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

研究代表者 Principal Investigator	所属機関 Affiliation	所属部局 Department	職名 Position	研究課題名 Project Title	頁 Page
山崎了	青山学院大学	理工学部 物理・数理学科	准教授	高ベータプラズマ中を伝播する無衝突衝撃波の 研究	129
大矢浩代	千葉大学	大学院工学研究院	助教	LF帯標準電波を用いた地震後のD領域電離圏変 動	130
村田 功	東北大学	大学院環境科学研究 科	准教授	フーリエ変換型分光計で観測された大気微量成 分の経年変動	132
深沢圭一郎	京都大学	学術情報メディアセ ンター	准教授	宇宙プラズマ流体シミュレーションのための超 並列計算フレームワークの開発	134
村木 綏	名古屋大学	宇宙地球環境研究所 宇宙線部門	名誉教授	太陽活動と日照時間の相関研究	135
堤 雅基	国立極地研究所	宙空圏研究グループ	准教授	北極域流星レーダーで観測される両極性拡散係 数を利用した極域中間圏の電子温度推定の検討	139
Kyoung-Sun Lee	National Astronomical Observatory of Japan	Solar Science Observatory	Spatially appointed research staff (Project research fellow)	Investigation of the EUV/UV spectrum during the flares through the simulation and observation	141
加藤俊吾	首都大学東京	都市環境学部 分子応用化学コース	准教授	大気微量成分のリモート地での長期変動測定	143
鷲見治一	九州大学	国際宇宙天気科学・ 教育センター	客員教授	太陽圏構造とダイナミックスの研究	144
小池 真	東京大学	大学院理学系研究 科・地球惑星科学専 攻	准教授	航空機観測と数値モデル計算によるエアロゾル -雲相互作用研究	145
柴田隆	名古屋大学	環境学研究科	教授	GOSAT検証のための陸別観測所におけるエアロ ゾル・雲のライダー観測	146
丸橋克英	情報通信研究機構	電磁波研究所 宇宙環境研究室	協力研究員	太陽擾乱現象の惑星間空間伝搬に関する研究	147
笠原 慧	東京大学	大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻	准教授	中性粒子質量分析器の開発	149
笠原 慧	東京大学	大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻	准教授	ERG衛星搭載中間エネルギー荷電粒子観測器の データ解析	151
細川敬祐	電気通信大学	大学院情報理工学研 究科	准教授	光と電波を組み合わせた極冠域電離圏の 3 次元 観測	153
本多牧生	海洋研究開発機構	地球環境観測研究開 発センター	上席技術研 究員	気象イベントに伴う海洋生物地球化学の変動	155
根田昌典	京都大学	大学院理学研究科地 球惑星科学専攻	助教	耐波浪環境シースプレー測器の開発と海上観測 塔試験	157
小川泰信	国立極地研究所	 国際北極環境研究セ ンター	准教授	電離圏D/E層のプラズマ温度導出と検証	159

研究代表者 Principal Investigator	所属機関 Affiliation	所属部局 Department	職名 Position	研究課題名 Project Title	頁 Page
高橋 浩	産業技術総合研究所	活断層・火山研究部 門	主任研究員	沈殿法による海水試料の放射性炭素分析の高精 度化に関する研究	161
大野智生	気象庁 気象衛星セン ター	データ処理部	部長	大気放射モデルを用いた「ひまわり」シミュ レーション画像の作成と応用	163
廣川 淳	北海道大学	大学院地球環境科学 研究院	准教授	不飽和炭化水素のオゾン分解で生じるクリー ギー中間体と有機酸の反応性に関する研究	165
植村 立	琉球大学	理学部 海洋自然科学科 化学系	准教授	沖縄県の鍾乳洞における滴下水の14C濃度	167
岩崎杉紀	防衛大学校	地球海洋学科	准教授	ライダと雲粒子ゾンデによる大粒子・低個数密 度の雲の観測	169
佐藤友徳	北海道大学	大学院地球環境科学 研究院	准教授	北ユーラシアにおける降水の年々変動に対する 大気と陸面の役割	171
河野光彦	関西学院千里国際キャン パス / Australian National University	関西学院千里国際高等部 理科 / Research school of Physics and Engineering Visiting Fellow	教諭 / Visiting Fellow	高校生に対する地球環境教育研究	173
菊池 崇	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	名誉教授	磁気圏電離圏電流伝送モデルを応用した中緯度 地磁気誘導電流の研究	175
中田裕之	千葉大学	大学院工学研究科	准教授	火山噴火に伴う電離圏変動の解析	177
吉田英一	名古屋大学	博物館	教授	炭酸塩天然コンクリーション形成速度の算出	179
門叶冬樹	山形大学	理学部	教授	低バックグラウンドベータ線計数装置による バックグランド時間変動の遠隔地間の比較測定	181
高橋けんし	京都大学	生存圏研究所	准教授	レーザー分光法による温室効果気体のフラック ス計測	183
今山武志	岡山理科大学	自然科学研究所	准教授	CHIME年代測定による隠岐・島後片麻岩類の変 成年代の推定	184
鈴木 臣	愛知大学	地域政策学部	准教授	高感度カメラによる大気光の多地点同時観測	186
渡辺正和	九州大学	国際宇宙天気科学・ 教育センター	准教授	惑星間空間磁場北向き時の極域電離圏対流駆動 機構	187
佐藤興平	気象庁	気象大学校	非常勤講師	日本の揺籃期地殻に関する年代的研究	189
エコーシスワント	海洋研究開発機構	地球環境観測研究開 発センター	研究員	海色衛星観測による東シナ海での溶存有機物質 と低次生産量の時空間変動:気候変動による長 江流量変化の影響	191
和田龍一	帝京科学大学	生命環境学部	准教授	大気中窒素酸化物測定装置の開発	193

研究代表者 Principal Investigator	所属機関 Affiliation	所属部局 Department	職名 Position	研究課題名 Project Title	頁 Page
西田哲	岐阜大学	工学部機械工学科機 械コース	准教授	シリコンナノ構造膜中の微粒子凝集メカニズム の解明	195
浦塚清峰	情報通信研究機構	電磁波研究所	統括	航空機SARと他センサー同時搭載を目指した 運用性についての検討	196
関 華奈子	東京大学	大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻	教授	数値モデリングおよびデータ解析に基づく環電 流−放射線帯エネルギー階層間結合機構の研究	197
馬場賢治	酪農学園大学	酪農学研究科/農食環 境学群 環境共生学類 環境気象学研究室	准教授	アジアダストに付着したバイオエアロゾルの時 空間変遷	199
花土 弘	情報通信研究機構	電磁波研究所	研究マネー ジャー	雲・降水観測レーダの航空機観測に関しての検 討	201
桂華邦裕	東京大学	大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻	助教	あらせ衛星を用いた地球内部磁気圏リングカレ ントイオン圧力変動に関する研究	203
若月泰孝	茨城大学	理学部	准教授	MPレーダと雲解像モデルを利用した降水量の推 定・予測に関する研究	204
野澤 恵	茨城大学	理学部	准教授	NoRHによる太陽コロナ磁場診断とIPS観測によ る太陽風との統計的解析	206
川村誠治	情報通信研究機構	電磁波研究所	主任研究員	地上デジタル放送波を用いた水蒸気遅延測定	207
持田陸宏	名古屋大学	大学院環境学研究科	准教授	冬季における名古屋の都市エアロゾルの雲凝結 核活性	209
福島あずさ	神戸学院大学	人文学部	講師	夏季インド北東部・アッサム州の豪雨に対する 季節内変動の影響	210
薮下彰啓	九州大学	大学院総合理工学研 究院	准教授	二酸化窒素とヨウ化物イオンの反応による気相 へのヨウ素放出	212
津田卓雄	電気通信大学	情報理工学研究科	助教	高エネルギー降下粒子が金属原子層・金属イオ ン層に与える影響	214
薄 良彦	大阪府立大学	大学院工学研究科 電 気・情報系専攻 電気 情報システム工学分野	准教授	高解像度気象シミュレーションデータを用いた 洋上電力システムの運用技術に関する研究	216
河野英昭	九州大学	国際宇宙天気科学・ 教育センター	准教授	SI に伴い中緯度 SuperDARN で観測される FLR 現象の統計的解析	218
加藤雄人	東北大学	大学院理学研究科地 球物理学専攻	准教授	グローバルモデルと素過程シミュレーションに よる地球内部磁気圏での波動粒子相互作用の研 究	220
大嶋晃敏	中部大学	工学部	准教授	太陽圏における銀河宇宙線伝播の研究	222
村田文絵	高知大学	教育研究部自然科学 系理学部門	講師	世界最多雨地域における雨滴の特徴とモンスー ン気流場との関係	224

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

太陽面爆発・噴出現象の発生機構解明および発生予測を目指した統計的研究

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

伴場 由美

宇宙航空研究開発機構/宇宙科学研究所

1. 研究目的・方法

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

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

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

② フレア・CMEイベントの統計解析による、予測パラメータの評価:

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

2. 平成 29 年度における研究成果・考察

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

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

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

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

<u>3. 成果発表</u>

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

• 学会発表

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

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

堀田英之、千葉大学·大学院理学研究院

研究目的:

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

研究方法:

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

研究結果:

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

引用文献

Baumann et al., 2004, A&A, 426, 1075 Iijima et al., 2017, A&A, 607, L2

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

佐藤正樹、東京大学·大気海洋研究所

研究目的

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

1. 研究方法

Non-hydrostatic Icosahedral Atmospheric Model (NICAM; Tomit a 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kine matic 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, J GR)の入力として、レーダ反射因子・光学的厚さ・LWPなどを求め衛星観測データか ら得られるプロダクトを作成し、スキーム間の比較を行う。差をもたらす原因や改 善すべき雲物理過程を探る。この知見を基にして、バルクスキームを衛星観測デー タと比較し、改善することが可能になる。

2. 研究結果

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

3. まとめ

バルク法の結果をビン法から得られる結果と比較する代わりに、 衛星観測から得られる層平均レーダ反射因子の雲頂からの光学的深さに対す る変化率や地表面降水量などの観測値と比べれば、バルク法の雨滴粒径分として仮 定されているガンマ分布のshape parameterの適切な値というものが地域ごとに得られる可能性を示すことができた。

4. 引用文献

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

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

川手朋子(宇宙航空研究開発機構·宇宙科学研究所)

○研究目的

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

○研究方法と結果

本研究では2015年3月17日に発生したM1.1フレアに ついて焦点をあてた。このフレアはディスクイベントで はあるが、Reuven Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager (RHESSI)衛星でループ足元および ループ上空に硬 X 線源が確認された。我々は同時観測し ていたひので衛星搭載極端紫外線分光撮像装置(EIS)を 用いて、ループ上空の硬 X 線源周辺の熱的電子密度を Fe XIV 輝線強度比(Young et al. 2007)から見積もった。そ の結果、フレアのインパルシブ相における熱的電子密度 は 5x10⁹ cm⁻³であった。また Fe XIV から見積もった電子 密度がプラズマ全体の密度構造を反映しているかを確認 するため、Solar Dynamics Observatory 衛星搭載 Atmospheric Imaging Assembly のフィルタ観測から微分 エミッションメジャー(Aschwanden & Boerner 2011)を導 出し、コロナにおける硬 X 線源周辺のプラズマの温度構 造を確認した。その結果、インパルシブ相初期において全 温度帯でエミッションメジャーが増加しているものの、 それ以外では Fe XIV 形成温度の寄与が 1-2 桁程度卓越し ており、Fe XIV で導出した電子密度はコロナ硬 X 線源周 辺の熱電子の密度として良いと考えられる。



図1 彩層・コロナの構造と硬X線 源の位置。赤等高線は12-25keV、青 等高線は25-50keVのX線強度を示 す。 足元・コロナの硬 X 線源スペクトルを位置分解しながら導出することにより、非熱的 電子数の上限を見積もった。コロナ源を thin-target 放射 (Lin 1974) であると仮定する と、非熱的電子密度の上限は 3.4x10⁹ cm⁻³ と見積もられた。一方ループ足元における硬 X 線を thick-target 放射 (Brown 1971) によるものであると仮定すると、下限として 3.6-4.5 x 10¹⁰ cm⁻³ と見積もられた。



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

○考察とまとめ

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

○引用文献

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

<u>○成果発表</u>

ポスター発表 川手朋子、今田晋亮、増田智、石川真之介 「太陽フレアのエネルギー解放領域における熱的・非熱的電子数診断」 太陽研連シンポジウム、京都大学、2018年2月19-21日 内部磁気圏DC電場・低周波電場波動における

地上データ処理・校正手法の確立:その2

Establishment of Data pipeline and calibration for

DC / low frequency E-filed in Inner Magnetosphere: 2

笠羽 康正、東北大学·大学院理学研究科·地球物理学専攻

1. 研究目的

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

2. 研究方法·結果

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

(2) Probe 表面素材の電子特性: ERG 軌道は近地点が 300km と低く、酸素原子による Probe 表面素材へのダメージ(不導体化)が米国研究者により指摘された。遠地点が高く Lobe に 突入すること、また Storm 時の大規模高温 Electron 所在のため、Probe 電位も不安定化し うる。電場観測精度の低さはどの衛星でも問題で、現象の掌握およびありえる劣化の時間遷 移推定・補償方法を検証した。2017 年 3-6 月段階までの Probe 状況は、初期成果論文(Kasaba et al., 2017)に取り込んで報告済だが、WPT-S1/2/3/4 の 4 つの probe 間で 3 割程度の不均 一性が見えるものの、時間劣化は見出されず、この点は朗報である。ただし評価に用いた

「BIAS-SWEEP 法」(0.5sec で BIAS 値を相当範囲で動かす) では Probe 電位が Bias 電位に 追随しきれないこともわかってきた。この補正のため、2017/12 から「BIAS-SLOW-SWEEP 法」

(4sec-step でゆっくり BIAS 値を相当範囲で動かす)をマクロ CMD で実施可能とした。今後の運用で、この評価を含めた時間変化を追試していく.より高周波で得られる Capacity 成分との比較評価も今後実施する。

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

Plasma impedance を適切に能動制御する必要がある。PWE 初期運用では BIAS 電流値として 37.5 nA を設定しようとしたが、過剰で時に probe 電位が発散することが判明し、2017 年 3 月開始の観測運用では 18.8 nA ヘ下げた。さらに、初期論文形成における referee とのや り取りを含むその後の検討で増大させ、2017/11/21 16:20 以降から 3.75 nA (BIAS 電圧 2.8125 V) とした。この間の電場・ポテンシャルの周辺プラズマに対する感度評価は今後の 課題だが、対 plasma impedance を 100 Mohm (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ている(see (2))。 (4) データパイプライン設定および校正: データ校正を含む Level-1' データの生成を定 常化させ、公表を行う Level-2 データ作成の準備を終了させた。これに伴い、2017 年 11 月 に発覚した「時刻付エラー問題(最大 1sec、スピン面内で最大 45deg の回転となる)の修正 方法を確立し、2018 年 3 月頭にこの全補正を終了した。また、電場導出の基礎となるポテ ンシャル・電場波形のスピン依存変動についても検討を開始しているが、これはかなりの難 間であることがわかってきた。今後、磁場観測 (MGF および PWE/SCM) と感度・位相情報を 整合させるとともに、Poynting Vector などの電場-磁場双方の観測量を得て初めて導出可 能な物理量の精度を確保していく。

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



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

<u>4. 成果発表</u> 様式 4-1 を参照されたい. 海洋観測とリモートセンシングを融合させた瀬戸内海の基礎生産量の測定法の開発 A novel method of primary production determination in Seto Inland Sea using analytical and remote sensing techniques

浅岡 聡、神戸大学・内海域環境教育研究センター

【研究目的】

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

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

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

【研究方法】

基礎生産の実測値は環境省環境研究総合推進費S-13「持続可能な沿岸海域実現を目 指した沿岸海域管理手法の開発」プロジェクトで測定したデータを用いた。海水サン プルは、広島湾7地点(2014年~2015年の四季各4回)、安芸灘の6地点(2015年~20 16年の四季各4回)、瀬戸内海西部(広島湾1地点、安芸灘1地点、燧灘4地点、備後灘 4地点、備讃瀬戸3地点で2016年11月のスポットサンプル)にて採取した。¹³C法にて 基礎生産を、海水の水温、塩分、光量を多項目水質計で測定した。基礎生産は広島大 学環境安全センター梅原亮特任助教に協力いただいた。リモートセンシングによる海 洋のクロロフィル濃度および基礎生産の推定においては、高い時空間分解能を持つ(5 00 x 500 mで1日8回の高頻度毎時観測が可能)GOCI/COMSを用い、衛星プロダクト データはKorea Ocean Satellite Center (KOSC, http://kosc.kiost.ac.kr/eng/p10/kosc_ p11.html)からダウンロードした。また、水柱の基礎生産および炭素同化効率の推定 は、(Kameda & Ishizaka, 2005)を参考にした。また、適宜、名古屋大学の石坂丞二 教授、神戸大学海事科学研究科中田聡史特命助教に協力いただいた。

【結果と考察】

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

広島湾を除く瀬戸内海西部海域の基礎生産の衛星推定値と実測値の相関係数はr=0. 371であった(図2)。広島湾同様に炭素同化効率を実測値から推定した経験式で修正したが、衛星推定値と実測値の相関係数はr=0.370となり精度の向上は認められなかった。原因として、特に安芸灘において春から夏にかけて硝酸塩濃度が1 µmol L⁻¹を下回っており、栄養塩制限のため実測値の基礎生産が低く、衛星推定値は栄養塩制限を考慮できていないためと考えられる。課題は残るものの、衛星による基礎生産の推定はオーダーレベルでは実測値を再現できており、瀬戸内海全域に本法を拡張して、瀬戸内海の基礎生産の時空間変動を見積もった(図3)。例として2016年1月(冬)、 3月(春)、7月(夏)、10月(秋)の平均の瀬戸内海の基礎生産の衛星推定値を示す。 1月は陸域の影響を受ける沿岸域および、陸域からの流入負荷が多い大阪湾、播磨灘 北部、備讃瀬戸、広島湾で他の海域より基礎生産が高い傾向を示した。春では瀬戸内 海全域で春のブルームが観測され、大阪湾奥の基礎生産量は800 mg-C m⁻² d⁻¹に達 した。夏では伊予灘や大阪湾西部、播磨灘や燧灘の中央では基礎生産量が200-260 m g-C m⁻² d⁻¹に低下した。原因は栄養塩の枯渇と考えられた。秋には再びブルームが 観測され瀬戸内海全域で基礎生産量が240-800 mg-C m⁻² d⁻¹に達した。

基礎生産は海洋の炭素収支にも直結するため、今後、本研究の進展により沿岸域を 含 め た 全 球 の 炭 素 循 環 、地 球 温 暖 化 な ど 気 候 変 動 を 解 明 す る た め の 重 要 な 知 見 が 得 ら れると考えている。





【引用文献】

Behrenfeld, M. J., Falkowski, P. G., 1997. Limnol. Oceanogr., 42, 1-20. Kameda T., Ishizaka J. 2005. J. Oceanogr., 61,663-672.

【学会発表】

- Nakada, S., Kobayashi, S., Hayashi, M., Ishizaka, J., Akiyama, S., Fuchi, M., Nakajima M., High-resolution observation of river plume by using geostationary ocean color satellite, 2017年日本地球惑星科学連合大会,幕張メッセ, 2017年5月22日
- Umehara A., Asaoka S., Otani S., Fujii N., Miyagawa H., Nakai S., Okuda T., Ohno M., NishijimaW., Biological productivity on lower trophic levels in inter-tidal and sub-tidal areas in Hiroshima Bay, Japan, The Third Asian Marine Biology Symposium, Japanese Association of Benthology, Kumamoto Prefectural University, Kumamoto, Japan, 2017.11.3-5

石英中の Ti 濃度の定量分析から導く深成岩体中の石英の結晶化プロセスの解明 Crystallization process of quartz in the granitic pluton desuced from the quantitative determination of Ti concentration

小北康弘 山形大学大学院 理工学研究科 加藤丈典 名古屋大学 宇宙地球環境研究所 湯口貴史 山形大学 理学部 理学科 地球科学分野

1. 研究目的

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

2. 試料と分析方法

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

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

3. 研究結果·考察

(1)検出限界

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

(2)遠野岩体

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





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



(3)土岐岩体

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



4. 文献

- Drivenes, K., Larsen, R., Muller, A., Sorensen, B. (2016) Crystallization and uplift path of late Variscan granites evidenced by quartz chemistry and fluid inclusions: Example from the Land's End granites, SW England. Lithos, 252-253, 37-75.
- Wark, D. , Watson, E. (2006) TitaniQ: a titanium-in-quartz geothermometer. Contributions to Mineralogy and Ptrology, 152, 743-754.

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

宗像一起、信州大学·理学部

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

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



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

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

2016年3月にKuwait宇宙線計の拡張が完了し、現在はGMDNの4台の宇宙線計すべてが1 分値の観測を行っている。今後はCRBに代表される「速い」変動の研究にもGMDNが威力 を発揮することが期待される。 台風下における風波の砕波機構の解明とモデリング Modelling on wave breaking under tropical cyclone

高垣直尚、兵庫県立大学・機械工学専攻

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

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



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

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



図2 波高と吹送距離との関係.波高Hsおよび吹送距離Fは重力加速度gおよび風速U₁₀を用いて正規化されている.文献³⁾を元に作成.

引用文献

1) Takagaki, N., et al. (2012), Strong correlation between the drag coefficient and the shape of the wind sea spectrum over a broad range of wind speeds, *Geophys. Res. Lett.*, 39, L23604.

2) Komori, S., et al., (2018), Laboratory Measurements of Heat Transfer and Drag Coefficients at Extremely High Wind Speeds, *Journal of Physical Oceanogr.*, DOI:10.1175/JPO-D-17-0243.1.

3) Takagaki, N., et al., (2017), Loop-type wave-generation method for generating wind waves under long-fetch conditions, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 34, pp2129-2139.

4) Takagaki, N., S. Komori, N. Suzuki, K. Iwano, and R. Kurose (2016), Mechanism of drag coefficient saturation at strong wind speeds, *Geophys. Res. Lett.*, 43, doi:10.1002/2016GL070666.

5)高垣直尚,高風速下かつ長吹送距離における風波気液界面を通しての熱輸送機構,波 浪研究集会,名古屋大学, 2018年3月5日.

6)高垣直尚,(2017),台風下における海水面の微粒化,ケミカルエンジニヤリング,62
(2), pp5~12,化学工業社.

7) Wilson, B. W., (1965), Numerical prediction of ocean waves in the North Atlantic for December, 1959, *Dtsch. Hydrogr. Z.*, 18, 114–130, doi:10.1007/BF02333333.

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

> 藤谷雄二、国立研究開発法人国立環境研究所・ 環境リスク・健康研究センター

研究目的

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

研究方法

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

この小屋にスス粒子-エアロゾル質量分析計(SP-AMS)を設置し、PM1.0の化学成分の連 続計測を行った。測定結果は昨年度報告した通りであるが、本年度は2016年の冬季に得 られた AMS のデータのうち、有機エアロゾル OA を対象とし、因子分析の一種である Positive Matrix Factorization (PMF)解析を行った。解析は PMF Evaluation Tool (ver. 2.08D)(Ulbrich et al., 2009)により行った。本研究では因子数を6とした。

研究結果、考察

図1に得られた各因子の濃度と寄与の日内変動を示す。因子の日内変動パターン、既知の発生源や物質、あるいは過去に得られた質量スペクトルとの類似性、他の汚染物質濃度との相関関係などから、総合的に各因子を解釈した。ここでは整数質量数の結果に基づくが、高分解能質量スペクトル(HRスペクトル)のPMF解析結果とも合わせて解釈した。因子1(F1)およびF4はそれぞれ低揮発性含酸素有機エアロゾル(LVOOA)および半揮発性含酸素 0A(SVOOA)と解釈した。これらは m/z 44の CO₂+あるいは m/z 43の C₂H₃O+と相関が高いこと、HRスペクトルのPMF結果で得られている酸素炭素比から判断した。F2 は調理由来有機物(COA)と解釈した。これは朝昼夜と濃度が増加していること、肉料理や過去に COA と解釈された質量スペクトルと類似していること、COA の指標である m/z 98の C₆H₁₀O⁺の時間変動と極めて高い相関があること、交差点付近には焼肉店が多く存在することなどが理由である。F3、F6 はそれぞれ発生直後の炭化水素(HOA)、HOA に近い含窒素有

機物(NOA)と解釈した。これらの因子は朝方に大きなピークがあること、交差点側からの風向時に高濃度であること、炭化水素の指標である m/z 43 の C₃H₇⁺や m/z 55 の C₄H₇⁺、 rBC や NOx 濃度と相関が高いこと、DEP の質量スペクトルと特に類似していることを根拠 とした。NOA は HR スペクトルの結果から窒素炭素比が他の因子と比べて高いことからその ように解釈した。最後に F5 をバイオマス燃焼由来の因子と解釈した。野焼き由来の質量 スペクトルとの類似性やレボグルコサン粒子の質量スペクトルと比較的近いこと、またレ ボグルコサンに特徴的な m/z 57 の C₄C₉⁺もしくは C₃H₅0⁺、m/z 60 の C₂H₄O₂⁺、m/z 73 の C₃H₅O₂⁺の特徴がみられ、さらには m/z 29 が支配的であった(萩野ら、2008)ことが理由で ある。ただし、HR スペクトルの PMF 結果では同様の特徴がみられず、解釈の精査が必要で ある。HOA、HOA に近い NOA を自動車排気由来とすると、PM_{1.0}中の有機エアロゾルへの寄与 は約 32%(HOA:18%、NOA:14%)であった。なお、HOA や NOA は自動車以外の例えば石油燃 焼等の寄与も含まれている可能性があるため、この割合は自動車排気寄与としては上限と 考えられる。一方、SOA の寄与は約 40%(LVOOA:24%、SVOOA:16%)であった。

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



図 1 SP-AMS データの PMF 解析の結果 2016 年 1-2 月

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

阿部 学 海洋研究開発機構 · 統合的気候変動予測分野

はじめに

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

研究目的

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

研究方法

本研究では、気候変動の将来予測に用いられている 16 の気候/地球システムモデルによる過去の気候変動再 現実験データを解析する。また、モデルの内部変動に関する不確実性を低減させるため、海面温度(SST)や 海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における夏季平均降水量データに EOF 解析を適用し、経年変動の主要モードの時空間特性を抽出した。各モデルの上位3つの EOF モードの空間パターンに対しクラスター解析を用いてグループ化し、各グループの大気循環の空間パターンの特徴や海氷変化の影響について解析を行った。

研究結果

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

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

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

まとめ

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



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



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

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

引用文献

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

成果発表

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

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、国立研究開発法人海洋研究開発機構・北極環境変動総合研究センター

【研究目的】

寒冷圏の植生や凍土からなる地表面要素は、陸面の水文気候因子と密接に結びつき、大気一陸面相互作用を通し て、北極周辺の気候に強く影響を与えている。特に,ユーラシア大陸の東シベリア・モンゴルなどの乾燥した寒冷地域 では、大気一陸面相互作用が顕著であると指摘されている(松村, 2014)。例えば、冬季の北大西洋振動(NAO)に対 して、夏季のシベリアの正規化植生指数(NDVI)が1年のラグをもつことが報告されている(Wang et al. 2004)。この原 因は不明だが、陸面の水文気候因子が前年の冬の気候を記憶し、当該年の植生と大気に影響している可能性がある。 また、前年秋の陸水貯留量の変動が、前年夏の気候を記憶して当該年のレナ川の河川流出量に影響している可能性がある。 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、気候一陸面水文因子ー植生の相互作用の解明とその10年程度の変動の把握を目的とする。解析対象と する時間スケールは、地上観測データや衛星観測データが充実している2000年以降を対象とする。具体的には、現 地観測データ、ならびに衛星データより取得可能な広域の植生物理量(植生指標、葉面積指数、バイオマスなど)と陸 水貯留量の変動と水循環や気候との時間的なラグやその関係の経年変動について検討する。さらに、シベリアやモン ゴルの現地観測に基づく検証データによって、衛星観測の妥当性についても検討を加える。

【研究内容】

現地観測データ、衛星データ(MODIS、ALOS2 や GRACE など)から、植物活動や水文気候因子の指標を抽出し、 ユーラシア大陸スケールでの相互相関について分析する。そして、陸面過程と植物活動の相互作用を考察する。さら に、広域の相互作用を、現地観測データに基づき検証を行う。各種パラメータの経年変動に対する温暖化の影響や 相互作用を考察する。

【研究計画】

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

【セミナー形式による意見交換】

4件の話題提供が行われた。その概要を以下に示す。

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

昨年度の共同研究打ち合わせの総合討論の中で、降水システムについて、降水量だけでは無く、その頻度や強度 の変化について調べる必要があると述べられていた。その総合討論の課題について解析を行った研究として見ること が出来る。森林と草原では、回数の上では対流性降水は森林地域で多いが、降水量の総量としては草原域の方が対 流性降水が多いという結果が報告された。地表面からの顕熱や土壌水分状態が、対流性降水と相互作用を持つ可能 性を示唆している。

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

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

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

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

(4) 鈴木和良(海洋研究開発機構北極環境変動総合研究センター)「北極域の水循環」

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

【本年度の主要な成果概要】

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

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

成果発表

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

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

記事掲載:朝日新聞、日経新聞、電気新聞、科学新聞、財経新聞、環境金融研究機構など多数に、論文成果が記事 として取り上げられた。 白色光フレア統計解析による太陽フレアにおける粒子加速機構の研究 Statistical analysis of WLFs and investigate particle acceleration mechanism in solar flare

渡 邉 恭 子 、 防 衛 大 学 校 · 地 球 海 洋 学 科

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

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

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

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

各フレアのおける硬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(impulsivity)が白色光増光を発生する条件のひとつになっていることを示している。以上の解析結果は成果発表1の通り論文として発表した。

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

参考文献

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

成果発表

- Kyoko Watanabe, Jun Kitagawa, Satoshi Masuda, "Characteristics that Produce White-light Enhancements in Solar Flares Observed by Hinode/SOT", The Astrophysical Journal, Vol.850, Issue.2, article id.204, pp.1-13, 2017
- K. Watanabe, S. Masuda and M. Ohno, "Capability of the accelerated protons as the origin of white-light emission of solar flare", Proceedings of the 35th International Cosmic Ray Conference, PoS(ICRC2017)150, pp.1-8, 2017
- Kyoko Watanabe, Shin Arima, Yoshimasa Hori, Satoshi Masuda, "Solar flare impulsivity and its relationship with white-light flares and with CMEs", JpGU-AGU Joint Meeting 2017, Makuhari Messe, Chiba, Japan, 2017 May 20-25
- Kyoko Watanabe, Satoshi Masuda, Masanori Ohno, "Capability of the accelerated protons as the origin of white-light emission of solar flare", 35th International Cosmic Ray Conference (ICRC2017), Busan, Korea, 2017 July 12-20
- Kyoko Watanabe, Satoshi Masuda, "Capability of the accelerated protons as the origin of white-light flare", AOGS 14th Annual Meeting, Singapore, 2017 August 6-11
- 渡邉恭子,沼田広葵, Kyoung-Sun Lee,「太陽フレアにおける彩層応答と白色光放射との関係」,日本天文学会 2017 年秋季年会,北海道大学,2017 年 9 月 11-13 日
- Kyoko Watanabe, Kazuhiro Yamazaki, Shin Arima, Yoshimasa Hori, Satoshi Masuda, "Solar flare impulsivity and its relationship with white-light flares and with CMEs", AGU fall Meeting 2017, New Orleans, 2017 December 11-15
- 8. 渡邉恭子、山嵜一弘、有馬伸、堀巌允、増田智、「白色光フレア・CME の発生条件 と太陽フレア放射の関係」、太陽研連シンポジウム「太陽研究の将来展望」、京都大 学、2018 年 2 月 19-21 日
- 9. 渡邉恭子、「フレア:粒子加速研究からの観点」、太陽研連シンポジウム「太陽研究の 将来展望」、京都大学、2018年2月19-21日
- 10. 渡邉恭子、山嵜一弘、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 II」、日本天文学会 2018 年春季年会、千葉大学、2018 年 3 月 14-17 日

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

竹谷文一、海洋研究開発機構

・地球表層物質循環研究分野

【はじめに】

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

【観測および装置】

海洋地球研究船「みらい」での船上観測は2016年8月22日に青森県八戸市を出港し、2016年10月4日に同様に青森県八戸市に帰港するスケジュールであった。航跡図をFig.1に示した。単一蛍光粒子リアルタイム計測装置(WIBS4)を内蔵したシェルターを船の最上階のデッキに設置し、直接装置に大気を導入し、大気中に存在する蛍光性粒子の測定を行なった。本装置では、635nm赤色連続光レーザーを利用し、粒子の検出を

行い、その散乱光から粒径、およ び粒子形状に関する情報を取得し、 またそれを駆動信号として、同一 粒子に280nm および370nmのラン プパルス光を時間差で粒子に照射 し、粒子内の蛍光物質を励起し、 蛍光を検出する。バンドパスフィ ルターを利用し、本装置で検出す る蛍光は3種類であり、どれか1つ でも蛍光を検出した場合、その粒 子を蛍光性粒子とし、これらの蛍 光をすべて同時に検出した粒子は 生物由来粒子として用いた(表1)。 本研究では、0.6 μm以上の粒径の粒 子に対して、蛍光パターンなどの 解析を行なった。



Fig.1 本観測の航跡図(灰色)

【結果および考察】

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

表1 蛍光パターンの組み合わせ

Excitation	Detection A	FL1	FL2	FL3	FL12	FL23	FL13	FL123
280nm	Ch1 (310 - 400nm)	0	-	-	0	-	0	0
280nm	Ch2 (420 - 650nm)	-	0	-	0	0	-	0
370nm	Ch3 (420 - 650nm)	-	-	0	-	0	0	0



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

成果論文なし

学会発表

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

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

松本淳, 早稲田大学·人間科学学術院

【研究目的】 対流圏における重要なエアロゾル生成過程の一つとして、揮発性有機化合物 VOC の大気ラジカルとの反応に伴う二次有機エアロゾル SOA の生成が、近年注目されている。 特に、半揮発性の中間生成物 SVOC の詳細把握が必要となっている。窒素酸化物 NOx (NO, NO₂) と VOC の酸化反応(対流圏オゾン O₃ の生成過程)において、O₃ と同時に生成する有 機硝酸類 organic nitrates (ONs, RONO2) は重要な SVOC の一種となりうるため、そのガスー 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 NO₂ への熱分解変換器 TD とレーザー誘起蛍光法 NO₂ 計 (LIF-NO₂)を組み合わせた ONs 全量計 TD/LIF-ONs の構築、活性炭デニューダー CD を 用いた粒子状有機硝酸全量 ONs(p) 測定器 CD/TD/LIF-ONs(p) の実現、を行なってきた²⁾。 ただし、LIF 法は装置が大掛かりで可搬化が課題となっていたため、これまでの研究によりキャビ ティ減衰位相シフト法 NO2 計(CAPS-NO2)を用いて可搬的な ONs 全量計 TD/CAPS-ONs を実現した³⁾。前年度の共同研究では、CD と TD/CAPS-ONs を組み合わせ、汎用的かつ高確 度な粒子状 ONs 全量計 CD/TD/CAPS-ONs(p) を実現し、都市郊外大気での ONs(p) 測定 試験に挑戦して、装置の実用性を検証した⁴⁾。そこで本研究では、ONs(p) 観測事例の蓄積と有 機硝酸類のガスー粒子分配特性の支配要因の検証を行なった。

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

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



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

【参考文献等】

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

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

³⁾ 松本淳(2015): 第21回大気化学討論会, P-7.

⁴⁾ 洪征翌、松本淳(2016): 第22回大気化学討論会, P-41.

【成果発表】

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

小島正宜 名古屋大学

要旨

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

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

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

1. 観測データの準備

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

$$P_{o}(f) = \iint \frac{1}{v(z)} G\left(-\frac{2\pi f}{v(z)\cos(\theta)}, q_{y}, z\right) exp\left(i\frac{2\pi f}{v(z)\cos(\theta)}\xi\right) dz dq_{y}$$
(1)
$$C(t) \propto \int P_{o}(f) exp(i2\pi f t) df$$
(2)

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

2. CT 解析

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



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

3. 結果

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



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

 V_{CCRF} блых farms V_{sp} farms V_{sp}

静穏期の太陽風構造活動期の太陽風構造静穏期の太陽風構造活動期の太陽風構造横軸はモデル太陽風の速度、縦軸は CT で求められた太陽風の速度。

	V_{SP}		Vccrf		
太陽活動	静穏期	活動期	静穏期	活動期	
相互相関値	0.97	0.83	0.97	0.83	
回帰直線	Vsp=0.97 × Vmdl + 0	Vsp=0.92 × Vmdl + 48	V_{CCRF} =0.92 × Vmdl + 48	V_{CCRF} =1.00 × Vmdl + 11	

4. 結論

この相関解析の結果から IPS 観測から太陽風構造を求めるのに今回用いたCT法を用いるならば、速度は CCRF 法 によるものでも SP 法によるものでも大差がないことが分かった。
水安定同位体を用いたバングラディシュ周辺における水蒸気の 起源解析

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

一柳 錦 平, 熊 本 大 学 · 大 学 院 先 端 科 学 研 究 部

研究目的

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

研究方法

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

研究結果および考察

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

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

まとめ

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



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

- 引用文献
- Ebita, A., S. Kobayashi, Y. Ota, M. Moriya, R. Kumabe, K. Onogi, Y. Harada, S. Yasui, K. Miyaoka, K. Takahashi, H. Kamahori, C. Kobayashi, H. Endo, M. Soma, Y. Oikawa, and T. Ishimizu (2011) The Japanese 55-year Reanalysis "JRA-5": An Interim Report., SOLA, 7, 149-152.
- Yoshimura K, Kanamitsu M, Noone D, Oki T (2008) Historical isotope simulation using Reanalysis atmospheric data. J Geophys Res, 113(D19):D19108. doi:1029,10/2008JD010074

成果発表

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

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

研究手法

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

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

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

研究結果および考察

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





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

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

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



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

参考文献

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

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

成果発表

論文成果リスト なし

国内学会・研究集会発表リスト

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

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

山崎 了、青山学院大学·理工学部

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

研究方法: 我々は高効率の計算手法を取り入れた2次元の電磁粒子コードを新たに開発し、 従来の計算方法とは異なって、衝撃波の発展を衝撃波静止系で追うことで長時間の計算機 実験を行ってきた。本研究では、アルフベンマッハ数 Ma = 4,6 の垂直衝撃波の電磁粒 子シミュレーションのデータを解析する。それぞれのマッハ数に対してプラズマ・ベータ 値 β を 0.08, 0.32, 1.28 と変化させて行ったシミュレーションのデータ(計6通り)がす でにある。

研究結果:暫定的な結果として、ベータ値が大きくなるにつれて、(1) イオンの温度非等方 度が小さくなるために衝撃波面のリップル構造のゆらぎが小さくなり、(2) 電子の温度非等 方度が大きくなるために衝撃波遷移層での磁力線に平行伝播するホイッスラー波が顕著に なり、さらに(3) 衝撃波遷移層での変形二流体不安定性による波動が目立たなくなる、とい った傾向を得た。本年度は、上記6通りのシミュレーションのデータを解析し、footからov ershoot領域にかけてのイオン・電子の温度非等方度により励起される波動のβ依存性を調 べた。本共同研究により昨年10月に名古屋大学ISEEの梅田隆行を訪問し研究打合せを行っ た。その結果、28年度に導出した磁場に垂直方向のイオン温度がMa²/βに比例するという解 析的表式とシミュレーション結果が一致することがわかった。この結果について論文準備 中である。またシミュレーション結果からもとめたイオン温度比をもちいてイオン温度非 等方不安定の線形成長率を求めたところ、衝撃波面のリップルの見えない高βの場合の成長 率が、リップルが見える低βの場合とあまり変わらないことがわかった。今後はイオン・電 子両方の磁場に平行・垂直な方向の温度について詳細に解析し、温度非等方不安定の各モ ードの線形成長率とシミュレーション結果の比較を行う予定である。

LF帯標準電波を用いた地震後のD領域電離圏変動

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

大矢 浩代、千葉大学·大学院工学研究院

1. 研究目的

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

2. 観測および地震の概要

2011 年 3 月 11 日 05:46:18 UT に発生した 2011 年東北地方太平洋沖地震(Mw 9.0)後の D 領域電 離圏変動について調べた。震央位置および使用し た LF 帯標準電波の伝搬パスの位置を図 1 に示す。 LF 波は JJY 佐賀(JJY 60 kHz)送信-陸別(RKB)受信 および BPC(中国, 68.5 kHz)送信-RKB 受信の 2 つ の伝搬パスについて調べた。JJY 福島(40 kHz)局 は、本震発生後に停波したため使用できなかった。 各伝搬パスの距離は、SAG-RKB パス 1619.1 km、 BPC-RKB パス 2594.1 km である。震央から各 LF 波 パスまでの最短距離は、SAG-RKB パスで 413.6 km、 BPC-RKB パスで 561.5 km だった。受信機のアンテ 図 ナはモノポールアンテナで、サンプリング周波数 置



BPC-RKB パスで 561.5 km だった。受信機のアンテ 図 1 震央および使用した LF 帯標準電波の伝搬パスの位

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。

3. 結果

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

結論づけられた。

成果発表

- Ohya, H., F. Tsuchiya, Y. Takishita,
 H. Shinagawa, K. Nozaki, and K. Shiokawa, Periodic oscillations in the D-region ionosphere after the 2011 Tohoku Earthquake using LF standard radio waves, Journal Geophysical Research, 2018 (submitted).
- [2] Ohya, H., Y. Takishita, F. Tsuchiya,
 H. Shinagwa, K. Nozaki, K. Shiokawa,
 H. Nakata, and Y. Miyoshi, D-region ionospheric oscillations measured by
 LF transmitter observations after the
 2011 off the Pacific coast of Tohoku
 Earthquake, European Geosciences Union (EGU) General Assembly 2017, Vienna (Austria), 22-30 April, 2017.
- [3] Ohya, H., Y. Takishita, F. Tsuchiya,
 H. Shinagwa, K. Nozaki, K. Shiokawa,
 H. Nakata, and Y. Miyoshi, D-region oscillations of LF transmitter signals after the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, JpGU-AGU 2017, Chiba (Japan), 20-25 May, 2017.
- [4] Ohya, H., F. Tsuchiya, H. Shinagawa,
 K. Nozaki, and K. Shiokawa, D-region ionospheric signatures observed in LF standard radio waves after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, SGEPSS Fall Meeting 2017,

Kyoto (Japan), 15-19 October, 2017.

Intensity (dB) BPC-RKB JJY60kHz-RKB (a) -61.5 -62.0 (b) -83.0 -83.5 74 (c) Height (km 72 70 68 66 05:50 05:52 05:54 05:48 05:56 05:58 UT

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



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

- [5] Ohya, H., and F. Tsuchiya, Observations of energetic electron precipitation into the atmosphere using LF/VLF standard radio waves, The 359th Symposium for Sustainable Humanosphere "International Workshop on radio science and radio application technology ", Kanazawa, 29-30 October, 2017.
- [6] 大矢浩代、土屋史紀、陸別観測所で観測された下部電離圏変動現象、陸別 20 周年記念シンポジウム,北 海道陸別町,2017年11月 8-9日。
- [7] 大矢 浩代, 土屋 史紀, 品川 裕之, 野崎 憲朗, 塩川 和夫, LF 帯標準電波を用いた東北地方太平 洋沖地震後のD領域電離圏変動, MTI 研究集会, 東京都国分寺市, 2017 年 9 月 12-14 日.

フーリエ変換型分光計で観測された大気微量成分の経年変動 Trend of the atmospheric trace species observed with Fourier transform spectrometer

村田 功 東北大学大学院環境科学研究科

東北大学では国立環境研究所との共同研究として、フーリエ変換型 分光計(FTIR)を用いた赤外分光観測により 1998 年からつくばにおい て大気中の様々な微量成分を観測している。また、名古屋大学宇宙地 球環境研究所とともに国際的な観測ネットワーク NDACC/IRWG (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change / Infrared Working Group)に参加し協力して研究を進めている。今年度 は HC1の近年の経年変化について報告する。

HC1 は塩素のリザーバー分子であり、成層圏では通常は塩素の大半は HC1, C1ONO2といったリザーバー分子として存在する。ところが極域で特殊な条件がそろうと活性な塩素への変換が起こり大規模にオゾンを破壊する。そのため、成層圏の HC1 や C1ONO2の量はオゾン層破壊の重要な指標となる。HC1 は 1980 年代までは数%/年で増加していたが、フロン規制によって対流圏の塩素量が 1990 年代に減少に転じると HC1の増加率も鈍り、2000 年代に入って減少傾向が見られるようになった。ところが、ユングフラウで観測を行っているベルギーのグループが 2007 年頃から HC1 が再び増加していることを見いだし、つくばも含めた NDACC の 8 つの観測点の HC1 経年変化を調べたところ北半球の観測点のみ 2007 年以降増加に転じていることがわかった(Mahieu et al., 2014)。しかし、3 次元化学輸送モデルを用いた解析からこの再増加は短期的な大気循環の変動によることが分かり、フロン規制は問題なく機能していることがわかった。

HC1 再増加の原因が短期的な大気循環の変動なのであれば、その後 また HC1 は減少に転じるはずである。そこで、その後のつくばのデー タを解析してみたのが図 1 である。予想通り 2012 年以降は若干の減少 傾向が見られる。さらに 2016 年頃からは三度増加しているようにも見 えるが、これはあと数年先まで観測しないとはっきりしたことはいえ ないであろう。気象データを用いて循環の変化を調べてみると、図 2 のようになった。これは質量流線関数の変化をみたもので、(a)が HC1 が減少していた 2006 年より前の 4 年分の平均と再増加した 2007-2010 年の平均との差、(b)が 2007-2010 年の平均と増加が止まった 2012 以降の 4 年分の平均との差である。赤枠で囲った北半球下部成層圏を 比較すると負(青)から正(赤)に変わっており、これは循環が減速 から加速に変わったことを示している。2007年を境に成層圏の循環が 減速したことが HClの再増加の原因だったが、2012年以降は加速に転 じており、観測された HClの減少傾向に対応することが確認できた。



YEAR

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



図2. 質量流線関数の変化。(a) 2002-2005年の平均と2007-2010年の平均との差、(b) 20 07-2010年の平均と2012-2015年の平均との差。(国立極地研究所冨川喜弘准教授提供)

<成果発表>

- 村田 功, 中島 英彰, 森野 勇, FTIR で観測されたつくばにおけるエタンの近年の増加およ びその後の減少, 日本地球惑星科学連合 2017 年大会, 幕張, 2017 年 5 月.
- 代 友輝,村田 功,中島 英彰,森野 勇,冨川 喜弘,フーリエ変換型赤外分光計を用いた つくばでの地上観測による HCl 全量の再減少,日本地球惑星科学連合 2017 年大会,幕張, 2017 年 5 月.
- Dai Y., I. Murata, H. Nakajima, I. Morino, and Y. Tomikawa, Redecrease of HCl total column density observed with Fourier Transform Infrared Spectroscopy at Tsukuba, NDACC Infrared Working Group Meeting, Paris, France, June, 2017.

宇宙プラズマ流体シミュレーションのための超並列計算フレームワー クの開発

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

深沢 圭一郎、京都大学・学術情報メディアセンター

現在、世界中でエクサフロップス級の計算が可能なスーパーコンピュータの開発が進め られており、日本では2020年頃にエクサフロップスに近い計算性能を持ついわゆる「ポス ト京」の開発が進められている。エクサフロップス級計算機では、MHD近似限界のグロー バル磁気圏シミュレーションや、流体一粒子結合シミュレーションが実現可能と想定され ている。この「ポスト京」は、CPU周波数向上の限界から、多数のコアを持つCPUが100 万台以上並列に接続された計算機システムになると計画されている。しかしながら、高い 並列化効率を維持して「ポスト京」を利用できる宇宙プラズマシミュレーションコードが あるか不明な状態である。

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

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

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

・国内研究会発表など

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

太陽活動と日照時間の相関研究

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

名古屋大学・宇宙地球環境研究所 村木 綏

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

① 2011.3.7 event の解析

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

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

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

もちろんこの内容に関して韓国釜山で開催された第35回宇宙線国際会議に反論の 論文が Bramillitt(及び Ahluwalia)によって投稿された。(我々は事前に議論はしてい ない。)彼らの批判は(i)雷によって作られた可能性、(ii)FERMI-LAT 衛星がメキシ コのイベントが検出された時刻にガンマ線が検出されていないこと、(iii)3つ目は1時 間後に観測された2回目の peak に対して、すでに太陽がメキシコの上では傾いていて ハワイでも検出されるべきなのに報告がないという内容であった。

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

さらに興味あることは同じようなイベントが Tibet (4,300m)に設置された太陽中 性子望遠鏡でも観測されたことである。本イベントは 2011.9.25 M7.4 event に付随し て観測された。詳しくは延べないが、図 1 の破線で示すように、40cm 厚のプラスチッ ク・シンチレータの下部に設置された比例計数管の計測値に異常が見られた。ちなみに Tibet 八羊丁 (ヤンパーチン) に設置された中性子望遠鏡の面積は 9m² でメキシコ・シ エラネグラ山のものは 4m²である。



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

2012.6.3 event の解析

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

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

そこでモンテカルロ・シミュレーションを実施することにした。想定したシミュレー ションは太陽の光球面上、3,000km上空より、陽子・ヘリウム・炭素・酸素・窒素の原 子核を打ち込み、 太陽の光球面から飛び出してくる中性子やガンマ線のエネルギーと 角度分布を求め、地球の上空での n/γ比が出るか否かを知る計算である。光球面の 10⁷km² をシミュレーション空間として設定した。 計算は高エネルギーや原子核実験で用いら れている GEANT4 を用いた。計算は JAXA(筑波)の計算機を利用し、共同研究者の神谷 浩紀が実施した。

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



cm²とした。原子核入射の場合は n/γ 比が~1,000 に近くなることが予想される。

③ 2017.9月に巨大なフレアに伴う中性子の観測

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

peak #	重要度	day	month	start	maximum	half max	class	new#	観測中 性子数	SEDA	SDO 解析時間	
1	0	4	Sep	2028	2033	2037	M5.5	1	82		20:20 - 21:10	
		4	Sep	2210	2214	2219	M2.1					
2	0	5	Sep	103	108	111	M4.2	2	62		00:50 - 01:30	
3	0	5	Sep	433	453	507	M3.2	3	110		04:10 - 05:00	
4		5	Sep	633	640	643	M3.8			日陰		
5		5	Sep	1737	1743	1751	M2.3			日陰		
6	0	6	Sep	857	910	917	X2.2	4	102		08:40 - 10:00	
7	0	6	Sep	1153	1202	1210	X9.3	5	130	X->0	11:40 - 12:50	
		6	Sep	1551	1556	1603	M2.5					
8		7	Sep	459	502	508	M2.4		10+(10)	X->0		
9		7	Sep	1011	1015	1018	M7.3		20	日照	09:40-10:30	
10	0	7	Sep	1420	1436	1455	X1.3	6	79	日照	14:15 - 15:10	
11	0	7	Sep	2350	2359	14	M3.9	7	64	日照	23:30 - 00:30	
12		8	Sep	740	749	758	M8.1		33	日照	07:30 - 08:15	
13	0	8	Sep	1509	1547	1604	M2.9	8	117	日照	15:00 - 16:40	
14		8	Sep	2333	2345	2356	M2.1		41	日照	23:15 - 00:20	Ī
15		9	Sep	1050	1104	1142	M3.7		27+(52)	X->0	10:40 - 11:30	Ī
16	0	10	Sep	1535	1606	1631	X8.2	9	67	0->X	15:35 - 17:00	Ī

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

以上名大宇宙地球環境研究所の共同利用経費を利用して本年度実施した内容を報告する。 2018年 3月 16日 北極域流星レーダーで観測される両極性拡散係数を利用した 極域中間圏の電子温度推定の検討 An electron temperature measurement technique in the polar mesospher using meteor radarse

堤 雅基、国立極地研究所・宙空圏研究グループ

研究目的

流 星 レーダーにより 観 測 される 両 極 性 分 子 拡 散 係 数 を 用 いて 上 部 中 間 圏 から 下 部 熱 圏 域 の 大 気 温 度 を 観 測 す る 手 法 が 開 発 さ れ 、大 気 波 動 研 究 な ど に 応 用 さ れ て い る 。本 研 究 で は そ の 手 法 を さ ら に 発 展 さ せ た 極 域 で の 電 子 温 度 推 定 法 の 開 発 を 目 的 と す る 。

研究方法

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

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

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

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

研究結果

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

考察・まとめ

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

圏の上下結合の定量的な理解に貢献できると考えている。

引用文献

Dimant et al., J. Geophys. Res., 100, 14, 605-623, 1995.

Farley, J. Geophys. Res., 68, 6083-6097, 1963.

Hocking, Geophys. Res. Lett., 26, 3297-3330, 1999.

McKinley, Meteor Science and Engineering, McGraw-Hill, New York, 1961.

Tsutsumi et al., Radio Sci., 29, 599- 610, 1994.

Tsutsumi et al., J. Geophys. Res., 101, 9425-9432, 1996.

成果発表

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



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



図2:両極性拡散係数変動量(*Da'/Dao*)の水平構造の推定例(2008年12月4日 03:30UT)。

Investigation of the EUV/UV spectrum during the flares through the simulation and observation

Kyoung-Sun Lee, National Astronomical Observatory of Japan, Solar Science Observatory

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

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

Method

- Collecting flare events observed by EUV-UV spectroscopy

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

- Investigation of the plasma dynamics in flares

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

- Investigation of the low atmospheric heating signatures

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

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

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

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

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

Results

- We found that when the flare occurs, there are some strong flows in Fe XXI, Si IV (typically, blue shift in Fe XXI, red shift in Si IV) along the flare ribbon or flaring loop footpoints

- Mg II triplet mostly becomes emission during flares along the flare ribbons and footpoints of the flaring loop region, which is correlated with the dynamic region spatially and temporally.

- WL continuum also enhanced during several flares (17 flares), but not in all the flares.

Still, we are investigating this topic, and plan to examine the HXR data to check the energy deposition from the HXR (or non-thermally accelerated electrons).

* List of the presentations and papers related to this research

- Presentations (Title / Author / Conference / Year)

1. "Spectroscopic and stereoscopic observation of a loop-top source of an M1.3 limb solar flare" (E-poster) / <u>Kyoung-Sun Lee</u>, Hirohisa Hara, Shinsuke Imada, and Kyoko Watanabe / Hinode 11/ 2017 May

2. "Multi-Wavelength Spectroscopic Observations of a White Light Flare Produced Directly by Non-thermal Electrons" (poster) / <u>Kyoung-Sun Lee</u>, Shinsuke Imada, Kyoko Watanabe, Yumi Bamba, and David H. Brooks / SPD 2017 / 2017 July

3. "IRIS observation for the flares occurred at the AR 12297 during 2015 March 9-15" / Kyoung-Sun Lee / Daiwa workshop / 2017 August

4. "Spectroscopic and stereoscopic observation of a loop-top source of an M1.3 limb solar flare" (oral) / <u>Kyoung-Sun Lee</u>, Hirohisa Hara, Shinsuke Imada, Kyoko Watanabe, and Anand D. Joshi / ISEST 2017 / 2017 September

5. "Spectroscopic observation of a loop-top source of an M1.3 limb solar flare" (poster) / <u>Kyoung-Sun</u> <u>Lee</u>, Hirohisa Hara, Shinsuke Imada, Kyoko Watanabe, and Anand D. Joshi / APSPM 2017 / 2017 November

6. "Statistical analysis of observational data for total solar flare spectra" / Shohei Nishimoto, Kyoko Watanabe, Shinsuke Imada, Tomoko Kawate and <u>Kyoung-Sun Lee</u> / JPGU 2017 /2017 May

- Papers (Title / Author / Journal / Year)

1. "Study on Precursor Activity of the X1.6 Flare in the Great AR 12192 with SDO, IRIS, and Hinode" / Bamba Yumi, <u>Kyoung-Sun Lee</u>, Shinsuke Imada, and Kanya Kusano / ApJ 840, 116 / 2017

2. "Plasma Evolution within an Erupting Coronal Cavity" / David M. Long, Louise K. Harra, Sarah A. Matthews, Harry P. Warren, <u>Kyoung-Sun Lee</u>, George A. Doschek, Hirohisa Hara, and Jack M. Jenkins / ApJ, 855, 74 / 2018

大気微量成分のリモート地での長期変動測定

Long-term observation of atmospheric trace gas species at re mote area

加藤俊吾、首都大学東京·都市環境学部

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

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

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



図 母子里における冬季(12-2月)のいくつかの VOC 比の長期変化

太陽圏構造とダイナミックスの研究 Study of the heliospheric structure and dynamic phenomena

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

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



第1図 ヘリオポーズの大きさの年変動。太陽・V1線(青色)及び太陽・V2線(黄色)に沿ったヘリオポーズの太陽からの距離、および V1(青色)及び V2(黄色)の軌道。赤色星 印は V1 がヘリオポーズを越えた位置を示し、赤色丸印は現在(1917 年 3 月)の V2 の位 置を示している。

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

航空機観測と数値モデル計算によるエアロゾルー雲相互作用研究

Study of aerosol-cloud interactions using aircraft and numerical modeling

小池 真、東京大学·大学院理学系研究科·地球惑星科学専攻

【研究目的】

エアロゾルは雲凝結核や氷晶核として働くことにより、雲粒の相(水滴/氷晶) やその粒径分布に影響を与える。またエアロゾル自身の光吸収は、大気の加熱を 通じて鉛直安定度を変化させ、対流活動や雲形成過程に影響する。このような雲 微物理特性や大気の鉛直安定度の変化は、雲の厚さや雲量といった雲のマクロな 構造に影響を与える。アジアは世界的に見ても人間活動により大気中のエアロゾ ル濃度が高いレベルにあり、雲・降水に対し他の領域よりも強く影響していると 考えられる。また近年、人為的な酸化鉄も大気加熱として重要である可能性が指 摘されている。本研究の目的は、今後の西太平洋での航空機観測においてどのよ うな観測を実施、その結果、どのような成果があがるのか、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集会「航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進(平成 29 年 12 月 25 日に東京大学で開催)」などで議論をおこなった。このような議論に基づき、今後の西太平洋での 航空機観測においてどのような観測を実施、その結果、どのような成果があがるのか、より具体的な研 究計画を作成することができた。航空機観測では、人為的な酸化鉄の測定など、新しい技術開発の利用 となるため、柔軟な運用が必要であることが確認された。

【考察】

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

【まとめ】

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

【成果発表】

(1) 誌上発表 <論文(査読あり) >

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

(2) 口頭発表 (学会等)

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

> 柴田隆, 名古屋大学・環境学研究科 内野修, 国立環境研究所

目的

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

方法

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

結果

昨年度に引き続き観測を続行し,2017年全体で76日の観測を実施し,その内衛星 通過日は37日であった。GOSAT衛星の検証のためのデータを提供し続けている。 太陽擾乱現象の惑星間空間伝搬に関する研究 Study on propagation of solar transients in interplanetary space

丸橋 克 英 、 情 報 通 信 研 究 機 構 ・ 電 波 研 究 所 ・ 宇 宙 環 境 研 究 室

【研究目的】

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

【研究方法】

 ACE, Wind等の太陽風観測データからICME内部にある磁気ロープ構造を決定し、 SOHO, STEREO, SDO等の太陽観測と比較することにより、ICMEの構造と太陽擾乱の発 生源の構造との関係を考察する。

2. STEREO衛星のCME, ICME観測データ、名古屋大学その他のIPS観測データを利用して、ICMEの3次元構造、太陽風中の伝搬による変形等について解析する。

【研究結果】

平成29年度はVarSITI/ISEST WG4が選んだ10例の太陽一地球間擾乱現象について 事例研究を行い、以下の結果を得た。

1. ただ一つの例外を除いて、ICME中の磁気ロープ構造は源となった太陽擾乱の発 生領域の磁気中性線に平行な軸をもつことを確認した。

2. 上記の例外となった現象(2015年6月23日に地球に到達したICME)については、 6月21日01:30UT頃発生のフレアーがその発生源と広く考えられているが、実際はその 前日、6月20日にはすでに発生していたことがIPS観測から確かめられた。

【考察】

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

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

【成果発表】

・論文

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

- Marubashi, K., Cho, K.-S., and Ishibashi, H., Analysis of the ISEST/MiniMax24 WG4 campaign events on the linkage between CMEs and solar wind disturbances, JpGU2017, Makuhari, 2017 年5月23日。
- Marubashi, K., Cho, K.-S., and Ishibashi, H., What we can learn from the ISEST WG4 campaign study of Sun-Earth events?, ISEST 2017 Workshop, 韓国済州島、2017年9月18日。
- Marubashi, K., Ishibashi, H., Nishimura, N., and Tokumaru, M., CME でとび出す磁束と太陽風磁気ロ ープが運ぶ磁束、SGEPSS, 京都大学、2017 年 10 月 18 日。
- 丸橋克英、「ISEST キャンペーンイベントの解析における IPS 観測の重要性」、平 29 年度 ISEE 研究集 会-太陽圏宇宙線シンポジウム、名古屋大学、2018 年 2 月 20 日。

中性粒子質量分析器の開発 Development of neutral particle mass spectrometers

笠原慧、東京大学·大学院理学系研究科·地球惑星科学専攻

【研究目的】

地球の大気が超高層領域を通じて宇宙空間に流出している事実はよく知られているが、そ の流出メカニズムについては諸説あり、観測に基づく定量的な理解には至っていないのが 現状である.これまで宇宙空間における流出イオンの観測は多く行われてきたが,それら は流出の結果を見ているようなものであり、流出を引き起こす現場の物理過程に迫りきれ ていない.また、これまでのイオン観測は、質量分解能が粗く、窒素と酸素の流出の違い を議論することすら、ほとんどできていない、この現状を打破する一つの鍵は、超高層空 間の根元における中性粒子の観測である.中性粒子の密度,温度,流れは大気流出を規定 する基礎的なパラメタであるため、その精密計測は非常に重要である.また、高質量分解 能の観測により窒素、酸素を分離してその変動の差異を調べる事は物理過程の大きな制約 となるほか、同位体比を詳しく調べる事で、時間軸を遡った過去の大気進化の歴史を紐解 く事も可能になる.一方,我が国では、これまで中性粒子質量分析器の飛翔体搭載実績が 極めて乏しい.そこで本研究では,(1)名古屋大学で進めている,速度分布計測可能な分析 器と,(2)東京大学で準備している,高質量分解能型質量分析器および電離機構部の開発を 効率的に進める事を目的とし、設計・製作・試験作業を協力して実施する.開発自体には、 科研費等の資金獲得が不可欠であるため、そのための打合せ等も、本課題のスコープの一 つである.

【研究内容】

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

【研究結果】

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

【発表成果】

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

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

笠原慧、東京大学·大学院理学系研究科·地球惑星科学専攻

【研究目的】

ジオスペース探査衛星ERGの基幹的観測器である,中間エネルギー帯(10-200 keV)のイオ ン分析器(MEP·i),電子分析器(MEP·e)のデータ解析に関する議論を行う.ERG衛星 のターゲットは放射線帯における相対論的電子の加速・消失であるが,そのメカニズムと して有力な候補が波動粒子相互作用である.相対論的電子を加速・消失する電磁波動を励 起するのが中間エネルギー帯のイオン・電子であると考えられているが,実証的な観測結 果はこれまで乏しい.この極めて重要なトピックに対して新たな知見を生み出すべく,中 間エネルギー粒子分析器のデータ解析を推進する事が本研究課題の目的である.

【研究方法】

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



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

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

【発表成果】

- Kasahara, S., Y. Miyoshi, S. Yokota, T. Mitani, Y. Kasaha ra, S. Matsuda, A. Kumamoto, A. Matsuoka, Y. Kazama, H. U. Frey, V. Angelopoulos, S. Kurita, K. Keika, K. Seki, I. Shinohara, "Pulsating aurora from electron scattering by chorus waves", Nature, 2018, doi:10.1038/nature25505.
- Kasahara, S., S. Yokota, T. Mitani, K. Asamura, M. Hirah ara, Y. Shibano, K. Yamamoto, and T. Takashima, "Mediu m-Energy Particle experiments (MEPs) for the Exploration of energization and Radiation in Geospace (ERG) mission ", (Final Paper Number: SM31E-03), AGU, Oral (Invited), New Orleans, Session Date: Thursday, 13 December 2017.
- Kasahara, S., S. Yokota, T. Mitani, K. Asamura, M. Hirah ara, Y. Shibano, and T. Takashima, "MEP-e: Medium-Ener gy Particle experiments – electron analyzer", The 3rd ERG Mission Science Workshop, Oral, Taiwan, 07 September 2 017.
- (Alphabetical order) Asamura, K, N. Higashio, M. Hirahar a, S. Kasahara, Y. Kazama, H. Matsumoto, T. Mitani, W. Miyake, Y. Suto, T. Takashima, B.-J. Wang, S.-Y. Wang, K. Yamamoto, S. Yokota, "Charged particle measurements in the radiation belts by ERG", AOGS, Oral (Invited), Sin gapore, 09/August/2017.
- (Alphabetical order) Asamura, K, N. Higashio, S. Kasahara, Y. Kazama, T. Mitani, S.-Y. Wang, K., and S. Yokota,"C harged particle measurements in the radiation belt by ER G (Arase)", PLASMA学会, 口頭発表(招待講演), 姬路, 2017年1 1月23日.
- 笠原慧, 横田勝一郎, 三谷烈史, 浅村和史, 平原聖文, 高島健, "Medium-Energy Particle experiments electron analyzer (MEP-e) for the ERG satellite mission", SGEPSS秋学会, 口頭発表, 京都, 2017年10月16日.
- (Alphabetical order) Asamura, K, N. Higashio, M. Hiraha ra, S. Kasahara, Y. Kazama, H. Matsumoto, T. Mitani, W. Miyake, Y. Suto, T. Takashima, B.-J. Wang, S.-Y. Wang, K. Yamamoto, S. Yokota, "Charged particle measurements in the radiation belts by ERG", 地球惑星科学連合2017年大 会, ポスタ発表,幕張, 2017年5月24日.

光と電波を組み合わせた極冠域電離圏の3次元観測

3D observations of polar cap ionosphere with radar and optics

細川 敬祐 (電気通信大学大学院情報理工学研究科)

★ 研究の概要

2005 年 1 月より, 極冠域に位置するカナダのレゾリュートベイ (磁気緯度 82.9 度) におい て, 多波長高感度全天イメージャ (Optical Mesosphere Thermosphere Imagers: OMTIs) を用いた夜間大気光観測を実施している。今年度の観測シーズンは、現地の観測機器とのネッ トワーク接続に問題があったため、10 月末にレゾリュートベイに渡航し、システムのメン テナンス作業を行った。現地の観測 PC への日本からのネットワーク接続の再設定,時刻同 期の方法の変更などを行い、それ以降は順調に観測を行うことができている。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. 今年度も, SRI International, ボストン大学, サスカチュワン大学な どと共同で Resolute Bay Incoherent Scatter Radar (RISR-N) と、レゾリュートベイ OMTIs 全天イメージャによる「光と電波を組み合わせた極冠域電離圏の 3 次元観測」を実 施した. これらに加える形で、2011 年冬季より、京都大学/電気通信大学がノルウェーのス バールバル諸島で運用している全天大気光イメージャとの広域同時観測を実施し,極冠パッ チや極冠オーロラの広域イメージングに取り組んでいる。2015年10月からは、レゾリュー トベイのさらに北に位置するイウレカ(磁気緯度 89 度)において新規の大気光イメージャ 観測を開始している。イウレカの全天イメージャについても、2017 年 12 月にファンの故 障に伴って冷却性能が低下し、光学観測ができない状態になった。現地で観測所のメンテナ ンスをしている Toronto 大学の Pierre Fogal 博士と連絡を取りながら, 修理のためにカメ ラを日本に積み戻す作業を行っている。上述のように、幾つかのトラブルがあり、連続観測 が安定的にできていな時期が生じているが、北米域の 2 地点 (レゾリュートベイ、イウレ カ)とヨーロッパ域(スバールバル)の1 地点の計3 地点からの極冠域電離圏大気光計測 を実施した希有な広域データが揃いつつある。現在、これらの光学観測機器と、Super Dual Auroral Radar Network (SuperDARN) や EISCAT, AMISR (RISR-N) などの非干渉散乱レー ダー, GPS 全電子数観測といった電波による電離圏観測を組み合わせて, 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進めている。

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

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

これらに加え、イウレカにおいて得られた 2 年分のデータを用いて、極冠パッチの 輝度値の UT に対する依存性を調べたところ、イウレカのローカルタイムが夜の時間帯には、 輝度値が小さい極冠パッチが多く発生するのに対して、昼側では極冠パッチの発生数は少な いが輝度値が高いものが多いことがわかった。IMF Bz が負の時、イウレカのローカルタイ ムタ方付近から夜にかけて極冠パッチの輝度値が徐々に低くなっていくこと、冬至付近の夜 に最も極冠パッチの輝度値が低く秋分・春分方向に徐々に輝度値が高いものが増えることか ら、パッチは顕著な季節変化及び UT 変化を示すことが明らかになった. これは、極冠パッ チの生成が、日照域の空間分布と極域対流の構造の双方に依存していることを強く示唆する. この結果は、SGEPSS において永田らによって報告された [3].

★ 学会発表, 論文公表実績等

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

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

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

【目的】

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

【研究方法】

(1) 定点観測

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

(2) 数値シミュレーション

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

【結果と考察】

(1) 有機炭素フラックスの季節変動

観測1年目の2014年9-10月、2015年1月および2015年4-5月に有機炭素フラックスの顕著な ピークが見られた。これらのピークは生物起源のオパールフラックスや炭酸カルシウムフ ラックスの増加によるものであり、深海で粒子フラックスのピークが現れる以前に海洋表 層有光層に栄養塩が供給され基礎生産力が増加したことを示唆するものであった。 (2) 栄養塩の供給メカニズム:冬季混合と低気圧性渦

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

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

(3) 栄養塩供給メカニズムとしての台風の評価

2014年9月9日台風14号(T1417)がKEO付近を通過した。KEOブイの水温鉛直分布を解析すると、台風通過時に亜表層水の湧昇は見られないものの、台風通過後約10日間にわたって水深50m付近に近慣性内部波が発生していたことが明らかとなった。このことは近慣性内部 波により同水深の拡散係数が増加し、栄養塩の拡散供給が発生していた可能性が示唆された。そこで数値シミュレーションにより水深50m付近の拡散係数の変化を推定し、気候値

(World Ocean Atlas 2013) による同水深の栄養塩(硝酸)濃度勾配を用いて栄養塩の拡 散供給を推定した。数値シミュレーションの結果、台風通過後、水深50mの拡散係数は10^{-2.5} m² sec⁻¹程度まで増加した。その後は徐々に低下し9月15日頃に元の10⁻⁵ m² sec⁻¹に戻った。 この拡散係数の増加と硝酸の濃度勾配(0.034 mmol-N m⁻⁴)から、同期間に台風による拡散 混合の活発化により水深50m以浅に供給された硝酸(N)フラックスは約2.4 mmol-N m⁻²と試 算された。このNが全て基礎生産に使用されたと仮定し、炭素(C)/N取込比が6.6(レッド フィールド比)だとすると、台風により増加した基礎生産力は158 mg-C m²となる(2.4 x 6.6 x 12 mg mmol⁻¹)。先行研究(Honda et al. 2017)から、この基礎生産力の0.6%のみが水深 5000mまで沈降すると仮定すると、台風による栄養塩の供給により増加した水深5000mの有 機炭素フラックスは0.95 mg-C m⁻²となる(158 x 0.006)。これは実際に観測された有機炭 素フラックスの増加(24 mg-C m⁻²)のわずか約4%に過ぎない。以上、本研究結果からは台 風は栄養塩供給の重要なメカニズムにはなっていなかったことが結論づけられた。

【引用文献】

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

【成果発表】

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

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

根田 昌典, 京都大学·大学院理学研究科

研究目的

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

研究内容

本研究では、所内担当教員の相木准教授と共同で開発した、宇宙地球環境研究所の共同利用機器である海上波 しぶき光学粒子計(写真1)を用いて、和歌山県田辺湾湾口にある京都大学防災研究所白浜海象観測所管理の 田辺中島高潮観測塔において連続観測試験を実施した.観測システムは完全独立方式で、2台並列DC鉛バッテ リーを外部電源とし、測器筐体内部にデータロガーを内蔵した.粒子径本体は観測塔北側の平均海面から約1 2.5mの高度にある手すり部分に設置した.5mm径チューブを筐体上部から折れ曲がらないように外側に伸ば して、観測時間中は内部ポンプを動作させて周辺空気をセンサー部に取り込む設計とした.筐体接合部は防水 テープでシーリングすることによって防水機能を向上させている.観測塔への設置は2017年7月6日に行い、 同8月10日まで連続観測を行った.観測は3時間おきに10分間行い、当初設計通り10Hzで(6000サンプル)各 0.3, 0.5, 0.8, 1.0, 3.0, 5.0, 10.0, 15.0 µ mの粒径ごとのカウント値を記録した.

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



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

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

Aug 00 Aug 00 Aug 02 Jul 29 Jul 27 Jul 27 Jul 17 Jul 17 Jul 10 Jul 00 Ju

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

<u>まとめ</u>

本研究は、宇宙地球環境研究所共同利用機器「海上波しぶ き光学粒子計」を利用して、沿岸域海上での粒子粒径分布 の約1か月間にわたる連続試験観測を行った.観測期間中は

台風襲来による最大風速約20m/sの環境にも耐え、今後の観測に対する耐久性を確認できた. 強風時に観測さ れた顕著な粒子増加傾向は従来知見と整合的であり、粒子径の観測結果はおおむね妥当なものであった.また、 強風時には大粒径の粒子が顕著に増加することに加え、強風時以外でも増加する場合があった.また、小径粒 子も強風時には顕著に増加し、大径粒子の増加にするものの、小径粒子の増加時に大径粒子の増加が顕著に見 られない場合があるなど粒径の確率分布は必ずしも一定ではないことが観測された. 今後の観測によって、海 上環境変化に対する海塩粒子を始めとする海上粒子分布の変動とその要因について調査することが今後の課 題である.

成果発表

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

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

相木秀則,田中潔,根田昌典,馬場康之 (2018):シースプレー測器による海上波浪境界層観測,平成29年度名 古屋大学宇宙地球環境研究所共同利用集会「海洋波および大気海洋相互作用に関するワークショップ」,201 8年3月5日—6日,名古屋大学宇宙地球環境研究所共同館I-301号室,名古屋市

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 Eregions

小川泰信、国立極地研究所・国際北極環境研究センター

研究目的:

太陽風エネルギーの多くは磁気圏を経由して極域超高層大気に流入 する。その流入するエネルギーは、激しい時空間変化を有しながら、 超高層大気の運動エネルギーや熱エネルギーなどに変換されることが 特徴として挙げられる。極域の非干渉散乱(IS)レーダーは、このエ ネルギー変換過程を知る上で最も強力な観測手法の一つである。ただ し、ISレーダーを用いた電離圏D層及びE層におけるプラズマ温度導出 には、観測上の様々な制限があることが過去に報告されている。本研 究では、EISCATトロムソUHF及びVHFレーダーシステムを用いた電離 圏D層及びE層のISスペクトルデータを見直すと共に、多変数フィッテ ィング手法を改善することにより、プラズマ物理量導出精度(特にイ オン温度導出の下限高度)の向上を目指すことを目的とする。この研 究で得られる成果と経験は、次期計画であるEISCAT_3D(送信周波数 233MHzのフェーズドアレイ式多点VHFレーダーシステム)における物 理量導出プロセスを構築する上で有益である。

研究内容·計画:

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

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

平成29年度の成果内容:

平成28-29年度には、頭脳循環を加速する戦略的国際研究ネットワー

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

主な論文:

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

主な学会講演:

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

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

<u>Ogawa, Y., Y. Miyoshi, K. Shiokawa</u>, K. Hosokawa, <u>S. Oyama</u>, A. Kero, <u>S. Nozawa</u>, K. Seki, Y. Tanaka, T. Sakanoi, Iku Shinohara, Y. Miyashita, R. Fujii, H. Miyaoka, A. Kadokura, K. Asamura, Y. Katoh, Y. Kasahara, H. Kojima, A. Matsuoka, S. Kurita, S. Matsuda, T. Mitani and the ERG - EISCAT joint project team, Coordinated Arase (ERG) satellite and EISCAT radar observations, The 142nd SGEPSS meeting, Kyoto University, 16 October, 2017.
沈殿法による海水試料の放射性炭素分析の高精度化に関する研究

Optimization of high precision radiocarbon analysis for seawater sample by precipitation method

代表者:高橋浩(産業技術総合研究所・活断層・火山研究部門) 分担者:南 雅代(名古屋大学・宇宙地球環境研究所)

研究目的

水試料の¹⁴C濃度を正確に分析するためには,試料採取から化学処理にいたる間に,水に含まれる生物活動 等による¹⁴C濃度の変化があってはならない.これを防止するためには,試料採取現場での毒物添加が有効で あるが,汽水域や沿岸域での調査では毒物の使用が制約される.そこで,水試料中の炭素を炭酸塩の沈殿とし てその場で固定してしまう「沈殿法」が¹⁴C濃度分析の前処理手法として期待される.この沈殿法を用いて、 高精度な¹⁴C測定が可能になれば,面倒な水試料の運搬の必要がなくなり,大量の水試料の分析が容易になる. また,沈殿法を用いれば,水試料分析用のCO₂ガス精製ラインも必要なく,炭酸塩の沈殿をリン酸と反応させ てCO₂を発生させればよいため,分析が容易である.

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

研究方法

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

研究結果・考察

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

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

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

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

まとめ

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

研究成果

論文

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

学会発表

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

大気放射モデルを用いた「ひまわり」シミュレーション画像の作成 Simulation of the "Himawari" Observation using Radiative Transfer Model and its Applications

大野智生 気象庁気象衛星センターデータ処理部

本研究は、静止気象衛星ひまわり8号及び9号データの特長である高時空間解像度観測データを活用し、雲・エ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、 航空機、船舶、自動車等の運航において防災上重要である霧域の把握 のためのプロダクト開発を行った。

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

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

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



BT(B13, 10.4µn GPV700h	n) > GPV700hPa気温 Pa温度 < 90%	
	Yes:上中層雲除去くここから	評価対象)
太陽天	頂角 < 87°	
	Ves-Http	:夜間
	BT(B07, 3.9µr	m)-BT(B13, 10.4µm)<-
REF(B03 EF(B05, 1.6µm)/	.0.64µm) > 0.3 REF(B04, 0.86µm) > 0.5	
	Yes:下層雲抽出、雪氷域除;	去 l
GPV地上気温 - B BT(B13, 10	T(B13, 10.4µm) < 10°C 0.4µm) > − 10°C	



			SY	NOP	•SF	IIP霧観	測によ	る評	価		
4	昼 夜	比車	¢ [評価期間	j 20	15年8月1日~2016年7月31日 20°N-50°N,120°E-150°E					
ß		让博	皎	評価対	● 領域						
	スレットスコア= FO/(FO+FX+XO)						霧監視プロダクト(MSM利用版)				
	バイアススコア=(FO+XX)(FO+XO) 道中学 = (FO+XX)(N 空桜9字 = FX)(FO+FX) 見道1 (中 = XO)M 種花学 = FO/M ETS = (FO-SF)/(FO+FX+XO-SF) St=9c(FO+FX) Pe=M/N						昼		夜		
							SYNOP(陸)	SHIP(海)	SYNOP(陸)	SHIP(海)	
						事例数	12416	1318	12999	976	
						靄観測数	969	88	1476	41	
						スレット スコア	0.329	0.314	0.349	0.426	
						バイアススコア	1.094	1.284	1.295	1.122	
	SYNOP SHIP				81	適中率	0.917	0.923	0.874	0.964	
		あり	- 49-85ツ - 通車(FO)	/me/4/し 変捩り(FX)	FO+FX	空振り率	0.526	0.575	0.542	0.435	
8570 石料	タクト	なし	見通し(***)	遺 中(∞)	X0+XX	見逃し率	0.482	0.455	0.407	0.366	
	81	-	м	x	N	ETS	0.290	0.279	0.287	0.407	
く第 ・813 ・目刊 ・太沢	価対 構成 現現 現	「象> 温度 【で 〔 〔角>9	、 >GPV700hF 裏豊0 また(13 [*] (夜間)	6気温 かつ ま 下層実通 または 太J	※3 GPV70 切また 勝天道が	SYNOP・SHIP地点 BOD-P=湿度<90%(… Eは 幕(権実に集 号<85"(日中)	に最も近い1倍 E中層集がない の有無がわか	- 子の幕判定和 い) る)	i無について詞	価を行った	

				SYN	OP	霧観測に	こよる	評価			
昼夜比較 評価期間 夏:2 冬:2						2016年6月1日~ 2016年12月1日	016年6月1日~2016年8月31日 016年12月1日~2017年2月28日				
旦	¥.	比車	52	評価対	集領 垣	20° N-50° N	,120°E-1				
7	63	ŀХ	37= FO/(FC	D+FX+XO)		0/1100	霧監視プロダクト(MSM利用版)				
// 通	パイアススコア=(FO+FX)/(FO+XO) 道中卒 = (FO+XX)/N					SYNOP	ł	Ł	夜		
2	空振り卒 = FX/(FO+FX) 見逃し卒 = XO/M 柵捉卒 = FO/M				検証結果	夏	冬	夏	冬		
15					事例数	2895	4529	2347	4973		
E	ETS = (FO-Sf)/(FO+FX+XO-Sf)					霧観測数	667	122	631	178	
Sf Pi	Sf=Pc(FO+FX) Pc=M/N					スレットスコア	0.340	0.187	0.398	0.281	
						バイアススコア	1.034	1.082	1.214	1.640	
	SYNOP SHIP TARE			84	通中率	0.769	0.962	0.744	0.947		
		あり	- 私会り 	取なし 空振り(FX)	FO+FX	空振り率	0.501	0.697	0.480	0.647	
腐判定		なし	見通し(***)	<u>満</u> 中(∞)	x0+xx	見逃し率	0.484	0.672	0.369	0.421	
R			м	x	N	ETS	0.217	0.173	0.242	0.260	
✓ 評価対象> ※SYNOP・SHIP地点に最も近い1億子の専利定結果について評価を行った ・813構成温度 > GPV700hP・気温 かつ GPV700hP・風度、40% (上中層裏がない) ・目表現形で 発見の または 下層実影り または 落 (独実(高の茶) ・大橋を頂色の25 (滑倒) または 大樽実見の45 (日中)											

不 飽 和 炭 化 水 素 の オ ゾ ン 分 解 で 生 じ る ク リ ー ギ ー 中 間 体 と 有 機 酸 の 反 応 性 に 関 す る 研 究

Studies on the reactivity of Criegee intermediates generated from hydrocarbon ozonolysis with organic acids

廣川 淳、北海道大学·大学院地球環境科学研究院

【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29年度は、エチレンのオゾン分解から生成するクリーギー中間体CH₂OOの長 鎖有機酸に対する反応性を調べる実験を行った。

【研究方法】

実験は、内径4 cm、長さ80 cmのフローチューブを用いて行った。フローチューブには、 エチレンC₂H₄、オゾンO₃、有機酸(ヘキサン酸C₅H₁₁COOHまたはオクタン酸C₇H₁₅COOH)、 および水蒸気H₂Oを導入し、オゾン分解反応とそこから生成するクリーギー中間体の反応を 起こした。フローチューブを出た気体はオゾン計および化学イオン化質量分析計CIMSに導 入した。CIMSではSO₂CI-を試薬イオンとして用いることで、有機酸、水蒸気の濃度を測定 した。また、反応生成物の同定には、CI⁻を試薬イオンとしたCIMSも併用した。エチレンお よびオゾンの体積混合比はそれぞれ34 ppmv、3 ppmvとした。有機酸の体積混合比は、ヘキ サン酸で0.12 ppmv、オクタン酸で0.024 ppmvとし、水蒸気濃度を約1.8 × 10¹⁵から2.6 × 10¹⁷ molecules cm⁻³ (25°Cの相対湿度で約0.2から33%)の範囲で変化させた。

【研究結果・考察】

エチレンのオゾン分解から生成するCH₂OOは、水分子との反応が非常に遅いが、水二量 体(H₂O)₂ との反応性が高いことがこれまでの研究からわかっており[1]、フローチューブ内 で起こるCH₂OOの反応は、以下の3つに分類される。

- CH_2OO + Organic acid → 生成物 (1)
- $CH_2OO + (H_2O)_2 \rightarrow 生成物$ (2)
- CH₂OO → 生成物

(3)

ここで反応(1)がCH₂OOと有機酸との反応、反応(2)がCH₂OOと水二量体との反応を表す。反応(3)は(1)、(2)以外のすべての反応を含んでいる。反応(1)および(2)の二分子反応速度定数を

それぞれ k_1 および k_2 で表し、反応(3)の擬一次反応速度定数を k_3 で表すと、反応による有機酸 濃度の減少量 Δ [Organic acid]に対して以下の関係式が成り立つ。

 $\Delta[\text{Organic acid}]^{-1} = \frac{1}{k_1[\text{Organic acid}]y_{\text{CH2OO}}\Delta[\text{O}_3]} (k_2[(\text{H}_2\text{O})_2] + k_1[\text{Organic acid}] + k_3)$

(4)

ただし y_{CH2OO} は、エチレンのオゾン分解から安定化 CH_2OO が生成する収率を表す。有機酸濃度を一定に保ち、水蒸気濃度を変化させたときに測定された有機酸濃度と水蒸気濃度から Δ [Organic acid]と[(H_2O)₂]を求め、 Δ [Organic acid]の逆数を[(H_2O)₂]に対してプロットすると、 式(4)から予想されるように直線関係が得られた。最小二乗法により求められたプロットの 直線の傾きと、 Δ [O_3]の測定値、 k_2 および y_{CH2OO} に対して先行研究で報告されている値[2]を用 いることにより、反応(1)の二分子反応速度定数 k_1 は、ヘキサン酸、オクタン酸ともに $k_1 = (1.9 \pm 0.7) \times 10^{-10}$ cm³ molecule⁻¹ s⁻¹と決定された。

また、生成物の分析から、CH₂OOとヘキサン酸、オクタン酸との反応では、付加生成物 だけでなく、そこから水が脱離した酸無水物も生成することが見いだされた。酸無水物の 割合は、ヘキサン酸の場合で0.1-0.4、オクタン酸の場合で0.3-0.5であった。CH₂OOと酢 酸の反応では酸無水物の生成が観測されなかったことから、有機酸が長鎖になると、酸無 水物の生成が有利となることが示唆された。また、加湿条件に比べ、乾燥条件下で酸無水 物の収率は高くなった。今後本手法は、大気化学過程に関係性の高い、より複雑なクリー ギー中間体の反応性の研究にも応用できることが期待される。

【引用文献】

M. A. Khan et al., *Environ. Sci.: Processes Impacts*, **20**, 437–453, 2018.
 R.Yajima et al., *J. Phys. Chem. A*, **121**, 6440–6449, 2017.

【成果発表】

原著論文

R. Yajima, Y. Sakamoto, S. Inomata, and J. Hirokawa, "Relative reactivity measurements of stabilized CH₂OO, produced by ethene ozonolysis, toward acetic acid and water vapor using chemical ionization mass spectrometry", *J. Phys. Chem. A*, **121**, 6440 – 6449, 2017. 口頭発表

R. Yajima, Y. Sakamoto, S. Inomata, and J. Hirokawa, "Relative reactivity of stabilized Criegee intermediate from ethene ozonolysis toward acetic acid and water vapor", 33rd Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics, 2Y1, Nagoya, Japan, June 7-9, 2017.

沖縄県の鍾乳洞における滴下水の¹⁴C 濃度 Radiocarbon concentration of dripwaters in caves, Okinawa

代表者: 植村 立(琉球大学·理学部海洋自然科学科)

分担者:浅海竜司(琉球大学・理学部物質地球科学科)

南 雅代 (名古屋大学・宇宙地球環境研究所)

1. 研究目的

石筍は、鍾乳洞内で降水を起源とする滴下水から形成される炭酸カルシウム結晶であり、U/Th 年代によっ て絶対年代を与えることができる点で貴重である。石筍は鍾乳洞周辺の降水量を連続的に記録しており、陸域 の古気候復元試料として注目されている。特に酸素同位体比(δ¹⁸O)は降水のδ¹⁸O および量的効果を反映する ため、古気候復元に用いられている。

沖縄県には洞窟が豊富に存在し、年代測定に必要な U 濃度も本州と比べると高く、石筍を用いた古環境復元研究に適している。近年、δ¹⁸O だけでなく、石筍中の¹⁴C から算出される dead carbon の寄与率 (DCF) も、降水量のプロキシとして注目されつつある。つまり、時間依存以外の¹⁴C 変動を、樹木年輪から求められている過去の大気の¹⁴C 変動と比較することで、降水量などの古気候のプロキシとして使えると指摘されている。しかし、石筍の¹⁴C を用いて古環境復元を行うにあたっては、石筍のもととなる滴下水の¹⁴C 濃度を測定し、石灰岩由来の炭素寄与率を求め、補正する必要がある。本研究においては、南大東島の星野洞を対象とし、滴下水の¹⁴C 濃度を測定し、古気候復元に有効な石筍かどうかの検討を行うことを目的とする。

2. 実施内容

南大東島は、環礁が数回の隆起を経てできたサンゴの島であり、島内には、 多数の洞窟が存在する。昨年度、南大東島の星野洞の1地点の滴下水を採取し (右図の採取地点)、溶存無機炭素の¹⁴C 測定を行った。今年度は、星野洞の別 の地点の滴下水、秋葉地底湖の水、山下洞の滴下水・池の水、ならびに今村洞 の滴下水の¹⁴C 濃度を測定した。また、南大東島における、石灰岩由来の炭素 の影響のない現代大気の¹⁴C 値を求めるため、洞窟の上部の陸地に生育してい る大東ビロウ、ガジュマルの葉の¹⁴C 濃度を測定した。星野洞において、観光 用通路工事の際折られた石筍(下の写真: HSN1, 全長 246.2 mm)の150 mm か ら 196 mm の間の 10 試料に対して、¹⁴C 測定を行なった。



星野洞から採取された石筍



星野洞内の滴下水採取地点

3. 結果と考察

滴下水の¹⁴C 濃度は、大部分の観測地点(星野洞2地点と他の2洞窟の2地点)で90.9 pMC から96.5 pMC と、ほぼ同じような値を示した。一方、星野洞の1地点の滴下水は69.7 pMC と低い¹⁴C 濃度を示し、同じ洞内でも、滴下地点によって DCF の絶対値には大きな差がある可能性が示唆された。

石筍の U/Th 年代を国立台湾大学にて測定した結果、7500-6000 yr BP の年代を示し、成長速度が 180 µm/yr と速く、ほぼ一定であることがわかった。この石筍は、砂質成分をほとんど含まないため、高分解能かつ高精 度の測定が可能であり、年代軸がかなり正確に付与されたことにより、古環境復元をするのに、非常に適した ツールであると言える。石筍の¹⁴C 値に対し、採取した地点の滴下水が示す¹⁴C 値を用いて DCF 補正を行っ た後、IntCal13 較正曲線(樹木年輪などから得られている過去の大気の¹⁴C 変動曲線)と比較すると、石筍の¹⁴C 変動曲線は IntCal13 曲線にほぼ一致した。一方で、寒冷期は温暖期に比べて、石筍の DCF がわずかに小さく なる傾向が見られた。これは、乾燥化により降水量が減少し、土壌湿潤度が低下したために、降水中の溶存無 機炭素が土壌 CO₂と交換する程度が大きくなり、その結果として、石筍の DCF が小さくなったためと考える ことができる。今回得られた結果は、この石筍の DCF を用いて、古環境情報を引き出すことが可能であるこ とを示しており、今後、¹⁴C 分析を引き続き行い、δ¹⁸O 変動と比較しながら古環境復元を行なって行く予定で ある。

研究成果

学会発表

- 大嶺佳菜子・植村 立・眞坂昂佑・浅海竜司・Chuan-Chou Shen・Mahjoor Ahmad Lone, 沖縄県南大東島の石筍 に記録された完新世中期における気候変動と太陽活動の関係, 日本地球惑星科学連合 連合大会 2017 年大 会, 幕張メッセ, 千葉 (2017 年 5 月)
- Kanako Omine, Ryu Uemura, Kosuke Masaka, Ryuji Asami, Mahjoor Ahmad Lone, Yu-Chen Chou and Chuan-Chou Shen, A stalagmite-inferred high-resolution hydroclimate record at 6-7.5 ka in Okinawa, Japan, American Geophysical Union Fall meeting, New Orleans, USA (2017 年 12 月)

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

岩崎杉紀、防衛大学校·地球海洋学科

目的

本研究の目的は、雲粒子センサ(CPS)ゾンデとライダを用いた粒径が大きく個数密度が少ない雲(Large-Sparse Cloud、以降 LSC)の存在やその特徴を観測から明らかにすることである。LSC は、衛星搭載雲レーダでは有意に観測できるが、衛星搭載ライダでは有意に観測できない雲である。通常はその逆で、ライダのほうが雲をより観測できる。 LSC は特殊な雲である。しかし、筆者の発表以外その報告例がないため、LSC はほぼ未知の現象である。気象や気候に与え影響は不明である。そこで、CPS を用いて雲粒子の粒径、個数密度、形状(球形か非球形か)の鉛直分布を推定する。さらに CPS 観測は観測日時と場所が限られているため、衛星データも用い CPS 観測やその知見を補完する。

研究方法

名古屋大学太陽地球環境研究所の陸別観測所を拠点とし、2018年1月20日から25日と3月18日から23日、CPS ゾンデ観測(風船にCPSを取り付け放球)を行った。1月の観測は筆者の事務手続きの遅れと風向きが観測に不適(風 船が陸地に落ちる可能性が高い)のため観測ができなかった。このため、3月18日から23日まで再度観測を行った。 両期間とも陸別観測所を利用した。国立環境研究所が同観測所に設置しているライダで雲観測を行っていただいた。

今回は地表面が小雪の時に、雪雲の上にあるかもしれないLSCを狙った。LCSが過冷却の水雲を解消し、雪を降ら せているかもしれないと衛星観測の結果が出たためである(後述)。なお、LSC は目に見えない程度の薄い雲と思われ ているので、昨年度の最初の CPS は晴天時に放球した。しかし、まったく雲粒子を観測できなかった。昨年度の轍を踏 まないためでもある。

3月18日から20日はほぼ晴天で雲観測に適さない日だった。21日(祝日)の20時時点では、これ以上にない晴天 で CPS 観測に不適で、22日夜は陸地に落ちる可能性が予想されていたため放球に不適と認識していた。今回も CPS 観測はできないと思っていた。しかし、その晩はライダにいくつか問題が発生したにもかかわらず遠隔でライダを動かし ていただいたので、まったく観測ができないよりも良いと思い CPS ゾンデを22日の00:46に放球した。放球時、ライダ のレーザ光は一直線に天頂に伸びており、その直線上に雲は肉眼では確認できなかった。

CPS ゾンデの結果は、予想に反し高度 4.5 から 10km までまんべんなく雲があった。ただし星が透けて見えるほど光 学的に薄い雲であった。クイックルックでは個数密度が 10⁴ 個/m3 以下で粒径が 60 µm 以上と推定された。おそらく 探していた LSC と思われる。しかし、CPS 観測の解析は本報告書の締め切りまでに終えられないので、以下では補完 的な解析である衛星データ解析の進捗状況を述べる。

衛星データ解析には、衛星搭載ライダ CALIOP と衛星搭載雲レーダ CloudSat の 2007 年前後のデータを用いた。 CALIOP も CloudSat も同軌道で 15 秒以内とほぼ同じ時刻に同地点を観測している(今年の2月まで同期観測を行っ ていた)。両データのうち、次の条件をすべて満たす信号が 500m 以上連続するものを LSC とした。

A: 積算した消散係数 < 0.1 (ほぼ減衰していないライダ信号で判断する。上層に親雲のような通常の雲があり、その下に LSC がある場合はこの条件で除外される)

B: 1064nm の後方散乱係数 < 10⁻⁵ /m/str (この値は CALIOP の 1064nm のデータのノイズレベル。 昼は 532nm の 波長ではこれよりノイズレベルが高いため不使用)

C: レーダ反射因子 > -15 dBZ (CloudSat で有意に測定できる)

169

研究結果

図 1a は各緯度のうちいずれかの高度に雲が存在する出現回数をその雲のうち LSC であった出現回数で割ったもの である(LSC の出現頻度 P(LSC))。高緯度に出現頻度が高いものの、冬であれば北海道の緯度(北緯 44 度程度)でも 出現する可能性が 4%ほどあることを示している。4%と低いのは、条件 A の制約のせいかもしれない。

過冷却の水雲の出現割合 P(SC)と氷晶(氷の凝集体ではなく、空中で平らな面を水平に保持している粒子)の出現 割合 P(2D)を九州大学のプロダクトKU-typeを用いて導出した。KU-typeは CALIOPの信号を利用している。これらを 利用し、LSC と過冷却の水雲が(高さが異なるが同地点に)同時に出現する割合を P(LSC)と P(SC)の積で割ったもの、 LSC と氷晶が同時に出現する割合を P(LSC)と P(2D)の積で割ったものを図 1b に示す。仮に LSC、過冷却の水雲、氷 晶が独立事象であればこれらの割合は1になる。1以下となれば両事象は共存しにくく、1以上となれば両事象は共存 しやすいこととなる。図 1b より過冷却の水雲と LSC は共存しにくく、氷晶と LSC は共存しやすいことがわかる。これらか らは因果関係はわからないが、LSC (詳細省くが粒径は 100 µ m で下降速度は 1m/s 程度のものがある)が過冷却の水 雲に落下し、何らかのプロセス(水滴が凍ることで発生する潜熱による大気の運動など・Hallet-Mossop プロセスが効く ほど暖かくはない)により氷晶を生成しているのではないか、と考えるのが妥当と思われる。

まとめ

名古屋大学太陽地球環境研究所の陸別観測所を拠点とし、CPS ゾンデとライダの同時観測を行った。これらのデー タは観測終了直後のためまだ初期解析しか出来ていないが、簡易結果などを見る限り、個数密度が少ない大粒径の 雲を測定できたので、狙っていた LSC が観測できたものと思われる。

観測とは別に行った衛星データの統計解析では、LSC の下には過冷却の水雲は少なく、出来立ての氷雲が多かった。LSC は 1m/s 程度で落下するため、LSC が落下している過程で水雲を氷雲に変えている可能性がある。今後は LSC の定義をして研究をしやすくすること、LSC の生成消滅過程の解明、LSC が混合層雲に及ぼす役割や LSC が過 冷却の水雲を解消することによる放射の変化といった LSC が気象や気候に与える影響を調べていきたい。

なお、本観測所は観測支援体制が充実しており、ライダもあるが、晴天が多く雲観測にはそれほど向かず、内陸に あるためゾンデが陸に落ちやすくゾンデ観測にもそれほど向かない。将来的には別の観測場所を模索したほうが良い かもしれない。



図1 (a) LSC の月ごと・緯度ごとの出現頻度。(b) LSC と過冷却の水雲が同時に発生した割合を P(LSC)と P(SC)の 積で割ったもの(実線)、LSC と氷晶が同時に発生した割合を P(LSC)と P(2D)の積で割ったもの。

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

佐藤友徳 北海道大学大学院地球環境科学研究院

1. 背景と研究目的

中高緯度に広がるユーラシア大陸北部は地球全体の水・エネルギー 循環や炭素循環において極めて重要な地域である.Fujinami et al. (2 016)は広域の夏季降水と大気循環場を解析し,東シベリアの湿潤化, モンゴルの乾燥化傾向を示した.また,Erdenebat and Sato (2016)は モンゴルの少雨に伴う乾燥化傾向が熱波の頻度を増加させていると報 告した.両者の研究で示されている降水量の変化がどのように駆動さ れているのか要因は明らかになっていないため,本研究では当地域の 降水量変動,特に夏季の対流性降水の発生環境の要因分析を行うこと を目的とした.

2. 研究方法

静止気象衛星GMSのIR1データを用いて対流活動の日周期性と総観 場との関係を調べた.モンゴル周辺において夏季の対流活動が活発と なる午後(現地時13-21時)において,同日の午前(現地時3-9時)より も雲頂温度が-40℃以下(約300hPa面に相当)となる面積が顕著に増 加した日(以降,対流活発日と表記)を抽出し総観場の特徴を調べた. 解析対象期間は1998年から2002年の6~8月である.また,大気循環場 の解析にJRA55再解析データを用いた.

3. 研究結果と考察

図1に対流活発日の500hPa面ジオポテンシャル高度場の偏差を示す. モンゴル周辺において対流活動の日変化が活発となる日は,対象領域の東に高気圧偏差,西に低気圧偏差が確認できる.この特徴はモンゴル周辺の異なる場所に対象領域を設定した場合も共通している.500h Pa面の高・低気圧偏差に対応して,水平風の偏差も時計回り・反時計回りの循環を示している.対流活動の日変化が顕著であった領域は高気圧の後面に位置しており,モンゴル-ロシア国境付近を対象領域とした場合には南からの風,モンゴル中央部を対象領域とした場合には南 東からの風が,それぞれ対象領域へと吹いている.対象領域の西側に位置する低気圧偏差は順圧的な構造をしており,寒冷渦に対応していると考えられる.

対象領域における相当温位の鉛直分布を見ると、対流活発日には550 hPaより下層で対流不安定な成層が確認でき、これが対流活動の日変化、 特に午後に活発な対流が発達できる背景場となっている.この高相当 温位の層は主に温位の高い気塊から成っており、850hPa面では対象領 域が高温偏差場となっていることに対応する.一方で前述した南東風 の流入は、夏季東アジアモンスーンからの湿潤気塊の流入も示唆して いる. 4. まとめ

モンゴル-ロシア国境付近における対流活動に対して,静止気象衛星 データおよび再解析データを用いて,対流活動の日変化に関連する総 観場の抽出を行った.高気圧が通過した後に西側から背の高い低気圧 偏差が接近している条件で,対流活動の日変化が活発となることが分 かった.したがって,寒冷渦の接近と夏季アジアモンスーン由来の下 層の暖湿気流による成層不安定の両方が乾燥地域での活発な対流活動 の発達に寄与していると考えられる.



図 1: 対流活発日における 500hPa 面ジオポテンシャル高度偏差場(単位: m)の合成 図. 図中の四角は対流活発日を判定した際の対象領域を表す.

成果発表

- Erdenebat, E., and T. Sato, 2017: Intense soil moisture-atmosphere feedback during high temperature event in 2002 in Northeast Eurasia. 日本気象学会2017年秋季大会,札幌. (2017.10.30)
- 佐藤友徳,2017:北東ユーラシアにおける大気-陸面相互作用-特に暖 候期の水循環に関連して-.日本気象学会2017年秋季大会(統合 的陸域圏研究連絡会),札幌.(2017.10.30)
- Erdenebat, E., and T. Sato, 2017: Soil moisture-atmosphere feedbac k enhances temperature during 2002 heat wave event in Nort heast Eurasia. Asian Conference on Meteorology 2017, Busan. (2017.10.23)
- Erdenebat, E., and T. Sato, 2017: Abnormal Temperature Events in Northeastern Eurasia in the Summer of 2002 Under Different Wave Propagation Patterns. AOGS 14th Annual Meeting, Sin gapore. (2017.08.09)

高校生に対する地球環境教育研究

Research of Education on Earth Environments for High School Students

河野光彦, 関西学院千里国際高等部 津髙絵美, 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】

文部科学省答申[1]では、学校教育全体で育成すべき資質・能力の三つに柱として、「知 識・技能」「思考力・判断力・表現力など」「学びに向かう力・人間性など」を示してお り、学習指導要領の改訂では、これらを踏まえた教育の質的な大転換を促している。世界 的規模で次々と新しい難題に直面する今日では、知識を持っているだけでは不十分である ことから探究活動が重視されはじめ、新学習指導要領ではそれが明確にあらわされている。 このような背景から高等学校の理科教育においてもその能力育成は最重要視されており、 「主体的・対話的で深い学び」を目指す取り組みが多く行われるようになってきている。 [2] そういった教育方法の開発はTransversal Skills (21世紀型スキル)の観点から、多岐 にわたるステークホルダーが協働して行うことが推奨されている[3]。

【研究目的】

本研究は、複雑な環境現象に対して総合的に地球を理解しそれらの科学的本質から問題 解決につなげて行こうとする高校生を養成するための教育法開発を目標としている。平成2 7年度においては、地球温暖化やオゾン層破壊にかかわる問題を考えていくための教材研究 ならびに教育方法の開発と実践を行った。平成28年度には、問題設定型学習で獲得が期待 されるものの一つとして21世紀型スキルを養う事に焦点を当ててプログラム内容を発展 させ検証する必要性が見えてきた。したがって、本研究の目的は、第1に研究者による直 接指導の効果的方法を検討し実践すること、その効果を生徒の作品から評価することであ る。また第2には、継続して地球環境に関する授業・実習・見学を実施し、生徒が獲得し た学力・スキルを21世紀型スキルの観点から評価することである。

【研究方法】

第1の目的,研究者による直接指導の効果的方法を検討し実践することについては,生 徒が問題を見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 引き続き発展させる。生徒が知識やスキルを獲得する過程に対して,教員がそれを支援し, 生徒の作品を評価する形で目的を達成する。また第2の目的,生徒が獲得した学力・スキ ルを21世紀型スキルの観点から評価することについては,観察や実験の結果を分析し解 釈する学習活動を生徒に求める。さらに科学的な概念を使用して考え説明することを求め, リフレクションを実施する学習活動を生徒に求める。生徒は,a)参加応募,b)事前ワークシ ョップ参加,c)2週間の大気観測実験,d)名古屋大学宇宙地球環境研究所での見学・実習の 順に進み,b,dの実施後にリフレクションを所定の用紙で行い,最後に一連の学習成果をA 0ポスターにまとめることとした。

【研究結果】

関西学院千里国際高等部2年生男子1名,2年生女子3名,1年生女子2名と男性引率教員1 名の計7名が,12月18日(月)の名古屋大学宇宙地球環境研究所での見学や実習を体験した が,今年度も事前の11月30日(木)に関西学院千里国際キャンパスにて,松見豊教授によ る地球環境観測研究のワークショップと,名古屋訪問前に生徒が行なう観測実験・研究の 解説がなされた。生徒はその後に渡されたPM2.5測定装置を用い、本校のみならず通学路や 自宅近辺において2週間大気観測実験を行った。その観測結果は名古屋大学訪問時に研究所 の専門研究者に向けて発表した。訪問日程は日帰りで、午前10時から午後5時まで名古屋大 学に滞在し取材は参加者全員がひとつのグループで行った。名古屋大学宇宙地球環境研究 所の松見豊教授の研究室においては、地球環境に関する授業・実習・見学を、名古屋大学物 質科学国際教育センターでは、菱川明栄教授から「化学反応している分子は見えるか」とい う最先端の研究内容を聞き、実験室見学のあと大学院生と必要な学習についての議論をす ることができた。

生徒たちの観測結果発表の内容は、学校内外の15地点でPM2.5量を数秒間隔で測定し、 場所によるPM2.5の量の違いや差を評価することによって、改善するための対策を考える というものであった。「地下鉄や人混みの中はPM2.5量が増加し、特に乗車人数が増えると PM2.5の値が一気に高くなった」という結果から、「政府は国民にどこからどのぐらいPM2. 5が出ているのかを知らせる必要がある」と結論付けた。

【考察】

第1の目的,研究者による直接指導の効果的方法を検討し実践することについては,生 徒の作品(事前調査プレゼンテーション・リフレクション・ポスター)から,題材につい て測定実験を通して学べたと同時に,主体的に疑問を持ち,それを解決するために直接教 授に質問し議論をすることができていた。そのため,今回の指導は効果的な方法だと結論 づけられる。また第2の目的,生徒が獲得した学力はポスターから題材について一通りの 理解をしていることが読み取れた。加えて,生徒が獲得したスキルについては21世紀型 スキル(①批判的・創造的思考,②対人スキル,③内省的スキル,④グローバルな市民性, ⑤心身の健康)の観点を評価すると,生徒6名全員のリフレクションにこれらのうち特に① ~④を発揮している記述が見られた。

【結言】

一昨年から検討していた継続的な研究者による直接の指導を,3年目も実施することがで きた。また、昨年から導入した教材から、研究者の直接指導により学力の獲得,21世紀型 スキルを発揮し深められていることが確認できた。そのため、一連の学習プログラムの効 果を示すことができた。一方、本研究の限界は、まだ参加者が10名に満たない小グループ での検証にとどまったことである。よって、今後の課題はスケールアップした際に同じ質 を保った指導体制を構築し、大人数の参加に対応できる環境整備を進めていくことである。 3年の研究継続の中で、本年度はもっとも多い参加者、現時点では理系志望ではない生徒の 参加もあり、参加者の裾野を広げられた。高大連携の具体的な施策と効果を示すことがで きたことは3年間の研究意義と言える。

【参考文献】

- [1] 幼稚園,小学校,中学校,高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び 必要な方策等について(答申)(中教審第197号)
- [2] 文部科学省(2009) 『学習指導要領における「環境教育」に関わる主な内容の比較』 高等学校学習指導要領
- [3] UNESCO Bangkok Office (2015) [Transversal Skills in TVET: Pedagogies and Ass essment] 9Asia-Pacific Education System Review Series

【成果発表】

◎津髙 絵美,河野 光彦,松見 豊,中山 智喜,高校生に対する地球環境教育研究:高大 連携の継続した取組,日本教育工学会 第33回全国大会,島根大学,2017年9月16日(土) 磁気圏電離圏電流伝送モデルを応用した中緯度地磁気誘導電流の研究 Study of midlatitude GICs with the magnetosphere-ionosphere current transmission model

> 菊 池 崇 、 名 古 屋 大 学 宇 宙 地 球 環 境 研 究 所 海 老 原 祐 輔 、 京 都 大 学 生 存 圏 研 究 所 橋 本 久 美 子 、 吉 備 国 際 大 学 農 学 部

【研究目的と方法】

磁気圏から極域・赤道を含むグローバル電離圏へ流れる電流は、磁気圏・電離圏・ 地面(MIG)伝送線システムにより伝送される(Kikuchi,JGR2014)。このMIG伝送線シ ステムの構成要素である地面電離圏導波管では、極域から赤道へ伝搬するゼロ時TM (TM0)モード波が電離圏電流とこれと対をなす地面電流を低緯度方向へ伝送する(Ki kuchi and Araki,JATP1979)。このモデルは、宇宙天気分野の重要課題の一つである 地磁気誘導電流(GIC)がTMO波の波面電流を介した電離圏電流のリターンであるこ とを予想させる。実際、Watari他(SW2009)は、北海道で記録されたGICが地磁気Y成 分(By)とよい相関関係にあることを示し、ByがTM0モード波の磁場成分である可能性 を指摘した。また、Braendlein他(JGR2012)はチリにおけるGICに日変化や季節変化が あることを示し、GICと電離圏電流がTM0モード波により結合されているとした。一 方、TM0モード波は磁気嵐やサブストームの電磁エネルギーが低緯度・赤道電離圏へ 伝送されることを説明しており(Kikuchi他JGR2000,2008,2016)、電離圏電場、地上磁 場およびGICのデータを総合することにより、磁気圏で発生する電磁エネルギーが電 離圏で消費され、最終的に地中で消費されるメカニズムの理解が進むと期待される。

【29年度の成果】

我々はまず、サブストーム時の電磁エネルギーが低緯度電離圏へ伝送されることを 低緯度HF Doppler観測と赤道磁力計観測により検証し、論文として公表した(Hashim oto他,JGR2017)。この論文では、図1に示すように、夜間の低緯度でsubstorm発生と同 時に過遮蔽電場が伝搬し、夜側の赤道電離圏でジェット電流を流すことを明らかにし た。この結果は、昼間だけでなく、夜間においても、電磁エネルギーが地面電離圏導 波管で伝送されることを示している。

(図1)上から、(a)磁気赤道(YAP)と低緯度(OKI)で真夜中前(2230MLT)に観測されたサブストーム positive bay、(b)昼間(1030MLT)のブラジル磁気赤道(SLZ)で観測されたサブストーム過遮蔽電場による counterelectrojet、(c)OKI の positive bay が沿磁力線電流



(current wedge)によるとして YAP の positive bay から差し引いて求めた equatorial electrojet、(d)日本(Oarai)で HF Doppler sounder で観測された過遮蔽 電場を示す。この結果は、substorm 発生と同時に、昼間だけでなく夜間の低 緯度・赤道電離圏へ電磁エネルギーが伝送されることを示す。(Hashimoto et al., JGR 2017)

次に我々は、電磁エネルギーが地面に到達することにより誘導 される GIC を解析した。北海道での GIC 解析では、Watari 他(2009) が明らかにしたように、SC 等の短時間変動では地磁気 By との相 関がよい(cc>0.9)。しかし、今回の解析で、磁気嵐や地磁気日変化 等の長時間変動に対する相関が悪い (cc<0.5) ことを見いだした。 この強い周期依存性を詳細に調べるために、By が地中で誘導する 電場を均一導体中の一次元拡散方程式の解として計算した。観測 された By との convolution として得た誘導電場の例を図 2 に示す。この結果は、GIC と By との相関が悪い長 周期変動の場合において、GIC と誘導電場との間に高い相関(cc>0.9)が得られることを示している。したがっ て、磁気嵐環電流による Bx が小さい磁気擾乱においても By またはその誘導電場が強い場合には、強い GIC が流れる可能性を示している。これまでの先行研究と合わせて考えると、GIC と地磁気との関係は、地下電気 伝導度、緯度、海岸線と送電線相互の関係およびこれらの地磁気に対する方向、そして磁気圏電離圏電流が持 つ地方時依存など、多くの要因が関係すると予想される。GIC とこれらの要因との関係を明らかにするために、 今後、PSTEP で実施している東北、関東、および中国地方での観測データの解析を進める。



(図 2)(左上段)連続するサブストーム時の Bx, By、(左中段)Bx, By により誘導された電場 Ey, Ex、(左下段)北海道女満別で観測された GIC。(右上段)地磁気日変化を示す Bx, By、(右中段)Bx, By により誘導された電場 Ey, Ex、(右下段)北海道女満別で観測された GIC。

GIC はサブストーム時では、Bx よりも By との相関がよいが、周期が 長くなる日変化では、By より Bx との相関がよい。しかし、両者とも に、By により誘導される電場 Ex との相関がよい。周期による違いが あるが、GIC が By に強く依存することを示している。

【本課題に関する成果発表】

(誌上)

1. Hashimoto, K. K., T. Kikuchi, I. Tomizawa, and T. Nagatsuma(2017), Substorm overshielding electric field at low latitude on the nightside as observed by the HF Doppler sounder and magnetometers, J. Geophys. Res. Space Physics, 122, doi: 10.1 002/2017JA024329.

2. Tanaka, T., Y. Ebihara, M. Watanabe, M. Den, S. Fujita, T. Kikuchi, K. K. Ha shimoto, and R. Kataoka(2017), Global simulation study for the time sequence of e vents leading to the substorm onset, J. Geophys. Res. Space Physics, 122, 6210-62 39, doi:10.1002/2017JA024102

3. Takahashi, N., Y. Kasaba, Y. Nishimura, A. Shinbori, T. Kikuchi, T. Hori, Y. Ebihara, and N. Nishitani(2017), Propagation and evolution of electric fields associ ated with solar wind pressure pulses based on spacecraft and ground-based observat ions, J. Geophys. Res. Space Physics, 122, 8446-8461, doi:10.1002/2017JA023990. (口頭)

1. 菊池崇、海老原祐輔、橋本久美子、田中高史、亘慎一、中緯度GIC予測、JpGU-AGU 2017、幕張、5/22

2. 菊池崇、海老原祐輔、橋本久美子、亘慎一、地磁気から再現する誘導電流の周期依存性、SGEPSS 2017、宇治、10/19。

3. Hashimoto, K. K., T. Kikuchi, I. Tomizawa, J. Chum, D. Buresova, Latitude a nd local time variations of stormtime electric fields as observed with HF Doppler sounders and SuperDARN, JpGU-AGU 2017, 5/22

4. Hashimoto, K. K., T. Kikuchi, I. Tomizawa, J. Chum, D. Buresova, Night-side overshielding electric fields during the geomagnetic storm as observed with HF D oppler sounders, SGEPSS2017, 字 治、10/19。

火山噴火に伴う電離圏変動の解析

Analysis of ionospheric disturbances associated with volcanic eruptions

中田裕之、千葉大学·大学院工学研究院

1. 背景,目的

近年,地震に伴う電離圏変動に関する研究が進んできているが,同様の発生メカニズム による変動として,火山噴火に伴う変動が挙げられる。これまでにも火山噴火に伴う変動 は観測されているが,地震に比べ事例数が少ないため,その発生メカニズムについては不 明な点も多い。本研究では,浅間山噴火に伴う電離圏変動について解析を行った。

2. 方法

Heki [2006]では、2004年9月1日20時2分に発生 した浅間山噴火に伴い、GPS-TEC変動が発生する ことが報告されている。このTEC変動が発生する ことが報告されている。このTEC変動は、地震時 と同様に、噴火口である波源の南側において変動 が顕著であるが、その変動周期は、地震でよく見 られる変動周期($3 \sim 4 \text{ mHz}$)に比べ高い(7 mHzz程度)。その違いの原因を明らかにするために、 本研究では、HFドップラーによる観測結果を利用 し、GPS-TEC変動との比較を行った。本研究で用 いたHFドップラー観測は電気通信大学調布キャ ンパスより送信され、菅平観測所にて受信された データである(図1参照)。



Figure 1: HF ドップラー送受信点 とGPS 受信点・電離圏貫通点の位置

3. 結果

図2に、GPS-TECとHFドップラーの観測結果を示す。上段の2つはGPS-TECの時系列 データを示し、下段にHFドップラーの時系列データを示す。矢印は、GPSの貫通点の位置 の移動の様子を表している。"Volcanic Eruption"と示した縦線は噴火の発生時刻を表して いる。これらのデータの特徴として、GPS-TECにはスパイク状の変動が現れていることが わかる。また、"Arrival time"と示した縦線では、音波のレイトレーシングにより求めた大 気波動の伝搬時間を示している。いずれも、スパイク状の変動の発生時刻と極めて良い一 致を示しており、これらの変動が噴火により生じた変動が上空に伝搬したことにより発生 したことがわかる。さらに、HFドップラー観測により明らかになった結果として、スパイ ク状の変動の発生後に、周期の長い変動が発生してることが明らかとなった。この変動周 期は約4分程度の周期の変動であり、地震発生後に見られる変動と同じ周期を持つ変動で ある。これは、大気波動が下層電離圏と地表面での共鳴することで発生するものであり、 スパイク状の変動に比べ振幅が小さかったことから、GPS-TECではこの長周期の変動は検 出できず、変動発生直後のスパイク状の変化のみが観測されたものと考えられる。

4. 考察・まとめ

2004年9月の浅間山噴火はブルカノ式噴火と呼ばれる、激しい噴火を伴う噴火である。今回観測された電離圏変動は、その順番から、スパイク状の変化は噴火に伴い発生した大気 波動により発生したものと考えられる。また、その後の変動は地震時でも観測されるもの であり、噴火が大きかったため、巨大地震時と同様に、このような変動が発生したと考え られる。GPS-TECで見られた変動の周期が地震に比べて長いのは、今回の変動の発生メカ ニズムが共鳴ではなかったことによることが、GPS-TECとHFドップラーにおいて明らか になった。

5. 参考文献

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

- 6. 成果発表
- 長南光倫、中田裕之、大矢 浩代、鷹野敏明、冨澤一 郎、津川卓也、西岡未知、
 GPS-TECとHFドップラーを用いた火山噴火に
 伴う電離圏変動の解析、
 第142回地球電磁気・地 球惑星圏学会総会及び
 講演会、京都大学宇治キャンパス、2017年10月1
 6日.
- Aritsugu Chonan, Hiroyuki Nakata, Hiroyo Ohya, Toshiaki Takano, Ichiro Tomizawa, Takuya Tsugawa, Michi Nishioka, Ionospheric

disturbances associated with volcanic eruptions observed by GPS-TEC and HF Doppler sounding, URSI General Assembly and Scientific Symposium, Montreal Convention Center, Montreal, Canada, 2017/8/21.

長南 光倫、中田 裕之、大矢 浩代、 鷹野 敏明、冨澤 一郎、津川 卓



Figure 2 2004 年 9 月 1 日の浅間山噴火に伴う GPS-TEC 変動(上段、中段)とHFドップラー周波数 変動(下段)

也、西岡 未知, Ionospheric disturbances associated with volcanic eruptions observed by GPS-TEC and HF Doppler sounding, 日本地球惑星科学連合 2017 年大会,幕張メッ セ, 千葉市, 2017 年 5 月 25 日.

炭酸塩天然コンクリーション形成速度の算出 Estimation on formation speed of natural carbonate concretion

代表者:吉田英一(名古屋大学博物館) 分担者: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. 研究目的

炭酸塩コンクリーションは、世界各地の様々な地質時代の海成層に普遍的に産する球状の炭酸塩(CaCO₃)の団塊である。その成因や形成速度に関しては、これまであまりわかっていなかったが、研究代表者が中心となって推進している最近の研究により、数ヶ月~数年/cmといった急速での形成メカニズムを有していることが明らかになりつつある。CaCO₃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、CO₂の固定物質としても知られる素材である。¹⁴C結果から炭酸塩コンクリーションの急速な形成速度が明らかになれば、さまざまな応用への可能性を秘めている。そこで、本研究では、炭酸塩コンクリーション中の¹⁴Cに着目することにより、炭酸塩コンクリーションの形成速度に具体的な年代指標を入れることを目的とする。

2. 実施内容

昨年度は、アメリカのユタ州エスカランテ及びホワイトクリフの炭酸塩球状コンクリーションならびに周辺 マトリックス岩石等を分析した。今年度は、埋没していた地層の年代から 5000 年位を示すと予想される鹿児 島の炭酸塩コンクリーション、現在成長中の北海道羅臼の炭酸塩コンクリーションに対して¹⁴C 測定、ならび にδ¹³C の測定を行った。鹿児島試料に対しては、

No.1:(1) 炭酸コンクリーション部分、 (2):(1)の炭酸コンクリーション内部の貝殻部分

No. 2~5: 炭酸コンクリーション部分、No. 6,7: 貝殻部分

の¹⁴C年代を測定した。

羅臼試料に対しては、貝殻部分、貝殻中の炭酸コンクリーション部分、外側マトリクス部分の¹⁴C年代を測定した。

それぞれの試料は粉砕後、リン酸と反応させ、発生した試料ガスをCO2精製ガラスラインにて精製した。精製された CO2ガスを鉄触媒下、水素を用いて620℃で6時間加熱して還元し、グラファイトを作成した。このグラファイトをアルミ ニウム製ターゲットホルダーに詰め、¹⁴C年代を測定した。

3. 研究成果

鹿児島試料の炭酸コンクリーション部分は440-1000 BP、貝殻部分は4600-8700 BPの¹⁴C年代を示し、炭酸 コンクリーションのほうがかなり若い年代を示した。羅臼試料は、貝殻部分が14000 BP、炭酸コンクリーション部分が 17000 BPであり、炭酸コンクリーションのほうが古い年代を示した。昨年度の結果と同様、炭酸コンクリーションか ら得られる年代はさまざまであり、これは、炭酸塩コンクリーションが形成するときに取り込んだ炭素がさま ざまな年代をもっていたためと考えられる。

他方、愛知県知多半島の先端部に分布する中新統師崎層群下部豊浜累層中にみられる長径約1.5 m の巨大ド ロマイト質コンクリーションについて、その形成過程を明らかにすることを目的に、堆積学的および地球化学 的な種々の観察・分析を行った結果、埋没深度数100 mに達するまでのごく初期続成過程においてメートルサ イズの巨大なコンクリーションが形成することが示された。その形成時間は数十年と見積もられ、これまで考 えられていた巨大炭酸塩コンクリーションの形成速度よりもはるかに速いことが確認された。さらに、これら の天然に産する炭酸コンクリーションのサイズを解釈するモデルを構築した。

4. 今後の展望

得られた炭酸コンクリーションの¹⁴C 年代値と、δ¹³C 値、元素濃度との関係を詳細に調べ、¹⁴C 値が示す年 代の意味を明らかにする。また、炭酸コンクリーションが起源になって形成したと考えられるアメリカのユタ 州ならびにモンゴル砂漠の Fe コンクリーションに対し、その形成過程を考察する。 研究成果

論文

- 村宮悠介・吉田英一・山本鋼志・南 雅代 (2017) 初期続成過程における巨大球状炭酸塩コンクリーション形成. 地質学雑誌, 11, 939-952.
- 村宮悠介・吉田英一・窪田 薫・南 雅代 (2018) 炭素・酸素同位体比から見た玄能石コンクリーションの形成 過程. 年代測定研究, 2, 12-17.
- Yoshida, H., Yamamoto, K., Minami, M., Nagayoshi, K., Sirono, S. and Metcalfe, R. (2018) Generalized conditions of spherical carbonate concretion formation around decaying organic matter in early diagenesis. Scientific Reports, in press

学会発表

村宮悠介・吉田英一 (2017) 始新統幌内層における玄能石コンクリーションの形成. 地質学会, 愛媛大学, 2017 年9月16日

低バックグラウンドベータ線計数装置によるバックグランド時間変動の 遠隔地間の比較測定

Measurements of background rates using Quantulus counters located in distant place

門叶冬樹、山形大学·理学部

研究目的

本研究は、名古屋大学宇宙地球環境研究所(ISEE)と山形大学(YU)に設置している 低バックグラウンドベータ線計数装置(Quantulus)を用いて、地表付近での宇宙線中性子 強度およびミューオン強度の時間変動に起因する地表付近の放射線強度変動を測定し、中 性子モニターデータおよび山形大学で連続観測している宇宙線生成核種 Be-7の日変動と比 較することを目的としている。Quantulus は、液体シンチレータ試料を鉛遮蔽体(約 670 kg)、 ガード用液体シンチレーションカウンターで囲まれた測定室に置き、バックグランドを極 力除去して試料からベータ線を測定する装置である。データはガード・カウンターからの 信号、ガード・カウンターと試料との同時計数信号、そしてこれらの信号との反同時計数 信号が試料から取得できる。ガード・カウンターは中性子にも感度があり、且つガード・ カウンターと試料との同期信号はほとんどミューオンであると考えられる。

本研究では2地点の Quantulus を同時期に稼働させ、ガード・カウンターおよび同期信 号の計数値変化を記録して約600 km離れた2地点でのバックグランドの時間プロファイル を調べる。その結果を宇宙線生成核種データおよび中性子モニターデータと比較し、遠隔 地の地表付近での放射線環境における宇宙線の短時間での時間変動について調べる。

研究方法

2017 年 10 月 13 日から 11 月 12 日まで ISEE と YU に設置した 2 台の Quantulus を用 いてバックグランドの同時測定を行った。バックグランドは鉛遮蔽されたガード・カウン ターの計数値であり、時間分解能は1日に設定した。

結果

図1は ISEE とYU で測定された計数値の約1か月の時間変化を示している。10月22 日と10月29日に同期したピークが計測されている。1番目のピークの増加率は ISEE が 2.4%、YU が 2.8%であった。2番目のピークの増加率は ISEE が 3.2%、YU が 2.2%であっ た。図2と図3は、ISEE とYUの計数値時間変化プロファイルと名古屋市と山形市の気圧 変化の時間変化を比較したものである。明らかに両地点とも計数値ピークは低気圧の時に 同期している。1番目のピーク時の気圧変化率は名古屋市が-1.8%、山形市が-2.2%であった。 2番目のピークの変化率は名古屋市が-1.8%、山形市が-1.5%であった。計数値の低気圧との 同期は宇宙線ミューオンの気圧効果を表していると考えられる。ISEEの計数値ピーク変化 と名古屋市の気圧変化はほぼ同期しているが、YUの計数値ピーク変化は山形市の気圧変化 より位相がずれている可能性がある。

今回の結果からバックグランド計数値に気圧が影響していることが分かったため、今後、 時間分解能を上げて2地点の気圧変化と計数値変化の詳細を調べる予定である。



図 1 ISEE と YU の Quantulus の バックグランド計数値の時間変化



図2 ISEEのバックグランド計数値と 名古屋市の気圧の時間変化



図3 YUのバックグランド計数値と山形市の気圧の時間変化

レーザー分光法による温室効果気体のフラックス計測

Laser spectroscopic measurements of greenhouse gas fluxes from terrestrial ecosystems

高橋 けんし(京都大学・生存圏研究所)

背景と目的

微量物質を介した大気圏と陸域生態系とのカップリングは、大気中の化学過程や放射収 支などへの関与を通じて、グローバルな温暖化をはじめとする大気環境変動に重要な影響 を及ぼす. CO₂や水蒸気のフラックス計測は、非分散型赤外分光法により 90 年代ごろか ら盛んに行われているものの、CH₄や N₂O といった第二、第三の放射強制力を示す気体の フラックスを高精度に計測する研究は未だに不十分である.その理由の一つは、CO₂以外 微量成分を超高感度に現場で計測する手法が未発達であるためである.本研究の目的は、 半導体レーザー吸収分光法を用いることによって、CH₄や N₂O といった、CO₂や H₂O よ りも濃度の低い物質をターゲットにして、そのフラックス計測法を開拓することである.

研究方法

2017 年度は、1.65 µm の半導体レーザー吸収分光法と閉鎖循環型チェンバー法とを組 み合わせ、渓畔湿地の土壌表面および湿地に自生するハンノキからのメタン放出フラック スの計測を行った. 観測は滋賀県大津市内にある国有林内にて実施した. レーザー分光装 置は観測小屋の中に設置した. 土壌フラックスの空間不均質性およびハンノキの個体差を 見るために、土壌およびハンノキの幹に、各々三個ずつのチェンバーを設置し、タイムシ ェアリング方式で合計六点のフラックスの自動測定を行った. 2017 年度はまた、水田か らのメタン放出を渦相関法により計測することにも挑戦した.

結果と考察

観測サイトにある渓畔湿地は、季節的な土壌環境の変動に加えて、まとまった降水イベントによる数時間から数日程度の比較的短時間な変動も起こる.土壌から放出されるメタンは、微生物活動の季節性に伴う変動に加えて、降水に起因する過渡的な数日程度の変動が加わっていることが示された.また、サイトに自生するハンノキからメタンが放出されていることが分かった.これは微生物活動によって生産された土壌中のメタンが、樹木内部を移動・拡散することに起因すると考えられる.樹木を介したメタン発生と、土壌表面からのメタン発生の寄与率を定量化することが次の狙いである.そのためには、最低数年程度はデータの蓄積が必要になるものと考えている.

CHIME年代測定による隠岐・島後片麻岩の変成年代の推定 Metamorphic ages of gneisses in Oki-Dogo Island using CHIME age dating

今山武志、岡山理科大学·自然科学研究所

1. はじめに

島根県の日本海沖に位置する隠岐・島後には、隠岐片麻岩とよばれる高温型の広域変成岩類が島北東部の半 径約8kmのほぼ円形の地域に分布している(山内ほか,2009)。隠岐片麻岩類は、隠岐島後北東部に産出し、 ミグマタイト質片麻岩、泥質片麻岩、花崗岩質片麻岩などからなる。これらの片麻岩類は、古生代初期頃に形 成され、約250Maに広域的な変成作用を被っているとされる(Suzuki and Adachi, 1994)。その一方で、角閃岩 相(3-4kbar,580-680)とグラニュライト相(750-820)の二つの変成作用が知られている(Hoshino, 1979; 浜 田ほか, 1996)ものの、約250Maの変成年代がどの変成圧力—温度条件の時期を示すかは不明であった。また、 隠岐片麻岩は、複数変成作用を被っているとすると、ペルムー三畳紀以外の時期に変成作用を被った可能性も ある。本研究では、岩石組織と対応付けたU-Th-Total Pb Chemical Isochron Method (CHIME)年代測定を実施し て、変成年代と変成圧力温度条件のリンクを行ない、隠岐片麻岩類の形成過程を推定した。

2. 試料と研究手法

隠岐・島後の野外調査を実施して、ミグマタイト質片麻岩や泥質片麻岩などの試料を採取した。これらの片 麻岩類の代表的な鉱物組み合わせは、黒雲母+白雲母+石英+斜長石+カリ長石 ± ザクロ石 ± 珪線石であ り、角閃岩相上部から一部グラニュライト相までの変成作用を被っていると推定される。隠岐島後の東郷川、 銚子川から採集してきた4試料の片麻岩類について、偏光顕微鏡観察、各鉱物の定量化学組成分析、ザクロ石 とモナズ石の組成マッピングを行なった。また、ザクロ石-黒雲母-斜長石-石英地質温度圧力計 (Perchuk, 1985; Hoisch, 1990) により変成圧力温度条件を推定した。その後、モナズ石のマッピングと組織に基づいて、 名古屋大学宇宙地球環境研究所にて CHIME 年代を測定した。

3. 結果

測定試料のザクロ石の累帯組成構造は、コアで Mg 濃度が高く、リムに向かい Mg 濃度が低くなる。この ことから、隠岐片麻岩類はピーク変成作用の後に後退変成作用を被っている。変成ピーク時と後退変成時の圧 力温度条件は、ザクロ石のコアとリムの組成およびそれらと平衡とみなされる黒雲母や斜長石の組成を用いて 計算した。その結果、東郷川沿いの試料の変成ピーク時と後退変成時の圧力温度条件は、それぞれ 718-758 、 6.4-8.8 kbar と 508-654 、 2.1-6.6 kbar であった。同様に、銚子川沿いの試料の推定した変成ピーク時と後退

変成時の圧力温度条件は、803-829 、 9.0-10.3 kbar と 638-695 、 4.4-5.9 kbar であった。したがって、銚子川沿いの試料は、東郷川沿いの試料に比べ、より高温の変成作用を被っている。

東郷川沿いの試料のザクロ石コアに包有されるモナズ石の Y_2O_3 濃度は 1.7-2.2 wt.%であり、1999-2089 Ma の CHIME 年代を示した。一方、ザクロ石リムに包有 されるモナズ石は、1893-2084 Ma に加えて約 259 Ma の年代値が得られ、後者は相 対的に低い Y_2O_3 濃度を示す (右図)。ザクロ石周辺部のモナズ石は、約 232-250 Ma と 162-168 Ma が得られ、後者は相対的に高い Y_2O_3 濃度を示す。これらの結果は、 隠岐片麻岩類は、ペルムー三畳紀の変成作用に加えて、古原生代の高温変成作用(約

720-760,6-9 kbar)を被っていることを示しており、隠岐片麻岩類の原岩年代は、従来推定されている古生代初期の年代よりも著しく古いことを示唆する。



ザクロ石リムに包有されるモナザ イトのY濃度分布とCHIME 年代

4. 今後の展開

本研究において、基質部のモナザイトとザクロ石のモナザイト包有物を区分して、CHIME 年代測定を実施 した結果、前者はペルムー三畳紀の変成年代を主に示すのに対して、後者は古原生代の変成年代を示すことが わかった。今後は、分析する試料数を増やすとともに相平衡計算などを用いて、空間的な圧力ー温度条件を推 定し、古原生代とペルムー三畳紀変成作用の関連を明らかにしていく。また、北中国・南中国地塊、韓国京畿 地塊・嶺南地塊の変成作用と比較して、北東アジアのテクトニクスの解明に貢献していく。

引用文献

- 浜田耕一・藤原奈都子・角替敏昭 (1996) 隠岐・島後の銚子・有木川流域に分布する隠岐変成岩の岩相記載と 変成履歴. *島根大学教育学部紀要(自然科学)*, 30, 53-72.
- Hoisch, T. D. (1990) Empirical calibration of six geobarometers for the mineral assemblage quartz + muscovite + biotite + plagioclase + garnet. Contributions to mineral and petrology, v. 104. p. 225-234.
- Hoshino, M. (1979) Two-pyroxene amphibolites in Dogo, Oki islands, Shimane-ken, Japan. Jour. Japan, Assoc. *Min. Petr. Econ. Geol.*, 74, 87–99.
- Perchuk, L. L., Aranovich, L. Y., Podelesskii, K. K., Lavrant´eva, I. V., Gerasimov, V. Y., and Fed´kin, V. V. (1985) Precambrian granulites of the Aldan shield, eastern Siberia, USSR. *Journal of Metamorphic Geology*, 3, 265-310.
- Suzuki, K., Adachi, M. (1994) Middle Precambrian detrital monazite and zircon from the Hida gneiss on Oki-Dogo Island, Japan: their origin and implication for the correlation of basement gneiss of Southwest Japan and Korea. *Tectonophysics*, 235, 277–292.
- 山内靖喜・沢田順弘・高須 晃・小室裕明・村上 久・小林伸治・田山良一,2009. 西郷地域の地質.地域地質研究報告(5万分の1地質図幅),産総研地質調査総合 センター,121p.

高感度カメラによる大気光の多地点同時観測

Multi-point airglow imaging with high-sensitivity camera system

鈴木臣 愛知大学·地域政策学部

下層大気で励起される大気波動は,運動量を保存しながら上方へと伝搬していき超高層大 気の下端である中間圏・下部熱圏(MLT)へ運動量やエネルギーを運ぶことで,この領域 の大気変動に大きく寄与することが知られている.MLT 領域は中性大気と電離大気の境 界,超高層大気への中継点でありMLT 大気のダイナミクスは大気の上下結合を考える上 で重要な意味を持つ.近年,精力的な地上からの大気光イメージング観測により,超高層 大気波動のグローバルな活動分布の描像が得られつつある.また,イメージング観測網の 整備により,広範囲に広がる波動の検出が可能となった.本研究では,申請者が開発した 低廉大気光カメラによる観測と名古屋大学宇宙地球環境研究所が運用している超高層大気 イメージングシステム (OMTI) との同時観測を実施し,低廉大気光カメラの性能評価お よび改良につなげる.低廉大気光カメラは民生品の高感度CCDビデオカメラを用いており, 低価格・小型の観測システムである.低廉大気光カメラのみの観測でも波動構造が確認さ れているが,詳細な性能評価(どれくらいの大気光強度変動をもつ波動が撮像できるのか など)をおこなう必要がある.本研究で得られる知見や成果は,今後の日本における超高 密度・多地点同時イメージング観測網の礎となる.

2017年度は、昨年度に開発した大気光画像からの波構造の抽出処理の再調整をおこなった.これまで、信楽のテスト観測データ(OH大気光:4秒露光、10秒サイクル)を用いて、 1分ごとに画像合成し、さらに5分後の合成画像との差分を計算することで水平波長数十km の大気重力波構造の可視化をおこなっていた。2017年度に愛知大学校内(豊橋市)で、 信楽と同様の観測をおこない上記の処理をおこなったものの、波構造の検出には至らなかっ た.街明かり(野球場照明を含む)の増加が主な原因と考えられ、以下の変更をおこない 都市部での大気光観測を試みた:1)強い光源方向のドームに黒テープでマスク、2)サ イクル時間を6秒に変更(1分間の画像合成を作成するための元画像の増加)、3)ゲイン の調整.これらの処理により、愛知大学においても波構造を検出できることが確認するこ とができた.ただし、転送データ量が増えることと、観測サイトの光害の強さにより設定 を変える必要があることは今後の多地点展開において好ましくない.今後は、観測データ を増やして光害による観測限界の調査するとともに保存・転送する画像の量・サイズを考 慮して最適な観測パラメータを探り、大気光観測の多地点展開を効率的に進める.

成果発表:

1. <u>Suzuki, S.</u>, T. Nakamura, M. K. Ejiri, M. Tsutsumi, T. Nishiyama, K. Tsuno, and A. Mizuno, Airglow imaging of mesospheric gravity waves using near-infrared camera, CEILAP seminar, CEILAP Buenos Aires, 2017年11月27日.

惑星間空間磁場北向き時の極域電離圏対流駆動機構 Driving mechanisms of polar ionospheric convection during northward interplanetary magnetic field periods

渡辺正和 九州大学 国際宇宙天気科学・教育センター

研究目的

磁気圏-電離圏結合系におけるいわゆる「Dungey対流」は近年のシミュレーション研究で(従来の描像と は違った形で)かなり理解が進んだ。太陽風の運動エネルギーが一旦カスプの熱エネルギーに変換された 後、カスプからマントルに亘る領域で熱エネルギーを電磁エネルギーに変換するダイナモが形成される。 これに対し、惑星間空間磁場(IMF)北向き時の対流を駆動するダイナモの理解は発展途上である。本研 究は磁気圏-電離圏対流をSuperDARN観測とシミュレーションで比較しその駆動機構(太陽風から電離 圏へのエネルギーの流れ)を理解することを目的とする。IMF北向き時の磁気圏を直観的に理解すること は難しく、観測とシミュレーションは車の両輪である。電離圏対流をシミュレーションと観測で比較・擦 り合わせを行うことで、複雑な磁気圏の物理過程を理解する。

研究方法

数値シミュレーションとその可視化・解析は主に九州大学の設備を用いて行った。数値コードは田中高史 氏が開発されたREPPUを用いる。一方、観測データ解析は名古屋大学宇宙地球環境研究所の資源 (SuperDARNデータとその解析ソフトウェア)を使わせていただいた。名古屋大学のワークステーショ ンにアカウントをいただき、そこにインストールされている解析ソフトを用いて電離圏対流を可視化した。 また対流パターンとともに磁気圏の情報として、磁力線開閉境界を表す指標も重要になる。もし SuperDARNの視野上空を飛ぶ低高度人工衛星があればそのデータを活用する。数値計算で得られる特異 な対流パターンが観測データに現れる事例を探し事例解析を行う。

研究結果

かねてより、IMF時計角をパラメータとして変化させて電離圏対流パターンがどう変化するか計算をおこ なっていた(図1)。時計角が20°まで北向きになると(図1e)、高緯度に反転した対流セルが現れる。 このうち、夕方側・朝方側のどちらか一方は閉磁力線の領域に現れる。このことはあまり知られていない。 この反転対流セルの起源についてシミュレーション結果の解析を行い、付随して現れる沿磁力線電流(図2) とともにその物理機構をある程度説明できた(成果発表1)。一方観測面では、図1b(時計角35°)の対流 パターンの事例を調べた。いくつかの事例を見出すことができたが、現時点では十分な成果に至っていな い。その理由は(1) SuperDARNのエコーが少なくて対流パターンが断片的であること、(2)上空を飛ぶ人工 衛星との同時観測がないこと、である。(1)に関しては、SuperDARNデータの解析アルゴリズムが改訂さ れて既存のアルゴリズムよりかなり多くのエコーが検出できるようになったと聞いている。本研究は今年 度で終わりだが、将来的には、再処理されたデータを組織的に調査することで(1)とともに(2)も克服できる 可能性があると思っている。

成果発表

- Watanabe, M., S. Fujita, T. Tanaka, Y. Kubota, H. Shinagawa, and K. T.Murata (2018), A magnetohydrodynamic modeling of the interchange cycle for oblique northward interplanetary magnetic field, Journal of Geophysical Research Space Physics, 123(1), 272–286, doi:10.1002/2017JA024468.
- 2. Tanaka, T., Y. Ebihara, M. Watanabe, M. Den, S. Fujita, T. Kikuchi, K. K. Hashimoto, and R. Kataoka (2017), Global simulation study for the time sequence of events leading to the substorm onset, J. Geophys. Res. Space

Physics, 122(6), 6210-6239, doi:10.1002/2017JA024102.

 Tanaka, T., T. Obara, M. Watanabe, S. Fujita, Y. Ebihara, and R. Kataoka, Formation of the Sun-aligned arc region and the void (polar slot) under the null-separator structure (2017), J. Geophys. Res. Space Physics, 122(4), 4102–4116, doi:10.1002/2016JA023584.



図1 IMF 時計角 0°を(a)40°から(e)20°まで変えたときの(ただし B_y>0) 北半球電離圏ポテンシャル。等 高線は 0.5kV 毎。太い点線は磁力線開閉境界。最縁部は磁気緯度 70°。



図2 図1e(θ_cを=20°)に対応する(a)北半球での(b)南半球での沿磁力線電流。太線は磁力線開閉境界。最 縁部は磁気緯度70°。

日本の揺籃期地殻に関する年代的研究 Chronological study on the Japanese earth's crust in its infancy

代表者:佐藤興平(気象庁・気象大学校) 分担者:南雅代(名古屋大学・宇宙地球環境研究所) 竹内誠(名古屋大学・大学院環境学研究科) 加藤丈典(名古屋大学・宇宙地球華僑研究所) 柴田 賢(元名古屋大学・年代測定資料研究センター)

1. 研究目的

日本の大地を構成する岩石や地層のほとんどは2億年よりも若い中生代以降のものである.しかし,その一部には5.5~2.5億年も前の古生代のものが含まれている.古い地質体の産出は散点的で,後の造山運動に捲き込まれて原形を留めていないものが多く,既存の年代測定法では形成年代を正確に知ることができなかった.本研究では,後生的な影響を受けにくいジルコンのU-Pb年代を求めて,日本の初期地殻形成史を解き明かすことを目的とする.既存のK-Ar法やRb-Sr法あるいはフィッション・トラック法による年代測定では,閉鎖温度が低いため2次的な熱的影響を完全に除外することが難しく,得られた結果は年代の上限を示すに過ぎないという限界があった.これに対して,名古屋大学で開発されたモナザイト・ジルコンのCHIME年代測定法は、ミクロン・オーダーの高分解能をもつ迅速な微小領域年代測定法として威力を発揮しつつあり、近年開発されたジルコンのLA-ICP-MSによる年代測定法は、空間分解能の点ではCHIME法に及ばないが、比較的若い年代も鉱物ごとの測定が可能になってきた.本研究では、これらの新手法を駆使して、関東山地の試料を中心としてジルコンの年代を求め、日本列島の地殻形成史をさぐる.

2. 研究方法

関東山地の花崗岩類を中心に,既存の手法で年代付けされた試料あるいは年代不明の岩体から新たに採取した岩石からジルコンを分離し,名古屋大学大学院環境学研究科のLA-ICP-MSを用いてU-Pb年代を測定する. この手法はジルコン1粒ごとの年代測定が可能なだけに,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.無作為に抽出した約100粒のジルコン結晶を接着剤でスライドガラスにマウントして研磨し,研磨面のCL(カソード・ルミネッセンス)画像を観察して,火成岩起源なのか捕獲結晶なのかを判定した.火成岩の年代を得るために主にジルコン結晶の外形に調和的なオシラトリー累帯構造を示す部分にレーザー・プローブ(径25 µm)を当てて年代を測定したが,結晶の核部に見出された捕獲結晶についても可能な限り測定した.

3. 研究結果

今回検討対象とした年代不明の岩体は、ナップ・テクトニクス研究発祥の地である関東山地北縁部の下仁田 地域で重要な位置を占めながら、破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珪長質火成岩 体である.代表的な5試料(花崗岩3,凝灰岩2)について得られた年代は、約70 Maと約100 Maに2分さ れ、この地域で後期白亜紀に少なくとも2期の珪長質火成活動があったことが明らかとなった.古生代の可能 性が指摘されていた花崗岩体は後期白亜紀(約100 Ma)の岩体であり、これまで古第三紀とされてきた凝灰 岩体は70 Ma頃の後期白亜紀の岩体であることが判明した.

4. 考察

関東山地北縁部には古生代ペルム紀と中生代白亜紀の珪長質火成岩(主に花崗岩)が分布するが、その多く は小規模な構造岩塊や礫として存在する.その中でも比較的大きくまとまった分布をしながら年代が不明であ った岩体の年代が判明したことは、今後の考察に重要な束縛条件を与える.白亜紀の砂岩(跡倉層)中には古 生代だけでなくジュラ紀の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、今回の検討で時代 不詳の岩体はなくなり、ジュラ紀花崗岩体が残存する可能性は極めて低くなったとみられる.

5. まとめ

今回検討した下仁田地域の花崗岩体は,関東山地北縁部に分布する珪長質火成岩体の中で最大規模をもつに もかかわらず時代未詳で,一部はペルム紀との説もあり,日本列島の地殻形成史の議論において無視できない 存在であったが、後期白亜紀と判明し、西南日本内帯の構造要素であることが確定した.古第三紀とされてきた凝灰岩体も後期白亜紀であることが判明した.

引用文献

- 柴田 賢・高木秀雄(1989) 関東山地北部の花崗岩類の年代.同位体からみた中央構造線と棚倉構造線の関係. 地質雑,95,687-700.
- 佐藤興平・柴田 賢・内海 茂(2015) 関東山地北縁部の異地性岩塊や礫岩に含まれる珪長質火成岩類の年代: 跡倉ナップ実像解明の歴史と今後の課題. 群馬県立自然史博物館研究報告, 19, 69-94.
- 佐藤興平・竹内 誠・鈴木和博・南 雅代・柴田 賢(2018) 関東山地北西縁下仁田地域に産する珪長質火成岩 体の U-Pb ジルコン年代. 群馬県立自然史博物館研究報告, 22, 79-94.

成果発表

論文

佐藤興平・南 雅代・中村俊夫・柴田 賢・児嶋美穂・武者 巌(2018)木片の14C年代測定による前橋泥 流堆積時期の再検討(予察). 群馬県立自然史博物館研究報告書, No.22, 95-101

佐藤興平・竹内 誠・鈴木和博・柴田 賢・南 雅代(2018)関東山地北西縁下仁田地域に産する珪長質火成 岩体の U-Pb ジルコン年代. 群馬県立自然史博物館研究報告, No.22, 79-94.

学会発表

佐藤興平・竹内 誠・南 雅代・中村俊夫・武者 巌・柴田 賢(2018) 関東山地北縁部に産する内帯型火成岩類 の U-Pb ジルコン年代.第30回(2017年度)名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定研究シンポジウム(2018 年2月2日). 海色衛星観測による東シナ海での溶存有機物質と低次生産量の時空間変動:気候変動による長江流量変化の影響

Spatiotemporal variability of colored dissolved organic matter and primary productivity in the East China Sea observed by ocean color sensor: Impact of climate change through Changjiang Discharge

> エコ シスワント、国立研究開発法人海洋研究開発機構 地球環境観測研究開発センター

1. Research Objectives

The East China Sea (ECS) is one of the marginal seas in the sub-tropical region of the northwestern Pacific Ocean which is largely affected by both human activities and global climate changes. Recent study by Yang et al. (2015) showed a long-term decline of precipitation and construction of reservoir are responsible for the observed long-term declines of freshwater and sediment discharged into the ECS through the Yangtze River (Changjiang). Not only freshwater and sediment, Changjiang also supplies nutrients and organic materials into the ECS. Sediment (by varying light availability) and nutrient together control primary production (PP) in the ECS and depend on the area one controlling factor can be more dominant than another.

Many studies (e.g., Hardiman et al., 2018) mentioned that the Changjiang discharge largely affected by climate change of El Nino/La Nina through precipitation variation. Therefore, there is possibility that global climate change by varying phytoplankton controlling factors via atmosphere-ocean physical interactions will affect the ECS's PP. The objective of this research collaboration is thus to elucidate how the climatic variability by controlling the variability of terrigenous materials affect the PP in the ECS.

2. Methodology

Ocean color data used include SeaWiFS photosynthetically available radiance (PAR, Einstein m⁻² d⁻¹) and remote sensing reflectance (Rrs, sr⁻¹) acquired from the OBPG (http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cms). Sea surface temperature (SST, °C) retrieved by the MODIS Aqua (http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cms) and the AVHRR (http://podaac.jpl.nasa.gov/AVHRR-Pathfinder) were also used.

Total suspended sediment (TSM μ g l⁻¹) and colored dissolved organic matter absorption coefficient (CDOMa, m⁻¹), a proxy of organic material was estimated by applying the YOC algorithm proposed by Siswanto et al. (2011). The PP was computed based on Gong and Liu's (2003) PP model. Phytoplankton biomass indexed by chlorophyll-a concentration (Chl, mg m⁻³) was predicted from Rrs with the use of YOC Chl algorithm. The study also used the Yangtze River discharge (DIS, m⁻³ s⁻¹) as it controls the resources (light and nutrients) for PP.

3. Results and Discussion

Fig. 1 shows satellite-derived Chl (left panels) and PP (right panels) in different seasons. The spatial patterns and magnituted of both variables were consistent with Chl and PP in situ observations reported by Gong et al. (2003). Highest Chl and PP were observed in july (Fig. 1c, g) which were attributed to high nutrient discharged by the Changjiang peaking also in July. Chl and PP were still relatively high in fall (Fig. 1d, h). Lowest PP over the western area, especially in December and March (Fig. 1a-b, e-f) and in general over the coastal area were attributed to high TSM induced by intense vertical mixing. This high TSM reduced light availability than can be used for photosyntethic process in the water column. The importance of TSM in controlling light availability was also reflected from the long-term trend data in the western shelf of the ECS (indicated by dashed box in Fig. 2). Tendency of declining TSM in the wetern part of the box likely imrpoved light availability, as a result, PP has tended to elevate there, and vice versa in the eastern part of the box.

Besides suspended sediment, the Changjiang discharge also supplies freshwater containing high concentrations of organic carbon and nutrients. Fig. 3 shows spatial variations of Changjiang-influenced water (hereafter CIW) characterized by high CDOMa (Fig. 3a, e, i, m), low surface sea salinity (SSS, Fig. 3b, f, j, n), and high PP (Fig. 3c, g, k, o) in July for the years 2010, 2009, 2003, and 1998. Years 2003 and 2010 show a wide and further southeastward expansion of CIW. A filament like intrution of high CDOMa, low SSS, and high PP into the Kuroshio main axis was however obvious only in the year 2010. Southeastward dispersion of CIW was spatially limited in the year 2009 which was likely due to low Changjiang discharge. Changjiang discharge is however not the only factor determining offshore dispersion pattern of CIW. This can be deduced by relatively narrower CIW offshore dispersion in 1998 (compared to 2003 and 2010) though Changjiang discharge in 1998 was the highest.

Highest discharge in 1998 was likely associated with ENSO event. Weak northward winds (or strong southward wind anomaly, Fig. 3p) likely tend to push CIW more onshoreward. The CIW would be transported more southeastward when northeastward wind anomaly prevails (Chang et al., 2014), as can be expected in July 2003 and 2010 (Fig. 3d, 1).



Fig 3 (right). Spatial variations of a_g (a), SSS (b), PP (c), and wind field (d) in July 2010. Panels (e–h), (i–l), and (m–p) are the same as panels (a–d), but show data from 2009, 2003, and 1998, respectively. White dashed lines indicate the approximate edges of the Kuroshio Current axis. Black dashed lines indicate the 50-m and 200-m isobaths.

Fig 1 (left). Spatial variability of Chl during the winter (December 1997) (a), early spring (March 1998) (b), summer (July 1998) (c), and fall (October 1998) (d). (e–h) Same as a–d, but for PP. The time intervals associated with the Chl and PP estimates were selected to be comparable to those of in situ observations by Gong et al. (2003). Black dashed lines indicate the 50-m and 200-m isobaths.

Fig 2 (right). Spatial variation of correlation coefficient (r) between TSM (a), PP (b) against time. Negative (positive) r indicates decreasing (increasing) trend over the period of SeaWiFS observation (September 1997 – December 2010).





4. Summary

The ECS's PP especially during winter and spring in the inner shelf water was largely determined by TSM whereby water column light availability was controlled. The CIW occupied largely the ECS shelf water especially during the summer when the Changjiang discharge reached its highest. Offshore dispersion of CIW in July 2010 seemed to be peculiar as it also showed an intrusion into the Kuroshio main axis. The behavior of CIW water offshore dispersion was largely controlled by the Changjiang discharge and wind field (mainly wind direction anomaly).

References

- Gong, G-C., et al., (2003), Seasonal variation of chlorophyll a concentration, primary production and environmental conditions in the subtropical East China Sea, Deep-Sea Research II 50:1219-1236.
- Gong, G.-C., and G.-J. Liu (2003), An empirical primary production model for the East China Sea, Continental Shelf Research, 23:213-224.
- Hardiman, S.C., et al., (2018), The asymmetric response of Yangtze river basin summer rainfall to El Niño/La Niña, Environ. Res. Lett., accepted, doi:10.1088/1748-9326/aaa172.
- Siswanto, E., et al., (2011), Empirical ocean-color algorithms to retrieve chlorophyll-a, total suspended sediment 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.

Achievements

- Siswanto, E., Xu, Y., Ishizaka, J. (2018), A rare dispersion of low-salinity, high-gelbstoff, high-primary production water in the East China Sea during the summer of 2010: Possible influence of the ENSO, Journal of Geophysical Research (submitted)
- Siswanto, E., Xu, Y., Ishizaka, J. (2017), Pronounced southeastward dispersion of low-salinity, high-productivity water in the East China Sea in summer 2010, International Symposium of Remote Sensing 2017, 17-19 May 2017, Nagoya University.

大気中窒素酸化物測定装置の開発 Development of high-sensitivity instruments for detection of atmospheric NO₂

和田龍一, 帝京科学大学·生命環境学部

1. 研究目的

オゾンは人体や植物の生長に悪影響をあたえる. 窒素酸化物はオゾンの前駆物質である. 正確かつ高い時間分解能にてオゾンや窒素酸化物の濃度を計測することは,地球環境問 題を理解し,解決を図る上で重要である.本研究では名古屋大学宇宙地球環境研究所松 見豊教授の研究グループが保有する高感度高時間分解の特徴を持つ NO₂ レーザー分光 計測装置の改良を行った.

2. 研究方法

正確かつ高い時間分解能を持った NO_xの計測には,2 台の LIF 装置を用いた方がよい ことが H27 年度の名古屋大学太陽研共同利用研究から示された.H28 年度の共同利用 研究にて松見研究室が保有する NO₂-レーザー分光計測装置(NO₂-LIF)のパーツを用

いて,2台目のLIF 装置の立ち上げを試 みたものの,1台目と共有で使用する部 品が存在したことから同時に2台のLIF を用いた計測はできなかった.本年度 (H29年度)の共同利用研究にて,2台 のLIFを独立に同時に稼働した計測を実 施した.現有LIF 装置を1号機,新たに 立ち上げたLIF 装置を2号機とした. 2018年1月29日18:00-1月31日9:00 まで約2日間,2台のLIF 装置を用いて 山梨県上野原市にて外気のNO2濃度の計 測を行った.計測装置の写真を図1に示 す.



図 1. 計測装置写真

3. 研究結果と考察

計測結果を図2に示す.1号機と2号機の測定値はともに0から25 ppbの範囲で同様の時間変化を示したものの,測定結果に違いが生じた.1号機と2号機で得られたNO2 濃度の相関を図3に示す.両者の決定係数は0.974と,高い相関が得られたものの,傾 きは0.922,切片は-0.944 ppbであった.2号機は外部からの光に影響をより強く受け ることが分かっていることから,違いが生じた原因として,校正作業を室内の蛍光灯を つけて行った為,低減しきれて いない光が2号機の計測値に影 響を与えた可能性がある.1号機 と同様のバッフルを2号機に取 り付けるなどし,2号機の外部の 光から受ける影響を少なくする 必要がある.



4. まとめ

名古屋大学松見研究室が保有す る NO₂ 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.2台のLIFを用いた 同時計測を実施できたものの, 2号機による正確な計測ができ なかった.原因として外部の光 の影響が考えられ,影響を低減 する工夫を施す必要があること が分かった.今後検討を継続し 2台のLIF 装置を用いて,高時







間分解能にて NOx を計測可能な装置を開発する.

5. 成果発表(当該年度に行った口頭発表)

【原著論文】

• R. Wada, Y. Matsumi, T. Nakayama, T. Hiyama, Y. Fujiyoshi, N. Kurita, K. Muramoto, S. Takanashi, N. Kodama, 2017. Isotopic variations of CO₂ and H₂Ov associated with a typhoon and the Akisame front, *Isot. Environ. Health Stud.* **53**, 646-659.

【口頭発表】

・和田龍一,松見豊,中山智喜,米村正一郎,谷 晃,中野隆志,加藤俊吾山岳道路 沿道における窒素酸化物濃度と変動要因の解明.第58回大気環境学会年会,2017年9 月6日-2017年9月8日,神戸市(兵庫医療大学),p485. シリコンナノ構造膜中の微粒子凝集メカニズムの解明 Investigation of aggregation mechanism of fine particles in nanostructured silicon film

西田哲、岐阜大学・工学部

1. はじめに

報告者らの研究グループではプラズマCVDプロセス中に原料ガスを高速で供給すること により通常法と比較して1000倍速い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。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条件と 凝集体の堆積量の関係が明らかになっていない。本研究では、生産性向上の観点から製膜 条件と堆積量の関係を明らかにし、凝集体生成のメカニズムについて理解することを目的 とする。

2. 実験方法

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

3. 実験結果

どの実験条件でも数十nmのシリコン微粒子が凝集した構造となり実験条件による微細構造に大きな違いはなかった。また、堆積量についてはシラン流量を30,45,90sccmで一定とし総ガス流量を最大1800 sccmまで変化させた場合、総流量が小さくなるほど堆積量が増加する傾向があった。実験条件によって変化するがノズル1つあたりの堆積量は約500mg/hrであり、原料ガス中のシランの反応率は約5%であった。総ガス流量が600sccm以下の条件では、3cm×3cmの銅基板上に±10%程度で厚み数ミクロンの膜を1分かからずに堆積できることが分かった。

4. 考察

今回の結果からはシリコン微粒子は気相中で生成、成長しており、それがガス供給の主 噴流により基板へと運ばれていると考えられる。総流量が大きくなることで流速が速くな り、微粒子が基板上に堆積するのではなく基板以外の部分へ輸送されそこに付着すること で、基板上での堆積量が減少したものと考えられる。 航空機 S A R と他センサー同時搭載を目指した運用性についての検討 (Feasibility study on the operation of multi-sensor boarding on same aircraft with SAR)

浦塚清峰、情報通信研究機構 電磁波研究所

1. 研究目的

名古屋大学宇宙地球環境研究所では研究用の共用航空機の導入に向けての検討 を進めている。この共用航空機の運航には、各搭載センサー間の運用の調整が必要 となる。一方、NICTでは航空機 SAR(Pi-SAR2)の開発と実験運用を行っているが、 これまでは単独のセンサーによる観測を行ってきた。航空機を他の航空機センサー と相乗りできれば、観測機会の増加や複数データの利用による相乗効果が期待でき るが、運用方法は課題の一つである。この課題についての解決のための方策・指針 を得ることを目的とする。

2. 研究概要

本課題の目的達成のため、現行の運用形態による航空機 SAR の実験に際し、問題点の把握を行う。平成 29 年度においては、主に災害時における航空機 SAR の運用時の状況をもとに考察を進めた。

御嶽山および熊本地震時に Pi-SAR2 による観測を行った(文献 1,2)実績を振り返 ることにより、他のセンサーを同時運用した場合の制約条件についてまとめた。(1) 航空機の高度、飛行パス、(2)機内のリソース(レイアウト、電力等)、(3)タイミング (機器搭載、観測要員の予定等)が制約として挙げられる。このうち(2)は事前に調整 が可能である。しかし災害時には時間の制約の中で(1),(3)の項目を満足するのは難 しい。ただし、搭載機器が常設に近ければ、より調整は容易である。

一方、非災害時においても、高精度の計測(文献 3)を行う場合にも、同様の制約 を想定する必要がある。しかしこの場合は事前調整次第で可能なセンサーを選択す ることは可能である。

参考文献

- 1: 上本ほか,火山噴火、及び地震による被災地域の Pi-SAR2 観測,日本地球惑星科学 連合大会,幕張メッセ,2017 年 5 月.
- 2: Nadai, A. et al., "Damage Assessment using Airborne Polarimetric and Interferometric SAR: Pi-SAR2", 32nd URSI Symposium, Montreal, August 2017.
- 3: Uemoto, J. et al., "Extraction and height estimation of artificial vertical structures based on the wrapped interferometric phase difference within their layovers", ISPRS J. Photogrammetry and Remote Sensing, 139, 14-29, 2018.
数値モデリングおよびデータ解析に基づく

環電流-放射線帯エネルギー階層間結合機構の研究

Study of the ring current and radiation belt couplings based on nu merical 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、 昨年度に行った、輸送機構の基本的性質を押さえた研究をまとめた。 特に、同じエネルギーの相対論的電子に着目した場合、ピッチ角によ る共鳴するL値の位置の違いから、特定の領域に限って、バタフライ分 布を形成することを論文にまとめ、国際学術誌Journal of Geophysic al Researchに掲載が決定している。また、より現実的なULF波動での 放射線帯電子の輸送を調べるため、NASAのGSFCのシミュレーショング ループと協力し、外部磁気圏のグローバルMHDシミュレーションと、上 述の環電流コードの結合の基礎研究を開始した。初期結果は、来年度 のJpGU meetingにて発表予定である。

本研究の2つ目の柱は、Van Allen Probes衛星等を用いたデータ解 析研究である。昨年度に引き続き、イオン種毎の環電流イオンの供給 および消失過程に着目し、2013年4月の磁気嵐について、イオン質量分 析器データと同時期の地上磁場観測データの解析を行い、結果を論文 にまとめた。酸素イオンと水素イオンの輸送タイミングの違い、エネ ルギー毎の輸送機構の違いに着目して、解析を行った結果、高エネル ギー酸素イオンの拡散的輸送が宇宙嵐の発達に寄与する可能性が示唆 されており、得られた結果を国際学術誌Geophysical Research Lette rsに投稿した。また、この研究で発見された高エネルギー酸素の選択 的輸送について統計解析を開始した。なお、上記2つの研究は、名古 屋大学の大学院生の研究テーマの一部となっており、研究経費はその ための打合せ旅費として使用した。

アジアダストに付着したバイオエアロゾルの時空間変遷 Spatiotemporal change of Asian dust with bioaerosols

馬場賢治 酪農学園大学 農食環境学群

目的

アジアダスト(黄砂)は、社会活動や自然環境に寄与する現象の一つであり、これまでに大規模なプロジェ クトが行われ、物理、化学、生物など様々な側面から影響評価が行われている.また、近年ではアジアダスト により、ウイルスなどの生物粒子であるバイオエアロゾル輸送の可能性が指摘されている.その一例として、 2010 年宮崎県での口蹄疫発生に黄砂が関与していることが真木ら(2011)により指摘している.この他に、 Maki ら(2010)は、黄砂バイオエアロゾルの長距離輸送について研究を行い、日本での観測事実を報告してい る.バイオエアロゾルを観測する試みは、幾つか存在しているが、ウイルスなどの生物起源物質の保存を考慮 した大気場の過程や状況について考察している試みはほとんどない.そこで、本研究では、アジアダストに付 着したウイルスなどの生物起源物質が大気場輸送中に保存される環境場についての理解やそれらの多寡や変 遷について時空間的な解釈を行う.

研究方法

気象モデル CReSS やリモートセンシングデータ, ライダーデータを基に, 実測と理論(モデル)の双方から, アジアダストの挙動について明らかにする.併せて, アジアダストイベント毎の経路と症状発祥地との関連も 含めて評価を行う.

結果と考察

我々が観測を始めた 2012 年以降を中心に大型計算機上において,気象モデル CReSS を用いてシミュレーシ ョン解析を行った.実際現地観測を行った時期に必ず大規模なアジアダストが発生している訳ではないため, 事例解析が中心となった.この期間内でタイミングよくアジアダストが現地においてライダーや目視におい て観測され,日本付近でも黄砂として観測された例は 2012 年のみであった.2012 年の事例について,CReSS の結果を用いて,後方流跡線解析を行った.4月30日に札幌で黄砂が観測されたため,これに基づく後方流 跡線解析はモンゴル南部のゴビ砂漠付近を起源としていた(図1).Sainshandと札幌のライダーによるエアロ ゾル観測の結果からは,Sainshand付近において,4月29日に発生したアジアダストを捉えており,翌30日 には札幌においてアジアダストが観測されている.一方,アジアダスト発現日の29日9時を初期値としたモ ンゴルゴビ Sainshand からの拡散実験によると,アジアダストは同地域から北海道方向に指向している(図省 略).対流圏下層から中層にかけて,アジアダスト群は南北方向にほとんど拡散せずに,東へ運搬されていた. アジアダストは上空まで巻き上がれば,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.

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(現在修正投稿中).これらから,フットプリントとしてバイオエアロゾルが利用出来,物理

199

的な側面と生物・化学的な側面から、モンゴルゴビ砂漠から日本へのアジアダスト流入が確認出来た.

偏西風が強い場合にアジアダストが発生する訳でもなく,春までの降水量や前年の植物生産量などが効いて くるため、事例を増やす必要がある.

今後の課題

アジアダストの発生や境界層を超えて自由大気に入るメカニズムについては未解明な部分があるため、事 例を増やし、モデルデータや観測データから理論的に解明することが急務である.現地でのバイオエアロゾル のソースと考えられるドライレイクやワジを中心に、バイオエアロゾルの種別の調査を行い、解析中である. また、同地域で簡易風洞実験を用いて、バイオエアロゾルの発生についても予備実験調査を行っている.今後、 これらを基に多角的に理解を行う予定である.



図1 2012年4月30日00UTCの地上気圧・風・降水 量分布および24時間の後方流跡線. 黄色い枠線がモ ンゴルゴビに相当.



2012-04-30-T19-19-56ZM



図 2 CALIPSO によるエアロゾル判別. 衛星軌道(上 段:赤線), Feature type (中段), および, Aerosol subtype (下段).

Feature type が 3, 且つ, Aerosol subtype の水色 がアジアダスト(黄砂)に相当.

成果発表:

馬場ほか, CALIPSO を用いた 2012 年 4 月のダストストームの時空間変遷について, 日本気象学会, 名古屋大学, 2016 年 10 月 28 日.

馬場ほか,モンゴルゴビ砂漠 Sainshand 付近のバイオエアロゾル集積地における飛散実験について,日本気象 学会秋季大会,北海道大学,2017年10月31日 日本気象学会2017年度春季大会雲・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、2019年度に打 上が予定されている衛星搭載雲レーダ(Earthcare/CPR)の地上検証実験に向けて開発されており、従来のレー ダにない電子走査機能を有するなど航空機搭載のメリットがある一方で、重量・寸法・形状・機械環境・レドーム・ 無線局免許などの点で、航空機搭載を行うためには解決すべき課題が多数存在する。Ka帯の衛星搭載降水レ ーダ部分モデルは、2014年に打ち上げられ、現在軌道上で運用中の衛星搭載二周波降水レーダ(GPM/DPR)の Ka帯レーダの部分モデルで、こちらについても同様の利点と課題が存在する。本課題では、これら課題の洗い 出しを行い、航空機搭載の実現に向けての解決策を検討する。これらのレーダの航空機搭載が実現できれば、 上空からの雲・降水システムの詳細観測が可能となる。

2. 研究方法

航空機搭載レーダでの雲・降水観測の一つの重要な観測量である、ドップラー観測データの解析手法について、NICTで開発・航空機観測実験を実施された Ku帯(13.8 GHz)の航空機搭載降雨レーダ(CAMPR)の全ヒットデータを使って実施するため、1996年から2001年に実施された航空機観測実験データの調査を実施した。調査結果の一部については、2017年5月25日に国立オリンピック記念青少年総合センターで開催された「日本気象学会2017年度春季大会」において、"情報通信研究機構での偏波気象レーダ開発について"という発表を行なった。

3. 本年度の研究結果

CAMPR(Kuバンド航空機搭載降雨レーダ)を利用し、上空から真下方向やそれ以外の入射角での降雨、海面 散乱の観測データが多数あるが、その多くは積分モードでの観測データであり、解析手法に関しての検討に利 用可能な全ヒットデータは、容量が大きく、転送時間が長く必要になるので、航空機実験では、少数の測定例に 限定され、さらに鉛直直下方向以外の観測例は、1999年夏季の X-Baiu-99 と 2001年冬季の WMO-2001 で の2例であった。図1にその後者の冬季の海上での観測例を示す。



図1 CAMPR(Kuバンド航空機搭載降雨レーダ)による全ヒットデータが取得された



図2 全ヒットデータから計算された海面エコー・降雨エコーのドップラースペクトラム(主偏波)

図2に示すのは、全ヒットデータ(連続 1024 ヒットの観測データで、送信偏波は HV 切替であったため、主偏 波 H送信H受信 または V送信V受信は、半分の 512 ヒット)から、通常の FFT で計算されたドップラースペ クトラムで、CAMPRアンテナのビームの広がりに伴う、ドップラースペクトラムのピークの広がりが発生していて、 このままの処理では、海面エコー・降雨エコーの分離が容易ではない。海面エコー・降雨エコーの適切なモデル 化を行い、それらのパラメータ推定手法を実データを用いて検討を実施する必要がある。

成果発表(口頭発表)

1. 花土弘・佐藤晋介・中川勝広・堀江宏昭・佐藤健治・大野裕一・井口俊夫(情報通信研究機構)、高橋暢宏(名 古屋大学), "情報通信研究機構での偏波気象レーダ開発について", 日本気象学会 2017 年度春季大会, 国立オリンピック記念青少年総合センター, 2017 年 5 月 25 日. あらせ衛星を用いた地球内部磁気圏リングカレント イオン圧力変動に関する研究 Study on the evolution of ring current ion pressure distributions using the ARASE spacecraft

桂華邦裕、東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻

研究目的

磁気嵐は、地球内部磁気圏リングカレントを規定するプラズマ圧の増加により発達するが、 プラズマ圧を担う粒子(リングカレントイオン)は数keVから数100 keVの水素および酸素イ オンである。本研究では、2016年12月20日に打ち上げられたジオスペース探査衛星あらせ

(ERG)で得られるデータを主に用いて、リングカレントイオンの生成過程およびイオン 圧の時間空間変動と質量依存を調査し、磁気圏プラズマの輸送および加速過程の特徴を明 らかにする。

研究方法•研究結果

本研究では、あらせ衛星搭載MEP・i粒子検出器で得られたデータを用いて、あらせ衛星が これまで観測した6つの磁気嵐の主相と初期回復相における、水素および酸素イオンのエネ ルギー密度の空間分布を調べた。次に、エネルギー密度に対してどのエネルギー帯が多く 寄与しているか、各粒子種について調べ、その「寄与エネルギー帯」が地心距離にどのよ うに依存するか調べた。その結果、水素イオンの寄与エネルギー帯は、深内部磁気圏(L値 が4~5以下)では20-80 keV、静止軌道付近(L値が4~5以上)では40-100 keVであった。 また、酸素イオンの寄与エネルギー帯は深内部磁気圏では水素イオンと同じであったが、 静止軌道付近では60-150 keVであった。

<u>考察</u>

今回の結果のうち、寄与エネルギー帯が地心距離に依存する点は、低エネルギーイオンほど地球近くまで輸送されることと一致する。静止軌道付近における寄与エネルギー帯の質量依存は、サブストーム活動などに伴い酸素イオンが効率的に加速を受け、内部磁気圏圧 力増加に影響を与えていることを示唆している。

<u>成果発表</u>

- <u>Keika, K.</u> et al., Energy and mass dependence of the contribution to storm-time plasma pressure observed by Arase/MEP-i, AGU Fall Meeting 2017, New Orleans, December 12, 2017.
- <u>Keika, K.</u> et al., Energy and mass dependence of the contribution to storm-time plasma pressure: Arase/MEP-i observations, SGEPSS 2017 Fall Meeting, Kyoto University, October 17, 2017.
- <u>Keika, K.</u>, Multi-spacecraft simultaneous observations of magnetospheric ion dynamics on storm and substorm time scales, Van Allen Probes - Arase Joint Meeting, Kyoto University, October 14, 2017.

MPレーダと雲解像モデルを利用した降水量の推定・予測に関する研究 Studies on estimation and prediction of precipitation using MP radar and cloud-resolving model

若月泰孝·茨城大学·理学部

本研究では、名古屋大学が所有するX-band MPレーダ(X-MP)を降水量の推定予測に 用いる研究を実施した。名古屋大学のX-MPは沖縄県の琉球大学に設置されている。ここで ルーチン的に運用されているX-MPのスキャンモードを、国立研究開発法人情報通信研究機 構(NICT)沖縄電磁波技術センターの方向に向けて、下層大気のみ鉛直方向にスキャンす る(RHIスキャン)ように修正した。この観測データを収集すると同時に、NICTに設置し てある地上の雨滴粒径分布観測データを収集した。観測データの分析は現時点で終わって おらず継続中である。

雲解像モデルを用いた短時間降水予測研究を推進している。上流下層加湿法(若月,201 5)に基づく予測を、九州北部豪雨に適用した。この予測は、2時間程度先までの予測を1 0分毎に更新するもので、レーダ観測情報をデータ同化している。この際、観測にない偽 物の強雨を消すスキームを導入した。降水のない領域は、周辺大気場になじむようにナッ ジングでフォーシングをかける。この時、強い強制をかけると60分程度さきまでの強雨 の予測精度は顕著に向上したが、逆に2時間程度先までの予測精度を著しく低下させた (図)。一方弱めの消去フォーシングをかけると、直近での劇的なスコア改善は見られな かったが、全体的にはスコアは比較的よい結果となったが、消去スキームを導入しない場 合との差はあまり見られなかった。強い強制をかけると、降水システムの維持に関わる周 辺大気場の構造を壊してしまう可能性があるため、予測精度が長期間維持しないと考えら れる。



図:九州北部豪雨を対象とした上流下層加湿法による短時間降水予測での10mm/h以上の降 水強度の予測のスレットスコア(CSI)。横軸は予測時間(若月と五十嵐, 2017) 参考文献

若月泰孝, 2015:上流下層加湿による積雲対流の予測実験.土木学会論文集B1(水工学), 71 (4), I_505-I_510

若月泰孝, 五十嵐大地, 2017:上流下層加湿法による短時間降水予測実験.日本気象学会20 17年度秋季大会予稿集

NoRHによる太陽コロナ磁場診断と

IPS観測による太陽風との統計的解析

Statistical analysis of solar coronal magnetic study of NoRH and solar wind of IPS obserbation

野澤恵,茨城大学·理学部

Introduction

太陽大気はプラズマで構成されており、太陽上の様々な現象は磁場と密接に関わっている。特にコロナ中では磁場がプラズマの挙動を支配しており、コロナの磁場を測定することはコロナ中の諸現象を理解することに繋がる.しかし、光学観測によるコロナ磁場の測定はその光量の乏しさから非常に困難である.

一方,電波観測を用いればコロナ磁場の測定が可能になる.電波による磁場測定手法を 初めて示したのが Bogod & Gelfreikh (1980) である.その原理は,磁場存在下のプラズ マから放射される熱制動放射の右円偏波と左円偏波で有意な強度差が発生することを利用 し,その強度差から視線方向磁場を求めるというものである.また,Iwai & Shibasaki (2 013) では,野辺山電波ヘリオグラフ (以降 NoRH) を用いた磁場測定手法を確立した.し かし同時に,NoRH によって得られる偏波成分は彩層成分とコロナ成分の積分量であると いう結論に達している.

本研究では、NoRH によって彩層・コロナ磁場の測定を行い、更に 2 層大気の仮定及び SDO 衛星の観測データを用いることで彩層とコロナの偏波成分の分離を行った. そして それらの観測データを用い、太陽風のプロトン密度と速度との相関を調べる。

Analysis

SDO/HMI の光球視線方向磁場と NoRH 17 GHz から得られた偏波の分布及び極性が 一致していることが確認された.また,領域ごとの詳しい考察を行った結果,先行研究と 同じく,活動領域中心部では彩層とコロナの偏波成分が混在しているという結果が得られ た.本研究で使用した理論ではこの活動領域中心部の成分分離を行うことは出来ず,その 分離にはさらなる付加的データや,モデルとの比較が必要であるという結論に達した.

Results

彩層磁場の弱い活動領域外縁部では,得られる偏波成分のほとんどがコロナ起因のもので あり,100 - 400 G 程度のコロナの視線磁場強度を得ることが出来た.しかし,この値は あくまでエミッションメジャーで重み付けのされた量であり,未だに多くの曖昧さを抱え ている.また,コロナ磁場の詳細な 3 次元構造を議論するには NoRH の 17 GHz での 偏波観測だけでは不十分であり,将来的には複数の周波数で偏波観測を行う必要があると いう結論に達した.ただし、フレアを発生させない弱い活動領域でないと、この磁場診断 が難しいため、統計的な数を得るだけのイベントを見出すことができず、IPS観測による太 陽風などとの相関を取るまでには達しなかった。



Figure 1 2010 年 7 月 16 日 4:00(UT) に 17 GHz で 観測された太陽全面の電波強度 (I). と偏波量(P)



Figure 2 Figure1 と同じ領域を **SDO** で観測したもの。磁場と **171A** の紫外線にポテンシャル磁場と **NoRH** で観測された磁場を重ね合わせた。

地上デジタル放送波を用いた水蒸気遅延測定 Measurement of propagation delay due to water vapor using digital terrestrial broadcasting waves

川村 誠治、情報通信研究機構 · 電磁波研究所

1. 研究目的

情報通信研究機構(NICT)では、地デジ放送波の伝搬遅延を精密に測定することで水蒸 気を推定する手法の研究開発を進めている[1]。本手法が確立して多点展開が進めば水蒸気 を面的に常時モニターすることが可能となり、局地的大雨(通称ゲリラ豪雨)などの時空間ス ケールの小さな極端現象の予測精度向上も期待できる。

NICTでは既に東京で観測を開始しているが、本研究では、この装置を名古屋大学に持ち 込んで観測を行う。東京とは異なるエリアで異なる電波塔からの地デジ放送波を観測する ことで新たに遭遇する課題に対応し、観測システムの改良を進めること、及び、実際の観 測データを継続して取得し、気象予測へつながる観測研究を行うことを目的としている。 近い将来、観測装置をより小型化して都市部で多点展開することを計画しており、本課題 は名古屋域での展開の足がかりとなるものである。

2. 手法

名古屋大学宇宙地球環 境研究所(ISEE)の屋上に 地デジアンテナ及びNICT で開発している地デジ波 遅延測定装置を設置し、伝 搬遅延測定を実施する。名 古屋大学から約10 km離 れている瀬戸デジタルタ ワー(送信出力3 kW、図 1参照)から送信されてい る地デジ放送時の直達派 と反射波を同時に受けて、 直達波と反射波の遅延差



図 1: 観測配置図。

から、受信地点と反射体との間の水蒸気変動量を伝播遅延量変動という形で推定する。今回反射体として使ったのは、ISEEから南西約700 mに位置する名古屋FM送信所鉄塔である。位置関係は図1に示す通りであり、得られる伝搬遅延量変動は主にISEEと名古屋FM送信所鉄塔の間のものと考えることができる。

3. 本年度の研究結果

測定結果の例を図2に示す。赤線は2017年11月9日0時から11時まで(2017年11月8日15U Tから9日2UTまで)の約11時間分の地デジで測定した伝搬遅延量変動(1 kmあたりの遅延 量に換算)である。青線はISEEから北北西約2 kmに位置するアメダス名古屋(図1参照)で 測定された地上気温・気圧・湿度から計算した1 kmあたりの遅延量である。アメダスを用 いて計算した伝搬遅延量は、一点観測の値が1 kmの間一様と仮定して算出したものであり、 かつその測定点は地デジ測定点とは約2 km離れている。このため両者は必ずしも一致する 必要はないが、大きな変動の様子は比較的良い一致を示している。ただし、地デジによる 測定値(赤線)は100 ps程度の非常に大きな変動幅を持ったランダムな数分周期の変動を 伴っている(赤線が太く見えている部分)。こ れはこれまでの関東での測定例には見られ ない特徴である。

この大きな変動の原因を検討した。今回 使用している測定装置はソフトウェア無線 デバイスであるUSRP-N210を用いており、 これにテレビ受信用のドーターボードTVR X2を組み込んで信号をAD変換している。T VRX2はAGC(自動利得制御)が切れない 仕様になっている。仮にフェージングによ る受信信号強度変動が起こっている場合、 その強度変動をAGCが補正するときに位相



変動を伴ってしまっている可能性が考えられる。そこで、2018年1月9日~10日にかけてT VRX2の代わりにAGC機能の付いていないドーターボードWBXを持ち込んで試験観測を実 施した。その結果、受信信号強度変動は起こっておらず、WBXでも同様の大きな位相変動 が観測されたため、この現象がフェージングによるものではないことが分かった。

地デジ測定装置はISEE屋上のX帯気象レーダのコンテナ内に置いてある。試行錯誤の結 果、このレーダの運用を停止したところ位相変動が無くなり、位相変動の原因が同レーダ によるものであることが判明した。

4. まとめ

ISEE屋上で地デジを用いて測定した伝搬遅延変動は、アメダス名古屋の観測値から計算 した変動と大きな傾向が良い一致を示し、妥当な観測ができていることが分かった。一方 で地デジ測定の伝搬遅延には100 ps程度の大きな変動が乗っており、その変動の原因が同 位置にて運用しているX帯気象レーダにあることが分かった。今後、測定場所を近くの建物 に移して試験観測を継続する予定である。

参考文献

1. Kawamura, S., et al. (2017), Water vapor estimation using digital terrestrial br oadcasting waves, *Radio Sci.*, 52, doi:10.1002/2016RS006191.

成果発表(口頭発表)

- 1. Kawamura et al., Water vapor estimation using digital terrestrial broadcasting waves, JpGU 2017, Chiba, 2017/5/23.
- 2. 川村他、地デジ放送波の複数の反射波を用いた水蒸気推定、気象学会 2017 年度春季大 会、代々木、2017/5/25.
- 3. Kawamura et al., Water vapor measurement using propagation delay of digital terrestrial broadcasting waves, MST radar workshop, Tachikawa, 2017/5/30.
- 4. Kawamura et al., Water Vapor Measurement System using Digital Terrestrial Broadcasting Waves, 38th Conference on Radar Meteorology, Chicago, 2017/8/29.
- 5. 川村他、地デジ放送波を用いた水蒸気観測の現状、SGEPSS2017 年度秋大会、京都、 2017/10/16.
- 6. 川村他、地デジ放送波を用いた水蒸気量推定手法の研究開発・遅延量の絶対値推定・、気 象学会 2017 年度秋季大会、北海道、2017/11/1.

冬季における名古屋の都市エアロゾルの雲凝結核活性 Cloud condensation nucleus activity of urban aerosol over Nagoya in winter

持田陸宏、名古屋大学·大学院環境学研究科

大気エアロゾルは雲凝結核(CCN)として作用することで雲の生成に関与し、それによっ て地球の放射収支に影響を及ぼしている。都市域のエアロゾルの CCN 活性は、域内におけ るエアロゾル・前駆気体の多様な放出や、域外からのエアロゾルの流入の影響が、気象条 件等によって変動することが考えられ、その特徴の把握は容易ではない。本研究では当初、 冬季の名古屋における大気エアロゾルの CCN 活性の特徴を把握するための観測を実施する 予定であったが、今回は観測の実施を見送った。本研究に寄与する取り組みとして、名古 屋で過去に採取した大気エアロゾル試料を用い、エアロゾルの CCN 活性を規定する因子の ひとつである表面張力の解析を行った。

表面張力の解析には、2013 年の夏季に名古屋で取得した大気エアロゾル試料(3 試料) を用いた。まず、フィルタ上に捕集されているエアロゾル成分を水で抽出し、異なる濃度 の抽出物水溶液を作成した。そして、表面張力計(DM-301、協和界面科学株式会社)を用 いて、抽出物水溶液の表面張力を懸滴法によって測定した。この測定では、針先に液滴を 作成した上、撮影された液滴の形状を Young-Laplace 法によってフィッティングすること で表面張力を求めた。なお、この測定では動的表面張力に着目し、測定開始直後から5分 後までの表面張力の変化を調べた。CCN の実時間観測では、エアロゾル粒子の表面張力の情 報が得られず、粒子のバルク吸湿性と表面張力がそれぞれどの程度 CCN 活性に寄与してい るのかを把握することが課題として残されている。本研究で得られたデータは、今後、客 観的なデータスクリーニング法を適用した上で最終化する必要があると考えられるが、名 古屋の実大気 CCN の観測データを解釈する上で役立つと期待される。なお、今回の表面張 力の解析には夏季に取得された大気エアロゾル試料を用いたが、冬季には、光化学活性が 弱まることで二次的なエアロゾル成分の生成が抑制される、低い気温により半揮発性物質 の粒子化が促進されるという特徴が考えられる。これまでに採取した冬季の大気エアロゾ ル試料を対象とする同様の実験による表面張力の季節性の解析について考えたい。また、 未実施となった冬季の名古屋における CCN の実時間測定について、今回の結果を踏まえて 検討を行いたい。

謝辞:本研究は、名古屋大学大学院環境学研究科の中村優亜氏と協力して行われた。表面 張力の測定は、名古屋大学工学研究科の長野方星教授と岡智恵美研究員の協力により行わ れた。本研究の解析は、名古屋大学大学院環境学研究科の陳慶彩博士、鄧彦閣氏、小川修 平氏、北海道大学の宮崎雄三博士、川上裕実氏の協力により行った大気エアロゾル水抽出 物の CCN 活性の解析の一環として実施した。 夏季インド北東部・アッサム州の豪雨に対する季節内変動の影響 Effects of intraseasonal oscillations on heavy rainfall over Assam, India during summer

福島 あずさ(神戸学院大学人文学部・講師)

1. 研究目的

本研究は、インド北東部に独自に設置した雨量計により、地上観測に基づく降水現象の地域特性と季節内変動との関連性を明らかにすることを目的とする.特にアッサム州内のブラマプトラ川北岸でモンスーン季に頻発する大雨(日雨量100-200mm程度)の要因に着目し、ヒマラヤ南縁での降水現象に対する大気循環場の季節内変動(準2週間周期変動等)の影響について解析する.本年度はデータセットの延長(2012-16年の追加)を行った上で、各観測地点において日降水量が90パーセンタイル値を超す事例を抽出し、インド気象局によるグリッドデータセットとの比較を行った上で、事例の分析を進めた.

2. 研究方法

インド・アッサム州内に設置している15地点の転倒 ます型雨量計のデータを用いた(図1).対象期間はQ Cの済んでいる2007年1月-2016年12月とした.またデ ータの検証及び比較のため、インド気象局が作成した 1901-2013年の日降水量グリッドデータセット(IMD4) (Pai *et al.* 2014)を利用した.

降水特性を把握するため,各地点の降水強度別頻度 を求め,地域差を比較した.その後各地点で日降水量 99パーセンタイル値の事例を抽出し,グリッドデータ と降雨特性を比較した上で,循環場のコンポジット図 を作成し,分析した(循環場データはERA Interimを 利用).



図1 対象観測地点の位置(色は2009年 8月の月降水量値を表す)

3. 結果と考察

① 降水階級別頻度の地域性

アッサムの15地点の雨量計観測 データから,降水強度別に5階級に 分けた降水頻度を集計し,全降水 頻度に対する比を求めた.図2によ れば,州西部 (Kokrajhar, Goalpa ra, Narbari)およびブラマプトラ 川右岸 (Sankardev College (North Lakhimpur), Dhemaji)および州南 部 (Haflong, Hailakandi)において 強い雨 (降雨強度50mm day⁻¹以上) の寄与率が高い傾向がみられた.



②IMD4グリッドデータと観測における極端現象の比較

次に極端な大雨事例について、グリッドデータと雨量計観測値の比較を行った.具体的には、90、95、99パーセンタイル値を算出して散布図を作成した(図3).結果から、多くのケースでIMD4のデータは観測値を下回っており、その傾向はより極端な大雨現象を意味する99パーセンタイル値で特に大きいことがわかった.また、強雨頻度が大きい地点(Kokrajhar, Sankardev College, Haflong)で、99パーセンタイル 値の乖離が大きいことも明らかになった.いくつかの事例を分析したところ、この要因として、局地的に起こる強雨事例でグリッドデータが十分に解像できていないケー

スが見つかった.したがってこれらの事例の解析には、雨量計観測データをグリッド 化せず,地点ベースで分析するのが適切ではないかと考えられる.

Jan L

③豪雨事例のコンポジット 解析

地点毎に、日降水量99パー センタイル値を超す事例に ついて,大気循環場のコンポ ジット図を作成した.最も強 雨 頻 度 の 高 い Kokrajhar (ア ッ サム州西部)は、期間中に15 事例があり、そのうち9事例 がモンスーン季 (JJAS) にあ たる. 図4は850hPaの高度と

風のコンポジット(左図)および水蒸 気フラックス(鉛直積算)(右図)を, 気候値(全期間平均)からの偏差で表 している.これらによれば,ベンガル 湾北部からバングラデシュの沿岸部 にかけて正偏差(高気圧性偏差)域が 広がる.一方で観測点付近はヒマラヤ 南麓を中心に,弱い低気圧性偏差とな っており,水蒸気の強い収束が起こっ ている.水蒸気フラックスは西からの 移流強化を示唆しており、ベンガル湾 周辺からの南あるいは南東寄りの移 流が弱まるタイミングでの豪雨の発 生が示唆される.

次年度は、今年度の成果に加え、昨 年度に行った50mm h⁻¹を超す事例の ケースの分類を踏まえ,特にモンスー



図 4 Kokrajhar における 90 パーセンタイル事例の循環場のコンポ ジット(気候値からの偏差,99%で有意なグリッドにハッチ) 左図: 850hPa 高度差と風ベクトル,右図:水蒸気フラックスと その収束(鉛直積算)

ン 最 盛 期 (6-8月) の 事 例 を 中 心 に , 季 節 内 変 動 と の 対 応 関 係 に つ い て 解 析 を 進 め , 本研究全体の成果としてまとめたいと考えている.

4. 引用文献

Pai DS, Sridhar L, Rajeevan M, Sreejith OP, Satbhai NS, Mukopadyay M, 2014: Development of a new high spatial resolution $(0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ})$ Long Period (1901-2010) Daily gridded rainfall data set over India and its comparison with existing data sets over the region. MAUSAM, 65, 1-18.

5. 成果発表

(国内学会・研究集会発表)

- 1. 福島あずさ "Regionality of long-term trend and interannual variation of seasonal precipitation over India (インドにおける季節降水量の長期トレンドおよび経年変動の地域性)" 南アジア研究集会「ア ジアにおけるグローバル問題群を考える-南アジア諸国と日本の比較を中心に-」奈良女子大学,奈 良, 2017.12.17.
- 2. Fukushima A, Hayashi T, Terao T, Murata F, Kiguchi M, Yamane Y, Tanoue M, Fujinami H "Rai nfall characteristics of Assam, India -comparison of the rain gauge observation and the gridded da ta-" XI IGU Commission Seminar, B. Borooah College, Guwahati, Assam, India, 9th Feb. 2018 (In vited)
- 3. Fukushima A "Rainfall characteristics of Assam, India -comparison of the rain gauge observation a nd the gridded data-" International workshop on Hydro-meteorological modeling for flood predictio n in North East India, ICRC Cotton University, Guwahati, Assam India, 7th Mar. 2018

二酸化窒素とヨウ化物イオンの反応による気相へのヨウ素放出 Gaseous iodine emission from the reaction of nitrogen dioxide with aqueous iodide

薮下 彰啓、九州大学・総合理工学研究院

研究目的

ヨウ素は対流圏オゾン破壊やエアロゾルの生成に関与しており、大気環境や気候に影響を及ぼしている。ヨウ素の大気中における反応機構は比較的明らかになっているが、そのヨウ素の放出源は十分に解明されていない。本研究で計測するヨウ素分子に関して、沿岸域では藻類などによる放出が知られているが、外洋では未解明な部分が多い。外洋の放出源として、これまでの研究によりオゾンとヨウ化物イオンの不均一反応によるヨウ素分子の無機的放出が提案されている。新たなヨウ素分子の放出過程の一つの可能性として、大気汚染ガスである二酸化窒素(NO₂(g))と海水中に微量に含まれるヨウ化物イオン(I・)の反応を探り、その反応によって気相中に放出されるヨウ素(I₂(g))の計測を試みた。また、水微粒子中に0.1 mM程度のハロゲン化物イオンが存在するとNO₂の取り込み係数が(1)の反応に比べ100倍程度増加することが明らかになっている。さらにこの反応時間は数ms程度である。

 $2NO_2(g) + H_2O(l) \rightarrow NO_3(aq) + HONO(g) + H^+(aq)$ (1)

もしこのような速い取り込み反応が起こるのであれば、同時に早いヨ ウ素の生成が起こる可能性がある。そこで、30分程度の遅い反応と数 秒オーダーの早い反応の両方の計測を試みた。

研究方法

ガラスセル内に 0.5-50 mM ヨウ化カリウム水溶液 (KI(aq))を 70 mL注 ぎ、(0.5-4.0)×10¹⁴ molecules cm⁻³ NO₂ (g)を総流量3 slmで流入させ て反応させた。室温、圧力 100 Torrで実験を行った。キャビティーリ ングダウン分光法 (CRDS)を用いて、531.4-532.4 nmの領域で波長掃引 を行い、吸収スペクトルを測定した。続いて I₂(g)のみを流入させて同 波長範囲のスペクトルを測定して比較し、NO₂(g)と I⁻(aq)の反応による I₂(g)の放出を確認した。

次に、流入させたNO₂(g)と生成したI₂(g)濃度の時間変化の計測を試みた。I₂(g)とNO₂(g)は531.4-532.4 nmの範囲で両方とも吸収をもつ。 そこで、532.198と532.305 nmの波長で上述と同様の条件の下、それ ぞれ測定を行い、[NO₂(g)]と[I₂(g)]の時間変化測定を試みた。

結果

50 mM KI(aq)に4.0×10¹⁴ molecules cm⁻³NO₂ (g)を導入して30 分間閉鎖系で保持し、波長掃引を行い気相に放出された成分の吸収ス ペクトルと、 $I_2(g)$ 吸収スペクトルを測定して比較し、 $NO_2(g)$ とI(aq)の反応により $I_2(g)$ が放出されていることを確認した(図1)。

次にNO₂(g)とI⁽(aq)の反応によって気相中に放出される[I₂(g)]と[NO₂(g)]の時間変化測定を試みた。KI(aq)濃度を0.5, 2.5, 5, 50 mMと変化させ、フロー時間10分間でそれぞれ測定した。この結果、I₂(g)の気相への放出は確認されなかった。数秒オーダーではI₂(g)は放出されない可能性が示唆された。



図 1 50 mM KI(aq)に 4.0×10¹⁴ molecules/cm³ NO₂(g)を流入させてから 30 分後の吸収スペクトル (灰色) とヨウ素吸収スペクトル (黒色)

図 2 2.5 mM KI(aq) に 5.0×10¹³ molecules/cm³ NO₂(g)を流入させたときの NO₂(g)と I₂ (g)の濃度 変化

 NO_2

100 時間(s)

 I_2

100

時間(s)

まとめ

遅い反応については、(2)(3)反応によって生成したヨウ素であると考 えられる。

 $2 \operatorname{NO}_2(\operatorname{N}_2\operatorname{O}_4) + \operatorname{H}_2\operatorname{O} \rightarrow \operatorname{HNO}_3 + \operatorname{HNO}_2$ (2)

 $2I^{-} + 2HNO_{2} + 2H^{+} \rightarrow I_{2} + 2NO + 2H_{2}O$ (3)

現在の実験条件下において、数秒の早い反応時間ではNO₂(g)とI·(aq)の反応によって気相へI₂(g)は放出されなかった。今後はKI(aq)の濃度依存性、NO₂(g)の濃度依存性、pH依存性などを調べ、反応機構の解明を行う。

高エネルギー降下粒子が金属原子層・金属イオン層に与える影響 Impact of the energetic particle precipitation on the metallic atom/ion layers

津田卓雄, 電気通信大学 情報理工学研究科

背景と目的

中間圏・下部熱圏領域には流星起源とされるNa原子・Naイオンなどの金属原子層・ 金属イオン層が分布している.当該高度範囲は、電離圏D領域・E領域に位置し、磁気圏 からの高エネルギー降下粒子による金属原子層・金属イオン層への直接的な影響が予想 されるが、その詳細については不明な点が多い.

本研究では,磁気圏から超高層大気へと降り注ぐ高エネルギー降下粒子がNa原子 層・Naイオン層などの金属原子層・金属イオン層に与える影響に関する理解を前進さ せることを目指している.特に,現在入手可能な長期の(複数年以上の)データセット の収集と解析を行い,統計的性質に関する調査を中心に進めていく.

研究進展状況

Odin/OSIRISによる極軌道可視分光観測から得られたNa原子の密度データ (2004-2010年)の収集と解析を進めた.AE指数を基準にしてNa原子密度データを分 類し、オーロラ活動の活発化に伴ってNa原子密度がどのように変化するか調査した. その結果、オーロラ活動が活発になると両極域の高度~95 km以上の領域でNa原子密 度が減少する傾向にあることを見出した.

更に、Odin/OSIRISによる極軌道衛星データ(LT固定データ)に加え、地上定点観測 データである南極昭和基地ライダー(69.0°S、39.6°E)によるNa原子の密度データ (2000-2002年)を用い、特にMLT特性に着目して調査を進めた.Odin/OSIRISのデー 夕解析と同様に、AE指数を基準にしてNa原子データを分類し、オーロラ活動の活発化 に伴ってNa原子密度がどのように変化するか調査した.その結果、オーロラ活動が活 発になると高度~94 km以上でNa原子密度が減少する傾向が見られ、Odin/OSIRISの 結果で見られた高度~95 km以上におけるNa原子密度の減少傾向と整合的であった. また、Na夕方から真夜中、朝方へとMLTが時間進行するにつれてNa原子密度の減少率 が大きくなることが判明した.オーロラ降下粒子フラックスの増大がMLTの時間進行 に伴って起こる傾向と整合的である.以上のことから、オーロラ降下粒子による効果

並行して、オーロラ降下粒子が起こすNa原子密度の減少プロセスをより詳細に理解 するため、Naの化学過程に関するモデル開発に着手している.



学術論文 (査読付)

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

<u>招待講演</u>

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

高解像度気象シミュレーションデータを用いた

洋上電力システムの運用技術に関する研究

Research on operation technologies of offshore power systems using high-resolved weather simulation data

薄 良彦, 大阪府立大学·工学研究科

研究目的 · 方法

本研究の目的は、高解像度気象シミュレーションのデータを利用した洋上電力システムの運用技術に関する検討である。研究方法としては、貴研究所で開発されてきた雲解像モデル(CReSS)によるシミュレーションデータを用いること、ならびに電力システムの数理モデリング手法を採用し、①シミュレーションデータに基づく実地洋上ウィンドファームのアセスメント、ならびに②洋上ウィンドファームからの電力輸送に必要な交流・自励式直流送電混在システムのモデリングの検討を行った。

研究結果

- ① CReSSデータに基づく実地洋上ウィンドファームのアセスメントを実施した。具体的には、空間解像度2km/時間解像度30分の予測データ、ならびに空間解像度200m/時間解像度1秒の予測データを用いて、茨城県神栖市沿岸の洋上ウィンドファームにおける風況ならびに風力出力を評価し、実測データとの比較検討を行った。この結果、CReSSが風向ならびに風速スペクトルの評価に有効であることを明らかにした。この結果は貴研究所所員との共著論文として出版された[1]。
- ② CReSSデータの組み込みを想定した、交流・自励式直流送電混在システムのモデリングを実施した。具体的には、欧州北海における洋上ウィンドファームならびにヨーロッパ大陸側の広域交流システム、それらを連系する自励式直流送電のモデル化に向けた取り組みを進めた。この結果については国内学会で報告を行った[2]。また、この研究テーマについて、JSTのプロジェクトとしてノルウェーならびにドイツと共同研究を2018年4月に開始するに至り、今後の展開の基礎を本年度の貴研究所における取り組みで与えることができた。

まとめ

本研究では、CReSSシミュレーションデータを用いた洋上ウィンドフ ァームのアセスメント,ならびに交流・自励式直流送電混在システム のモデリングを行った。なお,前年度の研究成果が共著論文として出 版されたことを付記する[3]。

成果発表

[1] F. Raak, Y. Susuki, K. Tsuboki, M. Kato, S. Eguchi, an d T. Hikihara, Assessment of offshore wind farm character istics with the cloud resolving storm simulator: A case study in Japan, Wind Energy, Doi:10.1002/we.2176, March 2 018.

- [2] 大橋悠介,薄良彦,石亀篤司,舟木剛,自励式変換器を用いた交直 混在システムの動特性モデリングに関する一検討,電気学会電 力・エネルギー部門大会,ポスターセッションP46,pp.91-92,明治 大学,2017年9月.
- [3] F. Raak, Y. Susuki, K. Tsuboki, M. Kato, and T. Hikiha ra, Quantifying smoothing effects of wind power via Koopm an mode decomposition: A numerical test with wind speed predictions in Japan, Nonlinear Theory and Its Applicatio ns, IEICE, vol. 8, no. 4, pp. 342-357, October 2017.

SIに伴い中緯度SuperDARNで観測されるFLR現象の統計的解析 SI-associated FLR phenomena observed by mid-latitude SuperDARN radars

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

【研究目的】

SI (Sudden Impulse) は太陽風動圧の急増現象で、地上では磁場強度の急増として観測される。SIは圧縮性 波動fast mode wavesとして磁気圏内を伝わる。それが近地球磁気圏の磁場・プラズマを(座標原点=地球とし て)動経方向に振動(poloidal-mode oscillation)させうる事、そしてそれが磁力線固有振動(Alfven modeでの振動) と共鳴(Field Line Resonance, FLR)しうる事が報告されている [e.g., Southwood and Kivelson, 1990]。しかしFLR においてこれまで主に注目されていた磁力線固有振動はtoroidal mode (東西方向の振動)であった。地上磁場 ではこの成分が頻繁に観測されるためである。一方高緯度SuperDARN radarsにおいては、その受信信号のう ち sea/ground backscattered signals (以下 SGBS と記す)中に 長期間(4-5時間)継続する単一周期の波動が頻繁 に観測されている[e.g., Ponomarenko et al., 2005]。SGBS は電離層の鉛直運動によってしか時間変化しないの で、磁気圏の動経方向の振動が上記波動の成因と考えられる。上記論文中の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、そのFLRにより生じる磁力線 固有振動もpoloidal modeと解釈されている。しかし、中緯度(高緯度より磁力線が鉛直方向から傾いている。 また沿磁力線プラズマ質量総和がより大きい為固有振動しにくい)の SGBS も同じ特徴を示すか否かはまだ 調査されていない。そこで、中低緯度でも磁気圏プラズマの振動を引き起こしやすいSI現象の期間において それを調査し、またFLRが観測された場合についてその固有振動周波数から近地球磁気圏プラズマ密度を推 定するのが本研究の主目的である。

【研究方法】

出来るだけ多くのeventsを集めるために、SuperDARN Hokkaido East and West radars(中緯度に位置)を中心 とするが それ以外の多くのSuperDARN radarsのデータも見る。まずSIの事例を集め、それらについて SGBS 中に波動が見られているか調べ、見られている場合は更にFLR現象が見られているか調べ、見られている場 合はその固有振動周波数から近地球磁気圏内プラズマ密度を推定する。そしてその値を太陽風動圧値、太陽 風速度・密度、磁気圏活動度指標、等と比較する。

【研究結果】

昨年度後半に開始した、名古屋大学・宇宙地球環境研究所・修士課程・飯田剛平氏(指導教員:西谷准教 授)が発見した 1 event についての解析研究を継続発展させた。昨年度はHankasalmi, Finland (磁気緯度59.1°N、 磁気経度104.5°E。以下HANと記す)のSuperDARN radarのBeam #1のデータの解析まで進んでいたが、本年度 になってこのイベントがPykkvibaer, Iceland (磁気緯度64.6°N、磁気経度57.3°E。以下PYKと記す)の SuperDARN radarでも同時観測されている事が認識され、まずPykkvibaer Beam#13の解析を開始した。この eventでは、HAN Beam#1においてもPYK Beam#13においても~14hr UT以降 SGBS が定常的に観測され、 ~15:10UT開始のSIとほぼ同時に波動現象が開始し~30分継続した。その波動現象は SGBS の見られたrange gates範囲内において観測された。その振幅と位相はFLRに典型的にみられる緯度依存性を持っていた。ただ、 HAN Beam#1のみならずPYK Beam#13においてもVLOS(視線方向速度)の最大値が100m/sを超えていたため、 SGBS 領域内ではあるがionospheric backscattered signals (以下 IBS と記す)が混在したものである可能性が 高いと考えるに至った。この波動現象がFLRであるとしてその周波数からSchulz [1996]の近似式(磁力線に 沿っては等密度と仮定した場合の式)を用いて推定したプラズマ密度は、HAN Beam#1で62.5 ams/cc、PYK Beam#13で64.6 ams/ccであり、PYKの方がやや大きかった(有意な差であるか否かは今後検証の必要がある)。

【考察、まとめ】

この波動が IBS の波動であるとすると本研究の本来の研究目的(上記)からはやや外れる事になるが、興味深い現象であるので解析を続けている。SIが生じた~15hr UTにはPYKのLT (local time) は~15hr、HANの

LTは~18hrであり、PYKの方が昼側であった。FLRが生じた緯度はPYKがHANより~1°大きい程度だったのでSI前の密度はPYKの方が少し小さい程度であったとすると、SIによる圧縮効果は昼間側の方が大きい、という良く知られた性質を本観測は示している可能性がある。ただ、62.5と64.6が有意な差であると断定するのは難しいため、今後他のBeamsのデータを網羅的に見ていく必要がある。

このイベントの解析終了後は、本来の研究目的に戻り、中低緯度での SGBS の振動及びそれによりFLR が生じていると見られるeventsを探し、見つかったeventsについて上記と同じ解析方法で統計的に解析したい。

【引用文献】

Schulz, JGR, p17385, 1996. Ponomarenko, Menk, Waters, and Sciffer, Ann. Geophys., p1271, 2005. Southwood and Kivelson, JGR, p2301, 1990.

【成果発表】

- 河野 英昭, 行松 彰, 西谷 望, 田中 良昌, 才田 聡子, 堀 智昭, 飯田 剛平, SuperDARN 2 点で SC 時に同 時観測された磁力線共鳴現象からのプラズマ圏密度推定, 地球電磁気・地球惑星圏学会 第 142 回総 会・講演会, 京都大学宇治キャンパス, 2017.10.19.
- 河野 英昭, 行松 彰, 田中 良昌, 才田 聡子, 西谷 望, 堀 智昭, 飯田 剛平, Toward magnetospheric region identification based on the FLR observed by SuperDARN Radars: Study of an event observed by two radars at an SC, 第8回極域科学シンポジウム, 国立極地研究所, 2017.12.05.
- 河野英昭, 西谷 望, 行松 彰, 田中良昌, 才田聡子, 堀 智昭, 飯田剛平, SuperDARN 2 点で同時観測された SC 時 FLR からのプラズマ圏密度 2 次元推定, 名古屋大学宇宙地球環境研究所 研究集会「電磁圏物理 学シンポジウム」, 福岡・九州大学医学部百年講堂, 2018.03.14.

グローバルモデルと素過程シミュレーションによる地球内部磁気圏で の波動粒子相互作用の研究

Study of wave-particle interactions in the inner magnetosphe re 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。

<u>・研究方法</u>

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、P IC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。

<u>・研究結果</u>

本研究課題の成果として、高エネルギー電子の初期速度分布に与える温度異方性と数密 度を広いパラメータレンジでサーベイ計算を実施した結果について整理しまとめたことが 挙げられる。素過程シミュレーションを様々な初期条件を用いて実施して、コーラス放射 の発生条件に関わるパラメータを定量的に明らかとした。この成果に基づいて、グローバ ルモデルの結果から得られる内部磁気圏での高エネルギー電子フラックスならびにホイッ スラーモード波動の線形成長率の空間分布から、どの領域でコーラス放射が発生し得るか の評価に用いる。また、2017年3月から定常観測が開始された「あらせ衛星」の観測結果は 本研究課題にも密接に関わることから、シミュレーション結果と衛星観測結果の比較・考 察についても検討を開始した。研究計画最終年度となる平成30年度には、開発した手法を さらに発展させると共に、あらせ衛星をはじめとした内部磁気圏における衛星観測結果と の比較を通じて、放射線帯領域での電子加速過程ならびに波動励起過程における非線形効 果を定量的に究明することをねらう。 太陽圏における銀河宇宙線伝播の研究 Study on Galactic Comic Ray Propagation in the Heliosphere

大嶋晃敏·中部大学·工学部

【研究目的】

本研究では、日本とインドに設置した大型ミューオン望遠鏡を用いた宇宙線連続観測により、宇宙線強度変動と太陽活動との関係、及び宇宙線異方性と惑星間空間磁場(IMF: Interplanetary Magnetic Field)の構造 との関係について調べる。これにより、宇宙磁場中における宇宙線の加速・伝播機構の理解を深めることを目 的とする。

【研究方法】

内部太陽圏において太陽活動の影響を受けるエネルギーの低い銀河宇宙線は、IMF との相互作用などにより 複雑な流れを形成している。これを地球上で観測すると、さまざまな宇宙線の異方性として観測される。この ような宇宙線の流れは、宇宙磁場中における宇宙線の加速・伝播現象を反映しているので、地球上に展開した 多数の観測装置を用いた宇宙線観測により、異方性を観測し、モジュレーション的解析を施すことによって、 宇宙線の加速・伝播機構の理解を深めることができる。我々が用いるミューオン望遠鏡は、およそ数十 GV 程 度のリジディティの宇宙線を観測することができる。これは、約 0.4 au の旋回半径に相当する空間領域を観 測することになり、IMF の構造の観測にもつながる。

本研究では、GRAPES-3 実験(インド)、本研究所(東山)、および東京大学宇宙線研究所明野観測所の各ミューオン望遠鏡を用いて、銀河宇宙線の連続観測を実施する。GRAPES-3 と明野観測所のミューオン検出器は、 共に比例計数管を4層に配置したホドスコープ型の検出器であり、申請者のグループにより運用されている。 両者間の距離は、地理経度で約 60度であり、この地理経度の違いと地球の自転を利用した連続観測により、 広域同時観測が実現できる。

現在、明野ミューオン観測では、大規模な再整備作業が進行中であり、比例計数管の改修、及びデータ収集 系の更新作業を行っている。また、GRAPES-3ミューオン観測も、検出面積を2倍(1,120m²)にする拡張作業 が進行中である。これら両観測に関する作業は近々完了し、観測が再開される予定である。

【研究活動報告】

現時点で、GRAPES-3 実験のミューオン検出器の拡張作業 は大詰めを迎えつつあり、2018 年 8 月頃までには検出器と その建屋構造が完成する。その後、フロントエンド回路(信 号増幅回路と波高弁別回路)とバックエンド回路の設置を行 い、本格観測を開始する予定である。(図 1)。新ミューオン 検出器に向けて開発された、フロントエンド回路(図 2)は、 すでに既存のミューオン検出器(ミューステーション 3)に 設置され、試験的な運用が行われている。本年度の人的な活 動としては、2017 年 7 月から 2018 年 3 月まで、大阪市立大 学の林嘉夫氏が、GRAPES-3 に滞在し、新ミューオン検出器建



図1 新ミューオン検出器(2018年3月現在)。写真 右側が北。建屋の壁構造の大半が完成している。こ の後、天井部(吸収層)の建設が行われる。

設の指導を行った。これにより、比例計数管の製作もほぼ完了し、16 器のうち 10 器について、比例計数管の

積み上げ(4層)が完了している。残りの6器についても、そ れぞれ 2~3 層を残すのみとなっている。また、本研究代表者 も 2018 年 3 月に約 1 週間、GRAPES-3 に滞在し、建設作業に携 わり、比例計数管の製作手順のまとめを行った。一方、同じ く 2018 年 3 月には、愛知工業大学の小島浩司氏と中部大学の 柴田祥一氏、大阪市立大学の川上三郎氏が、タタ基礎研究所 (ムンバイ)に滞在し、インド側共同研究者らと論文のまと め作業を行い、滞在期間中に投稿した。

2017年中及び2018年3月にかけて、広島市立大学の田中公 一氏が、複数回にわたり中部大学に来校し、GPRAES-3及び明野 図2 新型フロントエンド回路は、既存のミューオン ミューオン観測のデータ解析について議論した。また、本研究



検出器に設置され試験運用されている。

代表者、広島市立大学の田中公一氏と大学院生により、明野ミューオン観測の再整備を進めた。

【研究成果】

本研究に関する成果として、1 篇の査読論文 [1] が出版され、1 篇 [2] が受理された。また、1 篇の論文 が投稿中である。その他、日本物理学会で3件、ISEE研究集会 - 太陽圏シンポジウムで2件の発表を行った。

【学術論文】

- 1. "Dependence of the muon intensity on the atmospheric temperature measured b y the GRAPES-3 experiment", K.P Arunbabu et al, Astroparticle Physics, Vol.94, p.22-28(2017)
- 2. "Was the cosmic ray burst detected by the GRAPES-3 muon telescope on 22 June 2015 caused by a transient weakening of the geomagnetic field or by an interplanetary anisotropy?", P.K.Mohanty et al., Physical Review D, 27 March 2 018, accepted.

【日本物理学会・その他学会発表】

- 1. 「大面積高精度 muon 望遠鏡による方位別宇宙線強度変動の研究(19)」 小島浩司、柴田祥一、大嶋晃敏他、日本物理学会 2017 年秋季大会、14aU31-4
- 2. 「GRAPES-3 ミューオン検出器の拡張と新型検出器の計画について」 大嶋晃敏、小島浩司、柴田祥一他、日本物理学会 第73回年次大会、22aK308-11
- 3. 「大面積高精度 muon 望遠鏡による方位別宇宙線強度変動の研究(20)」

小島浩司、柴田祥一、大嶋晃敏他、日本物理学会 第73回年次大会、22pK308-5

- 4. 「銀河宇宙線の異方性と太陽風速度」 小島浩司、柴田祥一、大嶋晃敏他、「平成 29 年度 ISEE 研究集会 - 太陽圏シンポジウム」
- 5. 「GRAPES-3 ミューオン検出器拡張の進捗報告」 大嶋晃敏、小島浩司、柴田祥一他、「平成 29 年度 ISEE 研究集会 - 太陽圏シンポジウム」

世界最多雨地域における雨滴の特徴とモンスーン気流場との関係 Relationship between raindrop size characteristics and monsoon airflow over the highest rainfall area

村田 文絵, 高知大学理工学部

インド北東部に位置するメガラヤ高原の南斜面及びその周辺は,平均年間降水量が 1万ミリを超えるチェラプンジやマウシンラムといった地点を含み,世界最多雨地域 として知られる。この地域におけるモンスーン季の降水は顕著な季節内変動をもち, 数日続く降水活発期が周期的に生じる。しかし,この降水活発期についてOLRのコン ポジット解析を行うと,この地域の対流活動が活発であると検出できない(Murata et al. 2017)。このことは大雨をもたらすこの地形性降水の背が低いことを表して いる。一方TRMM 2A25 V7データセットによるレーダー雨量と雨量計との比較から, このメガラヤ高原の南斜面及びその周辺の地域は,周辺平野部と比べてモンスーン季 の雨量を半分程度も過小評価している(Terao et al. 2017)。しかしこの傾向はプレ モンスーン季の雨量にはみられず,季節による雨の違いがある。

本研究では、JAXA PMMプロジェクトの予算で、2017年5月初旬に多雨地点チェラプ ンジとカウンターパートであるNorth Eastern Hill Universityのキャンパスの2地 点にそれぞれOTT社の光学式雨滴粒度分布計Parsivelを設置した。また、同じ期間イ ンド熱帯気象研究所がインパクトタイプの雨滴粒度分布計をそばに設置して,比較観 測を行っている。現地で特に3-5月に頻発する雷の影響を極力回避するために、観測 装置の電源は太陽電池パネルからの充電で賄っている。観測場所はインド気象局の協 力の下、インド気象局チェラプンジ観測所の敷地内に設置した。2017年11月と2018 年3月にデータ収集を行ったが、ほぼ継続的にデータが取得できた。ただし、雨量計 との比較の結果明らかに雨が降っているにも関わらず降水量がゼロの時間帯もある ことがわかった。これはおそらくレーザーの受信部が大雨の影響を受けて正常な観測 の実施が困難となるために起こっているようにみえる。

初期解析として季節毎の雨滴粒度分布の特徴を比較した。一般的な特徴として,降水強度が強いほど雨滴の代表粒径として用いた中央粒径Dmは大きい。そこで降水強度に対するDmの関係について調べた。プレモンスーン季は非常に弱い降水強度でも非常に大きなDmが観測される場合がある。プレモンスーン季は大気の不安定度が非常に高く100mm/h程度かそれ以上の強い降水強度がしばしば観測される。一方モンスーン季の中の降水活発期においては、日雨量300mm程度の大雨が続いているにも関わらず日雨量に対して20-30mm/h未満の弱い降水強度による寄与が最も大きく、これはプレモンスーン季と大きく異なる特徴であった。降水強度-Dmの関係は、プレモンスーンで比べてモンスーン季は大きな降水強度において相対的にDmが小さい傾向がみられた。これは地形性降水において寄与が大きいといわれる暖かい雨過程でのこれまでの研究と整合的である。観測中ポストモンスーン季である10月下旬にも日雨量300mmを超える大雨日があった。総観場をみると弱い低気圧性擾乱の影響を受けていた。この日の雨は40mm/h程度の降水強度の雨が総雨量に最も大きく寄与するという点でプレモンスーン季やモンスーン季と異なっていた。

参考文献

Murata, F. et al. 2017, *J. Climate*, 30, 8237-8251. Terao, T. et al. 2017, *SOLA*, 13, 157-162.

木星放射線帯粒子変動要因の観測研究

Observational study of variation processes of relativistic particles in Jupiter's radiation belt

三澤 浩昭, 東北大学,大学院理学研究科

[研究目的] 木星から放射されるシンクトロン電波(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研究を行ってきた。

[研究方法] 上記目的達成のために、本研究は観測・データ解析に基づく以下を内容とする計画で進めてきた。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。

[進捗状況] 研究最終年度の本年度は、太陽風プラズマ、磁気圏プラズマの直接計測データを併用しての解析・考察が可能となる、木星周回探査機 JUNO の近木点通過時期付近の 2017 年 5 月 15~19 日 UT(JUNO PJ6)と 12 月 8~17 日 UT(同 PJ10)の2回 JSR のキャンペン観測を行い、データ解析を進めている。また、昨年度までに実施した JSR キャンペン観測(2 016 年 5~6 月、2017 年 3 月実施)データについても解析を進めた。現況は以下の通りである。

- A. JSR 観測: NICT 鹿島の 34m Φ電波望遠鏡を用いて 2.3GHz 帯の JSR 強度観測を実施した。観測方法は、観測帯域内 に混入する人工電波成分(RFI)を除去した強度導出を可能とするための全観測帯域のスペクトル観測を採用した。また、 インドの大型電波干渉計 GMRT を用いた 1.4GHz での JSR イメージング観測を観測期間内にスポット的に実施した。強度 観測データについては RFI の評価に基づく JSR 強度導出を、干渉計観測データについてもイメージングを進めている。
- B. 木星磁気圏現象の変動特性: 木星周回探査機 Galileo で取得された過去の木星磁気圏直接観測データと、地球近傍 で取得された WIND 衛星の木星 MF 帯電波(HOM)観測データの比較精査から、凡そ 3~7 日で準周期的に強度変動を示 す特異な電波成分が、木星磁気圏尾部域で発生する自励的な磁気再結合現象と関係することを見出し、HOMをマーカー にして木星の磁気圏現象を俯瞰することが可能となることを示した。この"特異な"HOMの出現とJSR観測期間の対応関 係は、2016 年 5~6 月期と 2017 年 3 月期は出現、2017 年 5、12 月期には出現無しであった。
- C. イオ火山性プラズマの発光量変動特性: HISAKI 衛星によるイオ火山性プラズマ発光の 2015 年の連続観測データの解 析から、発光量には日単位の変動が生じる場合があり、その変動は外側~内側へ伝搬する傾向が示された。またこの現 象はオーロラ発光量の短期変化とも同期しており、内部磁気圏で発生したインジェクション現象との関与が示唆された。こ の現象と JSR 観測期間の対応関係(および B の"特異な"HOM との関係)は現在精査中である。
- D.太陽紫外線・太陽風の変動特性:上記の JSR 観測期間について、木星で想定される太陽紫外線強度と太陽風パラメー タの変動を見積もった(前者は太陽 F10.7 で代用、後者は Tao-model(Tao+, 2005)を使用)。太陽紫外線変化については、 JSR 観測期間内で、2016 年 5~6 期には 20%程の増減、他期間は 10%以内で推移していた。一方、太陽風(動圧)は 2017 年 3 月期以外の期間は、静穏時変動に対し有意に大きい、0.1~0.3nPa の変化が含まれていた。

[総括]本年度まで都合 4 度の JSR 強度およびイメージングのキャンペン観測を実施した。これらの期間についての JSR 変動要因候補成分-①~③について、各観測期間について解析・精査を行った。未知成分-③の探索を行うには、成分-① 太陽紫外線変動、②自励変動(~磁気圏尾部域の磁気再結合)が含まれず、成分-③の候補である太陽風変動が含まれる時期が好適と考えられるが、この時期として 2017 年 12 月期が該当することが示された。現在、この直近に行った JSR 観測のデータ解析精査を優先的に進めており、本研究期間後とはなるが、この成果発表も次年度に行っていく。

[成果発表等]

・学会・研究会発表:第142回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会(2017年10月@宇治)、第19回惑星圏研究会(2018年2~3月@仙台)、(日本地球惑星科学連合2018年大会(2018年5月@幕張:予定)

内部磁気圏における運動論的不安定性による磁気流体波動励起 Excitation of magnetohydrodynamic waves via kinetic instabili ties in the inner magnetosphere

天野孝伸(東京大学·理学系研究科)

地球の内部磁気圏領域は平均的には双極子磁場の支配的な低ベータ領 域であるが、磁気嵐時などにはプラズマシートからのプラズマ供給に よって、リングカレント粒子のプラズマ圧が磁気圧と同程度になるこ とが分かっており、このような場合のプラズマダイナミクスを調べる のが本研究の大きな目的である.特に、内部磁気圏領域での低周波磁 気流体(MHD)波動(ULF波動)の起源として考えられてきたプラズマ不安 定性の理解を目指し、背景プラズマをMHDとし、リングカレント粒子の みを運動論的に扱う独自開発の数値シミュレーションモデルを用いて 研究を行った.

今年度は内部磁気圏を模擬したモデルとして、磁力線の曲率を無視したスラブ配位のもとで、磁気圧とリングカレント成分のプラズマ圧力がバランスした平衡状態を初期条件とした数値シミュレーションを実施した.ここでリングカレント成分に温度異方性(Tperp > Tpara)を与えた場合は、パラメータによってミラー不安定性と電磁イオンサイクロトロン(EMIC)不安定性が励起され得る.ただし、本研究で考えるパラメータ領域ではEMIC不安定性の条件を満たさない場合であってもミラー不安定性に特徴的な磁気圧とプラズマ圧の負相関が現れることがシミュレーション結果から分かった.シミュレーションで得られた分布関数データの解析から、これは初期にEMIC不安定性によって 励起されたAlfven波によるピッチ角散乱がbi-Maxwellian分布とは異な分布を形成し、これがミラー不安定性に対する運動論的な不安定条件を満たすことが分かった.今後はこの過程が起こる条件、特に磁気圏物理への適用可能性について議論を進めていく予定である.

SOM によるクラスタ解析に基づいた局地的豪雨の発生発達可能性に関する研究 Study on the generation and development probability of local torrential rains based on cluster analysis using SOM

法政大学デザイン工学部 鈴木善晴

近年,我が国ではゲリラ豪雨とも呼ばれる,局地的豪雨が急激に発達する事例が増加しており,都市河川の 氾濫や土砂災害などに伴う人的被害が頻発化する傾向にある.このような局地的に発生する豪雨は時間・空間 スケールが極めて小さく,各々が独立した発達システムを持つため,気象モデルを用いた旧来の予測システム では予測が難しい.このような問題に対し,国土交通省ではXバンド MP レーダ(以下, MP レーダ)を用 いた観測網 X-RAIN を整備し,豪雨の監視体制を強化するなどの対策に力を入れている.

しかしながら、ゲリラ豪雨が発生・発達するメカニズムはまだ十分に明らかにされておらず、その予測には 多くの課題が残されている.「積乱雲のタマゴ」と呼ばれる上空でできた局地的豪雨をもたらす可能性がある 降水セルに着目し、大気中の渦度・渦管とタマゴとの関連性の解明を目的とした研究が行われているものの、 積乱雲のタマゴが豪雨へ発達するかどうかを予測するための手法は確立されていない.

そこで本研究では、X-RAIN により観測された偏波レーダ情報から積乱雲のタマゴの抽出を行うとともに、 複数の GPV データより算出した大気場指標を用いてタマゴの発達事例と非発達事例における大気場の特徴の 違いについて解析を行う.また、自己組織化マップ SOM によるクラスタ解析に基づいた積乱雲のタマゴの発 生・発達可能性に関する評価手法の検討を行う.使用する GPV データは、雲解像モデル CReSS(解像度 2km)、 メソ数値予報モデル MSM (解像度 5km)、局地数値予報モデル LFM (解像度 2km) からの計算出力データ とし、対象期間は 2014 年~2016 年の 3 年間における夏季期間 (6 月~9 月)とする.本稿では、平成 29 年 度における本研究の進捗状況について述べる.

平成 29 年度は主に MSM の GPV データを使用し、CAPE、SSI, K 指数,可降水量,相対湿度,バルクリ チャードソン数,風の収束及び渦度の 8 つの大気場指標を算出し解析に用いた.MSMGPV とは,水平格子間 隔 5km,鉛直 13 層で 3 時間間隔のデータである.K 指数とは,各高度における気温と露点温度を基に算出す る値であり,値が大きいほど雷雨発生の確率が高い.また,X-RAIN の合成雨量図および偏波レーダ情報を基 に作成した鉛直断面図を利用し,目視で 155 個の積乱雲のタマゴ(発達事例 106 事例,非発達事例 49 事例) を抽出し,偏波レーダ情報,降水粒子の種類,ドップラー渦度,MSMGPV から算出した大気場指標を用いて, 積乱雲のタマゴの発達構造について解析を行った.ドップラー渦度とは,MP レーダによって観測されるドッ プラー風速を用いて算出した渦度である.次に,SOM を使用した積乱雲のタマゴのクラスタ解析を行った. SOM とは,ニューラルネットワークの一種であり,非線形かつ複雑な多次元データのパターン分類に適して いる.本研究では,正規化した偏波レーダ情報,大気場指標,ドップラー渦度,降水粒子の種類から 22 パタ ーンの組み合わせを設定し,SOM の入力データとした.抽出した全ての積乱雲のタマゴに対してクラスタ解 析を行い,その後の発達と非発達が正しく判別されたタマゴの割合から判別精度を求めた.

現状の成果としては、積乱雲のタマゴの発達・非発達と K 指数やドップラー渦度などとの関係性について いくつかの知見が得られており、SOM によるクラスタ解析において最も判別精度の高い組み合わせで約 80% という結果が得られているものの、さらなる関係性の明確化と判別精度向上のためには空間解像度が高く時 間間隔が短い GPV データを使用する必要があることから、今後はより多くの事例を抽出したうえで CReSS および LFM の GPV データを用いた解析に取り組む予定である.

227

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 archaeol ogical remains

宮田佳樹、金沢大学・先端科学イノベーション推進機構・ベンチャー ビジネスラボラトリー

【研究目的】

縄文,弥生時代の遺跡の同一包含層から出土した明瞭なコンテクストの複数種類の遺物(炭化材,炭化種実,土器付着炭化物,人骨,動物骨,貝など)のみかけの炭素年代測定差を比較検討し,遺物の安定同位体組成,土器残存有機物脂質分析,分子レベル炭素同位体分析などを活用することで,遺物の食性,生息域などの生態系情報も含めた当時の遺跡環境を現代と比較検討しつつ復元すること。

【研究方法】

現代の生態試料を含む各遺物試料の放 射性炭素濃度を名古屋大学宇宙地球環境 研究所のタンデム加速器を利用して測定 する。

【研究結果】

2016年8月7日に採取した池水の4点の 溶存無機炭素 (DIC) 中の放射性炭素濃度 (DI¹⁴C値)を測定した。それぞれ,(試料 名, Δ^{14} C(‰)) = (ISSIN-Trap1-2.5M-2, +26.0±3.0),(ISSIN-Trap1-2.2M, +7.0 ±3.0),(ISSIN-Trap2-1.2M, +13.0±4. 0),(ISSIN-Trap1-2M, -6.0±4.0)であっ た。



【まとめ】

4試料の測定結果に過ぎないが,能登半島新池(石川県珠洲市)の集水域から,流入して くる供給水中の溶存無機炭素(DIC)中の放射性炭素濃度(DI¹⁴C値)は,ほぼ採取時の大 気よりも低い濃度を示すことがわかった。

【成果発表】

- 1. <u>宮田佳樹</u>,南雅代,中村俊夫,下濱貴子,畑山智史,長尾誠也,多田洋平,佐野雅規, 中塚武(2018)水稲稲作導入から安定期にかけての北陸地方の遺跡環境復元-八日 市地方遺跡(石川県小松市)を例として-,第3回名古屋大学宇宙地球環境研究所シン ポジウム,2018年2月1日~2日,名古屋大学,名古屋.
- <u>Miyata, Y.</u>, Minami, M., Nakamura, T., Shimohama T., Tada, Y., Sano, T. and Nakatsuka, T. (2017) Radiocarbon dating on archaeological remains from the Youkaichijikata site, Ishikawa, Japan, 14th International Conference on Accelerator Mass Spectrometry, 14th -18th Aug., 2017, at the University of Ottawa, Ottawa, Canada.

西部北太平洋暖水域の海面水温分布と熱帯じょう乱との間の相互作用の解析

Analyses of the interaction between the sea-surface temperat ure and the tropical disturbances over the western North Pac ific warm pool

佐藤尚毅、東京学芸大学・自然科学系

北半球夏季の西部北太平洋暖水域では、北側の海面水温(SST)がより 高くなることが知られている(Sato et al. 2006)。また、この海域 で台風が発生、発達するときは、海上風の強化に伴ってSST勾配が気候 平均よりも強化される(Sato et al. 2008)。これらの研究は、大気 から海洋への影響を明らかにしたものである。本研究では、逆に海洋 から大気への影響に着目し、この海域の南北SST勾配が台風の発生、発 達に与える影響を数値実験によって評価した。

本研究では、領域気象モデルWRFver3.1.1を用いて、数値実験を行った。水平格子間隔は10kmとした。6~8月に暖水域で発生した台風のうち標準実験での再現性が良かった2005年台風9号(2005年7月31日に発生)を解析対象とした。SST勾配の影響を調べるために、台風発生時にSSTの南北勾配が顕著に大きくなった事例について合成したSSTを与えた「勾配実験」と、SSTをおおよそ中間値である29.4℃の一様とした「平滑実験」を行い、両者を比較した(図1)。初期時刻は台風発生の2日前とした。

初期時刻から48時間後の海面気圧や海上風速をみると、勾配実験に比べて平滑実験の方が台風がよく発達し、また進路が南寄りになっていることがわかる(図2)。台風中心付近の気温の南北鉛直断面を調べたところ、勾配実験では対流圏下層での気温勾配が大きくなり、台風の軸が高温な北側に傾斜していることが明らかになった(図は省略)。気温勾配が温度風の関係を通して東西風の鉛直シアを強化し、台風の軸を南側に傾斜させて、発達の効率を低下させたと考えられる。また、渦度収支解析の結果、勾配実験で北側で正の渦度傾向が強く見られた(図は省略)。このことは平滑実験に比べて勾配実験の方が台風が北進していることと整合的である。この正の渦度傾向は水平収束によるものであり、北側で下層の暖湿な空気により積雲対流が強化されたためにもたらされたと考えられる。

本研究の結果より、暖水域でのSSTの南北勾配が台風の発生、発達に 有意な影響を与えていることが分かった。この海域のSSTを高精度に観 測、予測し予報モデルに取り込むことが発生・発達期の台風進路や強 度の予測の精度向上に貢献することが示唆される。



図1:モデルに与えたSST[℃]。左が勾配実験、右が平滑実験。



図 2 : 2005年7月31日12時UTCにおける海上風ベクトル(矢印)と海上 風速[m/s](色)、海面気圧[hPa](等値線)。等値線間隔は2hPa。左 が勾配実験、右が平滑実験。

引用文献

- Sato, N., H. Tokinaga, R. Shirooka, and N. Suginohara, 2006: Influence of mechanical mixing on a low summertime SST in the western North Pacific ITCZ region. *Geophys. Res. Lett.*, 33, L14608, doi:10.1029/2006GL025997.
- Sato, N., R. Shirooka, M. Yoshizaki, and Y. N. Takayabu, 2008: Meridional SST gradient in the western North Pacific warm pool associated with typhoon generation. *Geophys. Res. Lett.*, 35, L12803, doi:10.1029/2008GL033987.

成果発表

中山尋人、佐藤尚毅:西部北太平洋暖水域の水温勾配が及ぼす発生・ 発達期の台風への影響、日本気象学会、2017年11月2日。 初期太古代石墨片岩中に含まれるモナザイトを対象としたCHIME年代 測定の検討

CHIME dating of monazite in the early Archaean graphitic schist

大友陽子¹,加藤丈典²

¹北海道大学大学院工学研究院環境循環システム部門 ²名古屋大学宇宙地球環境研究所

1. 研究目的

最古の生命の痕跡は約38億年前の岩石が分布するグリーンランド・イスア表 成岩帯で発見されている(Rosing, 1999; Ohtomo et al., 2014)。しかしな がら、当時どのような微生物圏が地球表層に広がっていたのか詳細は不明であ る。イスア表成岩帯で発見されている生命の痕跡は¹²Cに富むグラファイトであ り、同じ層にはモナザイトやゼノタイム、ジルコンが共存している。これら希 土類含有鉱物の起源として、岩石形成時に混入した場合と、変成作用中に流体 から沈殿した場合が考えられるが、もし岩石形成時に混入したとすれば当時の 地球表層環境をその化学組成に反映している可能性がある。そこで本研究では、 生物由来グラファイトと共存するモナザイトやゼノタイム、ジルコンのCHIME 年代測定から、これらの鉱物の成因に制約を与えることを目的とした。

2. 研究方法

CHIME年代測定には名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定研究部所属のEPM Aを用いた。グラファイトと共存するモナザイトやゼノタイム、ジルコンのサイズは数μm~10μmであり、またしばしばクラックが入っている為に、微小領域の測定が可能なCHIME法であってもビームがうまく当たらず正確な測定ができないという問題がある。本分析ではできるだけ多くの粒子の測定を行い、妥当な測定値が算出されたもののみを採用した。2017年度の総測定数は159点、測定が成功したのはモナザイト8点、ジルコン8点、ゼノタイム10点であった。



3. 研究結果及び考察

図 1. 生物由来グラファイトと共存するジルコン, ゼ ノタイム, モナザイトの CHIME 年代.(a) ジルコン, (b) ゼノタイム, (c) モナザイト.

分析の結果、ジルコンの年代は3 9~38億年前にピークを持ち、ゼノ タイムやモナザイトよりも古い値 を示した。この年代は過去の研究 で示されたイスア表成岩帯の形成 にNutman et al., 2009)と 同等かそれよりも古いことから、 当時物かた陸地殻からもたらされだ ルコンの生代に与えた影響は少ない と考えられる。一方でゼノタイム 及び約27億年前の2箇所にピーク が見つかった地域は約37億年前に 形成され、ほぼ同時期に昇温変成作用を受けた後に約27億年前に後退変成作用 を受けたことが先行研究により示されている (Nutman et al., 2009; Frei et al., 2002)。ゼノタイム及びモナザイトの年代はこれら2度の変成作用を記 録していると考えられる。しかしながら、イスア表成岩帯の形成年代と昇温変 成作用の年代が近いこと、及びCHIME年代の誤差を考えると、本結果のみでゼノ タイムやモナザイトの初生年代を確定するには、鉱物の微小領域観察など補佐 データが必要である。

4. まとめ

グリーンランド・イスア表成岩帯の生物由来グラファイトを含む岩石について、グラファイトと共存するモナザイト、ゼノタイム及びジルコンのCHIIME年代測定を行った。ジルコン年代は39~38億年前を示したのに対して、ゼノタイム及びモナザイトは約37億年前と約27億年前の2箇所にピークを持つことがわかった。しかしながらCHIME測定の成功率は16%程度と低く、希土類鉱物の抽出・樹脂包埋により測定易い断面を多数用意するなど、測定成功率を上げるための試料準備が必要である。

5. 謝辞

CHIME年代測定に際し、共著でもある加藤丈典先生には大変お世話になった。 また、本分析は日本学術振興会特別研究員研究奨励費及び名古屋大学宇宙地球 研究所平成29年度一般共同研究 (課題名: 初期太古代石墨片岩中に含まれる モナザイトを対象としたCHIME年代測定の検討)の支援を受けた。この場を借り て心より感謝の意を表する。

6. 引用文献

Rosing, M. T. ¹³C-depleted carbon microparticles in >3700-Ma sea-floor sedimentary rocks from west Greenland. *Science* **283**, 674-676 (1999).

Ohtomo, Y., Kakegawa, T., Ishida, A., Nagase, T. & Rosing, M. T. Evidence for biogenic graphite in early Archaean Isua metasedimentary rocks. *Nature Geoscience* **7**, 25-28. (2014).

Nutman, A. P., Friend, C. R. L. & Paxton, S. Detrital zircon sedimentary provenance ages for the Eoarchaean Isua supracrustal belt southern West Greenland: Juxtaposition of an imbricated ca. 3700Ma juvenile arc against an older complex with 3920–3760 Ma components. *Precambrian Research* **172**, 212–233. (2009).

Frei, R., Rosing, M. T., Waight, T. E. & Ulfbeck, D. G. Hydrothermal-metasomatic tectono-metamorphic processes in the Isua supracrustal belt (West Greenland): A multi-isotopic investigation of their effects on the Earth's oldest oceanic crustal sequence. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **66**, 467-486. (2002).

7. 成果発表

<u>Ohtomo, Y.</u>, Kato, T., Otake, T. & Kakegawa, T. Depositional environment of graphite-bearing metasedimentary rocks and banded iron formations in >3.7 Ga Isua Supracrustal Belt, West Greenland. JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 幕張, 2017年5月20-25日.
XRAINデータから得られる降水粒子情報を用いた落雷予測の基礎研究 Basic study on lightning prediction using precipitation particle information obtained from XRAIN data

岩崎博之 (群馬大学教育学部)

<u>研究目的</u>毎年,日本では落雷による構造物や人への被害が起きている.落雷の基礎研究は、工学的な避雷対策の視点に重点がおかれ、落雷特性を積乱雲との発達との関係で考察した気象学的研究は少ない.その理由の1つは、積乱雲の内部において電荷分離過程を担う 霰分布などの雲物理学的情報が不十分だったことである.この共同研究では、全球落雷観 測網(WWLLN)データなどの落雷データを用いて落雷特性を調査し、かつ、国土交通省Xrain 観測網データから得られる積乱雲内部の霰の時空間変動と雷特性の関係を議論することを 最終目的としている.今年度は、その準備段階として、次の2つの副課題を設けた.

課題1.全球落雷観測網(WWLLN)データを利用した落雷特性の気候学

課題2. Xrainデータを使った粒子判別方法の習得

<u>研究方法</u> 目標1を達成するために、WWLLN落雷データを用いて、多重雷を構成する電撃 (stroke)の時間間隔の特徴を調べる.目標2については、宇宙地球環境研究所から提供され たXrainデータ処理プログラムと粒子判別プログラムを用いる.

研究結果

課題1の成果: 落雷特性の気候学

夏期の落雷の50%以上は、複数回の雷撃(stroke)から構成される多重雷である.その雷撃の時間間隔の平均値は、領域・季節により、15-90msと大きく変動している.この電撃時間間隔の平均値を決める要因について考える.2009-2016年の日本周辺で検出された雷撃に対して、次の雷撃が1)10-200msの時間内で、b)半径5km以内(WWLLN落雷の位置精度に相当)に検出された場合、同一地点に落雷したと見なす.つまり、多重雷に伴う後続雷撃と考える.

第1図は、九州周辺の冬・春・夏に検出された多重雷の雷撃時間間隔の頻度分布である. 頻度は、その合計が1になるように規格化している.各季節の頻度分布は対数正規分布で近 似できるが、その最頻値は気温の高い季節に雷撃間隔が長くなる特徴が見られる.北海道 周辺と東日本周辺でも同じ季節依存性があり、同じ季節ならば気温の高い南の領域で雷撃 時間間隔が長くなる規則性も認められる(図略).



図1(左):九州周辺の冬・春・夏に検出された多重雷の雷撃時間間隔の頻度分布. 図2(右):落雷地点の-10℃高度の月平均値と雷撃間隔の月平均値の関係.北海道周辺(N),東日 本周辺(E)と九州周辺(S)の領域毎に印を変えている.

この規則性を積乱雲内の電荷分離機構に注目して考える.気温が高くなると積乱雲内で 負電荷が蓄積する-10℃高度も高くなるため,この規則性は,雷撃時間間隔と-10℃高度の 変動に置き換えることができる.そこで,JRA55から推定した個々の落雷地点の-10℃高度 の月平均値と雷撃時間間隔の月平均値を比較する.図2に示すように,相関係数は0.9を越 え,負電荷が蓄積する-10℃高度が高くなるにつれて雷撃間隔が長くなる明瞭な関係が認め られる.詳細は省くが, -10℃高度の季節変化と空気の絶縁破壊電圧との関係を使えば, 雷撃時間間隔の平均値の季節変動は解釈できる.

しかし、図1に見られる様に、同じ季節であっても、雷撃時間間隔は10msから数100msの 範囲で大きく変動している.後続雷撃の形成には、第1雷撃後の残存した負電荷がダートリ ーダーに移動するJ過程が重要な役割を担っている.そして、その雷撃時間間隔の変動はJ 過程による負電荷供給速度などの差異に対応すると考えられるので、積乱雲内の霰の時空 間変動が、雷撃時間間隔に影響している可能性がある.今後は、この可能性を検討するた めに、Xrain偏波レーダーデータから得られる降水粒子の種類と雷撃時間間隔の関係につい て解析を進めていく.

課題2: Xrain偏波情報の処理システムの構築

宇宙地球環境研究所から提供されたXrainデータ処理を用いて, Xrain偏波情報の処理システムを構築した.一部の提供されたprogramに強い機種依存性があり,名古屋周辺のデータ以外は処理ができなかった. 今後,機種依存性を解決し,日本全国のXrainデータを解析する予定である.

2016年8月2日に愛知県西部に大雨と落雷がもたらされた. 第3a図は, 17.50のXrainデー タから求めた高度3.0kmのエコー強度分布である. 図中には, 17.50±3分に検出されたWWLLN 落雷の位置を示している. 45dBZ以上のエコー強度を持つE域に,落雷が集中している. 落 雷の発生には, -10~-20℃高度において,霰が関与した電荷分離が起きる必要がある. Xr ainデータの偏波情報を用いて,気温が-15℃に対応する高度7.5kmの粒子判別を行った結果 を見ると(第3b図),落雷が集中しているE域のみに霰(WG: Wet GraupelとDG: Dry Graupel) が認められる.

一方,同じように強いエコー強度(>45dbZ)が,C域とDにも認められるが,そこには落雷が 検出されていない.18.30までに検出された落雷も3事例と,E域に比較して,極めて少ない. 高度7.5kmの降水粒子の種類を調べると,C域では霰が検出されているが,その面積は狭く, -10~-20℃高度においても霰が占める体積は少ない.また,D域では,高度7.5kmまでエコ ーが達しておらず,-10~-20℃高度で霰は判別されていない.

これらの落雷と霰分布の特徴は、着氷電荷分離機構の考え方やこれまでの観測的研究の 結果と整合的である.これは、宇宙地球環境研究所から提供された処理programを用いるこ とで、雷研究にXrain偏波情報を活用できることを意味している.今後は、このXrain偏波 情報を用いて、多重雷の雷撃時間間隔の変動を決める要因についての研究に移行する予定 である.



第3図 2016 年8月2日 17.50 の高度 3.0km のエ コー強度分布(a)と降水粒 子の種類の分布(b).図 中の〇は,±3分に検出さ れた落雷地点を示す. 「あらせ」衛星および地上観測によるリングカレントイオンの散乱現 象の解析

Study of scattering process of ring current ions observed by the Arase satellite and ground-based observations)

浅村和史、宇宙航空研究開発機構·太陽系科学研究系

磁気嵐時には、内部磁気圏に存在する数keVから100keV以上に存在するイオンのフラック スが増加し、環電流の発達が起こる。この環電流を担うイオンは、速度分布関数における 温度異方性やリング分布と呼ばれる異方性によって、電磁イオンサイクロトロン波動や磁 気音波波動といったプラズマ波動を励起する。その一方で、環電流イオンはプラズマ波動 によってピッチ角散乱を受け、ロスコーン内に散乱されたイオンは大気へと降りこみプロ トンオーロラを引き起こすなどによって消失する。この消失過程は電荷交換反応やクーロ ン衝突などとともに内部磁気圏イオンの主要な消失過程の一つと考えられている。

本研究では、波動粒子相互作用による環電流イオンの消失過程を理解することを目的とし、2016年12月に打ち上げられた「あらせ」衛星によってその場直接観測されたイオンの速度 分布関数データを解析する。本研究では 10 – 25,000eV/q のエネルギー帯をカバーする LEPi 観測器のデータを使用することとし、まず、LEPi 観測データの較正を行った。LEP i 観測データは JAXA で取得後、一次処理によって必要なデータが抽出され、名古屋大に 設置されている ERG サイエンスセンターに送られる。ERG サイエンスセンターでは較正 処理に必要な粒子検出効率の推定、角度チャンネル間の相対補正などが行われる。

LEPi 観測器は飛行時間分析法を用いて粒子の速度を分析し、粒子種弁別を行っている。飛行時間分析法では 2種類の信号(START信号、STOP信号と呼ぶ)の検出時間差を計測する が、START信号のみで STOP 信号が出現しなかったイベントのカウントレート、STOP 信号のみで START 信号が出現しなかったイベントのカウントレート、START信号、ST OP信号とも出現したイベントのカウントレートの情報を用いて、検出効率を推定すること ができる。しかし、この検出効率推定手法を用いる際には、背景高エネルギー粒子などに よるコンタミノイズが除去されている必要がある。このため、エネルギー掃引時間(0.5秒) ではノイズカウントレートは変化しないなどの仮定のもと、ノイズカウントレート推定を 行うこととした。これにより、観測対象のイオンに対する検出効率推定が可能になり、質 量分析性能のエネルギー依存性といったマイナーないくつかの課題を残すものの、物理量 への変換が行うことができた。

これらの研究について、共同研究者である名古屋大学の三好准教授、Kistler特任教授と打ちあわせを行った。

航空機を用いた大気微量気体、エアロゾルのリモートセンシング

北 和之、茨城大学理学部 金谷 有剛、海洋研究開発機構 小池 真、東京大学 入江 仁士、千葉大学 松見 豊、坪木和久、中山智喜、名古屋大学

対流圏オゾンは、化石燃料の燃焼などで放出される窒素酸化物等のオゾン前駆気体から 光化学反応で生成する。日本では、各種規制によりオゾン前駆気体の放出量・大気中濃度 ともに減少傾向にあるが、1980年代後半より対流圏オゾン濃度は逆に増加傾向にある。そ の原因として、アジア大陸などからの越境汚染の影響などが挙げられているが、正確には まだよくわかっていない。また各種エアロゾルは、その気候影響の重要性から、近年研究 が進められており、とくにアジア新興国からの多量の放出の広域影響が注目されている。 PM2.5による健康影響も一般に認知されて久しい。

オゾン、窒素酸化物のような微量気体およびエアロゾルの、アジア新興国などからの広 域影響を理解するには、地上モニタリングネットワークなどによる観測だけでは不十分で、 人工衛星からのモニタリングが望まれている。航空機からのリモートセンシングも、人工 衛星観測の試験観測および Validation という意味でも、また輸送中の変化を理解するため のプロセス研究の上でも重要な役割を果たしうる。本研究では、航空機から、特に地表付 近のオゾンや二酸化窒素のリモートセンシングを高精度で行う可能性について、検討を行 っている。

2012 年 9 月に航空機観測をつくば市上空にて実施した。可視・紫外域分光器 Maya2000Pro2台、オゾン計2台を航空機に搭載し、高高度約8.9kmと低高度約800mの 2高度で実施した。航空機からの分光観測は、成層圏成分を分離するため、天頂散乱光と地 表散乱・反射光の 2 方向について行った。成層圏成分による太陽光吸収は両方向で共通と 考えられるため、2 方向で測定した太陽散乱光スペクトルから求めたカラム量の差分をとる ことで、成層圏成分を除去でき、中一下部対流圏成分のみが検出できると期待していた。 しかし、観測時の条件では、天頂散乱光には観測高度直上からの多重散乱光の寄与が非常 に大きくなったため、下部成層圏オゾンによる吸収が地表散乱光でのそれに比べ非常に大 きいため光路長差が小さくなり、放射伝達モデル計算と観測値は誤差範囲内で一致したも のの、期待していた精度で対流圏オゾンカラム濃度を求めることは難しかった。この問題 を解決する一つの方法として、天頂散乱光の代わりに太陽直達光を用いて航空機高度から 上でのカラム量を求めることがあげられる。しかし通常太陽直達光は太陽を追尾して分光 器に導入して測定するが、姿勢が短期間のうちに大きく変化する航空機からは難しい。そ こで、太陽を追尾するのではなく、テフロン板など拡散板を用いて太陽直達光をサンプリ ングする方法を考えた。まず地上で MAX-DOAS 分光観測装置に天頂方向に設置した拡散 板からの直達光も測定できる装置を開発することにした。拡散板からは散乱光も散乱され てはいってくるが、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。 今年度は、この装置を試作するとともに、模擬観測と放射伝達シミュレーションによりそ

の効果を検討することにした。

2017 年 11 月 9 日、茨城大学水戸キャンパスの理学部 G 棟の屋上に設置されている観測 室内にて観測を行った。分光器は Ocean Optics 社 MAYA2000-pro を使用し、昼から夕方 にかけて、太陽直達光および仰角 20 度および 70 度からの散乱光のスペクトルを測定した。 図 1 のように、太陽直達光および仰角 20 度散乱光スペクトルの比から求めたオゾンカラム 濃度(改良法)と仰角 20 度および 70 度からの太陽散乱光のスペクトルの比から求めたオ ゾンカラム濃度(従来法)のランダム誤差を比較した。両者で。光路長が異なるため傾斜 オゾンカラム量の差(△SCD)の値は異なる。直達光は散乱光に比べ大気状態によらず安 定なため、ランダム誤差は平均 28%減少し、精度が向上する効果が確認できた。



放射伝達シミュレーションでは、一番大きな誤差要因となるエアロゾルによる光路長の誤差を見積もった。シミュレーションには、ブレーメン大学で開発された SCIATRAN ver.3 を用いた。模擬観測と同様に、太陽直達光および仰角 20 度および 70 度からの散乱光 について、光路長を決定するエアマスファクター(AMF)が、基準としたエアロゾル消散係 数高度分布から±10,20%変化させたときの影響を、図2に示す。図2(左)は太陽直達光と仰角 20 度散乱光の AMF の差(改良法)、図2(右)は仰角 70 度および 20 度散乱光の AMF の 差(従来法)の基準ケースに対する相対差を示したものである。様々なケースについて比較したが、直達光を用いた場合、明らかに AMF の誤差も小さくなることが分かった。



図2

領家変成作用時におけるモナズ石の挙動解明 Understanding the behaviour of monazite during metamorphism (Ryoke belt, SW Japan)

Etienne SKRZYPEK¹, Takenori KATO², Tetsuo KAWAKAMI¹ (¹Departement of Geology and Mineralogy, Kyoto University; ²ISEE, Nagoya University)

Purpose

A recurrent question pertaining to high-temperature metamorphic belts is the time-scale of elevated temperature conditions. Assessing the time-scale of a tectono-metamorphic evolution can be based on the analysis of appropriate minerals called geochronometers. Monazite, a light rare earth element-bearing phosphate is a suitable geochronometer because it contains significant amounts of Thorium and Uranium. However, the reactions by which monazite forms, grows or resorbs remain unclear. The main goal of the study is therefore to constrain the behaviour of monazite with increasing temperature. This can be done in the Ryoke belt (SW Japan) where rocks belonging to a Cretaceous metamorphic gradient are exposed. Our secondary goal is to estimate the age and time-scale of medium- to high-temperature conditions in the western part of the Ryoke belt.

Methods

We collected a total of 12 metamorphic rock samples along the metamorphic gradient exposed in the Iwakuni-Yanai area of the Ryoke belt (Yamaguchi Pref.). The samples are labeled RK0 to RK12 in order of increasing temperature conditions. Metamorphic textures, i.e. minerals that coexist or replace monazite, were observed by optical and electron microscopy (Kyoto University). The average grain size of monazite was measured by image analysis. Monazite age dating was performed by two methods (**Figure 1**): laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry (LA-ICP-MS, Gakushuin University) and electron microprobe analysis (EMP, ISEE Nagoya). Additional zircon analyses were done by LA-ICP-MS (Kyoto University).



Figure 1. Comparison between LA-ICP-MS and EMP monazite dating results shown on X-ray map for Uranium distribution. Note the presence of several compositional domains. (a) $^{206}Pb/^{238}U$ ages (Ma) with 2σ absolute error, laser spot diameter was 5 µm. (b) Total Th-U-Pb ages (Ma) with 2σ absolute error, electron beam diameter was 3 µm.

Results

Metamorphic textures reveal that monazite is stable from ~450 °C/1 kbar to ~880 °C/6 kbar in metamorphosed sedimentary rocks of variable composition. From low- to high-grade conditions we infer: (1) the initial nucleation of monazite aggregates after allanite (~425 °C), (2) monazite coarsening and coalescence driven by incipient monazite recycling, i.e. dissolution of small grains to grow larger ones by Ostwald ripening (500–600 °C), (3) a first major recycling stage enhanced by fluid liberation due to muscovite breakdown (600–630 °C), (4) a second major recycling stage assisted by an increase in the proportion of anatectic melt due to biotite breakdown (> 850 °C).

Zircon age dating yields 206 Pb/ 238 U dates between 103 and 97 Ma which are ascribed to the timing of high temperature conditions. A succession of four compositional domains (I, II, III, IV) is recognized in monazite and age dating by EMP and LA-ICP-MS reveals two age groups (**Figure 1**). For domains I to III, some relatively old 206 Pb/ 238 U dates (99–95 Ma) represent minimum estimates for the timing of prograde to peak metamorphism, while the nearly similar oldest 206 Pb/ 238 U date for domain IV (93 ± 7 Ma) points to rapid cooling from peak temperature conditions. A more dominant population of younger Th–U–Pb and 206 Pb/ 238 U dates is ascribed to age resetting by heterogeneous annealing of the monazite crystal lattice. The youngest concordant 206 Pb/ 238 U date of 86 ± 4 Ma is correlated with the end of medium temperature conditions (< 200–300 °C) below which monazite, in metamorphic rocks as well as in the surrounding granitoids, eventually behaved as a closed isotopic system (**Figure 2**).



Figure 2. Summary of age dating results for zircon and monazite. The timing of Low, Medium and High Temperature conditions in the Ryoke belt (SW Japan) is indicated.

Period of stay in ISEE

December 12th 2017.

Publication

SKRZYPEK E., KATO T., KAWAKAMI T., SAKATA S., HATTORI K., HIRATA T., IKEDA T., 2018. Monazite behaviour and time-scale of metamorphic processes along a low pressure/high temperature field gradient (Ryoke belt, SW Japan). *Journal of Petrology*, submitted.