

氏 名	森 本 太 郎
学位の種類	博 士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 2694 号
学位授与の日付	平成 15 年 5 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	On the Three-Dimensional Velocity Fields of Disappearing Solar Filaments and Their Relation to Coronal Activities (太陽 H α フィラメント消失の三次元速度場導出方法と随伴コロナ活動との相関関係)
論文調査委員	(主 査) 教授 黒河宏企 教授 柴田一成 教授 舞原俊憲

論 文 内 容 の 要 旨

太陽の縁からコロナ中に燃え上がる赤い炎のように見える太陽紅炎は、磁気中性線に沿って形成されるガス塊であり、長いものは太陽半径くらいに成長することもある。太陽表面をバックにして紅炎を見ると暗い筋状に見えるので、H α フィラメント (暗条) とも呼ばれる。その温度は約 1 万度であるが、太陽表面磁場に凍結されているために、高温 (約 2 百万度) のコロナ中でも長い間 (数時間から数十日) にわたって準安定的に存在している。しかし、ある時急に不安定となり、加熱されたり、落下したり、コロナ中を上昇して惑星間空間に放出されて消失する。このような H α フィラメント消失に伴って、大規模な太陽フレアやコロナ物質放出 (CME)、更には地磁気嵐が発生することが多いので、H α フィラメント消失の研究は、太陽面爆発現象自体の研究だけでなく、太陽地球間環境 (宇宙天気) の研究にとっても重要なテーマとなっている。

本研究は、飛騨天文台のフレア監視望遠鏡で撮影された太陽全面像を用いて、H α フィラメント消失時の三次元速度場を求める新しい方法を開発し、YOHKOH 衛星や SOHO 衛星によるコロナ活動のデータと比較することによって、フィラメント消失の三次元速度場と軟 X 線フレア現象及びコロナ物質放出現象 (CME) との間に密接な因果関係があることをはじめて明らかにしたものである。

本研究ではまず、H α 線中心、H α - 0.8 Å, 及び H α + 0.8 Å の三波長での単色像を用いて、H α フィラメントの三次元速度場を導出する新方法を開発している。この方法では、周囲の平均的彩層に対するフィラメントのコントラスト値を三波長で測定することによって視線方向速度を求め、視線方向に垂直な面内での速度成分は、その面内でのフィラメント各要素の動きを追跡することによって求めている。H α フィラメントのコントラスト値は、フィラメントの源泉関数、光学的厚み、ドップラー幅、ドップラー偏移量の 4 個のパラメータに依存するので、三波長での測定値だけではこれらを決定することが出来ないが、本研究では、(1) 視線速度以外の物理量がフィラメントの運動前後で不変であり、(2) ドップラー偏移量が -0.8 Å になった時に、H α - 0.8 Å 像でのコントラストが最大となるという、二つの妥当な仮定を置く事によって、視線速度の時間変化を精度良く求めることに成功している。

次に、本研究では、この手法を 35 例のフィラメント消失現象に適用して、これらの三次元速度場の時間変化を求めている。その結果、これらすべての消失現象には上昇運動が伴っており、太陽半径外向きの速度が、観測中に増加し続ける「噴出型 (eruptive)」(23 例) と、最初上昇した後減速して落下する「擬似噴出型 (quasi-eruptive)」(12 例) とに分類できることを明らかにしている。また、これらの中、YOHKOH 衛星の軟 X 線像が撮影されている 31 例中、「噴出型」22 例すべてに対しては、軟 X 線アーケード型フレアが対応していること、「擬似噴出型」9 例中では、軟 X 線アーケード型はわずか 1 例で、残りの 8 例にはすべて小規模のループ増光のみが伴っていることを見出している。更に、SOHO 衛星 LASCO のコロナ白色光像が撮影されている 15 例の中、「噴出型」8 例すべてに CME が観測されていたのに対して、「擬似噴出型」7 例にはいずれも CME が見られなかったという非常に顕著な相関関係があることを初めて見出している。

更に本研究では、YOHKOH 衛星の軟 X 線像で温度解析を行うことの出来る 10 イベントについて、各アーケードフレアの

熱エネルギー密度の増加率 ε_{th} を計算した。また、上記の方法で求めた $H\alpha$ フィラメントの三次元速度場から、上昇 $H\alpha$ フィラメントの力学的エネルギー（運動エネルギー+位置エネルギー）密度の増加率 ε_{mc} を求め、これらの間には $\varepsilon_{th} \propto \varepsilon_{mc}^{1.9}$ の実験式が成り立っていることを見出した。またこの関係式は、 $H\alpha$ フィラメントがローレンツ力（Lorentz force）によって加速され、蓄積された磁気エネルギーが磁気リコネクションによってアーケードフレアの熱エネルギーに変換されると考えるモデルによって説明できることを示している。

更に本研究では、 $H\alpha$ フィラメントの加速度の時間変化についても、上記の方法で得られた三次元速度場の結果を用いて解析を行っている。その結果、加速の時間の長さは統計的に連続的に分布しており、従来から云われていた静穏領域プロミネンスのゆっくりとした加速と、活動領域のスプレイ型プロミネンス爆発の急激な加速の2種類に、分けられるものではないことを新たに見出している。また光球磁場の観測値から計算したアルフベン波通過時間と、上記の $H\alpha$ フィラメントの加速時間長との間に、非常に良い相関があることを見出している。このことから、 $H\alpha$ フィラメントの加速時間長は磁場の強度に依存して決まっていることを指摘している。

論文審査の結果の要旨

太陽の $H\alpha$ フィラメントの消失と、地球の磁気嵐との間に因果関係があるという指摘はかなり以前からなされていたが、信頼できる解析はこれまで行われて来なかった。

この研究を進展させる上で、重要なことは、 $H\alpha$ フィラメント消失の原因を特定すること、即ち (1) 温度上昇のために見えなくなったのか？ (2) 表面に落下したのか？ (3) 上昇加速して惑星間空間に噴出したのか？を明確に区別することである。このためには消失の際の速度場の時間変化を追跡することが不可欠であるが、本論文は初めてこれを可能にする手法を確立したものである。

$H\alpha$ フィラメントが何時何処で消失するかの予測は、現在の知識では未だ不可能であるので、この観測には太陽全面を常時監視しておく必要がある。また、消失の際の速度場を求めるためには、 $H\alpha$ 線の中心だけでなく、線の両翼でも常時同時観測をする必要がある。飛騨天文台のフレア監視望遠鏡（Flare Monitoring Telescope: FMT）は、 $H\alpha$ 中心に加えて、 $H\alpha - 0.8\text{\AA}$ と $H\alpha + 0.8\text{\AA}$ の三波長で同時に全体像を連続撮影している世界で唯一の望遠鏡であるが、本論文はこの利点に着目して、FMTで撮影された多くの $H\alpha$ フィラメント消失現象の、三次元速度場の統計的な解析を可能にする手法の開発にはじめて成功したものであり、高く評価できるものである。

この論文で採用しているベッカーズ（Beckers）の雲モデル（cloud model）は、 $H\alpha$ フィラメントなどのように、コロナ中であって、彩層から照射されているガス塊の物理量を求める際に良く使われるものであるが、三波長のみの測定値だけから、源泉函数、光学的厚み、線輪郭幅、ドップラー変移などの未知数を求めることが難しいために、これまでFMTデータを用いたフィラメントの系統的な定量解析には、誰も成功していなかった。しかしこの研究では、(1) 視線速度以外の物理量がフィラメントの運動前後で不変であり、(2) ドップラー偏移量が $-0.8\text{\AA}$ になった時に、 $H\alpha - 0.8\text{\AA}$ 像でのコントラストが最大となるという、二つの妥当な仮定をうまく利用し、更に、測定の精度に影響する周囲からの散乱光や、ドップラー増光などの効果を注意深く補正することによって、視線速度の時間変化を精度良く求めることに初めて成功したものである。

この論文では更に、上記の新手法を用いて、35例のフィラメント消失の三次元速度場を求め、これらを用いて次の新しい結果を見出すことに成功している。

(1) $H\alpha$ フィラメント消失は、三次元速度場の測定から、加速して噴出する「噴出型」と、初期上昇後太陽表面に落下する「擬似噴出型」の二つに分類することが出来る。

(2) 「噴出型」のフィラメント消失には、軟X線のアーケードフレアとコロナ物質放出（CME）が伴って起こり、「擬似噴出型」には軟X線では小規模なループ増光のみ見られ、CMEは伴わない。

(3) フィラメントの力学的エネルギーの増加率と軟X線アーケード・プラズマの熱エネルギーの増加率の間に良い相関がある。得られたこの間の実験式は、フィラメントがローレンツ力によって加速され、蓄積された磁気エネルギーが磁気リコネクションによって熱エネルギーに変換されると考えるモデルと矛盾しない。

(4) フィラメント足下の光球磁場の観測値から計算したアルフベン波通過時間と、上昇 $H\alpha$ フィラメントの加速時間長と

の間に、非常に良い相関がある。 $H\alpha$ フィラメントの加速時間長は磁場の強度に依存して決まっており、従来言われてきた静穏型紅炎の長い加速時間とスプレイ型紅炎爆発の短い加速時間の極端な2種類のみに分けられるものではない。

以上のように、本申請論文は、太陽全面の単色像を用いて、多くの $H\alpha$ フィラメントの消失現象について、それらの三次元速度場の時間変化を導出する方法を初めて開発したものであり、またそれを用いてフィラメントの加速機構とそれに伴うコロナ活動現象との因果関係の研究、及び地磁気嵐などの宇宙天気研究を進展させる、いくつかの重要な新しい知見を与えている。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分に価値あるものと認められる。

なお、主論文に報告されている研究業績を中心として、これに関連した研究分野について、試問を行った結果、合格と認めた。