

## 静止衛星及び低軌道衛星による対流圏NO<sub>2</sub>観測を想定した地表面BRDFの影響に関する研究

### Effect of Surface BRDF on the Geostationary and Low Orbit Observations of Tropospheric NO<sub>2</sub>

野口 克行<sup>1\*</sup>; リヒター アンドレアス<sup>2</sup>; ロザノフ ラジミール<sup>2</sup>; ロザノフ アレクセイ<sup>2</sup>; バローズ ジョン<sup>2</sup>; 入江 仁士<sup>3</sup>; 北 和之<sup>4</sup>

NOGUCHI, Katsuyuki<sup>1\*</sup>; RICHTER, Andreas<sup>2</sup>; ROZANOV, Vladimir<sup>2</sup>; ROZANOV, Alexei<sup>2</sup>; BURROWS, John<sup>2</sup>; IRIE, Hitoshi<sup>3</sup>; KITA, Kazuyuki<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 奈良女子大学, <sup>2</sup> ブレーメン大学, <sup>3</sup> 千葉大学, <sup>4</sup> 茨城大学

<sup>1</sup>Nara Women's University, <sup>2</sup>University of Bremen, <sup>3</sup>Chiba University, <sup>4</sup>Ibaragi University

We investigated the effect of surface reflectance anisotropy, Bidirectional Reflectance Distribution Function (BRDF), on geostationary and low orbit satellites' retrievals of tropospheric NO<sub>2</sub>. We first develop an empirical model of the three BRDF coefficients for each land cover type over Tokyo, and then apply the model to the calculation of land cover type dependent AMFs and BAMFs. Results show that the variability of AMF among the land types is up to several tens percent, and if we neglect the reflectance anisotropy, the difference from BRDF's AMF reaches 10% or more. The evaluation of the BAMFs calculated shows that not to consider variations in BRDF will cause large errors if the concentration of NO<sub>2</sub> is high close to the surface, although the importance of BRDF for AMFs decreases for large AOD.

## パッシブレーダの研究開発—地上デジタル放送波を用いた水蒸気推定手法の開発— R&D of passive radar -Water vapor estimation with digital terrestrial broadcasting wave-

川村 誠治<sup>1\*</sup>; 太田 弘毅<sup>1</sup>; 花土 弘<sup>1</sup>  
KAWAMURA, Seiji<sup>1\*</sup>; OHTA, Hiroki<sup>1</sup>; HANADO, Hiroshi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 情報通信研究機構

<sup>1</sup>National Institute of Information and Communications Technology

パッシブレーダとは、自ら電波を発射する従来型レーダとは異なり、他の目的で既に使用されている電波を利用して何がしか有効な情報を得るレーダシステムである。新たな周波数を必要としないため究極の周波数有効利用といえることができる。情報通信研究機構 (NICT) では、これまで蓄積されてきたリモートセンシングの技術、特にバイスタティック受信技術の延長としてパッシブレーダを捉え、環境計測を目的としたパッシブレーダ開発を進めている。

本研究では、パッシブレーダ開発の一環として地上デジタル放送波を用いた水蒸気推定手法の開発を行っている。近年都市部で局地的大雨等の局所的で激しい気象現象が多発しているが、現状その予測は困難である。予測が困難である主要な原因の一つに、観測の欠如が挙げられる。雨の元である水蒸気の情報降雨予測に非常に重要だが、その観測手段は未だ限られている。現在有効な水蒸気観測手段として GPS を用いた手法があるが、空間スケール数 km で時々刻々変化する局地的大雨の予測には分解能が不足している。本研究では、空間分解能数 km、時間分解能 30 秒程度で面的に広範囲の水蒸気を常時モニターするシステムの開発を目指している。

電波は伝搬の過程で水蒸気による遅延を受ける。この遅延量が計測できれば、伝搬路上の水蒸気積算値を推定することができる。例えば伝搬距離が 10 km の場合、相対湿度 20 % と 100 % では遅延時間差が約 2.7 ns である。有効な観測のためにはサブナノ秒の精度で遅延時間を精密測定する必要がある。地デジ波は OFDM 方式で符号化されており、その中には既知信号が埋め込まれている。既知信号から複素遅延プロファイルを算出しその位相を用いることで、原理的には約 4.5 ms 毎に伝搬遅延を高精度 (ピコ秒オーダー) に求めることが可能である。

サブナノ秒の精度を議論する場合、電波塔 (スカイツリー) 側、受信局側のそれぞれの局発の位相変動が大きな誤差要因となる。そこで、スカイツリーを含む直線上に 2 つの受信点を設け、それぞれで遅延時間を測定する。この測定値にはスカイツリーと受信局それぞれの局発の位相変動が含まれているが、両者の差を取ることでスカイツリー側の位相変動を相殺することができる。残った 2 地点間の位相変動差を同期により相殺することで、水蒸気量を推定する。

地デジ波を受信し、リアルタイムで遅延量 (遅延プロファイルの位相) を測定するシステムをソフトウェア無線の技術を用いて開発した。本システムにより、地デジ波を受信するだけで放送局の局発の位相変動までリアルタイムで測定できるようになった。この測定システムをスカイツリーを含む直線上の 2 地点に配置してそれぞれの局発を同期させれば、2 地点間の水蒸気量に相当する遅延量を求めることができる。現在同期手法について検討を進め、実証実験を計画している。水蒸気推定の実証ができれば、装置の小型化を進め、多点展開を行っていく予定である。他観測やデータ同化と連携し、実用システムの構築を目指す。

キーワード: パッシブレーダ, 地上デジタル放送波, 水蒸気, 伝搬遅延

Keywords: passive radar, digital terrestrial broadcasting wave, water vapor, propagation delay

## 隣接した2基の1.3 GHz ウィンドプロファイラレーダーによる福井県嶺北地方における局地循環の観測 Observation of local circulation in north area of Fukui prefecture by using two adjoining 1.3-GHz wind profiler radars

中城 智之<sup>1\*</sup>; 山本 真之<sup>2</sup>; 青山 隆司<sup>1</sup>; 橋口 浩之<sup>2</sup>; 宇治橋 康行<sup>3</sup>  
NAKAJO, Tomoyuki<sup>1\*</sup>; YAMAMOTO, Masayuki<sup>2</sup>; AOYAMA, Takashi<sup>1</sup>; HASHIGUCHI, Hiroyuki<sup>2</sup>; UJIHASHI, Yasuyuki<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 福井工業大学 電気電子情報工学科, <sup>2</sup> 京都大学生存圏研究所, <sup>3</sup> 福井工業大学 建築生活環境学科

<sup>1</sup>Department of Electrical, Electronic and Computer Engineering, Fukui University of Technology, <sup>2</sup>Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University, <sup>3</sup>Department of Architecture and Environmental Engineering, Fukui University of Technology

私達の生活様式が引き起こす地球規模の環境変動の私達への影響が懸念されるようになって久しい。大気関係では、近年、頻度と被害の大きさが増加傾向にある豪雨は、地球温暖化との関係が指摘されている。また、大気汚染物質の問題では、黄砂やPM2.5に代表される微小粒子状物質による健康被害に加え、解決済みと思われてきた光化学オキシダントの濃度が1980年代以降、全国的に再び増加に向かっていることが知られている。さらには、2011年に発生した福島第一原子力発電所の事故以降、放射能の拡散状況に世界的な関心が向けられている。これらの大気環境問題の解決のために、その実態を明確に把握することが求められている。

これらの大気環境問題は地球規模であると同時に局所的でもある。すなわち、豪雨の発生や大気汚染物質の拡散は、地形などの地域毎の特徴によって異なって発生する風系、いわゆる局地循環の影響を強く受ける。局地循環が卓越する高度は地表から数km以下の大気境界層であり、代表的な局地循環として、地表温度のコントラストに伴って発生する海陸風や山谷風が知られている。大気境界層は、地表との摩擦や地表からの熱輸送の影響によって発生する大気乱流が支配的な大気層であり、その実態は地域ごとに大きく異なる。したがって、上記の大気環境問題の解明には、地域毎に局地循環の特徴を明らかにすることが必要不可欠である。

このような背景の下、福井工業大学では文部科学省の戦略的研究基盤形成支援事業「北陸地域の環境の計測と保全に関する研究拠点形成」プロジェクト(平成23-27年度)において、福井県沿岸域に立地する福井工業大学あわらキャンパスに1.3GHzウィンドプロファイラレーダー(Wind Profiler Radar; WPR)が設置され、福井平野における局地循環の実態を把握することを目的として2012年12月から連続観測を実施している。

これまでの観測から、福井平野における海陸風循環の時間変化および高度構造の詳細が明らかとなった。また、日射の影響で海陸風循環が恒常的に発生しており、雲の発生に影響を及ぼしている事、さらに、直線距離で24kmの極めて近距離にある気象庁WINDAS福井局との比較から、海陸風循環が海岸線方向および内陸方向に数10kmの水平スケールで発生しており、しばしば3層構造となる事が明確となった。これらの事は気象学的には基本的な事柄であるが、福井県嶺北地方において海陸風循環の空間的・時間的な実態をこれほど詳細に示した例は他にない。また、WINDAS福井局との比較では、高度約1km以下の下層において、24kmの近距離であっても異なる水平風がしばしば観測される。この事は、大気境界層の観測の重要性を改めて示している。

また、台風17号に伴う停滞前線の通過によって、福井県嶺北地方の広い範囲で14時から16時にかけて豪雨を観測した2013年9月3日の観測データについて解析を行った。その結果、13時頃の停滞前線の通過に伴う典型的な水平風の変化が検出された。WINDAS福井局でも同様の水平風が観測されており、本学WPRで観測された水平風構造の妥当性が裏付けられると同時に、前線通過に伴う広範囲に存在する風系であることが確認された。

本学WPRでは前線通過時刻(13時頃)の7時間前から、1m/sに達する比較強い上昇流が高度200mの下層から高度4~5kmまでの広い範囲で断続的に発生していたことが確認された。さらに、豪雨が嶺北地方各地で観測され始めた14時の2時間前に、高度4~5kmにおいて短時間ではあるが、4m/sにも達する極めて強い上昇流が観測された。同日のMTSATでは、午前中から豪雨の発生した時間帯にかけて、光学的に厚い雲が福井県嶺北地方に収束する様子が確認されており、観測された上昇流は福井県嶺北地方に豪雨をもたらした積乱雲システムの一部であると推測される。

一方、WINDAS福井局ではこれほど顕著な上昇流は観測されておらず、豪雨時における上昇流の水平スケールが、本学WPRとWINDAS福井局間の直線距離24kmよりも小さいことが強く示唆された。すなわち、豪雨発生予測の観点からは、隣接した複数のWPRによる観測によって、豪雨の原因となる積乱雲システム到来の前兆である下層の上昇流を効率よく検出可能となると考えられる。

本研究で得られた成果は、近接した複数のWPRによる局地循環観測が局所的な気象予測の精度向上や豪雨の発生予測に極めて有効なツールであり得ることを強く示唆している。

キーワード: 大気境界層, 局地循環, 海陸風循環, 豪雨, ウィンドプロファイラレーダー

---

PEM36-03

会場:312

時間:4 月 28 日 09:30-09:45

Keywords: atmospheric boundary layer, local circulation, sea and land breeze, heavy rain, wind profiler radar



## 冬季北極域の中層大気擾乱と太陽活動度との関係 Relationship between solar activity and disturbance in the middle atmosphere during Arctic winter

坂野井 和代<sup>1\*</sup>; 木下 武也<sup>2</sup>; 村山 泰啓<sup>2</sup>

SAKANOI, Kazuyo<sup>1\*</sup>; KINOSHITA, Takenari<sup>2</sup>; MURAYAMA, Yasuhiro<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 駒澤大学, <sup>2</sup> 情報通信研究機構

<sup>1</sup> Komazawa Univ., <sup>2</sup> National Institute of Information and Communications Technology

本研究は、冬季北極域における代表的な擾乱現象である成層圏突然昇温を、中間圏まで含めた中層大気全体の擾乱として捉え、その擾乱について太陽活動度との関係を解明することを目的としている。成層圏突然昇温と太陽活動度との関連は、太陽活動 11 年周期による成層圏の熱的構造の変調として、成層圏領域では研究が進んでいる。冬季北極域成層圏の代表的な熱的構造は、北半球環状モード (Northern hemisphere Annular Mode: NAM) と呼ばれるパターンを示し、極域が低温・中緯度域が高温となる正のモードとその逆パターンとなる負のモードに分類される。Labitzke(2005) は、北極域・中緯度の上部成層圏温度と F10.7 index の相関を、QBO の位相に分けて比較し、QBO 西 (東) 風位相時には、太陽活動極大で負 (正) の NAM、極小で正 (負) の NAM となることを示した。

本発表では、中層大気擾乱と太陽活動度を定量的に比較するための準備として、気象全球客観解析データ (英国 Met Office が提供する UKMO データおよび NASA が提供する MERRA データ) を用いて、中間圏まで含めた中層大気擾乱の程度を指標化することを試みている。

まず始めに、UKMO データ帯状平均東西風の東風領域 (成層圏突然昇温時に対応) の、最低高度を指標として使うことを検討した。日々の帯状平均東西風データから、高度 15km 以上の範囲において、東風となっている高度領域の最低高度を抽出、それぞれのイベントでその抽出した最低高度を平均し、1つのイベントに対して1つの指標 (今後、この指標を ZEW index とする) を作成した。導出した ZEW index を QBO の東風位相と西風位相に分けて、太陽活動度 (F10.7 index) との相関図を作成した。この結果、おおむね ZEW index <35 が大昇温に対応し、ZEW index 伝統的な成層圏突然昇温の分類に対応した擾乱度を定量的に表す指標としては使えることを確認した。

次に、1000~0.1hPa (約 65km 高度) の高度において AO index を計算し、中間圏まで含めた中層大気の擾乱度を表す指標として使用できるか検討を始めた。10hPa より高高度で AO index を用いた研究は例がなく、慎重な検討を必要とするが、以下のようなことが明らかになった。中層大気での AO index の値のピークは、0.5hPa (~50km) にある。100hPa - 0.1hPa において AO index の正負はほぼ一致するが、ときおり 10hPa の上下で正負が異なる場合もある。AO index の負のピーク値が大きいことと、大昇温とは対応しない、また負の領域が 10hPa 以下まで達していることも、必ずしも大昇温とは対応しない。今後は、これら2つの指標 (ZEW index および AO index) の比較および、中層大気擾乱と太陽活動度との関係を調べていく予定である。ただし、AO index の計算において、現在は海面気圧から導出される AO パターンを基にしているが、成層圏/中間圏の AO パターンは、海面気圧から導出される AO のパターンとは多少異なる可能性が高いため、成層圏/中間圏のジオポテンシャル高度偏差場から主成分分析の第一モードを計算して AO index を計算し、2つの結果を比較する必要がある。特に SSW イベント時に、10hPa 高度以上で、AO の示す循環パターンを詳細に確認することが重要であると思われる。また伝統的に使用されている昇温の分類と、10hPa 高度以上の AO index の関係は、さらに解析期間を増やして検討を続ける。

キーワード: 中層大気擾乱, 太陽活動, 北極振動, 成層圏準 2 年周期振動, 北極域, 成層圏突然昇温

Keywords: Middle atmosphere disturbance, Solar activity, Arctic Oscillation, QBO, Arctic region, Stratospheric sudden warming

## ミリ波分光放射計によって観測された昭和基地上空の中層大気中におけるO<sub>3</sub>とNOの時間変動

### Temporal variations of O<sub>3</sub> and NO in the middle atmosphere above Syowa Station observed by a millimeter-wave radiometer

大山 博史<sup>1\*</sup>; 磯野 靖子<sup>1</sup>; 上村 美久<sup>1</sup>; 長濱 智生<sup>1</sup>; 水野 亮<sup>1</sup>; 堤 雅基<sup>2</sup>; 江尻 省<sup>2</sup>; 中村 卓司<sup>2</sup>  
OHYAMA, Hirofumi<sup>1\*</sup>; ISONO, Yasuko<sup>1</sup>; UEMURA, Miku<sup>1</sup>; NAGAHAMA, Tomoo<sup>1</sup>; MIZUNO, Akira<sup>1</sup>; TSUTSUMI, Masaki<sup>2</sup>; EJIRI, Mitsumu<sup>2</sup>; NAKAMURA, Takuji<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>2</sup> 国立極地研究所

<sup>1</sup>Solar-Terrestrial Environmental Laboratory, Nagoya University, <sup>2</sup>National Institute of Polar Research

Precipitation of energetic particle into the atmosphere impacts abundances of atmospheric constituents in the middle atmosphere. Highly energetic solar protons, which directly enter the middle atmosphere, cause increase of HOx and NOx species. Energetic electrons also increase NOx in the thermosphere, and the downward transport in the polar vortex moves the produced NOx to lower altitudes. These NOx species cause a decrease of O<sub>3</sub> in the middle atmosphere through catalytic reactions [Seppälä et al. 2006; Daae et al., 2012]. To investigate the effect of NOx on O<sub>3</sub> variation in the polar region, a ground-based millimeter-wave spectroscopic radiometer was installed at Syowa Station, Antarctica in March 2011. The instrument has recorded brightness temperature spectra of rotational emission from the atmospheric O<sub>3</sub> and NO molecules. From the NO spectra, both multiple short-term enhancements and seasonal variation of NO column are observed [Isono et al., 2014]. The short-term enhancements are correlated with the energetic particle precipitation. In the present study, O<sub>3</sub> profiles are retrieved from the brightness temperature spectra between 238.94-239.24 GHz, whose spectral range has sensitivity to the O<sub>3</sub> abundance between 20 and 70 km. The optimal estimation scheme is used for the O<sub>3</sub> profile retrieval, along with radiative transfer calculation through the use of the NCEP reanalysis data and spectroscopic parameters. Since the O<sub>3</sub> spectra are integrated over 1 hour every 6 hours, we usually derive four O<sub>3</sub> profiles in a day. We present the result of O<sub>3</sub> retrieval and discuss how the O<sub>3</sub> mixing ratios at given altitudes response to the short-term NO column enhancement.

キーワード: オゾン, 一酸化窒素, 遠隔計測

Keywords: ozone, nitric oxide, remote sensing

## 第VIII期南極重点研究観測における高機能ライダーの現状 Current status of Syowa lidar project in the prioritized observation project for VIII-th term JARE

江尻 省<sup>1\*</sup>; 津田 卓雄<sup>1</sup>; 西山 尚典<sup>1</sup>; 阿保 真<sup>2</sup>; 富川 喜弘<sup>1</sup>; 鈴木 秀彦<sup>3</sup>; 川原 琢也<sup>4</sup>; 堤 雅基<sup>1</sup>; 中村 卓司<sup>1</sup>  
EJIRI, Mitsumu K.<sup>1\*</sup>; TSUDA, Takuo<sup>1</sup>; NISHIYAMA, Takanori<sup>1</sup>; ABO, Makoto<sup>2</sup>; TOMIKAWA, Yoshihiro<sup>1</sup>; SUZUKI, Hidehiko<sup>3</sup>; KAWAHARA, Takuya<sup>4</sup>; TSUTSUMI, Masaki<sup>1</sup>; NAKAMURA, Takuji<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 国立極地研究所, <sup>2</sup> 首都大学東京大学院システムデザイン研究科, <sup>3</sup> 立教大学理学部, <sup>4</sup> 信州大学工学部

<sup>1</sup>National Institute of Polar Research, <sup>2</sup>Graduate School of System Design, Tokyo Metropolitan University, <sup>3</sup>College of Science, Rikkyo university, <sup>4</sup>Faculty of Engineering, Shinshu University

国立極地研究所は、2010年より6年間のプロジェクトとして第VIII期重点研究観測「南極域から探る地球温暖化」を推進している。中層・超高層大気観測研究は、その中のサブテーマIに位置付けられており、地表から超高層大気にいたる大気の変動をとらえる計画で、これまでに継続観測してきた各種レーザー・光学観測機器に加えて、第VIII期で新たに大型のレーザーやライダーなどの測器の開発・導入・観測を進めている。ライダープロジェクトとして、現在、南極昭和基地(69S, 39E)に設置しているレイリー/ラマンライダーは、Nd:YAGレーザーの三倍高調波を用いた355nmのライダーで、受信望遠鏡には82cmのナスミスカセグレン望遠鏡と35cmのシュミットカセグレン望遠鏡を用いている。受信チャンネルは、レイリー散乱用に感度を変えた3チャンネルと、386nmの窒素振動ラマン散乱に1チャンネルを持ち、2011年2月から対流圏上部と中層大気(<70-80 km)の温度の鉛直分布を観測している。現在までに350晩以上の観測を行い、3000時間以上の温度データを取得しており、昭和基地上空の、複数の極成層圏雲(PSC)や極中間圏雲(PMC)の信号を取得している。また、観測高度をさらに上空、超高層大気にまで広げ、より高高度での大気重力波の活動や、オーロラ活動に伴うイオン化学反応を介した大気微量成分の組成変動など、超高層大気中の様々な力学・化学過程を通じた大気の変動をとらえるべく、国内で波長可変共鳴散乱ライダーの開発を進めている。送信系には波長可変のアレキサンドライト・レーザーと第2高調波発生器を用いており、インジェクションシーダーの波長を波長計で制御することで、基本波として768-788 nm、第2高調波として384-394 nmのうち任意の波長のレーザーパルスを得ることが出来る。これにより南極昭和基地において、カリウム原子(770 nm)、鉄原子(386 nm)、カルシウムイオン(393 nm)、窒素イオン(390-391 nm)の原子とイオンを狙って、高度80 km以上の大気温度、原子やイオンの高度分布などを測定する計画である。この波長可変共鳴散乱ライダーシステムは現在、国内で開発・改良を行いながら、金属原子密度及び、温度の観測試験を行っている。試験観測では、レーザーパルスの出力~120-160 mJ/pulse、繰返し周波数は約25 Hzで送信し、35 cmのシュミットカセグレン望遠鏡で散乱光を受信した。本講演では、南極昭和基地でのレイリー/ラマンライダーによる最近の観測結果、国内での共鳴散乱ライダーシステム開発と観測試験の状況、および今後の計画について紹介する。

キーワード: ライダー, 南極観測, 中層・超高層大気, 共鳴散乱, レイリー散乱, ラマン散乱

Keywords: Lidar, Antarctic observation, middle and upper atmosphere, Resonance scattering, Rayleigh scattering, Raman scattering

## 昭和基地レイリー/ラマンライダーの狭帯域化による極中間圏雲の昼間観測 A daytime observation of polar mesospheric clouds with Syowa Rayleigh Raman lidar system equipped with a new etalon unit

鈴木 秀彦<sup>1\*</sup>; 中村 卓司<sup>2</sup>; 江尻 省<sup>2</sup>; 阿保 真<sup>3</sup>; 山本 晃寛<sup>4</sup>; 川原 琢也<sup>4</sup>; 富川 喜弘<sup>2</sup>; 堤 雅基<sup>2</sup>; 津田 卓雄<sup>2</sup>; 西山 尚典<sup>2</sup>  
SUZUKI, Hidehiko<sup>1\*</sup>; NAKAMURA, Takuji<sup>2</sup>; EJIRI, Mitsumu<sup>2</sup>; ABO, Makoto<sup>3</sup>; YAMAMOTO, Akihiro<sup>4</sup>; KAWAHARA, Taku<sup>d4</sup>; TOMIKAWA, Yoshihiro<sup>2</sup>; TSUTSUMI, Masaki<sup>2</sup>; TSUDA, Takuo<sup>2</sup>; NISHIYAMA, Takanori<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 立教大学, <sup>2</sup> 国立極地研究所, <sup>3</sup> 首都大学東京, <sup>4</sup> 信州大学

<sup>1</sup>Rikkyo University, <sup>2</sup>National Institute of Polar Research, <sup>3</sup>Tokyo Metropolitan University, <sup>4</sup>Shinshu University

2011年2月に第52次南極地域観測隊(JARE52)によって、対流圏から上部中間圏までの大気温度鉛直分布観測が可能なレイリー/ラマンライダーが昭和基地に導入され、2014年2月現在に至るまで順調に運用が行われている。本装置では、ファーストライトとなる2011年2月4日に、昭和基地では初となるライダーによる極中間圏雲(PMC)の検出に成功している[Suzuki et al., 2013]。しかし、本装置は冬期の夜間観測をメインターゲットとしたものであり、背景光由来のショットノイズの影響を強く受けてしまう昼間の観測は不可能であった。そのため、白夜期を中心に最盛期を迎えるPMCの観測は難しく、Suzuki et al. [2013]での報告も、PMC発生期間の終期にあたる2月の暗夜時間帯に得られた1例を示すのみとなっている。そこで、我々は、JARE55の夏期観測期間以降(2013年12月下旬?)のPMC観測を本格的に実施するために、背景光強度を大幅に削減可能な狭帯域エタロンユニットを開発し、昭和レイリー/ラマンライダーに導入した。本発表では、エタロンユニット導入後のライダーシステムによって昼間の検出に成功した昭和基地上空の極中間圏雲について速報する。

キーワード: 極中間圏雲, 夜光雲, ライダー, 南極

Keywords: polar mesospheric cloud, noctilucent cloud, lidar, Antarctic



## トロムソ上空でオーロラ擾乱時に観測されたスボラディックナトリウム層の生成・維持機構の解明

### Study on generation and sustaining mechanism for an SSL during a night of high auroral activity above Tromsø

高橋 透<sup>1\*</sup>; 野澤 悟徳<sup>1</sup>; 津田 卓雄<sup>2</sup>; 大山 伸一郎<sup>1</sup>; 藤原 均<sup>3</sup>; 堤 雅基<sup>2</sup>; 川原 琢也<sup>4</sup>; 斎藤 徳人<sup>5</sup>; 和田 智之<sup>5</sup>; 川端 哲也<sup>1</sup>; 松浦 延夫<sup>1</sup>; Hall Chris<sup>6</sup>

TAKAHASHI, Toru<sup>1\*</sup>; NOZAWA, Satonori<sup>1</sup>; TSUDA, Takuo<sup>2</sup>; OYAMA, Shin-ichiro<sup>1</sup>; FUJIWARA, Hitoshi<sup>3</sup>; TSUTSUMI, Masaki<sup>2</sup>; KAWAHARA, Takuya<sup>4</sup>; SAITO, Norihito<sup>5</sup>; WADA, Satoshi<sup>5</sup>; KAWABATA, Tetsuya<sup>1</sup>; MATUURA, Nobuo<sup>1</sup>; HALL, Chris<sup>6</sup>

<sup>1</sup> 名大・STE 研, <sup>2</sup> 国立極地研究所, <sup>3</sup> 成蹊大学理工学部, <sup>4</sup> 信州大学工学部, <sup>5</sup> 理化学研究所, <sup>6</sup> トロムソ大学

<sup>1</sup>STEL, Nagoya Univ., <sup>2</sup>NIPR, <sup>3</sup>Faculty of Science and Technology, Seikei Univ., <sup>4</sup>Faculty of Engineering, Shinshu Univ.,

<sup>5</sup>RIKEN, <sup>6</sup>Univ. of Tromsø

本発表ではノルウェー・トロムソ (69.6° N, 19.2° E) で観測されたスボラディックナトリウム層 (Sporadic Sodium Layer:以下 SSL) の生成・維持機構についてナトリウムライダー、EISCAT レーダー、流星レーダーデータを用いた解析結果を示す。SSL 内の中性ナトリウム原子は、スボラディック E (Es) 層と異なり電磁気的な力を受けないので、背景大気の大気ダイナミクスのトレーサーとして利用することができる。しかし、SSL は初めて報告 [Clemesha et al., GRL, 5(10), 873-876, 1978] されて以来 35 年間におよび様々な研究がなされてきているにも関わらず、SSL の生成・維持機構については未だ統一的な理解は得られていない。SSL は高・低緯度での報告例が多く、中緯度では稀少である。これには生成原因に大きく関わっていると考えられている [Sheft et al., GRL, 16(7), 175-178, 1989]。生成原因としてこれまでに Es 層内での化学変化、流星の降り込み、オーロラ降下粒子によるスパッタリング降下、電場によるナトリウムイオンとナトリウム分子イオンの集積などが提唱されている [Cox and Plane, JGR, 103, 6349-6359, 1998; Heinselman, et al., GRL, 25, 3059-3062, 1998.; Kirkwood and von Zahn, JAP., 53, 389-407, 1991; Nagasawa and Abo, GRL, 22(3), 263-266, 1995; von Zahn et al., GRL, 14, 76-79, 1987]。その中でも特に Es 層と高い相関で同時に出現していることが知られている。

大気安定度や化学反応に寄与する背景大気温度構造も SSL の生成・維持機構として注目されている。ナトリウム密度と中性大気温度はナトリウム層上部では反相関であることや SSL 層内部において約 40 K の温度上昇が観測されたに報告例がある。[Gardner et al., JGR, 98, 16,865-16,873, 1993]。本研究では先行研究における問題点を 2 点指摘する。まず最初に、先行研究の多くは生成原因を単一の物理過程を仮定していたことが挙げられる。SSL 層が発生する中間圏・下部熱圏は下層大気から伝搬する大気波動や地磁気活動に伴い激しく変動する。よって、複合的な生成・維持メカニズムを調査することが重要である。2 つ目、SSL 周辺の温度導出方法である。SSL 内はナトリウム密度が数秒から数十秒のオーダーで激しく変化する。これまでの研究では SSL 内の温度を 5 分程度の時間一様性を過程していた為、導出誤差が大きく議論が不十分であった可能性がある。よって、時間分解能良く温度、ナトリウム密度を導出することが必要である。本研究に用いるトロムソナトリウムライダーはノルウェー・トロムソの EISCAT 観測所敷地内に設置され、高速波長変換と高レーザー出力パワーを有し、高空間・時間分解能で大気温度、ナトリウム密度を導出することができる。また、本サイトでは EISCAT レーダー、流星レーダー、フォトメーター、デジタルカメラなどの観測機器が集約されており、様々な物理量の同時観測が可能である。

2012 年 1 月 22 日夜、オーロラ活動は非常に活発であった。強いオーロラの降り込みの約 19 分後、背景密度の最大約 6 倍のナトリウム密度を持つ SSL が高度 94 km 付近に出現した。この SSL のピーク密度は 2116 UT から 2142 UT までは背景大気の約 2 から 6 倍であった。その後、SSL は約 2 km (96 km) 上昇し、背景ナトリウム層の 2 倍から 3 倍程度の密度を維持しながら (高度幅 1 km 以下) 2200 UT に約 96 km まで達した後、2400 UT までなだらかに約 2 km 下降し消滅した。

SSL 内の大気温度を 15 秒分解能で導出した結果、SSL 内の温度に顕著な増減はなかった。しかし、2000 UT 以降、SSL は背景温度の最小値の高度領域に位置していることがわかった。EISCAT UHF レーダーの電子密度データは、同時帯に Es 層が出現していたことを示している。Es 層は SSL 出現前から、より高高度 (100 km 以上) に存在していた。Es 層は時間と共に高度を下げ 2118 UT には高度約 94 km に達し、その後、高度上昇して、2200 UT 以降は緩やかに下降した。Es 層と SSL の高度を比較すると SSL 出現時の 2118 UT から 2200 UT まではそれぞれのピークがほぼ同じ高度領域に存在していた。2200 UT 以降、Es 層は SSL より約 2 km 低い高度に位置していた。これらの結果は SSL 層の生成原因として Es 層が寄与しており、維持機構として背景大気温度構造が寄与している事を示していると考察した。本発表では電場と Es 層により SSL 層が生成され、背景大気温度構造によって維持された物理過程について発表する。

キーワード: スボラディックナトリウム, ナトリウムライダー, オーロラ, EISCAT, 流星レーダー

---

PEM36-08

会場:312

時間:4 月 28 日 11:00-11:15

Keywords: Sporadic sodium layer, sodium lidar, aurora, EISCAT radar, meteor radar

## 南極昭和基地大型大気レーダーによって観測された極域冬期中間圏エコーの季節変動

### Seasonal variation of Polar Mesosphere Winter Echo (PMWE) observed by PANSY radar

西山 尚典<sup>1\*</sup>; 佐藤 薫<sup>2</sup>; 堤 雅基<sup>1</sup>; 佐藤 亨<sup>3</sup>; 中村 卓司<sup>1</sup>; 西村 耕司<sup>1</sup>; 高麗 正史<sup>2</sup>; 富川 喜弘<sup>1</sup>; 江尻 省<sup>1</sup>; 津田 卓雄<sup>1</sup>  
NISHIYAMA, Takanori<sup>1\*</sup>; SATO, Kaoru<sup>2</sup>; TSUTSUMI, Masaki<sup>1</sup>; SATO, Toru<sup>3</sup>; NAKAMURA, Takuji<sup>1</sup>; NISHIMURA, Koji<sup>1</sup>; KOHMA, Masashi<sup>2</sup>; TOMIKAWA, Yoshihiro<sup>1</sup>; EJIRI, Mitsumu<sup>1</sup>; TSUDA, Takuo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 国立極地研究所, <sup>2</sup> 東京大学 大学院 理学系研究科 地球惑星科学専攻, <sup>3</sup> 京都大学 大学院 情報学研究科

<sup>1</sup>National Institute of Polar Research, <sup>2</sup>Department of Earth and Planet Science, Graduate School of Science, The University of Tokyo, <sup>3</sup>Graduate School of Informatics, Kyoto University

In the lower thermosphere at the altitude of around 100 km, both neutral turbulence and ionization of atmosphere due to solar radiations cause irregularities of reflective index, and as a result back scatter echoes from that altitude are frequently observed by radars on the ground. In the mesosphere, Polar Mesosphere Summer Echo (PMSE) is reported to be a strong echo associated with ice particles, which are produced around the coldest mesopause region in the polar summer, by a number of past radar observations [Cho and Rottger, 1997; Rapp and Lübken, 2004]. It should be also noted that occurrence rate of PMSE is very high (80-90%) [Bremer *et al.*, 2003]. On the other hand, Polar Mesosphere Winter Echo (PMWE) is also known as back scatter echo from 55 to 85 km in the mesosphere, and it has been observed by MST and IS radar in polar region during winter [e.g., Ecklund and Balsley, 1981; Czechowsky *et al.*, 1989; Lübken *et al.*, 2006; Strelnikova and Rapp, 2013]. Due to the lack of free electrons and ice particles in the dark and warm mesosphere during winter, it is suggested that PMWE requires strong ionization of neutral atmosphere associated with precipitations of Solar Energetic Particles (SEPs) during geomagnetically disturbed periods [Kirkwood *et al.*, 2002; Zeller *et al.*, 2006]. However, the detailed generation process of PMWE has not been identified yet, partly because the reported PMWE occurrence rate was quite low (2.9%) [Zeller *et al.*, 2006].

In the VIII-th six-year project of the Japanese Antarctic Research Expedition (JARE) from 2010, the middle and upper atmosphere research is one of the sub-projects of the prioritized research project entitled 'Global warming revealed from the Antarctic', and comprehensive ground based observations with various remote sensing instruments for the middle and upper atmosphere have been operating continuously in Syowa station. We analyzed data obtained by PANSY (Program of the Antarctic Syowa MST/IS) radar, which is the core instrument of the project, focusing on PMWE in the context of neutral-plasma atmospheric coupling process between the middle and upper atmosphere. PANSY radar is a 47 MHz VHF radar with 125 kW (full system 500 kW) output power, and it is the largest MST radar composed 5,000 m<sup>2</sup> (full system 20,000 m<sup>2</sup>) antenna array in Antarctica at the moment. PANSY has already identified a number of PMWE near local noon since operation of mesosphere observation mode was started in June 2012.

We would like to show seasonal variations of occurrence characteristics of PMWE between June 2012 and July 2013. Taking full advantage of PANSY radar's detectability, we calculated monthly-averaged height-time section of backscatter echo power in austral winter between 2012 and 2013. The result demonstrated that durations of PMWE strongly depended on hours of sunlight, although occurrence heights of PMWE, which range from 60 to 80 km, were fixed on every month and year. These statistical characteristics of PMWE were consistent with previous studies suggesting ionization at the PMWE height due to solar radiation play a dominant role in generation of PMWE [Zeller *et al.*, 2006; Lübken *et al.*, 2006]. However, the mean occurrence rate of PMWE estimated by our study was 20-30%, which was considerably higher than that of previous studies. It implies that atmospheric turbulence in the mesosphere would be driven by breakings of atmospheric gravity waves more frequently than past observations, especially in Antarctica, and the role of atmospheric gravity waves cannot be ignored when considering the long-term climate changes.

キーワード: 冬季極域中間圏エコー, 南極昭和基地大型大気レーダー, 大気重力波, 中性大気-プラズマ結合

Keywords: Polar Mesosphere Winter Echo, PANSY radar, Atmospheric gravity wave, Neutral-plasma interaction

## 大気光イメージングにより観測された南極昭和基地 (69S,39E) 上空の大気重力波の解析

### Analysis of atmospheric gravity waves observed by airglow imaging at Syowa Station (69S,39E), Antarctica

松田 貴嗣<sup>1\*</sup>; 中村 卓司<sup>2</sup>; 江尻 省<sup>2</sup>; 堤 雅基<sup>2</sup>; 塩川 和夫<sup>3</sup>; 田口 真<sup>4</sup>; 鈴木 秀彦<sup>4</sup>

MATSUDA, Takashi S.<sup>1\*</sup>; NAKAMURA, Takuji<sup>2</sup>; EJIRI, Mitsumu K.<sup>2</sup>; TSUTSUMI, Masaki<sup>2</sup>; SHIOKAWA, Kazuo<sup>3</sup>; TAGUCHI, Makoto<sup>4</sup>; SUZUKI, Hidehiko<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 総合研究大学院大学, <sup>2</sup> 国立極地研究所, <sup>3</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>4</sup> 立教大学

<sup>1</sup>Graduate University for Advanced Studies, <sup>2</sup>National Institute of Polar Research, <sup>3</sup>Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, <sup>4</sup>Rikkyo University

大気重力波（以下、重力波）は重力を復元力とした波動の一種であり、下層大気で励起された重力波は中間圏・下部熱圏へ運動量とエネルギーを輸送し、中間圏界面の平均風加速を引き起こすことで大循環を駆動し温度構造に影響を与える。重力波の種々のパラメータのうち、水平位相速度は波動の超高層大気への伝搬可能性を議論する上で重要なパラメータである。超高層大気下部にあたる高度 90km 付近で発光する大気光をイメージング観測することで、この領域の重力波を観測でき、水平位相速度を含めた水平伝搬特性を導出することができる。大気光イメージングによる重力波の統計解析の結果は 1990 年代以降数多く報告されているが、研究グループごとに重力波イベントの判別基準が異なることもあり、異なる観測地点で得られた結果同士を詳細に比較することは困難であった。また、近年自動観測により大気光イメージング観測データを大量に蓄積している観測点が増加してデータ量が巨大化する現状に比べ、重力波の解析方法はマンパワーに頼った統計解析であり、解析研究が追い付いていないという状況となっている。解析者の違いによる結果の偏りがなく、多地点観測や長期観測により得られた大量のデータを簡単に処理することのできる統計解析の手法の開発が急務となっていた。

我々極地研のグループでは、そのような問題を解決するために 3 次元フーリエ変換を用いた新しい解析方法を開発し、2013 年 SGPSS 秋学会（第 134 回総会および講演会）で紹介した。解析では、まず時間的に 60 分以上連続して雲やオーロラの影響がなく取得した大気光画像を地平座標に展開し、3 次元フーリエ変換を行うことで、東西波数、南北波数、周波数空間でのパワースペクトルを求めた。次に各周波数の波数空間スペクトルから、東西位相速度、南北位相速度空間でのスペクトルに変換し、最後に周波数方向にスペクトルを積分することで 2 次元の水平位相速度スペクトルを導出した。なお、このときに重力波として伝搬する成分を取り出すために対地周波数（対地周期）を 8-64 分、波数（水平波長）5-100km の成分のみを取り出して処理している。この手法を 2011 年 4 月から 9 月の昭和基地のデータについて適用し、目視により導出された水平位相速度と比較したところ、新手法が大気光画像から水平伝搬方向の統計を求める解析手法として有効であることを示していた。

新手法により、大気光イメージングデータを効率的に処理し、解析者による偏りの影響を受けずに水平伝搬方向の年変動などを議論することが可能になった。昭和基地では、2002 年および、2008 年から現在までの毎年全天大気光イメージング観測を行っている。また、南極大陸では、Halley 基地 (75S, 26W), Rothera 基地 (67S, 68W), McMurdo 基地 (78S, 167E), Davis 基地 (69S, 78E), 南極点基地 (90S) など多くの地点で大気光イメージング観測が行われている。これらの大量のデータを解析し南極域の中間圏・下部熱圏の重力波の振る舞いを記述することは重要課題であるが、我々はまず昭和基地における 7 年にわたるデータの解析を行い、重力波の季節変動や年変動を調べることを開始した。本発表では、その解析の状況を報告する。

キーワード: 大気重力波, 大気光イメージング

Keywords: atmospheric gravity wave, airglow imaging



## 母子里および鹿児島で観測された昼間トウイーク空電の初検出 First detection of daytime tweek atmospherics observed at Moshiri and Kagoshima, Japan

大矢 浩代<sup>1\*</sup>; 塩川 和夫<sup>2</sup>; 三好 由純<sup>2</sup>  
OHYA, Hiroyo<sup>1\*</sup>; SHIOKAWA, Kazuo<sup>2</sup>; MIYOSHI, Yoshizumi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 千葉大学大学院工学研究科, <sup>2</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所

<sup>1</sup>Graduate School of Engineering, Chiba University, <sup>2</sup>Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University

It is well known that tweek atmospherics can be observed only at night except for solar eclipse days, because daytime attenuation rate of the tweeks is much larger ( $\sim 70$  dB/1000 km) than that in nighttime ( $\sim 3$  dB/1000 km). In this presentation, we firstly report detection of daytime tweeks at Moshiri (Geographic coordinate: 44.37°N, 142.27°E) and Kagoshima (31.48°N, 130.72°E), Japan, on non-solar eclipse days in December, 1980. The daytime tweeks were observed both before and during a large magnetic storm during 16-20 December, 1980. The minimum Dst value was -240 nT at 04:00 UT on 20 December. The average occurrence numbers of the daytime tweeks at Moshiri and Kagoshima were 2.7 and 0.3 tweeks per minute, respectively. The local times (LT) when the daytime tweeks occurred were through 07:00 - 17:00 LT at Moshiri, while they were 07:00 - 09:00 LT and 15:00 - 17:00 LT at Kagoshima. All the daytime tweeks show clear frequency dispersion. The average duration was 18.94 ms, while that of nighttime tweeks is  $\sim 50$  ms. The average reflection heights of daytime tweeks at Moshiri and Kagoshima were 86.2 km and 94.7 km, respectively. The average reflection heights of nighttime tweeks at Moshiri and Kagoshima in same period were 87.1 km and 92.1 km, respectively. The variation of the daytime tweek reflection height was higher than that of nighttime tweeks. The horizontal propagation distance in daytime cannot be estimated from the dispersion, because the duration was too short to estimate the distance.

We found through a theoretical consideration that the VLF/ELF attenuation on the D-region ionosphere depends not only on the ionospheric height, but also the sharpness of electron density profiles,  $\beta$ . The  $\beta$  is a conventional parameter proposed by Wait and Spies [1964]. When the  $\beta$  increases, the attenuation decreases. Even daytime, when the  $\beta$  is occasionally large, the attenuation would become less down to be able to observe the tweeks. In this talk, we will show the results of the daytime tweeks and discuss their occurrence mechanism.

PEM36-12

会場:312

時間:4月28日 12:00-12:15

## 地磁気 Sq 場の 100 年以上の長期変化 Long term variation of geomagnetic Sq field over 100 years

竹田 雅彦<sup>1\*</sup>

TAKEDA, Masahiko<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 京大理・地磁気世界資料解析センター

<sup>1</sup>Data Analysis Center for Geomag. and Space Magnetism, Kyoto Univ

100 年以上の長期に亘る各観測所での地磁気 Sq 場の振幅変化を求め、電気伝導度や中性風の影響、それらの変化の大きな要因である太陽活動度、各地点での主磁場強度との関連を調べた。Sq 振幅の数年程度以上の時間規模の太陽活動度依存性は、電離層電気伝導度の太陽活動度依存性によって説明できた。概して風速は太陽活動度が小さいほど風速が大きい傾向があり、長期変化についても太陽活動度の長期変化に対応して 1900 年代の始めと終わりで速く中程で遅くなるが、それ以外の長期変化は見出されない。また、電離層ダイナモ理論は主磁場強度が弱くなると Sq 場は強くなると予測するが観測所毎の解析結果は必ずしもそうはでならず、その理由としては Sq 場の強度が観測所上空の主磁場にのみ支配されているわけではないということが考えられる。

学会時には全地球的球関数解析で得られた等価電流渦との関係についても触れる予定である。

キーワード: 地磁気日変化, 長期変化, 太陽活動度, 主磁場強度, 電気伝導度, 風速

Keywords: geomagnetic daily variation, long-term variation, solar activity, main field strength, electric conductivity, wind velocity

## 地磁気日変化に見られる超高層大気の長期変動 Long-term variation in the upper atmosphere as seen in the geomagnetic solar quiet (Sq) daily variation

新堀 淳樹<sup>1\*</sup>; 小山 幸伸<sup>2</sup>; 能勢 正仁<sup>2</sup>; 堀 智昭<sup>3</sup>; 大塚 雄一<sup>4</sup>; 谷田貝 亜紀代<sup>4</sup>

SHINBORI, Atsuki<sup>1\*</sup>; KOYAMA, Yukinobu<sup>2</sup>; NOSE, Masahito<sup>2</sup>; HORI, Tomoaki<sup>3</sup>; OTSUKA, Yuichi<sup>4</sup>; YATAGAI, Akiyo<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 京都大学生存圏研究所, <sup>2</sup> 京都大学大学院理学研究科附属地磁気世界資料解析センター, <sup>3</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所 ジオスペース研究センター, <sup>4</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所

<sup>1</sup>Research Institute for Sustainable Humanosphere (RISH), Kyoto University, <sup>2</sup>Data Analysis Center for Geomagnetism and Space Magnetism Graduate School of Science, Kyoto University, <sup>3</sup>Nagoya University Solar Terrestrial Environment Laboratory Geospace Research Center, <sup>4</sup>Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University

It has been well-known that the geomagnetic field on the ground shows a regular variation with a fundamental period of 24 hours during a solar quiet day. This daily variation depends on local time, latitude, season and solar cycle and has been called solar quiet (Sq) geomagnetic field daily variation. The Sq variation is mainly produced by magnetic effects due to ionospheric currents flowing in the E region of the ionosphere around 105 km. The global pattern of the Sq variation of the H-component shows positive and negative changes in the equatorial and middle-latitude regions around noon, respectively. The Sq current system expected from the geomagnetic field perturbations consists of two large current vortices: one is an anticlockwise current in the northern hemisphere and the other is a clockwise current in the southern hemisphere. The Sq current is dominant in the daytime ionosphere where ionospheric conductivity is relatively large, and is driven by electric fields originating from the ionospheric dynamo via the interaction between ionized and neutral particles. According to the Ohm's law, the main variables in the Sq amplitude are the ionospheric conductivity, the polarization electric field, the solar diurnal tide, and the intensity of the ambient magnetic field at the E-region height. Then, to investigate the long-term variation in the Sq amplitude is important for understanding the physical mechanism of long-term variation in the upper atmosphere related to solar activity and lower atmospheric change such as global warming. In this study, we investigated long-term variation in the Sq amplitude using 1-hour geomagnetic field data obtained from 184 geomagnetic observation stations within a period of 1947-2012 in order to clarify the physical mechanism of long-term variation in the upper atmosphere. For the analysis of long-term observation data obtained from a lot of geomagnetic stations, we took advantage of the IUGONET data analysis system (metadata database search system and data analysis software). The Sq amplitude is defined as a difference of the H-component of geomagnetic field between the maximum and minimum values each solar quiet day. We identified the solar quiet day as the day when the maximum Kp value is less than 4 for each day. As a result, the Sq amplitude observed at all the geomagnetic stations showed a clear dependence on the 11-year solar activity and it tended to be enhanced significantly during solar maximum. The Sq amplitude became the smallest around the minimum of 23/24 solar cycle in 2008-2009. The relationship between the Sq amplitude and F10.7 solar activity index was not linear but nonlinear. This nonlinearity could be interpreted as the decrease of production rate of electrons and ions in the ionosphere for the strong extreme ultraviolet (EUV) and ultraviolet (UV) fluxes. In order to minimize an effect of solar activity including the long-term variation in the Sq amplitude, we calculated second orders of fitting curve between the F10.7 solar index and Sq amplitude during 1947-2012, and examined the residual Sq amplitude defined as the deviation from the fitting curve. As a result, majority of the residual Sq trends passed through the trend test showed a negative value without dependence on geographical latitude and longitude. The tendency was strong in India, the southern part of Africa, and the northern part of America and Europe. In a region of northern part of America and Europe, the secular variation of magnetic inclination becomes relatively large, compared with other regions. Therefore, the long-term trend in the residual Sq amplitude could be linked to a change in the ionospheric conductivities associated with the secular variation of the ambient magnetic field and the upper atmosphere and electro motive force ( $U \times B$ ) via the interaction between ionized and neutral particles.

キーワード: 地磁気日変化, 太陽活動, 長期変動, 地磁気永年変化, 電離圏電気伝導度, 地球温暖化

Keywords: Geomagnetic solar quiet daily variation, Solar activity, Long-term variation, Geomagnetic secular variation, Ionospheric conductivity, Global warming

## HFDで観測された波面状Es水平移動速度の短時間増加 Temporal increases of horizontal speed of frontal Es observed by HFD

富澤 一郎<sup>1\*</sup>; 宮脇 公望<sup>1</sup>  
TOMIZAWA, Ichiro<sup>1\*</sup>; MIYAWAKI, Masami<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 電気通信大学宇宙・電磁環境研究センター

<sup>1</sup>Center for Space Science and Radio Engineering, The University of Electro-Communications

HFD観測によって得られた多数の波面状Esの水平移動速度を2012年を通して詳しく解析したところ、数10分から数時間のスケールで一時的に速度が増加する場合があることに気づいた。この一時的な速度増加現象は、1年間を通じて29回観測されたが全体の2.4%とわずかであり、主として夏季の21時JST頃に最も発生頻度が高いことが分かった。速度増加率は30%以下であったが、時にはピーク速度は200m/sを超えることもあった。速度変動の開始から終了までの継続時間は、40から300分まで大きく変化した。変動開始からピークまでの前半の速度増加時間の平均は35分、ピークから変動終了までの後半の速度減少時間の平均は50分と後半の時間の方が長いことが分かった。このような速度変動の原因としては、E層高度の広域電界の時間的変動または中性大気の水素イオン速度の時間変動によるものと考えられる。前者は広域で同時に変動し、後者は大気の移動に伴う空間的な時間ずれを生ずる。100km以上離れた観測点の速度変化時間について比較したところ、最大20分の時間ずれを生じることから、後者が原因と判断できる。つぎに、この速度変動の隣接波面間距離を求め、それをピークに関してプロットしたところ、ピーク付近で50km以下の最小値を取り、ピークから遠ざかるに従って次第に長くなって約200kmに達するような不等間隔構造であり、さらに各々のイベントについて全ての波面間隔を総計することにより、全体構造の大きさを求めたところ、最大1400kmで65%が400km以下の局所的変動現象であることが分かった。一方、100km以上離れた観測点のピーク速度が異なり、その速度変化の形状が異なることから、構造が非等方であると考えられる。以上の特徴を総合し、今回観測された速度変化を伴うEs波面が直線ではなく渦状構造をもつと結論した。

キーワード: 波面状Es, 水平移動速度, 短時間増加, HFD観測

Keywords: frontal Es, horizontal speed, temporal increase, HF Doppler observation



## ロケット及び地上観測による中規模伝搬性電離圏擾乱の研究 Study of medium-scale traveling ionospheric disturbances (MSTID) with sounding rock- ets and ground observations

山本 衛<sup>1\*</sup>; 加藤 寛大<sup>1</sup>; 石坂 圭吾<sup>2</sup>; 横山 竜宏<sup>3</sup>; 岩上 直幹<sup>3</sup>; 高橋 隆男<sup>5</sup>; 田中 真<sup>5</sup>; 遠藤 研<sup>6</sup>; 熊本 篤志<sup>6</sup>; 渡部 重十<sup>7</sup>; 山本 真行<sup>8</sup>; 阿部 琢美<sup>9</sup>; 斎藤 享<sup>10</sup>; 津川 卓也<sup>3</sup>; 西岡 未知<sup>3</sup>; Bernhardt Paul<sup>11</sup>; Larsen Miguel<sup>12</sup>  
YAMAMOTO, Mamoru<sup>1\*</sup>; KATO, Tomohiro<sup>1</sup>; ISHISAKA, Keigo<sup>2</sup>; YOKOYAMA, Tatsuhiko<sup>3</sup>; IWAGAMI, Naomoto<sup>3</sup>; TAKAHASHI, Takao<sup>5</sup>; TANAKA, Makoto<sup>5</sup>; ENDO, Ken<sup>6</sup>; KUMAMOTO, Atsushi<sup>6</sup>; WATANABE, Shigeto<sup>7</sup>; YAMAMOTO, Masa-yuki<sup>8</sup>; ABE, Takumi<sup>9</sup>; SAITO, Susumu<sup>10</sup>; TSUGAWA, Takuya<sup>3</sup>; NISHIOKA, Michi<sup>3</sup>; BERNHARDT, Paul<sup>11</sup>; LARSEN, Miguel<sup>12</sup>

<sup>1</sup> 京都大学生存圏研究所, <sup>2</sup> 富山県立大学, <sup>3</sup> 情報通信研究機構, <sup>4</sup> 東京大学理学研究科, <sup>5</sup> 東海大学情報教育センター, <sup>6</sup> 東北大学理学研究科, <sup>7</sup> 北海道大学理学研究科, <sup>8</sup> 高知工科大学, <sup>9</sup> JAXA 宇宙科学研究所, <sup>10</sup> 電子航法研究所, <sup>11</sup> NRL, <sup>12</sup> クレムソン大学

<sup>1</sup>RISH, Kyoto University, <sup>2</sup>Toyama Prefectural University, <sup>3</sup>NICT, <sup>4</sup>School of Science, University of Tokyo, <sup>5</sup>ICT Education Center, Tokai University, <sup>6</sup>School of Science, Tohoku University, <sup>7</sup>School of Science, Hokkaido University, <sup>8</sup>Kochi University of Technology, <sup>9</sup>JAXA/ISAS, <sup>10</sup>ENRI, <sup>11</sup>NRL, <sup>12</sup>Clemson University

Medium-scale traveling ionospheric disturbance (MSTID) is an interesting phenomenon in the F-region. The MSTID is frequent in summer nighttime over Japan, showing wave structures with wavelengths of 100-200 km, periodicity of about 1 hour, and propagation toward the southwest. The phenomena are observed by the total electron content (TEC) from GEONET, Japanese dense network of GPS receivers, and 630 nm airglow imagers as horizontal pattern. It was also measured as Spread-F events of ionograms or as field-aligned echoes of the MU radar. MSTID was, in the past, explained by Perkins instability (Perkins, 1973) while its low growth rate was a problem. Recently 3D simulation study by Yokoyama et al (2009) hypothesized a generation mechanism of the MSTID, which stands on electromagnetic E/F-region coupling of the ionosphere. The hypothesis is that the MSTID first grows with polarization electric fields from sporadic-E, then show spatial structures resembling to the Perkins instability. We recently conducted a observation campaign to check this hypothesis. We launched JAXA ISAS sounding rockets S-310-42 and S-520-27 at 23:00 JST and 23:57JST on July 20, 2013 while an MSTID event was monitored in real-time by the GPS-TEC from GEONET. We found 1-5mV/m northeastward/eastward electric fields during the flight. Variation of electric fields were associated with horizontal distribution of plasma density. Wind velocity was measured by the TME and Lithium releases from S-310-42 and S-520-27 rockets, respectively, showing southward wind near the sporadic-E layer heights. These results are consistent to the expected generation mechanism shown above. In the presentation we will discuss electric-field results and its relationship with plasma density variability together with preliminary results from the neutral-wind observations.

Keywords: MSTID, Sounding rocket, Electric field, GPS-TEC, Observation campaign

## IMAP/VISIで観測された赤道電離異常に伴う O630nm 発光特性 Characteristics of O630nm emission associated with equatorial ionization anomaly obtained with IMAP/VISI

坂本 大樹<sup>1</sup>; 坂野井 健<sup>1\*</sup>; Perwitasari Septi<sup>1</sup>; 大塚 雄一<sup>2</sup>; 齊藤 昭則<sup>3</sup>; 秋谷 祐亮<sup>3</sup>; 穂積 裕太<sup>3</sup>; 山崎 敦<sup>4</sup>  
SAKAMOTO, Daiki<sup>1</sup>; SAKANOI, Takeshi<sup>1\*</sup>; PERWITASARI, Septi<sup>1</sup>; OTSUKA, Yuichi<sup>2</sup>; SAITO, Akinori<sup>3</sup>; AKIYA, Yusuke<sup>3</sup>; HOZUMI, Yuta<sup>3</sup>; YAMAZAKI, Atsushi<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>3</sup> 京都大学大学院理学研究科, <sup>4</sup> 宇宙科学研究所

<sup>1</sup>Grad. School of Science, Tohoku University, <sup>2</sup>STEL, Nagoya University, <sup>3</sup>Grad. School of Science, Kyoto University, <sup>4</sup>ISAS / JAXA

低緯度電離圏 F 領域における特有の現象として赤道異常 (EIA: Equatorial Ionization Anomaly) がある。EIA とは磁気赤道から電場により持ち上げられたプラズマが高高度で磁力線に沿って南北両半球へ降下することで発生する現象であり、プラズマの密度分布は赤道上で極小をとらず、その両側 (磁気緯度約  $\pm 15^\circ$ ) で極大をとる分布となる。この EIA に伴う O630nm 発光に関するこれまでの研究は、主に地上からの光学ならびに電波観測に基づき行われてきた。そのため、広域の観測することが困難であり、EIA の南北の対称性や季節変化、地方時依存性などの特徴を詳細に調べることが出来なかった。

ISS (国際宇宙ステーション) に搭載された IMAP/VISI は、高度約 400km から全経度と緯度約  $\pm 52^\circ$  の広範囲に渡って 630nm 大気光観測を行うことが可能であり、EIA に伴う O630nm 発光のグローバル観測ができる。

本研究ではこの ISS - IMAP/VISI の利点を生かし、2012 年 9 月から 2013 年 12 月の 1 年間以上に取得された約 950 パスの O630nm 発光観測データを統計解析し、EIA に伴う O630nm 発光の地方時依存性、経度分布、季節変動や南北非対称性、磁気嵐依存性などの時間・空間変動を明らかにすることを目的とする。

データ解析手法について、まず O630nm の強度分布を導出し、これを緯度方向に積分した。また、解析イベント選定基準は、主に以下の 4 点を満たすものとした。(1) 中緯度における大気光強度から決定された背景の大気光より強いピークを持つこと、(2) EIA に伴う増光の全領域が観測されていること、(3) 南北両半球の EIA が分離していること、(4) 月の位相が 0.5 (半月) 以下の日、または 0.5 以上でも月が出ていない時間帯であること。

データ解析の結果、EIA に伴う O630nm 発光の地方時依存性については、日没から時間経過し深夜に行くに従い発光が減少する傾向が見られた。しかしながら、同じ地方時における発光強度の値の分散が大きい結果となった。この事実は、単なる地方時依存性に加えて経度依存性、季節依存性等の他の変動要因が重なっていることを示唆する。

次に、EIA に伴う O630nm 発光の季節依存性については、南北両半球とも、冬半球側で EIA に伴う O630nm 発光強度がより強くなる結果が得られた。この事実は、地軸の傾きのために、冬半球では熱圏潮汐風が極向き風となり、電離圏イオンを押し下げる効果で解釈される。しかし、いずれの月においても発光強度に大きなばらつきを示した。

また EIA に伴う O630nm 発光強度の経度依存性について、秋分時 (2013 年 9 月から 10 月) の観測データを用いて調べた。この結果、磁気赤道 (dip equator) が地理赤道の南に位置する場所 ( $200^\circ \sim 310^\circ$ ) では北半球において EIA に伴う O630nm 発光強度が南半球より大きくなり、これ以外では南半球で発光強度が大きくなる結果となった。これは熱圏潮汐風による電離圏上下変動による効果と考えられる。

2013 年 3 月の磁気嵐時における EIA に伴う O630nm 発光強度変動については、Dst 指数の絶対値が 90 以上の時に発光が小さくなる結果になった。また Dst 指数の絶対値が 90 以下の時には、Dst 指数と O630nm 発光との間には明確な相関関係は見られなかった。また、赤道環電流発達時に O630nm 発光強度の減少がみられ、この発光減少の原因として、赤道環電流発達時に Region2 電流系の昼間側の西向き電場が低緯度まで侵入し、EIA 発達に影響を与えたことが考えられる。

キーワード: 国際宇宙ステーション, 大気光, 熱圏, 電離圏, 赤道異常, IMAP

Keywords: ISS, airglow, thermosphere, ionosphere, equatorial ionization anomaly, IMAP

## ISS-IMAP と地上イメージャとの同時観測による大気光構造の解析 Analysis of the airglow structures using the simultaneous observations by ISS-IMAP and all-sky imagers

幸野 淑子<sup>1\*</sup>; 齊藤 昭則<sup>1</sup>; 大塚 雄一<sup>2</sup>; 坂野井 健<sup>3</sup>  
YUKINO, Hideko<sup>1\*</sup>; SAITO, Akinori<sup>1</sup>; OTSUKA, Yuichi<sup>2</sup>; SAKANOI, Takeshi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 京大・理・地球物理, <sup>2</sup> 名大 STE 研, <sup>3</sup> 東北大・理

<sup>1</sup>Dept. of Geophysics, Kyoto Univ., <sup>2</sup>STEL, Nagoya Univ., <sup>3</sup>Grad. School of Science, Tohoku Univ.

ISS-IMAP とハワイ全天イメージャの同時観測により大気重力波の空間構造の解析を行った。水平波長が 10km?100km の中間圏・熱圏における大気重力波については多くの地上観測がなされてきているが、全経度域において水平スケール 100 km 以上の大気重力波を観測することを目的として、2012 年 7 月 21 日に ISS-IMAP が打ち上げられた。国際宇宙ステーション (ISS) の軌道高度は約 400 km、軌道傾斜角は 51.6 度である。ISS-IMAP の可視・近赤外分光観測装置 (VISI) は大気光の撮像を行っており、その空間分解能は 10 km?25 km である。本研究では、ハワイ (20.48 度 N、156.2 度 W) の全天イメージャのデータと、ISS-IMAP/VISI のデータを用いて、大気重力波の空間構造を解析した。VISI の観測波長は 630 nm、730 nm と 762 nm であり、ハワイ全天イメージャの観測波長は 630 nm と、557.7 nm で、5.5 分の時間分解能で得られる。両観測から得られる 630 nm 大気光構造の比較と、高度 95 km 付近で発光する全天イメージャから得られる 557.7 nm 大気光構造と ISS-IMAP/VISI から得られる 762 nm 大気光とについて、VISI がハワイの上空を通過し、かつ、地上観測点上空が晴れの日のデータの比較を行った。その結果、ハワイ全天イメージャでプラズマ・バブルが観測された時刻において、VISI でも 630 nm でプラズマ・バブルが観測され、両観測の比較により、空間スケール及び鉛直構造を解析した。また、プラズマ・バブルを利用して全天イメージャと VISI の輝度比較を行い、VISI の観測感度校正を行った。発表では大気重力波の構造の空間スケールについても報告する。

キーワード: 大気光, プラズマ・バブル, ISS-IMAP

Keywords: airglow, plasma bubble, ISS-IMAP

PEM36-18

会場:312

時間:4月28日 15:00-15:15

## ISS-IMAP/EUVIで観測された夕方側電離圏上部Heイオンの水平構造 Horizontal structures of ionized Helium in the topside ionosphere of dusk side observed by ISS-IMAP/EUVI

穂積 裕太<sup>1\*</sup>; 齊藤 昭則<sup>1</sup>; 山崎 敦<sup>2</sup>; 村上 豪<sup>2</sup>; 吉川 一郎<sup>3</sup>  
HOZUMI, Yuta<sup>1\*</sup>; SAITO, Akinori<sup>1</sup>; YAMAZAKI, Atsushi<sup>2</sup>; MURAKAMI, Go<sup>2</sup>; YOSHIKAWA, Ichiro<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科地球物理学教室, <sup>2</sup> 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所, <sup>3</sup> 東京大学  
<sup>1</sup>Department of Geophysics, Graduate School of Science, Kyoto University, <sup>2</sup>Institute of Space and Astronautical Science / Japan Aerospace Exploration Agency, <sup>3</sup>The University of Tokyo

Horizontal structures of ionized Helium in the topside ionosphere of dusk side were obtained with the Extreme Ultra Violet Imager (EUVI) of the ISS-IMAP (Ionosphere, Mesosphere, upper Atmosphere and Plasmasphere mapping) mission. EUVI has taken image of He He II radiation (30.4 nm) from the International Space Station (ISS) since October 2012. In this work, images taken in 2013 were analyzed. North-south asymmetry and longitudinal structure of ionized Helium were found. Seasonal dependence of these horizontal structures will be discussed.

キーワード: 上部電離圏, ISS-IMAP, ヘリウムイオン  
Keywords: Topside ionosphere, ISS-IMAP, Ionized Helium



## SuperDARN 北海道-陸別 HF レーダーを用いた太陽フレアによる電離圏環境変動の研究 Study of ionospheric disturbance characteristics during solar flare events using the Super-DARN Hokkaido radar

渡辺 太規<sup>1</sup>; 西谷 望<sup>1\*</sup>

WATANABE, Daiki<sup>1</sup>; NISHITANI, Nozomu<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 太陽地球環境研究所

<sup>1</sup>Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University

電離圏は電波通信や衛星通信の安定性を確保するために重要な領域である。短波帯電波が突然通信不能となるデリンジャー現象をはじめ、太陽フレア時には X 線、 $\gamma$  線、EUV、高エネルギー粒子などが地球に到達することで、様々な電離圏擾乱が生じる。そのため、電波通信や衛星通信を利用するにあたって、太陽フレアによる電離圏擾乱の特性を理解することは必要不可欠である。本研究では、フレアによる電離圏擾乱の中でも特に電離圏電子密度変動を研究した。過去のフレア時における電離圏電子密度変動については、GPS やビーコン電波等を用いた全電子数突然増加 (SITEC) がよく研究されてきた。SITEC は電子密度を高度で積分しているため、電子密度変化の高度分布は得られない。本研究においては、フレア時における電離圏電子密度変動の高度別特性の識別を行った。太陽フレア時、短波帯電波にはドップラーシフトが生じることが知られている。このドップラーシフトは D,E 層での電子密度変化から影響を受けた場合と、F 層での電子密度変化から影響を受けた場合で、異なる周波数依存性と仰角依存性を持つ。本研究はこの性質を利用し、2006 年 12 月から 2013 年 5 月までに生じた M2.0 クラス以上のフレアイベントに対し、北海道-陸別 HF レーダーの電波のドップラーシフトを解析した。その結果、D,E 層の電子密度変動の影響が大きいと考えられるイベントが多数見受けられた。どちらの影響が強いかわかるイベントも多く見受けられたが、F 層の電子密度変動の影響が大きいと考えられるイベントは存在しなかった。よって、本研究では太陽フレア時では、D,E 層の電子密度変動が支配的であると結論付けた。またレーダーのドップラーシフトの性質を量的に解析することで、電子密度変化量を見積もった。この変化量に対して独立に、衛星観測による X 線、EUV 放射強度データを用いて計算を行い、電離圏電子密度変化量を算出した。これらの計算結果を比較することで、レーダー観測の妥当性を評価した。

キーワード: SuperDARN, 北海道-陸別 HF レーダー, 太陽フレア, 電離圏変動, 光化学反応, レンジ依存性

Keywords: SuperDARN, Hokkaido radar, solar flares, ionospheric disturbances, photochemical reaction, range dependence

## 大気圏潮汐作用による電離圏夜間中緯度電子密度異常の変化 Thermospheric tidal effects on the ionospheric midlatitude summer nighttime anomaly

陳佳宏<sup>1\*</sup>; Lin Charles<sup>1</sup>; Chang Loren<sup>2</sup>; Huba J. D.<sup>3</sup>; 齊藤 昭則<sup>4</sup>; 劉正彦<sup>2</sup>  
CHEN, Chia-hung<sup>1\*</sup>; LIN, Charles<sup>1</sup>; CHANG, Loren<sup>2</sup>; HUBA, J. D.<sup>3</sup>; SAITO, Akinori<sup>4</sup>; LIU, Jann-yenq<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 台湾国立成功大学地球科学学科, <sup>2</sup> 台湾国立中央大学太空科学研究所, <sup>3</sup> Plasma Physics Division, Naval Research Laboratory, Washington, D. C., USA, <sup>4</sup> 日本京都大学理学研究科

<sup>1</sup>Department of Earth Science, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan, <sup>2</sup>Institute of Space Science, National Central University, Chung-Li, Taiwan, <sup>3</sup>Plasma Physics Division, Naval Research Laboratory, Washington, D. C., USA, <sup>4</sup>Department of Geophysics, Kyoto University, Kyoto, Japan

This study use a 3D physics-based ionospheric model, SAMI3, coupled with the National Center for Atmospheric Research Thermosphere Ionosphere Electrodynamics General Circulation Model (TIEGCM) and Global Scale Wave Model (GSWM) to simulate the mesospheric and lower thermospheric tidal effects on the development of midlatitude summer nighttime anomaly (MSNA). Using this coupled model, the diurnal variation of MSNA electron densities at 300 km altitude is simulated on both June solstice (day of year (DOY) 167) and December solstice (DOY 350) in 2007. Simulation results show successful reproduction of the southern hemisphere MSNA structure including the eastward drift feature of the southern MSNA, which is not reproduced by the default SAMI3 runs using the neutral winds provided by the empirical Horizontal Wind Model 93 (HWM93) neutral wind model. A linear least squares algorithm for extracting tidal components is utilized to examine the major tidal component affecting the variation of southern MSNA. Results show that the standing diurnal oscillation component dominates the vertical neutral wind manifesting as a diurnal eastward wave-1 drift of the southern MSNA in the local time frame. We also find that the stationary planetary wave-1 component of vertical neutral wind can cause diurnal variation of the summer nighttime electron density enhancement around the midlatitude ionosphere.

キーワード: 中緯度, 電子密度異常, 大気圏潮汐作用

Keywords: Midlatitude Summer Nighttime Anomaly, thermospheric tidal effect

## カスプ域の熱圏質量密度異常に対する水平イオンドラッグの影響 Horizontal ion drag effect on the thermospheric mass density anomaly in the cusp

松村 充<sup>1\*</sup>; 田口 聡<sup>2</sup>  
MATSUMURA, Mitsuru<sup>1\*</sup>; TAGUCHI, Satoshi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 電気通信大学宇宙・電磁環境研究センター, <sup>2</sup> 電気通信大学情報理工学研究科

<sup>1</sup>Center for Space Science and Radio Engineering, University of Electro-Communications, <sup>2</sup>Graduate School of Informatics and Engineering, University of Electro-Communications

CHAMP 衛星の観測により、熱圏のカスプ域では質量密度が周囲よりも統計的に約 30 % 高くなることが知られている。多くの研究では、質量密度の増大は、加熱による鉛直方向の質量輸送によって引き起こされると考えられており、何が加熱率をカスプ域で極大にするかが研究の焦点となっている。一方、水平方向の質量輸送に関しては全く言及されていない。極域の電離圏対流は、イオンドラッグを通じて中性大気に水平運動量を与えるため、対流速度やそれによるイオンドラッグの分布が、中性大気の質量分布にも影響を与える可能性がある。我々はこれまでに、昼夜境界がカスプ域付近にある場合については、イオンドラッグによってカスプ域付近で中性大気が圧縮されて質量密度が増大することを示した。我々は今回、昼夜境界がカスプ域付近にない場合について数値シミュレーションを行った。その場合においても、質量密度増大はカスプ域に局在化されることが明らかになった。イオンドラッグを含めない場合は、質量密度増大はカスプ域に局在化されなかった。本講演では対流速度およびイオンドラッグの分布と質量密度の増減の關係に着目して、質量密度がどのようにしてカスプ域に局在化されるのか説明する。

キーワード: 熱圏, 質量密度, カスプ, CHAMP 衛星

Keywords: thermosphere, mass density, cusp, CHAMP satellite

## 極冠パッチの縁 Edge of polar cap patches

細川 敬祐<sup>1\*</sup>; 田口 聡<sup>1</sup>; 小川 泰信<sup>2</sup>  
HOSOKAWA, Keisuke<sup>1\*</sup>; TAGUCHI, Satoshi<sup>1</sup>; OGAWA, Yasunobu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 電気通信大学, <sup>2</sup> 国立極地研究所

<sup>1</sup>University of Electro-Communications, <sup>2</sup>National Institute of Polar Research

A highly sensitive all-sky EMCCD airglow imager (ASI) has been operative in Longyearbyen, Norway (78.1N, 15.5E) since October 2011. One of the primary targets of this optical observation is a polar cap patch which is defined as an island of enhanced plasma density in the F region drifting anti-sunward across the central polar cap. Since the electron density within patches is often increased by a factor of 2-10 above that in the surrounding region, all-sky airglow measurements at 630.0 nm wavelength are capable of visualizing their spatial distribution in 2D fashion.

During a 4-h interval on the night of December 4, 2013, a series of polar cap patches was observed by the ASI in Longyearbyen. By using the high-quality ASI images, we estimated the gradients in the leading/trailing edges of the patches and found that the gradient in the leading edge is 2-3 times steeper than that in the trailing edge. We also identified finger-like undulating structures growing along the trailing edge of the patches. Generation of these fingers is probably governed by a structuring through the gradient-drift instability which is known to occur only along one side of patches.

From these observations, we suggest that such a structuring process can transport and mix the patch plasma across their trailing edges so that the scale size of the edges get extended. This means that the structuring through the plasma instability can strongly influence the large-scale shape of patches. Such a knowledge is of particular importance for better understanding the space weather effects of patches on the trans-ionospheric satellite communications in the polar cap region.

キーワード: 極冠域電離圏, 大気光, 極冠パッチ, プラズマ不安定

Keywords: Polar cap ionosphere, Airglow, Polar patches, Plasma instability



## SEALION 観測データを用いた、赤道エレクトロジェット、日没付近の赤道電場増加、赤道スプレッド F 出現についての相関解析

### Correlation analysis between equatorial electrojet, pre-reversal enhancement and equatorial spread F in Southeast Asia

国武 学<sup>1\*</sup>; 津川 卓也<sup>1</sup>; 横山 竜宏<sup>1</sup>; 西岡 未知<sup>1</sup>; 山本 和憲<sup>1</sup>; 石橋 弘光<sup>1</sup>; 長妻 努<sup>1</sup>; 丸山 隆<sup>1</sup>; 石井 守<sup>1</sup>; 塩川 和夫<sup>2</sup>  
KUNITAKE, Manabu<sup>1\*</sup>; TSUGAWA, Takuya<sup>1</sup>; YOKOYAMA, Tatsuhiko<sup>1</sup>; NISHIOKA, Michi<sup>1</sup>; YAMAMOTO, Kazunori<sup>1</sup>; ISHIBASHI, Hiromitsu<sup>1</sup>; NAGATSUMA, Tsutomu<sup>1</sup>; MARUYAMA, Takashi<sup>1</sup>; ISHII, Mamoru<sup>1</sup>; SHIOKAWA, Kazuo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 情報通信研究機構, <sup>2</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所

<sup>1</sup>NICT, <sup>2</sup>STE Lab., Nagoya Univ.

赤道スプレッド F (equatorial spread F) [ESF] の発生には、日没付近の電場増加 (pre-reversal enhancement) [PRE] が関連することが知られている。PRE 強度、ESF 発生と赤道エレクトロジェット (equatorial electrojet) [EEJ] との関連については、地磁気データとイオノゾンデ観測データとを用いて研究が進められてきた。Uemoto et al.(2010) により、赤道エレクトロジェットが日没前 1-2 時間に西向きに流れている場合 (夕方にカウンターエレクトロジェットが出現している場合) には、PRE の強度が抑制され、ESF の発生も減ることが統計的に示された。その解析には、2007 年 11 月から 2008 年 10 月の東南アジア域での SouthEast Asia Low-latitude Ionospheric Network (SEALION) 観測データが用いられた。この期間は、太陽活動極小期にあたる。

本研究では、引き続き、SEALION 観測データを用いている。期間を、2007 年から 2013 年と 7 年間に拡張し、太陽活動極小期から極大期まで解析することにした。日々変化に焦点を当てたイベント解析と長期データを用いた統計解析とを行なった結果を報告する。用いたデータは、地磁気観測が、Phuket (地理緯度 北緯 8.09 度、地理経度 東経 98.32 度、dip lat. -0.2 度)、Kototabang (南緯 0.20 度、東経 100.32 度、dip lat. -10.1 度)、イオノゾンデ観測が、Chumphon (北緯 10.72 度、東経 99.37 度、dip lat. 3.0 度)、Chiang Mai (北緯 18.76 度、東経 98.93 度、dip lat. 12.7 度)、Kototabang (南緯 0.20 度、東経 100.32 度、dip lat. -10.1 度) である。

キーワード: エレクトロジェット, スプレッド F, PRE, 日々変化, SEALION, 赤道

Keywords: electrojet, equatorial spread F, day-to-day variation, SEALION

## 子午面イオノゾンデ観測網による低緯度電離圏ダイナミクス: Ionospheric Ceiling Low-latitude ionosphere dynamics as deduced from meridional ionosonde chain: Ionospheric ceiling

丸山 隆<sup>1\*</sup>; 上本 純平<sup>1</sup>; 石井 守<sup>1</sup>; 津川 卓也<sup>1</sup>; SUPNITHI Pornchai<sup>2</sup>; KOMOLMIS Tharadol<sup>3</sup>  
MARUYAMA, Takashi<sup>1\*</sup>; UEMOTO, Jyunpei<sup>1</sup>; ISHII, Mamoru<sup>1</sup>; TSUGAWA, Takuya<sup>1</sup>; SUPNITHI, Pornchai<sup>2</sup>; KOMOLMIS, Tharadol<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 情報通信研究機構, <sup>2</sup> モンクット王工科大学ラカバン, <sup>3</sup> チェンマイ大学

<sup>1</sup>National Institute of Information and Communications Technology, <sup>2</sup>King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,

<sup>3</sup>Chiang Mai University

Peculiar ionospheric features at low latitudes originate in the earth's magnetic field configuration that has a shape of arch. Near the magnetic equator, the daytime eastward electric field raises the ionosphere to high altitudes where the ion-neutral collision frequency reduces. The ionospheric plasma slips down over off-equatorial latitudes along the arch-shaped magnetic field line by the earth's gravity acceleration and the reduced ion-neutral drag, which is called the fountain effect. As a consequence, the latitudinal distribution of ionospheric critical frequency (foF2) forms two crests at low latitudes and a trough above the magnetic equator, which is well-known equatorial anomaly in foF2 distribution. As for the diurnal variation of the ionosphere above the magnetic equator, foF2 once increases in the morning and decreases before noon along with the development of the equatorial anomaly, which is called noon bite-out. Another feature at the magnetic equator, associated with the fountain effect, is the relatively steady ionospheric peak height (hmF2) around noon, even though the EXB drift is upward throughout the daytime. However, not much attention has been paid to hmF2 except for the time rate of change of it in connection with the vertical plasma drift velocity.

Interest in the equatorial anomaly has been focused mostly on foF2 (or NmF2), and there have been a few studies on hmF2 variations associated with equatorial anomaly development. In this paper, we revisit the equatorial anomaly in terms of height variations. For this purpose, we analyzed scaled ionogram parameters from three stations located along the magnetic meridian that is a primary component of Southeast Asia low-latitude ionospheric network (SEALION); one at the magnetic equator and the others at conjugate off-equatorial latitudes near 10 degrees magnetic latitude.

The daytime hmF2 was investigated for each season during the solar minimum period, 2006-2007 and 2009. The peak height increased for approximately 3 hr after sunrise at all locations, as expected from the daytime upward EXB drift. The apparent upward drift ceased before noon at the magnetic equator, while the layer continued to increase at the off-equatorial latitudes, reaching altitudes higher than the equatorial height around noon. The noon time restricted layer height at the magnetic equator did not depend on the season, while the maximum peak height at the off-equatorial latitudes largely varied with season. The daytime specific limiting height of the equatorial ionosphere was termed ionospheric ceiling. Numerical modeling using the SAMI2 code reproduced the features of the ionospheric ceiling quite well. Dynamic parameters provided by the SAMI2 modeling were investigated and it was shown that the ionospheric ceiling is another aspect of the fountain effect, in which increased diffusion of plasma at higher altitudes has a leading role.

キーワード: 赤道異常, EXB ドリフト, 低緯度電離圏観測ネットワーク

Keywords: equatorial anomaly, fountain effect, ionospheric ceiling, EXB drift, SEALION

## プラズマバブルの高精細3次元数値シミュレーション Three-dimensional high-resolution plasma bubble modeling

横山 竜宏<sup>1\*</sup>; 品川 裕之<sup>1</sup>; 陣 英克<sup>1</sup>  
YOKOYAMA, Tatsuhiko<sup>1\*</sup>; SHINAGAWA, Hiroyuki<sup>1</sup>; JIN, Hidekatsu<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 情報通信研究機構

<sup>1</sup>National Institute of Information and Communications Technology

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。一方、電離圏内では地球磁場に沿った導電率が非常に高く、電場を通じてE-F領域間は強く結合されている。赤道域電離圏においては、赤道スプレッドF/プラズマバブルと呼ばれる現象の研究が古くから行われている。プラズマバブルに伴う局所的なプラズマ密度の不規則構造が発生した場合には、電波の振幅、位相の急激な変動（シンチレーション）が生じるため、GPS等による電子航法に深刻な障害を及ぼすことが知られており、その生成機構と発生の日々変化の解明が強く求められている。現象の発見当初から、プラズマバブルは電離圏F領域下部におけるRayleigh-Taylor不安定が原因であると予想され、磁気赤道上の2次元断面における数値シミュレーションにより、不安定の非線形成長がプラズマバブル生成の主な原因であることが確認された。2000年代後半以降になると、3次元でのプラズマバブルシミュレーションが一般的となり、プラズマバブルの3次元構造、南北中性風の効果、重力波によるシーディング等が研究されてきた。3次元モデルの最大の特徴は、磁力線によって結合された低緯度電離圏E領域の影響を含ませることができる点である。Rayleigh-Taylor不安定の成長率を磁力線に沿って積分して考えた場合、磁力線で結合された南北両半球のE領域の導電率の影響は非常に重要であり、実際、両半球のE領域が同時に日没し、E領域の導電率が急激に減少する時期に、プラズマバブルの発生頻度が高くなることが知られている。しかし、従来の数値モデルによる研究では、E領域プラズマの影響については重視されておらず、また、グリッド間隔も比較的粗く、プラズマバブル内部の構造については議論されてこなかった。本研究では、高精細赤道域電離圏数値モデルを新たに開発し、プラズマバブルの内部構造や、E領域の条件とプラズマバブルの成長との関係について検討した。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2kmとし、移流スキームに時間、空間共に3次精度を持つCIP法を用いることにより、プラズマバブルの壁面の非対称性を再現することに成功した。また、E領域の条件に応じてプラズマバブルの成長が大きく異なることも明らかとなった。将来的には、全球大気圏電離圏モデル(GAIA)に組み込み、より現実的な条件におけるプラズマバブルの成長条件について研究を発展させる予定である。

キーワード: プラズマバブル, 赤道スプレッドF, 赤道電離圏, 数値シミュレーション

Keywords: plasma bubble, equatorial spread F, equatorial ionosphere, numerical simulation

## 小型気球搭載を目的としたテレメトリおよび簡易運用システムの基礎開発 Basic development of a small balloon-mounted telemetry with its operation system

河野 紘基<sup>1\*</sup>; 柿並 義宏<sup>1</sup>; 山本 真行<sup>1</sup>

KONO, Hiroki<sup>1\*</sup>; KAKINAMI, Yoshihiro<sup>1</sup>; YAMAMOTO, Masa-yuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 高知工科大学

<sup>1</sup> Kochi Univ. of Tech

### 1. はじめに

国内において JAXA(宇宙航空研究開発機構) では科学観測用の高高度大気球が放球されている。特長として最高高度 50 km 程度まで上昇し、観測ロケットより安価かつ搭載機器の制限も少ないことから自由度の高い実験が可能であるが、大学等教育機関の研究室単位での大気球の独自開発は現実的に難しい。しかし近年の半導体センサーの普及により個人レベルでも打ち上げ可能な小型の気象観測気球(ラジオゾンデ)を用いて行う実験が海外で頻繁に行われるようになった(e.g. Near Space Ventures, Inc., 2013)。小型とはいえ直径 6 ft(≒ 180 cm)の観測気球の場合には気球本体と余裕浮力を除いた搭載能力は質量ベースで 2 kg ほどが見込め、到達高度は 35 km 程度まで期待できる。しかし国内において気球の飛行経路、ペイロードの落下地点予測は正確には困難であり、放球リスクは依然として高い状況にある。本研究では、国内での気象観測気球を用いた理学観測・工学実験を大学教育機関レベルで実現することを将来目標とし、現在行っている装置開発の取り組みについて報告する。

### 2. 装置開発

将来的に計画している気象観測気球の放球に向けて、係留バルーンをプラットフォームとした装置開発を行った。具体的には、市販の安価な小型バルーンに搭載できる 250 g 程度の小型テレメータとテレメトリデータを受信する地上局システムである。テレメータには無線モジュール、GPS、気圧高度、温湿度、カメラ、加速度、電子コンパス、電源モニターの各項目を監視するセンサーを搭載しており、各センサーの計測値が随時地上局に送信されるようになっている。

地上局システムでは、PC 上で動作する気球運用支援ソフトウェアを新たに開発し、予め設定した地上局位置情報とセンサーデータを用いて計算したリアルタイム情報を操作者に視覚的に提供することができる。さらに、ソフトウェアが自動出力する KML 形式ファイルを順次 Google Earth に読み込むことで気球位置のリアルタイムマッピングを行うことが出来るほか、GPS 位置情報から球面三角法で算出した気球方位角・仰角の情報を、開発したカメラ三脚搭載型トラッキングローテータに入力することで、小型の通信アンテナ等を常時気球方向に自動追尾することが可能である。

### 3. 実験結果

開発システムの動作評価として行った係留気球実験では、テレメトリ回線の極端な通信品質の低下という想定外の事象が発生し、地上局とテレメータ間の運用限界距離が約 110 m と大幅に制限されてしまった。実験前に行った地上予備実験における 270 m の通信距離(パケットロス率 0%)の記録とは対照的である。トラッキングローテータの指向角計算は単独測位の GPS 位置情報を利用しているため誤差は 5 から 10 m 程度あり、かつローテータの最大可動仰角が 50°であったため近距離での動作評価はシビアな条件となるが、約 110 m の通信距離範囲内では安定してバルーンを指向することができた。また、テレメータ、開発ソフトウェアは想定通りに動作し、特に問題となる点は見つからなかった。本発表では、装置開発の詳細と 2014 年 1 月の係留バルーン実験で得られたデータを発表する予定である。

キーワード: 気象観測気球, 係留気球, 成層圏, 高層大気, テレメータ, 組み込みシステム

Keywords: Weather balloon, Tethered balloon, Stratosphere, Upper atmosphere, Telemeter, Embedded system



## 成層圏突然昇温が両半球の中間圏・下部熱圏へ与える影響について Impacts of stratospheric sudden warming events in the mesosphere and lower thermosphere

渡部 公子<sup>1\*</sup>; 田中 孝<sup>1</sup>; 三好 勉信<sup>2</sup>

WATANABE, Kumiko<sup>1\*</sup>; TANAKA, Takashi<sup>1</sup>; MIYOSHI, Yasunobu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>九州大学大学院理学府地球惑星専攻, <sup>2</sup>九州大学理学研究院地球惑星科学部門

<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Sciences, Kyushu University, <sup>2</sup>Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Sciences, Kyushu University

成層圏突然昇温（以下 SSW）が極域や赤道域に及ぼす影響に関しては幅広く研究されているが、グローバルな観測データの制限等により、中間圏・下部熱圏に SSW が与える影響については詳しくわかっていない。特に、南半球への影響はほとんど調べられていないのが現状である。そこで本研究では、気象の再解析データを組み込んだ対流圏から熱圏までを解像できる大循環モデルを用いて、SSW に伴う気温場、風系場の変化についての力学的な解析を行った。特に、2008 年から 2010 年に発生した SSW について詳しく解析した。その結果、南半球の成層圏上部から熱圏までの領域で、SSW 発生時に気温降下が起こっていることがわかった。これにより、北半球で発生した SSW の影響が南半球の中間圏から下部熱圏領域にまで及んでいることがわかった。また、SSW に伴って、北半球極域の下部熱圏では昇温がみられることもわかった。これは、SSW 時に中間圏で励起されたプラネタリー波が下部熱圏まで伝播した結果と考えられる。

キーワード: 成層圏突然昇温, 中間圏, 下部熱圏

Keywords: stratospheric sudden warming, mesosphere, lower thermosphere

## 昭和基地レイリー/ラマンライダーによる対流圏から中間圏までの連続温度プロファイルの導出

### Vertical profiles of atmospheric temperature between upper troposphere and mesosphere obtained from Rayleigh/Raman lidar

西山 尚典<sup>1\*</sup>; 中村 卓司<sup>1</sup>; 江尻 省<sup>1</sup>; 阿保 真<sup>2</sup>; 川原 琢也<sup>3</sup>; 津田 卓雄<sup>1</sup>; 鈴木 秀彦<sup>4</sup>; 堤 雅基<sup>1</sup>; 富川 喜弘<sup>1</sup>  
NISHIYAMA, Takanori<sup>1\*</sup>; NAKAMURA, Takuji<sup>1</sup>; EJIRI, Mitsumu<sup>1</sup>; ABO, Makoto<sup>2</sup>; KAWAHARA, Taku d<sup>3</sup>; TSUDA, Takuo<sup>1</sup>; SUZUKI, Hidehiko<sup>4</sup>; TSUTSUMI, Masaki<sup>1</sup>; TOMIKAWA, Yoshihiro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 国立極地研究所, <sup>2</sup> 首都大学東京大学院システムデザイン研究科, <sup>3</sup> 信州大学工学部, <sup>4</sup> 立教大学理学部

<sup>1</sup>National Institute of Polar Research, <sup>2</sup>Graduate School of System Design, Tokyo Metropolitan University, <sup>3</sup>Faculty of Engineering, Shinshu University, <sup>4</sup>Faculty of Science, Rikkyo University

下層大気から上方へ伝搬する大気重力波は、上部対流圏から下部中間圏にかけて力学的なエネルギーと運動量の輸送および付与において重要な役割を担う。特に極域においては、これらの大気重力波の作用により極夜ジェットが減速することや、夏極から冬極への大規模子午線循環を引き起こすことが知られている。加えて、大気重力波の現実的な伝搬特性を考慮することで、既存の気候モデルに存在するバイアスが大きく改善されることが提唱されており、連続的な観測に基づいて上部対流圏から下部中間圏にかけての大気重力波の活動度を理解することは非常に重要な課題である。

国立極地研究所は、2010 年より 6 年間の南極地域重点研究観測を実施しており、このサブプロジェクトの一つ「南極域中層・超高層大気を通して探る地球環境変動」の一貫として、レイリー/ラマン (RR) ライダーを南極昭和基地 (南緯 69 度, 東経 39 度) に設置し、2011 年 2 月から対流圏上部と中層大気 (10-80 km) の温度の鉛直分布の観測を開始し、ほぼ 3 年にわたり観測を続けている。

昭和に設置された RR ライダーは同時に 4 チャンネルのフォトンカウントのデータを取得することが可能であり、それぞれのチャンネルのデータは個別のバイナリデータとして記録される。これらのデータのうち 3 つのチャンネル、Raman (10-30km), Rayleigh-Low (20-65km), Rayleigh-High (30-80km) のデータを使うことで、上部対流圏から下部中間圏におよぶ大気温度の高度プロファイルを推定することが可能となる。従来までは各々のチャンネルで個別に導出され個々のチャンネルにおいて大気温度のオフセットが生じていたが、これらの高度プロファイルを連結し高度方向に連続した大気温度の高度プロファイルを得る為に、以下のようなデータ解析プロセスの改良を試みている。(1)Rayleigh-Low 及び Raman のチャンネルのデータにおいてライダー方程式を解く際に、方程式を解き始める初期高度の温度を同時刻におけるそれぞれ Rayleigh-High 及び Rayleigh-Low のチャンネルのデータから求められた温度を代入する。(2) 時間及び高度方向に変動する背景光によるショットノイズ数を考慮した上で、各チャンネルにおけるライダー方程式の初期高度を解析プログラム上で自動的に決定する。(3) 初期高度から低高度側へ伝搬する温度誤差の評価を行う為に、人為的に初期高度の温度に -50K から 50K のオフセットを与え、どの高度においてどの程度の誤差に収束するか評価を行う。これらの手法によって、上部対流圏から下部中間圏における高度方向に連続的な大気温度プロファイルを得ることが可能となれば、大気重力波のポテンシャルエネルギーの高度・時間変動や極域成層圏雲と背景の大気温度の関係といった重要な課題に対して非常に有用なデータセットが得られることが期待される。本講演では、これら解析手法の詳細やデータベース作成を含めた将来展望について報告する。

キーワード: レイリー/ラマンライダー, 大気温度, 中間圏, 成層圏, 大気重力波, 極域成層圏雲

Keywords: Rayleigh/Raman lidar, Atmospheric temperature, Mesosphere, Stratosphere, Atmospheric Gravity Waves, Polar Stratospheric Clouds

## 南極観測用の波長可変共鳴散乱ライダーシステム: 現況について Tunable resonance scattering lidar system for Antarctic observation: Current status

津田 卓雄<sup>1\*</sup>; 江尻 省<sup>1</sup>; 西山 尚典<sup>1</sup>; 阿保 真<sup>2</sup>; 松田 貴嗣<sup>1</sup>; 川原 琢也<sup>3</sup>; 中村 卓司<sup>1</sup>  
TSUDA, Takuo<sup>1\*</sup>; EJIRI, Mitsumu<sup>1</sup>; NISHIYAMA, Takanori<sup>1</sup>; ABO, Makoto<sup>2</sup>; MATSUDA, Takashi<sup>1</sup>; KAWAHARA,  
Takuya<sup>3</sup>; NAKAMURA, Takuji<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 国立極地研究所, <sup>2</sup> 首都大学東京大学院システムデザイン研究科, <sup>3</sup> 信州大学工学部

<sup>1</sup>National Institute of Polar Research, <sup>2</sup>Graduate School of System Design, Tokyo Metropolitan University, <sup>3</sup>Faculty of Engineering, Shinshu University

We are developing a new resonance scattering lidar system to be installed at Syowa Station (69S, 39E) in Antarctica. For the new lidar system, we have employed a tunable alexandrite laser covering the resonance scattering wavelengths of two neutral species, which are atomic potassium (K, 770.11 nm) and atomic iron (Fe, 386.10 nm), and two ion species, which are calcium ion ( $\text{Ca}^+$ , 393.48 nm) and aurorally excited nitrogen ion ( $\text{N}_2^+$ , 390.30 nm, 391.08 nm). Thus the tunable resonance scattering lidar system will provide information on the mesosphere and lower thermosphere as well as the ionosphere. Using the tunable lidar and co-located other instruments, we will conduct a comprehensive ground-based observation of the low, middle, and upper atmosphere above Syowa Station. This unique observation is expected to make important contribution to studies on the atmospheric vertical coupling process and the neutral and charged particle interaction. In this presentation, we report current status of the tunable lidar system in development and test observations at National Institute of Polar Research in Tachikawa, Japan.

キーワード: 共鳴散乱ライダー, 南極, 昭和基地, K 層, Fe 層

Keywords: Resonance scattering lidar, Antarctica, Syowa Station, K layer, Fe layer

## カリウム共鳴散乱ライダー用ドップラーフリー飽和吸収分光実験 Doppler-free spectroscopy experiments for the Antarctic Potassium resonant lidar

川原 琢也<sup>1</sup>; 津田 卓雄<sup>2\*</sup>; 西山 尚典<sup>2</sup>; 江尻 省<sup>2</sup>; 阿保 真<sup>3</sup>; 中村 卓司<sup>2</sup>  
KAWAHARA, Takuya<sup>1</sup>; TSUDA, Takuo<sup>2\*</sup>; NISHIYAMA, Takanori<sup>2</sup>; EJIRI, Mitsumu<sup>2</sup>; ABO, Makoto<sup>3</sup>; NAKAMURA, Takuji<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 信州大学工学部, <sup>2</sup> 国立極地研究所, <sup>3</sup> 首都大学東京大学院システムデザイン研究科

<sup>1</sup>Faculty of Engineering, Shinshu University, <sup>2</sup>National Institute Polar Research, <sup>3</sup>System Design, Tokyo Metropolitan University

国立極地研究所は、6 年間のプロジェクトとして第Ⅷ期重点研究観測「南極域から探る地球温暖化」を 2010 年より推進している。中層・超高層大気観測研究は、その中のサブテーマⅠに位置付けられており、これまでに継続観測してきたレーザー・光学観測機器に、第Ⅷ期で新たに開発・導入が進められている大型のレーザーやライダーなどの測器を加え、地表から超高層大気にいたる大気の変動をとらえる計画である。波長可変共鳴散乱ライダーは、このプロジェクトの一環として昭和基地（69 S, 36 E）への導入を目指して開発が進められている。

送信系には波長可変レーザーのアレキサンドライト・レーザーを用いており、基本波の発振領域 768-788 nm と第 2 高調波（384-394 nm）とあわせて MLT 領域の複数の共鳴散乱原子をターゲットにする。現在は 770 nm のカリウム原子観測の準備をしており、既に 2013 年 1 月 28 日には国立極地研究所（36 N, 139 E）にてカリウム原子層の初観測に成功した。カリウムライダーとして密度観測のみならず温度観測を可能にするには、インジェクションシーディングによるスペクトル幅の狭帯域化と同時にシーダーの絶対波長モニターが必須である。そこで極地研究所で、カリウムセルを内蔵した Toptica 製のドップラーフリー飽和吸収分光装置システムを用いて絶対波長計測を行った。シーダーの波長を変化させ、飽和吸収分光装置を用いてカリウムセルを通過するシーダー透過光の強度をモニターし、共鳴散乱による減少量から吸収線を計測し絶対波長と対応させた。十分にシステムが安定化した後、波長スキャン範囲、ゲイン設定などの値の最適値を決定し、波長スキャン幅約 5fm(0.005pm) で吸収線計測を行った。結果、約 50fm(0.05pm) の間隔で存在する 3 本のクロスオーバー吸収線が明確に検出された。本講演ではこの実験の詳細を発表する。

キーワード: 南極, ライダー, カリウム, 共鳴散乱, ドップラーフリー

Keywords: Antarctica, lidar, Potassium, resonant scattering, Doppler Free



## トロンソナトリウムライダーの 3 次元観測化：同期実験と検証 Development of a 3D sodium lidar: synchronous experimentation and validation

村仲 渉<sup>1\*</sup>; 川原 琢也<sup>2</sup>; 野澤 悟徳<sup>3</sup>

MURANAKA, Wataru<sup>1\*</sup>; KAWAHARA, Taku d<sup>2</sup>; NOZAWA, Satonori<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 信州大学大学院, <sup>2</sup> 信州大学 工学部, <sup>3</sup> 名大 STE 研

<sup>1</sup>GSI, Shinshu University, <sup>2</sup>Faculty of Engineering, Shinshu University, <sup>3</sup>STE Lab., Nagoya University

EISCAT レーダサイト (Tromsø, Norway) で稼働中の高出力安定ナトリウム温度・風ライダーは、2010 年の設置から現時点で 4 シーズン目の観測が行われている。このライダーは波長 589nm では世界有数の 4W の出力を誇り、受信系に口径 35cm の一般的な天体望遠鏡を用いても十分高感度な観測を行うことができる。現在は天頂と東西南北のそれぞれに天頂角 30 度とした 5 方向観測を中心に行っている。

我々が開発中のシステムでは、任意の観測方向に調整可能な 3 次元システムを目的としている。一連の観測方向制御は望遠鏡の視野内にレーザ光を導入する動作を含め完全自動化を目指す。送信系は鉛直・水平軸の 2 台の電動回転ステージ上ミラーにより射出方向の制御をおこなう。組み上げた送信系では射出方向の再現性の精度は 0.1mrad 以下と十分な精度を実現している。受信系は口径 35cm の市販の電動天体望遠鏡を用いる。望遠鏡の視野に天体を導入し、天体の位置と時刻から望遠鏡の姿勢の調整を行う。望遠鏡の観測方向の再現性の精度は 5.3mrad である。

本発表では、送受信系で同一方向を観測する同期実験により実際の 3 次元観測の検証を行うとともに、その問題点と解決方法を示す。

キーワード: ナトリウム, ライダー, 3 次元観測

Keywords: sodium, lidar, three dimensional

## 昭和基地で観測された熱圏・中間圏 NO の季節変動の要因の解析 Analysis of the factors of seasonal variation of the thermosphere-mesosphere NO observed at Syowa Station

上村 美久<sup>1</sup>; 磯野 靖子<sup>1</sup>; 水野 亮<sup>1</sup>; 長浜 智生<sup>1</sup>; 江尻 省<sup>2</sup>; 堤 雅基<sup>2</sup>; 中村 卓司<sup>2\*</sup>

UEMURA, Miku<sup>1</sup>; ISONO, Yasuko<sup>1</sup>; MIZUNO, Akira<sup>1</sup>; NAGAHAMA, Tomoo<sup>1</sup>; EJIRI, Mitsumu K.<sup>2</sup>; TSUTSUMI, Masaki<sup>2</sup>; NAKAMURA, Takuji<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学 太陽地球環境研究所, <sup>2</sup> 国立極地研究所

<sup>1</sup>Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, <sup>2</sup>National Institute of Polar Research

太陽陽子などの高エネルギー粒子が地球大気に降りこんだ際、極域の上部成層圏や中間圏では窒素酸化物 (NO、NO<sub>2</sub>) が増加することが知られている (たとえば、Lopez-Puertas et al. 2005)。名古屋大学太陽地球環境研究所では国立極地研究所と共同して、南極昭和基地にミリ波分光観測装置を設置し、2012 年 1 月から NO スペクトルの連続観測を行っている。観測データから求められた下部熱圏・中間圏の NO カラム量は冬期におよそ  $1.7 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 、夏期におよそ  $0.5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  が得られ、冬期の方が夏期の約 3~4 倍のカラム量が多いという季節変化を示した。そこで、本研究では観測された NO カラム量の季節変化が熱圏・中間圏での化学反応過程による NO 自身の増加によるものか、大気輸送の影響によるものかを考察するために、熱圏・中間圏 CO の高度別の時間変化、極域における夜間の長さとの比較をおこなった。熱圏・中間圏において、CO は光化学寿命が 10 日~100 日程度と水平・垂直輸送にかかる時間と同等かそれより長く、大気輸送のトレーサーであると考えられる。CO の観測データとして AULA/MLS によるデータ (Version3.3) を用い、気圧 0.1-0.01 hPa、緯度 65° S-75° S のものを解析に利用した。

緯度 65° S-75° S の範囲の CO 混合比を一日ごとに平均したものの時間変化をみると、どの気圧においても冬期に体積混合比が増加し、夏期に減少する傾向を示した。CO 混合比の増加の始まる時期と NO カラム量の増加の始まる時期はほぼ一致しており、また、両者の季節変化は類似した特徴を示すように見える。さらに、気圧ごとの時間変化を見ると、冬期に CO 混合比のピークの時期は上方から下方にかけて遅れていく様子が見られており、これは時間経過とともに大気が下方に輸送されていることを示している。そこで、CO カラム量を算出し、NO カラム量とその変化を比べてみたところ、その相関は良いとは言えないものであった。一方、極域における夜間の長さとの NO カラム量の変化の比較を行ったところ、CO カラム量の変化との相関より、よい相関を得た。

これらのことより、下部熱圏・中間圏における冬期の NO カラム量の増加は NO を多く含む下部熱圏の大気塊の下降の影響に加えて、太陽光があたらないときは NO の消失反応が抑制されて NO カラム量の増加が起こり、春期にかけて太陽光が当たり始めた際に NO の消失反応が再開されカラム量の減少が起こっているものと考えられる。

本発表では、新しく取得したデータも加え、2 年分の観測結果について、熱圏・中間圏 CO の変化、極域における夜間の長さと比較した NO カラム量の季節変動について行った解析について述べる。

キーワード: ミリ波分光, 一酸化窒素 (NO)

Keywords: microwave spectroscopy, Nitric Oxide

## CHAMP 衛星が観測した中低緯度における微細沿磁力線電流と主磁場に垂直な二成分の相関関係 Small spatial scale field aligned currents in middle and low latitudes as observed by the CHAMP satellite

中西 邦仁<sup>1\*</sup>; 家森 俊彦<sup>1</sup>; 青山 忠司<sup>1</sup>; Luhr Hermann<sup>2</sup>  
NAKANISHI, Kunihito<sup>1\*</sup>; IYEMORI, Toshihiko<sup>1</sup>; AOYAMA, Tadashi<sup>1</sup>; LUHR, Hermann<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> ドイツ科学センター

<sup>1</sup>Department of Geophysics, Graduate School of Science, Kyoto University, <sup>2</sup>GeoForschungsZentrum, GFZ, Potsdam, Germany

我々は、低高度 (300-450 km) 精密磁場観測衛星 CHAMP の中低緯度の磁場観測データ解析から、周期が数十秒の微小 (1-5 nT) 磁場変動が全球的に存在する事を昨年の JPGU など報告してきた。磁場変動の周期と振幅の特徴から、下層大気起源の大気重力波による電離層ダイナモによって生成された微細な沿磁力線電流が全球的に存在すると解釈している。つまり、まず、下層大気擾乱によって励起した大気重力波が電離層まで伝搬する。次に、中性大気が振動しダイナモ作用が引き起こされ、Pedersen 電流および Hall 電流が流れる。次に、ダイナモ領域が有限であるため、分極電場が生じる。分極電場が磁力線に沿って反対半球方向に伝搬すると同時に、電離層電流が発散して沿磁力線電流となる。このようにして生成された沿磁力線電流の空間構造を、CHAMP 衛星が軌道に沿う時間変化として観測する。

また、新たに主磁場に垂直な 2 成分の相関関係の特徴について解析を行い、その結果、次の傾向がある事がわかった。観測地点の主磁場のデータについて、1) 正の伏角、正の偏角の場合、負の相関係数、2) 正の伏角、負の偏角の場合、正の相関係数、3) 負の伏角、正の偏角の場合、正の相関係数、4) 負の伏角、負の偏角の場合、負の相関係数の傾向がある。

当発表では、こうした相関関係の傾向も含めた磁場変動の特徴と整合的なモデルについて報告する。

キーワード: 沿磁力線電流の微細構造, 中低緯度, CHAMP 衛星, 大気重力波, 下層大気起源, 相関関係

Keywords: spatial structure of field aligned currents, middle and low latitudes, the CHAMP satellite, atmospheric gravity wave, the lower atmospheric origin, correlation relation

## CHAMP 衛星が観測した電離圏上空微小磁場変動の起源 Atmospheric origin of small-scale magnetic fluctuations as observed by CHAMP above the ionosphere

青山 忠司<sup>1\*</sup>; 家森 俊彦<sup>2</sup>; 中西 邦仁<sup>1</sup>

AOYAMA, Tadashi<sup>1\*</sup>; IYEMORI, Toshihiko<sup>2</sup>; NAKANISHI, Kunihiro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院 理学研究科 地球惑星科学専攻, <sup>2</sup> 京都大学大学院 理学研究科 附属地磁気世界資料解析センター

<sup>1</sup>Graduate School of Science, Kyoto University, <sup>2</sup>Graduate School of Science, Kyoto University

我々は低高度(300~450km)精密磁場観測衛星 CHAMP の中低緯度の磁場観測データを解析し、周期が数十秒の微小(0.1~5nT) 磁場変動が全球的に存在することを明らかにした。今までに磁場変動の特徴、特に明白な地理的特徴を持った季節依存性から、対流圏起源の水平方向のスケールが約 100 km の大気重力波による E 層ダイナモによって生成された沿磁力線電流の微細構造(~100 km)であると報告してきた。

そこで本発表では、対流圏起源の現象である事を検証するために大気重力波の活動度が高くなると知られている台風や前線などのメソスケールの気象イベントに注目し、電離圏上空での磁場変動との比較を行った。解析手法として、衛星位置から磁力線に沿って電離層高度(110km)までトレースしたその直下における気象イベントと比較した。

その結果、多くの台風や前線などの強い降雨エリア上空で大きな磁場擾乱が見られた。発表では統計的に対応関係を調べた結果も示す。

キーワード: 沿磁力線電流, 電離層ダイナモ, 大気重力波, 音波共鳴, CHAMP 衛星, 台風

Keywords: field-aligned current, ionospheric dynamo, atmospheric gravity wave, acoustic resonance, CHAMP satellite, typhoon



## 多点広角カメラ連続画像を用いた流星・火球速報システムの最適化 Optimization of notification system for bright meteor signals by using wide angle images at multiple sites

伊代野 淳<sup>1\*</sup>; 和田 直己<sup>2</sup>

IYONO, Atsushi<sup>1\*</sup>; WADA, Naoki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 岡山理科大学理学部基礎理学科, <sup>2</sup> 岡山理科大学理学研究科総合理学専攻

<sup>1</sup>Dept. of Fundamental Science, Okayama university of Science, <sup>2</sup>Graduate School of Science, Okayama university of Science

### 1. 背景

岡山理科大学では、2011 年 11 月より広角カメラによる夜間並びに昼間の空のデータ蓄積を行ってきた。当初スカイモニターとしての導入であったが、画像蓄積型の CCD カメラによる連続観測、サーバへのデータを転送により、実時間に近い形でデータ取得が可能であることが分かり、これらの利点を用いた明るい流星並びに火球現象の速報システムの開発に取り組んできた。ソフトウェアによる画像処理のみでは効率的な流星・火球の検出が難しいことが判明し、現在赤外線センサー並びに低周波音センサーとの連動をはかり、検出の効率化に取り組んでおり、その結果を報告する。

### 2. システム

システムは広角のレンズを組み込んだ CCD カメラと画像サーバーを接続し、ハウジングの中に設置し、連続運転を行っている。画像は、128（およそ 4 秒露出）フレーム積分を行い、欠損がない時間間隔で画像サーバーから自動転送を行っている。現在、一日 28800 枚の画像、500MB のデータ量で蓄積を行っている。画像データは、コントラスト改善の画像処理と差分並びにオブジェクト検出処理ソフトを用いてほぼオンラインで解析を行っている。また、新たに赤外線センサー並びに低周波音センサーをハウジング内に設置して同観測することで、比較的明るい規模の流星・火球を確実にとらえることを目指している。

### 3. 開発

本研究では、画像取得、センサー情報を総合したソフトウェア処理によって流星軌跡検出、到来方向測定、光度プロファイル測定をほぼオンライン化し、速報として

WEB に掲載するシステムを構築する。本発表では、主としてソフトウェアの開発とセンサーの詳細並びに結果について報告を行う。

キーワード: 流星, 火球, 流星群, 多地点観測

Keywords: meteor, fireball, simultaneous? observation, meteor shower

## S-310-40 号機による夜間電離圏下部領域の中波帯電波伝搬特性観測 Measurement of propagation characteristics of MF band radio waves in lower ionosphere by S-310-40 sounding rocket

石坂 圭吾<sup>1\*</sup>; 板屋 佳汰<sup>1</sup>; 芦原 佑樹<sup>2</sup>; 阿部 琢美<sup>3</sup>; 遠藤 研<sup>4</sup>; 熊本 篤志<sup>4</sup>

ISHISAKA, Keigo<sup>1\*</sup>; ITAYA, Keita<sup>1</sup>; ASHIHARA, Yuki<sup>2</sup>; ABE, Takumi<sup>3</sup>; ENDO, Ken<sup>4</sup>; KUMAMOTO, Atsushi<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 富山県立大学, <sup>2</sup> 奈良高等専門学校, <sup>3</sup> 宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所, <sup>4</sup> 東北大学

<sup>1</sup> Toyama Prefectural University, <sup>2</sup> NARA National College of Technology, <sup>3</sup> ISAS/JAXA, <sup>4</sup> Tohoku University

The ionospheric D region is important in radio wave propagation because it absorbs energy from waves at MF, HF and VHF, and it reflects LF and VLF signals. Then D region is present only during daylight hours. Therefore, in the night-time, the MF band radio waves are propagated as far as an area where its radio waves cannot be propagated in the daytime. This reason why the radio waves cannot receive is that the D region is disappeared at night. However, the MF band radio waves that transmit from distant place have not been often received at the mid latitude in the night-time. In this time the sporadic E region cannot be observed by the ionogram. We guess that the D region appear in the lowest ionosphere like a daytime. To farther study the structure of the lowest ionosphere, we propose a method to measure the very low electron densities that occur at altitudes from 50 km to 90 km using the partial and perfect reflection characteristics of electromagnetic waves.

S-310-40 sounding rocket experiment was carried out at Uchinoura Space Center (USC) at 23:48 JST on 19 December, 2011. The purpose of this experiment is the investigation of characteristics of radio wave propagation in the ionosphere and the estimation of electron density structure in the lower ionosphere, when the intensity of radio wave measured on the ground will be attenuate at night-time. In order to measure the radio waves, a LF/MF band radio receiver (LMR) is installed on the sounding rocket. The LMR has measured the propagation characteristics of four radio waves at frequencies of 60 kHz (JJY signal from Haganeyama radio station), 405 kHz (NDB station from Minami-Daito), 666 kHz (NHK Osaka broadcasting station) and 873 kHz (NHK Kumamoto broadcasting station) in the region from the ground to the lower ionosphere. The LMR consists of a loop antenna, a pre-amplifier and a detector circuit. The loop antenna is set up in the nose cone, which is transparent to the LF/MF band radio waves, and is not deployed during the flight. Therefore, the LMR can measure the relative attenuation of radio waves from the ground up to the ionosphere. Furthermore the loop antenna consists of three loop antennas in order to measure three components of four radio waves. Then we can obtain the propagation directions of radio waves in the ionosphere directly.

A propagation vector can be obtained from the propagation characteristic of radio wave. It is possible to estimate electron density profile from a propagation vector, because the propagation vector is dependent on the electron density profile in the radio wave propagation region. We have estimated the electron density profile by the propagation vector. When the electron density profile estimated by the propagation vector was compared with the electron density profile measured with the Langmuir probe and the impedance probe onboard the S-310-40 sounding rocket, it was found that electron density becomes the maximum at an altitude of 104 km.

We show the results of propagation characteristics of radio waves in the ionosphere and explain the propagation vector of radio wave in the ionosphere. And the electron density profile in the ionosphere can be estimated by the propagation vector. We will show the result that it is investigated the influence the lowest ionosphere region has on a MF band radio wave in this study.

キーワード: 電離圏, 電波伝搬特性, ロケット実験

Keywords: ionosphere, propagation characteristic of radio wave, rocket experiment

## JARE55 南極観測船「しらせ」船上、標準電波強度計測：初期結果報告 Measurement of LF Standard-Frequency Waves JJY along the track of Shirase during JARE55: Preliminary Report

北内 英章<sup>1\*</sup>; 野崎 憲朗<sup>1</sup>; 伊東 宏之<sup>1</sup>; 近藤 巧<sup>1</sup>; 土屋 茂<sup>1</sup>; 今村 國康<sup>1</sup>; 長妻 努<sup>1</sup>

KITAUCHI, Hideaki<sup>1\*</sup>; NOZAKI, Kenro<sup>1</sup>; ITO, Hiroyuki<sup>1</sup>; KONDO, Takumi<sup>1</sup>; TSUCHIYA, Shigeru<sup>1</sup>; IMAMURA, Kuniyasu<sup>1</sup>; NAGATSUMA, Tsutomu<sup>1</sup>

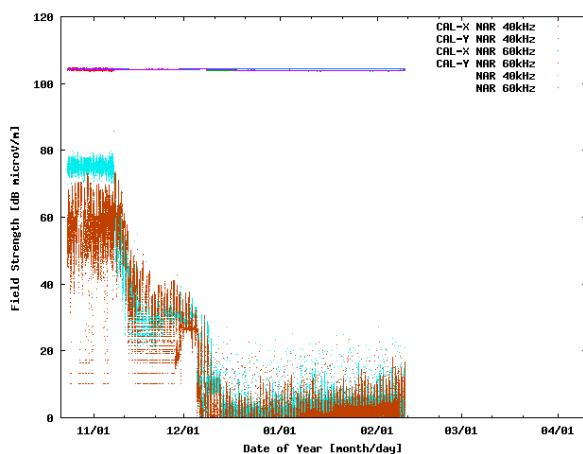
<sup>1</sup> 情報通信研究機構

<sup>1</sup> NICT

We developed a highly sensitive, reliable receiving system for the purpose of reception of low frequency (LF) radio waves. The system consists of digital lock-in amplifiers and crossed-loop antennas. Digital lock-in amplifier (DLA) employs phase-sensitive detection (PSD) of periodic signal multiplied by the input reference source of the known signal frequency. This makes it possible to realize very narrow bandpass filter around the reference frequency, detecting/measuring that of very weak signal even in noisy environment. The antenna, on the other hand, consists of orthogonally crossed, larger double loops (receivers  $R_X$ ,  $R_Y$ ) and smaller doubles (transmitters  $T_X$ ,  $T_Y$ ): the former receivers  $R_X$ ,  $R_Y$  receive LF radio signals of x-, y-components, the latter transmitters  $T_X$ ,  $T_Y$  transmit an instant, weak signal from each x-, y-component for self calibration purpose. The self calibration test is performed by transmitting a weak LF signal for an instant every an hour from the transmitter  $T_X$ ,  $T_Y$  respectively, and receiving this signal from the receivers  $R_X$ ,  $R_Y$  to obtain preassigned field strength. This test indicates if the receivers of the system are working properly and allows us to obtain reliable measurements.

We apply the receiving system to measure the field intensity and phase of the standard frequency and time signals (SFTS) JJY of LF 40 kHz and 60 kHz during the summer expedition of the 55th Japanese Antarctic Research Expedition (JARE), from November 2013 to April 2014. Figure 1 shows temporal evolution of the field intensities JJY 40 kHz (light blue dots) and 60 kHz (brown dots) as well as the self-calibrating radio signals. Our receiving system detects both the LF JJY radio signals even offshore Syowa Station, Antarctic, about 14,000 km away from those transmitting stations. Also the field intensities of the self calibration test show about a consistent preassigned value, assuring the measurements.

Keywords: low frequency (LF) radio waves, call sign JJY of 40 kHz and 60 kHz, standard frequency and time signals (SFTS), self calibration, Japanese Antarctic Research Expedition (JARE), Japanese Antarctic Research Icebreaker Shirase



## 電離圏観測ロケットのウェイク周辺においてプラズマ波動を励起する電子の速度分布の検討

## Velocity distribution of electrons generating plasma waves around the wake of an ionospheric sounding rocket

遠藤 研<sup>1\*</sup>; 熊本 篤志<sup>1</sup>; 加藤 雄人<sup>1</sup>  
ENDO, Ken<sup>1\*</sup>; KUMAMOTO, Atsushi<sup>1</sup>; KATO, Yuto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻

<sup>1</sup>Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University

プラズマ中を超音速で運動する物体の後方にはウェイクと呼ばれるプラズマの希薄な領域が形成される。ウェイクは観測ロケットや人工衛星など宇宙機の後方に生じる他、太陽風プラズマと天体の相互作用によっても作られることが知られている。人工衛星や月のウェイク近傍ではこれまでプラズマ波動が観測されているが、観測ロケットに関しては、そのウェイク近傍でプラズマ波動が励起することを指摘する研究は多くない。しかしながら、1998 年、2012 年に鹿児島で行われたロケット実験の波動観測の結果は、ロケットのウェイク近傍でも波動励起現象が起きていることを示唆している。ロケットのウェイク近傍におけるプラズマ波動の励起過程を解明することは、ロケット観測で取得される波動データのより正確な解釈だけでなく、プラズマ流と非磁化物体の相互作用に起因する普遍的な物理素過程の理解のためにも重要である。

これまでの解析により、2012 年の S-520-26 ロケット実験で観測された 3 種類のプラズマ波動は、その周波数から、静電的電子サイクロトロン高調波 (ESCH) 及び UHR モード波動、ホイッスラーモード波動である可能性が高く、それぞれある特徴的なスピン位相角依存性をもつことが明らかになっている。これらの結果は、プラズマ波動がロケット周囲に空間非一様に励起・成長していることを示唆している。電離圏の電子の速度分布にビーム成分や温度異方性を与えた分布を仮定し波動の分散関係を数値的に求めたところ、UHR モード波動、ESCH 波動の他、静電的ホイッスラーモード波動の波数、周波数領域で波が成長する解が得られている。このことから、仮定した速度分布と等価的な速度分布がウェイク近傍に存在していたと考えられるが、実際にどのような速度分布関数がどのような空間分布で存在しうるかは今後検証するべき課題である。

Singh et al. (1987) は、ブラソフ-ポアソンコードを用いて一次元の真空中に両側からプラズマが流れ込む現象を模擬することで、物体のごく近傍のウェイクでは二流体不安定型の速度分布関数が得られることを示した。しかし、同論文で議論に取り上げられているのはウェイク軸上の速度分布関数のみであり、それ以外の領域での分布関数については特に言及されていない。また、速度空間の次元については拡散方向一次元のみの議論にとどめられており、電子の異方性に関しては指摘されていない。

そこで我々は、ウェイク近傍における速度分布関数の空間分布について考察するため、Singh et al. (1987) の方法を僅かに改変した、空間一次元 (磁場方向)、速度空間二次元 (磁場方向とそれに垂直な方向) の静電ブラソフシミュレーションを検討している。具体的には、一次元空間に設けた真空領域に電子、イオンが拡散していく状況を考え、シミュレーションの時間発展はウェイクの軸方向の空間変化として解釈する。電子・イオンが拡散する磁力線方向に長さ 10 m の 1 次元空間をとり 1024 grid に分割して計算を行う。

本発表では、S-520-26 ロケット実験の観測結果をもとに、ウェイク近傍のプラズマ波動の周波数帯域および空間分布を明らかにし、励起に寄与しうる電子の速度分布に関して議論を行う。併せて、プラズマ波動を励起しうる速度分布をもつ電子がウェイク近傍にどのように空間分布するかを明らかにするために開発を進めているシミュレーションコードについて紹介し、その計算初期結果について報告する。

キーワード: 電離圏, 観測ロケット, ウェイク, プラズマ波動, ブラソフシミュレーション

Keywords: ionosphere, sounding rocket, wake, plasma wave, Vlasov simulation

## 超高層大気の組成・速度分布測定のための中性大気分析器の開発：質量分析部の性能評価試験

### Atmospheric Neutral Analyzer for mass-resolved velocity distribution measurements: Verification of mass analyzer

下山 学<sup>1\*</sup>; 林 鮎子<sup>1</sup>; 伊藤 史宏<sup>1</sup>; 平原 聖文<sup>1</sup>

SHIMOYAMA, Manabu<sup>1\*</sup>; HAYASHI, Ayuko<sup>1</sup>; ITO, Fumihiko<sup>1</sup>; HIRAHARA, Masafumi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所

<sup>1</sup>STEL, Nagoya University

In order to understand the temporal and spatial variability of the ionosphere-thermosphere system, simultaneous measurements of the composition and density of the neutral atmosphere and the velocity distribution of individual species are essential. However, most conventional types of instruments for neutral atmosphere lack the simultaneous capability of measuring neutral atmospheric velocity and resolving neutral mass.

We have designed the Atmospheric Neutral Analyzer (ANA) instrument to measure the detailed, mass-resolved 2-dimensional velocity distribution of neutral species, from which the corresponding density, mass composition, bulk velocity and temperature were derived. In this presentation, we will report the results from laboratory experiments for the performance verification on the prototype of mass analyzer along with the detailed and overall design determined by numerical simulation.

キーワード: 超高層中性大気, 速度分布関数, 質量分析

Keywords: neutral upper atmosphere, velocity distribution function, mass analysis



## 昼間条件下と月明条件下で観測されたリチウム共鳴散乱光の観測と中性風速解析 Observation of resonance scattering light of Lithium vapor under daytime and moonlight condition and neutral wind analysis

木原 大城<sup>1\*</sup>; 柿並 義宏<sup>1</sup>; 山本 真行<sup>1</sup>; 渡部 重十<sup>2</sup>; Hard Lucas<sup>3</sup>; Larsen Miguel<sup>3</sup>; 山本 衛<sup>4</sup>; 羽生 宏人<sup>5</sup>; 阿部 琢美<sup>5</sup>  
KIHARA, Daiki<sup>1\*</sup>; KAKINAMI, Yoshihiro<sup>1</sup>; YAMAMOTO, Masa-yuki<sup>1</sup>; WATANABE, Shigeto<sup>2</sup>; HARD, Lucas<sup>3</sup>; LARSEN, Miguel<sup>3</sup>; YAMAMOTO, Mamoru<sup>4</sup>; HABU, Hiroto<sup>5</sup>; ABE, Takumi<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 高知工科大学, <sup>2</sup> 北海道大学, <sup>3</sup> クレムソン大学, <sup>4</sup> 京都大学, <sup>5</sup> 宇宙科学研究所

<sup>1</sup>Kochi Univ. of Tech., <sup>2</sup>Hokkaido Univ., <sup>3</sup>Clemson Univ., <sup>4</sup>Kyoto Univ., <sup>5</sup>ISAS/JAXA

### 1. はじめに

下部熱圏中性大気風の測定を目的として、2007 年 9 月 2 日の夕方に熱圏大気中に観測ロケットによりリチウムを放出し太陽光による共鳴散乱光を観測して高度 110 km~400 km における熱圏中性大気中性風が測定された (Yamamoto et al., 2008)。2012 年 1 月 12 日には明け方条件下でリチウム共鳴散乱光を観測し、高度 127 km~76 km における熱圏中性大気風の測定に成功した。しかし、2011 年に実施した米国 NASA Wallops 実験場での昼間下部熱圏リチウム共鳴散乱光は観測できず、放出の不具合と厳しい S/N が原因と推定されると、これまでの実験により取得されたデータから昼間条件下と月明条件下におけるリチウム共鳴散乱光による風速測定を目指し、背景光とリチウム雲の S/N 推定を JAXA の積分球を用いて行うことで、航空機観測により両条件でのリチウム雲観測の可能性が確認された。

2013 年 7 月 4 日、リチウム共鳴散乱光を用いて、昼間下部熱圏中性風高度プロファイルの観測を行うロケット実験を Wallops 実験場で行った。リチウム放出用ロケットを Wallops から南東方向に打上げ、打上げ後 65 秒から 45 秒間 (高度約 90~123 km) にわたりリチウムを放出した。本実験では高知工科大学と Clemson 大学の観測チームが地上および NASA 航空機からリチウム雲の観測を試みた。

2013 年 7 月 20 日、リチウム共鳴散乱光を用いて、深夜の月明条件 (月齢 12) にて下部熱圏中性風高度プロファイルの観測を行うロケット実験を内之浦宇宙空間観測所で行った。23:57:00 JST に S-520-27 号ロケットを南東方向に打上げ、打上げ後 497 秒から 20 秒間 (高度約 120~80 km) にわたりリチウムを放出した。本実験では、高知工科大学と北海道大学、Clemson 大学の観測チームが地上と JAXA 航空機からリチウム雲の観測を試みた。

### 2. 観測

日中条件下でのリチウム雲の観測は、Wallops 実験場敷地内の 1 地点に観測点を設け、航空機 NASA-8 は地上観測地点から南東に約 300 km、高度約 10 km の地点から北北東に飛行しつつ太陽を背にする条件でリチウム雲を観測した。リチウム雲撮影用光学機器には、S/N 向上のために帯域 2 nm のバンドパスフィルタ (中心波長 671 nm) を装着した一眼レフカメラ (Canon EOS Kiss X4、Nikon D90) を航空機に 3 台、地上観測点に 2 台と、帯域 12 nm フィルタ付動画撮影用カメラ (Watec) を航空機と地上観測点に 1 台ずつ設置し観測した。

月明条件下でのリチウム雲の観測は、JAXA 航空機「飛翔」と地上 3 地点 (内之浦、種子島、室戸) に帯域 2 nm、12 nm のバンドパスフィルタを装着した一眼レフカメラ、Watec および天文用冷却 EM-CCD カメラ (BITRAN BQ-87EM) を設置し観測を試みた。

### 3. 結果

日中条件下でのリチウム共鳴散乱光の観測は、航空機から約 25 分間の観測に成功した。放出直後はロケットの軌道に沿ったリチウム雲が形成されていたが、その後は強い熱圏風の高度シアーによりリチウム雲が複雑な形状に広がっていく様子を観測することに成功した。地上での観測は、ロケット打上げ前よりカメラ視野内が雲に覆われたため、リチウム雲を観測することはできなかった。そのため背景光に対し、昼間にどの程度の S/N でリチウム雲を観測できるかは推定しきれない。

月明条件下でのリチウム共鳴散乱光の観測は、航空機と地上 2 地点で約 90 秒間の観測に成功した。放出したリチウムが早く拡散したことから、その後のリチウム雲を確認することはできなかった。

### 4. まとめ

2013 年 7 月に打ち上げられた観測ロケットから放出されたリチウムを航空機および地上から観測し、昼間条件下と月明条件下での下部熱圏リチウム共鳴散乱光の観測に成功した。本実験でリチウム共鳴散乱光の観測に成功したことにより時間帯を問わず下部熱圏でのリチウム共鳴散乱光が観測可能であることが確認できた。本発表では、観測された昼間条件下と月明条件下での下部熱圏リチウム共鳴散乱光の発光強度および S/N の計測結果と下部熱圏中性大気風の初期解析結果およびその問題点について発表する。

# Japan Geoscience Union Meeting 2014

(28 April - 02 May 2014 at Pacifico YOKOHAMA, Kanagawa, Japan)

©2014. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



PEM36-P15

会場:3 階ポスター会場

時間:4 月 28 日 18:15-19:30

## 参考文献：

Yamamoto, M.-Y. et al., Thermospheric neutral wind measurement by three rocket-released Lithium clouds: WIND campaign, 37th COSPAR Sci. Assembly, C02-0012-08, p.3528, Montreal, 2008.

キーワード: 観測ロケット, 熱圏, 中性風, リチウム放出装置, 航空機観測

Keywords: sounding rocket, thermosphere, neutral wind, Lithium Ejection Systems, airborne observation

## 小型ファブリ・ペロー干渉計を用いた熱圏の温度推定手法の改良と得られた温度の精度評価

### Improvement of the method for estimating thermospheric temperature using small FPIs and evaluation of their temperatures

中村 義弘<sup>1\*</sup>; 塩川 和夫<sup>1</sup>; 大塚 雄一<sup>1</sup>; 大山 伸一郎<sup>1</sup>; 野澤 悟徳<sup>1</sup>

NAKAMURA, Yoshihiro<sup>1\*</sup>; SHIOKAWA, Kazuo<sup>1</sup>; OTSUKA, Yuichi<sup>1</sup>; OYAMA, Shin-ichiro<sup>1</sup>; NOZAWA, Satonori<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所

<sup>1</sup>Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University

ファブリ・ペロー干渉計は、630.0nm の波長を持つ地球の酸素大気光を地上から観測することで、熱圏における中性風の風速と温度を計測することができる装置である。名古屋大学太陽地球環境研究所では、超高層大気イメージングシステムの一部として、5 台の FPI を所有している。そのうちの 2 つの FPI (FP00,FP01) は、直径 116mm のエタロンを用いており、2000 年に日本 (FP00)、2009 年にノルウェーのトロムソ (FP01) にそれぞれ導入した。また、その他の FPI は、70mm の小型エタロンを使用しており、2010 年から 2011 年に、タイ (FP02)、インドネシア (FP03)、オーストラリア (FP04) に導入した。これらの 3 つの小型 FPI は、高感度で干渉フリンジを得るために、1024-1024 ピクセルで 4 段ペルチェクーラーを用いた冷却 CCD カメラを用いている。しかし、これらの新しく導入された小型 FPI を用いた観測から、妥当な温度を導出することができていなかった。そこで本研究では、小型 FPI における温度導出手法を改良するとともに、得られた温度の精度を評価し、さらに、これまで得られている 2 年~3 年分のデータに対して統計解析を行うことを目的とする。

FPI は、光の入射部のミラーを回転させることで、南北東西の空とレーザーをそれぞれ観測している。しかし、南北東西の撮影から得られるそれぞれの干渉フリンジ画像に対して中心を決定したところ、それらの中心は、南北と東西の方角とレーザーのそれぞれでわずかに異なることがわかった。これは、FPI の上部にある光を入射するミラー部が重いために、光学系がゆがんでいることが原因であると考えた。そこで、旧来は、南北東西それぞれの方角から得られた干渉フリンジ画像を一括した一晚平均の画像から中心決定を行っていたが、本研究では、南北東西それぞれの干渉フリンジ画像からそれぞれの中心を決定することにした。以上の改良の後、温度導出を試みたところ、妥当と思われる温度を得ることができた。本発表では、輝度と温度の標準偏差の関係を明らかにして、温度導出の精度について紹介する。また、FPI のエタロン間隔の温度変化が、熱圏の温度、風速の導出精度にどの程度の影響を及ぼすのかについても今後、実験をして検討していく予定である。

キーワード: ファブリ・ペロー干渉計, 熱圏温度

Keywords: Fabry Perot Interferometers, thermospheric temperature

パラツンカ上空における 630nm 大気光イメージャと HF レーダーを用いた MSTID の統計解析  
Statistical characteristics of MSTIDs observed by 630-nm airglow imager and HF-radar echoes at Paratunka, Russia

箕浦 武<sup>1\*</sup>; 鈴木 臣<sup>1</sup>; 塩川 和夫<sup>1</sup>; 大塚 雄一<sup>1</sup>; 西谷 望<sup>1</sup>; 細川 敬祐<sup>2</sup>

MINOURA, Takeshi<sup>1\*</sup>; SUZUKI, Shin<sup>1</sup>; SHIOKAWA, Kazuo<sup>1</sup>; OTSUKA, Yuichi<sup>1</sup>; NISHITANI, Nozomu<sup>1</sup>; HOSOKAWA, Keisuke<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>2</sup> 電気通信大学大学院情報理工学研究科

<sup>1</sup>Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, <sup>2</sup>Department of Communication Engineering and Informatics, University of Electro-Communications

Medium-scale traveling ionospheric disturbances (MSTIDs), which typically have a horizontal scale of 100-500 km and a period of ~1 h, are frequently observed in the F region ionosphere at middle latitudes. To date, quite a few observations of MSTIDs have been carried out especially in the middle latitudes; they predominantly had a northwest-southeast, (northeast-southwest) frontal structure and propagated southwestward (northeastward) in the northern (southern) hemisphere, however their generation and propagation mechanisms are not clear yet. Suzuki et al. [2009] investigated two dimensional characteristics of a nighttime MSTID using the SuperDARN Hokkaido HF radar at Rikubetsu, (43.5 N, 143.6 E), Japan, and an OI 630-nm airglow imager located at Paratunka (53.0 N, 158.2 E), Russia, within the radar field of view (FOV). The Doppler velocities of MSTID echoes observed by the SuperDARN radar showed systematic polarity changes which were consistent with airglow intensity variations. The electric field estimated from the airglow and SuperDARN observations, however, seems to be improbable and the E-F coupling processes would be important to explain the inconsistency. We investigated statistical characteristics of nighttime MSTIDs. Based on the coordinated airglow and SuperDARN measurements from 2011 to 2013, we investigated the relation between the MSTID amplitudes in the 630-nm airglow intensity and the Doppler velocities of the FAI echoes associated with the MSTID pattern. This study may give an observational insight into the E-F coupling quantitatively.

In this presentation, we will report the statistics of the relation of the FAI echoes and airglow signatures of the observed MSTIDs (5 events), which showed spatially conjugation in the radar FOV.

キーワード: 大気光イメージャー, 北海道 SuperDARN レーダー, 中規模伝搬性電離圏擾乱

Keywords: airglow imager, Hokkaido SuperDARN radar, MSTID



## HFD を用いた地震に伴う電離圏擾乱の検出 Detection of ionospheric disturbances caused by the earthquake using HFD

高星 和人<sup>1\*</sup>; 中田 裕之<sup>1</sup>; 鷹野 敏明<sup>1</sup>; 富澤 一郎<sup>2</sup>

TAKABOSHI, Kazuto<sup>1\*</sup>; NAKATA, Hiroyuki<sup>1</sup>; TAKANO, Toshiaki<sup>1</sup>; TOMIZAWA, Ichiro<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 千葉大学大学院工学研究科, <sup>2</sup> 電気通信大学宇宙・電磁環境研究センター

<sup>1</sup>Graduate school of Engineering, Chiba University, <sup>2</sup>Center for Space Science and Radio Engineering, Univ. Electro-Comm

これまでの研究より、大規模な地震の発生後に電離圏において擾乱が起こることが多く報告されている。これは、地面の変動や津波により生じた音波や大気重力波が上空に伝搬したためと考えられる。電気通信大学が行っている短波ドップラー (HFD) 観測は、受信周波数のドップラーシフトより電離圏速度を直接求めることができるため、地震による擾乱を観測する手法として適していると考えられる。HFD 観測では、5006 kHz、8006 kHz の電波が送信され、各受信点においてこれらの電波を受信することで電離圏下部の擾乱観測を行っている。今回は 5006 kHz の受信結果を用いて解析を行った。HFD 観測データの存在する 2003 年以降の M6 以上の地震 55 事例について、地震による電離圏擾乱の検出を行った。変動の検出はすべて目視で行い、震源からの距離より予想される変動発生までの時間を考慮した上で、地震発生後に受信周波数に急激な落ち込みや上昇が現れたものを変動検出例とした。

結果として、全 55 事例中 14 事例において変動が検出され、その中で最も規模の小さいものは M6.4 であった。M6.4 以上の地震でも変動が検出されなかった事例も存在するが、その原因の一つとして変動の埋もれがある。夜間および日の出、日の入り時は電離圏が不安定となるため、受信周波数が荒れ、地震による変動との判別が困難となることが多くあった。また、発生した地震の震源付近に観測点が存在せず、変動が検出されない例もみられた。これらを考慮すると、電離圏の安定している時間帯に観測点付近で発生した地震ならば、今回変動が検出された最小規模の M6.4 よりも小さな地震でも変動の検出が期待される。

また、検出された事例について、断層のずれの向きと HFD データでの変動との対応に着目した。日本で発生する地震のほとんどは、逆断層型地震である。逆断層型地震では上盤がずり上がる方向に動くため、これによって大気中に励起される音波の第一波の向きは上方であると考えられる。実際に、変動が検出された例の多くは、電離圏が初めに上向きに速度を持っていることを示していた。さらに、上盤がずり下がる正断層型では変動の向きが逆向きとなるか検証を行った。正断層型地震である 2011 年の 4 月 11 日に発生した福島県浜通り地震について、三つの観測点 (飯館、菅平、木曽) のデータを用いて変動の向きを確認した。その結果、菅平観測点では電離圏速度が最初に下向きになった後に上向きになるというデータが得られた。しかし、他の二点では電離圏速度は上向きになった後に下向き、もしくは上向きのみ、というデータが得られた。従って、電離圏の変動は、逆断層、正断層によって単純に分類されるわけではなく、観測点直下付近の地震計を用いてのより詳細な解析が必要であると考えられる。

キーワード: 電離圏, HFD, 地震, 音波, 大気重力波, 断層

Keywords: ionosphere, HFD, earthquake, acoustic wave, atmospheric gravity wave, fault



## Observations of seismo-traveling ionospheric disturbance during the 2011 Tohoku earthquake using HF Doppler Observations of seismo-traveling ionospheric disturbance during the 2011 Tohoku earthquake using HF Doppler

CHOU, Min-yang<sup>1\*</sup> ; TSAI, Ho-fang<sup>1</sup> ; LIU, Jann-yenq<sup>2</sup>  
CHOU, Min-yang<sup>1\*</sup> ; TSAI, Ho-fang<sup>1</sup> ; LIU, Jann-yenq<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Earth Science, National Cheng-Kung University, Taiwan, <sup>2</sup>Institute of Space Science, National Central University, Taiwan

<sup>1</sup>Department of Earth Science, National Cheng-Kung University, Taiwan, <sup>2</sup>Institute of Space Science, National Central University, Taiwan

This paper reports seismo-traveling ionospheric disturbances (STIDs) induced by the 11 March 2011 M9.0 Tohoku-oki earthquake and following pan-Pacific tsunami by two networks of HF (high-frequency) Doppler sounding systems in Japan and Taiwan. The Hilbert-Huang Transform (HHT) is applied to analyze Doppler frequency shifts (DFSs) detecting STIDs, while the time delay, circle, ray-tracing, and beam-forming methods are used to compute the propagation of the detected STIDs. Both STIDs induced by the Rayleigh waves and tsunami of the Tohoku-oki earthquake are detected and discussed.

キーワード: STIDs, Ionosphere, earthquake, tsunami

Keywords: STIDs, Ionosphere, earthquake, tsunami

PEM36-P20

会場:3 階ポスター会場

時間:4 月 28 日 18:15-19:30

## 数値シミュレーションにより導出した地震発生後の中性大気波動のスペクトル分布 Spectrum of the neutral atmospheric waves derived from a numerical simulation of an earthquake

清水 友貴<sup>1\*</sup>; 中田 裕之<sup>1</sup>; 鷹野 敏明<sup>1</sup>; 松村 充<sup>2</sup>

SHIMIZU, Yuki<sup>1\*</sup>; NAKATA, Hiroyuki<sup>1</sup>; TAKANO, Toshiaki<sup>1</sup>; MATSUMURA, Mitsuru<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 千葉大学大学院, <sup>2</sup> 電気通信大学附属宇宙・電磁環境研究センター

<sup>1</sup>Grad. School of Eng., Chiba Univ., <sup>2</sup>Center for Space Science and Radio Engineering, University of Electro-Communications

In this simulation, two dimensional model is used. The atmospheric perturbation is created by a vertical velocity assuming an upward motion of the sea surface or ground surface. Calculating the temporal variations of neutral density, we derived their spectra.

As a result, it is shown that behavior of atmospheric waves is different for the frequency. For a notable example, variations around 1 mHz propagate to high altitudes 450 km ~500 km and long distance 800 km. On the other hand, variations around 10 mHz propagate almost the same distance in lower altitude of 300 km or less. In addition, variation at 4 mHz are located above the epicenter at 350 km. This causes the variation of GPS-TEC at 4 mHz associated with earthquakes that have ever been reported.

キーワード: 電離圏, 地震, 音波, 重力波

Keywords: ionosphere, earthquake, acoustic wave, gravity wave

## Ionospheric effects on the F region during the Sunrise for the annular solar eclipse over Taiwan on 21 May 2012

## Ionospheric effects on the F region during the Sunrise for the annular solar eclipse over Taiwan on 21 May 2012

CHUO, Yu-jung<sup>1\*</sup>

CHUO, Yu-jung<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Information Technology, Ling Tung University

<sup>1</sup>Department of Information Technology, Ling Tung University

On 21 May (20:56, Universal Time; UT, on 20 May), 2012, an annular solar eclipse occurred, beginning at sunrise over southeast China and moving through Japan, sweeping across the northern Pacific Ocean, and completing its passage over the western United States at sunset on 20 May (02:49 UT, 21 May), 2012. We investigated the eclipse area in Taiwan, using an ionosonde and global positioning system (GPS) satellites measurements. The measurements of foF2, hmF2, bottomside scale height around the peak height (Hm), and slab thickness (B0) were collected at the ionosonde station at Chung-Li Observatory. In addition, we calculated the total electron content (TEC) to study the differences inside and outside the eclipse area, using 3 receivers located at Marzhu (denoted as MATZ), Hsinchu (TNML), and Henchun (HENC). The results showed that the foF2 values gradually decreased when the annularity began and reached a minimum level of approximately 2.0 MHz at 06:30 LT. The hmF2 immediately decreased and then increased during the annular eclipse period. The TEC variations also appeared to deplete in the path of the eclipse and opposite to the outside passing area. Further, the rate of change of the TEC values (dTEC/dt measured for 15 min) was examined to study the wave-like fluctuations. The scale height near the F2 layer peak height (Hm) also decreased and then increased during the eclipse period. To address the effects of the annular eclipse in the topside and bottomside ionosphere, this study provides a discussion of the variations between the topside and bottomside ionospheric parameters during the eclipse period.

キーワード: ionospheric physics, ionospheric disturbances, solar radiation effects

Keywords: ionospheric physics, ionospheric disturbances, solar radiation effects

## GPS-TEC 観測による中緯度スプラディック E の水平面形状 Horizontal shapes of mid-latitude sporadic-E observed with GPS-TEC

前田 隼<sup>1\*</sup>; 日置 幸介<sup>1</sup>  
MAEDA, Jun<sup>1\*</sup>; HEKI, Kosuke<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学大学院理学院

<sup>1</sup>Graduate school of Science, Hokkaido University.

The horizontal shapes of sporadic-E (Es) have remained uncovered due to the lack of effective observation methods. We use a dense array of Global Positioning System (GPS) receivers in Japan to map horizontal shapes of mid-latitude sporadic-E layers and explore their diversity. The spatial and temporal resolutions of the GPS array are ~25 km (in horizontal) and 30 s, respectively, which is ideal for studying the horizontal shape and movement of sporadic-E. Sporadic-E can be identified as positive anomalies of total electron content (TEC) along the line of sight between a satellite and a ground-based GPS station.

The results of GPS-TEC observation, i.e., mapping of positive TEC anomaly caused by mid-latitude sporadic E are presented in this presentation with a special emphasis on latitudinal and temporal variations of horizontal shapes of Es-layers. We analyzed ~100 Es events in 2010-2013 to examine the latitudinal dependence of Es frontal structures with three study areas at different latitudes near ionosondes, namely Sarobetsu (geographical latitude: 45.16 N), Kokubunji (35.71 N) and Yamagwa (31.20 N).

As a result, strong Es shares the large-scale frontal structure as a common shape regardless of the occurrence latitude and time (e.g., morning, afternoon, and the evening). The horizontal structures of large-scale fronts are typically elongated in east-west (E-W) with the length and width of ~300 km and ~30 km, respectively. However, lengths vary from 30 to 300 km by occasion. The alignment of frontal structures prefers E-W, ENE-WSW and NE-SW alignment with some exception of NW-SE and NNW-SSE aligned structures.

We will also discuss the possible mechanisms for formation, development, and movement of mid-latitude sporadic-E based on the results of our observations and proposed theories.

キーワード: スプラディック E, GPS, TEC  
Keywords: Sporadic-E, GPS, TEC

## 2周波ソフトウェア受信機を用いたGPS-TEC観測 GPS-TEC observation using two-frequency software receiver

芦原 佑樹<sup>1\*</sup>; 小松 和暉<sup>1</sup>

ASHIHARA, Yuki<sup>1\*</sup>; KOMATSU, Kazuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 奈良工業高等専門学校 電気工学科

<sup>1</sup>Dept. of Electrical Engineering, Nara National College of Technology

全地球測位システム (Global Positioning System, GPS) は、複数の GPS 衛星から送信される電波を地上受信し、それらの位相差から高精度な測位を行うシステムである。GPS 衛星の搬送波には、L1(1575.42MHz) と L2 (1227.60MHz) の2つの周波数がある。電離圏プラズマ中における電波の屈折率は電子密度に依存する。また、プラズマは分散性媒質であるため、L1 波と L2 波の屈折率は異なるものとなる。そのため、両波間には伝搬遅延時間差 (位相差) が発生する。

GPS-TEC (GPS Total Electron Contents) は、L1 波と L2 波の位相差から GPS 電波伝搬経路上の全電子数を求める手法である。電離層電子密度観測の非常に有用な観測手法であるが、必要となる2周波対応 GPS 受信機は非常に高価である。そのため、国内では、国土地理院の GEONET データを用いた観測例がほとんどである。

情報通信分野では、近年のコンピュータの高性能化を背景として、ベースバンド信号をソフトウェア処理によって復調するソフトウェア受信機が普及している。本研究では、ソフトウェア GPS 受信機を構築し、2周波受信を行う。そして、GPS-TEC 観測結果について評価する予定である。

キーワード: 電離圏, GPS-TEC, ソフトウェア受信機

Keywords: ionosphere, GPS-TEC, software receiver



## GPS+QZSS+BeiDou による TEC 観測 Total electron content observation by using GPS, QZSS and BeiDou

衣笠 菜月<sup>1\*</sup>; 高橋 富士信<sup>1</sup>  
KINUGASA, Natsuki<sup>1\*</sup>; TAKAHASHI, Fujinobu<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 横浜国立大学  
<sup>1</sup>Yokohama National University

TEC (total electron content) 観測手法はいくつか存在するが、GPS (global positioning system) などの GNSS (global navigation satellite system) を利用する方法がある。GNSS は地球上のどこからでも利用可能なシステムであるのに対し、特定の地域をカバーする RNSS (regional navigation satellite system) が近年日本や中国で開発されてきている。我々は RNSS を利用した観測に取り組んでいる。

RNSS による TEC 観測の特徴として、1 衛星当たりの連続追尾時間が長いことから、安定的な観測が行える点が挙げられる。また、GNSS と比較して軌道高度が高いことから、より広範囲のプラズマ圏領域の議論が可能になる。一方、RNSS 単独での観測の欠点としては、衛星-受信機の視線ベクトル方向が一定となるため、電離圏の水平方向の電子密度分布を得にくいことがある。この問題は、GNSS の観測値と組み合わせるマルチ GNSS 利用により、解決すると考えられる。

マルチ GNSS の搬送波位相測定値の 2 周波遅延差から TEC を算出する場合、周波数間バイアスが発生するため、これを推定・除去しなければならない。バイアス推定には電離圏内の電子密度分布をモデル化するため、モデル化についての研究報告を行う。また、横浜国立大学内で測定した GPS と QZSS、中国 BeiDou の観測値を使用した、マルチ GNSS-TEC 観測例を示し、議論を行う。

キーワード: 電離層全電子数, 準天頂衛星, BeiDou, GPS, 電離圏, プラズマ圏  
Keywords: TEC, QZSS, BeiDou, GPS, ionosphere, plasmasphere

## ニューラルネットワークを用いた日本上空における電離圏全電子数のモデル開発 Total Electron Content prediction model over Japan using an artificial neural network

西岡 未知<sup>1\*</sup>; 津川 卓也<sup>1</sup>; 丸山 隆<sup>1</sup>; 石井 守<sup>1</sup>  
NISHIOKA, Michi<sup>1\*</sup>; TSUGAWA, Takuya<sup>1</sup>; MARUYAMA, Takashi<sup>1</sup>; ISHII, Mamoru<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (独) 情報通信研究機構

<sup>1</sup>National Institute of Information and Communications Technology

Forecasting Total Electron Content (TEC) is important for Space Weather; for predicting propagation delay of the radio waves in the ionosphere. Although several empirical and theoretical models have been developed, no model is available for forecasting TEC over Japan. Our purpose is to accomplish an operational TEC model over Japan using an artificial neural network (ANN) technique which is developed by Maruyama [2007]. In our model, absolute TEC values for each day from 27°N to 45°N in latitude and 127°E to 145°E in longitude were projected on a two-dimension TEC map, that is, a local-time and latitudinal map. Then the time-latitudinal variation was fitted by using the surface harmonic function. The coefficients of the expansions were modeled by using a neural network technique. For the learning process, we used absolute TEC value from 1997 to 2013. The input parameters are proxies of the season, the solar activity, and the geomagnetic activity. Thus, daily two-dimensional TEC maps can be obtained for any day when the input parameters are provided. We used input parameters which are available in real-time by some institutes and achieved one-day TEC prediction over Japan.

キーワード: Ionosphere, Total Electron Content, Operational model, artificial neural network  
Keywords: Ionosphere, Total Electron Content, Operational model, artificial neural network

## 日本における 50 年以上の長期観測データを用いた電離圏嵐統計解析 Statistical Analyses of Ionospheric Storms Over 50 Years In Japan

中村 真帆<sup>1\*</sup>; 鴨川 仁<sup>1</sup>  
NAKAMURA, Maho<sup>1\*</sup>; KAMOGAWA, Masashi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京学芸大学物理学科

<sup>1</sup>Dpt. of Phys., Tokyo Gakugei Univ.

Statistical analyses of the ionospheric storms over Japan are carried out based on the long-term observations over 50 years in Japan. While there are many types of ionospheric variations such as ionospheric storms, plasma bubbles, TIDs and so on, ionospheric storms are most large fluctuations of electron density in the ionosphere. In general, the increase of the electron density is termed positive storm and the decrease of it is termed negative storm [1]. The positive storms cause satellite-positioning errors due to the delay of radio propagation and negative storms cause HF radio communication outages due to lowering the maximum usable frequency. Because these two types of ionospheric storms shows different characteristics on the duration, scale, and the seasonal dependences, we analyzed ionospheric storm occurrences using critical frequency of the F2 layer; foF2 obtained from ionograms over 4 observation sites (Wakkanai, Kokubunji, Yamagawa, and Okinawa) operated by National Institute of Information and Communications Technology, Japan (NICT) [2]. We extracted ionospheric storms based on the differences between the daily observation values and the one-month median in Japan for more than 50 years. Extracted storms of each station will be analyzed by the occurrences, duration, seasonal dependence and geomagnetic variations.

### References

- [1] G. W. Prolss, Ionospheric F-region storms, Vol. 2 of Hand book of Atmospheric Electro- dynamics, CRC Press, 1995.
- [2] World Data Center for Ionosphere, <http://wdc.nict.go.jp/>.

キーワード: 電離圏嵐, foF2, 衛星測位

Keywords: ionospheric storms, critical frequency F2 layer, satellite navigation

## 「ひので」/XRT を用いた Speckle の統計解析 Statistical analysis of the Speckle applying the "Hinode" / XRT

山田 正矩<sup>1\*</sup>; 野澤 恵<sup>1</sup>; 清水 敏文<sup>2</sup>  
YAMADA, Masanori<sup>1\*</sup>; NOZAWA, Satoshi<sup>1</sup>; SHIMIZU, Toshifumi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 茨城大学大学院理工学研究科, <sup>2</sup>ISAS (JAXA 宇宙科学研究所)

<sup>1</sup>Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki University, <sup>2</sup>Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency (ISAS/JAXA)

人工衛星の撮像画像には様々な理由で、対象以外のものが撮影されることがある。例えば、傷跡に似た軌跡や、小さな斑点、場合によっては吹雪のように見える。これらはスパイクや、スノーストームといった呼び方があるが、本研究では Speckle と呼ぶ。Speckle の一因として、フレアやコロナ質量放出 (CME) によって生成され 10 keV - 数 10 GeV にまで加速された太陽高エネルギー粒子 (SEP) が検出器に衝突したものが考えられている。SEP に限らず高エネルギー粒子は宇宙天気大きな影響を与える。特に GeV オーダーまで加速された SEP は地磁気に跳ね返されずに、地球大気まで到達する。そのため磁気圏内の低軌道衛星でも衛星障害を起こす可能性があり、安全とは言い難い。従って、SEP がどこまで流入してくるか、その動向を知ることが重要になる。

そこで、本研究では低軌道衛星である「ひので」搭載の X 線望遠鏡 (XRT) 画像データを用いて画像解析を行い、Speckle を検出した。解析期間は 2012 年 1 月から 1 年間で行った。解析結果より、3 月 7 - 8 日において、Speckle の顕著な増加と周期的な変動が見られた。3 月 7 日 00:02 UT に X 5.4 のフレアが発生しており、その影響を受けていると考えられる。Speckle の検出数はフレアの発生前と比較して 3 - 4 倍に増加する時間帯が存在した。また、変動周期は軌道周期に同期していた。さらに衛星軌道情報から増加が高緯度領域上空付近で観測されていることから、高緯度領域への SEP の流入を示唆している。高緯度領域は磁気緯度の高い地域でもあり、SEP 以外の荷電粒子の衝突の可能性が考えられ、地球磁気活動との相関も推測可能である。

本研究はこの詳細な結果を報告すると同時に解析期間を増やした場合についても、Speckle の増減と軌道情報や太陽活動の影響を考察する。

キーワード: 宇宙天気, SEP, フレア, CME, 「ひので」/X 線望遠鏡 (XRT)  
Keywords: Space Weather, SEP, Flare, CME, Hinode/X-Ray Telescope(XRT)

## ISS-IMAP 観測におけるプラズマバブル発生頻度の季節-経度依存性 Seasonal-longitudinal dependence of the occurrence of equatorial plasma bubbles observed by ISS-IMAP

高橋 明<sup>1\*</sup>; 中田 裕之<sup>1</sup>; 鷹野 敏明<sup>1</sup>; 齊藤 昭則<sup>2</sup>

TAKAHASHI, Akira<sup>1\*</sup>; NAKATA, Hiroyuki<sup>1</sup>; TAKANO, Toshiaki<sup>1</sup>; SAITO, Akinori<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 千葉大学 大学院, <sup>2</sup> 京都大学 大学院

<sup>1</sup>Chiba University, <sup>2</sup>Kyoto University

プラズマバブル (以下、EPB) とは、赤道域電離圏において局所的に電子密度の低い領域が発生する現象で、EPB 内部に含まれる電子密度不規則構造は通信電波にシンチレーションを引き起こす。現在 GNSS の航空航法への応用研究等が進められており、その障害の一つである EPB の発生機構や形態について更なる解明が求められている。

本研究では、国際宇宙ステーション「きぼう」での大気光撮像ミッション ISS-IMAP の観測データを用いて、EPB 発生頻度の季節-経度分布を求めた。EPB は波長 630 nm の大気光画像において筋状の低発光領域として観測される。これを目視によって検出し、EPB 発生イベントの抽出を行った。その結果、2012 年 9 月から 2013 年 8 月の 1 年間で 181 イベントを抽出した。発生頻度分布を求める際、領域を経度 10 度ごとに分割し、各領域における観測時間の合計に対する EPB の観測回数として算出した。EPB は低緯度から中緯度にかけて観測されるため、IMAP 観測位置の緯度が 30 度の範囲内であるときの合計時間を求めている。

上記の過程を経て EPB 発生頻度の季節-経度分布を得た。春季、秋季にはほぼ全経度において EPB が観測されており、アフリカ-アメリカ東海岸地域において非常に高い発生頻度を示した。これらは、DMSP 衛星により EPB の分布を導出した Burke et al.[2004] と同様の結果である。一方、本研究で夏期について太平洋-アメリカ東海岸地域において非常に高い発生頻度を示した。これは、Burke et al. とは明らかに異なる傾向である。Burke et al. では DMSP 衛星の密度観測データより EPB を検出しているが、DMSP 衛星は高度 800 km に位置しており、ISS-IMAP により観測される高度 (250 km) に比べかなり高高度である。したがって ISS-IMAP では高高度まで発達しないような EPB を検出したことによりこのような違いが生じたのではないかと考えられる。

この結果を踏まえて、EPB の成長を促すパラメータ (東向き電場、電子密度勾配、中性粒子-イオンの衝突周波数、etc.) の季節-経度分布を個別に解析した。本発表にて、その結果について報告する。

キーワード: 赤道域電離圏, プラズマバブル, 大気光, ISS-IMAP

Keywords: Equatorial ionosphere, Plasma bubble, airglow, ISS-IMAP