

電離圏イオン組成観測のための広帯域インピーダンスプローブの開発 Development of wideband impedance probe system for observation of the ionospheric ion composition

熊本 篤志^{1*}

KUMAMOTO, Atsushi^{1*}

¹ 東北大学大学院理学研究科

¹Tohoku University

Concept and design of new wideband impedance probe system for observation of the ionospheric ion composition have been investigated. Impedance probe system for measurement of the electron number density, which is called NEI, were developed by Oya [1966], and successfully utilized for numerous sounding rockets and spacecraft such as Denpa, Taiyo, Jikiken, Hinotori, Ohzora, and Akebono [e.g. Wakabayashi et al., 2013]. NEI measures the equivalent capacitance of the probe immersed in the magnetized plasma. By applying RF signal to the probe, we can identify the minimum of equivalent capacitance due to upper hybrid resonance (UHR). The frequency of RF signal is swept from 100 kHz to 25 MHz, in order to cover the UHR frequency range in the Earth's ionosphere. The equivalent capacitance of the probe in the magnetized plasma shows minimum not only at UHR frequency but also at another resonance frequency: Lower hybrid resonance (LHR). If we can measure LHR frequency with UHR frequency and electron cyclotron frequency, we can derive effective mass of ionospheric plasma and determine the ionospheric ion compositions. Because LHR frequency is about several kHz in the ionosphere, we have to extend the lower limit frequency of the current impedance probe system to 100 Hz. We changed the design of NEI as follows: (a) Coupling capacitor between the circuits is changed in order to pass the low-frequency AC signals. (b) Because long time is needed for frequency sweep in a low frequency range, high-frequency signal with short sweep period and low-frequency signal with long sweep period are combined and impressed to the probe in order to keep the high time resolution in the measurement of UHR frequency. We have performed the chamber experiment with bread-board model (BBM) of wideband impedance probe system in 2014. We confirmed that the new impedance probe system could measure (1) UHR in high frequency range as well as the current NEI could, and (2) equivalent capacitance profile from 100 Hz to 100 kHz, which indicates sheath capacitance of 120 pF and sheath resistance of 30 kohm. Unfortunately, LHR could not be identified in the chamber experiment because of high collision frequency in the chamber. The detectability of LHR with the wideband impedance probe system have to be verified through the future sounding rocket experiments in the ionosphere, where the collision frequency is enough low.

キーワード: インピーダンスプローブ, イオン組成, 観測ロケット, チェンバー実験, 低域混成共鳴 (LHR), 電子数密度

Keywords: Impedance probe, Ion composition, Sounding rocket, Chamber experiment, Lower hybrid resonance (LHR), Electron number density

あけぼの衛星サウンダー観測データに基づく電離圏電子密度構造の研究 Study of the ionospheric plasma density structure observed by topside sounder on board the EXOS-D (Akebono) satellite

星 康人^{1*}; 加藤 雄人¹; 熊本 篤志¹
HOSHI, Yasuto^{1*}; KATOH, Yuto¹; KUMAMOTO, Atsushi¹

¹ 東北大学・理・地球物理

¹ Dept. Geophys., Grad. Sch. Sci., Tohoku Univ.

極域電離圏の電子密度構造は、磁気圏・電離圏結合過程の結果として生じるプラズマ対流による輸送過程と、太陽紫外線ならびに磁気圏由来の高エネルギー電子の降込みに起因した電離生成過程、および解離再結合をはじめとする消滅過程とのバランスにより、多様な時間・空間変動を示すことが明らかとなっている。本研究では、あけぼの (EXOS-D) 衛星搭載サウンダーの観測データに基づいて、電離圏トラフの電子密度および電子、イオン温度の高度分布を調べた。

あけぼの衛星には、電離圏電子密度の高度プロファイル遠隔探査を目的として Plasma Wave detectors and Sounder (PWS) が搭載されている。そのサブシステムである Stimulated Plasma Wave experiments (SPW) は、0.3 MHz から 11.4 MHz まで周波数を掃引しながらパルス波を送信して、電離圏からのエコーならびに衛星周辺で生じるプラズマ共鳴を計測する [Oya et al., 1990]。SPW によって 32 秒毎に取得されるイオノグラムから、エコーの周波数と遅延時間を読み取り、電離圏各高度でこれらに合致するような電磁波の群速度を求めることによって、電離圏プラズマ密度の高度分布が得られる。本研究では特に EISCAT レーダーのあるトロムセー (69.58° N, 19.23° E) 上空付近を通過する軌道で得られたイオノグラムに着目して解析を行った。その結果、電子密度が局所的に 50% 以上減少する電離圏トラフを 2 例同定した。1995 年 2 月 28 日に (65° N, 15° E) で観測された例をイベント 1、1995 年 3 月 1 日に (70° N, 35° E) で観測された例をイベント 2 と呼ぶ。同時刻の EISCAT UHF レーダーの観測データから下部電離圏では電子密度が減少していないことが確認された。

次に本研究では、同定された 2 例のイベントについて解析を行い、イオノグラムから電子密度の高度プロファイルを導出し、スケールハイトを算出した。解析の結果、密度減少領域では周囲と比べてスケールハイトが 20% 前後小さくなっていることが示された。両極性拡散による拡散平衡を仮定して 500km 高度でのイオンと電子の温度の和を見積もると、イベント 1 ではトラフ外では 5730 K であるのに対しトラフ内では 3730 K、イベント 2 ではトラフ外では 3290 K であるのに対しトラフ内では 2940 K に減少していた。電離圏トラフにおける電子密度の減少を生じさせる物理過程としては、過去の研究では温度上昇による解離再結合の促進が指摘されている [e.g., Williams and Jain, 1986]。一方、本研究で同定したイベントでは温度はむしろ減少しており、典型的な電離圏トラフとは異なる形成過程の寄与が示唆される。但しイベント 1 に関しては、トラフが観測された地方時において IRI-2012 モデルから得られる電離圏温度が約 3000 K であることから、解離再結合が促進され、電子密度減少領域が現れた可能性が指摘される。本発表では、上記の同定されたイベントとその解析結果を示すと共にスケールハイトの相違が温度以外の要因 (イオン組成等) もしくは温度の時間変化 (地磁気活動等) に依存している可能性についても議論する。

キーワード: 電離圏, トップサイドサウンダー, トラフ

Keywords: ionosphere, topside sounder, trough

国際宇宙ステーションからの630nm大気光観測による赤道域プラズマバブルの研究 A study of equatorial plasma bubbles by 630-nm airglow imaging observations from the International Space Station

山田 貴宣^{1*}; 大塚 雄一¹; 坂野井 健²; 山崎 敦³; 久保田 実⁴; 陣 英克⁴; 齊藤 昭則⁵; 秋谷 祐亮⁵;
穂積 裕太⁵

YAMADA, Takanori^{1*}; OTSUKA, Yuichi¹; SAKANOI, Takeshi²; YAMAZAKI, Atsushi³; KUBOTA, Minoru⁴;
JIN, Hidekatsu⁴; SAITO, Akinori⁵; AKIYA, Yusuke⁵; HOZUMI, Yuta⁵

¹名古屋大学太陽地球環境研究所, 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宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所, ⁴独立行政法人情報通信研究機構, ⁵京都大学大学院理学研究科地球物理学教室

¹Solar-Terrestrial Environmental Laboratory, Nagoya University, ²Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, Graduate School of Science, Tohoku University, ³Institute of Space and Astronautical Science / Japan Aerospace Exploration Agency, ⁴National Institute of Information and Communications Technology, ⁵Department of Geophysics, Graduate School of Science, Kyoto University

赤道域電離圏において発生する特徴的な現象としてプラズマバブルが挙げられる。プラズマバブルはレーリー・テラー不安定によって起こると考えられているが、プラズマバブル発生の日々変化を決定する要因は未解明である。プラズマバブルのさらなる研究のためには、グローバル分布の観測が必要不可欠である。しかし、従来の地上からの観測では擾乱現象のグローバル分布を観測するのは困難である。そのような背景から、2012年10月から宇宙ステーションによる超高層大気撮像観測ミッション (ISS-IMAP) により、630nm 大気光の天底イメージング観測が行われている。本研究では、国際宇宙ステーションに搭載されている可視近赤外分光撮像装置 (VISI) による 630nm 大気光観測データを用いて、プラズマバブル発生頻度の季節・経度特性を調べた。2012年9月5日から2013年8月28日までの630nm 大気光データを解析した結果、プラズマバブルの発生頻度の季節・経度特性は、アフリカの経度域の春秋に比較的大きいことが明らかになった。この結果は、過去の研究結果とよく一致している。さらに、プラズマバブルの東西方向の間隔を調べたところ、プラズマバブルの間隔は、経度変化をもち、経度0度-90度では100-200km、225度-360度の経度域では200-300kmの間隔が多いという結果が得られた。さらに、赤道異常による630nm 大気増光の極大値とその極大値が起こる緯度の日々変化を調べ、プラズマバブルの有無と比較した結果、プラズマバブルが発生しているときのほうが、極大値が起こる緯度の幅が大きいことがわかった。この結果は、東向き電場がプラズマバブル発生の有無に大きな影響を与えていることを示唆する。また、地球大気上下結合を記述するモデルのひとつとして、GAIA(Ground-to-topside model of Atmosphere and Ionosphere for Aeronomy) モデルが挙げられる。本研究では、GAIA モデルを用いて630nm 大気光発光強度を求め、ISS-IMAP の630nm 大気光観測データと比較し、日々変化と経度特性、及びそれらとプラズマバブル発生との関連について議論する。

キーワード: プラズマバブル, ISS-IMAP

Keywords: plasma bubbles, ISS-IMAP

北極域下部熱圏における中性大気温度とイオン温度の比較研究 Comparison of neutral temperature with ion temperature in the polar lower thermosphere

滝田 真太郎^{1*}; 野澤 悟徳¹; 小川 泰信²; 川原 琢也³; 津田 卓雄⁴; 斎藤 徳人⁵; 和田 智之⁵;
高橋 透¹; 藤原 均⁶; Hall Chris⁷; Brekke Asgeir⁸
TAKITA, Shintaro^{1*}; NOZAWA, Satonori¹; OGAWA, Yasunobu²; KAWAHARA, Takuya³; TSUDA, Takuo⁴;
SAITO, Norihito⁵; WADA, Satoshi⁵; TAKAHASHI, Toru¹; FUJIWARA, Hitoshi⁶; HALL, Chris⁷;
BREKKE, Asgeir⁸

¹名古屋大学太陽地球環境研究所, ²国立極地研究所, ³信州大学工学部, ⁴電気通信大学, ⁵理化学研究所光量子工学研究領域, ⁶成蹊大学理工学部, ⁷トロムソ大学 TGO, ⁸トロムソ大学理学部

¹Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, ²National Institute of Polar Research, ³Faculty of Engineering, Shinshu University, ⁴The University of Electro-Communications, ⁵Advanced Photonics Technology Development Group, RIKEN, ⁶Faculty of Science and Technology, Seikei University, ⁷Tromsø Geophysical Observatory, The Arctic University of Tromsø, ⁸Faculty of Science, The Arctic University of Tromsø

我々のグループでは、2010年10月からEISCATトロムソ観測所(69.6°N, 19.2°E)にてナトリウムライダーを用いた上部中間圏・下部熱圏(高度80-110 km)の中性大気温度測定を実施している。ナトリウムライダー観測は、冬期暗夜期間(10月から3月)に行い、現在までに約2800時間の大気温度データを取得している。2012年10月より、5方向同時観測を実施し、約1700時間中性大気風速データも取得している。このナトリウムライダーと、EISCAT UHF レーダーとの同時観測は、43晩(約250時間)に及ぶ。我々は、これらの同時観測された日のデータを用いて、高度100 km から110 km における、中性大気温度とイオン温度の比較研究を行った。

中性大気とイオン大気は、衝突によりエネルギー交換を行うことにより、中緯度では、高度150 km 付近まで両者の温度がほぼ等しいと考えられている。極域熱圏・電離圏においては、磁気圏からのエネルギー流入を受けるため、高度約100 km より上空で、中性大気温度とイオン温度が等しい関係は常に成り立つとは限らない。両者の温度差は、ジュール加熱、オーロラ粒子加熱、電子-イオン熱交換などが原因と考えることができる。これらの加熱や熱交換を定量的に評価するために、まずナトリウムライダーにより取得された大気温度と、EISCAT UHF レーダーから取得されたイオン温度を高度100-110 km で比較した。

同時観測された日のデータを解析したところ、高度約105 km 以下では中性大気温度とイオン温度はほぼ等しいが、高度110 km 付近ではイオン温度が中性大気温度よりも高くなっている例が多かった。講演では、これらの温度比較の例を示し、さらにオーロラ活動の有無・電場強度等を考慮して整理した比較結果を示す。そして、中性大気とイオン温度の差の主原因と考えられるジュール加熱率を考察する予定である。

キーワード: ナトリウムライダー, EISCAT レーダー, ジュール加熱, 大気温度, 極域下部熱圏

Keywords: sodium lidar, EISCAT radar, joule heating, atmosphere temperature, polar lower thermosphere

ノルウェー・トロムソでオーロラ擾乱時に観測されたスプラディックナトリウム層の生成機構の研究 A case study on generation mechanisms of a sporadic sodium layer during a night of high auroral activity

高橋 透^{1*}; 野澤 悟徳¹; 津田 卓雄²; 小川 泰信³; 斎藤 徳人⁴; 秀森 丈寛¹; 川原 琢也⁵;
Hall Chris⁶; 藤原 均⁷; Brekke Asgeir⁸; 堤 雅基³; 和田 智之⁴; 川端 哲也¹; 大山 伸一郎¹;
藤井 良一¹

TAKAHASHI, Toru^{1*}; NOZAWA, Satonori¹; TSUDA, Takuo²; OGAWA, Yasunobu³; SAITO, Norihito⁴;
HIDEMORI, Takehiro¹; KAWAHARA, Takuya⁵; HALL, Chris⁶; FUJIWARA, Hitoshi⁷; BREKKE, Asgeir⁸;
TSUTSUMI, Masaki³; WADA, Satoshi⁴; KAWABATA, Tetsuya¹; OYAMA, Shin-ichiro¹; FUJII, Ryoichi¹

¹ 名古屋大学太陽地球環境研究所, ² 電気通信大学, ³ 国立極地研究所, ⁴ 理化学研究所, ⁵ 信州大学工学部, ⁶ トロムソ大学 TGO, ⁷ 成蹊大学理工学部, ⁸ トロムソ大学理学部

¹Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, ²The University of Electro-Communications, ³National Institute of Polar Research, ⁴RIKEN Center for Advanced Photonics, RIKEN, ⁵Faculty of Engineering, Shinshu University, ⁶Tromsø Geophysical Observatory, The Arctic University of Tromsø,, ⁷Faculty of Science and Technology, Seikei University, ⁸Faculty of Science, The Arctic University of Tromsø, Tromsø, Norway

極域ではスプラディックナトリウム層 (SSL) の生成に荷電粒子と中性粒子の相互作用が大きく寄与していると考えられており、磁気圏-電離圏-熱圏結合を理解する上で、極域における SSL の生成機構の理解は非常に重要である。これまで 35 年にわたる SSL の観測研究で、スプラディック *E*(*Es*) 層、背景大気温度変化による化学反応の促進、大気重力波によるナトリウム原子の下方輸送、流星による直接のナトリウム原子の供給、オーロラ降下粒子による叩き出しなどの様々な生成メカニズムが提唱されている。しかし、SSL の生成機構に関するこれらの研究は定性的な議論が先行しており、定量的な研究は少ない。SSL の生成機構の理解のためには、これまで提唱された生成機構の観測的証拠が求められている。本研究ではノルウェー・トロムソでオーロラ擾乱時に観測された SSL の生成機構について、ナトリウムライダー、EISCAT レーダー、流星レーダーの観測データに基づき調査を行った。

オーロラ活動が活発であった、2012 年 1 月 22 日にナトリウムライダーによって SSL が観測された。SSL は 21:18 UT から 18 分間存在し、最大ナトリウム密度およびその高度は、 $1.9 \times 10^{10} \text{ m}^{-3}$ 、93 km であった。20:00-23:00 UT において、EISCAT UHF レーダーによって *Es* 層が観測された。*Es* 層は SSL 発生時間帯に SSL と同じ高度に位置していたため、*Es* 層が SSL の生成に寄与した可能性がある。しかし、*Es* 層内に存在するナトリウムイオン密度の最大値を見積り、そのナトリウムイオンがすべてナトリウム原子に変換されたと仮定しても、SSL のナトリウム密度の 21% にしか満たないことが明らかになった。一方、EISCAT UHF レーダーで観測された電場の向きは 20:00 UT-21:10 UT、荷電粒子を下方に加速させる向きであった。そこでナトリウム層上部に存在するナトリウムイオン層の密度高度分布として先行研究で提唱された値を用い、電場による下方輸送と化学反応によるナトリウム原子の生成・消滅の効果を観測データに基づく数値解析から見積もった。その際に、ナトリウム層上部に存在するナトリウムイオン層の密度高度分布として、先行研究で提唱された値を用いた。その結果、本事例では、SSL のナトリウム密度の 88% を説明できることが分かった。これらのことから、SSL の主要なソースはナトリウムイオン層であること、ほぼ南西向きの強い電場が SSL の生成に支配的な役割を果たしたことを観測データに基づいて示した。

キーワード: スプラディックナトリウム層, ナトリウムライダー, 極域, オーロラ, 中間圏・下部熱圏

Keywords: Sporadic sodium layer, sodium lidar, polar region, aurora, MLT

ナトリウムライダーエコーを用いた成層圏大気温度の導出 Derivation of the stratospheric temperature with the sodium lidar

日比野 辰哉^{1*}; 野澤 悟徳¹; 津田 卓雄²; 川原 琢也³; 斎藤 徳人⁴; 和田 智之⁴; 高橋 透¹; 藤原 均⁵; Hall Chris⁶
HIBINO, Tatsuya^{1*}; NOZAWA, Satonori¹; TSUDA, Takuo²; KAWAHARA, Takuya³; SAITO, Norihito⁴; WADA, Satoshi⁴; TAKAHASHI, Toru¹; FUJIWARA, Hitoshi⁵; HALL, Chris⁶

¹名古屋大学太陽地球環境研究所, ²電気通信大学, ³信州大学工学部, ⁴理化学研究所 光量子工学研究領域, ⁵成蹊大学理工学部, ⁶トロムソ大学 TGO

¹Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, ²The University of Electro-Communications, ³Faculty of Engineering, Shinshu University, ⁴The RIKEN Center for Advanced Photonics Technology Development Group, RIKEN, ⁵Faculty of Science and Technology, Seikei University, ⁶Tromso Geophysical Observatory, The Arctic University of Tromso, Tromso, Norway

本講演では、ナトリウムライダーから得られるレイリー散乱光を用いた上部成層圏温度の導出について、その手法と結果について示す。我々は、ノルウェー・トロムソ (69.6N, 19.2E) の EISCAT レーダーサイトにナトリウムライダーを設置し、高度 80-110 km における大気温度・ナトリウム密度・風速を観測している。ナトリウムライダーによる観測は、2010 年 10 月からこれまで 5 シーズン (冬期暗夜期間: 10 月から 3 月) 行い、約 2800 時間の大気温度データを取得している。同サイトに運用されている他の観測機器 (EISCAT UHF レーダー・VHF レーダー・MF レーダー、流星レーダーなど) と併用し、大気上下結合および磁気圏/電離圏/熱圏結合に着目して、研究を進めている。2015 年冬には、大気微量成分観測用のミリ波受信器の設置を計画している。

ライダー観測は、観測するターゲットにレーザーを照射し、そのターゲットからの散乱光を受信することにより、ターゲットの情報を得る。ターゲットである散乱体の特徴 (形状・性質・大きさなど) により散乱過程が異なるため、ライダー観測は幾つかの種類に分類される。我々の用いているナトリウムライダーは、高度 80-110 km のナトリウム金属層中のナトリウム原子の共鳴散乱を利用して、大気温度・風速の導出を行っている。ナトリウムライダーでは、ナトリウム金属層からの共鳴散乱光と共に、低高度での大気分子によるレイリー散乱光も同時に受信している。通常高度 30 km 付近のレイリー散乱光を用いて、送信パワーの校正を行っている。本研究では、レイリー散乱光を用いて、上部成層圏大気 (30-50 km) の大気温度プロファイルの導出を行った。

ライダー観測で得られるレイリー散乱光データから大気密度の高度プロファイルを求めることができる。送信レーザー光の大気透過率は、レイリー散乱断面積、大気数密度、透過距離から求める。次に、状態方程式と静水圧平衡を仮定することで、大気温度を導出する。積分時間 1 観測日、高度分解能 1 km で導出した大気温度を、ヨーロッパ中期予報センター (The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) による大気温度データと比較を行い、おおむね良い結果を得た。

この導出法の確立により、ナトリウムの共鳴散乱による高度 80-110 km 高度領域の大気温度プロファイルに加えて、レイリー散乱による高度 30-50 km の大気温度プロファイルが観測可能になり、上部成層圏と上部中間圏・下部熱圏の大気の大気温度変動の相関についての詳細な比較が可能となる。また、導出した成層圏温度は、今後行われるミリ波観測のデータ精度向上に貢献することが期待できる。

キーワード: ナトリウムライダー, レイリー散乱
Keywords: Sodium Lidar, Rayleigh scattering

北極域下部熱圏・上部中間圏における大気不安定発生頻度に関する統計的研究 Statistical study of probability of instabilities in the polar upper mesosphere/lower thermosphere

安里 早稀^{1*}; 野澤 悟徳¹; 藤原 均²; 川原 琢也³; 津田 卓雄⁴; 堤 雅基⁵; 斎藤 徳人⁶; 和田 智之⁶;
川端 哲也¹; 高橋 透¹; ホール クリス⁷; ブレッケ アスゲイア⁸
ASATO, Saki^{1*}; NOZAWA, Satonori¹; FUJIWARA, Hitoshi²; KAWAHARA, Takuya³; TSUDA, Takuo⁴;
TSUTUMI, Masaki⁵; SAITO, Norihito⁶; WADA, Satoshi⁶; KAWABATA, Tetsuya¹; TAKAHASHI, Toru¹;
HALL, Chris⁷; BREKKE, Asgeir⁸

¹ 名古屋大学太陽地球環境研究所, ² 成蹊大学理工学部, ³ 信州大学工学部, ⁴ 電気通信大学, ⁵ 国立極地研究所, ⁶ 理化学研究所光量子工学研究領域, ⁷ トロムソ大学 TGO, ⁸ トロムソ大学理学部

¹STEL, Nagoya University, ²Faculty of Science and Technology, Seikei University, ³Faculty of Engineering, Shinshu University, ⁴The University of Electro-Communications, ⁵National Institute of Polar Research, ⁶Advanced Photonics Technology Development Group, RIKEN, ⁷Tromsø Geophysical Observatory, The Arctic University of Tromsø, ⁸Faculty of Science, The Arctic University of Tromsø

本研究の目的は、北極域上部熱圏・下部熱圏（高度 80-110 km）領域における対流および力学不安定の発生頻度、高度変動、時間変動を明らかにすることである。本研究では、2010年10月からEISCATトロムソ(69.6N, 19.2E)サイトで稼働しているナトリウムライダーの温度データを解析した。2012年10月以降は、ナトリウムライダーに取得された風速データを、2012年3月までは同じサイトで運用されている流星レーダーの風速データを用いた。2010年10月から2014年1月までの間、ナトリウムライダーにて1夜について4時間以上の温度データが取得できた例は、287夜存在する。シーズン毎では、2010年シーズン24夜、2011年シーズン81夜、2012年シーズン65夜、2013年シーズン62夜、2014年シーズン55夜である。なお1シーズンは、9月ないし10月から3月までである。例えば、2010年シーズンは、2010年10月から2011年3月までに対応している。データ取得数を月毎で分類すると、10月11夜、11月31夜、12月53夜、1月69夜、2月53夜、3月14夜、である。

時間分解能10分、高度分解能1kmの温度データを用いて、一夜毎の各高度における不安定割合を求めた。不安定割合（対流不安定）とは、ある高度の（時間軸に対しての）データ数を分母とし、その高度のブラントバイサラ周波数の自乗が負となるデータ数を分子として求めた割合である。風速データを併せ用いてリチャードソン数を求め、リチャードソン数が1/4以下（かつ0以上）になる場合のデータ数を分子として用いた場合を、不安定割合（力学不安定）と本研究では呼ぶ事にする。

中間圏界面付近の不安定割合の先行研究として、Zhao et al. (JASTP, 65, 219-232, 2003) と Li et al. (JGR, 110, 2004JD005097, 2005) が挙げられる。Zhao et al. (2003) は、ニューメキシコ・アルバカーキで1年間(32晩:June 1998-May 1999)に得られたデータを用いて、不安定割合を調べた。そして、真冬に不安定割合が最大になることを報告した。Li et al. (2005) では、ハワイ・マウイで得られた19晩(January 2002-November 2003)のデータを解析し、どの時刻においても、85-100kmの高度領域においてどこかで不安定が発生している確率は90%になると報告した。これらは中低緯度での統計的研究であり、北極域での統計的研究はこれまでなされていない。

講演では、(1) 不安定割合のシーズン毎の違い、(2) 不安定割合の月毎の違い、(3) 不安定割合と大気波動の活動度およびその振幅強度との相関、(4) 不安定割合とオーロラ活動との相関、等について報告する。そして、どのような条件のときに、不安定割合が増加するかについて議論を行う予定である。

キーワード: 北極域上部中間圏・下部熱圏, 対流不安定, 力学不安定, ナトリウムライダー, トロムソ

Keywords: polar upper mesosphere and lower thermosphere, convective instability, dynamical instability, sodium LIDAR, Tromsø

Comparison of horizontal phase velocity distributions of gravity waves observed by ANGWIN,
using a 3D spectral technique
Comparison of horizontal phase velocity distributions of gravity waves observed by ANGWIN,
using a 3D spectral technique

松田 貴嗣^{1*}; 中村 卓司²; 江尻 省²; 堤 雅基²; Taylor Michael J.³; Zhao Yucheng³;
Pautet P.-Dominique³; Murphy Damian⁴; Moffat-Griffin Tracy⁵
MATSUDA, Takashi S.^{1*}; NAKAMURA, Takuji²; EJIRI, Mitsumu K.²; TSUTSUMI, Masaki²;
TAYLOR, Michael J.³; ZHAO, Yucheng³; PAUTET, P.-dominique³; MURPHY, Damian⁴;
MOFFAT-GRIFFIN, Tracy⁵

¹ 総合研究大学院大学, ² 国立極地研究所, ³ Utah State University, ⁴ Australian Antarctic Division, ⁵ British Antarctic Survey
¹ SOKENDAI (The Graduate University for Advanced Studies), ² National Institute of Polar Research, ³ Utah State University,
⁴ Australian Antarctic Division, ⁵ British Antarctic Survey

Atmospheric gravity waves (AGWs), which are generated in the lower atmosphere, transport significant amount of energy and momentum into the mesosphere and lower thermosphere and cause the mean wind accelerations in the mesosphere. This momentum deposit drives the general circulation and affects the temperature structure. Among many parameters to characterize AGWs, horizontal phase velocity is very important to discuss their vertical propagation. Airglow imaging is a useful technique for investigating the horizontal structures of AGWs around mesopause. An international airglow imager (and other instruments) network in the Antarctic, named ANGWIN (Antarctic Gravity Wave Imaging/Instrument Network) was started in 2011. Its purpose is to understand characteristics of mesospheric gravity waves and their impacts on the Mesosphere and Lower Thermosphere (MLT) environment over Antarctica.

In this study, we compared distributions of horizontal phase velocities of gravity waves at around 90 km altitude over different locations using our new statistical analysis method based on 3-D Fourier transform, developed by Matsuda et al. (2014). The comparison has been carried out for airglow imagers at four stations, that are, Syowa (69S, 40E), Halley (76S, 27W), Davis (69S, 78E) and McMurdo (78S, 156E), out of the ANGWIN imagers, for the observation period between April 6 and May 21 in 2013. Not only horizontal propagation characteristics, gravity wave energies can also be quantitatively compared, indicating a smaller GW activity in higher latitudes. The presentation will be focused on showing the performance of the new statistical technique for studying gravity waves.

キーワード: 大気重力波, 大気光イメージング
Keywords: atmospheric gravity wave, airglow imaging

Critical level blocking diagram 再考 A revisit to critical level blocking diagram

富川 喜弘^{1*}
TOMIKAWA, Yoshihiro^{1*}

¹ 国立極地研究所, ² 総合研究大学院大学
¹National Institute of Polar Research, ²SOKENDAI

Matsuda et al. (2014) have proposed a new method to obtain a power spectral distribution of gravity waves in a horizontal phase velocity domain from airglow observations. The obtained power spectral distribution can be interpreted as a product of gravity wave source spectrum and wave transmissivity distributions under an assumption without wave dissipation/reflection and wave horizontal propagation. The gravity wave transmissivity depends on the existence of a critical level for the wave, which is determined by background horizontal wind distributions. Taylor et al. (1993) have proposed a critical level blocking diagram which represents a gravity wave transmissivity in a horizontal phase velocity domain. In this talk, the critical level blocking diagram proposed by Taylor et al. (1993) will be revisited, and its amendment will be discussed. In addition, examples of the critical level blocking diagram in some given background horizontal wind distributions will be shown.

キーワード: クリティカルレベル, 重力波, 山岳波
Keywords: critical level, gravity wave, mountain wave

マーズエクスプレスにおける電波科学実験 (MaRS) で検出された火星大気重力波 Gravity Waves in the Martian Atmosphere detected by the Radio Science Experiment MaRS on Mars Express

Tellmann Silvia^{1*}; Patzold Martin¹
TELLMANN, Silvia^{1*}; PATZOLD, Martin¹

¹ ドイツ・ケルン大学

¹University of Cologne, Germany

Gravity waves are a ubiquitous feature in all stably stratified planetary atmospheres. They are known to play a significant role in the energy and momentum budget of the Earth and they are assumed to be of importance for the redistribution of energy. This high vertical resolution of the radio occultation profiles from the MaRS experiment on Mars Express provides the unique opportunity to study small scale vertical wave structures in the Martian lower atmosphere. These small scale temperature perturbations are most probably caused by gravity waves (buoyancy waves) produced by the displacement of air masses flowing over elevated topographical features or other atmospheric sources like convection in the surface boundary layer or wind shear. A study of the global distribution of gravity waves provides insight into possible source mechanisms, local time dependencies, seasonal dependencies and/or topographical dependencies.

キーワード: 火星, マーズエクスプレス, 大気重力波, 大気, 電波掩蔽観測, 電波科学

Keywords: Mars, Mars Express, Gravity Waves, Atmosphere, Radio Occultation Experiment, Radio Science

小型大気光カメラによる極冠パッチの撮像 Imaging of polar cap patches with small airglow cameras

細川 敬祐^{1*}; 小川 泰信²; 田口 聡³
HOSOKAWA, Keisuke^{1*}; OGAWA, Yasunobu²; TAGUCHI, Satoshi³

¹ 電気通信大学, ² 国立極地研究所, ³ 京都大学大学院理学研究科

¹University of Electro-Communications, ²National Institute of Polar Research, ³Graduate School of Science, Kyoto University

90年代後半以降の冷却 CCD/EMCCD カメラの普及に伴い、630.0 nm 大気光を用いた電離圏現象のイメージング観測が広く行われるようになった。中低緯度域においては、地上全天大気光イメージャによって、プラズマバブルや MSTID などの空間構造が 2 次元的に観測されている。近年は、緯度が 80 度を超える極冠域において、ポーラーパッチと呼ばれるプラズマ密度が上昇した島状の領域が撮像されるようになり、太陽風の擾乱にตอบสนองしてダイナミックに変動するその空間構造が明らかにされている。ただし、冷却 CCD カメラを搭載した全天大気光イメージャは、観測システムが比較的大きく、導入のためのコストも安くはないため、多点展開による広域撮像を実現することは簡単ではない。

本研究では、近年極域でのオーロラ観測において広く用いられるようになった簡易で廉価な小型 CCD カメラ (Water社: WAT-910HX) を用いて、630.0 nm 大気光の撮像を行い、得られるデータのクオリティを検証した。特に、極冠域で観測されるポーラーパッチについて、大型の大気光イメージャで得られた画像との直接比較を行うことを目的としている。2 台の WAT-910HX に、全天観測用の魚眼レンズと、視野 50 度程度の広視野レンズをそれぞれ取り付け、中心波長 632.0 nm、半値全幅 10 nm、最小透過率 85% のバンドパスフィルターを組み合わせることで、2 セットの小型大気光カメラを製作した。この 2 台のカメラを、ノルウェーのロンゲイヤービエン (78.1N, 15.5E) に設置し、2013/2014 の冬季に露出時間約 4 秒の連続観測を行った。ロンゲイヤービエンにおいては、大型の全天イメージャによる 630.0 nm 大気光の観測や、オーロラスペクトログラフ (ASG) による大気光のスペクトル観測も同時に行われており、小型大気光カメラのパフォーマンスを定量的に吟味するために必要となる情報を得ることができる。

2013 年 12 月 4 日の 20-24 UT の時間帯において、大型全天大気光イメージャによって 10 個のポーラーパッチが観測された。大気光の発光強度は 500 R 程度であった。同時に観測を行っていた小型大気光カメラにおいても同様の大気光増大領域が伝搬して行く様子が見て取れ、その 2 次元的な空間構造を視認することができた。小型大気光カメラによってポーラーパッチが撮像できるであろうことは、積分球を用いたキャリブレーションを行った段階で予想されていたが、実際に観測を行うことで、サイエンスに用いることができるクオリティの画像が得られることが示された。但し、小型大気光カメラによって得られたパッチの発光強度は、大型イメージャで得られたものよりも平均 1.5 倍程度大きいことが分かり、これは、用いている干渉フィルターの半値幅の違いによるものであると考えている。発表では、ASG による大気光スペクトルのデータを用いて二つのカメラの発光強度の違いについて考察した結果を述べる。

キーワード: 極冠域, ポーラーパッチ, 大気光観測

Keywords: Polar cap region, Polar cap patches, Airglow measurements

Chemical Release を用いたカusp領域大気風・プラズマドリフト同時計測 ～初期結果～ Measurements of neutral wind and plasma drift with chemical release in the cusp region - preliminary results

柿並 義宏^{1*}; 木原 大城¹; 渡部 重十²; 山本 真行¹; Conde Mark³; Larsen Miguel⁴
KAKINAMI, Yoshihiro^{1*}; KIHARA, Daiki¹; WATANABE, Shigeto²; YAMAMOTO, Masa-yuki¹; CONDE, Mark³;
LARSEN, Miguel⁴

¹ 高知工科大学, ² 北海道情報大学, ³ アラスカ大学フェアバンクス校, ⁴ クレムソン大学

¹Kochi University of Technology, ²Hokkaido Information University, ³University of Alaska, Fairbanks, ⁴Clemson University

A chemical release experiment was taken place on 24 November 2014 to measure neutral wind and plasma drift in the cusp region, which was named the Cusp Region Experiment (C-REX). We set up 2 cameras (one for neutral Barium (Ba) and the other for ionized Barium (Ba⁺)) at Longyerben and Ny-Ålsund for each site. In addition, one video camera at Ny-Ålsund and one camera with a grating at Longyerben were set up. The rocket was launched from Andoya at 08:05 UT and first chemical release was observed at 08:14:19 UT from Longyerben, Ny-Ålsund and an airplane. Ten of 24 canisters were successfully ignited between 200 and 400 km altitude at about 600 km away from Svalbard islands. Each canister contains barium (Ba) and strontium (Sr). Evaporated gasses reflect sunshine and green and blue “space fireworks” were observed by digital cameras with filter and video as well as human eyes. The filters were developed to observe resonance scattering of neutral Ba (552.5 nm) and ionized Ba (454.5 nm), and evaluated with an integrating sphere in National Institute of Polar Research. We also observed space fireworks with a grating and successfully obtained spectrums. In this paper, we introduce our observation and show preliminary results of the experiment.

キーワード: カusp, 中性大気風, プラズマドリフト, 宇宙花火, ガス放出口ケット実験, 中性大気密度異常
Keywords: cusp, neutral wind, plasma drift, space firework, chemical release experiment, neutral density anomaly

InSAR を用いた中緯度スプラディック E の検出 Detecting mid-latitude Es by InSAR

鈴木 貴斗^{1*}; 前田 隼¹
SUZUKI, Takato^{1*}; MAEDA, Jun¹

¹ 北海道大学大学院理学院自然史科学専攻

¹Department of Natural History Sciences, Hokkaido University

Maeda and Heki. (2014) は Global Positioning System - Total Electron Content (GPS-TEC) を用いることで、これまで観測点上空のみでしか観測されなかった日本上空のスプラディック E (以下 Es) を二次元的に捉えることに成功した。一方、GPS と同様に地殻変動測定を目的とした宇宙測地技術に Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) がある。SAR は航空機や衛星などのプラットフォームに搭載されたアンテナを用いて、地上ターゲットがビームの中に入り続ける間中の反射波を全て集めることで、仮想的に大きな開口長のアンテナを実現し、高分解能のレーダー画像を生成する技術である。InSAR は異なる二つの時期に観測された SAR の位相データの差を取る干渉処理によって、二つの時期の間に起きた地殻変動を面的に画像として検出する技術である。InSAR の画像にも電離圏の影響が現れることがあり、これは使用したマイクロ波の周波数が低いほどより顕著に現れ、Advanced Land Observing Satellite (ALOS) のような L-band のマイクロ波を用いた衛星は電離圏の現象の検出に有利である。GPS に対して空間分解能で勝る InSAR で Es を検出できれば Es の空間分布をより詳細に知ることができ、これまで不明瞭であった Es の発生メカニズム解明の手助けになると期待される。本研究では日本上空の Es を InSAR を用いて検出することを目的とした。

まず、稚内・国分寺・山川のイオノゾンデで 2006 年～2010 年の 5～8 月の午前中に Es の臨界周波数 foEs が 15MHz 以上となった日を選んだ。次に、観測日時と観測場所が出来るだけ近い ALOS/PALSAR のデータを選び、干渉画像を作成した。その中の 2009 年 3 月 28 日 (Master) と 2009 年 6 月 28 日 (Slave) のペアの干渉画像に興味深い位相変化が現れ、北東方向に傾きを持つ。全体の形は瀬戸内海で途切れているのでわからないが、4 つのパッチが見て取れ、1 つのパッチの大きさは 20km 程度であった。この位相変化を TEC 変化量 (Δ TEC) に換算したところ、 Δ TEC=0.44TECU となった。これは、Es が発生した際の Δ TEC に近い値である。しかし、InSAR の画像からでは高度の拘束ができない。そこで GPS-TEC を用いて解析したところ、GPS-TEC でも InSAR の画像で位相変化が現れた場所付近に同じようなシグナルが検出され、高度を 100km と特定することができた。よって、位相変化を起こした原因が Es であることがわかり、InSAR で中緯度 Es を検出することができた。

キーワード: InSAR, スプラディック E, GPS-TEC

Keywords: InSAR, sporadic-E, GPS-TEC

中緯度スποラディックEの移動に対する下部熱圏における中性大気潮汐の影響 Tidal effect of the neutral atmosphere in the lower thermosphere on the movement of sporadic E at midlatitude

前田 隼^{1*}; 日置 幸介¹
MAEDA, Jun^{1*}; HEKI, Kosuke¹

¹ 北海道大学
¹ Hokkaido University

スποラディックEは高度 100km 付近の電離圏 E 領域で突発的に発生する電子密度の高いプラズマ・パッチのことである。中緯度地帯では夏季にスποラディックEが多く発生することが知られ (Whitehead, 1989 and references there in), また地理的分布をみると日本付近で発生頻度が特に高い (Wu et al., 2005; Arras et al., 2008)。スποラディックEの観測は従来地上からのレーダー観測やロケット観測などに限られてきたため、時空間分解能の制限が大きかった。しかし近年、2周波 GNSS を用いた全電子数 (TEC) 観測によってスποラディックEの観測が可能であることが明らかになった (Maeda and Heki, 2014)。とくに日本では国土地理院が全国に 1200 点以上に及ぶ稠密な GNSS 受信機網 (GEONET) を整備しており、これを用いることでスποラディックEの2次元水平面構造とその時間変化を追うことが可能である (Maeda and Heki, 2014)。

本研究ではスποラディックEの移動に焦点を当て、GEONET を用いて GPS-TEC 観測を行った。日本上空では東西方向に 50-500km に渡って伸びる細長い構造が顕著である (Maeda and Heki, 2014, SGEPS)。そのため東西方向の移動は帯の成長と区別ができない。そこで本研究では南北方向のスποラディックEの動きについて分析を行った。まず、5分ごとの TEC マップを作成しスποラディックEの2次元構造を明らかにし、20-30分ごとに移動方位 (南北) と移動速度を目視で読み取った。2010 年に関東上空で観測された 27 の移動性スποラディックEについて解析を行った。

結果、スποラディックEの移動方位 (南北) に地方時依存性が見られた。イベント数を示すヒストグラムから、午前 10-12 時は北方向への移動が卓越し、18 時ころには南方向への移動が卓越した。また、両者の中間にあたる 15 時ころは両方向への移動イベントが最も少ない「沈黙の時間」であった。この結果は関東で行われた後方散乱波観測による結果と調和的であった (Tanaka, 1979)。とくに 15 時ころの「沈黙の時間」は Tanaka (1979) によると西方向への移動が卓越する時間であり、今回行った GPS-TEC 観測では東西方向の移動を無視しているため、イベント数として観測されないことと一致する。

スποラディックEの移動が中性大気の影響を受けているとすると、南北方向への移動は下部熱圏における大気潮汐を反映していることが示唆された。これは逆に、GPS-TEC を用いてスποラディックEの移動を観測することで下部熱圏の中性大気ダイナミクスの知見を得ることができることを示唆している。

キーワード: スポラディック E, GPS, TEC, 大気潮汐
Keywords: sporadic-E, GPS, TEC, atmospheric tide

観測ロケット S-520-29 号機搭載マグネシウムイオンイメージャによるスプラディック E 層の水平構造の撮像観測
Imaging observation of spatial structure of sporadic E layer by Magnesium Ion Imager on the sounding rocket S-520-29

栗原 純一^{1*}; 岩上 直幹²; 栗原 宜子³; 田中 真⁴; 高橋 隆男⁴; 阿部 琢美³
KURIHARA, Junichi^{1*}; IWAGAMI, Naomoto²; KOIZUMI-KURIHARA, Yoshiko³; TANAKA, Makoto⁴; TAKAHASHI, Takao⁴; ABE, Takumi³

¹ 北海道大学 大学院理学研究院, ² 東京大学 大学院理学系研究科, ³ 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所, ⁴ 東海大学 情報教育センター

¹Faculty of Science, Hokkaido University, ²Graduate School of Science, The University of Tokyo, ³Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency, ⁴ICT Education Center, Tokai University

中緯度電離圏 E 領域に発生するスプラディック E(Es) 層の空間構造を明らかにすることを目的として、Es 層に存在するマグネシウムイオン (Mg^+) からの真空紫外共鳴散乱光を観測ロケット S-520-29 号機に搭載したマグネシウムイオンイメージャ (MII) によって観測した。

電子との再結合反応の遅い金属イオンが収束して Es 層を形成するため、その主要な金属イオンの一つである Mg^+ の分布は Es 層内の電子密度の空間構造を反映していると推測される。Es 層の空間構造は沿磁力線不規則構造や E-F 領域結合などの様々な電離圏現象と密接な関係があることが示唆されており、 Mg^+ 分布の撮像観測によって Es 層の空間構造に新たな知見が得られることが期待される。

同様の目的で 2008 年 2 月 6 日に鹿児島県の内之浦宇宙空間観測所において観測ロケット S-310-38 号機実験を行い、世界で初めて Es 層内の Mg^+ の 2 次元水平構造の観測に成功した。この成果は Mg^+ の共鳴散乱光観測が Es 層の空間構造の解明に有効であることを示したが、観測ロケットの姿勢、特に機軸の天頂角が予想外に大きかったために、有意な観測領域が極めて限定された。

そこで 2014 年 8 月 17 日に行われた観測ロケット S-520-29 号機実験では、S-310-38 号機に搭載した MII を改良するとともに、ガスジェット方式による姿勢制御装置を利用した観測を行った。姿勢制御は残念ながら当初の期待通りではなかったものの、 Mg^+ の共鳴散乱光観測に成功し、Es 層の空間構造に対する貴重な観測結果が得られた。

地磁気 Sq 電流によるアンペール力と熱圏圧力差 Ampere force exerted by geomagnetic Sq currents and thermospheric pressure difference

竹田 雅彦^{1*}
TAKEDA, Masahiko^{1*}

¹ 京都大学大学院理学研究科地磁気センター

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

各観測所での地磁気 Y 成分 Sq 場から電離層全電流を見積もり、それが及ぼすアンペール力と熱圏大気昼夜圧力差を比較した。静穏日各年春秋分時平均では Sq 電流渦中心緯度付近ではアンペール力は高度 120km より上空の圧力差は経年変化を含めてほぼ一致する。夏冬時にはこの関係がずれるがこれは半球間沿磁力線電流の効果と思われる。発表時にはこれらの物理的意味についても触れる予定である。

キーワード: 地磁気日変化, 全電流, アンペール力, 熱圏圧力差, 太陽活動度

Keywords: geomagnetic daily variation, total current, Ampere force, thermospheric pressure difference, solar activity

SuperDARN 北海道-陸別第一 HF レーダー受信専用機による電離圏変動の研究 Study of ionospheric disturbances using the remote HF wave receiver of the SuperDARN Hokkaido East radar

西谷 望^{1*}; 木川 竜介¹; 堀 智昭¹; 濱口 佳之¹

NISHITANI, Nozomu^{1*}; KIGAWA, Ryusuke¹; HORI, Tomoaki¹; HAMAGUCHI, Yoshiyuki¹

¹ 名古屋大学太陽地球環境研究所

¹ Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University

我々のグループは、SuperDARN 北海道-陸別第一・第二 HF レーダーを北海道陸別町にそれぞれ 2006 年・2014 年に設置し、観測を継続して行っているが、両レーダーで使用しているログペリアンテナは弱いながら後方にも電波が発射されており(バックローブビーム: メインローブビームに比較して片道あたり約 15dB の減衰)、この後方から返ってくる地上散乱エコーの影響をどうやって取り除くかが課題となっている。これを解決することを当初の目的として、2014 年より同第一 HF レーダーの電波の受信専用機を名古屋および陸別に設置し、観測を行っている。これまでの観測では冬季に名古屋における電波の受信状況が悪化するものの、夏季から秋季にかけて安定して良質のデータが得られており、これを詳細に解決することによりバックローブビームで得られる地上散乱エコーの反射点高度変動を観測することに成功している。この観測の問題点として、電波を発射する HF レーダーの周波数が小刻みに変動していること、またパルス発射のタイミングが正確に定まっていないこと等が挙げられるが、参照用として陸別町の HF レーダー近傍に同規格の受信専用機を設置し、両受信機で GPS 同期をとって観測を行うことにより解決している。当初の目的はメインローブとバックローブの影響の分離であったが、受信専用機を日本国内に複数設置することにより、伝搬性電離圏擾乱 (TID) や地震・火山・大気擾乱等の変動により電離圏が受ける影響を 2 次元観測することが可能である。講演では観測の初期結果について報告する。

キーワード: SuperDARN, 受信専用機, 電離圏擾乱

Keywords: SuperDARN, remote HF wave receiver, ionospheric disturbance

Seismo-traveling ionospheric disturbance observed by HF Doppler sounding system Seismo-traveling ionospheric disturbance observed by HF Doppler sounding system

CHOU, Min-yang^{1*}; TSAI, Ho-fang¹; LIU, Jann-yenq²; LIN, Charles¹
CHOU, Min-yang^{1*}; TSAI, Ho-fang¹; LIU, Jann-yenq²; LIN, Charles¹

¹National Cheng-Kung University, ²Institute of Space Science, National Central University,

¹National Cheng-Kung University, ²Institute of Space Science, National Central University,

In this paper, networks and concurrent/co-located measurements of seismometers (BATS, K-net, KiK-net), HF Doppler Sounding Systems in Taiwan and Japan are used to study Seismo-traveling ionospheric disturbance (STIDs). It's shown that these infrasound wave packets triggered by seismic surface waves that was generated by strong earthquake. The infrasound wave packets were detected in the ionosphere at heights ~200 km about 9 min after the detection of corresponding wave packets on the ground. The individual wave packets recorded on the HF Doppler have different observed horizontal velocities and correspond to different type of seismic waves.

The Hilbert-Huang Transform (HHT) is applied to analyze Doppler frequency shifts (DFSs) detecting STIDs and estimated the amplification factor in vertical displacement of the ionosphere relative to the ground surface motion, while the time delay, circle, ray-tracing, and beam-forming methods are used to compute the origin of the detected STIDs.

キーワード: STIDs, Ionosphere

Keywords: STIDs, Ionosphere

地震により生じた中性大気波動のシミュレーションによる伝搬特性解析 Propagation Characteristics of Neutral Atmospheric Waves Associated with Earthquakes Using a Numerical Simulation

吉川 晃平^{1*}; 清水 友貴¹; 中田 裕之¹; 鷹野 敏明¹; 松村 充²

YOSHIKAWA, Kouhei^{1*}; SHIMIZU, Yuki¹; NAKATA, Hiroyuki¹; TAKANO, Toshiaki¹; MATSUMURA, Mitsuru²

¹ 千葉大学大学院工学研究科, ² 国立極地研究所

¹ Graduate School of Engineering, Chiba University, ² National Institute of Polar Research

地震発生時に発生する音波や大気重力波が電離圏擾乱を引き起こしていることが HF ドップラや GPS を利用した全電離圏粒子数 (TEC) の観測によって明らかになっている。本研究では数値シミュレーションを用いて中性大気波動の伝搬メカニズムを明らかにし、地面の変動と電離圏擾乱の関連を明らかにすることが目的である。本研究では中性大気の支配方程式を数値的に解くことによって中性大気波動の時間発展の計算を行った。

まず、シミュレーションで用いている人工粘性が与える影響の検討を行った。圧縮性流体では音速を超えると衝撃波が発生する。衝撃波は数値的には不連続な面であるが、実際は分子の自由行程程度の厚さがある。シミュレーションで数値粘性を加えずそのまま計算を行うと数値発散が発生するため、Von-Neumann 型の人工粘性を加えることによって数値発散を抑えている。人工粘性を加えるにあたり、人工粘性係数を適切な値に設定する必要があるため、エネルギー密度保存則から減衰を引くことによって求められる理論式 (Chum *et al.*, 2012) と人工粘性係数を変化させた場合のシミュレーション結果との比較を行った。その結果、この人工粘性を大きくするとシミュレーション結果の振幅は小さくなった。また、入力として与えている地震動の周期によって理論式と一致した人工粘性係数は異なり、人工粘性係数を変化させる必要があることが分かった。次に、音波が伝搬する先端部分に長波長の部分が存在し、その部分は理論式よりも振幅が大きく、定常状態の波よりも高い高度 (>300 km) まで減衰していないことが分かった。音波の伝搬する波の先端部分に長波長の部分が存在し、高い高度まで減衰しない原因を検討するため、時間波形の検討を行った。高高度では入力周波数よりも低い周波数成分があることが分かった。用いた理論式の高度毎の周波数特性を検討すると、低域通過特性があり、高度があがるにつれ減衰し始める周波数が徐々に低周波側に移動していることから、高高度では低周波成分が支配的となっていると考えられる。エネルギー密度保存則から高高度では振幅が大きくなるが、高周波成分は粘性や熱伝導などの原因により減衰するためこのような特性となる。

これらの検討により、入力の地震動の周期によって適切な人工粘性係数の値を設定する必要があることが分かった。また、音波が伝搬する先端部分に、長波長の部分があり、その部分では入力の周波数成分よりも低周波の成分が存在した。その低周波成分と大気の高域通過特性により、振幅が理論式よりも大きくなり、定常状態よりも高い高度まで伝搬していることが分かった。

キーワード: 地震, 中性大気波動, 数値シミュレーション, 電離圏擾乱

Keywords: Earthquake, Neutral atmospheric wave, Numerical simulation, Ionospheric disturbance

中規模伝搬性電離圏擾乱発生時に共鳴散乱ライダーで観測されたCa⁺密度変動 Ca⁺ density perturbations observed by a resonance scattering lidar during MSTIDs

江尻省^{1*}; 津田卓雄²; 西山尚典¹; 阿保真³; 西岡未知⁴; 丸山隆⁴; 齊藤昭則⁵; 中村卓司¹
EJIRI, Mitsumu K.^{1*}; TSUDA, Takuo²; NISHIYAMA, Takanori¹; ABO, Makoto³; NISHIOKA, Michi⁴;
MARUYAMA, Takashi⁴; SAITO, Akinori⁵; NAKAMURA, Takuji¹

¹ 国立極地研究所, ² 電気通信大学, ³ 首都大学東京大学院システムデザイン研究科, ⁴ (独) 情報通信研究機構, ⁵ 京都大学大学院理学研究科地球物理学教室

¹National Institute of Polar Research, ²The University of Electro-Communications, ³Graduate School of System Design, Tokyo Metropolitan University, ⁴National Institute of Information and Communications Technology, ⁵Department of Geophysics, Graduate School of Science, Kyoto University

中間圏・下部熱圏領域には、流星や宇宙塵によって宇宙空間から地球大気に持ち込まれた金属原子やイオンの定常層が存在する。そのうちいくつかの金属原子層 (Na, K, Fe, Ca) と金属イオンでは唯一カルシウムイオン (Ca⁺) については、共鳴散乱を利用することにより、その密度や温度の高度分布を地上からライダー観測することが出来る。国立極地研究所は、第Ⅷ期重点研究観測「南極域から探る地球温暖化」における中層・超高層大気観測研究の一環として、レイリー/ラマンライダーに共鳴散乱ライダーを追加した高機能ライダーの開発を進めている。この共鳴散乱ライダーは、送信系に波長可変のアレキサンドライト・レーザーと第2高調波発生器を用いており、インジェクションシーダーの波長を波長計で制御することで、基本波 (768-788 nm)、第2高調波 (384-394 nm) のうち任意の波長のレーザーパルスを得ることが出来る。これにより中間圏界面付近に存在する金属原子 (K, Fe) やオーロラ起源のイオン (N₂⁺) に加えて、電離圏E領域に存在するCa⁺の共鳴散乱 (393 nm) も観測可能である。このライダーを用いて、2014年8月21日14:13-19:28 UTに国立極地研究所 (35.7N, 139.4E) でCa⁺の共鳴散乱ライダー観測を行い、高度80-130 kmのCa⁺密度変動 (高度分解能15 m、時間分解能1分) を取得することに成功した。この晩は、情報通信研究機構 (35.7N, 139.5E) のイオノゾンデ観測では、一晩中スポラディックE (E_s) 層が観測されており、国土地理院のGPS受信機網によって得られたTEC (Total Electron Contents) mapでは、北西-南東方向の波面構造を持った中規模伝搬性電離圏擾乱 (Medium-Scale Traveling Ionospheric Disturbances; MSTIDs) が南西方向に伝搬する様子が観測された。本講演では、この共鳴散乱ライダーによるCa⁺密度観測の結果を報告すると共に、イオノゾンデ、GPS-TEC mapで同時観測されたE_s層、MSTIDsとの関係を議論する。

キーワード: 共鳴散乱ライダー, カルシウムイオン, 中規模伝搬性電離層擾乱, GPS-TEC, スポラディックE層

Keywords: resonance scattering lidar, Ca⁺, medium scale traveling ionospheric disturbances, GPS-TEC, sporadic E layer

プラズマバブルに伴う極めて大きな全電子数空間勾配の特性とGNSSに対する影響 Characteristics of spatial gradient of ionospheric TEC associated with plasma bubbles and its impact on GNSS

斎藤 享^{1*}; 吉原 貴之¹

SAITO, Susumu^{1*}; YOSHIHARA, Takayuki¹

¹ 独立行政法人電子航法研究所

¹Electronic Navigation Research Institute

The plasma bubble is a sharp depletion in the ionospheric plasma density. Spatial gradient of the ionospheric TEC (total electron content) associated with the sharp depletion of the plasma density makes it difficult for GNSS augmentation systems to work properly. To mitigate the ionospheric threats associated with the spatial TEC gradient, it is important to know the characteristics of the TEC gradient.

Data used are obtained in Ishigaki (24.3N, 124.2E) with five GNSS receivers with mutual distances from 86 to 1557 m. TEC differences and thus the gradients between a pair of GNSS receivers are precisely derived with the single-frequency carrier-based and code-aided (SF-CBCA) technique. Directions of the TEC gradients are estimated with the TEC gradients between three of the five stations. The derived TEC gradients are compared with those derived with the dual-frequency TEC estimation with the assumption that the TEC gradient in quiet time would be zero. The velocity and propagation directions of the gradients are estimated with the correlation analysis of TEC variation of three of the five stations.

Associated with the plasma bubble events on 3 April 2008, the TEC gradients derived with the SF-CBCA method was amounted to be 3.2 TECU/km, which is equivalent to the gradients in the ionospheric delay at L1 frequency of 518 mm/km. It exceeds the upper bound of the ionospheric threat space (maximum assumed values in the safety design) of ground-based augmentation system (GBAS). The result is proved to be realistic with the dual frequency measurements, though there seems to be cycle-slip effects in TEC estimation. The velocity was estimated to be 118 m/s, and the propagation direction was estimated to be 75 degrees. The propagation direction is consistent with the direction of the TEC gradient of 74 degrees (clockwise from the North). The spatial scale of the TEC gradient is estimated to be 7 km.

These parameters derived in this study are all relevant to the ionospheric threat space of GBAS, and the threat space is shown to be modified so that this extreme TEC gradient is bounded. Thus, studying the characteristics of the TEC gradient with the parameters shown above are very important to the safety design of GNSS augmentation systems, and have to be investigated extensively. Further analysis of the data obtained in the periods of higher solar activity than that of the event analyzed here is necessary and is now going on.

キーワード: プラズマバブル, 電離圏不規則構造, 全電子数空間勾配, 電離圏不規則構造速度, 電離圏不規則構造空間スケール, 衛星航法補強システム

Keywords: plasma bubble, ionospheric irregularity, TEC gradient, irregularity velocity, irregularity scale size, GNSS augmentation system