

## Themis 衛星データに基づくサブストームトリガー機構の解明

### Investigations of triggering mechanism of substorm through the analysis of Themis probe data

町田 忍<sup>1\*</sup>, 宮下 幸長<sup>2</sup>, 家田 章正<sup>2</sup>, 能勢 正仁<sup>3</sup>, 西村 幸敏<sup>4</sup>, Vassilis Angelopoulos<sup>5</sup>, James P. McFadden<sup>6</sup>  
MACHIDA, Shinobu<sup>1\*</sup>, MIYASHITA, Yukinaga<sup>2</sup>, IEDA, Akimasa<sup>2</sup>, NOSE, Masahito<sup>3</sup>, NISHIMURA, Yukitoshi<sup>4</sup>, Vassilis Angelopoulos<sup>5</sup>, James P. McFadden<sup>6</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> 名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>3</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>4</sup> カリフォルニア大学ロサンゼルス校大気海洋科学科, <sup>5</sup> カリフォルニア大学ロサンゼルス校地球惑星物理学科, <sup>6</sup> カリフォルニア大学バークレー校宇宙科学研究所

<sup>1</sup>Division of Earth and Planetary Sciences, Kyoto University, <sup>2</sup>Solar Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, <sup>3</sup>WDC for Geomagnetism, Kyoto University, <sup>4</sup>Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, University of California, Los Angeles, <sup>5</sup>Institute of Geophysics & Planetary Physics, University of California, Los Angeles, <sup>6</sup>Space Sciences Laboratory, University of California, Berkeley

われわれの研究グループでは、サブストームのトリガー機構を解明することを目指して、時間重畳法を用いた解析を進めている。前回の講演では、Themis 衛星に搭載された低エネルギー計測器 ESA で観測された 25keV 以下のエネルギーを持つイオンから求めた速度モーメントデータを使用して得られた結果を報告した。しかし、しばしば言及されるように、その場合には、地球に近づくにつれて上限以上のエネルギーを持った粒子のフラックスが増えるため、プラズマの流速を低く見積もってしまう懸念が残る。そこで、今回は、Themis 衛星に搭載された高エネルギー粒子計測器 SST のデータも速度モーメント計算に取り入れて、再解析を実施した。その結果、予想したように、X(GSM) = -13 Re よりも地球側のプラズマシートでは、プラズマの流速が以前の結果よりも大きくなることを確認した。先の研究で、われわれは、発達したサブストームでは、オーロラブレークアップの始まる 3 分ほど前に地球向きのプラズマ流が一旦おさまり、それがブレークアップとほぼ同時刻 ( $t_0$ ) に  $-10 > X(\text{Re}) > -18$  の領域で地球向きのプラズマ流が増大することを指摘した。また、サブストームのトリガーのモデルとして、われわれは Catapult Current Sheet Relaxation (CCSR) モデルと称するものを提唱しているが、発達したサブストームでは、電流層の地球側の境界にあたる  $X \sim -12 \text{ Re}$  で最初に緩和現象が起こり、その約 1 分後に電流層全体が緩和して、電流層の尾部側境界である  $X \sim -18 \text{ Re}$  において磁気リコネクションが開始する様子が高エネルギー粒子の寄与を取り入れた本研究によって、さらに明確になった。

よって、サブストームオンセットに伴って最初の約 2 分間、近尾部に生成される地球向きの流れは Catapult Current Sheet の緩和に伴うもので、その後、引き続いて生成される地球向きの流れは磁気リコネクションによるものであると結論付けられる。講演においては、磁場の変動など、他の物理量の変化もあわせてサブストームトリガー時に起こる変動について報告する。

キーワード: サブストーム, テミス衛星, 電流層緩和, 磁気リコネクション

Keywords: substorm, Themis probes, current relaxation, magnetic reconnection

## 異常電気抵抗モデルとサブストームシミュレーション Global MHD simulation of substorm with effective resistivity models

田光江<sup>1\*</sup>, 堀内利得<sup>2</sup>, 藤田茂<sup>3</sup>, 田中高史<sup>4</sup>

DEN, Mitsue<sup>1\*</sup>, HORIUCHI Ritoku<sup>2</sup>, FUJITA, Shigeru<sup>3</sup>, TANAKA, Takashi<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 独立行政法人情報通信研究機構, <sup>2</sup> 核融合科学研究所, <sup>3</sup> 気象庁気象大学, <sup>4</sup> 九州大学

<sup>1</sup>National Institute of Information and Communications Technology, <sup>2</sup>National Institute for Fusion Science, <sup>3</sup>Meteorological College, <sup>4</sup>Kyushu University

サブストームにおいて磁気圏尾部での磁気リコネクションは重要な役割を担う。サブストームの大域構造を調べるためには、MHDによるグローバルシミュレーションが適切だが、MHDでは磁気異常電気抵抗は定めることは出来ず、経験則に基づいた適当なパラメータとして与えることが通常である。

Ishizawa and Horiuchi (PRL 2005)では粒子シミュレーションにより、リコネクション点とそれを囲むイオンラーマー半径程度の領域では、電場の優勢成分が異なるものの、電場全体の大きさはほぼ一定である結果を得た。リコネクション点では運動論的な効果が優勢であるが、その効果をその点の電流に比例するとすれば、異常電気抵抗はその係数としてリコネクション点での電流と磁場凍結が成り立つ外側の量で評価することが出来ると考えられる。本研究では異常電気抵抗の値をこのモデルに基づいて与え、磁気圏サブストームの発達をグローバルシミュレーションにより調べた。シミュレーションモデルは、サブストームをオンセットから膨張フェーズまでモデル化を行った (Tanaka et al., JGR 2010) Tanakaによるものを用いた。

オンセット時の磁気圏磁場の双極化およびAE指数の変化が異常電気抵抗モデルによりどのように影響を受けるかについて調べ、またこれまでの波動粒子相互作用の過程から評価された異常電気抵抗を用いた結果と合わせて、磁気リコネクションとサブストームの大域構造との関係について考察する。

キーワード: サブストーム, 大域構造, 磁気リコネクション, 異常電気抵抗

Keywords: substorm, global structure, magnetic reconnection, anomalous resistivity

## 磁気圏近尾部におけるサブストームの磁場双極子化開始時の磁場変動 Magnetic field fluctuations in the near-Earth magnetotail at substorm dipolarization onsets

宮下 幸長<sup>1\*</sup>, 齊藤 (長谷川) 実穂<sup>2</sup>, 平木 康隆<sup>3</sup>, 町田 忍<sup>4</sup>

MIYASHITA, Yukinaga<sup>1\*</sup>, SAITO (HASEGAWA), Miho<sup>2</sup>, HIRAKI, Yasutaka<sup>3</sup>, MACHIDA, Shinobu<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>2</sup>NASA ゴダードスペースフライトセンター, <sup>3</sup> 核融合科学研究所, <sup>4</sup> 京都大学大学院理学研究科

<sup>1</sup>STEL, Nagoya Univ., <sup>2</sup>NASA Goddard Space Flight Center, <sup>3</sup>National Institute for Fusion Science, <sup>4</sup>Dept. of Geophys., Kyoto Univ.

本研究では、 $X=-10$  Re 付近の磁気圏近尾部におけるサブストームに伴う磁場双極子化の開始時に見られる低周波磁場変動について、Geotail および THEMIS 衛星のデータを用いて調べた。これまでの研究では、赤道面付近でプラズマベータが大きいときは、磁場双極子化の開始直前に、0.01 Hz くらいの低周波のバルーニングモード波動が特定されたが、プラズマベータが小さいときは特定されなかった。今回は、さらに詳細な解析を行い、バルーニング不安定性と磁場双極子化およびサブストーム開始との関連について議論する

キーワード: サブストーム, 磁気圏尾部, 磁場双極子化, 磁場変動, バルーニング

Keywords: substorm, magnetotail, dipolarization, magnetic field fluctuation, ballooning

## サブストーム成長相に見られるマグネトシース内ショックについて A shock wave in the magnetosheath observed in the substorm growth phase

藤田 茂<sup>1\*</sup>, 田中 高史<sup>2</sup>

FUJITA, Shigeru<sup>1\*</sup>, TANAKA, Takashi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 気象大学校, <sup>2</sup> 九州大学宙空環境研究センター

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

We detected a shock wave in the lower-latitude side to the cusp region in the magnetosheath during the substorm growth phase in the global MHD simulation. This shock is transient because it appears after the southward turn of the IMF and disappears after the onset of substorm. From analysis of the numerical data, we identify the shock as the fast shock. Therefore, this shock is caused by collision between the fast plasma flow in the magnetosheath and the high-pressure region of the cusp extended into the magnetosheath.

The points to be settled are acceleration mechanism of the magnetosheath plasmas and disappearance mechanism of this shock. As for the acceleration, the laval nozzle model [Yamauchi and Lundin, 1997] is one of the candidates, but the simulation result does not seem to support it. Otherwise, the magnetosheath plasmas are accelerated through release of the magnetic tension caused by magnetic field merging between the solar wind field and the magnetospheric field. As for the disappearance, it seems to coincide with the substorm onset. We find that the plasma pressure in the upstream side of the magnetosheath shock increases at the substorm onset. By analyzing the numerical results carefully, it is obtained that gradual increase in pressure triggered by sudden increase in pressure in the inner magnetosphere in the nightside propagates toward the dayside cusp region. This indicates that the magnetosheath plasma pressure will increase. Then, increase in the sound speed makes the supersonic flow the subsonic flow. Therefore, the shock wave disappears. It is noted that magnetic field erosion from the dayside magnetosphere to the lobe in the magnetotail is also seemed to be ceased at the same time. However, the erosion is active in the early phase of the growth phase and gradually less active in the latter phase of the growth phase. This result probably indicates that activity of the erosion does not control the formation of the shock.

Yamauchi, M. and R. Lundin (1997), The Wave-Assisted Cusp Model: Comparison to Low-Latitude Observations, *Phys. Chem. Earth*, 22, 729-734.

キーワード: ショック波, マグネトシース, カスプ, MHD シミュレーション, サブストーム

Keywords: shock wave, magnetosheath, cusp, MHD simulation, substorm

## 地球磁気圏近尾部領域におけるBBFのリバウンドとプラズマ渦 Rebound of BBF and vortical plasma motion 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> Research Center for Space and Cosmic Evolution, Ehime University

地球磁気圏近尾部領域における磁気リコネクション現象は、磁気圏サブストームの中核をなす現象であり。すなわち、磁気リコネクション現象に伴うこの領域のプラズマ現象を理解することは、非常に重要である。最近の複数衛星による同時多点観測の結果、地球向き的高速プラズマ流 (Bursty Bulk Flow 以下 BBF) が地球双極子磁場と相互作用することで、尾部方向へのプラズマ流つまり BBF のリバウンドが起こることがわかってきた。また一方で、このリバウンドの結果、BBF のブレーキ領域でプラズマ渦が発生することがわかってきた。本研究では、自発的高速磁気再結合モデルに基づく三次元磁気流体シミュレーションを用いて BBF のブレーキの結果、渦が発生する条件・領域およびその発達過程を明らかにした。

キーワード: 磁気流体シミュレーション, 磁気リコネクション, 地球磁気圏近尾部, プラズマ渦, 高速プラズマ流

Keywords: MHD simulation, magnetic reconnection, near-Earth plasma sheet, vortical plasma motion, bursty bulk flow

## 2-1/2次元 Full-Particle シミュレーションによる磁気圏サブストーム発生メカニズムの考察

### A simulation study of the tail current sheet at the time of substorm onset

内野 宏俊<sup>1\*</sup>, 町田 忍<sup>1</sup>

UCHINO, Hiroto<sup>1\*</sup>, MACHIDA, Shinobu<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科太陽惑星系電磁気学講座

<sup>1</sup> SPEL, Kyoto University

地球磁気圏尾部で発生するエネルギー解放現象であるサブストームの発生の物理過程は、磁気リコネクションやテアリング不安定性などと密接に関わっていると考えられている。最近の Geotail などの磁気圏尾部の観測から、我々の研究グループでは今まで考えられてきたサブストームオンセットのモデルとは異なるモデル (Catapult Current Sheet Relaxation Model) を提唱した。しかし、その詳細な物理過程には不明な点が残っている。そのため、今回はサブストーム発生のメカニズムを解明するとともに、これからの宇宙天気分野の発展に貢献することを目指して、長く引き伸ばされたダイポール磁場形状を持つ電流層の安定性を粒子シミュレーションの手法を用いて研究した。

具体的にそのような磁場形状を与えるために、我々は磁気リコネクションシミュレーションにおいて広く使われている Harris 解に少し変更を加えることにした。そして、磁気圏尾部を近似した磁場構造に対して 2-1/2 Full-Particle PIC シミュレーションを実行し、その物理発展の初期的な結果を得た。シミュレーションの初期条件として仮定する粒子密度分布を Quiet Start の手法を用いて与え、ノイズの少ない計算が実行できるよう工夫を行った。その中で、磁気圏尾部における磁場南北成分の大きさと磁気リコネクション発生位置の関係、及び、磁気リコネクション発生までのテアリング不安定性等の発展の仕方に対して考察を行う。

キーワード: 磁気圏サブストーム, 磁気リコネクション, テアリング不安定性, PIC シミュレーション

Keywords: Substorm, Magnetic reconnection, Tearing instability, PIC simulation

## 地球磁気圏近尾部領域で観測される尾部方向プラズマ流 Tailward plasma flow observed in the near-Earth magnetosphere

洲濱 裕也<sup>1\*</sup>, 近藤 光志<sup>1</sup>

SUHAMA, yuya<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> Research Center for Space and Cosmic Evolution of Ehime University

磁気リコネクションの結果、地球磁気圏近尾部領域では、地球方向の高速なプラズマ流 (BBF(Bursty Bulk Flow)) と、尾部方向 (反地球方向) のプラズマ流が発生する。一方で、BBF が地球双極子磁場に到達した結果、地球双極子磁場の反動による尾部方向のプラズマ流 (バウンスフロー) がかなり広い範囲で発生すると考えられている。本研究では、同じ速度方向をもつことになる尾部方向のリコネクションアウトフローとバウンスフローの物理パラメータの変動の違いを、GEOTAIL 衛星のデータと数値シミュレーションを用いて調べる。自発的高速磁気再結合モデルに基づく3次元磁気流体シミュレーションを行い、仮想衛星による観測と GEOTAIL 衛星のデータについて統計解析した結果を比較検討する。

キーワード: 地球磁気圏, リコネクション

Keywords: reconnection, tailward

## 磁気圏尾部リコネクションジェット先端部分の速度場の再現 Streamline reconstruction of the front part of magnetotail reconnection jets

長谷川 洋<sup>1\*</sup>, 齊藤 (長谷川) 実穂<sup>2</sup>, Hwang, Kyoung-Joo<sup>3</sup>  
HASEGAWA, Hiroshi<sup>1\*</sup>, SAITO (HASEGAWA), Miho<sup>2</sup>, Kyoung-Joo Hwang<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> 名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>3</sup> NASA Goddard宇宙飛行センター  
<sup>1</sup>Institute of Space and Astronautical Science, JAXA, <sup>2</sup>STE lab, Nagoya University, <sup>3</sup>NASA Goddard Space Flight Center

We present an in-depth analysis of multiple plasma jet fronts observed on 15 August 2001 by the Cluster spacecraft (at geocentric distance of about 19 Re) in a post-midnight current sheet of Earth's magnetotail, first reported by Hwang et al. (2011). Such jet fronts, accompanied by an increase in the northward magnetic field component ( $B_z$ ), are suggested to be a key ingredient for earthward injection of plasma and magnetic flux. In part of fast earthward jets where the field is directed earthward ( $B_x > 0$ ), ion velocity distributions consist of two populations, Alfvénic field-aligned beam and cooler ions convected toward the sheet center, supporting that the jets resulted from magnetic reconnection tailward of Cluster. Four-spacecraft timing method and deHoffmann-Teller analysis both show that the entire structure traveled earthward and dawnward. Based on reconstruction of streamlines using a Grad-Shafranov-like equation for flow transverse to a unidirectional field (Hasegawa et al., 2007), it is suggested that a vortex with a diameter of several Re existed near the dawnside edge of each jet front. The results are suggestive of an MHD-scale interchange type instability developed at the front of a two-dimensional (broad) reconnection jet (e.g., Nakamura et al., 2002), although the possibility of multiple bursts of transient and three-dimensional (localized) reconnection cannot be ruled out.

### References:

Hasegawa, H., B. U. Ö. Sonnerup, M. Fujimoto, Y. Saito, and T. Mukai (2007), Recovery of streamlines in the flank low-latitude boundary layer, *J. Geophys. Res.*, 112, A04213, doi:10.1029/2006JA012101.

Hwang, K.-J., M. L. Goldstein, E. Lee, and J. S. Pickett (2011), Cluster observations of multiple dipolarization fronts, *J. Geophys. Res.*, 116, A00I32, doi:10.1029/2010JA015742.

Nakamura, M. S., H. Matsumoto, and M. Fujimoto (2002), Interchange instability at the leading part of reconnection jets, *Geophys. Res. Lett.*, 29(8), 1247, doi:10.1029/2001GL013780.

キーワード: 磁気圏尾部, 磁気リコネクション, 交換型不安定, グラッド・シャフラノフ方程式, ジェット先端構造  
Keywords: magnetotail, magnetic reconnection, interchange-type instability, Grad-Shafranov equation, jet front

## 太陽フレア前後の磁場構造および磁場エネルギーの変化 Evolution of Field Structure and Energy in a Solar Flare

谷本 洋<sup>1\*</sup>  
TANIMOTO, Hiroshi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 愛媛大学宇宙進化研究センター

<sup>1</sup> Research Center for Space and Cosmic Evolution of Ehime University

地球磁気圏が太陽フレアなどの太陽コロナでの爆発現象に多くの影響を受けていることから、宇宙天気予報において太陽フレアの予報は重要な課題の一つである。そして、太陽フレア前後の磁場構造の理解は、まずクリアしなければならない重要課題である。

一方で、太陽観測衛星「Hinode」の可視光望遠鏡 (Hinode/SOT) により、高精度の光球面磁場ベクトルが得られてきている。本研究では、Hinode/SOT で観測された太陽光球面磁場からの外挿計算により三次元コロナ磁場の再構成を行い、太陽フレア発生前後の磁場構造及び磁場エネルギーの変化を理解することを目的とする。

コロナ磁場を外挿するにあたって、太陽コロナでは磁気圧以外を無視した Force-Free 近似 ( $J \parallel B$ ) がよく成り立つと仮定し、観測された高球面磁場データを太陽表面の境界条件として、magneto-frictional 法を用いて数値的に境界値問題を解く。先行研究において、Low & Lou 解 (厳密解) を用いた定量評価により、magneto-frictional 法が、外挿方法としてよく厳密解を再現することが分かっている。また、観測データへの適用のため、底面以外の上面、側面の最適な境界条件を探した結果、PF 固定境界、自由境界、対称境界の中では、対称境界が一番厳密解との誤差を小さくすることが分かった。従って、本研究では、対称境界を用いて実観測データから三次元コロナ磁場の再構成を行う。本研究では、再構成した三次元磁場から、フレア前後の磁力線のトポロジー変化と磁場エネルギーの変化について議論する。

キーワード: フレア, リコネクション, magneto-frictional 法

Keywords: Reconnection

## 地磁気共役点オーロラの発光強度比較

### Comparison between emission intensities of magnetic conjugate aurora

重信 薫<sup>1\*</sup>, 田口 真<sup>1</sup>, 門倉 昭<sup>2</sup>, 佐藤 夏雄<sup>2</sup>

SHIGENOBU, Kaoru<sup>1\*</sup>, Makoto Taguchi<sup>1</sup>, Akira Kadokura<sup>2</sup>, Natsuo Sato<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 立教大学理学部物理学科, <sup>2</sup> 国立極地研究所

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

オーロラは磁気赤道面で地球磁場に捕えられた荷電粒子が、磁気圏から磁力線に沿って南北の極地方の高層大気に入射し、衝突することにより原子や分子(主に酸素や窒素)を励起させ、それらが基底状態に戻る際に光を放つという発光現象である。このため、オーロラは磁力線上の様々な情報を持っている。そこで、一本の磁力線で結ばれた南北両半球の地点(これを磁気共役点と呼ぶ)で同時観測を行うことにより、オーロラの明るさや形状や出現頻度を南北両半球で比較し、その環境の違いを推察することができる。一般に磁気共役点で観測されたオーロラは同時刻で同じような形状になり、これをオーロラの共役性と呼んでいる。しかし、オーロラの共役性は、磁気圏や電離圏の状態に伴い変化するために、共役性は常に保たれているわけではない。よく似たオーロラが数分間でまったく似てないオーロラに急変することや、オーロラ嵐のような動きが活発で明るさの変動が激しいオーロラは、ほとんど似ていない場合が多い。この非共役性の原因の一つとして考えられているのが、地上 3000 ~ 10000km 付近に存在する沿磁力線加速領域における南北の非対称性である。

地磁気共役オーロラについてこれまで調査されてきた内容は、主に形状変化や時間変化についてである。地磁気共役オーロラの発光強度比を統計的に検証されたことは一度もなく、長期間による発光強度の比較によりオーロラの共役・非共役性についての情報が得られると期待される。

我々は昨年度、地磁気共役点であるアイスランド・フッサフェルと南極・昭和基地で、Conjugate Aurora Imager(CAI)と Electron Aurora Imager(EAI)を用いて南北同時観測を行ったが、悪天候とオーロラ活動の低さにより、研究対象となりえるデータは得られなかった。そこで今年度は自動観測プログラムによる長期間の観測を行った。その結果、2011年9月9日から11日深夜にかけて活動的なオーロラの観測に成功した。このイベントではフレアに伴う擾乱のため昭和基地では-12000nTにも達するサブストームが発生した。本発表ではこのイベントで観測されたオーロラの比較と統計的な比較方法について述べる。

キーワード: 地磁気共役点オーロラ

Keywords: magnetic conjugate aurora

## サブオーロラ帯における VLF/ELF 波動自動観測システムの開発

### Development of the automatic observation system for VLF/ELF waves at subauroral latitudes

横山 侑<sup>1\*</sup>, 塩川 和夫<sup>1</sup>, 三好 由純<sup>1</sup>, 尾崎 光紀<sup>2</sup>, 石坂 和太<sup>2</sup>, 八木谷 聡<sup>2</sup>, マーチン コナーズ<sup>3</sup>

YOKOYAMA, Yu<sup>1\*</sup>, SHIOKAWA, Kazuo<sup>1</sup>, MIYOSHI, Yoshizumi<sup>1</sup>, OzakiMitsunori<sup>2</sup>, Ishizaka Kazumasa<sup>2</sup>, YAGITANI, Satoshi<sup>2</sup>, Martin Connors<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>2</sup> 金沢大学, <sup>3</sup> アサバスカ大学

<sup>1</sup>Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, <sup>2</sup>Kanazawa University, <sup>3</sup>Athabasca University

パルセイティングオーロラのメカニズムとして、磁気赤道付近で発生した VLF/ELF 波動がパルセイティングオーロラを点滅させるというモデルがある。

このモデルから、地上で観測されるパルセイティングオーロラと VLF/ELF 波動との間に相関があることが予想される。実際にその良い相関関係が確認された例が過去に報告された (Tsuruda et al., 1981)。

しかしこの当時は、全ての観測がアナログ記録であったため、自由な周波数解析や波形解析ができなかった。そこで、名古屋大学と金沢大学が協力して、2012年2月にカナダの Athabasca(54.72N, 246.69E, MLAT=61.3) と Fort Vermillion(58.38N, 243.99E, MLAT=64.5) で、ループアンテナ、高速オーロラ観測カメラを用いて、これまでにない高時間分解能のオーロラ画像と VLF/ELF 波動の同時観測キャンペーンを行う。

この観測で得られる 100kHz でサンプルされた波動データの量は膨大となる。そこで本研究では、データ処理に関する工夫を行い、データを可視化する自動データ処理ソフトウェアを開発することを目的とする。

具体的には、データ名に、観測装置名、日付、時間、サンプリング周波数、チャンネル数、観測点名の情報を記述することによって、今後のファイルの扱いを容易にした。また、波動のダイナミックスペクトルをすべて画像化して容易に見られるようにすることで数多くのデータの中から興味のあるイベントを見つけやすくした。これらの処理を Linux 上の Shell で動作させ、自動的に行えるようにした。本発表では、これらのキャンペーンの初期結果も併せて報告する

キーワード: サブオーロラ帯, パルセイティングオーロラ, VLF 波動, ELF 波動, 自動観測システム, 高時間分解能

Keywords: subauroral latitudes, pulsating aurora, VLF wave, ELF wave, automatic observation system, high-time resolution

## あけぼの衛星で観測された磁気赤道付近における ELF 波動の特性解析 Data analysis of ELF emissions in the vicinity of magnetic equator observed by AKEBONO

松田 昇也<sup>1\*</sup>, 笠原 禎也<sup>1</sup>, 後藤 由貴<sup>1</sup>  
MATSUDA, Shoya<sup>1\*</sup>, KASAHARA, Yoshiya<sup>1</sup>, GOTO, Yoshitaka<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 金沢大学

<sup>1</sup>Kanazawa University

あけぼの衛星に搭載された VLF 波動観測装置により、地球内部磁気圏の磁気赤道周辺で電磁イオンサイクロトロン波や磁気音波などの ELF 帯波動の観測例が報告されている [1,2]。一方、次期地球内部磁気圏観測衛星として検討が進んでいる ERG[3] では、磁気赤道面に近い軌道を取り、磁気赤道付近で観測されるコーラスやイオンサイクロトロン波などの、生成・伝搬のメカニズムと、放射線帯における波動-粒子相互作用の解明を目指している。

本研究では、あけぼの衛星で観測された ELF 帯の電磁界波形を詳細解析し、イオンサイクロトロン波や磁気音波の偏波や周波数特性について解析した結果を報告する。あけぼの衛星の観測データの詳細解析は、ERG 計画のサイエンス目標であるこれらの波動の生成・伝搬機構の解明の足掛かりとなり得る。そこで、本講演ではあけぼの衛星で観測された磁気赤道域 ELF 波動現象の特徴を報告するとともに、ERG 搭載用の波動観測器に要求される観測機能と分解能について議論する。

[1] Y. Kasahara, A. Sawada, M. Yamamoto, I. Kimura, S. Kokubun, and K. Hayashi, Ion Cyclotron Emissions Observed by the Satellite Akebono in the vicinity of the Magnetic Equator, *Radio Science*, 27, 347-362, 1992.

[2] Y. Kasahara, H. Kenmochi, and I. Kimura, Propagation Characteristics of the ELF Emissions Observed by the Satellite Akebono in the Magnetic Equatorial Region, *Radio Science*, 29, 751-767, 1994.

[3] ERG 検討チーム, 小型衛星計画 ERG (Energization and Radiation in Geospace) ワーキンググループ提案書, 2008.

キーワード: 電磁イオンサイクロトロン波, 磁気音波, 放射線帯, あけぼの, ERG

Keywords: electromagnetic ion cyclotron wave, magnetosonic wave, radiation belt, AKEBONO, ERG

## 内部磁気圏探査用高エネルギー電子検出器の高計数環境下での性能評価 Evaluation of high-energy electron Detector for Probing the Inner Magnetosphere in High-counting Conditions

玉田 幸広<sup>1\*</sup>, 高島 健<sup>2</sup>, 三谷 烈史<sup>2</sup>, 三宅 互<sup>1</sup>

TAMADA, Yukihiro<sup>1\*</sup>, TAKASHIMA, Takeshi<sup>2</sup>, MITANI, Takefumi<sup>2</sup>, MIYAKE, Wataru<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東海大学大学院工学研究科, <sup>2</sup>JAXA 宇宙科学研究所

<sup>1</sup>Tokai University, <sup>2</sup>ISAS/JAXA

内部磁気圏にはエネルギー幅が6桁以上異なる粒子をそれぞれ持つ領域が存在する。また内部磁気圏の放射線帯では地磁気嵐の回復相に高エネルギー電子が増加することが観測された。これからインフラとしてさらに利用が進むと考えられる磁気圏のこのような変動を解明することは、社会貢献となる。また科学的な面でも大きな成果となる。その計画として統合観測を目的としたERG衛星がある。この研究ではERG衛星に搭載される高エネルギー電子検出器 HEP-e (100[keV] ~ 1[MeV]) の性能評価を行った。擾乱により電子フラックスがまで増加した時、HEP-e で使用する VA32TA 7 (読み込み IC-chip) の deadtime が原因により計数がサチレーションしてしまう。今回、検出器の有感面積を減らし入射粒子数を減らすことで高計数時をカバーしようと考えた。Cs137 と低エネルギーを放出する放射線源を用いた。検出器は入射粒子数の増加によって Cs137 が放射する電子を数え落とすことがわかった。しかし検出器の有感面積を減らすことで数え落としを減らすことができた。また高計数時にスペクトルが高エネルギー側にシフトすることを確認した。これは実験を繰り返しシミュレーションソフト Geant 4 によるシミュレーションと比較検討する。

キーワード: 内部磁気圏, 電子検出器, 地磁気嵐

Keywords: Inner Magnetosphere, Electron Detector, Magnetic storm

## 中緯度 SuperDARN レーダー・THEMIS 衛星を用いた Pi2 地磁気脈動周期の緯度特性 Latitude dependence of Pi2 Pulsation frequency observed by the mid-latitude Super-DARN radars and the THEMIS satellites

寺本 万里子<sup>1\*</sup>, 西谷 望<sup>1</sup>, 堀 智昭<sup>1</sup>, DEVLIN John<sup>2</sup>, ANGELOPOULOS Vassilis<sup>3</sup>

TERAMOTO, Mariko<sup>1\*</sup>, NISHITANI, Nozomu<sup>1</sup>, HORI, Tomoaki<sup>1</sup>, John DEVLIN<sup>2</sup>, Vassilis Angelopoulos<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>2</sup> ラトロブ大学電子工学科, <sup>3</sup> カリフォルニア大学ロサンゼルス校

<sup>1</sup>Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, <sup>2</sup>Department of Electronic Engineering, La Trobe University,

<sup>3</sup>University of California, Los Angeles

At mid-latitudes, Pi2 pulsations appear clearly on the nightside at substorm onsets. Several studies suggested that a transient Alfvén waves might contribute to the excitation of Pi2 pulsations at high latitudes on the nightside. On the other hand, fast mode waves trapped between the ionosphere and plasmasphere are responsible for Pi2 pulsations at mid and low latitudes on the nightside. Using the Sweden And Britain auroral Radar Experiment (SABRE) coherent radar at auroral and sub-auroral latitudes, Yeoman et al. [1991] found that the radar could distinguish between these two types of Pi2 pulsations and suggested that the mid latitude is transition region of these two types of Pi2 pulsations. Few studies have been examined the characteristics of Pi2 pulsations over wide geomagnetic latitude, using radars located at mid latitude.

We report on one event of Pi2 pulsation at 09:10 UT on 11 August 2010 detected simultaneously by the Hokkaido, Tiger, and Unwin SuperDARN radars and THEMIS-A, -D, -E satellites when they were located in the pre-midnight sector. THEMIS satellites observed Pi2 pulsations predominantly in the compressional and radial components of the magnetic field and the azimuthal component of the electric field when satellites were located at  $L < 4$  inside the plasmasphere. These pulsations had a predominant frequency at 14 mHz and high coherence ( $\sim 1$ ) with the H-component Pi2 pulsations at Kakioka (KAK: magnetic latitude 27.47; magnetic longitude 209.2 degrees). The four radars detected Pi2 pulsations as fluctuation in the Doppler velocities while operating with themiscan mode, which provides 8-s sampling data. Pi2 pulsations in Doppler velocities of echoes backscattered at lower latitude had predominant frequency at 14 mHz while Pi2 pulsations observed at higher latitude by the radars had predominant frequency of both 14 mHz and 21 mHz. These results may indicate that the radars detected harmonic structures of Pi2 pulsations in the plasmasphere.

## グローバルMHDシミュレーション磁力線追尾システムによる、磁束拡散領域の評価

### Estimation of magnetic flux diffusion region using a system of Magnetic Field Tracing in Global MHD simulations

久保田 康文<sup>1\*</sup>, 村田 健史<sup>1</sup>, 山本 和憲<sup>1</sup>, 深沢 圭一郎<sup>2</sup>, 坪内 健<sup>3</sup>

KUBOTA, Yasubumi<sup>1\*</sup>, MURATA, Ken T.<sup>1</sup>, YAMAMOTO, Kazunori<sup>1</sup>, FUKAZAWA, Keiichiro<sup>2</sup>, TSUBOUCHI, Ken<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 情報通信研究機構, <sup>2</sup> 九大・情報基センター, <sup>3</sup> 東京大学

<sup>1</sup>NICT, <sup>2</sup>RIIT, Kyushu Univ., <sup>3</sup>The University of Tokyo

太陽風-磁気圏-電離圏のエネルギー輸送を理解するためには磁気圏の対流を理解することが重要である。我々は磁気圏対流を可視化するため、磁力線追尾システムを開発した。磁力線を追尾するためには、'Frozen-in' が成り立つ必要がある。Global MHD シミュレーションでは、磁場の誘導方程式に物理的な拡散項、人工的な拡散項を付加しているため、磁場が拡散し 'Frozen-in' が破れる領域がある。拡散項により 'Frozen-in' が破れる場合は、磁力線を追尾することができない。このため拡散領域を避けて追尾する必要がある。そこで我々は追尾点 30 点で囲む微小面積を追尾し、微小面積内の磁束の時間変化をモニターすることで (Flux tube の追尾)、磁場の拡散領域を 3 次元的に可視化することに成功した。具体的には、シース領域から磁束保存を調べる微小面積 (Flux tube) を 900 個 × 30 点、流し込み追尾した。その結果、昼側マグネットポーズでは、IMF の向きにより、磁場拡散領域の空間分布が変化することが分かった。IMF 南向きの場合は、マグネットポーズの低緯度付近に拡散領域ができる。IMF 北向きの場合は、マグネットポーズの高緯度付近に拡散領域ができる。また、拡散領域の中に磁力線の繋ぎ換えをする点があることが分かった。拡散領域をモニターしながら磁力線を追尾することで、磁力線の繋ぎ換えを考慮して、磁気圏対流を可視化できることがわかった。講演では磁力線追尾システムの宇宙天気への応用についても議論する。

キーワード: 磁力線, 磁場凍結, 磁気圏対流, 宇宙天気

Keywords: magnetic field line, frozen-in, magnetosphere convection, space weather

## Geotail 衛星によって観測された LH 帯プラズマ波動に関する粒子シミュレーション Particle simulations about LH plasma waves observed by Geotail spacecraft

金子 純一<sup>1\*</sup>, 三宅 壮聡<sup>1</sup>

KANEKO, junichi<sup>1\*</sup>, MIYAKE, Taketoshi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 富山県立大学

<sup>1</sup> Toyama Prefectural University

本研究室ではこれまでに Geotail 衛星に搭載されている電場観測装置 (EFD:Electric Field Detector) によって観測された電場データを用いて、磁気圏内の LH 帯低周波波動に関する統計解析を行った。まず、EFD による観測データから LH 帯波動を自動判別によって抽出して LH 帯波動の発生頻度分布を調べた。更にその領域の磁場やイオンなどのプラズマ環境を調査し、LH 帯波動が発生している領域の特定や発生条件に関する統計解析を行った。

磁気圏内で観測される LH 帯波動の領域毎の観測頻度を解析した結果、Lobe やプラズマシート境界層 (PSBL) のような領域で高いことがわかった。さらに LH 帯波動観測時の LH 周波数、電界強度、磁場の向き及びイオン速度を調査した結果、LH 帯波動観測時に磁場に垂直方向のイオン速度が速くなる傾向があった。また地球方向のイオン流がある時に LH 帯波動は観測頻度の高い傾向が見られた。以上の解析結果から、LH 帯波動は Lobe と PSBL の境界付近のプラズマ密度及び磁場強度の空間勾配が大きく、イオン流が存在する領域で発生していると考えられる。また、LH 帯波動の発生時に磁場に垂直方向のイオン速度の上昇や地球方向のイオン流が観測されており、LH 帯波動の発生とそれらのイオン流との間に相関があると考えられる。

これらの観測結果にもとづき、本研究では Geotail 衛星に搭載されている電場観測装置 (EFD:Electric Field Detector) によって観測された LH 帯波動に関する 2 次元粒子シミュレーションを行う。磁場に垂直方向のイオン速度および磁場方向のイオンドリフト速度を変化させて、LH 帯波動の発生メカニズムとの関係について検討した結果、磁場に垂直方向のイオン速度は LH 帯波動の発生と関係がないことがわかった。したがって、イオンドリフト速度と LH 帯波動の発生メカニズムとの関係を検討する。

キーワード: LH 帯プラズマ波動, 地球磁気圏, 統計解析, イオン流, 波動粒子相互作用

Keywords: Lower Hybrid plasma wave, magnetosphere, statistical analysis, ion flow, wave-particle interaction

## 惑星間空間磁場斜め北向き時の磁気圏大規模磁束循環

### Global magnetic flux circulation in the magnetosphere during obliquely northward interplanetary magnetic field periods

渡辺 正和<sup>1\*</sup>, 藤田 茂<sup>2</sup>, 久保田 康文<sup>3</sup>, 品川 裕之<sup>3</sup>, 田中 高史<sup>1</sup>, 村田 健史<sup>3</sup>

WATANABE, Masakazu<sup>1\*</sup>, FUJITA, Shigeru<sup>2</sup>, KUBOTA, Yasubumi<sup>3</sup>, SHINAGAWA, Hiroyuki<sup>3</sup>, TANAKA, Takashi<sup>1</sup>, MURATA, Ken T.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>九州大学, <sup>2</sup>気象大学校, <sup>3</sup>情報通信研究機構

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

惑星間空間磁場 (IMF) 北向き時の磁気圏構造は一般に思われているほど理解されていない。例えば、開いた磁力線が磁気圏前面を覆うため (いわゆる過覆 lobe)、低緯度境界層は開いた磁力線上にあることを認識している人は少ない。また、磁気リコネクションによる定常磁束循環のモードも従来は lobe 中で起こる循環 [Russell, 1972] のみが考えられていて、電離圏高度に現れる対流は全て lobe セルであると解釈されてきた。しかし、磁場トポロジーを考慮すると、この考えは必ずしも正しくなく、別モードの磁束循環が支配的であることが指摘されている [Watanabe and Sofko, 2009]。そのモードでは、IMF - lobe リコネクションと lobe - closed リコネクションが南北両半球で交互におこり、お互いに磁束をやり取りすることで定常循環を維持する。この考え方は今だ広く受け入れられていないが、その大きな理由は磁場の 3 次元トポロジーを思い描くことが一般には難しく、議論が定性的なままにとどまっているからである。先に著者らはグローバル電磁流体シミュレーションを用いて、上述の磁束循環モードと矛盾しない結果が得られることを示した。惑星間空間磁場を真北より約 20 度傾けてやると、理論的に予想される電離圏対流パターンが現れる。本研究ではこの結果の解析をさらに進め、磁束循環モードが確かに上述のものであることを示すと同時に、これを一般にも理解できる形で可視化することを試みる。そのために以下の解析を行う。まず、磁気圏構造の理解に必要な磁気中性点、セパトリックス、セパレーターを精度よく求めこれを可視化する。次に、IMF、lobe、closed、lobe、IMF の順に連続してセパトリックスを通過する流線が存在することを示しこれを可視化する。これにより前述の磁束循環モードが証明される。講演では関連する観測事項についても言及する予定である。

#### References

Watanabe, M., and G. J. Sofko (2009), Role of interchange reconnection in convection at small interplanetary magnetic field clock angles and in transpolar arc motion, *J. Geophys. Res.*, 114, A01209, doi:10.1029/2008JA013426.

Russell, C. T. (1972), The configuration of the magnetosphere, in *Critical Problems of Magnetospheric Physics*, edited by E. R. Dyer, pp. 1-16, Inter-Union Commission on Solar-Terrestrial Physics Secretariat, Natl. Acad. of Sci., Washington, D. C.

キーワード: 磁場トポロジー, 磁気リコネクション, 磁気中性点, セパトリックス, セパレーター

Keywords: magnetic topology, magnetic reconnection, magnetic null, separatrix, separator