

## 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、現在行な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 thermo- sphere

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5 fm(0.005 pm)で吸収線計測を行った。結果、約50 fm(0.05 pm)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

## トロム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ー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, Kunihito<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>

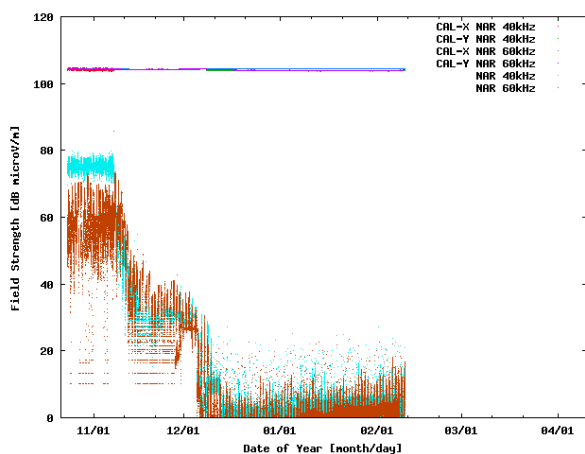
<sup>1</sup> 情報通信研究機構

<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>; KATOH, 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の方に長さ10m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、励起に寄与す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す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, Shigetou<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、地上観測地点に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地点に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。

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が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、木曾) 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



## 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ポラディック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: スポラディック 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