

## S-520-26号機による電離圏中のDC電場観測 DC Electric field observation in the ionosphere by S-520-26 sounding rocket.

須田 康介<sup>1\*</sup>, 石坂 圭吾<sup>1</sup>, 阿部 琢美<sup>2</sup>, 渡部 重十<sup>3</sup>

SUDA, Kousuke<sup>1\*</sup>, ISHISAKA, Keigo<sup>1</sup>, ABE, Takumi<sup>2</sup>, WATANABE, Shigeto<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 富山県立大学, <sup>2</sup> 宇宙科学研究所, <sup>3</sup> 北海道大学

<sup>1</sup>Toyama Prefectural University, <sup>2</sup>ISAS JAXA, <sup>3</sup>Hokkaidou University

高度約90kmから300kmの中間圏・熱圏は、熱圏の力学、温度や組成構造を決める重要な役割であるが、衛星が長時間その領域に滞在できないために、また地上観測も地域的に限定されているため、十分な観測データが不足している。また、鉛直方向の大気運動・密度・温度は大気構造や熱流移動による大気温度構造を理解する基本物理量であるが衛星では困難であり、観測ロケットによる観測手段しかない。

そこで、上記の中間圏・熱圏中の構造及びプラズマダイナミクスを解明するために、2012年1月12日に宇宙科学研究所内之浦宇宙空間観測所よりS-520-26号機観測ロケットが打ち上げられた。本ロケット観測は、明け方の電離圏F領域のプラズマ運動・密度・温度とその変動、電場と中性大気風の直接観測を実施し、大気プラズマ間結合の素過程、大気プラズマ変動の生成・発達・伝搬過程、熱圏帯域・プラズマ循環の素過程の理解と大気プラズマ相互作用の解明を目的としている。ロケットは打ち上げ後278秒後に高度約300kmまで達し、電場の観測を行った。DC電場は、ダブルプローブ法と呼ばれる2対の電場計測アンテナを用いて高時間分解能データとし観測された。本報告では、S-520-26号機観測ロケットによる電場観測の結果報告を行う。そして、ロケット観測された電場データがF領域におけるプラズマダイナミクス解明のための基礎データであることを示す。

## S-310-40号機観測ロケットによる電離圏下部領域の電子密度構造の観測計画 Observation plan of electron density structure on lower ionosphere by S-310-40 sounding rocket

深澤 達也<sup>1\*</sup>, 石坂 圭吾<sup>1</sup>, 芦原 佑樹<sup>2</sup>, 阿部 琢美<sup>3</sup>

FUKAZAWA, Tatsuya<sup>1\*</sup>, ISHISAKA, Keigo<sup>1</sup>, ASHIHARA, Yuki<sup>2</sup>, ABE, Takumi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 富山県立大学, <sup>2</sup> 奈良高専・電気, <sup>3</sup> JAXA 宇宙科学研究所

<sup>1</sup> Toyama Pref. Univ., <sup>2</sup> Elec. Eng. Nara NCT., <sup>3</sup> ISAS/JAXA

電離圏は一般的に、日中ではD層(60~90km), E層(90~140km), F1, F2層(140km~)が存在し、層によって異なる波長の電波を反射、吸収している。夜間ではD層が消滅し、D層で吸収されていた中波帯電波は、E層で反射され遠方へと伝搬する。鹿児島県・内之浦宇宙空間観測所(USC)において、昼間は受信できないが夜間は受信可能なNHK熊本第2放送電波(873kHz)を用いて、夜間の電波受信実験を行ったところ、冬期夜間において、日没後約90~150分で受信電波強度が減少することが確認された。この時、鹿児島県・山川MFレーダ(NICT)による電離圏観測ではスポラディックE層は確認されなかった。よって、夜間に中波帯電波が受信できなくなった理由として、電離圏下部領域に突発的な高電子密度領域が発生したと推測される。そこで、夜間の異常伝搬の原因を調査することを目的とした、S-310-40号機観測ロケットが2011年12月19日23時48分(JST)に内之浦宇宙空間観測所より打ち上げられた。ロケットに搭載した長・中波帯電波受信機にて受信した電波は、60kHz(標準電波局), 405kHz(南大東無線航行用ビーコン), 666kHz(NHK大阪第1放送), 873kHz(NHK熊本第2放送)の4種類である。また、同時に電子密度プロファイルを計測するために、ラングミュアプローブおよびインピーダンスプローブで観測を行った。S-310-40号機で得られた各周波数の受信強度から、磁界強度高度分布を導く。更に Full wave 計算を利用した電波吸収法を用いることで、異常伝搬時の電子密度高度分布を得る事が出来る。また、各周波数の信号と周波数解析をすることによって、右旋波と左旋波に偏波分離が可能である。これを偏波分離解析することで詳細な電波伝搬特性を得ることが出来る。以上の2つの解析手法を取ることで、異常伝搬時の地上電離圏間の電波伝搬特性を得られ、また電離圏下部領域の電子密度を推定することが可能である。

キーワード: 観測ロケット, 電子密度

Keywords: sounding rocket, electron density

## S-310-40号機及びS-520-26号機ロケットで観測された電子密度擾乱及びプラズマ波動

### Electron density disturbances and plasma waves observed with S-310-40 and S-520-26 rockets

遠藤 研<sup>1\*</sup>, 小野 高幸<sup>1</sup>, 熊本 篤志<sup>1</sup>, 佐藤 由佳<sup>1</sup>, 寺田 直樹<sup>1</sup>, 加藤 雄人<sup>1</sup>

ENDO, Ken<sup>1\*</sup>, ONO, Takayuki<sup>1</sup>, KUMAMOTO, Atsushi<sup>1</sup>, SATO, Yuka<sup>1</sup>, TERADA, Naoki<sup>1</sup>, KATOH, Yuto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科

<sup>1</sup>Tohoku University

2011年末から2012年初めにかけて、内之浦から2機の観測ロケットが打ち上げられた。

1機目は、内之浦で冬季夜間に起こる電波の異常伝搬の原因を解明するために、2011年12月19日23時48分に打ち上げられたS-310-40号機である。東北大学のグループは電子密度のその場観測を行うため、ロケットにインピーダンスプローブを搭載した。インピーダンスプローブは高度93kmからロケットの最高到達高度180kmにわたり、時間分解能125msecでプラズマのUHR周波数を検出した。また、本号機では、インピーダンスプローブの位相を計測する試みも並行して行われ、実際にその計測に成功した。観測当初は電離圏D領域もしくはE領域に高い電子密度の層が存在することを予想していたが、観測の結果は予想より低く、最も高いものでも高度100~105kmで電子密度~5500/ccというものであった。ロケット下降時は、測定電子密度にWakeの影響が強く表れた。

2機目のロケット観測は熱圏中性大気と電離圏プラズマの結合過程の解明を目的とした、WIND-II (Wind measurement for Ionized and Neutral atmospheric Dynamics study -II) キャンペーンである。飛翔したロケットはS-520-26号機で、日の出の時間に合わせ、2012年1月12日5時51分に打ち上げられた。この実験では、観測ロケットからリチウムを放出しその共鳴散乱光の地上観測からF領域の中性風速などを計測するとともに、高度90~298kmでロケットによるその場観測を行った。東北大学のグループは、ロケットにインピーダンスプローブとプラズマ波動受信機を搭載し、リチウム放出前は背景の電離圏電子密度プロファイル、リチウム放出後は放出によって引き起こされる電離圏擾乱時の電子密度とプラズマ波動を時間分解能250msecで測定した。インピーダンスプローブの測定結果から、高度約90km、160km、260kmで電子密度が極大となる領域が存在していたこと、その高度はロケット上昇時と下降時で数km程度異なることが明らかになった。一方、プラズマ波動受信機は高度約240km以上でupper hybrid waveを観測した。上空でのリチウム放出は3回予定されていたが、放出の影響と見られる電子密度増加、及びプラズマ波動強度の減少は、3回目の放出予定時刻の約10秒後と約30秒後にのみ見られた。そのうち、約10秒後の電子密度増加はインピーダンスプローブの測定可能範囲を超えていたものと考えられ、UHR周波数を検出することができなかった。Wakeの影響と見られる電子密度の擾乱は、ロケット下降時だけでなく上昇時にも観測された。

さらに特徴的であった結果は、2つのロケット実験とともに、インピーダンスプローブがUHR周波数以外のプラズマ特性周波数でも共鳴現象を起こしていた点である。一つは、プラズマ周波数付近でプローブのインピーダンスが極大となるもので、低電子密度領域で明瞭であった。もう一つは、電子のサイクロトロン周波数のおよそ2倍でインピーダンスが極小となる現象で、比較的高い電子密度の領域で散見された。

今回は、これら2機のロケット観測で得られた電子密度高度分布及びプラズマ波動の観測結果をインピーダンスプローブの出力波形とともに紹介し、電子密度擾乱、Wakeの効果、リチウム放出の影響などについて議論する。

キーワード: 中緯度電離圏, インピーダンスプローブ, ロケット観測, 電子密度, プラズマ波動, 化学物質放出

Keywords: mid-latitude ionosphere, impedance probe, rocket experiment, electron density, plasma wave, chemical release

## S-310-41号観測ロケット搭載PDI開発のための模擬希薄大気中における音波伝搬特性の計測

### Laboratory experiment of sound propagation characteristics in rarefied atmosphere for developing PDI to be on-board

木原 大城<sup>1\*</sup>, 森永 隆稔<sup>1</sup>, 山本 真行<sup>1</sup>

KIHARA, Daiki<sup>1\*</sup>, MORINAGA, Takatoshi<sup>1</sup>, YAMAMOTO, Masa-yuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 高知工科大学

<sup>1</sup> Kochi University of Technology

高層大気中における音波伝搬路は基本的に温度場と風速場に依存しており、主な大気モデルにより導出可能であるが、この実測が比較的難しく過去の実験例も極めて限られている。1960年代には、観測ロケットに搭載した火薬を爆発させ地上の複数地点で音波伝搬特性から温度と風速の計測を行ったグレネード法 (Stroud et al., 1960) が実施され、1990年代には、低周波音波発生装置により高層大気に向けて音波を送り大気粗密を発生させ MU レーダ (Middle and Upper Atmosphere Rader; 中層・高層大気観測レーダ) で観測を行う RASS (Radio Acoustic Sounding System) が実現されているが、直接的な高層大気音波計測は実施されていない。

本実験は、ロケット搭載音波送受信機器 PDI (Propagation Diagnostics in upper atmosphere by Infrasonic/ Acoustic waves) を用いて音波伝搬特性の高度プロファイルを定量的に求めるとともに、ロケット打上げ地点に設置する RASS 用低周波音発生装置から発生させた音波をロケット搭載検出器で観測する。また、ロケット打上げ時に音波および、可聴下音 (インフラサウンド) を地上の観測装置群により複数地点で計測し、ロケット搭載機器による音源の直接計測データとの比較から中層・高層大気における音波伝搬特性を求めるとともに、音波伝搬路の大気モデルとの比較・検証を行う計画で、2012年度に実施予定である。

本ロケット搭載機器 PDI は、音波源となるスピーカー、検出器であるマイク、音波制御回路により構成されている。スピーカーから出力 1 W 周波数 10 Hz から 1 kHz までの 7 周波数の音波ならびにロケット燃焼時の燃焼音、ノーズコーン開頭およびメインペイロード分離時の火薬爆発音を音源としてマイクにより観測を行う。また、地上からはロケット打ち上げ前より RASS 用低周波音発生装置から 100 Hz 帯の音波を一定間隔で発生させ、ロケット飛翔中に搭載マイクにより観測を行う。

現在地上予備実験として、我々は、搭載用マイクとスピーカーを高知工科大学および JAXA 宇宙科学研究所の真空チャンバ内に設置し、高度約 100 km の大気圧 (およそ  $10^{-4}$  Pa) までの音波伝搬特性を計測した。その結果として、真空チャンバ内の気圧が下がるに伴い信号強度が低下するデータを取得することができた。これは音波が大気中の分子を振動させ疎密波が伝搬しているためであり、このことから空気が希薄な状態になることで分子の数が減少し信号強度低下に繋がった。

地上予備実験の結果から S-310-41 号搭載 PDI が中層・高層大気中においても正常に動作し、計測可能であることを確認することができた。

キーワード: S-310-41, 音波, 観測ロケット, ロケット搭載音波送受信機器

Keywords: S-310-41, sound wave, sounding rocket, PDI

## 地殻活動起源の大気変動をモニタリングするための微気圧連続観測 Continuous infrasound observation to monitor atmospheric phenomena related to activities of the Earth's crust

長尾 大道<sup>1\*</sup>, 富澤 一郎<sup>2</sup>, 家森 俊彦<sup>3</sup>, 金尾 政紀<sup>4</sup>, 徳永 旭将<sup>5</sup>, 樋口 知之<sup>1</sup>

NAGAO, Hiromichi<sup>1\*</sup>, TOMIZAWA, Ichiro<sup>2</sup>, IYEMORI, Toshihiko<sup>3</sup>, KANAO, Masaki<sup>4</sup>, TOKUNAGA, Terumasa<sup>5</sup>, HIGUCHI, Tomoyuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 統計数理研究所, <sup>2</sup> 電気通信大学, <sup>3</sup> 京都大学理学研究科附属地磁気世界資料解析センター, <sup>4</sup> 国立極地研究所, <sup>5</sup> 明治大学  
先端数理科学インスティテュート

<sup>1</sup>The Institute of Statistical Mathematics, <sup>2</sup>The University of Electro-Communications, <sup>3</sup>Graduate School of Science, Kyoto University, <sup>4</sup>National Institute of Polar Research, <sup>5</sup>Meiji University

Uncovering the dynamics of the multi-layered Earth, which consists of the solid Earth, the oceans, the atmosphere including the ionosphere, is likely to offer new insights in the Earth science. Recent improvements in the sensor technology and expanding geophysical observation networks enable us to detect observational evidence of physical interactions between any two successive layers. One of the typical phenomena related to the coupling between the solid Earth and the atmosphere is "seismoacoustic wave", which is an acoustic wave excited by a large earthquake. Nagao et al. (J. Geophys. Res., submitted) indicates, through data assimilation of the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake, that a joint analysis of seismograms and infrasound records could provide strong constraints on seismic mechanisms such as focal depth especially in the cases of shallow earthquakes. More infrasound observations would provide important information of activities of the Earth's crust although the number of infrasound observatories is insufficient at this moment.

In order to detect and clarify atmospheric phenomena related to activities of the Earth's crust, we have established an infrasound monitoring station at the Sugadaira Space Radio Observatory (36deg 31.389' N, 138deg 19.073' E) of the University of Electro-Communications. This station is located at appropriate distances from both the aftershock region of the 2011 Great East Japan Earthquake and the supposed area of the forthcoming Tokai-Tonankai-Nankai Earthquake. The joint observations of the atmosphere and the ionosphere could contribute to an establishment of tsunami early warning system, which detects precursive infrasound signals of tsunami.

キーワード: 微気圧, 地震音波, 岩手・宮城内陸地震, 固体地球 - 大気結合, 電離層, 津波

Keywords: infrasound, seismoacoustic wave, Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake, coupling between solid earth and atmosphere, ionosphere, tsunami

## 2011年東北地方太平洋沖地震後に観測された全電子数変動特性 Characteristics of Total electron content variation after the M9.0 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake

柿並 義宏<sup>1\*</sup>, 渡部 重十<sup>2</sup>, 鴨川 仁<sup>3</sup>, 茂木 透<sup>1</sup>, 劉 正彦<sup>4</sup>, 孫楊軼<sup>4</sup>

KAKINAMI, Yoshihiro<sup>1\*</sup>, WATANABE, Shigetō<sup>2</sup>, KAMOGAWA, Masashi<sup>3</sup>, MOGI, Toru<sup>1</sup>, LIU, Jann-Yenq<sup>4</sup>, Yang-Yi Sun<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学地震火山研究観測センター, <sup>2</sup> 北海道大学大学院理学院宇宙理学専攻, <sup>3</sup> 東京学芸大学教育学部物理学科, <sup>4</sup> 台湾国立中央大学太空研究所

<sup>1</sup>Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University, <sup>2</sup>Department of Cosmospice, Hokkaido University, <sup>3</sup>Department of Physics, Tokyo Gakugei University, <sup>4</sup>Institute of Space Science, National Central University

Sudden strong vertical displacement of Japan Trench by the M9.0 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake (the Tohoku EQ) that occurred on 11 March 2011 triggered huge tsunami and the tsunami inflicted intolerable damage on Tohoku district, Japan. Acoustic and gravity waves excited by the tsunami propagated to thermosphere and disturbed ionosphere about 10 minutes after the mainshock, which are often observed after the large earthquakes. After the atmospheric waves arrive at the ionosphere and initial enhancement and depletion of plasma appeared, huge plasma depletion in the hundred kilometer scale occurred over the tsunami source area and lasted for a tens minimums. Simultaneously, various ionospheric disturbances were observed. In this paper, we investigate characteristics of ionospheric disturbances using Total Electron Content (TEC) calculated from the data of GPS network, GEONET (GPS Earth observation network system) which has more than 1000 GPS receivers. In order to investigate frequency of disturbances, we analyze TEC variation with Hilbert-Huang Transform (HHT) which can analyze data of non-stationary time series. Moreover, initial variations of TEC after arrival of the atmospheric waves at ionosphere are examined. Finally, interaction between atmosphere and ionosphere is discussed.

キーワード: 東北太平洋沖地震, 電離圏擾乱, 津波, 音波, 重力波, 全電子数

Keywords: the off the Pacific coast of Tohoku earthquake, ionospheric disturbance, tsunami, acoustic wave, gravity wave, total electron content

## GEONETの1秒値データを用いた東北地方太平洋沖地震に伴う電離圏変動の研究 Ionospheric disturbances after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake studied with 1-Hz sampling GPS data

西岡 未知<sup>1</sup>, 津川 卓也<sup>1\*</sup>, 長妻 努<sup>1</sup>, 村田 健史<sup>1</sup>

NISHIOKA, Michi<sup>1</sup>, TSUGAWA, Takuya<sup>1\*</sup>, NAGATSUMA, Tsutomu<sup>1</sup>, MURATA, Ken T.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 情報通信研究機構

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

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震に伴う短周期の電離圏擾乱の発生と時間発展について、国土地理院の提供する国内地上GPS受信機網データ1秒値を用い、その詳細を明らかにした。東北地方太平洋沖地震に伴う電離圏擾乱に関しては、地上GPS受信機網(GEONET)や北海道HFドップラーレーダー、国内イオノゾンデによってその解析が進められている。Tsugawa et al. [2011]はGEONETの全電子数データ30秒値を用い、100 m/s - 3.5 km/sのさまざまな伝搬速度をもつ全電子数擾乱を発見した。これらの全電子数擾乱のうち、伝搬速度の最も早い3.5 km/sで伝搬する全電子数擾乱の周期は最も短く、5分程度であった。Ogawa et al. [2012]は、高時間分解能の北海道HFドップラーレーダーデータを用い、6.7 km/sで伝搬する周期約2分の波を発見した。また、Maruyama et al. [2011]は国内に展開されるイオノゾンデ観測網データを用い、7 km/s以上もの速度で伝搬する電離圏擾乱の存在を示唆した。このような高速伝搬する短周期の電離圏変動は、これまで全電子数データで検出されていない。その理由として、HFレーダーやイオノゾンデとGPS-TEC観測には観測領域・観測手法による違いがあるということ、また、Tsugawa et al.で行われた30秒サンプリングのデータでは時間分解能が不十分であることが考えられる。そこで本研究では、全電子数の1秒値データを用い、短周期の電離圏擾乱について調べた。使用データは国土地理院が提供するGEONETの全電子数データ約1200観測点である。これらのデータに2分-10分のハイパスフィルタを使用し、HFドップラーレーダーで観測されたような高速の短周期変動がないかを調べた。その結果、伝搬速度が3-4 km/s程度の電離圏擾乱は見られたものの、HFドップラーレーダーで観測されたような2分周期の高速伝搬の電離圏擾乱は見られなかった。周期が短いと減衰も早いいため、低高度までしか伝搬できず、F層下部を観測しているHFレーダーやイオノゾンデでは観測されるが、F層全体の全電子数変動としては観測できなかったと解釈できる。

キーワード: 地震後電離圏, 全電子数, 1秒値, GEONET

Keywords: post-seismic ionospheric disturbance, total electron content, 1 second sampling, GEONET

## GPSにより導出した電離圏全電子数の地震発生に伴う周波数帯域別の変動 Variations of total electron content in frequency domain accompanied by earthquakes

阿部 圭吾<sup>1\*</sup>, 中田 裕之<sup>1</sup>, 鷹野 敏明<sup>1</sup>, 齊藤 昭則<sup>2</sup>  
ABE, Keigo<sup>1\*</sup>, NAKATA, Hiroyuki<sup>1</sup>, Toshiaki Takano<sup>1</sup>, SAITO, Akinori<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 千葉大学大学院工学研究科, <sup>2</sup> 京都大学大学院理学研究科

<sup>1</sup>Graduate School of Engineering, Chiba University, <sup>2</sup>Department of Geophysics, Graduate School of Science, Kyoto University

電離圏全電子数 (Total Electron Content, 以下 TEC) と地震との関係はこれまでも報告されており、1994年に発生したカリフォルニア地震 [Calais and Minster, 1995] や 2008年に中国?川?での地震 [Afraimovich et al., 2001] そのままで TEC の数分周期の変動が報告されている。それに対し、変動の空間スケールについての報告は必ずしも多くない。空間スケールを調べるためには、国土地理院により整備された GPS 連続観測システム (GEONET) のように密な GPS 観測網が有効である。この GEONET データを用いて、Tsugawa et al. [2011] により、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では震源地付近から波紋状に広がる TEC の変動が報告された。しかしこれほど明確な TEC 変動が観測されることは少ない。

そこで本研究では、地震に伴う TEC 変動の空間スケールを調べるため、地震に伴う TEC 変動の周期が数分程度であることを利用し、TEC の時系列データを周波数分解して、各帯域でのスペクトル強度の時空間変化について解析した。

本研究では、GEONET の GPS 受信機から得られた GPS-TEC データを用い、地震発生時の各帯域における TEC 変動のスペクトル強度を導出した。電離圏は高度 350km にある薄層と仮定し、貫通点を求め、32 分間分のデータに対してフーリエ変換を行った。解析対象は 2000 年～2012 年に日本内陸、近海で起きた M6.5 以上の地震である。

その結果、2011年3月11日に起きた東北地方太平洋沖地震 (M8.4)、2003年9月26日に起きた十勝沖地震 (M8.0) の 2 イベントにおいては 1.56 mHz～9.38 mHz のすべての周波数帯域において震源地から波紋状に広がる TEC の変動が確認できた。この帯域は、電離圏中の大気重力波、音波の周期と一致しており、これらの TEC 変動が地震によって生じたと考えられている。また、2000年10月6日の鳥取県西部地震 (M7.3)、2004年10月23日の新潟県中越沖地震 (M6.8) は 1.56 mHz～7.29 mHz の周波数帯域では TEC の変動は見られなかった。しかし 8.33 mHz、9.38 mHz の高い周波数帯域では震源地付近で変動が確認できた。8.33 mHz、9.38 mHz のように比較的周波数の高い変動は震源地付近で卓越することが数値計算でも確認されており [Matsumura et al., 2011]、今回の結果はそれを支持するものである。

キーワード: 全電子数, 電離圏, 地震, GPS, GEONET

Keywords: total electron content, ionosphere, earthquake, GPS, GEONET

## 準天頂衛星 2 周波数電波遅延差を利用した電離層全電子数計測 TEC measurements using propagation delay difference of two-frequency signal of QZS

衣笠 菜月<sup>1\*</sup>, 清水 卓人<sup>1</sup>, 武藤 竜洋<sup>1</sup>, 高橋 富士信<sup>1</sup>

KINUGASA, Natsuki<sup>1\*</sup>, Takuto Shimizu<sup>1</sup>, Tatsuhiko Muto<sup>1</sup>, TAKAHASHI, Fujinobu<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 横浜国立大学

<sup>1</sup>Yokohama National University

### 1. はじめに

準天頂衛星 (QZS: Quasi-Zenith Satellite) の L1 帯と L2 帯の 2 周波観測値の電波遅延差から、電離層の全電子数 (TEC: Total Electron Content) を算出する方法を述べる。また GPS 信号による TEC 計算値との比較を行った。

### 2. TEC 算出

QZS の L1 と L2 の 2 周波信号は電離層の分散性により、衛星から地上受信機までの伝搬時間が異なる。この 2 つの信号の位相差を使って、衛星から受信機までの伝搬経路に沿った TEC を計算することができる。

### 3. 計器バイアス推定

視線方向の TEC 計算値には衛星バイアスと受信機のバイアスが含まれる。より高精度に TEC を算出するためには、このバイアスを除去する必要がある。本研究では最小二乗法を用いてバイアス推定を行った。

### 4. GPS と QZS

GPS 衛星の軌道高度が約 20,200km に対し、QZS は約 36,000km である。QZS の軌道は昼間に発達するプラズマ圏の外側を通るため、TEC 値は信号が貫通するプラズマ圏の状態を反映すると考えられる。QZS 信号による TEC 計算値と GPS 信号による TEC 計算値とを比較した結果を述べる。

### 謝辞

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) に GNSS 受信機及び RINEX サンプルデータを提供して頂きました。また情報通信研究機構 (NICT) の中村真帆氏及び津川卓也氏に有益なアドバイスを頂きましたことを感謝致します。

キーワード: 準天頂衛星

Keywords: TEC, GPS, QZSS

## 電波伝搬特性解析による電離圏電子密度推定の自動化

### Automated estimation of electron density profile in the ionosphere by the radio wave propagation characteristics

三宅 壮聡<sup>1\*</sup>, 佐々木 亨<sup>1</sup>, 石坂 圭吾<sup>1</sup>, 岡田 敏美<sup>1</sup>

MIYAKE, Taketoshi<sup>1\*</sup>, SASAKI, Toru<sup>1</sup>, ISHISAKA, Keigo<sup>1</sup>, Toshimi Okada<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 富山県立大学

<sup>1</sup> Toyama Prefectural University

電離圏下部領域の電子密度高度分布を推定する手法として、ロケット観測による直接観測が有効であると考えられているが、高度40km~80kmのノーズコーンを開くことのできない高度ではプローブなどによる直接観測が不可能である。この高度域では、地上からの電波強度高度分布を観測してその減衰特性から電子密度高度分布を推定する、という電波吸収法が現在最も有効な電子密度観測方法であると考えている。

電波吸収法は次のような手順で電子密度推定を行う。まず仮定した電子密度高度分布から Full wave 法を用いて電波強度の理論値を計算する。次にロケット実験で得られた観測値と比較。電波強度の理論値と観測値が一致すれば、仮定した電子密度が妥当であると判断できる。一致しなかった場合、比較して得られた結果にもとづいて電子密度高度分布を修正し、電波強度の観測値と理論値を徐々に一致させ、電子密度を推定する。この手順のうち、電波強度の観測値と理論値の比較および電子密度高度分布の修正を手作業で行っており、電子密度の修正に時間がかかるという欠点がある。また、観測値と理論値を比較する際に定量的な基準がないという問題点もある。

そこで本研究では、電波吸収法の自動化アルゴリズムの検討を行った。まず過去に手動で行った電波吸収法の結果をもとに定量的な判断基準を導入し、電子密度補正条件とプログラム終了条件の設定を行った。更に自動化するにあたって電波吸収法に用いる Full wave 計算のパラメータや電子密度高度分布の変化が Full wave 計算に与える影響について調査し、電子密度推定手順について詳細に検討した。その結果、電子密度推定の手順において、電子密度を減少させる場合に処理方法を工夫することで、電波強度の観測値と理論値の誤差を小さくできることがわかった。設定した判断基準にもとづいてロケット実験の観測データに対して自動推定を行った結果、非常に短時間で手動推定と同様に精度の高い電子密度を推定することに成功した。

キーワード: 電離圏, プラズマ波動, 電子密度高度分布, Full wave 法

Keywords: ionosphere, plasma waves, electron density profile, Full wave method

## 2次元 FDTD シミュレーションを用いたスプラディック E 層空間構造推 Estimation of spatial structure of sporadic E layer with 2-dimensional FDTD simulations

黒川 貴寛<sup>1</sup>, 三宅 壮聡<sup>1\*</sup>, 石坂 圭吾<sup>1</sup>, 岡田敏美<sup>1</sup>

KUROKAWA, Takahiro<sup>1</sup>, MIYAKE, Taketoshi<sup>1\*</sup>, ISHISAKA, Keigo<sup>1</sup>, Toshimi Okada<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 富山県立大学

<sup>1</sup> Toyama Prefectural University

電離圏電子密度の解析手法として、ロケットによる直接観測、レーダによる観測、シミュレーション (Full-wave 法や FDTD 法) などがある。本研究では 2 次元 FDTD 法を用いたシミュレーションを行い、電離圏の空間構造が電波伝搬特性に与える影響について解析を行い、ロケット観測で得られる電波強度の高度分布から電離圏空間構造を推定できる可能性を検討する。FDTD シミュレーションでは自由な空間構造の解析が可能であり、本研究では電離圏下部領域における特徴的な空間構造としてスプラディック E 層と FAI を想定している。電離圏モデルとして、層状、楕円電子雲モデルを仮定し、電離圏の空間構造が電波伝搬特性に与える影響、特に周波数による影響の違いを調べた。さらに実際に行われている電離圏ロケット観測を想定して、シミュレーション結果から電波の磁界強度高度分布を求め、電離圏モデルが異なる場合の磁界強度高度分布を比較し、その特徴から逆に電離圏空間構造の推測を行えるかについて検証を行った。複数周波数の電波を同時に観測して比較することによって、スプラディック E 層や FAI 等の電離圏空間構造の推測が容易になることが期待できる。

シミュレーションの結果、シミュレーション領域においてロケットの軌道を仮定した 2 つのラインの磁界強度高度分布を抽出した。一方は電子雲内部を通過したライン、もう一方は電子雲を外れたラインである。結果を比較した所、層状モデルにおいて Es 層上空で強度が単調減少したのに対し、円形モデルでは Es 層上空で一旦強度が増大した後減少という特徴が現れた。この様に、様々なタイプの Es 層モデルと発振周波数が電波伝搬に与える影響の特徴を判別することが出来れば Es 層の空間構造推定は可能であると考えられる。現在、Es 層モデルとして層状モデルと電子雲モデルの二種類を設定しているが、今後は Es 層モデルのパターンを増やしシミュレーションを行う。具体的には、波状の Es 層モデルなどを検討中である。

また、これらの結果を元に、2011/12/19 に打ち上げ成功した S-310-4 号機観測ロケットから得られた実際の電波強度高度分布とシミュレーション結果を比較し、実際に Es 層の空間構造を推定する。

キーワード: スプラディック E 層, FDTD シミュレーション, 電離圏, 電子密度分布, プラズマ波動伝搬

Keywords: Sporadic E layer, FDTD simulation, ionosphere, electron density profile, plasma wave propagation

## Akebono 衛星による衛星電位-電子密度特性の調査

### Study on characteristics of relationship between Akebono satellite potential and electron density

森野 直樹<sup>1\*</sup>, 石坂 圭吾<sup>1</sup>, 北村 成寿<sup>2</sup>, 新堀 淳樹<sup>3</sup>, 小野 高幸<sup>2</sup>, 熊本 篤志<sup>4</sup>, 西村 幸敏<sup>5</sup>, 松岡 彩子<sup>6</sup>

MORINO, Naoki<sup>1\*</sup>, ISHISAKA, Keigo<sup>1</sup>, KITAMURA, Naritoshi<sup>2</sup>, SHINBORI, Atsuki<sup>3</sup>, ONO, Takayuki<sup>2</sup>, KUMAMOTO, Atsushi<sup>4</sup>, NISHIMURA, Yukitoshi<sup>5</sup>, MATSUOKA, Ayako<sup>6</sup>

<sup>1</sup> 富山県立大学, <sup>2</sup> 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻, <sup>3</sup> 京都大学生存圏研究所, <sup>4</sup> 東北大学大学院理学研究科惑星プラズマ・大気研究センター, <sup>5</sup> Department of Atmospheric and Oceanic Sciences University of California, Los Angeles, <sup>6</sup> 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 太陽系科学研究系

<sup>1</sup> Toyama Pref. Univ., <sup>2</sup> Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University, <sup>3</sup> Research Institute for Sustainable Humanosphere (RISH), Kyoto University, <sup>4</sup> Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, Graduate School of Science, Tohoku University, <sup>5</sup> Department of Atmospheric and Oceanic Sciences University of California, Los Angeles, <sup>6</sup> Research Division for Space Plasma, Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Ex

これまでの研究で磁気圏や太陽風領域において衛星電位と電子密度の関係が調査され、両者の間には良い相関が見出されている。しかし、電離圏、プラズマ圏、および放射線帯などの電子密度が  $1/\text{cc}$  から  $10^7/\text{cc}$  以下の領域での衛星電位を用いた調査は行われていない。そこで本研究では、上記の領域を主に観測しているあけぼの衛星を用いて衛星電位-電子密度特性を調査する。あけぼの衛星において、衛星電位はバイアス電流の印加されたプローブと衛星との間の電位差を計測することで得られる。1989年5月1日から1990年8月31日までの期間ではプローブにバイアス電流が印加されている。この期間における衛星電位と電子密度の関係は調査済みだが、その他のバイアス電流が印加されていない期間では調査がされていない。バイアス電流が印加されていない期間において、衛星電位と電子密度の間に良い相関がある場合があることがわかっている。そこで、バイアス電流が印加されていない期間において、良い衛星電位-電子密度特性が得られる場合の衛星周辺のプラズマ環境を調査する。これにより、衛星電位から電子密度を推定することができる領域が拡大し、これまで得ることができなかった領域の電子密度を得ることができると考えられる。

キーワード: あけぼの衛星, 電子密度, 衛星電位

Keywords: akebono, electron density, satellite potential

## 赤道域電離圏におけるプラズマバブルと背景熱圏風の磁気共役点観測 Geomagnetic conjugate observations of plasma bubbles and thermospheric neutral winds at equatorial latitudes

福島 大祐<sup>1\*</sup>, 塩川 和夫<sup>1</sup>, 大塚 雄一<sup>1</sup>, 西岡 未知<sup>2</sup>, 久保田 実<sup>2</sup>, 津川 卓也<sup>2</sup>, 長妻 努<sup>2</sup>

FUKUSHIMA, Daisuke<sup>1\*</sup>, SHIOKAWA, Kazuo<sup>1</sup>, OTSUKA, Yuichi<sup>1</sup>, NISHIOKA, Michi<sup>2</sup>, KUBOTA, Minoru<sup>2</sup>, TSUGAWA, Takuya<sup>2</sup>, NAGATSUMA, Tsutomu<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>STELAB, Nagoya Univ., <sup>2</sup>NICT

赤道域電離圏における大気光観測では、東向きに伝搬するプラズマバブルが観測されている。このプラズマバブルの東向きドリフトはプラズマ 中性大気結合の結果であると考えられる。過去の観測では、プラズマバブルは磁力線に沿って磁気共役性を持っていることが明らかにされた [e.g. Otsuka et al., 2002]。しかし、磁気共役点において、プラズマバブルのドリフト速度と熱圏中性風速の調査は行われていない。本研究では、低緯度の2つの磁気共役点において、630nm大気光画像中に観測されたプラズマバブルと、それに伴って観測された熱圏中性風を報告する。

プラズマバブルは2011年4月5日の13 22UT (20 05LT) にインドネシア・コタタバン (地理緯度 0.2S、地理経度 100.3E、磁気緯度 10.0S) とタイ・チェンマイ (地理緯度 18.8N、地理経度 98.9E、磁気緯度 8.9N) の2つの磁気共役点において観測された。このプラズマバブルは両地点に設置されている高感度全天カメラによって撮像された630nm大気光画像中に観測された。プラズマバブルの東向きドリフト速度は約 100 130 m/s 程度で、地方時間が遅くなるにつれ、ドリフト速度も減少していた。また、背景の熱圏中性風もファブリ・ペロー干渉計によって観測されており、コタタバンでは東向き 70 130 m/s、チェンマイでは東向き 50 90 m/s であった。また、バブルの速度は観測された背景風速よりも全体的に少し大きくなっていた。本発表ではプラズマバブルの東向きドリフト速度と背景熱圏風との関係を、F層ダイナモ効果を考慮し、観測値及びHWM、IRIのモデル値と比較しながら考察する。

キーワード: プラズマバブル, 熱圏風, 磁気共役点観測, 大気光観測, F層ダイナモ

Keywords: plasma bubble, thermospheric wind, geomagnetic conjugate observation, airglow observation, F-region dynamo

## プラズマバブルに伴う電子密度変動の緯度依存性と太陽活動との相関 Solar activity dependence of latitudinal variation of ionospheric fluctuations associated with equatorial plasma bubbles

右田 智史<sup>1</sup>, 中田 裕之<sup>1\*</sup>, 鷹野 敏明<sup>1</sup>, 津川 卓也<sup>2</sup>, 長妻 努<sup>2</sup>, 齊藤 昭則<sup>3</sup>

MIGITA, Satoshi<sup>1</sup>, NAKATA, Hiroyuki<sup>1\*</sup>, Toshiaki Takano<sup>1</sup>, TSUGAWA, Takuya<sup>2</sup>, NAGATSUMA, Tsutomu<sup>2</sup>, SAITO, Akinori<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 千葉大学大学院工学研究科, <sup>2</sup> 情報通信研究機構, <sup>3</sup> 京都大学大学院理学研究科

<sup>1</sup>Graduate School of Engineering, Chiba University, <sup>2</sup>National Institute of Information and Communications Technology, <sup>3</sup>Graduate School of Science, Kyoto University

プラズマバブルは発生領域に近い磁気赤道領域では太陽活動に関係なく観測されるが、太陽活動極大期には日本付近まで発達することが知られている。プラズマバブルの検出には、電離圏全電子数 (Total Electron Content、以下 TEC) の時間差分の標準偏差である Rate of TEC change Index (ROTI) がよく用いられる。プラズマバブル内部には様々なスケールの擾乱が存在しているが、ROTI はその中でも数 km 程度の擾乱に対応して変動すると考えられる。申請者らは、情報通信研究機構 (NICT) が東南アジアに展開する低緯度電離圏観測網 (SEALION) の GPS データを利用して、プラズマバブル発生時の ROTI 変動の緯度依存性について調べた。この解析においては、太陽活動極小期におけるデータを利用したが、ROTI 変動の平均値は緯度に対してほぼ一様な値であった。これは、プラズマバブルが緯度方向または高度方向にあまり発達しておらず、バブルの存在領域の電子密度の空間変化の影響があまり現れなかったためと考えられる。

2011 年になり太陽活動が活発になるにつれ、日本付近でもバブルが観測される事例が増えてきた。そこで今回、太陽活動増大時の ROTI の緯度依存性について解析を行ったところ、太陽活動極小期とは異なり、高緯度側で ROTI が大きく増大していた。この結果は、プラズマバブルの高度が高くなり、磁力線のピーク位置での電子密度の減少が顕著であったためと考えられる。また、赤道異常帯に磁力線の footprint がくることで、電子密度の増大による影響も現れたと考えられる。日本付近まで発達したバブルに対しては、GEONET によるデータを用いて、バブルの高緯度側端の観測も可能になる。しかし、SEALION とは経度が 15?20 度ほど異なるため、同一のプラズマバブルを観測することは難しい。しかし、International GNSS service (IGS) により、上海、台湾、フィリピンの GPS 受信機のデータが提供されており、これらのデータと GEONET のデータを用いて、太陽活動極大期におけるプラズマバブル全体の緯度依存性を調べることが可能になる。そこで、上海、マニラ、台湾でのプラズマバブルに伴う ROTI 変化を調べたところ、SEALION とほぼ同一の緯度依存性を示した。これらのデータと GEONET で得られた ROTI の緯度依存性は地理緯度 20?30 度付近で重なっており、これらについてもほぼ同一の変化を示した。従って、ROTI の緯度依存性は東南アジア、日本付近では、ROTI の緯度依存性はほぼ同一であることがわかる。

キーワード: 電離圏, プラズマバブル, GPS, TEC, ROTI

Keywords: ionosphere, plasma bubble, GPS, TEC, ROTI

## ポーラーキャップパッチの構造化: ロングイヤーバイエンにおける大気光観測 Structuring of polar cap patches: all-sky airglow observations in Longyearbyen, Svalbard

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> 電気通信大学大学院情報理工学研究所, <sup>2</sup> 国立極地研究所

<sup>1</sup>Graduate School of Informatics and Engineering, University of Electro-Communications, <sup>2</sup>National Institute of Polar Research

A highly sensitive all-sky EMCCD airglow imager has been operative in Longyearbyen, Svalbard (78.1N, 15.5E) since October 2011. Primary target of this optical observation is "polar cap patches" which are defined as regions of plasma density enhancement drifting anti-sunward across the polar cap. Since the electron density within patches is often enhanced by a factor of 2-10 above a background level, airglow measurements at 630.0 nm wavelength are able to visualize their spatial structure in two-dimensional fashion. The imager in Longyearbyen obtains the 630.0 nm all-sky images with an exposure time of 4 sec, about an order of magnitude shorter than the conventional cooled CCD airglow imager. This could allow us to capture the small-scale plasma structuring process occurring in the vicinity of patches.

We present, as one of the first results from the imager, an event of polar cap patches drifting anti-sunward during the southward IMF conditions. On the night of December 21, 2011, between 1900 and 2300 UT, several polar cap patches were observed by the imager near midnight. The patches were much more elongated in the direction perpendicular to their motion. They passed through the zenith every about 7 min, which is comparable to the periodicity of the flux transfer event in the dayside equatorial magnetopause. This may imply that the patches during the current interval were generated in close association with transient reconnection on the dayside. In some images, small-scale undulations (~50 km scale) were identified along the trailing edge of the patches. This may be an indication that the structuring of patches is dominated by the gradient-drift instability because the trailing edge of patches is expected to be unstable for the gradient-drift waves in their linear stage.

キーワード: ポーラーパッチ, プラズマ不安定, プラズマ対流, 大気光観測, 極域電離圏

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

## プラズマ圏高密度磁力管構造に関する KAGUYA によるプラズマ圏撮像観測と GPS-TEC による電離圏観測の比較 Comparative study of plasmaspheric filamental structures between EUV images by KAGUYA and TEC data by GPSComparative

穂積 裕太<sup>1\*</sup>, 齊藤 昭則<sup>1</sup>, 村上 豪<sup>2</sup>  
HOZUMI, Yuta<sup>1\*</sup>, SAITO, Akinori<sup>1</sup>, MURAKAMI, Go<sup>2</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>1</sup>Department of Geophysics, Graduate School of Science, Kyoto University, <sup>2</sup>Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency Institute of Space

Total Electron density data derived by GPS is compared to two-dimensional images of the plasmasphere obtained by KAGUYA to clarify the formation mechanism of the plasmaspheric structures. He+ imaging of the Earth's plasmasphere have revealed several plasmaspheric density structures. The Extreme Ultraviolet Imager on the IMAGE satellite detected radial structures called "finger", and the Telescope of Extreme Ultraviolet onboard KAGUYA detected meridional structures called "filament". These structures are interpreted as isolated flux tube that is filled with denser plasma than neighboring tubes. The whole image of these structures, however, is still unknown since only EUV imaging have detected these. Considering very high mobility of plasma along the magnetic field line, these plasmaspheric tube enhancements are supposed to be connected to ionospheric structures. In this study, the ionospheric structure at the foot point of these flux tubes in the ionosphere is surveyed, using GPS-TEC data. Relation between the plasmasphere and the ionosphere, and the formation of the dense plasma isolated flux tube will be discussed in the presentation.

## GPS 受信機網と低軌道衛星の TEC データを用いたプラズマ圏境界の研究 The observation of plasmopause using topside TEC data by LEO satellite

五井 紫<sup>1\*</sup>, 齊藤 昭則<sup>1</sup>

GOI, Yukari<sup>1\*</sup>, SAITO, Akinori<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学

<sup>1</sup> Kyoto University

地上 GPS 受信機網と低軌道衛星に搭載された GPS 受信機の TEC データを用いてプラズマ圏境界面の観測を行った。プラズマ圏は、地磁気の状態に素早く反応する領域で、磁気擾乱時には L 値が 2 付近まで収縮する。そのプラズマ圏の様子は過去に様々な観測によって明らかにされた。例えば、CREES 衛星によるその場の電子密度観測では地磁気が荒れるのにしたが、プラズマ圏が収縮し、プラズマ圏境界面が地球方向へ移動する様子が観測された。IMAGE 衛星による EUV 撮像機によってプラズマ圏のヘリウムイオンの分布を観測した。磁気擾乱時に収縮するプラズマ圏の様子と、夕方側から太陽方向へ延びるプラズマブルームが観測された。先行研究では低軌道衛星のトップサイド全電子数 (Total Electron Content, TEC) データを用いたプラズマ圏の観測を行った。磁気擾乱時と静穏時に中緯度で TEC の増大が観測された。地上 GPS 受信機網による全電子数の観測データと比較を行い、昼側の中緯度で観測される TEC の増大は SED (Storm Enhanced Density) であることがわかった。また、プラズマ圏経験値モデルとの比較で、夜側の中緯度で観測される TEC の増大はプラズマ圏境界面を観測していることがわかった。本研究では、中緯度で観測される TEC 増大現象の高度構造を観測して、昼側の SED、夜側のプラズマ圏境界面の高度方向の電子密度構造を明らかにすることを目的とする。飛翔高度 500km である GRACE 衛星と飛翔高度 800km である COSMIC 衛星のトップサイド TEC データを用いた。各衛星の位置情報を得るために、衛星上部に GPS 受信機が取り付けられている。その GPS 受信機を用いて、低軌道衛星と GPS 衛星間の視線方向の電子密度の積分値を観測し、TEC データが得られる。GRACE 衛星から得られる TEC (GRACE-TEC) は GRACE 衛星の飛翔高度から GPS 衛星の飛翔高度の間の TEC データである。同様に COSMIC 衛星から得られる TEC (COSMIC-TEC) は COSMIC 衛星の飛翔高度から GPS 衛星の飛翔高度の間の TEC データである。飛翔高度の違う二つの衛星を用いて、同じ TEC 増大現象を観測し、TEC 増大の大きさを比べた。2006 年 6 月 15 日、UT8:29 に COSMIC のトップサイド TEC で 1.5TECU の TEC 変動が経度 135 度、磁気緯度 60 度付近で観測された。また、同じ日の UT8:00 に GRACE のトップサイド TEC で 1.8TECU の TEC 変動が経度 129 度、磁気緯度 60 度で観測された。観測領域が GRACE よりも高高度である COSMIC で観測された TEC 変動の大きさが、GRACE で観測された TEC 変動よりも小さい。これは観測された TEC 変動の起源が電離圏であることを示す。以上の結果から、観測された TEC 変動は SED による TEC 変動であると考えられた。同様の比較を 2006 年の一年について行い、中緯度の TEC の増大現象の高度方向の構造を明らかにする。

キーワード: プラズマ圏, 全電子数, 低軌道衛星

Keywords: plasmasphere, TEC, LEO satellite

## 南極昭和基地における 10C 型と FMCW 型イオノゾンデを用いた電離層観測の相互比較

### Intercomparison of ionospheric observations obtained by 10C-type ionosonde and by FMCW-type ionosondes at Syowa station

長妻 努<sup>1\*</sup>, 北内 英章<sup>1</sup>, 石橋 弘光<sup>1</sup>, 加藤 久雄<sup>1</sup>, 久保田 実<sup>1</sup>, 村田 健史<sup>1</sup>

NAGATSUMA, Tsutomu<sup>1\*</sup>, KITAUCHI, Hideaki<sup>1</sup>, ISHIBASHI, Hiromitsu<sup>1</sup>, Hisao KATO<sup>1</sup>, KUBOTA, Minoru<sup>1</sup>, MURATA, Ken T.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 独立行政法人 情報通信研究機構

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

南極昭和基地における電離層定常観測は、50年以上の長期にわたって継続的に実施されており、電離層の長期変動と下層大気、太陽活動等との関係を研究する上で貴重なデータとなっている。現在は 10C 型と呼ばれるシングルパルス方式のイオノゾンデが現用機として稼働している。定常観測業務の省力化や効率化等のために、第 1 期計画期間中に FMCW 型と呼ばれるパルスドチャープ方式のイオノゾンデに移行するための準備を進めており、現在試験観測を実施している。定常観測の質を維持するためには、両方式のイオノゾンデのデータ比較を行い、その特性をよく調べておく必要がある。そこで、今回はイオノゾンデの手動読み取りの値を比較することで特性の調査を試みた。1 人のオペレータに両方式のイオノゾンデの手動読み取りを実施してもらい、そのデータを比較した。発表では、両方式の相互比較を行った初期結果について報告する予定である。

キーワード: 電離層観測, シングルパルス型, FMCW 型, イオノゾンデ, 南極

Keywords: Ionospheric observation, Single pulse method, FMCW method, Ionosonde, Antarctica

## 全地球的地磁気 Sq 場と局所的地磁気 Sq 場との関係

### Relationship between global equivalent Sq current system and local geomagnetic Sq field

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. & Space Mag., Grad. School of Sci., Kyoto Univ.

全世界的場を表現する等価電流系から見た地磁気 Sq 場と各観測所での Y 成分と Z 成分での Sq 振幅との関係を調べた。その結果、局所的 Sq 場のうち全地球的等価渦電流強度の変化をより反映するのは Y 成分であり、これは Z 成分がより局所的な地球内部電気伝導度の影響を受けるためである可能性がある。

学会時には、いくつかの観測所における関係と Sq 場の UT 変化との関連についても議論する予定である。

キーワード: 地磁気, 日変化, 全地球場, 局所場

Keywords: geomagnetism, daily variation, global field, local field

## 近接静止衛星振幅シンチレーションによる電離圏擾乱高度推定 Height estimation of ionospheric irregularities with amplitude scintillations of closely-spaced GEO

谷山 裕彰<sup>1</sup>, 富澤 一郎<sup>1\*</sup>, 中村 真帆<sup>2</sup>

TANIYAMA, Hiroaki<sup>1</sup>, TOMIZAWA, Ichiro<sup>1\*</sup>, NAKAMURA, MAHO<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> 情報通信研究機構

<sup>1</sup>Center of Space Science and Radio Engineering, Univ. of Electro-Comm., <sup>2</sup>National Institute of Information and Communication Technology

我々は、1.5GHz帯測位電波を送信する2つの静止衛星 ETS-VIII(146degE) および MTSAT-2(145degE) が、経度差1度で近接して静止していることを利用し、二つの電離圏擾乱高度推定法間の相互チェックにより、その推定精度の確認を行っている [1]。一つは伝搬路視差を利用して振幅シンチレーション時間差を利用する方法 [近接2衛星法]、もう一つは振幅シンチレーションスペクトルに現れるフレネルカットオフ周波数から電離圏擾乱を利用する方法 [シンチレーションスペクトル法] である。二つの方法とも擾乱の水平移動速度情報が必要なため、菅平宇宙電波観測所では約80m間隔に設置した3アンテナ間の時間差から速度を求め、それを利用し擾乱高度を推定している。速度導出にあたっては擾乱パターンの形状を考慮している。

電気通信大学菅平宇宙電波観測所で観測された2010年の10件のシンチレーションイベントを2つの方法で解析し、統計的に比較を行った。シンチレーション指数が0.06より高い場合には、上記の2つの高度推定方法による擾乱高度が約50kmつまり擾乱層厚の程度で一致した。この結果より二つの推定法の信頼性を確認することができ、振幅シンチレーション観測により擾乱高度連続観測が可能になった点が重要な点である。今後、この方法を適用し、電離圏擾乱の構造および移動を調べてゆく予定である。

[1] 谷山裕彰・富澤一郎: 2つの静止衛星振幅シンチレーションスペクトルを用いた電離圏擾乱高度推定法の開発, SGEPS2011, B005-30, 2011.

キーワード: 電離圏擾乱高度, 振幅シンチレーション, 近接静止衛星

Keywords: height of ionospheric irregularities, amplitude scintillation, closely-spaced geostationary satellite

## SuperDARN 北海道-陸別 HF レーダーによる中間圏エコーの統計解析 Statistical analysis of mesospheric echoes observed by the SuperDARN Hokkaido radar

津屋大志<sup>1</sup>, 西谷 望<sup>1\*</sup>, 小川 忠彦<sup>2</sup>

Taishi Tsuya<sup>1</sup>, NISHITANI, Nozomu<sup>1\*</sup>, OGAWA, Tadahiko<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, <sup>2</sup>National Institute of Information and Communications Technology

SuperDARN 北海道-陸別 HF レーダーによって観測される近距離 (<1000 km) エコーは E 層電離圏エコーの他に、中間圏エコーや流星エコーなどを含んでいる。近距離エコーのデータを解析していく中で、特に夏季において非常に近いレンジにエコーが観測されることがわかり、そのエコーについて中間圏エコーである可能性がある。

中間圏エコーは極域で多く観測されてきたが、近年になり中緯度でも観測が見られるようになってきた。極域における夏季の中間圏エコーとは、中間圏界面が極低温 (< 150 K) となることでエアロゾルやクラスターイオンが発生し、それらの構造によって電波が後方散乱を受けることで観測されるエコーである。

今回の研究では、小川他 (2010, 中緯度短波レーダー研究会) が示した北海道-陸別 HF レーダーで観測された中間圏エコーのイベントや過去の研究を参考に、中間圏エコーをピックアップするための判定条件を決定し、その条件の下で中間圏エコーについて季節依存性や LT 依存性について調べた。また、その条件で中間圏エコーがうまくピックアップされているかの検討を行った。統計解析の結果、中間圏エコーと判別されたエコーは夏季中間に多く分布しており、これは過去の極域中間圏エコーの研究結果と一致している。また、地方時分布では午前中に現れるエコーは低緯度方向のドップラー速度を持っているのに対し、午後側のエコーはドップラー速度分布がばらついている。この傾向の解釈については検討中である。

キーワード: 北海道-陸別 HF レーダー, SuperDARN, 中間圏エコー, 中間圏界面温度低下, 電子密度

Keywords: Hokkaido HF radar, SuperDARN, mesospheric echoes, mesopause temperature decrease, electron density

## トロムソナトリウムライダーを用いた3次元観測システム(1)概要 Multi-direction lidar system using a high power 589 nm coherent light in Tromso (1) System summary

川原 琢也<sup>1\*</sup>, 野澤 悟徳<sup>2</sup>, 津田 卓雄<sup>2</sup>

KAWAHARA, Taku D.<sup>1\*</sup>, NOZAWA, Satonori<sup>2</sup>, TSUDA, Takuo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 信州大学工学部, <sup>2</sup> 名古屋大学 STE 研, <sup>3</sup> 名古屋大学 STE 研

<sup>1</sup>Faculty of Eng., Shinshu University, <sup>2</sup>STEL, Nagoya University, <sup>3</sup>STEL, Nagoya University

信州大学/名古屋大学/理化学研究所は、EISCAT レーダサイト (Tromso, Norway) 設置を目的とした高出力高安定ナトリウム温度/風ライダーを開発した。このライダーは2010年10月から運用を開始し、既に冬期2シーズン目まで順調に観測を行っている。このライダーの大きな特徴は、ナトリウムライダーとしては世界最高のレーザー出力(現3W、来年度4W)であることである。このため、市販の35cm口径の電子制御天体望遠鏡を用いて短時間で十分なS/N比で信号を得ることができる。これを利用し、本研究では従来観測方向を天頂に固定していた手法から、天空を掃引可能な3次元観測システムの開発に着手した。最初の目標は、鉛直方向を含むナトリウム層断面での観測である。ライダーの最大の時間分解能を1分とし30度で掃引したとすると、100km高度で水平方向54kmの範囲を観測する。約5km間隔11方向で観測したとすれば、時間分解能11分間隔でナトリウム層断面の画像を取得することができる。本発表ではこの3次元システムの詳細と、実験的に行ったレーザー射出方向制御実験の結果の報告をする。

キーワード: ナトリウムライダー, 中間圏界面, 2次元, トロムソ

Keywords: sodium lidar, MLT region, two dimensional observation, Tromso

## トロムソナトリウムライダーを用いた3次元観測システム(2)画像処理 Multi-direction lidar system using a high power 589 nm coherent light in Tromso (2) image processing

吉村 堯<sup>1\*</sup>, 川原 琢也<sup>1</sup>, 野澤 悟徳<sup>2</sup>, 津田 卓雄<sup>2</sup>

YOSHIMURA, Takashi<sup>1\*</sup>, KAWAHARA, Taku D.<sup>1</sup>, NOZAWA, Satonori<sup>2</sup>, TSUDA, Takuo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 信州大学工学部, <sup>2</sup> 名古屋大学 STE 研

<sup>1</sup> Faculty of Engineering, Shinshu University, <sup>2</sup> STEL, Nagoya University

信州大学/名古屋大学/理化学研究所は、高出力高安定ナトリウム温度/風ライダーを開発し、EISCAT レーダサイト (Tromso, Norway) における観測を開始した。我々はこのレーザーを用いて、天空を掃引する3次元ライダーの検討をしている。PC制御の望遠鏡を用い、観測方向を決めてからレーザー射出ミラーを動かし、視野(1mrad)に入れる制御を連続して行う。望遠鏡には観測方向と同じ方向を向いているサブスコープ(視野各50mrad程度)が取り付けられており、サブスコープでは主望遠鏡の視野を中心とした広い範囲の画像を取得する。最初、サブスコープの視野内にレーザーの軌跡が映り込むように制御をする。その画像を用いて、レーザーの先端検出を行い、視野中心(すなわち主望遠鏡の視野)にレーザーを向ける制御を行っていく。取得した画像は2値化処理を行い、レーザーの輪郭線だけを残すように画像処理を行う。その後画像の端から伸びている輪郭の情報を保持し、画素を最も多く使っている輪郭をレーザーと断定する。断定されたレーザーの持つ画素の中で、レーザーの根元から最も遠いものをレーザーの先端と判断し、その画素と画像の中心の差異を補正情報として用い、画像中心に近づける。本講演ではこの画像処理の詳細について述べる。

キーワード: ナトリウムライダー, 高出力レーザー, 3次元観測, 画像処理

Keywords: sodium lidar, high power laser, 3-dimensional observation, image processing

## ナトリウムライダーとEISCATレーダーを用いたナトリウム層と下部電離圏の同時観測

### Simultaneous observation of sodium layer and lower ionosphere using sodium lidar and EISCAT radar

津田 卓雄<sup>1\*</sup>, 野澤 悟徳<sup>1</sup>, 川原 琢也<sup>2</sup>, 川端 哲也<sup>1</sup>, 斎藤 徳人<sup>3</sup>, 和田 智之<sup>3</sup>, 大山 伸一郎<sup>1</sup>, 鈴木 臣<sup>1</sup>, 高橋 透<sup>1</sup>  
TSUDA, Takuo<sup>1\*</sup>, NOZAWA, Satonori<sup>1</sup>, KAWAHARA, Taku D.<sup>2</sup>, Tetsuya Kawabata<sup>1</sup>, SAITO, Norihito<sup>3</sup>, WADA, Satoshi<sup>3</sup>, OYAMA, Shin-ichiro<sup>1</sup>, SUZUKI, Shin<sup>1</sup>, TAKAHASHI, Toru<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名大・STE 研, <sup>2</sup> 信州大・工学部, <sup>3</sup> 理研・基幹研

<sup>1</sup>STEL, Nagoya Univ., <sup>2</sup>Faculty of Engineering, Shinshu Univ., <sup>3</sup>ASI, RIKEN

In order to obtain better understanding on coupling process between neutral atmosphere and ionosphere in the polar region, we have conducted simultaneous observations of sodium layer and lower ionosphere using a sodium lidar (which was newly installed in early 2010) and EISCAT radar at Tromsø, Norway (69.6 deg N, 19.2 deg E) since October 2010. In the presentation, we will report recent results of the simultaneous observations, in particular focusing on the following two issues. (1) It is considered that atmospheric gravity waves (AGWs) play an important role not only in the mesosphere but also in the thermosphere/ionosphere. However it is well unknown the AGW propagation process from the mesosphere to the thermosphere through the mesopause. Using sodium lidar data at 80-110 km and EISCAT radar data above 100 km, we investigate upward propagating AGWs in the sodium layer and traveling ionospheric disturbances (TIDs) in the lower ionosphere. (2) Relationship between auroral particle precipitations and sodium layer variations is a mysterious subject, although there are a few previous studies on this issue. For example, a previous study reported sodium density decrease during a geomagnetic active period, while another study pointed possibility of sodium density increase due to auroral particle precipitations. We investigate relationship between electron density (i.e. auroral particle precipitations) and sodium density variations based on the simultaneous observations by EISCAT radar and sodium lidar. Furthermore, we will discuss on relationship between auroral particle precipitations and neutral temperature variations.

キーワード: ナトリウムライダー, EISCAT レーダー, 極域, 中間圏, 下部熱圏, 下部電離圏

Keywords: Sodium lidar, EISCAT radar, Polar region, Mesosphere, Lower thermosphere, Lower ionosphere

## 昭和基地ミリ波分光計による太陽陽子イベントに伴う中間圏 NO<sub>x</sub> の増加の検出 Detection of the mesospheric NO<sub>x</sub> enhancement due to solar proton event by the mm-wave spectrometer at Syowa Station

水野 亮<sup>1\*</sup>, 磯野 靖子<sup>1</sup>, 長浜 智生<sup>1</sup>, 桑原 利尚<sup>1</sup>, 児島 康介<sup>1</sup>, 前澤 裕之<sup>2</sup>, 中村 卓司<sup>3</sup>, 江尻 省<sup>3</sup>, 有田 真<sup>4</sup>, 町屋 広和<sup>3</sup>, 大市 聡<sup>3</sup>, 三浦 夏美<sup>3</sup>, 堤 雅基<sup>3</sup>, 山岸 久雄<sup>3</sup>

MIZUNO, Akira<sup>1\*</sup>, Yasuko Isono<sup>1</sup>, NAGAHAMA, Tomoo<sup>1</sup>, KUWAHARA, Toshihisa<sup>1</sup>, Yasusuke Kojima<sup>1</sup>, MAEZAWA, Hiroyuki<sup>2</sup>, NAKAMURA, Takuji<sup>3</sup>, EJIRI, Mitsumu<sup>3</sup>, ARITA, Shin<sup>4</sup>, Hirokazu Machiya<sup>3</sup>, Satoshi Oichi<sup>3</sup>, Natsumi Miura<sup>3</sup>, TSUTSUMI, Masaki<sup>3</sup>, YAMAGISHI, Hisao<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>2</sup> 大阪府立大学, <sup>3</sup> 国立極地研究所, <sup>4</sup> 地磁気観測所

<sup>1</sup>STEL, Nagoya University, <sup>2</sup>Osaka Prefecture University, <sup>3</sup>NIPR, <sup>4</sup>Magnetic Observatory

中層大気中の微量分子は、極めて微量しか存在しないにも関わらず大気の熱構造に深く関与し、また有害な紫外線を吸収するなど地球大気と地球上の生命に対して重要な役割を果たしている。こうした微量分子の組成は産業活動等の人為的要因の他に、太陽紫外線、大気輸送、火山噴火等の自然要因により変化する。こうした自然要因の中でも、地球大気に降り込む高エネルギー粒子はイオン-分子反応をトリガーし、NO<sub>x</sub>、HO<sub>x</sub>の増加とそれに伴うオゾンの減少といった大気組成変化を起こす。太陽活動極大期に向かい、こうした影響がより顕著になると期待される。

我々はこうした高エネルギー粒子の降り込みが中間圏・成層圏大気組成に与える影響を観測的にとらえるため、52次南極地域観測隊で昭和基地にミリ波分光計を設置し2011年3月より観測を進めてきた。日照時間が短い冬季はNO<sub>2</sub>とオゾン、日照時間が長い夏季はNOとオゾンの観測を行っている。

2011年8月4日には10MeV以上の陽子フラックスが~100pfu程度の太陽陽子イベントが発生したが、アンテナ温度20mK(1 )以内でNO<sub>2</sub>のスペクトルは検出されなかったが、2012年1月23日の~6300pfuの太陽陽子イベントでは、60mK程度の顕著なNOスペクトルを検出した。線幅1MHz程度で高度~60km以上のNOの増加を反映したものと考えられ、現在追観測とデータ解析を進めている。

発表では、NOの増加から減少に至る時間変化、および同時に観測しているオゾンスペクトルの解析結果について報告する予定である。

キーワード: 大気化学, 中間圏, 成層圏, 高エネルギー粒子降り込み, 太陽陽子イベント, リモートセンシング

Keywords: atmospheric chemistry, mesosphere, stratosphere, energetic particle precipitation, solar proton event, remote sensing

## 新しい環境計測手法としてのパッシブレーダの検討

### An examination of passive radars as a new technique for the environmental observation

川村 誠治<sup>1\*</sup>, 杉谷 茂夫<sup>1</sup>, 岩井 宏徳<sup>1</sup>, 花土 弘<sup>1</sup>

KAWAMURA, Seiji<sup>1\*</sup>, SUGITANI, Shigeo<sup>1</sup>, IWAI, Hironori<sup>1</sup>, Hiroshi Hanado<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 情報通信研究機構

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

現在情報通信研究機構(以下 NICT)では、パッシブレーダと呼ばれる新しい手法による環境計測の検討を進めている。一般的にレーダは自ら電波を放射し、その反射波を受信することで散乱体の情報を得る。パッシブレーダは自ら電波を放射せず、他者が他の目的で使用している電波を受信することで、その電波の本来の目的以外の何がしかの情報を得ようとするものである。新たな電波を必要としないため、周波数の有効利用の観点からも非常に有意義で、かつ送信を行わないために簡易・安価なシステムで実現できるという利点を持つ。本研究ではパッシブレーダの手法で、雨・風・水蒸気・海流などの環境計測の実現を目指している。

パッシブレーダは送信を行わないため、その開発は信号処理を含めた受信技術の開発となる。NICTでは、近年降雨レーダや海洋レーダを対象にバイスタティックレーダシステムの研究開発を行っている。バイスタティックレーダシステムも、既存のレーダに受信局のみを付加して新たな情報を得るものであり、その開発は受信技術の開発となる。バイスタティックレーダシステムで受信する電波は自らがそれ専用に用意したレーダ信号処理に適した既知の信号ではあるが、同一局から放射したものではない電波を受信して情報を得るという意味で技術的にもパッシブレーダとほぼ共通しており、広義のパッシブレーダと解釈することが可能である。我々は、バイスタティックレーダシステムの延長にパッシブレーダを見据え、これを実現するために、安価で汎用性の高いソフトウェア無線を用いて受信技術の開発を進めてる。

本発表では、昨年9月に NICT 与那国海洋観測施設で行ったバイスタティック観測実験の結果をまず紹介する。この実験は予め想定した既知の送信局からの電波を受信するバイスタティック観測実験であったが、その際に初めて認識した未知の信号を用いて波のスペクトルを算出することに成功した。パッシブレーダによる環境計測の成功例と言える。さらに、現在検討を進めている、地上デジタル放送の電波を用いたパッシブレーダの検討について紹介する。現在地上デジタル放送波を用いて水蒸気量・雨などの観測ができる可能性があると考えており、その実証実験の準備を進めている。

キーワード: パッシブレーダ, バイスタティック, レーダシステム

Keywords: passive radar, bistatic, radar system

## 航空安全運航のための次世代ウィンドプロファイラによる乱気流検出・予測技術の開発

### Development of turbulence detection and prediction techniques with next generation wind profiler radar for aviation safe

橋口 浩之<sup>1\*</sup>, 山本 衛<sup>1</sup>, 東邦昭<sup>1</sup>, 川村 誠治<sup>2</sup>, 足立アホロ<sup>4</sup>, 梶原佑介<sup>4</sup>, 別所康太郎<sup>4</sup>, 黒須政信<sup>5</sup>  
HASHIGUCHI, Hiroyuki<sup>1\*</sup>, YAMAMOTO, Mamoru<sup>1</sup>, Kuniaki Higashi<sup>1</sup>, KAWAMURA, Seiji<sup>2</sup>, Ahoro Adachi<sup>4</sup>, Yusuke Kajiwara<sup>4</sup>, Kotaro Bessho<sup>4</sup>, Masanobu Kurosu<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 京都大学生存圏研究所, <sup>2</sup> 情報通信研究機構, <sup>3</sup> 気象庁気象研究所, <sup>4</sup> 気象庁観測部/気象研究所, <sup>5</sup> 日本航空  
<sup>1</sup>Research Institute for Sustainable Humanosphere (RISH), Kyoto University, <sup>2</sup>National Institute of Information and Communications Technology (NICT), <sup>3</sup>Meteorological Research Institute (MRI), Japan Meteorological Agency (JMA), <sup>4</sup>Observation Division/Meteorological Research Institute (MRI), Japan Meteorological Agency (JMA), <sup>5</sup>Japan Airlines (JAL)

航空機の運航に重大な支障をもたらす要因として、種々の気象現象が挙げられる。中でも大気中の乱気流(ウィンドシアアを含む)は、機体の改良・改善で対処しうるものではなく、基本的には回避するしか方法がない。国土交通省運輸安全委員会の報告によると、2000~2009年の期間中に発生した大型機での事故は、半数以上が乱気流が原因であり、負傷者数も重傷者の6割を乱気流によるものが占めている。現状では乱気流の観測データはパイロットからの機上気象報告(Pilot Weather Report; PIREP)のみであるが、PIREPはパイロットの主観も入り、かつ常時ある地点・高度を観測できるものではない。このため、精密に乱気流の有無を常時把握できる新たな観測機器の開発が待たれている。一方、各種の乱気流予測技術は、このPIREPデータに基づいて開発されており、その予測精度にはまだ改善の余地があると言える。

そこで、2011年7月に鉄道・運輸機構「運輸分野における基礎的研究推進制度」により、表題のプロジェクトを開始した。本研究では、地上から航空機の巡航高度までの観測が可能な次世代ウィンドプロファイラのプロトタイプを開発し、リモートセンシングによる乱気流検出技術の確立を目指している。さらにそのウィンドプロファイラの観測データを検証データとして、乱気流の予測精度を向上させ、航空機事故防止の礎となることを目的とする。

本研究により得られた成果は、将来、気象庁などで現業で気象観測に使われるウィンドプロファイラ網に組み込まれ、大気監視・乱気流観測の一翼を担うことになると期待される。さらに、乱気流の予測精度が向上することで、航空機の安全な運航に寄与することが期待される。

謝辞: 本研究は、独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構「運輸分野における基礎的研究推進制度」による支援を受けています。

キーワード: ウィンドプロファイラ, 乱気流, 航空機, リモートセンシング

Keywords: Wind Profiler, Turbulence, Aviation, Remote Sensing