

氏名	けい か くに ひろ 桂 華 邦 裕
学位(専攻分野)	博士(理学)
学位記番号	理博第3003号
学位授与の日付	平成18年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	理学研究科地球惑星科学専攻
学位論文題目	Outflow and Charge-Exchange Losses of the Ring-Current Ions During Magnetic Storms: Estimate Based on Measurement of Energetic Ions and Neutral Atoms (磁気嵐中における流出および電荷交換による環状電流イオンの消失: 高エネルギーイオンと中性粒子の観測に基づく見積もり)
論文調査委員	(主査) 教授 町田 忍 教授 家森俊彦 教授 淡路敏之

### 論文内容の要旨

地球半径の3倍から10倍付近の磁気圏では、数10-数100keVの高エネルギーイオンが卓越して存在している。これらのイオンは、勾配と曲率を持つ地球磁場の下で、地球を周回する大規模な環状電流を作り出しており、電流強度や空間分布は、太陽風構造や電離圏電気伝導度の影響を受けてダイナミックに変動している。その変動は地球周辺の磁場擾乱を引き起こすため、磁気圏電離圏電流系や放射線帯を大きく変動させることが知られている。環状電流の変動および高エネルギーイオンの振る舞いは、磁気圏プラズマ環境に重要な役割を担っているが、そのダイナミクスはまだ十分には明らかにされていない。本研究では、未解決問題の一つである環状電流の消失過程に注目し、その直接的原因である高エネルギーイオンの消失を、人工衛星による観測から定量的に調査した。

まず、磁気圏界面付近における高エネルギーイオンの観測を用いて、イオンが磁気圏外へ流出する過程の空間分布とイオン流出量の太陽風環境依存を調べた。イオン流出量は朝側よりも夕方側で多く、太陽風動圧と最も相関がよいことが明らかになった。この結果は、イオン流出量は大規模対流電場だけではなく太陽風による磁気圏圧縮にも強く影響を受けており、圧縮が強いときほど流出量が多くなることを示唆している。磁気圏が強く圧縮されることで、地球磁場の昼夜非対称がより大きくなることと、磁場勾配ドリフトがより大きい動径方向成分を持ち、多くの高エネルギーイオンが磁気圏界面にたどり着くドリフト軌道(開いた軌道)を取るようになることが原因であると考えられる。

次に、イオン流出過程が環状電流の減衰にどの程度寄与しているかを調査するため、2001年9月23日の磁気嵐の速い回復相について、磁気圏外での高エネルギーイオンと磁場の観測から、イオン流出量を見積もった。磁気圏外でのイオンと磁場の観測から、イオンは夕方側から流出していることがわかり、全流出量は環状電流の減衰量の23%以上を占めることが示された。イオン流出過程は、環状電流の減衰に大きく寄与しているという結論が得られた。

さらに、最もよく知られている消失過程である中性粒子との電荷交換反応によるイオン消失量を、電荷交換反応により生成された高エネルギー中性粒子の観測を用いて統計的に見積もった。電荷交換反応によるイオン消失量は、環状電流の大きさには依存するが、その減衰率とは相関が見られなかった。また、観測されている磁気嵐の速い回復(環状電流の速い減衰)は、電荷交換反応のみでは説明することができないという、これまでの環状電流モデリングで得られていた結果とは異なった結論が得られた。

### 論文審査の結果の要旨

内部磁気圏における未解決の問題の一つに環状電流の減衰機構がある。これまでに減衰機構として主に提唱されてきたものには、昼側磁気圏界面からのイオンの流出、電荷交換反応によるイオンの消失などがあるが、それらはモデルや計算機シミュレーションの結果に基づくものであり、実際の環状電流では、この中のどれが最も重要な減衰機構であるかについて、

未だ結論が得られていなかった。そこで本研究は、実際に衛星で観測されたデータを用いて、それぞれの過程が環状電流の減衰にどの程度寄与しているのかを定量的に明らかにすることを目標として実施された。

申請者は最初に、Geotail 衛星 EPIC 粒子観測器で得られた高エネルギー粒子フラックスデータを用いて、磁気圏シース中および太陽風中の流出イオンの空間分布とその太陽風パラメーター依存性を統計的に調べた。イオン種を区別できる EPIC 粒子観測器を用いることにより、粒子が磁気圏から流出したものであることを判断する手法は、本研究によって初めて試みられたものである。解析の結果、流出イオンは朝側よりも夕側で頻繁に観測され、その流出量も夕側で多いことが示された。また、太陽風パラメーターのうち、流出イオン量を最も強く支配しているのは太陽風動圧であることが明らかになった。このことは、イオン流出を考える上において、内部磁気圏の磁場構造が重要であることを示している。以上の結果は、一般的に太陽風電場が最も重要と考えられてきた常識を覆すものである。

次に申請者は、上記の結果を基に、イオン流出機構が環状電流の減衰にどの程度寄与しているのかを定量的に調べた。磁気圏界面上において粒子の流出が生じている領域の面積を2001年9月23日の磁気嵐について観測データから算出した。そしてその流出面積と流出量から計算したイオンの総エネルギー流出量と地磁気指数から計算した環状電流のエネルギー減衰量と比較した結果、イオンの流出過程は環状電流の減衰の23%以上を担っており、大きな役割を果たしていることが示された。これは、観測データから推定された初めての結果であり、重要な成果である。

さらに申請者は、IMAGE 衛星 HENA 観測器により観測されたデータを用いて、電荷交換反応によるイオン消失機構について統計解析を行った。この解析は、HENA 観測器の観測原理であるイオン-中性粒子電荷交換反応の特性を活かしたものである。解析の結果、電荷交換反応によるイオン消失量と環状電流の減衰率の間には強い相関は見られないことが分かった。また、環状電流の速い減衰には電荷交換反応はそれほど重要でないということが示された。これは、モデル計算などで従来考えられてきたことが、観測的には正しくなかったことを意味しており、興味深く意義ある結果である。

これら一連の研究成果は、環状電流の減衰には、昼側磁気圏界面からのイオンの流出が重要な役割を果たしており、電荷交換反応によるイオンの消失は副次的な役割しか持たないということを初めて観測的に明らかにしたもので、内部磁気圏の未解明であった問題に対して、一つの解答を与えた点において高く評価される。

以上の観点から、申請論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認めた。主論文に報告されている研究内容と、それに関連する分野について口頭試問を行った結果、合格と認めた。