

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 号
------	---------

氏 名 柴山 拓也

論 文 題 目

Magnetohydrodynamic Simulation Study on Fast Magnetic Reconnection
(磁気リコネクションの高速化機構に関する電磁流体力学シミュレーション研究)

論文審査担当者

主査 名古屋大学宇宙地球環境研究所 教 授 理学博士 草野完也
委員 名古屋大学大学院理学研究科 教 授 博士 (理学) 渡邊智彦
委員 名古屋大学大学院工学研究科 准教授 博士 (情報学) 梅田隆行
委員 東京大学大学院理学系研究科 准教授 博士 (理学) 横山央明

論文審査の結果の要旨

別紙 1-2

プラズマ中での磁力線の繋ぎ替えである磁気リコネクションは、太陽フレア、地球磁気圏サブストーム、トカマクディスラプションなど様々なプラズマ中での爆発的エネルギー解放現象の基本プロセスである。しかし、古典的なモデルでは現象の速い時間スケールを説明できないため、その高速化機構については未だ十分に解明されていない。特に、太陽コロナのように電磁流体力学 (MHD) が成り立つプラズマにおいては、高速な定常磁気リコネクションを説明する Petschek のモデルは一様抵抗においては安定に存在できないことが見出されており、太陽フレアの爆発的な発展の原因は未だ十分に理解されていない。

申請者はこの問題に精密な MHD シミュレーションに基づいて取り組んだ。本論文では第 1 に、一様抵抗を持つ長い電流層における抵抗性テアリング不安定性の結果として発生する磁気リコネクションの精密な非線形 2 次元 MHD シミュレーションを行った。その結果としてテアリング不安定性が十分に成長した後に、一様抵抗であっても Petschek 型の磁気リコネクションが自発的に発生し、磁気リコネクションを高速化することを見出した。これまで十分に長い電流シートではテアリング不安定性の結果として複数の磁気島 (プラズモイド) が形成され、このプラズモイドが電流層の長さを制限するために磁気リコネクションが高速化すると考えられてきた。申請者が見出した磁気リコネクションはこれとは異なり、Petschek 型リコネクションを動的に実現することにより、さらに短い電流層を形成して磁気リコネクションを高速化するものである。このことから「動的 Petschek リコネクション」と呼ぶべき全く新しいタイプの磁気リコネクション過程を発見したといえる。

第 2 に、申請者はこの新しい磁気リコネクションの発生機構を詳細に調べることができる局所モデルシミュレーションを実施した。その結果、プラズモイドの非線形成長の結果として、磁場と速度場の対称性が破れ、磁場のヌル点と流速場の停留点が一致しなくなることが磁気リコネクションの高速化に重要な役割を担っていることを見出した。さらに、この高速磁気リコネクションは拡散領域スケールの構造に起因して発生するため、そのリコネクション率は Lundquist 数に強く依存しないことを説明した。本論文ではさらに、太陽フレアにおけるこの高速リコネクションの観測的検証を次世代の観測衛星で行うための方法論も議論している。申請者はこのため、電離過程を考慮したシミュレーションコードを開発し、電離非平衡モデルとの比較からプラズモイドの成長過程を観測的に調べる方法を提案した。また、大規模な 3 次元 MHD シミュレーションも実施し、磁気リコネクションにおける 3 次元効果についての議論も行った。以上の結果と議論は、長年の課題である磁気リコネクションの高速化問題の解決に貢献する研究成果である。

以上の理由により、申請者は博士 (理学) の学位を授与される十分な資格があるものと認められる。