4. 一般共同研究 目次詳細

(所属・職名は平成29年3月現在)

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

研究	究代表者	所属機関	所属部局	職名	研究課題名	頁
тэ	シスワント	国立研究開発法人 海洋研究開発機構	地球表層物質循環研 究分野	研究員	海色衛星観測による東シナ海での懸濁物の時空 間変動	100
阿部	学	国立研究開発法人 海洋研究開発機構	統合的気候変動予測 研究分野	技術副主任	地球システムモデルを用いたシベリア域におけ る大気水循環の経年変動特性の解明	102
鹿島	基彦	神戸学院大学	人文学部	准教授	北太平洋域の大気大循環場が台湾北東沖黒潮に 及ぼす影響	104
笠原	慧	東京大学	大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻	准教授	ジオスペース探査衛星ERG搭載機器MEPsフライ トモデルの性能試験	105
松本	淳	早稲田大学	人間科学学術院	教授	粒子状有機硝酸全量の大気観測に基づくガス- 粒子分配の評価	107
成行	泰裕	富山大学	人間発達科学部	准教授	ブラソフ方程式の高精度数値解法の開発と宇宙 プラズマ現象への応用	109
西田	哲	岐阜大学	工学部機械工学科機 械コース	准教授	プラズマCVD中での微粒子を利用した凝集構造 膜の作製	111
佐藤	興平	気象庁	気象大学校	非常勤講師	日本の揺籃期地殻に関する年代的研究	113
山田	広幸	琉球大学	理学部物質地球科学 科地学系	准教授	地上レーダーと航空機を用いた台風強度の最適 推定方法の検討	115
深沢	圭一郎	京都大学	学術情報メディアセ ンター	准教授	宇宙プラズマ流体シミュレーションのための超 並列計算フレームワークの開発	117
佐藤	友徳	北海道大学	大学院地球環境科学 研究院	准教授	北ユーラシアにおける降水の年々変動に対する 大気と陸面の役割	119
和田	龍一	帝京科学大学	生命環境学部	准教授	大気中窒素酸化物・オゾン濃度測定装置の改良	121
小池	真	東京大学	大学院理学系研究 科・地球惑星科学専 攻	准教授	航空機観測と数値モデル計算によるエアロゾル ー雲相互作用研究	123
大友	陽子	北海道大学	大学院工学研究院環境 循環システム部門 資 源循環工学分野 環境 地質学研究室	日本学術振 興会特別研 究員(SPD)	初期太古代石墨片岩中に含まれるジルコン, モ ナザイト, ゼノタイムのCHIME年代測定	125
村木	綏	名古屋大学	宇宙地球環境研究所 宇宙線研究部	名誉教授	太陽活動が地球気候へ与える影響の研究	127
大矢	浩代	千葉大学	大学院工学研究科	助教	LF帯標準電波を用いた地震後のD領域電離圏変 動	134
柴田	隆	名古屋大学	環境学研究科	教授	GOSAT検証のための陸別観測所におけるエアロ ゾル・雲のライダー観測	136
佐藤	永	国立研究開発法人 海洋研究開発機構	地球表層物質循環研 究分野	研究員	気候変動下における東南アジア熱帯林の応答予 測	137
勝俣	昌己	国立研究開発法人 海洋研究開発機構	地球環境観測研究開 発センター	主任技術研 究員	偏波レーダーを用いた海洋性メソスケール降水 系の研究	139

研究	究代表者	所属機関	所属部局	職名	研究課題名	頁
宗像	一起	信州大学	理学部	教授	宇宙線ネットワーク観測による宇宙天気研究	141
根田	昌典	京都大学	大学院理学研究科	助教	耐波浪環境シースプレー測器の開発と海上試験	143
鈴木	和良	国立研究開発法人 海洋研究開発機構	地球表層物質循環研 究分野	主任技術研 究員	ユーラシア大陸における植生と水文気候の相互 作用と経年変動に関する研究	145
森岡	昭	東北大学	理学研究科	名誉教授	サブストーム強度分布から探る磁気圏エネル ギー解放過程	147
廣川	淳	北海道大学	大学院地球環境科学 研究院	准教授	不飽和炭化水素のオゾン分解で生じるクリー ギー中間体と有機酸の反応性に関する研究	149
中田	裕之	千葉大学	大学院工学研究科	准教授	台風に伴う電離圏変動の解析	151
鷲見	治一	九州大学	国際宇宙天気科学・ 教育センター	客員教授	太陽圏構造とダイナミックスの研究	153
Kyoun	g-Sun Lee	National Astronomical Observatory of Japan (NAOJ)	Hinode Science Center	Spatially appointed reserch staff(Project reserch fellow)	Investgation of elemental abundance of flares using Hinode/EIS	154
大野	智生	気象庁 気象衛星セン ター	データ処理部	部長	大気放射モデルを用いた「ひまわり」シミュ レーション画像の作成と応用	156
佐藤	尚毅	東京学芸大学	自然科学系	准教授	現地観測データを用いた、気象じょう乱に伴う 黒潮続流の変動の解析	158
中村	健治	獨協大学	経済学部国際環境経 済学科	教授	名大X/KaレーダによるGPM主衛星上の二周波降 水レーダのデータ検証	160
薄目	良彦	大阪府立大学	大学院工学研究科 電 気・情報系専攻 電気 情報システム工学分野	准教授	高解像度気象シミュレーションデータの洋上電 カシステム解析・運用への利用に関する研究	162
西山	尚典	情報・システム研究 機構 国立極地研究所	研究教育系	助教	脈動オーロラの全自動解析手法の開発と時空間 特性の統計的導出	164
薮下	彰啓	九州大学	大学院総合理工学研 究院	准教授	高感度レーザー吸収分光法を用いた安定炭素同 位体比分析	166
村田	功	東北大学	大学院環境科学研究 科	准教授	フーリエ変換型分光計で観測された大気微量成 分の経年変動	168
伊藤	耕介	琉球大学	理学部	助教	航空機を用いた台風観測ミッション	170
馬場	賢治	酪農学園大学	農食環境学群 環境 共生学類 環境気象 学研究室	准教授	アジアダストに付着したバイオエアロゾルの時 空間変遷	172
川村	誠治	国立研究開発法人 情報通信研究機構	電磁波研究所 リモートセンシング 研究室	主任研究員	地上デジタル放送波を用いた水蒸気遅延測定	174
中田	聡史	神戸大学	海事科学研究科	特命助教	GOCIデータを用いた高解像度塩分動的マップの 作成・補完方法の開発	176
-						

研究	究代表者	所属機関	所属部局	職名	研究課題名	頁
藤本	晶子	九州大学	国際宇宙天気科学・ 教育センター	学術研究員	ERG衛星とMAGDAS地磁気観測網に基づくグロー バルPc5波動マップの構築	178
花土	弘	国立研究開発法人 情報通信研究機構	電磁波研究所 リモートセンシング 研究室	研究マネー ジャー	雲・降水観測レーダの航空機観測に関しての検 討	179
高橋	浩	国立研究開発法人 産業技術総合研究所	活断層・火山研究部 門	主任研究員	沈殿法による海水試料の放射性炭素分析の高精 度化に関する研究	180
中根	英昭	高知工科大学	環境理工学群	教授	レーザーとドローンを用いたメタン空間分布測 定システムの開発	182
三浦	和彦	東京理科大学	理学部第一部	教授	自由対流圏における新粒子生成と雲凝結核への 成長に関する研究	184
山崎	7	青山学院大学	理工学部 物理・数 理学科	准教授	高ベータプラズマ中を伝播する無衝突衝撃波の 研究	187
天野	孝伸	東京大学	理学系研究科	准教授	自己無撞着な内部磁気圏数値モデル	188
行松	彰	情報・システム研究 機構 国立極地研究所	研究教育系	准教授	SuperDARN北海道-陸別レーダーによる超高層大 気高精度観測	189
大嶋	晃敏	中部大学	工学部	准教授	太陽圏における銀河宇宙線伝播の研究	190
堀利	叩明	名古屋大学	環境学研究科	准教授	海水準変動や気候変動が河川・海岸地形の形成 に与える影響の解明	192
藤木	利之	岡山理科大学	理学部基礎理学科	講師	花粉分析による高分解能なアジア地域の植生変 遷史の解明	193
門叶	冬樹	山形大学	理学部	教授	2台の低バックグラウンドベータ線計数装置に よる遠隔地間のバックグラウンド時間変動の測 定	195
後藤	直成	滋賀県立大学	環境科学部	准教授	衛星リモートセンシングを利用した大規模湖に おけるクロロフィルa・SS濃度の推定	197
持田	陸宏	名古屋大学	大学院環境学研究科	准教授	沖縄の大気エアロゾルに含まれるフミン様物質 のキャラクタリゼーション	200
近藤	美由紀	国立研究開発法人 国立環境研究所	環境計測研究セン ター 応用計測化学 研究室	研究員	森林大気の二酸化炭素の ¹⁴ Cの高精度分析に向 けた試料調整法の共同開発	201
石丸	隆	東京海洋大学	海洋システム観測研 究センター	特任教授	セジメントトラップ実験による福島沖底層生態 系における放射性物質の移行過程に関する研究	203
皆巳	幸也	石川県立大学	生物資源環境学部 環境科学科	准教授	自由対流圏における大気微量成分の輸送と洗浄 に関する研究	205
細川	敬祐	電気通信大学	大学院情報理工学研 究科	准教授	光と電波を組み合わせた極冠域電離圏の3次元 観測	206
鈴木	臣	愛知大学	地域政策学部	准教授	高感度カメラによる大気光の多地点同時観測	208
河野	英昭	九州大学	国際宇宙天気科学・ 教育センター	准教授	SI に伴い中緯度 SuperDARN で観測される FLR 現象の統計的解析	209

研究代表者	所属機関	所属部局	職名	研究課題名	頁
町田 敏暢	国立研究開発法人 国立環境研究所	地球環境研究セン ター	室長	航空機と数値モデルを利用した東アジアにおけ るCO2フラックスの評価	211
河野 光彦	関西学院千里国際キャ ンパス / Australian National University	関西学院千里国際高等部 理科 / Research school of Physics and Engineering	教諭 / Visiting Fellow	高校生に対する地球環境教育研究	213
川手 朋子	宇宙航空研究開発機 構 宇宙科学研究所	ひのでプロジェクト	研究開発員	太陽フレアの彩層蒸発における高温プラズマ診 断	215
田上高広	京都大学	大学院理学研究科	教授	チーク年輪同位体比モデルを用いたインドネシ アジャワ島の環境変遷解析	217
加藤 雄人	東北大学	大学院理学研究科 地球物理学専攻	准教授	グローバルモデルと素過程シミュレーションに よる地球内部磁気圏での波動粒子相互作用の研 究	218
小川 泰信	情報・システム研究 機構 国立極地研究所	国際北極環境研究セ ンター	准教授	電離圏D/E層のプラズマ温度導出と検証	220
村田 文絵	高知大学	教育研究部自然科学 系理学部門	講師	世界最多雨地域における夜雨型降水とモンスー ン気流場との関係	222
岩井 一正	情報通信研究機構	電磁波研究所	協力研究員	太陽電波の観測的研究を通じた宇宙天気予測シ ステムの開発	223
福島 あずさ	神戸学院大学	人文学部	講師	夏季インド北東部・アッサム州の豪雨に対する 季節内変動の影響	225
渡辺 正和	九州大学	国際宇宙天気科学・ 教育センター	准教授	電離圏対流パターンの観測ーシミュレーション 比較	227
若月 泰孝	茨城大学	理学部	准教授	MPレーダと雲解像モデルを利用した降水量の推 定・予測に関する研究	229
関 華奈子	東京大学	大学院理学系研究科	教授	数値モデリングおよびデータ解析に基づく環電 流−放射線帯エネルギー階層間結合機構の研究	232
三谷 烈史	宇宙航空研究開発機 構	宇宙科学研究所 太陽系科学研究系	助教	ERG衛星搭載HEPの半導体検出部の低エネルギー 側の応答評価	234
津田 卓雄	電気通信大学	情報理工学研究科	助教	人工オーロラを活用した地上リモートセンシン グによる酸素原子密度観測の検討	236
宮田 佳樹	金沢大学	環日本海域環境研究 センター	博士研究員	遺跡出土遺物を用いた古食性、古環境復元研究	238
北和之	茨城大学	理学部	教授	航空機を用いた大気微量気体、エアロゾルのリ モートセンシング	240
高垣 直尚	兵庫県立大学	工学研究科 機械工学専攻	助教	台風下における風波の砕波機構の解明とモデリ ング	242
三澤 浩昭	東北大学	大学院理学研究科	准教授	木星放射線帯粒子変動要因の観測研究	244
野澤 恵	茨城大学	理学部	准教授	IPS観測による太陽風と人工衛星のCCD画像から 検出されたspeckleとの統計的解析	245

IPS観測による太陽風研究 Study of solar wind using interplanetary scintillation

小島正宜 (旧)名古屋大学太陽地球環境研究所

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

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



- そこで解析において使用するモデルを以下の4通りに変えて試してみた。
 - ・スペクトルの非等方性を考慮する
 - ・スペクトルの高周波域は s/n が悪く、低域は電離層シンチレーションやシステムの利得変動の影響を受けている 可能性があるのでフィッティングする周波数帯を狭くする。
 - ・太陽風速度の一様空間分布の仮定をやめる。
 - **•**inner scale の影響を考える。

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

1 1	27 May		3 June		
model	spectrum fitting	V	spectrum fitting	V	
anisotropic spectrum	no change	no improve	better	no improve	
narrower fitting range	better	no improve	no change	no improve	
structured SW	no improve	no improve	no improve	no improve	
inner scale	no improve	_	no improve	_	

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

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

・スペクトルフィッティングの悪さと速度推測の悪さに相関はないか。

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

結果は、下図、下表に示すようにどの除外基準も適用できなかった。





推定精度

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

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

加藤俊吾、首都大学東京·都市環境学部

【はじめに】

北半球、とくに東アジア地域は人口が密集している地域であり、人為 活 動 か ら 放 出 さ れ る 大 気 微 量 成 分 が 都 市 域 だ け で な く リ モ ー ト 地 域 に まで輸送され、半球内や同緯度帯での濃度に影響を及ぼしていること が考えられる。とくに光化学オキシダント(対流圏オゾン)は生物へ の影響・地球温暖化への寄与があり、その濃度変動が注目されている。 人為活動により放出される大気微量成分として一酸化炭素(CO)があ る。 大気 中 か ら は OH ラ ジ カ ル に よ り 除 去 さ れ る が 、 大 気 中 の 寿 命 は 1-2ヶ月程度と比較的長く、人為活動の指標として利用することができる。 揮 発 性 有 機 化 合 物 (VOC) は さ ま ざ ま な 種 類 が あ る が 人 為 活 動 か ら の 放出が多い。COやVOCは光化学オキシダント生成の前駆体であるため、 これらの長期的な濃度変動を把握することは重要である。また、大気 微 量 成 分 の ほ と ん ど が OHラ ジ カ ル に よ り 反 応 が 開 始 さ れ 大 気 中 か ら 除 去 さ れ る た め 、 大 気 中 OH ラ ジ カ ル 濃 度 は 大 気 化 学 反 応 で 決 定 的 に 重 要である。北海道母子里は内陸ではあるがリモート地として日本付近 の代表的な濃度を観測することができると考えられるため、長期観測 を行った。

【測定】

北海道の名古屋大学母子里(北緯 44.4° 東経 142.3°)にて CO と 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】

図に 2001 年からの CO(月平均値)および VOC の例としてアセチレンの長期濃度変動を 示す。冬季高濃度・夏季低濃度の季節変動が繰り返されている様子が分かる。シベリアの 森林火災などの影響などによる変則的な高濃度が例外的にあるが、長期的には CO は 2003 年あたりから徐々に減少する傾向にあることが見て取れる。この傾向は他のリモート地の 観測でも見られており、測定の問題ではなく北海道でも実際に濃度減少をしていると考え られる。この間、中国などの経済活動が停滞したわけではなく、技術的な改善により放出 地点での CO 排出量が減少していることが考えられるが、それ以外にも CO の除去反応、 つまりは大気中 OH ラジカル濃度が増加している可能性もある。一方、アセチレンの長期 濃度変動を見ると、とくに減少している傾向は見られない。大気中 OH ラジカルが増加し ていた場合にはアセチレンの除去反応も促進されて濃度は減少するはずである。アセチレ ンの放出量が増加している可能性もあるが、母子里の観測結果からは大気中 OH ラジカル 濃度の増加を支持するものではなかった。



図 母子里での一酸化炭素とアセチレンの長期濃度変動

トロムソ流星レーダーとナトリウムライダーによる 大気重力波解析手法の開発

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

堤 雅基、国立極地研究所・宙空圏研究グループ

研究目的

流星レーダーを用いて電離流星飛跡からのエコーを観測すると、エコー強度の減衰から、 両極性分子拡散係数を推定できる。これを用いて上部中間圏から下部熱圏域の大気温度を 観測する手法が開発され、大気波動研究などに応用されてきた[e.g. Tsutsumi et al.,1994;1996; Hocking et al.,1999]。本研究ではその手法をさらに発展させた中性 大気温度推定法および電子温度推定法の開発を目的とする。

研究方法

流星により形成された円柱状の電離飛跡は、形成後に分子拡散により径方向に急速に拡散し、そのレー ダーエコー強度は時間とともに指数関数的に減衰する。その減衰時定数から流星飛跡中プラズマの両極 性拡散係数 *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。

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

高度 110 km 程度以下においては、概ね T_e および T_i は中性大気温度 T_n に等しく ($T_e = T_i = T_n$)、 $D_a = 2D_i$ の関係が成り立つと考えられる。さらに、分子拡散は温度の関数であることから、 D_a を中性大気温度情報源として利用できる。Tsutsumi et al. [1996]の手法では、主に大気重力波などに伴う大気温度変動に着目し、中性大気温度 T_n と D_a の相対変動量の関係式を導いた。

$$\frac{T_n'}{T_{n0}} = \frac{1}{2} \frac{D_a'}{D_{a0}} \quad \vec{x} \ 2$$

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

研究結果

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

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

2012 年 1 月に EISCAT UHF レーダーで同時観測された下部熱圏電子温度およびイオ ン温度を調べてみると、顕著な Da 増大が観測された時間帯には、電子温度とイオン温度と もに増大が見られる傾向がある(図)。特に電子温度において高度 100 km以下に及ぶ下層 高度まで上昇がとらえられている。高度 105-110km における電子温度とイオン温度の比 (Te/Ti)を見積もると(図の最下段)、Da に大きな増大の見られない時間帯では概ね 1 付 近であるのに対し、増大の見られる時間帯においては比が最大 5 からそれ以上に及んでい る。式1から分るように、*Te/Ti*の増加は *Da*の増大を意味し、少なくとも定性的には観測 結果と整合的である。おそらく流星エコー観測高度においても *Te/Ti*が1より有意に大き くなっていると想像され、イオンは中性大気との十分な衝突により磁化されていないのに 対し、電子はすでに磁化されて中性およびイオン温度よりも高い温度となっていることを 示していると考えられる。

考察・まとめ

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

引用文献

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

成果発表

1 Atmospheric gravity wave study based on meteor temperature, Masaki Tsutsumi, Multistatic meteor radar workshop, IAP, Kuhlungsborn, Germany, 31 May-2 June, 2016.

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



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

自 動 車 排 ガ ス 起 源 SOAの 物 理 化 学 特 性 の 測 定

Measurement of physicochemical properties of SOA derived from vehicle emissions.

藤谷雄二、国立研究開発法人国立環境研究所・ 環境リスク・健康研究センター

研究目的

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

研究方法

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

この小屋で、2016年の冬季、夏季に、スス粒子-エアロゾル質量分析計(SP-AMS)による PM_{1.0}の化学成分の連続計測を行った。SP-AMS はタングステン蒸発器により 600℃で揮発 する非難燃性成分(土壌構成酸化物および元素状炭素以外)を、また、波長 1064 nm の Nd:YAG 連続発振型レーザー蒸発器によるレーザー誘起白熱法により光吸収性の難燃性黒色炭素

(rBC)を含むエアロゾルを蒸発させる。蒸発された成分は、電子衝撃法でイオン化されたのちに高分解能飛行時間型質量分析計(HR-ToF-MS)で測定される。データの解析にはHigh Resolution ToF-AMS Analysis Toolkit v1.16を用いた。本研究では、精密質量数のデータの解析結果を示す。

研究結果、考察

図1と図2にSP-AMSの測定結果を示す。冬季、夏季とも有機物は主成分(有機物、rBC、 硝酸(塩)、硫酸(塩)、アンモニウム、塩化物(Ch1))の約半分を占めていた。冬季は次 に硝酸塩、硫酸塩の順であった。夏季は硫酸塩の濃度が高くなり硝酸塩の濃度は著しく下 がった。これは気温が高いため粒子態として存在しにくく気相に多く存在していたためと 考えられる。

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

73

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





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

堀田英之、千葉大学·理学研究科

磁束輸送モデルを用いた太陽活動予測手法の開発・実際の予測をおこなった。広く知られて いるように太陽の活動は11年の周期を持って変動しているが、一つ一つの11年周期もまた 変動している。 例えば、 2008年ごろに始まった今回の11年周期は最近100年間で最も活動度 が低かった。太陽活動はフレアやコロナ質量放出といった爆発現象を通して、地球に影響を 与える。また、最近では太陽の地球機構への影響を指摘する研究もある。このように、太陽 活動を理解することは宇宙地球環境を理解する上で重要である。本共同研究では、磁束輸送 モデルを用いた手法をとることにした。これまでの観測から、サイクルn-1とサイクルnの 間の極小期に観測される極磁場(もしくはダイポールモーメント)は、サイクルnの極大期の 黒点数とよく相関することが知られている。よって、極小期がくれば次のサイクルの黒点数 を予測することが可能である。次の極小期は2020年に来ると考えられているが、我々は現 在でも、予測できるのではないかと考えた。これまでの数周期のデータを見ると、極小期の 数年前からダイポールモーメントがほとんど変化しなくなる期間があることを発見した。 この原因は、まだよくわかっていないが、黒点数自体が減ること、黒点ペアの傾きが小さく なることが要因としてあげられる。いずれにせよ、2017 年現在で、2020年までほとんどダ イポールモーメントが変化しないと考えられる可能性が高いことがわかった。そのことか ら現在のダイポールモーメントを見積もってやると、2025年に来ると考えられる次の極大 期では、現在の周期より数十%ほど黒点数が少なくなるだろうと予測した。本成果は、すで に論文化が済んでおり、投稿間近である。本共同研究の費用は全て旅費に用いた。東京・千 葉・名古屋で直接顔を合わせ、研究方針・結果の解釈を議論することで円滑に研究を進める ことができた。



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

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

伴場由美

宇宙航空研究開発機構/宇宙科学研究所

1. 研究目的・方法

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

- ① 個々のイベント解析および理論モデルとの比較による、フレア・CME発生の物理 過程の理解、およびその発生の指標となり得るパラメータの候補の決定: ひので・SDO・IRISなどの太陽観測衛星による活動領域データを詳細に解析し、光 球面における小規模磁場構造による擾乱などが、どのようにして活動領域の大規模 磁場構造のトポロージー変化を引き起こすのかを調べる。また、フレア・CME発生 の原因となりうる小規模な擾乱現象を特徴づける、観測データから導出可能なパラ メータの候補を決定する。
- ② フレア・CMEイベントの統計解析による、予測パラメータの評価: ①で候補としてあげたパラメータを、SDO衛星データを用いて自動的に測定し、 それぞれのパラメータのフレア・CMEとの相関を調べることで、予測に有効なパラ メータとその臨界値を決定する。
- 2. 平成28年度における研究成果・考察

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

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

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

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

3. 成果発表

- ・論文
 - [1] Y. Bamba and K. Kusano, "Evaluation of the Consistency between a Flare Trigger Model and Observations of SDO/HMI and AIA", *Publications of the Astronomical society of Japan* (under review)
 - [2] Y. Bamba, K. S. Lee, S. Imada, and K. Kusano, "Study on the Pre-flare Activity of the X1.6 Flare in the Great AR 12192 with SDO, IRIS, and Hinode", *The Astrophysical Journal* (under review)
 - [3] Y. Bamba, K. Kusano, S. Inoue, and D. Shiota, "Triggering Process of the X1.0 Flare in the Great Active Region NOAA 12192", *The Astrophysical Journal* (accepted)
- ・学会発表
 - Y. Bamba, and K. Kusano, "A Flare Trigger Model Based On Satellite Observations", NOAA Space Weather Workshop, Broomfield, CO, USA, April 26-29, 2016
 - [2] Y. Bamba, and K. Kusano, "Current Status and Further Issues of the Observational Study for Solar Flare Trigger Process", Hinode-10, Nagoya, Japan, September 5-8, 2016
- ・その他、一般向け解説記事
 - 天文月報第109卷(2016年9月号)、伴場由美、
 - "「ひので」/可視光磁場望遠鏡で迫る太陽フレア発生過程の謎"

レーザー分光法による温室効果気体のフラックス計測

Laser spectroscopic measurements of greenhouse gas fluxes from terrestrial ecosystems

髙橋 けんし(京都大学・生存圏研究所)

背景と目的

微量物質を介した大気圏と陸域生態系とのカップリングは、大気中の化学過程や放射収 支などへの関与を通じて、グローバルな温暖化をはじめとする大気環境変動に重要な影響 を及ぼす. 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 N₂0 といった第二、第三の温室効果気体のフラックスを 高精度に計測する研究は、いまだに不十分である.その理由の一つは、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.本研究では、半導体レーザー 吸収分光法を用いることによって、CH₄や N₂0 といった、CO₂や H₂0 よりも濃度の低い物質 をターゲットにして、そのフラックス計測法を開拓することである.

研究方法

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

結果と考察

水分不飽和な環境にある土壌表層と大気との間のメタンガス交換フラックスの測定から は、1年を通してほとんどの期間に CH4吸収が観測された.また、気温が上昇するにつれて CH4吸収の増加が観測されたが、その大きさは三プロットにおいて最大で数倍程度も異なっ ていた.この理由として、土壌中に存在するメタン資化細菌とメタン生成菌の活性度の温 度依存性とダイナミカルな競合が考えられる.

成果発表

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

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

渡 邉 恭 子 、 防 衛 大 学 校 · 地 球 海 洋 学 科

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

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

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

上記の101例の「ひので」白色光観測データを用いて、白色光フレアの発生条件を求めるた めの統計解析を進めた。まず、WLF と NWL のフレア継続時間を調べたところ、WLF の継 続時間が NWL と比べて明らかに短いことが分かった。次に WLF と NWL の温度とエミッショ ンメジャーの関係を調べたところ、WLF は NWL より温度が高く、エミッションメジャーが小さい傾向 があった。この関係より、WLF の加速域の磁場は NWL より強いことが示唆された⁽²⁾。次に、これら のイベントにおけるフレアリボン(SDO/AIA 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 いは無かった。これより、フレアリボン間距離は WLF の方が短いという先行研究の結果が確かめら れ ⁽³⁾、光球磁場強度はあまり白色光の発光に影響していないことが分かった。 先行研究で白色光フレアは硬 X 線と良く相関していることが知られているため、RHESSI 衛星 のデータとの関連性も調べた。上記の 101 例の観測イベントのうち、27 例のイベントが RHESSI でも 50keV 以上の硬 X 線を伴って観測されていた。このうち WLF は 17 例(うち X クラスフ レア 6 例、M クラスフレ 11 例)、NWL は 10 例 (うち X クラスフレア 2 例、M クラスフ レア 9 例)であった。

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

現在、上記の解析結果について投稿論文を作成中である。

参考文献

- Watanabe, K., S. Masuda, and T. Segawa, Solar Physics, 279, 317-322, 2012. https://hinode.isee.nagoya-u.ac.jp/flare_catalogue/
- (2) Shibata and Yokoyama, ApJ, 526, L49-L52, 1999.
- (3) Kitagawa, J., Master thesis, Nagoya University, 2015.

成果発表

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

TitaniQ 温度計を用いた結晶化温度の決定のための石英中の Ti 濃度の定量分析 Quantitative determination of Ti concentration in quartz, giving crystallization temperature with TitaniQ thermometer

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

1. 研究目的

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

試料と分析方法

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

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

研究結果・考察

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

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

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

Ti 濃度は、石英のコアとリムで明瞭な差があり、変動を有するが、全体的にはコアからリムにかけて 減少する傾向が認められる(図 2). 定量分析の結果から、Wark and Watson(2006)の地質温度計により 石英の結晶化温度を求めた.結晶化温度は、コアからリムにかけて約 50 ℃低下していることが読み取れ る (図 3). このことから, この石英は約 50 ℃冷却される間に, コアからリムまで 1.3 mm 成長したこと が明らかになった.



4. まとめ

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

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

5. 文献

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

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

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

【目的】宇宙航空研究開発機構(JAXA)では、気候変動観測衛星「GCOM-C」を打ち上 げる予定である.GCOM-Cでは、250 mや500 mの高空間解像度で、海面水温とクロロ フィル(Ch1)のデータが得られる.GCOM-Cの水温・Ch1の高空間解像度プロダクトが 成功すれば、帯状のCh1分布などのサブメソスケール(十数km程度)現象の観測研究 が飛躍的に進歩することが期待されている.Takikawa et al. (2016)によると、日 本海南西海域はサブメソスケール現象が卓越する海域である.本研究では、日本海南 西海域で、船舶による表層水の連続観測を行い、GCOM-Cの高解像度プロダクトと比較 しうるデータを得る.本報告では、2016年4月に観測された当海域における表層Ch1 の特徴的な時空間変化について紹介する.

【海洋観測・解析】2016年4月19日から4月23日にかけて、山口県沖合の日本海南西 海域において、水産大学校練習船「耕洋丸」のサーモサリノ(日本海洋株式会社製) による表層約2 m深の水温・塩分・蛍光強度観測を行った.データ取得の時間間隔は 30秒とし、航路上の表層水をモニターした.解析には5分平均したデータを用いた. 表層水モニタリング中にCTD観測を27回行い、水温・塩分・Ch1の鉛直プロファイル を得た.CTDに取り付けられたロゼット採水器を用い、標準採水層(10,20,30,5 0,75,100,125,150,200,300,500 dbar,最深層)で塩分・Ch1(75 dbar以 浅)測定のための試水を得た.CTDの塩分・Ch1は、試水を分析した結果を用い較正し た.ここで、Portasal Salinometer 8410A(Guildline Instruments社製)を用い塩 分検定を行った.Ch1色素の抽出には、n,n-ジメチルホルムアミド(DMF)を使用した. その後、10AU Fluorometer (Turner Designs社製)を用いWelschmeyer法によるCh1aの分析を行った.滝川ほか(2009)の方法により、較正済の2 dbar深のCTDデータ を用い、サーモサリノで得られた水温・塩分・蛍光強度を補正した(図1).

【結果・考察】航海の前半と後半に分けて,表層水のモニタリング結果を図2に示す. 航海前半,東経131度15分の観測線上の北緯35度34分以北の海域で,Ch1-a濃度が1.5 mg/m³以上の海域となり,最大で3.7 mg/m³(4月21日14時15分~14時20分)を観測した.この高Ch1水は,低温・低塩分の海域と大よそ一致して分布していた.翌日(航 海後半)には,この高Ch1域の近傍で,Ch1-a濃度が0.6 mg/m³と低い値を示した(4 月22日05時20分,北緯35度41.8分,東経131度06.9分).人工衛星Aqua (MODIS) に よる海色画像(4月19日)によると,船舶で観測されたような高いCh1濃度は観測され ていない(図3).ただし,帯状のCh1分布が観測されており,複雑なフロントを形成 していた.本船舶観測で得られたCh1の時空間変化は,フロントの移動やフロント近 傍での植物プランクトンの増加など複数の要因によって生じたと考えられる.



図1. 水温・塩分・Ch1-a(蛍光強度)の散布図. サーモサリノとCTD(較正済)によ る観測値をそれぞれ横軸と縦軸にとり,両者を比較した.



図2. 航路上の表層水温・塩分・Ch1-a. 上図と下図に、それぞれ航海前半(2016年4月19日12時50分~4月21日18時30分)と後半(2016年4月21日18時40分~4月23日16時20分)の結果を示す。



図3. 人工衛星Aqua (MODIS) によるChl-aの分布 (2016年4月19日). NASAのOceanCo lor WebからLevel 3データをダウンロードした (https://oceancolor.gsfc.na sa.gov/cgi/13).

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

引用文献

- 滝川哲太郎,秦一浩,上野俊士郎,河村真理子,森本昭彦,宮地邦明:2009年初夏,隠岐諸島東方海域における海洋構造と大型クラゲ(Nemopilema nomurai)の 分布.海と空,86,13-22 (2010)
- Takikawa T, Morimoto A, Onitsuka: Subsurface nutrient maximum and submes oscale structures in the southwestern Japan Sea. Journal of Oceanogra phy, 72, 529-540 (2016)

大気中の温室効果ガス計測システムの装置開発

Development of greenhouse gas observation system in the atmosphere

大橋 勝文、鹿児島大学、学術研究院理工学域工学系

研究目的

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

研究手法

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



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

研究結果および考察

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

$$XCO_{2}(t) = Intercept + Trend \times t + \frac{Amp_{1}}{2} \times \cos\left(2\pi \frac{t - \Phi_{1}}{365}\right) + \frac{Amp_{2}}{2} \times \cos\left(4\pi \frac{t - \Phi_{2}}{365}\right)$$
(1)

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



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

薄い青丸●:XC02、 濃い青丸●:衛星時間 10 時から 14 時の XC02 の平均値、 赤線 式(1)による Fitting 曲線

参考文献

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

成果発表

論文成果リスト なし

国内学会・研究集会発表リスト

K. Fujimoto, M. Ohashi, X.-C. Qin, T. Nakayama, M. Kawasaki, Y. Matsumi, R. Imasu, Y. Tanaka, Y. Nakano, "CO₂ column measurement in Tokyo Metropolitan Area by a compact optical spectrum analyzer",第 22 回大気化学討論会、 札幌、平成 28 年 10 月 12 日

国際学会・海外研究集会発表リスト

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

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

佐藤正樹、東京大学・大気海洋研究所

1. 研究目的

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

2. 研究方法

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

3. 研究結果

このバルク法スキームは、雲粒数密度が降水効率に及ぼす影響をよく表現できているものの、ビ ンスキームに比べて地表面付近の雨滴数密度が多く、地表面降水量が少なく、層平均レーダ反射 因子の雲頂からの光学的深さに対する変化率が雲頂付近で小さいことがわかった。この変化率は bulk collection efficiency と正の相関があると言われているが(Suzuki et al., 2010, Kuba et al., 2 015)、この研究ではバルク法スキームで使われているbulk collection efficiencyとビン法スキーム から計算されるbulk collection efficiencyに相当する量は近い値となっていることが確かめられた。 この変化率の差は雨滴の落下速度の差がもたらす雨水量の鉛直分布の差によるものであること が確かめられた。バルク法スキームでは衝突分裂が過大評価され、地表面付近の雨滴数密度が多 くなっていること、また雨滴の落下速度が過大評価され、層平均レーダ反射因子の雲頂からの光 学的深さに対する変化率が雲頂付近で小さくなっていることが確かめられた。これを改善するた めにバルク法スキーム内のパラメータであるequilibrium mean volume radius を大きくし、雨滴粒 径分として仮定されているガンマ分布のshape parameter を大きくした数値実験を行った。その結 果、地表面付近の雨滴数密度、雲頂付近の層平均レーダ反射因子の雲頂からの光学的深さに対す る変化率ともにビン法スキームのものに近づいた。さらに雲底下の蒸発量が減り地表面降水量が ビン法スキームのものに近づいた。このことから、雨滴数密度の地上観測および衛星観測データ から作成される層平均レーダ反射因子と雲頂からの光学的深さの関係を表す図などが大気の条 件(雲凝結核数密度、雲内上昇流速度など)の情報とともに得られるのであればこれらから、バ ルク法スキーム内のパラメータであるequilibrium mean volume radiusや雨滴粒径分として仮定さ れているガンマ分布のshape parameterを調整することができることがわかった。

4. まとめ

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

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

5. 引用文献

- Hashino, T., M. Satoh, Y. Hagihara, T. Kubota, T. Matsui, T. Nasuno, and H. Okamoto, 2013: Evaluating cloud microphysics from NICAM against CloudSat and CALIPSO. J. Geophys. Res., 118, 1-20, doi:10.1002/jgrd.50564.
- Kuba, N. and Y. Fujiyoshi, 2006: Development of a cloud microphysical model and parameterizations to describe the effect of CCN on warm cloud. *Atmos. Chem. Phys.*, **6**, 2793-2810, doi:10.5194/acp-6-2793-2006.
- Kuba, N. and M. Murakami, 2010: Effect of hygroscopic seeding on warm rain clouds numerical study using a hybrid cloud microphysical model. *Atmos. Chem. Phys.*, **10**, 3335-3351, doi:10.5194/acp-10-3335-2010.
- Kuba, N., K. Suzuki, T. Hashino, T. Seiki, and M. Satoh, 2015: Numerical experiments to analyze cloud microphysical processes depicted in vertical profiles of radar reflectivity of warm clouds. J. Atmos. Sci., 72, 4509-4528, doi:10.1175/JAS-D-15-0053.1
- Satoh, M., T. Matsuno, H. Tomita, H. Miura, T. Nasuno, and S. Iga, 2008: Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model (NICAM) for global cloud resolving simulations. J. Comp. Phys., 227, 3486-3514, doi: 10.1016/j.jcp.2007.2.006.
- Satoh, M. and Coauthors, 2014: The non-hydrostatic icosahedral atmospheric model: Description and development. *Progress in Earth and Planetary Science*, **1**, doi: 10.1186/s40645-014-0018-1.
- Shipway, B. J. and A. A. Hill, 2012: Diagnosis of systematic differences between multiple parameterizations od warm rain microphysics using a kinematic framework. Q. J. R Meteorol. Soc. 138, 2196-2211. doi:10.1002/qj.1913.
- Tomita, H. and M. Sato, 2004: A new dynamical framework of nonhydrostatic global model using the icosahedral grid. *Fluid Dyn. Res.*, 34, 357-400, doi: 10.1016/j.fluiddyn.2004.03003.

6. 成果発表

○国際学会口頭発表

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

○国内学会口頭発表

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

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

岩崎杉紀、防衛大学校 · 地球海洋学科

目的

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

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

方法

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

結果

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

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



放球 2 回目(24 日深夜)は、小雪が舞うなか放球した。図1は、1 秒当たりに計測された粒子の個数と粒子形状の指標となる DOP の鉛直分布を示す。1 個/s は3×10³個/m³に対応するのだが、補正を行うと1 桁程度大きくなることがある。補正は今後の検討課題である。DOP は、垂直偏光を利用した指数で、その値が 0.5 から1 だと球形粒子、それ以外だと不規則形状粒子となるものである。図1 より、高度 2.5km 付近(気温-10度前後)厚さ 0.5km の過冷却な水雲以外は氷雲であったと思われる。この下は降雪、この上の高度 6km 付近は粒子個数が少ない。この事例は、本研究のきっかけとなった衛星の事例と同じ雲・降雪構造かもしれない。

今後の課題

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

図1 CPSの1秒当たりの粒子の個 数(+)とDOP(×)の鉛直分布。

<u>成 果 発 表</u>

日本気象学会 2017 年度春季大会に発表予定である。

内部磁気圏DC電場・低周波電場波動における

地上データ処理・校正手法の確立

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

笠羽 康正、東北大学·大学院理学研究科·地球物理学専攻

1. 研究目的

2016年12月に打ち上げられた ERG 衛星に搭載された Plasma Wave Experiment (PWE)は、 地球内部磁気圏でのプラズマ波動-粒子相互作用を的確に検出し、磁気圏内でのグローバル な物質・場のエネルギー収支・交換・伝搬を定量評価できる手段となる。その実現には、 磁気圏構造変動とプラズマ輸送の情報を握る DC 電場・低周波電場波動のデータ精度を確 実なものとし、その励起・伝搬過程の定量評価とその物理的役割の解明を可能とする必要 がある。これに向け、以下の作業を Themis や Van Allen Probes 観測データ、海外実験測 定結果、および ERG PWE のエンジニアリング実機性能評価を合わせる形で実施する。成果 は, ERG による内部磁気圏観測の不可欠な基礎を形成し、また Telemetry や運用の制約が 厳しくプラズマ環境も異なる水星 (BepiColombo)・木星 (JUICE) への展開体力の基礎となる.

2. 研究方法·結果

(1) イベントトリガーモード

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

(2) Probe 表面素材の電子特性

ERG 軌道は近地点が 300km と低く、酸素原子による Probe 表面素材へのダメージ(不導体化) が米国研究者により最近指摘された。また遠地点が高く Lobe に突入すること、また Storm 時の大規模高温 Electron 所在のため、電場計測に伴う Probe 電位が不安定化しうる。電場 観測精度の低さは VAP 観測でも指摘されてきており、Themis・Van Allen Probes や過去の 低軌道衛星 (Astrid-2、FAST など)の衛星電位・電場データ、表面素材試験結果、ERG 実 観測データを用いて、Probe 表面状態・対 Plasma インピーダンス (光電子 yield・二次電 子 yield・表面電気伝導度による)の時間遷移推定とその補償方法を検証した。なお、JAXA とともに行った Probe 表面状態・対 Plasma インピーダンスの ERG 想定軌道環境における劣 化時間遷移は,想定軌道における想定環境下では「無視可能なもの」という結果で,UC Berkeley による試験結果とは必ずしも一致していない. MMS では劣化が見られるという非 公式情報(上記提供を行った Sweden/IRFU メンバーとの会話)もあり,Sphere 表面処理方 法の差など,さらなる掘り下げが要請されるところである.

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

(3) BIAS 電流值

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

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



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

<u>4.成果発表</u> 様式 4-1 を参照されたい. レーザ分光法による連続二酸化炭素安定同位体炭素比測定を用いた 土壌炭素フローの理解

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

米村正一郎、農研機構・農業環境変動研究センター

【研究目的】

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

【研究方法】

土壌およびミミズに安定炭素同位体Cでも¹³C比率の高い稲わらサンプ ルやブドウ糖を添加することにより、発生してくる二酸化炭素のδ¹³C がどう変化するかをエアロダイン分光計によって測定を行う同位体添 加手法の確立が必要である。しかしながら、まず、添加をしなくても どの程度の同位体分別効果が起きるのかを土壌について調べる必要が ある。これらについて、土壌ガス交換量自動測定システムで火山灰黒 ボク土対象に実験を行い松見教授と議論を行った。

【研究結果と考察】

以下の研究結果が得られた。

◎土壌温度やC02濃度を変化させた時に土壌そのもののC02の放出(温度を上げた際やC02濃度を下げた際)と吸収(濃度を下げた時やC02濃度を下げた際)が見られた。C02吸収が見られたということは生物現象であるとは考えられず非生物現象であると考えられる。

©この非生物過程により、CO₂の同位体分別効果(Δ¹³CO₂をキーリング プロット的な同位体比で表現)が見られた。温度を上昇させた時に土 壌から脱着によりCO₂放出が見られたが、まず軽いCO₂から脱着が行わ れることが分かった。さらに、途中で急に重いCO₂が脱着し始め最後に 一定の同位体比が落ち着いた。逆に温度を下げた場合には、CO₂の吸収 が見られたが徐々に同位体比が徐々に重くなっていく傾向が見られた。

【まとめ】

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

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

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

【研究目的】

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

【研究方法】

(1) セジメントトラップ実験による沈降粒子中放射性セシウムの時系列観測

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

(2) 数値シミュレーションによる FNPP1 沖海底付近の流向流速の再現

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

【研究結果と考察】

(1) セジメントトラップ実験による沈降粒子中放射性セシウムの時系列観測

2011 年 7 月~2012 年 7 月には、¹³⁷Cs フラックスが 2011 年 9 月~10 月、12 月~2012 年 1 月に増加した(図 1)。2012 年 7 月~2013 年 7 月には、やや高めの¹³⁷Cs フラックスが 2012 年 10 月頃に観測された。2013 年 7 月~ 2014 年 7 月には、2013 年 9 月~10 月に顕著なピークが観測された。2014 年 10 月~2015 年 7 月には放射性セシ ウム濃度、フラックスともに低くなったが、2015 年 1 月~2 月に両者が増加した。¹³⁷Cs と同様に半減期 2 年 の¹³⁴Cs もほぼ全ての試料から検出され、同様な時系列変化を示した。観測された¹³⁷Cs フラックスの季節変動が 海洋表層の生物活動の季節変動と異なること、捕集粒子の主要成分が鉱物起源物質であること、水深 1000m のセ ジメントトラップの¹³⁷Cs フラックスが水深 500m のものより大きいこと、表層海水の¹³⁷Cs 濃度・¹³⁷Cs の海水~粒 子分配係数・全粒子フラックスから経験的に推定される¹³⁷Cs フラックスより、セジメントトラップで観測され た¹³⁷Cs フラックスが数倍~数+倍高いこと、等から、セジメントトラップで捕集された¹³⁴Cs は、海洋表層から 鉛直的に沈降したものに加え、海中を水平的に移動してきたものであると示唆された。捕集粒子の¹³⁷Cs と過剰放 射性鉛(²¹⁰Pb)の比(¹³⁷Cs/²¹⁰Pb_{ex})が FNPP1 沖陸棚(海底 200m 以浅)海底堆積物の同比と同程度であることか ら、FNPP1 事故起源の放射性セシウムを吸着した浅海域の堆積物が、冬季や荒天時に再懸濁して大陸斜面方向へ 運ばれたと推定された。特に、2013 年秋季に観測された¹³⁴Cs フラックスの増加は、福島沖を通過した複数の台 風の影響によるものと推定された(Buesseler et al. 2015,本多と乙坂 2016)。このことは同時期に FNPP1 南 方沖の沿岸海底付近(観測点 C: 北緯 37 度/東経 141 度付近、水深 80m) で観測された台風通過時の流れ・波浪 増加による海底せん断力増加と海底付近濁度の上昇(八木ほか 2015) により支持された。

(2) 数値シミュレーションによる福島沖海底付近の流向流速の再現

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

【結論】

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

【引用文献】

- Buesseler KO, German C, Honda MC, Otosaka S, Black E, Kawakami H, Manganini S, Pike S.: Tracking the fate of particle associated Fukushima Daiichi cesium in the ocean off Japan. Environmental Science and Technology, "49, 9807-9816", DOI: 10.1021/acs.est.5b02635 (2015).
- 本多牧生、乙坂重嘉:福島原発事故由来の放射性物質が付着した海底堆積物の再懸濁と水平輸送過程、日本原子力 学会誌 58, 4, 24-27 (2016).
- Miyazawa, Y., R. Zhang, X. Guo, H. Tamura, D. Ambe, J.-S. Lee, A. Okuno, H. Yoshinari, T. Setou, and K. Komatsu: Water mass variability in the western North Pacific detected in a 15-year eddy resolving ocean reanalysis, J. Oceanogr. 65, 737-756, (2009)
- Varlamov, S. M., X. Guo, T. Miyama, K. Ichikawa, T. Waseda, and Y. Miyazawa: M₂ baroclinic tide variability modulated by the ocean circulation south of Japan, J. Geophys. Res. Oceans, 120, 3681–3710, doi:10.1002/2015JC010739. (2015)
- 八木宏、杉松宏一、小口哲史、川俣茂、中山哲巌、磯崎由行:常磐いわき沖海域における底面せん断力の特徴と 底質濁度輸送について.土木学会論文集B2(海岸工学)71,2,I 391-I 396 (2015).



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

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

竹谷文一、海洋研究開発機構

・地球表層物質循環研究分野

【はじめに】

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

【観測および装置】

2014年の夏季から秋季に実施された海洋地球研究船「みらい」の航海M R14-04 (釧路-ダッチハーバー)およびMR14-05 (ダッチハーバー-横浜 8)で観測を実施した。単一蛍光粒子リアルタイム計測装置(WIBS4)を内 蔵したシェルターを船の最上階のデッキに設置し、直接装置に大気を 導入し、大気中に存在する蛍光性粒子の測定を行なった。本装置では、 635nm赤色連続光レーザーを利用し、粒子の検出を行い、その散乱光から粒径、および粒子形状に関する情報を取得し、またそれを駆動信号 として、同一粒子に280nm および370nmのランプパルス光を時間差で粒 子に照射し、粒子内の蛍光物質を励起し、蛍光を検出する。バンドパ スフィルターを利用し、本装置で検出する蛍光は3種類であり、どれか 1つでも蛍光を検出した場合、その粒子を蛍光性粒子とし、これらの蛍 光をすべて同時に検出した粒子は生物由来粒子として用いられる(表 1)。本研究では、0.8µm以上の粒径の粒子に対して、蛍光パターンなど の解析を行なった。

【結果および考察】

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

表1蛍光パターンの組み合わせ

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

表2 北極海上で取得した蛍光粒子のパターン

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

成果論文

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

学会発表

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

TAKETANI FUMIKAZU, KANAYA YUGO , Nakayama Tomoki , Ueda Sayako , MATSUMI YUTAKA , SADANAGA YASUHIRO , IWAMOTO YOKO , MATSUKI ATSUSHI \lceil Property of Black Carbon Particles Measured by a Laser-Induced Incandescence Technique in the Spring at Noto Peninsula, Japan J American Association for Aerosol Research 35th Annual Conference, $\pi - h \bar{\neg} \vee \bar{F}$, 2016/10/13
伝送線モデルを応用した磁気圏電離圏結合の研究 MI coupling studies using the transmission line model

> 菊 池 崇、名 古 屋 大 学 太 陽 地 球 環 境 研 究 所 西村 幸敏、カリフォルニア大学大気海洋科学科

【研究目的と方法】

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

【28年度の成果】



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

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

- 1. Kumiko Hashimoto, Takashi Kikuchi, Ichiro Tomizawa, Tsutomu Nagatsuma, Cowling conductance estimated from the equatorial electrojet and midlatitude ionospheric drift velocity during the Halloween storm PC5 events, in preparation.
- (2016年発表論文)
- Sandeep Kumar, B. Veenadhari, S. Tulasi Ram, S.-Y. Su, T. Kikuchi (2016), Possible relationship between the equatorial electrojet (EEJ) and daytime vertical E _ B drift velocities in F region from ROCSAT observations, Advances in Space Research, 58, 1168-1176.
- Tanaka, T., M. Watanabe, M. Den, S. Fujita, Y. Ebihara, T. Kikuchi, K. K. Hashimoto, R. Kataoka (2016), Generation of field-aligned current (FAC) and convection through the formation of pressure regimes: Correction for the concept of Dungey's convection, J. Geophys. Res. Space Physics, 121, doi: 10.1002/2016JA022822.
- 3. Nishimura, Y., T. Kikuchi, Y. Ebihara, A. Yoshikawa, S. Imajo, W. Li, H. Utada (2016), Evolution of the current system during solar wind pressure pulses based on aurora and magnetometer observations, EPS DOI: 10.1186/s40623-016-0517-y
- 4. Kikuchi, T. and K. K. Hashimoto (2016), Transmission of the Electric Fields to the Low Latitude Ionosphere in the Magnetosphere-Ionosphere Current Circuit, Geoscience Letters, DOI: 10.1186/s40562-016-0035-6.
- 5. Kikuchi, T., K. K. Hashimoto, I. Tomizawa, Y. Ebihara, Y. Nishimura, T. Araki, A. Shinbori, B. Veenadhari, T. Tanaka, and T. Nagatsuma (2016), Response of the incompressible ionosphere to the compression of the magnetosphere during the geomagnetic sudden commencements, J. Geophys. Res. Space Physics, 121, doi:10.1002/2015JA022166.
- (2016年口頭発表)
- 1. T. Kikuchi, K.K. Hashimoto, I. Tomizawa, Y. Ebihara, Y. Nishimura, et al., Response of the incompressible ionosphere to the compression of the magnetosphere during the geomagnetic sudden commencements, JpGU 2016, Makuhari,
- 2. T. Kikuchi, K.K. Hashimoto, Y. Ebihara, T. et al., Generation and Propagation of Penetration Electric Fields to the Low Latitude Ionosphere during Substorm and storms, AOGS 2016 Beijing (invited).
- 3. T. Kikuchi, K. K. Hashimoto, Y. Ebihara, I. Tomizawa, T. Tanaka, T. Nagatsuma, Evening anomaly of the penetration electric fields at mid-equatorial latitudes during space weather disturbances, AOGS 2016 Beijing (invited).
- 4. 菊池崇、橋本久美子、海老原祐輔、冨澤一郎、田中高史、長妻努,中低緯度電離 圏における磁気圏起源電場の夕方異常, SGEPSS 2016,九州大学、福岡。
- 5. T. Kikuchi, K.K. Hashimoto, Y. Ebihara, T. Tanaka, I. Tomizawa, T. Nagatsuma, Transmission of the magnetospheric electric fields to the lowlatitude ionosphere during storm and substorms, AGU 2016, San Francisco.

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

エコ シスワント、国立研究開発法人海洋研究開発機構地球表層物室循環研究分野

1. Background and Objectives

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

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

2. Methodology

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

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

3. Results and Discussion



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



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

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

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

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

4. Summary

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

References

- Dai, Z., et al., (2016), Decline in suspended sediment concentration delivered by the Changjiang (Yangtze) River into the East China Sea between 1956 and 2013, Geomorphology, published online, http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.06.009.
- Gong, G.-C., et al., (2003), Seasonal variation of chlorophyll a concentration, primary production and environmental conditions in the subtropical East China Sea, Deep-Sea Research II 50:1219-1236.
- Gong, G.-C., and G.-J. Liu (2003), An empirical primary production model for the East China Sea, Continental Shelf Research, 23:213-224.
- Siswanto, E., et al., (2008), The long-term freshening and nutrient increases in summer surface water in the northern East China Sea in relation to Changjiang discharge variation, Journal of Geophysical Research, 113:C10030, doi:10.1029/2008JC004812.
- Siswanto, E., et al., (2011), Empirical ocean-color algorithms to retrieve chlorophyll-a, total suspended sediment matter, and colored dissolved organic matter absorption coefficient in the Yellow and East China Seas, Journal of Oceanography, 67:627, doi:10.1007/s10872-011-0062-z.
- Yang, S.L., et al., (2015), Decline of Yangtze River water and sediment discharge: Impact from natural and anthropogenic changes, Scientific Report, 5:12581, doi:10.1038/srep12581.

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

阿部 学 海洋研究開発機構 · 統合的気候変動予測分野

はじめに

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

研究目的

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

研究方法

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

各モデルは水平解像度が異なるため、全モデルデータを 2°×2°の解像度に変換し解析を行った。各モデルに ついて、シベリア域を中心としたユーラシア北部域における夏季平均降水量データに対し EOF 解析を適用し、 経年変動の主要モードの時空間特性を抽出した。

研究結果

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

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

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

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



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

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

引用文献

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

北太平洋域の大気大循環場が台湾北東沖黒潮に及ぼす影響

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

鹿島基彦(神戸学院大・人文)

1. 研究目的

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

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

研究方法

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

研究結果と考察

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

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

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

4. まとめ

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

引用文献

 Usui, N., H. Tsujino, Y. Fujii and M. Kamachi (2008): Generation of a trigger meander for the 2004 Kuroshio large meander. J. Geophys. Res. 113, doi:10.1029/2007JC004266. ジオスペース探査衛星ERG搭載機器MEPsフライトモデルの性能試験 Laboratory tests of Medium-Energy Particle sensors (MEPs) onboard ERG

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

【研究目的】

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

【研究方法】

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

【研究結果】

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



【成果】

S.Kasahara, S.Yokota, M.Takefumi, K.Asamura, M.Hirahara, T.Ta kashima, K.Yamamoto, "Ground calibration results of Medium-En ergy Particle analysers (MEPs) for ERG", JpGU, 幕張, 2016/05/ 23

S. Kasahara, S. Yokota, T. Mitani, K. Aasamura, M. Hirahara, T. Takashima, and K. Yamamoto, "Data products of Medium-Ene rgy Particle analysers (MEPs) onboard ERG", SGEPSS, 九州大, 2 016/11/12

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の評価 Evaluation of gas-particle partitioning based on atmospheric observation of particulate total organic nitrates

松本淳, 早稲田大学·人間科学学術院

【研究目的】 対流圏における重要なエアロゾル生成過程の一つとして、揮発性有機化合物 VOC の大気ラジカルとの反応に伴う二次有機エアロゾル SOA の生成が、近年注目されている。 特に、半揮発性の中間生成物 SVOC の詳細把握が必要となっている。窒素酸化物 NOx (NO, 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、前年度の共同研究にてキ 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⁾。そこで本研究では、CD と TD/CAPS-ONs を組み合わせ、汎用 的かつ高確度な粒子状 ONs 全量計 CD/TD/CAPS-ONs(p) を実現した。さらに、都市郊外大 気での ONs(p) 測定試験に挑戦し、装置の実用性を検証した。

【研究の方法と結果・考察】まず、TD/CAPS-ONs に活性炭デニューダーCD を組 み合わせた CD/TD/CAPS-ONs(p) 計を構築した。CAPS 向けの CD は、 ガス成分(NO₂,ONs)の除去率と ONs(p) 通過率を担保するために、CAPS の試料流量を考慮して新たに製作した。本装置を用いて、早稲田大学所沢 キャンパス(埼玉県所沢市)において、都市郊外大気の観測を 2016年6月30 日、7月1,2,4,5,6,7日に実施した。今回は、夜間無人時にも装置を稼働さ せ、連続測定の可能性を探った(7月5-7日)。また、ONs のガスー粒子分配 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、観測期間には有効なデ ータとして727点の測定値が得られ、本装置の実用性が示された。さらに観測 結果を用いて ONs(p) と ONs(g+p) の相関解析を試みたところ、両者間の 回帰直線の傾きから、今回観測した大気試料における有機硝酸類の平均的 なガスー粒子分配比は約 9 % とわかった(図)。本研究で構築した ONs(p) 計を用いることで、夏季の都市郊外大気における粒子状有機硝酸 ONs(p) の観測とガスー粒子分配比の評価が十分に可能であることを示した。今後は、 本手法により ONs を介した SOA 生成を把握することで、研究所の大気化 学分野における SOA 研究に貢献できると期待される。



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

【参考文献等】

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

²⁾ 松本淳(2014): エアロゾル研究, 29(S1), 47-54.

³⁾ 松本淳(2015): 第21回大気化学討論会, P-7.

【成果発表】

洪征翌、松本淳(2016): 第22回大気化学討論会, P-41.

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

成行 泰裕, 富山大学・人間発達科学部・准教授

研究体制

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

研究目的

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

研究結果・考察

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

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

の時間発展を示したものである。ここで、

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

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

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

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



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

成果発表(口頭発表)

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

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

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

西田哲、岐阜大学・工学部

1. はじめに

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

2. 実験方法

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

3. 実験結果

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

4. 考察

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

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

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

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

成果発表

学会発表(国内)4件

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

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

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

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



図1. 実験装置概略図



図2. 作製したナノ構造膜の断面 SEM 画像

(上)全体像、(下)拡大像

日本の揺籃期地殻に関する年代的研究

Chronological study on the Japanese earth's crust in its infancy

代表者:佐藤興平(気象庁気象大学校)

1. 研究目的

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

2. 研究方法

関東山地の花崗岩類を中心に,既存の手法で年代付けされた試料あるいは年代不明の岩体から 新たに採取した岩石からジルコンを分離し,名古屋大学大学院環境学研究科のLA-ICP-MSを用い て,U-Pb年代を測定した.この手法はジルコン1粒ごとの年代測定が可能なだけに,鉱物分離 過程での汚染は絶対に避けなければならない.このため,岩石粉砕過程を含めて異質ジルコン混 入の可能性を排除すべく細心の注意を払った.ジルコンの抽出はパンニング法によった.また, ジルコン結晶の研磨面はCL(カソード・ルミネッセンス)画像を観察して,マグマ性と確認さ れる部分にレーザー・プローブを当てて年代を測定した.測定にあたっては,本研究グループ員 の鈴木和博名誉教授死去のため,名古屋大学環境学研究科の竹内 誠教授の支援をいただいた.

3. 研究結果

今回検討対象とした年代不明の岩体は(2岩体は花崗岩,1岩体は凝灰岩),関東山地北縁部 で重要な位置を占めながら,破砕や変質によって信頼のおける年代値が得られていなかった岩体 である.我々の測定によって,3岩体の年代が約70Maと求まり,古生代ではなく後期白亜紀 のものと判明した.

4. 考察

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

5. まとめ

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

6. 引用文献

柴田 賢・高木秀雄(1989):関東山地北部の花崗岩類の年代.同位体からみた中央構造線と棚

倉構造線の関係. 地質雑, vol. 95, 687-700.

佐藤興平・柴田 賢・内海 茂(2015):関東山地北縁部の異地性岩塊や礫岩に含まれる珪長質 火成岩類の年代:跡倉ナップ実像解明の歴史と今後の課題.群馬県立自然史博物館研究報告, No. 19, 69-94.

地上レーダーと航空機を用いた台風強度の最適推定方法の検討 Investigation of optimal method to estimate typhoon intensity using a ground-based radar and an airplane

山田 広幸 (琉球大学理学部)

研究目的

本研究は、地上で運用されるドップラー気象レーダーと、近い将来に実施される航空機ド ロップゾンデ観測を組み合わせ、台風の最大風速と中心気圧を精度良く推定する最適な方 法を構築することを目的とする。北西太平洋における台風の位置と強度の推定は、海上の観 測が乏しいため、主に静止気象衛星の画像を用いて行われる。しかし衛星による推定は、主 観を排除できないことと、誤差が大きく、強度の急激な変化に対応できない問題がある。こ のため、南西諸島で運用されるドップラーレーダーを用いて最大風速と中心気圧の推定す る手段を現在開発中である。この手法では中心気圧の推定に台風の外側における気圧の観 測値が必要であるが、陸地から離れた海洋上では気圧の観測値を得ることが難しいため、航 空機ドロップゾンデ観測で得られる気圧をもとに中心気圧の推定を行う。また、レーダーに より得られる高度 2km の風速データから地上風速を推定する際に、ドロップゾンデ観測に より得られる風の鉛直分布を用いて 2 つの高度間の風速の関係を求め、地上の最大風速を 推定する。これらは台風の構造と強度の関係を理解するのに役立つだけでなく、将来的には 台風の予想進路上にある島嶼への早期警戒情報としての活用が期待される。なお、航空機が 利用できる前の段階においては、沖縄を通過する過去の台風を対象として予備研究を行う。

研究方法

科研費研究(基盤 S、平成 28~32 年度)「豪雨と暴風をもたらす台風の力学的・熱力学 的・雲物理学的構造の量的解析(研究代表者: 坪木和久)が採択され、航空機観測が実施さ れることが決まったが、本年度は航空機観測の準備期間であったので、予備研究として沖縄 本島の周辺を通過した台風 18 号に対し、久米島と沖縄本島での気圧観測値を用いた台風の 強度推定と、台風の外側でのラジオゾンデ観測を実施した。まず、沖縄本島にある気象庁糸 数レーダーで取得されたドップラー速度データを用いて高度 2km の風速分布を推定し、次 に傾度風平衡を仮定して中心気圧を推定する。また、ラジオゾンデ観測は沖縄本島の恩納村 にある沖縄電磁波技術センターにおいて、台風の通過期間中に 2 時間ごとに実施した。

研究結果と今後の課題

台風第 18 号が久米島に接近する前後 16 時間について、中心気圧と最大風速の推定を 5 分間隔で行った。その結果、久米島へ最接近する数時間前に中心気圧が 905hPa 程度まで低 下し、その後緩やかに気圧が上昇していたと推定された。中心気圧の推定に、那覇と久米島 の観測値を用いた場合の推定結果の違いは数 hPa 以内であり、壁雲の外側では観測点の距 離の違いにあまり敏感ではないことがわかった。また、反射強度の3次元構造の解析から、 壁雲は最盛期において外側への傾きが小さく、その後外側への傾斜が大きくなったことが わかった。また、中心気圧の上昇が鉛直シアーの増加による非対称性の顕在化とも関係して いることがわかった。台風の中心から約100km 外側でのラジオゾンデ観測では、強い潜在 不安定の成層状態が持続的にみられ、コンパクトだが猛烈な勢力をもつ台風18号の維持に 好都合な状態であったことがわかった。今後は、これらの観測結果をもとに航空機ドロップ ゾンデの投下地点の検討を行う。

経費の使途

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

成果発表(論文)

- Nasuno, T., <u>H. Yamada</u>, M. Nakano, H. Kubota, M. Sawada and R. Yoshida, 2016: Global cloudpermitting simulations of Typhoon Fengshen (2008). *Geoscience Letters*, **3**:32, DOI: 10.1186/s40562-016-0064-1, 出版日 2016/12/1.
- Shimada, U., M. Sawada, and <u>H. Yamada</u>, 2016: Evaluation of the accuracy and utility of tropical cyclone intensity estimation using single ground-based Doppler radar observations. *Monthly Weather Review*, **144**, 1823-1840, 出版日 2016/4/11.
- Yamada, H., T. Nasuno, W. Yanase, and M. Satoh, 2016: Role of the vertical structure of a simulated tropical cyclone in its motion: A case study of Typhoon Fengshen (2008). *Scientific Online Letters on the Atmosphere*, **12**, 203-208, 出版日 2016/8/3.
- 山田 広幸,嶋田 宇大,2016: 気象レーダーが捉えた 2015 年台風第 15 号および第 21 号の暴風. 暴風(かじふち),沖縄気象災害防止協議会,44,19-23,出版日 2016/6/8.

成果発表(口頭発表)

- 田盛 智翔也,山田 広幸,嶋田 宇大: 2015 年台風第 15 号の急発達期における壁雲の 構造変化.日本気象学会秋季大会,名古屋大学,愛知県名古屋市,2016/10/26 発表.
- 田盛 智翔也,山田 広幸,嶋田 宇大: 鉛直シアーに伴う 2016 年台風第 18 号の壁雲の 構造の時間変化.日本気象学会沖縄支部研究発表会,国際海洋環境情報センター, 沖縄県名護市,2017/3/2 発表.
- <u>山田 広幸</u>,嶋田 宇大,岩井 宏徳: 2010 年第7号は「猛烈な」台風だった.日本気象 学会秋季大会,名古屋大学,愛知県名古屋市,2016/10/28 発表.
- <u>山田 広幸</u>: 2016年台風第 5~7、9~11号の発生に関わるモンスーン渦の特徴と成因. 2016年度日本気象学会関西支部第 2 回例会,高知大学,高知県高知市,2016/12/9 発表(招待講演).

宇宙プラズマ流体シミュレーションのための超並列計算フレームワー クの開発

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

深沢 圭一郎、京都大学・学術情報メディアセンター

現在、世界中でエクサフロップス級の計算が可能なスーパーコンピュータの開発が進め られており、日本では2020年にエクサフロップスに近い計算性能を持ついわゆる「ポスト 京」の開発が進められている。この計算機システムは、多数のコアを持つCPUが100万台以 上並列に接続された計算機システムになると計画されているが、現在日本で最大の並列計 算機である「京」でさえ、10万並列に達しておらず、高い並列化効率を維持して「ポスト 京」を利用できるアプリケーションがあるか不明な状態である。例えば、磁気圏MHDシミ ュレーションコードを「京」で3万並列計算した場合、「京」を1ノード利用した場合に比 べ、並列化効率が10%程度劣化することが分かっている。このような現状のまま「ポスト京」 などを利用すると、並列化に伴うオーバーヘッドが全計算時間の半分以上を占めてしまい、 並列計算したにもかかわらず、計算は速くならない可能性がある。

このような問題を解決するために、昨年度までに並列化効率の劣化を必要最低限に抑え、 エクサフロップス級計算機に対応した磁気圏MHDシミュレーションコードを開発してい る。この中でHaloスレッドという通信と計算を担当するスレッドを導入したが、本研究で はこのHaloスレッドを一般化し、宇宙プラズマ流体シミュレーション全般に適用できるフ レームワークを作成することを目的としている。

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

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



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

・国際学会論文成果

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

·国内研究会発表

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

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

佐藤友徳 北海道大学大学院地球環境科学研究院

<u>1. 背景と研究目的</u>

中高緯度に広がるユーラシア大陸北部は地球全体の水・エネルギー循環や炭素循環 において極めて重要な地域である。同地域では、東シベリアの湿潤化(Fujinami et a 1., 2016)と対称的に、モンゴルでは少雨に伴う乾燥化傾向が確認されている(Erdeneb at and Sato, 2016)。これらの2地域は異なる降水量変動傾向を示しているが、これ を駆動する要因は明らかになっていない。降水変動のメカニズムが明らかになること で、河川流出や植生活動の変動機構の理解にもつながることが期待される。さらに、 降水量の増減は土壌水分の多寡や熱波などの極端気象の発現に密接に関係している と考えられるが、未解明の部分が多い。以上の背景から、本研究課題はユーラシア大 陸北部の降水量変動の要因分析を行うことを目的とする。

2. 研究方法

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

<u>3.</u>研究結果と考察

3.1 2002年の総観場解析

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



図1:500hPa面高度(等値線)と地上気温(カラー)の平年からの偏差. (a)2002年6-8月,(b)2002年6月25-7月10日,(c)2002年8月7日-8月27日. いる。このことから、両者の事例において西側からの波動伝搬がモンゴル周辺の少雨のトリガーとなっていることが示唆されるが、事例毎に波長が異なっている。波長の異なる両事例でモンゴル周辺が正偏差となるためには、大気の波動伝搬の他に下流で位相を固定するプロセスとして陸面状態や地形などが関与している可能性がある。

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

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



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

4. まとめ

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

引用文献

- Sato, T., M. Tsujimura, T. Yamanaka, H. Iwasaki, A. Sugimoto, M. Sugita, F. Kimura, G. Davaa, and D. Oyunbaatar, 2007: Water sources in semi-arid N ortheast Asia as revealed by field observations and isotope transport model. J. Geophys. Res. -Atmospheres, 112, D17112, doi:10.1029/2006JD008321.
- Fujinami, H., T. Yasunari, and T. Watanabe, 2016: Trend and interannual variati on in summer precipitation in eastern Siberia in recent decades. Int. J. Cl imatol., 36, 355-368.
- Erdenebat, E., and T. Sato, 2016: Recent increase in heat wave frequency aroun d Mongolia: role of atmospheric forcing and possible influence of soil moi sture deficit. Atmos. Sci. Lett., 17, 135-140, DOI: 10.1002/asl.616,

成果発表

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

大気中窒素酸化物・オゾン濃度測定装置の改良

Improvement of high-sensitivity instruments for detection of atmospheric NO₂ and O₃

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と化学発光 O₃計測装置の改良と計測への応用を行った。

2. 研究方法

2.1 装置の改良と開発

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

分解能をもつオゾン計測装置の再立ち上げを行った。

2.2 計測への応用

2016年10月7日~10月10日に富士吉田アカマツ林微気象観測タワーにてレーザー分光計測装置を用いた 渦相関法によるNO₂フラックス計測の検討を行った。渦相関法による計測には、0.2 秒程度の高い時間分解能 にて大気中の対象物質の濃度を正確に計測する必要がある。大気サンプルロと超音波風向風速計を微気象観測 タワーの高さ26.5mの地点に設置した。森林の樹冠は24mである。大気試料はサンプルロからPTFE製チ ューブを用いて地上の観測小屋に設置したNO₂レーザー分光計測装置、およびCO₂赤外分析装置に供給した。

3. 研究結果と考察

3.1 装置の改良と開発

①改良した LIF 装置の検出限界(1 秒積算)は160 ppt と得られた。改良前の検出限界は210 ppt であり、 改良前に比べ感度が24%向上した。②NOx-LIF 装置開発に向け、2 台目の LIF 装置の製作を行った。2 台目 の NO2-LIF 装置の検出下限は1.3 ppb(1 秒積算)であった。2 台目の検出下限が1 台目に比べて劣っている 原因は、使用しているレーザーの出力が約30%と小さいこと、また検出器の位置が最適化されていないこと の可能性が考えられる。③化学発光法の原理を用いたオゾン計測装置の立ち上げを行った。オゾン発生器を用 いて230 ppm のオゾンをチャンバー内に導入したが、オゾンの信号は得られなかった。原因として化学発光 を生じるための NO 標準試料の濃度が低かった可能性が考えられる。 3.2 計測への応用 富士吉田アカマツ林にて、渦相関法により求 めた CO₂フラックスを図に示す。本研究で得 られた CO₂フラックスは森林総合研究所が同 じタワーの同じ高度で渦相関法により求めて いる CO₂フラックスの計測結果とよく一致し た。本研究の測定とデータ処理がうまくでき ていることを確認した。渦相関法により得ら れた NO₂フラックスを図に示す。測定当日の 富士吉田アカマツ林での NO₂フラックスは森 林からの放出と得られた。



4. まとめ

図. 富士吉田アカマツ林のCO₂(上)とNO₂(下)フラックス

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。またNO₂レーザー分光計測装置を用いて、富士吉田アカマツ林にて渦相関法によ るNO₂のフラックス計測を検討し、森林における初期検討結果を得た。今後より長期的な観測を実施し、デ ータを積み重ねる。

5. 参考文献

宮崎洸治ほか(2008)大気環境学会誌 第43号第2号「NO₂検出器を用いた大気中 NO 測定システムの開発」 112-118.

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

6. 成果発表(当該年度に行った口頭・ポスター発表)

【原著論文】

- ・和田龍一,神林学,高梨 聡,深山貴文,中野隆志,谷 晃,米村正一郎,松見豊,2016,山岳道路車両規制が 与える大気汚染物質濃度への影響と近隣森林内大気への影響の解明,富士山研究,10,1-7.
- R. Wada, Y. Matsumi, S. Takanashi, Y. Nakai, T. Nakayama, M. Ouchi, T. Hiyama, Y. Fujiyoshi, T. Nakano, N. Kurita, K. Muramoto, N. Kodama, 2016. In situ measurement of CO₂ and water vapor isotopic compositions at a forest site using mid-infrared laser absorption spectroscopy, Isot. Environ. Health Stud. 52, 603-618.

【口頭発表】

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

【ポスター発表】

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

以上

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

【研究方法】

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

【研究結果】

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

【考察】

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

【まとめ】

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

【成果発表】

(1) 誌上発表 <論文(査読あり) >

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

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

(2) 口頭発表 (学会等)

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

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

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

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

大友陽子、北海道大学大学院工学研究院,環境循環システム部門

研究目的

最古の生命の痕跡は約38億年前の岩石が分布する西グリーンラン ド・イスア表成岩帯で二例発見されており、そのうち一つは申請者の 報告 (Ohtomo et al., *Nature Geoscience*, 2014)によるものであ る。 最 古 の 生 命 の 痕 跡 は 軽 い 炭 素 安 定 同 位 体 組 成 を 持 つ グ ラ フ ァ イ ト で あ り , 海 洋 化 学 沈 殿 物 で あ る 縞 状 鉄 鉱 層 に 挟 ま れ た 石 墨 片 岩 層 中 に 発見された。この石墨片岩の地質学的産状や化学組成、片岩に含まれ ている グ ラ フ ァ イ ト の 炭 素 安 定 同 位 体 組 成 及 び 結 晶 学 的 特 徴 は , 約 38 億年前の海洋に微生物が繁茂していたことを示唆するものであった。 しかしながら、当時の微生物の生息環境や、微生物種についての詳細 は未だ明らかになっていない。石墨片岩には希土類元素が多く含まれ ており,ホスト鉱物はジルコン,モナザイト,ゼノタイムである。これ らの鉱物がもし大陸からの地殻砕屑物であった場合、石墨片岩の原岩 である堆積物は大陸に近い浅部海洋に堆積したと考えることができる。 このことは、グラファイトのもととなった微生物が海洋浅部の有光層 で 繁 茂 し た 光 合 成 細 菌 で あ っ た 可 能 性 を 示 唆 す る 。 し か し な が ら 一 方 で、イスア表成岩帯は変成流体の影響を受けているため、変成流体か らの希土類元素含有鉱物の沈殿や (Frei et al., 2001), 流体との反 応で初生的な希土類元素含有鉱物の組成が変質した可能性が高い。本 研究の目標は生物由来グラファイトと共生するモナザイトの年代を測 定することにより、変成作用と希土類元素含有鉱物との関連性を明ら かにし、当時の微生物の棲息環境を復元することである。

研究方法

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

研究結果

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



3630±91Maであった。

考 察

先行研究より, 石墨片岩が見つか った地域は約37億 年前に形成され, ほぼ同時期に変成 作用を受けたと考 えられている (N utman et al., 2 009)。この年代測 定結果からは、 モ ナザイトが砕屑物 粒子として片岩に 混入した可能性と、 続成-変成作用初 期に岩石中で晶出

Fig. 1. 石墨片岩中モナザイトの CHIME 年代測定結果

した可能性の両者が有り得る。モナザイトが葉理の方向に調和的に晶 出している産状を鑑みると、変成流体から沈殿した可能性は低いと考 えられる。

まとめ

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

引用文献

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

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

成果発表

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

太陽活動が地球気候へ与える影響の研究 Study of Solar activity to Earth's environment

村木 綏(名古屋大学 ISEE)、 柴田祥一(中部大学工学部)

研究テーマ①: 屋久杉成長幅に見られた 26 年周期に係る研究

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

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

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

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

② 解析技術の改良

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

- ① まず wavelet に実数型と複素数型があることである。実数の波束(wavelet) はイメージ しやすいが複素数型はしにくい。実数型では波束の波動の山と谷の一つ一つをそれぞれ 示すのに対して、複素数型の場合は、山と谷の振幅強度を示す。通常 plot の横軸は年代 (t)、縦軸は周期(T)にとる。周期 T が一定の波束のみがサンプルに存在する場合、複素 数型で解析すると横軸に平行な直線が描かれる。 しかし実数型を使用すると周期 T の 波束の山と谷に対応する位置に、横軸に平行に輝点(dots)が現れる。代表的な実数型の wavelet は morl で、複素数型は cmor である。(ちなみにこの wavelet は石油探査をや っていた Morlet 氏が 1975 年頃 idea を抱き、1981 年 物理数学者の Grossman と共同 で数学として完成させたものである。)
- ② 次に気付いたことは、有料ソフト MATLAB を用いた論文では、解析結果の両端部を masking するために、ベールをかけることである。(薄いカーテンをかける) この円錐 曲線は cone of influence と名付けられている。すなわちこの cone より外側に出現した 周期性は、ソフトの限界に由来しており、信用してはいけないという意味で、ベールが かけられる。例えばフーリエ解析の場合を考えると、調べる領域の両端が弦の固定点と なるため、その区間の半分の 1/2 や 1/3,1/4 の周期に対応する波動が出現する。この波 は systematic な波動であって、data にその周期性が実際に含まれているわけではない。 この適用限界を示すために wavelet の場合には外側の領域にベールをかける。 しかし サイラボにはその機能が含まれていない。そこで我々はこの機能を新たに加えるソフト を開発した。 初めはどうして円錐状になるのか分からなかったが、吟味すると周期の 縦軸が対数表記されていることに気づいた。そこで縦軸を線形(normal plot)に変更して みたら、予想どおり直線になった。だから cone という呼び方は正確さに欠ける。しか しウエブレット法の優れた点は、cone より内側の振幅は例えその波長が領域の

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

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

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

③具体例に元づく解析結果の紹介

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

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

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

- (2) 次の図2は同じモーレ型 wavelet で複素数を用いた場合である。この場合は1917年 前後に33年周期が認められるのみである。これは山と谷の振幅を2乗して足し算 しその平方根をとったものである。
- (3) ところがここで異なる wavelet を用いた例を示す。図3はガウス関数を微分した DOG wavelet を用いた結果である。この場合は6年規模の周期が認められる。これ は El Niño, La Niña 現象(ENSO)に対応しているものと考えられる。(文献3) すなわ ちこの wavelet 関数が ENSO を "拾い出すのにふさわしい関数"であると考えられ る。 図1は毎年の平均値を使用したが、月平均値を使用したらさらに精度があが り、図4に示すように滑らかになるが、本質は不変である。図の縦軸は月単位で表 されていることに注意。すなわち120は10年である。
- 文献 3 : E. Guilyardi, Climate Dynamics (2006) 26, 329p.

ここまでの話をまとめると:

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

③ 連成振動子模型による説明

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

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

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

④ 研究テーマ2: Gleissberg 周期について

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

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

• $\underline{\sin(A+\alpha) + \sin(B+\beta) = 2\sin\{(A+B+\alpha+\beta)/2\}} \times \cos\{(A-B+\alpha-\beta)/2\}$

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

- If Phase α =0, then $\beta/2$ =0.0088, from the difference 10.8 year and 11.0 year
- $(A+B)/2 \beta/2 = 0.5272 \rightarrow 11.0$ years
- (A-B)/2 $\beta/2 = 0.0795 \rightarrow 88.8 \text{ year}$

すなわちモデルを観測と合致するように位相 β/2 を決めた。

実際の磁場(B)の変動は22年周期なので β/2=0.0044 となる。

- $10.8 \times 2=21.6 \text{ years} \rightarrow 0.29075$
- $80.0 \times 2 = 160$ years $\rightarrow 0.03975$ Then,
- $(A+B)/2 \beta/2 = 0.28635 \rightarrow 21.9$ years
- (A- B)/2 $\beta/2 = 0.003971 \rightarrow 178 \text{ years}$

上記の数値計算値と観測値を比較したものを図5に示す。観測の3個の山が再現されている。ただし計算値は55年観測値と合わせるために平行に右にシフトさせた。この方法で89年のGleissberg周期が自然に導出される。逆に言えばGleissberg周期は唸りであって太陽活動の本質的な活動ではないと言えよう。89178年周期は屋久杉年輪に含まれているC13を解析した、北川・松本の論文値(文献4)と合致する。

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

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



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



Figure 4. PDO に対する周期解析。Figure 1 と同じ。ただし縦軸は月を表す。約 25 年の周期 が 1950 年頃まで見られる。25 年は縦軸の 300 か月に対応している。取り扱っている data 数 が 12 倍 Figure 1 に比べて多いのでスムーズな変化になっている。



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



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



最後に黒点周期を再現した図5を掲載する。

Figure 5. 太陽黒点観測値(上)を再現したモデル(下)との比較。山の形が合うようにモデルの計算値は出発点を55年平行移動した。横軸は1700-2013年に対応。関数形は Ψ=abs{sin(0.2865t)*cos(0.02855t)} で表した。
LF帯標準電波を用いた地震後のD領域電離圏変動

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

大矢 浩代、千葉大学·大学院工学研究科

1. 研究目的

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

2. 観測および地震の概要

2011 年 3 月 11 日 05:46:18 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(SAG,60 kHz)送 信-陸別(RKB)受信および BPC(中国, 68.5 kHz)送信-RKB 受信の2つの伝搬 パスについて調べた。JJY 福島(40 kHz) 局は,本震発生後に停波したため使用で きなかった。各伝搬パスの距離は, SAG-RKBパス1614 km, BPC-RKBパス2594

km である。震央から各 LF 波パスまでの 最短距離は, SAG-RKB パスで 430 km,



図 1 震央および使用した LF 帯標準電波の伝搬パスの位置

BPC-RKB パスで 562 km だった。受信機のアンテナはモノポールアンテナで、サンプリング周波数 200 kHz,各送信電波の垂直電場成分 0.1 s 値を観測している。

3. 結果

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

134

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

成果発表

[1] Ohya, H., Y. Takishita, F. Tsuchiya,

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

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

[3] Ohya, H., Y. Takishita, F. Tsuchiya, K. Shiokawa, Y. Nakata, and Y. Miyoshi, D-region periodic coast of Tohoku Earthquake, The 140th

SGEPSS Fall Meeting, Fukuoka (Japan), 20 November, 2016.

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

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



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



図3(上から)背景の電子密度で正規化した電子密度変動量(シ ミュレーション), SAG-RKB パスの LF 波の反射高度(観測値), oscillations observed in LF transmitter SAG-RKB パスの LF 波強度(観測値),中性大気の垂直速度(シ signals after the 2011 off the Pacific ミュレーション)および F-net 日高での地震波上下動速度成分。

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

> 柴田隆, 名古屋大学・環境学研究科 内野修, 国立環境研究所

目的

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

方法

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

結果

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

気候変動下における東南アジア熱帯林の応答予測

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

佐藤永、海洋研究開発機構 · 地球表層物質循環研究分野

背景

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

研究目的と方法

陸上生態系の未来予測のためには、気候変動に伴い生じると期待される陸上植物にとっての異常事態(高 温、乾燥、過湿、栄養過多・欠乏によるストレス)を機構ベースで表現でき、かつ、植物個体~群落~ 地域~全球の空間スケール、数日~数年~数百年の時間スケールまでの計算が可能な陸上生態系動態モ デルが必要である。このモデルには、植物個体の生き方(例えば、個体毎の光合成、呼吸、水分・栄養 の利用、繁殖、成長、そして死亡)から植物集団の振る舞い(例えば、光・水分・栄養の奪い合い)ま でを表現することができる能力が求められる。そこで、研究代用者が開発した個体ベース植生動態モデ ル SEIB-DGVM (Sato et al. 2007: Sato 2010)を基本モデルとして、熊谷朝臣准教授・中井太郎研究員と ともに新たになモデル S-TEDy を開発した。S-TEDy は次のプロセスを精緻に表現するという特徴を持 つ:(1)大気中高 CO₂濃度に対応した気孔開閉・光合成反応、(2)土壌物理学に則った土壌水分・熱動態、 (3) 植物体内中の水分・炭水化物動態、(4) 植物体内を含めた生態系内窒素循環・収支。

結果

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



考察

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

引用文献

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

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

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

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

勝侯昌己

海洋研究開発機構

地球環境観測研究開発センター

1. 目的

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

2. 沖縄偏波レーダー観測

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

3. 2014年台風18号の温帯低気圧化過程の解析

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

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

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

4. スマトラ島沿岸での降雨システムの解析

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

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

5. まとめ

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

今後は、陸上観測データとの比較、定量的解析(降水量推定等)、陸上偏波レーダーの観測結果との 対比、等を進めることにより、海洋性メソスケール降水系の動態と、その大気海洋相互作用における役 割について、より解析を進めていく予定である。

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

宗像一起 信州大学·理学部

2006年度以降にGMDNで観測されたForbush減少(FD)45事象のsuperpose analysisを行い、 FDの平均描像の解析を行った。同様の解析は、従来中性子計による宇宙線密度(強度の等方 成分)について行われているが、GMDNで観測された異方性から宇宙線密度の3次元空間勾配 の平均像を導く解析は、世界的にも他に例を見ない。宇宙線密度の解析からは地球が通過し た経路に沿う宇宙線密度の一次元分布しか知り得ないのに対し、宇宙線密度勾配からは宇宙 線密度の3次元的な分布を知ることが出来る。また、解析された事象は同定された惑星間空間 衝撃波の地球到来(Storm Sudden Commencement)に伴って観測されており、各衝撃波を引き 起こした太陽面爆発が太陽面上の発生位置とともに同定されているため、FDの平均像が太陽 面爆発の発生位置にどのように依存しているかを調べることが出来る。その結果、太陽面爆 発が太陽面上の東・西あるいは南・北のどの半球で起こったかによって、宇宙線密度と密度 勾配の様子に違いが見られることが判った。

GMDNの4つの鉛直計で2006年以降に観測された宇宙線強度の季節変動を、衛星観測に よる大気温の鉛直高度分布に基づいて、Mass Weighted Method法により再現することに成功 した。これにより、GMDNによる観測結果を大気気温効果について正確に補正することが 可能となった。また、補正後の宇宙線強度の長期変動は(大気気温効果をほとんど受けな いと考えられている)中性子モニターによる観測結果と高い相関を示しており、GMDNに よる観測結果を用いて、太陽活動に伴う11年周期変動のエネルギー依存性の検証を行うこ とが可能となった。最近は衛星観測と地上観測をもとにした大気温分布モデルが確立され、 地球上の任意の地点における大気温の鉛直高度分布を過去(1948年)に遡り得ることが可 能になっているため、1970年連続観測を維持している名古屋ミューオン計のデータを上述 の手法で補正することにより、4太陽活動サイクルに亘る長周期変動を解析することが可能 になった。

チベット空気シャワーアレイによる「太陽の影」の観測結果から、太陽地球間の平均 的磁場強度が、太陽光球面磁場の光学観測に基づいて potential field model から予想され る磁場強度より約 1.5 倍大きいことが明らかとなった。この結果を受け、2016 年 12 月 26 日に太陽物理研究者との meeting を開催し、情報交換と議論を行った。 論文成果リスト:

- M. Kozai et al., Average spatial distribution of cosmic rays behind the interplanetary shock-- Global Muon Detector Network observations –, Astrophys. J., 825:100 (19pp), 2016 (July 10).
- R. R. S. Mendonça et al., Temperature effect in secondary cosmic rays (muons) observed at ground: analysis of the global muon detector network data, Astrophys. J., 830:88 (25pp), 2016 (October 20).

国内学会発表リスト:

- 中村佳昭ほか、チベット空気シャワーアレイで観測された太陽の影による太陽磁場構造の研究3、日本物理学会第71回年次大会、東北学院大、2016年3月19日(19aAZ-14)
- > 宗像一起ほか、チベット空気シャワーアレイで観測された太陽の影による太陽磁場構造の研究6、日本物理学会第72回年次大会、大阪大、2017年3月17日(17pK21-2)
- 中村佳昭ほか、チベット空気シャワーアレイで観測された太陽の影による太陽磁場構造の研究7、日本物理学会第72回年次大会、大阪大、2017年3月17日(17pK21-3)

国際学会発表リスト:

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

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

根 田 昌 典 、 京 都 大 学 ・ 大 学 院 理 学 研 究 科

<u>研究目的</u>

従来の大気化学研究では衛星や地上ライダー観測によって上空数百mから数kmにかけてのエアロゾル 分布と雲物理の関係解明を推進してきた。ところが海洋性エアロゾルの生成源である海面近傍(海面から 海上数mまでの範囲)のシースプレー観測は世界的に見ても限られた研究グループでしか行われていない。 従来の研究ではシースプレーを光学粒子計の既製品を使って観測した例がある。一方、台風のような強 風・高波下における粒径分布と海面波砕や白波との位相関係を調べたり、(3軸超音波風速計と同期させ て)海洋性エアロゾルの鉛直方向フラックスを測定するためには、10Hz以上の時間分解能を有する光学 粒子計の開発が必要である。本共同研究ではそのようなシースプレー測器(H28年度別予算で試作機を 2台準備:図1)を海上観測プラットフォームに設置し2ヶ月程度の観測を行う体制を整備することを目 指している。代表者は大気海洋境界過程の観測研究を専門分野としており、船舶や漂流ブイを用いた波浪 や海上風速の観測経験がある。海面近傍のシースプレー観測の実現に向けて段階的な試験観測を実施し、 試作機の検証や精度の確認、問題点の抽出と解決方法の検討を行うことが本研究の3年計画の内容である。



^{バッテリー 6kg (181 x 76 x 167 mm)}図]:試作機の内部と外観

研究内容

本研究では、所内担当教員の相木准教授と共同でシースプレー測器の試作機の作成に当たり、測器の仕様について検討した。当シースプレー測器試作機はロガーを内蔵し、1時間毎測定モードと3時間毎測定 モードをスイッチで切り替えられるようにした(図1)。3時間毎測定の場合の平均消費電流は35mA なので、2ヶ月間観測を実現するために17Ah程度の標準的なDC12V鉛バッテリーを3個用意する事に した。平成28年9月に予定していたシースプレー測器の納入が遅れたため、先に海上観測塔の設備調査 を行った。京都大学防災研究所流域災害研究センター白浜海象観測所に協力を依頼し、予備的観測のため に田辺中島高潮観測塔に観測装置を設置するための検討を始めた。設置可能性を検討するために同観測所 を平成28年12月12日に訪問し、観測塔の視察と設置条件の検討を行った(図2)。測器取り付け場所・ 必要金具・電源ケーブル(持ち込み予定)の必要な長さ・鉛バッテリー(持ち込み予定)の置き場を確認 した。このように独立電源を用いて2ヶ月程度の自立観測を実施することを目指して設置のための技術的 な課題を検討し、設置条件の詳細を決定することにより、次年度に試験観測を実施する状況を整えた。



図2:和歌山県田辺湾白浜海上観測塔(京都大学)の視察時の様子

まとめ

京都大学防災研究所白浜海象観測所の田辺中島高潮観測塔(和歌山県)における試験観測に向けて、設備の視察や試験観測の詳細について打ち合わせを行い、試作機の試験観測実施の体制を確立した。並行し て次年度以降に海上漂流ブイに取り付けるためのブイ・バッテリーの選定や公募型船舶観測や科研費への 申請準備を行った。将来的に観測結果をシースプレーのバルク式と照合し、台風シミュレーション用の大 気・海洋・波浪結合モデル(相木ほか,2015)の機能拡張に応用することが期待される。

謝辞

京都大学白浜観測所の馬場康之所長を始め観測所の皆様には、本研究の遂行のために多大な便宜を図っ ていただいた。記して感謝いたします。

本共同利用研究に関する発表

相木秀則・根田昌典・田中潔・久島萌人・油布 圭,シースプレー測器による海上観測計画:海面砕波 と海洋性エアロゾル生成の時空間構造を捉える, JpGU-AGU 合同大会, M–IS15, 2017 年 5 月 24 日(予 定:幕張)

参考文献

相木秀則ほか:大気海洋波浪結合モデルの開発と台風実験への応用,沿岸海洋研究, 52, 139-148, 2015

ユーラシア大陸における植生と水文気候の相互作用と経年変動に関する研究

Interannual variations and Interaction between vegetation and hydroclimatology in the Eurasia

鈴木和良,海洋研究開発機構·地球表層物質循環研究分野

【研究目的】

気候は、大気-陸面相互作用を通して、植生や陸面の水文気候因子と密接に結びついている. さら に、植生を含む地表面要素は大気と結合し、気候に影響を与えている.特に、ユーラシア大陸の東シ ベリア・モンゴルなどの乾燥した寒冷地域では、大気-陸面相互作用が顕著であると指摘されている (松村, 2014). 例えば, 冬季の北大西洋振動(NAO)に対して, 夏季のシベリアの正規化植生指数 (NDVI)が1年のラグをもつことが報告されている(Wang et al. 2004). この原因は不明だが,陸面の水 文気候因子が前々年の冬の気候を記憶し、当該年の植生と大気に影響している可能性がある.また、 前年秋の陸水貯留量の変動が,前年夏の気候を記憶して,当該年のレナ川の河川流出量に影響して いることが報告されている(Suzuki et al., 2016).水循環や植生は、陸面の水文気候因子が凍結保存さ れることで記憶され、時間的な遅れをもって循環していると考えられる. 陸水貯留量は、入力因子である 降水量変動とともに,植物による光合成および蒸発散,さらに湖沼などの面積変動によって決定されと 同時に,光合成や蒸発散に大きく影響する.そこで本研究では,気候-陸面水文因子-植生の相互 作用の解明とその 10 年程度の変動の把握を目的とする. 解析対象とする時間スケールは, 地上観測 データや衛星観測データが充実している 2000 年以降を対象とする. 具体的には, 現地観測データ, な らびに衛星データより取得可能な広域の植生物理量(植生指標,葉面積指数,バイオマスなど)と陸水 貯留量の変動と水循環や気候との時間的なラグやその関係の経年変動について検討する. さらに, シ ベリアの現地観測に基づく検証データによって、衛星観測の妥当性についても検討を加える.

【研究方法】

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

各研究者が宇宙地球環境研究所(ISEE)に集まり、それぞれの所有するデータを用いて、植生と陸面 での水文気候要素の相互作用についてセミナー形式で意見交換を行う.

【研究結果と考察】

総合討論によって得られた結果と考察は以下の通りである.

◎スケール間ギャップ・・・・単木, プロットスケール, 地域スケール, レナ川流域スケールを一貫した理 解を進める必要がある. ALOS などの高空間解像度衛星データ解析とその人材確保が必要である. 空 間スケールが異なるプロセスをどうつなぐのかの検討が必要.

◎森林火災・・・2002年頃にヤクーツク周辺で森林火災が生じていた.そのデータの入手可能性の検

討が必要. 福田先生のグループは保持しているかもしれない. もしくは MODIS などの衛星プロダクトの 調査が必要. 東シベリアの森林火災は林床が燃えることに特徴があり北米との違いとなる. 現地森林火 災データの掘り起こしは大切だろう. 詳細なインベントリー入手は, 衛星データの検証や森林火災に対 する適応策の策定につながる可能性がある.

◎植生の変化・・・・全体的な水収支や二酸化炭素収支の議論だけで無く、林床植生の変化などを考慮した上層木や林床の比率変化など、その中身の議論が必要だろう.収支だけを見ると表面的に同じになるが、中身が違うことに注意すべきであろう.

◎2005年がターニングポイント・・・・林床植生の変化や湿潤化など1998年以降のヤクーツク周辺での 気候などの変換点として捉えることが出来る.現地観測レベルで違いが分かるので,高空間解像度衛 星などを利用したその前後の解析は今後必要だろう.

◎降水システム・・・・降水量だけでは無く、その頻度や強度の変化について調べる必要があるだろう. 雲の形成などについても.

◎活動層厚の測定・・・人的な問題, 観測を担う人材が減ってきている. 人材育成が重要?(氷河観測などに使われるレーダーで測定出来ないのか? (M. A. Walvoord and B. L. Kurylyk, 2016 を参考に出来ないかだろうか?)

【まとめ】

本年度の研究成果を基に,各種データを統合解析し,植生と水文気候因子の相互作用についてデー タや知識の共有を進める必要がある.そして,今後は解析結果を論文化出来る様に共同研究を深化さ せる.

引用文献

松村伸治(2014). 第3章雪氷変動がもたらす北ユーラシアの大気-陸面相互作用, *気象研究ノート230* Wang, G., & You, L. (2004). Delayed impact of the North Atlantic Oscillation on biosphere productivity in Asia. *Geophysical Research Letters*, *31*(1), L12210. doi:10.1029/2004GL019766 M. A. Walvoord and B. L. Kurylyk, (2016). Hydrologic Impacts of Thawing Permafrost—A Review. *Vadose Zone Journal*, vol. 15, no. 6, pp. 0-20.

成果発表

Suzuki, K., Matsuo, K., & Hiyama, T. (2016). Satellite gravimetry-based analysis of terrestrial water storage and its relationship with runoff from the Lena River in eastern Siberia. *International Journal of Remote Sensing*, *37*, 2198-2210

Suzuki, K., Zupanski, M., & Zupanski, D. (2017). A case study involving single observation experiments performed over snowy Siberia using a coupled land-atmosphere modeling system. *Atmospheric Science Letters, 18*, 106–111

Suzuki, K. Role of sublimation and evapotranspiration in the continental-scale Lena River basin, eastern Siberia. 2016 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium,中国北京, 2016年7月 Suzuki, K. and Matsuo, K. Remote sensing of terrestrial water. International Workshop on Water-Carbon Dynamics in Eastern Siberia,名古屋, 2017年1月

サブストーム強度分布から探る磁気圏エネルギー解放過程 Substorm intensity distribution and magnetospheric energy dissipation

森岡 昭、三澤浩昭 (東北大学・大学院理学研究科) 三好由純、(名古屋大学・宇宙地球環境研究所)

While the intensity distribution of substorms is an essential issues in space physics, it has not been studied due to difficulties in identifying every substorm for a long period with reliable and definite criteria. In this paper, we made a database of substorm onsets and intensities for 10 years from 2005 to 2014 using the favorable wave and planetary (Wp) index to identify almost all of the substorm onset events and AL index for substorm intensity determination. Then, the distribution of substorm intensity (|AL| index at substorm) was statistically studied. The results showed that substorm intensities less



log-normal distribution: small substorms termed group-S substorms with an intensity peak around 100 nT and larger substorms termed group-L substorms with an intensity peak around 250 nT (Figure 1). The bi-modal distribution of substorms means that substorms are not

than 800 nT consist of two groups with



Figure 1. Yearly distribution of substorm intensity during 2005-2014. The vertical axis is the number of substorms per one year. The squares are the observed intensity distribution. The blue traces indicate bi-modal log-normal fitting functions. The red trace indicates the sum of blue traces. The fitting parameters in Eq. 1 are shown in each panel.

Figure 2. Log-log plot of the intensity distribution of substorms. The squares are the average occurrence number of substorms per one year during 2012-2014. The dotted red traces indicate group-S and group-L substorm, and the full red line is the sum of the two substorm groups.

a continuum state between pseudo-substorms and full substorms. The third substorm group was also classified in an intensity range greater than 800 nT, which occurs during geomagnetic storms or prolonged polar disturbances (storm-time substorms, see Figure 2).

The solar cycle variation of the substorm intensity distribution showed that group-S substorms appear rather steadily, whereas group-L substorms are strongly dependent on solar activity (Figure 3). The three groups of substorms implies that substorms are not generated by a unified onset process but there exists some different onset processes or separate developing processes, depending on substorm size. Two hypotheses are discussed as the possible origin of substorm groups.



Figure 3. Correlation charts between solar activities, substorms, and solar wind parameters for 10 years. (a) Yearly mean total sun spot number, (b) yearly accumulated whole of substorms, (c) yearly accumulated storm-time substorms, (d) yearly accumulated group-L substorms, (e) yearly accumulated group-S substorms, (f) yearly averaged solar wind velocity, (g) yearly averaged B_{z_c} (h) yearly averaged E_{m_c} (i) yearly averaged ε , and (j) yearly averaged magnetopause subsolar distance r_0 .

<成果発表>

森岡昭、三好由純、能勢正仁、Bi-modal distribution of substorm intensity、日本地球惑星科学連合 2016 年大会、幕張、2016 年 6 月

森岡昭、三好由純、能勢正仁、Solar wind-substorm intensity connection revisited、地球電磁気・地球惑 星圏学会 第140回総会・講演会、福岡、2016年11月 不飽和炭化水素のオゾン分解で生じるクリーギー中間体と有機酸の 反応性に関する研究

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

廣川 淳、北海道大学·大学院地球環境科学研究院

【研究目的】

不飽和炭化水素のオゾン分解から生成するクリーギー中間体は、大気中で二酸化硫黄、 水蒸気、有機酸などとの反応を通して、硫酸、ヒドロペルオキシド(過酸化物)、オリゴ マー体などを形成し、大気中の二次有機エアロゾルの生成に影響を及ぼすことが示唆され ているが、その反応過程には不明な点が多い。本研究ではクリーギー中間体と気体状有機 酸との反応生成物の測定を通してクリーギー中間体の反応性を調べるための実験研究を計 画した。平成28年度は、エチレンのオゾン分解から生成するクリーギー中間体CH₂OOの酢 酸、水蒸気に対する相対的な反応性を調べる実験を行った。

【研究方法】

実験は、内径4 cm、長さ80 cmのフローチューブを用いて行った。フローチューブには、 エチレンC₂H₄、オゾンO₃、酢酸CH₃COOHおよび、必要に応じて水蒸気H₂Oを導入し、オ ゾン分解反応およびそこから生成するCH₂OO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SO₂Cl-を試薬イオ ンとして用いることで、酢酸、水蒸気の濃度を測定するとともに、CH₂OOと酢酸の以下の 反応で生成するヒドロペルオキシメチルアセテートHPMAに帰属されるイオン信号強度を 測定した。

CH₂OO + CH₃COOH \rightarrow CH₂(OOH)OC(O)CH₃ (HPMA) (1) エチレンおよびオゾンの体積混合比はそれぞれ34 ppm、3 ppmとした。酢酸の体積混合比は 0.1–0.6 ppmの範囲で変化させた。

【研究結果・考察】

水蒸気濃度を一定とし、酢酸濃度を変化させてHPMA濃度の変化を調べた。酢酸濃度の増加とともにHPMA濃度は増加し、ある一定値に近づいていく。これは、反応(1)がCH₂OOの他の反応と競合するからである。フローチューブ内でのCH₂OOの反応は、反応(1)および以下に示す反応の計4つに分けることができる。

$CH_2OO + H_2O$	\rightarrow	生成物	(2)
-----------------	---------------	-----	----	---

- $CH_2OO + (H_2O)_2 \rightarrow 生成物$ (3)
- $CH_2OO \rightarrow$ 生成物 (4)

149

反応(2)はCH₂OOとH₂O分子との反応である。反応(3)は、最近重要性が指摘されている CH₂OOとH₂O二量体との反応である[1,2]。反応(4)は(1)から(3)以外のすべての反応を含んで いる。反応(1)、(2)、(3)の二分子反応速度定数をそれぞれk₁、k₂、k₃で表し、反応(4)の擬一 次反応速度定数をk₄で表すと、HPMAの濃度[HPMA]は次の式で表すことができる。

$$[\text{HPMA}] = \frac{k_1[\text{CH}_3\text{COOH}]}{k_1[\text{CH}_3\text{COOH}] + k_2[\text{H}_2\text{O}] + k_3[(\text{H}_2\text{O})_2] + k_4} [\text{HPMA}]_{\text{max}}$$
$$= \frac{k_1[\text{CH}_3\text{COOH}]}{k_1[\text{CH}_3\text{COOH}] + k_L} [\text{HPMA}]_{\text{max}}$$
(5)

ただし[HPMA]_{max}は、酢酸濃度が非常に高く、すべてのCH₂OOが酢酸と反応したときの HPMAの濃度を表す。また、 k_L は、

 $k_{\rm L} = k_2[{\rm H}_2{\rm O}] + k_3[({\rm H}_2{\rm O})_2] + k_4 \tag{6}$

で表される擬一次反応速度定数ある。式(5)の両辺の逆数を取ると

$$\frac{1}{[\text{HPMA}]} = \frac{k_{\text{L}}}{k_1 [\text{HPMA}]_{\text{max}}} \frac{1}{[\text{CH}_3 \text{COOH}]} + \frac{1}{[\text{HPMA}]_{\text{max}}}$$
(7)

の関係が得られる。水蒸気濃度一定の条件で k_L は一定なので、式(7)は、HPMA濃度の逆数 が酢酸濃度の逆数に一次で比例することを表している。実際にプロットすると比例関係が 得られ、その傾きと切片から速度定数比 k_L/k_1 を実験的に得ることができた。水蒸気濃度を 1.8×10^{15} – 3.1×10^{17} molecules cm⁻³ (25°Cでの相対湿度で0.2–38%)の範囲で変えて同様の実 験を行ったところ、 k_L/k_1 が水蒸気濃度に対して二次で依存していることが見いだされた。 このことは、CH₂OOと水蒸気との反応が、反応(2)でなく反応(3)によって支配されているこ とを示唆している。 k_L/k_1 の水蒸気濃度依存性から、反応(3)と反応(1)の二分子反応速度定数 比 $k_3/k_1 = (6.8 \pm 0.2) \times 10^{-2}$ が得られた。最近、4 Torrの減圧下で報告された $k_1 = (1.3 \pm 0.1) \times$ 10^{-10} cm³ molecule⁻¹ s⁻¹[3]を用いると、 $k_3 = (8.2 \pm 0.7) \times 10^{-12}$ cm³ molecule⁻¹ s⁻¹[2]と誤差の範囲 内で一致する。以上から、本手法を用いて相対的な反応速度定数を決定できることが確認 され、直接測定が難しい、より複雑なクリーギー中間体の反応性の研究に応用できること が期待される。

【引用文献】

[1] T. Berndt et al., Phys. Chem. Chem. Phys., 2014, 16, 19130–19136.

[2] M. C. Smith et al., J. Phys. Chem. Lett., 2015, 6, 2708–2713.

[3] O. Welz et al., Angew. Chem. Int. Ed., 2014, 53, 4547–4550.

【成果発表】

矢嶋亮次,坂本陽介,猪俣敏,廣川淳,「エチレンのオゾン分解から 生成するCriegee中間体CH₂OOと酢酸、水との反応性の研究」,第22回 大気化学討論会,2016年10月12-14日,札幌.

台風に伴う電離圏変動の解析

Analysis of ionospheric disturbances associated with typhoons

中田裕之、千葉大学・大学院工学研究科

1. 研究目的

大規模な自然災害の影響による電離圏変動が知られている。これらは、下層大気で生じた音波や大気重力波が電離圏に到達することで生じたものである。地震、火山、竜巻に伴う電離圏変動については、GPS-TECを用いた観測が報告されている(e.g., Tsugawa et al., 2011; Heki and Ping, 2006; Nishioka et al., 2014)。これに対し、台風に伴う変動の観測結果については、いくつか報告があるものの、台風接近に伴う電離圏変動の直接的な証拠については、ほとんど明らかにされていないのが現状である。

そこで本研究では、台風に伴う電離圏変動について解析を行い、その変動の特性を明ら かにすることを目的とする。これまでに、申請者らの解析により、地上での微気圧変動と HFドップラーによる電離圏上下動について、約10 mHz以上の帯域では、両者に極めて良 い対応がみられることが明らかとなった。今回GPS-TEC 1秒値を利用することができたた め、この帯域の変動解析を行うことが可能になったことから、GPS-TECデータにおいて、 台風に伴う変動がどのように現れるか解析を進めた。

2. 研究方法

今回解析対象とした台風は、2015年11号、15号台風である。いずれも甚大な被害をもた らした大型で非常に強い台風である。台風11号は、2015年7月4日、マーシャル諸島付近に て発生し、7月16日23時(日本時間)に高知県室戸市付近に上陸した。その後、四国、中国 地方を通り抜けた後、日本海へ抜け、温帯低気圧となった。また、台風15号は、8月15日3 時(日本時間)に発生し、23日夜には、石垣島に接近した後、8月25日6時過ぎに熊本県荒 尾市付近に上陸した。その後九州を通過した後、日本海に抜け、温帯低気圧に変わった。

用いたデータはGPS-TECデータである。1秒値TECデータに対して、FFTを用いてTEC 変動のスペクトル強度(3 ~100 mHz)を算出した。

3. 研究結果

Figure 1に、台風接近時のGPS-TEC変動(80 mHz)のスペクトル強度分布図を示す。 上段は、スペクトル強度を各貫通点にプロットしたもので、色はスペクトル強度を表す。 左は台風最接近の前日(2015/7/15 00:30 UT)時のデータで、右図は台風上陸直後の分布を示 す。図中の黒丸は台風中心を表す。貫通点の色が赤いほど、スペクトル強度は大きい値で あるが、台風が接近しても、あまり明確な変動は見られない。そこで、貫通点の経度を横 軸に、縦軸をスペクトル強度として表示したものを下段に示した。これによると、台風が 上陸した経度134度付近において、スペクトル強度が高い点が、上陸前に比べて増えている のがわかる。このような変動強度の増加は、わずかではあるが40~100 mHzの帯域で確認 され、台風15号でも同様に増加が確認された。 4. まとめ

台風に伴う電離圏変動について、1秒値GPS-TECデータを用いて観測可能かどうかについて解析を行った。その結果、40 mHz以上の帯域において変動強度が上昇することが確認できたが、貫通点の2次元分布図においては、明瞭な上昇が見られなかった。このような変動は、地表付近で生じた大気波動が上空に伝播することで生じるが、数10 mHz帯の変動は、F領域付近において高周波ほど強く減衰を受けるため、HFドップラーでは観測可能であった変動が、GPS-TECでは明瞭には見られなくなったものと考えられる。

5. 成果発表

中田 裕之、平林 慎一郎、益子 竜一、長南 光倫、大矢 浩代、鷹野 敏明、冨澤 一郎、長 尾 大道、松 村 充、台風通過時の電離圏変動のスペクトル解析、第 140 回地球電磁気・地 球惑星圏学会総会・講演会、九州大学伊都キャンパス、福岡県福岡市、2016 年 11 月 21 日

平林 慎一郎、中田 裕之、鷹野 敏明、冨澤 一郎、長尾 大道、台風時の電離圏変動と大 気変動との相関、日本地球惑星科学連合 2016 年大会、幕張メッセ、千葉県千葉市、2016 年5月22日



Figure 1:2015 年台風 11 号 (7/15 00:30UT (左)、7/16 12:30UT(右)) に伴う TEC 変動強度。(上段) 変動強度を貫通点に表示したもの(下段) 全貫通点での変動強 度を経度に対して表示したもの。

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

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

太陽圏 ヘリオポーズの大きさは太陽風プラズマのラム圧に大きく依存 している。OMNIデータでは太陽風ラム圧は2005年から減少を続け2010 年で極小となったが、最近は再び増加に転じている。ボイジャー1号(V 1)は2012年にヘリオポーズを超えたが、2号(V2)は未だ超えていな い。我々は3次元高精度MHDシミュレーション解析にOMNIデータを組み 入れることにより、ヘリオポーズの年変動を明らかにすることが出来、 その結果を図1に示す。この図ではV2が現在ヘリオポーズの間近まで 近づいていて、間もなくヘリオポーズを越えるであろうことが示唆さ れている。この結果は16thAIAC国際会議にて報告された。



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

Investigation of the elemental abundance of flares using Hinode/EIS

Kyoung-Sun Lee, National Astronomical Observatory of Japan, Hinode Science Center

We have planned to investigate the elemental abundances and other plasma properties of flares, which are energized by magnetic reconnection and the most explosive phenomena in the Sun. For this, we have investigated the plasma properties for a flaring active region with high time caden ce spectroscopic observations and have studies on the flare plasma dynamics through the chromos phere and corona, the chromospheric evaporation during the impulsive phase of the flare.

Purpose: In order to understand the flare mechanisms and their characteristics, we need to kno w their plasma properties. From the spectroscopic observation, we can investigate the properties o f plasma, which in the flaring site, such as density, temperature, Doppler velocity and their abun dances. In this collaborative research, original goal was investigating plasma properties in flares u sing the spectroscopic observations by Hinode/EIS, and specially focused on the abundance. This y ear, for this, we have investigated the plasma properties and investigated the plasma dynamics at the flare kernel, which shows the chromospheric evaporation. The process is response of the plas ma to the energy release from the flare, and we can know the energy transport process from this study.

Method

- Investigation of the temporal evolution of plasma properties in the flare

For the abundance investigation, we need to know the density profile to determine the DEM. We have investigated the plasma properties, such as, intensity, Doppler velocity, and density of a flare with time. For this, we used the data observed by EIS and IRIS simultaneously. We investigated the plasma dynamics using the multiple line profiles formed from the corona (EIS) and chro mosphere (IRIS). We also measured density profile of the flare using the Fe XIV line pare from the EIS and the O IV line pair from the IRIS.

- Comparison of the injected energy from the HXR and dissipated energy in low atmosphere

Under the thick target approximation using the equation (1) (Hudson et al. 1978; Watanabe et al. 2010), we can calculated the total power (P) in the non-thermal electrons above a given electron n energy (low cut-off energy) Equation (1):

Equation (1):

$$P(\epsilon \ge \epsilon_c) = 4.3 \times 10^{24} \frac{b(\gamma)}{\gamma - 1} A \epsilon_c^{-(\gamma - 1)} \text{ (erg s}^{-1})$$

We also estimated the dissipated energy flux from the chromospheric spectral lines. Pereira et al. (2015) suggested the temperature diagnostics using the intensity ratio of the wing and core of the Mg II triplet lines, which become emission when the low atmosphere heated. Then, we tried t o measure the energy flux using the observed temperature difference at the low atmosphere. Then, we tried to compare the energy fluxes measured from the HXR and chromospheric lines.

- **Collaborative research:** For this research, I have collaborated with Dr. Imada in Nagoya University. For the discussion, I visited Nagoya University in November.

Results

Using the research method, we have investigated a wihte light flare kernel which observed by multiple spectroscopic observations from HXR to UV (RHESSI, Hinode/EIS and IRIS). Then, we investigated

temporal variation of the plasma properties with the high time cadence spectroscopic observations. As a result, we found that the explosive chromospheric evaporation occurs at the flare kernel during the impulsive phase of the flare. We also compared the energy flux from the HXR to UV, using the RHESSI HXR emission and Mg II triplet emission from IRIS. Then, we conclude that the bright flare kernel in white light could be produced by the HXR non-thermal electrons, and the HXR non-thermal electrons give the enough energy flux to produce the explosive chromospheric evaporation. This result has been published in the Astrophysical Journal (Lee et al. 2017).

Refernces

Hudson, H. S., Canfield, R. C., & Kane, S. R. (1978) Sol. Phys., 60, 137
Lee, K.-S., Imada, S., Watanabe, K., Bamba, Y., Brooks, D. H. (2017) ApJ, 836, 150
Pereira, T. M. D., Carlsson, M., De Pontieu, B., & Hansteen, V. (2015) ApJ, 806, 14
Watanabe, K., Krucker, S., Hudson, H., Shimizu, T., Masuda, S., & Ichimoto, K. (2010) ApJ, 715, 651

* List of the presentations and papers related to this research

- Presentations (Title / Author / Conference / Year)

1. Spectroscopic analysis of a bright kernel in a white light flare observed by Hinode/EIS, IRIS, RHESSI, and SDO / Kyoung-Sun Lee, Shinsuke Imada, Kyoko Watanabe, Yumi Bmab, David H. Brooks / AOGS 2016 / 2016 July 31 - Agust 6

2. Quantitative Estimation of the Energy Flux During Evaporation in a White Light Flare Kernel Observed by Hinode, IRIS, SDO, and RHESSI / Kyoung-Sun Lee, Shinsuke Imada, Kyoko Watanabe, Yumi Bmab, David H. Brooks / Hinode 10 / 2016 Sep 5-9

3. Quantitative estimation of the energy flux during an explosive chromospheric evaporation in a white light flare kernel observed by Hinode, IRIS, SDO, and RHESSI / Kyoung-Sun Lee, Shinsuke Imada, Kyoko Watanabe, Yumi Bmab, David H. Brooks / ASJ fall meeting 2016 / 2016 Sep 14-16

4. Quantitative Estimation of the Energy Flux During Evaporation in a White Light Flare Kernel Observed by Hinode, IRIS, SDO, and RHESSI / Kyoung-Sun Lee, Shinsuke Imada, Kyoko Watanabe, Yumi Bmab, David H. Brooks / SDO 2016 2016 October 17-21

- Papers (Title / Author / Journal / Year)

1. IRIS, Hinode, SDO, and RHESSI Observations of a White Light Flare Produced Directly by Nonthermal Electron / Kyoung-Sun Lee, Shinsuke Imada, Kyoko Watanabe, Yumi Bmab, David H. Brooks / The Astrophysical Journal 836, 150 / 2017 大 気放射 モデル を用い た「ひ まわり」 シミ ュレー ション 画像作成 と応用

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

大 野 智 生 気 象 庁 気 象 衛 星 セ ン タ ー デ ー タ 処 理 部

本研究は、静止気象衛星ひまわり8号データの特長である高時空間解 像度観測データを活用し、雲・エーロゾル過程の高度な理解を得、ひ いては同データを数値予報に適切に同化させて予報精度の向上に資す るための開発を行うものである。

本年度の研究においては、大気放射モデルの下でひまわり8号のデー タを活用することで、再生可能エネルギーや農業などさまざまな分野 で利活用が見込まれる、日照時間・日射量の広域・面的分布の推定技 術の開発を行った。

気象庁では、日照時間プロダクトとして、ひまわり8号観測の可視バンド反射率および数値予報モデル予報値から日照の有り/無しをロジスティック回帰によって判定し、それに基づき日照時間を推定する手法を開発した。また、当該手法を用いてひまわり8号観測から推定した日照時間と気象庁が整備した地上観測との比較を行い、時別値・日別値とも相対誤差は10%以下、相関係数は0.9以上という結果が得られた。

日射量プロダクトに関しては、気象庁が欧州気象衛星開発機構(EU METSAT)と協力して開発を行っているOptimal Cloud Analysis(O CA)よってひまわり8号観測データから雲の光学特性を推定し、数値 予報モデル予報値とともに簡易的な放射伝達計算を行って日射量を推 定する手法を開発している。

本成果については、名古屋大学宇宙地球環境研究所において平成29 年3月16日~17日にかけて行われた「GSMaPおよび衛星シミュレータ 合同研究集会」の場で発表を行っている。

○ 日 照 時 間 プ ロ ダ ク ト の 概 要





○日射量プロダクトの概要





現地観測データを用いた、気象じょう乱に伴う黒潮続流の変動の解析 Analyses of variebility of the Kuroshio Extention associated with meteorological disturbances using in-situ observation

data

佐藤尚毅、東京学芸大学・自然科学系

衛星観測による海面水温データの解析や、海洋モデルの長期積分の 結果の解析によって、梅雨前線帯の下層ジェットに伴うエクマン湧昇 によって黒潮続流域の水温フロントが維持、強化されていることが示 されている(Sato et al. 2016)。本研究では、Sato et al. (2016) による解析をさらに進め、海洋モデルによって再現された海洋内部の 変動が実際に生じていることをArgoフロートのような海洋の現地観測 データによって検証する。

はじめに、衛星観測データ(TMISST)を用いて、海面水温(SST)の 季節変化を調べた。関東東方の黒潮続流に伴う海面水温前線域でのSST の南北勾配は、全体的に見れば春から夏にかけて小さくなるが(図は 省略)、6月から7月にかけては逆にSSTの勾配が大きくなってい ることが分かる(図1左)。このような季節進行は、海洋モデルNP-OF ES(Sasaki and Klein 2012)によっても再現されている(図1右)。

図1にみられるようなSSTの季節進行に伴う海洋内部の変動を調べるために、NP-OFESデータにおいて、水温の深度-時間断面を調べた(図2)。海面水温前線の北側、南側の両方で、春から夏にかけて海水が持ち上げられていることが分かる。しかし、前線の北側のほうが表層混合層が薄いため、海水の持ち上げによる水温上昇の抑制は、前線の北側でより強く効いていると考えられる。このことが図1にみられるようなSST勾配の維持、強化に関わっていると推測できる。なお、海水の持ち上げは、梅雨前線帯に伴う強い西風が生じさせるエクマン湧昇によるものであることが確かめられている(図は省略)。

図2に示された海水の持ち上げは海洋モデルによる再現実験の結果 である。以下では、実際の海洋でそのような変動が生じているか検証 を試みる。Argoフロートによる観測データを用いて、黒潮続流の北側 の海域(35~38°N, 140~145°E)で水温と塩分の鉛直分布の季節変化 (6月下旬~7月下旬)を調べた。また、続流の南側の海域(32~35° N, 140~145°E)でも同様の解析を行なった(図3)。ここでは、6月 下旬および7月下旬に該当する海域で得られた水温、塩分のデータす べてを平均して用いている。その結果、どちらの海域においても、SST や表層付近の水温は季節進行とともに全体的には上昇するが、温度躍 層は持ち上げられていることが分かった。黒潮続流域は流速が速いた めArgoフロートによる観測事例が少なく有意な結果を得ることはいま だに容易ではないのが現実であるものの、海水の持ち上げがSST の上 昇を抑制しているとする、NP-OFESの再現実験と矛盾しない結果が得ら れた。



図 1 : 6 月 と 7 月 の SST の 差 (2001 ~ 2010 年)。 点 は 海 面 水 温 前 線 の 位 置 (SST の 南 北 勾 配 が 最 大 の 緯 度)を表 す 。 左 は TM ISST、右 は NP-OFES。



図 2 : 東経142度における、水温の深度-時間断面。左は北緯36度、右 は北緯34度。



図 3: Argo フロートによって観測された、6月下旬から7下旬までの 水温と塩分の鉛直分布の変化。左は北側(35~38°N, 140~145°E)、 右と南側(32~35°N)の海域。

引用文献

Sasaki H., and Klein P, 2012: SSH wavenumber spectra in the North Pacific from a high-resolution realistic simulation. J. Phys. Oceanogr., 42, 1233-1241.

成果発表

Sato, N., M. Nonaka, Y. Sasai, H. Sasaki, Y. Tanimoto, and R. Shirooka, 2016: Contribution of sea-surface wind curl to the maintenance of the SST gradient along the upstream Kuroshio Extension in early summer. J. Oceanogr., 72, 697-705.

中村健治、獨協大学経済学部

1. はじめに

現在全球降水観測ミッション(GPM)の主衛星が軌道上にある。この衛星には日本が開発した二周波降水レ ーダ(DPR)が搭載されている。DPRの検証のため、昨年度は地球水循環研究センターの共同研究としてDPR の名大 overpassの頻度を調べた。Overpass そのものは月に4回程度ある。これは軌道傾斜角65度とクロス スキャン幅120kmからも計算される。しかし、比較可能な降水のある事例は3事例、その内名大レーダが稼働 していた事例は2事例のみであった。直接比較ではRHIデータが有効であるが、このように overpassの事例 は極く少ないため、RHI 以外のデータの利用を検討した。この手始めとして、手元にある overpass 時の他の PPIデータを調査した。DPRの解析ではKu帯とKa帯での降水エコーの差の利用が進められている。名大では X帯とKa帯のレーダの同時稼働データがあるのでその利用、具体的には両者の差の特性の把握が目標である。 また雨滴層は既にかなりわかっているので、融解層やその上空の固体降水層での電波散乱特性の把握が目標で ある。

2. 名古屋大学レーダのデータ

名古屋大学のX帯、Ka帯のレーダは1年以上にわたり東山キャンパス内にあり、volume scan 観測を連続し て行っていた。この中に2014年の事例もある。X帯、Ka帯レーダはともにいわゆる multi-parameter レーダ であり、偏波情報を得ている。またドップラ機能も備えている。またレーダの位置は50m程度しか離れていな い。このためX帯とKa帯のレーダデータの直接比較の可能性を調査した。

図1は2014年11月1日4時12分(日本時)頃のvolume scanの一部のPPI画像である。レーダの仰角は ともに4度程度である。Volume scanの仰角はX帯では16仰角、Ka帯では12仰角あるが各仰角はX帯とKa 帯とでは一致していない。この図の場合は仰角は1度以上の差がある。また観測時刻も数分の差がある。

X帯のレーダ画像には中心から半径 5km 程度の円がみられる。円内は short pulse の使用領域で、外側は long pulse の使用領域である。この時は、short pulse 領域と long pulse 領域とのレベルが未調整であったと思われる。図2は仰角が高い時の例であり、両レーダとも 21.5 度である。距離 9.5km 辺りに円形のエコーがみられるがこれは融解層に当たっている。この高度は約3.4km となっている。Ka 帯レーダの画像でも同じ距離でエコー強度の急激な減少が見られ、融解層であることが納得できる。

3. 解析と結果

二つにレーダの比較を行うためには画像の位置合わせが必要である。これは観測時刻が異なることによる雨 域の移動、仰角が異なることを考慮した距離補正、また方位角の原点の角度補正などが必要であるためである。 この位置合わせを行うため、GTK+というLinux で多く使われる画像表示ソフトウェアを使って、画像を見なが ら interactive にパラメータを変化させることのできるソフトウェアエンジンを開発した。位置合わせのパラ メータは原点の x、y 方向の移動距離、方位角のバイアス、また距離のスケールファクターの4つである。 らに相関を取る領域を設定するためパラメータも入力できるようにした。

X帯に比べて Ka帯の電波は大きな降雨減衰を受ける。この大きさは降雨強度あるいはレーダ反射因子と相関を持つ。このため、X帯のエコー強度の距離微分とKa帯のエコー強度の距離微分の差(降雨減衰係数の差:

k(Ka)-k(X))に降雨減衰が現れ、これがX帯のエコー強度と相関を持つことが期待される。低仰角の時の例(図 1)では弱いながらもレーダ反射因子が大きくなると降雨減衰差も大きくなっていることがわかる。この増加 は降雨減衰係数と降雨強度、降雨強度とレーダ反射因子との経験的な関係から得られる値と合っている。図2 では融解層が現れており、融解層に当たる距離付近のデータのみを取り出して相関を取ると、ばらつきは大き いものの相関が現れる。また降雨のみの場合に比較して降雨減衰差は数倍の大きさになっていることがわかる。 宇宙航空研究開発機構によるKaレーダ地上実験では降雨減衰係数とレーダ反射因子のピーク位置はずれるこ とが示されているが、今回の画像からは明瞭ではない。RHIのデータなども利用する必要がある。

4. まとめ

X帯とKa帯のレーダデータから融解層での電波散乱特性を得るために、画像比較を行うソフトウェアエン ジンを開発し、雨域ではもっともな結果を得た。融解層についてはもっと事例を増やす必要がある。またRHI データの利用も必要である。GPM DPR の overpass にとらわれなければ多くの事例があるので今後その活用を 図る。

謝辞: 0verpass 時のレーダデータの入手、またデータの読み出しでは宇宙地球環境研究所技術職員の民田 晴也氏の協力を得た。感謝したい。



図1. 2014年11月1日(日本時)4時12分頃のレーダ画像(左:X帯、中:Ka帯)と、降雨減衰差とX帯 のレーダ反射因子との相関(右)。エコー画像はレーダ中心から±30kmを示している。なお距離はレーダから の斜め距離であり、水平距離ではない。暖色でオレンジは30dBZ以上となっている。仰角は約4度である。



図2. 図1と同じであるが、仰角が21.5度の時のもの。融解層が明瞭にみられる。

高解像度気象シミュレーションデータの

洋上電力システム解析 ・運用への利用に関する研究 Research on applications of high-resolved weather simulation data to analysis and operation of offshore power systems

薄 良彦, 大阪府立大学·工学研究科

研究目的 · 方法

本研究の目的は、高解像度気象シミュレーションのデータを利用し、 洋上電力システムの解析・運用技術を構築することである。研究方法 としては、貴研究所で開発されてきた雲解像モデル(CReSS)によるシ ミュレーションを採用し、①シミュレーションデータを組み込んだ洋 上ウィンドタービン(WT)の動特性モデリングならびに②システム運 用に必要となる風力出力平滑化効果の定量化について検討を行ったな お、②は前年度の内容をシステム運用技術に向けて深化させた内容で ある。

研究結果

- ① 計算機利用共同研究で得られたシミュレーションデータ(空間解像度200m,時間解像度1Hz)を組み込んだ洋上WTの動特性モデリングを検討した。具体的には、CReSSの風速データに対して不規則変動成分を重畳させ、実測データと確率密度関数の意味で類似の時系列データを生成した上で、WT出力の動特性モデルに組み込むことを検討した。検討より、WT出力の期待値(トレンド)としては実測データと定量的に近い数値を得られた一方、確率密度関数の 歪度の意味で近い数値は得られなかった。この点は今後の課題となった。
- ② 風力出力平滑化効果の定量化について前年度に引き続き検討を進めた。具体的には、非線形時系列データ解析の方法であるクープマンモード分解を用いて、風力出力の時系列データを複数の単ー周波数のモードに分解した上で、複素数値ベクトルであるモードの各成分の振幅と位相の情報を抽出することで、平滑化効果の新たな定量化法([3]でmean smoothing index via KMDと呼称)を提案した。これにより、従来知られているパワースペクトルに基づく定量化法で仮定されていたウィンドファーム内の各WT出力に対するスペクトル分布が同一という仮定を取り除き、より一般的な状況に対して風力出力の平滑化効果が定量化できることを明らかにした。

まとめ

本研究では、CReSSシミュレーションデータを組み込んだ洋上WTの動特性モデリングならびに風力出力平滑化効果の定量化について検討を進めた。後者の結果について、国際会議で発表するとともに[1,2]、学術誌への投稿を行った[3]。

成果発表

[1] F. Raak, Y. Susuki, K. Tsuboki, M. Kato, S. Eguchi, and T.

Hikihara, Wind power simulation and analysis incorporating highly-resolved weather prediction and measurement data of Japan, The 15th World Wind Energy Conference and Exhibition (WWEC2016), Tokyo, Japan, November 1 (2016).

- [2] F. Raak, Y. Susuki, K. Tsuboki, M. Kato, and T. Hikihara, On smoothing effects of wind power via Koopman mode decomposition, 2016 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2016), pp. 366-369, Yugawara, Japan, November 29 (2016).
- [3] F. Raak, Y. Susuki, K. Tsuboki, M. Kato, and T. Hikihara, Quantifying smoothing effects of wind power via Koopman mode decomposition: A numerical test with wind speed predictions in Japan, Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE (conditionally accepted, 2017).

脈動オーロラの全自動解析手法の開発と時空間特性の統計的導出 Development of automatic analysis method and statistical study on spatial and temporal characteristics of pulsating auroras

西山尚典、国立極地研究所・研究教育系

【研究目的】

Pulsating aurora(PsA)は、その発光が1-20秒の周期で方形波的に明滅し、電離圏でのサ イズが10-200km程度のパッチ構造のオーロラ現象である.PsAを特徴づける明滅周期、そ して明滅周期の継続時間に着目し、これらの時間スケールの統計的な振る舞いを地上光学 観測データに基づいて明らかにすることである。そのために、時間方向に連続な画像デー タからその時空間特性によってPsAを検出し、on-off周期を自動抽出する解析手法の開発を 行う.

【研究方法】

本研究では、3次元(空間2次元+時間)のオーロラ画像データから主成 分解析を用いることで、PsAの時空間特性を自動導出する手法を確立 する.特に、従来簡易化のためFFTで導出されてきたPsAのon-off周期 を、onとoffの継続時間として区別して導出することを目指す.また同 時に、卓越したon-off周期を持つPsAのパッチ構造の自動抽出を行う.

解析に用いるオーロラ光学観測データは、名古屋大学・宇宙地球環境研究所が中心となって運用されているカナダ・アサバスカにおける全天オーロラカメラによる光学観測データを想定している.開発する解析プログラムは、Nishiyama et al. 2016で用いた主成分解析法をベースとし、様々な画像データに応用可能な汎用的な手法とする.また同様な地上光学観測を行うコミュミティで共有できるようなものとする.

【研究結果と考察】

本年度は、2015年12月20日、アサバスカで08UT付近に観測されたトーチ状のPsAの画像 データに対して解析を行った.結果の図を図1として示す.図1(a)での全天画像中に示し た赤線四角内の領域(32×32ピクセル、ただしオリジナル画像を2×2ビニング済み)にお いて、11枚の画像を時間平均した600枚の画像(1分に対応)に主成分解析を行った結果, 図1(c)のように第1空間モードとしてトーチ状構造全体が抽出され、第1モードの時係数 もon-offに対応するような変動が見られた(図1(b)参照).また図1(d)で示す通り、高次の 空間第3モードにおいてはトーチ状構造内のより微小な構造も確認できる.従って、今回 のPsAイベントにおいては問題なく主成分解析が適応できることが確認できた.

全天カメラで撮像されたPsA画像に対する主成分解析は前例がなく、今回は全天視野をほぼ占めるような大規模トーチ構造へ解析を適応した.その結果、前述の通りある程度規模の大きなトーチ構造に対してその時空間特性を抽出できることを確認した.また、高次のモードに注目することで、トーチ構造内のメソスケール・スモールスケール構造の特定にも有効である.一方で、全天視野内に複数のPsAが出現するような事例に関しては、本年度は解析まで着手できていない.今回と同様の設定で解析を行うと、個々のPsAのパッチ構造などを特定できない可能性があるため、解析範囲をさらに複数の微小領域に分割するなど

の工夫が必要であると予想できる.

【まとめ】

時間方向に連続なPsAの画像データから、その時空間特性によってPsAを自動検出し、on -off周期や2次元平面状の形状などの抽出を可能とする解析手法の開発を行っている.本年 度は、2015年12月20日、アサバスカの全天カメラで観測されたトーチ状のPsAの画像デー タに対して主成分解析を行った.全天カメラによるPsA画像への主成分解析は初の試みであ ったが、大規模トーチ構造に対しては、その時空間特性(メソ-スモール構造も含め)を抽 出できることを確認した.次年度以降は、全天視野内に複数同時に出現するPsAに対して、 解析範囲を拡張することを目指す.

【成果発表】

[1] 浅野貴紀,三好由純,栗田怜,町田忍,西山尚典他,「全天カメラで取得された脈動オーロラの画像に対する主成分分析を用いた変調解析」,第140回 地球電磁気・地球惑星圏学 会総会・講演会,九州大学伊都キャンパス,2016年11月20日(日)

[2] 浅野貴紀,三好由純,栗田怜,町田忍,西山尚典他,「主成分分析を用いた脈動オーロラの変調解析」,第7回極域科学シンポジウム,国立極地研究所,2016年11月29日(火)
[3] 浅野貴紀,三好由純,栗田怜,町田忍,西山尚典他,「全天カメラで取得された脈動オーロラの画像に対する主成分分析を用いた変調解析」,脈動オーロラ研究集会,名古屋大学宇宙地球環境研究所(研究所共同館 II)3F 講義室,2017年3月15日(水)



図1(a)解析したトーチ状PsA(b)第1~4モードまでの時係数,第1モードは黒色の線に対応(c-d)主成分解析によって抽出した空間第1モードと高次の第3モード

高感度レーザー吸収分光法を用いた安定炭素同位体比分析 Stable carbon isotope ratio analysis by high sensitive techniques for laser absorption spectroscopy

薮下 彰啓、九州大学·総合理工学研究院

研究目的

自然界における炭素の安定同位体は¹²Cが98.89%に対して¹³Cが1.1 1%存在している。しかしこの同位体比は試料の起源や周囲の環境要因 などによりわずかではあるが変化する。大気には、生物の呼吸、海洋 由来、また化石燃料の燃焼といった様々な排出源からCO₂が排出されて おり、各排出源により安定同位体の存在比が異なるためである。そこ で安定同位体比の連続的な計測を行えば、CO₂の排出源や吸収源が推定 できるようになり、CO₂大気循環についての情報を得ることができる。

現在の炭素安定同位体比測定では、質量分析計で質量数の違いにより同位体の量を測定してそれらの存在比が算出されている。質量分析計は高い感度と精度(0.1 ‰以下)を有する利点がある。しかし、質量分析計は高真空を必要とするため装置が大型で高価であり、かつ分析装置の習熟の必要性があるといった不利な面がいくつか存在する。そのためより小型で簡便な装置の開発が望まれている。そこでレーザー吸収分光法を用いた炭素安定同位体比測定装置を開発する。

研究方法

平成 26,27年度の研究により、キャ ビティリングダウン分光法 (CRDS:Cavity Ring-Down Spectroscopy)を用いて、2 μ m帯で の¹³CO₂/¹²CO₂同位体比を測定できる ようになった。平成 28年度は、より低 廉で簡便な測定法として位相差検出 を行うPhase-Shift CRDS法を試みた。 半導体レーザーを用いて¹²CO₂の吸収 ピークに対応する 2008.9165 nmの光 を発振させた。このレーザー光を音響 光学素子を用いて 50 kHzの矩形波に 変調し、キャビティから出力された光 強度をオシロスコープで測定した。

研究結果と考察

図1(a)に標準ガスの¹²CO₂吸収波長 (2008.9165 nm) での出力波形と図1 (b)にN2ガスをフローさせた時の出力 波形を示す。(a)と(b)では波形が僅か



図 1 PS-CRDS 法で得られた出力波形。矩 形線はレーザーの変調信号(50 kHz)。レ ーザー 波長は¹²CO₂のピークに設定(a)標準 試料 200 mbar (b) N₉ガス 200 mbar

に異なっていることが確認できた。3点式のピエゾ振動素子(PZT: pi ezoelectric transducer)を用いてミラーを光軸方向に往復運動させた 場合には出力波形が弱く検出できなかったが、円筒型PZTを用いること で出力波形が得られるようになった。しかし、強度は弱くS/N比もあま りよくない。さらに測定中それぞれの出力波形は強度・位相とも振動 しており安定した出力は得られなかった。PZTの特性上、伸びる方向の 運動と縮む方向の運動で同じ動作ではないため、一定の周期で光が検 出されないためではないかと考えられる。現状では、ロックインアン プで位相検波を行った際、位相の変化は大きく揺らぎ測定が不可能で あった。対策として、PZTを駆動する三角波の振幅を調整し1往復あた りの光検出回数を現在の4回から2回に減らすことで、できるだけ周期 の整った状態にしようと試みたが、現状のPZTと駆動電源では達成で きなかった。

まとめ

平成26-28年度の3年間、高感度レーザー吸収分光法を用いた安定炭素同位体比分析を試みた。CW-CRDS法を用いて2 µm帯のCO₂の吸収スペクトル及び¹³CO₂/¹²CO₂同位体比測定を行った。大気条件に近い標準サンプルの同位体測定では、更なる感度が必要であることが分かったが、より高反射率のミラーを用いることで高感度化が達成できるであろう。

CW-CRDS法では、より低コストで簡便な測定法として位相差検出を 行うPS-CRDS法を試みたが、残念ながら現状の装置では測定が困難な ことが分かった。安定して測定するためには、アライメントを長時間 ズレなくする、そして平行にミラーを往復運動させる工夫が必要であ ることがわかった。

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

村田 功 東北大学大学院環境科学研究科

東北大学では国立環境研究所との共同研究として、つくばにおけるフーリエ変換型分光 計(FTIR)による観測を 1998 年より行っている。FTIR では太陽光の 2-15μm の赤外領域の スペクトルから大気中の多くの微量成分の高度分布等を調べることができる。FTIR を用い た同様の観測を行っている国際的な研究グループ NDACC/IRWG (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change/Infrared Working Group)では、各観測ス テーションの結果を総合して地球規模の微量成分の変動要因を解明する研究を進めており、 つくばもすでに十数年にわたる長期観測を行っているのでこれに参画している。昨年まで の研究で解析したメタンについては、ベルギーのグループを中心に NDACC/IRWG の各観 測点の最近の増加傾向について解析を進めた結果が論文として発表された(Bader et al., 2017)。今年度はエタン全量の経年変化を解析した。

エタンはメタンに次いで多く存在する炭化水素類であり、化学反応過程も類似した部分 が多い。そのため、エタンがメタンの濃度に影響することによる間接的な温室効果がある。 また、PAN(Peroxy Acetyl Nitrate)の生成を通じて光化学スモッグ等の大気汚染、特に越境 汚染として最近話題になっている長距離輸送を伴う発生源から離れた地域での汚染に寄与 する。発生源は天然ガス、バイオ燃料、バイオマス燃焼等であるが、モデルが観測値を十 分に再現出来ておらず、発生量を過小評価している可能性が高い。

解析にはロジャーズ法を用いたスペクトルフィッティングプログラム SFIT4 を使用した。 なお、これまでは SFIT2 を使用していたが、今年度 ISEE の長浜らとともに改良版である SFIT4 の導入を行い、それぞれつくばおよび陸別の解析に使用できるようになった。解析 パラメータは Franco et al. [2015]と同様のパラメータで行っている。ただし、解析に用い る波数領域は 3μ m 付近の①2976.66 · 2977.059 cm⁻¹と②2983.20 · 2983.50 cm⁻¹のふたつ で、Franco et al. [2015]で用いているもう一つの領域③2986.45 · 2986.85 cm⁻¹は用いない。 これは③の領域には H2O の強い吸収線があり、つくばのような高湿度(特に夏季)になる 地域では解析に適さないためである。

図につくばで観測されたエタンカラム全量の 2001 - 2008 年、2009 - 2013 年、2014 - 2016 年の経年変化を示す。これを見ると、2001-2008 年の期間では若干の減少傾向 (-0.4%/year 程度)であったものが 2009-2013 年にかけて増加(2.2%/year 程度)し、2014-2016 年に再び減少(-0.6%/year 程度)する様子が見られた。原因に関してはまだ調査中であるが、 2014 年以降の減少については原油価格の下落に伴う原油生産量の増加が C₂H₆の発生源で ある天然ガスやバイオ燃料の生産量の減少を招き、その結果 C₂H₆の発生量が減少した、と いったことが影響しているようである。



図. つくばで観測されたエタン全量の 2001 - 2008 年 (左)、2009 - 2013 年 (中央)、2014 - 2016 年 (右)の経年変化

<成果発表>

- W. Bader, B. Bovy, S. Conway, K. Strong, D. Smale, A. J. Turner, T. Blumenstock, C. Boone, M. C. Coen, A. Coulon, O. Garcia, D. W. T. Griffith, F. Hase, P. Hausmann, N. Jones, P. Krummel, I. Murata, I. Morino, H. Nakajima, S. O'Doherty, C. Paton-Walsh, J. Robinson, R. Sandrin, M. Schneider, C. Servais, R. Sussmann and E. Mahieu, The recent increase of atmospheric methane from 10 years of ground-based NDACC FTIR observations since 2005, Atmos. Chem. Phys., 17, 2255-2277, doi:10.5194/acp-17-2255-2017, 2017.
- 村田 功,中島 英彰,森野 勇,FTIR で観測されたつくばにおけるエタンの経年変化,日本 地球惑星科学連合 2016 年大会,幕張,2016 年 5 月.
- Murata, I., H. Nakajima, and I. Morino, Temporal variation of the total column of ethane observed with FTIR at Tsukuba, NDACC Infrared Working Group Meeting, Jeju, Korea, June, 2016.
- 村田 功,中島 英彰,森野 勇,FTIR で観測されたつくばにおけるエタン全量の近年の増加, 第 22 回大気化学討論会,札幌,2016 年 10 月.
航空機を用いた台風観測ミッション

Aircraft observation mission of tropical cyclones

伊藤耕介、琉球大学·理学部

台風は世界各国に甚大な被害をもたらし、地球規模での熱循環を考 える上でもインパクトが大きい現象である。中でも、沖縄などの北西 太平洋沿岸域は、猛烈な台風が世界で最も多く接近・上陸する地域で あるため、台風の実態を詳しく知り、その理解を基に予測精度を高め ていくことは、地球科学上・自然災害学上の主要なテーマの一つとな っている。そこで、この問題意識を共有する機関である名古屋大学・ 気象研究所・琉球大学は共同し、科学研究費基盤研究S「豪雨と暴風 をもたらす台風の力学的・熱力学的・雲物理学的構造の量的解析」(代 表:坪木和久.以下、坪木科研費)において台風の航空機観測を実施 することとなった。

日本が主体的に台風の航空機観測を実施していくためには、搭載可 能な観測機器・人的資源・フライトプランの立案といったさまざまな 点に関し、現場に詳しい経験豊富な研究者と率直な意見交換を行い、 協力関係を結ぶことが必要不可欠である。そこで、台風の航空機観測 の専門家であるMichael Bel1氏(ハワイ大学、講演終了後にコロラド州 立大学に異動)、台風の航空機観測プロジェクトへの参加経験を持つ別 所康太郎氏(気象庁予報課)、坪木科研費の研究者が連携を深める共 同研究の枠組みが必要であるという認識のもと、本共同研究がスター トした。折しも、名古屋大学宇宙地球環境研究所の国際研究集会「台 風セミナー2016」(代表:伊藤耕介,2016年8月4-5日)の開催に当た って、Bel1氏を招聘することとなっていたため、その前日に台風の航 空機観測に関する研究打ち合わせを、研究集会を兼ねて開催すること とし、配分された共同研究の予算は、関係者の旅費に充当した。

ミーティングは、8月3日に名古屋大学宇宙地球環境研究所共同館I 3 階大講義室にて開催された。ミーティングには国内外9つの研究機 関より29人の教員、研究者、大学院生が参加した。はじめに、Bel1氏 がこれまでの航空機観測に関して1時間ほどの講演を行った。その中で は、2秒おきに落下させることのできるドロップゾンデHDSSに関する紹 介があり、台風の内部コア構造が高精細にとらえられている様子に参 加者一同が驚嘆した。また、Bel1氏からは坪木科研費との連携に関し ても言及があり、双方が更なる協力関係の発展を望んでいることが確認された。次に、別所康太郎氏が2008年に実施された台風の航空機観測プロジェクトであるT-PARCに関して、自身の経験を語った。航空機に搭乗するために訓練を受けたことや、測器が期待通りに動作しなかった悔しさなどが臨場感たっぷりに伝えられた。その後、坪木教授が科研費の枠組みで、沖縄を中心として猛烈な台風を航空機・レーダー・現場観測で捉えることについて説明を行った。最後に参加者が全般的な総合討論を行い、航空機搭載のドロップゾンデと複数のレーダー、そして、それを数値モデルに投入することの組み合わせにより、何をどこまで理解し予測することができるのかという点に関して、活発な議論が行われた。

このミーティングにより、台風の航空機観測の実際的なロジスティク スに関わる諸問題が多くの関係者の間で共有されたことは大きな収穫 であった。また、この機会にBel1氏との緊密な議論が行われたことは 将来にわたる協力体制の維持の端緒を作る意味でも重要であった。例 えば、2016年11月に伊藤と山口はBel1氏が異動したコロラド州立大学 に招かれ、講演をする機会を得たほか、2017年5月の日本地球惑星連合 大会において、Bel1氏は来日し伊藤がセッションコンビーナを務める 台風に関するセッションにおいて講演することが内定している。この ように、本共同研究は台風の航空機観測ミッションを推進し、今後、 科学的成果の創出や波及効果を高めていく上でも、重要な意味を持つ と評価することができる。

学会などでの発表

Bell, M., Aircraft Observations of Tropical Cyclones: Past, Present, and Future. 航空機を用いた台風観測ミッションに 関する研究集会, 2016年8月, 名古屋大学.

Bessho, K., Overview of T-PARC and dropsonde operation by JMA and DLR. 航空機を用いた台風観測ミッションに関する研究 集会, 2016年8月,名古屋大学.

Tsuboki, K., Research plan of typhoon aircraft observa tions in Japan for the next four years. 航空機を用いた台風観 測ミッションに関する研究集会, 2016年8月, 名古屋大学.

Ito, K., CReSS-LETKFシステムの開発. アンサンブル同化摂動に関する研究会, 2016年11月, 那覇.

アジアダストに付着したバイオエアロゾルの時空間変遷

Spatiotemporal change of Asian dust with bioaerosol

馬場賢治 酪農学園大学 農食環境学群

目的

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

研究方法

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

結果と考察

2012年の事例について、CReSSを用いて、札幌からの後方流跡線解析を行うと、モンゴルゴビ砂漠起源で あることが求められた(図1). Sainshandと札幌のライダーによるエアロゾル観測の結果からは、Sainshand 付近において、4月29日に発生したアジアダストを捉えており、翌30日には札幌においてアジアダストが観 測されている.図1の後方流跡線の結果と概ね整合性がみられている.アジアダスト発現日の29日9時を初 期値としたモンゴルゴビからの拡散実験からは、アジアダストはモンゴルゴビ砂漠付近から北海道方向に指 向している(図省略).対流圏下層から中層にかけて、南北に拡散はあまり見られなかった.上空まで巻き上 がれば、偏西風に乗り、1日程度で日本付近まで到達することが確認できる.図2はCALIPSOによる大気中 のエアロゾルを判別したものであり、Feature typeの3がアジアダストに相当する.Wakimoto(1985)やTakemi and Satomura(2000)では、乾燥地・半乾燥地においては時に境界層が地上から4kmの高度まで及ぶことを指 摘しており、このような条件が砂漠での積乱雲の発達を助長し、この強い強い上昇気流がダストを境界層から 自由大気へ鉛直輸送していることを指摘している.先行研究を基にした比較・検討を行い、今回のダストにつ いて今後調べる必要がある.

一方,実際の物質の特定について明らかにする必要があるので,観測したバイオエアロゾルをメタゲノム分析によりアジアダスト発生地(モンゴルゴビ砂漠)と飛散先(札幌)で比較をすると,札幌において普段現れない型を持つ生物由来物質がアジアダストイベント時に幾つか現れ,それはモンゴルゴビと同じ型であることが確認された(現在投稿中).これらから,フットプリントとしてバイオエアロゾルが利用出来,物理的な側面と生物・化学的な側面から,モンゴルゴビ砂漠から日本へのアジアダスト流入が確認で来た.

172

今後の課題

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



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



図2 CALIPSOによるエアロゾル判別. 衛星軌道(上段:赤線), Feature type(中 段),および, Aerosol subtype(下段). Feature type が3,且つ, Aerosol subtype の水色がアジアダスト(黄砂)に相当.

成果発表:

馬場ほか, CALIPSO を用いた 2012 年 4 月のダストストームの時空間変遷について, 日本気象学会, 名古屋 大学, 2016 年 10 月 28 日. 地上デジタル放送波を用いた水蒸気遅延測定 Measurement of propagation delay due to water vapor using digital terrestrial broadcasting waves

川村 誠治、情報通信研究機構 · 電磁波研究所

1. 研究目的

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

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

2. 手法

名古屋大学宇宙地球環境研究所の屋上に地 デジアンテナ及びNICTで開発している地デジ 波遅延測定装置を設置し、伝搬遅延測定を実施 する。名古屋大学から約10 km離れている瀬戸 デジタルタワー(送信出力3 kW、図1参照)か ら送信されている地デジ放送波の直達派と反射 波を同時に受けて、直達波と反射波の遅延差か ら受信地点と反射体との間の水蒸気変動量を伝 播遅延量変動という形で推定する。



図 1: ISEE 屋上から臨む瀬戸デジタルタワー。 ISEE から方位約 61.5 度、距離約 10 km。

3. 本年度の研究結果

各放送局はそれぞれ独自の局部発振器を基準に放送信号を作り送信している。関東では この局部発振器をGPS同期させている局が複数存在し、それらの局の電波を受信する場合 は、受信側の発振器もGPS同期させておけば安定して長期間の伝搬遅延測定が可能である。 これは送信側と受信側の発振器の周波数ずれがGPSによって補正され長期的には同期が保 たれるからである(GPS同期はナノ秒レベルであるため、水蒸気の推定に必要なピコ秒レ ベルの短期的同期には使えない)。今回名古屋で実験を開始すると、名古屋の全ての放送 局の発振器がGPS同期されていないことが分かった。このため、長期的には送信側と受信 側の周波数差によって遅延プロファイルのピーク位置がずれてしまい、長期安定した計測 が実現できない。そこで、本年度は観測装置を改良して、GPS同期していない放送局の電 波に対しても安定した観測が継続できるようにした。

周波数ずれによって遅延プロファイルのピーク位置がずれていく原理を図2を用いて説明する。地デジ信号の基本単位であるシンボルはその長さが1.134 msと決められており、4 シンボル毎に1つの遅延プロファイル(図中のDP)が算出される。1.134 msという長さは 各放送局が独自の局部発振器で生成するため、受信側の発振器で生成される1.134 msとは フェムト秒レベルで長さが異なる。この差が累積することで遅延プロファイルの切出し位



図 2: 受信信号中のシンボルと遅延プロ ファイル (DP)の関係。

置がずれて行き、長期的には遅延プロファイルのピーク位置が観測範囲から消えてしまう ことになる(その実際の観測例を図3に例示する)。

用いる観測装置はNICTがソフトウェア無線の技術を用いて独自に開発したものである

ため、ソフトウェアの改良が容易である。 観測開始時に送信側と受信側のシンボル 長の差を計測して受信側のシンボル長を 補正する機能、及びそれでも残る差によ る遅延プロファイルのピーク位置のずれ を一定時間ごとに補正する機能を実装し た。図4に観測開始時のシンボル長補正の 例を示す。これにより放送局の局部発振 器がGPS同期しているかいないかによ らず、どの局に対しても伝搬遅延測定が できるようになった。



図 4: 観測開始時のシンボル長補正の例。

4. まとめ

名古屋域で初めて地デジ放送波の伝搬遅延測定を実施し、名古屋の放送局の局部発振器 が全てGPS同期していないことが判明した。このために生じる遅延プロファイルのピーク 位置のずれを補正する機能を測定システムに実装し、どの放送局に対しても安定して長期 間伝搬遅延測定ができるようにした。今後計測を継続している予定である。

参考文献

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

成果発表 (口頭発表)

- 1. 川村他, 地上デジタル放送波を用いた水蒸気観測手法の研究開発・反射波を用いた初期 観測結果-, 気象学会, y 代々木, 2016/5/19.
- 2. 川村他, 地上デジタル放送波を用いた水蒸気推定手法の開発・反射波を用いた実験結果・, JpGU, 幕張, 2016/5/24.
- 3. Kawamura et al., Water vapor estimation using the propagation delay of digital terrestrial broadcasting waves, ISAP2016, Okinawa, 2016/10/26. (Invited)
- 4. 川村他, 地上デジタル放送波を用いた水蒸気推定とその誤差要因, SGEPSS, 九州大学, 2016/11/21.

GOCIデータを用いた高解像度塩分動的マップの作成・補完方法の開発 A new estimation method of sea surface salinity by using Geostationary Ocean Color Images (GOCI)

中田 聡 史, 神 戸 大 学 · 海 事 科 学 研 究 科

研究目的

外洋の海表面塩分を測定するセンサーには SAC-D 衛星(Aquarius)などがあるが、その水平分解能が約 50 km であり、沿岸域で使用するには低く観測エラーも大きい。沿岸域においては、低塩分水で識別可能な河川 希釈水(河川プリューム)が、陸域起源の CDOM を含む栄養塩を沿岸海域へ輸送し水産資源や海洋環境にと って非常に重要であるため、漁業者からも関心が非常に高い。沿岸域において衛星データ等から塩分場を推定 する手法やデータ同化方法が未だ確立されていないのが現状である。

沿岸域においては有色溶存有機物(CDOM)濃度と海表面塩分(SSS)には高い相関関係があることがわかって いる。そこで、高い時空間分解能を持つ静止海色衛星 COMS/GOCI プロダクトの CDOM 濃度データから SSS 動的マップを作成する。得られた SSS マップデータを海洋モデルにデータ同化することで、雲や夜間による 衛星データの欠測を補完する手法を開発することを最終目標に本共同研究を推進した。昨年度(平成 27 年度) は、大阪湾を実験海域として、CDOM と SSS の関係性を現場観測によって確かめ、CDOM から SSS を推定 する経験式を得ることができ、SSS マップのプロトタイプ版を作成できた。今年度は、大阪湾から外洋側へ と実験対象海域を拡張して、塩分水平勾配の小さい播磨灘・紀伊水道をはじめとした瀬戸内海周辺海域、そし て塩分水平勾配の大きい対馬暖流沿岸域の対馬海峡と富山湾とした。

研究方法

府県の関係機関(和歌山県水産試験場、徳島県水産試験場、大阪府立環境農林水産総合研究所、兵庫県立農 林水産技術総合センター)の協力のもとに、紀伊水道や播磨灘における海洋観測によって現場 CTD 観測と採 水を実施し、大阪湾、紀伊水道、播磨灘における海洋観測データセットが得られており、広範囲の SSS デー タを収集することができた。同様に、富山湾や対馬海峡における海表面塩分データや CDOM データも、名古 屋大学や九州大学応用力学研究所の協力により、収集することができた。京都大学農学研究科の小林志保助教 と神戸大学内海域環境教育研究センターの浅岡聡助教の協力により、分光光度計を用いて関係機関により得ら れた採水サンプルの CDOM 吸光度を測定した。これらのデータセットを用いて CDOM から SSS を推定する 経験式を用いて対象海域における SSS マップを作成し、河川希釈水(河川プリューム)や外洋水の内湾域へ の波及動態を調べた。

研究重点海域である大阪湾、播磨灘、紀伊水道において、海洋モデル FVCOM を適用して夜間や雲による 海色衛星データの欠測を補完するためのデータ同化用海洋モデルの開発に着手した。現段階で、九州大学応用 力学研究所の広瀬教授から太平洋のモデルアウトプットを提供していただき、2014 年以降の海況再現計算を 実施した。淀川などの河川出水によるプリュームや黒潮暖水波及などの海洋現象の再現シミュレーションの妥 当性を、開発した高分解能の SSS マップを用いて検証することが可能となった。その結果、淀川などの一級 河川以外にも二級河川の入力流量の精度が重要であることがわかった。また河川流量を適切に表現することで、 現実的な河川プリュームを再現可能であることもわかった。

研究結果と考察

研究結果の一例として富山湾における SSS マップを示す。富山湾には5つの一級河川が流入しており、融 雪出水期に河川プリュームを形成していることがわかる。対馬暖流の湾内流入期でもある融雪出水期に、対馬 暖流が西岸に沿って流入している状況がわかるだけでなく、Nakada et al. (2005)等の報告からではわからな かった、渦や筋状パターンを形成しながら河川希釈水を巻き込み、流入していることが初めてわかった。この ような状況は約1ヶ月間継続され、湾内は次第に高塩化していく。このような対馬暖流の詳細な流動パターン や水塊分布については、現場観測地点が水平的に疎であるため、理解が進んでいなかった。SSS マップはプ リュームだけでなく、対馬暖流の詳細な水塊・流動構造にまで迫ることができることを示唆している。

2015/04

Salinity 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36



まとめと今後の課題

大阪湾、播磨灘、紀伊水道において SSS マップを検証用データとしたデータ同化用モデルを開発した。また、静止衛星による SSS 推定法を富山湾や対馬海峡へと提供領域を拡張した。富山湾において衛星 SSS マップを作成した結果、河川プリュームだけでなく対馬暖流の流動パターン(水塊・流動構造)を解析した。

今後は、海上風や降水を精度よく再現するための大気海洋結合モデルの導入や、衛星 SSS マップのデータ 同化の技術開発を検討している。時空間的に高解像度の SSS データセットが、水循環の解明研究や、海況・ 気象の予測の一助にもなると期待している。

引用文献

Nakada, S., Isoda, Y., Uchiyama, I. (2005): Seasonal Variations of Water Properties and the Baroclinic Flow Pattern in Toyama Bay under the Influence of the Tsushima Warm Current. J. Oceanography., 61, 943-952.

主な成果発表(他5件)

1) 〇中田聡史,小林志保,石坂丞二,林正能,渕真輝,中嶋昌紀,秋山諭,山本圭吾,渕真輝,中村一平, 浅岡聡,吉江直樹,中川美和,原田慈雄,御所豊穂,瀬戸内海における有色溶存有機物と海表面塩分(SSS)の 関係:高解像度 SSS マップの開発に向かって,第二回海洋環境研究集会,神戸大学,2016年12月,神戸. 2) 〇中田聡史,小林志保,石坂丞二,林正能,渕真輝,中嶋昌紀,秋山諭,有色溶存有機物(CDOM)の観測: 陸海連関の理解への鍵,低温研共同利用集会:「陸域と沿岸を繋ぐ問題点抽出のためのワークショップ」,北海 道大学,2016年11月,札幌.

3) 〇中田聡史,小林志保,石坂丞二,林正能,渕真輝,中嶋昌紀,静止海色衛星による海表面塩分の高時空間分解能観測,日本海洋学会 2016 年度秋季大会,鹿児島大学,2016 年 9 月,鹿児島.

4) ONakada, S., Kobayashi, S., Ishizaka, J. Hayashi., M, Fuchi, M., Nakajima, M. "Analysis of the river plume dynamics in Osaka Bay: a new estimation of sea surface salinity using ocean color satellite images." Japan Geoscience Union Meeting 2015, Makuhari, Japan, 2016.5.

ERG衛星とMAGDAS地磁気観測網に基づくグローバルPc5波動マップの構築 Global Pc5 wave map based on ERG satellite and MAGDAS magnetometers

藤本晶子、九州大学・国際宇宙天気科学・教育センター

【研究目的】

放射線帯を形成する粒子は直接相互作用して粒子が加速することが難しいため、磁気圏に内在・励起される 電磁流体波動やプラズマ波動が粒子加速において重要な役割を担うと考えられている。古典的な断熱輸送過程 における有力な候補は、地球の周りを経度方向に周回する放射線帯粒子とPc5 波動(電磁流体波動,変動周期5 -10 分程度)とのドリフト共鳴による粒子加速というシナリオである。近年では、複数の内部磁気圏探査衛星 計画により、放射線帯電子加速機構に関係するPc5波動の調査報告がなされている[Hudson, 2004; Liu et al., 2009; Claudepierre et al., 2013]。本研究では、九州大学国際宇宙天気科学・教育センターが世界的に展 開するMAGDAS地磁気観測網の多点地上磁場観測を活かし、MAGDAS長期間データアーカイブを利用して、経験則 に基づき全球規模Pc5波動の発生分布を明らかにする。

【研究内容・結果】

太陽活動周期11年以上に及ぶ九州大学ICSWSEの多点磁場観測データアーカイブを利用して、太陽風特性(速度、磁場強度、動圧)を入力値として、地上磁場Pc5波動の発生分布の経験マップを作成するにあたり、本年度は各地上地磁気観測点毎に、Pc5波動強度の規格化を行った。各観測点の規格化の基底値として、Kp<2時の夜側Pc5波動パワースペクトル密度が適していることを2007~2013年の長期間の地磁気データ解析から明らかにした(図1)。放射線帯電子の異常増加を伴う磁気嵐イベントにおいて、特に赤道域の昼側Pc5波動強度が強まることが確認された(図2)。Pc5波動パワースペクトル密度の時系列データについて詳細に解析したところ、放射線帯電子の減少時は広帯域の周波数特性を示すのに対して、放射線帯電子増加時にはPc5帯のみが顕著に強度が強くなる傾向があった。2016年度は、関連する成果発表は行っていない。



図 1:昼側と夜側の Pc5 波動強度の周波数プロファイル



雲・降水観測レーダの航空機観測に関しての検討

Feasibility study on cloud and precipitation observation with airborne radar

花 土 弘 、情 報 通 信 研 究 機 構・電 磁 波 研 究 所

1. 研究目的

本課題は、情報通信研究機構(NICT)が開発したW帯の地上設置型雲レーダ、Ka帯の衛星搭載降水レーダ部 分モデルなどの、航空機観測への利用可能性に関して検討するものである。W帯の雲レーダは、2018年度に打 上が予定されている衛星搭載雲レーダ(Earthcare/CPR)の地上検証実験に向けて開発されており、従来のレー ダにない電子走査機能を有するなど航空機搭載のメリットがある一方で、重量・寸法・形状・機械環境・レドーム・ 無線局免許などの点で、航空機搭載を行うためには解決すべき課題が多数存在する。Ka帯の衛星搭載降水レ ーダ部分モデルは、2014年に打ち上げられ、現在軌道上で運用中の衛星搭載二周波降水レーダ(GPM/DPR)の Ka帯レーダの部分モデルで、こちらについても同様の利点と課題が存在する。本課題では、これら課題の洗い 出しを行い、航空機搭載の実現に向けての解決策を検討する。これらのレーダの航空機搭載が実現できれば、 上空からの雲・降水システムの詳細観測が可能となる。

2. 研究方法

2016年9月13日・14日に名古屋大学で開催された「航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進」 研究集会において、"航空機搭載降水レーダへのパルス圧縮利用の検討"という発表を花土が行い、検討状況 を紹介した。その後、2017年1月12-13日に花土が名古屋大学へ出張し(*)、高橋教授とその後の進捗に関して 議論を実施した。

(*) NICT川村を代表者とする"地上デジタル放送波を用いた水蒸気遅延測定"の共同研究の旅費を利用。

3. 本年度の研究結果

全球降水観測主衛星搭載二周波降水レーダ(GPM/DPR)のエンジニアリングモデルとして作られた、32素子の フェイズドアレイ気象レーダの利用に関して検討を実施した。現在、GPM/DPRがミッション期間であり、同エンジ ニアリングモデルは軌道上のDPRの不具合発生時の原因究明・回避策の検討用に維持保管されているが、201 7年5月にGPM/DPRのミッション期間が完了、後期運用が開始される時に、その役目を終了するため、後利用 の方法が検討されている。図1、図2に示すのが航空機搭載降水レーダとしての利用方法で、32素子の送信 器と受信器の使用方法の一例である。送信は8素子毎に、異なる周波数(f1, f2, f3, f4)を使用し、ファンビーム (約10度)で送信を行う。受信は全32素子で、デジタルビームフォーミングを行う。受信ビーム幅は約2.8度でなる。 この方法で、直下方向から±20度を同時に観測することが可能となり、32素子の受信器での A/D データを全 ヒット収集できれば、オフライン処理で任意のビーム間隔で降水エコーを合成することが可能であり、空間的な オーバーサンプリング観測の有効性の検討にも利用可能となる。



図1 送信8素子ずつファンビーム4方向

EL方向ファンビーム+DBF の概念図(受信)



図2 受信32素子のデジタルビームフォーミング

成果発表(口頭発表)

1. 花土, 航空機搭載降水レーダへのパルス圧縮利用の検討,「航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進」研究集会,名古屋大学,2016/9/14.

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

高橋浩、産業技術総合研究所・活断層・火山研究部門

研究目的

水試料の正確な¹⁴C 濃度分析のためには, 試料中の生物活動による炭素成分への影響を排除する必要があり,そのための処理として,毒物添加が行われている.しかし,調査環境によっては,毒物の使用に制約を受ける.そこで,水試料中の炭素を炭酸塩の沈殿として固定する「沈殿法」が代替措置として期待される.しかし,水中の硫酸濃度と DIC 濃度の比が高くなると,炭酸塩の沈殿が形成しにくくなることがわかっており(Kusakabe, 2001),硫酸濃度の高い海水試料では,「沈殿法」による精度の高い分析が難しい.海洋試料では 毒物の添加を行える場合が多いが,汽水域や沿岸域で採取される試料では,毒物の添加が難しいため,沈殿法による分析の高度化が求められる.

そこで,硫酸濃度の高い試料について,沈殿法とそれ以外の手法で抽出した炭素成分の¹⁴C 濃度や δ¹³C 値の比較を実施して,収率と分析結果の比較を行うとともに,試料の希釈によ って炭素回収率の向上が図れるかどうかを検討した.

研究方法

試料中の硫酸濃度によって、沈殿法による炭素回収率が影響を受けることはわかっているが、炭素回収率が低下した場合に、¹⁴C 濃度や δ^{13} C の値が影響を受けるのかについて検証するために、いくつかの試料について、沈殿法とヘッドスペース法による炭素抽出を行って、¹⁴C 濃度と δ^{13} C 分析を実施した。検証試料として、国内の¹⁴C 分析機関の相互比較のために配布された RICE-W09~W14 用いた.この試料は試薬から調製されたもので、硫酸濃度にばらっきがあり、本検証に適している.沈殿法による抽出は名古屋大学にて、ヘッドスペース法(高橋・半田、2014)とバブリング法による抽出は、産業技術総合研究所および国立環境研究所にて行い、グラファイト化および加速器質量分析計による¹⁴C 測定は名古屋大学にて(加速器質量分析装置等利用(共同利用)による)、 δ^{13} C 分析は産業技術総合研究所にて実施した.

また、炭素回収率を向上させるために、試料溶液の希釈の効果があるのかを検証した. 100mL テクノボトルに人工海水を 0mL, 10mL, 20mL, 50mL 入れ、通常の 1/10, 1/20, 1/30 の濃度で作成した塩化ストロンチウム溶液で満たす(塩化ストロンチウム溶液の溶媒で人 工海水試料を希釈したとの認識).2週間くらいしたら開栓して、上澄みを棄てて真空凍結 乾燥を行った.回収した沈殿量の測定を行うとともに、 δ^{13} Cと沈殿中の炭素量を測定した. 凍結乾燥までの実験を国立環境研究所で行い、 δ^{13} Cと沈殿中の炭素量の測定は産業技術総 合研究所にて行った.

研究結果・考察

炭素回収率は,沈殿法で50%~94%の範囲となり,ヘッドスペース法の87%~100%より もバラツキが大きく,全体的に低めとなった.δ¹³Cは有意に高い値を示す試料が多くあった が,¹⁴C濃度は多くの試料について誤差範囲で一致した.一部には,沈殿法でやや高い¹⁴C濃 度を示した試料もあったが,炭素回収率は他の試料と大きく異なることはなかった.

今回の試料は、試薬から調製された試料のためか、天然試料と比較して沈殿が早期に形成された印象がある。そのため、硫酸とDICの濃度比に影響されずに、ほぼ等しい¹⁴C濃度

が得られた可能性があるが、化学処理を過たずに行うことで、正確な¹⁴C濃度測定が可能で あることが示された.一方でδ¹³C分析では、正確な値を得ることが困難な試料があることも わかった.

希釈による収率向上の効果の検討については、添加したアンモニア水が過剰であったた めか、ブランクが大きく評価ができなかった.また、真空凍結乾燥もバックグラウンドを 高くする要因となった可能性もある.凍結乾燥を実施すると、乾燥前には沈殿が見られな い試料にも、塩化ストロンチウムと思われる沈殿が析出していた.これらの洗浄も必要と 思われる.今後、実験手順を見直す必要がある.

まとめ

硫酸濃度の割合が高い水試料についても、沈殿法による試料処理を実施して、正確な ${}^{14}C$ 分析が可能であると強く期待される結果を得た.ただし、やや高めの ${}^{14}C$ 濃度を示すこともあり、注意を要する. $\delta^{13}C$ 分析では、正確な値を得ることが困難な場合が多かった.

希釈の効果については、再評価が必要である.アンモニア水の量や洗浄や乾燥処理の見 直しにより、沈殿法による試料処理の最適化を行うことで、¹⁴C 濃度ばかりでなく、 δ^{13} C 分 析を高精度で行うことができると思われる.

引用文献

Kusakabe, M. (2001) A simple method for sampling total dissolved carbonate in carbonate-rich natural waters and CO₂ preparation for δ^{13} C determination. Geochem J. 35, 459-464.

高橋浩・半田宙子(2014) ヘッドスペース法による水試料の放射性炭素測定のための前処 理法の検討.名古屋大学加速器質量分析計業績報告書,25,180-187.

成果発表

高橋 浩・南 雅代・荒巻能史 (2017) 水試料の放射性炭素濃度の相互比較と前処理手法の検 討: RICE-W プロジェクト,名古屋大学年代測定研究, I, 98-101.

(学会等の発表)

高橋 浩・南 雅代・荒巻能史「水試料の化学処理法による¹⁴C 比較プログラム(RICE-W) − 結果報告-」,第19回 AMS シンポジウム,国立歴史民俗博物館,2016 年12 月 17 日

高橋 浩・半田宙子・南 雅代・近藤美由紀「水試料の信頼性ある炭素同位体分析のための試料保 管法の検討:生物活動の影響をどう排除するか」,2016 年度日本地球化学会年会,大阪市 立大学,2016 年 09 月 15 日

- Takahashi, H. A., Minami, M. and Aramaki, T. 「Comparison of carbon extraction methods for radiocarbon analysis of DIC in water samples. 」The 26th Goldschmidt Conference, パシフィコ横浜, 2016 年 6 月 30 日
- 高橋 浩・南 雅代・荒巻能史「水試料の放射性炭素濃度の相互比較と前処理手法の検討: RICE-W プロジェクト」,第 29回(2016年度)名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定研究シンポジウ ム,名古屋大学,2017年01月31日

レーザーとドローンを用いたメタン空間分布測定システムの開発 Development of a methane spatial distribution measurement system using a laser and a drone

中根英昭、高知工科大学・環境理工学群

1. はじめに

温室効果ガスとして地球環境に大きな影響を与え、また成層圏の水蒸気の主要な原因物 質であるメタンの発生源における発生量把握が重要であるが、チャンバー等により発生源 を覆って濃度測定を行うことが可能でない場合は困難である。本研究では、ドローンの使 用を視野に置きつつ、オープンパス型レーザーメタン計を用いて、既知のメタン発生量と 風下におけるメタン濃度の関係について、風向・風速の時系列データを考慮しつつ関連付 け、レーザーメタン計と風向・風速データからメタン発生量を推定する手法の可能性とド ローンの必要性について検討することを目的として研究を進め、今年度は、予備的な実験 結果を取得したので、以下に報告する。

実験の概要

実験は、2016年11月11日に、高知工科大学グラウンドにおいて実施した。図1に実験の 概要を示す。



図1 メタンフラックス推定実験の概要

レーザーメタン計をリトロリフレクターによって折り返し、片道光路長50mのメタンの積算濃度(単位;ppm-m)を0.33秒ごとに測定した。 レーザーの光路から10mの距離において、ボンベからフローメータを通してメタンを放出した。主な風向は北西であり、実験時間の大部分で、 メタンはレーザーの光路を通過した。メタンの放出は、20L/minを20秒 間行い、その後50-60秒放出を止めるパターンを、17.5L/min、 15 L/min、12.5 L/min、10 L/min、7.5 L/minについても同様に繰り 返し、これを1 セットの実験とし、9セット繰り返した。



Set 1

図2メタンフラックスの変化に対応するメタン濃度変化

図2に、測定結果の一例を示す。メタンフラックスを20、17.5、15、 12,5、10、7.5L/minに変化させたことに対応して、メタン濃度が変化 していることが分かる。濃度は風向、風速の変化によって大きく変化 しているが、メタンフラックスと対応するメタン平均濃度は合理的な 正の相関を示していることを確認している。

今後、3次元の風データも含めた解析を行う予定である。

自由対流圏における新粒子生成と雲凝結核への成長に関する研究 Study on the formation of new particles and their growth to cloud condensation nuclei in the free troposphere

三浦和彦、東京理科大学·理学部第一部

【研究目的】

大気エアロゾル粒子の気候影響として、太陽光を直接散乱・吸収する直接効果と、 雲凝結核として雲の放射特性や寿命を変化させる雲調整効果がある。気候変動に関す る政府間パネル(IPCC)第5次報告書によるとエアロゾルの放射強制力の科学的理解 の水準はいまだに低い。粒子数が増えると散乱・吸収量が大きくなるだけではなく、 雲の放射特性も変わる。粒子数濃度は新粒子生成(気体の化学反応による粒子化)に より劇的に増加する。地球規模での影響を考えるとき自由対流圏における新粒子生成 が重要であるが、そのメカニズムについては良くわかっていない。

年間を通して自由対流圏内に位置することが多い富士山山頂において夏季だけで あるが2006年から粒径分布を測定している。11年にわたる300日間の観測中、236回の 新粒子イベントが観測されたが、日中の31.3%に対し夜間47.3%と夜間の方が多い。夜 間の新粒子生成は富士山頂に固有の現象であるが、その原因は未解明である。2006 年からの全観測データを見直し、夜間の新粒子生成の原因について考察した。

【研究方法】

山頂、富士山測候所(標高3776m)において、夏期のみであるが、2006年から粒径 分布を、2010年からCCN濃度(N_{CCN})を、2013年からフォグモニターにより霧粒(雲 粒)を測定している。1号庁舎2階の窓から外気を引き,拡散ドライヤーで20%以下に 乾燥させ、走査型移動度分析器(SMPS)と光散乱式粒子計数器 (OPC)を用いて4.4~50 00nmにわたる粒径分布(片岡ら,2017)とN_{CCN}(DMT, CCN-100)(佐藤ら,2017)を 測定した。フォグモニターを3号庁舎西面に設置し、霧粒濃度を連続測定した(佐藤 ら,2017)。

【研究結果と考察】

これまで山岳大気での新粒子生成は 下層から前駆ガスが上昇する大気境界 層の上端で起こるか、すでに生成された 粒子が輸送されて来たものと考えられ ていたが、新粒子生成イベントが発生す る時間を整理したところ、日中イベント の約4割が8~9時に、夜間イベントの約7 割が20~22時に開始していることがわ かった(図1)。

富士山周辺で大気層の一日周期の上下動があり、イベントの発生頻度のピーク時間に山頂は境界層上部もしくは自由対流圏下部に位置する可能性が示唆された。境界層と自由対流圏の界面で、地上で発生した前駆気体を多く含む大気とCSが低い大気が混合する、NPFに最適な層が形成されると考えられる。



図1.2006~2016年に観測されたNPFイベントが始まる回数(棒グラフ)と2014~ 2016年のCondensation Sink(*CS*)(折れ線グラフ)。NPFイベント:日中のイベント(黄色)、青色が夜間のイベント (青色)、*CS*:2014年(灰色)、2015年 (赤色)、2016年(緑色)。

後方流跡線解析から推定した由来ごとにCCN活性比,乾燥臨界粒径(D_s)及び吸湿 パラメータ(κ)を求めた結果、2015年に比べCCN濃度がやや増加したものの、活性 比は2016年の方が高かった。D_sがやや小さくなったにも関わらず、κの値はほぼ全て の過飽和度において減少した。これは、比較的粒径の大きい粒子が多い大陸やオホー ツク由来のエアマスが多数流入したことが原因として考えられ、粒子の化学組成より 粒径分布の方が活性比により大きな影響を与える可能性が示唆された。

【まとめ】

- (1) 富士山頂における新粒子生成は日中イベントの約4割が8~9時に、夜間イベントの約7割が20~22時に開始していることがわかった。
- (2) 2016年の夏は2015年よりCCN活性比が高く吸湿パラメータの値が低かった。その 原因は粒径の大きい粒子が多い大陸由来のエアマスが多かったためで、粒子の化 学組成より粒径分布の方が活性比により大きな影響を与える可能性が示唆され た。

【引用文献】

佐藤光之介ら,日本大気電気学会第95回研究発表会,2017.1.6-7(神戸) 片岡良太ら,33回エアロゾル科学・技術研究討論会,2016.8.31-9.2,大阪府立大学(堺) 渡辺彩水,2015,東京理科大学理学研究科物理学専攻修士論文 渡辺彩水ら,2016,第22回大気化学討論会

【成果発表】

1. 研究論文

- Ueda, S., <u>K. Miura</u>, R. Kawata, H. Furutani, M. Uematsu, Y. Omori, H. Tanimo to, Number-size distribution of aerosol particles and new particle formation ev ents in tropical and subtropical Pacific Oceans, ATMOSPHERIC ENVIRONMEN T, 142, pp 324 - 339, 2016 (査読有)
- <u>Iwamoto, Y.</u>, Kinouchi, K., Watanabe, K., Yamasaki, N. and Matsuki, A.: Simult aneous measurement of CCN activity and chemical composition of fine-mode a erosols at Noto Peninsula, Japan, in autumn 2012, Aerosol and Air Quality R esearch: 16, 2107-2118, 2016 (査読有)
- 田中清敬,速水 洋,齋野広祥、<u>三浦和彦</u>,板橋秀一,齊藤伸治,都心上空と地上の 大気質観測によるPM2.5等の高濃度時の立体解析 -2015年12月上旬の事例一、*大* 気環境学会誌、52(2)、51-58
- <u>三浦和彦</u>,山岳域におけるエアロゾルの物理計測,理大科学フォーラム,33巻,8号 pp 16-18,2016(査読無)

2. 図書

- 藤田慎一、三浦和彦、大河内 博、速水 洋、松田和秀、櫻井達也, 越境大気汚染の 物理と化学 改訂増補版, 成山堂書店, pp310, 2017
- 三浦和彦、山岳大気中の雲凝結核、河村公隆編集代表「低温環境の科学事典」、朝倉 書店、50-51、2016

3. 学会発表

- 三浦和彦,富士山頂における大気観測~大陸からの越境大気汚染を監視する~,東京 理科大学2016公開講座,東京,2016(招待講演)
- Okochi, H., Miura, K., et al., Observation of volatile organic compounds in the ambient air and in cloud water in the free troposphere over Japan, 7th Inter national Conference on Fog, Fog Collection and Dew, Wroclaw, Poland on 24-29 July, 2016
- Nakamura, M., K. Miura, Y. Iwamoto, et al., Observation of cloud water chemis try in the free troposphere using Mt. Fuji, 7th International Conference on Fo

g, Fog Collection and Dew, Wroclaw, Poland on 24-29 July, 2016

- 佐藤光之介,片岡良太,岩本洋子,三浦和彦,2015,2016年夏季の富士山頂における 雲凝結核の特性,日本大気電気学会第95回研究発表会、2017.1.6-7(神戸)
- 片岡良太、三浦和彦、岩本洋子、矢吹正教、加藤俊吾、富士山における新粒子の生成・ 成長、エアマス由来別特徴、33回エアロゾル科学・技術研究討論会、2016.8.31-9. 2、大阪府立大学(堺)

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

山崎 了、青山学院大学·理工学部

研究目的:地球磁気圏や惑星間空間などに普遍的に存在する無衝突衝撃波において、プラ ズマ波動励起・粒子の散逸過程・非熱的成分(高エネルギー宇宙線)の生成過程および高 マッハ数衝撃波等で見られる磁場の増幅過程は複雑に相互作用していると考えられる。こ れらの物理過程を完全に解明するには、衝撃波の長時間スケールの発展を多次元モデルで 追う必要がある。これまで申請者らは低マッハ数の無衝突衝撃波のシミュレーションを行 い、衝撃波遷移層近傍で励起される種々の波動について調べてきた。ただし、これらは比 較的小さなプラズマ・ベータ値をもつ上流媒質中を伝播する衝撃波の計算であり、天体衝 撃波の特徴とは必ずしも一致せず、もっと高いベータ値に対する衝撃波の計算が必要であ る。そこで、平成27年度に新たに高ベータプラズマ中を伝播する無衝突衝撃波のシミュ レーションのデータを得た。本研究では、得られたシミュレーションデータを解析し、論 文としてまとめることを目指す。

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

研究結果:暫定的な結果として、ベータ値が大きくなるにつれて、(1) イオンの温度非等 方度が小さくなるために衝撃波面のリップル構造のゆらぎが小さくなり、(2) 電子の温度非 等方度が大きくなるために衝撃波遷移層での磁力線に平行伝播するホイッスラー波が顕著 になり、さらに(3) 衝撃波遷移層での変形二流体不安定性による波動が目立たなくなる、と いった傾向を得た。本年度は、Ma = 4 の3通り(β = 0.08, 0.32, 1.28)のシミュレーショ ンのデータを主に解析し、rampからovershoot領域にかけてのイオン・電子の温度非等方度 により励起される波動の β 依存性を調べた。本共同研究により昨年11月に名古屋大学ISEE の梅田隆行を訪問し研究打合せを行った。その結果、磁場に平行方向のイオン温度(Tpara) はramp-overshootでは上流遠方の値とあまり変化せず、磁場に垂直方向のイオン温度(Tperp) のみが動電場により上昇したとすると、イオン温度比 Tperp/Tpara は大雑把には (Ma)²/ β に スケールするという予想が立てられた。そしてシミュレーション結果は解析的見積もりと 良く一致することを見た。今後は Ma = 6 の場合について同様の解析を行い、さらに、イ オン・電子両方の温度非等方不安定の各モードの線形成長率とシミュレーション結果の比 較を行い、論文にまとめることをめざす。

自己無撞着な内部磁気圏数値モデル Self-consistent Numerical Modeling for

the Inner-magnetosphere

天野孝伸(東京大学·理学系研究科)

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

今年度は既存の数値シミュレーションコードを用いて、内部磁気圏を 模擬したモデルの構築を行った.具体的には初期条件としては非一様 なプラズマ圧や背景のポテンシャル磁場を考え、平衡条件を満たすよ うにポテンシャル磁場から変形した磁場形状を数値的に求めた.さら に境界条件は反射境界を考え、数値的にも長時間積分に耐え得るモデ ルの構築に成功した.

一方で、シミュレーション結果からは未だ不安定性励起は再現出来ていないが、この理由として数値的なノイズや散逸の効果が考えられる. そこで、一様系のシミュレーションによってパラメーターサーベイを行い、コードに内在する数値的効果の見積を行った.これにより、数値的散逸の効果が悪影響を及ぼしている可能性が示唆される結果が得られたため、この問題を解決するためにシミュレーションコードの改善を行った. SuperDARN北海道-陸別レーダーによる超高層大気高精度観測 Reliable upper atmosphere observation with SuperDARN Hokkaido -Rikubetsu radars

行松彰、国立極地研究所·研究教育系

【研究目的】

SuperDARN北海道・陸別レーダーに適用し、流星風観測の高精度化や電離圏FAI研究の 高度化に寄与できないか等の検討を行い、可能であれば、上記手法の適用を実施して観測 を行い、初期データを得ることが当面の目的である。手法の適用が成功すれば、重要な中 間圏界面領域や電離圏の研究の為に必要な従来以上の高精度観測が期待でき、研究発展に 重要な寄与をすることが予想される。

【研究方法】

近年(平成23(2011)年度迄に)開始した北海道・陸別短波レーダーによるIQ生時系列デー タから近距離underdense流星エコーの高度分布が水平面で一様となる様に干渉計データを 校正する方法が必ずしも成功乃至確立していない現状があり、SuperDARN communityの 中でもその重要性と様々な手法についての議論が出ている。北海道レーダーの場合、アン テナ近傍の水平でない地形による反射波の干渉の影響が考えられ、地形を単純化してモデ ルに組み入れ、流星エコーの校正に対する地形の影響を検討する必要があると考えられる。 また、Ponomarenko元名大客員准教授との議論により、干渉計との位相差及びレンジオフ セットを観測データを用いて校正する別の手法の提案があり、これらのいずれかの手法に よる校正がconsistentに信頼性高く実現できれば、流星エコーを含む近距離エコーの高度推 定の高精度化を期待できる。

【研究結果】

新たな提案の干渉計位相差及びrange offsetを考慮した校正手法による校正と高度再計算結果の評価により、校正がある水準で成功していると判断されたが、得られる流星エコー高度は、想定より若干高めである可能性が高い事、他の校正方法による結果との整合性が未確認である事等の問題が残っており、解決には至っていない。本年度は、研究代表者の南極派遣とその準備の為に、本研究課題に多くの時間を割く事が困難となったが、アンテナ近傍の地形の影響について、考察を進めることとした。

【考察】

アンテナ近傍の地形のアンテナパターンの影響について、アンテナ直近の地形の傾きや 凹凸、遠方のほぼ平面と近似されるであろう大地のいずれがアンテナパターンに大きく影 響するかについての考察等を始めたが、結論には至れていない。厳密には送信波長以下の 解像度での詳細な地形データを用いた有限要素法による解析が必要と考えられるが、別の 校正手法による結果の正当性についての傍証を得る方法を今後も吟味検討していきたい。

同時に不明確なまま残っているデジタル受信ボードのドライバーソフト関連のバグの可 能性について、早急に突き詰めて、不明確な点をできるだけ排除していくことが重要であ り、高精度観測の早期確立を今後も目指したい。

【 成 果 発 表 】

Kawano, H., A. S. Yukimatu, Y. Tanaka, S. Saita, N. Nishitani, and T. Hori, SC-triggered 1.6mHz waves including an interval with latitude-dependent phase shift, observed by the SuperDARN Hokkaido East Radar in mid latitudes: Possible global magnetospheric cavity-mode waves and their field-line resonance with poloidal Alfven-mode, Memoirs of the Faculty of Science, Kyushu University, Series D, Earth and Planetary Sciences, XXXIV, 1, 1-15, 2016.

Yukimatu, A. S., Design of upgraded antenna for Syowa radars, SuperDARN Workshop 2016, Faibanks, Alaska, USA., 2016.5.31.

Hori, T., A. S. Yukimatu, and N. Nishitani, Development of a detection method for Pc1-range ionospheric MHD waves using SuperDARN, The 7th Symposium on Polar Science, NIPR, Tokyo, 2016.11.29.

Yukimatu, A. S., ŠENŠU radars in 9th 6-year JARE project, 極域・中緯度SuperDARN研究集会, NIPR, Tokyo, 2016.8.9.

Sato, N., A. S. Yukimatu, Y. Tanaka, T. Hori, and A. Kadokura, Morphology of Omega band aurora observed by THEMIS all-sky imagers, 2016 AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, 2016.12.12.

太陽圏における銀河宇宙線伝播の研究

Study on Galactic Comic Ray Propagation in the Heliosphere

大嶋晃敏·中部大学·工学部

【研究目的】

本申請研究の目的は、惑星間空間磁場(IMF)の影響を受ける低エネルギー銀河宇宙線の 観測を通じて、銀河宇宙線の伝播機構の理解につながる物理量を実験的に決定することで ある。地球近傍の惑星空間での低エネルギー銀河宇宙線は IMF との相互作用の結果、複雑 な流れを形成すると考えられる。地球上にある観測装置でこのような銀河宇宙線の流れを 観測した場合、IMF の構造やその時間変動を反映した異方性として現れる。太陽活動に伴っ て変動する IMF の構造は宇宙線の流れに影響を与え、種々の異方性として観測される。こ のような IMF の中で観測される宇宙線の異方性を通じて、宇宙線の伝播機構への理解を深 める。本申請研究により、近傍宇宙における銀河宇宙線の流れを測定し、IMF と銀河宇宙線 の相互作用への理解を深めることができる。また、太陽圏における銀河宇宙線の伝播につ いての理解が深まることにより、より規模の大きい恒星間空間磁場における宇宙線の伝播

【研究方法】

本申請研究では、GRAPES-3 実験(インド)のミューオン検出器、本研究所の多方向宇宙 線ミューオン望遠鏡(東山)、および東京大学宇宙線研究所明野観測所のミューオン検出器 による銀河宇宙線の観測データを用いる。上記のミューオン検出器は、日本とインドで運 用されており、地理経度の違いと地球の自転を利用した連続観測と多方向同時観測が可能 である。現在、明野観測所とGRAPES-3のミューオン検出器では、拡張作業並びに再整備作 業が実施されている。したがって本年度の実施作業は主にこれらの作業活動と今後の打ち 合わせに終始したものとなっている。これら作業が完了した後に、名古屋ミューオン望遠 鏡のデータと合わせた解析を行う予定である。

【研究活動報告】

GRAPES-3 実験では現在、ミューオン検出器の拡張作業 が行われている。空気シャワーアレイの北側に新設され るミューオン検出器は、2016 年 12 月現在、約 2,200 本の 比例計数管の製作が完了し、屋外への設置作業が始まっ ている(Figure 1)。これまでの R&D により、比例計数管 の製作と特性試験の一連の作業手順が確立し、作業効率 が大幅に向上した。また、新ミューオン検出器の稼働に



Figure 1 比例計数管の屋外への設置作業 (2016 年 12 現在)。

合わせて、アンプ回路とディスク回路を開発し、試験セ ットアップで性能試験を行っている(Figure 2)。さら に DAQ 回路系を FPGA ベースに置き換えることで各回路 モジュールを集約し、コンパクトかつ高性能なものに移 行する予定である。2016 年 10 月まで約1 年間、大阪市 立大学の林嘉夫氏がインド 0oty に滞在し、これらの作 業の指導を行った。2017 年 3 月には中部大学の柴田祥一 氏と大阪市立大学の川上三郎氏が渡印し、インド側共同



Figure 2 比例計数管およびフロントエンド 回路の性能試験(8 Layer = 8 fold)。

研究者らと論文のまとめ作業を行った。2016 年 10 月と 2017 年 3 月には、中部大学で GPRAES-3 のデータ解析に関する議論と明野ミューオン検出器の再整備に関してミーティン グを行い、広島市立大学の田中公一氏が中部大学に来校した。

明野ミューオン検出器は現在、大規模な改修作業を実施されており、GRAPES-3 ミューオン検出器の拡張作業と併せた観測の再開を目指している。

【研究成果】

本申請研究に関連する成果として、2 篇の査読論文が出版された。一つは、CME 到来に伴って GRAPES-3 ミューオン検出器で観測された宇宙線突発に関する報告[4]で、他は宇宙線の気圧効果係数についての報告[5]である。また現在、宇宙線強度と大気温度の関係をGRAPES-3 ミューオン検出器のデータを用いて議論した論文(「Dependence of the muon intensity on the atmospheric temperature measured by the GRAPES-3 experiment」)を 投稿中であること、地球近傍での宇宙線の拡散係数を GRAPES-3 ミューオン検出器のデータを用いて推定した論文を用意している。その他、以下の関連学会・研究集会で発表した。

【日本物理学会・その他学会発表】

- 「大面積高精度 muon 望遠鏡による方位別宇宙線強度変動の研究(18)」
 小島浩司、柴田祥一、大嶋晃敏他、日本物理学会 2016 年秋季大会、24aSQ-7
- 2. 「GRAPES-3 実験拡張計画の進捗報告」 大嶋晃敏、小島浩司、柴田祥一他、日本物理学会 第72回年次大会、17aK21-1
- Current Status of the expansion for the GRAPES-3 project」 大嶋晃敏、柴田祥一、小島浩司他、「平成 28 年度 ISEE 研究集会」

【投稿論文】

4. "Transient Weakening of Earth's Magnetic Shield Probed b y a Cosmic Ray Burst" P.K. Mohanty et al., Phys.Rev.Lett.17 7, 171101(2016)

5. "Fast fourier transform to measure pressure coefficient o f muons in the GRAPES-3 experiment", P.K. Mohanty et al., A stroparticle Physics, Vol. 79, 2330(2016) 海水準変動や気候変動が河川・海岸地形の形成に与える影響の解明 Landform evolution of coastal and fluvial lowlands in response to sea-level and climate changes

堀 和明(名古屋大学·環境学研究科)

【研究目的】

本研究では,後期更新世から完新世の海水準変動や気候変動が,河川河口部や氾濫原の地形・地層形成過程 に与える影響とその空間的差異を明らかにすることを目指している.とくに次の2つ,(1)最終氷期の海水 準低下期に形成された開析谷を充填する堆積物,(2)おもに寒冷地域の氾濫原に広く分布する泥炭層,につい て多地点で採取した堆積物に含まれる貝殻片や泥炭,木片などを用いて加速器質量分析計(AMS)による放 射性炭素年代測定をおこない,堆積時期や堆積速度を高分解能で決定していく.研究対象地域は日本および海 外の沖積低地である.

【研究方法】

台南平野で採取された堆積物に含まれていた貝殻片や植物片などを約 100 点選定し,放射性炭素年代測定 を実施した.試料については,超音波洗浄,酸-アルカリー酸処理などを施した後,試料中の炭素を二酸化炭 素として抽出し,二酸化炭素からグラファイトを作製した.グラファイトは Direct AMS へ送付し,AMS に よる放射性炭素年代測定を実施した.

鹿児島県の肝属平野において、ハンドオーガーを用いて最大深度 4.5 m の試料を 28 地点で採取した. 泥炭 や有機質泥層を定量的に区分するために 10 cm 間隔で強熱減量を測定した. また、堆積物に含まれていた植物片、枝、木片 9 点について、超音波洗浄、酸–アルカリ–酸処理を施した後、Direct AMS へ送付して放射性 炭素年代測定をおこなった.

また,これまでに年代測定が実施された石狩低地や天竜川扇状地については,低地の形成と海水準変動や気候変動との関係を議論した(Ishii et al., 2016; Hori et al., 2017).

【研究結果と考察】

台南平野については、深度約180mにみられる堆積物が最終氷期最盛期前後に堆積したと考えられる.これは台湾南西部の沈降速度が大きいこと、流域からの土砂供給量が大きいことを反映している.

肝属平野の氾濫原では最上部の泥炭層の下位に細~中礫を含む砂層が主に分布していることが明らかとなった。これらの砂層はクレバススプレイと解釈され、クレバスプレイの放棄にともない泥炭層が形成されるようになったと考えられる.泥炭層の形成開始時期は約 6500 cal BP 以降であった。約 4600 cal BP に降下したと推測されている霧島御池テフラ(Kr-M)の堆積前後に泥炭層の形成が終了し、その上位には有機質なシルトが 1~2 m 程度堆積している。今後は、泥炭層の形成終了前後の層準について年代を密に測る必要がある。

【成果発表】

- Hori, K., Nagasawa, S., Sato, Y., Nakanishi, T., Hong, W. (2017): Response of a coarse-grained, fluvial to coastal depositional system to glacioeustatic sea-level fluctuation since the Last Glacial Maximum: An example from the Tenryu River, Japan. Journal of Sedimentary Research, 87, 133-151.
- Ishii, Y, Hori, K., Momohara, A., Nakanishi, T., Hong, W. (2016): Middle to late Holocene decreased fluvial aggradation and widespread peat initiation in the Ishikari lowland (northern Japan). The Holocene, 26, 1924-1938.

花粉分析による高分解能なアジア地域の植生変遷史の解明 High-resolution vegetation history in Asia using pollen analysis

藤木利之 岡山理科大学理学部基礎理学科

はじめに

平成 28 年度から5 年計画で文部科学省科学研究費補助金新学術領域研究(研究領域提案型)「パレオアジア文化史学 - アジア新人文化形成プロセスの総合的研究 -」が推進されている。その計画研究「アジアにおけるホモ・サピエンス定着期の気候変動と居住環境の解明」(研究代表者:北川浩之)の研究分担者としてアジア各地の遺跡及び湖沼堆積物から採集した試料の花粉分析を実施し、アジア各地の植生変遷史の解明を行っている。

アジア各地の花粉分析から植生変遷史を解明するうえで特に重要な作業は、正しい年代 編年の確立である。多くの場合、十分な時間分解能で花粉分析を実施が行われても、その データを解釈するうえで十分な年代測定が実施されていなく、花粉分析結果が十分に活用 できていない。

本共同研究では、岡山理科大学で実施している加速器質量分析法による炭素 14 年代測定 の試料の前処理方法の再検討を行う。炭素 14 年代測定に必要となる試料の前処理方法(化 学的な処理)を確立することで多数の試料の炭素 14 年代測定を可能とし、アジア地域の植 生変遷史を明らかにする。

実施事項

遺跡、湖沼堆積物の炭素 14 年代測定は、植物遺体を対象として実施される。研究代表者 の研究室では試料に AAA 処理(酸・アルカリ・酸処理)を行っている。AAA 処理法は一 種の化学成分分離法であり、その実験条件によって分離される化学成分が異なることが知 られている。AAA 処理法は、極一般的な試料処理方法であるが、その手順の詳細は実験室 ごとに異なっている。特に、アジア新人文化形成を考えるうえで重要な時代(4万年以前) の試料に関しては、AAA 処理の実験条件で異なった年代が得られることが論じられている。 今年度は、研究代表者の研究室と宇宙地球環境研究所年代測定部で実施している方法との 詳細の比較を行った(研究室間の相互比較)。さらに、AAA 処理後の試料に、燃焼・二酸化 炭素の分離・二酸化炭素の還元(グラファイトの生成)作業を行い、加速器質量分析を行 う。研究代表者の研究室でグラファイトの生成を行うための意見交換を行った。

今後の課題

宇宙地球環境研究所の加速器質量分析装置が順調に運用された後、本年度おこなった AAA 処理法のラボ間比較実験を実施し、信頼できる炭素 14 年代が得られる AAA 処理法につい て検討を行う。将来的には、宇宙地球環境研究所年代測定部のスタッフと協力のもと、宇 宙地球環境研究所加速器質量分析施設の炭素 14 年代測定に関わるサテライト・ラボを確立 する予定である。

2台の低バックグラウンドベータ線計数装置による遠隔地間のバックグランド時間変動の測定 Measurements of background rates between two Quantulus counters located in distant place

門叶冬樹、山形大学·理学部

研究目的

本研究は、ISEE と山形大学に設置している低バックグラウンドベータ線計数装置 (Quantulus)を用いて地表付近での宇宙線中性子強度およびミューオン強度の時間変動に 起因する地表付近の放射線強度変動を測定し、中性子モニターのデータおよび山形大学で 連続観測している宇宙線生成核種 Be-7 の日変動と比較することを目的としている。 Quantulus は、液体シンチレータ試料を鉛遮蔽体 (670kg) とガード用液体シンチレーショ ンカウンター (ガード・カウンター) で囲んだ構造を持ち、バックグラウンドを極力除去 して試料からのβ線を測定する装置である。試料からの信号は、ガード・カウンターから の信号、ガード・カウンターと試料との同時計数信号、そしてこれらの信号との反同時計 数信号として取得される。ガード・カウンターは中性子にも感度があり、ガード・カウン ターと試料との同期信号はほとんどミューオンによると考えられる。

本研究では ISEE と山形大学の 2 地点に設置した Quantulus を同時期に稼働させガード・ カウンターおよび同期信号の計数値変化を記録し約600km離れた 2 地点でのバックグ ラウンドの時間プロファイルを調べ、宇宙線生成核種データおよび中性子モニターデータ と比較し、地表付近の放射線環境の遠隔地地表での宇宙線の短時間時間変動への反応につ いて調べることを目的とする。

研究方法

本年度は、ISEE の Quantulus の移設稼働が整わなかったため、2 地点での同時測定を行う ことができなかった。そこで山形大学の Quantulus により 12.5g の液体シンチレータ(ウ ルチマゴールド)を試料として 10 日間の連続バックグランド測定を行った。

結果

図1、図2は、約600 kgの鉛シールドで囲まれたガード・カウンター (液体シンチレータ)信号(G信号)、ガード・カウンターとバイアル 試料の同時信号(C信号)の波高分布をそれぞれ示している。図3は、 G信号のピーク領域(H-channel)とそれ以外の低チャネル領域(L-cha nnel)の10日間の計数値(cps)プロファイルである。3月14日から 15日にかけてピークを示している。さらに、図4は、G信号のH-chan nelとC信号のH-channelの(cps)プロファイルである。C信号も3月1 4日から15日にかけてピークを示している。C信号の立体角は小さく、 G信号の立体角は相対的大きくG信号には中性子成分も含まれていると 考えられるが、計数プロファイルは同様であった。



図1 ガード・カウンターで得られた信 号のヒストグラム



図3 ガード・カウンター信号のピーク 領域とそれ以外の低チャンネル領域(L の10日間のプロファイル



図2 ガード・カウンターとバイアル試 料の同時信号のヒストグラム





G 信号および C 信号の計数の相対誤差は、各々 0.13%および 0.7%であった。また、G 信号およ び C 信号のピーク計数は、裾の計数より各々 2%および 3%増加している。この要因として 大気圧の変化が考えられる。

図5は、山形大学から1km程度のところに ある山形市気象台の気圧観測データである。 3月15日に気圧の谷があることが分かる。 対応する気圧の変化は1%である。計数変化は 気圧変化より大きいが、気圧変化が要因の一 つであると考えられる。



図5 山形市気象台の気圧観測データ

衛星リモートセンシングを利用した大規模湖における クロロフィルa・SS濃度の推定

Estimation of chlorophyll-a and SS concentration in the great lake using satellite remote sensing

後藤直成, 滋賀県立大学 · 環境科学部

【目的】日本で最大の面積・容積を有する琵琶湖では、1990年以降,過・富栄養だっ た水質の改善が進んでいる一方で,漁獲量は年々減少傾向にあり,期待されたほどの 在来生物群集の"賑わい"は戻ってきていない。また,琵琶湖では,温暖化に起因する と疑われるさまざまな問題(湖底付近の貧酸素化,生物現存量・多様性の低下,有害 藻類の増加など)が徐々に顕在化してきている。これらの問題には,水圏生態系を根 本から支えている植物プランクトンが大きく関わっていると考えられ,その動態を詳 細かつ正確に把握することは喫緊の重要な課題となっている。本研究の調査水域であ る琵琶湖の湖面面積(約640 km²)は愛知県三河湾とほぼ同じであるため,船舶を利 用した観測では植物プランクトンの動態を広域的かつ連続的に捉えることが困難で ある。そこで本研究では,衛星リモートセンシングを利用することにより,琵琶湖全 域におけるクロロフィルa濃度の分布を連続的に把握し,植物プランクトンの詳細な 時空間分布変動を評価することを目的とした。また,この測定において,精度低下の 原因となっている懸濁物質濃度(SS)の測定も同時に行い,クロロフィルa濃度の測 定精度向上を試みた。



図 1. 調査地点 (5 地点: T1~T7)

【方法】2016年4月~12月(観測回数:9回), 琵琶 湖北湖(観測地点:5地点)において船舶観測と衛星 観測を同時に行った(図1)。船舶観測では,現場ク ロロフィルa濃度と懸濁物質濃度(SS)測定用の表層 水(深度1m,3m)を採取し,実験室での分析に供し た。同時に,水中分光放射照度・輝度計(PRR600-610, Biospherical Instruments)を用いて湖面におけるリモ ートセンシング反射率を測定した。衛星観測では, 人工衛星搭載型海色センサー(MODIS)によって測 定された衛星リモートセンシング反射率(Rrssat:412 ~667 nm, level2)をOcean Color Web(NASA)から 取得した。なお,取得したRrssatは上記の船舶観測と 同日かつ船舶観測地点からもっとも近い場所におけ る値である。これらの観測結果から,琵琶湖に対応 した水中生物光学アルゴリズム(O'Reilly et al.1998)

の改良と林ら(2015)に基づいたRrssatの補正を行い、衛星クロロフィルa濃度推定の高精度化を行った。

【結果と考察】

クロロフィルa濃度と懸濁物質濃度の推定精度



衛星クロロフィルa濃度は現場クロロフィルa濃度 と顕著な正の相関関係(R² = 0.50, n = 44)にあった (図2)。本研究で採用したリモートセンシング反射 率の補正法および琵琶湖対応型水中生物光学アルゴ リズムを用いることよって,琵琶湖北湖におけるク ロロフィルa濃度を比較的精度良く(RMSE = 2.38, bias = 0.38)推定できることが確認された。

図 2. 衛星クロロフィル a 濃度と現場クロロフィル a 濃度との関係

衛星SS濃度と現場SS濃度との間には正の相関関係 (R² = 0.42, n = 44)があった(図3)。しなしながら, 衛星SS濃度は現場SS濃度がおよそ1 mg L⁻¹以上にお いて過小評価の傾向にあった(RMSE = 0.383, bias = 0.12)。琵琶湖では代掻き時や出水時に濁水が大量に 流入するため,これらの時期における衛星SS濃度の 解釈には注意する必要がある。

図 3. 衛星 SS 濃度と現場 SS 濃度との関係

琵琶湖における衛星クロロフィルa濃度の時空間分布変動

2016年の琵琶湖北湖における月平均衛星クロロフィルa濃度は3.3~24.0 µg L⁻¹の範囲を変動していた(図4)。3月から4月にかけて衛星クロロフィルa濃度は急増し、そ



図 4. 琵琶湖における衛星クロロフィル a 濃度分布(2016年) 図下の数値は月平均値を示す。 の後、7月まで高濃度を維持した。8月に最低濃度(平均2.9 μg L⁻¹)を示した後、9月から11月にかけて増加、12月に最大(平均24 μg L⁻¹)となった。例年、琵琶湖北湖の秋期から冬期は大型珪藻が優占するが、2016年は大型緑藻*Micrasterias hardyi*が優占種となっていた。11月と12月の分布からは、琵琶湖全域で大型緑藻を中心とする植物プランクトンが高濃度に分布していることがわかる。 【引用文献】

- 林ら(2015)伊勢·三河湾におけるMODISとSeaWiFSのクロロフィルa濃度の検証と 改善.日本リモートセンシング学会誌,35(4):245-259.
- O'Reilly J. E. et al. (1998) Ocean color algorithms for SeaWiFS. Journal of Geophysical Research, 103, 24937-24953.

【成果発表】

塚本浩貴,後藤直成,林正能,石坂丈二(2016)衛星リモートセンシングを用いた 琵琶湖におけるクロロフィルa濃度分布の推定.海洋・湖沼リモートセンシング 研究会,9月24日,広島大学. 沖縄の大気エアロゾルに含まれるフミン様物質のキャラクタリゼーション Characterization of humic-like substances in atmospheric aerosols over Okinawa

持田陸宏、名古屋大学·大学院環境学研究科

有機物は大気エアロゾルを構成する主要成分のひとつであり、吸湿性などエアロゾルの 気候影響に関わる性状に寄与していると考えられる。しかし、大気エアロゾルに含まれる 有機物は複雑な組成を持ち、有機物の性状を規定するその化学構造に関する知見は乏しい。 本研究では、長距離輸送された大気エアロゾルの特徴を有していると考えられる、沖縄本 島の北部において採取されたエアロゾル試料を用い、そこに含まれる有機物の化学構造の 特徴について調べるための実験を進めた。

実験は以下のように行った、まず、2015年の秋季に沖縄本島北部において大気エアロゾルを捕集した石英フィルタから、直径34 mmのフィルタ片をそれぞれ3枚切り抜いた。これらのフィルタ片をバイアルに入れ、水を加えて超音波抽出を行った後にろ過する操作を3回繰り返し、水溶性成分の試料とした。また、メタノールを用いて3回、さらにメタノール/ジクロロメタン混合溶媒(v:v=1:2)を用いて3回の超音波抽出・ろ過を行い、ロータリーエバポレータによる溶媒の除去とメタノール/ジクロロメタン混合溶媒の添加を経て非水溶性成分の試料を得た。そして、得られた水溶性・非水溶性試料をアルゴンガスとともにアトマイザによって噴霧し、高分解能飛行時間型エアロゾル質量分析計に導入して質量スペクトルの計測を行った。このとき、質量スペクトルの測定には質量分析計のVモードおよびWモードを使用した。なお、上記の手順で試料が実際に抽出され検出されているかどうかについては、後述するように今後の確認を要する段階にある。このほか、ポンチを用いてエアロゾルを採取した石英フィルタからフィルタ片を切り出し、炭素分析計を用いてエアロゾル試料に含まれる炭素成分の分析を行った。

現時点では、まだ取得したエアロゾル質量スペクトルの解析を進めておらず、今後の課 題として残されている。また、炭素分析で得た測定値に関しては、その代表性について検 討を要することが判り、測定対象としたエアロゾルの特徴付けのためには、更なる分析が 必要だと考えられる。当初の計画では、水溶性成分からフミン様物質を抽出した上、その 赤外吸収スペクトルの取得・解析と、炭素分析に基づくサーモグラムの解析を行う予定で あったが、これらは未実施の課題として残された。エアロゾル試料の採取地である沖縄は、 アジア大陸などから長距離輸送されたエアロゾルの受容域に位置すると考えられ、化学的 な変質(エイジング)の進んだ有機物を含むことが考えられる。今度、今回得たスペクト ルの解析やフミン様物質を対象とした分析を行うことで、変質した有機エアロゾル成分の 特徴付けを進めることを検討したい。なお、関連するプロジェクトでは用いたエアロゾル 試料の吸湿成長度の解析を行っており、取得したスペクトルの解析は、その解釈に役立つ 可能性がある。

謝辞:本研究は、名古屋大学大学院環境学研究科の藤成広明氏の協力により行われた。

森林大気の二酸化炭素の¹⁴Cの高精度分析に向けた 試料調整法の共同開発 Co-development of sample preparation method for high-precision ¹⁴C measurements of forest CO₂

近藤美由紀 国立環境研究所環境計測研究センター

はじめに

森林内の炭素循環メカニズムの理解に向け、微気象学的手法(渦相関法)や生態学的手法を用いた現地観測 が実施されてきた。近年、従来の方法と合わせて、森林大気の二酸化炭素の炭素安定同位体比や炭素 14 濃度 をモニターすることで森林内の炭素循環のメカニズムの解明が進められている。通常の森林大気の二酸化炭素 の炭素 14 濃度の測定では、現場で 2 L~10 L 程度の大気を金属・ガラス製の容器に捕集し(高精度の炭素 14 濃度の測定をするためには 6L 程度の大気が必要)、その後、実験室に持ち帰り、試料処理用の真空ライン等を 用い大気から二酸化炭素を分離して炭素 14 濃度測定が実施されている。微気象学的手法や生態学的手法で得 られるデータと同等の時間分解能で炭素 14 濃度データが得られることが望まれるが、試料採集容器の輸送や 現場での設置に関わる諸問題から、現状では多数の大気試料を対象とした体系的な調査を行うことは極めて困 難である。森林大気の二酸化炭素の炭素安定同位体比や炭素 14 濃度データを有効に活用して森林内の炭素循 環のメカニズムの理解を促すためには、新たな二酸化炭素の捕集装置の開発・実用化が望まれる。

実施内容

大気中の二酸化炭素を現場で捕集する方法として、アルカリ吸着法(NaOH 水溶液に吸収)が考案されてい る。アルカリ吸着法は、二酸化炭素の捕集容器と携帯式小型ポンプを準備することで実現可能で導入しやすい という利点があるが、二酸化炭素の捕集時の同位体分別が引き起こされ(炭素 14 濃度測定には問題はないが、 別途、炭素安定同位体分析用の試料の採集が必要となる)、二酸化炭素捕集後のアルカリ溶液の輸送の問題が 残される(本共同研究で確認)。さらに、実験室でアルカリ水溶液から二酸化炭素を脱離させる作業に手間と 時間を要し、多数の試料を処理することは困難である。近年、元素分析、炭素安定同位体分析、加速器質量分 析法による炭素 14 測定の自動試料処理等において、二酸化炭素をモリキュラーシーブに選択的に捕集する方 式(以後、「モリキュラーシーブ吸着法」という。)が使われている。「常温では二酸化炭素が選択的に捕集さ れ、加熱することで二酸化炭素が脱離される」というモリキュラーシーブが備える特性を利用したものである。 この方法を二酸化炭素の捕集に応用すれば、多試料の採集に有効な二酸化炭素捕集装置の開発が可能と考えら れる。

本共同研究では、実際の現場での作業を考え、装置の小型・軽量化に向けた小型捕集装置の設計を行うとともに、本方法の確立の基本となるモリキュラーシーブへの二酸化炭素の吸着及びその同位体分別効果の評価を行った。

二酸化炭素のモリキュラーシーブ吸着実験の結果

大気の圧縮ガス(約 400ppm CO₂)を試験用ガスとして、モリキュラーシーブ吸着実験を行い、次の結果を 得た。①LTA 型ゼオライト(空孔直径 4.2 オングストローム、タイプ 4A)、FAU 型ゼオライト(空孔直径 7.8 オングストローム、タイプ 13X)のモリキュラーシーブは二酸化炭素を選択的に捕集する。②数グラムの 13X モリキュラーシーブを内径 4 mm・長さ 5 cm のチューブに充填した小型捕集管(本実験ではガラス製捕集管を 使用)でも、大気中の二酸化炭素をほぼ 100%の効率で捕集することが可能である(4A モリキュラーシーブよ り捕集効率が高い)。③捕集された二酸化炭素は、13X モリキュラーシーブを~500℃で加熱することで 100% 脱離できる。④13X モリキュラーシーブへの二酸化炭素の吸着・脱離過程では、明らかな同位体分別が起きな い(大気中の二酸化炭素を冷媒捕集法(従来法)で分離し測定した炭素安定同位体比と一致)。

将来展望

加速器質量分析法による炭素 14 濃度測定に必要な量の二酸化炭素が、数グラムの 13X モリキュラーシーブ に捕集されることを確認した。現在、今年度実施した基礎実験の結果を踏まえ、モリキュラーシーブを使った 大気中の二酸化炭素を現場で捕集する装置の実用化に向けた研究開発を引き続き進めている。捕集装置の設計 に際し、①海外フイルド等の利用を念頭にした装置の小型・軽量化、②日内変化等を調モニター可能な二酸化 炭素捕集の自動化(無人オペレーション)、③同位体分別の引き起こされない二酸化炭素の捕集を検討した。 1つのアイデアとして、「モリキュラーシーブカートリッジ」(ガラス管にモリキュラーシーブを密封)の利用 を検討している。この方法を確立できれば、大気中の二酸化炭素の捕集装置一式を小型スーツケースで運搬で き、従来の大気中に二酸化炭素の試料採取時の諸問題が克服できるものと考えられる。 セジメントトラップ実験による福島沖底層生態系における放射性物質の移行過程に関する研究 Transfer of radiocaesium in benthic ecosystems off the coast of Fukushima: sediment trap experiment

study

石丸隆、東京海洋大学・海洋システム観測研究センター

【研究目的】

2011年3月11日の福島第一原発事故によって拡散した放射性物質は周辺海域の海洋生物に移行し、 特に魚介の汚染を通じて水産業に大きな影響を与えている。2011年7月から実施してきた震災復 興プロジェクト航海による現場調査によって、第一原発南方50kmに渡る沿岸域において底生生 物の汚染が確認され、この海底生態系の汚染レベルは表層生態系に比べて高いことが明らかにな っている。この要因として、海底に沈降および再懸濁する低密度粒子が高い放射性セシウム濃度 を持ち、それらがデトリタス食性生物を介して海底生態系に移行し、系内で長時間滞留すること が推察される。そこで本研究では、第一原発周辺域におけるセジメントトラップ実験によって粒 子を介した放射性セシウム(¹³⁴Cs・¹³⁷Cs)の鉛直フラックスを時系列で実測し、底層粒子の挙 動が底層生態系への放射性物質の移行・集積に対してどのように影響するのかを定量的に評価す ることを目的とする。

【研究目的】

福島沖観測点 TRY (37_05N, 141_6.5E、水深 90 m、図 1) においてセジメントトラップ係留実 験を実施し、沈降粒子試料(約 80 m 深)を時系列で採取した(図 2)。実験期間は 2016 年 6 月 12 日~9月 24 日であり、1 試料あたりの捕集期間は 4 日である。係留系の設置および回収は、おし よろ丸 26 次航海 (レグ1)/北海道大学水産学部と神鷹丸航海 SY-16-08/東京海洋大学で行った。





図2. 係留系の設置風景(おしょろ丸)

【結果・考察】

粒子試料の化学分析は未実施のため、ここでは粒子重量フラックス(Total Mass Flux)の結果を 示す。TMF 平均値=8.3±20.8 g m⁻² d⁻¹であり、実験期間前半(6-7月)に比べて、後半(8月以降) に TMF が大きくなる傾向があった(図 3A)。特に8月中旬および下旬に20 g m⁻² d⁻¹以上の高い フラックスが観測された。8月後半は台風第7,11、9、10号が立て続けに東北地方に接近もし くは上陸し、これに伴う大雨・高潮が沿岸部で記録された。このような気象擾乱に起因した沿岸 環境の変化が著しい粒子ピークを生み出したと考えられる。また、トラップ設置深度における流 速(図 3B, C)は8月以降に大きくなり、TMFが増加するタイミングと同期していた。これは、 トラップ粒子のソースとして再懸濁した海底堆積物が寄与していること、底層水の動きが粒子挙 動(巻き上がりや水平輸送)に大きく影響していることを示唆している。この点は、トラップ粒 子の有機成分データ(C・N 含有率、 δ^{13} C・ δ^{15} N)の解析によって更に明らかになると期待でき る。今後は、粒子輸送に伴う放射性セシウムフラックスの時系列変化を明らかにし、放射性物質 の分散・集積過程について考察する予定である。



図 3. 係留実験の結果:A) 粒子フラックス、B) 東西流速、C) 南北流速の 時系列変化。

【まとめ】

過去3年間で3回のセジメントトラップ実験を福島沖定点で実施した結果、底層における粒子フ ラックスの時系列変化が、局所豪雨や台風通過などの気象イベントに大きく左右されることが明 らかになった。今後、このような粒子を介した放射性物質の挙動が定量的に検討され、気象イベ ントを組み込んだ放射性物質の拡散モデルが発展することが期待される。

【成果発表】

なし。

自由対流圏における大気微量成分の輸送と洗浄に関する研究 Observational study on the transport and scavenging processes of airborne species in the free troposphere

皆巳 幸也 (石川県立大学·生物資源環境学部)

1. はじめに

富士山は、大気境界層内から自由対流圏に深く入り込んだ孤立峰である。そのため、 山体の様々な標高の地点で大気微量成分を上層から落下してくる降水と共に調べるこ とで、境界層内や自由対流圏内にそれら成分がどの程度で存在し、どれだけ洗浄される か、などの情報を得ることができる。本研究では、種々の大気微量成分をその発生源に 着目して(1)大陸域から長距離輸送されてきたもの、(2)国内で発生したもの、(3)当地域 自体が発生源となっているものなどに分類し、それぞれの中から対象を抽出したうえで、 富士観測所と山頂、また御殿場市太郎坊で大気質および気象条件を観測することにより、 大気微量成分の輸送過程や沈着過程に関する知見を得ることを目的とする。

今回は、上記のうち(3)に分類される大気微量成分として、富士観測所で気体状アン モニア(NH₃)を測定した結果を報告する。

2. 方法

NH₃の観測は 2012 年に開始しており、以後は富士山頂でも観測を行う7月・8月に 限定して実施した。クエン酸およびグリセリンを含浸した濾紙(市販品)を専用のホル ダー(小川式パッシブサンプラー)に装着し、風雨除けのカバーとなるポリ容器を被せ て観測所敷地内のアンテナ制御室(通称「アンテナ小屋」)の壁面に設置した。各回の 曝露時間は最短で 17 時間、最長で6日間であった。回収した濾紙から純水で抽出した アンモニウムイオン(NH₄+)を定量し、所定の計算法で大気中の NH₃濃度を求めた。

3. 結果と考察

観測したNH₃濃度は試料によって大きく異なり、検出限界以下(2012年の4例)か ら349ppbv(約15600nmol/m³、2014年7月12日)まで見られた。後者は他県(関東地 方)での高濃度事例をも上回るものであり、大気が乾燥した風の弱い条件によりNH₃ が発生源の近傍で滞留したことによるものと推測される。なお、このような高濃度は、 過去に同観測所で記録した高いpH(5~7)の降水や霧水が形成される原因であること が考えられ、窒素成分の沈着に関する"ホットスポット"を形成していることが示唆さ れる。
光と電波を組み合わせた極冠域電離圏の3次元観測

3D observations of polar cap ionosphere with radar and optics

細川 敬祐 (電気通信大学大学院情報理工学研究科)

★ 研究の概要

2005 年 1 月より, 極冠域に位置するカナダのレゾリュートベイ (磁気緯度 82.9 度) におい て, 多波長高感度全天イメージャ (Optical Mesosphere Thermosphere Imagers: OMTIs) を用いた夜間大気光観測を実施している。今年度の冬季が 12 年目の観測シーズンであった が、観測機器に大きなトラブルはなく、順調に観測を行うことができている。今年度はメン テナンスのためにレゾリュートベイを訪問することはできなかったが、現地の観測サイトス タッフと密に連携を取ることで、観測の不具合への対応ができている。観測データは、現地 の観測サイトの管理をしているスタッフによってシリコンディスクにコピーされ、日本まで 輸送されている. 2009 年冬季より, SRI International, ボストン大学, サスカチュワン大 学などと共同で Resolute Bay Incoherent Scatter Radar(RISR-N)と、レゾリュートベイ OMTIs 全天イメージャによる「光と電波を組み合わせた極冠域電離圏の 3 次元観測」を実 施してきている。2011 年冬季より、京都大学/電気通信大学がノルウェーのスバールバル諸 島で運用している全天大気光イメージャとの広域同時観測も実施し、極冠パッチや極冠オー ロラの広域イメージングに取り組んできた。これらに加え、2015年10月から、レゾリュー トベイのさらに北に位置するイウレカ(磁気緯度 89 度)において新規の大気光イメージャ 観測を開始している。これにより、北米域の2地点(レゾリュートベイ、イウレカ)とヨー ロッパ域(スバールバル)の1地点の計3地点からの極冠域電離圏大気光計測が可能になっ ている. 現在, これらの光学観測機器と, Super Dual Auroral Radar Network (SuperDARN) や EISCAT, AMISR (RISR-N) などの非干渉散乱レーダー, GPS 全電子数観測 といった電波による電離圏観測を組み合わせて、極冠域超高層大気現象の構造を広域に、か つ3次元的に明らかにするための研究を行っている.

★ 研究成果

昨年度に新たに設置されたイウレカのイメージャの 1 シーズンぶんのデータを用いて、極冠 パッチの発光強度,発生頻度の UT 依存性について解析を行った. 1 シーズンぶんのデータ しか用いていないために統計的な有意性を十分に保証できている訳ではないが,北半球の磁 気極近傍において、冬至付近の期間には、12-20 UT の時間帯に明るい(電子密度が高い) 極冠パッチが観測される傾向にあることが分かった.この結果は、磁気極と地理極にオフセットがあることにより、極域プラズマ対流と日照域の相対的位置関係が UT によって変化する ことで説明することができる.この成果は、地球電磁気・地球惑星圏学会(SGEPSS)において、岡村らによって口頭発表で報告された [1].

イウレカにおける観測を新たに始めたことで、極冠オーロラの運動特性に関しても理 解を深めることができた. イウレカ、レゾリュートベイ、ロングイヤービイエンの 3 地点に おいて、北向きの惑星間空間磁場(Interplanetary Magnetic Field: IMF)のときに観測さ れた Sun-aligned arc について、その運動特性の解析を行った. これまでは、極冠域を部分 的にしかイメージングすることができなかったため、Sun-aligned arc の運動特性について その理由を考察することに困難があった. 本研究では、3 地点からのイメージングによって Sun-aligned arc の運動が IMF の By 成分ではなく Bx 成分によってコントロールされてい る事例があることを示し、その運動を昼間側における磁気リコネクションに伴う磁気フラッ クスの輸送によって説明するモデルを提案した. この結果は、SGEPSS において木村らによっ て報告された [2].

これらに加え、ロングイヤービイエンの高時間分解能大気光観測によって得られたデー タを用いて、極冠パッチの後縁部において Gradient-drift Instability と呼ばれる交換型プラ ズマ不安定によってつくられる指状構造が形成されていることを明らかにした[3].また、ロ ングイヤービイエンのデータを用いて、極冠パッチが、昼間側カスプ領域において、極方向 に伝搬するオーロラ (Poleward Moving Auroral Forms: PMAFs) によって生成されている ことも示した.これらの 2 つの成果は、Journal of Geophysical Research 誌に掲載された [3,4].

★ 学会発表,論文公表実績等

- 1. 岡村紀,細川敬祐,塩川和夫,田口聡,大塚雄一,小川泰信,磁気北極付近における極冠パッチ の光学観測:発光強度の UT, IMF By 依存性について,地球電磁気・地球惑星圏学会,九州大学, 2016年11月19-23日
- 2. 木村洋太,細川敬祐,塩川和夫,田口聡,大塚雄一,小川泰信, Sun-aligned arc の運動メカニズ ム再考:3 台の全天カメラと短波レーダーによる観測,地球電磁気・地球惑星圏学会,九州大学, 2016年11月19-23日
- 3. Hosokawa, K., S. Taguchi, and Y. Ogawa, Periodic creation of polar cap patches from auroral transients in the cusp, Journal of Geophysical Research, 121, doi: 10.1002/2015JA022221, 2016
- 4. Hosokawa, K., S. Taguchi, and Y. Ogawa, Edge of polar cap patches, Journal of Geophysical Research, 121, doi:10.1002/2015JA021960, 2016

高感度カメラによる大気光の多地点同時観測 Multi-point airglow imaging with high-sensitivity camera system

鈴木臣 愛知大学·地域政策学部

下層大気で励起される大気波動は,運動量を保存しながら上方へと伝搬していき超高層大気の 下端である中間圏・下部熱圏(MLT)へ運動量やエネルギーを運ぶことで、この領域の大気 変動に大きく寄与することが知られている.MLT 領域は中性大気と電離大気の境界,超高層 大気への中継点であり MLT 大気のダイナミクスは大気の上下結合を考える上で重要な意味を 持つ.近年,精力的な地上からの大気光イメージング観測により,超高層大気波動のグローバ ルな活動分布の描像が得られつつある.また、イメージング観測網の整備により、広範囲に広 がる波動の検出が可能となった.本研究では、申請者が開発した低廉なOH大気光カメラと名 古屋大学宇宙地球環境研究所が運用している超高層大気イメージングシステム(OMTI)との 同時観測を実施し、低廉大気光カメラの性能評価および改良につなげる.

2016年度は、新たに開発した大気光カメラで得られた OH 大気光画像から効率よく波構造 を得るための画像処理法を開発した. 10 秒ごとに得られる大気光画像(露光時間 4 秒)につ いて、1 分間(6 枚)の画像を合成し、さらに 5 分後の合成画像から差分をとることで大気 重力波の水平構造の抽出をおこなった. これにより、ターゲットとしている水平スケール数十 キロメートルの大気重力波が確認できた. さらに、信楽において OMTI カメラ画像(OH 大 気光:15 秒露光)との比較をおこなった. これまで申請者は、OMTI カメラで得られる5.5 分ごとの画像の差分から波動構造を検出してきた. 両者の時間差分画像比較から、OMTI カ メラで頻繁に検出される背景大気光強度に対して振幅 5% 程度の波構造は、十分に低廉カメ ラでも検出できることがわかった. さらに、OMTI カメラ画像中に見られた波長 10 km 程度 の極小スケールの波構造も低廉カメラで確認できた. OMTI 画像において、おおよそ 3% の 振幅を持つ波構造までは、本研究のイメージングシステムで検出可能であるという結論に至っ た. なお、長期の大気光イメージング観測による統計解析において、大気重力波としてカウン トされる大気光強度振幅はほとんどが 5% 以上である.

本研究の手法では、1 分間分の画像合成処理が必要であるものの、低廉カメラを用いて本研 究で開発した手法では、OMTI カメラによる時間差分画像で検出される波動構造と、『波動 検出』という点では遜色ないといえ、大気重力波の統計解析、および多地点展開において有 用であると結論づけられる。今後は、低廉カメラ画像で検出される大気波動の振幅を見積も り(時間差分画像では、波動構造がはっきりと認識できるがその明暗のカウント差が振幅に はならない)、OMTI カメラ画像と大気光強度振幅について比較する必要がある。これによ り、低廉カメラの観測から大気重力波の運動量フラックスを見積もることができ、中間圏界 面付近のダイナミクスの広範囲に渡る定量的理解にもつなげられる。また、次年度に九州で予 定している長期運用に向けて、低廉カメラの大量の画像データを効率良く処理するアルゴリズ ムの開発とその自動化を進めることで、将来的な大気光イメージングの超高密度・超多地点ネッ トワーク網構築を容易にするハード・ソフトを含めた観測パッケージを構築する。

成果発表:

鈴木臣,大気がひかる?~地球と宇宙のつながり~,愛知大学教養セミナー,SMBCパーク栄 (名古屋),2016年6月30日.

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

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

【研究目的】

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

【研究方法】

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

【研究結果】

現時点までに、名古屋大学・宇宙地球環境研究所・修士課程・飯田剛平氏(指導教員:西谷准教授)が発見した1イベントについての解析研究を行ってきている。そのイベントはHankasalmi, Finland(磁気緯度59.1%、磁気経度104.5°E)のSuperDARN radarのBeam #1(磁気子午線から~20°北西を向く)で観測された。Range Gate #10~35において、~14hr UT以降Radar echoes中にSGBSが連続的に観測されていたが、~15:10UT開始のSIとほぼ同時に波動現象が開始し、~30分継続した。その振幅と位相はFLRに典型的にみられる緯度依存性を持っていた。またその周波数は高緯度ほど低くなっており、これもFLRの典型的性質であった。ただ、VLOS(視線方向速度)の最大値が100m/sを超えており、SGBSと混在したionospheric backscattered signals (以下IBSと記す)である可能性も考えられた。

【考察、まとめ】

この波動がFLRであるとすると、観測されたのがSGBSの振動だとすると上記よりpoloidal modeであり、 IBSの場合でもBeam #1の向きがほぼ北向きであった事からpoloidal modeの可能性が高い。この2つの場合それ ぞれについて、Schulz [1996] の近似式(磁力線に沿っては等密度と仮定した場合の式)を用いて、波動が観 測されたRGを通過する磁力線沿いの赤道でのプラズマ密度を波動周期から計算すると、SGBSの場合は $L\sim4.6$ で密度~500 [amu/cm³]、IBSの場合は $L\sim5.7$ で密度~80 [amu/cm³]、(amu:原子質量を規格化した量、 H⁺ 1個の質量が~1amu)となった。(2つの場合でL値が異なるのは、IBSの場合電離層でbackscatterされるのに 対しSGBSの場合電離層で反射された後海面ないし地上でbackscatterされるからである。)これらの値は、 *O'Brien and Moldwin* [2003] の経験モデルで計算したプラズマポーズ位置: $L\sim3.7$ と比較した場合は、IBSと 解釈した場合の方がよりconsistentで、反射領域は磁気圏のplasma trough領域に対応しており、そこでの典型 的密度(100 amu/cm³のオーダー以下)が観測された、と考えられる。ちなみに、このプラズマポーズの *L*値は平均的な値より小さく、その理由は、このイベントの前に磁気嵐が生じていた為である。

今後は、まず上記のイベントについて、密度計算に近似式を用いていたので、より精確な計算を行って上 記の解釈を確認する計画である。また、FLR周波数が緯度依存性を持つ事から密度のL依存性も計算できるの だが、本稿の時点では期待される依存性(Lが大きい程低密度)と逆の依存性となっており、この点も、上 記のより精確な密度計算により検証する計画である。また、本イベントについて他のbeams,他のradars,のデ ータも見る事で、空間依存性を調査する計画である。

そしてその後に、より多くのSI eventsについて上記と同様の解析を行い、その結果を統計的解析で太陽風動圧値、太陽風速度・密度、磁気圏活動度指標、等と比較する計画である。

【引用文献】

Schulz, JGR, p17385, 1996. O'Brien and Moldwin, GRL, p1152, 2003. Southwood and Kivelson, JGR, p2301, 1990. Ponomarenko, Menk, Waters, and Shiffer, Ann. Geophys., p1271, 2005.

【成果発表】

- 河野 英昭, 行松 彰, 田中 良昌, 才田 聡子, 西谷 望, 堀 智昭, 飯田 剛平, Toward magnetospheric region identification by using field-line resonances observed by SuperDARN Radars: Observations of pulsations associated with sudden commencements, 第7回極域科学シンポジウム, 国立極地研究所, 2016.11.29.
- 河野 英昭, 行松 彰, 西谷 望, 田中 良昌, 才田 聡子, 堀 智昭, 飯田 剛平, SuperDARN で観測される磁 力線共鳴現象からのプラズマ圏領域推定に向けて:SC 時脈動観測, 名古屋大学宇宙地球環境研究所 研 究集会「プラズマ圏の観測とモデリング」, 大阪電気通信大学駅前キャンパス, 2017.03.06.
- 河野 英昭, 行松 彰, 西谷 望, 田中 良昌, 才田 聡子, 堀 智昭, 飯田 剛平, SuperDARN で SC 時に観測さ れる磁力線共鳴現象からのプラズマ密度推定, 名古屋大学宇宙地球環境研究所 研究集会「電磁圏物理 学シンポジウム」, 福岡・九州大学西新プラザ, 2017.03.16.

航空機と数値モデルを利用した東アジアにおける CO₂フラックスの評価 Evaluation of sources and sinks of CO₂ in the eastern Asia using aircraft and numerical modeling

町田敏暢、国立環境研究所・地球環境研究センター

研究目的

東アジアは人口増加や経済発展にともなって化石燃料消費の増加が最も高い地域である。また、森林 破壊やエルニーニョ現象に伴う干魃および大規模な山火事によって、自然界からも大量の CO2が大気に 放出されている。一方、CO2の施肥効果や植林によって、CO2の吸収源も大きく変化しつつある。しか しながら、このような CO2の放出源や吸収源がどのように分布し、それらがどのように変化しているか は地上観測のみからは正確に定量化することは困難である。この問題を解決するためには、広域代表性 のある航空機を活用した観測が有力ではあるが、いつの時期にどの領域でどの程度の頻度で航空機観測 を行えば、効率よく正しい結果が得られるかは自明ではない。そこで、本研究では、これまで日本の研 究グループが行ってきたさまざまな航空機観測のデータを持ち寄り、大気化学輸送モデルを使って、シ ミュレーションを行い、新たな航空機観測をどう展開すべきかという視点で研究を進める。得られた成 果は、今後の航空機による温室効果気体観測の戦略を立てる際に有力な知見を与えることが期待される。

研究方法

昨年度に共同研究者とともに実施した研究では、インバースモデルを用いた東アジアの陸上生態系に よる CO₂フラックスの評価について、航空機観測による CO₂濃度の鉛直勾配情報が検証に有効であるこ とが示された(Thompson et al., 2016)。本年度はこれらの航空機観測を実施する上で極めて重要な、航空 機上での大気試料の取り込みについて、これまでの取得データを用いて共同研究者と共に考察を行った。

研究結果

大型の航空機、特に民間航空機を利用して大気成分を観測するには大気試料の取り込み方法が極めて 重要である。Matsueda and Inoue (1996)ではボーイング 747 型機を使って試験飛行を行い、エアコンダ クトの空気中の CO2濃度と CH4濃度は外気と同等であることを証明した。CONTRAIL プロジェクトに よる観測飛行からボーイング 777 型機のエアコンダクトの貨物室配管空気とコックピット配管空気が同 質であることが、東京-シドニー間の観測飛行の結果明らかになっている(図1)。次世代航空機である ボーイング 787 型機のコックピット空気と 777 型機の貨物室配管空気における CO2濃度を東京-ホノル ル間で実施された観測で比較したものが図2である。両航空機で観測した CH4や CO の濃度が一致して いたことから、787 型機と 777 型機はそれぞれの経度帯においてほぼ同様の空気塊を観測していると考 えられるが、CO2については 787 のコックピット空気が系統的に高い濃度を示していた。この原因の 1 つは 787 型機の加湿装置によるものと考えられるが、エアコンダクト空気を観測に使用する際にはその 構造について詳細に検討する必要があることが明らかになった。これらの知見について3月30日に名古 屋大学で開催された航空機観測推進委員会の準備会合において、今後の航空機観測への検討課題として 高橋暢宏氏と意見交換を行った。



図1. ボーイング 777 型機の異なる配管空気による CO2濃度の比較(左)と観測実施地点(右)



図2.787型機と777型機で観測された上部対流圏における CO2濃度(左)と観測実施地点(右)

引用文献

Matsueda, H., and H.Y. Inoue, Atmospheric Environment, 1996.

Thompson, R.L., Patra, P.K., Machida, T., et al., Nature Communications, 2016.

成果発表

- Umezawa, T., Y. Niwa, Y. Sawa, T. Machida, and H. Matsueda (2016), Winter crop CO₂ uptake inferred from CONTRAIL measurements over Delhi, India, Geophysical Research Letters, 43, doi:10.1002/2016GL070939.
- Jiang, F., J. Chen, L. Zhou, W. Ju, H. Zhang, T. Machida, P. Ciais, W. Peters, H. Wang, B. Chen, L. Liu, C. Zhang, H. Matsueda and Y. Sawa (2016), A comprehensive estimate of recent carbon sinks in China using both top-down and bottom-up approaches, Scientific Reports 6, Article number: 22130.

高校生に対する地球環境教育研究 Research of Education on Earth Environments for High School Students

河野光彦、関西学院千里国際高等部 津髙絵美、関西学院千里国際高等部 松見 豊、名古屋大学宇宙地球環境研究所

【はじめに】

高校教育の現場では、教師が教科書に沿って授業を行い生徒がノートをとり、教師が演示実験を見せて説明 するといった知識伝達型の教育が長らく行われきた。ところが高度に情報化されたグローバル化社会の現代 では、従来型の教育だけでは高等教育や就職後に必要とされる問題解決能力が育たないという問題が起きて いる。この反省から近年、生徒の能動的な学習活動を取り入れた教育法が開発されてきている。理科的な学習 面でいえば、生徒が自立的に考え自ら手を動かして体験し、実際の研究開発と関連した実験・基本的概念の理 解を促す教育手法・問題解決能力を育成するような学習プログラムなどが挙げられる。これらの理科教育方法 の開発は新しい時代の新しい教育として重要度を増している。[1、2]また、そういった教育方法の開発は多岐 にわたるステークホルダーが協働して行うことが推奨されている[4]

グローバル化社会を生き抜くためには、ローカルな事象から地球規模の環境までを視野に入れて、科学的根拠に基づいて賢明な意思決定をする能力が必要だ。高校の理科教育においても、その能力育成は最重要視されている。[3]環境意識の高い高校生は多いが、日常接するローカルな環境やメディアで報じられる環境問題だけでなく、グローバル理解できているとは限らない。詳しく学びたいと考える高校生が多いにも関わらず、高校では彼らに適切に対応しきれていない。それは、環境問題の学習はできても、その解決策を導くための最先端の高度な学習を高校で行うことに限界があることが一因である。総合的に地球を理解しローカルな事象から環境問題の本質を知ることは重要で、それは生徒の能動的な学習活動にも肯定的影響を与えると考える。

【研究目的】

本研究は、複雑な環境現象に対して総合的に地球を理解しそれらの科学的本質から問題解決につなげて行こ うとする高校生を養成するための教育法開発を目標としている。平成27年度においては、地球温暖化やオゾン 層破壊にかかわる問題を考えていくための教材研究ならびに教育方法の開発と実践を行った。それらの成果 が得られた一方で、研究者による直接の指導が持続的に行われることによる効果が研究課題として浮かび上 がった。このほか、生徒が獲得した、知識や技能を含む学力の定着を評価する方法について、研究開発するこ とが重要であるという認識を得た。したがって、本研究における今年度の研究目的は、第1に研究者による直 接指導の効果的方法を検討し実践することである。また第2には、昨年度と同様の地球環境に関する授業・実 習・見学を実施し、生徒が獲得した学力の評価方法について開発しその妥当性を調べることである。

【研究方法】

第1の目的、研究者による直接指導の効果的方法を検討し実践することについては、生徒が問題を見いだし 観察や実験を計画する学習活動、問題設定型学習としての教育方法を昨年に引き続き発展させ、生徒が知識や 上記の技能を能動的に獲得する過程に対して、教員がそれを支援するという形で目的を達成する。また第2の 目的、生徒が獲得した学力の評価方法について開発しその妥当性を調べることについては、観察や実験の結果 を分析し解釈する学習活動、さらに科学的な概念を使用して考えたり説明したりするなどの学習活動などを 生徒に求める。生徒は、①参加申し込み、②事前ワークショップ参加、③2週間の大気観測実験、④名古屋大 学宇宙地球環境研究所での見学・実習の順に進み、②・④の実施後にリフレクションを所定の用紙で行い、最 後に一連の学習成果をA0ポスターにまとめることとした。

【研究結果】

2年生男子2名、2年生女子2名の計4名が、12月19日(月)の名古屋大学宇宙地球環境研究所での見学や実習 を体験したが、本年度はその2週間前に関西学院千里国際キャンパスにて、同研究所講師の中山氏による最先 端の地球環境観測研究のワークショップと、名古屋訪問前に生徒が行なう観測実験・研究の解説がなされた。 生徒は、その解説の後に渡されたCO2測定装置とPM2.5測定装置を用い、同キャンパスにおいて2週間大気観 測実験を行った。観測結果は名古屋大学訪問時に研究所の研究者に向けて発表された。訪問は午前10時から午後5時まで実施され、生徒の大気観測実験結果発表の後、地球環境に関する授業・実習・見学を行った。

生徒の観測結果内容は主に2つで「SISでのPM2.5測定結果」と「教室の中のCO2:授業中のCO2濃度を比較」であった。前者は高校敷地内の外気でのPM2.5量を数秒間隔で長時間にわたりモニターし近隣の消防署が 公表している1時間毎の大気中PM2.5量と比較した。最終的に、細かく測定することによって「PM2.5はロー カルな環境要因に大きく影響されることがわかった」と結論付けた。一方、後者では教室のCO2濃度上昇を1 時間の授業間モニターし異なる授業で比較することによって「生徒が授業中眠くなるのは教室内で高まったC O2濃度が原因の1つである」と結論付けた。

松見豊教授による授業内容は、昨年効果的であると結論付けた内容である。キーポイントは「光」であり、 「オゾン」「フロン」について学ばせるとともに、その大気圏化学における重要性と環境に及ぼす影響につい て理解させるようにされていた。一方、「地球温暖化のメカニズム」について理解させるために、赤外光領域 の熱放射と温室効果ガスによるその吸収を学ばせた。そして授業をふまえた上で数種類の実習実験が行われ た。その後、松見研究室や他の研究室の見学を行い、実際に使われている装置を前に研究の意義や内容・成果 などの説明を受け、生徒との質疑応答や議論が活発になされていた。

【考察】

初の試みである、事前ワークショップと、関西学院千里国際キャンパスでの大気観測実験を生徒自身が考え て行い結果をまとめて発表したことは、彼らの学習が前年に比べて深まる効果的な教育的仕掛けであること が示された。その経験をもとに、名古屋大学で行なった観測データや結論についてのディスカッションも活発 かつ有意義なものとなった。また昨年以上に、授業での説明も工夫されており、地球規模の大気環境について 生徒がより深く学ぶ施策を行えた。実験についても、高校ではできないことが用意されるので、貴重なスキル を身につけることができたと考える。研究室見学では、昨年同様に第一線の研究者と身近に接し話ができたこ とによる刺激が大きく、これは生徒の成果物ポスターの記述から読み取れる。「自分が地球環境問題について ある程度知っていると思っていても知らないことは山ほどあって、科学者ですら知らないことがたくさんあ る。だからこそ、研究のし甲斐がある。」「最先端の研究の現場を生で見ることで、気候変動への興味がさら に深まり、論文作成のモチベーションにもなった。」

【結言】

昨年から検討していた継続的な研究者による直接の指導を、今年度実施することができた。また、各講義の 後に記録と考察・内省を促すリフレクションシートを導入したこと、最終的には一連の学習をA0ポスターに まとめる課題を導入したことにより、昨年の課題であった、「問題設定型学習によって生徒が獲得した、知識 や技能を含む学力の定着を評価する方法の開発」が行えた。実際にそれらから、生徒の学習結果や知識の定着、 技能の使用を読み取ることができた。一方、本研究の限界は、各講義の後のリフレクションの記述が予想より 少なく、生徒の豊かなリフレクションの記述から分析を行えなかったことである。よって今後の課題は、その リフレクションをより本研究活動により即し、記入しやすいものに改変していくこと、記入の時間を十分にと ることが挙げられる。問題設定型学習で獲得が期待されるものの一つに21世紀型スキル[5]があり、それは ①批判的・創造的思考、②対人スキル、③内省的スキル、④グローバルな市民性、⑤心身の健康からなる。本 研究はそれらをさらに意図的に強化し、その評価方法を次年度発展させていきたい。

【参考文献】

- [1] 永田敬・林一雅 編(2016) 『アクティブラーニングのデザイン 東京大学の新しい教養教育』東京 大学出版会
- [2] 文部科学省(2014) 『特集:持続可能な開発のための教育(ESD) とその推進について / 国際バカロ レアの普及・拡大に向けて』文部科学広報、平成26年3月号
- [3] 文部科学省(2009) 『学習指導要領における「環境教育」に関わる主な内容の比較』高等学校学習指 導要領
- [4] UNESCO Bangkok Office (2015) [Transversal Skills in TVET: Pedagogies and Assessment] 9Asia-Pa cific Education System Review Series
- [5] UNESCO Bangkok Office (2015) [2013 Asia-Pacific Education Research Institutes Network (ERI-Net) Regional Study on TRANSVERSAL COMPETENCIES IN EDUCATION POLICY & PRACTICE.]

太陽フレアの彩層蒸発における高温プラズマ診断

Plasma Diagnostics of the evaporating chromosphere in solar flares

川手朋子、宇宙科学研究所・ひのでプロジェクト

研究目的

本研究は太陽フレアにおける彩層蒸発強度を高い時間分解能で調査す ることにより、彩層大気における加速粒子・熱プラズマへの応答プロ セスを調査することを目的とする。

研究方法

フレア足元における彩層蒸発プラズマの運動は極端紫外線のドップラ ー速度として現れる。極端紫外線分光撮像装置としてひので衛星搭載 EUV Imaging Spectrometer (EIS)があるが、通常時間分解能は活動領 域の観測で3-5分程度と、彩層蒸発の時間スケールに比べて十分長 い。そこで本研究では飛騨天文台SMART望遠鏡搭載の連続光・Hα高 速撮像装置(FISCH)とEISにより同時観測された2012年6月8日に発生し たC7.7クラスフレアに着目した。SMART/FISCHの時間分解能は像再生 後2秒であり、またHα線の光度曲線は彩層蒸発のエネルギー源となる 熱プラズマおよび非熱的粒子への応答性が高い。各場所におけるHα光 度曲線のピークとEISの露出タイミングの相対時刻を比較することに より、彩層へのエネルギー注入に対する極端紫外線のドップラー速度 をEISのラスター時間より高い時間分解能で導出した。

<u>研究結果</u>

H α ピークを時間の原点とし、EISの 露出タイミングとその時刻におけ る複ガウシアンフィッティングで 導出したドップラー速度を図に示 す。この結果1千万度で形成される Fe XXIV数100km/sの青方偏移のほ かに100km/s以上の赤方偏移が確認 された。このような青方偏移は過 去のEIS(e.g. Milligan & Dennis 2 009)やSoHO衛星Coronal Diagnostic s Spectrometer(CDS)(e.g. del Zann



のドップラー速度。正値が赤方偏移を示す。

a et al. 2006)による観測で議論されてきたが、フレアカーネルにお いて赤方偏移が確認されたのは本研究が初である。また青方偏移強度 は彩層に注入される非熱的電子のエネルギーフラックスに依存すると 言われ(Fisher et al. 1985)、単ガウシアンでもはっきりと表れるが、 単ガウシアンフィッティングではほぼ定常的なプラズマという結果と なった。RHESSI衛星で観測された硬X線スペクトルによって導出され た非熱的電子のエネルギーフラックスから、この赤方偏移の内部エネ ルギーは注入された非熱的電子のエネルギーの9%であることがわかっ た。

<u>考察</u>

1千万度プラズマの青方偏移は非熱的電子注入に対する彩層蒸発流で あると考えられている。また低温の彩層・遷移層プラズマにおいては 上方への彩層蒸発に対する反作用として数10km/sの赤方偏移が確認さ れている(e.g. Ichimoto & Kurokawa 1984)。しかし、1千万度プラ ズマが100km/sを超える速度で赤方偏移を示すことは彩層蒸発のみか らでは説明できない。一つの可能性としてループ上空付近で発生した 磁気リコネクションに伴う下降流が足元まで伝搬したものであること があげられる。Imada et al. (2015)の数値計算から、コロナからのエ ンタルピー注入により彩層蒸発が抑制される結果が得られている。こ の事から、観測された赤方偏移はループ上空から彩層まで伝搬したプ ラズマが彩層でほぼ定常であると観測された可能性が示唆される。

まとめ

本研究では地上観測によるHα高速撮像装置とひので衛星EISで観測さ れたデータを組み合わせることにより、これまで確認されていなかっ た1千万度プラズマのフレアカーネルにおける赤方偏移を確認した。 またこの赤方偏移がコロナから伝搬したエンタルピー注入であると解 釈すると、理論で予測されていた彩層蒸発が抑制される現象と観測結 果とよく一致することが示された。

<u>引用文献</u>

- del Zanna, G., Berlicki, A., Schmieder, B., & Mason, H. E. 2 006, SoPh, 234, 95
- Fisher, G. H., Canfield, R. C., & McClymont, A. N. 1985, Ap J, 289, 414
- · Ichimoto, K., & Kurokawa, H. 1984, SoPh, 93, 105
- Imada, S., Murakami, I., & Watanabe, T. 2015, Physics of Plas mas, 22, 101206
- Milligan, R. O., & Dennis, B. R. 2009, ApJ, 699, 968

- 査読論文

 Tomoko Kawate, Shinsuke Imada, Satoshi Masuda, Takako T. Ishii, and Kiyoshi Ichimoto, "SPECTROSCOPIC FEATURES OF DOWNWARD MATERIALS AT FLARE FOOTPOINTS AND THEIR EFFECTS ON CHROMOSPHERIC EVAPORATION", The Astrophysical Journal, submitted

- 研究会発表 (ポスター)

- T. Kawate, S. Imada, T. T. Ishii, S. Masuda, K. Ichimomto, "High Temperature EUV Li nes at H-alpha Flare Kernels", Hinode-10, Nagoya, 5-6 September 2016
- ・川手朋子、今田晋亮、増田智、石井貴子、一本潔、"太陽フレアカーネルにおけるエネル ギー注入と彩層蒸発への影響",宇宙科学シンポジウム,宇宙科学研究所、2017年1月5-6 日

チーク年輪同位体比モデルを用いたインドネシア・ジャワ島の環境変遷解析 Environmental change analysis of Java Island, Indonesia, using teak oxygen isotopic models

田上高広(京都大学·理学研究科)

樹木年輪セルロース酸素同位体比は陸域の気候や水循環を年単位で復元できるプロキシとして有力で ある。本研究では、気候学的に重要でありながら、年輪セルロース酸素同位体比の研究がほとんど行わ れていないインドネシア・ジャワ島の年輪セルロース酸素同位体比を測定し、その気候応答を調べた。 気候応答の解析には、気候要素(気温、降水量など)との相関解析に加え、より定量的な理解を目指し て、年輪セルロース酸素同位体比モデル(プロキシシステムモデル)を用いた解析を行い、年輪セルロ ースの酸素同位体比の支配因子を推定した。

本研究に使用した樹種はチーク(Tectona Grandis)である。チークは南アジア〜東南アジアの熱帯モン スーン気候域に分布し、雨季・乾季に対応して明瞭な年輪を形成する。さらに天然に樹齢300〜40 0年の古木が存在することから、熱帯域で年輪年代学・気候学の研究対象となっている数少ない樹種の 1つである。インドネシアに限って言えば、年輪幅の標準年輪曲線が作成されている樹種はこのチーク のみである。チークサンプルはすべて円盤で採取し、伐採年と巻き枯らし処理(立木の状態で辺材部位 を削り、枯れさせること)の有無が既知である。年輪を数えることで年代を決めた後、年輪幅とセルロ ース酸素同位体比を測定し、個体間の変動パターンを比較することで年代が信頼できることを確認した。

サンプル採取地点は最大で400kmほど離れているが、セルロース酸素同位体比は、すべての地点 で共通の変動パターンを示した。このことは、ジャワ島の年輪セルロース酸素同位体比には、共通の気 候シグナルが保存されていることを示唆している。年輪セルロース酸素同位体比と気候要素との相関解 析を行ったところ、成長期(雨季)の降水量・湿度と逆相関を示し、成長期直前の乾季の降水量と正の 相関を示した。

次に、年輪セルロース酸素同位体比モデルを用いた解析を行った。モデルによると、年輪セルロース 酸素同位体比は、根から吸い上げる水 (Source water)の酸素同位体比、湿度、大気水蒸気の酸素同位体比 の3つの要因に よって決まる。解析の結果、この3つの要因のうち、Source waterの酸素同位体比だけで セルロース酸素同位体比の経年変動のほとんどを説明できることが分かった。また、Source waterの酸素 同位体比と降水の酸素同位体比を比較した結果、Source waterは成長期前の乾季から雨季の降水で構成さ れていることが示唆された。

以上をまとめると、ジャワ島の年輪セルロース酸素同位体比は、成長期前の乾季から雨季の降水の同 位体比の情報を保存していると考えられる。そして、降水量との相関は、降水の酸素同位体比を介して 表れたものだと思われる。 グローバルモデルと素過程シミュレーションによる地球内部磁気圏で の波動粒子相互作用の研究

Study of wave-particle interactions in the inner 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、素過程シミュレーションを様々な初期条件を用いて実施して、 コーラス放射の発生条件に関わるパラメータを明らかにしたことが挙げられる。特に、高 エネルギー電子の初期速度分布に与える温度異方性と数密度を広いパラメータレンジでサ ーベイ計算を実施して、コーラス放射発生に必要な閾値を定量的に明らかとした。この成 果は連携計算を実施する上で重要な情報であり、グローバルモデルの結果から得られる内 部磁気圏での高エネルギー電子フラックスならびにホイッスラーモード波動の線形成長率 の空間分布から、どの領域でコーラス放射が発生し得るかの評価に用いることができる。 次年度以降は開発した手法をさらに発展させると共に、あらせ衛星をはじめとした内部磁 気圏における衛星観測結果との比較を通じて、放射線帯領域での電子加速過程ならびに波 動励起過程における非線形効果を定量的に究明することをねらう。

電離圏D/E層のプラズマ温度導出と検証

Derivation and verification of plasma temperature in the D- and 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2 33MHzのフェーズドアレイ式多点VHFレーダーシステム)における物 理量導出プロセスを構築する上で有益である。

研究内容·計画:

(1)最近のEISCAT観測で得られた電離圏D層及びE層のISスペクトル データを用いて、フィッティング変数を様々に変化させた多変数スペ クトル解析を実施する。EISCAT観測では観測目的に応じて様々なパル スコーディングを用いているため、複数のパルスコーディングについ てスペクトル解析を行う。

(2)得られた結果の信頼性を把握するために、同時刻・同高度のト ロムソナトリウムライダー観測データで得られる中性大気温度との比 較研究を実施する。

(3)上記の解析研究及び検証結果を基に、電離圏D層及びE層のイオン温度の導出可能高度の下限値を判断する。

平成28年度の成果内容:

平成28年度には、頭脳循環を加速する戦略的国際研究ネットワーク 推進プログラム「太陽地球環境における高エネルギー粒子の生成と役 割:気候変動への影響を探る」(平成26-28年度、代表:水野亮教授) も活用してEISCATレーダー観測及び解析研究を進め、電離圏D層及びE 層イオン温度の導出手法の改善とトロムソ流星レーダーデータを組み 合わせた検証を実施した。その結果、昼間の時間帯であればトロムソU HFレーダーの長時間積分データを用いて、高度88-110 km におけるイ オン温度を精度良く推定可能であることを明らかにした。得られた研 究成果を JpGU 2016大会及び SGEPSS 秋学会にて順次報告した。

(1) Y. Ogawa, S. Nozawa, and I. Haggstrom, D- and E-region ISR

spectra measured with EISCAT radar facilities, JpGU2016 meeting, Makuhari Messe, May 23, 2016.

 (2) Y. Ogawa, S. Nozawa, M. Tsutsumi and I. Haggstrom, D- and E-region ISR spectra measured with EISCAT radar facilities, SGE PSS fall meeting, Kyushu University, November 21, 2016.

世界最多雨地域における夜雨型降水とモンスーン気流場との関係 Relationship between nocturnal rainfall and monsoon airflow over the highest rainfall area

村田 文絵, 高知大学理学部

バングラデシュ北東部からインド・メガラヤ高原の南斜面にかけての地域は,陸域 では限られた地域でしかみられない深夜から早朝に雨が降りやすい地域の1つであ る。本地域ではこれまでの事例研究により,バングラデシュ平野部で境界層の日変化 に伴って夜間に下層ジェットが卓越することが明らかとなり,それが夜雨型の降水に 大きな役割を果たしている可能性が指摘されている。一方で,モンスーンの季節内変 動スケールにおいて,西風が卓越する総観場が研究対象地域に多雨をもたらす場であ ることが明らかとなってきた。しかし,日変化スケールと総観規模スケールの気象変 動がどのように相互作用して,対象地域の地形性の夜雨型降水を強化するのかメカニ ズムの理解がまだ不十分であった。

本研究ではMurata et al. (2017)がメガラヤ高原の南斜面にある世界有数の多雨 地点チェラプンジの長期にわたる地点雨量データと客観解析データを用いて,総観規 模スケールの観点から西風場が多雨をもたらすメカニズムを解析した一方で, Fujin ami et al. (2017)がメガラヤ高原周辺の17年間にわたるTRMM 2A25データと客観解 析データを用いて研究対象地域の詳細な降水日変化と共に,東風場との対比の中で西 風場が多雨をもたらす環境場を解析した。

Murata et al. (2017)は,1902-2005年のチェラプンジの日降水量データから作成 した気候日雨量に比べて多雨となる期間に基づいて活発期を定義した。ここで定義し た活発期の期間は3-14日間の長さを持った。活発期は対流圏下層においてベンガル 湾北部を中心に正の流線関数偏差がみられる際に生じ,この時気候的にもともとある ベンガル湾からの南よりの風による水蒸気移流に西風による水蒸気移流が加わるこ とで大きな水蒸気収束が研究対象地域にわたって生じることが活発期の多雨の要因 として考えられた。

Fujinami et al. (2017)は、モンスーン季をチェラプンジの雨と相関が高い領域の 925hPa風で西風レジームと東風レジームに分類した。各レジームでの降水日変化を解 析した結果、どちらのレジームにおいても早朝00-03LTに雨が降る顕著な日変化がみ られる一方で、西風場は降水頻度が高く午前中いっぱい或いは場合によっては1日中 雨が降る傾向があった。また、西風レジームにおいて降水強度も対流性降水の割合も 高かった。下層の風の場を00LTと12LTで比較すると、両レジーム共に12LTに比べて0 0LTにおいて風が強化されており、これについて夜間下層ジェットに加えて夜間の安 定した大気の下でアラカン山脈によって形成されるbarrier jetの影響を提案した。

参考文献

Fujinami, H. Sato, T. Kanamori, H. and Murata, F., 2017: "Contrasting fe atures of monsoon precipitation around the Meghalaya Plateau under westerly and easterly regimes", *J. Geophys. Res.* submitted.

Murata, F. Terao, T. Fujinami, H. Hayashi, T. , Asada, H., Matsumoto, J. Syiemlieh, H.J., 2017: "Dominant synoptic disturbance in the extreme rainfall at Cherrapunji, northeast India, based on 104 years of rainfall data (1902-2005)", *J. Climate*, submitted. 太陽電波の観測的研究を通じた宇宙天気予測システムの開発 Development of space weather forecasting system based on solar radio observations

岩井一正、情報通信研究機構 · 電磁波研究所

1 研究目的

太陽の大気コロナでは、フレアに代表される爆発現象や、コロナ質 量放出(以下CME)と呼ばれるプラズマ雲の放出現象が発生する。その過 程 で は 、 強 い 電 波 放 射 (太 陽 電 波 バ ー ス ト) が 発 生 す る 。 太 陽 電 波 バ ー ストの 電 波 スペクトルには、継続時間1秒未満のスペクトル 微細構造が 含まれおり、その微細構造の特徴に粒子の加速過程や波動の励起過程 等 の 重 要 な プ ラ ズ マ 素 過 程 の 情 報 が 含 ま れ て い る 可 能 性 が あ る こ と が 、 これまでの我々の研究から明らかとなってきた。本研究の第一の目的 は、 高 分 解 太 陽 電 波 望 遠 鏡 に よ る 太 陽 電 波 バ ー ス ト の 連 続 観 測 を 通 じ て、太陽コロナでの粒子加速現象の理解を深めることにある。また、 電 波 を 発 生 さ せ る 高 エ ネ ル ギ ー 粒 子 や CMEは 放 出 方 向 に よ っ て は 地 球 周辺に到来し、宙空環境で様々な宇宙天気災害を引き起こす可能性が ある。 粒子の伝搬速度よりも電波の伝搬速度は速いため、電波バース トの検出は宇宙天気災害の有効な予報手段となる。そこで、電波バー ストの自動観測を通じて、電波を発生させる現象の地球への到来予報 を行うことが本研究の第二の目的である。以上の背景から、本年度は 以下の活動を行った。

<u>2</u> 研究方法・結果

1. 装置の性能評価と装置の論文化

山川望遠鏡はNICTが新たに開発した太陽電波望遠鏡である。観測周 波数帯域は70MHz - 9GHzであり、フレアに起因する太陽電波バースト の発生周波数帯域をほぼ全てカバーできる。本望遠鏡にはFPGAを用い た最新鋭のデジタル分光計0CTAD-Sが搭載され、観測する全帯域で8ms の時間分解能で連続観測が可能である。本年度はこの新型分光計の性 能評価を行った。その結果、本装置は高時間・高周波数分解性能を有 するだけでなく、1000秒を超えるアラン時間を持つ高安定性能をもち、 かつ10GHzの入力信号に対しても線型性を担保した分光が可能である ことがわかった。これらの特性は太陽電波バースト観測において非常 に有効であるだけでなく、広く太陽地球系物理学・天文学の分光観測 に応用が可能と言える。そこで、これらの開発・性能評価結果をまと めて査読論文雑誌への投稿を行った。論文は現在査読中である(論文発 表1)。

2 定常観測データの宇宙天気予報への応用

論文化と並行して山川望遠鏡を用いた太陽電波バーストの定常観測 を行った。その結果、多数の電波バーストの受信に成功した。特に201 6年4月18日に発生した太陽フレアに伴う電波バーストは、NICTが毎日 行っている宇宙天気予報の直前に発生した。そのため関連する太陽フ レアによって発生した高エネルギー粒子の地球への到来を、電波バー ストの情報から到来前に予測し、予報発令に反映させることに成功し た。この予報成功は本研究の重要な目的の達成を意味する。

3 考察・まとめ

本年度の開発・研究によって、NICTの山川望遠鏡は完成し、定常運 用フェーズに移行した。また、定常観測からは多数の電波バーストの データが得られ、その中には微細なスペクトル構造を持った現象も散 見される。今後はこれらのデータの解析による粒子加速機構解明に向 けた緩急の発展も期待出来る。また、定常観測データはNICTの宇宙天 気業務に組み込まれ、SEP予測のための基礎データとして用いられるよ うになった。1例ではあるが、電波データによるSEPの到来前予測に成 功したことは極めて大きな意味を持つ。今後は電波バーストの自動認 識システムを付加することで、粒子の到来前予測の例を増やすことが 課題である。また、これらの研究と並行して、野辺山電波へリオグラ フを用いた共同利用研究から論文が出たことも付記したい(論文発表 2)。

<u>4 成果発表</u>

論文発表

- Kazumasa Iwai, Yûki Kubo, Hiromitsu Ishibashi, Takahiro Naoi, Kenichi Harada, Kenji Ema, Yoshinori Hayashi, and Yuichi Chikahiro, OCTAD-S: Digital Fast Fourier Transform Spectrometers by FPGA, Earth Planets, and Space, 投稿中
- Warmuth, A., Shibasaki, K., <u>Iwai, K.</u>, Mann, G., Microwave observations of a large-scale coronal wave with the Nobeyama radioheliograph, Astronomy & Astrophysics, 593, A102, 2016 年 9 月

口頭発表

- <u>岩井一正</u>、久保勇樹、石橋弘光、直井隆浩、亘慎一、石井守、NICT 新太陽電波望遠鏡と 宇宙天気予報、日本天文学会 2016 年秋季年会 M05a、愛媛大学(松山)、2016 年 9 月 15 日
- **Iwai, K.**, Kubo, Y., Watari, S., Ishibahi, H, and Ishii, M, New solar radio telescope of NICT and its space weather forecasting, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会、 PEM04-28、幕張メッセ(千葉)、2016 年 5 月 22-26 日、口頭
- Iwai, K, Fine Spectral Structures of Solar Radio Type-I Bursts observed by AMATERAS, CESRSA (the Community of European Solar Radio Astronomers) workshop 2016, Orleans, France, 13-17 Jun 2016, 口頭

夏季インド北東部・アッサム州の豪雨に対する季節内変動の影響 Effects of intraseasonal oscillations on heavy rainfall over Assam, India during summer

福島 あずさ(神戸学院大学人文学部・講師)

1. 研究目的

本研究は、インド北東部に独自に設置した雨量計により、地上観測に基づく降水現象の地域特性と季節内変動との関連性を明らかにすることを目的とする.特にアッサム州内のブラマプトラ川北岸でモンスーン季に頻発する大雨(日雨量100-200mm程度)の要因に着目し、ヒマラヤ南縁での降水現象に対する大気循環場の季節内変動(準2週間周期変動等)の影響について解析する.本年度は観測値から州内の降水特性の地域性を明らかにし、大雨事例の抽出と事例解析(大気循環場の特徴把握)を行った.

2. 研究方法

インド・アッサム州内に設置している15地点の転倒 ます型雨量計のデータを用いた(図1).対象期間はQ Cの済んでいる2007年1月-2011年12月とした.またデ ータの検証及び比較のため、インド気象局が作成した 1901-2010年の日降水量グリッドデータセット(IMD4) (D.S.Pai *et al.* 2014)を利用した.

まず降水特性を把握するため,各地点の降水強度別 頻度を求め,地域差を比較したほか,月降水量から季 節進行を把握し,既存のグリッドデータセット(IMD 4)との比較を行った.その後,時間雨量50mm以上の 事例を抽出して事例解析を行った.

結果と考察

①降水階級別頻度の地域性

アッサムの15地点の観測データから,降水強 度別に6階級に分け,降水頻度を集計し,全降 水頻度に対する比を求め,地点ごとに比較した. 図2および図3によれば,州西部の地点(Kokra jhar, Goalpara, Narbari)およびブラマプト ラ川右岸(北岸)の地点(Narayanpur, Dhem aji)において強い雨(降雨強度30mm h⁻¹以上) の寄与率が高く,頻度も高い傾向がみられた. 一方,弱い雨(降雨強度3mm h⁻¹未満)の寄 与率が高い地点は州中部や中南部(Bokakhat, Lumding, Diphu)で多い傾向が明らかに なった.



図1 対象観測地点の位置 (色は 2009 年





図2 各地点の降雨強度別頻度の寄与率

②降水量の季節推移にみられる地域性

各地点の降水量を確認すると、ブラマプトラ川北岸(ヒマラヤ山脈南麓)の2地点 (Narayanpur, Dhemaji) が最もモンスーン季(JJAS) 降水量が多く、6-9月に600-80 0 mm month⁻¹, モンスーン季降水量は1500-2500mmとなった.一方で州都のGuwahati, ブラマプトラ川左岸上流の2地点(Teok, Tinsukia)では、ヒマラヤ南麓に比べ200-40 0mm month⁻¹少ない傾向がみられた.州南部では、3-5月の降雨が他の地域に比べて卓 越しており、400-600mm month⁻¹が観測された.このように州内でも特性が異なり、降 水システムや地理条件の違いに配慮する必要があるとみられる.

モンスーン季降水量について、観測(2007-2011年の平均値)値とIMD4の1901-201

0年の気候値について比較すると、Dhemajiで2049.7 mm(観測)と1695.52 mm(IM D4)、Narayanpurで2003.9 mm(観測)と 1680.25 mm(IMD4)となった. どちらもIMD4のほうが少なく、グリッド化により値が均され、17%(300mm)程度減ったものとみられる.

③大雨事例の解析

50mm h⁻¹ 以上の大雨事例に着目して事例ごとに分析を進めたところ,次の3つの パターン(時期と要因で分類)に分けられたため,それぞれの事例について大気循環場 の分析とIMD4との比較を行った.

a. 9-10月に発生するサイクロンや強い低気圧に伴うケース

2011年9月23日のケースは、ブラマプトラ川北岸のDhemajiにおいて61mm h⁻¹,98 mm day⁻¹を観測した. IMD4の日データ(LTのため24日のデータと比較)でこの局地的降雨は捕捉されていなかった.また、ERA40の大気循環場を見ると、西ベンガル州上空を中心に低気圧が形成されており、アッサム州の北側では低気圧に伴うとみられる下層の上昇流が局地的に形成されている様子が伺えた.

b. 6-8月のモンスーン低気圧, トラフに伴うケース

2008年6月13日,16日には、ブラマプトラ川北岸のNarayanpurで63mm h⁻¹,98mm day⁻¹,Guwahatiで50mm h⁻¹,77.5mm day⁻¹を観測した.IMD4データは過小評価となった.西ベンガル州上空を中心にモンスーントラフの深まりが観察され、これに伴う降雨と考えられる.またヒマラヤ南麓を中心に、下層の水蒸気量の増大がみられた. c.4-5月のプレモンスーン季のケース

2009年4月30日に西部のKokrajharにおいて72mm h⁻¹, 187mm day⁻¹の激しい降雨が 観測されたケースでは、ヒマラヤ南麓を中心に低気圧性の渦度がみられ、気圧の谷の 通過に伴いベンガル湾からの南よりの風が吹き、バングラデシュからアッサムにかけ て水蒸気量が増加していた.ネパールなど東部ヒマラヤ南麓でみられる事例と類似す るとみられる. Dhemajiなどブラマプトラ川北岸の地点でも同日に降雨が観測されて いたため、南よりの風が強まることによる地形性降雨の可能性も示唆される.

これらの事例から、モンスーン季のケースではIMD4データの過小評価が目立つ一 方、プレモンスーン季のケースで、モンスーン季に比べ、捕捉率が高いことがわかり、 現象のスケールや特性との関連性が示唆される. さらにケースbでは、モンスーント ラフの深まりと豪雨(発生地域の変化)の関係が示唆されたため、次年度はこのケー スを中心に季節内変動と豪雨発生の関係について研究を進めたい.

4. 引用文献

D.S.PAI, LATHA SRIDHAR, M.RAJEEVAN, O.P.SREEJITH, N.S.SATBHAI and B.MUKHOPADYAY, 2014: Development of a new high spatial resolution $(0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ})$ 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,林泰一,寺尾徹,村田文絵,木口雅司,山根悠介,田上雅浩,松本淳,2017: インド北東部・アッサム州における降水特性-地点観測データとグリッド日降水量データ(I MD4)の比較から-.日本地理学会2017年春季学術大会,筑波大学,2017.3.28-29.
- 2.<u>Azusa Fukushima</u>, 2017: Rainfall characteristics of Assam India -comparison of the rai n gauge observation data and the gridded data (IMD4)-. International workshop for clim ate variability and related studies over North East Indian subcontinent, 名古屋大学宇宙地球環境研究所, 2017.2.21-22.
- 3. 福島あずさ,2016:インド・アッサム州の豪雨事例解析.第 11 回南アジアにおける自然環境 と人間活動に関する研究集会 -インド・バングラデシュと周辺諸国における防災知識の共有を 考える-,京都大学防災研究所,2016.12.23-24
- 4. 福島あずさ,林泰一,寺尾徹,村田文絵,木口雅司,山根悠介,田上雅浩,松本淳,2016:インド・アッサム州北部における局地的降雨の事例-日降雨量グリッドデータ(IMD4)と地点 観測データの比較-. 日本気象学会2016年秋季大会,名古屋大学,2016.10.26-28.

電離圏対流パターンの観測 -シミュレーション比較

Comparison between observed and simulated convection patterns in the ionosphere

渡辺正和、九州大学、国際宇宙天気科学・教育センター

研究目的

太陽風から磁気圏へのエネルギー流入の最終形態は沿磁力線電流・電離圏対流である。沿磁力線電流や電 離圏対流は地上レーダや低高度衛星で観測することが可能であるが、その背景にある磁気圏での物理過程 (エネルギー変換・輸送)までたどることは難しい。一方、数値シミュレーションで得られる解は磁気圏 過程の細かな情報を含むが、その解が現実的かどうかはわからない。本研究は、電離圏対流をシミュレー ションと観測で比較・すり合わせることで、複雑な磁気圏の物理過程を理解することである。特に本研究 では惑星間空間磁場(IMF)北向き時に注目する。IMF北向き時の磁気圏を直観的に理解することは難し く、観測とシミュレーションは車の両輪である。

研究方法

観測データとして、名古屋大学宇宙地球環境研究所の資源(SuperDARNデータとその解析ソフトウエア) を使わせていただいた。SuperDARNは元々極域電離圏対流を観測する目的で構築された観測網である。 極域電離圏対流(電場ポテンシャル)パターンを作成するソフトウエアは公開されているが、一般ユーザ ーが解析環境を整備するのは敷居が高い。名古屋大学のワークステーションにアカウントをいただき、そ こにインストールされている解析ソフトを用いて電離圏対流を可視化した。一方、数値シミュレーション は九州大学の計算機を用いて行っった。

研究結果

いくつか行った研究のうち、具体例としてIMF斜め北向き時の夜側電離圏に現れるIMF B_y に制御される対流系について紹介する。図1はIMF $B_y < 0$ (時計角約-45°)の時の北半球の観測(2000年2月21日2310-2322UT)である。真夜中付近に時計回りの渦が現れている。南半球ではレーダのエコーが少ないが、真夜中付近に反時計回りの渦が現れている(ここでは示していない)。この渦の起源は、磁気圏尾部で起こるDungey型のリコネクションと解釈されることが多い。この現象を数値シミュレーションで再現した。図2は時計角35°($B_y > 0$)のときの北半球における電離圏対流(左)と沿磁力線電流(右)である。 $B_y > 0$ であるので図1とパターンが朝夕で反転しているが、真夜中付近に反時計回りの渦が再現されている。ただし渦中心は開いた磁力線上にあり、Dungey型のリコネクションの描像と合わない。図3はポテンシャルピークを作る沿磁力線電流を磁気圏へ追跡し、磁気圏ダイナモの場所を同定したものである。ダイナモはローブの真ん中にあり、このことからも沿磁力線電流の起源はDungey型リコネクションではないと言える。従来の考え方の再考が要求される。

成果発表

Watanabe, M., and M. R. Hairston, Observation of a unipolar field-aligned current system associated with IMF B_y -triggered theta auroras, J. Geophys. Res. Space Physics, 121, 5, 4483–4497, 2016.

Tanaka, T., M. Watanabe, M. Den, S. Fujita, Y. Ebihara, T. Kikuchi, K. K. Hashimoto, and R. Kataoka, Generation of field-aligned current (FAC) and convection through the formation of pressure regimes: Correction for the concept of Dungey's convection, J. Geophys. Res. Space Physics, 121, 8695–8711, doi:10.1002/2016JA022822, 2016.

Tanaka, T., T. Obara, M. Watanabe, S. Fujita, Y. Ebihara, and R. Kataoka, Formation of the sun-aligned arc region

and the void (polar slot) under the null-separator structure, J. Geophys. Res. Space Physics, doi:10.1002/2016JA023584, accepted for publication on 3 March 2017.



図1 2000年2月21日2310-2322UTに北半球のSuperDARNで観測された対流パターン。



図2 数値計算による時計角 35°のときの北半球における電 離圏ポテンシャル(左)と沿磁 力線電流(右)。最縁部が磁気 緯度50°。左図の白点線は磁力 線の開閉境界。



図3 X = -26 R_Eの断面におけるプラズマ圧。赤い円形部分(半径 約45 R_E)の縁はbow shock。白線は磁力線の開閉領域。ダイナモは 白矢印が示す部分(プラズマシートからトーチ状に伸びた先端)にあ る。 MPレーダと雲解像モデルを利用した降水量の推定・予測に関する研究 Studies on estimation and prediction of precipitation using MP radar and cloud-resolving model

若月泰孝、茨城大学·理学部

①研究計画

本研究は、名古屋大学宇宙地球環境研究所が所有するXバンド,Ka バンドの2つのレーダデータと、同じく名古屋大学で開発されたCReS S(Tsuboki and Sakakibara 2001)などの非静力学雲解像大気モデル を利用して、降水量の推定と短時間予測を行う研究である。全体の 研究継続年数を5年間として、本年度をその初年度とする。

まず、レーダを利用する研究について示す。利用するレーダはマ ルチパラメータレーダ(MPレーダ)とよばれ、2重偏波の情報から降 水強度をより精度よく推定することができるほか、固体降水を含む 粒子判別を行うこともできる。 MPレーダに関する研究は古いが、未 だ高精度の雨量推定や粒子判別のアルゴリズムは確立されているわ けではなく、研究は未だ盛んである。申請者の若月も、XバンドMPレ ーダを利用して、雨量推定アルゴリズムを近年開発した(論文投稿 準備中)。若月の研究は、偏波パラメータの中でも日本であまり利 用されていないZDPという指標を用いることが特徴で、雨量推定精度 向上が確認できている。本研究では、さらなる検証やKaバンドの利 用の可能性についても調査していく。Kaバンドでは、比較的弱い雨 をとらえることができるため、様々な強度レンジの雨について研究 することがでると期待される。本研究で、レーダから推定される雨 量の精度向上が図られた暁には、豪雨に対する減災・防災研究に資 する他、遠い将来には気候学的な雨量推定にも貢献する可能性があ る。なお、本年度は沖縄県にXバンドレーダとKaバンドレーダが設置 されることから、XバンドレーダとKaバンドレーダデータ、そして地 上の雨量観測データを取得し、それらを比較する準備を行う。また、 可能な範囲で比較検証を進めることとする。

次に、非静力学雲解像大気モデルを利用する研究について示す。 このモデルは、短時間の降水を予測する能力を持っている。その中 で、20分から3時間先の降水予測は、豪雨による災害を予測する上で 非常に重要である。しかし、モデルによる予測計算の初期値に積乱 雲 の 構 造 が 「 適 切 に 」 含 ま れ て い な い と 、 そ の 対 象 時 間 で の 予 測 精 度は高くならない。モデルの初期状態は、事前の予測計算と観測デ ータを結合するデータ同化によって作成されるが、データ同化の手 法 を 工 夫 し て 、 レ ー ダ か ら 積 乱 雲 に 関 連 す る 情 報 を 適 切 に 抽 出 さ れ なければならない。本研究では、レーダデータから積乱雲の構造に 関する情報を抽出し、それをモデルのシミュレーションにデータ同 化によって組み込む研究を進める。積乱雲の振る舞いを含む降水予 測は、その強いカオス性のため、短時間インターバルで更新されな ければならないので、短時間で処理できる簡易型手法である必要が ある。若月はすでにこの手法を開発し論文発表している。本共同研 究では、この手法の高度化に貢献するための大気モデルシミュレー ションとレーダデータの組み込み実験を推進する予定である。本年

度は、ひとまず広島豪雨を対象事例として選び、研究と実験を進め る予定である。また、他の事例の調査も前向きに進めることとする。 数値モデル実験は、短時間降水予測だけでなく、気候学的な長 期のシミュレーションでも有益な情報を与える。特に、気候学的な 災害リスク推定などに寄与する情報は、長期シミュレーションでな ければ推定することができない上、観測が少ない地域にも展開する ことができる強みがある。本共同研究では、長期シミュレーション による低頻度大気現象の気候学的推定に関する基礎調査もすすめる。 若月は地域スケールの気候変化予測に関する受託研究に10年程度携 わってきており、領域大気モデルによる長期シミュレーションの研 究実績は十分にあるが、名古屋大学と連携して長期シミュレーショ ンを実施したことはない。今年度は、長期シミュレーション研究連 携について、試行的実験を通じて、低頻度大気現象に着目した研究 の方向性について相互検討する。

②研究結果

平成28年度は、琉球大学に設置されている名古屋大学のX-bandマ ルチパラメータレーダの運用モードを共同研究で利用できるよう修 正を加えた。琉球大学のレーダは、6分程度の間隔でボリュームスキ ャンされるように設定されている。一方で、本研究では、X-bandマ ルチパラメータレーダの情報から精度の高い雨量を推定できるアル ゴリズムを開発している。このアルゴリズムの検証および高度化の ためには、地上に置いた雨量計や雨滴粒径分布計(ディスドロメー タ)による観測データとの比較が必要である。ディスドロメータは、 沖縄県恩納村にある国立研究開発法人情報通信研究機構(NICT)沖 縄電磁波技術センターに設置してある。このデータは、他の科研費 研究を通じて利用させていただくことができる見通しになっている。 そこで、X-bandマルチパラメータレーダのボリュームスキャンの最 後、高仰角か低仰角に下げる時、NICTの観測点の方向に固定するこ ととした。すでに、2016年6月頃からこのモードでの観測を続けてい るため、かなり多くのデータを取得できている。平成28年度は、そ のデータ解析をするまでに至っていないものの、データ取得ととも に、レーダデータ解析プログラムも共同研究の一環として提供して いただいた。

名古屋大学で開発された雲解像モデルCReSSや気象庁非静力学領 域気候モデルNHRCMを名古屋大学情報基盤センターで計算させるベ く準備を進めた。その結果、CReSSについては問題なくインストール することができた。NHRCMについてもインストールして計算できるよ うにしたが、一部のライブラリ機能がうまく使える状態にできなか ったので、それを組み込めるように次年度調整する予定である。CRe SSを用いた実験を実施した。特に、2014年に発生した広島豪雨につ いて、先に若月が開発した上流下層加湿法(若月 2015)を適用し予 測実験を実施した。解像度500mと1000mで1時間先の降水予測を実施 した。用いた観測データは、気象庁合成レーダデータである。この データを雨水情報ではなく、上流側の下層の水蒸気量に変換して同 化する。広島豪雨は、積乱雲が帯状に集団化するバックビルディン グタイプの線状降水帯であった。数時間程度同じ位置に停滞するた め、土砂災害を引き起こしやすい。実験では、線状降水帯に伴う1時間先の強雨を的確に予測していた。特に、レーダエコーの動きを時間が移送することによる予測である気象庁降水ナウキャストと比較した。その結果、線状降水帯の特性が時間変化する時に予測精度が 有意に向上していることがわかった。今後さらなる検証と技術の高度化が必要である。

本研究を進めるにあたって、共同研究の一環として2度の出張を 実施した。1度目は、山口大学で開催された、沖縄での降水観測プ ロジェクトに関するミーティングである。沖縄でのレーダ観測体制 と地上観測データの取得に必要な打ち合わせ会であった。会合自体 は、山口大学の先生が主催したほかの科研費研究もかかわる会合で あったが、参加したことによって沖縄での観測体制についての有益 な情報を得ることができた。2度目は、名古屋大学宇宙地球環境研 見て、2種類の非静力学雲解像大気モデル(CReSSとJMA-NHRCM)を 動かすために、環境整備を実施した。作業中、名古屋大学情報基盤 センターでの実行のためのツールをいただいたり、ノウハウの助言 をいただいたりした。

③引用文献

Tsuboki, K. and A. Sakakibara, 2001: Cloud Resolving Storm Simulator User's Guide, Second Edition,

若月泰孝,2014: 上流下層加湿による積雲対流の予測実験. 土木学会論文集B1(水工学),71(4), I_505-I_510

 ④ 成果発表 なし 数値モデリングおよびデータ解析に基づく

環電流-放射線帯エネルギー階層間結合機構の研究 Study of the ring current and radiation belt couplings based on numerical modeling and data analysis

関 華奈子、東京大学·大学院理学系研究科地球惑星科学専攻

ジオスペース最大規模の変動現象である宇宙嵐 (geopace storm)時 には、放射線帯が大きく変動することが知られており、この変動機構 の 解 明 は 、 国 際 ジオ スペース 探 査 の 主 目 標 と な っ て い る 。 放 射 線 帯 電 子の加速過程を理解するためには、内部磁気圏における電磁場と粒子 の変動を理解することが不可欠であるが、申請者らはこれまでに、両 者を自己無撞着に解くことが可能な新しい環電流モデルを開発してき た。この新モデルの特徴は、世界で初めてULF波動を含む電磁場の変動 と 環 電 流 イ オ ン の ダ イ ナ ミ ク ス を 同 時 に 物 理 方 程 式 に 基 づ き 記 述 可 能 にした点である。本研究では、この新環電流モデルを基軸として、Pc5 帯のULF波動が放射線帯粒子加速に果たす役割を明らかにすることを 目的としている。グローバルな場の変形には寄与しないより高いエネ ルギーの放射線帯電子については、別途申請者らが開発してきた放射 線 帯 粒 子 の 統 計 的 テ ス ト 粒 子 計 算 コ ー ド [Saito et al., 2010]を 用 いて記述することで、ULF波動による電磁場変動が相対論的電子の加速 /消失に与える影響について検証する。また、Van Allen Probesおよ び 今 年 度 打 ち 上 げ 予 定 の ERG 衛 星 の 観 測 デ ー タ 解 析 を 進 め 、モ デ リ ン グ 結果と比較することで、モデル計算結果の検証と実際の宇宙嵐への適 用可能性について考察する。こうした研究を通して、環電流によるPc5 波動の励起など、環電流ダイナミクスが内部磁気圏電磁場構造に与え る影響を評価するとともに、Pc5波動による相対論的電子輸送が拡散的 に記述できる条件を明らかにし、輸送係数がどのように決定されるの かを明らかにすることを目指している。

本研究には2つの柱がある。1つめの柱は、上述の2つの数値モデ ル(環電流モデルと放射線帯モデル)を組み合わせて、ULF波動が放射 線帯電子の加速・輸送に果たす役割を理解することである。本年度は、 輸送機構の基本的性質を押さえるため、まず、地方時方向の波数mを持 つ単色波などの単純化した境界条件を与えることで、新モデルによるU LF波動記述の基本性質を調べた。まず、環電流モデル計算結果からULF 波動を含む内部磁気圏の電磁場の時間変動の時系列データを作成し、 放射線帯モデルの背景場の入力として用い、ULF波動存在下での相対論 的電子の地球中心からの距離方向の動径方向輸送の効率を調べる手法 を開発した。電子の初期エネルギーおよびピッチ角を変化させること で、電子輸送の各パラメータへの依存性について調べた結果、同じエ ネルギーの相対論的電子に着目した場合、ピッチ角による共鳴するL値 の位置の違いから、特定の領域に限って、バタフライ分布を形成する ことが明らかとなった。

本研究の2つ目の柱は、Van Allen Probes衛星等を用いたデータ解析研究である。本年度は、イオン種毎の環電流イオンの供給および消

失過程に着目し、2013年4月の磁気嵐について、イオン質量分析器デー タと同時期の地上磁場観測データの解析を行った。具体的には、酸素 イオンと水素イオンの輸送タイミングの違い、エネルギー毎の輸送機 構の違いに着目して、解析を行った結果、高エネルギー酸素イオンの 拡散的輸送が宇宙嵐の発達に寄与する可能性が示唆された。なお、上 記2つの研究は、名古屋大学の大学院生の研究テーマの一部となって おり、研究経費はそのための打合せ旅費として使用した。

ERG衛星搭載HEPの半導体検出部の低エネルギー側の応答評価 Evaluation of silicon strip detectors for High Energy electron detector onboard ERG

三谷烈史、宇宙航空研究開発機構·宇宙科学研究所

【概要】

地球周りの放射線帯において相対論的なエネルギーをもつ電子がどのようにして生成・消 失するかを解明するために、ジオスペース探査衛星ERG(愛称:あらせ)が2016年12月20 日に打ち上げられた。あらせに搭載された高エネルギー電子分析器HEPは、放射線帯の 0. 07 · 2 MeV 程度の電子を計測対象としたもので、シリコンストリップ半導体検出器を積 層したものを電子検出部としてもつピンホールカメラである。本研究では、この観測器の 電子への応答を地上で詳細に評価し、衛星軌道上での観測データから導出される速度分布 関数の信頼度をあげることを目的とする。衛星打ち上げ後、軌道上でのHEPの初期運用を 滞りなく進め、現在定常運用に入った段階である。取得されたデータを確認し、校正を進 めている。

【研究内容】

あらせ衛星に搭載された高エネルギー電 子分析器 HEP のシリコン半導体検出部に は、プロトンが同時に入射されてくる環境 下であっても、簡易なシステムで電子を計 測できるようにするために、プロトンを遮 蔽するための入射窓としてアルミ膜を設け ている。しかし、これは電子観測にも影響 を及ぼすため、HEP の 100 keV付近での応 答を評価する必要がある。

100 keV付近の電子の応答を記述するた めに、シミュレーションライブラリ Geant 4 を用い、HEP 電子検出部のジオメトリを 用いた応答評価を進めた。フライト品とし て採用した検出器サイズと構造を模擬した ジオメトリをシミュレータに組み込み、基 本的な動作確認を実施した。図 1に 10 0 keVの電子を入射した時に HEP がどのよ うなエネルギーを検出するかを示す。単色1 00 keVでの入力であっても、90 keV程度に ピークを持つとともに、低エネルギー側に 計数がある。ピークの位置、幅、低エネル ギー側の計数について、シミュレーション の妥当性を評価するために、今後、共同利 用施設・設備である<u>「機器較正用イオン・</u> **電子ビームライン」**を利用する。本年度は こうしたシミュレーションを進めるととみ に、試験の準備を実施した。



図 1 Geant4 を用いて HEP フライト品と同等の 形状を組み込み、100 keV 電子を入射した時に計測さ れたエネルギーの分布。

軌道上では HEP の初期運用を行い、正常 に電源投入ができ、地上と同等の性能がで ていることを確認できた。図 2にシリコ ン半導体に所定の電圧200 Vを印加し、前置 増幅器へのテスト電荷入力を与えて取得し た波形整形回路の応答波形を示す。地上試 験と同等の波高値・波形整形を確認できた。 また、ノイズレベルも地上と同等であるこ とが確認された。

来年度以降、本年度準備したシミュレー タと軌道上データをもとに、実際の電子ビ ームでの評価試験を進める予定である。



図 2 軌道上でHEPシリコン半導体に所定の電王 200Vを印加し、前置増幅器への疑以電荷を与えて取 得した波形整形を踏めの応答波形。地上試験と同等の波 高値、波形整形を確認できた。

人工オーロラを活用した地上リモートセンシングによる 酸素原子密度観測の検討

A consideration on atomic oxygen density observation by ground-based remote sensing with artificial aurora

and subta femote sensing with alterioral adjoint

津田卓雄 電気通信大学 大学院情報理工学研究科

研究目的

電離圏加熱装置による人工オーロラの減光効果 (クエンチング) の計測から減光効果の主要因である周辺大気 (主に酸素原子)の密度 情報を抽出する手法が提案されている.本研究では,先行研究で提案 されている手法と現実大気における実験 (電離圏加熱装置による人工 オーロラ発生,及び人工オーロラの減光効果の光学観測) をベースに, 地上リモートセンシングによる酸素原子密度計測法の検討を行うこと を目指す.

研究内容・経過

年度前半を開発フェイズとし、人工オーロラ計測用の光学装置の試作に取り組んだ.基本的には、市販の光学機器・光学素子やCCDカメラなどを組み合わせて、安価でコンパクト、高性能 (高感度、高時間分解能) な光学装置の開発を進め、人工オーロラの複数の発光波長に関して酸素原子密度計測に最適な波長を検討・選定するために波長分解機能を持たせた光学装置 (光学スペクトログラフ) を試作した.

年度後半を実証フェイズとし、試作した光学装置と既存の電離圏加 熱装置を組合せ、北欧ノルウェーにおいて人工オーロラ観測試験を実 施することを目指した.2017年2-3月に約2週間の国際共同観測キャン ペーンを企画する一方で、試作した光学装置を2016年10月にノルウェ ーのトロムソに設置(図1参照)し、夜間自動オペレーションによる (自然の)オーロラの連続観測を開始した.連続観測は現在まで順調に 稼働(図2参照)しており、2016年度冬季期間中の多数のオーロラ光学 データを取得することに成功している.また、自然のオーロラの試験 観測データから、試作した光学装置の良好な計測性能を確認している.

2017年2-3月の人工オーロラ観測キャンペーン時には,現地トロムソ に滞在して観測試験のオペレーションを行った.しかし,キャンペー ン期間に高速太陽風の影響によるオーロラ擾乱が発生したため,電離 圏を安定して加熱することができず,人工オーロラを発生させること は困難であった.結果として,人工オーロラの観測には成功しなかっ たため,酸素原子密度の計測手法に関する詳細な検討までは至ってい ないが,継続して人工オーロラ実験の企画を進めることを予定してお り,将来的に計測手法の詳細な検討や開発に関して重要な進展が得ら れると予想している.

 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, Geoph ys. Res. Lett., submitted, doi:10.1002/2017GL072801, 2017.

1. T. Takahashi, K. Hosokawa, S. Nozawa, T. T. Tsuda, Y. Oga wa, M. Tsutsumi, Y. Hiraki, H. Fujiwara, T. D. Kawahara, N. Saito, S. Wada, T. Kawabata, and C. Hall, Depletion of mesos pheric sodium during extended period of pulsating aurora, J. Geophys. Res. Space Physics, 122, doi:10.1002/2016JA023472, 2017.

2. S.-i. Oyama, K. Shiokawa, Y. Miyoshi, K. Hosokawa, B. J. Watkins, J. Kurihara, T. T. Tsuda, and C. T. Fallen, Lower t hermospheric wind variations in auroral patches during the s ubstorm recovery phase, J. Geophys. Res. Space Physics, 121, 3564-3577, doi:10.1002/2015JA022129, 2016.

口頭発表(招待講演)

1. 津田卓雄, 中村卓司, 江尻省, 西山尚典, 阿保真, 津野克彦, 野澤悟徳, 川原琢也, 川端哲也, 斎藤徳人, 和田智之, C. M. Hall, 高橋透, J. Gumbel, J. Hedin, 光学リモ ートセンシングによる金属原子層・金属イオン層の研究, 第21回大気ライダー研究会, 東 京, 2017年2月. (招待講演)

2. 津田卓雄, MTI研究のためのライダー観測, MTI研究集会, 東京, 2016年8月. (招待講 演)

3. T. T. Tsuda, My research activity associated with Japan-Norway collaborations, Young Scientist Forum, Japan-Norway Arctic Science and Innovation Week 2016, To kyo, June 2016. (invited talk)



図1. 光学装置の設置状況



遺跡出土遺物を用いた古食性,古環境復元研究 Reconstruction of paleo diets and environment using archaeological remains 宮田佳樹、金沢大学・先端科学・イノベーション推進機構

【研究の概要】

遺跡周辺の当時の環境を現代から推定するために、2016 年 8 月 7 日に、能登半島新池(石川 県珠洲市)の池水、ヒシ、ジュンサイ、アシなどを採取し、その安定同位体組成、放射性炭素濃 度測定を試みた。Station Trap2 の溶存無機炭素中に含まれる放射性炭素濃度($\Delta^{14}C(\infty)$)は、 水深 1.2M; +13.0±4.0(‰), 2.2M(Bottom); +7.0±3.0(‰)であった。水深 1.2M の $\Delta^{14}C$ = +13.0(‰)は、大気とよく混合している表層水と水深 2.2M (Bottom) $\Delta^{14}C$ = +7.0(‰)との混合 で説明できるのかもしれない。

【研究目的】

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

【方法】

2016 年 8 月 7 日に, 能登半島新池(石川県珠洲市) の湖水, ヒシ, ジュンサイ, アシ, マツ葉などを採 取し, 放射性炭素濃度とその安定同位体測定を試み た。





写真1 新池写真(2016/11/22)

【まとめ】	表1. 湖水(の溶存性	無機炭酸の	放射性炭	炭素濃度	
2016年8月7	Sample	Station	Depth (M)	Repeat	¹⁴ C content (pMC)	NUTA2-
日に採取した 4	ISSIN-	Trap1	2.5	2	102.6±0.3	24183
点の池水の溶存	ISSIN-	Trap2	2.2	1	100.7±0.3	24183
性無機炭素の放	ISSIN-	Trap2	1.2	1	101.3±0.4	24183
射性炭素濃度を	ISSIN-	Trap1	2	1	99.4±0.4	24183
			>>> //a ⇒/a >/a	ارد ممل کر		

示す(表1)。4 点の測定結果に過ぎないが,能登半島新池(石川県珠洲市)の集水域から,流入してくる供給水中の溶存無機炭素は,大気よりも古い炭素年代を示すことがわかった (Trap1-2.5M-2 は一番水深が深いにもかかわらず,一番高い炭素14 濃度を示すことから,何ら かの理由で大気混入の影響を受けてしまった可能性があり,現時点では考察から除外する)。

Station Trap2 の D0 は,水深 0.3Mまで 9mg/L程度で一定であ り,表層は大気とよく混合され ている。それ以深は,2.2M の池 の底まで,単調に減少している。 したがって,Trap2-2.2M (Bottom)の+7.0±3.0(‰)と 大気とよく混合している表層水 との混合で,Trap2-1.2Mの +13.0±4.0(‰)という Δ ¹⁴C 値 を説明できるのかもしれない。



図2 Trap2における水温,溶存酸素濃度,pHの深度分布(2016/8/7)

【今後の研究計画】

今年度未測定である新池から採取した表層水,植物試料の炭素年代測定,安定同位体測定をす すめ,池水の滞留時間を物理観測結果と比較し,遺跡環境を復元する。さらに,八日市地方,真 脇,大谷山貝塚遺跡から出土した貝,動物骨,土器付着炭化物試料など20試料の炭素年代測定, 安定同位体測定,加えて,土器脂質分析や遺物の分子レベル炭素同位体測定を行う。また,年代 測定試料である動物下顎骨を形態観察し,狩猟された年齢や時期を推定し,さらに詳細な古食性 解析を進めていくつもりである。

【謝辞】

本研究の成果は,H28-31 年度科研費基盤(A) "科学分析手法と土器使用痕観察を組み合わせた古食性と調理形態復元に関する学際研究"(研究代表者 宮田佳樹,分担者 中村俊 夫ほか)の成果の一部である。 航空機を用いた大気微量気体、エアロゾルのリモートセンシング

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

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

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

今回、まず 2012 年 9 月に行った航空機観測データを再検討した。観測は、つくば市上空 にて、可視・紫外域分光器 Maya2000Pro 2 台、オゾン計 2 台を航空機に搭載し、高高度約 8.9km と低高度約 800m の 2 高度で実施した。航空機からの分光観測は、成層圏成分を分 離するため、天頂散乱光と地表散乱・反射光の 2 方向について行った。成層圏成分による 太陽光吸収は両方向で共通と考えられるため、2 方向で測定した太陽散乱光スペクトルから 求めたカラム量の差分をとることで、成層圏成分を除去でき、中一下部対流圏成分のみが 検出できると期待していた。図1に3回目の観測フライトで得られた紫外スペクトルから 求めたオゾンの差分(地表散乱一天頂散乱)カラム量の太陽天頂角変化に伴う時間変化を 示す(青ドット)。



図 1. 高度 8.5km で航空機から観測された紫外地表散乱光スペクトルから推定したオゾン 傾斜カラム量と天頂散乱光スペクトルから推定した量を差し引いた差分量の時間変化。

結果は、時間経過(太陽天頂角増加)とともに、差分カラム量は負から正に変化しており、 絶対量も期待していたたより小さい。これは、観測時の条件では、天頂散乱光には観測高 度直上からの多重散乱光の寄与が非常に大きく、図2に示すように下部成層圏オゾンによ る吸収が地表散乱光でのそれに比べ非常に大きいため、光路長差が小さくなるためである ことが分かった。



図 2. 波長 330nm で、航空機観測と同じジオメトリに対し推定された地表散乱光(Nadir) および天頂散乱光(Zenith)の各高度での光路長ファクター (エアマスファクター:AMF)

この影響により、地表付近の微量成分量を推定することが大変困難になっている。この問題を解決する一つの方法として、天頂散乱光の代わりに太陽直達光を用いて航空機高度から上でのカラム量を求めることがあげられる。しかし、通常太陽直達光は太陽を追尾して分光器に導入して測定するが、姿勢が短期間のうちに大きく変化する航空機からは難しい。そこで、太陽を追尾するのではなく、テフロン板など拡散板を用いて太陽直達光をサンプリングする方法を考えた。これは、東北大学のグループが行った光学式ドロップゾンデによる、高高度オゾンの測定で実績がある。この方法の有効性を実証するため、まず地上でMAX-DOAS分光観測装置に天頂方向に設置した拡散板からの直達光も測定できる装置を開発することにした。拡散板からは散乱光も散乱されてはいってくるが、雲の影響が小さい条件では、直達光成分が数桁強いため無視してよい。現在、装置の設計を終え、組み立てに入っており、その効果を定量的に明らかにし、航空機観測に適用できるようにしていく予定である。
台風下における風波の砕波機構の解明とモデリング Modelling on wave breaking under tropical cyclone

高垣直尚、兵庫県立大学・機械工学専攻

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

砕波機構の解明のために、台風のシミュレータである高速風洞水槽 (全長24m,幅0.8m,最大水深0.8m,京都大学所有、図1)で得られた水 位変動データ等の解析を行った^{3~6)}.具体的には、海上10mの位置にお ける風速基準で5~69m/sの測定条件において測定されたデータを使用 した.水位変動データ等は、レーザドップラ流速計、位相ドップラ流 速計、高速度カメラ、抵抗式波高計などを用いて測定された.解析手 法は、渦相関法、ゼロアップクロス法、スペクトル法、コスペクトル



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

法等を用いた.図2に,風波スペクトルのピーク拡張係数γ_Dと波齢および風速との関係を示 す.図より,ピーク拡張係数は通常の風速時と異なり,高風速時には波齢の逆数の増加に 従い減少すること,風速の増加に従い減少することが分かる.本報告では紙面の都合上省 略するが,これらのピーク拡張係数に関する経験モデルを作成し,本モデルを使用するこ とにより抗力係数の風速依存性を説明可能であることを示した.



図2 (a)風波スペクトルのピーク拡張係数yDと波齢の逆数U10/CPの関係4,(b)風波スペクトルのピーク拡張係数yDと風速U10の関係4.図(a)の破線:MODEL1を用いた場合の経験モデル曲線.
マ(b)の実線:風速60m/sにおけるMODEL2を用いた場合の経験モデル曲線.
図(b)の実線:MODEL2を用いた場合の経験モデル曲線.文献4を元に作成.

引用文献

1) Takagaki, N., et al. (2012), Strong correlation between the drag coefficient and the shape of the wind sea spectrum over a broad range of wind speeds, *Geophys. Res. Lett.*, 39, L23604, doi:10.1029/2012GL053988.

2) Iwano, K., et al. (2013), Mass transfer velocity across the breaking air-water interface at extremely high wind speeds, *Tellus, Ser. B*, 65, 21341, doi:10.3402/tellusb.v65i0.21341.

3) Takagaki, N., et al. S. Komori, and N. Suzuki (2016), Estimation of friction velocity from the wind-wave spectrum at extremely high wind speeds, *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 35(1), 012009, doi:10.1088/1755-1315/35/1/012009.

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

5)高垣直尚,高風速下かつ長吹送距離における風波気液界面を通しての運動量輸送機構, 波浪研究集会,名古屋大学, 2017年3月7日.

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

木星放射線帯粒子変動要因の観測研究

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

三澤 浩昭, 東北大学・大学院理学研究科

[研究目的] 木星から放射されるシンクトロン電波(JSR)は、直接観測のほぼ不可能な放射線帯の粒子ダイナミクスの情報 を持つ。申請者らはこれまで JSR 強度の連続観測に基づき、数日~週程度の短期の時間スケールで強度変化を起こす現 象について研究を行い、その現象が①太陽紫外線照射量変動と関連を持つ成分、②木星磁気圏で自励的に発生すると考 えられているサブストーム型現象の出現と関連を持つ成分 の 2 種が存在する可能性を示してきた。一方で、これら①、② のプロセスでは説明の難しい第3の成分(③)がある可能性が示され、従来はその存在が疑問視されてきた太陽風変動と関 連する成分である可能性が改めて示唆されてきており、この成分-③の存在の検証と成因の考察が新しいテーマになって きている。本研究では、特に、この成分-③の存在の検証と、太陽風変動との関連の査定を目的として平成 27 年度より3 年 計画で研究を行っている。

[研究方法] 上記目的達成のために、本研究は観測・データ解析に基づく以下を内容とする計画で進めてきた。A.電波望遠 鏡を用いた連続観測に基づく JSR 強度変動計測、B.MF 帯電波による木星極域変動の連続モニター・データの解析に基づ く磁気圏広域活動の評価、C.磁気圏変動要因と目されるイオ火山性ガス・プラズマの発光モニター・データに基づく JSR 変 動への寄与の評価、また、D.木星位置で想定される太陽紫外線および太陽風データに基づく JSR 変動への寄与の評価。

[研究現況] 研究2年度目の本年度は、特に米国の木星探査機 JUNO の木星接近~周回探査実施の時期にもあたり、太陽風プラズマ、磁気圏プラズマの直接計測データを併用しての解析・考察が可能となることから、JUNO の木星接近期の 2016 年 5 月~6 月(I期)と、木星近傍通過期の 2017 年 3 月下旬(II期)の2回 JSR のキャンペン観測を行い、これらの観 測期のデータについての解析を進めている。現況は以下の通りである。

- A. JSR 観測: NICT 鹿島の大型電波望遠鏡を用いて上述の2回のJSR 観測(2.3GHz 帯)を実施した。昨年度の観測で課題となった、観測帯域内に混入する人工電波の干渉成分(RFI)を除去した強度導出を可能とするための観測帯域のスペクトル観測と、短時間に木星方向(ON)と僅かに外した方向(OFF)の観測を行い、両者の差からJSR 強度を導出する観測(ON-OFF scan)を組み合わせて実施した。現在、RFIの詳細な評価に基づくJSR 強度導出を進めている。
- B. 木星磁気圏現象の変動特性: WIND 衛星で取得された MF 帯の木星オーロラ電波連続観測データを解析した。第 I 期 のキャンペン観測期間では、概ね4~5日で準周期的に出現する自励的な現象と太陽風動圧変動時に現れる特徴的な現 象が検出されている。JUNO の磁気圏データは公開後に比較を行う。
- C. イオ火山性プラズマの発光量変動特性: HISAKI 衛星によるイオ火山性プラズマの連続観測から、第 I 期のキャンペン 期間は大まかな傾向として発光量が緩やかな減光を示しつつ、継続時間が数日程度の小規模な増減と 1 日程度の突発 的な増光が含まれることが確認されている。
- D.太陽紫外線・太陽風の変動特性: 第 I 期のキャンペン期間に、木星に予想される太陽紫外線強度は 5 月初旬が最大で、 以降、6 月初旬に一時的に極大値を示したものの概ね緩やかに減少していた。一方、木星に予想される太陽風は、その 動圧は 0.02~0.8nPa 程の幅で数度の増減が(回帰的に)存在した。この太陽風の変動とB や C の解析から得られた太陽 風起因との関連が示唆される現象の対応に留意しつつ、太陽紫外線変動のない時期に特に着目し、太陽風の変動と A の JSR 変動との関連性を精査中である。

[本年度総括と展望]本年度は、昨年度の観測課題であった計測方法を改善した2度のJSRキャンペン観測を実施した。 その結果は精査中であるが、解析済みのオーロラ電波や内部磁気圏プラズマ発光には太陽風変動起因が示唆される現象 が検出されており、「JSR 変動成分-③」の検証を慎重に進めている。研究最終年度の2017年度は「JSR 変動成分-③」の 詳細な出現特性の把握とその出現過程の理解のための電波源の変動解析を目的の一つとして、インドの大型電波干渉計 を用いた JSR 観測を、NICT 鹿島の装置とともに 5~6 月に実施予定であり、JSR 変動を精査してゆく予定である。また、 JUNO による木星磁気圏プラズマ観測結果も考慮し、「JSR 変動成分-③」の検証と査定の本研究を総括する予定である。

[成果発表等]

・学会・研究会発表:日本地球惑星科学連合 2016 年大会(2016 年 5 月@幕張),第 15 回 IVS 技術開発センターシンポジウム(2015 年 6 月@鹿嶋)

IPS 観測による太陽風と人工衛星のCCD 画像から

検出された speckle との統計的解析

Statistical analysis of solar wind and speckles of satellite

野澤恵,茨城大学·理学部

Introduction

地球周辺には太陽や銀河系由来の放射線粒子や、地球磁場により捕捉された高エネルギー粒子により形成された放射線帯が存在している。これらの粒子は、衛星の帯電障害や、 航空機被ばくの原因になるなど、多くの被害をもたらす。各被害を抑えるためにも、高 エネルギー粒子の変動を知る必要がある。そこで本研究では衛星の撮像データに表れた 高エネルギー粒子由来のバックグラウンド(以下Speckle)に着目し、衛星軌道上での高 エネルギー粒子の変動を調べた。本研究ではHinode/X-Ray Telescope(XRT)で撮像され たデータを用い、太陽風のプロトン密度と速度との相関を調べる。

Analysis

使用したデータはFlare Detection(FLD)パトロールイメージと呼ばれるもので、2048×2 048ピクセルのデータを8×8ピクセルでサミング(非可逆圧縮)されたものである。空間分 解能は非圧縮データと比べて悪くなっているが、高時間分解能(約30-60sec)を持つ。露光 時間は約8.8msecで単一フィルター(Ti-poly)でのみの撮像となっている。画像処理としては、 これらのデータを各露光時間でIntensityを割り、単位時間あたりのIntensityに補正した。 その後、2値化処理を施しSpeckleを検出していく。

Results

Speckleの生成に影響を与えているものとして、1)突発的な太陽プロトン現象(SPE)や磁 気嵐、2)磁気圏に存在する電子の影響が示唆された。太陽プロトン現象と磁気圏を繋ぐ太陽 風との相関を調べたものが図1,2で、speckle 検出数の時間・空間変動と太陽活動の変動(太 陽風のプロトン密度と速度、縦軸のL値は地球のある点を磁力線に沿って磁気赤道面に投影 し、そこから地球中心までの距離を地球半径で示したもの)を示した図である.太陽風密度 は doy = 900 程度までは相関係数 0.45 という値を持っているが、全期間の場合では 0. 28 となってしまった.また、太陽風速度の場合は 0.21 程度の弱相関であった.doy=550 付近で太陽風速度が上がるに連れ、speckle の高緯度側の検出数は低下しているが、doy=1 200 付近では逆に speckle の検出数は増加している。太陽風速度と speckle の変動につい ては関係性がよく分からない点があるが密度と共に speckle の生成に何らかの影響を与え ている可能性が示唆された.





Figure 1 横軸は 2010 年 1 月 1 日からの day of year、 左縦軸が L 値、右縦軸が太陽風速度、カラースケールが speckle の検出数を log で示したものである。それぞれの単 位は L 値が規格化された値で speckle の検出数が個数 cm-2 s -1 である。

Figure 2 Figure 1 と同様で、右縦軸が太陽風プラズマ密度 を示した。プラズマ密度の増大に応じて、speckle が増大す る傾向にある。