

論文審査の結果の要旨

氏名 東森 一晃

磁気リコネクション（磁力線つなぎかわり）は、宇宙空間におけるさまざまな活動現象を説明する基本的なエネルギー解放物理機構であると考えられている。空間的に微小な領域で磁気拡散過程がはたらき、磁力線のつなぎかわりがおこり、力学平衡がくずれて周囲のプラズマを大域的に加速・加熱する現象がおこる。その際、磁場のエネルギーが大規模に解放され、運動・熱エネルギーへと転換されるのである。磁気リコネクション過程についての研究はこれまで、プラズマの流れが層流であることを前提に組み立てられてきた。しかし、一般に宇宙空間活動現象では拡散（磁気拡散・粘性など）時間が、流体の運動時間に比べて極めて大きく、磁気 Reynolds 数・粘性 Reynolds 数が非常に大きい。このような対象では層流を維持するのが困難で、乱流状態を考えるのがむしろ自然である。

本論文では、磁気リコネクションと乱流との関係について数値シミュレーションと解析的手法とにより詳しく調べた研究が報告されている。章ごとに扱っている空間・時間スケールが異なり、比較的狭いスケールのプラズマを半粒子半流体ハイブリッド近似で扱うレジームと、広い領域で流体的に扱うレジームとについてそれぞれ報告している。本研究は、乱流リコネクションという新しい枠組みでの本格的研究の端緒であり、この分野の今後の展開に大きな第一歩をしるしたことが高く評価できる。

第 1 章は先行研究のレビュー、最後の第 5 章でまとめと将来展望とが与えられている。論文の主要な結果は第 2 章から第 4 章までに記述されている。

第 2 章では、乱流発生源としての磁気リコネクションという観点で、磁力線つなぎかえ点付近のイオン慣性長スケール程度の狭い領域における解析について報告している。先行研究ですでに乱流発生の不安定性については知られていたが、地球磁気圏など実際の物理系への適用を考えたときに重要な、磁気圧対ガス圧比依存性や、物理的機構の詳細について理解することを目指して、線形解析手法と非線形ハイブリッドシミュレーション（イオンを超粒子、電子を流

体として扱う方法) とで研究した。磁気圧優勢な場合、Alfven 波動が長波長域で励起され乱流状態となることが示された。

第 3 章では、磁気リコネクション流出ジェット流における乱流構造に着目した。先行研究では、ジェットが蛇行する構造が非線形シミュレーションでみられることが知られており、線形解析でもこのような不安定が可能なことが示されていた。しかしながら蛇行（キンクモード）だけではなく、進路に沿ってジェット太さが揺らぐ（ソーセージモード）不安定と成長率がほぼ等しいことも示されており、非線形結果との整合性が謎として残っていた。本研究では、無衝突プラズマのもつ圧力非等方性に着目し、線形解析およびハイブリッドシミュレーションを実施して、キンクモードがより優位に成長することを明らかにした。

第 4 章では、より広い領域における乱流磁気リコネクションの知見を得るため流体的な取り扱いで研究を実施した。乱流の大きなダイナミックレンジを取り扱う困難を避けるため、平均場モデルを導入した。これは乱流を持つ流れ場を粗視化することで得られる平均場と、乱流自身のエネルギー密度やクロスヘリシティ密度とを別な変数として取扱い、その発展と相互作用とを同時に解くというモデルである。このような取り扱いによる乱流磁気リコネクションは先例がほとんどなく本格的な研究としては本論文がそのさきがけとなる。結果として、乱流相関時間が系の波動横断時間程度のとき、乱流エネルギーが磁力線つなぎかえ点付近で増幅する現象がみられ、結果拡散効果を増幅し、磁気リコネクションが効率よく進行することがみいだされた。

論文は共同研究の部分があるが、論文提出者が主体となって研究を行っており、本人の寄与が十分にあると考えられる。

以上の理由により、博士（理学）の学位に十分に値すると認める。