

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	内野 宏俊
論文題目	Roles of Electron in Physical Processes Related to Magnetic Reconnections in the Earth's Magnetosphere (地球磁気圏の磁気リコネクションと関連した物理過程における電子の役割)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文では、地球磁気圏での磁気リコネクションの発生に対して重要になる電子テアリング不安定性の物理過程と、磁気リコネクションが起きることで、その近傍に見られる特徴的な電子の振る舞いを明らかにすることを目的としている。</p> <p>まず、第1章では、本研究で対象とする地球磁気圏の領域を説明したのち、磁気リコネクションに関連した物理過程における電子の役割について、過去の研究で理解されている内容を整理して、それらをふまえた本研究の目的を示している。</p> <p>第2章では、電子テアリング不安定性の性質を明らかにするために、2.5次元電磁粒子コードの数値シミュレーションを行っている。シミュレーションの特徴の一つは、実際の磁気圏をより良く反映するために、一様な磁気圏尾部電流層を挟む反平行の磁場だけでなく、地球側を意図する端に、双極子型磁場を加えたことである。もう一つの特徴は、サブストームが起きる直前に、反平行磁場に重畳して北向き磁場が局所的に増大するという、最近の衛星観測で明らかになってきた構造を組み入れたことである。このようなシミュレーションを通して、反平行磁場領域から地球側に向かうにつれて双極子型磁場になっていく遷移領域の特定の位置を実効的な境界として、電子テアリング不安定性のモードの節が形成され、磁気リコネクションが発達していくことを明らかにしている。局所的な北向き磁場構造については、その構造がどの位置に存在するのかによって、成長する不安定性のモードの波数・波長や支配的になるリコネクションの場所が変わりうることを指摘している。</p> <p>第3章では、人工衛星のデータ解析も加え、昼間側マグネトポーズにおける磁気リコネクションが引き起こす電子の特徴的な振る舞いを調べている。まず、実際の昼間側マグネトポーズで起きていると考えられる磁場とプラズマの両者が強い非対称性をもつ状況での磁気リコネクションのシミュレーションを行っている。その結果、リコネクションのアウトフロー領域の中で、地球磁気圏の閉じた磁力線に接する側に、電子が高速で流れる境界層が形成されることを示している。また、マグネトポーズを飛翔する人工衛星のデータの解析を通して、電子が高速で流れる境界層が実際に存在する事例を示している。さらに、電子が特殊な分布関数になっていることを示し、同時に観測されたホイッスラーモード波動あるいはイオン音波波動が、その特殊な分布関数の形状に応じて励起されることを理論的に求めている。特殊な電子分布関数になることについても説明を与えている。</p> <p>最後の第4章では、全体的な結論を述べている。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

磁気リコネクションは、太陽風のエネルギーが地球磁気圏に取り込まれる際や地球磁気圏の中でサブストームという爆発的なエネルギー解放が生じる際に主要な役割を果たすプロセスである。本論文では、この磁気リコネクションの発生に対して重要になる電子の物理過程と、磁気リコネクションが起きることで、その近傍で生じる電子の振る舞いを明らかにしようとしている。

申請者は、磁気リコネクションの成長につながる電子の物理過程を明らかにするため、電磁粒子コードの数値シミュレーションを行った。このシミュレーションのために、基本的な磁場配置である反平行磁場に双極子型磁場を加えた独自の磁場モデルを構築している。また、最近の衛星観測で明らかになってきた小規模な磁場構造、すなわち、サブストームが起きる直前に反平行磁場に重畳して北向き磁場が局所的に増大する構造も磁場モデルに組み入れている。シミュレーションの結果、反平行磁場領域から地球側に向かうにつれて双極子型磁場になっていく遷移領域の特定の位置において電子テアリング不安定性のモードの節が形成され、磁気リコネクションが発達していくことを明らかにした。また、局所的な北向き磁場構造を組み入れたことを通して、その構造が下流側の磁気リコネクションの成長に大きな影響を与えていることを明らかにした。サブストーム時に発生することが明らかになっている磁気リコネクションの開始以前に、電子テアリング不安定性が起こり、その過程の中で初期の磁場構造が磁気リコネクションの中心にある磁気中性線の形成場所の決定に大きな役割を果たすことを示した点に新規性があり、学術的な価値が認められる。

次いで申請者は、昼間側のマグネトポーズに見られるような非対称型の磁気リコネクションによって引き起こされる電子の振る舞いを調べた。シミュレーションを通して、昼間側の磁気リコネクションのアウトフロー領域の中で、地球磁気圏の閉じた磁力線に接する側に、電子が高速で流れる境界層が形成されることを明らかにした。また、マグネトポーズを飛翔する人工衛星のデータの解析を通して、電子が高速で流れる境界層が実際に存在することを見出した。さらに、その境界層において、電子の分布関数が特徴的な形になるとともに、ホイッスラーモード波動あるいはイオン音波波動が励起されていることも見出した。電子が特徴的な分布関数になるとについても説明を与えた。性質の異なる磁場とプラズマで構成される領域間で起こる非対称型の磁気リコネクションでは、磁気圏尾部の対称型の磁気リコネクションには見られない特徴的な電子の速度分布が形成され、それに起因した波動が励起されることを観測・理論の両面において明らかにした点に学術的な価値がある。

以上のように、独自に考案したモデルのもとで行ったシミュレーションを通して、理解の進んでいなかった物理過程の詳細を明らかにし、また、データ解析も加えて新たな現象を見出し、それを説明した本論文の意義は極めて大きい。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成29年1月19日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降