

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^{1*}
Yasutaka Hiraki^{1*}

¹ 核融合科学研究所

¹National 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^{1*}, 坂野井 健¹, 鍵谷 将人¹, Ryan Swindle²
Hiroyuki Monji^{1*}, Takeshi Sakanoi¹, Masato Kagitani¹, Ryan Swindle²

¹ 東北大学 惑星プラズマ大気研究センター, ² ハワイ大学天文学研究所
¹PPARC, Tohoku Univ., ²Institute 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^{1*}, Fok Mei-Ching², Brandt Pontus³, 樋口 知之¹
Shin'ya Nakano^{1*}, Mei-Ching Fok², Pontus Brandt³, Tomoyuki Higuchi¹

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

¹The Institute of Statistical Mathematics, ²NASA Goddard Space Flight Center, ³The 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^{1*}, 関 華奈子¹, 西村 幸敏², 堀 智昭¹, 寺田 直樹³, Strangeway Robert J.⁴, McFadden James P.⁵

Naritoshi Kitamura^{1*}, Kanako Seki¹, Yukitoshi Nishimura², Tomoaki Hori¹, Naoki Terada³, Strangeway Robert J.⁴, McFadden James P.⁵

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

¹STEL, Nagoya University, ²Dept. of Atmos. and Oceanic Science, UCLA, ³Department of Geophysics, Tohoku University, ⁴Inst. of Geophys. and Planetary Phys., UCLA, ⁵Space 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^{1*}, 門倉 昭², 藤田 茂³, 田中 高史⁴, 行松 彰², 大谷 晋一⁵, 村田 健史⁷, 樋口 知之⁶

Satoko Saita^{1*}, Akira Kadokura², Shigeru Fujita³, Takashi Tanaka⁴, Akira Sessai Yukimatu², Shinichi Ohtani⁵, Ken T. Murata⁷, Tomoyuki Higuchi⁶

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

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

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ことが予想される。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^{1*}, 小山幸伸², 菊池崇³, 荒木徹⁸, 池田 昭大⁴, 魚住 禎司⁵, Roland Emerito S. Otadoy⁶, 歌田 久司⁷, 長妻 努⁹, 湯元 清文⁵

Atsuki Shinbori^{1*}, Koyama Yukinobu², Kikuchi Takashi³, Araki Tohru⁸, Akihiro Ikeda⁴, Teiji Uozumi⁵, Roland Emerito S. Otadoy⁶, Hisashi Utada⁷, Tsutomu Nagatsuma⁹, Kiyohumi Yumoto⁵

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

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

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^{1*}, 橋本 久美子², 西村 幸敏³, 海老原 祐輔⁴, 富澤 一郎⁴, 長妻 努⁵

Takashi Kikuchi^{1*}, Kumiko Hashimoto², Yukitoshi Nishimura³, Yusuke Ebihara⁴, Ichiro Tomizawa⁴, Tsutomu Nagatsuma⁵

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

¹Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, ²Kibi International University, ³Department of Atmospheric and Ocean Sciences, UCLA, ⁴Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University, ⁵Center for Space Science and Radio Engineering, University of Electro-Communications, ⁶National 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^{1*}, 行松 彰¹, 佐藤 夏雄¹, 堀 智昭², 吉川 顕正³, 才田 聡子⁴

Yoshimasa Tanaka^{1*}, Akira Sessai Yukimatu¹, Natsuo Sato¹, Tomoaki Hori², Akimasa Yoshikawa³, Satoko Saita⁴

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

¹National Institute of Polar Research, ²Solar Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, ³Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University, ⁴Transdisciplinary 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^{1*}, 塩川 和夫², 三好 由純²

Hiroyo Ohya^{1*}, Kazuo Shiokawa², Yoshizumi Miyoshi²

¹ 千葉大学大学院工学研究科, ² 名古屋大学太陽地球環境研究所

¹Graduate School of Engineering, Chiba University, ²Solar-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^{1*}

Akimasa Yoshikawa^{1*}

¹九州大学 国際宇宙天気科学・教育センター

¹International 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^{1*}, 菊池 崇², 富澤 一郎³, 長妻 努⁴

Kumiko Hashimoto^{1*}, Takashi Kikuchi², Ichiro Tomizawa³, Tsutomu Nagatsuma⁴

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

¹Kibi International University, ²Nagoya University, ³University of Electro-Communications, ⁴National 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^{1*}, 吉川 顕正¹, 魚住 禎司², 大谷 晋一³, 湯元 清文²
Shun Imajo^{1*}, Akimasa Yoshikawa¹, Teiji Uozumi², Shinichi Ohtani³, Kiyohumi Yumoto²

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

¹Earth and Planetary Sci., Kyushu Univ., ²ICSWSE, Kyushu Univ., ³APL, 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^{1*}, 元場 哲郎², 細川 敬祐³, 門倉 昭⁴, 田中 良昌⁵, 宮岡 宏⁶, 佐藤 夏雄⁷

Tohru Sakurai^{1*}, Tetsuo Motoba², Keisuke Hosokawa³, Akira Kadokura⁴, Yoshimasa Tanaka⁵, Hiroshi Miyaoka⁶, Natsuo Sato⁷

¹ 東海大学, ² ジョンホプキンス大学, ³ 電気通信大学, ⁴ 国立極地研究所, ⁵ 国立研究所, ⁶ 国立極地研究所, ⁷ 国立極地研究所
¹Tokai University, ²John Hopkins University Applied Physics Laboratory, ³University of Electro-Communications, ⁴National Institute Polar Research, ⁵National Institute Polar Research, ⁶National Institute Polar Research, ⁷National 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^{1*}, 崎戸 伸太郎², 田中 高史¹, 品川 裕之³, 村田 健史³

Masakazu Watanabe^{1*}, Shintaro Sakito², Takashi Tanaka¹, Hiroyuki Shinagawa³, Ken T. Murata³

¹九州大学, ²(株)クリック, ³情報通信研究機構

¹Kyushu University, ²CLICK Corporation, ³National 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 θ 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 α 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^{1*}, 田口 聡¹, 小川 泰信²
Keisuke Hosokawa^{1*}, Satoshi Taguchi¹, Yasunobu Ogawa²

¹ 電気通信大学大学院情報理工学研究所, ² 国立極地研究所

¹Graduate School of Informatics and Engineering, University of Electro-Communications, ²National 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^{1*}, 細川 敬祐¹, 小川 泰信²
Satoshi Taguchi^{1*}, Keisuke Hosokawa¹, Yasunobu Ogawa²

¹ 電気通信大学, ² 国立極地研究所

¹University of Electro-Communications, ²National 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