

## 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場合があ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 camera 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 ~ 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 ~ 4  $R_E$  付近に形成されていた inner edge が、回復相では 4 ~ 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