

## オーロラアークの構造化と非線型ダイナミクス Structuring and nonlinear dynamics of auroral arc

平木 康隆<sup>1\*</sup>  
Yasutaka Hiraki<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 核融合科学研究所

<sup>1</sup>National Institute for Fusion Science

磁気圏-電離圏結合系におけるオーロラアークの発達を磁気流体不安定性、及びその非線型発展の観点で理解しようとする研究が近年まで盛んに行われている。その一つがフィードバック不安定性であり [Sato, 1978; Lysak, 1991]、対流電場の形成に伴って電離層上を伝播する密度波と共鳴して、シアアルヴェン波が不安定化する。近年では、2次元シミュレーションにより、微細なアークや電離圏キャビティモードの形成が示された [Streltsov and Lotko, 2004; Lu et al., 2008]。非線型効果を適切に取り入れた3次元シミュレーションでは、磁気圏側で Kelvin-Helmholtz 型の渦構造が自発的に発生することが示された [Watanabe, 2010]。さらに、双極子磁場中でアルヴェン速度不均一を考慮した線型解析では、磁力線共鳴とキャビティ共鳴の固有モードの特徴が明らかになり [Hiraki and Watanabe, 2011; 2012]、それに基づく非線型シミュレーションにより、オーロラの渦構造発生との関連が調べられている。

本研究では、磁気圏プラズマを簡略化 MHD 方程式によって記述し、アルヴェン波の非線型性が Poisson brackets の形で対流項に現れる。アルヴェン波の作る沿磁力線電流が電離圏に流入し、自発的に密度（電気伝導度）の不均一を引き起こす。電離圏プラズマの運動は、Pedersen, Hall 電流で特徴づけられる圧縮性の二流体方程式によって記述され、非線型性が両電流の発散項に現れる。本研究の目的は、磁気圏・電離圏プラズマそれぞれのもつ非線型性が、フィードバック不安定モードの発達に対してどのような効果をもつかを押しさえることである。その結果として誘発されるオーロラの構造化は、観測でみられるアークのスプリット現象や波状構造（ビーズ）、渦構造の形成と関与しているはずだ。一方で、磁力線方向の不均一性を考慮することで、オーロラの発達に伴うキャビティモードや磁力線共鳴の特徴も押しさえることができる。さらに、長時間安定して存在するオーロラアークと対流強化によって成長するフィードバック不安定モードとの関係を調査し、オーロラブレークアップ時に現れる渦構造の特徴を追求する。

キーワード: オーロラアーク, アルヴェン波, 非線型シミュレーション  
Keywords: auroral arc, Alfvén wave, nonlinear simulation

## 酸素原子 630nm オーロラの偏光観測 Observation of aurora polarimetry at OI 630 nm

門司 浩幸<sup>1\*</sup>, 坂野井 健<sup>1</sup>, 鍵谷 将人<sup>1</sup>, Ryan Swindle<sup>2</sup>  
Hiroyuki Monji<sup>1\*</sup>, Takeshi Sakanoi<sup>1</sup>, Masato Kagitani<sup>1</sup>, Ryan Swindle<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東北大学 惑星プラズマ大気研究センター, <sup>2</sup> ハワイ大学天文学研究所  
<sup>1</sup>PPARC, Tohoku Univ., <sup>2</sup>Institute of Astronomy, University of Hawaii

近年の観測から、酸素原子 630nm オーロラ発光が 1-4 %の偏光度を示し、その値がオーロラ活動とともに変動していることが明らかになった [Lilensten et al., 2008]。また Barthelemy et al.(2011) は、視線方向と磁力線との角度が垂直な向きで、最大の偏光度が観測されることを示した。しかしながら、観測がフォトメータによる一方のポインティング観測であること、偏光フィルターを機械的に回転させていること、観測例が少ないこと、円偏光成分の測定がないことといった問題がある。

本研究では、この装置開発を行い、2013年1月6日から19日にかけてアラスカ州のポーカーフラットで観測を実施した。観測は全天イメージャと、南北方向にスキャンするフォトメータを用いて行った。全天イメージャはハワイ大学天文学研究所との共同開発により、魚眼レンズと液晶可変位相差板、偏光ビームスプリッタ、CCDカメラで構成され、偏光成分(ストークスペクトル)を測定するものを開発した。この装置によって磁気垂直方向から磁気水平方向まで連続的に捉えることが可能である。フォトメータは機械的に回転させる波長板に偏光ビームスプリッタそして光電子増倍管から構成され、全天イメージャと同様に偏光成分を測定する。フォトメータは全天イメージャに比べて視野が狭いが、導出精度は高い。

本発表では、観測装置の設計と観測の初期解析結果を紹介する。1月17日14時(UT)頃から630nmのオーロラが全天に現れた。このときの観測データからは偏光度の角度依存性は見られなかった。

今後さらに地磁気データや衛星から取られた粒子データなどと比較を行うことにより、オーロラ偏光測定の実用性を探る。

キーワード: オーロラ, 偏光  
Keywords: aurora, polarimetry

## IMAGE/EUV データの同化によって推定したプラズマ圏イオン分布 Spatial distribution of the plasmaspheric ions estimated by assimilation of IMAGE/EUV data

中野 慎也<sup>1\*</sup>, Fok Mei-Ching<sup>2</sup>, Brandt Pontus<sup>3</sup>, 樋口 知之<sup>1</sup>  
Shin'ya Nakano<sup>1\*</sup>, Mei-Ching Fok<sup>2</sup>, Pontus Brandt<sup>3</sup>, Tomoyuki Higuchi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 統計数理研究所, <sup>2</sup>NASA Goddard Space Flight Center, <sup>3</sup>The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory

<sup>1</sup>The Institute of Statistical Mathematics, <sup>2</sup>NASA Goddard Space Flight Center, <sup>3</sup>The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory

The IMAGE satellite observed EUV radiation at 30.4 nm which is scattered by helium ions in the plasmasphere. The imaging data of extreme ultra-violet (EUV) from the IMAGE satellite provides the information about the global structure of the plasmasphere. We are developing a data assimilation technique which incorporates the IMAGE/EUV data into a two-dimensional fluid model of the plasmasphere. Our approach consists of two steps. First, we estimate the initial state of the plasmasphere by the linear inversion. Second, we estimate the temporal evolution of the plasmasphere from a sequence of EUV images by using the ensemble transform Kalman filter, which is one of sequential data assimilation algorithms. By combining a sequence of EUV images and the dynamic model the plasmasphere, we estimate the spatial distribution of the plasmaspheric helium ions and the electric potential. We will show the structure of the plasmasphere for some events, which are estimated with the data assimilation technique.

キーワード: プラズマ圏, データ同化

Keywords: plasmasphere, data assimilation

## 地磁気静穏時の極冠内における光電子の流出と沿磁力線電位差の太陽活動依存性 Solar activity dependence of quiet-time photoelectron outflows and the field-aligned potential drop in the polar cap

北村 成寿<sup>1\*</sup>, 関 華奈子<sup>1</sup>, 西村 幸敏<sup>2</sup>, 堀 智昭<sup>1</sup>, 寺田 直樹<sup>3</sup>, Strangeway Robert J.<sup>4</sup>, McFadden James P.<sup>5</sup>

Naritoshi Kitamura<sup>1\*</sup>, Kanako Seki<sup>1</sup>, Yukitoshi Nishimura<sup>2</sup>, Tomoaki Hori<sup>1</sup>, Naoki Terada<sup>3</sup>, Strangeway Robert J.<sup>4</sup>, McFadden James P.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>2</sup> カリフォルニア大学ロサンゼルス校, <sup>3</sup> 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻, <sup>4</sup> カリフォルニア大学ロサンゼルス校, <sup>5</sup> カリフォルニア大学バークレー校

<sup>1</sup>STEL, Nagoya University, <sup>2</sup>Dept. of Atmos. and Oceanic Science, UCLA, <sup>3</sup>Department of Geophysics, Tohoku University, <sup>4</sup>Inst. of Geophys. and Planetary Phys., UCLA, <sup>5</sup>Space Science Laboratory, UC Berkeley

Counter-streaming photoelectrons with energies of about a few tens of electron volts are present on the open field lines in the polar cap, and the precipitating component is reflected photoelectrons by a field-aligned potential drop above the satellite [e.g., Kitamura et al., 2012]. To examine solar activity dependence of the photoelectron flows and the magnitude of the field-aligned potential drop, we statistically investigate photoelectrons in the polar cap using the data obtained by the FAST satellite in an altitude range of 3000-4200 km during geomagnetically quiet periods under small field-aligned current conditions. We selected 30 months when the apogee of the FAST satellite was located in the summer hemisphere from the months between July 1997 and January 2009. The geomagnetically quiet period is defined as the times when the  $K_p$  index is less than or equal to 2+ for the preceding 3 hours and when the  $SYM-H$  index ranges from -10 to 40 nT. The polar cap is defined by the lack of energetic ions [Andersson et al., 2004]. The typical magnitude of the field-aligned potential drop during geomagnetically quiet periods tends to decrease with decreasing solar activity (F10.7). Near the solar maximum, the typical magnitude of the field-aligned potential drop is 20-30 V, while it is about 10 V or smaller near the solar minimum. The flux of upgoing photoelectrons increases with increasing solar activity. In contrast, the median of the net escaping electron number flux in each month during geomagnetically quiet periods is almost unaffected by solar activity. This relation suggests that larger field-aligned potential drop prevents most of them from escaping.

キーワード: Polar wind, イオン流出

Keywords: Polar wind, Ion outflow

## グローバルMHDシミュレーションモデルの磁気圏-電離圏結合領域におけるパラメータ感受性

### A Parametric Sensitivity Study for Magnetosphere-Ionosphere Coupling Process in a Global MHD Simulation

才田 聡子<sup>1\*</sup>, 門倉 昭<sup>2</sup>, 藤田 茂<sup>3</sup>, 田中 高史<sup>4</sup>, 行松 彰<sup>2</sup>, 大谷 晋一<sup>5</sup>, 村田 健史<sup>7</sup>, 樋口 知之<sup>6</sup>

Satoko Saita<sup>1\*</sup>, Akira Kadokura<sup>2</sup>, Shigeru Fujita<sup>3</sup>, Takashi Tanaka<sup>4</sup>, Akira Sessai Yukimatu<sup>2</sup>, Shinichi Ohtani<sup>5</sup>, Ken T. Murata<sup>7</sup>, Tomoyuki Higuchi<sup>6</sup>

<sup>1</sup> 新領域融合研究センター, <sup>2</sup> 国立極地研究所, <sup>3</sup> 気象庁気象大学校, <sup>4</sup> 九州大学宙空環境研究センター, <sup>5</sup> ジョンスホプキンス大学応用物理研究所, <sup>6</sup> 統計数理研究所, <sup>7</sup> 情報通信研究機構

<sup>1</sup>TRIC, <sup>2</sup>NIPR, <sup>3</sup>Meteorological College, <sup>4</sup>SERC, Kyushu University, <sup>5</sup>JHU/APL, <sup>6</sup>ISM, <sup>7</sup>NICT

グローバル電磁流体力学的 (MHD) シミュレーション (Tanaka et al., 2010) による太陽風の変動に対する地球磁気圏や電離圏の応答を調べる研究は発展を続けており、太陽風から取り込まれた磁気圏のエネルギーが突然開放されるサブストームと呼ばれる現象を再現し、そのときの地球磁気圏のダイナミクスを議論できる程度にまで成長してきた。

磁気圏-電離圏相互作用過程は現在も十分に解明されていないために、シミュレーションモデルにおける磁気圏と電離圏の境界における関係式にはいくつか任意に決定されている係数がある。これらの係数の値によって、オーロラ発生時の磁気圏や電離圏における物理量分布は変化する。

本研究の最終的な目的はデータ同化手法を用いて最適な組み合わせの係数を推定することである。磁気圏モデルの内部境界における関係式から、磁気圏から入力される沿磁力線電流や、プラズマ圧などの電離層電気伝導度への寄与を変えると、磁気圏にフィードバックされる沿磁力線電流やポテンシャルが変わってくるのが予想される。本発表では磁気圏-電離圏結合領域におけるディフューズオーロラや、ディスクリートオーロラ粒子の降下による電離層電気伝導度の増加をコントロールする係数を変化させ、電離圏電位分布にどのような影響を及ぼすのかを調査した結果を報告する。

#### 参考文献:

Tanaka, T., A. Nakamizo, A. Yoshikawa, S. Fujita, H. Shinagawa, H. Shimazu, T. Kikuchi, and K. K. Hashimoto (2010), Sub-storm convection and current system deduced from the global simulation, *J. Geophys. Res.*, 115, A05220, doi:10.1029/2009JA014676

キーワード: グローバル MHD シミュレーション, 感度解析, 電離圏電位分布, オーロラ, 電離層電気伝導度, 沿磁力線電流  
Keywords: global MHD simulation, sensitivity analysis, ionospheric electric field potential map, aurora, ionospheric conductivity, field-aligned current

## 磁気赤道-低緯度域における磁気急始 (SC) の磁場振幅の季節変化について Seasonal variation of the amplitude of geomagnetic sudden commencements from low latitude to the magnetic equator

新堀 淳樹<sup>1\*</sup>, 小山幸伸<sup>2</sup>, 菊池崇<sup>3</sup>, 荒木徹<sup>8</sup>, 池田 昭大<sup>4</sup>, 魚住 禎司<sup>5</sup>, Roland Emerito S. Otadoy<sup>6</sup>, 歌田 久司<sup>7</sup>, 長妻 努<sup>9</sup>, 湯元 清文<sup>5</sup>

Atsuki Shinbori<sup>1\*</sup>, Koyama Yukinobu<sup>2</sup>, Kikuchi Takashi<sup>3</sup>, Araki Tohru<sup>8</sup>, Akihiro Ikeda<sup>4</sup>, Teiji Uozumi<sup>5</sup>, Roland Emerito S. Otadoy<sup>6</sup>, Hisashi Utada<sup>7</sup>, Tsutomu Nagatsuma<sup>9</sup>, Kiyohumi Yumoto<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 京都大学生存圏研究所, <sup>2</sup> 京都大学地磁気センター, <sup>3</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>4</sup> 鹿児島高専, <sup>5</sup> 九州大学国際宇宙天気科学・教育センター, <sup>6</sup> サンカルロス大学物理学科, <sup>7</sup> 東京大学地震研究所, <sup>8</sup> 中国極地研, <sup>9</sup> 情報通信研究機構

<sup>1</sup>RISH, Kyoto Univ., <sup>2</sup>WDC for Geomagnetism, Kyoto Univ., <sup>3</sup>STEL, Nagoya Univ., <sup>4</sup>Kagoshima National College of Technology, <sup>5</sup>ICSWSE, Kyushu Univ., <sup>6</sup>Department of Physics, San Carlos University, <sup>7</sup>ERI, Univ. Tokyo, <sup>8</sup>PRIC, <sup>9</sup>NICT

磁気急始 (SC) は、太陽風中に含まれる衝撃波や不連続面が磁気圏を急激に圧縮することによって磁気圏界面で発生した電磁流体波が磁気圏・プラズマ圏・電離圏へ伝搬し、その情報が地上に到達したときに地磁気の水平成分の急峻な立ち上がりとして観測される。そして、地上で観測される SC の磁場波形は、磁気緯度と地方時によって大きく異なる様相を示し [e.g., Matsushita, 1962, Araki, 1977]、特に MI 期においては、その磁場変動は、磁気圏界面電流の作る磁場に加えて、磁気圏対流の増大による領域 1 型の沿磁力線電流系の作る磁場効果の重ねあわせとして解釈できる [Araki, 1977, 1994]。したがって、MI 期における中緯度から磁気赤道にわたる磁場振幅の季節依存性を調べることによって、SC の領域 1 型の沿磁力線電流系が定電圧源か、それとも定電流源かの電源の性質を決定することが出来る。近年において、夏半球側における振幅が冬半球側に比べて大きくなる傾向が明らかにされつつある [Yumoto et al., 1996; Huang and Yumoto, 2006]。しかしながら、イベント数の不足や中・低緯度の地磁気観測点のみのデータセットの解析に基づいていることから、低緯度から磁気赤道における SC の振幅の日変化の磁気緯度依存性についての詳細な統計的描像は明らかにされていない。本研究では、これらの領域における SC の振幅の磁気地方時と磁気緯度依存性を明らかにするために、1996 年 1 月から 2012 年 10 月までの期間において SYM-H 指数から同定された 4158 例の SC イベントについて解析を行った。

ここでは、SYM-H 指数が 10 分以内で約 5nT 以上の急峻な増加を示し、その開始時刻の前後 10 分において Pi 2 地磁気脈動が出現していないイベントを SC として定義した。そして、6 の地磁気観測点 (ポンペイ (0.27 度)、ヤップ (0.38 度)、セブ (0.85 度)、グアム (5.22 度)、沖縄 (16.54 度)、柿岡 (27.18 度)) で得られた SC 時の磁場振幅に対して緯度補正をかけた SYM-H 指数の振幅値で規格化した。この規格化によって個々の太陽風動圧の違いによる影響を小さくすることができ、磁気圏界面電流以外の電流によってもたらされる電流系による磁場変動の磁気地方時と磁気緯度の依存性を見出すことができる。また、太陽風動圧の飛びの確認に IMP-8 衛星、Geotail 衛星、Wind 衛星、ACE 衛星からそれぞれ得られたデータを使用している。

その結果、磁気赤道域 (0.27-5.22 度) における SC の磁場振幅の日変化は、昼間側 (6-18 時) で顕著な振幅増加を示し、その振幅は 11 時付近で最大となる。この振幅増加は、カウリング効果によって東向きの電離圏電流が強められたことによるものである。そして、SC の磁場振幅が最大となる時刻は真昼の時刻に一致せず、そこから約 1 時間、朝側にずれる傾向にある。なお、この赤道域における SC 振幅の増大効果は、伏角緯度 15 度付近の領域まで観測されていた。一方、赤道域における SC 振幅の季節変化は、北半球側で春分・秋分点または冬季の時期に比べて夏季の時期にその振幅がやや小さくなることを示した。この季節変化は、Shinbori et al. [2012] で報告されている中緯度の季節変化と異なっており、単純に太陽天頂角だけに依存するものではないことを示唆している。この解釈として、極から赤道域に侵入する電場強度が夏季の時期に小さくなるか、電離圏 E 領域だけでなく下部 F 領域を流れる電流の寄与が存在することがあげられる。これらを実証するためには、今後、IRI-2007 と NRLMSIS-00 モデルから計算される電離圏伝導度モデル値との比較解析が必要である。

キーワード: 磁気急始, 磁気赤道, 季節変化, 電離圏電気伝導度, 太陽天頂角, カウリング効果

Keywords: Sudden commencement, Magnetic equator, Seasonal variation, Ionospheric conductivity, Solar zenith angle, Cowling effect

## 地磁気脈動に伴う低緯度電離圏電場とグローバル電流系

### Relationship between low latitude electric field and global currents during geomagnetic pulsations

菊池 崇<sup>1\*</sup>, 橋本 久美子<sup>2</sup>, 西村 幸敏<sup>3</sup>, 海老原 祐輔<sup>4</sup>, 富澤 一郎<sup>4</sup>, 長妻 努<sup>5</sup>

Takashi Kikuchi<sup>1\*</sup>, Kumiko Hashimoto<sup>2</sup>, Yukitoshi Nishimura<sup>3</sup>, Yusuke Ebihara<sup>4</sup>, Ichiro Tomizawa<sup>4</sup>, Tsutomu Nagatsuma<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>2</sup> 吉備国際大学環境経営学部, <sup>3</sup> カリフォルニアロサンゼルス校大気海洋科学部, <sup>4</sup> 京都大学生存圏研究所, <sup>5</sup> 電気通信大学宇宙電磁環境研究センター, <sup>6</sup> 情報通信研究機構

<sup>1</sup>Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, <sup>2</sup>Kibi International University, <sup>3</sup>Department of Atmospheric and Ocean Sciences, UCLA, <sup>4</sup>Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University, <sup>5</sup>Center for Space Science and Radio Engineering, University of Electro-Communications, <sup>6</sup>National Institute of Information and Communications Technology

低緯度に現れる PC5 は昼間磁気赤道で振幅が増加し、高緯度午後側と同位相、午前側と逆位相であることが知られている。また、中緯度の D 成分とも相関があり、極域電離層電場が赤道へ伝播することによって駆動される DP2 型の電離層電流で説明された [Motoba et al., 2002]。DP2 電流に付随する電場は昼間磁気赤道で電流を流すと同時に低緯度で HF Doppler 法により観測され、昼間赤道 PC 5 に対して、同じ昼間の HF Doppler 周波数変動は逆位相となり、反対半球の夜間の Doppler 変動は同位相となる [Motoba et al., 2004]。すなわち、昼半球と夜半球で逆センスになるポテンシャル電場が存在することを示唆している。今回の発表では電気通信大学が実施している HF Doppler 観測データを使用して、2003 年 10 月 31 日に発生した磁気嵐中の地磁気脈動時の HF Doppler データを解析し、1 分から 10 分の周期帯で赤道磁場変動と逆位相となること、すなわち、ポテンシャル電場であることを確認した。これらの結果は、PC5 に伴う電離層電場・電流を供給するダイナモが磁気圏内に存在することを示唆している。また、解析の過程で、夜間磁気赤道においても圧縮性磁気流体波動の成分のほかに電離層電流の成分があり、昼間赤道と逆位相であることを見出した。これは夜間の赤道電離層で Cowling 効果による電気伝導度の増大を示している。さらに、低緯度 PC5 と赤道電離層電流成分の間に位相差があり、低緯度へ伝搬する圧縮性磁気流体波による成分 (DL) と Alfvén 波により極域電離層へ伝搬したのち赤道へ伝搬する成分 (DP) の間に、時間差があることが示された。

キーワード: PC5 地磁気脈動, HF Doppler 周波数, 電離圏電場と電流, PC5 ダイナモ

Keywords: PC5 pulsation, HF Doppler frequency, ionospheric electric field and current, PC5 dynamo

## 極域電離圏等価電流系の季節変化

### Seasonal variation of equivalent current in the polar ionosphere

田中 良昌<sup>1\*</sup>, 行松 彰<sup>1</sup>, 佐藤 夏雄<sup>1</sup>, 堀 智昭<sup>2</sup>, 吉川 顕正<sup>3</sup>, 才田 聡子<sup>4</sup>

Yoshimasa Tanaka<sup>1\*</sup>, Akira Sessai Yukimatu<sup>1</sup>, Natsuo Sato<sup>1</sup>, Tomoaki Hori<sup>2</sup>, Akimasa Yoshikawa<sup>3</sup>, Satoko Saita<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 国立極地研究所, <sup>2</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>3</sup> 九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門, <sup>4</sup> 情報・システム研究機構 新領域融合研究センター

<sup>1</sup>National Institute of Polar Research, <sup>2</sup>Solar Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, <sup>3</sup>Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University, <sup>4</sup>Transdisciplinary Research Integration Center, Research Organization of Information and Systems

We have statistically studied an equivalent current system in the polar ionosphere derived from ground-based magnetometer network. It is well known that the ionospheric current system forms a twin-vortex pattern with flow cells on the dawn and dusk sides. The anti-sunward current flow in the polar cap region tends to be tilted toward dawn even during negative IMF-By condition. This deformation of the current pattern is generally interpreted to be caused by non-uniform ionospheric conductivity.

Our results show that the current intensity is greater in summer than in winter and the tilt angle of the current flow is greater in winter than in summer. Furthermore, we found that diurnal variation of the magnetic field in the polar cap region averaged during the geomagnetically quiet condition is similar to the solar quiet (Sq) variation observed at low to middle latitudes. These results imply a possibility that the ionospheric current system in the polar region may be affected by the Sq current system.

キーワード: 電離層電流系, 極域電離圏, Sq 電流系, 磁力計ネットワーク

Keywords: ionospheric current system, polar ionosphere, Sq current system, magnetometer network



## 磁気静穏時および磁気嵐期間のトウィーク反射高度の太陽天頂角依存性 Solar zenith angle dependence of tweek reflection height during magnetically quiet time and magnetic storms

大矢 浩代<sup>1\*</sup>, 塩川 和夫<sup>2</sup>, 三好 由純<sup>2</sup>

Hiroyo Ohya<sup>1\*</sup>, Kazuo Shiokawa<sup>2</sup>, Yoshizumi Miyoshi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 千葉大学大学院工学研究科, <sup>2</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所

<sup>1</sup>Graduate School of Engineering, Chiba University, <sup>2</sup>Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University

Reflection height of tweek atmospherics is an indicator of the height of the ionospheric D-layer. Variations in tweek reflection height through the day-night boundary at Antarctic station were reported by Saini and Gwal (2010). The tweek reflection height gradually varied from 64 km to 79 km at Indian Maitri station in Antarctica through three months (January-March) in both 2003 and 2005, showing variations of the tweek reflection height under the midnight sun at polar region. The descent (rise) of the reflection height corresponds to increase (decrease) in electron density in the ionospheric D- and lower E-regions. Singh et al. (2011) reported the variations of the tweek reflection height observed in India during a solar eclipse of 22 July, 2009, which occurred just after sunrise. The tweek reflection height decreased from about 94 km to 90 km during the sunrise. However, solar zenith angle dependence of the tweek reflection height has not been studied statistically. In this study, we statistically investigate the solar zenith angle dependence of the tweek reflection height, using long-term tweek data of 1976-2010 during magnetically quiet time, and for 7 major magnetic storms occurred in 1978 - 1999. We pick up major magnetic storms with the Dst minimum of less than -200 nT to know the difference between the storm time and quiet time. The tweek reflection height in the magnetically quiet time rises from about 88 km to 96 km with increasing the solar zenith angle from 80 degrees to 105 degrees. In the solar zenith angle range of 105 - 170 degrees, the tweek reflection height keeps at the height of 96 km. This shows that the tweek reflection height under the sunset/sunrise condition is lower than that in complete nighttime, indicating the increase in the electron density in the lower ionosphere due to the sunset/sunrise. The tweek reflection height during the magnetic storms also shows similar solar zenith angle dependence with that in magnetically quiet time. However, the tweek reflection height during magnetic storms is systematically entirely lower by about 2 km than that during magnetically quiet time. This shows the electron density increase during magnetic storms.

## R1 電流系と結合した赤道ジェット電流の電流保存について Current conservation of Equatorial Electrojet coupling to R1 current system

吉川 顕正<sup>1\*</sup>

Akimasa Yoshikawa<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>九州大学 国際宇宙天気科学・教育センター

<sup>1</sup>International Center for Space Science and Education, Kyushu University

Possible mechanism for current closure from polar to equatorial ionosphere via global Cowling channel is discussed. In our model, a global (primary) Hall current accompanied by two-cell type ionospheric convection induces polarization charge at the conductivity gradient region of dawn-dusk conductivity terminator and magnetic dip-equator. The secondary electric field accompanied by this induced charge generates the secondary Hall current flows along the dawn-side terminator line to the magnetic dip-equator. Resultantly, the global Cowling channel from polar to equatorial ionosphere via the terminator-line and magnetic-dip equator could be formed. Our model shows that growing of equatorial electrojet (EEJ) is due to the converging Hall current from polar region to the dawn side dip-equator and decaying of EEJ is due to the diverging Pedersen current from dusk-side dip-equator to the polar region. This mechanism can be applied to the EEJ disturbances accompanied by the solar wind variations such as DP2-type magnetic field disturbances and many phenomena associate the equatorial enhancement and/or depression of the geomagnetic field disturbances.

キーワード: 赤道ジェット電流, 沿磁力線電流, 磁気圏電離圏結合

Keywords: Equatorial electrojet, Field aligned current, Magnetosphere-Ionosphere coupling

## HF ドップラー観測による低緯度の過遮蔽電場 Overshielding Electric Fields at Low Latitude as Observed with the HF Doppler Measurements

橋本 久美子<sup>1\*</sup>, 菊池 崇<sup>2</sup>, 富澤 一郎<sup>3</sup>, 長妻 努<sup>4</sup>

Kumiko Hashimoto<sup>1\*</sup>, Takashi Kikuchi<sup>2</sup>, Ichiro Tomizawa<sup>3</sup>, Tsutomu Nagatsuma<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 吉備国際大学, <sup>2</sup> 名古屋大学, <sup>3</sup> 電気通信大学, <sup>4</sup> 情報通信研究機構

<sup>1</sup>Kibi International University, <sup>2</sup>Nagoya University, <sup>3</sup>University of Electro-Communications, <sup>4</sup>National Institute of Information and Communications Technology

The convection electric field penetrates from the polar ionosphere to low latitude and drives the DP2 currents in the global ionosphere with an intensified equatorial electrojet (EEJ). The electric field often reverses its direction, that is, the overshielding occurs and causes the equatorial counter electrojet (CEJ) during storm and substorms. The overshielding electric field has been observed at the equator with the incoherent scatter radar in Jicamarca and SuperDARN radars in mid latitude. In low latitude, on the other hand, the HF Doppler measurements have been used to detect the electric field associated with the short-period disturbances such as the sudden commencements and geomagnetic pulsations (1-10min), but the overshielding electric field with time scales of several 10s of min have not been reported. To detect the overshielding electric field in the low latitude ionosphere, we analyzed the Doppler frequency of the HF radio signals propagated over 120 km in Japan at frequencies of 5 and 8 MHz. We compared the Doppler frequency deviations with the equatorial EEJ/CEJ and found that the overshielding electric field is comparable to or even stronger than the convection electric field. These results suggest that the overshielding electric field would play an important role in the ionospheric disturbances at low latitude.

キーワード: 電離圏対流, 過遮蔽電場, カウンター赤道ジェット電流, HF ドップラー, 低緯度電離圏

Keywords: ionospheric convection, overshielding electric field, equatorial counter electrojet, HF doppler, low latitude ionosphere

## 朝側で観測される東西偏波 Pi 2 の性質 Characteristics of azimuthally polarized Pi 2 pulsations on the morning side

今城 峻<sup>1\*</sup>, 吉川 顕正<sup>1</sup>, 魚住 禎司<sup>2</sup>, 大谷 晋一<sup>3</sup>, 湯元 清文<sup>2</sup>  
Shun Imajo<sup>1\*</sup>, Akimasa Yoshikawa<sup>1</sup>, Teiji Uozumi<sup>2</sup>, Shinichi Ohtani<sup>3</sup>, Kiyohumi Yumoto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>九州大学院理学府地球惑星科学専攻, <sup>2</sup>九州大学国際宇宙天気科学・教育センター, <sup>3</sup>ジョンズホプキンス大学応用物理研究所

<sup>1</sup>Earth and Planetary Sci., Kyushu Univ., <sup>2</sup>ICSWSE, Kyushu Univ., <sup>3</sup>APL, Johns Hopkins Univ.

Pi 2 型地磁気脈動はサブストームの発生時に全世界の地上で観測される。朝側においては、Pi 2 の D 成分の変動が日の出の効果に関して増加する現象が知られている (Saka et al., [1980])。しかし、この現象に関する研究は非常に少なく、そのメカニズムは明らかになっていない。我々は、MAGDAS の全世界的地上磁場観測によって、朝側で観測された D 成分に偏波した Pi 2 を詳しく調査した。その結果、以下のことが明らかになった。(1) D 成分の振動は低緯度から高緯度まで同じ波形で同期して観測され、磁気赤道の H 成分の振動とも同期している。(2) D 成分の振動は高緯度ほど大きい傾向にある。(3) D 成分の振動は真夜中後と朝側で位相が逆になる。(4) D 成分の振動は南北半球で位相が逆になる。

(3) の結果から、この朝方での D 成分の振動は、サブストームカレントウェッジの下向き沿磁力線電流の作る磁場とは異なるものと考えられる。我々は、南北の電離層電流が朝方での D 成分の振動に関係していると予想する。

キーワード: Pi 2 型地磁気脈動, ULF 波動, 電離層電流, サブストームカレントウェッジ, 地上多点磁場観測

Keywords: Pi 2 pulsations, ULF waves, ionospheric current, substorm current wedge, multipoint ground-based observation

## サブストーム発生時に於けるオーロラビーズの発生と地磁気脈動Piとの関係 Relationships between auroral beads evolution and Pi pulsations at substorm onset

櫻井 亨<sup>1\*</sup>, 元場 哲郎<sup>2</sup>, 細川 敬祐<sup>3</sup>, 門倉 昭<sup>4</sup>, 田中 良昌<sup>5</sup>, 宮岡 宏<sup>6</sup>, 佐藤 夏雄<sup>7</sup>

Tohru Sakurai<sup>1\*</sup>, Tetsuo Motoba<sup>2</sup>, Keisuke Hosokawa<sup>3</sup>, Akira Kadokura<sup>4</sup>, Yoshimasa Tanaka<sup>5</sup>, Hiroshi Miyaoka<sup>6</sup>, Natsuo Sato<sup>7</sup>

<sup>1</sup> 東海大学, <sup>2</sup> ジョンホプキンス大学, <sup>3</sup> 電気通信大学, <sup>4</sup> 国立極地研究所, <sup>5</sup> 国立研究所, <sup>6</sup> 国立極地研究所, <sup>7</sup> 国立極地研究所  
<sup>1</sup>Tokai University, <sup>2</sup>John Hopkins University Applied Physics Laboratory, <sup>3</sup>University of Electro-Communications, <sup>4</sup>National Institute Polar Research, <sup>5</sup>National Institute Polar Research, <sup>6</sup>National Institute Polar Research, <sup>7</sup>National Institute Polar Research

Auroral beads often appeared during presubstorm onset phase, which has been considered as one of important auroral phenomena relating to substorm expansion onset. Recently Motoba et al.,(2012) have reported optical signatures of auroral beads evolution in all ? sky images observed at a conjugate pair ? station, Syowa in Antarctica and Tjornes in Iceland, in which auroral beads appeared almost at the same time, as an inter ? hemispheric signature and the evolution was stable in the first stage, and then developed to a larger scale spiral form (undulations), at the same time at both the conjugate stations. These interhemispheric similarities suggest that there must be a common driver in the magnetotail equatorial region. On the other hand, it has been well known that Pi pulsation is another important signature at substorm onset. In this paper we examined relationships between auroral beads evolution and Pi pulsation onsets during a few minutes before the substorm expansion onset for the 30 September 2012 substorm event. Results show that there exist very good relationships between Pi pulsation onsets and auroral beads evolutions, particularly on the signatures for auroral beads sudden evolution to spiral structures and/or undulations, which was coincident to appearance of Pi 2 pulsation, and auroral beads brightness enhancement, which accompanied Pi 1 pulsation onset. The appearances of these Pi 1 and Pi 2 pulsations show a good conjugacy. These results show very good one-to-one correspondence between auroral beads dynamics and Pi 1 and 2 onsets, suggesting a common physical mechanism controlling their dynamics in the magnetotail equatorial region.

Keywords: substorm, aurora, pulsations

## シートオーロラに付随する電離圏対流と沿磁力線電流：MHD モデリング Convection and Birkeland currents associated with theta auroras: MHD modeling

渡辺 正和<sup>1\*</sup>, 崎戸 伸太郎<sup>2</sup>, 田中 高史<sup>1</sup>, 品川 裕之<sup>3</sup>, 村田 健史<sup>3</sup>

Masakazu Watanabe<sup>1\*</sup>, Shintaro Sakito<sup>2</sup>, Takashi Tanaka<sup>1</sup>, Hiroyuki Shinagawa<sup>3</sup>, Ken T. Murata<sup>3</sup>

<sup>1</sup>九州大学, <sup>2</sup>(株)クリック, <sup>3</sup>情報通信研究機構

<sup>1</sup>Kyushu University, <sup>2</sup>CLICK Corporation, <sup>3</sup>National Institute of Information and Communications Technology

惑星間空間磁場が強い北向き時には、シートオーロラと呼ばれる特異な形態のオーロラが出現することがある。シートオーロラは環状のオーロラオーバルと夜から昼に極冠を横断するトランスポーラーアークから成り、その形がギリシャ文字の  $\theta$  に似ていることからこの名前がつけられた。シートオーロラが形成される要因には種々なものがあると考えられているが、その一つとして、惑星間空間磁場朝夕成分 (IMF By) の変動がある。IMF By の符号が変わると、磁気圏 - 電離圏系は古い IMF By での平衡状態から新しい IMF By での平衡状態へ遷移し、その過程でシートオーロラが表す特異な構造が形成されるという考えである。これを支持する観測は多く存在し、また電磁流体力学 (MHD) シミュレーションでもシートオーロラ構造が再現できることがわかっている。しかしこのシナリオにおける沿磁力線電流を介した磁気圏 - 電離圏結合過程の詳細はいまだ理解されておらず、またさまざまな観測上の制約から、観測から演繹的に研究を推進するのは困難な状況にある。本研究の目的は、IMF By の変動によるシートオーロラの形成を MHD シミュレーションで再現したうえで、その過程における沿磁力線電流と電離圏対流の発展を観測と比較可能な形で示すことである。特に、トランスポーラーアークのような大規模構造が形成される過程では、磁気圏と電離圏を結ぶ大規模な沿磁力線電流系が存在すると予想される。しかしこの観点から沿磁力線電流の観測を報告したものはこれまでなく、将来における観測的研究に資することを目指している。

惑星間空間磁場の大きさを 10 nT とし、時計角 ( $\alpha = 0$  が真北、By > 0 のとき  $\alpha > 0$ ) を +45° から -45° に階段状に変化させた場合と、逆に  $\alpha$  を -45° から +45° に変化させた場合の 2 通りのシミュレーションを行い、いずれも同様な結果を得た。本研究ではシートオーロラを磁気圏尾部の閉磁力線領域 (すなわちプラズマシート) の電離圏投影と定義する。IMF By が負から正に変化する場合、北半球電離圏では、シートオーロラは朝側オーロラオーバルから切り離され、極冠中を夕側ヘドリフトしていく。南半球では朝と夕が逆になる。このときの電離圏における対流と沿磁力線電流の特徴をまとめると以下ようになる。

(1) 一般に IMF By が存在するときの準定常電離圏対流は round/crescent cell のパターンであるが、シートオーロラの形成には round cell が大きく関与している。IMF の変動後約 20 分後に新しい IMF By に伴う round cell が確立される。シートオーロラはこの round cell とともに成長しドリフトする。進行方向後方 (新しいローブ側) の速度が前方 (古いローブ側) の速度より大きい。シートオーロラが十分発達した段階においては、太陽方向の対流はシートオーロラの昼側先端でのみみられる (シートオーロラは昼側オーロラオーバルに繋がっていない)。シートオーロラの夜側部分では、round cell の反太陽方向流が太陽方向に向きを変えるところに対応しており、太陽方向流と反太陽方向流が共存する。従来言われてきた「シートオーロラ = 太陽方向対流」は必ずしも正しくない。

(2) 沿磁力線電流の変化は対流変化に先立つ。IMF 変動後 15 分後には、新しい IMF By に付随する NBZ 電流がすでに確立している。NBZ と同じ向きの沿磁力線電流が、シートオーロラの進行方向後方部分に沿って夜側に伸びる。この沿磁力線電流を電流線に沿って磁気圏に投影すると、シートオーロラ進行方向前方のプラズマシート境界 (古いローブ側) に行きつく。ここでは電流ベクトルと電場ベクトルの内積が負になっており、沿磁力線電流系のダイナモ (の一部) を形成している。また古いローブ側のプラズマシート境界では、古い IMF By での Dungey 型リコネクションが閉磁束を供給し続けており、これがシートオーロラ成長の一因である。一方電離圏では、シートオーロラにともなう沿磁力線電流は、新しい crescent cell に伴う region 1 沿磁力線電流と大部分が閉じる。この電離圏クロージャーにより、シートオーロラ進行方向後方の速い流れが駆動される。すなわち、電離圏ではシートオーロラを後方から押すような形で round cell の夜側部分が形成される。

キーワード: シートオーロラ, 沿磁力線電流, 電離圏対流, MHD シミュレーション

Keywords: theta aurora, field-aligned current, ionospheric convection, MHD simulation

## 極冠パッチの生成 Production of polar cap patches

細川 敬祐<sup>1\*</sup>, 田口 聡<sup>1</sup>, 小川 泰信<sup>2</sup>  
Keisuke Hosokawa<sup>1\*</sup>, Satoshi Taguchi<sup>1</sup>, Yasunobu Ogawa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 電気通信大学大学院情報理工学研究所, <sup>2</sup> 国立極地研究所

<sup>1</sup>Graduate School of Informatics and Engineering, University of Electro-Communications, <sup>2</sup>National Institute of Polar Research

A highly sensitive all-sky EMCCD airglow imager has been operative in Longyearbyen, Norway (78.1N, 15.5E) since October 2011. One of the primary targets of this optical observation is a polar cap patch which is defined as an island of enhanced plasma density in the F region drifting anti-sunward across the central polar cap. Since the electron density within patches is often increased by a factor of 2-10 above that in the surrounding region, all-sky airglow measurements at 630.0 nm wavelength are capable of visualizing their spatial distribution in 2D fashion.

Although, in the last two decades, several efforts were made to capture the birth of patches in their generation region near the dayside cusp, it has been very difficult to directly image such an instant because the dayside part of the polar cap ionosphere is mostly illuminated by the Sun even in winter. In Longyearbyen, however, it is well-known that daytime aurorae can be observed using ground-based optical instruments in a limited period near the winter solstice. This enables us to directly image how polar cap patches are born near the dayside cusp region.

We present an event of polar cap patches on November 24, 2012, in which patches were generated within the field-of-view of the all-sky camera located on the dayside. During a 4-h interval from 0500 to 0900 UT on this day, we identified several signatures of poleward moving auroral forms (PMAF) in the equatorward half of the field-of-view, which are known as ionospheric manifestations of dayside reconnection. Interestingly, patches were directly produced from such poleward moving auroral signatures and propagated poleward along the anti-sunward convection near the cusp. From this observation, we strongly suggest that polar cap patches can be directly produced by poleward moving aurora forms, i.e., the periodic occurrence of dayside equatorial reconnection process.

## カスプのPMAFの加速運動 Accelerated motion of a poleward-moving auroral form in the cusp

田口 聡<sup>1\*</sup>, 細川 敬祐<sup>1</sup>, 小川 泰信<sup>2</sup>  
Satoshi Taguchi<sup>1\*</sup>, Keisuke Hosokawa<sup>1</sup>, Yasunobu Ogawa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 電気通信大学, <sup>2</sup> 国立極地研究所

<sup>1</sup>University of Electro-Communications, <sup>2</sup>National Institute of Polar Research

Poleward-moving auroral forms (PMAF), the ionospheric signatures of flux transfer events (FTEs), are intermittent phenomena observed in the cusp during negative interplanetary magnetic field intervals. Previous observations from ground-based optics showed that PMAFs emerge from the poleward boundary of the stable cusp precipitation region, and move poleward, often having a strong azimuthal component. In this paper, taking the advantage of a high-sensitivity all-sky imager, which is situated at Longyearbyen, Svalbard, Norway, we present observations in which PMAFs can be distinguished inside the stable cusp precipitation region. The 630.0-nm all-sky images taken with a time resolution of 4 s reveal that one of the PMAFs that occurred at ~1100 MLT on 17 December 2012 moves poleward quasi-steadily inside the stable cusp region during approximately 3 min after its appearance near the equatorward edge, and then accelerates eastward immediately after it exits from its poleward boundary. Prominent acceleration is seen during approximately 2 min, suggesting that the duration in which the tension force works on the newly opened field lines is a few minutes.

キーワード: オーロラ, カスプ, 粒子降下, 磁気リコネクション, 全天イメージャ  
Keywords: aurora, cusp, particle precipitation, magnetic reconnection, all-sky imager



## かぐや衛星 UPI-TEX による太陽風動圧変化時における酸素イオン散逸への考察 Spatio-temporal of the O<sup>+</sup> outflow caused by enhancement of the solar wind dynamic pressure : KAGUYA UPI-TEX observation

村越 貴成<sup>1\*</sup>, 高田 拓<sup>1</sup>, 山崎 敦<sup>2</sup>, 吉川 一朗<sup>3</sup>

Takanari Murakoshi<sup>1\*</sup>, TAKADA Taku<sup>1</sup>, YAMAZAKI Atsushi<sup>2</sup>, YOSHIKAWA Ichiro<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 高知工業高等専門学校電気情報工学科, <sup>2</sup> 宇宙航空研究開発機構, <sup>3</sup> 東京大学

<sup>1</sup>Electrical Engineering and Information Science, Kochi National College of Technology, <sup>2</sup>Institute of Space and Astronautical Science / Japan Aerospace Exploration Agency, <sup>3</sup>The University of Tokyo

地球周辺の酸素イオンは、1980年以降の衛星観測により多量に極域の電離圏から磁気圏へ散逸されていることが観測された。しかしながら、酸素イオンが、いつ、どの程度の量、散逸されているかは明らかになっていない。本研究では、月周回衛星かぐや (SELENE) に搭載されている極端紫外光望遠鏡 (UPI-TEX) を用いて、太陽風動圧の増大に伴って地球周辺で発生する酸素イオン散逸について考察する。観測から得られた O<sup>+</sup> 散乱光の空間分布に、磁場モデルをマッピングし、閉じた磁力線内と開いた磁力線上の O<sup>+</sup> 散乱光の時間変化を各々見積もった。結果より、太陽風動圧の増大に伴って O<sup>+</sup> が散逸していることが確認できた。さらに、閉じた磁力線内では、その後も O<sup>+</sup> の増加がたびたび起こっており、それらはオーロラ活動と相関があることが分かった。

キーワード: かぐや衛星, UPI-TEX, 酸素イオン, 磁場モデル, 地磁気活動度

Keywords: KAGUYA Satellite, UPI-TEX, Oxygen ion, Magnetic field model, Geomagnetic activity

## れいめい衛星観測によるオーロラ波動構造と電子加速領域の関係

### Study of the relationships between auroral wave structures and the auroral acceleration region: Reimei observations

杉本 将一<sup>1\*</sup>, 敷地 辰也<sup>1</sup>, 高田 拓<sup>1</sup>, 浅村 和史<sup>2</sup>, 坂野井 健<sup>3</sup>, 山崎 敦<sup>2</sup>

Masakazu Sugimoto<sup>1\*</sup>, SHIKIJI, Tatuya<sup>1</sup>, TAKADA, Taku<sup>1</sup>, Kazushi Asamura<sup>2</sup>, Takeshi Sakanoi<sup>3</sup>, Atsushi Yamazaki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 高知工業高等専門学校電気情報工学科, <sup>2</sup> 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所, <sup>3</sup> 東北大学大学院理学研究科惑星プラズマ・大気研究センター

<sup>1</sup>Electrical Engineering and Information Science, Kochi National College of Technology, <sup>2</sup>JAXA/ISAS, <sup>3</sup>PPARC, Tohoku University

オーロラの波動構造は、成長に伴って活発に動き、やがて壊れていく。オーロラを光らせる電子は、高度数千 km に位置する電子加速領域で加速を受ける。そのため、加速領域内のポテンシャル構造は、波動構造の成長に何らかの影響を与えていると考えられる。しかしながら、加速領域や降り込み粒子の特徴と、オーロラの波動構造の成長過程の関連は明らかになっていない。本研究では、磁気圏が静穏で安定した状態で、オーロラ波動構造の成長過程を調べた。2007年1年間の降り込み電子とオーロラ波動構造の対応がある13個のイベントを対象とし、れいめい衛星に搭載されている多波長オーロラカメラ (MAC) と粒子観測機 (ESA) の同時観測モードのデータを用いた。加速領域内の電位と電場の推定を行うため、粒子データの Inverted-V 型電子構造に着目し、Characteristic Energy を導出した。電子の分布関数のピークのエネルギー差から加速領域内の磁力線平行電位を求めた。また、ピークエネルギーの空間変化から磁力線に垂直な電場を導出した。電位や電場の値と、オーロラ波動構造の成長過程を調べた結果、加速領域内の電場や電位が強いほど、波動の時間変動が活発であることが分かった。

キーワード: れいめい衛星, オーロラ波動構造, Characteristic Energy, Inverted-V 型電子構造, 電子加速領域

Keywords: REIMEI Satellite, Aurora wave structure, Characteristic Energy, Inverted-V type electronic structure, Electron acceleration region

## 4 $f_{ce}$ auroral roar の偏波特性について The polarization of 4 $f_{ce}$ auroral roar emissions

佐藤 由佳<sup>1\*</sup>, 小野 高幸<sup>2</sup>  
Yuka Sato<sup>1\*</sup>, Takayuki Ono<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 国立極地研究所, <sup>2</sup> 東北大学大学院理学研究科

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

This is a report on the first polarization measurements of auroral radio emissions near 4 times the electron cyclotron frequency ( $f_{ce}$ ) in the Earth's polar ionosphere. Sato et al. [2012] discovered auroral roar emissions near ionospheric  $4f_{ce}$ , which were detected with a passive receiver installed in Svalbard, Norway (Invariant LAT 75.1N). The initial observations, performed for about a year, showed that  $4f_{ce}$  roar emissions were detected from 5.27 to 5.70 MHz during moderate geomagnetic disturbances in 22 days between May and September 2011 only from noon to evening, while no event occurred during the 2010-2011 winter season. Examination of 2011-2012 polarization measurement data in Iceland (Invariant LAT 65.3N) reveals four events of  $4f_{ce}$  roar emissions.  $4f_{ce}$  roar in two events was observed to be left elliptically polarized with respect to the local magnetic field during daylight hours. This polarization is consistent with the idea supported by the observation in Svalbard; the origin of  $4f_{ce}$  roar is mode conversion to the L-O mode of upper hybrid waves favorably generated under the condition of  $f_{UH} \sim 4f_{ce}$ . The other two events showed that  $4f_{ce}$  roar was right elliptically polarized during darkness hours. This polarization indicates that nonlinear coupling of two upper hybrid waves may also works in the bottomside auroral ionosphere to generate R-X mode  $4f_{ce}$  roar.

キーワード: オーロラ, 電波伝搬, 地上観測

Keywords: aurora, radio propagation, ground-based observation

## 低緯度、涌谷観測所における電離層アルフベン波共鳴現象の解析 Ionospheric Alfvén resonance observed at a low-latitude station, Wakuya

生松 聡<sup>1\*</sup>, 能勢 正仁<sup>2</sup>, 阿部 聡<sup>3</sup>

Satoshi Oimatsu<sup>1\*</sup>, Masahito Nose<sup>2</sup>, Satoshi Abe<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 京都大学大学院理学研究科, <sup>3</sup> 国土交通省国土地理院測地部物理測地課地磁気係

<sup>1</sup>Graduate School of Science, Kyoto University, <sup>2</sup>Graduate School of Science, Kyoto University, <sup>3</sup>Geomagnetism Sec., Physical Geodesy Div., Geodetic Dept., Geospatial Information Authority of Japan

Ionospheric Alfvén resonance (IAR) can be identified in dynamic power spectrum plot as a spectral resonance structure in the frequency range of 0.1 Hz - 7.0 Hz. Most of previous studies about IAR were done for mid- to high-latitudes. Only a few studies reported IAR at low latitude station, Creta (33.1 deg geomagnetic latitude (GMLAT)) [e.g., T. Bosinger et al., 2004]. There is a report that no IAR was found near Tokyo [Hayakawa, 2004]. We, however, observed a clear signature of IAR in data obtained by an induction magnetometer at Wakuya (29.7 deg GMLAT). To our knowledge, this is an IAR observed at the lowest geomagnetic latitude. Then we performed a statistical study using the induction magnetometer data recorded at Wakuya from 2007 to 2009. The sampling rate of the data is 15 Hz. We identified IAR by a criterion that a spectral harmonic structure has three bands. IAR occurred from evening to dawn with the maximum occurrence rate around 0300 LT. There is a seasonal variation that few events were found in May to September, but there were a lot of events in October to April. The harmonic frequency gradually increases over evening to post midnight, reaches the maximum around 0300 LT, and then decreases until dawn. The average frequency difference between two adjacent harmonics  $dF$  also has seasonal change.  $dF$  is larger in winter than in summer. The occurrence rate of IAR has no clear relation to the Dst index, while it has a weak negative correlation with the Kp index.

## タスマニア-ニュージーランド地磁気観測網による磁力線共鳴振動の詳細観測 A Study of Field Line Resonances using data from the Magnetometer Array in the Tasmania and New Zealand Region

尾花 由紀<sup>1\*</sup>, 塩川和夫<sup>2</sup>, 寺本万里子<sup>2</sup>, 柿並義宏<sup>3</sup>, 才田聡子<sup>4</sup>, 吉川顕正<sup>5</sup>, 田中良昌<sup>6</sup>, Frederick W. Menk<sup>7</sup>, Colin L. Waters<sup>7</sup>, Craig J. Rodger<sup>8</sup>

Yuki Obana<sup>1\*</sup>, Kazuo Shiokawa<sup>2</sup>, Mariko Teramoto<sup>2</sup>, Yoshihiro Kakinami<sup>3</sup>, Satoko Saita<sup>4</sup>, Akimasa Yoshikawa<sup>5</sup>, Yoshimasa Tanaka<sup>6</sup>, Frederick W. Menk<sup>7</sup>, Colin L. Waters<sup>7</sup>, Craig J. Rodger<sup>8</sup>

<sup>1</sup>大阪電気通信大学工学部基礎理工学科, <sup>2</sup>名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>3</sup>高知工科大学システム工学群, <sup>4</sup>新領域融合研究センター, <sup>5</sup>九州大学理学研究院地球惑星科学部門, <sup>6</sup>国立極地研究所, <sup>7</sup>School of Mathematical and Physical Sciences, The University of Newcastle, <sup>8</sup>Department of Physics, The University of Otago

<sup>1</sup>Department of Engineering Science, Osaka Electro-Communication University, <sup>2</sup>Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nogyo University, <sup>3</sup>School of Systems Engineering, Kochi University of Technology, <sup>4</sup>Transdisciplinary Research Integration Center, <sup>5</sup>Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University, <sup>6</sup>National Institute of Polar Research, <sup>7</sup>School of Mathematical and Physical Sciences, The University of Newcastle, <sup>8</sup>Department of Physics, The University of Otago

タスマニア-ニュージーランド地域に展開した地磁気観測網データによる ULF 周波数帯の地磁気脈動観測研究の成果を報告する。我々は2011年2月と2012年3月にそれぞれ Middlemarch (MDM, -45.35°, 170.05°), Te Wharau (TEW, -41.2°, 175.8°) に磁力計を設置し、運用を続けている。この地域には他に Intermagnet の Eyrewell (EYR, -43.4°, 172.4°), Newcastle 大学と IPS が運用する Launcestone (LAU, -41.68°, 147.18°), Hobart (HBT, -42.88°, 147.35°) の地磁気観測点があり、これらのデータを用いて L<sup>2.1-2.8</sup> Re の中緯度領域における ULF 地磁気脈動、特に磁力線共鳴振動の詳細観測を行った。cross-phase 法で L<sup>2.6</sup> Re の磁力線共鳴振動周波数を調べたところ、2012年4月23日と7月13日に、異常に低い共鳴周波数が観測された。この異常低周波数は、磁力線が明け方の昼夜境界線付近を通過する時刻帯に観測されており、磁力線両端の電離層が強い電気伝導度非対称を持つ際に現れる 1/4 波長モード波の可能性が高いと考えられる。現在共鳴特性等更なる調査を進めている。また、磁力線共鳴振動周波数からは、磁気圏赤道面のプラズマ質量密度を推定することができる。ニュージーランドとその磁気共役点では、これまで高時間分解能の地磁気多点観測が行われておらず、従ってこの経度上の L<sup>2-3</sup> Re におけるプラズマ質量密度の長期モニタリングも行われてこなかった。我々の研究により、磁気嵐中のプラズマ圏の枯渇・再充填や静穏期のプラズマ圏密度などが明らかになりつつあり、他の経度と比較検討が進められている。講演ではこれらの解析結果を紹介するとともに、タスマニア-ニュージーランド観測網の主要な研究テーマである、昼夜境界付近に代表される非一様な電離圏環境下での磁気圏-電離圏結合、またその結果としての磁力線共鳴構造の変化について、研究の展望を述べる。

キーワード: 磁力線共鳴振動, プラズマ圏, 内部磁気圏, ULF 波動, 磁気圏-電離圏結合

Keywords: field line resonance, plasmasphere, inner magnetosphere, ULF wave, magnetosphere-ionosphere coupling

## 円周魚眼デジタルカメラのステレオ撮影によるオーロラ発光高度の推定 Stereo measurement of auroral emission altitudes using circular fisheye digital cameras

重松 界<sup>1\*</sup>, 三好 由純<sup>1</sup>, 片岡 龍峰<sup>2</sup>, 田中 正行<sup>2</sup>, 山下 淳<sup>3</sup>, 森 祥樹<sup>4</sup>, 久保 堯之<sup>3</sup>, Don Hampton<sup>5</sup>, 荻野 竜樹<sup>1</sup>  
Kai Shigematsu<sup>1\*</sup>, Yoshizumi Miyoshi<sup>1</sup>, Ryuho Kataoka<sup>2</sup>, Masayuki Tanaka<sup>2</sup>, Atsushi Yamashita<sup>3</sup>, Yoshiki Mori<sup>4</sup>, Takayuki Kubo<sup>3</sup>, Don Hampton<sup>5</sup>, Tatsuki Ogino<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名大 STE 研, <sup>2</sup> 東京工業大学, <sup>3</sup> 東京大学, <sup>4</sup> 静岡大学, <sup>5</sup> アラスカ大学

<sup>1</sup>STEL, Nagoya University, <sup>2</sup>Tokyo Tech, <sup>3</sup>University of Tokyo, <sup>4</sup>Shizuoka University, <sup>5</sup>University of Alaska

オーロラの発光高度とその形態を知ることは発生メカニズムの理解を深める基本的な研究であり、本研究は、デジタルカメラで撮影された画像を用いてオーロラ微細構造の発光高度を推定することを目的とする。新しい撮像機器を用いて発光高度とその形態を詳細に追求することは、オーロラの発生メカニズムの理解を深めるための基礎である。我々は2009年よりアラスカの Poker Flat Research Range (PFRR) の山頂に1セット、さらにPFRRの入口付近あるいはPFRR近くの Skiland にもう1セット魚眼レンズを搭載したデジタルカメラを設置し、3-60秒の撮影間隔でオーロラのステレオ撮像を行ってきた。撮影を開始してから3シーズンの間、観測地点間距離を3-8km、使用するカメラを Nikon D90、D7000、D3s、D3x、D4 と条件を変えて観測を行ってきた。これまでの3年間で撮影した画像はすでに3TBを超える。デジタルカメラを用いた撮像は、従来の CCD カメラに比べて高い空間分解能を持ち、フルカラーでの観測が可能であり、安価での観測が可能であるといった利点がある。オーロラの発光高度を推定するためには、2地点の画像を補正したあと、仮定する発光高度を変えながら地理座標変換を行い、2地点の画像が一致する高度を検出する Plane Sweep 法を用いる。この画像の補正のために、魚眼レンズで撮影された全天画像を星の位置を用いて絶対座標に変換する手法を用いた [Mori et al,2012]。現在までに13例の高度推定を行っており、得られた推定高度はおおよそ110kmから160kmであった。発表では、より多くの例について高度を推定した結果について報告する。

Keywords: auroral altitude, plane sweep, stereo fisheye digital cameras

## 全天偏光撮像器とスキャンング偏光フォトメータによるオーロラ O I 630.0nm 発光の同時観測

### Simultaneous measurement of auroral O I 630.0nm polarization using an all-sky polarimeter and a scanning polarimeter

鍵谷 将人<sup>1\*</sup>, Ryan Swindle<sup>2</sup>, 門司 浩幸<sup>1</sup>, 坂野井 健<sup>1</sup>

Masato Kagitani<sup>1\*</sup>, Ryan Swindle<sup>2</sup>, Hiroyuki Monji<sup>1</sup>, Takeshi Sakanoi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学惑星プラズマ・大気研究センター, <sup>2</sup> ハワイ大学天文学研究所

<sup>1</sup>PPARC, Tohoku University, <sup>2</sup>IfA, University of Hawaii

異方性をもつ電子による衝突励起発光は、磁力線に鉛直方向から観測した場合、偏光する可能性が示唆されている (Percival and Seaton 1958)。特に、O I 630.0nm の電子衝突励起発光については、近年のモデル計算により、最大で 15% の偏光が生じることが示唆されている (Bommier et al., 2011)。観測される最大偏光度は、主に電子のピッチ角分布に依存するため、オーロラの偏光度情報から電子ピッチ角のリモートセンシングへの発展が期待できる。本研究では、校正手法を含めた全天偏光観測の手法を確立し、オーロラの偏光度の次空間変動を導出することを目的とした。

オーロラ 630.0nm 発光の偏光観測は、2013 年 1 月 6 日から 1 月 19 日の期間に米国アラスカ州ポーカーフラットにおいて実施した。観測にはハワイ大学天文学研究所で開発された全天偏光イメージャと東北大学で開発された狭視野のスキャンング偏光フォトメータを用いた。これらの 2 つの観測装置は、視野の広さと偏光度の導出精度において互いを補い合う役割を持つ。全天偏光イメージャは全天撮像光学系に 2 つの液晶電気可変リターダと偏光ビームスプリッターを組み合わせ、2 台の CCD カメラで偏光成分 (4 ストークスパラメータ) を測定する。また、偏光フォトメータは回転ステージにマウントされた 1/4 波長板と偏光ビームスプリッタを組み合わせ、2 台の光電子増倍管で全天偏光イメージャと同様の偏光成分の測定を行うことができる。

全天偏光イメージャによる初期解析結果より、磁気子午線に沿ったオーロラ 630.0nm 発光の直線偏光度が、磁気天頂から磁力線垂直方向 (天頂角 77 度) にかけて 0+/-2% から 2+/-2% に変化している分布がとらえられた。磁力線と視線方向のなす角の増加に伴い、偏光度が増加する結果は、磁力線に沿って降下する電子による衝突励起発光の偏光分布が捉えられたことを強く示唆する。また 2013 年 1 月 10 に観測されたサブストームイベントについて、サブストームオンセット付近の前後で偏光度が 1.5% から 2.5% に増大する様子にとらえられた。講演では降下電子のピッチ角分布と偏光度の変化について議論を行う予定である。

キーワード: 偏光, オーロラ, O I, 6300

Keywords: polarimeter, auroral, O I, 6300

## 北海道におけるカラーデジタルカメラによる低緯度オーロラの観測 Observation of low-latitude aurora by color digital cameras in Hokkaido

鈴木 秀彦<sup>1\*</sup>, 千野遥<sup>1</sup>, 佐野康男<sup>2</sup>, 田口 真<sup>1</sup>  
Hidehiko Suzuki<sup>1\*</sup>, Chino Haruka<sup>1</sup>, Yasuo Sano<sup>2</sup>, Makoto Taguchi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>立教大学, <sup>2</sup>なよろ市立天文台  
<sup>1</sup>Rikkyo University, <sup>2</sup>Nayoro Observatory

低緯度オーロラとは、激しい磁気嵐の際に、オーロラ発生領域が低緯度へ拡大し、比較的高高度で発光する酸素原子の 630.0 nm 発光などが、中緯度帯からも観測される現象である。しかし、その出現頻度は低く、原因となる降り込み粒子の特性など、未解明な点が多い。日本国内における低緯度オーロラの観測記録としては、Shiokawa et al., [2005] による 1999 年-2004 年の間における北海道陸別 (43.5°N) および母子里 (44.4°N) での高感度光学装置 (イメージャー、フォトメーター) を用いた観測結果がある。この報告によれば、主にサブストームの回復相で発生する Stable Auroral Red Arc (SAR Arc) の 630.0 nm 発光が、肉眼で捉えることが可能な強度 (数 kR) レベル (数 kR) で記録されている。この報告には、肉眼での同時観測報告は明記されていないが、同日の同時刻帯において北海道名寄市内で、低緯度オーロラと思われるカラー画像が得られていることが分かった。本研究では、これらの画像から推察される低緯度オーロラのパラメーター (出現緯度帯、時刻、色) を Shiokawa et al., [2005] による報告と比較し、その発生メカニズムや出現分布について推定した。

キーワード: 低緯度オーロラ, 磁気圏, イメージング, 北海道, 名寄  
Keywords: Low latitude aurora, magnetosphere, imaging, Hokkaido, Nayoro



## 磁気嵐中におけるオーロラブレイクアップの統計解析 Statistical analysis of auroral breakups during magnetic storm

竹内 亮太<sup>1\*</sup>, 家田 章正<sup>1</sup>  
Takeuchi Ryota<sup>1\*</sup>, Akimasa Ieda<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学 STE 研  
<sup>1</sup> STEL

オーロラは、磁気圏から電離圏へ降り込む荷電粒子によって起こされる現象であり、その夜側では、主に地磁気緯度 62-72 度付近で発生する。オーロラが突発的に明るくなり、形がダイナミックに変化する現象があり、それをオーロラブレイクアップという。その開始位置の変動は、主として惑星空間磁場 (IMF) に支配されていると考えられている。

一方、本研究では、磁気圏の擾乱である磁気嵐の影響に着目し、磁気嵐中におけるオーロラブレイクアップの変動、特に発生位置の統計解析を行った。オーロラブレイクアップの発生時刻・位置は、Polar 衛星が撮影した画像を用いて作成された、Liou et al. (2010) のリストを用いた。磁気嵐の発生時刻・フェイズは、SC(地磁気の急増)と、磁気圏環状電流のプロキシである SYM-H 地磁気指数から定めた。

統計解析の結果、オーロラブレイクアップが開始する磁気地方時は、磁気嵐の主相において、朝側にずれることを発見した。このずれの原因を理解するために、オーロラブレイクアップの磁気地方時と、IMF-By 成分などとの相関を調べ、磁気嵐と非磁気嵐時の違いを議論する。

キーワード: オーロラ, 磁気嵐  
Keywords: aurora, agnetic storm

## SuperDARN 北海道-陸別第一・第二レーダーの現況報告(2013.2) Status report on the SuperDARN Hokkaido East / West radars (2013.2)

西谷 望<sup>1\*</sup>, 堀 智昭<sup>1</sup>, 寺本 万里子<sup>1</sup>, 小川 忠彦<sup>2</sup>, 菊池 崇<sup>1</sup>, 行松 彰<sup>3</sup>, 堤 雅基<sup>3</sup>, 宍山勝也<sup>1</sup>

Nozomu Nishitani<sup>1\*</sup>, Tomoaki Hori<sup>1</sup>, Mariko Teramoto<sup>1</sup>, Tadahiko Ogawa<sup>2</sup>, Takashi Kikuchi<sup>1</sup>, Akira Sessai Yukimatu<sup>3</sup>, Masaki Tsutsumi<sup>3</sup>, Katsuya Sakoyama<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名大 STE 研, <sup>2</sup> 情報通信研究機構, <sup>3</sup> 国立極地研究所

<sup>1</sup>STEL, Nagoya Univ., <sup>2</sup>NICT, <sup>3</sup>NIPR

SuperDARN 北海道-陸別第一・第二レーダーの最新状況について報告する。

第一レーダーは2006年11月より稼働を開始し、現在までほぼ継続的に稼働している。最近では流星エコーデータ解析のための時系列データ用ソフトウェア整備を進めており、流星エコーから統計的に中性風分布を求める手法の確立を目指している。同手法は昭和レーダーや Iceland レーダーにおいて適用された事があるが、デジタル受信機を用いた最新のデータについては未適用であった。もしも本手法を新式のレーダーについて確立することができれば、世界各国のレーダーデータにも適用できることになり、流星レーダーの一大ネットワークが新たに立ち上がることになる。講演では最新の流星エコー解析状況、およびその他の状況についてについて説明する。

一方、第二レーダーは平成24年度補正予算で採択された。これはビームを北方向～北西方向に向けて従来のレーダーで捕らえられなかった中緯度-サブオーロラ帯域をカバーするものであり、視野を共有するレーダーを建設中であるロシア・イルクーツクの太陽地球系物理学研究所 (ISTP) との共同研究も進めている。レーダーの位置、第一レーダーとの干渉対策、無線局免許等解決しなければならない問題は多く存在するが、着実に作業を進めている。このレーダーの最新状況についても紹介する予定である。

キーワード: SuperDARN 北海道-陸別第一・第二レーダー, 電離圏, 磁気圏, 熱圏, ダイナミクス, 国際協力

Keywords: SuperDARN Hokkaido East / West radars, ionosphere, magnetosphere, thermosphere, dynamics, international collaboration

## 昭和基地 SENSU SuperDARN レーダーのイメージング化と将来展望 (2) Syowa SENSU SuperDARN imaging radar and the future perspective (2)

行松 彰<sup>1\*</sup>, 佐藤 夏雄<sup>1</sup>

Akira Sessai Yukimatu<sup>1\*</sup>, Natsuo Sato<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 国立極地研究所

<sup>1</sup>National Institute of Polar Research

1995年より、国際短波帯レーダーネットワーク観測プロジェクトである SuperDARN の一翼を担ってきた SENSU 昭和基地 HF レーダーの空間分解能を飛躍的に向上させる為のイメージング化の準備を更に進めている。この詳細な進捗状況を報告する。さらに、イメージング化の実現によって飛躍的發展が期待される、オーロラや電離圏不規則構造近傍の詳細な電離圏電場構造の観測による電磁圏・磁気圏結合物理素過程の研究、FTE や TCV 等のメソスケールの過渡的現象や波動現象、電離圏不規則構造自体の生成消滅物理素過程の研究、更には、高精度中性風や PMSE 等の観測による中間圏下部熱圏研究への貢献、また、飛翔体観測、他の地上ネットワーク乃至拠点観測との連携の具体的な観測計画等について議論し、将来を展望する。

キーワード: SuperDARN, 昭和基地, イメージング, 電磁圏結合, オーロラ, 中間圏・下部熱圏

Keywords: SuperDARN, Syowa, imaging, MI coupling, aurora, MLT region

## IMAGE FUV と SuperDARN による沿磁力線電流分布の導出 Deriving maps of field-aligned current from IMAGE FUV and SuperDARN

細川 敬祐<sup>1\*</sup>, 小川 泰信<sup>2</sup>, 吉川 顕正<sup>3</sup>

Keisuke Hosokawa<sup>1\*</sup>, Yasunobu Ogawa<sup>2</sup>, Akimasa Yoshikawa<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 電気通信大学大学院情報理工学研究科, <sup>2</sup> 国立極地研究所, <sup>3</sup> 九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門

<sup>1</sup>Graduate School of Informatics and Engineering, University of Electro-Communications, <sup>2</sup>National Institute of Polar Research,

<sup>3</sup>Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University

Many efforts have been made for deriving the spatial distribution of field-aligned currents (FACs) in the high-latitude ionosphere. To date, however, it has been still difficult to construct a map of FACs as a snap shot without any assumptions. In this study, we employ the ionospheric conductances estimated from the IMAGE/FUV auroral images together with the electric field deduced from Super Dual Auroral Radar Network (SuperDARN), and then derive a map of FACs in the high-latitude. The primary objective is to visualize the mesoscale structure of FACs in the vicinity of auroral bulges. If the 2D distribution of the bulge-associated FACs is clarified, the closure of the substorm currents can be discussed in terms of the magnetosphere-ionosphere coupling system. We have estimated the distribution of FACs for two case examples, one on September 25, 2001 and the other on January 12, 2002. During both intervals, nicely developing auroral bulges were observed by the IMAGE satellite and lots of backscatter echoes were obtained by the SuperDARN radars, which is a favorable condition for estimating the distribution of FACs in the vicinity of auroral bulge. We demonstrate how the procedure works in deriving the FAC system and discuss the closure of the substorm current system from the initial results.

## 地磁気急始に伴う中低緯度電離圏電場応答の磁気地方時依存性 MLT dependence of the response of ionospheric electric fields at mid-low latitude during geomagnetic sudden commencement

高橋 直子<sup>1\*</sup>, 笠羽 康正<sup>1</sup>, 新堀 淳樹<sup>5</sup>, 西村 幸敏<sup>2</sup>, 菊池 崇<sup>3</sup>, 長妻 努<sup>4</sup>

Naoko Takahashi<sup>1\*</sup>, Yasumasa Kasaba<sup>1</sup>, Atsuki Shinbori<sup>5</sup>, Yukitoshi Nishimura<sup>2</sup>, Takashi Kikuchi<sup>3</sup>, Tsutomu Nagatsuma<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻, <sup>2</sup> 京都大学生存圏研究所, <sup>3</sup> Department of Atmospheric and Oceanic Sciences University of California, Los Angeles, <sup>4</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>5</sup> 情報通信研究機構

<sup>1</sup> Dep. Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University, <sup>2</sup> Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University, <sup>3</sup> Department of Atmospheric and Oceanic Sciences University of California, Los Angeles, <sup>4</sup> Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, <sup>5</sup> National Institute of Information and Communications Technology

本研究は地球電離圏 磁気圏結合系において太陽風擾乱を起源とする大規模電場の伝搬過程を明らかにすることを目的として、低軌道衛星による電離圏電場データ解析を実行している。今回は台湾の ROCSAT-1 衛星による電離圏電場直接観測データを用いた、中低緯度における地磁気急始 (geomagnetic sudden commencement; SC) 時の電離圏電場の変動特性について報告する。

SC は太陽風擾乱による地球磁気圏の圧縮に伴い生成される電磁流体波の電離圏伝搬により発生し、Chapman-Ferraro 電流・沿磁力線電流・電離圏電流から構成される 3 次元電流系により説明できる [Araki, 1994]。これに伴う電場の電離圏全球瞬時伝搬が、HF Doppler 観測による電離圏電場 [Kikuchi, 1986] 及びあけぼの衛星観測によるプラズマ圏電場 [Shinbori et al., 2006] で知られている。プラズマ圏電場では上向きポインティングフラックスが Cluster 衛星により発見され、電離圏から極域磁気圏への電場伝搬の存在 [Nishimura et al., 2010] から、SC 時のプラズマ圏電場は電離圏電場起源であることが推定される。

ROCSAT-1 衛星は低高度電離圏電場を直接観測した稀有な衛星である。この衛星は高度 600km に軌道を持ち、観測期間 (1999/1/27 ~ 2004/6/16) が太陽活動極大期と重なるため、多数の SC を捉えている [Shinbori et al., 2009]。観測データからは、SC 発生時に Preliminary Impulse (PI)、Main Impulse (MI) に相当する電場変動が示されている [Su et al., to be submitted]。しかし地上磁場変動との同時性や電場変動の MLT 分布は調べられておらず、電場の侵入過程の理解にはこれらを明確にする必要がある。過去の研究では地上磁場から導出された電離圏電流を基に解析されてきたが、この場合磁気圏電流と電離圏電気伝導度の影響を含む。そこで電離圏電場の直接観測によりその影響を取り除き、SC 時の電離圏電場の時空間発展の解明を行う。

基となる観測データは ROCSAT-1 衛星に搭載された IPEI (Ionospheric Plasma and Electrodynamics Instrument) で捉えたドリフト速度であり、これを IGRF-10 磁場モデルと結合させて in-situ 電場を導出した。地磁気観測点は 1 秒分解能の測定があるキングサーモン、マガダン、パラツンカ、沖縄、ヤップ、サンルイス、サンタマリアの計 8 地点を採用した。データは Shinbori et al. (2009) で定めた SC イベントを基に、(1) IPEI が観測を行った 1999/3/11 ~ 2004/6/13 の期間で、(2) PI の振幅が昼間側磁気赤道域で 2nT 以上、かつ (3) Preliminary Reverse Impulse (PRI) が高緯度及び昼間側磁気赤道域で検出、の 3 条件で抽出した。

該当イベントは計 203 例あり、そのうち 44 例で地上磁場での SC 検出とほぼ同時に電離圏電場でオンセットが確認された。この全ての事例で、地上観測された PI や MI に対応する電離圏電場の変動、例えば昼/夜側で PI 電場方向が逆、といった特徴を見出すことができた。この結果は PRI 及び MI 電場が伝導電流に伴うポテンシャル場であり、それが全球に瞬時伝搬していることを示唆する。地磁気観測点と衛星の MLT が全く異なる場合でも電場と地磁気変動が同期していることから、SC 時の電離圏電場は MLT に依存せず瞬時伝搬すると考えられる。これは、あけぼの衛星による内部磁気圏電場の応答事例と同様である [Shinbori et al., 2006]。

これら比較的大規模で電場変動が良好にみられるイベントについて、Superposed Epoch Analysis による統計解析も行った。電場で比較的明確に PI が見られたイベントを抽出し、時刻基準は各電場データの PI のピーク時刻とした上で PI 電場の LT 分布を求めた。その結果、LT=6-21h では PRI が見られたのに対し LT=21-6h で Preliminary Positive Impulse (PPI) が見られ、HF Doppler 観測による先行研究 [Kikuchi et al., 1985] の結果との一致が確認できた。また電場直接観測では初めて evening enhancement が検出された。この結果は赤道域電離圏電場の日変化 [Fejer et al., 1991] と類似しており、磁気圏起源の電場の関与が推定される。

本研究では、SC 時の電離圏電場の直接観測により、地上磁場観測では分離が困難な磁気圏電流や電気伝導度の影響を受けずに PI・MI に対応する電場変動と MLT 依存性を明らかにした。これらの結果は赤道域電離圏電場が瞬時応答し、それが極域からの対流電場の侵入によることを示している。また evening enhancement の検出は SC 時の電場伝搬過程と日変化をもたらす電場に類似性があり、その形成過程に磁気圏からの侵入電場の影響があることを示唆している。

## Pc5、DP2の伝播特性による電離圏電流の同定 Ionospheric current identified by propagation characteristics of Pc5 and DP2

松下 拓輝<sup>1\*</sup>, 吉川 顕正<sup>1</sup>, 魚住 禎司<sup>2</sup>, 池田 昭大<sup>3</sup>  
Hiroki Matsushita<sup>1\*</sup>, Akimasa Yoshikawa<sup>1</sup>, Teiji Uozumi<sup>2</sup>, Akihiro Ikeda<sup>3</sup>

<sup>1</sup>九州大学大学院理学府, <sup>2</sup>国際宇宙天気科学・教育センター, <sup>3</sup>鹿児島工業高等専門学校

<sup>1</sup>Graduate School of Sciences, Kyushu University, <sup>2</sup>International Center for Space Weather Science and Education, <sup>3</sup>Kagoshima National College of Technology

It is well known that DP2 variation observed at the equator is a result of constructing of ionospheric current between polar regions and equator [Kikuchi et al., 1996]. Furthermore, Motoba et al., [2002] mentioned that global Pc5 can be caused by current systems similar to DP2 current system in Ionosphere. However, mechanism and propagation path of such global current especially between polar regions and equatorial ionosphere are not well known.

To clarify connection path of ionospheric current system between polar and equatorial ionosphere, we analyzed global distribution of ULF pulsations using MAGDAS/CPMN network [K. Yumoto et al., 2006 and 2007]. In this study, we especially focus on polarization, amplitude and LT dependence of ULF pulsations. The electric field data observed by HF radars are used for identification of Cowling effect at the dip-equator and dawn-dusk terminator.

## 長期 EISCAT データを用いた電離圏トラフの構造変動の研究 Multi-timescale statistical analysis of ionospheric trough with long-term EISCAT dataset

石田 哲朗<sup>1\*</sup>, 小川 泰信<sup>2</sup>, 門倉 昭<sup>2</sup>  
Tetsuro Ishida<sup>1\*</sup>, Yasunobu Ogawa<sup>2</sup>, Akira Kadokura<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>1</sup>The Graduate University for Advanced Studies, <sup>2</sup>National Institute of Polar Research

本研究の目的は、北極域電離圏のオーロラ帯/サブオーロラ帯トラフ(以下、トラフ)を統計的に解析し、トラフの基本構造を支配する背景の物理を明らかにすることである。

トラフは、電離圏内の電子密度が急激に減少する領域を指し、磁気圏のリングカレントと磁力線を介して結合していると考えられている。そのため、トラフの成因を明らかにすることで、電離圏のみならず、磁気圏 - 電離圏結合過程の研究に貢献することができる。さらに、トラフのエッジ付近で生じる急激な電子密度減少が、HF帯の電波伝搬やGPS衛星の測位精度に強い影響を与えることが指摘されているため、トラフの成因の理解は情報通信分野へ貢献することも期待される。

トラフの直接的な成因は、電離圏加熱に伴う解離再結合反応であると考えられている。しかし、様々な物理・化学過程がこの解離再結合反応を駆動させるため、これまでのイベント解析や短期間の統計解析ではトラフの特徴を因果関係も含めて理解することは極めて困難であった。そこで本研究では、国立極地研究所に整備された29年間(1983年~2011年)のEISCAT磁気子午面スキャンデータベースを利用して、これまで実現できなかった大規模な統計解析を実施し、様々な時間スケールでトラフの空間構造がどのように変動するかを調査している。これまでに得られたトラフの特徴は以下の通りである。

(1) 夜側のトラフはその季節も定常的に形成される一方で、昼側のトラフは太陽天頂角の違いで形成される経度帯が変化するため、その発生頻度に季節変化が現れる。

(2) Kp指数の上昇に伴い、トラフの馬蹄状の構造が pre-midnight に張り出しながら、低緯度側へシフトする。

(3) F10.7指数の上昇に伴い、トラフ周辺の電子密度は増え、トラフの溝は深くなる。

発表では、本研究で用いた解析手法と共に、上記のトラフの特徴とその成因について議論する。

キーワード: EISCAT, 電離圏, トラフ

Keywords: EISCAT, Ionosphere, Trough

## 電離圏カスプ域の数キロメートルスケールのプラズマ密度構造 Plasma density structure at scales of a few kilometers in the cusp

岡野 雄一<sup>1\*</sup>, 田口 聡<sup>1</sup>

Yuichi Okano<sup>1\*</sup>, Satoshi Taguchi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 電気通信大学

<sup>1</sup>UEC

電離圏には様々なスケールの密度構造が存在していることが知られているが、10km以下の構造については、最近のレーダーや全天カメラの高空間分解能観測でもその特性の同定が難しい。本研究では、そのようなスケールのプラズマ密度構造を対象として、それが成長するにはどのような条件が必要となるのか、どのような場所で多く発生するのかを衛星観測のデータの統計解析から明らかにした結果を報告する。Dynamics Explorer 2 衛星の Retarding potential analyzer のイオン密度観測装置からの16ミリ秒値のデータを主に解析した。これにより数キロメートルサイズの構造の特徴が同定可能である。背景のプラズマ密度プロファイルを知るために、このデータに加えて Langmuir Probe からの電子密度の0.5秒値を用いた。イオンの対流速度と電子温度のデータも併せて、衛星の20ヶ月の観測期間に対して昼間のローカルタイムを観測したイベントを解析した。背景のプラズマ密度に対して擾乱がどれほどの大きさの振幅をもつのかに焦点を置いた。

カスプに通常見られる速い対流の最大速度の緯度で擾乱の観測位置を規格化して統計解析を行い、振幅の平均的な大きさの空間分布を導出した。大きな振幅は、速いフローの緯度とその極側に広がって発生していることが明らかになった。低緯度側にはそのような擾乱はほとんど発生していなかった。また、振幅の大きさは、背景密度の勾配と電子温度と正の相関をもっていることも明らかになった。対流速度の大きさや速度勾配との関連性は同定できなかった。密度勾配との関連性は、gradient drift 不安定性から期待されるものであり、これまでに受け入れられている理解と矛盾はない。電子温度との関連性については、電子温度の高い領域とカスプ降下電子のフラックスの高い領域が概ね一致するため、温度そのものが重要なのか、電子の降下による電子密度の増大が実際に関わっているのかを明らかにする必要がある。電子密度プロファイルを詳細に調べた結果、増加の特徴は見られなかった。このことは、電子温度そのものがキロメートルスケールの密度構造の出現に重要であることを示している。

キーワード: カスプ, プラズマ密度構造, プラズマフロー, 電子温度

Keywords: cusp, plasma density structure, plasma flow, electron temperature



## トロムソにおけるGNSS受信機を用いたシンチレーション観測 Observation of GNSS scintillation in Tromso

伊藤 裕作<sup>1\*</sup>, 大塚 雄一<sup>1</sup>, 塩川 和夫<sup>1</sup>, 細川 敬祐<sup>2</sup>, 小川 泰信<sup>3</sup>  
Yusaku Ito<sup>1\*</sup>, Yuichi Otsuka<sup>1</sup>, Kazuo Shiokawa<sup>1</sup>, Keisuke Hosokawa<sup>2</sup>, Yasunobu Ogawa<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 名大 STE 研, <sup>2</sup> 電通大, <sup>3</sup> 極地研

<sup>1</sup>STEL, Nagoya Univ., <sup>2</sup>UEC, <sup>3</sup>NIPR

人工衛星から送信された電波は、電離圏中に生じたプラズマ密度不均一構造を通過することにより回折する。このため、地上で受信した信号は振幅及び位相の変動を伴う。この現象をシンチレーションという。現在、GPSをはじめとするGNSS(Global Navigation Satellite System)受信機が広く普及し電離圏観測においても有力な手段の一つとなっている。GNSS受信機で観測されるシンチレーションは数100m～数kmのスケールのイレギュラリティによるものである。

本研究では、2012年1月にノルウェーのトロムソ EISCAT(欧州非干渉散乱)レーダーサイトにGNSS受信機を1台設置した。L1、L2の2周波をサンプリング周波数50Hzにて受信し、振幅・位相シンチレーションや全電子数の連続観測を開始した。2012年9月11日からは受信機を2台追加し、3台での連続観測を開始した。3台の受信機をそれぞれ172m、242m、218m離して設置した。それぞれの受信機で得られた信号強度及び位相変動の相関から電離圏イレギュラリティのドリフト速度を測定することができる。

本講演では、GNSS受信機を用いたシンチレーション観測の概要と初期観測を示す。また、光学観測機器との同時観測によりシンチレーションがオーロラのどの部分で発生するのかを明らかにする。