

Pc5 が関与した脈動オーロラの変調 A coherent modulation of pulsating aurora at Pc5 frequency

坂翁介^{1*}; 林幹治²; クリムシュキン ドミトリ³; マガー パベル³
SAKA, Osuke^{1*}; HAYASHI, Kanji²; KLIMUSHKIN, Dmitri³; MAGER, Pavel³

¹ オフィス ジオフィジク, ² 東京大学, ³ ロシア科学アカデミー
¹Office Geophysik, ²U. Tokyo, ³Russian Academy of Sciences

Ground and satellite magnetometer observations and all-sky video images revealed that the Pc5 pulsations that occurred in 17 January 1994 showed a wide distribution in longitude from Alaska, USA (0 MLT) to the Hudson bay, Canada (11 MLT) and in latitudes from 62N (L=4.5) to 70N (L=8.5).

Auroras in all-sky image were composed of field line resonance (FLR) in higher latitudes in 67-70N and pulsating aurora (PsA) in lower latitudes in 62-67N.

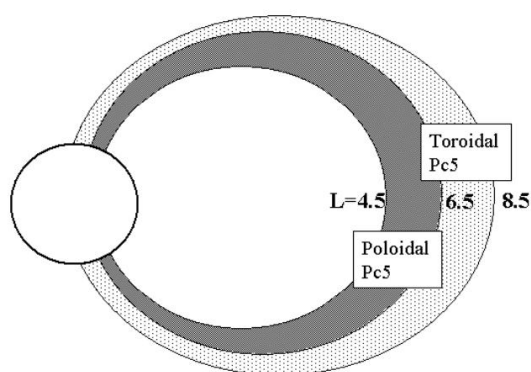
It is found that the PsA, FLR, and field magnitude at the geosynchronous altitudes were all oscillated coherently at Pc5 periodicities.

We conclude that the coherent modulation of FLR and PsA are attributable to toroidally and poloidally polarized Pc5 pulsations, respectively, generated by the polarization splitting of the Alfvén spectrum by the finite plasma pressures.(1), (2).

References

1. Klimushkin, D.Yu., Mager, P.N., Glassmeier, K.-H., 2004. Ann.Geophys.
2. Saka, O., Hayashi, K., Klimushkin, D.Yu, Mager, P.N., 2014. JASTP.

キーワード: Pc5 脈動, 脈動オーロラ, ポロイダルモード
Keywords: Pc5 pulsations, pulsating aurora, poloidal mode



脈動オーロラの発生条件：低温電子と電場の役割 Generation of pulsating aurora: Role of cold electron and electric field

佐藤 夏雄^{1*}; 門倉 昭¹; 田中 良昌¹; 西山 尚典¹

SATO, Natsuo^{1*}; KADOKURA, Akira¹; TANAKA, Yoshimasa¹; NISHIYAMA, Takanori¹

¹ 国立極地研究所

¹National Institute of Polar Research

脈動オーロラはオーロラサブストームの回復期に必ず出現する普遍的な現象である。この脈動オーロラの基本的特性である 10 秒前後の準周期的変調、パッチ状やバンド状などの形状、定在型や伝播などの動き、などの発生機構は未だに解明されていない。これらの特性を解明する上で、衛星-地上同時観測は重要である。これまでの 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の粒子・電磁場・波動などの特性比較から、次の事が明らかになってきた。

1) 全ての脈動オーロライベントは 5 keV 以上の高エネルギー電子フラックスが増加する時に起こっている、2) 20eV 以下の低温電子フラックスと電場の準周期的変動が脈動オーロラの準周期的な変調に対応している、3) これらの低温電子フラックスと電場の準周期的変動が低周波電磁コーラス波動 (lower-band electromagnetic chorus wave) と静電的な電子サイクロトロンハーモニック波動 (electrostatic Electron Cyclotron Harmonic wave: ECH wave) の準周期的な変動と一対一の良い対応を示す場合がある、4) 全ての脈動オーロラがコーラス波動や ECH 波動の出現に対応しているわけではない。

本講演では、強い脈動オーロラが起こっている領域と起こっていない領域の境界が極めてはっきりした現象の領域を THEMIS 衛星が通過したイベントに注目した。これら領域内外でどのような特性の変化を THEMIS 衛星が観測したかを調べた。その結果、強い脈動オーロラが発生している領域内では数 mV/m の強い静電場が存在し、それが 20 秒前後の周期で変調していた。300Hz 以下の低周波数 ULF-ELF 帯静電波動も観測され、その強度変調が静電場の準周期的変調と良い一致を示した。さらに、20eV 以下の低温電子フラックスも同様な準周期的変調を示していた。なお、ULF-ELF 帯波動の磁場成分は極めて弱く、かつ、lower-band コーラス波動も観測されなかった。そして、衛星が脈動オーロラ領域から抜けて出て暗い領域に入ると、それまで活発であった静電場、ULF-ELF 帯の静電波動、低温電子フラックス、などの準周期的変調はピタリ止まった。興味深いことに、10keV 以上の高エネルギー電子フラックスは脈動オーロラが起こっていない領域に入ってもその量は減少していなかった。一方、顕著な低温電子フラックス量の減少と電子温度の上昇が観測された。このイベント例から、低温電子フラックスや電場などが脈動オーロラの発生にどのように寄与しているかを考察する。

キーワード: オーロラ, 脈動オーロラ, コーラス波動, 磁気圏, 電離圏, 極域

Keywords: aurora, pulsating aurora, chorus wave, magnetosphere, ionosphere, polar region

カナダ・アサバスカで同時に観測された VLF/ELF 波動とパルセーティングオーロラ
の高時間分解能相関解析
High-resolution correlation analysis between VLF/ELF chorus waves and pulsating au-
rora observed at Athabasca, Canada

砂川 尚貴^{1*}; 塩川 和夫¹; 三好 由純¹; 片岡 龍峰²; 尾崎 光紀³; 澤井 薫³; IAN Schofield⁴; MARTIN Connors⁴
SUNAGAWA, Naoki^{1*}; SHIOKAWA, Kazuo¹; MIYOSHI, Yoshizumi¹; KATAOKA, Ryuho²; OZAKI, Mitsunori³; SAWAI,
Kaoru³; IAN, Schofield⁴; MARTIN, Connors⁴

¹ 太陽地球環境研究所, ² 国立極地研究所, ³ 金沢大学, ⁴ アサバスカ大学

¹Solar-Terrestrial Environment, ²National Institute of Polar Research, ³Kanazawa University, ⁴Athabasca University

私たちは、カナダ・アサバスカ観測点（磁気緯度 61.2 度、L=4.4）で、ループアンテナを用いて 100kHz サンプルの VLF/ELF 波動観測を 2012 年 9 月 25 日から行っている。2013 年 10 月からの冬期には狭視野の EMCCD カメラを設置して同時定常観測を行い、オーロラと VLF/ELF 波動の関係を調べている。本研究では、2013 年 2 月 7 日に観測されたパルセーティングオーロラとコーラス波動の間に見られた相関関係について調べた。このパルセーティングオーロラの強度変化と 1.5-2.5 kHz のコーラス波動の強度変化のパワースペクトルを比較し、両者は 0.1-0.15 Hz の同じ脈動周期があることが分かった。これらの間の相互相関解析から、オーロラ粒子とコーラス波動の磁気圏赤道面から地上までの到達時間差を見積もった結果、2つのパターンの時間差が数十秒スケールで切り替わっていることを見出した。1つ目のパターンは、波動よりも電子の方が 2 秒遅く電離圏に到達していることを示しており、これは南向きに伝搬した電子が南側半球で反射した場合の理論値と一致する。2つ目のパターンは、波動よりも電子の方が 4.5 秒早く電離圏に到達していることを示しており、これは南向きに伝搬した波動が南側半球で反射した場合の理論値と一致する。これらの結果は、高エネルギー電子とコーラス波動の相互作用が数十秒スケールで切り替わっていたことを初めて示すものである。

キーワード: パルセーティングオーロラ, コーラス波動, 波動粒子相互作用, 地上観測

Keywords: pulsating aurora, chorus waves, Wave-particle interactions, ground-based observation

ディフューズオーロラに伴う相対論的電子降り込み Relativistic electron precipitations in association with diffuse aurora

栗田 怜^{1*}; 門倉 昭²; 三好 由純³; 佐藤 由佳²; 三澤 浩昭¹; 森岡 昭³
KURITA, Satoshi^{1*}; KADOKURA, Akira²; MIYOSHI, Yoshizumi³; SATO, Yuka²; MISAWA, Hiroaki¹; MORIOKA, Akira³

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

¹Tohoku Univ., ²National Institute for Polar Research, ³STEL, Nagoya Univ.

It has been widely thought that diffuse auroras are generated by electron precipitations in the energy range from a few keV to tens keV. Recent simulation results based on the quasi-linear theory showed that the scattering by whistler-mode waves plays an important role in the production of precipitating electrons responsible for diffuse auroras. A test particle simulation on electron-whistler interactions shows that relativistic electrons can be scattered into the loss cone simultaneously with the electrons in the energy range from a few keV to tens keV. Thus, it is expected that relativistic electrons precipitate into the atmosphere in association with diffuse auroras if whistler-mode waves contribute to generation of diffuse auroras. To examine this hypothesis, we investigated conjugate observations of SAMPEX and the all sky camera at Syowa Station on the dawn side, where diffuse auroras are frequently observed. In this study, we show a case study that relativistic electron (>1 MeV) precipitations observed by SAMPEX are associated with the diffuse aurora observed at Syowa Station. The SAMPEX observation shows that the enhancement of precipitating relativistic electrons are well correlated with that of precipitating >150 keV electrons, indicating that electrons in the energy range from a few keV to 1 MeV precipitate into the atmosphere simultaneously. It is observational evidence that whistler mode waves contribute to generation of diffuse auroras.

キーワード: ディフューズオーロラ, ホイッスラーモード波動, 波動粒子相互作用, 相対論的電子, 放射線帯
Keywords: diffuse aurora, whistler mode wave, relativistic electron, radiation belts, wave-particle interaction

プラズマ圏の生成 Refilling of Plasmasphere

渡部 重十^{1*}
WATANABE, Shigeto^{1*}

¹ 北海道大学大学院理学研究院
¹ Hokkaido University

Satellite observations have revealed that ions are heated in the ionospheric polar region and are flowing to the magnetosphere. The fluxes of H⁺, He⁺, and O⁺ are $\sim 10^{11}$ ions m⁻² s⁻¹, $\sim 10^{11}$ ions m⁻² s⁻¹, $\sim 10^{10}$ ions m⁻² s⁻¹, $\sim 10^{10}$ ions m⁻² s⁻¹ during the solar maximum and $\sim 10^{10}$ ions m⁻² s⁻¹, $\sim 10^9$ ions m⁻² s⁻¹, $\sim 10^9$ ions m⁻² s⁻¹ near the solar minimum condition, respectively. The large amount of ions, including heavy ions such as O⁺, contributes the refilling of plasmasphere and inner magnetosphere. The ions are formed often as conics / transversely accelerated ion in the topside polar ionosphere. To understand the refilling process, the refilling time scale and the effects to the structure and dynamics of plasmasphere and inner magnetosphere, we have developed a three dimensional model of Atmosphere ? Plasmasphere including Electrodynamics (APE model). The model calculates densities, velocities and temperatures for electron, O₂⁺, N₂⁺, NO⁺, O⁺, He⁺ and H⁺ at altitudes from 90 km to 10 Re and for N₂, O₂, O, He and H in the thermosphere, and electric fields in the ionosphere, plasmasphere and inner magnetosphere. We calculate also parallel and perpendicular components of ion and electron temperatures to include the effect of perpendicular heating of ion in the polar ionosphere. The results show clearly the importance of ion heating in the polar region for the structure of plasmasphere, the refilling and the response to the magnetic disturbance.

あけぼので観測された $M/Q=2$ イオンサイクロトロンホイッスラの解析 $M/Q=2$ Ion Cyclotron Whistlers Observed by Akebono

松田 昇也^{1*}; 笠原 禎也¹; 後藤 由貴¹
MATSUDA, Shoya^{1*}; KASAHARA, Yoshiya¹; GOTO, Yoshitaka¹

¹ 金沢大学

¹Kanazawa University

雷放電ホイッスラは地上付近で発生する雷放電に伴って励起される VLF 波動であり、電離層を突き抜けて地球磁気圏内を伝搬するものがあけぼの衛星などの観測によって報告されている。多くの衛星観測による結果から、雷放電ホイッスラは数十 kHz 以下のホイッスラモード (右回り偏波) の波動であることが知られている。一方で、複数のイオンが存在するプラズマ中では、 H^+ のサイクロトロン周波数以下でイオンモード (左回り偏波) のプラズマ波動が伝搬可能である。雷放電ホイッスラの低周波成分は、ときに H^+ のサイクロトロン周波数をも下回って伝搬するが、その際にイオンモードのクロスオーバー周波数付近で波動の一部がモード遷移を伴い、左回り偏波のイオンサイクロトロンホイッスラが励起されることがある [1]。イオンモードのクロスオーバー周波数は、プラズマ中のイオン組成によって変動することが知られており、イオンサイクロトロンホイッスラの伝搬の様子を解析することで、伝搬経路上のイオン組成を推定することが可能であると考えられる。

Watanabe et al.[2] は ISIS-2 による観測から、高度 1,360 km 付近に $M/Q=2$ イオンの存在を示唆するイオンサイクロトロンホイッスラを発見した。彼らはそのイオンを、電離層から供給された D^+ と推測し、deuteron whistler と名付けた。

本研究では、あけぼの衛星の VLF 波動観測装置によって観測された ELF 帯の電磁界波形を詳細解析し、観測史上最も高い、高度 4,500km 付近で観測された " $M/Q=2$ イオンサイクロトロンホイッスラ" を報告する。これらは観測点付近に He^{++} や D^+ といった $M/Q=2$ イオンが存在することで、 H^+ モードと He^+ モードの二つのイオンモードの間に、新たに $M/Q=2$ イオンモードが生じたことを示唆するものである。

ELF/VLF 帯のプラズマ波動とプラズマ粒子との相互作用の解明は、2015 年冬に打ち上げが予定されている次期地球内部磁気圏観測衛星 ERG[3] でもサイエンス目標に掲げられており、近年非常に注目されている。また、プラズマ圏内のイオン組成を知ることは、ray tracing などの高度なシミュレーションを行うための事前情報としても非常に重要である。本講演では、 $M/Q=2$ イオンサイクロトロンホイッスラを含む多くの観測例から、あけぼの衛星の軌道がカバーする広域のイオン組成比を導く取り組みについても紹介する。

[1]Gurnett, D. A., S. D. Shawhan, N. M. Brice, and R. L. Smith (1965), Ion cyclotron whistlers, *J. Geophys. Res.*, 70(7), 1665-1688, doi:10.1029/JZ070i007p01665.

[2]Watanabe, S., T. Ondoh (1975), Deuteron whistler and trans-equatorial propagation of the ion cyclotron whistler, *Planet. Space Sci.*, vol. 24, 359-364.

[3]Miyoshi, Y., Ono, T., Takashima, T., Asamura, K., Hirahara, M., Kasaba, Y., Matsuoka, A., Kojima, H., Shiokawa, K., Seki, K., Fujimoto, M., Nagatsuma, T., Cheng, C.Z., Kazama, Y., Kasahara, S., Mitani, T., Matsumoto, H., Higashio, N., Kumatani, A., Yagitani, S., Kasahara, Y., Ishisaka, K., Blomberg, L., Fujimoto, A., Katoh, Y., Ebihara, Y., Omura, Y., Nose, M., Hori, T., Miyashita, Y., Tanaka, Y.-M. and Segawa, T. (2013) The Energization and Radiation in Geospace (ERG) Project, in *Dynamics of the Earth's Radiation Belts and Inner Magnetosphere* (eds D. Summers, I. R. Mann, D. N. Baker and M. Schulz), American Geophysical Union, Washington, D. C.. doi: 10.1029/2012GM001304

キーワード: イオンサイクロトロンホイッスラ, $M/Q=2$ イオン, EMIC 波動, あけぼの衛星

Keywords: ion cyclotron whistler, $M/Q=2$ ion, EMIC wave, Akebono satellite

THEMIS 衛星で観測された EMIC トリガード放射におけるサブパケット構造 Sub-packet structures in the EMIC triggered emission observed by the THEMIS probes

中村 紗都子^{1*}; 大村 善治²; 小路 真史³; 能勢 正仁⁴
NAKAMURA, Satoko^{1*}; OMURA, Yoshiharu²; SHOJI, Masafumi³; NOSE, Masahito⁴

¹ 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻 地球物理学分野, ² 京都大学生存圏研究所, ³ 名古屋大学太陽地球環境研究所, ⁴ 京都大学大学院理学研究科

¹Department of Geophysics, Graduate School of Science, Kyoto University, ²Reserach Institute for Sustainable Humansphere, Kyoto University, ³Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, ⁴Graduate School of Science, Kyoto University

We analyse Electromagnetic Ion Cyclotron (EMIC) triggered emission by the data from the THEMIS probes. These phenomena have recently received much attention because of the possibility of their strong interaction with energetic particles in the inner magnetosphere in spite of their scarceness in observations[1,2,3]. For 1400-1445 UT on 9 September 2010, THEMIS A, D and E observed strong EMIC waves with rising tone emissions. The probes were located near the dayside magnetopause at $8 R_E$ of the radial distance from the Earth, 13 MLT, and a few degrees of the geomagnetic latitude. During this time interval, the geomagnetic field was very distorted by the variation in the solar wind. We assume these emissions were excited around minimum-B pockets in accordance with the magnetospheric compression. It is found the rising tone emissions comprise of some smaller rising tones, which are called "sub-packet structures"[4]. We compare these observed sub-packet structures with the nonlinear wave growth theory developed by Omura et al. [5]. The observed relationship between the amplitudes and frequencies of the emissions are well explained by the theory, and it is also found that the threshold and optimum amplitudes for the nonlinear growth agree well with the observed dynamic spectra.

[1]Pickett, J. S., et al. (2010), Cluster observations of EMIC triggered emissions in association with Pc1 waves near Earth's plasmapause, *Geophys. Res. Lett.*, 37 (9), doi: 10.1029/2010GL042648.

[2]Shoji, M., and Y. Omura (2012), Precipitation of highly energetic protons by helium branch electromagnetic ion cyclotron triggered emissions, *J. Geophys. Res.*, 117 (A12), doi:10.1029/2012JA017933

[3]Omura, Y., and Q. Zhao (2012), Nonlinear pitch angle scattering of relativistic electrons by EMIC waves in the inner magnetosphere, *J. Geophys. Res.*, 117 (A8), doi:10.1029/2012JA017943.

[4]Shoji, M., and Y. Omura (2013), Triggering process of electromagnetic ion cyclotron rising tone emissions in the inner magnetosphere, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 118, 5553-5561, doi:10.1002/jgra.50523.

[5]Omura, Y., J. Pickett, B. Grison, O. Santolik, I. Dandouras, M. Engebretson, P. M. E. Decreau, and A. Masson (2010), Theory and observation of electromagnetic ion cyclotron triggered emissions in the magnetosphere, *J. Geophys. Res.*, 115 (A7), doi:10.1029/2010JA015300.

Statistical analysis of ionospheric Pi2 pulsations observed at mid and low latitude by the SuperDARN Hokkaido radar
Statistical analysis of ionospheric Pi2 pulsations observed at mid and low latitude by the SuperDARN Hokkaido radar

TERAMOTO, Mariko^{1*} ; NISHITANI, Nozomu²
TERAMOTO, Mariko^{1*} ; NISHITANI, Nozomu²

¹JAXA, ISAS, ²Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University

¹JAXA, ISAS, ²Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University

Ultra-low-frequency waves with the periods of 40-150 s are categorized as Pi2 pulsations, which occur over a wide range of latitude in the night side at substorm onsets. To identify the generation mechanism of Pi2 pulsations, a number of studies using different devices such as ground-based magnetometers and satellites have been carried out. These studies provide spatial properties of Pi2 pulsations on the ground and in the inner magnetosphere and suggested that high- and mid-latitude Pi2 pulsations are associated with Alfvén waves in the auroral region, while the cavity mode resonance established in the plasmasphere by the fast mode waves has been proposed as a possible Pi2 source at mid and low latitudes.

The interaction of Pi2 pulsations with the ionosphere creates current systems that modify the amplitude and spatial scale size of the waves. In order to construct a coherent view of Pi2 signals measured by ground-based magnetometers, radars and satellites, the effect of the ionosphere needs to be understood.

In present study, statistical studies of Pi2 pulsations in the ionosphere were performed with the SuperDARN Hokkaido radar at Rikubetsu (AACGM magnetic coordinates: 36.5°, 214.7°). The radar can observe the Doppler velocity of ionospheric plasma due to the electric field of Pi2 pulsations in the mid- and low-latitude ionosphere. We investigated the spatial characteristics of the similarity, amplitude ratio, and cross phase between Pi2 pulsations observed by the radar and a ground magnetometer Memambetsu (MMB) which is located close to the radar site. We will present the results and discuss the interaction of Pi2 pulsations with the ionosphere.

サブストーム発生時における磁気圏近尾部 P i 型磁気波動 Pi pulsations in the near-earth magnetotail at substorm onset

櫻井 亨^{1*}; 門倉 昭²; 田中 良昌²; 佐藤 夏雄²

SAKURAI, Tohru^{1*}; KADOKURA, Akira²; TANAKA, Yoshimasa²; SATO, Natsuo²

¹ 東海大学, ² 国立極地研究所

¹Tokai University, ²National Institute of Polar Research

The THEMIS satellite observations showed that Pi 1 and Pi 2 period range oscillations of the magnetic and electric fields play an important role at a substorm onset in the near-Earth magnetotail. They associated energetic particle accelerations toward the inner magnetosphere. The energetic particle accelerations were observed with very similar oscillation signatures to the Pi 1 and Pi 2 period range oscillations observed in the magnetic and electric fields.. This observation suggests that the Pi 1 and Pi 2 period range oscillations might play an important role for contribution to the auroral particle accelerations at substorm onset in the near-Earth magnetotail . The examination has been done on a substorm event observed on 28 February, 2009 at a THEMIS GBO station, Kuujuaq (KUJ) (Mag. Lat.=66.89 N, Mag. Lon.=13.23 E, Mag. Midnight =4.15 UT, L-value = 6.4) in the west coast at the high latitude of the North America Continent. This substorm event was simultaneously observed in the near-Earth magnetotail by the three THEMIS satellites, THEMIS-A, -E, and ?D located in the midnight region at ~8 Re, ~8 Re and ~11 Re, respectively. The data examined in this study are the magnetic field, all-sky images (ASI) and keograms (ASK) obtained at KUJ and the satellite observations of the magnetic field, electric field, and the electron and ion energy spectra in the ESA pair, and peer data. The results show very interesting facts of the Pi 1 and Pi 2 period range oscillations in the magnetic field and auroral activities observed on the ground and their conjunctions of the magnetic, electric fields, and the associated accelerated particles in the near-Earth magnetotail. The implication of this work provides the importance of the Pi 1 and Pi 2 period range oscillations for controlling the substorm onset plasma processes in the near-Earth magnetotail.

キーワード: 磁気圏物理, サブストーム, P i 型波動

Keywords: Magnetospheric Physics, Substorm, Pi pulsations

サブストームオンセット過程

Substorm onset process: Ignition of auroral acceleration and related substorm phases

森岡 昭^{1*}; 三好 由純²; 笠羽 康正³; 佐藤 夏雄⁴; 門倉 昭⁴; 三澤 浩昭¹; 宮下 幸長²

MORIOKA, Akira^{1*}; MIYOSHI, Yoshizumi²; KASABA, Yasumasa³; SATO, Natsuo⁴; KADOKURA, Akira⁴; MISAWA, Hiroaki¹; MIYASHITA, Yukinaga²

¹ 東北大学理学研究科惑星プラズマ・大気研究センター, ² 名古屋大学太陽地球環境研究所, ³ 東北大学理学研究科, ⁴ 国立極地研究所

¹PPARC, Tohoku University, ²STEL, Nagoya University, ³Dep. of Gephys. Tohoku University, ⁴NIPR

The substorm onset process was studied on the basis of the vertical evolution of auroral acceleration regions derived from auroral kilometric radiation (AKR) spectra and Pi pulsations on the ground. The field-aligned auroral acceleration at substorm onset demonstrated two distinct phases. Low-altitude acceleration ($h \sim 3000$ -5000 km), which accompanied auroral initial brightening, pre-breakup Pi2, and direct current of ultra-low frequency (DC-ULF) pulsation, was first activated and played an important role (pre-condition) in the subsequent substorm expansion-phase onset. Pre-breakup Pi 2 is suggestive of the ballooning-mode wave generation, and negative decrease in DC-ULF suggests increasing field-aligned current (FAC). We called this stage the substorm initial phase. A few minutes after this initial phase onset, high-altitude acceleration, which accompanied auroral breakup and poleward expansion with breakup Pi 1 and Pi 2 pulsations, suddenly broke out in an altitude range from 8000-16000 km. Thus, substorm expansion onset originated in the magnetosphere-ionosphere (M-I) coupling region, i.e., substorm ignition in the M-I coupling region. It is suggested that current disruption and subsequent violent energy release from the tail region take place after this ignition. Statistical investigations revealed that about 65% of earthward flow bursts observed in the plasma sheet were accompanied by enhanced low-altitude AKR, suggesting that flow braking of bursts causes FAC and resulting low-altitude field-aligned acceleration in the M-I coupling region. On the basis of these observations, we propose a substorm onset scenario in which FAC that originated from the braking of plasma flow bursts first enhances low-altitude acceleration (substorm initial phase onset), and then the increasing FAC induces current-driven instability in the M-I coupling region, which leads to high-altitude acceleration and resulting substorm expansion-phase onset.

キーワード: サブストーム, オーロラ, 加速域, サブストーム開始

Keywords: substorm, aurora, acceleration region, substorm onset

磁気圏対流駆動機構-バルクフローの役割 drivers of the magnetospheric convection

藤田 茂^{1*}; 田中 高史²
FUJITA, Shigeru^{1*}; TANAKA, Takashi²

¹ 気象大学校, ² 九州大学
¹Meteorological College, ²Kyushu University

We present here the role of the plasma bulk flow in generation of the magnetosphere-ionosphere convection. Traditionally, the magnetospheric convection is studied with the perpendicular flow because this flow is equivalent with the speed of migration of the magnetic field. For example, the perpendicular force balance equations are utilized in discussion of the dynamo generation ($E \cdot J < 0$) in the cusp-mantle region [Tanaka, 1995]. However, since the plasma kinetic energy flux and the internal energy flux are transported along the plasma bulk flow, it is evident that the plasma bulk flow should be considered in generation of the magnetospheric convection. In

addition, the global MHD simulation reveals that the plasmas are accelerated into the cusp from the magnetosheath along the magnetic field. Thus, the plasma bulk flow transports energy into the magnetosphere.

At first, we discuss the dynamo in the cusp-mantle region based on the full set of physical principles (mass conservation, momentum conservation, and energy conservation). As a result, the load in the lower-latitude side of the cusp is invoked by plasma compression due to sudden deceleration of the field-aligned flow from the magnetosheath. The adiabatic assumption invokes pressure enhancement associated with plasma compression. Thus, energy should be supplied to compensate increase in the plasma pressure. As the kinetic energy is much smaller than the electromagnetic energy in the magnetosphere, the electromagnetic energy is converted to the thermal energy. Therefore, the load appears in the lower-latitude side of the cusp. On the other hand, in the cusp-mantle region, plasmas are squeezed with the field-aligned flow toward the lobe region. This yields plasma rarefaction, which eventually invokes energy conversion from the thermal energy to the electromagnetic energy. Thus, the dynamo appears. This process is also explained in terms of the slow mode expansion fan in the cusp-mantle region.

Next, we define an unique magnetospheric energy convection in the dayside magnetosphere. It is noted that the Poynting flux activated in the cusp-mantle region is transported across the dayside magnetosphere to the dayside magnetopause. The electromagnetic energy is totally deposited here. The deposited electromagnetic energy is converted into the thermal energy in the magnetopause. Then we need a mechanism of transporting this thermal energy elsewhere. The MHD simulation shows the thermal energy and the high-speed solar-wind kinetic energy are transported into the cusp from the magnetosheath. This flow goes to the mantle region. Then, the thermal energy transported from the magnetosheath via the cusp is partially converted into the electromagnetic energy in the cusp-mantle region. Finally, the loop of energy convection is completed.

The magnetospheric energy convection is unique because the energy convection and the mass convection show quite different behavior. On the other hand, in the normal fluid like the atmosphere, the energy convection is related to the mass convection in the atmospheric global circulation (convection).

キーワード: 磁気圏対流, MHD シミュレーション, バルクフロー, エネルギー変換, 磁気圏エネルギー対流, カस्पダイナモ
Keywords: magnetospheric convection, MHD simulation, bulk flow, energy conversion, magnetospheric energy convection, cusp dynamo

THEMIS 観測と MHD シミュレーションを用いた近地球プラズマシートにおけるプラズマ圧力の急激な増加に関する研究
Sudden pressure enhancement and tailward retreat in the near-Earth plasma sheet: THEMIS observation and MHD simulation

YAO YAO^{1*}; 海老原 祐輔¹; 田中 高史²
YAO, Yao^{1*}; EBIHARA, Yusuke¹; TANAKA, Takashi²

¹ 京大生生存圏研究所, ² 九州大学宙空環境研究センター

¹Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University, ²SERC, Kyushu University

Plasma pressure enhancement is one of the drastic substorm-associated phenomena in the inner magnetosphere. In a substorm occurred on 1 March 2008, four of THEMIS (Time History of Events and Macroscale Interactions during Substorms) probes were almost aligned along the sun-Earth line, which was suitable for investigating spatial-temporal evolution of the near-Earth plasma sheet in a substorm. They observed a sudden increase in the plasma pressure at the inner probe (at ~ 7.2 Re), followed by the outer probes (at ~ 7.5 , ~ 8.3 , and ~ 10.4 Re), that is the high pressure region propagates tailward. Hereinafter, we call this sudden pressure enhancement (SPE). We compared the observations with simulation results of a global magnetohydrodynamics (MHD) simulation, and found a fairly good agreement between them in terms of the followings. (1) Tailward propagation of the SPE can be seen only at off-equator after the substorm onset. In the equatorial plane, an earthward propagation of the SPE precedes the tailward propagation. (2) Observations from the three inner probes show that the SPE consists of two enhancements. The first one is attributed to the convergence of bulk flow energy flux, namely flow braking. The latter one is due to the convergence of the thermal energy flux and subsequent inflation of the plasma sheet. (3) Plasma flow turned from the tailward-and-toward-the-equatorial-plane to earthward-and-away-from-the-equatorial plane near the onset from the simulation results. We discuss the spatial-temporal evolution of the plasma flow and the magnetic field during the substorm.

キーワード: サブストーム, THEMIS 衛星観測, グローバル MHD シミュレーション, プラズマ圧力の急激な増加
Keywords: substorm, THEMIS observation, Global MHD simulation, Sudden pressure enhancement

強い北向き IMF 時, 変化する IMF B_y によって発生するシータオーロラ Evolution of theta aurora during strong positive IMF B_z and varying IMF B_y condition

小原 隆博^{1*}
OBARA, Takahiro^{1*}

¹ 東北大学 惑星プラズマ・大気研究センター
¹PPARC, Tohoku University

Formation of the theta aurora, which appears under the condition of northward IMF and greater IMF magnitude, is investigated from the analysis of the numerical MHD simulation. The theta aurora is caused by the transient convection after a sign change of IMF B_y . This transient convection must include a replacement of lobe field lines from old IMF orienting fields, a rotation of plasma sheet to opposite inclination, and a reformation of ionospheric convection cells. In the midst of these reconfigurations, old and new convection system must coexist in the magnetosphere-ionosphere system. In this stage, the polar cap and tail lobes are continuously encroached by the new open field lines connected to the new IMF. Whereas magnetic field lines accumulated in new lobes tend to rotate the outer plasma sheet in the opposite direction, the old merging cell convection still continues to generate closed field lines that must return to dayside against the new lobe formation. As time progresses, the growth of new lobes results in the blocking of the return path toward dayside of closed field lines generated in the old merging cell to form the kink structure in the plasma sheet. Losing their return path, these closed field lines generated from old lobes accumulated on the night side. The theta aurora appears at the foot point of these accumulated closed field lines. In the presentation, we will demonstrate some observational results brought by satellites and ground based instruments, which support above mentioned hypothesis for theta aurora formation.

キーワード: 惑星間空間磁場, 北向き IMF, 変動する IMF B_y , シータオーロラ, シミュレーション, 観測
Keywords: IMF, Strong northward IMF, Varying IMF B_y , Theta aurora, Simulation, Observation

Substorm Onset: Correlation between Ground and Space Observations Substorm Onset: Correlation between Ground and Space Observations

CHENG, Chio^{1*} ; CHANG, T. F.²
CHENG, Chio^{1*} ; CHANG, T. F.²

¹Plasma and Space Science Center, National Cheng Kung University, ²Institute of Space and Plasma Sciences, National Cheng Kung University

¹Plasma and Space Science Center, National Cheng Kung University, ²Institute of Space and Plasma Sciences, National Cheng Kung University

The observations of substorm onset phenomena in the magnetosphere and ionosphere are examined to study their correlation and to 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 in the near-Earth plasma sheet and the structure and propagation of the substorm auroral onset arcs. We show the correlation between the substorm onset wave-like arcs and the Pi2 pulsations in terms of wave structure, propagation, and the exponential growth of arc intensity and Pi2 wave amplitude. In particular, the azimuthal mode numbers of the Pi2 waves and the wave-like arc structure are estimated to be ~ 100 -200. The correlation between the ground and space phenomena strongly supports the kinetic ballooning instability (KBI) as the cause of substorms. KBI is the most natural mechanism for explaining the unstable Pi2 waves in the strong cross-tail current region and the KBI parallel electric field can accelerate electrons along the magnetic field lines into the ionosphere to produce the substorm onset wave-like arcs.

キーワード: substorm, magnetospheric dynamics, THEMIS observation
Keywords: substorm, magnetospheric dynamics, THEMIS observation

THEMIS 観測データに基づくサブストームトリガー機構の解明 Investigation of substorm triggering mechanism based on THEMIS data

町田 忍^{1*}; 宮下 幸長¹; 家田 章正¹; Angelopoulos Vassilis²; McFadden James P.³

MACHIDA, Shinobu^{1*}; MIYASHITA, Yukinaga¹; IEDA, Akimasa¹; ANGELOPOULOS, Vassilis²; MCFADDEN, James P.³

¹名古屋大学太陽地球環境研究所, ²IGPP/EPSS カリフォルニア大学ロサンゼルス校, ³SSL, カリフォルニア大学バークレー校

¹Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, ²IGPP/EPSS, UCLA, ³SSL, UC Berkeley

本研究では、THEMIS 衛星の 2007 年 11 月から 2009 年 4 月の期間のデータに対して、THEMIS/ASI の地上オーロラ観測から (UCLA 西村幸敏博士が) 求めたサブストームオンセットの発生時刻を時間原点として行った時間重畳法解析の結果を報告する。今回は、オーロラブレークアップの前後それぞれ 100 秒の限られた範囲に時間を限定して、サブストームに伴う $-7.5 > X(\text{Re}) > -23$ の範囲の磁気圏尾部の変化を詳細に調べた。本解析によって、オンセットの 60 秒前に $X \sim -14 \text{ Re}$ で地球向きのプラズマ流が発生し、それが地球向きに移動して $t = 0$ で磁場双極子化が $X = -10 \text{ Re}$ 付近で開始し、それと同時に、 $X = -20 \text{ Re}$ 付近で磁気リコネクションが開始することを確認した。この変動は、われわれの提唱している Catapult Current Sheet Relaxation model の妥当性を裏付けている。

興味深いことに、朝夕向きのプラズマ流速の絶対値 $|V_y|$ が $-20 < t(\text{sec}) < 20$ の時間帯に、プラズマシートおよびプラズマシート境界層で減少する傾向が見られた。今回この現象について個々のイベントを調べたところ、オンセットを挟んで主として夕向き ($V_y > 0$) であったコンベクションに伴う流れが、朝向きの流れ ($V_y < 0$) に変化する際に、短時間その値をゼロとすることに対応していることが判明した。これらは、地球向きの流れが、地球の双極子磁場の影響で偏向あるいは反射されることに関係しており、よく知られているオンセット以降に $X = -10 \text{ Re}$ の近傍において尾部向きのプラズマ流が生成されることと同一の原因をもつ現象であることがわかった。

キーワード: サブストーム, 磁気圏尾部, 磁気リコネクション, 磁場双極子化, テミス衛星

Keywords: substorm, magnetotail, magnetic reconnection, dipolarization, THEMIS probes

磁気圏のグローバルMHDシミュレーションと3次元可視化 Global MHD simulations of magnetosphere and 3-dimensional visualization

荻野 竜樹^{1*}

OGINO, Tatsuki^{1*}

¹ 名古屋大学太陽地球環境研究所

¹Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University

最近のIT技術の進歩から、高精度のグローバルMHD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)を用いたボリュームレンダリング法で、空間微分量を用いてシミュレーションの3次元可視化を行い磁気圏ダイナミクスを新しい視点から再構築できる様になった。MHD方程式の基礎物理量に於いて、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。それらの各基礎物理量を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具体的に明らかにすることができた。

MHD方程式の基礎物理量の空間微分量に注目して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, MHDモードの役割, 磁気リコネクション, 磁気圏ダイナミクス

Keywords: global MHD simulation, current generation mechanism, vorticity and compressibility, roles of MHD modes, magnetic reconnection, magnetospheric dynamics

二点観測を用いた地球磁気圏界面三次元フラックスロープ構造の再現 Two-spacecraft reconstruction of a three-dimensional magnetic flux rope at the Earth's magnetopause

長谷川 洋^{1*}; Sonnerup Bengt²; Eriksson Stefan³; 中村 琢磨⁴
HASEGAWA, Hiroshi^{1*}; SONNERUP, Bengt²; ERIKSSON, Stefan³; NAKAMURA, Takuma⁴

¹JAXA 宇宙科学研究所, ²ダートマス大学, ³コロラド大学, ⁴ロスアラモス国立研究所

¹Institute of Space and Astronautical Science, JAXA, ²Dartmouth College, ³University of Colorado, ⁴Los Alamos National Laboratory

We present first results of a data analysis method, developed by Sonnerup and Hasegawa [2011], for reconstructing three-dimensional (3-D), magnetohydrostatic structures from data taken as two closely spaced satellites traverse the structures. The method is applied to a flux transfer event (FTE), which was encountered on 27 June 2007 by at least three (TH-C, TH-D, and TH-E) of the five THEMIS probes and was situated between two oppositely directed reconnection jets near the subsolar magnetopause under a southward interplanetary magnetic field condition. The recovered 3-D field indicates that a magnetic flux rope with a diameter of about 3000 km was embedded in the magnetopause. The FTE flux rope obviously had a significantly 3-D structure, because the 3-D field reconstructed from the data from TH-C and TH-D (separated by 390 km) better predicts magnetic field variations actually measured along the TH-E path than does the 2-D Grad-Shafranov reconstruction [Hau and Sonnerup, 1999] using the data from TH-C (which was closer to TH-E than TH-D and was at about 1000 km from TH-E). Such a 3-D nature suggests that reconnected field lines from the two reconnection sites may have been entangled in a complicated way through their interaction with each other. The generation process of the observed 3-D flux rope is discussed on the basis of the reconstruction results and anisotropy of observed electron pitch-angle distributions.

Reference:

Hau, L.-N., and B. U. O. Sonnerup (1999), Two-dimensional coherent structures in the magnetopause: Recovery of static equilibria from single-spacecraft data, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 104, 6899-6917.

Sonnerup, B. U. O., and H. Hasegawa (2011), Reconstruction of steady, three-dimensional, magnetohydrostatic field and plasma structures in space: Theory and benchmarking, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 116, A09230, doi:10.1029/2011JA016675.

キーワード: 磁気圏界面, 磁気フラックスロープ, 磁気リコネクション, 磁気静水圧平衡, 編隊観測

Keywords: magnetopause, magnetic flux rope, magnetic reconnection, magnetohydrostatic equilibrium, formation-flying observations

Pi2に伴う、渦状のオーロラ、オーロラサージ、および渦状の電離層電流：西向き伝播の場合
Auroral vortex, auroral surge, and vortical current in the ionosphere associated with the Pi2 pulsations

坂 翁介^{1*}; 林 幹治²
SAKA, Osuke^{1*}; HAYASHI, Kanji²

¹ オフィス ジオフィジク, ² 東京大学
¹Office Geophysik, ²U. Tokyo

The auroral breakup event occurred at 0500UT 27 January 1986 in central Canada is studied using all-sky video image from two optical stations (GWR and SHM) and magnetometer data from three ground stations including the optical stations.

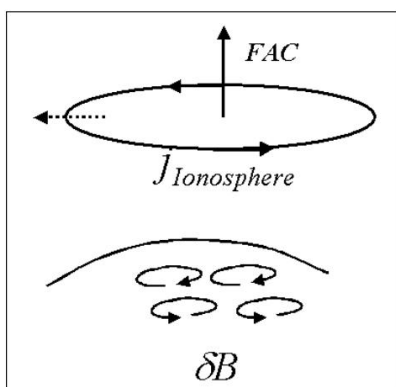
The spatiotemporal motion of the ionospheric vortical current explained the ground magnetometer data in the auroral zone. During the activation of the current vortex, auroras composed of the shear layers rotating clockwise and the auroral surge propagating westward were observed.

It is found that the auroral surge first appeared at the onset latitudes propagated poleward passing through the auroral vortex and became the poleward boundary aurora-surge (PBAS)(1).

References

1. Saka, O., K. Hayashi, D. Koga (2012), JASTP.

キーワード: オーロラ活動, Pi2 脈動, 電離層渦電流
Keywords: Aurora dynamics, Pi2 pulsation, Ionospheric current vortex



定常沿磁力線電流の駆動機構：プラズマ対流を用いた一般理論 Generation mechanism of steady-state field-aligned currents: A general theory in terms of plasma convection

渡辺 正和^{1*}

WATANABE, Masakazu^{1*}

¹九州大学国際宇宙天気科学・教育センター,²九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門

¹International Center for Space Weather Science and Education, Kyushu University, ²Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Sciences, Kyushu University

磁気圏-電離圏結合系において、沿磁力線電流はエネルギー・運動量を運ぶという重要な役割を担っている。近年のグローバル電磁流体 (MHD) シミュレーションによれば、大規模沿磁力線電流を駆動する力はほとんどすべての場合圧力勾配であって [Tanaka, 2003, 2007]、慣性力が効くのは sudden commencement (SC) における preliminary impulse (PI) [Fujita et al., 2003] のようなごく特殊な場合のみである。このように、圧力勾配が駆動する定常沿磁力線電流には普遍性があり、磁気圏の力学的性質の本質を表している。しかし、沿磁力線電流生成過程におけるプラズマ対流の役割については、一般には理解されているとは言えない。例えば、プラズマ対流は圧力勾配駆動の沿磁力線電流と無関係であるという誤った認識が一般的である。実際にはプラズマ対流はエネルギー変換において不可欠の役割を果たしている。本研究は、プラズマ対流の果たす役割に重点を置き、沿磁力線電流生成機構の一般理論を展開する。沿磁力線電流は以下の2過程が空間的に隣接して起こることで生成・維持される。(1) Slow mode 擾乱によりプラズマの熱エネルギーを電磁エネルギーに変換する「ダイナモ」過程。定常電流系を維持するためには、磁気圏ダイナモが必要で、これを作っているのが発散する ($\text{div}(\mathbf{v}) > 0$) slow mode 擾乱のプラズマ対流である。波面法線は $-\text{grad}(\mathbf{B})$ 方向を向いており、法線方向の対流速度 (「法線」成分) は slow mode の位相速度となる。Slow mode は沿磁力線電流を伴わない。(2) 磁力線に垂直な電流が沿磁力線電流に転換する過程。これは slow mode 擾乱が Alfvén mode 擾乱に変換することで起こる。圧力勾配が波面法線と磁力線双方に垂直な成分 (「接線」成分) を持つことにより、磁気張力が生じ Alfvén mode が励起する。これに伴い法線方向の対流速度は Alfvén mode の位相速度となる。Alfvén mode は接線方向の流れを持ち、プラズマの運動は回転性に変わる。

References

- Fujita et al. (2003), J. Geophys. Res., 108(A12), 1416, doi:10.1029/2002JA009407.
Tanaka (2003), J. Geophys. Res., 108(A8), 1315, doi:10.1029/2002JA009668.
Tanaka (2007), Space Sci. Rev., 133, 1, doi:10.1007/s11214-007-9168-4.

キーワード: 沿磁力線電流, ダイナモ, 対流

Keywords: field-aligned current, dynamo, convection

近尾部プラズマシートでの尾部向きプラズマ流の多点解析：THEMIS衛星観測 Multi-spacecraft analysis of tailward plasma flows in the near-Earth plasma sheet : THEMIS observations

岡本 駿一^{1*}; 高田 拓²
OKAMOTO, Shunichi^{1*}; TAKADA, Taku²

¹ 高知工業高等専門学校電気情報工学科, ² 高知工業高等専門学校

¹Kochi National of College of Technology Department of Electrical Engineering and Information Science, ²Kochi National of College of Technology

オーロラ活動に伴って地球近傍の夜側磁気圏プラズマシートでは、磁場が急激に双極子化する。そこでは、地球向きの流れが支配的だが、尾部向き流れも少なからず存在する。尾部向き流れが観測される原因として地球向き流れの跳ね返り、プラズマ流の渦などが指摘されているが、一地点の衛星観測では定量的な議論まで至っていない。本研究では、THEMIS衛星が磁場双極子化領域で尾部向き流れを観測したイベントを抽出し、尾部向き流れ前に発生している流れの特徴からイベントを分類した。分類した結果を統計的に解析し、多点観測に基づいて尾部向き流れの空間構造を推定した。結果として、地球向き流れの跳ね返りや渦構造の部分観測で説明できるイベントの割合など示した。

キーワード: 磁場双極子化, 尾部向き流れ

Keywords: Dipolarization, Tailward flow

JAXA 準天頂衛星と MAGDAS 地上観測点による沿磁力線電流の同時観測 Simultaneous observation of a field-aligned current by the JAXA QZS satellite and a MAGDAS ground observatory

竹内 勇人¹; 河野 英昭^{2*}; 東尾 奈々³; 松本 晴久³; Baishev Dmitry G.⁴; 魚住 禎司²; 阿部 修司²; 湯元 清文²; 吉川 顕正²; MAGDAS/CPMN group²
TAKEUCHI, Yuuto¹; KAWANO, Hideaki^{2*}; HIGASHIO, Nana³; MATSUMOTO, Haruhisa³; BAISHEV, Dmitry G.⁴; UOZUMI, Teiji²; ABE, Shuji²; YUMOTO, Kiyohumi²; YOSHIKAWA, Akimasa²; MAGDAS/CPMN, Group²

¹九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門, ²九州大学国際宇宙天気科学・教育センター, ³宇宙航空研究開発機構, ⁴Yu.G.Shafer Inst. of Cosmophysical Research and Aeronomy, Siberian Branch, Russian Academy of Sci.
¹Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University, ²International Center for Space Weather Science and Education, Kyushu University, ³Japan Aerospace Exploration Agency, ⁴Yu.G.Shafer Inst. of Cosmophysical Research and Aeronomy, Siberian Branch, Russian Academy of Sci.

In this paper we conduct a QZS-MAGDAS conjunction study of a field-aligned current (FAC). QZS (Quasi-Zenith Satellite) is operated by JAXA, and MAGDAS is the ground magnetometer network mainly operated by ICSWSE (International Center for Space Weather Science and Education), Kyushu Univ.

There have been only limited number of papers on satellite-ground conjunction studies of FACs, because satellites usually passes overhead at a ground observatory in a short time.

On the other hand, the footprint of QZS stays near one ground point in Siberia, Russia, because the orbit of QZS is close to that of geosynchronous satellites on the Japanese meridian. Moreover, a few Siberian MAGDAS observatories exist near the QZS footprint.

Another advantage of QZS is that, unlike geosynchronous satellites, QZS has 41deg inclination and 0.1deg eccentricity which enable QZS to stay for a long time at northern high latitudes in the magnetosphere; this high-latitude feature increases the detectability of FACs, because the FAC magnitude is in general smaller near the equator, i.e., the FAC source region in the magnetosphere. Thus, the pair of QZS and Siberian MAGDAS is expected to have more chances of simultaneously observing the same FAC than past satellite-ground pairs.

We have been searching for events in which, when QZS and a Siberian MAGDAS observatory were located near the same field line (calculated by the Tsyganenko 96 model), QZS and MAGDAS simultaneously observed transient magnetic field perturbations.

In this paper we present such an event observed by QZS and a Siberian MAGDAS observatory CHD (Chokurdakh). We have found that the transient magnetic perturbations of this event can be interpreted to have been generated by the motion of a local current circuit consisting of line FACs and an ionospheric current. More details will be presented at the meeting.

磁気圏グローバル MHD シミュレーションによる静止軌道粒子環境数値データと LANL 衛星粒子データの比較 Comparison between particle environment around GEO from global MHD simulation and that from LANL satellite

長妻 努^{1*}; 山本 和憲¹; 久保田 康文¹; 田中 高史¹
NAGATSUMA, Tsutomu^{1*}; YAMAMOTO, Kazunori¹; KUBOTA, Yasubumi¹; TANAKA, Takashi¹

¹ 情報通信研究機構

¹National Institute of Information and Communications Technology

サブストームインジェクションはオーロラブレークアップ等と同様、磁気圏サブストームの典型的な現象の一つであり、これを研究することはサブストームの物理を理解する上で重要である。同時に、サブストームインジェクションは静止軌道の粒子環境を急激に変化させることから、人工衛星の表面帯電等のリスク要因にもつながる。我々は、過去に蓄積した膨大な磁気圏グローバル MHD シミュレーションの計算結果と、LANL 衛星の粒子データを比較することで、シミュレーションの計算結果の評価を試みると共に、シミュレーションの計算結果を用いてサブストームインジェクションによる静止軌道の粒子フラックス増大の推定を試みる。同様の研究としては、過去に中村 [2009] などの試みがある。本研究を通じて、将来的には静止軌道のプラズマ環境変動を予測し、ひいては衛星帯電リスクの予測につなげていきたいと考えている。発表では、シミュレーションと観測の比較を行った結果について紹介する。

参考文献:

中村雅夫、磁気圏シミュレーションによる静止軌道プラズマ環境変動の予測、情報通信研究機構季報, Vol.55, 81-86, 2009.

キーワード: 宇宙天気予報, 磁気圏, サブストーム, モデリング, グローバル MHD シミュレーション, 静止軌道

Keywords: Space Weather Forecast, Magnetosphere, Substorm, Modeling, Global MHD simulation, Geosynchronous orbit

磁気圏静穏時における磁気圏尾部から注入される粒子の軌道とエネルギー分散 Energy dispersion and trajectory of particles injected from the magnetotail in magnetospheric quiet conditions

山内 里子^{1*}; 長井 嗣信²
YAMAUCHI, Satoko^{1*}; NAGAI, Tsugunobu²

¹ 東京工業大学, ² 東京工業大学
¹Tokyo Institute of Technology, ²Tokyo Insutitute of Technology

2007 年ごろから磁気圏静穏時に地球半径の 10 倍程度の朝側から昼側にかけての領域で、数 keV - 数十 keV の荷電粒子のフラックスが増加するインジェクションが人工衛星 Geotail や THEMIS で観測されている。このインジェクションは、電子とイオンの両方でみられる場合と電子のみ見られる場合がある。また、これまでにサブストームが起きているときに静止軌道で観測されてきたインジェクションとは違い、磁気圏では大きな磁場の変動はなく静穏な状態のときに観測されている。観測された荷電粒子のフラックスは方位角方向に等方的であり、粒子がどのようにドリフトしてきたかは明らかではない。このインジェクションはエネルギー分散を伴っており、粒子のエネルギーごとのフラックスの時間変化を見ると、エネルギーが高い粒子の方がエネルギーが低い粒子よりも早くフラックスが増加し始めていることがわかる。エネルギーによってフラックスの増加に時間差が生じるのは、荷電粒子のドリフト速度がエネルギーによって異なるためであると考えられる。これまでに、我々は磁気圏の赤道面において、磁場をダイポール磁場、電場を朝側から夕方側に向かうような対流電場と地球中心に向かう कोरोテーション電場を足し合わせた電場として荷電粒子のドリフト速度に与え、荷電粒子の軌道を計算した。その結果、対流電場が大きいほど時間差が短く、小さいほど時間差が長くなることがわかった。また、軌道計算の結果では、電子は尾部方向から来て朝側を周る軌道をとる。これは、Geotail と THEMIS の同時多点観測からも磁気圏の夜側ほど早くインジェクションが観測されていること、また、Geotail で観測されたエネルギーによるフラックス増加開始の時間差が昼側ほど長くなることと一致する。逆に、イオンは尾部方向から来て夕方側を周る軌道をとるという計算結果を得た。赤道平面では、電子とイオンが逆向きに地球の周りをドリフトするため、荷電粒子が磁気圏尾部のある領域から同時に注入され、朝側の領域に到達する場合、イオンは電子よりも長い距離をドリフトしてくるので時間がかかる。これは、Geotail によって朝側の領域で電子のインジェクションが観測された数分～数十分後にイオンのインジェクションが観測されていることと一致している。これらのことから、電子は磁気圏の朝側の領域を夜側から昼側の方向へドリフトし、イオンは逆に夕方側の領域を夜側から昼側の方向へドリフトすることがわかった。しかし、ダイポール磁場で与えられる範囲では、観測されるようなエネルギー分散を説明することはできなかった。地球磁気圏は太陽風によって引き伸ばされているため、地球半径の 10 倍よりも尾部の領域では、磁力線が引き伸ばされ、ダイポール磁場とは異なった磁場の形状をしている。観測された荷電粒子は、この尾部の領域から注入されてきたと予測できる。我々は、これらの注入されてきた粒子の軌道とエネルギー分散がどのような特徴を持つのかより詳しく調べるため、荷電粒子の軌道計算をするにあたって、より現実的な磁気圏の磁場のモデルを与えるために、磁気圏における経験的な磁場モデルである Tsyganenko モデルを用いた。磁気圏静穏時において数 keV-数十 keV の粒子がどのような軌道をとるのか、また、尾部のある領域から注入された荷電粒子が、内部磁気圏に到達するまでにどのようなエネルギー分散を持つのか、これらの観測結果と軌道計算を組み合わせ考察する。

キーワード: 磁気圏, 粒子のインジェクション, エネルギー分散, Tsyganenko, 軌道計算, 磁気静穏時
Keywords: magnetosphere, particle injection, energy dispersive, Tsyganenko, quiet condition, trajectory

2-1/2 次元粒子シミュレーションで得られた Dipolarization Front の時間発展及びダイポール領域との相互作用 Time development of the Dipolarization Front and its interactions with the dipole-field region obtained by 2-1/2 dimensi

内野 宏俊^{1*}; 町田 忍²
UCHINO, Hiroto^{1*}; MACHIDA, Shinobu²

¹ 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, ² 名古屋大学太陽地球環境研究所
¹Earth and Planetary Sciences Graduate School of Science, Kyoto University, ²Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University

地球磁気圏尾部における磁気リコネクションによって発生する、 B_z の増大 (北向き磁場成分) を伴う地球向きの Bursty Bulk Flow は Dipolarization Front (DF) と呼ばれる。サブストーム発生機構の 1 つである Near Earth Neutral Line モデルの描像では、DF がダイポール領域を圧縮し、かつ自身がダイポール領域と尾部電流層領域の境界付近で Flux Pileup を起こすことで、磁気圏夜側の広い範囲で B_z が増大する (Dipolarization) と考えられている。DF の物理的構造に関する人工衛星観測は数多く存在するものの、プラズマ粒子シミュレーションを用いて DF がダイポール領域付近まで到達した場合について調べた研究は行われていない。

そこで本研究では、地球磁気ダイポールに似た形状の磁場配位と、電流層により引き伸ばされた磁場配位をつなげた初期条件において、空間 2 次元の粒子シミュレーションを行った。そのような電流層の中で磁気リコネクションを発生させ、それにより生じた B_z を伴う地球向きのプラズマ流がダイポール領域付近に到達するまでの時間発展を調べた。

その結果、本シミュレーションでは、ダイポール領域と B_z が Pileup した領域の中間に、 B_z がほとんど上昇しない領域が形成された。これは、(1) 地球向きのプラズマ流が電流層中のプラズマをダイポール領域と電流層境界付近に蓄積させ、(2) 蓄積したプラズマの圧力によってプラズマ流自身が減速を受け、(3) 境界付近から比較的尾部側に B_z が Pileup したためと考えられる。この結果は、DF が磁気圏夜側で広域に B_z を増大させるという、一般的に考えられている DF の効果とは異なるものである。今回の場合、空間を 2 次元に設定したために、ダイポール領域と電流層境界に蓄積したプラズマが Y 方向 (東西方向) に抜けることができなくなり、そのような B_z が上昇しない領域が形成されたと推測される。その他にも、本発表では DF 周辺の粒子速度分布や密度分布などについて、先行研究の観測結果と比較を行いながら考察を行う。

キーワード: サブストーム, ダイポラリゼーションフロント, ダイポラリゼーション
Keywords: Substorm, Dipolarization Front, Dipolarization

小型ダイポール磁場とプラズマ流の相互作用に関する 3 次元粒子シミュレーション 3D Full kinetic simulations of plasma flow interaction with meso- and micro-scale magnetic dipoles

臼井 英之^{1*}; 芦田 康将²; 篠原 育³; 中村 雅夫⁴; 山川 宏²; 三宅 洋平¹

USUI, Hideyuki^{1*}; ASHIDA, Yasumasa²; SHINOHARA, Iku³; NAKAMURA, Masao⁴; YAMAKAWA, Hiroshi²; MIYAKE, Yohei¹

¹ 神戸大学大学院システム情報学研究所, ² 京都大学生存圏研究所, ³ 宇宙航空研究開発機構/宇宙科学研究所, ⁴ 大阪府立大学

¹Graduate school of system engineering, Kobe University, ²Research Institute for Sustainable Humanosphere, ³Japan Aerospace Exploration Agency/Institute of Space and Astronautical Science, ⁴Osaka Prefecture University

Plasma flow response to a magnetic dipole and the resulting formation of a magnetosphere depends on the intensity of the magnetic moment of the dipole. In this study, we examined plasma flow interactions with a magnetic dipole which is much smaller than the Earth's intrinsic magnetic dipole by performing three-dimensional full Particle-In-Cell simulations. The size of a magnetic dipole immersed in a plasma flow is characterized by distance L from its center at which the equilibrium is satisfied between the pressure of the magnetic field of the dipole and that of the plasma flow. In the Earth's magnetosphere, L implies the magnetopause location. We particularly focused on meso- and micro-scale magnetic dipoles in which L is comparable to and smaller than the gyroradius of ions in the flow. In the meso-scale case, ions kinetics should be dominantly considered while electrons whose gyroradius is sufficiently small can be treated as fluid. In the micro-scale, however, electrons as well as ions should be treated particles because L becomes small and the electron kinetics cannot be ignored either. Our interest is in the formation of current layer at the magnetosphere boundary in the both scales. Corresponding to the formation of a magnetosphere, the boundary current also depends on the size of the magnetosphere.

In the meso-scale case, the boundary current is dominated by the electron diamagnetic current at the large density gradient found at the distance of L . This signature is similar to the case of the Earth's magnetosphere. In the micro-scale case, however, the trajectories of ions and electrons gyration play an important role to determine the boundary current. Since the ion's gyroradius is larger than L , charge separation between ions and electrons occurs in the upstream region. As particles approach to the inner dipole, the electron gyroradius becomes small and electron drift motion becomes dominant. It is also confirmed that static electric field caused by the charge separation affect the plasma dynamics and the resulting current flow.

キーワード: 磁気ダイポール, メソスケール, プラズマ応答, 境界電流層, プラズマ粒子シミュレーション

Keywords: Magnetic dipole, Meso-scale, Plasma response, Boundary current layer, Plasma particle simulation

MESSENGER 探査機を用いた水星磁気圏プラズマシートの厚さ見積もり：惑星間空間磁場に対する応答
Estimation of the plasma sheet thickness in the Mercury's magnetosphere from the MESSENGER observations: IMF dependence

森元 裕也^{1*}; 高田 拓²
MORIMOTO, Yuya^{1*}; TAKADA, Taku²

¹ 高知工業高等専門学校電気情報工学科, ² 高知工業高等専門学校

¹Kochi National College of Technology Department of Electrical Engineering and Information Science, ²Kochi National College of Technology

今までに水星磁気圏に到達した探査機は、1974年から2年間探査を行ったNASAのMariner10と2011年に水星周回軌道に投入されたNASAのMESSENGERの2機のみである。Mariner10のスイングバイの観測データより、水星磁気圏の存在が示されたが、磁気圏内部の定量的な理解はされていない。本研究では、MESSENGERの磁場データを用いて、惑星間磁場(IMF)に対応した水星磁気圏プラズマシートの厚みとプラズマシート内の磁場変動を調べた。また、プラズマシート観測前後のIMFを用いて、プラズマシート観測時のIMFを推定した。この結果、IMFが北向きの場合は、厚さが0.12-0.19RM(水星半径)、IMFが南向きの場合は、厚さが0.02-0.08RMで、IMF南向きでプラズマシートが薄くなることが分かった。さらにIMFが南向き、北向きに問わず、プラズマシート内では、プラズマ流に伴って見られる磁場の突発的な変化が確認された。得られた結果に基づいて、水星磁気圏でのサブストーム現象について議論を行う。

キーワード: メッセンジャー, 水星磁気圏, プラズマシート, プラズマ流, サブストーム
Keywords: MESSENGER, Mercury's Magnetosphere, plasma sheet, plasma flow, substorm