

大規模プラズマ輸送

遠尾部で太陽風起源のプラズマが加熱されて生まれたプラズマシートは近尾部まで大規模対流で運ばれて尾部全体を埋め尽くす。したがって大規模対流を把握することは磁気圏物理の基本であるが、それを系統的に行えるようになったのは、*Geotail* がはじめてである。一方、地球近くのみならず遠尾部においても電離層起源イオンが多く検出されたことは、*Geotail* がもたらした驚きである。

遠尾部での観測

“プラズマシートは如何にして生まれるのか？”

Geotail による長期観測は、衛星の一点観測という弱点を観測量で補うことにより、磁気圏対流という磁気圏の大規模構造に直結した特性について、観測に基づいた研究を行うことを可能にした。*Geotail* の軌道の推移により、打ち上げ後最初の 3 年間強 (1992-1994 年) は磁気圏遠尾部領域 (地球からの距離が 100-200 R_E , R_E : 地球半径 ~ 6371 km)、その後今日まで 12 年にわたる近尾部領域 ($R < 30 R_E$) での観測が行われ、それぞれの領域での大規模対流構造に関して画期的な成果が得られた。

遠尾部領域に関しては過去の衛星を全て合わせてもわずか数回のフライバイ観測があったのみで、systematic なサーベイを実現したのは *Geotail* が世界初であった。また *Geotail* の特徴として、geometrical factor を大きくとったプラズマ観測器を用い、かつてないほど高精度のイオンの流体パラメータ (密度、速度、温度)、及び分布関数のデータが、しかも大量に得られたことが挙げられる。これらのデータを用いることにより、遠尾部ローブ領域の構造が、惑星間空間磁場 (IMF) との相互作用の結果、南北対称ではなく尾部の中心軸の周りにねじれたような形状になるという仮説に対して、多くの観測的実証が得られている (e.g., Maezawa et al., 1997)。またこの尾部のねじれ構造を作る物理機構についても観測的な検証がなされ、IMF の条件にちがいによって異なる電磁氣的応力が尾部にかかり、それによって尾部のねじれを作るようなローブ/マントル領域の対流が誘起されていることが示された (Maezawa and Hori, 1998, Nishida et al., 1995, 1998, Nishida and Ogino, 1998)。

近尾部での観測

“プラズマシートは如何にして近尾部まで運ばれるのか？”

1994 年後半に *Geotail* の軌道がより地球近くに遷移した後は、地球からの距離が 9-30 R_E の範囲のいわゆる磁気圏近尾部の赤道面付近の領域を綿密にサーベイしてきた。これによって、一切のモデルを介在させず、観測データの統計処理のみによって近尾部赤道面での大規模プラズマ流の構造 (図 2.7-1 左) と、またそのうちの電場ドリフト成分のみのパターン (図 2.7-1 右) を導出することに、世界で初めて成功した (Hori et al.,

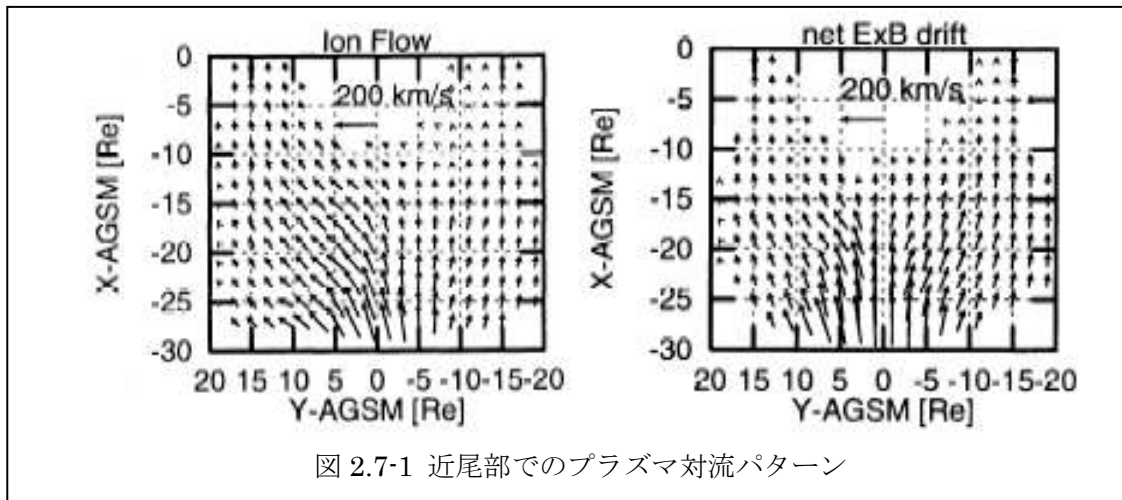


図 2.7-1 近尾部でのプラズマ対流パターン

2000)。全く新しい知見として、従来は地球からの距離がもっと近い位置（例えば $R < 10 R_E$ ）で朝方向、または夕方方向へのプラズマ流の回り込みが起これと考えられていたものが、実は右図から明らかなように $R \sim 15 R_E$ 程度の距離で既にプラズマ流が朝夕にわかれていく成分を有していることがわかった。さらにこれらの結果は理論的な研究との比較によってさらに詳細な解釈が与えられ、その重要な結論の一つとして、近尾部での地球向きプラズマ対流のようなゆっくりとしたプラズマ輸送に関しても、磁気凍結定理が破れており、従来の MHD の枠組みではその物理過程が完全には説明できないことが示唆されている（e.g., Wang et al., 2004a, 2004b）

電離層からのイオン

“電離層起源イオンは太陽風起源のものに比べて無視できるのか？”

電離圏から流失している電離圏起源のプラズマ (H^+ 、 He^+ 、 O^+) は、地球近傍ですぐにプラズマシートに混じってしまうと考えられていたが、Geotail は、従来の予想を遙かに上回る大量の電離圏起源プラズマが磁気圏遠尾部まで運ばれていることをはじめて実証した（Mukai et al., 1994、Hirahara et al., 1996, 1997, 1998、Seki et al., 1996, 1998a, 1998b）。これらの多起源プラズマの混合では、地球近傍のみならず、磁気圏尾部側面における磁力線再結合過程が重要な役割を果たしていることが、イオンの「その場」観測による速度分布関数の解析から明確になった。

Geotail 搭載のイオン分析器は過去の衛星搭載センサーより 1 桁高い感度を誇り、12 秒の最高時間分解能そのままの速度分布関数データで詳細な解析が可能であるため、磁気圏境界面領域で劇的に変化するプラズマ分布・ダイナミクスにプラズマ計測が追従できることが画期的な成果につながっている。また、Geotail 衛星が 1996 年の大規模な軌道変更により地球近傍周回軌道に投入されてからは、高温プラズマの加速・加熱・貯蔵領域である磁気圏プラズマシート中に、2 桁以上も低温な多成分・多起源のプラズマが存在することが明らかになった。この様な低温プラズマの起源としてはやはり地球極域電離層が唯一の候補である。これらの観測成果は、地球大気が電離された後の磁気圏

に脱出し、そこで高温の磁気圏プラズマと実空間では共存しながらもエネルギー空間では分離したままにあるという興味深い状態があることを示すと同時に、一方では、これから電離層イオンが加熱加速されリングカレントの主要成分となる場合もあることは、新しい研究課題を提示しているとも言える (Seki et al., 2000, 2001, 2003)。

[参考文献]

- [98-21] Hirahara et al. (1998), AGU Geophys. Monogr. Ser.
- [97-13] Hirahara et al. (1997), J. Geophys. Res.
- [96-15] Hirahara et al. (1996), J. Geophys. Res.
- [00-14] Hori et al. (2000), Geophys. Res. Lett.
- [98-41] Maezawa and Hori (1998), AGU Geophys. Monogr. Ser.
- [97-25] Maezawa et al. (1997), Adv. Space Res.
- [94-28] Mukai et al. (1994), Geophys. Res. Lett.
- [98-57] Nishida et al. (1998), J. Geophys. Res.
- [95-15] Nishida et al. (1995), J. Geophys. Res.
- [98-55] Nishida and Ogino (1998), AGU Geophys. Monogr. Ser.
- [03-38] Seki et al. (2003), Nature
- [01-55] Seki et al. (2001), Science
- [00-66] Seki et al. (2000), J. Geophys. Res.
- [98-67] Seki et al. (1998a), J. Geophys. Res.
- [98-68] Seki et al. (1998b), J. Geophys. Res.
- [96-35] Seki et al. (1996), Geophys. Res. Lett.
- [04-50] Wang, C.-P., et al. (2004a), J. Geophys. Res.
- [04-51] Wang, C.-P., et al. (2004b), J. Geophys. Res.,