

学 位 審 査 報 告 書

(ふ り が な) 氏 名	ま と も と た く ま 松 本 琢 磨
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) Spicule Formation, Coronal Heating, and Solar Wind Acceleration with Alfvén waves driven by observed photospheric motions (観 測 さ れ た 光 球 速 度 場 で 駆 動 さ れ た ア ル フ ベ ン 波 に よ る ス ピ キ ュ ー ル 形 成 、 コ ロ ナ 加 熱 お よ び 太 陽 風 加 速)	
論 文 調 査 委 員	(主 査) 柴 田 一 成 教 授 一本 潔 教 授 北 井 礼 三 郎 准 教 授

(続紙 1)

京 都 大 学	博 士 (理 学)	氏 名	松 本 琢 磨
論 文 題 目	Spicule Formation, Coronal Heating, and Solar Wind Acceleration with Alfvén waves driven by observed photospheric motions		
(論文内容の要旨)			
本博士論文は、磁気流体波動の一つであるアルフベン波が太陽大気中の磁力線を非線形伝播する過程を、数値シミュレーションや太陽光球の可視光観測の解析によって解明しようとするものである。アルフベン波は、その駆動源である光球の対流運動のエネルギーをポインティングフラックスとして上空に伝えるエネルギー輸送手段の一つである。さらにアルフベン波は非線形散逸を起こすことで磁気エネルギーを上空大気の熱エネルギーや運動エネルギーに変換することができる。このようなアルフベン波の非線形伝播過程は、温度 6000 度の光球上空に広がる 100 万度のコロナ層を加熱する有力な機構の一つである。また、彩層中でのジェット現象であるスピキュール形成や、太陽風の加速に対しても、アルフベン波の非線形伝播が重要な役割を担っていると考えられており、その基礎物理過程の理解は、太陽物理学において重要な課題である。 これまでの数値計算によって、アルフベン波の駆動源である対流運動の水平速度場が約 1km/s 程度であれば、スピキュール形成、コロナ加熱、太陽風加速が可能であることが分かってきた。しかし、対流運動の速度場については高解像度かつ大気揺らぎに影響されない長時間の観測が必要であるため、これまで水平速度場を観測的に求めた例は少ない。そこで申請者は、最新の太陽観測衛星「ひので」の高解像度可視光観測を用いれば対流運動の水平速度場を導出することが可能になることに着目し、静穏領域全 14 領域について水平速度場の時間スペクトルを求めた。求めたスペクトルを従来の数値計算に適用した結果、スピキュール形成、コロナ加熱、太陽風加速が 1 次元シミュレーションで実現できた。さらに詳しく結果を解析したところ、光球コロナ間でのアルフベン波の共鳴が重要な役割を果たしていることを突き止めた。共鳴条件を満たした周波数を持つアルフベン波はより多くのエネルギーフラックスを上空に透過させることができるため、コロナ加熱に有利に働く。アルフベン波共鳴が実際の太陽で効果的に働いている場合、共鳴の基本振動数である 1mHz 程度に水平速度場スペクトルのピークが予想される。 また、上記の 1 次元波動伝播近似の妥当性を調べるため、2 次元の磁気シート中を伝わるアルフベン波伝播の磁気流体シミュレーションを行った。初期の磁気シートとして、実際の太陽と同程度に重力成層した大気中で磁気静水圧平衡を満たすような解を数値的に求めた。その結果、磁気シートは光球で細く、コロナでは広がるようなファンネル状の構造を持つ。アルフベン波は、曲がった磁力線中を伝播する場合には、そのエネルギーを圧縮性波動として多次元的に散逸することが分かっている。アルフベン波にはその他にもさまざまな多次元減衰過程が存在するが、申請者は磁気シート上のアルフベン波伝播過程においては、1 次元近似が非常に有効であることを示した。			

(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、太陽物理学における難問であるスピキュール形成、コロナ加熱、太陽風加速における基礎物理過程を、太陽観測データの解析と磁気流体シミュレーションを用いて解明しようとするものである。アルフベン波の非線形伝播という観点で、スピキュール形成、コロナ加熱、太陽風加速のいずれかについて説明を試みた研究がこれまでなされてきたが、申請者の研究はこれらの現象全てを統一的に扱った非常に野心的な研究であるといえる。

これまでのアルフベン波の非線形伝播モデルを実際の太陽に応用するに際して重要になってくるのが、アルフベン波の駆動源である対流運動の速度擾乱である。申請者は、最新の太陽観測衛星「ひので」を用いて対流運動の水平速度スペクトルを全14領域について導出した。光球より上空のダイナミクスやエナジェティクスは、対流運動の速度擾乱に起因するため、本研究で求めた速度スペクトルは非常に重要な結果であるといえる。

また、申請者は観測から得られた速度スペクトルを用いてアルフベン波を駆動し、磁力線に沿って非線形伝播させる1次元磁気流体シミュレーションを行った。観測とコンシステントなアルフベン波のエネルギーインプットを考慮できた今回の計算で初めて、実際にアルフベン波がスピキュール形成、コロナ加熱、太陽風加速を説明し得ることを確認できた。また、結果について詳細に解析を行うことで、これまで見逃されてきた光球・コロナ間のアルフベン波共鳴現象がコロナに到達できるアルフベン波のエネルギーフラックスを増加させていることを発見した。この共鳴現象は線形計算において知られていたが、非線形な計算においても重要な役割を果たすことが分かった。

上記の1次元計算の妥当性を検討するため行った、太陽の磁気シート中を伝わるアルフベン波の2次元磁気流体シミュレーションでは、従来の1次元近似が非常に有効であることを示した。太陽大気のような成層大気中において磁気静水圧平衡を満たす2次元磁気シートの数値解を導出するだけでも困難を伴う重要な研究であるが、その中のアルフベン波の伝播を計算した例は少なく非常に重要な成果であるといえる。

以上のように申請者の研究は、太陽物理学上の難問であるスピキュール形成、コロナ加熱、太陽風加速について、観測と理論シミュレーションを駆使し、統一的なモデルを発展させた、独創的で重要な成果である。

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1月18日、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。

