

## 磁気再結合現象にともなうプラズマシート - ロープ境界領域における電子加熱過程

## Electron heating mechanism in the plasma sheet-lobe boundary region associated with magnetic reconnection

# 藤本 桂三 [1]; 町田 忍 [2]

# Keizo Fujimoto[1]; Shinobu Machida[2]

[1] 京大・理・地球物理; [2] 京大・理・地球惑星

[1] Dept of Geophys. Sci., Kyoto Univ; [2] Dept. of Geophys., Kyoto Univ.

磁気再結合現象は、磁気圏サブストームや太陽フレアの発生過程において、磁気エネルギーを粒子の運動エネルギーに効率よく変換するメカニズムとして重要な役割を担っていることが示唆されている。磁気再結合現象にともなうプラズマの加速・加熱機構の解明は、エネルギー輸送過程を理解する上で非常に重要であるにもかかわらず、未だ十分にされていない。

近年、人工衛星による直接観測から、地球磁気圏尾部のプラズマシート - ロープ境界領域で、磁気再結合現象にともなって磁力線方向に選択的に加熱され、フラットトップ型の分布関数を形成している電子がしばしば発見されている。このような電子の異常加熱を引き起こす原因としては、磁気再結合にともなってセパトトリクス近傍に形成されるスローモードショックや、境界領域でしばしば励起する Lower Hybrid Drift Instability (LHDI)、磁気中性線近傍で加速された電子に起因する Buneman Instability や Bump-on-tail Instability などが示唆されている。しかしながら、衛星観測にともなう不確実性や計算機資源の制約から、電子の加熱過程を詳細に理解しその原因を特定するには至っていない。特に、電子加熱過程を記述するためには、イオンも電子も粒子として扱う電磁粒子シミュレーションを実施する必要があるが、計算機資源の制約から磁気中性線近傍の大規模シミュレーションを行うことが困難であった。そのため、プラズマシート - ロープ境界領域における電子加熱過程は、これまで十分に調べることができなかった。

本研究では、従来の2次元電磁粒子コードに適合格子細分化法 (AMR法) と粒子分割法を適用した新しい粒子コードを独自に開発することによって、磁気再結合現象の大規模粒子シミュレーションを実施することに成功した。ここで、AMR法とはある分割指標にしたがって計算格子を動的に分割・統合する手法で、局所的な高分解能計算を可能にする。

今回、我々は、磁気拡散領域周辺の大規模粒子シミュレーションを実施することによって、磁気再結合現象にともなうプラズマシート - ロープ境界領域における電子の加熱過程を詳細に調べた。その結果、もともとその領域にあった冷たい電子と磁力線垂直方向に加熱された強いビーム電子との間で電子2流体不安定性が励起され、磁力線に沿って伝播する静電波が発生することがわかった。電子は、波動にともなう静電ポテンシャルに捕獲され磁力線に沿ってすみやかに散乱される。結果として、電子は平行方向に加熱され観測で得られているようなフラットトップ型の分布関数が形成されることが明らかになった。このとき、フラットトップ電子のエネルギー幅は数 keV に達し、観測と矛盾しない結果が得られた。電子2流体不安定性の原因となる磁力線に沿った強い電子ビームの起源を調べたところ、異なる2つの成分からなることがわかった。1つは、ロープ領域から磁気拡散領域に流入し磁気中性線近傍で強く加速・加熱された後境界領域に到達した電子で、ビーム電子の高温成分を構成している。もう1つは、プラズマシートの反対側の境界領域から磁力線に沿って加速された電子で、ビーム電子の低温成分を構成している。我々は、さらに、境界領域で励起された電子2流体不安定性が静電孤立波 (Electrostatic Solitary Waves: ESW) に発達することを見出した。静電孤立波は、人工衛星による観測でも境界領域 (Plasma Sheet Boundary Layer: PSBL) でしばしば検出されている。このことから、電子2流体不安定性にともなう静電波は、磁気再結合現象にともなうプラズマシート - ロープ境界領域における電子加熱過程において、重要な役割を果たしている可能性が高い。

講演では、電子2流体不安定性によって電子が磁力線方向に加熱され、その後、静電孤立波が形成される過程を、大規模粒子シミュレーションの結果を使いながら詳細に説明する。