

# 論文審査の結果の要旨

氏名 今田 晋亮

地球磁気圏におけるサブストームをはじめとして、太陽フレア、パルサー磁気圏、超新星爆発など爆発的なエネルギー開放にともない、高エネルギー粒子が生成されることは理論的にも予測され観測からも確かめられてきた。特に、直接観測が可能な地球磁気圏の高エネルギー粒子の起源及びその加速過程を微視的過程にまで踏み込んで理解することは、物理法則の普遍性から、様々な宇宙プラズマ環境下での高エネルギー粒子加速の問題を解決するのに有用であると考えられる。これまで、さまざまな加速理論が提唱され検討されてきた。例えば、衝撃波加速、磁気リコネクションによる加速などがあげられる。本論文には、磁気リコネクション領域の直接観測が可能な地球磁気圏尾部を舞台として、高エネルギー粒子加速過程についての詳しい研究結果が提示されている。

本論文は7章からなる。第1章はイントロダクションであり、第2章には衛星観測における装置の概要と代表的な観測の紹介が述べられている。第3章は Geotail 衛星観測による磁気圏尾における粒子加速の統計的研究の結果が述べられ、第4章では Cluster 衛星群によるイベント解析の結果がまとめられている。第5章では観測結果を解釈するためのモンテカルロシミュレーションの結果が述べられ、第6章では粒子分布の朝夕非対称性の観測結果とならび、それを解釈するための拡散移流方程式の数値解との詳しい比較が行われている。第7章は全体のまとめであり、本論文により得られた磁気圏尾での粒子加速・輸送過程についての知見のもつ意味が論じられている。

(第3章) 1993～1997年にかけて地球磁気圏近尾部の X-point 近傍を通過した GEOTAIL 衛星のデータを用い、これまで困難とされてきた加速領域の統計的な特定に成功している。その結果、X-point の中心部より、磁場の強い下流のほうが高エネルギー粒子フラックスは高い事が示された。さらに、近尾部と遠尾部の結果を比較し、双極子磁場が粒子加速に関与していることを裏付けた。これらの結果は、高エネルギー電子の生成過程に、X-point の誘導電場の加速だけでなく、磁場が密な場所、プラズマシートの境界、さらには地球の双極子磁場の影響を受ける領域に至るまでの大規模な加速を考えることの重要性を示している。

(第4章) GEOTAIL 衛星のような単一の衛星による観測では、時間変動と空間変動を分離することが困難であり、数年に渡るデータの統計的処理が不可欠であった。一方、最近打ち上げられた Cluster 衛星群(4機)による同時観測によれば、個々のイベントにおいて空間分布と時間変化を分離することが可能である。2001年10月1日の磁気リコネクションのイベントを解析した結果、磁気リコネクションの時間発展にともなう、磁気中性線が尾部側に流される事や電流層の時間発展などの再現に成功している。その上で、磁気リコネクション描像の中に磁場が積み重なっている領域が X-point の端に生成され、この磁場の強い領域で粒子が非断熱的に～100 keV まで加速されていることを示している。

(第5章) CLUSTER 衛星によって得られた磁気リコネクションの構造で、観測されたエネルギーの高エネルギー電子を説明できるか検証するため強い散乱を含めたテスト粒子計算を行っている。散乱過程により、電子の断熱性を破り、磁場勾配及び磁場の曲率半径が小さい領域に電子をトラップすることで加速されることが示されている。これらの到達エネルギーは磁気圏で生成されるような高エネルギー粒子までに及ぶが、地球磁気圏の空間的なスケールを考慮すると散乱を取り入れるだけでは観測される高エネルギー粒子は説明できないとして、将来への問題提起としている。

(第6章)高エネルギー粒子輸送という観点から、磁気圏尾部での拡散過程が議論されている。この拡散過程は電位差以上のエネルギーの粒子を生成するために必要だと考えられる過程で、粒子加速の観点からも重要な役割を担っている。近尾部のプラズマシート内での高エネルギー電子の空間的分布を統計的に解析し、朝側が夕側よりフラックスが顕著に高いという非対称的な空間分布を示している。磁気圏のプラズマシートをモデル化し、移流拡散方程式を解くことで、この空間分布を説明することを試みており、磁気圏内の高エネルギー粒子輸送において移流過程だけではなく、拡散過程の寄与が大きいことを示している。

なお、本論文第3章および第6章前半部は、星野真弘、向井利典との共同研究であるが、論文提出者が主体となって分析および検証を行ったものである。論文提出者の鋭い洞察力がなくては研究が完成しなかったのは言うまでもなく、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。