

Fast magnetic reconnection supported by sporadic small-scale Petschek-type shocks
Fast magnetic reconnection supported by sporadic small-scale Petschek-type shocks

*柴山 拓也¹、草野 完也¹、三好 隆博²、中坊 孝司¹、Grigory Vekstein³

*Takuya Shibayama¹, Kanya Kusano¹, Takahiro Miyoshi², Takashi Nakabou¹, Grigory Vekstein³

1.名古屋大学宇宙地球環境研究所、2.広島大学大学院理学研究科物理科学専攻、3.University of Manchester
1.Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, 2.Department of Physical Science, Graduate School of Science, Hiroshima University, 3.University of Manchester

磁気リコネクションは反平行成分を持つ磁力線同士のつなぎかえ過程であり、磁場に蓄えられた磁気エネルギーをプラズマの運動エネルギーや熱エネルギー、粒子の運動エネルギーなどに変換することで短時間に大きなエネルギーを解放することができる。太陽フレアや磁気圏サブストーム、トカマクディスラプションにおけるエネルギー解放はこの磁気リコネクションによって引き起こされていると考えられている。さらには様々な天体物理現象においても磁気リコネクションは重要な役割を果たしていると考えられている。

磁気流体力学(MHD)近似を用いた磁気リコネクション理論の大きな問題の一つは宇宙プラズマや実験室プラズマの観測に比べてリコネクションによるエネルギー変換効率がはるかに低いことである。この「リコネクションの高速化問題」を解決する可能性があるMHDリコネクション理論として近年注目されているのがプラズモイド(磁気島)の発生を伴う高速化理論であるが、プラズモイド生成によりリコネクションが高速化する理由は未だ十分に解釈されていない。

本研究では大規模数値実験を用いてプラズモイドの生成によるリコネクション高速化メカニズムの解明に取り組んだ。はじめに、リコネクションをおこす電流層全体を含む大きな系での時間発展を再現するグローバルモデル数値実験を行った。これによりプラズモイド生成による高速化が起こる際に局所的にペチェックタイプと呼ばれる、衝撃波を持つリコネクション領域構造が繰り返し出現していることを明らかにした。次に、ペチェックタイプの構造が出現した部分の物理状態をモデル化したローカルモデル数値実験を行った。これによりペチェックタイプの構造が出現するための条件を明らかにした。その条件とは反並行の磁力線の境界面に沿ってプラズマ流が存在するという条件であり、この速度場の中でプラズモイドが成長することで磁気拡散領域の構造に制限を与え、ペチェックタイプの高速リコネクションが実現すると考えられる。

本発表では、以上の数値実験によって得られた知見をもとにプラズモイドの発生に伴うリコネクション高速化理論である「動的ペチェックリコネクションモデル」を提案する。ペチェックタイプ構造の形成に必要な境界面に沿ったプラズマ流はグローバルモデルの時間発展においてプラズモイドの形成以前に起こっていたリコネクションのアウトフローによって自発的に形成する。そのため本モデルはリコネクション領域の自己無撞着な発展の結果として高速化を説明できる。また、プラズモイドの生成、衝突に伴ってこのようなりコネクション領域が繰り返し形成することで本理論による高速リコネクションは非常に激しい時間変動をする。太陽フレアの観測からもこのような短周期の時間変動の存在が示唆されており、本理論はそれらの観測事実とも整合する。さらに、本理論に基づくと磁気拡散領域周辺には衝撃波構造が形成するが、これは太陽フレアに伴って生成する高エネルギー粒子の加速が行われる場所として有力な候補となる。

本研究の成果の一部はPhysics of Plasmas誌に学術論文として掲載されている(Shibayama et al. (2015), Physics of Plasmas, 22, 10, 100706)。

キーワード：磁気リコネクション、磁気流体力学シミュレーション、太陽フレア

Keywords: Magnetic reconnection, MHD simulation, Solar flare