

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.

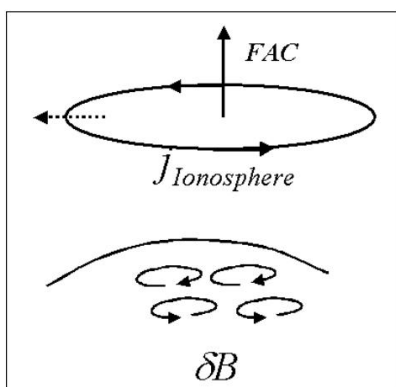
The spatiotemporal motion of the ionospheric vortical current explained the ground magnetometer data in the auroral zone. During the activation of the current vortex, auroras composed of the shear layers rotating clockwise and the auroral surge propagating westward were observed.

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こっ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コロネ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