平成27年度

共同利用・共同研究成果報告書

名古屋大学宇宙地球環境研究所
（旧太陽地球環境研究所）
共同利用・共同研究委員会

目　次

１．共同研究(一般)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　1～123

２．研究集会・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　124～211

３．計算機利用共同研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　212～251

４．地上ネットワーク観測大型共同研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・　252～318

５．共同研究(奨励)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　319～320

６．共同研究(国際)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　321～339

1. 共同研究(一般)目次詳細

（所属・職名は平成28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
早川　正士	電気通信大学		名誉教授、客員教授	地震に伴う電磁気現象の解明	1
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	4
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	6
中井　仁	小淵沢総合研究施設		代表	磁気圏尾部大規模プラズマ対流の研究Ⅳ	9
高橋　けんし	京都大学	生存圏研究所	准教授	大気微量成分の樹冠内分布とその変動要因の研究	12
加藤　俊吾	首都大学東京	都市環境学部	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	13
薮下　彰啓	九州大学	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	14
堤　雅基	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	16
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高度分布の変動	17
巻田 和男	拓殖大学	工学部(元)	名誉教授	地球磁場減少に伴う、超高層大気変動の研究	19
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	地球内部磁気圏グローバルモデルと波動粒子相互作用素過程シミュレーションとによるコーラス放射励起領域の研究	20
村木　綏	名古屋大学	(旧)太陽地球環境研究所	名誉教授	太陽活動の地球気候への影響の研究	22
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	27
笠羽　康正	東北大学	大学院理学研究科	教授	地上-衛星同時観測による大規模擾乱に伴う電場の発達・伝播過程	29
柴田　隆	名古屋大学	大学院環境学研究科	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	31
鷲見　治一	ｱﾗﾊﾞﾏ大学	CSPAR研究所	研究員	太陽圏構造とダイナミックスの研究	32
藤谷　雄二	国立環境研究所	環境リスク研究センター	主任研究員	自動車排ガス起源SOAの物理化学特性の測定	33
大矢　浩代	千葉大学	大学院工学研究科	助教	LF帯標準電波位相観測による夜間下部電離圏の周期性の解明	35

研究代表者	所属機関	所属部局	職名	研究課題名	頁
宗像　一起	信州大学	理学部	教授	宇宙線強度のグローバル・ネットワーク観測による宇宙線モジュレーションの研究	36
土屋　史紀	東北大学	大学院理学研究科	助教	LF帯標準電波のネットワーク観測による高エネルギー電子降下現象の研究	38
深沢　圭一郎	京都大学	学術情報メディアセンター	准教授	エクサフロップス計算に対応した磁気圏MHDシミュレーションコード	39
米村　正一郎	農研機構	農業環境変動研究センター	主席研究員	先進的炭素安定同位体比測定法の改良・拡張と生態系ガス交換・物質循環への応用	41
中田　裕之	千葉大学	大学院工学研究科	助教	台風に伴う電離圏変動の解析	43
原　拓也	カリフォルニア大学バークレー校	宇宙科学研究所	博士研究員	衛星観測に基づく火星からの電離圏イオン流出のダイナミクスに関する研究	45
行松　彰	国立極地研究所	研究教育系	准教授	SuperDARN北海道-陸別レーダー干渉計による超高層大気高精度観測	46
入江　仁士	千葉大学	環境リモートセンシング研究センター	准教授	CRDSとの比較によるMAX-DOASエアロゾル導出アルゴリズムの改良	47
Lee Kyoung-Sun	宇宙航空研究開発機構	宇宙科学研究所	プロジェクト研究員（ひので）	Statistical investigation of the elemental abundance of flares using Hinode/EIS	52
松田 昇也	金沢大学	総合メディア基盤センター	日本学術振興会 特別研究員PD	衛星観測データを用いたプラズマ圏EMIC波動の伝搬特性解析と周辺環境の推定	54
天野　孝伸	東京大学	理学系研究科	助教	自己無撞着な内部磁気圏数値モデル	56
松本　淳	早稲田大学	人間科学学術院	教授	大気中の有機硝酸全量の観測に基づく光化学オキシダント評価	57
水谷　耕平	情報通信研究機構	電磁波計測研究所	総括主任研究員	ライダーによる大気中二酸化炭素計測技術の研究	59
岩井　一正	情報通信研究機構	電磁波計測研究所	日本学術振興会 特別研究員PD	太陽電波観測による粒子加速・宇宙天気研究	60
田所　裕康	武蔵野大学	工学部環境システム学科	講師	地上・衛星データ解析による内部磁気圏電子降下現象の研究	62
廣川　淳	北海道大学	大学院地球環境科学研究院	准教授	炭化水素のオゾン分解による二次有機エアロゾル生成過程の研究	63
皆巳　幸也	石川県立大学	生物資源環境学部	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	64
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	65
木村　智樹	理化学研究所	仁科加速器研究センター	基礎科学特別研究員	ひさき衛星によるオーロラ連続監視が明らかにする木星磁気圏の太陽風応答	67
渡邉　恭子	防衛大学校	地球海洋学科	講師	白色光フレア統計解析による太陽フレアにおける粒子加速機構の研究	70

研究代表者	所属機関	所属部局	職名	研究課題名	頁
森岡　昭	東北大学	大学院理学研究科	名誉教授	磁気圏エネルギー解放とサブストーム	72
黒田　剛史	東北大学	大学院理学研究科	助教	火星大気上下結合・物質循環のシミュレーション	74
飯田　佑輔	関西学院大学	理工学部	契約助手	自動認識アルゴリズム開発を通した太陽表面磁場構造の研究	77
持田　陸宏	名古屋大学	大学院環境学研究科	准教授	エアロゾル質量分析法に基づく含硫黄有機エアロゾルの研究	79
江副 祐一郎	首都大学東京	理工・物理	准教授	太陽系X線の研究と将来計画の検討	80
菊池　崇	名古屋大学	(旧)太陽地球環境研究所	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	82
寺澤　敏夫	東京大学	宇宙線研究所	教授	太陽大気ガンマ線の衛星観測による太陽磁場構造変動の研究	85
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を用いた遠隔地間のバックグランド時間変動の比較	87
疋島　充	宇宙航空研究開発機構	宇宙科学研究所	プロジェクト研究員	波動粒子相互作用解析装置の開発に向けたシミュレーションによる基礎研究	90
尾花　由紀	大阪電気通信大学	工学部基礎理工学科	講師	地磁気と北海道-陸別HFレーダーを含むSuperDARNデータを用いた1/4波長モード波の観測	91
野澤　恵	茨城大学	理学部	准教授	IPS観測等で得られた太陽風と人工衛星画像から検出されたspeckleとの統計的解析の研究	94
北村　成寿	宇宙航空研究開発機構	宇宙科学研究所 Geotailプロジェクトチーム	宇宙航空プロジェクト研究員	FAST衛星の観測データを用いた極域電離圏からのイオン流出の研究	95
鈴木　臣	愛知大学	地域政策学部	准教授	大気光カメラネットワークを利用した超高層大気波動の多地点同時観測	97
中川　広務	東北大学	大学院理学研究科	助教	火星探査衛星MAVENを用いた火星大気上下結合の解明	98
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	99
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－シミュレーション比較	100
寺田　直樹	東北大学	大学院理学研究科	准教授	DSMCモデルとMHDモデルを用いた火星大気圏-電離圏結合の研究	102
中根　英昭	高知工科大学	環境理工学群	教授	地上紫外線強度の変動要因の解析	104
西山　尚典	国立極地研究所		助教	脈動オーロラとULF帯波動の時間変動:全自動解析手法の開発と統計的特性の導出	105
川原　琢也	信州大学	工学部	准教授	トロムソに設置したナトリウムライダーに用いる昼間観測用狭帯域フィルターの設計	108

研究代表者	所属機関	所属部局	職名	研究課題名	頁
小川　泰信	国立極地研究所	国際北極環境研究センター	准教授	EISCATレーダーを中心とした中間圏―熱圏―電離圏―磁気圏結合の研究	111
寺本　万里子	宇宙航空研究開発機構	宇宙科学研究所	研究開発員	SuperDARN北海道-陸別レーダー、地上磁場観測、衛星観測を用いた地上-電離圏-磁気圏-地磁気脈動の比較研究	113
河野　光彦	関西学院千里国際高等部		教諭	高校生に対する地球環境教育研究	114
西田　哲	岐阜大学	工学部	准教授	凹凸のある表面近傍でのガス流れと表面反応の解析	117
今村　隆史	国立環境研究所	環境計測研究センター	センター長	大気中での有機アミノラジカル類の生成と反応	118
丸山　奈緒美	コロラド大学ボルダー校	CIRES	Research Scientist	北海道-陸別短波レーダーを用いたSub-Auroral Polarization Streams (SAPS) 経度依存性における電離圏伝導度の役割の定量評価	119
竹谷　文一	海洋研究開発機構	地球表層物質循環研究分野	主任研究員	レーザー誘起白熱法を利用したブラックカーボン粒子のオンライン計測	122

（別紙様式２－２）

地震に伴う電磁気現象の解明
Electromagnetic effects associated with earthquakes

早川　正士　電気通信大学

【研究目的】

地震に伴って色々な電磁気現象が前兆的に発生することが認められつつある。即ち、地震電磁気学(Seismo Electromagnetics)として発展し、神戸地震後の 20 年間にて飛躍的な学術的展開を示している。特に、電離層擾乱は永年の我々の観測により、VLF/LF 電波伝搬異常と地震との因果関係が確立するに至っている。しかし、未解明な点も多く、とりわけそのメカニズムに関しては多くの謎に包まれている。地震予知の観点から重要と思われる二つの観測項目:(i)国内 VLF/LF ネットワーク観測による電離層擾乱と(ii)ULF 電磁放射の観測を取り上げることとする。

【研究方法】

(1) VLF/LF 送信局電波を用いた電離層擾乱の観測と解析
国内外 VLF/LF ネットワークによる異常観測を実施しており、多点での信号解析から地震に伴う電離層擾乱の解析を行う。

(2) ULF 電磁放射の解析
ULF 観測データ及び国内各地での ULF 観測データを用いた解析により、地震に伴う ULF 波動の異常を解析し、地震に伴うものかを検証する。

【研究結果】

(1) 地震に伴う VLF/LF 伝搬異常
地震に伴うものの他、各種の原因が考えられ、我々も十分に考察してきた。太陽フレア、雷などは継続時間も短く、容易に判別できる。最大の問題となり得る原因は、地磁気嵐などの擾乱(スペースの効果)と台風などの大気擾乱(下層の効果)であろう。先ず、磁気嵐との関連性を調査し、磁気嵐の強度との関係などを明らかにした（Hayakawa et al., 2016)。続いて日本周辺での 8 ヶの台風に対して VLF/LF 伝搬特性を調査した結果、そのうち 6 例に対しては、台風との関連性が多く、夜間の VLF/LF 送信局電波の振幅が低下する現象が認められた。即ち、送信点と受信点とを結ぶ周辺の感知領域(フレネルゾーン)を台風が通過する数日にわたっての効果であることが判明した。他の 2 個のイベントに対しては、地震の発生もあり、台風の効果か地震の効果なのかの判別が困難との結果である(Rozhnoi et al., 2014, Hayakawa et al., 2016)。

(2) ULF 電磁放射に関する成果

ULF 磁界に関しては、二つの効果が存在する。即ち、(i)地震に伴う地圏からの直接的な電磁放射、(ii)電離圏/磁気圏起源 ULF 波動の地上観測での振幅の低下である。(i)に関しては、三つの世界的事例がある。スピタック地震、ロマ・プリエタ地震、と我々のグアム地震であり、すべてマグニチュード 7 クラスの大地震で、前兆の ULF(周期 100 秒)電磁放射が出ている。(ii)に関しては、すでに我々はロシア 4 年間、日本 2 年間のデータを用いて、60 ヶ前後の地震に対する統計結果を発表しており、地震の 1 週間程度前に ULF 波の振幅が低下することが認められている。

これらの二現象に対する事例解析を行った。先ず、2011 年 3 月 11 日の M9 の東日本地震に対しての解析を行ったが、震央と ULF 観測点との距離が 200km 以上離れており、明瞭な前兆 ULF 放射は認められなかった。それに対して、ULF 振幅強度低下に関しては極めて有意な結果を柿岡データにて得た。即ち、真夜中前後の数時間の人工雑音の低い時間帯の ULF(0.03Hz 前後)強度の平均値が 3 月 6 日に顕著な低下を示した。即ち、磁気圏で発生した地磁気変動(地磁気振動)は磁力線に沿うアルフヴェン波として電離層を通過して地上にて受信されるが、地震前に下部電離層が擾乱を受け、地上受信の波動強度が低下するのだ。周波数は 0.03-0.05Hz にて、明瞭な前兆である。すでに、VLF/LF 送信局電波を用いた解析から、下部電離層が擾乱を受けていることを確認しており、この結果とも矛盾しない。

2011 年 3 月 11 日の東北大地震に対しては ULF 磁界変化の通常の統計的手法（例えば規格化標準偏差を用いた）では明瞭な前兆が見出せなかったが、同データに対して臨界解析を適用した。即ち、柿岡での ULF（f=0.01Hz)磁界変化に対して新種の臨界解析、Natural time analysis を適用することにより、前兆が存在することを確認した（Hayakawa et al., 2015）。従来の統計解析に加えて、地圏内での非線形破壊過程を反映する臨界解析の重要性を指摘したい。

【成果発表】

Contoyiannis, Y., S. M. Potirakis, K. Eftaxias, M. Hayakawa and A. Schekotov, Intermittent criticality revealed in ULF magnetic fields prior to the 11 March 2011 Tohoku earthquake (Mw = 9), Physica A (2016), http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2016.01.065, 2016.

Hayakawa, M., and A. Schekotov, On the ionospheric perturbation for the 1995 Kobe earthquake: revisited, Geomatics, Natural Hazards and Risk, doi.org/10.1080/19475705.2014.895965, 2014.

Hayakawa, M., A. Schekotov, S. Potirakis, K. Eftaxias, Q. Li and T. Asano, An integrated study of ULF magnetic field variations in association with the 2008 Sichuan earthquake, on the basis of statistical and critical analyses. Open Journal of

Earthquake Research, vol. 4, 85-93. http://dx.doi.org/10.4236/ojer.2015.43008, 2015.

Hayakawa, M., A. Schekotov, S. Potirakis, and K. Eftaxias, Criticality features in ULF magnetic fields prior to the 2011 Tohoku earthquake, Proc. Jpn. Acad., Ser. B, vol. 91, 25-30, doi: 10.2183/pjab.91.25, 2015.

Kamiyama, M., M. Sugito, M. Kuse, A. Schekotov, and M. Hayakawa, On the precursors to the 2011 Tohoku earthquake: crustal movements and electromagnetic signatures, Geomatics, Natural Hazards and Risk, doi:10.1080/19475705.2014.937773, 2014.

Li, Q., A. Schekotov, T. Asano, and M. Hayakawa, On the anomalies in ULF magnetic field variations prior to the 2008 Sichuan earthquake. Open Journal of Earthquake Research, vol. 4, 55-64. http://dx.doi.org/10.4236/ojer.2015.42005, 2015

Rozhnoi, A., M. Solovieva, B. Levin, M. Hayakawa, and V. Fedun, Meteorological effects in the lower ionosphere as based on VLF/LF signal observations, Natural Hazards Earth System Sci., vol. 14, 2671-2679, doi:10.5194/nhess-14-2671-2014, 2014.

Rozhnoi, A., M. Solovieva, M. Hayakawa, H. Yamaguchi, Y. Hobara, B. Levin and V. Fedun, Tsunami-driven ionospheric perturbations associated with the 2011 Tohoku earthquake as detected by subionospheric VLF signals, Geomatics, Natural Hazards and Risk, doi:10.1080/19475705.2014.888100, 2014.

Rozhnoi, A., S. Shalimov, M. Solovieva, B. Levin, G. Shevchenko, M. Hayakawa, Y. Hobara, S. N. Walker, and V. Fedun, Detection of tsunami-driven phase and amplitude perturbations of subionospheric VLF signals following the 2010 Chile earthquake, J. Geophys. Res., vol. 119, no. 6, 5012–5019, doi:10.1002/2014JA019766, 2014.

Rozhnoi, A., M. Solovieva, M. Parrot, M. Hayakawa, P. F. Biagi, K. Schuwingenschuh, and V. Fedun, VLF/LF signal studies of the ionospheric reponse to strong seismic activity in the far Eastern region combining the DEMETER and ground-based observations, Phys. Chem. Earth, Parts A/B/C, http://dx.doi.org/10.1016/j.pce.2015.02.005, 2015.

Schekotov, A., J. Izutsu, and M. Hayakawa, On precursory VLF/ELF electromagnetic signatures for the Kobe earthquake on April 12, 2013, J. Asian Earth Sci., doi:10.1016/j.jseaes.2015.02.019, 2015.

（別紙様式２－２）

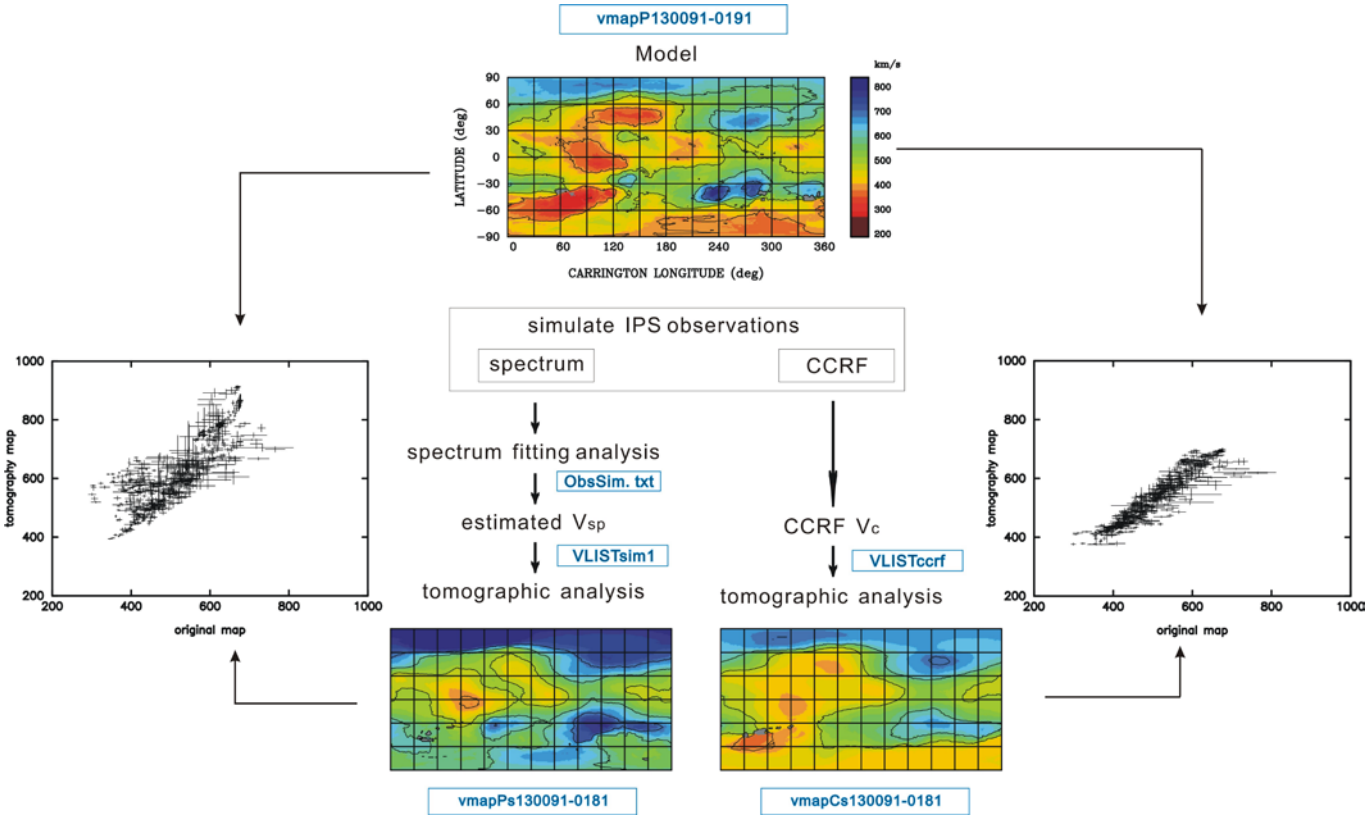
IPS観測による太陽風研究
Study of solar wind using interplanetary scintillation

小島正宜　(旧)名古屋大学太陽地球環境研究所

(1) 太陽風加速を決める太陽コロナ磁場と速度の関係を調べた以下の論文が出版された。
K. Fujiki, M. Tokumaru, T. Iju, K. Hakamada and M. Kojima, Relationship between solar wind speed and coronal magnetic field properties, Solar Phys, DOI 10.1007/s11207-015-0742-8

(2)IPS の Spectrum Fitting 法を用い太陽風速度を求める手法の評価研究の中間報告。
評価は二つの観点で行った。

① STEL で開発した多点観測相関法から求めた速度より視線積分効果を除去するトモモグラフィー解析法に Spectrum Fitting 法で得られた速度を使えるかの評価を行う。評価は、モデル太陽風（下図上段）を用い2点観測（CCRF）とスペクトル(spectrum)観測をシミュレートしてそれぞれから速度(Vc, Vsp)を求め、その速度をトモグラフィー解析プログラムの入力として太陽風速度構造を求め（下段）、もとのモデル太陽風構造がどのように再現できたか(中段)相関図)で評価を行った。



結論

ｉ. Spectrum Fitting 法で得られた速度をトモグラフィー法に応用しても多点観測相関法から求めた速度とよく似た速度構造を再現できるが、太陽活動期のような速度構造が複雑なときは Vsp を用いた場合速度が速めにバイアスされる。

ii．トモグラフィー法を用いる場合は、Spectrum Fitting 最適速度を用いずに、その速度から2点観測をシミュレートして求めた速度を利用するのが良い。

② spectrum fitting では多くのパラメータの fitting が必要である。フィットすべきパラメータ数と推測された速度の精度との関係を調べた。下表に示すようにパラメータ数が増えると spectrum fitting（σ）は良くなるが、速度の精度(CC)は悪くなる。power law index (α) と速度の2パラメータをフリーとして他のパラメターを固定してフィッティングを行うのが正しい速度値を求めるには良いことが分かった。

	Bad data number $\lvert V_{ccrf} - V_{STEL}\rvert > 200$	CC V_{ccrf} *vs.* V_{STEL}	σ Spectrum fitting	<α>	<γ>	$<S_{inn}>$
α	6	0.75	0.33±0.13	1.6±0.4	—	—
α γ	10	0.69	0.26±0.11	1.5±0.4	1.7±0.4	—
α γ φ	10	0.63	0.27±0.11	1.6±0.2	1.7±0.3	—
α S_{inn} γ	10	0.61	0.25±0.11	1.5±0.4	1.8±0.3	0.4±0.5
α S_{inn} γ φ	10	0.61	0.25±0.11	1.5±0.4	1.9±0.2	0.3±0.5

α：power law index, γ：axial ratio, Sinn: inner scale, ϕ：orientation

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 FTS(Fourier-transform spectrometer)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OSA(Optical Spectrum Analyzer)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であるRetrieval法を使って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に反映させることで、より正確な温室効果ガス量を解析できるシステムの開発を行う。

研究手法

観測地周りのGoddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC)の再解析データで点から観測地・観測時間で内挿した値から高度・気象データを算出して、さらに観測場所・観測場所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ルをシミュレートすることで観測データを解析した。

研究結果および考察

まず、解析手法を評価するため、同時に計測した国立環境研のFTSとFiber-Etalon Solar 計測器の同時観測データとを比較した。GES DISCのデータベースから3時間間隔、緯度 288、経度 144分割のMAI3CPASM(図1(1) 紫色の▼)と6時間間隔、緯度 540、経度 361分割のMAI6NPANA(図1(2) 青色の▼)それぞれのデータから見積もった。 また、インドネシアのカリマンタン島のパランカラヤにおける観測場所に対する高度・気象データは、GES DISCのデータベースから3時間間隔、緯度 288、経度 144分割のMAI3CPASM(図1(1) 紫色の▼)と6時間間隔、緯度 540、経度 361分割のMAI6NPANA

(1) つくば市国立環境研敷地内

(2) カリマンタン島パランカラヤ

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（▼）と観測点（P）

（図 1(2)　青 色 の▼）それぞれのデータから見 積もった。

国立環境研のFTSとFES−C計測器の同時観測データの解析結果を図2にインドネシア・カリマンタン島での観測・解析結果を図3に示す。

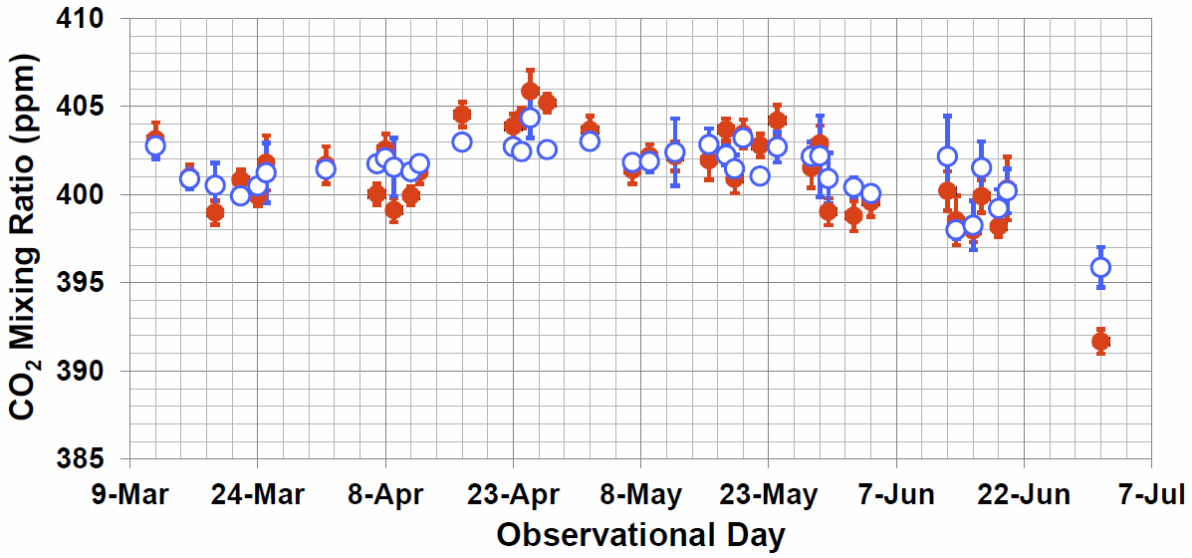


図２．FES-C と FTS の比較（衛星時間 10:00～14:00 の平均値）

赤丸 FES-C 補正値（エラー値：標準偏差) FES-C 補正値＝FES-C / (SF:0.9960)

白丸 FTS 値（エラー値：標準偏差)

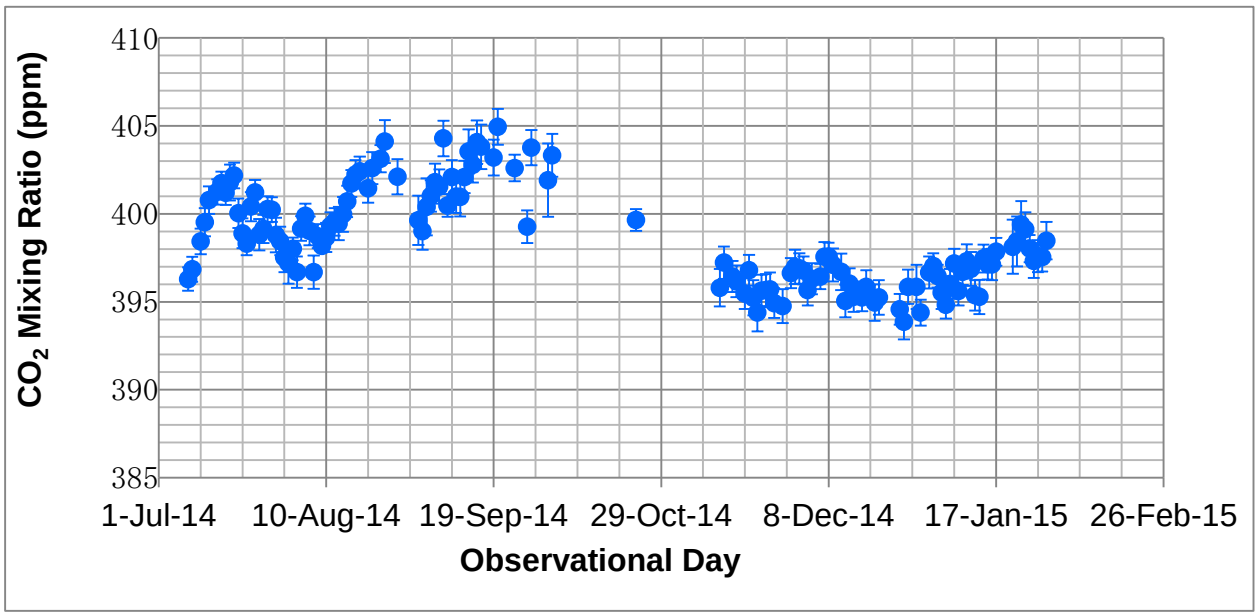


図３．インドネシア・カリマンタン島での観測・解析結果（衛星時間 10:00～14:00 の平均値）

青丸 FES-C 補正値(エラー値：標準偏差)　FRS-C 補正値＝FES-C / (SF:0.9960)

図2に示す国立環境研のFTSとFES-Cとの同時観測結果を見ると、その差の大部分が±2ppmと小さいことから、FES-Cの観測・解析手法は精度の高いと我々は考えている。図2のFES-Cの観測結果を解析した手法で、インドネシア・カリマンタン島での観測結果を解析した結果を見ると、7月中旬から少しずつ森林火災が徐々に多くなり、8月から10月にかけて大規模な森林火災が起こることで、二酸化炭素量が増大している(図3)。10月から11月は火災の煙によって太陽光がさえぎられて観測ができなくなっている。また、12月の雨季には森林火災が沈静化することによる二酸化炭素量の低下も観測されている。

今後は、松見豊教授のゾンデデータをさらに反映された気象モデルの構築により、より精度を高めた解析手法を目指す。

成果発表

学会発表

1) W. Iriana, M. Kawasaki, M. Ohashi, G. Inoue, Y. Matsumi, K. Tonokura, “Evaluation of Disturbed Peatlands CO2 Emissions by Atmospheric Concentration Measurements “, International Workshop on Air Quality in Asia (Aug. 4-7th, 2015, Bogor, Indonesia)

2) W. Iriana, M. Kawasaki, G. Inoue, M. Ohashi, Y. Matsumi, K. Tonokura, “Monitoring of Carbon Dioxide Emission from Disturbed Tropical Peatlands in Indonesia”, 日本大気化学討論会(2015年、10月19日、東工大)

磁気圏尾部大規模プラズマ対流の研究IV

Large-scale plasma convection in the magnetotail IV

中井仁，小淵沢総合研究施設

1996 年 12 月 25 日に起きた、ジオテイル衛星による磁気圏境界横断事例を詳しく解析した。図 1 は、そのときのプラズマ、および磁場観測の主な観測量の推移を示している。衛星は、11:20MLT 付近の磁気圏境界電流層（以下、境界電流層）を、3:26:00UT から約 1 分の間に、シース領域から磁気圏に向かって横断した。磁場変化から、3:27:00 以降、衛星がマグネットポーズの内側に居たことは明白である。その後の衛星の経路は、低緯度境界層（LLBL）と磁気圏本体に区分される。図 1 のパネル(d)と(e)の間に、横線でシース領域（灰色）と境界電流層（水色）、低緯度境界層（緑色）、磁気圏本体（赤色）を識別している。

図 2 に、これらの各領域におけるイオンの微分エネルギー スペクトルを示す。シース領域(a)と境界電流層(b)では、約 2keV にピークを持つ沿磁力線方向のイオンビームが観測される。低緯度境界層の(c)では、反磁力線方向に卓越する低温のイオン流が見られる。同じ低緯度境界層でも(d)および(e)では、磁力線方向のイオン流は無く、垂直成分に低温と高温の二成分が観測される。(c)の領域は外部境界層(outer boundary layer)、(d)および(e)の領域は内部境界層（inner boundary layer）と呼ばれることが多い。(e)は、磁気圏本体であることを示し、等方的な高温イオンが観測されている。低エネルギーの範囲に極低温のイオンが、両沿磁力線方向に観測されているのは、電離圏起源と考えられる。このような観測から、図 3 のような磁力線配位が推定される。外部境界層では、磁力線の一端がシース磁場に繋がっていると考えられる（図 3 の磁力線③）。

図 1 のパネル(d)は、磁場に垂直なプラズマの運動量（密度）の推移を示している。低緯度境界層内の「外部境界層」では大きな運動量が観測される。シース領域（特に磁気圏境界に接する低密度層）と比較しても、より大きな運動量をもつことが注目される。（ここでは、「外部境界層」と括弧付きで表現しているが、これらの高運動量の領域は、図 1 のように、断続的現れることから、Sckopke et al.(1981)が指摘するように、層ではなく磁束の塊（blob）として存在している可能性も否定できない。）

磁気圏への運動量持ち込みのメカニズムとしては、図 2 の磁力線③が北側の高緯度で地磁気と再結合して閉じることによって持ち込まれるか（二重再結合）、あるいは外部境界層と内部境界層との粘性的な相互作用、あるいは前者から後者へのイオンの拡散によって持ち込まれるのかは、まだはっきりしない。（ただし、筆者が調べた限りでは、二重再結合が起こったことを示す、両方向のイオンビームが観測される横断事例は稀である。）いずれにしても、IMF 北向き時の運動量の持ち込み、引いては磁気圏尾の形成に、外部境界層が主たる役割をしていることが予想される。

（補遺）　磁力線の配位を知る上で、電子の分布が判断材料の一つとなるが、本解析では、残念ながら電子のデータを利用することができなかった。図 4 は、3:25:12UT（シース領域）と 3:28:38UT（低緯度境界層）の電子(60eV)の位相空間密度の三次元分布である。観測地点での磁場の方向を線分 B で示している。前者では、磁場の方向とは関係がなく、衛星の回転軸方向および回転軸に垂直な平面上に強い分布が見られ、非常に不自然な分布と言える。後者は、磁場が南北方向に立っているので、沿磁力線方向に卓越する分布と見られないことはないが、直前の観測で不自然な分布の仕方を示しているため、解析データとしては用いることができなかった。同様の不自然さは、北向きシース磁場のときに、11～15MLT の磁気圏境界を通過した横断事例 5 例中、

すべての事例において見られた。15～18MLT では、6 例中 1 例が異常な分布を示した。図 5 は、正常と思われる分布の例である。15:45MLT 付近の横断事例である。シース領域（左図）では反磁力線方向に偏った流れが見られた。低緯度境界層（右図）に入ると、磁力線に沿って両方向に強い分布があった。これらは正常と見られる分布であるが、正午付近で現れる異常分布の原因が特定できないために、どこまで信頼できるか判断し難い。

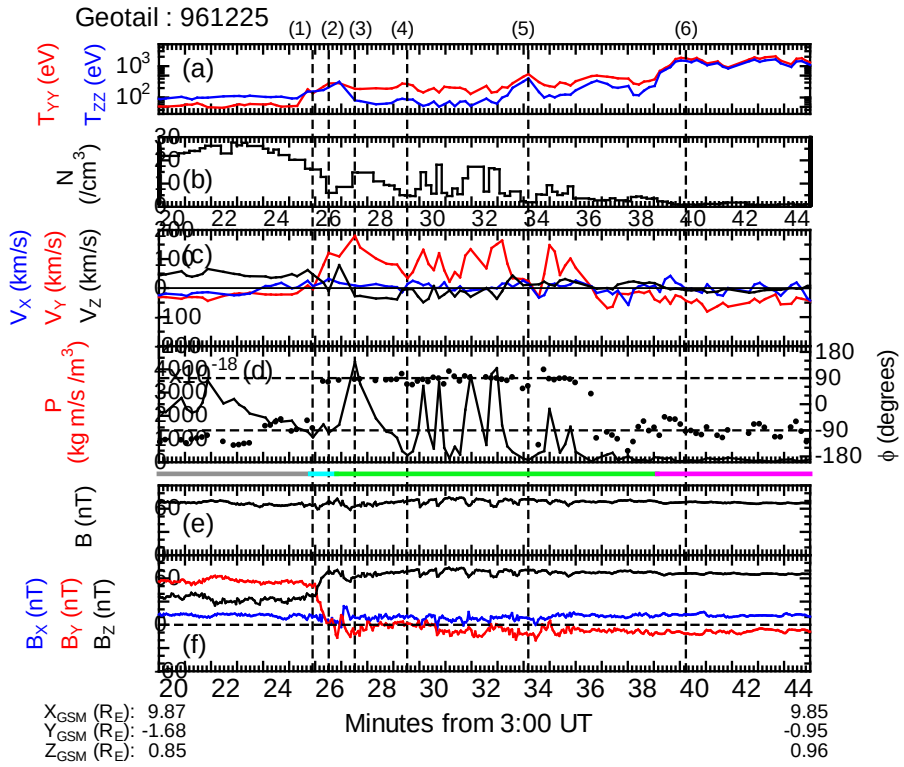


図１　ジオテイルのデータ。地色は領域の違いを表す。灰色：磁気シース、水色：境界電流層、緑色：低緯度境界層、赤色：磁気圏本体。

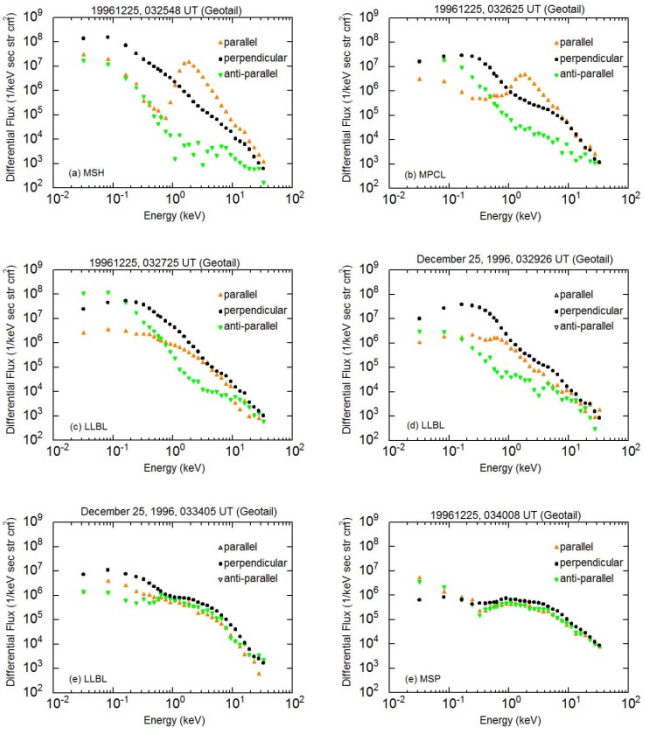


図２　各領域のイオンの微分束エネルギー スペクトル。▲磁力線平行成分。●磁力線垂直成分。▼磁力線反平行成分。(a) シース領域、(b) 境界電流層、(c)-(e) 低緯度境界層、(f) 磁気圏本体。

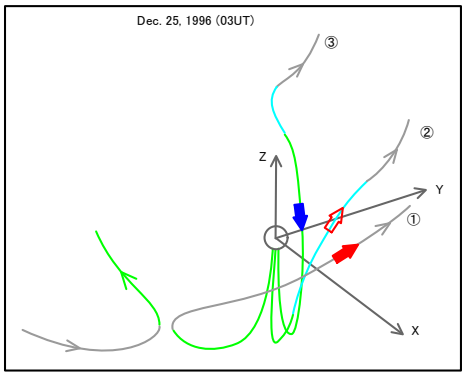


図 3　図 1, 2 から推定される磁力線の状態。曲線（磁力線）は領域ごとに色分けされている（灰色：シース領域、水色：境界電流層、緑色：LLBL）。赤矢印、および中白の赤矢印は、高エネルギーのイオン高速流の向きを示す。青矢印は、低エネルギーイオン流の向きを示す。① 南半球カスプ領域で再結合したシース領域の磁力線。再結合によるイオンビームがある。② ①の一部が境界電流層に侵入したところ。イオンビームが残っている。③ ②の一部が境界電流層の内側（LLBL）に入ったところ。シース領域から磁力線を伝って低エネルギーイオンが侵入してきている。

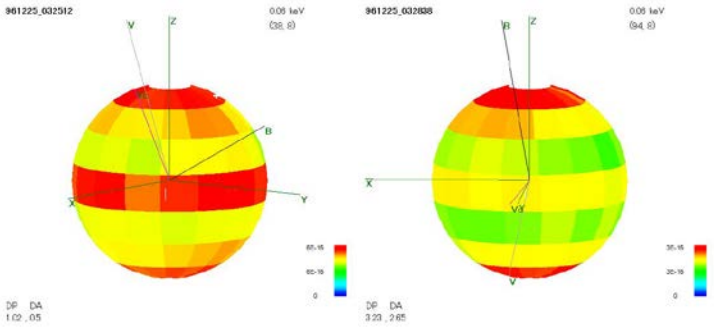


図 4　1996 年 12 月 25 日、磁気圏境界通過前後の電子位相空間密度（60eV）の三次元分布。（左）03:25:12UT、（右）03:28:38UT。

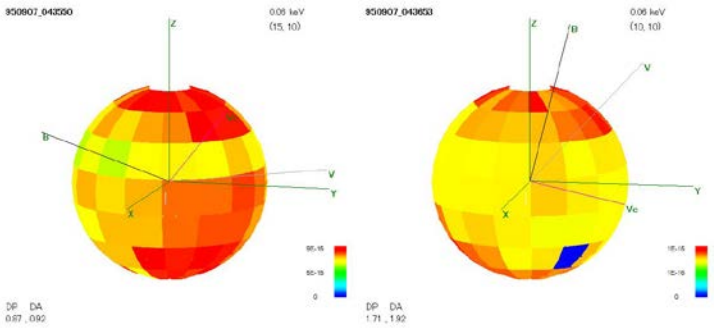


図 5　1995 年 9 月 7 日、磁気圏境界通過前後の電子位相空間密度（60eV）の三次元分布。（左）4:35:50UT、（右）4:36:53UT。

（別紙様式2－2）

大気微量成分の樹冠内分布とその変動要因の研究

Within-canopy distributions of atmospheric minor constituents and their temporal variations

髙橋　けんし　京都大学・生存圏研究所

【はじめに】 下層大気における物質交換過程は、気候変動をはじめとする環境変動の解明と将来予測を行う上で、キーとなるプロセスを含んでいる。例えば、微気象学的手法などを用いた大気―森林の物質交換過程の研究は、グローバルな温暖化に対する問題意識の高まりと相まって、現在の炭素循環研究の重要な柱となっている。また、森林生態系から下層大気へ放出される微量物質は、二次有機エアロゾルの生成を通じて、太陽―地球系の放射バランスに重要な役割を担っていると考えられており、それらの動態を探る研究もまた、重要な課題となっている。下層大気と森林との物質交換を探るには、いくつかのアプローチが提案されているが、とりわけ樹冠内における物質変動の探査技術は確立されているとは言い難い。本研究では、下層大気の化学的動態の変動に着目し、大気微量成分（ガスおよび粒子状物質）の時空間分布を精細に描写する新しい大気計測手法を開拓することを目指した。

【27年度の成果】 平成27年度は、東京都八王子市にある東京農工大フィールドサイエンス多摩丘陵(35º38′ N, 139º23′ E)の森林小流域において、30 mの微気象観測用タワーをプラットフォームとして活用し、エアロゾル粒子の個数濃度と粒径分布の鉛直立体分布を捉えることを目指した。走査型粒径分布測定器(SMPS)および光学式粒子計数器(OPC)を、26年度の本課題で独自に開発したスイッチング電磁弁制御システムと組み合わせることにより、ナノ粒子から粗大粒子までの粒径分布を、樹冠内外の鉛直方向で観測する方法を考案した。測定器は、1m, 15 mおよび23 mの各高度に一台ずつ設置し、プログラム制御した電磁弁で合計5つの測定高度の切り替えをシーケンシャルに行った。その結果、OPCを用いたサブミクロンサイズのエアロゾル粒径分布では、樹冠近傍および林床付近で特徴的な粒径分布をすることが分かった。特に、そうした現象が相対湿度の高い状況下で出現しやすいことも分かってきた。現在、詳細な解析を進めている。

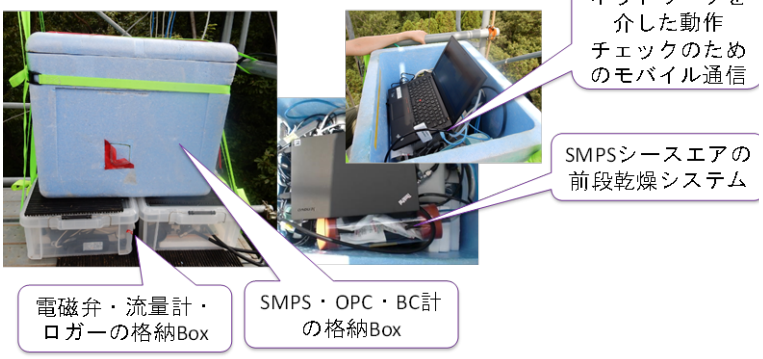


図１　観測装置の設置状況

（別紙様式２－２）

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】東アジア地域の人為活動が活発になり、大気汚染物質の発生源である都市域だけでなく、大気汚染物質が長距離輸送して近傍に発生源を持たないリモートな地点に影響を及ぼすことが懸念される。また、都市域の大気汚染物質の底上げをしていることも考えられる。とくに対流圏オゾン(O_3)の増加は光化学オキシダント注意報が発令されるなど人体に影響があるたけでなく、比較的低濃度での濃度上昇でも植生（食糧生産）への影響がある。また、O_3は短寿命ではあるが地球温暖化物質でもある。O_3は窒素酸化物(NOx)と揮発性有機化合物(VOC)を含む汚染大気に日射があたることで生成するが、これらの大気汚染物質と一緒に排出される一酸化炭素（CO）は大気中で1-2ヶ月の寿命があり、汚染大気のトレーサーとなる。本研究はこれらの物質をリモート地点で長期間測定し、季節変動や長期変動についての情報を得ることを目的としている。

【測定・結果】北海道の名古屋大学母子里（北緯44.4°東経142.3°）にてCOとO_3の地表濃度の自動連続測定を行った。COはThermo Environmental InstrumentsのModel48C, O_3はDylecのModel1100で測定した。水蒸気や温度による影響があるため、CO計には一時間ごとに触媒でCOを除去したガスを導入し(Thermo Environmental Instruments Model96)、ゼロ点の補正を行った。また週に一度の頻度で金属容器に大気サンプリングを行い、濃縮装置(Entech7000)とGC-FID(Agilent6890)により炭素数２から10のVOCの濃度をそれぞれ分けて分析を行った。また、他のリモート地点として能登半島の珠洲（北緯37.56°東経137.4°）、沖縄の辺戸岬（北緯26.9°東経128.3°）においても同様な測定をおこなっているので、比較を行った。

図1に3地点でのエタンの平均濃度季節変動を示す。冬に高く、夏に低い季節変動が見られる。VOCの大気中からの除去はOHラジカルとの反応が主となるため、日射により生成するOHラジカル濃度変動の逆の季節変動になる。また、母子里が一番高濃度となっているが、高緯度のほうが日射が弱くOHラジカルが少なくなり除去反応が遅いためだと考えられる。

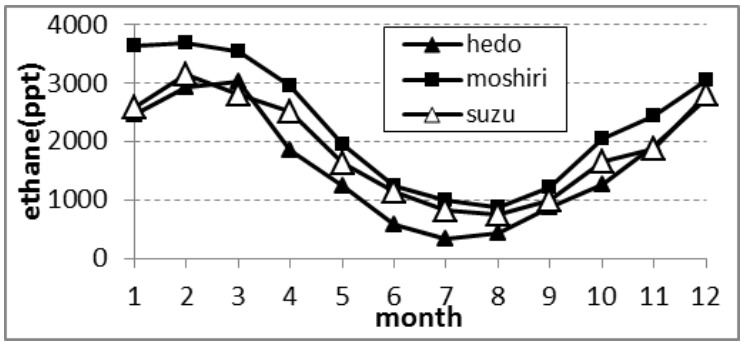


図１　３地点でのエタンの平均季節変動

図２に他のVOCについての平均濃度の比較を示す。エタンに比べ他のVOCはOHとの反応速度が速いため、平均濃度はエタンより小さくなっている。また、VOC平均濃度は他の物質でも母子里が高くなっている。人為起源のVOCではOHラジカルとの反応速度定数の逆数と平均濃度で相関がみられた。ただし、イソプレンは植物からの放出が大きな発生源であるため、沖縄で高くなっていた。

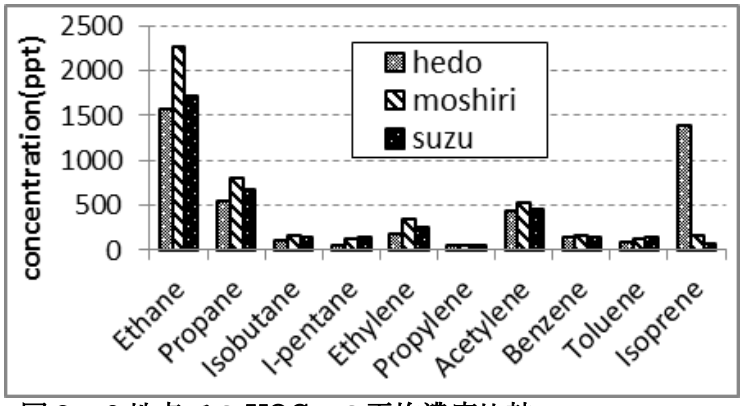


図２　３地点でのVOCｓの平均濃度比較

（別紙様式２－２）

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

藪下 彰啓、九州大学・総合理工学研究院

研究目的

自然界における炭素の安定同位体は^{12}Cが98.89%に対して^{13}Cが1.11%存在している。しかしこの同位体比は試料の起源や周囲の環境要因などによりわずかではあるが変化する。大気には、生物の呼吸、海洋由来、また化石燃料の燃焼といった様々な排出源からCO_2が排出されており、各排出源により安定同位体の存在比が異なるためである。そこで安定同位体比の連続的な計測を行えば、CO_2の排出源や吸収源が推定できるようになり、CO_2大気循環についての情報を得ることができる。

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

研究方法

1年目(平成26年度)にキャビティリングダウン分光法(CRDS:Cavity Ring-Down Spectroscopy)を用いて、2009 nm付近の$^{12}CO_2$と$^{13}CO_2$のリングダウン信号を得ることができた。

平成27年度は、キャビティ長を安定に制御するために、ピエゾ振動素子(PZT)にPiezomechanik社製の円筒型のものを用いた。これまで用いてきた3点支持のマイクロメーターに内蔵されたタイプのPZTに比べて、より平行にミラーが運動することでキャビティの安定化と、長時間の安定動作を期待して導入した。円筒型PZT導入に伴い、新たにミラーホルダーを設計・製作した。このミラーホルダーにより、これまで直径1/4インチのミラーを用いなければならなかったが、直径1インチのミラーを用いることができるようになった。

研究結果と考察

図1に円筒型PZTと従来のPZTを用いたときのミラーから放出された光強度の変化を示す。スパイク状の線がミラー後面から放出した光強度で、各ピークはPZTが動作しキャビティ長がレーザー光の波長の整数倍に一致するに従い光強度が増加し、一致した点で光強度が減衰す

る様子を示している。三角波はPZTを駆動する三角波で矩形波はある一定の閾値を示した時のTTLパルスシグナルである。円筒型ピエゾを用いた方が光強度のピーク値が高く安定して検出されている。また、1つ1つのピークの立ち上がりが鋭く、PZTが安定に平行移動していることがわかる。円筒型ピエゾを用いることで、光検出のSN比の向上や時間当たりのデータ取得数の増加をという結果を得られた。これらに伴い光路調整のし易さという実験上のメリットも得られた。

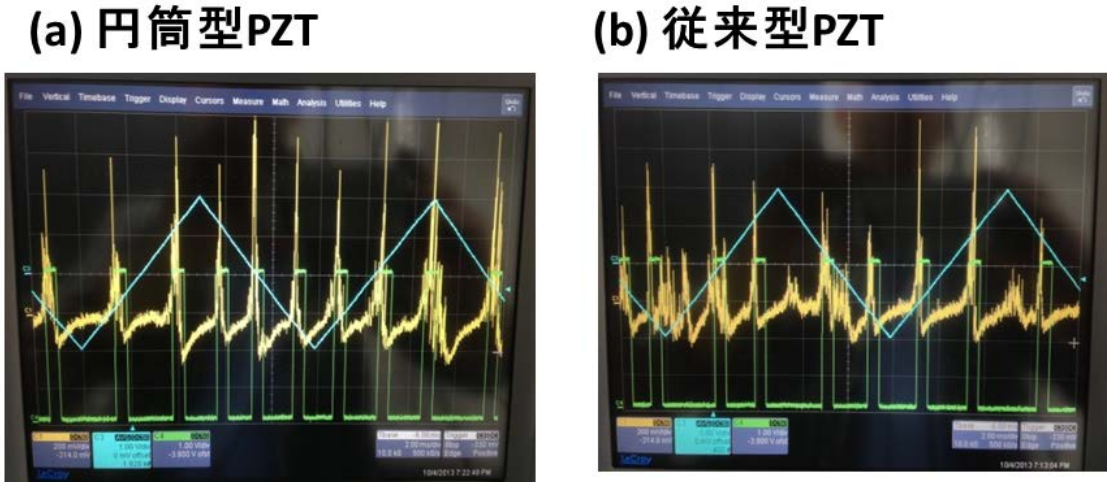


図 1 光強度検出

（別紙様式２－２）

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 mete or radar and Na lidar

堤　雅基　国立極地研究所・宙空圏研究グループ

目的

本研究は、北極域Tromsoeにおいて名古屋大学が運用するナトリウムライダーと、極地研の運用する流星レーダーの観測データを元に、中間圏下部熱圏域(MLT領域)において主に大気重力波の解析手法を開発することを目的とする。さらに本目的のために、H27年10月より、Tromsoeより東に160km程度の距離にあるAltaに設置された名古屋大学流星レーダーも併用する。

検討内容・成果

ナトリウムライダーはMLT領域の大気の絶対温度が観測できる。一方、全体流星レーダーからも、エコー強度の減衰時定数から推定される両極性拡散係数をもとにした温度情報が得られるが、いくつか仮定が必要であるなど未熟な点が多い。しかしライダーと違って天候・昼夜を問わず観測可能である利点がある。拡散係数を利用した大気温度推定手法には主に重力波を中心した温度変動を対象とするTsutsumi et al.[1994; 1996]の手法や、より長周期現象を主なターゲットに絶対温度を推定するHocking et al.[1999; 2004]などの手法がある。本研究では、両者を組み合わせた温度観測手法の開発・改良を目指し、ナトリウムライダーでの観測と比較しながら重力波解析の検討を進めた。本共同研究に基づいて、大気重力波研究のためにH28年度科研費萌芽研究に代表者・堤、共同研究者・野澤として応募した。

また、大気重力波の水平構造をTromsoeとAltaの２つのレーダーの共通視野内で可視化する手法を検討した。水平分解能は大気光イメージャーに比べれば劣るが、イメージャーからは測定できない風速場の水平非一様性が小型レーダー2点観測から得られた。本検討内容は、H28年5月末から開催されるMulti-static Meteor Radar Workshop (MMR)において発表予定である。

https://www.iap-kborn.de/1/current-issues/workshops/multistatic/

研究発表

Long term meteor wind radar observations in Arctic Norway, Masaki Tsutsumi and Chris Hall, the Fourth International Symposium on the Arctic Research, Toyama, April 2015.

ノルウェー北極域における長期流星レーダー観測、堤雅基、Chris Hall、日本地球惑星科学連合 2015 年大会、幕張、2015 年 5 月.

フーリエ変換型分光計で観測された大気微量成分高度分布の変動
Temporal variations of profiles of atmospheric trace species observed with Fourier transform spectrometer

東北大学大学院環境科学研究科　村田　功

東北大学と国立環境研究所では、国立環境研究所所有の高分解能フーリエ変換型赤外分光計(FTIR)を用いて、つくばにおいて1998年12月よりオゾンをはじめとする大気微量成分の地上観測を行っている。

今回報告するCH_4はCO_2に次ぐ温室効果気体であるが、発生源である水田、家畜、化石燃料、湿地等のそれぞれからの寄与やその変動に関しては不明な点も多く、地表付近の濃度の増加率が年によって大きく変動する原因もよく分かっていない。地表付近の観測などでは20世紀後半の増加が2000年代に入ってしばらく止まっていたが、近年再び増加傾向が見られ注目されている。

FTIRの観測は太陽を光源とするため晴天日に限られるが、高いS/Nと0.0035 cm^{-1}という高波数分解能により高度分布の導出が可能である。高度分布導出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SFIT2を使用している。CH_4の解析では3 μm付近の3つの吸収帯(2613.7 - 2615.4 cm^{-1}、2835.5 - 2835.8 cm^{-1}、2921.0 - 2921.6 cm^{-1})を同時にフィッティングしている。

解析した2001年から2014年までの日平均CH_4カラム全量をみると、日々変動や季節変動もかなりあるが、経年変化については2001年から2006年頃まではほぼ一定値を示していたものが、2007年から2008年にかけて増加し、その後再び2009年から2014年にかけてはほぼ一定値を示した(図1)。CH_4は主に対流圏に分布するため、カラム全量では対流圏界面の変動と相関が出やすいと考え、館野のラジオゾンデ観測値から対流圏界面高度を調べてみたが、こちらには2007年前後に有意な経年変化は見られず、対流圏の層の厚みの変化によるもの

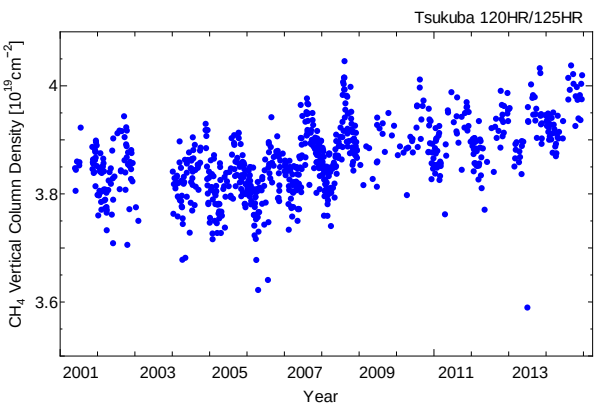


図 1. CH_4 カラム全量の経年変化

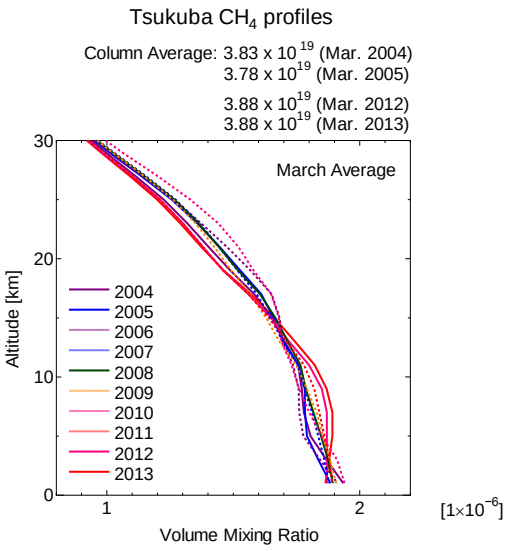


図 2. CH_4 高度分布の経年変化（3 月の例）

ではないことが分かった。一方、図2に例を示したように導出した高度分布の経年変化を見てみると、対流圏の混合比は2007-2008年の前後で増加しているのに対し、成層圏ではあまり変わらなかった。そこで、0-10kmの対流圏カラムと10-20kmの下部成層圏カラムを見てみると、2007-2008年を挟んで増加したのはやはり対流圏のCH_4であることが分かった(図3)。

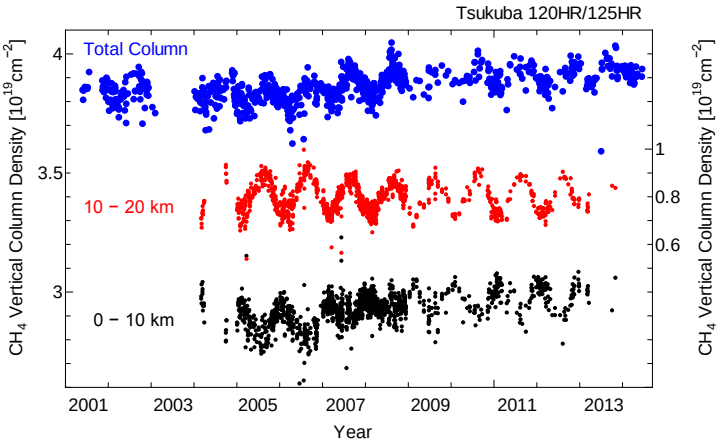


図 3. CH_4 対流圏カラム(0–10 km)と成層圏カラム(10–20 km)の経年変化

<成果発表>

村田　功, 中島　英彰, 森野　勇, FTIRで観測されたつくばにおけるメタンの経年変化, 日本地球惑星科学連合2015年大会, 幕張, 2015年5月.

Murata, I., H. Nakajima, and I. Morino, Temporal variation of methane profile observed with FTIR at Tsukuba, NDACC Infrared Working Group Meeting, Toronto, Canada, June, 2015.

村田 功, 中島 英彰, 森野 勇, フーリエ変換型赤外分光計で観測されたつくばにおけるエタンの経年変化, 第21回大気化学討論会, 東京, 2015年10月.

（別紙様式2－2）

地球磁場減少に伴う、超高層大気変動の研究

Change of Upper Atmosphere Environment in associated with the decreasing of Geomagnetic Field

巻田 和男　拓殖大学　工学部(元)

(1)研究目的

南大西洋磁気異常帯に入射している高エネルギー粒子の時空間的ふるまいを調べるため、20年ちかくにわたり、ブラジル赤道域からアルゼンチン、チリ及びブラジル南極基地までの10数か所にリオメーター等を設置し、研究観測を行ってきた(図1)。

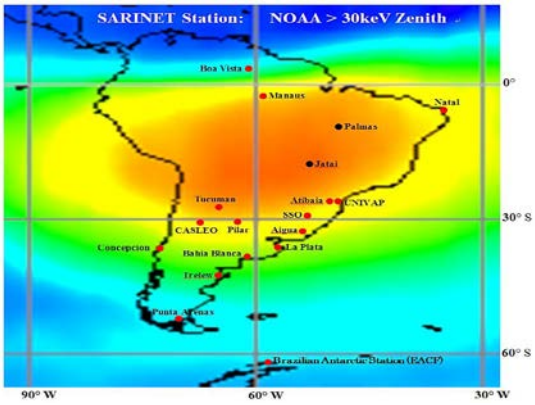


図1
南米大陸の赤道域から極域までの領域に設置された、リオメータの観測点を示している。この観測網はSouth America Riometer Network (SARINET)と名付けられ、このうちの 7 か所にはイメージングリオメータや電場計も設置され、観測を行っている。

(2)研究方法

2015年にはアルゼンチンとブラジルとの中間地帯のウルグアイにリオメータを新設した。観測所はAigua Observatory (34.2° S, 54.4° W)でInstituto de Ciencias Geol ó gicas, Universidad de la Rep ú blica, Uruguayの所属で，インターネット回線があり、日本からのアクセスも可能である。

(3)解析データの要約と考察

観測は2015年10月より開始され、連続してデータが収集されている。観測データの1例を図2に示してある。観測所はモンテビデオ市内から150kmほど離れた山中にあり、周辺の人工ノイズは少なく、良好な観測環境にあると言える。

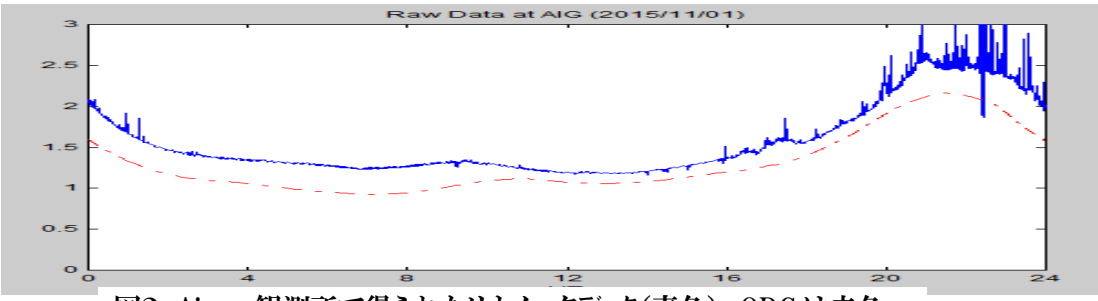


図2　Aigua 観測所で得られたリオメータﾃﾞｰﾀ(青色)、QDC は赤色

この観測所は山中にあり光の観測に適しており、宿泊施設も備わっているため、夜間の光学観測が可能である。この観測所はブラジルのサンタマリア観測所(SSO)にも近く、2点間での比較観測を行えるため、2016年にはここにCCDカメラを設置し、光学観測を行うことを計画している。

(4)研究発表

特になし

（別紙様式２－２）

地球内部磁気圏グローバルモデルと波動粒子相互作用素過程シミュレーションとによるコーラス放射励起領域の研究

Study of spatial/time evolution of the generation region of whistler-mode chorus by global magnetospheric model and PIC simulations

加藤雄人、東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻

・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。本共同研究は、コーラス励起過程を再現する素過程シミュレーション結果に基づき、グローバルモデルへ非線形相互作用の効果を取り入れる手法を確立することを目的とする。

・研究方法

内部磁気圏赤道領域におけるkeV帯の電子のダイナミクスを解くグローバルモデルと、PIC法を用いて波動粒子相互作用を解き進める素過程シミュレーションとの連携計算を実施する。具体的な連携計算としては、素過程シミュレーションの結果に基づいて得られた非線形相互作用の閾値計算モジュールをグローバルモデルに組み込む方法（連携計算１）と、素過程シミュレーションの初期条件にグローバルモデルの結果を用いる方法（連携計算２）とを検討する。連携計算２は、連携計算１の検証にも用いられる。本課題により、内部磁気圏においてコーラス放射の励起過程ならびに相対論的電子加速の生じる領域の時間・空間発展を定量的に議論することが可能となる。

・研究結果

本研究課題の成果は以下の通りである。

まず、連携計算１で用いる閾値計算モジュールの実装を完了した。これにより、磁気嵐時の内部磁気圏のどの領域でホイッスラーモードの線形成長率が卓越し、その後非線形段階に至る可能性があるかを議論することが可能となった。また、連携計算２で用いる、互いの計算結果を繋ぐモジュールの開発が完了し、初期結果を得た。まずグローバルモデルの結果から高エネルギー電子の速度分布の温度異方性が卓越する領域を探索し、プラズマポーズ外縁部での速度分布と、背景プラズマ密度ならびに背景磁場強度を調べた。その結果から、線形成長率が卓越する領域でのパラメータを選択し、初期条件として用いて素過程シミュレーションを実施した。シミュレーション結果ではホイッスラーモード波動が励起するこ

と、その成長率はグローバルモデルでの計算結果と一致することが確かめられ、開発したモジュールが有効に機能することが確認された。本研究課題によって、グローバルモデルの中で非線形波動粒子相互作用がいつ・どの領域で発生し得るかを評価する手法が確立された。今後は開発した手法をさらに発展させると共に、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研究が期待される。

・成果発表

- Katoh, Y., Y. Omura, Y. Miyake, H. Usui, and H. Nakashima, Simulation study of dependencies of the generation process of whistler-mode chorus and hiss-like emissions on temperature anisotropy of energetic electrons, Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 12th Annual General Meeting, Singapore, 2 – 7 August, 2015.
- Katoh, Y., Simulation study of the propagation of whistler-mode chorus emissions and the pitch angle scattering of energetic electrons in the Earth's inner magnetosphere, Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 1２th Annual General Meeting, Singapore, 2 – 7 August, 2015.
- Katoh, Y., Y. Omura, Y. Miyake, H. Usui, and H. Nakashima, Electron-hybrid simulations of the generation process of whistler-mode emissions, ISSS-12, Prague, Czech Republic, 3-10 July, 2015.
- Katoh, Y., Y. Omura, Y. Miyake, H. Usui, and H. Nakashima, Dependencies of the Generation Process of Whistler-Mode Emissions on the Kinetic Energy of Anisotropic Electrons in the Earth's Inner Magnetosphere, American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco, USA, 14-18 December, 2015.
- Katoh, Y., Y. Omura, Y. Miyake, H. Usui, and H. Nakashima, Dependencies of the generation process of whistler-mode emissions on temperature anisotropy of energetic electrons, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 千葉, 5 月 24- 28 日, 2015.
- Katoh, Y. and K. Fukazawa, Study of whistler-mode chorus in the Jovian magnetosphere by electron hybrid and MHD simulations, 第 138 回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, 東京, 10 月 31 日-11 月 3 日, 2015 年.

（別紙様式２－２）

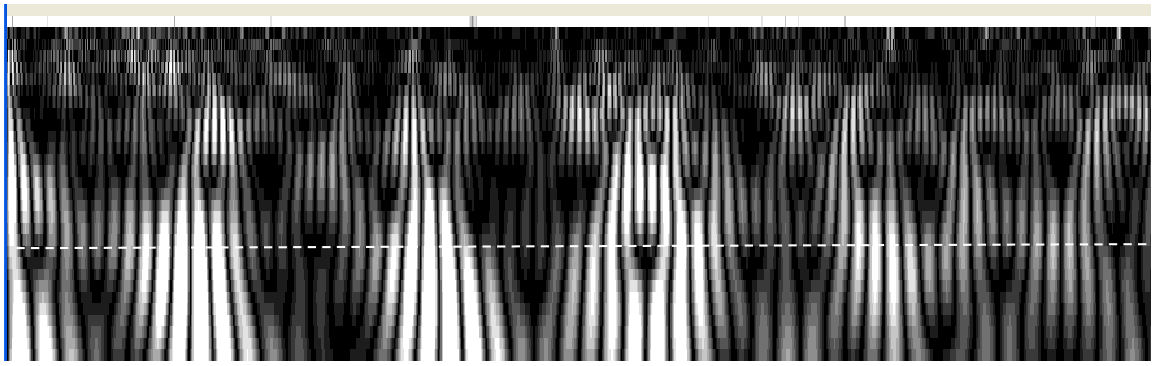
太陽活動の地球気候への影響の研究

Study of the effect of solar activity on the global climate

村木　綏(名大 ISEE)、光谷拓美（奈良文化財研）、柴田祥一(中部大)

太陽活動が地球の気候にどのようなプロセスを通して影響を与えているのかという研究課題は、太陽地球環境研究所の主要な設立目的のひとつである。Lean and Rind は、太陽活動は極大期と極小期で、約 0.5K の気温変動差を中緯度帯にもたらしていると報告している [1]。

我々は樹齢約 2,000 年（64CE-1988CE） の屋久杉の年輪幅を周期解析した。その結果 Grand Minima と呼ばれている Oort, Wolf, Spörer, Maunder, Dalton の各太陽活動極小期に、屋久杉の年輪幅が 11 年と 20~30 年周期の周期で変動している事実を突き止めた（**図１**）。



1000 Oort Wolf Spörer Maunder Dalton 1988

図１． 屋久杉の年輪幅に見られる周期性。 上端が周期 1 年、下端が 30 年に対応。点線は 20 年周期に対応している。 詳細は論文[1]を参照のこと。

変動理由を探るために 1938-2013 年に屋久島で測定された気象データを周期解析した。その結果、気温や水蒸気量は 75 年間を通して一定であったが、**日照時間**に 11 年変動や 24 年変動の存在が認められた（**図２**）。

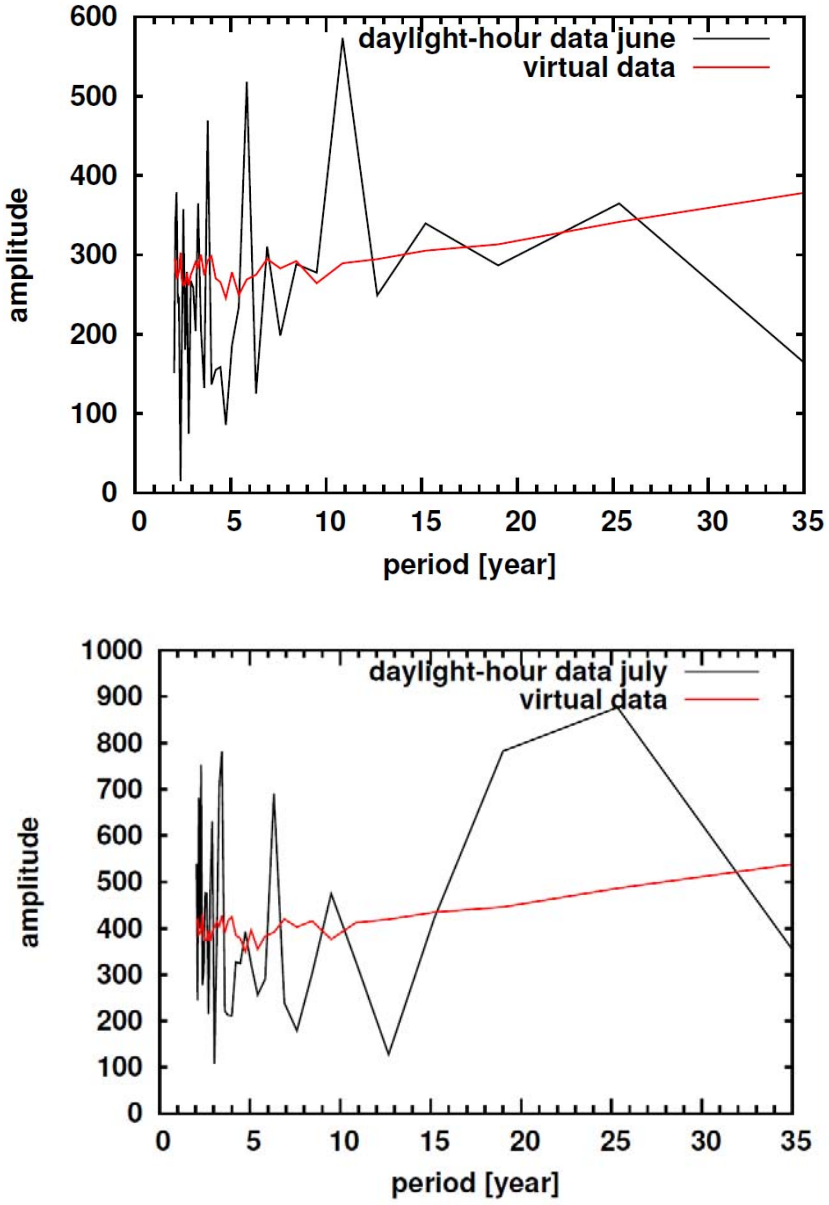


図２．　75 年間の屋久島の日照時間に対する Fourier 周期解析結果。
図の赤色横線は background に対する周期解析結果。上図が 6 月の data に対する Fourier 解析結果で下図が 7 月の data に対する結果。

木の生長は、光合成により支配されており、光合成を制御する要素として、水、気温、日照の 3 要素がある。屋久島は周囲を黒潮が流れており、年平均気温は一定で、かつ降水量は多く水不足の状態ではない。屋久杉は比較的標高の高い場所に生えており、環境の変化が微妙に屋久杉に影響を与える地点に存在している。これらの状況から判断して、屋久杉年輪幅に見られた 11 年周期は日照時間の変動に起因していると結論した。雲量の変動が木の年輪幅に反映されていると考

える。屋久島上空の雲の生成過程が太陽活動の影響を受けていると考えざるを得ないのである。木の生長率に記録された 11 年変動は太陽活動の変動を反映したものであろう。

雲の生成に太陽活動が影響を与える原因として、宇宙線による雲核形成説が有力視されていたが、最近の chamber 実験では flux が 1 桁ないし 2 桁不足しているようである[2,3]。　宇宙線量の変動が原因でないとすると、紫外線変動にその原因を求めざるを得ない。

我々はさらに 1907-2013 年に八丈島で観測された気象データに対して周期解析を試みた。その結果屋久島と同様の結果が得られた。すなわち気温や水蒸気圧には周期性が見られないのに対して、日照時間に 11 年周期や 24 年周期が現れたのである。八丈島も黒潮が流れていることを考えると、この結果は理解できる。とりわけ重要なことは、11 年周期は梅雨の 6 月に強く表れ、24 年周期は太平洋高気圧が張り出す 7 月、8 月に強い信号として出現することである。八丈島の記録は 1907 年からのもので大変貴重なものである。これらをまとめて論文に発表する[4]と同時に、2016 年 1 月名古屋大学で開催された、太陽地球環境予測国際シンポジウム（代表者：草野完也）でもポスターにて発表した（**図 3**）。

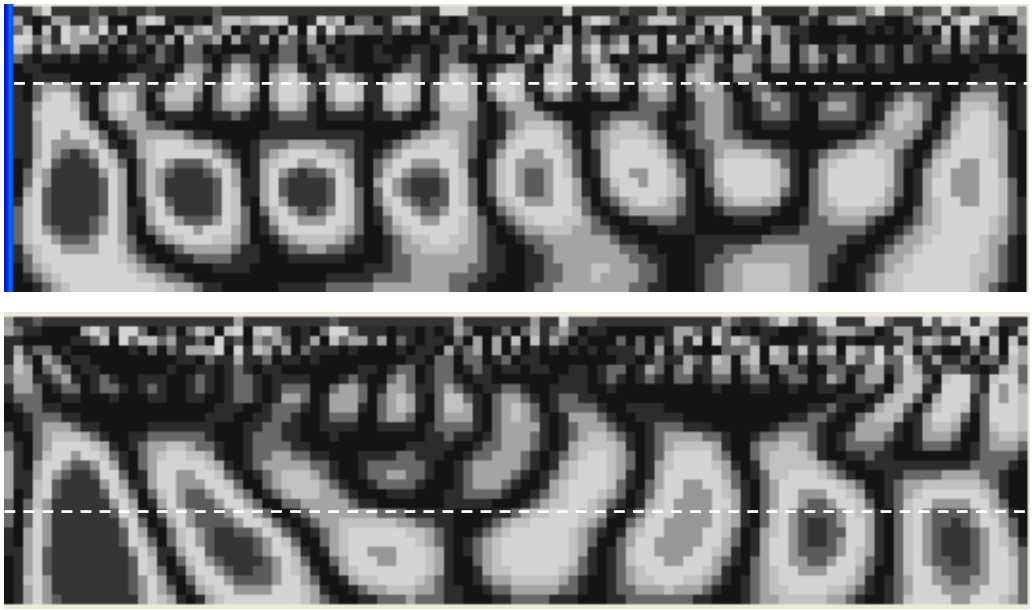


図 3．八丈島の日照時間に対する、wavelet 解析結果。使用した wavelet は Morlet 型の wavelet で実数である。複素数の wavelet、 cmor を使用すると Matlab による解析で良く見かける線状の連続 plot が得られる。　上端が周期 2 年、下端が 3 0 年、横軸は左端が 1907 年、右端が 2013 年に対応している。
上図に描かれている点線は周期 11 年に対応している。また下の図に描かれている点線は周期 20 年に対応する。

ここで今後の研究に係る点を整理しておく。

（1）どのような過程でもって紫外線変動が雲生成に影響を与えているのかを解明することが重要である。紫外線変動に伴う成層圏のオゾンや NOx 生成変動が、対流圏までどのように上層大気から下層大気に伝わってきているのか？紫外線が強いと水蒸気が減少するのか？　243nm や 260nm の紫外線は水分子の中の H-O ボンドや H-H ボンドの共有結合エネルギー(4.75eV, 5.08eV)に対応しており、水分子は紫外線を共鳴吸収して、水の分子が原子に分解されることが予想される。するとオゾンが生成され、そのことは水蒸気量をどう変動をさせるのか？　特に微小なエアロゾル（**エイトケン粒子**）に付着した少数の水分子は紫外線で水素と酸素原子に分解され、エアロゾルからもぎ取られるのではないか？　そのため、紫外線が強いと雲粒子核(CCN)の雲への生長が遅れるのではないか？　このような可能性を簡単な chamber 実験で一つずつ確認していく必要がある。　今までの chamber 実験は海塩粒子とか、砂漠の砂塵のようなエアロゾルを含んだ実験はされていない[2]。それらを含んで紫外線との係りを調べる必要があるのではないか？このようなことが次の研究ステップとして考えられる。

次に（2）、年輪変動に 11 年変動は含まず約 20 年周期の変動が長く継続した期間がある。280-340CE, 390-430CE, それに 800-880CE である（**図 4**）。

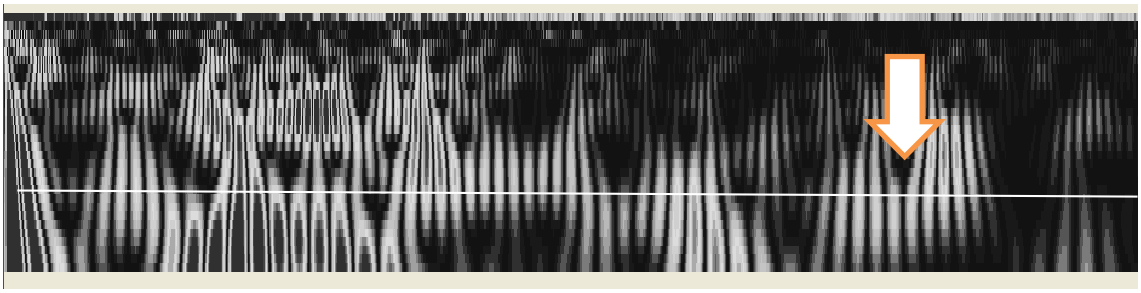


図 4．屋久杉 64-1000 年間の wavelet 解析結果。上端が 2 年、下端が 30 年に対応している。図中の点線は 20 年周期、実線は 10 年周期に対応。白い矢印は問題にしている 800-880CE に出現した周期の期間に対応。

特に後者は、C14 が異常に増加した 774 年より少し後で出現している。　774 年の宇宙放射線異常増加年が trigger して何かの気候振動現象が起こったのであろうか？　振動の始まった時期が 25 年ほど後方にずれているので、異なる原因に基づいて発生している可能性が高い。太陽活動でないとすると、その原因は何か？　たまたま木の年輪にこのような特徴が表れただけなのか？

この疑問に対してここで２つの仮定を紹介したい。　一つは火山噴火である。赤道上の火山が噴火して、大量のエアロゾルが上空に巻き上げられ、それが赤道固有の**熱帯ハドレー循環**で北緯・南緯３０度帯に輸送された。その結果太平洋の20年周期変動を増幅し、雲量の生成に影響を与えた可能性である。実際800CEにパプアニューギニア領のビスマルク火山群の一つである、Dakatauが爆発している。ただし火山噴火の規模はVEI 6でそれほど大きくはない。しかしこの規模の推定は確かなものではない。

だが次の反論がおこるであろう。フィリピンのPinatubo火山が噴火した時(VEI 6)は、噴火による大気混濁等の影響は数年で消えてしまったではないかと。果たして80年間も火山活動の影響が気候変動として継続するのだろうかという疑問である。しかし火山の場所がPinatuboと異なりDakatauは正に赤道直下(5°3'20"S 150°6'30"E)に位置し、もし亜硫酸ガスが長期間大気中に放出されたら、ハドレー循環で運ばれた硫酸エアロゾルが原因で中緯度帯が寒冷化した可能性があるのではないか？　火山噴火は気候振動の起爆剤(trigger)になるのかもしれない。

別の観点は、屋久杉に記録された周期性は単なる偶然であるという意見である。しかしながら、ここで重要なデータを紹介したい。それは3500年間に及ぶスイス氷河の拡大・縮小の記録である[5]。その記録による400-650CEの時期、スイス氷河の長さはWolf極小期やMaunder極小期と同じく位長く伸長していた。また800-900CEの時期は、スイス氷河はOort極小期と同じくらいまで長く進展していた。　800-900CEの屋久杉の年輪幅の変動は、スイスアルプスが位置する中緯度帯が寒冷化して大量の降雪があったことと共通の、globalな原因によるのではないだろうか？　何らかの理由で一時的に地球の気温が低下した可能性がある。　屋久杉年輪に出現した周期性をこれは単なる偶然であると片づけてしまうことはできないと考える。

感謝：議論をしていただきました、環境学研究科の柴田　隆先生、長田和男先生に謝意を表します。

Reference

1) Lean, J.L. and Rind, D.H.; Geophys. Res. Lett., 35 (2008) L18701.
2) Kirkby J. et al., Nature 476 (2011) 429.
3) 井澤雄貴；名大宇宙線研究室記事　48-2 (2012) pp85-154.
4) Muraki, Y et al.; Earth Planets and Space, 67 (2005) 31.
5) Holzhauser, H., Magny, M., and Zumbühl J.; The Holocene, 15-6 (2005) 789.

（別紙様式２－２）

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・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 11 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，これまでに導入を行ってきていたネットワーク経由で観測 PC の状態を監視するシステムを活用し，観測の不具合などへの対応が十分にできている．また，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 全天イメージャの同時観測を行ってきている．また，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，ポーラーパッチの広域構造に関する興味深い同時観測事例が得られている．これらに加えて，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た．今後は，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 3 次元的に明らかにしていく予定である．

★ 研究成果

磁気嵐時に，極冠パッチを OMTIs 全天イメージャと京大/電通大スバールバルイメージャによって同時に観測した事例について，GPS 全電子数観測や SuperDARN のデータを組み合わせて解析した．この 2012 年 1 月 22 日の事例においては，昼間側に位置するレゾリュー

トベイの OMTIs イメージャが極冠パッチに伴う大気光増大領域を観測し，京大/電通大スバールバルイメージャは，真夜中から朝側にかけての時間帯において，同時の大気光の増大領域を観測した．この時間帯に，GPS 受信機網によってグローバルに導出された全電子数マップから，極冠域を昼間側から夜側へと伝搬する高密度プラズマが存在していたことが明らかになっている．大気光に見られる極冠パッチと GPS 全電子数増大領域の間には，良い空間的対応があり，GPS 全電子数観測が極冠域電離圏における電子密度分布の広域モニタリングに活用できることが分かった．また，極冠域を観測する 2 台の SuperDARN レーダーによって，極冠パッチに伴って発生するプラズマイレギュラリティからの散乱波を観測し，極冠パッチの全域においてプラズマ密度の不規則構造が存在していることを実証的に示した．この研究成果は Radio Science 誌に発表されている[1]．また，SRI International、ボストン大学、サスカチュワン大学などと共同で RISR-N、PolarDARN と OMTIs 全天イメージャを用いた，光と電波による極冠域電離圏の同時観測を継続して実施した．特に，RISR-N と OMTIs 全天イメージャによる極冠オーロラの同時観測事例を解析し，イメージャで観測されるオーロラアークの近傍における電場・電流の構造を 2 次元的に明らかにし，その成果を Journal of Geophysical Research 誌に発表した[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 誌への掲載が決定している [3,4].

★ 論文公表実績等

1. Thomas E., K. Hosokawa, J. Sakai, J. H. Baker, J. M. Ruohoniemi, S. Taguchi, K. Shiokawa, Y. Otsuka, A. Coster, J.-P. St.-Maurice, and K. McWilliams, Multi-instrument, high-resolution imaging of polar cap patch transportation Radio Science, 50, doi:10.1002/2015RS005672, 2015
2. Perry, G., H. Dahlgren, M. Nicolls, M. Zettergren, J-P St-Maurice, J. Semeter, T. Sundberg, K. Hosokawa, K. Shiokawa, S. Chen, Spatiotemporally resolved electrodynamic properties of a sun-aligned arc over Resolute Bay, Journal of Geophysical Research, 120, doi:10.1002/2015JA021790, 2015
3. Hosokawa, K., S. Taguchi, and Y. Ogawa, Periodic creation of polar cap patches from auroral transients in the cusp, Journal of Geophysical Research, in press
4. Hosokawa, K., S. Taguchi, and Y. Ogawa, Edge of polar cap patches, Journal of Geophysical Research, in press

（別紙様式２－２）

地上-衛星同時観測による大規模擾乱に伴う電場の発達・伝播過程
Investigation of ionospheric electric field in the earth's ionosphere - magnetosphere coupling

笠羽康正，東北大学・理・地球物理

１．研究目的

太陽風や磁気圏尾部からのインプットにより引き起こされる磁気圏の大規模構造変動と擾乱現象は、大規模な電場の急激な発達と伝搬による粒子・電磁場変動を引きおこす．この電場発展はまた、太陽風や磁気圏尾部から地球へと向かうエネルギー輸送、巨視的な対流、および電離圏-磁気圏結合電流系の発達を引き起こす．

この電場のオンセットに伴い，ポインティングフラックスによる電磁エネルギー輸送があることが指摘されている［*Nishimura et al.*, 2010］．電場の発達・電磁エネルギー輸送に関する研究は主に磁場や電流系の解析に依存してきたが、電場観測による磁気圏擾乱現象に伴う電磁エネルギー輸送の全容解明も可能となりつつある。

本研究では、「大規模入力に伴う磁気圏応答」を追跡できる純粋な現象として「Sudden Impulse (SI)」に着目し，電場の発達および伝播過程を追跡した。さらに、Substorm に伴う Pi2 のようなより複雑な「磁気圏内擾乱」に対する応答の研究へ発展させる。

２．研究方法

SI に代表される大規模擾乱にともなう磁気圏・電離圏電場の発達および伝搬過程の特定することを目標として解析を行った。電場・磁場データは THEMIS 衛星，Van Allen Probes 衛星，C/NOFS 衛星，HF Doppler レーダー，および SuperDARN レーダーより取得した。各領域での電場応答時刻から磁気圏から地上までの幅広い領域での電場の発達過程を詳細に調べるとともに，Poynting flux の算出と電場応答時刻の統計解析から SI 発生にともなうエネルギー伝搬過程を調べた。さらに，磁気圏の複数衛星の電磁場データからポインティングフラックスを求め，磁気圏－電離圏間のエネルギー輸送経路と量を特定。個別解析・統計解析によって，磁気圏内での電場変動、電離圏－磁気圏間の電場変動の時間差と伝搬経路の検討を進めた．年度後半には、磁気圏内由来の擾乱現象であるサブストーム・磁気嵐に絡んだ Pi2 脈動への援用にも着手した．研究は、主に D2 の高橋によって担われた。

３．研究結果・考察

本研究は、前年度までに行われた「SC に伴う電離圏 in-situ 電場の応答研究」のために開発された手法を用いており、また衛星周辺低温プラズマによるデータ擾乱に対する考慮も必要である。この両者に対し、観測・評価結果を合わせて２つの論文［*Takahashi et al.*, 2015; Miyake et al. 2015]を出版した。

SI に対する磁気圏-電離圏結合反応については、イベントごとに時刻同定を行ったところ，赤道面上は fast mode 波，磁力線沿いは Alfven 波の伝搬と整合するような電場応答の様子が観測された。一方，電場応答時刻の統計解析により，夜側における赤道面上の電場応答時刻に朝夕非対称が見られることが新たに分かった。原因の 1 つとしてプラズマポーズ位置の朝夕非対称性が考えられる。また，Poynting flux の見積りから，SI 開始時刻においては昼夜関係なく磁力線沿いに磁気圏から電離圏方向へとエネルギーが輸送されていることも分かった。エネルギー伝搬過程を確定づけるには電場データが不可欠だが，電場観測の難しさから研究例は少なく，本研究で初めて詳細な電場応答時刻および伝搬経路の特定を行えたことになる。結果は，論文として執筆中である。

本研究に要する複数データを援用した複雑な研究解析・可視化作業には、名大 STEL/ERG サイエンスセンターで

進められてきたデータベース・統合解析ツールの援用が有効であった。2016 年度には、ERG 衛星打ち上げに向け、高緯度域内部磁気圏の情報も加わることになる。ERG 用のデータパイプライン構築とつながる解析手法の確立も行い、さらに本研究を発展させる.

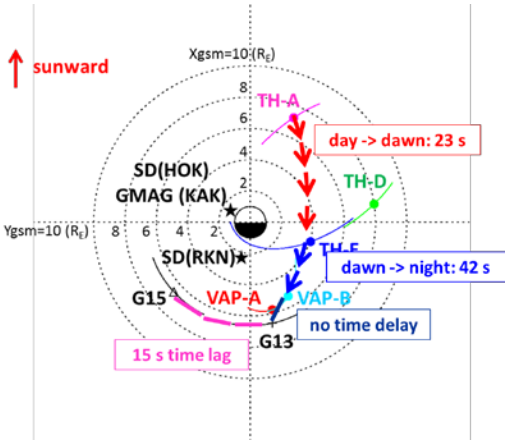


図 1. SI に伴う電場変動の統計的な delay time。昼側→夜側磁気赤道面伝搬が主要成分だが Dusk-side 側の delay が見られる。[Takahashi et al., to be submitted]

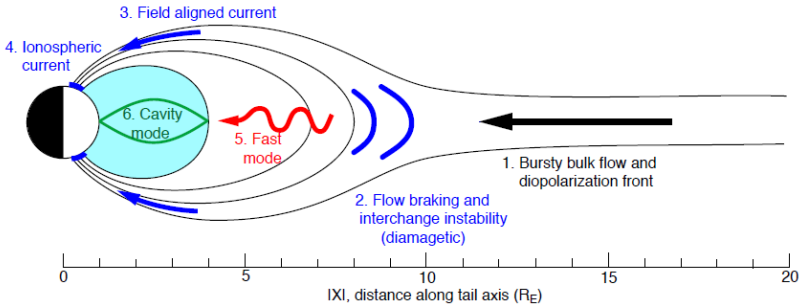


図 2。磁気圏尾部側からの変動に伴う Pi2 変動の模式図。各 delay time と energy 流方向の解析から、具体的な磁気圏-電離圏応答が解かれうると期待している。[Takahashi et al., in preparation]

４．成果発表

Miyake, Y., Y. Nishimura, Y. Kasaba (2015), Asymmetric electrostatic environment around spacecraft in weakly streaming plasmas, J. Geophys. Res. Space Physics, 120, doi:10.1002/2015JA021064.

Takahashi, N., Y. Kasaba, A. Shinbori, Y. Nishimura, T. Kikuchi, Y. Ebihara, and T. Nagatsuma (2015), Response of ionospheric electric fields at mid-low latitudes during sudden commencements, J. Geophys. Res., 120, 6, 4849-4862, DOI:10.1002/2015JA021309

高橋 直子, 笠羽 康正, 新堀 淳樹, 西村 幸敏, 菊池 崇, 堀 智昭, 西谷 望, Evolution and propagation of electric fields during magnetic impulses based on multi-point observations, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 150 回総会および講演会, 東京大学, 2015/10.

笠原 禎也, 笠羽 康正, 小嶋 浩嗣, 三好 由純, 井町 智彦, 土屋 史紀, 石坂 圭吾, 尾崎 光紀, 八木谷 聡, 熊本 篤志, 疋島 充, 加藤 雄人, 浅村 和史, 篠原 育, 松田 昇也, 太田 守, 栗田 怜, 高橋 直子, Observation strategy of the plasma wave experiment (PWE) onboard ERG, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 150 回総会および講演会, 東京大学, 2015/10.

高橋 直子, 笠羽 康正, 西村 幸敏, 寺本 万里子, 菊池 崇, 堀 智昭, 三好 由純, 西谷 望, Propagation of electric fields during Pi2 pulsations based on multi-point observations, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 150 回総会および講演会, 東京大学, 2015/10.

Kasaba, Y., N. Takahashi, A. Shinbori, Y. Nishimura, T. Kikuchi, T. Hori, N. Nishitani, Global evolution and propagation of electric fields associated with Sudden Commencements observed by multi-ple magnetospheric satellites and ionospheric radars, American Geophysical Union 2015 Fall Meeting, San Francisco, USA, 2015/12.

Takahashi, N., Y. Kasaba, Y. Nishimura, M. Teramoto, T. Hori, T. Kikuchi, Y. Miyoshi, N. Nishitani, Propagation of electric fields during Pi2 pulsations based on multi-ple magnetospheric satellites and ionospheric radars, American Geophysical Union 2015 Fall Meeting, San Francisco, USA, 2015/12.

Takahashi, N., Y. Kasaba, Y. Nishimura, A. Shinbori, T. Kikuchi, T. Hori, and N. Nishitani, Global evolution and propagation of electric fields during sudden impulses based on multi-point observations, International GEMSIS and ASINACTR-G2602 Workshop: Future Perspectives of Researches in Space Physics, 名古屋大, 2016/3.

（別紙様式２－２）

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

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)により測定された地球からの放射スペクトルから、二酸化炭素やメタンなどの温室効果気体の濃度分布を宇宙から測定する。濃度を求める際、大気中に存在する粒子状物質（エアロゾルや雲）はスペクトルから濃度を導出する際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、これらの観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

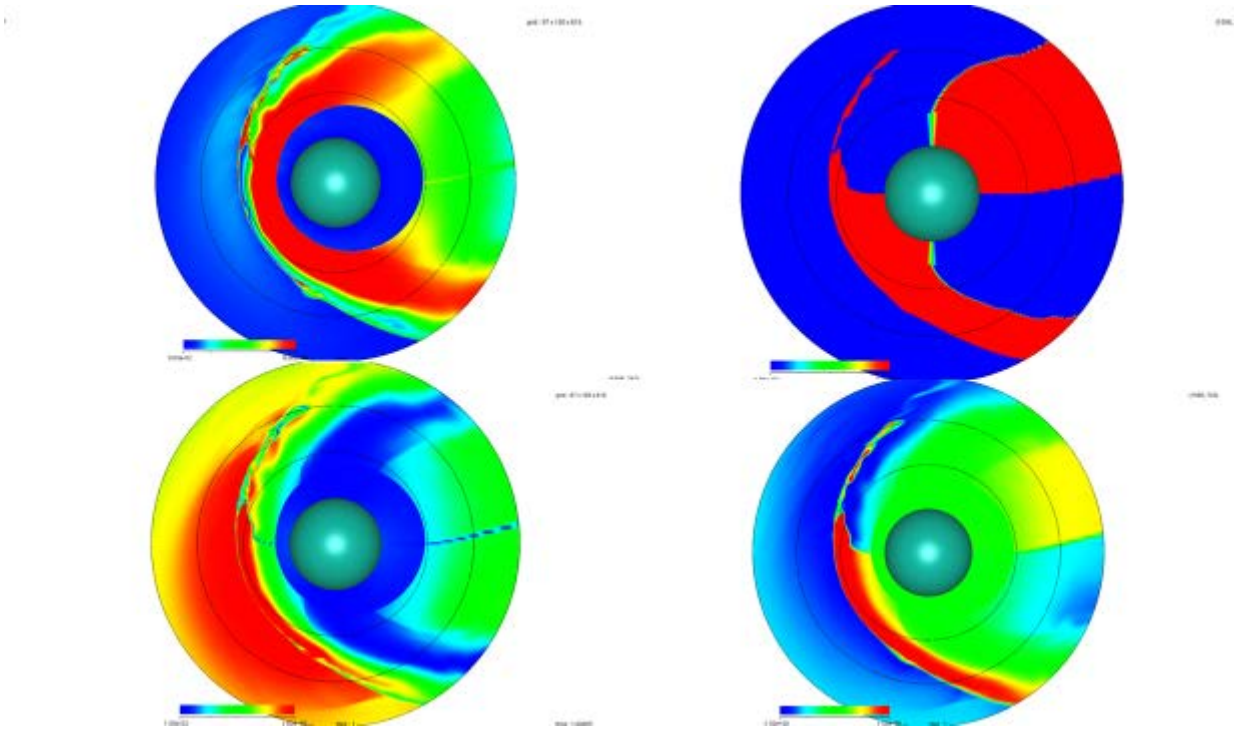
前年度母子里から移設したライダーで用いている光源のNd:YAGレーザに重大な不具合が発生したため、平成２７年４月下旬、このレーザを名大に保管していたレーザに交換して観測を再開した。さらに新たに購入したNd:YAGレーザを１１月中旬に設置し、さらに高品質のデータを得ることができるようになった。レーザ交換後、レーザおよびその他のシステム全体は順調に動作しており特に好天に恵まれた１０月から１２月にかけて、衛星通過日を含めた数日間の連続観測を実施することができた。

（別紙様式４－２）

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　アラバマ大学CSPAR研究所

太陽圏外圏構造は星間空間ガスと太陽風プラズマとの相互作用により形成される。星間ガス中の磁場は、太陽へと吹く星間ガス流の方向と斜めの角を持つため、太陽圏外圏構造は南北に非対称な形となっていると考えられている。この非対称性のために太陽圏外圏の磁場構造は複雑な形になっていると考えられている[1]。



第１図　太陽圏構造。圧力(左上),紙面に垂直方向磁場(-0.03~0.03μG)(右上),磁場強度(左下),紙面に垂直方向磁場(-4.5~4.5μG)(右下)。内部境界は太陽から５０AUの距離。2本の黒線は半径100AU及び150AU。図の大きさは200AU。

右上図では、南北非対称性のため、太陽南半球からのトロイダル磁場がヘリオポーズ近傍では北半球に運ばれている。また、この磁場がヘリオポーズでのp-H荷電交換に伴う擾乱により変動していることが各図で示されている。

文献：1. Washimi et al. ApJ 809, 16 (2015)

別紙様式２－２）

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・環境リスク研究センター

１．研究目的　近年、ディーゼル排気中には、二次有機エアロゾル（SOA）の未知の前駆物質が多く存在すること、その生成量が多いことが認識された。酸化されて生成した SOA の毒性評価や前駆物質の解明、大気中 $PM_{2.5}$ に対する排気由来 SOA の寄与の推定などが急務となっている。これまで、ディーゼル排気を反応チャンバーに導入し、オゾン反応あるいは光化学反応によって SOA が生成し、化学組成が変化すること、毒性の指標が反応により変化することを示した。今年度は、複数の車両を用いた自動車排気由来の二次生成実験の結果を報告する。

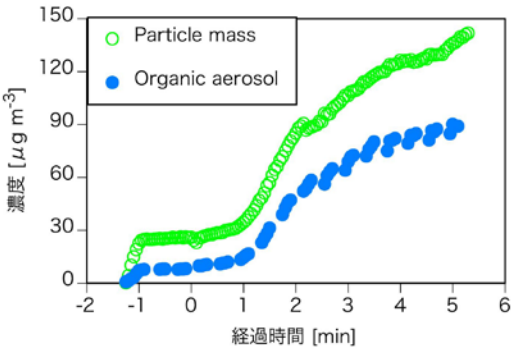


図１　粒子濃度の時間変化

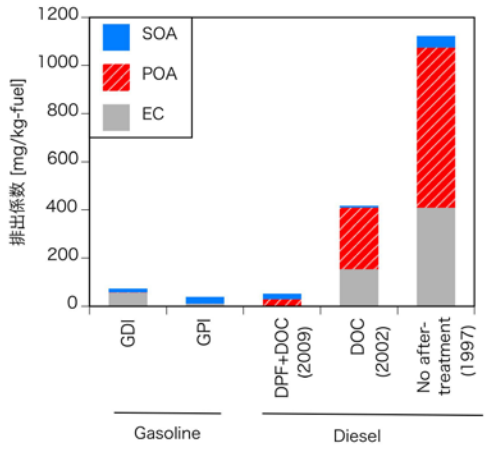


図２　各車両の一次粒子二次粒子排出係数

２．研究方法　国立環境研究所のシャシーダイナモ施設で実験を行った。使用した車両は直噴ガソリン車、ポート噴射ガソリン車、酸化触媒付き（DOC）ディーゼル貨物車（排気規制 2002 年）、DOC および DPF 付ディーゼル乗用車（同 2009 年）であり、それぞれの排気を実験に用いた。過渡走行モードである JC08 の冷気スタートの排気を 40 m^3のテドラーチャンバーに一旦導入し、その後、6 m^3の FEP フィルム製反応チャンバーに濃度を調整して導入し、一定時間後に紫外線を照射した。反応チャンバー内の初期濃度条件は、ガソリン車：NMHC 約 4 ppm, NO 約 0.3 ppm、ディーゼル車：NMHC 約 3.8 ppm, NO 約 5.8 ppm を基本とし、複数の条件で実験した。粒子の連続測定は SMPS、HR-ToF-AMS、BC 計で行った。ガスの連続測定は PTR-MS、CO 計、CO_2計、NO・NO_2計、NMHC・THC・CH_4計で行った。粒子の沈着ロスは実測で得られた沈着速度 0.19 hr^{-1}を用いて一律に補正した。また反応チャンバーのリークにより、不活性ガス濃度が実験中に変化する場合があった。その場合は不活性ガス濃度の変化率を用いて粒子・ガス濃度のリーク補正を行った。

３．結果と考察　紫外光の強度の目安となる NO_2の光分解速度定数は 0.2 min^{-1}であり、春分正午の太陽光の半分程度以下の強度である。また、本実験の平均 OH ラジカル濃度は 1.6×10^6 cm^{-3}であり、冬季の日中の対流圏で観測される範囲である。図 1 に例として、ガソリンポート噴射車の実験結果を示す。照射前は一次粒子の濃度であり、0 時間後から照射時間が経つにつれて粒子濃度が上昇した。有機エアロゾル濃度の増大分は SOA に起因すると考えられる。O_3、NO、NO_2は光化学反応の典型的な変化をしていた。図 2 に各車両について、一次粒子の排出量と、全ての実験条件の結果を平均して得られた燃料消費量あたりの SOA 生成量を示す。大型ディーゼルエンジン（排気規制 1997 年）の結果も含めて示す。一次粒子は元素状炭素（EC）および一次有機エアロゾル（POA）のみ考慮

した。いずれの車両も SOA 生成量はガソリン車および 2009 年の排気規制をクリアしたディーゼル車の一次粒子排出量と比較すると同程度であり、一次粒子の低減が進む中では無視できない生成量であることが示唆された。今後の課題としては直噴ガソリン車の EC の排出抑制と同時に SOA の前駆物質の排出抑制対策が必要と考えられる。

成果発表

藤谷 雄二、佐藤 圭、猪俣 敏、中山 智喜、伏見 暁洋、近藤 美則、森野 悠、高見 昭憲、田邊 潔、小林 伸治、自動車排気由来二次生成粒子のチャンバー実験、大気環境学会年会、東京、2015 年 9 月

（別紙様式２－２）

LF帯標準電波位相観測による夜間下部電離圏の周期性の解明

大矢　浩代、千葉大学・大学院工学研究科

1. 研究目的

本課題の目的は，夜間に日本上空で頻繁に観測されるLF帯標準電波の周期性を持つ位相変動の発生機構の解明である。福島送信-鹿児島受信の40 kHz のLF帯標準電波の夜間の位相に10-100分の周期性が頻繁に見られるが，アサバスカ（カナダ）でのLF波の位相には周期性が見られない。このような中低緯度帯の地磁気静穏日のLF波の周期性に関する報告は，これまでなかった。この原因を探るため，STE研鹿児島観測所で地磁気静穏日に受信されたLF帯標準電波（40 kHz）の位相から，夜間下部電離圏の周期性を定量的に明らかにする。

2. 研究方法

地磁気静穏日に名古屋大学太陽地球環境研究所の鹿児島観測所で受信された 40 kHz 標準電波の位相のウェーブレット周期解析を行った。IRI モデルを参考に LF 波の絶対反射高度を仮定したときの高度変動の推定も行い，中規模伝搬性電離圏擾乱（MSTID）との関連性を調べた。

3. 研究結果および考察

図1に，LF帯標準電波位相解析結果の一例を示す。図1(a)では，2007年5月6日14：00-15：00 UT に福島送信-鹿児島受信パスで30-50分の周期性が見られ（黄色の矢印），佐賀送信-蔵王受信(60 kHz)パスでも20-50分と似たような周期が見られた。導波管理論に基づき，真夜中での反射高度を90 km と仮定し，位相から高度に変換すると，周期的変動分の高度変動は約3-5 km だった。14：00-15：00 UT は真夜中付近なので太陽フレアが原因である可能性は低い。GPS-TECデータにより，同時刻にMSTIDが日本上空に発生していたが，MSTIDの周期との比較等さらに検証する必要がある。

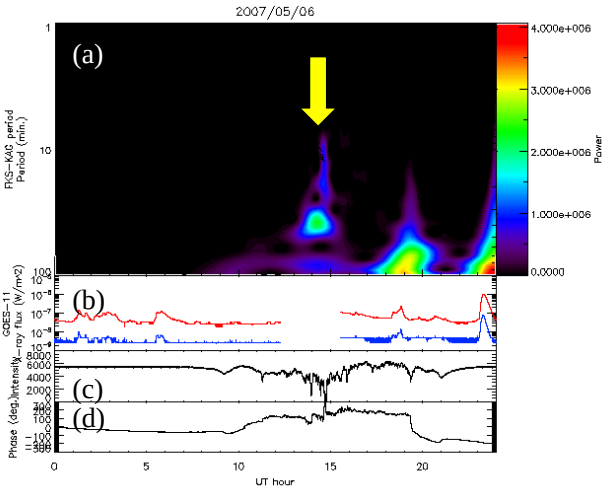


図 1(a)　2007 年 5 月 6 日福島送信―鹿児島受信(40 kHz)の標準電波位相のウェーブレット周期解析結果，(b)GOES-11 衛星で得られた X 線フラックス（赤線が波長 0.1-0.8 nm，青線が 0.05 - 0.3 nm），(c) 標準電波の強度，および(d)標準電波の位相

成果発表

[1] **Ohya, H.**, F. Tsuchiya, M. Nishioka, K. Shiokawa, K. Yamashita, and Y. Takahashi, Statistical Study of Nighttime Periodic Phase Variations in LF Transmitter Signals at Mid-Low Latitudes, AOGS2015, Singapore, August, 2015.

[2] **Ohya, H.**, M. Nishioka, K. Shiokawa, F. Tsuchiya, Relationship between phase variation of LF signals and GPS-TEC variations related with MSTIDs at mid-low latitudes, JPGU 2015, 幕張（幕張メッセ）, 2015 年 5 月.

[3] **大矢浩代**, 土屋史紀, 西岡未知, 塩川和夫, Nighttime periodicity for the phase of LF transmitter signals, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 138 回講演会, 東京(東京大学), 2015 年 10 月.

（別紙様式２－２）

宇宙線強度のグローバル・ネットワーク観測による宇宙線モジュレーションの研究
Solar modulation of galactic cosmic ray intensity observed with the Global Muon Detector Network (GMDN)

宗像一起　信州大学・理学部

Global Muon Detector Network (GMDN)による観測データを用いて、太陽面爆発で発生後に地球に到来する惑星間空間衝撃波が、地球で観測される宇宙線強度を1日～10日間にわたって減少させる現象（フォーブッシュ減少）を解析した。太陽面爆発の太陽光球面上での発生時刻と位置が同定されている合計39事象を解析し、それらの事象に伴ってGMDNで観測された宇宙線密度及び密度勾配を重ね合わせることにより、衝撃波背後の宇宙線密度の空間分布を導いている。特に、観測された宇宙線密度及び密度勾配に、太陽面爆発の発生位置の経度・緯度に応じた非対称性が見られることを示し、それが宇宙線密度の空間分布に起因するものであることを明らかにした。また、GMDNに比べてより低エネルギー宇宙線に感度を持つ中性子計で観測された宇宙線密度も併せて解析し、宇宙線密度の空間分布のエネルギー依存性とその時間変動を導いた。

発表論文：

- D. Ruffolo, A. Saiz, P.-S. Mangeard, N. Kamyan, P. Muangha, T. Nutaro, S. Sumran, C. Chaiwattana, N. Gasiprong, C. Channok, C. Wuttiya, M. Rujiwarodom, P. Tooprakai, B. Asavapibhop, J. W. Bieber, J. Clem, P. Evenson, and K. Munakata, Monitoring short-term cosmic-ray spectral variations using neutron monitor time-delay measurements, Astrophys. J., 817, 38-49, 2016.
- M. Kozai, K. Munakata, C. Kato, T. Kuwabara, M. Rockenbach, A. Dal Lago, N. J. Schuch, H. K. Al Jassar, M. M. Sharma, M. L. Duldig, J. E. Humble, J. W. Bieber, P. Evenson, I. Sabbah, and M. Tokumaru, Average spatial distribution of cosmic rays behind the interplanetary shock (Global Muon Detector Network observations), submitted to Astrophys. J., 2016.
- 小財正義、「Space weather observations with the Global Muon Detector Network」、信州大学大学院総合理工学研究科博士論文（甲第110号）（英語論文）、2016年3月。

国際会議等の集録：

- North-south anisotropy of galactic cosmic rays observed with the Global Muon Detector Network (GMDN), K. Munakata, M. Kozai, C. Kato, T. Kuwabara, J. W. Bieber, P. Evenson, M. Rockenbach, A. Dal Lago, N. J. Schuch, M. Tokumaru, M. L. Duldig, J. E. Humble, I. Sabbah, H. K. Al Jassar and M. M. Sharma, Proc. of the 34th Internat. Cosmic Ray Conf. (Hague), PoS-056, 2015.

- Average features of the interplanetary shock observed with the Global Muon Detector Network, M. Kozai, K. Munakata, C. Kato, T. Kuwabara, J. W. Bieber, P. Evenson, M.Rockenbach, A. Dal Lago, N. J. Schuch, M. Tokumaru , M. L. Duldig, J. E.Humble, I. Sabbah, H. K. Al Jassar and M. M. Sharma, Proc. of the 34th Internat. Cosmic Ray Conf. (Hague), PoS-059, 2015.

学会等の口頭発表：

- 「Global Muon Detector Network (GMDN)で観測された惑星間空間擾乱の平均像」、小財正義（信州大理）ほか、2015 年 JPGU 講演会（幕張）、PM25-09、2015 年 5 月 25 日
- 「GMDN で観測された惑星間空間衝撃波の大規模構造」、小財正義（信州大理）ほか、2015 年 SGEPSS 講演会（東大）、R007-02、2015 年 10 月 31 日

LF帯標準電波のネットワーク観測による高エネルギー電子降下現象の研究
Study of high energy electron precipitation with network observation of LF radio transmitters

土屋史紀　東北大学・大学院理学研究科

磁気嵐及びサブストーム発生時にオーロラ帯、サブオーロラ帯で発生する高エネルギー電子降込み現象を観測的に調べる手段として、低周波(LF 帯)送信局電波観測は有効な手段の一つである。時刻・周波数標準の配信を目的として世界各地で LF 帯標準電波が発信されており、この電波は地上と電離圏下部の間を反射し遠距離まで伝搬する。伝搬経路上の電離圏下部で局所的な電離が発生すると、それが受信点での電波の受信強度・位相の変化として検出される。この観測原理を用いることによって、放射線帯からの高エネルギー電子の大気への降下の発生を電離圏下部の電離を通して観測的に調べることが可能となる。これまでに、LF 帯の電波受信装置がニーオルセン（ノルウェー）、アサバスカ（カナダ）及びポーカーフラット（アラスカ）に設置され、中緯度帯から送信された送信局電波を観測することによって、ニーオルセンとポーカーフラットはオーロラ帯とサブオーロラ帯、アサバスカではサブオーロラ帯への高エネルギー電子降込み現象を検出できる。これらの観測点に加え、低緯度への高エネルギー粒子の侵入に伴う下部電離圏の電離現象をモニタするために、日本国内の陸別観測所(北海道陸別町)、星の村天文台(福島県田村市)および九州大学笹栗観測所(福岡県)においても同様の観測を実施した。オーロラ帯・サブオーロラ帯においては、サブストームに伴う高エネルギー電子降下現象の発生タイミングとサブストームオンセットとの対応の LT 依存性並びに磁気緯度依存性、磁気嵐時に発生する Pc5 帯地磁気脈動に同期した高エネルギー電子降込みが検出されており、これらの成果を International GEMSIS and ASINACTR-G2602 Workshop にて発表した他、ニーオルセンでの観測データが EISCAT・Van Allen Probe との同時観測データとして使用された(Miyoshi et al. 2015)。低緯度域では高エネルギー電子降下現象による電離現象は明瞭には捉えられていないが、雷放電など他の電離現象と区別をするために雷放電に伴う下部電離圏電離現象の特徴を調査し、落雷の電磁パルス強度と下部電離圏での電離度との対応関係を観測的に明らかにした。

(論文)

Miyoshi, Y., S. Oyama, S. Saito, S. Kurita, H. Fujiwara, R. Kataoka, Y. Ebihara, C. Kletzing,G. Reeves, O. Santolik, M. Clilverd, C. J. Rodger, E. Turunen, and F. Tsuchiya (2015), Energetic electron precipitation associated with pulsating aurora: EISCAT and Van Allen Probe observations, J. Geophys. Res., 120, 2754, doi:10.1002/2014JA020690

(学会等発表)

F. Tsuchiya, T. Obara, H. Misawa, T. Sakanoi, Y. Miyoshi, K. Shiokawa, Y. Ogawa, M. Connors, and D. Hampton, Energetic electron precipitation into the atmosphere at auroral and sub-auroral latitudes during storm and substorm periods: Low frequency radio transmitter observation in north Europe and America, International GEMSIS and ASINACTR-G2602 Workshop: Future Perspectives of Researches in Space Physics, 名古屋(名古屋大学), 20160322

Miyoshi, Y., S. Oyama, S. Saito, E. Turunen, S, Kurita, A. Kero, P. Verronen, R. Kataoka, Y. Ebihara, C. Kletzing, G. Reeves, O. Santolik, M. Clilverd, C. Rodger, and F. Tsuchiya, Wide energy electron precipitations and its impact on the middle atmosphere associated with the pulsating aurora, AGU fall meeting, San Francisco(Moscone center), 20151214

Miyoshi, Y., S. Oyama, S. Saito,S. Kurita, H. Fujiwara, R. Kataoka, Y. Ebihara, C. Kletzing, G. Reeves, O. Santolik, M. Clilverd, C. Rodger, E. Turunen,F. Tsuchiya, Comprehensive observations on the pulsating aurora from satellite and ground-observations, JPGU 2015, 幕張(幕張メッセ), 20150524

Morinaga、Y., F. Tsuchiya, T. Obara, H. Misawa, Y. Honma, Dual frequency observation of subionospheric perturbations associated with Hokuriku winter lightning, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 138 回総会・講演会, 東京(東京大学), 20151031

土屋史紀、森永洋介、小原隆博、三澤浩昭、佐藤光輝、本間規泰、大矢浩代, 陸別・国内における LF 帯標準電波観測, 陸別観測所ユーザーズミーティング, 陸別町, 20160328

（別紙様式２－２）

エクサフロップス計算に対応した磁気圏MHDシミュレーションコード
Development of MHD simulation code for planetary magnetosphere toward exa-flops computer

深沢　圭一郎、京都大学・学術情報メディアセンター

スーパーコンピュータの性能は京コンピュータを代表されるように現在ペタフロップス級に達しているが、2020 年頃にはエクサフロップス級の性能に達すると予想されている。エクサフロップス級の計算機システムは、CPU 周波数向上の限界から現状よりも多数のコアを持つCPUが大規模に並列に接続された100万ノード超の計算機システムになると想定されている。

一般に惑星磁気圏 MHD シミュレーションなどのステンシル計算では空間格子を分割することで並列計算を行い、並列計算機の性能を活用している。しかしながら、10,000 並列以上の計算を実行すると、並列化に伴う通信・同期により計算性能劣化が見えてきている。例えば、東京大学 HA8000 の 8,192 コアを利用した計算では、16 コアを利用した場合に比べ、並列化効率が 10%程度劣化していた。このような状況のままエクサフロップス級計算機を利用すると、並列化に伴うオーバーヘッドが全計算時間の半分以上を占めてしまい、並列計算したにもかかわらず、計算は速く終わらない状況になる可能性がある（アムダールの法則による）。そこで本研究では、惑星磁気圏 MHD シミュレーションコードの並列化に伴う通信・同期による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シミュレーションコードを開発することを目的としている。

本年度は並列計算に伴う通信同期を完全に無くすために、MHD コードの中で、「通信とその通信結果を利用する計算」と「通信結果を必要としない計算」に分け、それぞれにスレッド割り当てる手法を開発した。この「通信とその通信結果を利用する計算」を担当するスレッドを Halo スレッドと呼ぶ。Halo スレッドと他のスレッド間ではその担当領域のため、通信や同期が必要無く、独立に計算が行える。Halo スレッドではまず通信を行い、その後通信結果を利用して計算を進める。Halo スレッドを MHD コードに導入した場合、Halo スレッド以外の 1 スレッド当たりの計算量が増加するため、計算時間が増加すると予想されるが、今まで計算に隠蔽できなかった通信や同期にかかる時間が完全に隠蔽できるため、全体的な計算時間は短くなることが予想される。名大 FX10 で性能評価を行ったところ、特に、1 スレッド当たりの計算量が少なくなるような strong scaling で、Halo スレッド導入時の性能が高くなった。1024 ノードに対する並列化効率も従来の手法より性能劣化がなく、エクサスケールでも耐えうる性能を達成できた。

来年度は Halo スレッド内でさらに通信と計算の最適化を行い、今までに開発した各種コ

ードを一般化し、流体系シミュレーションに容易に導入できるフレームワークを作成する。

成果発表

1. 深沢圭一郎、森江善之、曽我武史、高見利也、南里豪志、"Halo スレッドの MHD シミュレーションへの導入と性能評価"、STE シミュレーション研究会 - エクサスケールに向けて - 、京都、2015 年 9 月 28 日 - 30 日.
2. 深沢圭一郎、森江善之、曽我武史、高見利也、南里豪志、”エクサスケールコンピューティングに向けた Halo スレッドの電磁流体シミュレーションに対する効果”、情報処理学会研究報告, 2015-HPC-151(23), 1-6, 2015.
3. 深沢圭一郎、森江善之、曽我武史、高見利也、南里豪志、” ステンシル計算における効率的な Halo 通信・計算モデルの開発”、情報処理学会研究報告, 2015-HPC-153(7), 1-6, 2015.

（別紙様式２－２）

先進的炭素安定同位体比測定法の改良・拡張と生態系ガス交換・物質循環への応用

Improvement of CO_2 isotopologues and its application to studies revealing basic processes of gas exchange and material flow in ecosystems

米村　正一郎、（国）農研機構・農業環境変動研究センター（旧（国）図農業環境技術研究所）

【研究目的】

農業環境技術研究所(農環研)での生態系ガス交換量測定技術と松見グループで培われた炭素安定同位体比連続測定技術を組み合わせることにより、生態系炭素循環の素過程に関する先進的な研究を行うことを目的とする。

植物については光合成・蒸散を制御する機構として、気孔を通した制御（気孔コンダクタンス）、葉肉細胞の通導性（葉内コンダクタンス)の２つを考える必要がある。葉内コンダクタンスは光合成の際の二酸化炭素の安定炭素同位体の分別率を用いて求めることが出来る。本年度は、先進的な炭素安定同位体比連続測定技術を用いイネの葉内通導性を導くシステムが農環研にて完成したので、その測定の妥当性について、松見教授と議論を行い助言をいただいた。

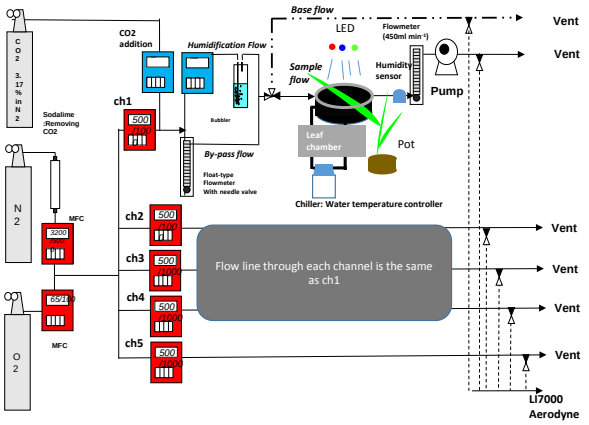


図１　農環研の植物ガス交換量測定システム

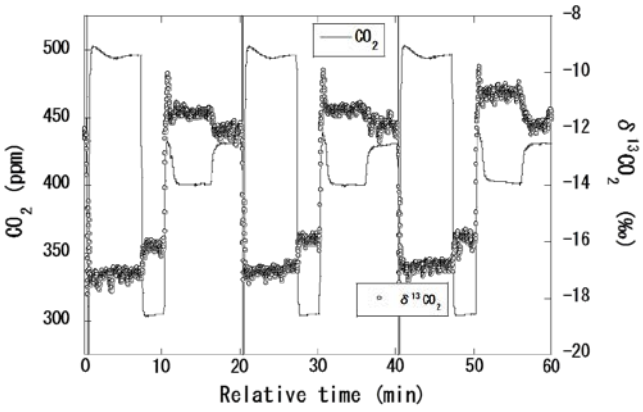


図２　エアロダインによって得られたCO_2濃度と$\delta^{13}CO_2$

【研究方法】

農環研で葉内通導性を作成した実験システムを図１に示す。このシステムは葉内コンダクタンスを求めるのに、葉温、環境水蒸気量およびCO_2濃度を目標値まで自動制御を４つのサンプル同時に行える画期的なシステムである。

【システムの設定について】

エアロダインレーザ分光計によるCO_2濃度と安定同位体比を図２に示す。エアロダインには植物の光合成を得た空気とベースの空気を流す

ようにしており（図２では10-15，30-35，50-55分が光合成を経た空気、15-20，35-40,55-60分が光合成に入る前の空気）、同位体分別が1‰程度認められる。この際CO2濃度を一定濃度（図２ではCO2の濃度が20ppm程度ずれてしまったが）にすれば、同位体比のみかけの濃度依存性がなくなるのでデータの精度がよくなる。なお光合成量は別のLI7000赤外線分析計で求める。

【考察】

名古屋大学の大気の$\delta^{13}CO_2$測定においても、同様にエアロダインに入れるCO_2の濃度は調整されていて、エアロダインシステムについては濃度制御をきちっと行い安定同位体比を求める手法が有効であることが松見教授との議論で確かめられた。また、名古屋大学の測定では別途大気のCO_2濃度はLI820という赤外線分析計で求めているが、農環研でも光合成について別途LI7000赤外線分析計で求めるのは手法上とても似通っていた。今後、植物の光合成実験だけでなく、土壌への^{13}Cグルコース添加実験についても同様なCO_2濃度制御システムが必要ではないかと考えられる。

（別紙様式２－２）

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. Introduction

近年、地震・竜巻などの自然現象に伴う電離圏変動が報告されている。これらの変動は、地上付近において発生した大気変動が、上空へ伝搬し、電離圏に変動をもたらすことが分かっている。同様に大規模な大気変動を生じさせる現象として、台風が挙げられる。大気光観測などで、台風による大気重力波の発生などは報告されている(Suzuki et al., 2013)が、電離圏における台風に伴う変化は、はっきりしないものが多い。本研究では、HFドップラーにより台風に伴う電離圏変動が観測され、また地上での変動とよい相関が明らかとなったので、それについて報告する。

2. Method

用いた観測結果は、電気通信大学において行っているHFドップラーにより観測された電離圏変動データ、並びに、東大地震研によりおこなわれている微気圧計により圧力変動観測データである。HFドップラーは、菅平観測点において受信されたものを使用した。調布市の電通大キャンパスより送信された電波を受信している。本研究では、これらのデータをスペクトル解析し、スペクトル強度変化について特に注目して解析をすすめた。

3. Result

本報告においては、もっとも顕著に影響が見られた2013年台風26号の結果について述べていく。台風26号は、2013年10月11日に発生し、10月16日に日本に上陸した。その後は温帯低気圧に変わったものの、大きな被害をもたらした台風である。Figure 1(上段)に、HFドップラーにて観測された電離圏変動の様子を示す。データは菅平観測点において受信された5MHzのドップラーシフトのダイナミックスペクトルである。台風が再接近した16日に広い範囲において、受信強度が上昇しているのが分かる。4mHz以下では、台風の接近とはあまり関係なく変動強度が上昇していることから、10 mHz以上の変動が台風によるものであると考えられる。この変動の地上からの影響を調べるため、同じく菅平に設置された微気圧計データについても変動の様子を調べた。その結果をFigure 1(下段)に示す。両者を見比べて明らかなように、スペクトル変動の様子は両者で極めて酷似しており、地上の圧力変動が上空へ伝搬していることにより、台風時の変動が現れたことが分かる。

4. Discussion and Summary

HFドップラーは電波反射点での変動をとらえることが出来るが、今回のデータでは、HFドップラーのダイナミックスペクトル強度の時間変化と微気圧計のダイナミックスペクトルの時間変化はよい一致をみた。そこで、反射点域の風の向きを調べたところ、台風26号では、風の向きが安定して西を向いているのが特徴として挙げられる。実際、風速とスペクトル強度の対応を見てみると、反射点直下の秩父市よりも、風上側の諏訪市での風速との対応が極めてよかった。また風上側は日本アルプスが位置する領域であり、そこで生じた大気重力波などが電離圏まで上昇したことが示唆される。他の台風においても、このような現象が見られるかどうかについては、今後も継続して研究を行っていく必要があろう。

5. Presentation

本研究に関連した発表として、以下3つを行った。論文については未発表であるが、現在投稿用論文を準備中である。

平林慎一郎、中田裕之、鷹野敏明、冨澤一郎、HFD と微気圧計による台風通過時の大気波動のスペクトル解析、日本地球惑星科学連合 2015 年大会、幕張メッセ、千葉県千葉市、2015 年 5 月

平林慎一郎、中田裕之、鷹野敏明、冨澤一郎、HFD と微気圧計による台風通過時の大気波動のスペクトル解析、第 138 回地球電磁気・地球惑星圏学会総会・講演会、東大小柴ホール、東京都文京区、2015 年 10 月

平林慎一郎、中田裕之、鷹野敏明(千葉大・工)、 冨澤一郎(電通大・宇宙電磁環境研 究センター)、長尾大道（東大・地震研） HFD と微気圧計による台風通過時の電離圏及び大気波動のスペクトル解析、日本大気電気学会第 94 回研究発表会、電通大、東京都調布市、2016 年 1 月

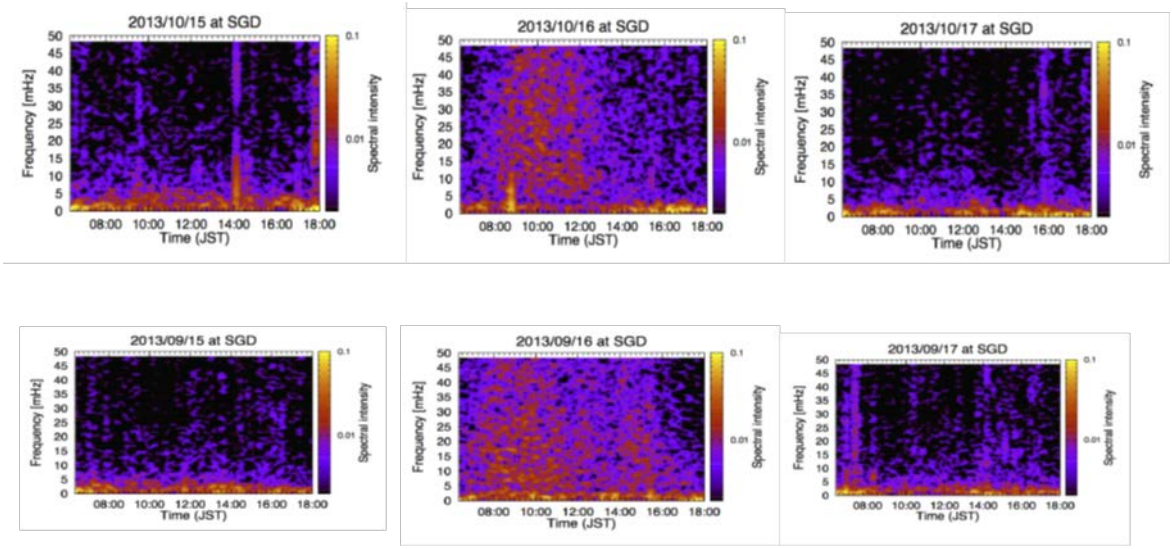


Figure 1 （上段）菅平において観測された 5 MHz 電波のドップラーシフトダイナミックスペクトル。（下段）菅平に設置された微気圧計により観測された気圧変動のダイナミックスペクトル。いずれも、左から右に、2013 年 10 月 15、16、17 日の各日のデータを表す。横軸は時間（JST)、縦軸は周波数を表す。

（別紙様式２－２）

衛星観測に基づく火星からの電離圏イオン流出のダイナミクスに関する研究
Study on the dynamics of cold ionospheric ion outflow from Mars based on the spacecraft observations

原　拓也，カリフォルニア大学バークレー校・宇宙科学研究所

研究目的:

全球的な固有磁場を持たない火星では，太陽風が惑星の超高層大気と直接相互作用した結果，火星大気が宇宙空間へと流出していることが周回衛星のその場観測によって明らかになりつつある。本研究において，特に今年度は 2014 年 11 月から火星周回軌道での本格科学観測を開始した，NASA の MAVEN に搭載されたプラズマ・電磁場総合観測データを用いて，現在の火星大気流出率の大部分を担う可能性が指摘された，低エネルギー電離圏イオン流出に関係する流出機構の実態に着目した。

研究結果・考察:

昨年度から引き続いて，螺旋状の特徴的な磁場構造をしたフラックスロープに伴う電離圏イオン流出の実態について調べたところ，MAVEN のイオン観測データから，フラックスロープ中には，H^+, O^+, O_2^+といった電離圏起源である可能性の高い複数種のイオンが共存していることを観測的に実証した。また従来の衛星は観測可能範囲が高度 400km の電離圏付近に限られていたが，1000km を超える誘導磁気圏内でも，このようなフラックスロープが観測されることを MAVEN 観測データから発見した。一方で，イベント時にコロナ質量放出に伴う弱い擾乱構造が火星を通過していたことから，このような上流の太陽風条件がフラックスロープ形成に重要な役割を果たしている可能性を見出した。本研究の成果は，MAVEN の主要初期観測結果をまとめた GRL 誌の特集号に掲載された。

発表論文:

Hara, T., *et al.* (2015), Estimation of the spatial structure of a detached magnetic flux rope at Mars based on simultaneous MAVEN plasma and magnetic field observations, *Geophys. Res. Lett.*, **42**, 8933–8941, doi:10.1002/2015GL065720. 特集号に共著論文が 7 件

主要学会等での発表:

Hara, T. *et al.*, Estimation of Ionospheric Plasma Content inside Martian Magnetic Flux Ropes Based on MAVEN Observations, 46th LPSC, the Woodlands, TX, March 2015, #1773, [poster].

Hara, T. *et al.*, MAVEN observations of high-altitude magnetic flux ropes around Mars, AGU fall meeting, San Francisco, CA, December 2015, P21A-2079, [poster].

原 拓也，火星探査機 MAVEN の最新成果，地球型惑星圏環境に関する研究集会，立教大学，2015 年 12 月，招待講演.

（別紙様式２－２）

SuperDARN北海道-陸別レーダー干渉計による超高層大気高精度観測
Upper atmosphere observation with interferometer capability of SuperDARN Hokkaido-Rikubetsu radar

行松彰、堤雅基、国立極地研究所・研究教育系

【研究目的】
本研究は、昭和基地SENSU SuperDARNレーダー等を用いて開発された、IQ生時系列取得・解析手法を、中緯度SuperDARN北海道-陸別レーダーに適用し、正確な流星風観測を可能とすることである。しかし、その校正の信頼性が未だ十分ではない。この件につき、流星風観測の高精度化や電離圏FAIの詳細研究への寄与や、SuperDARN北海道-陸別レーダーのより安定で高度な運用の可能性の検討を行い、可能であれば、これらを実現し観測研究を行い、中間圏界面領域や電離圏の研究の発展に寄与することを目的とする。

【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していない現状がある。原因として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、流星エコーの校正が可能か検討する。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校正する新しい手法の提案があり、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。尚、本経費で調達したSSDを実験データ保存に用いる。

【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。特に今年度は、デジタル受信ボードのドライバーソフト関連に問題が残っている可能性がある事から、その詳細な検討を行った。この為に、昭和基地用に新たに開発しているdriverソフトを組込み、10月に陸別にて試験を実施したが、実施段階でその開発と検討がまだ不十分だった為に、未だ確定的な結論には至っていない。

【考察】
今回新たに始めた新しいdriver softwareとhardwareの組合せは、個々のアンテナ出力を独立して取得することを念頭に置いたものであり、2つの校正手法を共に検証できる可能性があると考えられ、このdriver softwareの完成を急ぎ、モデル化された地形データと個々のアンテナ出力結果から校正を目指す方向性と、driver softwareの内部的な問題の詳細検討の両面から更なる検討を実施する必要があると考えている。時間的制約の為に、結果を出すのに時間がかかっているが、これらの検討を今後引続き行い、高い信頼性と高い精度の近距離エコー観測の実現を目指したい。

【成果発表】
Sato, N., A. Kadokura, Y. Tanaka, T. Nishiyama, T. Hori, and A. S. Yukimatu, Omega band pulsating auroras observed onboard THEMIS spacecraft and on the ground, J. Geophys. Res. Space Physics, 120, 5524–5544, doi:10.1002/2015JA021382, 2015.
Tsuda, T. T., X. Chu, T. Nakamura, M. K. Ejiri, T. D. Kawahara, A. S. Yukimatu, and K. Hosokawa, A thermospheric Na layer event observed up to 140 km over Syowa Station (69.0°S, 39.6°E) in Antarctica. Geophys. Res. Lett., 42, 3647–3653. doi: 10.1002/2015GL064101, 2015.
Yukimatu, A. S., Sounding modes to achieve both global Pc5 distribution detection and high temporal resolution potential maps simultaneously for collaborative studies with VAP and ERG missions, Proc. SuperDARN 2014 Workshop, 1 P-1-1-P-1-23. 2015.
Hori, T., Y. Miyashita, Y. Miyoshi, K. Seki, T. Segawa, Y.-M. Tanaka, K. Keika, M. Shoji, I. Shinohara, K. Shiokawa, Y. Otsuka, S. Abe, A. Yoshikawa, K. Yumoto, Y. Obana, N. Nishitani, A. S. Yukimatu, T. Nagatsuma, M. Kunitake, K. Hosokawa, Y. Ogawa, K. T. Murata, M. Nose, H. Kawano, and T. Sakanoi, CDF data archive and integrated data analysis platform for ERG-related ground data developed by ERG Science Center (ERG-SC), 宇宙科学情報解析論文誌, 4 (JAXA-RR-14-009), 75-89, 2015.
行松彰, SENSU SuperDARNイメージングレーダーと第IX期南極研究観測計画, 第6回極域科学シンポジウム, 東京, 2015.11.16.
行松彰, 昭和基地SENSU SuperDARNレーダーのイメージング化と第IX期南極研究観測計画, 第138回SGEPSS学会, 東京, 2015.11.2.
行松彰, 共同研究者, SuperDARNレーダーを中心としたグランドミニマム期における極域超高層大気と内部磁気圏のダイナミクスの研究, 第7回南極観測シンポジウム, 極地研, 東京, 2015.9.17.
行松彰, 昭和SENSUイメージングレーダー現況報告, 極域・中緯度SuperDARN研究集会, 名古屋大, 愛知, 2015.9.15.
行松彰, SuperDARN studies on possible grand minimum influences on geospace environment, 日本地球惑星連合大会2015. 2015.5.26.

（別紙様式２－２）

CRDSとの比較によるMAX-DOASエアロゾル導出アルゴリズムの評価
Evaluation of the MAX-DOAS aerosol retrieval algorithm by comparison with CRDS

入江仁士、千葉大学・環境リモートセンシング研究センター

１．研究目的

気候変動は社会における最大の関心事のひとつであり、高精度な将来予測が強く求められている。こうした気候変動の将来予測における極めて重要な不確定要素はエアロゾルの動態である。他方、地上からのリモートセンシング手法のひとつであるMAX-DOAS法(多軸差分吸収分光法)は、エアロゾル消散係数だけでなく様々な大気微量ガス（エアロゾルの重要な前駆気体を含む）の高度分布情報も同時に観測できるユニークな手法であり、近年、世界的に注目を集めている。エアロゾル消散係数の値は大気微量ガスの導出アルゴリズムにも利用されるため、MAX-DOASによるエアロゾル・ガス多成分観測において、その精度評価が本質的に重要である。しかしながら、他の観測との比較によるMAX-DOASのエアロゾル導出アルゴリズムの定量的評価研究は限られており、そのために有効な地表付近のエアロゾル消散係数の高精度・高確度な観測が切望されている。このような中、STE研中山助教、松見教授と共同で、MAX-DOAS法とCRDS法(キャビティリングダウン分光法)の同時観測を2010年10月に実施した。CRDS法により、従来の手法よりも高精度・高確度で地表付近のエアロゾル消散係数の計測がなされた。本研究ではMAX-DOAS法とCRDS法のデータを比較し、MAX-DOAS法のエアロゾル消散係数導出アルゴリズムを定量的に評価するとともに、誤差を抑制する手法等の検討を通じて、観測手法を改良する。

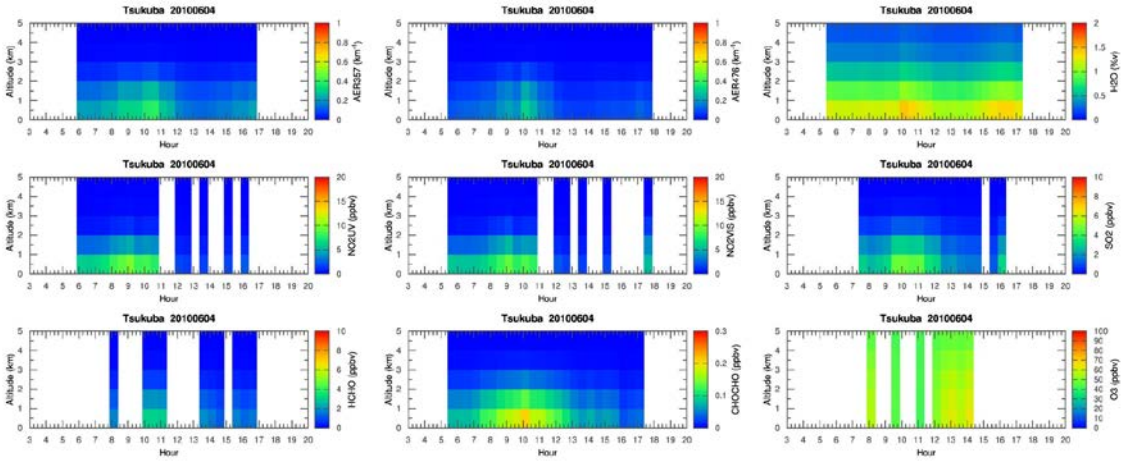


図1　MAX-DOAS法によるエアロゾル・ガスの多成分観測結果の例（2010年6月4日、つくばにて）。（上段）357 nmのエアロゾル消散係数、476 nmのエアロゾル消散係数、水蒸気の体積混合比、(中段) 紫外域でリトリーバルされた二酸化窒素(NO_2)、可視域でリトリーバルされたNO_2、二酸化硫黄(SO_2)の体積混合比、(下段) ホルムアルデヒド(HCHO)、グリオキサール(CHOCHO)、オゾン(O_3)の体積混合比の高度分布の日変化が示されている。

２．研究方法

2010年6月1日につくば市の気象研究所(36.06ºN, 140.13ºE)にMAX-DOAS装置を設置し、それ以降、連続観測を実施している。MAX-DOAS法は、従来の受動型DOAS装置(天頂の太陽散乱光を測定する紫外可視分光計)に複数の低仰角測定機能を加えた手法であり、対流圏中の微量ガスとエアロゾルの高度分布を高度2 km以下では約1 kmの分解能で測定できる（図1）。本研究では、測定仰角として、3°、5°、10°、20°、30°、90°を採用した。散乱光光路長の仰角依存性を利用し、複数仰角での測定と放射モデルを組み合わせて、NO_2等の微量ガスやエアロゾル消散係数の高度分布が得られるという仕組みである。エアロゾル消散係数の高度分布導出にはO_4 (O_2-O_2; 2つの酸素分子の衝突錯体)の吸収帯を利用する。

2010年10月5~18日に気象研究所において、STE研によりCRDS法によるエアロゾルの直接測定がなされた。これにより、MAX-DOAS法と同時にエアロゾル消散係数(波長532, 355 nm)が高精度で測定された。非加湿および加湿時での測定をもとに標準条件での消散係数に換算した。また、国立環境研究所によりライダー観測、気象研究所によりスカイラジオメーター観測も同時になされた。

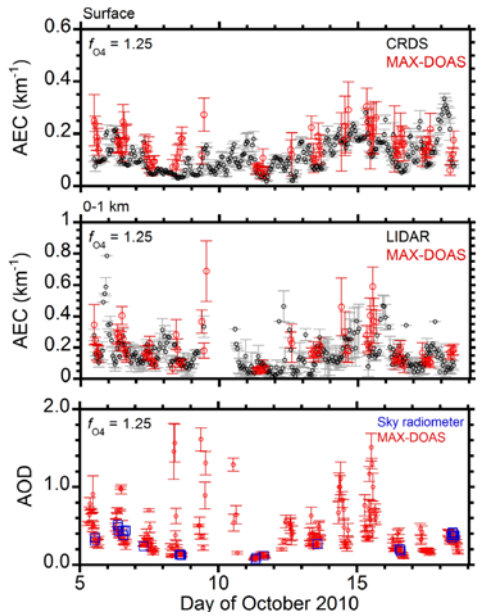


図 2　2010 年 10 月 5~18 日における 476 nm のエアロゾル消散係数(AEC)およびエアロゾル光学的厚さ(AOD)の時系列プロット。(上) CRDS と MAX-DOAS の地表付近の AEC、(中) ライダーと MAX-DOAS の高度 0-1 km の AEC、(下) スカイラジオメーターと MAX-DOAS の AOD が示されている。MAX-DOAS については、25%のバイアス補正を行ってリトリーバルされた結果が示されている。

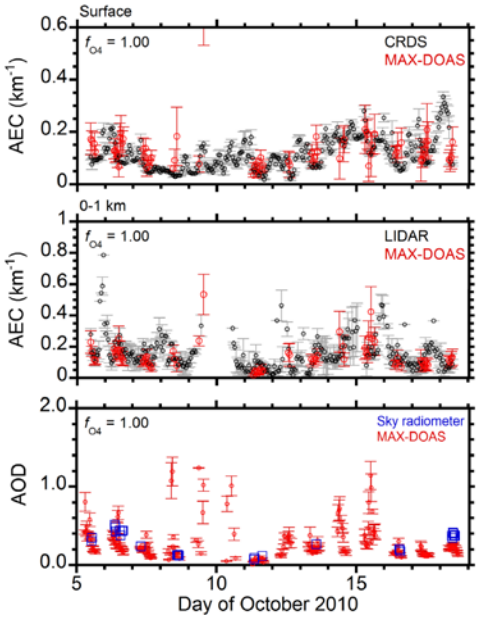


図 3　図 2 と同様だが、MAX-DOAS については、バイアス補正を行わずにリトリーバルされた結果が示されている。

3。研究結果・考察

図2に、2010年10月5~18日につくばで得られたMAX-DOAS、CRDS、ライダーのエアロゾル消散係数(476 nm)データの時系列を示す。また、MAX-DOASとスカイラジオメーターのエアロゾル光学的厚さデータの時系列も示す。ここでプロットされているMAX-DOASエアロゾルデータの導出アルゴリズムには、MAX-DOAS国際相互比較実験(CINDI)の推奨に従い、Hermans の O_4 吸収断面積データを使用した。この吸収断面積データには25%のバイアスがあるという指摘があり、我々のアルゴリズムもその指摘に従って25%の補正を施した。

図2から分かるように、O_4 の吸収断面積に25%の補正を施した場合、CRDSデータに比べ、MAX-DOASの地表付近のエアロゾル消散係数の値が系統的に過大となる傾向が認められた。これはCINDIの期間中に同様の比較を実施したZieger et al.(2011)の結果と整合する。

O_4の吸収断面積のバイアスの有無・原因については依然として理解が乏しい状況である。そこで、本研究で実施した観測において、バイアス補正を行わずにリトリーバルを実施した。その結果を図3に示す。すると、概して比較結果が改善されたことが分かった。しかしながら、MAX-DOASの高度分布導出時に生じた残差を詳細に解析したところ、測定仰角が比較的高いとき(特に20°、30°)に特徴的な大きな残差が生じていることが判明した(図4)。その特徴から、次式のように、補正係数(f_{O4})を仰角の関数として経験的に導いた。

$$f_{O4} = f_{O4}(\alpha) = 1 + \alpha/60 \qquad (1)$$

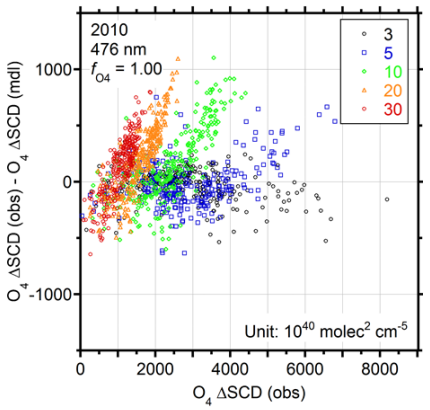


図 4　O_4 の差分スラントカラム濃度(ΔSCD)の測定値に対する O_4 ΔSCD の残差。測定仰角毎に色で分けてプロットされている。

ここで、αは仰角である。f_{O4}が1の場合はO_4吸収断面積の補正無し、1.25の場合は25%の補正に相当する。この補正式を利用することで、MAX-DOASデータが他の観測データと良く一致するようになり(図5)、かつ、残差も抑えることができた。この補正式は、Thalman and Volkamer (2013)が室内実験で最近測定したO_4吸収断面積の温度依存性によって定性的に説明されるが、定量的には不十分である。補正式を説明する他の理由としては、DOAS法(差分吸収分光法)によるスペクトルフィッティング解析で濃度(差分スラントカラム濃度)を同定する際、仰角が高いほど正確さが低下し、バイアスが生じたことが挙げられる。スラントカラム濃度については真値を得ることが難しく、定量的な議論はできない。原因の定量的な特定にはさらなる詳細な研究が望まれる。

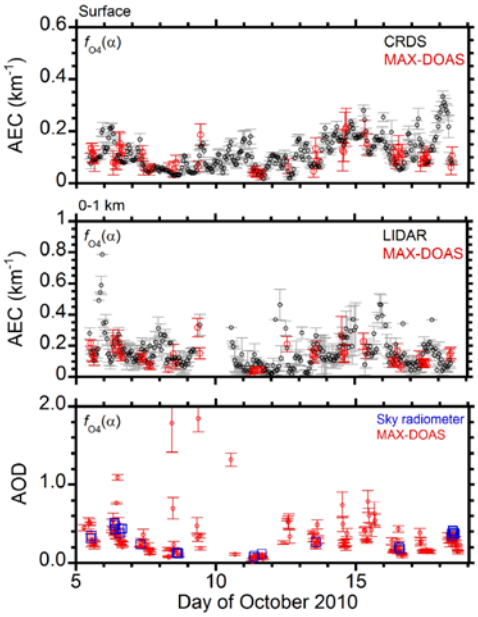


図 5　図 2 と同様だが、MAX-DOAS については、式 1 のバイアス補正を行ってリトリーバルされた結果が示されている。

4. 成果発表

Irie, H., T. Nakayama, A. Shimizu, A. Yamazaki, T. Nagai, A. Uchiyama, Y. Zaizen, S. Kagamitani, and Y. Matsumi, Evaluation of MAX-DOAS aerosol retrievals by coincident observations using CRDS, lidar, and sky radiometer in Tsukuba, Japan, Atmospheric Measurement Techniques, 8, 2775-2788, doi:10.5194/amt-8-2775-2015, July 16, 2015.

Lee, H., J. Ryu, H. Irie, S. -H. Jang, J. Park, W. Choi, and H. Hong, Investigations of the Diurnal Variation of Vertical HCHO Profiles Based on MAX-DOAS Measurements in Beijing: Comparisons with OMI Vertical Column Data, Atmosphere, 6 (11), 1816-1832, doi:10.3390/atmos6111816, November 20, 2015.

Frieß, U., H. Klein Baltink, S. Beirle, K. Clèmer, F. Hendrick, B. Henzing, H. Irie, G. de Leeuw, A. Li, M. M. Moerman, M. van Roozendael, R. Shaiganfar, T. Wagner, Y. Wang, P. Xie, S. Yilmaz, and P. Zieger, Intercomparison of aerosol extinction profiles retrieved from MAX-DOAS measurements, Atmospheric Measurement Techniques Discussion, doi:10.5194/amt-2015-358, January 15, 2016.

（別紙様式２－２）

Statistical investigation of the elemental abundance of flares using Hinode/EIS

Kyoung-Sun Lee, 宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所

We have planned to investigate the elemental abundances of flares, which are energized by magnetic reconnection and the most explosive phenomena in the Sun. For this, first, we have investigated the elemental abundances in small magnetic reconnection features, polar jets, using the FIP effect. Then, we have investigated the plasma properties of a flare as a case study.

Purpose: Elemental abundance in the Sun is one of the important properties to understand the solar atmosphere, their activities and solar winds. Using the previous spectroscopic observation, it is found that the photosphere and corona show different elemental compositions depending on the first ionization potential (FIP) of elements and elemental composition is also different depending on various structures. Therefore, we need to try to investigate why their abundances are different using the observations and theoretical models. Recently, there is a report about the absolute abundances of flares using the SDO/EVE (Warren, 2013) and they showed that most of the flares showed photospheric abundances, which is different from the past results. We would like to investigate the abundances of the magnetic reconnection features, and especially, investigate the flares' plasma properties.

Method

1) FIP factor analysis for the abundance determination

We have investigated the abundances in the small magnetic reconnection features, polar jets. For measuring the abundances, we used the FIP (First Ionization Potential) bias factor, which is different depending on the solar atmosphere, photosphere and corona. We measured the FIP bias factor from the intensity ratio of the S X and Si X spectral lines observed by EIS and DEM (Differential Emission Measure), which is determined from the atomic database and observed density profile.

2) 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 density profile of the flare using the Fe XIV line pare from the EIS and the O IV line pair from the IRIS.

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

Results

1） FIP factor analysis for the abundance determination

We have found that the polar jets have a photospheric abundance. The reconnection produces the ejecting plasma very quickly and the abundances doesn't change to coronal abundances during this process. It showed that it needs the quite longer timescale to change the abundances in the reconnection features. This research has been published in the Astrophysical Journal.

2) Investigation of the temporal evolution of plasma properties in the flare

We have investigated the density profile of the flare with time and location. The density from the coronal (Fe XIV) and chromospheric line (O IV) showed that the temporal evolution of the density profile in the impulsive phase would be related to the chromospheric evaporation process. The investigation of the plasma properties in a flare would be useful for the investigation of the abundance in flares.

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

- Presentations (Title / Author / Conference / Year)

1. Evaporation flow in a bright kernel of an X 1.6 flare observed on 2014 October 22 by IRIS, Hinode, and RHESSI / Kyoung-Sun Lee, Shinsuke Imada, Kyoko Watanabe, Yumi Bamba / IRIS workshop 4 / May 2015
2. Temporal evolution of the chromospheric evaporation flows in an X1.6 flare observed on 2014 October 22 by Hinode, IRIS, and RHESSI / Kyoung-Sun Lee, Shinsuke Imada, Kyoko Watanabe, Yumi Bamba / Hinode 9 / September 2015
3. Photospheric abundances of solar polar jets observed by Hinode/EIS and XRT / Kyoung-Sun Lee, David H. Brooks, Shinsuke Imada / Asian Pacific Solar Physics Meeting 2015 / October 2015
4. Multi-wavelength observation of an X1.6 flare with Hinode/EIS, IRIS, RHESSI, and SDO / Kyoung-Sun Lee, Shinsuke Imada, Kyoko Watanabe, Yumi Bamba, David H. Brooks / Asian Pacific Solar Physics Meeting 2015 / October 2015

- Papers (Title / Author / Journal / Year)

1. Photospheric abundances of polar jets on the Sun observed by Hinode / Kyoung-Sun Lee, David H. Brooks, Shinsuke Imada / the Astrophysical Journal, 809, 114 / 2015

（別紙様式２－２）

衛星観測データを用いた プラズマ圏EMIC波動の伝搬特性解析と周辺環境の推定

Study on propagation characteristics of plasmaspheric EMIC waves and diagnostics of multicomponent plasma using satellite observation data

松田　昇也
金沢大学　総合メディア基盤センター

研究目的および研究方法

電磁イオンサイクロトロン(EMIC)波動は地球周辺の磁気圏内で頻繁に観測されるプラズマ波動であり，近年では放射線帯電子との波動粒子相互作用により磁気圏内のプラズマ環境の変動に大きく寄与する重要な現象であることが明らかになりつつある．高度数R_E—数十R_Eの領域を編隊飛翔するTHEMIS衛星などのデータを用いてEMIC波動の励起機構に関する研究がなされる一方，高度数千km以内の領域では衛星によるプラズマ波動の観測例が少ないためにEMIC波動に関する研究の報告例は未だ少ない．

あけぼの衛星は，1989年の打ち上げ以降およそ26年間に渡って高度10500 km以下の内部磁気圏観測を実施し，プラズマ波動観測データを用いた解析ではEMIC波動が電子モードの磁気音波(MSW)からモード変換されて伝搬していることが示唆されている．また，雷放電を起源とする雷ホイスラ波動から励起されるイオンサイクロトロン波動が多数観測されており，スペクトル解析から観測地点および伝搬経路上のイオン組成が推定できる．さらに，長期間に及ぶ観測データの統計解析は，プラズマ圏EMIC波動のより確固とした伝搬機構の解明に貢献するだけではなく，太陽活動など長期変動との関連を調査する上で非常に有用である．

本研究では，あけぼの衛星による長期観測データや，2012年から観測が続けられているVan Allen Probes衛星によるプラズマ波動観測データを用いて，未解明のプラズマ圏EMIC波動の伝搬機構の理解を深めることを目的とする．特にこれまで報告の少ないモード変換の実態に着目し，他の領域で観測されるプラズマ波動およびプラズマ圏周辺の物理過程との関係の解明を目指す．加えて，さらなる成果創出のために，次期内部磁気圏探査衛星ERGでの観測ストラテジーへの応用と，科学観測データの仕様や公開用フォーマット等を検討する．

研究結果および考察

EMIC波動の特性周波数の一つである「クロスオーバー周波数」は，周辺の超熱的エネルギーイオン組成の変化に応じて変動する．プラズマ圏には地球起源の重イオンが豊富に存在することが知られており，それらの組成変化を反映したEMIC波動が科学衛星で観測されることが期待される．あけぼの衛星に搭載されたプラズマ波動観測器VLF/ELFで，1989年から1995年までの約6年間に観測された雷起源EMIC波動を網羅的に解析したところ，L>2の領域ではクロスオーバー周波数変動に顕著な地理的依存性は見られなかった．L<2の領域では，地球磁場強度の強まりがイオンのサイクロトロン周波数上昇をもたらすため，観測できる周波数帯に制限があるVLF/ELFでは，同様の解析を行うことが困難である．一方Van Allen Probesに搭載されているプラズマ波動観測器EMFISISでは，高頻度でサンプリングされた電磁界バースト波形を観測している．L<2の領域で観測された雷起源EMIC波動を約4000例収集し，その特性周波数変動を統計的観点から解析したところ，H+ band EMIC波動のクロスオーバー周波数が明瞭な高度依存性を有していることが明らかになった．この結果は地球電離圏を起源とする重イオンがプラズマ圏下部にも存在し，それらがプラズマ波動の伝搬に寄与していることを示す結果である．本研究で明らかにした特性周波数変動は，プラズマ圏における超熱的エネルギーイオンのダイナミクスを知る手がかりになるだけでなく，同領域でシミュレーションやレイトレーシング等を行う際の初期条

件決定にも有益である.

また,名古屋大学宇宙地球環境研究所では磁気音波(MSW)を起源とするEMIC波動の研究が進められている.磁気音波はEMIC波動とは異なる右旋偏波の現象であるが,それらが各イオンモードのクロスオーバー周波数を横切る際に,波のエネルギーの一部が左旋偏波のイオンサイクロトロンモードに変換される場合がある.雷起源EMIC波動や磁気音波がモード変換を介して励起するEMIC波動は,プラズマ圏内のEMIC波動のうち大部分を占めると考えられる.プラズマ圏で観測されるこれら起源の異なるEMIC波動は,いずれもクロスオーバー特性などの特性周波数を有することがわかっており,本共同研究の一環として,起源の異なるEMIC波動を包括的に用いたプラズマ圏イオン組成診断手法を検討した.磁気音波起源のEMIC波動は,現象の継続時間が数十分程度と長く,衛星軌道に沿ったイオン組成診断を行うことに適している.一方,雷起源EMIC波動は数秒程度の瞬時的な現象であるものの,特性周波数の同定が容易であり,精度よくそれを決定できるという利点がある.今年度は,磁気音波を起源とするEMIC波動の特性周波数から超熱的エネルギーイオン分布を求める手法を議論し,いくつかの特徴的な観測例についてイオン組成比推定を試みることができた.しかしながら,雷起源のEMIC波動に比べ,磁気音波を起源とするEMIC波動は観測例が少ないことが分かり,統計的観点からの考察が困難であるという問題が残った.今後は,精度の高いイベント抽出法の検討と,長期間観測データを用いた観測例の収集が必要である.合わせて,後述のERG衛星による観測データの拡充により,より一層の成果が期待できる.

ジオスペース探査衛星ERGでは,プラズマ波動観測器PWEによって電磁界バースト波形観測が実施される.PWEのバースト波形観測には,EMIC波動観測に特化したEMICバーストモードが搭載されており,低周波の電磁界波形を長時間連続して取得することができる.また,通常観測では位相情報を含めたスペクトルマトリクスを24時間連続で取得でき,赤道域周辺でのプラズマ波動励起・伝搬に関する研究の躍進が期待できる.本研究では,PWEの観測データを格納する共通データフォーマット(CDF)の仕様を議論し,特に観測データ保管用フォーマット(Level1 CDF)と公開用データフォーマット(Level2 CDF)へのパイプライン作業工程を検討にした.今後は,衛星試験データを用いた実際的な観測値較正手法の検証を進めたいと考えている.

成果発表

松田 昇也, 笠原 禎也, Craig A. Kletzing, EMIC 波動の特性周波数変動から探るプラズマ圏の重イオン分布, 大阪電気通信大学エレクトロニクス基礎研究所ワークショップ「プラズマ圏の観測と予測モデリングの構築」, 2015

松田 昇也, 笠原 禎也, Craig A. Kletzing, Van Allen Probes のプラズマ波動観測に基づく地球内部磁気圏の重イオン分布推定, 2015 年度名古屋大学宇宙地球環境研究所研究集会 「太陽惑星系宇宙プラズマ中の重イオンに関する研究集会」, 2016

松田 昇也, 笠原 禎也, Craig A. Kletzing, 雷起源 EMIC 波動解析による下部プラズマ圏の重イオン分布推定, 2015 年度名古屋大学宇宙地球環境研究所研究集会「若手研究者のためのジオスペース研究集会」, 2016

松田 昇也, 笠原 禎也, Craig A. Kletzing, 雷起源 EMIC 波動解析によるプラズマ圏下部の重イオン組成比推定, JpGU Meeting 2016, accepted

奥田 拓希, 松田 昇也, 太田 守, 笠原 禎也, 笠羽 康正, 土屋 史紀, 小嶋 浩嗣, 井町 智彦, 後藤 由貴, 三好 由純, ERG 衛星プラズマ波動観測データの地上データ処理・較正システムの開発, JpGU Meeting 2016, accepted

Kasahara, Y., Y. Kasaba, H. Kojima, S. Yagitani, T. Imachi, M. Ozaki, S. Matsuda, K. Ishisaka, F. Tsuchiya, and A. Kumamoto, The Plasma Wave Experiment (PWE) onboard the ERG Satellite, Asia-Pacific Radio Science Conference 2016, submitted

（別紙様式２－２）

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

天野孝伸（東京大学・理学系研究科）

我々は地球内部磁気圏領域のより現実的な数値モデル構築に向けて、圧力の主要な部分を担う環電流イオンの運動論効果を適切に組み込んだモデルの開発を継続して行っている。環電流ダイナミクスが系の発展に特に重要となる磁気嵐時に見られる周期数分程度の磁気流体波動(Pc4-5)は、環電流イオンが不安定性によって励起するものと考えられているが、その詳細については理解が進んでいない。我々は背景プラズマを流体とし、環電流のみを運動論的に扱うシミュレーションコードを開発し、この問題に取り組んでいる。

今年度は以下の様な基礎開発を行った。まずはシミュレーションコード自体の開発および、基礎的なテスト計算によるその性能確認を行った。またドリフト近似したVlasov方程式とMaxwell方程式を用いて、環電流領域を模擬した２次元的な平衡解を構築する数値計算コードを作成した。このモデルでは温度異方性やプラズマベータなどのパラメータを任意に指定し、数値的に平衡解を求めることができる。さらに、構築した数値的平衡解に一致する粒子分布を生成する乱数アルゴリズムを実装した。これを初期条件として用いることで、今後は非線形の数値シミュレーションを行う予定である。

（別紙様式２－２）

大気中の有機硝酸全量の観測に基づく光化学オキシダント評価
Evaluation of photochemical oxidants based on observation of atmospheric total organic nitrates

松本淳, 早稲田大学・人間科学学術院

【研究目的】 窒素酸化物 NOx (= NO+NO_2) と揮発性有機化合物 VOC の大気光化学反応から生成する光化学オキシダント Ox（主にオゾン O_3）は、依然として重要な大気汚染問題である。対流圏での NO-NO_2 連鎖反応の中の NO+ROO・の反応にて、NO_2 を生成すれば太陽紫外光 UV の照射によりオゾンを生成するが、有機硝酸類 Organic nitrates (ONs, $RONO_2$) の生成経路への分岐は O_3 生成を抑制する。その場での ONs 生成分岐比が低いほど、局所的な O_3 生成効率は高くなる。したがって、Ox 生成挙動の正しい把握には、ONs の挙動を知る必要がある。反応 NO+ROO・における ONs 生成分岐比は、前駆体 VOC の種類ごとに異なる。VOC は膨大な種類が存在し、個別成分分析による網羅は困難である。また、ONs 生成特性が完全に解明された VOC は限られているうえ、二次生成 ONs も多種多様である。以上のことから、大気光化学反応を通して生成する 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、Ox 生成評価のために有意義である。研究代表者はこれまで、前例 [1] を参考にして、ONs から NO_2 への熱分解変換器 TD とレーザー誘起蛍光法 NO_2 計 (LIF-NO_2) を組み合わせて、室内実験にて ONs 全量測定を実現したが[2]、レーザーの運用が簡便でなく、測定装置の汎用化が大気観測に向けた課題であった。最近、高確度 NO_2 計の市販品 CAPS-NO_2（キャビティ減衰位相シフト法二酸化窒素モニター）と TD を組み合わせた TD/CAPS 法を用いて実大気 ONs を連続観測した例が報告され、TD/CAPS 法の清浄大気での実用性が示された[3]。しかし日本国内では、光化学オキシダント問題の顕著な都市郊外大気での ONs 全量の観測例は不十分である。そこで本研究では、都市郊外向けに TD/CAPS 法 ONs 全量計を構築し、実大気観測を試みた。さらに、O_3 と ONs の分岐比を知るために、ポテンシャルオゾン PO (= NO_2+O_3) と ONs の相関を調べ、光化学オキシダント評価を試みた。

【研究の方法と結果】 所有する CAPS-NO_2 計に熱分解変換器 TD を組み合わせた CAPS-ONs 計を新たに構築した。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、東京都心から約 30 km の位置）において、都市郊外大気観測を 2015 年 8 月に実施した。今回は、日中から夜間の有人時に TD を稼働させた（CAPS 本体は常時稼働）。なお、PO-ONs 相関解析にて O_3（1 分値として測定）の積算時間を確保するため、ONs と PANs の各測定モードを 6 分毎に切り替えた。ONs を NO_2 に変換して定量する TD/CAPS 法では、ONs 測定のベースラインとなる試料中 NO_2 濃度変動の把握が原理的に重要となる。しかし都市郊外では、自動車排ガスなどに起因する NO_2 濃度の短時間変動が、ONs 定量の干渉となりうる。また、排ガスとして直接放出される NO_2 によって PO も影響を受ける。そこで本研究では、ONs 測定用の

TD/CAPS と同時に、CAPS-NO_2 計をもう一台使用して、NO_2 濃度変動を 1 秒値にて監視した。さらに、NO_2 短時間変動の影響を除去するために、各測定モードにて 1 秒値の相対標準偏差を考慮してデータを選別した。その結果、8 月 5, 6, 7 日の PO と ONs に日中から夜にかけて減少する日変化パターンが観測され、PO-ONs 間の相関も見られた(図)。図の回帰直線の傾き (22-80) は、海外の観測例 (Houston: 41, Granite Bay: 34, Mexico City: 26, UC-BFRS: 80)[1] と比較して妥当であった。3 日間全体の回帰直線の傾き (44) を用いて ONs 分岐比を算出した[1] ところ、約 5 % を得た(反応 1 サイクルあたりの O_3 生成分子数を 2 と仮定)。2 台の CAPS を用いて発生源影響の低減を工夫することで、夏季の都市郊外大気にて ONs を十分に観測可能であることを確認した。

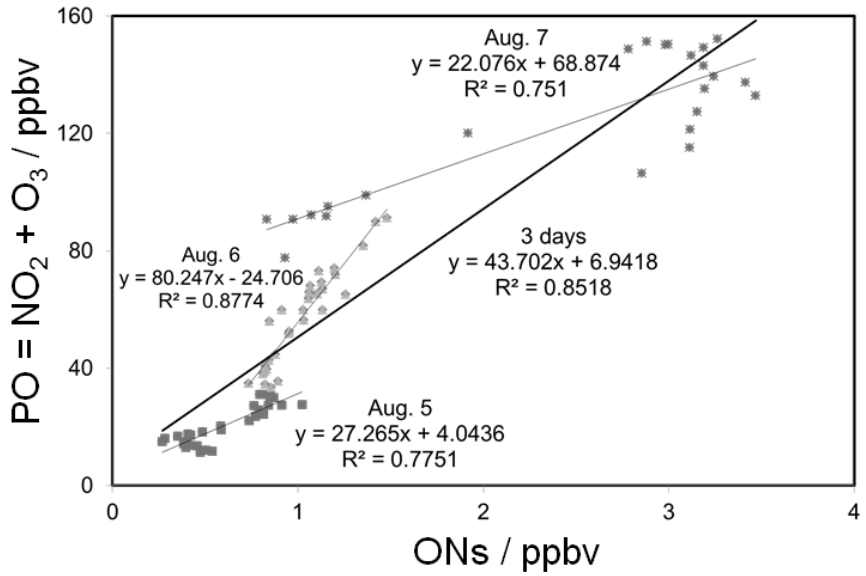


図　2015/8/5, 6, 7 測定分の PO-ONs 相関。

【参考文献】

[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] 石山絢菜ほか (2015): *大気環境学会誌*, **50**, 16-26.

【成果】

松本淳ほか(2015) 第56回大気環境学会年会, 3D1430.

松本淳(2015): 第21回大気化学討論会, P-7.

Jun Matsumoto, et al. (2015): The 13th International Conference on Atmospheric Sciences and Applications to Air Quality (ASAAQ13), 21-1.

（別紙様式２－２）

ライダーによる大気中二酸化炭素計測技術の研究
Lidar technology for atmospheric CO2 measurements

水谷耕平、情報通信研究機構・電磁波計測研究所

研究目的

地球環境変動、特に近年の温暖化は、人間活動による二酸化炭素をはじめとする大気成分の変化が、大気の放射特性を変化させたことが大きな要因になっていると考えられている。従って、大気中の二酸化炭素分布を精密に測定し、その吸収・排出過程を解明することは地球環境の将来予測に非常に重要である。この共同研究では情報通信研究機構で開発している差分吸収ライダー装置により、地球環境の温暖化のより詳しいメカニズム解明に必要となる大気中二酸化炭素分布計測技術のための研究を行う。

研究方法

情報通信研究機構で開発してきた地上設置型差分吸収ライダーは2μm波長のレーザ光による差分吸収計測から二酸化炭素分布を測定することができる。このタイプの装置を衛星に搭載するとグローバルなCO2分布のアクティブな観測が可能である。衛星搭載により二酸化炭素の吸収・排出の要因を特定するためにどのような観測方法が良いのか、その試行と観測方法の研究を行う。現在、情報通信研究機構では2世代目の搭載型差分吸収・ドップラーを開発している。レーザ光をスキャナーにより任意の方向に射出することができ、大気からの反射や地表面からの反射などを使いテスト観測ができるので、この機能を使って色々なケースにおける計測方法の研究を行う。

研究成果

地上設置型差分吸収ライダーの2010年、2011年のキャンペーン観測のデータと新しいバージョンのGOSATデータと比較を行った。さらに、搭載型差分吸収・ドップラーライダーの開発を進めた。屋上のコンテナーに移設した搭載型差分吸収・ドップラーライダー装置でドップラーライダー機能により風分布が測定可能になった。二酸化炭素の観測機能では二酸化炭素の吸収線の中心波長にレーザの波長を固定するフェイズロックができるようになり、吸収線の中心波長を使った二酸化炭素観測が可能になった。しかし、吸収線の肩の部分に波長を固定するオフセットロックの機能がまだできていないので、遠方までの観測はできていない。これからさらにオフセットロックが使えるように開発を進めている。

搭載型 CO2 差分吸収・ドップラーライダー

（別紙様式２－２）

太陽電波観測による粒子加速・宇宙天気研究
Studies on particle acceleration and space weather by solar radio observations

岩井一正・情報通信研究機構・電磁波計測研究所

【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、これまでの共同研究活動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微細構造観測を通じて、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、電波を派生され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、宙空環境で様々な災害を引き起こすリスクがある。そこで、電波観測を通じて、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。

【研究成果】

１．広帯域分光撮像観測の実施と、微細バーストの共同研究

山川望遠鏡はNICTの平磯太陽観測施設にある太陽電波望遠鏡HiRASの後継機である。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。更に観測する全帯域で8msの時間分解能で連続観測が可能である。本年度は、望遠鏡の最終調整を進め、試験観測を行った。その結果、複数の太陽電波バーストの観測に成功した。来年度からはHiRASに代わって定常観測に投入される予定である。

東北大学が運用する太陽電波望遠鏡AMATERASでは、本年度も順調に観測が行われた。本年度は博士課程の大学院生の論文執筆指導を通じて、太陽電波IV型バースト中に含まれるZebra構造と呼ばれるスペクトル微細構造の特性が明らかとなった。この成果は大学院生が筆頭著者として、論文が受理された。

２．野辺山電波ヘリオグラフの共同研究

本年度より名古屋大学に主体的運用が移管された野辺山電波ヘリオグラフの共同利用研究を行った。本年度は今までフレアのみに利用されてきた34GHzのデータにSteerアルゴリズムと呼ばれる像合成方法を応用することで、静穏太陽の構造を議論できるようにした。その結果、黒点の中心領域の大気構造を明らかにした。

また、茨城大学の修士課程の大学院生の指導を通じて、コロナの磁場強度を、より詳細に導出する方法を開発することに成功した。この

成果は大学院生が筆頭著者として、論文が受理された。

以上のように、本年度は研究代表者のみならず、関連する大学院生からも成果が出始めたことが大きな特徴である。本共同研究が研究・教育の両面で、より広範囲に波及していることは大きな意義があると言える。

【成果発表】

論文発表

Iwai, Kazumasa, Koshiishi, Hideki, Shibasaki, Kiyoto, Nozawa, Satoshi, Miyawaki, Shun, Yoneya, Takuro, Chromospheric Sunspots in the Millimeter Range as Observed by the Nobeyama Radioheliograph, The Astrophysical Journal, 816, 91, 2016

Miyawaki, Shun, Iwai, Kazumasa, Shibasaki, Kiyoto, Shiota, Daikou, Nozawa, Satoshi, Coronal Magnetic Fields Derived from Simultaneous Microwave and EUV Observations and Comparison with the Potential Field Model, The Astrophysical Journal, 818, 8

Kaneda, K., Misawa, H., Iwai, K., Tsuchiya, F. Obara, T., Frequency Dependence of Polarization of Zebra Pattern in Type-IV Solar Radio Bursts The Astrophysical Journal Letters (ApJL), IOP Publishing, 2015, 808, 45

口頭発表

Iwai K, Misawa, H., Tsuchiya, F., Katoh, Y., Kaneda, K., Masuda, S., Miyoshi, Y., and Obara T., Solar radio telescope AMATERAS: 6 years operation and science results, International GEMSIS and ASINACTR-G2602 Workshop, Nagoya, March 22 - 25, 2016

岩井一正, 久保勇樹, 亘慎一, 石橋弘光, 石井守, NICT における新太陽電波望遠鏡の開発, 宇宙電波懇談会シンポジウム 2016、三鷹、2016 年 3 月 10 日

岩井一正、偏波する星・太陽～入門から最新の科学まで～、茨城大学重点研究 研究会「偏波・偏光観測によるサイエンス」、茨城、2016 年 1 月 28 日、招待講演

岩井一正, 久保勇樹, 亘慎一, 石橋弘光, 石井守、NICT 新太陽電波望遠鏡の開発、日本天文学 2015 年会秋季年会、甲南大学、V111a、2015 年 9 月 9 日

（別紙様式２－２）

地上・衛星データ解析による内部磁気圏電子降下現象の研究
Study of energetic electron precipitation in the inner magnetosphere using satellite data and ground observations

田所　裕康, 武蔵野大学・工学部・環境システム学科

＜研究目的＞

内部磁気圏電子消失の定量評価を目標とする。具体的には、波動粒子相互作用に着目した磁気圏電子（数十keV帯）の地球大気への降下現象に関して以下２点を目的として設定する。

A) SC時における昼側磁気圏電子降下現象

B)複数データを用いたパルセーティングオーロラ(PsA)発光機構の研究

＜研究方法＞

主に、衛星、地上観測データの解析を行った。下記に使用したデータを示す。

A)南極昭和基地観測データ(CNA,VLF)

　NOAA衛星データ(30keV電子),LANL衛星データ(電子温度異方データ)

B)南極昭和基地観測データ(イメージングリオメータ,VLF,オーロラ光学データ)

＜結果・考察＞

A)SC時において、昼側磁気圏電子が降り込む場合(16例中7例)と降り込まない場合(16例中9例)がある事がわかった。使用したデータは1999-2007年のCNAデータである。降り込みの有無に関して、南極昭和基地で観測されたVLFデータ、太陽風データ、NOAA衛星により観測された30keV電子データを用いて解析したところ、太陽風、30keV電子データに違いが見られた。これらはSC時昼側磁気圏における波動粒子相互作用による数十keV電子消失の可能性を示唆している。

B)2007年5月17日に南極昭和基地において観測されたPsAのイベント解析を行った。磁気圏現象との対応を考えるには磁気座標系への変換が必要となるため、オーロラ光学データのAACGM座標系への座標付を実施した。さらにこれらの座標変換後のデータを動画として可視化をおこなった。結果として、イメージングリオメータ、VLF、オーロラ光学データには、数分スケールでは相関が見られた。しかしながら、数秒スケールではより詳細な相関解析を必要とする事が示唆された。

＜成果発表＞

A)現在、Polar Science誌に投稿準備中である

B)下記１件の学会発表を行った。

○Hiroyasu Tadokokoro, Mitsunori Ozaki, Yuto Katoh, Yoshizumi Miyoshi, Hisao Yamagishi, Akira Kadokura and Yoshimasa Tanaka, Relationship between ATV, imaging riometer, and VLF observations at Syowa Station during an auroral event on 17 May 2007, The 6th Symposium on Polar Science, Tachikawa, Tokyo,Nov., 2015.

炭化水素のオゾン分解による二次有機エアロゾル生成過程の研究
Studies on secondary organic aerosol formation from hydrocarbon ozonolysis

廣川　淳、北海道大学・大学院地球環境科学研究院

【研究目的】

モノテルペン類などの植物起源炭化水素は、オゾン分解反応を通して二次有機エアロゾル（SOA）を生成することが知られているが、その化学的なメカニズムには不明な点が多い。本研究では、炭化水素の酸化からエアロゾル生成にいたるSOA生成の初期過程に着目し、その化学的メカニズムを理解することを目的として、炭化水素類のオゾン分解反応で生成する気相生成物とエアロゾルを、秒オーダーの時間スケールで調べるため、フローチューブを用いた実験研究を計画した。平成27年度は、モノテルペンのモデル化合物としてシクロヘキセンを選び、そのオゾン分解反応を調べた。

【研究方法】

実験は、内径4 cm、長さ80 cmのガラス製フローチューブを用いて行った。フローチューブに、濃度3 ppmvのオゾンと濃度17 ppmvのシクロヘキセンを導入し、反応を開始した。必要に応じて、OHラジカル捕捉剤としてシクロヘキサンあるいはメタノールなどのアルコールを添加した。シード粒子は用いなかった。フローチューブを出た気体の一部を走査型移動度粒径選別器（SMPS）に導入し、生成したエアロゾルの粒径分布を約10~450 nmの範囲で測定した。得られた粒径分布からエアロゾルの数濃度および体積濃度を見積もった。フローチューブから出た気体の別の一部を化学イオン化質量分析計（CIMS）に導入し、気相生成物の分析を行った。CIMSでは、SO_2Cl^-を試薬イオンとすることで、オゾン分解反応で生成する有機酸（RC(O)OH）および有機ヒドロペルオキシド（ROOH）を選択的に検出し、その挙動を調べた。反応時間は、フローチューブに導入する気体流量とフローチューブの長さ、断面積より、約20秒と見積もられた。

【研究結果、考察】

生成したSOAの数濃度、体積濃度は、OH捕捉剤の有無、種類によって大きく変化することが見いだされた。メタノールを添加すると、無添加の場合に比べて粒子数濃度が約10倍に増加したのに対して、シクロヘキサンを添加すると、粒子はほとんど観測されなかった。体積濃度も同様の傾向を示した。CIMSで行った気相生成物の分析では、OH捕捉剤を添加することで質量電荷比（m/z）167の信号強度が大幅に減少した。このピークはシクロヘキセンとOHラジカルとの反応で生成するヒドロキシーヒドロペルオキシシクロヘキサンに帰属することができる。また、メタノール添加時には、ジカルボン酸であるアジピン酸とメタノールが脱水縮合した化合物に帰属されるピークがm/z 195に観測されたのに対し、シクロヘキサン添加時には、このような特徴的なピークは観測されなかった。エタノールなど他の第一級アルコールを添加した場合も、メタノールと同様の結果がSMPSおよびCIMSで得られたことから、ジカルボン酸とアルコールの反応により極性を持った長鎖の有機化合物が生成し、SOA生成に寄与している可能性が示唆された。

【成果発表】

"Secondary organic aerosol formation from cyclohexene ozonolysis", R. Yajima, Y. Sakamoto, S. Inomata, and J. Hirokawa, 第31回化学反応討論会，2P06.

（別紙様式２－２）

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において、上層から落下してくる降水やその場に浮遊する霧水および大気エアロゾルの化学組成、更には気体成分を調べることにより、境界層内や自由対流圏内に大気微量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、山頂から見てほぼ対称的な位置にある富士観測所と静岡県御殿場市太郎坊、および山頂において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。

近傍の影響を強く受けた境界層大気と、長距離輸送の影響が卓越する自由対流圏の大気とが混合し変質する過程は、本来は複雑なものであるが、富士山という孤立峰では気塊の流れを比較的単純化することが可能になる。これにより、種々の大気微量成分における発生源の特定も容易となり、多くの知見が得られるものと期待される。

今年度は人的資源の制約から山頂での観測に重点を置いたため、今回の報告も山頂での結果に限定する。なお、富士観測所では昨年までに引き続きパッシブサンプラー（小川式）による気体状アンモニアを測定したことを付記する。

２．方　法

山頂での観測は2015年7月19日～8月20日に行い、冒頭の7月19日～23日は集中観測を実施した。試料は以下の方法により採取および分析を行った。雲水は細線式パッシブサンプラーで採取した。試料は密栓して冷蔵保存し、研究室に持ち帰った後に孔径 0.45μm のメンブランフィルターで吸引ろ過してpH と導電率を測定した。主要無機イオンはイオンクロマトグラフ法、微量金属元素はICP-MS（誘導結合プラズマ発光－質量分析法）と還元気化水銀測定法でそれぞれ分析した。

３．結果と考察

山頂に到達した気塊の起源により雲水を分類したところ、大陸南部からの場合にpHおよび硝酸（NO_3^-）／非海塩硫酸（nss-SO_4^{2-}）比が低くなる（後者は１以下）傾向が見られ、雲の酸性化には硫酸が大きく寄与していることが示唆された。また海洋由来の気塊は4,000 m以上の高度を輸送されており、比較的清浄であると考えられるため、雲水中での成分濃度はバックグラウンド値と言うことができる。その値は、pHが5.29、N/S比が2.07であった。

微量金属では、総濃度はほぼ全ての元素で海洋起源よりも大陸南部起源の気塊で高かった。特にSeは大陸南部起源で海洋起源の約12倍となり、大陸での排出が推測された。また雲水中のAs（ヒ素）とSe（セレン）は、今回の結果では両者の相関係数が0.963と非常に高かった。

（別紙様式２－２）

太陽圏における銀河宇宙線伝播の研究

Study on Galactic Comic Ray Propagation in the Heliosphere

大嶋晃敏・中部大学・工学部

【研究目的】

本研究は、地上観測によって、惑星間空間磁場（IMF）における銀河宇宙線の流れを明らかにし、宇宙線の伝播機構の理解につなげることを目的としている。地球近傍の宇宙では、エネルギーの低い銀河宇宙線は太陽活動の影響を強く受ける。そのため宇宙線は、IMF や太陽風との相互作用で複雑な流れを作っていると考えられる。地球上で観測される宇宙線の流れは、宇宙線の強度変動や異方性として観測される。それらはまさに IMF の構造やその変動を反映したものとなっている。惑星間空間は、我々が直接観測することができる空間であり、より大規模な宇宙空間の縮図と捉えることができる。したがって、惑星間空間で観測できる電磁的な現象は、空間的な規模やエネルギー的な規模は異なるが、その基本原理は宇宙各所で生じているものと同等である。我々は、このような観測を通じて、銀河宇宙線の伝播機構の理解につげることができると考えている。

【研究方法】

我々は、宇宙線の強度変動に含まれる、時間的な成分と空間的な成分を分離するために、独立した 2 基以上の地上粒子検出器を用いる。これらの地上粒子検出器は、互いに離れた地理的位置に設置されている。一つは GRAPES-3 実験（インド）のミューオン検出器であり、そして、本研究所の多方向宇宙線ミューオン検出器（名古屋市東山）と、東京大学宇宙線研究所明野観測所のミューオン検出器である。インドと日本では、経度方向に約 6 千キロメートル離れている。それぞれの検出器はミューオンの方向決定能力を有しており、数 10 GV 以上の銀河宇宙線について多方向で同時観測をおこなうことができる。

【研究活動報告】

1. GRAPES-3 実験

現在、GRAPES-3 実験で進行中のミューオン検出器の拡張作業を報告する。新ミューオン検出器の設置場所は、空気シャワーアレイの北側に位置し、一昨年度から整地作業を進めてきた。2016 年 2 月現在、16 基のミューオン検出器のコンクリート基礎が完成している（Figure 1）。また比例計数管の作成手順および計数管の基本特性の測定技術も確立している。独自に開発した高性能アンプ回路によりノイズ成分を大幅に減らすことができ、非常にクリアなスペクトルを得ることができている（Figure 2）。なお、スペクトルチェック完了時点を計数管の完成とすると、およそ 100 本/月の進捗具合である。また、新ミューオン検出器では回路系を一新することになっており、そのために FPGA を用いたデータ収集回路を開発している。これらの回路は比例計数管の性能試験で試験的に運用している。簡易チェック用の可搬式 PWA 計測器も開発中である。

Figure 1　GRAPES-3 空気シャワーアレイと新ミューオン検出器建設地（2016 年現在）。

2015 年 11 月からは、大阪市立大学を定年退職した林嘉夫がインド・タタ研究所の客員となり、インド Ooty に長期滞在し、ミューオン検出器建設の指導をおこなっている。なお諸般の事情により、2015 年度中には現役の日本人研究者によるインド渡航が叶わなかったため、インドとの連絡は主として電子メールによりおこなった。ミューオンデータ解析のために開発してきた解析手法を研究グループ全体で共有し、その結果に関する議論をおこなっている。また本研究経費で購入した、RAID カードと SSD は高速解析システムに導入した。

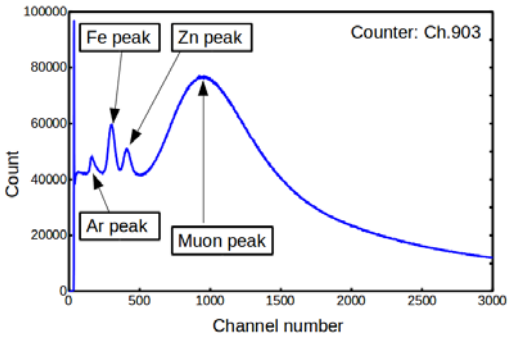


Figure 2　GRAPES-3 新ミューオン検出器用比例計数管のスペクトル。

2.　明野ミューオン検出器

2015 年 9 月に中部大学の大嶋・柴田、愛知工業大学の小島、広島市立大学の田中、大阪市立大学の林・川上が明野観測所に赴き、ミューオン検出器の基本特性、主として比例計数管の Pulse Height および Pulse Width 分布の取得作業をおこない、修理を要する比例計数管の選定作業をおこなった。

3.　研究成果

本申請研究に関連する研究成果として、太陽風速度の変動と宇宙線強度の変動の関係についての査読論文が出版された。その中で太陽風速度の変動量と宇宙線強度の変動量の間には、$(-1.33 \pm 0.07) \times 10^{-3}$ %/kms^{-1}の関係があることを示した。また、オランダで開催された第 34 回宇宙線国際会議にて、次の 2 編の発表を行った。一つ目は、2 つの異なるデータ（Swinson flow 異方性と宇宙線強度変動）を用いて剛度 77 GV の宇宙線に対する拡散係数を求めたものであり、両手法でほぼ同じ拡散係数 $1.0 \sim 1.1 \times 10^{19}$ m^2/s を得た。二つ目は、宇宙線強度変動の剛度依存性について Forbush Decrease 発生時とそうでないときに分けた解析をおこなったものである。その他、以下のように関連学会での発表をおこなっている。

【日本物理学会・その他学会発表】

1. 「大面積高精度 muon 望遠鏡による方位別宇宙線強度変動の研究(17)」
   小島浩司、柴田祥一、大嶋晃敏他、「物理学会・第 71 回年次大会」21pAZ-5
2. 「宇宙線太陽時異方性と太陽風速度」
   小島浩司、柴田祥一、大嶋晃敏他、「平成 27 年度 STE 研究集会」
3. 「GRAPES-3 ミューオン検出器の拡張計画の進捗状況」
   大嶋晃敏、柴田祥一、小島浩司他、「平成 27 年度 STE 研究集会」
4. 「大面積高精度 muon 望遠鏡による方位別宇宙線強度変動の研究(16)」
   小島浩司、柴田祥一、大嶋晃敏他、「物理学会・秋季大会」 25pSK-6
5. 「An estimation of the diffusion coefficient of galactic cosmic rays in the heliosphere near the Earth」
   H. Kojima et al., Proc. 34th International Cosmic Ray Conference ID:160
6. 「Rigidity dependence of the intensity variations of galactic cosmic rays」
   H. Kojima et al., Proc. 34th International Cosmic Ray Conference ID:163

【投稿論文】

1. “Dependence of cosmic ray intensity on variation of solar wind velocity measured by the GRAPES-3 experiment for space weather studies.” H. Kojima et al, published

（別紙様式２－２）

ひさき衛星によるオーロラ連続監視が明らかにする木星磁気圏の太陽風応答
Solar wind response of Jupiter's magnetosphere uncovered by continuous monitoring of auroral emission with Hisaki satellite

木村智樹、理化学研究所・仁科加速器研究センター

1. 研究目的

本研究は、長い間未解決問題だった回転磁気圏における太陽風の役割を解明するのが目的である。木星等の強磁場・高速自転の惑星において、磁気圏プラズマは共回転と自転遠心力による動径方向の輸送に支配される。定常的には、共回転遅延による発電が駆動する磁気圏−電離圏結合電流に伴う沿磁力線電場が、極域でプラズマ粒子を加速し、オーロラ発光を励起する。

しかし、回転磁気圏におけるオーロラと磁気圏の過渡的変動については、観測的特徴付けや物理過程の理解が不十分である。木星の磁気圏−電離圏結合理論(Cowley and Bunce, 2003)においては、太陽風による圧縮後、弛緩した時に共回転遅延量が過渡的に増大しオーロラ電流系が増強される事が予言された。しかし、過去の宇宙望遠鏡や地上望遠鏡によるオーロラ観測は、１日数１００秒から数時間分の露光が最大2週間程度実施されるものが主で、太陽風がもつ数日−1ヶ月に渡るスケールのオーロラ変動を十分検出できず、統一的な理論的解釈もなされていない。

そこで本研究は、ひさき衛星による史上初の連続オーロラ監視に注目する。ひさき衛星は今まで実現できなかった、1日約10時間の木星の紫外分光観測を5ヶ月以上実施している。これと、磁気流体シミュレーションによる太陽風変動を精査することで、木星オーロラの太陽風応答を精査する。特に太陽風動圧による磁気圏の圧縮・弛緩の振幅差やタイムスケールと、木星オーロラの放射強度や、降下粒子エネルギーの変動を対応付けることで、提案されている理論を検証する。これにより、現在までに不明瞭であった回転磁気圏における太陽風の寄与を議論する。

2. 研究方法

ひさき衛星搭載の極端紫外分光器（EXCEED）で測定された、極域オーロラのスペクトル解析を実施した。ひさき衛星が2013年から2015年にかけて観測した累計5ヶ月以上の連続監視データから、木星極域の水素分子発光輝線を抽出する。これらの輝線から導出したオーロラ放射エネルギー変動から、自転周期の発光励起などの自転起因の変動と切り分けつつ、太陽風変動成分を抽出し、太陽風による磁気圏圧縮の特性と対応付ける。太陽風はTao et al. [2005]で開発された磁気流体シミュレーションコードを使用し、地球軌道の太陽風変動を木星へ外挿する。

3. 研究結果

Kimura et al. [2015]で発見された、自励的オーロラ爆発や、オーロラ構造の木星との共回転に伴う見かけ上のオーロラ変動を取り除き、

太陽風擾乱（Corotation Interaction Region, CIR, Coronal Mass Ejection, CME）に伴うオーロラ放射エネルギーの変動を抽出した。太陽風擾乱到来後の、太陽風動圧増加量ΔP、擾乱到達直前の静穏期の継続時間ΔT、オーロラ放射エネルギー増加量ΔIの相関を調査した。その結果、太陽風外挿の時刻精度（±24時間程度）の範囲内で、ΔTとΔIが有意に正相関しており、一方でΔPとΔIは有意な正相関が見られない事が明らかになった。これは、擾乱時の圧力増加量はオーロラの放射エネルギーを制御するのではなく、擾乱直前の静穏時間の長さがそれを制御しているということを意味する。これは、今までの時間的に疎なオーロラ観測（例：Clarke et al., 2009）では明らかに出来なかった新事実である。また、磁気圏−電離圏結合理論（Cowley and Bunce, 2003）の反相関の予言と明確に矛盾する特筆すべき結果である。

Tao et al. [2011, Icarus]によって土星オーロラ向けに開発されたオーロラスペクトルモデルを木星に適用し、観測のスペクトル強度分布を再現するオーロラ降下電子エネルギーや磁気圏プラズマ熱電流の推定と、その時間変動を抽出した。その結果、ΔTと磁気圏赤道面における磁力線方向のプラズマ熱電流の絶対量が正相関している事がわかった。これは、長い太陽風静穏期間後に擾乱が訪れると、磁気圏と電離圏を結合する電流が増加していることを示唆する。一方でΔTと降下電子エネルギーに有意な相関は見られなかった。これは、磁気圏−電離圏結合電流増加を担保するものはオーロラ上空の粒子加速ではなく、磁気圏側の熱的プラズマの量的増加であることを示す。

4. 考察

本研究で観測されたΔT−ΔPの正相関や、ΔTと熱電流の相関は、幾つかの磁気圏状態の変遷が圧縮時に発生していることを示唆する。例えば、磁気圏プラズマの共回転角速度の動径分布の急峻化(Cowley and Bunce, 2003)、圧縮による磁気圏プラズマの断熱的加熱(Tao et al., 2015)、圧縮時に内部磁気圏における高エネルギー粒子注入(Mauke et al., 2002)が頻発している、等の候補が挙げられる。ΔPとΔIに有意な相関がないという新事実は、現在までに提案されている磁気圏−電離圏結合理論において予言された磁気圏圧縮とオーロラ電流の関係性と矛盾する結果である。これは、結合理論の修正の必要性を示唆している。本研究では、今回あげられた磁気圏状態の変遷の候補を新たに考慮しつつ、新しい統一的な磁気圏−電離圏結合ダイナミクスの過程を提案していく予定である。

この成果の主要部分は共同研究者を第一著者としてKita, H., T. Kimura, et al. (2016)としてGeophysical Research Lettersに投稿中である。

5. 成果発表

(1) （査読付き論文）Hajime Kita, Tomoki Kimura, Chihiro Tao, Fuminori Tsuchiya, Hiroaki Misawa, Takeshi Sakanoi, Yasumasa Kasaba, Go Murakami, Kazuo Yoshioka, Atsushi Yamazaki, Ichiro Yoshikawa, Statistical study of the solar wind response to Jovian EUV aurora detected from long term Hisaki observations, submitted to *Geophysical Research Letters*, 2016.

(2) （招待講演）木村智樹、JUNO, HISAKI による木星探査・観測に期待されるサイエンス、Symposium on Planetary Science 2016、東北大学、２月 22-24 日、2016 年

(3) （招待講演）木村智樹、回転惑星磁気圏が駆動するオーロラの物理と中性子星磁気圏への応用、～中性子星の観測と理論～研究活性化ワークショップ、京都大学、１２月２１日、2015 年

(4) （招待講演）木村智樹、国立天文台理論天文学研究会 2015、多波長遠隔観測でみる回転惑星磁気圏のオーロラ加速、大仁ホテル、伊豆、10 月 27 日-29 日、２０１５年

(5) （招待講演）木村智樹、衛星周囲のプラズマ環境と惑星-衛星電磁相互作用、衛星系研究会、北大低温研、７月２２日、2015 年

(6) （招待講演）木村智樹、その場観測と多波長遠隔観測に基づく高エネルギー磁気圏物理、巨大惑星系研究会、東工大学地球生命研究所、4 月 12 日、2015 年

(7) （口頭発表）**Kimura, T.**, R. Kraft, R. Elsner, G. Branduardi-Raymont, R. Gladstone, C. Tao, K. Yoshioka, G. Murakami, A. Yamazaki, F. Tsuchiya, M. F. Vogt, A. Masters, H. Hasegawa, S. V. Badman, E. Roediger, Y. Ezoe, I. Yoshikawa, M. Fujimoto, and S. S. Murray、宇宙望遠鏡群による木星オーロラの多波長観測：極冠領域における X 線発光、地球電磁気・地球惑星圏学会 第 138 回総会・講演会、R009-05、11 月 1 日、2015 年

(8) （口頭発表）H. Kita, **T. Kimura**, C. Tao, F. Tsuchiya, H. Misawa, T. Sakanoi, Y. Kasaba, G. Murakami, K. Yoshioka, A. Yamazaki and I. Yoshikawa, Statistical study of the response of Jovian EUV aurora to the solar wind from Hisaki observations、Symposium on Planetary Science 2016、東北大学、２月 22-24 日、2016 年

(9) （口頭発表）北 元, 木村 智樹, 垰 千尋, 土屋 史紀, 吉川 一朗,坂野井、ひさき衛星を用いた木星紫外オーロラの太陽風応答に関する研究、地球電磁気・地球惑星圏学会 第 138 回総会・講演会、R009-P09、11 月 1 日、2015 年

（別紙様式２－２）

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

近年、太陽フレア現象は、衛星や地上の観測機器等によって多波長観測が行われている。その中で、強い粒子加速現象と関連して発生していると言われている白色光フレア現象は、ひので衛星搭載の可視光・磁場望遠鏡（SOT）や SDO (Solar Dynamics Observatory) 搭載の HMI (Helioseismic and Magnetic Imager) などによって観測されている。

このうち、ひので/SOT は、「ひので」搭載の他機器と比べても特に観測視野が狭いため、SOT が白色光フレアのみならず、太陽フレア現象自体を観測できていたかについて知ることは、効率的に太陽フレアデータを解析するためにとても重要な情報である。そこで我々は、「ひので」で観測された太陽フレアイベントのカタログの作成を行った。この作業を行うにあたり、GEDAS に蓄積されている太陽フレアの多波長データベースと名古屋大学太陽地球環境研究所の「ひのでサイエンスセンター」を使用した。このカタログには「ひので」の各機器における観測情報の他に、RHESSI 衛星における X 線の観測状況、また X 線天文衛星「すざく」で観測された太陽硬 X 線の情報と野辺山電波ヘリオグラフで観測されたフレアの情報も掲載している。作成したカタログは現在、「ひのでフレアカタログ [1]」として Web 上に公開している [2]。また、新たに発生した太陽フレアの観測情報についても随時更新を行っている。

「ひのでフレアカタログ」より、「ひので」/SOT の可視連続光バンドで観測された M クラスフ以上のフレアは、2014 年 12 月までで約 80 例あり、そのうち白色光イベントは 29 例であった。2015 年中に発生したイベントについても現在調査中であるが、すでに数例の白色光イベントが見つかっている。一方、「ひので」/SOT の非白色光イベントについても、SOT の視野外で白色光の増光がある可能性があるため、SDO/HMI のデータも調査したところ、SDO/HMI のみで観測されたイベントも、約 80 例中 10 例ほどあった。

上記の約 80 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研究を行った。まず、白色光フレア（WLF）と非白色光フレア（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 [3]。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、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、光球磁場強度は WLF と NWL で特に違いは無かった。これより、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。ただし、先行研究でフレアリボン

間距離は WLF の方が短いことが分かっている[4]。

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。硬X線のエネルギーは、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。

以上の統計研究により、白色光増光を発生する条件は、「狭い領域」に「大量の加速電子」が「短時間」に降り込むことであることが分かってきた。

参考文献

（1） Watanabe, K., S. Masuda, and T. Segawa, Solar Physics, 279, 317-322, 2012.

（2） http://st4a.stelab.nagoya-u.ac.jp/hinode_flare/

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

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

成果発表

1. Kyoko Watanabe, Satoshi Masuda, Jun Kitagawa, “Characteristics that enhance white-light emission in solar flares”, Japan Geoscience Union Meeting 2015, Makuhari, Japan, May 24 - 28, 2015
2. Kyoko Watanabe, Satoshi Masuda, Jun Kitagawa, “Characteristics that enhance white-light emission in solar flares”, AOGS 12th Annual Meeting, Singapore, August 2 - 7, 2015
3. 渡邉恭子、増田智、「白色光増光現象を引き起こす太陽フレアの特徴」、日本天文学会2015 年秋季年会、甲南大学、2015 年 9 月 9 - 11 日
4. Kyoko Watanabe, Satoshi Masuda, “A Statistical Approach to a Better Understanding of the Conditions that Produce White-Light Enhancements in Solar Flares”, Hinode9, Queen’s University Belfast, September 14 - 18, 2015
5. Kyoko Watanabe, Satoshi Masuda, “A Statistical Approach to a Better Understanding of the Conditions that Produce White-Light Enhancements in Solar Flares Observed by Hinode/SOT”, 2015 AGU Fall Meeting, San Francisco, California, USA, December 14 - 18, 2015
6. Kyoko Watanabe, “Solar white-light flares”, “Superflares on Solar-type Stars and Solar Flares, and Their Impacts on Exoplanets and the Earth.”, Kyoto University, Japan, March 1 - 4, 2016
7. Kyoko Watanabe, Satoshi Masuda, “Hinode Flare Catalogue and statistical analysis of solar flare activities”, 2015 ISEE workshop "International GEMSIS and ASINACTR-G2602 Workshop: Future Perspectives of Researches in Space Physics", Nagoya University, Japan, March 22 - 25, 2016

（別紙様式２－２）

磁気圏エネルギー解放とサブストーム
Intensity distribution of substorms

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

1. Introduction

The study to search the coupling function between the solar wind and the substorm is almost equivalent with the question; what determines the intensity of substorms, and it casts a subsequent question; how distributes the substorm intensity. We know that substorms show a wide variety of intensity. Giant coronal mass ejections sometimes induce severe geomagnetic disturbances in the polar ionosphere with intensity more than 2000 nT of AL index. Small substorm-like disturbances accompanied by the low-amplitude dipolarization in the plasma sheet occur with localized weak magnetic disturbances less than -100 nT of AL index in the high latitude stations (*Palin et al.,*2015). It would be very significant for the substorm study to clarify whether substorms with wide range of intensity are generated by unified onset process or there exists some different onset processes corresponding to the substorm size. The statistical distribution of substorm intensity would be a fundamental issue for this matter, although it has not been clarified.

For the statistical study of the intensity distribution of substorms, it is firstly necessary to qualify every substorm onsets for a long time with the reliable and definite criteria. Substorm onset has been determined from substorm associated phenomena from ground and space observations, such as sudden auroral brightening, magnetic sharp negative bays, low and middle latitude Pi 2 pulsations, AKR, and particle injections. In these observations, ground Pi 2 pulsations which are globally observed at low and mid-latitudes and almost always follow substorm onsets guarantee to construct the reliable and non-disruptive database for the substorm onset.

Recently, *Nose et al.*(2009, 2012) proposed a new substorm index, Wp (Wave and planetary) index. The Wp index calculates global ULF wave power in the period range from 35 to 190 sec using geomagnetic field data with 1-s resolution from 11 low-latitude stations distributed in longitude around the Earth's circumference, which can regularly monitor the Pi2 pulsation. The comparison study between Wp index and substorm phenomena showed that significant enhancements of the Wp index mostly coincide with increases of the AE and -AL indices (high-latitude negative bays), increases of the ASY-H and ASY-D indices (mid-latitude positive bays), electron flux enhancements (particle injection in the magnetosphere), and magnetic field increases in the northward and earthward components (magnetic field dipolarization in the magnetosphere) (*Nose et al.,* 2012). Thus the Wp index is considered to be a good indicator of substorm onset. The stack plots and digital data of the index with 1-min resolution are available from 2005 at the Web site (http://s-cubed.info).

In this paper, we compile the substorm list for 9 years from 2006 to 2014 (from the end of solar cycle 23 to the first half of cycle 24) using OMNI (5-min resolution) and Wp index database. Then the intensity distribution of substorms is investigated using the list.

2. Distribution of substorm intensity

Intensity of observed substorms is sorted every 50 nT from 30 to 3000 nT. Figure 1(a) shows the intensity distributions

of substorms in 2012, 2013, and 2014 (around the solar maximum phase of cycle 24) as a function of AL_{min}. The total number of substorms was 2219, 1986, and 2032, respectively. The average occurrence rate was 5.7 substorms/day. We can see in the figure that the distribution is very similar in these years, and the typical intensity of substorm was around 100 nT and occurrence number sharply decreased with intensity. This is the firstly presented substorm distribution.

The presented distribution seems to be a kind of lognormal distribution. Fitting analysis successfully reproduced the substorm distribution by superposition of two lognormal distributions with the form as

$$f(x) = \sum_{i=1}^{2} \frac{\alpha_i}{\sqrt{2\pi}\sigma_i x} \exp\left(\frac{-(ln\, x - \mu_i)^2}{2{\sigma_i}^2}\right), \qquad (1)$$

where, α_i, σ_i, and μ_i are the amplitude factor, the standard deviation and the mean, respectively. Figure 1(b) shows the fitting result for the distribution in 2013. Blue traces in the figure indicate two components of lognormal distributions, a tall and narrow distribution peaked around 100 nT and a short and broad distribution peaked around 250 nT. The former and latter distributions are called group-S (small) substorm and group-L (large) substorm, respectively, in this paper. Red trace in the figure is the sum of the two distributions, which well fits the observed intensity distribution shown by blue squares. The two substorm groups revealed by means of the inferential statistics suggest that substorms manifested by AL index have two different origin or development process. The left bar-graph in Figure 1(b) shows the occurrence rate of substorms in 2013 estimated by integrating the group-S and -L distributions traces. The right bar-graph shows the summation of AL_{min} for the group-S and -L distributions to roughly estimate the dissipated auroral energy [e.g. *Ahn et al.*, 1989]. The results indicate that group-S substorms occupy about 50 % of yearly substorm number, whereas 70 % of substorm energy dissipated in the ionosphere is carried by group-L substorms.

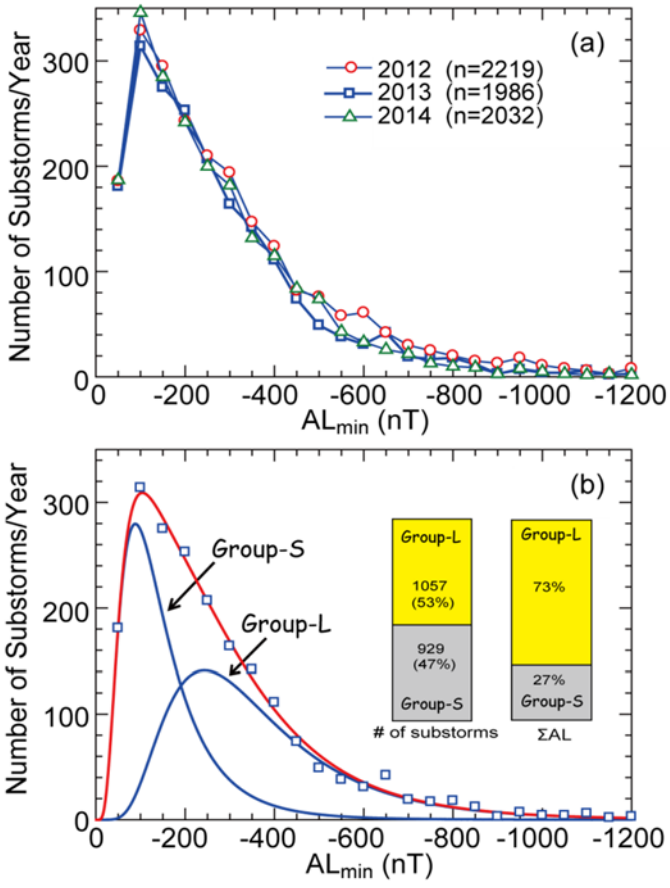


Figure 1

This paper was presented at the 2017 SGEPSS Fall Meeting.

（別紙様式２－２）

火星大気上下結合・物質循環のシミュレーション
Simulation of the regional coupling and material transport in the atmosphere of Mars

黒田剛史，東北大学大学院理学研究科・助教

研究目的

火星の気象については，米国や欧州の探査機により取得された温度場・水をはじめとする物質分布などの観測データが日々蓄積されており，それらから力学・放射・輸送のメカニズムなどの科学的な解釈を引き出す上で火星大気大循環モデルは重要な役割を果たす．最近はとりわけ気候変動の解明にあたり，下層の気象および物質(水，光化学反応による生じる微量物質)の循環が上層の熱圏・電離圏に及ぼす影響に迫る「大気上下結合過程」の研究が注目を集めている．2014 年 9 月に火星周回軌道に投入された NASA の火星探査衛星 MAVEN はこのようなプロセスを観測から解き明かすことを目指しており，我々は Participating Scientist として優先的にデータを入手し，詳しい解析を行うことを予定している．本研究はそのような観測的研究を理論的に支え，火星の大気散逸・気候変動プロセスに対し新たな知見をもたらすことを目的とする．

研究方法

地球の気象モデルをもとに開発された火星大気大循環モデルをベースに，熱圏・電離圏モデルとカップリングさせることにより，光化学過程や同位体比分別を含む水ならびに微量物質の循環，また大気重力波の効果を中心とした大気の上下結合についてのシミュレーション研究を行う．

火星大気大循環モデルは研究代表者が長年開発に携わってきた DRAMATIC (Dynamics, RAdiation, MAterial Transport and their mutial InteraCtions) MGCM を用いる．これまで主に地表面から高度 80km 程度までの大気を取り扱ってきた DRAMATIC MGCM を高度 130km 程度にまで拡張し，地表面から熱圏・電離圏までをひとつながりにシミュレーションできるモデルに改良する．また水平方向にもグリッド間隔 1° 程度にまで高分解能化した DRAMATIC MGCM を用いて，大気重力波が熱圏・電離圏に及ぼす効果を詳しく研究する．合わせて水分子の光解離の効果を導入し，下層の水循環(導入済)が熱圏・電離圏での水素・酸素原子の散逸にどのように関わっているかを調べる研究にも着手する．

高分解能大気大循環モデルを用いたシミュレーション研究の遂行により発生する膨大な量の数値データは，本共同研究にて購入した HDD に保存・管理する．

研究結果・考察

DRAMATIC MGCM の水平グリッド間隔を約 1.1°(T106, グリッド間隔約 60km)にまで高分解能化して，地形の効果による小さいスケールの波動，とりわけ中間圏より上の大気に最も大きな効果を及ぼす波長 200km 程度の重力波について，その下層での励起と上層への伝播をシミュレーションした．北半球の冬至(Ls=270°)において重力波の励起源は大きく 2 つあり，1 つは北半球(冬半球)の西風ジェットの中，もう 1 つは低緯度域の地形・山岳であった．前者は経度方向一様に励起が見られ，後者の励起は localtime 依存性が見られた(13-16 時で最大)(図 1)．重力波は大部分が下層で励起され，そこから上層

に伝播していく様子が見えたが，北半球の方がより高高度にまで到達していた．また重力波の水平伝播は背景風よりも遅い傾向にあり，上層に伝播していく中で消散し，背景風を弱める働きをしていることが示された．特にモデル上層にあたる中間圏においてその傾向は顕著であり，この高度域における重力波の効果が初めてパラメタリゼーションなしで示された．この成果は，Geophysical Research Letters に掲載された[Kuroda et al., 2015].

研究代表者はドイツ・マックスプランク太陽系研究所を度々訪問して，重力波シミュレーションを専門とし MAVEN ミッションの Participating Scientist でもある Dr. A.S. Medvedev と，この高分解能シミュレーション結果の活用，研究のさらなる展開について議論を重ねている．

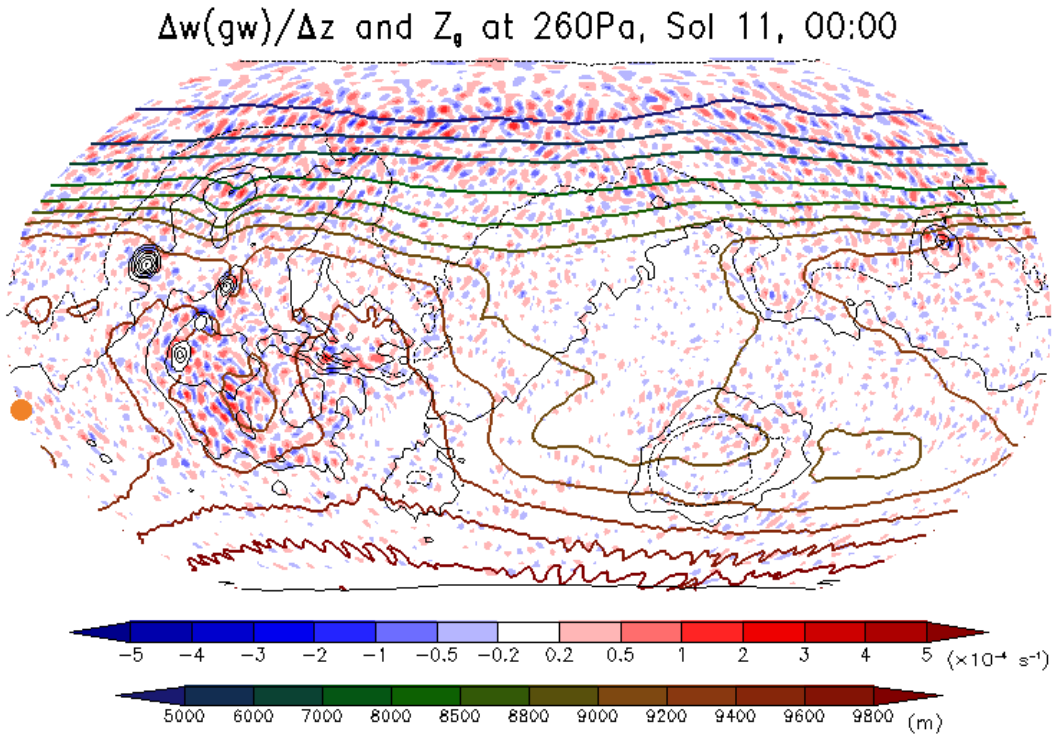


図 1：水平高分解能 DRAMATIC MGCM による北半球の冬至(Ls=270°)，260Pa (約 10km)高度における重力波の励起の図．カラーシェードは重力波の divergence，カラーコンターはジオポテンシャル高度，オレンジ色の点は太陽直下点を示す．[Kuroda et al., 2015]

また水循環スキームに Montmessin et al. [2004]を参照した氷雲粒成長の微物理過程，および氷雲の放射効果を導入する改良を行い，下層の水循環をより現実に即したものとした．この水循環過程により得られる水蒸気の光解離・熱圏への輸送家庭の導入は今後の課題である．

(参考文献)

Montmessin, F. et al., Origin and role of water ice clouds in the Martian water cycle as inferred from a general circulation model, *J. Geophys. Res.*, **109**, E10004, 2004.

成果発表

1) Kuroda, T., A.S. Medvedev, E. Yiğit and P. Hartogh, A global view of gravity waves in the Martian atmosphere inferred from a high-resolution general circulation model. *Geophys. Res. Lett.*, **42**, 9213‑9222, 2015, doi: 10.1002/2015GL066332.
2) 黒田剛史, A.S. Medvedev, P. Hartogh, Development of the Japanese-German Mars GCMs: Toward the coupling between lower and upper atmosphere. 日仏連携による惑星大気モデル研究, 神戸大学, 兵庫県神戸市, 2015 年 5 月 11 日.
3) 黒田剛史, 木星成層圏大気力学の概要/GCM により示唆される火星大気における重力波の重要性. 第 287 回生存圏シンポジウム「電波を用いた観測が切り拓く地球および惑星大気科学」, 奈良女子大学, 奈良県奈良市, 2015 年 6 月 1 日.
4) 黒田剛史, Approaches to the material transport and climate change on Mars using a general circulation model. 第 21 回大気化学討論会, 東京工業大学地球生命研究所, 東京都目黒区, S-4, 2015 年 10 月 20 日. (招待講演)
5) 黒田剛史, A.S. Medvedev, E. Yiğit and P. Hartogh, 高分解能火星 GCM が示した火星大気重力波の励起と伝播. 地球型惑星圏環境に関する研究集会, 立教大学太刀川記念館, 東京都豊島区, 2015 年 12 月 22 日.
6) 黒田剛史, A.S. Medvedev, E. Yiğit and P. Hartogh, Study of the gravity waves on Martian atmosphere using a high-resolution Mars General Circulation Model. 第 17 回惑星圏研究会, 東北大学青葉記念会館, 宮城県仙台市, 2016 年 2 月 24 日.
7) 黒田剛史, A.S. Medvedev, E. Yiğit and P. Hartogh, 高分解能火星 GCM による重力波の励起と伝播のシミュレーション. 第 29 回大気圏シンポジウム, 宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所, 神奈川県相模原市, 2016 年 3 月 7 日.
8) Kuroda, T., A.S. Medvedev, E. Yiğit and P. Hartogh, Generation and propagation of gravity wave activities in Martian lower atmosphere simulated by a high-resolution GCM. International GEMSIS and ASINACTR-G2602 Workshop: Future Perspectives of Researches in Space Physics. 名古屋大学野依記念学術交流館, 愛知県名古屋市, 2016 年 3 月 24 日.

（別紙様式２－２）

自動認識アルゴリズム開発を通した太陽表面磁場構造の研究

Investigation of magnetic field structure on the solar surface based on the development of feature recognition technique

飯田佑輔、関西学院大学・理工学部

研究報告

太陽活動現象は、私達の住む地球に大きな影響を持ち、その理解が必要とされている。特に、多くの太陽活動は、太陽表面磁場構造にトリガーされており、表面磁場構造の理解が重要になると考えられている。しかし、これまでの太陽物理学は各個々のイベント解析に終始していることが多く、実生活に活用するレベルには至っていない。その一方で、2006年に打ち上げられたひので衛星、2010年に打ち上げられたSolar Dynamics Observatory(SDO)など、近年の太陽観測衛星の充実によって太陽の定常観測が行われている。これら定常的な衛星観測は、人が全てを見ることができない量の観測データを生み出しており、莫大な統計解析を行える。しかし、それを可能とする解析手法は確立されておらず、そのような手法開発が必須である。そこで、本共同研究では、これら衛星の観測データから莫大な統計解析を行うための、画像自動認識手法の開発を目標とする。

昨年度に開発した磁極追跡コードを用いて、

1. SDO衛星データにおける経過時間と磁極変位自乗の解析、
2. SDO衛星データを用いた子午面還流の検出、

を行った。

1.については、SDO衛星において昨年度と同様の結果、すなわち「短い時間・空間スケールでは超拡散、長い時間・空間では準拡散になる」という結果を得た(図1)。異なるこの結果については、国際ジャーナルであるSpace Weather and Space Climateの特集号にacceptされ、2016年度に発刊予定である。

2.については、年度後半では子午面還流の検出に挑戦した。子午面還流はおよそ10m/s程度の南北方向の流れであり、太陽活動周期において重要な働きを持つと考えられている。太陽表面は、0.5km/s程度の速度場を持つ対流に覆われており、磁場運動からの直接検出はこれまでに成功していない。ひので衛星の解析では、太陽部分像であることからデータ間の位置ずれの補正が難しく、有意な流れは検出できなかった。一方で、SDO衛星のデータからは間接検出を行ったHathaway+(2010)と同様の速度プロファイルが検出された(図2)。本研究の手法は、これまでの手法よりも統計性に優れており、年変化や領域依存性などに迫ることができると期待される。

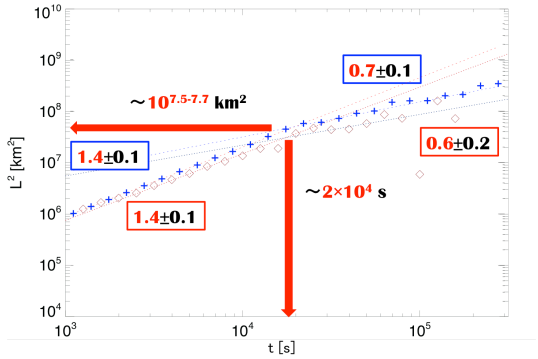


図1. ひので衛星(◇)とSDO衛星(+)における経過時間と磁極変位自乗の関係

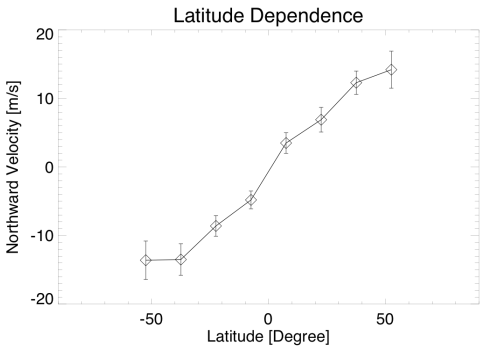


図 2. SDO 衛星データにおける磁極追跡で検出された子午面還流の速度プロファイル

成果発表

国際ジャーナル　論文（1件）

1. Displacement of patch structures and its insight to magnetic flux transport in magneto-convection system, Y. Iida, accepted for Space Weather and Space Climate

国際学会　口頭発表（2件）

1. Investigation of surface magnetic flux transport by use of Hinode/SOT and SDO/HMI, Y. Iida & H. Hotta, JpGU2015, 幕張メッセ, 2015.5

2. Magnetic field transport by merging and splitting processes on the solar surface, Y. Iida, Hinode-9, Queen's University Belfast, 2015.9

国内学会 口頭発表(2件)

1. 衛星観測で迫る太陽表面対流による磁場輸送プロセス, 飯田佑輔, 日本流体力学会年会 2015, 東京工業大学, 2015.9

2. 衛星観測と画像認識･追跡コードで迫る太陽表面磁場輸送プロセス, 飯田佑輔, 宇宙科学シンポジウム, JAXA/ISAS, 2016.1

（別紙様式２－２）

エアロゾル質量分析法に基づく含硫黄有機エアロゾルの研究
Study on sulfur-containing organic aerosols based on aerosol mass spectrometry

持田　陸宏、名古屋大学・大学院環境学研究科

電子イオン化エアロゾル質量分析法は、大気エアロゾルに含まれる代表的な無機塩（硫酸塩、硝酸塩）および有機物の定量に利用されている。この分析では、有機エアロゾル成分の化学構造の特徴について情報を得ることが可能であり、特に高分解能質量スペクトルを得ると、各イオンに含まれる原子数を把握した上で、そのイオン由来の信号の強度を解析することができる。関連プロジェクトでは、名古屋で採取したエアロゾルの水溶性成分を粒子化してエアロゾル質量分析計（HR-ToF-AMS）に導入することで質量スペクトルを取得しており、その解析結果を用いて硫黄原子を含むイオンの信号強度の特徴を確認した。

有機物由来と考えられるイオンのうち硫黄原子を含むイオンの信号強度を、関連研究で得た名古屋のエアロゾルの質量スペクトルの解析データ（2013年の8～9月および2014年の3月に名古屋大学東山キャンパスでフィルタ上に採取した大気エアロゾルの水抽出物に対して、HR-ToF-AMSを用いて質量分析を行い、得られた質量スペクトルにデータ処理を施すことで取得）から得て利用した。また、有機物由来と考えられ窒素原子を含むイオンの信号強度も用いた。なお、本年度には、関連プロジェクトでHR-ToF-AMSを用いた名古屋のエアロゾルの実時間測定も行ったが、取得データの品質に関して検討を要する状況であり、硫黄原子を含むイオンの信号強度について検討するには至っていない。

硫黄原子を含むイオンの強度は、夏季／初秋（2013年8～9月）の試料で有機エアロゾルのスペクトル全体の強度の0.36%～1.24%を占め、平均で0.66%であった。一方、冬季（2014年3月）の試料の場合は、有機エアロゾルのスペクトルの強度の0.50%～1.32%を占め、平均で0.74%であった。窒素を含むイオンの信号強度と比較すると、平均で夏季は0.12倍、冬季は0.13倍であり、水溶性の有機態硫黄は、水溶性の有機態窒素よりも大幅に存在量が低かった可能性、そしてフラグメントの過程で炭素原子と硫黄原子が共存するイオンがより生成しにくい可能性が考えられる。検出されたイオンの中には$CH_3SO_2^+$が含まれ、このイオンに寄与する化学種として、メタンスルホン酸（CH_3SO_3H、MSA）が報告されていることから（Zorn et al., 2008）、海洋から放出された硫化ジメチルから生成したMSAが、エアロゾル試料の採取地点まで輸送され、スペクトル中の信号として検出された可能性が考えられる。硫黄原子を含むと考えられる全てのイオンの強度（和）に対する、この$CH_3SO_2^+$の信号強度の比は、夏季／初秋で平均27%、冬季で平均42%であった。MSA以外の含硫黄有機化合物を質量スペクトルの信号として検出している可能性について検討すること、また、他の手法と組み合わせて硫黄原子を含むイオンの生成に寄与している化合物の候補を探索することが、今後の課題として挙げられる。

謝辞：本研究は、名古屋大学大学院環境学研究科の陳慶彩氏の協力により行われた。

文献：Zorn, S. R., Drewnick, F., Schott, M., Hoffmann, T., and Borrmann, S.: Characterization of the South Atlantic marine boundary layer aerosol using an aerodyne aerosol mass spectrometer, *Atmos. Chem. Phys.*, **8**, 4711-4728, 2008.

（別紙様式２－２）

太陽系X線の研究と将来計画の検討

Study of X-ray emission from the solar system and future space missions

江副 祐一郎，首都大学東京 理工・物理

1. 研究目的

近年、X線天文衛星 Chandra、XMM-Newton、「すざく」によって太陽系の様々な天体からのX線放射が発見されてきた。放射メカニズムは惑星大気による太陽X線の散乱だけでなく、希薄で広がった中性大気と太陽風・磁気圏イオンとの電荷交換反応によるX線輝線、磁気圏で加速された電子による制動放射、逆コンプトン散乱など多彩で有り、X線放射は惑星、彗星、小惑星などの化学組成、大気組成、高エネルギー粒子加速を探る新たな手段になると期待される。本研究では日本のX線天文衛星「すざく」を中心とする木星データ解析を進めると共に、観測結果に基づく将来衛星の検討と開発を推進した。

2. 研究内容

木星　木星は太陽系惑星最大最強の磁気圏を持ち、「その場」粒子計測やシンクロトロン電波から数十 MeV 電子が存在することが分かっているが、その加速機構については不明な点が多い。我々はこれまでに2006年2月に得られた「すざく」の観測データから、世界で初めて放射線帯からの広がったX線放射を検出することに成功してきた (Ezoe et al. 2010 ApJ, 709, 108)。放射メカニズムとしては、数十MeV 電子による可視光光子の逆コンプトン散乱が第一候補だが、必要な電子フラックスは従来の Divine & Garret のモデルからはざっと >7 倍が必要である。この理由としては、太陽活動に伴う電子密度の時間変動、背景点源の寄与などが考えられる。

そこで、我々は「すざく」衛星によって取得した2014年4月の観測データの解析を進めた。以前の2006年と比較すると、太陽黒点数が2-3倍程度増加しており、太陽極大期に近い。画像解析の結果、我々は1-5 keV で広がったX線放射を確認することができた。一方、0.2-1 keV の画像は点源状放射を示し、木星本体からと考えられる。スペクトルも1-5 keV は単調なパワーローが支配的であるのに対し、0.2-1 keV は輝線と熱的制動放射で表され、それぞれ広がった非熱的放射、木星オーロラおよびディスクからの太陽X線散乱と電荷交換反応と考えられる。

さらに画像およびスペクトルから広がった放射と木星からのX線光度を推定した。1-5 keV の広がったX線光度は$(3.3\pm0.4)\times10^{15}$ erg/s と2006年の$(2.5\pm0.4)\times10^{15}$ erg/s と有意な違いはなかったが、0.2-1 keV 木星X線光度は $(2.8\pm0.3)\times10^{15}$ erg/s と2006年の$(0.8\pm0.1)\times10^{15}$ erg/s より3倍の増光が見られた。すなわち、広がったX線に対する太陽活動の影響は小さいと考えられることが新たに分かった。この結果は、木星近傍のMeV 電子によるシンクロトロン電波が太陽活動によって約20-30%しか変動しないことと一致しており、逆コンプトン散乱説を支持する。

得られた成果は学会などで発表すると共に、投稿論文を準備中である。また地球電磁気圏・惑星圏学会において優秀発表者に選出された[1-4]。また「ひさき」衛星やX線天文衛星 Chandra、XMM を用いた研究も進めた[5]。

衛星検討・開発

平行して、観測結果に基づく、将来衛星計画の検討および装置開発を進めた。まず将来の木星探査衛星に向けたX線撮像分光装置のための、望遠鏡の設計検討を進めた。マイクロマシン技術を用いてシリコン基板に微細穴を開け、その側壁を反射鏡として用いる独自の超軽量X線望遠鏡の開発に基づき、光線追跡計算による検討を行った。そして目標とする有効面積、角度分解能が実現可能であることを示した。

また同設計の望遠鏡を用いた、地球周辺からの電荷交換X線を用いた新しい磁気圏イメージングのための超小型衛星 GEO-X のハードウェアおよびサイエンスの検討を進めた。衛星バスについては、アクセルスペース社と初期検討を開始し、軌道と通信の成立性を確認しつつある。搭載機器は、独自の超軽量X線望遠鏡と、ピクセル毎に読み出し可能な新しい半導体イメージャーを組み合わせる予定である。望遠鏡は自作し、検出器は、独 PN sensor からの購入することを前提に打ち合わせを行っている。さらにサイエンス検討として、地球周回軌道からのX線イメージのシミュレーション構築も進めた。

いずれの計画においても、インハウスで自作する超軽量X線望遠鏡が成功の鍵を握る。我々はプロトタイプ Wolter I型望遠鏡をX線ビームラインで評価した結果について、鏡のエッジのバリなどを考慮した詳細な光線追跡シミュレーションを構築し、比較を行った。そして、鏡の形状、配置精度による反射角度揺らぎが角度分解能はもとより、焦距離や有効面積といった性能の設計値からのずれの原因となっていることを見いだした。結果に基づき、現在、反射角度揺らぎを低減する新プロセスを試している最中である。

以上の関連成果は投稿論文、招待講演、学会発表などとしてまとめた[6-11]。

[1] 沼澤ほか, “X 線天文衛星「すざく」による太陽極大付近での木星X線の観測”, 地球電磁気・惑星圏学会 2015、東大（優秀発表者 選出）

[2] 江副ほか, “X 線天文衛星「すざく」による太陽極大付近での木星観測”, 日本天文学会 春季年会 2016、首都大

[3] Ezoe, “Solar system objects and exoplanets”, The first scientific conference dedicated to the Athena X-ray observatory, 2015（招待講演）

[4] Ezoe, “X-ray imaging spectroscopy of the Jupiter system”, Magnetospheric Plasmas, 2015（招待講演）

[5] Kimura et al., “Jupiter’s X-ray emission monitored by Chandra, XMM-Newton and Hisaki satellite”, JGR, in press

[6] Mitsuishi et al., “Ray-tracing simulations for the ultra-lightweight X-ray optics toward a future jupiter exploration mission”, ASR, 2015, 57, 320

[7] Ogawa et al., “First X-ray imaging with a micromachined Wolter type-I telescope”, Microsys. Tech., in press

[8] Numazawa et al., “First demonstration of X-ray mirrors using focused ion beam”, JJAP, in press

[9] 江副, 満田, 解説“微細穴を用いた新たな宇宙X線光学系について”, 放射線, 2015, 41.1, 35

[10] 江副, “次世代X線望遠鏡の開発と太陽風電荷交換反応への展開”, 原子衝突学会, 2015（招待講演）

[11] その他：国内学会 招待1, 口頭4, ポスター7、国際学会 口頭1、記事1、特許出願1

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

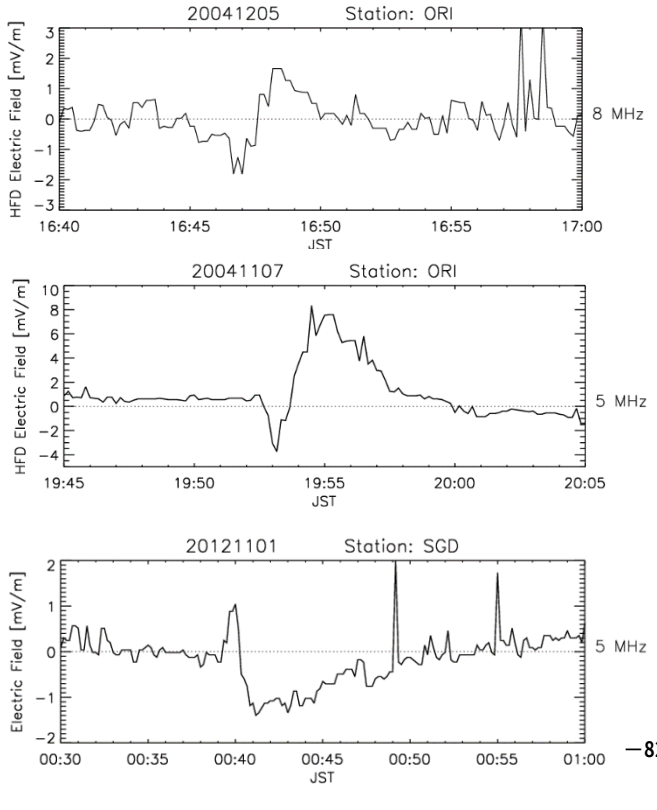
菊池　崇、名古屋大学太陽地球環境研究所
西村　幸敏、カリフォルニア大学大気海洋科学科

【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モード波によって極域電離圏から赤道電離圏へ伝送される[Kikuchi and Araki, JATP1979]。沿磁力線電流が流れる磁力線対を伝送線で置換し、有限長のEIWを伝送線で置換することにより、磁気圏結合と極赤道電離圏結合を融合させたMagnetosphere-Ionosphere-Ground(MIG)伝送線モデル[Kikuchi, JGR2014]は、磁気圏で発生する電場が単に極域電離圏に投影されるのではなく、電離圏を伝送路として低緯度へ、さらに内部磁気圏へ伝送されることを示している。すなわち、電離圏は電磁エネルギーの最終的な消費地にとどまらず、輸送をも担うことを意味する。グローバルMHDシミュレーションにおける内部境界条件を与えるPoisson方程式(Tanaka, JGR1995)は、TM0モード波による電離圏電位の瞬時伝搬と等価と考えられる。本研究では地磁気嵐急始（ＳＣ）、PC5地磁気脈動、そして準周期DP2磁場変動時にHF Dopplerサウンダーにより観測された電離圏電場と磁力計で観測された地上磁場を解析することにより、中緯度から赤道の電離圏の電場と電流が磁気圏から圧縮性磁気流体波で直接伝送されたものではなく、MIG伝送線を伝送路として極域電離圏を経由して伝送されることを示す。

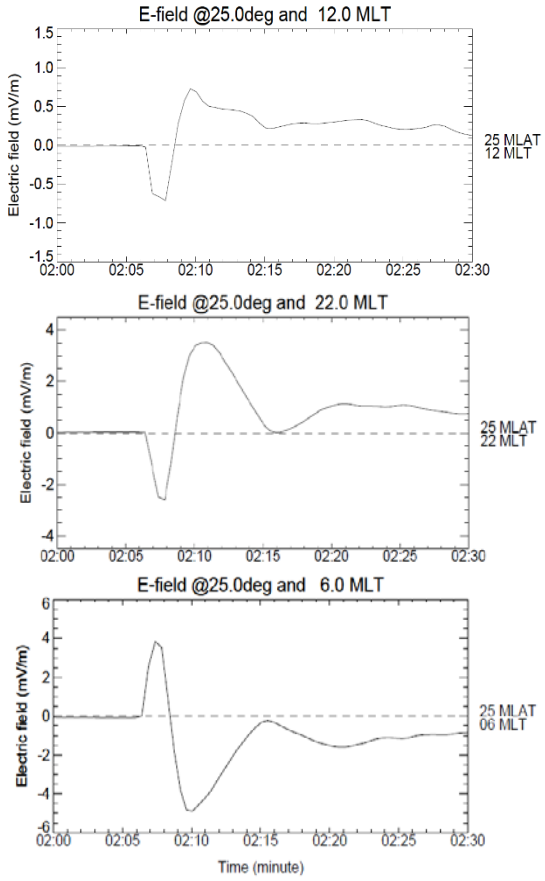
【２７年度の成果】

磁気嵐急始（SC）を構成する初期インパルス（PI）と主インパルス（MI）に伴う中緯度電離圏電場を、電気通信大学が実施しているHF Dopplerサウンダー観測で得られたデータを用いて解析した結果、PI, MI電場は相互に逆向きであるだけでなく、昼と夜で逆転すること、また、電場強度が夕方で昼間の向きと同じでかつ昼間より3倍程度大きくなることを明らかにした（図1)。



（図1）：SC時にHF Dopplerサウンダーにより、上段から昼間、夕方、夜間で観測された電場。SC電場はPI電場とMI電場で構成され、PI, MIともに昼間と夜間の電場の向きが逆であり、また、夕方の向きが昼間の向きと同じevening anomalyを示す。

この電場の evening anomaly の原因を明らかにするために、HF Doppler サウンダー観測と Tanaka(SSR 2007)のグローバル MHD シミュレーションにより再現された中緯度電離圏の SC 電場を比較解析した（図2)。その結果、昼と夜で逆転する電場が沿磁力線電流を与えられた際に電離圏に分布するポテンシャル電場であること、また、evening anomaly 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ポテンシャル分布の非一様性に起因することが明らかになった。この成果を論文にまとめ、JGR誌に発表した[Kikuchi et al., JGR 2016]。電離圏電位の特異な分布は準周期DP2磁気変動や磁気脈動などにも存在することが予想されたために、初期的な解析を行った結果、準周期DP2変動および5分程度の周期をもつPC5にもevening anomalyが確認された。

図2：グローバルMHDシミュレーションにより再現された、上段から昼間、夕方、夜間の中緯度電離圏におけるSC電場。HF Dopplerサウンダーで観測されたSC電場（図1）がevening anomalyも含めて再現された。

【成果発表】

（論文）

1. 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.
2. 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.
3. Y. Nishimura, T. Kikuchi, Y. Ebihara, A. Yoshikawa, S. Imajo, W. Li, H. Utada, Evolution of the current system during solar wind pressure pulses based on aurora and magnetometer observations, under review.

（口頭）

1. T. Kikuchi, K. Hashimoto, Y. Nishimura, T. Araki, I. Tomizawa, A. Shinbori, T. Nagatsuma, Response of the magnetosphere-ionosphere coupled system to the storm sudden commencements -experiments and theoretical model, IUGG 2015 A18, Prague, Hungary, 2015.6.26.
2. Takashi Kikuchi, Kumiko K. Hashimoto, Yusuke Ebihara, Ichiro Tomizawa, and S. Watari, Electric field and currents in the magnetosphere-ionosphere-ground circuit during space weather disturbances, AOGS 2015 ST09, Singapore, 2015.8.
3. Takashi Kikuchi and Kumiko. K. Hashimoto, Observations and Models of the Penetration Electric Fields in the

Global Ionosphere, AOGS 2015 ST32, Singapore, 2015.8.

4. Takashi Kikuchi, Kumiko K. Hashimoto, Yusuke Ebihara, Ichiro Tomizawa, and S. Watari, Electric field and currents in the ionosphere-ground circuit during space weather disturbances, JpGU2015, Makuhari. 2015.5.26.
5. 菊池崇，橋本久美子，海老原祐輔，冨澤一郎，田中高史，長妻努，¥宇宙天気事象時に低緯度電離圏へ侵入する電場の夕方異常，SGEPSS2015，Tokyo Univ. 2015.11.3
6. T. Kikuchi, K.K. Hashimoto, S. Watari, Y. Ebihara, GIC as a return of the global ionospheric currents, PSTEP International Symposium, Nagoya U./ISEE, 2015.12.25
7. T. Kikuchi, K.K. Hashimoto, I. Tomizawa, Y. Ebihara, Y. Nishimura, T. Araki, A. Shinbori, B. Veenadhari, T. Tanaka, T. Nagatsuma, Response of the incompressible ionosphere to the compression of the magnetosphere during the geomagnetic sudden commencements, International GEMSIS and ASINACTR-G2602 Workshop, Nagoya U./ISEE, 2016.3.25

（別紙様式２－２）

太陽大気ガンマ線の衛星観測による太陽磁場構造変動の研究

Solar modulation probed by solar atmospheric gamma rays observation with satellite borne experiment.

寺澤敏夫，東京大学･宇宙線研究所

本研究では、銀河宇宙線が太陽大気に衝突して生成するガンマ線をFermi衛星で観測し、太陽表面の磁場構造とその太陽活動による変動をガンマ線によって透視するとともに、高エネルギーガンマ線トモグラフィによる太陽長期観測の研究の端緒とする事を目的とする。太陽大気からのガンマ線は、銀河宇宙線電子と太陽光子との逆コンプトン散乱と、銀河宇宙線陽子と太陽大気原子核との衝突による中性パイ中間子崩壊に起因する２種類があり、どちらもフェルミ衛星により長期連続観測データが存在している。これらのデータから太陽近傍磁場構造とその長期間変動についての知見が得られると考えら得る。

本研究課題により、太陽近傍での銀河宇宙線の太陽変調、という新たな課題が提起され、各エキスパートによる研究が開始された。前年度に本研究科大により開催された勉強会「第１回太陽ガンマ線ミニ研究会」の議論から、三宅（茨城高専）による太陽近傍での銀河宇宙線、特に銀河宇宙線電子の伝搬モデルの開発が始まった。また、太陽大気中での宇宙線核反応モデルの検討が議論された。

今年度は、Fermi衛星のデータを用いて、太陽大気ガンマ線の長期観測によって太陽変調の効果を見出したCarsten Rott氏(Sungkyunkwan University)のグループの研究結果が出た事を受け、Carsten Rott氏を招聘してのセミナーと、国内関連研究者の発表を交えた勉強会「第２回太陽ガンマ線ミニ研究会」を３月２５日宇宙地球環境研究所で行なった。（プログラムは下記参照）

「太陽ガンマ線ミニ研究会」

日時：2016年3月25日（金）13:30-17:00

場所：名古屋大学研究所共同館５階共通会議室

勉強会ホームページ

https://indico.cern.ch/event/510041/

"First Observation of Time Variation in the Solar-Disk Gamma-Ray Flux with Fermi" Carsten Rott (Sungkyunkwan Univ.)

"Recent result of solar flare observations with Fermi-LAT and GBM" Y.Tanaka (Hiroshima Univ.)

"The solar modulation of galactic cosmic rays near the Sun" S.Miyake (NIT, Ibara□ki College)

"Estimation of the neutron emissions during the large flares of solar cycle 24" D.Lopez (ISEE, Nagoya Univ.)

"The SciBar Cosmic Ray Telescope" Y.Sasai (ISEE, Nagoya Univ.)

本勉強会では、Carsten Rott氏による太陽大気ガンマ線の太陽変調の初めての観測結果が紹介された。これによれば、太陽ディスクからの10 GeV以下のガンマ線については明確な太陽変調シグナルが観測される一方、銀河宇宙線による太陽近傍光子の逆コンプトン散乱からのガンマ線の明確な変調シグナルは観測できなかった。また、この結果と同時に太陽大気ガンマ線フラックスの計算モデルについて、また太陽中心での暗黒物質対消滅ニュートリノ探索への影響についての議論が行われた。続いて田中康之氏（広島大宇宙科学センター）によるフェルミ衛星での最近の太陽フレアガンマ線観測結果について報告した。三宅晶子氏（茨城高専）は、太陽近傍での銀河宇宙線伝搬モデルの進展状況について、太陽近傍での銀河宇宙線電子の太陽変調のモデルについて報告した。また、太陽中性子観測の最近の話題も紹介され、太陽大気中でのハドロンカスケードの詳細について活発な議論が行われた。

（別紙様式２－２）

２台の低バックグラウンドベータ線計数装置を用いた遠隔地間のバックグランド時間変動の比較

Comparison of background rates between two Quantulus counters at distant locations

門叶冬樹、櫻井敬久、乾恵美子：山形大学理学部
増田公明：名古屋大学　宇宙地球環境研究所

研究目的

低バックグラウンドベータ線計数装置(Quantulus)は、液体シンチレータ試料を鉛重遮蔽体（670kg）、ガード用液体シンチレーションカウンターで囲まれた測定室に置き、バックグランドを極力除去して試料からのβ線を測定する装置である。データはガード・カウンターからの信号、ガード・カウンターと試料との同時計数信号、そしてこれらの信号との反ン期学よク

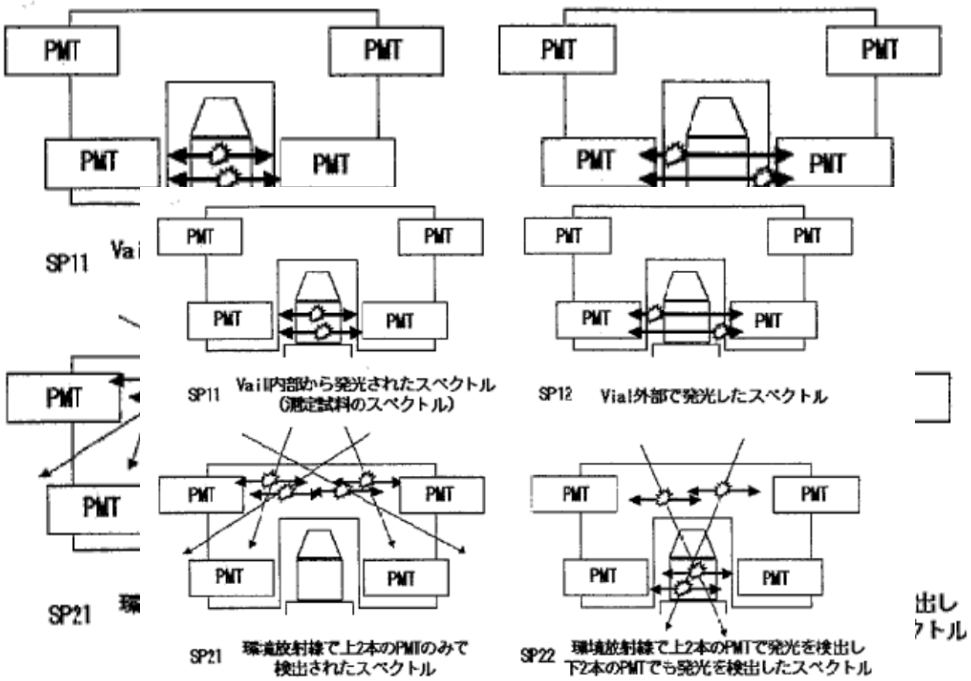


図１計数条件

研究方法

本年度は、ＳＴＥ研が改組等のため同時測定はできなかったが、山形大学のQuamtulusの

信号特性について調べた。計数条件の図１においてSP11はバイアル内の発光のみの事象を示し、SP12はガードカウンターのみの発光事象である。さらにSP22はバイアルとガードカウンターの同時計数事象である

結 果

図２と図３は、SP11 を示し C14 が入っているシンチバイアルと C14 が入っていないシンチバイアルに対するスペクトルである。C14 のベータ線の最大エネルギーは約 150 keV であり図２の６３ch あたりである。シンチレータのみのバックグランドを表している図３のスペクトルは 100 ch 付近まで伸びている。12.5g の液体シンチレータ（ウルチマゴールド）に対して 2.3cpm であった。

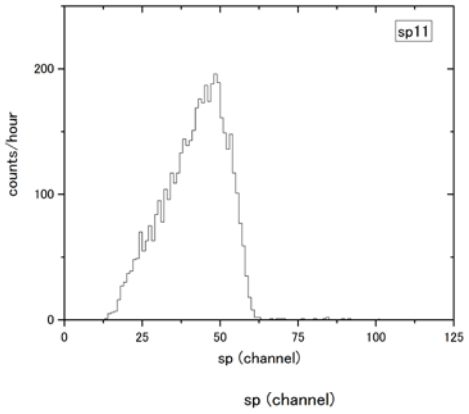


図２C14 のスペクトル（STE 研）

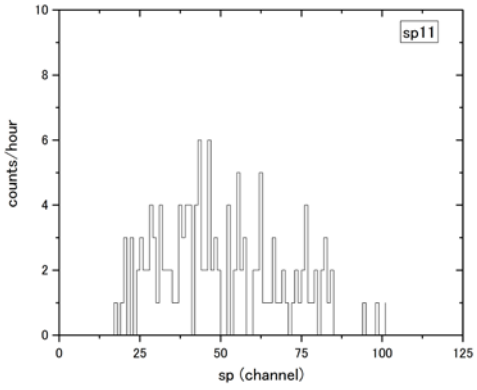


図３液体シンチレータのみのスペクトル

図４は、SP21 のスペクトルを示している。

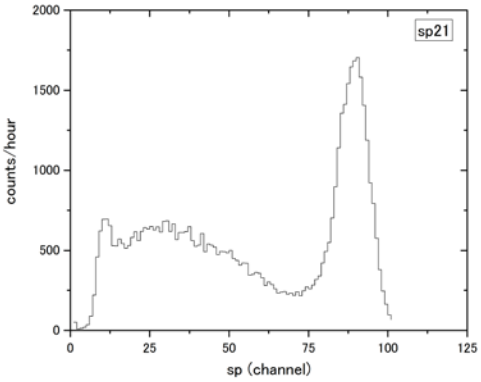


図４　ガードカウンターのスペクトル

ガードカウンターからの信号は、75ch を境に低チャンネル側のブロード成分と高チャンネル側のピーク成分の２成分となっている。であった。鉛遮蔽体を考慮すると中性子とミューオン成分を示している可能性がある。図５は、SP22 のスペクトルを示している。SP21 の高チャンネル側のピークと同様なチャンネル領域にシャープピークを示しており同時計数事象であることから小さな立体角に入ってくるミューオン事象と考えられる。計数率は 13cpm であり SP21 の約 3.6%である。

これらの各スペクトル特性が明らかになったことから、Quantulus を連続運転することによりガードカウンター成分および同時計数成分の時間変動をモニターできることが分かった。

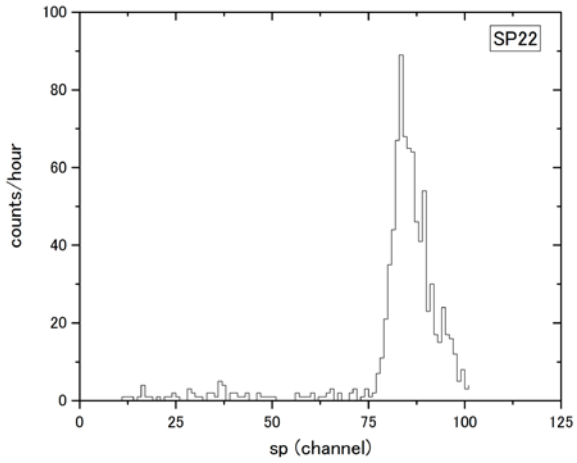


図５同時計数成分のスペクトル。

波動粒子相互作用解析装置の開発に向けたシミュレーションによる基礎研究
Simulation study for wave-particle interaction analyzer

疋島 充　　宇宙航空研究開発機構

(研究目的)

磁気圏におけるプラズマ波動と粒子の相互作用過程は、粒子の加速や散乱、また波動の励起や減衰などに本質的な役割を果たしており、この波動粒子相互作用の素過程を理解することはジオスペースの深い理解に繋がる。これまでは波動と粒子の位相関係が重要な測定量であるにも関わらず、従来の人工衛星観測ではそれを定量的に評価することができなかった。2016年度に打ち上げ予定のジオスペース探査衛星ERGでは、「波動粒子相互作用解析装置」を新たに開発・搭載し、世界で初めて、プラズマ波動の電界ベクトルと粒子速度ベクトルの位相差情報を保証しながら計測し、波動と粒子のエネルギー交換過程を定量的に解明することを目指す。本研究の目的は、波動粒子相互作用解析装置を実現するための計測アルゴリズムを開発し、ERG衛星において実証を行い、波動粒子相互作用に関する人工衛星データ解析およびコンピューターシミュレーションから得られる波動粒子相互作用の素過程の知見をふまえつつ、ジオスペース粒子環境の変動に対する新たな理解へ繋げることを目的としている。

(研究結果)

衛星オンボードにおける波動粒子相互作用解析装置の開発を進めるにあたり、プラズマ粒子シミュレーションを用いて実際の宇宙プラズマ環境を模擬することにより、波動と共鳴粒子との相互作用を介した擬似演算を行った。具体的にERG衛星では、ホイスラーモード・コーラス放射と電子との相互作用計測を目的としており、シミュレーションで得られた波動・粒子の電磁界・速度ベクトルを用いて、オンボードで想定している計測を行った。シミュレーションの結果より、特定の粒子ピッチ角、エネルギー範囲で有用なエネルギー授受を見せる相互作用が行われていることを確認した。また、機上での処理リソースを考慮しつつ波動粒子相互作用演算のS/N比を向上させるための一連の処理手法を開発し、オンボードでプラズマ波動波形データを処理していく上で重要となる位相情報の連続性を保証するアルゴリズムの確立を行った。

一方、実際に衛星オンボードで動作するアルゴリズムの開発に向けて、波動粒子相互作用解析装置を実現するために、衛星に搭載されるシステムと等価なハードウェアを用いながら開発を行った。また、上記のシミュレーション研究で確立した一連の演算処理手法をオンボードアルゴリズムに導入、および動作検証を行った。平行して実際のERG衛星のEMならびにFM試験を通して、衛星内ネットワークを介した波動・粒子各機器からのデータの入出力、オンボードCPU、メモリを用いた相互作用演算処理、またテレメトリへのデータダンプ等の動作確認を行い、実際の運用においても波動粒子相互作用解析装置としての処理が正常に行われることを確認した。

(成果発表)

1. M. Hikishima, Y. Katoh, H. Kojima, "Evaluation of a statistical significance by wave data processing in the WPIA", 第138回地球電磁気・地球惑星圏学会 (SGEPSS), Tokyo, 2015.

（別紙様式２－２）

地磁気と北海道-陸別HFレーダーを含むSuperDARNデータを用いた1/4波長モード波の観測

Study of Quarter-Wave Mode of the Field Line Resonances Using Data From Magnetometers and the SuperDARN Hokkaido Radar

尾花由紀，大阪電気通信大学・基礎理工学科

【概要】

本研究の目的は，地磁気とSuperDARNレーダーの同時観測データを用いて1/4波長モード波(Quarter Wave:QW)の詳細観測を行うことである．とくに，北海道-陸別HF第一レーダー：HOK，ADAK-EASTレーダー：ADEとニュージーランド地磁気観測網のMiddlemarch(MDM)，Te Wharau(TEW)で共役観測を行い，QWの空間構造を明らかにすることを目指している．観測点の配置・観測手法の特性・QWの分布を考慮してキャンペーン観測に最適な季節・時間を検討し，現在得られたデータの解析を進めているが，今のところQWは見つかっていない．

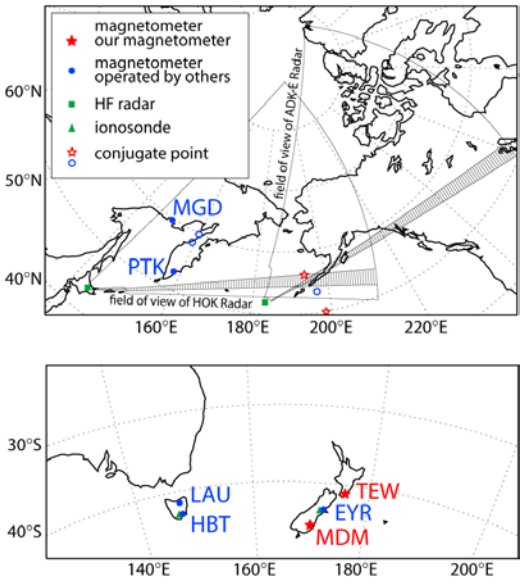


図１　地磁気観測点の配置とSuperDARN レーダー(HOK, ADE)の視野範囲

【はじめに】

磁力線共鳴振動は磁気圏内で広くみられる現象であり，昼側では電離層の高い電気電導度により電場が節，磁場が腹となる波形構造を持つが夜側では腹と節の関係が反転する．昼夜境界付近など，磁力線の片側の電離圏が昼，反対半球の電離圏が夜にまたがる場合，電場(または磁場)が片側半球で腹，片側半球で節となる1/4波長モード(QW)が発生するといわれている．先行研究であるObana et al., 2008, 2015では地磁気多点観測データを用いてQWの共鳴特性や発生条件を明らかにしたが，QWの特徴が最も端的に現れる共役点観測は未だ行われていない．地磁気とSuperDARNレーダーで共役観測を行えば，夜側半球では電場が腹，昼側半球では磁場が腹となり，また通常の1/2波長モードでは180°となる位相差がQWでは90°になる

ことが期待される．これらはQWの存在をさらに強く裏付ける証拠となり，また昼夜境界領域における磁気圏−電離圏結合系のエネルギー損失等を考える上でも重要な示唆を与える．

【観測点の配置とキャンペーン観測の実施】

図1に地磁気観測点の位置とHOKレーダーおよびADEレーダーの視野範囲を示す．上図に示す白星・白丸は地磁気観測点：TEW，EYR，MDMの共役点であり，いずれもレーダーの視野内またはその近辺に位置している．これら共役点と最も近い，HOKレーダーのビーム14およびADEレーダーのビーム15をキャンペーンビームとしたTHEMIS モードでのレーダー運用を行った．

【観測結果】

ADEのデータからはULF周波数帯で振動するイベントは見つからなかったが，HOKのデータからは19例の振動イベントが見つかった．そのうち2例は地磁気変動と高い相関を示したので，ここではそのうちの１例について解析結果を紹介する．

図2はHOKレーダービーム14の2013年7月16日におけるRTダイヤグラムである．17:45-18:10付近にドップラー速度に周期的な変動が見られた．図3は同ビームレンジゲート20のドップラー速度，5カ所の地磁気観測点PTK，MDM，TEW，GUA，KAKにおける磁場変動である．またこれらの変動をFFT法で周波数解析した結果を図4に示す．これらの結果より，ドップラー速度に見られる変動の卓越周波数は10，15mHzであり，対応する地磁気変動が

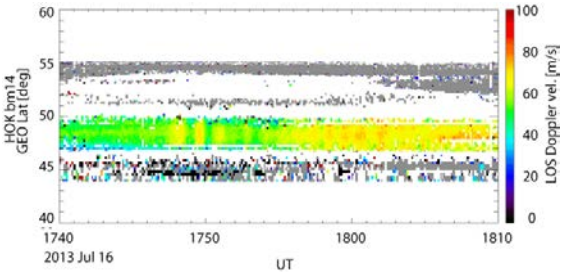


図２　2013年7月16日におけるHOKレーダービーム14のRTダイヤグラム

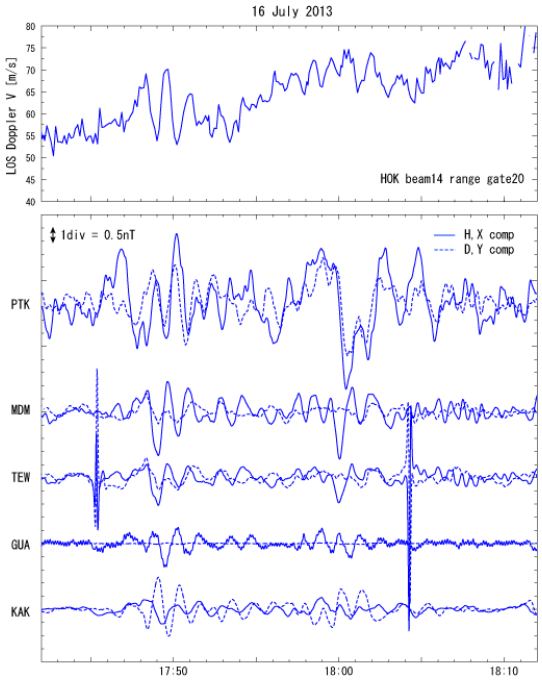


図３　2013年7月16日におけるHOKレーダービーム14レンジゲート20のドップラー速度（上）と地磁気変動データ

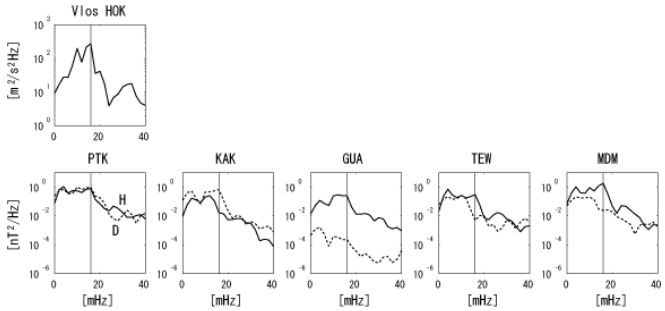


図３　図２で示したHOKレーダードップラー速度のパワースペクトル（上）と各観測点における磁場変動のパワースペクトル（下）

広い緯度帯(L=1.0-2.8)で見られることがわかった．対応する地磁気変動は，北半球のPTK，KAKでは東西成分に現れ，赤道付近と南半球では南北成分に現れていた．また図は割愛するが，同じ時刻に世界各地で観測された地磁気データを解析したところ，インド洋，東アジア，北米と広い範囲で同様の脈動が観測された．これらの事実から，この脈動イベントの伝搬モデルとして，北半球では電離層電流による脈動極性の90°回転が起こり，南半球では日陰にあったために90°回転が起こらなかった，とするモデルを提案し，2014年度に学会発表を行った．しかしながら日の出の前後は電離層電導度の空間変化が大きく，この場合いわゆる「90°回転」が理想的に90°回転しないことが考えられるなど，このモデルには問題も残されている．また今のところ観測例も少ないことから論文発表には至っていない．

また，MDM，EYR，TEWで観測された地磁気観測データにcross-phase法を適用して，パワー比や位相差の緯度依存性を調べたところ，このイベントには磁力線共鳴振動に特徴的に現れるパワー比や位相差の緯度依存性は見られないことが分かり，この研究のターゲットとするQWである可能性は低いと判断された．

QWは夜側電離圏でのエネルギー損失が大きく，弱い共鳴振動であるため，観測は容易ではない．今後，少しずつ観測時間を増やして検出を目指す．

【成果発表】

2015年度は関連する成果発表は行っていない．

IPS観測等で得られた太陽風と人工衛星画像から検出されたspeckleとの統計的解析の研究

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、データセットとして2010年～2013年末の期間のものを使用した。成果報告として、平成27年度STE研究集会での発表を行った。

Analysis

使用したデータはFlare Detection(FLD)パトロールイメージと呼ばれるもので、2048×2048ピクセルのデータを8×8ピクセルでサミング（非可逆圧縮）されたものである。空間分解能は非圧縮データと比べて悪くなっているが、高時間分解能（約30-60sec）を持つ。露光時間は約8.8msecで単一フィルター(Ti-poly)でのみの撮像となっている。画像処理としては、これらのデータを各露光時間でIntensityを割り、単位時間あたりのIntensityに補正した。その後、2値化処理を施しSpeckleを検出していった。

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。Fig1はSPE時に静止軌道で観測された最大プロトンフラックス(赤、青、緑が>10,>30,>60 MeVを示す)とXRTで検出されたSpeckleの検出数の散布図である。より高エネルギー側のプロトンフラックスとSpeckleの検出数が良い相関(>10MeVc.c.=0.37,>60MeVc.c.=0.51)を持っていた。XRTの遮蔽効果(Inver2mmなど,陽子を約30MeVまで遮蔽)も踏まえるとこの結果は妥当でありXRTCCDの場合、30-50MeVに陽子が検出可能な最低エネルギーと示唆された。しかし、物質の電子に対する遮蔽効果は陽子のそれに比べ、一桁小さくなる。放射線帯外帯には相対論的電子が多く存在しているため、その足元（磁気緯度約60度。Fig2の高緯度に存在する帯状領域に一致）を飛行している場合にSpeckleが少量ではあるが生成されたと考えられる。また、Fig2でさらに高緯度でSpeckleの生成が見られるが、これはカスプ領域に侵入した粒子の影響が示唆される。これは太陽風の変動などと比較を行い、その影響を検証していく必要がある。

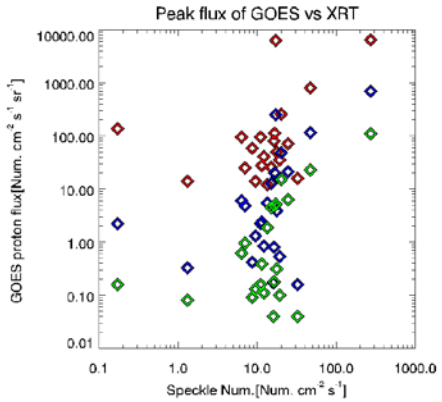


Figure1　GOES proton flux と XRT speckle 検出数。赤、青、緑は>10,>30,>60　MeV の proton flux を示す。

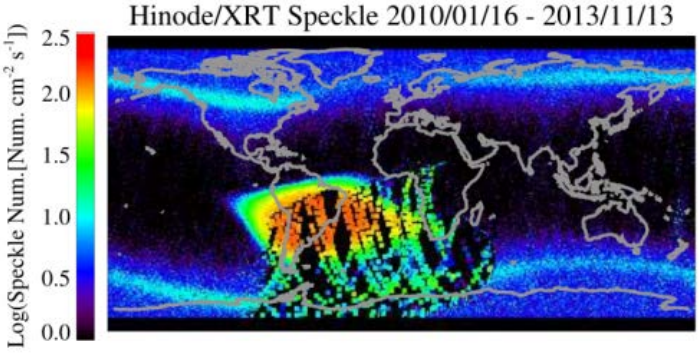


Figure 2　Speckle 検出数分布。高緯度に帯構造が見えるが、外帯足元であるため、電子起因と考えられる。

FAST衛星の観測データを用いた極域電離圏からのイオン流出の研究
Study on ion outflows from the polar ionosphere using the data obtained by the FAST satellite

北村 成寿、宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・Geotail プロジェクト

研究目的

電離圏から流出する光電子の観測データを用い、熱的エネルギーイオンの流出過程であるpolar windを中心とする低エネルギーイオンの流出フラックス及び沿磁力線方向のポテンシャルドロップの太陽活動度及び地磁気活動度による変動を明らかにし、電離圏から流出する光電子がpolar wind過程へどのように寄与しているかを明らかにする。

また、オーロラ等の磁気圏からのエネルギーインプットに対応して発生する低エネルギーイオン流出について、エネルギーインプット(ポインティングフラックス、低エネルギー電子降り込み)に対するイオン流出フラックスの関係、流出イオンの組成について解析を行い、フットプリントの電離圏への日照(太陽天頂角)と太陽活動の影響に特に着目してその影響を明らかにする。

研究方法、結果、考察

宇宙地球環境研究所のサーバーにデータが保存されているFAST衛星のイオン、電子、磁場の観測全期間(1996年から2009年まで)の長期間にわたる計測データを用いて、極冠内における光電子の流出の観測データの解析から得られた沿磁力線ポテンシャルドロップの大きさとイオン流出フラックスの太陽活動依存性、地磁気活動依存性について統計解析を行った。その結果、電離圏から流出しようとする光電子の量が増加する太陽活動極大期には、極冠内の磁力線に沿ったポテンシャルドロップがより発達し、よりエネルギーの高い光電子までを電離圏へ反射する。地磁気静穏時についてはポテンシャルドロップの発達によって、太陽活動度の上昇による光電子の電離圏からの流出の増加分を高高度での反射の増加によって相殺し、正味の電子の流出フラックスはほとんど変動しない事を明らかにした。

沿磁力線電流の小さい領域においては、電子とイオンの流出量はほぼ等しいため、この光電子の正味の流出量の太陽活動依存性はイオンの流出の太陽活動依存性を反映していると考えられる。極冠内ではpolar windと呼ばれるイオン流出が支配的と考えられ、そのフラックスの太陽活動依存性が小さいとすると、今回得られた結果と矛盾しない。あけぼの衛星のイオン観測データを用いた別の解析によって、太陽活動極大期であっても地磁気静穏時のpolar windの酸素イオンのフラックスは光電子の流出と釣り合うには不十分であるという結果が得られたため、イオンのフラックスの大部分は水素イオンが担っていなければならない。エネルギーの低い水素イオンのフラックスの観測は困難であったが、今回間接的ではあるものの、そのフラックスと太陽活動依存性が小さいという事を観測に基づいて明らかにする事ができた。

地磁気擾乱時にはポテンシャルドロップの大きさが小さくなり、光電子の流出量が増える。磁気嵐時の極冠内でpolar windの水素イオンのフラックスの増加を発生させるようなメカニズムは考えにくいため、cleft ion fountainと呼ばれる別のイオン流出メカニズムによって駆動されたイオン流出が対流によって極冠内に輸送され、イオンフラックスの増加とつりあうだけの光電子を逃がすために、ポテンシャルドロップの大きさが縮小すると考えると他の観測と整合する。以上の結果をまとめてGeophysical Monographに投稿し、受理された。

また、光電子の解析に用いたイオン、電子、磁場のデータに加えて、宇宙地球環境研究所のサーバーに保存されているイオン組成のデータも使用し、カスプやオーロラ帯におけるエネルギーインプット(ポインティングフラックス、低エネルギー電子降り込み)とイオン流出フラックス(>10 eV)の関係式、流出イオンの組成について、電離圏における太陽天頂角の効果について経験モデルの構築を行い、イオン組成の経験モデルを構築した。そして、同じ大きさのエネルギーインプットがあっても電離圏が日陰であるか日照であるかで異なる組

成のイオン流出が起きている事を明らかにした。加えて、FAST衛星の遠地点高度である約4000 km以下においては、流出イオンのエネルギーにも違いが見られ、日照側は大フラックスの酸素イオン流出が見られる場合がある一方、日陰側ではエネルギーの高いイオン流出は見られるが、水素イオンが支配的な傾向で酸素イオンの割合は低く、大フラックスの酸素イオン流出はあまり見られない事を示した。この結果は、酸素イオンの流出に対して電離圏が日照の状態であるという事が重要であるが、その場合、低高度での加速はそれほど大きくないため、将来の衛星探査において特に注目すべき酸素イオン流出は10 eV程度もしくは更にエネルギーの低いイオンで、それらのより正確かつ詳細な観測がカスプやオーロラ帯におけるイオン流出の理解に重要であることを示している。これらの結果についてはJournal of Geophysical Research誌に投稿準備中である。

成果発表

論文

1. Kitamura, N., K. Seki, Y. Nishimura, T. Abe, M. Yamada, S. Watanabe, A. Kumamoto, A. Shinbori, and A. W. Yau, Thermal and low-energy ion outflows in and through the polar cap: The polar wind and the low-energy component of the cleft ion fountain, *Geophysical Monograph* (受理済、Monographタイトル未定).

講演

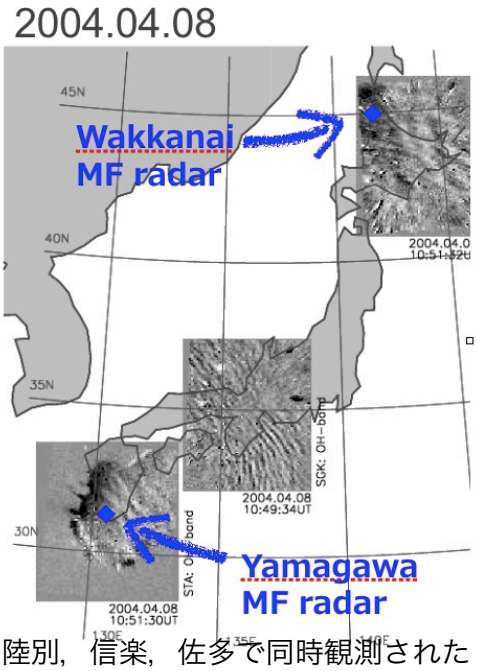
1. 北村成寿, 関華奈子, 西村幸敏, J. P. McFadden, 阿部琢美, 山田学, 渡部重十, A. W. Yau, Effect of escaping photoelectrons on the polar wind outflows, 日本地球惑星科学連合大会 2015, 幕張メッセ国際会議場, 2015 年 5 月 27 日. (口頭)
2. Kitamura, N., K. Seki, K. Keika, Y. Nishimura, T. Hori, R. J. Strangeway, and E. J. Lund, Solar zenith angle dependence of relationships between energy inputs to the ionosphere and H^+, He^+, and O^+ ion outflows, the GEM Summer Workshop, Snowmass, Colorado, USA, 16 June 2015. (ポスター)
3. Kitamura, N., K. Seki, Y. Nishimura, J. P. McFadden, T. Abe, M. Yamada, S. Watanabe, A. Kumamoto, A. Shinobori, and A. W. Yau, Effect of escaping photoelectrons on the polar wind outflows, the GEM Summer Workshop, Snowmass, Colorado, USA, 18 June 2015. (ポスター)
4. Kitamura, N., K. Seki, Y. Nishimura, J. P. McFadden, T. Abe, M. Yamada, S. Watanabe, A. Kumamoto, A. Shinbori, and A. W. Yau, Effect of escaping photoelectrons on the polar wind outflows, 26th International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) General Assembly, Prague, Czech Republic, 25 June 2015. (口頭)
5. Kitamura, N., K. Seki, K. Keika, Y. Nishimura, T. Hori, R. J. Strangeway, and E. J. Lund, Solar zenith angle dependence of H+, He+, and O+ ion outflows, 26th International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) General Assembly, Prague, Czech Republic, 26 June 2015. (口頭、招待講演)
6. 北村成寿, 極域電離圏から磁気圏へのイオン流出, MTI 研究会, 情報通信研究機構, 2015 年 8 月 31 日. (口頭、招待講演)
7. 北村成寿, 関華奈子, 桂華邦裕, 西村幸敏, 堀智昭, E. J. Lund, Solar zenith angle dependence of composition, velocity and temperature of ion outflows, 第 138 回地球電磁気・地球惑星圏学会, 東京大学, 2015 年 11 月 3 日. (ポスター)
8. Kitamura, N., K. Seki, Y. Nishimura, J. P. McFadden, T. Abe, M. Yamada, S. Watanabe, A. Kumamoto, A. Shinobori, and A. W. Yau, Effect of escaping photoelectrons on the polar wind outflows, ISAS Workshop: Magnetospheric Plasmas 2015, 1–3 December, 2015. (ポスター)
9. Kitamura, N., K. Seki, Y. Nishimura, J. P. McFadden, T. Abe, M. Yamada, S. Watanabe, A. Kumamoto, A. Shinobori, and A. W. Yau, Effect of escaping photoelectrons on the polar wind outflows, AGU Fall Meeting, San Francisco, California, USA, 18 December 2015. (ポスター)
10. 北村成寿, 関華奈子, 桂華邦裕, 西村幸敏, 堀智昭, Eric J. Lund, 地球極域からの流出イオンの組成、速度、温度の太陽天頂角依存性, 太陽惑星系宇宙プラズマ中の重イオンに関する研究集会, 名古屋大学宇宙地球環境研究所, 2016 年 1 月 27 日.(口頭)
11. Kitamura, N., K. Seki, K. Keika, Y. Nishimura, T. Hori, and E. J. Lund, Solar zenith angle dependence of composition, velocity and temperature of ion outflows, International GEMSIS and ASINACTR-G2602 Workshop, Nagoya University, Nagoya, Japan, 22-25 March 2016. (ポスター)

大気光カメラネットワークを利用した超高層大気波動の多地点同時観測
Simultaneous/multipoint measurements of atmospheric waves with the OMTI 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，名古屋大学太陽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）を用いて，MLT 大気光の多地点同時観測から広域に広がる大気波動の検出をおこなっている．

本年度は，長期間のデータが揃っており，かつ観測サイトが密にある日本域（陸別，信楽，佐多）に焦点を絞り，３点を合わせた広視野での観測データから小スケー ル（水平波長100 km 以下程度）の大気重力波の検出・調査を行った．特に，研究代表者らが昨年報告したダクト伝搬（長距離伝搬）波動の統計的な解析を進め，ダクト伝搬を決める背景大気場を議論した．４年間（2002年～2005年）の OH 大気光画像データから，上記３観測点において長距離伝搬波動が観測され，かつ，稚内と山川の MF レーダーで背景風が観測されているイベントは 20 例であった．解析を進めた結果，75%（15/20 イベント）において波動は背景風に対して逆方向に伝搬していることがわかった．これは日本上空の長距離伝搬波動は風によるダクト構造によって発生していることを示唆する．



陸別，信楽，佐多で同時観測された長距離伝搬波動の例（2004年4月8日）．青矢印で示した場所は，本研究でも用いた背景風の観測場所.

成果発表：

1. Suzuki, S., and K. Shiokawa, Performance Evaluation of Low-Cost Airglow Camera for Mesospheric Gravity Wave Measurements, 日本地球惑星科学連合2015年大会，千葉，2015年5月26日.
2. 鈴木臣，大気光たち展観測ネットワークの構築に向けて，地域ネットワークによる宇宙天気の観測・教育に関する研究集会，福岡，2016年3月9日.

（別紙様式２－２）

火星探査衛星MAVENを用いた火星大気上下結合の解明
Regional coupling on Martian atmosphere using MAVEN observations

中川広務、東北大学大学院理学研究科・助教

我々は、火星大気中における重力波による下層大気から上層大気への物質・運動量・エネルギー輸送を調べる事で、下層大気活動の大気散逸への影響を明らかにすることを目的としている。申請者ならびに研究所担当教員は、NASA火星探査衛星MAVENによって得られた最新観測データをもとに、超高層大気と下層大気をつなぐ中間圏大気研究を推進した。大気上下結合に特化した解析ツールを構築し、加えて地表面から中間圏までの広範囲に及ぶ数値シミュレーションを実施・観測データと比較することで、重力波が与える効果を定量的に評価した。

MAVEN搭載紫外分光器IUVSのリム観測データから大気密度・温度鉛直分布を導出し、重力波を考慮に入れた火星大気大循環モデルと比較した。その結果、重力波を考慮に入れた場合の数値結果がMAVEN観測結果をよりよく再現することがわかり、重力波効果が中間圏大気を再現するのに必要不可欠であることを明らかにした。加えて、全球的な分布を解析した結果、大規模な波数2の密度・温度擾乱が存在し、下層大気からの太陽非同期熱潮汐であることを明らかにした。数値シミュレーションを用いて観測された大規模擾乱構造を再現することに成功し、下層大気で生成された熱潮汐由来の擾乱が中間圏まで上方伝搬した結果であることを立証することができた。これらの成果は、専門雑誌Geophysical Research Letterに投稿された（3月時審議中、4月に採択され、5月現在無事に出版された）。

IUVSの星掩蔽データから導出された温度鉛直分布を解析した結果、高度70-130kmにおいて鉛直波長10-20km程度の重力波とみられる小規模な波状構造が存在することが明らかになった。温度擾乱の振幅について全球的に調べた結果、低緯度域に比べて中高緯度域において擾乱振幅が大きくなる傾向が見られた。これは高度0-40kmにおける下層大気でこれまでに調べられてきた重力波活動全球分布とは様相が全く異なり[Creasey et al., 2006]、重力波の上方伝搬構造を明らかにする上で重要な示唆を与える。この下層大気と中間圏大気との違いを定量的に理解するため、重力波を十分に分解できる高分解能火星大気大循環モデルを実施し、MAVEN観測と比較した。その結果、背景の風速場が重力波の上方伝搬に大きく影響することが明らかになり、特に冬半球の極域東西風ジェット上空では上方伝搬しやすく、赤道上空では伝搬しにくいことから、下層大気と中間圏大気での重力波分布が異なることを説明できる。これらの成果は、現在専門雑誌に投稿すべく準備を進めている。一方、MAVEN搭載NGIMSデータと比較した結果、より高高度において中間圏と類似した重力波分布を示すことが明らかになり、その関連性について本申請で活用した解析ツール等を駆使して検討を進めている。

12月21～22日に立教大学で実施された地球型惑星圏環境研究会に参加し、当該分野の関連研究者らと活発な議論を行った。また、12月23～24日に東京大学で元研究所担当教員が主催する火星勉強会に参加し、MAVENの最新成果を議論するため、専門雑誌Geophysical Research Letterにおける特集号を中心に研究発表・情報収集を行った。これらにより、今後の解析方針・スケジュールを議論することができ、地上連携観測も検討することができ、本研究を推進することができた。

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木星放射線帯の粒子ダイナミクスの情報を持つ。申請者らはこれまで JSR 強度の連続観測に基づき、数日～週程度の短期の時間スケール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木星放射線帯粒子ダイナミクス研究における新しいテーマになってきている。本研究では、特に、この成分-③の存在の検証と、太陽風変動との関連の査定を目的として研究を行っている。

[研究方法] 上記の目的の達成のために、研究初年度の本年度は以下の 4 項目について観測・観測データ解析に基づく研究を進めた。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。

[観測・解析結果の現況] 本年度は、2015 年 3 月 4 日～24 日の 3 週間に渡り行った JSR のキャンペン観測を主対象とした解析と考察を行った。観測・解析内容と結果は以下の通りである。

A.JSR 短期変動特性: NICT 鹿島の大型電波望遠鏡を用いた 2.3GHz 帯 JSR 観測の解析から、キャンペン観測期間で約 20%の強度変動が起こっていたこと、その変動は数日程度の時間スケールで変化する概して緩やかなものであったことを(暫定的に)確認した。しかし、導出された JSR 強度の誤差幅は強度変動幅とほぼ同等であり信頼度が高くはない。この原因として観測周波数帯域内に混入していたと考えられる人工電波の影響が否定出来ず、その評価と除去が課題となった。

B.木星極域現象の変動特性: 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。キャンペン観測期間では、継続時間が 1 日以下で大凡 3 日程の準周期的に出現する強度変動の存在が確認され、自励的現象の存在が示唆されたが、初期解析では JSR 変動のとの明確な関連は認められていない。

C.イオ火山性ガス・プラズマの発光量変動特性: 地上および HISAKI 衛星によるイオ火山性ガス・プラズマの連続観測から、2015 年 1 月中旬に顕著な増大が発生し、その影響は 3 月末まで継続していたことが確認されている。キャンペン期間は全体として緩やかな減光を示しつつ、継続時間が 1 日以下の突発的な増光も認められたが、JSR 変動との明確な関連は認められていない。

D.太陽紫外線・太陽風の変動特性: キャンペン期間に、木星に予想される太陽紫外線強度には変化幅約 20%の概ね凹型の変動が生じていたが JSR 変動との明確な関連は認められていない。一方、木星に予想される太陽風動圧はキャンペン期間に 0.05～0.6nPa の幅で数度の増減が存在した。B や C、また、太陽紫外線変動との明確な関連がない A の JSR 変動が、これらの変動と関連性があったか、その定量評価が課題となっている。

[初期結果総括と課題・展望] 上述のように、本年度は 3 週間の JSR キャンペン観測の暫定結果として、約 20%の JSR 変動が存在したこと、また、その変動が自励的な変動や磁気圏広域変動、外的要因の太陽紫外線変動とも関連性が低いことから「JSR 変動成分-③」が存在する可能性を示唆した。しかし、太陽風変動との関係の定量評価、および、評価の確実な実施のための、より誤差の少ない JSR 強度導出が課題となった。尚、「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には電波源の導出とその変動解析が有効と考えられる。このための電波干渉計観測も重要であり、強度観測とともに干渉計観測の実現も計画してゆく。

[成果発表等]

・研究会発表等: 第 14 回 IVS 技術開発センターシンポジウム(2015 年 6 月@鹿島)、※日本地球惑星科学連合 2016 年大会発表予定(2016 年 5 月@幕張)

・論文等: Misawa et al., IVS NICT-TDC News, Vol. 35, pp.16-19, 2015.

（別紙様式２－２）

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は、沿磁力線電流・電離圏対流として結実する。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、従来想像されなかった磁気リコネクションの存在もあり得る。まずは IMF 北向き時の準定常磁気圏の理解を目指す。

研究方法

数値シミュレーションはこれまで九州大学や国立極地研究所の計算機を用いて行っており、これを引き続き行った。観測データの解析は名古屋大学太陽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算出した。まずは IMF 斜め北向き時の準定常磁気圏について、夜側電離圏に現れる興味深い対流系について比較した。

研究結果と考察

図 1 は数値計算で求めた IMF 斜め北向き時の電離圏対流のパターンである。用いた IMF パラメータは、$B_X = 0$，$B_T \equiv \sqrt{B_Y^2 + B_Z^2} = 5$ nT，$\theta \equiv \arg\left(B_Z + iB_Y\right) = 40°, 35°, 30°, 25°, 20°$ の 5 通りで、図 2 との比較のため南半球のものを示している。北半球では反対称のパターンになる。注目すべきは、$\theta = 35°$（図 1b）の時に現れる夜側の渦である。点線は磁力線の開閉境界で、渦中心は極冠内にある。このように数値モデリングでは $\theta = 35°$ 付近に限って IMF B_Yに依存した特徴的対流が南北両半球に現れる。図 2 は $\theta \approx -45°$ の時の北半球の観測（2000 年 2 月 21 日 2310－2322UT）である。南半球ではレーダのエコーが少ないが、真夜中付近に逆回りの渦が現れている（ここでは示していない）。対流パターンだけを見ると数値モデル（図 1b）と観測（図 2）はよく似ているが、これが同じ現象かはまだ明らかでない。次の段階として、数値モデルに現れた渦の物理的解釈（渦中心が極冠内にある理由など）が求められる。そのうえで再び観測と詳細な比較を行うことになろう。

成果発表

・Watanabe, M., S. Fujita, and T. Tanaka, Reconnection electric fields in the "2 null - 2 separator" magnetosphere simulated by a global magnetohydrodynamic model, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, PEM09-P05, 2015 年 5 月 27 日, 幕張メッセ, 千葉.

・渡辺正和，藤田茂，田中高史，惑星間空間磁場北向き時の交換型リコネクションによる対流，極域・中緯度

SuperDARN 研究集会（名古屋大学太陽地球環境研究所・国立極地研究所・情報通信研究機構研究集会），2015 年 9 月 14 日，名古屋大学，名古屋.

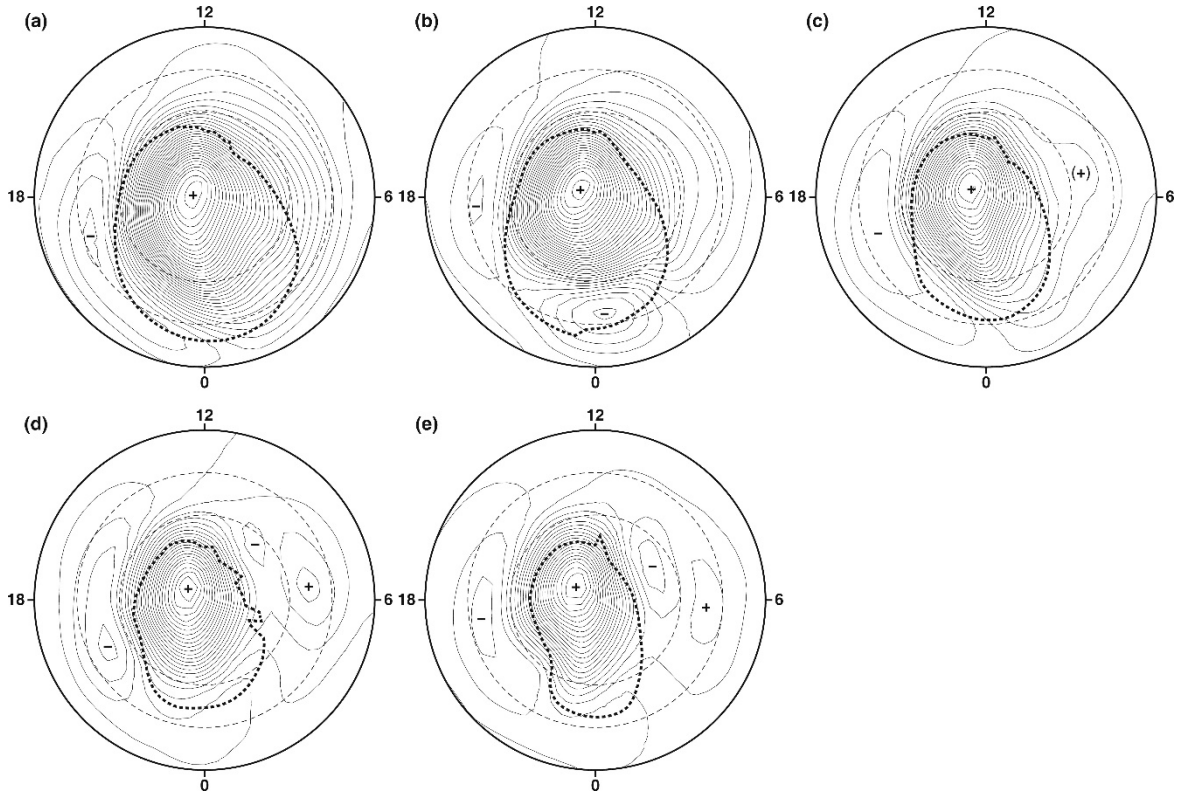


図 1　数値計算で算出された電離圏ポテンシャルのパターン. 惑星間空間磁場の時計角は(a) 40°, (b) 35°, (c) 30°, (d) 25°, (e) 20°に設定された．等高線は 3kV 毎に描いてある．太い点線は磁力線の開閉境界を表す.

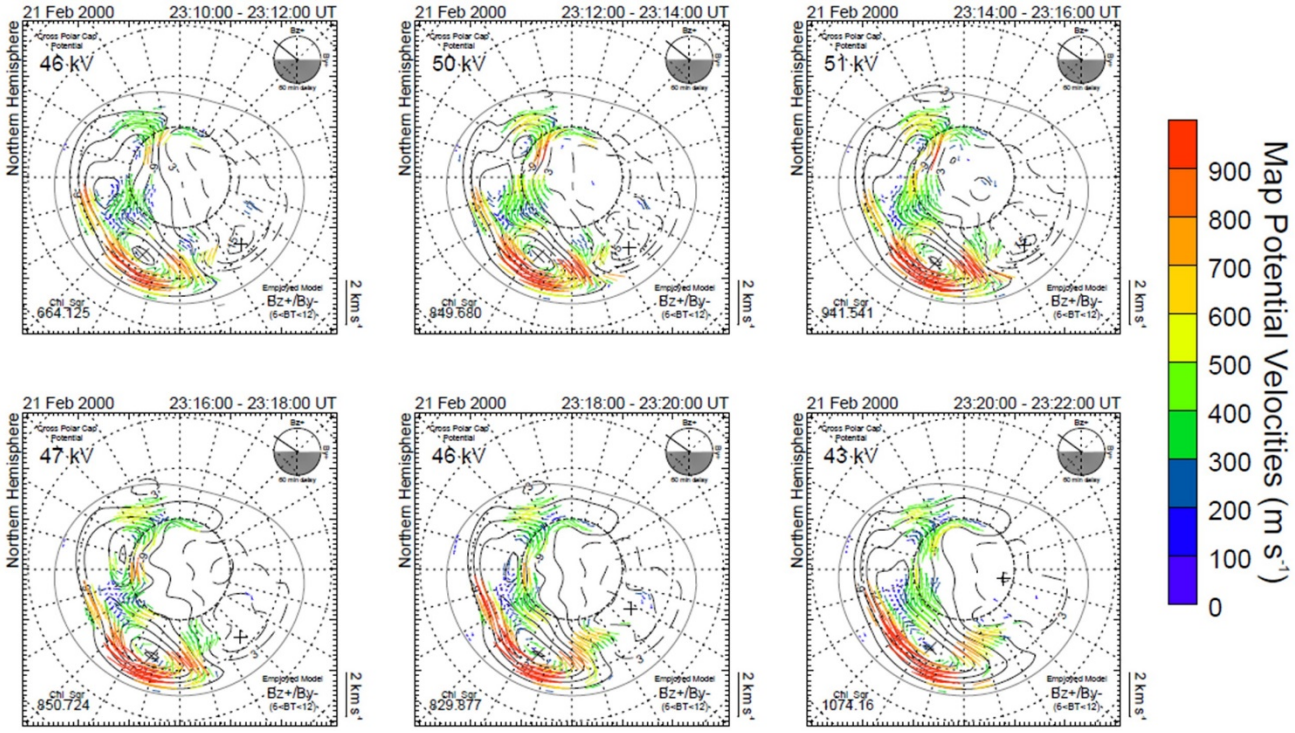


図 2　2000 年 2 月 21 日 2310－2322UT に北半球の SuperDARN で観測された対流パターン.

（別紙様式２－２）

DSMCモデルとMHDモデルを用いた火星大気圏-電離圏結合の研究
Study of the martian atmosphere-ionosphere coupling using DSMC and MHD models

寺田直樹、東北大学・大学院理学研究科

【研究目的】

本研究は、火星熱圏DSMC（Direct Simulation Monte Carlo）モデルと火星電離圏MHD（MagnetoHydroDynamic）モデルを用いて、下層大気から伝搬する重力波が電離圏密度構造の決定に果たす役割を明らかにすることを目標とする。大気重力波を介した上下結合過程は、地球における理解が先行しており、名古屋大学宇宙地球環境研究所の地球電磁気圏・大気圏の観測的研究で得られた知見や、GEMSIS実証型ジオスペース環境モデリングシステムにおいて蓄積された知見（複数モデルの開発・結合に関する知見など）が有用となる。そこで本研究では、名古屋大学宇宙地球環境研究所（現在は東京大学に所属）の関 華奈子氏との共同研究で新たなシミュレーションコードを開発し、火星電離圏構造に大気重力波が果たす役割の解明を進める。下層大気で生成された大気重力波は、地球の中間圏や下部熱圏の運動量収支・熱収支に重要な役割を果たす。近年、火星の中間圏や下部熱圏においても、大気重力波が風速場や熱収支にも影響を及ぼす可能性が指摘され、注目を集めている。本研究では、火星の下層大気-中層大気-下部熱圏の大気大循環モデル（GCM）から得られた重力波のスペクトル情報や風速場情報を入力値として火星熱圏のDSMCシミュレーションと電離圏のMHDシミュレーションをそれぞれ実行し、大気重力波が火星電離圏イオンの組成分布に及ぼす影響を定量的に調査する。そして、得られたシミュレーション結果を、MAVENなどの火星探査機による観測データと比較し検証する。特に、Mars Express衛星が観測した重いイオン（CO_2^+）の宇宙空間への高い流出比率に着目して、重力波の効果が、惑星の温室効果ガスの流出に及ぼす影響を調査する。

【研究方法】

火星探査衛星MAVENの観測データと比較を行うべく、火星の下層大気-中層大気-下部熱圏の大気大循環モデル（GCM）から得られた重力波のスペクトル情報や風速場情報を入力値として、火星熱圏DSMCシミュレーションと火星電離圏MHDシミュレーションを実行する。そして重力波によって生じる熱圏大気と電離圏イオンの各組成の高度分布の変動特性を解析する。入力重力波の各スペクトル成分に対して数値実験を実行し、各々の入力スペクトル成分に対してO, CO_2, O^+, CO_2^+などの密度の高度分布がどのような影響を受けるかを定量的に調査し、MAVEN衛星が取得したデータと比較する。

【研究結果】

火星大気大循環モデル（GCM）においては、従来の重力波パラメタリゼーションを用いる数値実験に加えて、重力波パラメタリゼーションを用いずに直接重力波を解く高解像度GCMの開発及び実行を行った。そして中間圏高度における重力波スペクトルの緯度経度分布を季節毎に求めた。本高解像度GCMによって得られた結果は、MAVEN衛星のUV観測および中性粒子直接計測による重力波の空間分布との比較を進めている。従来の重力波パラメタ

リゼーションを用いるGCMにおいては、MAVEN衛星のUV観測による熱圏密度と温度の高度分布との比較を行い、重力波パラメタリゼーションを含めた計算はMAVEN観測の高度分布をより良く再現することを示した。これらのGCM計算から予想される火星下部熱圏における重力波スペクトル分布の情報を参考にしながら、火星熱圏DSMCモデルへの短周期大気波動の入力を試みた。火星熱圏DSMCモデルには、レナード・ジョーンズ型分子間ポテンシャルを用いた分子動力学計算から求めた散乱モデル、太陽EUV放射による電離、光化学平衡電離圏、解離再結合による加熱率、15μmのCO2放射冷却率などを組み込んだ。そしてその2次元バージョンの火星熱圏DSMCモデルに、下側境界から様々な周期の重力波および音波を入力した。その結果、ブラントバイサラ周期よりも短周期の音波は上部熱圏の高高度まで伝搬する一方で、ブラントバイサラ周期よりも長周期の重力波は周期が長くなるにつれて上部熱圏に伝わりにくくなる結果が得られた。この長周期の波動は入力と同時に短周期の音波も同時に発生している事から、初期条件や境界条件の影響が現れている可能性も考えられる。静的初期条件なども試みたが、短周期の音波の発生は抑えられておらず、本音波の発生については更なる原因の調査が必要ということが判った。

【成果発表】

（論文発表）

- Medvedev, A.S., H. Nakagawa, C. Mockel, E. Yiğit, T. Kuroda, P. Hartogh, K. Terada, N. Terada, K. Seki, N.M.Schneider, S.K. Jain, J.S. Evans, J.I. Deighan, W.E. McClintock, and D. Lo, Comparison of density and temperature in the Martian thermosphere from IUVS/MAVEN data and general circulation modeling. Geophysical Research Letters, 43, pp.3095-3104, doi:10.1002/2016GL068388, 2016.
- Masunaga, K., K. Seki, N. Terada, F. Tsuchiya, T. Kimura, K. Yoshioka, G. Murakami, A. Yamazaki, M. Kagitani, C. Tao, A. Fedorov, Y. Futaana, T. L. Zhang, D. Shiota, F. Leblanc, J.-Y. Chaufray, and I. Yoshikawa, Periodic variations of oxygen EUV dayglow in the upper atmosphere of Venus: Hisaki/EXCEED observations, Journal of Geophysical Research, 120, pp.2037-2052, doi:10.1002/2015JE004849, 2015.

（口頭発表）

- Terada, N., Development of a planetary magnetosphere-ionosphere model and its coupling with atmosphere models, 第17回惑星圏研究会, 仙台, 2016年2月22-24日（東北大学青葉記念会館）.

（別紙様式２－２）

地上紫外線強度の変動要因の解析
Analysis of the factors changing ground UV radiation

中根英昭、高知工科大学・環境理工学群

【研究目的】
中緯度のオゾン全量は1990年代半ばに減少トレンドから増加トレンドに転じているが、日本を含む北半球中緯度の多くの観測点では地上紫外線強度が増大している。オゾン全量以外のどのような要因によって、このようなトレンドが生じるのかを明らかにすることが本研究の目的である。

【研究手法】
昨年度までに、札幌、つくば、那覇におけるUVインデックスのトレンドに対するオゾン全量の影響を解析し、札幌においてはUVインデックスに対してオゾン全量の増加が有意に影響を及ぼしていることを明らかにした（林ら,大気環境学会誌，50，27-34，2015）が、UVインデックスの増加要因そのものについて明らかにするには至らなかった。そこで、全天日射量、雲量について解析した。

【研究結果】
（１）全天日射量の多い日の日数のトレンド
札幌、つくば、那覇のUVインデックスに対するオゾン全量以外の変動要因として、まず全天日射量に着目した。1996年～2012年の期間について、正午の全天日射量最大値の理論値と比較して、A；85%以上（非常に大きい）、B；50%～85%（大きい）、C；50%未満（小さい）の日数を月ごとに求め、直線回帰によりトレンドを求めた。その結果、レベルAの日数は３地点とも正のトレンドがあるのに対し、レベルBの日数は負のトレンドであった。レベルCの日数のトレンドは大きくなく符号も様々であった。従って、UVインデックスによって表される地上紫外線の増加トレンドは全天日射量の非常に大きい日の増加によるものと考えることができる。

（２）全天日射量と雲量の関係
全天日射量の非常に多い日の日数に増加トレンドがあったことから、快晴日数が増加していると解釈することができるか否かを確認するために、雲量と全天日射量の相関プロットを行ったが、期待したような良い負の相関は得られなかった。雲量は雲の厚さや高度等の放射伝達に影響する情報を含んでいないため、地上紫外線のトレンドを雲量によって説明することは困難であると結論した。

【考察】
エアロゾルについては特段の減少トレンドがある訳ではないので、雲量では表せない雲の変化が重要な役割を果たしていると考えられる。

（別紙様式２－２）

脈動オーロラとULF帯波動の時間変動：全自動解析手法の開発と統計的特性の導出

Temporal variations of pulsating aurora and ULF waves: Development of automatic analysis method and drawing statistical pictures of the variations

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[*Røyrvik and Davis*, 1977; *Yamamoto*, 1988]．この特徴的な明滅に加え，数 Hz 程度の時間変動成分や[*Samara and Michell*, 2010; *Nishiyama et al.*, 2014]や，近年ではより高速な 30-50Hz 程度の変動成分[*Kataoka et al.*, 2012]も報告されている．これらの 1s 以下の時間スケールの高周波成分は磁気圏における波動粒子相互作用，特に whistler mode chorus の wave packet（~数 100ms）による強力なピッチ角散乱に起因すると低高度衛星観測や数値計算から理解がされてきた[e.g., *Nishiyama et al.*, 2011; *Saito et al.*, 2012; *Miyoshi et al.*, 2015].

しかしながら，PsA の明滅周期，所謂 on-off 周期については，周囲のプラズマ環境に依存する whistler mode chorus の成長率によって決まる時間スケールであると，古くより理論的に提唱されているものの[e.g., *Davidson*, 1990]，観測に基づいて定量的に on-off 周期の生成機構を説明した研究例は未だない．近年では周期的な（2,3-20 秒）電子密度や磁場の変動に伴って，whistler mode chorus や electron cyclotron harmonics wave といった波動の励起が磁気圏衛星によって観測されており[*Liang et al.*, 2011; *Li et al.*, 2012]，PsA の on-off 周期との類似性が指摘されている．

そこで，本研究の目的は 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 PsA を検出し，その on-off 周期を自動抽出する解析手法の開発を行う．将来的には，開発した手法を衛星データにも適応し ULF 帯の波動の周期特性との比較を行い，PsA の周期の生成機構や波動粒子相互作用において新たな知見を得ることを目指す．

【研究結果】

昨年度は基礎的な手法の確立を目指し，発光強度の時系列データに対し自己相関関数をとることで，on と off で非対称な on-off 周期を明滅周期の on と off のそれぞれの継続時間を導出が可

能か検証を行った［*Watanabe et al.*, 2007］．しかしながら，細かい変動やノイズによる誤検出が問題になることが予想されるため，今年度から主成分解析による手法の検討を進めた．主成分解析はすでに全球的な気象データや電離圏の TEC データなどの解析に応用されており，コヒーレントな時間変動を示す空間構造を抽出することが可能である．図 1 に PsA の 3 次元データに適応した結果例を示すが，PsA の特徴的なパッチ構造を示すモードと，そのモードの時間変化の振幅を算出することができる．特に時間変化に関しては，FFT と異なり特定の priori 関数を必要としないため，on-off 周期の非対称を保存したままその特性を取り出すことができる．

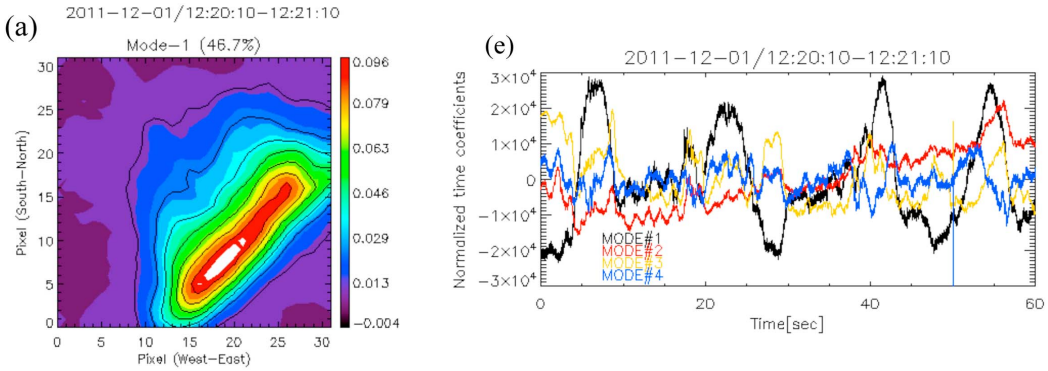


図 1: (左)PA のパッチ構造に対応するモード（右）主要なモードの振幅の時間変化，黒線が PsA の on-off 変動に対応する．[Nishiyama et al., 2016]

以上の結果は Journal of Geophysical Research に投稿し，今年度に受理されている．

加えて，異なる周波数と波数を持つ定在型と伝搬型のサイン波からなるテスト用の 3 次元データを作成し，主成分解析の検証を行った．その結果，on-off 周期で明滅するパッチ構造を模した定在波とパッチ内部を伝搬する高周波成分を異なるモードとして分解できることを確認できた．その際に，モノクロマティックな伝搬性波動は，空間的には半波長ずれた定在波のペアとして表現され，振幅の時間変動の位相が 90° ずれることも検証できた．以上の結果から，PsA に現れる高周波成分と on-off 脈動成分を異なるモードとして原理的に分解できることを確かめた．

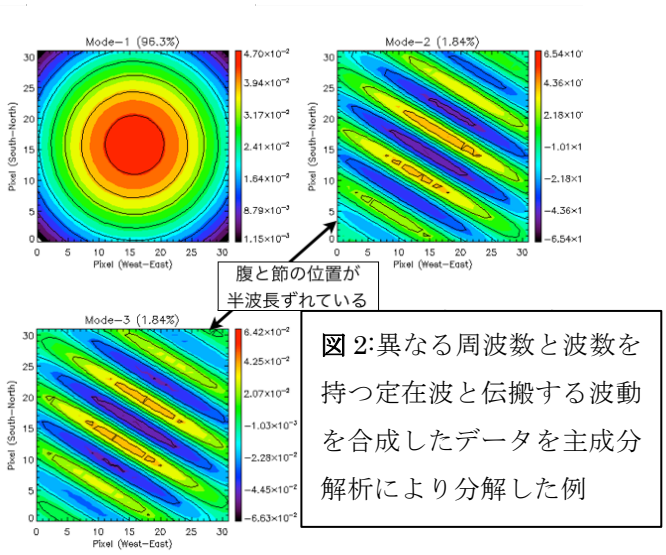


図 2:異なる周波数と波数を持つ定在波と伝搬する波動を合成したデータを主成分解析により分解した例

今後は，主成分解析を軸としてさらなる解析手法の改良（PsA の自動判定及び on と off 周期の

算出法）を進めるとともに，カナダの Athabasca において名大・ISEE が中心に観測を継続している全天カメラのデータに解析手法を適用することを目指す.

【成果発表】

論文

[1] Nishiyama, T., Y. Miyoshi, Y. Katoh, T. Sakanoi, R. Kataoka, and S. Okano (2016), Substructures with luminosity modulation and horizontal oscillation in pulsating patch: Principal component analysis application to pulsating aurora, J. Geophys. Res. Space Physics, 121, doi:10.1002/2015JA022288.

学会等発表

[2] Nishiyama T., Y. Miyoshi, T. Sakanoi, Y. Katoh, and R. Kataoka, Investigations on spatio-temporal characteristics of pulsation aurora based on ground-based observations, P29, 2015 ISEE workshop "International GEMSIS and ASINACTR-G2602 Workshop: Future Perspectives of Researches in Space Physics", Noyori Conference Hall in Higashiyama campus of the Nagoya University, Japan, 22-25 March, 2016.

（別紙様式２－２）

トロムソに設置したナトリウムライダーに用いる昼間観測用狭帯域フィルターの設計
Designing of an ultra-narrowband optical filter for the daytime observation of the sodium lidar deployed at Tromso

川原琢也、信州大学・工学部

[研究目的]

EISCATレーダーサイト（ノルウェーのトロムソ）に設置したナトリウムライダーは現在、背景光が少ない夜間（極域の冬季）にのみ観測を継続している。その結果、1年を通してみると夏季のデータが全く欠損しており、温度や風系の夏季の議論や季節変化の議論ができない。さらに、地球温暖化の指標として注目されている夏期高緯度中間圏に発生する夜光雲の解明は重要な課題として残されており、ライダーによる鉛直方向の情報が不可欠とされているが有効な昼間観測のフィルタがないことから観測が欠如してきた。

そこで、太陽光によるレーザ光以外の背景光を効果的に排除する新しい狭帯域フィルタを開発し、昼間観測を実現する。フィルタにはエアギャップ型エタロンを用い、大気圧調整のできるフィルタ容器と組み合わせることで透過率を最適化できる。特に、トロムソで運用するためには、調整の簡易さ、および安定運用が強く望まれる。

そこで、トロムソライダーで使用している望遠鏡の仕様に合わせ、新たなエタロンフィルタの仕様とそれを含めたライダー受信系の設計を目的とする。

[研究方法]

本研究では、トロムソで用いるMaede社のLX200-35ACF望遠鏡の仕様に最適化したエタロンの仕様を検討する。市販のエタロンから最適の仕様を選び、それを圧力容器に収納して空気圧のコントロールによりエタロン間の光学的な距離を調整する装置の検討を行う。エタロンは、ある波長の光が、特定の入射角度でエタロンに入射した場合に反射面間での多重干渉で透過光が強め合い、狭帯域のフィルタとして機能する。このため、エタロンをライダー観測で用いるためには、レーザ波長とエタロンへの入射角に関して検討を行う必要がある。具体的には、観測時にレーザがナトリウム層に到達している場所が望遠鏡視野内でエタロンへの入射角度が異なる（図1）。また、視野内で同じ場所でもレーザの波長によって干渉条件が異なってくる。これらの条件に関して計算を行い、最適なエタロンを選定する。

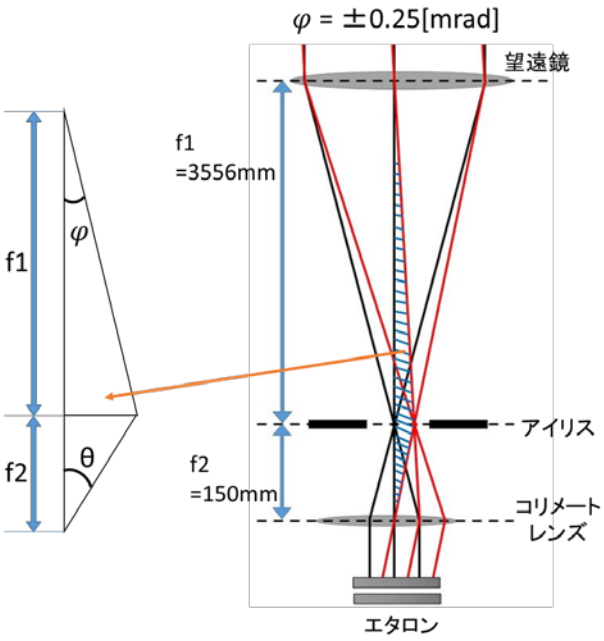


図1 エタロンを用いた光学系概念図

[研究結果]

エタロンの仕様を決めるパラメータは、エタロン間の反射率Rと反射面間の距離dである。Rは狭帯域フィルタとしての半値幅を決める。併用する干渉フィルタの半値幅の1nm程度に対して狭帯域フィルタとして機能させるためには、仮にRの値を90%以上

にとれば半値幅が10pm以下となり、波長領域で1/100の背景光カットが期待できる。しかし、次の問題を解決することが重要となる。トロムソライダー観測では3波長の

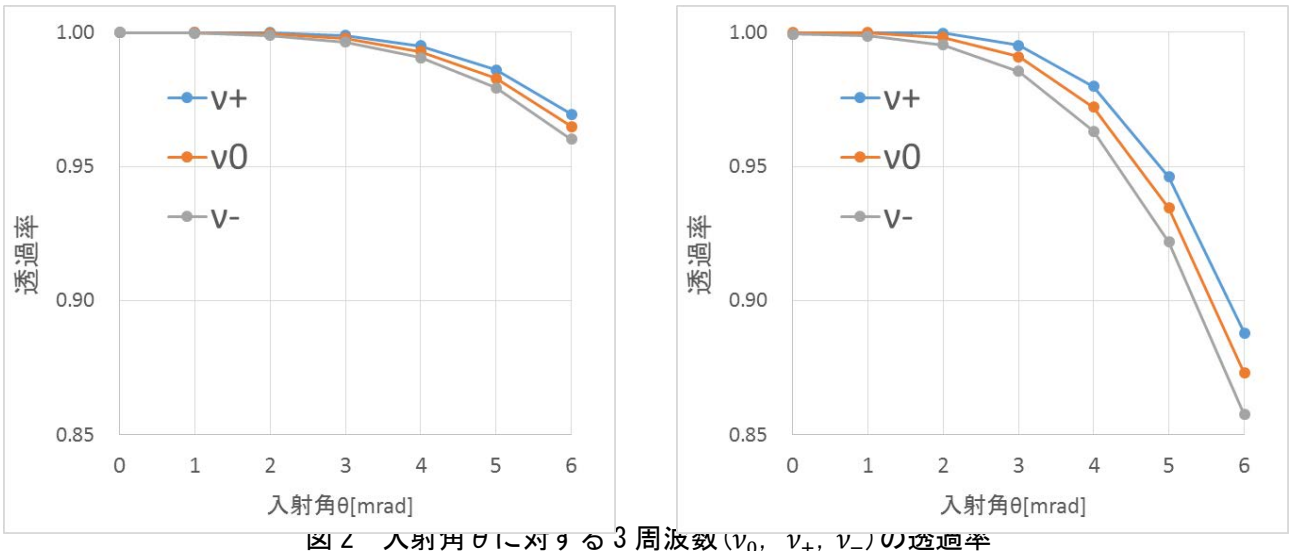


図２　入射角θに対する３周波数（ν_0, ν_+, ν_-）の透過率

レーザ波長の切り替えを行っており、観測光がエタロンに対して同一入射角で入射しても、波長ごとに透過率が異なってしまう。このことはデータ解析を行った際に誤った結果を導く。図2には異なる反射率で観測波長ごとに透過率が異なる様子を示す。エタロンの反射率が大きい方が、入射角に対する波長ごとの透過率の差が大きくなる。

この対処に関しては考察で議論する。

一方、エタロン間の距離dはフリースペクトラルレンジ（FSR）と最大透過率の波長を決める。すなわち、エタロンの仕様を決めた時点で、透過率最大の波長と入射角の条件が決まってしまう。この値を調整可能とするために、エタロンを圧力容器に格納し、圧力容器内の空気圧を変化させ、エタロン反射面間の空間的な距離を変えずに光学的な距離を変化させる手法を採用する。この手法により、仮想的にdを変化させ任意の波長に対して透過率を最大にできる。容器が耐圧範囲で1FSRの変化が可能となる仕様を選定すればdに関する必要仕様を満たす。

[考察]

エタロンの仕様dの選定は次のように行う。まず、エタロンのFSRが干渉フィルタの半値幅1nmの半分の値である0.5nmよりも長くなるように反射面間の距離dを設定する。これにより、干渉フィルタのスペクトル幅内で狭帯域エタロンフィルタの透過率ピークが1つとなる。この条件で周波数表示すると、

$$FSR \quad > \quad 0.432[THz]$$

となり、d が 500μm 以下が候補となる。その d に対して大気圧から圧力を変化させた場合にどれだけの圧力変化ΔP で 1FSR 変化するか、というのを調べた（表 1）。

表１　反射面間距離 d と 1FSR を変化させるための屈折率変化 Δn とそれに対応する圧力変化 ΔP

d[μm]	25	50	100	150	250
Δn	0.012	0.0059	0.0029	0.0020	0.0012
ΔP[気圧]	41	21	11	7.7	5.0

この結果から、標準的な仕様である d=100μm を選択し、圧力容器の耐圧範囲である 100 気圧以内で圧力をコントロールする。

エタロンの反射面の反射率 R に関しては、たとえ 3 波長観測でそれぞれのエタロン透過率が変化したとしても、解析結果に影響を与えないことが検討結果からわかった。3 波長観測を行い解析する場合、温度の導出で$\nu_0 \pm \Delta\nu$の光に対する受信光強度の和の計算があるが、この部分の和がν_0と透過率が同じように積算できる。このため、エタロンの選択には波長ごとの透過率を考慮しなくても問題ないことが分かった。これに関しては実際のデータを用いて検証を行っていく。

（別紙様式２－２）

EISCAT レーダーを中心とした中間圏—熱圏—電離圏—磁気圏結合の研究

Study on the Mesosphere-Thermosphere-Ionosphere-Magnetosphere coupling by using EISCAT radars

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：

スカンジナビア半島北部とスバールバル諸島スピッツベルゲン島に設置されている欧州非干渉散乱（EISCAT）レーダーシステムを中心に用いて、極域における実験観測を実施することにより、太陽風、磁気圏、電離圏、熱圏、中間圏における様々な基本的かつ重要な物理・化学過程の総合的研究を行うことを目的とする。このEISCAT全国共同利用のための包括的な研究目的に加え、平成27年度には、ここ数年の間に重点的に整備や拡張を実施してきた34年間分のEISCATデータベースを中心に用いることにより、極域電離圏物理量の長期変動とその成因に関する新しい知見を目指す。

2015 年度の活動内容：

研究目的に掲げた内容を、全国の EISCAT 特別実験代表者及びその共同研究者が円滑に進められるように、名古屋大学太陽地球環境研究所や国立極地研究所、EISCAT レーダーサイトにて様々な打ち合わせや活動を行った。具体的には以下の内容が挙げられる。

（1）平成 27 年度の共同研究期間には、13 件の EISCAT 特別実験申請に基づいた各実験申請代表者/共同研究者との打ち合わせや EISCAT 特別実験の実施（最終的には合計 12 件の実験を実施）に加え、過去に得られたデータを用いた解析研究を実施した。その結果、2015 年 1 月以降に、EISCAT を利用した 8 編の学術論文（日本人研究者が筆頭著者の論文は 7 編）が JGR 等の学術雑誌に出版/受理された。それらの情報を、国内 EISCAT ウェブページ（http://eiscat.nipr.ac.jp/）に順次公開している。EISCAT データについては、2015 年 12 月までの共通実験データと 2014 年 12 月までの特別実験データ（他国の実験データも含む）を整備して国内 EISCAT ウェブページ内に公開し、国内/国際共同利用がなされている。

（2）EISCAT_3D 計画に関しては、（1）2015 年 5 月 7-8 日に開催された EISCAT_3D ユーザ会議の情報や、（2）Nordic e-Infrastructure Collaboration（NeIC）EISCAT_3D Support Project によって議論や文書化を進めている EISCAT_3D システム要件の情報、について国内関係者と情報共有を行った。また、EISCAT_3D 送信機建設に関する概算要求に関する準備や調整を順次進めている。

2015 年度の成果内容：

EISCAT レーダー特別実験や、EISCAT 共通実験データ、関連観測装置データの解析結果及び、EISCAT_3D 計画について 2015 年度にまとめられた論文成果として、以下の 8 編が挙げられる。

1. Miyoshi, Y., S. Oyama, S. Saito, S. Kurita, H. Fujiwara, R. Kataoka, Y. Ebihara, C. Kletzing, G. Reeves, O. Santolik, M. Cliverd, C. J. Rodger, E. Turunen, and F. Tsuchiya, Energetic electron precipitation associated with pulsating aurora: EISCAT and Van Allen Probe observations, J. Geophys. Res. Space Physics, doi:10.1002/2014JA020690, 2015.
2. Ieda, A., S. Oyama, H. Vanhamäki, R. Fujii, A. Nakamizo, O. Amm, T. Hori, M. Takeda, G. Ueno, A. Yoshikawa, R. J. Redmon, W. F. Denig, Y. Kamide, and N. Nishitani, Approximate forms of daytime ionospheric conductance, J. Geophys. Res. Space Physics, 119, pages 10,397-10,415. doi:10.1002/2014JA020665, 2015.
3. Takahashi, T., S. Nozawa, T. T. Tsuda, Y. Ogawa, N. Saito, T. Hidemori, T. D. Kawahara, C. Hall, H. Fujiwara, N. Matuura, A. Brekke, M. Tsutsumi, S. Wada, T. Kawabata, S. Oyama, and R. Fujii, A case study on generation mechanisms of a sporadic sodium layer above Tromso (69.6°N) during a night of high auroral activity, Ann. Geophys., 33, 941-953, doi:10.5194/angeo-33-941-2015, August 2015.
4. Hosokawa, K. and Y. Ogawa, Ionospheric variation during pulsating aurora, J. Geophys. Res., DOI: 10.1002/2015JA021401, July 2015.
5. Taguchi, S., K. Hosokawa, Y. Ogawa, Three-dimensional imaging of the plasma parameters of a moving cusp aurora, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, DOI:10.1016/j.jastp.2015.08.012, 2015.
6. Ishida, T., Y. Ogawa, A. Kadokura, K. Hosokawa, and Y. Otsuka, Direct observations of blob deformation during a substorm, Ann. Geophys., 33, 525-530, doi:10.5194/angeo-33-525-2015, May 2015.
7. Taguchi, S., K. Hosokawa and Y. Ogawa, Investigating the particle precipitation of a moving cusp aurora using simultaneous observations from the ground and space, Progress in Earth and Planetary Science, doi:10.1186/s40645-015-0044-7, May 2015.
8. McCrea, I. W., A. Aikio, L. Alfonsi, E. Belova, S. Buchert, M. Clilverd, N. Engler, B. Gustavsson, C. Heinselman, J. Kero, M. Kosch, H. Lamy, T. Leyser, Y. Ogawa, K. Oksavik, A. Pellinen-Wannberg, F. Pitout, M. Rapp, I. Stanislawska, and J. Vierninen, The science case for the EISCAT_3D radar, Progress in Earth and Planetary Science, doi:10.1186/s40645-015-0051-8, July 2015.

（別紙様式２－２）

SuperDARN 北海道-陸別レーダー、地上磁場観測、衛星観測を用いた地上-電離圏-磁気圏-地磁気脈動の比較研究

Comparison of ground-ionosphere-magnetosphere ULF waves using data observed by the SuperDARN Hokkaido radar, ground magnetometers, and satellite

寺本万里子、宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所

【研究目的】

本研究の目的は、SuperDARN 北海道-陸別レーダーと 210° 地磁気観測データや THEMIS 衛星・VAPs 衛星による電磁場観測・粒子観測データを有機的に組み合わせることによって、内部磁気圏で局所的に励起される Pc5 脈動(周期 150 秒-600 秒)の経度方向の波動特性や空間分布、高エネルギー粒子との関係を調べ、放射線帯粒子のダイナミクス（動径拡散、等）における Pc5 脈動の役割を明らかにすることである。

【研究結果】

磁気嵐回復相中に起きた、Pc5 脈動についてイベント解析を行った。朝側の L~6 に位置する VAPs 衛星の磁場・電場データに、3-4mHz の大振幅の Pc5 脈動が観測された。電場・磁場の極性から toroidal mode の定在波と特定された、この波の経度方向の波数を導出したところ 4-6 という値であった。さらに、keV 電子の Flux にも同周波数の変動が確認され、3-4mHz の振動数では 593-600keV が一番大きな振幅を持つことがわかった。これら経度方向の波数・Pc5 の振動数・位置の情報をもとに、モデル計算により Pc5 とドリフト共鳴を起こす電子のエネルギーを導出したところ、約 550keV となり観測結果と一致した。また post midnight に位置する GOES13 にも VAPs と同様の周期の Pc5 が観測され、475keV 以上のエネルギーを持つ電子 flux が 3-4mHz の振動数で振動していることがわかった。一方、pre midnight に位置する GOES15 の磁場には Pc5 脈動周期の擾乱は存在しなかったが、275keV 以上の電子の flux には、3-4mHz の擾乱が観測された。

【考察】

以上の観測結果によって post-midnight から朝側に局所的に発生している toroidal Pc5 脈動と 593-600keV の電子はドリフト共鳴しているといえる。Pre midnight で、250keV の電子 flux に 2-4mHz の振動が観測されたのは、朝側の Pc5 脈動にエネルギーを与えられた電子が昼側を経由して post midnight に到達したためであると考えられる。

【成果発表】

寺本 万里子、 坂口 歌織、 藤本 晶子、 能勢 正仁、 三好 由純、Singer Howard J.、 Kletzing Craig A.、 松岡 彩子、「Azimuthal extent of low-m ULF waves in the inner magnetosphere observed by multiple satellites」、第 138 回 地球電磁気・地球惑星圏学会 総会・講演会、2015 年 11 月、本郷（東京）

（別紙様式２－２）

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

河野光彦、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し生徒がノートをとる，またあるときは教師が演示実験をして見せて説明するといった知識伝達型の教育がながらく行われきた。ところが社会は大きく変化し高度に情報化されたグローバル時代へと突入した現代では，こういった従来型の教育だけでは社会へ出たときに必要とされる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，リアル社会とつながった実験・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ますます重要度を増している。[1, 2]

これからのグローバル時代を生き抜くためには，身の回りの事象から地球規模の環境までを視野に入れて，科学的な根拠に基づいて賢明な意思決定ができるような能力が必要である。高校の理科教育においても，そのような能力の育成は最重要視されている。[3] 自然環境を大切に考えている高校生は多くいるが，彼らはそれを日常接する身のまわりの環境や新聞およびニュースなどで報じらせる環境問題だけでなく，地球スケールで捉え理解できているとは限らない。問題意識や使命感が高く，もっと詳しく学びたいと考える高校生が多くいるにもかかわらず，いまの高校教育では彼らに適切に対応しきれていないように思われる。総合的に地球を理解し身のまわりの様々な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良い影響を与えられると期待できる。

【研究目的】

このため，本研究では自然環境問題に関心を持つ生徒に対して，広い科学的基礎学力を持たせるための能動的な学習活動を伴う教育方法を開発することを目的とする。科学的に探究するような学習を重視するなかで，問題を見いだし観察や実験を計画する学習活動，そして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が求められる。ここでは特に，問題設定型学習としての教育方法を開発し，生徒が知識や上記の技能を能動的に獲得するプロセスに対して，教員がそれを支援するという形で目的を達成する。

【研究方法】

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。教材開発などの打合わせ後，関西学院千里国際高等部の生徒５名に対し，名古屋大学宇宙地球環境研究所の松見研究室において地球環境に関する授業・実習・見

学を行った。その際，地球大気圏環境の基礎学習と実際の地球環境問題に対する科学的理解を促す授業を行い，その後５種類の実習実験を行った。

【研究結果】

高校生に地球大気環境を理解させるための方法として，「光」の科学を軸にして展開したことに効果があった。人間が引き起こした大気の変化によって引き起こされた地球環境問題には，生徒たちにとって身近で理解しやすい「光」が関連していることがほとんどであり，また「光」には生徒たちをひきつける魅力があるからである。基礎学習として「光の色やスペクトル」「紫外光と赤外光」「光吸収と光化学反応」「太陽光」などを理解させることによって，「オゾン層生成と破壊のメカニズム」や「地球温暖化のメカニズム」など地球規模の環境問題への解説や議論につなげることができた。議論の中では，国際社会で行われている現在の取り組みや今後の予想についても解説を行い，他の分野のことや社会への貢献を意識を与えることができた。

生徒からのフィードバックの記述を見ても，「光の色によって温度がわかることを知った。」「オゾン層について知らないことを知れた。」「大気環境について曖昧にしか知らなかった部分を明確にできた。」「光の波長などが，オゾン層，地球温暖化，光化学スモッグに関係していることが理解できた。」「今まで知らなかったことを学ぶことができ，その上より専門的なことまで知ることができた。」「今まで二酸化炭素が増加するから地球温暖化が進行するといった簡単な知識しか持っていなかったけれど，太陽からの日差しと地球から宇宙に向けての放射これら全てが光放射であって，紫外線や赤外線さらには大気中の成分が密接に関わり地球温暖化をもたらすことを学べてよかったです。」「自分は理系だから理系の科目しかわからなくても良いってことはないし，その逆も同じで今の時代色々なことを知っておく必要がある。」など，光の科学的基礎概念の理解から現実の世界を捉えることができるようになっていることがわかる。

さらに実験実習では，「光の波長と光吸収」「大気中の CO_2 を測定」「地球温暖化気体の赤外吸収」「大気中の微粒子を測定」「大気中でできる微粒子」などを行ったが，光の基礎概念を理解させた上で行ったのは効果的で，生徒たちの実験内容の理解や意欲につなげることができた。また，普段の学校ではできないことを用意したので，貴重な実験スキルを身につけることができた。例えば，分光器を用いて太陽や室内灯そのほか LED・レーザーポインターなどのスペクトルを測定，さらに，電球光を NO_2 の入ったガラス容器に光を通し光のスペクトルが変化する様子を観測した。これらの実験実習を生徒自らが行うことににによって，気体の色と光吸収の関係を実感させることができ，それが温暖化ガスなどの測定に役立つということにつなげることができた。同じように，赤外線電気ヒータと赤外線メータをを用いて，CO_2 やフロンの光吸収強度の違いを生徒たちに比較させたが，これらの実験実習によって地球温暖化のメカニズムと温暖化ガスのそれへの影響力の違いの理解につなげることができた。他にも，三角フラスコの中でオゾンを発生させ有機物によってエアロゾルが発生する様子をレーザーポインター用いて観察させたり，実際の観測実験として外へ出て大気中の微粒子濃度測定などを行った。これらは，学習が現実の世界にどのようにつながっているのかを気づかせることに役立ち，生徒たちのさらなる学習意欲や能動的主体的な行動へと導く結果となった。

生徒からのフィードバックの記述を見ても，「実験をいっぱいさしてもらえた。」「実験の内容は身近な光の波長を機械を使って調べたり，気体による光の吸収，二酸化炭素の濃度を機械を使って調べたり，微粒子にレーザー光線を当てて光の軌跡を見たりできたのでよかった。」「地球温暖化には意外と，二酸化炭素はメタンやフロンなどよりも影響力が少ないことが実感できた。」「レーザーがどのように実験に役に立つのかがわかった。」など，非常に肯定的な反応があったことがよく分かる。

【考察】

高校生が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は想像以上に大きく，学習意欲や好奇心を掻き立てるのには最も良い方法であると確信できる。名古屋大学宇宙地球環境研究所への訪問では研究室見学も行い，生徒たちは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，質疑応答や議論を活発に行った。「サイエンスが好き」という人々の研究姿勢や使命感，そのほか人生観や夢などを語り合えたことが，生徒たちの成長に大きく寄与できたのであろうと思われる。今後，この研究によって出合った研究者と生徒のディスカッションや研究者による直接の指導が持続的に行われれば，さらに効果があがると期待でき，その実現に向けて計画を行う予定である。他方，本研究のような問題設定型能動的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については，十分できているとは言い難い。したがって，それを研究開発する重要性は高く，これも今後の課題と考えている。

【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

（別紙様式４－２）

凹凸のある表面近傍でのガス流れと表面反応の解析
Analysis of surface reaction and gas flow near uneven surface

西田　哲、岐阜大学・工学部機械工学科

【はじめに】
大気中の汚染物質の除去方法としてチタニア(TiO2)などの光触媒を用いた壁材の使用が注目されて実用化されている。これらの壁材では光化学表面反応により汚染物質を分解し除去している。
そこで、実際に大気中でどの程度有効かを評価するため、壁面近傍での化学種の計測が行われている。しかし、実際の大気中では、風の影響により壁面近傍の境界層の厚みが変化するなど、無風時とはかなり異なる状況になっている。また、壁の形状も平面ではなく様々なサイズの凹凸がついているケースがある。そのため、単純に壁の効果を見積もることが難しい場合が生じる。

【研究目的】
本研究は、汎用のCFDソフトウェアであるANSYS FLUENTを使用し、流れの計算に壁表面や気相での化学反応を組み込み、壁の凹凸がどの程度表面での分解に影響を与えるか計算を行うことにより、壁面の構造が表面での分解反応に与える影響を評価することを目的とする。

【研究方法】
本研究では壁面にmmオーダーの矩形状の凹凸構造を有する2次元モデルを使用し凹凸構造に対して直角方向から風が吹く(流れがある)系で計算を行った。流体は10ppmのNO_2を含む空気とし、非圧縮でアルと仮定した。乱流モデルとしてはk-εを使用した。壁ではNO_2は1次の表面反応で分解すると仮定した。

【結果】壁面にmmオーダーの凹凸がある形状について凹凸に対して直角方向に流れが生じる系について計算を行った。計算では流れと同時に壁面での表面反応を考慮した。その結果、流れの速度が数m/s程度でも壁の凹凸部での滞留が発生しその部分ではNO_2の滞在時間が増加することにより分解が促進されることがわかった。流速を増した場合でも同様であった。さらに表面の凹凸による渦の発生で表面付近の流体の混合が促進されることもわかった。これらをまとめるとNO_2の分解という観点から言うと表面に凹凸があるほうが望ましいという結果が得られた。

（別紙様式２－２）

大気中での有機アミノラジカル類の生成と反応

Organic amino radicals in the atmosphere: Formation and reactions

今村隆史（国立環境研究所・環境計測研究センター）

【序】　人為起源や自然起源の発生源から大気中に放出される有機アミンは、水への吸収・エアロゾルへの吸着と競争する形で、気相中の OH 反応によって消失する。OH 反応では、N–H 結合からの水素原子引き抜き反応と C–H 結合からの水素原子引き抜き反応が競合する。この内、前者の N–H からの水素原子引き抜き反応によって生成する有機アミノラジカルは、その後続反応によって、ニトロソ化合物などの発がん性物質の生成をもたらし得る。本研究では、大気中に放出された有機アミン類からのニトロソアミンなどの健康影響を及ぼし得る物質の生成量を見積もるために必要な反応情報である、有機アミノラジカルの大気中での消失反応の速度係数の決定を目的とした。今年度は 1 級（RNH）および 2 級アルキルアミノラジカル（R_2N）の反応性（NO、NO_2との反応速度係数）決定を目標とした。

【実験】　実験にはレーザー光分解－光イオン化質量分析計を用いて行った。ラジカルは R2NH（R=CH3 または C2H5）に 248nm パルスレーザー光分解で生成し、ラジカルまたはラジカル反応の生成物は光イオン化質量分析法で検出した（イオン化光源：Kr 共鳴線）。反応速度はイオン信号をレーザー光分解後の時間の関数として測定し、その時間変化尾の解析から見積もった。実験は全て室温ならびに 2–7Torr（バッファーガス：He）条件化で行った。

【結果と考察】　1 級アミノラジカル（RNH）の反応として、C_2H_5NH と O_2ならびに NO の反応を調べた。C_2H_5NH ラジカルはジエチルアミンの光分解によって生成した。まず 680mTorr の O_2存在下での C_2H_5NH ラジカルの減衰を測定した結果、O_2非存在下で測定した減衰速度係数からの変化は認められなかった。このことは、検出されたラジカルは C_2H_5NH であり、同じ質量数を有するアルキル型の $C_2H_4NH_2$ではないことを意味する。光分解反応系に NO を添加すると、RNH+のイオン信号の減衰は加速された。一方、RNH に NO が付加した RNHNO に相当する質量数に新たなイオン信号は検出されなかった。RNH＋NO 反応速度係数に圧力依存が認められなかったこととも合わせると、RNH＋NO 反応はニトロソアミンの生成（三体反応）よりもむしろ、二分子反応が進行したものと考えられる。

2 級アミノラジカル（R_2N）は R_2NH の光分解反応反応を利用して生成し、NO ならびに NO_2との反応速度を調べた。R_2N（R=CH_3、C_2H_5）に相当するイオン信号は十分な強度が得られず、R_2N の減衰から速度係数を決定するには至らなかった。一方で、NO や NO_2付加体である R_2NNO、R_2NNO_2はその親イオンとして検出できたことから、R_2NNOx の立ち上がり時間から NO ならびに NO_2との反応速度定数を決定した。それぞれの反応の速度定数測定（R_2NNO、R_2NNO_2の立ち上がり測定）から見積もられた速度定数比は、R_2NNO の信号強度の NO_2/NO の濃度比依存性から見積もられた、R_2N ラジカルと NO ならびに NO_2との反応速度定数比と一致した。このことは R_2N ラジカル反応の測定において、NOxとの反応以外の副反応の影響は無視しうることを意味する。低圧条件化で求められた R_2N と NO ならびに NO_2との反応速度定数比は前年度に実施した光化学チャンバーを利用した 1 気圧下での相対速度測定と矛盾しないことから、R_2N + NO および NO_2反応は、10Torr 以下の低圧条件でもほぼ高圧極限にあることを示唆された。

北海道-陸別短波レーダーを用いたSub-Auroral Polarization Streams（SAPS）経度依存性における電離圏伝導度の役割の定量評価

Quantifying the role of realistic ionospheric conductivities in the longitudinal dependence of Sub-Auroral Polarization Streams (SAPS) using the SuperDARN Hokkaido radars

丸山 奈緒美, コロラド大学 ボルダー校・CIRES

Motivations:

Subauroral Polarization Streams (SAPS) are fast sunward plasma drifts that are frequently observed in the dusk-premidnight subauroral ionosphere [e.g., Foster and Burke, 2002] and inner magnetosphere [e.g., Puhl-Quinn et al., 2007; Nishimura et al., 2008]. They are believed to be formed by the necessity for closing the downward region 2 field-aligned currents (R2 FACs), which are generated by the increased ring current pressure gradient, through the low-conductivity region within the density trough that lies equatorward of the electron plasmasheet [Anderson et al., 2001].

Clausen et al [2012] investigated MLT variation of the observed SAPS flow velocity by using 6 midlatitude Super Dual Auroral Radar Network (SuperDARN) radars recently developed in the American longitude sector. Although there has been a common knowledge that the intensity of geomagnetic storms has a large universal time dependence, there has been no previous study that investigates the longitudinal difference of SAPS. Furthermore, there has been no study that evaluates the ionospheric contribution to the SAPS longitudinal variation. The globally expanded capabilities of measuring the sub-auroral plasma flows owing to the new midlatitude radar development would provide a great opportunity to address the longitudinal dependence of the sub-auroral plasma flows.

Coster et al. [2007] reported that “the amount of TEC at the base of the Storm Enhanced Density (SED) plume is greatest in the American sector, suggesting additional plasma sources resulting from repeatable physical processes in this region”. However, the process that makes the American sector so unique has not been understood very well. The increased plasma at midlatitude is transported to high latitudes, leading to an impact on the mass

loading to magnetosphere.

Science Questions:

(Q1): what is the relative role between the ionospheric conductance and ring current plasma pressure distribution in the MLT dependence of SAPS flows?
(Q2): How does the longitudinal variation of ionospheric conductivity impact that of SAPS flows?
(Q3): How does the SAPS longitudinal dependence contribute to the Universal time variation of the subauroral plasma dynamics, such as the Storm Enhanced Densities (SEDs)?

Methodology:

The proposed research will effectively combine both new data analysis and the new physics based model simulations to address the proposed science questions on the SAPS M-I-T coupling. MLT variation of SAPS flows will be analyzed by using both SuperDARN Hokkaido East/West radars for the selected several storm events (Dst< -50nT). The MLT variations of the SAPS flow velocity obtained from the Hokkaido radars will be compared to those from the American longitude sector, in order to quantify the longitudinal dependence of the SAPS flows. We have developed a new physics- based Ionosphere-Plasmasphere- Electrodynamics (IPE) model [Maruyama et al., 2016a; Sun et al., 2015] by implementing the IGRF, a realistic representation of the Earth's magnetic field. The IPE model describes the time dependent, three dimensional, global plasma dynamics and energetics in the ionosphere and plasmasphere with the self-consistent ionospheric electrodynamics. The new model will provide a more realistic longitudinal variation of the ionospheric structure, including the depth and width of the midlatitude density trough that could impact the SAPS through the reduced conductivity. Our CTIP-RCM model [Maruyama et al., 2011] combined with the new IPE module would provide the first opportunity to quantify an impact of a more realistic ionospheric longitude variation on SAPS, its Magnetosphere-Ionosphere (MI) coupling and ring current.

Outcome:

The temporal an spatial evolution of the SED plumes, Tongue of Ionization (TOI) and trough in TEC was reproduced by the IPE model

simulations for the St. Patrick's day Storms for both 2013 and 2015 [Maruyama et al., 2016b; Fuller-Rowell et al., 2016].

The mid latitude flywheel effect in plasma and neutral flow velocities was reproduced by the coupled CTIP-RCM model simulation for the 2013-03-17, as we have done for the previous storm on 2003-04-05 [Maruyama et al., 2016c].

The next steps are to compare the plasma flow velocity from the Hokkaido SuperDARN observations for 2013-03-17 storm and further inject a more realistic ionospheric conductivity calculated from the IPE model simulation to the coupled CTIP-RCM model to evaluate whether the agreement with the observation will be improved.

Publications

Sun, Y.-Y., T. Matsuo, N. Maruyama, and J.-Y. Liu, (2015), Field-Aligned Neutral Wind Bias Correction Scheme for Global Ionospheric Modeling at Midlatitudes by Assimilating FORMOSAT-3/COSMIC hmF2 data under Geomagnetically Quiet Conditions, J. Geophys. Res., in press.

Maruyama, N.,Y.-Y. Sun, P. Richards, J. Middlecoff, T.-W. Fang, T.J. Fuller-Rowell, R. Akmaev, J.-Y. Liu, and C. Valladares, (2016a), A new mid latitude ionospheric peak density structure revealed by the new Ionosphere-Plasmasphere-Electrodynamics (IPE) Model Geophys. Res. Lett.,.

Maruyama et al, Formation mechanism of the Storm Enhanced Density plumes, Tongue of Ionization, and trough: the comparative study for the St. Patrick;s Day Storms of 2013 and 2015, to be submitted to J. Geophys. Res.,2016b.

Fuller-Rowell et al, to be submitted to J. Geophys. Res.,2016.

Maruyama et al, Mid latitude flywheel effect: a connection between the inner magnetosphere and the lower thermosphere, to be submitted to J. Geophys. Res.,2016c.

Presentations

Maruyama, N., P.G. Richards, M. Fedrizzi, T.-W. Fang, T. Fuller-Rowell, 2016-5-25: Plasmaspheric modeling using the New IPE Model(invited), Jpgu, Makuhari, Japan.

N. Maruyama, P.G. Richards, Y.-Y. Sun, J. Middlecoff, T.-W. Fang, T. Fuller-Rowell, A. Richmond, A. Maute, R. Akmaev, J.-Y. Liu, 2015-12-17:Ionosphere-Plasmasphere-Electrodynamics (IPE) model and its coupling to terrestrial weather toward transitioning to operations at NOAA (invited). Fall AGU meeting, San Francisco, CA, United States.

（別紙様式２－２）

レーザー誘起白熱法を利用したブラックカーボン粒子のオンライン計測
Online measurement of black carbon aerosols using laser induced incandescence techniques

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】

エアロゾル (大気中に浮遊する0.01-10 μmの微粒子)は、気候変動へ大きな影響を及ぼすことが指摘されている。不完全燃焼などで発生するブラックカーボン(BC)粒子に関しては、直接効果、間接効果を通して気候変動に影響を強く及ぼしていることが示されており、その動態解明には精度の高い観測および測定が強く求められている。特に、BC粒子の混合状態はレンズ効果などの光学特性や、粒子の消失速度などに大きな影響を及ぼしていることが知られており、BC粒子の混合状態の知見をリアルタイムで取得することは、粒子の変質過程を理解する上で非常に重要である。国内では，濃度測定が中心に行われており，混合状態に関する研究は少ない。本研究では，石川県珠洲市の能登観測サイトにおいて様々な手法を用いてBC観測を行い，能登におけるBCの特性について考察した。これまで、様々な装置が開発されているが、多角的に混合状態を考察必要がある。本研究では、単一粒子からのレーザー誘起蛍光、白熱光検出できる装置開発を行い、その評価を行なった。

【方法】

石川県珠洲市にある金沢大学能登学舎内(能登スーパーサイト：NOTOGRO，37.45° N，137.36°E)において，春季に大気観測を実施した。外気を地上から約15mの校舎の屋上から，PM10/PM2.5のインレットを通して室内に導入した。導入した大気は，室内に設置された各装置に分配される。BC測定では，　レーザー誘起白熱法(SP2)，吸光光度計(MAAP)および光音響分光法(PASS)を用いた。エアロゾル質量分析計(ACSM)，一酸化炭素計の測定も同時に行なった。BCの混合状態別（揮発性の物質による被膜の程度）の比較を行うために，10分毎に流路を切り替え、室温および、300°Cもしくは400°Cに加熱されたラインに順番に導入し，それぞれの条件において，SP2およびPASSによる観測を行なった。

【結果および考察】

SP2を用いたBC濃度とMAAPを用いた結果と比較した結果，MAAPを用いて測定したBC濃度が、SP2に比べ約1.7倍高いことが示された。この要因として，MAAPで用いている質量吸収断面積の過小評価が考えられるとともに、BCの内部混合状態の違いも寄与していることが示唆された。後方流跡線解析から観測期間中，大陸からの越境輸送，国内起源，海洋起源の気塊を捉えた。越境輸送の気塊については，観測サイトの上流の長崎県五島市福江島でのΔBC/ΔCOとの比較から，気塊中のBCが除去されずに輸送されたことが示唆された。BCの内部混合状態の分類では，越境輸送された気塊中のBC粒子の大部分が，無機物による内部混合状態であることが示された。加熱ラインを利用したBCの光吸収

特性を評価した結果から，越境輸送された気塊中のBC粒子は、光吸収の増加率が高く，被覆されたBCの割合が高いことに起因するものと考えられた。

【2015年度の成果発表】

(学会発表)

第 21 回大気化学討論会(2015/10/19-21@東京工業大学) ポスター発表

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

“2013年春季能登スーパーサイトでのブラックカーボン粒子の測定”

AAAR 34th Annual Conference(2015/10/12-16 @ミネアポリス,USA)

F. Taketani, H. Takashima, K. Ikeda, Y. Kanaya

“Real-time Measurements of Airborne Fluorescent Single Particles at Fukue Island, Japan”

(投稿論文)

F. Taketani, Y. Kanaya, T. Nakamura, N. Takeda, K. Koizumi, N. Hirayama, T. Miyakawa, X. Pan, N. Moteki, N. Takegawa

“Analysis of the mixing State of airborne particles using a tandem combination of laser-induced fluorescence and incandescence techniques”

J. Aerosol. Sci. 87,102-110 (2015)

２．研究集会目次詳細

（所属・職名は平成28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
村田　功	東北大学	大学院環境科学研究科	准教授	シンポジウム － 太陽地球環境研究の現状と将来	124
中野　慎也	統計数理研究所	モデリング研究系	助教	電離圏・磁気圏モデリングとデータ同化	126
細川　敬祐	電気通信大学	大学院情報理工学研究科	准教授	脈動オーロラ研究集会	128
今村　隆史	国立環境研究所	環境計測研究ｾﾝﾀｰ	センター長	大気化学討論会	130
松見　豊	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授	太陽活動と気候変動の関係に関するワークショップ	137
前澤　裕之	大阪府立大学	大学院理学系研究科	准教授	第16回ミリ-テラヘルツ波受信機ワークショップ	145
宗像　一起	信州大学	理学部	教授	太陽地球環境と宇宙線モジュレーション	146
谷本　浩志	国立環境研究所	地球環境研究センター　地球大気化学研究室	室長	日本における地球大気化学研究の将来検討会	147
塩川　和夫	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授	超高層大気・電磁気圏研究の成果公表のための論文執筆ワークショップ	149
土屋　史紀	東北大学	大学院理学研究科	助教	ひさき衛星による惑星大気圏・電磁圏探査	150
深沢　圭一郎	京都大学	学術情報メディアセンター	准教授	STEシミュレーション研究会：エクサスケールに向けて	151
篠原　学	鹿児島工業高等専門学校	一般教育科理系	教授	地域ネットワークによる宇宙天気の観測・教育活動に関する研究集会	155
陣　英克	情報通信研究機構		主任研究員	中間圏・熱圏・電離圏研究会	157
坪内　健	東京工業大学	大学院理工学研究科	流動研究員	宇宙プラズマのフロンティア～太陽圏を超えて	162
笠原　慧	宇宙科学研究所	太陽系科学研究系	助教	若手研究者のためのジオスペース研究集会	163
新堀　淳樹	京都大学	生存圏研究所	研究員	太陽地球環境データ解析に基づく、超高層大気の空間・時間変動の解明	165
花岡　庸一郎	国立天文台	太陽観測所	准教授	太陽研究者連絡会シンポジウム（太陽研連シンポ）	167
永岡　賢一	核融合科学研究所	ヘリカル研究部	准教授	実験室・宇宙プラズマ研究会「乱流・輸送・粒子加速」	168

研究代表者	所属機関	所属部局	職名	研究課題名	頁
今田　晋亮	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	助教	Solar-C 時代(10~20 年後)の太陽研究検討会	172
河野 英昭	九州大学	国際宇宙天気科学教育センター	准教授	電磁圏物理学シンポジウム	173
阿保　真	首都大学東京	システムデザイン学部	教授	第２０回大気ライダー研究会	174
渡邉　堯	ICSU-WDS	国際プログラムオフィス	上級顧問	太陽地球系変動研究のための国際データシステム	175
村山　泰啓	情報通信研究機構	統合データシステム研究開発室	室長	科学情報学研究会	177
齊藤　昭則	京都大学	大学院理学研究科	准教授	宇宙空間からの超高層大気撮像観測と地上観測、モデリングとの結合に関する研究集会	180
田口　真	立教大学	理学部物理学科	教授	地球型惑星圏環境研究会	182
能勢　正仁	京都大学	大学院理学研究科	助教	低高度衛星磁場観測研究会	184
宮下 幸長	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	特任助教	サブストーム研究会	187
西谷　望	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	准教授	中・高緯度SuperDARN研究集会	189
亘　慎一	情報通信研究機構	宇宙環境ｲﾝﾌｫﾏﾃｨｸｽ研究室	研究ﾏﾈｰｼﾞｬｰ	STE研究連絡会・現象報告会および現象解析ワークショップ	192
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	ERGミッションによる内部磁気圏波動粒子相互作用の観測戦略検討会(ERGサイエンス会議)	193
三澤　浩昭	東北大学	大学院理学研究科	准教授	第17回 惑星圏研究会	194
持田　陸宏	名古屋大学	大学院環境学研究科	准教授	有機エアロゾルに関するワークショップ：大気におけるその動態・性状・役割（第２回）	196
寺田　直樹	東北大学	大学院理学研究科	准教授	太陽地球惑星系分野における「博士課程進学者・博士号取得者による合同セミナー」	197
平原　聖文	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授	準小型衛星編隊飛行による電磁気圏の将来探査に向けて	200
桂華　邦裕	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	特任助教	太陽惑星系宇宙プラズマ中の重イオンに関する研究集会	204
小川　泰信	国立極地研究所	国際北極環境研究センター	准教授	EISCAT 研究集会	205
関　華奈子	東京大学	大学院理学系研究科	教授	国際GEMSISワークショップ: ジオスペース研究の将来展望	207

（別紙様式４－２）

シンポジウム　－　太陽地球環境研究の現状と将来
Symposium on the current and the future of the Solar-Terrestrial Environmental Research

村田　功（東北大学大学院環境科学研究科）
塩川和夫（名古屋大学太陽地球環境研究所）

本研究集会は、東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻の大学院生を幹事として、平成２７年９月７日から９日にかけて３日間、グリーンピア岩沼モンタナリゾート（宮城県岩沼市）で開催され、５４名が参加した。この研究集会は、宇宙地球惑星科学に関連した大学院生を中心とした若手会の夏の学校として行われ、①理学研究の社会的責任や研究意義の再確認、②細分化された研究分野間の交流・意見交換の２点を目的として開催された。本研究集会では少人数に分かれたグループセッション、ポスターセッション、および２件の招待講演が行われ、自由な立場で活発な議論が行われた。以下に、本研究集会のスケジュールとグループセッションの参加者を記す。セッションの予稿集などの詳しい資料も事前に用意されたが、ページ数が多くなりすぎるのでここでは割愛する。本研究集会の内容は、http://c.gp.tohoku.ac.jp/summerschool2015/において公開されている。

＜スケジュール＞

９月７日（月）

15:00-15:30　開校式
15:30-18:00　招待講演
①理学者は社会とどう関われば よいのか？
-東日本大震災を踏まえて-
松澤暢（東北大学地震・噴火予知研究観測センター長）
②太陽惑星空間研究の意義と研究者の社会的責任
小原隆博(東北大学惑星プラズマ・大気研究センター長)
18:30-20:00　夕食
22:00-　懇親会

９月８日（火）

07:30-08:30　朝食
09:00-12:00　グループセッション
12:00-13:30　昼食
14:30-17:30　レクリエーション
18:30-20:00　夕食
22:00-　懇親会

９月９日（水）

07:00-08:30　朝食
09:00-12:00　ポスターセッション
12:00-12:30　閉校式

＜グループセッション・ポスターセッション＞

２日目のグループセッションでは研究分野の異なるメンバーから構成される９つのグループに分かれ口頭発表を行った。また３日目のポスターセッションでは研究分野毎にコアタイムを設け議論を行った。

セッションメンバー構成

第１セッション：会場 earth

◎北原　理弘（東北大 D2）	1-1
寺田　綱一朗（東北大 B4）	4-1
池田　孝文　（京都大 M1）	2-1
佐々木　歩　（東北大 M1）	4-2
三谷　憲司　（名古屋大 M2）	1-2
宮崎　祥一　（東海大 M2）	3-1

第２セッション：会場 itokawa

◎平井　研一郎（東北大 D2）	6-1
沼澤　正樹　（首都大 M1）	4-3
前田　紗和　（東北大 M1）	3-2
上都　広大　（名古屋大 M2）	2-2
藤澤　翔太　（東北大 M2）	4-4

第３セッション：会場 mercury

◎高橋　直子（東北大 D2）	1-3
石ヶ谷　侑季（東北大 B4）	5-1
城谷　一真　（九州大 M1）	1-4
中村　果澄　（首都大 M1）	1-5
佐々木　悠朝（東北大 M2）	4-5
溝口　拓弥　（名古屋大 M2）	2-3

第４セッション：会場 mars

◎相澤　紗絵（東北大 M2）	3-3
三村　恭子　（東北大 B4）	1-6
小美野　将之（東京大 M1）	3-4
高見　康介　（東北大 M1）	3-5
星　康人　（東京大 M1）	1-7
神谷　慶　（名古屋大 M2）	1-8

※右端番号：ポスター番号
（分野番号ー通し番号）

分野番号一覧

1：地球磁気圏　　4：木星・土星
2：地球超高層領域　5：太陽・月
3：水星・火星・金星　6：理論

第５セッション：会場 venus

◎今井　雅文（京都大 D3）	4-6
北原　岳彦　（東北大 B4）	3-6
宍戸　美日　（東北大 M1）	4-7
米津　佑亮　（名古屋大 M1）	1-9
大木　研人　（東北大 M2）	1-10
日比野　辰哉（名古屋大 M2）	2-4

第６セッション：会場 jupiter

◎内野　宏俊（京都大 D2）	1-11
小野　紘夢　（東北大 M1）	4-8
竹生　大輝　（名古屋大 M1）	2-5
伊藤　一成　（東北大 M2）	3-7
加藤　大羽　（東京大 M2）	5-2
Septi Perwitasari（東北大 D2）	2-6

第７セッション：会場 black hole

◎今城　峻　（九州大 D3）	1-12
三上　和希　（東北大 M1）	1-13
山本　和弘　（京都大 M1）	1-14
荒尾　圭唯　（東北大 M2）	6-2
小川　匡教　（東京大 M2）	6-3
新堀　淳樹　（京都大 PD）	2-7

第８セッション：会場 saturn

◎松尾　雄人（東北大 M2）	1-15
桂　貴暉　（京都大 B4）	4-9
坂本　優美花（東海大 M1）	2-8
松本　紗歩　（東北大 M1）	5-3
大石　峻裕　（東京大 M2）	5-4

第９セッション：会場 moon

◎阪本　仁　（東北大 M2）	3-8
荒川　峻　（東北大 B4）	2-9
近藤　裕菜　（東北大 M1）	1-16
下川　真弘　（東京大 M1）	3-9
横山　佳弘　（京都大 M2）	1-17

（別紙様式４－２）

電離圏・磁気圏モデリングとデータ同化
Modeling and data assimilation in the ionosphere and magnetosphere

中野慎也，統計数理研究所・モデリング研究系

データ同化とは，物理法則を記述する数値シミュレーションに観測データの情報を統合することで，動的システムの変動を精度よく推定することを目的としたアプローチである．データ同化は，気象学の分野において数値気象予報，気候変動予測の基盤となっている他，過去の気象現象の参照データとしてもデータ同化の出力結果である再解析データと呼ばれるものが広く用いられている．電離圏・磁気圏科学の分野で，データ同化はさほど普及していないものの，今後はますます重要性を増していくものと考えられる．そこで，本研究集会では，大量データに基づく電離圏・磁気圏環境の解析，モデリング研究に関心のある研究者 8 名が集まり，以下のような内容で，電離圏・磁気圏科学分野におけるデータ同化の応用について議論した．

名古屋大学宇宙地球環境研究所研究集会「電離圏・磁気圏モデリングとデータ同化」
日時: 2016 年 3 月 8 日(火)
場所: 名古屋大学宇宙地球環境研究所 3F 講義室

プログラム

13:30-14:00
齊藤昭則
「GNSS・光学観測データを用いた電離圏・プラズマ圏構造の逆問題解析」

14:00-14:30
河野英昭，上野玄太，才田聡子，中野慎也，樋口知之
「磁力線固有振動数と TEC の統合インバージョンによるプラズマ圏密度分布推定-経過報告-」

14:30-15:00
山本凌大，三好由純，町田忍，上野玄太，宮下幸長，能勢正仁
「データ同化を用いたオーロラ活動指数変動の予測」

15:00-15:15
(休憩)

15:15-15:45
上野玄太
「アンサンブル予報と確率分布推定」

15:45-16:15
中野慎也，小川泰信
「高時間分解能オーロラ画像データからの脈動成分抽出」

16:15-17:30
総合討論

まず，齊藤昭則氏(京都大学)より，GNSS 電波などによって得られる電離圏電子密度に関するデータや，ISS-IMAP などによって得られる光学観測データを用いた，電離圏・プラズマ圏研究に関する議論と問題提起があった．河野英昭氏(九州大)からは地磁気脈動の解析から推定される磁力線固有振動数の値と衛星測位システムによって得られる全電子数(TEC)データを統合してプラズマ圏密度分布を推定する手法の開発状況について紹介があった．山本凌大氏(名古屋大)は，粒子フィルタを用いた AU 指数の予測モデルのパラメータ推定についての紹介と現状の問題点の報告を行った．上野玄大氏(統数研)は，多種類の数値シミュレーションの結果を統合して，地球の将来の気候の特性に関する確率分布を推定する手法について紹介した．中野慎也(統数研)は，オーロラ画像データからオーロラの移動速度の推定や脈動成分の抽出を行う手法について議論を行った．

今回は，議論の時間を除いた講演の数が 5 件と少なめであったが，電離圏・磁気圏科学への統計的アプローチの応用に関する多様なテーマに関して議論を行うことができ，非常に有意義であったと考えている．

（別紙様式 4−２）

脈動オーロラ研究集会
The Pulsating Aurora Meeting

細川 敬祐 (電気通信大学・情報理工学研究科)

★ 研究集会の目的と概要

脈動オーロラ（Pulsating Aurora，以下 PsA と略する）は，オーロラサブストーム現象の回復相において，朝側のローカルタイム領域に必ず出現する普遍的な現象である．PsA およびそれに伴う磁気圏・電離圏の変動を研究することは「地球近傍の宇宙空間におけるプラズマ波動の特性」や「高エネルギー粒子の降下に伴う地球大気の変動」の理解に繋がるという点において普遍的な意義を持っている．しかし，その形状の多様性，時間変化の複雑さ，地上・衛星同時観測の困難さなどから，脈動の時間変動を引き起こすプロセスや，構造の形態・時間発展を決定する要因などに関して，未だに十分な理解を得るには至っていない．本研究集会は，PsA およびそれに関連する宇宙空間プラズマの諸現象についての地上観測・衛星観測・数値シミュレーション研究に関する講演を広く募集し，それぞれの研究成果の発表を通じて PsA に関する深い理解を共有することを目的として開催している．これに加え，日本のオーロラ研究コミュニティ全体で取り組むべき将来の観測計画の進め方について，具体的な打ち合わせを行う場としても活用している．特に，打ち上げが迫りつつある科学衛星 ERG による PsA の観測や，現在検討が進められている PsA 観測ロケット，次期電磁圏探査衛星計画に関しても，その科学目標，搭載機器，打ち上げ場所・時期，地上観測のサポート体制などについて具体的な議論を行い，計画を実現へ近づけていくための道筋を検討している．後述するが，本研究集会の参加者を母体とする研究グループが，科研費基盤研究 (S) に応募し，H27 年度から 5 ヵ年の計画で採択されている．今年度の研究集会では，この科研費による PsA 研究プロジェクトの今後 5 年間の研究計画についても時間をとって紹介し，衛星・地上・数値シミュレーションを融合した形でオールジャパンで行う PsA 研究の方向性に関しても議論を行った．

★ 参加者と講演のラインナップ

計 XX 名の参加者があり，例年テーマとして掲げている「脈動オーロラの時間変動を作り出す要因」や「内部磁気圏におけるプラズマ波動と PsA の関連性」，「PsA パッチ近傍の電離圏伝導度非一様性が磁気圏・電離圏結合系に与える影響」に関する講演が行われた．これに加え，今年度は「EMIC 波動と関連する脈動プロトンオーロラ」，「昼間側で見られる脈動オーロラ」，「夕方側の脈動オーロラ」など，これまでに取り扱われてこなかった新しい内容の講演があった．また，科研費基盤 (S) の研究計画に関しても紹介が行われ，計 21 件

の研究発表を通じて，活発な議論が行われた．講演内容の概要を以下に示す．

1. EMIC 波動/Pc1 波動の地上・衛星観測，それに伴う脈動プロトンオーロラ: 3 件
2. 昼間側脈動オーロラの観測事例紹介，統計解析紹介: 2 件
3. 磁気圏物理学とサブストーム科学における基本構造の再考: 1 件
4. コーラス放射の発生条件，それに伴うピッチ角散乱の数値シミュレーション: 2 件
5. 地上高速脈動オーロラ内部変調の特性解析，およびその起源に関する解析: 2 件
6. ELF/VLF 波動の地上観測: 2 件
7. 夕方側脈動オーロラの事例報告: 1 件
8. 脈動オーロラに伴う熱圏・電離圏変動: 2 件
9. 科研費 基盤 S「極限時間分解能観測によるオーロラ最高速変動現象の解明」紹介: 5 件
10. 脈動オーロラロケットに搭載する観測機器について: 1 件

以上の講演に加えて，これまでの本研究集会で議論してきた内容を踏まえて「PsA コミュニティで取り組むべき課題」を整理する時間を設けた．また，打ち上げが近づく ERG 衛星による PsA ソース領域の直接観測，および地上との同時観測についても「ERG 衛星との連携観測戦略の議論」と題した時間を設けてディスカッションを行った．さらには，現在検討が進められている「次期オーロラ衛星計画に関する議論」の時間も設けることで，飛翔体による将来のオーロラ観測に関しての意見交換を行った．

★ 成果

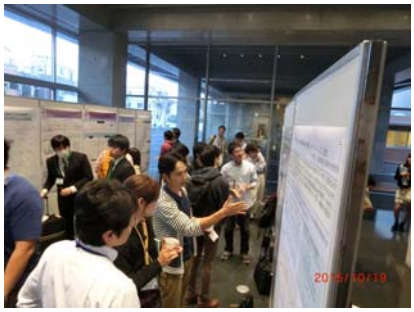
過去 3 年にわたって本研究集会を開催したことによって，衛星観測・ロケット観測・地上観測・シミュレーションなどの少しずつ異なるバックグラウンドを持つ研究者が密に意見交換をすることができる PsA 研究コミュニティを形成し，維持することができている．このような流れに端を発して，本申請者（細川，三好）が，2014 年の AOGS において脈動オーロラのセッションを企画し，国内外から多くの参加者を得ることができた．さらに 2015 年には，Journal of Geophysical Research 誌に「Pulsating Aurora and Related Magnetospheric Phenomena」というタイトルの Special Issue を組み，計 14 件の PsA に関する論文が出版された．また，本研究集会の参加者を母体として研究グループを組織し，科研費基盤研究 (S) に申請を行い，平成 27 年度から 5 年間の期間について採択されている（名古屋大学，藤井良一教授代表）．このような国際学会でのセッション開催や，学術雑誌における特集号の企画，大型研究資金の獲得は，本研究集会を継続的に開催することによって初めて実現したものであると考えている．さらに，本研究集会の参加者を母体として，上記科研費基盤 (S) の枠組みの中で，PsA 観測ロケットの提案が行われている．今年度の研究集会において，その科学目標，搭載機器，打ち上げ場所・時期，地上観測のサポート体制などについて具体的な議論を行ったことで，計画を実現へ近づけていくことができると考えている．また，研究集会において，打ち上げが迫っている ERG 衛星と地上ネットワークの連携による PsA のキャンペーン観測について詳しい打ち合わせを行ったことで，衛星打ち上げ後，スムーズに連携観測を行うことが期待できると考えている．

大気化学討論会
Symposium on Atmospheric Chemistry

今村 隆史、国立環境研究所・環境計測研究センター

2015年10月19日～21日に東京工業大学大岡山キャンパスにおいて，大気化学討論会を開催しました。東京工業大学が開催をお引き受けしました。数か所の学外研修施設などを検討した結果，昨年同様，都内，しかも，大学内の施設にしましたので，参加者数を少し心配しておりました。一般82名，学生54名，総参加者数136名と本当に多くの方々がご参加いただき，また，お忙しい時期にもかかわらず，3日間にわたって変わらずご参加いただけました。発表も，口頭発表35件（うちロング2件）とポスター発表51件の合計86件で，ほとんどの方が先端的な内容を分かりやすくご発表いただき，討論会の名にふさわしく質疑応答も活発でした。参加者，発表者の方々に感謝申し上げます。会場は2015年7月に新築された世界トップレベル研究拠点である地球生命研究所（Earth-Life Science Institute; ELSI）新棟を使用し，一長一短でした。特にホール座席の木質椅子が堅かったことと，ポスター会場である展示室の照明が暗めであったことに関しては，会場自体の設計とは言え，申し訳なく思います。特別セッションとしてELSIにも因み，「地球の過去大気及び惑星大気」を企画しました。ご参加いただいた演者の方々と活発にご議論いただきました。口頭及びポスター発表とも活発な質疑応答が行われ、新たな知見に対する有益な情報交換が行われました。また、今後の大気化学研究をさらに推進させるために、異なる分野間におけるプロジェクトの立案や将来計画についても議論が進展しました。ポスター発表でも多岐にわたる力の入った成果が掲示され、ポスターの前では熱の入った討論が行われました。参加された方々は、益々多様化する教育・研究環境の中、研究活動はもちろん、このような議論から社会性や協調性、コミュニケーション能力などを、さらに学んだことと考えています。学食スペースでの懇親会でしたので，持込などにより質と量に注力し内容の充実に努めました。こちらも望外の80名を超えるご参加を得て，複数の方から討論会場ではお聞きできないお話をお聞きすることができ，討論後の懇親を深めていただけたと思います。

口頭発表会場の様子



ポスター発表会場の様子

第21回大気化学討論会　口頭発表プログラム

2015年10月19日(月)　-1日目-

講演時間	講演番号・タイトル		発表者
13:00 ～ 13:10	開会挨拶・LOCアナウンス		
対流圏大気化学　座長：猪俣敏			
13:10 ～ 13:25	K-1-1	都市エアロゾルに含まれる非水溶性有機物の化学構造および光吸収の特徴	陳慶彩
13:25 ～ 13:40	K-1-2	大気エアロゾル試料のUV照射実験：低分子ジカルボン酸の光化学的生成と分解	河村公隆
13:40 ～ 14:05	K-1-3	大気エアロゾルの光化学的エイジング過程の研究	江波進一
14:05 ～ 14:20	K-1-4	β-ピネン SOA のエイジングにより生成するテルペニル酸および C_9 生成物	佐藤圭
14:20 ～ 14:35	K-1-5	二次有機エアロゾル(SOA)の生成，凝縮核(CCN)活性に関わる基礎大気化学―大気多相反応研究を活性化させる提言―	秋元肇
14:35 ～ 14:55	休憩(20分)		
生物圏大気化学　　座長：古賀聖治			
14:55 ～ 15:10	K-1-6	Summer campaign comprehensive total OH reactivity measurement in a coniferous forest in Wakayama	Ramasamy Sathiyamurthi
15:10 ～ 15:25	K-1-7	太平洋とその縁辺海における海洋大気エアロゾルの個数粒径分布	岩本洋子
15:25 ～ 15:40	K-1-8	北太平洋中部域における海洋大気エアロゾル中窒素成分の海洋へ沈着量の推定	Sun Siyi
15:40 ～ 15:55	K-1-9	ブロモホルムとジブロモメタンの観測およびグローバルな動態の解析	横内陽子
15:55 ～ 16:10	K-1-10	放出源別モデル計算による全球メタンフラックス最適化	石島健太郎
16:10 ～ 16:25	K-1-11	福島第一原子力発電所事故により放出された放射性セシウムの大気再飛散と植生との関係	北和之
16:25 ～ 16:40	休憩(20分)		
16:40 ～ 18:40	ポスターセッション (16:40～17:40 奇数番号，17:40～18:40 偶数番号)		

2015年10月20日（火） -2日目-

講演時間	講演番号・タイトル		発表者
9:00 ～ 9:05	LOCアナウンス		
対流圏大気化学　座長：松木篤			
9:05 ～ 9:20	K-2-1	北極海、ベーリング海、西部北太平洋上におけるブラックカーボン粒子の船上観測	竹谷文一
9:20 ～ 9:35	K-2-2	第52次南極観測(2010-2012)で採取された昭和基地近辺積雪中BCの 濃度および粒径分布季節変動	木名瀬健
9:35 ～ 9:50	K-2-3	南極大気中オキシアニオンの三酸素同位体組成($\Delta^{17}O$):大気酸化過程の季節変動の解析	石野咲子
9:50 ～ 10:05	K-2-4	ヨウ化物イオンを含む氷への光照射によるヨウ素分子の生成	薮下彰啓
10:05 ～ 10:20	K-2-5	対流圏OHラジカルの全球分布と年々・長期変動:化学気候モデルによる要因解析	川渕衣里子
10:20 ～ 10:40	休憩(20分)		
成層圏大気化学　座長：佐藤知紘			
10:40 ～ 10:55	K-2-6	東アジアにおける大気微量成分の衛星観測結果とモデルシミュレーションの比較	茅場聡子
10:55 ～ 11:10	K-2-7	ナッジング化学輸送モデル及び化学気候モデルを用いたハロゲン増加期におけるオゾン全量の季節別経度別トレンドとその要因分析	小濱里沙
11:10 ～ 11:25	K-2-8	チリ・アルゼンチンにおけるオゾン、エアロゾル（火山灰）観測網の開発	水野亮
11:25 ～ 11:40	K-2-9	航空機データによるGOSAT TIR CO_2プロファイルの検証及び、上空データ比較解析	木本周平
11:40 ～ 11:55	K-2-10	GOSAT/TANSO-FTS TIR CO2データとNICAM-TM CO_2 データの比較解析	杉村亮
11:55 ～ 13:10	昼食休憩(1時間15分)		
特別セッション「地球の過去大気及び惑星大気」　座長：Danielache Sebastian			
13:10 ～ 13:20	S-0	趣旨説明	吉田尚弘
13:20 ～ 13:40	S-1	A reconstruction of terrestrial volcanism over the last 2500 years using sulfur isotopes in ice-cores	Savarino Joel
13:40 ～ 14:00	S-2	SO_2 photochemistry under reducing atmosphere reproducing the Archean S-MIF	上野雄一郎
14:00 ～ 14:20	S-3	Formation of Atmospheres and Oceans on Terrestrial Planets	玄田英典

14:20 ～ 14:40	S-4	Approaches to the material transport and climate change on Mars using a general circulation model	黒田剛史
14:40 ～ 15:00	休憩(20分)		
15:00 ～ 17:00	ポスターセッション (15:00～16:00 奇数番号, 16:00～17:00 偶数番号)		
17:00 ～ 18:10	総会・奨励賞受賞講演 中山智喜(名古屋大学), 白岩学(マックスプランク研究所)		
18:40 ～ 20:40	懇親会		

2015年10月21日(水) -3日目-

講演時間	講演番号・タイトル		発表者
9:00 ～ 9:05	LOCアナウンス		
対流圏大気化学　座長：中嶋吉弘			
9:05 ～ 9:20	K-3-1	石川県珠洲市における大気中硝酸・硫酸の三酸素同位体組成の観測 -2015年2月～8月にかけての観測結果の速報-	服部祥平
9:20 ～ 9:35	K-3-2	オゾンーアルケン反応系での syn/anti-Criegee 中間体を識別した OH ラジカル生成	内田里沙
9:35 ～ 9:50	K-3-3	ガス状亜硝酸(HONO)の三酸素同位体異常($\Delta^{17}O$値)の定量	中根令以
9:50 ～ 10:05	K-3-4	乾性沈着する硝酸と湿性沈着する硝酸の三酸素同位体組成を比較する	角皆潤
10:05 ～ 10:20	K-3-5	低圧条件における凝縮粒子カウンタの性能評価	竹川暢之
10:20 ～ 10:40	休憩(20分)		
対流圏大気化学　座長：池田恒平			
10:40 ～ 11:05	K-3-6	任意の形状・混合状態の微粒子の光散乱計算とその応用	茂木信宏
11:05 ～ 11:20	K-3-7	春季に福江島に到来する大陸起源の気塊でのオゾン生成速度と制限因 子:オゾン対策への示唆とラジカル反応機構の影響	金谷有剛
11:20 ～ 11:35	K-3-8	化学気候モデルによる1980～2010年の全球大気微量成分の再現計算	須藤健悟
11:35 ～ 11:50	K-3-9	短寿命気候影響物質の排出量削減感度とその気候影響の評価: モデル水平解像度の影響	関谷高志
11:50 ～ 12:05	K-3-10	Influence of Fossil Fuel Emissions on CO_2 Flux Estimates by Atmospheric Inversions	佐伯田鶴
12:05 ～ 12:15	閉会式		

第21回大気化学討論会　ポスター発表一覧

P番号	講演タイトル	発表者
P-1	定期貨物船によるアジア・オセアニア域でのO_3, CO, PM2.5, BC観測と全球・領域化学輸送モデルの比較	池田恒平
P-2	大気中ブラックカーボン粒子の混合状態と放射影響の評価	針ケ谷智生
P-3	IASI衛星観測データを用いた東アジアから北極域への汚染気塊の輸送解析	原和崇
P-4	熊本における PAH の観測 ―越境汚染とローカル汚染の識別―	杉山太一
P-5	SPM計使用済みテープろ紙の分析による福島第一原子力発電所事故直後における東日本の大気中放射性セシウムの時空間分布（その２）	鶴田治雄
P-6	大気質モデルを用いた未計測VOCによるOH減衰速度の評価（2）	黒川純一
P-7	都市郊外における大気中有機硝酸全量観測の試み	松本淳
P-8	大気質モデルのSOA濃度計算値過小要因	竹川秀人
P-9	能登半島で観測されるPM2.5濃度への非揮発性成分の寄与推定	松木篤
P-10	2013年春季能登スーパーサイトでのブラックカーボン粒子の測定	竹谷文一
P-11	能登半島における超微小エアロゾル中の炭素成分	鬼塚大史
P-12	能登半島におけるPM2.5中炭素成分の^{14}C分析	山田怜奈
P-13	能登半島珠洲でのVOC測定	加藤俊吾
P-14	大気BCの加熱による被覆物質除去における有機物の残留	青木春樹
P-15	Measurements of the simplest Criegee Intermediate (CH_2OO) with mid-infrared absorption spectroscopy	邱鈞霆
P-16	Oxygen atom release during the dissociation of energy-rich Criegee intermediates produced by ozonolysis of cycloalkenes	猪俣敏
P-17	理論計算による二原子分子の紫外線スペクトルと温度の変化及び同位体効果	藤原綾香

P-18	非断熱ab initio分子動力学計算によるHSOラジカルの光解離	江河翔太
P-19	モノテルペン類の気相オゾン分解からの二次粒子生成の研究	矢嶋亮次
P-20	レーザー誘起蛍光法による富士山山岳道路沿道における窒素酸化物計測	和田龍一
P-21	東京農工大学FM多摩丘陵における2015年夏季大気集中観測 - BBCEASによるGlyoxal測定 -	中嶋吉弘
P-22	東京農工大学フィールドミュージアム多摩丘陵における2015年夏季大気集中観測(AQUAS TAMA2015)-総OH反応性と大気中微量成分濃度-	坂本陽介
P-23	2015年夏季東京多摩丘陵における実大気へのオゾン添加による二次粒子生成能観測	車裕輝
P-24	日本における地球大気化学研究のこれまでとこれから	谷本浩志
P-25	傾度法を用いた富士山麓アカマツ林におけるオゾンフラックスの計測	渕上浩樹
P-26	大気から沈着する硝酸の森林生態系における挙動	中川書子
P-27	小笠原父島における粗大エアロゾル粒子の中の揮発成分 ―冬季と夏季の違い―	古賀聖治
P-28	海洋大気境界層内のエアロゾル粒子の消散・散乱係数	古賀聖治
P-29	低流量型大気中酸素濃度連続測定装置の開発	遠嶋康徳
P-30	夏季の紀伊半島の森林域において生成する有機エアロゾルの特徴	鏡味沙良
P-31	北部インド水田地帯におけるin-situ大気メタン連続観測	秀森丈寛
P-32	Long-term variations of atmospheric CH_4 concentration over Siberia derived from aircraft and tower observation	笹川基樹
P-33	カナダ・チャーチルにおける大気中CH_4濃度の季節変動とその起源解析	藤田遼
P-34	白鳳丸KH-13-7次航海で採取されたエアロゾル試料中オキシアニオンの酸素同位体異常($\Delta^{17}O$)	亀崎和樹
P-35	Monitoring of Carbon Dioxide Emission from Disturbed Tropical Peatlands in Indonesia	Iriana Windy

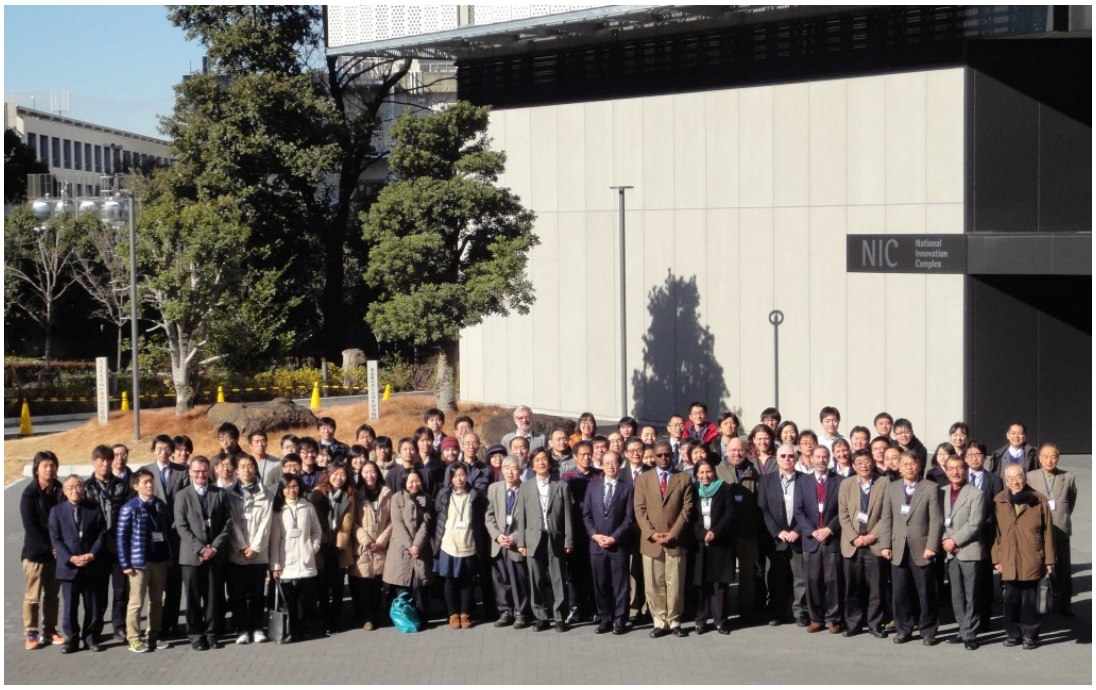
P-36	ホルムアルデヒドの全球分布変動とBVOCsエミッションの寄与：衛星観測およびCHASERモデルによる推定	磯野結貴
P-37	磁気式酸素計を用いた大気中酸素濃度の高精度連続観測システムの開発とその応用	石戸谷重之
P-38	実大気におけるリアルタイムその場観測を目的としたオープンパスレーザー分光メタンガス検出器の校正	出原雅也
P-39	SMILESによる中層大気中オゾン同位体比の日変化観測	佐藤知紘
P-40	SMILES観測により明らかになったHOxの日変化化学～成層圏と中間圏における違い～	笠井康子
P-41	国際宇宙ステーション搭載超伝導サブミリ波サウンダ(SMILES)による成層圏・下部中間圏におけるCH_3CNの観測	平川貴士
P-42	2015年3月及び6月の巨大磁気嵐イベント時に南極昭和基地で観測された下部熱圏・中間圏一酸化窒素(NO)の時間変動	長濱智生
P-43	国立環境研究所におけるGOSAT-2 プロジェクトの進捗状況	森野勇
P-44	GOSAT-2の検証に向けた衛星データと地上データのマッチアップツールの開発	中津留高広
P-45	フーリエ変換型赤外分光計で観測されたつくばにおけるエタンの経年変化	村田功
P-46	衛星観測データを用いた温室効果ガスの局地的な濃度変化に関する解析	葛西光希
P-47	GOSAT/TANSO-FTS TIR、NICAM-TM、航空機のメタンデータの比較検証解析	野々垣亮介
P-48	Chemistry with KROME: a new tool for studying planetary atmospheres	Danielache Sebastian
P-49	KROME による光化学モデルの開発及び惑星大気に適用	Yikelamu Alifu
P-50	KROMEを用いた惑星大気モデリングのためのツール開発	新開万純
P-51	赤道上空成層圏におけるN_2O isotopocule比の高度分布	豊田栄

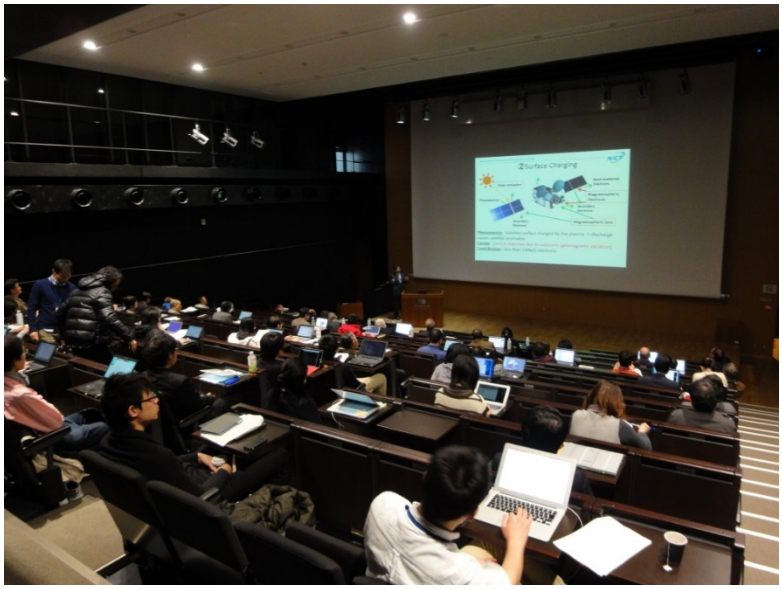
（別紙様式４－２）

太陽活動と気候変動の関係に関するワークショップ
Workshop on the relationship between solar activity and climate change

松見　豊（名古屋大学太陽地球環境研究所）

太陽活動と気候変動の関係に関するワークショップは、今回、文部科学省科学研究費補助金新学術領域「太陽地球圏環境予測：我々が生きる宇宙の理解とその変動に対応する社会基盤の形成」と共同で国際シンポジウム PSTEP-1 “Toward the Solar-Terrestrial Environment Prediction as Science and Social Infrastructure”を、名古屋大学 ES ホールにおいて、2016年1月13～14日に実施しました。 この国際シンポジウムには 85 名の研究者が国内外から集まり、講演・討論会・ポスター発表を通し、太陽地球圏環境予測に関する最新の研究と国際連携の 在り方などについて活発な議論を展開しました。この国際シンポジウムの成果をもとに、積極的な国際展開を目指していく予定です。




Surface Charging

International Symposium PSTEP-1
Toward the Solar-Terrestrial Environment Prediction as Science and Social Infrastructure

Date: January 13 (Wed) – 14 (Thu), 2016
Venue: ES Hall in Higashiyama campus of Nagoya University

PSTEP is a nation-wide project, which was recently established with the support of the Grant-in-Aid for Scientific Research on Innovative Areas from MEXT/Japan. In this project, we are aiming for synergistic development of the solar-terrestrial science research and the next generation space weather forecast. The 1st PSTEP International Symposium is a forum to discuss the current status and future prospect of solar-terrestrial environment prediction, and also provides a valuable opportunity to formulate the international joint research planning for space weather and space climate study. We welcome everyone who is interested in solar-terrestrial environment prediction.

Science organizing committee:
Kanya Kusano, Mamoru Ishii, Kiyoshi Ichimoto, Yoshizumi Miyoshi, Shigeo Yoden, Kazuo Shiokawa, Shinsuke Imada
Contact: inquiry@pstep.jp (PSTEP Secretariat, Nagoya University)

Program: (Time allocation is given as presentation + discussion in min)

12 Jan (Tue)

17:00-18:00 Registration (ES Hall, Nagoya University)
18:00-19:00 Icebreaker (Restaurant chez Jiroud, Nagoya University)

13 Jan (Wed)

9:00-9:30 Registration
9:30-11:05

Session 0. Project overview

Kanya Kusano (PI of PSTEP, Nagoya University, Japan) (15+10)
The PSTEP project

Session 1. Next Generation Space Weather Forecast

Mamoru Ishii (group leader of PSTEP-A01, NICT, Japan) (20+15)
Goal and strategy of the PSTEP-A01: Next generation space weather forecast

Terry Onsager (NOAA, USA) (20+15)
Establishing priorities for improving space weather forecasts

11:05-12:05 **Group photo** & **Poster session**
12:05-13:00 Lunch
13:00-15:45

Zahra Bouya (BoM, Australia) (20+15)
Data driven models in support of SWS activities for regional ionospheric specification and forecasting

Tsutomu Nagatsuma (NICT, Japan) (10+10)
Toward mitigating impact of spacecraft charging problem
Hiroshi Yasuda (Hiroshima University, Japan) (10+10)
Radiation protection of humans in space and aviation: Current states and future needs on the warning system for aviation exposure to SEP (WASAVIES)

Session 2. Prediction of solar storms

Kiyoshi Ichimoto (group leader of PSTEP-A02, Kyoto Univ., Japan) (20+15)
Goal and strategy of the PSTEP-A02: Toward the advanced prediction of solar storm
K. D. Leka (NorthWest Research Associates, USA) (20+15)
The present state of forecasting solar flares
Takayuki Muranushi (RIKEN, Japan) (10+10)
An automated solar flare forecast service using UFCORIN
15:45-16:10 Coffee break
16:10-18:00
Yong-Jae Moon (Kyung Hee University, Korea) (20+15)
Lessons from empirical and neural network space weather forecast models
Dusan Odstrcil (George Mason University, USA) (20+15)
Near real-time simulation of heliospheric space weather
Bernie Jackson (UCSD, USA) (10+10)
Using world interplanetary scintillation systems for space weather predictions
Daikou Shiota (Nagoya Univ., Japan) (10+10)
MHD simulation of interplanetary propagation of multiple coronal mass ejections with internal magnetic flux rope (SUSANOO-CME)
18:30-20:30 Conference dinner (Restaurant HANA-NO-KI, Nagoya University)

14 Jan (Thu)

9:30-11:55

Session 3. Prediction of magnetosphere and ionosphere dynamics

Yoshizumi Miyoshi (group leader of PSTEP-A03, Nagoya Univ. Japan) (20+15)
Goal and strategy of the PSTEP-A03: Prediction of magnetosphere and ionosphere dynamics
Tamas I. Gombosi (University of Michigan, USA) (20+15)
Space weather modeling at Michigan: From concept to operations
Endawoke Yizengaw (Boston College, USA) (20+15)
The geomagnetically induced currents at the equator associated with the interplanetary shocks
Kazuo Shiokawa (Nagoya University, Japan) (10+10)
Ionosphere subgroup of PSTEP A03 (Geospace Dynamics)
Shinichi Watari (NICT, Japan) (10+10)
Measurement of geomagnetically induced current in Japan
11:55-13:00 Lunch
13:00-14:45

Session 4. Prediction and understanding of solar cycle activity and its impact on climate

Shigeo Yoden (group leader of PSTEP-A04, Kyoto Univ., Japan) (20+15)

Goal and strategy of the PSTEP-A04: Prediction and understanding of solar cycle activity and its impact on climate

Margit Haberreiter (PMOD/ World Radiation Center, Switzerland) (20+15)

Eleven-year and long-term variations in solar UV radiation and its effect on the Earth's atmosphere and climate

Limin Zhou (East China Normal University, China) (20+15)

The possible link between space weather and earth weather and climate by global electric circuit

14:45-15:30 **Poster viewing**

15:30-17:30

Dan Marsh (NCAR, USA) (20+15)

Whole atmosphere modeling of solar-terrestrial coupling

Hidekatsu Jin (NICT, Japan) (10+10)

Vertical atmospheric coupling studied with a whole atmosphere-ionosphere coupled model GAIA

Hiroko Miyahara (Musashino Art University, Japan) (10+10)

Investigating the cosmic-ray impact on climate in the past

Session 5. General Discussion and concluding remark (45)

17:30 end of the symposium

Posters

No.	Name	Title
1	Tsutomu Nagatsuma	Nowcasting of space environment around GEO based on Energetic Particle Observations by GOES, Himawari-8, and Kodama
2	Daikou Shiota	Development plan of an interconnection framework for space weather models in PSTEP
3	Shunya Kono	Reflection and Mode Conversion of Alfven Wave in the Solar Chromosphere
4	Shinsuke Takasao	Systematic Numerical Study of Origin of Flare-productive Active Regions
5	Takako T. Ishii	Observations with Solar Magnetic Activity Research Telescope (SMART) at Hida Obs., Kyoto-U.

6	Naoto Nishizuka	Solar Flare Prediction with Machine-learning of Real-time Vector Magnetogram Data
7	Kumi Hirose	Filament Disappearances Observed with SMART, Hida Observatory
8	Yuki Kubo	Newly developed solar radio telescope for space weather forecast and research
9	Hiroaki Misawa	Development of a new solar radio telescope in the HF to VHF band
10	Kazutaka Kaneda	Relationship between Solar Eruptive Phenomena and the Spectral Fine Structure in Solar Radio Bursts
11	Sachiko Akiyama	A Comparative Study of Eruptive and Confined Solar Flares using Microwave
12	Seiji Yashiro	Propagation of Coronal Mass Ejections and the Solar Wind Speeds Estimated from the IPS Observations
13	Katsuhide Marubashi	Problems in geomagnetic storm prediction based on interplanetary magnetic flux ropes
14	Tomoya Iju	Three dimensional MHD Simulation of CME-CIR Interaction
15	Nishiki Nozaki	Statistical studies for prediction of IMF-Bz (1)
16	Nobuhiko Nishimura	Statistical studies for prediction of IMF-Bz (2)
17	Naoko Takahashi	Global evolution and propagation of electric fields during sudden impulses based on multi-point observations
18	Satoshi Kurita	Relativistic electron microbursts and flux variations of trapped MeV electrons: SAMPEX and Van Allen Probes observations
19	Masahiro Kitahara	Wave-Particle Interaction Analyzer for interaction between whistler-mode chorus emissions and energetic electrons
20	Yuto Katoh	Dependencies of the generation process of whistler-mode chorus on the kinetic

		energy of anisotropic electrons in the Earth's inner magnetosphere
21	Shoya Matsuda	Plasma Diagnostics in Plasmasphere by Using Ion Cyclotron Whistlers
22	Akiko Fujimoto	Space weather environment index based on ICSWSE magnetometer network
23	Masaki Kuwabara	The geocoronal responses to the geomagnetic storms
24	Takahiro Obara	Mechanisms of theta aurora formation
25	Takashi Kikuchi	GIC as a return of the global ionospheric currents
26	Prayitno Abadi	East-west Asymmetry of Scintillation Occurrence observed by GPS Receivers in Asia
27	Tam Dao	F-region Field-aligned Irregularities observed with Equatorial Atmosphere Radar and GPS data
28	Kornyanat　Watthanasangmechai	Small amplitude plasma bubble clusters observed in Southeast Asia
29	Hiroyuki Shinagawa	Estimation of Occurrence Probabilities of Plasma Bubbles and Sporadic E layers Using GAIA
30	Nozomu Nishitani	SuperDARN observation of ionospheric density changes associated with solar flares and energetic particle precipitation
31	Yusuke Ebihara	Study on GIC on the Japanese Islands
32	Shigeru Fujita	Estimation of the geomagnetically induced current in Japan – modeling of the induced electric field and empirical estimation of the induced current at a transformer station –
33	Tada-nori Goto	Review of crustal structure in and around the Japan island obtained by magnetotelluric soundings
34	Hiroki Matsushita	Development of dense magnetometer array in Peru for investigating detailed structure of EEJ
35	Wataru Sakashita	Tree-ring cellulose oxygen isotopes evidence for a humid climate in central

		Japan during the last stage of the Little Ice Age
36	Yasushi Muraki	The 11-year variation recorded in Yaku cedar tree ring-What does this mean?
37	Harufumi Tamazawa	Database of naked-eye sunspot and low-latitude aurora in pre-telescopic era recorded in the ancient documents

（別紙様式４－２）

第16回ミリ-テラヘルツ波受信機ワークショップ
Workshop on Millimeter/THz-Wave Band Receiver Technology

前澤 裕之，大阪府立大学・理

1．研究会の概要

本ワークショップは、ミリ波-テラヘルツ帯の高感度受信機に関わる基礎技術開発の推進とその応用を目指して、民間企業を含む研究者、大学院生が産官学の壁を越えて集結し、最新の受信機に関する技術情報を自由闊達に幅広く議論・交換する場を提供することを目的としている。この研究会は太陽地球環境研究所が国立天文台などと協力して毎年行っているが、これまでに本ワークショップで提案・議論されたミリ波・サブミリ波帯の受信機関連技術の多くが、様々な望遠鏡や大気観測装置に搭載され、沢山の観測成果を生み出してきた。今回のワークショップでは、各研究機関で現在推進されている受信機開発の報告に加えて、電波天文分野外の複数の方に、これまで電波天文用受信機には使用されていない新しい技術について講演していただき、将来の新しい電波天文用受信機についても議論する。

2. 報告および成果

2016年3月7日～8日の2日間、電気通信大学（東京都調布市）において第16回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップを開催した。今回は、23の機関・企業から計83名の参加があり、招待講演5件、口頭講演21件、ポスター講演22件という盛況な内容となった。各講演では、NANTEN2望遠鏡、ASTE望遠鏡、野辺山45m望遠鏡、LiteBird、GroundBird、大阪府立大1.85m、GLT、鹿島アンテナなどに搭載する新しい受信機や、臼田アンテナの後継機、ALMAの将来計画などについて報告が行われた。現状の課題や、今後の開発方向性などを議論し、有意義な意見交換を行うことができた。また、ポスターセッションや懇親会などにおいて、学生が積極的に議論に参加し、人材育成の場としても有意義なワークショップであった。

また、他分野の研究者５名を招待し、以下の講演を頂いた。

- 富士通研究所・高橋剛氏「ミリ波・テラヘルツ波無線通信用 InP HEMT 技術」
- 大阪大学・冨士田誠之准教授「極低損失テラヘルツフォトニック結晶とその応用」
- NTT 先端集積デバイス研究所・来山大祐氏「120 GHz 帯積層型多層メタマテリアルフラットレンズ」
- 産業技術総研究所・前澤正明主任研究員「超伝導 A/D 変換器の基礎」
- 横浜国立大学・山梨裕希准教授「超伝導信号処理回路とその天文分野への応用」

これらの講演から、新しい技術の詳細を知ることができただけでなく、将来の電波天文用受信機への応用に向けた課題など、多くの有益な議論を行うことができた。また、今後の共同研究の可能性についても議論することができ、新しい技術を用いた将来の受信機開発に向けて、大きな成果を得ることができた。

太陽地球環境と宇宙線モジュレーション
Space weather and cosmic ray modulation

宗像一起、　信州大学理学部・教授

本研究集会（以下「STE研究集会」）は、研究集会「宇宙プラズマのフロンティア～太陽圏を超えて」と合同で開催された。太陽圏内の銀河宇宙線が太陽から受ける様々な変調効果（モジュレーション）は、必然的に太陽圏全般にわたる大規模な磁場構造と密接に関連している。近年Voyager探査機やIBEX衛星の観測をもとに、太陽圏境界領域の構造に関する新たな知見が次々に報告されているが、本研究集会はそれらをもとにして宇宙線モジュレーションを考え直す絶好の機会を参加者に提供した。

３日間の参加者数は、合同集会全体で計５６名、延べ人数で１２２名に上り、計３５件の講演が行われた。そのうち「STE研究集会」関係では４件を招待講演として、太陽コロナ加熱問題、CALETによる高エネルギー宇宙線・ガンマ線観測、高エネルギー宇宙線の空気シャワー観測による「太陽の影」の観測、などの発表が行われた。一般講演では、年輪中のC14濃度変化による宇宙線強度増加イベントの研究、衛星で観測された太陽フレア時のMeV電子および中性子強度の変動、気球に搭載されたエマルション望遠鏡によるガンマ線天体の精密観測、地表ミューオン計で観測された銀河宇宙線強度の長・短期変動の研究が報告され、興味を引かれた多くの参加者と講演者との間で活発な質疑応答が交わされた。

太陽圏境界（ヘリオポーズ）は太陽風プラズマと星間風との接触領域であり、そこでの物質やエネルギーの相互作用過程についてはその場での観測によって多くの現象が初めて明らかになりつつある。星間空間中における太陽圏という観点で見て、宇宙線分野の研究はまだ緒に就いたばかりである。米国の最先端の状況や研究成果の現状を確認・共有し、太陽圏研究の将来展望を描くことで、今後取り組む研究テーマを検討する機運を高めることができた点で、本研究集会は非常に意義のあるものとなった。また、本研究集会は、普段は「没交渉」の異なる研究分野の研究者（特に若手研究者）がお互いに活発に交流する機会を提供することも出来た。以上本研究集会の成功を踏まえて、次年度以降も同様の研究集会を開催し、芽生えた「新たなコミュニティー」による活発な研究活動を後押し行きたいと考えている。

（別紙様式４－２）

日本における地球大気化学研究の将来検討会
Workshop on Japan’s Future Atmospheric Chemistry Research

谷本浩志、国立環境研究所・地球環境研究センター

集会の概要：

地球大気化学研究の国際的な組織であるIGAC（International Global Atmospheric Chemistry）Projectの現在の活動や今後の動向などを議論し、中堅の研究者を中心にして、今後の日本の大気化学の研究計画やその国際化、組織化などを議論する会議を行った。今回は、前回に引き続き、「大気化学における不均一反応研究の現状と今後の展開」に関する情報共有と議論を行った。

参加者数：１９名

研究活動の報告：

まず、近年、世界保健機関（WHO）が「大気汚染による死亡者が世界全体で約700万人にもおよび、大気汚染が人類にとって最も大きな健康リスク要因である」と警告をした情報が問題意識として共有された。その大気汚染の大きな要素の一つとして「微小粒子状物質PM2.5」があげられるが、現在、特にアジアで大きな社会問題になっていることは言うまでもない。PM2.5エアロゾルの大部分を占める成分は、硫酸塩、硝酸塩、有機物のようなガス状物質から二次的に生成したものであるが、そのPM2.5を最先端の大気化学輸送モデルでシミュレートすると、特に有機成分はモデルが観測結果を大幅に過小評価することが、これまで約10年にわたっての課題となっている。これはガス状有機化合物が大気中でどのように酸化され、どのように粒子に取り込まれ、成長していくのか、その反応化学機構が分子レベルで解明されていないためと考えられ、その基礎的な反応メカニズムに関する化学的研究が欧米で再び盛んになって来ているものの、日本では、その科学的重要性と環境問題としての重要性にも関わらず、取り組みが遅れているという背景がある。

そこで、大気エアロゾルに関わる不均一反応過程に関する最近の知見の共有、大気エアロゾルの大気汚染や気候変動における役割を理解するにあたって不足している知見の整理、今後優先的に取り組むべき研究やアジアでの共同研究の可能性を議論した。具体的には、「二次有機エアロゾル生成過程と揮発特性」、「ダスト粒子や海塩粒子上での不均一反応過程」に関する内容が議論された。また、二次有機エアロゾル生成に関わる研究や、無機・有機化合物の粒子への取り込みに関する研究が精力的に行われている状況が報告され、議論された。また、有機物のガスからエアロゾルへの変質を考える際に重要な化学的パラメーター（蒸気圧、拡散、気液平衡（ヘンリー定数）、粘性、表面張力、相転移、酸性度、

ラジカル、オリゴマー、過酸化物）は、世界的に見てかなり網羅されてきていることが報告された。

成果等：

今後取り組んでいくべき研究テーマやその方針が話し合われた。例えば、不均一反応の理論化学的アプローチとして、複雑な混合状態の粒子をどのようにモデル化するか、どのようなモデルで取り組むか、といったモデリングからのアプローチが議論された。また、室内実験における課題としては、大気変動の正確な記述や予測を可能にするにあたって、実大気中で起こっている「複雑な」化学プロセスの本質を見極めて、それをどう室内実験に取り入れられるか、という点が古くて新しい問題意識として共有された。

今後の方針としては、各論的なテーマ別に分けたプロジェクト編成の必要性や、室内実験において研究グループ間での較正実験の必要性、IGACなどの国際的研究活動の枠組みへの積極的な参加などが指摘された。2015年8月に開催された「International Workshop on Heterogeneous Kinetics Related to Atmospheric Aerosols」の第２回ワークショップが日本の主催で開催される予定となっているが、アジアでの連携を継続していくためにも引き続き支援することが合意された。

（別紙様式４－２）

超高層大気・電磁気圏研究の成果公表のための論文執筆ワークショップ

塩川和夫（名古屋大学・宇宙地球環境研究所）

1. 集会の概要・目的

本研究集会は、「論文を書くこと」を主眼として開催し、グローバルな現象を取り扱う超高層大気・電磁気圏プラズマの学問分野において、日本に限らず世界の研究者に向けて研究成果を発表し、議論を行っていくことを目的とした。そのために、進め方として

・研究会の最初に、各人が執筆する論文の内容を短時間で説明する。
・長時間の論文執筆時間をとる。

２日目の午後および３日目に、各人が進捗状況を5-10分くらいずつ発表する。

・夜遅くまで会場を使用できるようにする。

という形式を取った。雑用やメールの来ない隔離された環境で、各自は毎日朝9時から深夜12時過ぎまで集中して論文執筆を行うことができた。今年度の本ワークショップは、平成28年3月17-19日に伊良湖シーパーク＆スパで開催された。

参加者の執筆論文タイトル一覧（参加者名、タイトル、投稿予定雑誌の順）

塩川　和夫	大気光の不思議（一般向けの本）
Huixin Liu	Equatorial Wind Jet: seasonal and altitude variation (JGR)
坂井　純	Vertical motion of polar-cap F-region plasma and its influence on 630.0 nm airglow brightness (JGR)
鈴木　臣	大気光の不思議（一般向けの本）
細川　敬祐	Responses of polar cap ionosphere to successive CMEs in Dec 2014 (EPS)

ひさき衛星による惑星大気圏・電磁圏探査
Exploration of planetary atmospheres and magnetospheres with HISAKI

土屋史紀　東北大・大学院理学研究科

2013年9月に打ち上げられたひさき衛星搭載の極端紫外分光撮像装置は、2年間にわたる水星から土星までの太陽系惑星の極端紫外光観測に成功した。単一の観測ターゲットを連続的且つ長期間観測することによって、木星磁気圏・金星電離圏のグローバルな時間変動特性と、太陽紫外線・太陽風との関係を明らかにすることが可能となり、また、2017年3月まで衛星の運用期間が延長されたことにより、あかつきやJUNO探査機(2016/7木星周回軌道投入予定)との協調観測が可能となった。本研究集会は、ひさき衛星による木星・金星観測成果を電磁圏科学分野の研究者と共有するとともに、ひさき衛星と地上観測設備（光学・電波望遠鏡）、宇宙望遠鏡(HST, X望遠鏡)、並びに惑星探査機（JUNO、あかつき）との協調観測戦略を議論することを目的として、2016年の2月22日から24日にかけて第17回惑星圏研究会と共催で実施され、特に、24日にはひさき衛星の成果に関するセッションが企画された。ひさき衛星による金星・木星・ジオコロナの観測成果発表(リスト参照)に加え、地上望遠鏡との協調観測成果(鍵谷、藤沢、坂野井)、磁気圏シミュレーションとの連携(深澤)、並びにJUNO探査機との協調観測計画(木村)が発表・議論され、太陽と惑星環境の理解の深化とさらなる成果の創出が期待される有意義な研究会となった。

益永, 他, Local time difference of dayglow periodicities at Venus

木村, 他, Synergetic Multi-Wavelength Observation of Jupiter's Magnetosphere: Recent Results and Plans for JUNO Mission (Invited)

鍵谷, 他, Oxygen ionic composition in the Io plasma torus

米田, 他, Variations in Jupiter's sodium nebula due to volcanism on Io

土屋, 他, Io's volcanic influence on the Io plasma torus: HISAKI observation

古賀, 他, Time variation of 130.4nm atomic oxygen emission near Io observed by Hisaki/EXCEED

吉岡, 他, Ion and electron distribution in the Io plasma torus deduced from the remote observation by EXCEED on Hisaki

北, 他, Statistical study of the response of Jovian EUV aurora to the solar wind from Hisaki observations

深澤, 他, Database development of global Jovian magnetospheric simulation

疋田, 他, The electron temperature of Io plasma torus deduced from the EUV spectra taken by　HISAKI/EXCEED

鈴木, 他, Response of Io Plasma Torus to middle magnetosphere of Jupiter

三澤, 他, Variation characteristics of Jupiter's radio emission during the HISAKI Jupiter observation　campaign in 2015

藤沢, 他,. Horizontal and vertical structures of the Jovian IR aurora from plasma and neutral atmospheres:　Observation by SUBARU/IRCS with Adaptive Optics

桑原, 他, The geocoronal responses to the geomagnetic storm

坂野井, 他, Summary of JSPS program on international collaboration for planetary plasma and atmospheric　dynamics research based on Hawaiian planetary telescopes

（別紙様式４－２）

STEシミュレーション研究会：エクサスケールに向けて
STE Simulation Workshop:Toward Exa-scale Computing

深沢圭一郎、京都大学・学術情報メディアセンター

2015年9月28日～9月30日の日程で、京都大学学術情報メディアセンターにおいて「STEシミュレーション研究会：エクサスケールに向けて」を開催した。本研究集会では、3日間で26件の発表及び、延べ69名の参加があった。

太陽地球系は様々な領域や物理過程が競合した非線形・複合システムであり、これを総合的に理解するために、計算機シミュレーションが果たしてきた役割は極めて大きい。計算機性能の向上が目覚しい現代において、シミュレーション研究の重要性は今後さらに高まると予想されるが、計算機アーキテクチャーの多種多様な進化に合わせたシミュレーションコードの開発・チューニングはより重要な研究課題となる。本研究集会では、このような状況かつ京都大学学術情報メディアセンターで開催することにあわせ、エクサスケールコンピューティングをテーマに掲げた。

本研究集会では、毎年度、太陽地球環境研究所の計算機共同利用研究の成果発表の場として、太陽地球系科学・プラズマ科学に関するシミュレーション全般、領域間／スケール間結合モデル、宇宙天気シミュレーションなどの最新の研究成果・展望を議論し、今後の計算機共同利用研究の方向性を見出すことを目的としている。本研究集会はさらに、地球電磁気・地球惑星圏学会の太陽地球惑星系科学シミュレーション分科会の主たる活動として、計算科学（情報及び計算機科学）や天文学、流体力学などの異分野との交流を目的としている。発表時間を長く割り当てて学会よりもより深い議論を行い、今後の太陽地球系科学分野におけるシミュレーション研究の方向性を見出すことも目的としている。

本研究集会のテーマに合わせ、基調講演ではエクサスケールに向けた可視化というテーマで京都大学学術情報メディアセンターの坂本尚久氏に、エクサスケールに向けた計算機システムの電力システムというテーマで東京大学大学院情報理工学系研究科の近藤正章氏に、そしてエクサスケール向けノード間通信というテーマで九州大学情報基盤研究開発センターの南里豪志氏にご講演いただいた。また一般講演として、新しい計算機システムやファイルシステムの紹介、通信最適化などのHPC向け講演もあり、宇宙プラズマの流体や粒子、また、それらを組み合わせたハイブリッドシミュレーションの計算結果の議論（磁気圏構造、衝撃波、加速、磁気リコネクションなど）、電離圏環境のシミュレーション、さらに新しい計算手法の開発や精度評価などの最新成果が報告された。通常の学会と異なり、一件あたりの講演時間を30分確保することができ、太陽地球惑星系科学シミュレーション研究における問題意識の議論、共有が大いに進展した。

平成 27 年度 名古屋大学太陽地球環境研究所 研究集会

STE シミュレーション研究会　－エクサスケールに向けて－

日時：2015 年 9 月 28 日（月）～ 9 月 30 日（水）
場所：京都大学学術情報メディアセンター 北館 4F 大会議室

主催：名古屋大学 太陽地球環境研究所
共催：京都大学学術情報メディアセンター、SGEPSS 太陽地球惑星系科学シミュレーション分科会
研究会世話人：深沢圭一郎（京都大学学術情報メディアセンター)、梅田隆行（名古屋大学 STEL）

9 月 28 日 *は招待講演

13:00-13:25　平林孝太, 星野真弘, 天野孝伸
Non-gyrotropic な圧力テンソルを用いた温度非等方性入り MHD シミュレーション

13:25-13:50　天野孝伸
高エネルギー粒子ハイブリッドシミュレーション

13:50-14:15　簑島敬, 三好隆博
双曲型保存則に対する高解像度解法の検討

14:15-14:40　梅田隆行, 上野悟志, 中村琢磨
ケルビン・ヘルムホルツ不安定性のブラソフシミュレーション

14:40-15:05　三吉郁夫
最新スパコン PRIMEHPC FX100 のご紹介

15:35-16:25　*坂本尚久
次世代可視化システムの開発

16:25-16:50　渡邉智彦, 前山伸也
エクサスケールに向けたプラズマシミュレーションと磁気圏プラズマへの応用

16:50-17:15　蔡東生
Identifying 3D vortex structures and Coherency at/around the magnetopause towards magnetotail both in obvervations and global simulations

17:15-17:40　深沢圭一郎, 森江善之, 曽我武史, 高見利也, 南里豪志
Halo スレッドの MHD シミュレーションへの導入と性能評価

17:40-18:05　鷲見治一
太陽圏外圏構造の MHD シミュレーション解析

9 月 29 日

10:00-10:50　*近藤正章
エクサスケールシステム向け電力制御技術の開発

10:50-11:40　*南里豪志
エクサスケールに向けた省メモリ通信ライブラリ実装技術

13:00-13:25　八木学, 関華奈子, 松本洋介, Delcourt Dominique, Leblanc Francois
極端な太陽風条件下における水星磁気圏 MHD シミュレーション

13:25-13:50　井原修一
Lustre File System 性能データ解析（仮）

13:50-14:15　清水徹
三次元高速磁気再結合過程の自発性と Petscheck 型モデルの関係

14:15-14:40　淵田泰介, 近藤光志, 新田伸也, 和田智秀
非対称磁気リコネクションにおける磁気拡散領域の変動

14:40-15:05　近藤光志
非対称反平行磁場におけるマルチ X ライン磁気リコネクションの数値計算

15:35-16:00　品川裕之, 陣英克, 三好勉信, 藤原 均, 横山竜宏
GAIA を用いた電離圏擾乱予測

16:00-16:25　横山竜宏, 陣英克, 品川裕之, 三好勉信, 藤原均
高精細プラズマバブルシミュレーションと全球大気圏電離圏モデルの結合

16:25-16:50　齊藤慎司
Xeon-Phi を用いた offload 版プラズマ粒子コード開発

16:50-17:15　臼井英之
今後の惑星ミッションとシミュレーション研究の関わり方

17:15-17:40　小路真史, 大村善治
内部磁気圏における EMIC トリガード放射のシミュレーション

9 月 30 日

10:00-10:25　加藤雄人, 深沢圭一郎, 八木学
惑星磁気圏におけるコーラス放射励起過程についての電子ハイブリッド・MHD 連成シミュレーション

10:25-10:50　松本洋介
衝撃波における粒子加速研究：「京」からポスト「京」に向けて

10:50-11:15　松清修一
無衝突衝撃波遷移層での微視的不安定性

11:15-11:40　山崎了, 梅田隆行, 松清修一
衝撃波静止系シミュレーションコードを用いた低マッハ数の無衝突衝撃波の研究

地域ネットワークによる宇宙天気の観測・教育活動に関する研究集会

Workshop on Regional Network for Space Weather Observation and Education

篠原　学、鹿児島工業高等専門学校・一般教育科理系

研究集会の概要

宇宙天気研究の広がりにより、地方大学や高等専門学校など、様々な地域や組織に研究者が所属するようになった。それぞれは少人数のグループであることが多いので、研究集会を通じて連携を進める機会を設け、単独では困難な規模の観測を、地域的な広がりを利用したネットワークとして支援することを目指す。

また、高等専門学校など学生の教育により重点を置いて研究活動を行っている学校もあることから、高校から大学の学部に相当する、より若い年代の学生に対して積極的に研究発表の機会を与え、彼らの観測活動や研究に対する意欲を高めたり、研究レベルの向上を目指して開催した。

本研究集会は「STE研究集会電磁圏物理学シンポジウム」と合同で開催した。これにより、より多くの研究者へ観測・教育活動をアピールすることができたと考えている。

参加者数

のべ　74名 (STE研究集会電磁圏物理学シンポジウムと合計の人数)

研究発表とその概要

3月10日　5件

中田裕之、濱田友幸、鷹野敏明、冨澤一郎

「LF帯標準電波を用いた電離圏変動の観測」

LF帯標準電波を用いた、下部電離圏(D領域)の観測を行っている。ループアンテナを作成し、電波を地上波と空間波に分離して、空間波の位相変動から高度変化を捉えている。フレア発生時の高度変化(位相変化)を測定すると、電離圏反射強度とフレア強度に比例関係があった。観測としては、夏季に分離できない日が多く、年中安定して空間波を観測するには、より精度の良いアンテナの設置が必要である。

西村礼貴、北村健太郎、魚住禎司、吉川顕正

「地磁気観測用デジタルフラックスゲート磁力計の開発」

Cube Satによる電離層Sq電流の観測を目指して、デジタルフラックスゲート磁力計の作成を行っている。このタイプの磁力計には、大きさ、電力、コストの面でメリットがある。今回、オフセットのオートサーチ機能を開発したが、ノイズの影響によりうまく作動しなかった。現在、ノイズ混入の条件を調査している。

池田昭大、野澤宏大、篠原　学、巻田和男

「鹿児島高専での磁場観測と大気電場観測について」

鹿児島高専で進めているフラックスゲート磁力計を用いた観測に関して、テスト観測の結果について報告を行った。2016年4月より、本観測を開始する予定である。また、柿岡の地磁気観測所の大気電場データより、太陽のF10.7、Kp指数の強度によって大気電場の日変化の強度が変化することが分かった。鹿児島高専で行っている磁場観測、大気電場観測からも、今後、同様な解析結果が得られることを期待している。

吉浪　遼、才田聡子、田中良昌、佐藤由佳

「画像処理技術を用いたオーロラ特徴の抽出」

オーロラの形状移動の状態を、自動解析することを行っている。観測画像をセル毎に分割し、エッジ強度のヒストグラムの作成を行うことにより、オーロラの出現を捉えることができた。今後、オーロラの移動速度、変化の激しさなどの定量化を進めていく。

鈴木　臣
　「大気光多地点観測ネットワークの構築に向けて」
　大気波動の小型カメラによる、中間圏のOH近赤外の観測を行っている。重力波は電離圏にまで達し、電離圏擾乱の種になっている。25万円程度で製作できるシステムを開発し、その観測より重力波の波構造を特定することができた。今後、ネットワーク化するため多点観測を進めていきたい。

3月11日　4件

篠原　学
　「一般向け宇宙天気情報サイトの運営」
　鹿児島高専で運営を行っている一般向け宇宙天気情報ページ「宇宙天気ニュース」の現況について報告した。極小に向かう太陽活動の低下とともに、日々のアクセス数は減少傾向にあり、最近は1日あたり4,500件程度となっている。一方、2015年に2回発生した大規模磁気嵐の時は、1日に17,000件、13,000件のアクセスを記録しており、大規模現象が発生した際の情報伝達ネットワークとして、十分に機能しているといえる。2003年からこれまでに、4,498回の記事を配信し、アクセスの累計は1,790万件に達した。

北村健太郎、今井一雅、高田　拓、篠原　学、池田昭大、若林　誠、高専スペース連携グループ
　「高専連携CubeSatによるSq電流観測計画」
　複数高専の連携による超小型衛星開発のプロジェクトを行い、学生育成のプログラムを進めている。Cube Satとは、10cm × 10cm × 10cmの大きさを基本とし、主要なサブシステムが製品化されたことにより、かなり入手しやすくなっている。計画では、ISS放出衛星を想定し、電離層の南北両半球のSq電流系をつなぐ電流系の観測を行う。高度400km以下の衛星となるが、この高度での観測はまだ行われていない。ただし、運用期間は短く、90日程度で落下してしまう。

久冨あすか、池田昭大、野澤宏大、武田和大、篠原　学、巻田和男
　「鹿児島高専における大気電場データの解析」
　2013年1月に、鹿児島高専の校舎の屋上に大気電場計を設置し、1秒サンプリングの観測を行っている。大気電場の変化には、小さい日や、激しい日があり、降雨があると変化が大きくなる。1日のデータの標準偏差を求め、小さい日を選んで解析を行うと、春、夏は電場の日変化が目立っているが、秋、冬はほとんど見られなかった。また、太陽放射とも弱い相関が見られたが、気象データのエアロゾル(浮遊粒子状物質)観測との相関はなかった。

藤田　茂、藤井郁子、桝田祐里
　「GIC観測データを基にしたGICの推定」
　東日本大震災のように、1000年に1度の大災害は発生すると考えなければならない。地球電磁気の分野でも、大規模なGICの発生を見積もり、その影響を評価する必要がある。そのために、地下の3次元電気伝導度モデルを用い、電離層電流を想定して、地上に誘導される電場を計算した。しかし、伝導度モデルが不完全なので、地上の電流を見積もることは難しい。そこで、実際に観測されたGICのデータと、モデルの計算結果を比較することで、伝達関数の有効性を評価することを考えている。過去の大イベントでは、125Aの電流を見積もることができた。

成果と今後について

　今年は、高専の学生による研究発表が3件(西村氏、吉浪氏、久冨氏)になり、新しく北九州高専の学生による発表も行われた。複数高専の連携による超小型衛星開発の発表もあり、各地の高専に広がりつつあるSTE研究者の連携活動、および学生教育の成果発表の場として、本研究集会が活用されていると考えられる。
　中田氏のLF帯観測、鈴木氏の大気光観測、藤田氏のGIC推定など、新しい観測やモデル構築についての研究発表も行われ、新しい観測研究についての情報交換の場としても本研究集会は機能しているといえる。
　このような発表内容の充実は、継続的に研究集会を開催してきたことによりもたらされている。特に、若手育成のためには、長期的視点で活動を続ける必要があり、今後も本研究集会を開催していきたい。

（別紙様式４－２）

中間圏・熱圏・電離圏研究会
Mesosphere-Thermosphere-Ionosphere Workshop

陣　英克、国立研究開発法人・情報通信研究機構

１．研究集会の目的

中間圏・熱圏・電離圏(Mesosphere, Thermosphere and Ionosphere; MTI)領域は、太陽や宇宙からの粒子及び電磁エネルギーの流入による影響に加え、下層大気から伝搬する大気波動などによって激しく変動する領域である。また、同領域は衛星測位に対する誤差要因といった社会応用的な観点からも注目を集めている。本研究集会は、上記のような MTI 領域の特徴を意識し、この領域で生じている物理・化学過程の理解を深めること、及び他の研究領域や社会への応用を俯瞰的に捉えることを目的とする。MTI 研究集会は、国内における MTI 研究の重要な議論の場となることを目指し、平成10年度より毎年開催されてきた。平成27年度においても、これまでの研究集会の目的を継承し、我が国のMTI研究者の多くが顔をあわせ、活発な議論の場となることを目指す。また、若手研究者（学生及びポスドク）にも積極的に発表と議論の場を提供する。近年のMTI領域の研究成果を整理し、現在進行中あるいは計画段階の研究プロジェクト、将来計画を議論することで、様々な機関・世代の研究者が今後の日本の目指すべき MTI 領域研究において共同体制を確立するきっかけを作ることを本集会の重要な目的の一つとしている。

２．研究報告・成果等

平成27年度のMTI集会は、名古屋大学太陽地球環境研究所、京都大学生存圏研究所、国立極地研究所、情報通信研究機構の共催として平成27年8月31-9月2日（名古屋大学太陽地球環境研究所研究集会「宇宙空間からの超高層大気撮像観測と地上観測、モデリングとの結合に関する研究集会」、「超低高度衛星の利用に向けた超高層大気ワークショップ」と同時開催）の日程で東京都小金井市の情報通信研究機構本部において開催した。参加者は計75名（うち学生は16名）であった。今年度は、昨年度に引き続きMTI Grand Challengeと題するセッションにおいて「極域と中低緯度現象の相違点から理解するMTIの科学」「大気上下結合解明に向けたMTIの科学」の2つのテーマを扱った。同セッションでは、12名の招待講演者を招き、MTI分野で解決すべき課題の洗い出しを行った。今年度の良かった点の１つは、MTI領域の研究会に普段来ない境界領域（下層大気-中層大気結合や磁気圏-電離圏結合）の研究者が発表したことであり、議論が活性化し、分野の裾野拡大につながる機会になったと思われる。また、サブテーマとして「飛翔体観測の役割」を扱い、最終日のセッション「MTI領域の次期衛星観測提案に関するディスカッション」への良い導入となった。参加者の目的意識を深め、次期MTI衛星の議論の活性化につながった。

ポスターセッションにおいては、若手研究者や学生を中心に25件の発表があった。若手研究者や学生らをエンカレッジするために長めのコアタイムを設けており、中堅からシニアの研究者が彼らのポスター発表を熱心に聴き、議論する姿が見られた。

また、これらの他に昨年度からMTI大型研究紹介というセッションを設けており、今年度は赤道ＭＵレーダーと観測ロケット実験について紹介して頂いた。これらの進行中・計画中の大型計画の紹介により、研究者間の情報共有と協力を促し、新たな研究の発見につながる場となった。

なお、本研究集会は、地球電磁気・地球惑星圏学会分科会「中間圏・熱圏・電離圏研究会」参加メンバーによって企画・運営されている。これまでの関連研究集会の情報や研究資料は、MTI分科会webページ（http://www2.nict.go.jp/aeri/swe/MTI/）にて公開されている。

３．研究会世話人

陣 英克（情報通信研究機構）、大山 伸一郎（名古屋大学）、新堀 淳樹（京都大学）、鈴木 臣（愛知大学）、鈴木 秀彦（明治大学）、冨川 喜弘（国立極地研究所）、横山 竜宏（情報通信研究機構）

４．研究集会プログラム

8月31日

13:00-13:10 MTI 研究会趣旨説明および連絡事項　陣英克（MTI 研究会世話人）

MTI Grand Challenge セッション
「大気上下結合解明に向けたMTIの科学－飛翔体観測の役割－」その１
【座長：横山竜宏（情報通信研究機構）】

13:10-13:40 世界の超小型衛星計画の動向と日本が目指すべき方向
高橋幸弘（北海道大学）

13:40-14:10 飛翔体を用いた MTI 研究の現状と将来に期待すること
阿部琢美(宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所)

14:10-14:40 下部熱圏/中間圏の風/気温計測を目指す 70K 冷却テラヘルツ・サブミリ波衛星観測提案-波長帯選択，観測性能，衛星仕様-
鈴木睦(宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所)

MTI Grand Challenge セッション
「極域と中低緯度現象の相違点から理解するMTIの科学」その１
【座長:新堀淳樹(京都大学 生存圏研究所)】

14:50-15:20 ライダー・レーダー観測からみる下部熱圏・中間圏の変動現象 野澤悟徳（名古屋大学 太陽地球環境研究所）

15:20-15:50 中緯度 SuperDARN レーダーによる緯度間結合の研究
西谷望（名古屋大学太陽地球環境研究所）

15:50-16:20 極域電離圏から磁気圏へのプラズマ流出
北村成寿(宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所)

ポスターセッション コアタイム 16:20-17:50

P01 上部成層圏と下部中間圏での成層圏突然昇温の特徴の比較
坂野井和代（駒澤大学）、木下武也、佐藤薫、村山泰啓

P02 Poker Flat MF radar 観測データで観測された中間圏重力波に伴う半日潮汐の振幅変調に関する研究
木下武也（情報通信研究機構），村山泰啓，川村誠治

P03 北海道に展開する多点カメラネットワークによって捉えた日本初の夜光雲イベント
鈴木秀彦（明治大学）、坂野井和代、西谷望、小川忠彦、江尻省、久保田実、坂口歌織、村山泰啓、藤吉康志

P04 地磁気日変動振幅から見積もられる下部熱圏における風速の長期変動について
新堀淳樹(京都大学 生存圏研究所)、小山幸伸、能勢正仁、堀智昭、大塚雄一

P05 HFD と微気圧計による台風通過時の大気波動のスペクトル解析
平林慎一郎（千葉大学），中田裕之，鷹野敏明，冨澤一郎

P06 GEONET を用いた火山噴火に伴う電離圏全電子数の変動の検出
長南光倫（千葉大学），中田裕之，大矢浩代，鷹野敏明，津川卓也，西岡未知

P07 HFD により観測された地震に伴う電離圏擾乱と地震動の関係
高星和人(千葉大学),中田裕之，鷹野敏明，冨澤一郎，長尾大道

P08 HF ドップラー観測と中性大気波動のシミュレーションによる地震に伴う変動の比較
吉川 晃平（千葉大学），高星和人，中田裕之，鷹野敏明，松村充，品川裕之，冨澤一郎

P09 Ionosonde tracking of infrasound wavefronts in the thermosphere launched by seismic waves after the 2010 M 8.8 Chile earthquake
丸山 隆（情報通信研究機構）、Kamil Yusupov、 Adel Akchurin

P10 国際宇宙ステーションからの撮像観測を用いた大気光輝度の不連続の三次元構造の推定 佐藤大仁(京都大学)、齊藤昭則、秋谷祐亮、穂積裕太

P11 CHAMP衛星を用いた赤道異常に関する統計的研究 渡邊 祐貴（電気通信大学）、細川 敬祐、Huixin Liu

P12 スポラディック E 層内の電子温度・電子密度構造に関する数値的検討
坂本優美花（東海大学）、阿部琢美、三宅亙

P13 East-west asymmetric of scintillation occurrence in Indonesia using GPS and GLONASS observations
Prayitno Abadi (STEL, Nagoya University), Yuichi Otsuka, Susumu Saito, Kazuo Shiokawa

P14 インドネシアにおける電離圏擾乱の GPS 観測
大塚雄一(名古屋大学太陽地球環境研究所)、Prayitno Abadi、塩川和夫、小川忠彦、Effendy

P15 Low latitude SSTID observed by sparse GPS network: A case study
K. Watthanasangmechai (RISH, Kyoto University), M. Yamamoto, A. Saito, T. Yokoyama, M. Nishioka and M. Ishii

P16 中緯度域に見られる中規模移動性電離圏擾乱の時間変動の解析
池田孝文（京都大学）

P17 Propagation characteristics of mesospheric gravity waves observed by the Antarctic airglow imager network (ANGWIN)
Takashi S. Matsuda (The Graduate University for Advanced Studies (SOKENDAI))、Takuji Nakamura、Mitsumu K. Ejiri、Masaki Tsutsumi、Michael J. Taylor、Yucheng Zhao、P.-Dominique Pautet、Damian Murphy、Tracy Moffat-Griffin

P18 高緯度帯の GPS 観測網を用いた中規模伝搬性電離圏擾乱の統計的性質及び発生メカニズムの考察
溝口 拓弥（名古屋大学太陽地球環境研究所）、大塚 雄一、塩川 和夫、津川 卓也、西岡 未知

P19 ノルウェー・トロムソにおける GPS 受信機を用いた電離圏シンチレーションの観測
上蔀 広大（名古屋大学太陽地球環境研究所）、大塚 雄一、小川 泰信、細川 敬祐

P20 全天大気光イメージャと非干渉散乱レーダーによるポーラーパッチの 3 次元空間構造の解析
吉田 和晃（電気通信大学）、細川 敬祐、塩川和夫、大塚雄一

P21 CHAMP 衛星による電子密度その場観測を用いたポーラーパッチの統計解析
八束 優（電気通信大学）、細川 敬祐、Huixin Liu

P22 2015 年 3 月 17-18 日の磁気嵐と日本で見られた低緯度オーロラについて
塩川和夫(名古屋大学太陽地球環境研究所)、大塚雄一、西谷望、山本衛

P23 パルセーティングオーロラ出現時における中間圏ナトリウム密度減少
高橋透（電気通信大学）、細川敬祐、野澤悟徳、津田卓雄、小川泰信、川原琢也、平木康隆、坂井純、斎藤徳人、和田智之、川端哲也、Chris Hall

P24 脈動オーロラ中の高エネルギー降下電子と中層大気へのインパクト予測
大山伸一郎（名古屋大学太陽地球環境研究所）、三好由純、齊藤慎司、Esa Turunen, Antti Kero, Pekka Verronnen

P25 高エネルギー粒子の降り込みに対する南半球中層大気の応答
冨川喜弘（国立極地研究所）

9月1日

MTI大型計画紹介
【座長：鈴木秀彦（明治大学）】

09:30-10:00 赤道ＭＵレーダー計画の現状
山本衛（京都大学 生存圏研究所）

10:00-10:15 観測ロケット実験の戦略的推進について
阿部琢美(宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所)

MTI Grand Challenge セッション
「大気上下結合解明に向けたMTIの科学－飛翔体観測の役割－」その２
【座長：鈴木臣（愛知大学）】

10:30-11:00 熱圏大気の構造と運動
渡部重十（北海道情報大学）

11:00-11:30 Thermosphere Response to External Forcing: Decadal Observations from the CHAMP mission
Huixin Liu（九州大学）

11:30-12:00 SWARM衛星で観測される中低緯度微細沿磁力線電流とその成因
家森俊彦（京都大学）、中西邦仁、青山忠司

MTI Grand Challenge セッション
「極域と中低緯度現象の相違点から理解する MTI の科学」その２
【座長：冨川喜弘（国立極地研究所）】

13:00-13:30 成層圏力学過程を通しての太陽活動シグナルの極域、熱帯域における下向き伝播
小寺邦彦（名古屋大学 太陽地球環境研究所・三重大学）

13:30-14:00 PANSY レーダーを用いた極域中間圏夏季エコー（PMSE）と中間圏界面付近の風速の統計解析
高麗正史（東京大学）

14:00-14:30 対流圏～中間圏における大気潮汐の全球構造
坂崎貴俊（京都大学 生存圏研究所）

ISS-IMAPセッション①
【座長：齊藤昭則（京都大学）】

15:00-15:20 ISS-IMAPミッションの状況
齊藤昭則（京都大学）、IMAPワーキンググループ

15:20-15:40 IMAP/VISI最新状況報告
坂野井 健（東北大学）、IMAP/VISIチーム

15:40-16:00 3-years Occurrence Variability of Concentric Gravity Waves in the Mesopause Observed by IMAP/VISI
Septi Perwitasari（東北大学）、坂野井健

16:00-15:20 GAIAモデルデータを用いた大気重力波レイトレーシング手法の開発
久保田実（情報通信研究機構）

16:20-16:40 宇宙ステーションからの撮像画像を用いた中間圏大気光の大気波動の研究 穂積裕太（京都大学）、斉藤昭則、坂野井健、秋谷祐亮、山崎 敦

16:40-17:00 ISS/IMAP-VISIとGPS-TECを用いたメソスケール電離圏擾乱の研究
西岡未知（情報通信研究機構）、津川卓也、横山竜宏、齊藤昭則、坂野井健、秋谷祐亮、穂積裕太、大塚雄一、石井守

17:00-17:20 ISS-IMAPデータを用いた赤道プラズマバブルの抽出とその発生頻度分布
中田裕之（千葉大学）、高橋明、齊藤昭則、坂野井健

17:20-17:40 国際宇宙ステーションからの630nm大気光観測による赤道域プラズマバブルの研究
山田貴宣(名古屋大学太陽地球環境研究所)、大塚雄一、坂野井健、山崎敦、久保田実、陣英克、齊藤昭則、秋谷祐亮、穂積裕太

9月2日

ISS-IMAPセッション②
【座長：大塚雄一（名古屋大学太陽地球環境研究所）】

9:30-9:50 IMAP/EUVIで観測された上部電離圏のHeイオンの構造とGAIA、SAMI2モデルを用いた検証
穂積裕太，齊藤昭則，吉川一朗，村上豪，山崎敦

9:50-10:10 観測終了後の ISS-IMAP データ利用について
齊藤昭則（京都大学）、IMAP ワーキンググループ

MTI 領域の次期衛星観測提案に関するディスカッション

10:10-12:00 次期衛星観測提案に関する議論
齊藤昭則（京都大学） + MTI 研究会世話人

第2回 「超低高度衛星の利用に向けた超高層大気ワークショップ」
【事務局：川崎春夫、星野宏和（宇宙航空研究開発機構）】

13:00-13:10 趣旨説明（事務局）

13:10-13:30 基調講演：低高度衛星観測から期待される超高層大気研究の進展（藤原均・成蹊大学）

13:30-13:45 報告:アンケート結果報告(案)（事務局）

13:45-14:45 議論：超低高度衛星の利用に向けた超高層大気ミッションについて（案）

14:45-15:00 まとめ（選考委員についてなどについて）

宇宙プラズマのフロンティア～太陽圏を超えて
Frontiers in Space Physics: Beyond the Heliosphere

坪内　健、東京工業大学大学院理工学研究科・流動研究員

本研究集会（以下「太陽圏」集会）は、近年のVoyager探査機やIBEX衛星の観測から次々と新発見が報告されている太陽圏境界領域について、その最新情報を国内の研究者間で共有し、当分野がこれから目指す研究の方向性を検討することを目的に、「太陽地球環境と宇宙線モジュレーション」研究集会（以下「宇宙線」集会）との合同開催の形で、また地球電磁気・地球惑星圏学会波動分科会の後援で、名古屋大学宇宙地球環境研究所を会場として平成２８年３月２日−４日の３日間の日程で開かれた。

３日間の参加者数は、太陽圏・宇宙線両集会含めて計５６名、延べ人数で１２２名に上り、計３５件の講演が行われた。そのうち「太陽圏」集会においては７件（内、海外の研究機関から４名招聘）を招待講演として、Voyager探査機・IBEX衛星観測で明らかになった太陽圏境界領域の現象に関するレビュー、宇宙プラズマと天体物理の接点を見据えたパルサー電波天文学の紹介、基本的なプラズマ素過程である粒子加速に関する最新の観測データを用いた新解釈、星間空間起源ヘリウム分布の光学観測などの発表が行われた。一般講演では、太陽圏内部での粒子加速・輸送過程、太陽風乱流、衝撃波と磁気リコネクションなど、太陽圏構造に関する最新の話題からそのプラズマ運動論に基づく素過程の検証まで非常に広い範囲に及び、参加者の興味を大いに引いた。「宇宙線」集会からも太陽圏構造モデリングや太陽風加速・コロナ加熱理論、太陽風プラズマ量計測といった太陽圏物理に直接関わる発表が多く、講演中の議論も活発に行われるなど合同開催による相乗効果も得られた。

太陽圏境界は太陽風プラズマと星間物質との接触領域であり、そこでの物質やエネルギーの相互作用過程についてはその場での観測によって多くの現象が初めて明らかになった。星間空間中における恒星・惑星環境の外部境界という観点で見て当分野の研究はまだ緒に就いたばかりである。米国の最先端の状況や研究成果の現状を確認・共有できたことで、国内の研究者の間でも太陽圏研究の将来展望を描いて今後取り組む研究テーマを検討する機運を高めることができた点で、本研究集会は非常に意義のあるものとなった。

（別紙様式４－２）

若手研究者のためのジオスペース研究集会

Workshop on Geospace science for young scientists

笠原慧，宇宙科学研究所・太陽系科学研究系

【開催日時，場所】

2016/03/28 (1 日間)

名古屋大学，研究所共同館 3F 講義室

【集会の概要】

放射線帯を含むジオスペースのプラズマダイナミクスを理解する事は，地球・惑星電磁圏および宇宙プラズマ分野における最重要課題の一つである．しかも現在は，Van Allen probes衛星が放射線帯の最新データしており，かつ2016年度にはジオスペース探査衛星ERGが打上げ予定，というジオスペース研究の好機である．特に，日本の内部磁気圏コミュニティが10年来進めてきたERGミッションにおいて重要な成果を多く出すためには，幅広い年齢層の研究者が，今からVan Allen probesのデータ，或いは数値シミュレーションの結果を用いて新しい研究を進めておくことが非常に重要である．しかしながら，ジオスペース研究者が国内外の各大学に分布している状況において，研究者同士が多角的かつ細部に及ぶ深い議論を通じて各自の研究成果・能力を高めて/増やしていけるような機会は，必ずしも多くない（各研究室のセミナではジオスペースのトピックばかりではない．一方，ERG衛星を表題に掲げた研究集会などでは，ERGの観測計画などにフォーカスするため，現存のデータに対する議論の時間が十分にとれない）．そこで本研究集会では，**内部磁気圏のトピックに対し，数値計算や観測データ解析を徹底的に議論する事を目的とする．**さらに，研究を進めるうえでより外部からの刺激を必要としている若手層（特に大学院生）を中心に講演者を設定することで，同時に若手層全体の強化も図る目的もある．

【参加者数】

参加者数は 29 名（うち学生 9 名）であった。

【研究報告・議論】

M2 以上の学生を中心とした 7 名と PD1 名が 30-40 分の研究報告を行い，それぞれについて 10-15 分の議論を展開した．さらに，ERG 観測器 PI から機器の紹介をする時間を設けた．研究報告のタイトルと発表者を以下に記す。

■ 招待講演（タイトル・発表者）

- 「雷起源 EMIC 波動解析による下部プラズマ圏の重イオン分布推定」松田昇也（金沢大学）
- 「大振幅・周波数上昇を特徴に持つ EMIC 放射によって 誘発される放射線帯電子の急激なピッチ角散乱」久保田結子（名古屋大）
- 「昼間側と昼夜境界付近の Pi2 地磁気脈動: 夜側極域-昼間側磁気赤道電離圏振動電流系形成の示唆」今城峻（九州大）
- 「Study on characteristics of drift resonance between outer radiation belt electrons and a monochromatic Pc5 wave based on GEMSIS-RC and RB simulations」神谷 慶（名古屋大）
- 「EMIC rising-tone 放射の THEMIS・Van Allen Probes による観測」中村紗都子（京都大学）
- 「地上-衛星同時観測による磁気インパルスに伴う電場の発達・伝播過程」高橋直子（東北大）
- 「THEMIS 衛星観測に基づく EMIC によるプロトンピッチ角散乱の直接観測」北原理弘（東北大）
- 「低高度衛星による極域磁場観測データの解析及び磁気圏赤道面への投影」横山桂弘（京大）
- 「ERG 搭載機器の紹介」笠原禎也（金沢大），松岡彩子，浅村和史（ISAS）
-

【成果】

若手発表者には，研究成果発表に加え，ERG 衛星の打ち上げを意識した新しい観測への展望を語ってもらった．それを種として，ERG 搭載機器のスペックに照らし合わせた運用イメージの議論等まで踏み込む事が出来た．（これは，ERG のプロジェクトサイエンティストおよび機器 PI が多数参加できたことに依るところが大きい．）また，これまでは（機器開発が佳境だったため）機器 PI と若手研究者の間で議論の時間を取る事が難しかったが，今回の研究集会を端緒に，観測・運用・解析計画について今後より一層の議論を深めていく事が期待される．

（別紙様式４－２）

太陽地球環境データ解析に基づく超高層大気の空間・時間変動の解明
Investigation of temporal and spatial variations in the upper atmosphere, based on the comprehensive analysis of solar-terrestrial environment data

新堀淳樹、京都大学・生存圏研究所

1. 集会の概要・目的

地球大気圏の中でも高度100 km以上の領域は、超高層大気と呼ばれ、そこで観測される様々な大気擾乱現象は、太陽活動による影響と下層大気を起源とする大気波動の影響を受けながら、複雑な物理過程を経て発生する。また、この領域は、高度方向の結合だけでなく、両極域から赤道に至る緯度方向の結合も強いため、超高層大気中で観測される様々な変動現象を理解するには、衛星、およびグローバルに展開されている地上観測網で得られた様々な分野にまたがる観測データを包括的に解析することは必要不可欠である。

本研究集会では、大学間連携プロジェクト「IUGONET：Inter-university Upper atmosphere Global Observation NETwork」メタデータデータベースや解析ツールを活用することにより、超高層大気の長期変動メカニズムを解明するために包括的な研究を推進する、と言う観点から、太陽、超高層大気、気象分野を専門とする研究者の方々に、各領域における研究成果を講演してもらう。また、各々現在何が未解明な最重要課題であり、今後どのような研究の方向性があるのかについても紹介してもらう。そのような講演を通じて、それらを包括的に研究する上で必要とされる各研究者の理解と興味を高める。また、そのような分野横断型長期データ解析を行うにあたって、必要なデータベース、システムの展開方法、及び解析ツール開発に関する議論も行うことを目的とする。

2. 研究報告・成果等

本研究集会は、国立極地研究所研究集会、京都大学生存圏研究所第290回生存圏シンポジウムとの共催として平成27年8月17-19日の日程で、国立極地研究所にて開催した。参加者は、別紙に記載の通り、延べ人数として計100名(うち外国人は2名、学生は21名)であった。今年度は、前半2日間のプログラムでは、本年度のIUGONET開発グループ(システム、及び解析ソフトウェア)の成果報告、情報科学との連携、データサイテーションとオープンサイエンスに関する最近の動向、IUGONET参加機関と協力機関からの観測データベースの構築と公開状況に関する報告、及び太陽地球科学の学際研究に関する発表が行われた。特に、2日目のプログラムでは、太陽、極域から赤道域を含む地球大気の各領域を専門とする研究者の方々に、最新の研究成果を講演していただいた。今回は、これまで太陽、超高層・中層大気の研究成果に関する講演だけでなく、火山噴火による電離圏変動といった地圏と大気圏を結合させた分野横断研究に関す

る講演があった。

国立極地研究所で開催した研究集会の様子。

また、3日目に、データ解析ツール「SPEDAS：Space Physics Environment Data Analysis Software」を利用したデータ解析講習のセッションを企画した。本セッションでは、SPEDAS初心者を対象とし、主にGraphical User Interface (GUI)の使用方法を詳しく解説をおこなった。参加者には各自ノートPCを持参してもらい、実際にソフトウェアを利用していただいた。なお、講師はソフトウェア開発メンバーが務めた。講習会の最後に実際にIDLライセンスが利用可能な環境にある学生、若手研究者対象にCommand User Interface (CUI)の簡単な紹介を行った。

なお、これまでの関連研究集会の情報・プログラム、及び公開許可が得られた研究資料は，IUGONETプロジェクトのwebページ（http://www.iugonet.org/meetings/）にて公開されている．

3. 研究集会世話人

新堀淳樹(京都大学生存圏研究所、代表)
田中良昌(国立極地研究所)
梅村宜生（名古屋大学太陽地球環境研究所）

（別紙様式４－２）

太陽研究者連絡会シンポジウム（太陽研連シンポ）
Japan Solar Physics Community symposium (JSPC symp.)

花岡　庸一郎、国立天文台・太陽観測所

本研究集会は、国内外の太陽研究について、最近の科学成果や技術的進展を深く議論することを主たる目的としたものである。天文学会・SGEPSS などの通常学会よりも講演あたりの時間を長くとり、レビューや議論に重きをおいた開催方式とした。例えば招待講演では２５分の講演時間を確保して、単なる研究発表にとどまらない、また狭義の太陽物理学の範囲にとどまらない研究の現状の紹介が行うこととした。

特に今回は、新しい観測プロジェクト、特に提案中の次期観測衛星 Solar-C について、宇宙研の中型衛星第一号機が火星衛星探査に決まった事を受け、現在のミッション計画提案書を見直すための、突っ込んだ話し合いを行う場とした。科学的技術的課題のみならず、Solar-C 時代の地上観測などの果たす役割についても検討すること、さらにポスト Solar-C 時代の展望など幅広い将来計画について議論することを目標とした。

また、現在将来にわたり、太陽物理学研究がより広い周辺分野と相互作用することが重要であると考え、地球惑星圏分野・天文学分野との接点についても深く議論するためにそれに応じた招待講演をお願いした。

具体的内容としては、2 日半の日程の中で、

・研究機関のステータスレポートである「国内観測所の研究活動」

・研究の進展状況を提示する「彩層・コロナ・太陽風」「地球・惑星への影響」「ひので 10 年目の成果」「フレア・CME」

・今後の観測や日本の太陽物理学の進むべき方向を議論する「ALMA 太陽観測」「Solar-C を柱とする今後の太陽研究」

の各セッションにおいて様々な発表が行われた。特に Solar-C セッションにおいては、SOLAR-C の検討状況及び戦略的中型以外の可能性, 若手将来検討会議からのインプットという 2 つの面において、大きく動きつつある各国の宇宙科学プロジェクトの動向と、世界的な太陽物理学の先端的装置計画の現状を踏まえ、日本の太陽物理学においては新たな科学課題に挑戦できる次世代計画の実現を図るべき局面であることを背景に様々な側面からの報告・議論が行われた。全体の口頭講演数 52 件、ポスター30 件、参加者 92 名（＋ネット参加 1、ポスターのみ参加 3）と盛況であった。

（別紙様式４－２）

実験室・宇宙プラズマ研究会「乱流・輸送・粒子加速」
Laboratory-Space Plasma Workshop on “Turbulence, Transport, Acceleration”

永岡賢一
核融合科学研究所
ヘリカル研究部

【集会の目的】

地球磁気圏での高エネルギー電子の起源を理解するために、エネルギー階層間結合および多圏間相互作用を含めた粒子輸送過程と波動粒子相互作用による粒子加速の解明が必要とされている。一方で、トーラス磁場閉じ込めに代表される実験室プラズマでは、コアの無衝突プラズマから周辺部の弱電離プラズマまで多圏間にまたがる輸送過程の理解が求められ、様々な乱流による異常輸送が調べられている。

近年では、輸送の非線形な振る舞いを理解するためには、位相空間内の輸送過程の重要性が指摘され、速度空間の輸送過程などが実験的に調べられている。この両者の間には、非常に多くの共通点があることが指摘されており、普段交流の多くない２つのコミュニティーの情報交換は、双方にとって非常に有益である。

本研究集会の目的は、実験室と宇宙のプラズマ研究者が一同に会して、継続的に先端研究の情報交換する場を提供することを通じて、両分野の研究活動を一層加速することである。

【集会の概要】

本研究集会は、平成28年3月8日に開催した。幹事グループによる議論を事前に行い、２件のレビュー講演を設定した。１人目は、小路真史（名古屋大学宇宙地球環境研究所）氏に「磁気圏プラズマ観測衛星による波動粒子相関の直接観測」について最新の研究成果の紹介をお願いした。２人目は、高橋和貴（東北大学工学研究科）氏に「実験室プラズマによる宇宙プラズマ現象模擬実験について　－LAPD装置のコーラス現象と高β超音速プラズマの可能性－」について、レビューをお願いした。この情報と共に日本物理学会領域２、地球電磁気・地球惑星圏学会関連のメーリングリストなどを用いた案内を行い、参加者を募った。その結果、参加者20名、講演数10件の申し込みが得られた。プログラムは、「加熱・粒子輸送」、「粒子加速・ショック・超音速流」、「波動物理」の３つのセッションを設け、レビュー講演40分、一般講演25分として、全ての講演申込を口頭発表として議論できた。実験室と宇宙からバランスよく最新の研究成果が紹介された。講演者には、5分－10分程度の質疑の時間を確保していただいたため、活発な議論が展開された。

実験室・宇宙プラズマ研究会「乱流・輸送・粒子加速」

2016年3月8日（火）名古屋大学グリーンモビリティ1FCAD室

11:00 - 11:05	opening	趣旨説明・事務連絡
	加熱・粒子輸送	
11:05 - 11:30	西浦正樹	磁気圏型プラズマ装置RT-1における波動加熱実験
11:30 - 11:55	川面洋平	磁気圏型プラズマ装置RT-1における断熱粒子加速の観測
11:55 - 12:20	久保田結子	EMICトリガード放射による放射線帯電子大気圏降り込み現象
12:20 - 13:20	lunch break	
	粒子加速・ショック・超音速流	
13:20 - 14:00	高橋和貴	実験室プラズマによる宇宙プラズマ現象模擬実験について　- LAPD装置のコーラス現象と高β超音速プラズマの可能性 -
14:00 - 14:25	福田祐仁	高強度レーザーとクラスター媒質との相互作用で発生するレーザー駆動輻射性 Blast Wave
14:25 - 14:50	佐々木徹	パルスパワー放電により発生した準1次元高速プラズマ流と垂直磁場の相互作用と粒子加速
14:50 - 15:10	coffee break	
	波動物理	
15:10 - 15:50	小路真史	磁気圏プラズマ観測衛星による波動粒子相関の直接観測
15:50 - 16:15	加藤雄人	宇宙プラズマ中での波動粒子相互作用の直接計測について：手法の検討と計算機実験による検証
16:15 - 16:40	笠原寛史	核融合プラズマでのICRFにおける電磁波加熱および不安定性励起
16:40 - 17:05	野村浩司	宇宙プラズマにおけるプラズマ波動のモード変換
17:05 - 17:15	closing	
	懇親会	17:45頃からを予定

表１．研究会プログラム

【研究報告】

研究集会での講演者からの話題提供と関連して展開された議論について、セッションごとにまとめる。

「加熱・粒子輸送」のセッションでは、西浦正樹（東京大学）氏から「磁気圏型プラズマ装置RT1における波動加熱実験」というタイトルで、マイクロ波を用いた電子加熱実験の成功によりβが１を越えるプラズマ生成に成功した実験と今後のイオン加熱実験計画が紹介された。１を超えるベータの定義やイオン加熱のRFのモードに関する議論が展開された。次に川面洋平（東京大学）氏からは、「磁気圏型プラズマ装置RT-1における断熱粒子加速の観測」というタイトルで、弱磁場側から強磁場側へのイオン輸送と共に磁場に垂直方向の粒子加速を観測した実験が紹介された。地球磁気圏の高エネルギー電子の生成過程との関連性や加速された粒子の空間分布に関する質疑が行なわれた。久保田結子（京都大学）氏からは、「EMICトリガード放射による放射線帯電子大気圏降り込み現象」に関する研究成果が紹介された。EMIC波動の偏波に関して質問がなされ、左周り円偏波を持つEMIC波動が、電子と相互作用する素過程に関する議論が展開された。

「粒子加速・ショック・超音速流」のセッションでは、高橋和貴氏によるレビュー講演「実験室プラズマによる宇宙プラズマ現象模擬実験について－LAPD装置のコー

ラス現象と高β超音速プラズマの可能性－」が行なわれた。最近の大型実験室プラズマLAPDで、磁気圏のコーラス放射が再現された報告のレビューと東北大学で行なっているMPDアークとヘリコン波加熱を組み合わせたプラズマを用いた磁気回転不安定性とジェット形成に関する研究計画が紹介された。京都大学からリモート参加された大村善治氏を交えて、LAPD装置で再現されたコーラス現象について白熱した議論が展開された。コーラスを再現する数値計算結果と実験条件の関連性について、議論になったが、特に実験で粒子加速を検証することができるかどうかの可能性について注目が集まった。福田祐二（原研関西研）氏からは、「高強度レーザーとクラスター媒質との相互作用で発生するレーザー駆動輻射性 Blast Wave」というタイトルで、大強度レーザーを用いたイオン加速を目指した実験に関する最新の研究状況が紹介された。レーザー圧力で加速された電子が生成する電場によるイオン加速の素過程について質問が相次ぎ、重たいイオンを加速する物理過程について議論が展開された。佐々木徹（長岡科学技術大学）氏からは、「パルスパワー放電により発生した準１次元高速プラズマ流と垂直磁場の相互作用と粒子加速」というタイトルで、パルスパワーによりピンチされたマッハ数が１を越える高速プラズマ流を用いた実験が紹介された。プラズマ流に対して垂直磁場を印加した場合に予測されている衝撃波形成と粒子加速の検証についての初期結果が議論された。

「波動物理」のセッションでは、小路真史氏から「磁気圏プラズマ観測衛星による波動粒子相関の直接観測」に関するレビュー講演が行われ、衛星観測データに基づくイオンサイクロトロン波帯の波動とイオンの波動粒子相互作用解析を行なった結果、相互作用の同定に成功した。また、数値計算との比較が議論された。エネルギー変換だけでなく、ピッチ角散乱に関する情報も得られることを示した。波動と相互作用するイオンの位相空間の密度構造に関して質問があり、位相空間構造の応答の直接観測の可能性について議論が展開された。加藤雄人（東北大理学部）氏からは、「宇宙プラズマ中での波動粒子相互作用の直接計測について：手法の検討と計算機実験による検証」に関する報告がなされた。ERG衛星で計画されている波動粒子相互作用解析について計算機実験を用いて検証し、十分な精度で観測できることを示した。粒子計測のカウント数について質問があり、十分な統計精度を確保するための必要条件などが議論された。笠原寛史（核融合研）氏からは、「核融合プラズマでのICRFにおける電磁波加熱および不安定性励起」と言うタイトルで講演がなされ、RFを用いた種々のイオン加熱手法が紹介された。多種イオンプラズマ中の分散関係をうまく利用した加熱手法やモード変換による電子加熱手法について、磁気圏で観測される現象との類似性が指摘され、関連する議論が展開された。野村浩司（名古屋大学）氏は、「宇宙プラズマにおけるプラズマ波動のモード変換」について講演を行い、人工衛星データから磁気圏におけるプラズマ波動のモード変換の抽出結果を報告した。モード変換効率などに関する質疑が行なわれた。

【成果等】

本研究集会では、以下の点が明らかとなった。

①スペースプラズマと実験室プラズマでは、非常に関連が深い物理過程を研究していることが再確認された。

②スペースプラズマと実験室プラズマの交流から新しい研究の展開を生み出すためには、交流の継続が必要である。

③実験室プラズマの技術向上により、磁気圏コーラスによる粒子加速、磁気回転不安定性、ジェット形成などが新しい実験室プラズマのターゲットになってきた。

その理由は、本研究集会の目的である「実験室と宇宙のプラズマ研究者が一同に会して、継続的に先端研究の情報交換する場を提供することを通じて、両分野の研究活動を一層加速すること」に関して、情報交換の場という点では、短い時間ではあ

ったが、懇親会も含めて大きな成果が挙げられた。一方で、両分野の研究活動を一層加速するためには、今後更に継続的な活動が必要であることも明らかとなった。例えば、モード変換に関しては、スペースプラズマと実験室プラズマでは全く異なるアプローチで同じ物理現象を議論しており、本研究集会のような専門家の情報交換は、双方にとって非常に有益であり、お互いの研究を加速させ効果が十分に期待できる。しかしながら本研究集会だけでは、限られた時間内の議論であるため、お互いのプラズマの条件の把握に大半の時間が使われた状況に見受けられた。今後の継続的に議論する環境確保が必要である。一方で、様々な方法でマッハ数が１を越える超音速プラズマ流の生成が可能となり、新しい研究領域への挑戦が実現していることが大きな印象を与えた。さらに、地球磁気圏の高エネルギー電子生成過程として研究されている磁気圏内部への拡散過程と波動粒子相互過程の両者について、衛星観測、数値計算、模擬実験が継続的に議論される研究集会として定着してきており、今後のERG衛星による観測データが提供されれば、より一層の発展をもたらすことが期待されている。

（別紙様式４－２）

Solar-C 時代(10~20 年後)の太陽研究検討会
Solar physics research in the Solar-C era

今田晋亮　名古屋大学・太陽地球環境研究所

概要

若手太陽研究者が10～20年後を見据えた太陽研究について、発表中心ではなく、議論中心の研究会をおこなう。現在、次世代太陽観測衛星Solar-Cの検討が進んでおり、太陽物理学の新しい時代の幕開けに向けて期待が高まっている。Solar-Cが活躍する時代（10～20年後）の太陽物理学をとりまく研究環境は、Solar-Cをはじめとする太陽観測計画によって観測機器性能が向上し、またエクサ級スーパーコンピューター計画をはじめとする次世代計算機計画により計算機性能が向上し、現在とは全く違う状況が実現されている可能性が高い。このような時代に向けて、早い時期からSolar-C時代の太陽物理学をとりまく状況を把握し、どのような研究が可能になるか、あるいはどのような研究をおこなうべきかを把握し、太陽物理学分野として１０～２０年後に取り組むべき課題を議論する事は、非常に重要であり早急におこなうべきである。本研究会では①Solar-C時代の太陽物理学をとりまく状況の把握、②10~20年後に取り組むべき研究課題、③取り組むべき研究課題に必要な次世代計画、の主に３点について議論する。この議論を通じて、若手太陽研究者各々が10～20年後を見据えた将来研究計画を明確に描くことが本研究集会の一番の目的である。また、これらの議論はSolar-C時代以降の太陽物理学への布石にもつながる。

詳細

平成27年12月14-16日の３日間名古屋大学にて開催した。参加者数は38名、口頭発表は32件であった。講演内容は、現在の太陽物理学研究及び現在進行中の太陽物理学上のミッションの紹介にはじまり、１０～２０年後に向けてどんな研究を行っていくつもりかを議論し、最後にそれに必要な大型衛星計画や小型衛星計画、またスーパーコンピューターの利用についても議論をおこなった。

成果

議論の対象は太陽物理学上の多岐に渡ったが、議論を中心とした形で研究会を進めたため、これまで表面的にしか理解できなかった部分を踏み込んで活発に議論することができた。また日本における太陽物理学の現状を若い世代が理解することができ、将来どのような研究を行っていくべきか十分に議論できた。大型衛星計画だけでなく、小型衛星計画やロケット実験、気球実験なども視野に入れて将来計画を検討するための議論も行えた。光子計測型X線望遠鏡など様々なアイデアが提案され、参加者らで議論した。一方で、太陽物理学における数値シミュレーション・モデリング研究の将来に関しても活発な議論が行えた。太陽分野で数年に１度くらいしか行えない大規模計算を実現するにはどうしたらいいか、計算の実行と結果の解析を分業するのは可能か、など様々な観点からも議論が進んだ。また修士課程の学生も本研究会では積極的な発言が多数見られ、若手が活発に議論するという目的は十分に果たせた。今後も太陽物理学の将来に関して継続して議論をしていきたい。

電磁圏物理学シンポジウム
Symposium on Electromagnetospheric Physics

河野英昭（九州大学国際宇宙天気
科学・教育センター）
塩川和夫（名古屋大学宇宙地球環境研究所）

開催期間：平成 28 年 3 月 10 日～平成 28 年 3 月 11 日（2 日間）
開催場所：九州大学西新プラザ（福岡市内）

九州大学では、MAGDAS/CPMN (MAGnetic Data Acquisition System/Circum-pan Pacific Magnetometer Network、地上磁力計ネットワークによるリアルタイム観測)、および FM-CW radar (地上レーダーによる電離層電場観測)、により、汎地球的規模で、地上から地球電磁圏を観測・モニタリングしてきた。また、世界の地上磁場観測網との協同体制も進展中である。

九州大学ではまた、グローバルシミュレーションによる電磁圏の研究も進めてきた。これも、汎地球的規模の視点での研究である。

汎地球的志向性を持った観測・シミュレーションを行っている日本国内の研究者は上記九大以外にも多数存在する。本研究集会の目的は、これらの研究者が議論を交わす場を用意し、それによってこの観測・研究の方向性を促進・強化する事であり、研究集会当日には この目的に沿い、広い範囲の発表・議論が観測とシミュレーションで分かれる事なく行われた。大学院生参加・発表も行われた。また、本研究集会は名古屋大学宇宙地球環境研究所、九州大学国際宇宙天気科学・教育センターの協力のもとに開催された。

本研究集会の発表内容例を挙げると以下の通り多岐にわたっている。

- 本年度末の九州大学湯元教授の定年退職を記念し、湯元教授の業績が 3 招待講演（小原隆博博士、藤田茂博士、吉川顕正博士）にて紹介された。
- 地上観測研究の具体例が複数紹介された（地上磁力計による Pi2 脈動や赤道ジェット電流の観測、地上磁場からの電離圏電場推定、SuperDARN レーダーによる電離圏プラズマの密度や流れの観測）。
- 人工衛星観測の具体例も紹介された（尾部プラズマシートでの ion cyclotron 波）。
- グローバルシミュレーションに関する発表も複数行われた（電離圏のプラズマバブル、磁気圏対流、等）。
- Sq やシータオーロラについては、観測発表もグローバルシミュレーション発表も行われた。

これらの発表は電磁圏物理学の今後の発展に寄与するものである。本「電磁圏物理学シンポジウム」に参加し発表された方々に心より感謝したい。

（別紙様式４－２）

第２０回大気ライダー研究会
20th Workshop on Lidar Observation of Atmosphere

阿保　真、首都大学東京・システムデザイン学部

ライダー観測技術・データ解析手法、観測評価法、大気科学分野からの観測要求、将来計画、最近のトピックスなどに関連する研究討論を目的として開催してきた大気ライダー研究会も今回で２０回目を迎えた。今回の研究会では、各大学・研究機関から１２件の講演があり、３つのセッション「各種大気ライダー」、「対流圏ライダー観測」、「ライダー技術」に渡って十分な時間をとり議論を深めた。参加者は26名で、企業も含めて17機関と例年より参加機関の数が多かった。特別講演として国立環境研究所の内野修氏に「大気観測のためのライダーネットワークについて」と題して大気観測（成層圏エアロゾル、成層圏オゾン、対流圏オゾン、対流圏エアロゾル）のライダーネットワークについて、これまでの国内のライダー開発やネットワークの歴史も含めて、その経緯とヨーロッパ等の世界の現状、並びにネットワークの課題と期待について広く講演していただき、今後の国内の大気ライダーの進むべき方向性について議論を行った。また、研究会終了後に首都大学東京の新しいライダー実験室の見学会を開催し、実際の大気ライダー施設を見学しながら技術的な議論・交流を行った。

以下に当日の一般講演題目の一覧を示す。

・局地的大雨予測のための水蒸気 DIAL
・ファイバーレーザ励起 Ho:YLF レーザによるドップラーライダー
・国際宇宙ステーション搭載植生ライダー(MOLI)を利用した大気観測の可能性
・つくばとニュージーランド・ローダーで観測した成層圏エアロゾルの長期変動と季節変動
・多波長ラマンライダーによる地上ネットワーク観測
・ゴビ砂漠に設置したシーロメーターのデータ解析
・モンゴル・ゴビ砂漠における二重ダスト層の解析：シーロメーター連続観測の結果
・福岡でライダーにより観測された大気境界層の日変動
・OPG 光源を用いた 1.6μm 直接検波 DIAL による CO2 観測
・植生ライダー用与圧筐体封入レーザの試験状況
・波長可変共鳴散乱ライダー観測の改良
　～光ヘテロダイン干渉法による発振レーザー周波数の測定～
・下部対流圏オゾン観測用全固体 DIAL の開発

太陽地球系変動研究のための国際データシステム
Global Data System for the Study of Solar-Terrestrial Variability

渡邉　堯　WDS国際プログラム・オフィス

概要

SCOSTEP が行っている VarSITI (Variability of the Sun and Its Solar-Terrestrial Impact) における研究活動で得られた観測データの、長期保全と公開態勢を構築することを目的として、SCOSTEP と ICSU 世界データシステム（WDS）の共催、地球電磁気・地球惑星圏学会、国立極地研究所、名古屋大学宇宙地球環境研究所、情報通信研究機構の後援により本研究会を開催した。総参加者数は 71 名（内外国人参加者 18 名）、総発表論文数は 51 件（うち 15 件はポスター発表）、であった。発表論文アブストラクト等のを含む詳細は、下記の Web ページから公開されている。なお、9 月 29 日に開催されたセッション Data Analyses of VarSITI and STE Events は、名古屋大学太陽地球環境研究所研究集会「平成 27 年度第 1 回 STE 研究連絡会・現象報告会（代表者：亘　慎一）との共同で開催した。研究会の全般的な情報は、http://isds.nict.go.jp/scostep-wds.2015.org/より公開されている。

なお、この研究会で発表された論文は、Earth, Planets and Space (EPS) の特集号として出版される予定である。

プログラム

SCOSTEP-WDS Workshop on ' Global Data Activities for the Study of Solar-Terrestrial Variability' **Dates: 28 - 30 September 2015** **Place: National Institute of Information and Communications Technology (NICT), Tokyo**			
27 Sep. (SUN) 16:00 - 19:00 Registration, Poster posting, Icebreaker, etc. Place: NICT			
28 Sep. (MON)			
	10:00-10:30	Registration, Poster posting	
	10:30-10:40	Opening Remarks	SOC
0-1	10:40-11:00	Long-term Preservation of Solar terrestrial Data	N Gopalswamy*
0-2	11:00-11:20	ICSU World Data System: Trusted Data Services for Open Science	M Mokrane*
0-3	11:20-11:40	Activity of CODATA on Earth and Space Science Data Interoperability	A Rybkina*, and S Hodson
0-4	11:40-12:00	Variability of the Sun and Its Terrestrial Impact (VarSITI): SCOSTEP' s scientific program in 2014-2018	K Shiokawa* and K Georgieva
	12:00-12:15	General Information on Workshop	LOC
	12:15-12:30	Information on Data-System Demonstrations and Site Visits	LOC, Exhibiters
	12:30-14:00	Lunch, Data-system Demonstrations, Poster Viewing, and Site Visits (Facilities of NICT, WDS-IPO)	
	14:00-14:10	Opening Address of Plenary Sessions	F Tomita*
Session 1: Future Collaboration between SCOSTEP/VarSITI and WDS			
	14:10-14:20	Scope of the session	T Iyemori*
	14:20-14:40	SCOSTEP– WDS collaboration to address VarSITI Data Challenges	K Shiokawa*
	14:40-15:40	Panel Discussion	
	15:40-16:00	Break	
	16:00-16:30	Panel Discussion and Conclusion	
	16:30-17:30	Short Presentations of Posters (3-min each)	
	17:30-18:30	Poster Viewing	
29 Sep. (TUE)			
Session 2: Data Analyses of VarSITI and STE Events			
	10:00-10:10	Scope of the Session	T. Watanabe*
2-1	10:10-10:30	ISEST Data Products and Campaign Study (Invited)	Jie Zhang*
2-2	10:30-10:50	Extreme space weather events as seen in the historical geomagnetic records of Colaba, India and their estimation of interplanetary conditions (Invited)	B. Veenadhari et al.

2-3	10:50-11:05	Global solar activity in Cycle 24	K Shibasaki*
2-4	11:05-11:20	Geomagnetic storms of Cycle 24 and their solar sources	S Watari* et al.
	11:20-11:30	Break	
2-5	11:30-11:50	Overview of solar-terrestrial environment between March and September, 2015	S Abe*
2-6	11:50-12:05	The first super geomagnetic storm of solar cycle 24: " The St. Patrick day (17 March 2015)" event	C-C Wu et al.
2-7	12:05-12:20	Flux rope structures of the solar wind associated with two intense geomagnetic storms in 2015: the 17 March and the 22 June storms	K Marubashi* et al.
	12:20-12:30	Group Photo at Entrance Lobby (GF)	
	12:30-13:30	Lunch, Poster Viewing	
2-8	13:30-13:45	Pileup accident hypothesis of magnetic storm on 2015 March 17	R Kataoka* et al.
2-9	13:45-14:05	Van Allen Probes Observation of prompt energization of electrons to ultra-relativistic energies during the 17 March 2015 IP shock (Invited)	S G Kanekal* and D N Baker
2-10	14:05-14:20	Recent geoeffective space weather events and technological system impacts	R J Redmon et al.
2-11	14:20-14:35	Experiences of Forecasting the magnetic storms of march and June 2015 and analysis of the resulting ground effects in the UK	S J Reay et al.
2-12	14:35-14:50	Upper atmosphere data in the polar region during the March 17-18 and June 22-24, 2015 geomagnetic storms	Y Tanaka et al.
	14:50-15:05	Break	
2-13	15:05-15:20	Energetic particle precipitations impacts on the mesosphere observed by the PANSY radar	T Nishiyama et al.
2-14	15:20-15:35	Multi-instrumental study of the ionospheric response to the 2015 St. Patrick's Day storm	E Astafyeva et al.
2-15	15:35-15:50	Dynamics of ionospheric convection associated with low latitude aurora in Hokkaido during the March 2015 storm	N Nishitani et. Al.
2-16	15:50-16:05	Low-latitude red aurora observed in Japan during the St. Patrick' s Day 2015 Event	K Shiokawa* and Y Otsuka
2.17	16:05-16:20	Wide energy electron precipitations and their impact on the middle atmosphere associated with the pulsating aurora	Y Miyoshi et al.
	16:20-17:30	Short Presentations, Discussions	
	18:00-20:00	Get-together Party (NICT)	
30 Sep. (WED)			
Session 3: Data-oriented Information Technology			
3-1	09:30-09:55	Open Data, Open Publication and Open Science Approach for Geo and Space Science Domain (Invited)	B Ritschel et al.
3-2	09:55-10:20	Data Citation Analysis Framework for Open Science Data (Invited)	K. Zettu*
3-3	10:20-11:05	Using A Virtual Observatory (VO) to Enable Multidisciplinary Data Analysis (Invited)	Shing F Fung et al.
	11:05-11:15	Break	
3-4	11:15-11:40	NOAA National Centers for Environmental Information Space Physics and Geomagnetism Activities: Historical perspective and future directions (Invited)	R J Redmon et al.
3-5	11:40-12:05	Challenges in geomagnetic data processing for a better understanding of geomagnetic field evolution (Invited)	A Solovyev and A Rybkina*
3-6	12:05-12:20	IUGONET (Inter-university Upper atmosphere Global Observation NETwork) activities	T Nakamura et al.
3-7	12:20-12:35	Application of SPEDAS to VarSITI Program -- Introduction of IUGONET?and ERG-SC Plugins	Y Tanaka et al.
	12:35-13:30	Lunch, Poster Viewing	
Session 4: Activity Reports of Data Systems of WDS and VarSITI			
4-1	13:30-13:55	Introduction to Chinese Meridian Project (Invited)	C Wang*
4-2	13:55-14:10	CSSDC promoted service also strengthened connection to Solar-Terrestrial Community through deep projects cooperation	Zou Ziming et al.
4-3	14:10-14:25	The World Data Centre (WDC) for Solar-Terrestrial Science (STS) of Australia	K Wang et al.
4-4	14:25-14:40	Recent activities of the World Data Centre for Geomagnetism (Edinburgh)	S J Reay et al.
	14:40-15:00	Break. Poster Removal	
4-5	15:00-15:15	The neutron monitor database (NMDB)	C Steigies
4-6	15:15-15:30	Continued operation of Nobeyama Radioheliograph and its database	S Masuda et al.
4-7	15:30-15:45	Recent activity of DOI-minting to solar-terrestrial physics data in Japan	M Nosé et al.
	15:45-16:20	**Concluding Session**	

科学情報学研究会
Science Informatics

村山泰啓　情報通信研究機構　統合データシステム開発研究室

地球環境科学、災害科学、材料・物質科学、生命・医療科学等の分野を新しい研究の創出やの可能性や、社会活動支援に向けた科学データの活用、広範囲なデータの利活用に伴う諸問題について幅広く議論し、データ・コミュニティにおける共通の認識の形成を目的として同年 3 月 3−4 日に東京都内で開催した。また、同時期（3 月 1−3 日）に東京都内で開催された Research Data Alliance (RDA) 第 7 回総会の協賛行事とすることにより、外国人の参加を図った。また日本学術会議情報学委員会国際サイエンスデータ分科会との 3 月 3 日開催の部分（第一部）は Data Perspective beyond Alliances という名称で登録されている。また 3 月 4 日の午前中は第二部として Workshop for Intensive Discussion on Design of Materials and Materials for Design を、同日午後は第三部として SCJ Symposium on Data Perspective beyond Alliances を、夫々日本学術会議 6 F 会議室で開催した。上述のように今回は外国より多くの情報学研究者やデータに関わる国際事業の推進者の参加があったため、幅広い分野におけるデータ関連活動の国際状況を把握する上で、非常に有意義な研究集会となった。なお、講演は全て英語によって行われた。

3 月 3 日（14:00-17:00）：一ツ橋講堂中会議場
第一部：Data Perspective beyond Alliances (Co-located Event of RDA 7th Plenary)
主要テーマ：国際的データ組織やデータシステムにおける、分野間データ利用への取り組み、分野間データ利用における情報学的研究、分野間データ利用による新しい研究の創生

3 月 4 日（10:30−17:00）：日本学術会議 6 F 会議室
第二部：Workshop for Intensive Discussion on Design of Materials and Materials for Design
主要テーマ：分野間データ利用における検討課題の抽出（ディスカッション）

3 月 4 日（10:30−17:00）：日本学術会議 6 F 会議室
第三部：SCJ Symposium on Data Perspective beyond Alliances
主要テーマ：データ連携後の課題と展望（講演＋ディスカッション）

第一部：Data Perspective beyond Alliances (Co-located Event of RDA 7th Plenary) 2016年3月3日 14:00-17:05 会場：一ツ橋講堂（東京都千代田区）		
14:00-14:20	S. Iwata (The Graduate School of Project Design)	Data Perspective beyond Alliances - Positioning and Targeting
Session 1: Developing Policies for Coordination and Sustaining Data Systems		
Chair: M. Mustapha (WDS)		
14:20-14:35	C. Smith (OECD Global Science Forum)	OECD Global Science Forum
14:35-14:55	A. Treloar (Australian National Data Service) and S. Sorvari (Finish Meteorological Institute and WDS)	International Coordination of Data Infrastructure
14:55-15:10	S. Hodson (CODATA)	Business Models for Data Infrastructure
15:10-15:25	Y. Murayama (National Institute of Communications and Information Technology)	Open Science and Data Platform- Current status in Japan
15:25-15:45	Discussion on the next step	
15:45-16:00	Break	
Session 2: Multidisciplinary Data Activities for Open Science and Technology		
Co-Chairs:T. Watanabe (WDS) and Y. Murayama (NICT)		
16:00-16:20	B. Ritschel (Near-Earth Space Data Infrastructure for e-Science)	Data alliances in Open Science for multidisciplinary data usage
16:20-16:40	T. Ashino (Toyo University)	Further requirements for materials science and engineering data
16:40-17:00	V. Khodiyar (Scientific Data)	Data sharing as part of the research workflow: Perspective from Scientific Data
17:00-17:05	LOC	On meetings held at SCJ on 4 March 2016
第二部：Workshop for Intensive Discussion on Design of Materials and Materials for Design 2016年3月4日 10:00-12:30 会場：日本学術会議６Ｆ会議室		
	Backcasting from Boeing 787 Application to Materials R & D(tentative)	Hiroshi Harada (National Institute for Materials Science)
	Simulation Strategy developed with the help of LPF with the focus to create MARVEL-Binaries Edition (MARVEL= Swiss Genome)	Pierre Villars (Materials Phases Data System, MPDS),
	US Open Innovation Strategy by Materials Genome Project (tentative)	James Warren (National Institute of Standards and Technology)
	Roles of Calculated Data to control Materials Data Diversities(tentative)	Ying Chen (Materials Research Center), Jun Ni (Tsinghua University), Rajeev Ahuja (Uppsala University), and Shuichi Iwata (SCJ)
	Integrated Solutions to Complex Problems by Data : Transforming Japanese Science and Technology	Masaru Yarime (Univ. of Tokyo)
	Discussions on "Data Commons on Scientific Data through Global Issue Articulation"	

第三部：SCJ Symposium on Data Perspective beyond Alliances 2016年3月4日13:00-18:00 会場：日本学術会議６Ｆ会議室	
Opening	Shuichi Iwata(Chair of International Scientific Data Committee)
Data Needs for Future Earth in the Era of Anthropocene	Fumiko Kasuga (Future Earth Global Hub Director)
Life Science Data and Data Activities of CODATA	Takashi Gojyobori (CODATA Vice President CODATA Sub-Committee Chair)
Comments on Future Earth	Paul Uhlir(US Academies)
Contribution of WDS to Future Earth (tentative)	Mustapha Mokrane and Takashi Watanabe (WDS IPO)
Data Activities in Japan	Akira Nagashima (Data Commons Sub-Committee Chair)
How to get a holistic big picture as “World Materials	Pierre Villars (MPDS) and Shuichi Iwata (SCJ)
National Reference Data and MI	James Warren (NIST)
Sustainable Science and Technology Followed By New Value Creation	Shigetaka Asano(SN-CRMSA)

（別紙様式４－２）

宇宙空間からの超高層大気撮像観測と地上観測、モデリングとの結合に関する研究集会

Workshop on the coordinated study of space-borne observation of the Earth's upper atmosphere with ground-based observations and model studies

齊藤昭則，京都大学・大学院理学研究科

1. 目的

本研究集会は、2012年10月より2015年8月まで定常観測が行われた国際宇宙ステーションからの地球超高層撮像観測ミッションISS-IMAPの初期的な成果についての報告及び議論と、今後の研究の展開のための地上観測及びモデリングとの結合についての議論を行う事を目的とした。地球超高層大気の観測は衛星観測と地上観測の2つが重要な要素であるが、日本のコミュニティは地上観測に優れた実績をあげており、電波観測、光学観測ともに活発な研究を展開しているが、衛星からの観測は限られたものであった。ISS-IMAPは、国際宇宙ステーション日本実験棟「きぼう」船外プラットフォームからの超高層大気の撮像観測であり、日本の超高層大気研究コミュニティによる本格的な宇宙空間からの撮像観測である。また、定常観測の終了を受け、今後の衛星観測に向けた議論も行われた。

2. 概要

開催日時：
平成27年9月1日15時より2日12時
場所：情報通信研究機構　小金井本部
世話人：
齊藤 昭則（京都大)、大塚 雄一(名古屋大)、坂野井 健（東北大)、
山崎 敦(JAXA/ISAS)、吉川 一朗（東京大）
参加者数：52名

3. プログラム

9月1日
【座長：齊藤昭則（京都大学)】
15:00 - 15:20　ISS-IMAPミッションの状況
齊藤昭則（京都大学)、IMAPワーキンググループ
15:20 - 15:40　IMAP/VISI最新状況報告
坂野井 健（東北大学)、IMAP/VISIチーム
15:40 - 16:00　3-years Occurrence Variability of Concentric Gravity Waves in the Mesopause Observed by IMAP/VISI
Septi Perwitasari（東北大学)、坂野井 健
16:00 - 15:20　GAIAモデルデータを用いた大気重力波レイトレーシング手法の開発
久保田実（情報通信研究機構）
16:20 - 16:40 宇宙ステーションからの撮像画像を用いた中間圏大気光の大気波動の研究
穂積裕太（京都大学)、斉藤昭則、坂野井健、秋谷祐亮、山崎 敦
16:40 - 17:00　ISS/IMAP-VISIとGPS-TECを用いたメソスケール電離圏擾乱の研究
西岡未知（情報通信研究機構)、津川卓也、横山竜宏、齊藤昭則、坂野井健、
秋谷祐亮、 穂積裕太、大塚雄一、石井守

17:00 - 17:20　ISS-IMAPデータを用いた赤道プラズマバブルの抽出とその発生頻度分布
中田裕之（千葉大学)、高橋明、齊藤昭則、坂野井健
17:20 - 17:40　国際宇宙ステーションからの630nm大気光観測による赤道域プラズマバブルの研究
山田貴宣（名古屋大学太陽地球環境研究所)、大塚雄一、坂野井健、山崎敦、久保田実、陣英克、齊藤昭則、秋谷祐亮、穂積裕太

9月2日
【座長：大塚雄一（名古屋大学太陽地球環境研究所)】
9:30 - 9:50　IMAP/EUVIで観測された上部電離圏のHeイオンの構造とGAIA、SAMI2モデルを用いた検証
穂積裕太, 齊藤昭則, 吉川一朗, 村上豪, 山崎敦
9:50 - 10:10　観測終了後のISS-IMAPデータ利用について
齊藤昭則（京都大学)、IMAPワーキンググループ

10:10 - 12:00　次期衛星観測提案に関する議論
齊藤昭則（京都大学）＋ MTI 研究会世話人

4. 成果

研究集会で報告されたISS-IMAPによる成果は、1) He+, O+イオン分布 2) 電離圏下部のプラズマ構造 3) MLT領域における波状構造の分布、の3つに分けられる。1)としてはHeイオンの経度緯度分布とその季節による変動についての報告がされ、その南北非対称について子午面風によってつくられると推定された。その分布をGAIAモデルによる中性風とSAMI-2による2次元モデルを組み合わせることで再現が行われた。 2)としては赤道域ではプラズマ・バブルが観測された。その出現頻度分布と磁気嵐との関係、従来の観測との比較などが議論された。また、中緯度においては中規模伝播性電離圏擾乱(MSTID: Medium-scale traveling ionospheric disturbance)が観測された。MSTIDはプラズマ・バブルに比べて変動量が小さいため、その検出は困難であったが、MSTID検出ための空間・時間分解能を落とした観測モードのデータを用いることでMSTIDの観測に成功した。地上観測との比較を行い、GPS全電子数観測及び全天イメージャで検出されたMSTIDと波面が一致することからISS-IMAP/VISIによって観測された構造がMSTIDであることが確認された。3)としては、特徴的な構造である同心円状構造が観測されているが、その出現頻度分布について報告された。またこのような重力波の伝搬経路を推定するためにGAIAモデルのデータを用いたレイトレーシングについても報告された。

また、観測の終了を受け、次世代の宇宙空間からの中間圏熱圏電離圏領域の観測としてTHzを用いた酸素原子測定の提案がされ、「次期衛星観測提案に関する議論」において議論が行われた。その測定精度と装置冷却温度について報告され、衛星規模とのバランスについて意見が出された。今後、次期衛星について宇宙研のResearch Groupを提案し、酸素原子測定を軸として議論を進めていくことが提案され、賛成された。

（別紙様式４－２）

地球型惑星圏環境研究会
Environments of terrestrial planets workshop

田口　真、立教大学・理学部

2015年12月21日、22日の2日間に渡り立教大学において標記研究集会を開催した。参加者数は42名、発表件数は22件であった。プログラムを末尾に掲載する。

地球型惑星研究を巡っては、この1年間、ALMAによって恒星周囲の塵の円盤上で惑星誕生の現場を捉えられた衝撃的な画像に始まり、「ひさき」による木星磁気圏物理の新しい描像、NASAの火星探査機MAVENによる成果、超小型深宇宙探査機PROCYONによる地球コロナと彗星水素ガス分布の観測、そして、金星探査機「あかつき」の軌道投入成功等、新しい話題が続々と報じられた。一方で、日本の将来の惑星探査はプログラム化による太陽系惑星探査計画として、火星衛星サンプルリターンミッションの検討が急ピッチで進められている。系外惑星研究に目を向ければ、地球型系外惑星の観測成果が発表されるようになり、太陽系内の地球型惑星との比較研究が可能となる段階に入ってきている。

惑星圏環境研究は、関係する領域が地圏、大気圏、電離圏、磁気圏、太陽圏と広範にわたり、地学、気象学、大気物理学、電磁圏物理学、太陽惑星間空間物理学などの研究領域にまたがる学際分野であることが一つの特徴である。本研究集会は、これまで個々の研究領域においてそれぞれの視点から研究されてきた惑星圏環境を総合的に理解するために、異なる分野の研究者が一堂に会して惑星圏環境研究に関して議論する場を提供することを目的として開催された。

本研究集会では特に2014年に火星周回軌道に入った米国の火星探査機MAVENによる火星電離圏と太陽風の相互作用に関する最新の成果、日本の次の火星探査計画である火星衛星サンプルリターンミッションの目指すサイエンスに関する発表が注目された。また、研究集会開催直前に金星周回軌道に投入された「あかつき」による初期画像が紹介され今後の観測に期待が寄せられた。一方で、系外惑星の研究最前線に関する発表を期待する意見も寄せられたが、今回の研究集会では時間の制約上見送られた。今後の研究集会で取り上げるべき課題として引き継いでいく。

2015年度ISEE研究集会「地球型惑星圏環境に関する研究集会」プログラム
日時：2015年12月21日（月）～22日（火）
場所：立教大学池袋キャンパス（東京都豊島区）太刀川記念館　3階多目的ホール

1日目　12月21日（月）

12:30-13:00	＜受付＞	
座長：亀田		
13:00-13:05	田口　真	Opening Remarks
13:05-13:35	倉本　圭	火星衛星サンプルリターンミッションの概要と火星大気・プラズマ研究への期待
13:35-14:05	小郷原　一智	火星衛星サンプルリターンにおける火星大気研究
14:05-14:35	三浦　弥生	火星大気の同位体比進化とMMXへの期待
14:35-14:55	寺田　直樹	火星衛星から探る火星大気の散逸と進化
14:55-15:15	＜休憩＞	
座長：寺田		
15:15-15:45	亀田　真吾	超小型新宇宙探査機PROCYONによる地球コロナ・彗星・恒星観測
15:45-16:05	田口　真	極周回成層圏テレスコープ(FUJIN)による惑星大気観測計画
16:05-16:35	堀田　英之	太陽熱対流・ダイナモ活動のこれまでとこれから
16:35-16:55	鈴木　建	活動的な太陽型星からの星風と太陽風の進化
16:55-17:25	議論	
18:00-20:00	＜懇親会＞	

2日目　12月22日（火）

座長：関
09:10-09:30 小嶋 稔 "火星隕石"は本当に火星から来たのか？
09:30-10:00 横田 勝一郎 火星衛星から探る火星圏プラズマ環境
10:00-10:30 松岡 彩子 火星衛星サンプルリターンミッションにおける磁場計測の検討
10:30-11:00 原 拓也 火星探査機MAVENの最新成果
11:00-11:15 ＜休憩＞
座長：原
11:15-11:35 関 華奈子 火星探査機MAVENによって観測された大密度勾配プラズマ境界層の構造とケルビン・ヘルムホルツ不安定性への影響
11:35-11:55 相澤 紗絵 An MHD simulation study of the Kelvin-Helmholtz instability at the Martian ionopause
11:55-12:15 松永 和成 火星探査機MAVENの観測データを使用したmagnetic pileup boundaryとion composition boundaryの比較
12:15-13:40 ＜昼食＞
座長：中川
13:40-14:00 阪本 仁 An MHD simulation of plasmoid instability in the dayside ionosphere of an unmagnetized planet
14:00-14:20 小山 響平 多流体MHDコードの開発に基づく火星電離圏におけるイオン種間衝突の役割の研究
14:20-14:40 黒田 剛史 高分解能火星GCMが示した火星大気重力波の励起と伝播
14:40-15:00 笠羽 康正 欧州火星探査機ExoMars Trace Gas Orbiterの現況（打上予定：2016年初頭）
15:00-15:20 ＜休憩＞
座長：田口
15:20-15:50 今村 剛 金星探査機あかつきの初期観測とサイエンス計画
15:50-16:20 堀之内 武 雲追跡による金星の風速場導出手法開発の現状：あかつきデータへの適用に向けて
16:20-16:50 中川 広務 地上と「あかつき」の共同観測計画
16:50-17:20 議論

（別紙様式４－２）

低高度衛星磁場観測研究会
Workshop on Geomagnetic Field Observation by LEO Satellite

能勢正仁、京都大学大学院・理学研究科

[集会の概要]

1980年以降、Magsat衛星、CHAMP衛星、Oersted衛星などの低高度磁場観測衛星が地球磁場を精密に計測してきた。2013年11月には、3機からなるSwarm衛星が打ち上げられ、観測を継続している。これまで、こうした低高度衛星による磁場観測のデータ解析が国内でも行われてきたが、関心を持つ研究者が一堂に会して議論をする機会は存在しなかった。これらの研究者は超高層大気から固体地球までの広い研究分野にまたがっており、対面で議論を行うことで今後の関連研究が飛躍的に加速する可能性を秘めている。本研究集会では、Swarm衛星を始めとする低高度磁場観測衛星のデータ解析により明らかになった最新の研究成果について発表・議論の場を提供することを目的とした。

特に、次のような研究テーマについて、研究発表やレビュー講演を募集した。

・磁気嵐やサブストームに伴う沿磁力線電流
・電離層電流
・プラズマ波動
・短周期大気重力波により励起される磁場変動
・海洋ダイナモによる磁場変動
・地殻起源磁場分布
・コア表面流れ場の推定
・マントル深部電気伝導度構造の推定

2日目には、Swarm衛星後の低高度磁場観測衛星の計画について議論を行う時間を設けた。

[参加者数]

２１名

[研究報告、成果]

研究会のプログラムを添付する。初日は、Swarm衛星を始めとする低高度磁場観測衛星のデータ解析結果についての報告やレビュー講演が９件行われた。２日目は低高度磁場観測衛星の将来計画について６件の講演が行われた。それに引き続いて、将来計画についての包括的な議論を行った。多くの議論、アイデアが提案され、終了時刻は予定を大幅に超えて17:00となった。

研究会終了後も、主にメールの意見交換により、サイエンスターゲットの策定に関する議論が継続している。

研究会プログラム

H27年度名古屋大学太陽地球環境研究所研究集会

「低高度衛星磁場観測研究会」

［日時］2015年8月10日(月)～11日(火)

［場所］京都大学吉田泉殿 1階セミナー室 （〒606-8301 京都市左京区吉田泉殿町）

8月10日(月)

13:00-13:10 はじめに・研究会の趣旨

13:10-13:40 寺本万里子(宇宙航空研究開発機構)、松岡彩子、能勢正仁、家森俊彦、H. Luehr
「Swarm衛星で観測された昼・夜Pi2地磁気脈動の比較」

13:40-14:10 能勢正仁(京都大学理学研究科)、中村紗都子、家森俊彦、C. A. Kletzing、C. W. Smith、R. J. MacDowall
「Swarm衛星で観測された Pc1帯磁場擾乱について」

14:10-14:40 松島政貴(東京工業大学)
「地球磁場時空間変化に基づく地球コア表面付近の流れの推定」

14:40-15:10 高橋太(九州大学)
「地磁気観測から期待される地球深部ダイナミクスの理解」

15:10-15:30 休憩

15:30-16:00 小山幸伸(新領域融合研究センター)、新堀淳樹、堀智昭、能勢正仁、生松聡、大塚雄一、田中良昌
「電離圏電気伝導度モデルの紹介」

16:00-16:30 家田章正(名古屋大学地球環境研究所)
「地磁気データを用いた電離圏三次元電流の推定」

16:30-17:00 横山佳弘(京都大学理学研究科)、家森俊彦、中西邦仁、青山忠司
「SWARM衛星によって観測された極域磁場変動と沿磁力線電流」

17:00-17:30 青山忠司(京都大学理学研究科)、家森俊彦、中西邦仁、Domingo Rosales、Oscar Veliz、Erick Vidal Safor
「2015年チリ-カルブコ火山噴火に起因する重力音波共鳴が引き起こした微細沿磁力線電流と電離圏擾乱」

17:30-18:00　家森俊彦(京都大学理学研究科)、青山忠司、中西邦仁
「下層大気起源微細沿磁力線電流の検出と低高度衛星の姿勢について」

8月11日(火)

09:30-10:00　北村健太郎(徳山工業高等専門学校)、高専スペース連携グループ
「高専連携CubeSatによる超低高度磁場観測計画」

10:00-10:30　児玉哲哉(宇宙航空研究開発機構)
「ELMOS-DM：革新的衛星技術実証プログラムへの提案」

10:30-11:00　清水久芳(東京大学地震研)
「SWARM衛星との協同観測の可能性について」

11:00-11:45　篠原育(宇宙航空研究開発機構)、能勢正仁、清水久芳
「高精度磁場観測衛星のサイエンス」

11:45-13:00　昼休み

13:00-13:30　佐々木雅範(宇宙航空研究開発機構)
「JAXAにおける超低高度衛星技術試験機(SLATS)の開発と将来の展望について」

13:30-14:00　川崎春夫(宇宙航空研究開発機構)
「磁場観測ミッションを利用した社会的課題に対する貢献案について」

14:00-15:00　将来計画についての議論

[研究会世話人]
能勢正仁(京都大学)、篠原育(宇宙航空研究開発機構)、清水久芳(東京大学)
三好由純(名古屋大学)、家田章正(名古屋大学)

（別紙様式４－２）

サブストーム研究会
Substorm Workshop

宮下幸長（名古屋大学・宇宙地球環境研究所）

集会の目的

サブストームは、磁気圏で発生する基本的な擾乱である。その開始・発展には、磁気リコネクションや波動粒子相互作用等、宇宙で広く見られるプラズマ現象が関わっている。サブストームに関連する最重要課題として、サブストームの発生機構と内部磁気圏における高エネルギー粒子の生成機構が挙げられる。前者について、Geotail衛星やTHEMIS計画により、サブストーム開始時の変化の形態的全体像や、高速流・磁場双極子化・オーロラアークの発展等、個々の過程の詳細は明らかになってきた。しかし、各過程の因果関係については、未だ根本的な解決には至っていない。一方、内部磁気圏の高エネルギー粒子の生成機構については、サブストーム発生に伴って内部磁気圏に注入される粒子は、高エネルギー粒子の種の一つとして挙げられている。しかし、注入された粒子が波動粒子相互作用を介して高エネルギーを得る過程の詳細や放射線帯粒子への寄与の程度は不明な点が多い。

サブストームには太陽風・磁気圏・電離圏の結合と個々の過程の相互作用が重要であるが、その過程は非常に複雑である。サブストーム過程の解明には、多面的な総合解析と検討が必要である。本研究会では、各領域・各過程に精通した研究者が集まり、衛星・地上観測とシミュレーションを基に、集中してじっくり議論することにより、サブストーム過程の理解を深める。

今回の研究会では、サブストーム発生に関する話題とともに、2015年3月に打ち上げられたMMS衛星に関連した磁気リコネクション・磁場双極子化などの素過程、2016年度に打ち上げ予定のERGやVan Allen Probes (VAPs)衛星に関連したインジェクション・波動粒子相互作用や磁気圏-電離圏結合など、サブストームに関連した話題を幅広く議論する。また、MMSやERGの観測による今後の研究の方向性についても議論する。

参加者数： 22名
発表件数： 13件
世話人： 宮下幸長、町田 忍、家田章正、三好由純
（名古屋大学 宇宙地球環境研究所）

集会の成果

集会には、専門とする領域・手法の異なる研究者22名が参加した。衛星・地上観測データによる事例解析・統計解析、およびシミュレー

ションの結果をもとに、多岐にわたるサブストーム関連の課題のうち、以下のようなサブストーム発生機構やサブストームによって励起される現象について活発な議論を行った。
・グローバルスケールにおけるサブストーム発生過程：　衛星・地上観測の結果やグローバルMHDシミュレーションの結果を基に提唱されたサブストーム発生機構の新しいモデル、サブストーム時の尾部電流の変化、サブストーム発生時に励起するPi2脈動の発生過程と伝搬過程。
・磁気圏近尾部の磁気リコネクションの素過程：　磁気拡散領域とその周辺の構造と粒子の振る舞い、リコネクションの活動度による違い、リコネクション領域の尾部方向の移動とオーロラ極方向拡大の関係。
・サブストームの大きさの頻度分布、サブストーム発生に伴って励起した電磁イオンサイクロトロン波など。

また、2015年3月に打ち上げられたMMS衛星に関して、今後の観測計画や観測機器の稼働状況、データの公開や解析ソフトウェアの開発についての最新情報を共有し、来年、本格的に得られる予定の尾部リコネクション等の観測データの解析に備えた。

さらに、2016年度に打ち上げが予定されているERG衛星と連携するSuperDARNレーダーで目指すサブストームの課題について議論し、整理した。この議論の目的は、サブストーム研究の観点から、観測項目、および通常観測以外の運用（バーストモード）や他の衛星・地上機器との共同観測キャンペーン等の要求を整理することである。なお、サブストームは、ERG計画の主目的ではないが、ERGとVAPsの共同観測計画書には課題が記載されているので、国際協力やERGの存在感の観点からも重要な課題である。

ERG衛星と他の衛星（VAPs、MMS、THEMIS、Geotail等）による課題としては、サブストーム発生機構に関連してサブストーム発生に伴う磁場双極子化・磁気圏-電離圏結合・低周波波動（Pi2/Pi1脈動）・粒子降り込み、およびインジェクション（磁場双極子化に伴う高エネルギー粒子の生成）の影響が挙げられる。SuperDARNを用いた課題としては、サブストーム開始時のオーロラアークやストリーマー、電離圏対流、サブオーロラ帯のプラズマ流、インジェクションによるULF波動の励起などが挙げられる。

今回は、ERG衛星の予測軌道が未確定だったので、科学課題と観測項目の議論・整理にとどまった。しかし、予測軌道が確定した後に何らかの研究会・会議において、他衛星や地上観測機器との連携観測が可能な具体的な日時を調べた上で、通常観測以外の運用・キャンペーン観測を要求するかどうかの議論を行いたい。

（別紙様式４－２）

中・高緯度SuperDARN研究集会
Mid- and High- latitude SuperDARN workshop

代表者 西谷 望(名古屋大学宇宙地球環境研究所)

平成 27 年度太陽地球環境研究所研究集会「中・高緯度 SuperDARN 研究集会」は 2015 年 9 月 14-15 日、名古屋大学東山キャンパスグリービークル材料研究施設 1F CAD 演習室において開催された。この研究会は前進の中緯度短波レーダー研究会を含めて今回で 13 回目となり、今回から中緯度に加えて極域関連事象も対象とすることとして、国立極地研究所および情報通信研究機構との共催で新たに SuperDARN 研究集会として開催した。今回は磁気圏・電離圏物理から熱圏・中間圏にいたるまで様々な専門分野の計 20 名の研究者・技術者が参加した。

世界 12 ヶ国の国際協力に基づく SuperDARN(Super Dual Auroral Radar Network)は、現在南北両極域に併せて約 30 基の大型短波レーダーを運用しており、電離圏・磁気圏・熱圏物理を中心とした研究成果を上げている。19 番目・34 番目のレーダーとして 2006 年 11 月および 2014 年 10 月に北海道-陸別第一・第二 HF レーダー(SuperDARN Hokkaido East radar)が完成し、稼働を開始してから当研究会までに約 9 年にわたるデータの蓄積が行われており、論文等の成果も上がりつつある(現在出版済み、印刷中の論文数: 32 編)。

今回の研究会においては日本を中心とした各 SuperDARN レーダー運用の昨年以来の経緯、現状が報告された。また海外の SuperDARN レーダーの動向に関する報告も行われた。その後レーダーの観測データから得られた研究結果ならびに今後期待されるサイエンス等に関する報告ならびに議論が行われた。具体的な研究成果の研究テーマとして、Sudden Impulse に伴う電離圏対流変動の特性、低緯度オーロラ発生に伴う電離圏対流の特性、SuperDARN レーダー他により観測した ULF 波動の特性等が挙げられる。またレーダー観測の研究成果だけではなく、磁気圏 3 次元シミュレーションを用いた研究成果に関する講演が 4 件、昭和基地レーダーによる PMSE 観測および NLC 観測に関する講演が 1 件行われた。

多彩な発表内容からわかるように、研究会が対象とするテーマが少しずつ広がりつつある。通常交流があまり多くない電磁気圏分野の研究者と電離圏・熱圏分野の研究者が 1 つの研究会に参加し、現象の正しい解釈について様々な意見を出し合うことができたことは非常に有意義であった。これに加えて大型短波レーダー計画を進める上での課題、特に運用体制についても充実した議論を行った。二日目午前の後半の総合討論においては主に、2016 年度に打上が予定されている ERG 人工衛星との共同観測のレーダー運用モードに関する状況について堀氏らから説明がなされた後で、ERG-SuperDARN 間の協力について様々な議論を行った。さらには二日目午後においては SD-J discussion として、関係者を中心として SuperDARN 運営にかかる実質的な議論を行った。

会議中には短波レーダーグループとしての将来計画、および今後の戦略の議論も行った。近年研究対象が中緯度から高緯度を含めたグローバルな領域に広がりつつあることを踏まえ、今回は名古屋大学・国立極地研究所・情報通信研究機構 3 研究機関の共催で極域・中緯度を総合的に議論する研究会として開催したが、次年度の SuperDARN 研究集会をと共同開催する可能性について議論を行った結果、次年度も引き続き 3 者共催で研究会を開催することを決定した。

平成 27 年度極域・中緯度 SuperDARN 研究集会

日時　2015/9/14(月)-15(火)

場所　名古屋大学東山キャンパス　グリーンビークル材料研究施設

1F　CAD 演習室

(愛知県名古屋市千種区不老町:　地下鉄名古屋大学駅より徒歩 15 分)

地図は下記参照 http://www.nagoya-u.ac.jp/access-map/index.html (地図番号　F3-4)

共催　名古屋大学宇宙地球環境研究所、国立極地研究所、情報通信研究機構

9/14(月)

1300-1330 概要説明・各レーダーの報告

西谷望、行松彰、長妻努

1330-1350 最近のシミュレーション研究によって得られたサブストームの描像

田中高史

1350-1410 南 IMF 下の null-separator 構造と Dungey cycle

藤田茂、田中高史

1410-1430 磁気嵐急始時の非圧縮性電離圏の応答

菊池崇、橋本久美子、海老原祐輔、西村幸敏、荒木徹、

冨澤一郎、新堀淳樹、田中高史、長妻努

1430-1450 SI-induced transient convective oscillation: comparison of

SuperDARN observation and global MHD simulation

T. Hori, S. Fujita, A. Shinbori, and N. Nishitani

1450-1510 break

1510-1530 惑星間空間磁場北向き時の交換型リコネクションによる対流

渡辺正和、藤田茂、田中高史

1530-1550 サブストームの発達と対流パターン

海老原祐輔、田中高史

1550-1610 CP-TRIG モードによる Pc5 観測

長妻　努

1610-1630 SC が励起する長周期 ULF 波動とその磁力線共鳴の可能性：SuperDARN

Hokkaido East radar 観測例

河野英昭、行松彰、田中良昌、才田聡子、西谷望、堀智昭

1630-1650 内部磁気圏複数衛星を用いた Pc5 脈動の経度方向の広がり

寺本万里子、藤本晶子、坂口歌織、能勢正仁、三好由純、

Craig Kletzing、 Howard J. Singer

1650-1710 SuperDARN レーダーによる SI に伴う電離圏振動の研究

飯田剛平、堀智昭、西谷望

1710-1730 discussion

1830-2030 懇親会(名古屋大学ユニバーサルクラブ)

9/15(火)

0910-0930 2015 年 3 月の地磁気嵐時に観測された低緯度オーロラおよび関連する
対流ダイナミクス
西谷　望、堀智昭、片岡龍峰、海老原祐輔、塩川和夫

0930-0950 陸別 HF レーダーと稚内 VHF レーダーで観測された 2015 年の夏季中間圏
エコー
小川忠彦、西谷 望、川村誠治、村山泰啓

0950-1010 昭和基地における PMSE と NLC の同時観測事例の紹介
細川敬祐

1010-1030 昭和 SENSU イメージングレーダー現況報告
行松彰

1030-1050 break

1050-1220 総合討論(ERG-SD モードに関する議論を含む)

1220　　研究集会終了予定

1320-1620 頃 SD-J discussion(関係者による SuperDARN 運用等に関する議論)

今回(極域・中緯度 SuperDARN 研究集会)および過去の研究会(中緯度短波レーダー研究会)のスライド等は SuperDARN 北海道-陸別 HF レーダーホームページ
http://cicr.isee.nagoya-u.ac.jp/hokkaido/indexj.html
で参照することができます。

（別紙様式４－２）

STE研究連絡会・現象報告会及び現象解析ワークショップ
STE events reports and analysis workshop

亘　慎一，情報通信研究機構・宇宙環境ｲﾝﾌｫﾏﾃｨｸｽ研究室

●開催日時および開催場所

・平成27年度第1回STE研究連絡会・現象報告会*1（平成27年9月29日、情報通信研究機構）

・平成27年度第2回STE研究連絡会・現象報告会*2（平成28年3月9日、九州大学西新プラザ）

・STE現象解析ワークショップ*3（平成27年11月11日から12日、名古屋大学ｸﾞﾘｰﾝｻﾛﾝ東山）

*1 SCOSTEP-WDS Workshop on Global Data Systems for the Study of Solar-Terrestrial Variability のData Analyses of VarSITI（Variability of the Sun and Its Terrestrial Impact） and STE Eventsセッションとして開催、*2 電磁圏物理学シンポジウムおよび地域ネットワークによる宇宙天気の観測・教育活動に関する研究集会と合同開催、*3 第5回極端宇宙天気研究会と共同開催

世話人：亘 慎一（情報通信研究機構）、阿部修司（九州大学国際宇宙天気科学・教育センター）、海老原祐輔（京都大学生存圏研究所）、西谷 望（名古屋大学宇宙地球環境研究所）、塩田大幸（名古屋大学宇宙地球環境研究所）、桂華邦裕（名古屋大学宇宙地球環境研究所）、片岡龍峰（国立極地研究所）、渡邉 堯(情報通信研究機構・名古屋大学宇宙地球環境研究所)

●参加者数：延べ約１７０名

●研究集会概要と成果

第1回現象報告会は、SCOSTEP-WDS Workshop on Global Data Systems for the Study of Solar-Terrestrial Variability の Data Analyses of VarSITI and STE Events セッションとして開催した。VarSITI で解析が進められているイベントに加え、2015 年 3 月 17 日 UT に北海道で低緯度オーロラが観測されたイベント及びフラックスが 1,000PFU を超えるプロトン現象の原因となった 2015 年 6 月 21 日 UT に発生した M2/1N フレアの関連現象を取り上げ、国内参加者の講演に加えて NASA の Gopalswamy 氏、VarSITI の International Study of Erath-affecting Solar Transients (ISEST)のオーガナイザーの一人であるジョージ・メイソン大学の Zhang 氏など外国からの研究者による講演もあり活発な議論がなされた。第2回現象報告会では、2015 年 12 月 20 日 UT に陸別（北海道）で観測された低緯度オーロラの関連現象など 2015 年 9 月以降に発生した主要な現象に焦点をあてて解析を進めた。STE 現象解析ワークショップは、昨年に引き続き「極端宇宙天気研究会」と共同で開催した。サイクル 24 では太陽活動が低い状態が続いていることから、「グランドミニマム」期における極端に低い太陽活動が太陽圏・地球圏システムへもたらすインパクトをテーマとして、グランドミニマムにおける太陽風構造、低密度太陽風に対する磁気圏の応答、極端静穏時における電離圏対流などについて検討を行った。

（別紙様式４－２）

ERGミッションによる内部磁気圏波動粒子相互作用の観測戦略検討会 (ERGサイエンス会議)
Observation planning of wave-particle interactions in the inner magnetosphere by the ERG mission (ERG-Science Meeting)

加藤雄人、東北大学大学院・理学研究科

2016年度に打ち上げ予定のERG衛星では、内部磁気圏に生起するプラズマ波動のダイナミクスを詳細に観測し、連携地上観測と組み合わせることで、プラズマ波動が引き起こす内部磁気圏の様々な現象を包括的に理解していくことを目指している。本研究集会は内部磁気圏で発生するプラズマ波動粒子相互作用を主テーマとして、放射線帯でのプラズマ波動粒子相互作用の直接観測手法に関するチュートリアル講演と、ERGミッションに関連する波動粒子相互作用の観測・理論研究およびSWPIA (Software-type Wave-Particle Interaction Analyzer) に関する招待講演、ならびに関連するトピックと研究成果についての一般講演で構成された。当日のアジェンダは以下の通りである。

日時： 2015年11月27日（金） 10:00-15:00

場所： 宇宙科学研究所　研究・管理棟　2F会議場

10:00-10:45　ERG ミッションの状況　（篠原）
10:45-12:00　チュートリアル：ERG の WPIA 観測について（加藤）
13:00-13:30　THEMIS データによる WPIA 解析の実例（１）　（小路）
13:30-14:00　THEMIS データによる WPIA 解析の実例（２）　（北原）
14:00-14:20　MMS の情報： WPIA 解析の可能性をふまえて　（北村）
14:20-14:35　議論
14:35-14:50　ERG サイエンスセンターからの報告
14:50-15:00　まとめの議論

研究集会には、大学院生を含む約 21 名の参加があり、特に ERG 衛星による SWPIA 観測の観測戦略に関して活発な質疑応答が行われた。研究集会には、衛星観測を専門とする研究者、地上観測を専門とする研究者、シミュレーション、データ解析を専門とする研究者が参加し、多面的な議論が行われた。さらに、ERG 衛星での SWPIA 観測の主なターゲットとするホイスラーモード波動と高エネルギー電子との相互作用に加えて、EMIC 波動と高エネルギーイオンとの相互作用の WPIA 解析について、実際に解析に取り組んでいる若手研究者による講演を企画した。十分な時間を確保して議論することができ、WPIA 解析の内部磁気圏研究における有用性と、解析手法に関する課題の整理、共有が大いに進展した。

（別紙様式４－２）

第17回　惑星圏研究会
The 17th Symposium on Planetary Science

三澤浩昭，東北大学・大学院理学研究科

概要：

本研究会は、太陽系惑星・衛星の表層～大気圏～電磁圏・プラズマ圏の諸現象について、その特徴や物理過程、また、観測・計測・解析手法、さらには将来計画等々について、発表と議論を行う場として2000年に開始され、今回で17回目を迎えた。本研究分野では、昨年12月に日本初の惑星周回探査機となった金星探査機 あかつきに続き、今夏の木星周回軌道投入が予定される木星探査機 JUNO の実施、その後に予定される水星探査機 BepiColombo の打上等、重要な惑星探査ミッションのイベントが続き、一方で、将来の惑星・衛星探査計画の検討も精力的に進められている。今回の研究会は、今後の惑星研究にとってこのような大事な時期の開催となることを鑑み、特別セッションとして、日本が関係する現在進行中の惑星探査プロジェクトについて、プロジェクトやサイエンスをリードされている方々による招待講演のセッション、および、惑星探査の将来計画に関するセッションを開催した。また、今回の研究会は、名大ISEE(STE)研究集会「ひさき衛星による惑星大気圏・電磁圏探査」と「太陽地球惑星系分野における博士課程進学者・博士号取得者による合同セミナー」と共催し、また、初めての試みとして、地球電磁気・地球惑星圏学会 太陽地球惑星系科学シミュレーション分科会、小型天体環境分科会との共催セッションも行った。

参加者数：97 名

内容：

平成28年2月22日午後～24日午後に実施した本研究会のタイム・スケジュールを以下に記す。今回の研究会では口頭講演45件（招待講演10件を含む）、ポスター講演30件の計75件の講演・議論が行われた。尚、本研究会の内容・プログラム等は以下のURLの研究会HPに公開されている。

http://pparc.gp.tohoku.ac.jp/workshop.html

平成28年2月22日

13:00-13:10 開会の辞

13:10-16:15 太陽地球惑星系科学シミュレーション分科会、小型天体環境分科会 共催セッション

招待講演1 Mercury exploration: from MESSENGER to BepiColombo, G. Murakami (ISAS/JAXA)

招待講演2 Simulating Mercury's Dynamo, F. Takahashi (Kyushu Univ.)

招待講演3 Motion of dust grains around an asteroid, H. Senshu (Chiba Inst. Tech.)

他 一般講演 5件

16:25-18:45 金星研究関連(他)セッション　一般講演 7件

平成28年2月23日

9:00-12:20 「太陽地球惑星系分野における博士課程進学者・博士号取得者による合同セミナー」セッション

博士課程進学・博士号取得大学院生による講演 9件

13:10-14:00 ポスターセッション-1　講演 30件

14:00-17:05 特別セッション「進行中の惑星探査プロジェクトに期待されるサイエンス」

招待講演4 Venus explorer Akatsuki and beyond, T. Imamura (ISAS/JAXA)

招待講演5 Mercury exploration mission BepiClombo, G. Murakami (ISAS/JAXA)

招待講演6 Synergetic Multi-Wavelength Observation of Jupiter's Magnetosphere: Recent Results and Plans for JUNO Mission, T. Kimura (RIKEN)

招待講演7 JUICE/PEP instrument and its science, Y. Futaana (Swedish Inst. Space Phys.)

招待講演8 A review of MAVEN initial results: Dynamic variation of Martian upper atmosphere and new aurora, K. Seki (Univ. Tokyo)
招待講演9 Mars Moons Exploration Mission: Its Sciences and Scope, K. Kuramoto (Hokkaido Univ.) ※proxy reading
他 一般講演 1件
17:20-18:45 将来計画議論
19:00-20:30 懇親会

平成28年2月24日
9:00-12:10 木星研究関連(他)セッション（「ひさき衛星による惑星大気圏・電磁圏探査」共催セッション）
一般講演 9件
13:00-13:50 ポスターセッション-2
13:50-15:55 金星・火星研究関連セッション
招待講演10 ESA ExoMars Trace Gas Orbiter: Current status (just prelaunch) and the relationships to our Mars mission, Y. Kasaba (Tohoku Univ.)
他 一般講演 5件
15:55-16:00 閉会の辞

成果等：
惑星圏・衛星圏に関わる広範な研究領域の研究者に講演と議論の機会を提供し、また、観測・解析・理論等各種アプローチによる本領域研究の現況と将来計画の情報を共有し得た。また、今後の惑星探査とサイエンス面の狙いの紹介と議論を指向した特別セッションや地球電磁気・地球惑星圏学会の分科会との共催セッションは、特に本研究領域の将来を担う若手研究者・大学院生への刺激になったことと思われる。
尚、本研究会の講演内容は研究会 HP より web 公開予定である。

（別紙様式４－２）

有機エアロゾルに関するワークショップ：大気におけるその動態・性状・役割（第２回）
Second workshop on organic aerosols: their dynamics, properties and roles in the atmosphere

持田　陸宏、名古屋大学・大学院環境学研究科

平成28年3月1日に、秋葉原UDXゲストルームE（東京都千代田区）において「有機エアロゾルに関するワークショップ：大気におけるその動態・性状・役割（第２回）」を開催した。参加者は、名古屋大学から2名、他の国立・私立大学より8名、国立研究法人等の公的研究機関から5名、財団法人・民間企業から3名の計18名であった。

本ワークショップでは、大気エアロゾルの主要な成分のひとつである有機物（有機エアロゾル）の動態・性状・役割を議論の対象とした。大気有機エアロゾルの気候・大気質に対する影響を理解するためには、動態・性状、さらにはその役割について把握することが求められるが、現状では多くの点が解明されないまま残されている。このワークショップでは、有機エアロゾルに関する最先端の知見を整理した上で、今後力を入れて取り組むべき課題を明らかにすること、また、それらの課題の解決に必要となる研究のアプローチを発見することを目的とした。なお、昨年度の同ワークショップは参加者が相互に話題提供・討論を行う形式で行ったが、今回は、4件の依頼講演と、それに基づく参加者による討論からなる形とした。

講演においては、シュウ酸と金属イオンの錯形成、多環芳香族化合物の黄砂粒子上の生成、揮発性有機ガス・有機エアロゾルの質量分析、土壌起源有機エアロゾルの氷晶核としての役割、のトピックスを中心として話題提供が行われ、それらの話題に関して参加者の間で議論がなされた。また、ワークショップの最後に設けた総合討論の時間では、大型の研究設備の使用や、参加者が取り組んでいるエアロゾル分析などに関して質疑応答がなされた。大気有機エアロゾルに関する研究は、既に国内外において活発に行われているが、有機エアロゾルを専門とする研究者や、関連する諸分野の研究者による新たな連携により、未だ解明に至っていない有機エアロゾルの動態・性状・役割を明らかにするための研究を展開する意義は今なお大きい。今回のワークショップで取り上げられたものを含め、有機エアロゾルに関する課題について今後さらに議論を深め、その解決に向けた取り組みについて検討することが望まれる。

（別紙様式４－２）

太陽地球惑星系分野における「博士課程進学者・博士号取得者による合同セミナー」
Joint seminar of DCs and PDs on solar-terrestrial and planetary sciences

寺田直樹, 東北大学・大学院理学研究科

本合同セミナーは、2018 年 2 月 22 日(月)午後から 24 日(水)午後に東北大学大学院工学研究科・青葉記念会館 4F 大研修室にて、名大 ISEE 研究集会「第 17 回惑星圏研究会」及び「ひさき衛星による惑星大気圏・電磁圏探査」と合同開催された。本合同セミナーを含む一連の研究集会には合計で 97 名が参加し、本合同セミナーでは 9 件の口頭発表があった。本合同セミナーは、太陽地球惑星系を研究の対象とする全国の博士課程進学者と博士号取得者に対し、研究成果発表および議論の場を提供することを目的とするものである。本合同セミナーでは、博士課程進学や博士号取得後という新たなステージに踏み出さんとする研究者の卵達が、互いに切磋琢磨すべく一堂に会して研究成果を発表し、様々な大学・研究機関の先生方を交えて議論を行う場を提供することを目指している。太陽地球惑星系分野の学際的な性質を鑑み、太陽、太陽圏、地球や惑星の磁気圏、電離圏、大気圏、地圏などの幅広い分野から発表者を募った。また、質疑応答を充実させるために、質疑応答の時間を長めに確保し、発表スライドを印刷した資料を事前に配布する形式で行った。中堅以上の参加者には、若手の研究発表に対して、より大きな枠組みからの視点に基づいた、研究成果の価値をより高める質問やコメントを求めた。今回の合同セミナーでは、磁気嵐時のイオン及び電子の内部磁気圏への供給に関する衛星観測、磁気圏プラズマ乱流構造の衛星観測、内部磁気圏電磁波動特性の衛星観測、放射線帯電子の加速に関するシミュレーション研究、火星電離圏界面イオン混合に関するシミュレーション研究、月磁気異常におけるイオン反射の衛星観測、月表層構造とその進化の衛星観測、木星低周波電波特性の衛星観測などの幅広い領域・手法による研究成果の発表が行われた。これらの異なる領域や近接領域を研究する同世代の発表、ならびに先生方からの大きな枠組みからの視点に基づいた質問やコメントに対する質疑応答を通じて、電磁気圏現象の理解や物理化学過程の理解が深まったのみならず、自身や他者の研究を俯瞰する幅広い視点を培う契機となり、今後の太陽地球惑星系分野の発展を担う若手研究者へと成長する一助となったと期待する。以下に、本研究集会のプログラムを記す。

＝＝

「地球惑星圏科学分野における博士課程進学者・博士号取得者による合同セミナー」「第 17 回惑星圏研究会」「ひさき衛星による惑星大気圏・電磁圏探査」合同研究集会プログラム

＝＝

日時：2016 年 2 月 22 日(月)13:00 - 24 日(水)16:00
会場：東北大学大学院工学研究科 青葉記念会館 4F 大研修室

プログラム（敬称略）
平成 28 年 2 月 22 日
13:00-16:15　惑星圏研究会・太陽地球惑星系科学シミュレーション分科会・小型天体環境分科会共催セッション（招待講演 3 件、一般講演 5 件）
16:25-18:45　惑星圏研究会 金星研究関連(他)セッション（一般講演 7 件）

平成 28 年 2 月 23 日
09:00-12:20　太陽地球惑星系分野における博士課程進学者・博士号取得者による合同セミナーセッション（一般講演 9 件）
09:00-09:05　趣旨説明
09:05-09:25　三谷憲司（名大 ISEE, M2）, K. Seki, K. Keika, L. J. Lanzerrotti, M. Gkioulidou, D. G. Mitchell, and C. A. Kletzing
Comparative study of proton and oxygen ion supply into the inner magnetosphere during a geomagnetic storm
磁気嵐中の水素、酸素イオンの内部磁気圏への供給に関する比較研究
09:25-09:45　大木研人（東北大, M2）, 熊本篤志, 加藤雄人
Study of the magnetic storm phase dependence of the inner boundary of the plasma sheet electrons based on THEMIS satellites observations
THEMIS 衛星の観測に基づくプラズマシート電子地球側境界の磁気嵐フェイズ依存性に関する研究
09:45-10:05　横山佳弘（京大理, M2）, 家森俊彦, 中西邦仁, 青山忠志
The distribution of the turbulent structured plasma in the magnetosphere
estimated by magnetic data observed by LEO satellites
低高度衛星による磁場観測データから推定した磁気圏プラズマの乱流構造分布
10:05-10:25　神谷慶（名大 ISEE, M2）, 関華奈子, 齊藤慎司, 天野孝伸, 三好由純, 松本洋介, 梅田隆行
Study on characteristics of drift resonance between outer radiation belt
electrons and a monochromatic Pc5 wave based on GEMSIS-RC and RB simulations
GEMSIS-RC 及び RB シミュレーションに基づく放射線帯外帯電子と単色 Pc5 波動のドリフト共鳴の特徴に関する研究

10:25-10:40　休憩

10:40-11:00　相澤紗絵（東北大，M2），寺田直樹，笠羽康正，八木学，松本洋介
An MHD simulation study of the Kelvin-Helmholtz instability at the Martian ionopause with a day-to-night density gradient
火星電離圏界面における昼夜間密度勾配を考慮したケルビンーヘルムホルツ不安定の MHD シミュレーション

11:00-11:20　加藤大羽（ISAS，M2），齋藤義文，横田勝一郎，西野真木
Mass Dependent Solar Wind Ion Reflection over Lunar Magnetic Anomalies
月磁気異常による太陽風イオン反射の質量依存性

11:20-11:40　石山謙（東北大，D3），熊本篤志，中村教博，高木靖彦，長谷川直
Study of lunar subsurface evolution based on the SELENE observation data
and impact experiment
SELENE 観測データと衝突実験に基づく月表層進化の研究

11:40-12:00　今井雅文（京大理，D3）
Characteristics of Jovian Low-Frequency Radio Emissions during the Cassini and Voyager Flyby of Jupiter
Cassini と Voyager 探査機の木星フライバイ時に観測された木星低周波電波の特性

12:00-12:20　中村紗都子（京大理，D3），大村善治
Study on EMIC rising tone emissions observed by THEMIS probes
THEMIS 衛星によって観測された電磁イオンサイクロトロン・ライジングトーン放射に関する研究

13:10-14:00　惑星圏研究会 ポスターセッション-1（講演 30 件）

14:00-17:05　惑星圏研究会 特別セッション（招待講演 9 件、一般講演 1 件）

17:20-18:45　将来計画議論

19:00-20:30　懇親会

平成 28 年 2 月 24 日

09:00-12:10　惑星圏研究会 木星研究関連(他)
ひさき衛星による惑星大気圏・電磁圏探査共催セッション
(一般講演 9 件)

13:00-13:50　惑星圏研究会 ポスターセッション-2

13:50-16:00　惑星圏研究会 金星・火星研究関連セッション(招待講演 1 件、一般講演 5 件)

（別紙様式４－２）

準小型衛星編隊飛行による電磁気圏の将来探査に向けて

Toward future ionosphere-magnetosphere exploration missions based on compact satellites using formation flight techniques

平原　聖文、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

目的

太陽地球系物理学分野（STP）においては、2016 年度打ち上げ予定のジオスペース探査衛星計画「ERG」が推進されており、それに伴い、地上観測やデータ解析・デリング環境の整備も行われつつある。また海外との協同も促進され、様々な側面で既に成果が発表され、研究分野全体の実績を向上させている。この様に、地球電磁気・地球惑星圏学会の太陽地球系物理学（SGEPSS-STP）分野における探査機を主軸とするコミュニティーミッションは学界・分野における総合的・最前線の研究の牽引力となり得るばかりではなく、例えば、地道な機器開発の継続、あるいは若手研究者の育成等、将来の研究基盤を構築する上でも極めて重要である。一方、日本社会や科学技術分野全体の経済的問題・社会的要請、及び STP 分野における研究の細分化や手法の多様化、研究自体の方向性の多角化・曖昧さ、等の不確定要因が多い中で、これからのコミュニティーミッションの重要性・有用性、実現への方策、等を検討する機会は相対的に減少していると言わざるを得ない。本研究集会では、次期 STP コミュニティーミッションの最有力候補である準小型衛星の編隊飛行による電磁気圏探査計画に焦点を当て、STP 分野全体への貢献を判断基準として、宇宙空間プラズマ物理学、オーロラ物理学、超高層大気物理学、宇宙天気（環境）科学の様々な観点からの具体的で実質的な議論を行う事を目的とする。

期間・場所・参加人数

2016 年 3 月 29 日の 1 日の集会として、名古屋大学・宇宙地球環境研究所(旧太陽地球環境研究所)の講義室(研究所共同館Ⅰ301 室)にて開催され、東北大学・筑波大学・電気通信大・JAXA 宇宙研・金沢大・京大から合計 21 名、名古屋大から 10 人が参加した。

内容

地球の電離圏・磁気圏結合系に関して、過去に得られた人工衛星による観測データの解析、理論的モデリング、数値シミュレーションによる最近の成果が紹介され、更に、観測機器開発技術の観点から、また、関連分野との協調的展開を視野に入れ、多角的視点から地球電磁気圏将来探査衛星計画の可能性が検討された。講演・議論の要点を以下にまとめる。

1. れいめい衛星観測データを基軸としたブレークアップ時のオーロラアークの構造変化の解析結果が紹介され、オーロラアークを生成する Inverted-V 電子の重要性とアルベン波加速電子のオーロラアークへの寄与の定量的比較がなされた。また、編隊飛行による沿磁力線電流計測の必要性が議論され、次期探査衛星の観測高度、フットプリントの決定精度に関する意見交換がなされた。
2. 微細なオーロラ構造の生成機構に関する理論的解析を基に、アルベン波を介した磁気圏・電離圏間のフィードバック不安定の寄与が紹介された。特に、オーロラアークによる二次的不安定性の成長とシア流による渦構造変形、及びバルーニング不安定性とオーロラビーズ状構造との関連が着目され、直線磁場内での線形解析結果によるフィードバック不安定とバルーニング不安定の関連が議論された。また、沿磁力線電

流によるシア磁場のフィードバック不安定に対する効果の確認や、空間分解能 1km・時間分解能 1s 程度、200kmX200km 程度の視野範囲でのオーロラ観測による検証の期待に関する意見交換がなされた。

3. MHD シミュレーションによる数値解析の結果を基に、サブストームオンセット時の沿磁力線電流の磁気圏内 3 次元構造が新しく提示された。オンセット時の沿磁力線電流は磁気圏尾部プラズマシートとは結合せず、近地球赤道近くを Dusk 側に周回し、マントル領域に接続されるという結果であり、従来の Current Wedge モデルとは大きく異なるものである。また、オンセット後は近地球中緯度領域でプラズマ圧力が上昇し、渦度が生成され、ダイナモを形成し沿磁力線電流が駆動される事が示され、編隊飛行観測による各物理量の渦度・発散観測の必要性と高度 3～4Re での観測への期待が議論された。
4. 電離圏への脈動オーロラの影響が、SuperDARN データによる電離圏電場変動を基に議論された。特に、脈動オーロラを発光させる高エネルギー電子降下と電離圏電気伝導度分布、電離圏電場の空間構造・時間変動の関連が示され、沿磁力線電流の微細構造と小規模 Inverted-V 電子構造の関連の詳細解析の必要性が指摘された。また、磁気圏・電離圏結合における高エネルギー電子降下と波及効果の重要性が言及された。
5. コーラス波動の微細構造と脈動オーロラ電子降下に関するモデル計算の成果が紹介され、高エネルギー電子のマイクロバーストと中間エネルギー電子の逆 TOF(飛翔時間)分散と脈動オーロラ電子との相関の推定が示された。また、広範囲・高頻度の脈動オーロラを発光させる高エネルギー電子降下による中間圏大気の組成変化の可能性が示唆され、低高度観測による降下電子のロスコーン分解の意義が議論された。
6. 過去の衛星観測データの統計的解析を基に、Polar Wind の水素イオンの磁気圏密度への寄与が議論され、観測と理論の差異が大きいという問題点が強調された。特に、太陽活動極大期における高度 4000km の極域観測の重要性と電離圏イオンの垂直方向加速に関する波動粒子相互作用の意義が強調された。
7. 編隊飛行衛星による地磁気の超精密観測が紹介され、沿磁力線電流による空間分布とアルベン波による時間変動による磁場分布・変動への寄与が議論された。特に、2 秒までの地磁気変動成分に関して、2 衛星による磁場観測データの相関から、主に沿磁力線電流による空間分布の効果が支配的であり、それより早い変動はアルベン波によるものと指摘された。また、低高度観測の磁気圏への投影により、磁気圏内での擾乱がほぼ常に乱流状態となっている事が示された。
8. 4 機編隊飛行による磁場観測を用いたトポロジー理論での固有値解析で、磁場消失領域、あるいは X(磁場消滅)ラインを同定する、あるいは磁場渦度を同定する方法論・可能性が提示された。また、クラスター II 衛星での観測例とシミュレーションによる磁気圏低緯度境界層での KH 不安定への応用が紹介された。
9. 太陽風中でのプラズマ乱流による太陽風加熱の紹介があり、プラズマ乱流スペクトルにおける太陽からの距離への依存とスペクトルの折れ曲がりに関する説明がなされた。また、スペクトル取得における時間分解能向上の有効性と移流による周波数変化の影響に関する議論が展開され、Solar Sail 搭載に向けた超小型磁場観測器の開発と磁場観測器用 ASIC の開発状況が紹介された。
10. サーチコイル磁界センサーの開発状況として、Geotail・MMO・ERG におけるサーチコイルの変遷と低周波用フラックスゲートと高周波用ループアンテナが比較され、広周波帯域化・高感度化の対策が提示された。ここでは、共振周波数として高・低周波の 2 つのコイルをコンデンサーで結合させた新規開発サーチコイルが紹介され、低電力だが電圧雑音が大きな CMOS を ASIC のプリアンプに用いた開発状況と ERG 衛星機器と比肩する性能に言及された。また、雑音の小さい高周波帯域で増幅する chopper アンプ導入の検討と 10Hz 以下での高性能化とサーチコイル内にアンプ回路を内蔵する新型センサーの性能評価が議論され、音声信号処理による雑音除去手法の導入の可能性が述べられた。
11. カスプ上空電離圏最上部における流出イオンの観測用ロケット実験計画と EISCAT 同時観測が議論され、800km 以上の最高観測高度を達成する SS520 を、ノルウェー・スバールバードから 2017 年 12 月中に打ち

上げる計画が紹介された。また、カスプの近傍を飛翔した以前の SS520-2 の成果が述べられた後、最近の電離圏観測技術の向上により観測目標領域へのロケット打ち込み可能性の向上が言及された。また、超小型衛星によるオーロラ観測計画も紹介された。

12. SS520-3 ロケット実験へ応用する事でアナログ ASIC WFC チップを宇宙観測に使用する可能性が提示され、その後、編隊飛行観測へ適用に言及された。また、高周波側の感度が低い WFC をワンチップスペクトル受信器に応用した場合の性能評価とディジタル回路を取り込んだアナログ・ディジタル混載 ASIC チップの製作と WPIA 機能の取り込みに関する検討結果が議論され、粒子信号パルスの検出機能と MGF 信号処理回路も取り込んだ 5mm 四方の ASIC チップの開発の状況が紹介された。
13. 2〜4 機の編隊飛行衛星によるオーロラ観測計画が紹介され、その中で、高度 350-3000km、あるいは 800km の太陽同期軌道への投入可能性や搭載観測器の検討例が紹介された。また、自転型・3 軸姿勢制御型衛星の場合の観測上の利点・欠点の比較と搭載機器の検討がなされた。
14. 将来の衛星計画におけるオーロラ発光波長の選択に関して議論され、光子検出器と光学系の検討結果が示された。特に、EMCCD 等の発展も有り CCD が有利であるが CMOS もマイクロレンズアレイの適用で感度が向上している、読み出し雑音は CMOS が CCD より 2 桁向上する、1000 フォトン/pix であれば同等で 100 フォトン/pix では EMCCD が有利かも知れないが公称値を信じれば CMOS が常に有利、等が紹介された。また、300nm より長波長なら光学材料の選択が有利で小型化が可能である事が示され、ロケット実験と編隊飛行電磁気圏探査衛星に適用するオーロラカメラの光学系の検討に言及された。
15. EISCAT_3D 計画が紹介され、Phased array 方式による高時間・高空間分解能観測の有用性の議論がなされた。第一段階開発では 3 サイトの建設で、Skibotn が主要サイトとなる事、最終の第二段階では合計 5 サイトとなる予定である事、全 5 サイトが完成すれば、E 領域 3 高度、F 領域 1 高度におけるイオン速度を 100 秒で観測可能である事、等が示された。現時点では、第一段階に必要な 75%の経費が内定しており、日本側が 2016 年末までに残り 25%の内 10%以上を確保したいという期待が述べられた。
16. SGEPSS-STP 分野における将来のコミュニティーミッションの新機軸として、ERG 計画を基礎としたプラズマ波動・粒子相互作用に、更にプラズマ・中性粒子相互作用を加えた磁気圏・電離圏・熱圏結合系探査が提唱された。また、コミュニティーミッションと学術会議マスタープラン・大型研究計画、JAXA 宇宙科学研究所の分野毎に対する探査計画情報提供依頼(RFI)・ロードマップとの整合が議論された。
17. テラ Hz 帯の観測による成層圏・中間圏・熱圏・電離圏の観測の検討が紹介され、全大気観測の重要性とモデリング・シミュレーションとの比較、上層大気から超高層大気への影響の実証的研究の重要性が議論された。また、成層圏突然昇温におけるモデリング成果と SMILES-2 計画に向けた観測項目・機器開発の検討の現状の紹介と今後のリサーチ・ワーキンググループへの対応が議論された。
18. 系外惑星観測の現状が紹介され、トランジット法を用いる Keplar 衛星による系外惑星の観測では岩石惑星か水惑星かガス惑星かは判別不可である事、生命活動に重要な大気の観測をトランジット法により行うための検討が紹介された。また、酸素分子は赤外不活性であり、トランジット法では検出が困難でありため、酸素原子からの極端紫外線を検出する事を前提にした観測手法の検討が議論された。特に、赤色矮星周辺の系外惑星の大気観測に極端紫外線計測を適用する可能性に言及された。

最後の討論では、将来計画に向けた学会における公明正大な議論を広く展開していく事が重要であるという共通認識に至り、特に地球電磁気圏・超高層大気を対象にした探査計画検討会の今後の活動方針が明確になった事は、本研究集会の大きな成果の 1 つであると言える。それに伴い、新年度早々にも探査計画検討会が開催される事になり、SGEPSS-STP 分野全体での計画策定・推進に向けて大きく前進する事となった。

- 以下は昨年度のまとめ

- NASA・FAST 衛星の観測結果に基づいた発表では、高時間・統合観測を将来実現するとしても、衛星 1 機による一点観測だけでは、電場・沿磁力線電流の水平分布の把握には不十分であり、3 機の水平方向展開、あるいは 4 機による立体的空間掌握が求められるという意見があった。また、微細構造観測のためには 600km 程度の高度が適当であるが、大局的なオーロラ活動を把握するためには、数千 km からのオーロラ撮像が必要であるという指摘もあった。
- 脈動オーロラより高速に変動するフリッカリングオーロラに関する将来展望も紹介され、電磁イオンサイクロトロン波観測の重要性が指摘された。
- 脈動オーロラに関しては、大局的・局所的分布の同時把握が重要である事、変調を引き起こす物理機構に関する問題が未解決である事、等が指摘され、磁気圏赤道域での同時観測の重要性に関しても言及された。更に、MeV に達する高エネルギー電子の関連が示唆されるため、将来の衛星観測計画では、電子分析器のエネルギー上限の向上も視野に入れるべきという意見が出された。
- 熱圏・低高度電離圏でのイオン・中性粒子の相互作用によるエネルギー変換過程の定量的不整合が、主に地上観測から指摘される事から、多点・同時観測を実施する地上観測と、飛翔体による中性粒子の速度分布に関する直接観測の重要性が確認された。
- サブストーム発生時の surge や bulge の緯度・経度方向の分布・運動に関する観測の必要性が示され、1000km 程度の広い視野を持つオーロラカメラの実現が期待されている事が紹介された。また、プロトンオーロラを対象とする場合、100keV 程度のイオン観測の必要性が、過去の衛星観測に基づき示唆された。
- 極域電離圏における地球起源イオンの流出現象、特にカスプ領域に関して、これまでの地上・衛星観測成果が紹介され、波動・粒子相互作用による加熱機構の重要性、低エネルギー電子の降下に伴う高々度オーロラ観測の意義、中性分子観測への期待が示された。特に、高周波数帯域に分布するプラズマ波動が関与する波動・粒子相互作用に関しては、ERG 衛星で開発中の相互作用分析手法を基に、直接実証が可能であるという指摘があった。また、コーラス波動に関しては、背景プラズマ密度の分布が重要であり、オーロラアークに関わる沿磁力線電場発生時の局所的電子密度現象でも、同様の観測項目の必要性が指摘された。
- 理論的側面からは、電離圏密度擾乱だけでもプラズマ不安定が励起され、オーロラアークの自発的変形・分裂・渦発生の非線形発展を引き起こす可能性が指摘され、また、磁気圏内の微小擾乱でも、系自体が不安定なので、フィードバック不安定に発展する事も示された。今後は、沿磁力線電場を導入した非線形シミュレーションへと展開する方向性が強く期待される事となった。一方、オーロラの空間分布を左右する要因や発生上の因果関係の未解決点が強調され、実際の観測データを取り入れたシミュレーションでは、オーロラの大局的分布の再現が可能となっているとの紹介があった。
- 極域電磁気圏のみならず、極域～中低緯度での中性粒子観測、及び、昼間側中緯度での波動観測に関する期待が示された。
- EISCAT_3D 等の将来の大型地上設備を伴う国際計画とこれからの衛星計画による共同観測に関しても議論され、高時間分解能という共通の方向性が改めて確認され、2020 年前後の衛星・地上同時観測計画への協同・連携体制の構築を目指す事となった。
- 将来の電磁気圏物理学分野における衛星計画の策定・提案・遂行に関して、JAXA 宇宙研の状況や方向性に鑑み、より具体的で戦略的な検討を分野全体で早急に推進する事が重要であるという方針が確認された。
- 将来の衛星観測計画に向けて、編隊飛行の必要性・可能性、オーロラカメラ・オーロラ粒子分析器・熱的粒子分析器・プラズマ波動観測器と伸展機構・磁力計と伸展機構、に関する現状技術や検討事項、開発項目に関する紹介・提案がなされた。

以上

（別紙様式４－２）

太陽惑星系宇宙プラズマ中の重イオンに関する研究集会
Fundamental processes of heavy ions in solar-planetary plasma

桂華邦裕　名古屋大学・太陽地球環境研究所

概要

本研究集会では、太陽表層大気から惑星電磁気圏における重イオン（プロトンよりも重い粒子）の物理過程に着目し、過去の研究成果のレビューと最新研究成果の発表を行い、現行・将来衛星ミッションの現状について情報共有した。重イオン供給過程（輸送・加熱）、選択的加速過程、低温重イオンの役割について集中的に議論を行い、異なる分野の研究者間で情報交換を行った。太陽系内外の宇宙プラズマ中における物理過程の統合的理解に向け、新たな研究分野の開拓を目指している。

詳細

平成28年1月27日と28日に名古屋大学にて開催した。参加者数は24名、口頭発表は13件（うち招待講演5件）であった。講演内容は、地球電離圏からの酸素イオン流出、地球磁気圏での重イオン輸送と加速、磁気リコネクション発生領域での重イオンの振る舞い、火星周辺での高エネルギー重イオン観測、木星での重イオン環境と衛星からの物質供給、と多岐にわたった。また、各講演後に加えて各セッション後に議論の時間を十分設け、現行衛星ミッションの重イオンデータや興味深い現象について情報を共有し、将来衛星ミッションを用いた研究の可能性を議論した。

研究集会のプログラムはWebページで公開されている(http://st4a.stelab.nagoya-u.ac.jp/jp/workshop/2015/heavyion2015.html)。

成果

昨年度の研究集会におけるレビュー講演と議論に基づき、本年度は特定の現象や物理過程にテーマを絞って議論を深めた。具体的には、「地球起源酸素イオンの磁気圏への供給」、「惑星磁気圏に存在する低温重イオン」、「磁気リコネクション発生領域での重イオンの振る舞い」というテーマでセッションを設けた。対象テーマを絞ったことで、より深い議論を活発に行うことができた。さらに、他分野の研究者から率直な意見や質問も出て、重イオン輸送・加速の本質的な理解に繋がる議論を行うことができた。

以下の点については、今後継続して情報共有と議論を行い、来年度以降に集中して議論することを確認した。

- Van Allen Probes衛星データを用いた、地球電磁気圏における重イオンの輸送・加速に関する研究と、将来研究計画の立案
- 惑星電磁気圏における低温重イオンの空間分布とその時間変動
- 低温重イオンの加熱プロセス（イオンサイクロトロン波動との相互作用など）
- 低温/暖かい重イオンの加熱・加速が全体ダイナミクスに及ぼす影響

（別紙様式４－２）

「EISCAT研究集会」
EISCAT meeting

小川泰信，国立極地研究所

1. 研究集会の背景と目的

日本は 1996 年に欧州非干渉散乱（EISCAT）科学協会に加盟後、太陽地球環境研究所と国立極地研究所を共同利用機関として、北欧域での拠点観測を実施してきた。特に近年には、れいめい衛星や DELTA-2 ロケットキャンペーンなどの飛翔体との共同観測データや、EISCAT スヴァールバルレーダーによる 1 年間（2007 年 3 月-2008 年 2 月）連続観測データ、30 年以上に渡り蓄積された EISCAT データなどを用いて、磁気圏－電離圏結合や下部熱圏中性風などの研究分野において、世界をリードする研究成果を生み出しつつある。さらに、2014 年には低高度極軌道衛星（SWARM 衛星や ePOP 衛星）との共同観測を開始し、新たな観測成果も得られつつある。

本研究集会では、現行の EISCAT システムを用いた最新の研究成果も踏まえ、EISCAT_3D 計画（新たな多点フェーズドアレイ観測）と 北極・北欧の関連観測、数値計算との連携によって進めるサイエンスを議論することを目的としている。

2. 研究報告・成果等

表記の研究会を 2016 年 3 月 11 日に名古屋大学 ES 総合館 1 階 ES ホールにおいて開催した。集会参加者は計 37 名（うち学生は 2 名）であった。

本研究集会では、EISCAT レーダーや現在推進中の EISCAT_3D 計画を中心として、中層・超高層物理及び磁気圏電離圏物理等に関する幅広い研究成果・研究計画発表を募集した結果、9 件の口頭発表と 8 件のコメント発表が行われた。これらの発表の後に、藤井良一先生による退職記念講演会が行われた。今回の研究成果の発表・議論を中心とした研究集会は、2016 年 1 月に極地研で開催された EISCAT 研究集会（2015 年度の EISCAT 特別実験報告や EISCAT_3D 計画に関する議論）と相補的な役割を担っている。今回は特に、EISCAT 共同利用や拠点観測の歴史から最新の状況までを、参加者が包括的に理解する機会となったと思われる。その背景を踏まえ、今後の地上観測網の更なる整備や EISCAT_3D レーダーの稼働により、多くの相補的かつ詳細データが揃うことで、これまで理解の乏しかった極域大気特有のダイナミクスや領域間結合（上下間結合や緯度間結合）の研究分野にブレイクスルーがもたらされると期待できる。

写真：研究集会の様子（名古屋大学 ES ホール）.

謝辞

本研究集会にて御講演及びコメントを頂きました皆様に深く感謝いたします。また、LOC として研究集会の運営にご尽力いただきました名古屋大学宇宙地球研究所の皆様に感謝いたします。

研究集会プログラム（以下、敬称略）

EISCAT 研究集会（名古屋大学 ISEE 研究集会）

日時：2016 年 3 月 11 日（金）10:00-17:00

会場：名古屋大学 ES 総合館 1 階 ES ホール

（座長：小川泰信）

10:00-10:05 研究集会の趣旨説明
小川泰信

10:05-10:25 EISCAT 国内データベースを利用した極域超高層物理研究
小川泰信、その他

10:25-10:45 脈動オーロラに伴う電離圏変動
細川敬祐、小川泰信

10:45-11:05 カスプの赤道側の安定した Sun-aligned オーロラアーク：全天イメージャーと EISCAT の同時観測
田口 聡、その他

11:05-11:15 電離圏の上下運動に関するコメント（コメント）
坂井 純、細川敬祐

11:15-11:30 休憩

（座長：高橋　透）

11:30-11:50 数値シミュレーションとレーダー観測による熱圏大気変動の研究
藤原　均、その他

11:50-12:10 昼側電離圏の電気伝導度比
家田章正

12:10-12:30 冬季北極域上部成層圏・中間圏の擾乱状態の分類について
坂野井和代、その他

12:30-13:30 昼休み

（座長：津田卓雄）

13:30-13:50 ICI-4 観測ロケット実験報告
阿部琢美、その他

13:50-14:10 地上電波・光学・ロケット観測を組み合わせた極域電離圏・熱圏の時間発展に関する研究
大山伸一郎、その他

14:10-14:30 ジオスペース探査 ERG プロジェクト：EISCAT 観測との連携
三好由純、その他

14:30-14:40 プラズマ研究の重要性について（コメント）
天野孝伸

14:40-14:50 MI 結合研究の重要性について（コメント）
坂野井健

14:50-15:00 休憩

（座長：野澤悟徳）

15:00-15:06 日本の EISCAT 科学協会加盟の歴史（コメント）
野澤悟徳

15:06-15:12 日本の北欧における観測機器展開（コメント）
小川泰信、その他

15:12-15:20 EISCAT から EISCAT_3D へ（コメント）
宮岡　宏

15:20-15:30 MI 結合研究における藤井先生の貢献（コメント）
吉川顕正、その他

15:30-15:40 藤井先生の宇宙科学への貢献（コメント）
中村正人

15:40-16:00 休憩

（司会：小川泰信）

16:00-17:00 藤井良一先生 退職記念講演会
題目：四十年のオーロラ科学研究を振り返って

（別紙様式４－２）

国際GEMSISワークショップ: ジオスペース研究の将来展望

International GEMSIS and ASINACTR-G2602 Workshop: Future Perspectives of Researches in Space Physics

関華奈子，東京大学・大学院理学系研究科

２０１６年3月２２日から２５日にかけて、頭脳循環プログラム「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 (ASINACTR-G2602)」との共催で太陽地球環境研究所が推進するGEMSIS (Geospace Environment Modeling System for Integrated Studies) プロジェクトの国際研究集会が開催されました。 この研究集会では国内外から総勢８６名（外国人１３名）の研究者が参加し、太陽地球系から惑星、宇宙プラズマ物理まで、宇宙空間物理学(Space Physics)分野の研究の現状および将来の方向性について活発な議論が行われました。

研究集会では、名古屋大学 ISEE を中心に推進されている GEMSIS, PSTEP, 頭脳循環プログラム等の研究プロジェクトの紹介を皮切りに、以下の４つのセッションが設定され、各々に１時間の基調講演と招待講演３件程度と参加者の研究発表とで構成されました。また、初日には基調講演者を中心としたパネリストによる国際共同研究に関するパネルディスカッションも行われました。

- Session 1: Geoeffective solar activities
  - Keynote speech: Solar Activities in the Solar Cycle 24 by Prof. N.Gopalswamy (GSFC/NASA)
  - Invited speakers: K. S. Cho (KASI), K. Ichimoto (Kyoto U.), T. Shimizu (ISAS/JAXA), H. Hara (NAOJ)
- Session 2: Integrated Geospace Researches: From Akebono to ERG, EISCAT3D, ground-based network observations
  - Keynote speech: Van Allen Probes results by Prof. D. N. Baker (LASP/U. Colorado)
  - Invited speakers: X. Li (LASP/U. Colorado), C. La Hoz (Arctic U. Norway), C. J. Heinselman (EISCAT SA), J. H. Ruohoniemi (Virginia Tech), Y. Omura (Kyoto U.), K. Shiokawa (Nagoya U.)
- Session 3: Space environment around Mars
  - Keynote speech: MAVEN initial results by Prof. B. Jakosky (LASP/U. Colorado)
  - Invited speakers: D. A. Brain (LASP/U. Colorado), N. Schneider (LASP/U. Colorado), H. Nakagawa (Tohoku U.), H. Sagawa (Kyoto Sangyo U.)
- Session 4: Space plasma physics and magnetospheric dynamics: from Geotail to MMS
  - Keynote speech: MMS initial results by Prof. T. E. Moore (GSFC/NASA)
  - Invited speakers: M. Hoshino (U. Tokyo), S. Zenitani (NAOJ), H. Hasegawa (ISAS/JAXA)

Space Physics 研究は太陽から地球惑星圏までの変動現象を縦糸に、広く宇宙に普遍的に生起している物理素過程の理解を横糸に広範囲の対象を扱う研究分野であり、宇宙プラズマ・太陽・太陽風・磁気圏・電離圏・惑星科学などの異なる研究領域にまたがる分野横断的な研究分野です。そのため個々の領域の研究を進めるだけではなく、他の領域の研究者との交流によって相互の理解を深めていくことが全容の把握のためには不可欠となっています。本研究集会では GEMSIS プロジェクトで進めてきた研究を世界に向けて発信すると共に、各分野の著名な研究者を招へいし、最先端の研究成果について講演して頂きました。

これによって世界的なSpace Physics研究の最新の動向について見分を深め、将来展望等について有意義な議論を交わすことができました。

なお、具体的なプログラムは以下の通りです。

March 22 (Tue)

(Chair: Kusano)

10:30-10:35	welcome address	S. Machida (ISEE, Nagoya University)
10:35-10:55	GEMSIS project and CIDAS	Y. Miyoshi (ISEE, Nagoya University) and the GEMSIS project team
10:55-11:15	ASINACTR-G2602	A. Mizuno (ISEE, Nagoya University) and ASINACTR-G2602 members
11:15-11:35	PSTEP	K. Kusano (ISEE, Nagoya University) and the PSTEP members
<11:35-13:10	lunch >	

Session 1-1 Geoeffective Solar Activities

（chair: Masuda）

13:10-14:10	Keynote speech 1: Solar Activities in the Solar Cycle 24	N. Gopalswamy (GSFC/NASA)
14:10-14:35	Geomagnetic storms driven by similar CMEs	K. S. Cho (KASI)
14:35-14:50	MHD Simulation of Interplanetary Propagation of Multiple Coronal Mass Ejections with Internal Magnetic Flux Rope (SUSANOO-CME)	D. Shiota (Nagoya U.) and R. Kataoka
14:50-15:05	Long-term variation of solar UV radiation estimated from solar images	A. Asai (Kyoto U.)
15:05-15:30	Observation and Development of the Solar Magnetic Activity Research Telescope (SMART) at Hida Observatory (Kyoto U.)	K. Ichimoto, et al., and SMART Team

Session 4-1: Space Plasma Physics and Magnetospheric Dynamics: from Geotail to MMS

15:30-15:55	Unsolved questions in magnetotail physics: From GEOTAIL to MMS	M. Hoshino (U. Tokyo)
<15:55-16:15	break >	

Panel Discussion

(Chair: Miyoshi)

16:15-17:25	International Collaborative Research: What is expected to be an international leading institute for ISEE

Macrh 23 (Wed)

Session 2 Integrated Geospace Researches: ERG, EISCAT3D, and ground-based network observations

(Chair: Keika)

09:00-10:00	Keynote speech 2: New Results Concerning Earth's Van Allen Radiation Belts	D. N. Baker (LASP/U. Colorado)
10:00-10:25	Recent Advances in Understanding Radiation Belt Dynamics in the Earth's Inner Zone and Slot Region	X. Li (LASP/U. Colorado), et al.
10:25-10:40	Flux enhancement of relativistic electrons with coherent/incoherent whistler chorus waves: GEMSIS-RBW simulations	S. Saito (Nagoya U.), Y. Miyoshi, and K. Seki
<10:40-11:00	break >	

(Chair: Saito)

11:00-11:25	Nonlinear wave-particle interaction in the radiation belts	Y. Omura (Kyoto U.)
11:25-11:40	Study on characteristics of drift resonance between outer radiation belt electrons and a monochromatic Pc5 wave based on GEMSIS-RC and RB simulations	K. Kamiya,(Nagoya U.), et al.
11:40-11:55	Radiation belt electron precipitation induced by large amplitude EMIC rising-tone emissions	Y. Kubota and Y. Omura (Kyoto University)
11:55-12:10	Three-step development of the 17 March 2015 magnetic storm observed by Van Allen Probes	K. Keika (Nagoya U.), et al.
<12:10-13:20	lunch >	

(Chair: Oyama)

13:20-13:45	EISCAT_3D Project Status	C. J. Heinselman (EISCAT Scientific Association)
13:45-14:10	The EISCAT_3D Project in Norway	C. La Hoz (Arctic U. Norway)
14:10-14:25	MMS and EISCAT observations of dayside ionospheric flow bursts	A. Ieda (Nagoya U.), et al.
<14:25-16:00	poster session >	

(Chair: Ieda)

16:00-16:25	Ground-satellite measurements of geospace phenomena at subauroral latitudes	K. Shiokawa (ISEE, Nagoya U.)
16:25-16:40	Near-Earth magnetotail and auroral arc development associated with substorm onset: A new interpretation of substorm triggering	Y. Miyashita (Nagoya U.), et al.

16:40-17:05 Recent Advances in Integrated Geospace Research with the SuperDARN Ground-Based HF Radar Network J. H. Ruohoniemi (Virginia Tech)
17:05-17:20 SuperDARN Hokkaido radar observations of geospace dynamics N. Nishitani (Nagoya U.) et al.
17:20-17:35 Large-scale evolution of SI-induced ionospheric flow transient as seen by SuperDARN T. Hori (Nagoya U.), et al.
<18:00-20:00 banquet @Universal Club in Nagoya University >

Macrh 24 (Thu)
Session 3 Space Environment around Mars
(Chair: Seki)
9:00-10:00 Keynote speech 3: MAVEN initial results B. Jakosky (LASP/U. Colorado)
10:00-10:25 A review of recent ground-based observations of Martian atmosphere H. Sagawa (Kyoto Sangyo U.)
10:25-10:40 Statistical analysis of O+ ion beams reflected below the Martian bow shock K. Masunaga (U. YTokyo), et al.
10:40-11:05 Martian atmospheric ion loss rates D. A. Brain (LASP/U. Colorado), et al.
11:05-11:20 An MHD simulation study of the Kelvin-Helmholtz instability at the Martian ionopause with a day-to-night density gradient S. Aizawa (Tohoku U.), et al.
<11:20-13:00 poster session and lunch >
(Chair: Masunaga)
13:00-13:25 Regional coupling between lower and upper atmosphere revealed by MAVEN/IUVS and complementary study by Earth-based observations H. Nakagawa (Tohoku U.), et al.
13:25-13:40 Generation and propagation of gravity wave activities in Martian lower atmosphere simulated by a high-resolution GCM T. Kuroda (Tohoku U.), et al.
13:40-13:55 Comparison of Martian Magnetic Pileup Boundary with Ion Composition Boundary Observed by MAVEN K. Matsunaga (Nagoya U.), et al.
13:55-14:20 First Results from MAVEN's Imaging UltraViolet Spectrograph N. Schneider (LASP/U. Colorado), et al.
14:20-14:35 MAVEN observations of magnetic flux ropes around Mars T. Hara (SSL/UCB), et al.
14:35-14:50 Outline of the Japanese Martian Space Weather and Climate Mission K. Seki (U. Tokyo), et al.
<14:50-15:10 break >
Session 1-2 Geoeffective Solar Activities
（Chair: Shiota）
15:10-15:35 Recent progress in understanding solar flares and activities with Hinode observations T. Shimizu (ISAS/JAXA)
15:35-15:50 Study on Solar Flare Trigger Process Based on Satellite Observations Y. Bamba (Nagoya U. and ISAS/JAXA)
15:50-16:05 Hinode Flare Catalogue and statistical analysis of solar flare activities K. Watanabe (National Defense Academy of Japan), et al.
16:05-16:20 Research on Particle Acceleration in Solar Flares with Multi-Wavelength Data Analysis S. Masuda (Nagoya U.), V. F. Melnikov, and the GEMSIS-Sun members
16:20-16:35 Solar radio telescope AMATERAS: 6 years operation and science results K. Iwai (NICT), et al.
16:35-17:00 The SOLAR-C Mission H. Hara (NAOJ)

Macrh 25 (Fri)
Session 4 Space Plasma Physics and Magnetospheric Dynamics: from Geotail to MMS
(Chair: Machida)
9:00-10:00 Keynote speech 4: Space plasma physics and magnetospheric dynamics: from Geotail to MMS T. E. Moore (GSFC/NASA), J. L. Burch, and The MMS Science Working Group
10:00-10:15 Effects of the plasma boundary structure with a density gradient on the Kelvin-Helmholtz instability K. Seki (U. Tokyo), et al.
10:15-10:30 Global MHD simulation study of the vortex at the magnetopause boundary for the southward IMF K. S. Park (ChungBuk National U.), et al.
10:30-10:55 Structure of Earth's magnetopause during quasi-continuous extended magnetic reconnection: Geotail and MMS conjunction H. Hasegawa (ISAS/JAXA), et al.
<10:55-11:15 break >
(Chair: Hori)
11:15-11:40 Particle dynamics and nongyrotropic distribution functions in collisionless magnetic reconnection S. Zenitani (NAOJ), et al.
11:40-11:55 Response of the incompressible ionosphere to the compression of the magnetosphere during the geomagnetic sudden commencements T. Kikuchi (Nagoya U. and Kyoto U.), et al.

11:55-12:10 Long-term variation of ionospheric electric field estimated from the amplitude of geomagnetic solar quiet daily variation A. Shinbori (Kyoto U.), et al.

12:10-12:40 **Summary**

Poster presentations

P01 An empirical modeling of the trapped energetic protons from solar cell output variation of the Akebono satellite
W. Miyake (Tokai U.), Y. Miyoshi, and A. Matsuoka

P02 Preflight tests of Medium-Energy Particle analysers onboard ERG
S. Kasahara (ISAS/JAXA), S. Yokota, T. Mitani, K. Asamura, T. Takashima(ISAS), M. Hirahara, et al.

P03 Loading Relativistic Maxwell Distributions in Particle Simulations S. Zenitani (NAOJ)

P04 Statistical analysis of magnetosonic mode waves from Van Allen Probes observations
K. Nomura (Nagoya U.), Y. Miyoshi, K. Keika, M. Shoji, S. Kurita, S. Machida, N. Kitamura, et al.

P05 Relativistic electron microbursts and local acceleration of MeV electrons by chorus during the 8-9 October 2012 storm: SAMPEX and Van Allen Probes observations S. Kurita (Nagoya U.), Y. Miyoshi, et al.

P06 Development of Data Analysis Software SPEDAS N. Umemura (Nagoya U.), Y. Miyoshi, et al.

P07 Relativistic electron precipitation induced by EMIC triggered emissions based on hybrid code simulation
M. Shoji (Nagoya U.) and Y. Omura

P08 Ionospheric variations measured with the EISCAT radar in the vicinity of nightside poleward expanding aurora after substorm onset S. Oyama (Nagoya U.), Y. Miyoshi, K. Shiokawa, J. Kurihara, T. T. Tsuda, et al.

P09 Global evolution and propagation of electric fields during sudden impulses based on multi-point observations
N. Takahashi (Tohoku U.), Y. Kasaba, Y. Nishimura, A. Shinbori, T. Kikuchi, T. Hori, and N. Nishitani

P10 Rapid acceleration of outer radiation belt electrons with interplanetary pressure pulse :Code coupling of GEMSIS-RB and GEMSIS-GM M. Hayashi (Nagoya U.), Y. Miyoshi, S. Saito, et al .

P11 Kinetic Simulation Approach to Magnetospheric Ring Current Dynamics
T. Amano (U. Tokyo), K. Seki, and Y. Miyoshi

P12 Study of whistler-mode wave-particle interactions at oblique angles by utilizing gyro-averaging method
Y. Hsieh (Kyoto U.) and Y. Omura

P13 Wave-Particle Interaction Analyzer for Detection of Nonlinear Pitch Angle Scattering
M. Kitahara (Tohoku U.) and Y. Katoh

P14 Study of the magnetic storm phase dependence of the inner boundary of the plasma sheet electrons based on THEMIS satellites observations K. Ohki (Tohoku U.), A. Kumamoto, Y. Katoh

P15 Energetic electron precipitation into the atmosphere at auroral and sub-auroral latitudes during storm and substorm periods: Low frequency radio transmitter observation in north Europe and America
F. Tsuchiya (Tohoku U.), T. Obara, H. Misawa, T. Sakanoi, Y. Miyoshi, K. Shiokawa, Y. Ogawa, et al.

P16 Three-dimensional MHD simulation of the interaction between the solar wind and CMEs in coronal region
M. Shirota (Nagoya U.), D. Shiota, and K. Kusano

P17 Solar wind response of Jupiter's magnetosphere uncovered by continuous monitoring of auroral emission with Hisaki satellite T. Kimura (RIKEN), H. Kita, C. Tao, K. Yoshioka, G. Murakami, A. Yamazaki, et al.

P18 Effects of ion-ion and electron-neutral collisions on vertical distribution of CO2+ in Martian ionosphere based on multi-fluid MHD simulations K. Koyama (Nagoya U.), K. Seki, N. Terada, and K. Terada

P19 Planetary Environment Studies executed by a Small Telescopes Dedicated to Planets and Exoplanets at Haleakala, Hawaii Y. Kasaba (Tohoku U.), T. Sakanoi, M. Kagitani, H. Nakagawa, H. Kita, et al.

P20 The improvement of solar wind velocity model in SUSANOO-SW
T. Ishida (Nagoya U.), D. Shiota, and K. Kusano

P21 Development of a global ionospheric potential solver: GEMSIS-POT
A. Nakamizo (NICT), A. Ieda, Y. Hiraki, T. Hori, Y. Miyoshi, K. Seki, T. Kikuchi, Y. Ebihara, and A. Shinbori

P22 Forecast of AU/AL index with real time data assimilation
R. Yamamoto (Nagoya U.), Y. Miyoshi, S. Machida, G. Ueno, Y. Miyashita, M. Nose, and D. Shiota

P23 Nearly simultaneous observations of southward reconnection jet at the magnetopause by Geotail and MMS under southward IMF conditions N. Kitamura (ISAS/JAXA), H. Hasegawa, Y. Saito, et al.

P24 Solar zenith angle dependence of composition, velocity and temperature of ion outflows
N. Kitamura (ISAS/JAXA), K. Seki, K. Keika, Y. Nishimura, T. Hori, and E. J. Lun

P25 Direcet measurement of wave-particle interactions by WPIA onboard ERG satellite
M. Hikishima (ISAS/JAXA), H. Kojima, Y. Katoh, T. Takashima, K. Asamura, Y. Kasahara, S. Kasahara, et al.

P26 Dependencies of the generation process of whistler-mode chorus on the kinetic energy of anisotropic electrons in the Earth's inner magnetosphere Y. Katoh (Tohoku U.), Y. Omura, Y. Miyake, H. Usui, et al.

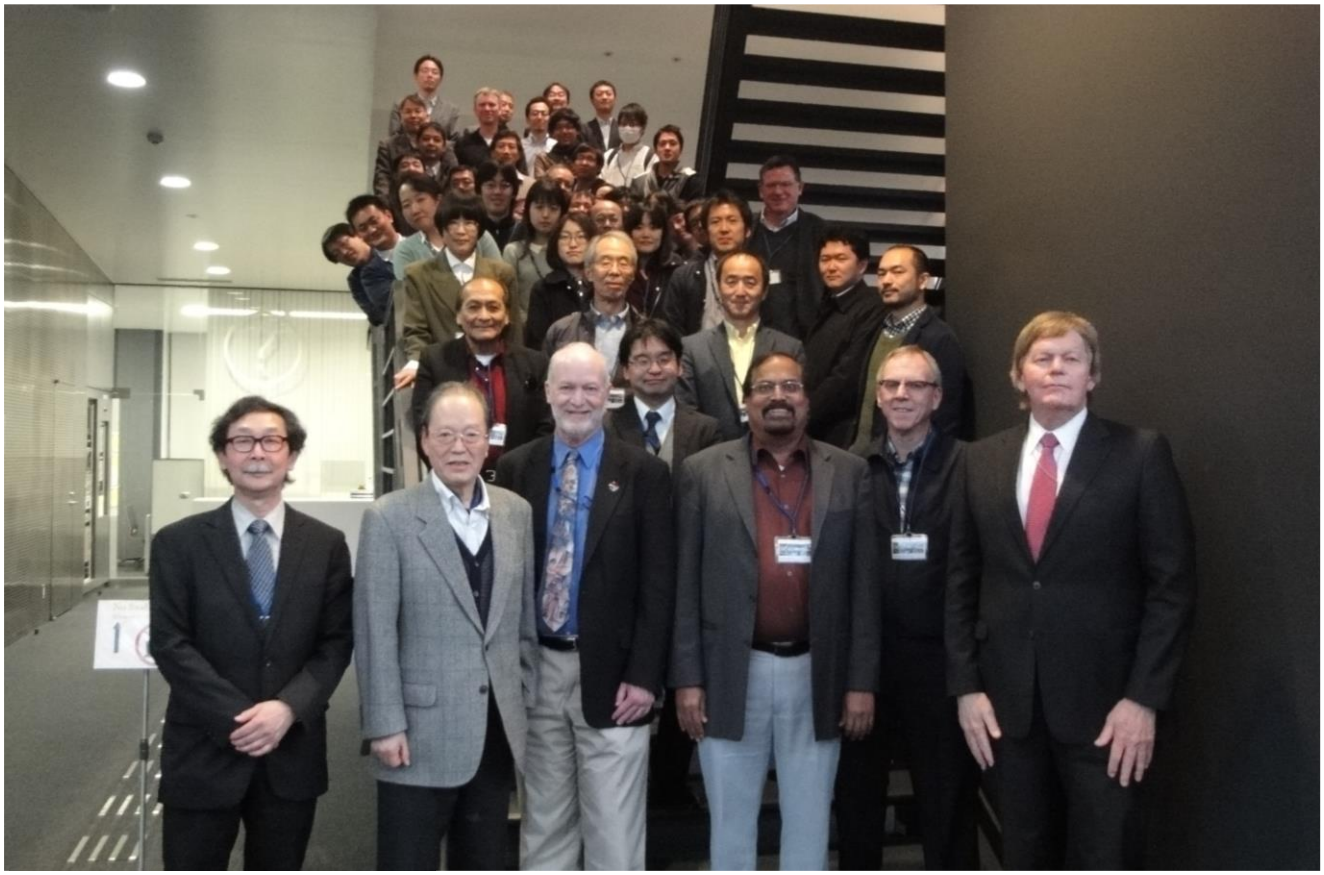
P27 Comparative study of proton and oxygen ion supply into the inner magnetosphere during a geomagnetic storm
K. Mitani (Nagoya U.), K. Seki, K. Keika, L. J. Lanzerrotti, M. Gkioulidou, D. G. Mitchell, and C. A. Kletzing

P28 Investigation of solar energetic particle events based on development of a new HF-VHF radio observation system H. Misawa (Tohoku U.), F. Tsuchiya, T. Obara, K. Kaneda, H. Kashiwagi, et al.

P29 Investigations on spatio-temporal characteristics of pulsation aurora based on ground-based observations
T. Nishiyama (NIPR), Y. Miyoshi, T. Sakanoi, Y. Katoh, and R. Kataoka

P30 Sodium LIDAR observations above Tromso

S. Nozawa (Nagoya U.), S. Takita, T. Hibino, T. Kawabata, A. Mizuno, N. Saito, S. Wada, T. T. Tasuda, T. Takahashi, T. Kawahara, H. Fujiwara, and Y. Ogawa



ワークショップ参加者の集合写真

年度末の時期にも関わらず延べ254名の参加を得て、朝から夜まで熱心な議論が行われ、充実した研究集会になりました。参加者の皆さま、ありがとうございました。

３.計算機利用共同研究目次詳細

（所属・職名は平成28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
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	ホイッスラーモード・コーラス放射による地球放射線帯での相対論的電子加速過程についての計算機実験	212
梅田　隆行	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	講師	ブラソフシミュレーションによるジオスペースプラズマの研究	214
中村 琢磨	オーストリア科学アカデミー	宇宙科学研究所（ＩＷＦ）	任期付き研究員	運動論的シミュレーションによるケルビン・ヘルムホルツ渦が起こすプラズマ輸送過程の研究	216
鷲見　治一	アラバマ大学	CSPAR研究所	研究員	太陽圏構造の計算機解析	217
田中　高史	九州大学	国際宇宙天気科学教育センター	学術研究者名誉教授	次世代M-I結合シミュレション	218
横山　竜宏	情報通信研究機構	電磁波計測研究所	主任研究員	中・低緯度域における中性 - 電離大気結合過程の研究	220
深沢　圭一郎	京都大学	学術情報メディアセンター	准教授	エクサフロップス計算に向けたMHDコードの様々なCPUアーキテクチャへの最適化	224
藤本　桂三	国立天文台	理論研究部	特任助教	地球磁気圏のグローバル粒子シミュレーションの実現に向けて	226
朴　京　善	忠北大学校	天文宇宙学科	招聘助教授	南向きIMFの時に地球磁気圏境界で発生した渦のグローバルMHDシミュレーション研究	228
品川　裕之	情報通信研究機構	電磁波計測研究所	研究員	磁気圏-電離圏-熱圏-大気圏結合モデルの開発	229
山崎　了	青山学院大学	理工学部	准教授	衝撃波静止系シミュレーションコードを用いた無衝突衝撃波の研究	231
林　啓志	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	協力研究員	本太陽活動極大期の太陽風と太陽コロナ構造	232
天野　孝伸	東京大学	理学系研究科	助教	高エネルギー粒子ハイブリッドシミュレーションコードの開発	233
町田　忍	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授	磁気圏における大規模プラズマ不安定とそれに伴う粒子加速の研究	234
篠原　育	宇宙航空研究開発機構	宇宙科学研究所	准教授	磁気圏尾部リコネクション領域の朝夕方向の構造発展の研究	237
松清　修一	九州大学	大学院総合理工学研究院	助教	無衝突衝撃波遷移層における微視的不安定性	239
渡邉　智彦	名古屋大学	大学院理学研究科	教授	オーロラ・アーク成長に関する磁気圏-電離圏結合モデル	241
塩田　大幸	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	特任助教	データ同化連結階層太陽コロナシミュレータの開発	242
近藤　光志	愛媛大学	宇宙進化研究センター	講師	磁気圏サブストームの計算機シミュレーション：非対称磁気リコネクション	244
井上　　諭	マックスプランク太陽系研究所		Humboldt Research Fellow	観測磁場データに基づいた太陽フレア・CMEの電磁流体シミュレーション	247
草野　完也	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	教授	データ駆動型連結階層シミュレーションによる宇宙天気モデリング	249
寺田　直樹	東北大学	大学院理学研究科	准教授	高次精度中心スキームの開発	250

（別紙様式6-2）

ホイッスラーモード・コーラス放射による地球放射線帯での相対論的電子加速過程についての計算機実験

Simulation study of relativistic electron acceleration by whistler-mode chorus emissions in the Earth's inner magnetosphere

加藤雄人、東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻

・研究目的

独自に開発を進めている電子ハイブリッドコードを用いた自己無撞着な計算機実験を実施して、地球放射線帯外帯領域で生じているホイッスラーモード・コーラス放射と相対論的高エネルギー電子との非線形波動粒子相互作用について究明する。放射線帯電子の加速機構ならびにコーラス放射の励起過程の双方で、波動による電子の捕捉という非線形波動粒子相互作用の効果の重要性が指摘されている。放射線帯領域での観測結果に基づいて、初期条件として仮定する高エネルギー電子の初期速度分布や、背景磁場強度の空間勾配を変化させて計算機実験を実施し、波動粒子相互作用にどのような影響を及ぼすかを定量的に明らかにする。

・研究結果

本研究課題では、電子ハイブリッドコードを用いたコーラス放射の生成過程を再現する計算機実験を実施した。コーラス放射の発生条件を明らかにすることを目的として、高エネルギー電子の数密度ならびに速度分布関数の温度異方性を広範なパラメータ範囲で変化させて計算機実験を行った。その結果、温度異方性が大きくなるにつれて、コーラス放射の発生に必要とされる高エネルギー電子の数密度は低下すること、また、再現されるコーラス放射のスペクトル特性や波動振幅は、非線形波動成長理論によってよく説明されることを定量的に明らかとした。以上の共同研究による成果は STEL 研究集会で報告するとともに、それぞれ国内外での学会・研究会で報告した。今後これらの研究をさらに進めて、静穏時から地磁気擾乱時に対応するパラメータレンジでのサーベイ計算を実施するとともに、放射線帯領域での衛星観測結果に基づいて与える実環境計算を実施して、コーラス放射の発生条件ならびに伝搬特性を明らかにする。

・成果発表

- Katoh, Y., Y. Omura, Y. Miyake, H. Usui, and H. Nakashima, Simulation study of dependencies of the generation process of whistler-mode chorus and hiss-like emissions on temperature anisotropy of energetic electrons, Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 12th Annual General Meeting, Singapore, 2 – 7 August, 2015.
- Katoh, Y., Simulation study of the propagation of whistler-mode chorus emissions and the pitch angle scattering of energetic electrons in the Earth's inner magnetosphere, Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 1２th Annual General Meeting, Singapore, 2 – 7 August, 2015.
- Katoh, Y., Y. Omura, Y. Miyake, H. Usui, and H. Nakashima, Electron-hybrid simulations of the generation process of whistler-mode emissions, ISSS-12, Prague, Czech Republic, 3-10 July, 2015.
- Katoh, Y., Y. Omura, Y. Miyake, H. Usui, and H. Nakashima, Dependencies of the Generation Process of Whistler-Mode Emissions on the Kinetic Energy of Anisotropic Electrons in the Earth's Inner Magnetosphere, American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco, USA, 14-18 December, 2015.
- Katoh, Y., Y. Omura, Y. Miyake, H. Usui, and H. Nakashima, Dependencies of the generation process of whistler-mode emissions on temperature anisotropy of energetic electrons, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 千葉, 5 月 24- 28 日, 2015.
- Katoh, Y. and K. Fukazawa, Study of whistler-mode chorus in the Jovian magnetosphere by electron hybrid and MHD simulations, 第 138 回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, 東京, 10 月 31 日-11 月 3 日, 2015 年.

（別紙様式6-2）

ブラソフシミュレーションによるジオスペースプラズマの研究
Study of Geospace plasma via Vlasov simulations

梅田隆行、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

研究目的

従来の研究では、時間および空間スケールの異なるマルチ物理問題に対して、流体コード、ハイブリッドコード、運動論コードを個々に適用させていた。しかしジオスペースでは、イオン・電子やグローバル・マクロ・メソ・ミクロなどの異なる時空間スケールの現象が互いに未知の物理過程で結合しており、これらを理解することが重要である。本研究では、次世代のマルチスケール・マルチフィジックスシミュレーション手法としてブラソフコードに注目し、その研究開発を行う。また、ジオスペースのスケール間結合に関する諸現象に適用する。

研究方法

本研究において開発した、無衝突プラズマの第一原理運動論を記述するブラソフ方程式とマックスウェル方程式を自己無撞着に解き進める超並列ブラソフシミュレーションコード(Umeda et al. IEEE 2012)を用いる。ブラソフ方程式は、１次元保存型・無振動・正値性保障スキーム(Umeda EPS, 2008; Umeda et al. CPC 2012)をベースとした多次元保存型解法(Umeda et al. CPC, 2009)により安定に解き進め、マックスウェル方程式は陰的時間空間領域差分（FDTD）法により解き進めている。また、プラズマが作る電流は電荷保存法により求めている。今年度は、京コンピュータで実行した弱磁化小天体とプラズマ風との相互作用に関する2.5次元シミュレーション結果の大規模データ解析を行った。

研究結果

本研究では、計算機資源の制約から、天体半径がイオンジャイロ半径の２倍となるように設定し、また磁気圏のサイズが天体半径の1/2になるような弱い固有磁場を扱った、2.5次元ブラソフシミュレーションによる超高解像度“グローバル磁気圏”シミュレーションに成功した。これは1968年に行われた世界で最初の2.5次元磁気圏MHDシミュレーションから第一原理ブラソフモデルへの拡張に約50年かかったことになる。シミュレーション結果として、固有磁場を持たない場合と同様に夜側にウェイク構造が形成すること及び、昼側に太陽風イオンの圧縮による衝撃波構造が形成することが分かった。また太陽風イオンは、天体の固有磁場が作る磁気圏の界面において磁気圧で反射され、その一部がジャイロ運動によって夜側のウェイク内に侵入することが明らかとなった。さらに、格子幅がデバイ長の10倍の低解像度計算と、格子幅がデバイ長の高解像度計算を比較することにより、磁力線の形状には両者でほとんど差がなく磁気圏形状についてはMHD近似が良く成り立つこと、高解像度計算では天体近傍で電荷の吸着による強い電場が生じるが磁力線には影響しないこと、などを明らかにした。

成果発表

1. Umeda, T., and K. Fukazawa, A high-resolution global Vlasov simulation of a small dielectric body with a weak intrinsic magnetic field on the K computer, *Earth, Planets and Space*, Vol.67, No.1, 49 (8pp.), 2015. (査読付論文)
2. Umeda, T., and K. Fukazawa, Hybrid parallelization of hyper-dimensional Vlasov code with OpenMP loop collapse directive, *International Conference on Parallel Computing (ParCo) 2015*, Edinburgh, United Kingdom, September 2015. (口頭発表)
3. Umeda, T., S. Ueno, and T. K. M. Nakamura, Ion kinetic effects to nonlinear processes of the Kelvin-Helmholtz instability, *26th General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG)*, Prague, Czech Republic, June 2015. (口頭発表)
4. 梅田隆行，上野悟志，中村琢磨，Ion kinetic effects to nonlinear processes of the Kelvin-Helmholtz instability，第 138 回 地球電磁気・地球惑星圏学会総会および講演会，東京, 2015 年 12 月. (口頭発表)
5. 梅田隆行，宇宙プラズマの第一原理ブラソフコードの性能評価，平成 27 年度「京」における高速化ワークショップ，東京, 2015 年 12 月. (招待講演)

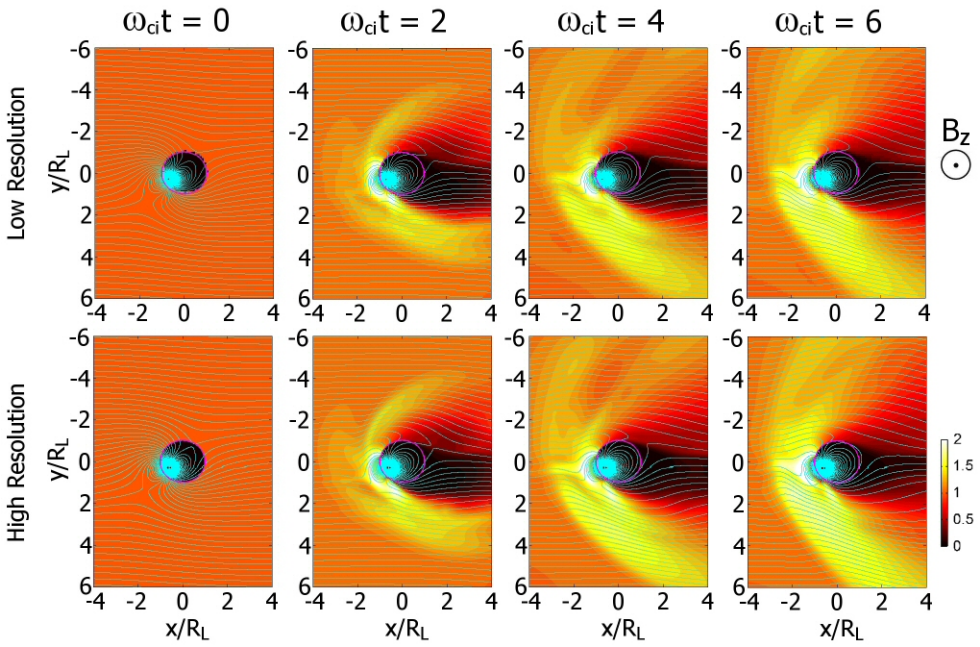


図1：弱磁化小天体のグローバルブラブラシミュレーション結果。(上段)格子幅がデバイ長の1/10の低解像度計算、(下段)格子幅がデバイ長の高解像度計算 [Umeda & Fukazawa 2015]。

（別紙様式6-2）

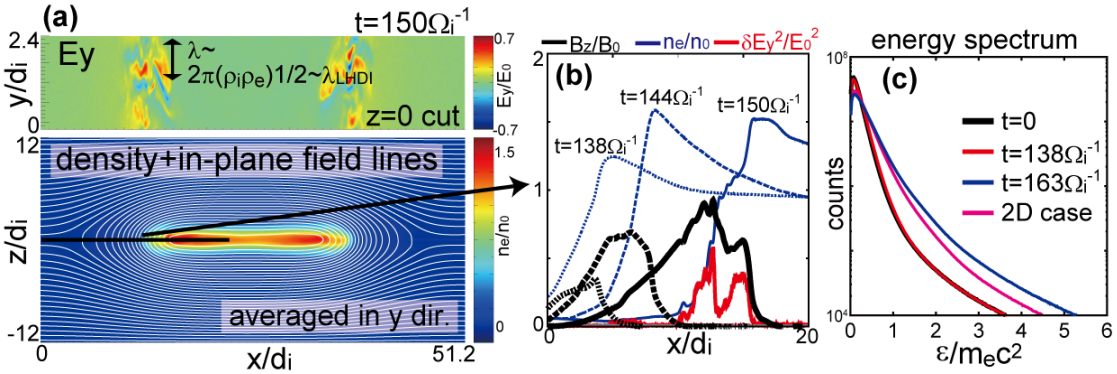
運動論的シミュレーションによるケルビン・ヘルムホルツ渦が起こすプラズマ輸送過程の研究

Study on the plasma transport by the Kelvin-Helmholtz vortex: Fully kinetic simulations

中村　琢磨、オーストリア科学アカデミー・宇宙科学研究所

【研究成果】

国内外の大型計算機を用いた申請者の過去の3次元運動論的（粒子）シミュレーションによりケルビン・ヘルムホルツ(KH)渦により地球磁気圏内へ太陽風プラズマが効率的に輸送される可能性が示唆されたが、これは主に渦内で磁気リコネクションという爆発現象が起きるためである。本年度は、名古屋大学情報基盤センターに本年度後期より導入された FX100 を用い、より現実的なパラメータ下において渦内磁気リコネクションによる現実的な輸送効率の研究に取りかかった。しかし、その研究過程で、磁気リコネクションの3次元的成長過程が、これまで計算機資源節約のために設定していた現実より大幅に低いイオン・電子の質量比の場合(Mi/Me=25, 実際はおよそ 1836)では高い質量比の場合と大きく異なることが新たに分かったため、本年度は、FX100 の計算機資源を活用し高い質量比下（Mi/Me=256）におけるリコネクションの3次元性についての基礎研究に注力した。具体的には、過去の研究より、リコネクションの発生点付近で、低い質量比の場合に限り3次元方向に Drift kink instability(DKI)というプラズマ不安定が成長するのに対し、高い質量比では DKI の成長が抑えられ、代わりに密度勾配に起因した Lower hybrid drift instability(LHDI)というより高波数モードの不安的が成長することが知られていたが、本研究では新たに、高質量比下では、リコネクション発展後のジェット流の先端でも2次的に急な密度勾配ができることで LHDI が発生し、ジェット先端構造を大きく乱し、さらに電子を強く加熱すること分かった（下図、成果1）。本研究結果は、現実的な KH 渦を再現する上で高質量比（具体的には Mi/Me>200）を用いる必要性を明示している。現在の計算機資源では、このような高質量比下で磁気圏における KH 渦自体を再現することは難しいが、本年度より運用が開始された粒子スケールを解像する NASA の MMS(Multiscale Mgantospheric Mission)衛星にて KH 渦内リコネクションが実際に発見されたことから、今後本研究結果を足掛かりとし、MMS より得られた現実的パラメータ下でローカルな渦内リコネクションを再現することで現実的な輸送過程を解明することが期待できる。



(a) xz 面（リコネクション発展面）における密度コンター（下図）、及び xy 面における電 Ey 成分コンター（上図）。(b) z=0 における磁場 Bz（黒）、密度（青）、電場 Ey^2（赤）カット図の時間発展。(c) 電子エネルギースペクトルの時間発展。急な密度勾配がジェット先端に形成され（図 a,b）、LHDI が発生（図 a 上）し先端構造が乱され、さらに電子が加熱（図 c）されている。

【成果発表】

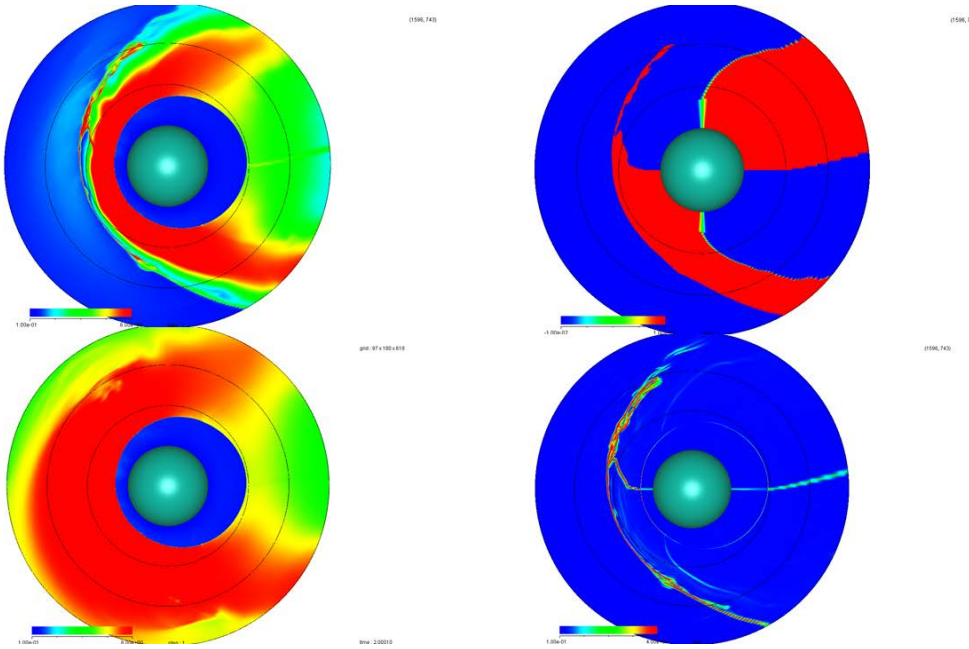
- T.K.M. Nakamura, R. Nakamura, I. Shinohara, and T. Umeda, Secondary lower hybrid drift instability in anti-parallel magnetic reconnection, in prep.

（別紙様式6-2）

太陽圏構造の計算機解析
A computer analysis of the outer heliosphere

鷲見　治一　アラバマ大学CSPAR研究所

我々は、ボイジャー1号探査機（V1）が2012年にヘリオポーズを越え、星間空間に入った時期の、磁場及び宇宙線観測を説明することを目的として、MHD解析による研究を進めている。太陽圏外圏構造は南北非対称性、ヘリオポーズ近傍でのp-H荷電交換に伴う不安定性、及び太陽活動長短期変動による影響を受けている[1]。



第1図　太陽圏外圏構造。圧力（左上）、紙面に垂直方向磁場(-0.03~0.03μG)（右上)，圧力及び磁気圧力の和(左下)、及び電流強度(右下)。内部境界は太陽から 50AU の距離。2本の黒線は半径100AU及び150AU。図の大きさは200AU。

第 1 図では内部境界および外部境界(900AU)でのプラズマ、大気及び磁場は定常の条件でのMHDシミュレーションの結果である。今後は内部条件の変動、例えば太陽11年周期磁場変動など、を与え、太陽圏外圏がどのような応答を示すか解析を行う予定である。

文献: 1. H. Washimi et al. ApJ 809, 16 (2015)

次世代 M-I 結合シミュレション
Next generation M-I coupling simulation

田中　高史　九州大学　国際宇宙天気科学教育センター

１．報告の要旨

共同研究は目標を達成し、これまでの成果は、複合系磁気圏物理学として集大成されました。よって、これをもって共同研究は終了といたします。開発目標であった REPPU（REProduce Plasma Universe）コードは完成し、磁気圏物理学研究の基本ツールとして、皆様に配布されています。このコードのコンセプトは、グローバルシミュレーション中で、電離圏の分解能を無限に上げることができるというものです。最終結論は、以下のようになります。

２．報告の詳細

対流はなぜ発生するかと問われれば、誰しも真っ先に Dungey を思い出すでしょう。複合系磁気圏物理学では、この Dungey 対流に対して 2 つの大きな疑問が投げかけられます。第 1 は Dungey 対流では圧力を描かないで対流が発生するようになっていますが、圧力分布なしに対流を起こすのは誤りではないかという疑問です。第 2 はダンジェー対流では X ポイントリコネクションが想定されていますが、これは誤りで、正しくは 3 次元セパレーターリコネクションではないかという疑問です。

圧力分布がなくても対流が発生するというのは、open 磁場の磁気張力が磁気圏プラズマを引っ張るというイメージです。引っ張ろうとするとそれは磁気張力と加速度のバランスを生み出し、結果としてアルフェン波が励起され、それは磁力線に沿って伝搬し電離圏に至るでしょう。アルフェン波は電離圏で反射され、その後もバウンシングを繰り返す必要があります。このプロセスは結局 FAC、ダイナモ、エネルギー変換の発生であり、対流は FAC の生成過程です。ダイナモの力バランスには圧力場が不可欠であり、ダイナモの駆動は熱エネルギーから電磁エネルギーへの変換によるというのが複合系磁気圏物理学の結果です。P を描かないで対流を起こすのは誤りとなります。

2 次元では磁場特異点（ヌル点）は X と O の 2 種類であり、リコネクションは唯一 X ポイントで可能です。X ポイントでは、反平行リコネクションとエネルギー変換が一緒に起こるとされています。一方 3 次元ではヌル点の生成はもっと多様であり、同時に 2 つのヌル

点を結ぶセパレーターラインの形成が起こります。3 次元リコネクションは、セパレーターライン上で磁力線がグローバルな識別を失うことによって発生する平行リコネクションであり、直接のエネルギー変換は起こらないというのが複合系磁気圏物理学の結果です。

2 つの変更の効果は、対流と FAC に留まらず、サブストーム、SC、地磁気脈動、テーターオーロラ、など全ての磁気圏現象に波及します。REPPU コードから得られた結果は、MHD の分解能を上げればサブストームが再現されるというものであり、これは世界に流通している磁気圏物理学とは正反対の結果です。Dungey 対流の延長では、オンセットには急激なリコネクションが必要であり、オンセット FAC は非 MHD 効果で発生するということになりますが、複合系では、サブストームは対流の発展と変動であり、ヌル点の分裂・統合と、非定常ダイナモ（地球近傍ダイナモ）による熱エネルギーから電磁エネルギーへの変換で、自然に発生します。その他の全ての磁気圏現象は、ダイナモの駆動と FAC の生成を基本にして理解されます。

３．全体の感想

振り返れば磁気圏研究は、地上観測から上空の構造を予測することから始まりました。その時代には、予測は磁気圏を直接観測すれば確かめられると思われていました。しかし実際に直接観測を行うと、部分から全体を予測するのもまた困難であることが認識されるようになりました。たとえば CW といっても観測で電流線をトレースしたわけではなく、あくまでも予想です。しかし磁気圏のモデルから電離圏に延長ができれば、電離圏では観測との全体比較ができます。サブストームなら、initial brightening や WTS を再現するモデルが正しいという指針になります。SC や Pi2 なら磁場変動がグローバルに再現されるモデル、テーターオーロラならオーロラ分布が再現されるモデルが正しいというのが指針となります。このような複合系磁気圏物理学の研究が REPPU コードによって可能であり、観測、モデル双方の有効性が増加します。

ダンジェー対流、反平行リコネクション、カスプリコネクション、遠尾部中性線、CW、ボストローム電流など、磁気圏物理学の根幹をなす概念がことごとく誤りでは、磁気圏物理学の存続が危うくなります。これらの誤りに取りつかれると、そこから出られなくなる現実は、自在性は簡単に見えて、実は最も困難な素質であることを示しているのでしょうか。しかしながら根はもっと深いかもしれません。20 世紀には普遍的原理が尊いといわれていました。それに迎合する方向が、リコネクションでサブストームが起きるという思考だったのでしょうか。磁気圏物理学は原理の科学ではなく、観測という照合機能を備えた複合系の科学です。全体の自己無撞着性を満たすことが核心です。その上で電離圏の全体を再現するモデルを、正しいとモデルと結論できます。

中・低緯度域における中性–電離大気結合過程の研究

Coupling processes between neutral atmosphere and ionosphere in mid- and low-latitude regions

横山 竜宏　　情報通信研究機構

研究目的

地球大気を覆う電離圏は下層の中性大気と宇宙空間を繋ぐ遷移領域であり、多くの複雑な物理、化学過程が存在するため現在も未解明な現象が多く残されている。電離圏のプラズマはその運動が中性大気との衝突によって強く支配されているため、中性大気と電離大気の相互作用を解明することは電離圏の物理過程を理解する上で非常に重要である。本研究では中・低緯度域における中性-電離大気相互作用、特に電離圏イレギュラリティの生成に重要である分極電界の生成に着目し、低緯度域におけるプラズマバブルの生成機構解明を目指す。

昨年度に完成させた、プラズマバブルを非常に高い空間分解能で再現できるモデルを利用し、プラズマバブルの東西非対称性の形成メカニズムについて明らかにした。また、磁力線に沿った等ポテンシャルの仮定を外した3次元電場を計算できるコードを開発し、沿磁力線電流を含めた3次元電流場の計算を行った。その結果、観測と同程度の磁場変動が再現され、沿磁力線電流を含む3次元の電流分布は、想定されていたモデルとよく合致することが明らかとなった。

研究手法

本研究は計算機利用共同研究として、情報連携基盤センターのスーパーコンピュータを利用した。正イオンとして NO^+(E 領域) と O^+(F 領域) の 2 種類を与える。各イオンと電子の連続の式、運動方程式、電流保存の式は以下で与えられる。

$$\frac{\partial N_i}{\partial t} + \nabla \cdot (N_i \mathbf{V}_i) = S_i \tag{1}$$

$$q_j(\mathbf{E} + \mathbf{V}_j \times \mathbf{B}) + M_j \boldsymbol{g} - \frac{\nabla(N_j k_B T)}{N_j} + M_j \nu_{jn}(\mathbf{U} - \mathbf{V}_j) = 0 \tag{2}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{J} = \nabla \cdot \left[e \left(\sum_i N_i \mathbf{V}_i - N_e \mathbf{V}_e \right) \right] = 0 \tag{3}$$

磁気赤道を中心とするダイポール座標系を用い、磁気赤道上で高度 88-1270km、緯度方向に ±20 度、経度方向に 3.4 度の領域を確保した。プラズマバブルの壁面では密度勾配が非常に急峻となるため、その密度勾配を離散グリッド状で再現するためには、精度の高い数値スキームが必要である。本研究で開発した数値モデルでは、水平方向のグリッド間隔を約 1km とし、移流スキームに時間、空間共に 3 次精度を持つ CIP 法を用いた。3 次元電流場の計算の際には、磁力線に沿った等ポテンシャルの仮定を行わず、3 次元空間での電流保存を計算できるコードを開発した。

結果と今後の課題

図 1 に、東西対称の初期密度変動を電離圏下部に与え、東向き電場と中性風を与えた場合のプラズマバブルの成長過程を示す。プラズマバブルの西側の壁面がより不安定となり、成長している様子が確認できる。この形状はレーダー観測等から得られている結果ともよく一致している。この東西非対称の原因は、従来は東向きの中性風によるものと考えられてきたが、中性風を含めない計算においても同様の非対称が形成されたことから、電離圏下部におけるプラズマの東西ドリフトの鉛直方向にシアによるものであると結論づけた。

図 2 に 3 次元電場の計算から得られた電流密度ベクトル分布を示す。圧力勾配に起因する電流は、常に等密度線に沿って流れるため、プラズマバブルの先端部分に集中することになる。結果として、プラズマバブルを迂回するような電流場が形成され、この電流により、プラズマバブル内部の磁場は反磁性効果により強められることになる。また、東向き電流の一部は、沿磁力線電流となってプラズマバブルの西側を極向きに流れ、東側を赤道向きに流れる。この沿磁力線電流は、E 領域において Pedersen 電流としてプラズマバブルの磁力管を横切って閉じる回路を形成している。このような電流分布は、Stolle et al. (2006) で示されたモデル図と非常に良く一致している。図 3 に、Swarm A 衛星がプラズマバブル内部を観測した際の電子密度と磁場変動と、シミュレーション開始から 3600 秒後の十分に発達したプラズマバブル内部の同様の図を示す。密度の減少領域で、主磁場方向の磁場が約 1nT 強められている様子が見られる。また、沿磁力線電流によって、主磁場直交方向の磁場も変動している。以上から、CHAMP と Swarm 衛星で観測された磁場変動が、プラズマバブルに伴う電流場によるものであることが、確認された。

今後は、全球大気圏電離圏モデルから得られる背景の条件を本研究で開発した領域モデルに組み入れ、プラズマバブルの生成について検討を進める予定である。

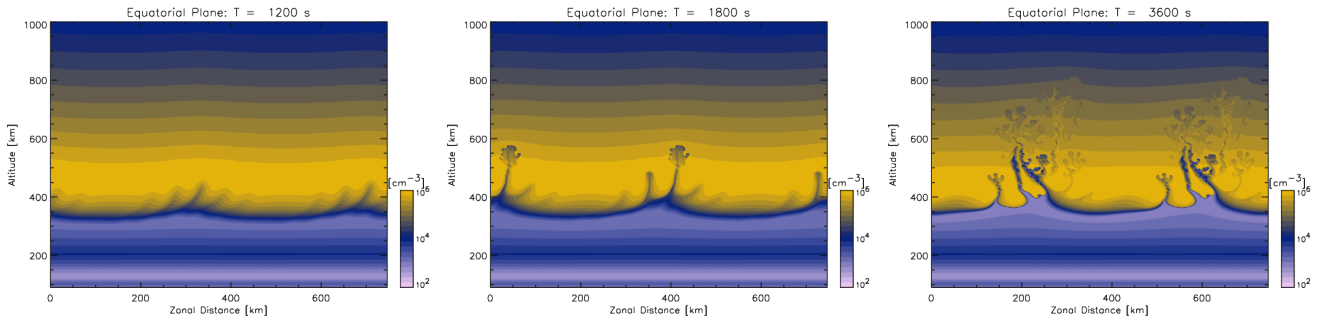


図 1: プラズマバブルのシミュレーション結果。右図は東西–鉛直断面におけるプラズマバブルの発達過程。

成果発表

Yokoyama, T., H. Jin, and H. Shinagawa, West wall structuring of equatorial plasma bubbles simulated by three-dimensional HIRB model, *J. Geophys. Res. Space Physics,* **120**, 8810-8816, doi:10.1002/2015JA021799, 2015.

Yokoyama, T., H. Jin, and H. Shinagawa, Three-dimensional high-resolution plasma bubble modeling and its integration with the whole atmosphere-ionosphere coupled model, 14th International Symposium on Equatorial Aeronomy [Bahir Dar, Ethiopia: October 2015].

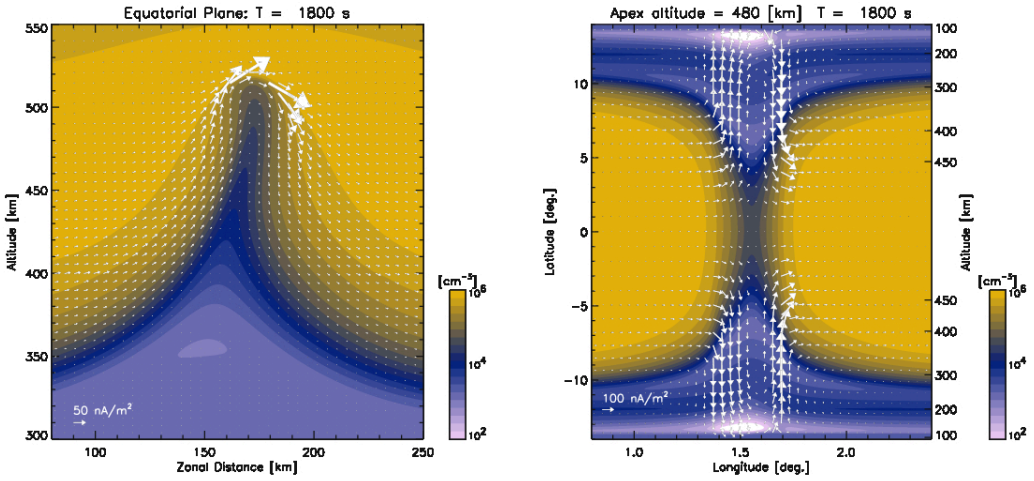


図 2: 成長中のプラズマバブルの密度分布と電流ベクトル。左図は赤道面、右図は磁力線に沿った面。

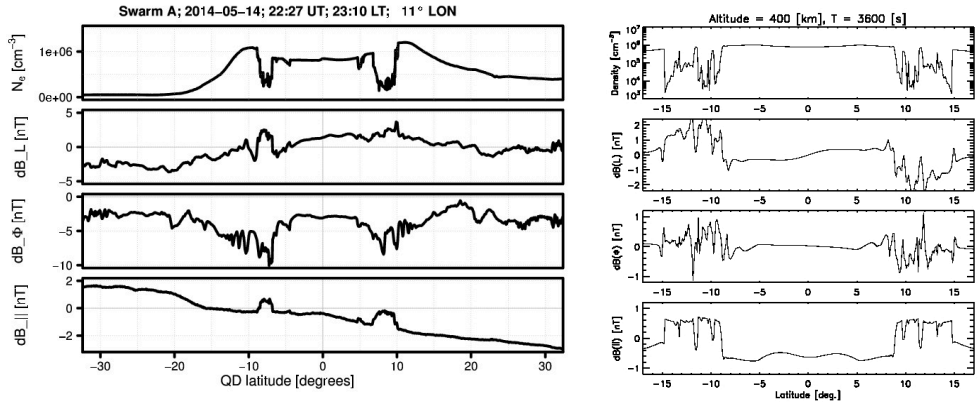


図 3: (左図)Swarm A 衛星により観測された電子密度と磁場変動。(右図) シミュレーションによるプラズマバブル内部の密度変動と磁場変動。

Yokoyama, T., Polarization electric field and plasma instability in the ionosphere, ISSI Workshop Earth Magnetic Field [Bern, Switzerland: May 2015] (Invited).

Yokoyama, T., H. Shinagawa, and H. Jin, Three-dimensional high-resolution plasma bubble modeling, 2015 Korea Space Science Spring meeting [Kangwon-do, South Korea: April 2015] (Invited).

Shinagawa, H., Y. Miyoshi, H. Jin, H. Fujiwara, and T. Yokoyama, Analysis of occurrence characteristics of sporadic E layers using GAIA, 14th International Symposium on Equatorial Aeronomy [Bahir Dar, Ethiopia: October 2015].

Shinagawa, H., H. Jin, Y. Miyoshi, H. Fujiwara, and T. Yokoyama, Estimation of occurrence probability of plasma bubbles using GAIA, Asia Oceania Geosciences Society 12th Annual General Meeting [Singapore: August 2015].

横山 竜宏, Claudia Stolle, 赤道プラズマバブルに伴う磁場変動の数値シミュレーション, 第 29 回大気圏シンポジウム [相模原: 2016 年 3 月].

横山 竜宏, 陣 英克, 品川 裕之, 三好 勉信, 藤原 均, 高精細プラズマバブルシミュレーションと全球大気圏電離圏モデルの結合, 第 138 回 地球電磁気・地球惑星圏学会講演会 [東京: 2015 年 11 月].

横山 竜宏, 陣 英克, 品川 裕之, 三好 勉信, 藤原 均, 高精細プラズマバブルシミュレーションと全球大気圏電離圏モデルの結合, 平成 27 年度 名古屋大学太陽地球環境研究所 研究集会 STE シミュレーション研究会 [京都: 2015 年 9 月].

横山 竜宏, 陣 英克, 品川 裕之, 山本 衛, 大塚 雄一, S. Tulasi Ram, K. K. Ajith, プラズマバブルの数値シミュレーションと近年の EAR 電離圏観測成果, 第 9 回 MU レーダー・赤道大気レーダーシンポジウム, pp.63-64 [宇治: 2015 年 9 月].

横山 竜宏, 品川 裕之, 陣 英克, Three-dimensional plasma bubble simulation driven by whole atmosphere-ionosphere coupled model, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会 [千葉: 2015 年 5 月].

品川 裕之, 陣 英克, 三好 勉信, 藤原 均, 横山 竜宏, 大塚 雄一, 全大気圏-電離圏結合モデル GAIA を用いたプラズマバブル発生確率予測, 平成 27 年度電磁圏物理学シンポジウム [福岡: 2016 年 3 月].

品川 裕之, 陣 英克, 三好 勉信, 藤原 均, 横山 竜宏, GAIA を用いたプラズマバブル発生確率予測, 第 138 回 地球電磁気・地球惑星圏学会講演会 [東京: 2015 年 11 月].

品川 裕之, 陣 英克, 三好 勉信, 藤原 均, 横山 竜宏, GAIA を用いた電離圏擾乱予測, 平成 27 年度 名古屋大学太陽地球環境研究所 研究集会 STE シミュレーション研究会 [京都: 2015 年 9 月].

（別紙様式6-2）

エクサフロップス計算に向けたMHDコードの様々なCPUアーキテクチャへの最適化
Optimization of MHD code to various CPU architecture toward exa-flops computer

深沢　圭一郎、京都大学・学術情報メディアセンター

いわゆるスーパーコンピュータと呼ばれる計算機システムは、現在のペタフロップス級計算機から、2020年頃にはエクサフロップス級計算機へ発展していると想定されている。その頃の日本の計算機はGPU、x86コア（メニーコアMIC含む）、そして「京」に採用されているSPARC系、あるいは今後のARM系のアーキテクチャでエクサフロップス級計算機が実現されると文科省の調査プロジェクトで報告がされている。GPUはCUDAを用いる若しくは、OpenACCと呼ばれるディレクティブを挿入することで、プログラミンが可能であるが、x86系CPUやMIC、またSPARCやPOWER系のアーキテクチャでは動作せず、ソフトウェア資産としては共通性が無い。そのため、GPU系を除いた現存のx86とSPARCという2つのアーキテクチャで最適化を行い、それをもとにエクサフロップス級に対応していくことは、幅広くその技術が資産として使えることから非常に重要である。

名古屋大学情報基盤センターでは平成25年秋に新システムが導入され、FX10というSPACR系、CX400というx86系（メニーコアXeon Phiを含む）の計算機がある。さらに平成27年度中にFX10がFX100へ置き換わり、また新しいアーキテクチャのx86系CX400も導入された。本研究ではこれらの計算機システムを利用し、MHDコードの最適化を行うことを目的としている。

本年度はまず、FX100に対するMHDコードの最適化を行った。FX100はFX10の後継機であるが、コア数の倍増、三次元スタックメモリの導入によるメモリバンド幅の上昇と構造の変化、通信やOS処理専用コアの導入などアーキテクチャが大きく変わっている。基本的な性能や計算機の特徴を理解するために、FX10でも行った各種領域分割、キャッシュ効率化されたコードの性能測定を行った。その結果FX100はFX10とは異なりベクトル最適化コードの性能が高いと分かった。性能のプロファイリングをハードウェアカウンターから取得すると、メモリバンド幅、キャッシュの利用効率が低くいことが分かったため、ループ構造の最適化や計算配列の分割などを行い、最終的にはFX10と比べて3.58倍の性能を得た（利用コア数を等しくした場合）。FX100はSIMD幅が4wayであり、FX10の倍となっているが、それ以上の性能向上が得られた。

来年度からは今回のSPARC系の最適化に利用したコードを再利用しながら、x86系の最適化を行って行く予定である。

成果発表

1. K. Fukazawa, "An MHD Simulation of Global Planetary Magnetosphere Using K-Computer", 3 - 7 August 2015, AOGS 12th Annual Meeting, Singapore.

2. 深沢圭一郎、森江善之、曽我武史、高見利也、南里豪志、"Halo スレッドの MHD シミュレーションへの導入と性能評価"、STE シミュレーション研究会 - エクサスケールに向けて - 、京都、2015 年 9 月 28 日 - 30 日.

3. 深沢圭一郎、森江善之、曽我武史、高見利也、南里豪志、”エクサスケールコンピューティングに向けた Halo スレッドの電磁流体シミュレーションに対する効果”、情報処理学会研究報告, 2015-HPC-151(23), 1-6, 2015.

4. 深沢圭一郎、森江善之、曽我武史、高見利也、南里豪志、” ステンシル計算における効率的な Halo 通信・計算モデルの開発”、情報処理学会研究報告, 2015-HPC-153(7), 1-6, 2015.

（別紙様式6-2）

地球磁気圏のグローバル粒子シミュレーションの実現に向けて
Toward a global particle simulation of the Earth magnetosphere

藤本桂三、国立天文台・理論研究部

【研究目的】

地球磁気圏サブストームにともなうプラズマの運動量・エネルギー輸送過程の解明は磁気圏物理学における最重要課題の1つである。地球磁気圏のサイズは、イオンや電子の運動論スケールに比べて十分大きいため、これまでは磁気流体（MHD）シミュレーションによる研究が一般的であった。しかし、宇宙プラズマは無衝突プラズマであるため、突発的過程によって大きく変形を受けた分布関数は容易には熱的緩和を受けず、MHD近似が必ずしも妥当とは限らない。そこで、本研究では、地球磁気圏と太陽風からなる系全体をプラズマ粒子モデルで記述する、グローバル粒子シミュレーションコードを開発し、運動論効果を陽に取り入れた大局的な磁気圏モデルの構築を目指す。

【研究方法】

地球磁気圏の太陽風との相互作用、および、太陽風変動に伴う過渡現象を解明するための、グローバル粒子シミュレーションコードの開発に着手した。効率的なマルチスケール粒子シミュレーションを実現するため、従来の粒子法（Particle-in-Cell（PIC）法）に適合細分化格子（Adaptive Mesh Refinement: AMR）を適用した独自の電磁粒子コード（AMR-PICコード）を用いた。空間的に一様な密度・温度・フロー速度（-X方向）を持つプラズマ中に北向き（+Z方向）の磁場を与え太陽風を作る。この一様プラズマ中に地球磁場を模した双極子磁場を置く（図１）。境界条件は、X方向、Z方向ともに開放境界とし、プラズマと磁気フラックスが境界を通して自由に出入りできるようにしている。

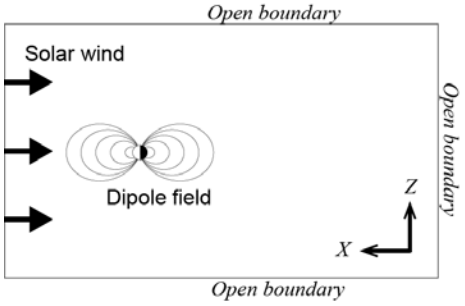


図１:グローバル粒子シミュレーションの初期設定。

【研究結果・考察】

本年度は、地球磁場よりも小さなダイポール磁場に対してテストシミュレーションを行った。その結果、シミュレーションの初期条件として有限なダイポール磁場を与えた場合、計算の開始と同時に大振幅の電磁波動が発生し、計算領域全体に大きな擾乱をもたらすことがわかった。そこで、本研究では、計算の初期条件のダイポール磁場をゼロとし、計算の進行とともに徐々に強めていくことにした。その結果、大きな電磁擾乱は発生せず、静的に計算を進めることに成功した。

【成果発表】

1. 投稿論文

- Chen, Y., K. Fujimoto, C. Xiao, and H. Ji, Plasma waves around separatrix

in collisionless magnetic reconnection with weak guide field, *J. Geophys. Res.*, *120*, 6309-6319, doi:10.1002/2015JA021267, 2015

- Fujimoto, K., and M. Takamoto, Ion and electron dynamics generating the Hall current in the exhaust far downstream of the reconnection x-line, *Phys. Plasmas*, *23*, 012903, doi:10.1063/1.4940322, 2016.

2. 口頭発表

- 藤本桂三, 高本亮, 無衝突磁気リコネクションのMHDスケールダイナミクス, 地球惑星科学連合2015年大会, 千葉県千葉市, P-EM26-03, 2015年5月.
- 藤本桂三, ３次元磁気リコネクションのアウトフロー構造, 地球惑星科学連合2015年大会, 千葉県千葉市, P-EM28-01, 2015年5月.
- K. Fujimoto, 3D dynamics of collisionless magnetic reconnecction in anti-parallel configuration, 10th Annual International Conference on Numerical Modeling of Space Plasma Flows (ASTRONUM2015), Avignon, France, June, 2015. (Invited)
- K. Fujimoto, Wave activities and their roles in collisionless magnetic reconnection, Reconnection Workshop, Magnetic Reconnection in Plasmas, Stockholm, Sweden, Augast, 2015.
- K. Fujimoto, Large-scale particle-in-cell simulation of 3D collisionless reconnection, 5th East-Asia School and Workshop on Laboratory, Space, and Astrophysical Plasmas, Pohang, Korea, Augast, 2015.
- 藤本桂三, 磁気リコネクションに起因する３次元アウトフロージェット, 第138回地球電磁気・地球惑星圏学会, 東京都文京区, R008-03, 2015年11月.
- 藤本桂三, プラズマ粒子シミュレーションで明らかになった磁気リコネクションの大規模構造, サブストーム研究会, 愛知県名古屋市, 2016年2月.
- K. Fujimoto, 3D flux ropes and outflow jets in anti-parallel collisionless reconnection, 2016 US-Japan Workshop on Magnetic Reconnection (MR2016), Napa, USA, March, 2016. (Invited)
- 藤本桂三, 3次元磁気リコネクションにおけるフラックスロープとアウトフローの構造, 磁気リコネクション研究の最前線と今後の展望, 東京都三鷹市, 2016年3月.

南向きIMFの時に地球磁気圏境界で発生した渦のグローバルMHDシミュレーション研究
Global MHD simulation study of the vortex at the magnetopause boundary during southward IMF

朴京善、忠北大学校・天文宇宙学科

1) 研究目的

Solve the problems below by using the global MHD simulation、

① How、When、Where and Why do magnetic reconnection occur、What is the role of turbulence in the reconnection process。

② How the vortex is quasi-periodically generated under the steady solar wind and southward IMF conditions in a global MHD simulation。

③ How different the vortical flow in our simulation under southward IMF with the Kelvin-Helmholtz instability or pressure-pulse driven under northward IMF。

2) 研究内容

We have used a high-resolution and three-dimensional global magnetohydrodynamic (MHD) simulation to study the interaction between the steady solar wind and Earth's magnetosphere during the weak southward IMF。 The simulation results show that the vortex like is generated at about $R = 11.7 R_E$ region (1600LT-1700LT) with a vortex size of about 2.9 R_E at the inner boundary of magnetosphere。 The vortices are propagating taiward with a velocity of 55 km/s up to 86 km/s。Moreover、the quasi-periodic fluctuations of magnetic field and plasma properties clearly show 8-10 min variations across the vortex。 The total magnetic field and density are enhanced in center of the vortex with a bipolar magnetic field perturbation in the field component normal to the magnetopause。 Also the velocity is low in the center of the vortex and V_x and V_y components have an opposite polarity across the vortex。

3) 研究成果

研究会口頭発：

MHD Simulations for Substorm Observations under Northward IMF Conditions、Kyung Sun Park, Dae-Young Lee, Tatsuki Ogino, and Dong-Hun Lee、韓国宇宙科学科会、2015年4月29日ー30日。

Global MHD simulation study of the vortex at the magnetopause boundary for the southward IMF、 K. S. Park、D-Y. Lee、T. Ogino、D-H. Lee、and K-H. Kim、2015 ISEE workshop ″International GEMSIS and ASINACTR-G2602 Workshop: Future Perspectives of Researches in Space Physics″、2016年3月22日ー25日。

論文発表：K. S. Park、D-Y Lee、T. Ogino、and D-H Lee (2015) 、 MHD simulations using average solar wind conditions for substorms observed under northward IMF conditions、JGR、120, 7672-7686、doi:10.1002/2015JA021005。

論文投稿：H. Kim、K. S. Park、T. Ogino、R. Clauer、J. Ruohoniemi、D-Y Lee、 and D-H Lee、Magnetospheric and ionospheric response to a sudden increase in solar wind dynamic pressure during northward IMF: a case study、JGR。

（別紙様式6-2）

磁気圏-電離圏-熱圏-大気圏結合モデルの開発

Development of magnetosphere-ionosphere-thermosphere-atmosphere coupling model

品川裕之（国立研究開発法人 情報通信研究機構）

研究の背景・目的

地球の超高層大気が、太陽 X 線や紫外線、磁気圏からの電磁エネルギー、降下粒子などの影響を受けて大きく変動することは良く知られており、これまでに多くの研究がなされてきた。しかし近年の超高層大気観測の結果、下層大気起源の潮汐波、プラネタリー波、重力波、音波などの大気波動が上方に伝播し、熱圏・電離圏領域に大きな影響を与えていることが明らかになってきた。さらに太陽 X 線や紫外線、磁気圏から降り込む粒子によって、中層大気の組成などが変動することも明らかになってきた。全大気圏－電離圏－磁気圏系の結合過程を定量的に解明するには、磁気圏から下層大気までの全ての領域と相互作用過程を自己無撞着に含んだ統合シミュレーションモデルの構築が必要不可欠である。

本研究は、これまでに構築された個々の領域モデル（磁気圏、電離圏、電離圏ダイナモ、熱圏、下層・中層大気圏）を結合した統合モデルを構築し、それを用いてジオスペースの領域間相互作用に伴う様々な現象、特に、磁気圏-電離圏-大気圏結合システムを高精度で再現し、理解することを目的とする。

本年度の研究結果

(1) 大気圏-電離圏結合モデル(GAIA)の高精度化

我々のグループでは、下層大気圏から熱圏・電離圏領域までを全て含む、大気圏-電離圏結合モデル（GAIA: Ground-to-topside model of Atmosphere and Ionosphere for Aeronomy）の開発を行ってきた。本年度は前年度から進めている GAIA の高精度化に加え、数値コードの高速化を進めた。GAIA の中性大気モデルは、格子点法による差分化ではなくスペクトル法を用いた数値解法であったため、これまで並列化が困難であったが、この部分を改良して MPI 化することにより、３倍以上の高速化を達成した。電離圏モデル部分については、本年度は、数値スキームや座標系などの検討とテストを行った。また、主磁場のモデルは、これまでの傾けたダイポール磁場モデルから、より現実的な IGRF(国際標準地球磁場)モデルを用いたモデルへ改良する方法を検討した。

(2) 磁気圏モデルを入力とした大気圏-電離圏結合シミュレーション

磁気嵐時の電離圏変動を調べるには、太陽風を磁気圏モデルに入力として与えて、その極域のパラメータを GAIA の入力とするシミュレーションを行う必要がある。本年度は、前年度に引き続き、NICT の磁気圏 MHD モデルから得られる極域電離圏ポテンシャルと電気伝導度を GAIA の入力とするテストを行った。この結果に基づき、平成 29 年度も継続して開発を行う予定である。

(3) プラズマバブルの高精度シミュレーション研究

前年度に引き続き、高精度領域型電離圏モデルの開発を進めた。本年度は、プラズマバブルの微細構造を再現できる高精度プラズマバブルモデルを構築した［Yokoyama et al., 2014］。さらに、このモデルにグローバル大気圏-電離圏結合モデル（GAIA）で得られる背景場を入力として、日本周辺のプラズマバブルを再現できるモデルの開発を進めた。本年度は、テスト計算として、GAIA で計算された熱圏背景風をプラズマバブルモデルに入力して、プラズマバブルモデルの応答を調べた。その結果、現実的なプラズマバブルモデルの再現には、プラズマバブルモデルと GAIA の電離圏パラメータの整合性が重要であり、両者を完全に一致させる必要があることがわかった。次年度は、この点の検討を重点的に行う予定である。

論文

Fujiwara, H., S. Nozawa, Y. Ogawa, R. Kataoka, Y. Miyoshi, H. Jin, and H. Shinagawa, Extreme ion heating in the dayside ionosphere in response to arrival of a coronal mass ejection on March 12, 2012, *Ann. Geophys., 32*, 831–839, 2014.

Maruyama, T., and H. Shinagawa, Infrasonic sounds excited by seismic waves of the 2011 Tohoku-oki earthquake as visualized in ionograms, *J. Geophys. Res., 119*, doi:10.1002/2013JA019707, 2014.

Miyoshi, Y., H. Fujiwara, H. Jin, and H. Shinagawa, A global view of gravity waves in the thermosphere simulated by a general circulation model, *J. Geophys. Res., 119*, 5807–5820, doi:10.1002/2014JA019848, 2014.

Yokoyama, T., H. Shinagawa, and H. Jin, Nonlinear growth, bifurcation, and pinching of equatorial plasma bubble simulated by three-dimensional high-resolution bubble model, *J. Geophys. Res., 119*, 10,474–10,482, doi: 10.1002/2014JA020708, 2014.

Yokoyama, T., H. Jin, and H. Shinagawa, West wall structuring of equatorial plasma bubbles simulated by three-dimensional HIRB model, *J. Geophys. Res. Space Physics*, DOI: 10.1002/2015JA021799, 2015.

Miyoshi, Y., H. Fujiwara, H. Jin, and H. Shinagawa, Impacts of sudden stratospheric warming on general circulation of the thermosphere, *J. Geophys. Res. Space Physics*, DOI: 10.1002/2015JA021894, 2015.

Terada, K., N. Terada, H. Shinagawa, H. Fujiwara, Y. Kasaba, K. Seki, F. Leblanc, J.-Y. Chaufray, and R. Modolo, A full-particle Martian upper thermosphere-exosphere model using the DSMC method, *J. Geophys. Res. Space Physics*, in review, 2016.

Shinagawa, H., Y. Miyoshi, H. Jin, and H. Fujiwara, Global distribution of neutral wind shear associated with sporadic E layers derived from GAIA, *Geophys. Res. Lett.*, in review, 2016.

国際学会発表

Shinagawa, H., H. Jin, Y. Miyoshi, H. Fujiwara, and T. Yokoyama, Estimation of occurrence probability of plasma bubbles using GAIA, Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) AOGS 12th Annual Meeting, Singapore, August 7, 2015.

Shinagawa, H., H. Jin, Y. Miyoshi, H. Fujiwara, and T. Yokoyama, Estimation of Occurrence Probabilities of Plasma Bubbles and Sporadic E layers Using GAIA, International Symposium PSTEP-1 “Toward the Solar-Terrestrial Environment Prediction as Science and Social Infrastructure”, Nagoya University, January 13–14, 2016.

国内学会発表

品川 裕之, 三好 勉信, 陣 英克, 藤原 均, Analysis of occurrence characteristics of sporadic E layers using GAIA, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 幕張メッセ国際会議場, 2015 年 5 月 24 日.

品川 裕之, 陣 英克, 三好 勉信, 藤原 均, 横山 竜宏, GAIA を用いた電離圏擾乱予測, STE シミュレーション研究会, 京都大学学術情報メディアセンター, 京都市, 2015 年 9 月 29 日

品川 裕之, 陣 英克, 三好 勉信, 藤原 均, 横山 竜宏, GAIA を用いたプラズマバブル発生確率予測, 第 138 回地球電磁気地球惑星圏学会（SGEPSS）講演会, 東京大学理学部, 東京都文京区, 2015 年 11 月 3 日.

Shinagawa, H., H. Jin, T. Yokoyama, Y. Miyoshi, and H. Fujiwara, Whole atmosphere-ionosphere coupled model GAIA: Current status and future prospects, 宇宙地球環境研究所設立記念シンポジウム, 名古屋大学東山キャンパス野依記念学術交流館, 2015 年 11 月 5 日.

品川 裕之, 陣 英克, 三好 勉信, 藤原 均, 横山 竜宏, GAIA を用いたスポラディック E 層及びプラズマバブルの発生予測, 第 136 回地球電磁気地球惑星圏学会（SGEPSS）講演会, キッセイ文化ホール, 長野県松本市, 2014 年 11 月 3 日.

品川 裕之, 陣 英克, 三好 勉信, 藤原 均, 横山 竜宏, 大塚雄一, 全大気圏-電離圏結合モデル GAIA を用いたプラズマバブル発生確率予測, 電磁圏物理学シンポジウム, 九州大学西新プラザ, 2016 年 3 月 10 日.

（別紙様式6-2）

衝撃波静止系シミュレーションコードを用いた無衝突衝撃波の研究

Study of collisionless shocks with shock-rest-frame simulation codes

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。

研究方法：従来の無衝突衝撃波の計算機実験では、計算機内に生じた衝撃波が上流へと高速で伝播するため、多次元モデルおよび長時間の計算機実験が非常に困難であった。しかし、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、衝撃波の発展を衝撃波静止系で追うことに世界で初めて成功し、長時間の計算機実験が現実的なものとなった。計算機実験はSTE研のDELL PowerEdge R815を使用した。

研究結果：本年度では、低マッハ数(M_A=6)の垂直衝撃波の計算機実験を、プラズマ・ベータ値を0.08, 0.32, 1.28と変化させて行った。その結果、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ることがわかった。結果の一部は2015年9月に開催されたSTEシミュレーション研究会で発表した[1]。

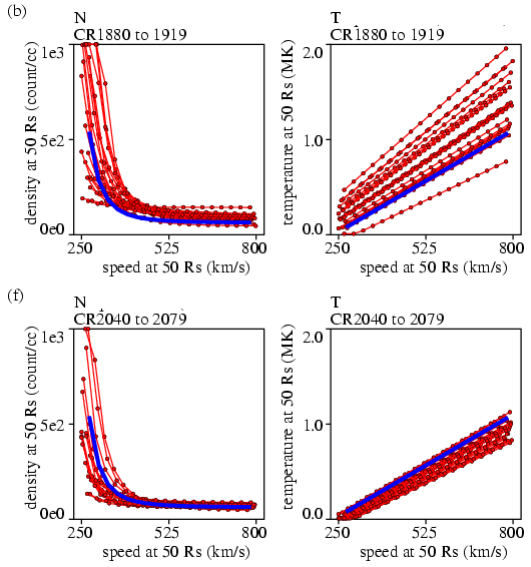
[1] 山崎了、梅田隆行、松清修一「衝撃波静止系シミュレーションコードを用いた低マッハ数の無衝突衝撃波の研究」、STE シミュレーション研究会 - エクサスケールに向けて -、平成 27 年 9 月 28－30 日、京都大学学術情報メディアセンター

（別紙様式6-2）

本太陽活動極大期の太陽風と太陽コロナ構造
Structure of the solar corona and solar wind in 2013 and 2014

林　啓志、名古屋大学宇宙地球環境研究所

IPSによる太陽風速度データ、MHD方程式および、実測データ（地球近傍およびUlysses 探査機）の３つの拘束条件を同時に満たすような静穏太陽風三次元構造を決定する手法、およびそれに付随する太陽風速度と太陽風密度・温度との関係を規定する経験関数を1970年代から最近にいたるまでの期間について求め、その詳細に調べた。それにより直近の時期とそれ以前で異なる点があることが判明した（下図）。時間についての傾向から、とくに太陽周期23後半から顕著である太陽光球面強度およびコロナ磁場構造の特異性との関係が示唆された。太陽風領域における詳細については次年度の研究テーマとして提案したい。



密度と速度の関係(左)と温度と速度の関係(右)。
上は１９９５年付近、下の２００５年付近でのものを表す。ある速度の太陽風の温度・密度が全般に低下していることがわかる。同様の傾向は近年も継続している。

発表：

1. 2015年日本天文学会秋季年会：Keiji Hayashi, Munetoshi Tokumaru, and Ken'ichi Fujiki, "On optimized relation functions of solar wind plasma used in the IPS-MHD tomography and their long-term evolution"
2. 2015年AGU Fall meeting：**Keiji Hayashi**, Munetoshi Tokumaru, and Ken'ichi Fujiki, "IPS analysis on relationship among velocity, density and temperature of the solar wind"
3. JGR誌　投稿済

（別紙様式6-2）

高エネルギー粒子ハイブリッドシミュレーションコードの開発
Development of Energetic-Particle Hybrid Simulation Code

天野孝伸（東京大学・理学系研究科）

宇宙プラズマの数値シミュレーション手法として一般的なハイブリッドシミュレーションでは、イオンのみを運動論的に扱う一方で、質量の軽い電子を流体として近似することで大幅に計算量を節約する。これは電子の流体近似がイオンジャイロ半径程度の空間スケールにおいては比較的良い近似であるため正当化される。一方で、対象とする空間スケールがイオンジャイロ半径よりも十分大きな場合には、イオンについても流体近似が正当化され、磁気流体(MHD)方程式が用いられるのが一般的である。しかしながら、高エネルギーの非熱的粒子の存在下においては、必ずしもMHD近似は良い近似とはなり得ない。それは高エネルギー粒子のジャイロ半径などが非常に大きく、MHDスケールにおいてもその運動論的効果が無視出来ないためである。特に、高エネルギー粒子の持つエネルギー密度が熱的プラズマや磁場のエネルギー密度に対して無視できなくなると、電磁場の発展に大きな影響を及ぼす。太陽地球系物理では太陽高エネルギー粒子や、磁気圏内の環電流成分などが無視できないエネルギー密度を持つことが知られており、このような場合にはMHDと高エネルギー粒子のダイナミクスの連結を組み込むことが必須である。

本年度は独自に定式化した方程式系を実際に数値計算コードに実装し、その性質を実際に評価した。流体部分については、十分にテストされた既存の準中性2流体シミュレーションコードを用い、主に運動論部分の実装を行った。テスト問題として、一様な背景流体と温度異方性を持った高エネルギー成分が共存する系を扱った。これにより、温度異方性に応じてfirehose不安定性や電磁サイクロトロン不安定性など、高エネルギー成分が励起する低周波波動が実際に線形解析と一致する形で再現されることを確認した。

磁気圏における大規模プラズマ不安定とそれに伴う粒子加速の研究

Global Plasma Instabilities and Associated Particle Accelerations in the Magnetosphere

町田　忍　　名古屋大学宇宙地球環境研究所
内野　宏俊　京都大学大学院理学研究科

研究目的

申請の課題について今年度は地球磁気圏昼側の磁気リコネクションに焦点をあてて研究を行った。その領域では、太陽風磁場の向きに応じて太陽風起源のプラズマと磁気圏起源のプラズマによる非対称磁気リコネクションが起こることが知られている。図 1(a)では、粒子シミュレーションで再現された対称磁気リコネクションにおける x 方向の電子の流速とホール電流構造を示している。上流同士の成分が等しい対称磁気リコネクションでは、電流層をまたいだ構造が対称になることがわかる。それに対して、図 1(b)は、電流層中心(x/λ=2.8)の左側がマグネトシース、右側が磁気圏の設定として再現された非対称磁気リコネクションのシミュレーション結果であり、y 方向の電子の流速と電流を示している。対称磁気リコネクションとは異なり、ホール電流系を作る電子の高速流が電流層の磁気圏側に発生することがわかる。本研究では、特にこの非対称磁気リコネクション起源の電子高速流に着目し、人工衛星のイベントデータと粒子シミュレーションの比較研究を行った。

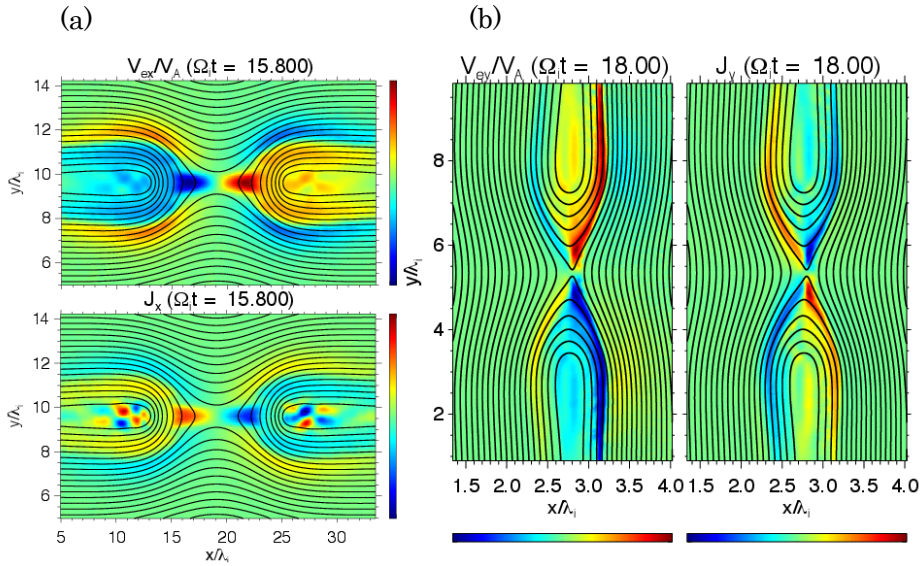


図 1. 粒子シミュレーションで再現された、(a)対称磁気リコネクションの x 方向の電子速度構造(上)と電流構造、(b)非対称磁気リコネクションの y 方向の電子速度構造(左)と電流構造

計算手法

2 次元電磁プラズマ粒子シミュレーションコード pCANS を用いる。これは、千葉大学で開発されたシミュレーションコードである。今回は、2 次元の非対称磁気リコネクションを再現するために、x-y 平面

に 1200x4800 のグリッドをとり、マグネトシースと磁気圏の物理量の比が、磁場強度比 1:1、密度比 20:1、電子温度比 1:10、イオン温度比 1:22.5 となるように設定した。また、電子とイオンの質量比は 1:25 とした。図 2 は、初期条件の x 方向の物理量の空間構造を示しており、$x/\lambda<2.8$ がマグネトシース、$x/\lambda>2.8$ が磁気圏に対応する。

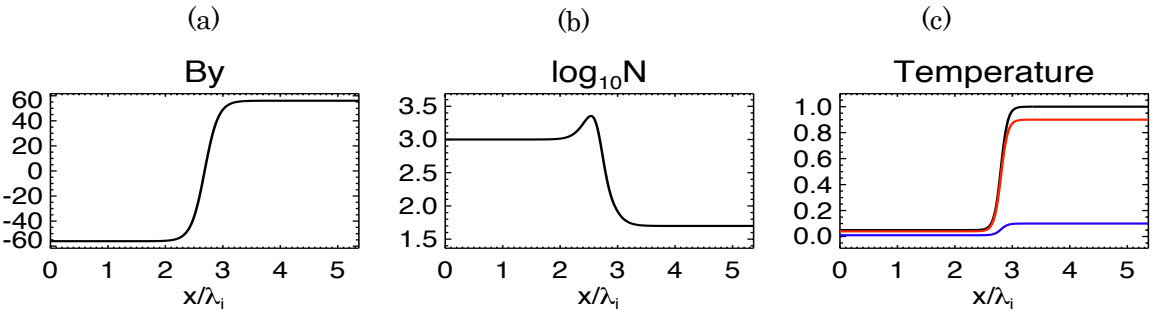


図 2. 非対称磁気リコネクションの初期条件　(a)磁場強度、(b)粒子密度、(c)電子温度(青線)、イオン温度(赤線)、全温度(黒線)

研究成果・考察

図 2 のような初期条件で発生させた非対称磁気リコネクションのシミュレーション結果を図 3 に示す。左から順に、y 方向の磁場、イオン密度、y 方向イオン速度と電子速度の 2 次元構造である。また、各図の上に $y/\lambda=13.7$ における各物理量の 1 次元構造を示している。

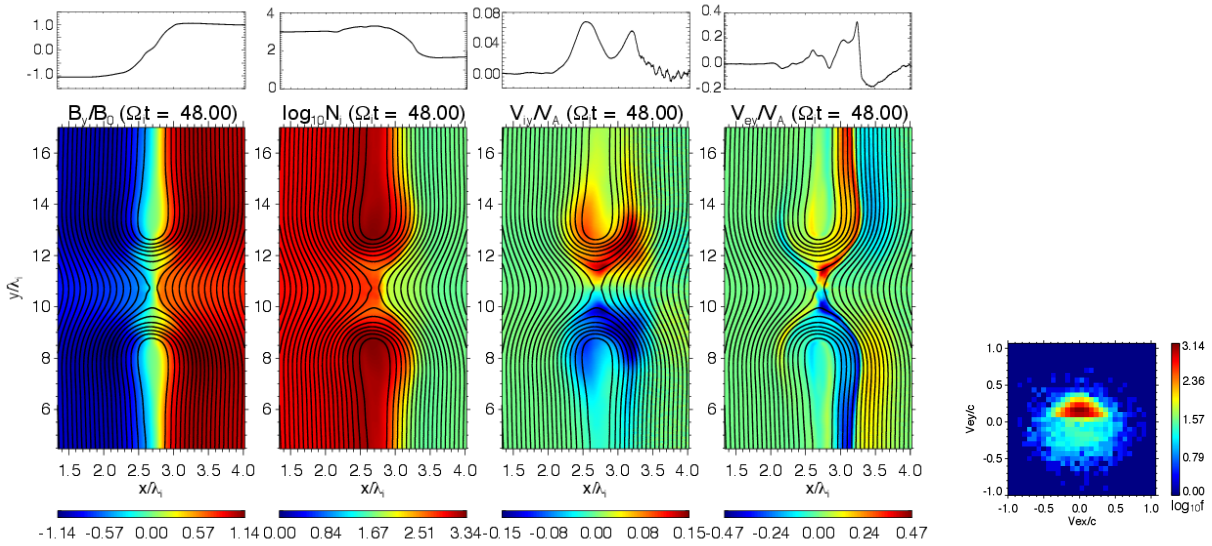


図 3. y 方向磁場、イオン密度、y 方向イオン速度・電子速度、および $y/\lambda=13.7$ における各物理量の 1 次元構造。(右下) $x/\lambda=3.2$ ， $y/\lambda=13.7$ における電子の Vx-Vy 速度分布関数

この 1 次元構造は、磁気リコネクションのアウトフロー構造を仮想的に通過した場合と考えることができる。磁場反転・イオン密度の減少に伴い、イオンのアウトフロー速度が上昇していることがわかる。一方で電子のアウトフロー速度は、磁気圏と電流層境界付近にシャープな構造をとることがわかる。その中の電子の Vx-Vy 速度分布を図 3 の右下に示しており、マグネトシース起源の加速されたビーム電子が $Vy/c \sim 0.2$ 付近に存在することがわかる。

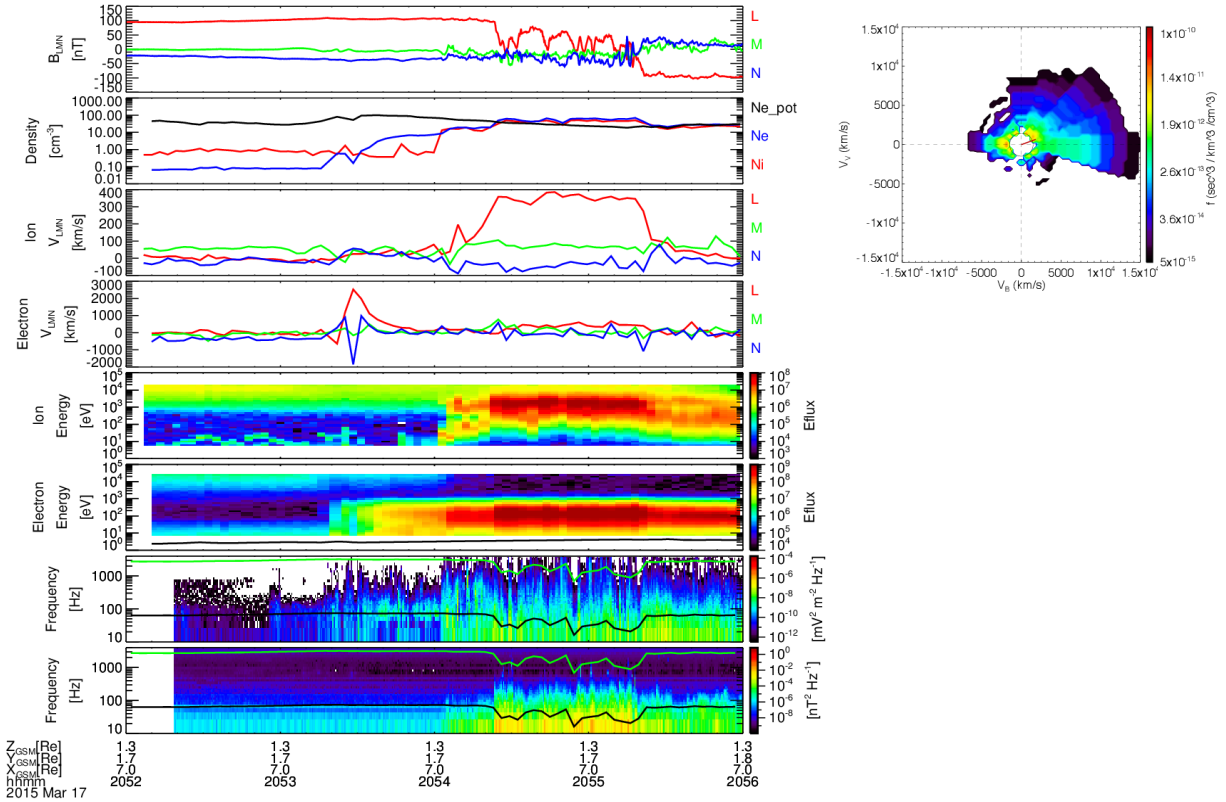


図 4. THEMIS 衛星で観測された、昼側非対称磁気リコネクション起源の高速電子アウトフローイベント。上から順に磁場、プラズマ密度、イオン・電子速度、イオン・電子エネルギーフラックス、電場・磁場のダイナミックスペクトル(黒線は低域混成周波数を示す)。(右上)高速電子フローが観測された時間(2015/03/17 20:53:29UT)における電子速度分布関数(横軸:磁場方向、縦軸:磁場垂直方向)

粒子シミュレーションで得られたような高速電子フローを伴う磁気圏昼側非対称磁気リコネクションのイベントを THEMIS 衛星のデータを用いて調べた。図 4 は、2015 年 3 月 17 日に THEMIS D 衛星によって観測された磁場、プラズマ密度、イオン・電子速度、イオン・電子のエネルギーフラックス、電場・磁場のダイナミックスペクトルである。座標系は、LMN 座標系を用いている。磁場の L の反転が 20:55UT 付近で見られ、それに伴いプラズマ密度の上昇とイオン速度のピークが得られている。これは、リコネクションの合うとフロー構造の特徴である。一方で電子については、イオンよりも磁気圏側で L 方向の速度のピーク(V_L ~ 2800km/s)をもつことがわかる。これは、上記の粒子シミュレーションの特徴と一致する。また、電子の高速アウトフローが存在する時間帯で、マグネトシースのエネルギー帯(~ 100 eV)の電子が多く存在することから、リコネクション領域で加速されたシース成分の電子がこのような高速アウトフローを形成していると考えられる。このときの電子の速度分布関数を示したのが図 4 の右上の図であり、磁場平行方向に加速を受けた非常に速い電子が存在することがわかる。さらに、そのような時間帯では、電場のみに黒線で示した低域混成周波数帯に波動が卓越していることがわかる。これは、速度分布関数で示したような、加速を受けた電子のビーム性によって静電的な不安定性が誘起されていることを示唆する。

成果発表

1. 内野 宏俊, 町田 忍, 高速電子フローを伴う磁気圏昼側リコネクションイベントの解析と粒子シミュレーションの比較研究, 第 138 回 SGEPSS 総会及び講演会, 東京, 2015 年 11 月

（別紙様式6-2）

磁気圏尾部リコネクション領域の朝夕方向の構造発展の研究

A Study on the Structure of the Magnetotail Reconnection Site along the Cross-Tail Current

篠原　育（宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所）

研究の目的

本研究課題は，磁気圏尾部磁気リコネクション領域の朝夕方向の構造やその 3 次元的な発展を理解することを目的とする．磁気圏尾部のリコネクションは，従来，磁気圏尾部の XZ 面の 2 次元構造についての議論が中心であったが，観測的には真夜直前付近の Y 方向の狭い領域からリコネクションが発達することが示唆されており，その朝夕方向の構造や時間的な発展についての研究はほとんど進んでいない．

最近，Nagai et al. JGR (2013) では，Geotail 衛星のこれまでの数十例におよぶ尾部リコネクション領域の観測から電流層の朝夕非対称構造を明らかにし，また，イオン速度分布関数の解析からリコネクション領域におけるイオンの 3 次元的なダイナミクスを議論した．この観測事実を物理的に解釈する計算を行い，リコネクション領域の電流方向への時間発展の物理過程を理解することを目指す．

研究方法

名古屋大学のスーパーコンピュータシステム Fujitsu FX10 を用い，3 次元ハイブリッド計算によって研究を実施する．Nakamura et al. JGR (2012) が Hall MHD で計算した計算パラメータのハイブリッド法による追試を行い，リコネクション領域の拡大におけるイオンの運動論効果について明らかにする．また，3 次元構造をイオンの分布関数レベルで理解することで，Nagai et al. JGR (2013) で観測的に明らかになってきた磁気圏尾部リコネクション領域の 3 次元的構造の物理的な解釈を与える．

研究状況・結果

平成 27 年度は平成 26 年度に引き続きハイブリッドコードの開発と性能チューニング作業を行った．チューニング作業に試行錯誤が必要となっていたことでハイブリッドコードの開発が難航していたこと，また，本務での業務上の都合にて十分な開発時間が確保できなかったこと，などにより開発が大幅に遅延していたので，今年度も名古屋大学での計算

実行は実施できなかったが，コードの開発・チューニング作業は JAXA が運用する FX-100 の実機を使ってチューニングを完了した．一方，データ解析の結果，磁気圏尾部で観測されるフローリバーサルには，アクティブな X-line と電子加速・加熱や ion-electron decoupling などのリコネクションに特徴的な現象が伴わないノン・アクティブなものがあることが明瞭に区別できることがわかっていたことについて，電場の波動成分に加えて磁場の波動西部の解析を新たに実施し，磁場擾乱についても電場と同様な傾向を見いだすことができ，リコネクションのアクティブさについてのよい指標となることがわかった．この結果については，Shinohara et al. (2016) として出版された.

発表状況

[1] Shinohara, I., Fujimoto, M., Nagai, T., Zenitani, S. and Kojima, H. (2016) Low-Frequency Waves in the Tail Reconnection Region, in Low-Frequency Waves in Space Plasmas (eds A. Keiling, D.-H. Lee and V. Nakariakov), John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, NJ. doi:10.1002/9781119055006.ch11

[2] I. Shinohara, T. Nagai, M. Fujimoto, H. Kojima, and S. Zenitani, Two types of flow reversal events observed in magnetotail, AGU fall meeting 2015, San Francisco, US, 2015/12/17.

[3] Shinohara, M. Fujimoto, T. Nagai, and H. Kojima, Difference between active X-line and ordinary flow reversals in magnetotail, EGU General Assembly 2015, Wien, Austria, 2015/04/14, 口頭

[4] 篠原 育，A hybrid simulation on 3D structure of reconnection region，第 138 回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会，東京，2015/10/31-11/3.

[5] 篠原 育，長井 嗣信，藤本 正樹，磁気圏尾部における non-active flow reversal イベント，日本地球惑星科学連合大会 2015，幕張メッセ，2015/05/22-26.

（別紙様式6-2）

無衝突衝撃波遷移層における微視的不安定性
Microinstabilities in the transition region of a collisionless shock

松清修一　九州大学・大学院総合理工学研究院

研究目的

太陽面爆発に伴って形成される無衝突衝撃波は太陽高エネルギー粒子の加速源と考えられている。しかしながら、加速機構は極めて複雑なため、その詳細はよく分かっていない。特に、上流の流れのエネルギー（もしくは爆発のエネルギー）のうちのどれだけが高エネルギー粒子に変換されるかを定量的に説明できるモデルは未だ確立されていない。重要なのは初期加速の効率であるが、初期加速は遷移層の複雑な波動－粒子相互作用を介して起こり、しかもその特性はパラメータに敏感に依存することが知られている。したがって加速効率の見積もりには、現実的なパラメータでの精度の高い計算が必要になる。しかし、無衝突プラズマの第一原理シミュレーションと呼ばれるフル粒子計算で、実パラメータを用いて衝撃波全体の多次元構造を再現することは非現実的である。本研究では、衝撃波における粒子加速過程を解く鍵を握る遷移層に着目し、その一部だけを取り出して高精度の多次元フル粒子計算を行って遷移層で励起される微視的不安定性を再現し、そこでの局所的な粒子加速過程を含めた波動粒子相互作用を理解する。

研究方法

高マッハ数の超臨界衝撃波では、入射イオンの一部が衝撃波面で反射される。磁力線が衝撃波面法線方向と垂直に近い角をなす準垂直衝撃波の場合、反射イオンは上流で磁場旋回運動を行いながら再び衝撃波に還流してくる。反射イオンが上流に迫り出す領域をフットと呼ぶが、その空間サイズはイオンの磁場旋回半径（ i）程度である。フット領域は入射イオンと電子、反射イオンから成る 3 成分プラズマとしてモデル化でき、各成分のバルク速度の違いを源として電子スケール（<< i）のさまざまな微視的不安定性が励起されることが知られている。したがって、ここではこのフットの一部（L～ i/5）を取り出して局所近似を適用した 2 次元周期境界フル粒子計算を行った。平均的な衝撃波面（計算領域外）を y-z 面とし、入射および反射イオンの流れの方向をそれぞれ x 方向、-x 方向とする。計算空間は x-y 面とし、y 方向に背景磁場を取る。座標系は電子の静止系とする。

ここでは、惑星間空間衝撃波を念頭に、フット領域での励起が予想される電子サイクロトロン－ドリフト不安定性（ECDI）と変形 2 流体不安定性（MTSI）に注目し、その競合過程のパラメータ依存性を議論する。フットプラズマのパラメータとして、以下を仮定した。マッハ数＝5、反射イオンの相対密度＝25%、電子ベータ値＝0.2、イオン/電子温度比＝1。イオン/電子質量比（μ）と電子プラズマ/サイクロトロン周波数比の 2 乗（τ）を変えた計算を複数行った。

研究結果・考察

まず、$\mu = 625$ として、τ を 25 から 64 に変えた場合、先行研究で指摘されている通り、ECDI により電子サイクロトロン波の高調波成分がより強く励起された。しかしながら励起される波動エネルギーは、τ にほぼ反比例して小さくなる。MTSI も励起されるが、質量比が小さいため成長率は低い。

次に、$\tau = 25$ として、μ を 625 から 1836 に変えると、ECDI による波動のエネルギーが減少した。反射イオンの流れのエネルギーと電子の熱エネルギーの比が小さくなると不安定性の自由エネルギーが減少する。この比は μ に反比例するため、波動エネルギーの減少は自由エネルギーの減少に起因していると考えられる。さらにこのとき、電子サイクロトロン高調波が強く減衰した。このとき、十分なシステムサイズを確保することで、MTSI の成長が確認された。ECDI と比べて成長率は低いものの、最終的には MTSI が支配的となり、このことはより小さな τ（$= 4$）を用いて行われた先行研究の結果を支持している。最近、ECDI に特化した 1 次元計算の結果が報告された（Muschietti & Lembege, 2013）。これによると、τ を大きくすると（$\mu = 400$）電子サイクロトロン高調波の線形成長率がサイクロトロン基本波の成長率よりも大きくなるため、まずはじめに高調波が励起される。その後の非線形過程によって基本波が強化され、衝撃波のダイナミクスに影響を与える可能性が指摘されている。一方本研究の結果からは、μ を大きくすると高調波の励起が抑えられることが示されただけでなく、1 次元計算で指摘されたような ECDI の非線形発展も見られない。磁力線方向の粒子運動が制限される 1 次元計算では、不安定性の非線形発展が正しく再現されていない可能性が高い。現在、$\mu = 1836$、$\tau = 100$ の計算を実行中である。

成果発表

学会誌

1. S. Matsukiyo, Local interactions between collisionless shock and plasma: Waves, multi-scale physics, particle acceleration/heating, J. Plasma Fusion Res., Vol.92, No.2, pp.87, 2016

口頭発表

1. S. Matsukiyo, Y. Matsumoto, Electron acceleration at a high beta shock, 14th Annual International Astrophysics Conference, April 2015, USA (invited)
2. 松清修一、松本洋介、高ベータ低マッハ数衝撃波のおける電子加速、日本地球惑星科学連合2015年大会、2015年5月、千葉市
3. 松清修一、梅田隆行、荻野正雄、無衝突衝撃波遷移層における微視的不安定性の多次元実パラメータ計算、名古屋大学HPC計算科学連携研究プロジェクト成果報告シンポジウム、2015年6月、名古屋市
4. S. Matsukiyo, PIC simulation of high beta and low Mach number astrophysical shocks: Microstructures and electron acceleration, 5th East-Asia School and Workshop on Laboratory, Space, and Astrophysical plasmas, August 2015, Korea (invited)
5. 松清修一、無衝突衝撃波遷移層での微視的不安定性、平成２７年度　名古屋大学太陽地球環境研究所研究集会、２０１５年９月、京都市
6. S. Matsukiyo, T. Umeda, Electron scale instabilities in the foot of a perpendicular shock, AGU Fall Meeting 2016, December 2015, USA
7. 松清修一、プラズマ物理学で迫る宇宙放射線の謎、九州大学総理工セミナー、2016年1月、福岡市

（別紙様式6-2）

オーロラ・アーク成長に関する磁気圏-電離圏結合モデル
Magnetosphere-ionosphere coupling model for growth of auroral arcs

渡邉智彦　名古屋大学・大学院理学研究科

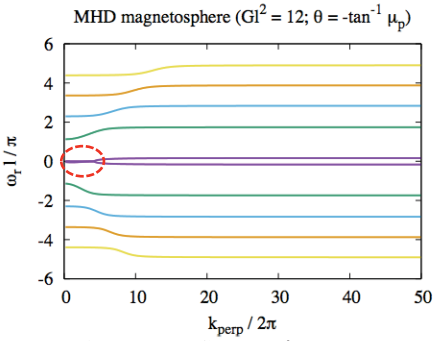
【研究目的】　極夜を彩るオーロラは、惑星磁気圏-電離圏（M-I）結合を表象する現象であり、これまで地上および飛翔体を用いた多くの観測が積み重ねられている。しかしオーロラの成長及びダイナミクスの理論的理解には、いまだ多くの課題が残されている。本共同研究では、M-I結合系におけるオーロラ・アーク成長の理論および数値モデルを用いた解析を行う。その目指すところは、M-I結合系における線形不安定性（フィードバック不安定性など）とその非線形発展から、オーロラの構造形成とダイナミクスに理論的理解を与えることにある。

【研究成果】　上記の研究目的にあわせ、本年度は以下の３つのサブテーマについて研究を進めた。

① フィードバック不安定性では、電離層上に発達する密度および電場擾乱が沿磁力線電流をともなったアルヴェン波を励起し、それが磁気圏内の対流電場を駆動源として成長する。この線形不安定性の成長段階において、２次的に誘起される非線形不安定性が存在することを昨年度の共同研究により明らかにした。本年度は、直線状磁場配位でのシミュレーションを用いてこの過程を解析し、双極子磁場配位の場合よりも２次的不安定性が発現する１次モードの振幅の閾値が高くなることを見出した。

② 極域オーロラ帯における大規模沿磁力線電流がもたらす磁気シア効果について磁気座標を用いたモデル化を行い、フィードバック不安定性の線形理論の拡張を行った。磁気シアにより固有モードは変形を受け、周波数および成長率にその影響が現れる。これは、シアの有無やその符号、すなわち背景の大規模沿磁力線電流構造によってオーロラ・アークの成長特性が影響を受けることを意味しており、今後の理論拡張において重要な視点となる。

③ 従来の解析では考慮されてこなかった背景圧力勾配と磁場曲率効果を定式化し、M-I結合系モデルに導入した。これにより、フィードバック不安定性とともに圧力勾配が駆動するバルーニング不安定性を取り入れた解析が可能となった。後者の不安定性は、オーロラのビーズ構造やオーロラ爆発とも関連して議論される磁気流体不安定性であり、静穏時アークを扱う前者の不安定性との競合・共存関係の解析はオーロラ・ダイナミクスの理解に新たな展開をもたらす可能性がある。右図は、直線状磁場配位において背景圧力勾配と磁場曲率効果をモデル化した場合のフィードバック不安定性の線形解析の一例である。複数ある曲線は、アルヴェン波共鳴の高調波に対応する。最も周波数の低いブランチが低波数側において融合し、バルーニング型のモードへと遷移することが明らかになった。



圧力勾配・磁場曲率モデルを取り入れた M-I 結合系モデルの解析例。横軸は磁場垂直方向波数、縦軸は実周波数を示す。点線で囲われた領域でバルーニング・モードへの遷移が見られる。

【研究発表】　上記の研究成果を、JpGU、地球電磁気・地球惑星圏学会、日本物理学会でそれぞれ発表した。また成果をまとめた論文を投稿準備中である。

（別紙様式6-2）

データ同化連結階層太陽コロナシミュレータの開発
Development of data-assimilation interlocked solar corona simulator

塩田大幸、名古屋大学・宇宙地球環境研究所

太陽から流出するプラズマ（太陽風・コロナ質量放出(CME)）は、地球に到来すると磁気圏環境に擾乱をもたらす一方で、コロナ加熱・太陽風加速・CME形成過程は、太陽地球系物理学における未解明の最重要研究課題である。これらの太陽コロナ・太陽風・CMEの形成過程において共通する点は、太陽の複雑な構造を持つ磁場が本質的な役割を果たしている点である。しかし、太陽コロナ中の磁場構造を直接計測することは非常に困難である。よって、実際の太陽の複雑な磁場ため構造による影響を考慮するは、測定が可能な太陽表面（光球）の磁場観測結果とともに太陽コロナ・惑星間空間を再現する数値モデルが最も有効な手段である。さらに独立した観測結果（in situ太陽風観測）を用いた検証によりパラメータを最適化するデータ同化の手法を取り入れることでモデルの改良を目指している。本年度は太陽風モデルの開発での成果を記す。

本研究ではこれまで、YinYang格子を用いて太陽コロナ・惑星間空間を再現するMHDシミュレーションコードの開発を進めてきた。このコードを用いて、毎日の光球の磁場観測データから太陽風・放射線帯の宇宙天気予報を行う全自動宇宙天気予報システム（SUSANOO）を開発し、運用を行なっている。SUSANOO太陽風モデル(Shiota et al. 2014)は、太陽風のグローバルな構造をよく再現している。しかし、CMEが発生・地球に到来した際の影響については予想する能力がなかった。そこで本研究では、SUSANOO太陽風モデルに内部にねじれた磁束管を含むCMEを連続して入力することができるモデル(SUSANOO-CME, Shiota & Kataoka 2016)の開発を行った。このモデルを用いて、2003年10月―11月に連続して発生した複数のCMEの再現実験を行い、前太陽周期で最大規模であったCMEによる高速のプラズマの流れとその後に続く強い南向きの磁場が到来する過程を再現することに成功した(図１)。図2は、この強い南向き磁場が地球を通過している時刻（10月30日0:00UT）の惑星間空間の様子について可視化した様子である。この様子から強い南向きの磁場は、CME内部のねじれた磁束管の磁場であることが確認できる。より詳細な解析から複数のコロナ質量放出が連続して発生した場合、それらが互いに影響し合うことで、磁場が複雑に変動して地球に到来する磁場の向きか決定づけられることが明らかになった。今後は、今回開発したモデルのリアルタイム運用中のシステムへの実装に向け、モデルの最適化を進める。

本研究に関連する成果

1. Shiota et al. (2010) ApJ, 718, 1305
2. Shiota et al. (2012) ASPC, 454, 375
3. Shiota et al. (2014) Space Weather 12, 187
4. Kataoka et al. (2014) Space Weather, 12, 380
5. Kataoka et al. (2015) GRL, 42, 5155
6. Miyawaki et al. (2016) ApJ, 818, 8
7. Shiota & Kataoka (2016) Space Weather, 14, 56

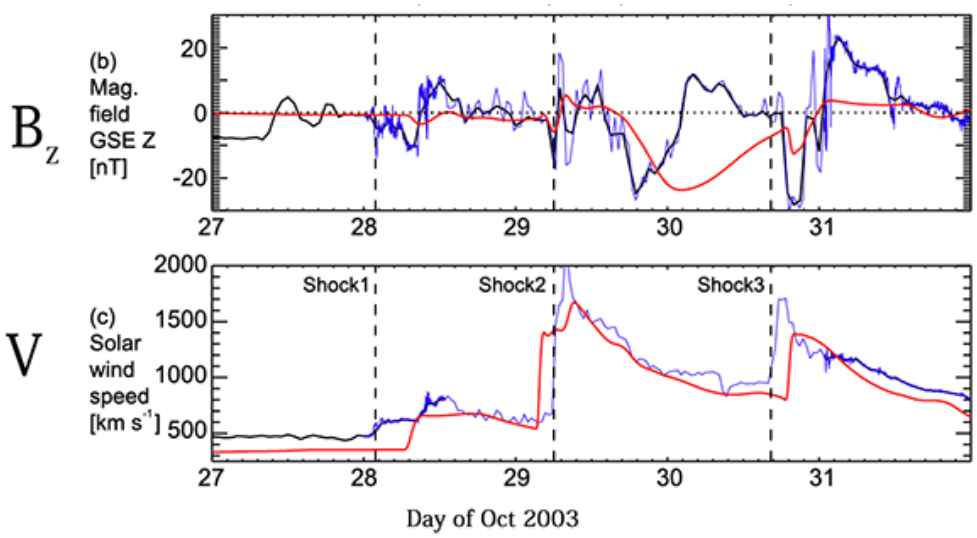


図 1 . 2003 年 10 月 27 日－31 日の地球の位置に到来した太陽風（太陽嵐）の磁場の南北成分と速度の時間変動のグラフ。青・黒の曲線が実際に探査機で観測されたデータを示し、赤色が数値シミュレーションで再現されたデータを示す。太陽嵐による高速のプラズマの流れとともに、その後に続く強い南向きの磁場が到来する過程が再現されている。

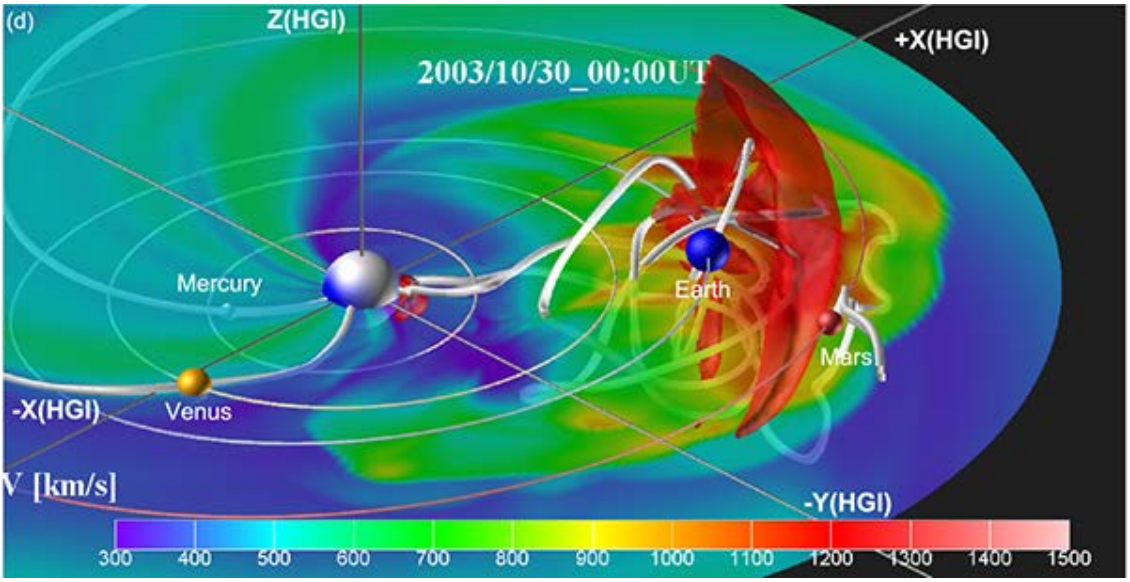


図 2 ：2003 年 10 月 28 日に発生した巨大太陽嵐（コロナ質量放出）が地球周辺を通過したときの磁力線と速度場の 3 次元描像。背景の色は速度分布を表す。赤い曲面はコロナ質量放出の前面の衝撃波に伴う高速のプラズマの流れ（秒速 1200 ㎞）の領域。惑星の周囲につながる磁力線を白いチューブで示す。

磁気圏サブストームの計算機シミュレーション
：非対称磁気リコネクション
Computer Simulations of Geomagnetospheric Substorm
: Asymmetric Magnetic Reconenction

近藤光志、愛媛大学・宇宙進化研究センター

研究目的

太陽フレアや地球磁気圏サブストームのような、宇宙プラズマにおける大規模爆発現象において磁気リコネクションは非常に重要な役割を果たしている。これまで地球磁気圏や太陽コロナにおけるこれら磁気リコネクション現象の磁気流体的研究が活発に行われ、人工衛星観測や地上観測の結果は、磁気流体的によく説明できることが示されてきた。特に、地球磁気圏尾部における電流層を挟んで対称な磁場環境での磁気リコネクションは、全体像を含めてよく理解されてきている。一方で、太陽側地球磁気圏境界における非対称反平行磁場環境での磁気リコネクションについても研究されてきたが、リコネクションジェット付近の構造についてはよく理解されてきた一方で、その全体的な不連続構造の理解が不十分であった。そこで本研究では、非対称反平行磁場環境での磁気リコネクション機構の全体的な構造を詳細に調べることを目的とした。

研究方法

本研究では、自発的高速磁気リコネクションモデルに基づいて研究を進める。つまり、磁気リコネクションは、外部境界によらずシステム内部で自発的に発達するというモデルである。そのため、磁気リコネクションが開始されてから磁気流体波が境界に達する前まで計算を行えるように十分広い領域を計算領域として、磁気流体方程式を数値的に解く。数値計算スキームとしては、陽的差分法である 2step Lax-Wendroff 法を用いる。このため、十分な空間解像度を得るように、格子幅を細かく設定する。磁気流体計算では、物理的な抵抗は直接解くことができないため、電流駆動型の異常電気抵抗を用いてイオン・電子ドリフト速度に応じて異常電気抵抗が発生するモデルを使用する。これにより、磁気リコネクション点は自由に移動可能となる。なお、座標系として、電流層に垂直に y 軸方向を、電流方向を-z 軸方向とし、それらと右手系をなすように x 軸方向をとる。原点に初期擾乱を与え、原点付近から磁気リコネクションが開始するように設定する。

研究結果

本報告書では、電流層を挟んだ磁場強度の比が 2 倍とした場合の計算結果を示す。図 1 は、十分磁気リコネクションが発達した時刻での磁気リコネクションジェット中のプラズマ圧（左図)、全圧（中図)、速度の x 方向成分(右図)を示している。これまで、非対称磁気リコネクションにおいても Petchek 的な描像が考えられていたが、これらの図からもわか

るように、リコネクションジェットは高速領域(図中下側)と加速領域（図中上側）の 2 つの領域に分かれた 2 層構造となっており、高速領域の磁場はリコネクションジェットとほぼ平行であることがわかる。この構造は、非対称度がより小さい場合にも見られており、非対称磁気リコネクションにおいては、これまでの Petchek 的な描像を見直さなければならないことを示唆している。

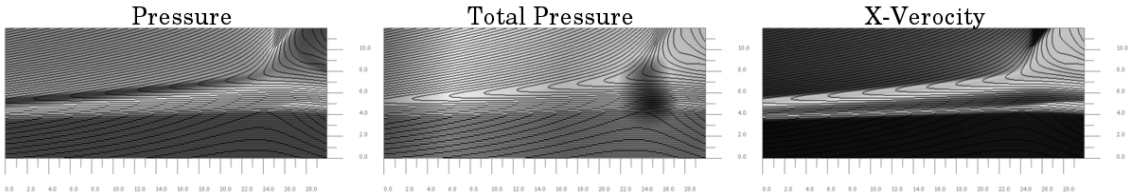


図 1、リコネクションジェット中のプラズマ圧（左図)、全圧（中図）および、プラズマ速度の x 成分(右図)。

一方で、磁気リコネクション点（以降 x 点）とは別に、リコネクション点に向かい±y 方向に流入するプラズマのぶつかる点(Vy=0)の点をスタグネーション点（以降 s 点と呼ぶ）が存在する。x 点と s 点は、対称リコネクションの場合は同一点上に存在するが、非対称リコネクションの場合は分離することが示唆されてきた。図 2 左図に本計算の結果得られた拡散領域付近の Vy 成分の色等高図と磁力線(実線)を示す。このように、x 点と s 点は完全に分離する。また x 点静止座標系での s 点位置の時間発展を右図に示す。s 点は時間と共に x 点から離れ t=80 付近で一定値に漸近することが分かる。また、ハッチで示した拡散領域も同じ時刻付近で広がりがおさまることが分かった。今後、拡散領域幅の変動と x 点、s 点変動の関係を詳細に調べ、非対称反平行磁気リコネクションの特徴を示していく予定である。

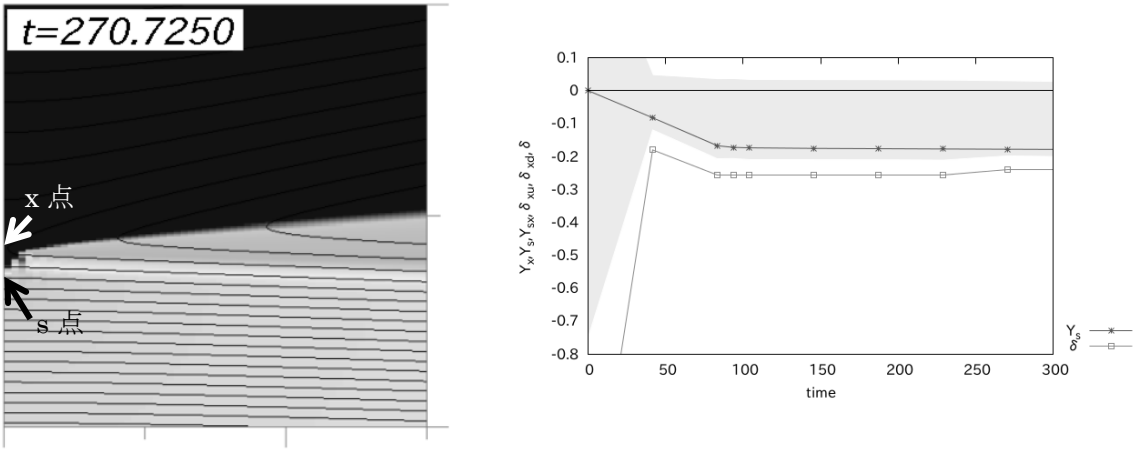


図 2 、拡散領域付近の Vy 成分の色等高図と磁力線(実線)(左図)。x 点静止座標系で見た s 点の y 座標位置の時間発展と拡散領域の y 方向幅（ハッチ)。

成果発表

論文発表

1. Shimizu, T., Torii, H., and Kondoh, K.," MHD study of three dimensional spontaneous fast magnetic reconnection for crosstail plasma inflows in magnetotail", Earth Planets and Space, 2015, submitted
2. Nitta, S., Wada, T., Fuchida, T., and Kondoh, K., "Critical differences of asymmetric magnetic reconnection from standard models", The Astrophysical Journal, 2015, submitted

口頭発表

1. 新田伸也･和田智秀･淵田泰介･近藤光志 ,「非対称電流シートでの磁気リコネクションの特徴」, 日本天文学会 2015 年春季年会, 首都大学東京 (2016 年 3 月)
2. 近藤光志 、「シアフローと磁気リコネクション」、KDK シンポジウム、京都大学生存圏研究所 (2016 年 2 月)
3. 淵田泰介、近藤光志 、「非対称自発的高速磁気リコネクションにおける拡散領域の構造変化」、KDK シンポジウム、京都大学生存圏研究所 (2016 年 2 月)
4. 近藤光志 ,「非対称反平行磁場におけるマルチ X ライン磁気リコネクションの数値計算」, STE シミュレーション研究会, 京都大学 (2015 年 9 月)
5. 淵田泰介･近藤光志 ･新田伸也･和田智秀,「非対称磁気リコネクションにおける磁気拡散領域の変動」, STE シミュレーション研究会, 京都大学 (2015 年 9 月)
6. 新田伸也･和田智秀･淵田泰介･近藤光志 ,「強非対称磁気リコネクションの非対称度依存性」, 日本天文学会 2015 年秋季年会, 甲南大学 (2015 年 9 月)
7. 和田智秀･新田伸也･淵田泰介･近藤光志 ,「Global MHD simulation for symmetric magnetic reconnection」, GRB WORKSHOP2015, 理化学研究所 (2015 年 8 月)
8. 近藤光志 ,「地球磁気圏近尾部プラズマシート中のリコネクションアウトフロー」, 地球惑星科学連合大会 2015, 幕張メッセ国際会議場 (2015 年 5 月)
9. 淵田泰介･近藤光志 ･新田伸也･和田智秀,「GPGPU を用いた非対称磁気リコネクションの MHD 計算」, 地球惑星科学連合大会 2015, 幕張メッセ国際会議場 (2015 年 5 月)

観測磁場データに基づいた太陽フレア・CMEの電磁流体シミュレーション

MHD Simulation of Solar Flares and CMEs based on an Observed Magnetic Field

井上 諭(マックスプランク太陽系研究所)

【研究目的】

本研究の目的は、宇宙天気予報において極めて重要である太陽フレアとコロナ質量放出(CME)の関係性を数値的な観点から見出すことである。本年度は、2014 年に X クラスを 6 回も引き起こしたにもかかわらず、CME を 1 度も発生させなかった巨大黒点群 AR12192 の安定性解析を数値的に実施し、フレアと CME の関係性をより明確化する。

【研究方法】

まず、太陽観測衛星 solar dynamics Observatory (SDO)から得られる太陽表面の観測磁場データ(X クラスフレアが発生する 90 分前のデータ)に基づいて、3 次元の太陽活動領域磁場を Force-Free 近似に従って数値的に外挿する。次に、外挿された磁場の理想電磁流体(MHD)不安定性に対する安定性解析を実施し、フレアの発生機構やフレア-CME の関係性について考察する。また、そのダイナミクスは MHD シミュレーションを用いて詳細に調べる。

【結果】

1. 外挿された磁場のなかでも、特に強くねじれた磁力線群を図 1(a)と(b)に示す。AR12192 はこの 2 つの"Flux tube"によって構成されていることがわかった。特に、図 1(a)に示すように、下側にある flux tube に強い電流が流れていることも確認された。
2. 磁力線の回転数(twist)を調べてやると、そのほとんどが 1 回転未満で、kink 不安定性に対して安定であることが確認された。
3. トーラス不安定性に対する安定性を調べるために、flux tube の外部磁場の減衰指数(n)を調べた。すると、実際は CME が観測されてないのにもかかわらず、図 1(b)のように、上側の flux tube は不安定性の閾値である n=1.5 を超えている領域に存在することが明らかになった。下側の強い電流を有する flux tube は n=1 以下の領域にいるので、トーラスモードに対して極めて安定である事もわかった。本研究では、2 つの flux tube は同符号のヘリシティを有しており、これらの flux tube 同士の力学的相互作用が安定化につながることを示唆した。つまり実際の太陽コロナでは、線電流モデルで構築されたトーラス不安定性の理論が、かならずしも容易にあてはまらないことを指摘した。
4. ツイストの値と Quasi-Separatrix Layer の値を掛け合わせることで、フレア前の磁場データから、フレア時に観測される two-ribbon 構造を示唆できる可能性を見出した(図 1(c))。

5. 外挿された磁場構造を用いて、MHD シミュレーションを実施し、安定性をより定量的に確認した。

本研究の成果は、米国の天文学会誌”The Astrophysical Journal”に掲載された。

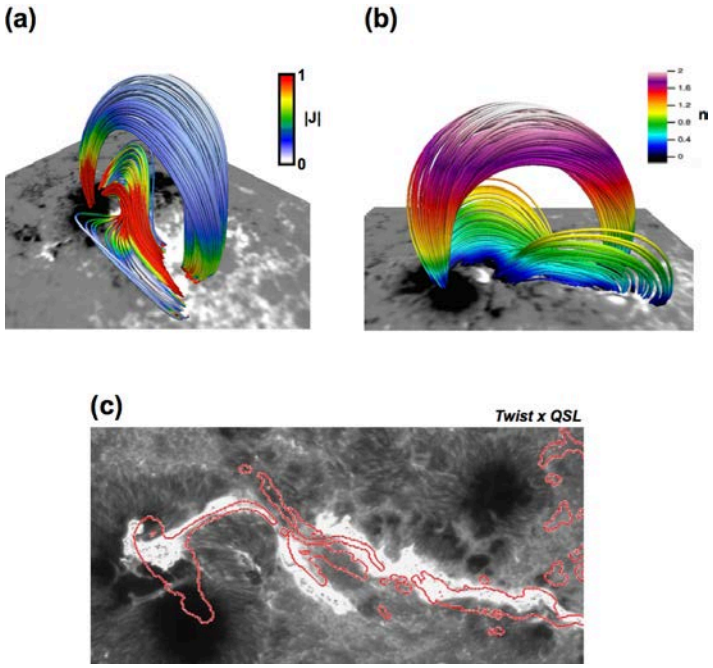


Fig.1 (a) 外挿された磁力線群、特に強く捩れた磁力線群である”flux tube”をプロットしている。カラーは電流の値の絶対値を表す。(b) (a)と同じ磁力線を減衰指数の値で色付けしている。(c) Hinode/FG によって観測されたフレアリボンと、ツイスト値と QSL 値をかけた値(=0.08)の等高線を赤色でプロットしている。

【その他】

計算機共同利用研究で実施してきたここ数年間の研究の Review 論文を、Progress in Earth and Planetary Science(PEPS)誌にまとめさせていただく機会を得て、先日受理された。

【成果発表(査読論文)】

[1] Inoue, S., Hayashi, K., Magara, T., Choe, G. S., & Park, Y. D. “Magnetohydrodynamic Simulation of the X2.2 Solar Flare on 2011 February 15: II. Dynamics Connecting the Solar Flares and Coronal Mass Ejections” The Astrophysical Journal, 803, 73

[2] Inoue, S., Hayashi, K., & Kusano, K. “Structure and Stability of Magnetic Fields in Solar Active Region 12192 Based on Nonlinear Force-Free Modeling” The Astrophysical Journal, 818, 168

[3] Satoshi Inoue “Magnetohydrodynamic Modeling of the Coronal Magnetic Fields and Solar Eruptions Based on the Photospheric Magnetic Field”, Progress of Earth and Planetary Science, in press

（別紙様式6-2）

データ駆動型連結階層シミュレーションによる宇宙天気モデリング
Space Weather Modeling with Data-driven Interlocked Simulations

草野完也・名古屋大学・宇宙地球環境研究所

【研究目的】

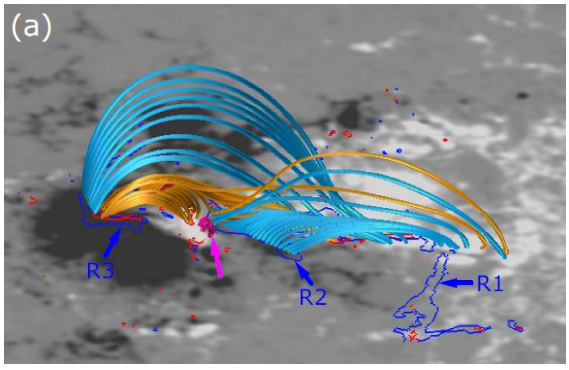
太陽フレアの発生及びコロナ質量放出の形成と伝播、それらに起因する宇宙天気変動を、各領域に適合した数値モデルの連結により包括的に捉えることを可能とするシミュレーションを開発する。特に、計算モデルと「ひので」衛星のもたらす精密太陽磁場観測データを用いたデータ駆動シミュレーションを実現することにより、太陽地球システムの非線形ダイナミクスを理解すると共に、フレア発生および宇宙天気現象の予測技術の向上へ貢献することを研究目的とする。また、フレア発生にとって重要な磁気リコネクションの高精度計算を実施し、フレアにおける磁気リコネクションの高速化メカニズムを解明する。

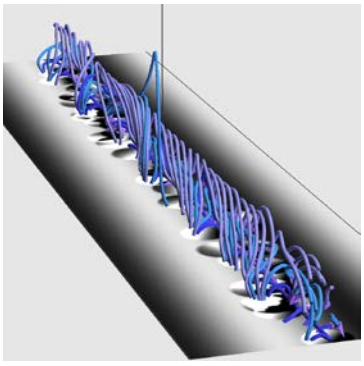
【研究結果】

本研究では、3次元電磁流体力学モデルを用いた太陽フレア発生過程のシミュレーションを行うことで、太陽フレア発生の条件を探った。これまでの研究によってフレア及びフィラメント放出のトリガ過程に反極性型（OP型）及び逆シア型（RS型）と呼ばれる2種類の特徴的な磁場構造が関与することが見出されている。本年度は第1に、太陽活動領域NOAA12192において実際に観測された太陽表面磁場をもとに、3次元コロナ磁場を非線形フォースフリーモデルを用いて再現することで、より複雑な磁場構造の中でも理論的に予測されたRS型の小規模磁場がフレアを発生させることを明らかにした（左図）。第2に、磁気リコネクションの高精度電磁流体力学シミュレーションを実施し、従来知られていたプラズモイドリコネクションからダイナミックなペチェック型リコネクションに遷移する過程を明らかにし、一様抵抗においても電磁流体力学的な磁気リコネクションが高速化する原因を明確にした。第3に、太陽フィラメントの形成を不安定化の原因を探るため、複数の小規模磁場が連続してシアした磁場の中性線近傍に現れた場合のシミュレーションを実施し、小規模なリコネクションの連続がフィラメント形成の原因になり得ることを示した（右図）。

【研究成果】

1. Inoue, S., Hayashi, K., & Kusano, K. 2016, ApJ, 818, 168, DOI: 10.3847/0004-637X/818/2/168
2. Bamba, Y., Kusano, K., Inoue, S., & Shiota, D., Multi-step Triggering Process of X1.0 Three-ribbon Flare in the Great Active Region NOAA 12192 (submitted to ApJ)
3. Shibayama, T., Kusano, K., Miyoshi, T., Nakabou, T., & Vekstein, G. 2015, Physics of Plasmas, 22, 100706, DOI: 10.1063/1.4934652





（別紙様式6-2）

高次精度中心スキームの開発

Development of high-order semi-discrete central schemes

寺田　直樹、東北大学・大学院理学研究科

【研究目的】
本研究では、次世代の惑星電磁気圏流体シミュレーションに求められる3つの要素「不連続や衝撃波をシャープに解像する」「小振幅波動（乱流）を減衰させない」「非MHD項を組み込む事が可能」を兼ね備える高次精度中心スキームを開発する。非MHDシステム方程式系では、系の固有値・固有ベクトルを求めることが通常困難となるので、MHDシミュレーションで広く用いられている高精度風上スキームが適用出来ず、高精度解は得られてこなかった。そこで本研究では、近年、数値流体力学分野で発展が著しい高精度中心スキームの導入を行い、さらに、4次精度以上の高次精度化を実現し、非MHDシステム方程式系における遷移層・境界層や混合層スペクトルなどの高精度解を得る事を目標とする。

【研究方法】
本研究では、高精度中心スキームを適用したMHDおよび非MHDシミュレーションコードを用いる。本研究では地球惑星電磁圏における各種遷移層・境界層や非線形・小振幅線形波動を再現する為に、各次元について数100-1000グリッド以上確保を目標とするので、名古屋大学情報連携基盤センターFX10やCX400を利用する。並列計算にはMPIを用いた並列化を行う。

【研究結果】
平成２７年度は、昨年度までに開発した高次精度中心セミディスクリートスキームの実問題への適用を進めた。金星や火星の昼側電離圏におけるfast Sweet-Parkerリコネクション（プラズモイド不安定）や火星電離圏界面におけるKelvin-Helmholtz不安定の時空間発展を調べるためには、高い磁気Reynolds数（もしくは高いLundquist数）の計算が必要となる。例えばプラズモイド不安定は高いアスペクト比を持つ系においてLundquist数が10^4を超す場合に発達することが知られており、このような高いLundquist数計算を実行するために、昨年度までに開発した高次精度中心セミディスクリートスキームの適用を行った。その結果、金星や火星の上部電離圏では高いLundquist数のためにプラズモイド不安定が急速に発達し、形成されたプラズモイドのサイズ分布は探査機観測と整合的かつプラズマの加速はイオンの宇宙空間への流出に無視できない大きさであることを示した。電離圏界面におけるKelvin-Helmholtz不安定では、非周期系での発達は、従来の周期系計算で得られた描像とは異なり、先頭の渦が急速に発達し混合層を拡大する効果があることを示した。

【成果発表】
（口頭・ポスター発表）

- 相澤 紗絵, 寺田 直樹, 笠羽 康正, “火星電離圏界面におけるケルビン-ヘルムホルツ不安定の数値シミュレーション”, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 幕張, 幕張メッセ, 2015/5.
- 阪本 仁, 寺田 直樹, 笠羽 康正, “金星昼側電離圏における磁気リコネクションの MHD シミュレーション”, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 幕張, 幕張メッセ, 2015/5.

- 前田 紗和, 寺田 直樹, 笠羽 康正, “MHD シミュレーションを用いた火星電離圏イオンの流出経路に関する研究”, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 幕張, 幕張メッセ, 2015/5.
- 相澤紗絵, 寺田直樹, 笠羽康正, 八木学, ”火星電離圏界面におけるケルビン - ヘルムホルツ不安定の MHD シミュレーションの研究”, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 138 回総会および講演会, 東京都文京区, 東京大学, 2015/10.
- 阪本仁, 寺田直樹, 笠羽康正, “Atmospheric escape induced by magnetic reconnection in the dayside ionosphere of an unmagnetized planet”, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 138 回総会および講演会, 東京都文京区, 東京大学, 2015/10.
- Aizawa, S., N. Terada, Y. Kasaba, M. Yagi, “An MHD simulation study of the Kelvin-Helmholtz instability at the Martian ionopause”, 地球型惑星圏環境に関する研究集会, 東京都豊島区, 立教大学, 2015/12.
- Sakamoto, H., N. Terada, Y. Kasaba, “An MHD simulation of plasmoid instability in the dayside ionosphere of an unmagnetized planet”, 地球型惑星圏環境に関する研究集会, 東京都豊島区, 立教大学, 2015/12.
- Aizawa, S., N. Terada, Y. Kasaba, M. Yagi, “An MHD simulation study of the Kelvin-Helmholtz instability at the Martian ionopause”, American Geophysical Union 2015 Fall Meeting, USA, San Francisco Moscone Center, 2015/12.
- Sakamoto, H., N. Terada, Y. Kasaba, “An MHD simulation of plasmoid instability in the dayside ionosphere of an unmagnetized planet”, American Geophysical Union 2015 Fall Meeting, USA, San Francisco, Moscone Center, 2015/12.
- Aizawa, S., N. Terada, Y. Kasaba, M. Yagi, Y. Matsumoto, “An MHD simulation study of the Kelvin-Helmholtz instability at the Martian ionopause with a day-to-night density gradient”, Symposium on Planetary Science 2016, 仙台, 東北大, 2016/2.
- Sakamoto, H., N. Terada, Y. Kasaba, H. Nakagawa, “An MHD simulation of magnetic reconnection in the dayside Venusian ionosphere”, Symposium on Planetary Science 2016, 仙台, 東北大, 2016/2.
- Aizawa, S., N. Terada, Y. Kasaba, M. Yagi, “An MHD simulation study of the Kelvin-Helmholtz instability at the Martian ionopause with a day-to-night density gradient”, International GEMSIS and ASINACTR-G2602 Workshop: Future Perspectives of Researches in Space Physics, Nagoya Univ., Nagoya, Japan, 2016/3.
- Terada, N., “Development of a planetary magnetosphere-ionosphere model and its coupling with atmosphere models”, Symposium on Planetary Science 2016, 仙台, 東北大, 2016/2.

４.地上ネットワーク観測大型共同研究目次詳細

（所属・職名は平成28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
片岡　龍峰	国立極地研究所	宙空圏研究グループ	准教授	オーロラの高周波数変動の発生メカニズムの研究	252
八代　誠司	米国カトリック大学	物理学科	助教	野辺山電波ヘリオグラフを用いた噴出型フレアと非噴出型フレアの比較研究	253
細川　敬祐	電気通信大学	大学院情報理工学研究科	准教授	全天大気光観測による極冠域電離圏のイメージング	255
宗像　一起	信州大学	理学部	教授	汎世界的宇宙線観測ネットワーク（GMDN）の新要素検出器としてのSciCRT	258
笠羽　康正	東北大学	大学院理学研究科	教授	ハワイ展開する小口径望遠鏡群と電波望遠鏡群・軌道上望遠鏡群による木星・火星・金星大気上下結合の研究	262
北　和之	茨城大学	理学部	教授	地上観測ネットワークのための、対流圏オゾン関連物質のリモートセンシングおよびエアロゾル放射影響の研究	266
坂野井　健	東北大学	大学院理学研究科	准教授	偏光分光観測によるオーロラ偏光プロセスの解明	268
藤原　均	成蹊大学	理工学部	教授	北極域総合観測と大気圏・電離圏統合モデル・シミュレーションによる極域熱圏・電離圏変動の研究	271
前澤　裕之	大阪府立大学	大学院理学系研究科	准教授	太陽の高エネルギー粒子イベントとSPART電波望遠鏡により観測される太陽系地球型惑星の一酸化炭素の変動の比較研究	274
門叶　冬樹	山形大学	理学部	教授	第24太陽活動期における世界多地点での大気中宇宙線生成核種の濃度変動についての観測研究	277
吉川　顕正	九州大学	国際宇宙天気科学・教育センター	講師	超多点地上ネットワークデータ解析による電離圏極域-磁気赤道域電磁結合メカニズムの解明	280
三浦　和彦	東京理科大学	理学部	教授	宇宙線のイオン誘発核エアロゾル生成への影響	282
鈴木　臣	愛知大学	地域政策学部	准教授	ドイツ北部における大気光イメージング・ネットワークの展開	285
和田　龍一	帝京科学大学	生命環境学部	准教授	NO_2レーザー分光計測装置の改良	286
小島　浩司	愛知工業大学	工学部	客員教授	宇宙線で探る太陽風擾乱の空間構造	300
中根　英昭	高知工科大学	環境理工学群	教授	近赤外レーザーメタン計と無人機を用いたメタン鉛直分布測定手法の実証的研究	302
浅井　歩	京都大学	宇宙総合学研究ユニット	特定准教授	太陽観測データによる太陽紫外線放射量の推定および超高層大気変動との比較	305
一本　潔	京都大学	大学院理学研究科附属天文台	教授	京都大学飛騨天文台SMART望遠鏡と野辺山電波ヘリオグラフの共同観測データ解析による、フレアの短時間変動の研究	309
三澤　浩昭	東北大学	大学院理学研究科	准教授	電波観測による太陽高エネルギー粒子(SEP)現象の研究	312
齋藤　享	電子航法研究所	航法システム領域	主幹研究員	衛星航法の航空利用に対するプラズマバブルの影響評価とその軽減策に関する研究	313

（別紙様式２－２）

オーロラの高周波数変動の発生メカニズムの研究
Generation mechanisms of high-frequency variation of aurora

片岡龍峰，国立極地研究所，宙空圏研究グループ

・要旨

これまでのオーロラの高周波数変動に関して提唱されてきた発生メカニズムについて、地上高速カメラによる長期的な観測を実施することで、その発生条件などを明らかにすることを目的として共同研究を進めてきた。福田ら（2015）は、その長期的な観測そのものを実現するための、機械学習によるオーロラの全自動バーストモード観測を初めて実現し、保存するデータ量を格段に減らすことで、長期的に高速撮像が可能になるという実績を作った。また、Fukuda et al. (2016)では、脈動オーロラの主脈動の中に現れる高速変調（いわゆる3Hzモジュレーション）に注目し、その高速変調と同時に現れる脈動パッチが高速で複雑に拡大・縮小する動きについて詳細に調べた。その結果、脈動パッチの輪郭の動くスピードは、磁気圏でのアルベンスピードよりも遅いものが大半を占めることが明らかになり、脈動オーロラのパッチの動きにはスローモードが関与している可能性について考察した。Kataoka et al. (2016)では、初めて高速カメラによる立体視観測を行うことに成功し、脈動の高速変調と、ディスクリートオーロラが、磁気天頂で視野角15度という狭い視野の中に同時に現れており、発光高度がそれぞれ100 km以下と、100 km以上と異なることを実証した。

・学会発表

Kataoka, R., Y. Fukuda, H. A. Uchida, H. Yamada, Y. Miyoshi, Y. Ebihara, H. Dahlgren, and D. Hampton, High-speed stereoscopy of aurora, 第6回極域科学シンポジウム, 立川, 2015年11月16日.

・発表論文

福田陽子，片岡龍峰，田中正行，山下淳，三好由純，塩川和夫，海老原祐輔，Donald Hampton，西村耕司，鈴木理紗，岩上直幹『機械学習に基づく自動判定を応用したオーロラ高速撮像システム』第21回画像センシングシンポジウム (SSII2015)，IS2-10-1-4，パシフィコ横浜アネックスホール，2015年6月

Fukuda, Y., R. Kataoka, Y. Miyoshi, Y. Katoh, T. Nishiyama, K. Shiokawa, Y. Ebihara, D. Hampton, and N. Iwagami (2016), Quasi-periodic rapid motion of pulsating auroras, Polar Science, in press.

Kataoka, R., Y. Fukuda, H. A. Uchida, H. Yamada, Y. Miyoshi, Y. Ebihara, H. Dahlgren, and D. Hampton (2016), High-speed stereoscopy of aurora, Ann. Geophys., 34, 41-44, doi:10.5194/angeo-34-41-2016.

（別紙様式8-2）

野辺山電波ヘリオグラフを用いた噴出型フレアと非噴出型フレアの比較研究
A comparison of eruptive and confined flares observed by Nobeyama Radio Heliograph

八代誠司、米カトリック大学・物理学科

【研究目的】

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

中規模以上（Mクラス以上）の太陽フレアのおよそ半数はCMEを伴わず、地球への影響はあまりない。したがってCME観測が宇宙天気にとって重要となるが、太陽フレアは世界中の観測所や多くの人工衛星が観測し充実しているのに対し、CME観測は主に19年前に打ち上げられたSOHO衛星搭載に頼っており脆弱な観測環境にある。フレア観測からCMEの有無やその特徴を知ることが出来れば、これは宇宙天気予報にとって大きな前進となる。噴出型フレアは長寿命に、非噴出型フレアは短命になる傾向があり、CMEの有無で太陽フレアの特徴が異なることが分かっている。本研究では野辺山電波ヘリオグラフで得られたフレア電波画像を用いて噴出型フレアと非噴出型フレアの比較研究を行った。

【研究方法】

最初に研究の基盤となる噴出型・非噴出型フレアリストを作成した。1996年-2014年に野辺山ヘリオグラフは663例のフレア（Xクラス、Mクラス）を観測した。次にSOHO衛星やSTEREO衛星を用いてCMEの有無を調べた。フレアとCMEの紐付けは発生のタイミングを合わせるだけでは不十分で、フィラメント噴出やDimming などの太陽表面に現れるCMEに付随する現象を確認する必要がある。SDO衛星、STEREO衛星、「ひので」衛星で取得されるEUV像やX線像だけでなく地上観測されるＨα線像を用いて噴出現象を調べた。663例のフレアについて丁寧に調べ、215例のフレアは確実にCMEを伴い、202例にはCMEが確実に無いことを確認した。残りの146例のフレアは、コロナグラフ観測が無かったり、太陽表面の噴出現象が曖昧などの理由でCMEの有無を決定できなかった。本研究ではこの146例は除外した。

【研究成果・考察】

最初に電波強度でフレアを分類し、それぞれの電波強度におけるCMEの付随率を図１に示す。電波強度が強くなるとともに、フレアにCMEが付随する割合が増加する。先行研究のX線観測から強いフレアほどCMEが付随する割合が増えることが知られていたが、電波でも同様の関係があることが確認された。

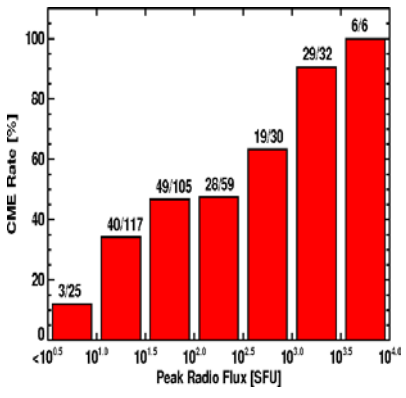


図１　電波強度と CME 付随率

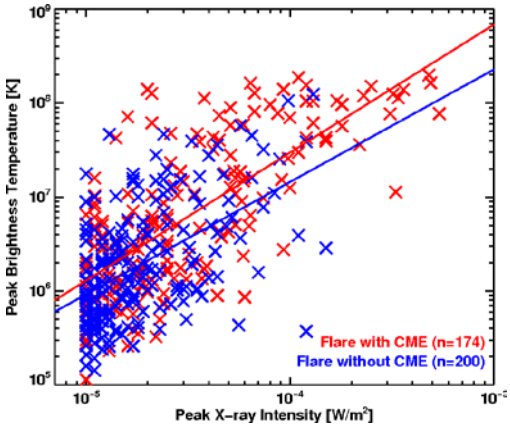


図２ X 線強度と電波強度の関係

表１ フレアの X 線強度、電波強度と CME 付随率

	X-ray < M3	X-ray ≥ M3	All X-ray
Tb ≥ 1 千万度	47%	**78%**	68%
Tb < 1 千万度	**37%**	45%	38%
All Radio	38%	66%	47%

図２にGOES衛星で測定されたX線強度と野辺山電波ヘリオグラフで測定された電波強度の相関図を示す。赤がCMEが付随するフレア、青がCMEの無いフレアである。全体として右上がりの傾向があり、X線強度が高いほど、電波強度が高いことを示している。赤と青の二つの分布は重なり合う部分が多いが、同じX線強度ではCMEが付随するCMEほど電波が強い傾向がある。回帰直線を求めるとCMEが付随するフレア（赤）が上にくることから確認できる。

最後に宇宙天気予報における電波観測の有用性を議論する。X線強度M3レベル、電波強度（輝度温度）１千万度を閾値としフレアを４つのグループに分け、そのCME付随率を表１に示す。サンプル全体ではおよそ半数（47%）のフレアにCMEが付随していた。ここで電波情報のみに着目すると、輝度温度１千万度未満のフレアのCME付随率は38%、１千万度以上では68%のCME付随率となった。同様にX線情報のみを用いてCME付随率を求めると、M3未満で38%、M3以上で66%のCME付随率となった。X線も電波も強いフレアのCME付随率は78%まで上昇する。

本研究で作成されたフレアCMEのリストは、国際共同研究「Propagations of Coronal Mass Ejections and Solar Wind Speeds obtained by the IPS observation」におけるCMEの発生領域の同定にも利用した。また進学術領域・太陽地球圏環境予測（PSTEP）のA02班の研究でも活用されている。

【成果発表】

Yashiro, S, and Gopalswamy, N., Statistical behavior and solar cycle variation of coronal mass ejections, ISEST/MiniMax 2015 Workshop, México City, México, October 26 – 30, 2015. (口頭発表)

Akiyama, S., Yashiro, S., Masuda, S., Shimojo, M., Asai, A., Imada, S., and Gopalswamy, N., A Comparativ Study of Eruptive and Confined Solar Flares using Microwave, American Geophysical Union, Fall Meeting 2015 held at San Francisco, December 12-18, 2015, abstract #SH43B-2447（ポスター発表）

Akiyama, S., Yashiro, S., Masuda, S., Shimojo, M., Asai, A., Imada, S., and Gopalswamy, N., A Comparativ Study of Eruptive and Confined Solar Flares using Microwave, 1st PSTEP International Symposium held at Nagoya, Japan, January 13-14, 2016.（ポスター発表）

（別紙様式８－２）

全天大気光観測による極冠域電離圏のイメージング

All-sky Airglow Imaging of the Polar Cap Ionosphere

細川 敬祐 (電気通信大学・情報理工学研究科)

1. 研究の概要

近年，磁気緯度が 75 度以上の極冠域電離圏で観測されるいくつかの超高層大気現象（ポーラーパッチ，ポーラーキャップオーロラ，中間圏重力波など）に注目が集まり，極冠域を視野に含む大型短波レーダー（Super Dual Auroral Radar Network: SuperDARN）や，カナダのレゾリュートベイに配備されている大型の非干渉散乱レーダー（Resolute Bay Incoherent Scatter Radar: RISR-N, RISR-S）による観測データを用いた研究が精力的に行われている．本課題の代表者は，2005 年から，名古屋大学太陽地球環境研究所のネットワーク光学観測プロジェクトである Optical Mesosphere Thermosphere Imagers (OMTIs) の一部として，極冠域に位置するカナダのレゾリュートベイに多波長高感度全天イメージャを設置し，極冠域電離圏に現れる様々な現象の光学観測を継続してきた．特に，ポーラーキャップパッチの動態について，630.0 nm 大気光を用いた水平 2 次元観測に基づいた研究を行ってきている．

これに加え，2011 年からは，京都大学/電気通信大学によってノルウェーのスバールバル諸島において全天大気光観測が行われている．本研究は，これらの既設の大気光イメージャによる観測を維持しながら，それに加える形で新たな大気光イメージャをカナダ北部のイウレカ（磁気緯度 89 度）に設置し，極冠域の電離圏現象を，より精密に，かつ広域にイメージング観測することを目指している．今年度は，レゾリュートベイやスバールバルにおける観測を維持し，イウレカへの大気光イメージャ設置・運用作業を行った．イウレカで得られた観測データに関しては，現在データベースの作成および初期解析を行っているところであるが，今後は 3 台のイメージャのデータを組み合わせて，ヨーロッパから北米にかけての経度域をカバーする広域地上大気光観測を行っていく予定である．

2. 既存観測の維持と新規観測の立ち上げ

前述のように，2005 年 1 月より，カナダのレゾリュートベイ (地理緯度 74.7 度，磁気緯度 82.9 度) において，多波長高感度全天イメージャを用いた大気光観測を実施している．本年度も 10 月から冬季の定常観測をスタートさせ，5 ヶ月間の観測を問題なく行うことができた．全天イメージャが置かれている観測サイトでは，ネットワーク経由でデータの転送を行うことができないため，シリコンディスクに蓄積された取得データを，観測サイトのスタッフに依頼して郵送してもらうなどの対応を行っている．

これに加え，本年度は，カナダ，ヌナブート準州イウレカ（地理緯度 80.0 度，磁気緯度 87.7 度）にある Polar Environment Atmospheric Research Laboratory (Pearl) 観測施設に全天イメージャを設置する作業を行った．Pearl は，Canadian Network for Detection of Atmospheric Change (CANDAC) と呼ばれる研究者のコンソーシアムによって運営されており，全天イメージャの設置に際しては，平成 26 年度から CANDAC の Drummond 博士，Fogal 博士，Ward 博士と打ち合わせを行ってきた．

光学系，筐体，冷却 CCD カメラ，光学フィルター，コントロール PC からなる全天イメージャシステムを完成させ，名古屋大学宇宙地球環境研究所においてテスト観測を行った後，平成 27 年 7 月にカナダのトロントに空輸した．その後，イメージャは共同研究者の Fogal 博士によってイウレカに輸送された．平成 27 年 10 月に研究代表者の細川がカナダに出張し，イエローナイフで Fogal 博士らと合流し，チャーター機でイウレカに渡航した．イウレカでは，すでに到着していた全天イメージャの設置作業を行った．10 日間の作業で，設置から観測データの確認までの全てを行うことができた．また，観測システムに対して日本から衛星インターネット回線を用いた接続が行えるような設定を行い，観測状況の確認が行える環境を構築した．観測は PC による自動制御で行われており，観測をスタートした 10 月下旬から 3 月上旬までのデータが蓄積されている．これらのデータは，機器を設置している Pearl 観測施設のエンジニアによってカナダ本土まで輸送され，その後に，ネットワーク経由で日本まで転送されている．

前述のように，既設の 2 台の全天イメージャ（レゾリュートベイ，ロングイヤービエン）も順調に観測を継続しており，今後イウレカのデータを組み合わせた極冠域電離圏環境のグローバルイメージングを行っていく予定である． 今後数年間の観測データを有効に活用するために，イウレカにおいて主として中層大気研究のために光学観測を行っている Ward 博士と，機器設置後のキャンペーン観測に関する打ち合わせを進めている．また，カナダに展開されている GPS 観測網（CHAIN）の PI である Jayachandran 博士，および極冠域大型短波レーダー（PolarDARN）の PI であるサスカチュワン大学の St-Maurice 博士とは共著論文の執筆を通じて協力体制が整っており，共同観測がすぐに実施できる態勢を構築している．

3. 研究成果

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 RISR-N、PolarDARN とレゾリュートベイの OMTIs 全天イメージャによる極冠域電離圏の同時観測を実施してきている．特に，SRI International が運用する RISR-N とレゾリュートベイ全天イメージャによるポーラーキャップオーロラの同時観測事例を解析し，イメージャで観測されるオーロラアークの近傍における電場・電流の構造を 2 次元的に明らかにし，その結果を Journal of Geophysical Research 誌に発表した[1]．また，これまでに運用を行ってきたレゾリュートベイとロングイヤービイエンの全天大気光イメージャのデータと，極域に展開されている GPS 全電子数観測網や SuperDARN のデータを組み合わせて，磁気嵐時のポーラーパッチの大規模構造を明らかにし，Radio Science 誌に報告している[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，ポーラー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，ポーラーパッチが，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を示した．これらの 2 つの成果は，Journal of Geophysical Research 誌に掲載されることが決定している[3,4].

4. 論文公表実績等

1. Perry, G., H. Dahlgren, M. Nicolls, M. Zettergren, J-P St-Maurice, J. Semeter, T. Sundberg, K. Hosokawa, K. Shiokawa, S. Chen, Spatiotemporally resolved electrodynamic properties of a sun-aligned arc over Resolute Bay, Journal of Geophysical Research, 120, doi:10.1002/2015JA021790, 2015
2. Thomas E., K. Hosokawa, J. Sakai, J. H. Baker, J. M. Ruohoniemi, S. Taguchi, K. Shiokawa, Y. Otsuka, A. Coster, J.-P. St.-Maurice, and K. McWilliams, Multi-instrument, high-resolution imaging of polar cap patch transportation Radio Science, 50, doi:10.1002/2015RS005672, 2015
3. Hosokawa, K., S. Taguchi, and Y. Ogawa, Periodic creation of polar cap patches from auroral transients in the cusp, Journal of Geophysical Research, in press
4. Hosokawa, K., S. Taguchi, and Y. Ogawa, Edge of polar cap patches, Journal of Geophysical Research, in press

（別紙様式8-2）

汎世界的宇宙線観測ネットワーク（GMDN）の新要素検出器としてのSciCRT

SciCRT detector in Mexico as a new component of the GMDN

代表者：信州大学・理学部　宗像一起

ミューオン観測における観測の dead time の大幅な減少を実現するため、前年度に開発されたデータ取得用の新回路基板（Back-End Board、以下 BEB）をシェラネグラの SciCRT に導入した（図１）。設置後、データ収集プログラムの調整を行い、平成 28 年 2 月に高速のデータ収集が実現できていることを確認した。今後 PC とのインター フェースや hard disc への書き込みプロセスを改良し、安定した連続観測を可能にする必要がある。

一方、SciCRT では、粒子のエネルギー損失の情報を BEB で処理できる信号に変換するための回路（Front-End Board、以下 FEB）が不足しており、FEB が故障した場合の予備がない。現在使用している FEB と同じ仕様の物は高価なので、長期にわたって観測を行うためには安価な FEB を開発することが望まれる。そこで、かねてから安価な FEB のアイデアを温めていたメキシコ自治大学の大学院生（Marcos Anzorena）を、平成 28 年 2 月 20 日－3 月 19 日の間名古屋大学に招聘した。名古屋大学で行った仕事は、FEB の開発に必要な予備実験であり、名古屋大学の大学院生や技術職員と共同で実験するとともに、グループミーティングで進捗状況の報告を行った。信州大学のメンバーとも 3 月上旬の STE 研究集会の機会に直接顔を合わせ議論した。この滞在で、今後の FEB の開発に役に立つ実験データが得られた。また、次年度以降に計画している高速データ収集方法についても一緒に議論することができた。

平成 28 年 3 月には、信州大学から宗像、小財の 2 名が Kuwait へ出張し、GMDN (Global Muon Detector Network)の要素検出器である Kuwait 宇宙線計の拡張を完了させた。これにより、検出面積が従来の 9 m^2 から 25 m^2 へと約 3 倍に拡張し、高い方向分解能と統計精度を兼ね備えた宇宙線観測を実現することが出来た（図２）。次年度以降、SciCRT による新観測と併せて連続観測を継続する予定である。

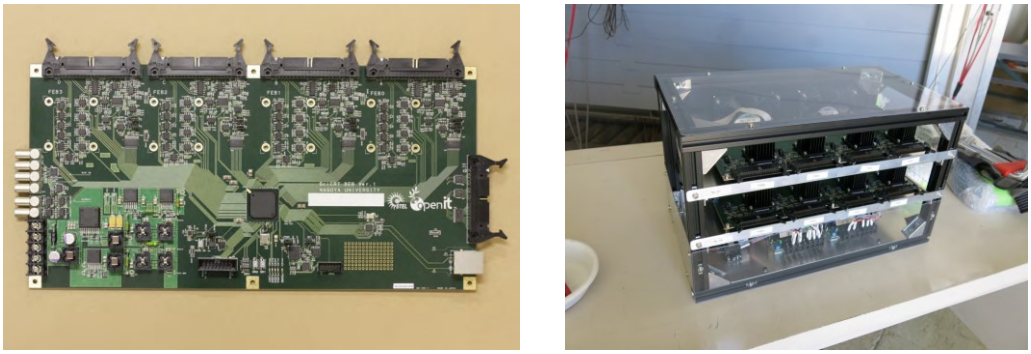


図１　開発された新 BEB（左）と SciCRT にインストールされた新 BEB のアセンブリ（右）

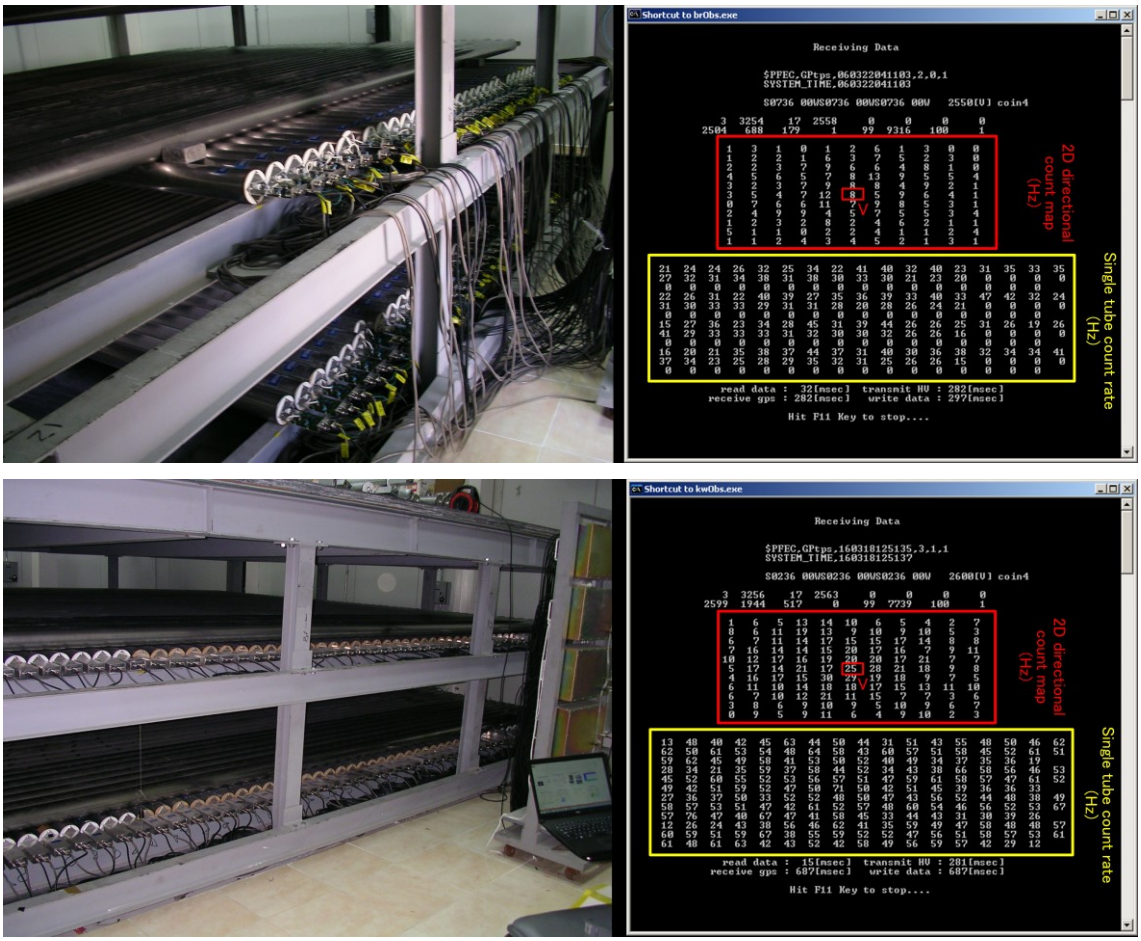


図２　拡張前（上）と拡張後（下）の Kuwait 宇宙線計。拡張後には直径 10 cm、長さ 5 m の円筒形比例計数管 200 本が、互いに直交する方向に上下 4 層に敷き詰められている。右は観測制御 PC のコンソール画面で、黄色枠内が各比例計数管の毎秒計数率である。赤枠内が毎秒計数率の 2 次元方向マップで、拡張後に中央の鉛直方向計の計数率が約 3 倍になっていることが判る。

発表論文：

- D. Ruffolo, A. Saiz, P.-S. Mangeard, N. Kamyan, P. Muangha, T. Nutaro, S. Sumran, C. Chaiwattana, N. Gasiprong, C. Channok, C. Wuttiya, M. Rujiwarodom, P. Tooprakai, B. Asavapibhop, J. W. Bieber, J. Clem, P. Evenson, and K. Munakata, Monitoring short-term cosmic-ray spectral variations using neutron monitor time-delay measurements, Astrophys. J., 817, 38-49, 2016.
- M. Kozai, K. Munakata, C. Kato, T. Kuwabara, M. Rockenbach, A. Dal Lago, N. J. Schuch, H. K. Al Jassar, M. M. Sharma, M. L. Duldig, J. E. Humble, J. W. Bieber, P. Evenson, I. Sabbah, and M. Tokumaru, Average spatial distribution of cosmic rays behind the interplanetary shock (Global Muon Detector Network observations), submitted to Astrophys. J., 2016.
- Y. Sasai, K. Munakata, C. Kato, M. Kozai, Y. Nakamura, T. Niwa, T Oshima, T. Koike, S. Shibata, A. Oshima, H. Takamaru et al., Development of a fast readout data acquisition system for SciBar Cosmic Ray Telescope, submitted to IEEE Transactions on Nuclear Science, 2016.
- 小財正義、「Space weather observations with the Global Muon Detector Network」、信州大学大学院総合理工学研究科博士論文（甲第110号）（英語論文）、2016年3月。

国際会議等の集録：

- Y. Sasai, K. Munakata, C. Kato, M. Kozai, Y. Nakamura, T. Niwa, T Oshima, T. Koike, S. Shibata, A. Oshima, H. Takamaru et al., Upgrade of a data acquisition system for SciBar Cosmic Ray Telescope (SciCRT) at Mt. Sierra Negra, Mexico, Proc. of the 33rd Internat. Cosmic Ray Conf. (Hague), PoS-644, 2015.
- North-south anisotropy of galactic cosmic rays observed with the Global Muon Detector Network (GMDN), K. Munakata, M. Kozai, C. Kato, T. Kuwabara, J. W. Bieber, P. Evenson, M. Rockenbach, A. Dal Lago, N. J. Schuch, M. Tokumaru, M. L. Duldig, J. E. Humble, I. Sabbah, H. K. Al Jassar and M. M. Sharma, Proc. of the 34th Internat. Cosmic Ray Conf. (Hague), PoS-056, 2015.
- Average features of the interplanetary shock observed with the Global Muon Detector Network, M. Kozai, K. Munakata, C. Kato, T. Kuwabara, J. W. Bieber, P. Evenson, M.Rockenbach, A. Dal Lago, N. J. Schuch, M. Tokumaru , M. L. Duldig, J. E.Humble, I. Sabbah, H. K. Al Jassar and M. M. Sharma, Proc. of the 34th Internat. Cosmic Ray Conf. (Hague), PoS-059, 2015.

学会等の口頭発表：

- 「SciCRT 検出器を用いた銀河宇宙線観測計画 VIII」、中嶋隆明（信州大理）ほか、2015年日本物理学会・春季大会（早稲田大）、22pDK-3、2015 年 3 月 22 日
- 「Global Muon Detector Network (GMDN)で観測された惑星間空間擾乱の平均像」、小財

正義（信州大理）ほか、2015 年 JPGU 講演会（幕張）、PM25-09、2015 年 5 月 25 日

- 「GMDN で観測された惑星間空間衝撃波の大規模構造」、小財正義（信州大理）ほか、2015 年 SGEPSS 講演会（東大）、R007-02、2015 年 10 月 31 日
- 「SciCRT による太陽中性子観測 V －読み出しアップグレードの現状報告－」、佐々井義矩（名大 STE 研）ほか、2015 年日本物理学会・秋季大会、大阪市立大学杉本キャンパス、25pSK3、2015 年 9 月 25 日

（別紙様式１０－２）

ハワイ展開する小口径望遠鏡群と電波望遠鏡群・軌道上望遠鏡群による木星・火星・金星大気上下結合の研究
Investigation of vertical atmospheric couplings in Jupiter, Mars, and Venus by the connection of Hawaiian small telescope

笠羽康正，東北大学・理・地球物理

１．研究目的

太陽系最大の磁気圏を有する木星の解明を主目標の１つとする「極端紫外光望遠鏡衛星 Hisaki/EXCEED」が、2013 年 9 月に打ち上げに成功し、イオトーラスおよび UV オーロラ全発光量の初の長期データを提供しつつある。2014 年 1 月にはハッブル宇宙望遠鏡を含めた国際合同観測キャンペーンも遂行され、2016 年には米・木星探査機 Juno の観測も開始される。これらを支える長期継続データ獲得能力を構築すべく、既に整備してきた電波観測手段に加え、光・赤外観測手段をハワイ・マウイ島・ハレアカラ山頂（標高約 3000m）に整備し、活用した。2015 年度からは、観測テーマをより広げ、木星・火星・金星大気上下結合の研究への展開を企図した。

2．研究方法

マウイ島・ハレアカラ山頂に設置した東北大 40cm シュミットカメラおよび 60cm カセグレン・クーデ反射望遠鏡設備、および本学電波望遠鏡群を用いた、木星イオトーラス・放射線帯・オーロラ電波活動長期観測を実施した。ハレアカラ設備を応用できる水星・彗星などの希薄大気観測にも活動の幅を広げている。また、60cm 望遠鏡では赤外線観測も可能であり、「赤外線オーロラ・大気光観測」(2-4μm 帯の H_2・H_3^+輝線)、「イオ火山活動熱輻射観測」、「金星・火星低層～超高層大気分光」の長期継続観測実現へ向けた観測装置整備も行うとともに、系外惑星観測にも着手した。本研究は、ハワイ大天文学研究所(IfA)および現地滞在する米田博士（ドイツ・キーペンハウアー研究所）の支援を得て行われたものである。

３．研究結果・考察

(1) 40cm シュミット望遠鏡・60cm カセグレン望遠鏡による「イオトーラス発光」の連続観測

JAXA ひさき観測を支えるため、40cm シュミットカメラに同架した 10cm 屈折望遠鏡、ハレアカラ 40cm 望遠鏡に装着した高分散分光器、および 60cm 望遠鏡に装着した高分散分光器によって、イオトーラスのナトリウム発光および[SII]671.6/673.1nm 発光の連続観測を実施した。ナトリウム発光強度は、イオの火山からイオプラズマトーラスへのガス供給量を示すもので、イオ火山活動・イオトーラス環境を知る基本指標である。また硫黄２価イオンはイオトーラスへのプラズマ供給量を直接示すものである。悪天候・満月期を除いて長期連続データが得られる本望遠鏡は、世界に先駆けて 2016 年初頭のイオ火山活動を検出（論文出版済:Yoneda et al., 2015）しており、これに伴う中性ガス・プラズマの木星圏内へ放出増大～減少過程の連続的な情報を世界で唯一提供した。これにより、HISAKI 紫外線宇宙望遠鏡によるイオトーラス変動およびトータル紫外線オーロラ発光量の変遷と合わせて、木星磁気圏へのイオトーラスによるマスローディング率変動とそれに伴う磁気圏・オーロラ活動量の対応、木星磁気圏ポテンシャル構造の太陽風依存性等を初めて明らかにしうるデータが得られた。電波観測による放射線帯活動増減との関連調査にも着手中である。

(2) 40cm シュミット望遠鏡・60cm カセグレン望遠鏡での観測装置試験作業

60cm 望遠鏡へ硫黄１価イオン発光分布を高い S/N でとらえる「狭帯域撮像装置」を開発設置し、試験観測に無事成功させるとともに、イオトーラスに対する連続観測に着手した。この成果は(1)を支えるものとなりつつあ

る。また氷衛星からの流出水分子を捉える Visible 高分散分光器も開発、木星圏・土星圏へ向けた試験観測として、彗星からの水分子検出に成功を収めた。さらに、波長分解能 $\lambda/d\lambda \sim 10^6$ を超える超高分散分光器として開発を進めてきた「中間赤外線レーザーheterodyne 分光器」のクーデ焦点への設営作業と試験観測を実施し、これを基礎に冷凍機駆動による「２号機」の設計開発に着手しつつある。

また、ドイツ・キーペンハウアー太陽研究所から提供を受けて可視分光偏光観測機 DiPol2 を 60cm 望遠鏡に装着し、系外惑星の大気反射光検出観測にも着手した。現時点では上限値を抑えることができたのみだが、得られた観測精度は良好であり、今後の発展を期する。

(3)地上大型望遠鏡(IRTF3m, SUBARU8m 等)らとの共同観測

2016 年 5 月から開始される NASA 木星探査機 Juno への支援観測準備を兼ねて、2015 年 11 月から北＋坂野井・笠羽が参加する IRTF-SPEX による木星近赤外線オーロラの断続的長期撮像観測を JPL の G. Orton を筆頭に実施し、Hisaki 観測期間における空間分解されたオーロラ輝度分布が得られつつある。また、SUBARU-COMICS (2 日間：笠羽・佐藤隆[ISAS]・G. Orton[JPL]ほか)による中間赤外線撮像・分光観測による木星大気吸収・発光観測を実施。成層圏高度における CH 系分子の全球分布の長期変動および極域熱圏下部における CH4 発光分布を明らかにすることに成功した。中間赤外線分光・撮像が行える現行望遠鏡は SUBARU と VLT（南米・ESO 運営）しかなくなっており、成層圏および熱圏下部を掌握できる貴重な手段として、NASA/Juno 周回時代を支えていく。

また、2015 年度に行った IRTF・SUBARU 観測解析を進めるとともに、木星放射線帯活動に与える木星上層大気擾乱の影響を検証した IRTF-CSHELL 近赤外線分光観測結果(Kita et al., 2015)、および火星 H/D 比の季節変動と全水循環との関連解明を狙った SUBARU-IRCS 近赤外線分光観測成果(Aoki et al., 2015)を論文出版した。後者に関しては、NASA/DLR が運営する成層圏飛行望遠鏡 SOFIA による火星 D/H 比・CH_4観測（青木・中川）も３月に実現した。

今後とも我々の中小望遠鏡・探査機観測・大型望遠鏡を結合させた観測機会を創出していく予定である。

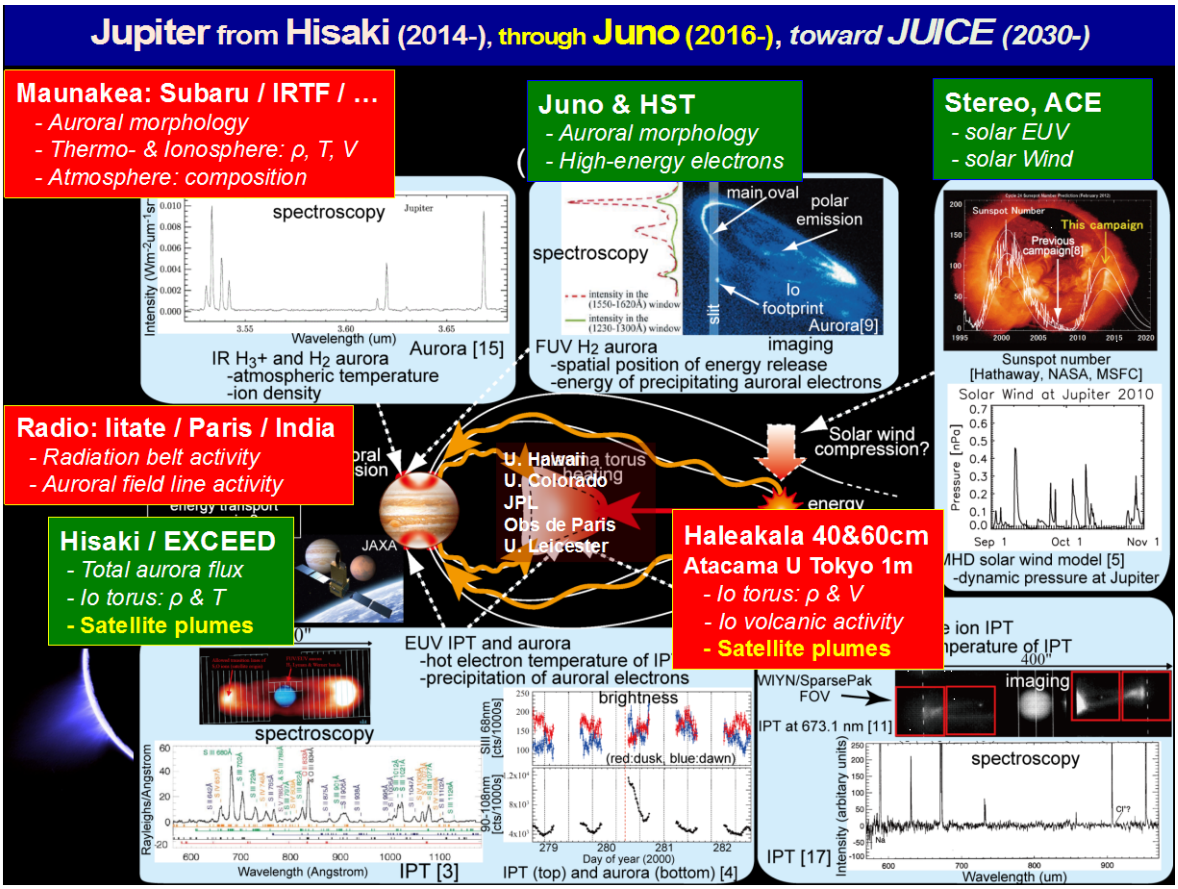


図１：我々の地上観測（赤字）と JAXA/Hisaki 他との協調木星観測データセット。2016 年度からはこの柱として NASA/Juno 探査機が加わる。

４．成果発表

Aoki, S., H. Nakagawa, H. Sagawa, M. Giuranna, G. Sindoni, A. Aronica, Y. Kasaba (2015), Seasonal variation of the HDO/H2O ratio in the atmosphere of Mars at the middle of northern spring and beginning of northern summer, Icarus, 260, 7-22, DOI:10.1016/j.icarus.2015.06.021

Kita, H., H. Misawa, A. Bhardwaj, F, Tsuchiya, T. Sakanoi, Y. Kasaba, C. Tao, Y. Miyoshi, A. Morioka (2015), Relation between the short-term variation of the Jovian radiation belt and thermosphere derived from radio and infrared observations, J. Geophys. Res. Space Physics, 120, doi:10.1002/2015JA021374.

Yoneda, M.; Kagitani, M.; Tsuchiya, F.; Sakanoi, T.; Okano, S. (2015), Brightening event seen in observations of Jupiter's extended sodium nebula, Icarus, 261, 31-33, DOI:10.1016/j.icarus.2015.07.037.

鍵谷 将人，米田 瑞生，地上望遠鏡とひさき衛星とによるイオプラズマトーラスの協調観測，地球惑星科学関連学会 2015 年合同大会，千葉，幕張メッセ，2015/5.

笠羽 康正，坂野井 健，中川 広務，鍵谷 将人，小原 隆博，岡野 章一，J. Kuhn，米田 瑞生，S. Berdyugina，Telescopes dedicated to the observations of planets and exoplanets at Haleakala, Hawaii，日本地球惑星科学連合 2015 年大会，千葉，幕張メッセ，2015/5.

S. Fujisawa, Y. Kasaba, T. Sakanoi, C. Tao, H. Kita, and M. Kagitani Horizontal and vertical structures of Jovian IR aurora emission observed by SUBARU / IRCS, Magnetospheres of the Outer Planets 2015, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA, 2015/6.

Y. Kasaba, T. Sakanoi, H. Nakagawa, M. Kagitani, T. Obara, S. Okano, J. Kuhn, M. Yoneda, and S. Berdyugina, Telescopes Dedicated to the Observations of Jupiter, Planets and Exoplanets at Haleakala, Hawaii, Magnetospheres of the Outer Planets 2015, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA, 2015/6.

中川 広務，青木 翔平，佐川 英夫，笠羽 康正，村田 功，高見 康介，鍵谷 将人，坂野井 健，岡野 章一，赤外ヘテロダイン分光器 MILAHI を用いた火星・金星大気観測，地球電磁気・地球惑星圏学会第 139 回総会および講演会，東京大，2015/10.

高見 康介，中川 広務，佐川 英夫，青木 翔平，笠羽 康正，村田 功，赤外レーザーヘテロダイン分光による金星中間 圏の風速場/温度場計測，地球電磁気・地球惑星圏学会 第 143 回総会および講演会，東京大学，2015/10.

笠羽 康正，坂野井 健，鍵谷 将人，中川 広務，村田 功，小原 隆博，岡野 章一，米田 瑞生，ハワイ・ハレアカラ山頂の惑星/系外惑星専用 望遠鏡:40cm・60cm 活動状況および 1.8m 新設計画，地球電磁気・地球惑星圏学会 第 143 回総会および講演会，東京大学，2015/10.

藤澤 翔太，笠羽 康正，垰 千尋，北 元，鍵谷 将人，坂野井 健，木星電離・中性オーロラ発光の水平・鉛直構造比較:SUBARU/IRCS による補償光学観測，地球電磁気・地球惑星圏学会 第 143 回総会および講演会，東京大学，2015/10.

坂野井 健,東北大光赤外チーム，ハワイハレアカラ望遠鏡による惑星大気の光赤外モニタリング観測(招待講演)，第 5 回可視赤外線観測装置技術ワークショップ，東北大学，2015/12.

笠羽 康正，惑星探査機からみた 3-10μ帯赤外 2D センサーの現況と課題，第 5 回可視赤外線観測装置技術ワークショップ，東北大学，2015/12.

Kasaba, Y., H. Nakagawa, T. Sakanoi, S. Aoki, M. Giuranna, A. Vandaele, O. Korablev, ESA ExoMars Trace Gas Orbiter: Current status (just prelaunch) and the relationships to our Mars mission (招待講演), Symposium on Planetary Science 2016, 東北大, 2016/2.

Takami, K., H. Nakagawa, H. Sagawa, S. Aoki, Y. Kasaba, I. Murata, Measurements of mesospheric wind and temperature in the Venusian atmosphere using MILAHI aboard Tohoku Univ. 60cm, Symposium on Planetary Science 2016, 東北大, 2016/2.

Fujisawa, S., Y. Kasaba, C. Tao, T. Sakanoi, M. Kagitani, H. Kita, Horizontal and vertical structures of the Jovian IR aurora from plasma and neutral atmospheres: Observation by SUBARU/IRCS with Adaptive Optics, Symposium on Planetary Science 2016, 東北大, 2016/2.

Sakanoi, T., M. Kagitani, H. Nakagawa, N. Terada, T. Kuroda, Y. Kasaba, T. Obara, H. Misawa, F. Tsuchiya, Summary of JSPS program on international collaboration for planetary plasma and atmospheric dynamics research based on Hawaiian planetary telescopes, Symposium on Planetary Science 2016, 東北大, 2016/2.

Yoneda, M., M. Kagitani, F. Tsuchiya, T. Sakanoi, H. Misawa, S. Okano, Io's volcanic influence on Variations in Jupiter's sodium nebula due to volcanism on Io, Symposium on Planetary Science 2016,

東北大, 2016/2.

中川広務, 笠羽康正, 高見康介, 佐川英夫, 青木翔平, 村田功, 田口真, 鍵谷将人, 坂野井健, 岡野章一, 赤外ヘテロダイン分光器による金星大気中間圏観測:あかつきとの連携, 第 29 回大気圏シンポジウム, JAXA/ISAS, 2016/3.

坂野井健,宮田隆志,平原靖大,鍵谷将人,北元,米田瑞生,笠羽康正,大坪貴文,臼井文彦,上塚 貴史,長谷川直, TAO とハレアカラ望遠鏡による木星ならびに小天体の連続観測, 日本天文学会 2016 年春季年会, 首都大学東京, 2016/3.

Nakagawa, H., A. Medvedev, C. Mockel, S. Jain, S. Evans, N. Schneider, T. Kuroda, N. Terada, K. Terada, K. Seki, S. Aoki, H. Sagawa, Y. Kasaba, K. Takami, I. Murata, G. Sonnabend, M. Sornig, M. Kagitani, T. Sakanoi, S. Okano, M. Taguchi, J. Kuhn, J. Ritter, Regional coupling between lower and upper atmosphere revealed by MAVEN/IUVS and complementary study by Earth-based observations, International GEMSIS and ASINACTR-G2602 Workshop: Future Perspectives of Researches in Space Physics, 名古屋大, 2016/3.

Kasaba, Y., T. Sakanoi, M. Kagitani, H. Nakagawa, H. Kita, I. Murata, T. Obara, S. Okano, M. Yoneda, J. Kuhn, and S. Berdyugina, Planetary Environment Studies executed by a Small Telescopes Dedicated to Planets and Exoplanets at Haleakala, Hawaii, International GEMSIS and ASINACTR-G2602 Workshop: Future Perspectives of Researches in Space Physics, 名古屋大, 2016/3.

地上観測ネットワークのための、対流圏オゾン関連物質のリモートセンシングおよびエアロゾル放射影響の研究

Investigation of remote sensing technique of tropospheric ozone related species and aerosol radiation effect for the network observation

北　和之　（茨城大学理学部）
松見　豊、中山智喜（名古屋大学太陽地球環境研究所）
野口克行（奈良女子大学）
入江仁士、齋藤尚子（千葉大学環境リモートセンシング研究センター）

目的

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。

地表オゾン(オキシダント)濃度については、日本では全国常時監視局でのモニタリングネットワークで測定されているが、境界層～下部自由対流圏を輸送されてくるものに関してはその量を地上での直接測定のみで評価することは困難である。地上からの紫外分光リモートセンシング観測では従来成層圏成分と対流圏成分の分離が難しかったが、対流圏カラム量を分離して推定する手法として近年 MAX-DOAS 法が開発・発展し、二酸化窒素などいくつかの成分についてはよい精度での観測が可能になってきており、徐々に観測がネットワーク化しつつある。しかし、成層圏成分が圧倒的に多いオゾンについては、MAX-DOAS 法によっても、よい精度で対流圏成分を分離して測定することが難しい状況である。また、衛星観測では MAX-DOAS 法のように視線方向を変えることによって対流圏成分を分離して測定することは原理的に難しく、さらに困難である。

そこで、紫外分光に加え、可視域などのの同時分光観測とシナジーリトリーバルにより地表付近のオゾン量を推定する手法を提案している。しかし、Chappuis 帯の吸収断面積は比較的小さく、しかも吸収の波長依存性が小さいので、差分吸光フィッティングによるオゾンカラム量推定が難しく、また地表反射光の影響が無視できないので、地表反射の波長依存性による干渉も問題となる。今回、太陽直達光観測を行い可視域 Chappuis 帯での差分吸光フィッティングの精度が十分であるか確認した。さらに、最終目標である太陽直達-散乱光スペクトル観測からのオゾン高度分布推定を行ったので、結果について報告する。

直達光観測によるオゾンカラム密度の推定

可視域 Chappuis 帯での差分吸光フィッティングの精度を確認するため、紫外および可視の 2 波長域でほぼ同時に太陽直達光観測を行い、そのデータ解析によりオゾンカラム量を推定した。太陽直達光観測では、可視および紫外域で光路長が有意に異なる散乱光と異なり、波長によらず光路が同じとみなして良いので、紫外および可視の両波長域で求めたオゾンカラム量は一致するはずである。

観測は茨城大学構内にて実施した。太陽追尾装置(TM-2DX)に減光フィルターを装着して、太陽直達光を石英光ファイバーで分光器（MAYA2000pro）に導入した。分光器の波長分解

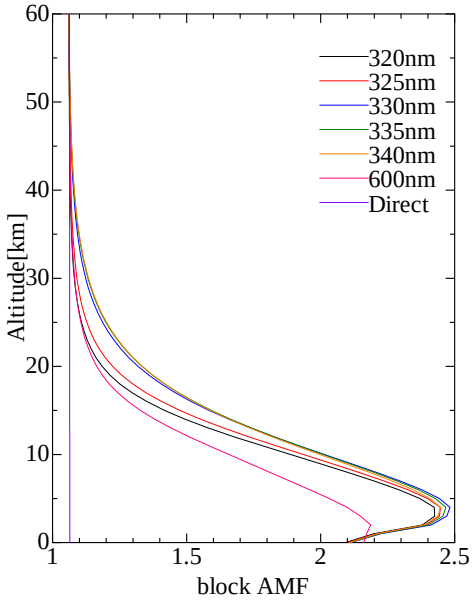
能は約 0.5nm で、光信号は感度の高い裏面照射型 CCD により 16bit 分解能で記録される。露光（積分）時間は 0.1 秒で、100 スペクトルを一度に観測した。このスペクトルに差分吸光フィッティングで得られたオゾンカラム量は、可視および紫外域で当初それぞれ 7.45×10^{18} cm^{-2} および 6.74×10^{18} cm^{-2} と有意な差があったが、観測中の分光器波長シフトや装置関数の最適化、濃度変動の激しい水蒸気の吸収波長域の除外などを行うことで、それぞれ $7.05\pm0.24\times10^{18}$ cm^{-2} と $7.14\pm0.33\times10^{18}$ cm^{-2}、とランダム誤差範囲で一致し、両者の差は 1.26%となった。当日の気象庁によるつくばでのオゾン全量は 7.47×10^{18} cm^{-2} で、これも誤差範囲内で一致している。

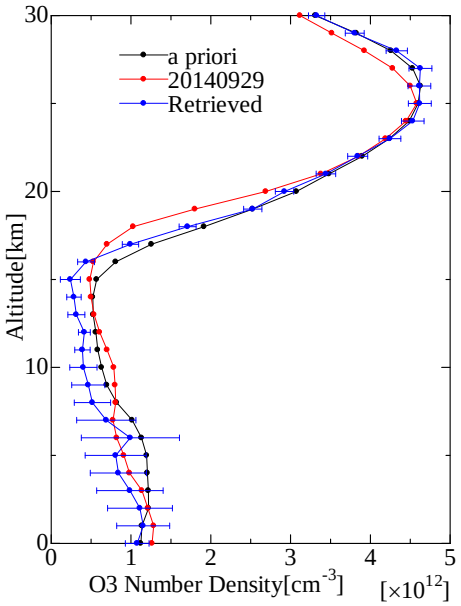
直達光および散乱光スペクトル測定によるオゾン高度分布の推定

右上図は、放射伝達モデルSCIATRAN(Rozanov et al., 2005)によって推定した、紫外～可視域における各高度でのAir mass factorである。下部成層圏から対流圏にかけての高度毎のAir mass factor (block AMF)は、波長によって有意に異なるため、この波長変化をリトリーバルで考慮することによって、高度分布を得ることができる可能性がある。但し、波長毎のAMFの違いは小さいので、単純にインバージョンを行うと得られるオゾン濃度の値は現実的な値と大きく異なってしまう。

そこで、ア・プリオリとして、気象庁によるつくばにおけるオゾンゾンデ観測に基づく平均的なオゾン高度分布を与え、それによる拘束条件を導入した。それにより、右下図のように観測当日のオゾンゾンデ観測(赤線)によるオゾン高度分布とほぼ一致する結果が得られた。但し、ア・プリオリとして与えている値を変化させると30-50%程度推定値が変化し、精度は十分とはいえない。特に下部成層圏で値が一致せず、リトリーバルに組み入れているこの高度領域でのAMF推定精度などに問題がある可能性がある。

今後、エアロゾルによるAMF変化を適切に考慮するなどし、対流圏から下部成層圏でのAMF推定精度を向上させることで、精度向上が可能と考えている。





（別紙様式8-2）

偏光分光観測によるオーロラ偏光プロセスの解明
Understanding the auroral polarization process using spectral polarization measurement data

坂野井健、東北大学・大学院理学研究科

【要旨】
本研究では、磁気子午線に沿って磁気天頂から磁気水平までの広視野偏光分光を可能とする装置開発を新たに行い、北米アラスカにおける冬期間連続観測を実施した。平成26年度の観測は、前年度までの観測で問題であった機械偏光の精密校正、ならびに偏光望遠鏡を用いたオーロラと同時の標準星偏光データ取得を実施することができた。これにより、器械偏光と大気散乱による偏光を校正でき、オーロラ発光の直線偏光度を1%程度の精度で取得することに成功した。0630nm発光については、先行研究と整合的な4-5%の直線偏光度や、磁力線に対する偏光度の仰角依存性だけでなく、発光強度と直線偏光度が正の相関をもつことが明らかになった。ところが、理論的に偏光しないとされる0557.7nm発光においても10%～20%程度の直線偏光度が観測された。この解釈としては、オーロラ偏光理論・モデルからの解釈、光路途中の地球大気の影響、観測装置の測定精度の3点つの観点から考察を進めている。少なくとも現状では、微弱なオーロラ発光の偏光を十分な測定精度で測定できている保証が得られておらず、さらなる装置改良が必要と判断している。

【研究目的】
オーロラ研究において、波長、強度、空間分布を定量的に観測することで、電磁圏・熱圏環境のリモートセンシングが行われてきた。これに加えて、近年「偏光」が新たな情報を与えるものとして注目されている。しかし、理論面、観測・技術面いずれにおいても未解明な問題が多い。本研究は、近年発達した光学技術を用いてオーロラ発光の全天偏光観測を世界で始めて実施する。これにより、オーロラ偏光度の全天データを得、その時空間変動より、オーロラ偏光メカニズムの解明を行うとともに、この偏光情報の電磁圏研究への応用を検討することを目的とする。

【研究経過と結果】
我々グループは、平成24年以降、広視野オーロラ偏光観測装置の開発を進めてきた。この装置では、魚眼レンズの第一焦点にスリットを配置し、コリメータ部にて透過型ボリュームフェーズフォログラフィック(VPH)グレーティングにより分光し、CCD検出器上に結像させる。この光路中に直線偏光板を挿入し、これを回転させることで直線偏光成分を計測する。この装置のスリット長に対応する視野は150度、波長範囲は450nm－700nm、波長分解能は1nm（$\lambda/\Delta\lambda$～600）である。このスリットを磁気子午線方向に向け、磁気天頂から磁気垂直までの範囲の視野の、オーロラ酸素原子557.7nm発光、酸素原子630nm発光、ならびに窒素分子1PG（670nm）まで一度にカバーする。典型的な630nmオーロラ発光強度の場合、一つの偏光データセットの計測に要する時間は60秒程度で、磁気活動度が高い場合を除いてオーロラの時間変動の偏光観測への影響を無視できる。
H25年度には、アラスカ・ポーカーフラットにおいてオーロラ偏光観測を冬期間連続して行った。ここで、地上偏光観測データには、オーロラ発光の偏光のみならず、視線上の大気分子や極成層圏雲等エアロゾルの散乱による偏光と、光学系に起因する器械偏光が加わるため、大気散乱や機械偏光の校正を行う必要がある。しかし、H25年度の観測では、器械偏光校正データの精度に問題があった。このため、H26年度には、器械偏光校正用光源ユニットを新たに開発し、モータを用いて偏光子を回転させることでより正確かつ効率的な校正データを取得できるようにした。さらに、大気分子散乱に起因する偏光への影響を見積もるため、ウォラスト

ンプリズムを用いた偏光望遠鏡を新たに開発した。

H26 年度の観測は、2014 年 11 月から約ひと月間アラスカ・ポーカーフラットに滞在し、観測と校正作業を行った。前年度の問題であった機械偏光の精密校正、ならびに偏光望遠鏡を用いたオーロラと同時の標準星偏光データ取得を実施することができた。これにより、器械偏光と大気散乱による偏光を校正でき、オーロラ発光の直線偏光度を 1%程度の精度で取得することに成功した。0630nm 発光については、先行研究と整合的な 4-5%の直線偏光度や、磁力線に対する偏光度の仰角依存性だけでなく、発光強度と直線偏光度が正の相関をもつことが明らかになった。ところが、理論的に偏光しないとされる 0557.7nm 発光においても 10%～20%程度の直線偏光度が観測された。

H27 年度は、年度前半には、取得された観測データの解析を進めた。これにより判明した、装置上の問題点である、校正用光源ユニットのモーター駆動部について、改良を行った。この後、H27 年 11 月－12 月にかけて、北米アラスカ・ポーカーフラット観測施設に赴き、改良した装置の設置ならびにオーロラ偏光キャンペーン観測を実施した。我々はこのキャンペーン観測後帰国したが、観測装置は自動で順調に運用を続け、H28 年 4 月上旬まで連続データの取得に成功した。さらに、H28 年 1 月には、北欧ノルウェートロムソにおいて、EISCAT レーダーと光学多点同時観測キャンペーンを実施した。これは極地研究所ならびにノルウェーやスウェーデンの研究機関との国際共同研究である。これにより、オーロラサブストームに伴う、電離圏ダイナミクスに関する貴重なレーダー光学同時観測データの取得に成功した。

これらは、修士学生の主たる研究テーマとなっている。また、複数の国内外の学会・シンポジウムで成果発表した。さらに、スイスの国際宇宙科学研究所（ISSI)のオーロラ研究メンバーに招聘されており、国際的にも注目を集めている。

【成果発表】（オーロラ関係のもののみ）

論文

- Miyoshi, Y., S. Saito, K. Seki, T. Nishiyama, R. Kataoka, K. Asamura, Y. Katoh, Y. Ebihara, T. Sakanoi, M. Hirahara, S. Oyama, S. Kurita, O. Santolik (2015), Relation between fine structure of energy spectra for pulsating aurora electrons and frequency spectra of whistler mode chorus waves, J. Geophys. Res. Space Physics, 120, 7728-7736, doi:10.1002/2015JA021562.
- Liang, J., E. Donovan, Y. Nishimura,B. Yang, E. Spanswick, K. Asamura,T. Sakanoi, D. Evans, and R. Redmon(2015), Low-energy ion precipitationstructures associated with pulsatingauroral patches, J. Geophys. Res. SpacePhysics, 120, 5408-5431, doi:10.1002/2015JA021094.
- Hori, T., Y. Miyashita, Y. Miyoshi, K. Seki, T. Segawa, Y.-M. Tanaka, K. Keika, M. Shoji, I. Shinohara, K. Shiokawa, Y. Otsuka, S. Abe, A. Yoshikawa, K. Yumoto, Y. Obana, N. Nishitani, A. S. Yukimatu, T. Nagatsuma, M. Kunitake, K. Hosokawa, Y. Ogawa, K. T. Murata, M. Nose, H. Kawano, and T. Sakanoi (2014), CDF data archive and integrated data analysis platform for ERG-related ground data developed by ERG Science Center (ERG-SC), J. Sp. Sci. Info. Jpn., Vol. 4.

国内発表

- 坂野井健, 三好由純, 浅村和史, 西山尚典, 細川敬祐, オーロラ小型衛星・ロケット検討チーム, オーロラ小型衛星とロケットに搭載するオーロライメージャーの開発, 名古屋大学 ISEE 研究集会(旧 STEL 研究集会)「編隊飛行衛星による地球極域電磁気圏の探査計画に向けて」, 名古屋大学, 名古屋, 3 月 29 日、2016.
- 坂野井健, 将来の極域観測へのコメント, 近未来の宙空圏関連極域研究観測を考える研究集会, 国立極地研究所, 立川, 3 月 28 日, 2016.
- 坂野井健, MI 結合研究の重要性について, ISEE 研究集会 EISCAT 研究集会, 名古屋大学, 名古屋, 3 月 11 日, 2016.

- 坂野井健, 脈動オーロラロケットに搭載するオーロラカメラについて, ISEE 共同研究集会脈動オーロラ研究集会, 名古屋大学, 名古屋, 3 月 1-2 日, 2016.
- 三好由純, 齋藤慎司, 大山伸一郎, 栗田怜, 平原聖文, 関華奈子, 西山尚典, 片岡龍峰, 浅村和史, 加藤雄人, 坂野井健, 海老原祐輔, O. Santolik, 脈動オーロラの内部変調の起源, ISEE 共同研究集会脈動オーロラ研究集会, 名古屋大学, 名古屋, 3 月 1-2 日, 2016.
- 近藤裕菜, 坂野井健, 小川泰信, 光学-EISCAT によるオーロラ同時観測, EISCAT 研究集会（極地研研究集会）, 極地研, 立川, 1 月 29 日, 2016.
- 浅村和史, 三好由純, 坂野井健, 西山尚典, オーロラ探査編隊飛行観測衛星計画, 第 16 回宇宙科学シンポジウム, JAXA/ISAS, 相模原, 1 月 6-7 日, 2016.
- 三好由純, 齋藤慎司, 栗田怜, 大山伸一郎, 平原聖文, 浅村和史, 坂野井健, E. Turunen, A. Kero, P. Veronen, 相対論的マイクロバーストと脈動オーロラ, 第６回極域科学シンポジウム, 極地研, 立川, 11 月 16-19 日, 2015.
- 小川泰信, 宮岡宏, 坂野井健, 鈴木臣, 田口真, 門倉昭, ロングイアビン・オーロラスペクトログラフによるオーロラ・大気光の長期分光観測, 第６回極域科学シンポジウム, 極地研, 立川, 11 月 16-19 日, 2015.
- 三好 由純, 齊藤 慎司, 関 華奈子, 西山 尚典, 片岡 龍峰, 浅村 和史, 加藤 雄人, 海老原 祐輔, 坂野井 健, 平原 聖文, 大山 伸一郎, 栗田 怜, 尾崎 光紀, Santolik Ondrej, 脈動オーロラにおける内部変調の起源について, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 138 回総会・講演会, 東京大学, 東京, 10 月 31 日-11 月 3 日, 2015.
- 坂野井 健, 山崎 敦, 齊藤 昭則, 穂積 裕太, Perwitasari Septi, IMAP/VISI により磁気嵐回復時に観測されたサブオーロラ帯発光現象, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 138 回総会・講演会, 東京大学, 東京, 10 月 31 日-11 月 3 日, 2015.
- 坂野井 健, 山崎 敦, 齊藤 昭則, 秋谷 祐亮, 穂積 裕太, 大塚 雄一, Perwitasari Septi, 西谷 望, 堀 智昭, Recent results of airglow and auroral emissions in the lower- and upper-thermosphere obtained with IMAP/VISI on ISS, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 幕張, May 24-28, 2015.
- 坂野井 健, 浅村 和史, 三好 由純, 平原 聖文, 斎藤 義文, Auroral camera required in the future small satellite missions exploring the magnetosphere-ionosphere coupling processes, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 幕張, May 24-28, 2015.
- 高崎 慎平, 坂野井 健, 鍵谷 将人, Characteristics of polarization in auroral emissions based on wide-field polarization spectroscopic observation, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 幕張, May 24-28, 2015.
- 平原 聖文, 斎藤 義文, 浅村 和史, 坂野井 健, 小嶋 浩嗣, 三好 由純, 大山 伸一郎, Space-terrestrial couplings and polar ionosphere/thermosphere dynamics studied by formation flight of compact satellites, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 幕張, May 24-28, 2015.
- 近藤 裕菜, 坂野井 健, 田中 良昌, 小川 泰信, 鍵谷 将人, 宮岡 宏, Partamies Noora, Whiter Daniel, Brandstrom Urban, Enell Carl-fredrik, Kozlovsky Alexander, The estimation of the altitude of auroral emission from grand-based multiple optical observation, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 幕張, May 24-28, 2015.

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

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

研究代表者　藤原　均，成蹊大学・理工学部

共同研究者

野澤悟徳　　名古屋大学・宇宙地球環境研究所

三好勉信　　九州大学・大学院理学研究院

小川泰信　　国立極地研究所

研究目的

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

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

2) 高温の中性大気・プラズマを生成するための極冠域でのエネルギー源は？

3) 極冠域での高速中性風，プラズマ流の生成機構は？

本研究グループでは，EISCAT レーダー観測とGCMシミュレーションに基づく研究により上記課題に取り組んできた。特に，極冠域での中性大気・プラズマのエネルギー源について，その大きさや空間分布を把握し極冠域でのエネルギー収支を理解することを目指してきた。例えば，Fujiwara et al. (2007)では，磁気圏前面の現象に起因する昼側電離圏での準周期的な加熱の大きさを推定したほか，Fujiwara et al. (2012)では(約 100 年ぶりに低調と言われた)太陽活動極小期における地磁気静穏時の極冠域のイオン温度変動を示した。また，太陽活動が上昇期に向かう際の 2012 年 3 月には，CME に伴う昼側電離圏での加熱現象を EISCAT レーダーにより観測することに成功した（Fujiwara et al., AnGeo 2014)。次のステップとして，これらのエネルギー流入と熱圏・電離圏変動(高速熱圏風，大気波動，擾乱の励起など)との関係を観測・GCM シミュレーションにより明らかにすることは当該分野の研究の進展において極めて意義のあることと考えられる。

2015 年度には，主に地磁気活動静穏時における電離圏・熱圏変動に着目し，極冠域周辺での高速プラズマ流やその熱圏への影響，局所的な電離圏・熱圏加熱について EISCAT 観測と GCM シミュレーションにより理解することを目的とする。また，Na ライダー観測から，下層大気と極域下部熱圏との結合過程や E 領域電離圏変動について調べる。

研究方法（使用した共同研究利用装置・施設等を含む）

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

研究結果

2014 年度までに得られたデータ，及び GCM シミュレーションから，地磁気静穏時における昼側極域電離圏・熱圏変動について調べた。カスプ近傍の電離圏では，地磁気活動静穏時においても高速イオン流や激しいジュール加熱が存在することが当グループのレーダー観測等により確かめられてきた。Kp～1-2 程度のコンディションにおいても，ロングイヤビン北部では高温，高速イオン流の領域が常に現れる一方で，トロムソ上空では静穏な電離圏状態となっている。ロングイヤビン近傍は，カスプ，極冠域，オーロラオーバルを出入りする領域であり，ここでの電離圏・熱圏の普遍的な描像（昼側電離圏・熱圏の天気）がトロムソとの比較から明らかになりつつある。オーロラオーバルの広がりやイオンドラッグ，ジュール加熱が熱圏高速風の形成に与える影響を調べるために，いくつかの GCM シミュレーションを実施した。オーロラオーバルが収縮している場合，地磁気静穏時でも局所的な高速風が形成されやすく，また，全球的な熱圏風系の形成にはイオンドラッグが不可欠であることが示された。

昨年度に引き続き，藤原、野澤がトロムソに赴き、2016 年 3 月 16, 17 日に KST 観測を実施した。3 月 14 日より World IS Day に伴い CP3 観測が実施されていたことから(14 日～19 日)，これと並行して VHF レーダーを用いた 3 局方式によるトロムソ上空の電場計測を試みた。VHF レーダーの観測時間は，16 日，17 日ともに 07:00 UT ~ 13:00 UT であり，この観測期間中の太陽・地磁気活動度は以下の通りであった。太陽 F10.7 指数：91, 92 (16, 17 日), Kp 指数: 16-17 日の間で 1~5 の範囲で変化。CP3 データでは地磁気活動が静穏時から擾乱時に転じた際の電離圏イオン温度上昇やイオン速度変動などをとらえており，このときの電場（加熱率）を推定する予定である。特に，トロムソ VHF レーダーでの観測時間帯では，16 日の午前中に強い電離圏加熱が生じていた。

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

本研究課題に関連した成果発表

論文発表

Jens Oberheide, Kazuo Shiokawa, Subramanian Gurubaran, William E Ward, Hitoshi Fujiwara, Michael J Kosch, Jonathan J Makela, and Hisao Takahashi, The geospace response to variable inputs from the lower atmosphere: a review of the progress made by Task Group 4 of CAWSES-II, *Progress in Earth and Planetary Science*, 2015.

Miyoshi, Y., S. Oyama, S. Saito, S. Kurita, H. Fujiwara, R. Kataoka, Y. Ebihara, C. Kletzing, G. Reeves, O. Santolik, M. Clilverd, C. J. Rodger, E. Turunen, and F. Tsuchiya, Energetic electron precipitation associated with pulsating aurora: EISCAT and Van Allen Probe observations, *J. Geophys. Res.*, doi: 10.1002/2014JA020690, 2015.

Takahashi, T., S. Nozawa, T. T. Tsuda, Y. Ogawa, N. Saito, T. D. Kawahara, C. Hall, H. Fujiwara, N. Matsuura, A. Brekke, M. Tsutsumi, S. Wada, T. Kawabata, S. Oyama, and R. Fujii, A case study on generation mechanisms of a sporadic sodium layer above Tromso (69.6° N) during a night of high auroral activity, *Ann. Geophys.*, 33, 941-953, doi:10.5194/angeo-33-941-2015, 2015.

学会発表等

Shinagawa, H., H. Jin, Y. Miyoshi, and H. Fujiwara ,T. Yokoyama, Estimation of Occurrence Probability of Plasma Bubbles Using GAIA, the Asia Oceania Geosciences Society 12th Annual Meeting (AOGS 2015), Singapore, August 2-7, 2015.

Fujiwara, H., S. Nozawa, Y. Ogawa, R. Kataoka, Y. Miyoshi, H. Jin, H. Shinagawa, Investigation of Weather and Climate in the Polar Upper Atmosphere from Observations with the EISCAT Radar System and Simulations with a Whole Atmosphere GCM, the Asia Oceania Geosciences Society 12th Annual Meeting (AOGS 2015), Singapore, August 2-7, 2015.

Nozawa, S., T. Tsuda, H. Fujiwara, Y. Ogawa, T. Kawahara, N. Saito, S. Wada, M. Tsutsumi, S. Suzuki, T. Kawabata, T. Takahashi, T. Hibino, S. Takita, S. Asato, C. Hall, and A. Brekke, Study of the Upper Mesosphere and the Lower Thermosphere by Using the Sodium LIDAR at the EISCAT Tromsoe Site, Norway, the Asia Oceania Geosciences Society 12th Annual Meeting (AOGS 2015), Singapore, August 2-7, 2015.

藤原 均・野澤 悟徳・小川 泰信・片岡 龍峰・三好 勉信・陣 英克・品川 裕之, 極域総合観測とGCMシミュレーションによる超高層大気研究, 地球惑星科学関連学会連合大会, 5月, 幕張, 2015.

野澤 悟徳・津田 卓雄・藤原 均・小川 泰信・川原 琢也・斎藤 徳人・和田 智之・堤 雅基・鈴木 臣・川端 哲也・高橋 透・日比野 辰哉・滝田 真太郎・安里 早稀・ホール クリス・ブレッケ アスゲイル, トロムソにおけるナトリウムライダーを中心に用いた上部中間圏・下部熱圏変動の研究, 地球惑星科学関連学会連合大会, 5月, 幕張, 2015.

藤原均・三好勉信・陣英克・品川裕之・野澤悟徳・小川泰信・片岡龍峰, 地磁気静穏時の極域電離圏・熱圏擾乱, 第138回地球電磁気・地球惑星圏学会, 10月31日-11月3日, 東京大学, 2015.

品川裕之・陣英克・三好勉信・藤原均・横山竜宏, GAIA を用いたプラズマバブル出現確率予測, 第138回地球電磁気・地球惑星圏学会, 10月31日-11月3日, 東京大学, 2015.

陣英克・三好勉信・藤原均・品川裕之, 大気圏電離圏結合シミュレーションデータベースの紹介および検証と改良, 第138回地球電磁気・地球惑星圏学会, 10月31日-11月3日, 東京大学, 2015.

日比野辰哉・野澤悟徳・津田卓雄・川原琢也・斎藤徳人・和田智之・高橋透・藤原均・木下武也・村山泰啓・水野亮・Hall Chris, トロムソナトリウムライダーを用いた上部成層圏大気温度の導出(2), 第138回地球電磁気・地球惑星圏学会, 10月31日-11月3日, 東京大学, 2015.

滝田真太郎・野澤悟徳・小川泰信・川原琢也・津田卓雄・斎藤徳人・和田智之・高橋透・藤原均・Hall Chris・Brekke Asgeir, 北極域下部熱圏における中性大気温度とイオン温度の比較研究, 第138回地球電磁気・地球惑星圏学会, 10月31日-11月3日, 東京大学, 2015.

野澤悟徳・川原琢也・津田卓雄・小川泰信・藤原均・斎藤徳人・和田智之・高橋透・堤雅基・川端哲也・Hall Chris・Brekke Asgeir, 北極域上部中間圏・下部熱圏における鉛直運動, 第138回地球電磁気・地球惑星圏学会, 10月31日-11月3日, 東京大学, 2015.

三好勉信・藤原均・陣英克・品川裕之, 高分解能版GAIA を用いた熱圏重力波の研究, 第138回地球電磁気・地球惑星圏学会, 10月31日-11月3日, 東京大学, 2015.

藤原均・野澤悟徳・三好勉信・陣英克・品川裕之・小川泰信・片岡龍峰・Huixin Liu, 数値シミュレーションとレーダー観測による熱圏大気変動の研究, EISCAT研究集会, 3月11日, 名古屋大学, 2016.

（別紙様式8-2）

太陽の高エネルギー粒子イベントとSPART電波望遠鏡により観測される太陽系地球型惑星の一酸化炭素の変動の比較研究

Comparative study of solar energetic particle events and the variability of CO abundance in the middle atmospheres of solar terrestrial planets in solar system observed with the 10m-SPART radio-telescope.

前澤裕之，大阪府立大学・理学系研究科

1. 研究目的

近年、系外惑星や生命生存圏の探査研究が活発化している。初期の中心星や我々の銀河の7割も占めるM型星は、むしろ現在の太陽よりも活動が活発な時期があるという報告もあり、中心星の活動が周囲の地球型惑星の大気環境/組成/進化/生命生存圏にどのような影響を与えるかの理解を深めるためにも、まずはG型星である太陽の活動が金星・火星の中層大気に与える影響について理解を深める必要がある。

大阪府立大の前澤らのグループは、国立天文台の口径10mのアンテナを１台専有して改良し、太陽系の惑星中層大気環境の監視プロジェクト「SPART(Solar Planetary Atmosphere research Telescope)」を推進している。特に金星・火星における中層大気の一酸化炭素(CO)の変動を監視しており、本研究ではこのSPARTが捉えていくCO変動と太陽活動に伴う現象との比較・融合研究を展開する。

太陽は各Cycleの極大期の活動に着目すると、ここ100年のオーダーで見ると明らかに活動が低下傾向にあることが分かる。また、最近ではESAのSWARM衛星が、地球の磁気が5%/10年という早い速度で減少している可能性を示した。固有磁場を持たない金星・火星大気を通して、太陽系環境の素の変化を理解し、また、磁場を消失した近未来の地球大気へのプロトンの降込みの影響などについて理解を深めることを目指している。

2. 研究方法・結果

1)

金星・火星の主大気であるCO_2から、光解離によって一酸化炭素が生成される。過去の観測結果からCOの存在量が変動することは知られているが、その変動の起源は良く分かっていない。光解離の影響を考えたとき、なぜ、CO2がこれらの惑星で現在のように豊富に維持されているかも、まだよく分かっていない(CO_2の安定問題)。太陽活動と充分比較できる系統的なデータが無いため、SPARTでは太陽のCycle24の極大期にあたる2011年に運用をスタートさせ、現在も金星・火星の中層大気の一酸化炭素の監視を続けている。Cycle24では極大期にあっても、過去のCycleの時期のCOの存在量と比べると低下傾向にあることが分かってきたが、COが太陽活動と連動しているかどうか引き続き慎重に調べていく必要がある。特にこれから太陽活動が極小期に向かうため、これと同期してCOがさらに減少していくのか監視を続けていくことが重要である。その為にも、望遠鏡を継続的に運用する必要があり、毎年、様々な修復・メンテナンスを実施している。

本年は、Az,ELのモーターの検査をしたところ、整流子のブラシのカーボンによる粉塵が蓄積し、整流子へのダメージ(摩耗、変形、巻きつき・摩擦による高温化/発火)が深刻化する恐れがあることが分かった。SPARTで使用しているカップモーターは、現在製造が中止され、国内外にバックアップ品が存在しないため、現在搭載されているモーターを可能な限り延命させる必要がある。この技術をもつモータ開発・製造業者を見つけ、今季は急遽、現地でモーターのメンテナンスを敢行し、モーター内のクリーニングや、ブラシ・整流子の当たり・テンションなどの応急処置を実施することが出来た。(本格的な調整・部品交換などの修復・メンテナンスは、2016年度に、モーターを取り外して茨城の工場にて実施する。)

また、今季、4K GM/JT冷凍機の圧力が急速に低下して駆動できず、超伝導SIS受信機を冷却オペレーションできないトラブルが発生した。調査の結果、冷凍機の室外圧縮機の配管溶接部に腐食が広がりHeがリークしていることがわかった。このため、ろう付けによる修繕を実施した。この他にも、急遽、SPARTの観測棟が廃止されて解体が行われ、博物資料館による改築工事が実施された。これに伴い、これまで経由していた観測棟内の機器がすべて撤去され、望遠鏡への制御の通信や基準信号のラインが切断されたため、新たに光ファイバーによりラインを引きなおすなど、システムを一新した。この博物資料館化に伴い、国立天文台野辺山観測所の協力を得てSPARTの特設専用ルームを設け、観測の様子を一般客が見学できるようにし、SPARTの活動や地球・惑星科学について紹介・解説をし、社会貢献の一環としてSPARTミッションを継続・推進する運びとなった。

今季は、冬季まで上記の対応を行い、3月に動作試験・試験観測を実施、4月より徐々に定常運用へと移行した。今季の観測データについては、まだ非常に少ない段階であるが、昨年度より20%程度、COの存在量の減少傾向もみられることも分かった。これが太陽活動との連動によるものか、今後観測を継続して、この傾向がさらに進むのかを監視していく計画である。

2)

CO_2の解離の主要因である紫外線とCOの変動の長期スパンによる比較が重要であるが、SPARTの観測時期を含む紫外線の中長期に渡る高信頼に校正済みの太陽紫外線のデータが、まだ入手困難である。熱運動している電子による制動放射や、黒点など磁場の強い場所でのジャイロ共鳴放射などが誘起する電波(ジャイロシンクロトロン放射に見られるようなフレアの影響成分を校正により除いたもので、静穏時の放射に相当する)は、間接的に紫外線の変動と比較的相関が良いことが知られている。そこで、国立天文台野辺山宇宙電波観測所の柴崎教授との議論を踏まえ、強度偏波計(NoRP)の太陽電波のデータを用いてCOとの比較を開始した。

3)

太陽フレアに伴う高エネルギープロトンの降込みのシミュレーションを実施すると、CO2の解離を誘起する電離(イオン化)反応などが、金星ではちょうどミリ・サブミリ波帯でトレースできる高度80km付近で最大となることがわかった。ただしXクラスのフレアの平均的なエネルギースペクトルを採用した場合でも、この高度における高エネルギープロトンによるイオン化を介したCO生成のreaction rate[/cc/cm]は、紫外線によるCO_2の光解離によるreaction rateの効果よりも2-3桁低い結果となった。一方、雲頂高度レベル以下では、高速かつ透過力の高い中性子がプロトンの侵入効果よりも上回り、紫外線によるreaction rataの1割程度以上を締める結果も得られた。現在、このことが金星大気のCOの変動に与える影響について、より詳しい解析を進めている。また、系外惑星にもシミュレーションを適用している。GJ1214bなどではCH_4やその他の炭化水素の存在の可能性が示されている。CH_4を主大気とする大気環境に対して、中心星の高エネルギープロトンによるイオン化が、どのような大気反応や大気組成環境を誘起するか、その影響について議論を進めた。

3. 成果報告・発表

・2016 年天文学会春季年会「SPART 電波望遠鏡による太陽系地球型惑星大気の一酸化炭素の監視」原口大輝, 森前和宣, 種倉平晃, 齋藤滉介, 西田侑治, 前澤裕之(大阪府立大学), 西村淳, 齋藤正雄(国立天文台), 佐川英夫(京都産業大学), 他 SPART グループ、3 月 15 日、東京都立大

・2016 年天文学会春季年会「太陽系地球型惑星大気環境監視プロジェクト SPART の進捗報告」前澤裕之, 原口大輝, 森前和宣, 齋藤滉介, 西田侑治, 種倉平晃, 大西利和(大阪府立大学), 水野亮(名古屋大学 ISEE), 西村淳, 岩下浩幸, 半田一幸, 神澤富雄, 大矢正明, 前川淳, 齋藤正雄(国立天文台), 佐川英夫(京都産業大学), 他 SPART グループ、3 月 17 日、東京都立大

・2015 年地球惑星連合大会「中心星からの高エネルギー粒子の侵襲による惑星中層大気の電離モデルの開発 」森前 和宣 1、佐藤 達彦 2、齊藤 滉介 1、前澤 裕之 1 (1.大阪府立大学大学院理学系研究科、2.日本原子力研究開発機構) 、5 月 25 日(月)、幕張メッセ

・SGHEPSS 地球型惑星圏環境分科会「ALMA 他による地球型惑星観測」前澤裕之(大阪府大)

・2016 年 3 月宇宙電波懇親会 「太陽系惑星観測の現状と今後」前澤裕之(大阪府立大) (招待講演) 3 月 9-10 日

（別紙様式8-2）

第24太陽活動期における世界多地点での大気中宇宙線生成核種の濃度変動についての観測研究

Observation of cosmogenic nuclide at global sites during the 24th solar cycle

門叶冬樹、　櫻井敬久他，山形大学・理学部
増田公明他、名古屋大学宇宙地球環境研究所

研究目的

宇宙線が地球大気と衝突して大気中に生成する宇宙線生成核種は、二つの重要な役割を担っている。１）宇宙線生成核種の強度は宇宙線強度スペクトルの積分値であるが、中性子モニターよりも低エネルギーの宇宙線に対するレスポンスを持っているため、より低エネルギーの太陽モジュレーションを調べることができる。２）宇宙線生成核種は、大気中の成層圏および対流圏で生成されエアロゾル付着や気体として地表に降下するため、移流・拡散などの大気運動をモニターでき地球大気への太陽活動の影響を調べることができる。現在、太陽活動は第２３活動期から第２４活動期に入り、通常より長い停滞期の後の上昇期、そしてピークに達し下降期に向かっている。特に第24期の黒点ピークは第23期の半分程度の可能性があり弱い太陽活動期における宇宙線生成核種の挙動の観測として重要な機会である。

中緯度（山形）と高緯度（アイスランド）での宇宙線生成核種Be-7の長期観測結果および低緯度（タイ、バンコク）で得られた１年間の観測結果についてPb-210と比較して報告する。

研究方法

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

研究結果

１）　中緯度と高緯度のBe-7濃度年変動

図１は、中緯度(山形)および高緯度(アイスランド)の大気中 Be-7 濃度、太陽黒点数(SSN)、Thule（北緯 76.5°）での地上中性子強度の 2000 年から 2015 年までの年変動を示してい

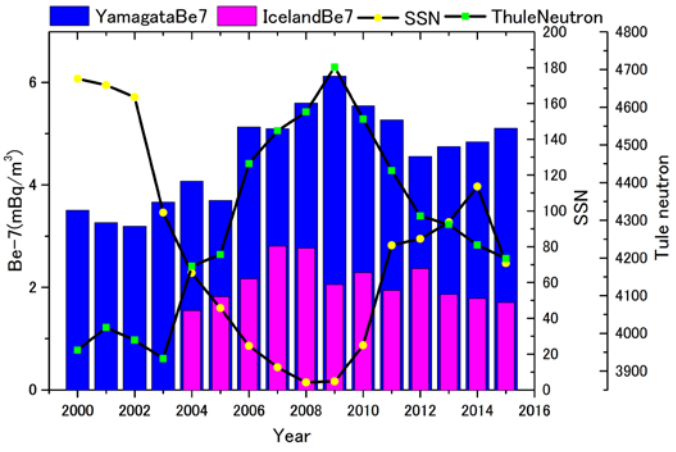


図１山形、アイスランドでの Be-7 濃度の年変動

る。　2009 年がピークである山形の Be-7 濃度は、増加・減少率の大きさは異なるが太陽モジュレーションを表わしている。山形の Be-7 濃度の 2002 年から 2009 年への増加率は 48%、2009 年から 2012 年の減少率は 25.6%である。2012 年までの Be-7 濃度変化は、変動率は異なるが Thule の中性子強度の変化と同様である。しかし、2013 年からは 2015 年まで増加傾向を示しており、中性子強度変化と位相が異なっている。しかし、アイスランドの Be-7 濃度の上昇変動は、図２に示すように 2007 年までは中性子強度変化と同様であるが、その後の４年間は凸凹している。2013 年からは下降しており山形と位相が反対で中性子の変化と同じ減少傾向を示している。山形の変動と大きく異なっている。極域の成層圏を含めた大気移流の変化を考える必要がある。

２）　低緯度地域タイ・バンコクにおける Be-7 濃度変動

タイ・バンコクにおける 2014 年から約２年間の Be-7 と Pb-210 の日濃度変動データが得られた。サンプリングは２日ごとに行っている。図３は、Be-7 と Pb-210 の日濃度変動のプロファイルを示している。約２年間の観測から Be-7 および Pb-210 が共に１２月から２月に増加する季節変動がることが分かる。タイの雨季は５月から１０月で乾季は１１月から４月といわれており、両核種の濃度変動は雨季

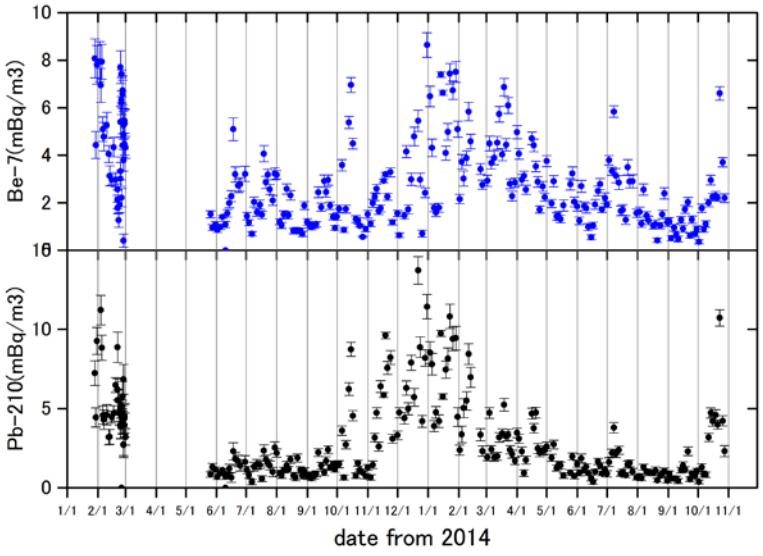


図２　約２年間のタイ・バンコクでの Be-7,Pb-210 濃度の日変動

と乾季の違いをあらわしている。図４は、Pb-210 に対する Be-7 の濃度比を示している。Be-7/Pb-210 濃度比は雨季に大きく乾季に小さくなっている。雨季の比は乾季の約４倍程度ある。Pb-210 は地中からのラドンガスが大気中で壊変し手生成される娘核種であるため宇宙線生成核種の Be-7 に比べ相対的に地表付近に在ると考えられる。そこで雨季には Rn-222 または Pb-210 が相対的にたたき落とされやすく湿性沈着が卓越していることが考えられる。しかし、Be-7 はグローバルな流れが季節変動している可能性もあるので、太陽活動の年変動による影響を受けている中緯度での変動と比較することが重要である。

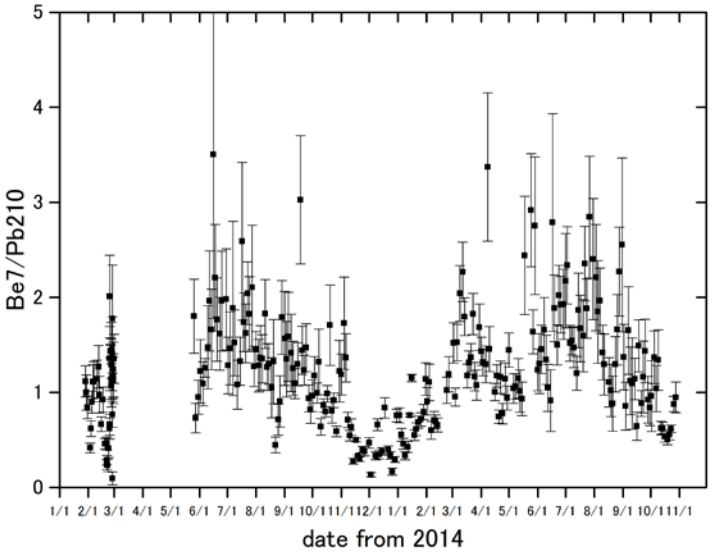


図４タイ・バンコクにおける Be-7/Pb-210 濃度比の日変動

（別紙様式8-2）

超多点地上ネットワークデータ解析による電離圏極域−磁気赤道域電磁結合メカニズムの解明
A research on the electromagnetic coupling of the polar-to-equatorial ionosphere based on an integrated analysis of ground networks data

吉川顕正，九州大学・国際宇宙天気科学・教育センター

太陽風変動やオーロラ嵐の急始・増強と同期した AEJ 変動現象は、長くとも数分以内に全球的な地上磁場変動として観測され、磁気赤道では低緯度の数倍の振幅をもつ EEJ 変動現象として観測される [Nishida et al., 1966]。非散乱干渉レーダー観測によると磁気赤道電場はオーロラ帯電場、惑星間磁場（IMF）と良く相関しており、このことは IMF 擾乱に伴う惑星間空間電場が、極域から磁気赤道域へと“何らかの形で”侵入している ことを強く示唆している。しかしながら、FAC、極域 AEJ、赤道域 EEJ といった個々の電流系が全体として如何に結合し、自己無撞着な系を形成しているのかは全く明らかにされていない。我々は、電離圏ポテンシャルソルバーで求められた電流構造[Nakamizo et al., JGR, 2012]と、Cowling チャンネル抽出理論[Yoshikawa et al., JGR2013]の適用から得られた知見 をもとに、極域 FAC をつうじて励起された二極性渦の電離圏対流に伴う Hall 電流が、朝夕伝導度ターミネータ域と磁気赤道域に陥入する事によって全球的な Cowling チャンネルを形成し、極域 AEJ と磁気赤道域 EEJ を連結するという基盤モデル を提唱している。Hall 電流は対流の流線に沿う為、我々のモデルが正しければ、極域からサブオーロラ帯で閉じるとされている電離圏対流のうち、午前側対流の一部が、磁気赤道領域まで延伸、更に磁気赤道に沿ってそれらが結合していることになる。しかしながら こうした描像はあくまで静的な電流保存則から導かれる構造論的解釈 である。現実の電離圏は中性大気との衝突制動を受けるイオンと、ほぼ無衝突な電子からなる 3 次元プラズマ系であり、そこでの電流形成もそのダイナミクスに基づくものでなければならない。一方、Kikuchi and Araki [JATP, 1979b]は、電離圏内でのプラズマ拡散速度の見積もりから観測にかかるような数分以内の時間スケールで極域と磁気赤道域が電離圏内部をつうじて連結することは不可能であるとし、電離層と地表面から形成される導波管を伝播する TM0 モードによる結合過程を提案している。しかしながら我々の見積もりでは、地球電離圏のプラズマダイナミクスは十分に極域-赤道域を数分以内に結合しうる。この両者の論点の違い、即ち極域-磁気赤道域結合に電離層-地表面導波管は必要か？かという議論に決着をつけるためにも、観測データの解析による全体構造の把握とともに、現実的な電離圏 3 次元プラズマダイナミクスを再現する計算機実験による検証が重要となる。

申請 3 年目の 27 年度は、共同研究を進めると同時に、本経費を用いて米国ジョンズホプキンス大学応用物理学研究所を訪ね、共同研究者である S.Ohtani 博士と、オーロラの高緯度境界領域におけるオーロラストリーマーの突然増強現象である Poleward Boundary Intensification(PBI) に関する共同研究を進め、J.Gjerloev 博士とは、による高緯度稠密電流系観測網と全球観測網（MAGDAS, SuparMAG 連携）によるオーロラ帯から磁気赤道を連結する全球 Cowling チャンネル検出のための協働研究についての打ち合わせを行った。PBI の研究は順調に進み、ストリーマーに伴う電場が伝導度勾配領域に於ける Cowling 効果により誘導された Hall 分極場と結合することにより、オーロラの爆発的増光、ストリーマー軌道の突然の屈折など PBI に特徴的な動態が上手く説明できることを明らかにした。現在本研究は JGR に投稿準備中である。また、超多点データを用いることにより、サブストームに伴う Pi２脈動に伴う電流系が夕方から昼間にかけてどう分布するのかが集中的に調べられ、これまで未解明であった、サブストームに伴う電離層電流の全球的な様相、特に夜側から昼側に拡がる電流系の様相が明らかにされた。（Imajyo et al., 2015 JGR）更に、昼夜の伝導度勾配領域を挟んで、磁場の分極特性が大きく変わることをデータの上から示し、その特徴が Hall 分極場により駆動される電流特性と一致することを示し、我々が提唱している Cowling チャンネルモデルの確からしさを顕彰することができた。（EPS 投稿中）また，研究分担者である深沢圭一朗（京都大学）博士とは、磁気圏電離圏大気圏結合系をシームレスに解く弱電離気体系 Hall-MHD シミュレータについての打ち合わせを進め,今年度中には初期結果を出すことを目標とした開発を進めている。

関連学術論文（受理）

- Baishev D.G., Moiseyev A.V., Boroyev R.N., Kobyakova S.E., Stepanov A.E., Mandrikova O.V., Solovev I.S., Khomutov S.Yu., Polozov Yu.A., Yoshikawa A., Yumoto K.,Magnetic and ionospheric observations in the Far Eastern region of Russia during the magnetic storm of 5 April 2010, Sun and Geosphere. - 2015. - Vol.10, N2. - P.133-140
- BR Kalita, PK Bhuyan, A Yoshikawa, NmF2 and hmF2 measurements at 95° E and 127° E around the EIA northern crest during 2010–2014, Earth, Planets and Space 67 (1), 1-22, 2015
- Susanta Kumar Bisoi, D Chakrabarty, P Janardhan, RG Rastogi, A Yoshikawa, K Fujiki, M Tokumaru, Y Yan, A Prolonged Southward IMF-Bz Event of May 02--04, 1998: Solar, Interplanetary Causes and Geomagnetic Consequences, arXiv preprint arXiv:1604.04959, 2015
- U Perez, AS Ang, QM Sugon Jr, DJ McNamara, A Yoshikawa, Lorentz Dispersion Law from classical Hydrogen electron orbits in AC electric field via geometric algebra, arXiv preprint arXiv:1507.04509, 2015
- OS Bolaji, AB Rabiu, OR Bello, A Yoshikawa, K Yumoto, OO Odeyemi, O Ogunmodimu, Spatial variability of solar quiet fields along 96° magnetic meridian in Africa: Results from MAGDAS, Journal of Geophysical Research: Space Physics 120 (5), 3883-3898, 2015
- OS Bolaji, EO Oyeyemi, PR Fagundes, AJ de Abreu, R de Jesus, AB Rabiu, A Yoshikawa, Counter Electrojet Events using Ilorin Observations during a Low Solar Activity Period,The African Review of Physics 9, 2015
- F Cuturrufo, V Pilipenko, B Heilig, M Stepanova, H Lühr, P Vega, A Yoshikawa, Near-equatorial Pi2 and Pc3 waves observed by CHAMP and on SAMBA/MAGDAS stations, Advances in Space Research, Volume 55, Issue 4, 15 February 2015, Pages 1180–1189
- Yoshimasa Tanaka, Yasunobu Ogawa, Akira Kadokura, Noora Partamies, Daniel Whiter, Carl-Fredrik Enell, Urban Brändström, Tima Sergienko, Björn Gustavsson, Alexander Kozlovsky, Hiroshi Miyaoka, Akimasa Yoshikawa, Eastward-expanding auroral surges observed in the post-midnight sector during a multiple-onset substorm, Earth, Planets and Space 67 (1), 1-10, 2015
- E.M. Takla, H. Odah, E. M. Abd Elaal, A. Yoshikawa, H. Kawano, T. Uozumi, The 2011 eruption of Aso volcano, Japan, and its signature on the geomagnetic field measurements, Arab Journal Geosci, doi:10.1007/s12517-015-1858-8, 2015
- Imajo, S., A. Yoshikawa, T. Uozumi, S. Ohtani, A. Nakamizo, R. Marshall, B. M. Shevtsov, V. A. Akulichev, U. Sukhbaatar, A. Liedloff, and K. Yumoto (2015), Pi2 pulsations observed around the dawn terminator. J. Geophys. Res. Space Physics, 120, 2088–2098. doi: 10.1002/2013JA019691.
- Nurul Shazana Abdul Hamid, Huixin Liu, Teiji Uozumi and Akimasa Yoshikawa (2015), Empirical model of equatorial electrojet based on ground-based magnetometer data during solar minimum in fall, Earth, Planets and Space (2015) 67:205 DOI 10.1186/s40623-015-0373-1
- A.V. Moiseev, D. G. Baishev, V. A. Mullayarov, S. N. Samsonov, T. Uozumi, A. Yoshikava, K. Koga, and H. Matsumoto (2016), The Development of Compression Long-Period Pulsations on the Recovery Phase of the Magnetic Storm on May 23, 2007, Cosmic Research, 2016, Vol. 54, No. 1, pp. 31–39.
- Akiko Fujimoto, Teiji Uozumi, Shuji Abe, Hiroki Matsushita, Shun Imajo, Jose K. Ishitsuka and Akimasa Yoshikawa (2016), Long-term EEJ variations by using the improved EE-index, Sun and Geosphere, 2016 (accepted, in press)

宇宙線のイオン誘発核エアロゾル生成への影響
Effects of cosmic ray on ion induced production of aerosols

三浦和彦、東京理科大学・理学部

【研究目的】

エアロゾル粒子は雲凝結核として作用し雲の放射特性に影響を与えるが、いまだ科学的理解の水準は低い。雲水量を一定とすると、雲凝結核数が多い方が雲粒の大きさは小さいので、雲凝結核数が少ない時よりも雲の散乱特性は強く、また雨が降りにくいので雲の寿命も長く、雲の冷却効果は高くなる。また一般にエアロゾル数が多い程、雲凝結核数も多くなる。しかし、どのような条件の時に新粒子生成が起こるのか、いまだ明らかとなっていない。宇宙線強度と雲量の間に相関があることが指摘されたが、その説には賛否両論がある。宇宙線強度と雲量の関係のシナリオは、太陽活動の低下→銀河宇宙線量の増加→宇宙線によるイオン生成率の増加→小イオン濃度の増加→イオン誘発核生成によるエアロゾル粒子濃度の増加→雲凝結核濃度の増加→雲量の増加、であるが、個々のプロセスの科学的裏付けがはっきりしていないのが現状である。

本研究の目的は、宇宙線量の高い日本最高峰である富士山頂において宇宙線量、小イオン濃度、エアロゾル粒子の粒径分布を同時に測定することにより、宇宙線量と小イオン濃度と数10nm以下の粒子濃度の関係、さらに異なる気象条件（輸送条件）別の関係を明らかにすることにある。さらに、加速器実験結果と比較することにより、地球大気に入射する宇宙線が雲核の生成を促進することができるかどうかを明らかにする。

【研究方法】

山頂、富士山測候所（標高3776m）において、7月19日～8月23日まで、エアロゾルの粒径分布、雲（霧）粒、雲凝結核濃度、ラドン濃度、イオン濃度の連続測定を行った。1号庁舎2階の窓から外気を引き、拡散ドライヤーで20%以下に乾燥させ、走査型移動度分析器(SMPS)と光散乱式粒子計数器（OPC)を用いて4.4～5000nmにわたる粒径分布と雲凝結核濃度（DMT、 CCN-100）を測定した。小イオン濃度、ラドン・トロン、オゾン・一酸化炭素は窓から直接捕集した。また、インパクターで捕集した個別粒子をTEM/EDXを用いて形態観察を行った。3号庁舎に設置したインレットから直接外気を引き、OPCを用いて300～5000nmにわたる粒径分布とSO2濃度を測定した。また、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。

山麓の太郎坊（標高1300m）において、2014年9月からエアロゾルの粒径分布、ラドン濃度、イオン濃度、スカイラジオメータ（Prede, POM-02）の連続測定を行った。また、7～8月はライダー、ソーダー（京都大学矢吹先生と共同）により、鉛直分布の観測を行った。8月3日～5日に太郎坊において係留気球観測、ゾンデ観測を行った。

【研究結果と考察】

太郎坊において測定した各要素の季節変化を図1に示す。

ラドン濃度の季節変化を見ると、秋から冬にかけて高濃度、春季から夏季にかけて低濃度の季節変化を示した。9月はデータ数が少ないため、この傾向から外れたものと思われる。

SMPSで測定した粒子数濃度の季節変化を見ると、12月～3月にかけて30nm以下の粒子が高濃度となっている。この期間、新粒子生成発生率も高く、スカイラジオメータで測定した直達光強度も高いが、谷風発生率は減少していた。つまり谷風の有無より、日射量の強さの方が新粒子生成発生に影響を及ぼすことを示している。

エアロゾルの光学的厚さは冬季に小さく、春季から夏季にかけて増加する明瞭な季節変化がみられた。また月平均値は全期間を通じて太郎坊が神楽坂に比べ低く推移していたことから、2地点間のエアロゾル量に明確な違いが現れている。一方、オングストローム指数は両地点ともに明瞭な季節変化が見られなかった。2015年3月には両地点で値が1を下回ったが、これは黄砂に代表される、アジア大陸からの汚染気塊の輸送に伴う粗大粒子の卓越によるものと推測される。

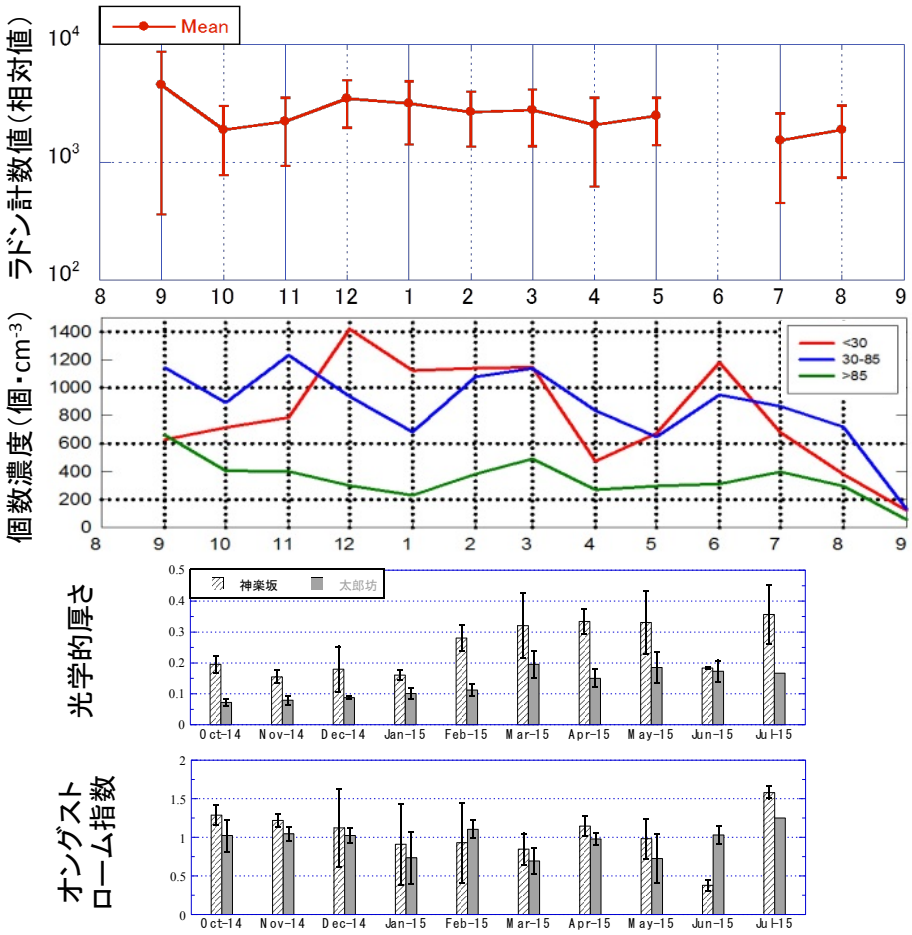


図１　太郎坊における個数濃度、ラドン計数値、光学的厚さ、オングストローム指数の季節変化

【成果発表】

1.　論文（査読有）

Kato, S., Y. Shiobara, K. Uchiyama, K. Miura, H. Okochi, H. Kobayashi, S. Hatakeyama, Atmospheric CO, O_3, and SO_2 measurements at the summit, of Mt. Fuji during the summer of 2013, *Aerosol and Air Quality Research*, to be accepted.

齋野広祥，速水洋，三浦和彦，微小粒子状物質中の炭素成分分析における正のアーティファクトの影響評価，*大気環境学会誌*，受理

鷹取翔，小林 拓，松本潔，偏光光散乱式粒子数計測装置による鉱物粒子濃度推定方法の検討，*エアロゾル研究*，30，270-274，2015.

鵜野伊津志，小林 拓，他 12 名，九州北部で 2014 年 5 月下旬から 1 週間継続した黄砂と高濃度大気汚染現象のオーバービュー，*大気環境学会誌*，51，44-57，2016.

松本潔，小林 拓，他 11 名，山梨県甲府市で採取された大気エアロゾルの化学的特徴，*大気環境学会誌*，51，64-76，2016.

Sugimoto, N., T. Nishizawa, A. Shimizu, I. Matsui, Hiroshi Kobayashi, Detection of Internally Mixed Asian Dust with Air Pollution Aerosols Using a Polarization Optical Particle Counter and a Polarization-Sensitive Two-Wavelength Lidar, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 150, doi:10.1016/j.jqsrt.2014.08.003, 107-113, 2015.

Pan, X., H. Kobayashi, N. *et al.*, Observation of the simultaneous transport of Asian mineral dust aerosols with anthropogenic pollutants using a POPC during a long-lasting dust event in late spring 2014, *Geophysical Research Letters*, 42, doi:10.1002/2014GL062491, 1593-1598, 2015.

Yajima, K., Kazuki Iwaoka, Hiroshi Yasuda: Radiation Survey Along Two Trails in Mt. Fuji to Investigate the Radioactive Contamination Caused by TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Plant Accident, Radiation Monitoring and Dose Estimation of the Fukushima Nuclear Accident, *Springer Open*, 59-66, 2014

2. 口頭発表

Ogata, H., H. Kobayashi, K. Miura, *et al.*, *The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015*, Honolulu, Hawaii, USA, 2015.12.15-20

Ogawa, S., H. Kobayashi, K. Miura, S. Kato, *et al.*, *The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015*, Honolulu, Hawaii, USA, 2015.12.15-20

Ono, K., H. Kobayashi, K. Miura, S. Kato, *et al.*, *The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015*, Honolulu, Hawaii, USA, 2015.12.15-20

Ogata, H., H. Kobayashi, K. Miura, *et al.*, *The 13th International Conference on Atmospheric Sciences and Applications to Air Quality*, Kobe International Congress Center, Japan, 2015.11.11-13

三浦和彦：大気電気におけるイオン、第 12 回エアロゾル学会若手フォーラム「エアロゾルの電気的性状に迫る」、慶應義塾大学日吉キャンパス、2015.10.14（招待講演）

三浦和彦、微粒子が気候を変えるー海洋上や富士山頂における PM2.5 の測定ー 青森県立八戸高等学校文化講演会、2015.9.25（招待講演）

鈴木麻未、増田公明、三浦和彦ら、*日本物理学会 2015 年度秋季大会*、大阪市立大学、2015.9

加藤 俊吾、三浦 和彦、大河内 博、内山 一美、夏季の富士山頂での大気微量成分測定、*日本分析化学会第 64 年会*、福岡大学、2015.9.9

矢島千秋ら、*日本保健物理学会第 48 回研究発表会*、東京、2015.7.2

Miura, K., K. Nagano, H. Kobayashi, S. Kato, *et al.*, 2015 Asian Aerosol Conference, Kanazawa Tokyu Hotel, Kanazawa, 2015.6.24 (Oral)

Kataoka, K. Miura, S. Kato, K. Nagano, *et al.*, 2015 Asian Aerosol Conference, Kanazawa Tokyu Hotel, Kanazawa , 2015.6.24 (Poster)

Suzuki, A., K. Masuda, K. Miura, K. *et al.*, Laboratory experiment with heavy ion beam for verification of new particle formation by cosmic rays, *JpGU2015*, Makuhari Messe, Chiba, May, 2015

ＮＰＯ法人富士山測候所を活用する会第９回成果報告会（東京大学小柴ホール、2016.3.13）、3 件（三浦和彦、加藤俊吾、矢島千秋）

ドイツ北部における大気光イメージング・ネットワークの展開
Development of an airglow imaging network in Northern Germany

鈴木臣　愛知大学・地域政策学部

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

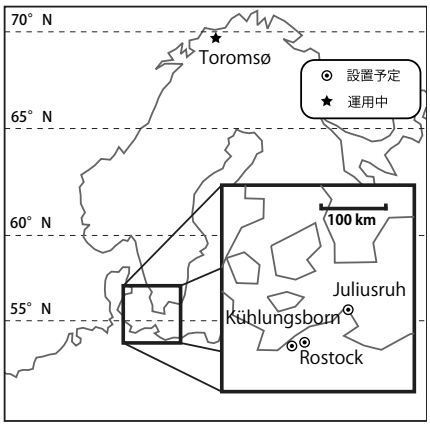


図 1 :ドイツ北部における観測候補地.

初年度である2015年度は，IAP研究所（54ºN, 11ºE）にカメラを設置し，観測を開始した．また，観測データを日本へリアルタイムに転送する環境を整備するとともに，簡易な画像処理によって小スケール（100km以下程度）の大気重力波構造を抽出することに成功している．

今後は，Juliusruh観測所（54ºN, 13ºE）および Rostock 大学（54ºN, 12ºE）にも同様のシステムを設置し観測を開始する予定である．特に Juliusruh観測所では，VHFレーダーやアイオノゾンデが IAP によって運用されており，すでに現地研究者と2016年度秋をめどに総合的な集中観測を実施する方向で準備しており国際的な共同研究へと発展している．

成果発表：

1. Suzuki, S., and K. Shiokawa, Performance Evaluation of Low-Cost Airglow Camera for Mesospheric Gravity Wave Measurements: Part II, 地球電磁気・地球惑星県学会，東京，2015年10月31日.
2. 鈴木臣，中間圏重力波観測用小型大気光カメラの性能評価，電気通信大学宇宙・電磁環境研究センター研究集会，調布，2015年12月25日（招待講演）.
3. Suzuki, S., Designing a superdense ground-based camera network for airglow imaging, 2nd Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure 2016, 福岡，2016年1月16日.

NO_2レーザー分光計測装置の改良
Improvement of high-sensitivity LIF instrument for detection of atmospheric NO_2

和田龍一　帝京科学大学・生命環境学部

1. はじめに

一窒素酸化物（NO）と二酸化窒素（NO_2）は合わせてNO_xとよばれ、光化学スモッグの主要成分であるオゾン（O_3）の濃度を決める重要な化学種である。オゾン前駆物質であるNO_xの動態解析は対流圏オゾンの光化学的制御に向けて重要であり、高精度測定が必要とされる。

2. 研究目的

レーザー分光法を用いた窒素酸化物の計測はNO_2のみが可能であった。本研究では大気試料に低圧水銀ランプを用いて発生させたO_3を添加することで、NOをNO_2に酸化し（式（1））、NO_2としてレーザー分光計により検出することで、大気中のNO_x（$NO+NO_2$）を高感度・高時間分解能にての観測を検討した。さらにO_3を添加しない大気試料のNO_2濃度を計測することで、NO_xとNO_2の濃度差からNO濃度を計測することを検討した。

$$NO+O_3 \rightarrow NO_2+O_2 \qquad (1)$$

添加するO_3は、低圧水銀ランプにより生成した。低圧水銀ランプは水銀の共鳴線である184.9 nmと253.7 nmが強力に出力される線スペクトル光源であり、この184.9 nmの光によりO_2がOへ解離し、生成したOはO_2と結合しO_3を生成する。

3. 研究方法（使用した共同利用装置・施設等）

大気中NO_x濃度の観測に供された共同利用装置は、名古屋大学太陽地球環境研究所が所有するNO_2測定用レーザー分光計測装置である。本装置はレーザー分光法（誘起蛍光法）により大気中のNO_2濃度を高感度・高時間分解能（1秒以下の応答速度）にて計測が可能である。本研究にてNO_x測定改良用部品および、オゾン発生器は本共同利用費用にて購入された。

4. 実験1　FM多摩丘陵でのLIFを用いた大気計測

4-1 概要

東京都八王子市に位置する東京農工大学農学部付属フィールドミュージアム多摩丘陵（FM多摩丘陵）にてLIFによる窒素酸化物（NO_x）の観測を行った。観測地を図4-1に示す。FM多摩丘陵は、多摩丘陵南部の森林小流域をもつ里山に立地している。周辺は、幹線道路や都市部が存在する。そのため、森林から放出される植物起源の揮発性有機化合物（VOC）、周辺の幹線道路や都市部からの高濃度のオゾンや窒素酸化物などの影響を受ける場所であり、都市部の影響を受けた森林での大気化学反応が起きていると考えられる。観測期間は7月21日～8月8日（観測中止期間含める）である。

図 4-1　FM 多摩丘陵

図 4-2　FM 多摩丘陵建物外観（左）と周辺（右）

4-2 実験方法

測定実験セットアップを図 4-3 に示す。サンプル流量は 200sccm、測定積算時間は 10 秒、セル内の圧力は 1.0Torr である。大気試料は、建物の屋上のサンプル口から採取した。サンプル口から採取された大気は PFA 製のチューブを通り、建物内に設置された NO_x-LIF 計へと運ばれ計測される。NO_x、NO_2測定は電磁バルブを用いて 5 分毎に切り替えて行った。バックグランドを計測するためのゼロガス測定は 1 時間ごとに、NO_x，NO_2それ 5 分毎（計 10 分間）実施した。NO_x 計（HORIBA　APNA-370）を用いて同時に窒素酸化物の観測を行った。

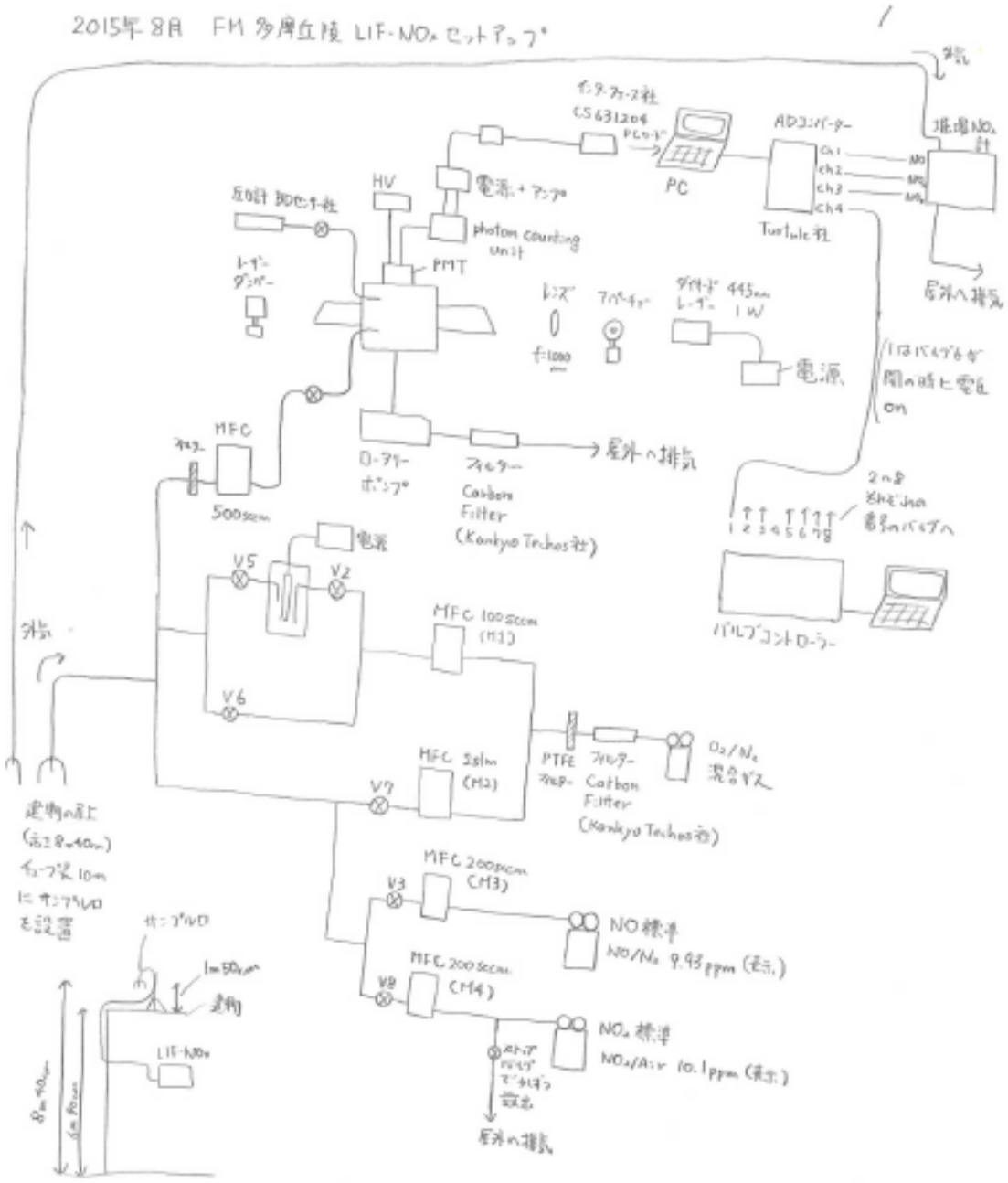


図 4-3. NO_x-LIF 実験セットアップ

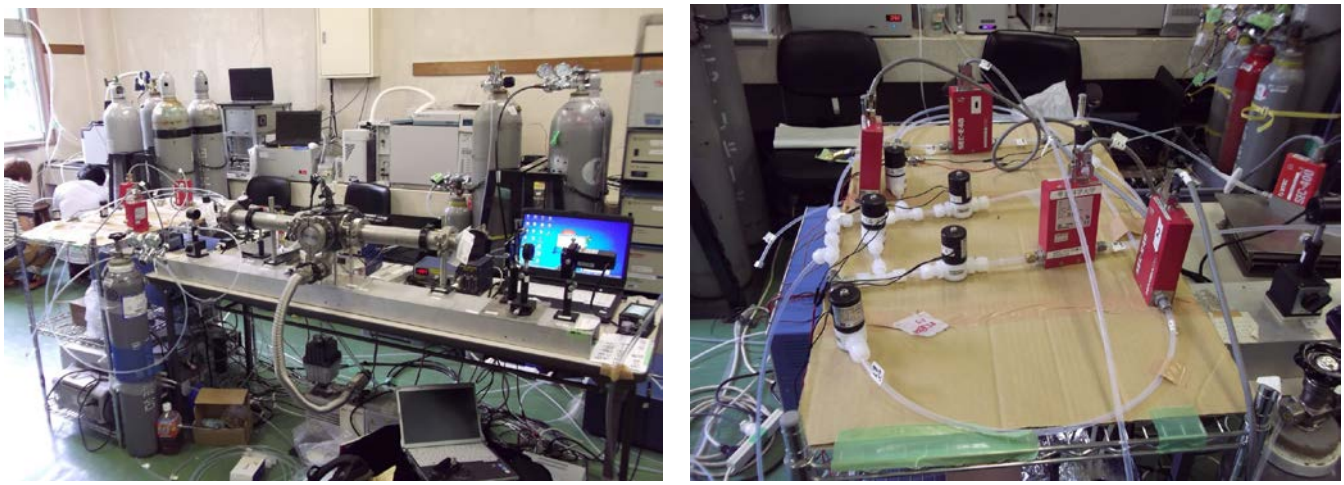


図 4-4　NO_x-LIF 装置とサンプリングラインの写真

4-3　実験結果

FM 多摩丘陵における平成 27 年 8 月 5 日～6 日の観測データを図 4-5 に示す。積算時間は 10 秒である。8 月 6 日 6 時～10 時までＰＣの不具合の為データが欠損している。約 30000 カウントの点はバックグラウンド（ゼロエア）を 1 時間ごとに流したときの値を示している。右の拡大図で高い値と低い値が交互に現れている。これは NO_2 と NO_x の測定を交互に行っているためである。

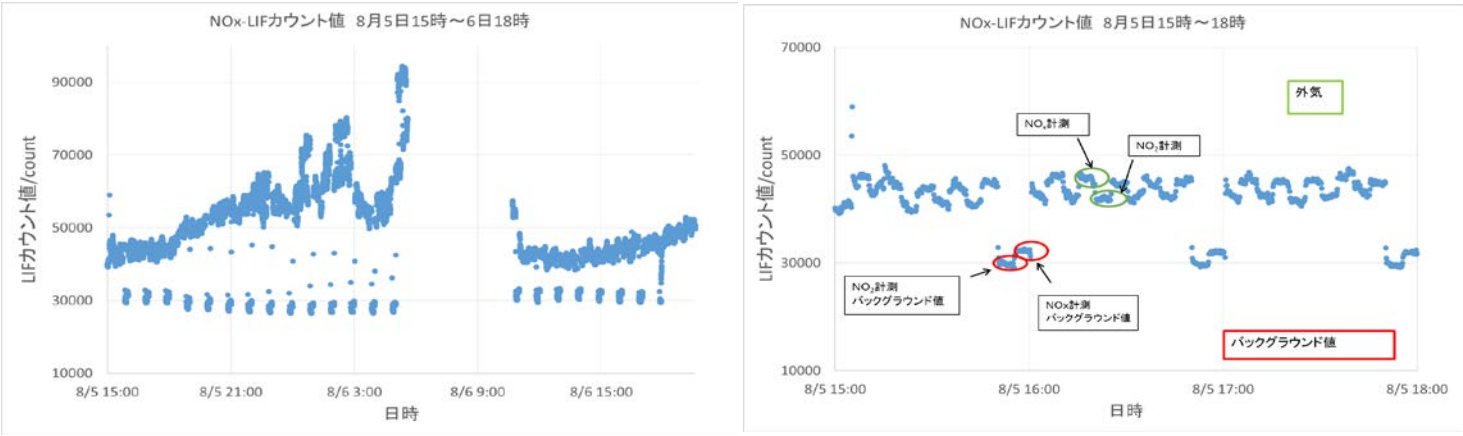


図 4-5 観測データ（生データ）（左：全体図,　右：拡大図）

NO_2 の観測結果を図 4-6 に示す。濃度の算出には、標準試料を用いて作成した検量線を用いた。NO_x 計による NO_2 濃度も同様の時間変化を示し、濃度もよく一致した。8 月 5 日 18 時頃から徐々に濃度が上昇し、8 月 6 日 5 時に最大値を得た。都市部から流れてきた気塊が、森林内（FM 多摩丘陵）に流入した可能性が考えられる。

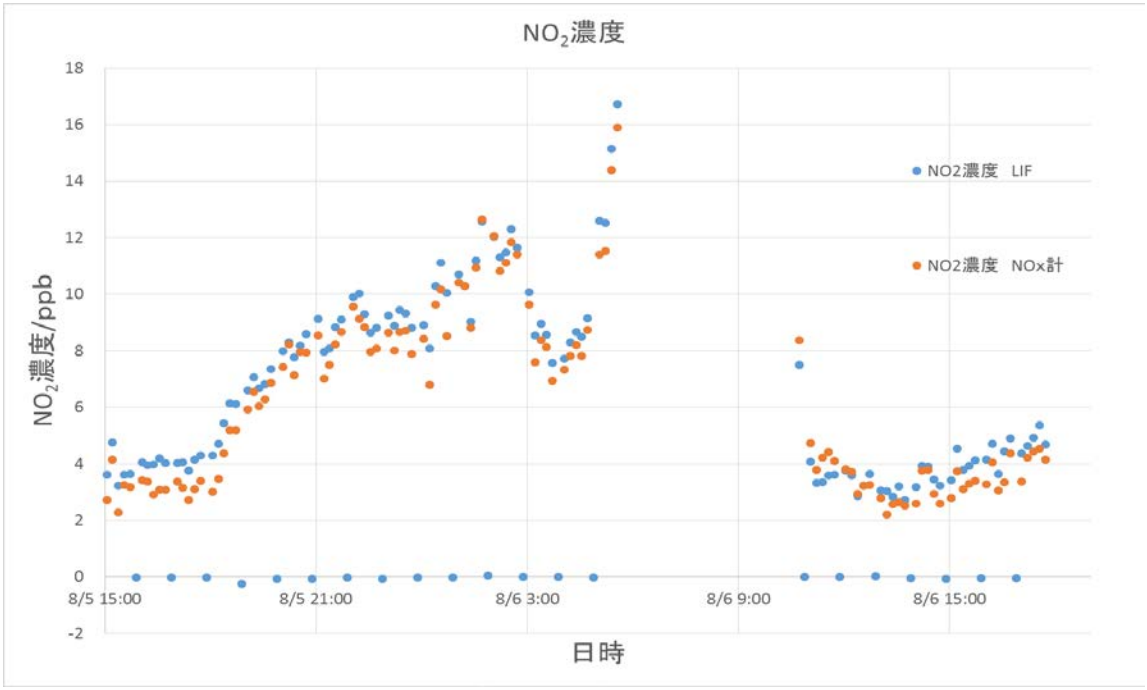


図 4-6　NO_2 観測結果

NO 濃度の観測結果を図 4-7 に示す。ここで NO 濃度の算出には、式（2）と図 4-8 の検量線から得られたパラメータを用いた。NO と NO_2が存在す大気試料に O_3を添加することで生成・消失反応が生じる（図 4-9,宮崎ら, 2008）。検量線から得られたパラメータ α は、NO から NO_2への変換率、β は NO_2の残存率を示す。8 月 6 日 1 時頃から NO 濃度は上昇しはじめ、8 月 6 日 5 時に最大値を得た。

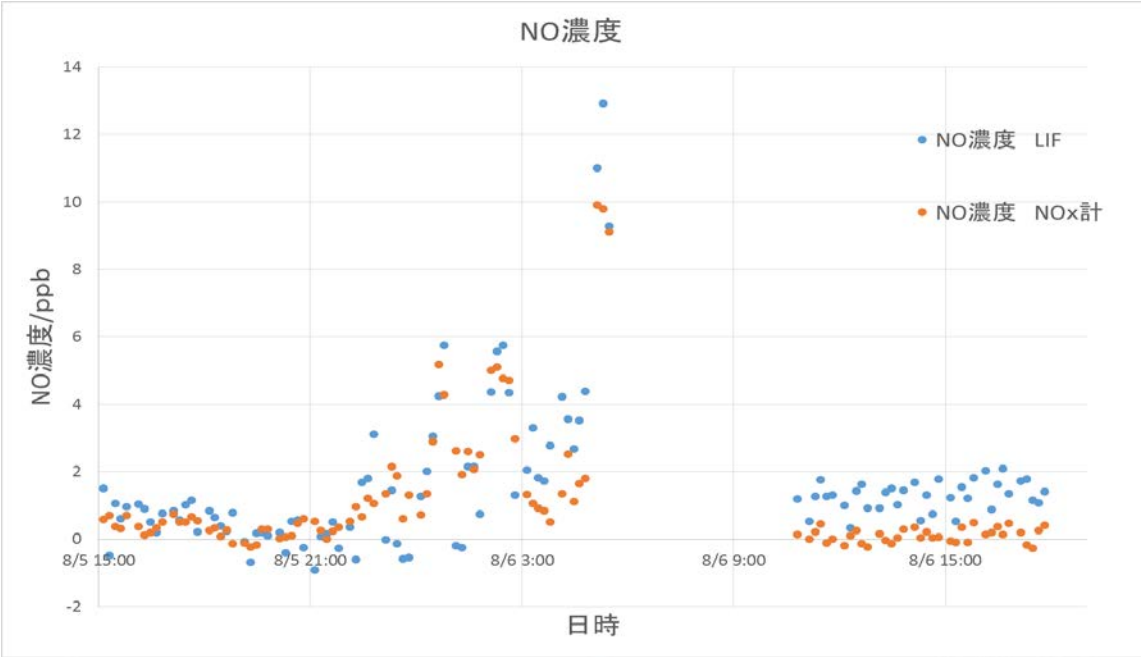


図 4-7　NO 観測結果

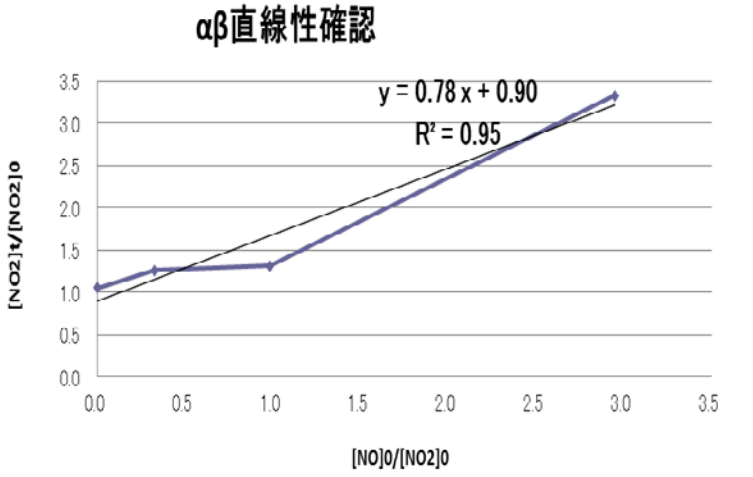


図 4-8　検量線

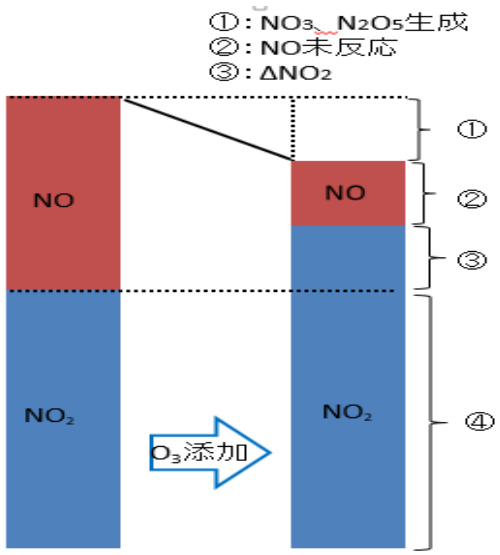


図 4-9 O_3添加による NO_2,NO の反応

$$\frac{[NO_2]_t}{[NO_2]_0} = \alpha \frac{[NO]_0}{[NO_2]_0} + \beta$$

式（2）

$[NO_2]_t$：O_3 を添加して t 秒後の NO_2 濃度
$[NO_2]_0$：O_3 添加なしの NO_2 濃度
$[NO]_0$：NO 濃度
α ：NO から NO_2 への変換効率
β ：O_3 と反応せずに残っている NO_2 の残存率

4-4　考察

NO_x計と LIF により求めた NO、NO_2濃度の相関を調べた。図 4-10 と図 4-11 に示す。NO_2濃度は傾き 0.99、切片 0.57、r^2＝0.98、NO 濃度は、傾き 0.96、切片 0.55、r^2＝0.74 であった。NO、NO_2濃度ともに傾きは 1、切片もおよそ 0 であった。一方相関係数は、NO_2は 0.98 と非常に良い相関があったが、NO は 0.74 と少し相関が悪かった。これは、NO 濃度はNO_x濃度から比較的濃度が高いNO_2濃度を差し引いているため、ばらつきが生じた可能性が考えられる。NO、NO_2ともに、正確に測定できていることが分かった。

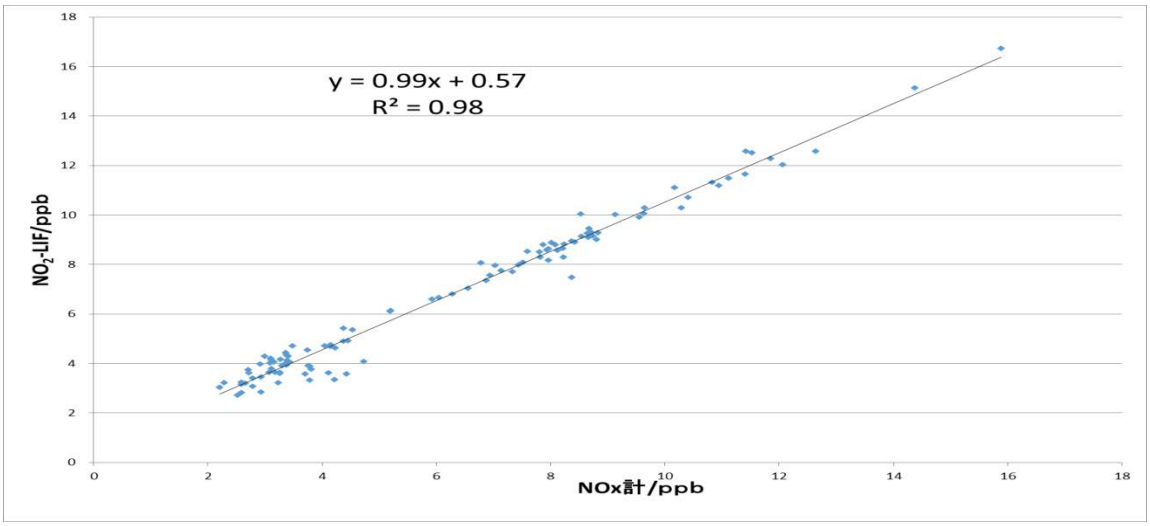


図 4-10　LIF と NO_x計の相関（NO_2濃度）

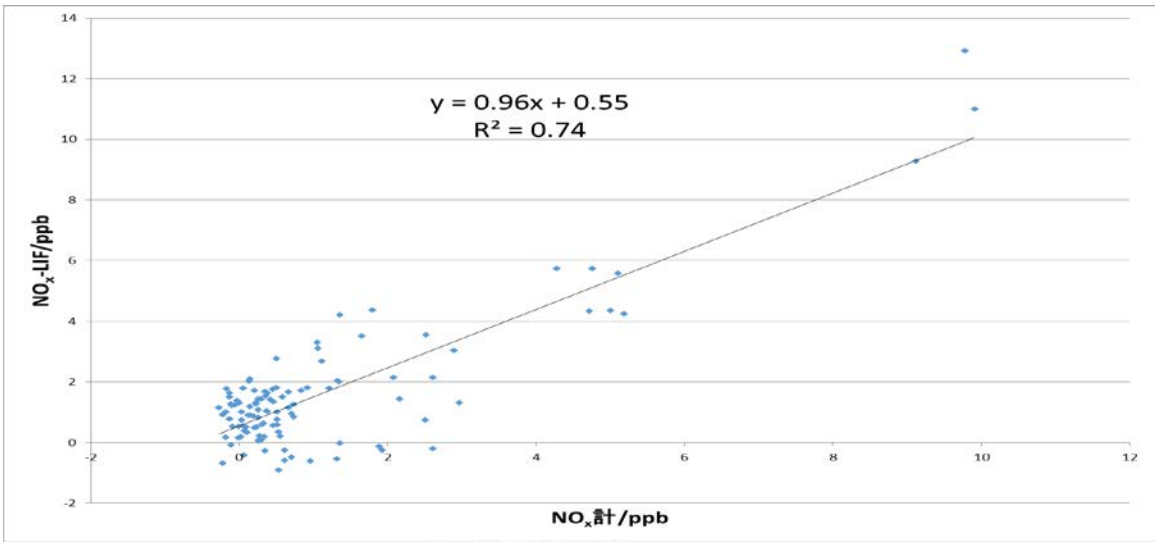


図 4-11　LIF と NO_x計の相関（NO 濃度）

ポテンシャルオゾン（PO）はNO_2+O_3で表される。O_3は、NO と化学反応を起こし、O_3濃度は時間的、空間的に変動する。NO と化学反応を起こして消失したO_3は、NO_2として形を変えていることから、O_3の寄与、消失を考察するためにO_3濃度とNO_2濃度を足し合わせた PO が有効であるといわれている。そこで、窒素酸化物濃度の急激な増加が見られた 8 月 5 日 21 時から 8 月 6 日 5 時までの PO とNO_xの相関（松本ら, 2013）を調べた。PO とNO_xの相関を図 4-12 に示す。相関から求めた切片は、気塊が移流

する前の PO に相当し、傾きは移流した気塊の NO_2/NO_x 比にあたる（松本ら, 2013）。したがって、本研究での気塊が移流する前の森林内の PO は 8.4 ppb、移流した気塊の NO_2/NO_x は 0.30 と推定した。移流した気塊は NO_2/NO_x が 0.30 と小さく（一般的には夜間、NO は NO_2 に酸化が進むことから NO_2/NO_x は大きい値となる。）近隣の都市大気の影響を受けた可能性が考えられる。

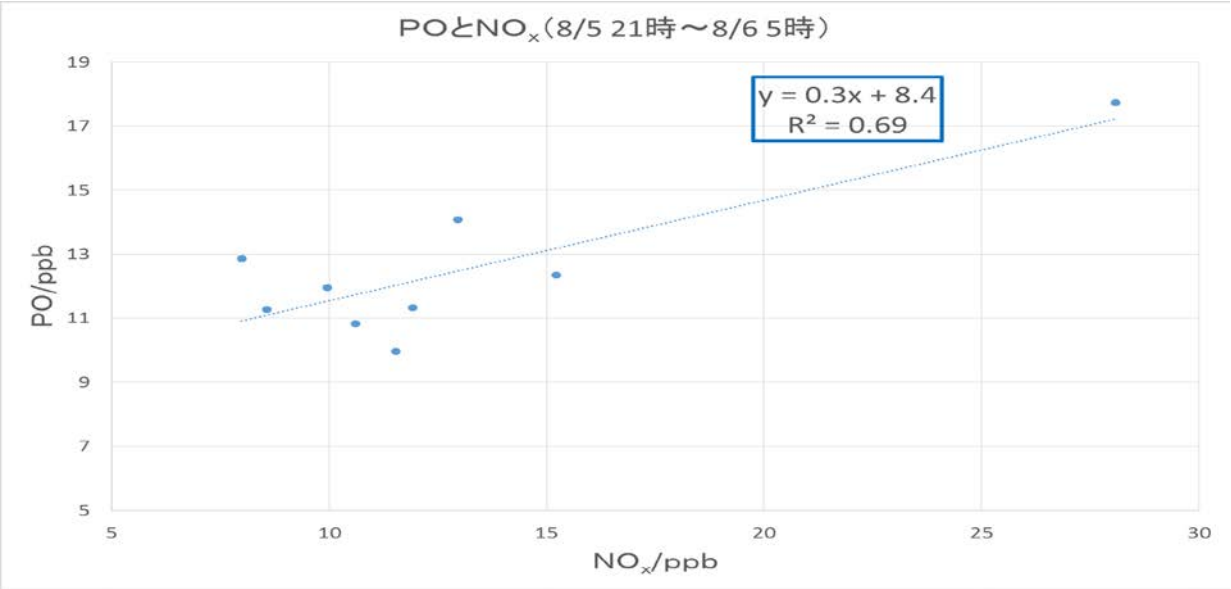


図 4-12　PO と NO_x の相関

5.　実験 2　富士山岳道路沿道における高時間分解能 NO_x-LIF 計測

5-1 目的

窒素酸化物は、光化学スモッグや酸性雨などを引き起こす環境汚染の原因物質である。富士山山岳道路である富士スバルラインは、夏季の繁忙期には多くの自動車が通行し交通渋滞が発生することから、普通車両の入場規制が実施されている。2013 年から富士スバルライン沿道で行っている大気観測により、車両規制期間内の窒素酸化物濃度が、車両規制期間外に比べて高いことが明らかとなった。この原因は、車両規制期間内に通行量が増加する大型車両が原因であると推定している。しかしながら、市販の窒素酸化物計では、時間分解能が低いことから、車両 1 台ごとが大気に与える影響を調べることは難しかった。昨年本共同研究によりレザー分光法を用いて NO_2 濃度を計測することに成功したが、車両からの排気ガスには NO も多く含まれていることから、本研究では、車両一台ごとが与える窒素酸化物濃度を NO_x 濃度として新たに開発したレーザー分光計計測装置を用いて明らかにし、上記推定を検証する。

5-2　観測概要（観測地及び観測期間）

観測場所は富士山五合目駐車場から約 5 km 下ったところにある奥庭自然公園駐車場付近である。観測期間は、2015 年 9 月 5 日から 9 月 15 日の 10 日間である。ただし PC の不具合で測定できていない時間帯が所々生じた。富士スバルライン周辺の地図を図 5-1 に、観測地周辺の概要を図 5-2 に、観測地周辺の写真を図 5-3 に示す。

図 5-1　観測地（富士スバルライン）

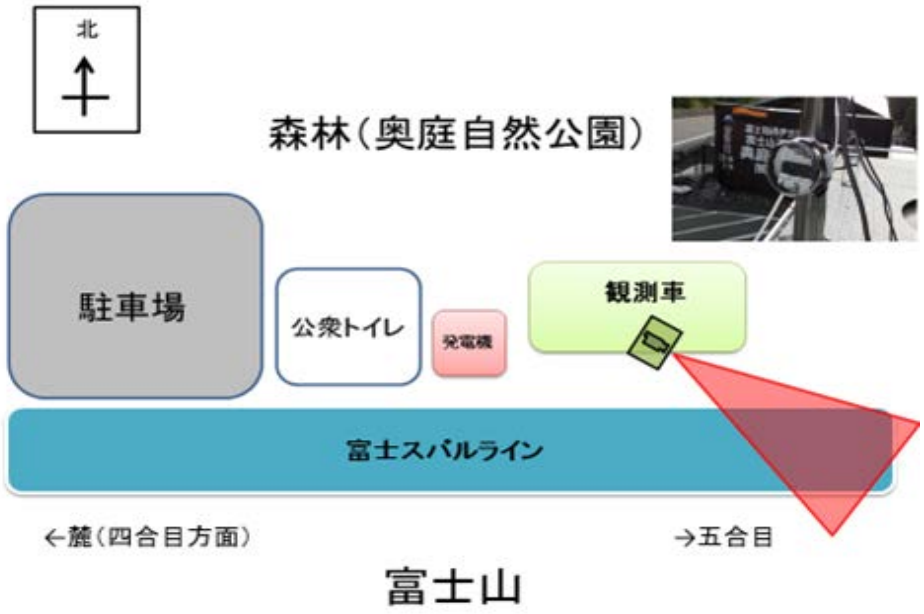


図 5-2　観測地概要

図 5-3 観測地写真

5-3　実験方法

実験セットアップを図 5-4 に示す。大気試料 50 分、ゼロガス 10 分の測定シークエンスにて計測を行った。実験セットアップは FM 多摩丘陵とほぼ同様である。ただし FM 多摩丘陵での観測と異なり、O_3を常時大気試料に添加して NO_x測定を行った。

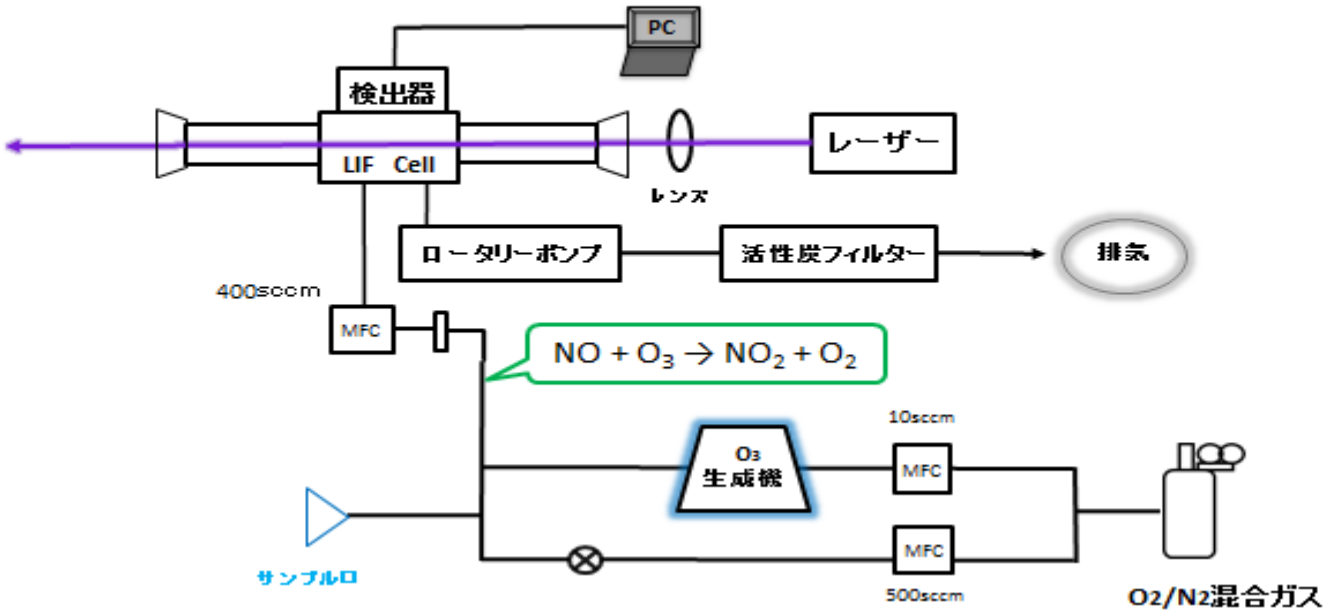


図 5-4　実験セットアップ

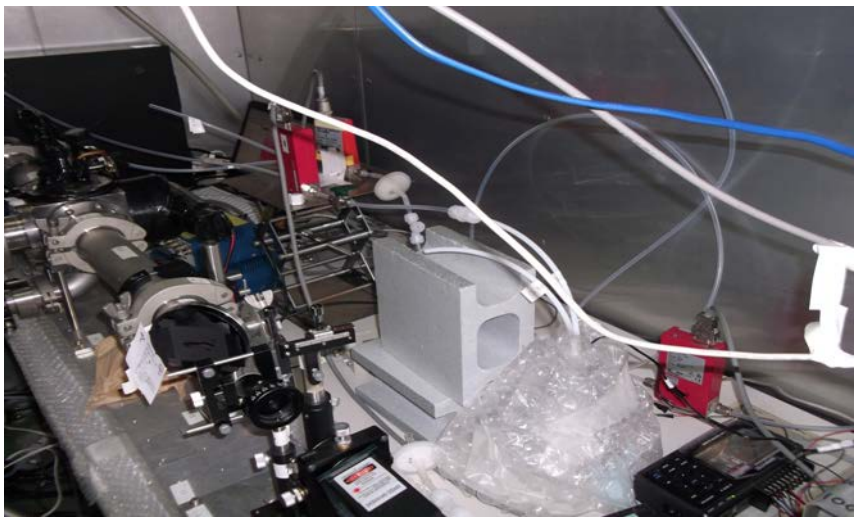


図 5-5 実験セットアップ写真

NO、NO_2標準試料の濃度を表 5-1 の割合で混合した標準試料の測定を行い、4-3 章で述べた α、β の算出を試みた。測定結果を図 5-6 に示す。ここで横軸は NO_2の割合、縦軸はカウント値である。O_3を添加していない測定では、NO_2のみの測定となるため、NO_2濃度の比率が大きくなるにつれ、カウント値が上昇した。一方 O_3を添加した場合では、カウント値は約 30000 カウントと、NO_2の割合に関わらず一定の値を示した。これは、α=1、β=1 の状態であったためと考えることができる。ここで平均のカウント値は

30321 カウント、標準偏差 399 カウントであった。今回標準試料の NO_x 濃度（203 ppb）から誤差を 13 ppb と見積もった。

表 5-1 αβ 校正の標準試料と測定結果

NO /%	NO_2 /%	オゾン添加時の LIF カウント値 /count	オゾン添加なしの時の LIF カウント値 /count	オゾン添加時の LIF カウント値補正後 /count	オゾン添加なしの時の LIF カウント値補正後 /count
BG	BG	2537	8500	-	-
0	100	32780	38627	30243	30127
25	75	-	39132	-	30632
50	50	25007	39090	22470	30590
75	25	17641	39049	15104	30549
100	0	-	38205	-	29705

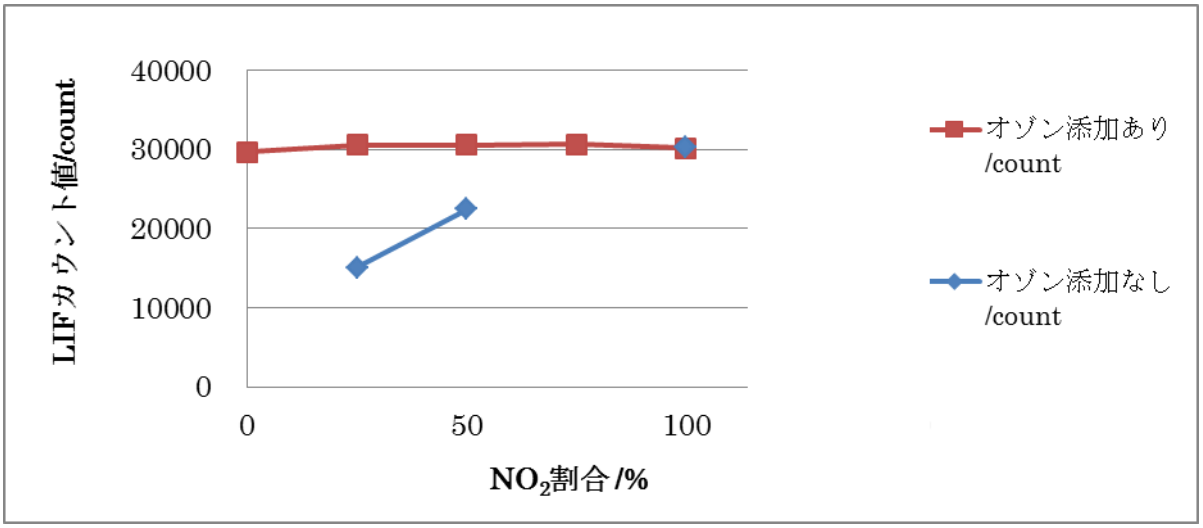


図 5-6 NO_2/NO_x を変化させたときの LIF カウント値

5-4 結果と考察

観測期間の気象データを図 5-7 に示す。ここで東からの風が安定して吹いていた 9 月 8 日 18:00-21:00 に注目し、LIF による NO_x の観測結果を図 5-8 に示す。

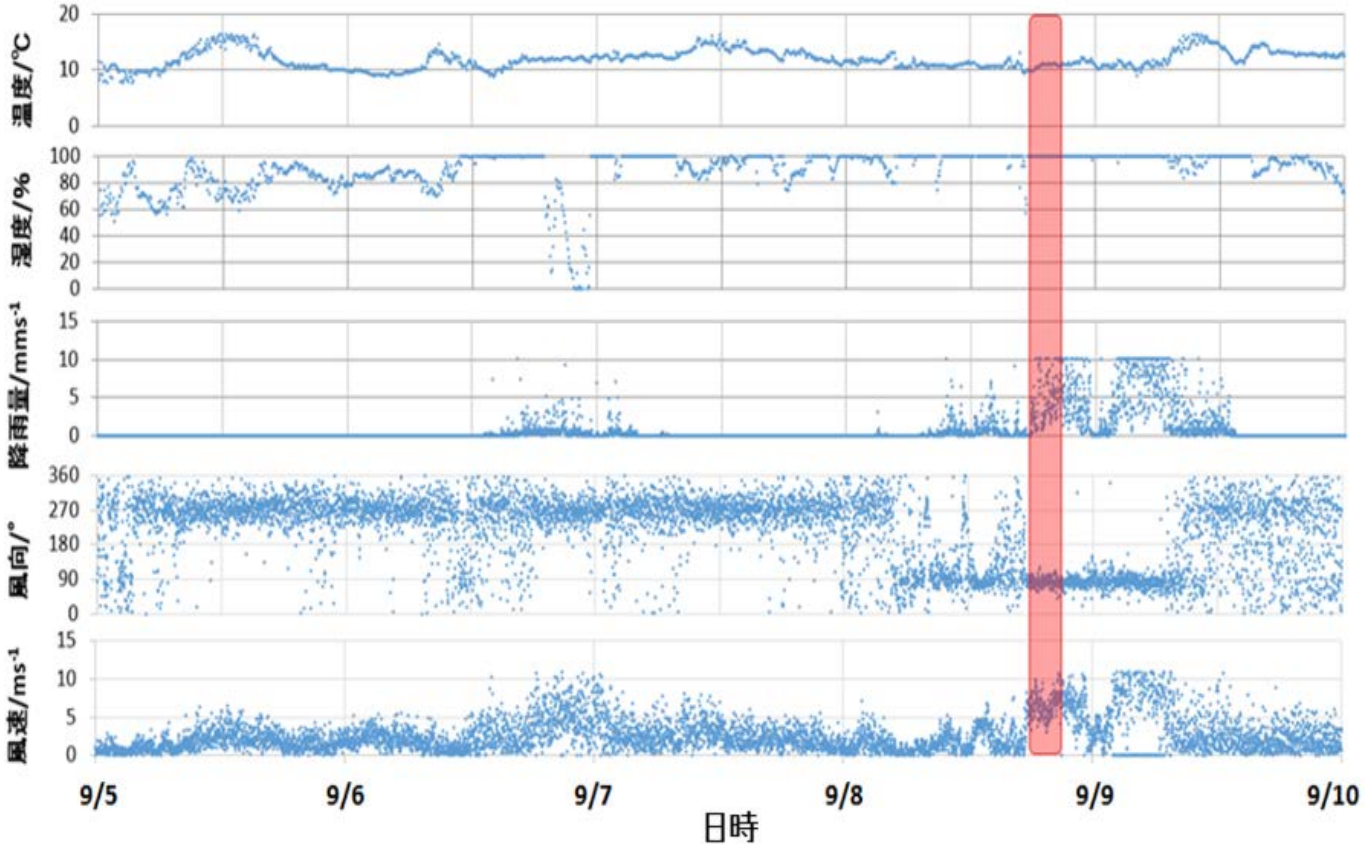


図 5-7　気象データ

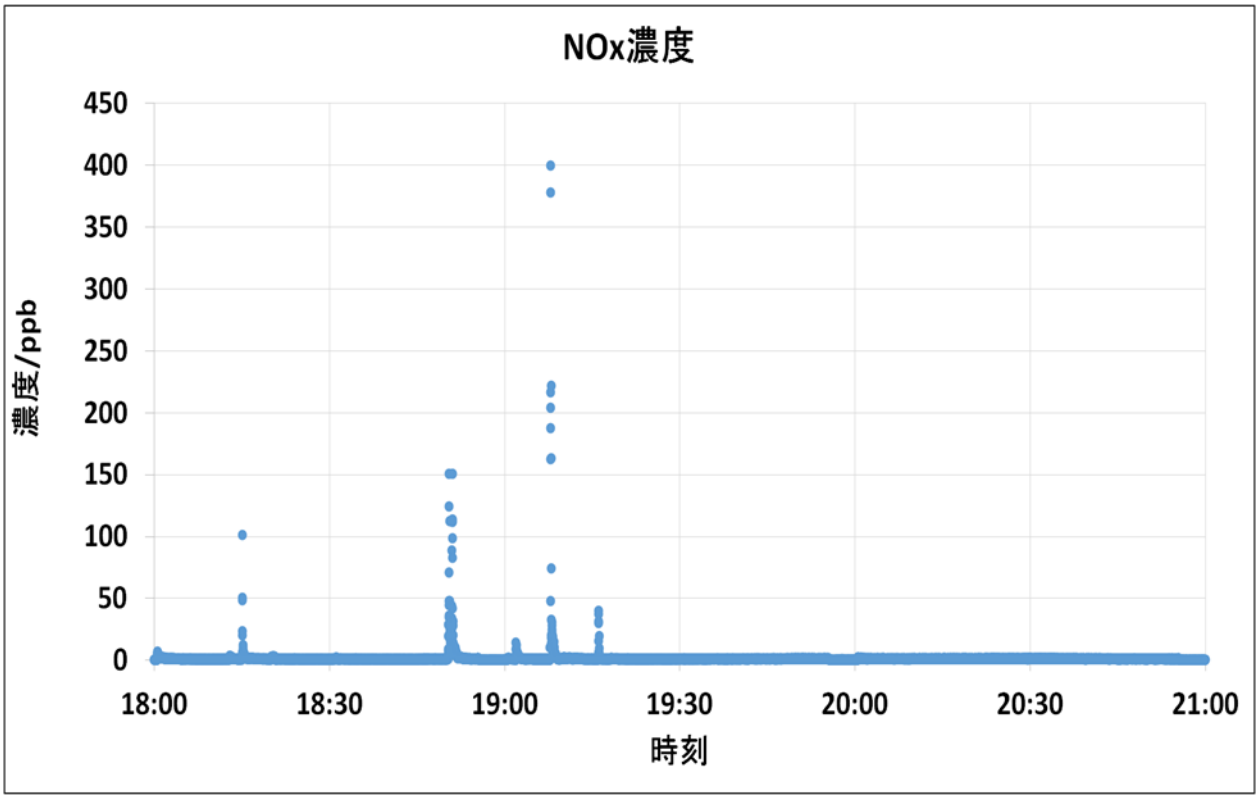


図 5-8 LIF による NO_x観測結果

2015 年 9 月 8 日 18:00-21:00 の車両台数を表 5-2 に示した。18:00-21:00 に大型車両は 5 台、普通車両は 18 台通過した。このとき大型車両通過時に高濃度の NO_xが観測された。NO_x濃度は 20 ppb～400 ppb を示した。

表 5-2 車両台数（9 月 8 日 18:00-21:00）

9月8日	普通車		大型車	
	上り/台	下り/台	上り/台	下り/台
18時	1	9	1	1
19時	0	2	1	2
20時	2	4	0	0

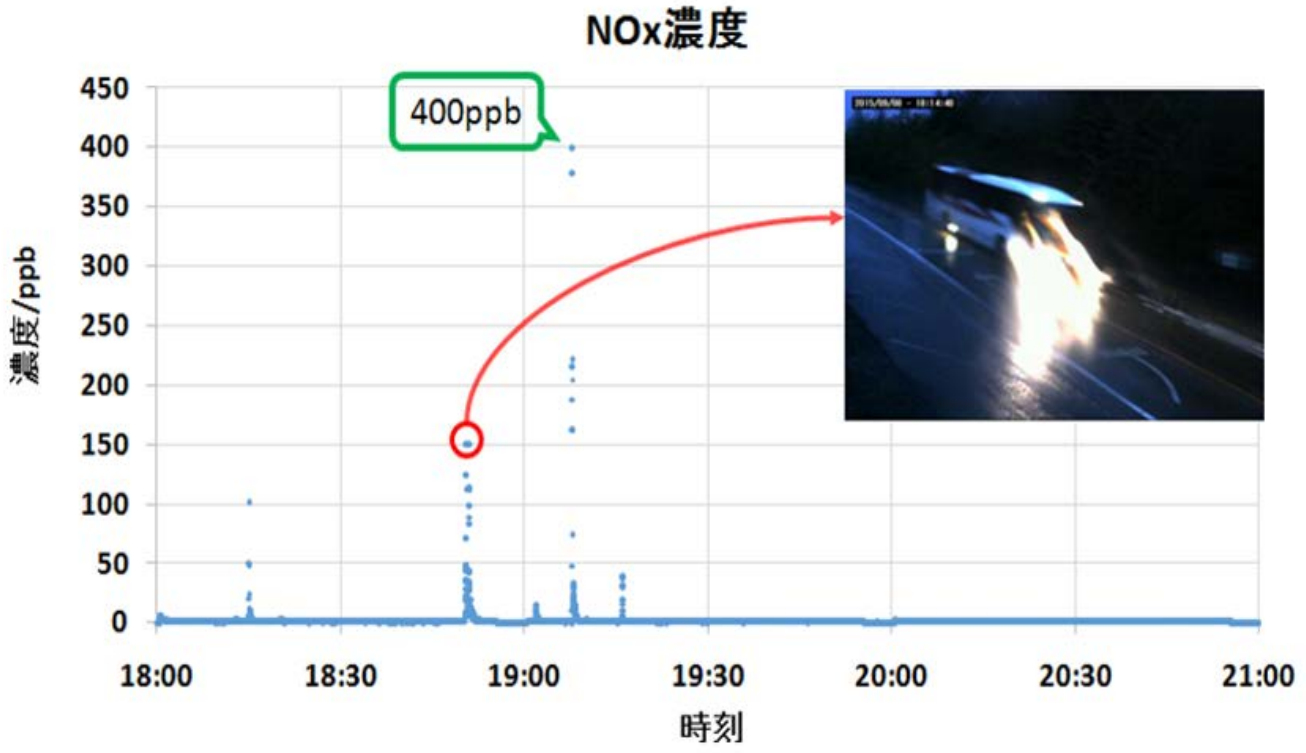


図 5-9 NO_x濃度と通過時の写真（図中には例として 1 台の観光バスの写真を示した。ほかのピークにも大型車両が通行した。）

LIF と化学発光分析計（島津社 NOx 計）の 1 分平均の観測値を比較した。LIF と NO_x計による NO_x濃度の時間変化はよく一致した。しかしながら NO_x濃度は LIF で高い値を示した。

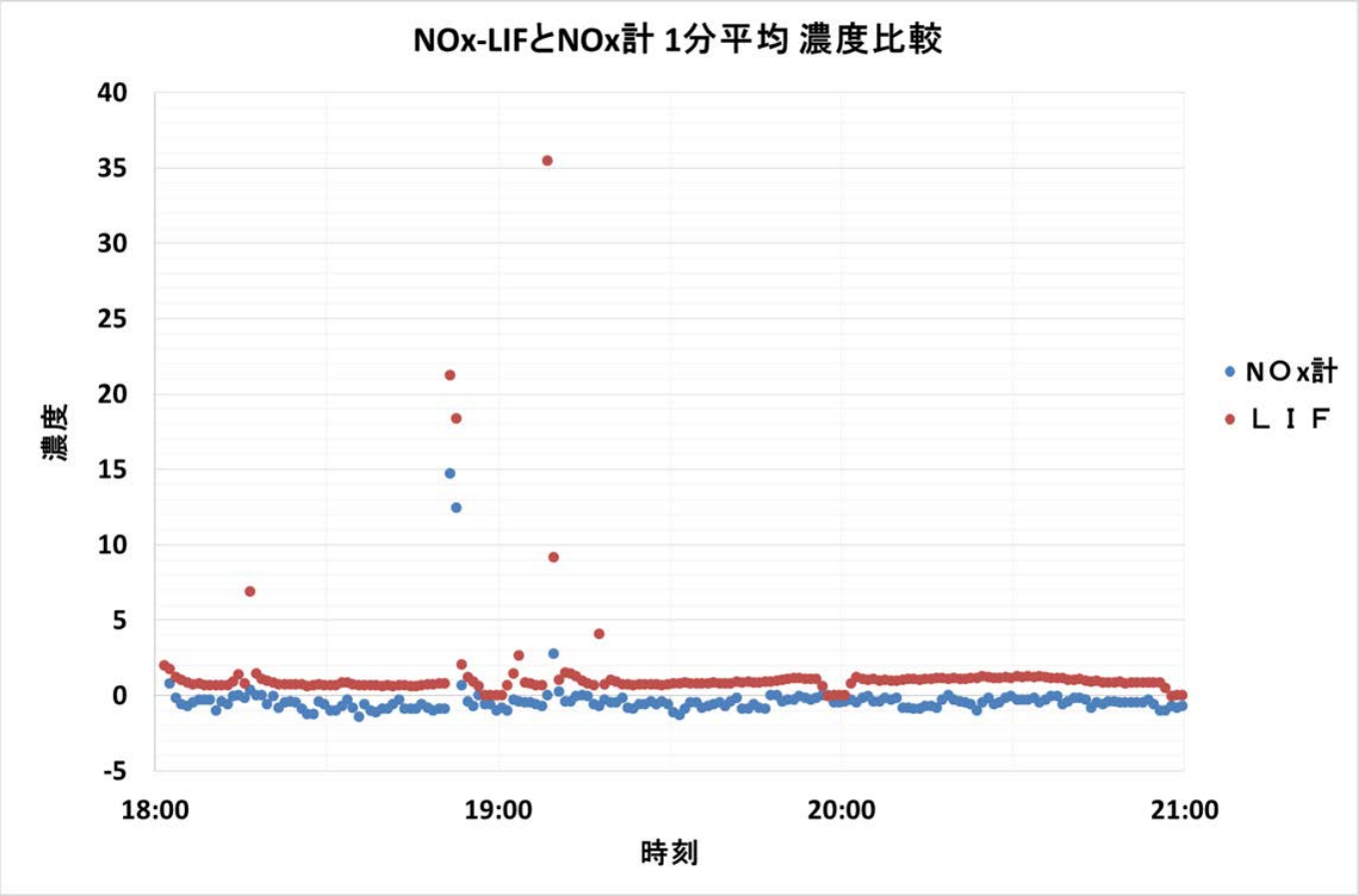


図 5-10 LIF と NO_x計により観測した NO_x濃度の比較

大型車両通行時に高い NO_x濃度を示すことを確認した。本観測結果は、富士スバルラインにおける車両規制期間内にて車両規制期間外よりも窒素酸化物濃度が上昇する原因は、大型車両台数の増加であるという推定を支持した。今回、レーザー分光計計測装置にオゾン発生装置を組み合わせることで、NO と NO_2 を合わせた NOx として観測することに成功した。車から排出される窒素酸化物は NO、NO_2の形をとっている。今まで NO_2しか測定できていなかったが本研究では NO を含めた窒素酸化物の総量として観測することに成功した。

6. 参考文献

1. 秋元肇ほか著（2002）「対流圏大気の化学と地球環境」　学会出版センター
2. 宮﨑洸治ほか（2008）大気環境学会誌　第 43 号第 2 号「NO_2検出器を用いた大気中 NO 測定システムの開発」112-118.
3. 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.

7. 成果発表（当該年度に行った口頭・ポスター発表）

【原著論文】

1. 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 印刷中.

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

【学会発表】

1. 和田龍一, 松見 豊, 中山智喜, 谷 晃, 高梨 聡, 深山貴文, 中野隆志, 米村正一郎 レーザー誘起蛍光法による富士山山岳道路沿道における窒素酸化物計. 第 21 回大気化学討論会, 2015 年 10 月 19 日-2015 年 10 月 21 日, 東京（東京工業大学）p76

以上

（別紙様式8-2）

宇宙線で探る太陽風擾乱の空間構造

Structure of the solar wind turbulence probing with galactic cosmic rays

小島浩司・愛知工業大学・工学部・都市環境学科

研究目的

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

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

研究方法

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

GRAPES-3 研究活動報告

タタ基礎研究所の P.K Mohanty 氏が，2015 年 3 月に福岡で開催された「宇宙天気に関するワークショップ（国連・日本）」に参加するために来日した．同 3 月 6, 7 日に STE 研究集会へ出席した後，中部大学にて GRAPES-3 日本メンバーとミューオン観測データの解析について議論をおこなった．同年 3 月 21 日～3 月 28 日に大嶋がインドに渡航した際に，タタ基礎研究所・Radio Astronomy Center の P.K Manoharan 氏と将来の Ooty における IPS 観測と GRAPES-3 のミューオン測定との共同研究の可能性について意見交換をおこなった．同年 5 月 29 日に小島・柴田・大嶋の 3 名が名古屋大学・徳丸研を訪問し，CME に関する研究を行う上での意見を求め，IPS データと宇宙線データとを関連させた解析の可能性について議論した．今後，上記の議論をふまえ，IPS 研究者の支援のもとに宇宙線密度の空間分布と CME の空間的ひろがりの関連性についての解析をおこなう予定である．なお，本研究予算でデータ解析用・資料製作用のノート PC とデータ保管用の HDD を購入した．

GRAPES-3 の維持管理および拡張に関する活動

2015 年 3 月 21 日～3 月 28 日に，大嶋がインドに渡航し，GRAPES-3 実験の新ミューオン検出器用の比例計数管製作の進捗状況の確認および大型計算機システムの改修作業をおこなった．2015 年 11 月からは，大阪市立大学を定年退職した林嘉夫がタタ基礎研究所の客員スタッフとしてインド Ooty に長期滞在し、ミューオン検出器建設作業の指導をおこなっている．2016 年 2 月現在で 889 本の比例計数管が完成しており，100 本/月のペースで製作している．

研究成果

本研究に関連する研究成果として，太陽風速度の変動と宇宙線強度の変動の関係性に関する査読論文が出版された．その中で太陽風速度の変動量と宇宙線強度の変動量の間に，$(-1.33 \pm 0.07) \times 10^{-3}$ %/kms^{-1}（Figure 1）の関係があることを示した．また，オランダで開催された第 34 回宇宙線国際会議では，次の 2 編の発表をおこなった．一つ目は，2 つの異なるデータ（Swinson flow 異方性と宇宙線強度変動）を用いて剛度 77 GV の宇宙線に対する拡散係数を求めたものであり，両手法でほぼ同じ拡散係数 $1.0 \sim 1.1 \times 10^{19}$ m^2/s（Figure 2）を得た．二つ目は，宇宙線強度変動の剛度依存性について Forbush Decrease 発生時とそうでないときに分けた解析をおこなったものである．

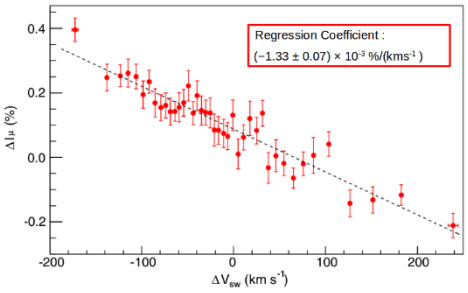


Figure 1　太陽風速度の変動（ΔVsw）と宇宙線強度の変動（ΔI_μ）の関係。

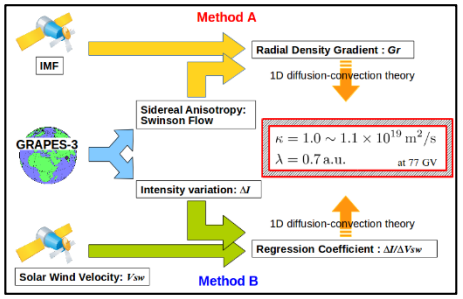


Figure 2　2 つの手法（MethodA と MethodB）による宇宙線の拡散係数 κ の推定。

その他，以下のように関連学会での発表をおこなっている．

【日本物理学会・その他学会発表】

1. 「大面積高精度 muon 望遠鏡による方位別宇宙線強度変動の研究(17)」
   小島浩司、柴田祥一、大嶋晃敏他、「物理学会・第 71 回年次大会」21pAZ-5
2. 「宇宙線太陽時異方性と太陽風速度」
   小島浩司、柴田祥一、大嶋晃敏他、「平成 27 年度 STE 研究集会」
3. 「GRAPES-3 ミューオン検出器の拡張計画の進捗状況」
   大嶋晃敏、柴田祥一、小島浩司他、「平成 27 年度 STE 研究集会」
4. 「大面積高精度 muon 望遠鏡による方位別宇宙線強度変動の研究(16)」
   小島浩司、柴田祥一、大嶋晃敏他、「物理学会・秋季大会」 25pSK-6
5. 「An estimation of the diffusion coefficient of galactic cosmic rays in the heliosphere near the Earth」
   H. Kojima et al., Proc. 34th International Cosmic Ray Conference ID:160
6. 「Rigidity dependence of the intensity variations of galactic cosmic rays」
   H. Kojima et al., Proc. 34th International Cosmic Ray Conference ID:163

【投稿論文】

1. “Dependence of cosmic ray intensity on variation of solar wind velocity measured by the GRAPES-3 experiment for space weather studies.” H. Kojima et al, published

（別紙様式8-2）

近赤外レーザーメタン計と無人機を用いたメタン鉛直分布測定手法の実証的研究

Development of high cost performance field measurement system using a near-infrared laser methane instrument

中根英昭、高知工科大学・環境理工学群

【研究目的】

本研究では、ガス漏れ検出用に商品化された近赤外レーザーメタン計と、最近容易に入手できるようななった無人機（マルチコプター）を組み合わせて、メタンの鉛直分布を測定するシステムを試作し、測定可能であることを実証することが目的である。

【装置】

近赤外レーザーメタン検知器（東京ガスエンジニアリングSA3C05A、以降メタン検知器）と再帰性反射体（リトロリフレクター）を装着した8枚羽根のドローン（DJIS1000）を用いた、オープンパスメタン鉛直濃度分布測定システムを試作した。レーザーメタン検知器、レーザー距離計、照準器等によって構成される地上測定システムを図１に、ドローン、リトロリフレクター、レーザー距離計用反射板からなる空中測定システムを図２に示す。

図１地上測定システム

図２上空測定システム（ドローン等）

レーザーから発射された近赤外光（波長1.6537μm）は、ドローンに取り付けられたリトロリフレクターによってレーザーメタン検知器に戻される。照準器をメタン検知器に取り付けることにより、ドローンに取り付けられたリトロリフレクター（有効径2.5cm）を正確に視認して照準を合わせることが可能になった。レーザー距離計をメタン検知器と平行になるように取り付け、さらに、開閉が自由にできるドローンのアームとなる骨組みに、レーザー距離計からのレーザー光を受ける

反射板を取り付けることによって、メタン濃度鉛直分布の導出に必要なドローンの高度h_i、メタン検知器とドローン間の片道光路長l_i、メタン検知器の仰角θ_iの正確な測定が可能となった。

【測定原理】

図3は鉛直分布測定システムの概念図であり、測定原理を示している。鉛直層数を4として図示した。メタン検知器によって測定される測定値yiは、メタン検知器よりドローンに搭載したリトロリフレクターに照射されるレーザー光の距離liと、レーザー光が通る各層diのメタン濃度xiをかけたものとなる。ドローンの高度hiは、liとレーザー光の仰角θiにより求められる。これらの要素を用いて、各層のメタン濃度xiと測定値yiの間の関係式が連立方程式の形で得られる。

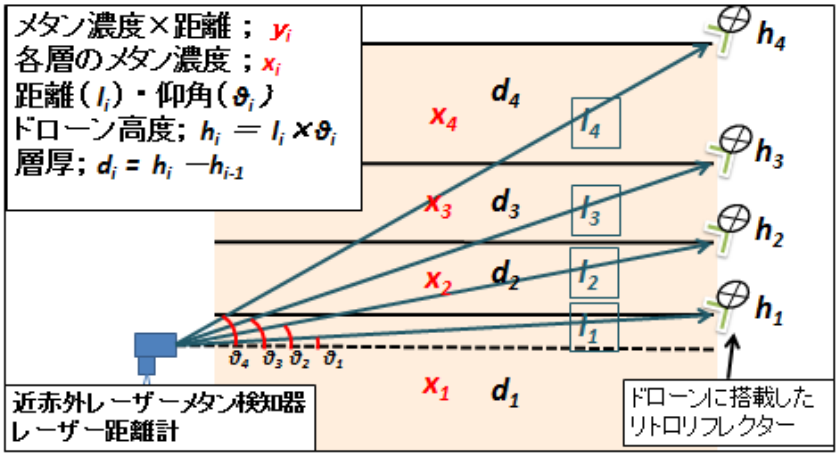


図３レーザーメタン検出器とドローンを用いたメタン鉛直分布測定原理

$\boldsymbol{y}$を各層の測定値を要素とするベクトル、$\boldsymbol{x}$を各層のメタン濃度を要素とするベクトルとすると、連立方程式は式（1）で表される。

$$\boldsymbol{y} = \mathrm{A}\boldsymbol{x} \tag{1}$$

$$\boldsymbol{A} = \begin{bmatrix} l_1 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{d_1}{d_1+d_2} * l_2 & \frac{d_2}{d_1+d_2} * l_2 & 0 & 0 \\ \frac{d_1}{d_1+d_2+d_3} * l_3 & \frac{d_2}{d_1+d_2+d_3} & \frac{d_3}{d_1+d_2+d_3} * l_3 & 0 \\ \frac{d_1}{d_1+d_2+d_3+d_4} * l_4 & \frac{d_2}{d_1+d_2+d_3+d_4} * l_4 & \frac{d_3}{d_1+d_2+d_3+d_4} * l_4 & \frac{d_4}{d_1+d_2+d_3+d_4} * l_4 \end{bmatrix}$$

$$d_i = h_i - h_{i-1} \quad h_0 = 0 \tag{2}$$

$\boldsymbol{y}$にAの逆行列を掛けることにより、容易に$\boldsymbol{x}$を求めることが可能である)。

$$\boldsymbol{x} = \mathrm{A}^{-1}\boldsymbol{y} \tag{3}$$

実際の測定では、$\boldsymbol{y}$の要素y_iは0.33秒ごとに測定される約30秒間隔の時系列データであり、全てのデータが解析に使えるならば約100個の連立方程式が得られ、各層につき約100個のx_iが求められることになる。実際には、レーザー光がリトロリフレクターに十分に当たっていない、

あるいはリトロリフレクターの主軸とレーザー光の光軸の角度が大きい等によって生じる異常値のために、解析に使うことのできる測定値はそれ程多くはない。

【実証観測と結果】

実証観測は2015年8月27日17時から18時30分の間に高知県農業技術センター（南国市廿枝）の水田により行った。気象条件は曇り、風向は主に南、風速は1.5～5.0m/s、鉛直風は～±1.5m/s、気温は29℃であった。メタン検知器とドローンの水平距離は50.657m、直径2.5cmの再帰性反射体を装着したドローンを5高度(1.77m、4.32m、7.08m、11.31m、20.89m)でホバリングさせ、地上のメタン検知器からの近赤外レーザー光を反射し、ドローンとレーザーメタン検知器間のスラントカラムメタン濃度（ppm*m）を測定した。

観測値 $\boldsymbol{y}$ に揃えたデータを各行に入力し、各層を通るレーザー光の光路長、レーザー距離計より取得したレーザー光路長 li と層厚 di を用いて $\mathbf{A}$ の要素を計算した。この観測値 $\mathbf{y}$ に行列 $\mathbf{A}$ の逆行列をかけることによってメタン濃度 $\mathbf{x}$ を求めた。求めたメタン濃度 $\mathbf{x}$ を用いて、各行の平均値と標準誤差を求め、この平均値を各層における平均メタン濃度とした。

表1　平均メタン濃度（ppm）と標準誤差（%）

層(m)	平均メタン濃度 (ppm)	標準誤差(%)
0.41 – 1.77	2.08 ± 0.02	1.2
1.77 – 4.32	2.16 ± 0.06	2.9
4.32 – 7.08	2.04 ± 0.08	4.1
7.08 – 11.31	2.10 ± 0.06	2.9
11.31 – 20.89	2.08 ± 0.04	1.9

表1に示すように、メタン濃度はバックグラウンド濃度に近い、2.00 ~ 2.20 ppmの範囲であり、有意な鉛直分布は見られなかった。誤差範囲は1.2～4.1 %であり比較的精度の高い観測ができていることが分かった。

【考察】

今回の実験では有意な鉛直方向の濃度の違いは見られなかったが、その原因として、水平風速が約5mと比較的強かったため、メタンが鉛直拡散されていることが考えられる。

【発表】

(1)山崎奈摘,近赤外レーザーメタン検知器を用いたメタン鉛直分布測定システムの開発,大気環境学会,早稲田大学,2015年9月

(2)Kazuki Sunada, Three dimensional measurements and emission estimation of methane using a drone and near infra-red laser sensor, The 13th International Conference on Atmospheric Sciences and Applications to Air Quality (ASAAQ13),Kobe International Conference Center, 2015年11月

（別紙様式8-2）

太陽観測データによる太陽紫外線放射量の推定および超高層大気変動との比較
Solar ultraviolet radiation estimated from solar images, and the effect on the upper atmosphere

浅井　歩、京都大学・宇宙総合学研究ユニット

【研究目的】

本研究では、太陽極端紫外線画像データや太陽彩層画像データ、太陽磁場観測データなどの解析により、地球の超高層大気に影響を及ぼす太陽紫外線放射量の長期変動を推定することを目的とする。

太陽紫外線放射は電離圏や超高層大気変動を引き起こす要因であり、太陽紫外線放射量の長期変動が地球大気・気候にも影響を与える可能性について様々な議論がなされてきた。これらの議論で用いられる「太陽活動」の指標としては、これまで主に、太陽黒点数や太陽層放射、F10.7電波放射等が使われていた。特にF10.7電波放射は、太陽彩層からの放射を反映していることから、太陽紫外線放射の指標として頻繁に用いられていた。しかし、超高層大気に直接影響を及ぼす紫外線波長域においては、長期での太陽全面撮像観測が不十分であり、また特異であった太陽活動23/24の極小期（2008年ごろ）で太陽活動を示す指標の振る舞いがさまざまであったことなどから、太陽紫外線放射量を正しく反映する指標について見直しが必要である。

近年では人工衛星により、撮像情報はないものの太陽の紫外線分光データが太陽活動周期にわたって得られている。一方極端紫外線やX線域においては、太陽活動周期にわたる撮像観測データが蓄積され、太陽面の活動領域・コロナ輝点やコロナホールといった個々の領域ごとの太陽活動周期にわたる長期変動が調査可能である。私たちはこれまでに、太陽全面極端紫外線データの長期観測データを解析し、特に太陽活動22/23の極小期（1996年ごろ）と23/24の極小期（2008年ごろ）では、高緯度・中低緯度の極端紫外線強度が大きな違うことを見出し、その原因として太陽表面磁場強度との相関を示した。一方、超高層大気に影響が大きい紫外線領域は下部彩層からの寄与が大きいため、太陽彩層画像解析からプラージュ（彩層で見られる活動領域周辺の明るい領域）の面積についての指標「プラージュ・インデックス」を導出することで紫外線放射量の変動を推定した。

本研究では、人工衛星による太陽全面極端紫外線・紫外線撮像データを用いることでコロナホールや活動領域、コロナ輝点といった構造ごとの明るさ/面積の長期変動を詳しく調べ、紫外線放射の変動が太陽面のどのような構造に起因しているのか、画像データをより詳細に解析することで調査する。また、H25年に打ち上げられたNASAの人工衛星IRISによる詳細な紫外線撮像分光データを用いて、プラージュ領域やコロナホールなどの局所的な領域における紫外線放射スペクトルを得、超高層大気に直接影響を与える紫外線放射について調べる。加えて、プラージュ領域などの局所的な領域での磁場構造について、高解像度の磁場モデルと画像データとつきあわせることで磁場の強度、磁場の傾きと放射強度の関係を調べる。さらに、太陽紫外線への応答が大きい地磁気静穏日変動（Sq場）や電離圏総電子数（TEC）の長期変動データを調べることで、超高層大気への影響を及ぼす要因を空間分解された太陽面構造の中に求めている。

【研究方法】

本研究で用いる太陽全面Hα線画像データは、京都大学飛騨天文台のフレア監視望遠鏡によって取得されたものを用いた。また、人工衛星SOHOによる太陽全面画像データ、IUGONETのデータベース上にある超高層大気データ群などさまざまなデータを共同で解析した。このため、各研究機関において共同研究者間での研究打合せや、さらに国内の関連分野研究者を含めたミニワークショップを複数回行い、これにより研究を効率良く推進した。具体的な研究方法は以下に記す。

(1) SOHO衛星などによる太陽全面極端紫外線画像データの解析により、太陽面上の構造（活動領域やコロナホール）の面積や輝度の長期変動について、特に太陽活動22/23期（1996年ごろ）と23/24期（2008年ごろ）の二つの極小期での相違点に着目して調べた。今後、IRIS衛星による紫外線分光データから、これらの太陽面上の構造ごとの詳細な紫外線分光スペクトルを調べる。

(2) 京都大学飛騨天文台などの地上観測による太陽全面彩層（Hα線、カルシウム線）画像のデータ解析から、彩層プラージュの構造（面積）の変化を調べた。特に二つの極小期で、これらに相違が無いかを調べた。また、数十年にわたる過去の観測データから、特に低調であった太陽活動23/24期の極小期（2008年ごろ）の特異性が彩層画像で見られるかについても調べた。今後加えて、IRIS衛星による紫外線分光データを用いて、彩層プラージュの詳細な紫外線分光スペクトルを調べる。

(3) 太陽磁場データ（SOHO衛星搭載の磁場観測装置MDI、ひので衛星など）を解析し、極端紫外線で見られる構造（活動領域やコロナホール）やHα線・カルシウム線でのプラージュ領域といった局所的な領域での磁場構造について、高解像度の磁場モデルと画像データとつきあわせることで磁場の強度、磁場の傾きと放射強度の関係を調べた。

(4) (1)(2)から得られる太陽面構造の長期変動の振る舞いを、Sq場やTECといった超高層大気の長期変動データと比較し、太陽面のどのような構造が超高層大気に影響を与える紫外線放射に寄与するのかを明らかにする。また、Sq場・GPS-TECの他に太陽総放射量（TSI）やF10.7といった、数十年にわたって入手可能な長期間観測データの解析により、極端に低調であった太陽活動23/24期の極小期（2008年ごろ）とその他の極小期について着目し、この極小期の特異性について調べる。

【研究結果・考察】

SOHO衛星EITにより得られた太陽全面極端紫外線撮像観測の長期データを収集し、特に第22/23極小期（1996年ごろ）と第23/24極小期（2009年ごろ）での極端紫外線の違いについて詳細に解析した。また高緯度領域と中低緯度領域での極端紫外線放射量変動を区別して調べた。それにより、極域コロナホールが多数を占める高緯度領域での輝度が今極小期では「明るく」一方でディスク面（中低緯度領域）からの輝度は「暗く」、また全体の輝度は今極小期の方が15%程度暗くなっていることが確認できた。極域コロナホール輝度は、極域磁場強度との関係（第23/24極小期では磁場強度が弱い）が示唆されている。加えて、第22/23極小期・第23/24極小期でのコロナ磁場構造は、磁気ポテンシャル場の成分での比較でも、今極小期では極域磁場が前極小期の約1/2になっていることを確かめた。これらの内容は、学術論文としてまとめられ、現在再投稿準備中である。

彩層画像からのプラージュ・インデックスの導出については、これまでに、飛騨天文台フレア監視望遠鏡によるHα線画像を用いて行い、特に1992年から2012年までの変動を追うことに成功している（図1）。さらに、プラージュ・インデックスの高緯度領域と中低緯度領域での変動にも差異があること、プラージュ・インデックスが、EUVと同様、前極小期に比べ今極小期では12%程度低下していることを確認した。これらの内容については、学術論文として投稿準備中である。

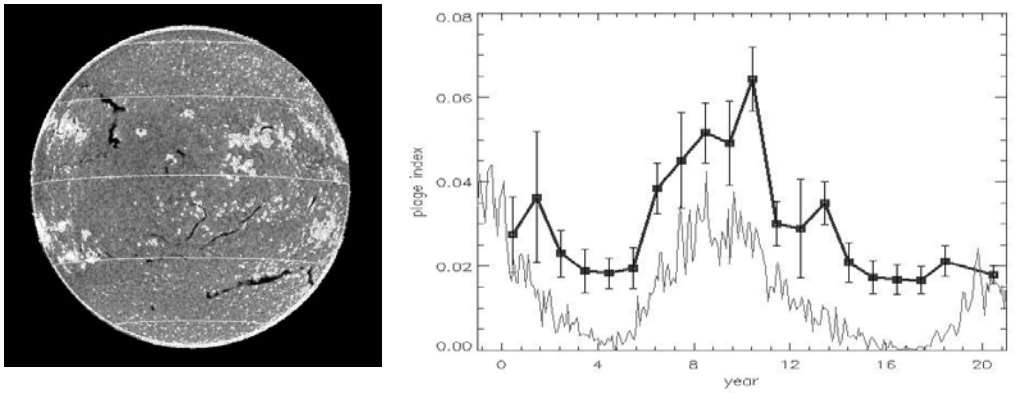


図1(左)京都大学飛騨天文台フレア監視望遠鏡による2001年の太陽全面Hα線画像(リム・ダークニング除去後)。明るさヒストグラムの標準偏差の2倍より明るい領域をプラージュと定義し(等高線)、その面積をプラージュの面積の指標「プラージュ・インデックス」として定義。(右)1992年から2012年のプラージュ・インデックスの長期変動(黒太線)。灰色線は太陽黒点数。

さらに、京都大学理学研究科や国立天文台三鷹が所有する、1910年ごろ以降のカルシウムK線での太陽彩層全面観測データ（写真乾板データ）を用いて、過去のプラージュ・インデックス、ひいては太陽紫外線放射量を推定する試みを行っている。今年度は特に、定量的解析のために必要な、データの較正処理や再スキャンな

どの作業を重点的に行った。特に、分光スリット幅のムラや、スリットスキャン中の天候変化などによる、筋状の模様の除去についてプログラムを開発して、較正を行った（図2）。今後は、これらのデータからプラージュ・インデックスの導出を行い、過去の太陽の紫外線放射量を推定する。

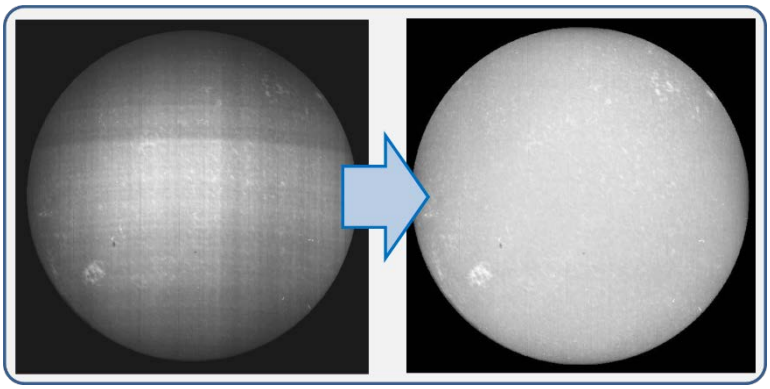


図2(左)京大・理・生駒観測所で観測された太陽カルシウムK線の乾板データをデジタル化した画像。太陽起源ではない多数の筋模様が見える。(右)縞模様除去のプログラムを施した画像。

超高層大気変動については、前極小期に比べて今極小期では、Sq場の磁場振幅で約15%、GPS-TEC値で約30%程度の低下、さらに高度300km付近の電離圏イオン温度で約40%の極端な低下が観測されている。逆に、電離圏電気電導度モデル値を用いて、Sq場の磁場振幅から下部熱圏域における中性風速を見積もった結果、今極小期では、約10%の増加が見られた。これは、1000-2000Åの太陽極端紫外線放射の減少に伴う熱圏大気密度の減少によるイオンドラック効果による影響が弱くなったと解釈される。しかしながら、電離圏電気電導度モデル値や中性風速との相関解析には、太陽F10.7電波フラックスが用いられているため、前極小期と今極小期における比較解析結果には、誤差が含まれていると考えられる。今後は、この波長帯の太陽紫外線放射に着目し、極端紫外線放射、プラージュ・インデックスとの相関解析を行い、正確な超高層大気の変動量を見積もりたい。

【成果発表】

・Asai, A., UeNo, S., Isobe, H., Shinbori, A., Kitai, R., Kusano, K., Shiota, D., Hayashi, H., Yokoyama, M., Watanabe, H., “Long-term variation in full-disk solar EUV 304 A images: Dark disk and bright polar coronal hole during the cycle 23/24 minimum”, 2014, *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* (revised).

・UeNo, S., Shibata, K., Morita, S., Kimura, G., Asai, A., Kitai, R., Ichimoto, K., Nagata, S., Ishii, T. T., Nakatani, Y., Yamaguchi, M., et al., “International Collaboration and Academic Exchange ofthe CHAIN Project in this Three Years (ISWI Period)”, 2014, *Sun and Geosphere*, 9, 97-103

・Isobe, H., “Variability of the Sun”, Japan Geoscience Union 2015, Makuhari, Japan, May 24-28, 2015 (口頭)

・Shinbori, A., Y. Koyama, M. Nose, T. Hori, Y. Otsuka, and A. Yatagai, “Characteristics of long-term variation of the geoma gnetic solar quiet daily variation”, Japan Geoscience Union 2015, Makuhari, Japan, May 24-28, 2015 (口頭)

・Shinbori, A., Y. Koyama, M. Nose, T. Hori, Y. Otsuka, and A. Yatagai, “Long-term variation in the upper atmosphere as seen in the geomagnetic solar quiet daily variation”, 26th IUGG General Assembly, June 22 – July 2, Prague, Czech Republic, 2015 (口頭・招待講演)

・Shinbori, A., Y. Koyama, M. Nose, T. Hori, Y. Otsuka, and A. Yatagai, “Long-Term Variation in the Upper Atmosphere as Seen in the Geomagnetic Solar Quiet Daily Variation”, Asia Oceania Geoscience Society 2015, Singapore, Auguest 2-7, 2015 (口頭・招待講演)

・新堀淳樹, 小山幸伸, 能勢正仁, 堀智昭, 大塚雄一, 「IUGONETプロジェクトチーム, 地磁気日変化振幅に見られる超高層大気変動について」, 第2回「太陽地球環境データ解析に基づく超高層大気の空間・時間変動の解明」 第290回生存圏シンポジウム/平成27年度名大STE研研究集会/平成27年度極地研研究集会, 立川,

2015年8月17-19日(口頭)

・森田諭, 花岡庸一郎, 桜井隆, 荒井武彦, 「国立天文台太陽観測所最新の観測システムと、太陽活動データベースメタデータ提供状況」, 平成27年度国立極地研究所研究集会、平成27年度名古屋大学太陽地球環境研究所研究集会、第290回生存圏シンポジウム、第２回「太陽地球環境データ解析に基づく超高層大気の空間・時間変動の解明」(立川) 2015年8月17-19日 (口頭)

・新堀淳樹, 小山幸伸, 能勢正仁, 堀智昭, 大塚雄一, 「地磁気日変動振幅から見積もられる下部熱圏における風速の長期変動について」, 中間圏・熱圏・電離圏 (MTI) 研究集会, 小金井, 2015年8月31日 (ポスター)

・下条圭美, 南谷哲宏, 斎藤正雄, 岩井一正, 浅井歩, 野澤恵, 「過去半世紀にわたる太陽マイクロ波スペクトルの変動」, 日本天文学会2015年秋季年会 (甲南大学) 2015年9月10日-12日 (口頭)

・UeNo, S., Shibata, K., Ichimoto, K., Nagata, S., Dorotovic, I., Shahamatnia, E., Ribeiro, R.A., Fonseca, J.M., “Roles of Ground-based Solar Observations of Hida Observatory toward the Solar-C Era”, Coimbra Solar Physics Meeting, Coimbra, Portugal, 5-9 Oct 2015 (ポスター)

・新堀淳樹, 小山幸伸, 能勢正仁, 堀智昭, 大塚雄一, 「地磁気日変化に見られる電離圏、下部熱圏における長期変動特性」, 第138回 SGEPSS総会および講演会, 東京, 2015年11月3日 (口頭)

・Shinbori, A., Y. Koyama, M. Nose, T. Hori, and Y. Otsuka, “Long-term variation in the ionosphere and lower thermosphere as seen in the geomagnetic solar quiet daily variation”, AGU Fall Meeting 2015, San Francisco, California, USA, December 13-18, 2015 (ポスター)

・Asai, A., Isobe, H., UeNo, S., Shinbori, A., Kitai, R., Shiota, D., Morita, S., “Solar Ultraviolet Radiation estimated from Solar Images”, International Symposium PSTEP-1: Toward the Solar-Terrestrial Environment Prediction as Science and Social Infrastructure (名古屋大学) 2016年1月13日-14日 (poster)

・新堀淳樹, 「多様な観測データベースを用いた地球大気環境の長期変動に関する研究」, 第307回生存圏シンポジウム「生存圏ミッションシンポジウム」, 宇治, 2016年3月3日-4日 (口頭)

・上野悟, 北井礼三郎, 柴山拓也, 坂上峻仁, 河瀬哲弥, 野津翔太, 野津湧太, 浅井 歩, 津田敏隆, 「太陽活動長期変動研究のための Ca II K 太陽全面画像データベースの改良と解析ソフト開発」, 第307回生存圏シンポジウム「生存圏ミッションシンポジウム」, 宇治, 2016年3月3日-4日 (ポスター)

・新堀淳樹, 小山幸伸, 能勢正仁, 堀 智昭, 大塚雄一, 「地磁気日変化振幅から推定される電離圏電場の長期変動について」, 福岡, 2016年3月10日 (口頭)

・Asai, A., “Long-term variation of solar UV radiation estimated from solar images”, 2015 ISEE workshop: International GEMSIS and ASINACTR-G2602 Workshop: Future Perspectives of Researches in Space Physics, Nagoya, March 22-25, 2016 (口頭)

・Shinbori, A., Y. Koyama, M. Nose, T. Hori, and Y. Otsuka, “Long-term variation of ionospheric electric field estimated from the amplitude of geomagnetic solar quiet daily variation”, 2015 ISEE workshop: International GEMSIS and ASINACTR-G2602 Workshop: Future Perspectives of Researches in Space Physics, Nagoya, March 22-25, 2016 (口頭)

（別紙様式8-2）

京都大学飛騨天文台SMART望遠鏡と
野辺山電波ヘリオグラフの共同観測データ解析による、フレアの短時間変動の研究
Study of short-time variations in solar flares
by collaborating observations of SMART and NoRH

一本　潔、京都大学・大学院理学研究科附属天文台

本研究では共同研究者の川手（クイーンズ大学ベルファスト・研究員）を名大 STE 研と京都大学にそれぞれ約 1 週間招聘し、本研究課題に関わるデータ解析及び研究組織構成員と議論をおこない、以下に記す内容の研究を推進した。

まず、SMART/FISCH で観測された初の白色光フレアである、2011 年 9 月 6 日に発生した X2.1 クラスフレアの解析によって、次のことがわかった。白色光放射の空間平均した光度曲線が短時間スケールでは硬 X 線、長時間スケールでは軟 X 線と高い相関を持つ。また、硬 X 線の中でも 30keV 以上のエネルギーを積分した電子の時間変化と特一つ一つのピクセルにおける白色光放射の光度曲線を詳細に調査することにより、2595 個の白色光増光を示したピクセルのうち 71%において 18.6±1.2 秒と 518.6±10.3 秒の 2 つの成分が重なり合っている減衰曲線が現れた。白色光フレアカーネルと RHESSI で検出された 30-80keV の硬 X 線源の重心位置はフレアの前半の方が一致度が高く、後半では差が出るという結果となった。以上から、多くの白色光放射は 30keV 以上の高エネルギー電子により彩層が直接加熱される過程と、遷移層～コロナからの照り返し(back-irradiation)の 2 つの過程により形成されることが示唆される。白色光フレアカーネルの光度曲線において 2 つの成分が重なり合った減衰が観測されることは Hudson et al. (1992)や Xu et al. (2006)でも確認されていたが、1800 個以上の光度曲線を統計的に取り扱い減衰の時間スケールを優位に導出し、その時間スケールから物理過程の考察を行った研究はこれが初めてであり、高い時間・空間分解能を持つ FISCH 独自の成果である。この結果は 2015 年 8 月 12-15 日にアメリカニュージャージー州で開催された RHESSI-14 国際研究会において口頭発表を行い、現在 Astrophysical Journal に投稿中である。

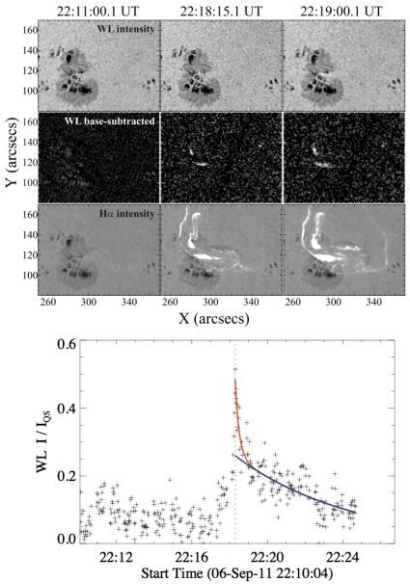


図 1 観測された白色光フレア(上図)、および白色光フレアカーネルのある 1 ピクセルの光度曲線とそのフィッティング結果(下図)

非熱的放射の光度曲線の形状により、太陽フレアはしばしばインパルシブなフレアとグ

ラジュアルなフレアに分類される。インパルシブなフレアはグラジュアルなフレアに比べて同程度の熱的放射強度であっても非熱的放射強度が強いことが先行研究として知られ(e.g. Kawate et al. 2011)、加速効率が異なることが示唆されている。加速効率を知る重要な手掛かりとして、非熱的放射の連続スペクトルにおけるべき指数がある。一方、非熱的放射強度が強いフレアと弱いフレアを比較すると、1 千万度のコロナ輝線の幅の空間分布とジャイロシンクロトロン放射の空間分布の関係が異なることが知られており、加速効率に関連するコロナプラズマの運動そのものが異なることが示唆される(Kawate & Imada 2013)。

インパルシブなフレアとグラジュアルなフレアの本質的な違いを理解するため、本研究では NoRH, RHESSI, Hinode/EIS で同時観測された 5 つのフレアにおいて、それぞれの放射強度、連続スペクトルのべき指数、コロナ輝線幅の、それぞれの位置及び時間変化を求めた。その結果観測的には次のことがわかった。インパルシブなフレアにおいて、Fe XXIII の非熱的輝線幅はフットポイントで大きくなるが、17GHz の電波源は主にループトップに位置し、べき指数は soft-hard-soft と変化した。一方グラジュアルなフレアにおいて Fe XXIII の非熱的輝線幅はループトップで大きくなるが、17GHz の電波源はフットポイントやや上に位置し、べき指数は soft-hard-harder と変化した。どちらもループトップのべきの方がフットポイントのべきより硬い傾向が現れた。電波観測からそれぞれのフレアで Quasi-periodic pulsation(QPP)が確認されたが、この QPP による振幅と Fe XXIII の非熱的輝線幅は空間的には相関せず、輝線幅の増加の原因が QPP ではないことが確認された。観測された電波放射の時間変化をより詳細に考察するため、1.5 次元の数値計算により Non-stational Fokker-Planck 方程式で電子分布を求め、電波の放射を導出した。その結果、ループトップからの電子の注入に限った場合、ループトップに電波源が発生するのはピッチ角が等方に近く、フットポイントに電波源が発生するのはピッチ角がフレアループに対し平行方向にビーム集中している場合であるということがわかった。またそれぞれのピッチ角分布の場合において、注入電子の時間変化が soft-hard-soft であっても、ピッチ角がループ平行方向にビーム的な場合高いエネルギーの電子が効率的にループにトラップされ非熱的放射の継続時間が長くなりやすく、また高エネルギーほどループ内に捕捉されやすいため放射のスペクトルは

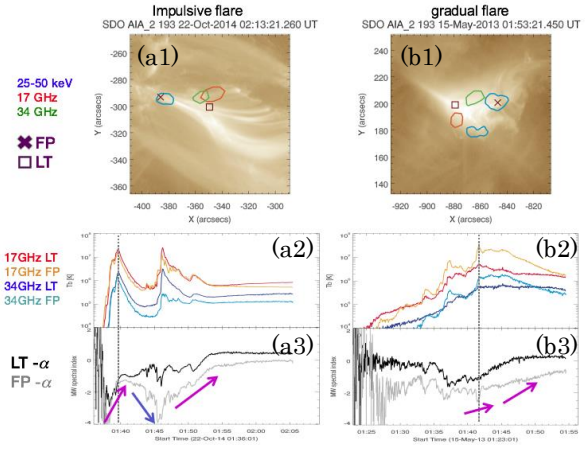


図 2 インパルシブなフレア(a)とグラジュアルなフレア(b)それぞれにおける(a1,b1)硬 X 線および電波源のフレアループに対する位置、およびループトップ(LT)とフットポイント(FT)における(a2,b2)電波放射強度と(a3,,b3)べき指数

徐々に hard になるという結果が得られた。これらにより、インパルシブなフレアとグラジュアルなフレアの本質的な差は注入電子のピッチ角分布であることが示唆される。ただし、高温コロナ輝線幅の差が発生する要因は観測可能か不可能かを問わずいくつか考えられるため、さらなる解析が必要である。この結果は 2015 年 8 月 12-15 日にアメリカニュージャージー州で開催された RHESSI-14 国際研究会において口頭発表を行い、また川手が 10 月に日本に滞在した際名古屋大学においてセミナー発表を行った。同時期に名古屋大学に滞在していた Melnikov 氏と共に議論をすすめ、現在査読論文として準備中である。

研究発表

- 査読論文(submitted to ApJ)

"Temporal evolution of white-light flare kernels and the correlation with hard X-ray emission in a solar flare"

T. Kawate, T. T. Ishii, Y. Nakatani, K. Ichimoto, A. Asai, S. Morita, S. Masuda

- 国際研究会口頭発表（RHESSI-14, NJIT, US, 2015/08/12-15）

"The emission mechanisms in the core-halo structure of a white-light flare"

T. Kawate, M.B. Kennedy, R.O. Milligan, M. Mathoudakis, D.B. Jess, T.T. Ishii, Y. Nakatani, K. Ichimoto, A. Asai, S. Morita, S. Masuda

- 国際研究会口頭発表（RHESSI-14, NJIT, US, 2015/08/12-15）

"Temporal and spatial　evolutions of the power law index of nonthermal electrons and the role of　turbulence/waves in solar　flare"

T. Kawate, V. F. Melnikov

参考文献

Hudson, H. S., Acton, L. W., Hirayama, T., & Uchida, Y. 1992, PASJ, 44, L77

Xu, Y., Cao, W., Liu, C., et al. 2006, ApJ, 641, 1210

Kawate, T., Asai, A., & Ichimoto, K., 2011, PASJ, 63, 1251

Kawate, T., & Imada, S., 2013, ApJ, 775, 122

（別紙様式8-2）

電波観測による太陽高エネルギー粒子（SEP）現象の研究
Investigation of solar energetic particle (SEP) events based on radio observations

三澤 浩昭，東北大学・大学院理学研究科

[研究目的] 太陽は周期的な活動度変化を示すが、活動期にはフレアやコロナ質量放出(CME)が頻発する。フレア発生時には強いX線や紫外線、高エネルギー粒子(SEP)が、CME発生時にはSEPが放出される。SEPは宇宙空間での人間活動や航空機搭乗者への放射線障害を引き起こす危険がある。現在は第24太陽活動周期の極大期を僅かに過ぎた時期であるが、依然として太陽からの影響を受け易い状況にあるため、SEP等の不可避の危険現象の特徴(規模・到来時期等)をいち早く同定し、危険低減に繋げることが重要となっている。

太陽からは多様な電波が放射されているが、CME発生時にはType-Ⅱ（以下TⅡ）と呼ばれる、時間と伴に緩やかな周波数低下を示す電波が頻出する。TⅡに関する近年の話題として、TⅡの出現が低周波数に及ぶ場合にSEPの放出量が多い現象が発生する傾向があること、TⅡは瞬間的な継続時間が数100msec程度で、且つ、光速に迫るエネルギー粒子の存在を示唆する大きな周波数変化を伴う微細なスペクトルの集合体である可能性が示唆されている。前者はTⅡ放射に関わる粒子 or 条件が太陽からより離れた場所まで存在する場合にSEP量が多い可能性を示唆し、後者はSEP発生に関わる粒子や発生環境・条件の情報が、TⅡの高分解スペクトル観測から得られる可能性を示唆する。また、TⅡはSEPに先んじて地球に到達するため、前者は、TⅡの出現周波数幅の把握が、規模の大きい、即ち危険度の高いSEP現象の早期検出に役立つ可能性を示すものとして重要である。こうした背景に鑑み、本研究では、SEP現象と関連を持つTⅡの特徴の精査からTⅡ・SEP現象の発生環境・条件の考察を行い、更にはTⅡ検出に基づくSEP現象の早期発生予測の道筋を探ることも目的とする。

[研究方法] ①太陽電波の高分解・広周波数帯域観測を行い得る地上システムを構築し、TⅡの広帯域微細構造の検出を目指す。次にTⅡ微細構造およびSEP現象との照合解析から、②SEP現象と関連を持つTⅡの特徴の精査 を行う。また、③他の観測から得られる多波長の太陽活動現象イメージ等との比較や、CME の数値計算等との比較に基づき、②で同定したTⅡ・SEP 現象の発生環境・条件の導出 を目指す。更に、宇宙災害科学面でも重要な、④TⅡの観測に基づくSEP 現象の早期発生予測に向けたアルゴリズムの検討 も予定する。

[研究の現況・課題] 研究初年度(2 年計画)の本年度の研究の現況と次年度への課題は以下の通りである。

- 研究方法-①: 太陽電波の高分解・広周波数帯域観測を行い得る地上システムを構築に取り組んだ。銀河背景雑音強度が増し S/N が低下する低周波数(HF)帯での太陽電波観測を実施してゆくため、既存の HF～VHF 帯観測装置のアンテナを増設し感度を上げることとし、増設アンテナ一基の設置を開始した。また、TⅡの高分解スペクトル観測を可能とする高速 A/D 装置を導入した。これらの既存装置への統合は次年度課題である。
- 研究方法-②: 本年度、日本から可観測時間帯に発生した SEP 現象と、本グループ既存の HF～UHF 帯電波観測装置および NASA の WIND 衛星の LF～MH 帯電波受信装置により得られた太陽電波スペクトルの比較解析を行った。この結果、SEP 現象は、既存の HF～UHF 帯電波観測装置では TⅡが検出されなかったものの、WIND 衛星では TⅡが検出されたイベントで発生していたことが確認された。この結果は、地上観測では検出が困難な MF 帯以下、または、既存装置では検出出来ない強度レベルの HF 帯 TⅡに伴って SEP が出現した可能性を示唆する。研究目的の一つである、SEP 現象の早期発生予測に向けた取組では、即時検出の可能性のある地上観測装置での TⅡ検出が好ましいため、既存装置への増設アンテナの統合を進めて高感度化し、SEP 関連 TⅡの周波数特性を確認してゆくことは次年度課題である。
- 研究方法-③、④: 本グループの今までの太陽電波観測で得られたデータ解析から TⅡの一般的な特徴の解析を進め、微細スペクトル構造はTⅡの基本構造である可能性を示した。SEP と微細構造との関連性の考察、および、TⅡの観測に基づく SEP 現象の早期発生予測に向けたアルゴリズムの検討は次年度課題である。

[成果発表等]

- 研究会発表等: 第 138 回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会(2015 年 11 月@東京)、1st PSTEP Internat'l Symp. (2016 年 1 月@名古屋)、太陽研究者連絡会シンポジウム(2016 年 2 月@東京)、Internat'l GEMSIS and ASINACTR-G2602 Workshop (2016 年 3 月@名古屋)
- 学位論文: 柏木 啓良（修士、東北大学）

（別紙様式8-2）

衛星航法の航空利用に対するプラズマバブルの影響評価とその軽減策に関する研究

Evaluation of plasma bubble impacts on aviation use of GNSS and their mitigation

齋藤 享，国立研究開発法人電子航法研究所・航法システム領域
共同研究者：吉原 貴之、坂井 丈泰、星野尾 一明（電子航法研究所・航法システム領域）、大塚 雄一（名古屋大学太陽地球環境研究所）

研究の目的

GPS などの衛星航法において、電離圏は最大の測位誤差要因である。近年では衛星航法の航空利用が国際的な方針として進められており、電離圏による誤差軽減の重要性が高まってきている。極めて高い安全性が要求される航空利用の分野においては、電離圏擾乱の特性を適切に反映した技術開発が求められる。　低磁気緯度地域における衛星航法の航空利用における特徴的な障害は、プラズマバブルに伴う電離圏全電子数の急激な空間変化と、数 100m スケールの電離圏不規則構造によるシンチレーションである。衛星航法の航空利用において用いられるディファレンシャル GNSS システムは、位置が既知の基準局の観測値を用いた補正を基礎としており、電離圏全電子数の空間勾配は直接補正誤差につながるため、基準局側で電離圏の状態を監視し、電離圏全電子数空間勾配の影響を受けている恐れのある衛星を排除することが求められる。シンチレーションは、信号追尾外れを引き起こし、使用可能衛星数の減少による測位精度の劣化を招く。実用システムとして安全性と稼働率を両立させるためには、(1) プラズマバブルに伴う電離圏全電子数空間勾配の特性（想定すべき最大全電子数勾配、発生頻度、プラズマバブル構造との詳細な対応関係等）を定量的に表す「電離圏脅威モデル」の構築、(2) 効率的な電離圏全電子数空間勾配の検出手法の開発、(3) シンチレーションの発生特性の定量化が必要となる。電離圏擾乱がディファレンシャル GNSS システムに与える影響については欧米が位置する磁気中高緯度においては多くの研究がなされているが、磁気低緯度については未だ完成度の高いものは得られていない。

本研究では、2010～2012 年度の間「プラズマバブルに伴う電離圏不規則構造の衛星航法に対する影響とその発生の日々変動に関する研究」として行われてきた、電離圏全電子数空間勾配と GPS 信号の電離圏シンチレーションの観測、及び 2014 年に石垣島に移設された大気光全天イメージャによるプラズマバブル撮像観測に加え、電子航法研究所が名大、京大等と協力して東南アジア地域で行ってきた電離圏全電子数勾配観測（タイ・バンコク（2011 年 7 月～）、インドネシア・京大赤道大気レーダー周辺（2012 年 10 月～））を継続的に行い、これまでに蓄積されてきた観測・解析データに基づいて上記 3 項目を達成する。

現在、ICAO においては地上型衛星航法補強システム(Ground-based Augmentation

System: GBAS)と呼ばれる航空機の着陸精密進入誘導装置について、カテゴリーIII と呼ばれる最も視程の悪い条件下においても着陸誘導を可能とする GBAS の国際技術標準案の策定を行っている。電子航法研究所では特に低緯度電離圏擾乱への対策を主導しており、国際標準案を検証するためのプロトタイプが 2013 年 2 月に新石垣空港に設置されている。このプロトタイプには、これまでの石垣島における観測データに基づいて開発された電離圏全電子数空間勾配の検出アルゴリズムが実装されており、本研究で得られる GNSS 観測データ及びイメージャ観測データを用いて性能の検証が可能である。これらの研究の結果得られる知見を、ICAO 等の国際機関における技術標準の策定に反映され、将来の航空航法の高度利用を可能とするために役立てる。

近年では、国際民間航空機関(ICAO)アジア太平洋地域航空航法計画実施地域グループ(APANPIRG)では、本研究代表者が議長を務める低緯度電離圏擾乱の衛星航法に対する影響の特性解析を目的としたタスクフォース(Ionosphereic Studies Task Force: ISTF)を設置するなど、低緯度電離圏擾乱の衛星航法に対する重要性の認識が広がってきているところである。本研究は実際のニーズに応えつつ物理機構の解明への貢献を目指すものであり、VarSITI、ISWI 等が目指す宇宙天気に関係した研究として大変ふさわしい。本研究は、プラズマバブル発生メカニズムの解明という観点から、プロジェクト 2 の目的の一つである電離大気・中性大気相互作用の研究にも大きく貢献する

方法

本研究では、磁気低緯度に位置する石垣島に電子航法研究所が設置した電離圏稠密観測網と、名古屋大学との協力により設置されている大気光全天イメージャを中心とした観測を行う。

石垣島には互いに約 400m から 1km の間隔を置いた 4 ヶ所に GPS シンチレーション受信機と 2 周波 GPS 受信機が設置されており、それぞれ 2005 年、2007 年から電離圏全電子数の局所勾配と電離圏不規則構造の空間変動の観測を行っている。本受信機群を GPS に加えて準天頂衛星(QZSS)、GLONASS、Galileo、衛星型衛星航法補強システムの静止衛星(SBAS GEO)などの多周波信号に対応したものに置き換える。これにより、観測密度を飛躍的に増大させてより信頼度の高い解析を行うとともに、将来の第 2 の民生用信号である L5 信号を用いた多周波観測を行い、電離圏不規則構造の空間規模による影響の違いを明らかにする。タイ、インドネシアでは、それぞれ 12km、9km の間隔で 2 周波 GPS 受信機が設置されており、プラズマバブルの発生頻度がより東南アジア地域での電離圏全電子数勾配の観測を行う。

大気光全天イメージャについては、2013 年まで設置されていた与那国島から 2014 年に石垣島移転し観測を再開した。これにより大気光全天イメージャと GNSS 受信機との同一視野観測を実現し、プラズマバブルの大規模構造と電離圏全電子数空間変動の精密比較を行う。

これらの観測で得られるデータを、電子航法研究所で開発中のカテゴリーIII GBAS のプロトタイプにおける電離圏擾乱検出機能に与え、その検出性能を検討する。さらに、電子航法研究所の実験用航空機に GNSS 受信機を搭載して飛行実験を行い、石垣島における地上 GNSS・イメージャ観測との同時観測を行い、GBAS における電離圏擾乱回避策の実際の航空機環境における有効性の評価を行う。

本観測を継続的に行い、2005 年以降連続的に取得されているデータの解析を行い、プラズマバブルに代表される電離圏擾乱の発生予測に向けた電離圏擾乱の発生に関わる物理機構の解明を行う。

結果及び考察

2014 年 3 月及び 9 月に実施した電子航法研究所で開発し新石垣空港に設置したカテゴリーIII GBAS プロトタイプ装置と大気光全天イメージャ、電離圏稠密観測装置との共同実験 [1]の結果を解析し、プラズマバブル発生中においても測位誤差が保護レベル（$1\text{-}10^{-9}$以上の確率で保証される誤差範囲）を超える事例がなく安全性が保たれていたことを確認した(表 1) [2]。これは現在 ICAO において検証が進められている国際標準案の妥当性を支持する結果であり、ICAO 航法システムパネルに報告され、国際標準案の検証資料として取り込まれることとなった [3]。しかしながら、発達したプラズマバブルの発生時には、シンチレーションなどにより GBAS が使用できなくなる時間帯が発生することも確認された(図 1,2)。これは安全性には問題ないものの、実用上の問題（可用性の減少）である。このような時間帯には、GPS に加えて複数の衛星系を用い、プラズマバブルの影響を受けない衛星の数を増やすことにより、GBAS が使用できない時間帯を減少させることができると期待できる。今後は大気光全天イメージャ、複数衛星系に対応した GNSS 観測網を用いて、プラズマバブルに強い GBAS を開発していく予定である。

表 1. 電離圏擾乱（プラズマバブル）の発生と GBAS 性能

Flight	電離圏状態	95% 垂直誤差 [m]	可用率 [%]	誤差>保護レベル [events]
Day, 15/09/2014	Quiet	0.85	98.88	0
Night, 15/09/2014	Disturbed	1.62	34.26	0
Day, 16/09/2014	Quiet	1.41	98.57	0
Night, 16/09/2014	Quiet	0.83	99.81	0
Day, 17/09/2014	Quiet	0.49	99.88	0
Night, 19/09/2014	Quiet	1.10	98.52	0
Night, 23/09/2014	Disturbed	0.61	99.32	0
Iono. Quiet	Quiet	1.17	99.12	0
Iono Disturbed	Disturbed	1.10	69.50	0
All	All	1.15	88.11	0

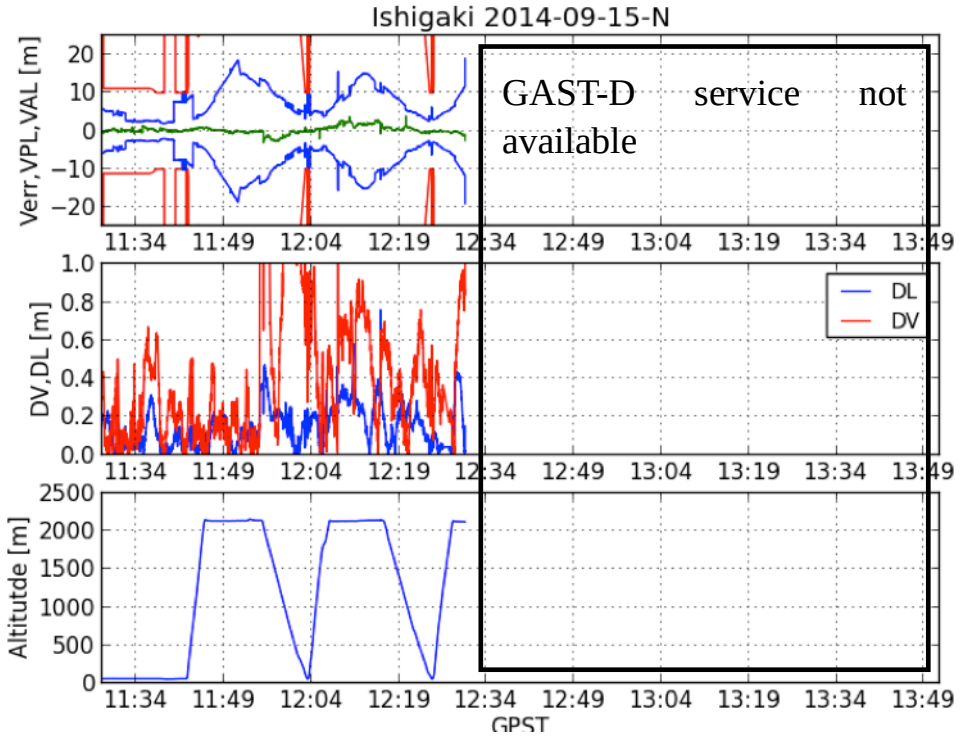


図 1. 2014 年 9 月 15 日夜間の飛行実験結果。上: GBAS 測位の垂直位置誤差(緑)、垂直保護レベル(1-10^{-7}の確度で保証する誤差範囲、青)、及び垂直警報限界(保護レベルがこれ以上になると GBAS が使用不可となる閾値、赤)、中：DSIGMA モニタの出力値（赤：垂直方向成分、青：水平方向成分)、下：航空機の飛行高度。12:30 GPST 以降、プラズマバブルによるシンチレーション等のため GBAS 利用が不可となった。

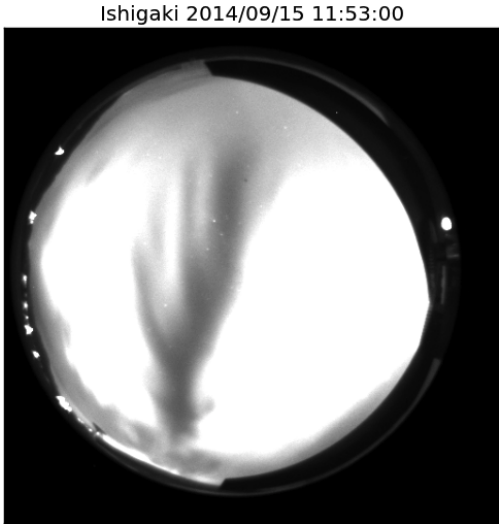


図 2．2014 年 9 月 15 日 11:53UT に観測された、630.0nm 大気光におけるプラズマバブル。本図では、上下左右が北南東西に対応する。南北によく発達したプラズマバブルが東方向に移動していくことが前後の画像から分かる。

タイにおいては、バンコクに設置した 3 台の GPS 受信機を用いてプラズマバブルに伴う電離圏全電子数空間勾配の観測と解析を行った。解析においては、2 周波を用いて全電子数を受信機ごとに導出しその差から空間勾配を求める手法（周波数間バイアスは静穏時の全電

子数差を 0 と仮定して除去）と、1 周波のみを用いて 2 受信機間の全電子数の差を求める手法 [4]の 2 つの手法を用いた。前者の解析はタイ・モンクット王工科大学ラカバン(KMITL)を中心に行い、2011 年 9～10 月のプラズマバブル発生季の特性を求め、L1 周波数の遅延量に換算して最大 120mm/km 程度という値を得た [5]。後者の方法については、電子航法研究所とタイ・AEROTHAI (タイにおいて航空管制を受け持つ公団)を中心に同期間の解析を行い、最大 140mm/km という、前者を用いた結果とほぼ同等の結果を得た。この結果により、後者の手法の正当性がさらに検証されることとなり、より精密な全電子数空間変動の解析が可能となった。2011 年以降蓄積されているデータ解析を進め、全電子数空間変動の特性を明らかにするとともに、ICAO ISTF に報告する予定である。

インドネシアにおいては、インドネシア航空宇宙庁(LAPAN)と協力し、全電子数空間変動の観測と解析を進める他、京都大学の赤道大気レーダー、MU レーダー等に代表される VHF レーダーによるプラズマバブルの検出を GBAS の運用に生かす技術の検証を行った。これまでに開発した GBAS 及び VHF レーダーによるプラズマバブル検出のシミュレーションコードを用い、インドネシア周辺の空港を仮定して VHF レーダーの設置位置とプラズマバブルの未検出率、測位残留誤差の評価を行った [6]。

この他、与那国島において過去に行われた大気光全天イメージャによる夜間の中規模電離圏擾乱(MSTID)の観測データを用い、MSTID 中の沿磁力線プラズマ不規則構造の特性を明らかにする [7]など、地球物理学的な成果も得られている。

ま と め

これまでに整備した石垣島、タイ、インドネシアの観測網を活用し、衛星航法におけるプラズマバブルに代表される低緯度電離圏擾乱の影響とその回避法の研究を行った。世界で唯一の、GNSS 受信機網と大気光全天イメージャの観測下にある GBAS 装置を用いた実験により、これまでに ICAO において策定され検証が進められてきた GBAS における電離圏異常の回避法が妥当であることを示すことができた。また、タイにおける観測データを用いて電離圏擾乱に伴う全電子数空間変動の特性を明らかにした。これらの結果は国際標準に反映されるなど、社会的に活用されている。さらに、プラズマバブルの物理的知見に基づいた電離圏擾乱の影響の回避法の効果をシミュレーションにより明らかにすることができた。これは、観測科学と航空工学の融合により初めて可能になったものであり、今後の発展が期待できる。

しかしながら、プラズマバブルの発生時には、GBAS の安全性は保たれるものの可用性が低下することが分かっている。本研究の成果に基づき、今後は複数衛星系、複数周波数を用いて、電離圏擾乱時の GNSS 利用可能生の拡大につながる研究開発を行っていく予定である。

加えて、得られたデータは工学的利用のみならず、電離圏に存在する様々な擾乱現象の物理機構の解明にも役立てる予定である。

発表成果

1. 齋藤他, “GAST-D flight tests at New Ishigaki Airport”, Working Paper 8, ICAO Navigation Systems Panel Meeting, April 2015.
2. 齋藤他, “GAST-D flight experiment results with disturbed and quiet ionospheric conditions”, Proceedings of Institute of Navigation GNSS+ 2015, 2015.
3. 齋藤他, “GAST-D flight test results at Ishigaki, Japan”, Working Paper 13, ICAO Navigation Systems Panel Meeting, December 2015.
4. 齋藤他, “Characteristics of spatial gradient of ionospheric TEC assoicated with plasma bubbles and its impact on GNSS”, JPGU 2015, May 2015.
5. Rungraengwajiake 他, Ionospheric delay gradient monitoring for GBAS by GPS stations near Suvarnabhumi airport, Thailand, Radio Sci., 10.1002/2015RS005738, 2015.
6. Supriadi, S. and S. Saito, Simulation study of plasma bubble detection by VHF radar for GBAS, The 4th ENRI International Workshop on ATM/CNS, Tokyo, November 2015.
7. Lin 他（齋藤共著）, Coordinated observations of F region 3-m field-aligned plasma irregularities associated with medium-scale travelling ionospheric disturbances, J. Geophys. Res., in press.

５．共同研究（奨励）目次詳細

（所属・職名は平成28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
北原　理弘	東北大学	大学院理学研究科 地球物理学専攻	Ｄ２	波動粒子相互作用観測装置を用いたホイッスラーモードコーラス放射による相対論的電子のピッチ角散乱の直接観測手法の検討	319

波動粒子相互作用観測装置を用いたホイッスラーモードコーラス放射による相対論的電子のピッチ角散乱の直接観測手法の検討

Study of direct measurement of pitch angle scattering of relativistic electrons caused by whistler-mode chorus

北原　理弘（東北大学大学院理学研究科・博士２年）
加藤　雄人（東北大学大学院理学研究科・准教授）

【研究の背景および目的】

ディフューズオーロラを引き起こす降り込み粒子は、地球磁気圏内のプラズマ波動による波動粒子相互作用によって粒子がピッチ角散乱された結果であると考えられている。特に脈動オーロラに対応する電子の降り込みはホイッスラーモードコーラス放射による波動粒子相互作用が[e.g., Nishimura et al., 2010]、プロトンオーロラを引き起こす降り込み粒子に対しては EMIC 波動による波動粒子相互作用が関連していることが観測的に示唆されている[e.g., Yahnina et al., 2007]。これらの波動粒子相互作用を直接的に実証するため、2016 年度に我が国より ERG 衛星が打ち上げられる予定である。ERG 衛星には、波動粒子相互作用解析装置(WPIA)[Fukuhara et al., 2009; Miyoshi et al., 2012]が世界で初めて搭載される予定であり、波動粒子相互作用の直接的かつ定量的な観測が期待されている。本研究では、この WPIA によって観測されるべき物理量および解析手法を提案・確立することを目的とする。具体的には、現在我々が提案している解析手法を、シミュレーション結果および実際の衛星観測によって得られたデータへ適用することにより、その手法の有用性を検証する。

【研究結果】

ア) ホイッスラーモードコーラス放射の発生過程を再現するプラズマ粒子シミュレーション[e.g., Katoh and Omura, 2007]を用いて、シミュレーション空間中においてプラズマ波動電磁場とプラズマ粒子の疑似計測を行い、得られた疑似計測結果の解析に我々の提案する手法を適用した。プラズマ粒子の速度分布関数の時間変動を計測するだけでは、空間的にどの領域でどのエネルギー帯の粒子がピッチ角散乱されるかを判断することは困難であったが、提案する手法によって相互作用領域の切り分け、および粒子のエネルギー帯の切り分けが可能となった。この結果は国内外での学会・研究会（研究成果1、4、5、6、8）において発表した。またこの結果に関して Journal of Geophysical Research 誌へ論文投稿済みであり、現在査読中である。

イ) 我々の提案する解析手法が、より一般のプラズマ波動と粒子の相互作用に対して汎用的に適用できうることを示すため、THEMIS 衛星で2010年9月9日に観測された EMIC 波動イベントの解析を行った。初期結果として、磁気赤道付近で励起した EMIC 波動がイオンのピッチ角散乱を引き起こしていることを直接的に示すことに成功した。これらの結果はプロトンのピッチ角分布からのみでは得られない情報であり、我々の提案する解析手法の重要性が示唆される。また所内研究員の小路真史博士の実施された EMIC 波動の励起シミュレーション[Shoji and Omura, 2013]の解析結果と比較することにより、観測されたイオンピッチ角散乱の特性がシミュレーション結果と一致することを確認した。これらの結果は研究成果2、3、10において発表した。

ウ） さらに、解析対象となるピッチ角散乱そのものの物理素過程を明らかにすることを目的としてテスト粒子シミュレーションを行い、ロスコーン付近の粒子が波動によって特異なピッチ角散乱を受けることを明らかにした。具体的には、大振幅なホイッスラーモード波動によって引き起こされる電子のピッチ角散乱は、大気へ降り込みにくい方向へ散乱される傾向にあることを示した。これらの初期結果を研究成果7、9において報告した。これらの特異な散乱特性が、WPIA の計測結果にどのような影響をもたらすかは、今後の検討課題として残されている。

【研究成果等】

2015年度には、国内外の学会および研究集会において、下記10件の成果発表を実施した。

1. ○M. Kitahara, Y. Katoh, A method for direct measurements of wave-particle interactions in the Earth's inner magnetosphere, JpGU Meeting 2015, PEM08-03, Makuhari Messe, 2015 年 5 月，口頭発表

2. ○北原 理弘，加藤 雄人，小路 真史, THEMIS 衛星データを用いた EMIC による高エネルギーイオンピッチ角散乱の直接観測手法，第 138 回地球電磁気・地球惑星圏学会総講演会, R010-20，東京大学本郷キャンパス, 2015 年 10 月，口頭発表

3. ○小路真史, ○北原理弘, THEMIS 衛星データを利用した WPIA 解析の実例，第7回 ERG サイエンス会議，宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, 2015 年 11 月，口頭発表（2名による共同発表）

4. ○M. Kitahara, Y. Katoh, A method for direct measurement of interactions between whistler-mode chorus emissions and energetic electrons, ISAS Workshop: Magnetospheric Plasmas 2015, P-8, Tokyo Institute of Technology, Dec., 2015, Poster

5. ○M. Kitahara, Y. Katoh, Wave-Particle Interaction Analyzer for the Pitch Angle Scattering of Electrons by Whistler-mode Chorus Emissions, AGU Fall Meeting 2015, SM21A-2493, San Francisco, Dec., 2015, Poster

6. ○M. Kitahara, Y. Katoh, Wave-Particle Interaction Analyzer for interaction between whistler-mode chorus emissions and energetic electrons, 1st PSTEP International Symposium, P-19, Nagoya University, Jan., 2016, Poster

7. ○北原 理弘，加藤 雄人，ホイッスラーモードコーラス放射による電子ピッチ角散乱の定量的評価，脈動ローロラ研究集会，名古屋大学, 2016 年 3 月，口頭発表

8. ○北原 理弘，加藤 雄人，宇宙空間プラズマ中における波動粒子相互作用の直接観測手法の検討，日本天文学会 2016 年春季年会，首都大学東京南大沢キャンパス, 2016 年 3 月，ポスター発表

9. ○M. Kitahara, Y. Katoh, Wave-Particle Interaction Analyzer for Detection of Nonlinear Pitch Angle Scattering, International GEMSIS and ASINACTR-G2602 Workshop, Nagoya Univ., Mar., 2016, Poster

10. ○北原 理弘，加藤 雄人，小路真史, THEMIS 衛星観測に基づく EMIC によるプロトンピッチ角散乱の直接観測，内部磁気圏研究集会，名古屋大学, 2016 年 3 月，口頭発表

６.共同研究（国際）目次詳細

（所属・職名は平成28年3月現在）
(Affiliation and Department are correct as of March 31, 2016)

研究代表者 Principal Investigator	所属機関 Affiliation	所属部局 Department	職名 Position	研究課題名 Project Title	頁 Page
Viswanathan Lakshmi Narayanan	Indian Institute of Science Education and Research Mohali	Earth and Environmental Sciences	INSPIRE Faculty (Assistant Professor level)	Study on the role of thermospheric winds in the formation and evolution of electrified medium-scale traveling ionospheric disturbances	321
Tulasiram Sudarsanam	Indian Institute of Geomagnetism	Upper Atmospheric Science Division	Reader	Active role of atmospheric wave forces and thermospheric winds on equatorial and low-latitude electrodynamics leading to the evolution of Equatorial Plasma Bubbles (EPBs)	324
Guozhu Li	Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences (IGGCAS)	Key Laboratory of Earth and Planetary Physics	Associate Prof.	The occurrence and dynamics of equatorial spread-F with the Kototabang and Sanya radars	326
Seiji Yashiro	The Catholic University of America	Physics	Research Associate	Propagations of Coronal Mass Ejections and Solar Wind Speeds obtained by the IPS observation	327
Bernard Jackson	University of California, San Diego	Center for Astrophysics and Space Sciences	Research Scientist	A Determination of Bz from Closed Photospheric Magnetic Fields	329

(Form 14)

Research Summary Report

Project Title: **Study on the role of thermospheric winds in the formation and evolution of electrified medium-scale traveling ionospheric disturbances**

Principal Investigator (Name, Affiliation, e-mail address):
Dr. Viswanathan Lakshmi Narayanan,
Indian Institute of Science Education and Research Mohali, India
narayananvlwins@gmail.com, narayananvl@iisermohali.ac.in

Research summary including list of team members, stay periods, and list of publications

Introduction

The main aim of the proposed work is to understand the role of thermospheric winds in the evolution of nighttime electrified medium-scale traveling ionospheric disturbances (EMSTIDs). EMSTIDs are electrified structures that appear as geomagnetically conjugate features. The features are believed to be caused in the mid-latitude F-region ionosphere due to the Perkins instability process. Nevertheless, due to the slow growth rate of the process it is believed that coupling between the E and F regions in the presence of sporadic E is necessary to their formation. However, the relative importance of E and F region processes are not well understood. In particular, the role of thermospheric winds in the evolution of EMSTIDs need to be understood in detail to ascertain the control of the F-region. Perkins instability is favored when the wind directions are equator-eastwards. We proposed to utilize thermospheric winds measured using Fabry-Perot interferometer (FPI) observations of OI 630 nm emissions at Shigaraki, Japan in the northern hemisphere and Darwin, Australia in the southern hemisphere. All-sky imagers are in operation at the sites Shigaraki and Sata in Japan and Darwin. A large portion of the area covered by the field of view of imagers at Sata and Darwin are geomagnetically conjugate. The plan is to identify the EMSTIDs in the images and compare them with wind variations in both the hemispheres. Additionally, we proposed to study the cause of disappearance of EMSTIDs when they reach lower latitudes in the pacific sector based on data from Halaekala, Hawaii. In an earlier study (Narayanan et al., J. Geophys. Res., 2014), we found from all-sky imaging observations over Yonaguni that EMSTIDs often disappear when poleward propagating intensity enhancements interact with them.

The **team members** involved in this work are **Dr. Viswanathan Lakshmi Narayanan, Prof. Kazuo Shiokawa and Dr. Yuichi Otsuka.** Dr. V. L. Narayanan visited ISEE, Nagoya

University during the **period of 9 January to 30 March 2016**. A preliminary part of the work was done before the arrival of Dr. V. L. Narayanan in Japan. The findings of the work and future plans are discussed below.

Findings

We checked database of airglow imaging observations and FPI wind estimations for five years from 2011 to 2015. We could identify only 11 nights of simultaneous data between all-sky imaging at Sata and Darwin and wind estimations from Shigaraki and Darwin. We assume that the short spatial scale variations in the thermospheric winds are negligible and hence the winds over Sata are similar to that measured over Shigaraki situated few 100s of kms away from Sata. Among the 11 days EMSTIDs formed on 4 days. Winds on both the hemispheres are analyzed first on the days when no EMSTIDs formed. The results indicated that there are some cases when the winds are favorable for operation of Perkins instability process while no EMSTIDs were observed. This indicates that there may be other controlling factors apart from thermospheric winds.

Further, we made detailed comparison of the winds and conjugate appearance of EMSTIDs on the 4 days. We mapped the Darwin (or Sata) images to the other hemisphere along the geomagnetic field lines based on IGRF 12 model and compared the intensity of the structures and strengths of the winds. The structures were mostly conjugate in nature. However interesting finding was that the amplitudes of the features are often very different between the hemispheres. One of the cases indicated that westward turning of zonal thermospheric wind in the northern hemisphere did not produce any noticeable decrease in the strength of EMSTIDs. On some occasions the EMSTIDs appeared over Darwin even when the wind becomes weakly poleward in that region. It may be noted that equator-westward or pole-eastward winds are non-favorable for the Perkins process. These observations clearly reveal for the first time that EMSTID structures does not vary with local thermospheric wind conditions. Other factors are in operation.

We also analyzed the cause of disappearance of EMSTIDs over Halaekala, Hawaii. We found that EMSTIDs often disappear when poleward propagating intensity features interact with EMSTIDs. The cases identified over Halaekala are strikingly similar to the observations made over Yonaguni. In addition, we could identify one similar case from observations over Panhala in the Indian sector. Further this observation shows that EMSTIDs can extend till 5^{o}N dip latitudes. These observations clarifies that EMSTIDs disappear similarly in different longitudinal sectors when the poleward propagating perturbations are met with. The timing of the occurrence of poleward propagating disturbances are after midnight hours indicating that probably they are associated with low latitude thermospheric phenomenon of midnight pressure bulge (or midnight temperature maximum).

The results are yet to be published in the reputed journals. As of now two abstracts listed below are submitted to the International conferences. Writing of the manuscripts are underway and we hope to complete them soon.

1. V. L. Narayanan, K. Shiokawa, Y. Otsuka, D. Neudegg, M. Yamamoto, Differences between electrified medium-scale traveling ionospheric disturbances observed simultaneously in geomagnetic conjugate sites at Sata and Darwin, submitted to First VarSITI general symposium to be held at Albena, Bulgaria during 6 – 10 June 2016.
2. V. L. Narayanan, K. Shiokawa, Y. Otsuka, S. Gurubaran, S. Saito, A. Saito, T. Sakanoi, Cause of disappearance of nighttime electrified medium-scale traveling ionospheric disturbances approaching lower latitudes, submitted to 41st COSPAR Scientific Assembly to be held at Istanbul, Turkey during 30 July – 7 August 2016.

Future work

The foremost priority in the future plan is to publish the obtained results in the reputed international journals. On the other hand, the observations from the hemispheres clearly shows that the winds over the same hemisphere does not control EMSTIDs. However, since these structures are geomagnetically conjugate, we are planning to estimate the Pedersen conductivity weighted winds in both the hemispheres and to identify the overall resultant thermospheric wind's role in evolution of EMSTIDs. Further, since the current observations indicate that probably EMSTIDs are not controlled by thermospheric winds, we plan to utilize the ionosonde based measurements to identify importance of other processes like sporadic E. Ionosondes operating at Darwin and Yamagawa, Japan (which is situated approximately 20 km away from Sata) are planned to be utilized for this work.

(Form 14)

Research Summary Report

Project Title: *Active role of atmospheric wave forces and thermospheric winds on equatorial and low-latitude electrodynamics leading to the evolution of Equatorial Plasma Bubbles (EPBs)*

Principal Investigator (Name, Affiliation, e-mail address):

Tulasiram Sudarsanam

Upper Atmospheric Science Division, Indian Institute of Geomagnetism, India

Email: tulasi@iigs.iigm.res.in, s.tulasiram@gmail.com

Research summary including list of team members, stay periods, and list of publications

List of team members

Dr. S. Tulasiram, Reader, Indian Institute of Geomagnetism (Principal Investigator)

Mr. Ajith K. K., Senior Research Fellow, Indian Institute of Geomagnetism (Member)

Dr. M. Yamamoto, Professor, RISH, Kyoto University (Collaborator)

Stay Period

The PI, Dr. S. Tulasiram has visited Nagoya University during the period from 22nd May – 25th Jul 2015 and conducted joint research investigations along with the host professor Dr. Yuichi Otsuka and his group at Institute of Earth-Space Environment Research (formerly known as STEL) at Nagoya University under STEL international joint research program – 2015.

Research Summary

The joint investigations under this project are mainly focused on the development of Equatorial Plasma Bubbles (EPBs) over Indian and Indonesian low-latitude sectors and the responsible factors using the multi-instrument observations from Equatorial Atmosphere Radar (EAR), SEALION Ionosondes, and satellite in-situ observations along with model simulations. The longitudinal confinement of intense EPBs developed over Indian dusk-sector in contrast to Indonesian sector due to unusual dusk-side enhancement of penetration electric field response during St.Patrick's day storm were investigated and reported in JGR-Space Physics. The altitude development of EPBs and their vertical rise velocities were estimated during both post-sunset and post-midnight periods by observing the spatial and temporal evolution of EPBs from multi-beam EAR observations. The important results were published in GRL. Further, the processes leading to the upwelling of equatorial ionosphere and the generation of fresh EPBs during the post-midnight hours of June solstices, particularly, during low-solar activity period were investigated. The EAR observations in conjunction with SEALION ionosondes and SAMI2 model simulations were employed to understand the role of RT instability on the development of post-midnight summer time EPBs.

During his visit, Dr. Tulasiram has also participated in JPGU-2015 meeting at Makuhari, Tokyo during 22 – 25th May 2015 and presented a paper entitled "Long term observations of Equatorial Plasma Bubbles (EPBs) from EAR – New Aspects".

List of publications:

1. S Tulasi Ram, T Yokoyama, Y Otsuka, K Shiokawa, S Sripathi, B Veenadhari, R Heelis, K. K. Ajith, VS Gowtam, S Gurubaran, P Supnithi, M Le Huy (2016), Duskside enhancement of equatorial zonal electric field response to convection electric fields during the St. Patrick's Day storm on 17 March 2015, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 120, doi:10.1002/2015JA021932.
2. Dao, T., Y. Otsuka, K. Shiokawa, S. Tulasi Ram, and M. Yamamoto(2016), Altitude development of postmidnight F region field-aligned irregularities observed using Equatorial Atmosphere Radar in Indonesia, Geophys. Res. Lett., 43,1015–1022, doi:10.1002/2015GL067432.
3. Ajith K K., S. Tulasi Ram, M. Yamamoto, Y. Otsuka and K. Niranjan, On the fresh development of equatorial plasma bubbles (EPBs) during the post-midnight of June solstices, Manuscript to be submitted to J. Geophys. Res., Space Physics.

(Form 14)

Research Summary Report

Project Title: The Occurrence and Dynamics of Equatorial Spread-F with the Kototabang and Sanya Radars

Principal Investigator:

Name: Guozhu Li

Affiliation: Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences (IGGCAS)

E-mail: gzlee@mail.iggcas.ac.cn

Team Members: Yuichi Otsuka, Mamoru Yamamoto, Lianhuan Hu, and Kangkang Liu

Stay Periods: 28 Sep 2015 – 13 Nov 2015

Publication: Li, G., Y. Otsuka, B. Ning, M. A. Abdu, M. Yamamoto, W. Wan, L. Liu, and P. Abadi, Enhanced ionospheric plasma bubble generation in more active ITCZ, *Geophys. Res. Lett*, 43, doi: 10.1002/2016GL068145, 2016.

Research summary

Using radar multi-beam steering measurements simultaneously conducted at Kototabang and Sanya during September–October of 2012 and 2013, as part of the collaborative project, we investigated the ionospheric plasma bubble generation and its relationship to the atmospheric Intertropical Convergence Zone (ITCZ) in Southeast Asia. We have identified clear difference between bubble generation and occurrence rates over Sanya longitude and obvious difference between bubble generation rates at the two closely located longitudes Kototabang and Sanya. The bubble generation rate over Kototabang was significantly enhanced compared with that over Sanya, whereas the bubble occurrence rates at the two stations were comparable. Meanwhile, the ITCZ in the longitude of Kototabang was more active (with a higher occurrence rate of low outgoing long-wave radiation value) and more closely located to magnetic equator than that in Sanya longitude. Based on earlier theoretical model simulation and satellite in situ observations of similar evening plasma vertical drifts over Kototabang and Sanya longitudes, we surmise that the sunset pre-reversal enhancement of eastward electric field (PRE) was unlikely to cause any difference in the bubble generation rate between the two longitudes. This, however, can be verified further with simultaneous observations of the PRE over the two longitudes on a daily basis in the future. Under the assumption of similar PRE at the two nearby longitudes, the enhanced bubble generation at Kototabang longitude could have been caused by a higher gravity wave (GW) activity associated with the more active ITCZ, where the GWs could provide the seeding source for bubble development. Specifically, under weaker PRE condition, the strength of seeding is expected to play a more important role for initiating the bubble generation. If the PRE associated vortex shear was not strong enough to seed the plasma instability at the longitudes of Kototabang and Sanya, the upward propagating GWs that could be generated more frequently in a more active ITCZ (near Kototabang longitude) might assist the seeding process and thus enhance bubble generation. By differentiating the bubbles generated locally from those drifted from elsewhere, we believe that our results indicate a close relationship between the enhanced bubble generation and active ITCZ.

(Form 14)

Research Summary Report

Project Title: Propagations of Coronal Mass Ejections and Solar Wind Speeds obtained by the IPS observation

Principal Investigator: Seiji Yashiro, The Catholic University of America, seiji.yashiro@nasa.gov

A coronal mass ejection (CME) is an eruption of the atmospheric plasma into interplanetary (IP) space mainly observed by white-light coronagraphs. The Earth-directed CMEs are important for space weather research since they can potentially produce severe geomagnetic storms. The propagation of CMEs in the interplanetary medium is strongly affected by the drag force due to interaction with the solar wind. By including the solar wind speed obtained by the interplanetary scintillation (IPS) observations at the Nagoya University, the role of the drag force was deeply explored. The research was performed by the following steps.

Step 1: The PI made a list of wide CMEs (width ≥60°) using the coronagraph data from LASCO on SOHO. Dr. Akiyama identified their source regions by finding eruptive signatures in full Sun images. The source regions of the wide CMEs during 1996-2013 were identified.

Step 2: On July, 2015, the PI visited the Nagoya University. Drs. Tokumaru, Fujiki, and Iju provived the solar wind speed data obtained by the IPS observations.

Step 3: The PI Investigated the relationships between the solar wind speeds and the CME trajectories near the Sun (< 0.15 AU) observed by SOHO/LASCO, STEREO/COR1, and COR2.

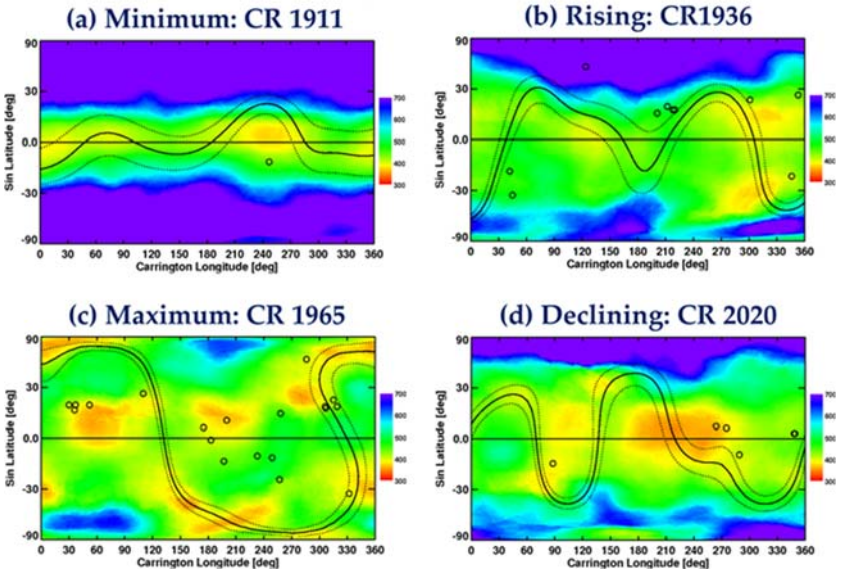


Figure 1 - Solar wind maps obtained by IPS at different phases of solar cycle (a: minimum; b: rising; c: maximum; d: declining). Solid and dotted curves denote the location of the heliospheric current sheet observed by the Wilcox Solar Observatory. Circles show the source locations of wide CMEs.

Figure 1 shows solar wind map obtained by IPS and circles show the source locations of wide CMEs. Because CMEs originate not only from active regions (sunspot) but also from quiet regions (non-sunspot), solar wind speeds above the CME source regions vary from 300 km/s to 700 km/s. Although the CMEs are extended over 60 degrees, we use the average speed derived from the locations within 10 degree from the source positions because the CME trajectories are measured at the CME nose. Fast solar wind originates from coronal holes while slow one is from active regions. Different sources at the Sun produce different solar wind speed. The effect of the solar wind is expected to be different for the CMEs from different regions.

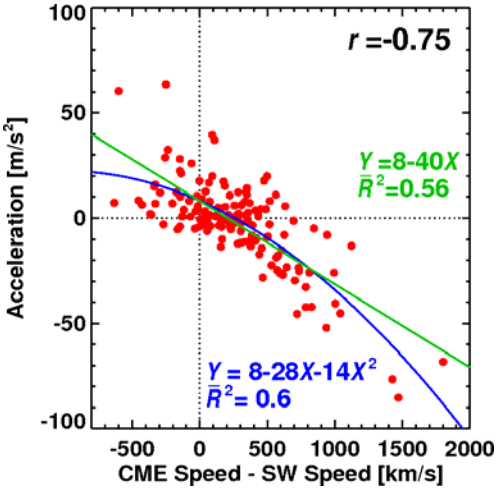


Figure 2 - Acceleration as a function of CME speed with respect to the background SW speed.

The influence of the solar wind (SW) on the propagation of a set of 191 coronal mass ejections (CMEs) near the Sun during the period 1996-2013 was investigated. We considered only CMEs from close to the limb in order to avoid the projection effects. We also considered CMEs with at least 10 height-time measurements in order to avoid the large uncertainty in the acceleration measurements. It was confirmed that the well-known CME-SW relationship that the CMEs propagating faster (slower) than the ambient solar wind are likely to decelerate (accelerate). The correlation between the acceleration and the difference of the CME and the SW speeds is high with a correlation coefficient of -0.75, slightly lower compared to the one for CMEs associated with interplanetary radio bursts. There are many accelerating CMEs in our sample with a speed similar to the ambient solar wind speed. This could be due to selection effect because accelerating CMEs tend to remain visible longer than decelerating ones. We also found that CMEs originating from around the sources of the fast solar wind tend to be faster, indicating that the open magnetic fields above the CME source regions affect the CME propagation.

The obtained results were presented at the AGU Fall meeting held at San Francisco on December 2015 and the PSTEP Conference held at Nagoya, Japan on January 2016.

Project Summary:

A Determination of Bz from Closed Photospheric Magnetic Field

Principal Investigator; Bernard Jackson, University of California, San Diego, bvjackson@ucsd.edu

1. Introduction

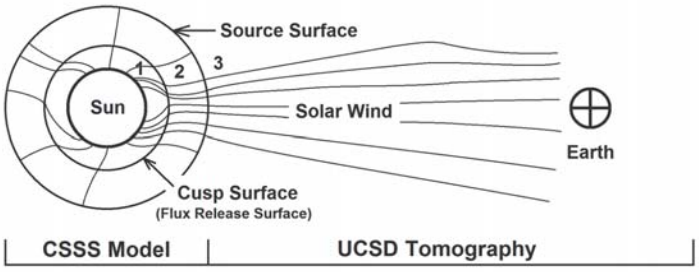


Fig. 1. The CSSS model as used in the UCSD tomography. In the inner region (1), the CSSS model calculates the magnetic field using solar photospheric magnetograms. In the middle region (2), the CSSS model opens the field lines by imposing a horizontal current at the cusp surface. In the outer region (3), the UCSD solar wind model convects the magnetic field outward radially as the source surface rotates below any given heliospheric location expelling magnetic field (from Dunn *et al*., 2005).

We have included magnetic field measurements into the UCSD 3D tomographic analyses since the middle of the last decade (Dunn *et al*., 2005; Jackson *et al*., 2012). This forward-modelling technique uses a Current Sheet Source Surface (CSSS) potential-field model (Zhao and Hoeksema, 1995) extrapolated outward from a source surface near the Sun using the 3D kinematic model from our IPS tomography, and provides a radial magnetic field perpendicular to the tomographic analysis's inner source surface that is then extrapolated upward (forward-modeled) to locations within the 3D matrix by using the volumetric velocities and densities provided by the UCSD IPS tomography (Figure 1). Parameters for the CSSS model are updated as frequently (appropriately) as new data become available, generally with daily updates to magnetic field determinations made near the sub-Earth solar meridian. The potential-field model provides only radial fields and their change at the source surface, but the extrapolation outward from this location into the heliosphere provides both radial and tangential magnetic fields, the latter caused by the rotation of the source surface below any specific location within the 3D volume. Because the velocity changes over time from the kinematic model, this velocity and its change from momentum flux and mass conservation is imposed by the tomography to the magnetic fields that are "frozen in" to the outward-expanding solar wind plasma. For radial and tangential heliographic magnetic fields, and low resolutions, this technique reproduces these magnetic fields *in situ* at the Earth well (Figure 2).

In spite of its great importance in the interactions with Earth's magnetic field, there have been few attempts to provide continuous measurements of the north-south magnetic field extrapolated outward from Sun. Part of the reason for this is that there is no good theory in its explanation other than during CME eruptions. As solar plasma accelerates outward from the Sun, magnetic field lines must lengthen, and as observed in coronagraph images, the bright closed field line structures become open within a few solar radii of the Sun. Open fields that are perpendicular to the solar surface have no way to provide a north-south field component at large distances from the Sun. Another reason no continuous coverage has been made of extrapolated field components is that there have been few good ways to provide an accurate continuous extrapolation from near the solar surface out to 1AU

where these fields can be observed *in situ*. As used in these analyses, the UCSD tomographic analysis allows a good extrapolation outward from near the solar surface outward to 1 AU by enforcing conservation of mass and mass flux from an inner boundary, and interpolating to fit both the remotely-observed IPS data and the near Earth *in-situ* radial velocity and density. The same period used to provide the extrapolation of radial and tangential fields for Carrington rotation 2056 is shown in Figure 3 for densities and velocities. In this analysis, the correlation is obtained using a 10° x 10° latitude and longitude spatial analysis and a half day temporal cadence. Most of the rapid density and velocity changes are reconstructed in these analyses.

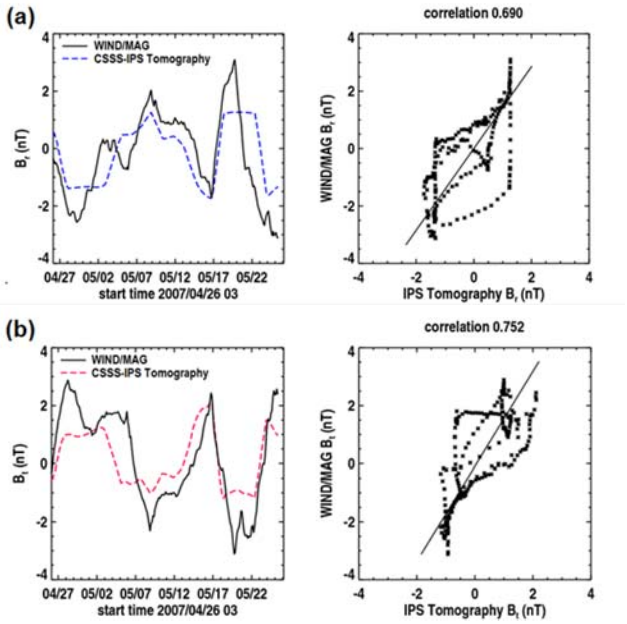


Fig. 2. CSSS modeling extrapolated to Earth using the UCSD kinematic modeling for Carrington rotation 2056 compared with ACE RTN coordinate fields. **(a, b)** The extrapolated CSSS radial field presented at the source surface **extrapolated** to Earth. The panels to the right in (a) and (b) are the Pearson's 'R' correlation of the reconstructed quantities with the WIND *in-situ* measurements for these same intervals.

2.2. A Bn Field Determination

The CSSS model shown in Figures 1 and 2 differs chiefly from the potential field model by the way it uses two spherical surfaces to divide the solar corona into three separate regions, each with unique physical assumptions. The underlying assumption of the CSSS model is that the interaction between solar wind plasma and the magnetic field can be more realistically recreated using three separate regions, instead of one. The inner region is between the photosphere (first surface) and the second spherical surface. This portion of the model comprises the usual potential field model of closed three component fields. Above this is the second or "cusp" surface that divides the inner and middle regions,

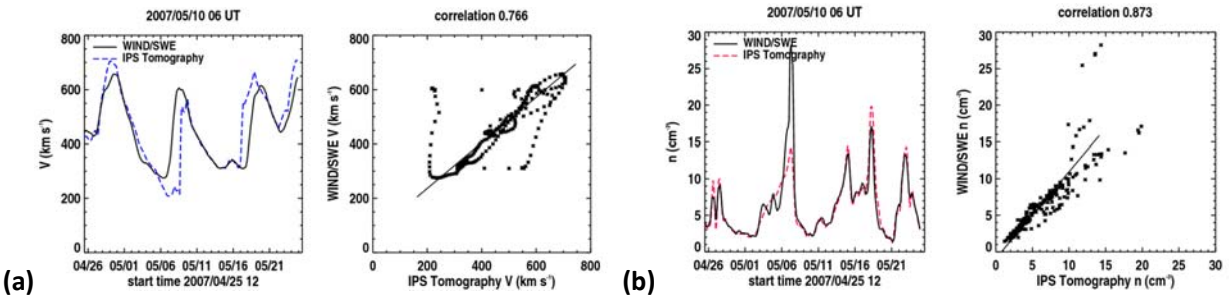


Fig. 3. IPS kinematic model 3D-reconstructed speed **(a)** and density **(b)** for Carrington rotation 2056 from 26 April 2007 to 25 May 2007. A comparison is provided with WIND *in-situ* measurements for the same interval. The WIND measured radial velocities and densities have been averaged with a half-day boxcar filter to provide temporal resolutions commensurate with the half-day IPS reconstructions. The analyses clearly show variable densities present at the cadences observed from most rapidly-varying structures.

and at the location where a horizontal current is imposed, is situated near the observed coronal cusp points. The middle region is between the cusp surface and the third spherical surface. This third or "source surface", that divides the middle and outer regions, is located near the Alfvén critical point. At this location the field component on the source surface is strictly radial.

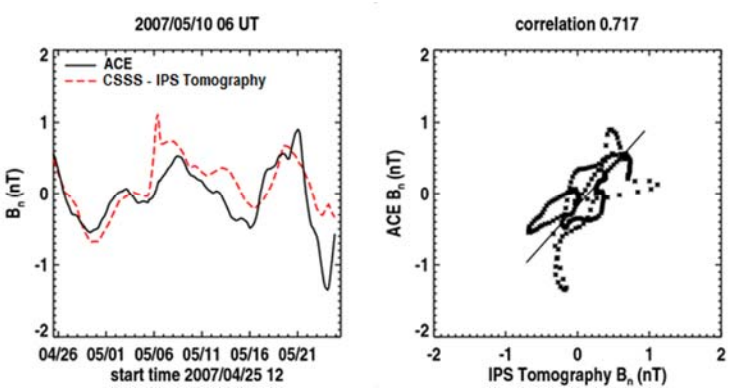


Fig. 4. The closed field normal (north south) component from 1.3 Rs extrapolated to Earth for the same Carrington rotation as shown in Figure 2 and 3.

Inside the cusp surface of the CSSS model, as in the Potential Field Source Surface (PFSS) model, some of the closed fields are loops, and many fields have a non-radial component. In an exploration of whether these closed fields can be observed *in situ*, we have shown that for some Carrington rotations (see, Jackson *et al*., 2015a, b, c, d, e) that a portion of the North-South component field at 1 AU is present in closed-loop fields near the solar surface at solar minimum (Figure 4). More detailed exploration of this has followed these early results, and have shown several interesting effects (Jackson *et al*., 2015f, g, h, 2016a, b, c).

3. Work Accomplished During this Study

At the beginning of this analysis we decided to provide an analysis of the whole period where good magnetograms from GONG and SOLIS existed in order to certify that the effect observed in Figure 4 continued throughout the whole time period, and to also explore the differences in closed fields derived from both the CSSS and PFSS models. With the help of ISEE staff and students we quickly discovered that the **two modeling techniques give nearly identical closed field components in both magnitude and sign.** We then used the magnetic field maps from both SOLIS and GONG, and using a scripted analysis, ran the tomography program sequentially for nearly ten years for all three closed component fields and for the CSSS model run in the same way. These results show that by Carrington rotation, **the closed radial fields give nearly as good positive and negative radial fields by the normal CSSS model extrapolation when compared with *in-situ* measurements from spacecraft near Earth.** The result also show that the tangential (east-west fields), that were never explored thoroughly before, also give a slightly positive correlation when compared with ***in-situ*** **measurements from spacecraft near Earth.** The results for the normal fields are spotty. Sometimes normal fields give positive correlations as in Figure 4, and other times they give negative correlations. The result of these averages **generally do not provide a statistically positive (or negative) result over the whole ten years of the analysis.** Several other very other interesting effects have been discovered.

In one study we mapped the correlation of the amount of flux at the solar surface relative to that measured *in situ* for all three closed field components. In this analysis, **we discovered that a minimum amount of flux escapes from the closed fields in 2008**, or in other words that to date the

process of closed flux release is more efficient at times other than solar minimum (Jackson *et al*., 2015f, g, h, 2016a, b). This effect is observed in all three flux components. This also includes the normal component when the analysis is restricted to those Carrington rotations that have a high positive correlation with *in-situ* measurements. A portion of this work is to be reported in a journal article to Space Weather by Jackson *et al*., (2016c).

Work by two Japanese graduate students associated with this work, that in part has used the tomography program analysis at UCSD, has shown that **the correlation between B_z and $|B_x|$ shows a sinusoidal variation associated approximately with the 11 year solar cycle, and also that an even more significant correlation between B_z and $|B_x|$ exists for solar distances between 0.3 and 0.4 AU in the Helios measurements. Another study finds a significant positive correlation between B_r and B_n** (Nozaki, *et al*., 2016). In yet another study of six magnetic cloud (MC) events during 2006 – 2007 (Nishimura *et al*., 2016) found that **the sign of B_n, extracted from 1.4 R_s (1.2 R_s) agrees best with ACE observations at the pre MC time (at the MC time)** defined as a period three hours before the time of the cloud arrival.

The old way of providing one after the other Carrington rotation maps to explore this effect was cumbersome because it required one run of the tomography program for each component measured. Spurred by the success of using closed fields to accurately map to fields *in situ*, especially for radial fields, a portion of the tomography program has been revised so that in a single run of the program not only can radial fields from regular CSSS model be extrapolated, but so can all three closed field components. The closed radial and tangential fields can be mixed to provide the combinations of both that give the best results measured *in situ*. We also find that for some Carrington rotations, **a combination of both closed and open fields can give a better result *in situ* that either of the two individual extrapolations taken individually.**

Finally, in an ongoing study we are currently attempting to determine whether the non-radial transport of fields near the solar surface gives a better result in the extrapolation of fields to 1 AU. This is expected from some early work by our group, but as yet, good programming to research this effect has been absent.

References:

Dunn, T., Jackson, B.V., Hick, P.P., Buffington, A. and Zhao, X.P., 2005, 'Comparative Analyses of the CSSS Calculation in the UCSD Tomographic Solar Observations', *Solar Phys*. **227**, 339-353.

Jackson, B.V., Hick, P.P., Buffington, A., Clover, J.M., and Tokumaru, M., 2012, 'Forecasting Transient Heliospheric Solar Wind Parameters at the Locations of the Inner Planets', *Adv. in Geosciences*, **30**, 93.

Jackson, B.V., Hick, P.P., and Buffington, A., Yu, H.-S., Tokumaru, M., Odstrcil, D., Bisi, M.M., Kim, J., Hong, S., Yi, J., Lee, B., 2015a, 'A Summary of Recent IPS Analysis Advancements, and a Determination of Bz from Closed Photospheric Magnetic Fields', seminar to STELab, Japan staff and students, Nagoya University, Japan, June 30.

Jackson, B.V., Hick, P.P., and Buffington, A., Yu, H.-S., Tokumaru, M., Odstrcil, D., Kim, J., Hong, S., Yi, J., Lee, B., and Bisi, M.M., 2015b, 'Determination of the North-South Heliospheric Magnetic-Field Component from Inner-Corona Closed-Loop Propagation; Its Potential Use Including in an IPS 3D-MHD Project', seminar to the NICT Space Weather Staff, Tokyo, Japan, 1 July.

Jackson, B.V., Yu, H.-s., Hick, P.P., Buffington, A., Bisi, M.M., Odstrcil, D., Kim, T.K., Pogorleov, N.V., Wu, C.-C., Tokumaru, M., Kim, J., and Hong, S., 2015c, 'A 3D-MHD Model Interface Using Interplanetary Scintillation (IPS) Observations', SHINE conference poster presentation, 6-10 July, Stowe, Vermont.

Jackson, B.V., Yu, H.-S., Hick, P.P., Buffington, A., Odstrcil, D., Bisi, M.M., Tokumaru, M., Kim, J., Hong, S., Yi, J., and Lee, B., 2015d, 'Recent IPS Analysis Advancements - a way to Determine North-South Magnetic Field Components from Closed-Loops', presentation at STELab, 27 July, Nagoya, Japan.

Jackson, B.V., Yu, H.-S., Hick, P.P., Buffington, A., Bisi, M.M., and Tokumaru, M., 2015e, 'Using Interplanetary Scintillation (IPS) Magnetic Modeling to Determine Bz', ST-23 presentation at the annual AOGS meeting, Singapore, 02 - 07 August.

Jackson, B.V., Yu, H.-S., Hick, P.P., Buffington, A., Tokumaru, M., Gonzalez-Esparza, A., Hong, S., Kim, J, Lee, B., Yi, J., Yun, J., Bisi, M.M., and Odstrcil, D., 2015f, 'Space Weather Forecasting Using Remotely-sensed Heliospheric IPS Data Sets from Around the World', oral presentation at the Third Remote Sensing Workshop, Morelia, Mexico, 20-24 October.

Jackson, B.V., Yu, H.-S., Hick, P.P., Buffington, A., Bisi, M.M., Tokumaru, M., Fujiki, K., Hayashi, K., Nozaki, N., Nishimura, N., Kim, J., Hong, S., Lee, B., Yi, J., and Yun, J., 2015g, 'Magnetic-Field Components from Inner-Coronal Closed-Loop Outward Propagation', invited oral presentation at the 2nd SEREN Workshop, 30 November - 02 December, DeVere Milton Hill House, Steventon, Oxfordshire, OX13 6AF, UK

Jackson, B.V., Yu, H.-S., Hick, P.P., Buffington, A., Tokumaru, M., Kim, J., Hong, S., Lee, B., Yi, J., and Yun, J., 2015h, 'Determination of the North-South Heliospheric Magnetic Field from Inner-Corona Closed-Loop Propagation', AGU Session SH43C-03 oral presentation, San Francisco, 14-18 December.

Jackson, B.V., Yu, H.-S., Hick, P.P., Buffington, A., Tokumaru, M., Odstrcil, D., Hong, S., Kim, J, Lee, B., Yi, J., Yun, J., Bisi, M.M., and Gonzalez-Esparza, A., 2016a, 'Using World Interplanetary Scintillation Systems for Space Weather Predictions', invited oral presentation at the PSTEP symposium conference, Nagoya, Japan, 13-15 January.

Jackson, B.V., Hick, P.P., Buffington, A., Yu, H.-S., Tokumaru, M., Kojima, M., and Odstrcil, D., 2016b, 'An Iterated Time-dependent IPS 3D-MHD Model', oral seminar presentation at ISEE, Nagoya University, Japan, 18 January.

Jackson, B.V., Yu, H.-S., Buffington, A., Hick, P.P., Zhao, X., Nishimura, N., Nozaki, N. Tokumaru,M., Fujiki, K., and Hayashi., K., 2016c, 'Exploration of CSSS model-produced magnetic fields using SOLIS or GONG magnetograms and the UCSD ISEE IPS time-dependent tomography analysis', in preparation for publication in *Space Weather*.

Nishimura, N., Nozaki, N., Jackson, B.V., Yu, H.-S., Tokumaru, M., Fujiki, K., and Hakamada, K., 2016, 'Comparison of calculated and observed IMF near magnetic cloud start times', abstract to the Japan Geophysical Union Meeting, 22-23 May, Makuhari, Japan.

Nozaki, N., Nishimura, N., Jackson, B.V., Yu, H.-S., Tokumaru, M., Fujiki, K., Hayashi, K., and Hakamada, K., 2016, 'A Statistical Study of the Radial and North-South Component Values of Heliospheric Magnetic Field', abstract to the Japan Geophysical Union Meeting, 22-23 May, Makuhari, Japan.

Zhao, X, and Hoeksema, J.T., 1995, 'Prediction of the interplanetary magnetic field strength', J. Geophys. Res., 100, 19-33.

Associated Journal Articles and Talks over this report period:

Refereed Journal Articles:

There has been one journal article underway since the proposed work began, specifically on the work that has been done on the proposed project, and this is indicated by '**'. However, since the proposed work has begun, the ISEE IPS data have played a significant role in six additional refereed publications that have been published, are in press, or in preparation. Generally these publications include the M. Tokumaru as a Co-author. These are:

Aguliar-Rodriguez, E., Mejia-Ambriz, J., Jackson, B.V., Buffington, A., Romero-Hernandez, E., Gonzalez-Esparza, J.A., Rodriguez-Martinez, M., Hick, P., Tokumaru, M., and Manoharan, P.K., 2015, 'Comparison of Solar Wind Speeds Using Wavelet Transform and Fourier Analysis in IPS Data', *Solar Phys*., **290**, 2507–2518, doi: 10.1007/s11207-015-0758-0.

**Jackson, B.V., Yu, H.-S., Buffington, A., Hick, P.P., Zhao, X., Nishimura, N., Nozaki, N. Tokumaru, M., Fujiki, K., and Hayashi., K., 2016d, 'Exploration of CSSS model-produced magnetic fields using SOLIS or GONG magnetograms and the UCSD ISEE IPS time-dependent tomography analysis', in preparation for publication in *Space Weather*.

Jian, L.K., MacNeice, P.J., Taktakishvili, A., Odstrcil, D., Jackson, B., Yu, H.-S., Arge, C.N., Riley, P., Sokolov, I.V., and Evans, R.M., 2015, 'Validation for Solar Wind Prediction at Earth: Comparison of Coronal and Heliospheric Models Installed at the CCMC', *Space Weather,* **13**, 316, doi:10.1002/2015SW001174.

Jian, L.K., MacNeice, P.J., Taktakishvili, A., Odstrcil, D., Jackson, B., Yu, H.-S., Riley, P., Sokolov, I.V., and Evans, R.M., 2016, 'Validation for Global Solar Wind Prediction Using Ulysses Comparison: Multiple Coronal and Heliospheric Models Installed at the CCMC', *Space Weather* (under review).

McKenna-Lawlor, Ip, W., Jackson, B.V., Odstrcil, D., Nieminen, P., Evans, H., Burch, J., Mandt, K., Goldstein, R., Richter, I., Webb, D., and Dryer, M., 2015, 'Space Weather at Comet 67P/Churmov-Gerasimenko before its Perhelion', *Earth Moon Planets*, **117 (1)**, 1-22, doi: 10.1007/s11038-015-9479-5.

Wu, C.-C., Liou, K., Socker, D., Howard, R.A., Jackson, B.V., Yu, H.-S., Hutting, L., Plunkett, S., and 2015, 'The first super geomagnetic storm of solar cycle 24: "The St. Patrick day (17 March 2015)' event', in preparation for publication in *Space Weather*.

Yu, H.-S., Jackson, B. V., Hick, P. P., Buffington, A., Odstrcil, D., Wu, C.-C., Davies, J. A., Bisi, M. M., and Tokumaru, M., 2015, '3D Reconstruction of Interplanetary Scintillation (IPS) Remote-Sensing Data: Global Solar Wind Boundaries for Driving 3D-MHD Models', *Solar Phys.*, **290**: 2519–2538, doi: 10.1007/s11207-015-0685-0.

Talks and Seminars:

There have been at least 18 talks, poster presentations, and seminars about this proposed work since it began that use IPS analysis and the extrapolation of 3 component fields and these are indicated by '**'. In addition, since the proposed work has begun, the ISEE IPS data have played a significant role in 17 additional talks, posters, or seminars that the P.I. knows about, and these generally have M. Tokumaru as a Co-author. These are:

Bisi, M.M., Fallows, R.A., Sobey, C., Eftekhari, T., Jensen, E.A., Jackson, B.V., Yu, H.-S., Tokumaru, M., Odstrcil., D., 2015, 'LOFAR Interplanetary Scintillation (IPS) and Faraday Rotation (FR) Inner-Heliosphere Case Studies', presentation at the National Astronomy Meeting, 05 - 09 July, Llandudno, UK.

Bisi, M.M., Fallows, R.A., Jensen, E.A., Sobey, C., Eftekhari, T., Jackson, B.V., Yu, H.-S., Hick, P.P., Odstrcil, D., and Tokumaru, M., 2015, 'LOFAR Interplanetary Scintillation (IPS) and Heliospheric Faraday Rotation (FR) Solar Wind and Coronal Mass Ejection (CME) Case Studies', ST-23 invited oral presentation at the annual AOGS meeting, Singapore, 03 - 07 August.

Bisi, M.M., Fallows, R.A., Sobey, C., Eftekhari, T., Jensen, E.A., Jackson, B.V., Yu, H.-S., Hick, P.P., Odstrcil, D., and Tokumaru, M., 2015, 'Updates of Observations of Heliospheric Faraday Rotation (FR) and Interplanetary Scintillation (IPS) with the LOw Frequency ARray (LOFAR): Steps Towards Improving Space-Weather Forecasting Capabilities', presentation at the Third Remote Sensing Workshop, Morelia, Mexico, 20-24 October.

Bisi, M.M., Fallows, R.A., Sobey, C., Eftekhari, T., Jensen, E.A., Jackson, B.V., Yu, H.-S., Hick, P.P., Odstrcil, D., and Tokumaru, M., 2015, 'Observations of Heliospheric Faraday Rotation (FR) and Interplanetary Scintillation (IPS) with the LOw Frequency ARray (LOFAR): Steps Towards Improving Space-Weather Forecasting Capabilities', AGU Session SH21B-2399 presentation, San Francisco, 14-18 December.

Bisi, M. M., Fallows, R. A., Sobey, C., Eftekhari, T., Jensen, E. A., Jackson, B. V., Yu, H.-S., Gersh, D. J., and Odstrcil, D., 2014, 'Faraday Rotation (FR) and Interplanetary Scintillation (IPS) Case

Studies Using the LOw Frequency ARray (LOFAR)', SH21C-4143 presentation at the AGU Fall Meeting, San Francisco, CA, 15-19 December.

Bisi, M. M., Fallows, R. A., Sobey, C., Eftekhari, T., Jensen, E. A., Jackson, B. V., Yu, H.-S., Hick, P.P., Odstrcil, D., and Tokumaru, M., 2016, 'Worldwide Interplanetary Scintillation (IPS) and Heliospheric Faraday Rotation plans and progress', oral presentation at the IPSP SANSA Space Weather Research Forum, Hermanus, Republic of South Africa, 20 January.

Bisi, M. M., Fallows, R. A., Sobey, C., Eftekhari, T., Jensen, E. A., Jackson, B. V., Yu, H.-S., Hick, P.P., Odstrcil, D., Tokumaru, M., and Chang, T.O., 2016, 'Observations of Heliospheric Faraday Rotation (FR) and Interplanetary Scintillation (IPS): Steps Towards Investigating Bx Propagation Between the Sun and Earth', Geophysical Res. Abstracts, EGU General Assembly 2016, Vienna Austria, 17-22 April.

**Bisi, M.M., Jensen, E.A., Sobey, C., Fallows, R.A., Jackson, B.V., Barnes, D., Giunta, A., Hick, P.P.L., Eftekhari, T., Yu, H.-S., Odstrcil., D., and Tokumaru, M., 2016, 'Preliminary Observations of Heliospheric Faraday Rotation of a CME Using LOFAR', presentation at the Space Weather Workshop, 25-29 April, Boulder, CO.

**Jackson, B.V., Hick, P.P., Buffington, A., Yu, H.-S., Odstrcil, D., Bisi, M.M., Tokumaru, M., Kim, J, and Hong, S., 2015, 'A Summary of Recent IPS Analysis Advancements and a Way to Predict Bz and the IPS-ENLIL Project', invited oral presentation at the KSWC Jeju Workshop, 12 June, Jeju, South Korea.

**Jackson, B.V., Hick, P.P., and Buffington, A., Yu, H.-S., Tokumaru, M., Odstrcil, D., Bisi, M.M., Kim, J., Hong, S., Yi, J., Lee, B., 2015, 'A Summary of Recent IPS Analysis Advancements, and a Determination of Bz from Closed Photospheric Magnetic Fields', seminar to STELab, Japan staff and students, Nagoya University, Japan, June 30.

**Jackson, B.V., Hick, P.P., and Buffington, A., Yu, H.-S., Tokumaru, M., Odstrcil, D., Kim, J., Hong, S., Yi, J., Lee, B., and Bisi, M.M., 2015, 'Determination of the North-South Heliospheric Magnetic-Field Component from Inner-Corona Closed-Loop Propagation; Its Potential Use Including in an IPS 3D-MHD Project', seminar to the NICT Space Weather Staff, Tokyo, Japan, 1 July.

**Jackson, B.V., Yu, H.-s., Hick, P.P., Buffington, A., Bisi, M.M., Odstrcil, D., Kim, T.K., Pogorleov, N.V., Wu, C.-C., Tokumaru, M., Kim, J., and Hong, S., 2015, 'A 3D-MHD Model Interface Using Interplanetary Scintillation (IPS) Observations', SHINE conference poster presentation, 6-10 July, Stowe, Vermont.

**Jackson, B.V., Yu, H.-S., Hick, P.P., Buffington, A., Odstrcil, D., Bisi, M.M., Tokumaru, M., Kim, J., Hong, S., Yi, J., and Lee, B., 2015, 'Recent IPS Analysis Advancements - a way to Determine North-South Magnetic Field Components from Closed-Loops', presentation at STELab, 27 July, Nagoya, Japan.

Jackson, B.V., Yu, H.-S., Hick, P.P., Buffington, A., Bisi, M.M., Hong, S., Kim, J., and Tokumaru, M., 2015, 'Radio and White-Light Data and Their Use in Space Weather Forecasting', ST-23 invited oral presentation at the annual AOGS meeting, Singapore, 02 - 07 August.

**Jackson, B.V., Yu, H.-S., Hick, P.P., Buffington, A., Bisi, M.M., and Tokumaru, M., 2015, 'Using Interplanetary Scintillation (IPS) Magnetic Modeling to Determine Bz', ST-23 presentation at the annual AOGS meeting, Singapore, 02 - 07 August.

**Jackson, B.V., Yu, H.-S., Hick, P.P., Buffington, A., Tokumaru, M., Gonzalez-Esparza, A., Hong, S., Kim, J, Lee, B., Yi, J., Yun, J., Bisi, M.M., and Odstrcil, D., 2015, 'Space Weather Forecasting Using Remotely-sensed Heliospheric IPS Data Sets from Around the World', oral presentation at the Third Remote Sensing Workshop, Morelia, Mexico, 20-24 October.

**Jackson, B.V., Yu, H.-S., Hick, P.P., Buffington, A., Bisi, M.M., Tokumaru, M., Fujiki, K., Hayashi, K., Nozaki, N., Nishimura, N., Kim, J., Hong, S., Lee, B., Yi, J., and Yun, J., 2015, 'Magnetic-Field Components from Inner-Coronal Closed-Loop Outward Propagation', invited oral presentation at the 2nd SEREN Workshop, 30 November - 02 December, DeVere Milton Hill House, Steventon, Oxfordshire, OX13 6AF, UK.

**Jackson, B.V., Yu, H.-S., Hick, P.P., Buffington, A., Tokumaru, M., Kim, J., Hong, S., Lee, B., Yi, J., and Yun, J., 2015, 'Determination of the North-South Heliospheric Magnetic Field from Inner-Corona Closed-Loop Propagation', AGU Session SH43C-03 oral presentation, San Francisco, 14-18 December.

**Jackson, B.V., Yu, H.-S., Hick, P.P., Buffington, A., Tokumaru, M., Odstrcil, D., Hong, S., Kim, J, Lee, B., Yi, J., Yun, J., Bisi, M.M., and Gonzalez-Esparza, A., 2016, 'Using World Interplanetary Scintillation Systems for Space Weather Predictions', invited oral presentation at the PSTEP symposium conference, Nagoya, Japan, 13-15 January.

**Jackson, B.V., Hick, P.P., Buffington, A., Yu, H.-S., Tokumaru, M., Kojima, M., and Odstrcil, D., 2016, 'An Iterated Time-dependent IPS 3D-MHD Model', oral seminar presentation at ISEE, Nagoya University, Japan, 18 January.

**Jackson, B.V., Yu, H.-S., Hick, P.P., Buffington, A., Tokumaru, M., Odstrcil, D., Hong, S., Kim, J, Lee, B., Yi, J., Yun, J., Bisi, M.M., and Gonzalez-Esparza, A., 2016b, 'Using World Interplanetary Scintillation Systems for Space Weather Predictions', oral presentation at the CCMC Workshop, 11-15 April, Annapolis, MD.

Jackson, B.V., Yu, H.-S., Chang, O., Hick, P.P., Buffington, A., Tokumaru, M., Gonzalez-Esparza, A., Mejia-Ambriz, J., Bisi, M.M., Kim, J, Hong, S., Lee, B., Yi, J., and Yun, Y., 2016c, 'Space Weather Forecasting Using Remotely-sensed Heliospheric IPS Data Sets From Around the World – an Inclusion of MEXART and BSA Pushchino Data into the UCSD STELab IPS Tomography', presentation at the Space Weather Workshop, 25-29 April, Boulder, CO.

Jian, L.K., MacNeice, P.J., Taktakishvili, A., Odstrcil, D., Jackson, B., Yu, H.-S., Riley, P., and Sokolov, I.V., 2015, 'How Reliable Is the Forecasting of the Global Solar Wind Background?',

SHINE conference oral presentation, 6-10 July, Stowe, Vermont.

Jian, L.K., MacNeice, P.J., Taktakishvili, A., Odstrcil, D., Jackson, B., Yu, H.-S., Riley, P., and Sokolov, I.V., 2015, 'How Reliable Is the Solar Wind Prediction from the Models Installed at the CCMC?', oral presentation SH14A-08 at the AGU Session fall meeting, San Francisco, 14-18 December.

**Nishimura, N., Nozaki, N., Jackson, B.V., Yu, H.-S., Tokumaru, M., Fujiki, K., and Hakamada, K., 2016, 'Comparison of calculated and observed IMF near magnetic cloud start times', abstract to the Japan Geophysical Union Meeting, 22-23 May, Makuhari, Japan.

**Nozaki, N., Nishimura, N., Jackson, B.V., Yu, H.-S., Tokumaru, M., Fujiki, K., Hayashi, K., and Hakamada, K., 2016, 'A Statistical Study of the Radial and North-South Component Values of Heliospheric Magnetic Field', abstract to the Japan Geophysical Union Meeting, 22-23 May, Makuhari, Japan.

**Wu, C.-C., Liou, K., Jackson, B.V., Yu, H.-S., Hutting, L., Lepping, R.P., Plunkett, S., Howard, R.A., and Socker, D., 2015, 'The first super geomagnetic storm of solar cycle 24: "The St. Patrick day (17 March 2015)" event', oral presentation at the SCOSTEP-WDS Workshop, NICT, Tokyo, Japan, 28-30 September.

**Wu, C.-C., Liou, K., Socker, D., Howard, R.A., Jackson, B.V., Yu, H.-S., Hutting, L., Plunkett, S., and 2015, 'The first super geomagnetic storm of solar cycle 24: "The St. Patrick day (17 March 2015)" event', AGU Session SH51A-2433 presentation, San Francisco, 14-18 December.

Yu, H.S., Jackson, B.V., Hick, P.P., and Buffington, A., 2015, 'Three-Dimensional Reconstruction of the Polar Jet on 17 June 2011 and its Presence in the Background Solar Wind', invited poster presentation, Solar Wind 14, 22-26 June, Weihai, China.

Yu, H.S., Jackson, B.V., Hick, P.P., Buffington, A., and Tokumaru, M., 2015, 'A Real-Time Global Solar Wind Boundary from Remotely-Sensed IPS Data for Driving 3D-MHD Models', poster presentation, Solar Wind 14, 22-26 June, Weihai, China.

Yu, H.-S., Jackson, B.V., Hick, P.P., and Buffington, A., 2015, 'Jets as indicators of Fast solar wind components in the heliosphere', presentation at AOGS session ST08, Singapore, 03 - 07 August.

Yu, H.-S., Jackson, B.V., Hick, P.P., Buffington, A., Bisi, M.M., Odstrcil, D., Tokumaru, M., 2015, 'A Global Solar Wind Boundary from Remotely-Sensed IPS Data for Driving ENLIL', invited oral presentation at AOGS session ST11, Singapore, 03 - 07 August.

Yu, H.-S., Jackson, B.V., Hick, P.P., Buffington, A., Bisi, M.M., Odstrcil, D., Tokumaru, M., Kim, J., Hong, S., Lee, B., Yi, J., and Yun, J., 2015, 'A Global Solar Wind Boundary from Remotely-Sensed IPS Data for Driving ENLIL', oral presentation at the Third Remote Sensing Workshop, Morelia, Mexico, 20-24 October.

Yu, H.-S., Jackson, B.V., Hick, P.P., Buffington, A., Bisi, M.M., Odstrcil, D., Hong, S., Kim, J., Yi, J., Tokumaru, M., and Gonzalez-Esparza, A., 2015, '3D Analysis of Remote-Sensed Heliospheric Data for Space Weather Forecasting', AGU Session SH21B-2396 presentation, San Francisco, 14-18 December.

**Yu, H.-S., Jackson, B.V., Hick, P.P., and Buffington, A., 2016, 'Preliminary Results of the Bn Study', oral seminar presentation at ISEE, Nagoya University, Japan, 18 January