

## THEMIS衛星データに基づくサブストーム時の磁気圏尾部変動の統計的研究

A statistical study of near-earth magnetotail variations during substorm based on THEMIS data

\*福井 健人<sup>1</sup>、町田 忍<sup>1</sup>、宮下 幸長<sup>1</sup>、家田 章正<sup>1</sup>、三好 由純<sup>1</sup>、西村 幸敏<sup>2</sup>、Angelopoulos Vassilis<sup>2</sup>

\*Kento Fukui<sup>1</sup>, Shinobu Machida<sup>1</sup>, Yukinaga Miyashita<sup>1</sup>, Akimasa Ieda<sup>1</sup>, Yoshizumi Miyoshi<sup>1</sup>, Yukitoshi Nishimura<sup>2</sup>, Vassilis Angelopoulos<sup>2</sup>

1.名古屋大学宇宙地球環境研究所、2.カリフォルニア大学ロサンゼルス校

1.Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya university, 2.University of California, Los Angeles

地球磁気圏が太陽風から得たエネルギーは、磁気圏尾部の領域に磁場のエネルギーとして蓄えられる。この過程がある限界を超えると、蓄積した磁場のエネルギーが粒子の運動エネルギーに変換される現象が始まる。サブストームと呼ばれるこの現象の物理的メカニズムについては、未だ不明な点が多く残されている。

そこで、本研究では、サブストーム時の磁気圏尾部領域の変動を解明する手がかりを得るため、2007年11月から2010年4月までのTHEMIS衛星データを用いて、サブストーム開始前後の磁気圏プラズマシート中央部のプラズマの速度3成分の時間変化を調べた。解析にはサブストームのオンセット（開始）時刻を基準とする時間重畳法（Superposed Epoch Analysis）を用いた。特に、磁力線の輸送を調べるために磁力線に垂直な速度も解析した。また速度を正方向、負方向に分けて解析することで、それぞれの流れがどのような傾向を持つのかを調べた。その結果、 $-10 > X > -12R_E$ の領域ではオンセット直前から地球向きの流れが増大する傾向がみられ、オンセット直後に尾部向きの流れが増大していることがわかった。また同様に、オンセット直前に地球向きの流れを持つデータの割合が増大し、オンセット直後に尾部向きのデータの割合が増大した。このことから、地球向きの流れはオンセット前に生じていると考えられ、それはNENL (Near-Earth Neutral Line) modelかCCSR (Catapult Current Sheet Relaxation) modelにより生じるものと解釈するのが合理的である。尾部向きの流れは、Ohtaniら(2009)の反射説によって解釈することができる。Y方向についても同様の解析を行ったところ、 $-10 > X > -12R_E$ の領域でオンセット直前に朝方向きの流れが増大し、オンセット直後に夕方向きの流れが増大した。これは夕方側のデータを多く使用しているために起こるものだと考えられ、X方向と同じく反射説と調和的である。

さらに、オンセット直後に、 $-8 > X > -9R_E$ の領域では、地球向きの流れを持つデータが尾部向きの流れを持つデータとほぼ同数となることを見出された。これは、カレントディスラプションを引き起こすバルーニング不安定の結果とみなすことができる。この解析結果は、カレントディスラプションが先行し、それが尾部側の磁気リコネクションを誘起してサブストームが発達するとする CD (Current Disruption) model を否定し、NENL modelおよびCCSR modelを支持するものである。

キーワード：サブストーム、THEMIS

Keywords: substorm, THEMIS

## GEOTAIL衛星データを用いた昼側磁気リコネクションの構造の解明

## Study on structures of the dayside magnetic reconnection using GEOTAIL data

\*田中 瑠<sup>1</sup>、町田 忍<sup>1</sup>、内野 宏俊<sup>1,2</sup>、今田 晋亮<sup>1</sup>、三好 由純<sup>1</sup>、関 華奈子<sup>3</sup>、家田 章正<sup>1</sup>、宮下 幸長<sup>1</sup>、桂華 邦裕<sup>1</sup>、斎藤 義文<sup>4</sup>

\*Ryu Tanaka<sup>1</sup>, Shinobu Machida<sup>1</sup>, Hirotochi Uchino<sup>1,2</sup>, Shinsuke Imada<sup>1</sup>, Yoshizumi Miyoshi<sup>1</sup>, Kanako Seki<sup>3</sup>, Akimasa Ieda<sup>1</sup>, Yukinaga Miyashita<sup>1</sup>, Kunihiro Keika<sup>1</sup>, Yoshifumi Saito<sup>4</sup>

1.名古屋大学宇宙地球環境研究所、2.京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻、3.東京大学大学院理学系研究科、4.宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・太陽系科学研究系

1.Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya Univ., 2.Solar-Planetary Electromagnetism Laboratory, Kyoto Univ., 3.Graduate School of Science, University of Tokyo, 4.ISAS/JAXA

本研究では、夜側磁気圏に比べ、これまであまり統計的に研究されてこなかった昼側磁気圏における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。夜側磁気圏で発生する磁気リコネクションは、上流の磁場強度・プラズマ密度・温度が等しく、対称な空間構造を持つと考えられている。他方、昼側磁気圏では磁気圏プラズマと太陽風起源のシースプラズマがリコネクションを起こすため、非対称な構造を持ったものになると考えられている。また、夜側磁気圏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がみられ、昼側磁気圏のリコネクションでは双極子磁場構造がみられ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。1995~2014年において選定したイベント数は32例で、それぞれのイベントのHall磁場構造には四重極構造あるいは双極子構造のいずれかがみられた。選定したイベントにおいて、LMN座標系を用いて衛星の磁気中性線通過前後のイオンの密度や磁場の大きさの変化量等を調べることにより、中性線付近のHall磁場構造について詳細に解析した。その結果、四重極構造がみられたイベントの磁気中性線通過前後のイオンの密度比(シース中の密度/磁気圏中の密度)の平均値は7.5、磁場強度比(磁気圏中の $B_z$ /シース中の $|B_z|$ )の平均値は1.53と小さかったのに対し、双極子構造がみられたイベントではイオンの密度比の平均値は36.1、磁場強度比の平均値は2.68と大きな値を示した。また、選定したイベントにおいて、イオンの速度分布関数を用いて高温の高速流出成分と低温の流入成分についての解析を行い、対称リコネクションと非対称リコネクションのHall電流構造と整合的であることを確認した。

キーワード：磁気リコネクション、Hall効果、非対称、GEOTAIL衛星

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

## MeV電子増加時の静止軌道におけるPc5の磁力線振動モードの特性

## Characteristics of Magnetic Field Oscillation of Pc5 Wave at the GEO Associated with MeV Electron Flux Enhancement

\*北村 健太郎<sup>1</sup>、田中 良昌<sup>2</sup>、才田 聡子<sup>3</sup>、門倉 昭<sup>2</sup>、山岸 久雄<sup>2</sup>\*Kentarou Kitamura<sup>1</sup>, Yoshimasa Tanaka<sup>2</sup>, Satoko Saita<sup>3</sup>, Akira Kadokura<sup>2</sup>, Hisao Yamagishi<sup>2</sup>

1.徳山工業高等専門学校、2.国立極地研究所、3.北九州工業高等専門学校

1.National Institute of Technology, Tokuyama College, 2.National Institute of Polar Research,  
3.National Institute of Technology, Kitakyushu College

It is well known that MeV electron flux in the radiation belt increases during the recovery phase of magnetic storms. Acceleration process of MeV electron has been widely studied to understand the wave-particle interaction in the magnetospheric plasma process. In particular, the ULF wave is recently recognized as one of the possible cause of the MeV electron flux enhancement. The acceleration process by ULF wave is predominant during the magnetic storm driven by high speed solar wind such as CIR (Corotating Interaction Region). The Pc5 wave driven by high-speed solar wind is often interpreted as a subsequence of Kelvin-Helmholtz instability. However, the detailed process of the acceleration by ULF have not well understood while it has suggested that the oscillation mode of Pc5 wave must play an important role for the acceleration.

In this study we analyze the magnetic variation observed by GOES 10 and 11 satellites in the ENP coordinate system to compare the Pc5 pulsation observed at H057 (Maglat.=-66.42, L=6.25) and Skallen (Maglat.=-66.42, L=6.25) in Antarctica. In the case of the MeV electron flux enhancement occurred on February 26 -March 2, 2008, the P component (perpendicular northward from the orbital plane) of Pc5 power is almost comparable between the afternoon and noon sectors at the very beginning of the magnetic storm, while the Pc5 power in the N component (Eastward) is predominant in noon sector compared to that in the evening sector. During the recovery phase of the magnetic storm, the N-component Pc5 power in the evening is much larger than that in the noon sector, and the phase lag of the Pc5 shows the wave propagation from the evening to the noon sectors. The similar signatures also appear in the magnetic variations at H057 and Skallen. These results suggest that the troidal oscillation of the Pc5 generated not only by KHI but also by another source in the night side play an important role of the drift resonance acceleration of the MeV electrons during the recovery phase of the magnetic storms.

キーワード：MeV電子、放射線帯、ULF波動

Keywords: MeV electron, Radiation Belt, ULF Wave

太陽風動圧急増に伴う放射線帯電子の加速：GEMSIS-RB/GEMSIS-GM連成シミュレーション

Rapid acceleration of outer radiation belt electrons associated with solar wind pressure pulse: A Code coupling simulation of GEMSIS-RB and GEMSIS-GM

\*林 昌広<sup>1</sup>、三好 由純<sup>1</sup>、齊藤 慎司<sup>1</sup>、松本 洋介<sup>2</sup>、桂華 邦裕<sup>1</sup>、堀 智昭<sup>1</sup>、天野 孝伸<sup>3</sup>、関 華奈子<sup>3</sup>、町田 忍<sup>1</sup>  
\*Masahiro Hayashi<sup>1</sup>, Yoshizumi Miyoshi<sup>1</sup>, Shinji Saito<sup>1</sup>, Yosuke Matsumoto<sup>2</sup>, Kunihiro Keika<sup>1</sup>, Tomoaki Hori<sup>1</sup>, Takanobu Amano<sup>3</sup>, Kanako Seki<sup>3</sup>, Shinobu Machida<sup>1</sup>

1.名古屋大学宇宙地球環境研究所、2.千葉大学、3.東京大学

1.Institute for Space-Earth Environmental Research,Nagoya University, 2.Chiba University,  
3.University of Tokyo

Relativistic electron fluxes of the outer radiation belt dynamically change in response to solar wind variations. There exist several time scales for the outer belt flux enhancement. One of the shortest processes is caused by wave-particle interactions between drifting electrons and fast-mode waves induced by compression of magnetosphere caused by interplanetary shock (e.g., Li et al., 1993). In recent years, Van Allen Probes spacecraft observations indicated that electrons whose drift velocity is close to the fast-mode velocity are selectively accelerated (Foster et al., 2015). In this study, we performed a code coupling simulation using GEMSIS-RB test particle simulation (Saito et al., 2010) and GEMSIS-GM global MHD magnetosphere simulation (Matsumoto et al., 2010) to investigate how relativistic electrons are accelerated by fast-mode waves induced by solar wind pressure pulses. We simulated electron motions with different initial L-shells and initial energies and investigated how electrons are accelerated effectively by fast-mode waves launched at dayside magnetopause. As a result of the analysis, we found that electron acceleration strongly depends on both initial positions and initial energies of electrons. Effective accelerations are observed at high energy electrons at larger L-shells. We suggest that the effective acceleration occurs when electron's drift velocity is faster than fast-mode velocity.

キーワード：放射線帯、電子の加速、GEMSIS

Keywords: outer radiation belt, acceleration of electron, GEMSIS

THEMIS衛星の観測に基づくプラズマシート電子地球側境界の磁気嵐フェイズ依存性に関する研究  
Study of the magnetic storm phase dependence of the inner boundary of the plasma sheet electrons based on THEMIS satellites observations

\*大木 研人<sup>1</sup>、熊本 篤志<sup>1</sup>、加藤 雄人<sup>1</sup>

\*Kento Ohki<sup>1</sup>, Atsushi Kumamoto<sup>1</sup>, Yuto Katoh<sup>1</sup>

1.東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻

1.Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University

The locations of the inner boundary of the plasma sheet electrons during magnetic storm have been analyzed by using the dataset from THEMIS satellites. Plasma sheet electrons are carried toward the Earth due to magnetospheric convection, and then drift toward the morning sector in the vicinity of the Earth. The location of the inner boundary of the plasma sheet particles has been investigated as an indicator of the variations of the drift path of the plasma sheet particles, part of which causes ring current in the inner magnetosphere.

In several previous studies, the dependence of the location of the inner boundary of the plasma sheet electrons on geomagnetic indices such as Kp and AE index was investigated [Korth et al., 1999; Jiang et al., 2011]. In this study, we investigated the dependences of the plasma sheet electrons not only on geomagnetic indices such as Dst index but also on the phase of magnetic storms.

In order to investigate the relation between the dynamics of the plasma sheet electrons and the magnetospheric convection electric field, we focused on the position of the inner edges of the plasma sheet electron during the main phase and the recovery phase of the magnetic storm by using the electron flux data in an energy range from 0.7 keV to 9 keV obtained by Electrostatic Analyzer (ESA) onboard the THEMIS satellites.

As a result of event studies and statistical analyses, we found that the dependences of the plasma sheet electron inner edge on Dst index in the main phase and the recovery phase of the magnetic storm were different: Even if the Dst index is in the same range, the plasma sheet electron inner edges identified in the main phase were significantly nearer to the Earth than in the recovery phase of the magnetic storm. In addition, we could point out that the gap between the locations of the inner edges of 1 keV electrons and 9 keV electrons became smaller in the main phase than in the recovery phase of the magnetic storm. These results suggest that the position of the plasma sheet electron inner edges are affected by the electric field which appears around the peak of the magnetic storm and cause the modification of drift paths of plasma sheet electrons to be nearer to the Earth, and to be similar without depending on the electron's kinetic energy.

In order to confirm how the difference between the location of the plasma sheet electron inner edges in the main phase and that in the recovery phase occurs, we performed comparison of the locations of the plasma sheet inner edges found in several cases with those estimated based on the steady state drift boundary model [Jiang et al., 2011] combined with Volland-Stern electric field model [Volland et al., 1973]. This comparison suggested that the steady state drift boundary model cannot fully explain the positions of the inner edges of the plasma sheet electrons. In addition, we could point out that the gap of the positions of the inner edges of 1 keV electrons and 9 keV electrons derived from the observations became smaller than that estimated based on the model. These results suggest that some electric fields are added to Volland-Stern large-scale electric field in the observation, which can cause the modification of drift paths of plasma sheet electrons to be nearer to the Earth, and to be similar without depending on the electron's kinetic energy.

And in order to confirm whether the small-scale strong electric fields reported by Nishimura et

al. [2006], we performed back-tracing of the drift paths of plasma sheet electrons during the recovery phase of the magnetic storm using the test particle simulation. As a result, we could suggest that the actual open/close boundary of the drift path of the electrons with energy of 9 keV indicated by their inner edge was located nearer to the Earth than that expected based on Volland-Stern electric field due to the additional electric field.

キーワード：磁気圏対流、磁気嵐、プラズマシート

Keywords: magnetospheric convection, magnetic storm, plasma sheet

## 地上 - 衛星同時観測にもとづくPi2脈動に伴う電場の伝搬過程

Propagation of electric fields during Pi2 pulsations using satellites and ground-based observations

\*高橋 直子<sup>1</sup>、笠羽 康正<sup>1</sup>、西村 幸敏<sup>2</sup>、寺本 万里子<sup>3</sup>、菊池 崇<sup>4,5</sup>、堀 智昭<sup>4</sup>、三好 由純<sup>4</sup>、西谷 望<sup>4</sup>

\*Naoko Takahashi<sup>1</sup>, Yasumasa Kasaba<sup>1</sup>, Yukitoshi Nishimura<sup>2</sup>, Mariko Teramoto<sup>3</sup>, Takashi Kikuchi<sup>4,5</sup>, Tomoaki Horii<sup>4</sup>, Yoshizumi Miyoshi<sup>4</sup>, Nozomu Nishitani<sup>4</sup>

1.東北大学大学院理学研究科、2.University of California, Los Angeles、3.宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所、4.名古屋大学宇宙地球環境研究所、5.京都大学生存圏研究所

1.Dep. Geophysics Graduate School of Science Tohoku University, 2.University of California, Los Angeles, 3.ISAS/JAXA, 4.Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, 5.Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

Pi2 pulsations are irregular oscillations of magnetic field with the period of 40-150 s, generated in the nightside magnetosphere. Their generation and propagation processes have been investigated using numerical simulations and observations from ground and space. Pi2 pulsation is often discussed in the framework of the cavity mode or directly driven hypotheses. The high-latitude Pi2 pulsations are driven by Alfvén waves toward the ionosphere, carrying transient field-aligned currents at the substorm current wedge. Low-latitude Pi2 is explained by the cavity mode or current wedge oscillation. While the latter transient response model has mainly been proposed by previous results using magnetometer data, there are only a limited number of papers using in-situ observations at the magnetosphere. Therefore, the path from the initial fast mode waves in the plasma sheet through the shear Alfvén waves to Pi2 pulsations that penetrate into the ionosphere have not been directly studied yet.

The electric field is a key parameter to identify the propagation direction associated with Pi2 pulsations. Thus, in this paper, we investigate the spatial and temporal variations of electric fields associated with Pi2 pulsations using multi-point observations at ground sites and multi-point spacecraft in the magnetosphere. For the former, we identify the ionospheric response using SuperDARN (high latitude) and HF Doppler (mid latitude) radars. We obtain the magnetospheric electric and magnetic field data from THEMIS (5 probes) and Van Allen Probes (VAPs, 2 probes). Magnetospheric magnetic field data are also obtained from GOES 13 and 15.

As a case study, we find a typical Pi2 structure on 25 December 2014. In this event, all satellites at the magnetosphere were located in the nightside: THEMIS probes were in the outer magnetosphere (L~10), while VAP-A and VAP-B were outside and inside the plasmasphere (L~5 and 4), respectively (identified by electron number density data). Electric and magnetic field variations observed by VAPs show a good correlation with geomagnetic field at Kakioka (~23 h LT). The phase lags between azimuthal component of electric field and parallel component of magnetic field are ~90° at VAP-B (~23 h LT) and ~150° at VAP-A (~2 h LT), respectively, while the phase lags between radial component of electric field and azimuthal component of magnetic field are ~150° at VAP-B and ~90° at VAP-A (~2 h LT), respectively. Therefore, cavity mode resonance is dominant near the midnight meridian inside the plasmasphere, and shear Alfvén waves propagate along magnetic field lines and supply energy for high-latitude Pi2 pulsations. In contrast, at post-midnight region outside the plasmasphere, fast mode waves propagate into the inner magnetosphere, and shear Alfvén waves reflect at the ionosphere and form the field line resonance. In addition, THEMIS-A (L~9), D (L~10.5), and E (L~11) detect increases of electron flux with the onset of magnetospheric electric field, which indicates that they observe the structure of the substorm current wedge. In summary, our result may support the transient response model, but further studies are still required.

We also estimate the direction and magnitude of Poynting flux for the identification of the electromagnetic energy transport direction and to investigate their relationships to the ionospheric response based on SuperDARN observations. In this paper, with additional event studies, we will suggest the propagation path of Pi2 pulsations from the outer magnetosphere to the ground via the ionosphere, and compare statistical results with the several models.



## レベルセット法を用いたプロトンオーロラの形状特徴解析

## Shape characteristics analysis of proton aurora by using the level set method

\*井上 智寛<sup>1</sup>、尾崎 光紀<sup>2</sup>、八木谷 聡<sup>2</sup>、塩川 和夫<sup>3</sup>、三好 由純<sup>3</sup>、片岡 龍峰<sup>4</sup>、海老原 祐輔<sup>5</sup>、野村 麗子<sup>6</sup>、坂口 歌織<sup>7</sup>、大塚 雄一<sup>3</sup>、Connors Martin<sup>8</sup>

\*Tomohiro Inoue<sup>1</sup>, Mitsunori Ozaki<sup>2</sup>, Satoshi Yagitani<sup>2</sup>, Kazuo Shiokawa<sup>3</sup>, Yoshizumi Miyoshi<sup>3</sup>, Ryuho Kataoka<sup>4</sup>, Yusuke Ebihara<sup>5</sup>, Reiko Nomura<sup>6</sup>, Kaori Sakaguchi<sup>7</sup>, Yuichi Otsuka<sup>3</sup>, Martin Connors<sup>8</sup>

1.金沢大学 理工学域 電子情報学類、2.金沢大学 理工研究域、3.名古屋大学 宇宙地球環境研究所、4.国立極地研究所、5.京都大学 生存圏研究所、6.宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所、7.情報通信研究機構、8.アサバスカ大学

1.School of Electrical and Computer Engineering, College of Science and Engineering, Kanazawa University, 2.Institute of Science and Engineering, Kanazawa University, 3.ISEE, Nagoya University, 4.National Institute of Polar Research, 5.RISH, Kyoto University, 6.ISAS / JAXA, 7.National Institute of Information and Communications Technology, 8.Athabasca University

磁気赤道域でのイオン温度異方性により、電磁イオンサイクロトロン(EMIC)波動が発生する。EMIC波動は磁力線に沿って伝搬し、その一部は地上でPc1地磁気脈動として観測される。このEMIC波動は高エネルギー(数keV~数十keV)イオンのピッチ角散乱を引き起こし、その一部は磁力線に沿って電離層高度まで降込みプロトンオーロラとなる。このため、プロトンオーロラの様相の変化は、磁気圏の波動粒子相互作用の時空間発展を得る手掛かりになるといえる。我々はサブオーロラ帯のカナダのアサバスカ(L値:4.3)において、プロトンオーロラのエミッションを低時間分解能(60秒)の全天EMCCDカメラ(486.1nm)、プロトンオーロラに伴う二次電子オーロラを高時間分解能(110 Hzサンプリング)の全天EMCCDカメラ、地磁気脈動をインダクション磁力計(64 Hzサンプリング)により地上観測を行っている。本研究では、波動粒子相互作用領域の時空間発展を明らかにするためにアサバスカでPc1地磁気脈動と同時に観測されたプロトンオーロラに対して、発光強度と発光面積の関連性について解析を行った。2015年11月12日7:40 UTから約1時間にわたってプロトンオーロラと同時に左旋円偏波を示し周波数の上昇を伴うPc1地磁気脈動が観測された。このプロトンオーロラの輝度変化と周波数上昇を伴うPc1地磁気脈動のスペクトル強度の変化には1対1の対応が見られた。この結果は観測されたPc1地磁気脈動とプロトンオーロラが磁気圏の電磁イオンサイクロトロン不安定性により発生したことを強く示唆するものといえる。このプロトンオーロラとPc1脈動の強度変化は周波数解析により約1分の周期をもっていることが分かった。高時間分解能の全天EMCCDカメラを用いることにより、約1分の周期の中に10秒前後の内部変調に似たオーロラ輝度値変化も含まれていた。

次にプロトンオーロラの発光強度と発光面積の関連性を調べるため、形状最適化法の一つであるレベルセット法を用いて発光面積とその面積の平均輝度の時間変化を求めた。その結果、発光面積とその強度には高い相関があるということがわかった。この要因として電離圏での電荷交換反応に伴う発光領域の拡大が考えられる。また別の要因として、Pc1脈動に関連した磁気圏でのフラックスチューブの変動を反映した結果とも考えている。

本研究ではアサバスカでPc1地磁気脈動と同時に観測されたプロトンオーロラの画像解析結果について詳細に報告を行う予定である。

キーワード：プロトンオーロラ、レベルセット法

Keywords: Proton aurora, Level set method

## 地上多点光学・EISCAT UHF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 and EISCAT UHF radar

\*近藤 裕菜<sup>1</sup>、坂野井 健<sup>1</sup>、小川 泰信<sup>2</sup>、田中 良昌<sup>2</sup>、Kauristie Kirsti<sup>3</sup>、Brändström Urban<sup>4</sup>、Gustavsson Björn<sup>5</sup>

\*Hirona Kondo<sup>1</sup>, Takeshi Sakanoi<sup>1</sup>, Yasunobu Ogawa<sup>2</sup>, Yoshimasa Tanaka<sup>2</sup>, Kirsti Kauristie<sup>3</sup>, Urban Brändström<sup>4</sup>, Björn Gustavsson<sup>5</sup>

1.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、2.国立極地研究所、3.Finnish Meteorological Institute, Finland、4.Swedish Institute of Space Physics, Sweden、5. UiT The Arctic University of Norway, Tromsø, Norway

1.Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, Graduate School of Science, Tohoku University, 2.National Institute of Polar Research, 3.Finnish Meteorological Institute, Finland, 4.Swedish Institute of Space Physics, Sweden, 5. UiT The Arctic University of Norway, Tromsø, Norway

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, Tromsø)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、Tromsøの沿磁力線方向付近に脈動オーロラパッチが位置した2014年2月26日02:00:00-03:00:00UT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69.1度-69.4°、東経19.2度-20.5度の範囲のデータを切り出し、各点のオーロラ発光強度で割ることによって規格化した。この範囲を選択した理由は同時観測をしていたEISCAT Tromsø UHFレーダーのE領域オーロラ発光高度と重なるようなパッチを解析するためである。

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、TromsøとKilpisjarviの2地点における画像データを規格化し、平均輝度の差分を計算した。この差分の残差自乗和である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104-110kmの間の値として推定された。選択した範囲内の中心付近にオーロラパッチが位置する時、発光高度は104kmで安定した。一方中心からオーロラパッチが逸れた時には発光高度は約110kmと導出された。よって発光高度の変動はパッチの有無を反映し、安定してエネルギー帯の降込み電子がオーロラパッチを形成したと考えられる。

以上の結果に加えて、CARD法[藤井他、1994]を用い同時観測していたEISCAT UHFレーダーの結果から各エネルギー値(1-170keV)のフラックスを導出した。この解析結果からは、以下3点の結果が読み取れた。(1)パッチの有無に関わらず、10keV付近のエネルギーは一定して存在していた。(2)パッチが存在する時にはエネルギーピークの幅は30keVまで上昇した。(3)100keV以下のエネルギー帯もパッチの有無に依存しており少なからず存在していた。以上、降込み電子のエネルギー推移について3点をCARD法より求めた。今回の発表では、EISCATレーダーから導出した降下粒子エネルギー分布の解析結果と、光学観測から得た発光高度との対応関係について議論する。

キーワード：脈動オーロラ、EISCATレーダー、オーロラ発光高度、降込み電子エネルギー分布

Keywords: Pulsating aurora, EISCAT radar, Auroral emission height, Energy distribution of precipitating electrons



## 磁気嵐時に観測された極域電子密度の増加現象

## Electron density enhancement in the polar region during a geomagnetic storm

\*石ヶ谷 侑季<sup>1</sup>、熊本 篤志<sup>1</sup>、加藤 雄人<sup>1</sup>\*Yuki Ishigaya<sup>1</sup>, Atsushi Kumamoto<sup>1</sup>, Yuto Katoh<sup>1</sup>

1. 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻

1. Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University

地球極域の電離圏から磁気圏にかけての領域では、磁気嵐に伴う電子密度の増加が報告されている[Tu et al., 2007; Kitamura et al. 2010a; 2010b]。特にKitamura et al. [2010a; 2010b]では地磁気擾乱や磁気嵐に伴う極域の電子密度分布が観測結果から示され、また磁気嵐に伴うイオンのアウトフローと関連しカスプで増加した電子が極冠対流で極域全体に輸送され極域全体で電子密度が増加しているプロセスが示唆された。この研究においてはカスプ領域付近だけでなくオーロラ帯での局所的な密度増加も報告されており、その成因としてカスプ付近で生じた高密度プラズマ対流増大によるオーロラ帯への流入に加え、オーロラ降下粒子によって加熱された電離圏プラズマの上昇の寄与の可能性も示唆されていた。

そこで本研究では磁気嵐時の極域の電子密度分布の変動とその成因を詳しく検討するために、あけぼの衛星に搭載されたプラズマ波動及びサウンダー観測装置(PWS)で観測された1989年11月~1990年2月および1990年11月~1991年2月のプラズマ波動観測から導出された電子密度データを用い、高度275~10500kmの範囲の極域(磁気緯度75度以上)での電子密度の高度分布を地磁気静穏時( $K_p \leq 2$ )と擾乱時( $K_p \geq 5$ )で比較した。1990年2月15日の磁気嵐時(Dst: -99nT)には磁気緯度75.37度、磁気地方時10.85、高度7300km付近で、811個/ccの電子密度増大イベントが観測された。この領域の静穏時の平均密度はKitamura et al. [2009]によれば17個/ccである。この顕著な電子密度の増加は、その発生領域がカスプ付近であったことからイオンファウンテンによる現象と考えられる。一方で1990年1月28日の磁気嵐(Dst: -55nT)では特にオーロラ帯(磁気緯度70~75度)において700~1500/ccの電子密度増大が確認された。同時にあけぼの衛星の低エネルギー粒子観測装置(LEP)では、電子とイオンのフラックス増大が観測された。今後さらに、電子密度の増大量と極冠対流速度およびオーロラ粒子フラックスの定量的な比較を行うことによって、これらの寄与の程度を明らかにしていく必要がある。

## 南向きIMF時に見られる夜側オーロラオーバルの昼間側への分岐現象

## Bifurcation of the nightside auroral oval toward the noon during southward IMF

\*宮本 正輝<sup>1</sup>、田口 聡<sup>1</sup>\*Masaki Miyamoto<sup>1</sup>, Satoshi Taguchi<sup>1</sup>

1.京都大学理学研究科地球惑星科学専攻

1.Department of Geophysics, Kyoto University

オーロラオーバルは平均的には、その名前の通り楕円形をしているが、実際には、その内側の境界はゆがんだ形状をとっていることが多い。夜側のオーバルについては、北向きIMF時で極冠オーロラが現れている場合やサブストームの場合にそれが顕著である。一般に、オーロラオーバルの形状は、プラズマシートの状態や磁力線のジオメトリーを反映するので、これまでに、それらの観点からオーバルの極側境界のゆがみの説明が試みられてきているが、未だ明確な説明は与えられていない。本研究では、安定したIMF北向き時を除き、またサブストームに典型的なオーロラオーバルのふくらみ現象を除いた時に、夜側オーロラオーバルの極側境界はどのようなゆがみを見せるのかを明らかにする。我々は、2002年から2007年の5年間分のTIMED衛星のGUVI装置によるオーロラのグローバルイメージデータとDMSP衛星の降下粒子データを使って、オーロラオーバルの極側境界からの分岐の状況や、そこでの降下粒子のエネルギーフラックスの特徴を調べた。最も顕著な事例は、IMF  $B_z$ が、 $-50$  nTにも及ぶような巨大磁気嵐が発生した際に見出された。夜側で分岐して昼間側へと延びる分岐オーバルの長さは3000kmにも及んでいる。同時観測されたDMSP衛星のデータからも、このような分岐が間違いなく起こっていることがわかる。このような現象だけでなく小規模な分岐現象も含めて、分岐発生の場所のMLTとそこからの長さについて、IMFと磁気嵐の状況で分けて解析した結果を報告する。また、その結果をもとに、大規模なシータオーロラの磁力線のジオメトリーについても議論する。

キーワード：ポラーキャップ、オーロラオーバル、粒子降下、南向きIMF

Keywords: polarcap, aurora oval, particle precipitation, southward IMF

## 逆転型対流に関連した漂うカスプオーロラスポット

## Drifting cusp auroral spot associated with reverse convection

\*織田 優心<sup>1</sup>、田口 聡<sup>1</sup>、細川 敬祐<sup>2</sup>\*Yushin Oda<sup>1</sup>, Satoshi Taguchi<sup>1</sup>, Keisuke Hosokawa<sup>2</sup>

1.京都大学大学院理学研究科、2.電気通信大学

1.Department of Geophysics, Kyoto University, 2.The University of Electro-Communications

電離圏のカスプにおいて高緯度方向に移動するオーロラ現象、いわゆるpoleward-moving auroral form は、惑星間空間磁場が南向き成分をもつ時に昼間側マグネトポーズで生じるフラックストランスファーイベントがその源であると考えられている。また、惑星間空間磁場が北向きになると、カスプのオーロラスポットは低緯度方向に動くという報告があり、これは、惑星間空間磁場が北向き時に固有の逆転型プラズマ対流の場所でオーロラが生じていることを表している。このように、カスプオーロラの動きはプラズマ対流の向きを概ね反映したものになる。本研究では、カスプで高緯度側へと移動した後、向きを変えて低緯度側へ移動するオーロラに注目し、その特性を明らかにした結果を報告する。ノルウェーのスバルバル諸島のロングイヤービーエンの高感度全天イメージャーによって取得された630nmの波長のオーロラデータとDMSP衛星の降下電子データとプラズマ対流データを解析した。DMSP衛星のこれらのデータから、衛星がどこでカスプやLLBL/BPSを横切ったのかわかるため、全天イメージャーの視野内を通過した衛星のデータをもとに、衛星の軌道の真下で光っているオーロラがカスプオーロラかLLBL/BPSオーロラかを判断することができる。我々はまず、2013年1月13日にprenoon 領域で見られたカスプオーロラスポットの同時観測事例に焦点をあてて、その結果を報告する。DMSP衛星がオーロラスポットの上空を横切ったタイミングでは、そのオーロラは、LLBL起源のprenoon オーロラの約1度高緯度側に位置していた。4秒値のオーロラデータを用いて、この前後数十分間のオーロラの特徴を調べた。このカスプオーロラは、LLBLオーロラからはがれるように生まれ、最初は高緯度方向に動くものの、その後、回転して太陽方向に動いていた。また、DMSP衛星は、高緯度方向に動くオーロラ領域が、低緯度向きの成分をもつ逆転型対流の中に存在していることを捉えている。従って、高緯度向きのオーロラの動きは対流の向きを反映していないことがわかる。冬季の3シーズンの観測期間から取り上げたその他の事例をふまえた解析結果も報告し、このような現象が磁気圏ローブでのリコネクションのどのようなプロセスを反映しているのかを議論する。

キーワード：オーロラ、カスプ、ポーラーキャップ、プラズマ対流、リコネクション

Keywords: aurora, cusp, polar cap, plasma convection, reconnection

## あけぼの衛星によるサウンダー観測結果に基づくMF/HF帯オーロラ電波放射の発生高度と周波数の推定

Frequency and source height of MF/HF auroral radio emissions estimated from the results of EXOS-D/PWS sounder experiments

\*三上 和希<sup>1</sup>、加藤 雄人<sup>1</sup>、熊本 篤志<sup>1</sup>、佐藤 由佳<sup>2</sup>

\*Kazuki Mikami<sup>1</sup>, Yuto Katoh<sup>1</sup>, Atsushi Kumamoto<sup>1</sup>, Yuka Sato<sup>2</sup>

1.東北大学大学院理学研究科、2.国立極地研究所

1.Graduate School of Science, Tohoku University, 2.National Institute of Polar Research

地球のオーロラ帯の電離圏では様々なオーロラ関連電波が放射されており、地上電波観測によってオーロラロアース、MF burst、オーロラロアーといった現象が報告されている[例えば、Sato et al., 2008]。特に、オーロラロアーはMF/HF帯で観測される狭帯域の電波放射であり、その発生過程は静電的プラズマ波動から電磁波へのモード変換過程によって理解されている。オーロラロアーは、下部電離圏を放射源として、広域混成共鳴周波数( $f_{UHR}$ )と電子サイクロトロン周波数( $f_{ce}$ )の整数倍とが等しくなる( $f_{UHR}=nf_{ce}$ 、ただし $n=2,3,4$  and 5) 領域において発生すると考えられている。一方で、この発生条件は上部電離圏でも満足し得ることから、上部電離圏を放射源として宇宙空間へと放射される地球ヘクトメートル波(Terrestrial Hectometric Radiation; THR[Oya et al., 1985])の放射過程として考えられており、実際にあけぼの衛星に搭載されたプラズマ波動観測器PWSにより、オーロラロアーに類似した特徴を持つTHRが観測されている[Sato et al., 2010]。しかしながらTHRに関しては、 $2f_{ce}$  roarに対応する周波数での観測例が報告されている一方で、RX-modeの偏波特性を示す高周波THRを除けば、 $3f_{ce}$  以上に対応するTHRの報告例はない。この点は、地上観測によって $5f_{ce}$ に対応する放射までの報告例[LaBelle et al., 2012]があるオーロラロアーとは異なる特徴であり、その要因を理解するためには、THR発生領域のプラズマ環境を明らかにする必要がある。

本研究では、2015年3月19日から2015年4月18日の一か月間にわたり実施されたあけぼの衛星によるサウンダー観測データを用いて、上部電離圏におけるMF/HF帯オーロラ電波放射の発生高度と発生周波数の推定を行った。サウンダー観測により得られたイオノグラムを解析して、電子密度の高度分布を求め、その結果と磁場モデルとを用いることにより、 $f_{UHR}$ と $f_{ce}$ の高度分布を導出し、THRの発生高度と周波数を推定する。IRI(International Reference Ionosphere)など経験モデルに基づく電子密度分布ではなく、サウンダー観測によって実際の電子密度分布を求めることにより、より正確な発生高度と周波数の推定が可能である。本研究では特に、解析期間中に地上電波観測が実施されているアイスランド(緯度 $64.67^{\circ}N$ , 経度 $21.03^{\circ}W$ )とスヴァールバル(緯度 $78.15^{\circ}N$ , 経度 $16.04^{\circ}E$ )の周辺に着目して、緯度 $50-80^{\circ}N$ 、経度 $50^{\circ}W-50^{\circ}E$ でのサウンダー観測データを解析対象とした。一か月間のサウンダー観測データから、対象領域内で50例の $f_{UHR}$ の高度分布が得られている。その結果から過去の研究により報告例のある $2f_{ce}$ に対応するTHRの発生高度と周波数として、 $f_{UHR}=2f_{ce}$ の条件を満たす高度は約440-1090km、放射周波数は約1.9-2.5MHzと推定された。さらに本研究の結果、50例中2例で $f_{UHR}=3f_{ce}$ の条件が上部電離圏で成立することが見いだされ、 $3f_{ce}$ に対応するTHRが存在する可能性が指摘された。2例の結果より、 $f_{UHR}=3f_{ce}$ の条件を満たす高度は約330-450km、放射周波数は約3.8-3.9MHzと推定された。以上の結果をふまえて本研究では、PWSによる自然電波の観測の解析を実施した。その結果、解析対象とした領域において、THR放射が1例同定され、その周波数はサウンダー観測に基づいて推定した $2f_{ce}$ に対応するTHRの周波数範囲に整合することが確認されている。本研究の成果に基づいて、解析対象期間における地上観測結果との比較や、他の緯度・経度範囲での観測結果、ならびにPWSによる過去の観測例の考察により、MF/HF帯オーロラ電波放射過程の理解に資する結果が得られると期待される。

キーワード：オーロラロアー、地球ヘクトメートル波、あけぼの衛星

Keywords: auroral roar, Terrestrial Hectometric Radiation, AKEBONO satellite

## 音声信号処理によるVLFエミッションの雑音除去

## Study on the noise reduction technique for VLF emissions by audio signal processing

\*出島 工<sup>1</sup>、尾崎 光紀<sup>2</sup>、八木谷 聡<sup>2</sup>、塩川 和夫<sup>3</sup>、三好 由純<sup>3</sup>、三好 正人<sup>2</sup>、平野 晃宏<sup>2</sup>、Connors Martin<sup>4</sup>  
\*Takumi Dejima<sup>1</sup>, Mitsunori Ozaki<sup>2</sup>, Satoshi Yagitani<sup>2</sup>, Kazuo Shiokawa<sup>3</sup>, Yoshizumi Miyoshi<sup>3</sup>, Masato Miyoshi<sup>2</sup>, Akihiro Hirano<sup>2</sup>, Martin Connors<sup>4</sup>

1.金沢大学 理工学域 電子情報学類、2.金沢大学 理工研究域、3.名古屋大学 宇宙地球環境研究所、4.アサバ  
スカ大学

1.School of Electrical and Computer Engineering, College of Science and Engineering, Kanazawa  
University, 2.Institute of Science and Engineering, Kanazawa University, 3.ISEE, Nagoya University,  
4.Athabasca University

磁気圏で観測されるVLFエミッションは、脈動オーロラ（数十keV~100 keV）の発生や放射線帯MeV電子など高  
エネルギー粒子のピッチ角散乱や加速に大きく寄与している。我々は磁力線で放射線帯とつながるカナダのア  
サバスカ（L=4.3）にてVLFエミッション（100 Hz~数十kHz）の地上連続観測を行っている。地上観測は、固定  
のL値で現象を高い時間分解能で連続観測できる利点がある。しかし、VLFエミッションの他に観測機器や伝搬  
経路で生じた雑音が観測波形に含まれる欠点がある。

本研究では、VLFエミッションが可聴周波数帯域で生じる現象であることに着目し、音声信号処理技術を用いて  
観測波形に含まれる雑音の除去に関して検討を行った。観測データには、定常雑音（白色雑音やライン雑音  
等）とパルス性雑音（空電雑音や機器のクロック雑音等）が含まれている。定常雑音を除去するために、音声  
信号処理で用いられるスペクトルサブトラクション（SS）法と変調周波数分析（MFA）に基づく方法の二つを検  
討した。SS法は事前に雑音スペクトルを推定し、周波数領域で雑音成分を除去する手法である。本研究で  
は、事前雑音スペクトルを推定するために、スペクトルエントロピー法を用いて定常雑音区間と信号区間を区  
別した。MFAに基づく方法は、事前雑音スペクトルを必要とせず、信号の振幅スペクトルの時間方向変化を計算  
し、その直流成分を除去することで定常雑音を取り除いた。コーラス波動を模擬したチャープ信号（2~4  
kHz）に定常雑音を付加し、SS法とMFAによるシミュレーションを行った結果、どちらもSNRが0 dBから10 dBに  
改善される結果を得た。

これらの雑音除去手法を用いて、実観測データに適用した結果、VLFエミッションの一種であるコーラス波動と  
雑音の含まれる観測信号はコーラス成分を残して雑音を除去できた。これに対し、VLFエミッションの一種であ  
るヒス波動の含まれる観測信号は、雑音だけでなくヒス波動の存在している部分も除去されていることがわ  
かった。これは、ヒス波動が熱雑音に似たスペクトル構造をしているため、定常雑音とみなされたものと考え  
られる。ヒス波動を信号成分として雑音と区別するために、ヒス波動は右回りの偏波成分をもつ性質を利用し  
た。その結果、ヒス波動を残して定常雑音を除去することができた。

本発表では音声信号処理によるVLFエミッションの雑音除去について詳細に報告する予定である。従来のEMC試  
験などのコストを信号処理により大幅に削減できることに貢献できると考えている。

キーワード：VLFエミッション、雑音除去、音声信号処理

Keywords: VLF emission, Noise reduction, Audio signal processing



## ERG衛星プラズマ波動観測データの地上データ処理・較正システムの開発

Development of the ground data processing/calibration system for the plasma wave measurements onboard ERG satellite

\*奥田 拓希<sup>1</sup>、松田 昇也<sup>1</sup>、太田 守<sup>1</sup>、笠原 禎也<sup>1</sup>、笠羽 康正<sup>2</sup>、土屋 史紀<sup>2</sup>、小嶋 浩嗣<sup>3</sup>、井町 智彦<sup>1</sup>、後藤 由貴<sup>1</sup>、三好 由純<sup>4</sup>

\*Hiroki Okuda<sup>1</sup>, Shoya Matsuda<sup>1</sup>, Mamoru Ota<sup>1</sup>, Yoshiya Kasahara<sup>1</sup>, Yasumasa Kasaba<sup>2</sup>, Fuminori Tsuchiya<sup>2</sup>, Hirotsugu Kojima<sup>3</sup>, Tomohiko Imachi<sup>1</sup>, Yoshitaka Goto<sup>1</sup>, Yoshizumi Miyoshi<sup>4</sup>

1.金沢大学、2.東北大学、3.京都大学、4.名古屋大学

1.Kanazawa University, 2.Tohoku University, 3.Kyoto University, 4.Nagoya University

The SPRINT-B/ERG satellite is a Japanese small satellite mission to investigate dynamics of the inner magnetosphere. To achieve comprehensive observations of plasma/particles, fields, and waves, the Plasma Wave Experiment (PWE) is installed onboard the ERG satellite to measure electric field in the frequency range from DC to 10 MHz, and magnetic field in the frequency range from a few Hz to 100 kHz. A variety of operational modes are implemented in the PWE, and the telemetry data consists of several kinds of data such as power spectrum, waveform, spectral matrix and DC E-field. The PWE will generate two kinds of mission data; nominal data and burst data. The former will be generated 24 hours per day as survey data and all data will be downloaded to the ground. On the other hand, the latter are essentially raw waveform data and the data amount is quite huge. They will be once stored in the mission data recorder (MDR) and partial data will be downloaded after data selection. In order to obtain maximum science output, it is very important to check and analyze the nominal data quickly and select valuable data from burst data stored in the MDR. In the present paper, we introduce our data processing plan on the ground to achieve such requirement. The telemetry data from the ERG satellite will be stored in the Level 0 data archive system at ISAS/JAXA. We first divide the raw data into species of data products and convert them into CDF (Common Data Format) files. Those files are called Level 1 and they are non-calibrated data. Secondly we calibrate the Level 1 data and convert them into Level 2 data. As the Level 1 data are also important for quick data survey for selection of burst data, we designed the CDF files for Level 1 to meet the specification of "autoplot" [1], which is an interactive browser for data on the web. By using the function of autoplot, the Level 1 data will be readily surveyed for data selection. We plan to construct the process as an automatic pipeline. We also plan to apply similar pipeline processing to the data measured by the Plasma Wave Instruments (PWI) onboard the BepiColombo/MMO (Mercury Magnetosphere Orbiter). In the presentation, we introduce the current status of our system.

[1] Autoplot interactive browser, <http://autoplot.org/>

キーワード：プラズマ波動観測器、SPRINT-B/ERG、内部磁気圏、地上データ処理

Keywords: Plasma Wave Experiment, SPRINT-B/ERG, Inner Magnetosphere, Ground data processing

## 静電シールド付きワイヤアンテナの低周波特性解析

Low frequency characteristics of a wire antenna with noise reduction shield

\*北 昂<sup>1</sup>、井町 智彦<sup>1</sup>、八木谷 聡<sup>2</sup>、尾崎 光紀<sup>2</sup>、東 亮一<sup>3</sup>\*Takayuki Kita<sup>1</sup>, Tomohiko Imachi<sup>1</sup>, Satoshi Yagitani<sup>2</sup>, Mitsunori Ozaki<sup>2</sup>, Ryoichi Higashi<sup>3</sup>

1.金沢大学、2.金沢大学理工研究域、3.石川工業高等専門学校

1.Kanazawa University, 2.Institute of Science and Engineering, Kanazawa University, 3.National Institute of Technology, Ishikawa College

宇宙空間における電磁波の電界成分観測は、科学衛星の重要な観測目的の一つである。衛星で観測した電磁界波形は電界センサによって電圧値に変換され、A/D変換後に地上へ伝送される。よって、伝送されたデータから正確な電界の大きさを知るためには正確な較正が必要であり、そのための重要なパラメータにアンテナの実効長がある。しかし、アンテナのワイヤ長 $L$ は数十~100 mと非常に大きく、事前に地上で試験を行い実効長の特性を把握することは、非常に困難である。そのため、実際の解析では実効長は静電界観測で $L$ 、波動観測で $L/2$ に仮定される場合が殆どである。この実効長を推定する手法としてレオメトリ実験がある。レオメトリ実験とは、水中に平行に配置した2枚の電極板に低周波信号を与えることで水中に既知の電界を発生させ、アンテナの出力電圧を測定する手法である。既知の電界の大きさとアンテナの出力電圧により実効長を計算する。先行研究では、レオメトリ実験により、実効長の周波数特性はアンテナの構造に依存し、側面のみが絶縁被覆されたワイヤアンテナを導電性媒質中に置いた場合、低周波で $L$ 、周波数が高くなるにつれ $L/2$ に漸近することがわかってきている。

本研究では、このようなアンテナ構造の影響の更なる解明のために、シールドの影響について解析を行った。実際の衛星構体では、内部に搭載されている観測機器など衛星本体から発生する人工的なノイズがアンテナの感度に影響を及ぼすのを防ぐために、構体及びワイヤの根元がシールドされているケースが多い。そこで、シールドされたワイヤアンテナに対し同様の実験を行い、実効長の周波数解析を行った。

実験の結果、ワイヤにシールドが施された場合、周波数が高くなるにつれ出力電圧は減衰した。その原因としては、シールドによる衛星周辺の電位分布の歪みと、シールドとワイヤ芯線間におけるキャパシタンスの影響が考えられる。そこで、定量的な解析を行うためにシミュレーションによる電位分布解析と、等価回路による出力電圧の計算を行った。シミュレーションにはCST EM STUDIO LF solverを用いた。シミュレーションの結果、ワイヤ近傍での電位分布が非シールド時の線形分布と異なる、非線形分布となっていることがわかった。そして、シールドによるキャパシタンスを考慮した等価回路に、得られた電位分布を適用して理論計算を行い、その計算結果を実験結果と比較したところ、実効長の値が変化する遷移周波数は極めてよく一致しており、出力電圧値も全ての周波数において数パーセント程度以下の差異に収まった。このことから、シールドとワイヤ芯線間においてキャパシタンスが生じ、周波数の上昇とともにアンテナのインピーダンスに影響を与え、出力電圧の減衰を引き起こす原因となっていることが明らかとなった。

本発表では、上記実験結果およびシミュレーション・理論計算の結果について詳細な報告を行う予定である。

キーワード：ワイヤアンテナ、実効長、レオメトリ実験、静電シールド、衛星、準静電界

Keywords: wire antenna, effective length, rheometry experiment, noise reduction shield, satellite, quasi-electrostatic field

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電子検出器の地上性能評価  
Preflight performance 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>

\*Takefumi Mitani<sup>1</sup>, Satoshi Kasahara<sup>1</sup>, Takeshi Takashima<sup>1</sup>, Masafumi Hirahara<sup>2</sup>, Wataru Miyake<sup>3</sup>,  
Nobuyuki Hasebe<sup>4</sup>

1.宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所、2.名古屋大学、3.東海大学、4.早稲田大学

1.Japan Aerospace Exploration Agency, Institute of Space and Astronautical Science, 2.Nagoya  
University, 3.Tokai University, 4.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 observe 70 keV -2 MeV electron, which cover energy range of electrons to be accelerated and accelerated electrons, and play an important role to understand electron acceleration. HEP-e provide three dimensional distribution of electron every spacecraft spin period. The sensor of HEP-e is a pin-hole type camera which consist of mechanical collimator, silicon semiconductor detectors and readout ASICs. In this presentation we introduce HEP-e and report the results of performance tests of the flight model.

キーワード：ERG、シリコン半導体

Keywords: ERG, silicon semiconductor