

学 位 審 査 報 告 書

(ふりがな)	アンドリュー スティーブン ヒリアー
氏 名	Andrew Stephen Hillier
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 号
学位授与の日付	平成 年 月 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 Study of Plasma Instabilities to Investigate Fine-Scale Prominence Dynamics (プロミネンスのプラズマ不安定性と微細ダイナミクスに関する数値的研究)	
	(主査) 柴田 一成 教授 一本 潔 教授 太田 耕司 教授

京都大学	博士（理学）	氏名	Andrew Stephen Hillier
論文題目	Numerical Study of Plasma Instabilities to Investigate Fine-Scale Prominence Dynamics (プロミネンスのプラズマ不安定性と微細ダイナミクスに関する数値的研究)		
(論文内容の要旨)			
本博士論文は、太陽観測衛星「ひので」が発見したプロミネンスの微細動的構造の発生機構を、電磁流体力学数値シミュレーションと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。 「ひので」衛星は、その高空間・高時間分解能とシーイング・フリーな観測条件により、プロミネンスの微細構造の時間変化に関して、これまで全く知られていなかった激しいダイナミックな現象を多数発見した。それらの現象のうちで、最も謎めいた現象は、プロミネンスの下部から浮き上がってくるブルームと呼ばれる暗い上昇流である。ブルームは一見、水の中の泡の運動にそっくりであるが、プロミネンスは、強い磁場によって貫かれた磁氣的平衡構造なので、そのような磁氣的構造中に水の中の泡のような運動が可能なのかどうか、これまで全くわかっていなかった。 本論文では、ブルームは周りに比べて低密の構造であることに着目し、磁氣的レイリーテイラー不安定性によりブルームが発生するのではないかと、という仮説をたて、その検証を詳細に行なっている。天体では類似の磁氣的レイリーテイラー不安定性が起きていると考えられる現象は多数あるが、本観測は中でも最も詳しく構造や時間変化が解明できる現象である。本論文では、電磁流体数値シミュレーションを駆使することにより、プロミネンス中における磁氣的レイリーテイラー不安定性の非線形発展を詳しく調べ、ブルームの観測とシミュレーション結果を詳細に比較している。その結果、ブルームは確かに磁氣的レイリーテイラー不安定性によって発生すること、ブルームは強い磁場に貫かれた磁気プラズマであること、などが示された。 上記のシミュレーションでは、不安定性の非線形段階で、電流シートが形成されることも見出された。その結果、電流シート中にはテアリング不安定性によってプラズマの高密度塊が多数形成され、それがプロミネンスの上下に噴出すると予想される。申請者は、「ひので」衛星によって観測されたプロミネンスの可視光像（CaIIH 線単色像）を詳細に解析することにより、理論的に予想されたプラズマの高密度塊噴出現象をプロミネンス中にいくつも発見した。 プロミネンスの温度は数千度～一万度程度であり、中性粒子が多数存在する。いわゆる弱電離プラズマである。申請者はこれらの中性粒子の効果を考慮に入れたプラズマのダイナミクスを調べ、プロミネンスの磁気構造の時間発展を理論的に明らかにした。すなわち、プロミネンス中では中性粒子が磁力線を横切る効果により、水平磁場と垂直磁場の比が小さい場合は、電流シートが薄くなるためにテアリング不安定性の成長時間がかかなり小さくなることが示された。このことは、実際のプロミネンスでテアリング不安定性が頻繁に起こりうることを意味し、観測された高密度塊噴出現象がテアリング不安定性で形成されたとするモデルの基礎を与える。 以上、著者は「ひので」衛星によって発見されたプロミネンス中の微細な動的構造を理論と観測の両面から明らかにした。プロミネンスは、地球環境にも影響を与える太陽フレアやコロナ質量放出の始まりとなる現象なので、これらの結果は、太陽地球環境科学や宇宙天気予報にとっても重要な研究である。			

(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、2006 年に太陽観測衛星「ひので」によって発見されたプロミネンスの微細動的構造の生成機構を、理論と観測の両面から明らかにしたものである。

「ひので」衛星のプロミネンス中の微細動的現象の発見は、静かだと思われていた静穏型プロミネンスが静的ではなく動的現象に満ち満ちているということを示し、世界に衝撃を与えた。プロミネンスは百万度のコロナ中で宙に浮いた雲のような現象に見えるが、その正体は温度数千度～数万度の低温高密のプラズマである。それが落ちてしまわない理由は、強い磁気力（ローレンツ力）が上向きに働いて重力に対抗しているから、というのが定説である。このような状況で、水の中の泡とそっくりのプルームと呼ばれる微細動的現象が多数発見されたので、驚きと呼び起こしたのである。プルームには強い磁場はあるのか（磁場がなければ水という流体现象と似ているのは理解できる）、そもそもプロミネンスが静的磁気平衡状態にあるという定説は正しいのか、という疑問が提出された。

申請者は、プロミネンス中のプルームが磁氣的レイリーテイラー不安定性によってできるのではないかと、という仮説をたて、3 次元電磁流体数値シミュレーションを駆使することにより、プルームの構造や運動の特性が、磁氣的レイリーテイラー不安定性の非線形過程として説明できることを世界で初めて示した。磁氣的レイリーテイラー不安定性とは、重い流体が軽い磁場の上に乗っているような平衡状態に起こる不安定性のことをいう。天体現象では、超新星爆発、銀河磁場、中性子星磁気圏など、類似の不安定性が様々な天体で起こることが知られているので、本研究は磁氣的レイリーテイラー不安定性の（観測と理論の比較が可能な）プロトタイプという意味でも重要である。

また、本研究よりプルームは強い磁場をともなつて浮上していくことが明らかにされたが、これは磁束がプロミネンス中を通して上空のコロナ・キャビティに輸送されることを意味する。つまりプルームが多数発生すると、コロナ・キャビティに磁気エネルギーが輸送され蓄えられる、ということである。蓄えられた磁気エネルギーが限界に達して発生するのがフレアであるから、本研究の成果はフレア発生機構の基礎になるとも言える。

さらに申請者は、これらの不安定性の非線形発展の結果、電流シートが形成され、そこでテアリング不安定性が短い時間スケールで起きるということを、弱電離プラズマにおける中性粒子拡散の効果を考慮することにより、理論的に示した。のみならず、その結果予想されるプロミネンス中の高密塊の噴出を観測データの解析から多数発見した。

以上のように申請者の研究は、プロミネンスの微細動的構造理解の鍵となるプラズマ不安定性について、理論と観測の両面から多くの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。また、平成 22 年 7 月 1 日に、論文内容とそれに関連した口頭試問を行った。その結果合格と認めた。