

## 冬季電離圏 Sq 電流系中心付近で観測された狭帯域プラズマ波動の生成メカニズム

# 熊本 篤志 [1]; 阿部 琢美 [2]; 石坂 圭吾 [3]; 高橋 隆男 [4]; 田中 真 [5]

[1] 東北大・理・地球物理; [2] JAXA宇宙科学研究所; [3] 富山県大・工; [4] 東海大・工・航空宇宙; [5] 東海大・情教セ

## Generation mechanism of the narrowband plasma waves found around Sq current focus in the winter ionosphere

# Atsushi Kumamoto[1]; Takumi Abe[2]; Keigo Ishisaka[3]; Takao Takahashi[4]; Makoto Tanaka[5]

[1] Dept. Geophys, Tohoku Univ.; [2] ISAS/JAXA; [3] Toyama Pref. Univ.; [4] Aero. & Astronautics, Tokai Univ.; [5] Tokai Univ.

Generation mechanism of the narrowband plasma waves in a frequency range of several kHz observed in the sounding rocket experiment S-310-44 was investigated based on the lower hybrid drift instability model. S-310-44 was launched at 3:00 UT (12:00 JST) on January 15, 2016 at Uchinoura Space Center (USC) in order to clarify electron heating phenomena in the center of Sq current focus in the winter ionosphere. Plasma Wave Monitor (PWM) onboard the S-310-44 successfully measured plasma waves in a frequency range from 300 Hz to 22 MHz along the rocket trajectory with apex altitude of 160 km, which is also confirmed to be near the Sq current focus by using data from magnetometer chain on the ground. The AC electric field was picked up with two antenna elements (EFD-ANT-1 and 2), and respectively amplified by two preamplifiers (EFD-Pre-1 and 2) of the Electric Field Detector (EFD). Then, two signals were fed to two PWM inputs (PWM-HF and PWM-VLF), respectively. The signal fed to PWM-HF was sampled at 81.92 MSPS and converted to spectrum in a frequency range from 20 kHz to 22 MHz with 400 frequency steps. The signal to PWM-VLF was sampled at 81.92 kSPS and converted to spectrum in a frequency range from 300 Hz to 20kHz with 400 frequency steps. These spectra were obtained every 125 msec. EFD antenna elements were stored on the ground and deployed at altitude of 85 km. So the altitude range from 85 km to 160 km are covered in ascent, and all altitude range below 160 km are covered in descent. During the flight, we found harmonic emissions in a frequency range from several hundred Hz to several kHz. The frequency of the fundamental emission varies from 0.5 kHz to 2.5 kHz depending likely on the ambient plasma density. They are enhanced at altitude around 100 km in ascent but not enhanced at the same altitude in descent. In ionospheric F region, some previous studies suggested that the lower hybrid drift instability (LHDI) can occur and cause the plasma irregularities during equatorial spread F [Huba et al., 1981]. We applied LHDI model to altitude range below 160 km and found that instability can not occur in a frequency range below 2 kHz due to high electron collision frequency in ionospheric E region. The enhancement of plasma waves at altitude around 100 km in ascent even with high electron collision frequency suggests that some additional free energy source should exist in this narrow area. Through the comparisons with data from the other instruments onboard the S-310-44 such as electron density and temperature (FLP), DC and AC electric fields (EFD), and currents (MGF), we are going to discuss the energy source of the observed plasma waves in more detail.

## 地磁気 Sq 場から推定した熱圏圧力差と太陽活動度の長期変化

# 竹田 雅彦 [1]

[1] 京大・理・地磁気センター

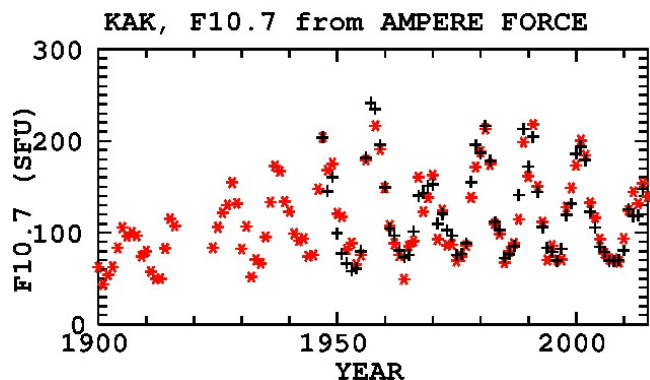
## Long-term variation of neutral pressure difference in the thermosphere and solar activity inferred from geomagnetic Sq currents

# Masahiko Takeda[1]

[1] Data Analysis Center for Geomagnetism and Space Magnetism, Kyoto Univ.

High correlation between Ampere force by geomagnetic Sq currents and neutral pressure difference enables us to estimate of the secular variation of neutral pressure from geomagnetic Sq field. This method has a merit for the study of the secular variation of the thermosphere because the estimation of the Ampere force needs the geomagnetic data only. Furthermore, solar activity can be inferred from geomagnetic filed observation only. For example, F10.7 in 1900-9100 was estimated to be smaller than that in 2010 from Sq field at Tokyo-Kakioka.

地磁気 Sq 場を生み出す電離層電流が及ぼすアンペール力は熱圏大気昼夜圧力差と極めて良い相関を示す。このことから過去の地磁気データから過去のアンペール力を評価することにより当時の熱圏圧力差を見積もり、その経年変化が評価できることを示している。今回は近接地に移転した地磁気観測所のデータを連続して扱うことでより長期間に亘って圧力差の変化を調べた。また、さらに太陽活動度との高い相関を踏まえればアンペール力から過去の太陽活動度の変遷も地磁気データから飲み評価できることになる。附図はその一例で、東京/柿岡の Sq から推定した太陽活動度 (F10.7) は 1900-1910 年頃には 2000 年より低かったということになる。



## 中低緯度電離圏における磁気圏起源電場の夕方異常

# 菊池 崇 [1]; 橋本 久美子 [2]; 海老原 祐輔 [3]; 富澤 一郎 [4]; 長妻 努 [5]; 田中 高史 [6]  
[1] 名大 ISEE 研; [2] 吉備国大; [3] 京大生存圏; [4] 電通大・宇宙電磁環境; [5] NICT; [6] 九大・宙空センター

## Evening anomaly in the penetration electric field at midlatitude

# Takashi Kikuchi[1]; Kumiko Hashimoto[2]; Yusuke Ebihara[3]; Ichiro Tomizawa[4]; Tsutomu Nagatsuma[5]; Takashi Tanaka[6]

[1] ISEE, Nagoya Univ.; [2] KIU; [3] RISH, Kyoto Univ.; [4] SSRE, Univ. Electro-Comm.; [5] NICT; [6] SERC, Kyushu Univ.

The magnetospheric electric fields penetrate to the mid and low latitude ionosphere during storm and substorms, causing disturbances in the total electron content, equatorial ionospheric anomaly and so on. The penetrated electric field is detected as a motion of the ionospheric plasma using the HF Doppler sounders and as a magnetic disturbance at the geomagnetic equator where the ionospheric currents are intensified by the Cowling effect (EEJ). Considering that the HF Doppler frequency is affected significantly by atmospheric waves, we compare the HF Doppler frequency with the EEJ to identify that the HF Doppler frequency is caused by the penetrated electric field. Thus, the electric field causes upward motions of the ionospheric plasma and increases of the EEJ on the dayside during the storm main phase, while the electric field and currents often reverse their direction due to the overshielding during the storm recovery phase. In the present talk, we show the following three observational results: (1) Quasi-periodic (30-60 min) fluctuations in the midlatitude electric field is well correlated with those in the EEJ. (2) Eastward substorm overshielding electric fields were observed around the midnight with the intensity up to 4 mV/m and the duration over 30 min. (3) The electric field on the dayside is in opposite direction to that on the nightside, while eveningtime electric fields are in the same direction as in the day. To understand how the electric fields are transmitted to the low latitude ionosphere and what causes their evening anomaly, we apply the Earth-ionosphere waveguide model (Kikuchi and Araki, 1979) and the global electric potential distribution calculated with the potential solver.

磁気嵐時に、磁気圏から電離圏へ侵入する電場や赤道方向の熱圏風が中低緯度電離圏擾乱を引き起こすことが知られている。中でも、磁気嵐主相時には昼間電離圏へ侵入した東向き電場により電離圏全電子数 (TEC) が増加し、赤道異常 (EIA) が発達する (Tsurutani et al., 2004; Maruyama et al., 2004; Mannucci et al., 2005; Balan et al., 2010)。また、磁気嵐回復相では EIA が消滅することが報告されている (Veenadhari et al., 2010)。中低緯度電離圏へ侵入する電場は HF Doppler サウンダーで電離圏の上下動として観測され (Abdu et al., 2007)、また、赤道電離圏 E 層に流れる equatorial electrojet (EEJ) による磁場変動として観測される (Kikuchi et al., 2008)。HF Doppler 周波数は大気波動によっても大きく変動するが、EEJ との比較をおこなうことにより電場効果を同定する事ができる。この結果、磁気嵐主相で東向き電場による中緯度電離圏の上昇と東向き EEJ が同時に発生し、磁気嵐回復相や substorm 時には、しばしば電場の向きが西向きの過遮蔽電場に変わり、夜側電離圏の上昇や赤道で西向きの counterelectrojet (CEJ) が観測される。本講演では、HF Doppler サウンダーと赤道磁力計により磁気嵐やサブストーム時に観測される磁気圏起源の電場に関して次の3点を報告する。(1) 太陽風磁場によりコントロールされる準周期 DP2 磁場変動時に、中緯度電離圏電場と赤道 EEJ が同期して変動した。(2) サブストーム時に夜側中緯度電離圏で 4 mV/m に達する東向きの過遮蔽電場が観測された。(3) DP2 型の電場は昼間と夜間で向きが逆になる一方で、夕方の時間帯で昼間と同じ向きになる evening anomaly を示した。これらの特性を理解するために、Earth-ionosphere waveguide モデル (Kikuchi and Araki, 1979; Kikuchi, 2014) を応用して、磁気圏から中低緯度電離圏へ電場と電流が伝搬するメカニズムを説明し、グローバル電離圏ポテンシャルのモデル計算を使って、evening anomaly を説明する。

## 電離圏における光電子による電子加熱率の電子密度依存性

# 柿並 義宏 [1]; 渡部 重十 [2]  
[1] 苫小牧高専; [2] 北大・理・宇宙

## Dependency of heating rate of electron by photoelectron on ambient electron density in the ionosphere

# Yoshihiro Kakinami[1]; Shigeto Watanabe[2]  
[1] Tomakomai College; [2] CosmoSciences, Hokkaido Univ.

Energetic electrons are created by solar EUV when neutral atmosphere in the thermosphere is ionized. The energetic electrons, which are named photoelectrons, heat ambient thermal electrons through the collision. The photoelectron is primary heat source for the electron in the ionosphere. Since the heating rate of electron is proportion to 0.97 power of electron density ( $N_e$ ) and cooling rate of electron through the Column collision with ions is proportion to square of  $N_e$ , it has been thought that electron temperature ( $T_e$ ) gets close to ion temperature and neutral temperature with increase of  $N_e$ . That indicates  $T_e$  decreases with increase of  $N_e$  in general. However,  $T_e$  enhancement which was not related neutral temperature was reported in the topside ionosphere. Similar trend was also observed in ion temperature ( $T_i$ ) in the topside ionosphere. To investigate the cause of the  $T_e$  enhancement in the high  $N_e$  region, simultaneous observation of  $T_e$  and  $T_i$  is required.  $T_e$  and  $T_i$  observed with Jicamarca incoherent scatter radar are employed for the analysis. Similar trends which were observed in satellites observation are found in both  $T_e$  and  $T_i$  above 300 km. The cooling rate of the Column collision with ions, and inelastic collision with neutral species for electron are estimated using the observations, and  $T_n$  and neutral density calculated with MSIS. Further, the heat conduction along the magnetic field line are estimated using IRI and IGRF model. The results indicate that photoelectron heating rate is much higher than well-known heating rate.

## サブストーム回復相における脈動オーロラパッチと下部熱圏風速変動

# 大山 伸一郎 [1]; 塩川 和夫 [2]; 三好 由純 [3]; 細川 敬祐 [4]; Brenton J. Watkins[5]; 栗原 純一 [6]; 津田 卓雄 [4];  
Christopher T. Fallen[5]

[1] 名大・宇地研; [2] 名大宇地研; [3] 名大 ISEE; [4] 電通大; [5] GI UAF; [6] 北大・理・宇宙

## Lower-thermospheric wind variations in auroral patches during the substorm recovery phase

# Shin-ichiro Oyama[1]; Kazuo Shiokawa[2]; Yoshizumi Miyoshi[3]; Keisuke Hosokawa[4]; Brenton J. Watkins[5]; Junichi Kurihara[6]; Takuo Tsuda[4]; Christopher T. Fallen[5]

[1] ISEE, Nagoya Univ.; [2] ISEE, Nagoya Univ.; [3] ISEE, Nagoya Univ.; [4] UEC; [5] GI UAF; [6] CosmoSciences, Hokkaido Univ.

<http://www.soyama.org/>

Measurements of the lower-thermospheric wind with a Fabry-Perot interferometer (FPI) at Tromsø, Norway found the largest wind variations in a night during appearance of the auroral patches at the substorm recovery phase. Taking into account magnetospheric substorm evolution of plasma energy accumulation and release, the largest wind amplitude at the recovery phase is a fascinating result. The results are the first detailed investigation of the magnetosphere-ionosphere-thermosphere coupled system at the substorm recovery phase using comprehensive data sets of solar wind, geomagnetic field, auroral pattern, and FPI-derived wind. This study used three events in November 2010 and January 2012, particularly focusing on the wind signatures associated with the auroral morphology, and found three specific features: (1) wind fluctuations that were isolated at the edge and/or in the darker area of an auroral patch with the largest vertical amplitude up to about 20 m/s and with the longest oscillation period about 10 minutes, (2) when the convection electric field was smaller than 15 mV/m, and (3) wind fluctuations that were accompanied by pulsating aurora. This approach suggests that the energy dissipation to produce the wind fluctuations is localized in the auroral pattern.

Effects of the altitudinal variation in the volume emission rate were investigated to evaluate the instrumental artifact due to vertical wind shear. The small electric field values suggest weak contributions of the Joule heating and Lorentz force processes in wind fluctuations. Other unknown mechanisms may play a principal role at the recovery phase.

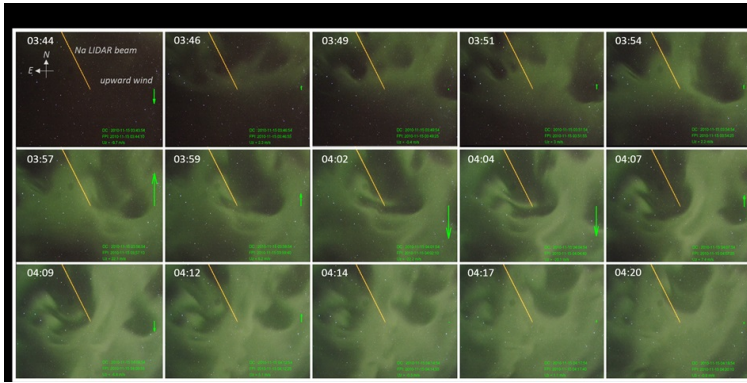
Figure: Digital camera images from 03:45 to 04:21 UT in 15 November 2010 along with the vertical wind speed (yellow arrow in each picture). The wind magnitude tended to increase when the FPI-measured point (center of each image, pointed with the yellow Na-Lidar beam) entered at the edge of the patch or stayed inside of the darker area.

トロンソ（ノルウェー）に設置されたファブリペロー干渉計（FPI）を用いて極域下部熱圏風を測定したところ、ある一晩における風速変動（数十分以下の短期変動）の振幅の最大値はサブストーム回復相のオーロラパッチとともに現れることが示された。サブストームの発達に伴う磁気圏でのプラズマエネルギーの蓄積とその開放過程を考えると、回復相に最大振幅の熱圏風変動が現れることは興味深い結果と言える。本研究結果は現象発生時の太陽風、地磁気活動、オーロラ形態の発達を総合的に検証した初めての成果である。本研究では2010年11月と2012年1月の3イベントを解析し、特に風速変動とオーロラ形態との関係に着目した結果を報告する。この研究活動によって(1)風速変動はオーロラパッチの縁あるいは周辺よりも比較的暗い部分に孤立して発生し、鉛直風速の振幅が最大20m/s程度、周期が最長10分程度である、(2)現象発生時の電離圏対流電場は15 mV/m以下である、(3)脈動オーロラを伴う、ということが分かった。これらの観測事実から、風速変動の発生領域はオーロラの水平分布の中に孤立して存在していると考えられる。

下部熱圏風には顕著な高度分布が存在することが知られており、かつ、受動的観測装置であるFPIには高度分解能がないため、補足的測定結果からFPI観測高度を推定することが物理機構の解明にとって重要である。欧州非干渉散乱(EISCAT)レーダーが測定した電子密度の高度分布を用いてオーロラ発光高度プロファイルを数値計算し、現象発生時の発光高度に顕著な時間変動がないことを確認した。このことからオーロラ降下電子エネルギーの変動に起因した発光高度の変動が、FPI測定風速に見かけ上の変動を生み出している可能性は低いと考えられる。電場強度が比較的小さいことから、一般的に考えられているジュール加熱による大気膨張やローレンツ力による加速が本現象の主な発生機構でないと推測される。風速変動が回復相に特有な現象であることから、その発生機構も特に回復相で発達するものと想像されるが、今のところ分かっていない。今後は2016年9月に導入されるEMCCDカメラと測定時間分解能を向上させたFPIとの同時観測を行うことで、オーロラパッチに対する風速変動の相対的発生場所をより詳細に把握し、発生機構の解明を目指す。

図：2010年11月15日03:45-04:21UTにトロンソのデジタルカメラで撮影されたオーロラパッチとFPI鉛直風（黄色

矢印). FPI が観測している点 (各画面中央の黄色の Na ライダービームの先端) がオーロラパッチの縁あるいは周辺より暗い部分に入ると, 風速変動が大きくなることわかる.



## 磁気北極付近における極冠パッチの光学観測: 発光強度の UT, IMF By 依存性について

# 岡村 紀 [1]; 細川 敬祐 [1]; 塩川 和夫 [2]; 大塚 雄一 [2]  
[1] 電通大; [2] 名大宇地研

### Optical observations of polar cap patches near the northern magnetic pole: UT and IMF By dependence of patch luminosity

# Kazu Okamura[1]; Keisuke Hosokawa[1]; Kazuo Shiokawa[2]; Yuichi Otsuka[2]  
[1] UEC; [2] ISEE, Nagoya Univ.

Polar cap patches are regions of high electron density in the polar cap F region ionosphere. Patches are produced by the interaction between the spatial distribution of the dayside high-density plasmas and their anti-sunward transport across the polar cap by the high-latitude plasma convection. Patches are known to be often observed during intervals of southward interplanetary magnetic field (IMF) conditions. Since the electron density increases inside patches, they can be detected as regions of increased 630.0 nm airglow emissions obtained by ground-based all-sky airglow imagers.

In this study, we make use of measurements by two all-sky airglow imagers of Optical Mesosphere Thermosphere Imagers (OMTIs), one at Eureka, Canada (80.5 N, 273.6 E, 88.5 MLAT), which was newly installed in October 2015, and the other at Resolute Bay, Canada (74.7 N, 265.0 E, 82.9 MLAT). The magnetic latitude of Eureka is approximately 89 degrees; thus, near winter solstice, we are able to carry out 24h continuous measurement at an almost fixed point near the magnetic pole. By using this feature, we have investigated the characteristics of polar cap patches near the magnetic North Pole, for example the dependence on UT, season, and IMF By.

Bowline et al. [1996] modeled the dependence of patch electron density on UT, season, and IMF By in Eureka, using numerical simulation. In this study, based on this modeling result, we analyze these dependencies by looking at two case examples respectively on January 31, 2016 and February 3, 2016, when patches were observed in Eureka and Resolute Bay simultaneously. Since the IMF By was stable at about -10 nT throughout these days, we can extract the pure UT variation of the patch luminosity. By extracting signatures of patches from all-sky images, it was found that the observed UT variation of the patch luminosity shows a systematic change predicted by the simulation. This is because the interaction between the dayside high-density plasma and high-latitude plasma convection system varies with UT due to the offset between the magnetic pole and geographic pole. In addition, since the IMF By was stable with plus values during these intervals, we are also able to discuss the relationship between the patch luminosity and IMF By.

We also tried to estimate the altitude of patches by combining all-sky images taken from Eureka and Resolute simultaneously. We plotted the data from the two points on a single map with changing the assumed altitude of the 630.0 nm airglow emission, but, it was difficult to determine a single central altitude of patches. This implies that the patches are distributed in a wide altitude range from 210 to 290 km. This fact indicates that, unlike typical greenish aurora, patches have a thickness of at least 80 km.

極冠パッチは、極冠域 F 領域電離圏で観測される高電子密度領域であり、太陽からの極端紫外線により電離された日照域のプラズマが極冠域のプラズマ対流によって反太陽方向へと輸送されることによって生じると考えられている。また、極冠パッチは、反太陽方向のプラズマ対流が強まる IMF (Interplanetary Magnetic Field) が南向きの時間帯に高い頻度で観測されることが知られている。パッチ内部では電子密度が増大しているため、地上からの全天イメージャ観測においては波長 630.0 nm の赤色大気光が増大した領域として観測される。630.0 nm 赤色大気光は酸素イオンと酸素分子双方が多く分布している高度 250 km 付近の高度で発光強度が最大になるので、極冠パッチは、F 領域ピークよりやや低い高度で発生していると考えられている。

2005 年から継続しているカナダ・レゾリュートベイ (74.7 N, 265.0 E, 82.9MLAT) における観測に加える形で、2015 年の 10 月から磁気北極により近いイウレカ (80.5 N, 273.6 E, 88.5 MLAT) において、OMTIs (Optical Mesosphere Thermosphere Imagers) 全天大気光イメージャの観測を開始した。30 秒の露光時間で 1 分毎に 630.0 nm 大気光の撮像を行っている。イウレカでは、磁気緯度がほぼ 90 度であるために地球の自転の影響をほとんど受けない。また、冬至付近には 24 時間連続観測ができるため、MLAT/MLT 極座標系においてほぼ定点と考えられる場所での 24 時間連続観測が可能になる。本研究では、この特性を生かし、磁気北極付近における極冠パッチの発生条件 (UT 依存性、季節依存性、IMF By 依存性) に関する解析を行った。

Bowline et al. [1996] は、数値シミュレーションを用いることで、イウレカにおける極冠パッチの発光強度の UT 依存性、季節依存性、IMF By 依存性のモデリング (再現実験) を行っている。本研究では、この再現実験との比較を念頭に置いて、イウレカとレゾリュートベイ両方においてパッチが観測された 2016 年 1 月 31 日、2 月 3 日に着目して解析を行った。この時間帯においては IMF Bz の値が -10 nT 程度で安定していたため、パッチの発光強度の UT 変化のみを抽出できる。この 2 日間に観測された全天画像からパッチを抽出し、その発光強度の UT 変化を導出したところ、パッチの発光強度にはシミュレーションと同様の UT 変化があることが判明した。これは、磁気北極と地理北極の間にオフセットがあるために、特定の UT において対流による日照プラズマの取り込みがより効率的に行われることを反映していると考えている。これに加え、この時間帯においては、IMF By が正で安定しているため、パッチ発光強度と IMF By の極

性の関係についても議論を行うことができる。発表では、観測された By 依存性と、シミュレーションを比較した結果を報告する予定である。

以上の解析に加え、視野が重複するイウレカとレゾリュートベイからの全天光学観測を用いて極冠パッチ発光高度の推定を行った。2つの観測機器から得たデータを、マッピングする高度を変えながら地図上に描画して比較したところ、210-290 km の広い高度範囲においてパッチの空間構造に整合性が見られ、単一の発光高度を決定することができなかった。この事実は、オーロラとは異なり、パッチが高度方向に少なくとも 80 km 程度の厚みを持つことを示唆している。



## EISCAT\_3D (次世代欧州非干渉散乱レーダー) 計画の進捗状況 (5)

# 宮岡 宏 [1]; 小川 泰信 [1]; 中村 卓司 [1]; 野澤 悟徳 [2]; 大山 伸一郎 [2]; 藤井 良一 [3]; Heinselman Craig [4]  
[1] 極地研; [2] 名大・宇地研; [3] 名大・太陽研; [4] SRI International

## Recent progress of EISCAT\_3D (Next-Generation Incoherent Scatter Radar Project for Atmospheric and Geospace Science) (5)

# Hiroshi Miyaoka [1]; Yasunobu Ogawa [1]; Takuji Nakamura [1]; Satonori Nozawa [2]; Shin-ichiro Oyama [2]; Ryoichi Fujii [3];  
Craig Heinselman [4]  
[1] NIPR; [2] ISEE, Nagoya Univ.; [3] STEL, Nagoya Univ.; [4] SRI International

EISCAT\_3D is the major upgrade of the existing EISCAT mainland radars, with a multi-static phased array system composed of one central active (transmit-receive) site and 4 receive-only sites to provide us 50-100 times higher temporal resolution than the present system. The construction of EISCAT\_3D is planned to implement by 4-staged approach, starting from the core site with half transmitting power about 5MW and 2 receiving sites at Kaiseniemi (Sweden) and Karesuvanto (Finland) at the 1st stage. Until May 2015, Sweden, Norway, Finland have jointly allocated their national funding for the construction of the 1st stage, and the deployment of the proto-type system is to start at the Tromso site from September 2015, supported by the EC H2020 funding. The EISCAT\_3D program in Japan, on the other hand, was applied to the Master Plan 2014 as a part of 'Study of Coupling Processes in the Solar-Terrestrial System' (PI: Prof. Tsuda, Kyoto Univ.). Finally granted as one of 27 high-priority programs of Master Plan 2014 and 10 new Roadmap 2014 programs, National Institute of Polar Research started a funding proposal to the Ministry (MEXT) for EISCAT 3D since 2014, collaborating with ISEE, Nagoya University. In this paper, we overview the current status of the project and our development for the EISCAT 3D transmitter sub-system.

EISCAT 科学協会 (現加盟国: スウェーデン、ノルウェー、フィンランド、英国、日本、中国) が現在進めている「EISCAT\_3D (次世代欧州非干渉散乱レーダー) 計画」に関する最新の進捗状況について報告する。EISCAT\_3D 計画は、スカンジナビア北部に計5局のフェーズドアレイアンテナから成る多点イメージングレーダーを建設し、高緯度極域大気への太陽風エネルギーの流入とその影響の全容解明を目指す国際共同プロジェクトである。本プロジェクトは2008年12月にESFRI (欧州研究基盤戦略フォーラム) のロードマップに採択され、Framework Program の Design Study (FP6) および Preparatory Phase Study (FP7) にて基本設計ならびに実施計画を策定し、これらをベースに各加盟国より計画実現に向けた予算要求を開始した。すでに北欧3か国は昨年までに執行条件付で整備予算を内定した。

昨年以降の新たな展開として、EISCAT 科学協会本部が欧州委員会の H2020 科学技術予算公募 (INFRADEV-3) に申請した EISCAT\_3D 計画第1ステージ立ち上げ準備 (EISCAT3D\_PfP: 2015-2017年) が採択され、これをもとに、専任のチーフエンジニアを中心としたプロジェクトチームを発足させるとともに、全体システムの開発設計・製造工程管理などのプロジェクト管理支援を行うコンサルタント (Consoden AB) と契約し、試験用サブアレイ1式 (アンテナ91本) による技術実証試験システムの製作を開始した。このプロトタイプシステムを Tromsø 観測所内に設置し、本システムの最終仕様確定に向けて開発試験を実施する。これに用いるサブアレイアンテナおよびビームフォーマーなどの仕様を決定し、調達を開始した。

日本は、第1段階で必要とするレーダー送信機10,000台 (計約5MW) の開発・製造を分担する計画で予算要求を継続して行っている。本体予算はまだ措置されていないが、本年度、開発研究として上記の技術実証試験システムに使用する送信機の開発と製造 (19台) を実施する。こうした EISCAT\_3D 計画推進のため、本年7月、極地研の国際北極環境研究センターに「EISCAT\_3D 計画準備室」を新設した。本講演では、EISCAT\_3D 計画の最新状況や日本の取り組み状況などを中心に報告する。

## 新しい衛星による電離圏ビーコン観測・計画の現状

# 山本 衛 [1]; 岩田 桂一 [1]; 松永 真由美 [2]; 齊藤 昭則 [3]; 斎藤 享 [4]; 横山 竜宏 [5]; Liu Huixin[6]

[1] 京大・生存圏研; [2] 愛媛大・理工; [3] 京都大・理・地球物理; [4] 電子航法研・航法システム; [5] 情報通信研究機構;  
[6] 九大・理・地惑

### Current status of ionospheric beacon experiment with new satellite constellation

# Mamoru Yamamoto[1]; Keiichi Iwata[1]; Mayumi Matsunaga[2]; Akinori Saito[3]; Susumu Saito[4]; Tatsuhiro Yokoyama[5];  
Huixin Liu[6]

[1] RISH, Kyoto Univ.; [2] Sci. & Eng., Ehime Univ.; [3] Dept. of Geophysics, Kyoto Univ.; [4] NAV Department, ENRI; [5]  
NICT; [6] None

GNU Radio Beacon Receiver (GRBR) is the very successful digital receiver developed for dual-band (150/400MHz) beacon experiment. We were successfully conducted observations of total-electron content (TEC) of the ionosphere over Japan and in southeast Asia. But number of beacon satellites is gradually decreasing by aging. We now conduct a project to start new satellite-ground beacon experiment with new satellite constellations. One of them is TBEx (Tandem Beacon Explorer), a project by SRI International, to fly a constellation of two 3U cubesats with triband beacon transmitters. Another one is a project of FORMOSAT-7/COSMIC-2 by Taiwan/USA. Although the main mission is GNSS occultation of the Earth's atmosphere and ionosphere, they also carry the triband beacon transmitters. All of these satellites will be placed into low-inclination orbits by the same launch vehicle in 2017, which will give us great opportunities to enhance studies of the low-latitude ionosphere. We now prepare for the experiment by developing the new GRBR for these new beacon transmitters. In the presentation we show current status of the research project on both sides of satellites and ground-receives.

## 新しい衛星ビーコン観測用デジタル受信機の開発

# 岩田 桂一 [1]; 山本 衛 [1]  
[1] 京大・生存圏研

### Development of digital receiver for new satellite-ground beacon experiment

# Keiichi Iwata[1]; Mamoru Yamamoto[1]  
[1] RISH, Kyoto Univ.

We have been successful in studies of the ionosphere by using satellite-to-ground beacon experiment. The GNU Radio Beacon Receiver (GRBR) is the 150/400MHz coherent receiver and can measure the total electron content (TEC) of the ionosphere very accurately. But number of beacon satellites are decreasing because of aging. In 2017 two cubesats constellation TBEx and 6 satellite constellation COSMI-2 will be launched at the same time. All of them can transmit dual- or triple-band beacon signals. We are now developing the new digital receiver that can receive at most 4 signals at 150/400/965/1067MHz bands for observations with these new satellites. In the presentation we will show current status of the development.

我々は人工衛星-地上間ビーコン観測をすることで電離圏の全電子数 (TEC) を観測してきた。デジタル信号処理技術を用いて開発した2周波数 (150/400MHz) の受信機 GRBR (GNU Radio Beacon Receiver) を用いて、日本上空や東南アジア域における電離層の構造を研究してきた。しかしながら、これまで用いられてきたビーコン衛星が老朽化し、電波源が徐々に減少してきている。2017年には、TBEx と呼ばれる Cubesat 2機と COSMIC-2衛星6機が同時に打上げられ、新たなビーコン観測が可能となろうとしている。我々は、これに対応したデジタル受信機を開発中である。デジタル受信機においては、アンテナで受信したアナログ信号を SDR (Software Defined Receiver) でデータ解析を行いやすいデジタル信号へと変換しパソコンへと保存する。TEC 推定は異なる周波数の信号では電子の影響で電波的距離が異なることを利用し、受信した2周波の信号の位相差を計算し分析することで推定する。新しいビーコン受信機では最大で4周波数 (150/400/965/1067MHz) の同時受信が必要となる。また現在より高周波の信号が予定されているため、現在よりも高いサンプルレートにする必要などがある。講演では、新たなビーコン衛星に対応するため USRP B210/B200、BladeRF、Airspy の3種類の SDR を検討し、その周波数チューニング性能の検討結果、候補の SDR と新型ビーコン衛星に搭載される送信機による机上の送信テスト結果、これらの結果から求めたシステムバイアスが TEC 推定に及ぼす影響等について議論し、開発の現状について報告する。

## リアルタイム電離圏3次元トモグラフィとその応用

# 斎藤 享 [1]; 鈴木 翔大 [2]; 山本 衛 [3]; 陳 佳宏 [4]; 齊藤 昭則 [5]

[1] 電子航法研・航法システム; [2] 京大・生存圏研 (現スクエアエニックス); [3] 京大・生存圏研; [4] 成大・地科; [5] 京都大・理・地球物理

### Real-time 3-D ionospheric tomography and its application to ionospheric studies

# Susumu Saito[1]; Shota Suzuki[2]; Mamoru Yamamoto[3]; Chia-Hung Chen[4]; Akinori Saito[5]

[1] NAV Department, ENRI; [2] RISH, Kyoto Univ. (Now at Square-Enix Co. Ltd.); [3] RISH, Kyoto Univ.; [4] Earth Science, NCKU; [5] Dept. of Geophysics, Kyoto Univ.

For ionospheric studies and also for advanced GNSS applications, obtaining three-dimensional ionospheric density profiles are important. However, tools which can provide ionospheric density are limited. Three-dimensional ionospheric monitoring by using a GNSS network can be a powerful tool to provide 3-D ionospheric density profiles.

Based on the 3-D ionospheric tomography technique [1,2], we have developed a system to reconstruct ionospheric density profile over Japan in real-time. By using GPS data from GEONET provided through a data distribution company, 3-D ionospheric density profile over Japan is reconstructed every 15 minutes with typical latency of 10 minutes.

The tomography results are shown to be consistent with observations by four ionosondes operated by NICT. Performance of tomography in different parts of Japan is discussed in the lights of ground receiver distribution as well as GPS satellite orbits.

3-D ionospheric density profiles during magnetic disturbances are examined and usefulness of 3-D ionospheric tomography is demonstrated.

#### References:

[1] G. K. Sela, et al., Three-dimensional GPS ionospheric tomography over Japan using constrained least squares, *J. Geophys. Res.*, 2014.

[2] C. H. Chen et al., Medium-scale traveling ionospheric disturbances by three-dimensional ionospheric GPS tomography, *Earth Planets and Space*, 2016.

## Direct imaging of fine structures of daytime midlatitude sporadic-*E* with space-borne InSAR

# Jun Maeda[1]; Yohei Kinoshita[2]; Takato Suzuki[3]; Masato Furuya[4]; Kosuke Heki[5]

[1] Hokkaido Univ. Library; [2] Univ. of Tokyo; [3] Natural History Sciences, Hokkaido Univ.; [4] Hokkaido Univ.; [5] Hokkaido Univ.

Kilometer-scale fine structures of plasma irregularities associated with daytime sporadic-*E*(Es) over Japan are observed by interferometric synthetic aperture radar (InSAR) images. Here we present two images that capture fine scale structures of Es, in which perturbed plasma irregularities are clearly evident. Supported by GPS total electron content (TEC) observations and their height constraint technique, we have confirmed these two structures imaged in interferograms are caused by anomalous phase delay due to Es. Large-scale frontal structures have been reported by Maeda and Heki (2014 and 2015), which possibly represent the vertical shear of meridional winds. However, small-scale structures of daytime Es have rarely been reported except Maeda et al (2016). In this study, we put one more case study which is observed over the central part of Japan in 2009, to determine if there are any similarities and/or differences in the fine structure of daytime Es. Discussion on possible generation mechanisms of such small-scale structures is also going to be presented.

## A Comparative Study of Plasma Irregularities Development Between Ionosonde and Equatorial Atmosphere Radar

# Dyah Martiningrum[1]; Mamoru Yamamoto[1]; Tatsuhiro Yokoyama[2]; Prayitno Abadi[3]  
[1] RISH, Kyoto Univ.; [2] NICT; [3] ISEE, Nagoya Univ.

Under favourable conditions ionospheric plasma at the bottomside of the F-region can become unstable. Plasma irregularities in several scales produced by Rayleigh-Taylor Instability mechanism. The recombination process at the E-region after sunset causing the bottom side F-region electron density gradient become steep. At the same time the eastward electric field intensified just before it reverses to the westward electric field causing the peak of the F region rise known as evening prereversal enhancement. The relationship between onset time of field aligned irregularities related to ESF observed by Equatorial Atmosphere Radar during 2010-2012 with F layer height rise observed by ionosondes near geomagnetic equator, Chumphon (10.7 N; 99.4 E; 0.86 N) and Bac Lieu (9.3 N; 105.7 E; 0.62 N) is discussed in correspondence with growth rate of Rayleigh Taylor instability development. The field aligned irregularities onset time associated with equatorial spread F observed into two different cases, first case where the EPB/ESF onset time concurrent with the peak of virtual height of F region - ( $h'F$ ) time. Second case where the EPB/ESF onset time happened with delay of more than 30 minutes, with reference to the peak of virtual height of F region - ( $h'F$ ) time. Based on growth rate of Rayleigh Taylor instability formulation, furthermore we study development of plasma irregularities between ionosonde and Equatorial Atmosphere Radar.

## On the cause of post-midnight field-aligned irregularities at low-latitudes based on the GAIA simulation

# Tam Dao[1]; Yuichi Otsuka[2]; Kazuo Shiokawa[2]; Hiroyuki Shinagawa[3]  
[1] Nagoya University; [2] ISEE, Nagoya Univ.; [3] NICT

Post-midnight field-aligned irregularities (FAIs) observed with VHF radars at low-latitudes frequently occur around June solstices in low solar activity conditions. Most of post-midnight FAIs exist within plasma bubbles generated around midnight at magnetic equator. Uplift of the F-layer at magnetic equator is a key factor for the generalized Relay-Taylor instability, which generates plasma bubble at magnetic equator. In this study, we investigate causes of the F layer uplift at post-midnight in summer using the Ground-to-topside model of Atmosphere and Ionosphere for Aeronomy (GAIA). We have analyzed plasma density data simulated by GAIA, and found that F layer uplift at post-midnight occurs most frequently around June solstice, and that the occurrence rate is approximately 70%. Neutral temperature of GAIA shows that midnight temperature maximum (MTM) appears more frequently on June solstice (>70%) than other seasons (>50%). Seasonal variations of neutral winds, temperature, and altitude of F-layer at low-latitudes are examined to disclose the cause of post-midnight FAIs. Further detailed results will be discussed in the presentation.

## 東北地方太平洋沖地震の低・高緯度電離圏の前駆擾乱とそのメカニズム

# 小山 孝一郎 [1]

[1] 成功大

## Precursor modification of high and low latitude ionosphere caused by March 11 2011 earthquakes, and its possible mechanism

# koichiro Oyama[1]

[1] NCKU ISAPS

Ionosphere data which was acquired both with US satellite DMSP (O+ density) and ground based ionosondes (NmF2) was analyzed for earthquake (EQ) which occurred on 11 March 2011 in the north of Japan. Although the altitude of the satellite (&#8776; 850 km) is not proper to identify the epicenter because no clear signature appears around the epicenter, the study shows three important ionosphere features before the occurrence of the earthquake; (1) The effect of earthquake appears both in high and equatorial ionosphere, and (2) midlatitude trough is formed before the earthquake and it moves toward lower latitude as EQ day approaches. (3) No clear difference of O+ density is found both in the west and east of the epicenter.

Daytime NmF2 shows increase before earthquake, especially one day before the earthquake occurrence. Nighttime NmF2 shows the increase as well. 2 days oscillation is found especially at Khabarovsk station.

The increase of NmF2 reduces as the location of ionosonde station shifts to lower latitude from Khabarovsk to Kokubunji. At the same time 2 days oscillation fades out. Increase of night time NmF2 as well as 2 days oscillation is also recognized from March 26 to April 5 during which many earthquakes occur and no geomagnetic disturbance exists.

We tried to explain above findings as due to the enhanced east ward dynamo electric field during daytime and westward electric field during nighttime, respectively. Interaction between internal gravity wave or sonic wave and planetary wave seems to play an essential role. To prove this idea, further data analysis of TIMED satellite as well as computer simulation is needed. Finally we stress the need of satellite constellation in order to obtain the global morphology of ionosphere disturbance and to identify the mechanism, which at least provides us the material to judge applicability to future earthquake prediction.

2011年3月11日に起こった太平洋東北沖地震の電離圏前駆現象をしらべた。使用したデータは米国軍事衛星DMSPにより得られた酸素原子イオン密度 [O+], 世界各地のイオノグラム、および GIM (Global Ionosphere Model) である。地震発前後のうち3月9-13日は磁場擾乱時で、かつ3月7, 8日は急激な太陽電波束 (F10.7&#8776;170) の増加があり、地震前の電離圏の擾乱の存在を確認するには多くの時間を要したが、その存在は確認されたと思う。DMSP衛星の軌道高度は約850 kmであり、震源上空にはなんらの変化も見られないことも予想され、震源を特定するには不适当であると思われたが、3つの重要な事実が見出された。これらは(1) 3月11日の約1週間前から始まった中緯度トラフの生成とその低緯度への移動、(2) これに付随すると思われる、中緯度トラフの赤道側の原子イオン密度の増加、(3) 磁気赤道上空の酸素原子イオン密度増加である。

イオノグラムは2011年2月から4月まで比較的欠測の少ない、全世界の広範囲の NmF2, h'F をチェックした。この解析から見出された事は(4) 地震発生数日前から沖縄を除く稚内、国分寺、山川の3電離層観測所にくわえ、Beijin、I-Cheon, Jeju の震源付近を取り巻く広い範囲の観測所に共通して夜間の NmF2 の大幅な増加がみられる。これ以外の局では明瞭でない。(5) Khabalovsk における夜の NmF2 には二日周期変動が約1週間にわたってみられる。国分寺では2日周期は見られるが、その期間が短い。

本地震に関する解析結果は地震擾乱領域では昼間の東向き電場、夜間の西向き電場の増大により説明される。本研究の一部は2015年三菱財団研究助成金 (ID: 26113) により行われた。



## D-region periodic oscillations observed in LF transmitter signals after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

# Hiroyo Ohya[1]; Yuta Takishita[2]; Fuminori Tsuchiya[3]; Kazuo Shiokawa[4]; Hiroyuki Nakata[5]; Yoshizumi Miyoshi[6]  
[1] Engineering, Chiba Univ.; [2] Engineering, Chiba Univ.; [3] Planet. Plasma Atmos. Res. Cent., Tohoku Univ.; [4] ISEE, Nagoya Univ.; [5] Grad. School of Eng., Chiba Univ.; [6] ISEE, Nagoya Univ.

So far, a lot of studies for the F-region ionosphere associated with post-earthquake phenomena have been reported, although few studies for the D-region ionosphere have reported. It is difficult to observe the D-region electron density by MF/HF radio sounding method such as ionosondes, because the MF radio waves are highly attenuated in daytime D-region, and HF radio waves penetrate into the D-region in both night and day. In this study, we investigate the D-region disturbances associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake using intensity and phase of LF transmitter signals. The phase was converted to the reflection height of the waves based on Earth-ionosphere waveguide mode theory. The reflection height corresponds to electron density in the D-region. The propagation paths are Saga -Rikubetsu (RKB) over Japan and BPC (China)-RKB (Japan). Clear oscillations of the intensity over both propagation paths were simultaneously observed about 372 seconds after the earthquake onset. Both the intensity and reflection height show oscillations with a period of about 100 s. The one-to-one correspondence between the intensity and reflection height was not seen clearly. The changes of the intensity and reflection height for the oscillations were about 0.1 dB and 50 - 65 m, respectively. The time difference between the earthquake onset and the 100 s-oscillations was consistent with the propagation time of the Rayleigh waves (seismic waves) propagating from the epicenter to the LF propagation paths along the Earth surface, plus the propagation time of acoustic waves propagating from the ground to 68 km altitude vertically. Thus, the LF oscillations of the 100 s may be caused by the acoustic waves excited by the Rayleigh waves. In addition to the oscillations of the 100 s, the periods of a few tens to 1000 s were identified based on Wavelet analysis in both the intensity and phase of the two LF transmitter signals. In vertical velocity of seismic waves observed in HID (Hidaka, Hokkaido) station of NIED F-NET Broadband Seismograph Network, the similar periods of 10 &#211; 1000 s were seen in the Wavelet spectra. In the presentation, we will also show the squared coherence of the LF transmitter signals and the seismic waves.

## 微気圧および地上磁場変動に検出される重力音波共鳴周期の緯度等依存性

# 家森 俊彦 [1]; 小田木 洋子 [1]; 杉谷 茂夫 [2]; 佐納 康治 [3]; 品川 裕之 [4]; 大野 敏光 [5]; 田中 良和 [6]; 能勢 正仁 [7]; 井口 正人 [8]; 中西 邦仁 [9]; 青山 忠司 [10]  
[1] 京大・理・地磁気センター; [2] NICT; [3] 朝日大・経営; [4] 情報通信研究機構; [5] 仁淀川町教育委員会; [6] 京大;  
[7] 京大・理 地磁気センター; [8] 京都大学防災研究所; [9] 京都大学理学研究科; [10] 京大・理

## Controlling factors of vertical acoustic resonance detected in micro-barometric and geomagnetic variations

# Toshihiko Iyemori[1]; Yoko Odagi[1]; Shigeo Sugitani[2]; Yasuharu Sano[3]; Hiroyuki Shinagawa[4]; Toshimitsu Ono[5]; Yoshikazu Tanaka[6]; Masahito Nose[7]; Masato Iguchi[8]; Kunihiro Nakanishi[9]; Tadashi Aoyama[10]  
[1] WDC for Geomagnetism, Kyoto Univ.; [2] NICT; [3] Asahi Univ.; [4] NICT; [5] The Board of Education, Niyodogawa town; [6] Kyoto Univ.; [7] DACGSM, Kyoto Univ.; [8] Disaster Prevention Institute, Kyoto University; [9] Graduate School of Science, Kyoto Univ.; [10] Graduate School of Science, Kyoto Univ.

During large Earthquakes or strong volcanic eruptions, vertical acoustic resonance has been observed by micro-barometric, geomagnetic and GPS-TEC observations. The resonance periods are known to be around 260-270, 220-230, and 190-200 seconds. On the other hand, the existence of Magnetic Ripples has been found by low altitude magnetic satellites such as CHAMP or Swarm, the origin of them is supposed to be acoustic mode atmospheric waves from lower atmosphere. To add the evidence which supports the above idea, we examined statistical distribution of the resonance peaks in both micro-barometric and geomagnetic data at several locations in south-west Japan and in Thailand. One of the results is that the resonance period in micro-barometric data is shorter about 10 seconds in Thailand than that in Japan. We also found a common peak around 160 sec. We will report other characteristics such as seasonal and local time dependence.

大きな地震や火山噴火等の場合には、微気圧や GPS-TEC および地磁気変動に、地表と熱圏の間の重力音波共鳴現象が検出される。共鳴の周期はおおよそ 260~270 秒、220~230 秒、190~200 秒付近にあることが理論的に示され、また、観測的にも確認されてきた。一方、CHAMP や Swarm 衛星などによる精密磁場観測からは、Magnetic Ripples と名付けた下層大気起源と考えられる微細な沿磁力線電流が、全球的にはほぼ常に、いたるところで発生していることが明らかになった。推定された時間変動周期からは、それらも、音波モードの大気波動が原因と考えられる。そうであれば、常時、地上でも微気圧変動や地磁気変動中に、それら大気波動や電離圏に流される電流の効果がおよんでいるはずであるが、他の現象に比較して、振幅が非常に小さいため、一見してはわからない場合が大半であると考えられる。そこで、音波モードの大気波動の一部である重力音波共鳴現象が、普段の微気圧変動や地磁気変動の中にも含まれていることを、西南日本の4ヶ所とタイでここ数年間行ってきた微気圧および地磁気観測データを用い、変動のスペクトルピークを統計的に解析することで検出し、その場所、季節、昼夜依存性等を調べた。その結果、微気圧変動と地磁気変動のスペクトルピーク出現頻度がほぼ対応していること、低緯度(タイ)では微気圧変動に見られる共鳴周期の頻度のピークが10秒程度短いこと、160秒付近にも共鳴周期が見られることがわかった。

## オーロラ活動により発生した中間圏潮津波の特徴を持つ円弧状大気重力波

# 久保田 実 [1]; 山口 優太 [2]; 木下 武也 [3]; 陣 英克 [1]; 村山 泰啓 [1]; 北 和之 [2]  
[1] 情報通信研究機構; [2] 茨城大・理; [3] JAMSTEC

## Concentric gravity waves having a feature of a mesospheric bore generated by aurora activities

# Minoru Kubota[1]; Yuta Yamaguchi[2]; Takenari Kinoshita[3]; Hidekatsu Jin[1]; Yasuhiro Murayama[1]; Kazuyuki Kita[2]  
[1] NICT; [2] Ibaraki Univ.; [3] JAMSTEC

<http://www8.plala.or.jp/bokubokuta/mkubota/>

Atmospheric gravity waves in the mesopause region (80-105 km) appears as wave structures in airglow emissions, and observable using optical imaging technique. In this paper, we present observations of concentric gravity waves (CGWs) by all-sky imagers at the Poker Flat Research Range (65.1N, 147.4W, magnetic latitude 65.6) in Alaska. The CGWs appeared in the OI (557.7-nm), Na, and OH airglow images on November 2, 2000 and February 25, 2001. The spatial intensity variations of the OI (557.7-nm) airglow exhibit phases opposite to those of the OH airglow. This feature is a distinct pattern of a mesospheric bore. The wave propagation conditions in the MLT region at this time, which suggest the existence of a duct layer, also support this idea. Rapid aurora enhancements were observed near the centers of the CGWs. Their timings corresponded to the times when the CGWs started to propagate. These findings strongly indicate that the CGWs having a feature of a mesospheric bore were generated by aurora activities. To the best of our knowledge, this is the first imaging observation that directly captured the generation and propagation of an atmospheric gravity wave by aurora activity.

中間圏界面付近を伝搬する大気重力波は、この付近の高度で発光する大気光中に波状構造として現れ、光学観測することができる。本講演では、アラスカのポーカーフラット実験場に設置された大気光全天イメージャによる円弧状の大気重力波 (CGW: Concentric Gravity Wave) の観測について報告する。CGW は、2000年11月2日と2001年2月25日に酸素原子 (OI557.7-nm)、Na、OH 大気光中に現れた。Figure 1 に示すように OI557.7-nm と OH 大気光中の波状構造の空間構造は逆位相を示したが、これは中間圏潮津波と呼ばれる現象の特徴である。GAIA 大気圏-電離圏結合モデルやアラスカ MF レーダーの同時観測データを用いて計算されたこの時の中間圏界面付近の大気重力波の伝播コンディションは、中間圏潮津波の発生条件であるダクト伝搬層の存在を示していた。CGW の波源が存在すると考えられる CGW の中心付近ではオーロラの急増光が確認され、増光のタイミングは CGW の水平位相速度から推定される大気重力波発生時刻とも整合した。この結果は、観測された中間圏潮津波の特徴を持つ円弧状大気重力波が、オーロラ活動により発生していることを強く示唆している。

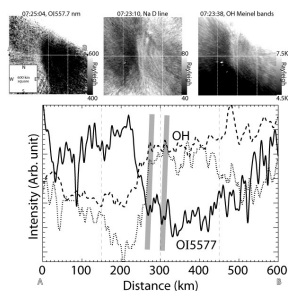


Figure 1. (Top) Two-dimensional distributions of the emission intensities of the OI (557.7-nm), Na D line, and OH Meinel bands at around 07:25 UT on February 25, 2001. Each image is projected on an azimuthal equidistant map centered at PFR. For the projection, the altitudes of the emission layers of the OI (557.7-nm), Na D line, and OH Meinel bands are assumed to be 95, 92, and 87 km, respectively. Gray scales indicate the absolute emission intensities of these airglows. (Bottom) Comparison of spatial intensity variations along the line between "A" and "B" indicated in the upper left panel. The solid, dotted, and dashed lines correspond to the emissions of OI (557.7-nm), Na D line, and OH Meinel bands, respectively. Gray shaded areas indicate the corresponding OH crests and OH valleys.

## 大気光イメージング観測による山岳励起大気重力波の研究

# 奥田 雅大 [1]; 鈴木 秀彦 [2]  
[1] 明治大; [2] 明治大

## Study of atmospheric gravity waves of orographic origin by airglow imaging

# Masahiro Okuda[1]; Hidehiko Suzuki[2]  
[1] Meiji Univ.; [2] Meiji univ.

Excitation and propagation processes of atmospheric gravity waves (AGWs) have been widely studied by both an observation and modeling schemes to understand an energy and momentum balances in the middle atmosphere. Major sources of AGWs are known to be an interaction between winds and topography like mountains, inhomogeneous thermal absorption due to lands and sea distribution, active convections in lower atmosphere, and wind shears etc. In particular, AGWs with orographic origin is thought as one of the important factors for a seasonal variation in mesospheric circulation, since the source is fixed to a ground.

An airglow imaging system for OH7-3 band is newly developed and installed in Kawasaki, Japan (35.6°N, 139.5°E) in Nov. 2015 to investigate propagation and excitation mechanism of mountain wave over the Kanto plain. Since Kanto Plain is sandwiched by mountain rich area including Mt. Fuji and the Pacific Ocean, identification of AGWs from orographic origin is expected to be easy. For example, continuous easterly wind in a surface level would excite mountain waves with zero ground phase speed over the Kanto plain. Moreover, a simple shape of cross section (i.e. Model like shape) of the source (Mt. Fuji) would make it possible to compare with modeling studies.

In this talk, details of the airglow imaging system and prompt results from observations since Nov. 2015 are presented. In addition, observed occurrences of mountain waves possibly excited by Mt. Fuji are compared with a prediction using a simple Ray-tracing model.

中層大気におけるエネルギー・運動量収支を理解するうえで重要な大気重力波の励起伝播過程については、これまで観測・シミュレーションの両面から研究が行われてきた。大気重力波の主な励起源としては、山岳地形および海陸分布、下層大気における活発な対流活動、そして風速場中の空間変動などが知られている。特に励起源が地上に固定されている地形性の大気重力波は、季節変動する下層大気の流れと相まって、中層大気循環に一定の規則性を与える重要な因子の一つであると考えられている。

そこで、本研究では山岳地形によって励起された大気重力波を観測するために、神奈川県川崎市にある明治大学生田キャンパス (35.6°N, 139.5°E) に、大気光イメージャーを設置し、2015年12月より連続観測を開始した。関東平野のほぼ中央にあたるこの観測拠点は、西部に富士山をはじめとする山岳地形、東南部には太平洋を望むという位置関係から、地形性の大気重力波の同定に有利であると期待される。例えば、下層大気において西風が継続する状況においては、富士山によって励起される山岳波が、風下側である関東上空の大気光層において対地位相速度がゼロとなる波状構造を形成することが予想される。富士山は高度が周辺の山岳地形に比べ突出しており、理想的なモデル計算で仮定されるような独立峰型の地形であることから、上述の観測データはモデルによる比較・再現がしやすく、山岳波の励起伝播過程について多くの知見をもたらすことが期待される。

本発表では、大気光イメージングシステムの詳細とこれまでの観測結果について報告するとともに、Ray-tracing法によって予測される富士山由来の山岳波の大気光層への伝搬特性との比較結果について報告する。

## 信楽MU観測所の長期大気光撮像観測に基づく中間圏・熱圏大気波動の水平位相速度スペクトルの変動

# 竹生 大輝 [1]; 塩川 和夫 [1]; 大塚 雄一 [1]; 松田 貴嗣 [2]; 江尻 省 [3]; 中村 卓司 [3]; 山本 衛 [4]  
[1] 名大宇地研; [2] 総研大・複合・極域科学; [3] 極地研; [4] 京大・生存圏研

### Long-term variation of phase velocity spectra of mesospheric and thermospheric waves observed in airglow images at Shigaraki

# Daiki Takeo[1]; Kazuo Shiokawa[1]; Yuichi Otsuka[1]; Takashi Matsuda[2]; Mitsumu K. Ejiri[3]; Takuji Nakamura[3]; Mamoru Yamamoto[4]  
[1] ISEE, Nagoya Univ.; [2] Sokendai; [3] NIPR; [4] RISH, Kyoto Univ.

Using airglow imagers, there have been many studies of atmospheric gravity waves on their wavelengths and horizontal phase velocities. Vertical propagation of gravity waves depends highly on their horizontal phase velocities as shown in the dispersion relation of gravity waves. However, long-term variation of horizontal phase velocity spectra of the gravity waves, which can be measured by airglow imagers, have not been studied. In this study, we use 3-dimensional FFT procedures developed by Matsuda et al. (JGR, 2014) to analyze the horizontal phase velocity spectra of gravity waves by using 557.7-nm (altitude of 90-100 km) and 630.0-nm (altitude of 200-300 km) airglow images obtained at Shigaraki MU Observatory (34.8 deg N, 136.1 deg E) over ~16 years from October 1, 1998 to July 26, 2015.

Results about 557.7-nm show clear seasonal variation of propagation direction of gravity waves in the mesopause region. They have two peaks of power spectrum density (PSD) of horizontal phase velocity. One is from 0 to 20 m/s, and the other is from 20 to 100 m/s. They have different directions for all seasons. Results about 630.0-nm also show two peaks, i.e., one from 0 to 40 m/s, and the other from 40 to 200 m/s that is southwestward for all seasons. In the presentation, we will show more detailed results for gravity waves with low and high phase velocities.

## 重力波が熱圏・電離圏におよぼす影響について

# 三好 勉信 [1]; 陣 英克 [2]; 藤原 均 [3]; 品川 裕之 [2]  
[1] 九大・理・地球惑星; [2] 情報通信研究機構; [3] 成蹊大・理工

### Impacts of gravity wave on the Thermosphere/Ionosphere simulated by GAIA

# Yasunobu Miyoshi[1]; Hidekatsu Jin[2]; Hitoshi Fujiwara[3]; Hiroyuki Shinagawa[2]  
[1] Dept. Earth & Planetary Sci, Kyushu Univ.; [2] NICT; [3] Faculty of Science and Technology, Seikei University

It has been recognized that gravity waves (GWs) play an important role on the general circulation in the thermosphere. Upward propagating GW deposits energy and momentum into the thermosphere, and affects the meridional circulation and atmospheric composition in the thermosphere. In this study, impacts of upward propagating GWs on the general circulation in the thermosphere are examined using a whole atmosphere-ionosphere coupled model (GAIA). The GAIA contains the region from the ground surface to the upper thermosphere, so that we can simulate excitation of GWs in the lower atmosphere, their upward propagation into the thermosphere, and their impact on the general circulation in the thermosphere. We have recently developed the GAIA with a high horizontal resolution (about 0.5 degree longitude by 0.5degree latitude). In this study, we focus our attention on seasonal variations in gravity wave activity in the thermosphere. Our simulation result indicates that the GW activity in the thermosphere is enhanced in middle and high latitudes in the winter hemisphere. GW activity in the winter thermosphere is strongly affected by variations in the polar night jet in the stratosphere and mesosphere. Moreover, the impacts of thermospheric gravity waves on variability in the ionosphere are investigated.

下層大気起源の大気重力波が、熱圏領域まで伝播し、熱圏におけるエネルギー収支・運動量収支・大気組成分布などに多大な影響を及ぼしていることが、近年の数値モデル及び観測による研究で明らかになりつつある。本研究では、大気圏電離圏結合モデル (GAIA: Ground-to-topside model of Atmosphere and Ionosphere for Aeronomy) の高水平分解能版を用いて、熱圏重力波のふるまいと下層大気の循環変動との関連性について調べてみた。GAIA は、対流圏から熱圏上端までを含んでいるため、下層大気での重力波の励起、熱圏への鉛直伝播、熱圏での碎波などの一連の過程を再現することが可能である。現在は、水平分解能 0.5 度 (約 50km) のモデルを開発中であり、さまざまな季節において数値シミュレーションを実行している。

解析の結果、以下のことが明らかとなった。熱圏での重力波活動の活発領域の季節変化を調べてみた。その結果、重力波活動の活発な領域は、冬半球の中・高緯度に存在し、成層圏・中間圏での極夜ジェットと密接に関連していることが明らかとなった。詳細な結果は、発表当日に示す。また、最近では、GOCE や CHAMP による密度変動から重力波の活動度を見積もる試みがなされており、本シミュレーション結果と衛星観測結果との比較も行う予定である。このような熱圏での重力波に伴う変動は、中性大気と電離大気の相互作用過程を通じて、電離大気にも影響を及ぼす。したがって、重力波の活動が活発な領域において電離圏変動も大きくなることが予想されるので、重力波の活動と電離圏変動との関連という観点で解析を進めていく予定である。

## ファブリ・ペロー干渉計により観測されたアジア・オセアニア地域の夜間熱圏風の気候場

谷田貝 亜紀代 [1]; # 大山 伸一郎 [2]  
[1] 弘大・理工・気象; [2] 名大・宇地研

### Thermospheric Nocturnal Wind Climatology Observed by Fabry-Perot Interferometers over the Asia-Oceania Region

Akiyo Yatagai[1]; # Shin-ichiro Oyama[2]  
[1] Hirosaki Univ.; [2] ISEE, Nagoya Univ.

<http://www.st.hirosaki-u.ac.jp/~yatagai/>

This study shows the horizontal structure of climatology of thermospheric nocturnal winds at a height of about 250 km in the Asia-Oceania region for the first time using observations made with Fabry-Perot interferometers (FPIs; optical wavelength of 630.0 nm). The locations of the FPIs used in this study were Shigaraki (Japan, 34.8N, 136.1E), Chiang Mai (Thailand, 18.8N, 98.9E), Kototabang (Indonesia, 0.2S, 100.3E), and Darwin (Australia, 12.4S, 131.0E). The observation data underwent quality control that involved consideration of cloud information, wind speed value, and the standard deviation of results obtained from synchronous fringe images; about 30% of observation data from all the four stations were deemed suitable for use. Different threshold values were obtained before/after the change of CCD camera of Shigaraki on 30 August 2010.

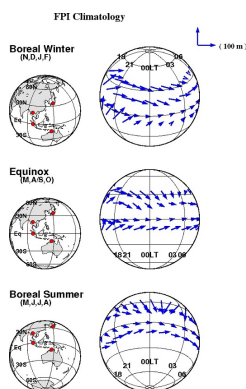
The nocturnal diurnal changes at Shigaraki according to the local solar time was generally consistent with changes in China at similar latitudes, although the amplitudes were slightly different. The other three stations showed seasonal changes that were continuous with patterns for Shigaraki in each season, and the Chiang Mai and Darwin stations observed seasonal/diurnal changes similar to those observed by stations at similar latitudes on the American continent. Although there were fewer samples for Chiang Mai, Kototabang, and Darwin in the rainy season compared to that of Shigaraki, the seasonal climatology reported here (see the figure attached) can be used to provide a background long-term average status for describing anomalous events and extremes having different causes.

This study is appeared in *J.Meteor. Soc. Japan* (<http://jmsj.metsoc.jp/EOR/2016-026.pdf>)

本研究では、アジア・オセアニア域について、ファブリ・ペロー干渉計（FPI、測定波長 630.0nm）による熱圏（高度約 250km）水平風気候場の空間分布を初めて示す。FPI の設置場所は、信楽（日本、34.8N, 136.1E）、チェンマイ（タイ、18.8N, 98.9E）、コトタバング（インドネシア、0.2S, 100.3E）、ダーウィン（オーストラリア、12.4S, 131.0E）である。雲情報、風速値、同期するフリンジ画像の標準偏差に基づく品質管理の結果、4 地点平均で観測データの約 30 % が有効と判断された。なお、信楽の CCD カメラレンズ交換（2010 年 8 月 30 日）前後でデータ特性が変化するため有効値の閾値を別に設定した。

信楽における夜間の水平風の時間変化は、緯度帯の近い中国での観測結果と、わずかな振幅の違いはあるものの基本的に整合的であった。他の 3 地点の観測結果は、信楽と同様の季節変化を示し、またチェンマイとダーウィンの結果は、アメリカの同緯度帯における観測と同様の季節変化・日変化を示した。チェンマイ、コトタバング、ダーウィンにおける雨季の観測数は少ないが、ここに示した気候場（図添付）は、様々な要因による異常イベントや極端現象を記述する際の背景長期平均場として利用することができる。

本研究は気象集誌（JMSJ）に受理された。<http://jmsj.metsoc.jp/EOR/2016-026.pdf>



## 成層圏突然昇温にともなう北極域下部熱圏・中間圏変動

# 野澤 悟徳 [1]; 小川 泰信 [2]; 津田 卓雄 [3]; 藤原 均 [4]; 堤 雅基 [2]; 三好 勉信 [5]; Hall Chris[6]; Buchert Stephan C.[7]; 齋藤 徳人 [8]; 和田 智之 [8]; 川原 琢也 [9]; 高橋 透 [2]; 川端 哲也 [1]; Brekke Asgeir[10]  
[1] 名大・宇地研; [2] 極地研; [3] 電通大; [4] 成蹊大・理工; [5] 九大・理・地球惑星; [6] トロムソ大・TGO; [7] IRF, Uppsala; [8] 理化学研究所基幹研; [9] 信州大・工; [10] トロムソ大・理工

## Changes in the polar lower thermosphere and upper mesosphere related to SSWs above Tromsø, Norway

# Satonori Nozawa[1]; Yasunobu Ogawa[2]; Takuo Tsuda[3]; Hitoshi Fujiwara[4]; Masaki Tsutsumi[2]; Yasunobu Miyoshi[5]; Chris Hall[6]; Stephan C. Bechert[7]; Norihito Saito[8]; Satoshi Wada[8]; Takuya Kawahara[9]; Toru Takahashi[2]; Tetsuya Kawabata[1]; Asgeir Brekke[10]  
[1] ISEE, Nagoya Univ.; [2] NIPR; [3] UEC; [4] Faculty of Science and Technology, Seikei University; [5] Dept. Earth & Planetary Sci, Kyushu Univ.; [6] TGO, UiTO; [7] IRF, Uppsala; [8] ASI, RIKEN; [9] Faculty of Engineering, Shinshu University; [10] Science and Technology, UiTo

We have made an EISCAT special experiment using the UHF radar at Tromsø (69.6 deg N, 19.2 deg E) and the EISCAT Svalbard radar (ESR) at Longyearbyen (78.2 deg N, 16.0 deg E) from 23 UT on February 10 to 20 UT on February 12, 2016 connecting to an ip2 run (one of EISCAT common programs) conducted from 08 UT on February 5 to 23 UT on February 10. In those experiments, the UHF antenna at Tromsø and the ESR 32 m antenna were scanned to derive ion velocity vectors between about 100 and 500 km in the ionosphere. We have succeeded in obtaining 7.5 day length of EISCAT radar data with a 6-hr data gap occurring from about 01 to 07 UT on February 7 at Tromsø. Sodium LIDAR observations, which provided temperature, winds, and sodium density data between about 80 and 110 km, collocated at the Tromsø site were also made together with (continual) meteor radar and MF radar wind observations in the upper mesosphere between about 70 and 100 km.

Minor Sudden Stratospheric Warmings (SSWs) occurred (probably) on February 1 and 9, 2016, just before and during the EISCAT radar observations. Thus, we have analyzed the campaign datasets to investigate changes of temperature and winds in the polar lower thermosphere and upper mesosphere due to SSWs. Nocturnal mean temperature decreased (i.e., cooling) around the SSW peak occurring on February 1, 2016, and the semidiurnal tidal (more exactly, 12 hour variation of winds) amplitude was reduced around the SSW peak in the polar upper mesosphere. We have compared these results with those of other SSW events occurring in January 2012 and 2015. The weakened amplitude of the semidiurnal tide seems a common feature above Tromsø around the SSW peaks. To investigate possible causes of these changes, we have investigated GAIA (Ground-to-topside model of Atmosphere and Ionosphere for Aeronomy) predictions. We will present observational results GAIA results, and then will discuss possible causes of the reductions.



## エルニーニョー南方振動が電離圏熱圏に及ぼす影響について

# SUN YANGYI[1]

[1] 九大・理・地惑

## El Nino-Southern Oscillation in ionospheric and thermospheric tides

# YANGYI SUN[1]

[1] Chiwaku, Kyushu Univ.

El Nino-Southern Oscillation (ENSO) has been suggested as a potentially significant energy source that effects the Earth's upper atmosphere from the ocean and lower atmosphere. However, solid evidences and physical mechanisms still remain obscure due to the complex natural of the atmosphere-ionosphere-solar system. In this study, we analyze the 20-year (1996 to 2016) simulations of ionospheric plasma density and thermospheric temperature from the Whole Atmosphere-Ionosphere Coupled Model (GAIA), and show the ENSO signals in ionosphere and thermosphere. The agreements between the model simulations and the satellite observations from FORMOSAT-3/COSMIC and TIMDED/SABER suggest that the ENSO signal generated from troposphere may affect the SPW4 in ionosphere via the interaction of the DE3 and DW1 in thermosphere.

## Comparison between three types of COSMIC GPS-RO atmPrf and radiosonde data in the equatorial UTLS

# Noersomadi Noersomadi[1]; Toshitaka Tsuda[1]; Atsuki Shinbori[1]  
[1] RISH, Kyoto Univ.

We investigate the performance of three types of COSMIC GPS-RO atmPrf profiles. The first is the data retrieved by Full Spectrum Inversion (FSI) up to 30 km. The second and third are the data released by COSMIC Data Analysis and Archive Center (CDAAC) with different version which the newer is 2013.3520 version (GO13) and the older is 2010.2640 version (GO10). This study aims to analysis the different between those COSMIC GPS-RO dataset and their comparison with radiosonde data focusing on the tropopause properties in the equatorial region. The radiosonde data used in this research are provided by JAMSTEC during CINDY 2011 campaign project from October 1, 2011 to March 31, 2012. The mean difference of cold point tropopause (CPT) and lapse rate tropopause (LRT) between FSI and GO13 profiles are -0.72 K and 0.55 K, while FSI and GO10 profiles are -0.54 K and 0.19 K, and between GO13 and GO10 are 0.17 K and -0.36 K, respectively. The results indicate that FSI profiles close to GO10 in identifying LRT, and GO10 profiles close to GO13 in pointing CPT. The mean difference of CPT and LRT from 131 collocated radiosonde and those FSI, GO10, and GO13 profiles, within 200 km and 3 hours, are 0.34 K and 0.7 K, -0.32 K and 0.87 K, -0.20 K and 0.68 K, respectively. The results show that FSI has positive bias and both GO13 and GO10 have negative bias in detecting the CPT, but all of them have positive bias in identifying LRT. The standard deviation of temperature profiles difference between radiosonde and those three GPS-RO dataset are similar in the 15-19 km altitude range. However, the average power ratio of cross spectrum of lapse rate temperature between these collocated data show that FSI able to perform large normalized frequency of temperature gradient as observed by radiosonde instead the smooth profiles of GO13. The GO10 are similar with FSI below the mean tropopause at 18 km and as smooth as GO13 in the lower stratosphere. This study suggest that FSI profiles can be considered for investigating the detail structure of atmospheric stability in the upper troposphere and lower stratosphere.

## 地上デジタル放送波を用いた水蒸気推定とその誤差要因

# NICT 地デジ水蒸気研究開発チーム 川村 誠治 [1]  
[1] -

### Water vapor estimation using digital terrestrial broadcasting waves and its estimation error

# Seiji Kawamura NICT DBT water vapor R&D team[1]  
[1] -

We, National Institute of Information and Communications Technology (NICT), are developing a water vapor measurement system using digital terrestrial broadcasting wave. Because the delay due to water vapor is quite small, very precise measurements are needed for the effective observations. Phase fluctuations of local oscillators at radio tower and receivers are essential error factors. Therefore, we propose two configurations (A and B) to derive water vapor concentration. In configuration A, we measure the phase variations of digital terrestrial broadcasting waves at the two receiving points on the line that includes the radio tower. Phase noises of the local oscillator at the radio tower are canceled out by taking the difference. We can estimate net propagation delay between the two receiving points by synchronization of the receivers' local oscillators. In configuration B, we observe phase variations of digital terrestrial broadcasting waves at a single receiving site. If there is a reflector at the opposite side from the radio tower, we can receive direct and reflected waves at this point simultaneously using a single local oscillator. Phase noises of this local oscillator are cancelled out by taking the difference between direct and reflected waves. We can measure a round trip propagation delay between the observing point and the reflector without the synchronization of local oscillators. In configuration A, the synchronization of two local oscillators is essential. Two local oscillators connected with an optical fiber can be synchronized vary precisely. We are conducting a proving test in this configuration using an optical fiber and other means. In this presentation, we report a method and results of water vapor measurements without synchronization of the local oscillators (configuration B).

NICT is located at about 29 km westward from the radio tower named Skytree. Three reflectors (R1-R3) are located at about 1 km, 4 km, and 7 km westward from NICT, respectively. The direct wave and reflected waves from the three reflectors can be measured at NICT using a single receiving system. Since the power of direct wave is strong, we can receive it by the back-lobe of an antenna. Therefore, the antenna is directed to westward to receive reflected waves by the main-lobe. Taking differences between each waves, we can measure the propagation delays in the three areas between NICT and R3. The delay in each area is quite similar and sometimes shows time lags in the time variations, implying that some meteorological phenomena passed through from west to east. We have ground-based meteorological observatory equipments at two sites, NICT and a point close to R3. The delay estimated using digital terrestrial broadcasting wave shows good agreement with that from ground-based meteorological observation including the time lag.

The possible sources of the estimation error might be a length change of the RF cable, a curve of the propagation path, rainfalls, winds, and so on. The length of RF cable will be changed due to temperature variation. This effect is canceled out in configuration B because the receiving system including the RF cable is unique in this configuration. In configuration A, however, the temperature variations at different receiving systems will cause the change of the propagation path length. A curve of the propagation path due to weather condition also changes the propagation path length. At the moment, the effect of rainfalls is scarcely seen in the observed results. The time variations of the propagation delay sometimes show small fluctuations whose amplitude is order of 10 ps. The amplitude seems to have some correlation with the wind velocity. Winds seem to be one of the main error factors in this observation.

情報通信研究機構 (NICT) では、地デジ放送波を用いて水蒸気を推定する手法の研究開発を行っている。装置を多点展開して水平面内の水蒸気変動に起因する伝搬遅延を常時モニターし、データ同化による気象予報精度の向上に貢献することを目的としている。有効な観測のためには数十 ps 以上の精度で伝搬遅延を精密測定する必要があり、放送局や受信地点の局部発振器の位相雑音は大きな誤差要因となる。これを解決するため、2つの観測手法を提案している。一つ目(手法 A)は、電波塔を含む直線上に2つの受信点を設け、それぞれの局部発振器を高精度に同期させるというものである。それぞれの地点で測定した伝搬遅延(位相変動)には電波塔と受信局それぞれの局部発振器の位相雑音が含まれているが、両者の差を取ることで電波塔側局部発振器の位相雑音を相殺することができる。残った2地点間の局部発振器の位相変動差を同期により相殺することで水蒸気量を推定する。二つ目(手法 B)は、直達波と反射波を同時に一カ所で測定するというものである。電波塔と受信地点を含む直線上で、受信地点から電波塔と反対方向に反射体がある場合、受信地点において直達波と反射波を同時に受信することができる。測定は受信地点の一つの局部発振器を用いて行われるため同期は不要で、直達波と反射波の差を取るだけで受信地点と反射体の間の往復分の伝搬遅延が測定できる。現在手法 A に関しては、光ファイバーを利用した局部発振器の同期を実現して実証実験を開始したところである。手法 B では既にリアルタイムの測定を継続しており、本発表では主にその結果について報告する。

反射波を用いる手法 B では、アンテナは反射波の方を向けて設置する。強度の強い直達波はアンテナのバックローブで受信が可能である。NICT 本部での観測において、スカイツリーと反対側 (NICT から西方) 約 1 km、4 km、7 km に位

置する反射体からの反射波が直達波と同時に受信されている。これらの反射体は遅延プロファイルのピーク位置の関係から特定される。各信号の差を取ることで、NICT 本部 (受信地点) と最も遠い反射体の間を 3つのエリアに分割して伝搬遅延の観測ができる。NICT 本部と、最も遠い反射体の近くに地上気象観測装置を設置しており、その観測結果と本観測の結果は非常に良い一致を示している。各エリアの伝搬遅延は似通ってはいるが、細かく見ると現象が西から東へ移動するように時間差を持った変動がみられることもあり、その時間差は 2つの地上気象観測とも一致している。

地デジ放送波を用いた伝搬遅延の測定誤差の要因としては、温度変化による受信 RF ケーブルの長さの変動、気象条件による電波の伝搬経路の曲り、雨、風等が考えられる。手法 B では受信システムが一つであるため RF ケーブルの長さの変動は相殺されるが、この影響は手法 A では影響があるかもしれない。今のところ雨の影響はほとんど見られないが、雨による反射面の変化や、大地反射発生による干渉などが発生する可能性も考えられる。伝搬遅延の時間変動には、風速と比較的相関の良い細かい変動が 10 ps のオーダーで乗ることがあり、風速による反射体の揺れは主要な誤差の一つと考えられる。

## A global view of small-scale perturbations in Mars' lower thermosphere derived from MAVEN/IUVS stellar occultation

# Hiromu Nakagawa[1]; Alexander Medvedev[2]; Takeshi Kuroda[3]; Erdal Yigit[4]; Naoki Terada[5]; Kaori Terada[6]; Hitoshi Fujiwara[7]; Kanako Seki[8]; Hannes Groller[9]; Nicholas M. Schneider[10]; Bruce M. Jakosky[11]

[1] Geophysics, Tohoku Univ.; [2] MPS, Germany; [3] NICT; [4] MPI; [5] Dept. Geophys., Grad. Sch. Sci., Tohoku Univ.; [6] Geophys., Tohoku Univ.; [7] Faculty of Science and Technology, Seikei University; [8] Dept. Earth & Planetary Sci., Science, Univ. Tokyo; [9] none; [10] LASP, Univ. of Colorado; [11] LASP, CU Boulder

A global distribution of small-scale temperature and density perturbations in the Martian lower thermosphere (100-130 km) was inferred from the Mars Atmosphere Evolution (MAVEN) Imaging Ultraviolet Spectrograph (IUVS) stellar occultations for the first time. Two comprehensive Martian general circulation models (MGCMs), a gravity wave (GW) resolving MGCM and the Mars Planck Institute MGCM incorporating a state-of-the-art GW parameterization have been used to interpret the observations. The main results of this study are as follows:

- (1) The observed perturbations demonstrate GW signatures with vertical wavelengths of 10-20 km and amplitudes of up to 7 % of the mean temperature (~10 K) and 15-20 % of the mean density.
- (2) The global distribution of the observed wave potential energy in the lower thermosphere possesses a distinct latitudinal structure. Larger values are found at middle- and high-latitudes (>30deg) and a weaker activity is inferred in low latitudes around the equator. This is contrary to the distribution of GW activity in the lower atmosphere, whose maximum is located in low latitudes.
- (3) Our simulations with the two MGCMs demonstrate that the background winds play a major role in vertical propagation of GWs generated in the lower atmosphere. They can explain the latitudinal distribution of the observed GW activity in the lower thermosphere.
- (4) The observed perturbations in the lower thermosphere are probably caused by GWs of tropospheric origin penetrated from below. More IUVS stellar occultation data will help to constrain GW parameterizations, validate Martian GCMs, thus increasing predictive skills of the latter.

## 観測画像から明らかにする金星大気循環の考察

# 金尾 美穂 [1]  
[1] 宇宙科学研究所

## A consideration about the circulation of Venus atmosphere using the images

# Miho Kanao[1]  
[1] ISAS

Venus is well known for a planetary atmosphere of the Superrotation, the zonal wind. The sulfuric acid cloud particles are produced in connection with cloud related components; SO<sub>2</sub>, SO, and unknown UV absorber, varying temperature and pressure to altitude. The high opacity due to photon scattering or absorption of cloud particles and CO<sub>2</sub> molecules, and UV absorbers make it difficult to observe the atmospheric dynamics. Hinode solar observatory imaged the atmosphere of Venus passing across the Sun in 2012. The limb imaging with solar radiation makes it possible to observe the radiative intensity having the information of atmospheric molecules and cloud particles to lower altitude (~60 km). The purpose is to reveal the particle distribution in layered cloud to local time and latitude.

The optical multiwavelength observation using BFI leads to the knowledge of cloud particles distribution sorted by particle size. The number density of cloud related components will be estimated from the images at UV wavelength. The contour lines of transmittance due to scattering of cloud particles and molecules are suggested the propagation of horizontal wave structures. I study the dynamics of cloud particles and atmosphere asymmetric between morning and evening side shown as the cellular structures in dayside and streak pattern in night side. The vertical and north-south wind velocity of meridian plane is smaller than that of zonal wind. Considering the weak meridian circulation and the local thermal transformation produced by absorption of solar radiation, latent heat and energy of chemical reactions as cloud production, the connection from the superrotation to cloud layer is studied.

厚い濃硫酸雲に覆われた金星の二酸化炭素大気は、惑星全体の大気大循環、「スーパーローテーション」することが知られている。雲粒子や雲の生成や、紫外光吸収物質、二酸化炭素や二酸化硫黄といった大気分子による吸収や散乱によって光が阻まれるため、厚い大気の大循環を高度方向に捉える光学観測は難しい。雲粒子は、雲関連物質、紫外光吸収物質と関連して高度による温度や圧力の変化によって生成する。ローカルタイムや緯度毎に変化する、雲粒子の分布を明らかにすることが目標である。

「ひので」衛星は、金星日面通過時に太陽の前を通過していく金星の大気を観測した。太陽光を利用した惑星大気のリム観測を行うことで、低高度まで大気分子や雲粒の情報を含んだ光強度を得ることが出来る。可視光領域の多様な波長における観測は、雲粒子の大きさによる分布の判別や、雲関連物質の数密度の導出に繋がる。

雲粒子や大気分子の光散乱による大気透過率の等高線は、水平方向の波構造の伝搬を示唆する。太陽光輻射を受ける昼面のセル構造や、夜面の高緯度における筋模様で代表される、

朝夕で異なる雲粒子と大気の運動について解析を行う。子午面で循環する南北風や鉛直方向の風は、西向きスーパーローテーションの速度よりもずっと弱い。弱い子午面循環や、雲粒子と雲関連物質の形成や消滅の機構に関わる化学反応のエネルギーや雲の潜熱が生み出す局地的な熱輸送といった視点から、層構造を織りなす雲粒とスーパーローテーションの関連を考察する。

太陽紫外線による電離反応を介して生成し、昼側から吹き付ける太陽風や惑星間空間磁場と関連しながら宇宙空間へと散逸する酸素イオンやプロトンといった電離圏プラズマや、中性大気であるコロナが存在している。EISによって分光撮像された極端紫外線における金星リムの太陽光の強度変化から、酸素コロナや水素コロナの数密度を見積もることが出来る。さらに、XRTとVenus Express衛星に搭載されたプラズマ観測パッケージであるASPERA-4による同時観測から、太陽輻射エネルギーによる電離圏プラズマの反応について研究を行う。

## フィールドミルによる大気電場および95GHz雲レーダFALCON-Iによる雲の同時観測の初期結果

# 中森 広太 [1]; 鈴木 康樹 [2]; 大矢 浩代 [3]; 鷹野 敏明 [4]; 河村 洋平 [5]; 中田 裕之 [6]

[1] 千葉大・工・人工システム・電電; [2] 千葉大・工・人工システム・電子電子; [3] 千葉大・工・電気; [4] 千葉大・工; [5] 千葉大・工; [6] 千葉大・工・電気

### Simultaneous observations of atmospheric electric fields and clouds using a field mill and a 95-GHz cloud radar FALCON-I

# Kota Nakamori [1]; Yasuki Suzuki [2]; Hiroyo Ohya [3]; Toshiaki Takano [4]; Yohei Kawamura [5]; Hiroyuki Nakata [6]

[1] Electrical and Electronic, Chiba Univ.; [2] Electrical and Electronics Engineering, Chiba Univ.; [3] Engineering, Chiba Univ.; [4] Chiba Univ.; [5] Engineering, Chiba Univ.; [6] Grad. School of Eng., Chiba Univ.

It is known that lightning and precipitations of rain droplets generated from thunderclouds are a generator of global atmospheric electric circuit. In the fair weather, the atmospheric electric fields are downward (positive), while they are upward (negative) during lightning and precipitations. However, the correlations between the atmospheric electric fields, and the cloud parameters such as amount of clouds, the cloud top height, and cloud bottom height, have been not revealed quantitatively yet. In this study, we investigate the correlations between the atmospheric electric fields and the cloud parameters using a field mill, the FALCON (FMCW Radar for Cloud Observations)-I and all-sky camera observations.

In this study, we installed a Boltek field mill on the roof of our building in Chiba University (Geographic coordinate: 35.63 degree N, 140.10 degree E, the sea level: 55 m) on the first June, 2016. The sampling time of the atmospheric electric fields is 0.5 s. On the other hand, the FALCON-I has observed the cloud parameters far from about 60 m of the field mill throughout 24 hours every day. The vertical cloud profiles and the Doppler velocity of cloud particles can be derived by the FALCON-I with high space resolutions (the height: 48.8 m, the horizontal angle: 0.18 degrees = 15.7 m at 5 altitudes) (Takano et al., 2010). In addition, the images of the clouds and precipitations are recorded with 30-s sampling by an all-sky camera using a CCD camera on the same roof during 05:00-22:00 JST every day. The distance between the field mill and the all-sky camera is 3.75 m. During 12:45 UT, 12 June - 08:50 UT, 13 June, 2016, we found that rain droplets fell with the rate of about 5.53 m/s from about 4 km altitudes from the vertical cloud profiles with the FALCON-I. The atmospheric electric fields were 0.47 kV/m at 15:27 UT, when was 3 hours and 2 minutes after the precipitation onset. After that, the atmospheric electric fields decreased down to be -5.86 kV/m at 23:37 UT, during 8 hours and 10 minutes. The upward atmospheric electric fields could be caused by the attachment of the negative ions to the bottom of the rain clouds or the charged precipitations. However, the cause of the time difference of 3 hours and 2 minutes between the precipitations and the decrease in the atmospheric electric fields has not been revealed. Moreover, we analyzed the RGB color values in the observed images and estimated the amount of the clouds during observations. The fair weather was assumed that the amount of the clouds was less than 10%. During the first June - 10 July, 2016, 20 days were in the fair weather, and we picked up the atmospheric electric fields in time slot when the amount of the clouds was less than 10%. The mean electric fields were large (1.12 kV/m) during 01:00-04:00 UT, while they were less (0.836 kV/m) during 18:00-20:00 UT. The Carnegie curve, the standard diurnal variations in the atmospheric electric fields in the fair weather, has the peak of the atmospheric electric fields at 18:00 UT (Whipple and Scrase, 1936), although our data had the peak at 01:42 UT. That is, our data was not similar to the Carnegie curve. The cause may be insufficient data amount, so it is necessary to continue to observe the atmospheric electric fields in the future. In this session, we will explain the simultaneous observations using the field mill, the FALCON-I, and the all-sky camera. Then we will show the correlations between the atmospheric electric fields and the cloud parameters in detail. In addition, we will also report the variations in the atmospheric electric fields during usual precipitations, local heavy precipitations, and lightning.

雷雲から生成される雷や雨は、グローバルサーキットと呼ばれる地球上の大規模な回路の発電機となることが知られている。通常、フェアウェザー時には大気電場は下向き、雷、降雨時には上向きとなるが、大気電場と雲との定量的相関は明らかになっていない。よって本研究の目的は、フィールドミルによる大気電場と、千葉大学で独自に開発された95GHz雲レーダFALCON(FMCW Radar for Cloud Observations)-Iおよび全天カメラによる雲の同時観測を行い、それらの比較をすることで、大気電場と雲量や雲頂、雲低高度との相関を明らかにすることである。

本研究では、Boltek社のフィールドミルを2016年6月1日に、千葉大学建物の屋上(地理座標35.63 degree N, 140.10 degree E, 海拔高度55 m)に設置した。サンプリングタイムは0.5 sである。一方、FALCON-Iはフィールドミルから約60 m離れた地点で、毎日24時間、雲の定常観測を行っている。FALCON-Iは、高い空間分解能(高度方向48.8 m, 水平方向0.18 degree, 度角 = 15.7 m at 5 km height)で雲の鉛直プロファイルや雲粒子のドップラー速度を観測できる(Takano et al., 2010)。またCCDカメラを用いた全天カメラにより、フィールドミルと同じ建物の屋上にて毎日05:00-22:00 JSTの間、30 sごとに上空の雲・雨を画像データとして保存している。フィールドミルと全天カメラとの距離は3.75 mである。2016年6月12日12:45 UT - 6月13日08:50 UTに、FALCON-Iによる雲の鉛直プロファイルから雨が約4 km付近から速度約5.53 m/sで降っていたことが確認された。大気電場は降雨開始から3時間2分後の15:27 UTで0.47 kV/mで、それから8時間10分にわたって減少し、23:37 UTには-5.86 kV/mとなった。この大気電場の減少は、雨雲の下端に負イ

オンが吸着し、上向き大気電場が発生することによるもの、または雨粒が電荷を運搬することによるものであると思われるが、大気電場変化が降雨の3時間2分後に開始したことはまだ原因が分かっていない。また観測期間の全天カメラによる雲画像のRGB値を解析し、雲量を推定した。ここで、雲量が10%以下であればフェアウェザーであると定義した (Minamoto and Kadokura, 2011)。2016年6月1日から2016年7月10日の期間、フェアウェザーだったのは20日間であり、雲量が10%以下だった時間帯のみを抜き出して平均をとったところ、01:00-04:00 UTで大気電場が最大1.12 kV/mと大きくなり、18:00-20:00 UTは最大0.836 kV/mと小さかった。フェアウェザー時の大気電場の日変化としてよく知られているカーネギーカーブでは、日変化のピークは18:00 UTであるが (Whipple and Scrase, 1936)、本研究での最大値は01:42 UTであり、カーネギーカーブとの類似度は低かった。これは、まだ統計的にデータ量が十分ではないことが原因であると考えられるため、今後データ数を増やしていくことが必要となる。セッションでは、大気電場および雲の同時観測方法についての説明と、大気電場と雲量や雲頂、雲低高度との相関について詳細な報告を行う。また、降雨、集中豪雨および雷発生時の大気電場の時間変動について初期結果を報告する。



## ELF帯電波観測により推定した雷放電の放電電荷量を用いたダウンバースト現象の予測可能性

# 清水 千春 [1]; 佐藤 光輝 [2]; 高橋 幸弘 [1]; 土屋 史紀 [3]; 本郷 保二 [4]; 阿部 修司 [5]; 吉川 顕正 [6]  
[1] 北大・理・宇宙; [2] 北大・理; [3] 東北大・理・惑星プラズマ大気; [4] 東北電力; [5] 九大・ICSWSE; [6] なし

### Predictability of the downburst phenomena using the charge amounts of lightning discharges derived from ELF observation

# Chiharu Shimizu[1]; Mitsuteru SATO[2]; Yukihiro Takahashi[1]; Fuminori Tsuchiya[3]; Yasuji Hongo[4]; Shuji Abe[5]; Akimasa Yoshikawa[6]

[1] CosmoSciences, Hokkaido Univ.; [2] Hokkaido Univ.; [3] Planet. Plasma Atmos. Res. Cent., Tohoku Univ.; [4] Tohoku Electric Power; [5] ICSWSE, Kyushu Univ.; [6] ICSWSE/Kyushu Univ.

Lightning discharges usually occur within active thunderclouds, and previous studies suggested that there are close relations between lightning activities and severe meteorological phenomena. Therefore, lightning discharges can be potentially used as a good proxy to predict the occurrence of the severe weather. Especially, as lightning is a discharge phenomenon, it is more important to investigate the relation between electrical properties of lightning discharges, such as the polarity, the peak current, and the charge amount and the meteorological parameters of the severe weather.

Since it is reported that there are comparable relation between lightning current waveforms and ELF magnetic field waveforms measured at the 300 km distance from the lightning, we evaluated the similarity of the lightning current waveforms measured by a Rogowski coil installed at Mt. Ogami and ELF waveforms measured at Onagawa observatory. Then, the average correlation coefficient and standard deviation between these two waveforms are estimated to be  $r=-0.84$  and  $\sigma=0.14$ , respectively. This result indicates that there are high similarities between these two waveforms. From these quantitative analyses, empirical equations that enable us to directly convert from the magnetic field intensities into the charge amounts were obtained.

Furthermore, to investigate the relation between severe weather and lightning activities, we picked up 8 downburst events in 2015 according to Japan Meteorological Agency (JMA). Using ELF waveform data obtained at Kuju station in Kyushu and lightning data of the Japan Lightning Detection Network (JLDN), charge amounts of the lightning discharges that occurred around the downburst onset were estimated by applying the empirical equations. In addition, precipitation amounts observed by the JMA C-band radar were also analyzed. At the presentation, we will show the results and discuss the relation between the time variation of the lightning charge amount and the onset of the downburst.

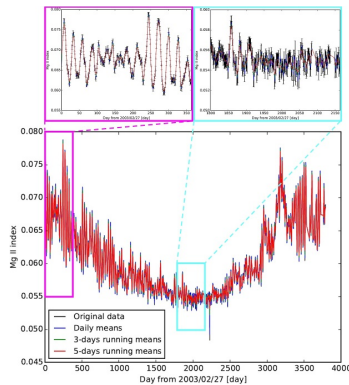
## 太陽27日周期が中層大気オゾンへもたらす影響について

# 今井 弘二 [1]; 村山 泰啓 [1]  
[1] 情報通信研究機構

## The 27 day solar UV response of middle atmospheric ozone

# Koji Imai[1]; Yasuhiro Murayama[1]  
[1] NICT

A correlative study of ozone and the solar UV flux on the time scale of the 27-day solar rotation cycle shows an anomalous response of the middle atmospheric ozone, which is based on the observation data of Aura/MLS (the Microwave Limb Sounder on the Earth Observing System Aura satellite [Waters et al., 2006]) ozone version 4.2 and SORCE (Solar Radiation and Climate Experiment [Snow et al., 2005]) Mg II index version 10. We used the overlapped observation periods from August 2004 to July 2013, which includes the period of the solar minimum between solar cycle 23 and 24 (see Figure). The analysis shows that the Mg II index has high coherency with tropical ozone in the upper stratosphere. We will show the coherency of ozone and the Mg II index for the 27-day periods as a function of altitude and latitude in both the solar minimum and middle phases.



## ノルウェー・トロムソに設置するミリ波分光観測装置の開発および南極昭和基地とのNO分子両極域同時観測

# 伊藤 弘樹 [1]; 水野 亮 [1]; 長濱 智生 [2]; 中島 拓 [1]; 大山 博史 [1]; 野澤 悟徳 [1]; 児島 康介 [1]; 川端 哲也 [1]  
[1] 名大・宇地研; [2] 名大・STEL

### Development of a millimeter-wave spectrometer for Tromso in Norway and simultaneous observations of NO in both polar regions

# Hiroki Ito[1]; Akira Mizuno[1]; Tomoo Nagahama[2]; Taku Nakajima[1]; Hirofumi Ohyama[1]; Satonori Nozawa[1]; Yasusuke Kojima[1]; Tetsuya Kawabata[1]  
[1] ISEE, Nagoya Univ.; [2] STEL, Nagoya Univ.

In the mesosphere and upper stratosphere, it is known that the nitrogen oxides such as nitrogen oxide (NO) and nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) are produced by energetic particle precipitations (EPPs) related to the solar activities (solar proton events, magnetic storms). We have carried out monitoring observations of NO at Syowa Station (Antarctica, 69.00 S, 39.58 E) since 2012 in collaboration with the Space and Upper Atmospheric Science group of NIPR and revealed two types of temporal variations of NO above Syowa; one is short-term variation lasting for a few days that is caused by EPPs, and the other is a seasonal variation that is mainly related to photochemistry (Isono et al., JGR, 2014). EPPs occur at the same time in both the southern and northern polar regions, while the variation pattern of daytime length is shifted by a half year between the two hemispheres. In order to distinguish direct effects of EPPs from indirect effects of the terrestrial origins such as photochemistry and atmospheric transport, we are going to install a new millimeter-wave spectrometer at Tromso(69.58 N, 19.23 E) in Norway.

The new millimeter-wave spectrometer is based on a prototype of the spectrometer that has been operated at Syowa Station. In the beginning, we will measure the NO emission line at 250.796 GHz. We redesigned the optical system, i.e. an elliptical mirror, a parabolic mirror, and the liquid nitrogen soaked cold-load as a reference noise source for calibration, since the spectrometer was originally designed not for the 250 GHz band but for the 100 GHz band. We also made some experiments to evaluate the receiver components such as a local signal sources and intermediate frequency circuits, which affect the receiver noise performance and liner response between input and output signals. The final assembled receiver system shows a good performance whose equivalent receiver noise temperature is ~60 K (DSB). We plan to start the NO observation at Tromso this winter and we will make comparative study of observational data both at Tromso and Syowa. We will present more details of the spectrometer system and experimental evaluation results.

極域の中間圏および上部成層圏では、太陽陽子イベントや磁気嵐などの太陽活動の影響により高エネルギー粒子が地球大気に降り込んだ際に窒素酸化物 (NO、NO<sub>2</sub>) の増加が起こることが知られている。我々は国立極地研究所の宙空圏グループと共に南極昭和基地 (南緯 69 度 00 分、東経 39 度 35 分) に設置したミリ波分光計によって 2012 年より NO のモニタリングを行い、高エネルギー粒子の降り込みに伴う数日の短期変動と日照による光化学反応が主として効いていると考えられる季節変動を明らかにしてきた (Isono et al., JGR, 2014)。高エネルギー粒子は磁力線に沿って地球の両極域にほぼ同時に降り込み、一方日照の影響は南北で半年程度の差が生じる。そこで本研究では、新たにノルウェー・トロムソ (北緯 69 度 35 分、東経 19 度 14 分) にミリ波分光計を設置し、南極昭和基地と併せて両極域で、NO のカラム量の変動を同時モニタリングすることにより、両極域の日照時間と大気輸送の違いから高エネルギー粒子の直接的な影響と日照や大気輸送などの間接的な影響を区別して捉え、それぞれの影響のより詳しいメカニズムを明らかにすることを目指している。

本研究で用いるミリ波分光計は、大気分子の回転遷移により放射されるミリ波の線スペクトルを分光観測する装置であり、観測対象は 250.796 GHz の NO の分子スペクトルである。ノルウェー向けの観測装置は、南極で使用されているものの試作機をベースに光学系を再設計することで開発した。元々 100GHz 帯用であった光学系を 200GHz 帯が観測できるようにするため、新たに楕円鏡、放物面鏡、基準雑音源 (液体窒素冷却黒体) の設計を行った。また、LO 系に用いる信号源の比較実験を行い観測に用いる逡倍器の選定と性能評価、および IF 系の各素子の性能評価と全体の線形性評価を行った。また実験室での観測装置の事前評価では、受信機全体の雑音温度測定で約 60K(DSB) の性能が得られることが分かった。今後、ノルウェー現地で観測装置の立ち上げを行ってモニタリング観測を開始し、両極域での NO カラム量の変動について解析を進めていきたいと考えている。

発表では、ノルウェーに設置する観測装置の詳細と評価実験結果、観測結果について報告する。

## 2011-2015年昭和基地レイリー/ラマンライダー観測を用いた高度15-70kmの重力波の年変動の研究

# 木暮 優 [1]; 中村 卓司 [2]; 江尻 省 [2]; 西山 尚典 [2]; 富川 喜弘 [2]; 堤 雅基 [2]  
[1] 総研大・複合・極域; [2] 極地研

### Study of annual variation of gravity wave over Syowa using Rayleigh/Raman lidar from 2011 to 2015

# Masaru Kogure[1]; Takuji Nakamura[2]; Mitsumu K. Ejiri[2]; Takanori Nishiyama[2]; Yoshihiro Tomikawa[2]; Masaki Tsutsumi[2]  
[1] Polar Science, SOKENDAI; [2] NIPR

The gravity waves are generated in the lower atmosphere, propagate upward and transfer momentum and energy to the middle atmosphere. It has been found that the gravity waves induce large scale meridional circulation and drive the middle atmosphere away from radiative equilibrium [Lindzen, 1981; Holton, 1982; Matsuno, 1982]. However, we have not completely known the quantification of gravity wave roles in the middle atmospheric circulation. A Rayleigh/Raman (RR) lidar was installed in January 2011 at Syowa Station, Antarctica (69S,40E). The lidar has measured temperature profiles between 10 and 80 km since February 2011.

In this study, we investigated monthly mean gravity wave potential energy ( $Ep$ ) in the height range of 15-70 km from May 2011 to October 2015 except for November, December and January. The number of nights used for this analysis is 360 nights in five years. Above 30km altitude,  $Ep$  was maximized during winter in each year. The seasonal dependence of  $Ep$  over Syowa was similar to  $Ep$  observed at Davis (69S,79E) [Alexander et al., 2011; Kaifler et al., 2014] and McMurdo (78S, 167E) [Lu et al., 2015]. Below 30km altitude,  $Ep$  was also maximized during winter in each year. The seasonal dependence was not consistent with previous radiosonde observations over Syowa [Yoshiki and Sato, 2000; Yoshiki et al., 2004].  $Ep$  over Syowa in the upper stratosphere was 30 % smaller during winter of 2015 than that during winter of the other years.

In this presentation, we will focus on the annual variation of  $Ep$ .

下層大気で発生した重力波は上方伝播し、中層大気へ運動量・エネルギーを輸送する。その効果は、中層大気の水平均風を変化させ、大規模子午面循環を引き起こし、中層大気の鉛直気温プロファイルを大きく変化させることが定性的に理解されている [Lindzen, 1981; Holton, 1982; Matsuno, 1982]。しかし、現在でも重力波の水平均風への定量的寄与は理解が不十分であり、南極域は特に観測例が少ない。そのため、国立極地研究所は南極昭和基地 (69S, 40E) にレイリー/ラマン (RR) ライダーを設置し、2011年2月から高度約10-80kmの気温観測を行い、重力波による気温擾乱を観測しており、現在も継続して観測している。

本研究では、昭和基地上空の高度15-70kmの月平均ポテンシャルエネルギー ( $Ep$ ) を2011年5月から2015年10月まで (11、12、1月を除く) 求めた。使用データ日数は360晩である。高度30-70kmの活動度は、レイリーライダー観測を用いて南極域上空の  $Ep$  を求めた先行研究 [Alexander et al., 2011; Kaifler et al., 2014; Lu et al., 2015] と類似した冬極大の季節変動が各年ともに見られた。また、高度15-30kmの活動度も冬極大であり、ラジオゾンデ観測を用いて南極域上空の  $Ep$  を求めた先行研究 [Yoshiki and Sato, 2000; Yoshiki et al., 2004] の春極大と異なる結果であった。年変動は、成層圏上部 (高度40-50 km) で2015年の冬 (5-8月) が他の年に比べて  $Ep$  が3割程低かった。

本発表では、昭和基地上空の5年間の  $Ep$  を比較し年変動について詳細に発表する予定である。

## 波長可変共鳴散乱ライダーにおける送信レーザ周波数モニタシステムの開発 ～極域MLT領域の鉛直風観測を目指して～

# 江尻 省 [1]; 西山 尚典 [1]; 津野 克彦 [2]; She Chiao-Yao[1]; 津田 卓雄 [3]; 高橋 透 [1]; 阿保 真 [4]; 和田 智之 [5]; 川原 琢也 [6]; 中村 卓司 [1]

[1] 極地研; [2] 理研; [3] 電通大; [4] 首都大・システムデザイン; [5] 理化学研究所基幹研; [6] 信州大・工

### Development of laser-freq. monitoring system for a resonance scattering lidar -To measure vertical wind in the polar MLT region-

# Mitsumu K. Ejiri[1]; Takanori Nishiyama[1]; Katsuhiko Tsuno[2]; Chiao-Yao She[1]; Takuo Tsuda[3]; Toru Takahashi[1]; Makoto Abo[4]; Satoshi Wada[5]; Takuya Kawahara[6]; Takuji Nakamura[1]

[1] NIPR; [2] RIKEN; [3] UEC; [4] System Design, Tokyo Metropolitan Univ.; [5] ASI, RIKEN; [6] Faculty of Engineering, Shinshu University

Large perturbations of vertical winds associated with aurora activities had been observed not only in the upper thermosphere but also in the lower thermosphere with Fabry-Perot interferometers (FPIs). However, passive observations such as FPI measurements do not provide the distance to the observation targets. Vertical distribution of vertical wind in the mesosphere and lower-thermosphere (MLT) region is still under investigation. We are developing a new resonance scattering lidar system as a part of a prioritized project of the Antarctic research observations to profile dynamical parameters such as temperature and wind, as well as minor constituents. The lidar system has a frequency-tunable Alexandrite laser as a transmitter. Vertical wind profiles can be potentially measured by the lidar if the accurate laser frequency is monitored each measurement. Our seeder-laser frequency is well tuned by a calibration using potassium vapor cell while the Alexandrite laser frequency shifts slightly toward higher frequency from the seeder-laser. So, we are developing a monitoring system of the differences between two laser frequencies determined using optical heterodyne method; Alexandrite pulsed laser is combined with continuous-wave (CW) seeder-laser in a optical fiber, and the resulting mixing product (beat signal) is then detected by a photo-diode. In this presentation, we introduce the monitoring system in detail and discuss a possibility of vertical wind measurements using some results of test observations in Japan.

## Time and height variability of Fe-layer in the Mesosphere and the Lower Thermosphere region at NIPR (36N, 140E)

# Takanori Nishiyama[1]; Mitsumu K. Ejiri[1]; Takuo Tsuda[2]; Toru Takahashi[1]; Katsuhiko Tsuno[3]; Makoto Abo[4]; Takuya Kawahara[5]; Satoshi Wada[6]; Takuji Nakamura[1]

[1] NIPR; [2] UEC; [3] RIKEN; [4] System Design, Tokyo Metropolitan Univ.; [5] Faculty of Engineering, Shinshu University; [6] ASI, RIKEN

The National Institute of Polar Research (NIPR) is leading a six year prioritized project of the Antarctic research observations since 2010. One of the sub-projects is entitled 'the global environmental change revealed through the Antarctic middle and upper atmosphere'. As a part of the sub-project, a Rayleigh/Raman lidar (RR lidar) was installed at Syowa, Antarctica (69°S, 39°E) in

January, 2011. The operation has been conducted since February 2011 and the RR lidar has kept measuring temperature profiles continuously between approximately 10 and 80 km for almost 3 years.

In order to extend the height coverage to include the mesosphere and the lower thermosphere (MLT) region, a new resonance scattering lidar system with tunable wavelengths lasers has been developed at NIPR in Tachikawa (35.7°N, 139.4°E).

The lidar transmitter is based on injection-seeded, pulsed alexandrite laser for 768-788 nm (fundamental wavelengths) and a second-harmonic generation (SHG) unit for 384-394 nm (second harmonic wavelengths). The laser wavelengths are tuned into the resonance wavelengths by a wavemeter that is calibrated and validated using a wavelength-stabilized He-Ne laser and a potassium vapor cell for doppler-free spectroscopy. This lidar has capabilities to measure density

variations of minor constituents such as atomic iron (Fe:386 nm), atomic potassium (K:770 nm), calcium ion (Ca<sup>+</sup>:393 nm), and nitrogen ion (N<sub>2</sub><sup>+</sup>:390, 391 nm) and temperature profiles in the MLT region. It can also estimate temperature profiles from the upper Stratosphere to the lower mesosphere using signals of Rayleigh scattering.

In this presentation, we will present time and height variability of Fe-layer in the MLT region. In addition, dynamical and/or chemical response to Sudden Stratospheric Warming and sporadic E-layer in the MLT region are also discussed.

## 共鳴散乱ライダーにより観測された中国と日本の中緯度スポラディックNa層の特性比較

# 阿保 真 [1]; 酒井 大士 [1]; 長澤 親生 [1]; 柴田 泰邦 [1]  
[1] 首都大・システムデザイン

### Comparison of characteristics of mid-latitude sporadic Na layer observed at China and Japan

# Makoto Abo[1]; Daishi Sakai[1]; Chikao Nagasawa[1]; Yasukuni Shibata[1]  
[1] System Design, Tokyo Metropolitan Univ.

The meteoric metal layers in the mesosphere and lower thermosphere region were observed by the resonance scattering lidars in many site of the world. Thin and high concentration layers called sporadic metal layers were frequently observed in summer over Tokyo (Nagasawa and Abo, 1995). High correlation between the occurrences of the sporadic Na layers and sporadic E layers suggests that the neutralization of the Na ion in the sporadic E layers was a source of the Na atoms. We present the comparison of statistical characteristics of sporadic sodium layers over China and Japan in mid-latitude. Lidar data were obtained at Beijing (40.2N), Hefei (31.8N), Wuhan (30.5N), Haikou (19.5N), (Dou et al., 2013) and Hachioji (35.6N).

#### References

- C. Nagasawa, and M. Abo, *Geophys. Res. Lett.*, 22,263-266, 1995.  
X.K.Dou et al., *J. Geophys.Res.*, 118, 6627-6643, 2013.

中間圏下部熱圏領域に成層する中性金属原子 (Na, Ca, K, Fe etc.) や金属イオン (Ca<sup>+</sup>) の観測が共鳴散乱ライダーにより世界各地で行われ、この領域の気体・イオン化学反応過程や力学的構造に関する貴重な情報が得られている。この領域ではしばしば層幅が狭くピーク密度の高い sporadic 金属層が観測される。特に日本の夏季には sporadic Na 層及び電離層の sporadic E 層の発生頻度が共に高いという観測結果 [1] から、中緯度においてはウィンドシアに伴い発生した電離層の sporadic E 層の構成要素である金属イオンが、中性 sporadic 金属原子層のソースになるとの説が提唱されている。近年、中国の北京 (40.2N)、合肥 (31.8N)、武漢 (30.5N)、海口 (19.5N) の4箇所で Na のライダー観測が行われるようになり、sporadic Na 層や thermospheric enhanced Na 層の統計的特性の比較が行われている [2,3]。そこで今回、我々が日本の八王子 (35.6N) において 1991~1997 年に行った Na ライダー観測データと論文に発表された中国のデータを用いて、中緯度で緯度の異なる 5 箇所の sporadic Na 層の統計的特性について条件を統一して相互比較を行った。比較した結果で最も顕著な特徴は、八王子の夏季の sporadic Na 層の発生頻度が他の 4 地点に比べて高い事である。講演では他の統計パラメータ (層幅、ピーク高度、ピーク密度、継続時間等) についての比較結果も紹介し、場所による特性の違いについて議論する。

#### 参考文献

- [1] C. Nagasawa, and M. Abo, *Geophys. Res. Lett.*, 22,263-266, 1995.  
[2] X.K.Dou et al., *Ann. Geophys.*, 27, 2247-22573, 2009.  
[3] X.K.Dou et al., *J. Geophys.Res.*, 118, 6627-6643, 2013.

## 国際宇宙ステーションからの観測による大気光の大規模構造の推定

# 北村 佑輔 [1]; 齊藤 昭則 [2]; 坂野井 健 [3]; 大塚 雄一 [4]; 山崎 敦 [5]; 穂積 裕太 [2]  
[1] 京大・理・地球物理; [2] 京都大・理・地球物理; [3] 東北大・理; [4] 名大宇地研; [5] JAXA・宇宙研

### Estimation of global scale airglow structure by observation from International Space Station

# Yusuke Kitamura[1]; Akinori Saito[2]; Takeshi Sakanoi[3]; Yuichi Otsuka[4]; Atsushi Yamazaki[5]; Yuta Hozumi[2]  
[1] Geophysics, Kyoto Univ.; [2] Dept. of Geophysics, Kyoto Univ.; [3] Grad. School of Science, Tohoku Univ.; [4] ISEE, Nagoya Univ.; [5] ISAS/JAXA

In the ionosphere, it is known to have a tidal structure that temperature and wind change periodically by receiving heat from the sun. Migrating tides are sun synchronous with their phase and non-migrating tides are not sun-synchronous, and migrating tides and non-migrating tides are caused by a different source. In the past, wave 4 structure of non-migrate tides, diurnal or semi-diurnal migrating tides have been observed, and it has been found that the amplitude and phase change by latitude and longitude. In addition, seasonal and annual changes of the tides have been observed, but its features can not be explained only by seasonal variation of solar radiation. So It is believed that other mechanisms exist.

In this study, we use 3-years observation data of the airglow of ISS-IMAP/VISI put on the International Space Station (ISS) from 2012 to 2015. The observation of VISI is carried out in the night and can observe all longitude area in a day. The observed wavelength is mainly 762nm, 730nm, 630nm, respectively 95km, 90km, 250km in height. Using these data, seasonal and annual changes of tides are analyzed about each of migrating and non-migrating tides. In addition, the difference due to the altitude, latitude and longitude are also made clear.

電離圏では太陽からの熱を受けて温度や風などが周期的に変化する潮汐構造を持つことが知られている。潮汐には変化が太陽の動きと同期する migrate なものと、そうでない non-migrate なものがあり、それぞれ異なるソースにより発生すると考えられている。これまでの潮汐の観測では波数4の non-migrate な潮汐や、1日周期や半日周期の migrate な潮汐が観測されていて、緯度、経度によって振幅の大きさや位相が変化することが分かっている。また、潮汐の季節変化、年変化も観測されているが、その特徴は太陽放射の季節変化だけでは説明ができないので、他のメカニズムが存在すると考えられている。

本研究では、国際宇宙ステーション (ISS) に搭載された ISS-IMAP/VISI の2012年から2015年の3年間の大気光の観測データを用いる。VISIの観測は夜間に行われ、1日で全経度域を観測することができる。また、観測波長は主に762nm、730nm、630nmで、それぞれ高さ95km、90km、250km付近の大気光が観測できる。これらのデータを用いて潮汐の季節変化、年変化を migrate、non-migrate のそれぞれについて解析する。また、潮汐の高度による違い、緯度、経度による特性も明かにする。



## MF レーダー観測および GAIA モデルデータを使用した中間圏重力波の日内変動に関する研究

# 木下 武也 [1]; 村山 泰啓 [2]; 川村 誠治 [3]; 陣 英克 [2]  
[1] JAMSTEC; [2] 情報通信研究機構; [3] NICT

### A study of the daily variation of mesospheric gravity waves using the MF radar observation and GAIA modeling data

# Takenari Kinoshita[1]; Yasuhiro Murayama[2]; Seiji Kawamura[3]; Hidekatsu Jin[2]  
[1] JAMSTEC; [2] NICT; [3] NICT

The neutral wind velocity data from mesosphere to lower thermosphere observed by MF radar at Poker Flat in Alaska has been observed since the late 1990s. The long-term wind velocity data at Poker Flat has been analyzed for 10 years of 1999 &#8211; 2008 to understand the coupling processes between mesospheric gravity waves and tidal waves in more detail. Climatological 1-day composite plots of semidiurnal components of zonal wind and GW-KE showed that the maximum of GW-KE occurs at Poker Flat when zonal wind is westward in summer and winter. It was confirmed that the phases between semidiurnal components of zonal wind and GW-KE are locked for more than 10 days in several years. The present study focuses on the phase lock events observed in winter and examines the daily variation of mesospheric gravity waves using observation data and GAIA modeling data. Next, we will discuss whether the observed events are the local events or not.

アラスカ・ポーカーフラットに設置された MF レーダーにより中間圏から下部熱圏における中性風速データが 1990 年代後半以降観測されている。発表者等はこれまで、重力波による平均流加速が潮汐波の影響を受けるのかを調べるため、10 年間 (1999~2008 年) の観測データを使用して、中間圏重力波と潮汐波の日内および季節変動の解析を行ってきた。その結果、平均的な特徴として夏季および冬季の短周期重力波の運動エネルギー (GW-KE) の半日周期成分が半日潮汐の東風時に最大となることがわかった。また、上記位相関係が複数の年において 10 日以上連続して続く位相ロック現象も見られた。本発表では冬季に見られた重力波特性に着目し、観測された位相ロック現象が全球で生じているものか否かを明らかにするため、観測データおよび GAIA モデルデータを用いて中間圏重力波の日内変動を調べた結果を報告する。

## 北極域の流星レーダーにより観測される両極性拡散係数の異常増大

# 堤 雅基 [1]; 小川 泰信 [1]; 野澤 悟徳 [2]; Hall Chris[3]  
[1] 極地研; [2] 名大・宇地研; [3] トロムソ大・TGO

### Anomalous ambipolar diffusion observed using meteor radars in the Arctic region

# Masaki Tsutsumi[1]; Yasunobu Ogawa[1]; Satonori Nozawa[2]; Chris Hall[3]  
[1] NIPR; [2] ISEE, Nagoya Univ.; [3] TGO, UiTO

Ambipolar diffusion coefficients are estimated through radar echo decay rates of ionized meteor trails. Information of neutral atmosphere temperature in the lower thermosphere can be further deduced from the ambipolar diffusion coefficient when electron and ion temperatures can be regarded the same with the neutral atmosphere temperature.

We found that the ambipolar diffusion was sometimes anomalously enhanced in Arctic meteor radar observations, which were very unlikely to be related to neutral atmosphere enhancement. Comparison between collocated EISCAT and meteor radars in Tromsø showed that enhanced electric field in the lower thermosphere were responsible for the anomalous ambipolar diffusion. This further indicates that meteor radar observations in polar regions can give a certain measure of electric field in the lower thermosphere and even the upper mesosphere, which is very difficult to observe without an incoherent scatter radar.

VHF 帯の流星レーダーを用いて電離流星飛跡からのエコーを観測すると、エコー強度の減衰からは、両極性分子拡散係数が推定される。電子およびイオンの温度が中性大気温度と等しいとみなせる条件下においては、両極性観測係数を中性大気温度の推定に用いる手法が開発されており、中低緯度から高緯度帯に位置する流星レーダーを用いた下部熱圏域の大気温度観測の研究がなされている [e.g., Tsutsumi et al., 1994;1996, Hocking et al., 1999;2004]。

国立極地研究所では、北極域のトロムソ (69N) およびスバルバル (78N) において流星レーダーを用いた下部熱圏域の観測を実施しているが、中性大気温度変動の影響とはきわめて考えにくい大幅な両極性分子拡散係数増大が時折観測されることが明らかとなった。具体的には、観測される流星エコーの継続時間が通常よりも極めて短くなる。冬季の夕刻を中心に見られるその現象は、概ね高度 90km 程度以上で確認され高高度ほど顕著であるが、高度 80km 程度の下層まで及ぶこともある。またその傾向はロングイヤビエンよりもトロムソにおいて顕著である。

トロムソ流星レーダーは、EISCAT レーダー施設に併設されており、両極性拡散に与える電離層の影響評価に好適な位置にある。これまでに行った EISCAT レーダー観測との比較からは、電離層電場の増大が両極性拡散増大に影響している可能性がきわめて高い。また高エネルギー粒子振込や電子密度増大による直接的な影響は見られない。電離層電場変動に伴う流星エコー観測高度での両極性拡散変動はこれまでに観測報告例がないが、両者を比較観測できる条件の整った観測地点がほとんどなかったことが一因と考えられる。本発見から、流星エコーを用いた中間圏高度域での電場評価手法を開発できる可能性がある。

## 成層圏準2年周期振動が中間圏・下部熱圏領域の年々変動に与える影響

# 山口 航平 [1]; 三好 勉信 [2]  
[1] 九大・理・地球惑星; [2] 九大・理・地球惑星

## The influence of the stratospheric QBO on interannual variability in the mesosphere and lower thermosphere

# Kohei Yamaguchi[1]; Yasunobu Miyoshi[2]  
[1] Earth and Planetary Sciences, Kyushu University.; [2] Dept. Earth & Planetary Sci, Kyushu Univ.

The QBO is an oscillation of the zonal wind in the equatorial lower stratosphere with a period of about 27 months. It is well known that the QBO affects the general circulation not only in the stratosphere but also in the mesosphere and lower thermosphere (MLT). In this study, the influence of the stratospheric QBO on the general circulation in the equatorial MLT is examined using long-term simulation data obtained by Ground-to-topside model of Atmosphere and Ionosphere for Aeronomy (GAIA). Our analysis indicates that the zonal mean zonal wind and temperature in the MLT are influenced by the stratospheric QBO. Moreover, from the viewpoint of the wave-mean flow interaction, we determine the atmospheric waves which make a quasi-biennial variation in the MLT.

準2年周期振動（QBO）は赤道上空の下部成層圏で、東風と西風が約27ヶ月周期で交代する現象であるが、その影響は他の高度域・緯度域に及んでいることが知られている。本研究では、成層圏QBOが中間圏・下部熱圏の大気循環に与える影響を調べ、成層圏QBOと周期的な一致が見られる領域を特定し、その原因について調べてみた。方法としては、大気圏-電離圏結合モデル（GAIA）での長期積分結果を用いて、赤道上空における5年間（2008-2012年）の変動からフーリエ変換を用いて2-3年周期の変動を抽出した。実際に成層圏QBOの東西平均東西風が西風の時には、中間圏では西風成分、下部熱圏では東風成分が強くなることが分かった。また温度においては、成層圏QBOに伴って温度が高くなる時には、中間圏では高温、下部熱圏では低温になる傾向が見られた。波と平均流との相互作用の観点から、この中間圏・下部熱圏領域の準2年周期変動を引き起こす大気波動を特定し、明らかにすることとした。さらに、中間圏・下部熱圏において大振幅となる大気波動について、大気波動を東西波数・周期で分類して解析することにより調べてみた。詳細な結果は当日発表する予定である。

## Longitudinal Structure of Ultra-Fast Kelvin Waves observed from Troposphere to Ionosphere

# Hisao Takahashi[1]; Kazuo Shiokawa[2]

[1] INPE; [2] ISEE, Nagoya Univ.

Longitudinal structures of the planetary scale Ultra-Fast Kelvin (UFK) waves (3-5 day period) were studied by using observed temperature fields from the troposphere-stratosphere (UKMO) and mesosphere(SABER/TIMED), wind fields in the MLT region (MF radar) and in the thermosphere (OI 6300/ FPI ), and Total Electron Contents (TEC) in the ionosphere (COSMIC). Among the several UFK events identified in the year 2011, we observed one event, on August 3 (DOY 215), which propagated from troposphere over Indian Ocean to mesosphere to ionosphere taking almost 30 days of propagation. The vertical phase velocity was  $\sim 8$  km/day. The present work demonstrates the source, longitudinal structure of the UFK wave and vertical propagation features.

## 大気圏電離圏シミュレーションを用いた大気上下結合の解析および精度改良に向けた取り組み

# 陣 英克 [1]; 三好 勉信 [2]; 藤原 均 [3]; 品川 裕之 [1]; 埜 千尋 [4]  
[1] 情報通信研究機構; [2] 九大・理・地球惑星; [3] 成蹊大・理工; [4] NICT

### Vertical atmospheric coupling studied with a long-term whole atmosphere-ionosphere simulation, and model validation and update

# Hidekatsu Jin[1]; Yasunobu Miyoshi[2]; Hitoshi Fujiwara[3]; Hiroyuki Shinagawa[1]; Chihiro Tao[4]  
[1] NICT; [2] Dept. Earth & Planetary Sci, Kyushu Univ.; [3] Faculty of Science and Technology, Seikei University; [4] NICT

The origins of upper atmospheric variations do not only come from the solar activities and rotation, but also from the Earth's lower atmosphere. In order to now-cast and forecast the upper atmospheric disturbances and variations, we have developed a whole atmosphere-ionosphere coupled model called GAIA. The model incorporates the Japanese meteorological reanalysis (JRA) into its lower atmospheric part as well as the daily F10.7 index, in order to reproduce the effects of realistic forcing both from the lower atmosphere and solar irradiance.

In this study, we report the results of vertical atmospheric coupling using a long-term GAIA simulation, especially about the effects of stratospheric sudden warming. We will also report the results from several updates of the model, such as improvement of ionospheric dynamics and energetics, and increase of model resolution.

超高層大気領域は人工衛星や地上 - 衛星間をつなぐ電波の通り道であり、その擾乱や変動は衛星の軌道や姿勢、また電波の伝搬に影響する。超高層大気の擾乱や変動の起源は、太陽フレアなど太陽面の活動が磁気圏を通して入ってくるだけでなく、地表付近の気象の影響も中層大気を通り入ってくることが知られてきた。我々は、電離圏・熱圏の全球分布を将来的に数値的に推測・予測するために、地表から熱圏上部までの中性大気領域と電離圏領域を相互に結合する大気圏電離圏結合モデル (GAIA) を開発してきた。そして、モデルの検証も兼ね、GAIA を用いて前太陽活動サイクル (1996 年～) 以降のシミュレーションを行い、データベースを構築している。

本研究では、そのデータベース利用して、下層大気における冬季の擾乱現象が電離圏など超高層大気にどのように影響を及ぼすか統計的に調べた結果を報告する。また、観測との比較・検証を行ったところ、今後の数値予測や大気研究への有効な活用のためには、モデルの高精度化を進める必要があると分かり、現在取り組んでいるモデル高精度化について紹介する。

## 全球大気モデル GAIA による中低緯度熱圏・電離圏ダイナミクスへの主磁場強度の役割

# 埜千尋 [1]; 陣英克 [2]; 品川裕之 [2]; 藤原均 [3]; 三好勉信 [4]  
[1] NICT; [2] 情報通信研究機構; [3] 成蹊大・理工; [4] 九大・理・地球惑星

### Role of the intrinsic magnetic field on low-to-middle latitudinal ionosphere-thermosphere dynamics and phenomena simulated by GAIA

# Chihiro Tao[1]; Hidekatsu Jin[2]; Hiroyuki Shinagawa[2]; Hitoshi Fujiwara[3]; Yasunobu Miyoshi[4]  
[1] NICT; [2] NICT; [3] Faculty of Science and Technology, Seikei University; [4] Dept. Earth & Planetary Sci, Kyushu Univ.

Intrinsic magnetic field is one of the most important parameters which determine the planetary space environment. The Earth's intrinsic magnetic field has been fluctuated between  $10^{22}$ - $10^{23}$  Am<sup>2</sup> in the past 0.8 million years and now under decreases at a rate of ~6% per century. In addition to the effect of the intrinsic field decrease on the ionosphere via electromagnetics, the atmosphere could be also modified by interactions through neutral-ion collision processes. Although CO<sub>2</sub> is another candidate which affects long-term variations of upper atmospheric temperature and wave structures, an evaluation of the effect of magnetic field on the upper atmosphere additionally provides an insight for the role of electromagnetics on the system. This study investigates the effect of intrinsic magnetic field on the coupled system using a numerical model, GAIA (Ground-to-Topside Model of Atmosphere and Ionosphere for Aeronomy), which solves physical and chemical dynamics of the whole atmosphere region from the troposphere to the exosphere under interactions with the ionosphere.

The model simulation is operated with a reduced (10%, 50%, and 75% of the current value) intrinsic magnetic field referring to February 2008 when the wave-4 structure was appeared and solar activity was quiet. In order to focus on the low-to-middle latitude profiles, this experiment excludes the cross-polar cap potential and auroral electron input.

The main results are summarized as follows: (i) Sensitivity of the neutral wind velocity, density, and temperature on the magnetic field is small, while dynamo electric field decreases and ionospheric conductance and current increase with decreasing intrinsic field. (ii) When magnetic field decreases, several waves are amplified in high altitudes. Plasma motion is less constrained by smaller magnetic field. The control of magnetic field also works on neutral dynamics and tide through the ion-neutral interaction. (iii) Diurnal variation of equatorial neutral wind jet is shifted to westward and super rotation velocity decreases to be ~55% when the magnetic field is reduced to be 10%. Since a larger amplitude of plasma motion due to less restriction by the smaller magnetic field brings more ion-drag effect, super-rotation feature would decelerate more effectively for the smaller magnetic field case.

惑星固有磁場は、惑星宇宙環境を特徴づける重要な一要素である。地球の主磁場は、過去 80 万年の間に  $10^{22}$ - $10^{23}$  Am<sup>2</sup> の範囲で変動し、1840 年頃から約 6%/100 年で減少している。主磁場の大きさが変わると、それに依存する電離圏電気伝導度等の電磁場を通して、電離層および電離圏と相互作用下にある大気圏は影響を受ける。これまで二酸化炭素量の長期変化の影響が多く研究されているが、地球磁場による影響評価は、電磁場のシステムにおける役割調査としての意義もある。本研究は、特に赤道域～中緯度の超高層待機ダイナミクス及び現象が磁場によってどのように影響するかに着目し、GAIA モデルを用いて評価を行った。

GAIA は、大気下層に気象再解析データを入力し、対流圏から熱圏までの大気圏と電離圏の大気物理・化学過程を解くモデルである。本研究では、4 波構造が電離圏・熱圏パラメータに見られ太陽活動も静穏な 2008 年 2 月の一ヶ月間について、磁場強度を現在値の 10%、50%、および 75% に変えた計算を行った。中低緯度に着目するため、極冠電場ポテンシャルおよびオーロラ電子降り込みを含まない設定で計算を行った。

得られた結果は以下である。(i) 計算された 250 km 高度面の全球平均値を比較すると、中性大気速度や電子密度の主磁場依存性は小さいのに対し、主磁場が減少すると、ダイナモ電場は磁場減少率程度に小さく、電離圏水平電流は大きくなった。(ii) 高高度の中性・電離大気の大気潮汐波動は、磁場強度が弱いほど振幅が大きく、磁場による電離大気の運動の制約が小さくなったことによる。(iii) 赤道域の東向き中性大気ジェットは減速し、磁場強度が 10% のときのスーパーローテーション速度は ~55% であった。磁場強度が弱いほどイオンドラッグの効果が大きくなり、より効果的に減速されたためと考えられる。

## D- and E-region ISR spectra measured with EISCAT radar facilities

# Yasunobu Ogawa[1]; Satonori Nozawa[2]; Masaki Tsutsumi[1]; Ingemar Haggstrom[3]  
[1] NIPR; [2] ISEE, Nagoya Univ.; [3] EISCAT HQ

The energy from the solar wind is mainly transported to the polar upper atmosphere and causes various phenomena such as auroras characterized by their rapid variability in time and space. Incoherent scatter radar (ISR) located in high latitude is one of the most powerful tools to investigate generation mechanisms of such phenomena and their effects on the atmosphere. The ISR basically gives information of plasma parameters between the bottom-side and topside ionospheres. However, the ISR has several unavoidable limitations to derive ionospheric parameters in the E- and D-region ionospheres, due to limited information of the ISR spectra.

We have investigated ISR spectra in the D- and E-region using the latest techniques of the EISCAT UHF and VHF radars located in Troms&#248; and EISCAT Svalbard radar in Longyearbyen. Our initial analysis indicates that the EISCAT Troms&#248; UHF and VHF radars have limitations of plasma parameter derivation below 87-90 and 120 km altitudes, respectively. We discuss lower limits of reliable ion temperature derivation using the latest pulse coding techniques of the EISCAT radars, comparing with ambipolar diffusion coefficients derived from the Troms&#248; and Longyearbyen meteor radar data at the same altitudes under geomagnetically quiet condition.

## スプラディック E 層内の電子温度構造に関する研究

# 坂本 優美花 [1]; 阿部 琢美 [2]; 三宅 互 [3]

[1] 東海大・工・航空宇宙; [2] J A X A 宇宙科学研究所; [3] 東海大・工

## A Study on electron temperature distribution inside the sporadic E layer

# Yumika Sakamoto[1]; Takumi Abe[2]; Wataru Miyake[3]

[1] Aeronautics and Astronautics, Tokai Univ.; [2] ISAS/JAXA; [3] none

## A Study on electron temperature distribution inside the sporadic E layer

The sporadic E (Es) layer is a well-known phenomenon and has been studied for a long time. Wind-shear theory is generally accepted about its generation mechanism. This theory explains an accumulation process of the electron density, but hardly gives information on thermal energy budget inside the layer. Although the electron temperature is one of the important parameters for discussing the thermal energy budget in the ionosphere, very few of reliable electron temperature are available for the discussion of energy budget inside the Es layer in the past. Thus, there were very few discussions about the thermal energy budget inside the Es layer.

The sounding rocket 'S-520-29' was launched from Uchinoura Space Center at 19:10 JST on August 17, 2014. The purpose of this experiment is to elucidate spatial structure of the Es layer in the lower ionosphere. Langmuir probe installed on this rocket is capable of making high-speed sampling of probe current, and thereby it is possible to estimate the electron temperature and density more than 10 samples per second. In addition, it becomes possible to obtain the temperature and density in shorter time interval by adopting a new method of interpolation for obtained current & voltage relationship. Data calculated by using such an interpolation based on Langmuir probe measurements suggest that the electron temperature significantly decreased inside the Es layer with respect to the background temperature. Furthermore, the detailed trend of the electron temperature from its boundary toward the center of Es layer was revealed due to the interpolation.

In this study, we will discuss a physical implication of the observed high electron temperature for energy budget inside the Es layer by conducting numerical calculation. The electron temperature distribution is estimated for various conditions of plasma density using electron energy equation. In this calculation, we assumed that there exists sporadic E layer at an altitude of 100 km. In order to discuss electron temperature variation inside Es layer, a peak electron density is assumed to be 10 times, 20 times, and 30 times larger than the background density. It was found that the electron temperature tends to decrease inside the Es layer where the electron density is more than 10 times larger than the background. According to the numerical calculation, the decrease of electron temperature is only 2.4 K while the observed decrease is about 450 K. Therefore, a dependence of various parameters such as plasma and neutral density on the electron temperature variation inside Es layer is studied. In addition, the past study was reviewed to investigate a relationship between the electron temperature variation and various parameters. For example, solar activity dependence of the electron temperature variation inside the Es layer was studied. We will present a result from such a consideration.

スプラディック E 層は突発的且つ局所的に現れる高密度電子層であり、古くから研究・観測がされてきた。その生成機構については wind-shear 理論が一般に受け入れられているが、この理論は電子密度の集積過程を説明するものの内部の熱エネルギー収支についてはほとんど情報を与えない。更に、電子温度は電離圏の熱エネルギー収支を議論する上で重要なパラメータであるが、過去にはスプラディック E 層内での十分に信頼性のある電子温度観測データは限られた報告例しか存在していない。したがって内部での熱エネルギー収支に関する議論は非常に少ない。

我々は、平成 26 年 8 月に打上げられた観測ロケット S-520-29 号機搭載のラングミュアプローブの観測データをもとに、スプラディック E 層内の電子密度・温度の空間構造の研究を行ってきた。その結果、スプラディック E 層内において、電子温度は外部との境界付近から中心に向かって温度が次第に減少していく傾向を明らかにした。

引き続き、この空間構造がどのようなメカニズムによるものかを議論するため、電子に関するエネルギー方程式を使用して密度が変化した場合の電子温度分布についての数値計算を行っている。この計算では、高度 100km にスプラディック E 層が存在すると想定し、この層内で最大電子密度が背景に対して 10 倍、20 倍、30 倍に増加した場合の電子温度分布を求めた。その結果、電子密度が高くなるにつれて、背景に対する電子温度の減少幅が徐々に下がっていく傾向が見られたが、その減少幅は観測値では約 450K であるのに対し、計算値では約 2.4K で差が大きい。そこで、数値計算で使用している多くのパラメータの中で、どの値を変化させれば電子温度減少幅が大きくなるかについて、検討を行った。例えば、数値計算の中で仮定している中性大気密度や温度、プラズマ中のイオン温度、電子加熱率等を変化させた場合の電子温度減少幅への影響について解析を行っている。これらを通して、どのような条件において電子温度減少幅が大きくなるかについての議論を行う。

スプラディック E 層内での電子温度分布については、数は少ないが過去に論文による報告があり、それらによれば背景に対して温度が上昇する場合と減少する場合がある。これらの電子温度観測は推定精度に疑問の残るものもあるが、まとめるとどのような条件で電子温度減少が観測されるのか、見えてくる可能性がある。さらに本研究と先行研究との比較を通して、スプラディック E 層内の電子温度変化と太陽活動度との関係性についても検討を行なった。本発表では、こ



これらの検討結果についての報告を行う予定である。

## スプライトを誘起した雷放電による上空電子密度擾乱の再現

# 佐藤 光輝 [1]; 平木 康隆 [2]; 足立 透 [3]; 牛尾 知雄 [4]; 森本 健志 [5]; 菊池 博史 [6]; 鈴木 睦 [7]; 山崎 敦 [8]; 高橋 幸弘 [9]  
[1] 北大・理; [2] 電通大; [3] 早大・高等研; [4] 大阪大; [5] 近畿大学; [6] 阪大・工・環境電磁; [7] JAXA・宇宙研; [8] JAXA・宇宙研; [9] 北大・理・宇宙

## Simulation of electron density inhomogeneity induced by sprite-producing lightning discharges

# Mitsuteru SATO[1]; Yasutaka Hiraki[2]; Toru Adachi[3]; Tomoo Ushio[4]; Takeshi Morimoto[5]; Hiroshi Kikuchi[6]; Makoto Suzuki[7]; Atsushi Yamazaki[8]; Yukihiro Takahashi[9]  
[1] Hokkaido Univ.; [2] UEC; [3] WIAS, Waseda Univ.; [4] Osaka Univ.; [5] Kinki University; [6] EMC, Osaka Univ.; [7] ISAS, JAXA; [8] ISAS/JAXA; [9] CosmoSciences, Hokkaido Univ.

JEM-GLIMS conducted the three-year nadir observations of lightning and TLEs from the ISS and succeeded in detecting 42 sprite events. From the JEM-GLIMS optical data, it is found that sprite location was clearly displaced from the location of the peak optical intensity of the sprite-producing lightning discharge, which might be related with the return stroke point. The average and median values of the displacement were estimated to be 13.3 km and 13.6 km, respectively. The final goal of this study is to clarify the physical mechanism creating such horizontal displacement of sprites from the parent lightning discharge and determining the horizontal distribution of sprites. Thus, we further analyzed VHF pulse data obtained by the VITF on board JEM-GLIMS and estimated the source locations of the VHF pulses emitted by the sprite-producing lightning discharge, which enable us to estimate the horizontal development of the sprite-producing lightning currents in the thundercloud. Then, we have carried out the numerical simulations to estimate the electron density inhomogeneity at the sprite altitude using the FDTD method. At the presentation, we will show the initial results of the electron density inhomogeneity derived from the FDTD simulations.

JEM-GLIMS は国際宇宙ステーションからの雷放電・スプライト直下視観測を約3年間継続し、42例のスプライトの検出に成功した。JEM-GLIMSの光学観測データから、これらスプライト発光は、帰還雷撃位置に相当すると推測される雷放電発光強度ピーク位置から水平方向に偏差し発生したことが明らかになった。水平偏差の平均値および中央値は、それぞれ13.3 kmと13.6 kmであった。本研究の最終目標は、この偏差がどのようなメカニズムによって発生し、スプライトの水平分布が何によって決まっているのかを明らかにすることにある。そこで我々は、JEM-GLIMSに搭載されているVHF干渉計(VITF)のデータをさらに解析し、スプライトを誘起した雷放電のVHFパルス放射源位置の推定を行った。またその結果と光学観測データから、雷雲内での水平雷放電電流の時間・空間進展を推定した。次に、水平雷放電が放射した電磁パルスがスプライト発生高度に誘起する電子密度擾乱を特定するため、FDTD法を用いた数値シミュレーションを行った。講演では、このFDTDシミュレーションで得られた初期結果を報告する。

## 台風通過時の電離圏変動のスペクトル解析

# 中田 裕之 [1]; 平林 慎一郎 [2]; 益子 竜一 [3]; 長南 光倫 [4]; 大矢 浩代 [5]; 鷹野 敏明 [6]; 富澤 一郎 [7]; 長尾 大道 [8]; 松村 充 [9]  
[1] 千葉大・工・電気; [2] 千葉大・工; [3] 千葉大・工・電気電子; [4] 千葉大・工; [5] 千葉大・工・電気; [6] 千葉大・工; [7] 電通大・宇宙電磁環境; [8] 統数研; [9] 名大 ISEE

## Spectral analysis of ionospheric disturbances associated with typhoons

# Hiroyuki Nakata[1]; Shin-ichiro Hirabayashi[2]; Ryuichi Mashiko[3]; Aritsugu Chonan[4]; Hiroyo Ohya[5]; Toshiaki Takano[6]; Ichiro Tomizawa[7]; Hiromichi Nagao[8]; Mitsuru Matsumura[9]  
[1] Grad. School of Eng., Chiba Univ.; [2] Grad. School of Eng., Chiba Univ.; [3] Faculty of Eng., Chiba Univ.; [4] Engineering, Chiba Univ.; [5] Engineering, Chiba Univ.; [6] Chiba Univ.; [7] SSRE, Univ. Electro-Comm.; [8] ISM; [9] ISEE, Nagoya Univ.

Recently, coseismic ionospheric disturbances (CIDs) are examined in detail in relation to the coupling between the ionosphere and the neutral atmosphere. In addition to CIDs, the ionospheric disturbances excited by extreme weather are also observed. In this study, we have examined ionospheric and atmospheric disturbances caused by typhoons, using HF doppler (HFD), which is maintained by The University of Electro-Communications, and a microbarometer located at Sugadaira, Nagano Prefecture. In analyses of HFD data, perturbations of doppler shift were observed in 10 of 23 events where typhoons come closer to Japan. The amplitude of perturbation are about 0.2 Hz. By dynamic spectral analyses, it is found that spectral intensity of perturbations at frequency from 5 mHz to 50 mHz were enhanced. Here Typhoon No.18 and No.26 in 2013 are examined in detail, with atmospheric pressure data obtained by a microbarometer in Sugadaira. Since spectral intensity of atmospheric pressure perturbations are also intensified at 5-50 mHz, it seems that ionospheric disturbances are caused by atmospheric perturbations occurred by Typhoons. As for temporal variations of spectral intensity of HFD at 1, 4, 30 mHz, the spectral intensity at 30 mHz were clearly enhanced when typhoon No.18 and No.26 passed japan, but not at 1 mHz and 4 mHz. Spectral intensities of HFD and atmospheric pressure at Sugadaira reaches its peak at the same time when the barometric perturbation at Sugadaira reaches its maximum. In order to reveal correlation between ionospheric disturbances and atmospheric perturbations caused by typhoons, it is important to calculate the atmospheric perturbations using a numerical simulation.

近年では、電離圏と中性大気との結合に関連し、地震に伴う電離圏変動について、かなり詳しく調べられるようになってきたが、地震のみならず、竜巻や台風等の激しい気象現象においても電離圏擾乱が観測されている。本研究では台風に着目し、HFD 観測、微気圧計により取得されたデータを用いて、両者の台風に伴う変動について解析を行った。HFD 観測について、23 例の台風のうち 10 例において、台風接近・通過日にドップラーシフトの振幅に変動を確認できた。またこれらの変動では、周波数解析により、5-50 mHz の帯域で、台風通過時にスペクトル強度の上昇がみられた。次に HFD 観測での変動確認例として台風 2013 年 18 号、2013 年 26 号の 2 事例について特に着目し、微気圧計データを用いて同様の解析を行った。その結果、HFD 観測結果と同様に、台風接近時に変動が観測され、そのスペクトルも同様の帯域で変動を示していることがわかった。このことから、HFD 観測において観測された台風通過時の電離圏変動は、台風により生じた大気波動が上空に伝搬したことによるものと考えられる。次に、低周波数域と高周波数域とで変動の違いが見られたことから、1、4、30 mHz でのスペクトル強度の時間変化について解析を行った。ダイナミックスペクトルにも見られたように、30 mHz でのスペクトル強度の上昇がもっとも顕著であるが、そのピークは微気圧計におけるスペクトル強度のピーク時刻とほぼ一致した。1、4 mHz でのスペクトル強度は、微気圧計でも変化は観測されたが、HFD 観測ではそれほど顕著ではなかった。これらの変化については、大気波動の数値計算より、確認を行う予定である。

## GPS-TEC と HF ドップラーを用いた火山噴火に伴う電離圏変動の解析

# 長南 光倫 [1]; 中田 裕之 [2]; 大矢 浩代 [3]; 鷹野 敏明 [4]; 富澤 一郎 [5]; 津川 卓也 [6]; 西岡 未知 [6]

[1] 千葉大・工; [2] 千葉大・工・電気; [3] 千葉大・工・電気; [4] 千葉大・工; [5] 電通大・宇宙電磁環境; [6] 情報通信研究機構

## The ionospheric disturbances associated with volcanic eruptions observed by GPS-TEC and HF Doppler

# Aritsugu Chonan[1]; Hiroyuki Nakata[2]; Hiroyo Ohya[3]; Toshiaki Takano[4]; Ichiro Tomizawa[5]; Takuya Tsugawa[6]; Michi Nishioka[6]

[1] Engineering, Chiba Univ.; [2] Grad. School of Eng., Chiba Univ.; [3] Engineering, Chiba Univ.; [4] Chiba Univ.; [5] SSRE, Univ. Electro-Comm.; [6] NICT

It is reported that ionospheric disturbances are caused by ground and atmospheric perturbations, e.g. earthquakes and typhoons. Even though the volcanic eruptions excite the atmospheric waves, there are few observations of ionospheric disturbances caused by volcanic eruptions. In this study, we have examined ionospheric disturbances associated with volcanic eruptions using GPS-TEC and HF Doppler (HFD).

We analyzed TEC data observed by observed in GPS Earth Observation Network (GEONET), which is maintained by Geospatial Information Authority of Japan. Each pairs of satellites and receivers determines the value of TEC every 30 seconds. In this study, TEC data whose mask angle is larger than 30 degrees is used. We calculated the spectral intensity of TEC perturbations by Fast Fourier Transform (FFT). We analyzed 19 volcanic eruptions in Mts. Asama, Ontake and Shinmoedake since 2000. As a result, the disturbances of TEC by volcanic eruption were detected in 2 events. Both events are the eruptions in Mt. Asama with medium-size explosion. The centers of the variations of TEC are located south of the volcano, which is the same as the case for earthquake. Therefore, the generation of the ionospheric perturbation associated with volcanic eruptions is the same process of that for the earthquakes. On the other hand, the disturbances of TEC at the frequency band of 7~12 mHz are shown, which is higher frequency than earthquakes.

We also analyzed HFD data transmitted from the Chofu campus of The University of Electro-Communications for 16 events in Mt. Asama. We used the data observed at Sugadaira which is the nearest observation point from Mt. Asama. As a result, variations of TEC were detected in 3 events. In these events, the spectral intensity has remarkable peaks at 3~5 mHz and 8~18 mHz. The peak at 3~5 mHz is due to acoustic resonance between the ground surface and the lower thermosphere as shown in variations of TEC associated with earthquakes. The perturbations around 8~18 mHz are also observed by GPS-TEC data, this caused that the pressure fluctuation excited by the explosion of the eruption directivity propagates to the upper ionosphere.

地震や台風など下層大気での現象に伴い大気波動が生じ、これにより電離圏擾乱が引き起こされることが知られている。火山噴火に伴い大気波動が生じることは知られているが、火山噴火に伴う電離圏擾乱の観測事例はそれほど多くない。そこで本研究では、火山噴火に伴う電離圏の変動について、GPS-TEC(Total Electron Content) データと短波ドップラー (HF Doppler : HFD) を用いて解析を行った。

GPS-TEC データは、国土地理院の GPS 連続観測システム (GPS Earth Observation Network : GEONET) により導出されるものを用いた。TEC データは各衛星-受信機のペアにおいて導出される。解析には、GEONET の受信点約 1200 点、衛星仰角 30 度以上の 30 秒値データを用いた。高速フーリエ変換 (Fast Fourier Transform : FFT) によりスペクトル強度を算出し、TEC の変動を検証した。解析対象は、2000 年以降に浅間山、御嶽山および、新燃岳で発生した噴火 19 事例とした。結果、19 事例中 2 事例で火山噴火に伴う TEC 変動が検出された。いずれも中爆発規模の浅間山における噴火である。TEC 変動はいずれも火山の南側で顕著であり、地震の場合と同様である。しかし変動は 7~12 mHz の周波数帯域で確認された。これは地震時に観測されるものより高い周波数である。

さらに、GPS-TEC より変動が検出された 2 事例を含め、浅間山で発生した噴火 16 事例を対象に、電気通信大学の短波ドップラー (HFD) 観測データを用いて解析を行った。解析には浅間山火山口に最も近い観測点である、菅平の 5.12 秒値の観測データを用いた。結果、16 事例中 3 事例で変動が確認された。FFT を施した結果、3~5 mHz の帯域と 8~18 mHz の帯域にそれぞれピークが見られる傾向にあった。3~5 mHz の変動は地震に伴う TEC 変動で卓越する帯域で、地面の変動により発生した波動が地表と下部熱圏との間に閉じ込められて定在波となり、電離圏まで漏れて到達してくることに起因する。これより、火山噴火に伴う TEC 変動も同様のメカニズムをもつことが示唆される。しかし、GPS-TEC では変動が見られず、その原因については今後調べていく必要がある。8~18 mHz の帯域に見られるピークは、噴火の爆発規模に由来し、噴火の爆発により生じた圧力変動が電離圏に伝わったものではないかと考えられる。また、GPS-TEC による解析で見られた 7~12 mHz の変動と同様のものをとらえたと考えられる。

## 超高層大気を伝搬する超低周波の火山爆発音: GNSS-TEC法による波面構造と音響エネルギー推定の試み

# 中島 悠貴 [1]; 青木 陽介 [2]; 西田 究 [2]; 日置 幸介 [3]  
[1] 北大・理・自然史; [2] 東大・震研; [3] 北大・院理・自然史

### GNSS-TEC observations of infrasound excited by a volcanic eruption: Inference of wave front geometry and acoustic wave energy

# Yuki Nakashima[1]; Yosuke Aoki[2]; Kiwamu Nishida[2]; Kosuke Heki[3]  
[1] Natural History Sciences, Hokkaido Univ; [2] ERI, The Univ. of Tokyo; [3] Hokkaido Univ.

<https://www.sci.hokudai.ac.jp/~nakashima0124/>

#### 1. Volcanic infrasound propagating in the upper atmosphere

Volcanic eruptions excite various oscillations depending on various factors. Very low frequency infrasound (~5 mHz) can reach the upper atmosphere and are often observed as ionospheric fluctuations. We can see three types of ionospheric disturbances excited by volcanic eruptions: (1) acoustic trap mode (e.g. Dautermann et al., 2009ab GJI/JGR; Nakashima et al., 2016 EPSL), (2) atmospheric internal gravity wave (e.g. Ogawa et al., 1982 JATP; Robert et al., 1982, JGR; Igarashi et al., 1994 JATP) and (3) traveling acoustic waves come from volcanic explosion (e.g. Heki 2006 GRL). The third one is important to improve our knowledge of acoustic energy by volcanic explosions because we cannot detect infrasound propagating upward by barometers deployed on the ground.

We found ionospheric disturbances made by the Kuchinoerabujima volcano eruption on 29 May, 2015, using the GNSS-TEC method. This case is similar to the 2004 Asamayama volcano explosion (Heki, 2006), and we tried to estimate the energy of the acoustic wave. In this presentation, we will compare TEC perturbations and surface pressure changes.

#### 2. Observations and analyses

We use 1 Hz-sampled GEONET data (GPS/GLONASS) from stations in Southwest Japan. Conversion from slant-TEC to vertical-TEC was done using the minimum scalloping (Rideout & Coster, 2006 GPS Solut).

In order to evaluate acoustic energy in the ionosphere, we need to know the wave front geometry precisely from the following two viewpoints. At first, we should account for coupling between acoustic wave and ionospheric electron movements that strongly depends on geomagnetic field. This is important to convert from TEC perturbation to pressure changes in the neutral atmosphere. Secondly, we have to integrate the energy density along the wave front to estimate the acoustic energy (Johnson, 2003, JVGR; Dautermann et al., 2009a). This is why we want to know the wave front geometry in the ionosphere.

We used apparent velocities calculated from cross correlation function of the TEC disturbances to infer the wave front geometry. Previous studies discussed wave fronts calculated by ray-tracing (e.g. Heki 2006; Dautermann et al., 2009a; Rolland et al., 2013 GRL). However, ray tracing may be inappropriate to such a case because it assumes very short wave length compared with the scale height. Accordingly, we estimated the incident angles from the apparent wave velocities assuming that the ionosphere is a thin layer located at 300 km above the surface (thin-layer model).

#### 3. Wavefront geometry and acoustic energy

We derived incident angles, and they were similar to those we obtained by ray tracing. In addition, we found that the incident angles inferred in this way had significant dependence on azimuths. We need to find out whether it is real or an apparent phenomenon caused by stations-satellites-wave geometry. We are now trying to estimate the energy, but it varies around the estimated value for the 2004 Asama volcano case ( $10^{17}$  J; Heki, 2006). We will consider the effect of wind or the geometries. We will compare the TEC and barometer records to estimated comprehensive energy in this presentation.

#### Acknowledgement

1 Hz-sampled GNSS RINEX data were provided by Geospatial Information Authority of Japan. We used NRLMSISE-00 as atmospheric input parameters. We acknowledge them with gratitude.

#### 1. 火山噴火に伴う超高層大気中の波動

火山噴火はその規模や様式に応じて様々な大気振動を励起する (see Fee & Matoza, 2013, JVGR)。その中でも特に長周期の波動 (~5 mHz) は超高層大気 (高度 ~300 km) まで到達し、まれに観測されてきた。今までに報告されてきた火山噴火に伴う超高層大気の擾乱は三つに分類できる。大気の音波モードによるもの (e.g. Dautermann et al., 2009ab, GJI, and JGR; Nakashima et al., 2016, EPSL)、大気重力波モードによるもの (e.g. Ogawa et al., 1982, JATP; Robert et al., 1982, JGR; Igarashi et al., 1994, JATP)、そして爆発的な火山噴火に伴う衝撃波が届いたと思われるもの (e.g. Heki 2006, GRL) である。この中でも、最後に紹介した衝撃波による擾乱は、地上の気圧観測では捉えられないほぼ真上に放出された波動を捉えていることが期待できる。したがって、火山爆発エネルギーの推定値をよりよく拘束する可能性があり、興味深い。

我々は GNSS-TEC 法により、2015 年 5 月 29 日に発生した口永良部島火山の噴火に伴って発生した超高層大気中を伝搬する波動を見出した。今回得られた波形は、Heki (2006) で報告された火山爆発に伴う擾乱とよく似ていた。そして解析結果より、その構造と音響エネルギーの推定を試みた。本講演では、その解析結果との下層大気中での波動の特徴とを比較し、議論する。

## 2. 観測データと解析方法

今回、GNSS-TEC の解析には西日本の GEONET 観測点で得られた GPS と GLONASS の 1 秒サンプリングデータを使用した。なお今回は VTEC を算出したが、その推定には Minimum scalloping 法を使用している (Rideout & Coster, 2006, GPS Solut.)。

電離圏中での音響エネルギーを推定するためには音波波面の形状の推定が 2 つの意味で重要である。まず、Heki (2006) ではまず圧力を推定し、そこから音響エネルギーを算出する。このとき、中性大気圧力をきちんと算出するためには、Heki (2006) では無視をしているが、波面と磁場の向きの差による効果 (coupling coefficients; Calais et al., 1998, GJI) を補正する必要がある。それに加えて、Heki (2006) では、Johnson (2003, JVGR) の (2) 式をそのままもちいている。しかし、Johnson (2003) の (2) 式は、地上での観測を仮定しているために大気密度および音速が一定であることを仮定している。そこで、Dautermann et al. (2009a) においては、波面を仮定し波動の広がりに対して体積積分をとることで解決を試みている。これらの理由から、我々はまず電離圏中での波面を推定することを目指した。

波面の推定には、TEC 擾乱の相互相関関数より得られる見かけ速度をもちいた。先行研究においては電離圏中を伝搬する波面の特徴を推定するためによく使われる最も簡単な方法としてレイトレーシング法がよくもちいられる (e.g. Heki, 2006; Dautermann et al., 2009a; Rolland et al., 2013, GRL)。しかしレイトレーシング法は極端な短波長を仮定する方法であるために、今回の標的である周期百数秒程度の波動ではうまく近似されていない可能性がある。そこで、我々は電離圏が高度 300 km に薄い層として存在している状態 (Thin-shell model) を仮定し、相互相関関数より得た TEC 擾乱の見かけ速度から電離圏での音波の入射角を推定した。

## 3. 波面の構造とエネルギー密度

見かけ速度の解析の結果、おおむねレイトレーシングの結果と同様の値が得られた。それに加え、伝搬する方向により、異なる系統が見られる。この南北での入射角の違いが実際の伝搬の異方性を示すものなのか、もしくは衛星視線と波面との位置関係により北側と南側とでもっとも大きく反映する高度が違ったためなのかを判断する必要がある。エネルギーの推定に関しても、現在試みている。その推定値は Heki (2006) と同様のオーダー ( $10^{17}$  J) 算出されるが、値が大きくばらつく。今後、波面のモデルの検討に加えて、衛星視線や風の効果も考えていく予定である。

講演当日は、これら TEC から推定される波面やエネルギーの推定値と地上での気圧観測から得られた値とを統合的に解釈し、議論したい。

## 謝辞

GEONET の RINEX 1 Hz サンプリングのデータは、国土地理院に提供して頂いた。また、各種大気パラメータには NRLMSISE-00 の値を使用した。ここに記して感謝する。

## 地震による電離圏全電子数変動の空間分布の解析

# 正村 駿 [1]; 中田 裕之 [2]; 大矢 浩代 [3]; 鷹野 敏明 [4]; 津川 卓也 [5]; 西岡 未知 [5]  
[1] 千葉大・工・電気; [2] 千葉大・工・電気; [3] 千葉大・工・電気; [4] 千葉大・工; [5] 情報通信研究機構

### Analysis of spatial distributions of total electron content variations associated with earthquakes

# Shun Shomura[1]; Hiroyuki Nakata[2]; Hiroyo Ohya[3]; Toshiaki Takano[4]; Takuya Tsugawa[5]; Michi Nishioka[5]  
[1] Electrical and Electronic Eng., Chiba Univ.; [2] Grad. School of Eng., Chiba Univ.; [3] Engineering, Chiba Univ.; [4] Chiba Univ.; [5] NICT

It has been reported that ionospheric disturbances occur by giant earthquakes. This is because the acoustic wave and atmospheric gravity wave excited by ground perturbations or tsunami propagate into the ionosphere.

In the previous studies, the perturbations of total electron content (TEC) associated with earthquakes have been confirmed by the frequency analysis of time-series data of TEC observed in Japanese GPS receiver network (GEONET). In this study, we have analyzed the latitudinal and longitudinal distributions of TEC variations by gaussian fitting. We examined the correlations of both spatial distributions of TEC variations with the magnitude. Ionospheric pierce points are assumed to be located at the height of the 350 km are determined. We calculated the spectral intensity in each frequency bands by the fast Fourier transform processing. We analyzed the 6 earthquakes of more than M6.8 that occurred around Japan since 2000.

As a result of the analysis, it is confirmed that the latitudinal distribution of TEC variations is highly correlated with the magnitude, while longitudinal one is not. In the events that occurred along the coast, however, the disturbances due to the ground perturbations were appeared. Therefore, the further examinations are necessary to make clear the relationship between the spatial distributions and the magnitude.

巨大地震発生により電離圏擾乱が発生することが報告されている。これは地震による地面の変動や津波により発生した音波や大気重力波が電離圏に伝搬したためと考えられている。

先行研究では、国土地理院のGPS受信機網であるGPS連続観測システム(GEONET)により観測された電離圏全電子数(Total Electron Content: TEC)の時系列データを周波数解析することで、周波数帯域毎の地震によるTEC変動が確認されている。そこで本研究では、GEONETにより得られたTECの時系列データを周波数分解し、各帯域で算出したTEC変動の空間分布について解析を行った。ガウシアンフィッティングを用いて解析を行い、TEC変動の緯度方向および経度方向の広がりを求め、マグニチュードの相関を調べた。電離圏は高度350 kmにある薄層と仮定し、貫通点を求めた。また、TECの時系列データに高速フーリエ変換(Fast Fourier Transform: FFT)を施すことにより周波数帯域毎のTECのスペクトル強度を算出した。

2000年以降に発生した地震のうち、TEC変動の空間的広がりを確認できる6事例について解析を行ったところ、緯度方向ではTEC変動の空間分布とマグニチュードの相関は高いが、経度方向の広がり相関が小さいことが明らかになった。ただし、変動が見られた地震は海岸沿いで発生したものも多く、津波の影響と地面の振動による影響が混ざっていると思われる事例もあり、空間的広がり地震の規模との関係については、より詳細な解析が必要と思われる。

## A development of software defined FMCW ionosonde based on the GNU Radio

# Takuya Tsugawa[1]; Hiromitsu Ishibashi[1]; Takumi Kondo[2]; Mamoru Ishii[1]  
[1] NICT; [2] NICT

NICT's portable and low-power FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) ionosonde system has been under operation for over 10 years at 5 sites in 4 countries in Southeast Asia: Chiang Mai and Chumphon (Thailand), Kototabang (Indonesia), Bac Lieu (Vietnam) and Cebu (Philippines). This ionospheric observation network, called as the Southeast Asia Low-latitude Ionospheric Network (SEALION), has basically been operated remotely via the internet. However, because of system deterioration and frequent lightning damages in Southeast Asia monsoonal region, it becomes difficult to maintain the system and keep observations. In addition, supply of some of important ICs, such as the FPGA embedded in FMCW ionosonde, will be stopped in the near future. The development of a new ionosonde system is necessary to improve the SEALION. We have started developing a GNU Radio based software defined FMCW ionosonde system using the Ettus Research USRP X300 as a software defined radio (SDR) platform. The additional frontend unit is also necessary to keep using peripheral units of current FMCW ionosonde system.

As for the receiving system, we have successfully gotten ionograms using the transmitting system of current FMCW ionosonde and the Ettus Research USRP X210 in place of X300. In this presentation, we will present the progress of the system designing and development of the software defined FMCW ionosonde system.



## ロケット GPS-TEC トモグラフィ法の高度分解能評価

# 池端 祐太朗 [1]; 芦原 佑樹 [2]; 石坂 圭吾 [3]

[1] 奈良高専・専攻科・電子情報; [2] 奈良高専・電気; [3] 富山県大・工

## Evaluation of the altitude resolution in Rocket GPS-TEC Tomography method

# Yutaro Ikehata[1]; Yuki Ashihara[2]; Keigo Ishisaka[3]

[1] Elec. Eng., Nara NCT; [2] Elec. Eng., Nara NCT.; [3] Toyama Pref. Univ.

As an approach to observe an electron density profile in the ionosphere, there is the remote sensing method called GPS-TEC method, which calculates the total electron counts (TEC) on the transmission path of GPS wave, from its propagation delay time. By applying tomography analysis on TEC values in multiple paths, which have one dimensional information, the electron distribution profile can be earned as two dimensional data, and this method is called GPS-TEC tomography method. However, this method has a defect, that it has nothing more than low resolution in the altitude direction because the paths of TEC values are biased in altitude direction.

In order to enhance the altitude resolution, we have proposed “Rocket GPS-TEC Tomography method”, which applies tomography analysis on the TEC values earned by the GPS-TEC receiver on the sounding rocket. Compared to the conventional GPS-TEC tomography, this method can observe TEC values in horizontal paths, as the sounding rocket navigates around the lower ionosphere except the underside of it. By this approach, we assumed that altitude resolution of the tomography result will improve.

In this paper, we verify the efficacy of the proposed method through simulation experiment. In particular, we calculate the observed TEC value based on the predicted rocket trajectory and an assumption ionosphere model. The sinogram, which is necessary for tomographic analysis, is built with the observed TEC value. The reconstruction ionosphere model can be obtained by analyzing the sinogram. And we evaluate the efficacy of the proposed method with comparing the assumption and the reconstruction ionosphere model.

## GEONET 電離圏 3次元トモグラフィのシステム開発

# 山本 衛 [1]; 水野 遼 [1]; 斎藤 享 [2]; 齊藤 昭則 [3]

[1] 京大・生存圏研; [2] 電子航法研・航法システム; [3] 京都大・理・地球物理

### System Development related to the 3D ionospheric tomography with GEONET

# Mamoru Yamamoto[1]; Ryo Mizuno[1]; Susumu Saito[2]; Akinori Saito[3]

[1] RISH, Kyoto Univ.; [2] NAV Department, ENRI; [3] Dept. of Geophysics, Kyoto Univ.

Recently, we successfully started the 3-dimensional (3D) tomography analysis of the ionosphere over Japan in near real-time bases. The service is based on the GPS-TEC data from the GEONET. We continue developing the 3D tomography system in the following ways; One is to analyze existing GEONET data, and the other is the web-based data handling service. The former includes the 3D tomography on demand, and the development of 3D tomography database. The latter is necessary to help users to acquire 3D image of the ionosphere. We will show design and current status of these developments.

## GPS データを用いた全電子数絶対値推定方法の改良

# 山脇 景太 [1]; 大塚 雄一 [2]; 塩川 和夫 [2]  
[1] 名大・ISEE; [2] 名大宇地研

## Improvement of a method to obtain absolute total electron content using dual-frequency GPS receiver

# Keita Yamawaki[1]; Yuichi Otsuka[2]; Kazuo Shiokawa[2]  
[1] ISEE, Nagoya Univ.; [2] ISEE, Nagoya Univ.

The dual frequency radio signals of the Global Positioning System (GPS) allow measurements of the total number of electrons, called total electron content (TEC), along a ray path from GPS satellite to receiver. TEC obtained from carrier phase is accurate, but absolute value of TEC is unknown because initial phase of the GPS signal is unknown. Using the pseudorange of the GPS data, absolute value of TEC can be obtained although instrumental biases are included in the TEC. Otsuka et al. (EPS, 2002) have developed a method to remove the instrumental biases to obtain absolute TEC by using a least squares fitting procedure. In this method, it is assumed that the hourly average of vertical TEC is uniform within an area covered by a receiver; this area approximately corresponds to a surrounding of 1000 km. This assumption is valid at mid-latitude, but at equatorial region, spatial gradient of TEC is larger, which could cause estimation errors. In this study, we have improved this method by considering spatial gradient of hourly-averaged vertical TEC, and have applied improved method to the GPS-TEC data at low-latitudes, where the equatorial anomaly exists. Comparison between the original and improved methods shows that residual for the least-square fitting procedure in the improved method is reduced to 50% in the original method. We also have found that latitudinal gradient of TEC is consistent with that associated with equatorial anomaly.

GPS(Global Positioning System) 衛星から、1575.42 MHz と 1227.60 MHz の 2 つの周波数の電波が送信されている。電離圏中を電波が通るとき、真空中に比べて電波の位相速度は早くなり、群速度は遅くなる。この光速からのずれの大きさは、電波の周波数の 2 乗に反比例し、電波の伝搬経路中のプラズマの積分量に比例する。従って、2 つの周波数の電波を受信することにより、衛星-受信機間に存在するプラズマの積分量、つまり全電子数 (Total Electron Content; TEC) を算出することができる。GPS の搬送波位相データから算出される TEC は、その変動成分について非常に精密に測定されるが、搬送波位相の初期位相が不明なため、TEC の絶対値は求められない。一方、疑似距離から求められる TEC には、送受信機のハードウェアに起因するバイアス (周波数間バイアス) が含まれるという問題があることが知られている。Otsuka et al. (EPS, 2002) は、この周波数間バイアスを推定し、TEC の絶対値を求める方法を開発しているが、この方法では、ある受信機機について、全ての衛星から得られる TEC の一時間平均値は、等しいと仮定している。これは、水平方向に約 1,000km の範囲内で TEC の空間変動がないと仮定していることになる。この仮定は、中緯度では、比較的良い近似であるが、地磁気的低緯度にあたる赤道異常が起こる緯度帯では、TEC の空間変動が大きく、この仮定から大きく外れる。このため、地磁気的低緯度では、絶対値 TEC の推定精度は劣化すると考えられる。そこで、本研究では、絶対値 TEC を推定する過程において、TEC の空間勾配を考慮する改良を行った。この改良した方法を赤道域で得られた GPS-TEC データに適用した結果、絶対値 TEC とバイアスを求める際に行う最小二乗法において、残差を約半分ほどにすることができた。また、得られた緯度勾配は、赤道異常の発達による TEC の空間勾配を表していることが確かめられた。

## 1周波GPS信号からの電離層TEC推定手法におけるTEC観測モデルの検討

# 松井睦 [1]; Win Zaw Hein[1]; 後藤由貴 [1]; 笠原 禎也 [1]  
[1] 金沢大

## Development of ionospheric TEC observation model from single frequency GPS signals

# Atsushi Matsui[1]; Win Zaw Hein[1]; Yoshitaka Goto[1]; Yoshiya Kasahara[1]  
[1] Kanazawa Univ.

Ionospheric delay in GPS signal is one of the important information sources to probe electron density distribution in the Earth's ionosphere. Total electron content (TEC) along signal paths is accurately estimated by using two different frequency GPS signals because only ionospheric delay depends on frequency among errors in GPS ranging. Dual frequency GPS receiver is, however, expensive. In this study, we developed an estimation method for ionospheric TEC distribution using multiple single frequency GPS receivers. The method is expected to realize ionospheric TEC observation at low cost.

In the method, ionospheric effect is extracted by removing errors except for ionospheric delay from difference between real and observed distances in the GPS. The GPS signals are assumed to be measured at observation sites whose locations are accurately known. In order to obtain TEC distribution from single frequency GPS signals, it is necessary to separate effects of ionospheric delay and receiver clock errors in the difference in distance. We then constructed an observation model that TEC is assumed to vary smoothly for space and time, and the receiver clock error is for time. In addition, we adopted an accurate elevation angle model with a parameter of height of ionosphere. We used a least squares method to find the optimum parameters. By comparing estimated TEC distribution with that from dual frequency data obtained by GEONET (Japanese GNSS observation network), it is confirmed that the developed method works well during geomagnetic quiet periods.

電離層の電子密度を観測する手法の一つとして、GPS信号の遅延を利用する方法がある。GPSの誤差の中で電離層遅延のみが周波数依存性を持つことから、2周波のGPS信号の観測により、経路に沿った電子密度の積分値(TEC)を高精度で計測することができる。一方、2周波の受信機は高価であるため容易には入手できないという問題がある。本研究では、安価な1周波受信機を用いてGPS信号を多点観測することで、電離層のTEC分布を計測する手法を確立することを目的とする。1周波受信機によるTEC計測を実現することにより、2周波のGPS受信機網が整備できない地域においてもGPSの観測網を展開することが可能になると期待される。

1周波GPS信号による電離層観測は、測距信号で計測した衛星-受信機間の距離(擬似距離)と真の距離との差から、電離層遅延以外の誤差をすべて差し引くことで実現される。誤差の主要因として、衛星軌道、衛星クロック、対流圏遅延、マルチパス、受信機雑音そして受信機クロックが挙げられる。このうち衛星軌道と衛星クロックについては、精密軌道暦を使うことでセンチメートル以下の誤差になる。一般に鉛直TECは、数メートルから10数メートルの値になることから、TEC測定という観点において精密軌道暦の誤差は無視することができる。マルチパスの影響は、仰角マスクおよび観測地点の選定により低減させるようにした。以上より、1周波GPS信号によるTEC分布推定の問題は、電離層遅延と各受信機クロック誤差を未知数としてモデル化し、それらをいかに独立に求解するかという問題に帰着できる。両者の差異は、伝搬経路に対する依存性の有無である。

本研究では、TEC分布が空間および時間に対して滑らかに変動し、かつ各受信機のクロック誤差が時間に対して滑らかに変動するという空間的・時間的連続性を仮定したモデルを構築し、モデル誤差が最小となるように最適値探索を行う手法をとった。また、電離層遅延の仰角依存性として、電離層高度をパラメータとしたより高精度なモデルを採用した。日本のGPS多点観測網(GEONET)で取得されたデータに対して本手法を適用して得られたTECと受信機クロックの誤差について2周波のデータと比較したところ、電離層の密度分布の変化が激しくない期間については、一定の精度でTECの推定に成功していることが確認された。

## 電離圏下部領域における電子密度自動推定

# 中澤 涼太 [1]; 三宅 壮聡 [2]; 石坂 圭吾 [3]  
[1] 富山県立大・工・情報; [2] 富山県大; [3] 富山県大・工

## Improvement of the electron density automatic estimation algorithm in the ionosphere lower region

# Ryota Nakazawa[1]; Taketoshi Miyake[2]; Keigo Ishisaka[3]  
[1] Information System, Toyama Pref. Univ.; [2] Toyama Pref. Univ.; [3] Toyama Pref. Univ.

In the lower ionosphere, the approximate electron density profile can be estimated from the comparison between these observation results obtained by sounding rocket and propagation characteristics calculated with Full wave method. This estimation process, which is so-called &quot;wave absorption method&quot;, has some problems. At first, we have no clear standard for comparing observation results and propagation characteristics calculated with Full wave method. In addition, we have to iterate many times correcting the electron density profile by handwork, calculating propagation characteristics with Full wave method and comparing observation results and calculated propagation characteristics. This iteration takes too long to estimate appropriate electron density profile. To reduce these problems, we developed an application to realize automated estimation of electron density profile by analyzing radio wave propagation characteristics.

In the past of the research, they were estimated electron density by automated estimate application. In the result, I realized high accuracy estimation because error was within 1.2 dB in all estimated area. And it can estimate at short time. However there was a large fluctuation of the electron density in low-altitude part. This is impossible in actual observation. So, we did consideration and improvement to algorithm.

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して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て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。

過去の研究において電波吸収法の自動化アルゴリズムを用いて推定を行った。その結果、推定領域全体の誤差が1.2dB以内の精度かつ短時間での推定を実現した。しかし、低高度部において電子密度の大幅な変動が発生していた。これは実観測では見られない現象であり、この推定は現実的な結果を出すことは出来なかったと言える。本研究では現実的な推定結果を出すようにアルゴリズムの検討、改良を行った。

## MU 及び韓国 40.8MHz レーダーと GPS 受信機網による中緯度電離圏擾乱の観測

# 大塚 雄一 [1]; 塩川 和夫 [1]; 山本 衛 [2]; 津川 卓也 [3]; 西岡 未知 [3]; Kwak Young-Sil[4]; Kil Hyosub[5]  
[1] 名大宇地研; [2] 京大・生存圏研; [3] 情報通信研究機構; [4] KASI; [5] APL

## Radar and GPS Observations of Mid-Latitude Ionospheric Irregularities in Japan and Korea

# Yuichi Otsuka[1]; Kazuo Shiokawa[1]; Mamoru Yamamoto[2]; Takuya Tsugawa[3]; Michi Nishioka[3]; Young-Sil Kwak[4]; Hyosub Kil[5]  
[1] ISEE, Nagoya Univ.; [2] RISH, Kyoto Univ.; [3] NICT; [4] KASI; [5] APL

We have carried out simultaneous observations of field-aligned irregularities (FAIs) in the F region using MU radar at Shigaraki, Japan and KASI 40.8 MHz radar in Korea. F-region FAIs were observed with both radars on the nights of July 11, 12, and 14, 2016. From comparison of occurrence time of FAIs observed with both radars, we have found that FAIs over Korea is delayed approximately 2-3 hours from those observed with the MU radar. We have also analyzed total electron content (TEC) data in Japan, and found that MSTIDs propagating southwestward with a phase front elongating from NW to SE appeared during the F-region FAI events on the three nights. In this study, using GPS-TEC data in Korea, we will investigate difference of the FAI occurrence time in Korea and Japan.

沿磁力線不規則構造 (Field-Aligned Irregularity; FAI) は、磁力線に沿った電離圏プラズマの疎密構造であり、これまでに滋賀県甲賀市で稼働している京都大学 MU レーダーによって観測が行われてきており、F 領域 FAI は夏季夜間に発生頻度が高いことが明らかになっている。しかし、韓国天文宇宙科学研究所 (Korea Astronomy and Space Science Institute; KASI) によって VHF 帯 (送信周波数 40.8MHz) のレーダーが韓国に設置され、連続観測が開始されると、FAI エコー発生頻度の季節・地方時変化やエコーの発生高度に関して、従来 MU レーダーで観測されてきた F 領域 FAI とは異なる特徴が見出された。本研究では、MU レーダーによる F 領域 FAI の観測を 2016 年 7 月 11-14 日の夜間に行い、韓国 KASI の 40.8MHz レーダーと F 領域 FAI の同時観測に 7 月 11,12,14 日の 3 晩に成功した。3 晩とも、両レーダーによって F 領域 FAI が観測されたが、発生時刻は、西に位置する韓国レーダーの方が MU レーダーよりも 2-3 時間程度遅かった。また、日本国内に国土地理院が整備している GPS 受信機網のデータから全電子数 (Total Electron Content; TEC) を算出し、TEC の水平二次元分布を調べたところ、FAI が観測された 3 晩とも、北西から南東にのびる波面をもち、南西方向に伝搬する TEC 変動が日本上空に観測された。これは、夏季夜間に頻繁に観測される中規模伝搬性電離圏擾乱 (Medium-Scale Traveling Ionospheric Disturbance; MSTID) であり、F 領域 FAI は MSTID に伴う分極電場によって生成されと考えられる。本研究では、韓国に設置された GPS 受信機データも用い、韓国上空における TEC 変動を調べることで、両レーダーで観測された FAI の時間差の原因について調べる。

## GPSを用いた中緯度域MSTIDの成長速度の推定

# 池田 孝文 [1]; 齊藤 昭則 [1]  
[1] 京都大・理・地球物理

### Estimation of growth rate of mid-latitude MSTID observed by GPS

# Takafumi Ikeda[1]; Akinori Saito[1]  
[1] Dept. of Geophysics, Kyoto Univ.

We compared differential of MSTID activity (Saito et al.,1998 , Kotake et al., 2006) at Wakkanai,Kokubunji,and Yamagawa with 1 hour average of critical frequency of Sporadic E layer observed on Ionozonde in summer at 2014 . As a result , relative coefficients were greater than 0.6 anywhere.

We also investigated the tendency of before midnight and midnight,and relative coefficients at midnight were smaller than ones at before midnight.Mean differential were also smaller . We would talk about these physical process , geophysical dependence, annual dependence, and relation to neutral wind and so on.

電離圏 F 領域では、プラズマの波状構造が発生し、移動していくのがよく見られる。このような現象の内、空間スケールが 100-1000km のものは中規模移動性電離圏擾乱 (MSTID) と呼ばれている。典型的な波長は 100-300km、周期は 40-60min である。MSTID は昼間に発生するものと夜間に発生するものとで生成原因が異なるとされており、夜間に発生するものは、パーキンス不安定性及び E 領域-F 領域カップリングによる電場によって生じると考えられている。また、夜間に発生する MSTID は、夏に発生率が高く、23-00LT に振幅が最も高いという統計的性質がある。夜間 MSTID の振幅の大きさとスプラディック E 層の電場の間には相関関係があるとされている。MSTID の振幅の成長についてはモデル解析を通じて盛んに行われている。しかし、観測による検証はあまりされていない。本研究の目的は、夜間 MSTID の振幅の成長と、スプラディック E 層との統計的関係を調査することである。

2014 年夏の磁気静穏時、稚内、国分寺、山川上空で発生した MSTID の振幅の成長速度とスプラディック E 層の対応関係について解析した。まず、地上 GPS 受信機網で観測した L1、L2 の位相遅延を利用し、全電子数密度 (Total electron content) の変動値及び絶対値の抽出を行った。次に、経度緯度方向に 4 度、一時間分の一分値データについて、標準偏差と絶対値の比を計算した。比の一分間における時間差分のうち、増加値を MSTID の成長速度と定義した。それと、イオノゾンデで観測されたスプラディック E 層の臨界周波数との 19LT から 02LT における相関関係を調査した。その結果、相関係数は 0.6 を超えていた。また、19-21LT、22-02LT の二つの時間帯について同様の計算を行ったところ、前者の相関係数は 0.7 を超えていた。一方、後者は 0.6 前後で、平均的な成長速度も前者に比べ低かった。この傾向は地点に依存しなかった。会場では、この相関関係の物理的背景に加え、相関関係の地理依存性、太陽活動依存性、中性大気との関係等について報告する予定である。

## GPS-TEC を用いた北米における電離圏不安定性に関する研究

# 杉山 俊樹 [1]; 大塚 雄一 [2]; 津川 卓也 [3]; 西岡 未知 [3]  
[1] 名大・宇地研; [2] 名大宇地研; [3] 情報通信研究機構

## Analysis of the ionospheric irregularity in North America using GPS-TEC

# Toshiki Sugiyama[1]; Yuichi Otsuka[2]; Takuya Tsugawa[3]; Michi Nishioka[3]  
[1] ISEE, Nagoya Univ.; [2] ISEE, Nagoya Univ.; [3] NICT

There are about 2200 dual-frequency GPS receivers in North America. The GPS receivers provide the data of carrier phase and pseudo-range measurements at two frequencies every 30 seconds. Phase and group velocities of the GPS signals are advanced and delayed, respectively, by electrons in the ionosphere. So the Total Electron Content (TEC) along the entire line-of sight (LOS) between receiver and satellite can be derived by analyzing the GPS data. Although the integer cycle ambiguities and the both satellite and receiver biases must be obtained to obtain the absolute TEC, we don't determine these unknowns because we focus on the changes of TEC in this study.

We used the Rate of TEC change Index (ROTI) to detect the ionospheric irregularities. ROTI is the standard deviation of Rate of TEC (ROT) in 5 minutes, and ROT is the changes of TEC in 30 seconds. The two dimensional maps of ROTI can be obtained from all available GPS data in North America. For projecting ROTI on the two dimensional map, we assume that there is the ionized single layer at altitude of 300 km. The spatial resolution is  $0.75 \times 0.75$  (degree) in latitude and longitude.

A magnetic storm occurred on 17 March 2013. It continued from 09 UT on 17 March to 08 UT on 18 March. Dst index reached a minimum of -132 nT at 21 UT on 17 March. Enhancement of ROTI were seen around 45N-50N (degree) at 09-13UT and 22-23UT. To investigate mechanisms causing the ROTI enhancement, we used the two dimensional map of the detrended TEC which is derived by detrending TEC with one-hour running average for each satellite-receiver pair. During the first enhancement of ROTI, we found the trough region on the detrended TEC map. The enhancement of ROTI was observed at the poleward edge of the trough and within the trough. The second enhancement seems to be attributed to the storm-enhanced plasma density (SED). SED was found as the region where TEC is enhanced from southeast to northwest. The enhancement of ROTI was observed at the poleward of SED region. In this study, we examine mechanism of the ionospheric irregularity causing the ROTI enhancement.

北米には約 2000 基の 2 周波 GPS 受信機が設置されている。これらの GPS 受信機は、GPS 衛星から送信される二つの周波数の電波を受信し、30 秒おきに搬送波位相と擬似距離のデータを記録している。GPS 電波は、電離圏中の電子によって位相速度の進みと群速度の遅延が生じるため、搬送波位相と擬似距離を解析することによって衛星と受信機の間にある全電子量 (Total Electron Content; TEC) を測定することができる。GPS データから求めた TEC には、衛星と受信機のハードウェアに起因するバイアスが含まれるが、本研究では、相対的な TEC の変動にだけ注目するため、バイアスを考慮する必要はない。

電離圏中に生じる電子密度の擾乱を調べるため、TEC の 30 秒ごとの差分である ROT (Rate Of TEC change) を計算し、ROT の 5 分間の標準偏差である ROTI (Rate Of TEC change Index) を調べた。北米にあるすべての受信機と衛星によって得られたデータから、北米全体の ROTI の水平二次元分布図を得ることができる。それぞれの衛星-受信機間で得られた ROTI を水平二次元図に投影する際、上空 300km に電離層があると仮定した。空間分解能は緯度経度  $0.75 \text{ 度} \times 0.75 \text{ 度}$  である。

2013 年 3 月 17 日に発生した磁気嵐は、Dst 指数が 17 日 21UT に最小の -132nT となり、17 日の 09 UT から 3 月 18 日の 07 UT ごろまで続いた。この磁気嵐の主相にあたる 09-13UT と Dst が極小になった直後の 22-23UT に、北緯 45-50 度付近に ROTI の増大が見られた。この ROTI の増大の原因を調べるため、同じく TEC データを用い、それぞれの衛星-受信機間で得られた TEC から 1 時間移動平均を引いた偏差を調べた。ROTI と同様に、北米上空の TEC 偏差の水平二次元分布を調べた。TEC 偏差の水平二次元分布図から、09-13UT において、北緯 40-50 度付近に東西に延びる TEC の減少領域がみられた。この TEC の減少領域は、トラフと考えられ、ROTI の水平二次元分布図と比較することにより、ROTI の増大はトラフの内部及び極側の境界付近で見られることが分かった。また、22-23UT では、storm-enhanced plasma density (SED) によると考えられる、南東から北西に延びる TEC の増大領域が見られた。ROTI の水平二次元分布と比較することにより、ROTI の増大は SED の極側で見られることが分かった。本研究では、ROTI の増大を起こす電離圏擾乱の生成機構について考察する。



## 機械学習を用いた電離圏嵐等予測システムの構築

# 西岡 未知 [1]; 津川 卓也 [1]; 丸山 隆 [1]; 石井 守 [1]  
[1] 情報通信研究機構

### Empirical models for forecasting ionospheric condition using a machine learning technique

# Michi Nishioka[1]; Takuya Tsugawa[1]; Takashi Maruyama[1]; Mamoru Ishii[1]  
[1] NICT

Forecasting ionospheric condition is important for space weather operation, especially for predicting propagation delay of the radio waves in the ionosphere. National Institute of Information and Communications Technology (NICT), Japan, develops an ionospheric forecasting system of total electron content (TEC) and occurrence of ionospheric disturbances. Although several empirical and theoretical models have been developed in a decade, no model is available for forecasting TEC or ionospheric disturbances over Japan. In the presentation, we will show the current status of the TEC and ionospheric disturbance models which is constructing using a machine learning technique. For the TEC forecasting model, absolute TEC values for each day over Japan 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 harmonics. 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 2014. At first, solar UV/EUV and seasonal parameters are optimized for input parameters by constructing a quiet model (Q-model) for all days when K-index was less than four. Then solar wind/geomagnetic activity index are added as inputs by constructing a disturbed model (D-model) for days when K-index was four or more than four. Thus, daily two-dimensional TEC maps can be obtained from both Q- and D- models for any days when the input parameters are available. In our TEC forecasting system, weather Q- or D-model is applied for the day is determined based on K-index predicted by NICT space weather center.

電離圏の変動はGPS精密測位や衛星通信に影響を与えるため、その変動を予測することが要請されているが、日々の電離圏全電子数や電離圏の擾乱発生を予測するモデルはまだない。情報通信研究機構（NICT）では、電離圏全電子数（Total Electron Content, TEC）の監視システムに加え、電離圏嵐やプラズマバブルの発生を予測する電離圏予測システムを開発している。電離圏嵐の予測モデルについては、1997年から2014年までの18年分のGEONETによるTEC観測結果を用いて機械学習を行い、モデルを構築した。電離圏嵐の予測精度向上のため、18年分のデータを地磁気静穏日（K指数が3以下）と地磁気擾乱日（K指数が4以上）の2種類にわけ、前者で地磁気静穏日モデル、後者で地磁気擾乱日モデルを構築した。まず、地磁気静穏日のデータを用いて、TECに寄与する太陽黒点数などのパラメータを最適化し、地磁気静穏日モデルを確立した。次に、太陽風磁場などの太陽風・地磁気擾乱のパラメータを入力パラメータとして加えて地磁気擾乱モデルを確立した。NICTでは、このように構築したモデルを用い、TECの24時間予測を行っている。本発表では、本モデルを用いた電離圏嵐の予測状況について発表する。

## ポーラーパッチ後縁部に見られる指状構造: 2次元数値シミュレーションとESRによる観測データの比較

# 高橋 透 [1]; 平木 康隆 [2]; 細川 敬祐 [2]; 小川 泰信 [1]; 坂井 純 [2]  
[1] 極地研; [2] 電通大

## Finger-like structure along the trailing edge of polar patches: two-dimensional numerical simulations and ESR observations

# Toru Takahashi[1]; Yasutaka Hiraki[2]; Keisuke Hosokawa[2]; Yasunobu Ogawa[1]; Jun Sakai[2]  
[1] NIPR; [2] UEC

Polar patches, which are regions of dense electron density in the polar cap F region ionosphere, have been frequently observed during southward interplanetary magnetic field (IMF) conditions. One of the interesting subjects in the studies of polar patches is their fine-scale structure. Recently, finger-like structures along the trailing edges of polar patches have been detected by using all-sky airglow imagers. Previous studies proposed that the finger-like structures are generated through the gradient drift instability (GDI). In those papers, it was further suggested that the GDI should make the density gradient across the trailing edge less steep due to interchange stirring of plasma. As a result, there should exist an asymmetry in the gradient between the leading edge and trailing edge of patches. To confirm these hypotheses, we have performed a two-dimensional numerical simulation of polar cap patches.

In the simulation, electric field of 50 mV/m and geomagnetic field of 50000 nT were employed as background conditions. Under the conditions, finger-like structures having 10 km scale-size appeared along the trailing edge of patches, and then the gradient in the leading edge was much steeper than that in the trailing edge. We also found that the Pederson conductivity significantly contributed to the production of the finger-like structures. In order to verify these simulation results, it is necessary to confirm whether the simulation conditions (e.g., Pederson conductivity, primary electric field, and gradient in the plasma density) were reasonable.

In this presentation, we will show these simulation results and comparison of simulation condition with the Pederson conductivity, electric field, and gradient in the plasma density observed by EISCAT Svalbard radar (ESR) operative in Longyearbyen.

ポーラーパッチは極冠域の電離圏 F 領域に見られる、電子密度が背景の 2 から 10 倍まで増大した領域である。ポーラーパッチは昼間側の日照領域で電離生成された高密度プラズマが電離圏対流によって夜間側へと掻き出されパッチ状になることによって生成される。F 領域では、再結合の時定数が大きいいため、その電子密度は数時間にわたって維持され、対流によって反太陽方向に運ばれる。

典型的なポーラーパッチの形状は東西に長く、南北に短い葉巻型の構造を取ることが観測的に知られている。より細かい構造として、ポーラーパッチの電子密度の勾配が、後縁では緩やか、前縁では急であることが先行研究によって示されている。この非対称構造は、ポーラーパッチ内の密度勾配と対流電場が引き起こすプラズマ不安定によって、ポーラーパッチの後縁で電子密度の指状構造が発達し、電子密度の攪拌を引き起こされるために生じると予想されている。しかし、これまで、指状構造について観測的・理論的研究が遂行されているが、生成メカニズムや時空間的な発展に関する理解は不足している。

指状構造が形成されるメカニズムとして、圧力交換型不安定の一つである Gradient Drift Instability (GDI) が提唱されている。本研究では、GDI によって駆動される密度擾乱の数値シミュレーションをペダーソン電気伝導度、電場、プラズマ密度勾配を変化させて行い、ポーラーパッチ後縁に生成される指状構造の再現を行った。50 mV/m の対流電場を印加した計算の場合、ポーラーパッチの後縁に十数 km の空間スケールを持つ指状構造の発達が見られた。また、前縁に比べ、後縁の密度勾配が時間に伴って緩やかになる様子が捕らえられた。これらの計算結果から、それぞれのパラメータによる指状構造のスケールおよび成長率に対する依存度を導出した。この中でもペダーソン電気伝導度は指状構造の成長に大きく寄与していた。ポーラーパッチが出現する夜間はペダーソン電気伝導度が急激に減少するため、実際の電離圏で観測されるペダーソン電気伝導度と比較、調査する必要がある。

本発表では数値シミュレーションの結果を示すと共に、これらの計算を実行したシミュレーションの環境とロングゲイヤビンに設置された EISCAT スバルバルレーダー (ESR) レーダーから導出されたペダーソン電気伝導度、電離圏電場、電子密度勾配の比較を報告する予定である。

## 極冠パッチの出現特性に見られる南北非対称性: 低高度衛星を用いた統計解析

# 八束 優 [1]; 細川 敬祐 [1]; Liu Huixin[2]  
[1] 電通大; [2] 九大・理・地惑

## Interhemispheric asymmetry of polar cap patches: statistics with low-altitude satellite data

# Yu Yatsuka[1]; Keisuke Hosokawa[1]; Huixin Liu[2]  
[1] UEC; [2] None

Polar patches are regions of localized electron density enhancement often observed at the F region altitude in the polar cap region. They are believed to be produced through transportation of solar EUV plasma in the dayside sunlit area towards the central polar cap by the anti-sunward polar cap convection during southward IMF conditions. The electron density within patches can be 2 to 10 times of that in the surrounding region since the background electron density in the winter time dark polar cap region is generally very low. In-situ electron density measurements by low-altitude polar orbiting satellites have not been used for observations of patches, except for those performed by using 14 months of data from the DE-2 satellites. In particular, systematic statistical analysis of patches using large in-situ measurements has never been carried out so far. In this study, we statistically analyzed the long-term in-situ electron density measurements by the CHAMP satellite for almost 10 years from 2000 until 2009. This study aims at clarifying the dependence of patch occurrence on solar activity, season and IMF (Interplanetary Magnetic Field) orientation. In particular, based on statistics in both hemispheres, we intend to focus on the interhemispheric asymmetry in various characteristics of patches.

For this purpose, we developed an automated algorithm for extracting patches from the in-situ electron density measurements at the topside F region altitude during the polar cap crossings of CHAMP. By applying the algorithm to the 10 years dataset, we succeeded in extracting 20,986 individual patches. Statistical analysis of these patches shows that the occurrence probability and the electron density within patches depend strongly on the solar activity and season. We also found that the occurrence of patches shows clear UT dependence, which could be explained by the offset between the geographic and magnetic poles. In the southern hemisphere, the occurrence rate of patches is only a half of that in the northern hemisphere. We suspect that this interhemispheric asymmetry in the patch occurrence is caused by the difference in the offset between the geographic and magnetic poles. In addition, it was revealed that patches tend to appear on the dawn side (dusk side) polar cap when the upstream IMF  $B_y$  is negative (positive). This implies that not only the generation process but also the transportation of patches are dependent on the orientation of IMF. Such information is of particular importance in modeling/predicting the effect of patches on the trans-ionospheric satellite communication environment. In the presentation, we discuss the predominant generation mechanism of patches by taking into account the derived UT dependence and interhemispheric asymmetry in the patch occurrence.

ポーラーパッチは、磁気緯度 75 度以上に位置する極冠域電離圏の F 領域で観測される局所的に電子密度が増大した領域のことである。太陽からの極端紫外線放射 (EUV) により電離された日照領域の高密度プラズマが、IMF  $B_z$  成分が負の時に発生する昼側から夜側へのプラズマ対流によって、極冠域へ間欠的に取り込まれることによって生成されると考えられている。冬期極冠域の日陰領域では光電離によるプラズマ生成が行われないので、一般にパッチ背景の電子密度は低くなっている。そのため、背景電子密度と比較すると、パッチ内部の電子密度は 2 倍から 10 倍に達すると言われている。低高度極軌道衛星搭載の電子密度計測によるパッチの観測は、過去に DE-2 (Dynamics Explore 2) 衛星による約 14ヶ月間のデータを用いてしか行われておらず、特に、数年以上にわたる長期間のデータを用いた大規模な統計解析は未だに行われていない。また、これまでのパッチに関する研究は北半球極冠域のみを対象として行われてきたため、南半球極冠域におけるパッチの統計的性質は明らかになっていない。本研究では、CHAMP 衛星による電子密度観測が行われた 2000 年から 2009 年までの約 10 年間に及ぶ長期観測データを統計的に解析し、南北両半球における極冠パッチ発生頻度の年変化、季節変化、および発生頻度空間分布の惑星感空間磁場 (IMF) に対する依存性を明らかにすることを目的とする。

本研究で考案したピーク検出アルゴリズムを用いて、CHAMP 衛星の電子密度観測データから、ポーラーパッチが出現したと思われる時間の背景の電子密度と、局所的に電子密度の増大しているピーク点の自動抽出を行い、パッチのイベントリストを作成した。この結果、20986 例のパッチを抽出することができた。次いで、作成したイベントリストからパッチの観測頻度、パッチ中心部と背景の電子密度の比の年変化、季節変化の統計解析を行った。その結果、パッチの出現頻度や、内部の電子密度は、太陽活動に対する強い依存性があることが確認できた。また、パッチの出現頻度には明確な UT 依存性があることも分かった。これは、地理極と磁気極にオフセットがあることによって、パッチのソースである昼側日照プラズマと極域対流の相対的位置関係が UT によって変化するために現れていると考えられる。これらに加え、南半球では北半球と比べて極冠パッチの出現頻度は約半分程度であることも明らかになった。これは、上述の地理極と磁気極のオフセットが南北半球で異なることによるものと考えている。パッチを検出したときの CHAMP 衛星の位置と IMF  $B_y$  成分の間の関連性を調べたところ、北半球で見られるパッチは、IMF  $B_y$  成分が正の場合は夕方側に、負の場合は朝側にパッチの出現頻度が明らかな偏りを見せることが分かった。これは、IMF  $B_y$  の符号に依存して、極域電離圏対流のパターンが非対称になることに密接に関連している。また、このパッチの発生頻度空間分布の IMF  $B_y$

に対する依存性は、南半球では真逆のセンスになることも明らかになった。発表では、これらの統計解析結果、特に南北半球間のパッチの特性に見られる非対称性を考察することで、パッチの生成および極冠への輸送が、どのような物理過程に起因しているのかを議論する。

## オーロラの発生と GPS シンチレーションの関連性についての統計解析

# 加藤 優作 [1]; 細川 敬祐 [1]; 大塚 雄一 [2]; 小川 泰信 [3]; 福田 陽子 [4]; 片岡 龍峰 [3]; 田中 正行 [5]  
[1] 電通大; [2] 名大宇地研; [3] 極地研; [4] 東大・理・地惑; [5] 東工大

### Relationship between aurora and GPS scintillation: a statistical analysis

# Yusaku Kato[1]; Keisuke Hosokawa[1]; Yuichi Otsuka[2]; Yasunobu Ogawa[3]; Yoko Fukuda[4]; Ryuho Kataoka[3];  
Masayuki Tanaka[5]

[1] UEC; [2] ISEE, Nagoya Univ.; [3] NIPR; [4] Dept. Earth & Planet. Sci, Univ. Tokyo; [5] Tokyo Institute of Technology

In this paper, we investigate the relationship between aurora emission and the magnitude of the GPS scintillation indices through large-scale statistical analysis using image recognition based on machine learning. We make use of data from an all-sky color digital camera and GPS scintillation monitoring system in Tromsø, Norway (69.60N, 19.20E). Through the statistical analysis of observations for 4 years, we found that phase scintillation increases and amplitude scintillation decreases when auroras appear on the ray-path of the GPS navigation signal. In the statistics, scintillation data in the morning and afternoon periods were investigated in a separate manner. Since diffuse (discrete) auroras occur more frequently in the morning (afternoon) period, this statistical analysis enabled us to examine the association between GPS scintillation and the form (i.e., diffuse or discrete) of aurora. As a result, it was found that amplitude scintillation decreases during intervals of diffuse aurora and phase scintillation increases during those of discrete aurora.

When diffuse auroras take place, the electron density increases in the bottom of the E region at ~100 km altitude and the shape of diffuse aurora is known to be more uniform than that of discrete aurora. This means that the spatial structure of the ionospheric electron density becomes more uniform during intervals of diffuse aurora. We suppose that this process can explain the decrease of amplitude scintillation in the morning side. In contrast, when discrete auroras appear, a layer of enhanced electron density is distributed in a wide range of altitude up to lower F region. This implies that the GPS navigation signal travels through the region of enhanced/disturbed electron density for a long time. If the phase refractive index changes with time, then the phase of the received signal is disturbed, and eventually the level of phase scintillation increases. This mechanism can account for the increase of phase scintillation during intervals of discrete aurora.

電離圏には様々な時空間スケールの電子密度変動が常に生じている。衛星からの通信電波は、地上で受信される前に必ず電離圏を通過するが、電離圏電子密度の乱れに応じて、受信信号の振幅や位相に揺らぎが生じる。この揺らぎを電離圏シンチレーションと呼ぶ。特に、地上で受信する GPS 衛星の測位信号に見られる揺らぎを GPS シンチレーションと呼び、揺らぎのレベルが大きい場合は、全球衛星測位システムを利用することができなくなることが知られている。GPS シンチレーションの要因は、電子密度の空間変動に伴う回折性シンチレーションと、時間変動に伴う屈折性シンチレーションの2つに大別できる。前者については、電離圏の電子密度の空間的不規則構造がスリットの役割を果たすことで、人工衛星からの等位相平面波が乱れ、位相のずれた信号が干渉することで受信信号の振幅にシンチレーションを発生させると考えられている（振幅シンチレーション）。後者の屈折性シンチレーションについては、電離圏電子密度変動に依存して信号の位相速度が時間変化し、受信信号の位相が揺らぐことによって、主として受信信号の位相にシンチレーションが生じるとされている（位相シンチレーション）。しかし、これらのシンチレーションの発生メカニズムには未解明の部分が多く、特に高緯度電離圏においてオーロラが発生したときに、GPS 測位信号にどのようなシンチレーションが生じるかについては、その基本的性質が明らかにされていない。

本研究では、ノルウェー・トロムソ（69.60N,19.20E）に設置された全天カラーデジタルカメラと GPS 受信機（GSV4004B）を用いて、オーロラの出現が GPS シンチレーションの発生とどのように関連しているかを統計的に調べた。始めに、教師あり機械学習によってオーロラの有無を判別する分類器を作成し、全天カラーデジタルカメラによって 30 秒間隔で撮影された画像に対して作成した分類器を適用した。これにより、各時間の GPS 衛星測位電波の IPP（Ionospheric Pierce Point）におけるオーロラの有無を高速かつ正確に自動検出することが可能になった。このオーロラ自動検出手法に基づいて、2009 年からの 4 年間にわたる光学データと GPS 受信機データの統計解析を行った。その結果、オーロラが発生した際に位相シンチレーションが増加すること、振幅シンチレーションは逆に減少することの 2 つの性質が明らかになった。さらに、オーロラの形態とシンチレーションの関連性を明らかにするために、ディフューズオーロラが卓越する午前時間帯と、ディスクリットオーロラが支配的な午後時間帯に分けて解析を行った。その結果、午前時間帯において、オーロラ発生時の振幅シンチレーションの減少がより顕著に見られることが分かった。また、午後時間帯のほうがオーロラ発生時の位相シンチレーションの増大が大きいことも明らかになった。この統計解析結果は、1) ディフューズオーロラは振幅シンチレーションを減少させること、2) ディスクリットオーロラは位相シンチレーションを増加させること、を意味する。

1) の特性を作り出す要因に関しては、以下で述べる A, B の 2 通りの解釈が有りうる。A) ディフューズオーロラ発生時には、電離圏電子密度の増大領域は 100 km 付近の低高度に生じ、ディスクリットオーロラに比べて電子密度の空間分布は一樣であると考えられる。ある程度の電子密度不規則構造を持っていた電離圏の空間的構造が、ディフューズオーロラの発生によってより一樣になることで、午前側で振幅シンチレーションが減少する、B) 規則的に並んでいた電子密度

の空間的構造がディフューズオーロラの発生によってさらに乱れ、空間構造のコヒーレンスが落ちることによって信号の回折・干渉が起らず、振幅シンチレーションが減少する。このどちらの解釈がより妥当であるかについて、現在検証を行っているところである。次に、2)の性質に関する解釈を述べる。ディスクリートオーロラが発生すると、電子密度の増大領域はより高高度まで広がる。そのため、GPS測位信号は、電子密度が乱れ位相屈折率が変化している高度領域を長時間通過し（長い距離伝搬し）、位相シンチレーションがより強く発生するようになると考えている。発表では、機械学習を導入することによって得られた統計解析結果に基づいて、詳細なシンチレーションの増加・減少のメカニズムについて議論を行う予定である。

## オーロラの高速度撮像観測と深層学習を用いたオーロラのカテゴリ解析

# 内田 ヘルベルト陽仁 [1]; 片岡 龍峰 [2]; 福田 陽子 [3]  
[1] 総研大; [2] 極地研; [3] 東大・理・地惑

### High-speed imaging of aurora and classification analysis of aurora with deep learning technique

# Herbert Akihito Uchida[1]; Ryuho Kataoka[2]; Yoko Fukuda[3]  
[1] SOKENDAI; [2] NIPR; [3] Dept. Earth & Planet. Sci, Univ. Tokyo

We are going to introduce the observation plan of ongoing high-speed imaging of aurora using high-sensitivity cameras, and a new method of analyzing aurora image data based on deep-learning technique. The high-speed imaging of aurora by using a scientific complementary metal-oxide semiconductor (sCMOS) camera started in 2014 at Poker Flat, Alaska. The observation of both dynamic spatial variation and rapid temporal variation in high resolution lead us to conclude the better understanding of the generation mechanism of, such as high speed flickering or pulsating aurora, and rapidly varying fine-scale structures of aurora. In January 2016, the high-speed imaging up to 320 fps based on the accurate time information of GNSS had been demonstrated, and the synchronized observation of aurora with high time precision in remote locations become possible. We are going to install the high-speed synchronous imaging system with a high-sensitivity Electron Multiplying CCD (EMCCD) camera to Iceland, Canada, and Syowa station in Antarctica. Further, the amount of data obtained by the high-speed imaging is increasing year by year. As a new method for analyzing large amounts of data, we will show how to classify the type of aurora using a deep learning technique in this poster.

高感度カメラを用いたオーロラの高速度撮像観測の準備状況と、深層学習によるオーロラ画像データの解析手法について紹介する。2014年にアラスカ・ポーカーフラットにおいて、sCMOSカメラによるオーロラの高速度撮像観測を開始した。空間的な変化と時間的な変化を高い分解能で観測した事で、高速のフリッカリングオーロラやパルセーティングオーロラ、高速に変動するオーロラの微細構造などの発生機構の理解に繋がる観測結果が得られた。2016年1月には、GNSSの正確な時刻情報を用いた320fpsまでの高速撮像が実証され、遠隔地で高精度に同期したオーロラの高速度撮像が可能となった。現在、高感度のEMCCDカメラを使用した高速同期撮像システムを、アイスランド、カナダ、南極昭和基地に導入する予定であり、各地の準備状況について紹介する。また、高速撮像により得られるデータ量は年々増加している。多量のデータを解析するための新たな手法として、深層学習を用いてオーロラの種類を分類する方法について紹介する。

## オーロラスペクトログラフを用いたN<sub>2</sub><sup>+</sup>共鳴散乱光観測によるイオンアップフロー現象

# 遠藤 友 [1]; 坂野井 健 [2]; 小川 泰信 [3]; 鍵谷 将人 [4]

[1] 東北大・理・地物; [2] 東北大・理; [3] 極地研; [4] 東北大・理・惑星プラズマ大気研究センター

### Ion upflow with observing N<sub>2</sub><sup>+</sup> resonant scattering light by Auroral Spectrograph

# Yu Endo[1]; Takeshi Sakanoi[2]; Yasunobu Ogawa[3]; Masato Kagitani[4]

[1] Geophysics, Tohoku Univ.; [2] Grad. School of Science, Tohoku Univ.; [3] NIPR; [4] PPARC, Tohoku Univ

We report the ground-based optical remote-sensing of molecular ion upflow by measuring 427.8 nm N<sub>2</sub><sup>+</sup> resonant scattering in the topside ionosphere using the data obtained with the Aurora Spectrograph (ASG) at Longyearbyen, Svalbard for 13 years. Ion upflow plays an important role on ion outflow which provide oxygen and other heavy ions from the ionosphere to magnetosphere. A plasma upflow speed at the topside ionosphere is typically less than 1 km/s, with which ions cannot reach at escaping velocity (11km/s) from the Earth, and therefore additional acceleration processes should be required. In fact, in addition to O<sup>+</sup>, the heavy ions such as N<sub>2</sub><sup>+</sup> and NO<sup>+</sup> were also observed in the magnetosphere during geomagnetically disturbed condition (e.g., Yau et al., 1993), and escape processes of the heavy ions are still open question. Satellite optical remote-sensing of 427.8 nm demonstrated the clear dependence of the 427.8 nm intensity on geomagnetic activities. However, the ground-based optical observation of 427.8 nm emission associated with the ion upflow has never been reported so far.

To measure the N<sub>2</sub><sup>+</sup> resonant scattering emission caused by ion upflow, we examined the ground-based data taken with the ASG in Longyearbyen, Norway (Geographic latitude : 75.2 deg and geographic longitude: 16.04 deg). The ASG consists a fish-eye lens, slit, grism and a cooled CCD detector which covers the wavelength range of 420-730 nm with a 2.0 nm spectral resolution and field of view of 180 degree along the magnetic meridian. We found 65 events during the period from 2004 to 2016 on which the Kp indices were greater than 4 for more than 9 hours. Furthermore, we extracted 25 events in the period one months before and after the winter solstice. Considering the geometry of geomagnetic field and the field-of-view of ASG, we can regard the auroral distribution in the southward direction as the auroral height profile assuming a single auroral arc. Since it is reasonable that the 557.7 nm emission is only caused by aurora, and it can be used as a reference of auroral appearance. Thus, if the 427.8 nm emission distribution is enhanced compared with the 557.7 nm emission profile, additional emission process, such as the resonance scattering in the sunlit region, is required. We found that such typical enhanced N<sub>2</sub><sup>+</sup> 427.8 nm emission events on December 20 and 21, 2015. The 427.8 nm emissions extended to the side of higher altitude than the 557.7 nm aurora around 7:20 UT on December 20. Besides, on December 21 event, the 427.8 nm emission was stronger at high altitudes compared with the 557.7 nm aurora trend around 4:10 UT.

イオンアップフロー現象の光学リモートセンシングのために、今回我々はロングイヤービンにおけるオーロラスペクトログラフの13年間分のデータ解析から上部電離圏N<sub>2</sub><sup>+</sup>共鳴散乱光を明らかにした成果を報告する。電離圏-磁気圏結合の重要な現象として、極域電離圏から磁気圏へプラズマが流出していくイオンアウトフロー現象がある。その重要なソースとして考えられているのが高度1000km以下で起こるイオンアップフロー現象である。イオンアップフローは典型的な速度が1km/s以下であり、地球の脱出速度(11km/s)に達していないが、イオンアウトフローのソースとして考えられている。低エネルギー粒子の降り込みにより、地磁気擾乱に伴い起こるとされ、主なイオンは電離圏F領域に多く存在する酸素イオンであると考えられる。しかし、磁気圏では窒素分子イオンや一酸化窒素イオンが観測されている(A. W. Yau et al., 1993)。しかしながら、重い分子イオンがどのように上昇するかは未解明である。本研究では、窒素分子イオンが上昇し、日照領域に達した時に発光する共鳴散乱光(427.8nm)とイオンアップフロー現象の関係をノルウェー、ロングイヤービエン(地磁気緯度75.2度、経度16.04度)にあるオーロラスペクトログラフ(ASG)のデータを用いて明らかにする。

このオーロラスペクトログラフは魚眼レンズ、スリット、グリズム、CCDから構成され、420nmから730nmの波長範囲で波長分解能2.0nm、視野角180度(磁気南北方向)を有する。観測は2000年から現在(2016年)まで冬季に行われている。しかし、2000年から2003年までは窒素分子イオンの427.8nm発光の波長幅は含まれておらず、データは2004年からとなる。ただし、窒素分子イオンの427.8nm発光観測は2004年以降となる。2004年から2016年の観測日で、Kp指数が9時間以上にわたり4以上であった65日間をすべて解析した。南北方向のオーロラ天頂角分布を調べる際に、磁気南方向ではオーロラが同一緯度上で発生したと仮定すると、天頂角分布はオーロラ高度分布に対応する。ここで、557.7nm発光はオーロラのみ発光であると考えられるため、557.7nm発光と比較して427.8nm発光が強い領域、特に557.7nmオーロラ発光よりも427.8nm発光が高高度側に発光が伸びている領域は窒素分子イオンの共鳴散乱光であると考えられる。そのようなイベントをこれまでの解析から2例見いだした。2015年12月20日7:20UT頃(Kp=6-)において、オーロラ発光の高高度側で427.8nm発光が伸びている領域があり、発光が高高度側で強くなっている。また、2015年12月21日4:10UT頃(Kp=6)では、557.7nmオーロラに比べ、高高度に向かうにつれて427.8nm発光が強くなっていることを確認した。



ISS-IMAP/EUVIで観測された電離圏上部He<sup>+</sup>イオンの南北非対称性の経度変化

# 穂積 裕太 [1]; 齊藤 昭則 [1]; 山崎 敦 [2]; 村上 豪 [3]; 吉川 一朗 [4]  
[1] 京都大・理・地球物理; [2] JAXA・宇宙研; [3] ISAS/JAXA; [4] 東大・理・地惑

Longitudinal variation of hemispheric asymmetry of topside He<sup>+</sup> content observed by ISS-IMAP/EUVI

# Yuta Hozumi[1]; Akinori Saito[1]; Atsushi Yamazaki[2]; Go Murakami[3]; Ichiro Yoshikawa[4]  
[1] Dept. of Geophysics, Kyoto Univ.; [2] ISAS/JAXA; [3] ISAS/JAXA; [4] EPS, Univ. of Tokyo

Longitudinal variation of hemispheric asymmetry of topside He<sup>+</sup> content in the solstice seasons of 2013 are studied with data of He<sup>+</sup> resonant scattering obtained by Extreme Ultra Violet Imager (EUVI) onboard the International Space Station (ISS). EUVI provides a data set of the column density of He<sup>+</sup> above the ISS orbit altitude. The data set provides a unique opportunity to study He<sup>+</sup> distribution in the topside ionosphere from a different perspective of past studies using in-situ measurement data. During the solstice seasons, an enhancement of He<sup>+</sup> column density in the winter hemisphere is observed. The magnitude of this hemispheric asymmetry shows a longitudinal variability. Around the June solstice, the hemispheric asymmetry was greater in the longitude sector where the geomagnetic declination angle is negative and smaller in the longitude sector where the geomagnetic declination angle is positive. Around the December solstice, on the other hand, this longitudinal variation of the asymmetry magnitude had opposite tendency. The hemispheric asymmetry of the effective neutral wind well explains this behavior of He<sup>+</sup>. The field-aligned component of neutral wind in the F-region is varied in longitude under the presence of finite geomagnetic declination angle and large zonal wind. These results suggest that the transport of ions in the topside ionosphere is strongly affected by the *F*-region neutral wind.

## Response of the thermospheric wind to electromagnetic energy inputs from the magnetosphere

# Lei Cai[1]; Shin-ichiro Oyama[1]; Anita Aikio[2]; Heikki Vanhamaki[2]; Ilkka I. Virtanen[2]  
[1] ISEE, Nagoya Univ.; [2] Univ. Oulu

Electromagnetic energy transferred from the magnetosphere to the high-latitude ionosphere is one of important sources that drive the electrodynamics and dynamics in the coupled ionosphere-thermosphere system. Based on measurements by the European Incoherent Scatter (EISCAT) radar in Tromsø, we studied dependences of electromagnetic energy exchange rates on the magnetic local time (MLT) and the geomagnetic activity in the E-region ionosphere. We found that the neutral wind play an important role in the partition of electromagnetic energy. Most of the electromagnetic energy is converted to Joule heating, but some residual parts can be consumed for accelerating the neutral wind in the lower thermosphere. Partition process of the electromagnetic energy highly depends on altitude according to the height profile of neutral winds.

Although most of the electromagnetic energy dissipates in the E region, the energy dissipation rate per unit mass has a peak in the F region due to the exponential decrease of the neutral density. As a result, neutral temperature, density, and neutral wind velocity have stronger response in the upper thermosphere. We utilize Fabry-Perot interferometer (FPI) with the wavelength of 630.0 nm in Tromsø to measure the neutral wind velocity in the F region. We will show clear westward acceleration of winds in the evening sector in association with large electromagnetic energy inputs and auroral activities. The mechanism of acceleration has not been fully understood yet. Ion drag force is usually thought to be the dominate force. On the other hand, Joule heating can increase the pressure gradient that contributes to the wind acceleration. The relative importance of the two forces will be discussed.

## 高精細プラズマバブルシミュレーションと衛星観測との比較

# 横山 竜宏 [1]; Pfaff Robert F.[2]; Stolle Claudia[3]; Su Shin-Yi[4]

[1] 情報通信研究機構; [2] NASA/GSFC; [3] Helmholtz Centre Potsdam; [4] 台湾国立中央大学

### Sub-kilometer simulation of equatorial plasma bubble and comparison with satellite observations

# Tatsuhiro Yokoyama[1]; Robert F. Pfaff[2]; Claudia Stolle[3]; Shin-Yi Su[4]

[1] NICT; [2] NASA/GSFC; [3] Helmholtz Centre Potsdam; [4] National Central University, Taiwan

Equatorial plasma bubble (EPB) is a well-known phenomenon in the equatorial ionospheric F region. As it causes severe scintillation in the amplitude and phase of radio signals, it is important to understand and forecast the occurrence of EPB from a space weather point of view. The development of EPB is presently believed as an evolution of the generalized Rayleigh-Taylor instability. We have already developed a 3D high-resolution bubble (HIRB) model with a grid spacing of as small as 1 km and presented nonlinear growth of EPB which shows very turbulent internal structures such as bifurcation and pinching. Recent upgrade of the HIRB model has made it possible to conduct the simulation with sub-kilometer grid spacing. The simulation results can be compared with various in situ satellite observations such as plasma drift velocity, plasma density, magnetic field, and their structures and power spectra, e.g. from the C/NOFS, ROCSAT, CHAMP, or Swarm missions. Our initial results show encouraging agreement between model results and observational data.

電離圏のプラズマは、その運動が中性大気との衝突によって強く支配されているため、中性大気と電離大気の相互作用を解明することは電離圏の物理過程を理解する上で非常に重要である。赤道域電離圏においては、赤道スプレッド F/プラズマバブルと呼ばれる現象の研究が古くから行われている。プラズマバブルに伴う局所的なプラズマ密度の不規則構造が発生した場合には、電波の振幅、位相の急激な変動（シンチレーション）が生じるため、GPS 等による電子航法に深刻な障害を及ぼすことが知られている。現在までに、プラズマバブルの複雑な内部構造を再現可能な 3 次元数値モデルを開発し、非線形成長過程について明らかにすることに成功してきた。プラズマバブルの東西非対称性や、プラズマバブル内部の磁場変動等、これまでに観測されてきたプラズマバブルの特徴も良く再現されてきた。さらに詳細な比較を行うために、空間分解能 0.5km 以下まで向上させたシミュレーションを実施した。その結果、プラズマ密度の不規則構造のパワースペクトルが、過去の人工衛星観測の結果と比較的良好一致を示すことが明らかとなった。本講演では、近年の低軌道衛星観測 (ROCSAT, CHAMP, C/NOFS, Swarm 等) によるプラズマバブルの直接観測結果と、シミュレーション結果の比較について報告する。

## 電離圏下部の大規模波動構造、プラズマバブルの理解のための3次元電波レイト レーシング手法の開発

# Watthanasangmechai Kornyanat[1]; 丸山 隆 [2]; 石井 守 [2]; 津川 卓也 [2]; 斎藤 亨 [3]; 山本 衛 [4]; 齊藤 昭則 [5]  
[1] NICT; [2] 情報通信研究機構; [3] 電子航法研・航法システム; [4] 京大・生存圏研; [5] 京都大・理・地球物理

### Three-dimensional ray tracing for an understanding of Large-Scale Wave Structure (LSWS) and Equatorial Plasma Bubble (EPB)

# Kornyanat Watthanasangmechai[1]; Takashi Maruyama[2]; Mamoru Ishii[2]; Takuya Tsugawa[2]; Susumu Saito[3]; Mamoru Yamamoto[4]; Akinori Saito[5]  
[1] NICT; [2] NICT; [3] NAV Department, ENRI; [4] RISH, Kyoto Univ.; [5] Dept. of Geophysics, Kyoto Univ.

Day-to-day variability of plasma bubble, which is influenced by LSWS and EIA, have been closely investigated and clarified by integration of all existing ground- and space-based ionosphere-monitoring resources in Asia-Oceania region. Plasma bubble is considered as the most severe and urgent issue for civilian communication and navigation. I am developing a radio propagation simulator based on three-dimensional raytracing to elucidate the underlying physics of plasma bubble seeding and its characteristic, and to determine plasma bubble position from the direction finding of transequatorial propagation or TEP.

Day-to-day variability of plasma bubble, which is influenced by LSWS and EIA, have been closely investigated and clarified by integration of all existing ground- and space-based ionosphere-monitoring resources in Asia-Oceania region. Plasma bubble is considered as the most severe and urgent issue for civilian communication and navigation. I am developing a radio propagation simulator based on three-dimensional raytracing to elucidate the underlying physics of plasma bubble seeding and its characteristic, and to determine plasma bubble position from the direction finding of transequatorial propagation or TEP.

## 小型で安価な大気光イメージャを用いたプラズマバブルの観測

# 高見 晃平 [1]; 細川 敬祐 [2]; 斎藤 亨 [3]; 小川 泰信 [4]  
[1] 電通大; [2] 電通大; [3] 電子航法研・航法システム; [4] 極地研

## Observation of plasma bubbles with a small and low-cost airglow imager

# Kohei Takami[1]; Keisuke Hosokawa[2]; Susumu Saito[3]; Yasunobu Ogawa[4]  
[1] none; [2] UEC; [3] NAV Department, ENRI; [4] NIPR

Plasma bubbles are regions in the nighttime equatorial F-region ionosphere where the plasma density is significantly depleted locally. Plasma bubbles affect the accuracy of GPS positioning because of its steep gradient in the total electron contents and associated small-scale irregularities can disturb GPS signals propagating through the ionosphere. 630.0 nm airglow observations with ground-based all-sky imagers have been used for imaging two-dimensional structures of plasma bubbles in the last two decades. However, such systems are typically large and expensive; thus, it has been difficult to carry out global imaging of plasma bubbles from multiple stations. If we could use small and low-cost imagers for 630.0 nm airglow measurements, it would be possible to image the large-scale structure of plasma bubbles by combining many imagers.

In this study, we evaluate the feasibility of observations of plasma bubbles by using small and low-cost all-sky airglow imagers. For this purpose, a low-cost imager has been tested at Ishigaki (24 N, 124 E) in Japan since August 2014. This system consists of a small camera (WAT-910HX), a fisheye lens and an optical filter. The observation interval is 4 s. One of the problems of this low-cost observation is low S/N ratio due to noises of the non-cooled CCD with a small aperture. By averaging raw images for a few minutes and extracting 1-h average background image from the average image, we succeeded in imaging the detailed structure of plasma bubbles. When the magnitudes of depletion in brightness in the raw images were 25, 50, 100 and 150 R, S/N ratios were estimated to be 0.4, 0.9, 1.8, and 2.7, respectively. If we use 2 min average images, S/N ratios were 2.9, 5.8, 11.6, and 17.4, respectively. This indicates that if we use longer interval for averaging, S/N ratio increases. However, the processed image can be blurred because plasma bubbles move with a speed of approximately 100 m/s. By comparing the interval of averaging and the imaged structure of plasma bubbles, it is determined that 2 min average interval is appropriate for observations of plasma bubbles with the low-cost imagers.

In March 13, 2015, the low-cost imager detected plasma bubbles whose moving velocity gradually decreased. The eastward drift velocity estimated with an assumed emission altitude of 250km changed from 100 m/s to 40 m/s. In the presentation, we discuss the possible cause of this reduction of the drift velocity of the plasma bubble. In addition, we investigated variation of amplitude scintillation of GPS signals, which is characterized by S4 index, during intervals of plasma bubbles detected by the low-cost imager. It was found that the S4 index suddenly increased when the satellite passed across the plasma bubbles, especially at their leading edges (eastern edges).

赤道電離圏において、F 領域の電子密度が局所的に大きく減少した領域が観測されることがある。この領域のことをプラズマバブルと呼ぶ。プラズマバブルは、周囲との間に極端に大きな電離圏全電子数の勾配と小規模不規則構造を作り出すため GPS 測位の精度に大きな影響を及ぼすことが知られている。従来、プラズマバブルの研究には大型の大気光イメージャによる 630.0 nm 大気光の 2 次元観測が用いられてきた。しかし、観測システムが高価で観測点が少ないため、複数点からの広域イメージングは行われてこなかった。安価で簡易な観測システムによってプラズマバブルを観測することができれば、観測点の増加につながり、広域イメージングが可能になると考えられる。

本研究では、安価で小型の大気光カメラを用いてプラズマバブルの観測が行えるかどうかについて、実際の観測に基づいた検証を行った。観測は、2014 年 8 月 26 日から石垣島 (北緯 24 度、東経 124 度) にある電子航法研究所の観測施設において実施している。観測機器はカメラ (Watec WAT-910HX)、魚眼レンズ (Fujinon YV2.2\*1.4A-2)、中心波長 632 nm、半値幅 10 nm の光学フィルターによって構成されている。カメラは約 4 秒の露光時間を持ち、毎晩 18 から 06 JST まで観測を行っている。

本イメージャ観測の問題点は非冷却の CCD カメラを用いているために得られた画像にノイズが入り、プラズマバブルの詳細な構造を観測できないことである。そこで、4 秒の原画像を数分にわたって平均し、さらに 1 時間の平均画像を背景画像と仮定し差し引く処理を行った結果、プラズマバブルの詳細な空間構造を可視化することができた。プラズマバブルによる大気光強度の減少値は観測時間、位置で異なる。今回は減少値、 $S = 25, 50, 100, 150 R$  の場合について S/N 比を算出した。原画像ではそれぞれ約 0.4, 0.9, 1.8, 2.7、2 分間移動平均した画像の場合 2.9, 5.8, 11.6, 17.4 となり、移動平均する時間を長く確保すれば S/N 比が向上することが分かった。しかし、プラズマバブルは約 100 m/s で移動するため、平均時間を長くすると画像がぼやけ詳細構造の判別が難しくなる。本イメージャ観測での適切な平均時間を決定するため、S/N 比と処理画像におけるプラズマバブルの見え方を比較検討した結果、2 分間平均が適切であると判断した。

この観測システムを用い 2014 年 9 月から 2016 年 7 月まで観測を行った結果、3 月、9 月付近でプラズマバブルの発生頻度が高いこと、西から東に移動することを確認できた。これは過去研究に示されたプラズマバブルの特徴と一致している。2015 年 3 月 13 日には、プラズマバブルの移動速度が徐々に遅くなる事例が観測された。その事例について解析したところ、発光層を 250km とした場合 100 m/s から 40 m/s まで速度が減少していた。発表では、このプラズマバブルのドリフト速度減少の要因について考察を行う。さらに、プラズマバブル発生時の GPS シンチレーションデータとの

比較を行い、プラズマバブルによる S4 指数の変化について調べた。2016 年 3 月 1 日に観測された事例では、S4 指数はプラズマバブル通過時に最大で 0.7 まで上昇した。またプラズマバブルの前方(東側)の輪郭部分において特に S4 指数が上昇することが分かった。

## 長期間 CHAMP 衛星データを用いた赤道異常の空間構造に関する研究

# 渡邊 祐貴 [1]; 細川 敬祐 [1]; Liu Huixin [2]  
[1] 電通大; [2] 九大・理・地惑

## Statistical Study of Equatorial Anomaly Structure with CHAMP

# Yuki Watanabe [1]; Keisuke Hosokawa [1]; Huixin Liu [2]  
[1] UEC; [2] None

Ionospheric electron density distribution is known to have two peaks at around 12,3 degree magnetic latitude. Such a pair of band-like electron density enhancement at low latitudes is called equatorial anomaly (EA). EA is believed to be generated through the plasma fountain effect caused by the daytime eastward electric field near the magnetic equator. Since trans-ionospheric satellite communications including GPS navigation system are sensitive to the ionospheric electron density, it is important to model/predict the daily variation of EA. To date, however, the prediction and daily variation of EA have not been well established. Although EA is a global phenomenon, many of the previous studies have investigated the behavior of EA by using a fixed single point ground-based measurement. Besides, most of the past studies are based on analyses of case examples. Therefore, statistical analyses of EA using global satellite data is highly demanded to figure out the spatial distribution of EA.

The purpose of this study is to investigate the specific feature of EA based on in-situ observations of the topside F region electron density by the CHAMP satellite. Six-years electron density measurements from 2001 to 2006 were analyzed in a statistical fashion. To investigate the latitudinal profile of EA in detail, we have developed an algorithm which can retrieve the latitude of two peaks of EA every overpass of CHAMP across the magnetic equator. By using such a database of the latitudinal separation of EA, seasonal and annual variations of the EA were derived more quantitatively than the previous studies. In addition, the latitudinal separation of the two EA peaks was found to depend on  $K_p$ , Dst and the sign of the IMF Bz. Furthermore, it was found that the peak densities of the two EA crests are not always symmetry, and the EA has longitudinal variation. Such asymmetric structures and latitudinal dependencies might be related to the occurrence of plasma bubbles.

日の出から真夜中にかけて、電離圏の電子密度は磁気的な低緯度領域(磁気緯度の南北 12-13 度付近)に極大を形成する。磁気赤道を中心に南北に帯状の領域が現れるこの現象を赤道異常と呼び、日常的に存在する普遍的な構造である。赤道異常は、昼間の東向き電場と南向きの地球磁場による  $E \times B$  ドリフトによってプラズマが上空に打ち上げられ、重力と圧力の勾配により磁力線に沿って低・中緯度まで拡散されることによって発生すると考えられている。発達した赤道異常は衛星測位の精度に大きな影響を与えることが知られているが、赤道異常の発生や発達の予測やその日々変動の理解は未だに不十分である。その原因のひとつとして、これまでの研究は定点観測データを用いたものが多く、局所的な観測に限られていた事が挙げられる。グローバルに変化する現象である赤道異常の発生予測には衛星データを用いた全球的な研究が不可欠であるが、その研究はほとんど行われていない。また、これまでの衛星による統計解析は解析期間が短いものが多く、長期データを用いた統計解析は極めて珍しい。

本研究は、CHAMP 衛星によって取得された 2001 年から 2006 年までの 6 年間にわたる電子密度計測データを用いて統計解析を行うことにより、赤道異常の分布やその特性を統計的に調べることを目的としている。特に、赤道異常の発生の有無、場所・時間、規模などを特徴付けるパラメータを 1 軌道毎に取得する自動検出アルゴリズムを構築し、大規模データセットに対して適用した。磁気緯度と電子密度の関係のプロットでは、赤道異常帯に 2 つのピークが検出される。この 2 つのピークの緯度幅やピーク密度を抽出することにより、赤道異常の規模が示す季節・年変化および  $K_p$  指数、Dst 指数、惑星間空間磁場 IMF などの地磁気擾乱指数に対する依存性について調べた。その結果、赤道異常が示す年・季節変化をより定量的に確認することができた。また、磁気擾乱度が大きくなるにつれて赤道異常の緯度幅が広がることが明らかになった。続いて、2 つのピークの電子密度の南北非対称性に注目し研究を進めた。その結果、南北非対称性は磁気擾乱度に依存していることが分かった。さらに、1 回の自動検出時における衛星の地理経度がほぼ一定であるという特徴から、経度に注目して解析を進めた。その結果、赤道異常には経度依存性があることを発見した。そして、これらの南北非対称性や経度依存性はプラズマバブルの発生頻度と関連性がある可能性が示唆された。発表ではこれらの結果について報告を行う予定である。

## S-310-44号機観測ロケットによるSq電流系中心付近の電場観測

# 安宅 祐香 [1]; 石坂 圭吾 [2]; 阿部 琢美 [3]; 田中 真 [4]; 熊本 篤志 [5]; 吉川 顕正 [6]; 松下 拓輝 [7]

[1] 富山県立大; [2] 富山県大・工; [3] JAXA宇宙科学研究所; [4] 東海大・情教セ; [5] 東北大・理・地球物理; [6] なし; [7] 九大・理・地惑

## Electric Field Measurements Project in Sq Current by S-310-44 Sounding Rocket

# Yuka Ataka[1]; Keigo Ishisaka[2]; Takumi Abe[3]; Makoto Tanaka[4]; Atsushi Kumamoto[5]; Akimasa Yoshikawa[6]; Hiroki Matsushita[7]

[1] Toyama Pref. Univ.; [2] Toyama Pref. Univ.; [3] ISAS/JAXA; [4] Tokai Univ.; [5] Dept. Geophys, Tohoku Univ.; [6] ICSWSE/Kyushu Univ.; [7] Earth and Planetary Sciences, Kyushu Univ.

The Sq current system occurs in the lower ionosphere in the winter daytime. The center region of the Sq current system is appeared the specific plasma phenomenon such as electron heating, strong electron density disturbance. S-310-44 sounding rocket equipped with each instrument, and was launched toward the center of the Sq current system. The rocket observes the physical quantity for the investigation of the specific phenomenon. As similar experiment, S-310-37 sounding rocket had been performed in the past, however it was not possible to observe the electric field component. It is one of the reasons that the photo electron caused by the sunlight that is irradiated to the rocket body, and affect the electric field observations. It is very difficult to remove the influence of the photo electron from the observed data. If it is possible to put the electrode of the electric field sensor outside of the region where there becomes the photo electron around the rocket body, the influence of the photo electron can be reduced. Therefore, the antennas need a length as long as possible to observe the electric field. Accordingly, the antennas of S-310-44 sounding rocket is 4m tip-to-tip that is twice as length than the antennas of S-310-37 sounding rocket. The purpose is to reduce the influence of the photo electron moreover to measure the electric field more accuracy.

It was carried out the S-310-44 sounding rocket experiment at 12:00 LT on January 15, 2016. This rocket passed through near the center of the Sq current system. In addition, scientific observation instruments that are equipped on the rocket also operated normally. There was not seen the effect by photo electron in observed the electric field data. This data is a major clue. There was not seen the effect by photo electron in observed the electric field data. Here we analyze the electric field data obtained in the S-310-44 sounding rocket, we describe the derivation result of the critical the electric field vector in the elucidation of the Sq current system generating mechanism. The EFD was able to observe the electric field in the altitude of 160km from 100km. It is an important clue for the Sq current system generating mechanism elucidation. The observed data are included in the induced electric field that induced caused by the rocket to pass through the magnetic field in addition to the natural electric field. In the present study, calculates the induced electric field using orbital information of the rocket and IGRF to determine the nature electric field vector and to remove the induced electric field from the observed data. Here we analyze the electric field data obtained in the S-310-44 sounding rocket, we describe the derivation result of the critical the electric field vector in the elucidation of the Sq current system generating mechanism.

冬期昼間において電離圏下部ではSq電流系と呼ばれる領域が発生し、その中心付近には電子加熱、強い電子密度擾乱等の特異なプラズマ現象が生じている。S-310-44号機観測ロケット実験は、Sq電流系中心に向けて打上げ、特異現象の解明のための鍵となる物理量を観測することが目的である。過去にもS-310-37号機観測ロケットで行われたが、電場を十分に解析することができなかった。これは、ロケット本体に太陽光が照射されることによって生じる光電子が電場観測に影響を与えたことが原因の一つである。観測データから完全に光電子パルスの影響を除去することは非常に困難である。そこでロケット本体から放出される光電子が分布している領域から外へ電場センサとなる電極を出すことが可能であれば、光電子パルスの影響を少なくできる。したがって、アンテナの長さを可能な限り長くして、観測を行う必要がある。そこでS-310-44号機観測ロケットでは、アンテナの長さをS-310-37号機観測ロケットの2倍の4m Tip-to-Tipにし、光電子パルスの影響を少なくするとともに電場の測定精度を向上させる。

2016年1月15日に、S-310-44号機観測ロケット実験が行われた。ロケットは計画通りにSq電流系の中心付近を通過した。また、搭載された科学観測機器も正常に動作した。電場観測装置において観測されたデータを見ると、S-310-37号機で見られた光電子の影響は見られなかった。高度100kmから160km付近の電場を観測することができ、これらの観測データはSq電流系の高温生成メカニズム解明のための重要な手掛かりとなる。観測された電場データには自然電場のみでなく、観測ロケットが磁場を通過することにより生じる誘導電場を含んでいる。本研究では自然電場ベクトルを算出するため、観測ロケットの軌道情報等のデータやIGRFの磁場モデルを用いて誘導電場を算出し、観測データから誘導電場を除去する。これらの解析により、電離圏中の電場の強度と方向を得る。本発表ではS-310-44号機で得られた電場データを解析し、Sq電流系の生成メカニズムの解明に重要な電場ベクトルの導出結果について述べる。



## S-520-29号機により観測された電波伝搬特性を用いた電子密度推定

# 石坂 圭吾 [1]; 芦原 佑樹 [2]; 熊本 篤志 [3]; 阿部 琢美 [4]; 栗原 純一 [5]

[1] 富山県大・工; [2] 奈良高専・電気; [3] 東北大・理・地球物理; [4] JAXA宇宙科学研究所; [5] 北大・理・宇宙

**Electron density profile estimated from the propagation characteristics of radio waves by S-520-29 sounding rocket**

# Keigo Ishisaka[1]; Yuki Ashihara[2]; Atsushi Kumamoto[3]; Takumi Abe[4]; Junichi Kurihara[5]

[1] Toyama Pref. Univ.; [2] Elec. Eng., Nara NCT.; [3] Dept. Geophys, Tohoku Univ.; [4] ISAS/JAXA; [5] CosmoSciences, Hokkaido Univ.

S-520-29 sounding rocket experiment was launched from Uchinoura Space Center (USC) at 19:10 JST on 17 August, 2014. This rocket is equipped with the LF and MF band radio receiver(LMR) in order to observe propagation characteristics of LF and MF band radio waves during the rocket flight. The LMR received three radio waves of 873kHz (JOGB), 666kHz (JOBK) and 60kHz (JJY) from the ground stations. In these sounding rocket experiment, the LMR was working properly, and it could successfully observe propagation characteristics of three radio waves. Then, we analyzed the doppler shift frequencies of radio waves. From these analyze, we measured the electron density profile in the ionosphere. The measured electron density profile consisted with the observed electron density profile obtained with other instrument.

In this presentaion, we will explain the results of LF and MF band radio waves observations and the electron density profile in the ionosphere obtained to analyze the doppler shift frequencies of radio waves by the S-520-29 sounding rocket. Then, we compare the measurement electron density profile with the other instrument.

## S-520-26号機による中緯度電離圏中のDC電場観測

# 山本 淳史 [1]; 石坂 圭吾 [2]; 田中 真 [3]; 山本 衛 [4]; 阿部 琢美 [5]

[1] 富県大・工・情報; [2] 富山県大・工; [3] 東海大・情教セ; [4] 京大・生存圏研; [5] JAXA宇宙科学研究所

## DC electric field measurement in the mid-latitude ionosphere by S-520-26 sounding rocket

# Atsushi Yamamoto[1]; Keigo Ishisaka[2]; Makoto Tanaka[3]; Mamoru Yamamoto[4]; Takumi Abe[5]

[1] Information Systems Engineering,

Toyama Prefecture University; [2] Toyama Pref. Univ.; [3] Tokai Univ.; [4] RISH, Kyoto Univ.; [5] ISAS/JAXA

S-520-26 sounding rocket experiment was launched at Uchinoura Space Center (USC) in Japan at 5:51 JST on 12 January, 2012. The purpose of this experiment is the investigation of the bonding process between the atmospheres and the plasma in the thermosphere. The S-520-26 payload was equipped with Electric Field Detector (EFD) with two set of orthogonal double probes. In the sensor unit of EFD, ITA (inflatable tube antenna) and RA (ribbon antenna) were equipped. The tips of each antenna were attached the electrodes to the probe, and it performed observe the electric field by measuring the electric potential difference between the probes. Observation data was amplified by the preamplifier, and it was transmitted to the ground station from the main electronics unit.

The electric field that a rocket observes is the natural electric field and the  $V \times B$  electric field. Therefore, in order to determine the nature electric field, it is necessary to calculate the  $V \times B$  electric field from a rocket velocity and the magnetic field data, and subtract the  $V \times B$  electric field from observed electric field. Then, removing the spin component from the natural electric field, and it performs a moving average for removing pulse noise by photoemission. From these steps, we will derive DC electric field vectors on the geographic coordinate system in the ionosphere.

In this study, we analyzed the electric field data during from 180 seconds to 380 seconds after rocket launched. There was the difference of the 1/4 wavelength in the wave pattern of two electric field strength observed from ITA and RA. This result indicates that the two antennas are extended orthogonally. In addition, we confirmed the direction of the  $V \times B$  electric field. Then, we understood that the direction of the  $V \times B$  electric field changed from north-northwest to the east-northeast while it inclined on diagonally upward. Moreover, we understood that the magnitude of the  $V \times B$  electric field grew large as change into the east-northeast direction.

In this study, we analyzed DC electric fields in ionosphere using electric field data observed by EFD which carried by an S-520-26 sounding rocket. In the future, we will remove the induced electric field and the spin component from the observed value of the electric field, and derive the vector of natural electric field. In addition, we will provide the basic data for the elucidation of the plasma dynamics in the ionosphere.

2012年1月12日05時51分(JST)に鹿児島県内之浦宇宙空間観測所からS-520-26号機観測ロケットが打ち上げられた。本ロケット実験は熱圏中性大気とプラズマ結合過程の解明を目的としている。本ロケットには電離圏中の電場を観測するため、ロケットの頭胴部にセンサ部、プリアンプ部、メインエレクトロニクス部からなるEFD(電場観測装置)が搭載された。EFDのセンサ部には2軸のアンテナとなるITA(インフレーションチューブアンテナ)とRA(リボンアンテナ)が搭載された。各アンテナの先端10cmには、プローブとなる電極が取り付けられており、プローブ間の電位差を計ることによって電場の観測を行う。観測データはプリアンプ部で増幅され、メインエレクトロニクス部より地上に送信される。

ロケットが観測する電場は、自然電場とロケットが磁場を通過した際に生じる誘導電場の合成電場である。そのため、自然電場を求めるためには、磁場データとロケットの飛行速度から誘導電場の値を算出し、電場の観測値から誘導電場を減算する必要がある。その後、求めた自然電場からスピン成分を取り除き、光電子放出によるパルス性ノイズを取り除くための移動平均を行う。これらの手順から、地理座標系での電離圏中のDC電場のベクトルを導出する。

本研究では、ロケット打ち上げ後180秒から380秒までの電場データの解析を行った。

ITA、RAより観測された2つの電場強度の波形には、1/4波長の差があった。これより2つのアンテナは直交して伸展されたことが確認できた。また、誘導電場  $V \times B$  ベクトルの方向を確認したところ、 $V \times B$  ベクトルの方向が斜め上方向に傾きながら、北北西から東北東方向に変化していることが分かった。また、 $V \times B$  ベクトルの大きさは東北東方向に変化していくほど大きくなることが分かった。

本研究では、S-520-26号機観測ロケットに搭載されたEFDにより観測された電場データを用いて、ロケット打ち上げ後180秒から380秒までの電離圏中のDC電場の解析を行った。今後は、電場の観測値から誘導電場、スピン成分を取り除き、自然電場のベクトルを求める。

そして、電離圏中のプラズマダイナミクスの解明のための基礎データを提供する。

## S-310-40号機観測ロケットにより観測された中波帯電波の伝搬特性解析

# 岡 大貴 [1]; 石坂 圭吾 [2]; 阿部 琢美 [3]; 熊本 篤志 [4]

[1] 富山県大・工・情報; [2] 富山県大・工; [3] J A X A 宇宙科学研究所; [4] 東北大・理・地球物理

## Analysis of propagation characteristic of MF band radio waves observed by S-310-40 sounding rocket

# Daiki Oka[1]; Keigo Ishisaka[2]; Takumi Abe[3]; Atsushi Kumamoto[4]

[1] Toyama Pref. Univ.; [2] Toyama Pref. Univ.; [3] ISAS/JAXA; [4] Dept. Geophys, Tohoku Univ.

Receiving AM radio broadcast on the ground, we can receive a distant broadcast at night that cannot receive it in the daytime. This is because D layer disappears at night, MF band radio wave which have been absorbed by D layer is reflected by E layer and MF band wave propagates in the distance. However, phenomenon that the broadcasting cannot be received has been confirmed in Kagoshima Prefecture at night. In order to investigate the occurrence of it, we measured the radio wave of NHK Kumamoto 2nd broadcasting (873kHz) which cannot be received in the daytime at Uchinoura Space Center at night. As a result, we confirmed that radio wave intensity decreased from 90 to 150 minutes after sunset in the winter night. As one of the reason, we guessed that a region of high electron density occurred on lower ionosphere. Therefore, we launched S-310-40 sounding rocket at Uchinoura Space Center on 19 December 23:48 (JST), in order to investigate abnormal radio wave propagation at night. The rocket was equipped with LF/MF band radio receiver. LM/MF band radio receiver received 4 radio waves of 873 kHz (JOGB), 666 kHz (JOBK), 405 kHz (Minami Daitou radio navigation beacons), 60 kHz (JJY). Moreover, this rocket was the fast Langmuir probe (FLP), the impedance probe (NEI) too, we observed the electron density profile with them. In this study, we analyze the propagation characteristics of radio wave and estimate electron density profile by the radio wave intensities of 873 kHz and 60 kHz radio waves. In analysis of the propagation characteristics of radio wave, we calculate the propagation vector of radio waves by using a Doppler shift calculation obtained by frequency analysis. In estimation of electron density profile, we solve Booker's formula by using Doppler shift calculation, and estimate electron density profile. Consequently, we can obtain the propagation characteristic of radio wave when radio waves propagated unusually, and we can estimate electron density in ionosphere. From the result of estimation of electron density profile in ionosphere, we confirm whether a region of high electron density occurred suddenly on lower ionosphere, and identify the cause of abnormal propagation of MF band radio waves.

地上において AM ラジオ放送を受信していると、昼間は受信することができない遠方からの放送を夜間に受信することがある。これは、夜間において、電離圏の D 層が消滅し、D 層において吸収されていた中波帯電波が、E 層によって反射され、遠方へと伝搬するからである。しかし、鹿児島県内之浦において、夜間に突然、放送が受信できなくなる現象が確認された。この現象の発生原因を調査するため、鹿児島県・内之浦宇宙空間観測所において、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 (873 kHz) を用いて、夜間の電波受信実験が行われた。その結果、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。この原因の 1 つとして、電離圏下部領域に突発的に高電子密度領域が発生したと推測される。そこで、夜間における電波の異常伝搬を調査することを目的し、2011 年 12 月 19 日 23 時 48 分 (JST) に鹿児島県内之浦宇宙空間観測所から S-310-40 号機観測ロケットが打ち上げられた。この観測ロケットには長・中波帯電波受信機 (LMR) が搭載されており、873kHz(NHK 熊本第 2 放送)、666kHz(NHK 大阪第 1 放送)、405kHz(南大東無線航行用ビーコン)、60kHz(標準電波) の電波が受信された。また、高速ラングミュアプローブ (FLP)、インピーダンスプローブ (NEI) が搭載され、電子密度プロファイルの観測も同時に行われた。本研究では、873kHz と 60kHz 電波の受信強度を用いて、電波伝搬特性の解析および電子密度分布の推定を行う。電波伝搬特性の解析では、周波数解析により受信電圧を特性波に分離し、分離したデータからドップラーシフトを計算することで電波の伝搬ベクトルを求める。電子密度分布の推定では、得られたドップラーシフトから Booker の方程式を解き、電子密度分布を推定する。以上に示した方法を用いることで、異常伝搬時の地上-電離圏間の伝搬特性が得られ、電離圏中の電子密度分布を推定することができる。そして、この電離圏中の電子密度分布の推定結果より、電離圏下部領域に突発的に高電子密度領域が発生していたか確認し、中波帯電波の異常伝搬の原因を特定する。