

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

*Toshihiko Iyemori¹, Yoko Odagi¹, Shigeo Sugitani², Yasuharu Sano³, Hiroyuki Shinagawa², Toshimitsu Ohno⁴, Yoshikazu Tanaka⁵, Masahito Nose¹, Masato Iguchi⁶, Hiroyuki Hashiguchi⁷, Yoshihiro Yokoyama¹, Tadashi Aoyama¹, Kunihiro Nakanishi¹, Vijak Pangsapap⁸

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¹、家森 俊彦¹、中西 邦仁¹

*Tadashi Aoyama¹, Toshihiko Iyemori¹, Kunihiro Nakanishi¹

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¹、中田 裕之¹、大矢 浩代¹、鷹野 敏明¹、富澤 一郎²、津川 卓也³、西岡 未知³

*Aritsugu Chonan¹, Hiroyuki Nakata¹, Hiroyo Ohya¹, Toshiaki Takano¹, Ichiro Tomizawa², Takuya Tsugawa³, Michi Nishioka³

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¹

*Masahiko Takeda¹

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に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¹

*Takumi Abe¹

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ね、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¹、深山 恭平、土屋 史紀²、中田 裕之¹、山下 幸三³、高橋 幸弘⁴

*Hiroyo Ohya¹, Kyohei Miyama, Fuminori Tsuchiya², Hiroyuki Nakata¹, Kozo Yamashita³, Yukihiro Takahashi⁴

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 Krishna¹, Tikemani Bag^{1,2}

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 O₃ 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¹、山本 衛¹、斎藤 享³、齊藤 昭則²

*Ryo Mizuno¹, Mamoru Yamamoto¹, Susumu Saito³, Akinori Saito²

1. 京都大学生存圏研究所、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¹、加藤 久雄¹、山本 真之¹、川村 誠治¹、津川 卓也¹、石井 守¹

*Michi Nishioka¹, Hisao Kato¹, Masayuki Yamamoto¹, Seiji Kawamura¹, Takuya Tsugawa¹, Mamoru Ishii¹

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¹、大塚 雄一¹、津川 卓也²、西岡 未知²

*Toshiki Sugiyama¹, Yuichi Otsuka¹, Takuya Tsugawa², Michi Nishioka²

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¹、大塚 雄一¹、小川 泰信²、細川 敬祐³

*Sayaka Sakamoto¹, Yuichi Otsuka¹, Yasunobu Ogawa², Keisuke Hosokawa³

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 σ_ϕ 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 σ_ϕ 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¹、塩川 和夫¹、大山 伸一郎¹、大塚 雄一¹

*Heqiucen XU¹, Kazuo Shiokawa¹, Shin-ichiro Oyama¹, Yuichi Otsuka¹

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 ± 15 min (± 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