

論文審査の結果の要旨

氏名 井筒 智彦

本論文には、磁気圏境界面付近におけるプラズマ輸送の有力な候補と考えられていた既存の輸送機構に疑いの目を向け、独自の解析手法によりその輸送機構の存在と寄与について観測的実証を試みた研究の成果が述べられている。

本論文は8章からなる。第1章は、イントロダクションで、磁気圏境界面付近におけるプラズマ輸送のこれまでの理解が整理されている。過去の研究から輸送機構の有力な候補であると考えられている運動論的アルヴェン波乱流による拡散的輸送、および、渦乱流による拡散的輸送の二つが人工衛星の観測データに基づく決定的な証拠を欠くことが指摘された。第2章にはデータ解析に用いられた人工衛星テミスに搭載された観測装置の概要が述べられている。

第3章には運動論的アルヴェン波乱流による輸送機構についての理論的研究の成果が述べられている。運動論的アルヴェン波乱流は、波と共鳴する荷電粒子のエネルギー、乱流スペクトル、周辺のプラズマ環境に依存した選択的輸送を起こすことが示された。この選択性に注目し、境界面外側のマグネトシースと境界面内側の低緯度境界層の速度分布関数データの比を取ることで、運動論的アルヴェン波乱流による輸送の履歴を同定する新たな解析手法が提案された。

第4章では、運動論的アルヴェン波乱流輸送の存在を証明するために、第3章で提案された手法を用いてテミス衛星データの事例解析が行われた。運動論的アルヴェン波乱流が存在する磁気圏境界面昼側夕方側領域において理論予想と調和的な選択的輸送の徴候を捉えることに成功し、運動論的アルヴェン波乱流によって太陽風起源のプラズマが磁気圏境界面を横断して磁気圏内へ輸送されることが初めて実証された。

第5章では、運動論的アルヴェン波乱流輸送の磁気圏への寄与を定量的に理解するために、第3章の手法を応用してテミス衛星データの統計解析が行われた。多点同時観測の利点を生かして磁気圏への輸送量を見積もることで、運動論的アルヴェン波乱流は他の有力な輸送機構と比べて少量のプラズマしか輸送できないことが示された。統計結果と第3章の理解に基づき、運動論的アルヴェン波乱流は磁気圏境界面が特別な状況のときだけ効率化する限定的な輸送機

構であるという新たな描像が提示された。

第3章から第5章に述べられた運動論的アルヴェン波乱流輸送の研究は、理論・観測（事例解析、統計解析）のバランスがよくとれ、深い理解に到達している。これまで、運動論的アルヴェン波乱流による拡散的輸送に関する研究は、波動データから算出される拡散係数値が議論されるだけであったためその寄与は曖昧なままであった。本論文では運動論的アルヴェン波乱流によってある特定のプラズマが輸送されるという性質に着目することで新たな解析手法が開発され、その手法を具体的な観測事例に適用することでプラズマ粒子データからその輸送現象の存在を実証することに初めて成功した。この独創的な解析手法とそれによって得られた磁気圏境界面付近におけるプラズマ輸送に関する知見は高く評価できるものである。

第6章では、渦乱流によるプラズマ輸送の存在を証明するために、テミス衛星データの事例解析が行われた。磁気圏内に存在する太陽風起源のプラズマを輸送の目印として複数衛星で追尾し、多点同時観測から算出される拡散係数とプラズマ速度の振動データから算出される乱流拡散係数を比較することで、無衝突プラズマ中の渦乱流によってプラズマが拡散的に輸送されることが初めて示された。

第7章には第3章から第6章で得られた結果に基づき、磁気圏境界面付近におけるプラズマ輸送の総括的な論議が展開されている。第8章は結論であり論文の成果がまとめられている。

本論文の第3章から第5章で開発・適用された手法は今後のプラズマ輸送の研究で広く応用されることが期待され、磁気圏プラズマの観測的研究の発展に大いに貢献するものである。第6章の渦乱流輸送の研究は、一例の事例解析ではあるものの、通常流体と宇宙プラズマの普遍性を示唆する成果を得ており、今後分野を横断した多くの理論的研究を促すことが期待できる。

以上を総合して、審査員全員一致で本論文が博士論文として十分なレベルに達していると結論した。

なお、本論文第3章は長谷川 洋、中村 琢磨、藤本 正樹との共同研究であり、第6章は、藤本 正樹との共同研究であるが、論文提出者が主体となって分析及び検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。