

## 音波モード大気波動の地上微気圧変動における特性と電離圏への影響 Characteristics of acoustic mode gravity waves on the ground and their effect in the ionosphere

\*家森 俊彦<sup>1</sup>、小田木 洋子<sup>1</sup>、杉谷 茂夫<sup>2</sup>、佐納 康治<sup>3</sup>、品川 裕之<sup>2</sup>、大野 敏光<sup>4</sup>、田中 良和<sup>5</sup>、能勢 正仁<sup>1</sup>、井口 正人<sup>6</sup>、橋口 浩之<sup>7</sup>、横山 佳弘<sup>1</sup>、青山 忠司<sup>1</sup>、中西 邦仁<sup>1</sup>、パンサパ ビジャック<sup>8</sup>

\*Toshihiko Iyemori<sup>1</sup>, Yoko Odagi<sup>1</sup>, Shigeo Sugitani<sup>2</sup>, Yasuharu Sano<sup>3</sup>, Hiroyuki Shinagawa<sup>2</sup>, Toshimitsu Ohno<sup>4</sup>, Yoshikazu Tanaka<sup>5</sup>, Masahito Nose<sup>1</sup>, Masato Iguchi<sup>6</sup>, Hiroyuki Hashiguchi<sup>7</sup>, Yoshihiro Yokoyama<sup>1</sup>, Tadashi Aoyama<sup>1</sup>, Kunihito Nakanishi<sup>1</sup>, Vijak Pangsapa<sup>8</sup>

1. 京都大学大学院理学研究科、2. 情報通信研究機構、3. 朝日大学経営学部、4. 仁淀川町しももの郷、5. 京都大学、6. 京都大学防災研究所、7. 京都大学生存圏研究所、8. チュラロンコン大学理学部

1. Graduate School of Science, Kyoto University, 2. National Institute of Information and Communications Technology (NICT), 3. Asahi University, 4. Shimonano-Sato, Niyodogawa-cho, 5. Kyoto University, 6. DPRI, Kyoto University, 7. RISH, Kyoto University, 8. Faculty of Science, Chulalongkorn University

下層大気からの短周期大気波動が電離層ダイナモを介して中低緯度に微細な沿磁力線電流を流していることが、地震・火山噴火・台風時の地上微気圧および磁場変動や、低高度磁場精密観測衛星のデータ解析から明らかになってきた。磁気リップル(magnetic ripples)と名付けられた電離圏上部で観測される沿磁力線電流による磁場変動(振幅0.1-1nT、空間スケール100-200km程度)はほぼ常時観測され、統計的振幅分布のグローバルな地理的特性やlocal time依存性から、積雲対流が主要な源であると推測されている。しかし、下層大気からの大気波動の種類や周期および気象状況との対応は、必ずしも明確にはなっていない。当研究では、地上で行っている微気圧変動観測データと磁場観測データを解析することにより、そのスペクトル特性と、その中で重力音波共鳴現象の寄与とその出現特性を定量的に見積もり、磁気リップル現象から逆に推定できる気象パラメータを明らかにすることを目指している。

予備的解析からは、以下のような特性が得られている。

- ・ 気圧および磁場共に、スペクトル密度の平均値は、周期とともに単調増加
- ・ 気圧および磁場共に昼間側の方が大きい。
- ・ 気圧については、音波モードの領域で増大
- ・ 音波共鳴周期付近でパワーの分散が大きい (特に気圧)
- ・ スペクトルピークの出現分布も音波共鳴周期付近で増大する。 共鳴現象は間欠的に発生
- ・ 100秒-150秒付近にも気圧変動のピークが現れる。
- ・ 観測所により、ピークの位置が多少異なり、低緯度のPhimai 観測点のピークはやや周期が短い傾向が存在。季節依存性も存在。

キーワード：微気圧変化、重力音波、電離層電流、重力音波共鳴

Keywords: micro-barometric variation, acoustic mode gravity waves, ionospheric current, vertical acoustic resonance



## Swarm衛星で観測された磁気リップルと下層大気の擾乱との関連性 Relationship between magnetic ripples observed by the Swarm satellites and lower atmospheric disturbances

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

\*Tadashi Aoyama<sup>1</sup>, Toshihiko Iyemori<sup>1</sup>, Kunihiro Nakanishi<sup>1</sup>

1. 京都大学大学院理学研究科

1. Graduate School of Science, Kyoto University

The Swarm satellites, which are the low Earth, polar orbiting satellites, observed small-amplitude (0.1–5 nT) magnetic fluctuations, so-called magnetic ripples (MRs), with period around a few tens of seconds along the satellite orbit in the topside ionosphere at middle and low latitudes. A possible generation mechanism of the MRs is as follows. (1) The atmospheric waves generated by the lower atmospheric disturbance propagate to the ionospheric layer. (2) The neutral wind perturbations caused by the atmospheric wave drive the ionospheric layer dynamo, so that Hall and Pedersen currents flow in the ionosphere. (3) Because the dynamo region is limited, directions of the dynamo electric fields in the two adjoining dynamo regions with the spatial scales of the neutral wind perturbation apart are opposite. Therefore the ionospheric currents diverge to flow along the geomagnetic field-line with much higher conductivity. (4) As an Alfvén wave with polarized electric field, the front of the current circuit propagates along the geomagnetic field-line to the conjugate point on the ionosphere. (5) The currents are closed to make an electric current circuit which is made up of the currents in the ionosphere and field-aligned currents (FACs). The MRs are the spatial structure of small-scale FACs, and we confirmed with the Swarm observations their basic characteristics to be almost the same with those obtained by the CHAMP satellite. That is, the global distribution of the averaged MR amplitudes has clear geographical, seasonal and local time dependence highly correlated with the ionospheric conductivities. We found that the averaged amplitudes of the MRs derived from the Swarm-B satellite which flies about 50 km higher altitude are slightly smaller than those of the Swarm-A and -C, suggesting that the location of origin of the MRs is below ~470 km altitude, i.e., not in the magnetosphere. From the global distribution and its characteristics, the source of the MRs has been expected to be the atmospheric waves generated by lower atmospheric disturbances including the effects of earthquakes or volcanic eruptions. The fact that the MRs appear almost always suggests that some typical meteorological phenomena are the main source of MRs. To confirm the suggestion, we tried to find the connection between the MRs and typhoons as the first step. To show the evidence which correlates the MRs with typhoons, we performed an event and a statistical analyses with track data of typhoons. The data of 54 typhoons during the period from 26 November 2013 to 31 July 2016 are used for the statistical analysis. The results show that the averaged amplitudes of the MRs during typhoon activity are, in general, except for the day side local time sector, larger than those during non-typhoon condition. The event analyses indicate amplitudes enhancement of the MRs around the typhoons, and the latitude of the enhancement moved with the typhoon. These analyses indicate that typhoons are one of the source meteorological phenomena of the MRs. From the comparison with the infrared brightness temperature data the convection activity include typhoon seems to affect the amplitude of MRs. These results indicate that the MRs are generated by the lower atmospheric waves through the ionospheric dynamo.

キーワード：磁気リップル、磁場変動、沿磁力線電流、電離層ダイナモ、重力音波、Swarm衛星

Keywords: Magnetic ripple, Magnetic fluctuation, Field-aligned current, Ionospheric dynamo, Acoustic gravity wave, Swarm

## Ionospheric disturbances associated with volcanic eruptions observed by GPS-TEC and HF Doppler sounding

\*長南 光倫<sup>1</sup>、中田 裕之<sup>1</sup>、大矢 浩代<sup>1</sup>、鷹野 敏明<sup>1</sup>、富澤 一郎<sup>2</sup>、津川 卓也<sup>3</sup>、西岡 未知<sup>3</sup>

\*Aritsugu Chonan<sup>1</sup>, Hiroyuki Nakata<sup>1</sup>, Hiroyo Ohya<sup>1</sup>, Toshiaki Takano<sup>1</sup>, Ichiro Tomizawa<sup>2</sup>, Takuya Tsugawa<sup>3</sup>, Michi Nishioka<sup>3</sup>

1. 千葉大学大学院工学研究科、2. 電気通信大学、3. 情報通信研究機構

1. Graduate School of Engineering, Chiba University, 2. The University of Electro-Communications, 3. National Institute of Information and Communications Technology

It is reported that ionospheric disturbances are caused not only by solar-terrestrial conditions but the phenomena below the ionosphere such as earthquakes, typhoons and volcanic eruptions. Compared with ionospheric disturbances caused by earthquakes, there are very few studies examining the ionospheric disturbances associated with volcanic eruptions.

In this study, we have examined ionospheric disturbances associated with volcanic eruptions using GPS-TEC and HF Doppler sounding. We detected ionospheric disturbances associated with Mt. Asama eruption at 11:02 UT on Sep., 1st, 2004. In HF Doppler sounding observation, the spiky disturbances whose frequency is about 7 - 16 mHz was observed firstly. Following this disturbances, longer-period disturbance was appeared, whose frequency is about 3 - 5 mHz. The former disturbance was also observed by GPS-TEC,

whose ionospheric pierce points were located near the Mt. Asama. From the propagation time of this disturbance, it is possible that the eruption generated shock waves which propagated to the higher ionosphere. In terms of the frequency, the latter disturbances observed by HFD sounding shows the resonance of the atmospheric wave between the lower ionosphere and the ground.

キーワード：電離圏、GPS-TEC、HFドップラー

Keywords: Ionosphere, GPS-TEC, HF Doppler

## 地磁気Sq場の長期変化とその要因

### Long-term variation of geomagnetic Sq field and its cause

\*竹田 雅彦<sup>1</sup>

\*Masahiko Takeda<sup>1</sup>

1. 京都大学大学院理学研究科付属地磁気世界資料解析センター

1. Data Analysis Center for Geomagnetism and Space Magnetism, Graduate School of Science, Kyoto University

地磁気Sq場は主に電離層を流れる電流で生じているので、特にその水平2成分の長期変化は電離層電流、ひいては熱圏の長期変化を知るために有用である。特に電離層Sq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ることができる。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評価できることになる。その結果、Sq場から評価された熱圏圧力差の長期変化はほぼ太陽活動度のみ起因していると思わせることが示された。

発表時にはさらに電気伝導度や主磁場永年変化との関係についても触れる予定である。

キーワード：地磁気日変化、長期変化、太陽活動度、熱圏圧力差、電気伝導度、主磁場強度

Keywords: geomagnetic daily variation, long term variation, solar activity, pressure difference in the thermosphere, electric conductivity, geomagnetic main field strength

# Bimodal electron energy distribution observed by sounding rocket in the Sq current focus

\*阿部 琢美<sup>1</sup>

\*Takumi Abe<sup>1</sup>

1. 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 太陽系科学研究系

1. Japan Aerospace Exploration Agency, Institute of Space and Astronautical Science, Department of Solar System Sciences

昼側電離圏のSq電流系中心に発生する電子加熱およびプラズマ特異現象の発生メカニズム解明を主目的とする観測ロケット実験が2016年1月15日に行なわれた。この観測ロケット(S-310-44号機)には電子エネルギー分布・電子密度擾乱測定器(FLP)、電場計測器(EFD)、プラズマ波動測定器(PWM)、磁場計測器(MGF)等計5個の測定器が搭載され、現象解明のカギとなるパラメータの観測が行われた。1年前の速報ではFLPの観測結果として高度100~110 kmの電子温度が背景に比して約200 K上昇していたことを報告した。本発表では、その後に行った電子エネルギー分布に関する解析結果について報告を行なう。

FLPでは、直径3mmの円筒プローブに印加する周期10Hz・振幅3Vの三角波電圧に周波数2kHzの微小振幅の正弦波を重畳し、その2倍の高調波成分を取り出すことで、所謂プローブのV-I特性の2次微分成分の推定が可能である。電子エネルギー分布関数は2次微分成分を用いた式で表されるため、ロケットから見た空間電位が決定されれば、電子エネルギー分布関数を導き出すことが出来る。2次微分電流成分の印加電圧に対する変化において、空間電位は電流値の鋭い極小(dip)として現れるため、一般には容易に判断できる。

実際に観測されたデータにおいては、高度100 km付近までは比較的単調なエネルギー分布が観測され、ラングミュアカーブにおいて電子減速領域と定義される電圧範囲の2次高調波電流の変化から電子温度と電子密度が推定された。しかし、高度100~110 kmでは空間電位を表すdipが次第に不明瞭になり、中には空間電位の判断に躊躇するデータもあった。更に高い高度110 km以上の観測データでは、空間電位と見なされるdipの高エネルギー側にbimodal(2つ山)の分布が現れるようになった。2つの分布が観測される可能性としては、1)2つの異なる温度をもつエネルギー分布、2)非等方的なエネルギー分布、3)stationalな熱的電子に加えバルクエネルギーをもつ電子集団の存在、の3つが考えられる。また、bimodalな分布の特徴として、ロケットのspin位相に伴ってピーク電流の値が周期的に変化することがあげられ、これは分布の起源に関連したものであると考えられる。発表ではこれらのエネルギー分布の特徴に関する解析結果を紹介し、その起源および100-110 km高度で観測された高い電子温度との因果関係について議論を行う。

キーワード：Sq電流系、電子エネルギー分布、観測ロケット、電子加熱

Keywords: Sq current system, Electron energy distribution, Sounding rocket, Electron heating

## Variations in the D-region heights during the total solar eclipse of 9 March 2016 in Indonesia using AVON data

\*大矢 浩代<sup>1</sup>、深山 恭平、土屋 史紀<sup>2</sup>、中田 裕之<sup>1</sup>、山下 幸三<sup>3</sup>、高橋 幸弘<sup>4</sup>

\*Hiroyo Ohya<sup>1</sup>, Kyohei Miyama, Fuminori Tsuchiya<sup>2</sup>, Hiroyuki Nakata<sup>1</sup>, Kozo Yamashita<sup>3</sup>, Yukihiro Takahashi<sup>4</sup>

1. 千葉大学大学院工学研究科、2. 東北大学大学院理学研究科惑星プラズマ・大気研究センター、3. サレジオ工業高等専門学校、4. 北海道大学大学院理学研究院

1. Graduate School of Engineering, Chiba University, 2. Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, Graduate School of Science, Tohoku University, 3. Salesian Polytechnic, 4. Graduate School of Science, Hokkaido University

We report increase in the reflection heights of LF transmitter signals during a total solar eclipse in Indonesia on 9 March, 2016, using AVON (Asia VLF Observation Network) data. The transmitter signals of JJY-Fukushima (FKS, 40 kHz), JJY-Saga (SAG, 60 kHz), and BPC (China, 68.5 kHz) were received at Pontianak (PTK), Indonesia, where the maximum magnitude of the solar eclipse was 0.929 at 00:25 UT. The magnitude of the solar eclipse at the transmitter sites was about 0.2. The all paths did not cross the eclipse path. During the solar eclipse (00:00 –01:30 UT), the average changes of the phase delay of the SAG-PTK and BPC-PTK paths were 40° and 42°, respectively. Assuming a usual daytime height for the LF waves to be 70 km, the phase delays on both the SAG-PTK and BPC-PTK paths correspond to the increase in the reflection heights of about 1.5 km based on the Earth-ionosphere waveguide mode theory. The LF intensity of the FKS-PTK path during the solar eclipse was slightly larger by about 6.5 dB than that before and after the eclipse time. The increase in the LF reflection heights suggests the decrease in the D-region electron density during the solar eclipse.



## Modeling of Na airglow emission and first results on the nocturnal variation at midlatitude

\*Mallepula Venkata Sunil Krishna<sup>1</sup>, Tikemani Bag<sup>1,2</sup>

1. Indian Institute of Technology Roorkee, 2. Physical Research Laboratory, Ahmedabad

The ablation of meteors at the mesopause region results in the formation of sodium layer. Due to the fact that it has a large scattering cross section and also that it acts as a tracer for the thermal and dynamical states of the atmosphere in the mesosphere region, the mesospheric sodium has been studied extensively among the meteoric metals. A model for sodium airglow emission is developed by incorporating all the known reaction mechanisms. The neutral, ionic and photochemical mechanisms are successfully implemented into this model. The values of reaction rate coefficients are based upon the theoretical calculations as well from experimental observations. The densities of major species are calculated using the continuity equations, whereas for the minor, intermediating and short lived species steady state approximation method is used. The modeled results are validated with the rocket, lidar and photometer based observations for a branching ratio of 0.04. The inputs have been obtained from other physics-based models and ground- and satellite-based observations to give the combined volume emission rate (VER) of Na airglow between 80 and 110 km altitude. In the present study, the model is used to understand the nocturnal variation of Na VER during the solstice conditions. The model results suggest a variation of peak emission layer between 85 and 90 km during summer solstice condition, indicating a lower value of peak emission rate during summer solstice. The emission rates bear a strong correlation with the O<sub>3</sub> density during summer solstice, whereas the magnitude of VER follows the Na density during winter solstice. The altitude of peak VER shows an upward shift of 5 km during the winter solstice.

Keywords: mesospheric sodium, meteor ablation, ozone, modeling of atmosphere, mesospheric chemistry

## 日本上空の3次元電離圏トモグラフィ解析の機能向上

## Improvement of 3D analysis of ionospheric plasma density over Japan

\*水野 遼<sup>1</sup>、山本 衛<sup>1</sup>、斎藤 享<sup>3</sup>、齊藤 昭則<sup>2</sup>

\*Ryo Mizuno<sup>1</sup>, Mamoru Yamamoto<sup>1</sup>, Susumu Saito<sup>3</sup>, Akinori Saito<sup>2</sup>

1. 京大生圏研究所、2. 京都大学大学院理学研究科地球科学専攻地球物理学教室、3. 電子航法研究所航法システム領域

1. Kyoto University Research Institute for Sustainable Humanosphere, 2. Department of Geophysics Faculty of Science, Kyoto University, 3. Electronic Navigation Research Institute Navigation System Department

電離圏電子分布のリアルタイム情報は、衛星航法における計測誤差の補正や電離層擾乱観測に基づく津波警報システム等に必要とされている。GEONETを用いた電離層の2次元TEC変動分布は、以前より電子航法研究所によりリアルタイム解析が行なわれている。その一方で、電離圏の3次元分布については2016年の4月にリアルタイム解析が開始された。本研究では、電離圏の3次元トモグラフィ解析について、より実用的な改良を目的として、過去の観測データの一括解析と解析結果表示の自由度の拡張に取り組んでいる。

まず、過去の観測データの一括解析について述べる。電離圏の3次元分布のリアルタイム解析は2016年の4月に開始された。しかしながら、リアルタイム解析開始以前のデータに関しては解析が行なわれていない。本研究は、この過去の観測データを大型計算機によって一括解析し一般公開する。現在、2009年以降の観測データは解析が可能となっている。京都大学の大型計算機による並列処理によって、数時間分の観測データを30分程度で解析することが可能であることが確かめられたため、一括解析を進める。さらにGEONET観測データが存在する1996年まで順次さかのぼった大量データの解析を進めていく。次に、解析結果表示の自由度の拡張について述べる。現在の3次元リアルタイム解析の解析結果は特定断面での表示しかできない。そこで本研究は、任意の2地点を結ぶ線分上での垂直に切った断面図で、解析結果を表示するシステムを開発した。またこれに加え、解析を行った位置を明確にするために日本地図上に解析結果を表示させるシステムも開発した。今後、この開発した新たな表示方法の解析結果もweb上で一般公開する予定である。

## 新型イオノゾンデVIPIR2による電離圏の初期観測結果

### Preliminary results of the ionospheric observation by new ionosondes, VIPIR2

\*西岡 未知<sup>1</sup>、加藤 久雄<sup>1</sup>、山本 真之<sup>1</sup>、川村 誠治<sup>1</sup>、津川 卓也<sup>1</sup>、石井 守<sup>1</sup>

\*Michi Nishioka<sup>1</sup>, Hisao Kato<sup>1</sup>, Masayuki Yamamoto<sup>1</sup>, Seiji Kawamura<sup>1</sup>, Takuya Tsugawa<sup>1</sup>, Mamoru Ishii<sup>1</sup>

1. (独) 情報通信研究機構

1. National Institute of Information and Communications Technology

情報通信研究機構では、60年以上にわたってイオノゾンデによる電離圏観測を継続実施しており、その観測結果は、電離圏研究の基礎データとして、また、短波帯無線通信等の重要な情報源として活用されている。イオノゾンデ観測システムは幾多の変遷を重ねてきているが、2001年からは「10C型イオノゾンデ」により、国内4観測点（サロベツ、国分寺、山川、大宜見）で観測を続けてきた。また、イオノグラムからfoF2やfoEsなど電離圏主要パラメータを独自開発ソフトウェアで自動導出し、電離圏の現況把握や電離圏擾乱の警報発令に利用するとともに、インターネットで一般に公開している (<http://wdc.nict.go.jp/IONO/>)。しかし、10C型イオノゾンデでは、正常波と異常波を分離して観測することができないため、自動読み取りを困難にしている。一方、主に米国で開発されてきたVertical Incidence Pulsed Ionospheric Radar 2 (VIPIR2)は、複数のアレイアンテナにより、正常波と異常波の分離観測を可能としている。我々は、国内定常観測用イオノゾンデの後継機として、2014年度より、VIPIR2の導入を進めてきた。2016年2月には、国内4観測点においてハードウェアの設置を完了し試験運用を開始し、正常波と異常波の自動分離に成功している。また、複数のアンテナを用いた電波到来方向の推定にも取り組んでいる。本講演では、VIPIR2を用いた電離圏観測の初期結果について報告するとともに、今後のデータ活用方法について議論する。

キーワード：イオノゾンデ、VIPIR2、HFレーダー

Keywords: ionosonde, VIPIR2, HF radar

## 北米のGPS-TECを用いた電離圏擾乱の微細構造に関する研究

### Study of equatorward-extending structures of ionospheric irregularity using GPS-TEC in Northern America

\*杉山 俊樹<sup>1</sup>、大塚 雄一<sup>1</sup>、津川 卓也<sup>2</sup>、西岡 未知<sup>2</sup>

\*Toshiki Sugiyama<sup>1</sup>, Yuichi Otsuka<sup>1</sup>, Takuya Tsugawa<sup>2</sup>, Michi Nishioka<sup>2</sup>

1. 名古屋大学宇宙地球環境研究所、2. 情報通信研究機構

1. Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, 2. National Institute of Information and Communications Technology

北米には約2700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数(Total Electron Content; TEC)を測定することができる。

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度である。

2015年3月17日に発生した磁気嵐は、05 UTごろに始まり、Dst指数は23 UTに最小の-223 nTとなった。09:00-11:00 UTと21:00-24:00 UTにおいて、ROTI増大領域の拡大が観測された。09-11 UTにおけるROTI増大領域はDMSP衛星によって観測されたオーロラ粒子の降りこみ領域とほぼ一致した。また、21-24 UTにおける絶対値TECの水平二次元分布図ではSED (Storm Enhanced Density)がみられ、SEDの構造内部およびその極域でROTIが増大していることがわかった。

09:00-10:30 UTと13:00 UT-15:30 UTごろ、経度方向に約150kmスケールをもつROTI増大領域の微細構造が経線方向に伸びる様子が見られた。この構造は、オーロラ粒子の降りこみによるROTI増大領域の赤道側に現れ、緯度40度から50度の領域で見られた。Christmas valley(43.27 N, -120.36 E)に設置されたHFレーダーのビームごとのデータに最小二乗法を適用し、3月17日におけるプラズマドリフト速度を東西方向と南北方向に分けて算出した。その結果、09:00-11:00 UTと12:00-14:00 UTにおいて東向きのプラズマ速度増加が観測され、速度は約500m/sであった。プラズマの東向きドラフトが観測された時間帯とROTI増大領域の微細構造の発展がほぼ同時であったため、本研究ではこれらの関連性を考察する。

キーワード：電離圏、総電子数、GPS、ROTI

Keywords: Ionosphere, TEC, GPS, ROTI

## ノルウェー・トロムソにおけるGNSS受信機を用いた電離圏シンチレーションと全電子数の観測

### Observations of ionospheric scintillation and total electron content using Global Navigation Satellite System (GNSS) receivers in Tromsø, Norway

\*坂本 明香<sup>1</sup>、大塚 雄一<sup>1</sup>、小川 泰信<sup>2</sup>、細川 敬祐<sup>3</sup>

\*Sayaka Sakamoto<sup>1</sup>, Yuichi Otsuka<sup>1</sup>, Yasunobu Ogawa<sup>2</sup>, Keisuke Hosokawa<sup>3</sup>

1. 名古屋大学、2. 国立極地研究所、3. 電気通信大学

1. Nagoya University, 2. National Institute of Polar Research, 3. University of Electro-Communications

電離圏において電子密度不規則構造が存在すると人工衛星からの送信された電波の信号強度や搬送波の位相(キャリア位相)が変化することがある。これを電離圏シンチレーションと呼ぶ。電離圏シンチレーションには、受信信号の振幅(信号強度)が変動する振幅シンチレーションと、搬送波位相が変動する位相シンチレーションがある。振幅シンチレーションは、電子密度不規則構造により回折した異なる位相の信号と干渉し合うことによって発生する。振幅シンチレーション指数 $S_4$ は、受信信号強度の標準偏差を平均信号強度で正規化したものである。一方、位相シンチレーション $\sigma_\phi$ は、電波の伝搬経路上の屈折率変動による受信信号の位相変動であるため、電子密度の空間的・時間的変動によって引き起こされる。位相シンチレーション指数は、搬送波位相の標準偏差で定義される。位相シンチレーションは赤道域および極域のどちらにおいても発生するが、振幅シンチレーションは主に赤道域で大きく、極域では小さいことが知られている。

本研究では、ノルウェー・トロムソに設置されている2周波(L1: 1575.42 MHzとL2: 1227.60 MHz)のGlobal Navigation Satellite System(GNSS)受信機を用いて、高緯度における位相シンチレーションと振幅シンチレーションの比較・解析を行った。シンチレーション指数は、GPS衛星から送信される信号強度と位相を、サンプリング周波数50Hzで観測して調べた。本研究では、位相シンチレーション指数として $\sigma_\phi$ ではなく、TECの時系列の差分(ROT: Rate of TEC)の標準偏差であるROTI(Rate of TEC change Index)を用いた。従来の研究では、極域において振幅シンチレーションはほとんど発生しないとされていたが、本観測では低ノイズの受信機を使うことによって極域での弱い振幅シンチレーションも観測することができた。2013年1月から2015年12月までの3年分の観測データをもとに、 $S_4$ とROTIの季節変動を調べた。 $S_4$ とROTIは主に春と冬の夜間に大きな値になっており、季節・地方時依存性が見られた。このような特徴は、極域の夏季は太陽放射による電離生成により電子密度が一様になってしまうが、冬季の夜間では昼間側からの極冠域パッチなどによる電子密度不規則構造が存在するためだと考えられる。しかし、 $S_4$ とROTIが増大する時間は、必ずしも一致していなかったため、両値の日変動を調べた。このとき、 $S_4$ とROTIの増大が同時に発生した場合、 $S_4$ のみが増大した場合、ROTIのみが増大した場合で比較した。 $S_4$ とROTIが同時に増大するのは主に朝や昼間が多かった。一方のみが増大するのは夜間に多く、ROTIの増大に比べ、 $S_4$ の増大は長時間継続する傾向がみられた。また、夏の昼間には、ROTIのみ増大する場合も見られた。本研究では、これらの違いから、極域におけるシンチレーションを起こす電離圏擾乱の生成機構について考察する。

キーワード: GPSシンチレーション、ROTI、電離圏不規則構造

Keywords: GPS scintillation, ROTI, Ionospheric irregularities

## Study of thermospheric wind variations at substorm onsets using a Fabry-Perot interferometer at Tromsø, Norway

\*徐 何秋岑<sup>1</sup>、塩川 和夫<sup>1</sup>、大山 伸一郎<sup>1</sup>、大塚 雄一<sup>1</sup>

\*Heqiucen XU<sup>1</sup>, Kazuo Shiokawa<sup>1</sup>, Shin-ichiro Oyama<sup>1</sup>, Yuichi Otsuka<sup>1</sup>

1. 名古屋大学宇宙地球環境研究所

1. Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University

We studied the thermospheric wind variations at the onsets of isolated substorms by using a Fabry-Perot interferometer (FPI) at Tromsø, Norway. The wind variations were measured from the Doppler shift of both red line (630.0 nm, altitudes: 200-300 km) and green line (557.7 nm, altitudes: 90-100 km) emissions with a time resolution of ~13 min. The wind data were obtained for 7 years from 2009 to 2015. We first identified the onset times of local isolated substorms by using ground-based magnetometer data of Tromsø and Bear Island stations, and then checked the wind variations before and after these onset times. Totally, we obtained 8 events from red line data and 10 events from green line data located at different local times. By checking the all-sky images at Tromsø, we found that most wind observations were made at the equatorward of substorm onset arcs at the onset times. For half of the events, the observation location kept at the south of the auroral arcs from -30 min to +90 min of the event times. Then, we calculated the differences of wind velocities at the onset time and at 30-min (1-hour) after the onset time using winds averaged over  $\pm 15$  min ( $\pm 30$  min) of the epoch time. For red line events, except for few notable decreases at dawnside, eastward wind tends to increase from the onset time to both 30-min and 1-hour after the onset time at all nightside local times. This result is opposite to the tendency expected from thermospheric tidal wind variations, and suggest a particular eastward drive of thermospheric wind during substorms. With some exceptions, northward wind tends to decrease at local times before 2 LT and increase after that, which is consistent with the expectation from thermospheric tides. For green line events, eastward components have a tendency of increase at all local times with some notable decreases at duskside. Northward components show some increases at pre-midnight sector, and significant decreases at duskside, post-midnight sector and dawnside. All the observed wind changes after the substorm onsets were less than 76 m/s for red line events, and 51 m/s for green line events. These wind changes are much smaller than the typical plasma convection speed, indicating that the plasma motion caused by thermospheric wind through ion-neutral collision is a minor effect as the driver of high-latitude plasma convection and as the triggering of substorm onset. Since the movement of onset arcs could inevitably affect the local wind field, we will consider this factor when discussing the wind variations in the presentation.

キーワード：熱圏風、サブストーム、ファブリ・ペロー干渉計

Keywords: Thermospheric wind, Substorm, Fabry-Perot interferometer

# Spatial and temporal variations of upper mesospheric winds inferred by using successive images of noctilucent clouds observed in Iceland.

山下 遼馬<sup>1</sup>、\*鈴木 秀彦<sup>1</sup>

Ryoma Yamashita<sup>1</sup>, \*Hidehiko Suzuki<sup>1</sup>

1. 明治大学理工学部物理学科

1. Department of physics, Meiji university

Injection of momentum through dissipations of gravity waves propagated from lower atmosphere and active productions of minor constituents caused by precipitation of energetic particles are known as dominant sources of disturbances in upper mesosphere. Since some of these disturbances occur locally and intermittently, it is important to know time constant (i.e. diffusivity) against such impulsive fluctuations on momentum and concentration of minor constituents to understand the energy and mass budgets in the upper mesosphere. One of the straight methods to know the amplitude of the eddy diffusion is to measure the spatial distribution of wind field with high temporal resolution. In this study, derivation of spatial and temporal variation of upper mesospheric winds by tracking a motion of noctilucent cloud (NLC) observed by a ground-based color digital camera in Iceland is conducted. The procedure for wind field estimation consists with 3 steps; (1) projects raw images to a geographical map (2) enhances NLC structures by using FFT method (3) determines horizontal velocity vectors by applying template matching method to two sequential images. In this talk, a result of the wind derivation by using successive images of NLC with 3 minutes interval and ~1.5h duration observed on the night of Aug 1st, 2013 will be reported as a case study.

キーワード：夜光雲、風速場、中間圏界面、上部中間圏

Keywords: Noctilucent cloud, wind field, mesopause, upper mesosphere

# 電離圏下部領域における電子密度自動推定アルゴリズムの開発

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

\*三宅 壮聡<sup>1</sup>、中澤 涼太<sup>1</sup>、芦原 佑樹<sup>2</sup>

\*Taketoshi Miyake<sup>1</sup>, Ryota Nakazawa<sup>1</sup>, Yuki Ashihara<sup>2</sup>

1. 富山県立大学工学部情報システム工学科、2. 奈良工業高等専門学校

1. Department of Informatic system, Faculty of Engineering, Toyama Prefectural University, 2. National Institute of Technology, Nara College

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、電子密度の修正に専門的な知識と多くの時間が必要という欠点がある。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開発し、これを用いて電離圏電子密度推定を行った結果、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、自動推定された電子密度には低高度域において自然現象とは考えられない電子密度の急激な変動が発生していた。そこで、より現実的な推定結果を出すようにアルゴリズムの検討、改良を行った結果、低高度域における不自然な電子密度変化を取り除いた自然な電子密度推定を行うことに成功した。

キーワード：電離圏下部領域、Full-wave法、電子密度高度分布

Keywords: ionospheric lower region, Full-wave method, altitude profile of electron density



## 宮城県大崎市川渡で観測された雷によるELF帯磁場変動の東西方向成分と南北方向成分の違い

Difference between North-South and East-West components of ELF magnetic disturbances associated with lightning detected at Kawatabi, Osaki, Miyagi, Japan

\*中川 朋子<sup>1</sup>、高橋 翔太<sup>1</sup>、西山 洸太郎<sup>1</sup>

\*Tomoko Nakagawa<sup>1</sup>, Syota Takahashi<sup>1</sup>, Kotaro Nishiyama<sup>1</sup>

1. 東北工業大学工学部情報通信工学科

1. Information and Communication Engineering, Tohoku Institute of Technology

東北工業大学では1998年より宮城県大崎市川渡にインダクション磁力計を設置し、1[Hz]から20[Hz]の下部ELF帯の磁場変動観測を行っている。この周波数帯には地球磁気圏の太陽風に対する応答であるpc1帯地磁気脈動や、雷に起因する電磁波の空洞共鳴であるシューマン共振などが検出されるが、それらを凌駕する強さで雷による磁場変動が観測される。本研究では、この雷と思われる磁場変動の南北成分（NS）と東西成分（EW）の違いについて報告する。

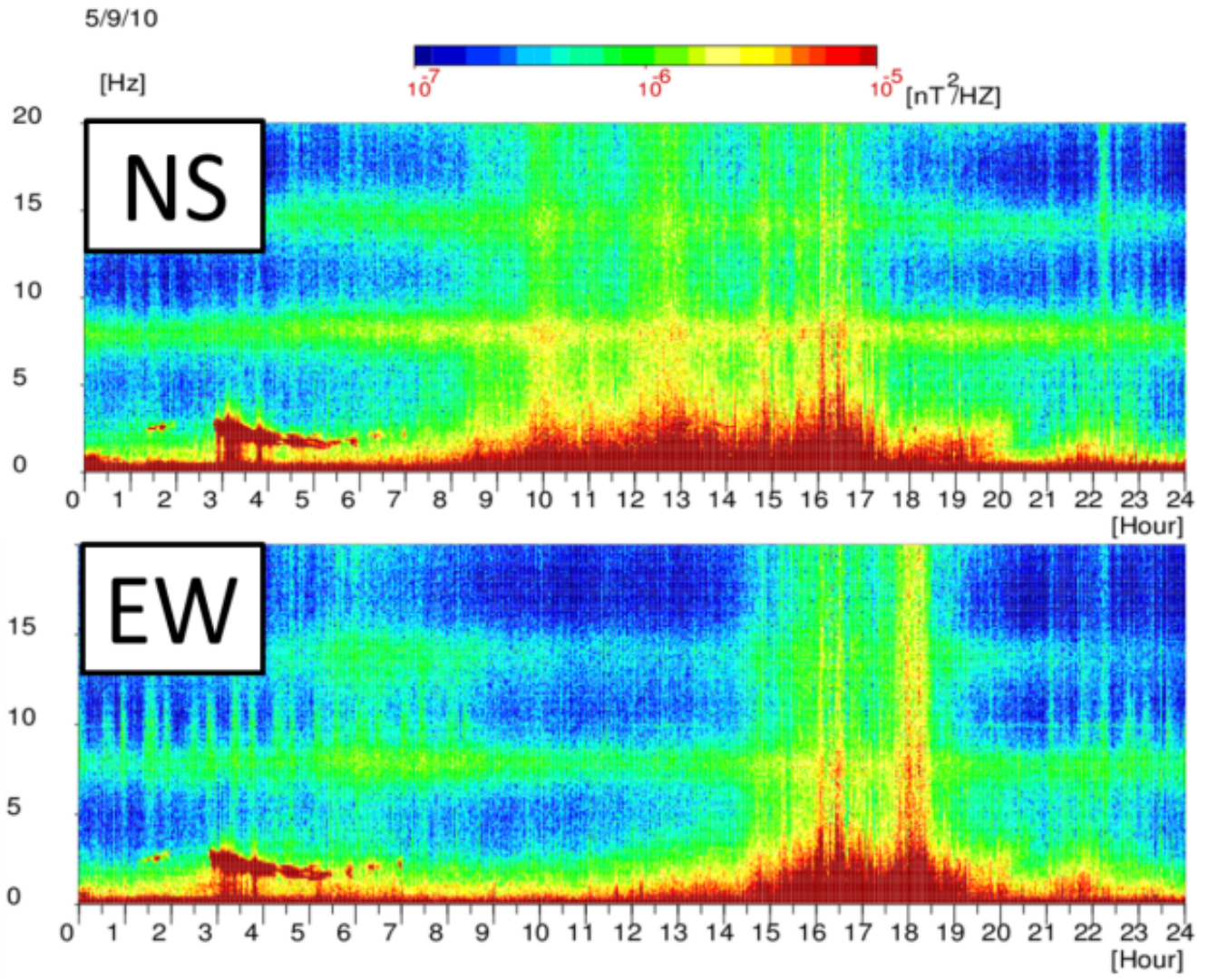
観測はテラテクニカ社製のインダクション磁力計で行っている。センサーはコアにパーマロイを使用した巻き数3万回のインダクションコイルである。信号は128Hzでサンプリングされる。磁力計の感度の周波数依存性が大きいので、フーリエ変換後に感度補正を行う。こうして得られるスペクトル中、雷によると思われる信号は、0.1-20 Hzの観測周波数全域にわたり強度が上がる。特に強いピーク周波数はこの帯域では見られない。この観測システムでは、生波形はインパルス的な強い信号ののちに減衰振動を伴う形で観測される。夏の午後に多く、短時間のノイズが次々現れる形で観測される。

南北方向、東西方向に隣接して独立に設置された2つの観測システムのスペクトルを比較すると、一方向だけに雷に特徴的な磁場変動が見られ他方には全く見られないケースが見つかった。2005年9月10日の16時0分の例では、東西方向成分に広い周波数にわたり、雷の特徴を持つ強い磁場変動があるのに、南北成分には3Hz以上には強い磁場変動が見られなかった。

このような例が2001年から2005年、及び2011年のデータ中から8例見つかリ、そのうち6例で東西成分だけに磁場変動が見られた。これは観測地の近隣の雷の発生位置の方向を反映していると推察される。

キーワード：ELF、雷、磁場変動、東西成分、誘導磁力計、方向

Keywords: ELF, lightning, magnetic variation, East-West, induction magnetometer, direction



# Low cost applications in astronomy, atmospheric science and communications using radio waves forward scattering from meteor trails

\*Waleed Madkour<sup>1</sup>, Masa-yuki Yamamoto<sup>1</sup>

1. Kochi University of Technology

The forward scattering of VHF radio signals by meteor ionized trails incorporates unique characteristics for usage in various applications. The oblique incidence of radio signals off the meteor trails enables the detection of fainter meteors using low-power transmitters. The relatively long duration of the scattered signals reflects the meteor trails behavior in relation to the atmospheric conditions near the meteor altitude region. It can also be used in communication of short bursts of data between distant locations on earth. In this research work, the usage of the forward scattering of radio waves by the meteor ionized trails in astronomy, upper atmospheric science and communication is presented. The developed meteor observation system follows the classical forward scattering setup commonly used worldwide. A methodology using locally developed software applications and interferometry technique to track the direction of each meteor echo is described as a fundamental step towards trajectory observations and hence meteor origins determination. Through using the same setup and software, the role of the secondary mesospheric ozone layer in oxidizing the meteor ionized trails was examined through meteor echoes duration distribution analysis during two meteor showers; the Perseids and the Geminids. Preliminary observations of the indirect link between solar cycle sun spot activity level and the meteor echo duration analysis is also presented. The observational research approach relies on extending the capabilities of the amateur basic setups by software automation in an attempt to fill the wide gap between the amateur systems and the professional ones. The gap that is mainly due to the difference in the amount of observational data each system can provide, can be partially filled through automation to provide enough data for statistical analysis. The methodology along with sample observational results for each application is described in detail as a proof of concept. The sample observational results in astronomy and upper atmospheric science applications are generally in agreement with the fundamentals of meteor science. Nevertheless, more statistical results are still required for further verification. In line with the observational activities, a practical meteor burst communication (MBC) study was performed to explore the feasibility of using modern technologies such as D-STAR ham-radio network and Android to simplify the MBC system. Although no positive results were obtained, the concept needs to be examined by higher power transmitters to compensate for the higher frequency used in the 144 MHz range. The three presented applications are not isolated from each other and the overlaps between them are highlighted. The low cost system setups introduced can be a model for low budget institutes planning to build a practical setup for educational as well as scientific purposes. The developed software applications are made free for use worldwide in order to support similar research themes.

Keywords: Meteor ionized trails, Radio Forward scatter, Interferometry

## The development of software defined FMCW ionosonde based on the GNU Radio (2)

\*石橋 弘光<sup>1</sup>、津川 卓也<sup>1</sup>、近藤 巧<sup>1</sup>、石井 守<sup>1</sup>

\*Hiromitsu Ishibashi<sup>1</sup>, Takuya Tsugawa<sup>1</sup>, Takumi Kondo<sup>1</sup>, Mamoru Ishii<sup>1</sup>

1. 独立行政法人情報通信研究機構

1. National Institute of Information and Communications Technology

We are developing a GNU Radio based software defined FMCW ionosonde system.

The initial result has been already presented at the SGEPS 2016 fall meeting: as for the receiving system, we successfully got ionograms using the transmitting system of current FMCW ionosonde in Kokubuji and the

Ettus Research USRP N210. One of the main purposes of this work is to inherit peripheral units of current FMCW ionosonde system, which is currently operated in the Southeast Asia low-latitude ionospheric network (SEALION).

So, we have adopted X300 USRP instead of N210 and updated programs which is suitable for X300.

The additional frontend unit necessary to inherit peripheral units of current FMCW ionosonde system is being manufactured now.

This presentation is a subsequent follow-up report for these past 6 months.

# 1周波GPS信号計測による電離層TEC観測の拡大

## Expansion of ionospheric TEC observation from measurements of single frequency GPS signals

\*後藤 由貴<sup>1</sup>、Win Zaw Hein<sup>1</sup>、松井 睦<sup>1</sup>、笠原 禎也<sup>1</sup>

\*Yoshitaka Goto<sup>1</sup>, Win Zaw Hein<sup>1</sup>, Atsushi Matsui<sup>1</sup>, Yoshiya Kasahara<sup>1</sup>

1. 金沢大学大学院自然科学研究科

1. Graduate School of Natural Science and Technology

衛星測位システム(GNSS)の信号の高密度な観測網を利用した電離層TEC (total electron content) の測定が国内外で積極的に進められている。一方、こうした観測網は中緯度地域に多く、プラズマの変動が大きい低緯度地域において、今後どのように観測網を展開するかが課題となっている。本研究では、通常のTEC測定に利用される2周波受信機ではなく、1周波受信機を連携させることによってTEC分布を測定する手法を確立し、低コストで観測網を展開することを目的としている。

1周波GPS受信機からコード疑似距離と搬送波疑似距離が観測量として得られる。これらの観測量において、電離層遅延の影響は正負反転するため、差分をとることでバイアス誤差を含む電離層遅延の値が得られる。バイアスは、搬送波疑似距離の位相測定における整数値アンビギュイティに拠るものである。このバイアスの求解のために、電離層TECの空間分布に多項式モデルを仮定し、多項式の係数と衛星毎のバイアス値をパラメータとして、複数受信機の観測値に対して最小二乗法を適用する。求解の際、衛星軌道および衛星のクロック誤差をInternational GNSS serviceが提供する精密軌道暦から算出し、対流圏遅延はHopfieldモデルにより除去している。本手法をGEONETのデータに適用して精度検証を行ったところ、2周波の信号から算出したTECと比較して、コード疑似距離の測定値のばらつきに相当する数TECUの精度でバイアス値の求解が可能であることが分かった。

現在、Rawデータを出力できる複数の1周波GPS受信機を用いて、受信機からサーバにデータを集約しTEC推定を行う観測ソフトウェアの整備を進めている。今後、低緯度地域へ展開することを予定している。

キーワード：1周波GPS信号、電離層TEC、バイアス推定

Keywords: Single frequency GPS signal, Ionospheric TEC, Bias estimation

# オーロラスペクトログラフによる上部電離圏 $N_2^+$ の共鳴散乱光観測

## $N_2^+$ resonant scattering light observation in the sunlit topside ionosphere with the auroral spectrograph

\*遠藤 友<sup>1</sup>、坂野井 健<sup>1</sup>、小川 泰信<sup>2</sup>、鍵谷 将人<sup>1</sup>

\*Yu Endo<sup>1</sup>, Takeshi Sakanoi<sup>1</sup>, Yasunobu Ogawa<sup>2</sup>, Masato Kagitani<sup>1</sup>

1. 東北大学大学院理学研究科惑星プラズマ大気研究センター、2. 国立極地研究所

1. Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, Graduate School of Science, Tohoku University, 2. National Institute of Polar Research

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・スパーバルルにおけるオーロラスペクトログラフ(ASG)の13年間分のデータ解析から上部電離圏 $N_2^+$ 共鳴散乱光を明らかにした成果を報告する。*Störmer* [1955], *Bates* [1949]は高度700-1100 kmの日照領域における $N_2^+$ 共鳴散乱光を報告した。近年、より高高度に存在する $N_2^+$ 発光がMSX衛星[*Romick et al.*, 1999]やReimei衛星によって観測され、電離圏高度からの重イオンアップフロー現象として注目されている。電離圏F領域主成分である $O^+$ などのイオンは地磁気擾乱時に磁気圏に流出していくことがよく知られている[*Moen et al.*, 2004, *Abe et al.*, 1993]。一方、 $N_2^+$ などの分子イオンもAkebono衛星等により高度10,000 km付近で観測されている[*Yau et al.*, 1993]。しかし、電離圏E領域に主に存在する重い分子イオンがどのように上昇していくかは未解明である。現在私たちはWallace and McElroy [1966]が主張している $O^+$ と $N_2$ 分子の電荷交換反応によって $N_2^+$ が電離圏F領域で生成され、地磁気擾乱に伴い上昇していくのではないかと考えている。

そこで本研究では、分子イオンアップフロー現象を明らかにするために、ノルウェー・ロングイヤービン(地磁気緯度75.2度、経度16.04度)におけるオーロラスペクトログラフの13年間の観測データから地磁気擾乱時かつ地上は日陰で電離圏よりも高高度が日照となっている場合を選び、電離圏 $N_2^+$ 共鳴散乱光を調べた。

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、冷却CCDカメラから構成される。波長範囲は420 nmから730 nm、波長分解能2.0 nm、視野角180度(磁気南北方向)である。観測は2000年から現在(2017年)までの冬季に行われているが、 $N_2^+$  427.8 nmが波長範囲に含まれるのは2004年以降の観測データである。また、これまでの研究から $N_2^+$ アウトフローは地磁気擾乱時( $Kp > 4$ )に発生する確率が高いことが知られている[*Mizuno et al.*, 2005]。従って、本研究では2004年から2016年の観測日で、地上が日陰時かつ $Kp$ 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。ここで、シンプルな単一アーク状のオーロラが磁気南方向に出現したと仮定すると、オーロラスペクトログラフの仰角分布はオーロラ高度分布とみなすことができる。この場合、同時に観測される酸素原子557.7 nm発光や630.0 nm発光ピークから発光高度を概ね知ることができる。酸素原子557.7 nm発光は降下電子によるオーロラのみと考えられるため、557.7 nm発光と比較して427.8 nmが557.7 nm発光よりも高高度(より大きな仰角)に分布する場合は、この高高度領域の $N_2^+$ 共鳴散乱光を捉えたと解釈される。そのようなイベントを5例見いだした。この5例それぞれにおける $Kp$ の値は4-, 2+, 3+, 4-, 6-, 5であり、地磁気擾乱時と静穏時の2つの場合があることが分かった。2014年12月21日0700 UT( $Kp=2+$ )頃には、最大400 Rの $N_2^+$ 発光が観測されたが、これに関連するDst指数変動は約-10 nT( $N_2^+$ 発光観測の1時間前)であった。この時の $N_2^+$ 発光ピーク高度を630.0 nm発光高度を250 kmと仮定すると380 kmと見積もられた。一方、2015年12月21日0100 UTにはDst指数変動は-150 nT程度の地磁気嵐が発生し、これに伴い0830 UT( $Kp=5$ )頃に最大800 Rの $N_2^+$ 発光が観測された。この時の $N_2^+$ 発光ピーク高度を同様に推定した結果、340 kmであり、200 R以上の発光が高度1,000 km以上までであることが分かった。5例のうち4例は発光ピーク高度が300~400 kmに存在し、200 R以上の発光が続く高度は地磁気擾乱に伴い、より高高度まで達していることが分かった。この結果は地磁気擾乱時でなくても電離圏F領域下部では $N_2^+$ が生成され、それが地磁気擾乱とともに上昇していくことを示唆している。これは先行研究の衛星観測による結果と整合的である。

キーワード：オーロラ、窒素分子イオン、アップフロー  
Keywords: aurora, nitrogen molecular ion, up flow

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

\*北村 佑輔<sup>1</sup>、齊藤 昭則<sup>1</sup>、坂野井 健<sup>2</sup>、大塚 雄一<sup>3</sup>、山崎 敦<sup>4</sup>、穂積 裕太<sup>1</sup>

\*Yusuke Kitamura<sup>1</sup>, Akinori Saito<sup>1</sup>, Takeshi Sakanoi<sup>2</sup>, Yuichi Otsuka<sup>3</sup>, Atsushi Yamazaki<sup>4</sup>, Yuta Hozumi<sup>1</sup>

1. 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻、2. 東北大学大学院理学研究科惑星プラズマ・大気研究センター、3. 名古屋大学宇宙地球環境研究所、4. 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所

1. Department of Geophysics, Graduate School of Science, Kyoto University, 2. Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, Graduate School of Science, Tohoku University, 3. Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, 4. Institute of Space and Astronautical Science / Japan Aerospace Exploration Agency

国際宇宙ステーションからのIMAP/VISIの観測データを用いて波長630nmの夜間の大気光の大規模構造の地方時・緯度・経度への依存性について解析しIRIの全電子数やIRIとMSISによる大気光のモデルと比較した。

IMAP/VISIは2012年9月から2015年8月までの約3年間国際宇宙ステーションに搭載された大気光の観測器で、真下方向を向いて波長630nmの大気光を観測している。波長630nmの大気光は高度250km付近で酸素原子による発光であり、酸素イオン量が発光輝度を決めている。そのため、電子密度の高い赤道異常帯で最も明るく発光している。この大気光の地方時、緯度、経度への依存性、季節変化を調べ、先行研究と比較した。赤道付近では赤道異常によって南北の緯度が15度付近で極大になる様子が見られた。赤道異常は夜から朝にかけて弱くなって、消えていくが、観測では真夜中付近で明るくなっているのが見られ、Midnight temperature maximumのようなものも確認された。また、季節変化の南北半球での非対称性も確認された。赤道異常の影響が少ない緯度が南北40度付近でも同様の非対称性が見られた。

さらに、これらの結果と電離圏のモデルであるIRIモデルによる全電子数データや、IRIモデルと大気モデルであるMSISモデルから計算される波長630nmの大気光の発光強度を比較・検証した。



# ポーラーパッチならびにブロブの電子密度分布と極冠イオン対流速度の関係

## Relationship between electron density height profile and convection flow speed in the polar cap patches and blobs

\*吹澤 瑞貴<sup>1</sup>、坂野井 健<sup>1</sup>、小川 泰信<sup>2</sup>、田中 良昌<sup>2</sup>、細川 敬祐<sup>3</sup>、田口 聡<sup>4</sup>、Thomas Evan<sup>5</sup>

\*Fukizawa Mizuki<sup>1</sup>, Takeshi Sakanoi<sup>1</sup>, Yasunobu Ogawa<sup>2</sup>, Yoshimasa Tanaka<sup>2</sup>, Keisuke Hosokawa<sup>3</sup>, Satoshi Taguchi<sup>4</sup>, Evan Thomas<sup>5</sup>

1. 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻惑星プラズマ・大気研究センター、2. 国立極地研究所、3. 電気通信大学大学院情報理工学研究科、4. 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻地球物理学教室、5. Dartmouth College  
1. Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, Graduate School of Science, Tohoku University, 2. National Institute of Polar Research, 3. Department of Communication Engineering and Informatics, University of Electro-Communications, 4. Department of Geophysics, Graduate School of Science, Kyoto University, 5. Dartmouth College

今回我々は、2016年1月11日にEISCATレーダーならびに全天イメージャーで観測されたポーラーパッチならびにブロブのイベント解析結果を報告する。ポーラーパッチは昼間側磁気圏界面における磁力線再結合に伴う極冠域の拡大などによって日照領域のプラズマを極冠域に吸い込むことにより発生し [Lockwood and Carlson, 1992], 高密度のプラズマを  $E \times B$  ドリフトで夜側まで輸送する特徴がある。また、パッチが夜側の閉じた磁力線の太陽方向フロー領域で観測されるものをブロブと呼ぶ。これらの現象の研究は、高緯度電離圏 F 領域における電子密度変動の物理過程の理解のために重要である。この現象は過去に Zhang et al. [2015] により研究され、Dungey サイクルがポーラーパッチやブロブの形成に与える影響について分かってきた。しかし、ポーラーパッチやブロブの電子密度分布についてはよく分かっていない。本研究では、2016年1月11日 17:30-22:30 UT (20:00-01:00 MLT) に ESR により捉えられた、電離圏 F 領域の電子密度上昇に着目した。このとき、電離圏 E 領域における電子密度上昇や、F 領域におけるイオン温度上昇は存在せず、オーロラ電子降下や摩擦加熱の影響でないと解釈された。このときの IMF の  $B_z$  成分は 15:30-16:40 UT, 17:30-18:20 UT, 19:30-23:50 UT の時間帯に南向きであった。さらに、ロングイヤービン (78°09'N, 16°03'E) における同時の全天イメージャー (LYR-ASI) による OI (630.0 nm) 発光強度に、パッチ状の発光を見いだした。以上から、この現象をポーラーパッチ現象と解釈し、解析を進めた。ESR と LYR-ASI の比較から、11 個のポーラーパッチを同定した。それぞれの電子密度高度分布を詳細に調べた結果高度 300-500 km の電子密度が高い場合と、高度 250-350 km の電子密度が高い場合の 2 つの種類があることがわかった。また、Super Dual Auroral Radar Network (SuperDARN) レーダーによって観測されたイオン速度より、後者の方が前者に比べてイオン速度が大きいことが分かった。ポーラーパッチ内の 2 つの電子密度分布の違いの原因として、下記に示すとおり、極冠域におけるイオンの対流速度の違いが考えられる。すなわち、イオン速度が大きいと中性大気速度との差が大きくなり、摩擦加熱によってイオン温度が上昇する。そして、イオン温度の上昇に伴い、イオン原子交換反応の反応係数が大きくなり [Schunk et al., 1976], F 領域の  $O^+$  が  $NO^+$ ,  $O_2^+$  に変化する。その後、 $NO^+$ ,  $O_2^+$  と電子が解離再結合することで電子密度が減少したと考えることができる。また、高高度では、イオン温度の上昇により  $NO^+$ ,  $O_2^+$  のスケールハイトが上昇し、 $NO^+$ ,  $O_2^+$  の密度が上昇したと考えられる。この解釈は、今回観測された 2 種類のポーラーパッチ内電子密度高度分布と整合的である。

加えて、EISCAT Tromsø UHF Radar で同時の電離圏電子密度を調べたところ、同日 20:37-21:00 UT (22:00-22:30 MLT) に電離圏 F 領域の電子密度上昇を見いだした。同時の GPS-TEC マップより、この電子密度上昇はポーラーパッチが極冠域から閉じた磁力線領域に移った結果のブロブと解釈された。この時間帯はサブストーム回復相であり、極冠域が縮小したことによって Tromsø が 2 セル対流パターンの午後側セルの太陽方向の対流領域に位置するようになり、その結果ブロブが Tromsø 上を通過したと考えることができる。

キーワード：ポーラーパッチ、ブロブ

Keywords: polar patch, blob

## 3次元スペクトル法を用いた中規模伝播性電離圏擾乱の成長速度の統計的推定

### Statistical estimation of growth time of medium-scale traveling ionospheric disturbances by three dimensional spectral method

\*池田 孝文<sup>1</sup>、齊藤 昭則<sup>1</sup>

\*Takafumi Ikeda<sup>1</sup>, Akinori Saito<sup>1</sup>

1. 京都大学大学院理学研究科地球物理学教室

1. Department of Geophysics, Graduate School of Science, Kyoto University

Medium scale traveling ionospheric disturbance is one of phenomenon in ionosphere and has been long studied. Nighttime MSTID will be caused by Perkins instability. Linear growth time(e folding time) of Perkins instability is very slow as growth time from random thermal noise . Therefore , we expect explanation of growth of MSTID by including electric filed of Sporadic E layer . However, we have not almost estimated observational growth time of MSTID.

Using this method, we statistically estimated growth rates of nighttime MSTID in japan in summer 2014 observed by GNSS. We used 3DFFT for total electron content(TEC) grid data ,and estimated propagation velocity. Using this velocity, we tracked movement of one wavefront of MSTID. We estimated the maximum growth time of each event by using wavenumber spectra when tracking. As a result, growth time is slower than 16 minutes. Propagation direction when growth time is fastest is southwestward(205° - 245°). Growth time is maximum when 240°. This magnitude is too slow as growth time of MSTID, and is within the range of one perkins instability expects. We will show the detail about the relation between this growth time and both mechanisms, and also show the solar activational and the seasonal dependence of growth time.

キーワード：中規模伝播性電離圏擾乱、GPS-TEC、パーキンス不安定性、3次元スペクトル法

Keywords: Medium-scale traveling ionospheric disturbances, GPS-TEC, Perkins instability, Three dimensional spectral method

# Role of gravity waves in the upper atmospheric temperature changes in association with sudden stratospheric warming

\*Changsup Lee<sup>1</sup>, In-Sun Song<sup>1</sup>, Hwajin Choi<sup>1</sup>, Jeong-Han Kim<sup>1</sup>, Geonhwa Jee<sup>1</sup>

1. Korea Polar Research Institute

Fourier Transform Spectrometers (FTSs) at the Esrange space center (67°53'N, 21°04'E), Kiruna, Sweden and at the Dasan Korean Arctic station (78°55'N, 11°56'E), Svalbard, Norway have observed mesospheric air temperature from OH airglow emissions near 87 km height since November 2002. The FTS observations have provided simultaneous mesospheric temperature at the two different latitudes in association with elevated stratopause (ES) after major stratospheric sudden warming (SSW) events. ES-like phenomena and relevant warming have been simulated using global circulation models such as the whole-atmosphere community climate model (WACCM), but the model prediction is found to be much weaker mesospheric warming compared with the FTS and satellite observations especially in polar region such as the Dasan station. Considering that gravity waves (GWs) may have substantial impacts on the temperature and wind in the upper atmosphere, the discrepancy between observation and model may be attributed to common issues in GW parameterizations: Uncertainty in GW spectra and unrealism in GW propagation (i.e., columnar propagation). In this study, we investigate effects of the horizontal propagation and refraction of GWs on mesospheric warming associated with the ES after major SSW events using a ray-tracing model with specified GW spectra. Preliminary results for steady background flows show that the horizontal propagation and refraction increase westward GW momentum forcing near  $z = 100$  km in the NH high latitudes that can induce downward motions and adiabatic warming in the NH polar regions below  $z = 100$  km. Results are extended for time-varying background flows and different GW spectra to consider tidal effects and improve robustness of results, respectively.

Keywords: sudden stratospheric warming, gravity wave, ray tracing

## 地震による電離圏全電子数変動の空間分布

# Spatial Distributions of Total Electron Content Variations Associated with Earthquakes

正村 駿<sup>1</sup>、\*中田 裕之<sup>1</sup>、大矢 浩代<sup>1</sup>、鷹野 敏明<sup>1</sup>、津川 卓也<sup>2</sup>、西岡 未知<sup>2</sup>

Shun Shomura<sup>1</sup>, \*Hiroyuki Nakata<sup>1</sup>, Hiroyo Ohya<sup>1</sup>, Toshiaki Takano<sup>1</sup>, Takuya Tsugawa<sup>2</sup>, Michi Nishioka<sup>2</sup>

1. 千葉大学大学院工学研究科人工システム科学専攻、2. 情報通信研究機構

1. Graduate School of Engineering, Chiba University, 2. National Institute of Information and Communications Technology

The coseismic ionospheric disturbances are generated by the acoustic wave and atmospheric gravity wave excited by earthquakes. In the previous studies, it is found that the perturbations of total electron content (TEC) are correlated with the magnitude of the earthquake. On the other hand, the relationship between the magnitude and the spatial distributions of these perturbations are not examined in detail. Using two-dimensional TEC maps derived from the GNSS Earth Observation Network (GEONET), in this study, we have analyzed the spatial distributions of TEC variations associated with earthquakes. First of all, the TEC distribution map is divided in grid whose size is 0.2 x 0.2 degrees. The spectral intensity of the TEC perturbations is calculated using Fast Fourier Transform. The average of the spectral intensity in each grid is determined from those in the ionospheric pierce points (altitude = 350 km) located with in each grids. After the center of the TEC variation distributions are determined from the average map, the latitudinal and longitudinal width of the TEC perturbations are estimated by fitting the perturbations with the Gaussian function. We analyzed 5 earthquakes (M > 6.8) whose epicenters are located at the sea around Japan since 2000. The wave recorders installed by the Japan Meteorological Agency observed the heights of tsunamis. Using these data, the heights of tsunamis in the epicenter are determined using Green's theorem, which explains the relationship between the height of tsunami and the depth of the sea. The results of the fitting shows that the latitudinal width of TEC variations is correlated with the height of tsunami, while longitudinal one is not. This is because, in the events that occurred along the coast, the height of tsunami is highly fluctuated due to the coast line. In such events, therefore, we determined the latitudinal width of TEC variations using ionospheric pierce points located on land-side. In the result, the correlation between the longitudinal distribution of TEC variations and the height of tsunami increased. Since the correlation between TEC variations and the height of tsunami is high, if events of the analysis target increase in the future, there is a possibility that the location, time and scale of the tsunami can be estimated.

キーワード：電離圏全電子数、地震

Keywords: Total Electron Content, Earthquake

## GAIAの極域電場モデル改良

### Improvement of high-latitude electric field model in GAIA

\*埜 千尋<sup>1</sup>、陣 英克<sup>1</sup>、品川 裕之<sup>1</sup>、三好 勉信<sup>2</sup>、藤原 均<sup>3</sup>、松村 充<sup>4</sup>

\*Chihiro Tao<sup>1</sup>, Hidekatsu Jin<sup>1</sup>, Hiroyuki Shinagawa<sup>1</sup>, Yasunobu Miyoshi<sup>2</sup>, Hitoshi Fujiwara<sup>3</sup>, Mitsuru Matsumura<sup>4</sup>

1. 情報通信研究機構、2. 九州大学、3. 成蹊大学、4. 名古屋大学 宇宙地球環境研究所

1. National Institute of Information and Communications Technology, 2. Kyushu University, 3. Seikei University, 4. Institute for Space-Earth environmental Research, Nagoya University

GAIA(Ground-to-Topside Model of Atmosphere and Ionosphere for Aeronomy)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。極域から大気圏へインプットされる電場・電流は太陽風および磁気圏の状況に応じて大きく変化し、変化の大きさによっては全球の大気圏・電離圏に影響を及ぼす。日本近傍の電離圏密度の長期観測データと極域変動を含まないGAIA計算結果の比較から、太陽および磁気圏擾乱が大きい時の電離圏密度の再現精度がよくない問題が見られている。そこで、GAIAに太陽風変動に依存するWeimer電場経験モデルをインプットするモデル改良を実施した。本発表では、開発状況および初期結果について議論する。

キーワード：熱圏、電離圏、シミュレーション

Keywords: thermosphere, ionosphere, simulation