

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 号
------	---------

氏 名 Johan Muhamad

論 文 題 目

Study of the Characteristics of Magnetic Field in the Flaring Active Regions Based on the Nonlinear Force-Free Field Extrapolation and Magnetohydrodynamic Simulations

(非線形フォースフリー磁場外挿法と電磁流体力学シミュレーションに基づいた、太陽フレアを引き起こす活動領域磁場の研究)

論文審査担当者

主査	名古屋大学宇宙地球環境研究所	教授	理学博士	草野完也
委員	名古屋大学大学院理学研究科	教授	博士 (理学)	渡邊智彦
委員	名古屋大学大学院理学研究科	准教授	博士 (理学)	増田 智
委員	東京大学大学院理学系研究科	准教授	博士 (理学)	横山央明

論文審査の結果の要旨

別紙 1 - 2

太陽フレアは太陽活動領域に蓄積された磁気エネルギーの爆発的な解放現象であり、電磁流体力学 (MHD) 不安定性と磁気リコネクションの相乗作用の結果として発生すると考えられる。巨大太陽フレアは通信や人工衛星など様々な社会基盤にも多大な影響を与える場合があるため、その発生予測は社会的にも求められている。しかし、活動領域のどのような性質がフレアの発生と規模を決めるのかという問題は未だ十分に解明されていない。そのため、フレア発生の条件を明らかにすることは科学的にも社会的にも重要な課題である。申請者は衛星観測データに基づく計算機シミュレーションと数値解析を用いてこの問題に取り組んだ。

第 1 に、申請者はフレアのトリガ機構を解明するためのシミュレーション研究を行った。Kusano ら (2012) による先行研究によって、活動領域内部で特定の構造を持つ小規模な磁場変動が局所的に磁力線の繋ぎ替え (磁気リコネクション) を引き起こすことが、フレア発生のトリガとなり得るとする「局所トリガモデル」が理論的に提唱されている。申請者はこの理論モデルを検証するために、巨大フレアが発生した活動領域 10930 について「ひので」衛星が観測した太陽表面磁場を境界条件とするデータ拘束型 MHD シミュレーションを実施した。このシミュレーションでは観測データに基づく平衡磁場に様々な小規模磁場擾乱を加え、フレア活動の再現が試みられた。その結果、局所トリガモデルで予想された磁場変動の結果としてフレアが発生することを見出した。さらに、シミュレーション結果と観測によるフレア発光構造を比較し、理論的な予想が観測結果を良く説明することを確認した。

第 2 に、申請者はフレアの発生条件を不安定性の観点から解析した。Ishiguro & Kusano (2017) は、磁気ねじれと局所的な磁気リコネクションを受けた磁束量からなるパラメタ κ が臨界値を超えると不安定化によってフレアが発生することを理論的に提唱している。この不安定性理論に従えば κ 値の評価がフレア発生の予測につながる可能性がある。しかし、磁気リコネクションをフレア発生前に予測することは困難である。そこで本論文では、磁気ねじれが一定値より大きな領域の磁束が繋ぎ替わった場合の κ 値を新たに κ^* として求めた。最も強い磁気ねじれを持つ領域でのリコネクションは、 κ を最も大きくすることから、 κ^* が臨界値を超えることは不安定化の必要条件に対応すると考えられる。本論文では、SDO 衛星が連続観測した活動領域 11153 の太陽表面磁場を境界条件とし、非線形フォース・フリー外挿法を使って磁場の 3 次元構造を再現することで、 κ^* の時間変化が調べられた。その結果、この領域で発生した 2 つの大型フレアのいずれにおいても、予想通りフレア発生前に κ^* が増加し、フレア直後に急速に減少することを見出した。申請者はこの結果に基づき、フレア発生予測の新たな可能性について議論を行った。

以上の通り、本論文はフレア発生の機構解明と予測に大きな貢献をするものであり、申請者は博士 (理学) の学位を授与される十分な資格があるものと認められる。