

氏名	いそ べ ひろ あき 磯 部 洋 明
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 2875 号
学位授与の日付	平成 17 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	理学研究科物理学・宇宙物理学専攻
学位論文題目	Numerical and Observational Studies of Magnetic Reconnection in the Solar Corona (太陽コロナにおける磁気リコネクションの数値的及び観測的研究)
論文調査委員	(主査) 教授 柴田一成 教授 黒河宏企 教授 舞原俊憲

論 文 内 容 の 要 旨

本博士論文は、磁気リコネクションの物理過程を、大規模数値シミュレーションと太陽の多波長観測データの解析から明らかにしようとするものである。太陽コロナはフレアやジェットなどの爆発現象に満ちている。これらの爆発現象の起源は、プラズマ中の磁気エネルギーがプラズマの熱・運動エネルギーに突発的に変換されることによる。磁気リコネクションとは、磁力線のつなぎかわりにより磁気エネルギーを高速に解放するメカニズムであり、太陽フレアだけでなく、恒星、降着円盤などの天体や地球・惑星磁気圏、実験室プラズマなど様々な現象で重要な役割を果たしていると考えられている。その基礎物理過程の理解は、太陽物理学だけでなく広くプラズマ物理学一般の重要課題である。

太陽内部で作られた磁場が光球から彩層、コロナへ浮上する領域では、既存のコロナ磁場とのリコネクションによりフレアやジェットが頻繁に観測される。申請者は現在世界最大級のスーパーコンピュータである地球シミュレータを用いて、浮上磁場とコロナ磁場のリコネクションの3次元磁気流体シミュレーションを行い、それに基づいて以下のような新しいモデルを提唱した。(a)浮上磁場領域に見られるフィラメント構造は、浮上磁場中のレイリーテイラー不安定性により形成される。(b)レイリーテイラー不安定性の発達により、浮上磁場中にフィラメント状の電流シートが多数形成される。この電流の散逸により、浮上磁場領域でよくみられるコロナ加熱の非一様性をよく説明できる。(c)レイリーテイラー不安定性による構造形成と異常抵抗との非線型結合により、リコネクション点は自発的にパッチ状に分布する。このようなパッチ状リコネクションは、フレア、磁気嵐時の地球磁気圏などで普遍的に起きている可能性がある。また、マイクロとマクロをつなぐ物理として、電流シート中の乱流を考慮するモデルが近年提唱されているが、レイリーテイラー型不安定性とパッチ状リコネクションは、電流シート中に自発的乱流を発生させるメカニズムとしても有力である。

観測的には、リコネクションレート(インフロー速度をアルフベン速度で割ったもの)を定量的に決定することが重要であるが、コロナ中の磁場や速度場の測定が困難なため、これまでは困難であった。本博士論文では、多波長の観測データから間接的にリコネクションレートを決定する手法を確立し、数値シミュレーションによる軟X線強度とエネルギー解放量の関係導出などの工夫により精度をあげることに成功した。その結果リコネクションレートとして0.01-0.07程度の値を得た。この値は速い磁気リコネクションによるエネルギー解放というシナリオと矛盾しない値である。

また、地球磁気圏で“Dawn-dusk asymmetry”として知られる、リコネクションの磁気中性線に沿った進行方向に関する非対称性に着目し、同様の非対称性を太陽コロナにおける巨大アーケード形成現象において発見した。この発見は単にリコネクションの3次元性の例の発見というだけでなく、地球磁気圏と太陽コロナの比較研究の重要性を示すものである。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

申請者の本博士論文における研究は、天体プラズマ物理学の最重要課題の一つである磁気リコネクションの物理の解明に、太陽観測データの解析と大規模数値シミュレーションの両面からせまるものである。磁場構造のグローバルな変化を可視化

して見ることのできる太陽大気は、プラズマ物理学の格好の実験場であるという認識は、近年徐々に広まりつつあるが、リコネクションの基礎物理を探るといふ観点から太陽観測データを詳細に解析した研究は、その重要性にも関わらずまだまだ多くはなされていない。

観測データからリコネクションレートを決定する申請者の手法は、リコネクションによるエネルギー解放を考えた際に各物理量の間になり立つ関係を用いたもので、その有用性から今後リコネクションレートを導出する際の標準的な手法となる可能性がある。また、数値シミュレーションの結果を用いたエネルギー解放量の定量的評価など、精度を向上するための様々な工夫がなされている。理論的考察と観測データの詳細な解析が統合された、完成度の高い研究であるといえる。

大型計算機による数値シミュレーションは、磁気リコネクションのような、非定常性、非線形性が本質的である現象を理解する上で、強力な武器となっている。申請者の研究は、現在世界最大級の計算機を用いており、太陽活動現象の磁気流体シミュレーションでは、これまででもっとも大規模なものである。申請者は数値解の膨大なデータを丹念に調べ、そこから浮上磁場領域のフィラメント形成とコロナ加熱に関して、浮上磁場中のレイリーテイラー不安定性の発達という、これまでにない新しいモデルで観測事実をよく説明することに成功した。またレイリーテイラー不安定性とのカップリングにより、リコネクションが空間的に非一様に発生することを示し、同様のパッチ状リコネクションが、フレア、磁気嵐など様々な現象で起きている可能性を指摘した。このモデルも申請者独自のものであり、フレアやオーロラの増光で観測されている微細構造の起源を自然に説明できる。

地球磁気圏におけるリコネクションに関係した現象である“Dawn-dusk asymmetry”のアナロジーの発見は、それ自身の重要性もさることながら、先のシミュレーション結果の磁気圏の現象への応用とも合わせて、太陽コロナと地球磁気圏の比較研究の重要性と有用性を実証している点も特筆すべきである。

以上のように申請者の研究は、磁気プラズマ活動現象理解の鍵となる磁気リコネクションについて、観測と理論シミュレーションの両面から様々な新たな知見をもたらした、独創的かつ重要な成果である。よって、本申請論文は博士（理学）の学位論文として十分に価値のあるものと認める。なお、主論文及び参考論文に報告されている研究業績を中心とし、これらに関連した研究分野について口頭試問を行った結果、合格と認めた。