

## 波面状 Es による HF 波反射伝搬モデル HF propagation model reflected by frontal Es

富澤 一郎<sup>1\*</sup>, 藤井厚太郎<sup>1</sup>  
Ichiro Tomizawa<sup>1\*</sup>, Kotaro Fujii<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 電気通信大学宇宙・電磁環境研究センター  
<sup>1</sup> SSRE, Univ. of Electro-Comm.

我々は最近多数の HFD 反射点を利用して波面状 Es の速度と波面方向を正確に求める方法を開発した。その解析から、従来採用してきた波面状 Es 下面での散乱伝搬モデルではなく、鏡面反射伝搬モデルが適切と分かった。この結果から、波面状 Es 構造は第一フレネルゾーン直径より狭い断面とその直径より非常に長い水平長を持っていると結論した。

キーワード: スポラディック E, 波面構造, HF 電波伝搬モデル  
Keywords: sporadic E, frontal structure, HF propagation model

## SuperDARN 北海道-陸別 HF レーダーを用いた太陽フレア時における電離圏環境変動の量的特性の研究

### Study of quantitative characteristics of ionospheric disturbances during solar flare with the SuperDARN Hokkaido radar

渡辺 太規<sup>1\*</sup>, 西谷 望<sup>1</sup>

Daiki Watanabe<sup>1\*</sup>, Nozomu Nishitani<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所

<sup>1</sup> Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University

太陽フレアによる電離圏の環境変動は過去さまざまな観測手法により研究されてきた。Kikuchi et al. (1985) は HF ドップラー法により太陽フレア発生時に正のドップラーシフトを観測し、その要因を2つ示した。(1) D 層の電子密度が増加し屈折率が変化することによる、電波の見かけの行路の変化。(2) F 層の電子密度が変化し反射高度が変化することによる、電波の行路の変化。

今回の研究では詳細な電離圏変動の様子を調べるため SuperDARN レーダーの一基である北海道-陸別 HF レーダーを用いた。レーダーの地上/海上散乱エコーの消失が生じる直前に観測されるドップラーシフトに着目した。Davies et al. (1962) は要因(1)では、エコーのドップラーシフトはレンジに対し正の相関、周波数と仰角に対し負の相関を持つのに対し、要因(2)ではレンジに対し負の相関、周波数と仰角に対し正の相関を持つことを示している。Kikuchi et al., (1985) は周波数依存性を解析したのに対し、我々はエコーのドップラーシフトのレンジ、仰角依存性を初めて解析することにより、D 層、F 層の電子密度変化の様子を調べた。その結果、フレア発生時のドップラーシフトの要因としては、D 層の電子密度変化が支配的である可能性が高いことが分かった。この結果は Kikuchi et al. (1985) の結果と矛盾しない。この結果を確認し、またより詳細な電離圏擾乱の特性を明らかにするために、フレアイベントを、フレアクラス、発生した季節、LT、太陽天頂角などの特徴で区分し、それらを統計的に解析することでその依存性の解明を進めている。前回までの研究では、D 層電子密度変化量を見積もることができたので、次に F 層電子密度変化量を見積もることを検討している。また GOES 衛星、SDO 衛星の X 線、EUV 放射強度のデータを用いて化学反応モデルより電離圏電子密度変化量を見積もる解析をする予定である。レーダーのデータから見積もった電子密度変化量と太陽放射強度から見積もった電子密度変化量を比較も検討している。講演ではより詳細な研究結果について報告する予定である。

キーワード: 太陽フレア, 北海道-陸別 HF レーダー, 下部電離圏, F 層, ドップラーシフト

Keywords: solar flare, SuperDARN hokkaido radar, lower ionosphere, F-region ionosphere, Doppler shift

## 2012年5月20日金環日食に伴う地磁気変動の検出 The response of The 20 May 2012 solar eclipse the geomagnetic field

大場 崇義<sup>1\*</sup>, 三島稔明<sup>2</sup>, 山口寛<sup>2</sup>, 小田佑介<sup>2</sup>, 山崎彬輝<sup>2</sup>  
Takayoshi Oba<sup>1\*</sup>, Toshiaki, Mishima<sup>2</sup>, Satoru, Yamaguchi<sup>2</sup>, Yusuke, Oda<sup>2</sup>, Akiteru, Yamasaki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 総合研究大学院大学, <sup>2</sup> 大阪市立大学大学院理学研究科  
<sup>1</sup>The Graduate University for Advanced Studies, <sup>2</sup>Osaka City University

日食時には電離層の太陽静穏時日変化 (Sq) 電流系が変化することで磁場形成が異なる可能性がある。

これまで、日食に伴う地上での地磁気変動が研究されてきたが、その有無を含め、議論がわかれている。例えば、1999年8月11日にヨーロッパで発生した日食に伴う地磁気変動について、Malin et al. (2000) や Hvoz ?dara and Prigamcova ? (2002) は 15~20nT 程度の地磁気変動があったと解釈していた。一方、Korte et al. (2002) は電離圏において電気伝導度は減少したが、これに伴う有意な地磁気変動は検出されなかったと主張した。

日食に伴う地磁気変動を評価するときの困難点の一つとして、通常時の地磁気日変化の日毎の違いと、日食時の地磁気変動との区別が挙げられる。そこで、本研究では通常時の日食の地磁気変動を推定し、日食に伴う地磁気変動を抽出することを試みた。

2012年5月20日(協定世界時)の金環日食帯に含まれる大阪府交野に地磁気観測点(KTN)を設置し、2012年5月14日から6月4日まで地磁気連続観測を行った。

カルマンフィルターを用いて、KTNにおける地磁気観測値と他の地磁気観測点(参照点)の地磁気観測値からKTNの地磁気変化を予測する数式モデルを作成した。参照点として全国に点在する国土地理院、及び気象庁の観測点を用いた。参照点の位置によって日食時の地磁気変動が推定値に与える影響が異なることを期待し、KTNの地磁気観測値と各モデルによる推定値との残差を用いて日食時の地磁気変動を評価した。

作成したモデルによって、KTNの地磁気日変化を数nT程度の残差で推定することができた。残差の特徴は参照点によって異なる。一部のモデルでは日食時間帯に3nT程度の残差が捉えられた。特に金環日食帯に含まれる観測点を参照点に用いたモデルと比較して、金環日食帯の外部に位置する観測点を参照点にしたモデルでは日食時間帯に1-2nT程度大きな残差が得られた。

キーワード: 地磁気, 日食, カルマンフィルター

Keywords: Geomagnetic effects, solar eclipse, Kalman filter

## 地磁気 Sq 場の長期変化の原因 Cause of long term variation of geomagnetic Sq field

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

<sup>1</sup> 竹田 雅彦  
<sup>1</sup> Masahiko Takeda

各観測所での地磁気 Y 成分 Sq 場の振幅変化とそれに対する太陽活動度の影響を調べた。その結果、Sq 振幅の数年程度以上の時間規模の太陽活動度依存性は、ほぼ電離層電気伝導度の太陽活動度依存性によって説明できる一方、ダイナモ電場の太陽活動度依存性は小さいが、どちらかというところ電気伝導度とは逆に太陽活動度が高い方が小さくなる傾向が見られた。また、ダイナモ電場の長期変化には観測所による差があるが、その多くは地磁気主磁場の永年変化の違いに起因していて、中性風速にすると違いはほぼなくなり、等価風速の長期変化としてはダイナモ電場と同様に太陽活動度が小さいほど風速が大きい傾向が見いだされた。さらに 1985 年頃以降やや中性風速が速くなる傾向が見られるが、これはこの期間の太陽活動度の減少に対応していると解釈できる。

学会時には各観測所での緯度や主磁場強度などの違いによる効果についても触れる予定である。

キーワード: 地磁気, 日変化, 太陽活動度, 電気伝導度, 中性風速, 主磁場強度

Keywords: geomagnetism, daily variation, solar activity, electric conductivity, neutral wind, main field strength

## 地磁気静穏日変化に見られる超高層大気の長期変動について Long-term variation in the upper atmosphere as seen in the geomagnetic solar quiet (Sq) daily variation

新堀 淳樹<sup>1\*</sup>, 小山 幸伸<sup>2</sup>, 能勢 正仁<sup>2</sup>, 谷田貝 亜紀代<sup>1</sup>, 堀 智昭<sup>3</sup>, 大塚 雄一<sup>3</sup>

Atsuki Shinbori<sup>1\*</sup>, Yukinobu Koyama<sup>2</sup>, Masahito Nose<sup>2</sup>, Akiyo Yatagai<sup>1</sup>, Tomoaki Hori<sup>3</sup>, Yuichi Otsuka<sup>3</sup>

<sup>1</sup>京大・生存研, <sup>2</sup>京大・理・地磁気資料解析センター, <sup>3</sup>名古屋大学太陽地球環境研究所

<sup>1</sup>RISH, Kyoto Univ., <sup>2</sup>DACGSM, Kyoto Univ., <sup>3</sup>STEL, Naogya Univ.

電離圏・熱圏領域における中性大気は、太陽放射に起因する熱対流や、太陽、月などの潮汐力によって大規模な運動を行っているが、この運動によるダイナモ作用を介して電離圏電流が地磁気静穏日 (Sq) 変化を作ることは古くから知られている。そして、この電離圏電流は、オームの法則によれば、電離圏電気伝導度、分極電場、および中性大気風の3種類のパラメータに依存する。よって、Sq場の振幅を調べることによって、電離圏・熱圏領域におけるプラズマ密度や中性大気風などの長期変動のシグナルを捉えることができる。近年、Elias et al. [2010] は、中低緯度の3観測点におけるSq場の振幅が1961年-2001年の約40年間で、5.4-9.9%だけ増加していることを見出した。彼らは、地球磁場の永年変化に伴う電離圏電気伝導度の変化がSq場の振幅の長期トレンドの大部分を決めているが、残りは、地球温暖化ガスの冷却効果による電離圏電子密度増加に伴う電気伝導度の変化であると言及している。しかし、Elias et al. [2010] の研究は、以下の3つの問題点を含んでいる。(1) 3観測点だけで得られた2001年までの観測データの長期解析のみで、全球的な変動を捉えていない。(2) 太陽活動の変動を取り除くのに太陽黒点数を用いていることから、無黒点数の時期が比較的多い太陽活動極小期におけるSq場の振幅と太陽活動との定量的評価ができていない。(3) Sq場の変動の源となる電離圏・熱圏領域における中性大気風の変動を解析していないため、その長期変動によるSq場の振幅への影響が明らかにされていない。そこで本研究では、2009年度から開始したIUGONETプロジェクト(超高層大気長期変動の全球地上ネットワーク観測・研究)の参加大学・機関から提供される地磁気や電離圏・熱圏領域における中性風の長期観測データを用いて、電離圏・熱圏大気の長期変動がSq場の振幅へ与える影響を定量的に明らかにする。本解析で使用した観測データは、UV、EUV領域の太陽放射強度の指標としての太陽F 10.7指数、184点の地磁気観測点から得られた地磁気1時間値である。ここで、Sq場の振幅は、地磁気Kp指数の値が1日を通じて4未満である日を選定し、その期間の中で地磁気の最大と最小の差として定義した。解析の結果、全ての地磁気観測点におけるSq場の振幅の長期変動は、11年の太陽活動に依存して変化するF10.7指数と強い相関関係を示した。そのSq場の振幅とF10.7指数との関係は、線形ではなく、非線形であった。既にBalan et al. [1993] によって報告されているように、この非線形性は、高い太陽紫外線に対して電離圏の電子とイオンの生成率の減少として解釈される。この結果を受けて、太陽F 10.7指数とSq場の振幅から2次の回帰曲線を求め、そこからのずれの経年変動を調べた。その結果、太陽活動による変動成分を差し引いたSq場の振幅には、約20年ごとに減少と増加の期間が入れ替わる傾向が全ての観測点で見出された。一方、太陽風のエネルギーを駆動源とする極域の2セル対流によって作られる極域Sq(Sqp)変化の振幅の長期変動にも中低緯度のものと同様の傾向が見られた。このことから、Sq場とSqp場の長期トレンドは、地磁気の永年変化や超高層大気の長期変動に伴う電離圏電気伝導度の変化に関係したものと考えられる。よって、このことを実証するために、IUGONETプロジェクトで開発された電離圏電気伝導度計算ツールを用いて電離圏電気伝導度の長期変動との関係を調べる必要がある。

キーワード: 地磁気日変化, 太陽活動, 超高層大気, 中性風, 電離圏, 熱圏

Keywords: Geomagnetic solar quiet (Sq) daily variation, Solar activity, Upper atmosphere, Neutral wind, Ionosphere, Thermosphere

## 電離圏観測ロケット近傍のウェイクに起因するプラズマ波動 Plasma wave turbulence induced by the wake of an ionospheric sounding rocket

遠藤 研<sup>1\*</sup>, 熊本 篤志<sup>1</sup>, 大家 寛<sup>1</sup>, 小野 高幸<sup>1</sup>, 加藤 雄人<sup>1</sup>  
Ken Endo<sup>1\*</sup>, Atsushi Kumamoto<sup>1</sup>, Hiroshi Oya<sup>1</sup>, Takayuki Ono<sup>1</sup>, Yuto Katoh<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻

<sup>1</sup> Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University

観測ロケットの後方にはプラズマウェイクと呼ばれるプラズマの希薄な領域が形成される。これまでの理論的研究や、ロケット観測、数値シミュレーションによって、ウェイク中では電子密度が低くなることや電子温度が高くなることなどが広く知られている。

近年の観測により、ロケットのウェイクに伴ってプラズマ波動が励起する可能性が指摘されるようになってきている。過去の研究では、コールドプラズマ理論に基づいて MHz 帯の波動データを解析することにより、励起する波のモードが Upper-hybrid resonance (UHR) に関連するモード (以後 UHR モードと表す) であること、及びウェイクの両端から流入する電子が二流体不安定を引き起こしてプラズマ波動を発生させるというモデルが提案されている。しかし、観測された一部のプラズマ波動の周波数帯は、電子密度の観測値から予想される UHR モードの分散関係に合わず、この点は未解決の問題として残されている。また、これまでの研究で使用されているデータは、時間分解能が 500 msec 以上の波動受信機によって得られたものであり、プラズマ波動の励起メカニズムや励起領域、伝播過程を詳細に議論する上で充分ではなかった。

ウェイク近傍でのプラズマ波動については、人工衛星や月のウェイクなどでも観測の報告例がある。このことから、ロケットのウェイクに伴ってプラズマ波動が励起する過程は、プラズマ流と非磁化物体の相互作用に起因する普遍的な物理メカニズムを内包していると考えられる。

そこで、東北大グループは、ロケットのウェイクが引き起こすプラズマ波動現象をより詳しく議論するため、2012年1月12日に鹿児島県内之浦で打ち上げられた観測ロケット S-520-26 号機にインピーダンスプローブ及びプラズマ波動受信機を搭載し、電離圏プラズマ密度及び波動の電場成分の観測を行った。どちらも時間分解能は約 260 msec で、これはロケット1スピンに4-5回の測定を行うことを可能にしている。ロケットは高度約298 kmまで到達し、観測の結果、過去の観測で指摘された波動と同様の約1.3-2.4 MHzのプラズマ波動(MF帯の波)の他、0.9 MHz以下にも波動(LF帯の波)を観測した。インピーダンスプローブの観測結果やIGRF磁場モデルからUHRモードの分散関係を求めた結果、MF帯のプラズマ波動の一部の観測周波数はUHRモードの分散関係を満たすものの、分散関係に合わない成分も観測されていることが分かった。

以上の観測結果を受け、我々はホットプラズマ中でのプラズマ波動の分散関係を用いて、改めて波動のモードに関し考察を行った。その結果、プラズマ波動がロケット近傍のウェイクで励起したものと仮定することにより、波長の制約から、MF帯の波動はUHRモード波動及び静電的電子サイクロトロン高調(ESCH)波であること、LF帯の波動は静電的なホイッスラーモード波動である可能性を指摘した。また、ロケットの姿勢を解析することにより、これらの波動が、それぞれアンテナがある特定の方向に向いているときに強く観測されていることを明らかにした。さらに、電離圏の電子の速度分布に電子ビーム成分や温度異方性が生じた際の波動の分散関係を数値的に求めたところ、静電的なUHRモード波動、ESCH波動、ホイッスラーモード波動の波数、周波数領域で波が成長する解が得られた。

本発表ではさらに、観測ロケットのウェイク周辺で期待されるプラズマ不安定について考察し、S-520-26号機ロケットによる電子密度・プラズマ波動の観測結果をもとに、ウェイクに起因するプラズマ波動について議論する。

キーワード: ウェイク, プラズマ波動, 観測ロケット, 電離圏

Keywords: wake, plasma wave, sounding rocket, ionosphere

## GPSを用いた電離圏擾乱の観測及び航空航法支援システムに対する影響評価 Observation of ionospheric disturbance using GPS, and evaluation of their impact on air navigation augmentation system

大松 直貴<sup>1\*</sup>, 大塚 雄一<sup>1</sup>, 斎藤 享<sup>2</sup>, 塩川 和夫<sup>1</sup>  
Naoki Omatsu<sup>1\*</sup>, Yuichi Otsuka<sup>1</sup>, Susumu Saito<sup>2</sup>, Kazuo Shiokawa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名大 STE 研, <sup>2</sup> 電子航法研・航法システム

<sup>1</sup>STEL, Nagoya Univ., <sup>2</sup>NAV Department, ENRI

近年、航空航法において、GPSを用いた衛星航法の導入が進められている。GPSにおいて、GPS衛星と受信機間の全電子量(TEC)に起因する電離圏遅延は、大きな測位誤差の要因となる。電波の伝搬経路に存在する電子1TECU当たり、L1帯では0.16m、L2帯では0.27mの群遅延が発生する。GPSを用いた精密測量では、L1帯及びL2帯の2周波を用いて電離圏遅延補正を行うのが一般的である。しかし、航空航法では、L2帯は航法バンドとして国際的に保護されていないことから直接測位には利用できない。航空航法においては、測位精度だけでなく安全性が重要であり、安全性を確保するための補強システムが必要となる。補強システムには、静止衛星を介して補強情報を放送する広域で有効な静止衛星型衛星航法補強システム(SBAS)、地上設備からVHF波で補強情報を放送する空港周辺の比較的狭い範囲で有効な地上型衛星航法補強システム(GBAS)などがあり、一部で実利用が始まっている。

GBASとは、航空機が着陸経路に進入してから用いられるシステムであり、狭い範囲に限定して情報を提供するため、SBASと比較して高い精度を得ることができる。GBASでは通常、衛星のクロック誤差や衛星の軌道情報の誤差、対流圏遅延誤差、電離圏遅延誤差などの大部分を取り除くことが可能である。しかし、GBASの利用エリア内に電離圏遅延量の空間勾配が存在する場合には、GBASによる補正を行った後でも補正誤差が生じてしまい、安全性の脅威となることが分かっている。

今回の研究では、国土地理院が提供する国内地上GPS受信機観測網データを活用した。日本国内で北緯26.4度から35.6度までの観測点から6点を選び、2001年から2011年までの11年分の解析を行うことで、Rate of TEC change Index (ROTI)の緯度、季節、太陽活動度依存性を統計的に明らかにした。今回利用したTECのデータは30秒間毎に記録されたものだが、ROTIとは、TECの時間差分の5分間内の標準偏差をとったものであり、TECの変動性を表す指標である。その結果、ROTIの値が最も大きくなるのは、磁気緯度的に低緯度である北緯26.4度の観測点における太陽活動極大期の春季・夏季の夜間であることが分かった。これはプラズマバブルが原因であると考えられ、ROTIの値は最大6TECU/min程度であった。ただし、6TECU/minというのは、幾分大きな数値であり、サイクルスリップの補正が正しくできていないなど電離圏現象ではない可能性も考えられるため、TECデータを確認する必要がある。ROTIは、電離圏遅延量の空間勾配を表す指標であるとも考えられるため、これによりGBASに対する電離圏遅延量の空間勾配の影響を評価した。本講演では、より詳細な研究結果について報告する予定である。

キーワード: 電離圏, GPS, 衛星航法, GBAS, ROTI

Keywords: ionosphere, GPS, satellite navigation, GBAS, ROTI

## 中緯度電離圏全電子数変動における IMF-By の効果 Effect of IMF-By on variations of ionospheric total electron content at mid-latitudes

丸山 隆<sup>1\*</sup>, 陣 英克<sup>1</sup>  
Takashi Maruyama<sup>1\*</sup>, Hidekatsu Jin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 情報通信研究機構

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

The primary factor that controls ionospheric total electron content (TEC) variation is solar UV/EUV radiations through direct and indirect processes. The direct effect is the ionization of the thermospheric neutral particles by EUV radiations with wavelengths ( $\lambda$ ) shorter than 102.5 nm. Virtually all photons of  $\lambda < 102.5$  nm are absorbed by photoionization and the absorbed energy splits into the photo-electron channel and the chemical energy channel (ion-electron pair) with the ratio that depends on the wavelength. Indirect effects of solar irradiance on the ionosphere are through the modification of the thermosphere. The recombination of ion-electron pair and the dissociation process of molecular oxygen ( $O_2$ ) by the Schumann-Runge continuum radiation ( $\lambda = 130-175$  nm) are the primary heat source of the thermosphere. Changes in temperature and composition of the neutral atmosphere, and the atmospheric circulation greatly affect the ionospheric electron density.

Because the relationship between the solar spectral irradiance and ionospheric TEC is highly complex, we applied an artificial neural network (ANN) technique that has a great capability of function approximation of complex systems to model solar irradiance effects on TEC. Three solar proxies,  $F_{10.7}$ , SOHO-SEM<sub>26-34</sub> EUV emission index, and  $MgII_{c-w-r}$  were the input parameters to the ANN representing activities at various heights and regions of the solar atmosphere (Maruyama, JGR 2010). Although the trained ANN prediction model was confirmed to work well to predict TEC variations, there remained some errors as easily expected from the fact that another channel of energy flow from the sun to the earth's ionosphere in the form of solar wind was not considered in the model. Thus, in the next step, we have examined effects of magnetic disturbance, which is a manifestation of solar wind magnetosphere energy coupling. For this purpose, the  $K_p$  index and several solar wind magnetosphere coupling functions were chosen as an additional input parameter to the ANN-TEC model and we obtained a substantial improvement in the TEC prediction when the preprocessed  $K_p$  index was used.

Somewhat minor but interesting effects on TEC variations are expected to emerge when major effects of solar irradiance and magnetic disturbance have been removed. We analyzed the time series of residual error by using a wavelet transformation, which revealed an error characterized by a period of approximately 27-30 days in the summer. Possible origins of the error having such a period are (1) insufficient modeling of solar activity effect, (2) lunar tidal forcing, (3) coupling with planetary waves in the lower atmosphere, and (4) solar wind effect other than geomagnetic disturbances. Regarding the first and second possibilities, the time series of the error amplitude did not synchronize with the solar rotational modulation of the activity or the lunar age. The third possibility may not be probable because the penetration of planetary waves up to ionospheric heights is suppressed during the summer. We examined solar wind effects in detail.

A various solar wind parameters and their combinations were examined. The best result was obtained when the IMF-By component and the solar wind velocity were included in the input space of the ANN and the residual error showing the 27-30 day period during the summer was removed. Parallel use of the solar wind magnetosphere coupling function further improved the model. Possible explanation of the IMF-By effect is discussed in terms of changes in the thermospheric general circulation pattern.

Keywords: TEC, IMF-By, artificial neural network



## ブラジル上空の活発な対流活動から発生した大気重力波の多点 GPS-TEC 観測：初期解析結果

### Study of gravity waves generated from strong tropospheric convection over Brazil by using multi-point GPS-TEC data

福島 大祐<sup>1\*</sup>, 塩川 和夫<sup>1</sup>, 大塚 雄一<sup>1</sup>, VADAS, Sharon L.<sup>2</sup>, 西岡 未知<sup>3</sup>, 津川 卓也<sup>3</sup>

Daisuke Fukushima<sup>1\*</sup>, Kazuo Shiokawa<sup>1</sup>, Yuichi Otsuka<sup>1</sup>, VADAS, Sharon L.<sup>2</sup>, Michi Nishioka<sup>3</sup>, Takuya Tsugawa<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>2</sup>NorthWest Research Associates, Inc., <sup>3</sup> 情報通信研究機構

<sup>1</sup>Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, <sup>2</sup>NorthWest Research Associates, Inc., <sup>3</sup>National Institute of Information and Communications Technology

電離圏擾乱の原因となる大気重力波は、主に下層大気中の対流活動から励起された大気重力波が中間圏界面や下部熱圏で砕波することで発生する 2 次的な大気重力波であることがこれまでに示唆されている。Vadas and Liu (submitted to JGR, 2013) により、2005 年 10 月 1 日の 18UT 以降にブラジル上空の活発な対流活動から大気重力波が発生し、熱圏において砕波することで新たな 2 次的な大気重力波を発生させている描像がシミュレーションによって明らかにされた。この 2 次的な大気重力波の水平位相速度は約 500-600m/s、周期は約 2-3 時間、水平波長は約 4000-5000km であり、南極、アフリカ、ヨーロッパまで伝搬していた。

本研究では、南米大陸の複数地点に設置されている GPS 受信機で観測された全電子数 (TEC) のデータを用いることで、このシミュレーションされた大気重力波が実際に観測されているかどうか調べた。その結果、ブラジリアの GPS 受信機で観測された TEC データの変動成分に大気重力波による TEC 変動が 2005 年 10 月 2 日の 4UT 頃に見られた。観測された TEC 変動の周期は、動いている GPS 衛星から観測されたみかけの周期であるため、大気重力波本来の周期からわずかにずれていると考えられる。観測した衛星毎に見かけの周期が違っていたため、この見かけの周期の違いから波面方向はおおよそ東西方向であると特定した。また見かけの周期の違いから計算した波の水平位相速度は約 660m/s、周期は約 2 時間、水平波長は約 4600km であり、シミュレーションされた 2 次的な大気重力波のパラメータに近い値となった。講演では、これらの観測とシミュレーションと比較した議論を行う。

キーワード: 大気重力波, GPS-TEC, 対流活動

Keywords: gravity wave, GPS-TEC, tropospheric convection

## トロムソナトリウムライダーの2012年度観測概要

### Observational results with the Tromsø sodium LIDAR from October 2012 to March 2013

野澤 悟徳<sup>1\*</sup>, 川原 琢也<sup>2</sup>, 斎藤徳人<sup>3</sup>, 津田 卓雄<sup>4</sup>, 川端哲也<sup>1</sup>, 堤 雅基<sup>4</sup>, 大山 伸一郎<sup>1</sup>, 高橋 透<sup>1</sup>, 藤原 均<sup>5</sup>, 和田智之<sup>3</sup>, 小川 泰信<sup>4</sup>, 藤井 良一<sup>1</sup>

Satonori Nozawa<sup>1\*</sup>, Taku D Kawahara<sup>2</sup>, Norihito Saito<sup>3</sup>, Takuo Tsuda<sup>4</sup>, Testuya Kawabata<sup>1</sup>, Masaki Tsutsumi<sup>4</sup>, Shin-ichiro Oyama<sup>1</sup>, Toru Takahashi<sup>1</sup>, Hitoshi Fujiwara<sup>5</sup>, Satoshi Wada<sup>3</sup>, Yasunobu Ogawa<sup>4</sup>, Ryoichi Fujii<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>2</sup> 信州大学工学部, <sup>3</sup> 理化学研究所, <sup>4</sup> 国立極地研究所, <sup>5</sup> 成蹊大学理工学部

<sup>1</sup>STEL, Nagoya University, <sup>2</sup>Faculty of Engineering, Shinshu University, <sup>3</sup>RIKEN, <sup>4</sup>National Institute of Polar Research, <sup>5</sup>Faculty of Science and Technology, Seikei University

ノルウェー・トロムソ(北緯 69.6 度、東経 19.2 度)で稼働しているナトリウムライダーは、2012 年 10 月から第 3 シーズンの観測を開始し、現時点(2013 年 2 月 1 日)まで順調に稼働している。EISCAT トロムソ観測所には、本ナトリウムライダーに加えて、EISCAT レーダー、MF レーダー、FPI、流星レーダー(NIPR 所有)、オーロライメージャーなどが運用され、極地上層大気・電離圏(高度 70 km 以上)の総合的で相補的観測が実施されている。毎年シーズンオフにライダーシステムの改善を進めており、2012 年の観測シーズン開始前までに、次の改良を行った。(1)レーザー最高出力 4W、(2)光学ドームに替わり、受信窓を設置(ただし、鉛直方向の 1 つのみ)、(3)狭視野アイリスマスク利用によるノイズ低減、(4)レーザー制御デバイスの PC による温度モニター。これらの改良により、ライダーシステムの性能向上が達成されるとともに、より安定した運用が実現している。特に光学ドームの 1 つをガラス窓に変更し、ドームによる受信光の光学的ぼけを改善した。その結果、より視野の狭いアイリスマスクの使用が可能になっている。これによるノイズ低減と、レーザー出力アップにより、2011 年度までのシステムよりも、前後にそれぞれ 1 時間以上観測時間が延長されている。さらに、鉛直方向観測では、状況によるが 110 km 超高度においても良質な温度データが取得できるようになった。

本講演では、トロムソナトリウムライダーによる 2012 年 10 月から 2013 年 3 月までの観測結果の概要を中心に紹介する。第 3 シーズンとなる 2012 年度観測では、主に 5 方向観測(レーザービームを同時に 5 方向に送信)を実施した。鉛直方向に加えて、東西南北(仰角 60 度)の 4 方向を観測している。3 周波数観測により、大気温度および風速測定を、主に高度 80 ? 110 km の範囲で実施した。さらに、5 方向観測の前後では、鉛直方向のみ観測(レーザービームを鉛直のみに送信:鉛直受信はガラス窓を使用)を実施し、より長時間データを取得した。講演では、高度 80-110 km における大気波動の変動、大気温度の水平構造、流星レーダーとの風速比較、および EISCAT レーダーとの同時観測結果を中心に報告する予定である。

キーワード: ナトリウムライダー, 大気温度変動, 下部熱圏, 中間圏, 北極域超高層大気, EISCAT

Keywords: Sodium LIDAR, Temperature variation, lower thermosphere, mesosphere, polar upper atmosphere, EISCAT

## 南極昭和基地における中層・超高層大気観測の進展

### Progress of the middle and upper atmosphere observations over Syowa station in the Antarctic

中村 卓司<sup>1\*</sup>, 佐藤 薫<sup>2</sup>, 堤 雅基<sup>1</sup>, 山内 恭<sup>1</sup>

Takuji Nakamura<sup>1\*</sup>, Kaoru Sato<sup>2</sup>, Masaki Tsutsumi<sup>1</sup>, Takashi Yamanouchi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 国立極地研究所, <sup>2</sup> 東京大学大学院理学系研究科

<sup>1</sup>National Institute of Polar Research, <sup>2</sup>Graduate School of Science, the University of Tokyo

キーワード: 南極, 中層大気, 超高層大気, レーダー観測, ライダー観測, ミリ波分光計

Keywords: Antarctic, Middle atmosphere, Upper atmosphere, radar observation, lidar observation, millimeter wave spectrometer

## 2012年に本格観測を開始した南極大型大気レーダーによる研究 Program of the Antarctic Syowa MST/IS Radar (PANSY) – after one year continuous operation since 2012 –

佐藤 薫<sup>1\*</sup>, 堤 雅基<sup>2</sup>, 佐藤 亨<sup>3</sup>, 中村 卓司<sup>2</sup>, 齊藤 昭則<sup>3</sup>, 富川 喜弘<sup>2</sup>, 西村 耕司<sup>2</sup>, 高麗 正史<sup>1</sup>, 山岸 久雄<sup>2</sup>, 山内 恭<sup>2</sup>  
Kaoru Sato<sup>1\*</sup>, Masaki Tsutsumi<sup>2</sup>, Toru Sato<sup>3</sup>, Takuji Nakamura<sup>2</sup>, Akinori Saito<sup>3</sup>, Yoshihiro Tomikawa<sup>2</sup>, Koji Nishimura<sup>2</sup>,  
Masashi Kohma<sup>1</sup>, Hisao Yamagishi<sup>2</sup>, Takashi Yamanouchi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学, <sup>2</sup> 国立極地研究所, <sup>3</sup> 京都大学

<sup>1</sup>The University of Tokyo, <sup>2</sup>National Institute of Polar Research, <sup>3</sup>Kyoto University

The PANSY radar is the first Mesosphere-Stratosphere-Troposphere/Incoherent Scatter (MST/IS) radar in the Antarctic region. It is a large VHF monostatic pulse Doppler radar operating at 47 MHz, consisting of an active phased array of 1,045 Yagi antennas and equivalent number of transmit-receive modules with total peak output power of 500 kW. Its first stage has been installed at Syowa Station (69°00'S, 40°35'E) in early 2011, and is currently operating with 228 antennas and modules. This paper reports its scientific objects, technical descriptions, and preliminary results of observations made so far. The radar aims to clarify the role of atmospheric gravity waves in important polar events such as polar mesospheric clouds (PMC) and polar stratospheric clouds (PSC). The generation mechanism of gravity waves from katabatic winds is also of special interest. Moreover, strong and sporadic energy inputs from the magnetosphere by energetic particles and field-aligned currents can be quantitatively assessed by the broad height coverage of the radar extending from the lower troposphere to the upper ionosphere. From engineering points of view, the radar had to overcome restrictions due to severe environments of Antarctic research, such as very strong winds, limited power availability, and short period of construction with small manpower. We cleared these problems with specially designed class-E amplifier, light-weight and tough antenna elements, and versatile antenna arrangements. Although the radar is operating with only about a quarter of the full system, we have already obtained interesting results on the Antarctic troposphere, stratosphere and mesosphere, such as observation of gravity waves and multiple tropopause associated with a severe snow storm in the troposphere and stratosphere, and polar mesosphere summer echo.

キーワード: 大型大気レーダー, 南極大気, 対流圏, 成層圏, 中間圏, 電離圏

Keywords: MST/IS radar, Antarctic atmosphere, Troposphere, Stratosphere, Mesosphere, Ionosphere

## 南極昭和基地 Na ライダーデータを用いた熱圏ナトリウム層の研究 Study on thermospheric sodium layer using Na lidar data from Syowa Station in Antarctica

津田 卓雄<sup>1\*</sup>, Xinzhao Chu<sup>2</sup>, 中村 卓司<sup>1</sup>, 江尻 省<sup>1</sup>, 川原 琢也<sup>3</sup>  
Takuo Tsuda<sup>1\*</sup>, Xinzhao Chu<sup>2</sup>, Takuji Nakamura<sup>1</sup>, Mitsumu Ejiri<sup>1</sup>, Taku D Kawahara<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 国立極地研究所, <sup>2</sup> コロラド大学, <sup>3</sup> 信州大学工学部

<sup>1</sup>National Institute of Polar Research, <sup>2</sup>University of Colorado, <sup>3</sup>Faculty of Engineering, Shinshu University

The neutral metallic atom layers (such as sodium, iron, potassium layers) are normally distributed at a height range of 80-110 km (in the upper mesosphere and lower thermosphere). Resonance scattering lidar observations of these metallic layers have been used as an important tool for investigation of the upper mesosphere and lower thermosphere. On the other hand, ground-based observations of the neutral atmosphere at higher altitude (above 110 km) are quite limited. Recently, observations of iron layers above 110 km up to 155 km have been reported from an iron Boltzmann lidar at McMurdo Station (77.8S, 166.7E) in Antarctica. Such high-altitude metallic layers (so-called thermospheric metallic layers) is currently well-unknown phenomenon, and has possibility to greatly improve our understanding of the lower thermosphere.

Intensive sodium temperature lidar observations were carried out at Syowa Station (69.0S, 39.6E) in Antarctica between 2000 and 2002 as a part of JARE observations. From the observational data, we investigate thermospheric sodium layer (above 110 km). In this presentation, we will report a thermospheric sodium layer event (up to 130 km) observed on 23 September 2000. In this event, the lidar detected significant signals not only from 80-110 km but also from 110-130 km. More detailed analysis has provided the temperature and the sodium-density measurements at this height range up to 130 km. The estimated sodium density reached about tens of  $\text{cm}^{-3}$  at around 120 km. The temperature profile in the thermospheric sodium layer was fairly comparable to that from the NRLMSISE-00 model. Furthermore we will discuss relationship between the thermospheric sodium layer and background ionospheric condition during the event.

Keywords: Sodium layer, Thermosphere, Syowa Station, Antarctica

## 高エネルギー粒子の降り込みに伴う中間圏および下部熱圏のNO変動 ~ 2012年の 通年観測に見られる短・長期変化 ~

### Variation of Nitric Oxide in MLT region associated with energetic particle precipitation

磯野 靖子<sup>1\*</sup>, 水野 亮<sup>1</sup>, 長浜 智生<sup>1</sup>, 江尻 省<sup>2</sup>, 片岡 龍峰<sup>3</sup>, 堤 雅基<sup>2</sup>, 中村 卓司<sup>2</sup>, 前澤 裕之<sup>4</sup>, 三好 由純<sup>1</sup>

Yasuko ISONO<sup>1\*</sup>, Akira Mizuno<sup>1</sup>, Tomoo Nagahama<sup>1</sup>, Mitsumu Ejiri<sup>2</sup>, Ryuho Kataoka<sup>3</sup>, Masaki Tsutsumi<sup>2</sup>, Takuji Nakamura<sup>2</sup>, Hiroyuki Maezawa<sup>4</sup>, Yoshizumi Miyoshi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>2</sup>国立極地研究所, <sup>3</sup>東京工業大学, <sup>4</sup>大阪府立大学大学院理学系研究科

<sup>1</sup>Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, <sup>2</sup>National Institute of Polar Research, <sup>3</sup>Tokyo Institute of Technology, <sup>4</sup>Osaka Prefecture University

太陽陽子イベント (solar proton event; SPE) や磁気嵐が発生した場合、極域の下部熱圏~中間圏~上部成層圏では、数 keV ~ 数 MeV の高エネルギー粒子の降り込みが発生し、大気中の窒素酸化物 (NO, NO<sub>2</sub>) の増加やオゾンの減少といった微量大気成分の組成変動を引き起こすことが衛星観測により知られている (e.g., Lopez-Puertas et al. 2005)。また、冬期の極域では、下部熱圏で生成された NO が極渦などの大気循環によって下降してくることが知られている (e.g., Seppala et al. 2007)。ただし、これまでの報告例は、通年にわたる観測ではなく、数十日間や夏期など観測期間が限定されているものがほとんどであった。我々が独自に開発したミリ波分光観測装置は大気分子の回転遷移により放射されるミリ波・サブミリ波帯の電波スペクトルを検出する装置で、数時間程度の時間分解能を持ち、原理的には24時間の連続観測が可能である。地上から定点観測をおこなうことにより、これらの現象に起因する微量大気成分の変動を、年間を通じて連続的に観測することが可能で、長期間に渡る観測の結果をもとに、中間圏および下部熱圏の領域における微量大気成分の変動メカニズムを解明することができると期待される。

2010年12月に南極昭和基地 (南緯69度00分、東経39度35分) にミリ波分光観測装置を設置し、NO放射スペクトル (250.796 GHz) は2012年1月に観測を開始した。2012年中には、189日の有効なデータを取得した。スペクトルを24時間毎に積分した結果、0.5 MHzの半値幅を持つNOスペクトルが検出されており、スペクトルノイズの平均rmsは21 mKであった。NOスペクトルの2 MHz幅での積分強度を時系列にプロットすると、DOY 70以前は1 K以下の日が多くみられたが、DOY 110以降に2 K以上の高い値に推移し、そしてDOY 230以降にはおよそ8割が再び1 K以下となった。また、数日程度の短期的な増減も複数観測されている。

観測で得られたNOスペクトルの線幅は0.5 MHzであることからNOの放射領域の温度はおおよそ250 Kであり、その領域は100 km以下の中間圏から下部熱圏であると推測される。一年を通じて、冬期に積分強度が高く、夏期に低くなるという年変化が捉えられた。MLSによるCOの高度分布では大気が下降している様子が見られ、NOの年変化とおおよそ一致している。しかし、NOのスペクトルの線幅が広がっていないことから、60 km以下の高度にはNOを多く含む大気は下降していないといえる。一方で、GOESによる0.8 MeV以上の電子プロットを見ると冬期に高い値を示すことが多く、NOの増加と時期が一致しているところも複数みられる。この結果からは、高エネルギー電子の降り込みにより中間圏から下部熱圏におけるNOがその場で生成された可能性が考えられる。さらに、放射領域の温度が変化するとNOの線スペクトルのドップラー幅が変化し、それに伴って積分強度が変動する可能性が考えられるが、SABERの温度データでは100 km以下の領域での温度変化はほとんど見られないことから、温度変化はほとんど効いておらずNOのカラム量が増加しているといえる。以上のように、我々の観測で得られたNOの積分強度は、ある一つの現象に回答して増減しているのではなく様々な要因が混在している。

本講演では、2012年一年間のNOの観測結果を報告するとともに、NOが変動する要因を列挙し、その各々についてSABER、GOES、POSE、MLSなどの衛星データと比較し、議論する。

キーワード: ミリ波分光, 一酸化窒素 (NO), MLT 領域, 高エネルギー粒子の降り込み

Keywords: microwave spectroscopy, Nitric Oxide, MLT region, Energetic Particle Precipitation

## 日本の OMTI ネットワークで観測された中間圏大気重力波の同心円構造 Concentric rings of gravity waves in the mesosphere observed by the OMTI network in Japan

鈴木 臣<sup>1\*</sup>, 塩川 和夫<sup>1</sup>, 大塚 雄一<sup>1</sup>  
Shin Suzuki<sup>1\*</sup>, Kazuo Shiokawa<sup>1</sup>, Yuichi Otsuka<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所

<sup>1</sup> Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University

Atmospheric gravity waves significantly contribute to the wind/thermal balances in the mesosphere and lower thermosphere (MLT) through their vertical transport of horizontal momentum. It has been reported that the gravity wave momentum flux preferentially associated with the scale of the waves; the momentum fluxes of the waves with a horizontal scale of 10-100 km are particularly significant.

Airglow imaging is a useful technique to observe two-dimensional structure of small-scale (<100 km) gravity waves in the MLT region and has been used to investigate global behaviour of the waves. Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University has made long-term airglow imaging observations in the world using the Optical Mesosphere and Thermosphere Imager (OMTI) system. On 10 December 2002, concentric rings of gravity waves were observed simultaneously by all-sky imagers of OMTI in Japan located at Shigaraki (34.9N, 136.1E), and Rikubetsu (43.5N, 143.8E). The airglow structures, which were well-defined and formed a coherent wave pattern expanding from the southeast, were identified over 8 hours (1235-2047 UT or 2135-2947 LT). This unique event will give us new insight into the lower and upper atmosphere coupling.

In the presentation, we will report initial results on the concentric gravity waves on 10 December 2002 and discuss their possible source in the lower atmosphere.

## アラスカ、ポーカーフラット MF レーダーで観測された中間圏の重力波エネルギーの日内変動に関する研究

### A study of the tidal periodicity of gravity wave energy in the mesosphere observed with MF radar at Poker Flat, Alaska

木下 武也<sup>1\*</sup>, 村山 泰啓<sup>1</sup>, 川村 誠治<sup>1</sup>

Takenari Kinoshita<sup>1\*</sup>, Yasuhiro Murayama<sup>1</sup>, Seiji Kawamura<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 情報通信研究機構

<sup>1</sup> NICT

米国アラスカ州、ポーカーフラットに設置された MF レーダーにより、中間圏から下部熱圏における中性風速データが 1998 年 10 月から現在に至るまで蓄積されている。NICT では、上記長期間観測データを含む電磁波計測関連データベースを活用した科学アプリケーション開発及び、これを用いた解析研究が進められている。一方、これまでの観測・理論研究により、中間圏に存在する夏極域から冬極域に流れる子午面循環は主に重力波によって駆動されると考えられ、また中間圏中の重力波と潮汐波の相互作用についても観測・モデルにより研究されている。しかしながら、この相互作用が生じる場における子午面循環の時空間変動については、まだ解明されていないことが多い。

本研究の目的は、重力波、潮汐波活動及び、これらにより変調される中間圏子午面循環の 3 次元構造を観測・モデルの視点から明らかにすることである。まず、米国アラスカ州、ポーカーフラット MF レーダー観測の水平風速データから 1999~2008 年の中間圏における重力波と潮汐波の抽出を行った。ここで、潮汐波は 30 分平均データ 5 日間分からトレンドを除き、非線形最小二乗法を用いて得られた 8, 12, 24, 48 時間周期成分とし、重力波はこれらの残差で 1~12 時間周期を持つ擾乱と定義した。この手法を 30 秒間ごとに観測データに適用し、潮汐波各成分の振幅や位相の 5 日間移動平均値を計算した。得られた潮汐波各成分と重力波の運動エネルギーとの関係を調べた結果、1~4 時間周期の重力波の運動エネルギーは主に、2 つのピークを持ち、半日潮汐波が東風から西風に変わるタイミングで増大していることがわかった。上記結果は、特に 4 月から 8 月にかけて多くの年で見られた。この時期に重力波運動エネルギーに半日周期成分が卓越することは、Saskatoon (Manson et al. 1998)、南極 Rothera (Beldon and Mitchell, 2010) における観測結果ともよく対応している。今後は、上記結果の物理メカニズムを明らかにするため、様々なスケールの波活動及び、それらに伴う背景場の変動を 3 次元に記述する変形オイラー平均系 (Kinoshita and Sato (2013a, 2013b), Sato et al. (2013)) を、重力波を陽に再現可能な高分解能大循環モデルに適用し、解析を進める予定である。

キーワード: 重力波, 潮汐波, 中間圏

Keywords: gravity waves, tidal waves, mesosphere



## ウィンドプロファイラの側方放射を利用した水蒸気推定手法に関する研究 A study on a humidity estimation method using the side-lobe emission from a wind profiling radar

伊中 茂<sup>1\*</sup>, 古本 淳一<sup>1</sup>, 瀬古 弘<sup>2</sup>, 津田 敏隆<sup>1</sup>, 橋口 浩之<sup>1</sup>, 石原 正仁<sup>3</sup>

Shigeru Inaka<sup>1\*</sup>, Jun-ichi Furumoto<sup>1</sup>, Hiromu Seko<sup>2</sup>, Toshitaka Tsuda<sup>1</sup>, Hiroyuki Hashiguchi<sup>1</sup>, Masahito Ishihara<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 京都大学生存圏研究所, <sup>2</sup> 気象研究所, <sup>3</sup> 京都大学学際融合教育研究推進センター極端気象適応社会教育ユニット

<sup>1</sup>Research Institute of Sustainable Humanosphere, Kyoto University, <sup>2</sup>Meteorological Research Institute, <sup>3</sup>Education unit for Adaptation to Extreme Weather Conditions and Resilient Society, Kyoto University

This study aims to develop a new method to observe water vapor horizontal distribution using a side-lobe emission of the 1.3 GHz-band wind profiling radar (WPR). The phase delay of the received side-lobe emission is mainly due to the refractive index fluctuation along the propagation path. In the atmospheric boundary layer, the temporal and spatial non-uniformity of water vapor determines the refractive index fluctuation. Main scope of the study is to extract humidity information from the atmospheric phase delay of side-lobe emission from a WPR. Horizontal humidity distribution can be derived by the data assimilation into numerical prediction model.

The receiver system and data analysis algorithm were developed. A software radio, USRP N200 with an RX daughter board was employed to detect side-lobe emission received by an antenna. A Rubidium frequency standard and a 1 pps signal source of GPS receiver were used for accurate estimation of phase delay variation. The frequency stability of a crystal oscillator, which is generally employed for a reference frequency source of WPR, is insufficient for the accurate estimation. We proposed a new method to compensate the frequency uncertainty of WPR by using data of the additional receiver nearby the WPR site.

IQ data detected by USRP N200 are transferred to the control PC via Ethernet. The program written in IDL language extracts the temporal variation of the phase delay from the received IQ signal. In order to achieve good performance even in low SNR conditions, we developed an algorithm using STFT (Short-term Fourier transformation) aiming to remove noise in undesired frequency range.

The developed system is promising to derive humidity information from side-lobe emission from various WPRs such as the operational WPR network in Japan (WINDAS (WInd profiler Network and Data Acquisition System)).

キーワード: ウィンドプロファイラ, 水蒸気の水平分布の推定, 非静力学モデル, ソフトウェアラジオ, 側方放射, 大気伝搬遅延

Keywords: Wind Profiling Radar, estimation of horizontal humidity distribution, non-hydrostatic forecast model, software radio, side-lobe, water vapor

## Variations of scale height at F-region peak based on ionosonde measurements during solar maximum over the EIA region

## Variations of scale height at F-region peak based on ionosonde measurements during solar maximum over the EIA region

Yu-Jung Chuo<sup>1\*</sup>

Yu-Jung Chuo<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Information Technology, Ling Tung University

<sup>1</sup>Department of Information Technology, Ling Tung University

Scale height is an important parameter in characterizing the shape of the ionosphere and its physical processes. In this study, we attempt to examine and discuss the variation of scale height,  $H_m$  around the F-layer peak height during high solar activity at the northern crest of the equatorial ionization anomaly (EIA) region. The data analyzed in this investigation, including  $H_m$ , the bottomside profile parameter, the F2-layer maximum critical frequency, and its peak height are derived from ionograms recorded at Chung-Li ionosonde station (geographical coordinate 24.9°N, 121.1°E) in 1999.  $H_m$  exhibits a day-to-day and seasonal variation, with a greater average daily variation during daytime in summer. Furthermore, the diurnal variation of  $H_m$  exhibits an abnormal peak at pre-sunrise during all the seasons, particularly in winter. This increase is also observed in the F2-layer peak height for the same duration with an upward movement associated with thermospheric wind toward the equator; this upward movement increases the N2/O ratio and  $H_m$ , but it causes a decrease in the F2-layer maximum critical frequency during the pre-sunrise period. In addition, the results show a strong/weak correlation between the bottomside/equivalent slab thickness and  $H_m$  throughout the year. Furthermore, we present a comprehensive discussion of the physical processes regarding the variation of  $H_m$  during high solar activity periods.

キーワード: scale height, ionospheric physics, EIA, ionospheric dynamics

Keywords: scale height, ionospheric physics, EIA, ionospheric dynamics

## GPS TEC 観測によるスプラディック E 層の観測と水平・垂直面構造の推定 Sporadic E detection with GPS TEC and estimation of its horizontal and vertical structure

前田 隼<sup>1\*</sup>, 日置幸介<sup>1</sup>  
Jun MAEDA<sup>1\*</sup>, Kosuke Heki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学理学院

<sup>1</sup>Dept. of Science, Hokkaido University

### スプラディック E 層

電離圏は電子密度の違いから F 層 (130~500km), E 層 (90~130km), D 層 (70~90km) に分けられるが, 静穏な状態ではこの 3 層のうち F 層の電子密度が卓越している. ところが, 日本が位置する北半球中緯度地帯では夏至の頃から 6 月, 7 月にかけて E 層領域で急激に電子密度が上昇する現象であるスプラディック E 層が頻繁に観測される.

### スプラディック E 層の観測

スプラディック E 層の観測は主にイオノゾンデを用いた地上からの連続観測が主であったが, 近年ではロケット観測や GPS (global Positioning System) 衛星を用いた地球外からの観測も盛んになってきている. 昨今では, GNSS (Global Navigation Satellite System) の運用拡大により衛星からの電波を用いて TEC (Total Electron Content: 全電子数) を求めることで電離圏の連続観測が可能になった. とくに日本には GEONET として 1300 点以上の GPS 受信網が敷かれており, 面的に非常に緻密に電離圏変動を観測することが可能となっている. 本研究は, この GEONET を用いてスプラディック E 層の観測を行ったが, これはいままで主に F 層の擾乱を観測するのに用いられてきた GPS TEC の手法を F 層よりも下層のスプラディック E 層の観測に適用した点で新しい.

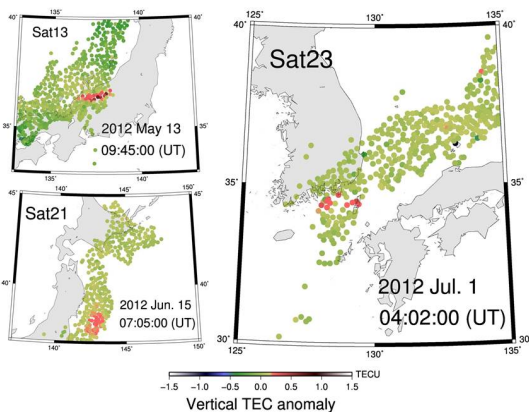
### GPS TEC によるスプラディック E 層の観測結果

GPS TEC 観測を用いて, スプラディック E 層を観測した結果を報告する. まず, イオノゾンデでは観測が難しかったスプラディック E 層の水平面形状について GEONET の緻密な GPS 受信網を使用することにより複数例の観測に成功した. その中でも特に東西方向に細く帯状に延びるスプラディック E 層が複数観測された. また, その長さは ~150 km 程度, 幅は ~20 km 前後であった. また, 移動速度や移動方向については様々で南西方向へ ~50 ms<sup>-1</sup> で移動するものから, 東へ ~150 ms<sup>-1</sup> で移動するものまで様々であった.

当日の発表では地上観測網ではとらえることのできなかつたスプラディック E 層の水平面構造について, 複数の観測事例を報告する. また, GPS TEC による観測とイオノゾンデによる観測とを組み合わせることでスプラディック E 層の厚さの推定を行い, こちらも報告する.

キーワード: スプラディック E, 電離層, GPS TEC, イオノゾンデ, GEONET

Keywords: Sporadic E, Ionosphere, GPS TEC, ionosonde, GEONET



## 2次元FDTDシミュレーションを用いたEs層の空間構造推定 Estimation of spatial structure of sporadic E layer with 2-dimensional FDTD simulation

三宅 壮聡<sup>1\*</sup>, 黒川 貴寛<sup>1</sup>, 石坂 圭吾<sup>1</sup>  
Taketoshi Miyake<sup>1\*</sup>, Takahiro Kurokawa<sup>1</sup>, Keigo Ishisaka<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 富山県立大学

<sup>1</sup> Toyama Prefectural University

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

シミュレーションの結果、Es 層の空間構造が電波伝搬に様々な影響を与える事を確認、Es 層が層状の場合、電波強度は Es 層より高い高度で単調減少するだけで目立った変化が見られなかったのに対し、Es 層が電子雲の様な空間構造を持つ場合は Es 層の周囲を電波が回折して干渉が起こり、電波強度の強弱が交互に領域に現れるなど特徴的な電波強度空間分布を確認した。この電波強度空間分布に現れた特徴は電波強度高度分布にも現れたことから、実際にロケット実験で得られる電波強度高度分布にシミュレーション結果を適用することで Es 層の空間構造推定が可能であると考えられる。最終的に、2011 年 12 月に打ち上げられた S-310-40 号ロケットの電波観測結果と比較を行い、ロケット観測時の Es 層空間構造の推定を行う。

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

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

## VHF帯電波の遠距離伝搬から求めた2012年3月10日Es波面の内部構造 Observation of the wave-front structure of Es March 10, 2012 by VHF long-distance propagation

山幡 琢也<sup>1\*</sup>, 富澤 一郎<sup>1</sup>

Takuya Yamahata<sup>1\*</sup>, Ichiro Tomizawa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 電気通信大学宇宙・電磁環境研究センター

<sup>1</sup>Center for Space Science and Radio Engineering

2012年SGEPSS秋季学会では、2011年の7月から調布で観測を開始した108~118MHzのVOR/ILS電波受信による広域スプラディック観測機器の開発について報告した[1]。山川のイオノゾンデで2012年3月10日12時JST頃に観測されたfoEs17MHzの強いEsについて、上海付近の20局の受信電界強度データから解析した。送信点位置と受信強度最大時刻を直線フィットして得られたEsの広域構造および移動特性については既報告結果[2]を用いた。本論文では、Es擾乱波面内部構造の詳細解析を行った結果について報告する。

まず、今イベントでS/Nが高い2つのVOR局の波形データから、12時JST付近のデータを切り出し、波形相関による波形特徴抽出を行った。同時間帯ではHFドップラ、VHF帯を使った本観測システムおよびイオノゾンデ(NICT, 山川)から1000kmを超えるEsの広域構造の存在が確認されており、その結果から広域Es波面が方位角170°,速度92m/sで移動したことがわかっている[2]。全体の継続時間が28分であることから、波面全体の幅が160kmと確認できた。波面全体が2分割されていることから半分の74km構造の存在がわかった。さらに相互相関を用いて内部構造について解析をおこなったところ、約150秒の周期をもつことからEsの幅が短い約14kmの連続波面構造を持つことが確認できた。この値はGoodwin(1966)の観測結果と同様である[3]。一方、その中の短い2~3km間隔で対称の山谷構造をもつことがわかり、これはフレネルゾーン幅よりも小さな細い構造が北から南方向へ動いていることと解釈できる。

講演時には、2012年3月以降のデータを解析し、水平面の構造についても報告する予定である。

### 参考文献

[1] 山幡琢也, 富澤一郎, 山本淳: VHF帯遠距離伝搬受信による広域Es構造観測システム開発, SGPSS 2012年秋季講演会予稿集, 2012.

[2] 富澤一郎, 山幡琢也, 山本淳: VHF遠距離伝搬によるEsの広域構造と移動特性の観測, SGPSS 2012年秋季講演会予稿集, 2012.

[3] Goodwin: the dimensions of some horizontally-moving Es-region irregularities, Planet. Space Sci, vol.14, pp.758-771, 1966

キーワード: スプラディック E, VOR, ILS, VHF 遠距離伝搬

Keywords: Es, VOR, ILS, VHF long-distance propagation, Sporadic E

## 斜めイオゾンデとHFドップラの同時観測による波面状Es高度および移動特性推定精度の向上

### Accuracy improvement of reflection height and moving characteristics of frontal Es by oblique ionosonde and HF Doppler

大谷 厚志<sup>1\*</sup>, 富澤 一郎<sup>1</sup>

Atsushi Ohtani<sup>1\*</sup>, Ichiro Tomizawa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 電通大・宇宙電磁環境

<sup>1</sup> SSRE, Univ. Electro-Comm.

電気通信大学宇宙・電磁環境研究センターでは、短波ドップラ（HFD）観測を行っており、電通大調布キャンパスから5006kHz、8006kHzの電波を送信し、菅平をはじめとする11ヶ所にて電離圏擾乱によりドップラシフトされた電波を受信し、電離圏下部の擾乱観測を行っている。HFD観測は周波数偏移のみの観測であるためEsの相対的な高度変化は得られるが、絶対的な反射高度を得ることができないという問題があった。HFD反射高度を斜めイオゾンデから得ることによって、Esの高度を決定できるだけでなく、観測時刻ごとの高度変化を追跡することで、イベント中に観測されるEsが同一であることを保障できる。本講演では、斜めイオゾンデとHFドップラの同時観測により、Es高度および移動特性の精度向上について報告する。

HFD送信局（JG2XA）とNICTイオゾンデ国分寺観測点間の距離は8kmであり、受信点が菅平であるとき、反射点でのHFDと斜めイオゾンデのフレネルゾーンは重なりをもっているため同一のEsを観測することができる。したがって、国分寺のイオゾンデ信号をHFD観測点の菅平で受信する斜めイオゾンデ観測を行うことで、HFD観測における8006kHzでの近似的な反射高度を得ることが可能となる。そこで、本研究では菅平においてソフトウェア受信機を用い、HFD観測の8006kHzを含む、7MHzから9MHzまでの帯域幅2MHzのイオゾンデパルスを観測することにした。

イオゾンデ観測は送信タイミングがUTCで規定されているので、GPS受信機から送信される1秒間隔のパルス信号をRF信号にミキシングさせることで1 $\mu$ s精度での時刻同期を行い、到来時刻の遅延時間から伝搬距離を測定した。

この方法を波面状Esの高度および移動特性に適用した。HFD観測から得られたEsの移動速度および角度より、イオゾンデ観測時刻におけるEsの場所を推定することで、イオゾンデ観測から得られた伝搬距離から反射高度を計算した。また、Cornelius and Essex(1979)[1]の方法から計算される反射点上を移動するEsの伝搬路と、斜めイオゾンデの伝搬路が一致していることを斜めイオゾンデ観測の伝搬距離から確認した。

2012年7月28日19:30~20:00のイベントでは、北から東回りに182度、速度60m/sで菅平から調布上空を通り抜け北から南へと移動する幅200km以上の波面状Esが観測されHFD観測、斜めイオゾンデ観測、国分寺垂直イオゾンデ観測を組み合わせることで、関東上空での波面状Esの動きを30分間にわたって追跡することに成功した。この時の波面状Esの高度は斜めイオゾンデから115kmであった。講演では、観測システムの詳細と、NICTの垂直イオゾンデと斜めイオゾンデとの比較についても報告する。

キーワード: 電離層, イオゾンデ, スポラディックE

Keywords: ionosphere, ionosonde, sporadic E

## 準天頂衛星を利用した地磁気嵐発生時の電離圏-プラズマ圏 TEC 観測 Total electron content of plasmasphere and ionosphere before and after geomagnetic storm by using Quazi-Zenith satellite

衣笠 菜月<sup>1\*</sup>, 高橋 富士信<sup>1</sup>  
Natsuki Kinugasa<sup>1\*</sup>, Fujinobu Takahashi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 横浜国立大学  
<sup>1</sup>Yokohama National University

日本の測位衛星である準天頂衛星 (QZS, quasi-zenith satellite) は、軌道高度約 32,000km(近地点) から 40,000km(遠地点) であるため、送信電波は電離圏とプラズマ圏内の自由電子によって遅延する。L1 帯と L2 帯の 2 周波搬送波位相差から、伝搬路の総電子数 (TEC, total electron content) が求まるが、高度約 20,200km の GPS 衛星とは、TEC におけるプラズマ圏効果が異なると考えられる。

本研究は、準天頂衛星の測定データを利用した TEC 計測手法を示し、特に地磁気嵐発生時の QZS-,GPS-TEC 観測値の比較を行う。

キーワード: 準天頂衛星, 電離層, プラズマ圏  
Keywords: QZS, TEC, GPS

## 静止衛星電波到来角変化による TEC 観測法の開発

### Development of TEC observation method using small differences of arrival angles of geostationary-satellites

横山 貴文<sup>1\*</sup>, 富澤 一郎<sup>1</sup>, 西岡 未知<sup>2</sup>, 中村 真帆<sup>1</sup>

Takafumi Yokoyama<sup>1\*</sup>, Ichiro Tomizawa<sup>1</sup>, Michi Nishioka<sup>2</sup>, MAHO NAKAMURA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 電気通信大学 宇宙・電磁環境研究センター, <sup>2</sup> 情報通信研究機構

<sup>1</sup>SSRE, Univ. Electro-Comm, <sup>2</sup>NICT

我々は電離圏擾乱を観測するため、静止衛星 ETS-VIII および MTSAT-2 衛星測位信号から送信偏波楕円軸方向を求め、ファラデー回転法による TEC 観測を実施している [1]。一方、静止衛星測位信号波が電波伝搬路の電離圏屈折により生じるわずかな到来角変化を観測することで TEC 値に換算できる [2]。

しかしこれまで多くの先行研究 [3] で静止衛星電波到来角変化による TEC 観測は行われているものの、いずれの研究においても TEC の絶対値は求められておらず、変動成分のみで議論されてきた。本研究ではこの方法の数値的妥当性を調べるため、ファラデー回転法および 50 ~ 80 m 間隔で設置した 3 基のパラポラアンテナによる干渉計を構成し、到来角変化測定システムを開発した [4]。

前回までは本システムによる TEC 値がファラデー回転法の 2 倍以上となっていた。再度導出方法を見直したところ、アンテナ間位相差導出方法に問題があった。従来の位相差導出は RS-FF により決定していたが、位相差追従精度が良くなかった。そこで観測結果に FFT スペクトル解析を行い、ピーク値から位相差導出を行う方法を新たに開発した。また 3 基のパラポラアンテナ間距離は静止衛星までの距離に比べて十分短いので、従来は同一の軌道計算結果を用いていたが、アンテナ毎に再計算して精度向上を図った。周期成分を除去したことにより、TEC 絶対値についても従来のファラデー回転法に近づいた。

加えて準天頂衛星との TEC 変動や、IRI モデル計算との TEC 値比較を行った。また 2012 年 6 月 4 日に強いスポラディック E が発生した際に、我々の観測結果と GEONET の TEC 観測で同一のスポラディック E を捉えた。これらについても報告する。

#### 謝辞

準天頂衛星の観測結果を NICT 西岡未知様より頂きました。感謝申し上げます。

本研究は ETS-VIII 利用実験プロジェクトとして NICT の支援を頂いた。

GEONET 観測結果は国土地理院様より頂きました。感謝申し上げます。

[1] 内山孝・富澤一郎: ETS-VIII 測位信号のファラデー法から導出した TEC 観測の絶対値精度の確認, 第 125 回地球電磁気・地球惑星圏学会, B005-31, 2009

[2] Kenneth Davies: Ionospheric Radio, IEE, 1990, pp.279-280, ISBN 0-86341-186-X.

[3] A.R. Webster and G.F. Lyon: The observation of periodic ionospheric disturbances using simultaneous Faraday rotation and angle of arrival measurements, J. Atmos. Terr. Phys., vol.36, no.6, pp.943-954, 1974.

[4] 横山貴文・富澤一郎: 静止衛星電波到来角変化による TEC 観測法の開発, 第 132 回地球電磁気・地球惑星圏学会, B005-P048, 2012

キーワード: 電離圏, TEC, ファラデー回転法, 微小角度変化測定システム, スポラディック E

Keywords: Ionosphere, TEC, Faraday rotation method, Angle-of-arrival method, sporadic-E



## 1秒値 GPS-TEC により導出した地震発生後の電離圏全電子数変動の周波数特性 Frequency characteristics of the variations of ionospheric total electron content after earthquakes using 1-second TEC

清水 友貴<sup>1\*</sup>, 中田 裕之<sup>1</sup>, 阿部 圭吾<sup>1</sup>, 鷹野 敏明<sup>1</sup>, 津川 卓也<sup>2</sup>, 西岡 未知<sup>2</sup>

Yuki Shimizu<sup>1\*</sup>, Hiroyuki Nakata<sup>1</sup>, Keigo Abe<sup>1</sup>, Toshiaki Takano<sup>1</sup>, Takuya Tsugawa<sup>2</sup>, Michi Nishioka<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup> Graduate school of Engineering, Chiba University, <sup>2</sup> National Institute of Information and Communications Technology

2011年東北地方太平洋沖地震などの巨大地震発生後に伴って電離圏擾乱が発生するという報告が多数されている。地震による電離圏擾乱を解析することは、宇宙からの津波の監視の可能性などの社会的関心も高まっていることから、重要である。本研究では、国土地理院のGPS受信網(GEONET)により観測された電離圏全電子数(GPS-TEC)の時間変動の周波数解析を行うことにより、地震発生後の電離圏擾乱の検証を目的としている。先行研究で主に用いられてきたGPS-TECは30秒値だったため、導出することのできる周波数帯域が約15mHzまでと限られていた。それに対し本研究では、1秒値GPS-TECを用い、30秒値では見ることのできない高い周波数帯域まで解析を行った。解析対象は2011年3月に発生したM6.0以上の地震である。GPSデータについては、GEONETの受信点800点、衛星仰角30度以上のデータを用いた。時系列データであるGPS-TECに高速フーリエ変換(Fast Fourier Transform:FFT)を施すことにより周波数特性を導出した。

その結果、M6.5以上の地震、計11イベント中2イベントで地震による変動を確認することができた。ただし、地震発生時刻、震源地が共に近く、変動がどの地震によるものが判別できないものは同一イベントとみなした。次に変動が確認できた2つのイベントにおいては、震源直上、約300km遠方、それぞれで周波数特性の解析を行った。その結果、震源直上において2つのイベントで共通の帯域(3.9mHz,4.9mHz)で変動を確認することができた。これらの帯域は東北地方太平洋沖地震後のTEC振動を観測したものと近い値であり、30秒値でも同じ帯域で変動が検出されていた。

また、本研究で用いた1秒値GPS-TECでしか導出することのできない帯域では、3月9日に発生した三陸沖地震と3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の2イベントで、震源直上に15mHz付近と20mHz付近の帯域の変動を確認した。これらの帯域は、これまでに報告されている大気中の共鳴による変動とは異なるメカニズムにより励起されていると考えられ、今後さらなる解析が必要である。

キーワード: 電離圏, TEC, 地震, 大気重力波, 音波

Keywords: ionosphere, TEC, earthquake, atmospheric gravity wave, acoustic wave

## 2011年東北地震による地殻表面波と電離圏 TEC 擾乱の関係 Causal link of the seismic surface waves in the lithosphere and TEC perturbation in the ionosphere during the 2011 Tohok

陳佳宏<sup>1\*</sup>, Lin Charles<sup>1</sup>, 饒瑞鈞<sup>1</sup>, 齊藤昭則<sup>2</sup>, 劉正彦<sup>3</sup>

Chia-Hung Chen<sup>1\*</sup>, Charles Lin<sup>1</sup>, Ruey-Juin Rau<sup>1</sup>, Akinori Saito<sup>2</sup>, Jann-Yenq Liu<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 台湾国立成功大学地球科学学科, <sup>2</sup> 日本京都大学理学研究科, <sup>3</sup> 台湾国立中央大学太空科学研究所

<sup>1</sup>Department of Earth Sciences, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan, <sup>2</sup>Department of Geophysics, Kyoto University, Kyoto, Japan, <sup>3</sup>Institute of Space Science, National Central University, Chung-Li, Taiwan

1Hz ground-based Global Positioning System (GPS) measurements from the Japan GOENT and Taiwan CWB are used to study the 2011 Mw 9.0 Tohoku earthquake at 05:46:23 UT on March 11, 2011. The high-rate GPS measurements can provide more detail information on the seismic fault of the earthquake. In this study, the propagation of seismic surface waves and ionospheric total electron content (TEC) perturbations generated by the Tohoku earthquake as well as their relationship are investigated by using the high-rate GPS measurements. It is found that the seismic surface waves and the initial ionospheric disturbances can transport from Japan to Taiwan. Results further found that there are time delay and deflection angle between the surface waves and the ionospheric disturbances when the earthquake waves transported from Japan to Taiwan. These results can help us to speculate the propagation path of the acoustic wave from the lithosphere to the ionosphere.

## 地震発生に伴う電離圏全電子数の周波数帯域別変動

## Frequency dependence of the variations of total electron content associated with earthquakes

阿部 圭吾<sup>1</sup>, 中田 裕之<sup>1\*</sup>, 鷹野 敏明<sup>1</sup>, 齊藤 昭則<sup>2</sup>, 津川 卓也<sup>3</sup>Keigo Abe<sup>1</sup>, Hiroyuki Nakata<sup>1\*</sup>, Toshiaki Takano<sup>1</sup>, Akinori Saito<sup>2</sup>, Takuya Tsugawa<sup>3</sup><sup>1</sup> 千葉大学大学院工学研究科, <sup>2</sup> 京都大学大学院理学研究科, <sup>3</sup> 情報通信研究機構<sup>1</sup>Graduate School of Engineering, Chiba University, <sup>2</sup>Graduate School of Science, Kyoto University, <sup>3</sup>National Institute of Information and Communications Technology

電離圏全電子数 (Total Electron Content, 以下 TEC) と地震との関係はこれまでも報告されている [e.g. Calias and Minster, 1995; Afraimovich et al., 2001]。それに対し、変動の空間スケールについての報告は必ずしも多くない。空間スケールを調べるためには、国土地理院により整備された GPS 連続観測システム (GEONET) のように密な GPS 観測網が有効である。この GEONET データを用いて、Tsugawa et al. により、2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震では震央付近から波紋状に広がる TEC の変動が報告された。しかしこれほど明確な TEC 変動が観測されることは少ない。そこで本研究では、地震に伴う TEC 変動の空間スケールを調べるため、TEC の時系列データを周波数分解し、各帯域でのスペクトル強度の時空間変化について解析した。本研究では、GEONET から得られた GPS-TEC データを用い、地震発生時の各帯域における TEC 変動のスペクトル強度を導出した。電離圏は高度 350 km にある薄層と仮定し、この高度で貫通点を求め、32 分間分のデータに対してフーリエ変換を行いスペクトル強度を求めた。解析対象は 2000-2012 年に日本内陸、近海で起きた M6.0 以上の地震である。その結果、M6.8 以上の地震 19 イベント中 15 イベントにおいて震央付近で TEC の変動が確認できた。特に 4.17-5.21mHz で変動がよく検出された。この帯域は大気と固有地球の共鳴周波数と一致しており、地震による地面の変位もしくは津波によって生じた音波が TEC 変動の原因と考えられる。次に、TEC 変動と波動源の変位との関係について調べるため、震央の地面の変位、震央付近での津波の高さと TEC のスペクトル強度との相関について調べた。地面の変位推定には防災科学技術研究所の地震計データを利用した。また、津波の高さ推定には、気象庁の波浪計データを利用した。その結果、波動源の位置と最大 TEC が検出された貫通点との距離及び電離圏での  $h'_{F2}$ 、 $FoF2$  を考慮に入れたところ、津波が発生した地震では、最大 TEC 変動量と津波の高さの相関係数が 0.8559 であった。また、二次元分布図において震央から遠距離まで波紋状に広がる変動が確認できた地震は 2011 年の東北地方太平洋沖地震 (M9.0)、2003 年の十勝沖地震 (M8.0)、2004 年の紀伊半島南東沖地震 (M7.4) の 3 イベントであった。これらは推定された津波の高さが高いもの上位 3 つであり、遠距離まで伝搬したのが大気重力波と考えると、津波の高さと大気重力波の振幅は相関があると推定できる。一方、津波が発生していない海洋地震、内陸部地震両方での相関は低かった。内陸部地震ではレイリー波による地面の変動、津波なし海洋地震ではレイリー波による地面の変動と、津波発生にまでは至らなかった海面変動が波動源であり、津波に比べて大気波動を発生しにくかったと考えられる。しかし全事例を通して、波動源の変位が高いと二次元分布図において TEC 変動が確認できたことから、津波が発生しなかった地震においても波動源の変動量と TEC 変動量には相関があると考えられる。

キーワード: 電離圏, TEC, 地震, 大気重力波, 音波, FFT

Keywords: ionosphere, TEC, earthquake, atmospheric gravity wave, acoustic wave, FFT

## 激しい気象条件が電離圏全電子数に及ぼす影響：台風の場合

### Effects of heavy weather conditions on the total electron content in the ionosphere: the case of typhoons

中田 裕之<sup>1\*</sup>, 阿部 圭吾<sup>1</sup>, 鷹野 敏明<sup>1</sup>, 津川 卓也<sup>2</sup>, 齊藤 昭則<sup>3</sup>

Hiroyuki Nakata<sup>1\*</sup>, Keigo Abe<sup>1</sup>, Toshiaki Takano<sup>1</sup>, Takuya Tsugawa<sup>2</sup>, Akinori Saito<sup>3</sup>

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

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

電離圏全電子数 (Total Electron Content, 以下 TEC) が地震により変動することは、これまでも多く報告されている。その原因は、地面の変動により生じた音波・大気重力波が上空へ伝搬し、電離圏電子密度を変動させることによる。このことは、地震以外にも大気波動を生成させる原因があれば、電離圏変動が生じることを意味する。もっとも激しい気象として、台風があげられる。実際、台風に伴う foF2 異常 (Rice et al., 2012)、高々度電離圏における電場変動 (Isaev et al., 2006)、TEC 変動 (Voeykov et al., 2008) が報告されており、台風の強さ・広がり電離圏変動の強さとの関連を調べることは重要である。そこで、本研究では、国土地理院により整備された GPS 連続観測システム (GEONET) により導出された GPS-TEC データを用いて、台風発生時における、電離圏全電子数変動について解析を行った。GEONET は極めて密な観測点網であり、TEC 変動の分布を導出出来ることから、台風の風速・気圧分布との比較なども可能である。

本研究では、クラス 5 の非常に強い台風を中心に解析を行った。たとえば、2002年の台風 21 号は、日本の南東沖で発生した後、北上して日本に上陸し、関東、東北地方と日本を縦断している。このときの TEC 変動を解析したところ、台風の中心から西側において、TEC 変動のスペクトル強度が大きく上昇しているのが確認された。また、台風が弱くなるにつれて、スペクトル強度も低下していることが確認でき、台風の強度と電離圏変動に相関が見られることが明らかとなった。ただし、台風に伴う風は、台風の中心より東側の方が強いことが知られており、今回の結果では、風速との直接比較は出来ていないものの、風の強さとは直接の関係は見られないことを示している。

キーワード: 電離圏, 全電子数, 音波, 大気重力波, 台風

Keywords: Ionosphere, Total electron content, acoustic wave, atmospheric gravity wave, typhoon

## 低軌道衛星 GPS 受信機と地上 GPS 受信機網の TEC データで観測された SED の高度構造

## The Altitudinal Structure of Storm Enhanced Density observed by Space-borne and Ground-based GPS Receivers

五井 紫<sup>1\*</sup>, 齊藤 昭則<sup>1</sup>, 津川 卓也<sup>2</sup>, 西岡 未知<sup>2</sup>  
Yukari Goi<sup>1\*</sup>, Akinori Saito<sup>1</sup>, Takuya Tsugawa<sup>2</sup>, Michi Nishioka<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> (独) 情報通信研究機構

<sup>1</sup> Kyoto University, <sup>2</sup> National Institute of Information and Communications Technology

The altitudinal structure of Storm Enhanced Density (SED) was studied using TEC data of the GPS receiver on GRACE satellite and the ground-based GPS receivers. SED is the high plasma density phenomenon which extends toward north-west direction from the equatorial ionization anomaly during geomagnetic disturbed times. The westward ExB plasma drift, which is driven by the poleward electric field in the sub-auroral region during the geomagnetic storm, causes the extended structure toward the west direction.

It is still not clear that the physical process of the transport of the plasma from low-latitudes to high-latitudes. This carrying process could be attributed to the upward and poleward ExB drift, which is derived from the eastward electric field in low-latitude, and the diffusion along the geomagnetic line. The resultant velocity of two vectors, the ExB drift velocity and the diffusion velocity, would decide the extension of SED from low-latitude to high-latitude. When the ExB drift effect is stronger than the diffusion effect, the plasma of SED is lifted up by the ExB drift, after that the lifted plasma diffuses along the geomagnetic line at the altitude where the ExB drift velocity is zero. To clarify the physical process of the carrying out of the plasma from low-latitude to high-latitude, we focus on the altitudinal distribution of the density structure of SED. GRACE-TEC data is the TEC data, which was derived from the GPS receiver on GRACE satellite, between GRACE satellite altitude and GPS satellite altitude. Two events of SED were observed simultaneously by MIT-TEC, which is the ground-TEC data on North-America continent, and GRACE-TEC during May in 2003. The amplitude of TEC enhancement was compared between GRACE-TEC and MIT-TEC.

In the first case, SED was observed in three orbital paths of GRACE satellite around 15LT on 21 May. The TEC enhancement of 20 TEC unit, which derived from SED, was observed in MIT-TEC in the first orbital path around 21UT. The TEC enhancement of 13 TEC unit was observed in GRACE-TEC at the same time and at the same location. In the second case, SED was observed in two orbital paths of GRACE satellite around 15LT on 29 May. The TEC enhancement of 30 TEC unit was observed in MIT-TEC in the first orbital path around 21UT. Similar results were obtained by the comparison using the other orbital path. These results indicate that more than 30 percent of TEC enhancement was occurred above GRACE satellite. We will compare the amplitude of TEC enhancement using GRACE-TEC and MIT-TEC in 2003 so that the averaged altitudinal structure of SED would be obtained at every latitude. The balance between the upward and poleward ExB drift velocity, which was derived from the eastward electric field, and the downward diffusion velocity along the geomagnetic line would decide the altitudinal structure of SED.

キーワード: GPS 受信機網, TEC データ, 電離圏, SED

Keywords: GPS, TEC data, ionosphere, Storm Enhanced Density

## CHAMP 衛星が観測した中低緯度における微細沿磁力線電流モデルの検証 A model of small scale field aligned currents in the middle and low latitudes as observed by the CHAMP satellite

中西 邦仁<sup>1\*</sup>, 家森 俊彦<sup>2</sup>, Luhr Hermann<sup>3</sup>  
Kunihito Nakanishi<sup>1\*</sup>, Toshihiko Iyemori<sup>2</sup>, Hermann Luhr<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻地球物理分野, <sup>2</sup> 京都大学理学研究科付属地磁気世界資料解析センター, <sup>3</sup> ドイツ科学センター

<sup>1</sup>Department of Geophysics, Graduate School of Science, Kyoto University, <sup>2</sup>Data Analysis Center for Geomagnetism and Space Magnetism, Graduate School of Science, Kyoto University, <sup>3</sup>GeoForschungsZentrum, GFZ, Potsdam, Germany

我々は、低高度 (300-450 km) 精密磁場観測衛星 CHAMP の中低緯度の磁場観測データ解析から、周期が数十秒の微小 (1-5 nT) 磁場変動が全球的に存在する事を昨年の JpGU 大会などで報告してきた。磁場変動の特徴から、下層大気起源の大気重力波による電離層ダイナモによって生成された微細な沿磁力線電流が全球的に存在すると解釈している。つまり、まず、下層大気擾乱によって励起した大気重力波が電離層まで伝搬する。そして、中性大気が振動しダイナモ作用が引き起こされ、Pedersen 電流および Hall 電流が流れる。次に、ダイナモ領域が有限であるため、分極電場が生じる。分極電場が磁力線に沿って反対半球方向に伝搬すると同時に、電離層電流が発散して沿磁力線電流となる。このようにして生成された沿磁力線電流の空間構造を、CHAMP 衛星が軌道に沿う時間変化として観測する。

本発表ではこのモデルから期待される結果と観測値との比較によってモデルを検証し、また観測値からモデルを用いて電流の大きさ、中性大気の振幅を含めた物理量を求めた結果を報告する。

キーワード: 沿磁力線電流の微細構造, 中低緯度, CHAMP 衛星, 大気重力波, 下層大気起源

Keywords: spatial structure of field aligned currents, middle and low latitudes, the CHAMP satellite, atmospheric gravity wave, the lower atmospheric origin

## ICI-3 搭載 LEP-ESA による電離圏カusp領域低エネルギー電子の観測 Low energy electron observation -over cusp region by LEP-ESA on Norwegian sounding rocket ICI-3

竹島 順平<sup>1\*</sup>, 斎藤 義文<sup>2</sup>, 横田 勝一郎<sup>2</sup>  
junpei takeshima<sup>1\*</sup>, Yoshifumi Saito<sup>2</sup>, Shoichiro Yokota<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学 地球惑星科学専攻, <sup>2</sup> 宇宙科学研究所

<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo, <sup>2</sup>Institute of Space and Astronautical Science

カusp領域は昼間側に向かう磁力線と夜側の尾部に向かう磁力線との間の磁気境界面であり、太陽風が磁力線に沿って直接侵入する領域である。磁力線に沿って降下してきた電子を E-t(energy-time) 図で見ると特徴的な形の energy-time dispersion が観測されることがある。energy-time dispersion は上空で加速された電子が速度の速いものは先に、遅いものは後から観測される時間的分散構造をもった形の電子のエネルギーの観測データで、エネルギーを log スケールで見ると下に凸の形の分布がよく確認される。この電子の加速要因として Kletzing et al.(2001) は上空数千 km に Inertial Alfvén wave(IAW) による沿磁力線方向が電子を加速させ、同じ高度で異なるエネルギーの電子を生成していることを理論的に示唆している。また、Tanaka et al.(2005) は 2000 年に打ち上げられた観測ロケット SS-520-2 号機により観測された energy-time dispersion から加速高度が 2000 km から 6000 km に存在し、エネルギーによって加速高度が異なることと IAW モデルを用いた計算機シミュレーション結果と一致することも示唆している。従来、同じ加速高度で別々のエネルギーの電子が加速されているというモデルも考えられていたが、この結果はそれとは反するものであり、未だ加速高度とエネルギーの関係性は議論の余地がある。

2011 年 12 月 3 日にスピッツベルゲン島 (ノルウェー) から打ち上げられた観測ロケット ICI-3 は極域電離圏の大規模なプラズマ対流の中にできる逆向きの流れ RFC (Reverse Flow Channel) をターゲットとして、RFC 上空の貴重データの取得に成功した。ICI-3 では電子密度擾乱測定器 (FBLP)、円筒型固定バイアスラングミュアプローブ (CFBLP)、電界波動測定器 (EFW)、AC/DC 磁力計 (ADM)、低エネルギー電子計測器 (LEP-ESA)、観測ロケット姿勢決定システム (SRADS) の六つが搭載された。このうち LEP-ESA は 10eV?10keV のエネルギー範囲をカバーしており、16 エネルギーステップを最高 11ms という高い時間分解能で観測できる性能を持っている。今回、LEP-ESA により energy-time dispersion の観測に成功したが、E-t 図で見ると、従来観測された下に凸の形ではなく、上に凸の形のデータであった。そこで本研究では TOF 分析を用いて異なる形状の energy-time dispersion が形成された原因の解明と加速高度とエネルギー生成の関係性の理解を試みる。TOF 分析から得られた電子加速高度は高エネルギーほど高度が高くなる傾向があり、エネルギーによって電子の加速高度が異なる事がわかった。この点においては Tanaka et al.(2005) の結果と同様であるが、今回の ICI-3 LEP の観測で energy-time dispersion の形状が異なっていた原因については IAW モデルにおけるプラズマ密度の高度分布で説明可能かどうか考察する。

キーワード: energy-time dispersion, 慣性アルフベン波, 加速高度

Keywords: energy-time dispersion, Inertial Alfvén wave, acceleration Altitude

## 観測ロケット S-310-37 号機による Sq 電流系中心付近の電子密度擾乱観測 Electron density perturbation near the Sq focus observed by S-310-37 sounding rocket

下山 学<sup>1\*</sup>, 阿部 琢美<sup>2</sup>

Manabu Shimoyama<sup>1\*</sup>, Takumi Abe<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>2</sup> 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所

<sup>1</sup>Nagoya University, Solar Terrestrial Environment Laboratory, <sup>2</sup>Japan Aerospace Exploration Agency, Institute of Space and Astronautical Science

The layers of anomalously high electron temperature are often observed near the Sq focus in winter hemisphere in lower E-region. Theoretical studies suggest that the electric potential near the center of the Sq focus in winter hemisphere is higher than that in summer hemisphere. The field-aligned electric field generated in lower E-region, where the electric conductivity is low compared with higher altitude, would accelerate electrons, and ambient electrons could be heated through direct collisional processes or plasma waves. The S-310-37 sounding rocket was launched to elucidate the generation mechanism of the electron temperature enhancement. Several electrostatic probes and electric field detector (EFD) were installed. Fast Langmuir Probe (FLP) and Electron Temperature Probe (TEL) were used to obtain the profiles of electron temperature and electron density with high time resolution. Fixed Bias Probe (FBP) is to detect fluctuations of electron density with high time resolution up to 800 Hz. Suprathermal Plasma Analyzer (SPA) aims to measure energy distribution function of thermal and suprathermal electrons and to verify the existence of electrons heated by accelerated electrons. EFD aims to measure three-dimensional electric field.

The rocket successfully passed near the Sq focus during the rocket upleg, and FLP and TEL identified the electron temperature enhancement around 95-100 km in altitude. Although some data were slightly contaminated or partly saturated due to unexpectedly large fluctuation of electron density, all instruments worked properly and obtained data successfully during the rocket flight. Electrostatic probes observed abrupt increase of electron density fluctuation at 95-100 km in the rocket upleg up to the rocket apogee of 138 km. According to FBP, the ratio of the fluctuated component to the background reached the maximum value 8% at 98 km. From analyses of FLP and SPA data, large fluctuation occurred at a specific rocket spin phase when the instrument faced toward the geomagnetic field which was connected to summer hemisphere. From these results, it is suggested that accelerated electrons along the geomagnetic field from summer to winter hemisphere may excite plasma waves through beam plasma instabilities, which was detected as an electron density fluctuation.

キーワード: 観測ロケット, 電子加熱, ビームプラズマ不安定, 下部 E 領域, 静電プローブ

Keywords: sounding rocket, electron heating, beam plasma instability, lower E-region, electrostatic probe



## S-310-40号機搭載測定器によって観測された高電子密度領域における電子温度の変化 Changes of the electron temperature in the region of high electron with Fixed Bias Probe on the S-310-40 Sounding Rocket

八津川 友輔<sup>1\*</sup>, 阿部琢美<sup>2</sup>, 三宅互<sup>1</sup>  
Yusuke Yatsukawa<sup>1\*</sup>, ABE, Takumi<sup>2</sup>, MIYAKE, Watary<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東海大学, <sup>2</sup> 宇宙科学研究所  
<sup>1</sup> Tokai University, <sup>2</sup> ISAS/JAXA

電子温度と電子密度は電離圏プラズマの基本的特性を表すパラメータとして重要である。これまで電離圏プラズマの観測は、ロケットや衛星、地上からのレーダにより行われてきたが、未だ空間変化や時間変化について不明な事が多い。

観測ロケット S-310-40 号機は、夜間電離圏において中波帯電波の異常伝搬を引き起こす高密度プラズマ層の発生メカニズムを解明することを目的として、2011年12月19日23時48分00秒(JST)に宇宙航空研究開発機構の内之浦宇宙空間観測所から上下角76度で打ち上げられた。ロケットには6種類の観測機器が搭載されたが、その中で固定バイアスプローブ(Fixed Bias Probe)は、高時間分解能をもつ測定器で、微小スケールの電離圏プラズマ密度擾乱を観測するのに適している。

FBPは、直径3cmの球プローブに固定バイアス電圧を印加した時にプローブに流れる電流を測定している。プローブはロケット頭頂部に2つ搭載され、一方には+4V、他方には-3Vの固定バイアス電圧を印加し、それぞれ電子電流とイオン電流を測定するようになっている。

これまでに本ロケット観測で得られたデータを用いて電子密度・電子温度を導出したが、高度100km付近では、周辺に比べて電子密度が増加している層が存在していたことがわかった。この高電子密度層は一般的なスボラディックE層に比べ、電子密度は一桁程度小さく、電子温度は周辺の電子温度に対して20%以上低いことがわかった。さらに高度方向の厚さはスボラディックE層の平均的な厚さに比べ2-3倍ほど大きいということも明らかとなっている。このように一般的なスボラディックE層に比べ電子密度・温度ともに異なる結果となったが、これらを確認するために密度・温度導出時の電子電流特性に対するフィッティングの妥当性についてもう一度検討し直すこととした。

妥当性検討の方法としては、高電子密度層の特徴に関して厳密な評価を行うにあたり得られた観測データに対する電子密度・温度の導出方法の妥当性を再確認することとした。従来は、電流値のノイズレベルを定め、それ以上の電流値を用いて片対数表示においてフィッティングを行い、その直線の傾きと飽和電流値から電子密度・温度を導出していた。しかし、電子エネルギー分布が単純なマクスウェル分布ではなくエネルギーの高い所と低い所で傾きが異なった場合はフィッティングに用いたデータ点によって異なる結果が求められてしまう。そこで、電子のエネルギーに応じて電流の傾きが変化しているか否かの評価を詳しく行った。

本発表では具体的な評価結果について発表を行う。

## S-520-26号機による電離圏中の電場観測

### Electric field measurements in ionosphere by S-520-26 sounding rocket

石坂 圭吾<sup>1\*</sup>, 須田 康介<sup>1</sup>, 山本 衛<sup>2</sup>, 阿部 琢美<sup>3</sup>, 渡部 重十<sup>4</sup>

Keigo Ishisaka<sup>1\*</sup>, Kousuke Suda<sup>1</sup>, Mamoru Yamamoto<sup>2</sup>, Takumi Abe<sup>3</sup>, Shigeto Watanabe<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 富山県立大学, <sup>2</sup> 京都大学生存圏研究所, <sup>3</sup> 宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所, <sup>4</sup> 北海道大学

<sup>1</sup>Toyama Prefectural University, <sup>2</sup>RISH, Kyoto University, <sup>3</sup>ISAS / JAXA, <sup>4</sup>Hokkaido University

S-520-26 sounding rocket experiment was carried out at Uchinoura Space Center (USC) in Japan at 5:51 JST on 12 January, 2012. The purpose of this experiment is the investigation of the bonding process between the atmospheres and the plasma in the thermosphere. S-520-26 sounding rocket reached to an altitude of 298 km 278 seconds after a launch. The S-520-26 payload was equipped with Electric Field Detector (EFD) with a two set of orthogonal double probes to measure both DC and AC less than 200 Hz electric fields in the spin plane of the payload by using the double probe method. One of the probes is the inflatable tube structure antenna, called the ITA, with a length of 5 m (tip-to-tip). And ITA is very lightweight (12.5g per one boom). The ITA extended and worked without any problems. It was the first successful use of an inflatable structure as a flight antenna. Another one is the ribbon antenna with a length of 2 m (tip-to-tip). The electrodes of two double probe antennas were used to gather the potentials which were detected with high impedance pre-amplifier using the floating (unbiased) double probe technique. The potential differences on the two main orthogonal axes were digitized using 16-bit analog-digital converter, sampled at 800 samples/sec with low pass filter at cut-off frequency of 200 Hz.

Results of measurements of DC electric fields by the EFD have the large sine waves that result from the payload rotation at the spin period. The largest contribution to the electric field measurements by double probes moving through the ionosphere at mid-latitudes is that due to the  $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$  fields created by their motion across the ambient magnetic field, where  $\mathbf{v}$  is the rocket velocity in the Earth-fixed reference frame and  $\mathbf{B}$  is the ambient magnetic field. The sum of the squares of the two components represents the magnitude of the DC electric field in the spin plane of the payload. These data reveal abrupt, large-scale variations which can immediately be attributed to changes in the geophysical electric field since the  $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$  fields are slowly varying. The sum of the squares data also reveals contributions at the spin frequency and its harmonics. These contributions result primarily from distortions of the waveforms in the raw data. Then we obtained three components of natural DC electric fields by subtracting the  $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$  fields from raw data. As a result, the magnitude of DC electric field on a rocket orbit during the ascent was about 1mV/m, and the direction was for north-east.

キーワード: DC 電場, 電離圏, ロケット観測

Keywords: DC Electric Field, Ionosphere, Rocket experiment

## S-310-40号機による夜間電離圏下部領域の中波帯電波伝搬特性観測 Measurement of propagation characteristics of MF band radio waves in lower ionosphere by S-310-40 sounding rocket

石坂 圭吾<sup>1\*</sup>, 深澤 達也<sup>1</sup>, 阿部 琢美<sup>2</sup>, 遠藤 研<sup>3</sup>, 熊本 篤志<sup>3</sup>, 小野 高幸<sup>3</sup>

Keigo Ishisaka<sup>1\*</sup>, Tatsuya Fukazawa<sup>1</sup>, Takumi Abe<sup>2</sup>, Ken Endo<sup>3</sup>, Atsushi Kumamoto<sup>3</sup>, Takayuki Ono<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 富山県立大学, <sup>2</sup> 宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所, <sup>3</sup> 東北大学

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

The ionospheric D region is important in radio wave propagation because it absorbs energy from waves at MF, HF and VHF, and it reflects LF and VLF signals. Then D region is present only during daylight hours. Therefore, in the night-time, the MF band radio waves are propagated as far as an area where its radio waves cannot be propagated in the daytime. This reason why the radio waves cannot receive is that the D region is disappeared at night. However, the MF band radio waves that transmit from distant place have not been often received at the mid latitude in the night-time. In this time the sporadic E region cannot be observed by the ionogram. We guess that the D region appear in the lowest ionosphere like a daytime. To farther study the structure of the lowest ionosphere, we propose a method to measure the very low electron densities that occur at altitudes from 50 km to 90 km using the partial and perfect reflection characteristics of electromagnetic waves.

S-310-40 sounding rocket experiment was carried out at Uchinoura Space Center (USC) at 23:48 JST on 19 December, 2011. The purpose of this experiment is the investigation of characteristics of radio wave propagation in the ionosphere and the estimation of electron density structure in the lower ionosphere, when the intensity of radio wave measured on the ground will be attenuate at night-time. In order to measure the radio waves, a LF/MF band radio receiver (LMR) is installed on the sounding rocket. The LMR has measured the propagation characteristics of four radio waves at frequencies of 60 kHz (JJY signal from Haganeyama radio station), 405 kHz (NDB station from Minami-Daito), 666 kHz (NHK Osaka broadcasting station) and 873 kHz (NHK Kumamoto broadcasting station) in the region from the ground to the lower ionosphere. The LMR consists of a loop antenna, a pre-amplifier and a detector circuit. The loop antenna is set up in the nose cone, which is transparent to the LF/MF band radio waves, and is not deployed during the flight. Therefore, the LMR can measure the relative attenuation of radio waves from the ground up to the ionosphere. Furthermore three components of four radio waves measure by using three loop antennas. We can obtain the propagation directions of radio waves in the ionosphere directly.

We will explain a new radio wave receiver with the loop antenna system (LMR) on-board S-310-40 sounding rocket and show the results of propagation characteristics of radio waves in the ionosphere. And the approximate electron density profile can be determined from the comparison between propagation characteristics observed by the LMR and propagation characteristics calculated by the full wave method. The most probable electron density profile in the ionosphere is demonstrated in this study.

キーワード: 電波伝搬特性, 電離圏, ロケット実験

Keywords: Propagation characteristic of radio wave, Ionosphere, Rocket experiment

## 2012年ふたご座流星群の観測と流星検出の試行 Observation of the 2012 Geminids shower, and trial of meteor detection

戸田 雅之<sup>1\*</sup>, 山本 真行<sup>2</sup>, 比嘉 義裕<sup>1</sup>, 柿並 義宏<sup>2</sup>, 木原 大城<sup>2</sup>, 山田 隼也<sup>2</sup>, 渡部 潤一<sup>3</sup>

Masayuki Toda<sup>1\*</sup>, Masa-yuki Yamamoto<sup>2</sup>, Yoshihiro Higa<sup>1</sup>, Yoshihiro Kakinami<sup>2</sup>, Daiki Kihara<sup>2</sup>, Junya Yamada<sup>2</sup>, Jun-ichi Watanabe<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 日本流星研究会 流星痕同時観測チーム, <sup>2</sup> 高知工科大学 システム工学群, <sup>3</sup> 国立天文台 天文情報センター

<sup>1</sup>Nippon Meteor Society / Meteortrain Observation Team, <sup>2</sup>Department of systems engineering, Kochi University of Technology,

<sup>3</sup>Public Relation Center, National Astronomical Observatory of Japan

2012年ふたご座流星群の極大日である12月13日から14日にかけて、高感度デジタル一眼レフカメラによる流星と流星痕の観測を行った。観測地は東京大学木曾観測所での1点観測である。カメラはニコンD3とD4、レンズは28mm/f1.4。カメラ設定はISO感度25,600、シャッタースピード1/1.3秒(0.769秒)、インターバル1秒である。CFカードの容量が許す限り連続撮影を行い、13日20h43m(JST)から14日05h39m(JST)まで24,868フレーム生成した。全ての画像はPCの画面で1フレームずつ目視でチェックし、流星と流星痕が写った画像をピックアップしている。これらの画像からふたご座流星群に属する多数の流星と流星痕が検出できた。流星と流星痕の光度は流星用観測星図と比較して決定した。流星や流星痕の光度は絶対光度ではなく、見かけの光度である。

全ての流星軌跡を均等に3分割して、それぞれの範囲を出現側から上端、中央、下端とした。その上で流星や流星痕がどの範囲で最も明るく光ったかを判定した。併せてOI557.7nm(励起状態特性寿命0.7秒)の発光と考えられる緑色流星痕もカウントしている。

高感度デジタル一眼レフカメラによる流星と流星痕の観測を2007年12月に開始した。それ以降は主要流星群の極大日に合わせて観測を実施している。2012年ふたご座流星群は12月13日20h43mから12月14日05h39m(JST)に観測しているが、これは極大予想時刻とされる12月14日08時(JST)の約12時間前から3時間前に相当する。我々は2010年12月15日03h06mから05h41mにかけてのふたご座流星群観測データセットを所有している。これは12月14日20時(JST)の極大予想時刻から7時間後から9時間後に相当する。2010年と2012年の観測を繋げばふたご座流星群の極大ピークを挟んだ活動の推移が捉えられる。

天体観測で毎晩大量のデータが生成されているが、流星分野も例外ではない。シャッタースピード1秒弱で連続撮影すれば1時間に2,000フレーム超、6時間で12,000フレーム以上の画像が記録される。しかし、流星検出の画像チェックはマンパワーに依存し、PCのディスプレイに1フレームずつ表示して流星と流星痕の有無をチェックしているため、観測終了から画像チェックを済ませて流星と流星痕の出現一覧リストが出来るまで1ヶ月から3ヶ月かかる。著者の柿並、木原、山田は多数の静止画から動き物を検出する流星検出用ソフトの開発を開始した。手法は(1)周囲のピクセルを使ってスムージングをかける。(2)対象の画像の前後の画像の平均と対象の画像の差分をとる。(3)差分がある程度大きいと流星が存在すると判定。現時点ではさらなる工夫が必要である。

本講演では2012年ふたご座流星群の流星と流星痕の観測報告とふたご座流星群極大前と極大後の活動の比較、そして膨大な撮影済画像から流星を探し出す、流星検出ソフトウェア開発を紹介する。

### 参考文献:

[1] 戸田雅之, 山本真行, 重野好彦, 流星の短痕をはかる -イメージインテンシファイア付きビデオカメラの2点観測成果から迫る短痕の成長と減衰-, 高知工科大学紀要, 7, 45-55, 2010.

[2] 戸田雅之, 2011年度内地留学奨学金による成果報告書 -高感度デジタルカメラによる流星痕の観測- 天文月報(日本天文学会), 105, 11, 716-718, 2012.

キーワード: ふたご座流星群, 流星, 流星痕, 流星自動検出ソフトウェア

Keywords: Geminids, Meteor, Meteortrain, Meteor auto-detection software

## 広角カメラ連続画像を用いた流星・火球速報システムの開発 Development of notification system for bright meteor signals by using wide angle and time series images

伊代野 淳<sup>1\*</sup>, 和田直己<sup>1</sup>  
atsushi iyono<sup>1\*</sup>, Naoki Wada<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 岡山理科大学理学部基礎理学科

<sup>1</sup>Dept. of Fundamental Science, Okayama University of Science

### 1. 背景と目的

岡山理科大学では、2011年11月よりスカイモニターとして広角カメラによる夜空のデータ蓄積を行ってきた。画像蓄積型の CCD カメラを用い連続観測を行い、画像サーバによりデータを直接転送することで、ほぼ実時間でのデータ取得が可能となった。現在、90%以上の Duty 比で観測を実現できている。本来、天体観測の空のモニターとして運用している中で、明るい流星や火球が良いクオリティーで記録されていることが分かった。現在、この画像データはオフライン的に処理しているが、本研究では、画像データの自動処理を目的としたシステムの改良、ソフトウェアの開発を行ったので、これを報告する。

### 2. システム

本システムでは、魚眼レンズを組み込んだ CCD カメラと画像サーバーを接続し、ハウジングの中に設置し、24時間運転を行っている。画像は、256（およそ7秒露出）又は128（およそ4秒露出）フレーム積分した画像を欠損がない時間間隔でサーバーからデータ蓄積 PC に自動転送を行っている。現在、一日28800枚の画像、500MBのデータ蓄積を行っている。画像データは、コントラスト改善の画像処理と差分並びにオブジェクト検出処理ソフトを用いてオフライン的に解析を行っている。

### 3. 開発

本研究では、画像取得とほぼ同時にこれまで行っていたオフライン処理と流星の軌跡検出、到来方向測定、光度プロファイル測定をほぼオンライン化し、速報として WEB に掲載するシステムを構築する。本発表では、主としてソフトウェアの開発の詳細と結果について報告を行う。

### 参考文献

埜口和弥, 5ch 電波干渉計による流星出現位置の精密測定と自動観測システムの開発 高知工科大学大学院工学研究科, 特別研究報告, 2009

キーワード: 流星, 火球, 画像処理, 同時観測

Keywords: meteor, fire ball, image processing, simultaneous observation

## 都市部における大気光イメージング観測の最適化 Optimization for airglow imaging in an urban area

鈴木 秀彦<sup>1\*</sup>, 櫻井秀佳<sup>1</sup>, 田口 真<sup>1</sup>

Hidehiko Suzuki<sup>1\*</sup>, Shuka Sakurai<sup>1</sup>, Makoto Taguchi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 立教大学

<sup>1</sup>Rikkyo University

大気光のイメージング観測は、MLT 領域で重要な役割を担う大気重力波について、位相速度やその伝搬方向、水平波長を直接導出可能な優れた手法であり、世界中の観測サイトで実施されている。日本においては、名古屋大学が運用する OMTI システム (Optical Mesosphere Thermosphere Imagers) がその代表格であり、日本各地に展開する大気光イメージャーは、その視野をつなぎ合わせることで、ほぼ日本全域における大気光強度分布を得る事ができる。このようなネットワーク観測は、MLT 領域を長距離ダクト伝搬する重力波や、TID のような大規模伝搬現象の伝搬過程を捉えることが可能である [Suzuki et al. SGEPS 秋季講演会, 2012]。しかし、日本列島の中心に位置する関東エリアを視野の中心に持つ、大気光イメージャーは、現在のところ存在しない。都市域での夜間大気光のイメージング観測を難しくする原因のひとつとして、市街光の混入 (光害) という問題があげられる。特に、その影響は、イメージング観測でよく使用される CCD イメージセンサーの量子効率が最も高い可視域で著しい。一方で、CCD の有感範囲である、近赤外領域ではその影響は比較的小さく、いくつかの OH 大気光バンドはその影響を抑えて観測することが可能である。本研究では、立教大学池袋キャンパスにおいて、回折格子分光器を使用して、波長領域 350 ~ 970 nm の夜間大気光および市街光のスペクトルを取得した。様々な条件下で得られたスペクトルを比較、解析することで、都市域での大気光イメージング観測に適した OH バンドの選定を行った。結果として、890 nm 付近に存在する OH7-3 バンドが、都市域での大気光観測に最も適していることが分かった。

キーワード: 大気光, 中間圏界面, OH 大気光, 大気重力波, 分光観測

Keywords: Airglow, Mesopause, OH airglow, Atmospheric gravity wave, spectroscopy

## 南極昭和基地 (69S,39E) での大気光イメージングにより観測された大気重力波の解析

### Analysis of gravity waves observed by airglow imaging at Syowa Station (69S,39E), Antarctica

松田 貴嗣<sup>1\*</sup>, 中村 卓司<sup>2</sup>, 江尻 省<sup>2</sup>, 堤 雅基<sup>2</sup>, 塩川 和夫<sup>3</sup>, 鈴木 臣<sup>3</sup>, 富川 喜弘<sup>2</sup>

Takashi Matsuda<sup>1\*</sup>, Takuji Nakamura<sup>2</sup>, Mitsumu Ejiri<sup>2</sup>, Masaki Tsutsumi<sup>2</sup>, Kazuo Shiokawa<sup>3</sup>, Shin Suzuki<sup>3</sup>, Yoshihiro Tomikawa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 総合研究大学院大学, <sup>2</sup> 国立極地研究所, <sup>3</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所

<sup>1</sup>The Graduate University for Advanced Studies, <sup>2</sup>National Institute of Polar Research, <sup>3</sup>Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University

大気重力波は下層大気で励起され、中間圏・下部熱圏へ運動量とエネルギーを輸送し、中間圏界面の平均風加速を引き起こすことで大循環を駆動し温度構造に影響を与える。重力波の観測手段の一つである大気光イメージングは高度 90km 付近の重力波の水平構造の観測に適しており、その伝搬特性や励起源を調べることができる。しかし、南極大陸での大気光イメージングは観測点が限られているため重力波の特性は十分明らかになっていない。そこで、日本南極地域観測隊 (JARE) は昭和基地 (69S, 39E) において 2002 年、2008-2012 年に大気光イメージング観測を行ってきた。

2012 年 SGPSS 秋学会では 2011 年のデータについて統計解析の結果を発表した。観測期間は 3 月から 9 月であり、観測晩数 139 晩 (内晴天 71 晩) から 81 イベントを特定し、それぞれについて伝搬方向、水平位相速度、水平波長、対地周期を導出した。水平波長、対地周期の分布は中低緯度での先行研究とほぼ一致したが、伝搬方向と水平位相速度には東西の異方性と季節変化が見られた。観測された重力波のうち、西向き重力波は 0m/s -60m/s の位相速度を持つのに対し、東向き重力波は 0m/s -150m/s の位相速度を持っていた。また、3 月から 6 月及び 9 月に観測された重力波は西向きの位相速度は 0m/s -30m/s であったが、7 月と 8 月観測された重力波は位相速度が 30m/s -150m/s であった。このような異方性は、重力波の励起源が成層圏極夜ジェット近傍であると仮定すると説明できる。

これまでは目視により重力波の有無、同時に観測された重力波の区別を行い、簡単な最小二乗法を用いて水平波長などのパラメータを導出していたが、今回は FFT を用いたスペクトル解析を行うことでより客観的な解析を行った。本発表では 2011 年のデータに加えて上記の手法を用いた 2012 年のデータの解析結果から上記の仮説を検証する。

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

## マガダンにおける中規模伝搬性電離圏擾乱の大気光イメージング観測 Statistical characteristics of MSTIDs using a 630-nm airglow imager at Magadan

桑野 良太<sup>1\*</sup>, 塩川 和夫<sup>1</sup>, 大塚 雄一<sup>1</sup>, 鈴木 臣<sup>1</sup>, Boris M. Shevtsov<sup>2</sup>, Igor Poddelsky<sup>2</sup>, Sergey Smirnov<sup>2</sup>  
Ryota Kumeno<sup>1\*</sup>, Kazuo Shiokawa<sup>1</sup>, Yuichi Otsuka<sup>1</sup>, Shin Suzuki<sup>1</sup>, Boris M. Shevtsov<sup>2</sup>, Igor Poddelsky<sup>2</sup>, Sergey Smirnov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>2</sup>IKIR

<sup>1</sup>Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, <sup>2</sup>IKIR

Medium-Scale Traveling Ionospheric Disturbance (MSTID) is a wavy phenomenon in the ionosphere, which has a horizontal wavelength of 100-200 km and a period of a few hours. To date many observations of nighttime MSTIDs using all-sky airglow imagers have been conducted in Japan. Since OI 630-nm airglow emission is sensitive to the variation in the F-layer altitude and plasma density, 630-nm airglow images can monitor the two-dimensional structure of the MSTIDs. According to the previous studies, nighttime MSTIDs at Stecolny near predominantly propagate southwestward. However, their propagation characteristics at higher latitudes is still unclear. The Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University has made airglow imaging observations of MSTIDs in Magadan, Russia (60.1N, 150.7E), since November 2008, as part of the Optical Mesosphere Thermosphere Images (OMTIs) in collaboration with Institute of Cosmophysical Research and Radiowave Propagation (IKIR).

In the presentation, we will report statistics of MSTIDs over Magadan from January 2009 to August 2012 (630 nights). The ratio of clear-sky intervals to the total observations was 51% and data of 2149 hours of clear sky are available for the analysis.

キーワード: 中規模伝搬性電離圏擾乱

Keywords: Medium-Scale Traveling Ionospheric Disturbance



## ファブリーペローイメジャーによって観測された熱圏鉛直風・温度 Thermospheric vertical wind and temperature observed by a Fabry-Perot imager

中崎 晃輔<sup>1\*</sup>, 田口 真<sup>1</sup>, 小川 泰信<sup>2</sup>, 鈴木 秀彦<sup>1</sup>

Kousuke Nakazaki<sup>1\*</sup>, Makoto Taguchi<sup>1</sup>, Yasunobu Ogawa<sup>2</sup>, Hidehiko Suzuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup>立教大学, <sup>2</sup>国立極地研究所

<sup>1</sup>Rikkyo University, <sup>2</sup>National Institute of Polar Research

大気重力波は、運動量やエネルギーを下層大気から中間圏や熱圏に輸送する。中間圏・熱圏大気のダイナミクスは大気重力波の通過及び砕波により大きく影響を受ける。その変動は主に水平風速と温度に現れるが、風速の鉛直成分も、水平風速に比べ変動が小さい(数 m/s)が、存在することが理論的に知られている。

本研究では、夜間大気光 OI 557.7 nm (発光高度約 95 km) 及び OI 630.0 nm (発光高度約 240 km) を立川の国立極地研究所に設置されたファブリーペローイメジャー (FPI) を使って観測し、計算機シミュレーションにより大気光 557.7 nm 観測時の風速と温度の誤差評価を行った。FPI はファブリーペロー干渉計を利用した観測機器であり、単色の大気光が入射すると、光学系の中心に据えられたファブリーペロー干渉計によって光が干渉し、同心円状の干渉フリンジを CCD 上に結像する。フリンジの位置・幅は、大気光発光領域の風速及び温度に起因するドップラーシフト・ドップラー幅により変化する。逆に観測されたこれらの値の解析により、大気光発光領域における風速及び温度を導出することが出来る。本研究では、鉛直風を観測するために、FPI の全視野角 6.4 ° になるように望遠レンズ (Nikon ED 180 mm F2.8) に変更した。その結果、OI 557.7 nm 発光層では水平距離でおおよそ直径 10 km の範囲の観測が可能である。FPI 観測と同時に、全天カメラ (ASC) による OI 557.7 nm イメージング観測を行った。

観測範囲が狭いことから、導出される風速・温度がその領域で一様であると仮定し、フリンジ画像 1 枚から 1 つの風速・温度を導出した。この方法では、風速・温度の水平分布を導出するドップラーイメージングと比較して格段に誤差が小さくなる。計算機シミュレーションによる FPI の誤差評価からは、風速・温度の分解能は、露光時間 3 分の場合、大気重力波による変動を捉えるための十分な分解能を持っていた。

2013 年 1 月 18 日から 1 月 19 日の観測で、大気重力波によると推察される周期的な鉛直風速変動を捉えた。鉛直風速の振幅は約 7 m/s であった。これらの値は、過去の研究結果 (Mitchell and Howells., 1998) の ~ 数 m/s と比較し近い値であった。

我々のエタロン周囲の温度は、干渉計系空調システムにより制御しているが、外気の侵入や室温の変化により変動していた。エタロン周囲の温度変動は、見かけの風速変動として現れてしまう。2012 年 12 月、外気や室内の空気の侵入を抑えるために、天窓にアクリルプレートを設置し、FPI を天井から床までを暗幕で覆う工事を行った。2013 年 1 月の観測結果では、それ以前と比べ見かけの風速変動は小さくなった。

将来的にはこの FPI を北極域に設置して、オーロラ活動に伴う鉛直風や大気重力波の研究に使用する予定である。

キーワード: 下部熱圏, 中間圏界面, 大気重力波, ファブリーペローイメジャー

Keywords: lower thermosphere, mesopause, atmospheric gravity wave, Fabry-Perot imager

## 南極昭和基地レイリーライダー：82cm望遠鏡用エタロン仕様の最適化 Optimization of an etalon system for Rayleigh lidar daylight observations with an 82-cm telescope

山本 晃寛<sup>1\*</sup>, 川原 琢也<sup>1</sup>, 鈴木 秀彦<sup>2</sup>, 阿保 真<sup>3</sup>, 中村 卓司<sup>4</sup>, 江尻 省<sup>4</sup>  
Akihiro Yamamoto<sup>1\*</sup>, Taku D Kawahara<sup>1</sup>, Hidehiko Suzuki<sup>2</sup>, Makoto Abo<sup>3</sup>, Takuji Nakamura<sup>4</sup>, Mitsumu Ejiri<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 信州大学大学院工学研究科, <sup>2</sup> 立教大学理学部, <sup>3</sup> 首都大学東京, <sup>4</sup> 国立極地研究所

<sup>1</sup>GSI, Shinshu University, <sup>2</sup>College of Science, Rikkyo university, <sup>3</sup>Tokyo Metropolitan University, <sup>4</sup>NIPR

極中間圏雲 (PMC: Polar Mesospheric Cloud) あるいは、夜光雲 (NLC: Noctilucent Cloud) は、超高層大気および、地球大気システム全体の環境変動を解くカギとなる現象として注目されている。2011年1月に、第52次南極地域観測隊によって、対流圏から中間圏までの大気温度観測および雲の検出が可能なレイリーライダーシステムが南極昭和基地に導入された。これによりライダーによるPMC観測とHFレーダーによる極域夏季中間圏エコーの同時観測に成功し、その成果が Suzuki et al. in prep にまとめられている。しかし、導入したレイリーライダーシステムは夜間観測用である。そこで我々は昼間の強い背景光を除去するために、エアギャップ型エタロンを用いて35cm望遠鏡用に最適化した受信システムを作って持ち込み、2012年の1月に昭和で観測を開始したところである。持ち込んだ受信システムでは、日本国内のテスト観測で、上記の Suzuki et al. の観測から、S/N比をおよそ3倍改善させることを確認している。本発表では、より大口径の82cm望遠鏡に最適なファブリペロエタロンの仕様決定方法や導入方法、期待されるPMC観測の精度向上について検討した結果を発表する。

キーワード: 昭和基地, レイリーライダー, エタロン, 昼間観測

Keywords: Syowa station, Rayleigh lidar, etalon, daytime observation

## 南極昭和基地大型大気レーダー (PANSY) による流星を利用した下部熱圏風速3次元構造観測手法の開発

### Observations of three-dimensional structures of MLT wind fields based on meteor echo measurements using the PANSY radar

堤 雅基<sup>1\*</sup>, 佐藤 薫<sup>2</sup>, 佐藤 亨<sup>3</sup>, 中村卓司<sup>1</sup>, 齊藤昭則<sup>4</sup>, 富川喜弘<sup>1</sup>, 西村耕司<sup>1</sup>, 山岸久雄<sup>1</sup>, 山内 恭<sup>1</sup>

Masaki Tsutsumi<sup>1\*</sup>, Kaoru Sato<sup>2</sup>, Toru Sato<sup>3</sup>, Takuji Nakamura<sup>1</sup>, Akinori Saito<sup>4</sup>, Yoshihiro Tomikawa<sup>1</sup>, Koji Nishimura<sup>1</sup>, Hisao Yamagishi<sup>1</sup>, Takashi Yamanouchi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 国立極地研究所, <sup>2</sup> 東大院理, <sup>3</sup> 京大院情報, <sup>4</sup> 京大院理

<sup>1</sup>National Institute of Polar Research, <sup>2</sup>Graduate School of Science, The University of Tokyo, <sup>3</sup>Graduate School of Informatics, Kyoto University, <sup>4</sup>Graduate School of Science, Kyoto University

本研究では、2010年度末に南極昭和基地(南緯69度)で初期観測を開始した大型大気レーダー(PANSY)を用い、これまでになく多チャンネルの受信手法に基づく高品質な流星エコー観測手法を開発し、極域中間圏・下部熱圏の精密観測を行う。PANSYは2012年度末において全体の1/4程度(アンテナ228本)での運用がなされており、既に南極最大の大型レーダーとして、対流圏・成層圏、さらに極中間圏夏季エコーの観測において目覚ましいデータが蓄積されつつある。今後、整備が完了すれば送信電力500kW強・受信55系統の大型設備となる。この能力を最大限活用した流星エコー観測を行うことにより、一般的な流星レーダーと比べて数十倍程度の数のエコーを捉える高品質観測の実現が期待できる。従来はエコー数の制約から風速の鉛直プロファイル推定に限定されていた流星エコー観測であるが、水平2次元空間も含む3次元空間における風速・温度場の時間発展を捉える前例のないイメージング観測手法として確立させることが本研究の目的である。これにより極域の冬季に実施困難な中間圏乱流エコー観測を補完するだけでなく、水平方向500km(経度方向に10度以上)・高さ75-100kmの3次元領域内での各種大気波動の空間構造の研究、極中間圏夏季エコー出現時の背景場の詳細観測など、従来はほぼ不可能であった観測を実現する。講演では、PANSY部分システムを使った観測手法の初期開発について報告予定である。

キーワード: 大型大気レーダー, MST/IS レーダー, 南極大気, 中間圏, 下部熱圏, 流星エコー

Keywords: MST/IS radar, Antarctic atmosphere, mesosphere, lower thermosphere, meteor echoes

## 大気環境変動の統計解析システムの開発に関する研究

### A study on development of statistical analysis system for variations of atmospheric environment

浜口 良太<sup>1</sup>, 新堀 淳樹<sup>2\*</sup>, 津田 敏隆<sup>2</sup>

Ryota Hamaguchi<sup>1</sup>, Atsuki Shinbori<sup>2\*</sup>, Toshitaka Tsuda<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 京都大学情報学研究科, <sup>2</sup> 京都大学生存圏研究所

<sup>1</sup>Graduate School of Informatics, Kyoto University, <sup>2</sup>Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

大気圏の環境変動を知るには、多種多様な観測の総合解析が必要であるが、これらの観測データは実施機関毎に管理・提供される傾向があり、相互参照による複合的解析は容易ではなかった。この状況を改善すべく、主要大学・研究機関の大学間連携事業（IUGONETプロジェクト）を平成21-26年度に実施し、データの特性を要約した情報（メタデータ）の共有・交換システム、および各々の観測データに即した解析ソフトウェア（UDAS）が開発されている。本研究では、UDASには未整備である、多様な観測データ間の相互相関解析、長期トレンドや類似性に関する統計検定、高度な周期特性解析に関するツールを開発する。本研究により統計解析システムに加える機能は5つである。

- (1) 平均値検定：2データの分布の平均値の差違、
- (2) 相関係数解析：データ間の相互相関係数と無相関検定、
- (3) コヒーレンス解析：周波数スペクトルの各成分に対するコヒーレンスと位相、(4) S変換解析：各周波数成分の卓越周波数とスペクトル密度の時間変化、
- (5)トレンド検定：線形回帰直線の変化傾向の有無。

なお、一般に観測データは必ずしも時間・空間に関するサンプル間隔が一定でなく、また欠測を含む場合もあるので、解析に先だって線形補間を行う機能も実装した。

本統計解析システムの具体的な適用例として、インドネシアでの2台の流星レーダー観測を取り上げる。同一のレーダーが同緯度（赤道）で経度が約36度離れた地点（西スマトラ、西パプア）で運用されている。まず、流星飛跡の高度分布を比較し、2点間でデータの高度分布が一致することを検定した。また、その平均高度の長期トレンドを調べた。風速変動の周波数解析からは、高度90kmで南北風成分に準2日周期成分が顕著で、その波動振幅の長期変化が2点間で相関していると統計的に判定された。東西風成分の準6.5日周期変動にも同様な結果が得られた。これらの風速変動の経度による差違を検出すれば、波動の起源を含め大気力学過程が解明される。本統計解析システムを種々のデータに適用すれば、大気圏の環境変動解明が進むと期待される。

キーワード: IUGONET, 解析ソフト, 統計検定, 周波数解析, トレンド検定, 流星レーダー

Keywords: IUGONET, analysis software, statistical test, frequency analysis, trend test, meteor radar

## アラスカ上空における冬季中層大気気候 ~ 他の指標との定量的な比較 ~ Climatology of the middle atmosphere over Alaska in winter season: quantitative comparison with other indexes

坂野井 和代<sup>1\*</sup>, 村山 泰啓<sup>2</sup>, Richard L. Collins<sup>3</sup>, 水谷 耕平<sup>2</sup>, 川村 誠治<sup>2</sup>  
Kazuyo Sakanoi<sup>1\*</sup>, Yasuhiro Murayama<sup>2</sup>, Richard L. Collins<sup>3</sup>, Kohei Mizutani<sup>2</sup>, Seiji Kawamura<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 駒澤大学総合教育研究部自然科学部門, <sup>2</sup> 情報通信研究機構, <sup>3</sup> 米国アラスカ大学フェアバンクス校地球物理研究所  
<sup>1</sup>Faculty of Arts and Sciences, Komazawa University, <sup>2</sup>National Institute of Information and Communications Technology, <sup>3</sup>the Geophysical Institute, the University of Alaska, Fairbanks

本研究は、アラスカ上空で成層圏突然昇温イベントに伴って観測された中間圏の風速・温度変動と、中間圏における各種大気波動（プラネタリー波、潮汐波、重力波）のふるまいについて長期的に調べ、冬季北極域中層大気気候について議論を進めてゆくことを目指している。用いているデータは、米国アラスカ州ポーカーフラット実験場（65.1N, 147.5W）に設置されている NICT レイダー・ライダーおよび MF レーダによる中間圏温度および風速データと、英国 Met Office が提供する全球気象データ（UKMO データ）である。これまでに、太陽活動 11 年周期で 1 周期以上にわたる 1998 年 11 月～2012 年 4 月のデータを解析したところ、以下のような結果が得られている。

- ・ 解析期間中において上部成層圏で 10 回以上の大昇温が観測されている。
- ・ 成層圏大昇温の前には、2 例のライダー観測で下部中間圏（55～75km）での 10～30K 程度の温度上昇が観測された。
- ・ 大昇温直前においては、成層圏界面を示す温度ピークが消失し、高度 40～80 km に渡って温度はほぼ一定となる様子が、ライダー観測のあった 2 例においてみられた。
- ・ 大昇温中には、2 例のライダー観測において下部中間圏で 10～20K 程度温度が下降していた。
- ・ MF レーダでは中間圏全域における断続的な東西風反転が観測された。
- ・ MF レーダでは高度 90km（中間圏界面付近）から高度 30km（上部成層圏）にいたる東西風速の反転（西風 東風）が見られる。さらにこの東西風反転は、中間圏高度から始まって下降し、時として対流圏にまでおよんだ。
- ・ 2003/2004、2005/2006、2008/2009 の冬季には、それ以前の解析期間内にあまり例のない、中層大気ジェットの中心高度の上昇が見られた。
- ・ 2003/2004 のこの期間中には、顕著な成層圏界面高度の上昇（約 55km - 70km）も観測された。

これらの解析結果および他の論文等で紹介されている冬季北極域中層大気擾乱の発生時期について、太陽活動度、下層大気との関連という観点から、太陽黒点数および QBO index と比較した結果、あまり明確な傾向を見出すことはできなかった。これまでの研究では、成層圏突然昇温に関する事象は「大昇温」に伴うものか「大昇温ではない昇温」に伴うものの 2 つで分類・議論されることがほとんどであった。しかしながら、アラスカ観測結果や全球気象客観解析データ、衛星データなどから得られた冬季中層大気擾乱現象は、そのような 2 つの分類で、長期的な傾向について他の指標と比較することが難しいことを示唆している。したがって、他の指標との定量的な比較・議論を行うことを目指して、中層大気擾乱を定量的に表現する最も妥当な方法を見つけるための解析を進め、その結果について議論する予定である。

キーワード: 中層大気擾乱, 大気波動, ライダー, MF レーダ, 北極域, 成層圏突然昇温

Keywords: Middle atmosphere disturbance, Atmospheric waves, Lidar, MF radar, Arctic region, Stratospheric sudden warming

## RASSによる気温観測の実用化 Improvement of Radio Acoustic Sounding System aiming to the operational meteorological instruments

古本 淳一<sup>1\*</sup>, 橋口 浩之<sup>1</sup>, 山本 衛<sup>1</sup>, 津田 敏隆<sup>1</sup>  
Jun-ichi Furumoto<sup>1\*</sup>, Hiroyuki Hashiguchi<sup>1</sup>, Mamoru Yamamoto<sup>1</sup>, Toshitaka Tsuda<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学生存圏研究所

<sup>1</sup> Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

Radio Acoustic Sounding System (RASS) is one of the most promising remote-sensing techniques to measure atmospheric temperature profile by combining a wind profiling radar and acoustic source. RASS has an advantage in the availability in the temperature measurement regardless the weather condition and day-and-night.

The reduction of noise from the ground-based acoustic source is very important subject to make a RASS measurement for practical use. Authors introduced the high-directional speaker system (LRAD-1000) into the RASS measurement of L-band wind profiling radar to reduce the noise pollution problem. LRAD-100 has very low side-lobe emission by combining DSP-controlled acoustics at two center frequencies. This paper demonstrates the performance of noise reduction and temperature measurements by applying LRAD-100 to L-band wind profiling radar.

The vertical resolution of RASS measurement is determined by the pulse-width of wind profiling radar. This paper also aims to improve the vertical resolution of RASS measurement to detect the distinct peak of inversion layers. We propose a new method to use oversampled data to obtain high-resolution temperature profile. The improvement of height resolution can be derived by extracting the information of overwrapped height from the over-sampled data. The results is presented in the paper.

Keywords: RASS, wind profiling radar, atmospheric temperature

## 波長可変共鳴散乱ライダーによるカリウム原子層の初期観測結果 Primary observation results of potassium layer by a tunable resonance scattering lidar

江尻 省<sup>1\*</sup>, 津田 卓雄<sup>1</sup>, 阿保 真<sup>2</sup>, 川原 琢也<sup>3</sup>, 中村 卓司<sup>1</sup>

Mitsumu Ejiri<sup>1\*</sup>, Takuo Tsuda<sup>1</sup>, Makoto Abo<sup>2</sup>, Taku D Kawahara<sup>3</sup>, Takuji Nakamura<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 国立極地研究所, <sup>2</sup> 首都大学東京大学院システムデザイン研究科, <sup>3</sup> 信州大学工学部

<sup>1</sup>National Institute of Polar Research, <sup>2</sup>Graduate School of System Design, Tokyo Metropolitan University, <sup>3</sup>Faculty of Engineering, Shinshu University

国立極地研究所は、2010年より6年間の第VIII期重点研究観測「南極域から探る地球温暖化」を推進している。中層・超高層大気観測研究は、その中のサブテーマIに位置付けられており、これまでに継続観測してきたレーザー・光学観測機器に、第VIII期で新たに開発・導入が進められている大型のレーザーやライダーなどの測器を加え、地表から超高層大気にいたる大気の変動をとらえる計画である。波長可変共鳴散乱ライダーは、このプロジェクトの一環として昭和基地への導入を目指して開発が進められている。送信系には波長可変のアレキサンドライト・レーザーと第2高調波発生装置を用いており、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、基本波として768-788 nm、第2高調波として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、カリウム原子(770 nm)、鉄原子(386 nm)、カルシウムイオン(393 nm)、窒素イオン(390-391 nm)の4種の原子とイオンを狙って、高度80 km以上の大気温度、原子やイオンの分布などを測定する計画である。この波長可変共鳴散乱ライダーシステムは現在も開発中であるが、2013年1月28日に国立極地研究所にてカリウム原子層の初観測に成功し、以来、試験的な観測を続けている。現在のところ、レーザーパルスは出力約120 mJ/pulse、繰返し周波数25 Hzで送信し、35 cmのシュミットカセグレン望遠鏡で受信している。本講演では、開発中の波長可変共鳴散乱ライダー観測の初期結果を示し、観測されたカリウム原子層の夜間変動について議論する。

キーワード: 共鳴散乱ライダー, 中間圏下部熱圏, 波長可変, カリウム

Keywords: resonance scattering lidar, mesosphere lower thermosphere, tunable, Potassium

## 共鳴散乱ライダー観測におけるレーザ送受信系の視野調整方法再検討 Optical axis alignment between laser light and a receiver for a resonant scattering lidar observation

川原 琢也<sup>1\*</sup>  
Taku D Kawahara<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 信州大学工学部  
<sup>1</sup> Faculty of Engineering, Shinshu University

ライダー観測は active remote sensing と呼ばれ、射出したレーザ光で対象散乱物質を“光らせ”、その光（散乱光）を望遠鏡で集光し検出する手法である。そのためレーザ光で光らせる対象物質が望遠鏡の視野内に存在しない限り散乱光を検出できない。そのための条件はレーザの射出方向が望遠鏡光軸と“平行”になるように射出方向を調整し、望遠鏡の視野のコーンの中に、ある高度からレーザ光が入る様にする。空間的な“平行”という条件をどう判断し調整するのは極めて曖昧であるが、実際には平行かどうかは確認する必要がない。ナトリウムライダーの視野調整手法では、レーザ射出と同期をとって受信光強度をオシロスコープで計測し、高高度からの散乱光を受信できるように射出方向の調整を行う。最終的にはナトリウム層からの共鳴散乱光が返ってくるかどうかで射出方向の確認を行う。つまり、光軸が平行であれば理想だが、ナトリウム層から信号が返ってくれば良いので、厳密に平行である必要はない。これに基づき、オシロスコープを用いた通常的手法を発展させた現実的な視野調整手法を提案する。また、レーザの軌跡を画像取得し視野調整する手法の検討も行う。

キーワード: 共鳴散乱, ライダー, レーザ, 視野調整  
Keywords: resonant scattering, lidar, laser, field of view alignment



## 3次元ナトリウムライダー送受信系の実験初期結果 Preliminary results of multi-direction lidar system experiments

村仲 渉<sup>1\*</sup>, 川原 琢也<sup>1</sup>, 野澤 悟徳<sup>2</sup>

Wataru Muranaka<sup>1\*</sup>, Taku D Kawahara<sup>1</sup>, Satonori Nozawa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 信州大学工学部, <sup>2</sup> 名大 STE 研

<sup>1</sup>Faculty of Engineering, Shinshu University, <sup>2</sup>STE Lab., Nagoya University

EISCAT レーダサイト (Tromsø, Norway) で稼働中の高出力高安定ナトリウム (Na) 温度/風ライダーは、設置からほとんどトラブル無しで既に3シーズン目の観測を行っている。このライダーは従来の Na ライダーの 589nm 出力より遥かに大きな出力 (4W) であるため、受信望遠鏡に大口径望遠鏡を用いる事なく、口径 35cm の望遠鏡で十分に好感度な観測が行える。そこで我々は、観測方向が自在に設定できる PC 制御可能な口径 35cm の追尾型望遠鏡を用い、天空の任意の方向に対して観測が可能な送受信システムの開発を開始した。観測例としては、例えば鉛直方向を含む鉛直面内で扇形状に Na 層の断面の時系列観測が可能である。これを実現するためには、任意の観測方向でも、PC を用いてレーザー光軸と望遠鏡視線方向軸の平行性を保つ制御技術が必要となる。射出装置の構成は、水平台に取り付けた PC 制御型回転ステージの上にブレードを設置し、そこに取り付けた垂直台にもう一つの回転ステージをとりつける。それぞれの回転軸上にロッドをたて 45° 反射ミラーを固定することで、3次元方向射出に対応する。受信装置は水平方向回転とあおり方向の制御が可能な経緯台式の天体望遠鏡 (Meade LX200-35ACF) を用い、内蔵された GPS や方位センサーでその観測場所での姿勢調整を自動に行う。最終的にはある時間に視野に入れた星の方位仰角を校正に戻し高精度に望遠鏡の姿勢を決める。ライダー観測の際には望遠鏡で観測方向を決め、観測視野に射出レーザーを導入し観測を開始することを繰り返す手法を用いる。本発表では、送信系の鉛直面の面の傾きの検証実験、望遠鏡での視野方向の精度を検証した結果など、初期の実験結果を述べる。

キーワード: ナトリウム, ライダー, 3次元

Keywords: sodium, lidar, three dimensional