

無衝突磁気リコネクションの運動論シミュレーション研究

銭谷誠司 (国立天文台 理論研究部)

利用カテゴリ XT4A・SX9A

磁力線を繋ぎ変えて磁気エネルギーを解放する磁気リコネクションは、地球やパルサー磁気圏といったさまざまなプラズマ環境で重要な役割を果たしている。本研究では、プラズマ粒子シミュレーションや衛星観測を駆使して、無衝突磁気リコネクションの基礎物理の理解に迫る。

無衝突リコネクションでは、磁力線が繋ぎ変わるX点近くにMHD近似が成り立たない「磁気散逸領域」が存在し、系全体の発展を左右している。過去の研究の多くでは、プラズマ理想条件 ($E + v_e \times B \neq 0$) を使って散逸領域を議論していた。しかし最近の理論研究で、ジュール散逸を電子流体系で評価した「電子系散逸量」を使うと、より良く散逸領域を判定できることがわかってきた。

我々は、この散逸量理論とプラズマ粒子シミュレーションを使って、基本形（反平行型）リコネクションの内部構造を再考した。その結果、(1) 散逸領域の特徴スケールは電子の物理が決めている。(2) リコネクション点からアウトフロー方向に延びる狭い領域は「外側電子拡散領域」と呼ばれていたが、磁気拡散とは逆（プラズマ → 磁場）のエネルギー輸送が起きている。(3) 電子ジェットは、衝撃波を経て下流の磁化フローに繋がっている、といったことがわかってきた [1]。

さらに、地球磁気圏を観測している GEOTAIL 衛星の磁気リコネクションイベントを解析した。このイベントで上記の散逸量を評価すると、リコネクション点と思われる位置で有意な構造が見えるため、GEOTAIL が散逸領域を通過していたことがわかった。惑星磁気圏夜側で散逸領域を特定したのは、これが世界で初めてである。この観測結果を裏付けるために、粒子シミュレーション結果を解析してさまざまな検討を行った。

また、近年、高エネルギー天体環境での相対論磁気リコネクションの重要性が認識されるようになっており、粒子・相対論2流体・相対論抵抗MHDといった多彩なシミュレーション研究結果が出揃ってきた。そこで、国内外の相対論リコネクション研究者と合同で、パラメーターを揃えた標準問題を設定し、結果を統一的に議論している。現在、相対論粒子シミュレーションの計算結果の解釈・解析方法について議論を進めている。

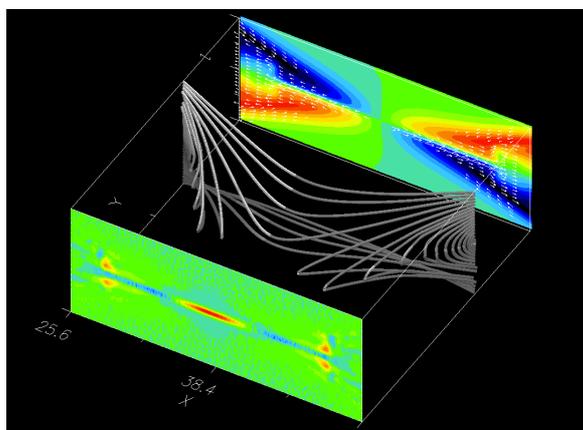


図1 磁気リコネクションの粒子シミュレーション結果（磁力線の3次元構造など） [1]

参考文献

[1] Zenitani, S., Hesse, M., Klimas, A., Black, C., Kuznetsova, M., Physics of Plasmas, (2011), 18, 122108