得られた成果である。

で得られた $t\omega_{pe}$=100 の時の分布関数 f を示している。PIC-5 のリミッタは PIC-3(Umeda, EPS, 2008)のものと同じ簡便なものを用いている。速度空間はドリフト速度(v_d)で規格化しており、熱速度は 0.3、Δv_x=0.025、速度空間のグリッド数は 512 である。時間はプラズマ周波数 ω_{pe} で規格化されており、Δx=0.5、実空間のグリッド数は 256 である。粗視化スケール L は 64(129 グリッド)、4(9 グリッド)、2(3 グリッド)の 3 通りである。粗視化エントロピーは粗視化スケールの増加に伴い大きくなる(Dai and Wang, 2016)。これは、時間発展とともに空間的に小さな構造が生成されていることに対応している。Fig.1(a)より、粗視化スケール L が小さいほど補間精度に対する依存性が大きくなることが確認できる。(b)(c)の速度分布関数の濃淡図からは判別し難いが、この差異は補間の精度が高いほど小さなスケールの構造をより良く解像できていることに由来すると考えられ、簡易なリミッタの定義でも PIC-5 の精度が良いことが確認できる。また、リミッタ関数中のパラメータと計算精度の関係[1]及び空間非一様な対向流[2]の非線形発展についても研究を進めた。

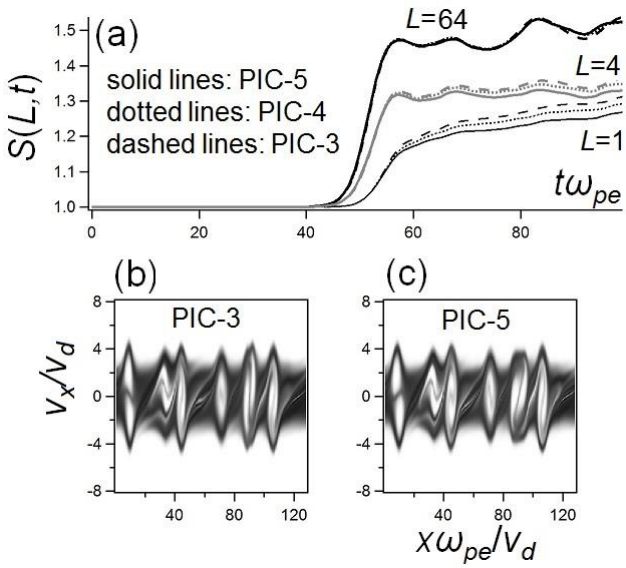


Figure 1 (a)Time evolution of coarse-grain averaged entropy. (b)(c)$f(x,v_x)$ at $t\omega_{pe}$=100.

成果発表(口頭発表)

[1] 辻根成, 春木孝之, 成行泰裕, 梅田隆行, Vlasov シミュレーションにおける保存型無振動スキームのパラメータ特性, 地球電磁気・地球惑星圏学会　第１４０回総会及び講演会（２０１６年　秋学会）, R008-P12, 九州大学伊都キャンパス, 2016 年 11 月 21 日（月）.

[2] 辻根成, 春木孝之, 成行泰裕, 梅田隆行, カウンターストリーム不安定のブラソフシミュレーション, 第 332 回生存圏シンポジウム「宇宙プラズマ波動研究会」 プログラム, 2016 年 12 月 2 日（金）.

プラズマCVD中での微粒子を利用した凝集構造膜の作製
Synthesis of aggregation structure film by nano particles in PE-CVD

西田哲、岐阜大学・工学部

1. はじめに

報告者らの研究グループではプラズマCVDプロセス中に原料ガスを高速で供給することにより通常法と比較して1000倍速いμm/sオーダーの高速で製膜を行うことのできるプラズマジェットCVD法を開発し研究を行ってきた[1), 2)]。本手法では通常の膜だけではなく構造が非常に疎で数十nmの微粒子が凝集したような膜もμm/sで製膜することができることがわかった。このような構造の凝集体は材料がシリコンであればリチウムイオン二次電池の電極材料として利用できる可能性が示されている。現状ではこのようなナノ粒子の凝集体を作成するには微粒子を液相法などで作成しそれを凝集させるため数時間単位の時間がかかる。そのため本手法を用いることにより凝集体の作成時間を大幅に短縮できる可能性がある。しかしながら、本手法での凝集体作製については過去に報告がないため実験所条件と凝集体の微細構造の関係が明らかになっていない。本研究では、製膜条件と凝集体の構造の関係を明らかにし、凝集体生成のメカニズムについて理解することを目的とする。

2. 実験方法

実験装置の概略図を図１に示す。原料ガスの供給ノズルを兼ねた電極に高周波電源を用いて電圧を印加し基板を設置した対向の平板電極との間に放電を行う。原料ガスにはシランと水素の混合ガスを用いた。プラズマジェットCVD法では製膜チャンバー内を800 Pa、ノズル内部の圧力を数万Paにし、ノズル前後で高い圧力比とすることで高速噴流で原料ガスをチャンバー内に導入する。ノズルと基板間の距離は10 mmとした。プラズマジェットCVD法では製膜形状が居所的になるため基板側を円運動させることにより平滑化している。今回はではガス流量と投入電力をパラメータとし実験を行った。評価は走査型電子顕微鏡で断面の観察と粒子径の測定を行い、電子天秤で堆積量を評価した。

3. 実験結果

図2に作製した凝集体のSEM画像を示す。数十nmの微粒子が凝集して5μm程度の厚みの膜を形成していることがわかる。投入電力とガス流量を変化させた実験では、凝集体の１次粒子径は投入電力を変化させても大きな変化はないこと、ガス流量により変化することが分かった。堆積量については投入電力とガス流量ともに影響があることが分かった。また条件によって変化するがノズル１つあたりの堆積量は約500mg/hrであり、原料ガス中のシランの反応率は約5%であった。

4. 考察

今回の結果からは凝集体の１次粒子径にはガス流れの影響が大きいことが分かった、このことから気相中で生成した微粒子が高速噴流に巻き込まれる形で基板に衝突し、凝集体が堆積していくのではないかと考えられる。堆積量については原料ガス中のシラン濃度を増加させることに増加できる可能性があり今後さらなる検討が必要である。

引用文献

1) Kuribayashi, S. et al., Effect of VHF excitation frequency on localized depositio n of silicon in nonequilibrium plasma-enhanced CVD by an underexpanded

supersonic jet Surf. Coat. Technol. 225, 75 (2013)

2) Nishida, S. et al., Effect of Gas Flow Rate on High Rate Localized Silicon Dep osition by Jet in SiH_4/H_2 PE-CVD, J. Chem. Eng. Japan, 47, 478 (2014)

成果発表

学会発表(国内)4件

化学工学会第48回秋季大会、「プラズマジェットCVD法によるシリコンナノ粒子凝集体の高速製膜に関する研究」永井 祐輔、細川 寛人、西田 哲、小宮山 正治、2016年9月6日、徳島大学常三島キャンパス

第77回応用物理学会秋季学術講演会、「プラズマジェットCVD法によるシリコンナノ粒子の高速作製」永井 祐輔、細川 寛人、西田 哲、小宮山 正治、栗林志頭眞、2016年9月15日、新潟市朱鷺メッセ

化学工学会 第82年会、「高速噴流を使用したプラズマCVD中でのシリコン高速製膜」西田哲、2017年3月8日、東京　芝浦工業大学

第64回応用物理学会春季学術講演会、「超音速噴流を用いたVHFプラズマによる超高速DLC成膜」井本 幸希、宗 洋志、岩崎 悠也、戸野 博之、牟田 浩司、西田 哲、2017年3月14日、横浜市パシフィコ横浜

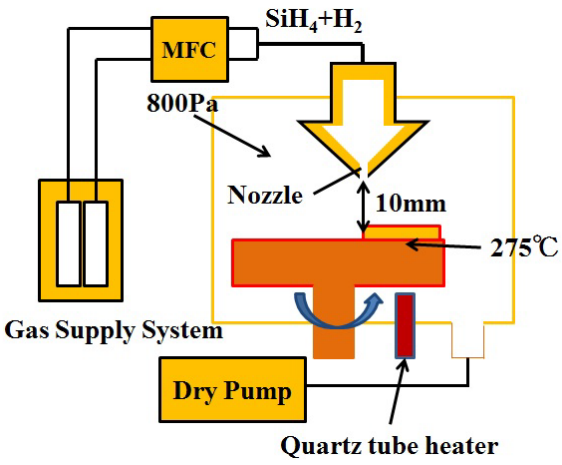


図1. 実験装置概略図

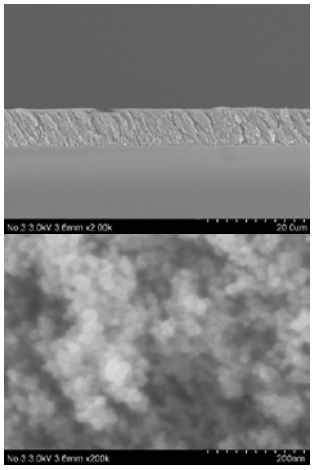


図2. 作製したナノ構造膜の断面 SEM 画像

（上）全体像、(下)拡大像

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，古生代の花崗岩類に焦点を合わせ，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 法による年代測定では，閉鎖温度が低いため，２次的な熱的影響を完全に除外することが難しく，得られた結果は年代の上限を示すに過ぎないという限界があった．これに対して，名古屋大学で開発されたモナザイト・ジルコンの CHIME 年代測定法は，ミクロン・オーダーの高分解能をもつ迅速な微小領域年代測定法として威力を発揮しつつあり，近年開発されたジルコンの LA-ICP-MS による年代測定法は，空間分解能の点では CHIME 法に及ばないが，比較的若い年代も鉱物ごとに測定可能になってきた．本研究では，これらの新手法を駆使して，関東山地の試料を中心としてジルコンの年代を求め，日本列島の地殻形成史をさぐる．

２．　研究方法

関東山地の花崗岩類を中心に，既存の手法で年代付けされた試料あるいは年代不明の岩体から新たに採取した岩石からジルコンを分離し，名古屋大学大学院環境学研究科の LA-ICP-MS を用いて，U-Pb 年代を測定した．この手法はジルコン１粒ごとの年代測定が可能なだけに，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，岩石粉砕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．また，ジルコン結晶の研磨面は CL（カソード・ルミネッセンス）画像を観察して，マグマ性と確認される部分にレーザー・プローブを当てて年代を測定した．測定にあたっては，本研究グループ員の鈴木和博名誉教授死去のため，名古屋大学環境学研究科の竹内　誠教授の支援をいただいた．

３．　研究結果

今回検討対象とした年代不明の岩体は（２岩体は花崗岩，１岩体は凝灰岩），関東山地北縁部で重要な位置を占めながら，破砕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岩体である．我々の測定によって，３岩体の年代が約７０Ma と求まり，古生代ではなく後期白亜紀のものと判明した．

４．　考察

関東山地北縁部には古生代ペルム紀と中生代白亜紀の珪長質火成岩（主に花崗岩）が分布するが，そのほとんどは微細な岩体か礫として存在する．白亜紀の砂岩中には古生代だけでなくジュラ紀の砕屑性ジルコンも多産するので，その起源に興味がもたれたが，今回の検討でジュラ紀花崗岩体が残存する可能性はほぼ消滅した．

５．　まとめ

今回検討した関東山地北縁部の２つの花崗岩体は規模が大きいにもかかわらず時代未詳で，日本列島の地殻形成史の議論において無視できない存在であったが，後期白亜紀と判明し，凝灰岩の年代と合わせて，西南日本内帯の構造要素であることが確定した．

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.

地上レーダーと航空機を用いた台風強度の最適推定方法の検討

Investigation of optimal method to estimate typhoon intensity using a ground-based radar and an airplane

山田　広幸（琉球大学理学部）

研究目的

本研究は、地上で運用されるドップラー気象レーダーと、近い将来に実施される航空機ドロップゾンデ観測を組み合わせ、台風の最大風速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。しかし衛星による推定は、主観を排除できないことと、誤差が大きく、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最大風速と中心気圧の推定する手段を現在開発中である。この手法では中心気圧の推定に台風の外側における気圧の観測値が必要であるが、陸地から離れた海洋上では気圧の観測値を得ることが難しいため、航空機ドロップゾンデ観測で得られる気圧をもとに中心気圧の推定を行う。また、レーダーにより得られる高度 2km の風速データから地上風速を推定する際に、ドロップゾンデ観測により得られる風の鉛直分布を用いて 2 つの高度間の風速の関係を求め、地上の最大風速を推定する。これらは台風の構造と強度の関係を理解するのに役立つだけでなく、将来的には台風の予想進路上にある島嶼への早期警戒情報としての活用が期待される。なお、航空機が利用できる前の段階においては、沖縄を通過する過去の台風を対象として予備研究を行う。

研究方法

科研費研究（基盤 S、平成 28～32 年度）「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）が採択され、航空機観測が実施されることが決まったが、本年度は航空機観測の準備期間であったので、予備研究として沖縄本島の周辺を通過した台風 18 号に対し、久米島と沖縄本島での気圧観測値を用いた台風の強度推定と、台風の外側でのラジオゾンデ観測を実施した。まず、沖縄本島にある気象庁糸数レーダーで取得された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。また、ラジオゾンデ観測は沖縄本島の恩納村にある沖縄電磁波技術センターにおいて、台風の通過期間中に 2 時間ごとに実施した。

研究結果と今後の課題

台風第 18 号が久米島に接近する前後 16 時間について、中心気圧と最大風速の推定を 5 分間隔で行った。その結果、久米島へ最接近する数時間前に中心気圧が 905hPa 程度まで低下し、その後緩やかに気圧が上昇していたと推定された。中心気圧の推定に、那覇と久米島の観測値を用いた場合の推定結果の違いは数 hPa 以内であり、壁雲の外側では観測点の距

離の違いにあまり敏感ではないことがわかった。また、反射強度の３次元構造の解析から、壁雲は最盛期において外側への傾きが小さく、その後外側への傾斜が大きくなったことがわかった。また、中心気圧の上昇が鉛直シアーの増加による非対称性の顕在化とも関係していることがわかった。台風の中心から約 100km 外側でのラジオゾンデ観測では、強い潜在不安定の成層状態が持続的にみられ、コンパクトだが猛烈な勢力をもつ台風 18 号の維持に好都合な状態であったことがわかった。今後は、これらの観測結果をもとに航空機ドロップゾンデの投下地点の検討を行う。

経費の使途

台風セミナー（宇宙地球環境研究所の国際ワークショップ）の実施において、ハワイ大学の Michael Bell 博士を招聘する旅費に流用したため、本研究での経費の使用はない。

成果発表（論文）

Nasuno, T., H. Yamada, M. Nakano, H. Kubota, M. Sawada and R. Yoshida, 2016: Global cloud-permitting simulations of Typhoon Fengshen (2008). *Geoscience Letters*, **3**:32, DOI: 10.1186/s40562-016-0064-1, 出版日 2016/12/1.

Shimada, U., M. Sawada, and H. Yamada, 2016: Evaluation of the accuracy and utility of tropical cyclone intensity estimation using single ground-based Doppler radar observations. *Monthly Weather Review*, **144**, 1823-1840, 出版日 2016/4/11.

Yamada, H., T. Nasuno, W. Yanase, and M. Satoh, 2016: Role of the vertical structure of a simulated tropical cyclone in its motion: A case study of Typhoon Fengshen (2008). *Scientific Online Letters on the Atmosphere*, **12**, 203-208, 出版日 2016/8/3.

山田 広幸, 嶋田 宇大, 2016: 気象レーダーが捉えた 2015 年台風第 15 号および第 21 号の暴風. 暴風（かじふち）, 沖縄気象災害防止協議会, 44, 19-23, 出版日 2016/6/8.

成果発表（口頭発表）

田盛 智翔也, 山田 広幸, 嶋田 宇大: 2015 年台風第 15 号の急発達期における壁雲の構造変化. 日本気象学会秋季大会, 名古屋大学, 愛知県名古屋市, 2016/10/26 発表.

田盛 智翔也, 山田 広幸, 嶋田 宇大: 鉛直シアーに伴う 2016 年台風第 18 号の壁雲の構造の時間変化. 日本気象学会沖縄支部研究発表会, 国際海洋環境情報センター, 沖縄県名護市, 2017/3/2 発表.

山田 広幸, 嶋田 宇大, 岩井 宏徳: 2010 年第 7 号は「猛烈な」台風だった. 日本気象学会秋季大会, 名古屋大学, 愛知県名古屋市, 2016/10/28 発表.

山田 広幸: 2016 年台風第 5～7、9～11 号の発生に関わるモンスーン渦の特徴と成因. 2016 年度日本気象学会関西支部第 2 回例会, 高知大学, 高知県高知市, 2016/12/9 発表（招待講演）.

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。この計算機システムは、多数のコアを持つCPUが100万台以上並列に接続された計算機システムになると計画されているが、現在日本で最大の並列計算機である「京」でさえ、10万並列に達しておらず、高い並列化効率を維持して「ポスト京」を利用できるアプリケーションがあるか不明な状態である。例えば、磁気圏MHDシミュレーションコードを「京」で3万並列計算した場合、「京」を1ノード利用した場合に比べ、並列化効率が10%程度劣化することが分かっている。このような現状のまま「ポスト京」などを利用すると、並列化に伴うオーバーヘッドが全計算時間の半分以上を占めてしまい、並列計算したにもかかわらず、計算は速くならない可能性がある。

このような問題を解決するために、昨年度までに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を導入したが、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。

昨年度はHaloスレッドをグローバルMHDシミュレーションコードに実装し、計算手法や計算量により、Haloスレッドの効果が制限されることが分かっていた。この制限をできる限り少なくするために、本年度ではHaloスレッドで実行される計算と通信を最適化し、通信と計算のオーバーラップをさせる場合や通信だけを効率的に行う関数（Halo関数）を開発した。Halo関数では計算中に行われるHalo通信（領域分割により必要となる通信）の送受信相手、通信データ量、通信データの場所などを計算前に登録することで、通信を最適化し、また通信に伴うデータのパック・アンパックも最適化することで、効率化を図っている。図1にMHDシミュレーションコードで利用されるHalo通信を、従来ののMPI_sendrecvで行った場合とHalo関数で行った場合の結果を示す（利用計算機はFX100）。測定に利用したMHDシミュレーションコードではHalo通信が二つあり、それぞれ図1では「Halo 1」と「Halo 2」と示している。Halo 2はHalo 1に比べて通信量が3倍になっている。図から分かるように、Halo関数を導入すると1.5倍程度の性能向上が見えている。ここでは、各プロセスに100×100×100の格子点を持たせた結果であるが、格子点を増やすと性能向上率は上がっていくことも確認できている。これはHalo関数内では、ストライドアクセスが含まれるパック・アンパックをブロック化し、効率を上げていることが大きく効いている。また、このパック・アンパックと通信がオーバーラップされていることも性能向上の一因と考えられる。

Halo関数自体はHaloスレッドを利用していない場合でも、実装可能であり、来年度は他のアプリケーションへの実装を進めて、フレームワーク化を完成させる予定である。特にISEEの教員が開発している高次元な流体計算であるVlasovシミュレーションコードに導入する予定である。

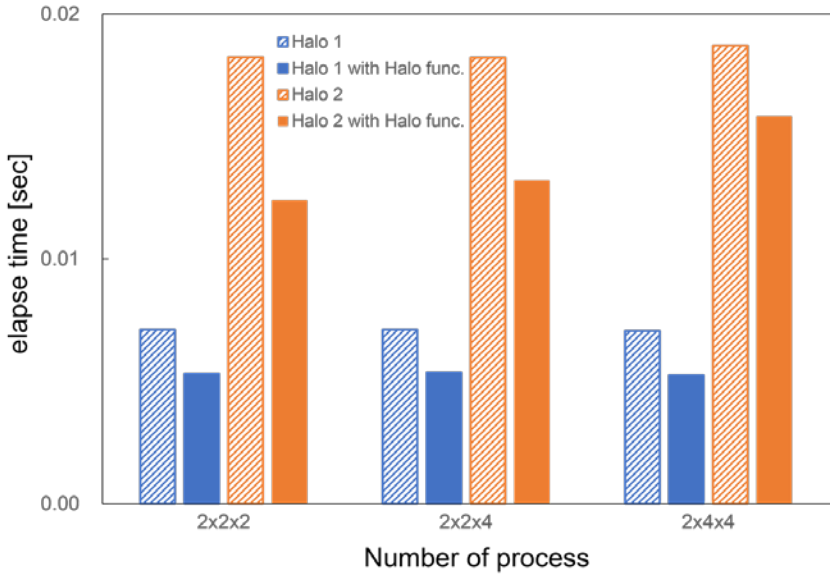


図1　FX100における従来のMPI関数とHalo関数を利用したHalo通信の経過時間。計算サイズは各プロセスで100×100×100である。

・国際学会論文成果

Fukazawa, K., T. Takami, T. Soga, Y. Morie, and T. Nanri. 2016. Effective Calculation with Halo communication using Halo Functions. In Proceedings of the 23rd European MPI Users' Group Meeting (EuroMPI 2016). ACM, New York, NY, USA, 215-216. DOI: http://dx.doi.org/10.1145/2966884.2966893.

・国内研究会発表

深沢圭一郎、森江善之、曽我武史、高見利也、南里豪志、"並列ステンシル計算におけるHalo領域通信の高効率実装"、STEシミュレーション研究会、2016年

北ユーラシアにおける降水の年々変動に対する大気と陸面の役割
Roles of atmosphere and land processes on interannual variation of precipitation over Northern Eurasia

佐藤友徳　北海道大学大学院地球環境科学研究院

1. 背景と研究目的

中高緯度に広がるユーラシア大陸北部は地球全体の水・エネルギー循環や炭素循環において極めて重要な地域である。同地域では、東シベリアの湿潤化(Fujinami et al., 2016)と対称的に、モンゴルでは少雨に伴う乾燥化傾向が確認されている(Erdenebat and Sato, 2016)。これらの2地域は異なる降水量変動傾向を示しているが、これを駆動する要因は明らかになっていない。降水変動のメカニズムが明らかになることで、河川流出や植生活動の変動機構の理解にもつながることが期待される。さらに、降水量の増減は土壌水分の多寡や熱波などの極端気象の発現に密接に関係していると考えられるが、未解明の部分が多い。以上の背景から、本研究課題はユーラシア大陸北部の降水量変動の要因分析を行うことを目的とする。

2. 研究方法

再解析データERA-Interimを用いて、モンゴルにおける降水極小年（2002年）の夏季の総観場解析を行った。さらに、任意の地点において降水のもととなる水蒸気の起源を定量的に評価できる水蒸気トレーサーモデルを構築し、JRA-55再解析データを用いて過去から現在にかけて降水起源の変化を検証できるモデルの開発を行った。

3. 研究結果と考察

3.1 2002年の総観場解析

モンゴルで記録的な少雨と熱波が観測された2002年を対象に総観場の解析を行った。図1aは500hPa面高度の気候値(1981－2010年)に対する2002年の6－8月の偏差である。モンゴル周辺に強い高気圧偏差と、その西側の中央アジアに低気圧偏差、さらに西の北欧に高気圧偏差が確認でき、地上気温の偏差ともよく対応している。同年の夏のうち、熱波が発生していた6月下旬～7月上旬(図1b)と8月(図1c)の2つの期間に着目すると、モンゴルにおける正偏差は類似しているが、その西側の高度場偏差の位相が異なっている。具体的には、6月下旬～7月上旬の熱波は高度場偏差の振幅が小さく、北欧では負偏差となっている。一方、8月の事例では北欧は強い高気圧偏差となって

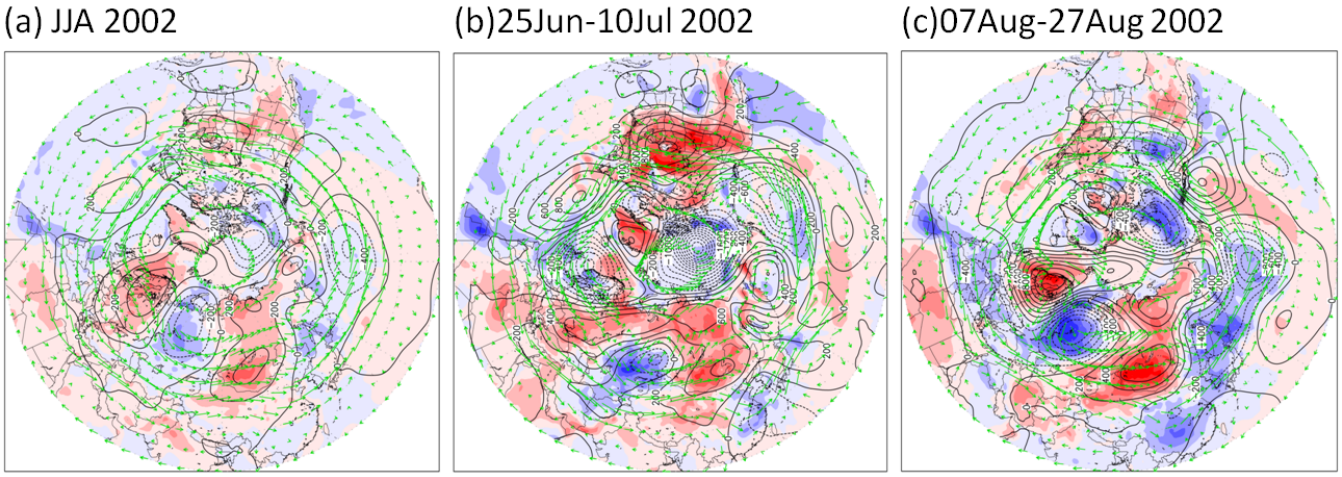


図1：500hPa面高度(等値線)と地上気温(カラー)の平年からの偏差.
(a)2002年6-8月，(b)2002年6月25-7月10日，(c)2002年8月7日-8月27日.

いる。このことから、両者の事例において西側からの波動伝搬がモンゴル周辺の少雨のトリガーとなっていることが示唆されるが、事例毎に波長が異なっている。波長の異なる両事例でモンゴル周辺が正偏差となるためには、大気の波動伝搬の他に下流で位相を固定するプロセスとして陸面状態や地形などが関与している可能性がある。

3.2 水蒸気トレーサーモデルを用いた初期解析

近年顕著な北極海の海氷面積減少が、北ユーラシアの降水変動に与える影響を検討するために、水蒸気トレーサーモデルの開発を行った。本モデルはSato et al. (2007)をベースにしており、JRA-55再解析データから作成した6時間間隔の水収支各コンポーネントを強制データとする鉛直1層の水蒸気輸送モデルである。

北極海で蒸発した水蒸気が各グリッドの可降水量に占める割合を図2に示す。9月の月平均では中央シベリアの水蒸気のうちおよそ10%弱が北極海起源である。海氷面積が減少した近年では、その割合が増える傾向にあり、海氷減少が北ユーラシアの降水量変動に寄与している可能性が示唆された。本解析で用いた水収支成分には、誤差の大きな成分も含まれており、引き続きモデルの改良を行う必要がある。また、月平均場だけでなく擾乱通過時など降水変動と関連する時間スケールでの解析も継続する予定である。

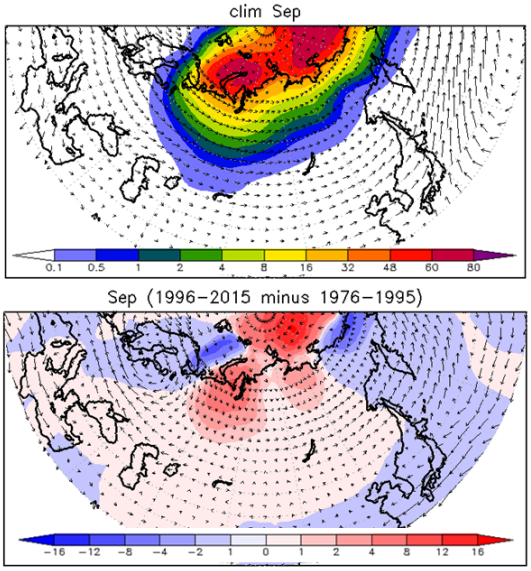


図 2: 北極海を起源とする水蒸気の割合. (上)9 月の気候値. (下)近年と過去の差.

4. まとめ

総観場解析の結果から、モンゴル周辺の降水量変動の駆動要因として、西からの波動伝搬が重要であると考えられるが、その位相固定に対する陸面過程の寄与を明らかにする必要がある。さらに水蒸気トレーサーモデルの実験結果から、近年の北極海の海氷減少が北ユーラシアの降水量変動に影響を与えている可能性が示唆された。今後、定量化の精度を高めるためのモデル改良が求められる。

引用文献

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

Fujinami, H., T. Yasunari, and T. Watanabe, 2016: Trend and interannual variation in summer precipitation in eastern Siberia in recent decades. Int. J. Climatol., 36, 355-368.

Erdenebat, E., and T. Sato, 2016: Recent increase in heat wave frequency around Mongolia: role of atmospheric forcing and possible influence of soil moisture deficit. Atmos. Sci. Lett., 17, 135-140, DOI: 10.1002/asl.616,

成果発表

Erdenebat, E., and T. Sato: Long-term numerical experiment on effect of soil moisture reduction to recent heat wave increase in Mongolia. AGU Fall meeting, San Francisco, 2016.

大気中窒素酸化物・オゾン濃度測定装置の改良
Improvement of high-sensitivity instruments for detection of atmospheric NO_2 and O_3

和田龍一　帝京科学大学・生命環境学部

1. 研究目的

オゾンは人体や植物の生長に悪影響をあたえる。窒素酸化物はオゾンの前駆物質である。正確かつ高い時間分解能にてオゾンや窒素酸化物の濃度を計測することは、地球環境問題を理解し、解決を図る上で重要である。本研究では名古屋大学宇宙地球環境研究所松見豊教授の研究グループが保有する高感度高時間分解の特徴を持つ NO_2 レーザー分光計測装置と化学発光 O_3 計測装置の改良と計測への応用を行った。

2. 研究方法

2.1 装置の改良と開発

①レーザー誘起蛍光法（LIF 法）のような、蛍光を検出する方法においては、外部からの光や、レーザーの散乱光がバックグランドを押し上げる原因となる。LIF セル内部に、光を効率よく吸収する特殊な黒色塗料（Alion Science and Technology 社, MH2200）を表面に数回塗布し、1 週間乾燥させた。塗布後、装置の感度を求めた。②正確かつ高い時間分解能を持った NOx の計測には、2 台の LIF 装置を用いて計測したほうがよいことが H27 年度の名古屋大学太陽研共同研究から明らかとなり、松見研究室が保有する LIF 装置のパーツをお借りして 2 台目の LIF 装置を製作した。③松見研究室が保有する化学発光法の原理を用いた高い時間分解能をもつオゾン計測装置の再立ち上げを行った。

2.2　計測への応用

2016 年 10 月 7 日～10 月 10 日に富士吉田アカマツ林微気象観測タワーにてレーザー分光計測装置を用いた渦相関法による NO_2 フラックス計測の検討を行った。渦相関法による計測には、0.2 秒程度の高い時間分解能にて大気中の対象物質の濃度を正確に計測する必要がある。大気サンプル口と超音波風向風速計を微気象観測タワーの高さ 26.5 m の地点に設置した。森林の樹冠は 24 m である。大気試料はサンプル口から PTFE 製チューブを用いて地上の観測小屋に設置した NO_2 レーザー分光計測装置、および CO_2 赤外分析装置に供給した。

3. 研究結果と考察

3.1 装置の改良と開発

①改良した LIF 装置の検出限界（1 秒積算）は 160 ppt と得られた。改良前の検出限界は 210 ppt であり、改良前に比べ感度が 24%向上した。②NO_x-LIF 装置開発に向け、2 台目の LIF 装置の製作を行った。2 台目の NO_2-LIF 装置の検出下限は 1.3 ppb（1 秒積算）であった。2 台目の検出下限が 1 台目に比べて劣っている原因は、使用しているレーザーの出力が約 30%と小さいこと、また検出器の位置が最適化されていないことの可能性が考えられる。③化学発光法の原理を用いたオゾン計測装置の立ち上げを行った。オゾン発生器を用いて 230 ppm のオゾンをチャンバー内に導入したが、オゾンの信号は得られなかった。原因として化学発光を生じるための NO 標準試料の濃度が低かった可能性が考えられる。

3.2 計測への応用

富士吉田アカマツ林にて、渦相関法により求めた CO_2フラックスを図に示す。本研究で得られた CO_2フラックスは森林総合研究所が同じタワーの同じ高度で渦相関法により求めている CO_2フラックスの計測結果とよく一致した。本研究の測定とデータ処理がうまくできていることを確認した。渦相関法により得られた NO_2フラックスを図に示す。測定当日の富士吉田アカマツ林での NO_2フラックスは森林からの放出と得られた。

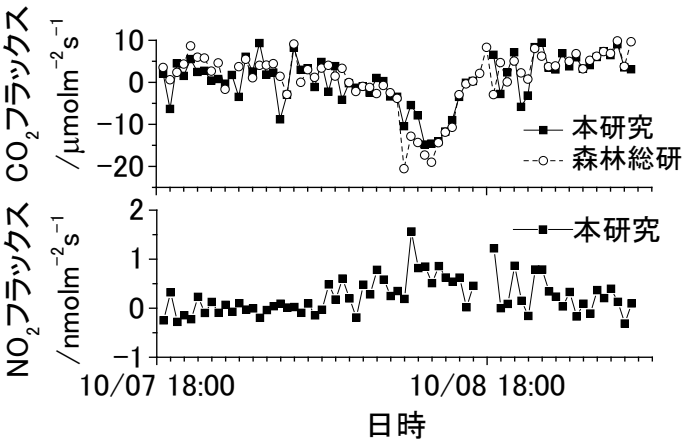


図. 富士吉田アカマツ林の CO_2(上)と NO_2(下)フラックス

4. まとめ

名古屋大学松見研究室が保有する NO_2 レーザー分光計測装置の高感度化と当装置を応用した NO_x を計測可能な装置の開発を検討した。また NO_2 レーザー分光計測装置を用いて、富士吉田アカマツ林にて渦相関法による NO_2のフラックス計測を検討し、森林における初期検討結果を得た。今後より長期的な観測を実施し、データを積み重ねる。

5. 参考文献

宮﨑洸治ほか(2008)大気環境学会誌　第 43 号第 2 号「NO_2検出器を用いた大気中 NO 測定システムの開発」112-118.

松本淳（2013）大気環境学会誌　第 48 巻第 1 号「レーザー誘起蛍光法に基づく大気中のポテンシャルオゾンの測定」35-42.

6. 成果発表（当該年度に行った口頭・ポスター発表）

【原著論文】

・和田龍一, 神林 学, 高梨 聡, 深山貴文, 中野隆志, 谷 晃, 米村正一郎, 松見 豊, 2016, 山岳道路車両規制が与える大気汚染物質濃度への影響と近隣森林内大気への影響の解明, 富士山研究, 10, 1-7.

・R. Wada, Y. Matsumi, S. Takanashi, Y. Nakai, T. Nakayama, M. Ouchi, T. Hiyama, Y. Fujiyoshi, T. Nakano, N. Kurita, K. Muramoto, N. Kodama, 2016. In situ measurement of CO_2 and water vapor isotopic compositions at a forest site using mid-infrared laser absorption spectroscopy, Isot. Environ. Health Stud. 52, 603-618.

【口頭発表】

・和田龍一, 松見豊, 高梨聡, 深山貴文, 中野隆志, 望月智貴, 谷 晃, 米村正一郎, 植山雅仁, 宮崎雄三, 富士山麓森林におけるオゾンと窒素酸化物フラックス計測の検討. 第 22 回大気化学討論会札幌市(北海道大学), 2016 年 10 月 12 日-2016 年 10 月 14 日, p3.

【ポスター発表】

・吉田清重, 滝沢麻緒, 和田龍一, 車裕輝, 中山智喜, 鶴丸央, 坂本陽介, 梶井克純, 定永靖宗, 中嶋吉弘, 松田和秀, 加藤俊吾, 松見豊, レーザー誘起蛍光法を用いた NO 計測手法検討と野外計測への適用. 平成 28 年度日本化学会関東支部群馬地区研究交流発表会, 高崎市（量子科学技術研究開発機構 高崎量子応用研究所）, 2016 年 12 月 13 日, p84.

以上

航空機観測と数値モデル計算によるエアロゾル－雲相互作用研究

Study of aerosol-cloud interactions using aircraft and numerical modeling

小池　真、東京大学・大学院理学系研究科・地球惑星科学専攻

【研究目的】

エアロゾルは雲凝結核や氷晶核として働くことにより、雲粒の相（水滴/氷晶）やその粒径分布に影響を与える。このような雲微物理特性の変化は、降水や雲粒の蒸発などを介して雲の厚さや雲量といった雲のマクロな構造に影響を与える。アジアは世界的に見ても人間活動により大気中のエアロゾル濃度が高いレベルにあり、雲・降水に対し他の領域よりも強く影響していると考えられる。また黄砂として知られるダスト濃度も高く、氷晶核として強く影響している可能性がある。本研究の目的は、今後の西太平洋での航空機観測においてどのような観測を実施、その結果、どのような成果があがるのか、研究計画を作成することである。このような検討により、今後さまざまな観測計画を立案するための科学的戦略が立てられるとともに、必要な観測機や数値モデルの整備などを実施するための知見が得られることが期待される。

【研究方法】

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

【研究結果】

研究所担当教員と研究会などで議論をおこなった。このような議論に基づき、今後の西太平洋での航空機観測においてどのような観測を実施、その結果、どのような成果があがるのか、研究計画を作成することができた。経費については研究集会「航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進（平成 28 年 9 月 13 日～14 日に名古屋大学で開催)」に参加する方々の旅費として使用した。

【考察】

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

【まとめ】

今研究では、研究集会「航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進（平成28年9月13日～14日に名古屋大学で開催）」を通じて、航空機観測と数値モデル計算によるエアロゾル－雲相互作用研究を実施することができた。

【成果発表】

(1) 誌上発表　＜論文（査読あり）＞

1) Koike, M., N. Asano, H. Nakamura, S. Sakai, T. M. Nagao, and T. Y. Nakajima, Modulations of aerosol

impacts on cloud microphysics induced by the warm Kuroshio Current under the East Asian winter monsoon, *J. Geophys. Res. Atmos.*, *121*, doi:10.1002/2016JD025375, 2016.

(2) 口頭発表（学会等）

小池真、新野宏、航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進、日本地球惑星科学連合 2016 年大会、2016 年 5 月、幕張

小池真、 航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進：気象学会の研究計画、日本気象学会2016年度秋季大会、2016年10月27日、名古屋大学

初期太古代石墨片岩中に含まれるジルコン，モナザイト，ゼノタイムのCHIME年代測定

CHIME dating of zircon, monazite and xenotime in early Archaean graphitic schistt

大友陽子、北海道大学大学院工学研究院，環境循環システム部門

研究目的

最古の生命の痕跡は約38億年前の岩石が分布する西グリーンランド・イスア表成岩帯で二例発見されており，そのうち一つは申請者の報告 (Ohtomo et al., *Nature Geoscience*, 2014)によるものである。最古の生命の痕跡は軽い炭素安定同位体組成を持つグラファイトであり，海洋化学沈殿物である縞状鉄鉱層に挟まれた石墨片岩層中に発見された。この石墨片岩の地質学的産状や化学組成，片岩に含まれているグラファイトの炭素安定同位体組成及び結晶学的特徴は，約38億年前の海洋に微生物が繁茂していたことを示唆するものであった。しかしながら，当時の微生物の生息環境や，微生物種についての詳細は未だ明らかになっていない。石墨片岩には希土類元素が多く含まれており，ホスト鉱物はジルコン，モナザイト，ゼノタイムである。これらの鉱物がもし大陸からの地殻砕屑物であった場合，石墨片岩の原岩である堆積物は大陸に近い浅部海洋に堆積したと考えることができる。このことは，グラファイトのもととなった微生物が海洋浅部の有光層で繁茂した光合成細菌であった可能性を示唆する。しかしながら一方で，イスア表成岩帯は変成流体の影響を受けているため，変成流体からの希土類元素含有鉱物の沈殿や (Frei et al., 2001)，流体との反応で初生的な希土類元素含有鉱物の組成が変質した可能性が高い。本研究の目標は生物由来グラファイトと共生するモナザイトの年代を測定することにより，変成作用と希土類元素含有鉱物との関連性を明らかにし，当時の微生物の棲息環境を復元することである。

研究方法

名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定研究部に設置されている電子プローブマイクロアナライザー(EPMA)を用いたCHIME年代測定法により、石墨片岩層中に含まれるモナザイトの年代測定を行った。分析対象となる薄片試料中のモナザイト粒子の事前選別は，北海道大学大学院工学研究院共同利用施設ナノ・マイクロマテリアル分析研究室に設置されているFE-EPMAにより行った。

研究結果

CHIME年代測定法により36回の分析を行ったが，妥当なデータが出たのは計6回と少なかった。しかしながら，粒径～10μm程度のモナザイト粒子であれば測定可能であることがわかった。得られたCHIME年代は

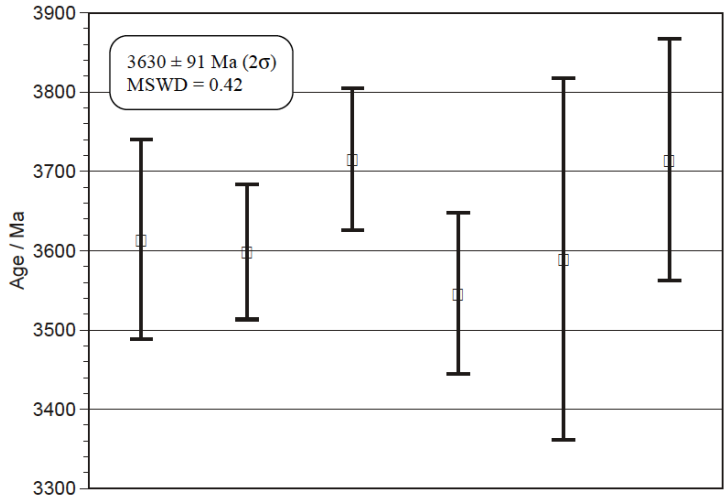


Fig. 1. 石墨片岩中モナザイトの CHIME 年代測定結果

3630±91Maであった。

考察

先行研究より，石墨片岩が見つかった地域は約37億年前に形成され，ほぼ同時期に変成作用を受けたと考えられている（Nutman et al., 2009）。この年代測定結果からは，モナザイトが砕屑物粒子として片岩に混入した可能性と、続成−変成作用初期に岩石中で晶出した可能性の両者が有り得る。モナザイトが葉理の方向に調和的に晶出している産状を鑑みると，変成流体から沈殿した可能性は低いと考えられる。

まとめ

最古の生物由来グラファイトを含む石墨片岩中のモナザイトのCHIME年代測定を行った。測定結果は3630±91Maであり、この片岩は初生的に希土類元素を含んでいた可能性が示唆された。このことは，当時の生態系が海洋浅部で繁茂した光合成細菌に依っていた可能性を示唆する。

引用文献

[1] Ohtomo, Y. et al. Evidence for biogenic graphite in early Archaean Isua metasedimentary rocks. *Nature Geoscience* 7, 25–28. (2014).

[2] Nutman, A.P. et al. Detrital zircon sedimentary provenance ages for the Eoarchaean Isua supracrustal belt southern West Greenland: Juxtaposition of an imbricated ca. 3700Ma juvenile arc against an older complex with 3920-3760 Ma components. *Precambrian Research* 172, 212–233. (2009).

成果発表

[1] Ohtomo, Y., Kato, T. & Otake, T. Petrographic and geochemical characteristics of monazite and zircon associated with biogenic graphite in >3.7Ga metasedimentary rocks, Isua Supracrustal Belt, West Greenland. Goldschmidt Conference, Yokohama, Japan, June 29-July 1, 2016

太陽活動が地球気候へ与える影響の研究

Study of Solar activity to Earth's environment

村木　綏（名古屋大学 ISEE)、　柴田祥一（中部大学工学部）

研究テーマ①：　屋久杉成長幅に見られた 26 年周期に係る研究

研究の発端は数年前に始めた屋久杉年輪解析の結果に由来する。これは 1924 年間の屋久杉年輪成長幅を、奈良文化財研究所の光谷拓実氏が測定したデータの中に含まれていた。年輪成長幅を周期解析したところ 11 年周期と約 25 年周期の存在が検出されたのである。しかも周期性が顕著に表れたのは、ウオルフ、シュペーラー、マウンダー、ダルトンと名付けられた Grand Minima であった。グランドミニマには太陽活動が低下していたことは C14 の計測から知られている。そこで 11 年周期は太陽活動を反映したものであろうと解釈された。しかし長い方の~25 年周期はどうして作られているのか謎であった。

そこで屋久島の過去 75 年間の気象データを調べた。その結果、気温、降水量に関しては全く周期性が検出されなかった。しかし、日照時間に長期の周期性が検出されたのである。屋久杉の成長に影響及ぼす要素として、気温変動や降水量変動が考えられるが、日照時間も光合成を通して影響を与えていると考えられる。　屋久島は黒潮の中央に浮かぶ島であり、気温はほぼ一定、降水量は有名な多雨地帯であり、問題なしと考えれば、島の日照時間が雲を介在して影響を受けていると考えられる。雲形成に太陽活動が影響を与え、また 25 年の太平洋の海洋変動が、雲形成にも影響を与えていると考えざるをえないのである。　同じく黒潮に浮かぶ八丈島の 106 年間の日照時間をフーリエ及びウエブレット解析をしたところ、同じような傾向が検出された。八丈島の方は梅雨の時期に 11 年周期、太平洋高気圧が張り出す 7 月、8 月に 25 年周期が卓越して存在していた。そこでこの結果を 2014 年 4 月 29 日にパシフィコ横浜で開催された JpGU 会議で報告した(**文献１**)。

しかし未解決問題も残った。まずどうして 26 年周期が存在するのか、その因果関係が分からない。　さらにオルト極小期の 1020-1080 年を経過した直後から 11 年と~25 年周期性が屋久杉の年輪幅に見られた。　また太陽活動は停滞したと言われていない 800-870 年にも~25 年周期性が年輪幅に見られた。その解釈が必要になった。後者の時期は中世の温暖期と言われているが、スイス氷河は進展している。このトレンドは屋久杉の解析結果と合致するので、不思議である。　太陽活動以外に屋久杉の成長に影響を与える気象要因があると考えられる。　そこでその要因の一つと考えられるエルニーニョ・ラニーニャ現象を本年度の共同利用研究で調べた。これはその結果の報告である。

文献１：Earth, Planets and Space (2015) 67:31, DOI 10.1186/s40623-015-0198-y

② 解析技術の改良

サンプルを周期解析するためには wavelet 解析ができるソフトが不可欠である。Wavelet 解析を実施するうえでよく使用される MATLAB というソフトは Toolkit まで含めると購入費が約 20 万円かかり、結構高価なソフトである。そこで何とか他の free soft を使用して wavelet 解析ができないか探した。その結果フランスの国立情報・自動制御研究所(INRIA)と ENPC が開発している**サイラボ(Scilab)** という open source code が無料で得られ、その中に wavelet 解析や Fourier 解析のルーチンが含まれていることが分かった。そこでこのサイラボを主にして周期解析のソフト開発を進めようということになった。　その結果、サイラボは open source なので、MATLAB に含まれているようなソフトが無い場合があることが判明した。またその逆のケースもあった。 以下両者を使用して分かったことを列挙するので、今後このソフトを使用する地球物理の方々の参考にしてほしい。 具体的なソフトは本稿では長くなるので、必要な場合は問い合わせてほしい。

① まず wavelet に実数型と複素数型があることである。実数の波束(wavelet) はイメージしやすいが複素数型はしにくい。実数型では波束の波動の山と谷の一つ一つをそれぞれ示すのに対して、複素数型の場合は、山と谷の振幅強度を示す。通常 plot の横軸は年代(t)、縦軸は周期(T)にとる。周期 T が一定の波束のみがサンプルに存在する場合、複素数型で解析すると横軸に平行な直線が描かれる。 しかし実数型を使用すると周期 T の波束の山と谷に対応する位置に、横軸に平行に輝点(dots)が現れる。代表的な実数型の wavelet は morl で、複素数型は cmor である。（ちなみにこの wavelet は石油探査をやっていた Morlet 氏が 1975 年頃 idea を抱き、1981 年 物理数学者の Grossman と共同で数学として完成させたものである。）

② 次に気付いたことは、有料ソフト MATLAB を用いた論文では、解析結果の両端部を masking するために、ベールをかけることである。(薄いカーテンをかける) この円錐曲線は cone of influence と名付けられている。すなわちこの cone より外側に出現した周期性は、ソフトの限界に由来しており、信用してはいけないという意味で、ベールがかけられる。例えばフーリエ解析の場合を考えると、調べる領域の両端が弦の固定点となるため、その区間の半分の 1/2 や 1/3,1/4 の周期に対応する波動が出現する。この波は systematic な波動であって、data にその周期性が実際に含まれているわけではない。この適用限界を示すために wavelet の場合には外側の領域にベールをかける。 しかしサイラボにはその機能が含まれていない。そこで我々はこの機能を新たに加えるソフトを開発した。 初めはどうして円錐状になるのか分からなかったが、吟味すると周期の縦軸が対数表記されていることに気づいた。そこで縦軸を線形(normal plot)に変更してみたら、予想どおり直線になった。だから cone という呼び方は正確さに欠ける。しかしウエブレット法の優れた点は、cone より内側の振幅は例えその波長が領域の

1/2,1/3,1/4 であっても信用できることである。この点がフーリエ変換と異なる点である。また wavelet も波動なので一種の不確定性関係が成り立つ。 横軸の時間分解能(Δt)を上げると縦軸の周期の分解能（ΔT）が低下する。逆に縦軸の周期(T)の精度を上げると横軸の時間分解能が落ちることになる。 ΔT・Δt ≈ constant である。量子力学の不確定性関係はこの constant の値が $\hbar$ である。

話を cone of influence に戻す。これは両端から波長が一波長分を除きなさいと言っていることになる。しかしこの幅をいくつに取るべきか、必ずしも確定しているようには思えない。地球物理学者がしばしば引用し、具体的な解析ソフトを公開している Torrence & Compo の home page を見ると、論文 **(文献 2)** の表には morlet wavelet の場合 1 波長の√2 倍することになっているが、公開ソフトの中では√2 で割っている。これはソフトのバグではないかと思われる。このソフトを copy して使用している方は、一度確認することを勧めたい。本稿では単純にその周期に対応する一波長分の領域は除くというマスクをかけることにした。

文献２：Torrence & Compo, Bulletin of American Meteorological Society, 79 (1998) 61.
http://paos.colorado/edu/research/wavelets （この中に source code がある）

③具体例に元づく解析結果の紹介

それでは太平洋十年規模振動 (Pacific Decadal oscillation, PDO) に対して wavelet 解析をした例を示す。

(1) **図１**は最も標準的なモーレ型 wavelet の実数型の波束を用いた結果である。元の data 1854-2016 年の太平洋の海水温である。(from NOAA home page) 1880-1945 年の間は 26 年周期が、1945-1985 年の間は 18 年と 36 年周期が求められる。第２次大戦以前と以降で周期が異なっているようにも見える。

NOAA: https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/pdo/

(2) 次の**図２**は同じモーレ型 wavelet で複素数を用いた場合である。この場合は 1917 年前後に 33 年周期が認められるのみである。これは山と谷の振幅を２乗して足し算しその平方根をとったものである。

(3) ところがここで異なる wavelet を用いた例を示す。**図３**はガウス関数を微分した DOG wavelet を用いた結果である。この場合は６年規模の周期が認められる。これは El Niño, La Niña 現象(ENSO)に対応しているものと考えられる。（**文献３**）すなわちこの wavelet 関数が ENSO を“拾い出すのにふさわしい関数”であると考えられる。 図１は毎年の平均値を使用したが、月平均値を使用したらさらに精度があがり、**図 4** に示すように滑らかになるが、本質は不変である。図の縦軸は月単位で表されていることに注意。すなわち 120 は 10 年である。

文献３： E. Guilyardi, Climate Dynamics (2006) 26, 329p.

ここまでの話をまとめると：

屋久杉に出現した 26 年周期は PDO の影響であり、PDO は El Niño-La Niña 振動で作られている可能性が高いことが分かった。

③　連成振動子模型による説明

そこで次に PDO は El Niño - La Niña 振動でできるかモデルを立てて調べてみた。ここで El Niño - La Niña 振動の典型的な値を観測値に基づき 3.5 年と 5.3 年とする。（文献３より）その数値の細かいことについては現段階では問わないことにしよう。　そしてこの２つの振動(年)を基本振動数と仮定して海洋が連成振動子を形成しているとする。するとこの連成振動の唸り（beat）が発生する。それが PDO ではないかと考える。赤道上の海面の 3.5 年と 5.3 年 振動が何故太平洋の海面振動につながるのか？　今はその問題には踏み込まない。２個の基本振動があって両者は相互作用があるとする。　ここでは現象論として処理する。

- Maximum 5.3 years → 0.189 : $\sin(2\pi a_i t)$ の a_i の値に対応
- Minimum 3.5 years → 0.286 : $\sin(2\pi b_i t)$ の b_i の値に対応
- $(A+B)/2 = 0.2375$ → 26.4 years : 周期 $T=2\pi/0.2375$
- $(A-B)/2 = 0.0485$ → 129 years : 周期 $T=2\pi/0.0485$
- $\sin A + \sin B = 2\sin\{(A+B)/2\}*\cos\{(A-B)/2\}$

上記の sin*A* は 5.3 年振動を表し、sin*B* は 3.5 年振動を表す。2π が一周期になるように数値 0.189 や 0.286 が求められた。（1.186×5.3=6.28, 1.79×3.5=6.28）すると合成値から PDO の 26.4 年周期が自然に導出され、あらたに約 130 年周期の海洋振動の存在が予知される。海洋振動 PDO は　$\phi(\mathrm{PDO}) \approx \sin(0.2375\,t)*\cos(0.0485\,t)$ で記述されることになる。(t は年単位)

④　研究テーマ 2：Gleissberg 周期について

同じ考え方を太陽活動に適用してみよう。1700-2013 年間の太陽黒点数に対して応用してみる。　太陽黒点周期をフーリエ解析してみると、11 年周期を中心に短い時期もあれば、長い時期もあることがわかる。最も短い期間は 9.5 年で長い期間は 12.5 年である。そこで太陽黒点生成にも２つの振動子がかかわっていると仮定する。そして相互の振動子はゆるく結合して連成振動子系(coupled oscillator)を形成しているとする。　すると ENSO の場合と同様にこの系は次式で記述できるであろう。

- Maximum 12.5 years → 0.502 : $\sin(2\pi a_i t)$ の a_i に対応
- Minimum 9.5 years → 0.661 : $\sin(2\pi b_i t)$ の b_i に対応
- (A+B)/2 = 0.5815 → 10.8 years
- (A-B)/2 = 0.0795 → 80 years

- sin(A+α) +sin(B+β) = 2sin{(A+B+ α+ β)/2} ×cos {(A-B+ α- β)/2}

ここで11年周期と10.8年周期の差を補正するために位相βを11年になるように導入する。

- If Phase α=0, then β/2=0.0088, from the difference 10.8 year and 11.0 year
- (A+B)/2 - β/2= 0.5272 → 11.0 years
- (A- B)/2 - β/2= 0.0795 → 88.8 year

すなわちモデルを観測と合致するように位相 β/2 を決めた。

実際の磁場（***B***）の変動は 22 年周期なので β/2=0.0044 となる。

- 10.8× 2=21.6 years → 0.29075
- 80.0× 2=160 years → 0.03975 Then,
- (A+B)/2 - β/2= 0.28635 → 21.9 years
- (A- B)/2 - β/2= 0.003971 → 178 years

上記の数値計算値と観測値を比較したものを**図５**に示す。観測の３個の山が再現されている。ただし計算値は 55 年観測値と合わせるために平行に右にシフトさせた。この方法で 89 年の Gleissberg 周期が自然に導出される。逆に言えば Gleissberg 周期は唸りであって太陽活動の本質的な活動ではないと言えよう。89 178 年周期は屋久杉年輪に含まれている C13 を解析した、北川・松本の論文値(**文献４**)と合致する。

文献４： Kitagawa & Matsumoto, Geophysical Research Letters, 20 (1995) 2155.

Acknowledgements ：MATLAB についてコメントをいただいた、大気部門の長濱准教授と MATLAB の計算機を貸していただいた名大博物館の長谷川精准教授に謝意を表します。

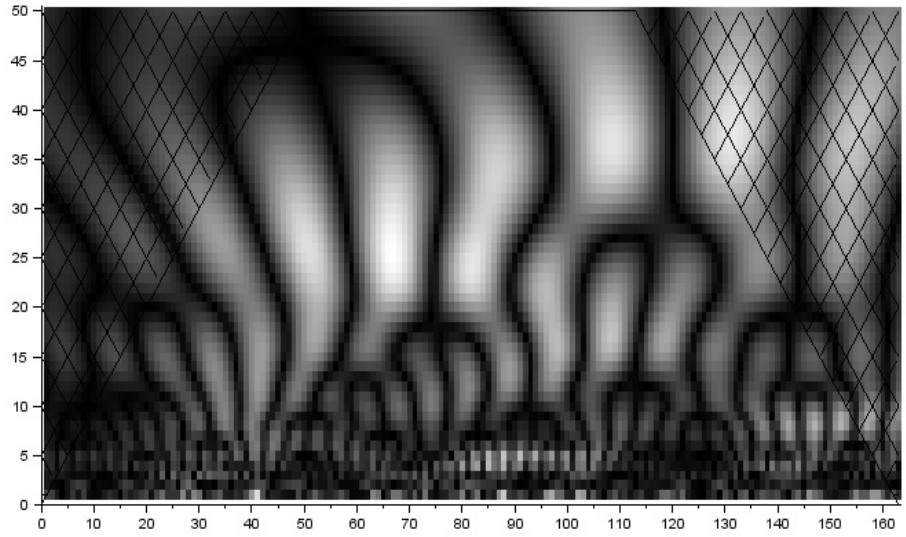


Figure 1. PDO に対する周期解析。縦軸は年を表す。横軸は 1854 年から 2016 年の 162 年に対応している。約 25 年の周期が 1950 年頃まで見られる。Wavelet は実数型の morl である。下の Figure4 も同じ wavelet を使用した。

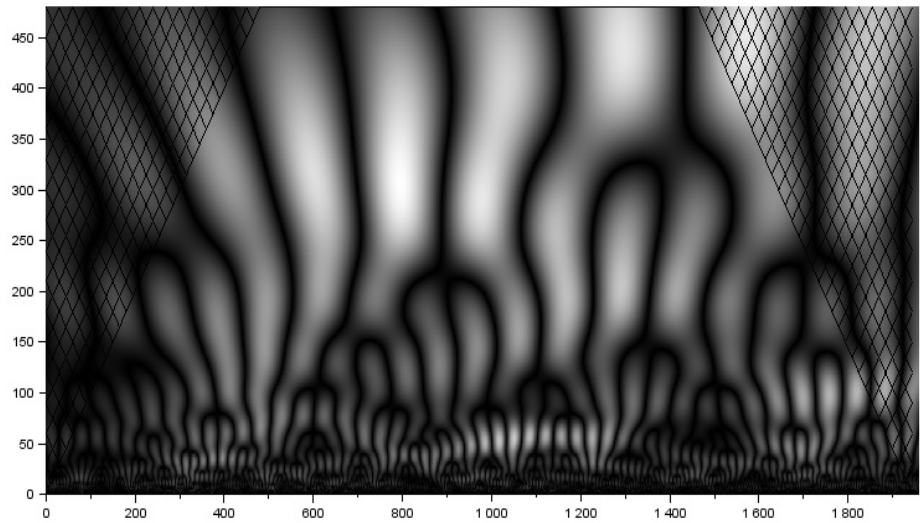


Figure 4. PDO に対する周期解析。Figure1 と同じ。ただし縦軸は月を表す。約 25 年の周期が 1950 年頃まで見られる。25 年は縦軸の 300 か月に対応している。取り扱っている data 数が 12 倍 Figure1 に比べて多いのでスムーズな変化になっている。

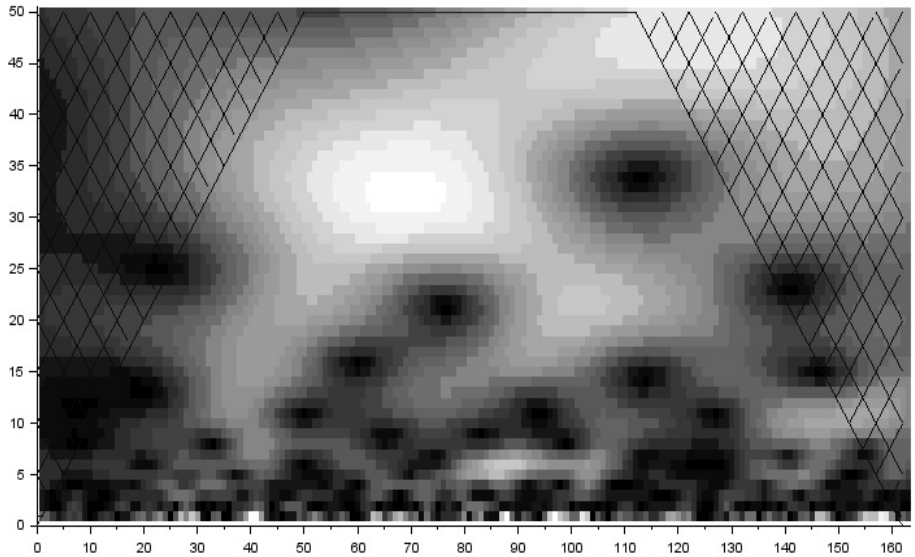


Figure 2. 同じ PDO の data を複素数の wavelet “cmor” で解析した結果。1920 年頃に約 33 年の周期の peak が見える。白い点が振幅の強い場所である。

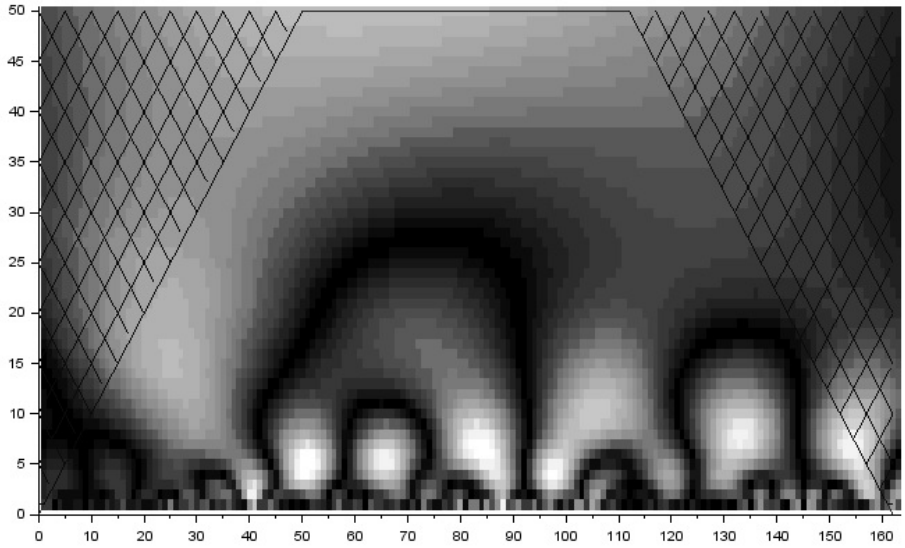


Figure 3. 同じ PDO の data に対して、ガウス関数を微分した形状の波束'DOG'を用いて解析した結果を示す。不思議ことに 25 年周期は消え、５年周期の El Nino 現象が見えている。波形によってどうして異なるのかは今後の研究課題である。

最後に黒点周期を再現した図５を掲載する。

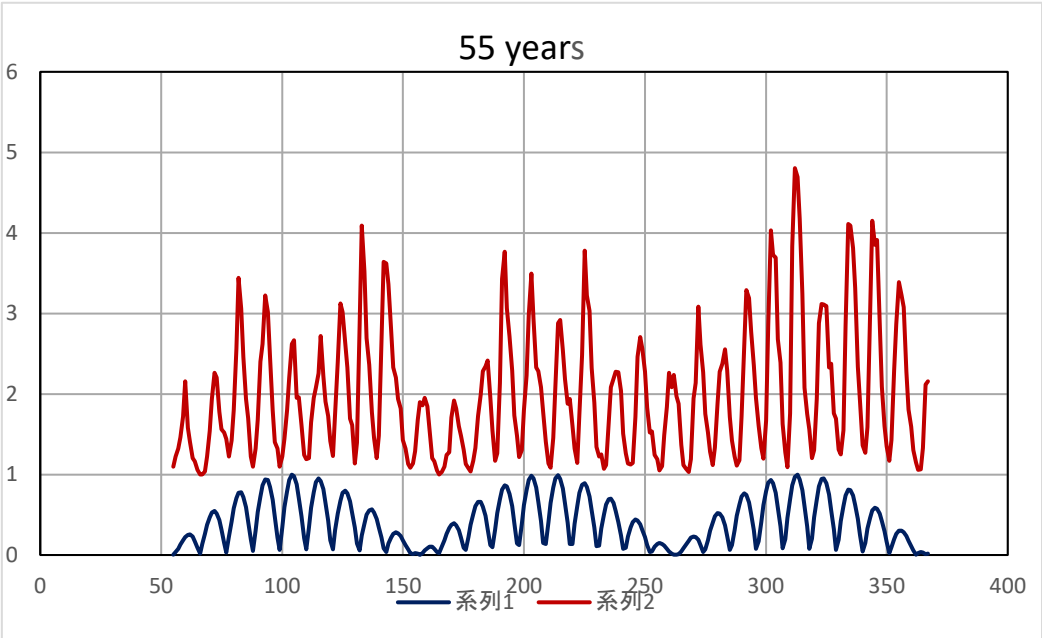


Figure 5. 太陽黒点観測値(上)を再現したモデル（下）との比較。山の形が合うようにモデルの計算値は出発点を 55 年平行移動した。横軸は 1700-2013 年に対応。関数形は Ψ=abs{sin(0.2865t)*cos(0.02855t)}　で表した。

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・大学院工学研究科

1. 研究目的

本課題の研究目的は，東南アジアVLF帯電磁波観測ネットワーク(AVON)および名古屋大学宇宙地球環境研究所(ISEE)が観測しているLF帯標準電波のデータを用いて,地震後のD領域電離圏変動を明らかにすることである。地震後の電離圏変動は，GPS－電離圏全電子数（TEC）データを用いた研究が精力的になされており，たとえば2011年3月11日に発生した東北沖太平洋地震（M9.0）の約7分後から数時間の間，震源域付近から同心円状に伝搬する大気波動の報告がある[Tsugawa et al, 2011]。これは地震地表波（レイリー波）や津波から励起した音波あるいは大気重力波がF領域電離圏に影響を及ぼしていることを示すものである。しかし，地震後のD領域変動の報告はほとんどない。それは，D領域がプラズマと中性大気の衝突周波数が高く観測が難しいためである。しかし，地震で発生した下からの中性大気波動を理解するために，研究の空白域となっているD領域電離圏を明らかにすることは重要である。そこで本研究では，AVONおよびISEEのLF帯標準電波のデータを用いて，地震後のD領域電離圏変動を明らかにする。

2. 観測および地震の概要

2011年3月11日05:46:18UTに発生した2011年東北地方太平洋沖地震(Mw 9.0)後のD領域電離圏変動について調べた。震央位置および使用したLF帯標準電波の伝搬パスの位置を図1に示す。LF波はJJY佐賀(SAG, 60 kHz)送信-陸別(RKB)受信およびBPC（中国, 68.5 kHz）送信-RKB受信の2つの伝搬パスについて調べた。JJY福島(40 kHz)局は,本震発生後に停波したため使用できなかった。各伝搬パスの距離は, SAG-RKBパス1614 km, BPC-RKBパス2594 km である。震央から各LF波パスまでの最短距離は，SAG-RKB パスで 430 km, BPC-RKBパスで562 km だった。受信機のアンテナはモノポールアンテナで，サンプリング周波数200 kHz，各送信電波の垂直電場成分0.1 s 値を観測している。

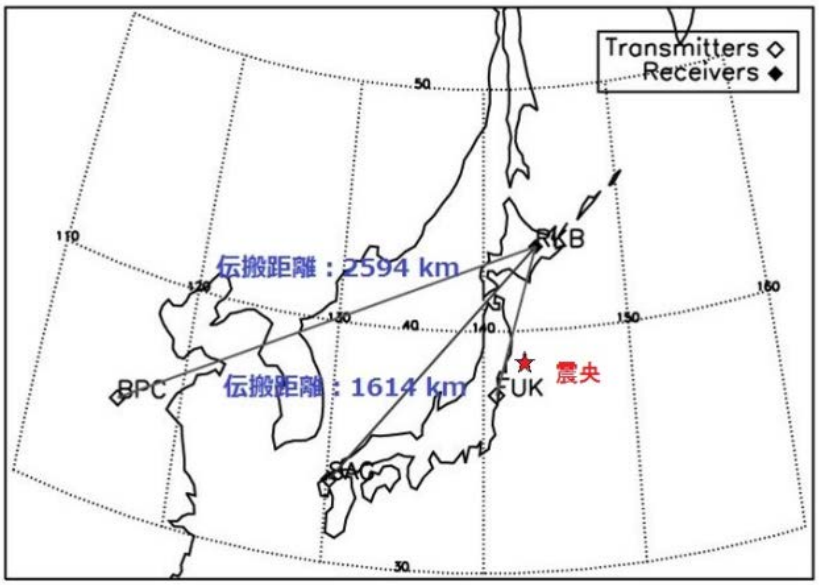


図 1　震央および使用したLF帯標準電波の伝搬パスの位置

3. 結果

本震後に，2種類のLF波の振動が見られた。1つは本震から6分12 s 後に，両方のパスの強度および位相に確認された 100 s 周期の振動である（図2)。もうひとつは本震から約17分後に，両方のパスの強度・位相に見られた30-90 s 周期のより早い変動である。

前者の 100 s 周期の振動の変動量は，強度で約 0.1 dB，位相で約 1°，反射高度で約 40-80 m だった。中性大気のシミュレーション（図 3）および波線法による計算とも，発生タイミングおよび変動量が一致しており，この 100 s 振動はレイリー波によって励起され鉛直上方伝搬した音波によるものであると結論づけられる。後者のより速い変動の原因解明は，今後の課題である。

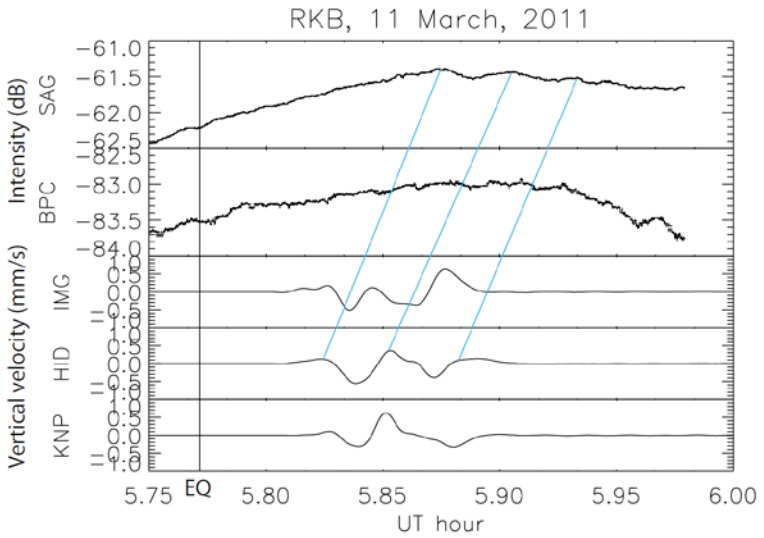


図 2　（上から）2011 年 3 月 11 日の SAG-RKB パスの LF 波強度，BPC-RKB パスの LF 波強度，NIED F-net で観測された今金（北海道）でのレイリー波(BPF: 3 – 10 mHz)の上下動速度成分，日高（北海道）での F-net レイリー波の上下動速度成分，訓子府（北海道）での F-net レイリー波の上下動速度成分。

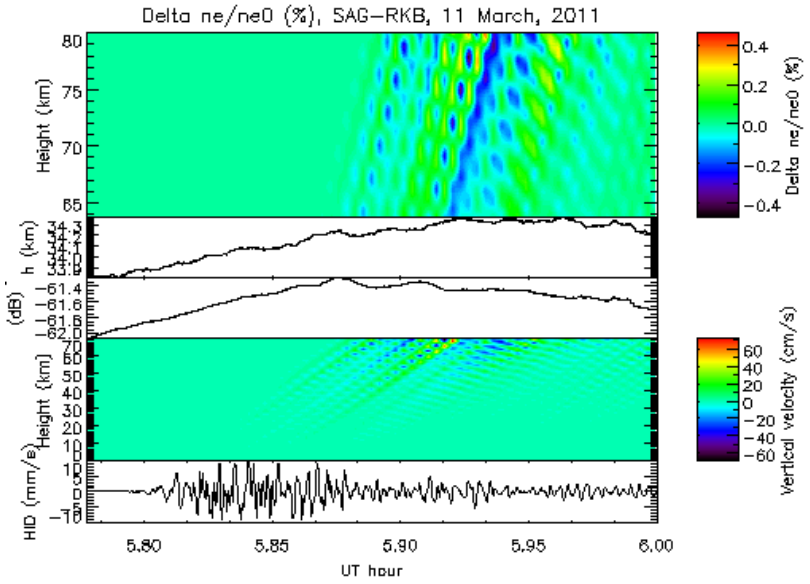


図 3　（上から）背景の電子密度で正規化した電子密度変動量（シミュレーション），SAG-RKB パスの LF 波の反射高度（観測値），SAG-RKB パスの LF 波強度（観測値），中性大気の垂直速度（シミュレーション）および F-net 日高での地震波上下動速度成分。

成果発表

[1] Ohya, H., Y. Takishita, F. Tsuchiya, K. Shiokawa, Y. Nakata, Y. Miyoshi, T. Obara, and H. Misawa, D-region ionospheric oscillations after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake using LF transmitter signals, 6th IAGA/ICMA/SCOSTEP Workshop on Vertical Coupling in the Atmosphere-Ionosphere System, Taipei (Taiwan), 25-29 July, 2016.

[2] Ohya, H., Y. Takishita, F. Tsuchiya, Y. Nakata, K. Shiokawa, Y. Miyoshi, T. Obara, and H. Misawa, D-region ionospheric disturbances after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake using LF transmitter signals, Japan Geoscience Union Meeting 2016, Chiba(Japan), 22-26 May, 2016.

[3] Ohya, H., Y. Takishita, F. Tsuchiya, K. Shiokawa, Y. Nakata, and Y. Miyoshi, D-region periodic oscillations observed in LF transmitter signals after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, The 140th SGEPSS Fall Meeting, Fukuoka(Japan), 20 November, 2016.

[4] 土屋史紀、小原隆博、三澤浩昭、大矢浩代、品川 裕之、野崎憲朗、塩川和夫、三好由純、陸別観測所で観測された東日本大震災時の下部電離圏変動、陸別ユーザーズミーティング、陸別町、2017/2/9

[5] 野崎憲朗、品川裕之、今村國康、大矢浩代、土屋史紀、波線法による長波観測データの解釈について、平成 28 年度電磁圏物理学シンポジウム、福岡、平成 29 年 3 月 15 日

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

柴田隆，　名古屋大学・環境学研究科
内野修，　国立環境研究所

目的

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

方法

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

結果

昨年度に引き続き観測を続行し,2016年全体で88日の観測を実施し,その内衛生通過日は41日であった。GOSAT衛生の検証のためのデータを提供し続けている。

気候変動下における東南アジア熱帯林の応答予測

How tropical-rain-forests in South-East Asia respond to forecasted climatic change

佐藤永、海洋研究開発機構・地球表層物質循環研究分野

背景

東南アジアの熱帯林を構成するフタバガキ科の木本は、アマゾンの熱帯多雨林を構成する樹種よりも乾燥ストレスに対して脆弱であることが知られており、担当教員である熊谷は、今後生じうる気候環境変動の元で、大規模な枯死が生じる可能性を指摘している(Kumagai & Porporato 2012)。しかし、この検討で用いられたモデルは、平均的な木本を対象としたものであり、森林を構成する木本間の差を考慮していない。実際には、高木は低木よりも、乾燥時における水輸送の機能低下が強く生じることが知られており、高木のみの選択的枯死が生じる可能性が高い。また、このモデルは植生構造を固定したものとして扱っているため、乾燥枯死の生じた森林が回復するまでに必要な時間や諸条件などを検討することができない。

研究目的と方法

陸上生態系の未来予測のためには、気候変動に伴い生じると期待される陸上植物にとっての異常事態（高温、乾燥、過湿、栄養過多・欠乏によるストレス）を機構ベースで表現でき、かつ、植物個体～群落～地域～全球の空間スケール、数日～数年～数百年の時間スケールまでの計算が可能な陸上生態系動態モデルが必要である。このモデルには、植物個体の生き方（例えば、個体毎の光合成、呼吸、水分・栄養の利用、繁殖、成長、そして死亡）から植物集団の振る舞い（例えば、光・水分・栄養の奪い合い）までを表現することができる能力が求められる。そこで、研究代用者が開発した個体ベース植生動態モデル SEIB-DGVM (Sato et al. 2007; Sato 2010)を基本モデルとして、熊谷朝臣准教授・中井太郎研究員とともに新たになモデル S-TEDy を開発した。S-TEDy は次のプロセスを精緻に表現するという特徴を持つ：(1) 大気中高 CO_2濃度に対応した気孔開閉・光合成反応、(2) 土壌物理学に則った土壌水分・熱動態、(3) 植物体内中の水分・炭水化物動態、(4) 植物体内を含めた生態系内窒素循環・収支。

結果

図 1 に、S-TEDy が出力した干ばつによる大量枯死を再現する様子を示す。1914 年に強烈な干ばつが生じているので、その前後の枯死率を比較すると、干ばつ後に全体の枯死率が格段に高まっていること、特に、高木で枯死率が高まっていること、が示された。この計算結果は、計算対象地で実際に起きた過去の強乾燥条件下での大量枯死を良好に再現した。

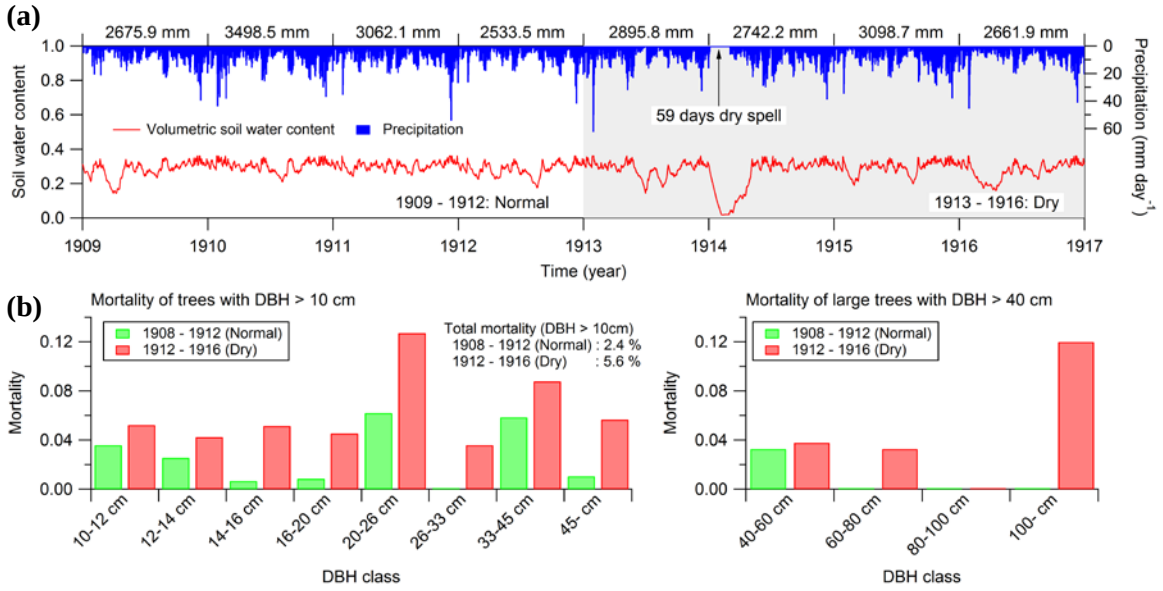


図 1. S-TEDy によるシミュレーションの結果。（a）1909～1916 における降水量と土壌水分。1914 年に強烈な干ばつが生じている。（b）干ばつ前と後のサイズ別樹木枯死率。

計算と図の作成：熊谷朝臣

考察

本研究では、陸上生態系の未来予測のために必要とされる諸条件を満たす陸上生態系動態モデル S-TEDy を開発することができた。特に、植物体内水分動態モデルを陽に考慮し、干ばつによる樹木大量枯死をメカニスティックに再現する試みは、現在、世界中の地球システムモデルの陸上生態系モジュールの中で鏑が削られている課題である。S-TEDy は、この課題をほぼ完璧にクリアしたという点は、誇るべき成果であると考える。また、S-TEDy の基本的な動作検証も行われた。しかし、未来気候データを利用した陸上生態系の変化予測計算は、未だ十分とは言い難い（よって結果は本レポートに載せていない）。今後は、この S-TEDy を用いた未来予測計算の実績を重ねていく予定である。

引用文献

Kumagai, T. o., and A. Porporato (2012), Drought-induced mortality of a Bornean tropical rain forest amplified by climate change, J. Geophys. Res-Biogeo., 117, doi:10.1029/2011jg001835.

Sato, H. (2009), Simulation of the vegetation structure and function in a Malaysian tropical rain forest using the individual-based dynamic vegetation model SEIB-DGVM, For. Ecol. Manage., 257, 2277-2286.

Sato H, Itoh A, Kohyama T (2007) SEIB-DGVM: A new dynamic global vegetation model using a spatially explicit individual-based approach. Ecological Modelling, 200, 279-307.

偏波レーダーを用いた海洋性メソスケール降水系の研究
Study on the maritime mesoscale convective systems using polarimetric radar

勝俣昌己
海洋研究開発機構
地球環境観測研究開発センター

１．目的

メソスケール降水系は熱・水・運動量などを介して気候変動へ大きく影響するが、その定量的な理解の為には、システムの詳細構造、特にシステムを構成する雲降水粒子の時空間分布を把握することが重要である。この目的の為には、偏波レーダーは極めて強力なツールであるが、地球上の７割を占める海洋域での観測例は少ない。このため、海洋研究開発機構が海洋域・海洋大陸域に近年展開しつつある偏波レーダー（特に海洋地球研究船「みらい」Ｃバンド偏波レーダー、以下「みらい」レーダー）をはじめとする各種観測データと、名古屋大学宇宙地球環境研究所の偏波レーダー等に関する豊富な知見や観測データとを組み合わせることで、海洋性メソスケール降水系の研究、特に雲降水粒子に重点を置いた研究を進め、ひいては大気海洋相互作用プロセスにおけるメソスケール降水系の役割について理解を深めることを目的とする。

２．沖縄偏波レーダー観測

世界初の船舶搭載型偏波レーダーである「みらい」レーダーデータの検証の為、沖縄本島における検証用観測を計画した。「みらい」がMR16-08航海出発地である沖縄本島付近で航行・停泊している間に、情報通信研究機構Ｃバンド偏波レーダー「COBRA」、名古屋大学Kaバンド偏波レーダー、名古屋大学Xバンド偏波レーダー、ビデオゾンデ、等との比較観測を行う計画であった。このため、沖縄本島での機材設置状況の確認、偏波レーダー取得データに関する議論、等を行った（ご対応：坪木教授、高橋教授、篠田准教授、大東助教）。残念ながら本年度の観測は、各種理由から中止せざるを得なくなったため、次の機会まで今回の知見を生かした検討を続けることとなった。

３．2014年台風18号の温帯低気圧化過程の解析

2014 年度の「みらい」MR14-05 北極航海の帰路、日本の東海上において、台風 18 号(Phanfone)が温帯低気圧化するタイミングで中心近傍を航行した際、「みらい」Ｃバンド偏波レーダーの連続観測及びラジオゾンデの強化観測を実施し、その内部構造を捉えることに成功した。今年度、この事例の解析を実施した。

Phanfone は北東進、「みらい」は南西進していた為、「みらい」は Phanfone の断面を観測する形となった。熱帯低気圧は通常軸対称構造を示すが、観測された断面では、(1)東側での温暖前線的構造の発達、(2)中心近傍東側での強雨帯の存在、そして(3)中心西側での背の低い降水、という非対称構造を示しており、かつ温帯低気圧に特徴的な前線構造が観測された。

各部分について詳細構造を解析した。中心近傍の強雨域においては、偏波情報から算出した０℃高度の空間不連続が数時間にわたって捉えられた。これはラジオゾンデ観測で捉えられた、台風の暖気核（の残骸）の先端に対応し、そこでの収束が強雨をもたらしていると考えられた。一方中心付近では、上空に存在する暖気核（の残骸）乾燥暖気が対流を抑制していたと考えられた。このような暖気核の振る舞いが温帯低気圧の特徴である空間非対称構造への変化に重要であると考えられた。

４．スマトラ島沿岸での降雨システムの解析

2015年度のPre-YMC集中観測においては「みらい」を海岸線から約50kmの沖合に配置し、25日間の定点観測を実施した。その結果、連日発生する伝播性日変化降水雲、及び、マッデンジュリアン振動（MJO）による日変化降水雲の変調、南北風と気圧の変動で捉えられる周期約5日の西進擾乱による変調、等を捉えることに成功した。今年度、この事例の解析を実施した。

西進擾乱に伴う変調に注目した解析の結果、擾乱のリッジの通過時よりもトラフの通過時に降水システムはより発達し、45dBZを越える強い降水が広い範囲で観測された。またトラフ通過時には、新たな対流性降水が次々と既存の対流性降水の西側に形成されることにより、沖合への移動が起こっていた。トラフ及びリッジの両事例について偏波パラメータを用いた粒子判別を行った結果、トラフ通過時の方が霰の生成が多かった。またVADやデュアルドップラー解析から、トラフ通過時の方が強い上昇流や下降流が推定された。

５．まとめ

本年度は、世界初の船舶搭載偏波レーダーである「みらい」レーダーについてのデータ検討及び解析を行った。沖縄での検証観測の機会が失われたのは残念であったが、そこに向けた準備段階では多くの検討課題や知見を得ることが出来、今後の機会に活かせるものと考えられる。また、過去に取得されたデータに対して、従来陸上偏波レーダーで用いられてきた解析方法を適用し、事例解析を重ねた。その結果、観測事例の殆どない、熱帯低気圧の温帯低気圧化、海洋大陸域での沿岸多雨帯、等の事例について観測事例を積み重ね、その内部構造を明らかにすることに成功した。これにより、少なくとも定性的には「みらい」レーダーが十分な能力を持っていることが示された。

今後は、陸上観測データとの比較、定量的解析（降水量推定等）、陸上偏波レーダーの観測結果との対比、等を進めることにより、海洋性メソスケール降水系の動態と、その大気海洋相互作用における役割について、より解析を進めていく予定である。

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

宗像一起　信州大学・理学部

2006年度以降にGMDNで観測されたForbush減少（FD）45事象のsuperpose analysisを行い、FDの平均描像の解析を行った。同様の解析は、従来中性子計による宇宙線密度（強度の等方成分）について行われているが、GMDNで観測された異方性から宇宙線密度の3次元空間勾配の平均像を導く解析は、世界的にも他に例を見ない。宇宙線密度の解析からは地球が通過した経路に沿う宇宙線密度の一次元分布しか知り得ないのに対し、宇宙線密度勾配からは宇宙線密度の3次元的な分布を知ることが出来る。また、解析された事象は同定された惑星間空間衝撃波の地球到来（Storm Sudden Commencement）に伴って観測されており、各衝撃波を引き起こした太陽面爆発が太陽面上の発生位置とともに同定されているため、FDの平均像が太陽面爆発の発生位置にどのように依存しているかを調べることが出来る。その結果、太陽面爆発が太陽面上の東・西あるいは南・北のどの半球で起こったかによって、宇宙線密度と密度勾配の様子に違いが見られることが判った。

GMDNの4つの鉛直計で2006年以降に観測された宇宙線強度の季節変動を、衛星観測による大気温の鉛直高度分布に基づいて、Mass Weighted Method法により再現することに成功した。これにより、GMDNによる観測結果を大気気温効果について正確に補正することが可能となった。また、補正後の宇宙線強度の長期変動は（大気気温効果をほとんど受けないと考えられている）中性子モニターによる観測結果と高い相関を示しており、GMDNによる観測結果を用いて、太陽活動に伴う11年周期変動のエネルギー依存性の検証を行うことが可能となった。最近は衛星観測と地上観測をもとにした大気温分布モデルが確立され、地球上の任意の地点における大気温の鉛直高度分布を過去（1948年）に遡り得ることが可能になっているため、1970年連続観測を維持している名古屋ミューオン計のデータを上述の手法で補正することにより、4太陽活動サイクルに亘る長周期変動を解析することが可能になった。

チベット空気シャワーアレイによる「太陽の影」の観測結果から、太陽地球間の平均的磁場強度が、太陽光球面磁場の光学観測に基づいて potential field model から予想される磁場強度より約 1.5 倍大きいことが明らかとなった。この結果を受け、2016 年 12 月 26 日に太陽物理研究者との meeting を開催し、情報交換と議論を行った。

論文成果リスト：

- M. Kozai et al., Average spatial distribution of cosmic rays behind the interplanetary shock-- Global Muon Detector Network observations –, Astrophys. J., 825:100 (19pp), 2016 (July 10).
- R. R. S. Mendonça et al., Temperature effect in secondary cosmic rays (muons) observed at ground: analysis of the global muon detector network data, Astrophys. J., 830:88 (25pp), 2016 (October 20).

国内学会発表リスト：

- 中村佳昭ほか、チベット空気シャワーアレイで観測された太陽の影による太陽磁場構造の研究3、日本物理学会第 71 回年次大会、東北学院大、2016 年 3 月 19 日（19aAZ-14）
- 宗像一起ほか、チベット空気シャワーアレイで観測された太陽の影による太陽磁場構造の研究6、日本物理学会第 72 回年次大会、大阪大、2017 年 3 月 17 日（17pK21-2）
- 中村佳昭ほか、チベット空気シャワーアレイで観測された太陽の影による太陽磁場構造の研究7、日本物理学会第 72 回年次大会、大阪大、2017 年 3 月 17 日（17pK21-3）

国際学会発表リスト：

- R. Mendosa et al., Observation of 45 years solar cycle modulation in the cosmic ray intensity observed by the Nagoya muon detector、IAUS328、Maresias (Brazil), 17-21 October, 2016（poster）.
- K. Munakata et al., Cosmic ray observations at Syowa Station in Antarctica for space weather study, The Seventh Symposium on Polar Science, Institute of Statistics and Mathematics, 29 November , 2016.

耐波浪環境シースプレー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）のシースプレー観測は世界的に見ても限られた研究グループでしか行われていない。従来の研究ではシースプレーを光学粒子計の既製品を使って観測した例がある。一方、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位相関係を調べたり、（３軸超音波風速計と同期させて）海洋性エアロゾルの鉛直方向フラックスを測定するためには、10Hz以上の時間分解能を有する光学粒子計の開発が必要である。本共同研究ではそのようなシースプレー測器（H28年度別予算で試作機を２台準備：図１）を海上観測プラットフォームに設置し２ヶ月程度の観測を行う体制を整備することを目指している。代表者は大気海洋境界過程の観測研究を専門分野としており、船舶や漂流ブイを用いた波浪や海上風速の観測経験がある。海面近傍のシースプレー観測の実現に向けて段階的な試験観測を実施し、試作機の検証や精度の確認、問題点の抽出と解決方法の検討を行うことが本研究の３年計画の内容である。

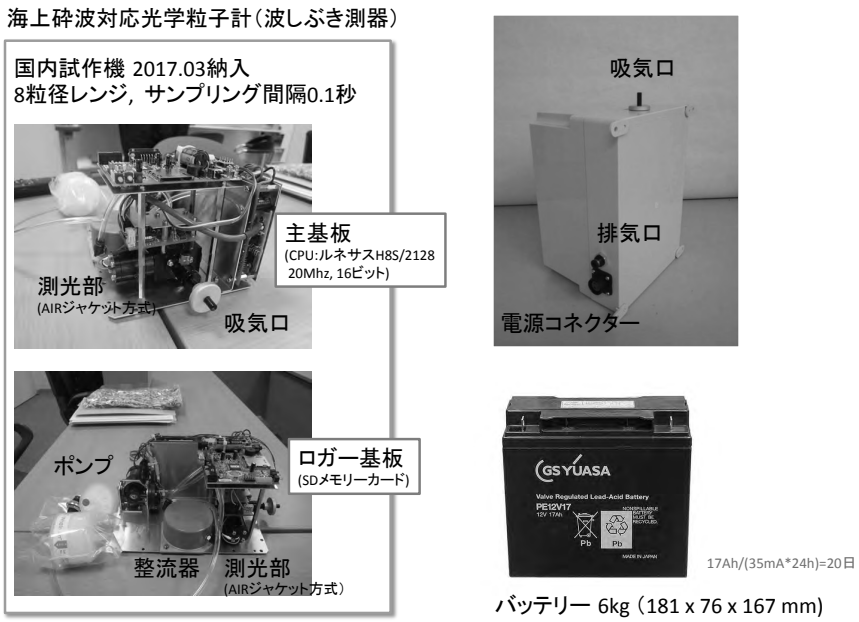


図１：試作機の内部と外観

研究内容

本研究では、所内担当教員の相木准教授と共同でシースプレー測器の試作機の作成に当たり、測器の仕様について検討した。当シースプレー測器試作機はロガーを内蔵し、1時間毎測定モードと3時間毎測定モードをスイッチで切り替えられるようにした（図１）。３時間毎測定の場合の平均消費電流は35mAなので、２ヶ月間観測を実現するために17Ah程度の標準的なDC12V鉛バッテリーを３個用意する事にした。平成28年９月に予定していたシースプレー測器の納入が遅れたため、先に海上観測塔の設備調査

を行った。京都大学防災研究所流域災害研究センター白浜海象観測所に協力を依頼し、予備的観測のために田辺中島高潮観測塔に観測装置を設置するための検討を始めた。設置可能性を検討するために同観測所を平成28年12月12日に訪問し、観測塔の視察と設置条件の検討を行った（図２）。測器取り付け場所・必要金具・電源ケーブル（持ち込み予定）の必要な長さ・鉛バッテリー（持ち込み予定）の置き場を確認した。このように独立電源を用いて２ヶ月程度の自立観測を実施することを目指して設置のための技術的な課題を検討し、設置条件の詳細を決定することにより、次年度に試験観測を実施する状況を整えた。



図２：和歌山県田辺湾白浜海上観測塔（京都大学）の視察時の様子

まとめ

京都大学防災研究所白浜海象観測所の田辺中島高潮観測塔（和歌山県）における試験観測に向けて、設備の視察や試験観測の詳細について打ち合わせを行い、試作機の試験観測実施の体制を確立した。並行して次年度以降に海上漂流ブイに取り付けるためのブイ・バッテリーの選定や公募型船舶観測や科研費への申請準備を行った。将来的に観測結果をシースプレーのバルク式と照合し、台風シミュレーション用の大気・海洋・波浪結合モデル（相木ほか, 2015）の機能拡張に応用することが期待される。

謝辞

京都大学白浜観測所の馬場康之所長を始め観測所の皆様には、本研究の遂行のために多大な便宜を図っていただいた。記して感謝いたします。

本共同利用研究に関する発表

相木秀則・根田昌典・田中潔・久島萌人・油布　圭，シースプレー測器による海上観測計画：海面砕波と海洋性エアロゾル生成の時空間構造を捉える, JpGU-AGU 合同大会, M–IS15, 2017 年 5 月 24 日（予定：幕張）

参考文献

相木秀則ほか：大気海洋波浪結合モデルの開発と台風実験への応用，沿岸海洋研究，**52**，139-148, 2015

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

Interannual variations and Interaction between vegetation and hydroclimatology in the Eurasia

鈴木和良, 海洋研究開発機構・地球表層物質循環研究分野

【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と密接に結びついている. さらに, 植生を含む地表面要素は大気と結合し, 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した寒冷地域では, 大気－陸面相互作用が顕著であると指摘されている（松村, 2014）. 例えば, 冬季の北大西洋振動（NAO）に対して, 夏季のシベリアの正規化植生指数(NDVI)が 1 年のラグをもつことが報告されている（Wang et al. 2004）. この原因は不明だが, 陸面の水文気候因子が前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ある. また, 前年秋の陸水貯留量の変動が, 前年夏の気候を記憶して, 当該年のレナ川の河川流出量に影響していることが報告されている（Suzuki et al., 2016）. 水循環や植生は, 陸面の水文気候因子が凍結保存されることで記憶され, 時間的な遅れをもって循環していると考えられる. 陸水貯留量は, 入力因子である降水量変動とともに, 植物による光合成および蒸発散, さらに湖沼などの面積変動によって決定されと同時に, 光合成や蒸発散に大きく影響する. そこで本研究では, 気候－陸面水文因子－植生の相互作用の解明とその 10 年程度の変動の把握を目的とする. 解析対象とする時間スケールは, 地上観測データや衛星観測データが充実している 2000 年以降を対象とする. 具体的には, 現地観測データ, ならびに衛星データより取得可能な広域の植生物理量(植生指標, 葉面積指数, バイオマスなど)と陸水貯留量の変動と水循環や気候との時間的なラグやその関係の経年変動について検討する. さらに, シベリアの現地観測に基づく検証データによって, 衛星観測の妥当性についても検討を加える.

【研究方法】

現地観測データ, 衛星データ（MODIS, ALOS2 や GRACE など）から, 植物活動や水文気候因子の指標を抽出し, ユーラシア大陸スケールでの相互相関について分析する. そして, 陸面過程と植物活動の相互作用を考察する. さらに, 広域の相互作用を, 現地観測データに基づき検証を行う. 各種パラメータの経年変動に対する温暖化の影響や相互作用を考察する.

各研究者が宇宙地球環境研究所（ISEE）に集まり, それぞれの所有するデータを用いて, 植生と陸面での水文気候要素の相互作用についてセミナー形式で意見交換を行う.

【研究結果と考察】

総合討論によって得られた結果と考察は以下の通りである.

◎スケール間ギャップ・・・・単木, プロットスケール, 地域スケール, レナ川流域スケールを一貫した理解を進める必要がある. ALOS などの高空間解像度衛星データ解析とその人材確保が必要である. 空間スケールが異なるプロセスをどうつなぐのかの検討が必要.

◎森林火災・・・2002年頃にヤクーツク周辺で森林火災が生じていた. そのデータの入手可能性の検

討が必要. 福田先生のグループは保持しているかもしれない. もしくは MODIS などの衛星プロダクトの調査が必要. 東シベリアの森林火災は林床が燃えることに特徴があり北米との違いとなる. 現地森林火災データの掘り起こしは大切だろう. 詳細なインベントリー入手は, 衛星データの検証や森林火災に対する適応策の策定につながる可能性がある.

◎植生の変化・・・・・全体的な水収支や二酸化炭素収支の議論だけで無く, 林床植生の変化などを考慮した上層木や林床の比率変化など, その中身の議論が必要だろう. 収支だけを見ると表面的に同じになるが, 中身が違うことに注意すべきであろう.

◎2005年がターニングポイント・・・・林床植生の変化や湿潤化など1998年以降のヤクーツク周辺での気候などの変換点として捉えることが出来る. 現地観測レベルで違いが分かるので, 高空間解像度衛星などを利用したその前後の解析は今後必要だろう.

◎降水システム・・・・降水量だけでは無く, その頻度や強度の変化について調べる必要があるだろう. 雲の形成などについても.

◎活動層厚の測定・・・人的な問題, 観測を担う人材が減ってきている. 人材育成が重要？(氷河観測などに使われるレーダーで測定出来ないのか？ (M. A. Walvoord and B. L. Kurylyk, 2016 を参考に出来ないかだろうか？)

【まとめ】

本年度の研究成果を基に, 各種データを統合解析し, 植生と水文気候因子の相互作用についてデータや知識の共有を進める必要がある. そして, 今後は解析結果を論文化出来る様に共同研究を深化させる.

引用文献

松村伸治(2014). 第 3 章雪氷変動がもたらす北ユーラシアの大気-陸面相互作用, *気象研究ノート 230*

Wang, G., & You, L. (2004). Delayed impact of the North Atlantic Oscillation on biosphere productivity in Asia. *Geophysical Research Letters*, *31*(1), L12210. doi:10.1029/2004GL019766

M. A. Walvoord and B. L. Kurylyk, (2016). Hydrologic Impacts of Thawing Permafrost—A Review. *Vadose Zone Journal*, vol. 15, no. 6, pp. 0-20.

成果発表

Suzuki, K., Matsuo, K., & Hiyama, T. (2016). Satellite gravimetry-based analysis of terrestrial water storage and its relationship with runoff from the Lena River in eastern Siberia. *International Journal of Remote Sensing, 37*, 2198-2210

Suzuki, K., Zupanski, M., & Zupanski, D. (2017). A case study involving single observation experiments performed over snowy Siberia using a coupled land-atmosphere modeling system. *Atmospheric Science Letters, 18*, 106-111

Suzuki, K. Role of sublimation and evapotranspiration in the continental-scale Lena River basin, eastern Siberia. 2016 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium, 中国北京, 2016年7月

Suzuki, K. and Matsuo, K. Remote sensing of terrestrial water. International Workshop on Water-Carbon Dynamics in Eastern Siberia, 名古屋, 2017 年1月

サブストーム強度分布から探る磁気圏エネルギー解放過程
Substorm intensity distribution and magnetospheric energy dissipation

森岡　昭、三澤浩昭　(東北大学・大学院理学研究科)
三好由純、(名古屋大学・宇宙地球環境研究所)

While the intensity distribution of substorms is an essential issues in space physics, it has not been studied due to difficulties in identifying every substorm for a long period with reliable and definite criteria. In this paper, we made a database of substorm onsets and intensities for 10 years from 2005 to 2014 using the favorable wave and planetary (Wp) index to identify almost all of the substorm onset events and *AL* index for substorm intensity determination. Then, the distribution of substorm intensity ($|AL|$ index at substorm) was statistically studied. The results showed that substorm intensities less than 800 nT consist of two groups with log-normal distribution: small substorms termed group-S substorms with an intensity peak around 100 nT and larger substorms termed group-L substorms with an intensity peak around 250 nT (Figure 1). The bi-modal distribution of substorms means that substorms are not

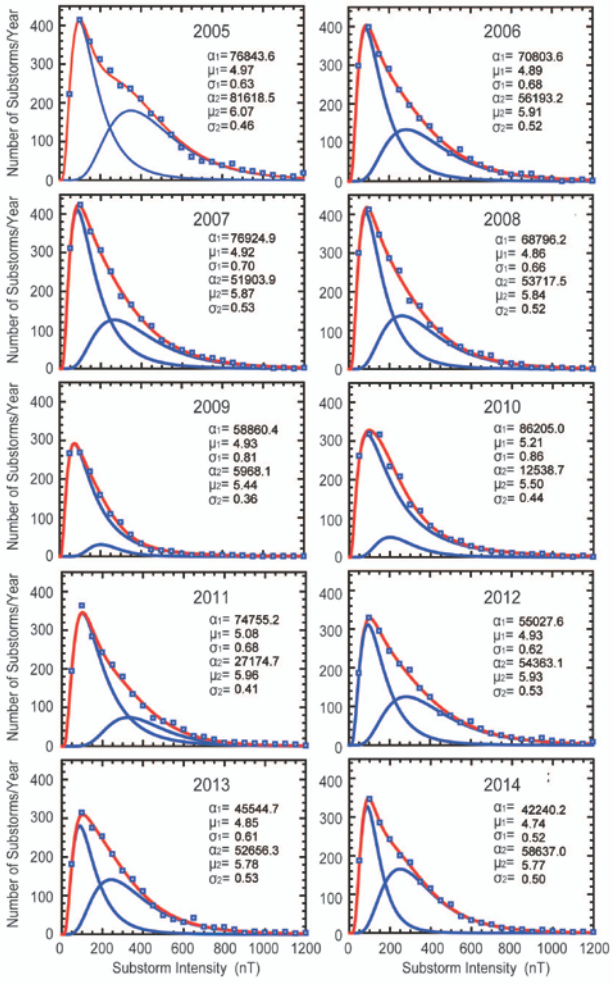


Figure 1. Yearly distribution of substorm intensity during 2005-2014. The vertical axis is the number of substorms per one year. The squares are the observed intensity distribution. The blue traces indicate bi-modal log-normal fitting functions. The red trace indicates the sum of blue traces. The fitting parameters in Eq. 1 are shown in each panel.

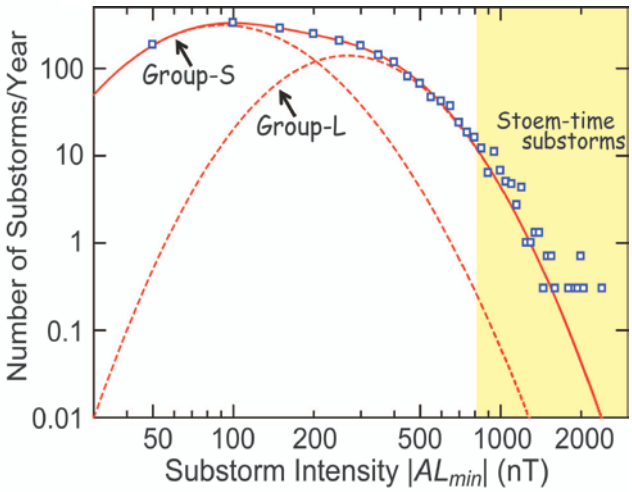


Figure 2. Log-log plot of the intensity distribution of substorms. The squares are the average occurrence number of substorms per one year during 2012-2014. The dotted red traces indicate group-S and group-L substorm, and the full red line is the sum of the two substorm groups.

a continuum state between pseudo-substorms and full substorms. The third substorm group was also classified in an intensity range greater than 800 nT, which occurs during geomagnetic storms or prolonged polar disturbances (storm-time substorms, see Figure 2).

The solar cycle variation of the substorm intensity distribution showed that group-S substorms appear rather steadily, whereas group-L substorms are strongly dependent on solar activity (Figure 3). The three groups of substorms implies that substorms are not generated by a unified onset process but there exists some different onset processes or separate developing processes, depending on substorm size. Two hypotheses are discussed as the possible origin of substorm groups.

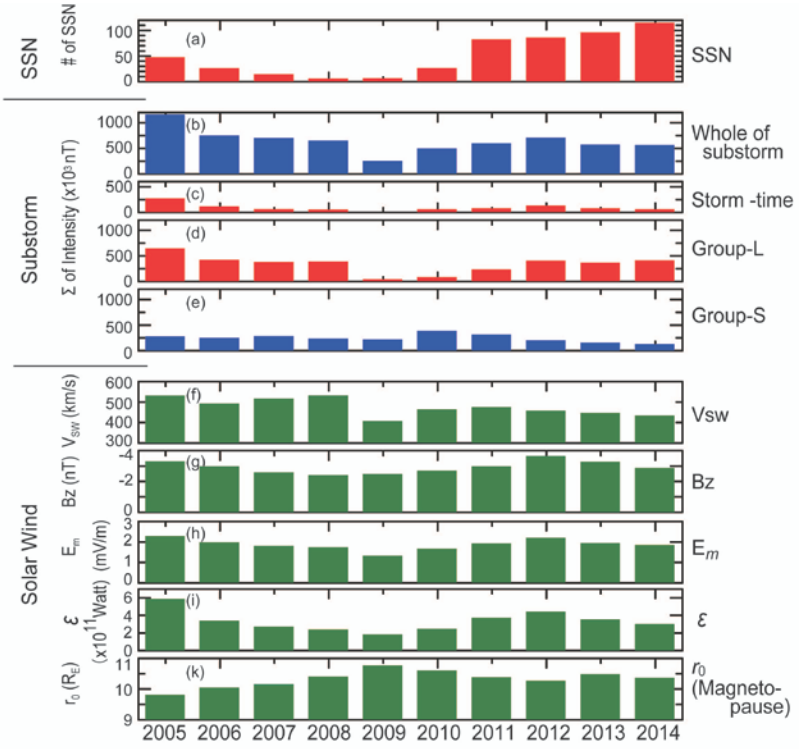


Figure 3. Correlation charts between solar activities, substorms, and solar wind parameters for 10 years. (a) Yearly mean total sun spot number, (b) yearly accumulated whole of substorms, (c) yearly accumulated storm-time substorms, (d) yearly accumulated group-L substorms, (e) yearly accumulated group-S substorms, (f) yearly averaged solar wind velocity, (g) yearly averaged B_z, (h) yearly averaged E_m, (i) yearly averaged ε, and (j) yearly averaged magnetopause subsolar distance r_0.

＜ 成 果 発 表 ＞

森岡昭、三好由純、能勢正仁、Bi-modal distribution of substorm intensity、日本地球惑星科学連合2016年大会、幕張、2016年6月

森岡昭、三好由純、能勢正仁、Solar wind-substorm intensity connection revisited、地球電磁気・地球惑星圏学会　第140回総会・講演会、福岡、2016年11月

不飽和炭化水素のオゾン分解で生じるクリーギー中間体と有機酸の反応性に関する研究

Studies on the reactivity of Criegee intermediates generated from hydrocarbon ozonolysis with organic acids

廣川　淳、北海道大学・大学院地球環境科学研究院

【研究目的】

不飽和炭化水素のオゾン分解から生成するクリーギー中間体は、大気中で二酸化硫黄、水蒸気、有機酸などとの反応を通して、硫酸、ヒドロペルオキシド（過酸化物）、オリゴマー体などを形成し、大気中の二次有機エアロゾルの生成に影響を及ぼすことが示唆されているが、その反応過程には不明な点が多い。本研究ではクリーギー中間体と気体状有機酸との反応生成物の測定を通してクリーギー中間体の反応性を調べるための実験研究を計画した。平成28年度は、エチレンのオゾン分解から生成するクリーギー中間体CH_2OOの酢酸、水蒸気に対する相対的な反応性を調べる実験を行った。

【研究方法】

実験は、内径4 cm、長さ80 cmのフローチューブを用いて行った。フローチューブには、エチレンC_2H_4、オゾンO_3、酢酸CH_3COOHおよび、必要に応じて水蒸気H_2Oを導入し、オゾン分解反応およびそこから生成するCH_2OOの反応を起こした。フローチューブを出た気体はオゾン計および化学イオン化質量分析計CIMSに導入した。CIMSではSO_2Cl^-を試薬イオンとして用いることで、酢酸、水蒸気の濃度を測定するとともに、CH_2OOと酢酸の以下の反応で生成するヒドロペルオキシメチルアセテートHPMAに帰属されるイオン信号強度を測定した。

$$CH_2OO + CH_3COOH \rightarrow CH_2(OOH)OC(O)CH_3 \quad (HPMA) \qquad (1)$$

エチレンおよびオゾンの体積混合比はそれぞれ34 ppm、3 ppmとした。酢酸の体積混合比は0.1–0.6 ppmの範囲で変化させた。

【研究結果・考察】

水蒸気濃度を一定とし、酢酸濃度を変化させてHPMA濃度の変化を調べた。酢酸濃度の増加とともにHPMA濃度は増加し、ある一定値に近づいていく。これは、反応(1)がCH_2OOの他の反応と競合するからである。フローチューブ内でのCH_2OOの反応は、反応(1)および以下に示す反応の計4つに分けることができる。

$$CH_2OO + H_2O \rightarrow 生成物 \qquad (2)$$

$$CH_2OO + (H_2O)_2 \rightarrow 生成物 \qquad (3)$$

$$CH_2OO \rightarrow 生成物 \qquad (4)$$

反応(2)はCH_2OOとH_2O分子との反応である。反応(3)は、最近重要性が指摘されているCH_2OOとH_2O二量体との反応である[1,2]。反応(4)は(1)から(3)以外のすべての反応を含んでいる。反応(1)、(2)、(3)の二分子反応速度定数をそれぞれk_1、k_2、k_3で表し、反応(4)の擬一次反応速度定数をk_4で表すと、HPMAの濃度[HPMA]は次の式で表すことができる。

$$[\mathrm{HPMA}] = \frac{k_1[\mathrm{CH_3COOH}]}{k_1[\mathrm{CH_3COOH}] + k_2[\mathrm{H_2O}] + k_3[(\mathrm{H_2O})_2] + k_4}[\mathrm{HPMA}]_{\max}$$

$$= \frac{k_1[\mathrm{CH_3COOH}]}{k_1[\mathrm{CH_3COOH}] + k_\mathrm{L}}[\mathrm{HPMA}]_{\max} \quad (5)$$

ただし$[\mathrm{HPMA}]_{\max}$は、酢酸濃度が非常に高く、すべてのCH_2OOが酢酸と反応したときのHPMAの濃度を表す。また、k_Lは、

$$k_\mathrm{L} = k_2[\mathrm{H_2O}] + k_3[(\mathrm{H_2O})_2] + k_4 \quad (6)$$

で表される擬一次反応速度定数ある。式(5)の両辺の逆数を取ると

$$\frac{1}{[\mathrm{HPMA}]} = \frac{k_\mathrm{L}}{k_1[\mathrm{HPMA}]_{\max}}\frac{1}{[\mathrm{CH_3COOH}]} + \frac{1}{[\mathrm{HPMA}]_{\max}} \quad (7)$$

の関係が得られる。水蒸気濃度一定の条件でk_Lは一定なので、式(7)は、HPMA濃度の逆数が酢酸濃度の逆数に一次で比例することを表している。実際にプロットすると比例関係が得られ、その傾きと切片から速度定数比k_L/k_1を実験的に得ることができた。水蒸気濃度を1.8×10^{15}–3.1×10^{17} molecules cm^{-3}（25°Cでの相対湿度で0.2–38%）の範囲で変えて同様の実験を行ったところ、k_L/k_1が水蒸気濃度に対して二次で依存していることが見いだされた。このことは、CH_2OOと水蒸気との反応が、反応(2)でなく反応(3)によって支配されていることを示唆している。k_L/k_1の水蒸気濃度依存性から、反応(3)と反応(1)の二分子反応速度定数比 $k_3/k_1 = (6.8 \pm 0.2) \times 10^{-2}$ が得られた。最近、4 Torrの減圧下で報告された$k_1 = (1.3 \pm 0.1) \times 10^{-10}\,\mathrm{cm^3\,molecule^{-1}\,s^{-1}}$[3]を用いると、$k_3 = (8.2 \pm 0.7) \times 10^{-12}\,\mathrm{cm^3\,molecule^{-1}\,s^{-1}}$と見積もられる。これは最近、直接計測から求められた$k_3 = (7.4 \pm 0.6) \times 10^{-12}\,\mathrm{cm^3\,molecule^{-1}\,s^{-1}}$[2]と誤差の範囲内で一致する。以上から、本手法を用いて相対的な反応速度定数を決定できることが確認され、直接測定が難しい、より複雑なクリーギー中間体の反応性の研究に応用できることが期待される。

【引用文献】

[1] T. Berndt et al., *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **2014**, *16*, 19130–19136.

[2] M. C. Smith et al., *J. Phys. Chem. Lett.*, **2015**, *6*, 2708–2713.

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

【成果発表】

矢嶋亮次，坂本陽介，猪俣敏，廣川淳，「エチレンのオゾン分解から生成するCriegee中間体CH_2OOと酢酸、水との反応性の研究」，第22回大気化学討論会，2016年10月12–14日，札幌.

台風に伴う電離圏変動の解析
Analysis of ionospheric disturbances associated with typhoons

中田裕之、千葉大学・大学院工学研究科

1. 研究目的

大規模な自然災害の影響による電離圏変動が知られている。これらは、下層大気で生じた音波や大気重力波が電離圏に到達することで生じたものである。地震、火山、竜巻に伴う電離圏変動については、GPS－TECを用いた観測が報告されている（e.g., Tsugawa et al., 2011; Heki and Ping, 2006; Nishioka et al., 2014）。これに対し、台風に伴う変動の観測結果については、いくつか報告があるものの、台風接近に伴う電離圏変動の直接的な証拠については、ほとんど明らかにされていないのが現状である。

そこで本研究では、台風に伴う電離圏変動について解析を行い、その変動の特性を明らかにすることを目的とする。これまでに、申請者らの解析により、地上での微気圧変動とHFドップラーによる電離圏上下動について、約10 mHz以上の帯域では、両者に極めて良い対応がみられることが明らかとなった。今回GPS-TEC 1秒値を利用することができたため、この帯域の変動解析を行うことが可能になったことから、GPS-TECデータにおいて、台風に伴う変動がどのように現れるか解析を進めた。

2. 研究方法

今回解析対象とした台風は、2015年11号、15号台風である。いずれも甚大な被害をもたらした大型で非常に強い台風である。台風11号は、2015年7月4日、マーシャル諸島付近にて発生し、7月16日23時（日本時間）に高知県室戸市付近に上陸した。その後、四国、中国地方を通り抜けた後、日本海へ抜け、温帯低気圧となった。また、台風15号は、8月15日3時（日本時間）に発生し、23日夜には、石垣島に接近した後、8月25日6時過ぎに熊本県荒尾市付近に上陸した。その後九州を通過した後、日本海に抜け、温帯低気圧に変わった。

用いたデータはGPS-TECデータである。1秒値TECデータに対して、FFTを用いてTEC変動のスペクトル強度（3 ～100 mHz）を算出した。

3. 研究結果

Figure 1に、台風接近時のGPS-TEC変動（80 mHz）のスペクトル強度分布図を示す。上段は、スペクトル強度を各貫通点にプロットしたもので、色はスペクトル強度を表す。左は台風最接近の前日(2015/7/15 00:30 UT)時のデータで、右図は台風上陸直後の分布を示す。図中の黒丸は台風中心を表す。貫通点の色が赤いほど、スペクトル強度は大きい値であるが、台風が接近しても、あまり明確な変動は見られない。そこで、貫通点の経度を横軸に、縦軸をスペクトル強度として表示したものを下段に示した。これによると、台風が上陸した経度134度付近において、スペクトル強度が高い点が、上陸前に比べて増えているのがわかる。このような変動強度の増加は、わずかではあるが40～100 mHzの帯域で確認され、台風15号でも同様に増加が確認された。

4. まとめ

台風に伴う電離圏変動について、1秒値GPS-TECデータを用いて観測可能かどうかについて解析を行った。その結果、40 mHz以上の帯域において変動強度が上昇することが確認できたが、貫通点の２次元分布図においては、明瞭な上昇が見られなかった。このような変動は、地表付近で生じた大気波動が上空に伝播することで生じるが、数10 mHz帯の変動は、F領域付近において高周波ほど強く減衰を受けるため、HFドップラーでは観測可能であった変動が、GPS-TECでは明瞭には見られなくなったものと考えられる。

5. 成果発表

中田 裕之、平林 慎一郎、益子 竜一、長南 光倫、大矢 浩代、鷹野 敏明、冨澤 一郎、長尾 大道、松 村 充、台風通過時の電離圏変動のスペクトル解析、第 140 回地球電磁気・地球惑星圏学会総会・講演会、九州大学伊都キャンパス、福岡県福岡市、2016 年 11 月 21 日

平林 慎一郎、中田　裕之、鷹野 敏明、冨澤 一郎、長尾 大道、台風時の電離圏変動と大気変動との相関、日本地球惑星科学連合 2016 年大会、幕張メッセ、千葉県千葉市、2016 年 5 月 22 日

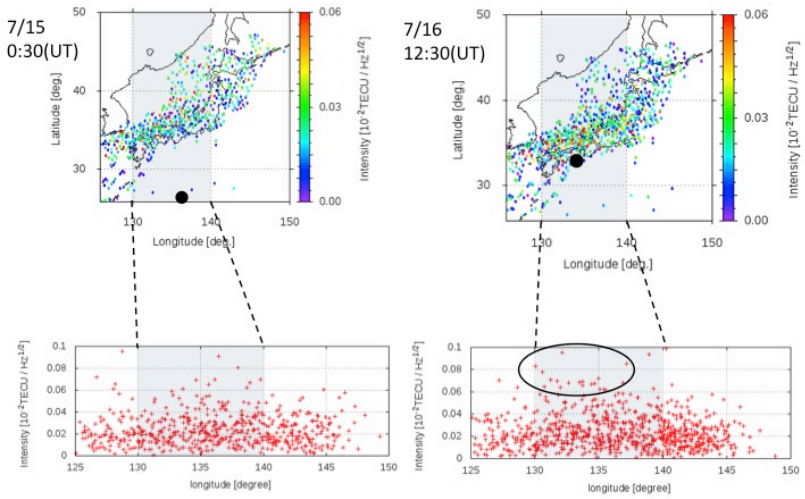
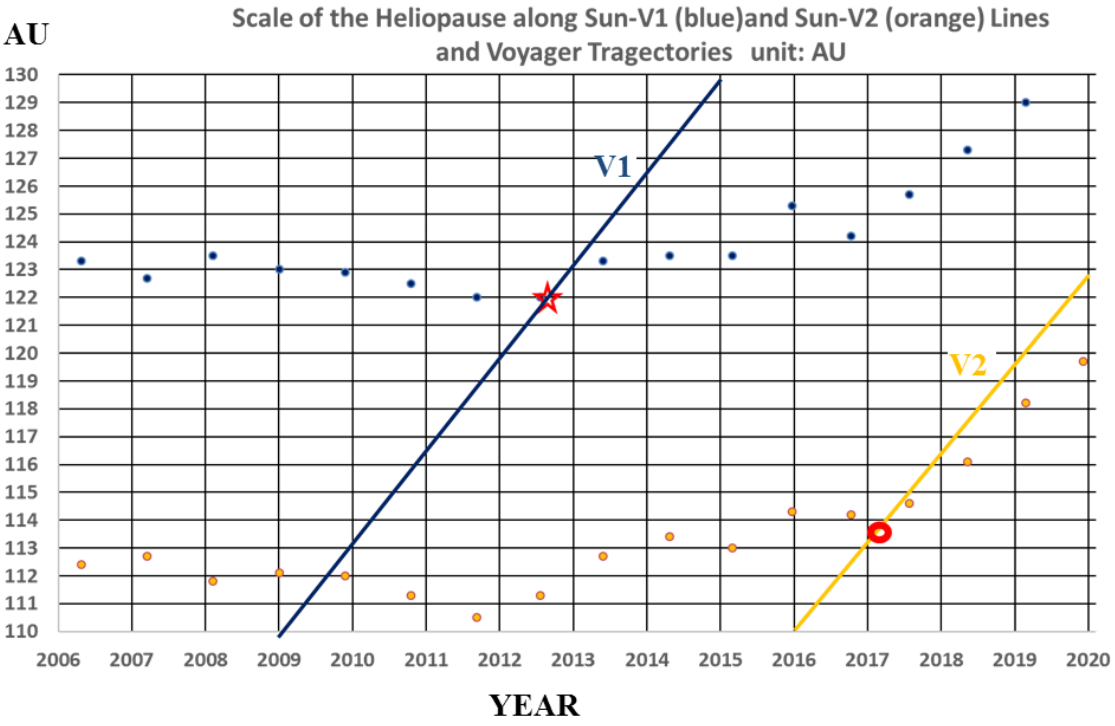


Figure 1：2015 年台風 11 号（7/15 00:30UT（左）、7/16 12:30UT(右)）に伴う TEC 変動強度。（上段）変動強度を貫通点に表示したもの（下段）全貫通点での変動強度を経度に対して表示したもの。

太陽圏構造とダイナミックスの研究
Study of the heliospheric structure and dynamic phenomena

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

太陽圏ヘリオポーズの大きさは太陽風プラズマのラム圧に大きく依存している。OMNIデータでは太陽風ラム圧は2005年から減少を続け2010年で極小となったが、最近は再び増加に転じている。ボイジャー1号（V1）は2012年にヘリオポーズを超えたが、2号（V2）は未だ超えていない。我々は3次元高精度MHDシミュレーション解析にOMNIデータを組み入れることにより、ヘリオポーズの年変動を明らかにすることが出来、その結果を図１に示す。この図ではV2が現在ヘリオポーズの間近まで近づいていて、間もなくヘリオポーズを越えるであろうことが示唆されている。この結果は16thAIAC国際会議にて報告された。



第１図　ヘリオポーズの大きさの年変動。太陽-V1 線（青色）及び太陽-V2 線（黄色）に沿ったヘリオポーズの太陽からの距離、および V1（青色）及び V2（黄色）の軌道。赤色星印は V1 がヘリオポーズを越えた位置を示し、赤色丸印は現在（1917 年 3 月）の V2 の位置を示している。

Investigation of the elemental abundance of flares using Hinode/EIS

Kyoung-Sun Lee, National Astronomical Observatory of Japan, Hinode Science Center

We have planned to investigate the elemental abundances and other plasma properties of flares, which are energized by magnetic reconnection and the most explosive phenomena in the Sun. For this, we have investigated the plasma properties for a flaring active region with high time cadence spectroscopic observations and have studies on the flare plasma dynamics through the chromosphere and corona, the chromospheric evaporation during the impulsive phase of the flare.

Purpose: In order to understand the flare mechanisms and their characteristics, we need to know their plasma properties. From the spectroscopic observation, we can investigate the properties of plasma, which in the flaring site, such as density, temperature, Doppler velocity and their abundances. In this collaborative research, original goal was investigating plasma properties in flares using the spectroscopic observations by Hinode/EIS, and specially focused on the abundance. This year, for this, we have investigated the plasma properties and investigated the plasma dynamics at the flare kernel, which shows the chromospheric evaporation. The process is response of the plasma to the energy release from the flare, and we can know the energy transport process from this study.

Method

- Investigation of the temporal evolution of plasma properties in the flare

For the abundance investigation, we need to know the density profile to determine the DEM. We have investigated the plasma properties, such as, intensity, Doppler velocity, and density of a flare with time. For this, we used the data observed by EIS and IRIS simultaneously. We investigated the plasma dynamics using the multiple line profiles formed from the corona (EIS) and chromosphere (IRIS). We also measured density profile of the flare using the Fe XIV line pare from the EIS and the O IV line pair from the IRIS.

- Comparison of the injected energy from the HXR and dissipated energy in low atmosphere

Under the thick target approximation using the equation (1) (Hudson et al. 1978; Watanabe et al. 2010), we can calculated the total power (P) in the non-thermal electrons above a given electron energy (low cut-off energy)

Equation (1):

$$P(\epsilon \geqslant \epsilon_c) = 4.3 \times 10^{24} \frac{b(\gamma)}{\gamma - 1} A {\epsilon_c}^{-(\gamma-1)} \ (\mathrm{erg\ s^{-1}})$$

We also estimated the dissipated energy flux from the chromospheric spectral lines. Pereira et al. (2015) suggested the temperature diagnostics using the intensity ratio of the wing and core of the Mg II triplet lines, which become emission when the low atmosphere heated. Then, we tried to measure the energy flux using the observed temperature difference at the low atmosphere. Then, we tried to compare the energy fluxes measured from the HXR and chromospheric lines.

- Collaborative research: For this research, I have collaborated with Dr. Imada in Nagoya University. For the discussion, I visited Nagoya University in November.

Results

Using the research method, we have investigated a wihte light flare kernel which observed by multiple spectroscopic observations from HXR to UV (RHESSI, Hinode/EIS and IRIS). Then, we investigated

temporal variation of the plasma properties with the high time cadence spectroscopic observations. As a result, we found that the explosive chromospheric evaporation occurs at the flare kernel during the impulsive phase of the flare. We also compared the energy flux from the HXR to UV, using the RHESSI HXR emission and Mg II triplet emission from IRIS. Then, we conclude that the bright flare kernel in white light could be produced by the HXR non-thermal electrons, and the HXR non-thermal electrons give the enough energy flux to produce the explosive chromospheric evaporation. This result has been published in the Astrophysical Journal (Lee et al. 2017).

Refernces

Hudson, H. S., Canfield, R. C., & Kane, S. R. (1978) Sol. Phys., 60, 137

Lee, K.-S., Imada, S., Watanabe, K., Bamba, Y., Brooks, D. H. (2017) ApJ, 836, 150

Pereira, T. M. D., Carlsson, M., De Pontieu, B., & Hansteen, V. (2015) ApJ, 806, 14

Watanabe, K., Krucker, S., Hudson, H., Shimizu, T., Masuda, S., & Ichimoto, K. (2010) ApJ, 715, 651

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

- Presentations (Title / Author / Conference / Year)

1. Spectroscopic analysis of a bright kernel in a white light flare observed by Hinode/EIS, IRIS, RHESSI, and SDO / Kyoung-Sun Lee, Shinsuke Imada, Kyoko Watanabe, Yumi Bmab, David H. Brooks / AOGS 2016 / 2016 July 31 - Agust 6

2. Quantitative Estimation of the Energy Flux During Evaporation in a White Light Flare Kernel Observed by Hinode, IRIS, SDO, and RHESSI / Kyoung-Sun Lee, Shinsuke Imada, Kyoko Watanabe, Yumi Bmab, David H. Brooks / Hinode 10 / 2016 Sep 5-9

3. Quantitative estimation of the energy flux during an explosive chromospheric evaporation in a white light flare kernel observed by Hinode, IRIS, SDO, and RHESSI / Kyoung-Sun Lee, Shinsuke Imada, Kyoko Watanabe, Yumi Bmab, David H. Brooks / ASJ fall meeting 2016 / 2016 Sep 14-16

4. Quantitative Estimation of the Energy Flux During Evaporation in a White Light Flare Kernel Observed by Hinode, IRIS, SDO, and RHESSI / Kyoung-Sun Lee, Shinsuke Imada, Kyoko Watanabe, Yumi Bmab, David H. Brooks / SDO 2016　2016 October 17-21

- Papers (Title / Author / Journal / Year)

1. IRIS, Hinode, SDO, and RHESSI Observations of a White Light Flare Produced Directly by Nonthermal Electron / Kyoung-Sun Lee, Shinsuke Imada, Kyoko Watanabe, Yumi Bmab, David H. Brooks / The Astrophysical Journal 836, 150 / 2017

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作成と応用

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・エー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。

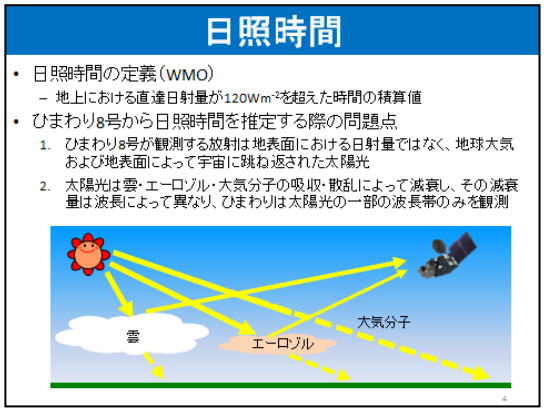
本年度の研究においては、大気放射モデルの下でひまわり8号のデータを活用することで、再生可能エネルギーや農業などさまざまな分野で利活用が見込まれる、日照時間・日射量の広域・面的分布の推定技術の開発を行った。

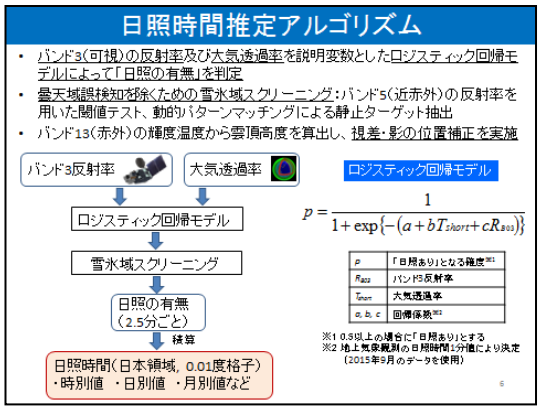
気象庁では、日照時間プロダクトとして、ひまわり8号観測の可視バンド反射率および数値予報モデル予報値から日照の有り／無しをロジスティック回帰によって判定し、それに基づき日照時間を推定する手法を開発した。また、当該手法を用いてひまわり8号観測から推定した日照時間と気象庁が整備した地上観測との比較を行い、時別値・日別値とも相対誤差は10%以下、相関係数は0.9以上という結果が得られた。

日射量プロダクトに関しては、気象庁が欧州気象衛星開発機構（EUMETSAT）と協力して開発を行っているOptimal Cloud Analysis（OCA）よってひまわり8号観測データから雲の光学特性を推定し、数値予報モデル予報値とともに簡易的な放射伝達計算を行って日射量を推定する手法を開発している。

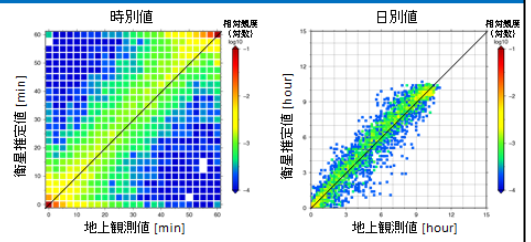
本成果については、名古屋大学宇宙地球環境研究所において平成29年3月16日～17日にかけて行われた「GSMaPおよび衛星シミュレータ合同研究集会」の場で発表を行っている。

○日照時間プロダクトの概要



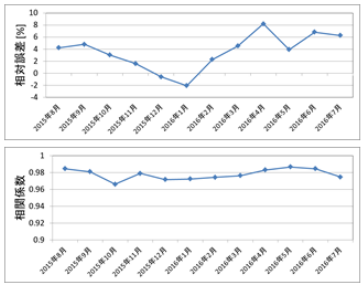


地上気象観測との比較（2016年2月）



全地点での統計値	時別値	日別値
絶対誤差（衛星-地上）	0.66min	6.0min
相対誤差（衛星-地上）	2.3%	2.3%
RMSE[min]	8.8min	49.2min
相関係数	0.94	0.97

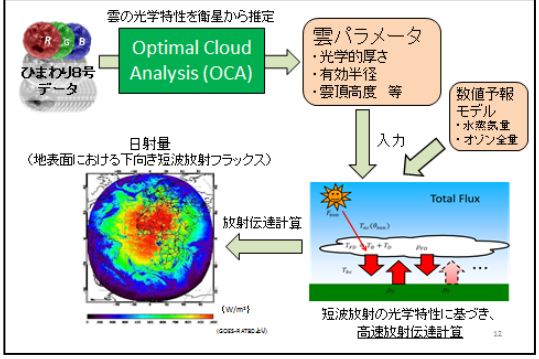
月ごとの精度（日別値、地上気象観測と比較）



- 相対誤差10%以下（冬季以外は正バイアス）
- 相関係数0.95以上

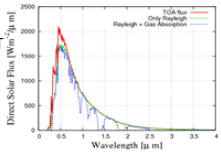
○日射量プロダクトの概要

日射量推定プロダクト試作版の開発



日射量の計算方法（LUT法）

- 主要な大気過程をモデル化し、その放射特性を事前計算しておく
  - 大気分子による吸収を表すLUT
  - 雲粒子による吸収・散乱を表すLUT
  - 地表面反射率
  - エーロゾルによる吸収・散乱のLUT



- 太陽光スペクトルの波長をN個（数十程度）のビンに分割し、各ビンで地表面までの透過率を計算してから最後に足し合わせることで波長依存性を考慮

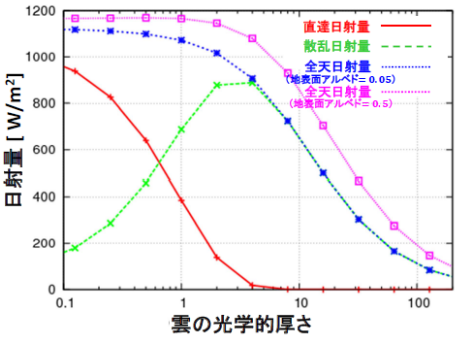
ビン数

$$F = \sum_{i=1}^{} T(\lambda_i) S_0(\lambda_i)\, d\lambda_i$$

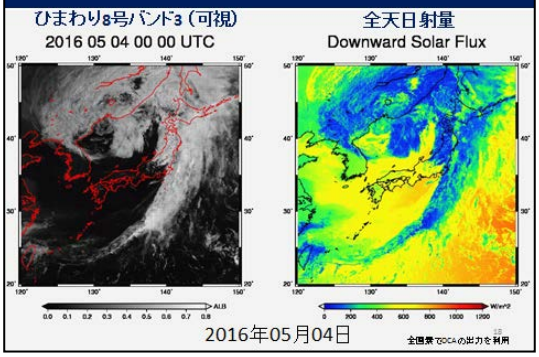
各波長におけるTOAから地表面までの透過率

各波長におけるTOA太陽光入射フラックス

日射量理論計算例



日射量プロダクト試作版による日射量推定例



現地観測データを用いた、気象じょう乱に伴う黒潮続流の変動の解析
Analyses of variebility of the Kuroshio Extention associated with meteorological disturbances using in-situ observation data

佐藤尚毅、東京学芸大学・自然科学系

衛星観測による海面水温データの解析や、海洋モデルの長期積分の結果の解析によって、梅雨前線帯の下層ジェットに伴うエクマン湧昇によって黒潮続流域の水温フロントが維持、強化されていることが示されている（Sato et al. 2016）。本研究では、Sato et al. (2016)による解析をさらに進め、海洋モデルによって再現された海洋内部の変動が実際に生じていることをArgoフロートのような海洋の現地観測データによって検証する。

はじめに、衛星観測データ（TMISST）を用いて、海面水温（SST）の季節変化を調べた。関東東方の黒潮続流に伴う海面水温前線域でのSSTの南北勾配は、全体的に見れば春から夏にかけて小さくなるが（図は省略）、６月から７月にかけては逆にＳＳＴの勾配が大きくなっていることが分かる（図１左）。このような季節進行は、海洋モデルNP-OFES（Sasaki and Klein 2012）によっても再現されている（図１右）。

図１にみられるようなSSTの季節進行に伴う海洋内部の変動を調べるために、NP-OFESデータにおいて、水温の深度－時間断面を調べた（図２）。海面水温前線の北側、南側の両方で、春から夏にかけて海水が持ち上げられていることが分かる。しかし、前線の北側のほうが表層混合層が薄いため、海水の持ち上げによる水温上昇の抑制は、前線の北側でより強く効いていると考えられる。このことが図１にみられるようなSST勾配の維持、強化に関わっていると推測できる。なお、海水の持ち上げは、梅雨前線帯に伴う強い西風が生じさせるエクマン湧昇によるものであることが確かめられている（図は省略）。

図２に示された海水の持ち上げは海洋モデルによる再現実験の結果である。以下では、実際の海洋でそのような変動が生じているか検証を試みる。Argo フロートによる観測データを用いて、黒潮続流の北側の海域（35～38◦N, 140～145◦E）で水温と塩分の鉛直分布の季節変化（６月下旬～７月下旬）を調べた。また、続流の南側の海域（32～35◦N, 140～145◦E）でも同様の解析を行なった（図３）。ここでは、６月下旬および７月下旬に該当する海域で得られた水温、塩分のデータすべてを平均して用いている。その結果、どちらの海域においても、SSTや表層付近の水温は季節進行とともに全体的には上昇するが、温度躍層は持ち上げられていることが分かった。黒潮続流域は流速が速いためArgoフロートによる観測事例が少なく有意な結果を得ることはいまだに容易ではないのが現実であるものの、海水の持ち上げがSST の上昇を抑制しているとする、NP-OFESの再現実験と矛盾しない結果が得られた。

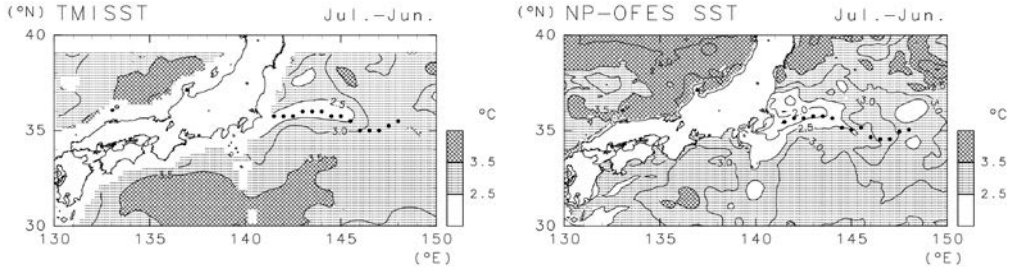


図１：６月と７月のSSTの差（2001～2010年）。点は海面水温前線の位置（SSTの南北勾配が最大の緯度）を表す。左はTMISST、右はNP-OFES。

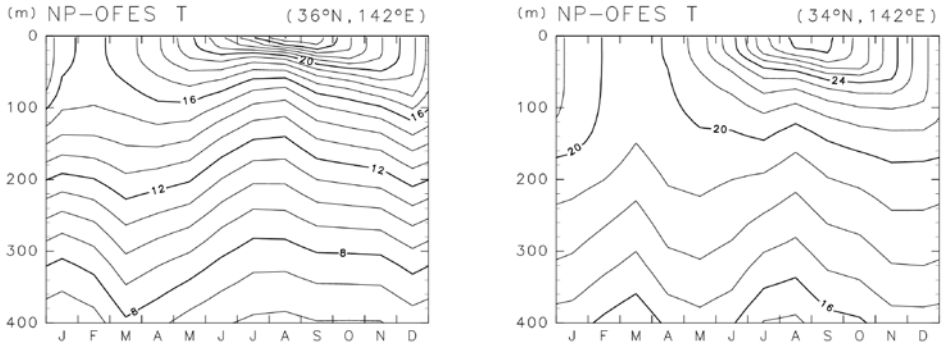


図２：東経142度における、水温の深度－時間断面。左は北緯36度、右は北緯34度。

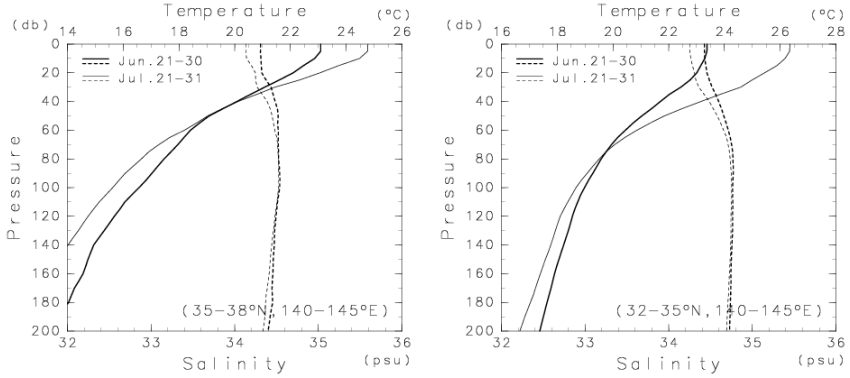


図３：Argo フロートによって観測された、６月下旬から７下旬までの水温と塩分の鉛直分布の変化。左は北側（35～38◦N, 140～145◦E）、右と南側（32～35◦N）の海域。

引用文献

Sasaki H., and Klein P, 2012: SSH wavenumber spectra in the North Pacific from a high-resolution realistic simulation. *J. Phys. Oceanogr.*, **42**, 1233-1241.

成果発表

Sato, N., M. Nonaka, Y. Sasai, H. Sasaki, Y. Tanimoto, and R. Shirooka, 2016: Contribution of sea-surface wind curl to the maintenance of the SST gradient along the upstream Kuroshio Extension in early summer. *J. Oceanogr.*, **72**, 697-705.

名大 X/Ka レーダによる GPM 主衛星上の二周波降水レーダのデータ検証

Validation of GPM dual-frequency radar data using ground-based X/Ka radar data

中村健治、獨協大学経済学部

１．はじめに

現在全球降水観測ミッション（GPM）の主衛星が軌道上にある。この衛星には日本が開発した二周波降水レーダ（DPR）が搭載されている。DPR の検証のため、昨年度は地球水循環研究センターの共同研究として DPR の名大 overpass の頻度を調べた。Overpass そのものは月に 4 回程度ある。これは軌道傾斜角 65 度とクロススキャン幅 120km からも計算される。しかし、比較可能な降水のある事例は３事例、その内名大レーダが稼働していた事例は２事例のみであった。直接比較では RHI データが有効であるが、このように overpass の事例は極く少ないため、RHI 以外のデータの利用を検討した。この手始めとして、手元にある overpass 時の他の PPI データを調査した。DPR の解析では Ku 帯と Ka 帯での降水エコーの差の利用が進められている。名大では X 帯と Ka 帯のレーダの同時稼働データがあるのでその利用､具体的には両者の差の特性の把握が目標である。また雨滴層は既にかなりわかっているので､融解層やその上空の固体降水層での電波散乱特性の把握が目標である。

２．名古屋大学レーダのデータ

名古屋大学の X 帯、Ka 帯のレーダは 1 年以上にわたり東山キャンパス内にあり、volume scan 観測を連続して行っていた。この中に 2014 年の事例もある。X 帯、Ka 帯レーダはともにいわゆる multi-parameter レーダであり、偏波情報を得ている。またドップラ機能も備えている。またレーダの位置は 50m 程度しか離れていない。このため X 帯と Ka 帯のレーダデータの直接比較の可能性を調査した。

図 1 は 2014 年 11 月 1 日 4 時 12 分（日本時）頃の volume scan の一部の PPI 画像である。レーダの仰角はともに 4 度程度である。Volume scan の仰角は X 帯では 16 仰角、Ka 帯では 12 仰角あるが各仰角は X 帯と Ka 帯とでは一致していない。この図の場合は仰角は 1 度以上の差がある。また観測時刻も数分の差がある。

X 帯のレーダ画像には中心から半径 5km 程度の円がみられる｡円内は short pulse の使用領域で､外側は long pulse の使用領域である。この時は、short pulse 領域と long pulse 領域とのレベルが未調整であったと思われる。図 2 は仰角が高い時の例であり、両レーダとも 21.5 度である。距離 9.5km 辺りに円形のエコーがみられるがこれは融解層に当たっている。この高度は約 3.4km となっている。Ka 帯レーダの画像でも同じ距離でエコー強度の急激な減少が見られ、融解層であることが納得できる。

３．解析と結果

二つにレーダの比較を行うためには画像の位置合わせが必要である｡これは観測時刻が異なることによる雨域の移動､仰角が異なることを考慮した距離補正､また方位角の原点の角度補正などが必要であるためである。この位置合わせを行うため､GTK+という Linux で多く使われる画像表示ソフトウェアを使って、画像を見ながら interactive にパラメータを変化させることのできるソフトウェアエンジンを開発した｡位置合わせのパラメータは原点の x、y 方向の移動距離、方位角のバイアス、また距離のスケールファクターの４つである。さらに相関を取る領域を設定するためパラメータも入力できるようにした。

X 帯に比べて Ka 帯の電波は大きな降雨減衰を受ける。この大きさは降雨強度あるいはレーダ反射因子と相関を持つ。このため、X 帯のエコー強度の距離微分と Ka 帯のエコー強度の距離微分の差（降雨減衰係数の差：

k(Ka)-k(X)) に降雨減衰が現れ、これが X 帯のエコー強度と相関を持つことが期待される。低仰角の時の例（図 1）では弱いながらもレーダ反射因子が大きくなると降雨減衰差も大きくなっていることがわかる。この増加は降雨減衰係数と降雨強度、降雨強度とレーダ反射因子との経験的な関係から得られる値と合っている。図 2 では融解層が現れており、融解層に当たる距離付近のデータのみを取り出して相関を取ると、ばらつきは大きいものの相関が現れる。また降雨のみの場合に比較して降雨減衰差は数倍の大きさになっていることがわかる。宇宙航空研究開発機構による Ka レーダ地上実験では降雨減衰係数とレーダ反射因子のピーク位置はずれることが示されているが、今回の画像からは明瞭ではない。RHI のデータなども利用する必要がある。

４．まとめ

X 帯と Ka 帯のレーダデータから融解層での電波散乱特性を得るために、画像比較を行うソフトウェアエンジンを開発し、雨域ではもっともな結果を得た。融解層についてはもっと事例を増やす必要がある。また RHI データの利用も必要である。GPM DPR の overpass にとらわれなければ多くの事例があるので今後その活用を図る。

謝辞：Overpass 時のレーダデータの入手、またデータの読み出しでは宇宙地球環境研究所技術職員の民田晴也氏の協力を得た。感謝したい。

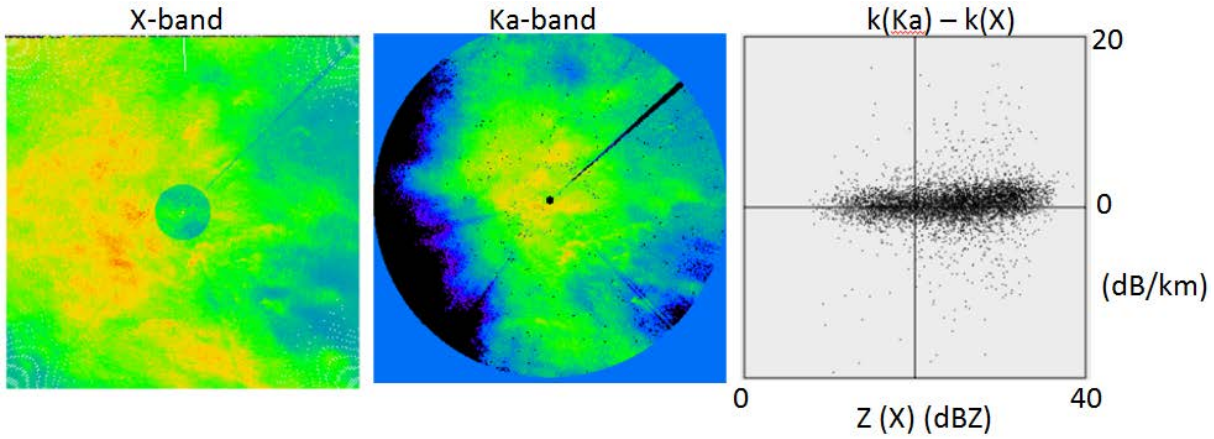


図 1.　2014 年 11 月 1 日（日本時）4 時 12 分頃のレーダ画像（左：X 帯、中：Ka 帯）と、降雨減衰差と X 帯のレーダ反射因子との相関（右）。エコー画像はレーダ中心から±30km を示している。なお距離はレーダからの斜め距離であり、水平距離ではない。暖色でオレンジは 30dBZ 以上となっている。仰角は約 4 度である。

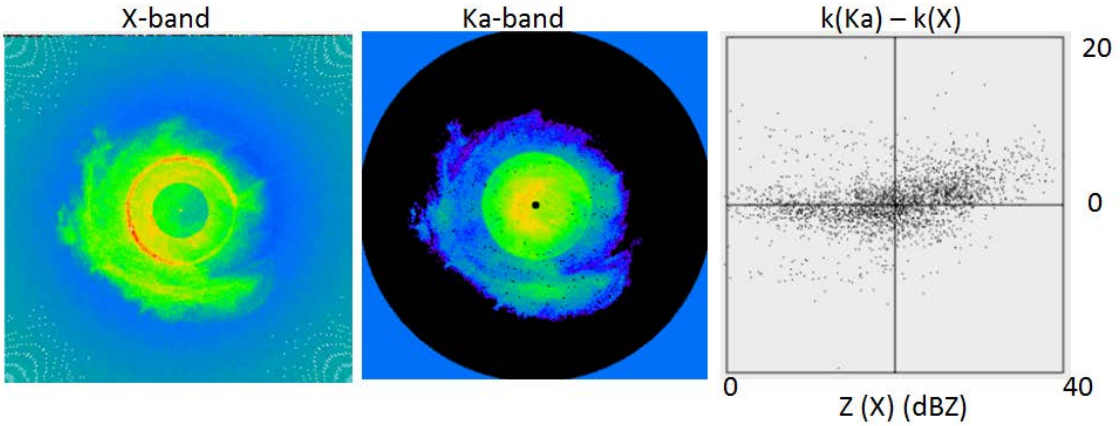


図 2.　図 1 と同じであるが、仰角が 21.5 度の時のもの。融解層が明瞭にみられる。

高解像度気象シミュレーションデータの洋上電力システム解析・運用への利用に関する研究

Research on applications of high-resolved weather simulation data to analysis and operation of offshore power systems

薄　良彦，大阪府立大学・工学研究科

研究目的・方法

本研究の目的は，高解像度気象シミュレーションのデータを利用し，洋上電力システムの解析・運用技術を構築することである。研究方法としては，貴研究所で開発されてきた雲解像モデル（CReSS）によるシミュレーションを採用し，①シミュレーションデータを組み込んだ洋上ウィンドタービン（WT）の動特性モデリングならびに②システム運用に必要となる風力出力平滑化効果の定量化について検討を行ったなお，②は前年度の内容をシステム運用技術に向けて深化させた内容である。

研究結果

① 計算機利用共同研究で得られたシミュレーションデータ（空間解像度200m，時間解像度1Hz）を組み込んだ洋上WTの動特性モデリングを検討した。具体的には，CReSSの風速データに対して不規則変動成分を重畳させ，実測データと確率密度関数の意味で類似の時系列データを生成した上で，WT出力の動特性モデルに組み込むことを検討した。検討より，WT出力の期待値（トレンド）としては実測データと定量的に近い数値を得られた一方，確率密度関数の歪度の意味で近い数値は得られなかった。この点は今後の課題となった。

② 風力出力平滑化効果の定量化について前年度に引き続き検討を進めた。具体的には，非線形時系列データ解析の方法であるクープマンモード分解を用いて，風力出力の時系列データを複数の単一周波数のモードに分解した上で，複素数値ベクトルであるモードの各成分の振幅と位相の情報を抽出することで，平滑化効果の新たな定量化法（[3]でmean smoothing index via KMDと呼称）を提案した。これにより，従来知られているパワースペクトルに基づく定量化法で仮定されていたウィンドファーム内の各WT出力に対するスペクトル分布が同一という仮定を取り除き，より一般的な状況に対して風力出力の平滑化効果が定量化できることを明らかにした。

まとめ

本研究では，CReSSシミュレーションデータを組み込んだ洋上WTの動特性モデリングならびに風力出力平滑化効果の定量化について検討を進めた。後者の結果について，国際会議で発表するとともに[1,2]，学術誌への投稿を行った[3]。

成果発表

[1] F. Raak, **Y. Susuki**, **K. Tsuboki**, M. Kato, S. Eguchi, and T.

Hikihara, Wind power simulation and analysis incorporating highly-resolved weather prediction and measurement data of Japan, The 15th World Wind Energy Conference and Exhibition (WWEC2016), Tokyo, Japan, November 1 (2016).
[2] F. Raak, **Y. Susuki**, **K. Tsuboki**, M. Kato, and T. Hikihara, On smoothing effects of wind power via Koopman mode decomposition, 2016 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2016), pp.366-369, Yugawara, Japan, November 29 (2016).
[3] F. Raak, **Y. Susuki**, **K. Tsuboki**, M. Kato, and T. Hikihara, Quantifying smoothing effects of wind power via Koopman mode decomposition: A numerical test with wind speed predictions in Japan, Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE (conditionally accepted, 2017).

脈動オーロラの全自動解析手法の開発と時空間特性の統計的導出
Development of automatic analysis method and statistical study on spatial and temporal characteristics of pulsating auroras

西山尚典、国立極地研究所・研究教育系

【研究目的】

Pulsating aurora(PsA)は，その発光が1-20秒の周期で方形波的に明滅し，電離圏でのサイズが10-200km程度のパッチ構造のオーロラ現象である．PsAを特徴づける明滅周期，そして明滅周期の継続時間に着目し，これらの時間スケールの統計的な振る舞いを地上光学観測データに基づいて明らかにすることである．そのために，時間方向に連続な画像データからその時空間特性によってPsAを検出し，on-off周期を自動抽出する解析手法の開発を行う．

【研究方法】

本研究では，3次元(空間2次元+時間)のオーロラ画像データから主成分解析を用いることで，PsAの時空間特性を自動導出する手法を確立する．特に，従来簡易化のためFFTで導出されてきたPsAのon-off周期を，onとoffの継続時間として区別して導出することを目指す．また同時に，卓越したon-off周期を持つPsAのパッチ構造の自動抽出を行う．

解析に用いるオーロラ光学観測データは，名古屋大学・宇宙地球環境研究所が中心となって運用されているカナダ・アサバスカにおける全天オーロラカメラによる光学観測データを想定している．開発する解析プログラムは，Nishiyama et al. 2016で用いた主成分解析法をベースとし，様々な画像データに応用可能な汎用的な手法とする．また同様な地上光学観測を行うコミュミティで共有できるようなものとする．

【研究結果と考察】

本年度は，2015年12月20日，アサバスカで08UT付近に観測されたトーチ状のPsAの画像データに対して解析を行った．結果の図を図１として示す．図１(a)での全天画像中に示した赤線四角内の領域（32×32ピクセル、ただしオリジナル画像を2×2ビニング済み）において、11枚の画像を時間平均した600枚の画像（1分に対応）に主成分解析を行った結果，図１(c)のように第１空間モードとしてトーチ状構造全体が抽出され，第１モードの時係数もon-offに対応するような変動が見られた（図1(b)参照）．また図１(d)で示す通り，高次の空間第３モードにおいてはトーチ状構造内のより微小な構造も確認できる．従って，今回のPsAイベントにおいては問題なく主成分解析が適応できることが確認できた．

全天カメラで撮像されたPsA画像に対する主成分解析は前例がなく，今回は全天視野をほぼ占めるような大規模トーチ構造へ解析を適応した．その結果，前述の通りある程度規模の大きなトーチ構造に対してその時空間特性を抽出できることを確認した．また，高次のモードに注目することで，トーチ構造内のメソスケール・スモールスケール構造の特定にも有効である．一方で，全天視野内に複数のPsAが出現するような事例に関しては，本年度は解析まで着手できていない．今回と同様の設定で解析を行うと，個々のPsAのパッチ構造などを特定できない可能性があるため，解析範囲をさらに複数の微小領域に分割するなど

の工夫が必要であると予想できる．

【まとめ】

時間方向に連続なPsAの画像データから，その時空間特性によってPsAを自動検出し，on-off周期や2次元平面状の形状などの抽出を可能とする解析手法の開発を行っている．本年度は，2015年12月20日，アサバスカの全天カメラで観測されたトーチ状のPsAの画像データに対して主成分解析を行った．全天カメラによるPsA画像への主成分解析は初の試みであったが，大規模トーチ構造に対しては，その時空間特性（メソ-スモール構造も含め）を抽出できることを確認した．次年度以降は，全天視野内に複数同時に出現するPsAに対して，解析範囲を拡張することを目指す．

【成果発表】

[1] 浅野貴紀，三好由純，栗田怜，町田忍，**西山尚典**他，「全天カメラで取得された脈動オーロラの画像に対する主成分分析を用いた変調解析」，第 140 回 地球電磁気・地球惑星圏学会 総会・講演会，九州大学伊都キャンパス，2016 年 11 月 20 日（日）

[2] 浅野貴紀，三好由純，栗田怜，町田忍，**西山尚典**他，「主成分分析を用いた脈動オーロラの変調解析」，第 7 回極域科学シンポジウム，国立極地研究所，2016 年 11 月 29 日（火）

[3] 浅野貴紀，三好由純，栗田怜，町田忍，**西山尚典**他，「全天カメラで取得された脈動オーロラの画像に対する主成分分析を用いた変調解析」，脈動オーロラ研究集会，名古屋大学宇宙地球環境研究所（研究所共同館 II）3F 講義室，2017 年 3 月 15 日（水）

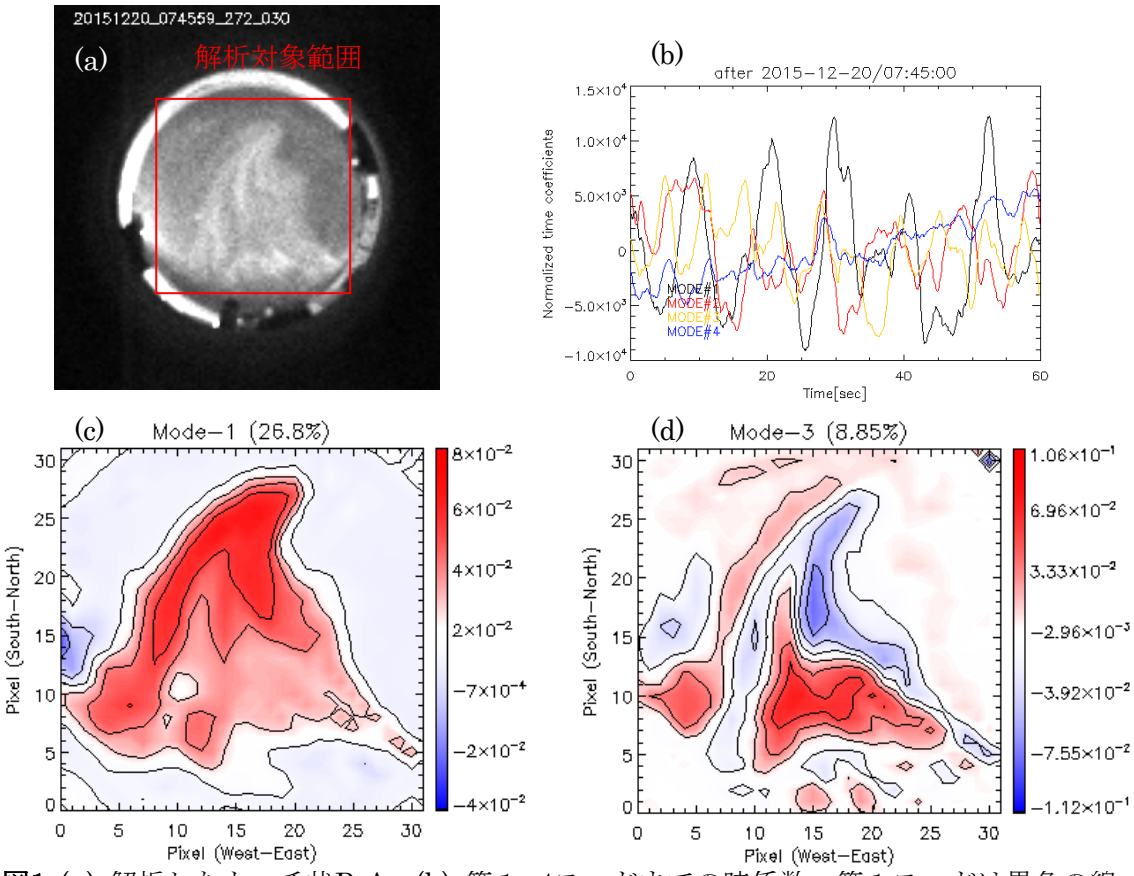


図1（a）解析したトーチ状PsA （b）第 1 ~4モードまでの時係数，第 1 モードは黒色の線に対応（c-d）主成分解析によって抽出した空間第 1 モードと高次の第 3 モード

高感度レーザー吸収分光法を用いた安定炭素同位体比分析
Stable carbon isotope ratio analysis by high sensitive techniques for laser absorption spectroscopy

藪下　彰啓、九州大学・総合理工学研究院

研究目的

自然界における炭素の安定同位体は^{12}Cが98.89%に対して^{13}Cが1.11%存在している。しかしこの同位体比は試料の起源や周囲の環境要因などによりわずかではあるが変化する。大気には、生物の呼吸、海洋由来、また化石燃料の燃焼といった様々な排出源からCO_2が排出されており、各排出源により安定同位体の存在比が異なるためである。そこで安定同位体比の連続的な計測を行えば、CO_2の排出源や吸収源が推定できるようになり、CO_2大気循環についての情報を得ることができる。

現在の炭素安定同位体比測定では、質量分析計で質量数の違いにより同位体の量を測定してそれらの存在比が算出されている。質量分析計は高い感度と精度(0.1 ‰以下)を有する利点がある。しかし、質量分析計は高真空を必要とするため装置が大型で高価であり、かつ分析装置の習熟の必要性があるといった不利な面がいくつか存在する。そのためより小型で簡便な装置の開発が望まれている。そこでレーザー吸収分光法を用いた炭素安定同位体比測定装置を開発する。

研究方法

平成26,27年度の研究により、キャビティリングダウン分光法(CRDS:Cavity Ring-Down Spectroscopy)を用いて、2 μm帯での$^{13}CO_2/^{12}CO_2$同位体比を測定できるようになった。平成28年度は、より低廉で簡便な測定法として位相差検出を行うPhase-Shift CRDS法を試みた。半導体レーザーを用いて$^{12}CO_2$の吸収ピークに対応する2008.9165 nmの光を発振させた。このレーザー光を音響光学素子を用いて50 kHzの矩形波に変調し、キャビティから出力された光強度をオシロスコープで測定した。

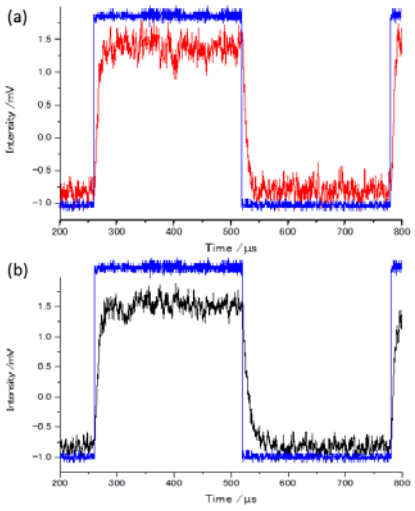


図1　PS-CRDS法で得られた出力波形。矩形線はレーザーの変調信号（50 kHz）。レーザー 波長は$^{12}CO_2$のピークに設定(a)標準試料200 mbar（b）N_2ガス200 mbar

研究結果と考察

図1(a)に標準ガスの$^{12}CO_2$吸収波長（2008.9165 nm）での出力波形と図1(b)にN2ガスをフローさせた時の出力波形を示す。(a)と(b)では波形が僅か

に異なっていることが確認できた。3点式のピエゾ振動素子（PZT: piezoelectric transducer）を用いてミラーを光軸方向に往復運動させた場合には出力波形が弱く検出できなかったが、円筒型PZTを用いることで出力波形が得られるようになった。しかし、強度は弱くS/N比もあまりよくない。さらに測定中それぞれの出力波形は強度・位相とも振動しており安定した出力は得られなかった。PZTの特性上、伸びる方向の運動と縮む方向の運動で同じ動作ではないため、一定の周期で光が検出されないためではないかと考えられる。現状では、ロックインアンプで位相検波を行った際、位相の変化は大きく揺らぎ測定が不可能であった。対策として、PZTを駆動する三角波の振幅を調整し1往復あたりの光検出回数を現在の4回から2回に減らすことで、できるだけ周期の整った状態にしようと試みたが、現状のPZTと駆動電源では達成できなかった。

まとめ

平成26-28年度の3年間、高感度レーザー吸収分光法を用いた安定炭素同位体比分析を試みた。CW-CRDS法を用いて2 μm帯のCO_2の吸収スペクトル及び$^{13}CO_2/^{12}CO_2$同位体比測定を行った。大気条件に近い標準サンプルの同位体測定では、更なる感度が必要であることが分かったが、より高反射率のミラーを用いることで高感度化が達成できるであろう。

CW-CRDS法では、より低コストで簡便な測定法として位相差検出を行うPS-CRDS法を試みたが、残念ながら現状の装置では測定が困難なことが分かった。安定して測定するためには、アライメントを長時間ズレなくする、そして平行にミラーを往復運動させる工夫が必要であることがわかった。

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、つくばにおけるフーリエ変換型分光計(FTIR)による観測を 1998 年より行っている。FTIR では太陽光の 2-15μm の赤外領域のスペクトルから大気中の多くの微量成分の高度分布等を調べることができる。FTIR を用いた同様の観測を行っている国際的な研究グループ NDACC/IRWG (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change/Infrared Working Group)では、各観測ステーションの結果を総合して地球規模の微量成分の変動要因を解明する研究を進めており、つくばもすでに十数年にわたる長期観測を行っているのでこれに参画している。昨年までの研究で解析したメタンについては、ベルギーのグループを中心に NDACC/IRWG の各観測点の最近の増加傾向について解析を進めた結果が論文として発表された(Bader et al., 2017)。今年度はエタン全量の経年変化を解析した。

エタンはメタンに次いで多く存在する炭化水素類であり、化学反応過程も類似した部分が多い。そのため、エタンがメタンの濃度に影響することによる間接的な温室効果がある。また、PAN(Peroxy Acetyl Nitrate)の生成を通じて光化学スモッグ等の大気汚染、特に越境汚染として最近話題になっている長距離輸送を伴う発生源から離れた地域での汚染に寄与する。発生源は天然ガス、バイオ燃料、バイオマス燃焼等であるが、モデルが観測値を十分に再現出来ておらず、発生量を過小評価している可能性が高い。

解析にはロジャーズ法を用いたスペクトルフィッティングプログラム SFIT4 を使用した。なお、これまでは SFIT2 を使用していたが、今年度 ISEE の長浜らとともに改良版である SFIT4 の導入を行い、それぞれつくばおよび陸別の解析に使用できるようになった。解析パラメータは Franco et al. [2015]と同様のパラメータで行っている。ただし、解析に用いる波数領域は 3μm 付近の①2976.66 - 2977.059 cm^{-1}と②2983.20 - 2983.50 cm^{-1}のふたつで、Franco et al. [2015]で用いているもう一つの領域③2986.45 - 2986.85 cm^{-1}は用いない。これは③の領域には H2O の強い吸収線があり、つくばのような高湿度（特に夏季）になる地域では解析に適さないためである。

図につくばで観測されたエタンカラム全量の 2001 - 2008 年、2009 - 2013 年、2014 - 2016 年の経年変化を示す。これを見ると、2001-2008 年の期間では若干の減少傾向(-0.4%/year 程度)であったものが 2009-2013 年にかけて増加(2.2%/year 程度)し、2014-2016 年に再び減少(-0.6%/year 程度)する様子が見られた。原因に関してはまだ調査中であるが、2014 年以降の減少については原油価格の下落に伴う原油生産量の増加が C_2H_6の発生源である天然ガスやバイオ燃料の生産量の減少を招き、その結果 C_2H_6の発生量が減少した、といったことが影響しているようである。

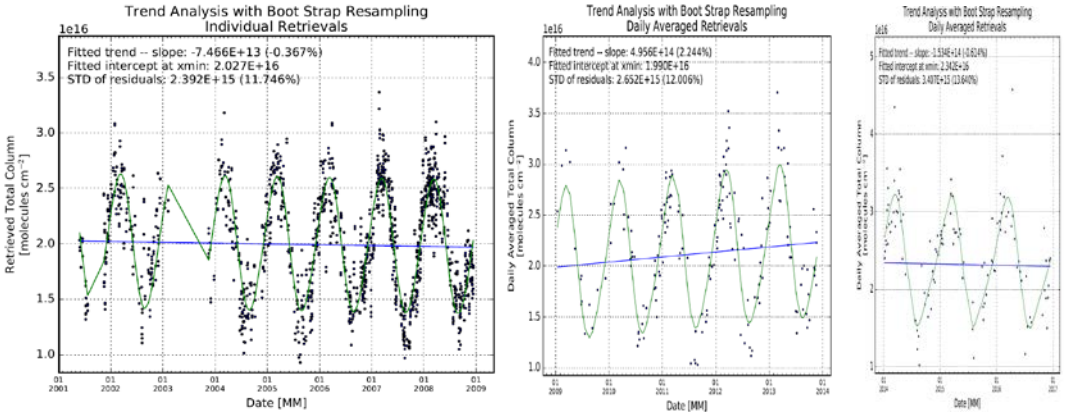


図. つくばで観測されたエタン全量の 2001 - 2008 年（左）、2009 - 2013 年（中央）、2014 - 2016 年（右）の経年変化

＜成果発表＞

W. Bader, B. Bovy, S. Conway, K. Strong, D. Smale, A. J. Turner, T. Blumenstock, C. Boone, M. C. Coen, A. Coulon, O. Garcia, D. W. T. Griffith, F. Hase, P. Hausmann, N. Jones, P. Krummel, I. Murata, I. Morino, H. Nakajima, S. O'Doherty, C. Paton-Walsh, J. Robinson, R. Sandrin, M. Schneider, C. Servais, R. Sussmann and E. Mahieu, The recent increase of atmospheric methane from 10 years of ground-based NDACC FTIR observations since 2005, Atmos. Chem. Phys., 17, 2255-2277, doi:10.5194/acp-17-2255-2017, 2017.

村田 功，中島 英彰，森野 勇, FTIR で観測されたつくばにおけるエタンの経年変化，日本地球惑星科学連合 2016 年大会，幕張，2016 年 5 月.

Murata, I., H. Nakajima, and I. Morino, Temporal variation of the total column of ethane observed with FTIR at Tsukuba, NDACC Infrared Working Group Meeting, Jeju, Korea, June, 2016.

村田 功，中島 英彰，森野 勇, FTIR で観測されたつくばにおけるエタン全量の近年の増加, 第 22 回大気化学討論会，札幌，2016 年 10 月.

航空機を用いた台風観測ミッション
Aircraft observation mission of tropical cyclones

伊藤耕介、琉球大学・理学部

台風は世界各国に甚大な被害をもたらし、地球規模での熱循環を考える上でもインパクトが大きい現象である。中でも、沖縄などの北西太平洋沿岸域は、猛烈な台風が世界で最も多く接近・上陸する地域であるため、台風の実態を詳しく知り、その理解を基に予測精度を高めていくことは、地球科学上・自然災害学上の主要なテーマの一つとなっている。そこで、この問題意識を共有する機関である名古屋大学・気象研究所・琉球大学は共同し、科学研究費基盤研究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」（代表：坪木和久．以下、坪木科研費）において台風の航空機観測を実施することとなった。

日本が主体的に台風の航空機観測を実施していくためには、搭載可能な観測機器・人的資源・フライトプランの立案といったさまざまな点に関し、現場に詳しい経験豊富な研究者と率直な意見交換を行い、協力関係を結ぶことが必要不可欠である。そこで、台風の航空機観測の専門家であるMichael Bell氏(ハワイ大学、講演終了後にコロラド州立大学に異動)、台風の航空機観測プロジェクトへの参加経験を持つ別所康太郎氏（気象庁予報課）、坪木科研費の研究者が連携を深める共同研究の枠組みが必要であるという認識のもと、本共同研究がスタートした。折しも、名古屋大学宇宙地球環境研究所の国際研究集会「台風セミナー2016」（代表：伊藤耕介，2016年8月4-5日）の開催に当たって、Bell氏を招聘することとなっていたため、その前日に台風の航空機観測に関する研究打ち合わせを、研究集会を兼ねて開催することとし、配分された共同研究の予算は、関係者の旅費に充当した。

ミーティングは、8月3日に名古屋大学宇宙地球環境研究所共同館Ｉ３階大講義室にて開催された。ミーティングには国内外９つの研究機関より29人の教員、研究者、大学院生が参加した。はじめに、Bell氏がこれまでの航空機観測に関して1時間ほどの講演を行った。その中では、2秒おきに落下させることのできるドロップゾンデHDSSに関する紹介があり、台風の内部コア構造が高精細にとらえられている様子に参加者一同が驚嘆した。また、Bell氏からは坪木科研費との連携に関し

ても言及があり、双方が更なる協力関係の発展を望んでいることが確認された。次に、別所康太郎氏が2008年に実施された台風の航空機観測プロジェクトであるT-PARCに関して、自身の経験を語った。航空機に搭乗するために訓練を受けたことや、測器が期待通りに動作しなかった悔しさなどが臨場感たっぷりに伝えられた。その後、坪木教授が科研費の枠組みで、沖縄を中心として猛烈な台風を航空機・レーダー・現場観測で捉えることについて説明を行った。最後に参加者が全般的な総合討論を行い、航空機搭載のドロップゾンデと複数のレーダー、そして、それを数値モデルに投入することの組み合わせにより、何をどこまで理解し予測することができるのかという点に関して、活発な議論が行われた。

このミーティングにより、台風の航空機観測の実際的なロジスティクスに関わる諸問題が多くの関係者の間で共有されたことは大きな収穫であった。また、この機会にBell氏との緊密な議論が行われたことは将来にわたる協力体制の維持の端緒を作る意味でも重要であった。例えば、2016年11月に伊藤と山口はBell氏が異動したコロラド州立大学に招かれ、講演をする機会を得たほか、2017年5月の日本地球惑星連合大会において、Bell氏は来日し伊藤がセッションコンビーナを務める台風に関するセッションにおいて講演することが内定している。このように、本共同研究は台風の航空機観測ミッションを推進し、今後、科学的成果の創出や波及効果を高めていく上でも、重要な意味を持つと評価することができる。

学会などでの発表

Bell, M., Aircraft Observations of Tropical Cyclones: Past, Present, and Future. 航空機を用いた台風観測ミッションに関する研究集会, 2016年8月, 名古屋大学.

Bessho, K., Overview of T-PARC and dropsonde operation by JMA and DLR. 航空機を用いた台風観測ミッションに関する研究集会, 2016年8月, 名古屋大学.

Tsuboki, K., Research plan of typhoon aircraft observations in Japan for the next four years. 航空機を用いた台風観測ミッションに関する研究集会, 2016年8月, 名古屋大学.

Ito, K., CReSS-LETKFシステムの開発. アンサンブル同化摂動に関する研究会, 2016年11月, 那覇.

アジアダストに付着したバイオエアロゾルの時空間変遷

Spatiotemporal change of Asian dust with bioaerosol

馬場賢治　酪農学園大学　農食環境学群

目的

アジアダスト（黄砂）は，社会活動や自然環境に寄与する現象の一つであり，これまでに大規模なプロジェクトが行われ，物理，化学，生物など様々な側面から影響評価が行われている．また，近年ではアジアダストにより，ウイルスなどの生物粒子であるバイオエアロゾル輸送の可能性が指摘されている．その一例として，2010 年宮崎県での口蹄疫発生に黄砂が関与していることが真木ら（2011）により指摘している．この他に，Maki ら（2010）は，黄砂バイオエアロゾルの長距離輸送について研究を行い，日本での観測事実を報告している．バイオエアロゾルを観測する試みは，幾つか存在しているが，ウイルスなどの生物起源物質の保存を考慮した大気場の過程や状況について考察している試みはほとんどない．そこで，本研究では，アジアダストに付着したウイルスなどの生物起源物質が大気場輸送中に保存される環境場についての理解やそれらの多寡や変遷について時空間的な解釈を行う．

研究方法

気象モデル CReSS やリモートセンシングデータ，ライダーデータを基に，実測と理論（モデル）の双方から，アジアダストの挙動について明らかにする．併せて，アジアダストイベント毎の経路と症状発祥地との関連も含めて評価を行う．

結果と考察

2012 年の事例について，CReSS を用いて，札幌からの後方流跡線解析を行うと，モンゴルゴビ砂漠起源であることが求められた（図 1）．Sainshand と札幌のライダーによるエアロゾル観測の結果からは，Sainshand 付近において，4 月 29 日に発生したアジアダストを捉えており，翌 30 日には札幌においてアジアダストが観測されている．図 1 の後方流跡線の結果と概ね整合性がみられている．アジアダスト発現日の 29 日 9 時を初期値としたモンゴルゴビからの拡散実験からは，アジアダストはモンゴルゴビ砂漠付近から北海道方向に指向している（図省略）．対流圏下層から中層にかけて，南北に拡散はあまり見られなかった．上空まで巻き上がれば，偏西風に乗り，1 日程度で日本付近まで到達することが確認できる．図 2 は CALIPSO による大気中のエアロゾルを判別したものであり，Feature type の 3 がアジアダストに相当する．Wakimoto(1985)や Takemi and Satomura(2000)では，乾燥地・半乾燥地においては時に境界層が地上から 4 ㎞の高度まで及ぶことを指摘しており，このような条件が砂漠での積乱雲の発達を助長し，この強い強い上昇気流がダストを境界層から自由大気へ鉛直輸送していることを指摘している．先行研究を基にした比較・検討を行い，今回のダストについて今後調べる必要がある．

一方，実際の物質の特定について明らかにする必要があるので，観測したバイオエアロゾルをメタゲノム分析によりアジアダスト発生地（モンゴルゴビ砂漠）と飛散先（札幌）で比較をすると，札幌において普段現れない型を持つ生物由来物質がアジアダストイベント時に幾つか現れ，それはモンゴルゴビと同じ型であることが確認された（現在投稿中）．これらから，フットプリントとしてバイオエアロゾルが利用出来，物理的な側面と生物・化学的な側面から，モンゴルゴビ砂漠から日本へのアジアダスト流入が確認で来た．

今後の課題

境界層を超えて自由大気に入るメカニズムについては未解明な部分があるため，事例を増やし，モデルデータや観測データから理論的に解明することが急務である．現地でのバイオエアロゾルのソースと考えられるドライレイクやワジを中心に，バイオエアロゾルの種別の調査を行い，解析中である．また，同地域で簡易風洞実験を用いて，バイオエアロゾルの発生についても予備実験調査を行っている．これらを基に多角的に理解を行う予定である．

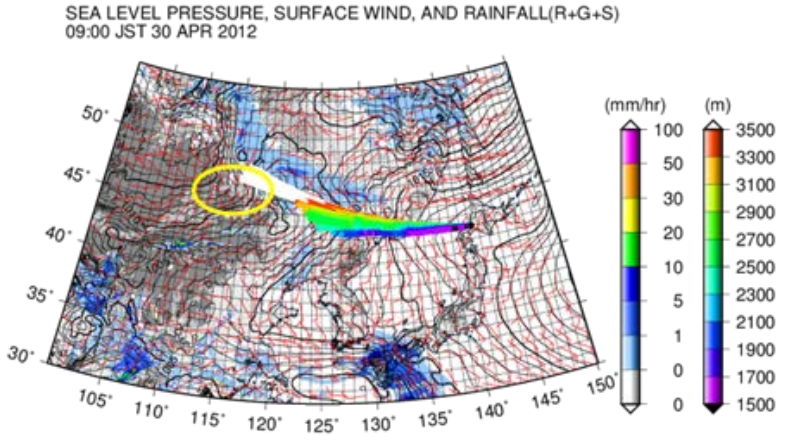


図 1　2012 年 4 月 30 日 00UTC の地上気圧・風・降水量分布および 24 時間の後方流跡線．黄色い枠線がモンゴルゴビに相当．

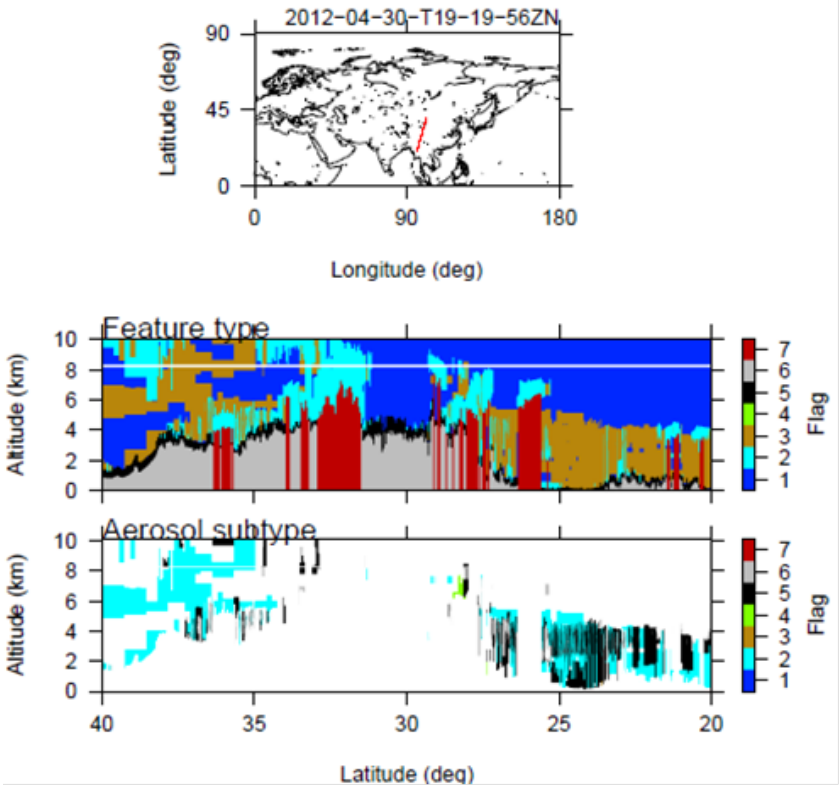


図 2　CALIPSO によるエアロゾル判別．衛星軌道（上段：赤線），Feature type（中段），および，Aerosol subtype（下段）．Feature type が 3，且つ，Aerosol subtype の水色がアジアダスト（黄砂）に相当．

成果発表：

馬場ほか，CALIPSO を用いた 2012 年 4 月のダストストームの時空間変遷について，日本気象学会，名古屋大学，2016 年 10 月 28 日．

地上デジタル放送波を用いた水蒸気遅延測定
Measurement of propagation delay due to water vapor using digital terrestrial broadcasting waves

川村　誠治、情報通信研究機構・電磁波研究所

１．研究目的

情報通信研究機構（NICT）では、地デジ放送波の伝搬遅延を精密に測定することで水蒸気を推定する手法の研究開発を進めている[1]。本手法が確立して多点展開が進めば水蒸気を面的に常時モニターすることが可能となり、局地的大雨(通称ゲリラ豪雨)などの時空間スケールの小さな極端現象の予測精度向上も期待できる。

NICTでは既に東京で観測を開始しているが、本研究では、この装置を名古屋大学に持ち込んで観測を行う。東京とは異なるエリアで異なる電波塔からの地デジ放送波を観測することで新たに遭遇する課題に対応し、観測システムの改良を進めること、及び、実際の観測データを継続して取得し、気象予測へつながる観測研究を行うことを目的としている。近い将来、観測装置をより小型化して都市部で多点展開することを計画しており、本課題は名古屋域での展開の足がかりとなるものである。

２．手法

名古屋大学宇宙地球環境研究所の屋上に地デジアンテナ及びNICTで開発している地デジ波遅延測定装置を設置し、伝搬遅延測定を実施する。名古屋大学から約10 km離れている瀬戸デジタルタワー（送信出力3 kW、図1参照）から送信されている地デジ放送波の直達派と反射波を同時に受けて、直達波と反射波の遅延差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。

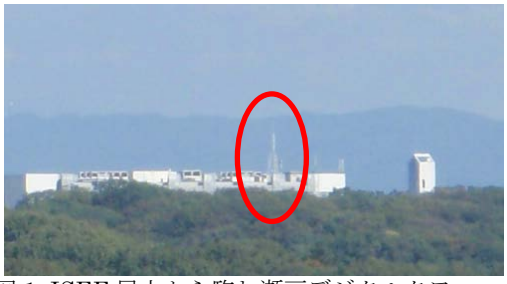


図 1: ISEE 屋上から臨む瀬戸デジタルタワー。ISEE から方位約 61.5 度、距離約 10 km。

３．本年度の研究結果

各放送局はそれぞれ独自の局部発振器を基準に放送信号を作り送信している。関東ではこの局部発振器をGPS同期させている局が複数存在し、それらの局の電波を受信する場合は、受信側の発振器もGPS同期させておけば安定して長期間の伝搬遅延測定が可能である。これは送信側と受信側の発振器の周波数ずれがGPSによって補正され長期的には同期が保たれるからである（GPS同期はナノ秒レベルであるため、水蒸気の推定に必要なピコ秒レベルの短期的同期には使えない）。今回名古屋で実験を開始すると、名古屋の全ての放送局の発振器がGPS同期されていないことが分かった。このため、長期的には送信側と受信側の周波数差によって遅延プロファイルのピーク位置がずれてしまい、長期安定した計測が実現できない。そこで、本年度は観測装置を改良して、GPS同期していない放送局の電波に対しても安定した観測が継続できるようにした。

周波数ずれによって遅延プロファイルのピーク位置がずれていく原理を図2を用いて説明する。地デジ信号の基本単位であるシンボルはその長さが1.134 msと決められており、4シンボル毎に1つの遅延プロファイル（図中のDP）が算出される。1.134 msという長さは各放送局が独自の局部発振器で生成するため、受信側の発振器で生成される1.134 msとはフェムト秒レベルで長さが異なる。この差が累積することで遅延プロファイルの切出し位

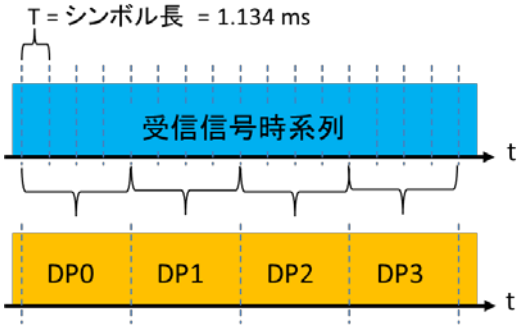


図 2: 受信信号中のシンボルと遅延プロファイル（DP）の関係。

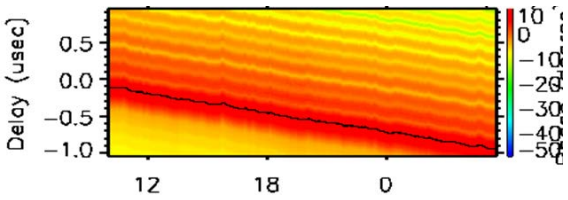


図 3: 送受の周波数ずれによって遅延プロファイルのピーク位置がずれていく観測例。

置がずれて行き、長期的には遅延プロファイルのピーク位置が観測範囲から消えてしまうことになる（その実際の観測例を図3に例示する）。

用いる観測装置はNICTがソフトウェア無線の技術を用いて独自に開発したものであるため、ソフトウェアの改良が容易である。観測開始時に送信側と受信側のシンボル長の差を計測して受信側のシンボル長を補正する機能、及びそれでも残る差による遅延プロファイルのピーク位置のずれを一定時間ごとに補正する機能を実装した。図4に観測開始時のシンボル長補正の例を示す。これにより放送局の局部発振器がGPS同期しているかいないかによらず、どの局に対しても伝搬遅延測定ができるようになった。

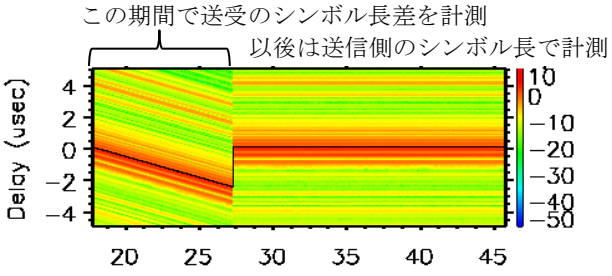


図 4: 観測開始時のシンボル長補正の例。

４．まとめ

名古屋域で初めて地デジ放送波の伝搬遅延測定を実施し、名古屋の放送局の局部発振器が全てGPS同期していないことが判明した。このために生じる遅延プロファイルのピーク位置のずれを補正する機能を測定システムに実装し、どの放送局に対しても安定して長期間伝搬遅延測定ができるようにした。今後計測を継続している予定である。

参考文献

1. Kawamura, S., et al. (2017), Water vapor estimation using digital terrestrial br oadcasting waves, *Radio Sci.*, 52, doi:10.1002/2016RS006191.

成果発表（口頭発表）

１．川村他, 地上デジタル放送波を用いた水蒸気観測手法の研究開発-反射波を用いた初期観測結果-, 気象学会, y 代々木, 2016/5/19.

２．川村他, 地上デジタル放送波を用いた水蒸気推定手法の開発-反射波を用いた実験結果-, JpGU, 幕張, 2016/5/24.

３．Kawamura et al., Water vapor estimation using the propagation delay of digital terrestrial broadcasting waves, ISAP2016, Okinawa, 2016/10/26. (Invited)

４．川村他, 地上デジタル放送波を用いた水蒸気推定とその誤差要因, SGEPSS, 九州大学, 2016/11/21.

GOCIデータを用いた高解像度塩分動的マップの作成・補完方法の開発
A new estimation method of sea surface salinity by using Geostationary Ocean Color Images (GOCI)

中田聡史，神戸大学・海事科学研究科

研究目的

外洋の海表面塩分を測定するセンサーには SAC-D 衛星(Aquarius)などがあるが、その水平分解能が約 50 km であり、沿岸域で使用するには低く観測エラーも大きい。沿岸域においては、低塩分水で識別可能な河川希釈水（河川プリューム）が、陸域起源の CDOM を含む栄養塩を沿岸海域へ輸送し水産資源や海洋環境にとって非常に重要であるため、漁業者からも関心が非常に高い。沿岸域において衛星データ等から塩分場を推定する手法やデータ同化方法が未だ確立されていないのが現状である。

沿岸域においては有色溶存有機物(CDOM)濃度と海表面塩分(SSS)には高い相関関係があることがわかっている。そこで、高い時空間分解能を持つ静止海色衛星 COMS/GOCI プロダクトの CDOM 濃度データから SSS 動的マップを作成する。得られた SSS マップデータを海洋モデルにデータ同化することで、雲や夜間による衛星データの欠測を補完する手法を開発することを最終目標に本共同研究を推進した。昨年度（平成 27 年度）は、大阪湾を実験海域として、CDOM と SSS の関係性を現場観測によって確かめ、CDOM から SSS を推定する経験式を得ることができ、SSS マップのプロトタイプ版を作成できた。今年度は、大阪湾から外洋側へと実験対象海域を拡張して、塩分水平勾配の小さい播磨灘・紀伊水道をはじめとした瀬戸内海周辺海域、そして塩分水平勾配の大きい対馬暖流沿岸域の対馬海峡と富山湾とした。

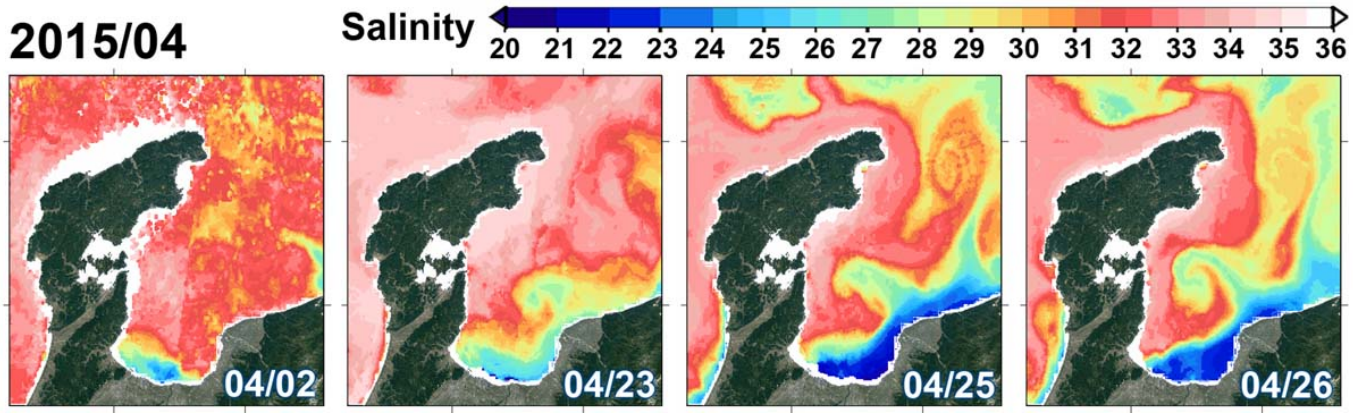
研究方法

府県の関係機関（和歌山県水産試験場、徳島県水産試験場、大阪府立環境農林水産総合研究所、兵庫県立農林水産技術総合センター）の協力のもとに、紀伊水道や播磨灘における海洋観測によって現場 CTD 観測と採水を実施し、大阪湾、紀伊水道、播磨灘における海洋観測データセットが得られており、広範囲の SSS データを収集することができた。同様に、富山湾や対馬海峡における海表面塩分データや CDOM データも、名古屋大学や九州大学応用力学研究所の協力により、収集することができた。京都大学農学研究科の小林志保助教と神戸大学内海域環境教育研究センターの浅岡聡助教の協力により、分光光度計を用いて関係機関により得られた採水サンプルの CDOM 吸光度を測定した。これらのデータセットを用いて CDOM から SSS を推定する経験式を用いて対象海域における SSS マップを作成し、河川希釈水（河川プリューム）や外洋水の内湾域への波及動態を調べた。

研究重点海域である大阪湾、播磨灘、紀伊水道において、海洋モデル FVCOM を適用して夜間や雲による海色衛星データの欠測を補完するためのデータ同化用海洋モデルの開発に着手した。現段階で、九州大学応用力学研究所の広瀬教授から太平洋のモデルアウトプットを提供していただき、2014 年以降の海況再現計算を実施した。淀川などの河川出水によるプリュームや黒潮暖水波及などの海洋現象の再現シミュレーションの妥当性を、開発した高分解能の SSS マップを用いて検証することが可能となった。その結果、淀川などの一級河川以外にも二級河川の入力流量の精度が重要であることがわかった。また河川流量を適切に表現することで、現実的な河川プリュームを再現可能であることもわかった。

研究結果と考察

研究結果の一例として富山湾における SSS マップを示す。富山湾には５つの一級河川が流入しており、融雪出水期に河川プリュームを形成していることがわかる。対馬暖流の湾内流入期でもある融雪出水期に、対馬暖流が西岸に沿って流入している状況がわかるだけでなく、Nakada et al. (2005)等の報告からではわからなかった、渦や筋状パターンを形成しながら河川希釈水を巻き込み、流入していることが初めてわかった。このような状況は約１ヶ月間継続され、湾内は次第に高塩化していく。このような対馬暖流の詳細な流動パターンや水塊分布については、現場観測地点が水平的に疎であるため、理解が進んでいなかった。SSS マップはプリュームだけでなく、対馬暖流の詳細な水塊・流動構造にまで迫ることができることを示唆している。



まとめと今後の課題

大阪湾、播磨灘、紀伊水道において SSS マップを検証用データとしたデータ同化用モデルを開発した。また、静止衛星による SSS 推定法を富山湾や対馬海峡へと提供領域を拡張した。富山湾において衛星 SSS マップを作成した結果、河川プリュームだけでなく対馬暖流の流動パターン(水塊・流動構造)を解析した。

今後は、海上風や降水を精度よく再現するための大気海洋結合モデルの導入や、衛星 SSS マップのデータ同化の技術開発を検討している。時空間的に高解像度の SSS データセットが、水循環の解明研究や、海況・気象の予測の一助にもなると期待している。

引用文献

Nakada, S., Isoda, Y., Uchiyama, I. (2005): Seasonal Variations of Water Properties and the Baroclinic Flow Pattern in Toyama Bay under the Influence of the Tsushima Warm Current. J. Oceanography., 61, 943-952.

主な成果発表（他 5 件）

１）○中田聡史，小林志保，石坂丞二，林正能 ，渕真輝，中嶋昌紀，秋山諭，山本圭吾，渕真輝，中村一平，浅岡聡，吉江直樹，中川美和，原田慈雄，御所豊穂，瀬戸内海における有色溶存有機物と海表面塩分(SSS)の関係：高解像度 SSS マップの開発に向かって，第二回海洋環境研究集会，神戸大学，2016 年 12 月，神戸.

２）○中田聡史，小林志保，石坂丞二，林正能，渕真輝，中嶋昌紀，秋山諭，有色溶存有機物(CDOM)の観測：陸海連関の理解への鍵，低温研共同利用集会：「陸域と沿岸を繋ぐ問題点抽出のためのワークショップ」，北海道大学，2016 年 11 月，札幌.

３）○中田聡史，小林志保，石坂丞二，林正能，渕真輝，中嶋昌紀，静止海色衛星による海表面塩分の高時空間分解能観測，日本海洋学会 2016 年度秋季大会，鹿児島大学，2016 年 9 月，鹿児島.

４）○Nakada, S., Kobayashi, S., Ishizaka, J. Hayashi., M, Fuchi, M., Nakajima, M. “Analysis of the river plume dynamics in Osaka Bay: a new estimation of sea surface salinity using ocean color satellite images.” Japan Geoscience Union Meeting 2015, Makuhari, Japan, 2016.5.

ERG衛星とMAGDAS地磁気観測網に基づくグローバルPc5波動マップの構築

Global Pc5 wave map based on ERG satellite and MAGDAS magnetometers

藤本晶子、九州大学・国際宇宙天気科学・教育センター

【研究目的】

放射線帯を形成する粒子は直接相互作用して粒子が加速することが難しいため、磁気圏に内在・励起される電磁流体波動やプラズマ波動が粒子加速において重要な役割を担うと考えられている。古典的な断熱輸送過程における有力な候補は，地球の周りを経度方向に周回する放射線帯粒子とPc5 波動(電磁流体波動，変動周期5-10 分程度)とのドリフト共鳴による粒子加速というシナリオである。近年では、複数の内部磁気圏探査衛星計画により、放射線帯電子加速機構に関係するPc5波動の調査報告がなされている[Hudson, 2004; Liu et al., 2009; Claudepierre et al., 2013]。本研究では、九州大学国際宇宙天気科学・教育センターが世界的に展開するMAGDAS地磁気観測網の多点地上磁場観測を活かし、MAGDAS長期間データアーカイブを利用して、経験則に基づき全球規模Pc5波動の発生分布を明らかにする。

【研究内容・結果】

太陽活動周期11年以上に及ぶ九州大学ICSWSEの多点磁場観測データアーカイブを利用して、太陽風特性（速度、磁場強度、動圧）を入力値として、地上磁場Pc5波動の発生分布の経験マップを作成するにあたり、本年度は各地上地磁気観測点毎に、Pc5波動強度の規格化を行った。各観測点の規格化の基底値として、Kp<2時の夜側Pc5波動パワースペクトル密度が適していることを2007～2013年の長期間の地磁気データ解析から明らかにした（図１）。放射線帯電子の異常増加を伴う磁気嵐イベントにおいて、特に赤道域の昼側Pc5波動強度が強まることが確認された（図２）。Pc5波動パワースペクトル密度の時系列データについて詳細に解析したところ、放射線帯電子の減少時は広帯域の周波数特性を示すのに対して、放射線帯電子増加時にはPc5帯のみが顕著に強度が強くなる傾向があった。2016年度は、関連する成果発表は行っていない。

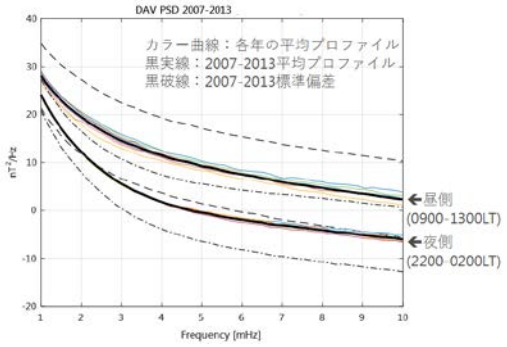


図 1:昼側と夜側の Pc5 波動強度の周波数プロファイル

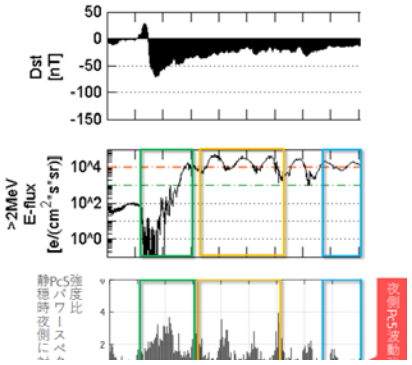


図 2：2010 年 3 月磁気嵐イベント（放射線帯電子異常増加）時の赤道ダヴァオ Pc5 波動強度

雲・降水観測レーダの航空機観測に関しての検討

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

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、2018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

2016年9月13日・14日に名古屋大学で開催された「航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進」研究集会において、“航空機搭載降水レーダへのパルス圧縮利用の検討”という発表を花土が行い、検討状況を紹介した。その後、2017年1月12-13日に花土が名古屋大学へ出張し(*)、高橋教授とその後の進捗に関して議論を実施した。

(*) NICT川村を代表者とする“地上デジタル放送波を用いた水蒸気遅延測定”の共同研究の旅費を利用。

3. 本年度の研究結果

全球降水観測主衛星搭載二周波降水レーダ(GPM/DPR)のエンジニアリングモデルとして作られた、32素子のフェイズドアレイ気象レーダの利用に関して検討を実施した。現在、GPM/DPRがミッション期間であり、同エンジニアリングモデルは軌道上のDPRの不具合発生時の原因究明・回避策の検討用に維持保管されているが、2017年5月にGPM/DPRのミッション期間が完了、後期運用が開始される時に、その役目を終了するため、後利用の方法が検討されている。図1、図2に示すのが航空機搭載降水レーダとしての利用方法で、 32 素子の送信器と受信器の使用方法の一例である。送信は8素子毎に、異なる周波数（f1, f2, f3, f4）を使用し、ファンビーム(約10度)で送信を行う。受信は全32素子で、デジタルビームフォーミングを行う。受信ビーム幅は約2.8度でなる。この方法で、直下方向から±20度を同時に観測することが可能となり、32素子の受信器での A/D データを全ヒット収集できれば、オフライン処理で任意のビーム間隔で降水エコーを合成することが可能であり、空間的なオーバーサンプリング観測の有効性の検討にも利用可能となる。

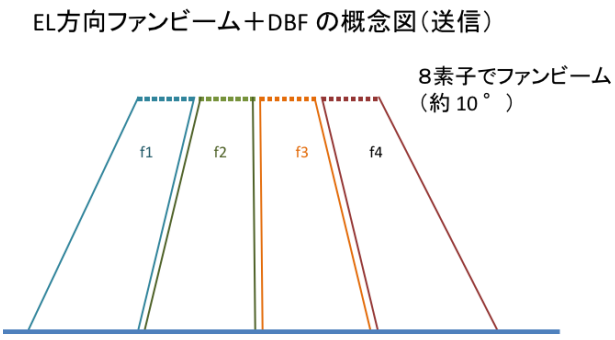


図1　送信8素子ずつファンビーム4方向

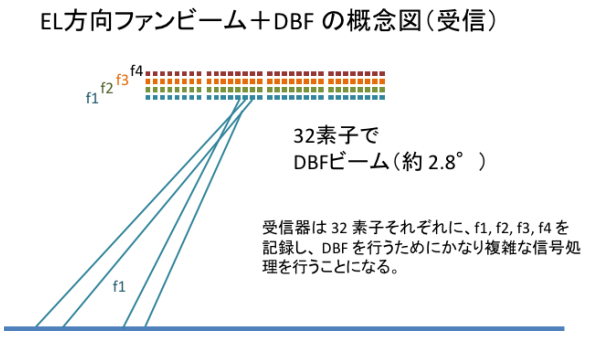


図2　受信32素子のデジタルビームフォーミング

成果発表（口頭発表）

1. 花土, 航空機搭載降水レーダへのパルス圧縮利用の検討, 「航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進」研究集会, 名古屋大学, 2016/9/14.

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

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，毒物の使用に制約を受ける．そこで，水試料中の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わかっており（Kusakabe, 2001），硫酸濃度の高い海水試料では，「沈殿法」による精度の高い分析が難しい．海洋試料では毒物の添加を行える場合が多いが，汽水域や沿岸域で採取される試料では，毒物の添加が難しいため，沈殿法による分析の高度化が求められる．

そこで, 硫酸濃度の高い試料について, 沈殿法とそれ以外の手法で抽出した炭素成分の ^{14}C 濃度や $\delta^{13}C$ 値の比較を実施して，収率と分析結果の比較を行うとともに，試料の希釈によって炭素回収率の向上が図れるかどうかを検討した．

研究方法

試料中の硫酸濃度によって，沈殿法による炭素回収率が影響を受けることはわかっているが，炭素回収率が低下した場合に，^{14}C 濃度や $\delta^{13}C$ の値が影響を受けるのかについて検証するために，いくつかの試料について、沈殿法とヘッドスペース法による炭素抽出を行って，^{14}C 濃度と $\delta^{13}C$ 分析を実施した．検証試料として，国内の ^{14}C 分析機関の相互比較のために配布された RICE-W09～W14 用いた．この試料は試薬から調製されたもので, 硫酸濃度にばらつきがあり，本検証に適している．沈殿法による抽出は名古屋大学にて，ヘッドスペース法（高橋・半田，2014）とバブリング法による抽出は，産業技術総合研究所および国立環境研究所にて行い, グラファイト化および加速器質量分析計による ^{14}C 測定は名古屋大学にて（加速器質量分析装置等利用（共同利用）による），$\delta^{13}C$ 分析は産業技術総合研究所にて実施した．

また，炭素回収率を向上させるために，試料溶液の希釈の効果があるのかを検証した．100mL テクノボトルに人工海水を 0mL，10mL，20mL，50ｍL 入れ，通常の 1/10，1/20，1/30 の濃度で作成した塩化ストロンチウム溶液で満たす（塩化ストロンチウム溶液の溶媒で人工海水試料を希釈したとの認識）．2 週間くらいしたら開栓して，上澄みを棄てて真空凍結乾燥を行った. 回収した沈殿量の測定を行うとともに, $\delta^{13}C$ と沈殿中の炭素量を測定した．凍結乾燥までの実験を国立環境研究所で行い，$\delta^{13}C$ と沈殿中の炭素量の測定は産業技術総合研究所にて行った．

研究結果・考察

炭素回収率は，沈殿法で50%～94%の範囲となり，ヘッドスペース法の87%～100%よりもバラツキが大きく，全体的に低めとなった．$\delta^{13}C$は有意に高い値を示す試料が多くあったが，^{14}C濃度は多くの試料について誤差範囲で一致した．一部には，沈殿法でやや高い^{14}C濃度を示した試料もあったが，炭素回収率は他の試料と大きく異なることはなかった．

今回の試料は，試薬から調製された試料のためか，天然試料と比較して沈殿が早期に形成された印象がある．そのため，硫酸とDICの濃度比に影響されずに，ほぼ等しい^{14}C濃度

が得られた可能性があるが，化学処理を過たずに行うことで，正確な^{14}C濃度測定が可能であることが示された．一方でδ^{13}C分析では，正確な値を得ることが困難な試料があることもわかった．

希釈による収率向上の効果の検討については，添加したアンモニア水が過剰であったためか，ブランクが大きく評価ができなかった．また，真空凍結乾燥もバックグラウンドを高くする要因となった可能性もある．凍結乾燥を実施すると，乾燥前には沈殿が見られない試料にも，塩化ストロンチウムと思われる沈殿が析出していた．これらの洗浄も必要と思われる．今後，実験手順を見直す必要がある．

まとめ

硫酸濃度の割合が高い水試料についても，沈殿法による試料処理を実施して，正確な ^{14}C 分析が可能であると強く期待される結果を得た．ただし，やや高めの ^{14}C 濃度を示すこともあり，注意を要する．δ^{13}C 分析では，正確な値を得ることが困難な場合が多かった．

希釈の効果については，再評価が必要である．アンモニア水の量や洗浄や乾燥処理の見直しにより，沈殿法による試料処理の最適化を行うことで，^{14}C 濃度ばかりでなく，δ^{13}C 分析を高精度で行うことができると思われる．

引用文献

Kusakabe, M. (2001) A simple method for sampling total dissolved carbonate in carbonate-rich natural waters and CO_2 preparation for δ^{13}C determination. Geochem J. 35, 459-464.

高橋浩・半田宙子（2014）ヘッドスペース法による水試料の放射性炭素測定のための前処理法の検討．名古屋大学加速器質量分析計業績報告書，25，180-187.

成果発表

高橋 浩・南 雅代・荒巻能史 (2017) 水試料の放射性炭素濃度の相互比較と前処理手法の検討：RICE-W プロジェクト，名古屋大学年代測定研究, I, 98-101.

（学会等の発表）

高橋 浩・南 雅代・荒巻能史「水試料の化学処理法による ^{14}C 比較プログラム（RICE-W） −結果報告−」，第 19 回 AMS シンポジウム，国立歴史民俗博物館，2016 年 12 月 17 日

高橋 浩・半田宙子・南 雅代・近藤美由紀「水試料の信頼性ある炭素同位体分析のための試料保管法の検討：生物活動の影響をどう排除するか」，2016 年度日本地球化学会年会，大阪市立大学，2016 年 09 月 15 日

Takahashi, H. A., Minami, M. and Aramaki, T. 「Comparison of carbon extraction methods for radiocarbon analysis of DIC in water samples. 」The 26th Goldschmidt Conference，パシフィコ横浜，2016 年 6 月 30 日

高橋 浩・南 雅代・荒巻能史「水試料の放射性炭素濃度の相互比較と前処理手法の検討 : RICE-W プロジェクト」, 第 29 回(2016 年度) 名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定研究シンポジウム，名古屋大学，2017 年 01 月 31 日

レーザーとドローンを用いたメタン空間分布測定システムの開発
Development of a methane spatial distribution measurement system using a laser and a drone

中根英昭、高知工科大学・環境理工学群

１．　はじめに

温室効果ガスとして地球環境に大きな影響を与え、また成層圏の水蒸気の主要な原因物質であるメタンの発生源における発生量把握が重要であるが、チャンバー等により発生源を覆って濃度測定を行うことが可能でない場合は困難である。本研究では、ドローンの使用を視野に置きつつ、オープンパス型レーザーメタン計を用いて、既知のメタン発生量と風下におけるメタン濃度の関係について、風向・風速の時系列データを考慮しつつ関連付け、レーザーメタン計と風向・風速データからメタン発生量を推定する手法の可能性とドローンの必要性について検討することを目的として研究を進め、今年度は、予備的な実験結果を取得したので、以下に報告する。

２．　実験の概要

実験は、2016年11月11日に、高知工科大学グラウンドにおいて実施した。図１に実験の概要を示す。

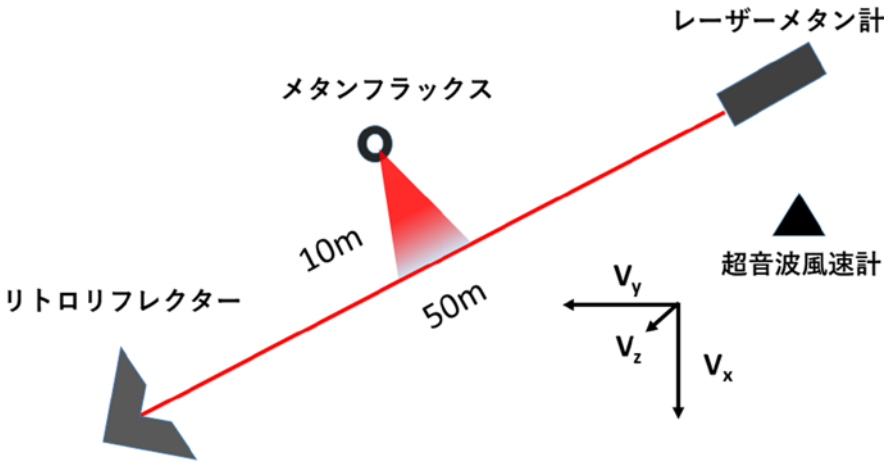


図１　メタンフラックス推定実験の概要

レーザーメタン計をリトロリフレクターによって折り返し、片道光路長50mのメタンの積算濃度（単位；ppm-m）を0.33秒ごとに測定した。レーザーの光路から10mの距離において、ボンベからフローメータを通してメタンを放出した。主な風向は北西であり、実験時間の大部分で、

メタンはレーザーの光路を通過した。メタンの放出は、20L/minを20秒間行い、その後50-60秒放出を止めるパターンを、17.5L/min、15 L/min、12.5 L/min、10 L/min、7.5 L/minについても同様に繰り返し、これを1セットの実験とし、9セット繰り返した。

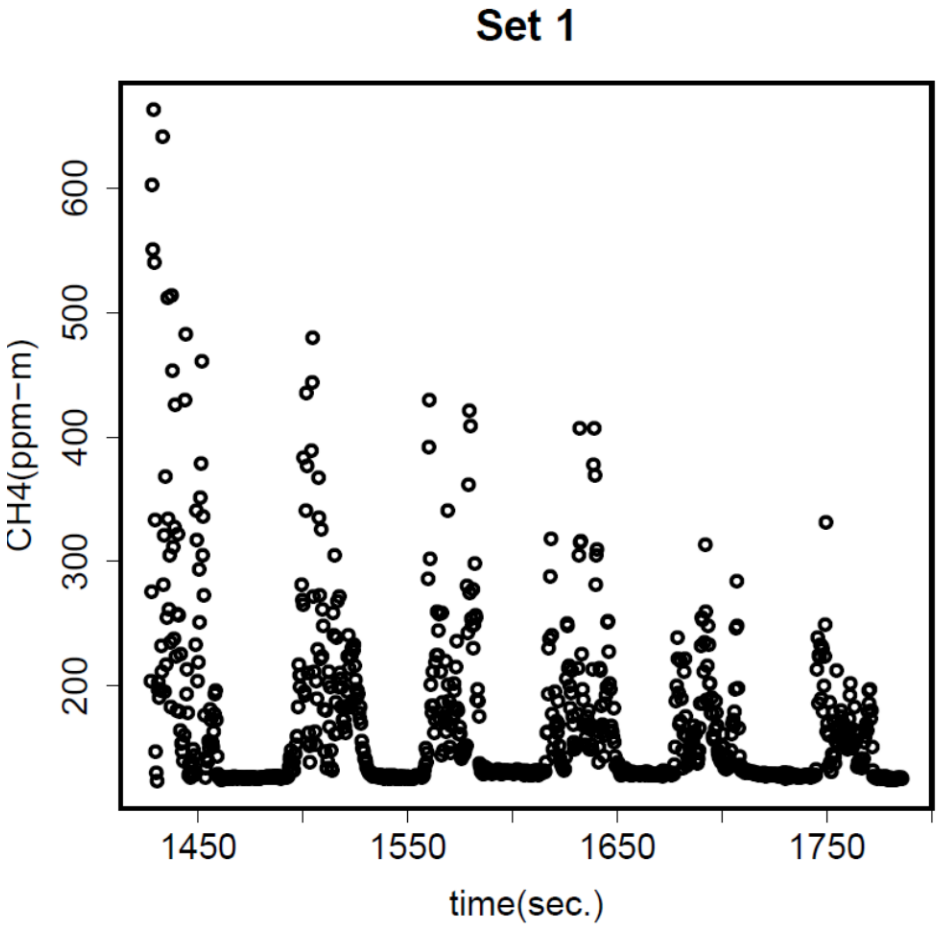


図2メタンフラックスの変化に対応するメタン濃度変化

図2に、測定結果の一例を示す。メタンフラックスを20、17.5、15、12,5、10、7.5L/minに変化させたことに対応して、メタン濃度が変化していることが分かる。濃度は風向、風速の変化によって大きく変化しているが、メタンフラックスと対応するメタン平均濃度は合理的な正の相関を示していることを確認している。

今後、3次元の風データも含めた解析を行う予定である。

自由対流圏における新粒子生成と雲凝結核への成長に関する研究
Study on the formation of new particles and their growth to cloud condensation nuclei in the free troposphere

三浦和彦、東京理科大学・理学部第一部

【研究目的】

大気エアロゾル粒子の気候影響として、太陽光を直接散乱・吸収する直接効果と、雲凝結核として雲の放射特性や寿命を変化させる雲調整効果がある。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第５次報告書によるとエアロゾルの放射強制力の科学的理解の水準はいまだに低い。粒子数が増えると散乱・吸収量が大きくなるだけではなく、雲の放射特性も変わる。粒子数濃度は新粒子生成（気体の化学反応による粒子化）により劇的に増加する。地球規模での影響を考えるとき自由対流圏における新粒子生成が重要であるが、そのメカニズムについては良くわかっていない。

年間を通して自由対流圏内に位置することが多い富士山山頂において夏季だけであるが2006年から粒径分布を測定している。11年にわたる300日間の観測中、236回の新粒子イベントが観測されたが、日中の31.3%に対し夜間47.3%と夜間の方が多い。夜間の新粒子生成は富士山頂に固有の現象であるが、その原因は未解明である。2006年からの全観測データを見直し、夜間の新粒子生成の原因について考察した。

【研究方法】

山頂、富士山測候所（標高3776m）において、夏期のみであるが、2006年から粒径分布を、2010年からCCN濃度（N_{CCN}）を、2013年からフォグモニターにより霧粒（雲粒）を測定している。1号庁舎2階の窓から外気を引き，拡散ドライヤーで20%以下に乾燥させ、走査型移動度分析器(SMPS)と光散乱式粒子計数器 (OPC)を用いて4.4～5000nmにわたる粒径分布（片岡ら，2017）とN_{CCN}（DMT，CCN-100）（佐藤ら，2017）を測定した。フォグモニターを3号庁舎西面に設置し、霧粒濃度を連続測定した（佐藤ら，2017）。

【研究結果と考察】

これまで山岳大気での新粒子生成は下層から前駆ガスが上昇する大気境界層の上端で起こるか、すでに生成された粒子が輸送されて来たものと考えられていたが、新粒子生成イベントが発生する時間を整理したところ、日中イベントの約4割が8～9時に、夜間イベントの約7割が20～22時に開始していることがわかった（図１）。

富士山周辺で大気層の一日周期の上下動があり、イベントの発生頻度のピーク時間に山頂は境界層上部もしくは自由対流圏下部に位置する可能性が示唆された。境界層と自由対流圏の界面で、地上で発生した前駆気体を多く含む大気とCSが低い大気が混合する、NPFに最適な層が形成されると考えられる。

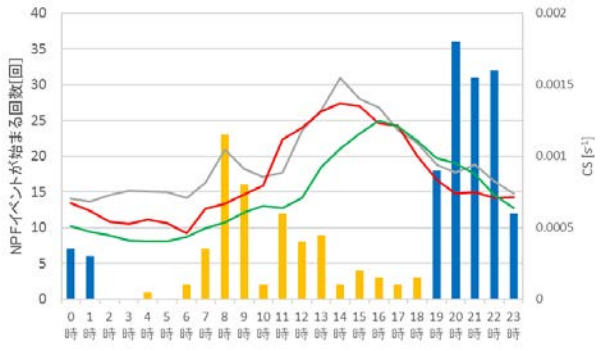


図1. 2006～2016年に観測されたNPFイベントが始まる回数（棒グラフ）と2014～2016年のCondensation Sink（*CS*）（折れ線グラフ）。NPFイベント：日中のイベント（黄色）、青色が夜間のイベント（青色）、*CS*：2014年（灰色）、2015年（赤色）、2016年（緑色）。

後方流跡線解析から推定した由来ごとにCCN活性比，乾燥臨界粒径（D_s）及び吸湿パラメータ（κ）を求めた結果、2015年に比べCCN濃度がやや増加したものの、活性

比は2016年の方が高かった。D_sがやや小さくなったにも関わらず、κの値はほぼ全ての過飽和度において減少した。これは，比較的粒径の大きい粒子が多い大陸やオホーツク由来のエアマスが多数流入したことが原因として考えられ、粒子の化学組成より粒径分布の方が活性比により大きな影響を与える可能性が示唆された。

【まとめ】

(1) 富士山頂における新粒子生成は日中イベントの約4割が8～9時に、夜間イベントの約7割が20～22時に開始していることがわかった。
(2) 2016年の夏は2015年よりCCN活性比が高く吸湿パラメータの値が低かった。その原因は粒径の大きい粒子が多い大陸由来のエアマスが多かったためで、粒子の化学組成より粒径分布の方が活性比により大きな影響を与える可能性が示唆された。

【引用文献】

佐藤光之介ら，日本大気電気学会第95回研究発表会，2017.1.6-7（神戸）
片岡良太ら，33回エアロゾル科学・技術研究討論会，2016.8.31-9.2，大阪府立大学（堺）
渡辺彩水，2015，東京理科大学理学研究科物理学専攻修士論文
渡辺彩水ら，2016，第22回大気化学討論会

【成果発表】

1．研究論文

Ueda, S., K. Miura, R. Kawata, H. Furutani, M. Uematsu, Y. Omori, H. Tanimoto, Number–size distribution of aerosol particles and new particle formation events in tropical and subtropical Pacific Oceans, ATMOSPHERIC ENVIRONMENT, 142, pp 324 - 339, 2016（査読有）

Iwamoto, Y., Kinouchi, K., Watanabe, K., Yamasaki, N. and Matsuki, A.: Simultaneous measurement of CCN activity and chemical composition of fine-mode aerosols at Noto Peninsula, Japan, in autumn 2012, Aerosol and Air Quality Research: 16, 2107-2118, 2016（査読有）

田中清敬，速水　洋，齋野広祥、三浦和彦，板橋秀一，齊藤伸治，都心上空と地上の大気質観測によるPM2.5等の高濃度時の立体解析　ー2015年12月上旬の事例ー、*大気環境学会誌*、52(2)、51-58

三浦和彦，山岳域におけるエアロゾルの物理計測，理大科学フォーラム，33巻，8号 pp 16-18，2016（査読無）

2．図書

藤田慎一、三浦和彦、大河内　博、速水　洋、松田和秀、櫻井達也，越境大気汚染の物理と化学　改訂増補版，成山堂書店，pp310，2017

三浦和彦、山岳大気中の雲凝結核、河村公隆編集代表「低温環境の科学事典」、朝倉書店、50-51、2016

3．学会発表

三浦和彦,富士山頂における大気観測～大陸からの越境大気汚染を監視する～，東京理科大学2016公開講座，東京，2016（招待講演）

Okochi, H., Miura, K., et al., Observation of volatile organic compounds in the ambient air and in cloud water in the free troposphere over Japan, 7th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, Wroclaw, Poland on 24-29 July, 2016

Nakamura, M., K. Miura, Y. Iwamoto, et al., Observation of cloud water chemistry in the free troposphere using Mt. Fuji, 7th International Conference on Fo

g, Fog Collection and Dew, Wroclaw, Poland on 24-29 July, 2016
佐藤光之介, 片岡良太, 岩本洋子, 三浦和彦, 2015, 2016年夏季の富士山頂における雲凝結核の特性,日本大気電気学会第95回研究発表会、2017.1.6-7（神戸）
片岡良太、三浦和彦、岩本洋子、矢吹正教、加藤俊吾、富士山における新粒子の生成・成長、エアマス由来別特徴、33回エアロゾル科学・技術研究討論会、2016.8.31-9.2、大阪府立大学（堺）

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

山崎　了、青山学院大学・理工学部

研究目的：地球磁気圏や惑星間空間などに普遍的に存在する無衝突衝撃波において、プラズマ波動励起・粒子の散逸過程・非熱的成分（高エネルギー宇宙線）の生成過程および高マッハ数衝撃波等で見られる磁場の増幅過程は複雑に相互作用していると考えられる。これらの物理過程を完全に解明するには、衝撃波の長時間スケールの発展を多次元モデルで追う必要がある。これまで申請者らは低マッハ数の無衝突衝撃波のシミュレーションを行い、衝撃波遷移層近傍で励起される種々の波動について調べてきた。ただし、これらは比較的小さなプラズマ・ベータ値をもつ上流媒質中を伝播する衝撃波の計算であり、天体衝撃波の特徴とは必ずしも一致せず、もっと高いベータ値に対する衝撃波の計算が必要である。そこで、平成２７年度に新たに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得た。本研究では、得られたシミュレーションデータを解析し、論文としてまとめることを目指す。

研究方法：我々は高効率の計算手法を取り入れた2次元の電磁粒子コードを新たに開発し、従来の計算方法とは異なって、衝撃波の発展を衝撃波静止系で追うことで長時間の計算機実験を行ってきた。本研究では、アルフベンマッハ数 Ma = 4, 6 の垂直衝撃波の電磁粒子シミュレーションのデータを解析する。それぞれのマッハ数に対してプラズマ・ベータ値 βを 0.08, 0.32, 1.28 と変化させて行ったシミュレーションのデータ（計６通り）がすでにある。

研究結果：暫定的な結果として、ベータ値が大きくなるにつれて、(1) イオンの温度非等方度が小さくなるために衝撃波面のリップル構造のゆらぎが小さくなり、(2) 電子の温度非等方度が大きくなるために衝撃波遷移層での磁力線に平行伝播するホイッスラー波が顕著になり、さらに(3) 衝撃波遷移層での変形二流体不安定性による波動が目立たなくなる、といった傾向を得た。本年度は, Ma = 4 の３通り(β= 0.08, 0.32, 1.28)のシミュレーションのデータを主に解析し、rampからovershoot領域にかけてのイオン・電子の温度非等方度により励起される波動のβ依存性を調べた。本共同研究により昨年11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、磁場に平行方向のイオン温度(T_{para})はramp-overshootでは上流遠方の値とあまり変化せず、磁場に垂直方向のイオン温度(T_{perp})のみが動電場により上昇したとすると、イオン温度比 T_{perp}/T_{para} は大雑把には $(Ma)^2/\beta$ にスケールするという予想が立てられた。そしてシミュレーション結果は解析的見積もりと良く一致することを見た。今後は Ma = 6 の場合について同様の解析を行い、さらに、イオン・電子両方の温度非等方不安定の各モードの線形成長率とシミュレーション結果の比較を行い、論文にまとめることをめざす。

自己無撞着な内部磁気圏数値モデル
Self-consistent Numerical Modeling for the Inner-magnetosphere

天野孝伸(東京大学・理学系研究科)

地球の内部磁気圏領域は平均的には双極子磁場の支配的な低ベータ領域であるが，磁気嵐時などにはプラズマシートからのプラズマ供給によって，リングカレント粒子のプラズマ圧が磁気圧と同程度になることが分かっており，このような場合のプラズマダイナミクスを調べるのが本研究の大きな目的である．特に，内部磁気圏領域での低周波MHD波動(ULF波動)の起源として考えられてきたプラズマ不安定性の理解を目指し，背景プラズマをMHD，リングカレント粒子のみを運動論的に扱い，両者を結合させた数値シミュレーションモデルの開発を行った．

今年度は既存の数値シミュレーションコードを用いて，内部磁気圏を模擬したモデルの構築を行った．具体的には初期条件としては非一様なプラズマ圧や背景のポテンシャル磁場を考え，平衡条件を満たすようにポテンシャル磁場から変形した磁場形状を数値的に求めた．さらに境界条件は反射境界を考え，数値的にも長時間積分に耐え得るモデルの構築に成功した．

一方で，シミュレーション結果からは未だ不安定性励起は再現出来ていないが，この理由として数値的なノイズや散逸の効果が考えられる．そこで，一様系のシミュレーションによってパラメーターサーベイを行い，コードに内在する数値的効果の見積を行った．これにより，数値的散逸の効果が悪影響を及ぼしている可能性が示唆される結果が得られたため，この問題を解決するためにシミュレーションコードの改善を行った．

SuperDARN北海道-陸別レーダーによる超高層大気高精度観測
Reliable upper atmosphere observation with SuperDARN Hokkaido -Rikubetsu radars

行松彰、国立極地研究所・研究教育系

【研究目的】
SuperDARN北海道-陸別レーダーに適用し、流星風観測の高精度化や電離圏FAI研究の高度化に寄与できないか等の検討を行い、可能であれば、上記手法の適用を実施して観測を行い、初期データを得ることが当面の目的である。手法の適用が成功すれば、重要な中間圏界面領域や電離圏の研究の為に必要な従来以上の高精度観測が期待でき、研究発展に重要な寄与をすることが予想される。

【研究方法】
近年(平成23(2011)年度迄に)開始した北海道-陸別短波レーダーによるIQ生時系列データから近距離underdense流星エコーの高度分布が水平面で一様となる様に干渉計データを校正する方法が必ずしも成功乃至確立していない現状があり、SuperDARN communityの中でもその重要性と様々な手法についての議論が出ている。北海道レーダーの場合、アンテナ近傍の水平でない地形による反射波の干渉の影響が考えられ、地形を単純化してモデルに組み入れ、流星エコーの校正に対する地形の影響を検討する必要があると考えられる。また、Ponomarenko元名大客員准教授との議論により、干渉計との位相差及びレンジオフセットを観測データを用いて校正する別の手法の提案があり、これらのいずれかの手法による校正がconsistentに信頼性高く実現できれば、流星エコーを含む近距離エコーの高度推定の高精度化を期待できる。

【研究結果】
新たな提案の干渉計位相差及びrange offsetを考慮した校正手法による校正と高度再計算結果の評価により、校正がある水準で成功していると判断されたが、得られる流星エコー高度は、想定より若干高めである可能性が高い事、他の校正方法による結果との整合性が未確認である事等の問題が残っており、解決には至っていない。本年度は、研究代表者の南極派遣とその準備の為に、本研究課題に多くの時間を割く事が困難となったが、アンテナ近傍の地形の影響について、考察を進めることとした。

【考察】
アンテナ近傍の地形のアンテナパターンの影響について、アンテナ直近の地形の傾きや凹凸、遠方のほぼ平面と近似されるであろう大地のいずれがアンテナパターンに大きく影響するかについての考察等を始めたが、結論には至れていない。厳密には送信波長以下の解像度での詳細な地形データを用いた有限要素法による解析が必要と考えられるが、別の校正手法による結果の正当性についての傍証を得る方法を今後も吟味検討していきたい。
同時に不明確なまま残っているデジタル受信ボードのドライバーソフト関連のバグの可能性について、早急に突き詰めて、不明確な点をできるだけ排除していくことが重要であり、高精度観測の早期確立を今後も目指したい。

【成果発表】
Kawano, H., A. S. Yukimatu, Y. Tanaka, S. Saita, N. Nishitani, and T. Hori, SC-triggered 1.6mHz waves including an interval with latitude-dependent phase shift, observed by the SuperDARN Hokkaido East Radar in mid latitudes: Possible global magnetospheric cavity-mode waves and their field-line resonance with poloidal Alfven-mode, Memoirs of the Faculty of Science, Kyushu University, Series D, Earth and Planetary Sciences, XXXIV, 1, 1-15, 2016.
Yukimatu, A. S.,. Design of upgraded antenna for Syowa radars, SuperDARN Workshop 2016, Faibanks, Alaska, USA., 2016.5.31.
Hori, T., A. S. Yukimatu, and N. Nishitani, Development of a detection method for Pc1-range ionospheric MHD waves using SuperDARN, The 7th Symposium on Polar Science, NIPR, Tokyo, 2016.11.29.
Yukimatu, A. S., SENSU radars in 9th 6-year JARE project, 極域・中緯度SuperDARN研究集会, NIPR, Tokyo, 2016.8.9.
Sato, N., A. S. Yukimatu, Y. Tanaka, T. Hori, and A. Kadokura, Morphology of Omega band aurora observed by THEMIS all-sky imagers, 2016 AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, 2016.12.12.

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

大嶋晃敏・中部大学・工学部

【研究目的】

本申請研究の目的は、惑星間空間磁場（IMF）の影響を受ける低エネルギー銀河宇宙線の観測を通じて、銀河宇宙線の伝播機構の理解につながる物理量を実験的に決定することである。地球近傍の惑星空間での低エネルギー銀河宇宙線は IMF との相互作用の結果、複雑な流れを形成すると考えられる。地球上にある観測装置でこのような銀河宇宙線の流れを観測した場合、IMF の構造やその時間変動を反映した異方性として現れる。太陽活動に伴って変動する IMF の構造は宇宙線の流れに影響を与え、種々の異方性として観測される。このような IMF の中で観測される宇宙線の異方性を通じて、宇宙線の伝播機構への理解を深める。本申請研究により、近傍宇宙における銀河宇宙線の流れを測定し、IMF と銀河宇宙線の相互作用への理解を深めることができる。また、太陽圏における銀河宇宙線の伝播についての理解が深まることにより、より規模の大きい恒星間空間磁場における宇宙線の伝播機構に対して新たな推察を与えることができると考えている。

【研究方法】

本申請研究では、GRAPES-3 実験（インド）のミューオン検出器、本研究所の多方向宇宙線ミューオン望遠鏡（東山)、および東京大学宇宙線研究所明野観測所のミューオン検出器による銀河宇宙線の観測データを用いる。上記のミューオン検出器は、日本とインドで運用されており、地理経度の違いと地球の自転を利用した連続観測と多方向同時観測が可能である。現在、明野観測所と GRAPES-3 のミューオン検出器では、拡張作業並びに再整備作業が実施されている。したがって本年度の実施作業は主にこれらの作業活動と今後の打ち合わせに終始したものとなっている。これら作業が完了した後に、名古屋ミューオン望遠鏡のデータと合わせた解析を行う予定である。

【研究活動報告】

GRAPES-3 実験では現在、ミューオン検出器の拡張作業が行われている。空気シャワーアレイの北側に新設されるミューオン検出器は、2016 年 12 月現在、約 2,200 本の比例計数管の製作が完了し、屋外への設置作業が始まっている（Figure 1)。これまでの R&D により、比例計数管の製作と特性試験の一連の作業手順が確立し、作業効率が大幅に向上した。また、新ミューオン検出器の稼働に



Figure 1　比例計数管の屋外への設置作業（2016 年 12 現在)。

合わせて、アンプ回路とディスク回路を開発し、試験セットアップで性能試験を行っている（Figure 2)。さらに DAQ 回路系を FPGA ベースに置き換えることで各回路モジュールを集約し、コンパクトかつ高性能なものに移行する予定である。2016 年 10 月まで約 1 年間、大阪市立大学の林嘉夫氏がインド Ooty に滞在し、これらの作業の指導を行った。2017 年 3 月には中部大学の柴田祥一氏と大阪市立大学の川上三郎氏が渡印し、インド側共同研究者らと論文のまとめ作業を行った。2016 年 10 月と 2017 年 3 月には、中部大学で GPRAES-3 のデータ解析に関する議論と明野ミューオン検出器の再整備に関してミーティングを行い、広島市立大学の田中公一氏が中部大学に来校した。



Figure 2　比例計数管およびフロントエンド回路の性能試験（8 Layer = 8 fold)。

明野ミューオン検出器は現在、大規模な改修作業を実施されており、GRAPES-3 ミューオン検出器の拡張作業と併せた観測の再開を目指している。

【研究成果】

本申請研究に関連する成果として、2 篇の査読論文が出版された。一つは、CME 到来に伴って GRAPES-3 ミューオン検出器で観測された宇宙線突発に関する報告[4]で、他は宇宙線の気圧効果係数についての報告[5]である。また現在、宇宙線強度と大気温度の関係を GRAPES-3 ミューオン検出器のデータを用いて議論した論文（「Dependence of the muon intensity on the atmospheric temperature measured by the GRAPES-3 experiment」）を投稿中であること、地球近傍での宇宙線の拡散係数を GRAPES-3 ミューオン検出器のデータを用いて推定した論文を用意している。その他、以下の関連学会・研究集会で発表した。

【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(18)」
　小島浩司、柴田祥一、大嶋晃敏他、日本物理学会　2016 年秋季大会、24aSQ-7
2.　「GRAPES-3 実験拡張計画の進捗報告」
　大嶋晃敏、小島浩司、柴田祥一他、日本物理学会　第 72 回年次大会、17aK21-1
3.「Current Status of the expansion for the GRAPES-3 project」
　大嶋晃敏、柴田祥一、小島浩司他、「平成 28 年度 ISEE 研究集会」

【投稿論文】

4.　“Transient Weakening of Earth’s Magnetic Shield Probed by a Cosmic Ray Burst”　P.K. Mohanty et al., Phys.Rev.Lett.117, 171101(2016)
5.　“Fast fourier transform to measure pressure coefficient of muons in the GRAPES-3 experiment”, P.K. Mohanty et al., Astroparticle Physics, Vol.79, 2330(2016)

海水準変動や気候変動が河川・海岸地形の形成に与える影響の解明
Landform evolution of coastal and fluvial lowlands in response to sea-level and climate changes

堀　和明（名古屋大学・環境学研究科）

【研究目的】

本研究では，後期更新世から完新世の海水準変動や気候変動が，河川河口部や氾濫原の地形・地層形成過程に与える影響とその空間的差異を明らかにすることを目指している．とくに次の 2 つ，(1) 最終氷期の海水準低下期に形成された開析谷を充填する堆積物，(2) おもに寒冷地域の氾濫原に広く分布する泥炭層，について多地点で採取した堆積物に含まれる貝殻片や泥炭，木片などを用いて加速器質量分析計（AMS）による放射性炭素年代測定をおこない，堆積時期や堆積速度を高分解能で決定していく．研究対象地域は日本および海外の沖積低地である．

【研究方法】

台南平野で採取された堆積物に含まれていた貝殻片や植物片などを約 100 点選定し，放射性炭素年代測定を実施した．試料については，超音波洗浄，酸–アルカリ–酸処理などを施した後，試料中の炭素を二酸化炭素として抽出し，二酸化炭素からグラファイトを作製した．グラファイトは Direct AMS へ送付し，AMS による放射性炭素年代測定を実施した．

鹿児島県の肝属平野において，ハンドオーガーを用いて最大深度 4.5 m の試料を 28 地点で採取した．泥炭や有機質泥層を定量的に区分するために 10 cm 間隔で強熱減量を測定した．また，堆積物に含まれていた植物片，枝，木片 9 点について，超音波洗浄，酸–アルカリ–酸処理を施した後，Direct AMS へ送付して放射性炭素年代測定をおこなった．

また，これまでに年代測定が実施された石狩低地や天竜川扇状地については，低地の形成と海水準変動や気候変動との関係を議論した（Ishii et al., 2016; Hori et al., 2017）．

【研究結果と考察】

台南平野については，深度約 180 m にみられる堆積物が最終氷期最盛期前後に堆積したと考えられる．これは台湾南西部の沈降速度が大きいこと，流域からの土砂供給量が大きいことを反映している．

肝属平野の氾濫原では最上部の泥炭層の下位に細～中礫を含む砂層が主に分布していることが明らかとなった．これらの砂層はクレバススプレイと解釈され，クレバスプレイの放棄にともない泥炭層が形成されるようになったと考えられる．泥炭層の形成開始時期は約 6500 cal BP 以降であった．約 4600 cal BP に降下したと推測されている霧島御池テフラ（Kr-M）の堆積前後に泥炭層の形成が終了し，その上位には有機質なシルトが 1～2 m 程度堆積している．今後は，泥炭層の形成終了前後の層準について年代を密に測る必要がある．

【成果発表】

Hori, K., Nagasawa, S., Sato, Y., Nakanishi, T., Hong, W. (2017): Response of a coarse-grained, fluvial to coastal depositional system to glacioeustatic sea-level fluctuation since the Last Glacial Maximum: An example from the Tenryu River, Japan. Journal of Sedimentary Research, 87, 133-151.

Ishii, Y, Hori, K., Momohara, A., Nakanishi, T., Hong, W. (2016): Middle to late Holocene decreased fluvial aggradation and widespread peat initiation in the Ishikari lowland (northern Japan). The Holocene, 26, 1924-1938.

花粉分析による高分解能なアジア地域の植生変遷史の解明
High-resolution vegetation history in Asia using pollen analysis

藤木利之　岡山理科大学理学部基礎理学科

はじめに

平成 28 年度から 5 年計画で文部科学省科学研究費補助金新学術領域研究（研究領域提案型)「パレオアジア文化史学 - アジア新人文化形成プロセスの総合的研究 -」が推進されている。その計画研究「アジアにおけるホモ・サピエンス定着期の気候変動と居住環境の解明」（研究代表者：北川浩之）の研究分担者としてアジア各地の遺跡及び湖沼堆積物から採集した試料の花粉分析を実施し、アジア各地の植生変遷史の解明を行っている。

アジア各地の花粉分析から植生変遷史を解明するうえで特に重要な作業は、正しい年代編年の確立である。多くの場合、十分な時間分解能で花粉分析を実施が行われても、そのデータを解釈するうえで十分な年代測定が実施されていなく、花粉分析結果が十分に活用できていない。

本共同研究では、岡山理科大学で実施している加速器質量分析法による炭素 14 年代測定の試料の前処理方法の再検討を行う。炭素 14 年代測定に必要となる試料の前処理方法（化学的な処理）を確立することで多数の試料の炭素 14 年代測定を可能とし、アジア地域の植生変遷史を明らかにする。

実施事項

遺跡、湖沼堆積物の炭素 14 年代測定は、植物遺体を対象として実施される。研究代表者の研究室では試料に AAA 処理（酸・アルカリ・酸処理）を行っている。AAA 処理法は一種の化学成分分離法であり、その実験条件によって分離される化学成分が異なることが知られている。AAA 処理法は、極一般的な試料処理方法であるが、その手順の詳細は実験室ごとに異なっている。特に、アジア新人文化形成を考えるうえで重要な時代（4 万年以前）の試料に関しては､AAA 処理の実験条件で異なった年代が得られることが論じられている。今年度は、研究代表者の研究室と宇宙地球環境研究所年代測定部で実施している方法との詳細の比較を行った（研究室間の相互比較)。さらに、AAA 処理後の試料に、燃焼・二酸化炭素の分離・二酸化炭素の還元（グラファイトの生成）作業を行い、加速器質量分析を行う。研究代表者の研究室でグラファイトの生成を行うための意見交換を行った。

今後の課題

宇宙地球環境研究所の加速器質量分析装置が順調に運用された後、本年度おこなった AAA 処理法のラボ間比較実験を実施し、信頼できる炭素 14 年代が得られる AAA 処理法について検討を行う。将来的には、宇宙地球環境研究所年代測定部のスタッフと協力のもと、宇宙地球環境研究所加速器質量分析施設の炭素 14 年代測定に関わるサテライト・ラボを確立する予定である。

2台の低バックグラウンドベータ線計数装置による遠隔地間のバックグランド時間変動の測定

Measurements of background rates between two 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、ISEE と山形大学に設置している低バックグラウンドベータ線計数装置(Quantulus)を用いて地表付近での宇宙線中性子強度およびミュ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、中性子モニターのデータおよび山形大学で連続観測している宇宙線生成核種 Be-7 の日変動と比較することを目的としている。Quantulus は、液体シンチレータ試料を鉛遮蔽体（670kg）とガード用液体シンチレーションカウンター（ガード・カウンター）で囲んだ構造を持ち、バックグラウンドを極力除去して試料からのβ線を測定する装置である。試料からの信号は、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として取得される。ガード・カウンターは中性子にも感度があり、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によると考えられる。

本研究では ISEE と山形大学の２地点に設置した Quantulus を同時期に稼働させガード・カウンターおよび同期信号の計数値変化を記録し約６００ｋm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、宇宙線生成核種データおよび中性子モニターデータと比較し、地表付近の放射線環境の遠隔地地表での宇宙線の短時間時間変動への反応について調べることを目的とする。

研究方法

本年度は、ISEE の Quantulus の移設稼働が整わなかったため、2 地点での同時測定を行うことができなかった。そこで山形大学の Quamtulus により 12.5g の液体シンチレータ（ウルチマゴールド）を試料として 10 日間の連続バックグランド測定を行った。

結果

図１、図２は、約600 kgの鉛シールドで囲まれたガード・カウンター（液体シンチレータ）信号（G信号）、ガード・カウンターとバイアル試料の同時信号（C信号）の波高分布をそれぞれ示している。図３は、G信号のピーク領域（H-channel）とそれ以外の低チャネル領域（L-channel）の10日間の計数値（cps）プロファイルである。３月１４日から１５日にかけてピークを示している。さらに、図４は、G信号のH-channelとC信号のH-channelの（cps）プロファイルである。C信号も３月１４日から１５日にかけてピークを示している。C信号の立体角は小さく、G信号の立体角は相対的大きくG信号には中性子成分も含まれていると考えられるが、計数プロファイルは同様であった。

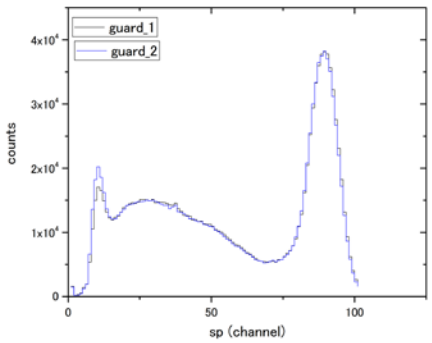


図１　ガード・カウンターで得られた信号のヒストグラム

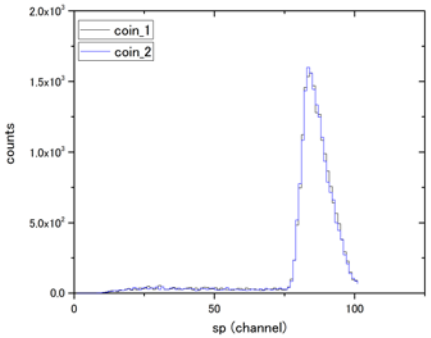


図２　ガード・カウンターとバイアル試料の同時信号のヒストグラム

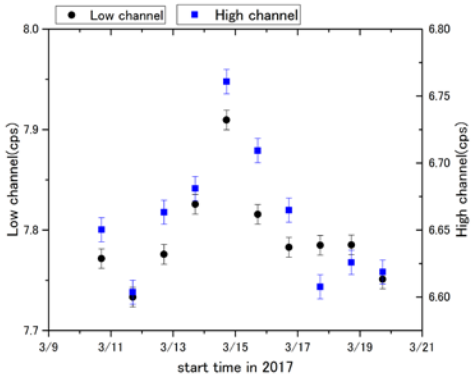


図３　ガード・カウンター信号のピーク領域とそれ以外の低チャンネル領域（Lの 10 日間のプロファイル

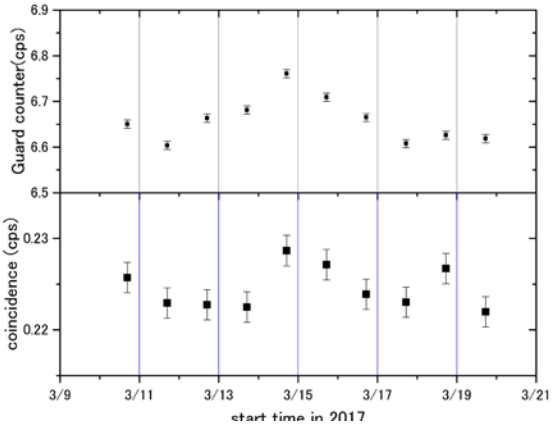


図４　ガード・カウンター信号のピーク領域とガード・カウンターとバイアル試料の同時信号のプロファイル

G 信号および C 信号の計数の相対誤差は、各々 0.13%および 0.7%であった。また、G 信号および C 信号のピーク計数は、裾の計数より各々２％および 3%増加している。この要因として大気圧の変化が考えられる。

図５は、山形大学から１ｋｍ程度のところにある山形市気象台の気圧観測データである。３月１５日に気圧の谷があることが分かる。対応する気圧の変化は 1%である。計数変化は気圧変化より大きいが、気圧変化が要因の一つであると考えられる。

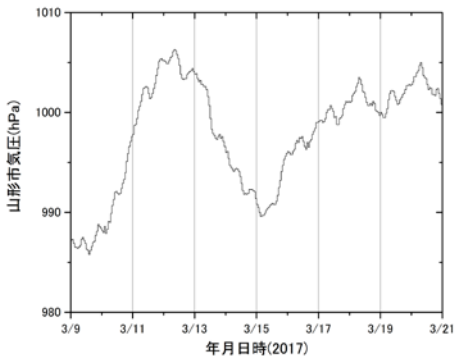


図５　山形市気象台の気圧観測データ

衛星リモートセンシングを利用した大規模湖における クロロフィル*a*・SS濃度の推定

Estimation of chlorophyll-*a* and SS concentration in the great lake using satellite remote sensing

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，温暖化に起因すると疑われるさまざまな問題（湖底付近の貧酸素化，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，水圏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は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 km^2）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，衛星リモートセンシングを利用することにより，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。また，この測定において，精度低下の原因となっている懸濁物質濃度（SS）の測定も同時に行い，クロロフィル*a*濃度の測定精度向上を試みた。

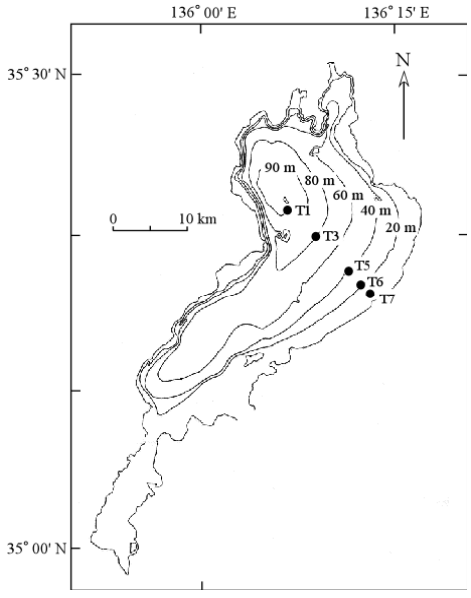
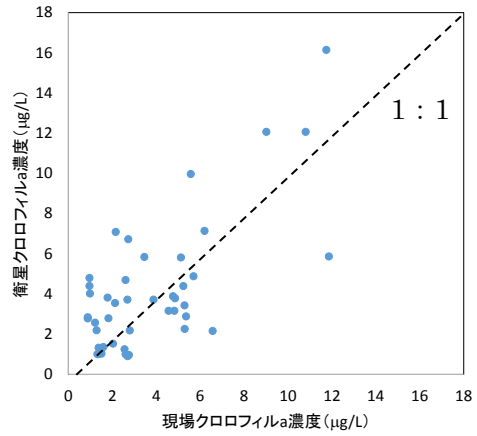


図 1. 調査地点 (5 地点 : T1～T7)

【方法】2016年4月～12月（観測回数：9回），琵琶湖北湖（観測地点：5地点）において船舶観測と衛星観測を同時に行った（**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。衛星観測では，人工衛星搭載型海色センサー（MODIS）によって測定された衛星リモートセンシング反射率（Rrs_{sat}：412～667 nm，level2）をOcean Color Web（NASA）から取得した。なお，取得したRrs_{sat}は上記の船舶観測と同日かつ船舶観測地点からもっとも近い場所における値である。これらの観測結果から，琵琶湖に対応した水中生物光学アルゴリズム（O’Reilly et al.1998）の改良と林ら（2015）に基づいたRrs_{sat}の補正を行い，衛星クロロフィル*a*濃度推定の高精度化を行った。

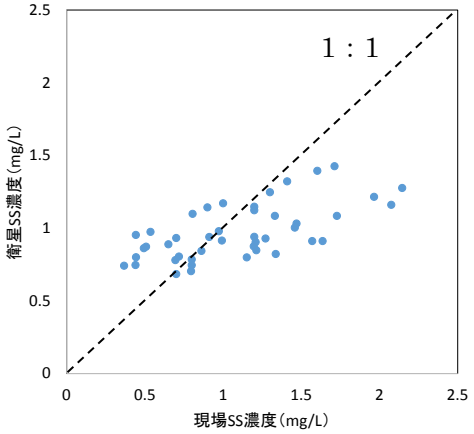
【結果と考察】

クロロフィル*a*濃度と懸濁物質濃度の推定精度



衛星クロロフィル*a*濃度は現場クロロフィル*a*濃度と顕著な正の相関関係（R^2 = 0.50, n = 44）にあった（**図2**）。本研究で採用したリモートセンシング反射率の補正法および琵琶湖対応型水中生物光学アルゴリズムを用いることよって，琵琶湖北湖におけるクロロフィル*a*濃度を比較的精度良く（RMSE = 2.38, bias = 0.38）推定できることが確認された。

図2. 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



衛星SS濃度と現場SS濃度との間には正の相関関係（R^2 = 0.42, n = 44）があった（**図3**）。しなしながら，衛星SS濃度は現場SS濃度がおよそ1 mg L^{-1}以上において過小評価の傾向にあった（RMSE = 0.383, bias = 0.12）。琵琶湖では代掻き時や出水時に濁水が大量に流入するため，これらの時期における衛星SS濃度の解釈には注意する必要がある。

図3. 衛星SS濃度と現場SS濃度との関係

琵琶湖における衛星クロロフィル*a*濃度の時空間分布変動

2016年の琵琶湖北湖における月平均衛星クロロフィル*a*濃度は3.3～24.0 μg L^{-1}の範囲を変動していた（**図4**）。3月から4月にかけて衛星クロロフィル*a*濃度は急増し，その後，7月まで高濃度を維持した。8月に最低濃度（平均2.9 μg L^{-1}）を示した後，9月から11月にかけて増加，12月に最大（平均24 μg L^{-1}）となった。例年，琵琶湖北湖の秋期から冬期は大型珪藻が優占するが，2016年は大型緑藻*Micrasterias hardyi*が優占種となっていた。11月と12月の分布からは，琵琶湖全域で大型緑藻を中心とする植物プランクトンが高濃度に分布していることがわかる。

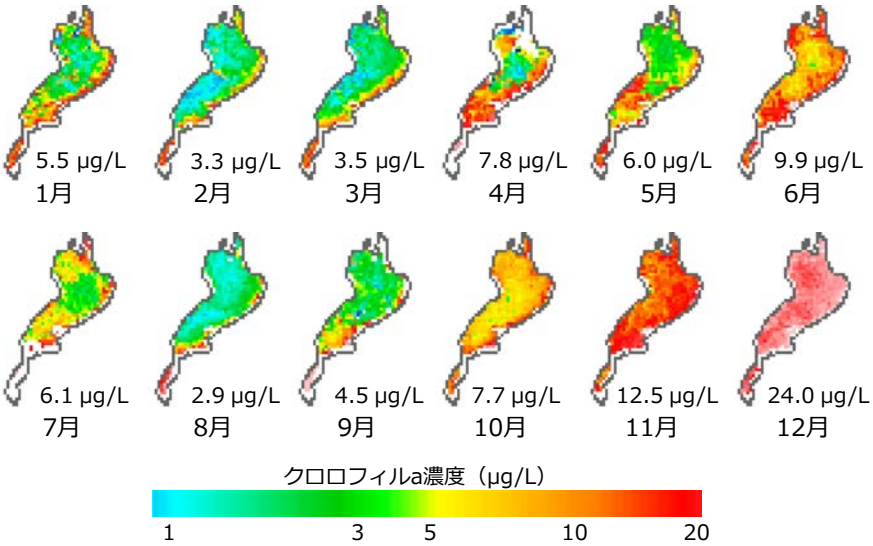


図4. 琵琶湖における衛星クロロフィル*a*濃度分布（2016年）
図下の数値は月平均値を示す。

【引用文献】

林ら（2015）伊勢･三河湾におけるMODISとSeaWiFSのクロロフィルa濃度の検証と改善．日本リモートセンシング学会誌，35（4）：245-259.

O’Reilly J. E. et al.（1998）Ocean color algorithms for SeaWiFS. Journal of Geophysical Research, 103, 24937-24953.

【成果発表】

塚本浩貴，後藤直成，林正能，石坂丈二（2016）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*濃度分布の推定．海洋・湖沼リモートセンシング研究会，9月24日，広島大学．

沖縄の大気エアロゾルに含まれるフミン様物質のキャラクタリゼーション
Characterization of humic-like substances in atmospheric aerosols over Okinawa

持田陸宏、名古屋大学・大学院環境学研究科

有機物は大気エアロゾルを構成する主要成分のひとつであり、吸湿性などエアロゾルの気候影響に関わる性状に寄与していると考えられる。しかし、大気エアロゾルに含まれる有機物は複雑な組成を持ち、有機物の性状を規定するその化学構造に関する知見は乏しい。本研究では、長距離輸送された大気エアロゾルの特徴を有していると考えられる、沖縄本島の北部において採取されたエアロゾル試料を用い、そこに含まれる有機物の化学構造の特徴について調べるための実験を進めた。

実験は以下のように行った、まず、2015年の秋季に沖縄本島北部において大気エアロゾルを捕集した石英フィルタから、直径34 mmのフィルタ片をそれぞれ3枚切り抜いた。これらのフィルタ片をバイアルに入れ、水を加えて超音波抽出を行った後にろ過する操作を3回繰り返し、水溶性成分の試料とした。また、メタノールを用いて3回、さらにメタノール／ジクロロメタン混合溶媒（v:v=1:2）を用いて3回の超音波抽出・ろ過を行い、ロータリーエバポレータによる溶媒の除去とメタノール／ジクロロメタン混合溶媒の添加を経て非水溶性成分の試料を得た。そして、得られた水溶性・非水溶性試料をアルゴンガスとともにアトマイザによって噴霧し、高分解能飛行時間型エアロゾル質量分析計に導入して質量スペクトルの計測を行った。このとき、質量スペクトルの測定には質量分析計のVモードおよびWモードを使用した。なお、上記の手順で試料が実際に抽出され検出されているかどうかについては、後述するように今後の確認を要する段階にある。このほか、ポンチを用いてエアロゾルを採取した石英フィルタからフィルタ片を切り出し、炭素分析計を用いてエアロゾル試料に含まれる炭素成分の分析を行った。

現時点では、まだ取得したエアロゾル質量スペクトルの解析を進めておらず、今後の課題として残されている。また、炭素分析で得た測定値に関しては、その代表性について検討を要することが判り、測定対象としたエアロゾルの特徴付けのためには、更なる分析が必要だと考えられる。当初の計画では、水溶性成分からフミン様物質を抽出した上、その赤外吸収スペクトルの取得・解析と、炭素分析に基づくサーモグラムの解析を行う予定であったが、これらは未実施の課題として残された。エアロゾル試料の採取地である沖縄は、アジア大陸などから長距離輸送されたエアロゾルの受容域に位置すると考えられ、化学的な変質（エイジング）の進んだ有機物を含むことが考えられる。今度、今回得たスペクトルの解析やフミン様物質を対象とした分析を行うことで、変質した有機エアロゾル成分の特徴付けを進めることを検討したい。なお、関連するプロジェクトでは用いたエアロゾル試料の吸湿成長度の解析を行っており、取得したスペクトルの解析は、その解釈に役立つ可能性がある。

謝辞：本研究は、名古屋大学大学院環境学研究科の藤成広明氏の協力により行われた。

森林大気の二酸化炭素の^{14}Cの高精度分析に向けた試料調整法の共同開発

Co-development of sample preparation method for high-precision ^{14}C measurements of forest CO_2

近藤美由紀　国立環境研究所環境計測研究センター

はじめに

森林内の炭素循環メカニズムの理解に向け、微気象学的手法（渦相関法）や生態学的手法を用いた現地観測が実施されてきた。近年、従来の方法と合わせて、森林大気の二酸化炭素の炭素安定同位体比や炭素 14 濃度をモニターすることで森林内の炭素循環のメカニズムの解明が進められている。通常の森林大気の二酸化炭素の炭素 14 濃度の測定では、現場で 2 L～10 L 程度の大気を金属・ガラス製の容器に捕集し(高精度の炭素 14 濃度の測定をするためには 6L 程度の大気が必要)、その後、実験室に持ち帰り、試料処理用の真空ライン等を用い大気から二酸化炭素を分離して炭素 14 濃度測定が実施されている。微気象学的手法や生態学的手法で得られるデータと同等の時間分解能で炭素 14 濃度データが得られることが望まれるが、試料採集容器の輸送や現場での設置に関わる諸問題から、現状では多数の大気試料を対象とした体系的な調査を行うことは極めて困難である。森林大気の二酸化炭素の炭素安定同位体比や炭素 14 濃度データを有効に活用して森林内の炭素循環のメカニズムの理解を促すためには、新たな二酸化炭素の捕集装置の開発・実用化が望まれる。

実施内容

大気中の二酸化炭素を現場で捕集する方法として、アルカリ吸着法（NaOH 水溶液に吸収）が考案されている。アルカリ吸着法は、二酸化炭素の捕集容器と携帯式小型ポンプを準備することで実現可能で導入しやすいという利点があるが、二酸化炭素の捕集時の同位体分別が引き起こされ(炭素 14 濃度測定には問題はないが、別途、炭素安定同位体分析用の試料の採集が必要となる)、二酸化炭素捕集後のアルカリ溶液の輸送の問題が残される（本共同研究で確認)。さらに、実験室でアルカリ水溶液から二酸化炭素を脱離させる作業に手間と時間を要し、多数の試料を処理することは困難である。近年、元素分析、炭素安定同位体分析、加速器質量分析法による炭素 14 測定の自動試料処理等において、二酸化炭素をモリキュラーシーブに選択的に捕集する方式（以後、「モリキュラーシーブ吸着法」という。）が使われている。「常温では二酸化炭素が選択的に捕集され、加熱することで二酸化炭素が脱離される」というモリキュラーシーブが備える特性を利用したものである。この方法を二酸化炭素の捕集に応用すれば、多試料の採集に有効な二酸化炭素捕集装置の開発が可能と考えられる。

本共同研究では、実際の現場での作業を考え、装置の小型・軽量化に向けた小型捕集装置の設計を行うとともに、本方法の確立の基本となるモリキュラーシーブへの二酸化炭素の吸着及びその同位体分別効果の評価を行った。

二酸化炭素のモリキュラーシーブ吸着実験の結果

大気の圧縮ガス（約 400ppm CO_2）を試験用ガスとして、モリキュラーシーブ吸着実験を行い、次の結果を得た。①LTA 型ゼオライト（空孔直径 4.2 オングストローム、タイプ 4A)、FAU 型ゼオライト（空孔直径 7.8 オングストローム、タイプ 13X)のモリキュラーシーブは二酸化炭素を選択的に捕集する。②数グラムの 13X

モリキュラーシーブを内径 4 mm・長さ 5 cm のチューブに充填した小型捕集管(本実験ではガラス製捕集管を使用)でも、大気中の二酸化炭素をほぼ 100%の効率で捕集することが可能である（4A モリキュラーシーブより捕集効率が高い)。③捕集された二酸化炭素は、13X モリキュラーシーブを～500℃で加熱することで 100%脱離できる。④13X モリキュラーシーブへの二酸化炭素の吸着・脱離過程では、明らかな同位体分別が起きない（大気中の二酸化炭素を冷媒捕集法（従来法）で分離し測定した炭素安定同位体比と一致)。

将来展望

加速器質量分析法による炭素 14 濃度測定に必要な量の二酸化炭素が、数グラムの 13X モリキュラーシーブに捕集されることを確認した。現在、今年度実施した基礎実験の結果を踏まえ、モリキュラーシーブを使った大気中の二酸化炭素を現場で捕集する装置の実用化に向けた研究開発を引き続き進めている。捕集装置の設計に際し、①海外フイルド等の利用を念頭にした装置の小型・軽量化、②日内変化等を調モニター可能な二酸化炭素捕集の自動化（無人オペレーション)、③同位体分別の引き起こされない二酸化炭素の捕集を検討した。１つのアイデアとして、「モリキュラーシーブカートリッジ」（ガラス管にモリキュラーシーブを密封）の利用を検討している。この方法を確立できれば、大気中の二酸化炭素の捕集装置一式を小型スーツケースで運搬でき、従来の大気中に二酸化炭素の試料採取時の諸問題が克服できるものと考えられる。

セジメントトラップ実験による福島沖底層生態系における放射性物質の移行過程に関する研究
Transfer of radiocaesium in benthic ecosystems off the coast of Fukushima: sediment trap experiment study

石丸隆、東京海洋大学・海洋システム観測研究センター

【研究目的】

2011年3月11日の福島第一原発事故によって拡散した放射性物質は周辺海域の海洋生物に移行し、特に魚介の汚染を通じて水産業に大きな影響を与えている。2011年7月から実施してきた震災復興プロジェクト航海による現場調査によって、第一原発南方50ｋｍに渡る沿岸域において底生生物の汚染が確認され、この海底生態系の汚染レベルは表層生態系に比べて高いことが明らかになっている。この要因として、海底に沈降および再懸濁する低密度粒子が高い放射性セシウム濃度を持ち、それらがデトリタス食性生物を介して海底生態系に移行し、系内で長時間滞留することが推察される。そこで本研究では、第一原発周辺域におけるセジメントトラップ実験によって粒子を介した放射性セシウム（^{134}Cs・^{137}Cs）の鉛直フラックスを時系列で実測し、底層粒子の挙動が底層生態系への放射性物質の移行･集積に対してどのように影響するのかを定量的に評価することを目的とする。

【研究目的】

福島沖観測点 TRY（37_05N, 141_6.5E、水深 90 m、図 1）においてセジメントトラップ係留実験を実施し、沈降粒子試料(約 80 m 深)を時系列で採取した（図 2）。実験期間は 2016 年 6 月 12 日~9 月 24 日であり、１試料あたりの捕集期間は 4 日である。係留系の設置および回収は、おしょろ丸 26 次航海（レグ１）/北海道大学水産学部と神鷹丸航海 SY-16-08/東京海洋大学で行った。

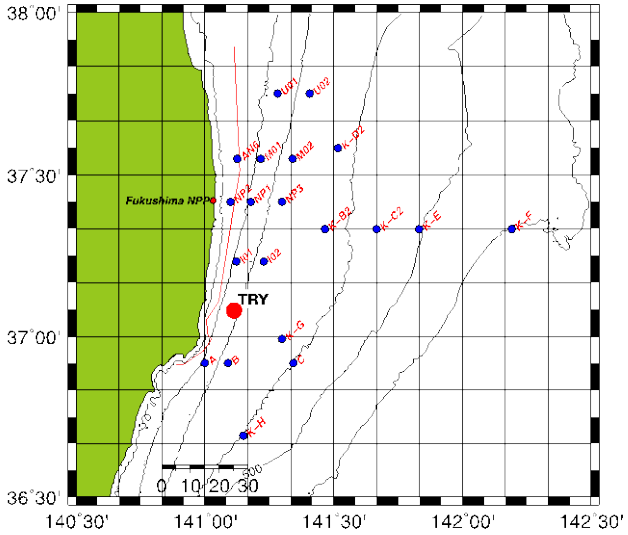


図 1.　係留系設置点 TRY



図 2.　係留系の設置風景（おしょろ丸）

【結果・考察】

粒子試料の化学分析は未実施のため、ここでは粒子重量フラックス（Total Mass Flux）の結果を示す。TMF 平均値＝8.3±20.8 g m^{-2} d^{-1}であり、実験期間前半（6-7 月）に比べて、後半（8 月以降）に TMF が大きくなる傾向があった（図 3A）。特に 8 月中旬および下旬に 20 g m^{-2} d^{-1}以上の高いフラックスが観測された。8 月後半は台風第 7，11、9、10 号が立て続けに東北地方に接近もしくは上陸し、これに伴う大雨・高潮が沿岸部で記録された。このような気象擾乱に起因した沿岸環境の変化が著しい粒子ピークを生み出したと考えられる。また、トラップ設置深度における流速（図 3B, C）は 8 月以降に大きくなり、TMF が増加するタイミングと同期していた。これは、トラップ粒子のソースとして再懸濁した海底堆積物が寄与していること、底層水の動きが粒子挙動（巻き上がりや水平輸送）に大きく影響していることを示唆している。この点は、トラップ粒子の有機成分データ（C・N 含有率、$\delta^{13}C$・$\delta^{15}N$）の解析によって更に明らかになると期待できる。今後は、粒子輸送に伴う放射性セシウムフラックスの時系列変化を明らかにし、放射性物質の分散・集積過程について考察する予定である。

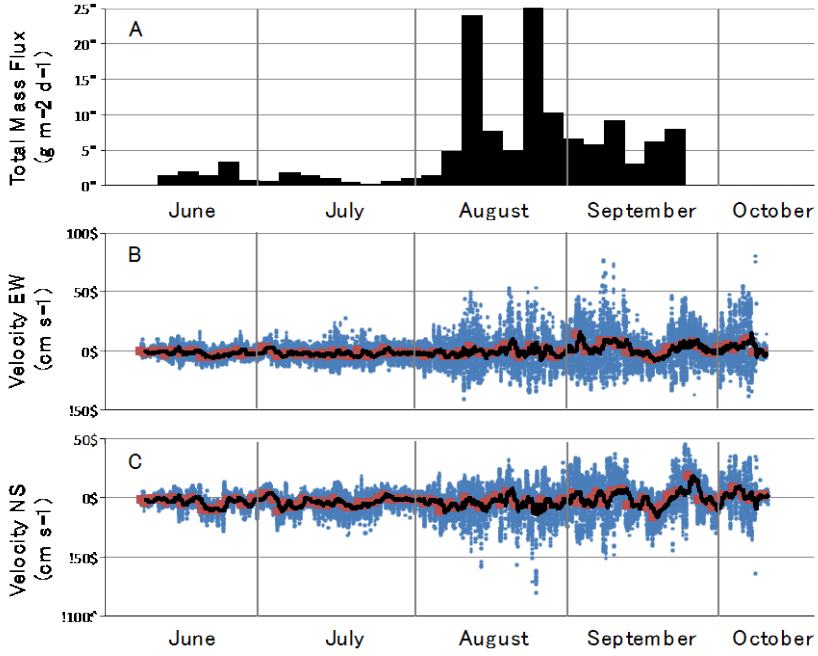


図 3.　係留実験の結果：A）粒子フラックス、B）東西流速、C）南北流速の時系列変化。

【まとめ】

過去３年間で３回のセジメントトラップ実験を福島沖定点で実施した結果、底層における粒子フラックスの時系列変化が、局所豪雨や台風通過などの気象イベントに大きく左右されることが明らかになった。今後、このような粒子を介した放射性物質の挙動が定量的に検討され、気象イベントを組み込んだ放射性物質の拡散モデルが発展することが期待される。

【成果発表】

なし。

自由対流圏における大気微量成分の輸送と洗浄に関する研究
Observational study on the transport and scavenging processes of airborne species in the free troposphere

皆巳 幸也（石川県立大学・生物資源環境学部）

１．はじめに

富士山は、大気境界層内から自由対流圏に深く入り込んだ孤立峰である。そのため、山体の様々な標高の地点で大気微量成分を上層から落下してくる降水と共に調べることで、境界層内や自由対流圏内にそれら成分がどの程度で存在し、どれだけ洗浄されるか、などの情報を得ることができる。本研究では、種々の大気微量成分をその発生源に着目して(1)大陸域から長距離輸送されてきたもの、(2)国内で発生したもの、(3)当地域自体が発生源となっているものなどに分類し、それぞれの中から対象を抽出したうえで、富士観測所と山頂、また御殿場市太郎坊で大気質および気象条件を観測することにより、大気微量成分の輸送過程や沈着過程に関する知見を得ることを目的とする。

今回は、上記のうち(3)に分類される大気微量成分として、富士観測所で気体状アンモニア（NH_3）を測定した結果を報告する。

２．方　法

NH_3の観測は 2012 年に開始しており、以後は富士山頂でも観測を行う 7 月・8 月に限定して実施した。クエン酸およびグリセリンを含浸した濾紙（市販品）を専用のホルダー（小川式パッシブサンプラー）に装着し、風雨除けのカバーとなるポリ容器を被せて観測所敷地内のアンテナ制御室（通称「アンテナ小屋」）の壁面に設置した。各回の曝露時間は最短で 17 時間、最長で 6 日間であった。回収した濾紙から純水で抽出したアンモニウムイオン（NH_4^+）を定量し、所定の計算法で大気中の NH_3濃度を求めた。

３．結果と考察

観測したNH_3濃 度 は試料によって大きく異なり、検出限界以下（2012年の4例）から349ppbv（約15600nmol/m^3、2014年7月12日）まで見られた。後者は他県（関東地方）での高濃度事例をも上回るものであり、大気が乾燥した風の弱い条件によりNH_3が発生源の近傍で滞留したことによるものと推測される。なお、このような高濃度は、過去に同観測所で記録した高いpH（5～7）の降水や霧水が形成される原因であることが考えられ、窒素成分の沈着に関する“ホットスポット”を形成していることが示唆される。

光と電波を組み合わせた極冠域電離圏の 3 次元観測

3D observations of polar cap ionosphere with radar and optics

細川 敬祐 (電気通信大学大学院情報理工学研究科)

★ 研究の概要

2005 年 1 月より，極冠域に位置するカナダのレゾリュートベイ (磁気緯度 82.9 度) において，多波長高感度全天イメージャ (Optical Mesosphere Thermosphere Imagers: OMTIs) を用いた夜間大気光観測を実施している．今年度の冬季が 12 年目の観測シーズンであったが，観測機器に大きなトラブルはなく，順調に観測を行うことができている．今年度はメンテナンスのためにレゾリュートベイを訪問することはできなかったが，現地の観測サイトスタッフと密に連携を取ることで，観測の不具合への対応ができている．観測データは，現地の観測サイトの管理をしているスタッフによってシリコンディスクにコピーされ，日本まで輸送されている．2009 年冬季より，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」を実施してきている．2011 年冬季より，京都大学/電気通信大学がノルウェーのスバールバル諸島で運用している全天大気光イメージャとの広域同時観測も実施し，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きた．これらに加え，2015 年 10 月から，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．これにより，北米域の 2 地点（レゾリュートベイ，イウレカ）とヨーロッパ域（スバールバル）の 1 地点の計 3 地点からの極冠域電離圏大気光計測が可能になっている．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て，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行っている．

★ 研究成果

昨年度に新たに設置されたイウレカのイメージャの 1 シーズンぶんのデータを用いて，極冠パッチの発光強度，発生頻度の UT 依存性について解析を行った．1 シーズンぶんのデータしか用いていないために統計的な有意性を十分に保証できている訳ではないが，北半球の磁

気極近傍において，冬至付近の期間には，12-20 UT の時間帯に明るい（電子密度が高い）極冠パッチが観測される傾向にあることが分かった．この結果は，磁気極と地理極にオフセットがあることにより，極域プラズマ対流と日照域の相対的位置関係が UT によって変化することで説明することができる．この成果は，地球電磁気・地球惑星圏学会（SGEPSS）において，岡村らによって口頭発表で報告された [1].

イウレカにおける観測を新たに始めたことで，極冠オーロラの運動特性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，ロングイヤービイエンの 3 地点において，北向きの惑星間空間磁場（Interplanetary Magnetic Field: IMF）のときに観測された Sun-aligned arc について，その運動特性の解析を行った．これまでは，極冠域を部分的にしかイメージングすることができなかったため，Sun-aligned arc の運動特性についてその理由を考察することに困難があった．本研究では，3 地点からのイメージングによって Sun-aligned arc の運動が IMF の By 成分ではなく Bx 成分によってコントロールされている事例があることを示し，その運動を昼間側における磁気リコネクションに伴う磁気フラックスの輸送によって説明するモデルを提案した．この結果は，SGEPSS において木村らによって報告された [2].

これらに加え，ロングイヤービイエンの高時間分解能大気光観測によって得られたデータを用いて，極冠パッチの後縁部において Gradient-drift Instability と呼ばれる交換型プラズマ不安定によってつくられる指状構造が形成されていることを明らかにした[3]．また，ロングイヤービイエンのデータを用いて，極冠パッチが，昼間側カスプ領域において，極方向に伝搬するオーロラ（Poleward Moving Auroral Forms: PMAFs）によって生成されていることも示した．これらの 2 つの成果は，Journal of Geophysical Research 誌に掲載された [3,4].

★ 学会発表，論文公表実績等

1. 岡村紀，細川敬祐，塩川和夫，田口聡，大塚雄一，小川泰信，磁気北極付近における極冠パッチの光学観測: 発光強度の UT, IMF By 依存性について，地球電磁気・地球惑星圏学会，九州大学，2016年11月19-23日
2. 木村洋太，細川敬祐，塩川和夫，田口聡，大塚雄一，小川泰信，Sun-aligned arc の運動メカニズム再考: 3 台の全天カメラと短波レーダーによる観測，地球電磁気・地球惑星圏学会，九州大学，2016年11月19-23日
3. Hosokawa, K., S. Taguchi, and Y. Ogawa, Periodic creation of polar cap patches from auroral transients in the cusp, Journal of Geophysical Research, 121, doi: 10.1002/2015JA022221, 2016
4. Hosokawa, K., S. Taguchi, and Y. Ogawa, Edge of polar cap patches, Journal of Geophysical Research, 121, doi:10.1002/2015JA021960, 2016

高感度カメラによる大気光の多地点同時観測
Multi-point airglow imaging with high-sensitivity camera system

鈴木臣　愛知大学・地域政策学部

下層大気で励起される大気波動は,運動量を保存しながら上方へと伝搬していき超高層大気の下端である中間圏・下部熱圏（MLT）へ運動量やエネルギーを運ぶことで，この領域の大気変動に大きく寄与することが知られている．MLT 領域は中性大気と電離大気の境界，超高層大気への中継点であり MLT 大気のダイナミクスは大気の上下結合を考える上で重要な意味を持つ．近年，精力的な地上からの大気光イメージング観測により，超高層大気波動のグローバルな活動分布の描像が得られつつある．また，イメージング観測網の整備により，広範囲に広がる波動の検出が可能となった．本研究では，申請者が開発した低廉なOH大気光カメラと名古屋大学宇宙地球環境研究所が運用している超高層大気イメージングシステム（OMTI）との同時観測を実施し，低廉大気光カメラの性能評価および改良につなげる．

2016年度は，新たに開発した大気光カメラで得られた OH 大気光画像から効率よく波構造を得るための画像処理法を開発した．10 秒ごとに得られる大気光画像（露光時間 4 秒）について，1 分間（6 枚）の画像を合成し，さらに 5 分後の合成画像から差分をとることで大気重力波の水平構造の抽出をおこなった．これにより，ターゲットとしている水平スケール数十キロメートルの大気重力波が確認できた．さらに，信楽において OMTI カメラ画像（OH 大気光：15 秒露光）との比較をおこなった．これまで申請者は，OMTI カメラで得られる5.5分ごとの画像の差分から波動構造を検出してきた．両者の時間差分画像比較から，OMTI カメラで頻繁に検出される背景大気光強度に対して振幅 5% 程度の波構造は，十分に低廉カメラでも検出できることがわかった．さらに，OMTI カメラ画像中に見られた波長 10 km 程度の極小スケールの波構造も低廉カメラで確認できた．OMTI 画像において，おおよそ 3% の振幅を持つ波構造までは，本研究のイメージングシステムで検出可能であるという結論に至った．なお，長期の大気光イメージング観測による統計解析において，大気重力波としてカウントされる大気光強度振幅はほとんどが 5% 以上である．

本研究の手法では，1 分間分の画像合成処理が必要であるものの，低廉カメラを用いて本研究で開発した手法では，OMTI カメラによる時間差分画像で検出される波動構造と，『波動検出』という点では遜色ないといえ，大気重力波の統計解析，および多地点展開において有用であると結論づけられる．今後は，低廉カメラ画像で検出される大気波動の振幅を見積もり（時間差分画像では，波動構造がはっきりと認識できるがその明暗のカウント差が振幅にはならない），OMTI カメラ画像と大気光強度振幅について比較する必要がある．これにより，低廉カメラの観測から大気重力波の運動量フラックスを見積もることができ，中間圏界面付近のダイナミクスの広範囲に渡る定量的理解にもつなげられる．また，次年度に九州で予定している長期運用に向けて，低廉カメラの大量の画像データを効率良く処理するアルゴリズムの開発とその自動化を進めることで，将来的な大気光イメージングの超高密度・超多地点ネットワーク網構築を容易にするハード・ソフトを含めた観測パッケージを構築する．

成果発表：
鈴木臣，大気がひかる？〜地球と宇宙のつながり〜，愛知大学教養セミナー，SMBCパーク栄（名古屋），2016年6月30日．

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：行松　彰、極地研究所・教育研究系
田中良昌、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
堀　智昭、東京大学・大学院理学系研究科

【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)動経方向に振動させる事、そしてそれが磁力線固有振動(Alfven modeでの振動)と共鳴(Field Line Resonance, FLR)しうる事が報告されている [e.g., *Southwood and Kivelson*, 1990]。しかしFLRにおいてこれまで主に注目されていた磁力線固有振動はtoroidal mode (東西方向の振動)であった。地上磁場ではこの成分が頻繁に観測されるためである。一方高緯度SuperDARN radarsにおいては、その受信信号のうち sea/ground backscattered signals (以下SGBSと記す)中に 長期間(4-5時間)継続する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、動経方向の振動が上記波動の成因と考えられる。上記論文中の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、それにより生じる磁力線固有振動はpoloidal mode (動経方向の振動)とされている。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、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目的である。

【研究方法】

出来るだけ多くのeventsを集めるために、SuperDARN Hokkaido East and West radars(中緯度に位置)を中心とするが それ以外の多くのSuperDARN radarsのデータも見る。まずSIの事例を集め、それらについてSGBS中に波動が見られているか調べ、見られている場合は更にFLR現象が見られているか調べ、見られている場合はその固有振動周波数から近地球磁気圏内プラズマ密度を推定する。そしてその値を太陽風動圧値、太陽風速度・密度、磁気圏活動度指標、等と比較する。

【研究結果】

現時点までに、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イベントについての解析研究を行ってきている。そのイベントはHankasalmi, Finland (磁気緯度59.1ºN、磁気経度104.5ºE) のSuperDARN radarのBeam #1 (磁気子午線から～20º北西を向く)で観測された。Range Gate #10～35において、～14hr UT以降Radar echoes中にSGBSが連続的に観測されていたが、～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。またその周波数は高緯度ほど低くなっており、これもFLRの典型的性質であった。ただ、VLOS(視線方向速度)の最大値が100m/sを超えており、SGBSと混在したionospheric backscattered signals (以下IBSと記す)である可能性も考えられた。

【考察、まとめ】

この波動がFLRであるとすると、観測されたのがSGBSの振動だとすると上記よりpoloidal modeであり、IBSの場合でもBeam #1の向きがほぼ北向きであった事からpoloidal modeの可能性が高い。この2つの場合それぞれについて、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、波動が観測されたRGを通過する磁力線沿いの赤道でのプラズマ密度を波動周期から計算すると、SGBSの場合は L～4.6で密度～500 [amu/cm^3]、IBSの場合はL～5.7で密度～80 [amu/cm^3]、(amu：原子質量を規格化した量、H^+ 1個の質量が～1amu)となった。(2つの場合でL値が異なるのは、IBSの場合電離層でbackscatterされるのに対しSGBSの場合電離層で反射された後海面ないし地上でbackscatterされるからである。) これらの値は、*O'Brien and Moldwin* [2003] の経験モデルで計算したプラズマポーズ位置：L～3.7と比較した場合は、IBSと

解釈した場合の方がよりconsistentで、反射領域は磁気圏のplasma trough領域に対応しており、そこでの典型的密度（100 amu/cm^3 のオーダー以下）が観測された、と考えられる。ちなみに、このプラズマポーズの*L*値は平均的な値より小さく、その理由は、このイベントの前に磁気嵐が生じていた為である。

今後は、まず上記のイベントについて、密度計算に近似式を用いていたので、より精確な計算を行って上記の解釈を確認する計画である。また、FLR周波数が緯度依存性を持つ事から密度の*L*依存性も計算できるのだが、本稿の時点では期待される依存性（*L*が大きい程低密度）と逆の依存性となっており、この点も、上記のより精確な密度計算により検証する計画である。また、本イベントについて他のbeams,他のradars,のデータも見る事で、空間依存性を調査する計画である。

そしてその後に、より多くのSI eventsについて上記と同様の解析を行い、その結果を統計的解析で太陽風動圧値、太陽風速度・密度、磁気圏活動度指標、等と比較する計画である。

【引用文献】

Schulz, JGR, p17385, 1996.
O'Brien and Moldwin, GRL, p1152, 2003.
Southwood and Kivelson, JGR, p2301, 1990.
Ponomarenko, Menk, Waters, and Shiffer, Ann. Geophys., p1271, 2005.

【成果発表】

河野 英昭, 行松 彰, 田中 良昌, 才田 聡子, 西谷 望, 堀 智昭, 飯田 剛平, Toward magnetospheric region identification by using field-line resonances observed by SuperDARN Radars: Observations of pulsations associated with sudden commencements, 第 7 回極域科学シンポジウム, 国立極地研究所, 2016.11.29.

河野 英昭, 行松 彰, 西谷 望, 田中 良昌, 才田 聡子, 堀 智昭, 飯田 剛平, SuperDARN で観測される磁力線共鳴現象からのプラズマ圏領域推定に向けて:SC 時脈動観測, 名古屋大学宇宙地球環境研究所 研究集会「プラズマ圏の観測とモデリング」, 大阪電気通信大学駅前キャンパス, 2017.03.06.

河野 英昭, 行松 彰, 西谷 望, 田中 良昌, 才田 聡子, 堀 智昭, 飯田 剛平, SuperDARN で SC 時に観測される磁力線共鳴現象からのプラズマ密度推定, 名古屋大学宇宙地球環境研究所 研究集会「電磁圏物理学シンポジウム」, 福岡・九州大学西新プラザ, 2017.03.16.

航空機と数値モデルを利用した東アジアにおける CO_2 フラックスの評価
Evaluation of sources and sinks of CO_2 in the eastern Asia using aircraft and numerical modeling

町田敏暢、国立環境研究所・地球環境研究センター

研究目的

東アジアは人口増加や経済発展にともなって化石燃料消費の増加が最も高い地域である。また、森林破壊やエルニーニョ現象に伴う干魃および大規模な山火事によって、自然界からも大量の CO_2 が大気に放出されている。一方、CO_2 の施肥効果や植林によって、CO_2 の吸収源も大きく変化しつつある。しかしながら、このような CO_2 の放出源や吸収源がどのように分布し、それらがどのように変化しているかは地上観測のみからは正確に定量化することは困難である。この問題を解決するためには、広域代表性のある航空機を活用した観測が有力ではあるが、いつの時期にどの領域でどの程度の頻度で航空機観測を行えば、効率よく正しい結果が得られるかは自明ではない。そこで、本研究では、これまで日本の研究グループが行ってきたさまざまな航空機観測のデータを持ち寄り、大気化学輸送モデルを使って、シミュレーションを行い、新たな航空機観測をどう展開すべきかという視点で研究を進める。得られた成果は、今後の航空機による温室効果気体観測の戦略を立てる際に有力な知見を与えることが期待される。

研究方法

昨年度に共同研究者とともに実施した研究では、インバースモデルを用いた東アジアの陸上生態系による CO_2 フラックスの評価について、航空機観測による CO_2 濃度の鉛直勾配情報が検証に有効であることが示された(Thompson et al., 2016)。本年度はこれらの航空機観測を実施する上で極めて重要な、航空機上での大気試料の取り込みについて、これまでの取得データを用いて共同研究者と共に考察を行った。

研究結果

大型の航空機、特に民間航空機を利用して大気成分を観測するには大気試料の取り込み方法が極めて重要である。Matsueda and Inoue (1996)ではボーイング 747 型機を使って試験飛行を行い、エアコンダクトの空気中の CO_2 濃度と CH_4 濃度は外気と同等であることを証明した。CONTRAIL プロジェクトによる観測飛行からボーイング 777 型機のエアコンダクトの貨物室配管空気とコックピット配管空気が同質であることが、東京－シドニー間の観測飛行の結果明らかになっている（図１）。次世代航空機であるボーイング 787 型機のコックピット空気と 777 型機の貨物室配管空気における CO_2 濃度を東京－ホノルル間で実施された観測で比較したものが図２である。両航空機で観測した CH_4 や CO の濃度が一致していたことから、787 型機と 777 型機はそれぞれの経度帯においてほぼ同様の空気塊を観測していると考えられるが、CO_2 については 787 のコックピット空気が系統的に高い濃度を示していた。この原因の 1 つは 787 型機の加湿装置によるものと考えられるが、エアコンダクト空気を観測に使用する際にはその

構造について詳細に検討する必要があることが明らかになった。これらの知見について 3 月 30 日に名古屋大学で開催された航空機観測推進委員会の準備会合において、今後の航空機観測への検討課題として高橋暢宏氏と意見交換を行った。

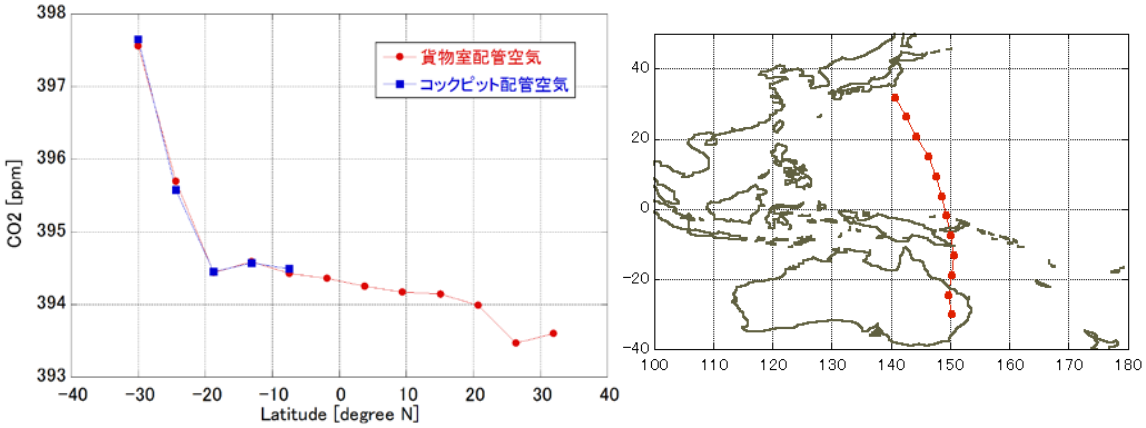


図 1．ボーイング 777 型機の異なる配管空気による CO_2濃度の比較（左）と観測実施地点（右）

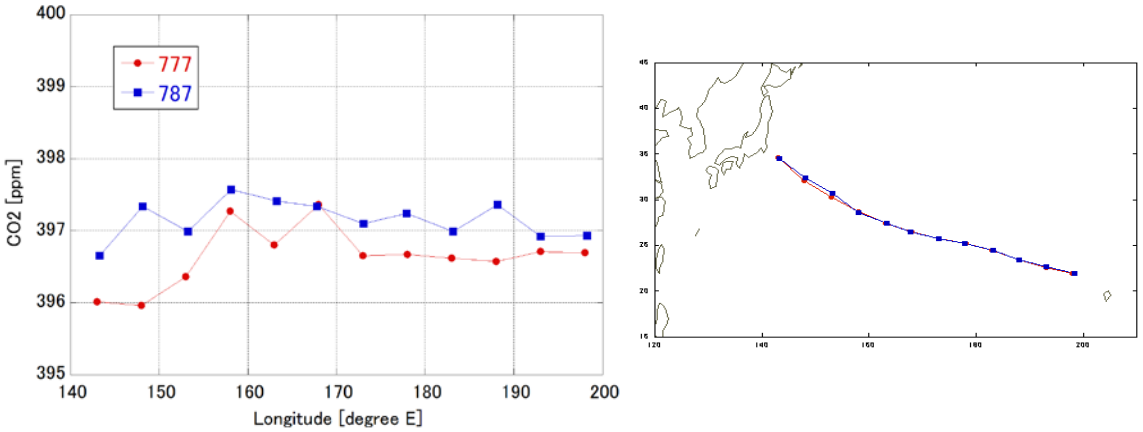


図 2．787 型機と 777 型機で観測された上部対流圏における CO_2濃度（左）と観測実施地点（右）

引用文献

Matsueda, H., and H.Y. Inoue, Atmospheric Environment, 1996.

Thompson, R.L., Patra, P.K., Machida, T., et al., Nature Communications, 2016.

成果発表

Umezawa, T., Y. Niwa, Y. Sawa, T. Machida, and H. Matsueda (2016), Winter crop CO_2 uptake inferred from CONTRAIL measurements over Delhi, India, Geophysical Research Letters, 43, doi:10.1002/2016GL070939.

Jiang, F., J. Chen, L. Zhou, W. Ju, H. Zhang, T. Machida, P. Ciais, W. Peters, H. Wang, B. Chen, L. Liu, C. Zhang, H. Matsueda and Y. Sawa (2016), A comprehensive estimate of recent carbon sinks in China using both top-down and bottom-up approaches, Scientific Reports 6, Article number: 22130.

高校生に対する地球環境教育研究

Research of Education on Earth Environments for High School Students

河野光彦、関西学院千里国際高等部
津髙絵美、関西学院千里国際高等部
松見　豊、名古屋大学宇宙地球環境研究所

【はじめに】

高校教育の現場では、教師が教科書に沿って授業を行い生徒がノートをとり、教師が演示実験を見せて説明するといった知識伝達型の教育が長らく行われきた。ところが高度に情報化されたグローバル化社会の現代では、従来型の教育だけでは高等教育や就職後に必要とされる問題解決能力が育たないという問題が起きている。この反省から近年、生徒の能動的な学習活動を取り入れた教育法が開発されてきている。理科的な学習面でいえば、生徒が自立的に考え自ら手を動かして体験し、実際の研究開発と関連した実験・基本的概念の理解を促す教育手法・問題解決能力を育成するような学習プログラムなどが挙げられる。これらの理科教育方法の開発は新しい時代の新しい教育として重要度を増している。[1、2]また、そういった教育方法の開発は多岐にわたるステークホルダーが協働して行うことが推奨されている[4]

グローバル化社会を生き抜くためには、ローカルな事象から地球規模の環境までを視野に入れて、科学的根拠に基づいて賢明な意思決定をする能力が必要だ。高校の理科教育においても、その能力育成は最重要視されている。[3] 環境意識の高い高校生は多いが、日常接するローカルな環境やメディアで報じられる環境問題だけでなく、グローバル理解できているとは限らない。詳しく学びたいと考える高校生が多いにも関わらず、高校では彼らに適切に対応しきれていない。それは、環境問題の学習はできても、その解決策を導くための最先端の高度な学習を高校で行うことに限界があることが一因である。総合的に地球を理解しローカルな事象から環境問題の本質を知ることは重要で、それは生徒の能動的な学習活動にも肯定的影響を与えると考える。

【研究目的】

本研究は、複雑な環境現象に対して総合的に地球を理解しそれらの科学的本質から問題解決につなげて行こうとする高校生を養成するための教育法開発を目標としている。平成27年度においては、地球温暖化やオゾン層破壊にかかわる問題を考えていくための教材研究ならびに教育方法の開発と実践を行った。それらの成果が得られた一方で、研究者による直接の指導が持続的に行われることによる効果が研究課題として浮かび上がった。このほか、生徒が獲得した、知識や技能を含む学力の定着を評価する方法について、研究開発することが重要であるという認識を得た。したがって、本研究における今年度の研究目的は、第１に研究者による直接指導の効果的方法を検討し実践することである。また第２には、昨年度と同様の地球環境に関する授業・実習・見学を実施し、生徒が獲得した学力の評価方法について開発しその妥当性を調べることである。

【研究方法】

第１の目的、研究者による直接指導の効果的方法を検討し実践することについては、生徒が問題を見いだし観察や実験を計画する学習活動、問題設定型学習としての教育方法を昨年に引き続き発展させ、生徒が知識や上記の技能を能動的に獲得する過程に対して、教員がそれを支援するという形で目的を達成する。また第２の目的、生徒が獲得した学力の評価方法について開発しその妥当性を調べることについては、観察や実験の結果を分析し解釈する学習活動、さらに科学的な概念を使用して考えたり説明したりするなどの学習活動などを生徒に求める。生徒は、①参加申し込み、②事前ワークショップ参加、③2週間の大気観測実験、④名古屋大学宇宙地球環境研究所での見学・実習の順に進み、②・④の実施後にリフレクションを所定の用紙で行い、最後に一連の学習成果をA0ポスターにまとめることとした。

【研究結果】

2年生男子2名、2年生女子2名の計4名が、12月19日（月）の名古屋大学宇宙地球環境研究所での見学や実習を体験したが、本年度はその２週間前に関西学院千里国際キャンパスにて、同研究所講師の中山氏による最先端の地球環境観測研究のワークショップと、名古屋訪問前に生徒が行なう観測実験・研究の解説がなされた。生徒は、その解説の後に渡されたCO_2測定装置とPM2.5測定装置を用い、同キャンパスにおいて2週間大気観

測実験を行った。観測結果は名古屋大学訪問時に研究所の研究者に向けて発表された。訪問は午前10時から午後5時まで実施され、生徒の大気観測実験結果発表の後、地球環境に関する授業・実習・見学を行った。

生徒の観測結果内容は主に2つで「SISでのPM2.5測定結果」と「教室の中のCO_2：授業中のCO_2濃度を比較」であった。前者は高校敷地内の外気でのPM2.5量を数秒間隔で長時間にわたりモニターし近隣の消防署が公表している1時間毎の大気中PM2.5量と比較した。最終的に、細かく測定することによって「PM2.5はローカルな環境要因に大きく影響されることがわかった」と結論付けた。一方、後者では教室のCO_2濃度上昇を1時間の授業間モニターし異なる授業で比較することによって「生徒が授業中眠くなるのは教室内で高まったCO_2濃度が原因の1つである」と結論付けた。

松見豊教授による授業内容は、昨年効果的であると結論付けた内容である。キーポイントは「光」であり、「オゾン」「フロン」について学ばせるとともに、その大気圏化学における重要性と環境に及ぼす影響について理解させるようにされていた。一方、「地球温暖化のメカニズム」について理解させるために、赤外光領域の熱放射と温室効果ガスによるその吸収を学ばせた。そして授業をふまえた上で数種類の実習実験が行われた。その後、松見研究室や他の研究室の見学を行い、実際に使われている装置を前に研究の意義や内容・成果などの説明を受け、生徒との質疑応答や議論が活発になされていた。

【考察】

初の試みである、事前ワークショップと、関西学院千里国際キャンパスでの大気観測実験を生徒自身が考えて行い結果をまとめて発表したことは、彼らの学習が前年に比べて深まる効果的な教育的仕掛けであることが示された。その経験をもとに、名古屋大学で行なった観測データや結論についてのディスカッションも活発かつ有意義なものとなった。また昨年以上に、授業での説明も工夫されており、地球規模の大気環境について生徒がより深く学ぶ施策を行えた。実験についても、高校ではできないことが用意されるので、貴重なスキルを身につけることができたと考える。研究室見学では、昨年同様に第一線の研究者と身近に接し話ができたことによる刺激が大きく、これは生徒の成果物ポスターの記述から読み取れる。「自分が地球環境問題についてある程度知っていると思っていても知らないことは山ほどあって、科学者ですら知らないことがたくさんある。だからこそ、研究のし甲斐がある。」「最先端の研究の現場を生で見ることで、気候変動への興味がさらに深まり、論文作成のモチベーションにもなった。」

【結言】

昨年から検討していた継続的な研究者による直接の指導を、今年度実施することができた。また、各講義の後に記録と考察・内省を促すリフレクションシートを導入したこと、最終的には一連の学習をA0ポスターにまとめる課題を導入したことにより、昨年の課題であった、「問題設定型学習によって生徒が獲得した、知識や技能を含む学力の定着を評価する方法の開発」が行えた。実際にそれらから、生徒の学習結果や知識の定着、技能の使用を読み取ることができた。一方、本研究の限界は、各講義の後のリフレクションの記述が予想より少なく、生徒の豊かなリフレクションの記述から分析を行えなかったことである。よって今後の課題は、そのリフレクションをより本研究活動により即し、記入しやすいものに改変していくこと、記入の時間を十分にとることが挙げられる。問題設定型学習で獲得が期待されるものの一つに２１世紀型スキル[5]があり、それは①批判的・創造的思考、②対人スキル、③内省的スキル、④グローバルな市民性、⑤心身の健康からなる。本研究はそれらをさらに意図的に強化し、その評価方法を次年度発展させていきたい。

【参考文献】

[1] 永田敬・林一雅 編（2016）『アクティブラーニングのデザイン ― 東京大学の新しい教養教育』東京大学出版会

[2] 文部科学省（2014）『特集：持続可能な開発のための教育（ESD）とその推進について / 国際バカロレアの普及・拡大に向けて』文部科学広報、平成26年3月号

[3] 文部科学省（2009）『学習指導要領における「環境教育」に関わる主な内容の比較』高等学校学習指導要領

[4] UNESCO Bangkok Office（2015）『Transversal Skills in TVET: Pedagogies and Assessment』9Asia-Pacific Education System Review Series

[5] UNESCO Bangkok Office（2015）『2013 Asia-Pacific Education Research Institutes Network (ERI-Net) Regional Study on TRANSVERSAL COMPETENCIES IN EDUCATION POLICY & PRACTICE』

太陽フレアの彩層蒸発における高温プラズマ診断
Plasma Diagnostics of the evaporating chromosphere in solar flares

川手朋子、宇宙科学研究所・ひのでプロジェクト

研究目的

本研究は太陽フレアにおける彩層蒸発強度を高い時間分解能で調査することにより、彩層大気における加速粒子・熱プラズマへの応答プロセスを調査することを目的とする。

研究方法

フレア足元における彩層蒸発プラズマの運動は極端紫外線のドップラー速度として現れる。極端紫外線分光撮像装置としてひので衛星搭載EUV Imaging Spectrometer (EIS)があるが、通常時間分解能は活動領域の観測で3-5分程度と、彩層蒸発の時間スケールに比べて十分長い。そこで本研究では飛騨天文台SMART望遠鏡搭載の連続光・Hα高速撮像装置(FISCH)とEISにより同時観測された2012年6月8日に発生したC7.7クラスフレアに着目した。SMART/FISCHの時間分解能は像再生後2秒であり、またHα線の光度曲線は彩層蒸発のエネルギー源となる熱プラズマおよび非熱的粒子への応答性が高い。各場所におけるHα光度曲線のピークとEISの露出タイミングの相対時刻を比較することにより、彩層へのエネルギー注入に対する極端紫外線のドップラー速度をEISのラスター時間より高い時間分解能で導出した。

研究結果

Hαピークを時間の原点とし、EISの露出タイミングとその時刻における複ガウシアンフィッティングで導出したドップラー速度を図に示す。この結果1千万度で形成されるFe XXIV数100km/sの青方偏移のほかに100km/s以上の赤方偏移が確認された。このような青方偏移は過去のEIS(e.g. Milligan & Dennis 2009)やSoHO衛星Coronal Diagnostics Spectrometer(CDS)(e.g. del Zanna et al. 2006)による観測で議論されてきたが、フレアカーネルにおいて赤方偏移が確認されたのは本研究が初である。また青方偏移強度は彩層に注入される非熱的電子のエネルギーフラックスに依存すると言われ(Fisher et al. 1985)、単ガウシアンでもはっきりと表れるが、単ガウシアンフィッティングではほぼ定常的なプラズマという結果となった。RHESSI衛星で観測された硬X線スペクトルによって導出された非熱的電子のエネルギーフラックスから、この赤方偏移の内部エネルギーは注入された非熱的電子のエネルギーの9%であることがわかった。

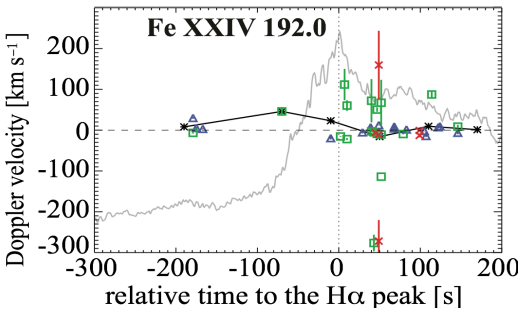


図: 各場所におけるHαピーク時刻とFe XXIVのドップラー速度。正値が赤方偏移を示す。

考察

1千万度プラズマの青方偏移は非熱的電子注入に対する彩層蒸発流であると考えられている。また低温の彩層・遷移層プラズマにおいては上方への彩層蒸発に対する反作用として数10km/sの赤方偏移が確認されている(e.g. Ichimoto & Kurokawa 1984)。しかし、1千万度プラズマが100km/sを超える速度で赤方偏移を示すことは彩層蒸発のみからでは説明できない。一つの可能性としてループ上空付近で発生した磁気リコネクションに伴う下降流が足元まで伝搬したものであることがあげられる。Imada et al. (2015)の数値計算から、コロナからのエンタルピー注入により彩層蒸発が抑制される結果が得られている。この事から、観測された赤方偏移はループ上空から彩層まで伝搬したプラズマ流であり、それにより彩層蒸発が抑制され、大局的な1千万度プラズマが彩層でほぼ定常であると観測された可能性が示唆される。

まとめ

本研究では地上観測によるHα高速撮像装置とひので衛星EISで観測されたデータを組み合わせることにより、これまで確認されていなかった1千万度プラズマのフレアカーネルにおける赤方偏移を確認した。またこの赤方偏移がコロナから伝搬したエンタルピー注入であると解釈すると、理論で予測されていた彩層蒸発が抑制される現象と観測結果とよく一致することが示された。

引用文献

- del Zanna, G., Berlicki, A., Schmieder, B., & Mason, H. E. 2006, SoPh, 234, 95
- Fisher, G. H., Canfield, R. C., & McClymont, A. N. 1985, ApJ, 289, 414
- Ichimoto, K., & Kurokawa, H. 1984, SoPh, 93, 105
- Imada, S., Murakami, I., & Watanabe, T. 2015, Physics of Plasmas, 22, 101206
- Milligan, R. O., & Dennis, B. R. 2009, ApJ, 699, 968

成果発表

- 査読論文

・Tomoko Kawate, Shinsuke Imada, Satoshi Masuda, Takako T. Ishii, and Kiyoshi Ichimoto, "SPECTROSCOPIC FEATURES OF DOWNWARD MATERIALS AT FLARE FOOTPOINTS AND THEIR EFFECTS ON CHROMOSPHERIC EVAPORATION", The Astrophysical Journal, submitted

- 研究会発表 (ポスター)

・T. Kawate, S. Imada, T. T. Ishii, S. Masuda, K. Ichimomto, "High Temperature EUV Lines at H-alpha Flare Kernels", Hinode-10, Nagoya, 5-6 September 2016

・川手朋子、今田晋亮、増田智、石井貴子、一本潔, "太陽フレアカーネルにおけるエネルギー注入と彩層蒸発への影響", 宇宙科学シンポジウム, 宇宙科学研究所、2017年1月5-6日

チーク年輪同位体比モデルを用いたインドネシア・ジャワ島の環境変遷解析
Environmental change analysis of Java Island, Indonesia, using teak oxygen isotopic models

田上高広（京都大学・理学研究科）

樹木年輪セルロース酸素同位体比は陸域の気候や水循環を年単位で復元できるプロキシとして有力である。本研究では，気候学的に重要でありながら，年輪セルロース酸素同位体比の研究がほとんど行われていないインドネシア・ジャワ島の年輪セルロース酸素同位体比を測定し，その気候応答を調べた。気候応答の解析には，気候要素（気温，降水量など）との相関解析に加え，より定量的な理解を目指して，年輪セルロース酸素同位体比モデル（プロキシシステムモデル）を用いた解析を行い，年輪セルロースの酸素同位体比の支配因子を推定した。

本研究に使用した樹種はチーク（Tectona Grandis）である。チークは南アジア～東南アジアの熱帯モンスーン気候域に分布し，雨季・乾季に対応して明瞭な年輪を形成する。さらに天然に樹齢３００～４００年の古木が 存在することから，熱帯域で年輪年代学・気候学の研究対象となっている数少ない樹種の１つである。インドネシアに限って言えば，年輪幅の標準年輪曲線が作成されている樹種はこのチークのみである。チークサンプルはすべて円盤で採取し，伐採年と巻き枯らし処理（立木の状態で辺材部位を削り，枯れさせること）の有無が既知である。年輪を数えることで年代を決めた後，年輪幅とセルロース酸素同位体比を測定し，個体間の変動パターンを比較することで年代が信頼できることを確認した。

サンプル採取地点は最大で４００ｋｍほど離れているが，セルロース酸素同位体比は，すべての地点で共通の変動パターンを示した。このことは，ジャワ島の年輪セルロース酸素同位体比には，共通の気候シグナルが保存されていることを示唆している。年輪セルロース酸素同位体比と気候要素との相関解析を行ったところ，成長期（雨季）の降水量・湿度と逆相関を示し，成長期直前の乾季の降水量と正の相関を示した。

次に，年輪セルロース酸素同位体比モデルを用いた解析を行った。モデルによると，年輪セルロース酸素同位体比は,根から吸い上げる水（Source water）の酸素同位体比，湿度，大気水蒸気の酸素同位体比の３つの要因に よって決まる。解析の結果，この３つの要因のうち，Source waterの酸素同位体比だけでセルロース酸素同位 体比の経年変動のほとんどを説明できることが分かった。また，Source waterの酸素同位体比と降水の酸素同位体比を比較した結果，Source waterは成長期前の乾季から雨季の降水で構成されていることが示唆された。

以上をまとめると，ジャワ島の年輪セルロース酸素同位体比は，成長期前の乾季から雨季の降水の同位体比の情報を保存していると考えられる。そして，降水量との相関は，降水の酸素同位体比を介して表れたものだと思われる。

グローバルモデルと素過程シミュレーションによる地球内部磁気圏での波動粒子相互作用の研究

Study of wave-particle interactions in the inner magnetosphere by global model and PIC simulations

加藤雄人、東北大学 大学院理学研究科

・研究目的

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

・研究方法

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

・研究結果

本研究課題の成果として、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明らかにしたことが挙げられる。特に、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て、コーラス放射発生に必要な閾値を定量的に明らかとした。この成

果は連携計算を実施する上で重要な情報であり、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。次年度以降は開発した手法をさらに発展させると共に、あらせ衛星をはじめとした内部磁気圏における衛星観測結果との比較を通じて、放射線帯領域での電子加速過程ならびに波動励起過程における非線形効果を定量的に究明することをねらう。

電離圏D/E層のプラズマ温度導出と検証
Derivation and verification of plasma temperature in the D- and E-regions

小川泰信、国立極地研究所・国際北極環境研究センター

研究目的：

太陽風エネルギーの多くは磁気圏を経由して極域超高層大気に流入する。その流入するエネルギーは、激しい時空間変化を有しながら、超高層大気の運動エネルギーや熱エネルギーなどに変換されることが特徴として挙げられる。極域の非干渉散乱（IS）レーダーは、このエネルギー変換過程を知る上で最も強力な観測手法の一つである。ただし、ISレーダーを用いた電離圏D層及びE層におけるプラズマ温度導出には、観測上の様々な制限があることが過去に報告されている。本研究では、EISCATトロムソUHF及びVHFレーダーシステムを用いた電離圏D層及びE層のISスペクトルデータを見直すと共に、多変数フィッティング手法を改善することにより、プラズマ物理量導出精度（特にイオン温度導出の下限高度）の向上を目指すことを目的とする。この研究で得られる成果と経験は、次期計画であるEISCAT_3D（送信周波数233MHzのフェーズドアレイ式多点VHFレーダーシステム）における物理量導出プロセスを構築する上で有益である。

研究内容・計画：

（１）最近のEISCAT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実施する。EISCAT観測では観測目的に応じて様々なパルスコーディングを用いているため、複数のパルスコーディングについてスペクトル解析を行う。

（２）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観測データで得られる中性大気温度との比較研究を実施する。

（３）上記の解析研究及び検証結果を基に、電離圏D層及びE層のイオン温度の導出可能高度の下限値を判断する。

平成28年度の成果内容：

平成28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、昼間の時間帯であればトロムソUHFレーダーの長時間積分データを用いて、高度88-110 km におけるイオン温度を精度良く推定可能であることを明らかにした。得られた研究成果を JpGU 2016大会及び SGEPSS 秋学会にて順次報告した。

(1) Y. Ogawa, S. Nozawa, and I. Haggstrom, D- and E-region ISR

spectra measured with EISCAT radar facilities, JpGU2016 meeting, Makuhari Messe, May 23, 2016.

(2) Y. Ogawa, S. Nozawa, M. Tsutsumi and I. Haggstrom, D- and E-region ISR spectra measured with EISCAT radar facilities, SGE PSS fall meeting, Kyushu University, November 21, 2016.

世界最多雨地域における夜雨型降水とモンスーン気流場との関係
Relationship between nocturnal rainfall and monsoon airflow over the highest rainfall area

村田　文絵，高知大学理学部

バングラデシュ北東部からインド・メガラヤ高原の南斜面にかけての地域は，陸域では限られた地域でしかみられない深夜から早朝に雨が降りやすい地域の１つである。本地域ではこれまでの事例研究により，バングラデシュ平野部で境界層の日変化に伴って夜間に下層ジェットが卓越することが明らかとなり，それが夜雨型の降水に大きな役割を果たしている可能性が指摘されている。一方で，モンスーンの季節内変動スケールにおいて，西風が卓越する総観場が研究対象地域に多雨をもたらす場であることが明らかとなってきた。しかし，日変化スケールと総観規模スケールの気象変動がどのように相互作用して，対象地域の地形性の夜雨型降水を強化するのかメカニズムの理解がまだ不十分であった。

本研究ではMurata et al.(2017)がメガラヤ高原の南斜面にある世界有数の多雨地点チェラプンジの長期にわたる地点雨量データと客観解析データを用いて，総観規模スケールの観点から西風場が多雨をもたらすメカニズムを解析した一方で，Fujinami et al. (2017)がメガラヤ高原周辺の17年間にわたるTRMM 2A25データと客観解析データを用いて研究対象地域の詳細な降水日変化と共に，東風場との対比の中で西風場が多雨をもたらす環境場を解析した。

Murata et al. (2017)は，1902-2005年のチェラプンジの日降水量データから作成した気候日雨量に比べて多雨となる期間に基づいて活発期を定義した。ここで定義した活発期の期間は3－14日間の長さを持った。活発期は対流圏下層においてベンガル湾北部を中心に正の流線関数偏差がみられる際に生じ，この時気候的にもともとあるベンガル湾からの南よりの風による水蒸気移流に西風による水蒸気移流が加わることで大きな水蒸気収束が研究対象地域にわたって生じることが活発期の多雨の要因として考えられた。

Fujinami et al.(2017)は，モンスーン季をチェラプンジの雨と相関が高い領域の925hPa風で西風レジームと東風レジームに分類した。各レジームでの降水日変化を解析した結果，どちらのレジームにおいても早朝00-03LTに雨が降る顕著な日変化がみられる一方で，西風場は降水頻度が高く午前中いっぱい或いは場合によっては1日中雨が降る傾向があった。また，西風レジームにおいて降水強度も対流性降水の割合も高かった。下層の風の場を00LTと12LTで比較すると，両レジーム共に12LTに比べて00LTにおいて風が強化されており，これについて夜間下層ジェットに加えて夜間の安定した大気の下でアラカン山脈によって形成されるbarrier jetの影響を提案した。

参考文献

Fujinami, H. Sato, T. Kanamori, H. and Murata, F., 2017:“Contrasting features of monsoon precipitation around the Meghalaya Plateau under westerly and easterly regimes”, *J. Geophys. Res.* submitted.

Murata, F. Terao, T. Fujinami, H. Hayashi, T. , Asada, H., Matsumoto, J. Syiemlieh, H.J., 2017:“Dominant synoptic disturbance in the extreme rainfall at Cherrapunji, northeast India, based on 104 years of rainfall data (1902-2005)”, *J. Climate*, submitted.

太陽電波の観測的研究を通じた宇宙天気予測システムの開発
Development of space weather forecasting system based on solar radio observations

岩井一正、情報通信研究機構・電磁波研究所

1 研究目的

太陽の大気コロナでは、フレアに代表される爆発現象や、コロナ質量放出(以下CME)と呼ばれるプラズマ雲の放出現象が発生する。その過程では、強い電波放射(太陽電波バースト)が発生する。太陽電波バーストの電波スペクトルには、継続時間1秒未満のスペクトル微細構造が含まれおり、その微細構造の特徴に粒子の加速過程や波動の励起過程等の重要なプラズマ素過程の情報が含まれている可能性があることが、これまでの我々の研究から明らかとなってきた。本研究の第一の目的は、高分解太陽電波望遠鏡による太陽電波バーストの連続観測を通じて、太陽コロナでの粒子加速現象の理解を深めることにある。また、電波を発生させる高エネルギー粒子やCMEは放出方向によっては地球周辺に到来し、宙空環境で様々な宇宙天気災害を引き起こす可能性がある。粒子の伝搬速度よりも電波の伝搬速度は速いため、電波バーストの検出は宇宙天気災害の有効な予報手段となる。そこで、電波バーストの自動観測を通じて、電波を発生させる現象の地球への到来予報を行うことが本研究の第二の目的である。以上の背景から、本年度は以下の活動を行った。

2 研究方法・結果

１．装置の性能評価と装置の論文化

山川望遠鏡はNICTが新たに開発した太陽電波望遠鏡である。観測周波数帯域は70MHz – 9GHzであり、フレアに起因する太陽電波バーストの発生周波数帯域をほぼ全てカバーできる。本望遠鏡にはFPGAを用いた最新鋭のデジタル分光計OCTAD-Sが搭載され、観測する全帯域で8msの時間分解能で連続観測が可能である。本年度はこの新型分光計の性能評価を行った。その結果、本装置は高時間・高周波数分解性能を有するだけでなく、1000秒を超えるアラン時間を持つ高安定性能をもち、かつ10GHzの入力信号に対しても線型性を担保した分光が可能であることがわかった。これらの特性は太陽電波バースト観測において非常に有効であるだけでなく、広く太陽地球系物理学・天文学の分光観測に応用が可能と言える。そこで、これらの開発・性能評価結果をまとめて査読論文雑誌への投稿を行った。論文は現在査読中である(論文発表1)。

2 定常観測データの宇宙天気予報への応用

論文化と並行して山川望遠鏡を用いた太陽電波バーストの定常観測を行った。その結果、多数の電波バーストの受信に成功した。特に2016年4月18日に発生した太陽フレアに伴う電波バーストは、NICTが毎日行っている宇宙天気予報の直前に発生した。そのため関連する太陽フ

レアによって発生した高エネルギー粒子の地球への到来を、電波バーストの情報から到来前に予測し、予報発令に反映させることに成功した。この予報成功は本研究の重要な目的の達成を意味する。

3　考察・まとめ

本年度の開発・研究によって、NICTの山川望遠鏡は完成し、定常運用フェーズに移行した。また、定常観測からは多数の電波バーストのデータが得られ、その中には微細なスペクトル構造を持った現象も散見される。今後はこれらのデータの解析による粒子加速機構解明に向けた緩急の発展も期待出来る。また、定常観測データはNICTの宇宙天気業務に組み込まれ、SEP予測のための基礎データとして用いられるようになった。1例ではあるが、電波データによるSEPの到来前予測に成功したことは極めて大きな意味を持つ。今後は電波バーストの自動認識システムを付加することで、粒子の到来前予測の例を増やすことが課題である。また、これらの研究と並行して、野辺山電波ヘリオグラフを用いた共同利用研究から論文が出たことも付記したい(論文発表2)。

4　成果発表

論文発表

Kazumasa Iwai, Yûki Kubo, Hiromitsu Ishibashi, Takahiro Naoi, Kenichi Harada, Kenji Ema, Yoshinori Hayashi, and Yuichi Chikahiro, OCTAD-S: Digital Fast Fourier Transform Spectrometers by FPGA, Earth Planets, and Space, 投稿中

Warmuth, A., Shibasaki, K., Iwai, K., Mann, G., Microwave observations of a large-scale coronal wave with the Nobeyama radioheliograph, Astronomy & Astrophysics, 593, A102, 2016 年 9 月

口頭発表

岩井一正、久保勇樹、石橋弘光、直井隆浩、亘慎一、石井守、NICT 新太陽電波望遠鏡と宇宙天気予報、日本天文学会 2016 年秋季年会 M05a、愛媛大学(松山)、2016 年 9 月 15 日

Iwai, K., Kubo, Y., Watari, S., Ishibahi, H, and Ishii, M, New solar radio telescope of NICT and its space weather forecasting, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会、PEM04-28、幕張メッセ(千葉)、2016 年 5 月 22-26 日、口頭

Iwai, K, Fine Spectral Structures of Solar Radio Type-I Bursts observed by AMATERAS, CESRSA (the Community of European Solar Radio Astronomers) workshop 2016, Orleans, France, 13-17 Jun 2016, 口頭

夏季インド北東部・アッサム州の豪雨に対する季節内変動の影響
Effects of intraseasonal oscillations on heavy rainfall over Assam, India during summer

福島　あずさ（神戸学院大学人文学部・講師）

1. 研究目的

本研究は，インド北東部に独自に設置した雨量計により，地上観測に基づく降水現象の地域特性と季節内変動との関連性を明らかにすることを目的とする．特にアッサム州内のブラマプトラ川北岸でモンスーン季に頻発する大雨（日雨量100-200mm程度）の要因に着目し，ヒマラヤ南縁での降水現象に対する大気循環場の季節内変動（準２週間周期変動等）の影響について解析する．本年度は観測値から州内の降水特性の地域性を明らかにし，大雨事例の抽出と事例解析（大気循環場の特徴把握）を行った．

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-2011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1901-2010年の日降水量グリッドデータセット（IMD4）（D.S.Pai *et al.* 2014）を利用した．

まず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，地域差を比較したほか，月降水量から季節進行を把握し，既存のグリッドデータセット（IMD4）との比較を行った．その後，時間雨量50mm以上の事例を抽出して事例解析を行った．

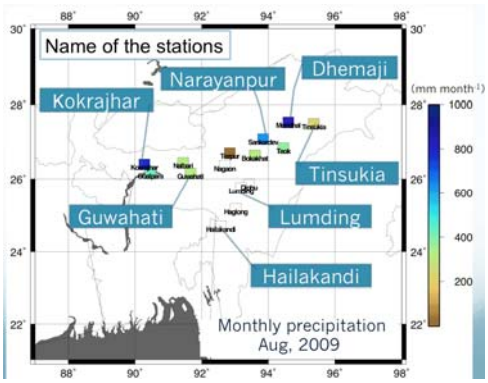


図1 対象観測地点の位置（色は2009年8月の月降水量値を表す）

3. 結果と考察

①降水階級別頻度の地域性

アッサムの15地点の観測データから，降水強度別に6階級に分け，降水頻度を集計し，全降水頻度に対する比を求め，地点ごとに比較した．図2および図3によれば，州西部の地点（Kokrajhar, Goalpara, Narbari）およびブラマプトラ川右岸（北岸）の地点（Narayanpur, Dhemaji）において強い雨（降雨強度30mm h^{-1}以上）の寄与率が高く，頻度も高い傾向がみられた．一方，弱い雨（降雨強度3mm h^{-1}未満）の寄与率が高い地点は州中部や中南部（Bokakhat, Lumding, Diphu）で多い傾向が明らかになった．

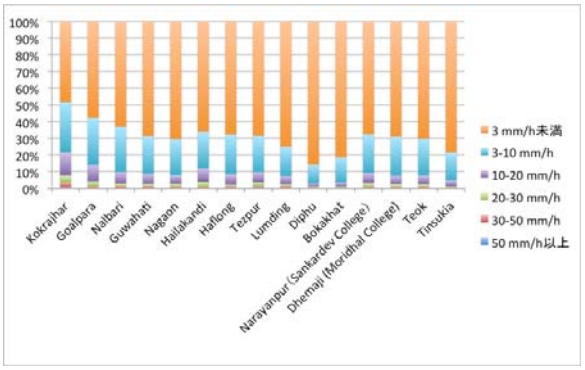


図2 各地点の降雨強度別頻度の寄与率

②降水量の季節推移にみられる地域性

各地点の降水量を確認すると，ブラマプトラ川北岸（ヒマラヤ山脈南麓）の2地点（Narayanpur, Dhemaji）が最もモンスーン季（JJAS）降水量が多く，6-9月に600-800 mm $month^{-1}$，モンスーン季降水量は1500-2500mmとなった．一方で州都のGuwahati，ブラマプトラ川左岸上流の2地点（Teok, Tinsukia）では，ヒマラヤ南麓に比べ200-400mm $month^{-1}$少ない傾向がみられた．州南部では，3-5月の降雨が他の地域に比べて卓越しており，400-600mm $month^{-1}$が観測された．このように州内でも特性が異なり，降水システムや地理条件の違いに配慮する必要があるとみられる．

モンスーン季降水量について，観測（2007-2011年の平均値）値とIMD4の1901-201

0年の気候値について比較すると，Dhemajiで2049.7 mm（観測）と1695.52 mm（IMD4），Narayanpurで2003.9 mm（観測）と 1680.25 mm（IMD4）となった．どちらもIMD4のほうが少なく，グリッド化により値が均され，17%（300mm）程度減ったものとみられる．

③大雨事例の解析

50mm h^{-1} 以上の大雨事例に着目して事例ごとに分析を進めたところ，次の3つのパターン(時期と要因で分類)に分けられたため，それぞれの事例について大気循環場の分析とIMD4との比較を行った．

a．9-10月に発生するサイクロンや強い低気圧に伴うケース

2011年9月23日のケースは，ブラマプトラ川北岸のDhemajiにおいて61mm h^{-1}，98 mm day^{-1}を観測した．IMD4の日データ(LTのため24日のデータと比較)でこの局地的降雨は捕捉されていなかった．また，ERA40の大気循環場を見ると，西ベンガル州上空を中心に低気圧が形成されており,アッサム州の北側では低気圧に伴うとみられる下層の上昇流が局地的に形成されている様子が伺えた．

b．6-8月のモンスーン低気圧，トラフに伴うケース

2008年6月13日，16日には，ブラマプトラ川北岸のNarayanpurで63mm h^{-1}，98mm day^{-1}，Guwahatiで50mm h^{-1}，77.5mm day^{-1}を観測した．IMD4データは過小評価となった．西ベンガル州上空を中心にモンスーントラフの深まりが観察され，これに伴う降雨と考えられる．またヒマラヤ南麓を中心に，下層の水蒸気量の増大がみられた．

c．4-5月のプレモンスーン季のケース

2009年4月30日に西部のKokrajharにおいて72mm h^{-1}，187mm day^{-1}の激しい降雨が観測されたケースでは，ヒマラヤ南麓を中心に低気圧性の渦度がみられ，気圧の谷の通過に伴いベンガル湾からの南よりの風が吹き,バングラデシュからアッサムにかけて水蒸気量が増加していた.ネパールなど東部ヒマラヤ南麓でみられる事例と類似するとみられる．Dhemajiなどブラマプトラ川北岸の地点でも同日に降雨が観測されていたため，南よりの風が強まることによる地形性降雨の可能性も示唆される．

これらの事例から，モンスーン季のケースではIMD4データの過小評価が目立つ一方,プレモンスーン季のケースで,モンスーン季に比べ,捕捉率が高いことがわかり，現象のスケールや特性との関連性が示唆される．さらにケースbでは，モンスーントラフの深まりと豪雨（発生地域の変化）の関係が示唆されたため，次年度はこのケースを中心に季節内変動と豪雨発生の関係について研究を進めたい．

4. 引用文献

D.S.PAI, LATHA SRIDHAR, M.RAJEEVAN, O.P.SREEJITH, N.S.SATBHAI and B.MUKHOPADYAY, 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

（国内学会・研究集会発表）

1.福島あずさ，林泰一，寺尾徹，村田文絵，木口雅司，山根悠介，田上雅浩，松本淳，2017：インド北東部・アッサム州における降水特性-地点観測データとグリッド日降水量データ（IMD4）の比較から-．日本地理学会2017年春季学術大会，筑波大学，2017.3.28-29.

2.Azusa Fukushima, 2017: Rainfall characteristics of Assam India -comparison of the rain gauge observation data and the gridded data (IMD4)-. International workshop for climate variability and related studies over North East Indian subcontinent, 名古屋大学宇宙地球環境研究所，2017.2.21-22.

3.福島あずさ，2016:インド・アッサム州の豪雨事例解析．第 11 回南アジアにおける自然環境と人間活動に関する研究集会 -インド・バングラデシュと周辺諸国における防災知識の共有を考える-，京都大学防災研究所，2016.12.23-24

4.福島あずさ，林泰一，寺尾徹，村田文絵，木口雅司，山根悠介，田上雅浩，松本淳，2016:インド・アッサム州北部における局地的降雨の事例-日降雨量グリッドデータ（IMD4）と地点観測データの比較-．日本気象学会2016年秋季大会，名古屋大学，2016.10.26-28.

電離圏対流パターンの観測－シミュレーション比較

Comparison between observed and simulated convection patterns in the ionosphere

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

太陽風から磁気圏へのエネルギー流入の最終形態は沿磁力線電流・電離圏対流である。沿磁力線電流や電離圏対流は地上レーダや低高度衛星で観測することが可能であるが、その背景にある磁気圏での物理過程（エネルギー変換・輸送）までたどることは難しい。一方、数値シミュレーションで得られる解は磁気圏過程の細かな情報を含むが、その解が現実的かどうかはわからない。本研究は、電離圏対流をシミュレーションと観測で比較・すり合わせることで、複雑な磁気圏の物理過程を理解することである。特に本研究では惑星間空間磁場（IMF）北向き時に注目する。IMF北向き時の磁気圏を直観的に理解することは難しく、観測とシミュレーションは車の両輪である。

研究方法

観測データとして、名古屋大学宇宙地球環境研究所の資源（SuperDARNデータとその解析ソフトウエア）を使わせていただいた。SuperDARNは元々極域電離圏対流を観測する目的で構築された観測網である。極域電離圏対流（電場ポテンシャル）パターンを作成するソフトウエアは公開されているが、一般ユーザーが解析環境を整備するのは敷居が高い。名古屋大学のワークステーションにアカウントをいただき、そこにインストールされている解析ソフトを用いて電離圏対流を可視化した。一方、数値シミュレーションは九州大学の計算機を用いて行った。

研究結果

いくつか行った研究のうち、具体例としてIMF斜め北向き時の夜側電離圏に現れるIMF B_yに制御される対流系について紹介する。図１はIMF $B_y < 0$（時計角約−45°）の時の北半球の観測（2000年2月21日2310－2322UT）である。真夜中付近に時計回りの渦が現れている。南半球ではレーダのエコーが少ないが、真夜中付近に反時計回りの渦が現れている（ここでは示していない）。この渦の起源は、磁気圏尾部で起こるDungey型のリコネクションと解釈されることが多い。この現象を数値シミュレーションで再現した。図２は時計角35°（$B_y > 0$）のときの北半球における電離圏対流（左）と沿磁力線電流（右）である。$B_y > 0$であるので図１とパターンが朝夕で反転しているが、真夜中付近に反時計回りの渦が再現されている。ただし渦中心は開いた磁力線上にあり、Dungey型のリコネクションの描像と合わない。図３はポテンシャルピークを作る沿磁力線電流を磁気圏へ追跡し、磁気圏ダイナモの場所を同定したものである。ダイナモはローブの真ん中にあり、このことからも沿磁力線電流の起源はDungey型リコネクションではないと言える。従来の考え方の再考が要求される。

成果発表

Watanabe, M., and M. R. Hairston, Observation of a unipolar field-aligned current system associated with IMF B_y-triggered theta auroras, J. Geophys. Res. Space Physics, 121, 5, 4483–4497, 2016.

Tanaka, T., M. Watanabe, M. Den, S. Fujita, Y. Ebihara, T. Kikuchi, K. K. Hashimoto, and R. Kataoka, Generation of field-aligned current (FAC) and convection through the formation of pressure regimes: Correction for the concept of Dungey's convection, J. Geophys. Res. Space Physics, 121, 8695–8711, doi:10.1002/2016JA022822, 2016.

Tanaka, T., T. Obara, M. Watanabe, S. Fujita, Y. Ebihara, and R. Kataoka, Formation of the sun-aligned arc region

and the void (polar slot) under the null-separator structure, J. Geophys. Res. Space Physics, doi:10.1002/2016JA023584, accepted for publication on 3 March 2017.

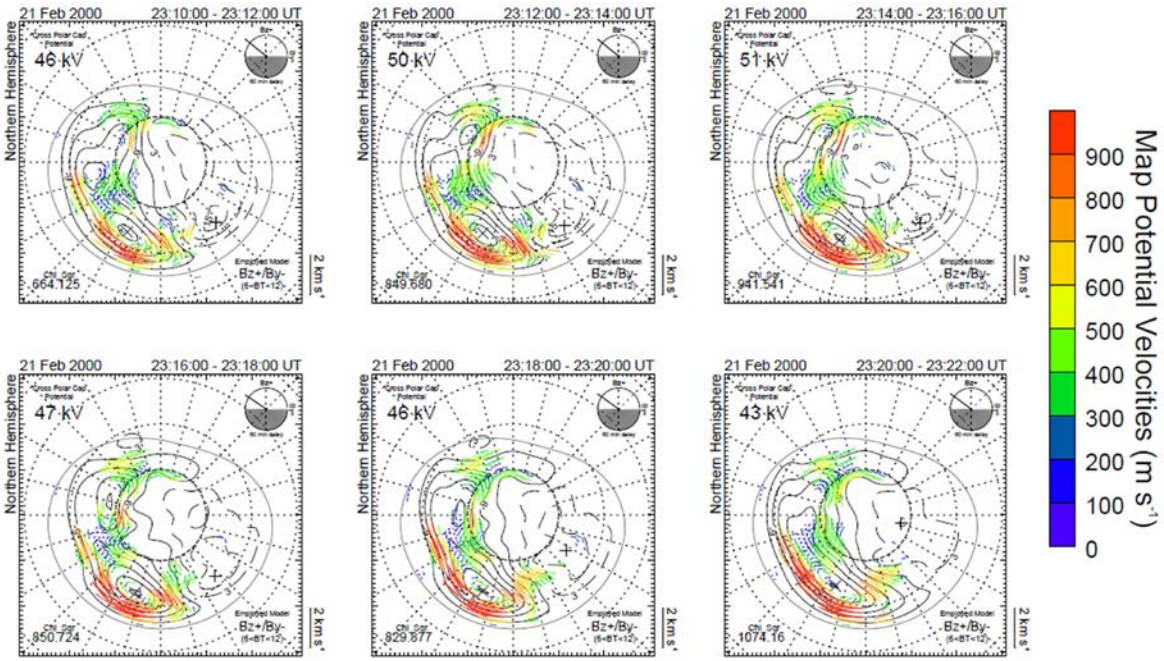


図１　2000年2月21日2310－2322UTに北半球のSuperDARNで観測された対流パターン。

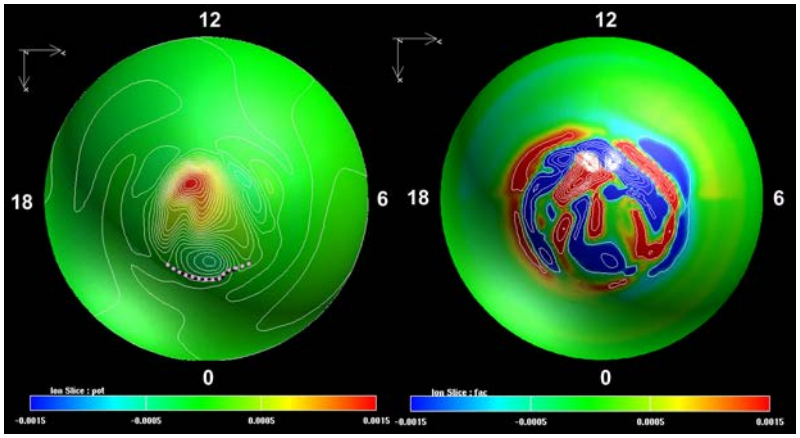


図２　数値計算による時計角35°のときの北半球における電離圏ポテンシャル（左）と沿磁力線電流（右）。最縁部が磁気緯度50°。左図の白点線は磁力線の開閉境界。

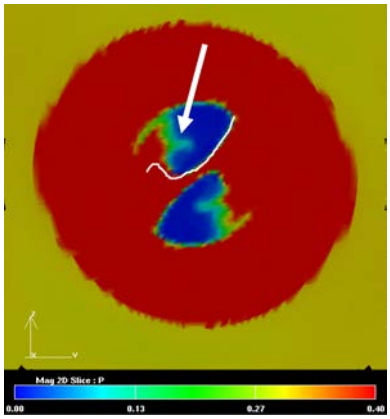


図３　X = −26 R_Eの断面におけるプラズマ圧。赤い円形部分（半径約45 R_E）の縁はbow shock。白線は磁力線の開閉領域。ダイナモは白矢印が示す部分（プラズマシートからトーチ状に伸びた先端）にある。

MPレーダと雲解像モデルを利用した降水量の推定・予測に関する研究
Studies on estimation and prediction of precipitation using MP radar and cloud-resolving model

若月泰孝、茨城大学・理学部

① 研究計画

本研究は、名古屋大学宇宙地球環境研究所が所有するXバンド，Kaバンドの2つのレーダデータと、同じく名古屋大学で開発されたCReSS(Tsuboki and Sakakibara 2001)などの非静力学雲解像大気モデルを利用して、降水量の推定と短時間予測を行う研究である。全体の研究継続年数を5年間として、本年度をその初年度とする。

まず、レーダを利用する研究について示す。利用するレーダはマルチパラメータレーダ（MPレーダ）とよばれ、2重偏波の情報から降水強度をより精度よく推定することができるほか、固体降水を含む粒子判別を行うこともできる。MPレーダに関する研究は古いが、未だ高精度の雨量推定や粒子判別のアルゴリズムは確立されているわけではなく、研究は未だ盛んである。申請者の若月も、XバンドMPレーダを利用して、雨量推定アルゴリズムを近年開発した（論文投稿準備中）。若月の研究は、偏波パラメータの中でも日本であまり利用されていないZDPという指標を用いることが特徴で、雨量推定精度向上が確認できている。本研究では、さらなる検証やKaバンドの利用の可能性についても調査していく。Kaバンドでは、比較的弱い雨をとらえることができるため、様々な強度レンジの雨について研究することがでると期待される。本研究で、レーダから推定される雨量の精度向上が図られた暁には、豪雨に対する減災・防災研究に資する他、遠い将来には気候学的な雨量推定にも貢献する可能性がある。なお、本年度は沖縄県にXバンドレーダとKaバンドレーダが設置されることから、XバンドレーダとKaバンドレーダデータ、そして地上の雨量観測データを取得し、それらを比較する準備を行う。また、可能な範囲で比較検証を進めることとする。

次に、非静力学雲解像大気モデルを利用する研究について示す。このモデルは、短時間の降水を予測する能力を持っている。その中で、20分から3時間先の降水予測は、豪雨による災害を予測する上で非常に重要である。しかし、モデルによる予測計算の初期値に積乱雲の構造が「適切に」含まれていないと、その対象時間での予測精度は高くならない。モデルの初期状態は、事前の予測計算と観測データを結合するデータ同化によって作成されるが、データ同化の手法を工夫して、レーダから積乱雲に関連する情報を適切に抽出されなければならない。本研究では、レーダデータから積乱雲の構造に関する情報を抽出し、それをモデルのシミュレーションにデータ同化によって組み込む研究を進める。積乱雲の振る舞いを含む降水予測は、その強いカオス性のため、短時間インターバルで更新されなければならないので、短時間で処理できる簡易型手法である必要がある。若月はすでにこの手法を開発し論文発表している。本共同研究では、この手法の高度化に貢献するための大気モデルシミュレーションとレーダデータの組み込み実験を推進する予定である。本年

度は、ひとまず広島豪雨を対象事例として選び、研究と実験を進める予定である。また、他の事例の調査も前向きに進めることとする。

数値モデル実験は、短時間降水予測だけでなく、気候学的な長期のシミュレーションでも有益な情報を与える。特に、気候学的な災害リスク推定などに寄与する情報は、長期シミュレーションでなければ推定することができない上、観測が少ない地域にも展開することができる強みがある。本共同研究では、長期シミュレーションによる低頻度大気現象の気候学的推定に関する基礎調査もすすめる。若月は地域スケールの気候変化予測に関する受託研究に10年程度携わってきており、領域大気モデルによる長期シミュレーションの研究実績は十分にあるが、名古屋大学と連携して長期シミュレーションを実施したことはない。今年度は、長期シミュレーション研究連携について、試行的実験を通じて、低頻度大気現象に着目した研究の方向性について相互検討する。

② 研究結果

平成28年度は、琉球大学に設置されている名古屋大学のX-bandマルチパラメータレーダの運用モードを共同研究で利用できるよう修正を加えた。琉球大学のレーダは、6分程度の間隔でボリュームスキャンされるように設定されている。一方で、本研究では、X-bandマルチパラメータレーダの情報から精度の高い雨量を推定できるアルゴリズムを開発している。このアルゴリズムの検証および高度化のためには、地上に置いた雨量計や雨滴粒径分布計（ディスドロメータ）による観測データとの比較が必要である。ディスドロメータは、沖縄県恩納村にある国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）沖縄電磁波技術センターに設置してある。このデータは、他の科研費研究を通じて利用させていただくことができる見通しになっている。そこで、X-bandマルチパラメータレーダのボリュームスキャンの最後、高仰角か低仰角に下げる時、NICTの観測点の方向に固定することとした。すでに、2016年6月頃からこのモードでの観測を続けているため、かなり多くのデータを取得できている。平成28年度は、そのデータ解析をするまでに至っていないものの、データ取得とともに、レーダデータ解析プログラムも共同研究の一環として提供していただいた。

名古屋大学で開発された雲解像モデルCReSSや気象庁非静力学領域気候モデルNHRCMを名古屋大学情報基盤センターで計算させるべく準備を進めた。その結果、CReSSについては問題なくインストールすることができた。NHRCMについてもインストールして計算できるようにしたが、一部のライブラリ機能がうまく使える状態にできなかったので、それを組み込めるように次年度調整する予定である。CReSSを用いた実験を実施した。特に、2014年に発生した広島豪雨について、先に若月が開発した上流下層加湿法（若月 2015）を適用し予測実験を実施した。解像度500mと1000mで1時間先の降水予測を実施した。用いた観測データは、気象庁合成レーダデータである。このデータを雨水情報ではなく、上流側の下層の水蒸気量に変換して同化する。広島豪雨は、積乱雲が帯状に集団化するバックビルディングタイプの線状降水帯であった。数時間程度同じ位置に停滞するた

め、土砂災害を引き起こしやすい。実験では、線状降水帯に伴う1時間先の強雨を的確に予測していた。特に、レーダエコーの動きを時間が移送することによる予測である気象庁降水ナウキャストと比較した。その結果、線状降水帯の特性が時間変化する時に予測精度が有意に向上していることがわかった。今後さらなる検証と技術の高度化が必要である。

本研究を進めるにあたって、共同研究の一環として２度の出張を実施した。１度目は、山口大学で開催された、沖縄での降水観測プロジェクトに関するミーティングである。沖縄でのレーダ観測体制と地上観測データの取得に必要な打ち合わせ会であった。会合自体は、山口大学の先生が主催したほかの科研費研究もかかわる会合であったが、参加したことによって沖縄での観測体制についての有益な情報を得ることができた。２度目は、名古屋大学宇宙地球環境研究所に訪問した。名古屋大学情報基盤センターの大型計算機を利用して、２種類の非静力学雲解像大気モデル（CReSSとJMA-NHRCM）を動かすために、環境整備を実施した。作業中、名古屋大学情報基盤センターでの実行のためのツールをいただいたり、ノウハウの助言をいただいたりした。

③ 引用文献

Tsuboki, K. and A. Sakakibara, 2001: Cloud Resolving Storm Simulator User's Guide, Second Edition,

若月泰孝, 2014: 上流下層加湿による積雲対流の予測実験. 土木学会論文集B1(水工学), 71(4), I_505-I_510

④ 成果発表

なし

数値モデリングおよびデータ解析に基づく 環電流-放射線帯エネルギー階層間結合機構の研究
Study of the ring current and radiation belt couplings based on numerical modeling and data analysis

関　華奈子、東京大学・大学院理学系研究科地球惑星科学専攻

ジオスペース最大規模の変動現象である宇宙嵐(geopace storm)時には、放射線帯が大きく変動することが知られており、この変動機構の解明は、国際ジオスペース探査の主目標となっている。放射線帯電子の加速過程を理解するためには、内部磁気圏における電磁場と粒子の変動を理解することが不可欠であるが、申請者らはこれまでに、両者を自己無撞着に解くことが可能な新しい環電流モデルを開発してきた。この新モデルの特徴は、世界で初めてULF波動を含む電磁場の変動と環電流イオンのダイナミクスを同時に物理方程式に基づき記述可能にした点である。本研究では、この新環電流モデルを基軸として、Pc5帯のULF波動が放射線帯粒子加速に果たす役割を明らかにすることを目的としている。グローバルな場の変形には寄与しないより高いエネルギーの放射線帯電子については、別途申請者らが開発してきた放射線帯粒子の統計的テスト粒子計算コード[Saito et al., 2010]を用いて記述することで、ULF波動による電磁場変動が相対論的電子の加速／消失に与える影響について検証する。また、Van Allen Probesおよび今年度打ち上げ予定のERG衛星の観測データ解析を進め、モデリング結果と比較することで、モデル計算結果の検証と実際の宇宙嵐への適用可能性について考察する。こうした研究を通して、環電流によるPc5波動の励起など、環電流ダイナミクスが内部磁気圏電磁場構造に与える影響を評価するとともに、Pc5波動による相対論的電子輸送が拡散的に記述できる条件を明らかにし、輸送係数がどのように決定されるのかを明らかにすることを目指している。

本研究には２つの柱がある。１つめの柱は、上述の２つの数値モデル（環電流モデルと放射線帯モデル）を組み合わせて、ULF波動が放射線帯電子の加速・輸送に果たす役割を理解することである。本年度は、輸送機構の基本的性質を押さえるため、まず、地方時方向の波数mを持つ単色波などの単純化した境界条件を与えることで、新モデルによるULF波動記述の基本性質を調べた。まず、環電流モデル計算結果からULF波動を含む内部磁気圏の電磁場の時間変動の時系列データを作成し、放射線帯モデルの背景場の入力として用い、ULF波動存在下での相対論的電子の地球中心からの距離方向の動径方向輸送の効率を調べる手法を開発した。電子の初期エネルギーおよびピッチ角を変化させることで、電子輸送の各パラメータへの依存性について調べた結果、同じエネルギーの相対論的電子に着目した場合、ピッチ角による共鳴するL値の位置の違いから、特定の領域に限って、バタフライ分布を形成することが明らかとなった。

本研究の２つ目の柱は、Van Allen Probes衛星等を用いたデータ解析研究である。本年度は、イオン種毎の環電流イオンの供給および消

失過程に着目し、2013年4月の磁気嵐について、イオン質量分析器データと同時期の地上磁場観測データの解析を行った。具体的には、酸素イオンと水素イオンの輸送タイミングの違い、エネルギー毎の輸送機構の違いに着目して、解析を行った結果、高エネルギー酸素イオンの拡散的輸送が宇宙嵐の発達に寄与する可能性が示唆された。なお、上記２つの研究は、名古屋大学の大学院生の研究テーマの一部となっており、研究経費はそのための打合せ旅費として使用した。

ERG衛星搭載HEPの半導体検出部の低エネルギー側の応答評価
Evaluation of silicon strip detectors for High Energy electron detector onboard ERG

三谷烈史、宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所

【概要】

地球周りの放射線帯において相対論的なエネルギーをもつ電子がどのようにして生成・消失するかを解明するために、ジオスペース探査衛星ERG（愛称：*あらせ*）が2016年12月20日に打ち上げられた。*あらせ*に搭載された高エネルギー電子分析器HEPは、放射線帯の 0.07 - 2 MeV 程度の電子を計測対象としたもので、シリコンストリップ半導体検出器を積層したものを電子検出部としてもつピンホールカメラである。本研究では、この観測器の電子への応答を地上で詳細に評価し、衛星軌道上での観測データから導出される速度分布関数の信頼度をあげることを目的とする。衛星打ち上げ後、軌道上でのHEPの初期運用を滞りなく進め、現在定常運用に入った段階である。取得されたデータを確認し、校正を進めている。

【研究内容】

*あらせ*衛星に搭載された高エネルギー電子分析器 HEP のシリコン半導体検出部には、プロトンが同時に入射されてくる環境下であっても、簡易なシステムで電子を計測できるようにするために、プロトンを遮蔽するための入射窓としてアルミ膜を設けている。しかし、これは電子観測にも影響を及ぼすため、HEP の 100 keV付近での応答を評価する必要がある。

100 keV付近の電子の応答を記述するために、シミュレーションライブラリ Geant 4 を用い、HEP 電子検出部のジオメトリを用いた応答評価を進めた。フライト品として採用した検出器サイズと構造を模擬したジオメトリをシミュレータに組み込み、基本的な動作確認を実施した。図 1に 100 keVの電子を入射した時に HEP がどのようなエネルギーを検出するかを示す。単色100 keVでの入力であっても、90 keV程度にピークを持つとともに、低エネルギー側に計数がある。ピークの位置、幅、低エネルギー側の計数について、シミュレーションの妥当性を評価するために、今後、共同利用施設・設備である「機器較正用イオン・電子ビームライン」を利用する。本年度はこうしたシミュレーションを進めるとともに、試験の準備を実施した。

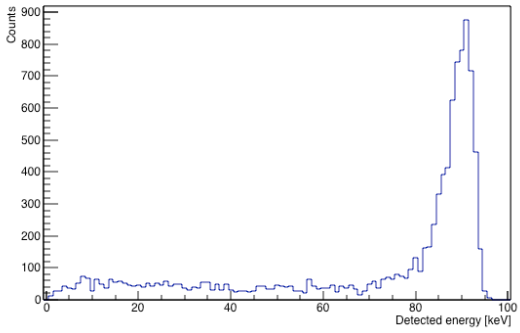


図 1 Geant4 を用いて HEP フライト品と同等の形状を組み込み、100 keV 電子を入射した時に計測されたエネルギーの分布。

軌道上では HEP の初期運用を行い、正常に電源投入ができ、地上と同等の性能がでていることを確認できた。図 2にシリコ

ン半導体に所定の電圧200 Vを印加し、前置増幅器へのテスト電荷入力を与えて取得した波形整形回路の応答波形を示す。地上試験と同等の波高値・波形整形を確認できた。また、ノイズレベルも地上と同等であることが確認された。

来年度以降、本年度準備したシミュレータと軌道上データをもとに、実際の電子ビームでの評価試験を進める予定である。

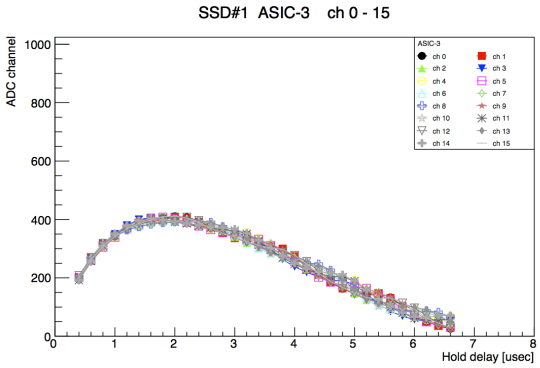


図 2 軌道上でHEPシリコン半導体に所定の電圧200Vを印加し、前置増幅器への疑似電荷を与えて取得した波形整形回路の応答波形。地上試験と同等の波高値、波形整形を確認できた。

人工オーロラを活用した地上リモートセンシングによる酸素原子密度観測の検討

A consideration on atomic oxygen density observation by ground-based remote sensing with artificial aurora

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

電離圏加熱装置による人工オーロラの減光効果（クエンチング）の計測から減光効果の主要因である周辺大気（主に酸素原子）の密度情報を抽出する手法が提案されている．本研究では，先行研究で提案されている手法と現実大気における実験（電離圏加熱装置による人工オーロラ発生，及び人工オーロラの減光効果の光学観測）をベースに，地上リモートセンシングによる酸素原子密度計測法の検討を行うことを目指す．

研究内容・経過

年度前半を開発フェイズとし，人工オーロラ計測用の光学装置の試作に取り組んだ．基本的には，市販の光学機器・光学素子やCCDカメラなどを組み合わせて，安価でコンパクト，高性能（高感度，高時間分解能）な光学装置の開発を進め，人工オーロラの複数の発光波長に関して酸素原子密度計測に最適な波長を検討・選定するために波長分解機能を持たせた光学装置（光学スペクトログラフ）を試作した．

年度後半を実証フェイズとし，試作した光学装置と既存の電離圏加熱装置を組合せ，北欧ノルウェーにおいて人工オーロラ観測試験を実施することを目指した．2017年2-3月に約2週間の国際共同観測キャンペーンを企画する一方で，試作した光学装置を2016年10月にノルウェーのトロムソに設置（図1参照）し，夜間自動オペレーションによる（自然の）オーロラの連続観測を開始した．連続観測は現在まで順調に稼働（図2参照）しており，2016年度冬季期間中の多数のオーロラ光学データを取得することに成功している．また，自然のオーロラの試験観測データから，試作した光学装置の良好な計測性能を確認している．

2017年2-3月の人工オーロラ観測キャンペーン時には，現地トロムソに滞在して観測試験のオペレーションを行った．しかし，キャンペーン期間に高速太陽風の影響によるオーロラ擾乱が発生したため，電離圏を安定して加熱することができず，人工オーロラを発生させることは困難であった．結果として，人工オーロラの観測には成功しなかったため，酸素原子密度の計測手法に関する詳細な検討までは至っていないが，継続して人工オーロラ実験の企画を進めることを予定しており，将来的に計測手法の詳細な検討や開発に関して重要な進展が得られると予想している．

査読付論文（投稿中）

1. T. T. Tsuda, T. Nakamura, M. K. Ejiri, T. Nishiyama, K. Hosokawa, T. Takahashi, J. Gumbel, and J. Hedin, Statistical investigation of Na layer response to geomagnetic activity using resonance scattering measurements by Odin/OSIRIS, Geophys. Res. Lett., submitted, doi:10.1002/2017GL072801, 2017.

査読付論文（受理済）

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

2. S.-i. Oyama, K. Shiokawa, Y. Miyoshi, K. Hosokawa, B. J. Watkins, J. Kurihara, T. T. Tsuda, and C. T. Fallen, Lower thermospheric wind variations in auroral patches during the substorm recovery phase, J. Geophys. Res. Space Physics, 121, 3564-3577, doi:10.1002/2015JA022129, 2016.

口頭発表（招待講演）

1. 津田卓雄，中村卓司，江尻省，西山尚典，阿保真，津野克彦，野澤悟徳，川原琢也，川端哲也，斎藤徳人，和田智之，C. M. Hall，高橋透，J. Gumbel，J. Hedin，光学リモートセンシングによる金属原子層・金属イオン層の研究，第21回大気ライダー研究会，東京，2017年2月．（招待講演）

2. 津田卓雄，MTI研究のためのライダー観測，MTI研究集会，東京，2016年8月．（招待講演）

3. T. T. Tsuda, My research activity associated with Japan-Norway collaborations, Young Scientist Forum, Japan-Norway Arctic Science and Innovation Week 2016, Tokyo, June 2016. (invited talk)



図1．光学装置の設置状況

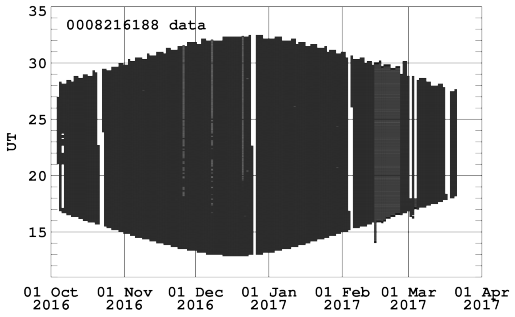


図2．光学装置の観測時間

遺跡出土遺物を用いた古食性，古環境復元研究
Reconstruction of paleo diets and environment using archaeological remains

宮田佳樹、金沢大学・先端科学・イノベーション推進機構

【研究の概要】

遺跡周辺の当時の環境を現代から推定するために，2016 年 8 月 7 日に，能登半島新池（石川県珠洲市）の池水，ヒシ，ジュンサイ，アシなどを採取し，その安定同位体組成，放射性炭素濃度測定を試みた。Station Trap2 の溶存無機炭素中に含まれる放射性炭素濃度（$\Delta^{14}C$(‰)）は，水深 1.2M; +13.0±4.0(‰)，2.2M(Bottom); +7.0±3.0 (‰)であった。水深 1.2M の $\Delta^{14}C$ = +13.0(‰)は，大気とよく混合している表層水と水深 2.2M (Bottom) $\Delta^{14}C$ = +7.0(‰)との混合で説明できるのかもしれない。

【研究目的】

縄文，弥生時代の遺跡の同一包含層から出土した明瞭なコンテクストの複数種類の遺物（炭化材，炭化種実，土器付着炭化物，人骨，動物骨，貝など）のみかけの炭素年代測定差を比較検討し，遺物の安定同位体組成，土器残存有機物脂質分析，分子レベル炭素同位体分析などを活用することで，遺物の食性，生息域などの生態系情報も含めた当時の遺跡環境を現代と比較検討しつつ復元すること。

【方法】

2016 年 8 月 7 日に,能登半島新池(石川県珠洲市)の湖水，ヒシ，ジュンサイ，アシ，マツ葉などを採取し，放射性炭素濃度とその安定同位体測定を試みた。

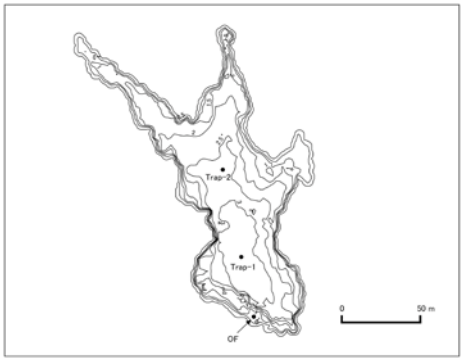


図１．新池湖深図（石川県珠洲市）



写真１　新池写真（2016/11/22）

【まとめ】

2016 年 8 月 7 日に採取した 4 点の池水の溶存性無機炭素の放射性炭素濃度を示す（表１）。4 点の測定結果に過ぎないが，能登半島新池（石川県珠洲市）の集水域から，流入してくる供給水中の溶存無機炭素は，大気よりも古い炭素年代を示すことがわかった（Trap1-2.5M-2 は一番水深が深いにもかかわらず，一番高い炭素 14 濃度を示すことから，何らかの理由で大気混入の影響を受けてしまった可能性があり，現時点では考察から除外する）。

表1. 湖水の溶存性無機炭酸の放射性炭素濃度

Sample	Station	Depth (M)	Repeat	^{14}C content (pMC)	NUTA2-
ISSIN-	Trap1	2.5	2	102.6±0.3	24183
ISSIN-	Trap2	2.2	1	100.7±0.3	24183
ISSIN-	Trap2	1.2	1	101.3±0.4	24183
ISSIN-	Trap1	2	1	99.4±0.4	24183

Station Trap2 の DO は，水深 0.3M まで 9mg/L 程度で一定であり，表層は大気とよく混合されている。それ以深は，2.2M の池の底まで，単調に減少している。したがって，Trap2-2.2M（Bottom）の+7.0±3.0（‰）と大気とよく混合している表層水との混合で，Trap2-1.2M の +13.0±4.0(‰)という Δ^{14}C 値を説明できるのかもしれない。

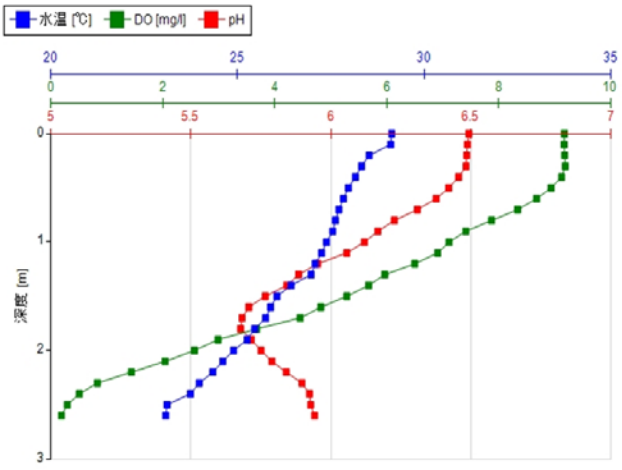


図2 Trap2における水温，溶存酸素濃度，pHの深度分布(2016/8/7)

【今後の研究計画】

今年度未測定である新池から採取した表層水，植物試料の炭素年代測定，安定同位体測定をすすめ，池水の滞留時間を物理観測結果と比較し，遺跡環境を復元する。さらに，八日市地方，真脇，大谷山貝塚遺跡から出土した貝，動物骨，土器付着炭化物試料など 20 試料の炭素年代測定，安定同位体測定，加えて，土器脂質分析や遺物の分子レベル炭素同位体測定を行う。また，年代測定試料である動物下顎骨を形態観察し，狩猟された年齢や時期を推定し，さらに詳細な古食性解析を進めていくつもりである。

【謝辞】

本研究の成果は，H28-31 年度科研費基盤(A) ”科学分析手法と土器使用痕観察を組み合わせた古食性と調理形態復元に関する学際研究”（研究代表者 宮田佳樹，分担者　中村俊夫ほか）の成果の一部である。

航空機を用いた大気微量気体、エアロゾルのリモートセンシング

北　和之、茨城大学理学部
金谷　有剛、海洋研究開発機構
小池　真、東京大学
入江　仁士、千葉大学
松見　豊、坪木和久、中山智喜、名古屋大学

対流圏オゾンは、化石燃料の燃焼などで放出される窒素酸化物等のオゾン前駆気体から光化学反応で生成する。日本では、各種規制によりオゾン前駆気体の放出量・大気中濃度ともに減少傾向にあるが、1980 年代後半より対流圏オゾン濃度は逆に増加傾向にある。その原因として、アジア大陸などからの越境汚染の影響などが挙げられているが、正確にはまだよくわかっていない。また各種エアロゾルは、その気候影響の重要性から、近年研究が進められており、とくにアジア新興国からの多量の放出の広域影響が注目されている。PM2.5 による健康影響も一般に認知されて久しい。

オゾン、窒素酸化物のような微量気体およびエアロゾルの、アジア新興国などからの広域影響を理解するには、地上モニタリングネットワークなどによる観測だけでは不十分で、人工衛星からのモニタリングが望まれている。航空機からのリモートセンシングも、人工衛星観測の試験観測および Validation という意味でも、また輸送中の変化を理解するためのプロセス研究の上でも重要な役割を果たしうる。本研究では、航空機から、特に地表付近のオゾンや二酸化窒素のリモートセンシングを高精度で行う可能性について、検討を行っている。

今回、まず 2012 年 9 月に行った航空機観測データを再検討した。観測は、つくば市上空にて、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―下部対流圏成分のみが検出できると期待していた。図 1 に 3 回目の観測フライトで得られた紫外スペクトルから求めたオゾンの差分（地表散乱―天頂散乱）カラム量の太陽天頂角変化に伴う時間変化を示す(青ドット)。

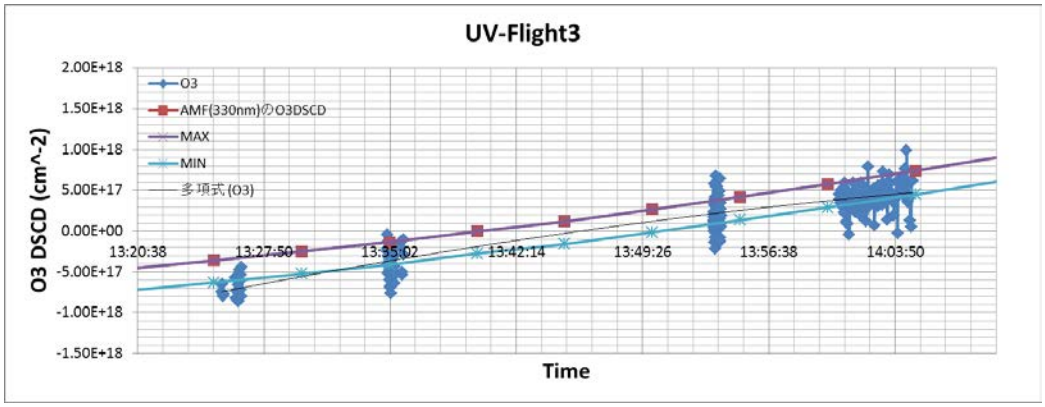


図 1. 高度 8.5km で航空機から観測された紫外地表散乱光スペクトルから推定したオゾン傾斜カラム量と天頂散乱光スペクトルから推定した量を差し引いた差分量の時間変化。

結果は、時間経過（太陽天頂角増加）とともに、差分カラム量は負から正に変化しており、絶対量も期待していたたより小さい。これは、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、図２に示すように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るためであることが分かった。

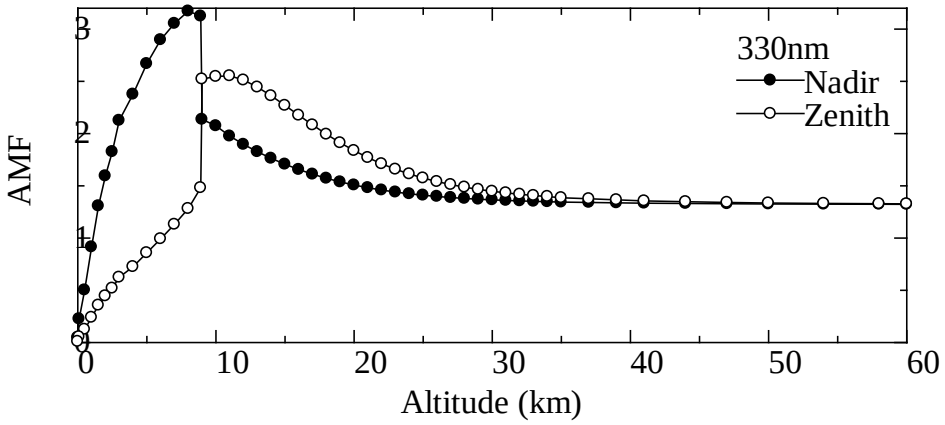


図 2. 波長 330nm で、航空機観測と同じジオメトリに対し推定された地表散乱光(Nadir)および天頂散乱光(Zenith)の各高度での光路長ファクター（エアマスファクター：AMF)

この影響により、地表付近の微量成分量を推定することが大変困難になっている。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。これは、東北大学のグループが行った光学式ドロップゾンデによる、高高度オゾンの測定で実績がある。この方法の有効性を実証するため、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ってくるが、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。現在、装置の設計を終え、組み立てに入っており、その効果を定量的に明らかにし、航空機観測に適用できるようにしていく予定である。

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

高垣直尚、兵庫県立大学・機械工学専攻

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

砕波機構の解明のために，台風のシミュレータである高速風洞水槽(全長24m，幅0.8m，最大水深0.8m，京都大学所有，図1）で得られた水位変動データ等の解析を行った[3~6]．具体的には，海上10mの位置における風速基準で5～69m/sの測定条件において測定されたデータを使用した．水位変動データ等は，レーザドップラ流速計，位相ドップラ流速計，高速度カメラ，抵抗式波高計などを用いて測定された．解析手法は，渦相関法，ゼロアップクロス法，スペクトル法，コスペクトル

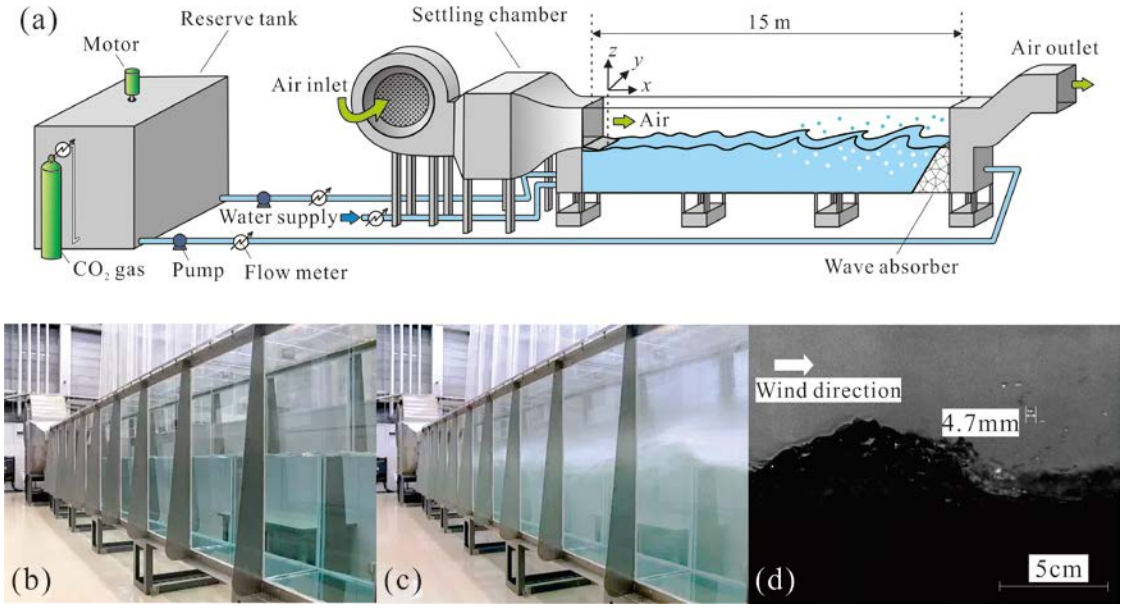


図1　(a)高速風洞水槽の概要[1]，(b, c)水槽内部の水面の様子[1]，それぞれ風速が7，67m/s.
(d)水槽の側面から撮影された飛散する液滴および巻き込み気泡の様子[6].

法等を用いた．図2に，風波スペクトルのピーク拡張係数γ_Dと波齢および風速との関係を示す．図より，ピーク拡張係数は通常の風速時と異なり，高風速時には波齢の逆数の増加に従い減少すること，風速の増加に従い減少することが分かる．本報告では紙面の都合上省略するが，これらのピーク拡張係数に関する経験モデルを作成し，本モデルを使用することにより抗力係数の風速依存性を説明可能であることを示した．

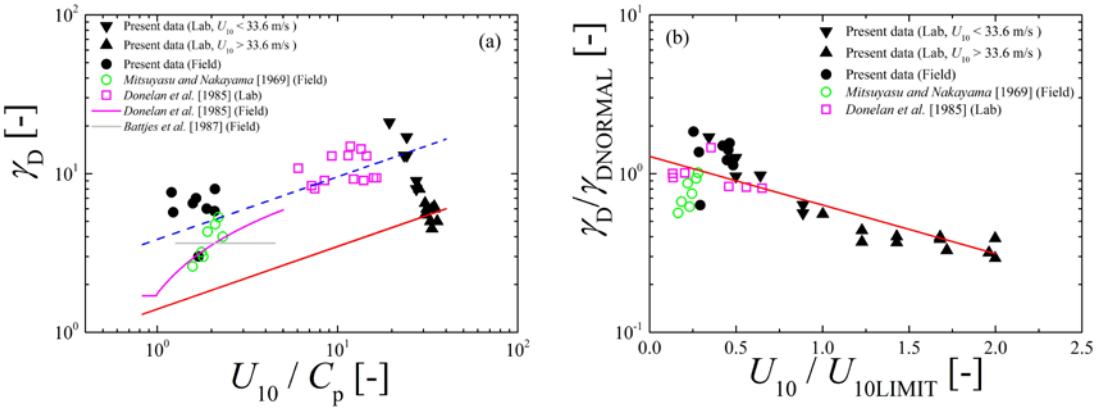


図2　(a)風波スペクトルのピーク拡張係数γ_Dと波齢の逆数U_{10}/C_Pの関係[4]，(b) 風波スペクトルのピーク拡張係数γ_Dと風速U_{10}の関係[4]．図(a)の破線：MODEL1を用いた場合の経験モデル曲線．図(a)の実線：風速60m/sにおけるMODEL2を用いた場合の経験モデル曲線．図(b)の実線：MODEL2を用いた場合の経験モデル曲線．文献[4]を元に作成．

引用文献

1）Takagaki, N., et al. (2012), Strong correlation between the drag coefficient and the shape of the wind sea spectrum over a broad range of wind speeds, *Geophys. Res. Lett.*, 39, L23604, doi:10.1029/2012GL053988.

2）Iwano, K., et al. (2013), Mass transfer velocity across the breaking air-water interface at extremely high wind speeds, *Tellus, Ser. B*, 65, 21341, doi:10.3402/tellusb.v65i0.21341.

3）Takagaki, N., et al. S. Komori, and N. Suzuki (2016), Estimation of friction velocity from the wind-wave spectrum at extremely high wind speeds, *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 35(1), 012009, doi:10.1088/1755-1315/35/1/012009.

4）Takagaki, N., S. Komori, N. Suzuki, K. Iwano, and R. Kurose (2016), Mechanism of drag coefficient saturation at strong wind speeds, *Geophys. Res. Lett.*, 43, doi:10.1002/2016GL070666.

5)高垣直尚，高風速下かつ長吹送距離における風波気液界面を通しての運動量輸送機構，波浪研究集会，名古屋大学，　2017年3月7日．

6)高垣直尚，(2017)，台風下における海水面の微粒化，ケミカルエンジニヤリング，62 (2)，pp5～12，化学工業社．

木星放射線帯粒子変動要因の観測研究

Observational study of variation processes of relativistic particles in Jupiter's radiation belt

三澤 浩昭, 東北大学・大学院理学研究科

[研究目的] 木星から放射されるシンクトロン電波(JSR)は、直接観測のほぼ不可能な放射線帯の粒子ダイナミクスの情報を持つ。申請者らはこれまで JSR 強度の連続観測に基づき、数日～週程度の短期の時間スケールで強度変化を起こす現象について研究を行い、その現象が①太陽紫外線照射量変動と関連を持つ成分、②木星磁気圏で自励的に発生すると考えられているサブストーム型現象の出現と関連を持つ成分 の 2 種が存在する可能性を示してきた。一方で、これら①、②のプロセスでは説明の難しい第 3 の成分(③)がある可能性が示され、従来はその存在が疑問視されてきた太陽風変動と関連する成分である可能性が改めて示唆されてきており、この成分-③の存在の検証と成因の考察が新しいテーマになってきている。本研究では、特に、この成分-③の存在の検証と、太陽風変動との関連の査定を目的として平成 27 年度より 3 年計画で研究を行っている。

[研究方法] 上記目的達成のために、本研究は観測・データ解析に基づく以下を内容とする計画で進めてきた。A.電波望遠鏡を用いた連続観測に基づく JSR 強度変動計測、B.MF 帯電波による木星極域変動の連続モニター・データの解析に基づく磁気圏広域活動の評価、C.磁気圏変動要因と目されるイオ火山性ガス・プラズマの発光モニター・データに基づく JSR 変動への寄与の評価、また、D.木星位置で想定される太陽紫外線および太陽風データに基づく JSR 変動への寄与の評価。

[研究現況] 研究2年度目の本年度は、特に米国の木星探査機 JUNO の木星接近～周回探査実施の時期にもあたり、太陽風プラズマ、磁気圏プラズマの直接計測データを併用しての解析・考察が可能となることから、JUNO の木星接近期の 2016 年 5 月～6 月(I 期)と、木星近傍通過期の 2017 年 3 月下旬(Ⅱ期)の2回 JSR のキャンペン観測を行い、これらの観測期のデータについての解析を進めている。現況は以下の通りである。

A. JSR 観測: NICT 鹿島の大型電波望遠鏡を用いて上述の 2 回の JSR 観測(2.3GHz 帯)を実施した。昨年度の観測で課題となった、観測帯域内に混入する人工電波の干渉成分(RFI)を除去した強度導出を可能とするための観測帯域のスペクトル観測と、短時間に木星方向(ON)と僅かに外した方向(OFF)の観測を行い、両者の差から JSR 強度を導出する観測(ON-OFF scan)を組み合わせて実施した。現在、RFI の詳細な評価に基づく JSR 強度導出を進めている。

B. 木星磁気圏現象の変動特性: WIND 衛星で取得された MF 帯の木星オーロラ電波連続観測データを解析した。第 I 期のキャンペン観測期間では、概ね 4～5 日で準周期的に出現する自励的な現象と太陽風動圧変動時に現れる特徴的な現象が検出されている。JUNO の磁気圏データは公開後に比較を行う。

C. イオ火山性プラズマの発光量変動特性: HISAKI 衛星によるイオ火山性プラズマの連続観測から、第 I 期のキャンペン期間は大まかな傾向として発光量が緩やかな減光を示しつつ、継続時間が数日程度の小規模な増減と 1 日程度の突発的な増光が含まれることが確認されている。

D.太陽紫外線・太陽風の変動特性: 第 I 期のキャンペン期間に、木星に予想される太陽紫外線強度は 5 月初旬が最大で、以降、6 月初旬に一時的に極大値を示したものの概ね緩やかに減少していた。一方、木星に予想される太陽風は、その動圧は 0.02～0.8nPa 程の幅で数度の増減が(回帰的に)存在した。この太陽風の変動と B や C の解析から得られた太陽風起因との関連が示唆される現象の対応に留意しつつ、太陽紫外線変動のない時期に特に着目し、太陽風の変動と A の JSR 変動との関連性を精査中である。

[本年度総括と展望] 本年度は、昨年度の観測課題であった計測方法を改善した 2 度の JSR キャンペン観測を実施した。その結果は精査中であるが、解析済みのオーロラ電波や内部磁気圏プラズマ発光には太陽風変動起因が示唆される現象が検出されており、「JSR 変動成分-③」の検証を慎重に進めている。研究最終年度の 2017 年度は「JSR 変動成分-③」の詳細な出現特性の把握とその出現過程の理解のための電波源の変動解析を目的の一つとして、インドの大型電波干渉計を用いた JSR 観測を、NICT 鹿島の装置とともに 5～6 月に実施予定であり、JSR 変動を精査してゆく予定である。また、JUNO による木星磁気圏プラズマ観測結果も考慮し、「JSR 変動成分-③」の検証と査定の本研究を総括する予定である。

[成果発表等]

・学会・研究会発表:日本地球惑星科学連合 2016 年大会(2016 年 5 月@幕張), 第 15 回 IVS 技術開発センターシンポジウム(2015 年 6 月@鹿嶋)

IPS 観測による太陽風と人工衛星のCCD 画像から検出された speckle との統計的解析
Statistical analysis of solar wind and speckles of satellite

野澤恵, 茨城大学・理学部

Introduction

地球周辺には太陽や銀河系由来の放射線粒子や、地球磁場により捕捉された高エネルギー粒子により形成された放射線帯が存在している。これらの粒子は、衛星の帯電障害や、航空機被ばくの原因になるなど、多くの被害をもたらす。各被害を抑えるためにも、高エネルギー粒子の変動を知る必要がある。そこで本研究では衛星の撮像データに表れた高エネルギー粒子由来のバックグラウンド（以下Speckle）に着目し、衛星軌道上での高エネルギー粒子の変動を調べた。本研究ではHinode/X-Ray Telescope(XRT)で撮像されたデータを用い、太陽風のプロトン密度と速度との相関を調べる。

Analysis

使用したデータはFlare Detection(FLD)パトロールイメージと呼ばれるもので、2048×2048ピクセルのデータを8×8ピクセルでサミング（非可逆圧縮）されたものである。空間分解能は非圧縮データと比べて悪くなっているが、高時間分解能（約30-60sec）を持つ。露光時間は約8.8msecで単一フィルター(Ti-poly)でのみの撮像となっている。画像処理としては、これらのデータを各露光時間でIntensityを割り、単位時間あたりのIntensityに補正した。その後、2値化処理を施しSpeckleを検出していく。

Results

Speckleの生成に影響を与えているものとして、1)突発的な太陽プロトン現象(SPE)や磁気嵐、2)磁気圏に存在する電子の影響が示唆された。太陽プロトン現象と磁気圏を繋ぐ太陽風との相関を調べたものが図1,2で、speckle 検出数の時間・空間変動と太陽活動の変動(太陽風のプロトン密度と速度、縦軸のL値は地球のある点を磁力線に沿って磁気赤道面に投影し，そこから地球中心までの距離を地球半径で示したもの)を示した図である．太陽風密度は doy = 900 程度までは相関係数 0.45 という値を持っているが，全期間の場合では 0.28 となってしまった．また，太陽風速度の場合は 0.21 程度の弱相関であった．doy=550 付近で太陽風速度が上がるに連れ，speckle の高緯度側の検出数は低下しているが，doy=1200 付近では逆に speckle の検出数は増加している。太陽風速度と speckle の変動については関係性がよく分からない点があるが密度と共に speckle の生成に何らかの影響を与えている可能性が示唆された．

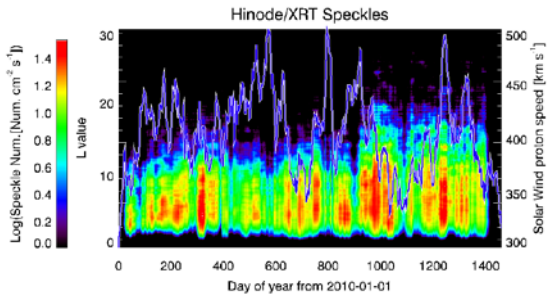


Figure 1　横軸は 2010 年 1 月 1 日からの day of year、左縦軸が L 値、右縦軸が太陽風速度、カラースケールが speckle の検出数を log で示したものである。それぞれの単位は L 値が規格化された値で speckle の検出数が個数 cm−2 s −1 である。

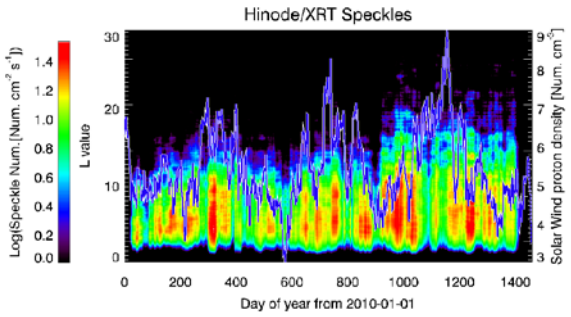


Figure 2　Figure1 と同様で、右縦軸が太陽風プラズマ密度を示した。プラズマ密度の増大に応じて、speckle が増大する傾向にある。

５.奨励共同研究 目次詳細

（所属・職名は平成29年3月現在）

研究代表者	所属機関	所属部局	学年	研究課題名	頁
廣瀬　公美	京都大学	理学研究科附属天文台	博士後期課程1年	フィラメント噴出の3次元速度場とコロナ質量放出の関連についての研究	246
北原　理弘	東北大学	大学院理学研究科地球物理学専攻	博士課程後期3年	ERG衛星ミッションに向けたジオスペースにおける波動粒子相互作用の実証研究	248
高橋　直子	東北大学	大学院理学研究科地球物理学専攻	博士課程後期3年	地上 - 衛星同時多点観測による大規模擾乱時の電場の発達および伝搬過程の研究	250
平田　英隆	九州大学	理学府	博士後期課程3年	暖流域における温帯低気圧の急発達に関する正のフィードバック過程の検証	252
金田　和鷹	東北大学	大学院理学研究科	博士課程後期2年	多波長観測に基づく太陽電波放射過程の研究	254

フィラメント噴出の3次元速度場とコロナ質量放出の関連についての研究

Study of relations between 3-D velocity fields of filament eruptions and coronal mass ejections

廣瀬公美・京都大学理学研究科附属天文台・D1
一本潔・京都大学理学研究科附属天文台・教授

【研究目的】

本研究の目的は噴出するフィラメントやフィラメントより小さいが高速な成分を持つプラズマ塊を3次元的に速度場解析し、その特徴を調べることである。また噴出現象とコロナ質量放出（Coronal Mass Ejections: CMEs）とのかかわりを調査することも本研究の目的の一つである。

【研究方法】

京都大学飛騨天文台にあるThe Solar Magnetic Activity Research Telescope (SMART望遠鏡)は2005年より太陽全面をHα線中心だけでなくHα線中心から少し離れた波長（ウィング）でも定常観測している。さらに2016年5月からはSolar Dynamics Doppler Imager (SDDI)という新装置を搭載した。SDDIを用いることで、これまでのウィングの観測は最高+/-1.2Åであったが、最高+/-9.00Åの範囲を0.25Å刻みで撮ることができるようになった。本研究ではSDDIでの観測期間を中心に、SMART望遠鏡で撮られたデータを使用する。

【研究結果・考察】

SDDI を用いた観測で、フィラメントの上昇だけでなく、Hα線中心から+/-1.25～2.00Åのウィングの波長で小さいプラズマ塊の運動が多数見られることが分かった。大きさは 10～20arcsec 程度で発生頻度は 1 時間当たり 10 例以上であった。この小さいプラズマ塊の運動は 8 割以上が blue-shift のみ見られるものであった。この現象の寿命は blue-shift のみのもので平均 5.8 分、red-shift のみのものは平均 8.1 分と blue-shift のみのものに比べ、少し長い傾向が見られた。図 1 は寿命のヒストグラムである。小さいプラズマ塊の運動の正体が何なのか解明すべく発生しやすい位置（経度・緯度）をさらに調査したいと考えている。また、このようなイベントについて自動検出プログラムを作成中であり、目視にて行ったイベント抽出とうまく合致するよう調整している。この自動検出プログラムは小さいプラズマ塊の運動だけでなく、フィラメントの運動の検出にも応用できる。ある程度の大きさを持ったフィラメント噴出イベントは SDDI での観測が始まって、観測できたものは 10 例程度であり、CME との統計解析にはまだ不十分であるが、過去の SMART の Hα線での太陽全面像から抽出したイベントリストをもとに CME との関係をより詳細に調査しているところである。SDDI で観測されたイベントも含め、SMART 望遠鏡の長期間に

わたる定常観測を活かした研究を今後も進めていきたいと考える

【まとめ】

SMART望遠鏡は2016年5月にSDDIを用いた観測が開始され、それ以前の観測では得られなかった波長範囲で高速な成分を持つ小さいプラズマ塊の運動が多数見られた。目視にての調査でblue-shiftのみの現象が8割以上を占めることが分かったが、現在このような現象の自動検出プログラムを作成中であり、このプログラムはフィラメントの運動の検出にも応用可能と期待される。

【成果発表】

日本天文学会 2016 年秋季年会「飛騨天文台 SMART 望遠鏡を用いた高速成分を伴うフィラメント活動現象の発生頻度解析」 2016 年 9 月　愛媛大　口頭発表

Hinode-10「A Statistical Study of Filament Disappearances using Ha Full Disk Images」 2016 年 9 月　Nagoya University　ポスター発表

太陽研究者連絡会 2016 年度シンポジウム「飛騨天文台 SMART 望遠鏡を用いた高速成分を持つ点状プラズマ塊の速度場解析」 2017 年 2 月　宇宙科学研究所　口頭発表

日本天文学会 2017 年春季年会「飛騨天文台 SMART 望遠鏡を用いた高速成分を持つ点状プラズマ塊の統計解析」 2017 年 3 月　九州大　口頭発表

PSTEP-2「A Statistical Study of Filament Disappearances using Ha Full Disk Images」 2017 年 3 月　Kyoto University　ポスター発表

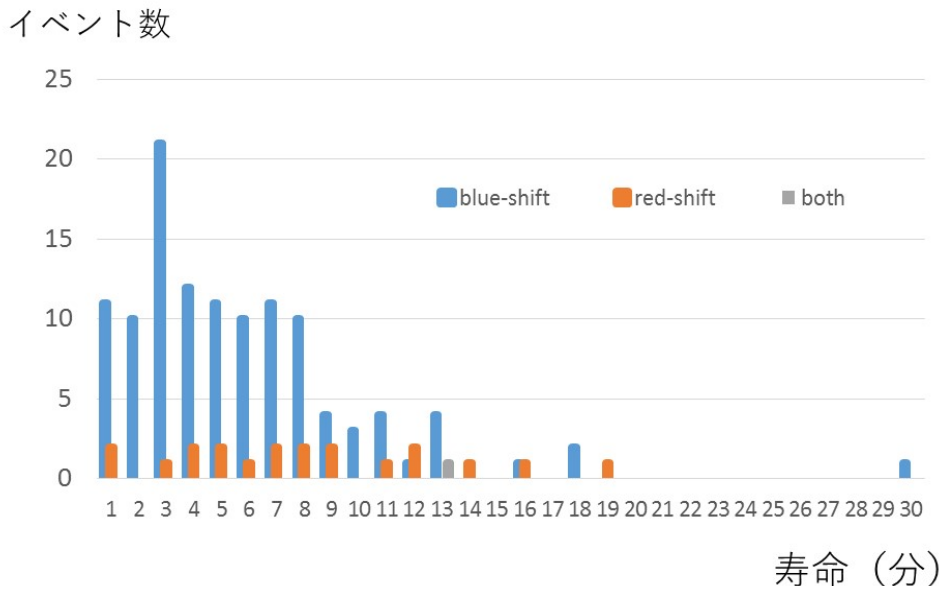


図 1：小さいプラズマ塊の運動の寿命

ERG衛星ミッションに向けたジオスペースにおける波動粒子相互作用の実証研究

Experimental Study of Wave-Particle Interaction in Geospace for the ERG Mission

北原　理弘（東北大学大学院理学研究科・博士3年）
加藤　雄人（東北大学大学院理学研究科・准教授）

【研究の背景および目的】

2016年12月20日にJAXAより打ち上げられたERG衛星には、波動粒子相互作用解析装置(WPIA)[Fukuhara et al., 2009; Miyoshi et al., 2012]が世界で初めて搭載された。WPIAは、衛星に搭載された波動計測器と粒子計測器のそれぞれで得られたデータを、観測されるプラズマ波動の周期および粒子のサイクロトロン運動を十分分解できる時間スケールで同時時刻付けし、様々な演算を行うソフトウェア型の観測装置である。WPIAは粒子と波動の位相情報を活用する手法であるため、宇宙空間におけるエネルギー粒子とプラズマ波動の相互作用を直接的かつ定量的に観測することができると期待されている。本研究は、WPIAによって粒子のピッチ角散乱を検出するための解析手法を確立させることを目的とする。現在我々が提案している解析手法を、実際の衛星観測よって得られたデータおよびシミュレーション結果に適用し解析することにより、その手法の有用性を検証した。また、ERG衛星搭載WPIAの観測対象となるコーラス放射と電子の間での相互作用にどのような物理的特徴があるかを、テスト粒子計算によって明らかにした。

【研究結果】

我々の提案する解析手法(研究成果1)が、よEMIC波動とイオンの相互作用に対して適用できうることを示すため、THEMIS衛星で2010年9月9日に観測されたEMIC波動イベントの解析を行い、磁気赤道付近で励起したEMIC波動がイオンのピッチ角散乱を引き起こしていることを直接的に示すことに成功した。THEMIS A, D, Eの3機の衛星それぞれが同じEMIC波動を同時に観測していたが、どの衛星においてもイオンのピッチ角散乱が生じていることが明らかとなった。また所内研究員の小路真史博士の実施されたEMIC波動の励起シミュレーション[Shoji and Omura, 2013]の解析結果と比較することにより、観測されたイオンピッチ角散乱の特性がシミュレーション結果と一致することも確認した。これらの結果は研究成果3において発表した。

さらに、解析対象となるピッチ角散乱そのものの物理素過程を明らかにすることを目的としてテスト粒子シミュレーションを行い、もともとピッチ角の小さい電子はホイッスラーモード波動によってピッチ角が大きくなる方向へ散乱され、大気へ降り込みにくい傾向にあることを示した。この特異なピッチ角散乱のパラメータ依存性について研究成果2において発表した。また、大量粒子計算によっ

て粒子のピッチ角分布がホイッスラーモード波動によってどのように変形されるかについて調べ、振幅が強い場合にはピッチ角分布上に突起が生じ、弱い振幅の場合は拡散的な散乱が生じることが明らかとなった。これらの結果は研究成果4−7において報告した。これらの特異なピッチ角散乱は、イオン−EMIC 波動間の相互作用においても生じる可能性があり、また EMIC 波動の振幅は背景磁場の数%まで達することもあるため、効果的に生じる可能性がある。今後 ERG 衛星の WPIA 観測によってこれらが直接観測され、実証されることが期待される。

【研究成果】

2016 年度には国内外の学会・研究集会において 7 件の発表を実施し、1編の論文を出版した。

≪投稿論文による成果発表≫

[1] Kitahara, M., and Y. Katoh (2016), Method for direct detection of pitch angle scattering of energetic electrons caused by whistler mode chorus emissions, J. Geophys. Res. Space Physics, 121, doi:10.1002/2015JA021902.

≪学会・研究集会における成果発表≫

[2] ○M. Kitahara and Y. Katoh, Nonlinear effect in the pitch angle scattering of energetic electrons by coherent whistler-mode waves, JpGU Meeting (International session), PEM08-12, Oral, Makuhari Messe, Japan, 2016.

[3] ○**北原理弘**，加藤雄人，小路真史，三好由純，EMIC ライジングトーンとの相互作用によるプロトンのピッチ角散乱の直接検出，第 140 回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会，R006-P20，九州大学，2016 年，ポスター発表

[4] ○**北原理弘**，加藤雄人，ホイッスラーモード・コーラス放射による低ピッチ角電子の非線形ピッチ角散乱，第 140 回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会，R008-11，九州大学，2016 年，口頭発表

[5] ○北原理弘，加藤雄人，ホイッスラーモードコーラス放射による電子ピッチ角散乱の非線形効果，第 332 回生存圏シンポジウム「宇宙プラズマ波動研究会」，京都大学, 2016 年 12 月 2 日 －3 日

[6] ○M. Kitahara and Y. Katoh, Nonlinear pitch angle scattering of energetic electrons near the loss cone by whistler mode chorus emissions, AGU Fall meeting 2016, SM31A-2463, Poster, San Francisco, California, USA, 2016.

[7] ○北原理弘，加藤雄人，内部磁気圏におけるホイッスラーモードコーラス放射による高エネルギー電子の非線形ピッチ角散乱について, 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」，名古屋大学, 2017 年 1 月 26 日 －27 日

[8] ○北原理弘，加藤雄人，コーラス放射によるロスコーン角近傍電子のピッチ角散乱特性について，脈動オーロラ研究集会，名古屋大学, 2017 年 3 月 15 日 －16 日

地上 - 衛星同時多点観測による大規模擾乱時の電場の発達および伝搬過程の研究

Global evolution and propagation of electric fields during magnetospheric disturbances based on ground-based and spacecraft observations

代表者：高橋直子（東北大学理学研究科　博士課程後期3年）
指導教員：笠羽康正（東北大学理学研究科　教授）

１．研究目的

太陽風や磁気圏尾部からのインプットにより引き起こされる磁気圏の大規模構造変動と擾乱現象は，大規模な電場の急激な発達と伝搬による粒子・電磁場変動を引き起こす。この電場発達はまた，太陽風や磁気圏尾部から地球へと向かうエネルギー輸送，巨視的な対流，および電離圏 - 磁気圏結合系の電流の発達をもたらす。このとき，赤道面上ではfast mode波による伝搬があることが知られている。また，この電場発達に伴い，ポインティングフラックスによる磁気圏–電離圏間の電磁エネルギー輸送があることが指摘されている。

太陽風擾乱にともなうエネルギー伝搬過程の研究は古くから行われており，磁場データをもとに観測時刻差からの伝搬速度の推定が行われてきた[e.g., Wilken et al., 1982]。しかしながら，磁場だけでなくその場の電場観測が必須となる「ローカルな伝搬方向とその量」の観測的な検証は難しかった。90年代以降に打ち上げられたあけぼの衛星[Shinbori et al., 2004]やCluster衛星[Nishimura et al., 2010]の電場観測データ解析により，上記の検証は進められたものの，これらの衛星は極軌道衛星のため，特に赤道面上の電場伝搬方向を求める際には磁力線にそったmappingといった仮定が含まれている。

近年，THEMIS衛星やRBSP衛星といった赤道面上を周回する衛星が数多く打ち上げられており，上記の問題を排除して解析ができるまたとない機会が訪れている。そこで申請者らは，「大規模入力に伴う磁気圏応答」を追跡できる純粋な現象の1つである「磁気急始（SC）」時における電場の発達および伝搬過程の解明を試みる。また，この電場応答過程がPi2のような夜側磁気圏から伝搬しサブストーム発達につながる複雑な「磁気圏内擾乱」に対する応答の研究に援用することが可能であるかどうかも検証する。

2. 研究結果・考察

まず申請者らは，複数点観測による電場直接計測データを統計的に解析し，SCにともなう電場の伝搬方向およびその速度を求めた。図1にSCにともなう電場応答の統計解析結果を示す。地上磁場の変動開始時刻（図1-(c)）頃から朝側方向の電場が昼間側から夜側へと伝搬する様子が見られる。イベント解析および応答時刻の統計解析結果から，この朝側方向の電場はfast mode波でもって伝搬されることがわかった。また，地上磁場変動開始時刻から120秒後頃（図1-(e)）から夕方方向の電場が伝搬しており，その後数分間ローカルタイムに関係なく卓越する様子が見られる。これはSCにともなう磁気圏対流の増大が影響していると考えられる。このような赤道面上での電場伝搬の様相を直接観測でもって検証したのは本研究が初であり，結果をまとめた論文をJournal of Geophysics誌に投稿した。

申請者らは次に，磁気嵐・サブストームなどといったより複雑な磁気圏擾乱現象でも上記の電場伝搬過程が適応しうるかどうかを検証した。図2に，2014年11月12日に観測されたPi2脈動にともなうポインティングフラックス観測結果を示す。10地球半径（RE）離れた衛星ではfast modeで規定されるような一方向のエネルギー輸送がある（図2-(a)）のに対して，プラズマ圏と呼ばれる高電子密度領域では磁力線方向の共鳴が起きているような様子（図2-(b),(c)）が見られる。これらの結果から，SCにともなう電場伝搬過程がサブストーム現象においても適応しうることが予想される。ここからさらに，統計解析によってこの予想が確かであることを検証するとともに，磁力線方向および赤道面上のエネルギー輸送の分配比の推定を行う予定である。

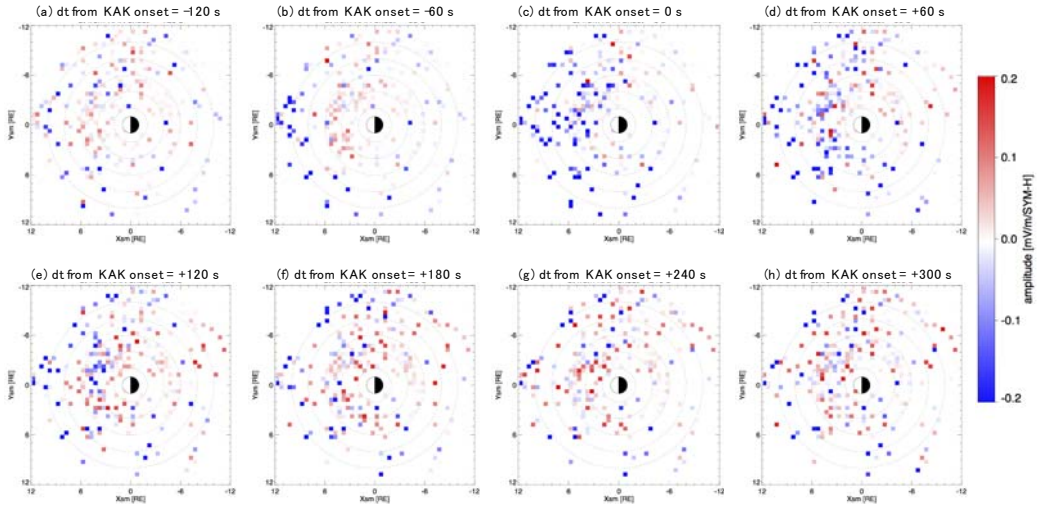


図1　SCにともなう朝夕方向の電場（赤：夕方向）の応答過程。

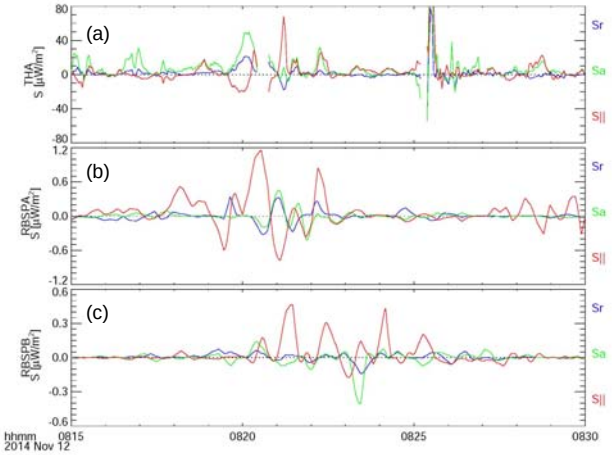


図2　THEMIS衛星(a)およびRBSP衛星(b: probe-a, c: probe-b)によるPi2脈動にともなうポインティングフラックス（青：動径方向，緑：方位角方向，赤：磁力線方向）。

４．成果発表

Takahashi, N., et al. (2017), Propagation and evolution of electric fields associated with solar wind pressure pulses based on spacecraft and ground-based observations, J. Geophys. Res. Space Physics, submitted.

暖流域における温帯低気圧の急発達に関する正のフィードバック過程の検証

Verification of a positive feedback process with respect to the rapid development of extratropical cyclones over warm currents

平田英隆、九州大学・理学府・博士後期課程3年
川村隆一、九州大学・理学研究院・教授

・目的

急速に発達する温帯低気圧（爆弾低気圧）は発生地域周辺に気象災害をもたらすため，その発達プロセスの適切な理解が求められている．これまでに申請者らは，黒潮/黒潮続流域からの水蒸気供給が低気圧発達へ与える影響について調査し，低気圧強化過程における寒冷コンベヤベルト（Cold Conveyor Belt: CCB）の積極的な役割を明らかにした（Hirata et al. 2015）．CCB とは低気圧に伴う温暖前線面の下を流れる寒冷かつ乾燥した東寄りの気流である．CCB に伴う乾燥空気が暖流に重なると暖流域から CCB への水蒸気供給が活発化し，さらに，この蒸発した水蒸気は CCB によって低気圧中心近傍へ輸送される．この水蒸気は最終的に後屈前線付近で収束・上昇し，潜熱を解放する．潜熱加熱は低気圧の成長を促進するので CCB はさらに発達する．我々はこのような CCB を介した潜熱加熱の正のフィードバックプロセス（便宜的に，“CCB—潜熱加熱フィードバック過程”と呼ぶ）が暖流域における爆弾低気圧の急発達において重要な役割を果たすことを提案した．

以上のように，これまでの申請者らの研究によって暖流からの水蒸気供給と低気圧発達を結ぶフィードバック仮説を構築することができたが，この仮説の検証や定量的評価は残された課題である．また，低気圧発達期には，暖流域から顕熱供給も生じる．顕熱供給は大気境界層内の安定度の低下や飽和水蒸気量の変化を介して CCB—潜熱加熱フィードバック過程において追加の働きをする可能性がある．このようなことから，本研究の目的は（1）Hirata et al.（2015）が提案した CCB—潜熱加熱フィードバック過程の検証，および（2）CCB—潜熱加熱フィードバック過程における暖流域からの顕熱供給の働きについて明らかにすることとする．

・手法

上記課題に取り組むために, 2013 年 1 月中旬に日本列島南岸で発生した爆弾低気圧の数値実験を実施した．数値モデルには，名古屋大学宇宙地球環境研究所が開発を進めている領域雲解像モデル Cloud Resolving Storm Simulator（CReSS）（Tsuboki 2008）を利用した．CReSS の基本的な設定は，Hirata et al.（2016）と同様である．ただし，積分期間は 2013 年 1 月 13 日 0600UTC～15 日 0000UTC とした．まず初めに，コントロール実験（CNTL ラン）を実施し，低気圧発達期において暖流からの海面潜熱・顕熱フラックスが強まる様子を確認した．次に，暖流からの水蒸気および顕熱供給が低気圧発達へ及ぼす影響を定量的に評価するために，CNTL ランにおいて潜熱・顕熱供給が卓越する海域からの顕熱フラックス（NSH ラン），潜熱フラックス（NLH ラン），顕熱/潜熱フラックス（NSLH ラン）を除く感度実験を実施した．

・結果と考察

CNTL ランと比べて NLH ランでは，低気圧中心気圧の低下が最大で約 15 hPa 抑制された．低気圧中心付

近の地表風分布の比較から，NLH ランにおいては CCB の発達が顕著に阻害されることがわかった．さらに，CNTL ランに対して NLH ランでは，後屈前線付近の潜熱加熱が抑制されることが確認された．これらの 2 つの実験の差は，CCB―潜熱加熱フィードバック過程を支持する結果である．

また，CNTL ランと比較して NSH ランにおいても低気圧中心気圧の低下および CCB の発達が抑えられた．後屈前線付近の上昇流や潜熱加熱についても NSH ランでは，CNTL ランよりも弱化した．このような差は，NSLH ランと NLH ランとの間でも明瞭であった．これらの実験間の差異は，CCB―潜熱加熱フィードバック過程において顕熱供給が追加の働きをすることを示唆している．

4 つの数値実験の比較は，暖流からの顕熱供給が CCB 周辺の地表付近の相当温位の上昇へ関与し，CCB に沿った大気境界層内の対流不安定な状態の形成へ大きく寄与することを示した．この顕熱供給に起因する対流不安定の強化は，後屈前線付近の上昇流およびこれに伴う潜熱解放の活発化を導くと考えられる．加えて，CNTL ランと NSH ランの比較から，暖流による顕熱加熱による CCB に沿う地表近くの気温上昇が飽和水蒸気混合比の増加を引き起こすことが明らかとなった．この飽和水蒸気混合比の増加は，CCB 周辺の水蒸気量の増加をもたらす．この水蒸気量の増加は，CCB を介した後屈前線付近への水蒸気流入量の増大を通じて，後屈前線近傍の潜熱加熱を促進することが期待される．これらの 2 つの顕熱供給の効果は CCB―潜熱加熱フィードバック過程において付加的な働きをすると考えられる．

・まとめ

本研究は，雲解像モデル CReSS を用いて黒潮/黒潮続流域からの水蒸気および顕熱供給に関する感度実験を実施し，CCB―潜熱加熱フィードバック過程の検証およびこのフィードバック過程における顕熱供給の働きについて調査した．数値実験から得られた結果は，CCB―潜熱加熱フィードバック過程の妥当性を示した．また，コントロール実験と感度実験の比較から，暖流域からの顕熱供給が CCB に沿った大気境界層内の対流不安定の強化や水蒸気量の増加を介して CCB―潜熱加熱のフィードバック過程において重要な働きをすることが示唆された．

本研究から得られた知見をまとめて作成した原著論文は，すでにアメリカ気象学会の学会誌“Monthly Weather Review”へ投稿している．現在，この論文は査読中である．また，この研究の成果について気象学会春季大会をはじめとする 6 つの学会等において研究発表を行った．2 月 22 日～24 日には，名古屋大学宇宙地球環境研究所に滞在し，本研究課題に関するセミナー（タイトル：暖流域における温帯低気圧の急発達に関する正のフィードバックプロセス）および宇宙地球環境研究所の篠田太郎准教授，加藤雅也研究員と本研究の手法や研究結果に関する議論を行った．

・参考文献

Hirata, H., R. Kawamura, M. Kato, and T. Shinoda, 2015: Influential role of moisture supply from the Kuroshio/Kuroshio Extension in the rapid development of an extratropical cyclone. *Mon. Wea. Rev.*, **143**, 4126–4144.

Hirata, H., R. Kawamura, M. Kato, and T. Shinoda, 2016: Response of rapidly developing extratropical cyclones to sea surface temperature variations over the western Kuroshio-Oyashio confluence region. *J. Geophys. Res.*, **121**, 3843–3858, doi:10.1002/2015JD024391.

Tsuboki, K., 2008: High-resolution simulations of high-impact weather systems using the cloud-resolving model on the Earth Simulator. *High Resolution Numerical Modeling of the Atmosphere and Ocean*, K. Hamilton and W. Ohfuchi, Eds., Springer, 141–156.

多波長観測に基づく太陽電波放射過程の研究
Study of the radiative processes of solar radio bursts based on multiwavelength observations

金田 和鷹　東北大学大学院・理学研究科・後期博士課程2年
三澤 浩昭　東北大学大学院・理学研究科・准教授

【研究目的】

太陽の大気「コロナ」では、100万度を超える高温プラズマと磁場との相互作用により、様々な爆発現象が発生する。コロナでの爆発により加速されたプラズマ粒子は、周囲のプラズマ振動を引き起こし、強力な電波（電波バースト）を放射する。太陽フレアに伴って放射される電波バーストには、特異な時間・周波数変動を示す微細なスペクトル構造が多数存在することが知られている。これらの微細構造は電波放射過程におけるミクロスケールのプラズマ素過程を反映していると考えられており、フレア発生領域のプラズマ環境を理解するうえで強力なリモートセンシングのツールとなり得るものである。しかし、その放射過程に関しては未解明の問題が多く存在する。特にIV型バースト中に見られるゼブラパターン（ZP）と呼ばれる微細構造については、数多くの放射モデルが提案されているが、結論は出ていない。このZPの放射過程を解明することが本研究の目的である。上記の目的達成のため、今年度は、ZPの偏波特性の解析とIV型バーストを伴うフレア特性の解析を行った。

【研究結果】

A) ZPの偏波特性の解析

偏波特性は電波の放射機構により決定される。しかし、伝搬過程において、その性質は大きく変化することが知られている。本研究では、伝搬過程における偏波特性の変調要因を明らかにするため、ZPの偏波特性に関する統計的な解析を行った。解析には、2010 年 7月以降に、東北大学の所有する太陽電波観測装置 AMATERAS によって観測された 21 例の ZPイベントを用いた。解析の結果、円偏波率と左右円偏波成分間の到達時間差には、正の相関関係（r=0.62）があることがわかった。また、偏波特性の変調要因として、急峻な密度勾配における反射の可能性について、数値計算によって検討した。数値計算では、反射による偏波特性の変調と伝搬中の群速度差により生じる時間差を考慮した。計算の結果より、円偏波率と遅延時間差の関係は反射の回数によって決まっている可能性を示した。以上の結果は、The Astrophysical Jounalに投稿済みであり、現在査読中である（成果 1, 2, 3）。

B) IV型バーストを伴うフレア特性の解析

ZP は、IV 型の広帯域放射を背景に観測される現象であるが、全てのIV 型中に存在するわけではない。また、観測される時間・周波数範囲も限定的である。このことから、ZP の放射には、放射源のプラズマ環境が満たすべき何らかの条件があると考えられる。ZPの発生条件を明らかにするため、ZP を伴うIV 型バーストとZP を伴わないIV 型バーストの双方について、スペクトル特性および関連するフレアの特性に関する

解析を行った。AMATERASの観測データを調査したところ、IV型バーストを伴うフレアは55例、そのうち18例でZPが発生していることがわかった。また、観測されたZPとフレアの関係として、(1) ZP 発生のタイミングがフレアのピーク付近に集中していること、(2) フレアの発生場所に顕著な偏りはないこと、(3) スペクトル特性とフレア特性（規模、継続時間等）に相関は見られないことがわかった。ZPの有無によるフレア特性の違いがみられない理由として、ZPの多様性が考えられる。同じような縞模様構造をもつ構造であっても、放射機構はいくつかの異なる種類がある可能性がある。

今後は、ZPのスペクトル構造、特に縞の周波数間隔について、多波長観測データも加えて、より詳細な解析を行い、ZPの多様性を検討していく予定である。

【成果発表】

（論文発表）

1. K. Kaneda, H. Misawa, K. Iwai, F. Tsuchiya, T. Obara, Y. Katoh, and S. Masuda, POLARIZATION CHARACTERISTICS OF ZEBRA PATTERN IN TYPE IV SOLAR RADIO BURSTS, The Astrophysical Journal, 2016, 投稿中.

（口頭発表）

2. 金田和鷹、三澤浩昭、岩井一正、土屋史紀、小原隆博、太陽電波ゼブラパターンの統計的偏波特性-II、日本天文学会2016年秋季年会、M36a、愛媛、2016年9月16日

3. 金田和鷹、三澤浩昭、岩井一正、土屋史紀、小原隆博、太陽電波バースト中のゼブラパターンの偏波とそのスペクトル特性の比較、日本地球惑星科学連合2016年大会、PEM19-04、幕張、2016年5月25日

６.研究集会 目次詳細

（所属・職名は平成29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
陣　英克	国立研究開発法人情報通信研究機構	経営企画部企画戦略室	プランニングマネージャー	中間圏・熱圏・電離圏研究会	256
増永　浩彦	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	准教授	衛星データシミュレータの開発および応用研究に関わる研究集会	258
片岡　龍峰	情報・システム研究機構 国立極地研究所	宙空圏研究グループ	准教授	地球磁気圏複合系の科学	261
徳丸　宗利	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授	太陽圏・宇宙線関連の共同研究成果報告会	262
エコ　シスワント	国立研究開発法人海洋研究開発機構	地球表層物質循環研究分野	研究員	第4回アジア海色ワークショップ「第13回日韓海色ワークショップ」の開催	265
星野　真弘	東京大学	大学院理学系研究科	教授	第6回東アジア・プラズマスクールおよびワークショップ：実験室からスペース、宇宙まで	267
中野　智子	中央大学	経済学部	教授	統合生態系―大気プロセス研究計画（iLEAPS）―諸過程の統合的理解とFuture Earthとの連携―	269
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	270
新堀　淳樹	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	研究員	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	274
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	276
宗像　一起	信州大学	理学部	教授	太陽地球環境と宇宙線モジュレーション	278
宮下　幸長	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	特任助教	サブストーム研究会	280
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	282
成行　泰裕	富山大学	人間発達科学部	准教授	内部太陽圏プラズマ研究会	283
廣川　淳	北海道大学	大学院地球環境科学研究院	准教授	第2回不均一大気化学国際ワークショップ	285
前澤　裕之	大阪府立大学	大学院理学系研究科	准教授	ミリ-テラヘルツ波受信機ワークショップ	286
櫻井　隆	自然科学研究機構・国立天文台	太陽観測所	名誉教授（Hinode-10科学組織委員会委員長）	ひので科学会議 10	287

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
横山　央明	東京大学	大学院理学系研究科	准教授	太陽研連シンポジウム	288
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	太陽惑星系宇宙プラズマ中の重イオンに関する研究集会	290
佐々木　英治	国立研究開発法人 海洋研究開発機構	アプリケーションラボ	主任研究員	Meeting on Perspectives in Computational Atmosphere and Ocean Science and 8th OFES International Workshop	291
榎並　正樹	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授	第29回（2016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	293
伊藤　耕介	琉球大学	理学部	助教	台風セミナー2016	295
青梨　和正	気象研究所	台風研究部	第１研究室 室長	衛星による高精度降水推定技術の開発とその利用の研究企画のための集会	297
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	299
田口　聡	京都大学	大学院理学研究科	教授	シンポジウム　ー　太陽地球環境の現状と将来	300
永岡　賢一	自然科学研究機構 核融合科学研究所	ヘリカル研究部	准教授	実験室・宇宙プラズマ研究会「乱流・輸送・粒子加速」	302
笠原　慧	東京大学	大学院理学系研究科	准教授	電磁イオンサイクロトロン波動が駆動する放射線帯消長に関する研究会	304
笠原　禎也	金沢大学	総合メディア基盤センター	教授	ERGミッションのための新しいデータ解析手法・解析ツールに関する研究会	306
土屋　史紀	東北大学	大学院理学研究科	助教	惑星超高層大気・惑星電磁圏の時間変動に着目した比較惑星研究	307
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	308
松田　昇也	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	日本学術振興会特別研究員PD	ERG衛星の観測データを活用した電磁場・プラズマ波動解析ワークショップ	309
篠原　学	鹿児島工業高等専門学校	一般教育科	教授	地域ネットワークによる宇宙天気の観測・教育活動に関する研究集会	310
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；　データの即時性はどこまで保証できるか	312
渡邉　堯	ICSU WDS International Programme Office		Senior Advisor	科学データ研究会	314
加藤　雄人	東北大学	理学研究科	准教授	STEシミュレーション研究会：太陽地球惑星系探査とシミュレーション研究	316

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
今村　隆史	国立研究開発法人国立環境研究所	環境計測研究センター	センター長	大気化学討論会	317
阿保　真	首都大学東京	システムデザイン学部	教授	第２１回大気ライダー研究会	319
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	320
持田　陸宏	名古屋大学	大学院環境学研究科	准教授	有機エアロゾルに関するワークショップ：大気におけるその動態・性状・役割（第３回）	322
尾花　由紀	大阪電気通信大学	工学部基礎理工学科	講師	「プラズマ圏の観測とモデリング」研究集会	323
小川　泰信	情報・システム研究機構 国立極地研究所	国際北極環境研究センター	准教授	EISCAT研究集会	324
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	326
田口　真	立教大学	理学部物理学科	教授	地球型惑星圏環境研究会	328
池田　大輔	東京大学	宇宙線研究所	特任助教	宇宙素粒子若手の会　光検出器研究会	330
飯田　佑輔	関西学院大学	理工学部	助手	太陽観測データにおける特徴検出ワークショップ2016	331
吉川　顕正	九州大学	国際宇宙天気科学・教育センター	講師	太陽地球系科学に於ける地上観測の現状と課題	333
浅井　歩	京都大学	大学院理学研究科附属天文台	准教授	太陽フレアデータ解析ワークショップ	334
平原　聖文	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授	宇宙惑星結合系科学の実証的研究の創設に向けて	336
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	338
三澤　浩昭	東北大学	大学院理学研究科	准教授	第18回　惑星圏研究会	340
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	342

中間圏・熱圏・電離圏研究会
Mesosphere-Thermosphere-Ionosphere Workshop

陣　英克（情報通信研究機構）

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28年度のMTI研究集会は、名古屋大学宇宙地球環境研究所、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28年8月29 - 31日の日程で開催した。参加者は計75名（うち学生は17名）であった。今年度は、一昨年から続くMTI Grand Challengeと題するセッションにおいて「成層圏・対流圏から見る MTI との結合」と「磁気圏・プラズマ圏から見る MTI との結合」の２つのテーマを扱った。同セッションでは、10名の招待講演者を招き、主に隣接領域を専門とする研究者の視点から MTI分野で解決すべき課題の洗い出しを行うことを狙いとした。実際、研究集会では、MTI領域のセッションに普段来ない下層大気や磁気圏を専門とする研究者が参加し、議論の活性化につながった。この他のセッションとして、現在MTI分野において進行中の大型研究プロジェクトを紹介するセッション（PWING ProjectとEISCAT3D計画を扱った）や、今年度新たに学生や若手研究者向けとして設けた各観測技術の原理等基礎を紹介するセッション（大気レーダー、ライダー、GPSによるTEC観測を扱った）を組んだ。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24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。また、MTI分野の今後の飛翔体観測ミッションを検討する「宇宙空間からの地球超高層大気観測に関する研究会」と合同により開催した。

３．研究会世話人

陣　英克（情報通信研究機構）、大山　伸一郎（名古屋大学）、新堀　淳樹（名古屋大学）、鈴木　臣（愛知大学）、鈴木　秀彦（明治大学）、冨川　喜弘（国立極地研究所）、横山　竜宏（情報通信研究機構）

４．研究集会講演プログラム

- MTI Grand Challenge 1「成層圏・対流圏から見るMTIとの結合」
  - Sudden Stratospheric Warming (SSW) 冨川喜弘（国立極地研究所）
  - 太陽プロトン現象が引き起こす中層大気でのイオン化学反応の影響：ボックスモデルシミュレーションによる研究 中井陽一（理化学研究所）,望月優子, 丸山真美, 秋吉英治, 今村隆史
  - PANSYレーダーによって観測された下部中間圏準12時間振動に関する研究 澁谷 亮輔（東京大学）、佐藤薫、堤雅基、佐藤亨、冨川喜弘、西村耕司、中村卓司、高麗正史
  - 衛星観測および全大気モデルデータに基づく中間圏・下部熱圏の運動量収支 安井良輔（東京大学）、佐藤薫、三好勉信
  - Thermosphere and Ionosphere inter-annual variability and its potential connection to ENSO and QBO Huixin Liu（九州大学）、Yang-Yi Sun

- MTI Grand Challenge 2「磁気圏・プラズマ圏から見るMTIとの結合」
  - SuperDARN北海道-陸別HFレーダーによるMTI領域間相互作用の研究 西谷望（名古屋大学宇宙地球環境研究所）、SuperDARN北海道-陸別HFレーダーグループ
  - 磁気圏電場の伝送路としてのMTI領域 菊池 崇（名古屋大学宇宙地球環境研究所）、橋本久美子、海老原祐輔、冨澤一郎、亘慎一、田中高史
  - 磁気圏グローバルモデル内部境界条件の概要と再考 中溝 葵（情報通信研究機構）、吉川顕正、中田裕之
  - Alfven波による一般化された３次元磁気圏電離圏結合 吉川顕正（九州大学）
  - 地球プラズマ圏ダイナミクスと電離圏・熱圏との結合過程 新堀淳樹（京都大学生存圏研究所）

- MTI 大型計画紹介セッション
  - 地上多点ネットワーク観測による内部磁気圏の粒子・波動の変動メカニズムの研究(PWING Project) 塩川 和夫（名古屋大学宇宙地球環境研究所）
  - EISCAT_3D計画の現況 宮岡 宏（国立極地研究所）、小川泰信、中村卓司、野澤悟徳、大山 伸一郎、藤井良一、Craig Heinselman

- MTI観測チュートリアルセッション
  - 大気レーダー入門 堤 雅基（国立極地研究所）
  - MTI研究のためのライダー観測 津田卓雄（電気通信大学）
  - GPS受信機網を用いた電離圏観測システムの紹介 西岡未知（情報通信研究機構）

- ポスターセッション（24件講演）

以上

衛星データシミュレータの開発および応用研究に関わる研究集会
Workshop on the development and applications of satellite data simulators

増永浩彦　名古屋大学　宇宙地球環境研究所

本研究集会は、宇宙地球環境研究所共同利用・共同研究に応募し採択された別の研究集会課題「衛星による高精度降水推定技術の開発とその利用の研究企画のための集会」（代表：気象庁気象研究所　青梨和正氏）と趣旨や参加研究者の母体コミュニティにおいて密接な関連があることを鑑み、相乗効果を狙った合同集会として 2017 年 3 月 16 日（木）から 17 日（金）にかけて開催された。いずれも研究所前身の旧地球水循環研究センター当時から進めてきた研究集会の流れを汲んでおり、前者は全球降水データプロダクト GSMaP の開発者を中心に 2009 年度から続く伝統ある研究集会、いっぽう後者は衛星シミュレータ活用の普及を狙って 2013 年度に立ち上げた比較的新しい課題である。経緯は異なるものの両課題は研究分野において深いつながりがあり、その特色を生かすべく合同研究集会を立ち上げて今回が 4 年目になる。両研究集会を通じて参加者は 42 名を数えた。

地球観測衛星を用いた全球雲降水観測は日々技術的な進歩を遂げており、熱帯降雨観測計画（TRMM）の発展的後継ミッションとして打ち上げられた全球降水観測計画（GPM）は、すでに衛星運用開始後三年の節目を迎えた。TRMM 衛星搭載降水レーダ（PR）の後継観測装置として開発された GPM 搭載二周波降水レーダ（DPR）が拓いた降水観測の新たな地平は、長期的な統計解析による気候学的研究も視野に新たな局面を迎えつつあり、今年の研究集会でも GPM をめぐる研究の動向が少しずつ変化しつつある様相が感じられた。また、TRMM や CloudSat と言った従来の観測衛星や地上設置偏波レーダなどの様々な観測手段を駆使することで、固体降水や雲微物理の理解深化に貢献するリモートセンシングの可能性を感じさせる研究発表が相次いだ。さらにひまわり 8 号のプロダクト開発や最新のデータ同化技術開発に至るまで、異なる形で衛星観測に関わるさまざまな研究コミュニティが意見を交わす機会として、本研究集会は貴重な交流の場を提供できたのではないかと思う。

次ページに合同研究集会のプログラムを添付する。

プログラム

3月16日（木） 13:30～17:20

座長 青梨和正

13:30-13:40 はじめに 青梨和正(気象研)

13:40-14:00「最近のGSMaPプロダクトの進展」

久保田拓志・沖 理子・山地萌果(JAXA)・荒井頼子・田島知子(RESTEC)

14:00-14:20「GSMaP Gauge バージョン間の差異」

妻鹿友昭・牛尾知雄(大阪大)

14:20-14:40「次世代のマイクロ波イメージャ降水リトリーバルアルゴリズム開発のためのTRMMとGPMの第１推定値の誤差PDFの統計的比較」

青梨和正・小山 亮・石橋俊之・岡本幸三(気象研)

14:40-15:00 （休憩）

15:00-15:20「大気下層安定度を用いた地形性降雨判定手法の開発」

山本宗尚・重尚一(京都大)

15:20-15:40「GSMaPを用いた治水計画の基本となる降水量の算出」

松島 匠・下妻達也・瀬戸心太(長崎大)

15:40-16:00「GSMaPと他の衛星観測データを用いた降水プロダクト間の比較」

古澤(秋元)文江・増永浩彦(名古屋大)

16:00-16:20 （休憩）

座長 古澤(秋元)文江

16:20-16:40「気象庁レーダーを用いた雨滴粒径分布の解析」

宮崎健太・下妻達也・瀬戸心太(長崎大)

16:40-17:00「GPMデータを用いた雨滴粒径分布の解析」

山地萌果・久保田拓志(JAXA)・濱田 篤・高薮 縁(東京大)・沖 理子(JAXA)

17:00-17:20「GPM/DPRによる降雪観測」

井口俊夫(NICT)・河本 望(RESTEC)・沖 理子(JAXA)

懇親会(花の木)

3月17日（金） 09:30～16:00

座長 高橋暢宏

09:30-09:50「名古屋大学Ka帯偏波レーダの現状」

篠田太郎・大東忠保・長屋智大(名古屋大)・鈴木賢士(山口大)・川村誠治(NICT)・山田広幸(琉球大)・山口弘誠・中北英一(京都大)・久保 守(金沢大)・皆巳幸也(石川県立大)・高橋暢宏・坪木和久(名古屋大)

09:50-10:10「スマトラ島西岸における雲・降水システムの伝播特性に関する観測研究」

柳瀬篤志・増永浩彦(名古屋大)・安永数明(富山大)・
横井 覚・勝俣昌己・耿 驃・森 修一・米山邦夫(JAMSTEC)

10:10-10:30「海岸線付近の降水変動」

広瀬正史・堤 勇人(名城大)

10:30-10:50 (休憩)

10:50-11:10「レーダ反射強度の鉛直構造から見た熱帯と中緯度における層状性降水過程の違い」

重 尚一・小林和貴・山本宗尚(京都大)

11:10-11:30「GPM DPR潜熱加熱スペクトル推定のための中緯度参照テーブルの作成：気象庁LFMデータの解析」

横山千恵・高薮 縁・濱田 篤(東京大)・重 尚一・山本宗尚(京都大)・
山地萌果(JAXA)・幾田泰酵(気象庁)

11:30-11:50「自然を校正源とした降水レーダ長期特性の変化抽出」

金丸佳矢(東京大)・久保田拓志(JAXA)・井口俊夫(NICT)・
高薮 縁(東京大)・沖 理子(JAXA)

(写真撮影・昼食・休憩)

座長 増永浩彦

13:30-13:50「ひまわり8号観測を用いた日照時間・日射量プロダクトの開発」

林 昌宏・吉田 良(気象庁)

13:50-14:10「北極混合相層雲における氷晶形成過程の調査」

端野典平(九州大)・Gijs de Boer(コロラド大)・岡本 創(九州大)

14:10-14:30「衛星シミュレータを用いたバルク法とビン法の雲物理スキームの比較」

久芳奈遠美・鈴木健太郎・Woosub Roh(東京大)・
清木達也(JAMSTEC)・佐藤正樹(東京大)

14:30-14:50 (休憩)

14:50-15:10「Evaluations of cloud properties in NICAM using CALIPSO and a satellite simulator」

Woosub Roh・Masaki Satoh(東京大)・Tempei Hashino(九州大)

15:10-15:30「全球衛星降水マップGSMaPを用いたNICAMのモデルパラメータ推定」

小槻峻司・寺崎康児・八代 尚・富田浩文(理研)・
佐藤正樹(東京大)・三好建正(理研)

15:30-15:50「NICAM-LETKFを用いた衛星データ同化」

寺崎康児・小槻峻司・三好建正(理研)

15:50-16:00 まとめ 増永浩彦(名古屋大)

地球磁気圏複合系の科学

片岡龍峰、国立極地研究所・宙空圏研究グループ

近年、地球磁気圏の磁気流体グローバルシミュレーションを用いた研究が進んだことにより、太陽風、磁気圏、電離圏を渦巻くプラズマ対流と電流系が、準定常から分単位という幅広い時定数において、これまで観測されてきた様々なオーロラ現象との定量的な対応が調べられる時代となりました。その結果、グローバルな磁気圏の磁気流体的な状況を把握しつつ、シミュレーション結果が予測する様々なローカル現象を、観測によって確認し検証する、という研究手法も成立しつつあります。このように、磁気圏・電離圏の研究を進めていく上で、シミュレーションは不可欠なものとなっていますが、依然として、十分に現実の現象を明らかにできない点が存在していることも事実です。磁気圏物理学は、太陽風や電離圏との相互作用なども含め、複合系として扱う必要があり、系全体が自己無撞着性を満たすことが重要です。そこで今年度の研究会では、この分野で先端的な役割を果たしてこられた藤田茂先生（気象大学校を今年度退官される予定）に、地球磁気圏複合系の理論・シミュレーション・モデリングについて基調講演をしていただき、観測結果による検証までを含めた磁気圏複合系に関する研究成果を共有し、今後の分野の発展のため、どのようなアプローチを考えていかなければならないのか、について議論を行いました。

太陽圏・宇宙線関連の共同研究成果報告会
Meeting for result presentation of collaborative research on heliosphere and cosmic rays

徳丸宗利、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

本研究集会の目的は、H28年度に採択された太陽圏・宇宙線分野のISEE共同研究について、その進捗状況や成果を報告・議論することである。太陽圏・宇宙線分野の共同研究はISEEのミッションを達成するための重要な要素であるが、それらの研究者は地球電磁気学会・天文学会・物理学会といった異なる研究コミュニティに広く分布しており、共同研究の活動状況を見渡すことは難しい。本研究集会を開催することで異なる研究コミュニティの研究者が各研究課題の活動状況を把握することが可能となる。

本研究集会はH29年3月1日～3日に名古屋大学ISEE（研究所共同館1、3階講義室）にて２つのISEE研究集会「内部太陽圏プラズマ研究会」および「太陽地球環境と宇宙線モジュレーション」と合同で開催した。本研究集会の期間中（3月2日）に太陽圏・宇宙線専門委員会を開催したため、同委員会の委員も本研究会に参加し、研究成果や今後の課題について議論することができた。また、合同研究集会であったため、様々な専門分野の研究者が議論に参加することができた。

合同研究集会全体の参加者は３日間でのべ124名であった。以下に研究会のプログラムを添付する。

==========

３月１日

<< Session for Inner Heliospheric Plasma >>

10:30-10:40 開会挨拶

10:40-11:40 Roberto Bruno (INAF-IAPS/Italy)

Solar Wind Turbulence Spectrum: from Fluid to Kinetic Scales

（太陽風乱流のエネルギースペクトル：流体から運動論までの描像）

11:40-12:15 鈴木建（東京大）

Alfven wave-driven solar wind: roles of compressive waves

***** Lunch (1 hr 30 min) *****

13:45-14:20 横井喜充（東京大学生産技術研）

Inhomogeneous global flow effects in turbulent transport: Flow and magnetic-field induction

14:20-14:55 Horia Comişel (Technische Universität Braunschweig)

Unsolved problems on collisionless shocks (review)

14:55-15:30 成田康人（オーストリア科学アカデミー宇宙科学研究所）

THOR mission concept (THOR 衛星計画)

***** Break (15 min) *****

15:45-16:20 Zoltan Vörös（オーストリア科学アカデミー宇宙科学研究所）

Coherent structures in the turbulent terrestrial magnetosheath

16:20-16:55 垰千尋（NICT）, F. Sahraoui, D. Fontaine, J. de Patoul, T. Chust, S. Kasahara, and A. Retino

Properties of Jupiter's magnetospheric turbulence observed by the Galileo spacecraft

16:55-1730 T. Imamura (Univ. Tokyo), H. Ando, M. Tokumaru, H. Isobe, D. Shiota, A. Asai

Study of turbulence in the solar corona using radio occultation observations of Venus orbiter "Akatsuki"

17:30-17:50 大塚史子（九州大学）、松清修一、Arpad Kis

Effect of field-aligned-beam on the energetic ion paralleldiffusion in the earth's foreshock: Quasi-linear theory,
test particle simulation, and Cluster observation

17:50-18:10 Yasuhiro Nariyuki (Univ. Toyama), Yasuhito Narita、Shinji Saito

On the multi-dimensional spectrum model for the imbalanced MHD turbulence

3 月 2 日

9:00-9:35 Hsiu-Shan Yu (CASS/UCSD), B.V. Jackson, P.P. Hick, and A. Buffington

Observations of the variable solar wind, and its implications for Solar Probe Plus and Solar Orbiter

9:35-10:10 B.V. Jackson (CASS/UCSD), H.-S. Yu, A. Buffington, P.P. Hick, M. Tokumaru, and D. Odstrcil

The UCSD IPS time-dependent tomography for use as an overview of heliospheric Structure

***** Break (15 min) *****

<< Session for General Topics from Studies on Heliosphere and Cosmic Ray >>

10:25-10:45 Kojima, M. (ISEE, Nagoya Univ.)

Evaluation of the velocity analysis method using single IPS antenna system

10:45-11:05 Katsuhide Marubashi (NICT)

Structures of solar wind with magnetic field intensity greater than 40 nT

11:05-11:25 中川朋子（東北工業大学）、綱川秀夫

太陽風中の月の背後の磁場変動について

11:25-11:45 Tohru Shimizu 清水徹 (Ehime Univ.) and Koji Kondoh

MHD numerical study of plasmoid instability with uniform resistivity

11:45-12:05 鷲見治一（九州大学国際宇宙天気科学・教育センター）

太陽圏外圏構造における惑星間空間衝撃波効果

***** Lunch (1 hr 30 min) *****

13:35-13:55 Akitoshi Oshima (Chubu Univ.)

Current status of the expansion for the GRAPES-3 project

13:55-14:15 Park Inchun (Nagoya Univ.), Yoshizumi Miyoshi, Tatsuhiko Sato, Ryuho Kataoka, Yuki Kubo, and Shoko Miyake

Reconstructing polar asymmetry of GLE69 via WASAVIES simulation

***** Break (15 min) *****

<< Session for Space Weather and Cosmic Ray Modulation >>

14:30-15:05 川田和正（東京大学宇宙線研）

銀河宇宙線中の「太陽の影」を用いた太陽近傍磁場の検証
15:05-15:40 野澤恵（茨城大学）
電波観測による太陽磁場計測の現状
15:40-16:15 柴崎清登（太陽物理学研究所）
野辺山電波ヘリオグラフによる太陽コロナ彩層磁場観測
16:15-16:35 門叶冬樹、櫻井敬久（山形大学）、他
第２３から２４太陽活動期の大気宇宙線生成核種の濃度変動観測
16:35-16:55 村木綏（名古屋大学 ISEE）
２調和振動子モデルの太陽活動とエルニーニョ・ラニャ現象への応用
【17:15-19:00 太陽圏専門委員会】

３月３日
09:00-09:35 塩田大幸（名古屋大学 ISEE）
太陽光球磁場観測と太陽周期変動
09:35-10:10 袴田和幸（中部大学）
コロナ磁場のRadial Fieldモデル
10:10-10:45 藤木謙一（名古屋大学 ISEE）
コロナホール分布の長期変動の特徴、および太陽風構造、宇宙線変調との関連性について
***** Break (15 min) *****
11:00-11:35 塩見昌司（日大生産工）
ALPACA 実験計画
11:35-12:10 鳥居祥二（早大理工研）他 CALET チーム
CALET の軌道上観測性能と初期観測成果
***** Lunch (1hr 30 min) *****
13:40-14:00 宗像一起（信州大学）,加藤千尋,小財正義ほか、GMDN collaboration
GMDN ネットワークによる最近の研究成果
14:00-14:20 古賀清一（JAXA）、村木綏、神谷浩紀、増田智、柴田祥一、松本晴久、河野英昭
国際宇宙ステーション・日本実験棟「きぼう」曝露部搭載SEDA-APで計測された中性子イベント
14:20-14:40 村木綏（名古屋大学 ISEE）、柴田祥一
MATLAB と SCILIB を用いた周期解析へのコメント
14:40-15:00 渡邊堯（ICSU WDS International Programme Office）
宇宙線 WDC の現状と展望
15:00-15:20 六條宏紀（名古屋大学）
気球搭載エマルション望遠鏡によるガンマ線天体精密観測計画GRAINE
15:20 閉会

第 4 回アジア・第 13 回日韓海色ワークショップ
The 4th Asian (the 13th Korea-Japan) Workshop on Ocean Color 2016
(4th AWOC/13th 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・地球表層物質循環研究分野

報告書

The Asian marine environments, which are surrounded by populous countries and highly sensitive to climate variabilities originate both in the Pacific and Indian Oceans, have been experiencing significant changes, and thereby the marine ecosystems are likely to be highly vulnerable to climate changes and human activities. Marine environment and ecosystem monitoring is therefore one of urgent needs for evidence-based policy making; climate change adaptation and mitigation. The Earth observations by satellite remote sensing, especially remote sensing of ocean color, provide valuable method to cope with the problem of marine ecosystem changes over a large spatial coverage and within short and long time scales.

A forum to promote ocean color remote sensing application in the Asian region had been initiated by Korean and Japanese scientists since 2003 with the name of Korea-Japan Workshop on Ocean Color (KJWOC). Since then, the KJWOC has been an annual meeting for ocean color community in this region. Once in several years of KJWOC series, the workshop, named as Asian Workshop on Ocean Color/KJWOC (AWOC/KJWOC), has been held by also inviting scientists from the south-east Asian countries for the purposes of strengthening and broadening research collaborations, research information and data exchanges among the scientists over the Asian region.

The last workshop in 2016 was the 4th AWOC/13th KJWOC series and was hosted by Burapha University, Thailand. The workshop was held from 13 to 16 December 2016 in the Central Laboratory Building, Faculty of Science, Burapha University. Attended by more than 50 participants (Figure 1), the 4th AWOC/13th KJWOC 2016 contained 36 presentations, 23 for oral, 13 for poster presentations. Oral presentation was divided into 7 sessions covering various topics including; ocean color mission programs (from Korea, Japan, Taiwan, and USA), atmospheric correction, water optical properties, ocean color and red tide algorithms, climate changes impacts, etc. (see 4th AWOC/13th KJWOC 2016 attached to this report for detailed session and presentation topics). During the workshop, all participants also visited Geo-Informatics and Space Technology Development Agency (GISTDA) in Sriracha, Chonburi.



Figure 1. Group photo taken during the 4th AWOC/13th KJWOC 2016

研究集会の参加状況

The 4th AWOC/13th KJWOC 2016 was officially opened by the President of Burapha University (Figure 2), welcoming all participants and encouraging more strong international collaborations in the near future among the participating countries, especially in the field of marine sciences and ocean color remote sensing applications. In general, the workshop has been successfully done, within which there were many fruitful Q&A and discussions among the participants.



Figure 2. Opening remarks by Burapha University president.



Figure 3. The 4th AWOC/13th KJWOC registration.



Figure 4. The 4th AWOC/13th KJWOC audience.



Figure 5. The 4th AWOC/13th KJWOC poster session.



Figure 6. The 4th AWOC/13th KJWOC closing group photo.

第6回東アジア・プラズマスクールおよびワークショップ：実験室からスペース、宇宙まで
6th East-Asia School and Workshop on Laboratory, Space, Astrophysical Plasmas

星野真弘、東京大学・大学院理学系研究科

今回で第6回目を迎えた「東アジア・プラズマスクールおよびワークショップ」は、平成28年7月11日から16日までの6日間、つくばの国際会議場で開催され、総勢69名（海外29名、大学院生27名）の参加者による活発な討論・議論が行われた。本研究集会の目的は、主に東アジア地域での学生および若手研究者育成のための「国際サマースクール」と、研究者間の幅広い交流を目指した「ワークショップ」を併せて開催することで、分野横断型のプラズマ科学研究を、世代を超えて推進することであった。対象とする分野は、太陽地球系プラズマ（STP)をはじめとして、核融合・実験室プラズマから太陽・宇宙プラズマ等を含んだプラズマ科学全般分野に及んだ。

本サマースクールおよびワークショップでは、各分野でのホットな話題を基礎から解説する「講義」と最先端トピックを分かりやすく紹介する「招待講演」、幅広い分野を網羅した「一般講演」、そして学生が中心となって研究交流を促進する「学生発表」の大きく４つのセッションで構成した。講義は月曜日から金曜日まで毎日午前中に各分野の第一人者による90分の講義を行った。講演者とタイトルは下記：

P. Yoon, Nonlinear Kinetic Turbulence Theory,

D. Melrose, Magnetic reconnection in solar flares and pulsar magnetosphere,

T.-H., Watanabe, Gyrokinetic simulation of fusion and space plasmas,

Y. Kawazura, Particle acceleration in laboratory magnetosphere,

Q. Lu, Electron Acceleration in Collisionless Reconnection.

また講義に加えて招待講演は、講義の内容を更に強化する応用的なホットな話題が提供された。また一般講演や学生発表によって、幅広い分野で専門分野超えた相互交流も図られた。

昨今プラズマ物理に関連する各研究分野での内容は先鋭化してきており、学生や研究者は、しばしば専門化したトピックの研究に集中し、広い視野での思考が疎かになる傾向が見られる。今回開催のサマースクール＆ワークショップの参加者にとって、プラズマ物理の学際的分野の基礎的な講義とその応用的内容を一度にまとめて把握し、知識の拡大に寄与できたのではないかと考える。また世代を超えた異分野交流を通して、各分野の日進月歩の研究進展についての議論や意見交換は貴重であり、新たな研究分野を創出する契機へとつながったことを期待している。

最後に、本研究集会の開催にあたって、名古屋大学宇宙地球環境研究所および千葉大学ハドロン宇宙国際研究センターより支援していただいたことに感謝いたします。



参加者の集合写真：つくば国際会議場ロビーにて

統合生態系―大気プロセス研究計画（iLEAPS）
―諸過程の統合的理解とFuture Earthとの連携―
Integrated Land Ecosystem-Atmosphere Processes Study (iLEAPS)
―Comprehension of processes and cooperation with Future Earth―

代表者：中央大学経済学部・教授　中野 智子

１．研究集会の概要

iLEAPS（統合生態系―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理解することを目的とした国際研究計画である。日本においては、日本学術会議環境学委員会・地球惑星科学委員会合同 IWD分科会 の下部組織としてiLEAPS小委員会が設けられ，小委員会メンバーを中心に関連研究が推進されている。また現在、持続可能な世界を構築するための取り組みとして、国際プログラムFuture Earth（FE）が動き出しており、iLEAPSはFEのコアプロジェクトの一つとして位置づけられている。そこで、陸域生態系－大気プロセスに関わる最新の研究成果についての情報を共有すること、およびFEに対する今後の貢献について議論することを目的として、2016年9月9日（金）・10日（土）の2日間にわたり、名古屋大学宇宙地球環境研究所（研究所共同館Ⅰ）において研究集会を開催した。11の大学・研究機関から22名（内女性2名、大学院生1名）が参加し、活発な議論が行われた。

２．研究集会の成果

研究集会では、1 題の基調講演ならびに 8 題の一般研究発表が行われた。陸域生態系－大気プロセスの研究においては、これまで現地における観測、広域モニタリングデータの解析、数値モデルといった手法が用いられ、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た。本研究集会の一般研究発表においても、現地観測に基づいた水循環（1 題）・メタンフラックス（1 題）・CO_2フラックス（2 題）に関する研究、フラックスネットワークのデータベースを利用した CO_2収支の長期変動に関する研究（1 題）、メタンおよび PM2.5 の小型センサの開発に関する研究（1 題）、陸域生態系モデルに関する研究（2 題）といった幅広い研究が紹介された。それぞれの発表に対し活発な質疑応答が行われ、生態系－大気プロセスの統合的理解に向けて、有意義な情報共有・議論を行うことができた。

基調講演では、総合地球環境学研究所の谷口真人氏に「Future Earth の最近の動向と我が国の戦略」というタイトルでご講演いただいた。FE では、自然科学と人文社会科学の壁を越えた学際研究に加え、科学と社会との連携・協働が重視され、科学者は諸過程の基礎的理解のみならず、持続可能な社会の実現に向けた貢献も求められる。iLEAPS においては、基礎的なプロセス研究に携わる研究者が多いため、これまで戸惑いも見られたが、本研究集会での基調講演とその後の議論を通して、地球環境問題の解決には基礎となる科学的成果が不可欠であり、iLEAPS は（ネットワーク型観測を基礎とした）データベース構築と陸域生態系モデル研究の推進を通して FE に十分貢献でき、長期的な視点に立って研究を進めていくことの重要性が確認された。

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 28 年度太陽地球環境研究所研究集会「SuperDARN 研究集会」は 2016 年 8 月 9-10 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」として国立極地研究所セミナー室（3 階 C301）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 14 回目となり、前回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 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 22 名の研究者・技術者(+WebEx による参加 3 名)が参加した。

世界 12 ヶ国の国際協力に基づく SuperDARN(Super Dual Auroral Radar Network)は、現在南北両極域に併せて約 35 基の大型短波レーダーを運用しており、電離圏・磁気圏・熱圏物理を中心とした研究成果を上げている。19 番目・34 番目のレーダーとして 2006 年 11 月および 2014 年 10 月に北海道-陸別第一・第二 HF レーダー(SuperDARN Hokkaido East radar)が完成し、稼働を開始してから当研究会までに約 10 年にわたるデータの蓄積が行われており、論文等の成果も上がりつつある(現在出版済み、印刷中の論文数: 33 編)。

今回の研究会においては日本を中心とした各 SuperDARN レーダー運用の昨年以来の経緯、現状が報告された。また海外の SuperDARN レーダーの動向に関する報告も行われた。その後レーダーの観測データから得られた研究結果ならびに今後期待されるサイエンス等に関する報告ならびに議論が行われた。具体的な研究成果の研究テーマとして、Sudden Impulse に伴う電離圏対流変動の特性、低緯度オーロラ発生に伴う電離圏対流の特性、SuperDARN レーダー他により観測した ULF 波動やオメガバンドオーロラ、Joule Heating hot spot の特性等が挙げられる。またレーダー観測の研究成果だけではなく、磁気圏 3 次元シミュレーションを用いた研究成果に関する講演が 4 件、電離圏電波伝搬シミュレータの開発に関する講演が 1 件行われた。

多彩な発表内容からわかるように、研究会が対象とするテーマが少しずつ広がりつつある。通常交流があまり多くない電磁気圏分野の研究者と電離圏・熱圏分野の研究者が 1 つの研究会に参加し、現象の正しい解釈について様々な意見を出し合うことができたことは非常に有意義であった。これに加えて大型短波レーダー計画を進める上での課題、特に運用体制についても充実した議論を行った。二日目午前の後半の総合討論においては主に、打ち上が間近な(その後 2016/12/20 に打ち上げ)ERG/あらせ人工衛星と SuperDARN 及びその他の地上観測装置との協力について様々な議論を行った。さらには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。

平成 28 年度極域・中緯度 SuperDARN 研究集会

日時：2016 年 8 月 9 日（火）13:00 ～ 10 日(水）17:30

場所：国立極地研究所 セミナー室（3 階 C301）

http://www.nipr.ac.jp/outline/summary/access.html

http://www.nipr.ac.jp/english/contact/d irection.html

プログラム

8 月 9 日（火）

座長：行松彰(極地研)

13:00- 行松彰(極地研)

Opening remarks

13:10- 行松彰(極地研)

SuperDARN 概要と最新情報

13:25- 行松彰(極地研)

SENSU レーダー第IX期南極観測計画

13:40- 長妻努(NICT)

King Salmon HF レーダー観測の現状

14:00- 西谷望(名大)

SuperDARN 北海道-陸別第一・第二 HF レーダーの現状報告

14:20-14:40 tea break

座長：渡辺正和(九州大)

14:40- 田中高史(九州大)

グローバルシミュレーションの高解像度化によるサブストームの再現

15:00- *藤田茂(気象大)、田中高史(九州大)

磁気圏電離圏結合対流生成機構-REPPU コードによる再計算

15:20- *菊池崇(名大)、橋本久美子、西谷望、冨澤一郎、長妻努

北海道レーダーと HF ドップラーサウンダーによる中緯度電離圏電場の同時観測

15:40-16:00 tea break

座長：西谷望(名古屋大)

16:00- *高橋直子(東北大)，笠羽康正，西村幸敏，新堀淳樹，菊池崇，堀智昭，西谷望

地上 - 衛星同時観測にもとづく SC に伴う電場の発達・伝搬過程

16:20- Kornyanat Watthanasangmechai(NICT), Takashi Maruyama,*Tsutomu Nagatsuma, Mamoru Ishii, and Takuya Tsugawa

Toward a development of NICT radio propagation simulator

16:40- *Lei Cai(Nagoya U./U of Oulu, Finland), Anita Aikio, Tuomo Nygren

High-latitude Joule heating hot spot in the afternoon sector

17:00- 宮岡宏(極地研)

コメント：EISCAT の最新状況と SuperDARN との連携について

17:10-17:20 discussion

18:00-20:00 Welcome party （於：魚力立川北口店(tel: 042-548-2333)）

（JR 立川駅、多摩モノレール立川北駅すぐ、立川市曙町 2-4-6 みずほ立川ビル B1F）

8 月 10 日（水）

座長：宮岡宏(極地研)

9:00- 渡辺正和(九州大)

惑星間空間磁場北向き時の電離圏対流再考

9:20- *小原隆博(東北大)、三村恭子

Moving Transpolar Arc 出現時の極冠域電離圏対流

9:40- *西谷望(名大)、堀智昭、片岡龍峰、海老原祐輔、塩川和夫、大塚雄一、鈴木秀彦

低緯度オーロラ発生時に観測された電離圏対流の特性

10:00- 佐藤夏雄(極地研)

オメガバンドオーロラ発生時の SuperDARN 観測

10:20-10:40 tea break

座長：長妻努(NICT)

10:40- *飯田剛平(名大)、西谷 望、堀 智昭

SuperDARN によって観測される SI に伴う電離圏電場変動

11:00- *中溝葵(NICT)、吉川顕正(九州大)

磁気圏電離圏対流場に対する電離層伝導度非一様性の影響

11:20- *T. Hori (Nagoya U.), N. Nishitani, K. Keika, J. M. Ruohoniemi, M. Teramoto, S. G. Shepherd, and W. A. Bristow

St. Patrick's Day 2015 storm 時に観測された high-m ULF について

11:40-11:50 discussion

11:50-12:50 lunch

座長：田中良昌(極地研)

▼12:50～14:30 は宇宙研 WebEx 経由で SD-ERG 関係者等遠隔参加予定

12:50- *三好由純(名大)、篠原育、塩川和夫、ERG プロジェクトチーム

ERG プロジェクトにおける衛星-地上観測概要

13:05- *三好由純(名大)、細川敬祐(電通大)、PsA プロジェクトチーム

SD-ERG-光学同時観測による脈動オーロラ研究について

13:20- 寺本万里子(宇宙研)

ERG-SuperDARN 共同観測による ULF 波動研究へ向けて

13:40- *T. Hori (Nagoya U.)

SD-ERG white paper

座長：堀智昭(名古屋大)

14:00-14:30 discussion on SD-ERG collaborative researches

14:30 closing

座長：行松彰(極地研)

14:50-17:30 SD-j-core SD-J discussion

（主に SD-Japan core member による今後に向けた打合せ）

今回(極域・中緯度 SuperDARN 研究集会)および過去の研究会(中緯度短波レーダー研究会)のスライド等は SuperDARN 北海道-陸別 HF レーダーホームページ

http://cicr.isee.nagoya-u.ac.jp/hokkaido/indexj.html

で参照することができます。

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 the comprehensive analysis of solar-terrestrial environment data

新堀淳樹、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

1.集会の概要

概ね高度80km以上の領域に属する大気層は超高層大気と呼ばれ、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ともに、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を受けている。また、この領域は高度方向の結合に加え、両極域から赤道に至る緯度間結合も強い。超高層大気において観測される様々な長期・短期の変動現象を理解するためには、人工衛星、及び、グローバルに展開している地上観測点網で得られた多種多様な観測データを包括的に解析する必要がある。

これら多様なデータを効率良く解析し、多くの研究成果を上げるためには、使い易いデータベースやデータ検索・解析ツールの利用は欠かせない。また、近年、オープンデータやオープンサイエンスの名の下、データ共有が強く推進されるようになってきた。超高層大気分野は多機関で得られた観測データを共有し共同研究を行うことが文化として根付いており、この分野では先進的である一方、データベースは主としてドメインの研究者により開発・維持されていることが多く、必ずしも本当の意味でのオープン、且つ、利用し易いものにはなっていない。

上記のことを踏まえて本研究集会では、超高層大気に加えて太陽・気象分野の研究者、各種のデータ提供者、データベースと解析ソフト開発者、情報学研究者らが集まることによって、太陽地球大気環境の長期・短期変動のメカニズムについての研究成果、及び、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ている。また、本研究集会の最終日にはデータ解析講習会を開催し、実際に若手研究者や学生にデータの統合解析を通じて、IUGONETデータ解析ツールの利用法を学習する。

2.参加者数

本研究集会には学部生・大学院生8名を含む計41名が参加した。

3.研究報告

10月18～19日には、国立極地研究所大会議室において、10月1日に公開を開始したIUGONETデータ解析ウェブサービス（IUGONET Type-A）の紹介とこれまでIUGONETで開発を継続している解析ソフトウェアSPEDASの現状と今後の発展に加え、図書館員による科学データのメタデータ

作成実験経過や、複数の太陽・地球惑星科学分野のデータベースの進捗、オープンサイエンスの最近の動向、マスタープラン2014・重点大型研究計画「太陽地球系結合過程の研究基盤形成」やPWINGといった大型プロジェクトとIUGONETの連携への期待といった様々なトピックについての講演が行われた。また、「日本近代資料にみるオーロラ」等、複数の興味深い分野横断型研究についての講演、議論が為された。

10月20日には、国立極地研究所3階セミナー室において、IUGONETが開発している超高層大気データの解析ツール「SPEDAS/UDAS」の初心者をターゲットとしたデータ解析講習セッションが行われた。このセッションでは、実際に参加者にSPEDASを使った簡単なデータのロード、プロット、解析を経験していただいた。また、SPEDASとIUGONET Type-Aを組み合わせた最新の研究手法についても講習が行われ、概ね好評であった。

また、本講習会に出席できなかった学生・研究者のフォローアップ教材として、データ解析講習セッションを実際に録画した内容のDVDを製作した。11月に九大で開催されたSGEPSS秋学会などを通じて製作したDVDを多くの学生や若手研究者に配布した。

研究集会のプログラム及び講演資料は、次のウェブサイトに掲載した。

http://www.iugonet.org/meetings/2016-10-18_20.html

4.成果

太陽地球系物理学分野をはじめとする様々な分野の研究者が集まり、分野融合型研究の方向性、データ利用者にとって利用しやすいデータベースや解析ツールについての講演・議論を行い、お互いの知識・情報共有ができた。これにより、人工衛星、及び、グローバルな地上観測網で得られた多種多様な太陽地球観測データの利用が促進され、分野横断型研究・融合研究から得られる多くの革新的な研究論文が期待される。また、本研究集会の特徴でもあるデータ解析講習会では、参加者が主体的に手を動かしてIUGONETプロジェクトが開発したデータ解析システムを使用し、様々な観測データの解析を行うため、将来の分野融合型研究を推進できる若手研究者の育成にもつながった。

これまで本研究集会を2014年から継続して開催してきたが、本集会をきっかけとして出版された学生が筆頭著者である代表的な学術論文を以下に挙げておく。

Matsumoto, M., A. Shinbori, D. M. Riggin, and T. Tsuda, Measurement of momentum flux using two meteor radars in Indonesia, Ann. Geophys., 34, 369-377, doi:10.5194/angeo-34-369-2016, 2016.

Takahashi, N., Y. Kasaba, A. Shinbori, T. Nishimura, T. Kukuchi, Y. Ebihara, and T. Nagatsuma, Response of ionospheric electric fields at mid-low latitudes during sudden commencements, J. Geophys. Res. Space Physics, 120, 4849-4862, doi:10.1002/2015JA021309, 2015.

大気海洋相互作用に関する研究集会
Meeting for the study of air-sea interaction phenomena

根田昌典、京都大学・大学院理学研究科

概要：

本研究集会は平成28年11月26日と27日の2日間の日程で京都大学理学部セミナーハウス（京都市左京区）において開催され、国内の大学・研究機関などから35名の参加のもとに16件の一般講演と3件の特別講演があった。

研究集会の目的：

本研究集会は中緯度域における大気海洋相互作用に関する研究を中心課題とした研究集会である。特に、海洋生物や栄養塩などの分布や特性と混合層変動などの物理過程との関係の重要性が注目されている。黒潮続流周辺海域では活発な大気海洋相互作用が生じ、近年は海洋から大気循環に与える影響が数多く報告されている。また、海洋表層ではサブダクションが起こり、物質循環や生物化学過程に大きな影響を及ぼしている。この海域に特徴的な短い時空間スケールの大気海洋擾乱がこのような諸プロセスに与える影響を調べるためには分野横断的な観測とともに、関連する研究者がさまざまな視点から包括的な議論を行う機会を設ける必要がある。

そこで、この共同研究集会では、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することによって交流を深め、この解析の更なる萌芽的な着眼点を見出すことによる研究チームの形成など、この研究分野における発展に資することを目的とする。

研究集会の内容と結果：

本研究集会は2日間にわたって行われ、16件の一般講演とともに、2つの特別セッションを設けた。１つは海外での留学や研修などの機会を得ることについて東京大大気海洋研の2名の大学院生（桂、宮本）の報告を中心としたセッションである。大学院生など研究のキャリアを始めたばかりの研究者にとって、留学や短期間での研修などは魅力的であると同時にその機会をどう得るかという問題や海外に出ることに不安を持っていることもある。報告では短期間の研修旅行から得た経験を語ってもらうと同時に、セッションの座長を務めた谷本教授をはじめとする海外留学の経験者などからもいろいろな見地からの積極的な意見が出された。総じて学会の補助などを利用して早いうちに海外での経験を得ることが研究者としての財産になるという意見であり、若手の参加者を鼓舞するものであった。

もう一つの特別セッションは最近新たに注目され始めたサブメソスケール現象についてのレビュー講演である。東北大学の伊藤大樹氏に講演をお願いした。従来から海洋現象における地球自転の影響が支配的であるスケールの現象と自転の影響が効かないために非平衡状態にあるスケールの現象の間のエネルギー輸送がどのようなプロセスによって維持されているのかという問題は議論されており、これまでは海底摩擦や慣性重力波などがその候補として考えられてきた。サブメソスケールの現象は近年の衛星観測や高解像度数値モデルなどによってその存在が明らかになり、そのエネルギーカスケードに果たす役割が注目されている。講演では、サブメソスケール現象の定義とそれが注目されてきた経緯の説明、次いでその形成要因についての議論、鉛直混合に果たす役割について混合層不安定やFilamentogenesisという力学過程を用いて解説された。このような局所的な現象を観測的にどのようにして捉えるのかということが課題であるという問題が提起された。一般にはまだなじみのない現象であり、その物理過程に関する諸問題について参加者から多数の質問があり、参加者にとって非常に有意義な講演であった。

一般講演はリモートセンシングと現場観測に関するセッションから始めた。東海大学を中心としたJ-OFUROグループ（久保田（東海大）、富田（名古屋大）、寺田（鹿児島大））からの講演によるJ-OFUROデータセットの最新の情報とともに衛星アルゴリズムの改善などの報告があった。本研究集会が強くかかわっている最近の白鳳丸観測航海で得られた波浪解析の結果についても根田（京大）から報告された。

初日午後のセッションからはベイスンスケール変動に関係して表層の熱や淡水の交換が亜表層に取り込まれることの影響評価に関する研究報告があった。大野（気象庁）は気象庁の海面温度アーカイブデータを用いて

日本近海の変動傾向の空間構造を解析し、各海域の海面温度変動と機構パターンとの関係を報告した。岡（東大）は北太平洋の10年スケールでの低塩化傾向がモード水形成過程と関係しているという結果を示し、山口（東北大）は水温プロファイルの形状偏差から表層から亜表層への熱浸透過程を見積もる試みを行った。一方、八田（北大）は水温長期上昇トレンドのハイエタスと海洋の熱吸収の関係に着目し、太平洋亜熱帯域での熱吸収が気温上昇傾向の変化に影響した可能性を指摘した。垣内（東海大）は異なった海上風場を用いたOFESの結果から海上風変動が水温躍層深に影響を与える可能性について報告した。安藤（三重大）は日本海における北極を循環する極夜ジェットの停滞に対して東アジアの海陸コントラストによるシベリア上の低気圧偏差が影響するという報告を行った。このセッションでは大気と海洋の熱・物質・運動量などの交換の長期的な変動が海洋亜表層に取り込まれる過程を明らかにすることの重要性が再確認された。

2日目は熱帯域を中心とした海洋変動の研究報告があった。滝口（京大）はエルニーニョ発生と太平洋西部暖水プールの構造変化の関係を調査し、暖水プール域に流入する主要西岸境界流の流量変化が影響している可能性について報告した。梅垣（京大）はインド洋アラビア海とベンガル湾の対照的な塩分構造が熱帯域の塩分構造に与える影響のプロセス解析を行い、単純にベンガル湾の低塩分水が熱帯域に輸送されるわけではなく、海流の季節変動とのモジュレーションによって影響する経路が変化することを報告した。宮地（北大）は太平洋十年スケールの水温上昇がインド洋水温に影響を与る可能性を示し、その影響の空間構造について報告した。熱帯域変動はエルニーニョ研究を中心としてすでに多くの研究がなされているが、他海域への影響が大きいことから局所気候に対するバックグラウンドコンディションとしての重要性は変わることがなく、新たな現象も次々に発見されている。それらの整合性や相対的重要度を検討する研究も重要であるだろう。

最後のセッションは大気海洋間の熱・物質・運動量交換が海洋表層の生物化学過程に関する研究で、本研究集会でも注目している分野である。今回は3件の発表があった。鋤柄（名古屋大）とMaure（名古屋大）はともに植物プランクトンの増殖が海洋のMixing layer depthと臨界深度の深さ関係によって規定されるという作業仮説に基づいて研究を行った。鋤柄はKH-14-1で実施したプランクトン活性と海洋乱流観測（散逸率）の反復観測データを解析し、Maureは日本海における中規模渦に伴う混合層変化が季節混合層をまたいだ混合を引き起こすという仮定のもとに、それぞれ、季節混合層下部からの栄養塩のアノマラスな取り込みによって植物プランクトンの増殖があったことを報告した。この研究は、短期的な乱流混合が生物化学過程の季節的な変動に及ぼす影響の大きさを示唆するもので、従来の臨界深度理論を補足しうる結果である。物理過程と生物化学過程を融合した研究は今後特に重要性を増すと考えられ、本研究集会でも注力するべき課題であると考える。小嶋（気象庁）は気象庁に蓄積されたデータから、新設された地球環境・海洋部 海洋気象課 海洋環境解析センター（以下海洋環境解析センター）による海洋の酸性化に関する解析例を紹介した。海洋環境解析センターは気象庁が蓄積してきた長期観測データをこれまで以上に積極的に提供・解析するための組織であり、現業観測と研究活動をより密接に結び付ける働きが期待できる。

まとめ：

今年度の一般講演では学生の研究発表9件に対して教員や研究員の発表が7件あり、バランスが取れていたと思われる。特に気象庁からの講演が2件あったことは重要であると考えている。現業官庁との間の情報交換は非常に重要であり、今後も同庁からの参加があることが望ましいと考える。また、今年度実施した特別セッションは極めて好評であった。本研究集会のような自由度の高い研究集会ならではの企画であり、教育的効果や研究者の間の共通認識のレベルの向上を目指すうえでも非常に有意義であると考える。

今回の一般講演を概観すると、人工衛星観測による観測手法を直接的なテーマとした研究や海面境界過程を直接的に扱った研究報告は最近減少傾向にあり、大気や海洋のそれぞれどちらかの変動現象に関する研究が増えている。大気海洋間の相互作用という本会合のもともとの趣旨に照らしてみると違和感があるが、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。

参加者の一人はこれまでも積極的に本集会に参加し、今回発表した内容を博士論文の主内容としている。10年ほど前まではジェットに伴う総観規模擾乱はほとんど大気の内部モードで説明が試みられていたことを考えると、本研究集会で強調してきた大気と海洋の両方のプロセスを重要視した現象解析によって博士号取得者が出てきているのは心強い限りである。今後の活躍に大いに期待したい。

今年度の日本海洋学会秋季大会では岡や根田など本研究集会の参加者がコンビーナーとなって我々が進めてきた最近の船舶観測研究の結果を総括するセッションを設けた。また、研究集会で議論になった課題についても集会後に改めて検討する機会を設けることができた。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。

太陽地球環境と宇宙線モジュレーション
Space weather and cosmic ray modulation

宗像一起　信州大学・理学部

本研究集会は銀河宇宙線の太陽圏内輸送（宇宙線モジュレーション）を主なテーマとするものだが、その研究には太陽地球環境の理解が決定的に重要となる。こうした観点から、太陽物理学、惑星間空間物理学の専門家と宇宙線研究者が一堂に会するinterdisciplinaryな研究集会を開催し、活発な議論を行った。3日間で57名(延べ人数124名)の参加があり、大変盛況であった。

以下に3月2日午後と3日のプログラムを記載する(1日と2日午前のプログラムは共催の研究集会の報告を参照されたい):

3月2日

<< Session for General Topics from Studies on Heliosphere and Cosmic Ray >>

13:35-13:55

小島浩司（愛知工業大学）、徳丸宗利、柴田祥一、高丸尚教、大嶋晃敏、鈴木建司、田中公一、川上三郎、林嘉夫、荻尾彰一、野中敏幸、中村亨、森下伊佐男S.K.Gupta、S.R.Dugad、P.K.Mohanty、S.C.Tonwar

インドOotyに建設された大面積高精度muon望遠鏡により観測された宇宙線強度の各種 変動について

13:55-14:15

Akitoshi Oshima (Chubu Univ.)

Current status of the expansion for the GRAPES-3 project

14:15-14:35

Park Inchun (Nagoya Univ.), Yoshizumi Miyoshi, Tatsuhiko Sato, Ryuho Kataoka, Yuki Kubo, and Shoko Miyake

Reconstructing polar asymmetry of GLE69 via WASAVIES simulation

Break (15 min)

<< Session for Space Weather and Cosmic Ray Modulation >>

14:50-15:25

川田和正（東京大学宇宙線研）

銀河宇宙線中の「太陽の影」を用いた太陽近傍磁場の検証

15:25-16:00

野澤恵（茨城大学）

電波観測による太陽磁場計測の現状

16:00-16:35

柴崎清登（太陽物理学研究所）

野辺山電波ヘリオグラフによる太陽コロナ彩層磁場観測

16:35-16:55

門叶冬樹、櫻井敬久（山形大学）、他

第２３から２４太陽活動期の大気宇宙線生成核種の濃度変動観測

16:55-17:15

村木綏（名古屋大学 ISEE）

２調和振動子モデルの太陽活動とエルニーニョ・ラニャ現象への応用

3月3日

09:00-09:35
塩田大幸（名古屋大学 ISEE）
太陽光球磁場観測と太陽周期変動
09:35-10:10
袴田和幸（中部大学）
コロナ磁場のRadial Fieldモデル
10:10-10:45
藤木謙一（名古屋大学 ISEE）
コロナホール分布の長期変動の特徴、および太陽風構造、宇宙線変調との関連性について

Break (15 min)

11:00-11:35
塩見昌司（日大生産工）
ALPACA 実験計画
11:35-12:10
鳥居祥二（早大理工研）他 CALET チーム
CALET の軌道上観測性能と初期観測成果

Lunch (1hr 30 min)

13:40-14:00
宗像一起（信州大学）、加藤千尋、小財正義ほか、GMDN collaboration
GMDN ネットワークによる最近の研究成果
14:00-14:20
古賀清一（JAXA）、村木綏、神谷浩紀、増田智、柴田祥一、松本晴久、河野英昭
国際宇宙ステーション・日本実験棟「きぼう」曝露部搭載SEDA-APで計測された中性子イベント
14:20-14:40
村木綏（名古屋大学 ISEE）、柴田祥一
MATLAB と SCILIB を用いた周期解析へのコメント
14:40-15:00
渡邊堯（ICSU WDS International Programme Office）
宇宙線 WDC の現状と展望
15:00-15:20
六條宏紀（名古屋大学）
気球搭載エマルション望遠鏡によるガンマ線天体精密観測計画GRAINE
15:20
閉会

サブストーム研究会
Substorm Workshop

宮下幸長、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

集会の目的

サブストームは、磁気圏で発生する基本的な擾乱である。その発生・発達には、磁気リコネクションや波動粒子相互作用等、宇宙で広く見られるプラズマ現象が関わっている。サブストームに関連する最重要課題として、サブストームの発生機構と内部磁気圏における高エネルギー粒子の生成機構が挙げられる。前者について、Geotail衛星やTHEMIS計画により、サブストーム開始時の変化の形態的全体像や、高速流・磁場双極子化・オーロラアークの発展等、個々の過程の詳細は明らかになってきた。しかし、各過程の因果関係については、未だ根本的な解決には至っていない。一方、内部磁気圏の高エネルギー粒子の生成機構については、サブストーム発生に伴って内部磁気圏に注入される粒子は、高エネルギー粒子の種の一つとして挙げられているが、注入された粒子が波動粒子相互作用を介して高エネルギーを得る過程の詳細や放射線帯粒子への寄与の程度は不明な点が多い。

サブストームには太陽風-磁気圏-電離圏の結合と個々の過程の相互作用が重要であるが、その過程は非常に複雑である。サブストーム現象の解明には、多面的な総合解析と検討が必要である。本研究会では、各領域・各過程に精通した研究者が集まり、衛星・地上観測とシミュレーションを基に、集中してじっくり議論することにより、サブストーム現象の理解を深める。

今回の研究会では、サブストーム発生に関する話題とともに、2015年3月に打ち上げられたMMSに関連した磁気リコネクション・磁場双極子化などの素過程、2016年12月20日に打ち上げられたERGやVan Allen Probesに関連したインジェクション・波動粒子相互作用や磁気圏-電離圏結合、さらに、衛星・地上の連携観測の計画など、サブストームに関連した話題について幅広く議論する。

参加者数： 22名
発表件数： 12件
世話人： 宮下幸長、町田 忍、家田章正、三好由純
（名古屋大学 宇宙地球環境研究所）

集会の成果

集会には、専門とする領域・手法の異なる研究者22名が参加した。衛星・地上観測データによる事例解析・統計解析、およびシミュレーションの結果をもとに、多岐にわたるサブストーム関連の課題のうち、

以下のようなサブストーム発生機構やサブストームによって励起される現象について活発な議論を行った。

・グローバルスケールにおけるサブストーム発生過程： グローバルMHDシミュレーションの結果を基に提唱されたサブストーム発生機構の新しいモデルについて議論した。また、Nishimura et al. [2010]によって提唱された、preonset aurora/streamerによってサブストームが引き起こされるというモデルについて、同じTHEMISの観測データを用いて検証を行い、否定的な結論が得られたが、今後、検証すべき論点を整理した。

・磁気リコネクション領域の構造・高速流の発生： 最新の粒子シミュレーションやGeotail衛星の観測に基づき、非対称磁気リコネクション領域の構造について議論した。また、大規模な粒子シミュレーションに基づき、尾部の磁気リコネクションによる高速流の発生機構について議論した。

また、2015年3月に打ち上げられたMMS衛星に関して、MMS衛星は2017年5月から磁気圏尾部に入り、本格的に主目的である磁気リコネクションの観測を開始する。それに備えて、今後の観測計画や観測機器の稼働状況、MMS衛星の軌道と他の衛星との位置関係、データや解析ソフトウェアについて、最新の情報を共有した。

・オーロラの発展： サブストーム開始時のオーロラの発展に関して、衛星と地上カメラの観測の違いを比較し、サブストームオンセットの定義について議論した。また、THEMIS衛星と地上オーロラ観測による事例を基に、尾部の高速流とオーロラ発光の緯度との対応関係についてや、北向き惑星間空間磁場(IMF)の時のサブストームに伴うオーロラ爆発と通常の南向きIMFの時の場合との違いについて議論した。さらに、各種地上オーロラ観測と衛星観測を基に、太陽風動圧急増に伴う夜側のオーロラ活動とサブストームの違いや磁気圏尾部の変化との対応について議論した。

・擬似サブストーム： THEMISデータの統計解析によるサブストーム時と擬似サブストーム時の磁気圏尾部変化の違いを基に、サブストームに発展する条件について議論した。

・サブストームに伴う内部磁気圏への物質供給： Van Allen Probes衛星の観測を基に、サブストームの磁場双極子化に伴う電離層起源の酸素イオンの供給について議論した。

普段の学会等と違って、本集会では、サブストームに関する話題についてじっくりと議論ができた。特に、サブストームオンセットの定義など、未だはっきりと確立されてないにもかかわらず、おろそかにされがちな（それゆえ議論が堂々巡りになり進展しない）基本的な重要問題についてじっくりと議論をし、問題点が整理された。

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 29 年 3 月 15 日～平成 29 年 3 月 16 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、MAGDAS/CPMN (MAGnetic Data Acquisition System/Circum-pan Pacific Magnetometer Network、地上磁力計ネットワークによるリアルタイム観測)、および FM-CW radar (地上レーダーによる電離層電場観測)、により、汎地球的規模で、地上から地球電磁圏を観測・モニタリングしてきた。また、世界の地上磁場観測網との協同体制も進展中である。

九州大学ではまた、グローバルシミュレーションによる電磁圏の研究も進めてきた。これも、汎地球的規模の視点での研究である。

汎地球的志向性を持った観測・シミュレーションを行っている日本国内の研究者は上記九大以外にも多数存在する。表記の名古屋大学宇宙地球環境研究所研究集会の目的は、これらの研究者が議論を交わす場を用意し、それによってこの観測・研究の方向性を促進・強化する事であり、研究集会当日には この目的に沿い、広い範囲の発表・議論が観測とシミュレーションで分かれる事なく行われた。大学院生・九州大学学部生の参加・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（SC の地上磁力計多点観測、Pi2 脈動の地上磁力計・オーロラ撮像装置による多点同時観測、SuperDARN レーダーによる電離圏プラズマの密度・流れやその波動の観測、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－電離圏対流、沿磁力線電流、等）。
- 磁気圏－電離圏結合についての発表も複数行われた（上記グローバルシミュレーション、ローカルシミュレーション、観測、シミュレーションと観測の比較、等）。
- ERG 連携地上観測についての現状報告も行われた。

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。

内部太陽圏プラズマ研究会
Whorkshop on the inner heliospheric plasma

成行泰裕、富山大学・人間発達科学部

本研究集会は内部太陽圏プラズマの最新の研究成果と今後の展望について議論する場を提供することを目的とした研究集会であり、「太陽地球環境と宇宙線モジュレーション」、「太陽圏・宇宙線関連の共同研究成果報告会」との共催で平成3月1日から3日にかけて開催された。また、本研究集会はSGEPSS波動分科会の後援で開催された。今回の研究集会はRoberto Bruno博士(イタリア国立宇宙物理学惑星学研究所)を始めとして海外からの後援者が多く参加されていたため、本研究集会に関連が深い招待講演者を中心とした初日の使用言語は英語にさせていただいた。3日間で57名(延べ人数124名)の参加があり、大変盛況であった。

以下に3月1日と2日午前のプログラムを記載する(2日午後－3日のプログラムは共催の研究集会の報告を参考にされたい):

March 1st 3月1日

<< Session for Inner Heliospheric Plasma >>

10:30-10:40 Opening remarks 開会挨拶

10:40-11:40

Roberto Bruno（INAF-IAPS/Italy, イタリア国立宇宙物理学惑星学研究所）

Solar Wind Turbulence Spectrum: from Fluid to Kinetic Scales

（太陽風乱流のエネルギースペクトル：流体から運動論までの描像）

11:40-12:15

Takeru Suzuki 鈴木建（Unv. Tokyo 東京大）

Alfven wave-driven solar wind: roles of compressive waves

Lunch (1 hr 30 min)

13:45-14:20

Nobumitsu Yokoi 横井喜充（IIS/Univ. Tokyo 東京大学生産技術研）

Inhomogeneous global flow effects in turbulent transport: Flow and magnetic-field induction

14:20-14:55

Horia Comisel（Technische Universitat Braunschweig ドイツ・ブラウンシュバイク工科大）

Unsolved problems on collisionless shocks (review)

14:55-15:30

Yasuhito Narita 成田康人（IWF/OEAW オーストリア科学アカデミー宇宙科学研究所）

THOR mission concept (THOR 衛星計画)

Break (15 min)

15:45-16:20

Zoltan Voeroes（IWF/OEAW オーストリア科学アカデミー宇宙科学研究所）

Coherent structures in the turbulent terrestrial magnetosheath

（地球磁気圏マグネトシース乱流中のコヒーレント構造）

16:20-16:55
Chihiro Tao 垰千尋（NICT）, F. Sahraoui, D. Fontaine, J. de Patoul, T. Chust, S. Kasahara, and A. Retino
Properties of Jupiter's magnetospheric turbulence observed by the Galileo spacecraft
16:55-1730
Takeshi Imamura 今村剛（Univ. Tokyo 東京大）, H. Ando, M. Tokumaru, H. Isobe, D. Shiota, A. Asai
Study of turbulence in the solar corona using radio occultation observations of Venus orbiter “Akatsuki”（金星探査機あかつきの電波掩蔽観測による太陽コロナ中の擾乱の研究）
17:30-17:50
大塚史子（九州大学）、松清修一、Arpad Kis
Effect of field-aligned-beam on the energetic ion parallel diffusion in the earth’s foreshock: Quasi-linear theory, test particle simulation, and Cluster observation
(地球フォアショックの高エネルギーイオン拡散における沿磁力線ビームの役割：準線形理論、テスト粒子計算、クラスター衛星観測)
17:50-18:10
Yasuhiro Nariyuki 成行泰裕（Univ. Toyama）, Yasuhito Narita成田康人、ShinjiSaito
斉藤慎司
On the multi-dimensional spectrum model for the imbalanced MHD turbulence

March 2nd 3月2日
9:00-9:35
Hsiu-Shan Yu (CASS/UCSD) , B.V. Jackson, P.P. Hick, and A. Buffington
Observations of the variable solar wind, and its implications for Solar Probe Plus and Solar Orbiter
9:35-10:10
B.V. Jackson (CASS/UCSD), H.-S. Yu, A. Buffington, P.P. Hick, M. Tokumaru, and D. Odstrcil
The UCSD IPS time-dependent tomography for use as an overview of heliospheric Structure

Break (15 min)

<< Session for General Topics from Studies on Heliosphere and Cosmic Ray >>
10:25-10:45
Kojima, M. (ISEE, Nagoya Univ.)
Evaluation of the velocity analysis method using single IPS antenna system
10:45-11:05
Katsuhide Marubashi 丸橋克英（NICT）
Structures of solar wind with magnetic field intensity greater than 40 nT
40nT以上の磁場をもつ太陽風の構造
11:05-11:25
中川朋子（東北工業大学）、綱川秀夫
太陽風中の月の背後の磁場変動について
11:25-11:45
Tohru Shimizu 清水徹（Ehime Univ.）and Koji Kondoh
MHD numerical study of plasmoid instability with uniform resistivity
11:45-12:05
鷲見治一（九州大学国際宇宙天気科学・教育センター）
太陽圏外圏構造における惑星間空間衝撃波効果

第2回不均一大気化学国際ワークショップ
2nd International Workshop on Heterogeneous Kinetics Related to Atmospheric Aerosols

廣川　淳、北海道大学・大学院地球環境科学研究院

平成28年11月12日から14日にわたり、2nd International Workshop on Heterogeneous Kinetics Related to Atmospheric Aerosolsを茨城県つくば市のつくば国際会議場で開催した。大気微量成分とエアロゾルとの気相－液・固相間不均一反応は、二次有機エアロゾルの生成・消失、エアロゾルの物理的な性状変化に関わるため、気候変動や大気汚染に重要な役割を果たすと考えられるが、その理解は断片的で十分ではない。室内実験、野外観測、モデルそれぞれのアプローチから得られる情報を共有し、より包括的な理解を進めることが必要である。このような背景のもと、アジアにおける不均一反応研究の現状を相互理解し、さらに発展させることを目的として、2015年8月に本ワークショップの第1回が北京で開催され、今回がその2回目にあたる。米国からColorado大学のVeronica Vaida教授とLawrence Berkeley国立研究所のKevin R. Wilson博士を招待して基調講演をお願いするとともに、日本、中国（香港、台湾を含む）、米国、スイス、シンガポールから26名の方を招待し、講演いただいた。参加者は上記の国々の他に、トルコからの大学院生も含め48名であった。

今回のワークショップでは、二次有機エアロゾル、液滴、黄砂粒子、氷などの様々な粒子上で起こる不均一反応の実験研究やモデル研究に関する成果が大気化学分野の研究者から紹介されるとともに、実験的なアプローチが困難なため理解が遅れている凝縮相表面近傍での反応過程に焦点を当て、非線形分光法を用いた液体表面の吸着分子構造の探求、レーザートラップ法を用いた単一粒子の相変化の実時間観察、レーザー共焦点微分干渉顕微鏡による氷結晶表面の融解過程の観察など、気相－凝縮相界面を観測するための新たな実験手法や、気相－液相界面での物質移動過程に対する理論的な取り扱いについて、物理化学、分析化学、低温科学などの分野の研究者からご講演いただいた。また、3日目は、国立環境研究所でスモッグチャンバーなどエアロゾル研究関連の実験装置の見学も行った。各講演後の質疑討論で活発な議論が交わされるとともに、全講演後に行われた総合討論では、不均一反応の研究推進に向けた日本、米国、中国での状況について情報交換がなされた。最後に北京大学のTong Zhu教授より、次回を中国にて開催することが提案され、引き続き不均一反応の包括的な理解に向けた活動が推進されることとなった。

なお本ワークショップの開催にあたっては、名古屋大学宇宙地球環境研究所より支援をいただくとともに、公益信託分子科学研究奨励森野基金および国立研究開発法人国立環境研究所からも援助いただいた。

ミリ-テラヘルツ波受信機ワークショップ
Mm/THz-Wave Bands Receiver Workshop

前澤 裕之、大阪府立大学・理

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ン検出器、超伝導フォトン検出器、低雑音増幅器、発振器、機械式冷凍機など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・応用を目指すべく、最新の情報を幅広く議論する場を提供することを目的としている。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。特に超伝導ミクサ検出素子の高感度性能は、電波天文学を飛躍的に発展させ、さらには地球大気観測にも応用されてきた。例えば国際宇宙ステーションの日本実験棟(きぼう)暴露部に搭載した超伝導サブミリ波リム放射サウンダ(SMILES)(JAXA/NICT)や名古屋大学宇宙地球環境研究所が推進する南極・アルゼンチン・アタカマ高地・陸別で展開されている地球中層大気計測装置などで威力を発揮している。また、デバイス製作技術や新素材の開拓により、今やミリ波と光の技術に挟まれて未開拓となっていたテラヘルツ領域にまで高周波化が進みつつあり、地球惑星大気観測や天文学観測への一層の応用が期待される。さらに、高効率観測を目指した高感度化・広視野化開発も近年のトレンドである。日欧米で競争が激化するこの分野の将来の展開を見据え、本年も本研究集会を通して、大阪府立大学、名古屋大学、NICT、JAXAや国立天文台、東京大学、北海道大学、山口大学、鹿児島大学、東北大学、大阪大学、電気通信大学、茨城大学、筑波大学、関連民間企業など、全国で活躍するこの分野の研究者・エンジニアが一同のもとに集い、国際競争力・推進力の向上・効率化、基礎技術力の裾野拡充・継承、人材育成を目指す。

2.報告および成果

2017年2月27日～28日の2日間、情報通信研究機構（東京都小金井市）において「第17回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ」として開催した。今回は「第3回 理研NICT合同テラヘルツワークショップ」と合同で開催され、22の機関・企業から計112名の参加があり、招待講演4件、口頭講演26件、ポスター講演55件、展示ブース2件という盛況な内容となった。各講演では、名古屋大学ISEEの地球大気観測装置、理学部A研のNANTEN2望遠鏡のほか、国立天文台のASTE望遠鏡および野辺山45m望遠鏡、南極望遠鏡、CMB偏光観測実験GroundBIRDなどに搭載する新しい受信機開発の状況や、ALMAをベースとした将来技術開発として受信機回路の集積化によるマルチビームの検討、導波路～超伝導接合に至るインピーダンス変換回路の開発によるRF周波数の広帯域化などについて報告が行われた。さらに、ナノスケールの電流揺らぎ計測やテラヘルツイメージング、テラヘルツ光源開発、超広帯域低雑音のマイクロ波～ミリ波帯アンプなどについて招待講演が行われ、近年急速に基礎技術開発が進む情報・通信分野から天文学・大気科学といった応用まで分野を広く横断する要素技術について活発な議論がなされた。

これらは、将来の地球大気環境計測や電波天文学に関わるテクノロジーにおいて、さらなる高感度・高確度化、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、重要な知見を与えるものとなった。

ひので科学会議　１０
Hinode Science Meeting 10

櫻井　隆、自然科学研究機構国立天文台・太陽観測所

「ひので（Hinode）」の10周年科学国際会議Hinode-10 Science Meetingは、9月5日から9月8日の日程で、名古屋大学理学部南館坂田・平田ホールにおいて開催されました。

ひので衛星は日米英欧の協力によって開発された太陽観測衛星であり、太陽表面とその周りの太陽大気である彩層及びコロナを世界で最も安定かつ精密に観測することができる3台の太陽望遠鏡を搭載しています。ひので衛星は2006年にJAXAによって打ち上げられて以来、現在に至るまで10年間連続した観測に成功し、太陽大気中での電磁流体波動の初めての確認や、太陽フレア爆発のトリガとなる磁場構造の特定など、数多くの発見をもたらしています。すでに1,000編を超える学術論文を生み出すなど、日本の宇宙観測衛星として最も成功したミッションの一つであるといえます。国立天文台ひので科学プロジェクトはひので衛星の開発段階から、その中心としてこれまでひので衛星による科学研究を国内外の研究者と協力してリードしてきました。

ひので衛星の科学国際会議は日米欧の持ち回りで毎年開催されていますが、今回のHinode-10は、ひので衛星に関する10回目の科学会議として、これまでの成果をとりまとめ、新たな研究への指針を与えるマイルストーンとして実施されました。またこの会議は、国立天文台のNAOJシンポジウムとしても認められており、全国の太陽研究者の協力によって運営されました。科学組織委員長は櫻井隆（申請者、国立天文台名誉教授）、開催地組織委員長は名古屋大学宇宙地球環境研究所の草野完也教授です。

同会議には日本、米国、英国をはじめ、ノルウェー、スペイン、ドイツ、ロシア、チェコ、フランス、インド、中国、韓国、エジプト、イランなどから150名を超える世界の太陽研究者が参加し、活発な議論が行われました。特に、太陽黒点の微細構造と太陽コロナの加熱機構、太陽静穏領域の磁場構造とスピキュールのダイナミクス、太陽極域磁場の周期変動、プロミネンスの乱流と噴出、太陽フレアの発生機構と大規模不安定性、コロナ質量放出の発生や太陽風の源など10年間のひので衛星の観測に基づく最新の研究成果が報告されました。また、ひので衛星の後に打ち上げられたSDO, IRIS, NuSTARなど様々な観測衛星との共同観測の成果や今後の計画についても議論が展開され、新たな太陽研究の可能性を展望することができました。最終日（9月8日）には、マックスプランク太陽系研究所所長のSami Solanki氏が、ひので衛星が活躍したこれまでの10年からこれからの10年の太陽研究を展望するサマリー講演を行いました。

Hinode-10会議と共に次世代の太陽観測衛星計画SOLAR-Cの科学戦略を検討する国際研究集会（SOLAR-C Science Meeting）も9月9日に実施され、ひので衛星の成果を基にした太陽物理学の新たな発展についても検討されました。特に、JAXA、NASA、ESAが現在協力して進めている次世代太陽物理ミッションに関する科学検討チームの活動について報告され、将来の太陽観測研究の方向性について多角的な議論が行われました。

太陽研連シンポジウム
JSPC Symposium

横山央明、東京大学大学院理学系研究科

集会の概要、目的:

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開催されました。また、本年度のシンポジウムでは、「太陽系科学の中での太陽研究の将来展望」をテーマに、太陽系科学(地球惑星磁気圏でのプラズマ物理や惑星科学)や宇宙天気・宇宙気候といった地球環境への太陽影響研究など、共通の物理を扱う周辺領域とくに太陽系科学諸分野との研究交流や学術的研究連携を促進させるセッションを設けました。

参加者数: 90名 (うち、海外機関から1名)

内容報告:

以下のようなセッション構成で3日間に渡って、集会が行われました。

2月20日(月)

・観測所・プロジェクト報告(I)

・太陽物理学スペース・地上観測の将来像(I)

2月21日(火)

・太陽物理学スペース・地上観測の将来像(II)

・観測所・プロジェクト報告(II)

2月22日(水)

・太陽系科学のなかでの太陽物理学の展望

・太陽物理学の直近成果

それぞれのセッションにおいて、招待講演と一般講演が行われました。プログラム作成時に、議論の時間を確保することを心がけた結果、将来計画を議論するセッションでは、多くの若手研究者からのさまざまな提案・意見が出され、充実した議論ができたと思います。また、ポ

スターセッションを設けることにより、より多くの参加者に研究発表の機会を持っていただくことができました。最新の成果を発表するセッションでは、今年度、学位を取得された方の講演を中心に最新の研究成果が数多く発表され、参加者にとっては、最新の成果を一度に知ることができる有意義な機会になりました。

太陽惑星系宇宙プラズマ中の重イオンに関する研究集会

Fundamental processes of heavy ions in solar-planetary plasma

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

概要

本研究集会では、太陽表層大気から惑星電磁気圏における重イオン（プロトンよりも重い粒子）の物理過程に着目し、過去の研究成果のレビューと最新研究成果の発表を行い、現行・将来衛星ミッションの現状について情報共有した。重イオン供給過程（輸送・加熱）、選択的加速過程、低温重イオンの特徴について議論を行い、異なる分野の研究者間で情報交換を行った。本年度は特に、名古屋大学宇宙地球環境研究所研究集会「プラズマ圏の観測とモデリング」と連続開催し、多種イオンプラズマ中において重イオンが惑星電磁気圏ダイナミクスに及ぼす影響を議論した。

詳細

平成29年3月8日と9日に大阪電気通信大学にて開催した。同年3月6日と3月7日に開催された「プラズマ圏の観測とモデリング」研究集会と共通のテーマが多かったため、同大学で連続開催とした。

参加者数は12名、口頭発表は11件（うち招待講演7件）であった。講演内容は、地球電離圏からの酸素イオン流出、地球磁気圏での重イオン輸送と加速、木星・土星での重イオン環境と衛星からの物質供給、と多岐にわたった。また、各講演後に加えて各セッション後に議論の時間を十分設け、現行衛星ミッション（ひさき、Van Allen Probes、MMSなど）の重イオンデータや興味深い現象について情報を共有し、将来衛星ミッション（ERGなど）を用いた研究の可能性を議論した。

本研究集会の参加者は全員「プラズマ圏の観測とモデリング」研究集会にも参加し、地球磁気圏における重イオン（電離圏およびプラズマ圏の組成変化や時間空間変動）に関して議論と情報共有を行った。

成果

昨年、一昨年度の研究集会におけるレビュー講演と議論に基づき、本年度は特定の現象や物理過程にテーマを絞って議論を深めた。具体的には、「地球電離圏から磁気圏への重イオン供給」、「木星・土星の衛星から磁気圏への重イオン供給と磁気圏ダイナミクスへの影響」というテーマでセッションを設けた。対象テーマを絞り発表時間を長く設けたことで、より深い議論を活発に行うことができた。さらに、異なる惑星を専門とする研究者から率直な意見や質問も出て、重イオン供給・輸送と磁気圏ダイナミクスの理解に繋がる議論を行うことができた。以下の点については、今後継続して情報共有と議論を行い、来年度以降に集中して議論することを確認した。

- ERG（あらせ）衛星とVan Allen Probes衛星の同時観測データを用いた、地球電磁気圏における重イオンの輸送・加速に関する研究
- 木星・土星電磁気圏における衛星起源重イオンの役割
- 水星磁気圏における水星表層物質起源重イオンの振る舞い

Meeting on Perspectives in Computational Atmosphere and Ocean Science and 8th OFES International Workshop

海洋研究開発機構 アプリケーションラボ　佐々木 英治

本ワークショップは、名古屋大学宇宙地球環境研究所の共同利用・共同研究の「研究集会」（代表：佐々木英治（APL））に採択され、名古屋大学、海洋研究開発機構の共催にて、シミュレーション気候研究の更なる発展を議論するために開催された。また、第８回のOFES International Workshopを兼ねている。

開催日　　平成29年3月13日（月）～3月14日（火）

会場　　名古屋大学 環境総合館 レクチャーホール

参加者数　　49名　（詳細は参加者リスト参照）

・研究集会の概要

招待講演者による「Key Note Presentation」と８つのセッション「Indian Ocean and Agulhas Current」、「Atmospheric Science and Model」、「Biogeochemical Research」、「Oceanic Response to Atmosphere and Air-sea Flux」、「Atmospheric Response to Ocean」、「Pacific Ocean」、「Marginal and Coastal Sea」、「Coupled Model」で30件の口頭発表、ポスターセッションで16件の発表が行われた。

・研究集会の詳細

「Opening Remark」では、名古屋大学宇宙地球環境研究所 副所長 石坂教授に、研究所の紹介を含む挨拶が行われた。

「Key Note Presentation」では、OFESデータを用いて既に19編の論文を発表しているErik van Sebille博士（Imperial College London）から、OFESに代表される高解像度海洋シミュレーションデータを用いた粒子追跡による研究についての発表が行われた。

口頭発表では、主にシミュレーションデータを用いた太平洋、インド洋の海洋物理の研究、海洋による大気応答・大気による海洋応答の大気海洋相互作用のプロセス研究、海面フラックスプロダクトの研究、台風の発達メカニズム研究、海洋生態系の研究、さらに大気海洋結合モデルを用いた気候や温暖化予測の研究など、最新のシミュレーション気候研究を中心に様々な研究が発表され、活発な質疑応答が行われた。

3月13日に1時間10分間、3月14日に40分間のポスターセッションが設けられ、大気・海洋シミュレーション、海洋力学、海洋物理、海洋生態系、さらに河川データセットの研究など16件のポスターが掲示され、活発な議論が行われた。

「Discussion」のセッションでは、OFESを用いた高解像度海洋シミュレーションの現状の報告（最新の結果およびデータ公開状況）が行われた。また、今後のワークショップの開催予定を議論し、2年毎に開催することとなった。

・研究集会の成果

Keynote Presentationを行ったErik van Sebille博士(Imperial College London)は、非常に期待されている若手の海洋学者で、昨年のEuropean Geosciences UnionのOutstanding Young Scientist賞を受賞している。また、Sebille博士は、OFESの高解像度海洋シミュレーションデータを用いた論文を既に19本(共著を含む)出版している。今後の活躍が期待できるSebille博士を招待し、Keynote Presentationを行って頂き、さらに今後の共同研究を含む研究活動について議論できたことは非常に有益であった。さらに、Sebille博士は、3月15日（ワークショップの翌日）にInstitute Lectureで海洋のプラスティック汚染についての研究紹介をしていただいた。

参加者49名のうち学生15名（外国人2名を含む）、若手研究者4名と数多くの若手が参加した。それら若手のうち8名が口頭発表、11名がポスター発表を行った。若手の今後の研究活動の活発化を促す研究集会になったと考えられる。

本国際研究集会には、名古屋大学宇宙地球環境研究所から8名が参加し、3名が口頭、2名がポスター発表を行った。また、Coffee Break等で、参加者間の交流が活発に行われ、今後の研究活動への展開が期待される。

・ワークショップのホームページ：http://www.jamstec.go.jp/apl/ofes_ws8/

・Photo Sessionでの集合写真



第 29 回（2016 年度）名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定研究シンポジウム

The 29th 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、1 月 30 日（月）と 31 日（火）の両日、研究所共同館Ⅱ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 59 人（延べ 109 人）、口頭発表は 25 編、ポスター発表は 6 編であった。シンポジウムでは、まず今年度の同研究部の活動を概観するとともに、新研究創成経費研究の成果として、研究機関研究員による 3 件の研究報告が行われた。また、今年度から新たに始まった共同利用・共同研究に関連して、本学のほか、大学、研究所、民間団体や企業などの研究者、院生によって、環境学、地質学、考古学や文化財科学など幅広い分野に関する発表が行われた。

招待講演では、主要な年代測定法のひとつである K-Ar 法の総括的な研究紹介があつた。そして、シンポジウムの最後に、名古屋大学地域貢献事業として、昨年夏に小中学生を対象に行われた「樹木年輪と年縞堆積物から過去の太陽活動、地球の子環境を探る」の活動報告がなされた。なお、講演の多くでは、昨年急逝された鈴木和博名誉教授（元年代測定総合研究センター長）の思い出が述べられ、同名誉教授が年代測定研究をはじめ多くの分野で残された功績を振り返った。

講演のリストは以下の通りである。

【口頭発表】

- 名古屋大学タンデトロン AMS^{14}C システムの現状と利用（2016）
- CHIME 年代測定システムの現状と利用（2016）
- 「院政期書写」の仮名古筆切の ^{14}C 年代測定
- 火葬古人骨の炭酸ヒドロキシアパタイトを用いた年代測定と食性解析
- 高圧・超高圧変成岩のフェンジャイト K-Ar 年代学
- 鈴木和博先生を偲ぶ：微小領域微量分析から CHIME へ
- Ti 濃度定量による結晶化温度と U-Pb 年代から導く花崗岩中のジルコンの形成プロセス: 土岐花崗岩体の三次元的な形成プロセスの推定
- グリーンランド・イスア表成岩帯の石墨片岩中に含まれるモナザイトの CHIME 年代測定
- 非拡張型不感時間近似が可能な EPMA 用高確度不感時間補正
- JAEA 東濃地科学センターの JEOL FE-EPMA -JXA-8530F-を用いた鉱物分析と年代測定
- 松山 - ブリュンヌ地磁気逆転期とテクタイト衝撃形成期の年代学的比較研究
- 酸素同位体プロキシ解釈の高度化にむけた取り組みとその将来展望
- 岩手県船越湾に生息する長寿二枚貝殻を利用した古環境・炭素循環研究
- 年代測定研究部主催「平成 28 年度名古屋大学地域貢献事業:樹木年輪と年縞堆積物から過去の太陽活動、地球の古環境を探る」活動報告
- 北海道厚真川流域の沖積層の堆積相解析・微化石解析・AMS^{14}C 年代測定に基づく堆積曲線および相対的海水準曲線の復元
- AMS^{14}C 年代測定および花粉分析に基づく石狩低地帯南部厚真地域の後期更新世～完新世古気候変遷の解明
- AMS^{14}C 年代測定及び花粉分析に基づく札幌市豊平川流域の支笏火砕流噴出前の古環境の考察
- 福島第一原発事故に伴う福島県の放射性物質の汚染---2016 年の状況---
- 福島第一原発事故、汚染の現状と除染の課題
- 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：Sr 同位体比から見えてきた巨石の天然記念物の起源
- 水試料の放射性炭素濃度の相互比較と前処理手法の検討：RICE-W プロジェクト

・　韓国地質資源研究院の加速器質量分析システムの紹介
・　チベット・プマユマツォ湖周辺岩石の ^{10}Be 露出年代値
・　日本産樹木年輪 ^{14}C 年代データの IntCal13 との比較と活用
・　年代測定研究部における AMS 測定試料の前処理技術開発−現況報告と将来展望−

【ポスター発表】
・　塩基性炭酸銅・緑青・孔雀石の自己分解温度と ^{14}C 年代測定に最適な緑青の分解温度
・　顕微鏡観察と書誌学的考察によるツレ判定を併用した古筆切の間接的 ^{14}C 年代測定
・　韓国の主な地質における空間線量率分布
・　大学院理系研究室のマネジメント
・　九州および韓国沿岸の完新統中の貝と植物の放射性炭素年代値の差異
・　インドネシア・バリ島，ブヤン−ブラタン火山の後カルデラ火山の噴火史

台風セミナー2016
Typhoon seminar 2016

伊藤耕介（琉球大学理学部）

台風セミナー2016が，2016年8月4-5日に名古屋大学ES総合館1階ES会議室で行われた．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年に始まり，第6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．本研究集会では，主要なイベントとして，2日間の日程において，台風航空機観測に関して大きな実績を上げてきたUniversity of HawaiiのProf. Michael Bellを講演者として招待し，Aircraft Observations of Tropical Cyclones: Past, Present, and Futureというタイトルで台風の航空機観測について幅広い視点から6時間にわたって講演頂いた．その他に，国内の研究者による10件のポスター発表が行われた．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16の機関より32名であった．

Michael Bell氏は，台風観測の歴史を振り返ることを出発点とし，台風の発生・急発達・多重壁雲の構造などについて航空機観測により明らかになってきたことを丁寧に解説した．特に，革新的な航空機レーダーや新たに開発された小型のドロップゾンデにより，各フェーズの台風中心付近の状態が高精細に明らかになってきたことは，参加者を驚かせるのに十分であった．また，名古屋大学を中心として実施されることとなっている台風の航空機観測に関しても，将来構想を含めて活発な意見交換が行われた．国内の研究者によるポスター発表では，多重壁雲の形成・維持メカニズムや台風の急発達といった台風内部コアに関する研究，衛星データを用いた台風のサイズに関する観測的研究，昨年の鬼怒川豪雨を引き起こした大雨に関する研究，気象庁強度予報モデルSHIPSの現業利用に向けた取り組みなど幅広いテーマが扱われた．

今回の台風セミナーでは，ポスター発表のうち6件について，全員でポスターを1時間ずつ閲覧する形をとり，質疑応答に十分な時間をかけられるよう工夫した．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．今回の研究集会は，日本における台風研究者のレベルアップだけでなく，新たな協力や研究テーマの発掘にもつながっていくものと思われる．一方で，国内の台風研究者全体のレベルが過去数年間で上がってきたことを受けて，初めて参加した方の中には，内容が難しいと感じた方もいたようである．今後，研究集会を計画・立案する際の参考としたい．



写真　台風セミナー2016参加者の集合写真

衛星による高精度降水推定技術の開発とその利用の研究企画のための集会
Research project meeting for development and application of high-accuracy satellite precipitation retrieval technique

青梨和正　気象研究所　台風研究部

集会の概要：

近年、地域的な降水特性（強さ、タイプ、頻度）の変動や、強雨や干ばつなどの極端な事例が世界的に注目されている。また、全球的な降水情報は、大気、海洋、陸面などの間の様々な時間・空間スケールの相互作用の理解のために不可欠なパラメータの１つでもある。全球的にある程度の時間・空間分解能の降水情報を与える観測手段として、衛星リモートセンシング技術が近年注目されている。これは、稠密な降水観測システム（地上雨量計や降水レーダ）が利用できる地域は地球のごく一部であり、海上や極域、人口過疎地域等では、観測がほとんどないためである。

我々の開発した、GSMaP アルゴリズムは、ある程度の時間・空間分解能と精度をもつ降水データを作るために、各種リモートセンシングの情報を組み合わせて使うアルゴリズムの１つである。このアルゴリズムは、まず、マイクロ波放射計から降水強度をリトリーバルする。次に、このデータを可視赤外放射計のデータを用いて移流と強度補正をすることで、１時間毎約 10 km の時空間分解能の降水強度を推定する。 また、GSMaP アルゴリズムは、マイクロ波放射計から降水強度をリトリーバルする際に、TRMM 衛星搭載のレーダデータを元にした降水物理量のモデルを使っているのが特徴である。

本研究集会の目的は、GSMaP アルゴリズムに関連した研究について、現状のまとめを行い、今後の中期的な課題を明確にし、研究の取り組み方を考えることである。

研究報告：

研究集会を 2017 年 3 月 16 日（木）～17 日（金）に、名古屋大学環境総合館 1 階レクチャーホールで開催した。今回は４２名が参加した。今回の GSMaP 研究集会は、「GPM の研究＆開発」を主な議題としたが、GSMaP アルゴリズム開発に限らず、広い範囲での GSMaP に関連した研究成果が発表された。また、前回と同じく、衛星シミュレータ研究会との合同研究集会の形をとった。

今回の GSMaP 関係の発表を大まかに分類すると以下のようになる：

１）　GSMaP アルゴリズム(マイクロ波放射計、赤外、雨量計)の開発と検証

２）　GSMaP アルゴリズムに関連した物理量データベース等の開発

３）　GPM, TRMM, GSMaP データなどを用いた降水特性や潜熱加熱の研究

４）　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

３）ひまわり８号の観測データを用いた解析

成果：

今回の研究会で、広い範囲での GSMaP に関連した研究成果を概観することが出来た。特に、今後の GSMaP アルゴリズムの開発の柱の 1 つとして重要である、GPM データを用いた降水物理量（降水の粒径分布、降雪フラッグ）について、いくつかの興味深い発表があったことは特筆される。また、GSMaP データなどを用いた海岸線付近の降水特性の研究や、多種の全球降水マップデータの比較なども示唆的な発表であった。一方、課題として、高緯度の固体降水のリトリーバルについて発表が少なかった。

また、衛星シミュレータを使った衛星、数値モデル、及びデータ同化コミュニティ間の交流が広がっていることが分かった。特に、実際の衛星観測値と、数値予報システムの出力からの衛星シミュレータ計算値との差を使った雲物理パラメタリゼーションスキームの検証は、今後主流になると期待される。一方で、同化システムやリトリーバルアルゴリズムなど、衛星観測値の逆問題を解くときに、衛星シミュレータを使った研究も発表された。課題としては、数値予報システムと衛星シミュレータを使った、将来的な衛星リモートセンシングセンサーの計画のような、今後の衛星プロジェクトに関する研究が無かったことが挙げられる。今後の JAXA 等の関係機関の奮起を期待する。

以上

STE研究連絡会現象報告会および現象解析ワークショップ
STE events report and analysis workshop

阿部修司、九州大学・国際宇宙天気科学・教育センター

●開催日時および開催場所

・平成 28 年度・第 1 回 STE（太陽地球環境）現象報告会及び現象解析ワークショップ*1（平成 28 年 11 月 27,28 日、名古屋大学宇宙地球環境研究所 研究所共同館 II）

・平成 28 年度・第 2 回 STE（太陽地球環境）現象報告会*2（平成 29 年 3 月 14 日、九州大学西新プラザ）

*1 太陽フレアデータ解析ワークショップと連携開催

*2 太陽地球系科学に於ける地上観測の現状と課題、電磁圏物理学シンポジウム、地域ネットワークによる宇宙天気の観測・教育活動に関する研究集会と合同開催

世話人：

阿部 修司（九州大学 国際宇宙天気科学・教育センター）、西谷 望（名古屋大学 宇宙地球環境研究所）、久保 勇樹（情報通信研究機構 宇宙環境研究室）、海老原 祐輔（京都大学 生存圏研究所）、片岡 龍峰（国立極地研究所）

●参加者数：延べ約 80 名

●研究集会概要と成果

今年度の本研究集会は、太陽研究者との連携を軸に構成した。第 1 回現象報告会及び現象解析ワークショップは、太陽フレアデータ解析ワークショップと連続し、多くの太陽研究者の参加の下で開催された。現象報告会では、安定したコロナホールからの高速太陽風による回帰性擾乱や、太陽フレアデータ解析ワークショップで取り上げられる太陽のイベントが地球に及ぼした影響などについて、有益な講演・活発な議論がおこなわれた。現象解析ワークショップでは、大学間連携プロジェクト IUGONET の協力の下、Space Physics Environment Data Analysis System を用いた太陽地球系データ解析演習を CIDAS システムで実施した。第 2 回現象報告会は、例年と同様複数の研究集会と合同で開催された。また、同時期に九州大学伊都キャンパスで開催される日本天文学会 2017 年春季年会に参加する太陽研究者が参加しやすくなるよう日程を考慮した。様々な太陽・地球観測データが報告され、第 24 太陽周期が下降期に向かい、大規模イベントの発生が少なくなってきていることが示された。また、各太陽周期を比較した宇宙天気長期変化の概況や、各国における宇宙天気予報の確度などの興味深い報告がおこなわれた。

シンポジウム－太陽地球環境の現状と将来
Symposium on the current and the future of Solar-Terrestrial Environmental Research

田口　聡（京都大学大学院理学研究科）
塩川和夫（名古屋大学宇宙地球環境研究所）

本研究集会は、京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻、及び京都大学生存圏研究所に所属する大学院生を幹事として、平成28年9月1日から3日にかけて3日間、京都大学理学研究科セミナーハウス及びホテル本能寺（京都府京都市）で開催され、40名が参加した。この研究集会は、太陽地球環境系科学に関連した研究を行う大学院生を中心とする若手会の「夏の学校」として行われた。領域が広範にわたり、様々な現象が密接に影響を及ぼしあっている太陽地球環境科学研究において”現象の包括的な理解”と”多角的な視点”を養うことは非常に重要である。この研究集会は、それらの実現を目指し他分野や他研究手法を用いている研究者同士で、分野横断的な議論・交流を行うことを目的として開催された。

本研究集会では少人数に分かれた”グループセッション”とそこで行われた議論を全体に還元する”全体セッション”に加え、”ポスターセッション”、および２件の”招待講演”が行われ、個々の専門分野の垣根を越えた活発な意見交換と交流が行われた。以下に、本研究集会のスケジュールとグループセッションの参加者を記す。セッションの予稿集などの詳しい資料も作成したが、ページ数の関係上ここでは割愛する。本研究集会の内容は、http://ss2016.wpblog.jpにおいて公開されている。

＜スケジュール＞

9月1日（木）

13:30-14:00　開校式
14:00-17:00　招待講演
①　宇宙のビジネス利用と理学系からの宇宙ビジネス
太田祥宏（株式会社アクセルスペース経営管理グループ）
②　日本の有人宇宙活動
土井隆雄（京都大学宇宙総合学研究ユニット特定教授）
19:00-20:00　夕食
21:30-　懇親会

9月2日（金）

07:00-08:00　朝食
09:00-12:00　グループセッション
11:30-12:00　全体セッション
12:00-13:00　昼食
13:00-17:00　レクリエーション
19:00-20:00　夕食

21:30-　　懇親会

9 月 3 日（土）

07:00-08:00　朝食

09:30-12:30　ポスターセッション

12:30-13:00　閉校式

<セッション>

研究集会 2 日目には、研究分野の異なるメンバーから構成される少人数のグループに分かれ、各自の口頭発表をベースに議論を深めた。その後、全体セッションとして、全員が一堂に会した場で、個々のグループセッションにて行った議論を踏まえ、各人がまとめの発表を行った。また 3 日目には 2 グループに分けて、コアタイムを設け、ポスターセッションを行った。

グループA　発表部屋:604

学年	名前	所属
D2(座長)	星　賢人	京大 RISH
M2	竹生　大輝	名大 ISEE
M2	近藤　裕菜	東北大 PPARC
M1	大筆　想	九大 宇宙地球電磁気
B4	大野　辰遼	北大 惑星宇宙
M1	織田　優心	京大 SPEL

グループB　発表部屋:605

学年	名前	所属
D3(座長)	内野　宏俊	京大 SPEL
M2	米津　雄亮	名大 ISEE
M2	下川　真弘	東大 中村研
M1	石ケ谷　侑季	東北大 宇宙地球電磁気
B4	秋山　鷹史	九大 宇宙地球電磁気
M1	桂　貴暉	京大 SPEL

グループC　発表部屋:606

学年	名前	所属
D3(座長)	中山　洋平	京大 RISH
M2	高見　康介	東北大 PAT
M2	疋田　伶奈	東大 吉川研
M1	川島　貴大	名大 SST
D2	徐　璐媛	東大 宮本研
M1	天野　玲	京大 SPEL

グループD　発表部屋:607

学年	名前	所属
M2(座長)	宮本　正輝	京大 SPEL
研究員	新堀　淳樹	京大 RISH
M2	鈴木　文晴	東大 吉川研
M2	星　康人	東大 宇宙研
M1	西　勝輝	名大 ISEE
D2	逗子　孝拓	京大 RISH

グループE　発表部屋:609

学年	名前	所属
M2(座長)	山本　和弘	京大 SPEL
D3	北原　理弘	東北大 宇宙地球電磁気
M2	城谷　一真	九大 宇宙地球電磁気
M1	飯田　剛平	名大 ISEE
M1	三村　恭子	東北大 PPARC
D1	岩下　耕大	京大 SPEL

グループF　発表部屋:610

学年	名前	所属
M2(座長)	辻　浩季	京大 RISH
D3	松永　和成	名大 ISEE
M2	岩本　昌倫	東大 星野研
M1	三浦　翼	名大 SST
B4	中原　美音	九大 宇宙地球電磁気

グループG　発表部屋:611

学年	名前	所属
D1(座長)	横山　佳弘	京大 SPEL
D2	今井　正尭	北大 惑星宇宙
M2	小野　紘夢	東北大 PPARC
M1	坂本　明香	名大 ISEE
B4	篠置　仁崇	九大 宇宙地球電磁気
M1	北村　佑輔	京大 SPEL

研究集会名　実験室・宇宙プラズマ研究会「乱流・輸送・粒子加速」
研究集会名英文　Laboratory-Space Plasma Workshop on
“Turbulence, Transport, Acceleration”

代表者、所属機関・部局
永岡賢一
核融合科学研究所
ヘリカル研究部

１．研究集会の目的

実験室プラズマと宇宙・磁気圏プラズマ研究は、極めて共通性の高い研究分野でありながら、両者の交流は十分とはいえない。地球磁気圏プラズマは、放射線帯高エネルギー電子の起源を探るあらせ／ERGプロジェクトのような運動論的な研究が進展している。衛星観測による分布関数の直接計測が非常に強力なツールとなっているが、多点計測の難しさから波動の波数の計測に弱点もある。一方、実験室プラズマでは、多点計測が容易であり、波長の同定精度はきわめて高い。ただし、局所計測の精度は、宇宙空間の精度には及ばない場合が多い。このように、両者は、相補的な側面を持っており、協力関係を構築することが、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、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して研究集会を開催した。

２．研究集会の概要

研究代表（永岡賢一）と世話人（三好由純）に東北大学加藤雄人氏を加えた3名で幹事を構成し、研究会の柱となる話題提供者を議論した。実験室からは、2次元計測から特異値分解法を駆使したイメージングに関する話題を大舘暁氏（核融合研）に依頼し、また、2016年12月20日に打ち上げ成功したあらせ/ERG衛星及びプロジェクトの概要を世話人でありプロジェクトサイエンティストの三好から紹介することとして、研究会の案内を行った。依頼講演と一般申し込みを合わせて、10件の講演を構成して2017年1月31日に研究会を行うことができた。

津川氏（名大）は、宇宙空間における衛星４点計測から波動ベクトル推定方法をシミュレーションにより検討した結果を紹介した。西浦氏（東大）は、磁気圏型プラズマ装置RT-1において、波動伝搬とイオン加熱実証を議論した。齋藤氏（名大）は、シミュレーションを駆使して、太陽風乱流中の散逸過程を議論した。三好氏は、打ち上げ後の「あらせ衛星」の状況と今後の運用計画を紹介し、多くの研究者の参画を呼びかけた。横田氏（宇宙研）は、現在ヨーロッパで議論されている太陽風乱流観測計画THORの概要と日本からの貢献について紹介した。北村氏（宇宙研）は、EMIC波動とイオン野相互作用の観測について、最新成果を紹介した。大館氏（核融合研）は、トーラスプラズマ実験の軟X線イメージング画像から３次元構造を同定するための特異値分解法を用いた実験解析技法とその結果について招待講演を行った。福田氏（量研機構）は、大強度レーザーを用いたイオン加速実験を紹介し、クーロン爆発による衝撃波加速の成果を紹介した。竹崎氏（長岡技科大）は、パルスパワー駆動衝撃波の実験と衝撃波による粒子加速をシミュレーションにより考察した。中村氏（福井大）は、

拡散方程式が相対論と整合しない問題を議論し、固有時を用いた積分系で表現することで解決できることを示した。

３．まとめ

これらの幅広い話題提供は、それぞれの分野の最新成果の情報交換ができたのみならず、解析手法、シミュレーション手法の技術的な情報交換が大変有用であった。今後もこのような研究交流の場を持つ努力を継続することで、双方の研究の加速的発展に貢献できると考えている。

４．研究会プログラム

実験室・宇宙プラズマ研究会「乱流・輸送・粒子加速」
日時: 2017 年 1 月 31 日
場所：名古屋大学グリーンモビリティ連携研究センター 1F

研究会プログラム
1/31(火)
0. 10:30-10:40 事務連絡・挨拶
1. 10:40-11:10 津川 靖基
宇宙空間における多点衛星のその場観測データを用いた波動ベクトル推定方法について
2. 11:10-11:40 西浦正樹
磁気圏型プラズマ装置 RT-1 における波動加熱実験
3. 11:40-12:10 齊藤慎司
Sporadic generation of ion acoustic waves in whistler turbulence
<昼食休憩>

4. 13:10-13:40 三好由純
あらせ衛星の打ち上げ
5. 13:40-14:10 横田勝一郎
宇宙プラズマ乱流観測ミッション THOR
6. 14:10-14:40 北村成寿
First direct measurements of energy exchange rates between EMIC waves and ions (hot H+ and cold He+) in the magnetosphere by cyclotron resonance and non-resonant interaction

7. 15:00-15:45 大舘暁 <招待講演>
核融合プラズマ中の大きなスケールの揺動とそのイメージング技法による計測
8. 15:45-16:15 福田祐仁
レーザー照射クラスターのクーロン爆発による静電無衝突衝撃波発生と粒子加速
9 16:15-16:45 竹崎太智
パルスパワー駆動 1 次元プラズマ流の垂直磁場中でのダイナミクスと粒子加速
10 1645:-17:15 中村匡
固有時を用いた相対論的粒子拡散の計算
11 17:15-17:20 閉会挨拶

電磁イオンサイクロトロン波動が駆動する放射線帯消長に関する研究会

Workshop for questing the role of EMIC waves on radiation belt dynamics

笠原慧，東京大学　大学院理学系研究科

（研究集会申請時の所属：宇宙科学研究所・太陽系科学研究系）

【開催日時，場所】

2016/09/06 (1 日間)

宇宙科学研究所，A 棟 1F 入札室

【集会の概要】

放射線帯を含むジオスペースのプラズマダイナミクスを理解する事は，地球・惑星電磁圏および宇宙プラズマ分野における最重要課題の一つである．しかも現在は，Van Allen Probes 衛星が放射線帯の最新データしており，かつ 2016 年度（本年度）にはジオスペース探査衛星 ERG が打上げ予定，というジオスペース研究の好機である．特に，日本の内部磁気圏コミュニティが 10 年来進めてきた ERG ミッションにおいて重要な成果を多く出すためには，打上げ直前の今こそ，Van Allen Probes のデータや理論研究をベースに，ERG のデータ解析計画を練っておくことが非常に重要である．しかしながら，ジオスペース研究者が国内外の各大学に分布している状況において，研究者同士が特定のトピックに集中して細部に及ぶ深い議論を展開し，先の研究に発展させていけるような機会は，必ずしも多くない．そこで本研究集会では，放射線帯の消長に重要な役割を果たすと考えられている電磁イオンサイクロトロン波動（EMIC 波動）に的を絞り，ERG 衛星のデータ解析計画を議論する．

【参加者数】

参加者数は 38 名であった。

【研究報告・議論】

最初に，ERG のプロジェクトサイエンティストである三好准教授から，EMIC 観測キャンペーンに関して衛星・地上観測の両面について，原案の概況を説明した．次に，ERG 観測器 PI から機器の仕様に関して紹介する時間を設けた．その後，理論・観測の最新研究成果に関する選りすぐり５件の講演時間を設け，それをうけて最後に ERG の観測計画に関する議論を行った．

■　講演（タイトル・発表者）

・　「ERG 衛星-地上キャンペーン観測　EMIC/Ring Current の概要」三好由純（名古屋大学）
・　「ERG/PWE による EMIC 観測戦略」笠原禎也（金沢大）
・　「ERG 搭載磁場観測器(MGF)の機能と性能」松岡彩子（ISAS）
・　「EMIC に関連するイオン観測」浅村和史（ISAS）
・　「EMIC ライジングトーン放射による MeV 電子降下」大村善治（RISH）
・　「THEMIS 衛星データを使用した EMIC 波動の WPIA 解析」小路真史（名古屋大学）
・　「EMIC によるイオンの降り込み」野村麗子（ISAS）
・　「プラズマ圏 EMIC 波動の特性周波数解析および ERG/PWE による観測」松田昇也（名古屋大学）
・　「Van Allen Probes 衛星で観測された内部磁気圏 EMIC 波動とイオン分布関数」桂華邦裕（名古屋大学）

【成果】

ERG プロジェクトの観測計画はこれまでもコミュニティ全体で議論されてきたが，その内容はある意味で定性的なものであった．これは主に，打上げ時期の不確定性や各機器の観測モード・データレートに関する調整中事項などが多かったためであると言える．それに比して，今回の研究集会では，多くの観測計画を極めて具体的に，数字を入れて議論する事ができた．例えば，EMIC を主対象とする波動観測については，(1)L>4 の領域で定常的に EMIC 波形観測を実施して極域地上観測との対応を取っていく事, (2) L<4 では断続的にバースト観測を実施してプラズマ圏内 EMIC を狙う事などについて概ね合意に達した．その一方で，バースト観測の実施方法については，今後議論を詰めていく必要性が浮き彫りになった．同様に議論が必要な項目として，イオン観測器のデータ圧縮方法（一定時間の積分をとるのか，それとも歯抜けでデータ取得するのか）なども認識された．また，最近の観測結果発表を受けて出てきた話題として，深内部磁気圏(L<1.5)における磁場観測の重要性が挙げられる．これまで，近地点付近では太陽捕捉姿勢維持のため磁気トルカを毎周回使用する事をベースにしていた（その場合，磁場データの質が低下する）が，今後，磁気トルカの運用方法を工夫する（e.g., 3 パスに 1 回は磁気トルカを ON せず，残りの 2 回の ON 時間を延ばす事で埋め合わせる, など) 事を議論していく事となった. 他にも, EMIC に関連して地上で見えるオーロラや磁気圏内で見える相対論的電子のフラックス減少について，その空間スケールや移動速度がサイエンスとして重要である事などがハイライトされた．このように，今回の研究集会を経て，観測・運用・解析計画について今後より一層の議論が展開されるものと期待できる.

ERGミッションのための新しいデータ解析手法・解析ツールに関する研究会
Workshop for new data analysis methods and tools applicable to the ERG mission

笠原 禎也、金沢大学・総合メディア基盤センター

地球内部磁気圏では多様な時間・空間スケールで、様々なプラズマ物理現象が同時発生しており、それぞれの物理素過程には広範なエネルギーレンジのプラズマ粒子と電磁場、プラズマ波動が関わっていると考えられている。平成28年12月20日に打ち上げられた内部磁気圏探査衛星ERG（あらせ）は、地上観測・シミュレーションと緊密に連携し、複雑に絡み合う物理過程の解明に多大な貢献が期待されている。本研究集会は、あらせ衛星打上げ直前に開催することで、衛星観測の開始直後から、地上の磁力計・VLF波観測・光学観測・レーダー網、さらには計算機シミュレーションを、研究者が自在に組み合わせて研究を遂行できる体制を構築することを目的とした。

同目的達成のため、本研究会は、

(1) サイエンスの議論

ERG衛星に搭載された観測機器の仕様と生成データの詳説、地上観測網の現状報告、衛星―地上の連携観測を効率的に実現するための観測戦略について議論する

(2) データ解析講習会

ERG衛星の予測軌道やフットプリント、Van Allen Probes衛星のデータを用いた衛星観測データの描画・解析ツール（SPEDAS）を実習形式で習得する

の2つのセッション構成とし、平成28年11月15日～16日の2日間にわたって実施した。

本研究集会は、京都大学生存圏シンポジウムと共催することで、ERGチームメンバーに限らず、今後、ERGミッションに深く携わることが期待される数多くの若手研究者・学生が参加できる会合とした。2日間の参加者数（現地参加）は50名であった。また2日間のシンポジウムは、Web_exを用いて現地参加できない人も遠隔で討論や実習に参加できる環境を整えた。

第1部のERGミッションにかかわるサイエンスの議論では、プラズマ波動・電場観測器(PWE)の観測戦略、特に地上観測チームとのConjunction観測を実施する際の観測リクエストのまとめ方や最適なバーストデータ取得戦略、データ利用ポリシーなどについて、活発な議論が行われた。その結果、あらせ衛星が3月24日に定常運用移行直後に開始された衛星－地上同時観測キャンペーンの計画・実施に必要な関係者の合意形成を行うことができた。

第2部のデータ解析講習会では、データの描画・解析ツール（SPEDAS）を用いた代表的なデータ解析手法について、ERGサイエンスセンターのメンバーが講師となり、参加者に対して実習形式で講義が行われた。実習には学生から教授クラスの教員まで、幅広い層のメンバーが参加し、今後のデータ解析・成果創出にSPEDASが大いに貢献することが期待できる。

惑星超高層大気・惑星電磁圏の時間変動に着目した比較惑星研究
Comparative study on time variability in planetary upper atmosphere and magnetosphere

土屋史紀　東北大学・大学院理学研究科

惑星大気・惑星電磁圏の数日から数週間スケールの変動の発動原因を、比較惑星の視点から議論ことを目的に本研究集会を開催した。これまでの惑星観測は、惑星探査機による直接探査とプロポーザルベースの地上大型望遠鏡によって行われてきたため、数日から数週間スケールの変動を観測することは容易ではなかったが、2013 年 9 月に打ち上げられた極端紫外線分光撮像衛星「ひさき」や、惑星観測に主眼を置いて東北大で整備されてきた地上望遠鏡施設によって、この時間スケールの変動を捉えることが可能となった。これまで 3 年に渡って実施された、ひさき衛星の惑星電離圏、外圏大気、および磁気圏のリモートセンシングデータと、同時に実施されてきた地上電波・光学観測によって、主に木星、金星、土星の電磁圏において、数日から数週間スケールの変動を捉えることに成功している。これらの観測データの解析結果の発表をベースに、太陽紫外線や太陽風の変動によって、惑星がどのような応答を示しているのか、また、その応答特性が地球を含む他の惑星と比較してどのような相違があるか、という点に着目した。

研究会は第 18 回惑星圏研究会との共催で 2017/2/20-22 に東北大学にて開催された。2016 年に木星周回軌道に投入された JUNO 探査機の粒子観測チームから 2 名の研究者が参加し、研究会の 2 日目を木星関係の国際セッションとして実施し、「ひさき」を含む以下の成果発表と議論が行われた。

ひさき衛星観測のサマリー：吉川他
JUNO 探査機初期観測結果・HISAKI 協調観測：G. Clarke 他, R,.W. Ebert 他、木村他
木星・土星のオーロラ現象の時間変動特性と太陽風応答：垰他、北他、佐々木他
内部磁気圏への高温プラズマ注入現象：鈴木他、疋田他、水口他
放射線帯の時間変動：S. Han 他
木星磁気圏におけるグローバル電場構造：寺田(綱)他
イオ火山活動に伴う木星磁気圏変動：鍵谷他、宍戸他、荒川他、三澤他
イオ・エンセラダスと磁気圏の相互作用・大気流出：古賀他、小野他、田所他、土屋他

本研究集会は集録を作成し、以下の URL より公開される。
http://pparc.gp.tohoku.ac.jp/collegium/proc/proc2017.html

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 29 年 2 月 13 日～平成 29 年 2 月 15 日（5 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	Measurement of thermospheric temperatures using OMTI Fabry-Perot interferometers with 70mm etalon (EPS)
新堀　淳樹	Seasonal variation of the amplitude of the main impulse (MI) of geomagnetic sudden commencements in the low-latitude and equatorial regions (JGR/EPS)
	Characteristics of long-term variation in the ionospheric electric field estimated from the solar quiet (Sq) daily variation (JGR or EPS)
西野　真木	Diamagnetic effect in the foremoon solar wind observed by Kaguya (Icarus)
Huixin Liu	Tidal response to ENSO (JGR)
	The non-storm time corrugated upper thermosphere: What's beyond MSIS? (Space Weather)
桂華　邦裕	Three-step development of the ring current during the 17 March 2015 storm (JGR)
松村　充	Modeling of afternoon eastward electric field enhancement after intense solar flare (JGR)
鈴木　臣	Plasma and neutral characteristics of night-time medium-scale traveling ionospheric disturbances: conjugate measurements with ground-based airglow imagers and CHAMP (JGR)

ERG衛星の観測データを活用した
電磁場・プラズマ波動解析ワークショップ
Workshop on initial results of plasma wave measurement by the ERG satellite

松田昇也　名古屋大学・宇宙地球環境研究所

近年，放射線帯の消長に代表される地球内部磁気圏の環境変動に，プラズマ波動の影響が重要であることが指摘され，注目を集めている．我が国では，2016年12月にジオスペース探査衛星ERG(あらせ)が打ち上げられ，幅広い周波数帯のプラズマ波動と，エネルギーのバリエーションに富むプラズマ粒子との同時観測によって，プラズマ波動が放射線帯消長へ寄与するメカニズムの解明を目指している．ERG衛星に搭載されているプラズマ波動観測器PWE(Plasma Wave Experiment)は，DC～10MHzの電界と数Hz～100kHzの磁界のスペクトル・波形を計測する．特に，スペクトル観測は従来のパワースペクトルのみでなく，位相情報を含むスペクトルマトリクスの計測も行う．バリエーションに富んだ観測を行う一方，データの利用者が，観測器の特性やデータの正しい扱い方を理解しておくことが重要となる．

本研究集会では，ERG衛星のデータ解析に推奨されている解析ツール「SPEDAS」を用いて，ERG衛星のプラズマ波動・電場観測器PWEおよび磁場観測器MGFの，データ解析ワークショップを実施した．研究会前半は両観測器の主任研究者から，機器とデータの特徴について講演を依頼し，その後は講習会形式で，約50名の参加者が，各自の環境でデータの解析に取り組んだ．スペクトルや波形の可視化だけではなく，波形の周波数解析によるダイナミックスペクトル描画等を実践し，放射線帯物理の議論に欠かすことができない「コーラス波動」の解析を参加者全員で達成した．また，MGFが計測した背景磁場強度を用いて粒子のサイクロトロン周波数を計算し，PWEが計測したダイナミックスペクトルにオーバーレイするなど，応用的な解析にも取り組んだ．数行の解析コマンドで観測データを自在に解析・可視化できることに，参加者からは感嘆の声が聞かれた．また，研究集会の導入部として解析環境整備を行うセッションを設け，環境導入に敷居を感じるユーザのサポートを行った．解析の前段階に必要な手続きを支援したことで，コミュニティとしての解析体制を強化し，効率的な科学成果創出へと繋げられることを期待したい．



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

Workshop on Regional Network for Space Weather Observation and Education

篠原　学、鹿児島工業高等専門学校・一般教育科

研究集会の概要

様々な地域の地方大学や高等専門学校に宇宙天気分野の研究者が所属するようになってきたが、それぞれは少人数のグループであることが多いため、本研究集会を通じて研究者が連携する機会を積極的に設け、単独では困難な規模の観測・研究を、地域的な広がりを利用したネットワークから支援することを目指す。

このグループの中には、高等専門学校のように学生の教育に重点を置きながら研究活動を行っている学校もあり、高校生から大学の学部生に相当する若い年代の学生に対して、基礎的な内容を含めた研究発表の機会を与え、観測活動に対する取り組みや、研究レベル向上に対する意欲を高めることを目指す。

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　74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

早川尚志

「992年末の連続巨大磁気嵐にまつわる歴史記録」

994年にC14スパイクが発見されていて、太陽起源の可能性がある。過去の巨大磁気嵐を考えると、古代の中国、日本、韓国では、巨大黒点の観測、低緯度のオーロラなど様々な現象の観測記録が残されている。

994年については、韓半島で、992〜993年頃に「天門開」というオーロラの可能性のある現象が記録されている。ドイツ、ザクセンの記録には、992年12月26日に夜空が急に明るくなったと書かれ、アイルランドでも、992年12月26日に空全体が血の赤に染まったと記録されていた。

野澤宏大、池田昭大、篠原　学

「太陽紫外線の地上分光観測」

2012年から5年間観測を行っており、冬弱く、夏強いという変化がある。UV-AとUV-Bの比は上空のオゾン量と関係があり、衛星観測の実効オゾン量データと鹿児島地上観測を比較すると相関が見られた。

鹿児島には桜島があり、噴出物が活発に大気中に放出されている。2015年までは、年間1000回前後の爆発的噴火が発生し、この1年はほとんど起きていない。SO_2の吸収特性より、波長320nm以下の紫外線に影響が出る可能性があり、2016年9月、10月のデータでは、320nm以下の波長に紫外線の増加が見られた。

橋本恵一、太田諭志、斎須けいら、妹尾梨子

「縞構造を伴うエルブスの成因　〜OHバンド大気光波動観測システムの構築と縞構造を伴うエルブスの同時観測〜」

複数のSSH高によるコンソーシアムを結成し(主な参加校は7校)、スプライトの共同多点観測を2006年より10年間行っている。西日本の各地点から日本海に向けて観測を行い、冬の落雷を注目している。

磐田南高校では、エルブスの観測に重点を置き、2012年に世界で初めてエルブスの縞構造を発見した。

磐田南高校のエルブス観測に合わせたOHバンド大気光の観測システムを構築し、2016年1月15日に、エルブスの縞構造とOHバンド大気光の同時観測に成功し、OHバンド大気光の縞構造とエルブスの縞構造の波面の向きや、縞の間隔が一致していた。

梅村宜生、田中良昌、新堀淳樹、阿部修司、能勢正仁、上野 悟、南山泰之、IUGONETプロジェクトチーム

「地上観測網の整備から生まれる新しいサイエンス　- IUGONETの実例を踏まえて - 」

2009年に開発を開始したIUGONETは、各機関にあるデータをネットワークでつないで、データの公開・利用体制の整備を行い、研究活動を加速してきた。

現在、アクティブユーザーは約300名。約40%は国外からの利用。1172種のデータセットが入っている。今後、公開データ作成・公開ラインの標準化を進め、太陽地球系科学データと古書籍データ、地質データのような、メタデータの機械解読による異分野データとの融合を試みる。

北村健太郎、高専スペース連携
「高専連携CubeSat開発による電離圏磁場変動観測計画」
全国の高専に宇宙理学、工学の研究者が増え、連携して活動できるようコンソーシアムを作り活動している。その中で超小型衛星製作を行っており、CubeSatを用いた具体的な科学観測ミッションを行いたい。
徳山高専では、Sq電流計の観測を行おうとしている。Sqには、南北半球を繋ぐ電流系が昼と朝夕に作られ、いくつかの低高度衛星で観測されているが、これを数百万円規模の衛星で観測できないかと考えている。

篠原　学
「太陽活動の下降期における一般向け宇宙天気情報サイトの状況」
2003年から公開している「宇宙天気ニュース」のアクセス数は、太陽の第24活動周期が始まった2009年頃から黒点数の増加とともに大きく伸びていた。活発な宇宙天気現象が発生するようになったためである。
2015年頃から太陽活動は極小に向かい、これと同期してアクセス数は減少して、極大期の半分を割りつつある。太陽活動の低い状態において、ニュースサイトへの関心がどのように推移するのか注目している。

Quirino Sugon Jr., Christine Chan, Felix Muga II, Clint Bennett, Randell Teodoro, Sergio Su, Daniel McNamara, Dexter Lo, Roland Otadoy, Grace Rolusta, Akiko Fujimoto, Teiji Uozumi, and Akimasa Yoshikawa
「Co-seismic magnetic signatures of Moro Gulf Quake of 2010-07-23 using MAGDAS data」
2010年7月23日にフィリピン南部で発生したM7クラスの3つの地震についての解析を行った。地震は、フィリピンの南で発生し、フィリピンの南北にかけて磁力計の観測がある。
断層面から垂直に広がっていく電流により、地上の磁力計には磁気の変化が観測される。磁力計に観測されているデータに現れる変化について、理論を基にした分析の可能性を検討した。

池田昭大、野澤宏大、篠原　学、巻田和男
「鹿児島高専における地上磁場と大気電場観測」
フラックスゲート磁力計を使った3成分の地上磁場観測を、鹿屋市輝北町で4月から定常観測する。
大気電場観測は、2013年より開始している。近年の研究でサブストーム時のnegative bayに対応して大気電場の減少が観測されているが、この種類の報告はとても少なく、今後の観測で研究を行っていきたい。
今後、学内での啓蒙活動を通して解析に興味を持つ学生を取り込み、教育活動へ繋げていきたい。

大矢浩代、中森広太、鈴木康樹、中田裕之、鷹野敏明、山下幸三
「大気電場と95GHz雲レーダFALCON-Iによる雲との同時観測」
千葉大学ではBoltek社EFM100フィールドミルを大気電場観測に使用している。95GHz雲レーダーFALCON-1は、雲の鉛直プロファイル、雲粒子のドップラー速度を観測している。
雷発生時の大気電場変動として、発生時間全体にわたるゆっくりした電場変化と、雷中の短時間の増加が繰り返し観測された。モデルと観測結果は単純には一致せず、雷雲の高層の構造部との関係を考慮する必要がある。今後、AVONの観測システムとともに、フィリピンにフィールドミルを設置して観測を広げたい。

成果と今後について
今年は、高校生(橋本氏)による研究発表が行われた。自分たちで行った観測結果に基づく高いレベルの内容で、発表後に他の参加者と詳しく議論する機会を作るなど、とても有意義な参加となったようである。
また、古代の記録を基にした宇宙天気現象の研究、地震関連現象観測、大気電場観測など発表分野の広がりが見られ、大気電場のように複数の発表が行われたことで、研究者間の新しいネットワーク作りのきっかけを作ることもできたと考える。
さらに、高専グループによる継続的な研究活動の報告は、本研究集会を継続開催していることによる成果のひとつである。今回は高専の学生による発表はなかったが、長期的視野に立った若手育成を続けるため、次年度以降も本研究集会を開催していきたい。

小型飛翔体による海象観測
―データの即時性はどこまで保証できるか―
Ocean observations from small flying objects; on real-time data acquisition

市川　香，九州大学応用力学研究所

１．集会の概要

広大な海洋・海上気象を観測するには，上空からの俯瞰の視点を持つことが重要である。近年の小型 飛翔体技術の発達により，特定の宇宙機関でなくても，研究者・企業といったレベルでも上空からの視点を持てるようになってきた。この研究集会では，海洋研究の専門家と，ゾンデ・バルーン・ドローン・超小型衛星などの小型飛翔体の専門家が一堂に会することで，プラットフォームごとの観測特性（分解能・観測頻度・観測範囲・観測期間）と，現象の時空間スケールなどの要求量をマッチングさせ，今後 どのような方向性の開発・研究をすることでニーズとシーズが一致するかを模索するものである。

本研究会の前身である，2015 年度に九州大学で開催したサマーセミナー「海と宙（そら）の間から」(http://www.riam.kyushu-u.ac.jp/research/2015/summer_seminar/index.html)では，①ドローンなどの陸上発進の小型飛翔体は，機動性のある集中観測が可能である。②超小型衛星は，個数を増やせば観測頻度の高いモニタリング観測が可能となるといった特徴があり，即時性の高い観測に有利であることが示された。しかし，①は現場までの移動手段や許可申請に時間を要する可能性があり，一方②に は陸上へのダウンリンクの制約のために時間遅れが生じる可能性がある。これらの点をふまえ，今回はデータ取得の即時性について，様々なニーズがどこまで即時性を要求しているかをふまえて講演と議論を行った。

２．参加者数

集会は2016年8月25日及び26日に実施し，各々39名と36名の参加者があった。

３．集会報告

研究集会は，招待講演とパネルディスカッションの形式で実施した。

【招待講演】

①「ほどよし衛星の成果とその将来展望」（東京大学　青柳賢英）
②「ドローンによる海洋生物観測」（佐賀大学　藤井直紀）
③「国際法の観点から海象現況把握への期待」（福岡工業大学　中川智治）

の3件の講演を行った。

講演①は，国の「最先端研究開発支援プログラム(FIRSTプログラム)」で実施された超小型衛星の開発・利用プロジェクトの成果と活用展開についての報告である。複数機での運用や観測分解能の向上等の課題

はあるものの，長期に渡り，かつ，国境・領海や航空法等による制約を受けない海洋観測のツールとして小型衛星の有用性を提示した。

講演②は「ドローン」など低空のプラットフォームを使う海洋生物研究に関する講演で，海洋生物の分布の細かな生態を把握する上で，リアルタイム性や観測の自在性を持つ低空プラットフォームの優位性が紹介された。ただし，天候や法規制など観測時期や観測場所の制限がかかり，サンプリングにバイアスがかかるなどの課題も報告された。

講演③は国際的にニーズが高まっている海洋状況監視（MDA; Maritime Domain Awareness）の動向を中心に，飛翔体によるリアルタイム海象観測データの有効性についての研究が報告され，特に国際法の観点から，飛翔体によって何が観測でき，それらは法的な根拠と成り得るかが議論された。

【パネルディスカッション】

パネルディスカッションは，市川香（九州大学）を司会とし，上記招待講演者に以下の4名のパネリストを加えて実施した；磯口治（RESTEC／衛星リモセン・合成開口レーダ）・東野伸一郎（九州大学／小型飛翔体）・石坂丞二（名古屋大学／生物・漁業）・庄司るり（東京海洋大学／海運）。プラットフォームや観測技術の研究開発側と，実際に利用しているユーザー研究者側から意見を交換し，種々の観測量で要求される即時性が各種プラットフォームで実現できるかを討議した。

４．まとめ

招待講演及びパネルディスカッションを通じ，海洋分野の研究者（プラットフォームのユーザ研究者側）からは，上空から観測できると特に有意義な対象現象の紹介と，その把握に必要な空間分解能・観測頻度，観測範囲や期間，精度，即時性に関する要求が提示された。一方，航空宇宙分野の研究者（プラットフォームの開発者側）からは，現有の技術の特徴が紹介された。その結果，両分野研究者間の理解が促進され，具体的な研究・観測協力（例えば，観測船や海上から離発着する小型機など）も提案された。

昨年度の九州大学の研究集会で，一つのプラットフォームで現象を把握するよりも組み合わせてお互いの不得意をカバーすることが適切であることは認識されていたが，今回はさらに，事象発生からデータ取得までの時間遅れや，データ取得からデータ配信までの遅れについて議論を行った。特に，法学や海運学の専門家が参加したことにより法学的・経済学的な観点も加味されたことで，一般に時間スケールの長い海洋学・環境学の自然科学的な要求よりも，より厳しい要求を検討することができた。複数衛星のコンステレーションや小型ロケット活用によって時間分解能や即時性を確保すること，ドローンの可搬性を高めること，通信などの最新の技術開発を取り込むこと，などによってリアルタイムの海洋観測によって短時間の変動現象をも把握する体制が実現しつつある。今後，海洋科学の新たなページを開けると考えられる。

更に議論を深め，個別研究のニーズとシーズとのマッチングを促進するため，名古屋大学飛翔体観測推進センターと九州大学応用力学研究所との共同利用研究の一環として，本研究集会を毎年継続して実施することとした。

科学データ研究会

渡邉　堯、WDS International Programme Office

【開催期間】
2017年3月9日（木）－ 10日（金）
【会場】
ベルサール神保町（東京都千代田区神田神保町）3F
【合同開催団体・組織】
名古屋大学宇宙地球環境研究所、情報通信研究機構、研究データ利活用協議会、日本学術会議情報学委員会国際サイエンスデータ分科会・WDS小委員会
【共同世話人】
村山泰啓（情報通信研究機構)、武田英明（国立情報学研究所)、渡邉　堯（情報通信研究機構、WDS-IPO）
【概要】名古屋大学宇宙地球環境研究所の共同研究活動の一環として、科学データに関する国内外の動向に関する情報共有や、オープンデータに向けたインフラ整備、技術的課題等に向けた連携を図ることが主な目的として開催した。今回は、科学データの保全と公開に関する課題を共有して、国内外のデータ関連組織との連携について協議を行うデータ利活用協議会研究会と、ICSU World Data System (WDS)を軸としたデータ関連活動に関する情報共有と科学データの品質管理や長期保全・公開の態勢確保に向けた活動を行っている、日本学術会議WDS小委員会のWDS国内シンポジウム（第6回）との合同開催とした。プログラム編成にあたっては、個々の共催団体の区別は行っていないが、第2日はWDS関連の国内活動に関する報告が主体となっている。

オープンデータに向けた国際的な動きの中で、国内でも様々な学会や研究組織における取り組みが進んでいるが、研究分野によってはデータの共有が必ずしも共通認識になっていない。データ共有を進める上では、共通したデータポリシーの整備が重要であるが、宇宙科学データ共有に関する先進的な取り組みをもとに、例えば日本学術会議の主導によって共通データポリシーの策定を行う、といったアクションが必要であることが認識された。また、オープンデータによって多様なデータが利用できるようになった場合、新しい研究分野の開拓や新技術の開発をどのようにして行うのか、という根源的な問いかけに対して、生命科学や物質工学における取り組みが紹介された。データの共有によって新しい成果が生まれることが広く認識されるようになると、データ提供者のステイタスの向上が期待できる。その一方、論文等の成果主義が重視されることや、後継者の不足や財政的要因などによって、国内外において長期的な基礎データの保全や公開が困難になりつつあり、データ活動に対する支援体制の強化や、安定的データリポジトリの構築等、早急な対策が望まれる。

この研究会の終了後、各団体の運営委員会等が開催され、今回の研究会における議論をもとに、今後の活動方針等について議論が行われた。参加者数は第1日36名、第2日38名、総参加者数54名であった。以下にプログラムを示す。なおこの研究会の情報は、http://takashiwatanabe.wixsite.com/science-data　より公開されている。

3月9日（木）		
13:30-13:40	開会挨拶	村山泰啓（情報通信研究機構）、 武田英明（国立情報学研究所）
13:40-14:10	オープンサイエンス、データ共有を巡る国際情勢	村山泰啓（情報通信研究機構）
14:10-14:30	国内を中心としたオープンサイエンス政策の検討状況とオープンパブリケーションの可能性	林 和弘（科学技術・学術政策研究所・科学技術予測センター）
14:30-14:45	産業技術総合研究所のオープンサイエンスとデータ共有への取り組み	田中良夫（産業技術総合研究所）
14:45-15:10	Persistent Identifiers for Rice Genomics: Harvests of PRAGMA and RDA	J. H. Haga (AIST), Q. Zhou (Indiana Univ.), V. Juanillas (IRRI), R. Mauleon (IRRI), I. Kouper (Indiana Univ.), and B. Plale (Indiana Univ.)
15:10-15:30	休憩	
15:30-15:50	JAXA宇宙科学研究所におけるデータ整備・公開の状況	海老澤 研（JAXA宇宙科学研究所）
15:50-16:10	マテリアル・インフォマティックスのためのデータベース	芦野俊宏（東洋大学国際地域学部）
16:10-16:30	日本物理学会による福島事故関連データ保全活動	伊藤好孝（名古屋大学宇宙地球環境研究所）
16:30-16:20	ディスカッション*	

3月10日（金）		
10:30-10:40	研究会説明	渡邉 堯（NICT、WDS-IPO）
10:40-11:10	極域環境データサイエンスセンターとPolar Data Journal	門倉 昭（国立極地研究所）
11:10-11:30	ICSWSE/MAGDASプロジェクトに於ける海外連携とデータ活動	吉川顕正、阿部修司（九州大学国際宇宙天気科学・教育センター）
11:30-11:50	京都大学におけるオープンサイエンスに向けた取り組み	家森俊彦（京都大地磁気WDC）
11:50-12:10	IUGONET活動報告 ～太陽地球系科学の融合研究へ向けた取り組み～	田中良昌(極地研)、○梅村宜生(名大ISEE)、新堀淳樹（名大ISEE）、阿部修司（九大ICSWSE）、上野 悟（京大天文台）、能勢正仁（京大地磁気センター）
12:10-12:30	学際的データ可視化・共有サービス・C3	今井弘二（NICT）
12:30-13:40	昼食	
13:40-14:00	400年の太陽観測とデータ管理	花岡庸一郎（国立天文台）
14:00-14:20	研究データへのDOI付与が意味すること ～DIASにおける経験を踏まえて	北本朝展（国立情報学研究所）
14:20-14:40	WDS Scientific Committee報告	家森俊彦（京都大地磁気WDC）、村山泰啓（NICT）
14:40-15:00	WDS Asia-Oceania Conference, 2017	渡邉 堯（NICT、WDS-IPO）、家森俊彦（京都大地磁気WDC）、村山泰啓（NICT）
15:00-15:10	休憩	
15:10-16:20	データ活動関連報告、情報提供等（各15分）	石井 守(NICT)、橋口浩之(京都大生存研)、坪井誠司（JAMSTEC）、春山成子（三重大）
16:20-16:30	まとめ	研究会世話人

STEシミュレーション研究会 -太陽地球惑星系探査とシミュレーション研究-
STE Simulation Workshop: Solar-Terrestrial-Planetary System Exploration and Simulation Studies

加藤雄人、東北大学・大学院理学研究科

2016年8月31日～9月2日の日程で、東北大学青葉山北キャンパス・理学研究科合同C棟において「STEシミュレーション研究会-太陽地球惑星系探査と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28件の発表及び、延べ70名の参加があった。

太陽地球惑星系は様々な領域や物理過程が競合した非線形・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。特に、打上を目前に控えるジオスペース探査衛星 ERG や水星探査計画 BepiColombo では、観測に先行したシミュレーション研究の充実によって、探査計画の成果をより豊かなものにすることができると期待される。以上の背景のもと本研究集会では、太陽地球惑星系探査とシミュレーション研究をテーマに掲げた。

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・プラズマ科学に関するシミュレーション全般、領域間／スケール間結合モデル、宇宙天気シミュレーションなどの最新の研究成果・展望を議論し、今後の計算機共同利用研究の方向性を見出すことを目的としている。本研究集会はさらに、地球電磁気・地球惑星圏学会の太陽地球惑星系科学シミュレーション分科会の主たる活動として、計算科学（情報及び計算機科学）や天文学、流体力学などの異分野との交流を目的としている。発表時間を長く割り当てて学会よりもより深い議論を行い、今後の太陽地球系科学分野におけるシミュレーション研究の方向性を見出すことも目的としている。

本研究集会のテーマに合わせ、招待講演として ERG プロジェクトについて名古屋大学の三好由純氏、BepiColombo について名古屋大学の西野真木氏、次世代磁気圏-電離圏結合シミュレーションをテーマに田中高史氏、シミュレーションによるサブストームの統一的理解について海老原祐輔氏にご講演いただいた。また東北大学工学研究科に所属する数値流体力学分野の研究者に招待講演を依頼して、高精度スキームについて河合宗司氏、流体機械の最適設計と不確かさの定量的評価について下山幸治氏、Building Cube Method に基づく解適合格子細分化について三坂孝志氏にご講演いただいた。さらに一般講演として宇宙プラズマや磁気圏・電離圏環境のシミュレーション研究などの最新成果が報告された。通常の学会と異なり、一件あたりの講演時間を30分確保することができ、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の議論、共有が大いに進展した。

大気化学討論会
Symposium on Atmospheric Chemistry

今村 隆史、国立環境研究所・環境計測研究センター

2016 年 10 月 12 日～14 日に北海道大学工学部フロンティア応用科学研究棟(鈴木章ホール，ホワイエ)において，大気化学討論会を開催しました。過去の地方での開催実績に基づいて参加人数の目標を 100-120 人に設定し，交通の利便性と開催経費の観点から北海道大学での開催を計画しました。新しい建物であったことに加え，ゆったりとした講演会場と大きなスクリーンにはご好評を頂けたのではないでしょうか。最終的に，一般 81 名，学生 33 名，計 114 名の方々にご参加頂くことができました。本当に多くの方々がご参加いただき，また，お忙しい時期にもかかわらず，3 日間にわたって変わらずご参加いただけました。発表は 20 分で計 29 件の発表がありました。一方，ポスター発表は 51 件で，2 日間連続して掲示されたこともあり，口頭発表とともに活発な議論が行われました。発表も，ほとんどの方が先端的な内容を分かりやすくご発表いただき，討論会の名にふさわしく質疑応答も活発でした。特別講演として、杉本敦子教授(北大)の「北東ロシア北極圏河川低地におけるメタン生成と放出と能田淳准教授(酪農学園大)の「バイオエアロゾルと環境中微粒子の関係：健康影響等について」を行って頂き、ご参加いただいた演者の方々と活発にご議論いただきました。口頭及びポスター発表とも活発な質疑応答が行われ、新たな知見に対する有益な情報交換が行われました。また、今後の大気化学研究をさらに推進させるために、異なる分野間におけるプロジェクトの立案や将来計画についても議論が進展しました。ポスター発表でも多岐にわたる力の入った成果が掲示され、ポスターの前では熱の入った討論が行われました。参加された方々は、益々多様化する教育・研究環境の中、研究活動はもちろん、このような議論から社会性や協調性、コミュニケーション能力などを、さらに学んだことと考えています。こちらも望外の 50 名を超えるご参加を得て，複数の方から討論会場ではお聞きできないお話をお聞きすることができ，討論後の懇親を深めていただけたと思います。



大気化学討論会口頭発表の様子



ポスター発表の様子

大気化学討論会　口頭発表プログラム

10月12日(水)

講演時間	講演番号	タイトル	発表者
13:10 −13:30	K-1 -1	ボルネオ熱帯雨林における塩化メチル放出量の樹種間差とその 規定要因	斉藤　拓也
13:30 −13:50	K-1 -2	京都市内と東京多摩丘陵での新粒子生成の比較:イソプレンに よる抑制効果	車　裕輝
13:50 −14:10	K-1 -3	富士山麓森林におけるオゾンと窒素酸化物フラックス計測の検討	和田　龍一
14:10 −14:30	K-1 -4	地上設置高分解能FTIRを用いた温室効果ガスの観測の進展	森野　勇
14:30 −14:50	K-1 -5	航空機観測データを用いた GOSAT/TANSO-FTS TIR CH4データ の評価	野々垣　亮介
15:10 −15:30	K-1 -6	大都市における大気中酸素濃度とCO2フラックスの同時観測によ るCO2と都市排熱の起源別放出量評価	石戸谷　重之
15:30 −15:50	K-1 -7	大阪府における人為起源二酸化炭素排出インベントリの時空間 分解能向上	森　豊
15:50 −16:10	K-1 -8	大気観測用高精度酸素標準ガスの開発	青木　伸行
16:10 −16:30	K-1 -9	二粒径エアロゾル分布条件下での熱帯対流圏界層内巻雲生成	三村　慧
16:30 −16:50	K-1-10	大気の重力分離の時定数	菅原　敏
17:00 −19:00	ポスターセッション(17 : 00−18 : 00奇数番号、18 : 00−19 : 00偶数番号)		

10月13 日(木)

9:00 −9:20	K-2-1	日本上空における対流圏オゾン濃度の最近の変化	谷本　浩志
9:20 −9:40	K-2-2	Long term multi component MAX-DOAS observation in Phimai, Thailand	H. M. S. Hoque
9:40 −10:00	K-2-3	中国上空におけるオゾンの増加:モデルシミュレーションと 衛星観測の比較	梶野瑞王
10:20 −10:50	S-1	北東ロシア北極圏河川低地におけるメタン生成と放出	杉本　敦子
10:50 −11:20	S-2	バイオエアロゾルと環境中微粒子の関係:健康影響等につ いて	能田　淳
12:30 −12:50	K-2-4	エアロゾルの表面で起こる不均一ハロゲンラジカル反応の 研究	江波　進一
12:50 −13:10	K-2-5	レーザーポンプ・プローブ法を用いたエアロゾルによるOHラ ジカル取り込み速度の新規測定法の開発	坂本　陽介
13:10 −13:30	K-2-6	海塩粒子中の還元型硫黄化学種の検出とその酸化反応抑 制に関する研究	坂田　昂平
13:30 −13:50	K-2-7	海洋大気における海塩粒子と非海塩性硫酸塩の関係	植松　光夫
13:50 −14:10	K-2-8	梅雨期の伊豆・小笠原海域において捕集した海洋性エアロ ゾルの個別粒子分析	吉末　百花
14:20 −16:20	ポスターセッション(14 :20−15 :20奇数番号、15 :20−16 :20偶数番号)		
18:00 −20:00	懇親会		

10月14日(金)

9:00 −9:20	K-3-1	大気中の窒素酸化物類の窒素同位体比について	角皆　潤
9:20 −9:40	K-3-2	自動車排気ガス中の亜硝酸(HONO)排出量の測定	中嶋　吉弘
9:40 −10:00	K-3-3	全球化学輸送モデルにおける対流圏窒素酸化物(NOx)分 布の水平解像度依存性	関谷　高志
10:00 −10:20	K-3-4	全球から領域規模に対応した大気汚染物質輸送モデルと その応用	五藤　大輔
10:40 −11:00	K-3-5	太陽放射観測から得られた北海道のエアロゾルの光学的 特性の経年変化	青木　一真
11:00 −11:20	K-3-6	タグ付きトレーサーモデルを用いた北極域へのブラックカー ボン長距離輸送の解析	池田　恒平
11:20 −11:40	K-3-7	小惑星衝突により発生したすすによる気候変動 − 恐竜など の大量絶滅の可能性−	大島　長
11:40 −12:00	K-3-8	全球大気拡散シミュレーションに基づく放射性ヨウ素の大気 輸送の季節変動解析	門脇　正尚
12:00 −12:20	K-3-9	福島原発事故直後の大気中放射性ヨウ素の動態(その1)	鶴田　治雄

第２１回大気ライダー研究会
21st Workshop on Lidar Observation of Atmosphere

阿保　真、首都大学東京・システムデザイン学部

ライダー観測技術・データ解析手法、観測評価法、大気科学分野からの観測要求、将来計画、最近のトピックスなどに関連する研究討論を目的として開催してきた大気ライダー研究会も今回で２１回目を迎えた。今回の研究会では、各大学・研究機関から１２件の講演があり、３つのセッション「上層大気ライダー観測」、「対流圏ライダー観測」、「ライダー技術」に渡って十分な時間をとり議論を深めた。参加者は18名で、企業も含めて10機関であった。はじめに電気通信大学の津田卓雄氏に「光学リモートセンシングによる金属原子層・金属イオン層の研究」と題した招待講演を行っていただいた。極域のオーロラ粒子降下が金属原子層に与える影響について、先行研究で相反する結果が報告されていること、北極でのライダー観測の事例解析結果、さらに現在進行中の南極昭和基地の新ライダーの紹介と系統的にお話しいただいた。さらに特別講演として情報通信研究機構の水谷耕平氏に「Ho:YLFレーザによる風ライダー」と題して、情報通信研究機構の風測定用ライダーの変遷と現状について講演をいただいた。

以下に当日の一般講演題目の一覧を示す。

・赤道大気レーダ、ライダー、CALIOP による火山性成層圏エアロゾルの観測
・ニーオルスン上空におけるエアロゾル高度分布の季節変化
・赤道域上部対流圏のオゾンライダー観測
・陸別とつくばのミーライダーで観測された森林火災起源の煙
・多波長ラマンライダーとスカイラジオメーターによる対流圏エアロゾルの光学特性の波長依存性　－2003 年 5 月シベリア森林火災イベントにおいて－
・ソウルにおける偏光 OPC 黄砂質量とライダー黄砂消散係数との比較
・モンゴル・ゴビ砂漠から発生するアジアダストのシーロメーターモニタリングシステム
・1.6 μm DIAL による下部対流圏の CO_2連続観測
・局地的大雨予測のための小型水蒸気ライダーの開発：ラマン方式と差分吸収方式の比較
・近赤外 3 波長 DIAL による対流圏の昼間における気温測定法

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．今年度は，本格的な観測の開始を控えている「あらせ衛星（ERG）」による PsA の衛星・地上共同観測についても議論も行った．後述するが，本研究集会の参加者を母体とする研究グループが，科研費基盤研究 (S) に応募し，H27 年度から 5 ヵ年の計画で採択されている．研究集会では，この科研費による PsA 研究プロジェクトによって準備されてきたあらせ衛星の地上サポート観測についても紹介し，衛星・地上・数値シミュレーションを融合した形でオールジャパンで行う PsA 研究の方向性に関して意見交換を行った．

★ 参加者と講演のラインナップ

計 21 名の参加者があり，例年テーマとして掲げている「脈動オーロラの時間変動を作り出す要因」や「内部磁気圏におけるプラズマ波動と PsA の関連性」，「EMIC 波動と関連する脈動プロトンオーロラ」に関する講演が行われた．これらに加え，今年度は，「PsA に伴って降下する高エネルギー電子による中間圏・成層圏大気の変動」について，フィンランドから 3 名の研究者の参加を得て，深く掘り下げて討論を行った．また，科研費基盤 (S) の研究計画に関しても紹介が行われ，計 17 件の研究発表を通じて，活発な議論が行われた．講演内容の概要を以下に示す．

1. EMIC 波動/Pc1 波動の地上・衛星観測，それに伴う脈動プロトンオーロラ: 1 件
2. 脈動オーロラの観測事例紹介，統計解析紹介: 4 件
3. コーラス放射の発生条件，それに伴うピッチ角散乱の数値シミュレーション: 3 件

4. 脈動オーロラに伴う高エネルギー電子降下，それによる中間圏，成層圏変動: 5 件
5. あらせ衛星搭載の PsA 関連観測機器の紹介: 4 件

以上の講演に加えて，あらせ衛星による PsA ソース領域の直接観測，および地上との同時観測についても「キャンペーン観測に関する議論」と題した時間を設けてディスカッションを行った．

★成果

過去 4 年にわたって本研究集会を開催したことによって，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，昨年 6 月に第一回のチームミーティングが北京において開催されるに至っている．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，本格的な科学観測の開始を控えているあらせ衛星（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，3,4 月に予定されているキャンペーン観測をスムーズに行うことが期待できると考えている．

有機エアロゾルに関するワークショップ：大気におけるその動態・性状・役割（第３回）

Third workshop on organic aerosols: their dynamics, properties and roles in the atmosphere

持田　陸宏、名古屋大学・大学院環境学研究科

有機物は大気エアロゾルの主要構成成分のひとつであり、地球の放射収支等に対するエアロゾルの影響を理解する上で、その有機成分（有機エアロゾル）の動態および性状、さらにその役割の把握することは重要な課題である。しかし、有機エアロゾルは発生源・生成変質過程が多様であること、またその組成が複雑であることから、有機エアロゾルの生成過程や生成量、エアロゾル粒子の性状に対する有機エアロゾル成分の寄与とそれにともなう大気中における役割については、多くが未解明のまま残されている。平成27、28年度に開催した第1、2回のワークショップでは、有機エアロゾルに関して現在までに得られている知見を整理した上で、今後取り組むべき重要な課題が何であるか、その明確化を図ること、そして、それらの課題の解決に必要となる研究のアプローチの発見を目指すことを目指し、ワークショップを話題提供と討論の場としてきた。今回の第3回のワークショップでは、大気中の微粒子の生成・変質に関係し有機物の関与する多相化学、そして、大気圏の有機物の動態に関係する大気圏境界における有機物の関与する多相化学、のそれぞれに関する研究提案について、発表と討論を行うことにした。

本ワークショップは、平成29年3月2日に名古屋大学東京オフィスにおいて開催し、参加者の人数は、名古屋大学から2名、他の国立大学から3名、公立大学から2名、独立行政法人等公的研究機関から3名の計10名であった。なお、本ワークショップは公開とはしない形式とした。討論の時間には、個々の研究提案に関する質疑や、研究プロジェクトの立ち上げに関する議論がなされた。有機エアロゾルの動態や性状を理解する上で、その生成や変質に関わる多相過程を理解すること、またより広く大気圏の有機物の循環に関わる多相過程を理解することは、重要な残存課題のひとつである。今後、大気圏やその境界における多相化学に関する議論がさらに深まり、その解決に向けた研究の取り組みが進むことを期待したい。

「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，その中で最も低エネルギーの階層に属す「プラズマ圏」に着目した研究集会を開催した．衛星観測，地上観測，シミュレーション等様々なバックグラウンドを持つ国内外のプラズマ圏研究者が一堂に会し，最新の研究成果を発表するとともに，データや現象についての情報交換を行った．さらに昨年12月に打上げられたERG衛星に搭載されたプラズマ波動観測器の初期データに関する報告が行われ，今後のキャンペーン観測や研究計画に関する議論が行われた．

詳細

本研究集会は，大阪電気通信大学駅前キャンパスにて，平成29年3月6日-7日の日程で開催された．同8日-9日に開催された名古屋大学宇宙地球環境研究所研究集会「太陽惑星系宇宙プラズマ中の重イオンに関する研究集会」と共通のテーマ・参加者が多かったため，同一会場での連続開催の形をとった．

参加者は国内外の研究機関から21名，14件の口頭発表が行われた．講演内容はプラズマ圏界面の形成メカニズム，地球と土星のプラズマ圏の比較，電離圏-プラズマ圏結合モデルによる計算結果と観測結果の比較，プラズマ粒子の輸送を引き起こす対流電場の時間・空間変動の研究等，多岐にわたった．またERG衛星プラズマ波動観測器の現状と初期観測結果に関する報告が行われた．各講演の最初のスライド1-2枚でチュートリアル的な内容をいれた．これは，大阪電気通信大学の学部学生10名程度が聴講したための配慮である．また講演時間は30分と長めに設定し，さらに2日間で3回の討論時間を設けて密度の濃い情報共有が行われた．

成果

本研究集会では，衛星観測，地上観測，シミュレーション等さまざまはバックグランドを持つ研究者が集まり，互いの持つ情報（異なるデータや現象に対する異なるアプローチ）が共有された．またERG衛星の本格運用を見据えたプラズマ圏研究の短期的・中期的戦略について集中的な議論が行われた．

各講演のはじめにチュートリアルを入れたことは，研究者にとっても改めて基本事項を確認するよい機会となった．また議論の時間を長めに確保することで，より深い情報共有と活発な議論を行うことができた．

「太陽惑星系宇宙プラズマ中の重イオンに関する研究集会」と連続開催としたため，磁気圏中の多種イオン・多エネルギー階層のプラズマダイナミクスに関する幅広い議論も行われた．

「EISCAT研究集会」
EISCAT meeting

小川泰信，国立極地研究所

1. 研究集会の背景と目的

日本は 1996 年に欧州非干渉散乱（EISCAT）科学協会に加盟後、太陽地球環境研究所と国立極地研究所を共同利用機関として、北欧域での拠点観測を実施してきた。特に近年には、れいめい衛星や DELTA-2 ロケットキャンペーンなどの飛翔体との共同観測データや、EISCAT スヴァールバルレーダーによる 1 年間（2007 年 3 月-2008 年 2 月）連続観測データ、30 年以上に渡り蓄積された EISCAT データなどを用いて、磁気圏－電離圏結合や下部熱圏中性風などの研究分野において、世界をリードする研究成果を生み出しつつある。さらに、2014 年には低高度極軌道衛星（SWARM 衛星や ePOP 衛星）との共同観測を開始し、新たな観測成果も得られつつある。

本研究集会では、現行の EISCAT システムを用いた最新の研究成果も踏まえ、EISCAT_3D 計画（新たな多点フェーズドアレイ観測）と 北極・北欧の関連観測、数値計算との連携によって進めるサイエンスを議論することを目的としている。

2. 研究報告・成果等

表記の研究会を 2017 年 2 月 13 日に国立極地研究所 極地観測棟 多目的会議室において開催した。今回の研究集会は、国立極地研究所の研究集会と合同で開催することで、参加する EISCAT 共同利用研究者の利便を図った。集会参加者は計 14 名（うち学生は 2 名）であった。

本研究集会では、前半に、EISCAT_3D に関する最新の情報交換・意見交換と EISCAT を利用した 3 件の研究成果発表を行った。後半には、2016 年度の EISCAT 特別実験の実施状況や初期観測結果に関する報告と共に、特別実験に関連する幅広い議論を行った。特に、スペースデブリ用の EISCAT 初期実験報告や ePOP 衛星との共同観測報告の際には、新しい観測データに関する活発な議論が行われた。総合討論の場では、EISCAT 共同利用の現状を踏まえ、科学成果を最大限創出するための方法・戦略を議論した。その議論の中で、EISCAT 実験コーディネートを含む現地観測にかかる負担を（現状よりも）できるだけ軽減し、その分の時間をデータ解析や解析結果の議論に割けるようにする必要があることが指摘された。そのような指摘を踏まえ、2017 年 7 月より発足した EISCAT 国内推進室の体制と役割分担を適宜見直すことや、EISCAT_3D レーダー計画開始を見据えたオールジャパン及び国際共同体制の準備が重要であることを改めて認識できた。

謝辞

本研究集会にて御講演頂きました皆様に深く感謝いたします。また、LOC として研究集会の運営にご尽力頂きました名古屋大学宇宙地球研究所及び国立極地研究所の皆様に感謝いたします。

研究集会プログラム（以下、敬称略）

EISCAT 研究集会（名古屋大学 ISEE 及び極地研研究集会）

日付： 2017 年 2 月 13 日（月曜日）

会場：国立極地研究所 極地観測棟 多目的会議室

09:00-09:10
趣旨説明及び事務連絡

09:10-09:30
EISCAT_3D 計画に関する国際状況説明と日本の取り組み（宮岡宏）

09:30-09:40
EISCAT_3D サポートプロジェクト（NeIC）の現状報告（小川泰信）

09:40-10:20
北欧における日本の中層・超高層・ジオスペースサイエンスの戦略に関する議論（小川泰信）
（衛星、ロケット、各種地上観測機器との連携を含む）

10:30-12:00
EISCAT を中心とした研究成果発表（発表 20 分、質疑応答 10 分）
(1) 巨大な動くカスプオーロラの EISCAT 観測（発表者：田口聡）
(2) EISCAT レーダーとナトリウムライダーを用いた脈動オーロラによるナトリウム密度減少の研究（発表者：髙橋透）
(3) 地上 EISCAT レーダー・光学多点観測に基づくオメガバンド型脈動オーロラと電離圏 D 領域電離現象の解明（発表者：近藤裕菜）

13:30-13:50
2016 年度の特別実験の概要報告（野澤悟徳）と、2017 年度の特別実験に関する情報共有（小川泰信）

13:50-16:40
本年度申請/実施した EISCAT 特別実験結果の報告
（各代表者。代読も有り。）

16:40-17:00 総合討論

2016 年度の特別実験一覧（敬称略。太字は実施済み、又は部分的に実施。）

1. 微細オーロラダイナミクスの EISCAT レーダーと地上光学共同観測（研究代表者：坂野井健）
発表代理：遠藤友（東北大）

2. 一般化オーロラトモグラフィによるオーロラ 3 次元構造の再構成（研究代表者：田中良昌）

3. 単色全天光学機器による脈動オーロラ降下電子特性エネルギー推定手法の確立（研究代表者：小川泰信）

4. EISCAT 観測・GCM シミュレーションによる極域熱圏・電離圏変動の研究（研究代表者：藤原 均）

5. 脈動オーロラパッチ内部の分極電場の観測（研究代表者：細川敬祐）

6. 人工オーロラを活用した地上リモートセンシングによる酸素原子密度観測の検討（研究代表者：津田卓雄）

7. ePOP 衛星-EISCAT 共同観測による極域大気流出現象の解明（研究代表者：早川 基）

8. ナトリウムライダーと EISCAT 同時観測による極域下部熱圏大気温度変動の研究（研究代表者：野澤悟徳）

9. 北極域下部熱圏・中間圏における大気潮汐波・プラネタリー波の解明（研究代表者：野澤悟徳）

10. 脈動オーロラ時の相対論的電子降り込み観測（研究代表者：三好由純）

11. 電離圏加熱装置を用いた FPI 風速高度測定（研究代表者：大山伸一郎）

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

宇宙空間からの地球超高層大気観測に関する研究会
Workshop on the space-borne observation of the Earth's upper atmosphere

齊藤 昭則、京都大学・大学院理学研究科

1. 目的

今後10年間の地球超高層大気領域の宇宙空間からの観測に関して、具体的な計画の作成及びそのための体制作りを行うことを目的として本研究会を開催した。

電離圏・熱圏・中間圏などの地球超高層大気領域において、飛翔体による宇宙空間からの観測は、地上観測と数値モデルとともに研究を構成する大きな柱の一つである。日本の研究コミュニティにおいても、1978年打ち上げのIonosphere Sounding Satellite-b衛星など多くの観測が行われており、近年でも観測ロケットによる観測や国際宇宙ステーションからのISS-IMAPミッションなどの観測が行われている。そのISS-IMAPミッションの観測終了を受けて、将来に向けて宇宙空間からの観測について計画をまとめる時期に差し掛かっており、そのための議論が2015年度から行われている。また、より広く磁気圏分野も含めたコミュニティにおいても将来の飛翔体からの観測についての議論が始まっており、JAXA宇宙科学研究所の飛翔体計画のロードマップへ反映させるための準備も進められている。この議論では、個々のミッションを中型衛星、小型衛星、小規模ミッションという形で衛星規模によって分類し、大きな科学コミュニティの科学目標とその中での個々のミッションの位置付けとをまとめたロードマップの作成が求められている。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、具体的な計画の作成及びそのための体制作りを行うことを目的として本研究会を行なった。

2. 概要

開催日時：平成28年8月30日9:30より8月31日12:00
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：64名

3. プログラム

8月30日
【座長：齊藤昭則（京都大学）】
9:30 - 9:45
　宇宙空間からの中間圏・熱圏・電離圏観測に向けて 齊藤 昭則(京都大学)
9:45 - 10:05
　これまでのMTI領域の衛星観測 Huixin Liu(九州大学)、藤原均(成蹊大学)
10:05 - 10:25
　ISS-IMAPによるISSからの超高層大気観測 齊藤 昭則(京都大学)、山崎 敦(JAXA/ISAS)、 坂野井 健(東北大学)、 吉川 一朗(東京大学)
10:25 - 10:45
　Ionospheric weather monitored by ground- and space-based GPS observational systems
　Yang-Yi Sun(九州大学) and Tiger Jann-Yenq Liu
10:45 - 11:05 SMILESが明らかにした中層大気科学の新展開と課題
　塩谷雅人(京都大学生存圏研究所)、今井弘二(NICT)

11:05 - 11:30 日本の観測ロケット実験の現状と将来の方向性について
阿部琢美(JAXA/ISAS)
11:30 - 11:55 超小型衛星による電磁圏観測の展望 高橋幸弘(北海道大学)

8 月 31 日
【座長：大塚雄一（名古屋大学太陽地球環境研究所）】
9:30 - 9:50
STP-MTI分野のロードマップについて 中村正人(JAXA/ISAS)
9:50 - 10:10
ERG衛星の現状と計画　三好由純(名古屋大学)
オーロラ観測編隊衛星の検討状況　浅村和史(JAXA/ISAS)[代読]
10:10 - 10:25
超低高度衛星技術試験機（SLATS)の開発状況　佐々木 雅範(JAXA)
10:25 - 10:40
超低高度衛星の将来構想　星野宏和（JAXA)
10:40 - 11:00
SMILES-2に向けた開発状況とサブミリ波大気観測衛星の最近の動向
落合啓(NICT)、Philippe Baron、入交芳久、鵜沢佳徳、西堀俊幸、
真鍋武嗣、水野亮、 鈴木睦、塩谷雅人
11:00 - 11:20
Simulation study for upper-atmospheric wind, temperature and trace gases measurements with sub-millimeter and THz limb sounders
Philippe BARON(NICT), Hideo SAGAWA, Donal MURTAGH, Satoshi OCHIAI, Naohiro MANAGO, Hiroyuki OZEKI, Yoshihisa IRIMAJIRI, Yoshinori UZAWA, Masato SHIOTANI, Makoto SUZUKI
11:20 - 12:00
今後の衛星計画の進め方についての議論

4. 成果

発表は・衛星観測を取り巻く状況・これまでのMTI領域の衛星観測・進行中の衛星観測計画・新しい観測技術星計画、などについて行われた。「STP-MTI分野のロードマップについて」では、JAXA/ISASにおける衛星計画の概要について紹介がされ、衛星提案を行うワーキンググループの母体となる「電離圏・磁気圏探査衛星検討リサーチグループ」の活動について紹介された。「超低高度衛星技術試験機（SLATS)の開発状況」と「超低高度衛星の将来構想」では開発が進んできる超低高度衛星について紹介され、将来のMTI領域の観測手段としての利用についての議論が行われた。衛星計画に関する議論においてはTHz波を用いた熱圏下部の中性大気の観測について「SMILES-2に向けた開発状況とサブミリ波大気観測衛星の最近の動向」などにおいて発表され、その観測精度、冷却の必要性などについて紹介され、観測実現性についての議論が行われた。特にSMILES-2における成層圏から熱圏下部までの連続した観測についてその科学的な意義について評価された。SMILES-2は4Kへの冷却をするため大規模な衛星となる欠点があるため、冷却しない常温での観測の検討も行いつつ、MTI領域の研究への利用を積極的に検討、提案に繋げていくべきとの意見が出された。

地球型惑星圏環境研究会
Environments of terrestrial planets workshop

田口　真、立教大学・理学部物理学科

地球型惑星圏環境研究は、関係する領域が地圏、大気圏、電離圏、磁気圏、太陽圏と広範にわたり、地学、気象学、大気物理学、電磁圏物理学、太陽惑星間空間物理学などの研究領域にまたがる学際分野であることが一つの特徴である。また、探査機ミッション、地上観測、シミュレーション、理論研究と研究手法も様々である。これまで個々の研究領域においてそれぞれの視点から議論されてきた惑星圏環境を総合的に理解することを目的とする。そのために、本研究集会は、異なる分野や研究手法の研究者が一堂に会して地球型惑星圏環境研究に関して議論する場を提供することを目的に、2016年12月27〜28日に立教大学において開催された。なお、本研究集会は、12月26日から開催された「宇宙惑星結合系科学の実証的研究の創設に向けて」と同会場で連続開催した。研究集会のプログラムは下記の通りであり、幅広い分野から60名の参加者を得て、活発な議論が交わされた。

	時間帯	講演題目	講演者（所属）
12 月 27 日			
座長： 青木翔平	13:30-14:00	（招待）「あかつき」搭載機器が明かす金星気象の三次元的姿	佐藤 毅彦（JAXA 宇宙科学研究所）
	14:00-14:30	（招待）「あかつき」LIR で見る金星大気の新しい描像	神山 徹（産業技術総合研究所）
	14:30-15:00	（招待）金星探査機「あかつき」と地上望遠鏡によるシナジー	佐藤 隆雄（JAXA 宇宙科学研究所）
	15:00-15:20	＜休憩＞	
座長： 神山徹	15:20-15:50	（招待）「金星 Bow-shaped 構造の AKATSUKI/ALMA 連携観測」	前澤 裕之（大阪府立大学理学部）
	15:50-16:10	Wind and Temperature retrievals in Venusian mesosphere using mid-IR heterodyne spectrometer	高見 康介（東北大学大学院理学研究科）
	16:10-16:30	The spatial evolution of the mixing layer in the Kelvin-Helmholtz instability at the Martian ionopause	相澤 紗絵（東北大学大学院理学研究科）
	16:30-16:50	SOFIA 航空機望遠鏡による火星観測	青木 翔平（Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique）
	16:50-17:00	欧州「火星大気探査」の現況：ExoMars Trace Gas Orbiter -- NOMAD と ACS, および CrossDrive（3D-viewer 開発）	笠羽 康正（東北大学大学院理学研究科）
	17:10-17:20	MMX 搭載近赤外分光器 NIRS4 を用いた火星大気連続監視観測計画	中川 広務（東北大学大学院理学研究科）（代読：笠羽 康正）

12 月 28 日			
座長： 関華奈子	9:00-9:30	太陽変動と惑星大気流出	
	9:30-10:10	（招待）現在の太陽、および、太陽型星の天文観測から探る、太陽放射・太陽風の進化	寺田 直樹（東北大学大学院理学研究科）
	10:10-10:40	（招待）太陽内部進化と磁気活動	鈴木 建（東京大学大学院総合文化研究科）、野上 大作（京都大学大学院理学研究科）、松本 琢磨（JAXA 宇宙科学研究所）
	10:40-11:00		政田 洋平（愛知教育大学教育学部）
座長： 寺田直樹	11:00-11:30	（招待）大循環/気候モデルはどれほど汎惑星的になりうるか	
	11:30-12:00	（招待）太陽風照射による惑星物質への相互作用	林 祥介（神戸大学理学研究科/CPS）
	12:00-13:30		日高 洋（名古屋大学環境学研究科）
座長： 原拓也	13:30-14:00	（招待）火星起源隕石から探る火星表層・物質進化過程	
	14:00-14:20	火星隕石は本当に火星から来たのか？	三河内 岳（東京大学大学院理学系研究科）
	14:20-14:40	火星大気と表層水の元素・同位体組成進化モデルの構築：表層環境変動史の実証的解明に向けて	小嶋 稔（東京大学大学院理学系研究科）
	14:40-15:00	惑星コロナ観測用水素吸収セルの開発	黒川 宏之（東京工業大学地球生命研究所）
	15:00-15:20		田口 真（立教大学理学部）
座長： 堺正太朗	15:20-15:40	MAVEN 観測に基づく火星電離圏に降り込むイオンの統計特性について	
	15:40-16:00	MAVEN observations of electron temperatures in the dayside ionosphere at Mars and model comparisons	原 拓也（Space Sciences Laboratory, University of California, Berkeley）
	16:00-16:20	The Study of Martian Plasma Boundaries Based on Spacecraft Observations	堺 正太朗（東京大学大学院理学系研究科）
	16:20-16:40	MAVEN/NGIMS によって観測された火星熱圏上部における重力波分布の波長依存性	松永 和成（名古屋大学 ISEE）
			前田 紗和（東北大学大学院理学研究科）

宇宙素粒子若手の会　光検出器研究会

池田大輔、東京大学宇宙線研究所

本研究集会は、2016年３月に発足した宇宙素粒子若手の会が運営を担い、10月31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。光検出器は宇宙素粒子分野やその関連分野において広く用いられている。本研究集会は、多様な目的と使用状況において、どのような特性を持つ光検出器が如何に活用されているか、またどのような問題を抱えているかを互いに学びあい議論する事で、自分の研究の背景、意義を再認識するとともに、光検出器に対する総合的な理解を深め、新たな検出器や手法の発想へと繋げることを目的とした。

なお本研究集会は、10月29日と30日に宇宙線研究所、宇宙線研究者会議の支援により行われた宇宙素粒子若手の会秋の研究会と連続して開催し、参加者の募集等を一体化して行った。これはできる限り多くの参加者に旅費を支給するためである。

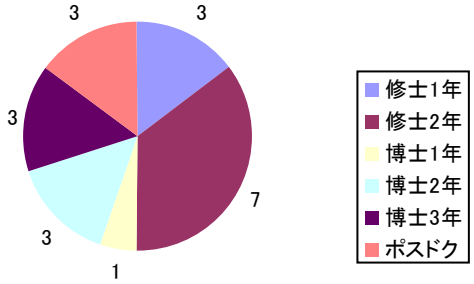


図: 学年／身分別参加者内訳

参加者は２１名、うち発表者５名であった。29・30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

- 超高エネルギー宇宙線観測のためのフレネルレンズ型単眼大気蛍光望遠鏡の開発
- 大気蛍光望遠鏡較正のためのUAV搭載型標準光源の開発
- EUSO-TA：A pathfinder to a next generation cosmic ray observatory
- 大気チェレンコフ光観測時のバックグラウンドとアフターパルスに関して
- モデル非依存な光電子増倍管出力応答分布の解析法

であった。内容については<https://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/indico/event/85/timetable/#20161031>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。またナビゲータートークと称して、冒頭に光検出器について概観する発表を加えた。ここでは発表者以外の光検出器に詳しくない参加者向けに基礎的な説明を行い、後の発表が理解しやすくなるようにした。

各発表では、応答関数などの特性、データ解析法、較正法、光検出器を用いた、または関連した観測機器の設計・開発などについての議論が行われた。これにより、宇宙線観測にあたって直面する問題や注意すべき点への参加者の理解が深まった。参加者が観測機器開発やデータを利用する際の助けになると期待できる。

活発な議論や質問を通じて参加者同士の交流も深まった。参加者へのアンケートでは約８割が「来年度も参加したい」と回答しており（残りは「どちらともいえない」）、今後も継続して開催していきたいと考えている。

太陽観測データにおける特徴検出ワークショップ2016
Feature Recognition in Solar Observation Workshop 2016

飯田　佑輔、関西学院大学・理工学部

【研究会の概要】

これまでの太陽観測は、より安定した高空間・時間解像度を目指し、対流や磁場などの要素構造を分解することが主流となって行われてきた。一方で、１９９０年代中盤からの衛星を利用した定常太陽観測によって、そのような要素構造を捉えた膨大な観測データが存在するようになり、要素構造と太陽全球の関係を調べられるようになった。しかし、このような膨大なデータを解析することは、人の目や手に大部分を依存しているこれまでの解析方法では難しい。このような状況を鑑みて、その解決方法の１つである画像認識手法を日本コミュニティで促進する目的で、ワークショップ形式の研究会を開催した。

本ワークショップは、平成２８年９月１９日−２２日の４日間において、国立天文台三鷹キャンパスで行った。今回のテーマは、太陽表面を覆う粒状斑と呼ばれる対流要素の認識・追跡手法である。参加者は、学部４年生から准教授までを含む１３名であった。参加者の職位は、学生と研究者がおおよそ半分ずつの参加であった。初日は、主催者の飯田による趣旨説明と画像認識の基礎説明、また共同主催者である岡本丈典研究員（国立天文台）が事前に準備した解析データの説明を行った。２、３日目は各グループでの解析(図1左)を中心に行った。各日、昼休憩の後に１度の結果発表を行うことで、各グループ内の進展報告や差しあたった問題について議論・共有を行った。最終日は、ワークショップ内で得られた各グループの最終結果を報告し、手法毎の違いを議論した(図1右)。



図 1.(左) グループ内での議論の様子、(右) 最終日の各最終結果報告における様子。

【研究報告】

今回のワークショップでは、事前に準備したひので衛星/可視光望遠鏡によって撮像されたG-bandの輝度画像から粒状斑の自動認識・追跡コードを開発する(図2)ことを目指した。この観測データは、ひので衛星の打ち上げ後初期に観測されており、輝度コントラストが非常によく、さらに一様性が保たれたデータである。そのため、粒状斑の認識が比較的容易だと考えられ、画像認識コードの作成に初挑戦するには非常に適している。多くのグループで粒状斑の認識、いくつかのグループではさらに追跡までを行うコードを開発できた。各グループでは、それぞれ異なった粒状斑の判別方法が採用され、最終日の議論において１枚あたりの判別粒状数、粒状斑の平均面積、寿命、発生/消滅頻度、粒状斑の水平移動速度を比較した。

【成果】

判別方法によって、粒状斑の個数や面積には２倍ほどの差が見られた。これらの差は、画像内の領域を完全にどれかの粒状斑に属させる手法、との間で見られた。また、追跡を行う際の条件によっても、寿命や発生/消滅頻度に大きな差が見られた。これらは、粒状斑自体の定義の難しさを表しており、定義方法によりその統計性質が大きく変わってしまうため、注意が必要であることが分かった。

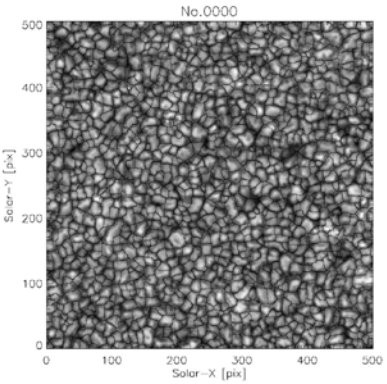


図 2. 本ワークショップで用いたG-band輝度画像(背景)と判別結果(コンター)の例。本図は、全視野の 1/6 の領域を示している。

一方で、粒状斑自身の性質ではなく、粒状斑運動から流れ場を出すことは。ワークショップ後に、得られた結果を図３に示す。これは、追跡された粒状斑の速度場を、画像１００枚分（＝１００分間）平均することで求められた緯度方向／経度方向の速度場である。緯度方向流れでは縦方向、経度方向流れでは横方向の構造が見られ、さらにそれぞれの画像内で正負領域がペアとして存在する。この構造は、diverging flow の構造を表し、超粒状斑構造に対応していると考えられる。超粒状斑は太陽面上で検出するのは容易ではない。これまで１０年に渡るひので衛星の観測データに、G-band 輝度画像は大量に存在しており、本ワークショップで開発した追跡コードと合わせることによって、超粒状斑の太陽周期依存性などを調べることができると期待される。

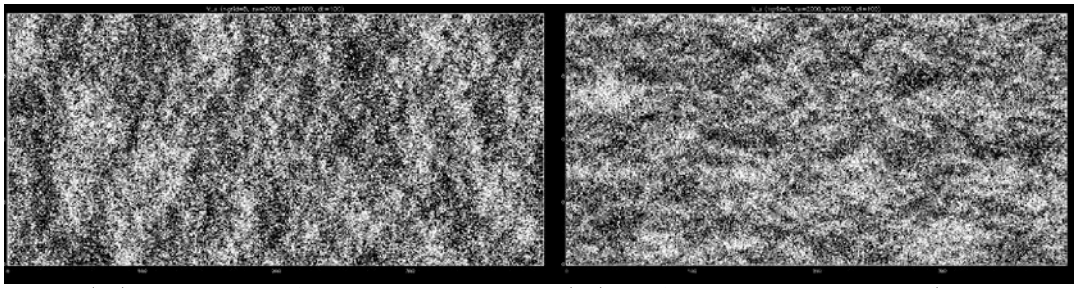


図 3.(左) 粒状斑の緯度方向流れの平均場、(右) 経度方向流れの平均場。(全観測視野) 緯度方向流れでは縦方向、経度方向流れでは横方向の構造が見られる。さらに、それぞれの画像で正負領域がペアとして存在する。この構造は、超粒状斑に対応していると考えている。

太陽地球系科学に於ける地上観測の現状と課題
The Current Situation and Challenges of Ground Observation on Solar Terrestrial Physics

吉川顕正、九州大学・国際宇宙天気科学・教育センター

太陽地球系科学（STP 科学）の発展に於いて、地上観測は非常に重要な位置づけにある。ネットワーク観測の展開は世界規模となり、小規模拠点観測に於いては高度な技術開発がなされ、学術的に重要なデータが日々蓄積されている。一方、こうした地上観測は比較的小規模な研究母体により展開されており、その定常的な運用や維持、発展、データの保存・公開などについて、研究リソースや人材不足からくる様々な問題を抱えている場合が多い。地上観測と関連した共同研究が国際的な連携へと拡がる中、人類の学術資産としての STP データの取得・蓄積・公開とサイエンスの発展のバランスが、個人、或いは研究室を母体とした学術活動の理想的な形から解離してしまう等の問題も表出しており、STP 科学を支える地上観測の将来について多くの解決すべき問題が横たわっている。

本研究集会には、北大、東北大、柿岡地磁気観測所、極地研、信州大、茨城大、NICT、名大 ISEE、京大（地磁気センター、飛騨天文台）、九大、鹿児島高専＆高専連合、IUGONET、マニラ観測所と、多くの地上観測・データ科学グループが参加し、機関報告が行われた。それぞれのグループの活動内容、問題点、将来計画などについての議論を行い、問題解決の糸口や、連携の可能性、コミュニティとしての今後の対応などについての議論を行った。多くの問題点が共有され、今後も継続的な意見交換が必要であるとの結論に至り、引き続き学会や研究集会の場を活用として今後の STP 科学に罹る地上観測の継続的発展とそのための連携についての議論を続けていくことが確認された。

太陽フレアデータ解析ワークショップ
Coordinated Data Analysis Workshop on Solar Flares

浅井　歩、京都大学・大学院理学研究科附属天文台

2016年11月28日から12月1日の日程で、名古屋大学宇宙地球環境研究所（ISEE）において、PSTEPとの協力の下、太陽フレアデータ解析ワークショップ（Coordinated Data Analysis Workshop；CDAW2016）を開催致しました。太陽フレアやそれに伴う噴出現象は太陽-地球圏の環境の擾乱源であり、その総合的な理解は宇宙天気の中でも極めて重要な課題です。直接探査の難しい太陽研究では、近年、さまざまな波長の電磁波を利用した地上・衛星観測が実現されています。そこで、それらの多種多様な観測データを有効に統合し現象の全体像を理解することが重要となります。これら太陽フレアの多波長観測データの解析は、データ公開の原則と、*SolarSoft*と呼ばれる解析IDLライブラリの存在により、太陽研究の一般的な研究手法となっています。一方で、観測する波長・装置の違いからデータの質やデータから得られる情報は多岐にわたっており、実際にデータ解析を行いながらその解析手法を習得することが有効です。また、太陽フレアの発生現場であるコロナの3次元磁場構造の観測データと数値モデルに基づく推定や、噴出現象による吸収線変形からモデルを介して速度等の物理量を導出するなど、観測データと数値モデルを組み合わせた総合解析も広く普及しつつある研究手法です。これらを進めることで現象の全体像の理解がより深まることが期待されます。

そこで本ワークショップでは、いくつかの科学テーマに沿って、人工衛星や地上観測所の太陽観測データを実際に解析することを通じて科学的成果を得ることを目的としました。解析テーマは新学術領域PSTEP・A02太陽嵐班の科学目的の観点から以下の3つを選定しました：(1) 2012年9月28日イベントの詳細解析、(2) 2016年11月5日のフィラメント噴出の詳細解析、(3) 活動領域NOAA12297のエネルギー蓄積・解放過程の追跡。

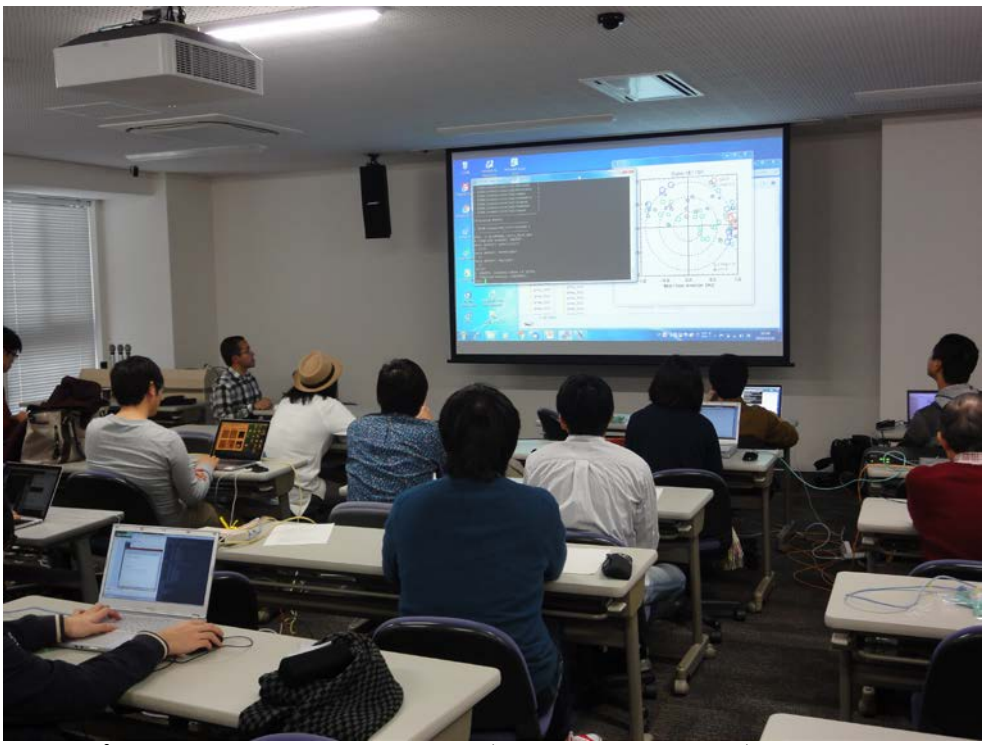


図1：ワークショップでの座学の様子。IPSデータの取得やデータの見方を学ぶ。

ワークショップには、10の研究機関から30名の参加者があり、そのうちの18名が大学院生でした。本ワークショップでは、データ解析初心者を主な対象とする育成も目的としています。そのため、初日にチュートリアル講義を行ったり、各解析グループに解析手法や各種データに詳しい研究者をバランスよく配備するなどの配慮をしたりしました。これにより、各自集中して夜遅くまで解析に励んでいました。また、期間を通じて解析の指導や結果の議論も有効に行われていました。また、データ解析の習熟者についても新しいデータの利用法を習得し、自身の研究テーマを発展させるような課題に取り組んでいました。最終日には、それぞれの研究成果が報告されました。今後も解析は継続される予定で、研究会や論文での研究成果発表が期待されます。

今回、平成28年度第1回STE現象報告会・現象解析ワークショップと連続開催を実現し、本ワークショップで取り扱う現象の地球への影響という観点からレビューを頂き、またIUGONET新システムについての紹介、SPEDASを用いたデータ解析講習などを本ワークショップ参加者も聴講することができました。これにより、太陽周辺にとどまらず広く太陽-地球圏のデータ解析手法を学ぶ良い機会となりました。残念ながらIDLライセンスの上限などのために、本ワークショップへの参加人数を限らざるを得ず、またそのために科学テーマも太陽物理に限ったものとなってしまったり、ワークショップについての案内も太陽物理分野に偏重してしまったりと、太陽-地球圏の融合の観点からは不十分なものになってしまいました。今後は、このようなデータ解析を主眼に置いたワークショップを太陽-地球圏全体でも開催することが有効であると感じました。

最後になりますが、本ワークショップでは、真新しい統合データサイエンスセンターの計算機システムを活用させて頂きました。名古屋大学ISEEの皆様には、ワークショップ開催に当たって事前準備・データ解析環境の整備など、諸事にわたって大変お世話になりました。この場をお借りしてお礼申し上げます。



図２：ワークショップ参加者で集合写真。みなさんお疲れ様でした。

宇宙惑星結合系科学の実証的研究の創設に向けて

Toward the foundation of the demonstrative research on the space-planet coupling sciences

平原 聖文（名古屋大学・宇宙地球環境研究所）

目的・意義・概略

これまで国内で実施されてきた太陽地球系物理学に関わる探査機・人工衛星計画においては、宇宙プラズマ粒子・波動、及び電磁場の直接観測、あるいはオーロラ発光などを対象とした（遠隔測定としての）光学観測の高精度化が行われてきた。この過程では、様々な物理量観測を機上で総合的に実施する事に重点が置かれていたが、その一方で、次世代に向けての昨今の潮流としては、ジオスペース環境、特に地球放射線帯におけるプラズマ波動・粒子相互作用の直接検証を目的とした波動粒子相互作用解析という探査機上における統合観測技術の確立と、衛星・地上観測による多面的な統合的観測体系の構築が挙げられる。上記 2 点は、旧・太陽地球環境研究所が計画発案・提案・推進の主体となったジオスペース探査「ERG 衛星計画」の基盤となっている。更に今後は、相互作用の実証的観測技術と衛星・地上統合観測体系の発展として、プラズマ・中性粒子の統合観測に関しても申請者が中核となり、特に地球極域の磁気圏・電離圏・熱圏における宇宙環境変動に関わる基礎過程・基本的物理機構の知見進化を実現する探査機計画が、当該学界における将来のコミュニティーミッションの最右翼候補として検討されている状況にある。これらに代表される、宇宙空間と惑星圏における様々な相互作用は、地球のみならず、太陽系内における非磁化惑星の超高層大気領域、更には、昨今の観測技術発展による発見が顕著な系外惑星においても、基本的・普遍的な宇宙惑星結合系を体現していることは想像に難くなく、太陽地球系から宇宙地球系、更には宇宙惑星系の物理学へと革新的な学術理念の進歩をもたらすと考えられる。そのため、本研究集会は、地球磁気圏・電離圏・熱圏の相互作用に関わる実証的研究、系内非磁化惑星における太陽風・太陽輻射による惑星超高層大気への影響に関する観測的・理論的研究、更には大気を有する系外惑星を対象とした観測的・理論的研究、という 3 分野の融合的展開・発展を議論する初めての研究集会として開催された。本研究集会を端緒として融合的展開・発展を目指す 3 分野において、観測的・理論的研究の最新の内容に関して本質的・具体的な事例・成果を紹介しつつ、今後 10 年間での進捗が期待される研究課題に対して講演・議論された。ここでは、3 分野共通の基本原理・物理機構に対する理解を深めるという主旨の下、広い視点からの議論を活発に展開すべく、分野を代表する現象の理論的・観測的成果と基本的な項目に関する質疑応答も幅広く展開された。更に、観測手法の基盤開拓と機器開発における情報共有・技術提携を主軸に、過去・現在・未来を俯瞰した計測方法の議論するため、基本的・発展的な観測手法に関する導入的発表、及び将来観測の提案や具体的な観測計画の紹介も行った。

日程・開催場所・参加機関・参加者数

本研究集会は 2016 年 12 月 26、27 日に東京都豊島区西池袋の立教大学太刀川記念館 3 階多目的ホールにおいて開催され、国内 17 研究機関と国外 2 研究機関から、44 名の日本人研究者の参加があった。次ページに講演スケジュールを示す。なお、12 月 27、28 日には「地球型惑星圏環境に関する研究集会」が同開催場所で連続開催された。

表　本研究集会の講演スケジュール

講演日時	発表者	所属	講演課題
12/26 13:00-13:10	平原聖文	名古屋大学 宇宙地球環境研究所	はじめに
12/26 13:10-13:35	小川泰信	国立極地研究所	極域イオン上昇流/流出研究の動向について
12/26 13:35-14:00	北村成寿	宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所	地球電離圏からのイオン流出
12/26 14:00-14:25	桂華邦裕	東京大学大学院 理学系研究科	地球電離圏起源イオンの磁気圏ダイナミクスに対する影響について
12/26 14:25-14:50	加藤雄人	東北大学大学院 理学研究科	地球放射線帯粒子・電離圏加速イオン現象におけるプラズマ波動粒子相互作用解析
12/26 14:50-15:05	（休憩）		
12/26 15:05-15:30	齋藤義文	宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所	SS-520-3 号機観測ロケット実験計画の概要と期待される成果
12/26 15:30-15:55	小嶋浩嗣	京都大学 生存圏研究所	宇宙電磁環境の多点同時観測を実現する超小型プラズマ波動観測システム
12/26 15:55-16:15	平原聖文	名古屋大学 宇宙地球環境研究所	宇宙地球結合系の実証的直接観測に向けた編隊飛行衛星群による将来探査計画
12/26 16:15-16:30	（休憩）		
12/26 16:30-16:55	関華奈子	東京大学大学院 理学系研究科	MAVEN 探査機観測に基づく火星大気散逸研究の現状
12/26 16:55-17:20	垰　千尋	情報通信研究機構	木星・土星の磁気圏-電離圏-熱圏結合系モデリング研究
12/26 17:20-17:45	益永　圭	東京大学大学院 理学系研究科	ひさき衛星によって観測された金星熱圏大気光の 4 日周期変動
12/27 9:00-9:30	藤原　均	成蹊大学理工学部	地球・惑星の熱圏大気変動
12/27 9:30-9:55	大山伸一郎	名古屋大学 宇宙地球環境研究所	高緯度電離圏プラズマ-熱圏中性粒子の相互作用に関する観測研究
12/27 9:55-10:25	水野　亮	名古屋大学 宇宙地球環境研究所	ミリ波・サブミリ波による地球・惑星大気観測
12/27 10:25-10:40	（休憩）		
12/27 10:40-11:10	田中佑希	国立天文台天文 シミュレーションプロジェクト	磁気流体波動が駆動する短周期ガス惑星からの大気散逸現象
12/27 11:10-11:40	村上　豪	宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所	UV 宇宙望遠鏡（WSO-UV）搭載トランジット分光装置による系外惑星酸素大気検出の検討

まとめ

本研究集会では、系内・系外惑星という関連分野の垣根を越え、また、磁化惑星・非磁化惑星という制約を設ける事無く、特に惑星生命圏の条件として大気を有する惑星とその近傍の宇宙空間との結合系における物理機構という統一された視点から理論的・観測的研究に関して講演が展開された。また、中心星としての恒星からの恒星風（太陽系・地球においては太陽風）と大気惑星環境との相互作用という観点にも重点が置かれた。

講演・議論の主な対象は、探査衛星による直接観測、あるいは地上からの遠隔探査が幅広く展開されている地球電磁気圏の観測的研究・将来観測計画を始めとして、太陽系内惑星における宇宙空間・超高層大気の相互作用現象・機構に関する観測・モデリング、系外惑星の大気モデリング・観測計画、等に関するものであり、従来の聴衆がほぼ固定化された学会では交流が殆ど無い研究課題に関する最新の話題・成果が紹介され、様々な研究分野からの研究者にとって有益な情報・意見交換の場が提供されたと考えられる。

従って、本来の開催意図である宇宙惑星結合系科学という従来に無かった新機軸の視点を初めて取り入れた本研究集会での議論や質疑応答において、宇宙惑星結合系科学という融合的研究分野を近い将来において広く展開する可能性や研究上の希求の潜在性が確認されたと結論出来る。

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28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：2017年3月6日（月）-3月7日（火）

会場：名古屋大学・東山キャンパス・ 研究所共同館1-301号室

コンビーナー：田村仁（港湾空港技術研究所）
相木秀則（名古屋大学）
鈴木直弥（近畿大学）

【研究集会の内容】

本研究集会の招待講演として，まず初めに泉宮教授（新潟大学）より「非線形海洋波浪の確率統計的特性および風波と気流の相互作用」のタイトルで，波浪計測，方向スペクトル推定手法，風波の砕波と飽和度指標と広範囲にわたる海洋波研究の発表が行われた．引き続き，現地観測研究として5件，室内実験研究として1件，数値モデル研究として6件の講演が行われた．

現地観測研究では，最新の航空機搭載合成開口レーダや海面高度計，HFレーダといったマイクロ波を用いた波浪観測研究が発表されるとともに，これまで伝統的に用いられている漂流ブイや日本沿岸の観測網（NOWPHAS）などの紹介があった．室内実験研究では近年着目される台風や爆弾低気圧などの超高速風下での波浪特性の研究が紹介された．数値モデル研究では大気波浪結合モデルや波浪海洋結合モデルといった全球スケールで海洋波が大気海洋に及ぼす影響が議論されるとともに，LESモデルによるラングミュア循環の研究，HOSMモデルによる異常波浪（フリーク波）の研究に関しての講演が行われた．

【研究集会の成果】

海洋波を中心に大気海洋相互作用に関連する広範囲の研究テーマを対象として議論を行った．最新の波浪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，本研究集会では，学際的（海洋学，気象学，機械工学，海岸工学，船舶工学，衛星リモートセンシング）な研究集会の特色を生かし，活発な議論を行うことができた．特に，所属学会等の枠組みを超えて，若手波浪研

究者間の交流ができたことは本研究集会の最大の成果であった．本研究集会が継続して学際的海洋波浪研究集会の中心を担うことで，今後の日本国内全体の波浪研究レベルの向上が期待されるとともに，新たな波浪研究の発展の可能性も大いに期待される．

【プログラム】

3月6日（月）

13:00-14:00　非線形海洋波浪の確率統計的特性および風波と気流の相互作用
－波浪計測，方向スペクトル，風波の砕波と飽和度指標－
（招待講演）　泉宮 尊司（新潟大学）

14:00-14:30　航空機搭載合成開口レーダによる波浪観測について
児島 正一郎（情報通信研究機構）

14:30-14:45　休憩

14:45-15:15　高周波数の波が高度計とブイの波浪周期推定に与える影響
王 喜風（九州大学）

15:15-15:45　伊勢湾における短波海洋レーダを用いた面的波浪観測
片岡 智哉（東京理科大）

15:45-16:15　外洋で観測された風波の発達過程に対するうねりの影響の評価
根田 昌典（京都大学）

16:15-16:30　休憩

16:30-17:00　日本沿岸におけるうねりの現地観測とその波浪特性の解析
藤木 峻（港湾空港研）

17:00-17:30　高風速下かつ長吹送距離における風波気液界面を通しての
運動量輸送機構
高垣 直尚（兵庫県立大学）

17:30-18:00　爆弾低気圧と波浪についての合成解析
北 祐樹（東京大学）

3月7日（火）

9:30-10:00　波浪依存の運動量輸送式による台風の大気海洋波浪結合計算
二宮 順一（金沢大学）

10:00-10:30　大気－波浪結合気候モデルによる波浪依存の海面粗度の
全球気候システムへの影響評価　志村 智也（京都大学）

10:30-11:00　海洋波浪結合領域モデルを用いた日本南岸の黒潮流軸変動の考察
相木 秀則（名古屋大）

11:00-11:15　休憩

11:15-11:45　水面波の直接数値計算による Langmuir 循環の力学に関する研究
藤原 泰（京都大学）

11:45-12:15　観測されたフリーク波の決定論的推定について
藤本 航（東京大学）

第18回　惑星圏研究会
The 18th 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、また、観測・計測・解析手法、さらには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18回目を迎えた。この研究領域では本年度も、日本の金星探査機「あかつき」の本格的な観測開始に続き、米国の木星探査機「JUNO」による13年振りの周回探査の再開、また、欧州の火星探査機「TGO」の周回軌道投入の成功等、惑星探査ミッションで大きな動きがあった。また、「HISAKI」衛星や地上からの惑星遠隔観測も継続して行われ、直接探査との国際共同観測研究が更に進行してきている。一方、来年の打ち上げを控え、水星探査機「BepiColombo」の科学研究検討が深化するとととともに、「MMX」等の次期惑星・衛星探査計画の検討も精力的に進められてきている。今回の研究会は、各惑星の直接探査研究が今まで以上に進められていること、更には次なるプロジェクトも具体化しつつある現状を鑑み、現在進行中の、ならびに、次期の惑星探査プロジェクトの、特にサイエンスをリードされている方々による招待講演をコアにセッションを編成するとともに、昨年行われた第17回研究会に引き続き、惑星探査の将来計画に関する情報共有と議論を行うセッションを開催した。本研究会に関して特筆されることの一つとして、最新の研究成果公表が待たれてきた木星探査機「JUNO」の研究について、SGEPSS学会による海外研究者招聘援助と宇宙科学研究所 藤本正樹教授のご尽力により2名の「JUNO」チームの研究者による招待講演が実現し、木星初の極域観測による磁気圏環境の様相が日本で初めて紹介されたことが挙げられる。本研究会では、これらの招待講演を含む木星研究関連のセッションを国際セッションとして実施した。また、本研究会には海外からの研究者も参加することを考慮し、ポスターを含む全講演のスライドは（昨年度までに引き続き）英語で作成頂いた。

尚、本研究会は、名大ISEE研究集会「惑星超高層大気・惑星電磁圏の時間変動に着目した比較惑星研究(代表者：土屋史紀(東北大学))」、SGEPSS学会とも共催し、実施された。

参加者数：77 名

内容：

平成29年2月20日～22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31件（招待講演11件を含む）、ポスター講演26件の計57件の講演・議論が行われた。尚、本研究会の内容・プログラム等は以下のURLの研究会HPに公開されている。

http://pparc.gp.tohoku.ac.jp/workshop.html

平成29年2月20日

13:30-13:35 開会の辞

13:35-15:55 金星探査・研究 関連セッション

招待講演1 New views of Venus from Akatsuki, T. Satoh (ISAS/JAXA)

招待講演2 Cloud-top structure of Venus observed by Akatsuki LIR, T. Fukuhara (Rikkyo Univ.)

他 一般講演 4件

16:10-17:40 火星探査・研究 関連(他)セッション-I

招待講演3 Mars science from Martian Moons Exploration, K. Kuramoto (Hokkaido Univ.)

他 一般講演 3件

平成29年2月21日

9:00-12:35 木星探査・研究 関連 国際セッション-I （「惑星超高層大気・惑星電磁圏の時間変動に着目した比較惑星研究」共催セッション）

招待講演4 3-year observation by Hisaki, I. Yoshikawa (Univ. Tokyo)

招待講演5 Early results from Juno-JEDI and how they are transforming our understanding of Jupiter's magnetosphere, G. Clark (APL/JHU)

招待講演6 Plasma observations at Jupiter from the Jovian Auroral Distributions Experiment: From Juno's approach through its first perijove, R.W. Ebert (SwRI)

招待講演7 Dynamics of Jupiter's aurora unveiled by the Hisaki-JUNO-Hubble collaboration: initial results, T. Kimura (RIKEN)

他 一般講演 3件

13:20-14:10 ポスターセッション　講演 26 件

14:10-16:30 木星探査・研究 関連(他)国際セッション-II（「惑星超高層大気・惑星電磁圏の時間変動に着目した比較惑星研究」共催セッション）

招待講演8 Scientific Objectives of Japanese Participation to JUICE (Jupiter Icy Moons Explorer), Y. Saito (ISAS/JAXA)

招待講演9 Geospace Exploration Project Arase (ERG), Y. Miyoshi (Nagoya Univ.)

他 一般講演 4件

16:45-18:15 将来計画議論

18:30-20:00 懇親会

平成29年2月22日

9:00-10:30 水星探査・惑星科学 関連セッション

招待講演10 Next exploration to Mercury BepiColombo: key sciences and future strategies, G. Murakami (ISAS/JAXA)

他 一般講演 3件

10:45-12:15 火星探査・研究関連-II セッション

招待講演11 Atmospheric Escape from Mars: A review of MAVEN results, K. Seki (Univ. Tokyo)

他 一般講演 3件

12:15-12:20 閉会の辞

成果等：

惑星圏・衛星圏に関わる広範な研究領域の研究者・学生に研究紹介と議論の機会を提供し、観測・解析・理論等各種アプローチによる本領域研究の現況と将来計画の情報を共有することが出来た。また、招待講演者には特に、本研究領域の将来を担う若手研究者や大学院生を意識しての、サイエンス面での将来展望や課題についての紹介を依頼し、各講演者からはそれらを意識した分かり易い講演を行って頂いた。これらは対象者への良い刺激になったことと思われる。尚、前回の研究会（第 17 回 惑星圏研究会）で共催した、名大 ISEE 研究集会「博士課程進学者・博士号取得者による合同セミナー」との共同企画は今回はなされなかったが、本研究会に参加した「博士課程進学者・博士号取得者」への積極的な口頭講演を主催側より奨励し、受諾した当該学生によるフレッシュな講演も多く行われた。（ポスター講演も含めて）先達諸氏による厳しくも暖かい研究指導もあり、討議が活発に行われたことも成果として申し添える。

尚、本研究会の講演内容は、研究会 HP において平成 29 年 4 月以降に公開予定である。

航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進
Progress of climate and earth system sciences by an aircraft observation

小池　真（東京大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻）

日本気象学会は、地球惑星科学連合（JpGU）の様々な学会の研究者と連携して、学術大型研究計画マスタープラン2017に「航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進」計画を提案した。この計画は、気象学会とJpGUの研究者が2年間かけて作成した200ページあまりの研究計画（日本気象学会のホームページで公開中）に基づくものである。これまでに地球科学分野における航空機観測に関連した研究集会を過去３年間で、JpGUにおいて1回、名古屋大学地球水循環研究センター研究集会として2回開催してきている。今年度の研究集会も、研究計画に基づいて地球観測用航空機の仕様や観測対象・観測計画についての議論を深め、相互理解を促進することを目的として開催した。研究集会は、宇宙地球環境研究所と附属飛翔体観測推進センターが主催し、日本気象学会との共催、地球惑星科学連合の後援を仰いでいる。

研究集会に先立ち、9月13日の午前中に名古屋大学環境総合館１階レクチャーホールで航空機観測推進委員会の準備会合が開催された。気象学会より提出された「航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進」計画は、マスタープラン2017に採択されたものの、重点領域のヒアリングには進めなかった旨の報告がされた。このため、準備会合では、次回のマスタープラン2020に向けた対応策や課題についての協議が行われた。重点領域には採択されていないものの、気象分野における航空機観測として、2016年度より開始された２つの研究課題（科学研究費補助金基盤S「豪雨と暴風をもたらす台風の力学的・熱力学的・雲物理学的構造の量的解析（研究代表者：坪木和久名古屋大学教授）およびアラブ首長国連邦降水強化プログラム「乾燥・半乾燥地域における降水強化に関する先端的研究（研究代表者：村上正隆名古屋大学特任教授）」）が開始されており、今後とも航空機観測の推進を行っていくべきであるとの議論がなされた。

研究集会は9月13日の午後～9月14日の午前中に名古屋大学環境総合館１階レクチャーホールで開催された。17の大学・研究機関・民間企業から53名もの参加者があり、講演件数は18件を数えた。講演では大気科学に関連した上記の航空機観測プロジェクトの計画（いずれも航空機観測の実施は2017年度以降の予定である）に加えて、地球科学分野との融合観測の計画や、航空機に搭載できる観測機器の開発状況についての進捗報告などが行われた。回を重ねるごとに、観測計画や観測機器の具体化が進んでいる様子が見られるとともに、さまざまな分野の研究者の議論を行っている様子が見られた。

今後とも、航空機観測の計画や観測機器の開発、実施体制や実施した時の課題などの情報を研究者間で共有するとともに、地球惑星科学分野の観測を行うための専用航空機の導入に向けた議論を行っていくためにも、本研究集会を継続して行っていきたいと考えている。

以下、研究集会の講演題目と講演者のリストを掲載しておく。

●9月13日
- 科研費基盤研究Sによる台風の航空機観測計画：T-PARCII （Tropical cyclones-Pacific Asian Research Campaign for Improvement of Intensity estimations/forecasts）
  坪木和久（**名古屋大学**）
- T-PARCにおける台風機動観測について
  山口宗彦（**気象研究所**）
- 意図的非意図的気象改変研究における航空機利用
  村上正隆（**名古屋大学**）他
- 航空機による雲シーディングに関するモデリングと数値実験
  橋本明弘（**気象研究所**）他
- 航空機観測によるエアロゾル・雲・降水相互作用研究
  小池真（東京大学）他
- 航空機搭載ライダーによる大気・気象観測
  阿保真（首都大学東京）他
- 航空機搭載電子走査レーダによる雲・雨観測
  堀江宏昭(**情報通信研究機構**)
- フェーズドアレイレーダを用いた降水観測の現状と航空機搭載の可能性
  高橋暢宏(名古屋大学)
- 地球観測における航空機SARの役割
  浦塚清峰(情報通信研究機構)
- 陸面―大気物質循環研究で航空機観測ができて衛星観測ができないこと
  鈴木力英(海洋研究開発機構)他

●9月14日
- 航空機を利用した大気組成観測にかかわる諸問題
  青木周司(東北大学)他
- ロシア水文気象環境監視局（ROSHYDROMET）の航空機を用いた西シベリア・北極域の大気環境観測
  今須良一(東京大学)他
- 温室効果ガス観測技術衛星GOSATにおける航空機観測：観測原理実証・分光放射輝度校正・温室効果ガス濃度分布検証
  久世暁彦(宇宙航空研究開発機構)
- 回転翼航空機を利用した北陸地方上空の過酸化水素の測定
  渡辺幸一(富山県立大学)
- 機上の乱気流事故防止システムの研究開発
  井之口浜木(**宇宙航空研究開発機構**)
- 無人航空機の研究開発動向
  原田賢哉（宇宙航空研究開発機構）
- 航空機搭載降水レーダへのパルス圧縮利用の検討
  花土弘(**情報通信研究機構**)
- CPSゾンデを用いた雲粒子観測と航空機観測への適用可能性
  篠田太郎(**名古屋大学**)**他**

7.計算機利用共同研究 目次詳細

（所属・職名は平成29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
横山　央明	東京大学	理学系研究科	准教授	フレアを起こす４重極活動領域の形成	344
横山　竜宏	国立研究開発法人情報通信研究機構	電磁波研究所宇宙環境研究室	主任研究員	赤道プラズマバブルの生成機構解明と発生予測に向けた研究	346
中村　晃三	国立研究開発法人海洋研究開発機構	シームレス環境予測研究分野	主任研究員	雲解像モデルCReSSに組み込まれたビン法雲微物理モデルの改良	348
坪内　健	東京工業大学	理学院 地球惑星科学系	研究員	太陽圏境界領域におけるピックアップイオンダイナミクス	350
深沢　圭一郎	京都大学	学術情報メディアセンター	准教授	エクサフロップス計算に向けたMHDコードの様々なCPUアーキテクチャへの最適化	352
松清　修一	九州大学	大学院総合理工学研究院	准教授	無衝突衝撃波遷移層における微視的不安定性	354
森本　昭彦	愛媛大学	沿岸環境科学研究センター	教授	物理低次生態系結合モデルによる日本海の低次生態系の変動に関する研究	356
渡邉　智彦	名古屋大学	大学院理学研究科	教授	磁気圏-電離圏結合系における磁気流体不安定性とAlfven乱流	358
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	360
中村　琢磨	オーストリア科学アカデミー	宇宙科学研究所（ＩＷＦ）	任期付研究員	３次元運動論的シミュレーションによる磁気リコネクションジェット先端領域の研究	362
薄　良彦	大阪府立大学	大学院工学研究科　電気・情報系専攻　電気情報システム工学分野	准教授	広域電力システムのデータ駆動型運用技術構築に向けた200m超解像度気象シミュレーション	363
寺田　直樹	東北大学	理学研究科	准教授	高次精度中心スキームの開発	364
近藤　光志	愛媛大学	宇宙進化研究センター	講師	磁気圏サブストームの計算機シミュレーション	366
馬場　賢治	酪農学園大学	農食環境学群 環境共生学類　環境気象学研究室	准教授	アジアダストに付着したバイオエアロゾルの時空間変遷	369
天野　孝伸	東京大学	理学系研究科	准教授	高エネルギー粒子ハイブリッドコードの開発	371
草野　完也	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授	太陽フレアの数値予測に関する研究	372
品川　裕之	国立研究開発法人情報通信研究機構	電磁波研究所・宇宙環境研究室	短時間研究員	全大気圏－電離圏結合モデル（GAIA）を用いた宇宙環境じょう乱の研究	374

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
井上　諭	名古屋大学	宇宙地球環境研究所統合データサイエンスセンター	特任助教	観測磁場データに基づいた太陽フレア・CMEの電磁流体シミュレーション	376
安永　数明	富山大学	理工学研究部	教授	日本海沿岸地域における冬季の降雨・降雪の特性に関する研究	378
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	380
塩田　大幸	名古屋大学	宇宙地球環境研究所統合データサイエンスセンター	特任助教	データ同化連結階層太陽コロナシミュレータの開発	381
銭谷　誠司	国立天文台	理論研究部	特任助教	無衝突磁気リコネクションの運動論的研究	382
朴　京善	忠北大学校	基礎科学研究所・天文宇宙学科	招聘教授	3次元グローバルMHDシミュレーション 使用したｄipole tiltの影響の研究	383
杉山　耕一朗	松江工業高等専門学校	情報工学科	准教授	火星版 CReSS を用いた火星表層環境評価	385
町田　忍	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授	粒子プラズマシミュレーションと衛星データ解析を用いた非対称磁気リコネクションの物理過程の実証的研究	387
松村　充	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	研究員	太陽フレアに対する電離圏の応答の数値シミュレーション	390
林　啓志	中国科学院空間科学研究センタ（ＮＳＳＣ／ＣＡＳ）	宇宙天気研究グループ	招聘研究教員	複数の太陽周期にわたる時間的に連続した太陽風MHDモデリング	392

フレアを起こす４重極活動領域の形成
Formation of a Quadrupolar Active Region Producing a Flare

横山央明　東京大学　理学系研究科

太陽の、デルタ型黒点を持つ活動領域は、巨大なフレアの発生源として知られている。そのような活動領域の一部は、２つの双極の黒点の衝突で誕生すると考えられ、複数の先行研究が２箇所からの磁束管浮上のシミュレーションでそれを再現した（[1], [2]）。一方、巨大なフレアは磁束ロープ（ねじれた磁束管）の上昇に起因すると考えられているが、先行研究のシミュレーションではそのような磁束ロープ放出については調べられておらず、デルタ型黒点上空でフレアがどのように起こるかは未解明である。よって、本研究はモデルを改良し、デルタ型黒点上空の磁束ロープ放出の発生過程・発生場所・条件を調べることを目的とする。

太陽の上部対流層からコロナまでを模したシミュレーションボックスを用意し、3 次元成層大気中で磁気流体方程式を解いた。広いパラメータレンジや異なるコロナ磁場環境を用いて、２箇所からの磁束管浮上のシミュレーションを行った。名古屋大学 FX100 および UV2000 を使って、計算・解析を行った。

計算の結果、双極の黒点のループ同士の磁気リコネクションと磁束管のねじれに起因する黒点回転により磁束ロープが生成されることを発見した。また、その磁束ロープは、初期の背景に磁場がない場合は上昇を停止するが、浮上磁場とリコネクションを起こすような向きの磁場があるときには上部境界まで上昇することが判明した。特に、ロープがキンク不安定の臨界までねじられ、ひねりながら上昇していくことを発見した（図１）。加えて、本研究ではパラメータサーベイを実施し、磁束ロープの生成・放出条件を調べた。

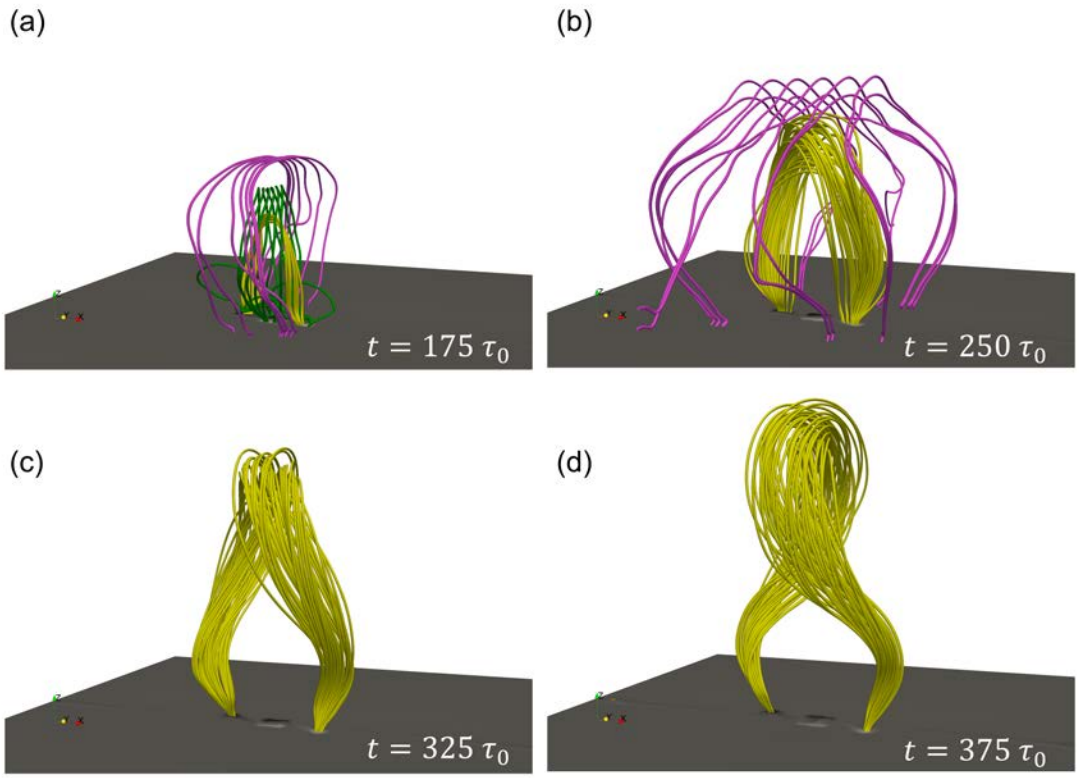
考察として、対流層の磁束管のねじれがロープ生成にとって重要であり、初期の背景磁場の強さや高さ方向の減少率が上昇の仕方を決定することが分かった。これらは、4 重極活動領域における新たな発見であった。

本研究により、デルタ型黒点の形成から、磁束ロープの生成と放出までを統一的に理解することが可能になった。

引用文献
[1] Toriumi, S., Iida, Y., Kusano, K., Bamba, Y., & Imada, S. 2014, Solar Physics, 289, 3351
[2] Fang, F., & Fan, Y., 2015, ApJ, 806, 79

成果発表
Oi, Y., Yokoyama, T., & Toriumi, S.、Flux Rope Formation and Eruption in a Quadrupolar Active Region　Holding a Delta-spot、Hinode 10、名古屋大学、2016 年 9 月 5 日
大井喜智、横山央明、鳥海森、デルタ型黒点を持つ四重極活動領域におけるフラックスロープの形成と放出、天文学会秋季年会、愛媛大学、2016 年 9 月 16 日
大井喜智、デルタ型黒点を持つ四重極活動領域における磁束ロープの形成と放出に関する数値的研究、東京大学修士論文、2017 年 3 月

図 1　背景磁場とのリコネクションにより、ひねりながら放出を起こす磁束ロープ



赤道プラズマバブルの生成機構解明と発生予測に向けた研究

Understanding and forecasting of equatorial plasma bubble

横山 竜宏　　情報通信研究機構 電磁波研究所

研究目的

電離圏のプラズマは、その運動が中性大気との衝突によって強く支配されているため、中性大気と電離大気の相互作用を解明することは電離圏の物理過程を理解する上で非常に重要である。局所的なプラズマ密度の不規則構造を伴う電離圏擾乱が発生した場合には、電波の振幅、位相の急激な変動 (シンチレーション) が生じるため、GPS 等による電子航法に障害を及ぼすことが知られている。このような電離圏擾乱の発生機構を解明し、発生を事前に予測することが、科学・実用の両面から求められている。本研究では、特に深刻な障害の原因となる赤道スプレッド F（プラズマバブル）の生成機構解明と発生予測を目指し、低緯度電離圏数値モデルを用いたプラズマバブル生成に関する研究を実施する。

昨年度までに、プラズマバブルを非常に高い空間分解能で再現できるモデルを完成させ、プラズマバブル内部の複雑な非線形過程、プラズマバブルの東西非対称性の形成メカニズム等を明らかにした。本年度は、さらに空間分解能を向上させ、プラズマバブル内部の密度変動のパワースペクトルを求めることに成功した。その結果は、過去の衛星、ロケット観測とよく一致することが明らかとなった。

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。

$$\frac{\partial N_i}{\partial t} + \nabla \cdot (N_i \mathbf{V}_i) = S_i \tag{1}$$

$$q_j(\mathbf{E} + \mathbf{V}_j \times \mathbf{B}) + M_j \boldsymbol{g} - \frac{\nabla(N_j k_B T)}{N_j} + M_j \nu_{jn}(\mathbf{U} - \mathbf{V}_j) = 0 \tag{2}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{J} = \nabla \cdot \left[e \left(\sum_i N_i \mathbf{V}_i - N_e \mathbf{V}_e \right) \right] = 0 \tag{3}$$

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 0.5km 以下まで向上させることで、1km 程度までのパワースペクトルを求めることが可能となる。

結果と今後の課題

図 1 に、成長したプラズマバブルの東西–鉛直断面と、高度 400km から 500km で平均した東西方向の密度変動のパワースペクトルを示す。流体の乱流構造に類似したスペクトルが得られており、波長 3-4km 付近でスペクトルの傾きが変化している。このようはスペクトルの特徴は衛星観測で得られた特徴とよく一致しており、実際のプラズマバブル内部の複雑な構造が再現されたと考えられる。

今後は、全球大気圏電離圏モデルから得られる背景の条件を本研究で開発した領域モデルに組み入れ、プラズマバブルの生成について検討を進める予定である。

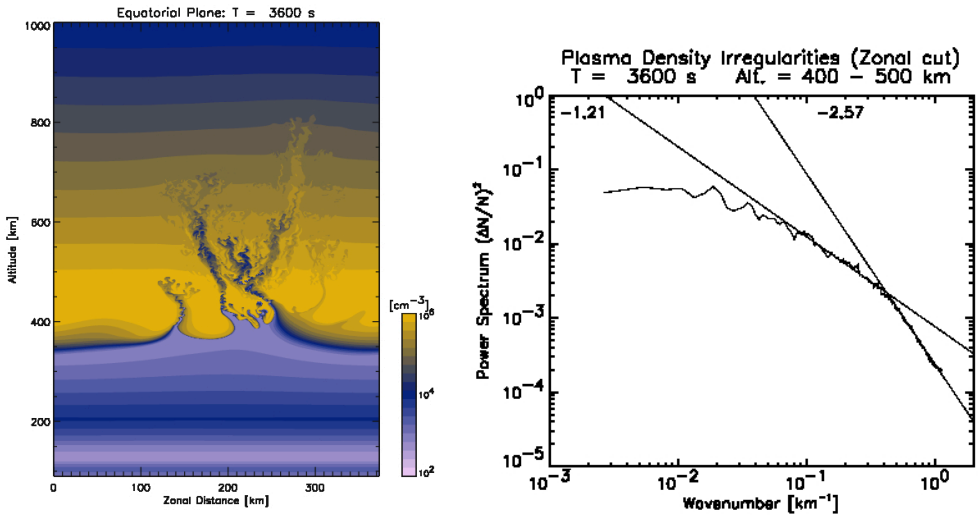


図 1: プラズマバブルの東西断面と、高度 400km から 500km で平均した密度変動のパワースペクトル。

成果発表

Yokoyama, T., and C. Stolle, Low and midlatitude ionospheric plasma density irregularities and their effects on geomagnetic field, *Space Sci. Rev.,* doi:10.1007/s11214-016-0295-7, 2016.

Yokoyama, T., R. F. Pfaff, C. Stolle, and S.-Y. Su, Sub-kilometer simulation of equatorial plasma bubble and comparision with satellite observations, 2016 AGU Fall Meeting [San Francisco, USA: December 2016].

Yokoyama, T., High-resolution modeling of equatorial plasma bubble, ISEE Worshop on Ionospheric plasma bubble seeding and development [Nagoya: November 2016] (Invited).

Yokoyama, T., H. Jin, and H. Shinagawa, Global and regional ionospheric modeling to understand equatorial plasma bubble, The 4th Asia Oceania Space Weather Alliance Workshop [Jeju, South Korea: October 2016].

Yokoyama, T., and C. Stolle, Numerical simulation of magnetic field variation associated with equatorial plasma bubble, 2016 URSI Asia-Pacific Radio Science Conference [Seoul, South Korea: August 2016] (Invited).

横山 竜宏, 電離圏バブルモデルの課題と展望, 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 [名古屋: 2017 年 1 月] (Invited).

横山 竜宏, Robert F. Pfaff, Claudia Stolle, Shin-Yi Su, 高精細プラズマバブルシミュレーションと衛星観測との比較, 第 140 回 地球電磁気・地球惑星圏学会講演会 [福岡: 2016 年 11 月].

横山 竜宏, 陣 英克, 品川 裕之, Claudia Stolle, 高精細プラズマバブルシミュレーションと地上・衛星観測との比較, 第 10 回 MU レーダー・赤道大気レーダーシンポジウム, pp. 27-29 [宇治: 2016 年 9 月].

横山 竜宏, 陣 英克, 品川 裕之, Claudia Stolle, 高精細プラズマバブルシミュレーションと地上・衛星観測との比較, 平成 28 年度 名古屋大学太陽地球環境研究所 研究集会 STE シミュレーション研究会 [仙台: 2016 年 9 月].

横山 竜宏, Claudia Stolle, 赤道プラズマバブルに伴う磁場変動の数値シミュレーション, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会 [千葉: 2016 年 5 月].

雲解像モデルCReSSに組み込まれたビン法雲微物理モデルの改良
Improvement of the bin microphysical scheme in CReSS

中村晃三、海洋研究開発機構・シームレス環境予測研究分野

研究目的

現在の多くの気象モデルの雲微物理過程で使われているバルク法（一般に水滴をごく少数のグループに分け、それぞれのグループの質量・粒子数の変化を扱う方法だが、特によく使われているのは、水滴を落下しない雲と落下する雨の２種に分けて扱う方法）は、様々な過程に関して経験的に決めたパラメタリゼーションスキームを含んでいる。例えば、雲粒同士の衝突併合による雲から雨への変換率を表すautoconversionスキームには、限られた条件下で決められたパラメータが含まれており、さまざまな環境へ適用するとき、それらのパラメタリゼーションがモデルの再現性を悪くしている可能性がある。CReSSに組み込まれているビン法モデル（バルク法に比べ、はるかに多くのグループを考える方法。ここでは、久芳・藤吉によって開発されたモデル、略してKFモデルを扱う）は、そのようなパラメータの不確かさが小さく、よい再現性が期待できるモデルである。このモデルの再現性を向上させ、さらに、その結果を使って高精度で効率的なバルク法を開発することが本研究の目的である。

研究内容および結果

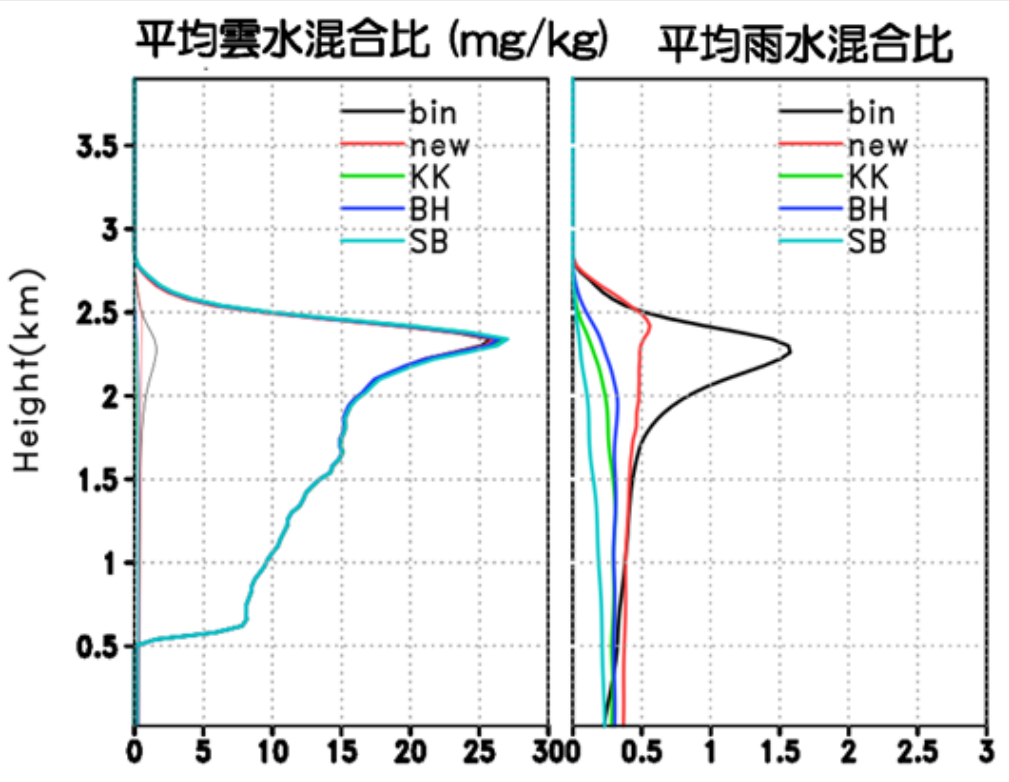
これまでに開発しCReSSに組み込んだビン法雲微物理モデル（KFモデル）の特徴の１つは、上昇流中で、過飽和になって活性化する凝結核の数（最初にできる雲粒の個数密度）を、鉛直速度を使ったパラメタリゼーションによって決定していることである。この「気塊の上昇に伴ってどのサイズまでの凝結核が活性化し、雲粒になるか」という問題は、その後の凝結および衝突成長に大きく影響する問題で、ビン法モデルで工夫されるポイントの１つである。これまでの多くのモデルでは、格子ごとの相対湿度を使ってその個数密度を決めるパラメタリゼーションスキームが使われてきた。しかし、活性化の過程は、活性化した大きな凝結核の凝結成長が上昇による過飽和を解消し、小さな凝結核の活性化を妨げるという水蒸気獲得競争の過程であり、通常の格子モデルでの相対湿度では、格子間隔や時間ステップが大きすぎるため、十分よくその過程を表現できないと考えられる。そこで、KFモデルでは、様々な粒径分布や上昇流などの条件を変化させたパーセルモデルでの上昇過程の実験結果から、鉛直速度の関数として上昇中の最大の過飽和度を決め、その値から活性化する凝結核の最小の大きさを決めることにした。

このモデルを、大西洋の貿易風帯積雲の再現実験に適用した。（設定などは、GCSS比較実験のホームページを参照してください。）その数値実験結果を観測や他のビンモデルと比較すると、雲内の平均雲粒数密度が高さとともに大きく減少するという結果が得られた。この点を改善するため、活性化スキームを「雲粒がある場合には、その凝結成長による乾燥効果を上昇流による加湿効果から引き、その正味の加湿効果に対応する上昇流によって決定する最大達成過飽和度を使って雲内で活性化する最小凝結核を決定する」というように拡張し、その結果、前述の欠点を改善することができた。

その結果を使って、バルク法を開発するために、ビンモデルでの雲微物理過程による変化を、バルク法で考えるそれぞれの過程（雲粒の凝結、蒸発、autoconversionと呼ばれる雲粒同士の衝突による雨の生成、雨粒による雲粒の併合、雨粒の凝結、蒸発、落下など）に対応する部分に分け、それをバルク法で扱う物理量の関数として表すことを考えた。説明変数の数は２つで、関数形としては、基本的には、簡単な指数関数型を考え、様々な物理量を説明変数の候補とし、それぞれの過程について、もっとも小さな誤差を与える説明変数を見つけた。例えば、autoconversionに関しては、雲水混合比と雲粒数密度を使うのがいいことが分かった。

バルク法に含まれる一つ一つの過程に関して、このような結果を得ることができたが、その結果がもっともらしいかどうかを、一つ一つの過程について調べるため、以下のようにビン法の中で個別の過程だけをバルク法に置き換える方法を使った。それは、例えば、autoconversion の場合には、ビン法の計算から、autoconversion に対応する部分についてだけ元に戻し、その代わりに、バルク法で計算される量だけの変換が

起こると考える。バルク法では雲水全体の変化と雨水全体の変化しか与えられないので、雲と雨それぞれのグループの中で、どのビンからどれだけの量が変換にかかわっているかは、ビン法の計算結果の比率に基づいて各ビンに分配することで計算する。このようにして、autoconversion以外の部分はビン法を使うことで、autoconversionだけをビン法に組み込むことができる。図は、このようにして得られた結果の雲水・雨水混合比の鉛直分布で、これまでの他のバルク法では、ビン法の結果に比べて雨への変換が少ないが、今回の結果はある程度改善していることを示し、このような方法がバルク法の開発に有効であることがわかる。



図

ビン法とビン法のautoconversion過程だけにバルク法を組み込んだモデルでの雲水と雨水の水平平均値の鉛直分布。

黒線：ビン法の結果。黒以外はバルク法で、赤線が今回の結果。KK: Khairoutdinov and Kogan (2000)、BH: Beheng(1994)、SB: Seifert and Beheng(2001)は、これまでの代表的なバルクモデル。

まとめ

久芳・藤吉によって開発された雲微物理過程モデルの改良を進め、さらにその結果を使ってバルク法モデルの開発を行った。開発したバルク法モデルの有効性を確かめるため、ビン法の中で、バルク法のある過程に対応する部分だけをバルク法の結果に置き換える方法を考案し、その有効性を示した。

参考文献

http://projects.knmi.nl/rico/ GCSS(GEWEX Cloud System Study)で行われたRICO(Rain In Cumulus over Ocean)のホームページ。

Beheng, K. D., A parameterization of warm cloud microphysical conversion process, Atmospheric Research, 33, 193-206, 1994.

Khairoutdinov, M. and Y. Kogan, A new cloud physics parameterization in a large-eddy simulation model of marine stratocumulus, Mon. Wea. Rev., 128, 229-243, 2000.

Seifert, A. and K. D. Beheng, A double-moment parameterization for simulation autoconversion, accretion and selfcollection, Atmospheric Research, 59-60, 265-281, 2001.

成果発表（当該年度に行った口頭発表を含む）

中村晃三、藤吉康志、坪木和久、久芳奈遠美、ビン法雲微物理モデルを使った積雲境界層の再現実験（凝結核の活性化スキームと関連して）、日本気象学会春季大会、2016/05/20

Nakamura, K., Y. Fujiyoshi, K. Tsuboki, N. Kuba, Development of a bulk parameterization scheme of warm rain using bin scheme model results, The 4th International Workshop on Non-Hydrostatic Model (NHM2016),2016/12/02.

太陽圏境界領域におけるピックアップイオンダイナミクス
Dynamics of interstellar pickup ions in the vicinity of the heliospheric boundary region

坪内　健、東京工業大学・理学院

【研究目的】

太陽圏境界（heliopause; 以下HP）は太陽風プラズマと星間物質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規定する上で重要な情報の宝庫である。近年HPを通過したボイジャー1号の観測では、太陽圏起源の異常宇宙線（ACR）と銀河宇宙線（GCR）の急激な減少・増加の切り替わりが生じた時点をもってHP通過と判断したが、それ以前のACRとGCRの急激な変動には明瞭な相関が見られないことも判明してきた。これはHP近傍の構造が単純な不連続面でなく、より複雑な形状を呈していることを示唆するものである。観測データは星間空間の環境（電磁場、粒子とも）が比較的安定したものであることを示していることから、時間・空間的に変動する太陽圏内部（heliosheath; 以下HS）の構造がHP領域に及ぼす影響を評価する必要がある。またHP近傍は星間空間から到来する高エネルギー環境の緩衝領域という側面も持ち、これを向かい受ける太陽圏側の（ACRに代表される）高エネルギー成分との相互作用過程は、太陽圏環境の外部境界条件を決定する必須の要素である。本研究では、ACRの起源粒子であるピックアップイオン（星間中性粒子が太陽圏内で帯電したもの; 以下PUI）のHP近傍における生成・加速・輸送過程について、イオンの運動スケールに起因する現象の詳細を明らかにすることを目的とした数値シミュレーションを実行する。具体的には特にHPが単純な電磁流体不連続面である場合・太陽風が運ぶ電流シートの多層構造となっている場合・ケルビン・ヘルムホルツ不安定に代表されるプラズマ混合過程で変動する場合、それぞれを仮定してHS内で生じる衝撃波や乱流との相互作用の影響を定量的に評価する。

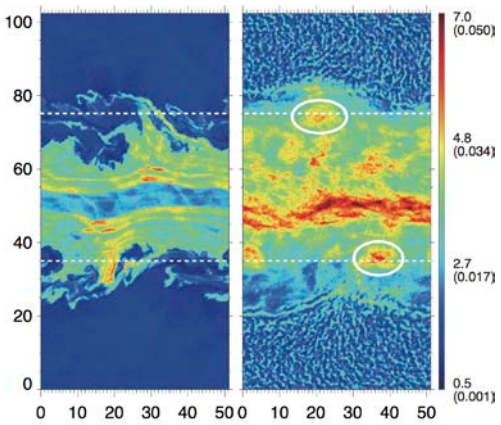
【研究方法】

HP領域を2次元構造で模した数値モデルを作成し、粒子ハイブリッドコード（イオンを個別粒子として、電子は電荷中性を保証する質量ゼロの流体として扱う）を用いたシミュレーション計算を名古屋大学情報基盤センターのスーパーコンピューターで行った。本年度は星間プラズマと太陽圏プラズマの流れが接しているときのケルビン・ヘルムホルツ（KH）不安定の発展において、星間プラズマ中にPUIを含む場合の電磁場構造の形成過程およびHPを介した粒子の混合過程、特にPUIのエネルギー・空間分布の変動を検証した。

時間ステップ、空間グリッドはそれぞれプロトンジャイロ周波数の逆数、プロトン慣性長で規格化した量として0.001、0.2を与え、計算空間は256x512グリッドの周期境界を与えた。速度遷移層の厚さを0.5、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1%、磁場をプラズマ流と垂直に取り、圧力平衡を満たすように設定した。

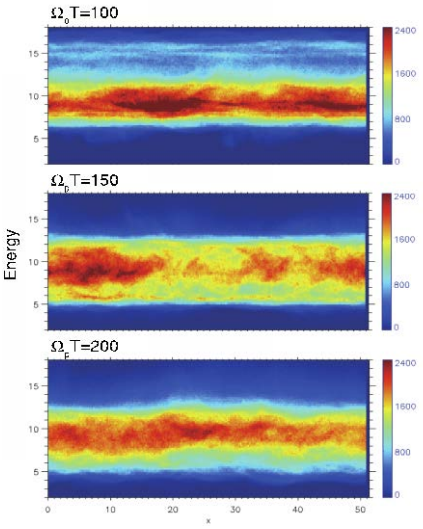
【研究結果】

右図に$\Omega_p t$=200のときの（左）プロトン（右）PUIの密度の空間分布を示す。密度の高いところが星間プラズマ領域に対応している。KH不安定は既に充分に成長して、渦構造の形成→崩壊・合体→乱流化に至っているのが見られる。PUI密度は大局的にはプロトン密度と同様の構造を示している一方で、局所的には元々星間プラズマ領域中にのみ存在していたPUIの一部が太陽圏内部に取り込まれている（図中白丸で囲ったところ）様子も確認できる。



近年IBEX衛星の観測で発見された、HP近傍の高速中性粒子（ENA）密集領域（IBEXリボン[1]）の物理

特性を理解することを、本研究の主目的の一つとしている。その粒子源として最有力視されているPUIの振舞の検証にあたってIBEX観測との比較を想定し、y方向に積分したエネルギー別PUI密度のx方向の構造が時間の経過とともに変動する様子を右図に示した。IBEXリボンに見られた空間構造の移動が、KHの成長に伴うものとして解釈可能であることを示唆している。



【まとめ】

本課題は今年度から着手したもので、研究結果はまだ予備的なものである。現時点では初期の圧力平衡が厳密に保持されず、人工的に発生する磁気音波が渦構造形成に影響を与えてしまうなどの問題があり、初期条件の与え方を改良する必要がある。また現行の数値モデルでは、PUIは初期条件で与えられている（速度空間で背景プラズマ速度を半径とする球対称分布）が、IBEXリボンとの関連性をより正確に評価するために、PUI−ENA間の電荷交換過程も考慮した計算モデルに拡張する予定である。

【引用文献】

[1] McComas, D. J. et al., *Science*, 2009.

【成果発表】

- 坪内　健、Pickup ion dynamics in the heliospheric boundary region、地球電磁気・地球惑星圏学会、福岡、平成28年11月22日（口頭発表）

エクサフロップス計算に向けたMHDコードの様々なCPUアーキテクチャへの最適化

Optimazation of MHD code to varisous CPU architecture toward exa-flops computer

深沢　圭一郎、京都大学・学術情報メディアセンター

スーパーコンピュータと呼ばれる計算機システムは、現在のペタフロップス級計算機から、2020年頃にはエクサフロップス級計算機へ発展していると想定されている。その頃の計算機に使われるCPUはそれほど現在と変わらずXeon系が主であり、また日本においては「ポスト京」に採用されるARMも利用されると予想される。また、CPUの周波数向上が難しくなっている現在では、並列数（コア数、ノード数）やSIMDの幅を増やすことがエクサフロップスへの性能向上の手段となっている。

我々の磁気圏MHDシミュレーションコードは様々なタイプの計算機で利用されてきたが、多数のノードを利用した京では並列性能の劣化、最新のXeonでは実行効率の低下という問題が見えてきている。グローバル磁気圏を精度良く計算するために、現在は1年程度の計算時間が必要となるため、10%実効性能劣化が約1ヶ月の計算時間増加として響いてくる。これらの問題はシミュレーションコード全般に共通する問題であり、周波数以外で性能向上が進む2020年では、より顕在化し、非常に大きな問題になると容易に考えられるため、今から対処に向けた技術を蓄積していくことは非常に重要である。そこで、本研究では、名古屋大学情報基盤センターの計算機システムCX400とFX100を利用し、MHDコードの最適化を行うことを目的とした。

本年度では、SIMDに対するMHDコードの最適化を行う。CX400で採用されているHaswellアーキテクチャではSIMD幅（ベクトル幅）が従来の倍になっている。このSIMD幅はエクサフロップス級計算機では更に倍になると想定される。従来のMHDシミュレーションコードではこのSIMD幅がうまく利用できておらず、実効性能が高くなかった。そのため、SIMD幅を効率的に利用するために、配列の64bitアライメント、プリフェッチの調整、同一式中の演算数の調整や計算内のループ構造の調整をおこなった。これらにより実行効率が5%程度向上した。

次に、多数のノードを利用した場合の性能劣化に向けて、ISEE共同研究で開発中である通信と計算をオーバラップさせる手法をMHDコードに組み込み、その性能をFX100において多数のノードを利用し確認をした。開発中の手法を組み込まない場合は、256ノード利用時（1024プロセス、8スレッド）に並列計算性能向上が見えないが、組み込む場合は性能向上が続くことが確認できた（図1）。

これらの結果は随時発表、情報公開をしており、STP分野だけでなく、様々な数値計算アプリケーションに適用できるように進めていく。

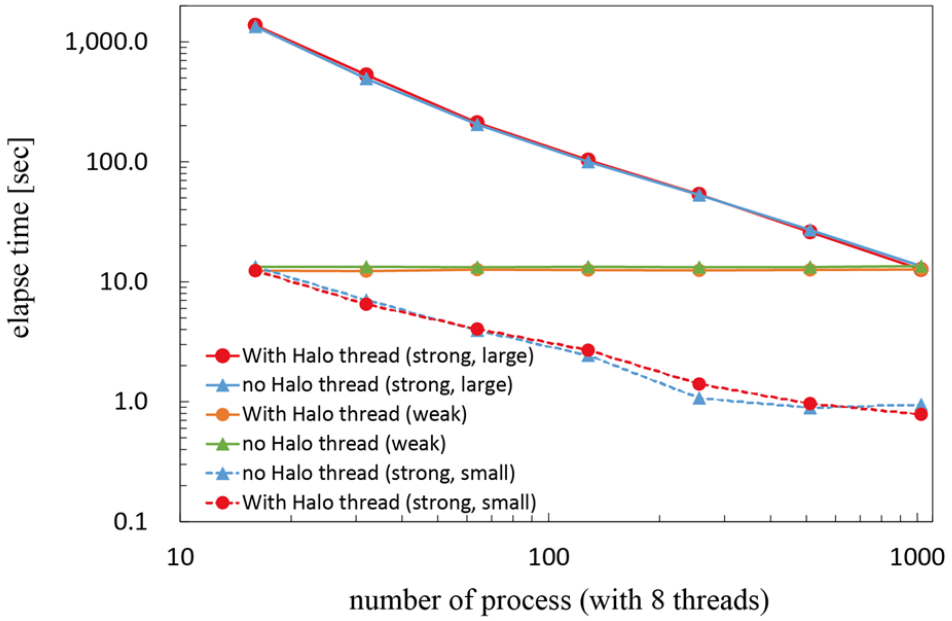


図１　FX100でのHaloスレッド導入・非導入時における計算時間の変化

・国内研究会発表

深沢圭一郎、森江善之、曽我武史、高見利也、南里豪志、"並列ステンシル計算におけるHalo領域通信の高効率実装"、STEシミュレーション研究会、2016年

無衝突衝撃波遷移層における微視的不安定性
Microinstabilities in the transition region of a collisionless shock

松清修一、九州大学・大学院総合理工学研究院

研究目的

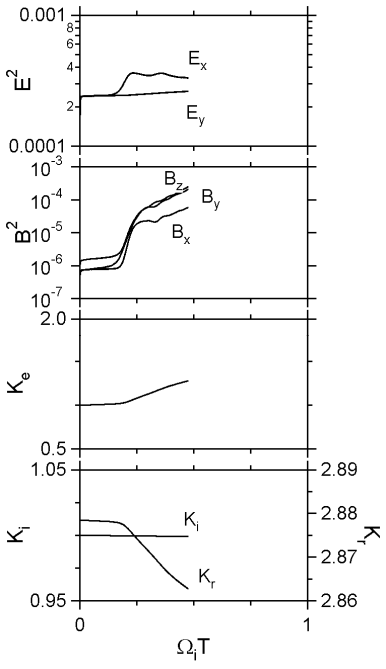
宇宙の無衝突衝撃波におけるエネルギー散逸過程および粒子加速過程のカギを握る衝撃波遷移層に着目し、そこで励起される微視的不安定性を、従来にない高精度の多次元フル粒子計算によって再現する。これによって、微視的不安定性が衝撃波の散逸過程や粒子加速過程に与える影響を定量的に理解する。

研究方法

高マッハ数の超臨界衝撃波では、入射イオンの一部が衝撃波面で反射される。磁力線が衝撃波面法線方向と垂直に近い角をなす準垂直衝撃波の場合、反射イオンは上流で磁場旋回運動を行いながら再び衝撃波に還流してくる。反射イオンが上流にせり出す領域をフットと呼ぶが、その空間サイズはイオンの磁場旋回半径（ρ_i）程度である。フット領域は入射イオンと電子、反射イオンから成る3成分プラズマとしてモデル化でき、各成分のバルク速度の違いを源として電子スケール（$<<\rho_i$）のさまざまな微視的不安定性が励起されることが知られている。したがって、ここではこのフットの一部（$L\sim\rho_i/5$）をとりだして局所近似を適用した2次元周期境界フル粒子計算を行っている。平均的な衝撃波面（計算領域外）をy-z面とし、入射および反射イオンの流れの方向をそれぞれx方向、-x方向とする。計算空間はx-y面とし、y方向に背景磁場をとる。座標系は電子の静止系とする。

研究結果・考察

衝撃波のマッハ数＝5、反射イオンの相対密度＝25%、電子ベータ値（＝電子の熱的圧力と磁気圧の比）＝0.2、イオン／電子温度比＝1と固定し、イオン／電子質量比（μ）と電子プラズマ／サイクロトロン周波数比の2乗（τ）をさまざまに変えた計算を昨年までに複数行っている。今年度は、宇宙で観測される現実のパラメータに近いμ＝1836、τ＝25およびτ＝100とした最大規模計算（空間グリッド数＝2048×8192）を中心に行った。



右図にμ＝1836、τ＝100の場合（最大規模計算）の揺動電磁場および電子、イオンのエネルギー時間発展を示す。当初想定以上に時間を要したため（計算の待ち時間が想定より長かった）予定していた時間ステップまで計算が進まなかったが、他のパラメータの場合同様、不安定性による波動の励起が確認できた。$\Omega_i T\sim0.2$付近に見られる揺動電磁場の指数関数的増幅は、電子サイクロトロン－ドリフト

不安定性と、ワイベル不安定性によるものと考えられる。ここに、Ω_iはイオンサイクロトロン振動数である。電子サイクロトロンードリフト不安定性は、反射イオンの流れのエネルギーを源とし、E_x成分の増幅に寄与している。ワイベル不安定性はイオンの実効的な温度異方性を源としており、磁場揺動の増幅に寄与している。$\Omega_i T>0.25$において、さらなる揺動磁場の増幅が見られるが、これは変形2流体不安定性によるものである。変形2流体不安定性は入射イオンの流れのエネルギーを源として、磁場揺動に加えE_x成分の増幅にも寄与することが知られているが、$\Omega_i T\sim0.5$の時点では変形2流体不安定性による電場揺動は電子サイクロトロンードリフト不安定性によるものよりも小さいことが確認できている。変形2流体不安定性は線形成長率が小さいためいまだ成長途中であり、この後さらに成長して電子サイクロトロンードリフト不安定性を凌駕する可能性がある。

まとめ

無衝突衝撃波遷移層で起こる微視的不安定性を、地球軌道付近の現実に近い宇宙空間のパラメータを用いて再現する2次元フル粒子計算を遂行中である。各不安定性は異なる粒子（電子、イオン）の応答を引き起こすため、それぞれの飽和レベルを定量的に把握することが重要になる。特に、質量比（μ）と周波数比（τ）を同時に十分大きな値にとることで、微視的不安定性が衝撃波の散逸過程や粒子加速過程に与える影響を高い信頼性のもとに評価することが、本研究の主目的である。そのため変形2流体不安定性が飽和状態に達するまでの最大規模計算の継続が不可欠である。

成果発表

口頭発表

1. 松清修一、梅田隆行、超臨界垂直衝撃波における微視的不安定性再考、JpGU2016年大会、千葉、2016年5月25日
2. S. Matsukiyo, Collisionless shock and particle acceleration, seminar at RCAES GGI of HAS, Hungary, Jun. 16, 2016.
3. S. Matsukiyo, Roles of microinstabilities in collisionless shocks, East-Asia School and Workshop on Laboratory, Space, and Astrophysical Plasmas, Tsukuba, Jul. 11, 2016. (invited)

物理低次生態系結合モデルによる日本海の低次生態系の変動に関する研究

Study on variability in lower trophic ecosystem in the Japan Sea by means of coupled physical-ecological model

森本昭彦　愛媛大学・沿岸環境科学研究センター

１．研究目的

東シナ海陸棚上を流れ対馬海峡より日本海へ流入する対馬暖流は膨大な熱、水、物質を水平的に輸送している。対馬暖流により東シナ海から日本海へ輸送される物質のうち、植物プランクトンの増殖に不可欠な栄養塩の輸送は、北緯40度以南の対馬暖流域の基礎生産の約8割に寄与していると言われており、対馬海峡から流入する栄養塩量の変化は日本海の低次生態系を変化させると考えられている。対馬暖流の上流に位置する東シナ海では、中国の急激な経済成長に伴う富栄養化や、長江中流に建設された三峡ダムの影響、中国北部の水不足を解消するために運河により長江の水を北部へ輸送する南水北調事業により、東シナ海の海洋環境は劇的に変化している。

本研究では九州大学で開発された日本海の物理モデルDREAMSに低次生態系モデルを結合したモデルにより、東シナ海から日本海へ流入する栄養塩量の変化に伴う日本海の低次生態系の応答を明らかにすることを目的とする。

2．研究方法

九州大学応用力学研究所で開発された物理モデルDREAMSの流速・流向、水温データを使い、2種類の栄養塩、2種類の植物プランクトン、3種類の動物プランクトン、粒子態有機窒素をコンパートメントとする3次元低次生態系モデルを構築する。これまで研究代表者が観測してきた対馬海峡での栄養塩濃度を境界条件として与え、日本海の低次生態系の再現計算を行う。モデルの再現性を確認した後、日本海の基礎生産における日本海起源、対馬海峡起源、日本の河川起源の3つの栄養塩源の寄与率を計算し、日本海の低次生態系において、どの栄養塩源が重要なのか定量的に明らかにする。

3．研究結果と考察

モデルにより計算された表層クロロフィルa濃度のA～E海域における時系列と人工衛星から得られた表層クロロフィルa濃度を図1に示す。海域Aにおいて春のブルームのタイミングが少しずれているが、全体的には季節変化を再現できており、特に海域Eの再現性は高い。PONの海底での挙動を取り得れたことにより、陸棚が広がる海域Eの再現性がよくなったと思われる。一方、海域Cのクロロフィルa濃度は観測値に比べ低い。河川からの栄養塩の流入を考慮しているにもかかわらず再現性が悪いことから、成層期に下層に貯まったPONが分解されDINとなり、秋季の鉛直混合によりそのDINが有光層に運ばれるプロセスの再現に問題があると考えられる。

日本海、対馬海峡、河川、起源の栄養塩の各季節の基礎生産における

寄与率を計算した。日本海の南北で寄与率は大きく異なっており、北部は日本海起源の栄養塩、南部は対馬海峡起源の栄養塩がそれぞれ基礎生産に大きく寄与している。その割合は80%以上と高い。一方、河川起源の栄養塩の寄与は沿岸から数十Kmの範囲に限られており、その寄与率は高くても20%程度である。このことから、日本海南部の基礎生産は対馬海峡から流入する栄養塩、つまり東シナ海からの栄養塩の変化に敏感であると予想される。また、対馬海峡起源の栄養塩の寄与率の季節変化を見ると、秋季に最も高く春季に低くなっている。これは、夏季から秋季にかけて対馬海峡から流入する栄養塩量が増加することと、その栄養塩が生物過程により循環し密度躍層以深の栄養塩濃度を増加させ、さらに秋季の海面冷却による鉛直混合により再度有光層に栄養塩が供給されるためと考えられる。

4. まとめ

開発した3次元低次生態系モデルにより、日本海の低次生態系の再現計算を行った。日本海南部においては、表層クロロフィルa濃度をRMSで2.4mg/m3の精度で再現することに成功した。このモデルを使い、日本海の基礎生産における日本海、対馬海峡、河川起源の栄養塩の寄与率を求めた。日本海南部の基礎生産は80%以上対馬海峡起源の栄養塩により支えられていることが分かった。

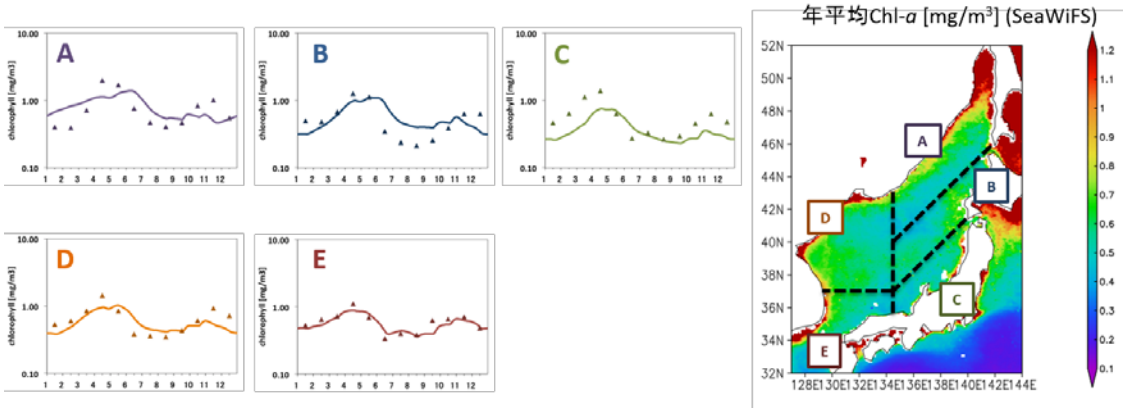


図1. 海域A～Eにおける表層クロロフィルa濃度の月変化。実線が数値モデル、△印が人工衛星により観測された値。

5. 研究成果

口頭発表・ポスター発表

1) 森本昭彦：S-13 持続可能な沿岸海域実現を目指した沿岸海域管理手法の開発　公開シンポジウム　「日本海の低次生態系への東シナ海からの影響」

2) Morimoto,A., Ito, M., Shibano, R., and Ishizaka, J.: EMECS 11-Sea Coasts XXVI Joint Conference,「Impact on lower trophic ecosystem in the Japan Sea associated with nutrient transport change through the Tsushima Strait」

3) 柴野良太、森本昭彦、高山勝巳、伊藤雅：2016 年水産海洋学会研究発表大会
「河川供給に伴う日本海における栄養塩動態に対する影響評価 」

4) 柴野良太、森本昭彦、高山勝巳、伊藤雅： 第 2 回沿岸生態系の評価・予測に関するワークショップ 「日本海低次生態系への東シナ海からの栄養塩輸送の影響」

磁気圏-電離圏結合系における磁気流体不安定性とAlfven乱流
Magnetohydrodynamic instability and Alfvenic turbulence in the magnetosphere-ionosphere coupling system

渡邉智彦　名古屋大学・大学院理学研究科

研究目的

オーロラの舞台となる地球極域電磁気圏は、完全電離プラズマで満たされた磁気圏と部分電離プラズマからなる電離層がアルヴェン波を介して相互作用する場でもある。オーロラ現象に関わる種々の不安定性（バルーニング不安定性やKelvin-Helmholtz不安定性など）の解析には、磁気圏プラズマのダイナミクスを考察するだけでなく、電離層効果を適切に取り入れることが本質的である。また、磁気圏-電離圏(M-I)結合系において初めて発現するフィードバック不安定性は、オーロラの発生と構造形成の一因をなすと考えられている。我々もこれまでにフィードバック不安定生の理論解析およびシミュレーション研究を進めてきた。

本課題では、オーロラ成長やサブストーム発生過程における磁気流体不安定性についてのより深い理解の獲得を目指す。これまでに整備を進めてきたM-I結合系の理論および数値モデルを拡張しつつ、これらに基づいたフィードバック不安定性とバルーニング不安定性の理論・数値解析を行う。特に、磁気シア効果、磁場形状効果、有限圧力効果、などに着目して解析を進める。

一方、フィードバック不安定性やバルーニング不安定性が十分発達すると、その成長の飽和後に非線形段階に移行する。そこで、上記の解析を発展させたM-I結合系の非線形シミュレーションを実行し、Alfven波がもたらす乱流状態の解析を行う。これまでの人工衛星観測[Chaston et al., PRL 2008]などにおいて、オーロラ領域上空でAlfven乱流が観測されているが、その発生過程や特性について理論的研究はいまだ十分なされていない。本課題で進めるM-I結合系の非線形シミュレーションは、その理論解析に道を拓くとともに、従来から研究が進められてきた太陽風のAlfven乱流と比較することで、その物理機構への理解を深めることを目的としている。

研究方法

本研究では、２種の数値解析コードを用いた。(1)磁気流体不安定性の線形解析では、これまでに開発した簡略化磁気流体方程式に基づいた線形不安定性・固有値解析コードを活用した。本課題では、新たに磁気シアや磁場形状効果、有限圧力効果を取り入れたモデルへと拡張し、フィードバック不安定性とバルーニング不安定性の解析に適用した。(2)Alfven乱流の解析では、理想化された理論モデルのもとでM-I結合系におけるAlfven乱流の基本特性を解明する目的のもと、スペクトル法を用いた非線形シミュレーション・コードを新たに開発した。この解析において名古屋大学のFX100計算機を利用した。

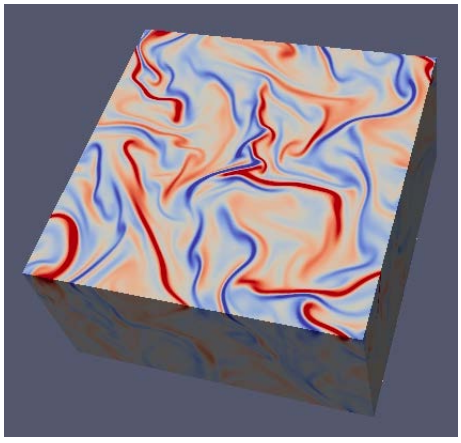
研究結果

(1)よく知られているように、オーロラ領域には、大規模沿磁力線電流(FAC)がほぼ定常的に存在する。この電流が作る東西成分の磁場は、磁力線に

実効的なシアを作り出し、Alfven波の伝播に影響を及ぼす。この効果をフィードバック不安定性解析に取り入れ、線形成長率、周波数、固有関数への影響を評価した。その結果、数$\mu A/m^2$程度の沿磁力線電流が作る磁気シアにより不安定性の成長率に2倍程度の差が生じる得ることが分かった。磁気シアが有限な場合、つまり大規模FAC領域では、磁気シアゼロの場合に比べて成長率の増大が確認された。これは、大規模FAC領域と極冠域とでフィードバック不安定性の成長、ひいてはオーロラアークの発達特性に違いが現れ得ることを理論的に示唆する結果である。

(2)M-I結合系の理論モデルを、有限圧力揺動と双極子磁場形状を取り入れた場合に拡張し、フィードバック不安定性とバルーニング不安定性を同時に取り扱うことのできる解析手法を開発した。磁気圏のプラズマ密度分布を仮定して、圧力勾配をパラメータとして線形不安定性解析を行った結果、圧力勾配がある閾値を超えると、不安定モードがフィードバック不安定性からバルーニング不安定性へと遷移することが見出された。これはフィードバック不安定性により形成された暗いオーロラアークが、磁気圏内の圧力勾配の増加とともに、より成長率の高いバルーニング不安定性へとスイッチする可能性を示しており、特にオーロラのビーズ構造形成機構と関連して興味深い。

(3)直線磁場を用いた理想化されたM-I結合系モデルをもとに、スペクトル法を用いた非線形シミュレーション・コードを新たに開発し、フィードバック不安定性の非線形発展を長時間にわたって解析することに成功した。このシミュレーションでは一定の対流電場を継続的に与えている。すると、線形不安定性成長の飽和とともに揺動成分の磁気エネルギーと運動エネルギーがピークした後、準定常的な乱流状態に至ることが明らかになった。ここでは揺動の磁気エネルギーと運動エネルギーがほぼ釣り合ったエネルギー等分配が実現され、いわゆるAlfven乱流状態にあることが示された。その状態での磁気圏内の渦度分布のスナップショットを右図に示す。この成果は、オーロラの成長をもたらすフィードバック不安定性の非線形発展の結果、Alfven乱流が自発的に生成され得ることを示唆しており、ChastonらによるFAST衛星でのAlfven乱流やAlfvenオーロラの観測結果とも整合するもので、その起源を考える上で非常に興味深い。今後さらにモデルを拡張し、双極子磁場形状の導入やAlfven乱流中での電子加速について研究を進める計画である。



M-I 結合系の非線形シミュレーションで得られた Alfven 乱流状態での磁気圏内の渦度分布
（上面が磁気赤道面に対応）

成果発表

以上の成果は、地球惑星科学連合合同大会、SGEPSS講演会、日本物理学会秋季大会・年会などにおいて発表された。また成果の一部は、すでに以下の論文として出版されている。

T.-H. Watanabe, H. Kurata, and S. Maeyama, "Generation of Auroral Turbulence Through the Magnetosphere-Ionosphere Coupling", New Journal of Physics **18**, 125010 (2016).

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・正値性保障スキーム(Umeda EPS, 2008; Umeda et al. CPC 2012)をベースとした多次元保存型解法(Umeda et al. CPC, 2009)により安定に解き進め、マックスウェル方程式は陰的時間空間領域差分（FDTD）法により解き進めている。また、プラズマが作る電流は電荷保存法により求めている。今年度は、レイリー・テイラー不安定性の空間2次元・速度2次元のシミュレーションを新たに実行した。

研究結果

レイリー・テイラー不安定性(RTI)はこれまで流体シミュレーションのみで研究されてきた。本研究では世界で初めてRTIの第一原理運動論シミュレーションを行った。初期密度勾配層の幅に対するイオン慣性長やイオンジャイロ半径を変化させた3通りのシミュレーションを行った。その結果、ホール効果およびジャイロ運動効果があまり効かない場合には空間的に対称なキノコ型・泡型の密度構造が発達し、ホール効果が影響する場合には、非対称な三つ子構造が生じることが分かった。またジャイロ運動効果が影響する場合には、イオンジャイロ半径スケールの新たな不安定性が生じ、キノコ型・泡型の構造の成長を阻害することが分かった。

成果発表

T. Umeda and Y. Wada, Secondary instabilities in the collisionless Rayleigh-Taylor instability: Full kinetic simulation, Physics of Plasmas, Vol.23, No.11, 112117, 2016. (査読付論文)

T. Umeda and K. Fukazawa, Performance comparison of Eulerian kinetic Vlasov code between

flat-MPI parallelism and hybrid parallelism on Fujitsu FX100 supercomputer, Proceedings of the 23rd European MPI Users' Group Meeting, pp.218-221, 2016. (査読付論文)

T. Umeda, N. Yamauchi, Y. Wada, and S. Ueno, Evaluating gyro-viscosity in the Kelvin-Helmholtz instability by kinetic simulations, Physics of Plasmas, Vol.23, No.5, 054506, 2016. (査読付論文)

Y. Wada, T. Umeda, and S. Machida, Vlasov simulation of the Rayleigh-Taylor instability, European Geosciences Union (EGU) General Assembly 2016, Vienna, Austria, 2016.4.17-22. (ポスター発表)

T. Umeda and K. Fukazawa, Performance comparison of Eulerian kinetic Vlasov code between flat-MPI parallelism and hybrid parallelism on Fujitsu FX100 supercomputer, 23rd European MPI Users' Group Meeting (EuroMPI2016), Edinburgh, United Kingdom, 2016.9.25-28. (ポスター発表)

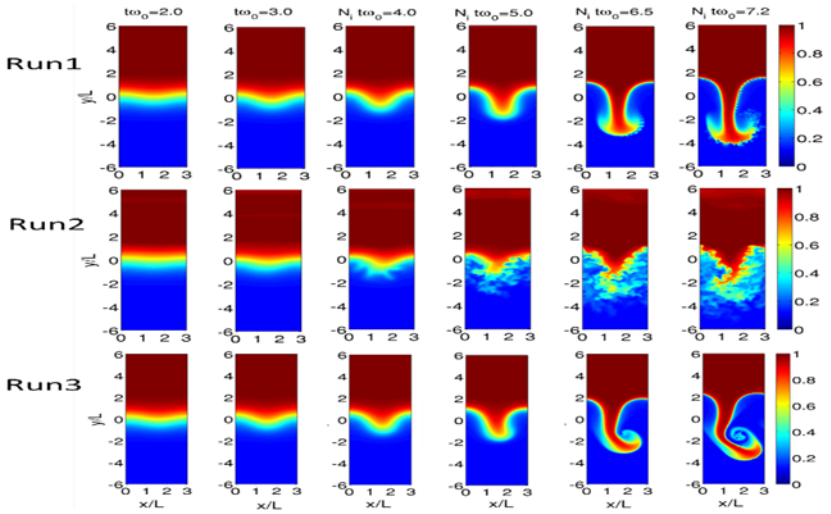
T. Umeda, Hyper-dimensional Vlasov code for space plasma simulations and its performance on the FX100 supercomputer, 35th JSST Annual Conference International Conference on Simulation Technology (JSST2016), Kyoto, Japan, 2016.10.27-29. (口頭発表)

和田 泰尚, 梅田 隆行, 町田 忍, レイリー・テイラー不安定性のブラソフシミュレーション, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, 幕張メッセ, 2016.5.22-26 (ポスター発表)

梅田隆行, 深沢圭一郎, スーパーコンピュータ FX100 におけるブラソフコードの性能評価, 第 156 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会, 小樽経済センター, 2016.9.15-16. (口頭発表)

和田泰尚, 梅田隆行, 町田忍, Secondary instabilities in the collisionless Rayleigh-Taylor instability: Full kinetic simulations, 九州大学伊都キャンパス, 2016.11.19-23. (口頭発表)

梅田 隆行, 深沢 圭一郎, KNL Xeon Phi におけるブラソフコードの性能評価, 第 157 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会, 沖縄産業支援センター, 2016.12.21-22. (口頭発表)



Runs 1-3 におけるレイリー・テイラー不安定性の非線形発展。カラーはイオン密度を表す。Run 1 は MHD-like な発展、Run 2 ではイオンジャイロ運動が効き、Run 3 ではホール効果が効いている。

３次元運動論的シミュレーションによる磁気リコネクションジェット先端領域の研究

Study on the jet front region of magnetic reconnection: 3D fully kinetic simulations

中村琢磨、オーストリア科学アカデミー・宇宙科学研究所（IWF）

本研究では、磁力線同士の繋ぎ変わりにより磁場に蓄積されたエネルギーを解放するプラズマ特有の爆発的エネルギー輸送現象である「磁気リコネクション」を対象とした数値シミュレーションを行った。計算手法は、プラズマを構成する電子とイオンを共に（超）粒子として扱い十分な数の超粒子の軌道を追うことで Vlasov-Maxwell 方程式系を解くことを可能にする「完全粒子法（full particle-in-cell method）」を用いた。

これまでの先行研究により、現実に近いイオン-電子の質量比(M_i/M_e=256)の条件下では、磁気リコネクションのジェット先端領域が、Lower-hybrid drift instability (LHDI)及び Ballooning/ interchange instability (BICI)の３次元的な成長に伴い乱流化することが示されていた。本年度は、同シミュレーションを用いてジェット先端領域における乱流化のメカニズムをさらに詳しく調べ、LHDI に起因する電場の擾乱が BICI と結合することで、BICI の非線形成長及びその後の乱流の成長が強められることを発見した。過去の研究により、磁力線の繋ぎ変わる磁気リコネクション中心領域において、３次元的に成長する LHDI が磁気リコネクションの成長を早めることが知られていることから、本研究は、LHDI の磁気リコネクション過程における重要性をさらに高める結果と言える。本研究の詳しい結果は、下記参考文献にまとめ発表した。

また、本計算の初期条件は、オーロラサブストームのエネルギー源と考えられている地球磁気圏尾部領域をモデル化している。この領域で発生する磁気リコネクションは、2015 年より運用を開始した NASA の大規模磁気圏ミッション Multiscale-Magnetospheric Mission (MMS)の主要観測対象となっており、2017 年 3 月以降に集中的な観測が行われることから、本研究結果は近い将来、MMS 衛星による実証的研究へ繋がると期待できる。

本年度はさらに、LHDI の成長が期待できない条件下での計算（具体的には、電流層中心と背景領域の密度比を 1/4 倍とした計算）も行った。結果の解析には至らなかったが、今後この結果を解析することで LHDI の果たす役割を系統的に理解することが期待できる。

【参考文献】

Nakamura, T. K. M., R. Nakamura, W. Baumjohann, T. Umeda, and I. Shinohara (2016), Three-dimensional development of front region of plasma jets generated by magnetic reconnection, Geophysical Research Letters, 43, 8356-8364, doi:10.1002/2016GL070215.

広域電力システムのデータ駆動型運用技術構築に向けた 200m超解像度気象シミュレーション
200m super-resolved weather simulation for data-driven operation technology of wide-area power systems

薄　良彦，大阪府立大学・工学研究科

研究目的・方法

本研究の目的は，日本周辺を対象とする2km解像度気象シミュレーションのデータと洋上ウィンドファーム（WF）を対象とする200m解像度気象シミュレーションのデータを統合的に用いて，広域連系電力システムの運用技術を確立することにある。この確立に向けて，本研究では，前年度に可能性を検討した実運転されている洋上WFの周辺域に対する200m高解像度シミュレーションを実施し，得られたシミュレーションデータに基づく洋上WFの風況特性の評価を行った。シミュレーションの方法としは貴研究所で開発されてきた雲解像モデル（CReSS）を採用した。

研究結果

本研究では，CReSSによる風向・風速予測データ（空間解像度200m，時間解像度1Hz）と実運用されている洋上WFの実測データとの比較を行い，以下2点の知見を得た。

- 風向に関するCReSSデータは標準偏差10degの精度で実測データと一致した。
- 風速に関するCReSS及び実測データは類似の周波数スペクトルを示し，どちらもほぼワイブル分布に従う。

以上は，200m解像度シミュレーションを初めて実行することで明らかになったCReSSのシミュレーション能力に関する知見であり，洋上WFの特性評価のベースとなる。

まとめ

本研究では，洋上WFの周辺域に対する200m高解像度シミュレーションを実行し，シミュレーションデータに基づく洋上WFの風況特性の評価を行った。得られた結果は，国際会議[1]で一部発表し，現在学術誌への投稿論文[2]を準備している。

成果発表

[1] F. Raak, **Y. Susuki**, **K. Tsuboki**, M. Kato, S. Eguchi, and T. Hikihara, Wind power simulation and analysis incorporating highly-resolved weather prediction and measurement data of Japan, The 15th World Wind Energy Conference and Exhibition (WWEC2016), Tokyo, Japan, November 1 (2016).

[2] F. Raak, **Y. Susuki**, **K. Tsuboki**, M. Kato, S. Eguchi, and T. Hikihara, Assessment of offshore wind farm characteristics with the cloud resolving storm simulator: A case study in Japan (in preparation for submission to an archival journal, 2017).

高次精度中心スキームの開発
Development of high-order semi-discrete central schemes

寺田直樹、東北大学・大学院理学研究科

【研究目的】
本研究では、次世代の惑星電磁気圏流体シミュレーションに求められる3つの要素「不連続や衝撃波をシャープに解像する」「小振幅波動（乱流）を減衰させない」「非MHD項を組み込む事が可能」を兼ね備える高次精度中心スキームを開発する。非MHDシステム方程式系では、系の固有値・固有ベクトルを求めることが通常困難となるので、MHDシミュレーションで広く用いられている高精度風上スキームが適用出来ず、高精度解は得られてこなかった。そこで本研究では、近年、数値流体力学分野で発展が著しい高精度中心スキームの導入を行い、さらに、4次精度以上の高次精度化を実現し、非MHDシステム方程式系における遷移層・境界層や混合層スペクトルなどの高精度解を得る事を目標とする。

【研究方法】
本研究では、高精度中心スキームを適用したMHDおよび非MHDシミュレーションコードを用いる。本研究では地球惑星電磁圏における各種遷移層・境界層や非線形・小振幅線形波動を再現する為に、各次元について数100-1000グリッド以上確保を目標とするので、名古屋大学情報連携基盤センターFX100やCX400を利用する。並列計算にはMPIを用いた並列化を行う。

【研究結果】
平成28年度は、昨年度までに開発した高次精度中心セミディスクリートスキームの実問題への適用を進めた。特に火星電離圏界面におけるKelvin-Helmholtz不安定（KHI）の時空間発展を、4次精度版の中心セミディスクリートスキームを適用した非周期境界系のMHDシミュレーションコードを用いて調査した。非周期境界系でのKHIの発達は、従来の周期境界系計算の結果とは異なり、渦構造の空間非対称の為に先頭の渦の下流側でシース流に澱みが生じ、電離圏プラズマが深く抉られる（運動量輸送が従来考えられていたより急速に進む）ことを示した。また、混合層厚みの成長率の、電離圏とシースプラズマの密度比に対する依存性などのパラメータ依存性を求めた。並行して、ISEEの梅田隆行博士と共同で、運動方程式及びエネルギーの式にイオンの有限ラーマー半径（FLR）項を追加した非MHDコードを開発し、ブラソフ、フルPIC、ハイブリッドPICなどの運動論コードの結果との比較を通してFLR項の妥当性の評価を進めた。

【成果発表】
（学会・研究会発表）
- 相澤紗絵, 寺田直樹, 笠羽康正, 八木学, 松本洋介, "An MHD simulation study of the Kelvin-Helmholtz instability at the Martian ionopause with a day-to-night density gradient", 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, 幕張, 幕張メッセ, 2016/5.
- 相澤紗絵, 梅田隆行, 寺田直樹, "ケルビン-ヘルムホルツ不安定における FLR-MHD の改良と妥当性評価", STE シミュレーション研究会-太陽地球惑星系探査とシミュレーション研究-, 仙台, 東北大, 2016/9.

- 相澤紗絵, 寺田直樹, 笠羽康正, 八木学, 松本洋介, "The spatial evolution of the mixing layer in the Kelvin-Helmholtz instability at the Martian ionopause", 地球電磁気・地球惑星圏学会第 140 回総会および講演会, 福岡, 九州大学, 2016/11.
- 相澤紗絵, 寺田直樹, 笠羽康正, 八木学, 松本洋介, "The spatial evolution of the mixing layer in the Kelvin-Helmholtz instability at the Martian ionopause", 地球型惑星圏環境に関する研究集会, 東京都豊島区, 立教大学, 2016/12.
- Aizawa, S., N. Terada, Y. Kasaba, M. Yagi, Y. Matsumoto, "The spatial evolution of the mixing layer in the Kelvin-Helmholtz instability at the Martian ionopause", American Geophysical Union 2016 Fall Meeting, USA, San Francisco Moscone Center, 2016/12.

磁気圏サブストームの計算機シミュレーション
：非対称磁気リコネクションにおける接触不連続面
Computer Simulations of Geomagnetospheric Substorm
: Contact Discontinuity in the Asymmetric Magnetic Reconenction

近藤光志、愛媛大学・宇宙進化研究センター

研究目的

太陽フレアや地球磁気圏サブストームのような、宇宙プラズマにおける大規模爆発現象において磁気リコネクションは非常に重要な役割を果たしている。これまで地球磁気圏や太陽コロナにおけるこれら磁気リコネクション現象の磁気流体的研究が活発に行われ、人工衛星観測や地上観測の結果は、磁気流体的によく説明できることが示されてきた。特に、地球磁気圏尾部における電流層を挟んで対称な磁場環境での磁気リコネクションは、全体像を含めてよく理解されてきている。一方で、太陽側地球磁気圏境界における非対称反平行磁場環境での磁気リコネクションについても研究されてきたが、リコネクションジェット付近の構造についてはよく理解されてきた一方で、その全体的な不連続構造の理解が不十分であった。特に本研究では、非対称反平行磁場環境での磁気リコネクション機構の全体的な構造と太陽風プラズマの磁気圏への流入問題を詳細に調べることを目的とした。

研究方法

本研究では、自発的高速磁気リコネクションモデルに基づいて研究を進める。つまり、磁気リコネクションは、外部境界によらずシステム内部で自発的に発達するというモデルである。磁気リコネクションが開始してから磁気流体波が境界に達する前まで計算を行えるように十分広い領域を計算領域として、磁気流体方程式を数値的に解く。不連続構造に注目するため、数値計算スキームとしては、HLLD 法を用いる。計算コードは、銭谷氏の OpenMHD コードを使用している(Zenitani, S., 2016, Astrophysics Source Code Library, record ascl:1604.001)。非対称な反平行磁場を初期状態として配置し、ハリス平衡状態を設定する。電流層に垂直に y 軸をとり、$y>0$ の領域の磁場方向を x 軸正方向とする。$y<0$ の領域の磁場強度を 1 に固定し低 β となるように設定する。$y>0$ の領域の磁場強度を変えることで磁場強度比 k を設定する。つまり $k=2$ の場合、$y>0$ の領域の磁場強度は 0.5 であり、以降、$y>0$ の領域を高 β 領域、$y<0$ の領域を低 β 領域と呼ぶ。原点付近に初期擾乱を与え、原点付近から磁気リコネクションが開始するように設定する。磁気流体計算では、物理的な抵抗は直接解くことができないため、y 軸上原点付近のボックスに一様に抵抗を与える。これにより、磁気リコネクション点は y 方向にのみ自由に移動可能となる。

研究結果

本報告書では、電流層を挟んだ磁場強度の比(非対称度 k)が 1.1(弱非対称), 1.5, 2.0(強非対称)倍とした３ケースの計算結果を示す。図１は、磁気リコネクションが十分発達した時

刻(t=2100)での密度分布を示している。ここで、*x', y'*は相似座標(*x'=x/(tV$_{A0}$), y'=y/(tV$_{A0}$)*)を表している。強非対称のケースである *k*=2.0(下パネル)からわかるように、アルフヴェン速度の違いのため、低β領域（下側）のプラズモイドが高β側プラズモイドより先行している。これは弱非対称のケース(*k*=1.1)の場合でも同様である。先に示したように、低β（下側）領域のアルフヴェン速度はどのケースでも同じである。しかしながら、プラズモイド先端の移動速度が非対称度が大きくなるほど遅くなることが分かる。これは、高β領域のアルフヴェン速度の違いを反映している。つまり、上側の遅いプラズマを引きずることで下側プラズモイドの速度が遅くなることを示している。図 2 の白抜きプロットは、各ケースのプラズモイド先端の x 座標位置の時間変化を示している。先に述べたように、非対称度が大きくなるにつれて移動速度が遅くなっている。

一方、図 1 の弱非対称のケースでは、リコネクションジェット領域に明確な接触不連続面（黄色とピンクの境目）が見られる。この接触不連続面は、下側プラズモイドに入り込んでいる。この下側プラズモイドへの入り込みは、非対称度が大きくなるほど明確に見られる(k=1.5, k=2.0 におけるピンクと青の境目)。この接触不連続面の先端の速度の時間発展が図２の色塗りプロットで示されている。接触不連続面の先端速度も非対称度が大きくなるにつれて移動速度が遅くなる。また、プラズモイド先端の速度と接触不連続面先端の速度はほぼ一致していることが分かる。

以上に示した接触不連続面は、磁力線を横切るように形成される。また、低β領域側プラズモイドへの接触不連続面の入り込みは、磁気圏前面の非対称磁気リコネクションの場合、磁気圏側プラズモイドへの浸入にほかならず、これにより太陽風プラズマが磁気圏側へ大量に入り込むことを示唆している。実際衛星観測では、太陽風プラズマは境界層の磁気圏側に入り込んでいることが観測されており、この接触不連続面の入り込みを意味していると考えられる。

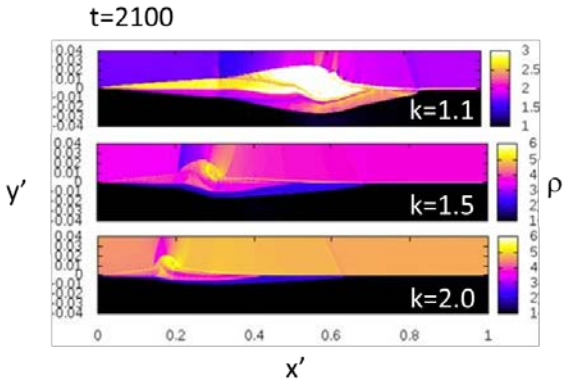


図 1　リコネクションが十分発達した時刻(t=2100)での密度分布

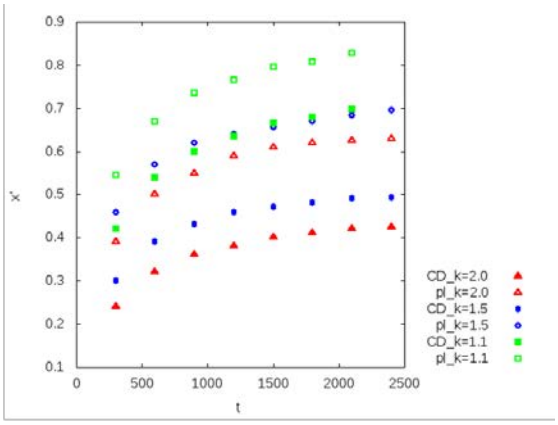


図 2　プラズモイド先端（白抜き）および接触不連続面先端の x 座標位置の時間変化

成果発表

論文発表

1. Shimizu, T., Torii, H., and Kondoh, K., MHD study of three dimensional spontaneous fast magnetic reconnection for crosstail plasma inflows in magnetotail, Earth Planets and Space, 68:89 2016
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

口頭発表

1. 近藤光志，「Simulation study of the asymmetric magnetic reconnection in the shear flow」，地球電磁気・地球惑星圏学会 2016 年秋学会，九州大学(2016 年 11 月)
2. 清水徹&近藤光志，「一様抵抗 MHD モデルにおける間欠的で自発的な 2 次元高速磁気再結合過程の可能性」，地球電磁気・地球惑星圏学会 2016 年秋学会，九州大学(2016 年 11 月)
3. 坂口達哉&近藤光志，「GEOTAIL 衛星による地球磁気圏前面での磁気リコネクションの観測」，地球電磁気・地球惑星圏学会 2016 年秋学会，九州大学(2016 年 11 月)
4. 丸山翔也&近藤光志，「非対称磁気リコネクションにおける接触不連続面の発達の数値シミュレーション」，地球電磁気・地球惑星圏学会 2016 年秋学会，九州大学(2016 年 11 月)
5. 吉福財希&近藤光志，「太陽活動領域 11158 における磁気リコネクション」，地球電磁気・地球惑星圏学会 2016 年秋学会，九州大学(2016 年 11 月)

アジアダストに付着したバイオエアロゾルの時空間変遷

Spatiotemporal change of Asian dust with bioaerosol

馬場賢治　酪農学園大学　農食環境学群

目的

アジアダスト（黄砂）は，社会活動や自然環境に寄与する現象の一つであり，これまでに大規模なプロジェクトが行われ，物理，化学，生物など様々な側面から影響評価が行われている．また，近年ではアジアダストにより，ウイルスなどの生物粒子であるバイオエアロゾル輸送の可能性が指摘されている．その一例として，2010 年宮崎県での口蹄疫発生に黄砂が関与していることが真木ら（2011）により指摘している．この他に，Maki ら（2010）は，黄砂バイオエアロゾルの長距離輸送について研究を行い，日本での観測事実を報告している．バイオエアロゾルを観測する試みは，幾つか存在しているが，ウイルスなどの生物起源物質の保存を考慮した大気場の過程や状況について考察している試みはほとんどない．そこで，本研究では，アジアダストに付着したウイルスなどの生物起源物質が大気場輸送中に保存される環境場についての理解やそれらの多寡や変遷について時空間的な解釈を行う．

研究方法

気象モデル CReSS やリモートセンシングデータ，ライダーデータを基に，実測と理論（モデル）の双方から，アジアダストの挙動について明らかにする．特に，CReSS では分解能を上げて，アジアダストの挙動を評価する．併せて，アジアダストイベント毎の経路と症状発祥地との関連も含めて評価を行う．

結果と考察

2012 年に札幌でアジアダスト（黄砂）が観測された 4 月 30 日の事例について，気象モデル CReSS を用いて札幌付近からの後方流跡線解析を行った．範囲は東経 100 度～150 度，および北緯 30～50 度，格子間隔は 0.04 度，初期時間は 2012 年 4 月 29 日 00UTC である．この結果，札幌からモンゴルゴビ砂漠を指向していることが求められた（図 1）．また，大気境界層を超えた対流圏下層 3000m 前後の層を移動していた．モンゴルゴビ砂漠付近で発達した温帯低気圧に伴って，その前面の強い南風により巻き上げられたアジアダストが偏西風により運搬されていることが推測できる．上空 500hPa の天気図からは，偏西風がモンゴルゴビ砂漠付近から北海道まで，ほぼ直線状に分布していた．

アジアダスト発現日の 29 日 9 時を初期値の前方流跡線（図 2）からは，モンゴルゴビ砂漠付近から北海道に指向している．対流圏下層から中層までにおいては，あまり南北に拡散せずに移動している．アジアダストが境界層を超えて，上空まで巻き上がれば，偏西風に乗り 1 日程度で日本付近まで到達することが確認できる．Wakimoto(1985)や Takemi and Satomura(2000)では，乾燥地・半乾燥地においては時に境界層が地上から 4 ㎞の高度まで及ぶことを指摘しており，このような条件が砂漠での積乱雲の発達を助長し，この強い強い上昇気流がダストを境界層から自由対流層へ鉛直輸送していることを指摘している．境界層を超える原因・過程については，今までの結果を調べると共に，計算領域を小さくし，解像度を上げて詳細に調べ，先行研究との比較を行いながら検討する必要がある．

Sainshand と札幌のライダーによるエアロゾル観測の結果からは，Sainshand 付近において，4 月 29 日に発生したアジアダストを捉えており，翌 30 日には札幌においてアジアダストが観測されている．図 1 の後方流

跡線や図 2 の拡散の結果と概ね整合性がある

一方, バイオエアロゾルをメタゲノム分析によりアジアダスト発生地（モンゴルゴビ砂漠）と飛散先（札幌）で比較をすると，アジアダストイベント時には普段現れない型をもつ生物由来物質が幾つか特定された（現在投稿中）．これらから，モンゴルゴビ砂漠起源の物質が移動していることが裏付けられた.

今後の課題

境界層を超えて自由大気に入るメカニズムについては未解明な部分があるため，モデルデータや観測データから理論的に解明することが急務である. 本年度は, 過去に計算した結果を用いて, 解析や考察を行ったが, 事例を増やしてアジアダストの挙動について理解を深める予定である.

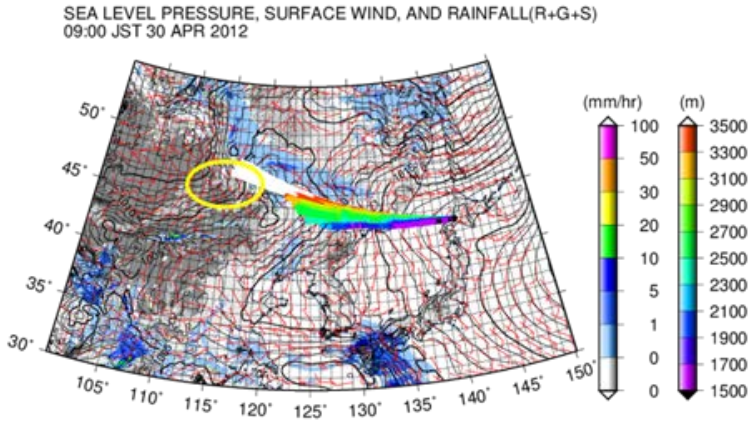


図 1　2012 年 4 月 30 日 00UTC の地上気圧・風・降水量分布および 24 時間の後方流跡線．黄色い枠線がモンゴルゴビに相当.

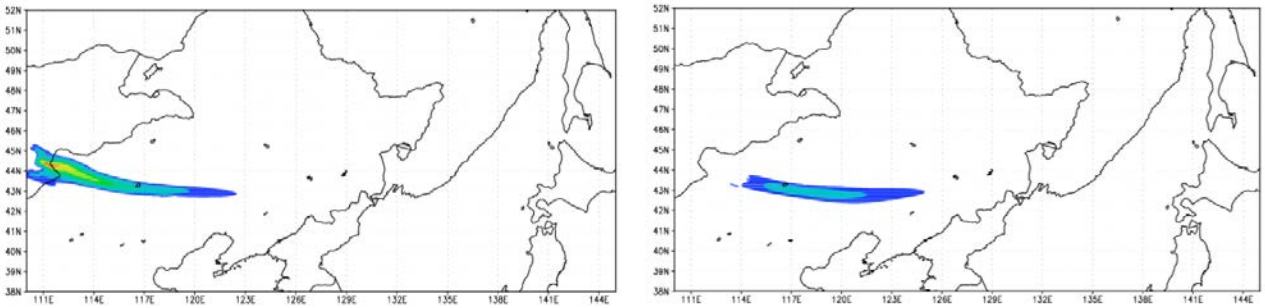


図 2 モンゴルゴビ砂漠付近からの前方流跡線 12 時間後（左：高度 3184m，右：5380m）

成果発表：

馬場ほか，CALIPSO を用いた 2012 年 4 月のダストストームの時空間変遷について，日本気象学会，名古屋大学，2016 年 10 月 28 日.

高エネルギー粒子ハイブリッドコードの開発
Development of Energetic-Particle Hybrid Simulation Code

天野孝伸（東京大学・理学系研究科）

地球の内部磁気圏領域は平均的には双極子磁場の支配的な低ベータ領域であるが，磁気嵐時などにはプラズマシートからのプラズマ供給によって，リングカレント粒子のプラズマ圧が磁気圧と同程度になることが分かっており，このような場合のプラズマダイナミクスを調べるのが本研究の大きな目的である. 特に, 内部磁気圏領域での低周波 MHD 波動(ULF 波動)の起源として考えられてきたプラズマ不安定性の理解を目指し，背景プラズマを MHD，リングカレント粒子のみを運動論的に扱う高エネルギー粒子ハイブリッドコードの開発を行っている.

本研究で開発中の数値シミュレーションコードでは，内部磁気圏を模擬した環境ではプラズマ不安定性の励起は再現出来ていない．この理由として数値的なノイズや散逸が悪影響を及ぼしている可能性が考えられる．そこで，一様系のシミュレーションによってパラメーターサーベイを行い，コードに内在する数値的効果の見積を行った．この結果，既存の数値シミュレーションコードでは数値的散逸の効果が非常に大きいことが分かり，これが結果に影響している可能性が示唆された．従って，同様に一様系モデルで，この問題を解決するためにシミュレーションコードに様々な改修を行った.

特に本コードで用いていた HLL-UCT スキームに含まれる人工的な電気抵抗の効果が非常に大きいことが判明したため，このスキームの採用をやめ，いくつかの人工的な電気抵抗モデルを導入して比較した. その結果, hyper-resistivity と呼ばれる 4 回微分に比例するような散逸項を磁場の誘導方程式に導入することでこの数値的問題が概ね解決出来ることが分かった．今後はこのアルゴリズムにて磁気圏を模擬した非一様系のモデルでパラメーターサーベイを行う.

太陽フレアの数値予測に関する研究
Study of Numerical Prediction of Solar Flares

草野完也・名古屋大学宇宙地球環境研究所

研究目的

太陽フレアは太陽コロナ磁場に蓄積されたエネルギーが突発的に解放される太陽系最大の爆発現象である。大型の太陽フレアは衝撃波を伴うコロナ質量放出（CME)、高エネルギー粒子、X線などを放出することで、地球の電磁気圏・大気圏に大きな影響を与え、衛星・通信・測位などの社会システムに障害をもたらす場合がある。それ故、フレアの発生を事前に予測することは、そうした社会システムの障害を回避するために重要な課題である。また、非線形不安定性に起因する太陽フレアの発生機構を解明することは、プラズマの非線形ダイナミクスの理解の深化をもたらす。しかし、各国の宇宙天気予報機関によるフレア発生予測の信頼性は低いままであり、過去30年間改善していない。これは太陽フレアの発生機構の理解が十分ではないことを示唆している。

本研究では上記のような背景のもと、太陽表面磁場の観測データに基づく数値シミュレーションによって太陽フレアの発生を予測するためのモデル開発とそれを用いた太陽フレア発生機構の解明を目的とする。我々はこれまでのシミュレーションと観測データ解析の比較を通して、大きなスケールでのシア磁場による自由エネルギーの蓄積と2種類の特徴的な構造を持つ小さなスケールの磁場の相互作用がフレア発生に重要な役割を果たしていることを見出してきた（Kusano et al. 2012)。本研究ではその成果のもとに事項に示す複数の方法で、フレア発生の予測を試みる。さらに、各方法による予測精度を定量的に評価し、従来の経験的なフレア予測の結果とも比較することで、より精度の高いフレア予測スキームを開発する。さらに、そのスキームを利用してフレアが起きる場合と起きない場合の本質的な違いを明らかにすることにより、フレア発生の物理機構を探る。

研究方法

本研究の目的を達成するため、以下の研究を実施した。

１．非線形フォースフリー磁場(NLFFF)データベースの構築

２．非線形フォースフリー磁場の非線形安定性解析

３．フレアの非線形発展過程のシミュレーション研究

４．太陽表面ベクトル磁場の構造解析

５．磁気リコネクションの精密シミュレーション

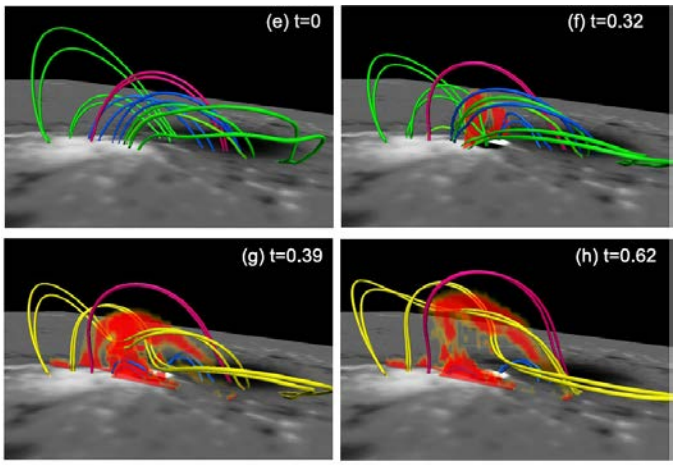


図１：非線形フォースフリー磁場を使ったフレア発生シミュレーション

研究成果

2010年以降に出現した比較的黒点面積の大きな300の太陽活動領域のベクトル磁場観測データを用いて、非線形フォースフリー磁場（NLFFF）を緩和法を用いて計算し、そのデータベースの構築を進めた。そのデータを基に磁力線の捻じれと太陽フレア発生の相関解析を行いつつある。また、NLFFFに様々な小スケールの磁場擾乱を導入することで、平衡磁場の非線形安定性解析を実施した（図１）。その結果、これまでにフレアのトリガとなることが示唆されている反極性磁場型及び逆シア型の磁場擾乱が太陽コロナ磁場を不安定化することで、実際の太陽磁場中でもフレア発生のトリガとなり得ることを見出した。さらに、フレアの非線形発展過程のシミュレーション研究：MHDシミュレーションによるフレア発生過程のシミュレーション（図２）を行い、フレア発生の原因となるダブルアーク不安定性を特定すると共に、その不安定性の臨界パラメタ κ が不安定化の予測に利用可能なことをシミュレーション結果の解析から見出した。

高磁気レイノルズ数領域におけるMHD磁気リコネクションの3次元シミュレーションを実施し、複数の磁束間の絡まりが自発的に発生することで乱流的なリコネクションが進行することを見出した。

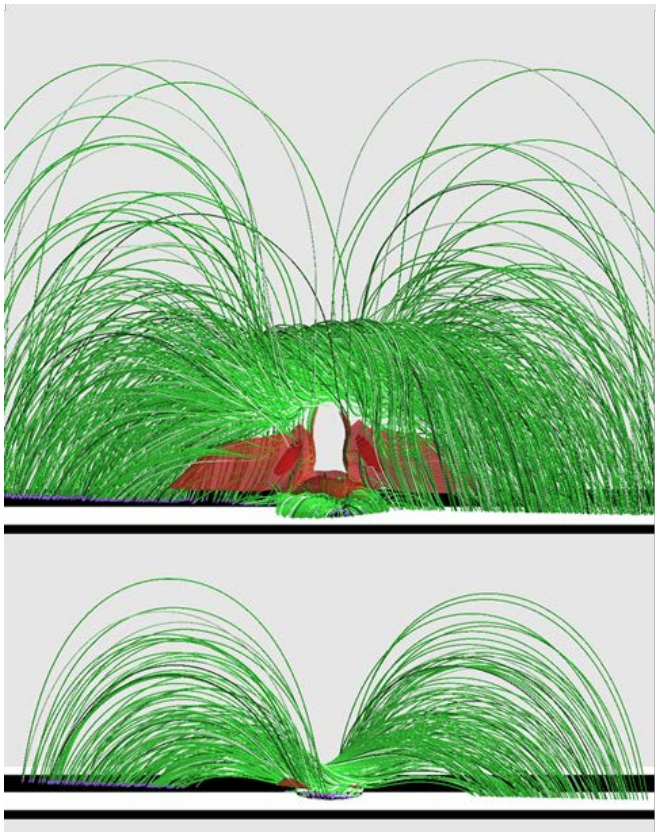


図２：フレア発生過程のシミュレーション

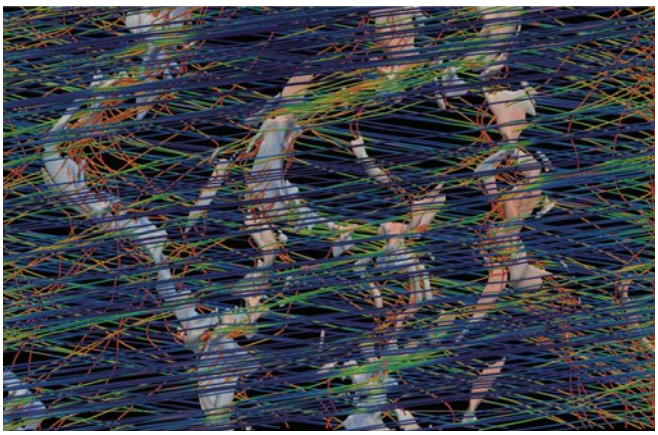


図３：磁気リコネクションの３次元 MHD シミュレーションにおける磁力線構造

発表論文

1. Haimin Wang, Chang Liu, Kwangsu Ahn, Yan Xu, Ju Jing, Na Deng, Nengyi Huang, Rui Liu, Kanya Kusano, Gregory D. Fleishman, Dale E. Gary & Wenda Cao, High-resolution observations of flare precursors in the low solar atmosphere, Nature Astronomy 1, Article number: 0085, 2017/03/27, DOI: 10.1038/s41550-017-0085

2. Shukuya, D.; Kusano, K., Simulation Study of Hemispheric Phase-Asymmetry in the Solar Cycle, The Astrophysical Journal, Volume 835, Issue 1, article id. 84, 11 pp. 2017/01, DOI: 10.3847/1538-4357/835/1/84

全大気圏－電離圏結合モデル(GAIA)を用いた宇宙環境じょう乱の研究

Study of space environment disturbances using the whole atmosphere-ionosphere coupled model GAIA

品川裕之（情報通信研究機構・電磁波研究所・宇宙環境研究室）

研究の目的

大気圏－電離圏－磁気圏系の結合過程を定量的に解明するには、磁気圏から下層大気までの相互作用過程を矛盾なく含んだシームレスなシミュレーションモデルが必要である。本研究では、情報通信研究機構で開発された全大気圏－電離圏結合モデルGAIA（Ground-to-topside model of Atmosphere and Ionosphere for Aeronomy）をベースに、磁気圏の電磁エネルギーの影響、降り込み粒子の影響、太陽フレアの影響などを含めたシミュレーションを行うことにより、宇宙環境現象、特に、宇宙天気予報で重要となるプラズマバブル、スポラディックE層、電離圏嵐などの電離圏じょう乱現象を定量的に解明することを目的とする。

本年度の研究結果

(1) GAIAモデルの高精度化と高速化

これまで用いてきた緯度・経度2.5度の格子間隔のモデルを1度の格子間隔にして分解能を上げ、さらにプログラムの並列化を進めることにより計算速度を3倍程度にした。その結果、従来モデルでは再現できなかった水平スケールが数100km程度の熱圏・電離圏構造を再現することが可能となった。

(2) フレア時の電離圏変動のシミュレーション

太陽フレアのX線・EUVスペクトルモデルを入力としてGAIAを実行する環境を構築し、フレア時の電離圏変動のシミュレーションを行った。また、太陽フレア時の電離圏下部領域（E層、D層）におけるイオン・中性組成変動を調べるため、化学反応過程モデルの開発も進めた。

(3) プラズマバブルモデルとGAIAの結合

NICTで開発したプラズマバブルモデルにGAIAから得られる背景場を入力として、プラズマバブルの伝搬のシミュレーションの試験を行った。その結果を基に、結合のスキームやパラメータの整合性などについての検討を行った。また、プラズマバブルモデルに関して横山がレビュー論文を出版した[Yokoyama and Stolle, 2016].

(4) GAIAを用いたプラズマバブル発生の確率予測方法の研究

GAIAのシミュレーションデータからプラズマバブルの線形成長率を求めることにより、プラズマバブル発生確率予測を行う方法について調べた。その結果、モデル中の線形成長率の大きさが発生確率の指標として有意な情報を与えることがわかった。この結果は、プラズマバブル発生確率予測の新しい手法となる可能性がある。この結果に関して、現在論文化を進めている。

(5) 極域電離圏パラメータのGAIAへの導入

極域電離圏ポテンシャルの経験モデル（Weimerモデル）をGAIAの入力としたシミュレーションのテストを行い、シミュレーション結果についての検討を行った。今後、入力スキームについて、さらに改良を行い、実際の太陽風を入力として与えて、熱圏・電離圏がどのように応答するかを調べる予定である。

(6) GAIAを用いたスポラディックE（Es）層の発生率に関する解析

Es層の発生には、潮汐波などの大気波動に伴う鉛直シアーが関与していると考えられている。本研究では、GAIAのシミュレーションデータから求めた中性風シアーによる鉛直方向のイオン収束率を求め、観測で得られたEs層の発生データと比較した。その結果、イオン収束率のグローバル分布とEs層の発生率が比較的良く対応していることがわかった。このことは、GAIAを用いることによりEs層の発生がある程度予測できる可能性を示唆している[Shinagawa et al., 2017]。

論文

Shinagawa, H., Y. Miyoshi, H. Jin, and H. Fujiwara (2017), Global distribution of neutral wind shear associated with sporadic E layers derived from GAIA, *J. Geophys. Res. Space Physics, 122,* doi:10.1002/2016JA023778.

Miyoshi, Y., D. Pancheva, P. Mukhtarov, H. Jin, H. Fujiwara and H. Shinagawa (2017), Excitation mechanism of non-migrating tides, *J. Atmos. Sol.-Terr. .Phys., 156*, 24-36, doi:10.1016/j.jastp.2017.02.012.

Maruyama, T., H. Shinagawa, K. Yusupov, and A. Akchurin (2017), Sensitivity of ionosonde detection of atmospheric disturbances induced by seismic Rayleigh waves, *Earth Planets Space, 69:20*, DOI 10.1186/s40623-017-0600-z.

Terada, K., N. Terada, H. Shinagawa, H. Fujiwara, Y. Kasaba, K. Seki, F. Leblanc, J.-Y. Chaufray, and R. Modolo (2016), A full-particle Martian upper thermosphere-exosphere model using the DSMC method, *J. Geophys. Res. Space Physics, 121*, DOI: 10.1002/2015JE004961.

吉川晃平, 高星和人, 中田裕之, 鷹野敏明, 松村 充, 品川裕之, 冨澤一郎 (2016), HF ドップラーにより観測された地震に伴う電離圏変動の中性大気波動数値シミュレーションによる定量的評価, *電気学会論文誌A*, *136*, DOI: 101541/ieejfms.136.259.

Yokoyama, T., and C. Stolle (2016), Low and midlatitude ionospheric plasma density irregularities and their effects on geomagnetic field, *Space Sci. Rev.*, DOI 10.1007/s11214-016-0295-7.

国際学会・研究集会発表

Shinagawa, H., H. Jin, Y. Miyoshi, H. Fujiwara, T. Yokoyama, and Y. Otsuka, Occurrence Probability of Plasma Bubbles Deduced From the Whole Atmosphere-Ionosphere Coupled Model GAIA, 13th AOGS Annual Meeting, Beijing, China, August 3, 2016.

Shinagawa, H., H. Jin, Y. Miyoshi, H. Fujiwara, T. Yokoyama, and Y. Otsuka, Prediction of plasma bubble occurrence using the atmosphere-ionosphere coupled model GAIA, The 4th Asia-Oceania Space Weather Alliance, Jeju, Korea, October 25, 2016.

Shinagawa, H., H. Jin, T. Yokoyama, Y. Miyoshi, H. Fujiwara, T. Yokoyama, and Y. Otsuka, Occurrence characteristics of plasma bubbles deduced from GAIA simulation data, ISEE Workshop on Ionospheric Plasma Bubble Seeding and Development Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE), Nagoya University, Nagoya, Japan, November 30, 2016.

Miyoshi, Y., H. Jin, H. Fujiwara, and H. Shinagawa, Impacts of gravity wave on the thermosphere simulated by a whole atmosphere-ionosphere coupled Model, AGU Fall Meeting, San Francisco, U.S.A., 12–16 December 2016.

Matsumura, M., K. Shiokawa, H. Shinagawa, H. Jin, H. Fujiwara, Y. Miyoshi, and Y. Otsuka, GAIA modeling of electrodynamics in the lower ionosphere during a severe solar flare event, AGU Fall Meeting, San Francisco, U.S.A., 12–16 December 2016.

国内学会・研究集会発表

Shinagawa, H., H. Jin, Y. Miyoshi, H. Fujiwara, T. Yokoyama, and Y. Otsuka, Occurrence probability of plasma bubbles deduced from GAIA simulation data, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, 幕張メッセ国際会議場, 2016 年 5 月 22–26 日.

Miyoshi, Y., H. Jin, H. Fujiwara, and H. Shinagawa, Behavior of gravity waves in the thermosphere simulated by high resolution GAIA, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, 幕張メッセ国際会議場, 2016 年 5 月 22–26 日

品川裕之, 陣 英克, 三好勉信, 藤原 均, 横山竜宏, 大塚雄一, 大気圏-電離圏結合モデル GAIA を用いたプラズマバブル発生予測, STE シミュレーション研究会, 東北大学, 2016 年 8 月 31 日.

品川裕之, 陣 英克, 三好勉信, 藤原 均, 横山竜宏, 大塚雄一, GAIA の長期シミュレーションデータから推定するプラズマバブル発生特性, 第 140 回 地球電磁気・地球惑星圏学会, 九州大学, 2016 年 11 月 20 日.

三好勉信, 陣 英克, 藤原 均, 品川裕之, 重力波が熱圏・電離圏におよぼす影響について, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 140 回総会・講演会, 九州大学, 2016 年 11 月 19 日–23 日.

品川裕之, 高緯度のスポラディック E 層について, 高緯度電離圏の電気力学過程およびその磁気圏や熱圏との結合過程に関する研究集会, 京都大学理学研究科, 2016 年 12 月 21 日.

品川裕之, 太陽研連シンポジウム「太陽系科学の中での太陽研究の将来展望」, 近年の電離圏研究と太陽分野への期待, 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所相模原キャンパス, 2017 年 2 月 22 日.

観測磁場データに基づいた太陽フレア・CMEの電磁流体シミュレーション

MHD Simulation of Solar Flares and CMEs based on an Observed Magnetic Field

井上　諭（名古屋大学　宇宙地球環境研究所）

【研究目的】

本研究の目的は、宇宙天気予報において極めて重要である太陽フレアとコロナ質量放出(CME)の関係性を数値的な観点から見出すことである。本年度は、2011 年に活動領域 11158 で発生した M6.6 クラスフレアと、それに伴う太陽プラズマの噴出現象を電磁流体力学(MHD)シミュレーションで再現し、そのダイナミクスを明らかにすることである。

【研究方法】

まず、太陽観測衛星 solar dynamics Observatory (SDO)から得られる太陽表面の観測磁場データ(M6.6 フレアが発生する 90 分前のデータ)に基づいて、3 次元の太陽活動領域磁場をフォースフリー近似に従って数値的に外挿する。次に、外挿された磁場を MHD シミュレーションの初期条件として用いて、その進化を追跡することでダイナミクスを定量的に理解する。

【結果】

1. 外挿されたフォースフリー磁場は理想 MHD 不安定性に対して安定であることがわかった。一方、ねじれた磁力線群同士の磁気リコネクション”テザーカティングリコネクション”を介して、強くねじれた磁力線群である flux tube が形成されるとフォースフリー条件が破れ、磁場は非平衡になることが確認された。これは観測結果からも示唆されている。

2. 平衡状態を失った flux tube は上昇し、その上昇過程で周囲のねじれた磁力線と磁気リコネクションをしながら合体し、さらに強くねじれた flux tube を形成することがわかった。

3. flux tube の上昇過程で起こる磁気リコネクションは、flux tube の上昇を駆動するために極めて重要であることがわかった。その理由は、磁気リコネクションによって flux tube のポロイダル磁場が増強され、上昇力の駆動源たる hoop 力が増強されるからである。

4. 多くの研究が、flux tube のダイナミクスの進化は、トーラス不安定性の開始を決める decay index で決まると考えられてきた。本研究でも、flux tube の平衡状態から非平衡状態への遷移過程は、decay index は重要なファクターであることは支持するが、その一方で、その後のダイナミクスは flux tube の上昇過程と磁気リコネクションとの非線形相互作用で決定づけられ、decay index には依存しないことを指摘した。これは、爆発の進化を予測する上で、極めて重要な発見である。

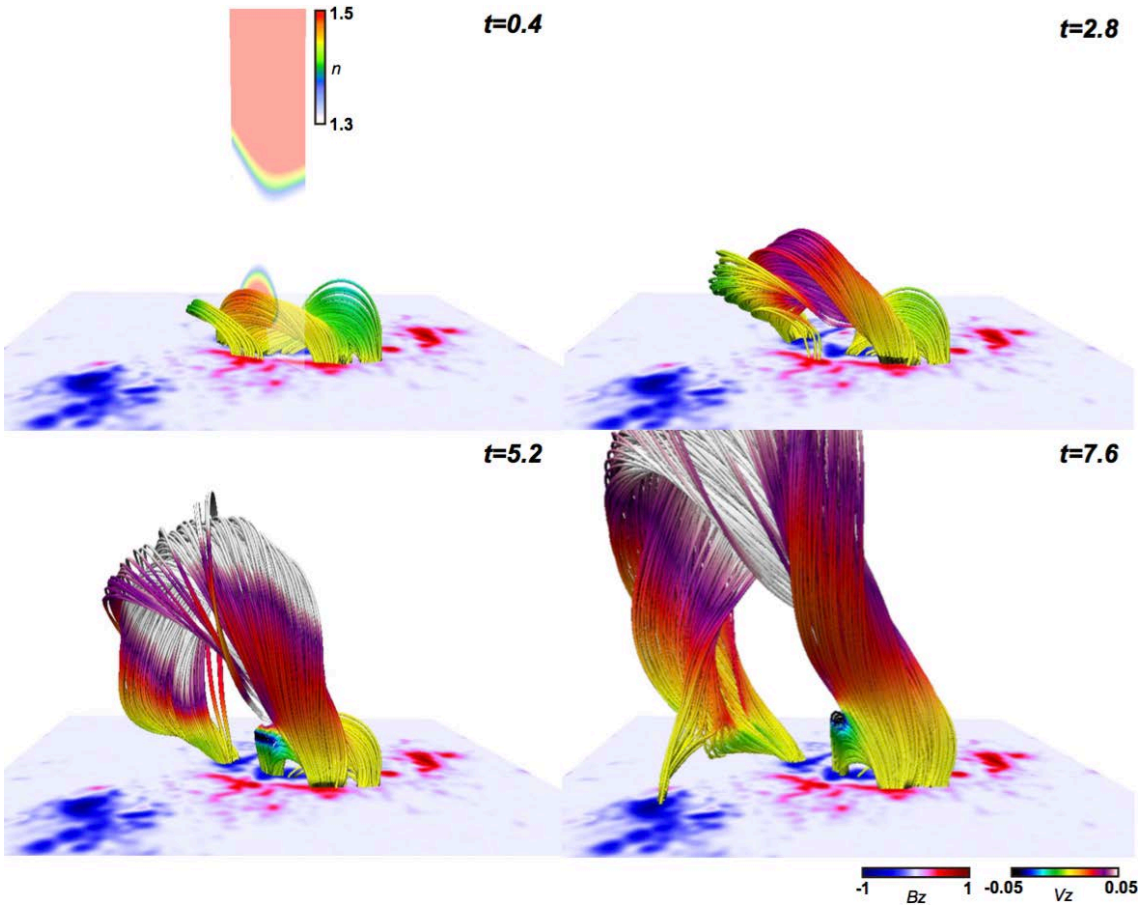


Fig.1: MHD シミュレーションの結果。初期にテザーカティングリコネクションで形成された flux tube が平衡状態を消失することで上昇する。Flux tube の上昇過程で、磁気リコネクションを介して周囲のねじれた磁力線と合体し、巨大なフラックスチューブが形成される。線は磁力線を表しており、色は鉛直方向の速度場を表している。背景は磁場の Bz 成分を表しており、光球面磁場に相当する。

【成果発表(査読論文)】

[1] S. Inoue “Magnetohydrodynamic Modeling of the Coronal Magnetic Field and Solar Eruptions Based on the Photospheric magnetic Field”, Progress of Earth and Planet Science, 3, 19, 2016

[2] S. Inoue, Y. Bamba, & K. Kusano “Onset Mechanism of Solar Eruptions”, Journal of Atomospheric and Solar-Terrestrial Physics, Under Review.

日本海沿岸地域における冬季の降雨・降雪の特性に関する研究
Characteristics of Rainfall and Snowfall on the Japan Sea Coastal Region during the Winter Monsoon Season

安永数明，富山大学・理工学研究部

1. 研究目的

冬季には、大陸からの冷たい季節風が吹く一方で、日本海には相対的に暖かい暖流が存在する。この為、日本海沿岸地域では冬場に最も降水量が多くなり、場所によっては年間の3分の1程度の降水量を稼ぐ。このことから地域の水資源という点では、冬季の時期の降水は重要である。また、日本海沿岸地域の多量の降雪は、都市機能の麻痺や交通の障害といった雪害をしばしば引き起こす。大雪による人的被害も毎年大きく、平成25年度版の「防災白書」によると、除雪作業中による事故により平成24年度には80人程度が死亡している。これは集中豪雨等の気象災害による年間の犠牲者を上回るもので、日本海沿岸地域では、こうした雪害の低減に向けた取り組みが、各自治体を中心に進められている。本研究では、今後起こり得る雪害の低減に向けた基礎となる科学的知見の蓄積を目的に、「日本海沿岸地域における冬季の平均的な降雨・降雪パターンとその形成メカニズムの解明」を目指す。

冬季の降水量の平均分布を調べると、降水極大は海岸線から少し内陸側に位置する。一方で、降水の強度の指標の１つと考えられる雷の発生頻度分布は、降水量の平均分布に比べて、より海岸側で極大となる。この一般的な説明としては、地表面近くでは陸と海の温度差により陸風（南風）が卓越し、収束線を海岸線付近に作る、一方で、対流圏中下層においては、冬季季節風により北風が卓越し、この北風によって積雲の上部が南側に流されることで、強い上昇流を持つ対流の発生する位置に比べて、実際の降水の強い場所が南側に位置する、というものである。しかし冬季雷の発生時のホドグラフでは、雲頂高度に対応すると考えられる850-500hPaは、南風が卓越することが指摘されている。このことから従来の仮説は、降水極大の位置を説明出来ない。このことから、本研究課題ではより具体的な目標として「降水分布の極大が海岸線から少し内陸側に入り込んだところに位置する原因の解明」に取組む。

2. 研究方法

本研究では上記の研究課題に取り組むにあたって、気象メソスケール数値モデルを用いて数値実験を行った。数値実験の対象領域は日本海と北陸全域を含む領域とし、水平格子間隔を3㎞とした。また鉛直層数を80層として、降水システムの形成・発達に重要な冷気プールが形成される大気下層の解像度を特に良くするように設定した。

まず2014年12月1日~31日の1ヶ月間の計算を行い、アメダスデータと比較することで、数値モデルの再現性が良いことを確認した。次に、海岸線付近に停滞し大きな降水をもたらした2014年12月5日~7日の事例を対象に、①陸上のすべての地表面粗度を水面の値に変更した実験、②降雪の落下速度を雨の落下速度に変更した実験を行った。実験①は、海上と陸上の摩擦の違いによる海岸収束帯への影響を調べること、実験②は落下粒子の終端速度の違いによる昇華・蒸発効率を通じた冷気プールの形成への影響を調べることが目的である。なお、これらの数値実験にあたっては、名古屋大学高性能コンピュータシステムFX100のノード時間　　を使用した。

3. 結果

標準実験では日本海からの寒気の南下とともに北陸地方の陸側で冷気プールが形成され、時間とともに発達する様子が再現出来た。冷気プールと季節風との境界付近で降雪分布が顕著であり、新潟と石川の沿岸の鉛直断面図でも冷気プールと季節風との境界で上昇流が卓越でかつ凝結物の値が強まり、雪雲が発達する様子が確認できた。冷気プールの形成時を鉛直断面図で確認すると、氷から水へ相変化する場に冷気プールの形成が対応していた。

陸側の粗度を変えた感度実験①では、平野部で降雪量が減少する結果となり（図１）、海岸付近での雪雲の発達を抑制したものと思われる。降雪の落下速度を変えた感度実験②では、解析期間内で海側の冷気は弱化されたものの、陸側での冷気プールは反対に強化されていた（図２）。これにより、実験後では海側での降雪量が増加していた。

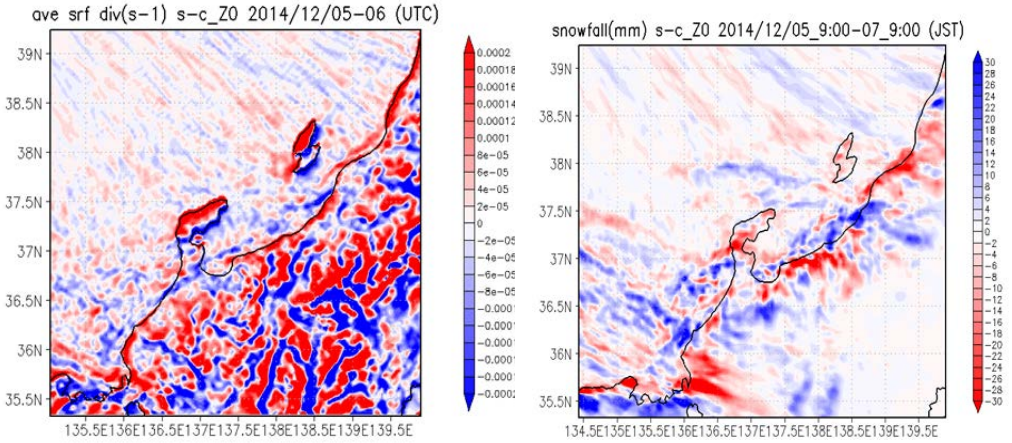


図１：地面粗度を変更した感度実験と標準実験におけるモデル最下層の水平収束の違い（左図）と、降水総量（右図）の違い（感度実験－標準実験）。

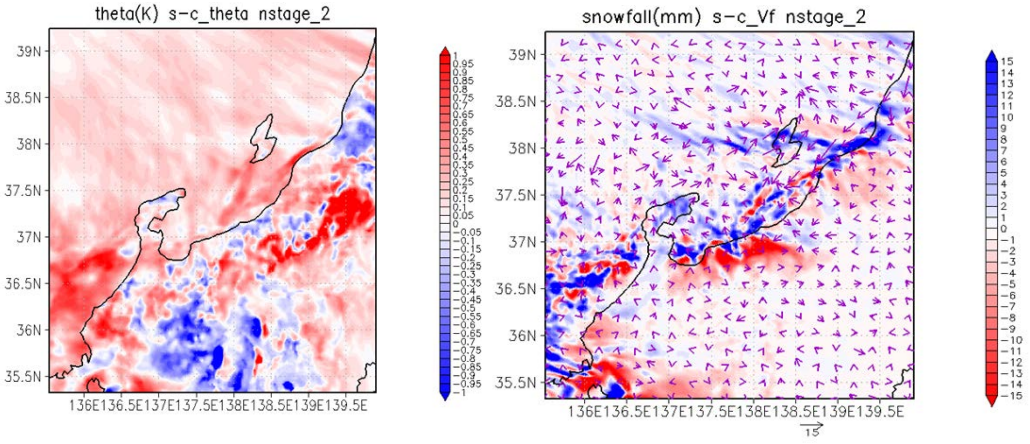


図２：降雪の落下速度を変更した感度実験と標準実験におけるモデル最下層の気温の違い（左図）と、降水総量と地上風（右図）の違い（感度実験－標準実験）。

4. 研究発表

當眞嗣淳、日本海沿岸域の降雪帯の維持メカニズムに関する数値実験、2016年度富山大学理学部地球科学科卒業論文

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】
本研究は磁気圏シース内に存在するミラーモードについて、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。この不安定性は磁気圏シース領域で多く観測されており、近年では多点衛星観測での波動分散関係の解析により、イオンスケールにおいて周波数がほぼ0の磁場構造が存在することが明らかになっている。乱流磁場の揺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、そのスペクトルはpower-lawに従うことが観測されている。これは、ミラーモードの非線形発展に伴うエネルギーカスケードによって小スケールへのエネルギー輸送が起きていることを示唆している。シース領域でのプラズマ物理を理解するためにはミラーモードの非線形発展を追跡することが重要である。イオン慣性長以下へのエネルギー輸送およびその散逸・加熱プロセスを理解するために、本研究ではプラズマ粒子シミュレーションを用いてイオンスケールから電子スケールまでの運動論を含めた計算を行う。これによりイオンの温度異方性から励起されるミラーモードの非線形発展を計算し、イオン慣性長以下での物理を含めたミラーモードのエネルギー散逸過程について研究を行う。

【計算方法】
名古屋大学のスーパーコンピュータシステムFX100を用いて、並列化された粒子シミュレーションコードによる高βプラズマ（β=1）中でのイオンの温度異方性（垂直温度を平行温度の５倍と設定）に不安定性について数値実験を行った。セル当たりのイオン電子ペアの数を256とし、4096x4096の二次元空間グリッドでの計算を2048並列により計算を行った。

【計算結果および考察】
イオンサイクロトロン角周波数で規格化した時間で1.0程度まで計算を実行した結果、ミラーモードに対応するイオンスケールの構造の成長はまだ確認されていない一方で、熱的ノイズの増幅が顕著に見られた。特に計算空間二次元面に対して垂直方向の磁場成分の増幅が顕著であり、他２成分については特徴的な増加は見られていない。イオンスケールの磁場構造が成長してくることを想定していたが、現状の計算ではそれ以上に熱的ノイズの成長が支配的であり、ミラーモードの非線形物理を追跡するには現状至っていない。
パラメータの調整（超粒子数を増やす、熱速度を下げる、など）により熱的ノイズの低減を図ることは可能であるが、相応の計算コストの増大が見込まれる。現実的な計算コストでどの程度まで熱的ノイズを低減しかつミラーモードの成長を含めた非線形発展を追跡出来るかはより慎重に見積もる必要があることが明確になった。また、ここでは非線形構造の発展を含めた統一的な発展を粒子シミュレーションで追跡することを前提としているが、初期にミラーモード的な構造が存在していることを仮定しその後の非線形発展を追跡するなど、初期モデルの再考を視野に入れたより現実的な研究方針の転換を考える必要があると思われる。

データ同化連結階層太陽コロナシミュレータの開発
Development of data-assimilation interlocked solar corona simulator

塩田大幸、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

太陽から流出するプラズマの流れ太陽風・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。一方で、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最重要研究課題である。これらの太陽コロナ・太陽風・CMEの形成過程において共通する点は、太陽の複雑な構造を持つ磁場が本質的な役割を果たしている点である。しかし、太陽コロナ中の磁場構造を直接計測することは非常に困難である。よって、実際の太陽の複雑な磁場ため構造による影響を考慮するは、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が最も有効な手段である。本研究ではこれまで、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進めてきた。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）を開発し、運用を行なっている。本研究では、宇宙天気予報の予測精度向上にむけた取り組みとともに、上記の太陽コロナ・太陽風・CMEの形成過程の解明に向けた複数のテーマでの研究開発を行なった。

SUSANOO太陽風モデル(Shiota et al., 2014)は、太陽風のグローバルな構造をよく再現する。光球の磁場観測データのみを入力として、経験的に知られている太陽コロナ磁場と太陽風速度の関係性 WSモデル(Arge & Pizzo, 2000)を用いて太陽風境界条件を与えている。しかし、2009年など速度の定量的再現性の悪くなる期間があり、信頼性の高い宇宙天気予報の実現のためには、より再現性の高い太陽風モデルの構築が求められる。そこで、IPS観測と太陽コロナ磁場から得られた関係性に基づいたB/f モデル(Fujiki et al., 2015)を用いた2007年から2014年までのシミュレーションを行い、それぞれの太陽風速度プロファイルの再現性を評価した。その結果、WS モデルは高くない水準であるが長期的に安定した再現が可能であり、一方、B/f モデルは、極小期で再現性が良く、極大期で再現性が悪いという太陽活動に依存したモデルであることかが分かった。

CMEは、太陽から放出されるねじれた磁束管（フラックスロープ）の放出現象であり、その磁束管内の磁場が南を向いて地球を通過したとき地球磁気圏に大きな擾乱をもたらす。つまり、CMEの磁束管の向きが決まる過程を理解することが宇宙天気予報に重要となる。そこで本研究では、CMEが放出される際に、磁気フラックスロープが回転する要因を探るために、太陽表面から太陽風が十分な速度に至る15太陽半径までの領域の3次元電磁流体力学（MHD）シミュレーションを行った。背景の磁場強度、初速度を変えた計算を行なった結果、回転のメカニズムは、フラックスロープのねじれを解放する内部キンクモードと背景磁場とフラックスロープの相互作用によるティルトモードの成長の競争により決まることが示唆された。背景磁場が強い場合、ティルトモードが優勢になり、回転量は各地点での背景磁場強度とフラックスロープの速度によって決まることがわかった。

本研究では、データ同化による太陽コロナ加熱・太陽風加速メカニズムを探るために、太陽風中の乱流に着目し、その再現を目指すモデル開発に着手した。太陽風中のMHD乱流の輸送を記述する理論モデルをSUSANOO太陽風モデル(Shiota et al., 2014)に適用した新しいシミュレーションを開発し、極小期の3次元太陽風とその中での乱流輸送の定常状態を計算した。これによりHeliosおよびUlyssesで観測された内部太陽圏内の乱流の分布を再現することに成功している。今後、太陽風加速が起きている太陽コロナ領域に応用するためにさらなる乱流輸送モデルの修正を進める。

無衝突磁気リコネクションの運動論的研究
Kinetic modeling of collisionless magnetic reconnection

銭谷誠司、国立天文台・理論研究部

宇宙空間でおきる磁気爆発現象（磁気リコネクション）の振る舞いは、プラズマ粒子の複雑な運動によって支配されています。その中でも電子の運動はリコネクション系の物理を考えるうえの最小構成要素です。本研究では、こうした電子の振る舞いを探るべく、リコネクション系における電子の軌道パターンを、プラズマ粒子シミュレーションを使って徹底的にサーベイしました。その結果、これまで知られていなかった新しいタイプの軌道を多数、発見しました。下の図の中で、二重枠で囲ったものが今回見つかった軌道です。この発見は、粒子軌道の理論と、それを前提に構築されたリコネクション物理の議論全てに波及する重要な結果です。本研究成果を報告した論文［1］は、アメリカ物理学協会（AIP）の19ジャーナルの中から週間ハイライト論文に選出されました［2］。

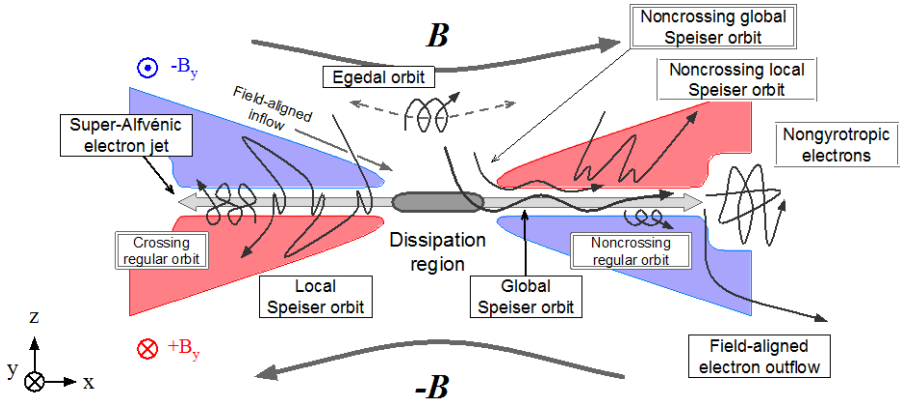


図１　リコネクション系の構造と電子軌道（Zenitani & Nagai 2016 [1]）

参考文献：

［1］S. Zenitani, & T. Nagai, Particle dynamics in the electron current layer in collisionless magnetic reconnection, Physics of Plasmas, 23, 102102 (2016)

［2］ https://publishing.aip.org/publishing/journal-highlights/japanese-researchers-find-new-classes-electron-orbits

学会発表：

［3］　銭谷誠司・長井嗣信・篠原育、無衝突磁気リコネクションにおける電子軌道の全ラグランジュ解析、第 140 回地球電磁気･地球惑星圏学会、九州大学伊都キャンパス、2016 年 11 月 23 日

［4］S. Zenitani, Nongyrotropic electron orbits in collisionless magnetic reconnection, AGU Fall Meeting 2016, San Francisco, USA, December 2016

3次元グローバルMHDシミュレーション 使用したdipole tiltの影響の研究

The study for the dipole tilt effect by using a global MHD simulation

朴京善、忠北大学校・基礎科学研究所・天文宇宙学科

1) 研究目的

太陽風と磁気圏・電離圏の相互作用研究に対して3次元グローバルMHDシミュレーションは非常に良い手段である。本研究でも3次元グローバルMHDシミュレーションを行い、傾いた地球磁気軸(Diple Tilt)の影響を調べる。

特に今回は地球磁気軸（0°から45°まで5°毎 回転させる。）の影響だけを理解するために定常状態の太陽風と IMF をシミュレーションの入力パラメーターとして使う。それで、地球磁気圏の昼側と尾部側での磁気リコネクション過程、細かい構造、特に磁気リコネクションのサイズ、Z-軸からどれだけ離れているのかなどについて定量的に調べる。

シミュレーションから得られた研究結果は磁気圏衛星観測と比較したいと希望している。そのためには高精度・細かい格子間隔（0.1～0.05Re）に関するシミュレーションが必要である。

2) 研究方法

磁気軸が傾いたときの地球磁気圏環境の影響を調べるため、0°から45°まで5°毎にシミュレーションを実行する。特に昼側、尾部側での磁気リコネクション過程を詳しく調べる。

シミュレーションの入力パラメーター：IMF Bz = -5 nT、太陽風密度：5／cc、太陽風速度＝400 km/s

3) 研究結果と考察

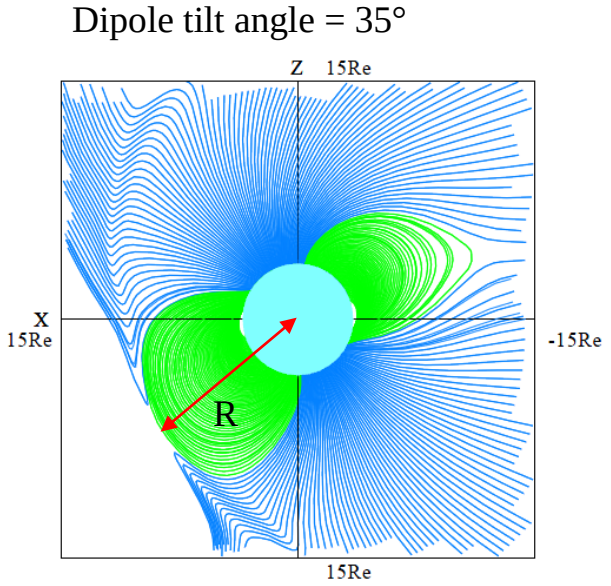
南向きのIMFの時（IMF Bz =-5nT、地球磁気軸が0度から45度まで傾くと昼側の磁気リコネクションの場所は10.5R_Eから11.4R_Eまで、夜側は14R_Eから17R_Eまで移動していた。（図１、図2、図3）

MHDシミュレーションを結果から磁気リコネクションのlineは昼側で1.7～2.4R_E、夜側で2.2～2.54R_Eが得られた。傾いた磁気軸により磁気リコネクションのZ軸の距離は昼側で0から-8.1R_Eまで、夜側で0から0.4R_Eまで離れていった。

さらに、夜側でのHinging Distanceは12~13R_Eであった（図2、図3）。

特にMMSとGeotailの観測から（*Kitamura et al.*,2016）磁気軸が-27度傾いているときの昼側での磁気リコネクションlineは1.8～5.5R_E、磁気リコネクションのZ軸の距離は1.5~5.2と報告されていった。この結果は我々のシミュレーションと似たような結果だと思う。

ところが、得られたMHDシミュレーションの結果が計算格子（0.3R_E、0.2R_E、0.1R_Eなど）の依存性と太陽風とIMFの強さによる依存性を調べる必要がある。



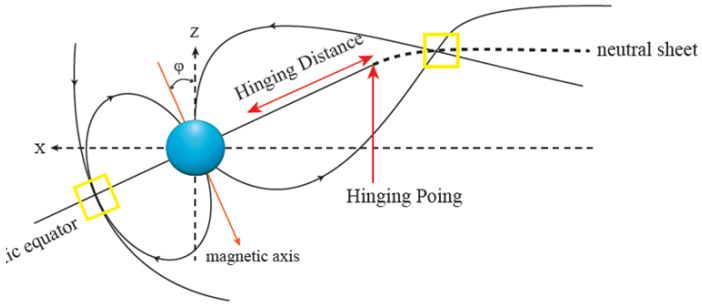


図１IMF Bz =5nTと地球磁気軸は35度の時の昼側の磁気圏

図2地球磁気圏図式

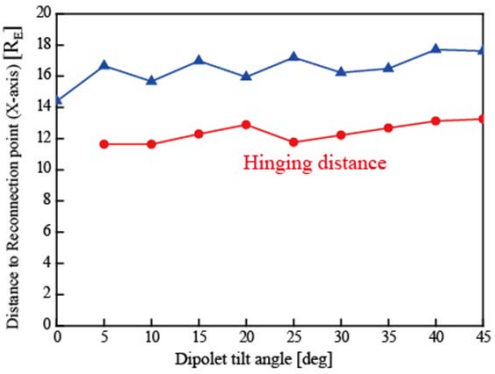


図３夜側の磁気リコネクション場所とHinging Distance

4) 成果発表

研究会口頭発：

Kyung Sun Park、Dae-Young Lee、and Tatsuki Ogino、The Study of the Magnetospheric Phenomena for the Dipole Tilt by using a Global MHD Simulation、The Korean Space Science Society-2016 spring conference、Gangneung in Korea、28-29/04/2016。

Kyung Sun Park et al、Global MHD simulation study of the vortex at the magnetopause boundary for the southward IMF and steady solar wind conditions, JpGU-AGU join meeting 2016、Chiba in Japan、22-26/05/2016。

Kyung Sun Park、Hyomin Kim、Tatsuki Ogino、C. R. Clauer、J. M. Ruohoniemi、D.-Y. Lee、and D.-H. Lee、Global MHD simulation of magnetospheric and ionospheric response to a sudden increase solar wind dynamic pressure during northward IMF、AOGS 2016、Beijing in China、31/7-5/8/2016。

火星版 CReSS を用いた火星表層環境評価
An assessment of Mars surface environment: application of CReSS to Martian atmosphere

杉山耕一朗，松江工業高等専門学校・情報工学科

1. 研究目的

日本の宇宙惑星コミュニティにおいて計画中の火星探査計画では，着陸機の設計および運用計画立案のために，着陸候補地点の表層環境評価が必要とされている．我々は表層環境評価を実施するための環境整備の一環として，雲解像モデル CReSS の火星大気への適用を進めてきた．昨年度までに地形と大規模循環の効果を考慮しない理想化実験を多数実施することでモデルの動作検証を行い,地表面付近の鉛直温度分布や風速はサブグリッド乱流過程の混合長の定式化に大きく依存することを示した．次いで火星のように大気が薄く(地上気圧 ～7 hPa)，起伏に富む地形においても CReSS が動作可能か確認するため，NASA の火星探査ローバー Opportunity の観測地点を想定した数値計算を行ってきた．今年度は昨年度に引き続いて Opportunity の観測地点を想定した実験結果の解析を進める．さらに，これまで行った理想化実験と同様に，混合長の定式化に対する風速の依存性を調べる．

2. 研究方法

火星版 CReSS を用いて NASA の探査ローバー Opportunity の着陸地点 (1.9S, 2.5W) 付近において数値計算を実行する．計算領域は水平 350 km，水平解像度は 700 m とする．鉛直計算領域はおおよそ 60 km である．鉛直格子ストレッチングを用いるため鉛直解像度は最下層で 20 m，大気上部で 500 m 程度である．ダストの光学的厚さは 0.3 とした．季節は春分 (Ls = 0) とし，数値積分は 3 日分行った．初期値および境界値として，惑星大気大循環モデル DCPAM によって作成された火星全球気象データを利用する.数値計算には名古屋大学情報基盤センター CX400 を利用した.

3. 研究結果

得られた結果は日中に活発な対流運動が生じることを示す．地方時 LT = 14:00 では，地表付近ではクレーターの縁で斜面風に伴う鉛直流が生じ，地表から約 400 m 付近においては鉛直速度の分布は細胞状となる (図 1)．この細胞状の形状は，解像度や地形の有無という違いがあるにもかかわらず，Michaels and Rafkin (2004) や理研/AICS の SCALE-LES の結果 (Nishizawa et al., 2016) と似ている．混合長の表現を CReSS のデフォルト

から従来の火星研究（例えば Spiga et al., 2010）で使われてきた Deardorff（1980）にすることで，地表から約 400 m 付近の鉛直速度は強まり（図 1），対流運動の生じる高度領域は厚くなる（図は無し）．この傾向は我々がこれまで行ってきた理想化実験の結果と整合的である．

混合長として Deardorff（1980）の表現を用いた実験について，地表付近での水平風速の頻度分布とそれをワイブル分布でフィッティングした結果を図 2 に示す．地表付近でダスト巻き上げに必要と言われる風速 20 m/s 以上の風は見られないことと，風速の頻度分布はワイブル分布に概ね一致することが確かめられた．この特徴は対流運動が活発な日中（11:00～17:00）において共通して見られる特徴である（図は無し）．

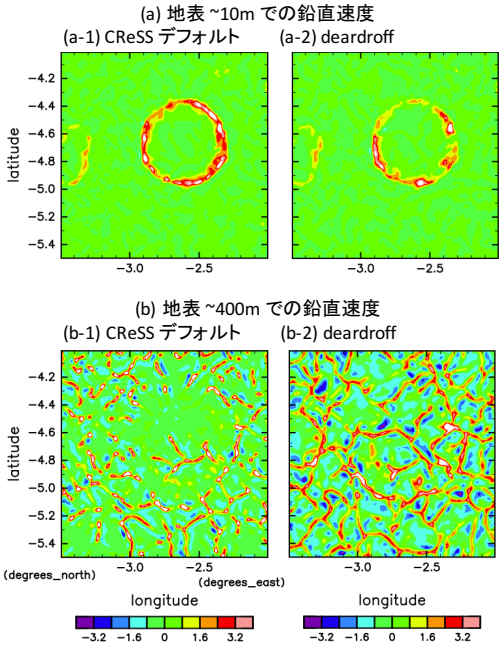


図 1: 混合長の表現として CReSS デフォルトと Deardorff（1980）を用いたときに得られたクレーター付近の鉛直速度の分布．地方時は LT = 14:00 である．

4. ま と め

Opportunity の着陸地点のように火星地形の中でも起伏が比較的緩やかな地点を選べば，時間ステップや格子のアスペクト比を調整することで，対流運動の日変化を計算可能であることを確認した．しかし，マリネリス渓谷のような地形が非常に急峻な地点での数値実験は現時点では成功していない．数値積分に関するパラメタの調整方法の検討や，他の火星領域モデルで使われているパラメタの調査および検証実験を進める必要があるだろう．

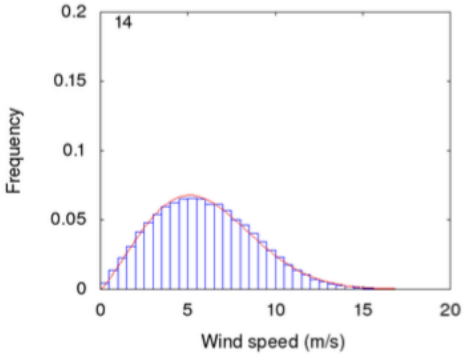


図 2: 地方時 LT = 14:00 における水平風速の頻度分布（青）とワイブ分布を用いたフィティング（赤）．

現在の数値実験の分解能では図 2 に示したようにダストデビルを発生させるような強風を表現できていない．解像度をあげた計算と行うと共に，等方格子を用いた LES モデルと連携した計算を行うことが有効であると思われる．理研/AICS で開発された SCALE-LES と CReSS との連携をより一層進める．

成 果 発 表

橋本薪之輔，2017，火星領域気象モデル CReSS-Mars を用いた高解像度気象シミュレーション結果の解析，岡山大学理学部地球科学科卒業論文．

粒子プラズマシミュレーションと衛星データ解析を用いた非対称磁気リコネクションの物理過程の実証的研究

Empirical study on physical processes in asymmetric magnetic reconnection via full-particle plasma simulations and spacecraft data analysis

町田　忍　　名古屋大学宇宙地球環境研究所
内野　宏俊　京都大学大学院理学研究科
田中　瑠　　名古屋大学宇宙地球環境研究所

研究目的

昼間側の磁気圏境界等でみられる特性の異なるプラズマの間で発生する非対称磁気リコネクションに着目し、その電子拡散領域周辺の物理過程を、電子流体の観点から粒子シミュレーションを用いて調べる。電子流体の加減速を記述する運動方程式は、

$$m_{\mathrm{e}}\frac{d\boldsymbol{v}_{\mathrm{e}}}{dt} = -e(\boldsymbol{E}+\boldsymbol{v}_{\mathrm{e}}\times\boldsymbol{B}) - \frac{1}{n_e}\nabla\cdot\overleftrightarrow{P_e} \qquad (1)$$

と表記される。また、電子流体に乗った系における電子流体のエネルギー密度($\epsilon_{\mathrm{e}} = \frac{1}{2}nm_{\mathrm{e}}\int v^2 d\boldsymbol{v}_e$)の時間変化は

$$\frac{d\epsilon_{\mathrm{e}}}{dt} = \boldsymbol{j}_{\mathrm{e}}\cdot\boldsymbol{E} - \nabla\cdot\boldsymbol{Q}_{\mathrm{e}} + \boldsymbol{v}_{\mathrm{e}}\cdot\nabla\epsilon_{\mathrm{e}} \qquad (2)$$

という式で表される。ここで、$\boldsymbol{Q}_{\mathrm{e}}$ はエネルギー流ベクトル $\boldsymbol{Q}_{\mathrm{e}} = \frac{1}{2}nm_{\mathrm{e}}\int v_{\mathrm{e}}^2\boldsymbol{v}_{\mathrm{e}}d\boldsymbol{v}_{\mathrm{e}}$ である。

本研究では、これらの各項の比較を行うことによって、電子拡散領域周辺のプラズマの素過程の詳細を解明する。

計算手法

本研究では２次元電磁プラズマ粒子シミュレーションコード pCANS [Ikeya and Matsumoto, 2015]を用いる。今回は、２次元の非対称磁気リコネクションを再現するために、x-y 平面に 1200×4800 のグリッドをとり、マグネトシースと磁気圏の物理量の比が、磁場強度比 1:1、密度比 20:1、電子温度比 1:10、イオン温度比 1:22.5 となるように設定した。また、電子とイオンの質量比は 1:25 とした。図 1 は、初期条件の x 方向の物理量の空間構造を示しており、$x/\lambda < 2.8$ がマグネトシース、$x/\lambda > 2.8$ が磁気圏の各領域に対応する。

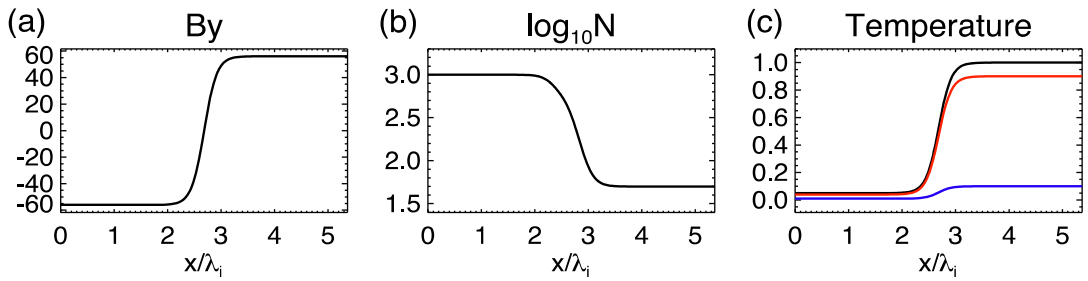


図 1.　非対称磁気リコネクションの初期条件　(a)磁場強度、(b)粒子密度、(c)電子温度(青線)、イオン温度(赤線)、全温度(黒線)

研究成果・考察

図 1 のような初期条件で、非対称磁気リコネクションを x/λ=2.8、y/λ=5.4 付近を中心として発生させた。時刻$\Omega_i t$=18 における、式(2) の各項を左から順に並べたものを図 2 に示す。図 2b は、電子電流と電場により生じるジュール熱項（右辺第 1 項)、図 2c はエネルギー流ベクトルの発散項（右辺第 2 項)、図 2d はエネルギー密度の対流項（右辺第 3 項)、図 2a が各項を式(2)で関係づけて得られる電子流体のエネルギー密度の時間変化（左辺）である。図 2b と図 2c は、電子拡散領域周辺で非常に似た特徴を示すことがわかる。これは、電子拡散領域外部からの電子のエネルギーの供給が電子拡散領域でのジュール熱を生み出していることを示している。次に、図 2a と図 2d を比較すると、式(2) の右辺第 1 項が電子流体に乗った系で見たエネルギー変化であるが、その変化は、ほぼエネルギー密度の対流項を反映したものとなっていることがわかる。電子流体のエネルギー密度が上昇する領域は、$E \cdot J_e$ で定義される拡散領域よりも少しマグネトシース側に位置しており、電子流体のエネルギー密度の上昇は、この領域における加速・加熱・密度上昇を示唆している。

図 3 には、式(1) の項が左から順に示されている。図 3a により、電子拡散領域周辺に、電子流体速度の y 方向の上下方向に加速領域が存在していることがわかる。図 3b-3d の比較によって、より中心に近い領域では圧力テンソル項による加速が、中心から離れるとローレンツ項による加速が支配的になることがわかる。また、電子流体速度の z 成分の加速領域(負の値が顕著な領域)は、ほぼ圧力テンソル項を反映していることがわかる。対称磁気リコネクションでは、電流と逆方向の電子流体の加速は、その領域の電場によって主に生じるが、上流側の密度差・温度差が顕著な非対称磁気リコネクショでは、圧力テンソル項が重要になることを示している。また、y 成分・z 成分の加速が生じる領域は、図 2a の電子流体のエネルギー密度の時間変化が正となる領域と類似しており、この領域の加速がエネルギー密度上昇に寄与していることを示唆する結果となった。

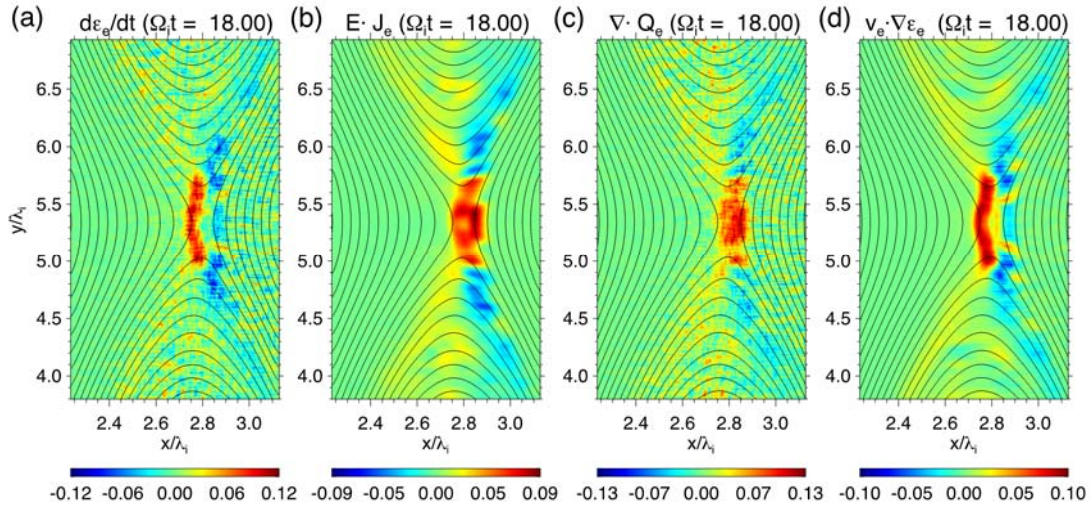


図 2. $\Omega_i t$ = 18 における式(2)の各項のカラーマップ

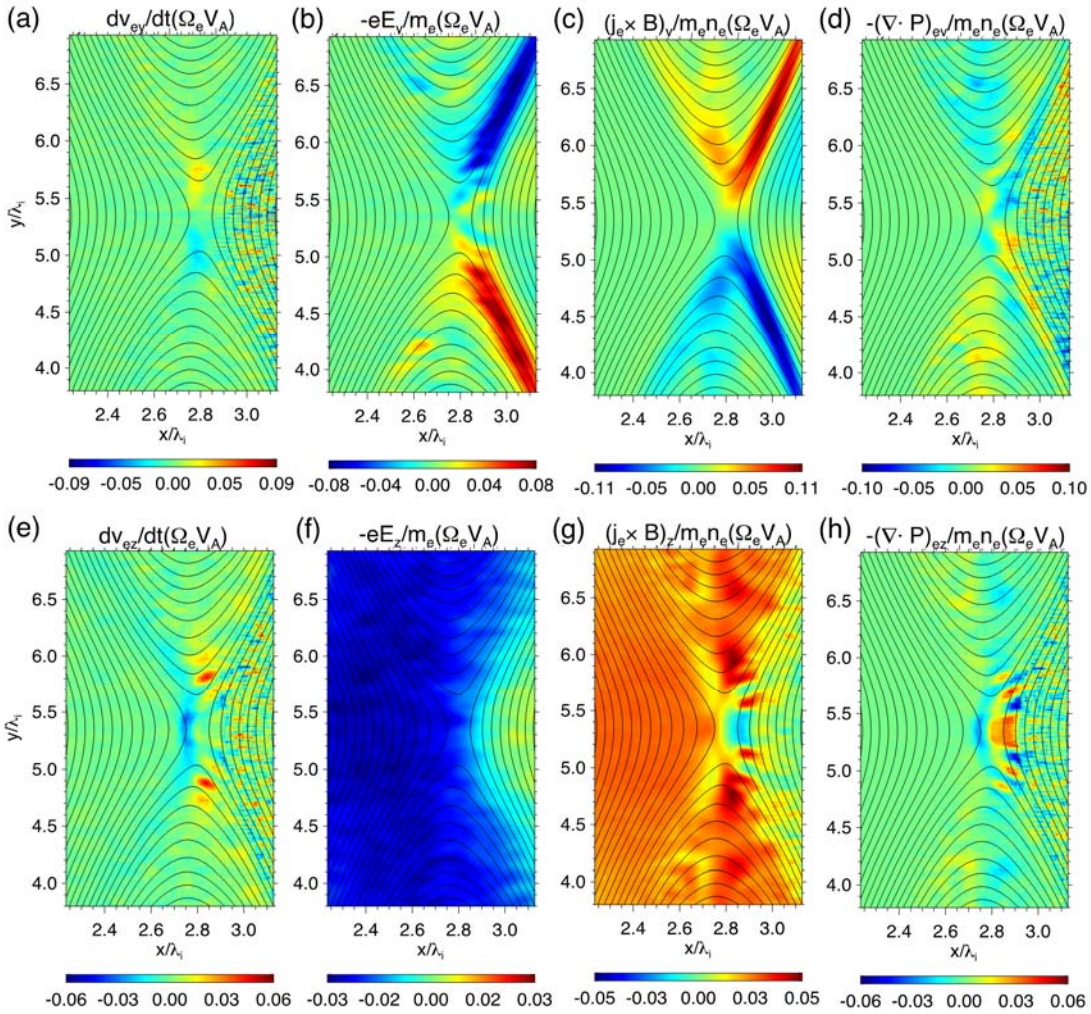


図 3. $\Omega_i t$ = 18 における式(1)の各項のカラーマップ。上段:y 成分、下段:z 成分。

成果発表

(ポスター)

1. 内野 宏俊, 栗田 怜, 原田 裕己, 町田 忍, Vassilis Angelopoulos, 昼側磁気圏界面リコネクションの最地球側境界層におけるプラズマ波動, 第 140 回 SGEPSS 総会および講演会, 福岡, 2016 年 11 月

(口頭発表)

1. 田中 瑠, 町田 忍, 内野 宏俊ほか, Geotail 衛星のデータを用いた昼側磁気リコネクションのホール磁場構造に関する研究第, 140 回 SGEPSS 総会および講演会, 福岡, 2016 年 11 月

(論文)

1. Uchino, H., S. Kurita, Y. Harada, S. Machida, and V. Angelopoulos (2017), Waves in the innermost open boundary layer formed by dayside magnetopause reconnection, J. Geophys. Res. Space Physics, 122, doi:10.1002/2016JA023300.

太陽フレアに対する電離圏の応答の数値シミュレーション
Numerical simulations of ionospheric response to solar flare

松村充、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

【研究目的】

太陽フレアはX線や極端紫外線を放射し，地球電離圏の電子密度を急激に増加させ（SIDと呼ばれる），衛星測位の精度低下や短波通信の遮断をひきおこす。このような事態を予測するためには，SIDがどこでどれくらい強く，それがどれくらい長く継続するのか，その特性とメカニズムを理解する必要がある。

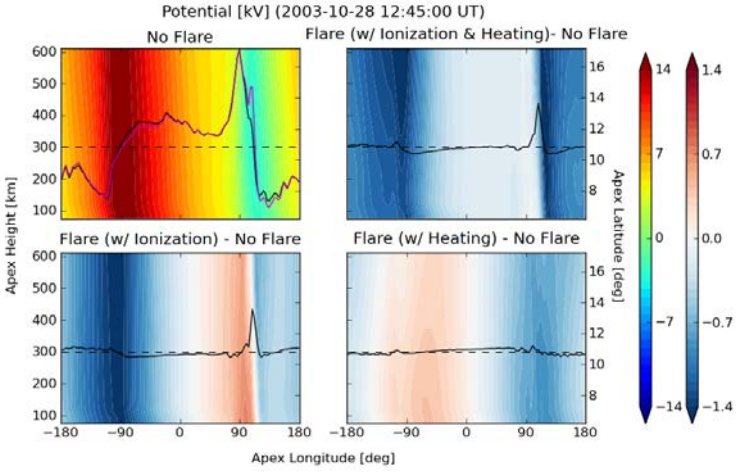
近年の研究から，磁気赤道域のSIDの分布には，電場によるドリフトが大きな役割を果たしていることが明らかになりつつある。この領域の昼側では，東向きの電場によって電子が極方向にドリフトしているが，2003年10月28日のX17フレア時には，磁気赤道での電子密度増大が周りの緯度に比べて大きくなったことが観測されており，東向き電場と極方向のドリフトが弱まったことが示唆されている[1]。また同じイベントでは，フレア放射の時間に比べて，電離圏全電子密度（TEC）の増大時間が3倍以上長く継続したことが報告されている[2]。この継続時間についても電場の寄与が示唆されているが，なぜ東向き電場が弱まり，その効果が長時間継続するのかは未だ解明されていない。電場を変化させる要因と考えられているのは，中性大気の電離の増大による電気伝導度分布の変化か，加熱の増大による中性風ダイナモの変化であるが，本研究では，これらのうちどちらがどのように電場を変化させて電子密度の増大を維持するのか，数値シミュレーションにより解明することを目的とする。

【研究方法】

数値シミュレーションには，大気圏・電離圏の全球モデルGAIA[3]を用いた。SIDを再現するために，GAIAに入力する太陽放射スペクトルを，フレアに対応した経験モデルFISM[4]に変更した。また，太陽放射から中性大気の電離率や放射加熱率を計算するために，吸収断面積などのパラメータをSolomon and Qian[5]の論文から引用した。これらの改良を施したGAIAを用いて，2003年10月28日のX17フレアに対する電離圏の応答をシミュレートした。計算には名古屋大学情報基盤センターの計算機FX100およびCX400を使用した。

【研究結果】

シミュレーションの結果，フレアがおこるとTECは昼半球全体で増大したが，とくに磁気赤道付近の朝側での増大が顕著であり，そこでは東向き電場は減少した。一方，夕方側ではTECの減少がみられ，そこでは東向き電場が増大した。この電場の成因が電気伝導度分布と中性風ダイナモのどちらの変化によるのかを調べるために，電気伝導度を変化させるのは放射による電離，中性風ダイナモを変化させるのは放射による加熱と考えて，4通りのシミュレーションをおこなった。1つめはフレアがおこらず放射・電離・加熱のいずれも変化しない場合（run1），2つめはフレア放射によって電離率・加熱率がともに増大する場合（run2），3つめはフレア放射によって電離率のみが増大する場合（run3），4つめはフレア放射によって加熱率のみが増大する場合（run4）である。右図はその4つの場合について，電離圏の静電ポテンシャルを，地球主磁場の磁力線の頂点の経度と高度についてプロットしたものである(時刻はフレア開始から1.75時間後)。黒色の実線は高度300kmにおける東向き電場，点線はその電場の基準線をあらわしている（単位は0.01mV）。ただし，run1（左上）の電場にはrun2の電場を紫色で重ねてプロットしており，run2（右上），run3（左下），run4（右下）については，run1から



の差をプロットしている。run2の東向き電場には，朝側（経度-90°付近）で減少，夕方側（経度90°付近）で増大がみられた。また，東向き電場の変化はrun2とrun3ではほぼ同じであり，それらに比べてrun4の電場が小さかった。run2の電場は電離（run3）と加熱（run4）の両方の影響が含まれているので，この結果は，run２の電場の変動をつくっているのが，主に電離による電気伝導度の変化であることを示している。

【考察】

電気伝導度と電場の関係は，電流の収束/発散による分極電荷の増大/減少で説明することができる。まず，昼側電離圏では東向きの電場によって東向きの電流が流れている。フレア放射によって昼側の電気伝導度が増大すると，朝/夕方側では電気伝導度勾配が強まるために，電流が発散/収束し分極電荷が増加/減少する。分極電荷は静電ポテンシャルを変化させるので，朝/夕方側で負/正のポテンシャルをつくる。図のポテンシャル分布はこれで説明できる。またここには掲載しないが，この二次的な電場によって，昼夜境界の昼側/夜側では電子が下/上向きにドリフトして輸送され，電気伝導度が増大/減少し，勾配が維持されることも明らかになった。これが電場および電子密度の変動を維持していると考えられる。さらに，夕方側の東向き電場はプラズマバブル生成の重要な要因であるので，夕方側での東向き電場は，バブルの継続時間を延ばしたり，クラスター状のバブルの生成を促したりする可能性がある。

【まとめ】

大気圏・電離圏の全球モデルGAIAを改良して，フレア時のSIDを再現できるようにした。さらに，SIDとそれに影響を及ぼす電場について，以下の特性とメカニズムを明らかにした。

・東向き電場が弱まることで，電子は磁気赤道付近で収束し，TEC増大が長く継続する。この効果は朝側ほど強い。

・東向き電場を弱めているのは，フレア放射による電離である。昼夜境界の電気伝導度勾配が急になり，朝/夕方側に負/正の分極電荷が溜まって昼側（特に朝側）の東向き電場が弱まる。夕方側では逆に東向き電場が強まる。

・分極電場によるドリフトで電気伝導度の急勾配が維持されるので，電場も維持される。

【引用文献】

[1]Liu, H., et al. (2007), *J. Geophys. Res.*, 112, A07305, doi:10.1029/2007JA012313.

[2]Tsurutani, B. T., et al. (2005), Geophys. Res. Lett., 32, L03509, doi:10.1029/2005RS003331.

[3]Jin, H., et al. (2011), *J. Geophys. Res.*, 116, A01316, doi:10.1029/2010JA015925.

[4]Chamberlin, P. C., et al. (2008), *Space Weather*, 6, S05001, doi:10.1029/2007SW000372.

[5]Solomon, S. C. and L. Qian (2005), J. Geophys. Res., 110, A10306, doi:10.1029/2005JA011160.

【成果発表（口頭発表）】

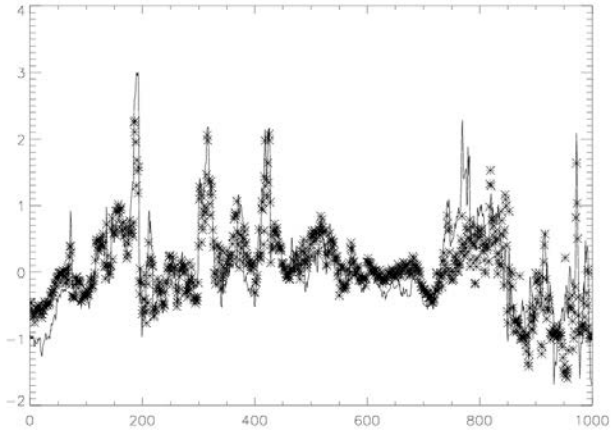
1. 松村充, 塩川和夫, 品川裕之, 陣英克, 藤原均, 三好勉信, “GAIAモデルを用いた太陽フレアに対する電離圏応答のシミュレーション”, 地球電磁気・地球惑星圏学会第140回講演会, 九州大学, 2016年11月20日.
2. Matsumura, M., K. Shiokawa, H. Shinagawa, H. Jin, H. Fujiwara, Y. Miyoshi, Y. Otsuka, “GAIA modeling of electrodynamics in the lower ionosphere during a severe solar flare”, American Geophysical Union 2016 Fall Meeting, サンフランシスコ, 2016年12月15日.
3. 松村充, 塩川和夫, 大塚雄一, 品川裕之, 陣英克, 藤原均, 三好勉信, “電離圏・大気圏のフレア応答”, 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」, 名古屋大学, 2017年1月26日.

複数の太陽周期にわたる時間的に連続した太陽風MHDモデリング
Solar-wind MHD simulation temporally seamless over solar cycle 21 to 24

代表者：林　啓志、ＮＳＳＣ／ＣＡＳ及びＩＳＥＥ名古屋大学

静穏太陽風をＭＨＤモデル計算により求解する場合、太陽に近い内部境界球面に（太陽回転系でみた場合の）固定端条件を適用することが一般的である。しかしながら、擾乱のような非静穏な事象を除いて考えても、厳密には太陽コロナの非定常的に伴う変動が静穏な太陽風でも存在する。本研究では、数十年にわたる名大ＩＰＳ実測データおよびＷＳＯ磁場観測データを基に時間変動する太陽圏内側境界値を与えたＭＨＤモデル計算を行う事でより実際にに近い、惑星間空間・太陽圏のＭＨＤモデルの構築を企図していた。計算機利用許可の問題により、２８年度では予備計算にとどまってしまった。

この予備計算には、モデル境界磁場変動を許容するＭＨＤモデル（2012年にＪＧＲ誌に発表ずみ）を用いた。ＭＨＤ計算を始めるにあたり、太陽風の密度と温度は上記２つの観測からは決定できないため、ある種の経験関数が必要となる。このための経験関数最適化手法を考案し、2016年ＪＧＲ誌にて発表済みのものをまずは用いた計算を行った。また、機械学習によるその場観測データに基づいた経験関数決定を試験的に行ないその結果をＭＨＤモデルに適用する予備計算も行っている（添付図）。これらの温度・密度関数の評価を含めた計算と結果解析が今後の課題である。



左図：機械学習により太陽風速度と磁場強度から予測された太陽風密度（×印）と実際に計測された密度（実線）。縦軸値は規格化された密度の対数値。横軸は時間で単位は時。一例として1991年2月頃の時期のものを図示している。学習には別な（1年後の）期間のデータを用いた。太陽風データ分類器および密度・温度補間器として機能する事を確認した。

関連する発表・論文：

1) Keiji Hayashi, Munetoshi Tokumaru, and Ken'ichi Fujiki, "MHD-IPS analysis of relationship among solar-wind density, temperature, and flow speed", (2016) *JGR*, vol.121, 7367 - 7384, doi:10.1002/2016JA022750

８.データベース作成共同研究 目次詳細

（所属・職名は平成29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
木村　智樹	理化学研究所	仁科加速器研究センター	基礎科学特別研究員	木星磁気圏研究のためのシミュレーションデータベースの開発	393
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	395
大矢　浩代	千葉大学	大学院工学研究科	助教	AVON－VLF/LF帯電磁波観測ネットワークデータベースの作成	397
加藤　千尋	信州大学	学術研究院・理学系	准教授	SSEおよびGMDNデータの比較可能なデータベース化	399
加古　真一郎	鹿児島大学	学術研究院 理工学域工学系	助教	複数衛星観測データを用いた全球海上風ベクトルデータセットの構築	401
土屋　史紀	東北大学	大学院理学研究科	助教	高時間・周波数分解能太陽・木星電波スペクトルデータベース構築	403
小山　幸伸	大分工業高等専門学校	情報工学科	講師	電離圏電気伝導度モデル計算データベースのLinked Open Data形式での公開	404
渡邉　堯	国立研究開発法人・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	407
吉川　顕正	九州大学	国際宇宙天気科学・教育センター	講師	MAGDAS/CPMNデータのデータベース化	408
高田　拓	高知工業高等専門学校	ソーシャルデザイン工学科	准教授	れいめい衛星搭載の磁力計GASのデータベース作成・整備	410

木星磁気圏研究のためのシミュレーションデータベースの開発
Development of open simulation database system for Jovian magnetospheric research

木村智樹、理化学研究所・仁科加速器研究センター

1. 研究目的

近年惑星観測宇宙望遠鏡「ひさき」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蓄積されてきている。また、数値シミュレーションでは計算機の発展により、空間解像度を細かくしなければ、パラメータサーベイ数値実験ができるようになっている。そこで、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、木星磁気圏シミュレーションのデータベース作成を目的とする。

2. 研究方法

このデータベースでは、基本的な太陽風動圧やIMF、観測やモデリングからの現実的な太陽風に対するに磁気圏の応答を計算したものを保存する。また、実験的な太陽風パラメータも必要に応じて計算・保存する。このように木星の基本構造を理解しやすいデータと、ひさきの観測に関連したデータを保存することで、木星磁気圏の理解と、それに繋がる観測と数値シミュレーションの共同研究への足がかりとなる。

まずは、基本的な太陽風条件を利用したシミュレーションを実行し、その時間発展データベースを作成した。ひさき観測結果から、どのような太陽風条件で、どのような時間スケール、空間スケールのデータが必要か打ち合わせをし、シミュレーションを実行し、データを保存した。標準的な空間解像度で、3GB×300のデータ出力で、数通りの計算を行った。解析高次データを含め、合計で10TB程度のデータ保存場所が必要だったため、本共同研究予算で購入したネットワークストレージを利用した。

3. 研究結果

3.1. 太陽風応答（担当者：深沢、北、村上、垰）

ひさきの長期連続オーロラ監視による、オーロラ放射エネルギーは、太陽風の衝撃波到来時の動圧や、衝撃波到達前の静穏時期の長さに有意に相関することがわかっている[Kita et al., 2016]。本シミュレーション[Fukazawa et al., 2010]のデータにおいても、磁気圏電流や、それを発電するプラズマシアー流に、類似の太陽風応答が発見された。

ひさきによる、イオ軌道付近のプラズマ高密度領域「イオプラズマトーラス」の連続監視では、太陽風の影響を受けづらいはずの強固な木星内部磁気圏において、太陽風に相関する電場変動を示唆する増光が発見された[Murakami et al., 2016]。本シミュレーションにおいても、内部磁気圏の電場を変調しうる磁気圏電流の変動が発見された。

3.2. 自励的エネルギー解放（担当者：深沢、木村、土屋）

Kimura et al. [2015]のオーロラ監視で発見された、太陽風静穏時の突発増光現象は、内部-外部磁気圏にわたる、自励的エネルギー解放、それがトリガする高エネルギープラズマ輸送を示唆している。シミュレーションデータ内でサーベイした結果、磁気圏尾部の閉じた磁力線沿いに発生する磁気再結合が、関連する解放過程であることが示唆された。

4. 考察（担当者：全員）

Tao et al. [2016]では、太陽風による圧縮時に、磁気圏赤道面付近での断熱加熱された熱的プラズマが担う電流が変動し、磁気圏-電離圏結合を介して、極域オーロラ増光に繋がるシナリオを提案した。本シミュレーションにおいても同様の熱的プラズマ電流の増加が発見されている。しかし、その他にも電流を駆動しうるシア一流などの発生が認められている。これらの各要因の定量的寄与を考察することが将来課題となる。

自励的エネルギー解放がシミュレーションで発見されたが、その後のプラズマ輸送は、外部磁気圏内の輸送にとどまっている。外部-内部磁気圏への全球的輸送など、観測との整合性の考察が将来課題である。

5. まとめ

ひさきの連続監視で初めて示唆された、木星磁気圏の太陽風応答・自励的エネルギー解放・輸送に関して、数値シミュレーション中でのサーベイを行った。その結果、対応する可能性のある変動が発見された。今後、定量的対応づけ、物理シナリオの提案などを行っていく。

6. 引用文献

Fukazawa, K., T. Ogino, and R. J. Walker (2010), A simulation study of dynamics in the distant Jovian magnetotail, J. Geophys. Res., 115, A09219, doi:10.1029/2009JA015228.

Kimura, T., et al. (2015), Transient internally driven aurora at Jupiter discovered by Hisaki and the Hubble Space Telescope, Geophys. Res. Lett., 42, doi:10.1002/2015GL063272.

Kita, H., et al. (2016), Characteristics of solar wind control on Jovian UV auroral activity deciphered by long-term Hisaki EXCEED observations: Evidence of preconditioning of the magnetosphere?, Geophys. Res. Lett., 43, 6790–6798, doi:10.1002/2016GL069481.

Murakami, G., et al. (2016), Response of Jupiter's inner magnetosphere to the solar wind derived from extreme ultraviolet monitoring of the Io plasma torus, Geophys. Res. Lett., 43,12,308–12,316, doi:10.1002/2016GL071675.

Tao, C., T. Kimura, et al. (2016), Variation of Jupiter's aurora observed by Hisaki/EXCEED: 2.Estimations of auroral parameters and magnetospheric dynamics, J. Geophys. Res. Space Physics, 121, 4055–4071, doi:10.1002/2015JA021272.

7. 成果発表

木村 智樹, 深沢 圭一郎, 土屋 史紀, 垰 千尋, 村上 豪, 北 元, 八木 学、ひさき衛星による木星観測と磁気圏グローバルMHDシミュレーションの連携解析、地球電磁気・地球惑星圏学会 第 136 回総会・講演会、R009-P23、11月20日、2016年

アナログ時代に遡る高時間分解能地磁気デジタルデータベース
Database of High-time-resolution Geomagnetic Field Back to the Analog Era

大川隆志　気象庁地磁気観測所技術課

１．目的

現在、地球電磁気学・宇宙空間物理学の分野で広く使われているデジタル収録のデータはそのほとんどが1970年代以降のものであり、それ以前は紙媒体によるアナログデータである。気象庁地磁気観測所には、アナログマグネトグラムと呼ばれる地磁気の変動を印画紙に記録したデータが保管されており、国際地球観測年以降については日本国内の3観測点（柿岡、女満別、鹿屋）における観測記録が揃っている。

本共同研究では、この紙媒体に記されたアナログデータのスキャニングを行うことで高解像度のデジタル画像に変換し、計算機で利用可能なデータにすることを目的とする。

太陽活動に起因する短周期の地磁気変動を、1地点だけでなく3地点について高時間分解能かつ長期間にわたり詳しく解析することが可能となり、地磁気変動の空間分布の解明や、相互比較によるデータの信頼性の検討に役立つことが予想される。アナログ時代に遡ることにより、将来的に、太陽活動の11年／22年周期に比して長期的なデータベースを得ることが可能となり、太陽活動の地球環境への影響を解明することに資する。

２．方法と結果

本年度は、女満別と鹿屋の1977～1979年（合計6年分）のアナログマグネトグラムについてデジタル画像化を行った。

気象庁地磁気観測所の職員が、1日毎に記録されているアナログマグネトグラムをすべてチェックし、日付に抜けがないか、欠測や異常値が含まれていないか、また、感度測定のための人為的信号が含まれる時刻等を確認した。その後、マグネトグラム2,449枚の高精度スキャニング作業（光学解像度600 dpi）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。

３．まとめ

平成24年度から28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）のみならず、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

Yamamoto, K., M. Nosé, N. Mashiko, K. Morinaga, and S. Nagamachi (2016),
Estimation of magnetospheric plasma ion composition for 1956-1975 by using high time resolution geomagnetic field data created from analog magnetograms,
J. Geophys. Res. Space Physics, **121**, 5203-5212, doi:10.1002/2016JA022510.

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。

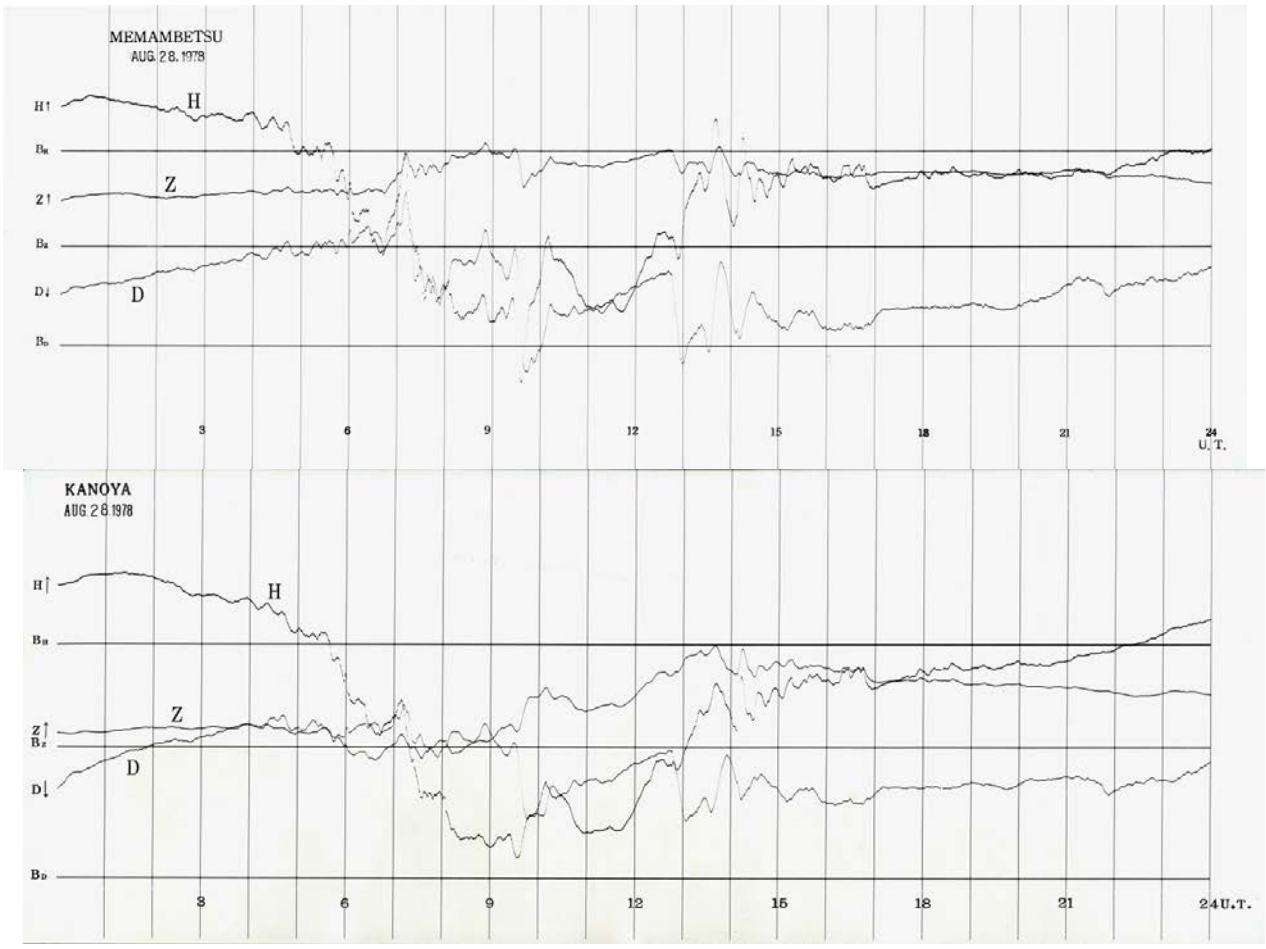


図1　デジタル画像化されたアナログマグネトグラム。
1978年8月28日の女満別（上）と鹿屋（下）の例。水平成分(H)、鉛直成分(Z)、偏角(D)について変化が記録されている。なお、両観測地点では、前日2時46分に磁気嵐が発生し、継続中であった。日時はUTC。

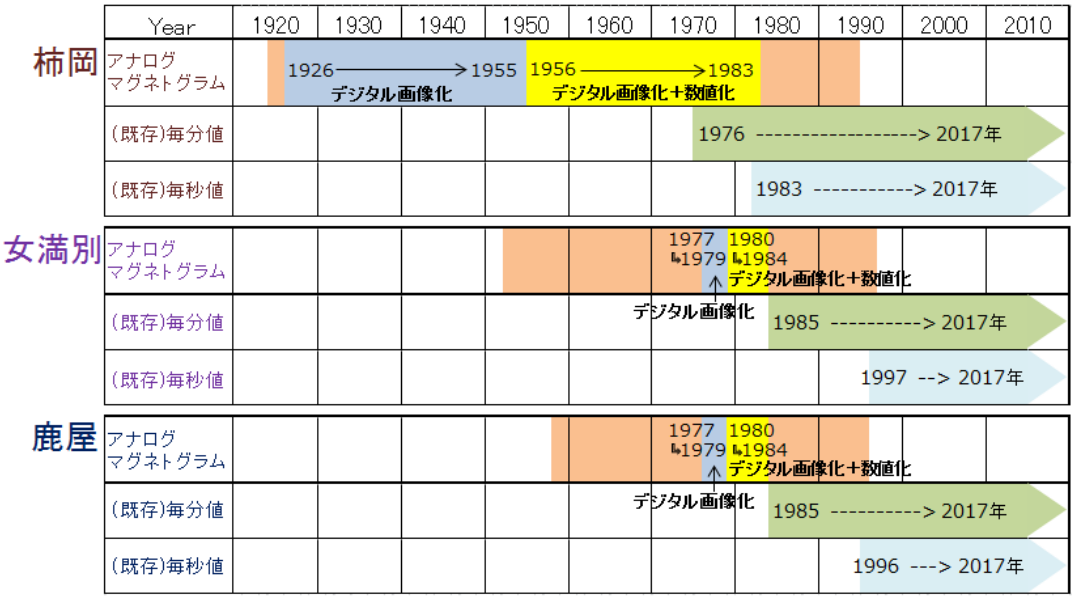


図2　平成28年度までに実施されたアナログマグネトグラムのデジタル化作業のまとめ。
一部期間について数値化（毎分値、7.5秒値）にも成功している。

AVON－VLF/LF帯電磁波観測ネットワークデータベースの作成
Data archives of the AVON-VLF/LF observation network

大矢　浩代、千葉大学・大学院工学研究科

1.　研究目的

本研究の目的は，東南アジアVLF帯電磁波観測ネットワーク(AVON)で得られた広帯域水平磁場2成分（南北および東西方向，0-10 kHz）と，LF/VLF帯標準電波(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，生波形をIUGONETを通して公開する。水平磁場2成分は，ダイナミック・スペクトルも公開する。AVONは2016年12月20日に打ち上げられたあらせ（ERG）衛星プロジェクトの地上観測ネットワークのうちの一つであり，打ち上げ後はERG衛星データとの比較により，内部磁気圏から下部電離圏への高エネルギー降り込み粒子の解明に貢献できるものと思われる。また名古屋大学宇宙地球環境研究所が1976年から定常観測している国内でのVLF/ELF帯電磁波データベースと組み合わせて，中低緯度帯の下部電離圏の長期変動解明に貢献できる。

2.　データベース作成

平成28年度は，AVON4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を通して周知した。図1にIUGONETから本データベースを検索したときの結果を示す。VLFデータは毎時00-02分，10-12分，20-22分，30-32分，40-42分および50-52分の12分間，水平磁場2成分（東西および南北）観測しており，1地点あたり1年間で8 TB のHDDを必要とした。図2に台南（台湾）で観測されたVLF波の磁場成分波形およびダイナミック・スペクトルの一例を示す。

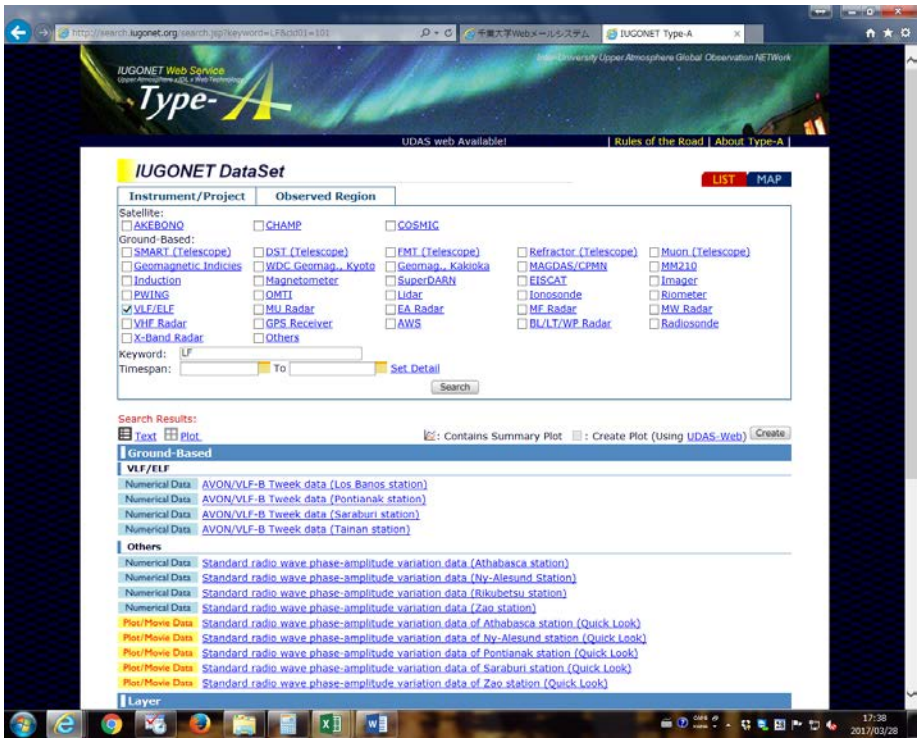


図 1　IUGONET の本データセット検索ページ

成果発表

[1] Ohya, H., Y. Takishita, F. Tsuchiya, K. Shiokawa, Y. Nakata, Y. Miyoshi, T. Obara, and H. Misawa, D-region ionospheric oscillations after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake using LF transmitter signals, 6th IAGA/ICMA/SCOSTEP Workshop on Vertical Coupling in the Atmosphere-Ionosphere System, Taipei (Taiwan), 25-29 July, 2016.

[2] Ohya, H., Y. Takishita, F. Tsuchiya, Y. Nakata, K.

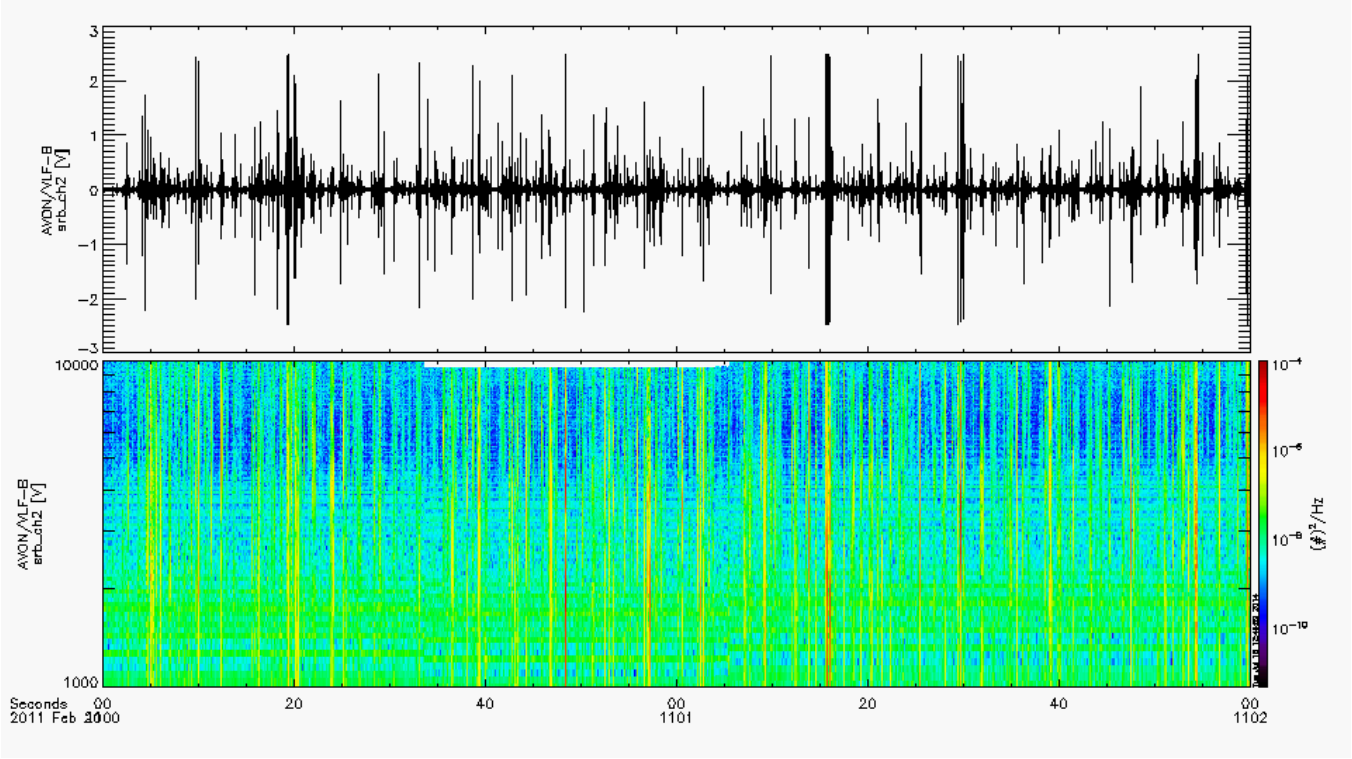


図 2　台南（台湾）で観測された VLF 波の波形（上）およびダイナミック・スペクトル（下）

Shiokawa, Y. Miyoshi, T. Obara, and H. Misawa, D-region ionospheric disturbances after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake using LF transmitter signals, Japan Geoscience Union Meeting 2016, Chiba(Japan), 22-26 May, 2016.

[3] 大矢浩代, 淺田圭佑, 土屋史紀, 塩川和夫, 中田裕之, 山下幸三, 高橋幸弘, LF 帯標準電波を用いた台風に関連する下部電離圏反射高度変動, 日本地球惑星科学連合 連合大会 2016 年大会, 千葉, 2016 年 5 月 22-26 日

[4] Ohya, H., Y. Takishita, F. Tsuchiya, K. Shiokawa, Y. Nakata, and Y. Miyoshi, D-region periodic oscillations observed in LF transmitter signals after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, The 140th SGEPSS Fall Meeting, Fukuoka(Japan), 20 November, 2016.

[5] 森永 洋介、土屋 史紀、小原 隆博、三澤 浩昭、本間 規泰、佐藤 光輝、大矢 浩代, 北陸冬季雷が下部電離圏に及ぼす影響, 日本地球惑星科学連合 連合大会 2016 年大会, 幕張(幕張メッセ), 2016/05/22

[6] 土屋史紀、小原隆博、三澤浩昭、大矢浩代、品川 裕之、野崎憲朗、塩川和夫、三好由純、陸別観測所で観測された東日本大震災時の下部電離圏変動、陸別ユーザーズミーティング、陸別町、2017/2/9

SSEおよびGMDNデータの比較可能なデータベース化
Create a Database System for SSE and GMDN

加藤　千尋、信州大学・学術研究院理学系

本研究課題の目的は,汎世界的ミューオン検出器網(GMDN)の観測データを用いて得られる宇宙線異方性をデータベース化し,より簡単に異方性の変動を可視化することである。同時に,米国デラウェア大が推進しているSpace Ship Earth計画での中性子計データから得られる異方性も取り込んで比較可能な形で提供することを目指した。

既存のGMDNデータベースサーバに,新たなデータベースを構築した。その際,HDD容量を拡充し将来のデータ容量とバックアップへの備えとした。本研究期間においては,GMDN：1994年～2014年,SSE：2007年～2012年のデータを用いて異方性を算出し,データベースに格納した。利用したSSEのデータは公表データである。利用者はデータベースにアクセスし,任意の期間,成分を選択(図1)して異方性の1時間値を取得できる(図2)。また,グラフ化してみることも可能で,その際は数値の単純なグラフ化(図3)か,又はベクトル表示(図4)を選択することができる。ただし,ベクトル表記の場合は,選択する成分が等方成分と異方性のx,y,z成分に制限される(それ以外の成分は表示されない)。

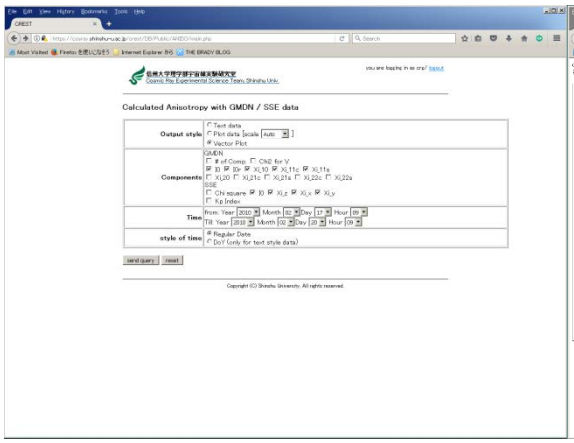


図 1　データベースアクセス頁

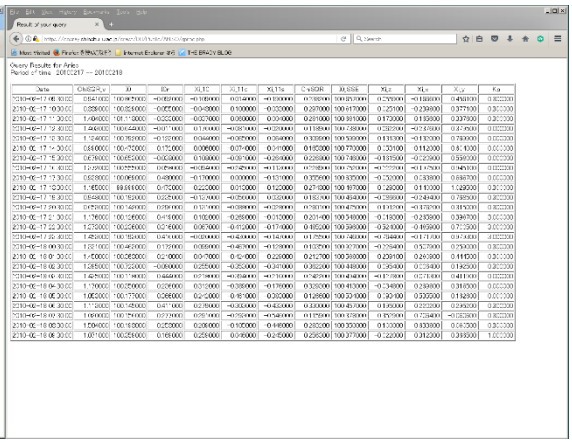


図 2　数値(テキスト)表示

データベース構築は一応の完了をみたので,今後,データ期間の拡充を進める。
本研究の推進に際して,以下
　1).可視化の方法
　2).リアルタイムに近い形での情報提供
が未解決課題として残った。

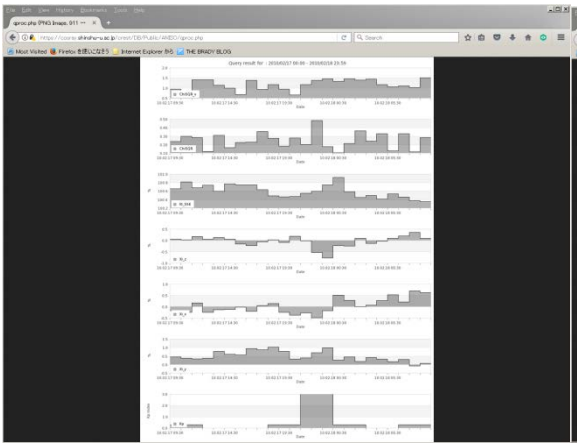


図 4　グラフ表示

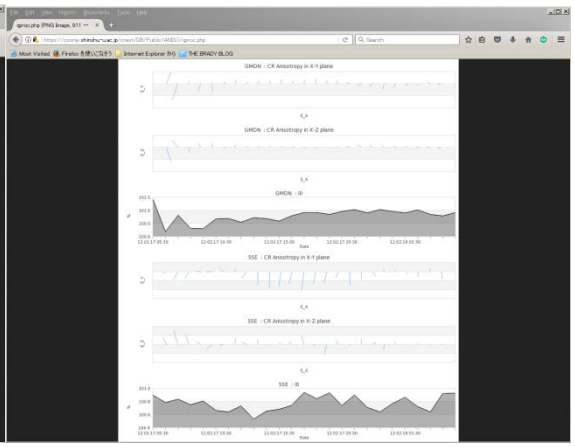


図 3　ベクトル表示

1）の問題は,現状の可視化が異方性の情報に慣れた利用者以外には解り難いものである点である。可視化の前提として,データ利用者としてどの様なグループを想定するのかについての議論が不十分であったことが理由として挙げられる。より広く情報提供を行うのであれば,この議論は不可避であった。また,現状のベクトル表記におけるスケールの整理も必要である。
2）の問題は,速報値を提供する上で必要となるリアルタイムでの異方性計算アルゴリズムとその実装ができていないことである。現状の異方性計算では,ある期間(現在は年間)の平均値を利用している。リアルタイムで異方性を計算するためには,平均値を何らかの値に置き換える必用があるが,その妥当性とアルゴリズムの開発が必要である。また,速報値が必要であるのかについてももう一度議論する必用がある。

このデータベースはα版として
http://cosray.shinshu-u.ac.jp/crest/DB/Public/main.php
で公開中である。

複数衛星観測データを用いた全球海上風ベクトルデータセットの構築
Construction of ocean surface wind vector dataset using multi-satellite observations

加古真一郎、鹿児島大学・学術研究院

1. 研究目的

大気海洋間の熱・運動量・淡水フラックスは、地球の気候システムを知る上で欠くことのできない基本的で重要な情報である。近年の数値モデル及びデータ同化手法の確立により、全球を対象とした海面フラックスの情報が再解析データセットとして提供されるようになった。しかしながら、このデータには大きな問題が存在する。例えば、再解析データの信頼性は、データ同化の際に用いられたデータ量やその質に依存するため、精度の良し悪しが時空間的に著しく変化する（Isobe et al., 2012)。また、既存の全球再解析データセットの空間解像度は高くても 50km 程度であり、衛星観測のそれ（およそ 12.5〜25km）よりも劣る。このような観点から、データの質にばらつきがない高解像度・広範囲かつ高精度の海面フラックスデータセットの構築が、データ解析及びモデル研究の両面から求められている。このニーズに「観測」として答えることのできる唯一の存在が、人工衛星である。本研究の目的は、複数の人工衛星から得られたデータを統合し、全球日平均海上風ベクトルデータセットを構築することにある。また、このデータセットを、我々の所持する Web サーバを通して全世界に配信することで、大気海洋結合システムの解明・研究の発展に寄与することも目的とする。

2. 研究方法

本研究で使用した衛星データの詳細を表 1 に示す。日平均スカラー風速は、この表に示す衛星データを全て単純平均することで推定した。一方、日平均風向は、散乱計と WindSAT から得られたベクトルデータに、最適内挿法(Kako et al., 2011)を適用することで推定している。このようにして得られた風向・風速の日平均値を用いて、空間解像度 0.25 度の全球海上風ベクトルデータセットを構築した。データセットの期間は、2002 年から 2013 年の 12 年間である。これ以降、本研究で作成したデータセットを Japanese Ocean Flux Datasets with Use of Remote Sensing observations version 3 (J-OFURO3)と呼ぶ。

表 1　データセット作成に用いた衛星データ

マイクロ波放射計	SSMIs(RSS; 以下括弧内は提供期間を示す),AMSR-E(RSS),TMI(RSS),WindSAT(RSS),AMSR2 (RSS)
マイクロ波散乱計	OSCAT(PO.DAAC),ASCAT(PO.DACC),QuikSCAT (PO.DAAC)
時間解像度	6 時間毎のデータから計算した日平均値
空間解像度	0.25° ×0.25°

3. 研究成果

J-OFURO3 の精度検証を行うために、現場観測値との比較を行った（図 1)。この比較には、J-OFURO3 に加え、4 つの衛星データ(ASCAT-A/B, OSCAT, WindSat)それぞれから構築した単一人工衛星プロダクトの日平均値も用いた（ascending/descending 観測から得られたデータを単純平均することにより作成)。比較

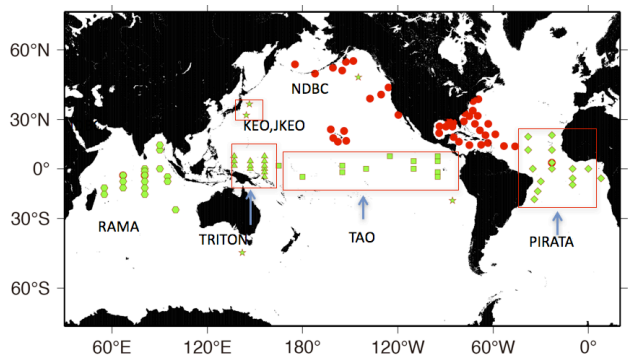


図 1　精度検証に用いたブイとその係留位置

結果を図 2 に示す。図 2a が示すように、J-OFURO3 の bias は 0.30 m/s 以下であり、各衛星の公称精度である 0.5 m/s よりも小さい。また、J-OFURO3 とブイの root mean square (RMS)差は最小、相関係数は最大であり、どの単一衛星プロダクトと比べても精度が良い (図 2b)。これは、観測時間の異なった複数の人工衛星データの統合が、日平均値を作成する際のサンプリングエラーの低減に対して、効果的に作用していることを示している。

4. まとめ

本研究では、複数の人工衛星から得られたデータを統合することで、全球海上風ベクトルデータセットを構築し、現場観測値との比較を通して、その精度検証を行った。その結果、本研究で構築したデータセットは、どの単一衛星プロダクトよりも精度が高いことが示された。また本研究では、この全球海上風ベクトルデータセットの無料配信を開始しており、https://j-ofuro.scc.u-tokai.ac.jp から全てダウンロード可能である。今後は、逐次データ期間を延長するとともに、精度検証の結果も併せて公開する予定である。

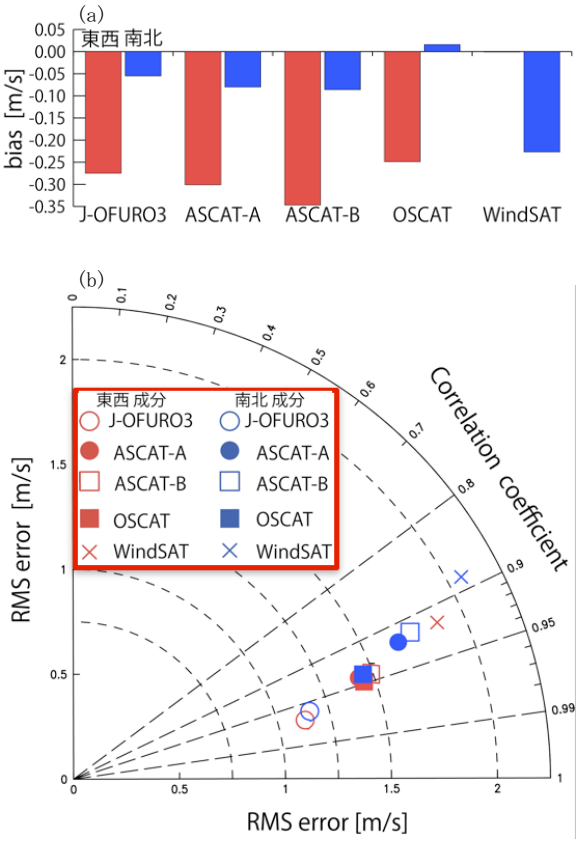


図 2　係留ブイと人工衛星から得られた海上風の比較結果。(a)Bias (b)RMS 差と相関係数の関係を示すテーラーダイアグラム。

引用文献

1. Isobe, A., S. Kako, X. Guo, and H. Takeoka, 2012: Ensemble numerical forecasts of the sporadic Kuroshio water intrusion (Kyucho) into shelf and coastal waters. *Ocean Dynamics*, 62, 633-644, doi: 10.1007/s10236-011-0519-z.

2. Kako, S., A. Isobe, and M. Kubota, 2011: High resolution ASCAT wind vector dataset gridded by applying an optimum interpolation method to the global ocean. *J. Geophys. Res.*, **116**, D23107, doi: 10.1029/2010JD015484.

成果発表

1. 富田裕之・加古真一郎・日原勉・轡田邦夫・久保田雅久・ 亀田傑、複数衛星を用いた全球海上風格子データの構築、日本海洋学会秋季大会、鹿児島、2016 年 9 月

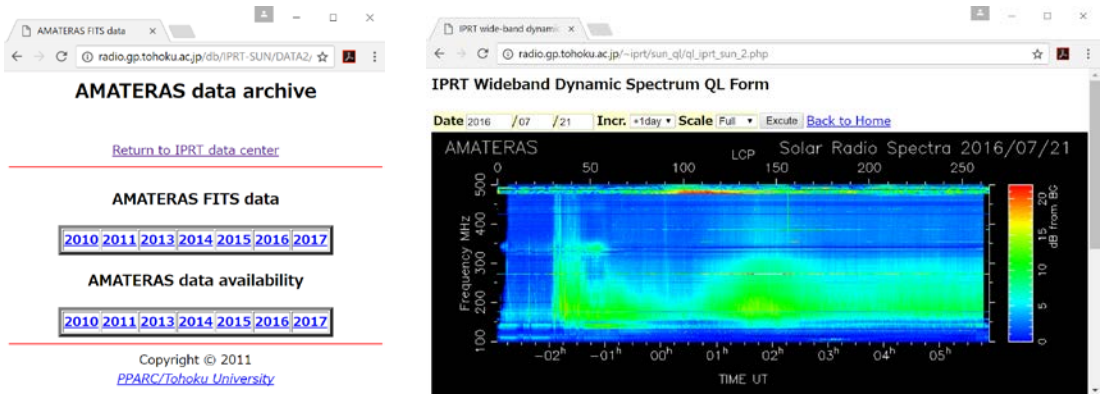
2. 寺田雄貴・加古真一郎・高山勝巳・富田裕之・日原勉・轡田邦夫・久保田雅久、DREAMS を用いた J-OFURO3 海上風ベクトルデータセットの有用性の検証、日本海洋学会秋季大会、鹿児島、2016 年 9 月

3. 寺田雄貴・加古真一郎・高山勝巳・富田裕之・日原勉・轡田邦夫・久保田雅久、 複数衛星を用いた全球海上風ベクトルデータセットの構築とその有用性の検証、 日本海洋学会西南支部大会、鹿児島、2016 年 12 月

高時間・周波数分解能太陽・木星電波スペクトルデータベース構築
Fine resolution radio spectrum database for solar and Jovian radio bursts

土屋史紀　東北大学・大学院理学研究科

東北大学では、HF 帯の偏波スペクトル計と VHF-UHF 帯高感度太陽電波観測装置 AMATERS により数 10MHz から 500MHz に渡る高感度地上電波観測を実施している。この周波数帯に出現する太陽電波バースト現象は太陽コロナ中での電子加速現象の発生と電磁波の伝搬過程を反映しており、電波バーストのスペクトルの微細構造から、加速を受けた高エネルギー電子やコロナ中のプラズマ密度分布などの情報を引き出すことができる。また、木星電波の出現は惑星極域における電子加速現象の発生を反映しており、加速・電波伝搬の素過程の他、磁気圏の活動度のレベルを示す指標として活用できる。本研究では、HF-UHF 帯の高分解電波スペクトルデータを定常的に提供するデータベースを整備し、太陽コロナや活動領域、並びに惑星電離圏上空の加速領域で生じるプラズマ素過程を電波スペクトル上に現れる微細構造から研究する機会を広く提供する。HF 帯の偏波スペクトル計データと AMATERAS の低分解能データから、それぞれ CDF, Fits フォーマットのデータが自動生成されるシステムが構築されている。これらのメタデータは HF,AMATERAS は IUGONET に、HF について CDPP AMDA へ登録を実施しているが、本研究では新たに、AMATERAS メタデータの CDPP AMDA への登録を開始した。AMATERAS の高時間分解能データは、電波バーストが頻発した日は一日当たり 40GB 程度のデータが発生するため、定常的なオンラインアーカイブの構築が課題となっていた。本研究で 52TB の NAS を設置し、ユーザへのデータ提供環境を整えた。AMATERAS の高時間分解能データの提供は現状ではリスエストベースとなっているが、今後 QL を含めたオンライン公開を予定している。



AMATERAS fits データの公開サイト及び QL 閲覧サイト
(http://radio.gp.tohoku.ac.jp/db/IPRT-SUN/DATA2)

電離圏電気伝導度モデル計算データベースの Linked Open Data形式での公開

Release to the public of the model calculation database for ionospheric conductivity in Linked Open Data format

小山　幸伸，大分工業高等専門学校・情報工学科

１．研究目的

地磁気静穏日変化の振幅の見積もりや、地磁気誘導電流の見積もり等への応用を見込んで、平成24年度の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」における共同研究（代表者：新堀）の一環として、本申請者らが IDL 言語を用いた電離圏電気伝導度モデルを作成した。これを多観測点かつ長期に渡って計算すると、長時間を要する。これをWeb上でデータベース化し共有する取り組みが、平成25年度の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で採択された「電離圏電気伝導度モデル計算データベースの構築」である。これを構築した平成25年には、G8においてオープンデータ憲章が採択された。また、平成２８年でのG7サミットの科学技術大臣級会合では、オープンサイエンスが取り上げられたように，オープンデータに対する機運がますます高まっている。これを受け、前回のデータベース公開時には盛り込めなかった、オープンデータの標準的な形式のひとつである Linked Open Data 形式でのデータ設計を行って公開し、利便性をより高めることを目的とする。

２．研究方法

本データベース作成共同研究は，1.データベース公開のためのハードウェアやネットワークなどの基盤整備，2.Linked Open Data形式でのデータフォーマット設計,3.2に従った実装，の3部分に大別される．これらを順序を追って進めた.

３．研究結果

まずはじめに，データベース公開を行う上で必要なサーバーの整備を行った．これまで京大で稼働していたサーバーを，研究代表者が所属する大分工業高等専門学校へ移設を行った．本研究経費で購入した，ネットワークスイッチ，ディスプレイ，キーボード，ネットワークケーブル等をサーバーに接続し，学内ネットワークおよび学外ネットワークへ接続を行った.

次に，内部的にはリレーショナルデータベース形式である，電離圏電気伝導度モデル計算データを，Linked Open Data の標準形式で公開すべく設計を行った．この設計の一部を表 1に示す.これに加えて,電離圏電気伝導度モデルが依存している,IGRF-12, IRI, MSISのマッピングも検討した.

表 1　関係データベースのプロパティと LOD 形式のマッピング

RDB の定義	説明	LOD での表現
sigma_0	既存語彙無し．新規に定義する必要あり．	ionocond:sigma_0
sigma_1	既存語彙無し．新規に定義する必要あり．	ionocond:sigma_1
Sigma_2	既存語彙無し．新規に定義する必要あり．	ionocond:sigma_2
Sigma_xx	既存語彙無し．新規に定義する必要あり．	ionocond:sigma_xx
Sigma_yy	既存語彙無し．新規に定義する必要あり．	ionocond:sigma_yy
Sigma_xy	既存語彙無し．新規に定義する必要あり．	ionocond:sigma_xy
Height	geo:alt は世界測地系(WGS84)であるので，1 対 1 対応する．	geo:alt
Glat	geo:lat は世界測地系(WGS84)であるので，1 対 1 対応する．	geo:lat
Glon	geo:lon は世界測地系(WGS84)であるので，1 対 1 対応する．	geo:lon
Yyyy	yyyy,mmdd,ltut,atime の 4 要素を dc:date で表現可能．	dc:date
Mmdd	yyyy,mmdd,ltut,atime の 4 要素を dc:date で表現可能．	dc:date
Ltut	yyyy,mmdd,ltut,atime の 4 要素を dc:date で表現可能．	dc:date
Atime	yyyy,mmdd,ltut,atime の 4 要素を dc:date で表現可能．	dc:date
algorithm	公開されているものの，小山によるモデル実装のみのローカルなパラメータなので，RDF 化しない．	

上記の定義を踏まえ，実際に関係データベースのプロパティを Linked Open Data の標準形式に変換する必要があるが，進捗遅れにより未だ完了していない。

４．考察

先行事例が沢山あれば，それらを踏襲することによって機械的なマッピングの設計が可能であるが，地球物理学のデータの LOD 化は盛んでないため，手探りでの作業になった．深く考えずに定義することは可能といえば可能であるが，同種の後発がこれを踏襲するため，慎重を期す必要があり，試行錯誤が必要となった．

５．まとめ

本研究の成果物であるデータベースは，２０１６年１２月に公開する見込みであった．しかしながら，進捗の遅れのため，現状公開に至っていない．本年度のデータベース作成共同研究経費によって，本研究の継続遂行の基盤は整備済みである．そのため，新たな経費の補助無しに研究遂行が可能である．それゆえ，次年度も本研究を継続することで成果を上げる．

６．引用文献

[1] Koyama, Y.,A. Shinbori,Y. Tanaka, T. Hori,M. Nosé,S. Oimatsu, An Interactive Data Language software package to calculate ionospheric

conductivity by using numerical models, Comput. Phys. Commun., doi：10.1016/j.cpc.2014.08.011
[2] 松村冬子, LODの作り方・使い方, https://www.slideshare.net/fuyukoitomatsumura/lod5lod

７．成果発表

未発表である.

宇宙線WDCデータベース
Database of WDC for Cosmic Rays (WDCCR)

渡邉　堯、情報通信研究機構・統合ビッグデータ研究センター

宇宙線世界資料センター(WDC for Cosmic Rays)の業務として、1953 年以来、世界各地で行われている宇宙線中性子観測データ(一時間値)を収集し、品質管理を行った上で統一フォーマットによるデータベース化を行い、インターネットなどを通じたデータ提供を行うとともに、太陽活動と宇宙線現象、宇宙線フラックスと地球環境との関係などについて研究を行った。作業内容は、1953 年以来現在世界各国で行われている宇宙線中性子観測データ（1 時間値）を収集し、不適正データの混入などのチェックを行った上でデータベース化し、インターネット等によるデータ提供を行うことであるが、特に旧ソ連圏における観測データの取り纏めを行っているロシア科学アカデミーの IZMIRAN（電離層研究所）の活動が不安定となっており、新規データのデータベース化が遅れている。この状況が続くのであれば、直接観測所からデータを取得することなど、今後の対策を考えたい。研究面では、名古屋大学宇宙地球環境研究所の主導で定期的に開催されている STE 現象報告会において、最近の宇宙線現象の推移について報告を行っている。今太陽活動周期においては、惑星間空間擾乱の発生頻度が低いことの裏返しとして、宇宙線到来方向の異方性を示す宇宙線フラックス日変化の振幅の変化が、長期間にわたって安定して追跡可能であり、日変化の現れ方が、惑星間空間磁場の構造の変化に良く対応していることが示された。宇宙線 WDC の活動については、STE 現象報告会（平成 29 年 3 月 14 日）で報告を行った。また平成 28 年 9 月 27 日―28 日に京都大学で開催された第 3 回オープンサイエンスデータ推進ワークショップ では、宇宙線世界資料センターの活度報告と、太陽黒点数や宇宙線強度のような、研究の基盤となる基礎的観測データの長期保全・公開態勢の確保における問題点と今後の方向について講演を行った。

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

九州大学では環太平洋地域を中心に地磁気ネットワーク観測（MAGnetic Data Acquisition System (MAGDAS)）を継続実施して1秒値の高時間分解能データ及び、FM-CWレーダデータを取得し、MAGDAS磁場観測点のデータ補正・データベース化及びQLプロット作成を進めている。また、太陽風-磁気圏-電離圏-大気圏結合系の終着点である磁気赤道領域で観測される赤道ジェット電流(以下、EEJ)に特に注目し、その変動成分をグローバルな全球に現れる成分（Edst）と、ローカル成分に（EU/EL）に一意分割するEE-indexを開発[Uozumi et al., 2008]し、宇宙天気変動の研究への活用を検討してきた。本申請課題では、このEE-indexのデータベース化を中心とした、MAGDAS/CPMNデータのデータベース化及び、FM-CWレーダ（4観測点）のデータベース化を実施した。本課題の成果は、太陽風-地球磁気圏相互作用、電離圏・磁気圏ダイナミクス、電離圏-熱圏におけるプラズマ中性大気相互作用、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などについての国内・国際共同研究や、九州大学大学院生の教育の一貫に利用され、下記に挙げた学術論文・国内外の学会において成果発表された。

論文成果リスト

1. SA Bello, M Abdullah, NSA Hamid, A Yoshikawa, AO Olawepo, Variations of B0 and B1 with the solar quiet Sq-current system and comparison with IRI-2012 model at Ilorin, Advances in Space Research, 2017, accepted

2. GQ Wang, M Volwerk, TL Zhang, D Schmid, A Yoshikawa, High‐latitude Pi2 pulsations associated with kink‐like neutral sheet oscillations, Journal of Geophysical Research: Space Physics, 2017, accepted

3. Rabiu, A. B., Folarin, O. O., Uozumi, T. and Yoshikawa, A. (2016) Simultaneity and Asymmetry in the Occurrence of Counterequatorial Electrojet along African Longitudes, in Ionospheric Space Weather: Longitude and Hemispheric Dependences and Lower Atmosphere Forcing (eds T. Fuller-Rowell, E. Yizengaw, P. H. Doherty and S. Basu), John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA. doi: 10.1002/9781118929216.ch2

4. Ohtani, S., and A. Yoshikawa (2016), The initiation of the poleward boundary intensification of auroral emission by fast polar cap flows: A new interpretation based on ionospheric polarization, J. Geophys. Res. Space Physics, 121, doi:10.1002/2016JA023143. (Selected as Editor’s Highlight)

5. Takahashi, K., M. D. Hartinger, D. M. Malaspina, C. W. Smith, K. Koga, H. J. Singer, D. Frühauff, D. G. Baishev, A. V. Moiseev, and A. Yoshikawa (2016), Propagation of ULF waves from the upstream region to the midnight sector of the inner magnetosphere, J. Geophys. Res. Space Physics, 121, 8428-8447, doi:10.1002/2016JA022958.

6. Imajo S., A. Yoshikawa, T.Uozumi; S. Ohtani, A. N.Sodnomsambuu Demberel, B. M. Shevtsov (2016), Solar terminator effects on middle-to-low latitude Pi2 pulsations, Earth, Planets and Space, 68 (1), 13768 (1), 137.

7. Uozumi, T., A. Yoshikawa, S. Ohtani, S. Imajo, D. G. Baishev, A. V. Moiseev, and K. Yumoto,

(2016), Initial deflection of middle-latitude Pi2 pulsations in the premidnight sector: Remote detection of oscillatory upward field-aligned current at substorm onset, J. Geophys. Res. Space Physics, 121, doi:10.1002/2015JA021698.
8. Nishimura N., T.Kikuchi; Y.Ebihara, A.Yoshikawa, S.Imajo; W. Li, H. Utada, Evolution of the current system during solar wind pressure pulses based on aurora and magnetometer observations, , Earth, Planets and Space, 68 (1), 144, (2016).
9. Bisoi,OS. K., D. Chakrabarty, P. Janardhan, R. G. Rastogi, A. Yoshikawa, K. Fujiki, M. Tokumaru, and Y. Yan (2016), The prolonged southward IMF-Bz event of 2?4 May 1998: Solar, interplanetary causes and geomagnetic consequences, J. Geophys. Res. Space Physics, 121, 3882-3904, doi:10.1002/2015JA022185.
10. Bolaji, O. S., E. O. Oyeyemi, O. P. Owolabi, Y. Yamazaki, A. B. Rabiu, D. Okoh, A. Fujimoto, C. Amory-Mazaudier, G. K. Seemala, A. Yoshikawa, and O. K. Onanuga, Solar Quiet Current Response in the African Sector Due to a 2009 Sudden Stratospheric Warming Event, J. Geophys. Res. Space Physics, 2016 August 6,doi:10.1002/2016ja022857.
11. Tsuda, T., M. Yamamoto, H. Hashiguchi, K. Shiokawa, Y. Ogawa, S. Nozawa, H. Miyaoka, and A. Yoshikawa, A proposal on the study of solar-terrestrial coupling processes with atmospheric radars and ground-based observation network, Radio Sci., 51, doi: 10.1002/2016RS006035, 2016.″
12. Fujimoto, A., T. Uozumi, S. Abe, H. Matsushita, S. Imajo, J. K.Ishitsuka, and A. Yoshikawa, Long-term EEJ Variations by Using the Improved EE-index, Sun and Geosphere, Vol.11, Issue 1, 2016
13. Moiseev, A.V., D. G. Baishev, V. A. Mullayarov, S. N. Samsonov, T. Uozumi, A. Yoshikawa, K. Koga, and H. Matsumoto (2016), The Development of Compression Long-Period Pulsations on the Recovery Phase of the Magnetic Storm on May 23, 2007, Cosmic Research, 2016, Vol. 54, No. 1, pp. 31-39.

国内学会・国際学会・招待講演リスト

1. Yoshikawa A., Magnetosphere-Ionosphere Coupling, The SCOSTEP/ISWI International School on Space Science, November 7-17, 2016, Sangli, Maharashtra, India (Invited lecture)
2. 吉川顕正、磁気圏電離圏結合, 平成２８年度「磁気圏・電離圏シンポジウム」、電離圏・磁気圏探査衛星検討リサーチグループ第１回会合」、10/14-15, 2016,宇宙科学研究所, 神奈川県相模原市、招待講演
3. 吉川顕正、磁気圏電離圏結合ダイナミクスの無撞着な記述：境界条件を超えて、「磁気圏複合系研究会・プラズマシート極域電離圏投影問題研究会」、9/20-21, 2016, 国立極地研究所、東京都立川市、招待講演
4. 吉川顕正、Alfven 波による一般化された 3 次元磁気圏電離圏結合, 名大 ISEE/極地研/NICT/京大 RISH 共同主催「中間圏・熱圏・電離圏 (MTI) 研究集会」/(第 321 回生存圏シンポジウム), 8/29-31,2016, 情報通信研究機構, 東京都小金井市、招待講演
5. Yoshikawa A., (B,V) Paradigm of Magnetosphere-Ionosphere Coupling, URSI Asia-Pacific Radio Science Conference (URSI AP-RASC 2016), Soul, Korea, August 24, 2016, (Invited)
6. Yoshikawa A., Magnetosphere-Ionosphere coupling by shear Alfven wave, Impact of Space Weather on Earth COSPAR Capacity Building Workshop August 15 - 26, 2016, Paratunka, Kamchatka, Russia, (invited lecture)

れいめい衛星搭載の磁力計GASのデータベース作成・整備
Database production and management of magnetometer GAS onboard Reimei Satellite

高田拓、高知工業高等専門学校・ソーシャルデザイン工学科

【研究目的】

本研究では、れいめい衛星に搭載されたGASデータを科学データとして扱いやすい形式に変換し、GASデータベースの作成・整備を行った。GASデータの補正処理を行い、プラズマ粒子データと比較することにより、沿磁力線電流が適切に推定されていることを確認した。

【研究方法】

図1では、黒線で示された磁場の3成分は、赤線で示されたIGRF（International Geomagnetic Reference Field）10モデルによる地球固有磁場の値と、同じような値を示している。磁場データの黒線は太い帯状に見えるが、これは短時間での磁場変動は大きく、大きなノイズ成分を含んでいるためである。また、MACの起動時と測定開始時には、縦の矢印で示すようにスパイク状のノイズが見られ、MACの測定中は、横向きの矢印で示す区間に階段状の磁場変動（オフセット）が見られる。MACの起動中（縦の点線の間の区間）に誘導磁場の影響を受けていることが分かる。MAC起動から測定開始の間（16:09:26 -33）には、スパイク状のノイズに加えて、オフセットノイズが時間的に変動している。MAC測定終了からMAC終了の間（16:11:30-16:11:34）では、スパイク状のノイズはないが、オフセットノイズの変動は見られる．オフセットノイズの時間変動を補正するのは難しいので、今回は、それらの区間の補正は行っていない。沿磁力線電流に伴う誘導磁場成分を評価するためには、磁場変動のノイズ等をできるだけ軽減し、オフセットノイズを調整する必要がある。

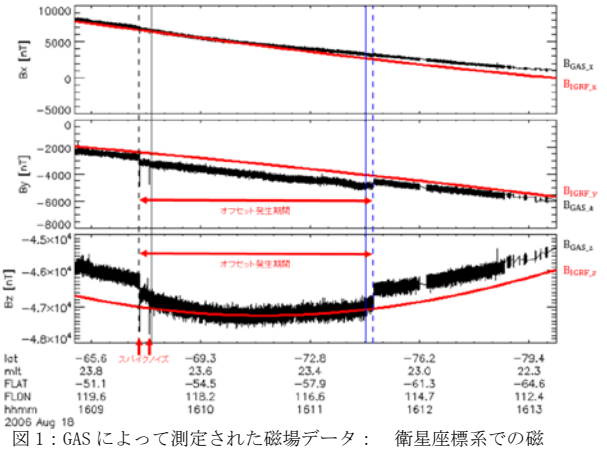


図 1：GAS によって測定された磁場データ： 衛星座標系での磁場の 3 成分（黒線）と、IGRF モデルによる地球の固有磁場（赤線）。縦線は、MAC のコマンド実行時刻（順に、起動、測定開始、測定終了、停止）。

【研究結果】

図2に、補正処理を行う際の各データを示す。図2(a)では、衛星座標系のGASデータが示されており、地球固有磁場程度の大きな値を示している。図2 (b)では、GASとIGRFとの差分データを示しており、宇宙空間の磁場をおよび、衛星機器関連の誘導磁場を合わせた磁場の値となっている。MACの動作の影響によってオフセットノイズが含まれていることが

顕著に見られる。本イベントでのオフセット値は、（B_N、 B_E、 B_z）＝（−146、 −386、 −504）であった。図2(c)では、補正データの東向き成分の磁場変動データを示している。水色が200 Hzのデータで、赤線は、平均値±平均偏差の値を4 Hzサンプリングで示している。MAC測定中（16:09:33-16:11:30）の磁場変動の値（赤線）が、MAC測定前後の値とほぼ同じレベルに補正されていることが分かる。

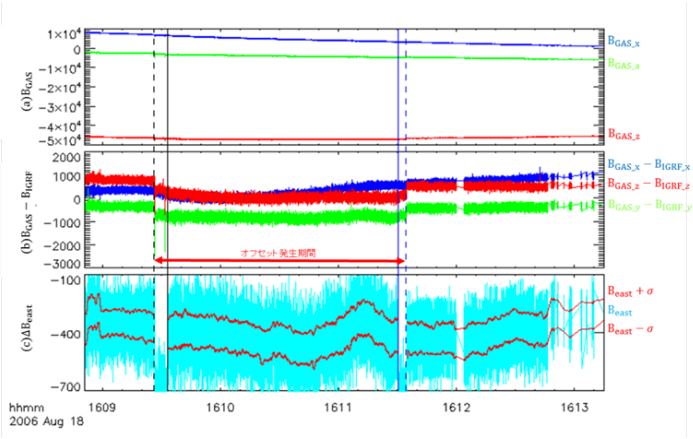


図 2：(a) GAS の元データ、(b) IGRF との差分データ、(c) 東向き成分の磁場変動：補正 4Hz データと（赤線）とオフセットのみ補正 200Hz データ（水色）。

【まとめ】

本研究では、姿勢制御用の磁力計GASのデータを処理し、沿磁力線電流の大きさや向きについて議論できるかどうかの評価を行った。座標変換、機器依存の高周波のノイズ成分の平均化、および、MACの起動に伴う磁場変動の除去等の補正を行い、データベースとして整備した。また、ESA/ISAデータと比較することで、GASの補正データによる磁場変動が、沿磁力線電流による変動とよく合うことを確認した。これらの補正データは、科学論文でも利用され、沿磁力線電流の根拠として使われている。一方で、補正データの磁場変動は、比較的規模の小さな沿磁力線電流に対しても、非常によく対応することが分かった。れいめい衛星のESA観測器という高時間分解能で高精度な電子データとの比較により、本来であればGASデータのノイズレベルより小さな磁場変動であっても、有意な変動が見られている。今後の課題として、微弱な沿磁力線電流に対してのさらなる定量的な比較が必要であるが、現時点では、多くの沿磁力線電流を適切に検知できる磁場変動のデータベースとなっている。

れいめい衛星の磁力計データの作成・整備に関しては、2016年度に磁力計データの補正プログラムの最終調整を行い、GASデータベース作成のためのスクリプトなどを準備し、データベース化を行っているところである。GASデータベース作成に関わる検討結果や成果は論文にまとめており、引用文献に示す査読付き学術誌に出版予定である。

データベースの公開アドレス： http://reimei.stelab.nagoya-u.ac.jp/tgas/

※データベースには、いくつかのバージョンがあり、v1、v2（4 Hzサンプリング）、v5（10 Hzサンプリング）、v5_plot（プロット画像）のディレクトリ内に各々置かれている。

【引用文献】

益岡葵、高田拓、平原聖文、浅村和史、れいめい衛星搭載磁力計GASのデータベース作成・整備：沿磁力線電流の推定のために、宇宙科学情報解析論文誌（査読誌）、6号、pp.63-71、doi: 10.20637/JAXA-RR-16-007/00066号、2017（出版予定）

【成果発表】

益岡葵、高田拓、浅村和史、れいめい衛星観測による磁気嵐中の降込電子に関する考察、地球電磁気・地球惑星圏学会第１４０回総会及び講演会 、R006-P29、福岡市、2016年11月20日

９.加速器質量分析(共同利用) 目次詳細

（所属・職名は平成29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　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	412
増田　公明	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	准教授	年輪中炭素14測定による過去の太陽活動及び宇宙環境の研究	414
Simon Wallis	名古屋大学	環境学研究科	教授	アンデス山脈における湖段丘の変形と地殻におけるマグマ流動	416
三宅　芙沙	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	特任助教	過去5000年間の超巨大SPE頻度の解明	418
佐藤　亜聖	公益財団法人元興寺文化財研究所	文化財調査修復研究グループ	主任研究員	日本における家畜導入についての基礎的研究	420
坂井 亜規子	名古屋大学	大学院環境学研究科	研究員	北半球における大気中炭素14濃度の地域差とその経年変化の把握	422
植村　立	琉球大学	理学部　海洋自然科学科　化学系	准教授	沖縄県の鍾乳洞における滴下水の^{14}C濃度	424
高橋　浩	産業技術総合研究所	活断層・火山研究部門	主任研究員	沈殿法による海水試料の放射性炭素分析の高精度化に関する研究	426
渡邉　彰	名古屋大学	大学院生命農学研究科	教授	熱帯泥炭の炭素循環プロセス：開発インパクトの学際的評価	428
岩花　剛	アラスカ大学フェアバンクス校	国際北極圏研究センター	Research Associate	永久凍土を利用した古環境復元の可能性	430
池盛　文数	名古屋市環境科学調査センター	環境科学室	研究員	大気エアロゾルの炭素フラクションの^{14}C測定	432
小元　久仁夫	元日本大学	大学院理工学研究科・文理学部	元教授	ビーチロック試料の正確な膠結年代決定法の開発	434
堀　和明	名古屋大学	環境学研究科	准教授	海水準変動や気候変動が河川・海岸地形の形成に与える影響の解明	436
藤木　利之	岡山理科大学	理学部基礎理学科	講師	ベトナム中央高原の火山湖堆積物の年代測定	438
吉田　英一	名古屋大学	博物館	教授	炭酸塩天然コンクリーション形成速度の算出	440
中村　俊夫	名古屋大学	宇宙地球環境研究所年代測定研究部	招へい教員（名古屋大学名誉教授）	高精度の^{14}C測定達成にむけて：測定プロセスの全過程の検討	442
持田　陸宏	名古屋大学	大学院環境学研究科	准教授	インド都市域の大気有機エアロゾルの起源の解析	444
中西　利典	福岡大学	国際火山噴火史情報研究所	ポストドクター研究員	唐比低地における古環境変遷および千々石断層の活動履歴の評価	446
奥野　充	福岡大学	理学部地球圏科学科・国際火山噴火史情報研究所	教授・所長	アリューシャン列島とエチオピアにおける生態考古学に関する日露共同研究	449
小林　哲夫	福岡大学	国際火山噴火史情報研究所	客員教授	環太平洋地域の活動的火山の高精度年代学的研究	451
宮田　佳樹	金沢大学	先端科学・イノベーション推進機構ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー	博士研究員	遺跡出土遺物を用いた古食性，古環境復元研究	453

平成 28 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

（課題番号）

280901

研究課題名

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

研究代表者

佐藤興平（気象庁気象大学校）

研究分担者

南　雅代（名古屋大学宇宙地球環境研究所）・

鈴木和博（名古屋大学宇宙地球環境研究所）・

柴田　賢（元年代測定資料研究センター長）

1.研究の概要（200 字程度でまとめてください。）

山体崩壊は過酷な被害をもたらす火山活動の一つである．そのような火山災害の予測・軽減に資するため，過去の山体崩壊堆積物の時空分布と岩石化学的特性から，崩壊の原因と崩壊物流下のメカニズムの解明を目指した．3 年計画 1 年次の今年度は前橋泥流に着目し，これに含まれる巨石の天然記念物の Sr 同位体比から，この巨石と泥流が浅間火山から 70 km 以上も流下してきたことを明らかにした．これは過去最大級の山体崩壊であったと考えられる．

2.研究目的（学術的背景や科学的な意義について簡潔にまとめてください。）

プレート収束域の変動帯に位置する日本列島では，地震だけでなく火山噴火による災害が頻発してきた．今後も発生が避けられない火山災害であるが，特に，火砕流や火山体崩壊による被害は，山体の周囲数 10 km 以上に及ぶ可能性が高い．本研究では活火山の過去の火砕流や山体崩壊による堆積物の発生源と広がりを解明し，将来の火山災害軽減のための基礎資料を得ることを目的とする．

日本の火山は主に安山岩からなり，互いに似通っているため，堆積物の肉眼観察や岩石学的な手法で供給源の火山を特定することは難しい．このため，本研究では堆積物に含まれる岩片の Sr 同位体組成をマーカーとして起源を特定し，堆積物に含まれる木片の ^{14}C 年代から堆積年代を決定することにより，火砕流や山体崩壊物の時空分布を解明することを目指す．モデルフィールドとして，これまでの研究で火山の Sr 同位体特性が判明しており，火砕流や山体崩壊堆積物の上に都市が発達した群馬県から長野県東部に至る地域を選んだ．

3.実施内容

群馬県庁の所在地である前橋市は火山泥流堆積物（前橋泥流）の上に発達した大都市である．市街地の中心部にある国指定（1938 年）の巨石の天然記念物「岩神の飛石」につき，文化庁と前橋市教育委員会および所有者の岩神神社から試料を分けていただき，Sr 同位体比（$^{87}Sr/^{86}Sr$）と全岩化学組成を測定して，前橋に火山砕屑物をもたらし得る第四紀火山の Sr 同位体や全岩組成のデータと比較することにより泥流と巨石の起源を探った．

4.研究成果

「岩神の飛石」の Sr 同位体比（$^{87}Sr/^{86}Sr$）は，群馬県北西部の第四紀火山の Sr 同位体比と一致し，過去に泥流をもたらした記録のある浅間火山起源であることがほぼ特定された．これは，謎であった巨石の起源を解明した初めての具体的な証拠であり，天然記念物指定時とそれ以降も供給源とされてきた赤城火山起源説は否定された．この巨石の乗る前橋泥流も浅間火山からもたらされたと推定され，泥流と巨石の移動距離は 70 km を超えるとみられる．浅間山周辺に残る泥流堆積物の量も合わせると，これらをもたらした浅間火山の山体崩壊の規模と崩壊物流走距離は，これまでに知られている中でも最大級であったと考えられる．

5.研究成果の公表（論文・学会発表等があれば記述してください。）

佐藤興平（2016）：巨石の天然記念物「岩神の飛石」の起源について．群馬県立自然史博物館研究報告書，No.20，133-140.

佐藤興平・南　雅代・大島　治・鈴木和博・柴田　賢（2017）：Sr 同位体比からみた「岩神の飛石」の起源（予報）．群馬県立自然史博物館研究報告書，No.21，印刷中.

佐藤興平・南　雅代・鈴木和博・柴田 賢（2017）：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：Sr 同位体比から見えてきた巨石の天然記念物の起源．名古屋大学年代測定研究，No.1，44-50.

佐藤興平・南　雅代・鈴木和博・柴田　賢（2017）：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：Sr 同位体比から見えてきた巨石の天然記念物の起源．第 29 回（2016 年度）名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定研究シンポジウム研究発表（2017 年 1 月 31 日）.

6．今後の展望（継続課題に関しては、次年度以降の計画を含めてください。）

浅間火山の周辺に広域分布する泥流堆積物につき，岩塊と木片を収集してそれらの Sr 同位体比と ^{14}C 年代から山体崩壊堆積物の時空分布を解明し，堆積物の岩石・鉱物学的な検討から山体崩壊に熱水変質がかかわった可能性を探る．

7．測定試料（標準体を含めた試料の測定結果を簡単にまとめてください。）

前橋泥流堆積物中の木片 1 試料に対して，^{14}C 年代測定を実施した．得られた年代は，25,296-24,569 calBC（2σ）であり、これまで報告されている年代よりわずかに古い年代であった．

ID	試料採集地点（緯度・経度）	試料の種類	炭素 14 年代 BP(±1SD)	測定コード (NUTA2-)
非公開				

平成 28 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

（課題番号）

280902

研究課題名

年輪中炭素 14 測定による過去の太陽活動及び宇宙環境の研究

研究代表者

増田公明（名大 ISEE）

研究分担者

三宅芙沙（名大高等研究院）・中村俊夫（名大 ISEE）

1.研究の概要

加速器質量分析計を用いて，過去の樹木年輪中の炭素 14 濃度を測定することにより，地球外から地球大気へ飛来し核反応によって炭素 14 を生成する宇宙線強度の時間変化を調べる。炭素 14 濃度の変化から，宇宙線強度を制御している過去の太陽活動の変動を調べ，マウンダー極小期のような特殊な太陽活動の特性や，炭素 14 濃度を急増させた AD775 年イベントのような特大フレアの発生確率を調べる。

2.研究目的（学術的背景や科学的な意義について簡潔にまとめてください。）

炭素 14 は太陽圏外の銀河宇宙から到来する銀河宇宙線が地球大気分子と原子核反応を起こすことによって生成される。その銀河宇宙線の強度は太陽活動の強さに依存する。一方，太陽フレアにより放出される太陽宇宙線自身が地球大気中の炭素 14 濃度に寄与することもある。過去の大気中炭素 14 濃度の指標である樹木年輪中の炭素 14 濃度を測定することにより，その年輪の年代における太陽活動や宇宙環境を知ることができる。これまで過去三千年の宇宙環境を調べるために様々な年代の炭素 14 濃度を測定し，マウンダー極小期などの太陽活動が弱かった時代の特性を明らかにしたり，西暦 775 年の急激な宇宙線強度の増加を発見したりしてきた。このような多数の試料の炭素 14 濃度を高精度で測定するために本研究所の加速器質量分析計を使用する。

現在までにまだ単年測定がなされていない年代が，西暦 1150 年から 1350 年の間である。この期間には太陽活動のウォルフ極小期も含まれており，その太陽活動の特性を明らかにすることが必要である。また宇宙線急増事象の頻度の推定精度を上げるためにも測定の空白期間を埋めることが重要である。今年度は西暦 1150 年～西暦 1350 年の 200 年分の年輪を 1 年おきに調べるために，100 試料の炭素 14 濃度の測定を行う。

3.実施内容

年度初めは加速器質量分析計が故障とメンテナンスのため稼働しておらず，試料調製の作業を見合わせた。11 月に再開の見通しが立ったので，未知試料 32 個の試料調製を行い，ターゲットとして提出した。年度内に加速器質量分析計は稼働を始めたが，実試料の測定には至らなかった。

2017 年 3 月末現在，測定を待っている状態である。

4.研究成果

前項にも書いたように，加速器質量分析計の様子を見ながら，11 月に再開の見通しが立ったので，未知試料 32 個の試料調製を行い，ターゲットとして提出した。加速器質量分析計は年度内に稼働を始めたが，未知実試料の測定には至らなかった。

2017 年 3 月末現在，測定を待っている状態であり、測定は 4 月に予定されている。

5.研究成果の公表（論文・学会発表等があれば記述してください。）

・屋久杉年輪中放射性炭素を用いた 14 世紀の宇宙線強度変動の研究，森千尋，増田公明，三宅芙沙，中村俊夫，日本物理学会 2016 年秋季大会，2016 年 9 月 21～24 日，宮崎大学.

・屋久杉年輪中放射性炭素を用いた Wolf 太陽極小期周辺の宇宙線強度変動，森千尋，増田公明，三宅芙沙，中村俊夫，日本物理学会第 72 回年次大会，2017 年 3 月 17～20 日，大阪大学.

6. 今後の展望（継続課題に関しては、次年度以降の計画を含めてください。）

年度繰り越しとなった試料を含めて，測定を継続するとともに，測定結果の解析を行う。

7. 測定試料（標準体を含めた試料の測定結果を簡単にまとめてください。）

ID	試料採集地点（緯度・経度）	試料の種類	炭素 14 年代 BP(±1SD)	測定コード (NUTA2-)
非公開				

平成 28 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

（課題番号）

280903

研究課題名

アンデス山脈における湖段丘の変形と地殻におけるマグマ流動

研究代表者

Simon Wallis（名古屋大学大学院環境学研究科）

研究分担者

南　雅代（名古屋大学宇宙地球環境研究所）

Nicola Clark・花本夏輝（名古屋大学大学院環境学研究科）

1.研究の概要（200 字程度でまとめてください。）

ボリビア南部、更新世後期に広大な湖が存在したが、その後の気候変動により水位が下がり現在ウユニ塩湖などの盆地を例として水が殆ど残っていない完全に干上がっている状態である。同湖の沿岸において形成された多孔質炭酸塩岩である tufa が水位の指標となる。本研究では、沿岸 tufa 試料の ^{14}C 年代測定により tufa の形成時期を決定し、Kinematic-GPS で決定し試料の絶対標高データに合わせて、水位の変化を明らかにする予定である。

2.研究目的（学術的背景や科学的な意義について簡潔にまとめてください。）

南米のアンデス造山帯の中に約 300×2,000km^2 の面積を持つアルティプラノという広大な高原が分布する。アルティプラノの南部に数多くのカルデラ火山が分布し、この 20 年間一部の火山が急速的に膨らんできており、大きな爆発的な火山噴火に繋がる可能性があると指摘されている。火山活動を維持するのが同地域中部地殻に分布する Altiplano–Puna Magma Body (APMB)という部分溶融した領域の存在が重要視される。APMB の存在の継続時間スケールと大規模な流動の有無を明らかにするために、分布が重なるウユニ塩湖盆地の変形とその変形に関する時間情報を用いることができる。変形解析には、tufa の高さと年代から算出された形成時の水平面を用いる予定である。

3.実施内容

ウユニ湖や周囲に分布する同様な湖盆地において年代測定用の tufa 岩石を採取し、その後顕微鏡観察などを行い、^{14}C 年代測定用の試料 24 個を選別した。測定試料として、複数段階に成長したと思われる組織のある領域を避けるなど、得られた年代が tufa の形成年代を正確に反映するもののみとした。

4.研究成果

最初の年代測定結果が年度末近くにでたところなので、データの解釈についてまだ吟味する必要がある。であるが、従来のウユニ塩湖の研究成果と概ね一致する結果が得られたと言える。

5.研究成果の公表（論文・学会発表等があれば記述してください。）

該当なし

6. 今後の展望（継続課題に関しては、次年度以降の計画を含めてください。）

年代のデータの数を更に増やす必要があるので、今年度も同様な試料の ^{14}C 測定を行う予定である。今年度中にデータをまとめて研究成果を投稿論文としてまとめる予定である。

7. 測定試料（標準体を含めた試料の測定結果を簡単にまとめてください。）

24 個の多孔質炭酸塩岩試料を ^{14}C 年代測定した。得られた ^{14}C 年代は 9000-13000 BP、暦年較正を行うと 10000-16000 calBP となり、U-Th 年代とおおよそ同じ年代が得られた。

ID	試料採集地点（緯度・経度）	試料の種類	炭素 14 年代 BP(±1SD)	測定コード (NUTA2-)

非公開

平成 28 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

（課題番号）

280904

研究課題名

過去 5000 年間の超巨大 SPE 頻度の解明

研究代表者

三宅芙沙（名古屋大学高等研究院）

研究分担者

増田公明・中村俊夫（名古屋大学宇宙地球環境研究所）

1.研究の概要（200 字程度でまとめてください。）

樹木年輪の放射性炭素 14（^{14}C）濃度の測定から、過去の宇宙線強度や太陽活動の変遷を調査できる。大規模な SPE（Solar Proton Event：太陽フレアやコロナ質量放出による）や地球近傍の超新星爆発といった宇宙で発生した高エネルギー現象が発生すると、地球へ大量の宇宙線が降り注ぎ、^{14}C 濃度の急増が期待される。本研究では、日本産樹木サンプルを用いた ^{14}C 濃度を測定することで、過去の高エネルギー現象（特に大規模 SPE）を検出し、その頻度の解明を目指している。

2.研究目的（学術的背景や科学的な意義について簡潔にまとめてください。）

大規模な SPE が発生すると、それに伴って人工衛星の故障や通信網の破壊等の甚大な被害が引き起こされる。我々はこれまでに、西暦 775 年と 994 年に大規模な SPE が生じた痕跡を樹木年輪の ^{14}C 濃度測定から示した。その規模は観測史上最大フレアの 10 倍以上と推定される。過去の大規模 SPE の発生頻度を知ることは今後のイベントに備える上で非常に重要である。本研究では、過去 5000 年間の年輪中 ^{14}C 濃度の単年（もしくは隔年）連続測定を行い、大規模 SPE 頻度を明らかにするとともに、大規模 SPE 発生と太陽活動度との関係の解明を目的とする。

3.実施内容

本年度は、過去 3000 年間の隔年 ^{14}C 連続データの取得完了を目指していたが、AMS の故障により測定されたサンプルはない。サンプルの前処理（グラファイト化、プレス）は、屋久杉や鳥海杉サンプル等の計 136 サンプル実施した。平成 29 年度初頭にこれらのうち、60 サンプルの測定が行われた。

4.研究成果

平成28年度には^{14}C測定結果は出ていないが、平成29年度に行われた測定では、単年の宇宙線イベントは検出されなかった。ただし、グラファイト化後に長くサンプルを放置したためかデータのばらつきが大きく、特にAD516,AD518,AD520,AD540,AD542,AD544についてはIntCal曲線とも大きくはずれているため、再測定による検証が必要である。

5.研究成果の公表（論文・学会発表等があれば記述してください。）

平成28年度についてはデータが得られていないため、成果を公表していない。

6. 今後の展望（継続課題に関しては、次年度以降の計画を含めてください。）

既にグラファイト化されている136サンプルのうち、残りの76サンプルについて測定予定である。申請者が平成29年度前半は育児休暇を取得しているため年度後半から、平成28年度に当初予定していた312サンプルのうち残りの176サンプルについて、前処理後に測定予定である。得られた成果は物理学会等で発表し、論文として公表予定である。

7. 測定試料（標準体を含めた試料の測定結果を簡単にまとめてください。）

ID	試料採集地点（緯度・経度）	試料の種類	炭素14年代BP(±1SD)	測定コード(NUTA2-)

平成 28 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

（課題番号）

280905

研究課題名

日本における家畜導入についての基礎的研究

研究代表者

佐藤亜聖（公益財団法人元興寺文化財研究所）

研究分担者

南 雅代（名古屋大学宇宙地球環境研究所）

1.研究の概要（200 字程度でまとめてください。）

日本におけるウマの導入について、その初源期を探るべく、弥生時代遺跡から出土したウマの骨を対象に年代測定を行った。具体的な分析対象資料として、弥生時代後期～古墳時代前期の住居址、溝からウマの骨が出土した、香川県善通寺市旧練兵場遺跡を抽出した。一部の試料に対しては、遺物整理の段階で表面強化剤が塗布されており、^{14}C 年代測定結果に与える表面強化剤の影響についても検討を行うことを目的とする。

2.研究目的（学術的背景や科学的な意義について簡潔にまとめてください。）

日本における家畜動物の導入、特にウマの導入に関する研究は、その軍事的性格も相まって国家形成にも関わる重要な課題である。これまで、馬の導入は主に古墳時代からというのが定説であったが、ごく少数弥生時代に遡る資料が確認できる。しかし弥生時代に属するとされる資料は、その出土状況が疑問視される事例が多く、なお多くの課題を残している。本研究ではこうした資料について、加速器質量分析による年代測定を通じて実年代を押さえることで、わが国におけるウマを始めとする家畜導入の画期を明らかにしようという試みである。

3.実施内容

香川県善通寺市に所在する旧練兵場遺跡において、平成 26 年の善通寺市教育委員会による発掘調査で、弥生時代後期～古墳時代前期の溝および住居址からウマの骨が出土した。これに関して、考古学的な出土状況の精査を行い、併せて出土骨の加速器質量分析による年代測定を行った。

4.研究成果

調査対象資料は、旧練兵場遺跡平成26年度調査、溝SD0863出土ウマ左上顎臼歯片、住居址SH0200出土ウマ左橈骨、左大腿骨、右脛骨である。

SD0863は幅35 cm前後、深さ20 cm前後の溝で、流水の痕跡等がなく、住居址に関連する溝ではないかと考えられている。出土遺物から弥生時代後期後半から古墳時代前期の遺構と考えられる。出土したウマ左上顎臼歯片の年代測定の結果は、14337-13794 calBCで、想定と大きくかけ離れており、積極的な評価ができないとせざるを得ない。分析結果が想定と大きく異なった要因としては、遺物整理の段階で塗布した表面強化剤が影響した可能性が高い。

SH0200は550cm四方を測る方形の住居址であり、覆土内から出土した遺物と重複関係から、古墳時代前期の遺構と考えられる。出土ウマ骨は住居址廃絶後の覆土内から、一部交連状態で出土した。年代測定の結果は659-950 calBCで、やはり古墳時代前期よりも400年近く新しい年代が示された。この結果を受け止めるためには、後世の遺構からの混入を是とせざるを得ない。そこで、調査時の状況を確認すると、この調査区周辺は奈良時代の遺構が濃密に分布し、また遺構の重複も極めて激しい地区であった。このことから、本資料については古墳時代前期に帰属する資料ではなく、古墳時代の住居址覆土に貫入した奈良時代の遺構に属すると考えられる。

以上の結果から、残念ながら今回の研究では、当初想定された弥生時代～古墳時代前期の家畜導入に関する情報は得られなかった。しかしながら、こうした混入資料の検討は、初期家畜関係資料についての科学的分析を通じた検証の重要性を喚起する成果ともいえる。

5.研究成果の公表（論文・学会発表等があれば記述してください。）

特になし

6. 今後の展望（継続課題に関しては、次年度以降の計画を含めてください。）

今回の研究では、初期のウマ資料についての確かな確証が得られず、逆に基礎資料についての課題を提示することとなった。こうした再検証が必要な基礎資料は他にも多く存在することが考えられる。今後、こうした基礎資料の年代測定を続けることで、ウマをはじめとする初期家畜化資料の年代を絞っていくことができると考える。

7. 測定試料（標準体を含めた試料の測定結果を簡単にまとめてください。）

骨・歯試料いずれもコラーゲン収率が悪く、得られた年代は、残念ながら信頼性はあまりない年代であると考えられる。特に、歯試料においては、ゼラチンコラーゲン（GC）とソルーションコラーゲン（SC）で年代が異なっており、今後、再測定が必要と考えられる。

ID	試料採集地点（緯度・経度）	試料の種類	炭素14年代BP(±1SD)	測定コード(NUTA2-)
非公開				

平成 28 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

（課題番号）

280906

研究課題名

北半球における大気中炭素 14 濃度の地域差とその経年変化の把握

研究代表者

坂井亜紀子（名古屋大学・環境学研究科）

研究分担者

北川浩之（名古屋大学･宇宙地球環境研究所）

檜山哲哉（名古屋大学･宇宙地球環境研究所）

南 雅代（名古屋大学･宇宙地球環境研究所）

熊谷朝臣（名古屋大学･宇宙地球環境研究所）

栗田直幸（名古屋大学･宇宙地球環境研究所）

1.研究の概要（200 字程度でまとめてください。）

炭素 14 年代測定法の高精度化に向けて、大気中炭素 14 濃度の地域差とその経年変化を把握する。具体的には、北半球の複数地点から採取された樹木年輪試料を使って、大気中核実験前から現在までの炭素 14 濃度の経年変化を高精度で測定する。そして、得られた結果から「半球規模で炭素 14 濃度が一定である」という仮定が成り立つかどうか詳細に検討を行った。

2.研究目的（学術的背景や科学的な意義について簡潔にまとめてください。）

炭素 14 年代法では、炭素 14 年代較正曲線(IntCal)を用いて測定年代を暦年代に換算している。IntCal は、「半球規模で炭素 14 濃度が一定である」という仮定に基づいて作成されているが、加速器質量分析計を使った高品質な炭素 14 データが増えるにつれて、半球内においても炭素 14 濃度に地域差があることが明らかになりつつある。具体的には、大気中核実験後には北半球高緯度域から低緯度に向けて炭素 14 濃度が低くなる地理的分布が存在することが報告されている(Hua et al., Radiocarbon, 2013)。この地理的分布が大気中核実験前においても存在する場合、炭素 14 濃度の地域差は IntCal を使って暦年代に換算する際の誤差となる。そこで、北半球高緯度地域および亜熱帯地域から採取された樹木年輪試料を使って炭素 14 濃度の経年変化を高精度で測定を行い、大気中核実験前の炭素 14 濃度の地域差を把握する。そして、その地域差が引き起こす IntCal の換算誤差を見通す。

3.実施内容

北半球高緯度から亜熱帯域に向けて炭素 14 濃度が低くなる原因を、炭素 14 と同じく宇宙線生成核種であり、かつ大気中核実験によって大気中に放出されたトリチウムの挙動から検討を行った。また、北半球におけるトリチウム濃度分布を詳細に調べ、炭素 14 濃度変化の地域差が最も検出しやすい地域の選定を行った。その後、国内の研究機関に所蔵されている樹木年輪試料を照会し、選定した地域周辺で採取された樹木年輪試料が含まれているか確認を行った。

4.研究成果

国際原子力機関が実施している全球降水のトリチウム濃度モニタリング結果を使って北半球におけるトリチウム濃度分布およびその経年変化(1960 年以降)の解析を行った。結果、大気中核実験の影響は 1990 年代後半以降ではほとんど見られない、バイカル湖周辺では核実験影響の有無に関係せず高トリチウム濃度が維持されていることが明らかとなった。さらに、他地域からの水蒸気輸送が少なく、かつ対流活動が最も活発になる夏場に高トリチウム濃度が観測されていることから、バイカル湖周辺は成層圏由来トリチウムの影響が最も検出しやすい地域であると結論づけた。

5.研究成果の公表（論文・学会発表等があれば記述してください。）

特になし

6. 今後の展望（継続課題に関しては、次年度以降の計画を含めてください。）

今年度は加速器質量分析装置が故障し、復旧の目処が立たなかったために、炭素 14 濃度計測に関わる作業を後に回し、まずトリチウム分析を進めた。バイカル湖周辺で採取された樹木年輪試料は、森林総合科学研究所その他から入手可能であることが明らかとなっているので、来年度は樹木年輪試料の炭素 14 計測を行いたいと考えている。

7. 測定試料（標準体を含めた試料の測定結果を簡単にまとめてください。）

^{14}C 計測試料なし

ID	試料採集地点（緯度・経度）	試料の種類	炭素 14 年代 BP(±1SD)	測定コード (NUTA2-)

平成 28 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

（課題番号）　280907

研究課題名　　沖縄県の鍾乳洞における滴下水の ^{14}C 濃度

植村　立(琉球大学)・浅海　竜司（琉球大学)・南　雅代（名古屋大学）

1. 研究の概要（200 字程度でまとめてください。）

石筍はウラン・トリウム年代によって絶対年代を算出することができる点で貴重な天然試料である。沖縄県には、洞窟が豊富に存在し年代測定に必要なウラン濃度も本州と比べると高く、このような研究に適している。石筍の ^{14}C 濃度は石灰岩由来の炭素量が一定ならば年代決定に用いることができる。また、時間依存以外の変動は降水量などの古気候のプロキシとして有用な可能性がある。現在の滴下水の ^{14}C 濃度は、これらの研究の重要な基礎データとなる。本研究においては、南大東島の星野洞の滴下水を研究対象とする。滴下水の落下地点において石筍が採取された場合は、同様に ^{14}C 濃度を測定し、滴下水の ^{14}C 濃度との比較も行う。

2. 研究目的（学術的背景や科学的な意義について簡潔にまとめてください。）

石筍は、鍾乳洞内で降水を起源とする滴下水から形成される炭酸カルシウム結晶である。石筍は鍾乳洞周辺の降水量を連続的に記録しており、陸域の古気候復元試料として注目されている。特に酸素同位体比（$\delta^{18}O$）は降水の$\delta^{18}O$ および量的効果を反映するため、古気候復元に用いられている。$\delta^{18}O$ の他、近年、石筍中の ^{14}C から算出される dead carbon の寄与率（DCF）も、降水量のプロキシとして注目されている。本研究においては、南大東島の星野洞を対象とし、滴下水の ^{14}C 濃度を測定し、古気候復元に有効な石筍かどうかの検討を行うことを目的とする。

3. 実施内容

南大東島の星野洞において滴下水を採取し、溶存無機炭素の ^{14}C 測定を行った。十分な量の滴下水の滴下速度が遅く、十分な量の試料が採取できなかったため当初計画の複数地点ではなく、1 地点のみで採取した。また、滴下水を採取した同じ洞窟で採取された石筍の ^{14}C 分析も同時に実施した。

4.研究成果

^{14}C測定を実施した滴下水の滴下地点の気温は22.9℃、湿度は91.5%、CO_2濃度は830 ppm（バイサラハンディ測定器)であった。滴下水の滴下速度は2.88 g/min、pHは8.1、Ca 濃度 = 110 ppm（Horibaのハンディ計測器でその場測定)、NO_3^- = 52 ppm（Horibaのハンディ計測器でその場測定）であった。^{14}C測定の結果、91.0±0.8 pMCとなり、DCPの値が9% と低い結果となった。 この滴下水は硝酸濃度が高く、地上の施肥の影響がでたために、DCP値が小さくなった可能性が考えられる。

5.研究成果の公表（論文・学会発表等があれば記述してください。）

特になし

6. 今後の展望（継続課題に関しては、次年度以降の計画を含めてください。）

滴下水が採取された地点で成長した石筍の ^{14}C 分析を行うため、すでに 10 試料について二酸化炭素抽出、グラファイト作成を行い、現在 ^{14}C 測定待ちである。装置が順調に動いた場合、6 月頃に測定結果が出る予定であり、その結果を見て、今後の方針を決める予定である。

7. 測定試料（標準体を含めた試料の測定結果を簡単にまとめてください。）

星野洞の滴下水の ^{14}C 結果が正確に得られているかをチェックするため、比較試料として飛騨大鍾乳洞の滴下水と $NaHCO_3$溶液から調製したターゲットの測定も行った。得られた結果は問題ないものと考えられる。

ID	試料採集地点（緯度・経度）	試料の種類	炭素 14 年代 BP(±1SD)	測定コード (NUTA2-)
非公開				

平成 28 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

（課題番号）

280908

研究課題名

沈殿法による海水試料の放射性炭素分析の高精度化に関する研究

研究代表者

高橋　浩（産業技術総合研究所）

研究分担者

近藤美由紀（国立環境研究所）・南　雅代（名古屋大学・宇宙地球環境研究所）

1.研究の概要（200 字程度でまとめてください。）

水試料の ^{14}C 濃度分析を実施するために，水試料中の炭素を炭酸塩の沈殿として固定する「沈殿法」に関する検討を実施した．沈殿法での炭素回収率が低くなる硫酸濃度の高い試料について，沈殿法とそれ以外の手法で抽出した炭素成分の分析値の比較したところ，収率は低下するものの ^{14}C 濃度には違いがなかったが，$\delta^{13}C$ には違いが見られた．収率の向上を目指した試料希釈の検討は，実験中の外来炭素の混入が大きかったため，議論ができなかった．

2.研究目的（学術的背景や科学的な意義について簡潔にまとめてください。）

これまでの研究により，水中の硫酸濃度が高くなると，炭酸塩の沈殿が形成しにくくなることがわかっており，硫酸濃度の高い海水試料では，「沈殿法」による精度の高い分析が難しい．特に，汽水域や沿岸域で採取される試料では沈殿法による分析の高度化が期待されている．そこで，硫酸濃度にばらつきのある試料について，沈殿法とそれ以外の手法で抽出した炭素成分の分析値の比較を実施して，収率と分析結果の比較を行う．

3.実施内容

沈殿法の炭素回収率が低下した場合に，^{14}C 濃度や $\delta^{13}C$ 値が影響を受けるのかについての検証試料として，^{14}C 分析機関の相互比較のために配布された RICE-W09～W14 のうち，硫酸濃度に差がある W09，W11，W13 と W14 を用いた．沈殿法とヘッドスペース法，バブリング法による炭素抽出を行って，^{14}C 濃度と $\delta^{13}C$ 分析を実施した．名古屋大学において，沈殿法による抽出，グラファイト化および加速器質量分析計による ^{14}C 測定を行い，バブリング法による抽出を国立環境研究所にて，ヘッドスペース法による抽出，$\delta^{13}C$ 分析を産業技術総合研究所にて実施した．

4.研究成果

炭素回収率は，沈殿法で 50～94%の範囲となり，他の 2 手法の 87～100％よりもばらつきが大きく，全体的に低めとなった．$\delta^{13}C$ は有意に高い値を示す試料が多くあったが，^{14}C 濃度は多くの試料について誤差範囲で一致した．一部，グラファイトが生成されず，^{14}C ビーム強度が極端に弱くなる試料があったが，その原因は不明である．今回の試料は，試薬調製の試料のためか，天然試料と比較して沈殿が早期に形成された印象がある．そのため，硫酸と DIC の濃度比にあまり影響されずに，ほぼ等しい ^{14}C 濃度が得られた可能性があるが，化学処理を過たずに行うことで，正確な ^{14}C 濃度測定が可能であることが示された．

5. 研究成果の公表（論文・学会発表等があれば記述してください。）

高橋 浩・南 雅代・荒巻能史 (2017) 水試料の放射性炭素濃度の相互比較と前処理手法の検討：RICE-W プロジェクト，名古屋大学年代測定研究, I, 98-101.

（学会発表）

高橋 浩・南 雅代・荒巻能史（2016）水試料の化学処理法による ^{14}C 比較プログラム（RICE-W）−結果報告−，第 19 回 AMS シンポジウム

高橋 浩・半田宙子・南 雅代・近藤美由紀（2016）水試料の信頼性ある炭素同位体分析のための試料保管法の検討：生物活動の影響をどう排除するか ，2016 年度 日本地球化学会年会

Takahashi, H. A., Minami, M. and Aramaki, T. (2016) Comparison of carbon extraction methods for radiocarbon analysis of DIC in water samples. The 26th Goldschmidt Conference

6．今後の展望（継続課題に関しては、次年度以降の計画を含めてください。）

硫酸濃度の割合が高い水試料についても，沈殿法による試料処理を実施して，正確な ^{14}C 分析が可能であると強く期待される結果を得た．ただし，沈殿法の実験操作には熟練を要する部分があったり，独特なノウハウもあったりすることから，特に慎重な処理が必要と思われる．また，$\delta^{13}C$ 分析では，正確な値を得ることが困難な試料があることも明らかになったため，今後は ^{14}C 濃度に加えて $\delta^{13}C$ 分析にも重点を置いて，炭素回収率の上昇や精度向上のための実験・研究を行っていく予定である．

7．測定試料（標準体を含めた試料の測定結果を簡単にまとめてください。）

水試料から抽出した CO_2 試料の測定を実施した．試薬調製によるものであり，天然試料ではない．NUTA2-24414，24415 でグラファイト生成に問題があった．そのためか分析結果が極端に外れているが，その他に試料では，おおよそ誤差範囲で一致している．標準試料は，同時に測定している他の試料のものを用いた．

ID	試料採集地点（緯度・経度）	試料の種類	炭素 14 年代 BP(±1SD)	測定コード (NUTA2-)
非公開				

平成 28 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

（課題番号）

280909

研究課題名

熱帯泥炭の炭素循環プロセス：開発インパクトの学際的評価

研究代表者

渡邉 彰（名古屋大学大学院生命農学研究科）

研究分担者

Faustina Elfrida Anak Sangok・今井寛子・杉浦有希（名古屋大学大学院生命農学研究科)・眞家永光（北里大学獣医学部)・Lulie Melling（Chief Minister's Department, Sarawak, Malaysia)・南　雅代（名古屋大学宇宙地球環境研究所）

1.研究の概要（200 字程度でまとめてください。）

泥炭の物質循環過程に与える開発インパクトを多面的に解析する研究の一環として、各亜型に分類される熱帯泥炭土壌の環境変化に対する感受性の異同の要因を、^{14}C 年代測定による堆積速度および有機物の化学組成・化学構造から評価した。その結果、対象とした 3 亜型土壌は、堆積速度およびパターンが異なること、その違いは有機物を構成する各種官能基炭素の分解程度の差と対応していることが明らかになり、開発後の泥炭分解速度にも差をもたらすことが示唆された。

2.研究目的（学術的背景や科学的な意義について簡潔にまとめてください。）

東南アジアには世界の熱帯泥炭地の 60%以上が集中している。泥炭蓄積量の変化は地球規模での炭素バランスや温室効果に大きな影響を及ぼすことから、落水を伴う開発による分解促進が危惧されている。あまり知られていないが熱帯泥炭土には生成環境や植生と対応した亜型が存在し、亜型によって湿地開発後の有機物の安定性が異なることが予想される。本研究は、これまで一括りに扱われていた熱帯泥炭土壌について、亜型別に有機物の性状や分解特性を明らかにすることで、熱帯泥炭地域における炭素循環の解明と今後の変動予測に寄与することを目的とした。

3.実施内容

マレーシア・サラワク州に位置するマルダム国立公園内において、ドーム状泥炭湿地を構成する主要な森林: Mixed Peat Swamp Forest (MPS)、Alan Batu (ABt)、Alan Bunga (ABg)から各植生に対応する泥炭土壌亜型 3 種の土壌コア（MPS：～4.5 m 深、ABt：～7 m 深、MABg：～8 m 深）を各 2 地点で採取した。凍結乾燥、篩別、AAA 処理後 ^{14}C 年代を測定し、堆積速度を推定した。また、代表的な上中下各層土壌について固体 ^{13}C NMR 測定を行い、相対シグナル強度に基づき C 官能基組成を求めることで、土壌有機物の亜型間における異同および経時変化を解析した。

4.研究成果

^{14}C 年代と深さとの関係に基づく泥炭堆積速度は、ABg、ABt、MPS の順に大きく（0.17～0.25 cm y^{-1})、MPS では特に深い層の間で ^{14}C 年代の差が小さかったことから、MPS では埋没後も分解が有意に進んでいることが示唆された。また、C 組成の深さによる比較から、各亜型とも芳香族 C の

分解が最も遅い一方、ABg では分解されやすい炭水化物が専ら減少していたのに対し、MPS ではアルキル C の分解も進んでおり、ABt はそれらの中間的な特徴を示す、といった違いがあり、堆積速度の差と有機物の組成あるいは分解程度との間に関係が認められた。これらより、ABg や ABt には易分解性有機物が多く含まれており、農耕地やプランテーションとして利用した際の泥炭消失速度、炭素放出量が大きく、開発に適さないと予想される。

5. 研究成果の公表（論文・学会発表等があれば記述してください。）

Sangok, F.E., Sugiura, Y., Maie, N., Melling, L., and Watanabe, A.: Accumulation rate of tropical peat soils under different types of forest. 15th International PEAT Congress 2016, 15-18 Aug. 2016, Kuching, Malaysia.

Sangok, F.E., Sugiura, Y., Maie, N., Melling, L., and Watanabe, A.: Estimation of chronological change in chemical structure of soil organic matter in tropical peatland based on ^{14}C age. 18th International Conference of International Humic Substances Society, 11-16 Sep. 2016, Kanazawa, Japan.

Sangok, F.E., Sugiura, Y., Maie, N., Melling, L., and Watanabe, A.: Analyses of 14C age and chemical structure of tropical peat soils for estimating soil organic matter stability in different types of forests. 日本土壌肥料学会 2016 年度佐賀大会, 9 月 20-22 日, 佐賀.

6. 今後の展望（継続課題に関しては、次年度以降の計画を含めてください。）

各泥炭土壌亜型に対して、開発後の環境を想定した培養試験等を行うことにより、土壌間および有機成分間における分解性の違いを確認する。

7. 測定試料（標準体を含めた試料の測定結果を簡単にまとめてください。）

今年度の測定試料は、昨年までの結果の確認や補強に利用するためのものである。誤差が大きかった 1 点（HI-MA1-05）以外は深さとの関係がこれまでのラインに乗るか、あるいは前年度とほぼ同じ値であったことから、結果およびその解釈の妥当性に確信をもつことができた。

HI-MA1-05 は HI-MA2-05 と同じ亜型、同じ深さであるため、HI-MA2-05 炭化物(HI-F1～F3)はいずれも浅い層からのものであるが、F3 と F2 の間で深さとの関係が逆転しており、その原因について検討が必要である。

ID	試料採集地点（緯度・経度）	試料の種類	炭素 14 年代 BP(±1SD)	測定コード (NUTA2-)
非公開				

平成 28 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

（課題番号）
280910

研究課題名
永久凍土を利用した古環境復元の可能性

研究代表者
岩花　剛（アラスカ大学）

研究分担者
檜山哲哉（名古屋大学)・大野　浩（北見工業大学）

1.研究の概要（200 字程度でまとめてください。）

古環境プロキシに乏しい周氷河域において、永久凍土から様々な古環境情報を得るために不可欠な年代決定ついての研究を 3 年計画で開始した。H28 年度は、これまでに採取した永久凍土サンプルの分析から過去の水文環境の変遷を考察した。同時にアラスカおよびシベリアの複数地点で採取した地下氷を含む永久凍土 54 試料について、有機炭素、無機炭素および地下氷中の溶存無機炭素から同試料の年代を決定するための調製を行った。

2.研究目的（学術的背景や科学的な意義について簡潔にまとめてください。）

北東シベリアやアラスカ北中部では氷河・氷床コアによる情報が得にくく、更新世から完新世前期の古環境情報が限られている。一方、最近になり、完新世の冬季気温が多年地下氷の安定同位体比から復元できることが示されたことから，代替古環境プロキシとしての永久凍土が着目されている。また、地球温暖化によって融解が危惧される永久凍土は、有機炭素や地下氷の巨大な貯蔵庫であり、気候変動に一定の役割を果たしてきたと考えられている。第四紀におけるその消長の度合いを太陽活動周期や氷河氷床の消長のタイミングとの関係とともに理解することは、近未来の気候変動を予測し、永久凍土帯の土地変化への適応策を考える上で重要である。永久凍土には、マンモスなどの古動物相、様々な分解過程の古植物相が凍結保存されているほか、凍土と氷の産状、氷の構造や地球化学的特性、土粒子の粒径分布などとして、多くの古環境情報が保存されている。これらの情報に時間軸を与えるため、炭素年代測定は凍土を利用した一連の古環境復元研究にとって必要不可欠である。しかし、永久凍土の古環境研究への利用は歴史が浅く、その有効性や時間分解能、空間代表性など検討すべき要素が多い。そこで、本研究ではこれまでに採取済みの試料を中心に対象を絞り、永久凍土層の発達時の水文環境と古気候を解釈し、同年代の他地域の古環境と比較することで、永久凍土を使った古環境復元の有用性を検討することを目的とする。本研究は 3 年間の予定で実施し、初年度はすでに採取済みの試料の測定を実施し、２－３年目は初年度の結果を参考に、新たなに採取予定の試料に対して効果的に選別を行い、測定を実施する。

3.実施内容

本年度予定されていた永久凍土研究試料の採取は予定通りに完了した。2016 年 10 月までにアラスカ北部および東シベリア/ヤクーツク近郊を対象とした複数地点において採取した地下氷や凍土サンプルから有機物などの堆積物を抽出し、試料に応じて有機炭素、無機炭素、および氷中の溶存無機炭素の前処理を行い、二酸化炭素化した試料を精製するまでの試料調製を合計 54 サンプルについて実施した。

一方、アラスカ・スワード半島の Kougarok サイトで採取した約 1.5m の永久凍土コアについて氷脈分布、含氷率、有機物含有量および水安定同位体比のプロファイルから古水文環境について議論し論文にまとめた（Iwahana et al., 2016)。こうした永久凍土から得られる過去の水文環境情報は、来年度以降実施予定の炭素年代測定結果と併せて永久凍土を用いた古環境復元の可能性についての検討に利用する。

4.研究成果

Iwahana, G., K. Harada, M. Uchida, S. Tsuyuzaki, K. Saito, K. Narita, K. Kushida, and L. D. Hinzman (2016), Geomorphological and geochemistry changes in permafrost after the 2002 tundra wildfire in Kougarok, Seward Peninsula, Alaska, Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 121(9), 1697-1715.

5.研究成果の公表（論文・学会発表等があれば記述してください。）

該当なし

6. 今後の展望（継続課題に関しては、次年度以降の計画を含めてください。）

H29 年度は、これまでに調整過程にある 54 試料の二酸化炭素の精製に引き続き、試料のグラファイト化を実施し、AMS 加速器によって放射性炭素同位体比を測定して年代を決定する予定である。

また、H29 年夏季のサンプリング調査は、これまでに依頼分析を行った試料の年代測定結果と考察を基にサンプリングデザインを決定し、H29 年 10 月から H30 年 2 月にかけて、測定試料の調整および加速器測定を実施する予定である。

7. 測定試料（標準体を含めた試料の測定結果を簡単にまとめてください。）

H28 年度は、測定試料および標準体の前処理および二酸化炭素の精製作業まで実施し、その後の試料調整と加速器による測定は H29 年度に行う予定である。

ID	試料採集地点（緯度・経度）	試料の種類	炭素 14 年代 BP(±1SD)	測定コード (NUTA2-)

平成 28 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

（課題番号）

280911

研究課題名

大気エアロゾルの炭素フラクションの ^{14}C 測定

研究代表者

池盛文数（名古屋市環境科学調査センター）

研究分担者

中山智喜・南 雅代（名古屋大学宇宙地球環境研究所）

1.研究の概要（200 字程度でまとめてください。）

炭素質エアロゾルは、気候変動や健康影響に関わっており、その動態や発生源に関して研究が行われている。炭素質エアロゾル中の ^{14}C 濃度を調べることにより、化石燃料起源と生物起源の配合比を知ることができる。申請者は、国内数地点の炭素質エアロゾルについて全炭素における配合比を、^{14}C 測定により明らかにしてきた。本研究では、炭素質エアロゾルを熱分離や溶媒抽出法により分画し、各炭素フラクションの化石と生物の配合比を明らかにする。

2.研究目的（学術的背景や科学的な意義について簡潔にまとめてください。）

炭素質エアロゾルは、気候変動や健康影響に関わっており、本研究は、有害物質である PM2.5 の発生源解析にとどまらず、気候変動に大きく関わっていると考えられるブラウンカーボンの発生源解析にもつながると考えられる。各炭素フラクションの化石と生物の配合比を明らかにすることによって、大気中の動態解析や、詳細な発生源解析を行うことが目的である。

3.実施内容

大気粉塵や PM2.5 などの捕集を、ハイボリュームエアサンプラーやローボリュームエアサンプラー用いて、一日から一週間単位で行った。捕集したエアロゾル試料中の主要成分や発生源解析に有用だと考えられる有機マーカーの測定を行った。また、炭素質エアロゾルの分画方法について検討を行った。検討結果を元に、^{14}C 測定用に炭素分画を行い、元素状炭素測定用の試料調製を行った。^{14}C 測定用のスタンダードの調製も行った。

4.研究成果

生物起源の一次生成と二次生成の有機マーカーの測定を可能にし、^{14}C によって得られた有機炭素中の化石燃料起源と生物起源の配合比の結果と合わせることで、より詳細な発生源解析を可能にした。また植物燃焼の有機マーカーについても測定法を確立したので、^{14}C による元素状炭素の化石燃料起源と生物起源の配合比と解析することにより、さらに詳細な発生源解析を行うことができると期待できる。

5.研究成果の公表（論文・学会発表等があれば記述してください。）

名古屋における PM2.5 中ブラウンカーボンの光吸収特性の季節変動、**池盛文数**、長谷川瞳、中島寛則、**中山智喜**、その他 3 名、第 33 回エアロゾル科学・技術研究討論会、2016

6. 今後の展望（継続課題に関しては、次年度以降の計画を含めてください。）

検討した分画法により、各炭素フラクションの化石と生物の配合比の季節変化等を明らかにする。また、有機マーカーなど、炭素質エアロゾルの発生源指標と合わせて解析を行い、その大気中の動態解析や、詳細な発生源解析を行う。

7. 測定試料（標準体を含めた試料の測定結果を簡単にまとめてください。）

^{14}C 測定用のスタンダードについては CO_2 抽出を終了し、測定試料については、一部 CO_2 抽出を終えた段階である。今後、加速器質量分析装置による ^{14}C 測定スケジュールに合わせ、順次、CO_2 からグラファイト作成を行っていく予定である。

ID	試料採集地点（緯度・経度）	試料の種類	炭素 14 年代 BP(±1SD)	測定コード (NUTA2-)

平成 28 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

（課題番号）

280912

研究課題名

ビーチロック試料の正確な膠結年代決定法の開発

研究代表者

小元久仁夫（元日本大学）

研究分担者

藁谷哲也・塩見 昌司（日本大学）

南 雅代（名古屋大学宇宙地球環境研究所）

1.研究の概要（200 字程度でまとめてください。）

ビーチロックは潮間帯の海浜堆積物が海水または地下水に含まれる炭酸カルシウムにより膠結されて岩石化したものである。これまで多くの研究者達はビーチロックに含まれている貝化石や化石サンゴを年代測定試料としていた。しかしこれらの年代は生物の死亡年代を示すだけであり、正確な海浜堆積物の膠結年代を示していない。本研究は微量の試料でも年代決定が可能な AMS を使用して正確なビーチロックの膠結年代を決定する方法を開発することであり、同時に抽出した試料の年代と既存の年代を比較検討することである。初年度は試料の採取と炭酸カルシウムの分離法の開発を行い、分離した炭酸カルシウムとビーチロックに含まれていた微化石について AMS による年代測定を行う。

2.研究目的（学術的背景や科学的な意義について簡潔にまとめてください。）

ビーチロックは潮間帯で形成されるため、地殻変動や海水準変動の指標である。正確な変動速度を得るためには誤差の小さな測定値が必要であり、AMS ^{14}C 年代測定は最適な年代決定の方法である。従来は大型化石の年代をもってビーチロックの形成年代としていた。本研究の究極の目的は膠結物質とされている炭酸カルシウムの抽出方法の開発と、抽出物質の年代測定を行い、従来の年代と比較することである。

3.実施内容

① 2017 年 6 月と 11 月に小元は現地調査を行い、年代測定試料を採取した。

② 試料調製と AMS 年代測定は南が行った。

③ 小元は研究成果を取りまとめ、学会発表の準備を行った。

4.研究成果

① 同一地点から採取した異種試料の年代を比較・検討することができた。

② ビーチロックの形成速度を試料別に計算することができた。

③ 大シャコガイと報告されていた岩塊が *Porites* sp.（micro atoll）と鑑定され、その年代を決定することができた。

5. 研究成果の公表（論文・学会発表等があれば記述してください。）

2017 年 5 月に仙台市で開催される東北地理学会で成果の一部を発表する予定である。

6．今後の展望（継続課題に関しては、次年度以降の計画を含めてください。）

3 年計画の研究であり、新年度に継続したいと考えていたが一切事務的な連絡がないまま今日に至り、継続申請ができなかった。次年度に改めて申請する予定である。事務連絡を確実に行ってほしい。この報告書に関しても事務側から一切連絡がなかった。

7．測定試料（標準体を含めた試料の測定結果を簡単にまとめてください。）

全体に推定した年代より新しい。ただし OMT-8-1 は明らかに異常に古い年代であり、異地性の試料と判断され、津波により打ち上げられた試料と推定される。また OMT-10-1 および OMT-11-1 は推定年代よりかなり新しい年代である。

ID	試料採集地点（緯度・経度）	試料の種類	炭素 14 年代 BP(±1SD)	測定コード (NUTA2-)
非公開				

平成 28 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
（課題番号） 280913

研究課題名 海水準変動や気候変動が河川・海岸地形の形成に与える影響の解明

堀　和明・石井祐次・高橋瑛人（名古屋大学）

1. 研究の概要（200 字程度でまとめてください。）

過去約 2 万年間の海水準変動や気候変動が，河川河口部や氾濫原の地形・地層形成過程に与える影響とその空間的差異を解明するため，河川下流部の開析谷充填堆積物や氾濫原に分布する泥炭層を対象に放射性炭素年代測定をおこなう．今年度は，肝属平野においてハンドオーガーを用いて採取された堆積物および台南平野の開析谷充填堆積物に含まれていた貝殻片や植物片，枝などを対象に放射性炭素年代測定をおこなった．

2. 研究目的（学術的背景や科学的な意義について簡潔にまとめてください。）

本研究では，後期更新世から完新世の海水準変動や気候変動が，河川河口部や氾濫原の地形・地層形成過程に与える影響とその空間的差異の解明を目指している．とくに次の 2 つ，(1) 最終氷期の海水準低下期に形成された開析谷を充填する堆積物，(2) おもに寒冷地域の氾濫原に広く分布する泥炭層，について，堆積物に含まれる貝殻片や泥炭，木片などを用いて放射性炭素年代測定をおこない，堆積時期や堆積速度を高分解能で決定していく．

3. 実施内容

宇宙地球環境研究所の北川教授と共同で，有機物および炭酸塩試料について，洗浄，二酸化炭素の精製，グラファイト化をおこなった．名古屋大学の加速器質量分析装置が故障中であったため，洗浄後の試料およびグラファイト化した試料については，海外機関で測定した．

4. 研究成果

台南平野では，深度約 180 m にみられる堆積物が最終氷期最盛期前後に堆積したと考えられる．これは台湾南西部の沈降速度が大きいこと，流域からの土砂供給量が大きいことを反映している．

年代測定結果から，肝属平野の氾濫原では泥炭層の形成は約 6500 cal BP 以降に開始したことがわかった．また，約 4600 cal BP に降下したと推測されている霧島御池テフラ（Kr-M）の堆積前後に泥炭層の形成が終了した．

5.研究成果の公表（論文・学会発表等があれば記述してください。）

今年度は測定結果に関する発表をおこなっていない.

6. 今後の展望（継続課題に関しては、次年度以降の計画を含めてください。）

今後，台南平野については測定結果の詳細な検討および追加の年代測定，肝属平野については泥炭層の形成終了前後の層準について年代測定を蜜におこなっていく必要がある.

7. 測定試料（標準体を含めた試料の測定結果を簡単にまとめてください。）

今年度，名古屋大学の加速器質量分析装置を用いた年代測定はおこなっていない.

ID	試料採集地点（緯度・経度）	試料の種類	炭素 14 年代 BP(±1SD)	測定コード (NUTA2-)

平成 28 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

（課題番号）280914

研究課題名　ベトナム中央高原の火山湖堆積物の年代測定

藤木利之（岡山理大）北川浩之（名古屋大学）

1.研究の概要（200 字程度でまとめてください。）

約20万年前頃のアフリカ大陸東部で誕生したホモ・サピエンス（新人）は、10～5万年前頃以降、ユーラシア各地へ拡散し、旧人と「交替」した。旧人が生息していた頃のアジアにおいて新人がいつ、どのように拡散し定着したかあまりよく解っていない。本研究では、ベトナム中央高原で採取した泥炭堆積物の年代測定、花粉分析を行い、新人が東南アジア域に拡散定着した時代の環境的背景を探る。

2.研究目的（学術的背景や科学的な意義について簡潔にまとめてください。）

東南アジアの過去３万年以前の環境変化については研究者間で一致した見解が得られていない。新人がパレオアジア域に到着し定住した環境的な背景の解明は今後の課題である。ベトナム中央高原の火口湿地から採集した最終氷期の泥炭堆積物の炭素 14 年代測定を行い堆積物の花粉分析を行い高分解能な古環境変遷を解明し、新人がベトナム周辺に定着した時代の古環境を探ることが目的である。

3.実施内容

ベトナム中央高原のプレイク火山地域（PVF）で 2013 年、2017 年に試料を採集した。2013 年に採集した堆積物試料(PLK13)から過去 14000 年間の環境変動が記録されていた。2017 年には PVF の２地点で最終氷期の堆積物を採集した。本年度は、2013 年に採集された堆積物の花粉分析（名古屋大学未来研究所の電子顕微鏡観察を含む）を行い、2017 年に採集した最終氷期の堆積物の花粉分析を行う基礎データを整備した。2017 年に採集した採取された泥炭堆積物に含まれる植物遺体の同定、試料調整を行い、次年度以降に炭素 14 年代測定を行う予定である。

4.研究成果

加速器質量分析は本年度実施できなかった。2017 年の試料採集に関しては、文部科学省科学研究費補助金（新学術領域研究）平成 28 年～32 年度「パレオアジア文化史学」－アジア新人文化形成プロセスの総合的研究－の A03 計画研究「アジアにおけるホモ・サピエンス定着期の気候変動と居住環境の解明」の 2016 年度活動報告書(現在印刷中)にとりまとめた。

5.研究成果の公表（論文・学会発表等があれば記述してください。）

北川浩之・藤木利之・田村亨・Trinh Ngoc Tuyen・Dang, Pong Xuan：ベトナム中部高原地帯のプレイク火山地帯の火口湖堆積物の採集.「パレオアジア文化史学」A03 計画研究「アジアにおけるホモ・サピエンス定着期の気候変動と居住環境の解明」2016 年度活動報告書（印刷中）

6. 今後の展望（継続課題に関しては、次年度以降の計画を含めてください。）

来年度以降は、年代を測定し泥炭堆積物の年代編年を高分解能で明らかにし、花粉分析データとともに高分解能の古環境変遷を解明する。

7. 測定試料（標準体を含めた試料の測定結果を簡単にまとめてください。）

今年度は加速器質量分析を実施しなかった。

ID	試料採集地点（緯度・経度）	試料の種類	炭素 14 年代 BP(±1SD)	測定コード (NUTA2-)

平成 28 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

（課題番号）
280915

研究課題名
炭酸塩天然コンクリーション形成速度の算出

研究代表者
吉田英一（名古屋大学博物館）

研究分担者
淺原良浩（名古屋大学大学院環境学研究科）・
南 雅代（名古屋大学宇宙地球環境研究所）

1.研究の概要（200 字程度でまとめてください。）

炭酸塩コンクリーションは、海性堆積岩中に普遍的に形成される球状の炭酸塩（$CaCO_3$）の団塊である。本研究では、炭酸塩（$CaCO_3$）中の ^{14}C に着目することにより、炭酸塩コンクリーションの形成速度に具体的な年代指標を入れることを目的とする。具体的には、アメリカのユタ州エスカランテ及びホワイトクリフ、ならびに鹿児島から採取した炭酸塩コンクリーションに対して ^{14}C 測定を行った。

2.研究目的（学術的背景や科学的な意義について簡潔にまとめてください。）

炭酸塩コンクリーションの成因や形成速度に関しては、これまであまり詳細には分かっていなかったが、研究代表者が中心となって推進している最近の研究により、数ヶ月～数年／cm といった急速での形成メカニズムを有していることが明らかになりつつある。$CaCO_3$ は、地球上に普遍的に存在し、生命活動にも不可欠な物質であり、CO_2 の固定物質としても知られる素材である。^{14}C 結果から炭酸塩コンクリーションの急速な形成速度が明らかになれば、さまざまな応用への可能性を秘めている。

3.実施内容

炭酸塩球状コンクリーション 12 試料ならびに周辺マトリックス岩石等を分析した。アメリカのユタ州エスカランテ及びホワイトクリフの炭酸塩コンクリーションに対しては 900℃段階加熱を行い、7.で示したように、全炭素の ^{14}C 結果を得ている。鹿児島の炭酸塩コンクリーションに対しては炭酸部分の ^{14}C データを得るため、リン酸分解を行い、現在、測定待ちである。

4.研究成果

得られた年代はさまざまであり、これが、リン酸分解でなく、900℃加熱を行ったためなのか、炭酸塩コンクリーションそのものがいろいろな形成年代をもっているのか不明である。そこで、鹿児島の炭酸塩コンクリーションに対しては、リン酸分解で炭酸塩部分のみの年代を求める試みを行っているところである。

5.研究成果の公表（論文・学会発表等があれば記述してください。）

δ^{13}C結果を含めた炭酸塩球状コンクリーションの成因に関しては、火星で見られる同様のコンクリーションと対比して、”Carbonate origin of Fe-oxide concretions on Earth and Mars”というタイトルでNature Communicationsに投稿し、現在、査読中である。また、炭酸塩球状コンクリーションの形成速度に関しては、現在、″Tightly constrained timescales and conditions of spherical carbonate concretion formation″というタイトルで、Geologyに投稿中である。

6. 今後の展望（継続課題に関しては、次年度以降の計画を含めてください。）

ユタ州の炭酸塩コンクリーションに対して、リン酸分解を行い、炭酸塩部分のみの年代を求める予定にしている。鹿児島の炭酸塩コンクリーションは、埋没していた地層の年代から、5000年位を示すと予想される。この試料がどのような年代を示すかが、今度の研究の方向性を決めると言っても過言ではなく、早急に試料調製を行い、14C測定を行いたいと思っている。

7. 測定試料（標準体を含めた試料の測定結果を簡単にまとめてください。）

マトリックス部分は、現生生物や、降雨等の影響で、現代炭素が混じった若い年代を示したと考えられるが、鉄-炭酸塩コンクリーションのFe部分は、おおよそ1万から1.5万年くらいの年代を示した。

ID	試料採集地点 （緯度・経度）	試料の種類	炭素14年代 BP(±1SD)	測定コード (NUTA2-)
非公開				

平成 28 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

（課題番号）
280916

研究課題名
高精度の ^{14}C 測定達成にむけて：測定プロセスの全過程の検討

研究代表者
中村俊夫（名古屋大学宇宙地球環境研究所）

研究分担者
北川浩之・南 雅代（名古屋大学宇宙地球環境研究所）・
奥野 充（福岡大学）三宅芙紗（名古屋大学高等研究院）・
箱崎真隆（国立歴史民俗博物館）

1.研究の概要（200 字程度でまとめてください。）

地質学，環境学，考古学，文化財科学などさまざまな分野の研究において，放射性炭素（^{14}C）年代の利用，あるいは ^{14}C をとレーサーとして活用する手法が用いられ，大きな成果を挙げてきている．特に，加速器質量分析装置を用いる ^{14}C 測定では，分析計に直接必要な炭素量が 1 mg 以下であり，かつ高精度，低バックグラウンドの測定が可能なことから，さまざまに利用されている．本研究では，もっと高精度の ^{14}C 測定達成にむけて測定プロセスの全過程を検討することを目指す．

2.研究目的（学術的背景や科学的な意義について簡潔にまとめてください。）

本研究では，加速器質量分析装置を用いる ^{14}C 測定において，さまざまな種類の試料を高精度に測定するために，関連する測定プロセスを検討する，すなわち±20 年（±0.2%）以下の誤差による測定（同一試料の複数回測定の再現性を含めて）を可能にするための方法論を吟味し，その条件の確立を目指す．

3.実施内容

高精度 ^{14}C 測定を達成するためには，測定対象の選別から，試料調製方法や ^{14}C 測定の具体的な方法の条件設定を確立しなければならない．このプロセスの検討を，さまざまな研究分野の試料について，数年かけて行う．特に，太陽活動の経年変動を記録する唯一のプロキシーとして，1 年ごとの年輪に含まれている ^{14}C 濃度測定においては高精度を必要とされるため，±0.2%の高精度を達成するための諸条件を検討する．

このために，^{14}C 年代が既知の試料，年輪年代が決定された年輪試料などの測定を行い，測定の正確度，精度，再現性などを検討したい．

4.研究成果

2016 年には，加速器質量分析装置の多くの故障・不具合が発生した．主な不具合を以下に列挙する。

1) 5 月 21 日に、10 年間使用したクライオポンプの圧縮機が停止した。コンプレッサー

のエラーメッセージによると、入力電源電圧の異常低下、もしくは内蔵の保護回路の誤動作による停止とされる。クライオポンプの 4 台のヘッドを 4 台のターボ分子ポンプに置き換えることにした。9 月に TMP に交換を完了した。

2) 水冷式である HE-Magnet 電源の冷却不良による停止が相次いだ（2015 年 8, 11 月）。そこで、水冷式から空冷式の電源装置に交換することとなった（2016 年 10 月に取り換えを実施）。

3) AMS 装置を制御するパソコンの Hard Disk が故障したため、取り換えた（2016 年 11 月）。

4) イオン源において、ターゲットの運動を駆動するモーターの電源（Servo Amplifier の電源）が故障したため、予備品に取り換えた（2016 年 12 月に完了）。

5) 大音響の高電圧スパークが 2 回発生して、電源回路が故障した（2017 年 1 月）。一応，2 月 17 日に修理が完了した.

このような状況の中，NBS-old 標準体、IAEA シリーズの標準試料等を測定し，^{14}C 濃度は既知データとよく一致していることを確認した．また，±20〜±30 年の測定誤差で，^{14}C 年代測定が出来ていることを確認した.

5.研究成果の公表（論文・学会発表等があれば記述してください。）

故障の状況については，宇宙地球環境研究所年代測定研究部シンポジウムにて報告を行った．こうした故障の中で行った試料等の測定脚気については，後日，公表を予定している.

6. 今後の展望（継続課題に関しては、次年度以降の計画を含めてください。）

本年度は，加速器質量分析装置のさまざまな故障により，試料等の分析が十分には出来なかった．今後引き続き，この種の試験測定研究を進める予定である.

7. 測定試料（標準体を含めた試料の測定結果を簡単にまとめてください。）

NBS-NEW-標準体：138 個を測定した。この標準体の $^{14}C/^{12}C$ 比は、試料の調製者によって多少の変動はあったが、測定した試料の $^{14}C/^{12}C$ 比は、この標準体の $^{14}C/^{12}C$ 比で規格化して年代を算出した。

NBS-OLD-標準体：44 個を測定した。再現性はよかった。

Dead シュウ酸標準体：43 個測定した。装置の ^{14}C ブランクは、50 kBP〜55 kBP であることが確認できた。

IAEA-標準体：20 個。予想される ^{14}C 年代や ^{14}C 濃度値とほぼ一致した。

ID	試料採集地点（緯度・経度）	試料の種類	炭素 14 年代 BP(±1SD)	測定コード (NUTA2-)
非公開				

平成 28 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
（課題番号）280917

研究課題名　インド都市域の大気有機エアロゾルの起源の解析

持田 陸宏（名古屋大学大学院環境学研究科)・北川 浩之（名古屋大学宇宙地球環境研究所)
・陳　慶彩（名古屋大学大学院環境学研究科・陝西科技大学環境学院)

1. 研究の概要（200 字程度でまとめてください。）

大気中の粒子態有機物の起源は様々であり、粒子態有機物の大気濃度に対するそれらの寄与は十分に解明されていない。本研究では、ニューデリーの大気微粒子試料から得ていた有機画分の放射性炭素同位体比を測定し、化学構造の情報も利用してその起源を明らかにすることを目標とした。現在までに、有機画分試料の二酸化炭素への変換を行っており、放射性炭素同位体比の測定やそれに基づく起源の解析は今後の課題となった。

2. 研究目的（学術的背景や科学的な意義について簡潔にまとめてください。）

大気微粒子がもたらす健康被害は世界的に深刻な問題であり、その主要成分のひとつである有機物の起源に関する知見は、有効な対策を講じる上で重要である。しかし、粒子態有機物の大気濃度に対する各放出源・生成過程の寄与は十分に解明されていない。本研究では、ニューデリーで採取されたエアロゾル試料に含まれる有機物の起源に関する知見を、分画した有機物に対する放射性炭素同位体比の測定と化学構造の特徴の解析によって得ることを目的とした。

3. 実施内容

大気エアロゾルを捕集した 6 枚のフィルタから得ていた 5 種類の画分（計 30 試料）と、これら 6 つのフィルタ試料のそれぞれから得たフィルタ片、再現性の確認のため 1 つのフィルタから得たフィルタ片 3 枚と、同 3 枚に抽出用溶媒を添加したものを石英製の試験管に入れたものを用意した。そして、溶媒を除去した上、燃焼管に酸化銅・銀粒を加えて封管し、加熱することで有機物から二酸化炭素を得た。フィルタ片の試料の場合には、酸化銅・銀粒を加えて石英製燃焼管に封管し、加熱することで二酸化炭素へ変換を行った。

4. 研究成果

加速器質量分析装置を用いた放射性炭素同位体比の測定はまだ実施しておらず、有機物の起源に関する解析は次年度以降に持ち越すことになった。

5.研究成果の公表（論文・学会発表等があれば記述してください。）

なし

6. 今後の展望（継続課題に関しては、次年度以降の計画を含めてください。）

早期に放射性炭素同位体比の測定を実施し、分画した有機物の起源の解析を進めたい。なお、有機物の分画と放射性炭素同位体比の測定を組み合わせる本研究の分析においては、抽出・分画の操作にともなうアーティファクトがあることも考えられる。測定の結果から分析操作上の問題が考えられる場合には、その影響を確認するための追加の分析や、手法の見直しについて検討したい。

7. 測定試料（標準体を含めた試料の測定結果を簡単にまとめてください。）

現在まで未測定

ID	試料採集地点（緯度・経度）	試料の種類	炭素 14 年代 BP(±1SD)	測定コード (NUTA2-)

平成 28 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

（課題番号）

280918

研究課題名

唐比低地における古環境変遷および千々石断層の活動履歴の評価

研究代表者

中西利典（福岡大学）

研究分担者

奥野　充（福岡大学）

1. 研究の概要（200 字程度でまとめてください。）

九州北西部の唐比低地は橘湾北岸に位置し，中央部で海抜 0.2 m の沿岸低地である．同低地の深度 11 m 以浅では泥炭層が確認されており，淡水生～汽水-海生の珪藻化石の含有が報告されている．一方，同低地の北端部は千々石断層の末端部に位置しており，過去の断層活動が地層に記録されていることが期待される．今回の共同利用申請では，同断層の沈降側と隆起側の近接した地点で採取されたコア試料の植物片の放射性炭素年代値を測定して，同断層の活動履歴を検討した．

2. 研究目的（学術的背景や科学的な意義について簡潔にまとめてください。）

唐比低地（長崎県諫早市森山町；図 1）の深度 11 m 以浅には泥炭層が確認され（松岡ほか，1990；松岡・竹村，1993），この泥炭層には淡水生～汽水-海生の珪藻化石が含まれている（Fukumoto et al., 2011）．一方，低地の北端部には千々石断層が伏在するので，その活動履歴が記録されていることが期待される．今回の共同利用申請では，同断層の沈降側と隆起側の近接した地点で採取されたコア試料の植物片の放射性炭素年代値を測定して，同断層の活動履歴を検討することを研究目的とした．

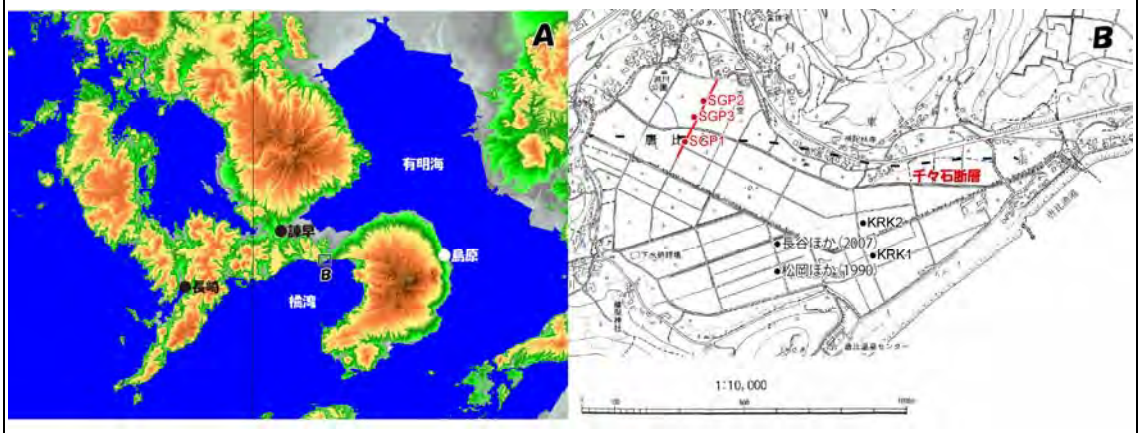


図 1．A；唐比低地の位置と周辺の標高段彩図．B；ボーリングコアの掘削地点と周辺の地形．

3. 実施内容

唐比低地で採取したボーリンクコア試料（SGP1 および 3；図 1）に含まれる葉や種子などの植物片のうち保存状態のよい 12 試料を選定した．それらと測定限界値を評価するための阿蘇 4 火砕流埋没材 3 試料程度を，福岡大学理学部地球圏科学科（奥野研究室）で AAA 処理をした後で，同研究室の高真空のガラスラインでグラファイト試料を作成する予定であったが，作業時間の調整が未だにできていない．その調整がつき次第，これらと同じガラスラインで精製した標準試料（NIST, Ox2）のグラファイト 3 試料程度を中村俊夫先生に送付する予定である．分析を予定しているボーリングコア試料は島原半島ジオパークの研究助成を受けて採取したものであり，その内 4 試料は韓国地質資源研究院においてグラファイト精製および年代測定を予察的に実施して，2.96-5.13 kBP の放射性炭素年代値を得ている（図 2）．

4. 研究成果

先述したように年代測定はまだ実施できていないので，それ以外の研究結果を記述する．図 2 に示したように唐比川の堤防を挟んで地表面が南側に傾斜している．測線上で得られた 3 本のコア試料（SGP1～3）の初磁化率値による対比は SGP2 コアと SGP1 の間に深度 2～3 m において対比線が急変する層準が認められる．その層準の堆積年代は 3.1～5.0 kBP の間であり，唐比火山灰（Kr）の噴出年代に相当する可能性がある．今回選定した試料の年代値が得られれば，同火山灰の噴出年代を高精度に検討できると共に，千々石断層の隆起側（SGP3）と沈降側（SGP1）の堆積曲線の変化の相違を基にして，同断層の活動履歴を検討できると考えられる．

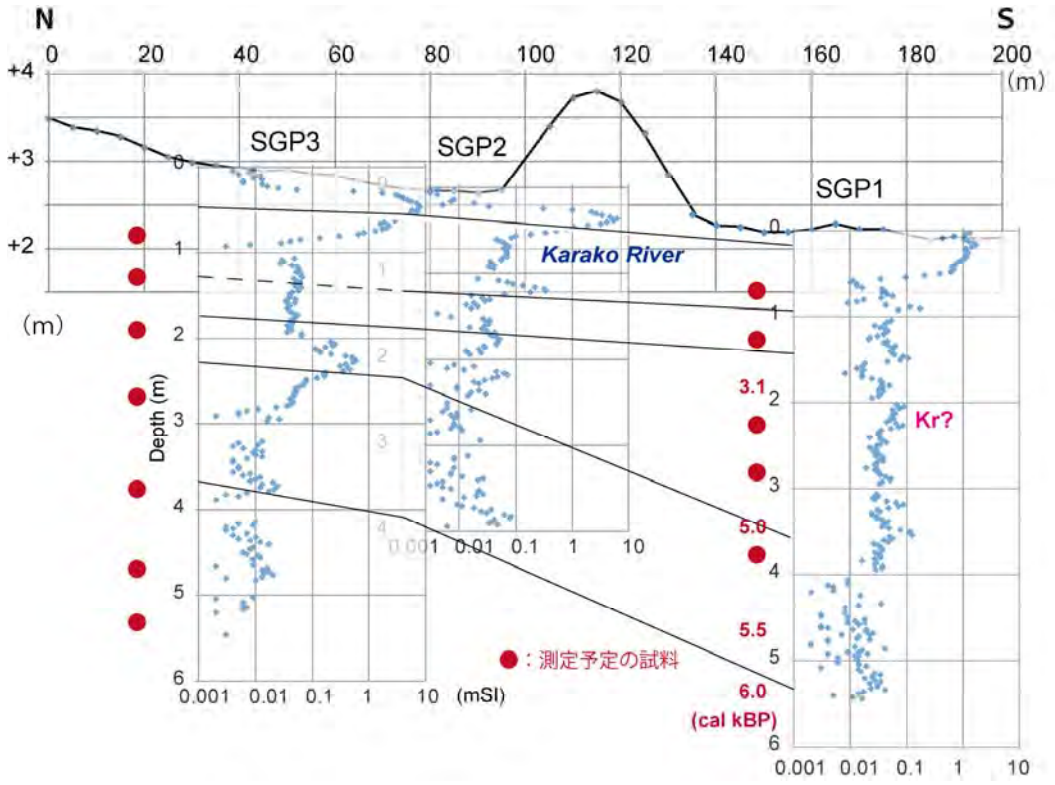


図 2．千々石断層を挟んだ地形断面とコア試料の初磁化率値の対比，年代測定の結果と予定．

5. 研究成果の公表（論文・学会発表等があれば記述してください。）

平成 27 年 6 月，京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設（別府）で開催された国際火山噴火史情報研究集会で，ポスター発表した（山内ほか，2015）．また，島原半島ジオパークの研究助成をうけて掘削した試料については同助成研究報告書（堀川ほか，2016）により発表された．

6．今後の展望（継続課題に関しては、次年度以降の計画を含めてください。）

先述した年代測定が実施できれば，千々石断層を挟んだ 2 地点で堆積速度の変化を詳しく評価できる．一方，電力中央研究所との共同研究で地中レーダ探査を実施して，両掘削地点を結んだ測線の地下構造を可視化する予定である．以上の結果を総合して，同断層の活動履歴について解釈する予定である．

7．測定試料（標準体を含めた試料の測定結果を簡単にまとめてください。）

千々石断層の隆起側（SGP3 コア）で 7 試料，沈降側（SGP1 コア）で 5 試料の年代測定を予定している．

ID	試料採集地点（緯度・経度）	試料の種類	炭素 14 年代 BP(±1SD)	測定コード (NUTA2-)

平成 28 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

（課題番号）
280919

研究課題名
アリューシャン列島とエチオピアにおける生態考古学に関する日露共同研究

研究代表者
奥野 充（福岡大学）

研究分担者
Arkady Savinetsky・Olga Krylovich・Bulat Khasanov・
Eugenia Kuzmicheva（ロシア科学アカデミー）

1.研究の概要（200 字程度でまとめてください。）

エチオピア（High-mountains）およびアリューシャン列島（Commander, Shemya と Chukotka 島）の遺跡およびその周辺地で採取した骨や植物遺体の年代測定を行う．アリューシャン列島のような島嶼地域における海洋リザーバー効果を正確に見積もるため，アレウト最古の遺跡が知られている Unalaska 島の泥炭層についても年代測定を行う．これらから各地での人類の展開と生活形態を復元する．

2.研究目的（学術的背景や科学的な意義について簡潔にまとめてください。）

エチオピアおよびアリューシャン列島の遺跡およびその周辺地では遺跡からは犬の骨が産出している．各地の人類がいつから犬を家畜として伴うようになったかを明らかにするためには，その高精度年代決定が不可欠である．アリューシャン列島でも犬が産出しているが，島嶼地域では海洋リザーバー効果を正確に見積もり，各地での人類の展開と生活形態の高精度な復元を目的とする．

3.実施内容

得られたサンプルからグラファイトターゲットまで生成し，現在，測定を待っているところである．

4.研究成果

年代測定結果を受けて成果をまとめる予定である．

5.研究成果の公表（論文・学会発表等があれば記述してください。）

なし.

6. 今後の展望（継続課題に関しては、次年度以降の計画を含めてください。）

測定結果が出てから検討する.

7. 測定試料（標準体を含めた試料の測定結果を簡単にまとめてください。）

ID	試料採集地点（緯度・経度）	試料の種類	炭素 14 年代 BP(±1SD)	測定コード (NUTA2-)

平成 28 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

（課題番号）

280920

研究課題名

環太平洋地域の活動的火山の高精度年代学的研究

研究代表者

小林哲夫（福岡大学）

研究分担者

田口幸洋・奥野 充（福岡大学)・Arturo Daag（フィリピン火山地震研究所)・Agung Harijoko（ガジャ・マダ大学）

1. 研究の概要（200 字程度でまとめてください。）

日本国内では北海道の摩周火山，九州の阿蘇，九重や桜島など，国外では熱帯域のフィリピンやインドネシア，寒帯のアリューシャン列島などのテフラの年代測定を行った．大規模噴火は，全球的な気候変動にも影響を及ぼすことから，それらと精密に比較するには高精度年代決定が必須である．また，阿蘇カルデラについては，平成 28 年熊本地震に伴って地滑りや断層運動など，様々な地質現象が見られるため，それらの履歴を解明する．

2. 研究目的（学術的背景や科学的な意義について簡潔にまとめてください。）

日本列島には，阿蘇や桜島など活動的な火山が多く分布しており，それらの噴火年代の高精度決定は，基礎的な情報として不可欠であり，日本国内にとどまらず，フィリピンやインドネシアの研究者と共に，地質調査にもとづいて噴火史を確立する研究を行っている．火山災害の防止・軽減には噴火履歴の詳細な解明が不可欠であり，高精度な年代決定から人類へのインパクトを評価することを目的とする．

3. 実施内容

日本，フィリピン，インドネシア，アリューシャンでの採取試料（炭化木片，植物片，湖沼堆積物，古土壌）を，福岡大学で AAA 処理後，高真空のガラスラインで標準試料（NIST, Ox ）と共にグラファイト試料を作製し，現在，測定を待っているところである．

4. 研究成果

年代測定結果を受けて，各火山について成果をまとめる予定である．

5.研究成果の公表（論文・学会発表等があれば記述してください。）

なし.

6. 今後の展望（継続課題に関しては、次年度以降の計画を含めてください。）

測定結果が出てから検討する.

7. 測定試料（標準体を含めた試料の測定結果を簡単にまとめてください。）

九重，霧島，姶良カルデラ，フィリピン，インドネシア，アリューシャンで採取した炭化木片，植物片，湖沼堆積物，古土壌.

ID	試料採集地点（緯度・経度）	試料の種類	炭素 14 年代 BP(±1SD)	測定コード (NUTA2-)

平成 28 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

（課題番号）

280921

研究課題名

遺跡出土遺物を用いた古食性，古環境復元研究

研究代表者

宮田佳樹（金沢大学）

研究分担者

南 雅代（名古屋大学)・中村俊夫（名古屋大学)・落合伸也（金沢大学)・
下濱貴子（小松市埋蔵文化財センター）

1.研究の概要（200 字程度でまとめてください。）

遺跡周辺の当時の環境を現代から推定するために，2016 年 8 月 7 日に，能登半島新池（石川県珠洲市）の池水，ヒシ，ジュンサイ，アシなどを採取し，その安定同位体組成，放射性炭素濃度測定を試みた。Station Trap2 の溶存無機炭素中に含まれる放射性炭素濃度（$\Delta^{14}C$(‰)）は，水深 1.2M; +13.0±4.0(‰)，2.2M(Bottom)；＋7.0±3.0 (‰)であった。水深 1.2M の $\Delta^{14}C$ = +13.0(‰)は，大気とよく混合している表層水と水深 2.2M (Bottom) $\Delta^{14}C$ = ＋7.0(‰)との混合で説明できるのかもしれない。

2.研究目的（学術的背景や科学的な意義について簡潔にまとめてください。）

縄文，弥生時代の遺跡の同一包含層から出土した明瞭なコンテクストの複数種類の遺物（炭化材，炭化種実，土器付着炭化物，人骨，動物骨，貝など）のみかけの炭素年代測定差を比較検討し，遺物の安定同位体組成，土器残存有機物脂質分析，分子レベル炭素同位体分析などを活用することで，遺物の食性，生息域などの生態系情報も含めた当時の遺跡環境を現代と比較検討しつつ復元すること。

3.実施内容

2016 年 8 月 7 日に，能登半島新池（石川県珠洲市）の湖水，ヒシ，ジュンサイ，アシ，マツ葉などを採取し，放射性炭素濃度とその安定同位体測定を試みた。



図 1．新池湖深図（石川県珠洲市）

4.研究成果

2016年8月7日に採取した4点の池水の測定結果に過ぎないが，能登半島新池（石川県珠洲市）の集水域から，流入してくる供給水中の溶存無機炭素は，大気よりも古い炭素年代を示すことがわかった（Trap1-2.5M-2は一番水深が深いにもかかわらず，一番高い炭素14濃度を示すことから，何らかの理由で大気混入の影響を受けてしまった可能性があり，現時点では考察から除外する)。Station Trap2のDOは，水深0.3Mまで9mg/L程度で一定であり，表層は大気とよく混合されている。それ以深は，2.2Mの池の底まで，単調に減少している。したがって，Trap2-2.2M（Bottom）の＋7.0±3.0（‰)と大気とよく混合している表層水との混合で，Trap2-1.2Mの+13.0±4.0(‰)という$\Delta^{14}C$値を説明できるのかもしれない。

5.研究成果の公表（論文・学会発表等があれば記述してください。）

特になし

6. 今後の展望（継続課題に関しては、次年度以降の計画を含めてください。）

今年度未測定である新池から採取した表層水，植物試料の炭素年代測定，安定同位体測定をすすめ，池水の滞留時間を物理観測結果と比較し，遺跡環境を復元する。さらに，八日市地方，真脇，大谷山貝塚遺跡から出土した貝，動物骨，土器付着炭化物試料など20試料の炭素年代測定，安定同位体測定，加えて，土器脂質分析や遺物の分子レベル炭素同位体測定を行う。また，年代測定試料である動物下顎骨を形態観察し，狩猟された年齢や時期を推定し，さらに詳細な古食性解析を進めるつもりである。

7. 測定試料（標準体を含めた試料の測定結果を簡単にまとめてください。）

水溶液中の溶存無機酸素に含まれる^{14}C濃度を4点測定した。標準体の繰り返し再現性も問題なく，必要充分な精度でサンプルの測定が行われたことがわかる。

ID	試料採集地点（緯度・経度）	試料の種類	炭素14年代BP(±1SD)	測定コード(NUTA2-)
非公開				

１０.加速器質量分析(委託測定)

・９件の申請が有り、そのうち、６件の測定（４７個）が完了済みである。

・報告書については割愛。