

別紙 1-1

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 下村 和也

論 文 題 目 背景磁場を伴う磁気リコネクションと微視的
不安定性のジャイロ運動論的解析

論文審査担当者

主 査	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	名古屋大学大学院理学研究科	客員教授	博士 (理学)	永岡 賢一
委 員	名古屋大学大学院理学研究科	准教授	博士 (理学)	井上 剛志
委 員	名古屋大学素粒子宇宙起源研究所	准教授	博士 (理学)	野中 千穂
委 員	京都大学大学院エネルギー科学研究科	准教授	博士 (理学)	石澤 明宏

論文審査の結果の要旨

別紙 1 - 2

宇宙空間や太陽コロナ、核融合装置内部には、100 万 K を超える高温の電離ガス(プラズマ)が存在し、電磁場との相互作用を介した種々の非線形現象や爆発現象が発生する。特に磁化プラズマにおける爆発的エネルギー解放をもたらす磁気再結合(リコネクション)現象は、太陽フレアや磁気嵐、核融合炉心プラズマの崩壊過程に深く関連すると考えられ、衛星観測や実験、理論・数値シミュレーションによる研究が多くなされてきた。

粒子間衝突がほぼ無視できる高温プラズマでは電気抵抗が著しく小さくなるため、リコネクションに必要な準定常電場を維持するには、加速された電子の運動量を散逸させる機構が必要となる。これは異常抵抗と呼ばれ、その発生にはプラズマ中の微視的揺動が関与していると考えられる。磁気流体现象としての磁気リコネクションにおいて、粒子運動論的效果による微視的異常抵抗発生を同時に説明する一貫したモデルは確立されていない。

申請者は、リコネクション磁場に垂直方向の背景磁場(ガイド磁場)が存在する場合について、ジャイロ運動論を用いた理論・数値シミュレーション解析を行い、磁気リコネクションに伴う粒子分布関数構造の変化とそれに関わる微視的不安定性の研究を行った。

はじめに、ガイド磁場方向に対称性を課した無衝突磁気リコネクションについて、全分布関数を扱うジャイロ運動論的シミュレーションを実現し、磁気リコネクションに伴う電磁場構造の変化とともに、電子分布関数構造の時間発展を解析した。特に磁気リコネクションが発生する点(X点)上でリコネクションの発達とともに加速される電子について、その速度分布関数構造を明らかにした。さらに X 点に関する系の対称性に着目し、上記の分布関数構造が解析的に導けることを指摘した。

次に、磁気リコネクションにともなって形成された電子ビームにより駆動される微視的不安定性に着目した。まず、空間的に一様なビーム分布を仮定する局所解析において、アルヴェン速度を超える電子ビームにより運動論的アルヴェン波(KAW)が励起されることを分散関係式に基づいた解析から確認した。

さらに申請者は、空間的に不均一なシート状の電子ビーム分布を考慮した線形化ジャイロ運動論的シミュレーションを用いて KAW の初期値解析を行い、波動の伝播方向により不安定性の成長パターンが異なることを明らかにした。電子ビームのシート状構造を横切る方向に伝播する波動成分は、振動的な成長パターンを示すとともに、KAW の実効的な成長率が空間平均したビーム速度に依存することを示した。一方、ビームのシート状構造に沿った波数成分をもつ揺動は、伝播を続けながらビーム電子と相互作用が可能となることを指摘した。

本研究は、全分布関数を用いたジャイロ運動論的シミュレーションにより、粒子速度分布関数構造のレベルから、磁気リコネクションにともなう電子加速過程および関連するプラズマ波動不安定性を解析したものであり、磁気リコネクションと微視的不安定性の発生を統一的に扱うジャイロ運動論的モデル構築に向けた成果として高く評価される。

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。