

## Correlation between Substorm Onset Ground and Space Observations: Implication for Kinetic Ballooning Instability Correlation between Substorm Onset Ground and Space Observations: Implication for Kinetic Ballooning Instability

Chio Cheng<sup>1\*</sup>, T. F. Chang<sup>1</sup>  
Chio Cheng<sup>1\*</sup>, T. F. Chang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Plasma and Space Science Center, National Cheng Kung University

<sup>1</sup>Plasma and Space Science Center, National Cheng Kung University

The observations of substorm onset phenomena in the magnetosphere and ionosphere are examined to study their correlation and understand the substorm onset mechanism. In particular, we examine the Pi2 wave structure, propagation, frequency and growth rate in the magnetosphere observed by the THEMIS satellites and the structure and dynamics of the substorm auroral onset arcs. We show the correlation between the substorm onset arcs and the Pi2 pulsations in terms of wave structure, propagation, and the exponential growth of arc intensity and Pi2 wave amplitude. The correlation between the ground and space phenomena strongly supports the kinetic ballooning instability (KBI) as the cause of substorms. We demonstrate that KBI is most unstable in the strong cross-tail current region magnetic field lines and the KBI parallel electric field accelerates electrons along the magnetic field lines into the ionosphere to produce the substorm onset arc.

キーワード: substorm, kinetic ballooning instability, magnetospheric dynamics, magnetospheric structure  
Keywords: substorm, kinetic ballooning instability, magnetospheric dynamics, magnetospheric structure

## 2-1/2次元 Full-Particle コードによる磁気圏サブストーム発生機構の解明 Investigation of the Triggering Mechanism of Magnetospheric Substorm by means of 2-1/2D Full-Particle Simulation

内野 宏俊<sup>1\*</sup>, 町田 忍<sup>1</sup>

Hirotochi Uchino<sup>1\*</sup>, Shinobu Machida<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻 地球物理学教室

<sup>1</sup> Earth and Planetary Sciences Graduate School of Science, Kyoto University

地球磁気圏尾部におけるサブストーム発生の物理過程は、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 THEMIS 衛星データの統計解析結果に基づき、我々のグループでは新たなサブストームオンセットのモデル (Catapult Current Sheet Relaxation Model : CCSR Model) を提唱した (Machida et al., 2012)。その統計解析の結果では、サブストームオンセットの数分前から、X<sup>2</sup>-17Re 付近の電流層に北向き磁場成分の極大領域が現れ、オンセット時刻に極大領域の尾部側の端から磁気リコネクションが発生していることが見だされている。その統計解析結果を物理的に検証するため、粒子シミュレーションの手法を用いてサブストーム開始時の電流層の安定性に関する研究を行った。

シミュレーションを実施する際の基本的な初期条件として、地球の磁気ダイポールに近い形状の磁場配位と、電流層により引き伸ばされた磁場配位をつなげたものを採用した。このような初期条件のもとでシミュレーションを開始すると、磁気ダイポールと電流層の境界から、電流層中のテアリングモードの最大成長波長程度隔たった磁気圏尾部側の位置で、テアリングモードと思われる磁場変動が見られた。本研究ではさらにこの初期条件に対して、統計解析で見られたような北向き磁場成分の極大領域を電流層に加えて、不安定性の変化を調べた。その結果、このような北向き磁場成分が電流層の不安定性を増大させることがわかった。さらにこの北向き磁場の極大領域の位置を変化させていくと、極大領域の尾部側の端が先程のテアリングモードの発生位置と重なる箇所で、最も素早くテアリングモードの発展がみられ、支配的な磁気リコネクションへと発展していった。

本研究の結果から、ダイポール領域と電流層の境界部分がテアリングモードの地球側の節となり、電流層内のテアリングモードの最大成長波長程度隔たった所にもう一つの節が形成されることが予想されるが、その少し地球側に北向き磁場成分が滞留することによって、より急激に磁気リコネクションが発達することが示唆される。したがって、先の統計解析結果は、サブストーム発生前に磁気圏尾部に流入してきた対流電場で運ばれた北向き磁場と、さらにその地球側においては、対流電場の影響で電流層が薄くなることに起因するテアリングモードを反映しているものであることが推測される。

キーワード: サブストーム, テアリング不安定, 磁気リコネクション

Keywords: Substorm, Tearing instability, Magnetic reconnection

## THEMIS データを用いたダイポール化領域の特性に関する研究 (II) Investigation of the characteristics of the dipolarization region with THEMIS data (II)

町田 忍<sup>1\*</sup>, 宮下 幸長<sup>1</sup>, 家田 章正<sup>1</sup>, 能勢 正仁<sup>2</sup>, 西村 幸敏<sup>3</sup>, Vassilis Angelopoulos<sup>3</sup>, James McFadden<sup>4</sup>, Uli Auster<sup>5</sup>  
Shinobu Machida<sup>1\*</sup>, Yukinaga Miyashita<sup>1</sup>, Akimasa Ieda<sup>1</sup>, Masahito Nose<sup>2</sup>, Yukitoshi Nishimura<sup>3</sup>, Vassilis Angelopoulos<sup>3</sup>,  
James McFadden<sup>4</sup>, Uli Auster<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学・太陽地球環境研究所, <sup>2</sup> 京都大学・地磁気世界資料解析センター, <sup>3</sup> カリフォルニア大学・ロサンゼルス校,  
<sup>4</sup> カリフォルニア大学・バークレー校, <sup>5</sup> ブランシュバイク工科大学

<sup>1</sup>STE Lab., Nagoya Univ., <sup>2</sup>WDC for Geomag., <sup>3</sup>University of California, Los Angeles, <sup>4</sup>University of California, Berkeley,  
<sup>5</sup>Technical University of Braunschweig

THEMIS 計画における地上オーロラ観測の時間分解能は3秒であり、そのため高時間分解能でサブストームの発展を研究することができる。本研究では、その利点を活かして、時間重畳法による THEMIS 衛星データの解析を実施した。前回に引き続いて今回も、磁場のダイポール化、カレントディスラプションに関連した磁場の変動に着目した。具体的には、3秒サンプリングのデータに対して時間平均のウィンドウを1分とし、その時間間隔における物理量の平均値と標準偏差を計算した。次に、最初に磁場変動の起こる場所と時間を求め、その情報を用いてプラズマ流速などの物理量の変化をみた。その結果、磁場3成分に関しては、いずれもオンセット(オーロラブレイクアップ)の20秒ほど前に、 $X = -10 R_e$  ( $R_e$ :地球半径)の近尾部プラズマシート境界層付近で増大することが見出された。

磁場の変動については、時間が経過するとともに、地球に近い内側領域の方向に増大領域が急速に拡がることが確認された。また、磁場変動が最初に現れる  $X = -10 R_e$  付近ではオンセットに伴う地球向きのプラズマ流が発達して、同時に、それより低速な尾部方向のプラズマ流の発生することがわかった。波動発生領域の拡大に合わせて、これらのプラズマ流が存在する領域が拡がってゆくことが確認された。オンセットの直前に  $X = -12 R_e$  付近では、プラズマシートが非常に薄くなるが、その変動に先立って、同領域を尾部方向から地球向きの強いコンベクティブな流れがプラズマシート中を進行することが確認された。そして、それが磁場変動の増大、広範囲にわたる地球向きの流れ、ダイポール化、カレントディスラプションを引き起こしている様子が確認できた。これらの特徴は、外側から擾乱がやって来てカレントディスラプションを引き起こすモデルを強く支持する。

キーワード: 磁気圏, オーロラ, サブストーム, カレントディスラプション, テミス

Keywords: magnetosphere, aurora, substorm, current disruption, THEMIS

## オーロラ粒子高々度加速域の poleward expansion Poleward expansion of high-altitude acceleration region at substorm

森岡 昭<sup>1\*</sup>, 三好 由純<sup>2</sup>, 笠羽 康正<sup>1</sup>, 門倉 昭<sup>3</sup>, 三澤 浩昭<sup>1</sup>

Akira Morioka<sup>1\*</sup>, Yoshizumi Miyoshi<sup>2</sup>, Yasumasa Kasaba<sup>1</sup>, Akira Kadokura<sup>3</sup>, Hiroaki Misawa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>3</sup> 国立極地研究所

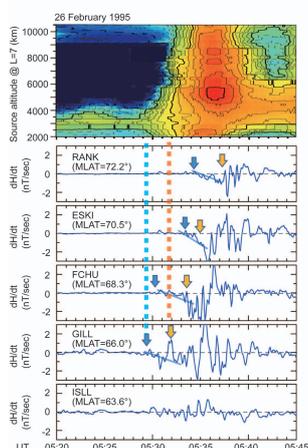
<sup>1</sup>Tohoku Univ., <sup>2</sup>STEL, Nagoya Univ., <sup>3</sup>NIPR

It is well established, since the first phenomenological study of auroral substorm by Akasofu [1964], that auroral bulge expands poleward after breakup. Fujii et al. [1994] showed that the poleward edge of the auroral bulge is characterized by dense upward FAC and intense electron precipitation. On the other hand, the behavior of field-aligned acceleration during the bulge development has not been well understood. In this paper we examine the evolution of field-aligned acceleration during the substorm expansion phase invoking spatial development of high latitude Pi pulsations.

Figure shows that the start time of the negative excursion of DC-ULF at GILL (blue arrow) corresponds to that of the low-altitude AKR enhancement (vertical blue line), and the commencement of large amplitude Pi 2 (yellow arrow) corresponds to that of the high-altitude AKR breakout (vertical yellow line). This means that GILL station was almost the foot print of the magnetospheric substorm onset. Wave forms of Pi 2 at higher latitudes indicated the poleward motion of bulge front, and high-altitude AKR (manifestation of high- altitude acceleration) was active during the poleward motion of the bulge front. This indicates an important consequence that the bulge front accompanied the high-altitude acceleration throughout the poleward expansion, resulting in the continuous emanation of active high- altitude AKR.

キーワード: 沿磁力線加速, 高々度加速域, オーロラバルジ, サブストーム

Keywords: field-aligned acceleration, high-altitude acceleration region, poleward expansion, substorm



## 尾部リコネクションのエネルギー散逸に対する波動の寄与の評価 Contribution of wave activity observed around the X-line to the reconnection energy dissipation

篠原 育<sup>1\*</sup>, 小嶋 浩嗣<sup>2</sup>, 長井 嗣信<sup>3</sup>, 銭谷 誠司<sup>4</sup>, 藤本 正樹<sup>1</sup>  
Iku Shinohara<sup>1\*</sup>, Hirotsugu Kojima<sup>2</sup>, Tsugunobu Nagai<sup>3</sup>, Seiji Zenitani<sup>4</sup>, Masaki Fujimoto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所, <sup>2</sup>京都大学生存圏研究所, <sup>3</sup>東京工業大学, <sup>4</sup>国立天文台  
<sup>1</sup>Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency, <sup>2</sup>Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University, <sup>3</sup>Tokyo Institute of Technology, <sup>4</sup>National Astronomical Observatory of Japan

In JpGU 2012, we have reported plasma wave activity observed in one of the best event on May 15, 2003 of the near Earth magnetotail reconnection. Our conclusion was that the Geotail observation is consistent with the collisionless reconnection model as shown in recent kinetic simulation results. Recently, Zenitani et al. (2012) successfully estimated the energy dissipation rate of the same reconnection event. Their result is also consistent with our interpretation that the observed wave activity cannot be a major player of the reconnection dissipation. To confirm our present conclusion more, we have examined plasma wave activity observed in some more reconnection events where Geotail possibly encountered with the electron diffusion. As a result, we commonly found that the wave intensity right in the center of the electron current layer, that is a possible X-line, is much weaker than that in its surrounding region. These Geotail observations suggest that the magnetic diffusion region of the near Earth magnetotail reconnection site is mainly controlled by the physics of the collisionless reconnection process, rather than the anomalous resistivity due to turbulence.

キーワード: 磁気リコネクション, エネルギー散逸  
Keywords: magnetic reconnection, energy dissipation

## 脈動オーロラ発生時の磁気圏赤道域付近の粒子・波動・電磁場 Particle and field near the equatorial region in the magnetosphere at the onset of pulsating aurora

佐藤 夏雄<sup>1\*</sup>, 門倉 昭<sup>1</sup>, 田中 良昌<sup>1</sup>, 細川 敬祐<sup>2</sup>, 元場 哲郎<sup>3</sup>  
Natsuo Sato<sup>1\*</sup>, Akira Kadokura<sup>1</sup>, Yoshimasa Tanaka<sup>1</sup>, Keisuke Hosokawa<sup>2</sup>, Tetsuo Motoba<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 国立極地研究所, <sup>2</sup> 電気通信大学, <sup>3</sup> 米国 APL

<sup>1</sup>National Institute of Polar Research, <sup>2</sup>University of Electro-Communications, <sup>3</sup>The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory

脈動オーロラはオーロラサブストームの回復期直後に必ず出現する普遍的な現象であるが、その発生領域や発生要因などは観測事実として未だに検証されていない。これら脈動オーロラの特性を解明する観測手法として、衛星-地上同時観測は極めて重要である。今回の解析研究では、昭和基地-アイスランド地上共役点全天カメラで同時観測された脈動オーロラについて、ほぼ同じ磁力線で結ばれた磁気圏尾部に位置していた CLUSTER 衛星との比較、及び、THEMIS 衛星と地上全天カメラ網で同時に観測された脈動オーロライベントを用いて粒子・波動・電磁場などの特性解析を行った。なお、CLUSTER 衛星と THEMIS 衛星は磁気圏の赤道面付近に位置していた。明らかになってきた主な特性は、1) 脈動オーロラ発生時には、常に、高エネルギー電子 (10 keV) の急激な増加が伴っていた、2) 脈動オーロラ発生時に ELF/VLF 波動は必ずしも励起されているわけではない、3) 高エネルギー電子フラックス変調に脈動オーロラ的な時間変調を確認するのは困難であった、などである。

キーワード: オーロラ, 脈度オーロラ, 高エネルギー電子, 電磁波動, 磁気圏, 電離圏

Keywords: aurora, pulsating aurora, high energy electron, plasma wave, magnetosphere, ionosphere

## THEMIS 衛星による内部磁気圏における電磁イオンサイクロトロントリガード放射の観測 THEMIS observations of electromagnetic ion cyclotron emissions in the inner magnetosphere

中村 紗都子<sup>1\*</sup>, 町田 忍<sup>1</sup>, 大村 善治<sup>2</sup>, 小路 真史<sup>3</sup>

Satoko Nakamura<sup>1\*</sup>, Shinobu Machida<sup>1</sup>, Yoshiharu Omura<sup>2</sup>, Masafumi Shoji<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 京都大学生存圏研究所, <sup>3</sup> 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所

<sup>1</sup>Dept. of Geophys., Kyoto Univ., <sup>2</sup>RISH, Kyoto Univ., <sup>3</sup>ISAS, JAXA

2010年にPickett et al. [2010]によって電磁イオンサイクロトロン(EMIC)トリガード放射という新たなULF帯の電磁波動現象が報告された。これはCluster衛星によってプラズマポーズの赤道域付近で観測された、電子ホイイスラーコーラスと類似したRising-tone状のスペクトルを持つ非常に強いエミッションである。この現象は観測例は非常に少ないが、粒子と強く相互作用することがShoji et al. [2011]、Omura and Zhao [2012]などによって指摘されており関心が高まっている。

本研究では2007年から2011年のTHEMIS衛星データより確認したEMICトリガード放射の観測例を報告する。これらは、Flux gate magnetometer (FGM)の磁場データ中に狭いバンドをもった数十秒の周波数変動を持つ散発性のPc1-2帯のエミッションである。エミッションは主に昼側6-10Reのプラズマポーズ外側の広い範囲で確認された。この中には様々なスペクトルをもつものが含まれ、主要なものとして典型的例であるRising-tone状のもの、電子ホイイスラーコーラス中に同様のものが見られるFalling-toneを持つもの、また複数イオン種の周波数バンドで同時に発生しているものが挙げられる。

EMICトリガード放射は、Omura et al. [2010]によって非線形成長理論を介した生成メカニズムが提唱されている。一部のRising-toneエミッションの観測例について非線形成長理論と比較を行ったところ、磁場振幅と周波数変動の関係が理論式によってよく説明されることがわかった。加えて、赤道面でのモード交差周波数を下端とするRモードRising-toneエミッションが確認されたが、これは以下のようにLモードRising-toneとして生成されたエミッションに伝搬の効果が加わったものであると解釈される。通常、赤道域で生成されたRising-toneエミッションは、モード交差周波数を境として分散関係の異なる2つの分枝に分かれる。2つの分枝は伝搬路が大きく異なり、生成域でモード交差周波数より高い周波数を持つ分枝のみがRモード波への変換を経て磁力線に沿って赤道域から高緯度へ伝搬することが予想される。これらは、観測されたエミッションが赤道域でLモードRising-toneエミッションとして生成されたことを示す結果である。

## 地球磁気圏尾部及び太陽コロナにおける粒子加速の比較研究 Comparison study of particle acceleration in the Earth's magnetotail and solar corona

今田 晋亮<sup>1\*</sup>, 平井 真理子<sup>2</sup>, 磯部 洋明<sup>3</sup>, 渡邊 恭子<sup>4</sup>, 岡光夫<sup>5</sup>, 箕島 敬<sup>6</sup>

Shinsuke Imada<sup>1\*</sup>, Mariko Hirai<sup>2</sup>, Hiroaki Isobe<sup>3</sup>, Kyoko Watanabe<sup>4</sup>, Mitsuo Oka<sup>5</sup>, Takashi Minoshima<sup>6</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>2</sup> 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, <sup>3</sup> 京都大学宇宙総合学研究所, <sup>4</sup> 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所, <sup>5</sup> カリフォルニア大学バークレー校 宇宙科学研究所, <sup>6</sup> 海洋研究開発機構地球内部ダイナミクス領域

<sup>1</sup>Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, <sup>2</sup>Department of Earth and Planetary Science, School of Science, University of Tokyo, <sup>3</sup>Unit of Synergetic Studies for Space, Kyoto University, <sup>4</sup>Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency, <sup>5</sup>Space Sciences Laboratory, UC Berkeley, <sup>6</sup>Institute for Research on Earth Evolution, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

One of the most famous rapid energy conversion mechanisms in space is a magnetic reconnection. The general concept of a magnetic reconnection is that the rapid energy conversion from magnetic field energy to thermal energy, kinetic energy or non-thermal particle energy. The understanding of rapid energy conversion rates from magnetic field energy to other energy is the fundamental and essential problem in the space physics. One of the important goals for studying magnetic reconnection is to answer what plasma condition/parameter controls the energy conversion rates. Earth's magnetotail has been paid much attention to discuss a magnetic reconnection, because we can discuss magnetic reconnection characteristics in detail with direct in-situ observation. Recently, solar atmosphere has been focused as a space laboratory for magnetic reconnection because of its variety in plasma condition. So far considerable effort has been devoted toward understanding the energy conversion rates of magnetic reconnection, and various typical features associated with magnetic reconnection have been observed in the Earth's magnetotail and the solar corona.

In this talk, we first introduce the variety of plasma condition/parameter in solar corona and Earth's magnetotail. Later, we discuss what plasma condition/parameter controls the energy conversion from magnetic field to especially non-thermal particle. To compare non-thermal electron and ion acceleration in magnetic reconnection, we used Hard X-ray (electron) /Neutron monitor (ion) for solar corona and Geotail in-situ measurement (electron and ion) for magnetotail. We found both of electron and ion accelerations are roughly controlled by reconnection electric field (reconnection rate). However, some detail point is different in ion and electron acceleration. Further, we will discuss what is the major difference between solar corona and Earth's magnetotail for particle acceleration.

キーワード: フレア, サブストーム, 粒子加速, 比較研究

Keywords: flare, substorm, particle acceleration, comparison study



## GEMSIS-RC モデルに基づくリングカレントと ULF 波動の相互作用の研究 Coupling between the ULF waves and the ring current in the inner magnetosphere based on the GEMSIS-RC model

関 華奈子<sup>1\*</sup>, 天野 孝伸<sup>2</sup>, 齊藤 慎司<sup>3</sup>, 三好 由純<sup>1</sup>, 松本 洋介<sup>4</sup>, 梅田 隆行<sup>1</sup>, 宮下 幸長<sup>1</sup>, 海老原 祐輔<sup>5</sup>

Kanako Seki<sup>1\*</sup>, Takanobu Amano<sup>2</sup>, Shinji Saito<sup>3</sup>, Yoshizumi Miyoshi<sup>1</sup>, Yosuke Matsumoto<sup>4</sup>, Takayuki Umeda<sup>1</sup>, Yukinaga Miyashita<sup>1</sup>, Yusuke Ebihara<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>2</sup> 東京大学大学院理学系研究科, <sup>3</sup> 名古屋大学大学院理学研究科, <sup>4</sup> 千葉大学大学院理学研究科, <sup>5</sup> 京大生圏研究所

<sup>1</sup>STEL, Nagoya University, <sup>2</sup>Graduate School of Science, University of Tokyo, <sup>3</sup>Graduate School of Science, Nagoya University,

<sup>4</sup>Graduate School of Science, Chiba University, <sup>5</sup>RISH, Kyoto University

Understanding of acceleration mechanisms of electrons to cause drastic variation of the Earth's outer radiation belt is one of outstanding issues of the geospace researches. While the radial diffusion of the electrons driven by ULF waves has been considered as one of the candidate mechanisms, efficiency of the mechanism under realistic ULF characteristics and distribution is far from understood. GEMSIS (Geospace Environment Modeling System for Integrated Studies) of STEL, Nagoya University, is the observation-based modeling project for understanding energy and mass transportation from the Sun to the Earth in the geospace environment. Aiming at understanding the dynamics of the inner magnetosphere during the geospace storms, the GEMSIS-Magnetosphere working team has developed a new physics-based model for the global dynamics of the ring current (GEMSIS-RC model). The GEMSIS-RC model is a self-consistent and kinetic numerical simulation code solving the five-dimensional collisionless drift-kinetic equation for the ring-current ions in the inner-magnetosphere coupled with Maxwell equations.

We applied the GEMSIS-RC model for simulation of global distribution of ULF waves to test its capability of describing fast time scale phenomena like SCs and ULF waves. Comparison between runs with/without ring current ions show that the existence of hot ring current ions can deform and amplify the original sinusoidal waveforms. The deformation causes the energy cascade to higher frequency range (Pc4 and Pc3 ranges). The cascade is more pronounced in the high beta case. It is also shown that the existence of plasmopause strengthens ULFs outside the plasmopause and widens the MLT region where the  $E_{\perp}$  (toroidal) component is excited from initially-given  $E_{\parallel}$  (poloidal) component. We report how the amplification and reflection of the ULF waves depend on the ring current parameters such as its density and temperature.

キーワード: 内部磁気圏, リングカレント, 放射線帯, ULF 波動, Pc5, ドリフト共鳴

Keywords: inner magnetosphere, ring current, radiation belt, ULF wave, Pc5, drift resonance

## 地球磁気圏における電流生成機構の解明 Study on current generation mechanism in Earth's magnetosphere

岩立 篤<sup>1</sup>, 荻野 竜樹<sup>1\*</sup>  
Atsushi Iwadachi<sup>1</sup>, Tatsuki Ogino<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

太陽風と地球磁気圏の相互作用を明らかにすることは宇宙開発を進めていく上で必要不可欠あり、衛星観測とシミュレーションの双方から研究が行われている。近年の計算機の進歩から、精度の高いシミュレーションと大規模データ解析を行うことが可能になった。特に VRML(Virtual Reality Modeling Language) を用いた 3次元可視化環境は飛躍的に向上し、ボリュームレンダリング法で1億点以上のピクセルイメージが使用可能となった。しかし、MHDシミュレーションの物理量をそのまま3次元可視化しても、エネルギーの大きなプラズマが磁気圏境界を覆うように厚みを持って分布しており、磁気圏境界に注目した解析ができない。そこで、磁気圏境界に注目した解析を行うために、空間微分量を用いて3次元MHDシミュレーション結果(IMF南向き定常状態)を3次元可視化・解析して磁気圏ダイナミクスを再構築した。

MHD方程式の基礎物理量を線形化し、ベクトル量の回転と発散をとり、磁力線に対して平行成分と垂直成分に分解する。ここで、平行電流は磁力線に平行な成分、垂直電流は磁力線に垂直な成分、平行渦度は渦度の磁力線に平行な成分、垂直渦度は磁力線に垂直な成分、圧縮性は速度の発散である。この電流生成機構を理解した上で、各パラメータを3次元可視化し、地球磁気圏のどの領域で値が大きいのか、なぜ大きいのか、MHDモードの分離とその寄与は何かを明らかにする。

MHD方程式の基礎物理量の空間微分量に注目した理論解析を行い、平行渦度が平行電流を生成することを確認し、垂直渦度と圧縮性が垂直電流を生成していること、及び、垂直電流と圧縮性と垂直電流の比によってFMS(Fast magnetosonic mode)とSMS(Slow magnetosonic mode)が分離できることを新たに導き出した。空間微分量を3次元可視化・解析することで、電流生成に支配的な物理量とその領域を特定した。地球遠方のプラズマシートに流れる電流生成源は垂直渦度であり、その他の領域の電流生成源は垂直渦度と圧縮性の双方である。また、FMSとSMSのモード分離に成功し、その寄与を明らかにした。地球近傍のプラズマシート内ではFMSが支配的であり、地球から離れるにつれてSMSが支配的となってゆく。リコネクション領域では特にFMSが顕著に励起されている。

キーワード: MHDシミュレーション, 電流生成機構, 渦度と圧縮性, 磁気リコネクション, 磁気圏ダイナミクス, 境界層不安定

Keywords: MHD Simulation, current generation mechanism, Vorticity and compressibility, Magnetic Reconnection, Magnetospheric Dynamics, Boundary Layer Instabilities

## 渦乱流によるプラズマ輸送：テミス衛星観測 THEMIS observations of plasma transport induced by eddy turbulence

井筒 智彦<sup>1\*</sup>, 藤本 正樹<sup>2</sup>  
Tomohiko Izutsu<sup>1\*</sup>, Masaki Fujimoto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学, <sup>2</sup> 宇宙科学研究所  
<sup>1</sup>The Univ. of Tokyo, <sup>2</sup>ISAS/JAXA

We provide an event study of THEMIS observations of the low-latitude boundary layer in the noon-dawn sector of the magnetosphere on 2008-12-05. Simultaneous multipoint observations show that the magnetosheath-like plasma is transferred earthward from the magnetopause. This earthward transport is accompanied by decrease in the density and fluctuating bulk flow, indicating that the transport is not due to convection. We calculate the eddy diffusion coefficients from the observed velocity data and found that the numbers are in good quantitative agreement with the spatial and time scales of the observed earthward transport signatures. Our study suggests that the observed transport is due to diffusive transport via turbulent eddy motions as is the case of an ordinary (Navier-Stokes) fluid.

キーワード: プラズマ輸送, 拡散, 乱流, テミス  
Keywords: plasma transport, diffusion, turbulence, THEMIS

## 木星磁気圏の太陽風動圧への応答に関する統計解析 Statistical Study on Jovian Magnetospheric Response to Solar Wind Dynamic Pressure

北川 普崇<sup>1\*</sup>, 笠原 慧<sup>2</sup>, 埜 千尋<sup>3</sup>, 木村 智樹<sup>2</sup>, 藤本 正樹<sup>2</sup>  
Hiroataka Kitagawa<sup>1\*</sup>, Satoshi Kasahara<sup>2</sup>, Chihiro Tao<sup>3</sup>, Tomoki Kimura<sup>2</sup>, Masaki Fujimoto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, <sup>2</sup> 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, <sup>3</sup>Laboratoire de Physique des Plasmas, Ecole Polytechnique

<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, University of Tokyo, <sup>2</sup>Institute of Space and Astronautical Science/ Japan Aerospace Exploration Agency, <sup>3</sup>Laboratoire de Physique des Plasmas, Ecole Polytechnique

固有磁場を持つ惑星は周囲に磁気圏を形成するが、その構造や変動は、惑星磁場の強さや磁気圏内のプラズマ源、そして恒星から流れくるプラズマ風などで決まるため、多種多様である。同じ太陽系内の惑星でも、木星磁気圏は地球磁気圏とはプラズマダイナミクスが大きく異なると考えられている。これらの木星磁気圏の平均的な構造は、過去のフライバイ観測や周回観測によって明らかにされている。しかしながら、太陽風変動への磁気圏尾部の応答については観測的知見が乏しい。その最大の原因は、木星軌道に太陽風観測点が存在しないことである。そこで本研究では、MHD シミュレーションを用いて地球近傍の太陽風パラメータを木星軌道まで伝播させる事で太陽風動圧変化への木星磁気圏尾部の応答を調べた。木星周回衛星 Galileo の取得したデータを用いて統計的な解析を行い、以下の結果を得た。まず、太陽風動圧上昇に呼応して夜側カレントシートの構造が変化する傾向と、磁場の南北成分に擾乱が見られる傾向、そして高エネルギー粒子フラックスが増大する傾向が見出された。一方で、高エネルギー粒子ビームは太陽風動圧が低い時でも頻繁に見られることが分かった。さらに、高エネルギー粒子ビームがみられない時には、南北磁場の擾乱、粒子フラックス増大なども顕著でないことがわかった。このようなビームが磁気圏尾部の突発的な磁気リコネクションによるものだと考えると、(1) 尾部リコネクションは太陽風動圧の変化を必要とせずに起こっていること、(2) リコネクションは磁場南北成分の擾乱や粒子加熱が Galileo の位置で観測されるための必要条件であると言える。