

## 3次元磁気リコネクションにおけるアウトフロー構造 Outflow structure of 3D magnetic reconnection

藤本 桂三<sup>1\*</sup>  
FUJIMOTO, Keizo<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 国立天文台理論研究部

<sup>1</sup>Division of Theoretical Astronomy, NAOJ

Magnetic reconnection is believed to be a key process in magnetospheric dynamics of the Earth, in particular, in magnetospheric substorms. Fast earthward flows are frequently observed in the near-Earth region of the magnetotail in association with substorms and are attributed to magnetic reconnection. The fast earthward flows are usually termed the bursty bulk flows (BBFs) and have a typical spatial scale in the y (GSM) direction with 2-3 Re (Re: Earth radii). The BBFs are considered to be the main transporter of the plasma momentum and energy in the magnetotail, and be responsible for the plasma heating at the depolarization fronts and aurora breakup in the polar ionosphere. However, the relation between the BBFs and magnetic reconnection is poorly understood yet. Main issue arises in the 3D characteristics. It is clear from the observations that the BBFs have a 3D structure, while the 3D dynamics of reconnection has not been revealed clearly, mainly because of the limitation of computer resources.

Since the BBFs have an MHD scale (much larger than the ion inertia length) in the y direction, the 3D MHD simulations have been carried out to investigate the generation mechanism in the course of magnetic reconnection. However, it has been suggested that the scale of the BBFs depends sensitively on the resistivity which is provided artificially at the x-line. Furthermore, for the case without the artificial resistivity, no BBFs arise in the system. These results from the MHD simulations imply that the BBF is an MHD-scale dynamics originated from kinetic physics, therefore the kinetic simulations are needed.

The 3D kinetic simulations of magnetic reconnection so far have focused on the dissipation mechanism at the x-line. Our previous particle-in-cell (PIC) simulations have found that the anomalous resistivity is generated due to a current sheet shear mode at the x-line and is enhanced significantly in association with plasmoid ejections. However, the system size in the y direction was only 10 ion inertia length in the previous simulations, so that the outflow structure was almost uniform along the y axis. The present study has challenged larger-scale PIC simulations in 3D with the help of the adaptive mesh refinement (AMR). The simulations are performed on the K, the state-of-the-art supercomputer of Japan. The system size is 40 ion inertia length in the y direction which is larger than the typical BBF scale. It is found that a larger-scale kink mode evolves around the x-line, in addition to the current sheet shear mode, and is enhanced due to plasmoid (flux lobe) ejections. As a result, the thin current layer becomes more turbulent in the present simulations. The plasmoid ejections are three dimensional and have a scale of 10-20 ion inertia length in y, corresponding to the wavelength of the large-scale kink mode. This scale is roughly consistent with the BBFs scale. The ion outflow jets are also three dimensional and are regulated by the kink mode. The present results from large-scale 3D PIC simulation suggest that the outflow structure of 3D reconnection is determined by the large-scale kink mode arising along the x-line, which wavelength is comparable with the BBFs observed frequently in the near-Earth magnetotail.

Keywords: magnetic reconnection, particle-in-cell simulation, 3D dynamics, turbulence, outflow jet

## 地球磁気圏近尾部プラズマシート中のリコネクションアウトフロー The Magnetic Reconnection Outflow in the Near-Earth Plasma Sheet

近藤 光志<sup>1\*</sup>  
KONDOH, Koji<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 愛媛大学宇宙進化研究センター  
<sup>1</sup> RCSCE, Ehime University

In the near-Earth plasma sheet, earthward fast plasma flows over several hundred km/s are observed by in-situ satellites. These plasma flows are suddenly decelerated by the dominant dipolar magnetic field at around 10 Re. The following tailward rebound flows are also observed by them. In this paper, we studied the three dimensional evolution of these earthward and tailward flows using MHD simulation and analyses of GEOTAIL observation data during from 1995 to 2005.

キーワード: 地球磁気圏近尾部, 磁気リコネクション, プラズマ流, バウンスフロー  
Keywords: Near Earth Plasma Sheet, Magnetic Reconnection, Plasma Flow, Bursty Bulk Flow, Bounce Flow

## 磁気流体シミュレーションで再現されたオーロラ爆発のエネルギー収支 Energy budget of the plasma sheet during auroral substorms

片岡 龍峰<sup>1\*</sup>; 田中 高史<sup>2</sup>; 藤田 茂<sup>3</sup>; 海老原 祐輔<sup>4</sup>  
KATAOKA, Ryuho<sup>1\*</sup>; TANAKA, Takashi<sup>2</sup>; FUJITA, Shigeru<sup>3</sup>; EBIHARA, Yusuke<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 国立極地研究所, <sup>2</sup> 九州大学, <sup>3</sup> 気象大学校, <sup>4</sup> 京都大学

<sup>1</sup>National Institute of Polar Research, <sup>2</sup>Kyushu University, <sup>3</sup>Meteorological College, <sup>4</sup>Kyoto University

Where is the magnetic energy for the expansion phase of auroral substorms accumulated? This question was raised by Akasofu (2013), and it was concluded that the magnetic energy must be accumulated in the plasma sheet within a distance of 10 Re to meet the large total energy consumption by the ionosphere. Many different features of substorms are reasonably reproduced by the new global MHD simulation (Tanaka et al., 2010), where high-pressure regions such as cusps and inner plasma sheet are essentially important to maintain the enhanced Region1 and Region2 field-aligned current systems. Both magnetic energy and thermal energy are therefore important to understand the energy budget during the substorm, and that is the motivation of the present study. The purpose of this paper is to evaluate the energy budget of the plasma sheet in a simulated substorm. Magnetic energy and thermal energy of the plasma sheet, as well as the energy consumption by the ionosphere are evaluated. Possible important role of dipolarization in the energy conversion is also discussed.

Using the global MHD simulation, it is found that magnetic energy release rate and thermal energy accumulation rate are balanced in the plasma sheet during the early expansion phase of the simulated substorm. Around the peak of the expansion phase, energy release rate in the plasma sheet does not meet the energy consumption rate in the ionosphere. External energy source from outside of the plasma sheet is needed to maintain the high auroral activity. The  $J \times B$  force of the dipolarization does the work to increase the thermal energy inside. This is how the accumulated magnetic energy within a distance of 10 Re is converted into the thermal energy during the early expansion. The increase of the thermal energy is the source of enhanced Region-2 field-aligned current system. Region1 field-aligned current must be supplied from outside of the plasma sheet to maintain the high auroral activity in the ionosphere. The dynamo of Region1 is slow-mode expansion in the cusp-mantle region. The enhanced conductivity plays the essential role to introduce the large Region 1 field aligned current because the dynamo has the nature of voltage-generator.

キーワード: サブストーム, プラズマシート, オーロラ, 磁気流体力学  
Keywords: Substorm, plasma sheet, aurora, Magnetohydrodynamics

## AE および Dst の出現強度分布と太陽風パラメータ Intensity distribution of AE and Dst and its relation to solar wind parameters

森岡 昭<sup>1\*</sup>; 三好 由純<sup>2</sup>; 能勢 正仁<sup>3</sup>  
MORIOKA, Akira<sup>1\*</sup>; MIYOSHI, Yoshizumi<sup>2</sup>; NOSE, Masahito<sup>3</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> 名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>3</sup> 京都大学地磁気世界資料解析センター  
<sup>1</sup>PPARC, Tohoku University, <sup>2</sup>STEL, Nagoya University, <sup>3</sup>WDC for Geomag, Kyoto University

Storm-substorm relationship and related solar wind-magnetosphere coupling process are studied on the basis of statistical analyses of AE, Dst, epsilon parameter and Em using OMNI data base from 1995 to 2013 and Wp index data from 2005. The statistical relationship between AE and Dst is examined to clarify the difference between CME storm and CIR storm. The intensity distribution of AE and Dst for a year is compared with that of epsilon and Em parameters in the solar wind.

The obtained major results are,

- 1). Relationship between AE at substorm and Dst is rather linear.
- 2). AE vs Dst relationship at CIR storm is different from that at CME storm.
- 3). Intensity distribution of AE and Dst for a year shows the exponential distribution.
- 4). Intensity distribution of epsilon parameter for a year shows the power law distribution.
- 5). Intensity distribution of Em for a year shows the exponential distribution.
- 6). The results 3) to 5) suggest that magnetospheric disturbances are mainly controlled by the solar wind electric field rather than by solar wind Poynting flux.

キーワード: サブストーム, 磁気嵐, 太陽風相互作用

Keywords: substorm, magnetic storm, solar wind interaction

## シータオーロラの形成について Possible Formation Scenario of Transpolar Aurora

小原 隆博<sup>1\*</sup>; 田中 高史<sup>2</sup>; 佐川 永一<sup>3</sup>  
OBARA, Takahiro<sup>1\*</sup>; TANAKA, Takashi<sup>2</sup>; SAGAWA, Eiichi<sup>3</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> 九州大学, <sup>3</sup> 情報通信研究機構

<sup>1</sup>Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, Tohoku University, <sup>2</sup>Kyushu University, <sup>3</sup>National Institute of Information Communications Technology

There might be two types of transpolar auroras, they say. 1) One type of the transpolar aurora appears in the pole ward edge of electron precipitations, which expanded from dawn side aurora oval or dusk side aurora oval depending on the IMF by polarity, as mentioned by Makita et al. (1991). The evidences were inferred from the satellite particle data together with aurora images taken by the low altitude polar satellites. This type of transpolar aurora, which is associated with relatively intense electron precipitations near the pole ward boundary, tends to become much more luminous, forming so-called theta aurora. 2) Another type of transpolar aurora is theta aurora, which appears under the conditions of strong northward IMF. This type of theta aurora is caused by a sign change of IMF  $B_y$ . (Tanaka et al, 2004) This transition includes a lobe field line replacement from old IMF originating fields to new IMF originating fields, rotation of plasma sheet to the opposite inclination, and reformation of ionospheric convection cell. In the midst of the reconfiguration, old and new convection systems must coexist in the magnetosphere-ionosphere system and the polar cap and tail lobes are continuously encroached by the new open field lines connected to the new IMF. Whereas magnetic field lines accumulated in new lobes tend to rotate the outer plasma sheet in the opposite direction, the old merging-cell convection still continues to generate closed field lines that must return to dayside against the new lobe formation. The growth of new lobes results in the blocking of the return path toward the dayside of closed field lines generated in the old merging cell to form the kink structure in the plasma sheet. Losing their return path, these closed field lines generated from old lobes accumulate on the nightside. The theta, then, appears at the foot points of these accumulated closed field lines. We have joined NASA IMAGE project, receiving real time telemetry data over Japan from 2000 to 2005. By investigating IMAGE data, we confirmed that two different processes actually exist. In the talk, we like to report our examination and discuss on the relationship between above mentioned two types of transpolar auroras.

キーワード: シータオーロラ, IMAGE 衛星, MHD シミュレーション  
Keywords: Theta Aurora, IMAGE satellite, MHD simulation

## 極冠パッチと共存する極冠アークの発生 Coexistence of a polar cap arc and a polar cap patch

坂井 純<sup>1\*</sup>; 細川 敬祐<sup>2</sup>; 田口 聡<sup>3</sup>; 小川 泰信<sup>4</sup>  
SAKAI, Jun<sup>1\*</sup>; HOSOKAWA, Keisuke<sup>2</sup>; TAGUCHI, Satoshi<sup>3</sup>; OGAWA, Yasunobu<sup>4</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> 電気通信大学大学院情報理工学研究科, <sup>3</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学教室, <sup>4</sup> 国立極地研究所

<sup>1</sup>Center for Space Science and Radio Engineering, University of Electro-communications, <sup>2</sup>Department of Communication Engineering and Informatics, University of Electro-Communications, <sup>3</sup>Department of Geophysics, Graduate School of Science, Kyoto University, <sup>4</sup>National Institute of Polar Research

極冠パッチの後縁に寄り添った極冠アークをスバルバルのロングイヤービエンに設置された全天イメージャ (ASI) で2014年12月23日に観測した。極冠パッチは惑星間空間磁場 (IMF) が南向きの場合に発生すること、また極冠アークは IMF が北向きの場合に発生することが知られている。さらに、IMF が南向きから北向きに反転した場合には極冠パッチと極冠アークが同時に出現することが知られている。パッチとアークの同時出現についてこれまでの観測例では、両者は互いに遠く離れてはいない (すなわち、両者ともに観測機器の視野内にある) もの、両者の位置には隔たりがあったことが知られている。それに対して、今回報告する観測例ではパッチとアークは近接していた。波長 630.0 nm の光の全天画像には、パッチがオーロラオーバルに進入する直前にパッチの後縁の輝度が突然上昇したことが記録されている。これらの画像はパッチのエッジに沿って細長い帯状のオーロラ発光があったことを示している。スバルバル・ダイナゾンデ (イオノゾンデ) の F 層臨界周波数 (foF2) 観測値から導出した F 層の最大電子密度 (NmF2) の時間変化は、天頂における 630.0 nm 光輝度の時間変化とよく一致しており、これは ASI で観測したパッチ状の像は確かにプラズマのパッチだったことを示している。また、ASI で観測した 557.7 nm 光輝度データは、パッチのエッジに沿った明るいアーク状の像がオーロラ発光によるものであることを示唆している。ACE 衛星による IMF 観測によると、このイベントの1時間前に IMF が南向きから北向きに反転していたことがわかっている。さらに、アークが現れたのとはほぼ同じ時刻に F 層ドリフト速度の東西成分が反転したことがスバルバル・ダイナゾンデで観測されており、観測域の F 層に東西方向の速度シアが存在したことを示唆している。このことも、観測した明るいアークが確かにオーロラアークであったことを示している。このイベントの特異性は、これまで良く知られている南北に伸びた極冠アークとは異なり、アークが東西に伸びている点である。これらの観測事実をもとに、このアークの発生源についての考察を行う。

キーワード: 極冠パッチ, 極冠アーク, 極域電離圏, 磁気圏, アーク起源

Keywords: polar cap patch, polar cap arc, polar ionosphere, magnetosphere, arc origin

## 地磁気脈動 Pi2 : 伝搬性ループ電流が作る偏波分布 Substorm Pi2 pulsations: Polarization patterns caused by azimuthal propagation of ionospheric loop currents

坂 翁介<sup>1\*</sup>  
SAKA, Osuke<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> オフィス ジオフィジク  
<sup>1</sup> Office Geophysik

夜側オーロラ帯から中緯度に広がる Pi2 脈動の偏波特性（回転方向、主軸の向き）の分布の詳しい結果は Samson and Harrold によって 1983 年に公表された。Pi2 偏波分布はサブストームを背景にもつため複雑になる。

この複雑に見える偏波地図も一旦視点を変えてみるとその複雑さが消えてしまう事を報告する。さらに、この偏波地図から Pi2 に関する磁気圏エネルギー源やその振動モードに関する豊富な情報が得られることも報告する。

### References:

Samson, J.C., and B. G. Harrold (1983), Maps of the polarizations of high latitude Pi2's, J.Geophys.Res., 88, 5736-5744.

キーワード: 地磁気脈動 Pi2, オーロラ帯ループ電流  
Keywords: Pi2 pulsation, Loop currents in auroral zone



## 地上及び磁気圏に於ける P i 磁気波動とサブストームの発達 Comparisons of Pi pulsations and substorm developments observed on the ground and in the near-earth magnetotail

櫻井 亨<sup>1\*</sup>; 門倉 昭<sup>2</sup>; 田中 良昌<sup>2</sup>; 佐藤 夏雄<sup>2</sup>

SAKURAI, Tohru<sup>1\*</sup>; KADOKURA, Akira<sup>2</sup>; TANAKA, Yoshimasa<sup>2</sup>; SATO, Natsuo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東海大学, <sup>2</sup> 国立極地研究所

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

We present unique results of recent work for comparisons of Pi pulsations and their relation to substorm developments observed on the ground and in the night-side magnetotail. The observations of Pi pulsations and aurora on the ground and of the magnetic field oscillations at the geosynchronous orbit and in the near-earth magnetotail are examined in detail. The expansion onset of a substorm examined was registered at 0512 UT on 4th April 2009. Pi pulsations appeared to oscillate from 0502 UT about 10 minutes earlier than the expansion onset. The Pi pulsations initiated with a small amplitude oscillation in association with faint appearance of auroral luminosity oscillations concurrently to the Pi 2 oscillations. The auroral luminosity oscillations became clear from 0506 UT in association with the clear appearance of the Pi 2 oscillations, particularly in the magnetic field D component oscillations. The large amplitude Pi 2 oscillations began to appear suddenly from 0509 UT accompanied with a slight poleward movement of the auroral activity, and then the aurora began to move suddenly poleward from 0512 UT with the auroral luminosity enhancement, which is the expansion onset. For about 3 minutes after the expansion onset the aurora continued to activate at the poleward site. Then the aurora became weak and moved gradually to the lower latitude side from 0515 UT, but the Pi 2 oscillations still continued to oscillate. During this substorm activity Pi 2 oscillations were clearly observed simultaneously at the geosynchronous orbit by GOES 11 and GOES 12 in the pre and post midnight sector, respectively, which provided very interesting oscillation signatures, i.e., the antiphase oscillations in the horizontal components of the magnetic field, implying that the polarization of the magnetic field horizontal components was opposite each other, suggesting the opposite flow direction of the field-aligned currents (FACs), that is upward and downward in the pre and postmidnight sector. Thus these observations at the synchronous orbit represent clear evidence of Pi 2 oscillations as substorm current wedge FAC oscillations. While, the observations by the THEMIS satellites located in the near-earth magnetotail at the radial distance from - 10 Re to - 13 Re provided a very important indication concerning to the growth of Pi oscillations and substorm processes in the near-earth magnetotail. For the most earthward satellite, THEMIS A (THA) observed small amplitude magnetic field perturbations from 0505 UT almost simultaneous to the clear appearance of the Pi 2 oscillations on the ground and at the geosynchronous orbit, and then the magnetic field perturbations became to oscillate gradually in the amplitude, which continued until 0513UT, when the dipolarization signature appeared at this site. While, the THEMIS E (THE) satellite located a little tailward nearest to the THA observed the gradual increase of the magnetic field intensity from 0504 UT and then observed the field decrease from 0507 UT associated with the plasma pressure increase. The dipolarization and associated plasma depression appeared at 0512UT. Thus, the dipolarizations observed at the THEMIS satellites was almost coincident to the expansion onset on the ground. These are summaries in this work, which indicate the close relation between Pi oscillations observed on the ground and substorm processes in the ionosphere, at the synchronous orbit and in the near-earth magnetotail.

キーワード: P i 磁気波動, サブストーム, 磁気圏

Keywords: Pi oscillations, substorm, magnetosphere



## サブストーム回復相のオーロラパッチ中に現れる下部熱圏風速変動 Lower-thermospheric wind variations in auroral patches at the substorm recovery phase

大山 伸一郎<sup>1\*</sup>; 塩川 和夫<sup>1</sup>; 三好 由純<sup>1</sup>; 細川 敬祐<sup>2</sup>; Brenton J. Watkins<sup>3</sup>; 栗原 純一<sup>4</sup>; 津田 卓雄<sup>2</sup>  
OYAMA, Shin-ichiro<sup>1\*</sup>; SHIOKAWA, Kazuo<sup>1</sup>; MIYOSHI, Yoshizumi<sup>1</sup>; HOSOKAWA, Keisuke<sup>2</sup>;  
WATKINS, Brenton J.<sup>3</sup>; KURIHARA, Junichi<sup>4</sup>; TSUDA, Takuo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>2</sup>電気通信大学情報理工学部, <sup>3</sup>Geophysical Institute, University of Alaska Fairbanks, <sup>4</sup>北海道大学大学院理学院宇宙理学専攻

<sup>1</sup>Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, <sup>2</sup>Department of Information and Communication Engineering, University of Electro-Communications, <sup>3</sup>Geophysical Institute, University of Alaska Fairbanks, <sup>4</sup>Department of CosmoSciences, Graduate School of Science, Hokkaido University

ノルウェー・トロムソに設置したファブリペロー干渉計 (FPI; 557.7 nm) で下部熱圏風速を測定したところ、サブストーム回復相にオーロラパッチが出現するのに連動し、一晩の中で最大振幅の風速変動がとらえられた。サブストームの時間発展における磁気圏でのプラズマエネルギーの蓄積と放出過程 (即ち、成長相にプラズマシート付近に蓄積されたエネルギーの主要部分が短時間の拡大相に放出) を考えると、活動後期の回復相に風速変動が最大になることは興味深い結果であり、磁気圏と極域超高層大気におけるエネルギー輸送過程と散逸過程を理解する上で、本現象の理解は非常に重要であると言える。

本研究では太陽風・地磁気・オーロラ画像・FPI 風速データを用いたサブストーム回復相の磁気圏-電離圏-熱圏結合の総合解析を初めて詳細に実施している。今回は2010年11月から2012年1月までの5イベントを取り上げ、特にオーロラ形態と風速変動領域との関係に着目することで、全てのイベントにおいて以下3点の特徴を見出した: (1) 風速変動はオーロラパッチの縁あるいは周辺より暗い部分に孤立して現れ、その振幅は鉛直風で最大20 m/s程度、時間スケールは約10分以下である、(2) 電離圏対流電場は15 mV/mよりも小さい、(3) 脈動オーロラを伴う。これらの事実から風速変動を発生させるエネルギー散逸もパッチ状に局在していると考えられる。対流電場が小さいため、大気の加速機構としてジュール加熱やローレンツ力は考えにくい。これはサブストーム成長相や拡大相における風速変動の発生機構と異なる特徴である。風速変動がパッチの暗い部分に集中していることから粒子加熱も主要な発生機構とは考えられない。何かしら他の物理機構が主要な役割を担うと想像されるが、まだ特定には至っていない。

キーワード: オーロラ, サブストーム, ファブリペロー干渉計, 電離圏, 熱圏, 極域

Keywords: aurora, substorm, Fabry-Perot interferometer, ionosphere, thermosphere, polar region

## 脈動オーロラの準周期的空間変調 Quasi-periodic spatial modulation of pulsating aurora

福田 陽子<sup>1\*</sup>; 片岡 龍峰<sup>2</sup>; 三好 由純<sup>3</sup>; 加藤 雄人<sup>4</sup>; 西山 尚典<sup>2</sup>; 塩川 和夫<sup>3</sup>; 海老原 祐輔<sup>5</sup>;  
ドナルド ハンプトン<sup>6</sup>; 岩上 直幹<sup>1</sup>

FUKUDA, Yoko<sup>1\*</sup>; KATAOKA, Ryuhō<sup>2</sup>; MIYOSHI, Yoshizumi<sup>3</sup>; KATOH, Yuto<sup>4</sup>; NISHIYAMA, Takanori<sup>2</sup>;  
SHIOKAWA, Kazuo<sup>3</sup>; EBIHARA, Yusuke<sup>5</sup>; DONALD, Hampton<sup>6</sup>; IWAGAMI, Naomoto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東大・理・地惑, <sup>2</sup> 国立極地研究所, <sup>3</sup> 名大・STE研, <sup>4</sup> 東北大・理・地球物理学, <sup>5</sup> 京大・生存圏, <sup>6</sup> アラスカ大・フェアバンクス

<sup>1</sup>Earth & Planet. Sci., The Univ. of Tokyo, <sup>2</sup>NIPR, <sup>3</sup>Nagoya Univ., STEL, <sup>4</sup>Dept. of Geophys., Tohoku Univ., <sup>5</sup>Kyoto Univ., RISH, <sup>6</sup>GI, Univ. of Alaska Fairbanks

A quasi-periodic intensity modulation of pulsating auroras has been considered to be formed by pitch-angle scattered electrons with whistler-mode chorus waves, because the intensity modulation is consistent with the time scale of chorus elements. A 2-D simulation study showed the latitudinal displacement of chorus elements from the magnetic field line, and the Cluster satellites observed oblique propagations of chorus waves close to the equator. These oblique chorus waves may be seen as the quasi-periodic spatial modulations of the pulsating aurora in the ionosphere. The purpose of this study is to examine the oblique propagation of chorus elements as a possible mechanism of the spatial modulations of the pulsating aurora. We used data obtained by a highly sensitive sCMOS camera installed at Poker Flat Research Range (PFRR) in Alaska from February to April 2014. The imaging sensor of 2048 x 2048 pixels and the narrow field of view of 15 x 15 degrees enable us to identify the smallest auroral structure ever observed. The field of view approximately corresponds to 27 km x 27 km at 100 km altitude, and the spatial resolution is ~52 m when 4 by 4 binning is used. From the initial analysis of a magnetic storm event on February 19, 2014, we found several events of spatial variations of small-scale (5 km across on average) elongated patches during the ON-phase of the main pulsating patch. The typical propagation speed of the small elongated patches is an order of 50 km/s at the 100 km altitude, which corresponds to an order of 1000 km/s in the magnetosphere. In the presentation we add some more storm events to show statistical results of the propagation directions and the speed, the scale-size, and the periodicity of small-scale pulsating auroral patches to compare with the simulated results of chorus wave-electron interactions which may form the spatial variations of pulsating patches in the ionosphere.

## 広視野偏光分光観測によるオーロラ発光の偏光特性 Characteristics of polarization in auroral emissions based on wide-field polarization spectroscopic observation

高崎 慎平<sup>1</sup>; 坂野井 健<sup>1\*</sup>; 鍵谷 将人<sup>1</sup>  
TAKASAKI, Shimpei<sup>1</sup>; SAKANOI, Takeshi<sup>1\*</sup>; KAGITANI, Masato<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科

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

近年のオーロラ偏光観測から、630nm 発光が最大で 17 % 偏光する可能性が示唆されている (Bommier et al., 2011)。しかし、その特性や他の波長のオーロラ偏光はよくわかっていない。本研究では、630nm オーロラに加えて、557.7nm オーロラの直線偏光を世界で初めて同時測定し、磁気子午線に沿った偏光の仰角分布を長期間にわたって捉えることを目的とし、広視野偏光分光器と、大気散乱による偏光を定量的に校正可能な変光望遠鏡を新たに開発した。

この広視野偏光分光器は、魚眼レンズ、回転ステージに装着したワイヤーグリッド型直線偏光子、VPH 透過型回折格子ならびに EMCCD 検出器から構成され、450nm から 710nm の波長範囲で波長分解能 2.0nm、視野角 130 度を有する。オーロラ偏光を 1% 以下の高精度を測定するための鍵となるのは器械偏光の校正である。このために、既知の偏光状態を持つ光を視野 130 度内で 3 度毎に入射し、偏光子を回転させながら強度変化を測定する装置と解析方法を確立した。

観測は、2014 年の 11 月から 12 月にかけてアラスカ・ポーカーフラットにおいて行われた。一晩を通じてオーロラの活動が活発だった 2014 年 11 月 20 日晩の解析結果から、630nm オーロラの直線偏光度は磁気子午線に沿った磁北側の低仰角 (~10 度) で 8% と大きい値を取り、仰角が上がるにつれて仰角 ~80 度で 1 % 程度まで減少し、磁気天頂付近から磁南側の低仰角側で再度偏光度が上昇していくといった仰角依存性が確認された。その傾向は他の観測日でも確認された。一方で、理論的に偏光していないとされる 557.7nm オーロラについても、オーロラ活動が活発な場合では平均的に 10% 以上の直線偏光を示す観測結果が得られた。

さらに、降り込み電子の平均エネルギーに対する直線偏光度の対応を捉えるために、磁気天頂付近における 557.7nm と 630nm の発光強度比と直線偏光度の関係性を調べた。その結果、630nm オーロラの直線偏光度は 630nm 発光強度の割合が大きくなるにつれて、つまり低エネルギーの降り込み電子の割合が大きくなるにつれて、1% 程度大きくなることが確認できた。この関係性にはばらつきが大きく、降下電子エネルギー以外の他の要因 (ピッチ各分布等) を今後の研究では考慮する必要がある。

キーワード: オーロラ, 偏光, 装置開発

Keywords: aurora, polarization, development

## 無人システムを利用したオーロラ現象の南極広域ネットワーク観測 Antarctic large area network observation of auroral phenomena using unmanned system

門倉 昭<sup>1\*</sup>; 山岸 久雄<sup>1</sup>; 岡田 雅樹<sup>1</sup>; 小川 泰信<sup>1</sup>; 田中 良昌<sup>1</sup>; 元場 哲郎<sup>2</sup>; 細川 敬祐<sup>3</sup>; 才田 聡子<sup>4</sup>;  
三好 由純<sup>5</sup>; 行松 彰<sup>1</sup>; 宮岡 宏<sup>1</sup>; 片岡 龍峰<sup>1</sup>  
KADOKURA, Akira<sup>1\*</sup>; YAMAGISHI, Hisao<sup>1</sup>; OKADA, Masaki<sup>1</sup>; OGAWA, Yasunobu<sup>1</sup>; TANAKA, Yoshimasa<sup>1</sup>;  
MOTOBA, Tetsuo<sup>2</sup>; HOSOKAWA, Keisuke<sup>3</sup>; SAITA, Satoko<sup>4</sup>; MIYOSHI, Yoshizumi<sup>5</sup>;  
YUKIMATU, Akira sessai<sup>1</sup>; MIYAOKA, Hiroshi<sup>1</sup>; KATAOKA, Ryuho<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 国立極地研究所, <sup>2</sup> ジョンズホプキンス大学・応用物理学研究所, <sup>3</sup> 電気通信大学大学院情報理工学研究所, <sup>4</sup> 北九州工業高等専門学校, <sup>5</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所

<sup>1</sup>National Institute of Polar Research, <sup>2</sup>Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory, <sup>3</sup>Department of Communication Engineering and Informatics, University of Electro-Communications, <sup>4</sup>National Institute of Technology, Kitakyushu College, <sup>5</sup>Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University

国立極地研究所(極地研)の宙空圏研究グループは、平成28年度(2016年度)から始まる次期南極観測計画期間中に、無人観測システムを利用した、オーロラ現象の地上ネットワーク観測を計画している。本講演では、その計画の概要を紹介を行う。

同グループは、これまで、昭和基地周辺の磁気緯度66度~72度、磁気経度60度~85度の領域内の8か所に無人磁力計網を展開してきている。内陸のドームふじ基地までのルート沿いの3か所(みずほ、中継拠点、ドームふじ)には、英国調査所(British Antarctic Survey (BAS))が開発した無人磁力計が、沿岸域の5か所(アムンゼン湾、H68、インホブデ、スカーレン、セールロンダーネ)には、極地研が開発した衛星通信機能を備えた無人磁力計が、それぞれ設置され、3成分フラックスゲート磁力計による1秒値通年連続観測が行われている。現在実施中の第VIII期南極観測計画では、新たに、磁力計に加えオーロラ全天カメラとGNSS/TEC観測機も備えた「無人オーロラ観測装置」の開発が行われており、2015年度には1式を、昭和基地から約300km東に位置するマラジョージナヤに設置する予定である。次期の第IX期南極観測計画では、新たに無人オーロラ観測装置1式を、昭和基地から約800km西に位置するセールロンダーネ地域に設置し、さらにその西側に位置するインドのマイトリ基地や南アフリカのサナエ基地とも共同して、磁気緯度62度~72度、磁気経度45度~85度の範囲のオーロラ帯からサブオーロラ帯までに及ぶ領域において、オーロラ現象の広域ネットワーク観測を行うことを計画している。このような観測点網により、以下のような目的の観測を行う:

### 1. サブストームオンセットメカニズムの解明:

オンセット領域の周囲にオンセット前後に現れる現象の時間・空間変化を1秒精度で観測し、ERG衛星など磁気圏衛星との同時観測により、オンセットメカニズムの解明を目指す。具体的には以下のような課題に解答を与えるデータを得ることを目的とする。(1) 高緯度側からのstreamerは本当にオンセットに関係しているのか?(2) オンセット直前のbeads構造はオンセットに本質的なものか?(3) オンセット領域の局在化はどのように進行するのか?

### 2. オーロラ現象の共役性の時間空間変動の解明:

南北両極域での同時観測により、太陽風変動や磁気圏電離圏現象に伴う磁気圏構造の時間空間変化の解明を目指す。特に以下の課題に着目する。(1) サブストーム発達に伴う急激な磁気圏構造変化に対応した共役点位置やオーロラ形態の共役性の変化

### 3. サブストーム時、ストーム時に発生する波動-粒子相互作用過程の解明:

オーロラ、磁場、銀河雑音電波吸収(CNA)、VLF波動、ULF波動の同時観測により、粒子降下と波動現象に見られる相関関係とその時間空間変化の解明を目指す。特に以下の課題に着目する。(1) オンセット時のPi2やPi1周期の磁場変動と粒子降下変動との関係、(2) サブストーム時のインジェクションと、NSオーロラ、脈動オーロラ、Pi1C波動、VLF波動発達との関係、(3) ストーム時のリングカレントや放射線帯の変動と、オーロラ粒子降下、高エネルギー粒子降下、VLF波動、ULF波動の発達との関係。

キーワード: 無人観測, 広域ネットワーク, オーロラ現象, 共役性

Keywords: unmanned observation, large area network, auroral phenomena, conjugacy



## 磁気嵐時の高エネルギーイオンの位相空間密度特性 Properties of energetic ion PSD during magnetic storms observed by Van Allen Probes

三谷 憲司<sup>1\*</sup>; 関 華奈子<sup>1</sup>; 桂華 邦裕<sup>1</sup>; ランツツェロツティ ルイス<sup>2</sup>; ギオリドウ マティナー<sup>3</sup>;  
ミシェル ドナルド<sup>3</sup>; ケルツィング クレイグ<sup>4</sup>  
MITANI, Kenji<sup>1\*</sup>; SEKI, Kanako<sup>1</sup>; KEIKA, Kunihiro<sup>1</sup>; LANZEROTTI, Louis J.<sup>2</sup>; GKIOULIDOU, Matina<sup>3</sup>;  
MITCHELL, Donald G.<sup>3</sup>; KLETZING, Craig A.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>名古屋大学 太陽地球環境研究所, <sup>2</sup>ニュージャージー工科大学, <sup>3</sup>ジョンズ・ホプキンス大学 応用物理研究所, <sup>4</sup>アイオワ大学 天文・物理学科

<sup>1</sup>Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, Japan, <sup>2</sup>New Jersey Institute of Technology, USA., <sup>3</sup>Applied Physics Laboratory, Johns Hopkins University, USA., <sup>4</sup>Department of Physics and Astronomy, University of Iowa, USA.

It is observationally known that the contribution of O<sup>+</sup> ions to the ring current increases with increasing size of magnetic storms, while H<sup>+</sup> is the main component of the ring current ions during small storms. Ion injection from the magnetotail caused by substorms is considered as one of the principal mechanisms that supply energetic ions to the ring current region. However, the dependence of the ion injection properties on ion species (such as the depth of ion injection into the inner magnetosphere) is far from well understood as is the role of injection itself. To characterize the ion supply to the ring current during magnetic storms, we investigate in this study the properties of energetic H<sup>+</sup> and O<sup>+</sup> phase space densities (PSDs) during geomagnetic substorms observed by the Van Allen Probes mission. We examine substorms that occurred during the periods of April 23, 2013 to April 28, 2013, April 29, 2013 to May 5, 2013, and March 15, 2013 to March 20, 2013. Using energetic ion (greater than 50 keV) and magnetic field data obtained by the RBSPICE and EMFISIS instruments onboard Van Allen Probes, we study the temporal variations of H<sup>+</sup> and O<sup>+</sup> PSD spatial distributions and compare their properties during each of the substorm events.

We calculated the first adiabatic invariant,  $\mu$ , and PSD for ions within a pitch angle range from 70 to 110 degrees. PSDs for specific  $\mu$  values ( $\mu = 0.3, 0.5$  and  $1.0$  keV/nT) were obtained as a function of L for each ion species for each orbit of Van Allen Probes during each substorm. We identified a sudden increase in each PSD spatial distribution as an injection boundary. The results for the period of April 23-28, 2013 show that both H<sup>+</sup> and O<sup>+</sup> ions penetrated directly down to  $L < 5$  during the main phase of the magnetic storm (minimum Dst greater than  $-65$  nT). The penetration boundary of H<sup>+</sup> ions was located at smaller L at dusk than at dawn. We also find that H<sup>+</sup> ions with smaller  $\mu$  values ( $\mu = 0.3$  and  $0.5$  keV/nT) penetrated earlier than those with larger  $\mu$  values ( $\mu = 1.0$  keV/nT). In contrast, the timing of O<sup>+</sup> penetrations is almost the same for all O<sup>+</sup> ions regardless of the  $\mu$  values. The results also show that O<sup>+</sup> ions penetrated more deeply in L and earlier in time than do the H<sup>+</sup> ions. These results taken together suggest that the source of the injected O<sup>+</sup> ions is located closer to Earth than that of the protons (the inner edge of the plasma sheet) and therefore suggest the importance of the contribution of subauroral O<sup>+</sup> ions to the storm-time ring current.

## Van Allen Probes 衛星を用いた磁気音波波動の統計解析 Statistical analysis of magnetosonic waves from the Van Allen Probes data

野村 浩司<sup>1\*</sup>; 三好 由純<sup>1</sup>; 桂華 邦裕<sup>1</sup>; 小路 真史<sup>1</sup>; 北村 成寿<sup>1</sup>; 栗田 怜<sup>1</sup>; 町田 忍<sup>1</sup>;  
Santolik Ondrej<sup>2</sup>; Kletzing Craig<sup>3</sup>  
NOMURA, Koji<sup>1\*</sup>; MIYOSHI, Yoshizumi<sup>1</sup>; KEIKA, Kunihiro<sup>1</sup>; SHOJI, Masafumi<sup>1</sup>; KITAMURA, Naritoshi<sup>1</sup>;  
KURITA, Satoshi<sup>1</sup>; MACHIDA, Shinobu<sup>1</sup>; SANTOLIK, Ondrej<sup>2</sup>; KLETZING, Craig<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>2</sup>Institute of Atmospheric Physics AS CR, <sup>3</sup> アイオワ大学

<sup>1</sup>Solar-Terrestrial Environment Laboratory, <sup>2</sup>Institute of Atmospheric Physics AS CR, <sup>3</sup>The University of Iowa

Magnetosonic waves (MSWs) are X mode electromagnetic emissions seen at between the proton cyclotron frequency and the lower hybrid resonant frequency. Their magnetic field fluctuations have a linear polarization. It has been suggested that MSWs can contribute to the acceleration of relativistic electrons in the radiation belts. In this study, we statistically investigate plasmaspheric MSWs using data from the EMFISIS instrument onboard the Van Allen Probes. The MSWs occur at all local times but in this study we observe them mainly on the dayside and during both magnetically quiet and active periods. We also investigate the polarization of MSWs using the spectral matrix. At  $L < 1.5$ , the polarization of at the lower frequency component of MSWs changes from R-mode to X-mode. At the same location, there are some L-mode waves that may be converted from the R-mode waves below the cross-over frequency. These L-mode waves may contribute to the plasmaspheric EMIC waves deep in the plasmasphere.

キーワード: 磁気音波, 内部磁気圏, Van Allen Probes, EMIC  
Keywords: MSW, inner magnetosphere, Van Allen Probes, EMIC



## 地球放射線帯電子の消失過程に関する研究: 磁気圏界面からの流出の評価 Loss processes of outer radiation belt electron: Contribution of magnetopause shadowing

千葉 貴司<sup>1\*</sup>; 小原 隆博<sup>1</sup>; 栗田 怜<sup>2</sup>; 三好 由純<sup>2</sup>

CHIBA, Takashi<sup>1\*</sup>; OBARA, Takahiro<sup>1</sup>; KURITA, Satoshi<sup>2</sup>; MIYOSHI, Yoshizumi<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> 名古屋大学太陽地球環境研究所

<sup>1</sup> Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, Tohoku University, <sup>2</sup> Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University

The Earth's radiation belts consist of the inner and outer radiation belts, and these regions are composed of highly energetic electrons. Especially in the outer radiation belt, the energetic electron fluxes are highly variable during magnetic storms. Energetic electrons in the radiation belts sometimes cause satellite charging, resulting in gradual degradation of instruments and devices onboard satellites. Therefore, it is important to understand basic physics of the energetic electron variation in the outer radiation belt from the point of view of space weather. It has been considered that the drastic change of the outer radiation belt is controlled by the delicate balance between transport, acceleration and loss processes. However, each process has complex physical mechanisms and there remain still much outstanding questions.

In this study, we particularly focused on the loss processes. As a possible loss process, (i) precipitation to the atmosphere, (ii) Dst-effect and (iii) direct loss from the magnetopause (magnetopause shadowing) have been considered. The correlation between the magnetopause location and the outer boundary of the outer radiation belt was reported by Matsumura et al. [2011]. Turner et al. [2012] suggested that a rapid depression of outer belt electrons is caused by the sudden inward shift of the magnetopause and subsequent enhancement of outward radial diffusion. However, the regions where electrons escape and how the magnetopause shadowing effect reaches smaller L-value are still open questions.

In order to understand the effect of magnetopause shadowing, we used the concept of the drift shell splitting. Due to the asymmetric configuration of Earth's magnetosphere, charged particles which have different pitch angles drift along the different drift shells. On the dayside, particles whose pitch angles are closer to 90 degrees have drift shells closer to the magnetopause. It is expected that, as a result of magnetopause shadowing, the pitch angle distribution will be the butterfly distribution. To investigate this hypothesis, we used Solid State Telescope (SST) onboard the THEMIS satellite and analyzed pitch angle distributions of energetic electrons.

Our result shows inward shift of dominant region of butterfly distribution when the magnetopause is compressed. We consider that this change is caused by the effect of inward shift of the magnetopause. However, the correlation coefficient between the magnetopause standoff distance and the shadowing region (the region where the effect of magnetopause shadowing is observed in the pitch angle distributions) is relatively low. It is because the effect of drift shell expansion due to the enhancement of the ring current. Then we calculate the largest  $L^*$  which has last closed drift shell,  $L^*_{max}$  [Koller and Zaharia, 2011] and compared  $L^*_{max}$  with shadowing regions. The result shows good correlation and it supports the scenario that the electron loss is caused by the magnetopause shadowing.

However, our result also shows a little difference between loss and shadowing region. It means that the other loss processes are necessary to explain the total loss of outer belt electrons. We investigate this difference of the two by calculating 1-D Fokker Planck radial diffusion model. The simulation result supports the Turner's scenario, magnetopause shadowing and subsequent enhancement of outward radial diffusion. However, strong radial diffusion coefficients are required to explain observation.

We also consider the precipitation loss to the atmosphere by using POES. POES can detect strong precipitation events. However, these precipitation events are not detected for all the events, there are some events which we can rarely detect strong precipitations. Thus, it is suggested that precipitation loss is not the main cause of loss but just the subsequent loss. However, we need to investigate further about precipitation loss.

キーワード: 放射線帯, 消失過程

Keywords: radiation belt, magnetopause shadowing, drift shell splitting, loss process

## あけぼの衛星搭載PWSによるサウンダ観測：2015年観測の初期結果 Topside sounding of upper ionosphere by EXOS-D/PWS in 2015

加藤 雄人<sup>1\*</sup>; 熊本 篤志<sup>1</sup>

KATO, Yuto<sup>1\*</sup>; KUMAMOTO, Atsushi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科

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

We present initial results of sounder experiments by the Akebono (EXOS-D) satellite conducted in March-April 2015.

Plasma wave sounder experiments have been conducted by Stimulated Plasma Wave experiment (SPW) subsystem of Plasma Wave and Sounder experiments (PWS) on board the Akebono satellite in the topside ionosphere and plasmasphere [Oya et al., JGG 1990]. The sounder experiments have two main purposes: One is the remote sensing of the topside ionosphere including polar region and inner plasmasphere, and another is active experiments by the stimulation of plasma waves in space. Both of them have been successfully conducted by the SPW subsystem of Akebono/PWS.

During March-April 2015, we carry out sounder experiments by the Akebono satellite in both polar region and equatorial region of ionosphere/plasmasphere. In this paper we study echoes obtained by the experiments and derived altitude profile of the plasma density of the topside ionosphere. We also investigate plasma resonances appeared in ionograms and discuss their generation mechanism based on the weak turbulence theory of the sequence of diffuse plasma resonances [e.g., Oya, 1970].

キーワード: サウンダ観測, 上部電離圏

Keywords: topside sounding, upper ionosphere

## 日本経度帯のプラズマ圏密度季節変化：地上磁場にFLR同定2点法を適用した長期間連続測定

### Seasonal dependence of the plasmaspheric density along the 210MM: Continuous observations by ground magnetometers

河野 英昭<sup>1\*</sup>; 山田 哲郎<sup>2</sup>; 北川 雄一郎<sup>3</sup>; Shevtsov Boris<sup>4</sup>; Khomutov Sergey<sup>4</sup>; Poddelskiy Igor<sup>4</sup>;  
吉川 顕正<sup>1</sup>; MAGDAS/CPMN group<sup>5</sup>

KAWANO, Hideaki<sup>1\*</sup>; YAMADA, Tetsuro<sup>2</sup>; KITAGAWA, Yuichiro<sup>3</sup>; SHEVTSOV, Boris<sup>4</sup>; KHOMUTOV, Sergey<sup>4</sup>;  
PODDELSKIY, Igor<sup>4</sup>; YOSHIKAWA, Akimasa<sup>1</sup>; MAGDAS/CPMN, Group<sup>5</sup>

<sup>1</sup>九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門, <sup>2</sup>九州大学理学部地球惑星科学科, <sup>3</sup>九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻, <sup>4</sup>IKIR FEB RAS, Russia, <sup>5</sup>九州大学国際宇宙天気科学・教育センター

<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University, <sup>2</sup>Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University, <sup>3</sup>Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University, <sup>4</sup>IKIR FEB RAS, Russia, <sup>5</sup>International Center for Space Weather Science and Education, Kyushu University

In this paper we have applied the cross-phase method and the amplitude-ratio method to the MAGDAS/CPMN ground magnetometers MGD (Magadan) and PTK (Paratunka, Kamchatka), located in the Russian Far East along the 210MM (Magnetic Meridian), and identified FLR (field-line resonance) events. MGD is located at (53.6, 219.1) magnetic latitude and longitude [deg], and PTK is located at (46.2, 226.2). Their L values are 2.9 and 2.1. We have identified the FLR events by using both visual inspection and an automatic-identification computer code.

Although the two magnetometers are separated by about seven degrees in magnetic latitudes, which is larger than the typical separation (about 1-2 degrees) for which the cross-phase and amplitude-ratio methods are efficient, but we could identify more than a hundred FLR events a year from the MGD/PTK-pair data, and the FLR events had a fairly continuous coverage from January to December.

In this paper we estimate the plasmaspheric density from thus obtained FLR frequencies, and examine their seasonal dependence. The result suggests a weak, but marginally significant seasonal dependence with maxima in winter and minima in summer. More details will be discussed at the presentation.

## 地上多点光学・レーダー観測による脈動オーロラの発光高度推定 The estimation of the altitude of auroral emission from ground-based multiple optical observation

近藤 裕菜<sup>1\*</sup>; 坂野井 健<sup>1</sup>; 田中 良昌<sup>2</sup>; 小川 泰信<sup>2</sup>; 鍵谷 将人<sup>1</sup>; 宮岡 宏<sup>2</sup>; Partamies Noora<sup>3</sup>; Whiter Daniel<sup>3</sup>; Brandstrom Urban<sup>4</sup>; Enell Carl-fredrik<sup>6</sup>; Kozlovsky Alexander<sup>5</sup>  
KONDO, Hirona<sup>1\*</sup>; SAKANOI, Takeshi<sup>1</sup>; TANAKA, Yoshimasa<sup>2</sup>; OGAWA, Yasunobu<sup>2</sup>; KAGITANI, Masato<sup>1</sup>; MIYAOKA, Hiroshi<sup>2</sup>; PARTAMIES, Noora<sup>3</sup>; WHITER, Daniel<sup>3</sup>; BRANDSTROM, Urban<sup>4</sup>; ENELL, Carl-fredrik<sup>6</sup>; KOZLOVSKY, Alexander<sup>5</sup>

<sup>1</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>2</sup> 国立極地研究所, <sup>3</sup> フィンランド気象研究所, <sup>4</sup> スウェーデン宇宙物理研究所, <sup>5</sup> EISCAT 科学協会, <sup>6</sup> ソダンキュラ地球物理観測所

<sup>1</sup> Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, Graduate School of Science, Tohoku University, <sup>2</sup> National Institute of Polar Research, <sup>3</sup> Finnish Meteorological Institute, Finland, <sup>4</sup> Swedish Institute of Space Physics, Sweden, <sup>5</sup> EISCAT Scientific Association, <sup>6</sup> Sodankyla Geophysical Observatory, Finland

今回我々は、地上多点光学観測ならびに EISCAT レーダーにより観測された脈動オーロラの発光高度推定について報告する。過去の地上観測から、脈動オーロラは 10keV 以上の比較的高エネルギー降下電子により生成され、100km 以下の低高度で発光することが指摘されている。しかしながら、降下電子のエネルギーのおローカルタイム依存性やオーロラパッチ (~横幅 100km) よりも小さい空間分布は依然として理解されていない。オーロラ発光高度は降込み粒子のエネルギーに対応するため、地上光学観測によるオーロラ発光高度推定は有力な手段である。

本研究では、脈動オーロラの発光高度を推定するために 2014 年 2 月 26 日 02:00UT 付近にスカンジナビア半島北部の 3 地点 (Kilpisjarvi・Abisko・Tromso) における EMCCD 単色イメージャーにより同時観測された N2+428nm オーロラ発光のデータを解析した。

まず、3 地点に置いて連続観測された脈動オーロラ画像から相関関係を目視で判定し、視野の中心付近に脈動オーロラパッチが位置した 02:15:00:00 - 02:15:30:00UT の画像データを解析対象とした。この中で、特に明瞭な構造を持つパッチが存在する北緯 68 度 - 69°、東経 20 度 - 23 度の範囲のデータを切り出し、3 地点のオーロラ発光強度で割ることによって規格化した。

次に、それぞれの地点におけるオーロラ画像データについて、マッピング高度を 2km 毎に変化させプロットした。さらに、2 地点における画像データの平均輝度の差分を取り、分散を見積もった。この結果得られた分散が最小となるマッピング高度をオーロラ発光高度とみなした。今回のケースでは、結果としてオーロラ発光高度は 98 - 104km と推定された。一方で、同時観測をしていた EISCAT から得られた電子密度のピーク高度は 90 - 120km 付近であり、これは光学多点観測から推定されたピーク高度と整合的であった。また、過去の研究と比較すると、本研究の結果は整合的であり、約 10keV の降下電子により脈動オーロラが生成されたことが示唆される。

キーワード: 脈動オーロラ, 発光高度, 地上多点観測

Keywords: pulsating aurora, altitude of auroral emission, ground-based multiple observation

## 真昼過ぎオーロラスポットと極向きにドリフトする複数のアーク Postnoon aurora spot and poleward-drifting multiple arcs

辻本 洋平<sup>1\*</sup>; 田口 聡<sup>1</sup>; 細川 敬祐<sup>2</sup>; 小川 泰信<sup>3</sup>

TSUJIMOTO, Yohei<sup>1\*</sup>; TAGUCHI, Satoshi<sup>1</sup>; HOSOKAWA, Keisuke<sup>2</sup>; OGAWA, Yasunobu<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 電気通信大学大学院情報理工学研究科, <sup>3</sup> 国立極地研究所

<sup>1</sup>Graduate School of Science, Kyoto Univ., <sup>2</sup>Graduate School of Informatics and Engineering, Univ. of Electro-Communications,

<sup>3</sup>National Institute of Polar Research

高緯度電離圏の真昼過ぎの 1400-1600 MLT を中心とする領域において、局所的にオーロラが明るく光る現象、いわゆる postnoon aurora spot が生じることがある。この MLT 領域については、電離圏から磁気圏に出る向きに流れる region 1 沿磁力線電流の電流強度が大きくなることも知られており、この領域には相対的に大きなエネルギーが磁気圏から電離圏に流入していることが分かる。これまでの研究から、postnoon aurora spot の原因は、磁気圏の低緯度境界層とプラズマシートの境界で生じる速度シアによる Kelvin-Helmholtz instability であると考えられている。しかしながら、このような流れのシア構造は、磁気圏内において常に生じていると考えられ、定常的ではない postnoon aurora spot 現象の説明になりえるのかどうかはまだ明らかではない。

本研究では、postnoon aurora spot の成因を明らかにするために、高時間分解能の地上からのオーロラ観測のデータを用いて、この spot がどのような時にどのような形で発生するのかを調べた。ロングイヤービューに設置された全天イメージャーによって、2013-2014 年と 2014 年-2015 年の冬季の 2 シーズンに午後の MLT で得られたオーロライメージデータを解析した。解析の結果、postnoon で見られるオーロラの増光は、約 2 分の間隔で発生して極向きにドリフトする複数のアークで構成されていることが分かった。極向きに移動した後、フォールド構造となってさらに明るく輝く事例も見出された。言い換えると、このような顕著な渦構造についても、その前段階には、極向きにドリフトする複数のアークが生じていることが分かる。また、オーロラの増光が起こらない事例も多くあった。一般に、極向きに移動するオーロラは、昼間のカスプ域に典型的な現象である。今回報告する postnoon で見られる arc 構造は、その極向き移動速度がカスプで見られる構造の速度の数倍も大きな値であり、カスプが午後側に一時的に広がったものを捉えているとは考えにくい。本発表では、極向きにドリフトするアークの発生のタイミングとその移動速度の特性について報告し、postnoon aurora spot が起きるための条件を考察する。

キーワード: 高緯度電離圏, 真昼過ぎオーロラスポット, オーロラアーク, 全天イメージャー

Keywords: High-latitude ionosphere, postnoon aurora spot, auroral arc, all-sky imager



## スーパーstorm時におけるポーラーキャップの磁束変動特性 Variability in the open magnetic flux during superstorms

宮本 正輝<sup>1\*</sup>; 田口 聡<sup>1</sup>  
MIYAMOTO, Masaki<sup>1\*</sup>; TAGUCHI, Satoshi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科  
<sup>1</sup> Graduate School of Science, Kyoto University

地球のポーラーキャップから延びる開いた磁力線の磁束は、昼間側マグネトポーズでのリコネクションに伴ってその量を増大させ、磁気圏尾部でのリコネクションが起きるとその量を減少させていく。この磁束の大きさは、極域電離圏の基本的な構造に関わるパラメタというだけでなく、サブstormの大きさとの関係が指摘されている点においても重要な量である。このような磁束の時間変化  $dF/dt$  は、昼間のリコネクションに伴う電位差  $Pd$  と夜側のリコネクションに伴う電位差  $Pn$  によって、 $dF/dt = Pd - Pn$  として理解できるというのが、Expanding /contracting polar cap paradigm と呼ばれるモデルである。このモデルの有効性の証拠としては、 $Pn$  が増大すると考えられるサブstormの発生に伴って  $dF/dt$  が負になる、すなわちポーラーキャップの面積が縮小することが示されてきている。本研究では、IMF  $Bz$  が極めて大きなマイナスの値をとった期間に対してポーラーキャップの面積の時間変動特性を明らかにする。以下の2点に焦点を当てる。一つは、 $Bz$  のマイナス成分が大きな値になるような状況では、極めて大きな  $Pd$  が維持されると考えられるが、サブstormの発生に伴って  $Pd - Pn$  が負になるために  $F$  が減少するという考えが成り立っているのかどうかという問題である。もう一つは、朝夕の子午面のポーラーキャップの境界緯度は、上記の paradigm では、昼間と夜側のダイナミクスによって受動的に決まることになるが、その朝夕の子午面に固有の変動特性が無いのかどうかという問題である。このような問題を明らかにするために、我々は2003/11/20のスーパーstormイベントを取り上げ、TIMED衛星のGUVI装置からオーロラのグローバルイメージデータと複数(F13, F15, F16)のDMSP衛星の降下粒子データを解析した。TIMED/GUVIのイメージ画像データに対して一定の基準を導入して、ポーラーキャップ領域を同定した。この装置による観測は、極域全域をカバーしないため、データのないMLT領域については、DMSP衛星の降下粒子データを用いてポーラーキャップの境界を決めた。両者の同時観測の期間もあり、それぞれから決めたポーラーキャップの境界はよく一致していることも確認できた。我々の解析したイベントではIMF  $Bz$  が約4時間で30nTから-50nTまで減少しており、 $Bz = -50nT$ の前後の期間で朝側のポーラーキャップ境界が、緯度にほぼ沿った滑らかな形状ではなく、大きく歪んだ形状になっていることも分かった。このことは、朝側のMLTに固有の動きがあることを示唆している。これらの形状をふまえて導出した開いた磁力線の磁束の時間変化特性を示し、上記の paradigm には含まれていない点について議論する。

キーワード: ポーラーキャップ, 磁束, スーパーstorm  
Keywords: Polar cap, magnetic flux, superstorm



## アナログマグネトグラムのトレースデータを用いた1970年以前の磁気圏状態の推定 Estimation of Plasma Condition Before 1970 Using Digitized Data Created by Tracing Analog Magnetograms

山本 和弘<sup>1\*</sup>; 能勢 正仁<sup>2</sup>; 増子 徳道<sup>3</sup>; 森永 健司<sup>3</sup>; 長町 信吾<sup>3</sup>  
YAMAMOTO, Kazuhiro<sup>1\*</sup>; NOSE, Masahito<sup>2</sup>; MASHIKO, Norimichi<sup>3</sup>; MORINAGA, Kenji<sup>3</sup>; NAGAMACHI, Shingo<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, <sup>2</sup> 京都大学大学院理学研究科附属地磁気世界資料解析センター, <sup>3</sup> 気象庁地磁気観測所

<sup>1</sup>Graduate School of Science, Kyoto University, <sup>2</sup>Data Analysis Center for Geomagnetism and Space Magnetism, <sup>3</sup>Kakioka Magnetic Observatory, Japan Meteorological Agency

It is important to know the plasma mass density in the magnetosphere, since it controls the Alfvén velocity, which is one of fundamental parameters for the magnetospheric phenomena. We can estimate indirectly the plasma mass density from geomagnetic pulsations, e.g., Pc3 or Pc4. But no digital data of the geomagnetic field with a time resolution of 1.0 second exists before the middle of 1980s. There is also no available satellite data of magnetospheric ion mass density before 1970. The ion composition in the magnetosphere before 1970, therefore, remains unclear.

Mashiko et al. [2013] has developed a program to convert analog magnetograms to digital values with a time resolution of 7.5-seconds, and it makes possible to study various geomagnetic pulsations. According to statistical analysis by Nose [2010], Pi2 periods are represented by the following empirical equation:

$$T = 17.65 [\pm 0.80] \times M(\text{amu}) - 1.34 [\pm 0.05] \times \sum Kp + 108.68 [\pm 0.94]$$

where T and M represent the Pi2 period and the average plasma ion mass, respectively. From this equation, we can estimate the average plasma ion mass (M) in the nightside plasmasphere when we obtain T and  $\sum Kp$ .

From 7.5-seconds digital data created from analog magnetograms for 1964-1975, we estimate the average plasma ion mass in the nightside plasmasphere during solar cycle 20. We perform statistical analysis and compare the estimated average plasma ion mass with F10.7 on long-term basis so that we investigate how solar activities affect on the plasmasphere.

We find that the correlation coefficient (C.C.) between monthly average plasma ion mass and monthly F10.7 is 0.500, while that between monthly average plasma ion mass and monthly  $\sum Kp$  is 0.154. In order to consider long-term variations and increase statistical significance, we also calculate correlation coefficients between moving average of these parameters with a time window of 1 year. We find that C.C. = 0.838 between the mass and F10.7, and C.C. = 0.372 between the mass and  $\sum Kp$ . This shows that long-term variations of the average plasma ion mass, in particularly, in the time scale longer than 1 year, have stronger correlations with F10.7 than  $\sum Kp$ . It is noteworthy that during solar cycle 20, which has smaller maximum of F10.7 than other vicinity cycles, the estimated average plasma ion mass has smaller maximum value than other cycles.

One of the causes of variations in the magnetospheric plasma ion composition is upflowing ionospheric ions. The ionospheric ion upflow is enhanced by solar radiation such as ultraviolet radiation (UV) or extra ultraviolet radiation (EUV), and geomagnetic activities such as precipitation of energetic particles or aurora electrojet. Here we study the dependence of average plasma ion mass on F10.7 and  $\sum Kp$ , and find the strong correlation with F10.7. This result suggests that in long-term variations, solar radiation is dominant mechanism to produce or heat oxygen ions.

キーワード: Pi2 地磁気脈動, アナログマグネトグラム, 平均プラズマイオン質量, プラズマ圏, 太陽活動

Keywords: Pi2 pulsations, analog magnetogram, average plasma ion mass, plasmasphere, solar activity, upflowing ionospheric ions

## Dst 場によって誘導される電離層電流とその磁場変化への影響 Ionospheric currents induced by Dst field and their effects on the geomagnetic field variation

竹田 雅彦<sup>1\*</sup>

TAKEDA, Masahiko<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科地磁気センター

<sup>1</sup>Data Analysis Center for Geomagnetism and Space Magnetism., Kyoto Univ.

Dst 場が誘導する電離層電流の計算を固体地球の効果を含めて行い、その電離層上下での磁場変化への効果を調べた。Dst 場により電離層に誘導される電流は、周期 10 分以上ではほとんど目立たないが、それ以下の周期では効いてきて電離層上下の磁場変化をかなり変形させる。特に電離層は昼夜の電気伝導度差が大きいため、昼側電離層電流は昼内で閉じようとするため朝夕に Y 成分磁場変化が生じる。その他、ホール伝導度の効果や、鋭い立ち上がりを持つ場合の効果などは講演時に述べる予定である。

キーワード: Dst 場, 電離層誘導電流, 地磁気変化

Keywords: Dst field, induced ionospheric currents, geomagnetic field variation

## CubeSatによる超低高度域 (<400km) での Sq 電流観測計画 CubeSat Project for the observation of Sq current at extreme low altitude

北村 健太郎<sup>1\*</sup>; 今井 一雅<sup>2</sup>; 高田 拓<sup>2</sup>; 篠原 学<sup>3</sup>; 池田 昭大<sup>3</sup>; 若林 誠<sup>4</sup>;  
高専スペース連携 グループ<sup>1</sup>

KITAMURA, Kentarou<sup>1\*</sup>; IMAI, Kazumasa<sup>2</sup>; TAKADA, Taku<sup>2</sup>; SHINOHARA, Manabu<sup>3</sup>; IKEDA, Akihiro<sup>3</sup>;  
WAKABAYASHI, Makoto<sup>4</sup>; KOSEN SPACE COLLABORATION, Group<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 徳山工業高等専門学校, <sup>2</sup> 高知工業高等専門学校, <sup>3</sup> 鹿児島工業高等専門学校, <sup>4</sup> 新居浜工業高等専門学校

<sup>1</sup>National Institute of technology, Tokuyama College, <sup>2</sup>National Institute of technology, Kochi College, <sup>3</sup>National Institute of technology, Kagoshima College, <sup>4</sup>National Institute of technology, Niihama College

It is well known that Sq (Solar quiet) current in the dayside ionosphere has been considered as a significant subsequence of Mesosphere-Ionosphere-Magnetosphere coupling. The intensity and the pattern of the Sq current often vary due to the magnetospheric disturbances such as magnetic storms and substorms while the fundamental pattern of the current is determined by the global distribution of the tidal wind flowing in the mesosphere. The study of the Sq current has been conducted by many investigators from various view points of the M-I-M coupling. In particular, the north-south asymmetry of the potential has been focused in terms of the energy balance between each hemisphere through the field line. In order to explain this potential asymmetry, an InterHemispheric Field Aligned Current (IHFAC) was theoretically predicted by *Maeda* [1974] and *Fukushima* [1979, 1991]. After that the ground magnetic observations supported such idea [*Takeda* 1990; *Stening* 1989; *Fukushima* 1994]. However the detailed morphology of the IHFAC is not well understood yet, despite that the direct detection of the IHFAC at Low Earth Orbit (LEO) was reported in the observation by the Ørsted satellite [*Yamashita* and *Iyemori*, 2002] and the CHAMP satellite [*Park et al.*, 2011].

We think that the in-situ satellite observation in the lower altitude and the smaller inclination compared to the Ørsted (Altitude=760km, Inc.=97deg.) and the CHAMP (Altitude=454km, Inc.=87deg.) can be an efficient approach to reveal the morphology of the Sq current. In order to investigate the electromagnetic M-I-M coupling of the Sq current system including the IHFAC, the in-situ observation by a CubeSat (2U or 3U size satellite emitted from ISS) just above the coupling region closed to the foot print of IHFAC with the altitude of less than 400km (F region in the ionosphere) is planned in collaboration with 8 national colleges which belong to National Institute of Technology (KOSEN). The fluxgate magnetometer and the impedance probe are considered to be installed in the satellite to observe the small perturbation of the magnetic field and the electron density. After the ejection from the ISS, the CubeSat will gradually glide down to the upper atmosphere due to the strong atmospheric drag and finally burn up in it. The duration of the possible observation is estimated for more than 50 days. Such an extremely low cost satellite enables to conduct the observation in the lowest altitude where the conventional satellite cannot be operated because of a low cost-effectiveness.

キーワード: Sq 電流系, 半球間沿磁力線電流, 超小型衛星

Keywords: Sq current, Inter-hemispheric FAC, CubeSat

## ERG 衛星に搭載する中間エネルギー粒子分析器 フライトモデルの検証 Verification of proto-flight models of Medium Energy Particle analysers (MEPs) for ERG

笠原 慧<sup>1\*</sup>; 横田 勝一郎<sup>1</sup>; 三谷 烈史<sup>1</sup>; 浅村 和史<sup>1</sup>; 高島 健<sup>1</sup>; 平原 聖文<sup>2</sup>; 下山 学<sup>2</sup>  
KASAHARA, Satoshi<sup>1\*</sup>; YOKOTA, Shoichiro<sup>1</sup>; MITANI, Takefumi<sup>1</sup>; ASAMURA, Kazushi<sup>1</sup>;  
TAKASHIMA, Takeshi<sup>1</sup>; HIRAHARA, Masafumi<sup>2</sup>; SHIMOYAMA, Manabu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 宇宙科学研究所, <sup>2</sup> 名古屋大学

<sup>1</sup>ISAS, <sup>2</sup>Nagoya University

ERG (Exploration of energization and Radiation in Geospace) is geospace exploration spacecraft, which is planned to be launched in FY2016. The mission goal is to understand the radiation belt dynamics especially during space storms. The key of this mission is the observations of electrons and ions in medium-energy range (10-200 keV), since these particles excite various electromagnetic waves (e.g., EMIC waves, magnetosonic waves, and whistler waves), which are believed to play significant roles in the relativistic electron acceleration and loss. Proto-flight models (PFMs) of the medium-energy electron analyser and ion mass spectrometer have been fabricated and their performance tests are started. We report these initial results.

## ジオスペース探査衛星に搭載する積層型シリコンストリップ半導体MeV電子検出器の開発 Development of stacked silicon strip detectors for MeV electron on board the Geospace exploration satellite “ERG”

三谷 烈史<sup>1\*</sup>; 笠原 慧<sup>1</sup>; 高島 健<sup>1</sup>; 平原 聖文<sup>2</sup>; 三宅 互<sup>3</sup>; 長谷部 信行<sup>4</sup>  
MITANI, Takefumi<sup>1\*</sup>; KASAHARA, Satoshi<sup>1</sup>; TAKASHIMA, Takeshi<sup>1</sup>; HIRAHARA, Masafumi<sup>2</sup>;  
MIYAKE, Wataru<sup>3</sup>; HASEBE, Nobuyuki<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 宇宙航空研究開発機構, <sup>2</sup> 名古屋大学, <sup>3</sup> 東海大学, <sup>4</sup> 早稲田大学  
<sup>1</sup>ISAS/JAXA, <sup>2</sup>Nagoya University, <sup>3</sup>Tokai University, <sup>4</sup>Waseda University

The Energization and Radiation in Geospace (ERG) project will explore how relativistic electrons in the radiation belts are generated during space storms. “High energy particle (electron)” instrument (HEP-e) on board ERG satellite will measure 3-D distribution of high energy electron between 70 keV and 2 MeV. In high resolution mode, HEP-e measures the energy and incident direction of each electron with time resolution of 2  $\mu$ sec.

The detection parts of HEP-e are six pinhole cameras which consist of mechanical collimators, silicon semiconductor detectors and readout ASICs. Three cameras measure electrons with energy of 70 keV - 1 MeV and other three with energy of 700 keV - 2 MeV.

The flight model of HEP-e is under manufacture and the verification tests before integration are ongoing. In this presentation we introduce HEP-e instrument and report results of the step-by-step verification tests of each component before final assembly.

キーワード: シリコン半導体, 電子加速, ジオスペース探査衛星, ERG  
Keywords: ERG, silicon semiconductor detector, electron acceleration

## ジオスペース探査衛星 ERG 搭載用フラックスゲート磁力計の性能評価 Performance evaluation of the fluxgate magnetometer installed on the ERG satellite

野村 麗子<sup>1\*</sup>; 松岡 彩子<sup>1</sup>; 寺本 万里子<sup>1</sup>  
NOMURA, Reiko<sup>1\*</sup>; MATSUOKA, Ayako<sup>1</sup>; TERAMOTO, Mariko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所  
<sup>1</sup> ISAS, JAXA

2014年11月5日から8日にかけて行われた、次期ジオスペース探査衛星 ERG に搭載されるフラックスゲート磁力計機器の性能評価試験の結果を報告する。

このフラックスゲート磁力計機器は、8000nT レンジの場合 5nT の精度 (0.03%) で、地球周辺の磁場を観測できることが求められる。その要求が満たされているかどうか評価するために、信号処理回路部の ADC に $\sim 0$  から  $\pm 3V$  の連続的に変化する電圧を入力し、デジタル値の出力と比較することによって、ADC における入出力値の線形性を調べた。また、信号処理回路部の ADC への入力電圧を $\sim 0$  から  $\pm 3V$  のうち 0.15V ずつ変化させ、30 秒間の出力デジタル値を記録し、ADC におけるノイズが入力電圧によってどのように変化するかノイズ特性を調べた。

フラックスゲート磁力計機器は、センサ部にフィードバック電流を与えることにより、外部磁場を測定することができる。このフィードバックによって、外部磁場への応答がどのくらいの時間遅れを伴うか、どのくらいの急激な磁場変動まで計測することができるか、把握することが重要になる。信号処理回路部の ADC に既知の電圧 (10Hz 正弦波、 $\pm 4000nT$  程度の磁場に相当する振幅) を入力し、出力デジタル値と相互相関を取ることによって、時間遅れを導出した。

以上の性能評価試験の結果を報告する。



## プラズマシート電子内側境界の磁気嵐フェイズ依存性の統計解析 Statistical study of the magnetic storm phase dependence of the inner boundary of the plasma sheet electrons

大木 研人<sup>1\*</sup>; 熊本 篤志<sup>1</sup>; 加藤 雄人<sup>1</sup>  
OHKI, Kento<sup>1\*</sup>; KUMAMOTO, Atsushi<sup>1</sup>; KATOH, Yuto<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

THEMIS 衛星搭載の粒子計測器 ESA (ElectroStatic Analyzer) の観測データを用いて、磁気嵐の主相ならびに回復相におけるプラズマシート電子の内側境界の位置とエネルギー依存性を調べた。プラズマシートを構成する高エネルギー粒子は、磁気圏対流により磁気圏尾部領域から地球方向に輸送されるが、地球近傍では電子は朝側、イオンは夕方側へとドリフトすることとなり、一定の距離よりも内側には侵入できない。この動径方向の境界を inner edge と呼ぶ。ドリフト軌道は粒子のエネルギーにより異なるため、inner edge の位置が粒子のエネルギーにより異なる。Inner edge は大体  $3 \sim 7 R_E$  付近に形成されている。プラズマシート粒子のふるまいは極域電離圏でのオーロラ活動とも密接に関連している。

過去の研究により、プラズマシートの inner edge の位置と地磁気指数との対応が議論されている。しかし、AE 指数との比較やローカルタイム依存性など、サブストーム時の inner edge に焦点が置かれており、磁気嵐の各相での inner edge の位置や Dst 指数との関係については議論の余地が残されている。そこで本研究では、keV 帯のプラズマシート電子の inner edge に着目し、磁気嵐の主相ならびに回復相における inner edge について調べた。解析には THEMIS 衛星に搭載されている ESA(Electrostatic Analyzer) により取得された 0.75 keV から 8.94keV のエネルギーレンジの電子フラックスデータを使用した。まず、2013 年 7 月 6 日と 2012 年 6 月 17 日の磁気嵐中に同定された inner edge についてのイベント解析を行った。さらに、2007 年 3 月から 2013 年にかけて発生した磁気嵐 (主相 78 例、回復相 174 例) を同定し、各相での inner edge の位置について統計解析を行った。

イベント解析の結果から、inner edge の位置は磁気嵐の主相の方が回復相よりも地球に近い所に位置していることが示された。主相においてはおよそ  $3 \sim 4 R_E$  付近に形成されていた inner edge が、回復相では  $4 \sim 10 R_E$  付近に位置していたことが示された。また Frank et al. [1971] によると、0.7 ~ 20 keV の範囲でエネルギーの低い電子の inner edge の方が地球に近づく報告されていた。しかし、主相時の 1 keV と 9 keV の inner edge の位置の差は 0.6 未満であり、明確なエネルギー依存性が見られず、どのエネルギー帯 (0.75 ~ 8.94 keV) でも同程度の位置に inner edge が同定された。一方で、回復相での inner edge は Frank et al. の結果と同様なエネルギー依存性を示していた。以上の傾向は、統計解析の結果からも確認され、主相時の inner edge の典型的な位置は  $3.9 R_E$  付近であることが明らかとなった。本研究では、Jiang et al. [2011] によって提案された定常ドリフト境界モデル及び Volland-Stern 対流電場モデル [Volland et al., 1973] を用いて計算して求めた inner edge の位置と観測結果を比較した。その結果、既存の電場モデルでは磁気嵐中の inner edge を完全には説明できず、その傾向は回復相において特に顕著に見られた。この結果は、磁気圏回復相において、Volland-Stern モデルでは再現されない電場が内部磁気圏に生じていることを示唆している。今後は磁気嵐時の内部磁気圏電場の空間分布について調べていく。

キーワード: プラズマシート内側境界, プラズマシート, 対流電場, 磁気嵐, オーロラ, サブストーム

Keywords: plasma sheet inner edge, plasma sheet, convection electric field, magnetic storm, aurora, substorm

## プラズマシートにおける地球電離圏起源の重イオンの観測 Observation of heavy ions from the earth's ionosphere in the plasma sheet

中川 佳祐<sup>1\*</sup>; 平原 聖文<sup>1</sup>; 関 華奈子<sup>1</sup>  
NAKAGAWA, Keisuke<sup>1\*</sup>; HIRAHARA, Masafumi<sup>1</sup>; SEKI, Kanako<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

There are two plasma sources of the plasma sheet in the Earth's magnetotail, i.e., the solar wind and ionospheric outflows. Previous observations have shown that the ionospheric plasma contribution to the plasma sheet depends largely on geomagnetic activities. However, supply mechanism of the ionospheric plasma to the plasma sheet is far from well understood. In order to investigate the fate of ionospheric outflows in the plasma sheet, we have found cold O<sup>+</sup> and He<sup>+</sup> beams in the plasma sheet at the distance about 20 Re (Earth radii) in the Geotail LEP data from January 1997 to December 2005. The Energy-time spectrograms of the LEP ion data obtained in the plasma sheet show the signatures of cold heavy ion beams outflowing from the ionosphere. Because the mass analysis data of ion with energies less than 10 keV are not available, we identify ion species by velocity distribution function. The plasmas in the plasma sheet are dominated by the E×B drift, therefore the plasma bulk velocities perpendicular to the local magnetic field should be equal in spite of the ion species. We survey the differences of the geomagnetic activities for these ion beams in the plasma sheet. The results show that the intense ion beams are frequently observed when the geomagnetic storms occurred. The energy of these cold heavy ion beams is generally less than 10 keV. In this presentation we discuss these statistical tendencies of the cold heavy ion beams in the plasma sheet.

キーワード: 磁気圏, イオン流出, プラズマシート

Keywords: magnetosphere, ion outflow, plasma sheet

## Geotailで観測された昼側磁気圏境界面での磁気リコネクション I Geotail observations of dayside magnetopause reconnection I

吉田 和史<sup>1\*</sup>; 小田切 修一<sup>1</sup>; 長井 嗣信<sup>2</sup>  
YOSHIDA, Kazufumi<sup>1\*</sup>; ODAGIRI, Shuichi<sup>1</sup>; NAGAI, Tsugunobu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東工大・地惑, <sup>2</sup> 東京工業大学  
<sup>1</sup>Earth and Planetary Sciences, Titech, <sup>2</sup>Tokyo Institute Of Technology

On 06 July 2013, Geotail observed the dayside magnetopause reconnection for a long time period. In the period 0000-0800 UT on 06 July 2013, the solar wind has an almost constant speed of 350 km/s and the Interplanetary Magnetic Field (IMF) is almost southward, having a value of (0.0, +4.5, -12.0 nT). Geotail traveled from the magnetosheath to the magnetosphere. The Geotail position is (Xgsm, Ygsm, Zgsm) = (9.72, -2.23, -0.49 Re) at 0400 UT and (8.91, 0.87, -1.73) at 0600 UT, respectively. Geotail stays in the vicinity of the magnetopause, almost in the front magnetosphere. Reconnection jets with a speed of 200 km/s are observed near the reversal of the magnetic field. The reconnection jets flow northward, indicating that the reconnection site is located south of the Geotail position. There are two cases in the magnetic field variations. In most cases, the Bz magnetic field component is dominant and the field reverses from southward to northward in the crossing into the magnetosphere, and the reconnection jets are almost field-aligned. However, the magnetic field becomes almost perpendicular to the north-south direction, and the positive By magnetic field component is dominant. The reconnection jets are convection flows. In this study, the magnetic field topology and its relationship to the jets are investigated.

キーワード: 磁気圏, 磁気リコネクション  
Keywords: magnetosphere, magnetic reconnection

## Geotailで観測された昼側磁気圏境界面での磁気リコネクション II Geotail observations of dayside magnetopause reconnection II

小田切 修一<sup>1\*</sup>; 吉田 和史<sup>1</sup>; 長井 嗣信<sup>2</sup>  
ODAGIRI, Shuichi<sup>1\*</sup>; YOSHIDA, Kazufumi<sup>1</sup>; NAGAI, Tsugunobu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東工大・地惑, <sup>2</sup> 東京工業大学

<sup>1</sup>Earth and Planetary Sciences, Titech, <sup>2</sup>Tokyo Institute Of Technology

Plasma velocity distributions perpendicular to the magnetic field are generally isotropic by Larmor motion of ions and electrons. In actuality, isotropic velocity distributions are observed by Geotail. However, anisotropic ion velocity distributions were observed in the magnetosheath nearby the magnetopause when Geotail crossed the dayside magnetopause and observed ion flow jets by magnetic reconnection. The Geotail data of ion Energy-Time spectrogram on July 6, 2013 indicate anisotropic velocity distributions of ions energies higher than 20 keV at 0330 UT. The Geotail orbit is from magnetosheath through the magnetopause to the magnetosphere. The spacecraft GSM coordinates at the time of anisotropic ion velocity distribution observation are (9.8, 3.0, -0.2) $R_E$ . This Geotail position is in the magnetosheath nearby the magnetopause. Ion energies are about 1 keV in the distant magnetosheath from the magnetopause. There are no ions with energies higher than 10 keV in the magnetosheath. There are ions with energies higher than 20 keV in magnetosphere. Thus, these ions are considered to go out toward the magnetosheath from the magnetosphere. We explain anisotropic ion velocity distributions by reconnecting magnetic field geometry.

キーワード: 磁気圏, 磁気リコネクション

Keywords: magnetosphere, magnetic reconnection

## 衛星観測データに基づく磁気中性線付近の構造の解明 Characteristic of the dayside and nightside reconnection region in the Earth's magnetosphere

田中 瑠<sup>1\*</sup>; 町田 忍<sup>1</sup>; 今田 晋亮<sup>1</sup>; 三好 由純<sup>1</sup>; 関 華奈子<sup>1</sup>; 家田 章正<sup>1</sup>; 宮下 幸長<sup>1</sup>; 斎藤 義文<sup>2</sup>  
TANAKA, Ryu<sup>1\*</sup>; MACHIDA, Shinobu<sup>1</sup>; IMADA, Shinsuke<sup>1</sup>; MIYOSHI, Yoshizumi<sup>1</sup>; SEKI, Kanako<sup>1</sup>;  
IEDA, Akimasa<sup>1</sup>; MIYASHITA, Yukinaga<sup>1</sup>; SAITO, Yoshifumi<sup>2</sup>

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

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

本研究では、 $X = 5 \sim 15R_e$  の磁気圏昼間側及び  $X = -30 \sim -10R_e$  の磁気圏夜側の磁気リコネクション構造について GEOTAIL 衛星のデータを用いて調べた。特に、磁気圏夜側に比べ、これまで重点的に研究されてこなかった磁気圏昼間側について解析を進めた。一般的に、磁気圏夜側では同じ磁気圏プラズマ同士がリコネクションを起こすため対称なりコネクションが起ると考えられている。他方、磁気圏昼間側では磁気圏プラズマと太陽風プラズマがリコネクションを起こすため、非対称なものになると考えられている。本研究では、GEOTAIL 衛星観測データをもとに速度と磁場の同時符号反転を基準にリコネクションイベントを選定した。また、磁場と電子・イオンの速度モーメントも合わせて用いて、プラズマと電磁場のエネルギーのやりとり、中性線付近の Hall 効果によって作られる四重極構造等について詳細に調べた。解析した磁気圏夜側イベントは 36 例で、そのうち 13 例のイベントではイオン速度分布関数において高温の高速流成分と低温の流入成分が混在して観測された。これは磁気リコネクション領域で観測される典型的な特徴である。また、中性線近傍での加熱も 12 例同定する事ができた。一方で、磁気圏昼間側イベントは 26 例あり、2 成分のプラズマが同時に観測されるイベントはなく、中性線付近での加速及び加熱はそれぞれ 5 例ずつと、磁気圏夜側リコネクションで見られる典型的な特徴はほとんど見られなかった。さらに、磁気圏夜側のリコネクションでは Hall 効果に起因する四重極磁場構造 (By) が観測されるのだが、昼間側リコネクションでは 26 例中 10 例のみで四重極磁場構造が確認され、残りの 16 例の By 成分に関しては別の構造をしている事がわかった。この結果をもとに、対称・非対称磁気リコネクションの違いについて議論する。

キーワード: 磁気リコネクション, ホール効果, 非対称性, GEOTAIL 衛星

Keywords: magnetic reconnection, Hall effect, asymmetry, Geotail spacecraft

## SWARM 衛星による極域磁場観測データの時空間分離 The separation of temporal and spatial fluctuation of magnetic field data obtained by SWARM satellites.

横山 佳弘<sup>1\*</sup>; 家森 俊彦<sup>2</sup>; 中西 邦仁<sup>1</sup>; 青山 忠司<sup>1</sup>  
YOKOYAMA, Yoshihiro<sup>1\*</sup>; IYEMORI, Toshihiko<sup>2</sup>; NAKANISHI, Kunihito<sup>1</sup>; AOYAMA, Tadashi<sup>1</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付属地磁気世界資料解析センター

<sup>1</sup> Graduate School of Science, Kyoto University, <sup>2</sup> Data Analysis Center for Geomagnetism and Space Magnetism, Graduate School of Science, Kyoto University

一般に衛星で観測したデータを時間変化と空間変化とに分離するのは非常に難しい。

Sugiura et al. (1984) において、高緯度電離層で観測される数秒数十秒のスケールの磁場変動は small-scale の沿磁力線電流の空間構造によるものであると提唱された。

今回、我々は3機編成の SWARM 衛星群によって観測された磁場変動を解析する事で変動が沿磁力線電流によるものである事を観測的に明らかにした。

ところが、SWARM-A と SWARM-B の観測した磁場変動を時間をずらして相関係数を取って(すなわち、相関関数を計算して)ピークを調べるところ、軌道によっては衛星の軌道時間差分ずらした時の値よりもずらさない時、つまり空間構造よりも時間変化が勝っていると考えられるものが見られた。

本研究ではこの事について、Ishii et al, 1992 で提示された空間スケールにして 32~64km にて Alfvén 波が現れだすという事実と比較しながら、スケールごと、また MLT 等によって分布ごとに調べた結果を報告する。

加えて、AE 指数と比較する事により、サブストーム等外的な要因との関係についても調べる。

キーワード: SWARM 衛星, 高緯度電離層, 沿磁力線電流, 微細磁場変動, 時空間分離

Keywords: SWARM satellites, high-latitude ionosphere, field-aligned current, magnetic fluctuations, separation of temporal and spatial fluctuations



## Swarm 衛星で観測された電離圏上部での Pi2 地磁気脈動 Spatial characteristic of mid- and low-latitude Pi2 pulsations observed by the Swarm satellite in the upper ionosphere

寺本 万里子<sup>1\*</sup>; 松岡 彩子<sup>1</sup>; 能勢 正仁<sup>2</sup>; 家森 俊彦<sup>2</sup>; Luehr Hermann<sup>3</sup>  
TERAMOTO, Mariko<sup>1\*</sup>; MATSUOKA, Ayako<sup>1</sup>; NOSE, Masahito<sup>2</sup>; IYEMORI, Toshihiko<sup>2</sup>; LUEHR, Hermann<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所, <sup>2</sup> 京都大学大学院理学研究科, <sup>3</sup> ドイツ地球科学研究センター  
<sup>1</sup>Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency, <sup>2</sup>Graduate School of Science, Kyoto University, <sup>3</sup>GFZ German Research Centre for Geosciences

At substorm onsets, low-latitude Pi2 pulsations are observed on ground. While low-latitude Pi2 pulsations on the night side have high coherence with magnetic field perturbations in the compressional and radial components observed by satellites in the plasmasphere, some studies show that there is no magnetic signals in the plasmasphere on the dayside which correspond to low latitude Pi2 pulsations (Takahashi et al., 2005; Teramoto et al., 2008; 2011). Using magnetic field data obtained by the low-altitude Oersted satellite, Han et al. (2004) found that compressional Pi2 pulsations observed on the dayside in the topside ionosphere show out-of-phase oscillation with those at low-latitude ground stations. They suggested that the dayside Pi2 pulsations are generated by the dayside ionospheric current system rather than the cavity mode resonance mode. In contrast, Sutcliffe and Luher (2010) found that no Pi2-related magnetic signals can be detected in the topside ionosphere, using the CHAMP satellite. To reveal generation mechanism of Pi2 pulsations at low latitude, more studies at topside ionosphere are needed.

In this study, we compare Pi2 pulsations observed in the upper ionosphere and on low-latitude ground, using the magnetic field data obtained by the Swarm satellite and at Kakioka (KAK, 27.19 degrees geomagnetic latitude, 208.79 degrees geomagnetic longitude) and San Juan (SJG, 28.20 degrees geomagnetic latitude, 6.10 degrees geomagnetic longitude). The Swarm satellite was launched on November 2013 and consists of the three identical satellites (Swarm-A, -B, and -C) in polar orbits. We statistically investigate Pi2 pulsations observed by the Swarm satellites. On the nightside, Pi2 pulsations in the compressional and radial components have high coherence with those at the low-latitude ground stations. On the other hand, Pi2 pulsations observed by Swarm on the dayside do not show high coherence with those on the low-latitude ground stations. We will show typical Pi2 events observed by the Swarm satellites at different local times and discuss possible mechanisms of low-latitude Pi2 pulsations.

## 次世代 M-I 結合シミュレーションを用いた KH 不安定が引き起こす ULF 波動の研究 The study of ULF pulsation driven by the KH instability using a next generation M-I coupling simulation model

久保田 康文<sup>1\*</sup>; 長妻 努<sup>1</sup>; 田 光江<sup>1</sup>; 田中 高史<sup>2</sup>; 藤田 茂<sup>3</sup>

KUBOTA, Yasubumi<sup>1\*</sup>; NAGATSUMA, Tsutomu<sup>1</sup>; DEN, Mitsue<sup>1</sup>; TANAKA, Takashi<sup>2</sup>; FUJITA, Shigeru<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 情報通信研究機構, <sup>2</sup> 九大・宙空センター, <sup>3</sup> 気象大学校

<sup>1</sup>NICT, <sup>2</sup>SERC, Kyushu University, <sup>3</sup>Meteorological College

ULF 波動は放射線外帯電子の加速に大きな役割を果たすと考えられている。ULF 波動生成の要因の一つとして磁気圏境界における KH 不安定が考えられる。Claudepierre et al. [2008] では高解像度のグローバル MHD シミュレーションコードを用い、太陽風と磁気圏の境界層で KH 不安定に伴う ULF 波動の励起を報告している。我々が開発を行っている次世代磁気圏-電離圏結合シミュレーションでは、解像度が向上したため磁気圏境界で KH 不安定が再現され、それに伴い地上や磁気圏の磁場変動において ULF 波動も励起されている。

本講演ではシミュレーションから KH 不安定で引き起こされる磁気圏-電離圏の ULF 波動についてスペクトル解析を行った。太陽風パラメータの速度について 800 km/s, 600 km/s, 400 km/s と変化させシミュレーションを行い、赤道面における ULF 帯で積分した磁場変動と電場変動の強度分布を作成し比較した。その結果、ピーク周波数と ULF 強度は太陽風速度に依存し、ピーク周波数は速度が大きいほど高くなり、ULF 強度は速度が大きいほど強くなる。赤道面の ULF 強度分布をみると磁気圏境界で 2-3 層の強度分布を示す。これは Claudepierre et al. [2008] と同様の結果となっている。また、IMF が北向きの場合に太陽風速度 800 km/s で夜側領域の L=8 Re 付近に KH 不安定の変動から伝搬してきたと考えられる ULF 強度が強い領域が見られる。講演ではこれらの解析結果を報告する

キーワード: ULF 波動, KH 不安定, グローバル磁気流体シミュレーション

Keywords: ULF pulsation, KH instability, global MHD simulation