

氏 名	おかもと たけのり 岡 本 文 典
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 3250 号
学位授与の日付	平 成 20 年 3 月 24 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	Observational Studies on Formation and Evolution of Solar Active Region Prominences (活動領域プロミネンスの形成・進化に関する観測的研究)
論文調査委員	(主 査) 教 授 柴 田 一 成 教 授 長 田 哲 也 准教授 岩 室 史 英

論 文 内 容 の 要 旨

本博士論文は、太陽プロミネンスの形成過程や詳細構造を、最新の太陽観測衛星「ひので」を用いて明らかにしようとするものである。

プロミネンスとは、100万度の高温の太陽コロナ中に浮かぶ1万度程度の低温ガスであり、コロナ中の磁場によって支えられている。プロミネンスは1日程度で生成・消滅するものや数ヵ月に渡って存在しているものもある一方、突然噴出を始めることもある。これはプロミネンス噴出と呼ばれ、プラズマを惑星間空間に撒き散らす。その結果、地球磁気圏との相互作用により、磁気嵐による電波障害や人工衛星の損傷など、人間生活に多大な影響を与える。このように、宇宙天気の見点からもプロミネンスを理解することは重要である。しかしながら、地上からの観測では、大気揺らぎや昼夜による観測の断続などが障害となり、プロミネンスの形成・進化過程やその詳細な構造は明らかにされていない。そこで申請者は、太陽観測衛星「ひので」の安定かつ高空間分解能観測により、以下のプロミネンスに関する2つの問題に迫った。

第一のテーマは、プロミネンスの微細構造に関するものである。「ひので」の可視光望遠鏡(SOT)を用いて、太陽縁にある活動領域に付随するプロミネンスの観測を行い、プロミネンスが活動性の高い細長い水平な糸状の構造(スレッド)の集合体であることを明らかにした。スレッドの多くが鉛直方向に振動しており、これはプロミネンスを構成する磁場に沿ってアルヴェン波が伝播している結果と結論付けた。太陽コロナ中を伝播するアルヴェン波は長年存在が示唆されていたが、この研究により初めて直接検出された。また、観測されたアルヴェン波はコロナを加熱するのに十分なエネルギーを輸送しており、コロナ加熱問題解明の鍵になると期待される。

第二のテーマは、プロミネンス形成に関するものである。これまでの統計的観測から、プロミネンスは螺旋状磁場を持ち、その磁場がプロミネンスガスを支えていると考えられている。しかし、螺旋磁場がいかんしてコロナ中に形成されたのかは不明である。これを明らかにするために、申請者は光球の運動と磁場の変化が上空のプロミネンスの形成・進化に与える影響に焦点を当て、太陽観測衛星「ひので」を用いて、プロミネンスを伴う活動領域を約2週間に渡り追跡観測した。観測初期は、既存のプロミネンスは崩壊・再形成といった活動を繰り返していたが、ある時点を境にその後数日間、安定化した。この変化に着目し、プロミネンスの形状変化と光球磁場の時間変化の関係を調べたところ、プロミネンスが安定化した時間の前後で、光球面に次のような4つの特徴が見られた。(1) プロミネンス直下において、周囲よりも磁場の弱い領域が出現し、その後消失した。(2) この一時的に出現した領域は水平磁場成分が卓越していた。(3) この水平磁場の向きが時間と共に徐々に変化した。(4) この領域で上昇流を観測した。これらの観測事実は、光球下からの螺旋磁場浮上の特徴と一致している。よって、この結果は螺旋磁場浮上の可能性を観測的に初めて示唆するものである。また、浮上の最中に既存のプロミネンスが構成されていることを突き止めた。このことから、この浮上螺旋磁場がコロナ中のプロミネンス磁場の供給源であるが、浮上磁場そのものが新たなプロミネンスとなったのではなく、既存のプロミネンス磁場と結合することでプロミネンスの維持に貢献していると結論付けた。これは、螺旋磁場の浮上とプロミネンス形成を結びつける重要な観測結果である。

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、太陽観測衛星「ひので」のデータ解析を通じて、プロミネンスとそれを取り巻く磁場環境の解明に迫るものである。これまでのプロミネンス研究では、 $H\alpha$ 線で観測される彩層物質の形態学に重心が置かれていた。しかし、大気揺らぎの影響を受ける地上観測では、プロミネンスの詳細な構造を明らかにするには至っていない。また、プロミネンスはコロナ中の磁場に支えられることで太陽大気中に存在しているが、その磁場の足元は光球面にあることから、プロミネンスの進化過程を知るには、光球面の磁場の発展を詳細に追究することが不可欠である。しかしながら、そのような研究もこれまでほとんどなされていない。

衛星打ち上げから現在までに、「ひので」は様々なプロミネンスの観測を行っている。その中で申請者は、活動領域に付随する2つのプロミネンスに着目し解析を行った。太陽リムで観測されたプロミネンスのムービーからは、プロミネンスを構成するスレッドの振動現象を発見した。この振動は、これまでの地上観測では検出できない、非常に微細な振幅であり、「ひので」の性能を生かしたものであるといえる。さらにこの振動が、コロナ磁場を伝播するアルヴェン波によるものであると結論付けた。コロナ加熱理論には現在「波動加熱説」と「ナノフレア加熱説」があるが、コロナ中のアルヴェン波の観測的証拠はこれまで見つかっていなかったため、ナノフレア加熱説が有力視されてきた。しかし、今回の発見は波動によるコロナ加熱の可能性を示唆しており、今後活発に議論されていくことが期待される。また、申請者はこの解析の過程で、「ひので」によるプロミネンス観測が波動検出に使えることを実証した。コロナ磁場の情報を取得するという観点から「coronal seismology (コロナ震動学)」の発展に大きく貢献するものである。その点でも特筆すべき成果である。

他方は、プロミネンス下での螺旋浮上磁場に関するもので、この結果は大変驚くべきものであり、従来のプロミネンス形成理論に一石を投じる重要な成果である。これまでの理論では、光球面のシア運動と収束流によるコロナ磁場の変形とリコネクションがプロミネンス磁場を作っている、との考えが主流であった。今回の螺旋浮上磁場の観測は、主流理論だけでは説明できない。ただし、現在一例の観測しかないため、その普遍性については今後の定量観測が必要となる。しかし、螺旋磁場の浮上がプロミネンス形成に重要な役割を果たしているならば、これは太陽物理学の難問である「ダイナモ機構」との関連が示唆され、プロミネンスを詳細に調べることで「ダイナモ機構」解明の手がかりにつながる可能性がある。また、螺旋浮上磁場とプロミネンス形成の関連も、解析が難しいながらもよく議論できており、完成度の高い研究であるといえる。

このように申請者の研究は、プロミネンスの性質のみならず、それを媒介にしてコロナ加熱やダイナモ機構の解明に迫る画期的なものである。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。