

ニュートラルシートにおけるプラズマ・磁場パラメータの統計的解析

A statistical analysis of the plasma and magnetic field data at neutral sheet crossings of Geotail

本川 智美 [1], 相澤 徹 [1], 平原 聖文 [1], 向井 利典 [2], 國分 征 [3]

Tomomi Motokawa [1], Tohru Aizawa [1], Masafumi Hirahara [2], Toshifumi Mukai [3], Susumu Kokubun [4]

[1] 立教大・理・物理, [2] 宇宙研, [3] 名大・STE研

[1] Department of Physics, Rikkyo University, [2] Dept. Phys., Rikkyo Univ., [3] ISAS, [4] STEL, Nagoya Univ.

Geotail衛星が磁気圏尾部のニュートラルシートを通過した際に取得したプラズマ・磁場データの統計的解析に基づき、磁気圏の構造、及び、ダイナミクスを考察する。地磁気活動度の高い時には、地球からの距離が25～50Reよりも遠い領域では $B_z > 0$ 、 $V_x < 0$ と $B_z < 0$ 、 $V_x < 0$ のフラックスはほぼ同量観測されており、したがってプラズモイドが頻繁に発生していると考えられる。また、地球近傍($X > -30\text{Re}$)におけるプラズマ(イオン)の平均的な速度は地球向きであり、さらに、 $Y > 0$ では $V_y > 0$ 、 $Y < 0$ では $V_y < 0$ となり地球を避ける傾向が見られる。平均的な V_y の大きさは朝方側よりも夕方側で大きくなっているが、このことはcross tail currentと関連していると考えられる。

磁気圏尾部のプラズマシートの中心面には磁気的に中性であるニュートラルシートが存在しており、そこでは B_x の反転が見られ、また、磁気圧は非常に低い。プラズマの β 値($\beta = [\text{イオン圧}] / [\text{全圧}]$)は最大となっている。ニュートラルシートには磁気圏の構造、ダイナミクスを知る上で重要な情報が集約されていると考え、Geotail衛星が磁気圏尾部のニュートラルシートを通過した際に取得したプラズマ、及び、磁場データ(約28,000例)の統計的解析に基づき、磁気圏の構造、及び、ダイナミクスを考察する。なお、ニュートラルシート通過の条件として、 B_x の反転が見られること、反転前後の大きさが $|B_x| < 0.5\text{nT}$ であること、全磁場強度が $B < 20\text{nT}$ 、イオン密度が $n_i < 1/\text{cc}$ 、イオン温度が $T_i > 400\text{eV}$ であることを用いた。

プラズマ(イオン)の密度・温度・圧力分布の位置依存、地磁気活動度依存を磁気圏尾部全体($0 > X > -210\text{Re}$)について調べた。 X 方向の依存を見ると、密度、温度とも地球に近づく程大きい値をとる傾向が見られるが、距離によって値が大きく変動している。しかし、圧力については、密度、温度の X 方向の変動は相殺し合い、なだらかな変化を示す。地球から遠い領域($X < -50\text{Re}$)では圧力は安定した値をとり K_p への依存もほとんど見られないが、それよりも地球に近づく急激に上昇し、その傾向は K_p が高い時($K_p = 4, 5, 6, 7$)に顕著である。また、 K_p が高い時ほど、温度は高く、密度は低くなっており、 K_p が低い時には逆の傾向を示す。次に、地球近傍($X > -30\text{Re}$)では、温度、圧力に関しては尾部全体における場合と同様に地球に近づく程高くなっている。しかし、密度は尾部の中心軸から遠い領域($|Y| > 15\text{Re}$)では、 $X < -10\text{Re}$ で高くなる傾向が見られる。これは、境界領域において太陽風起源のプラズマが観測されているためだと考えられる。

上に述べた、密度、温度の X 方向の変動が相殺し合い、地球からの距離が遠くなるにしたがい圧力が単調に減少するという傾向は、プラズマシートの粒子圧がローブの磁場圧を支える構造を持つためだと推測される。そこで、ニュートラルシートとローブとの圧力平衡を考える。ニュートラルシート通過時刻の前後5分以内に取得されたローブのデータに対し、ニュートラルシート、ローブ、それぞれにおけるイオン圧と磁気圧の和を比較した。その結果、ニュートラルシートにおける圧力よりもローブにおける圧力の方が高い傾向が見られたため、電子の圧力も考慮したが、それでもわずかにローブにおける圧力が高くなっている。このことから、プラズマシート内では、粒子圧、磁気圧の他に、磁場を支えるような何か別の機構が働いている可能性が考えられる。発表では、電子のモーメントデータを用いて議論する予定であるが、ここでは、電子圧はイオン圧の8分の1であると仮定した。

次に、磁場がプラズマに凍結されているという仮定の下に、磁気圏尾部全体のニュートラルシートにおけるフラックス輸送をイオンの流速、及び、磁場の方向別に調査した。地球からの距離が150～175Reを超えると地球向きの流れはほとんど観測されず、したがって、distant neutral lineはこの領域を超えては存在しないと考えられる。また、地磁気活動度の高い時($K_p = 4, 5, 6, 7$)には、地球からの距離が25～50Reよりも遠い領域では $B_z > 0$ 、 $V_x < 0$ と $B_z < 0$ 、 $V_x < 0$ のフラックスはほぼ同量観測されており、これはプラズモイドが頻繁に発生しているためと考えられる。

また、地球近傍($X > -30\text{Re}$)におけるイオンの平均的な速度は地球向きの成分を持ち、朝方側より夕方側で、また、 $X < -15\text{Re}$ で、その速さは大きくなっている。さらに、 $Y > 0$ では $V_y > 0$ 、 $Y < 0$ では $V_y < 0$ であり、地球近傍の強い磁場によってその流れが歪められているような傾向が見られる。しかし、 X 軸に対してその流れは対称的でなく、 X 軸方向からの偏向角は朝方側よりも夕方側で大きい傾向にある。このことをcross tail currentを担っているイオンの運動によって説明する事を試みる。常に朝方側から夕方側へ向かって電流が流れているとすると、 $Y < 0$ では V_y の一部が相殺され V_y が減少し、 $Y > 0$ では V_y が増加すると期待される。実際に、尾部の中心面を1Reの幅にわたり電流が一樣に流れていると仮定し、観測されたイオンの V_y からcross tail currentを見積ったところ、lobe磁場から簡単に見積られる電流値とオーダーはほぼ一致したが、数十%の寄与にしかならないため、電流層の厚さ、電子の運動な

どを考慮する必要がある。