

平成21年11月30日現在

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2007～2009

課題番号：19740101

研究課題名（和文） 太陽面活動現象の観測データを利用した電磁流体モデリング

研究課題名（英文） Observation-based MHD modeling of active phenomena on the Sun

研究代表者

真柄 哲也 (MAGARA TETSUYA)

国立天文台・ひので科学プロジェクト・研究員

研究者番号：00437196

研究成果の概要（和文）：本研究の成果は、太陽観測衛星「ひので」の観測データと数値シミュレーションによるモデリングを連携させ、種々の太陽活動現象の物理機構を明らかにした点にある。具体的には、黒点磁場の形成と散逸過程、浮上磁場の進化と活動性、フレアを発生する活動領域の特性について新たな知見を得た。

研究成果の概要（英文）：We have performed numerical simulations focused on active phenomena observed by Hinode to investigate physical mechanisms for producing those phenomena. We obtained a new view about the formation and diffusion of sunspot magnetic field, the evolution of emerging magnetic field, and the characteristics of a flare-producing active region.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,400,000	0	1,400,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	420,000	3,220,000

研究分野：太陽物理学、電磁流体力学、プラズマ物理学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：宇宙科学、計算物理、自然現象観測・予測、太陽物理学、モデル化

1. 研究開始当初の背景

近年人類の活動の場が宇宙へと拡大していくにつれて、太陽面活動現象の発生メカニズムを調べる研究はますますその重要性を増してきている。こうした活動現象に磁場が関与していることは古くから知られていたが、具体的に磁場が太陽面にどのようにして現れ、それがいかなるメカニズムで活動現象を引き起こすのかについて十分な説明を与え

るモデルは未だ完成していない。従来の研究では、太陽面に設定された境界上に初期条件として与えられた磁場構造に対して安定性を調べる試みが広く行われてきた。一方で、太陽面に人為的な境界を置かずに、太陽内部から浮上してくる磁場が自発的に構造を形成する過程に注目した研究が望まれてきた。なぜなら、この形成過程こそが磁場構造の性質を決定し不安定化のメカニズムに本質的

な役割を持つと考えられるためである。磁場は太陽内部の高圧な領域では細い磁束管形状をとる一方、光球へ浮上すると周囲のガス圧が急激に低下するためコロナに向かって激しく膨張する。本研究では、3次元電磁流体シミュレーションを駆使してこの極めて複雑かつダイナミックな磁場構造の形成と不安定化の問題に取り組んだ。

2. 研究の目的

本研究では、浮上磁場が活動現象を引き起こすメカニズムを解明するため、浮上磁場がつくる構造とそこにどのような活動性が内在しているかに研究の焦点を当てる。そうした活動性と密接な関係を持つと考えられる分裂磁束管の浮上過程についてはこれまでほとんど調べられておらず、分裂磁束管の構造と進化を取り扱う試みは本研究が初となる。従来広く行われてきた太陽面上のみを舞台とした活動現象のモデリングに対し、太陽内部から連続的に進化する磁場という観点から、磁場構造がどのように形成され不安定化し活動現象を駆動するのかを明らかにするのが本研究の主目的である。地球環境へ大きな影響を及ぼす太陽面活動現象の発生機構を調べる本研究は、宇宙天気研究の推進という点でも大きな意義を持つ。

3. 研究の方法

本研究では、浮上磁場を対象とした電磁流体モデリングを通して磁場構造の形成と不安定化のプロセスを探る。研究の柱となるのは観測データのモデルへの取り込みであり、特に磁場と速度場に関する情報の活用がモデル構築の上で大切な要素となる。観測データから速度場を導出する手法は、これまで開発し利用実績のある局所相関追跡法を用いる。さらに、2006年9月に打ち上げられた太陽観測衛星 Hinode の登場は本研究にとって極めてタイムリーであり、この衛星から提供される高精度な磁場データを積極的に活用していく。

4. 研究成果

1) 太陽面における磁場領域の融合過程

太陽面磁場の分布は、黒点に代表される大規模な磁場の集中領域とそれを取り巻く小規模な集中領域に分けられる。大規模な集中領域は、小規模な集中領域の融合により形成されることが観測から示唆されていたが、具体的な融合過程については未解明であった。本研究では、浮上する分裂磁束管の3次元電磁流体シミュレーションを世界で初めて行い、磁場領域の融合過程を再現するとともに、融合に伴って生じる現象の物理過程を明らかにした。具体的には、分裂磁束管を構成する磁場の捻れが融合時に回転

運動を発生させる過程を導出し、回転運動を伴う磁場領域の融合という観測事実の説明に成功した。

2) 太陽面下の磁場構造の推定

太陽面下において浮上前の磁場がどのような構造を持つかという問題は、磁場が太陽面上へ浮上した後、太陽大気中で起こす活動現象の性質を知る上で重要である。一方で、太陽面下の磁場構造を直接観測することは出来ない。本研究では、太陽面で観測される磁場分布の観測的特性を統計的手法により導出し、そこから太陽面下の磁場構造を推定する手法を考案した。

3) 太陽光球面磁場の観測量に基づいた太陽フレアの発生予測

太陽フレアは太陽コロナ磁場の爆発的な散逸現象であるが、観測的にコロナ磁場を直接捉えることは未だ困難である。一方、太陽光球面の磁場構造及び進化については太陽観測衛星「ひので」により詳細な情報が得られている。本研究では、「ひので」が取得した光球面ベクトル磁場の時系列データを解析することにより、光球面における磁気ヘリシティ入射率の時間発展とフレア発生とがどう関連しているかについて新たな知見を得た。

4) 活動型黒点の磁場構造と進化

「ひので」が取得した太陽光球面ベクトル磁場の2次元分布から、フレアを起こす活動型黒点の3次元磁場構造を導出した。磁場構造の時間発展を調べた結果、余剰磁場エネルギーを生む磁場のねじれが黒点の進化とともに黒点内の特定の部分に集中していき、フレア直前には磁場のねじれが有意に減少することが確認された。この成果は、予測を目的としたフレアの理論モデリングに対し、重要な観測的情報を提供する。

5) ジェット現象を生む3次元磁気リコネクションの磁場配位

古典的な2次元磁気リコネクションの描像に対し、3次元空間で連続的な分布を取る磁場配位の下、ダイナミックなジェット現象をもたらす磁気リコネクションがどのように発生し進行するかを調査した。磁場構造の時間発展を数値シミュレーションにより詳細に調べた結果、磁場の向きが異なる2つの領域の間に形成された遷移領域で磁気リコネクションが発生しダイナミックなジェット現象を生む過程が明らかになった。本研究結果により、3次元空間においては強度や方向が異なる磁場領域の中間に生じる遷移領域が数々の活動現象の駆動機構に深く関与していることが示された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件, first authored paper)
(すべて査読有)

1. Magara, T. 2009, *Astrophysical Journal*, 702, 386, *Characteristic Development of Magnetic Shear in a Flare-producing Sunspot Obtained from Vector Magnetic Field Measurements by Hinode*
2. Magara, T., Shibata, K. 2008, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 70, 546, *Plasma ejections and shock waves in the solar atmosphere*
3. Magara, T. 2008, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 60, 809, *Emergence of a Partially Split Flux Tube into the Solar Atmosphere*
4. Magara, T. 2008, *Astrophysical Journal*, 685, L91, *Investigation into the Subsurface Magnetic Structure in an Emerging Flux Region on the Sun Based on a Comparison between Hinode's Observations and Numerical Simulations*
5. Magara, T., Tsuneta, S. 2008, *Publications of the Astronomical Society*, 60, 1181, *Hinode's Observational Result on the Saturation of Magnetic Helicity Injected into the Solar Atmosphere and Its Relation to the Occurrence of a Solar Flare*
6. Magara, T. 2007, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 59, L51, *A possible structure of the magnetic field in solar filaments obtained by flux emergence*

[学会発表] (計 27 件、口頭発表)

1. Magara, T. 2009/11/14, 'Solar penumbral jets にみる太陽面磁場のトポロジーと活動性の関係 ~モデル化の取り組み~', 第 3 回「太陽コロナ活動の室内再現実験」研究会, 東京大学柏キャンパス
2. Magara, T. 2009/10/01, 'Solar penumbral jets にみる太陽面磁場のトポロジーと活動性の関係 ~モデル化に向けた考察~', 第 2 回「太陽コロナ活動の室内再現実験」研究会, 清泉寮、山梨

県

3. Magara, T. 2009/09/24, 'Characteristic development of magnetic shear in a flare-producing sunspot obtained from vector magnetic-field measurements by Hinode', 2009 UN BSS & IHY Workshop, Daejeon, Korea
4. Magara, T. 2009/09/15, 'Characteristic development of magnetic shear structure in a flare-productive sunspot obtained from vector magnetic-field measurements by Hinode', 日本天文学会秋季年会, 山口大学
5. Magara, T. 2009/08/13, 'Characteristic development of magnetic shear in a flare-productive sunspot obtained by Hinode', AOGS 2009, Singapore
6. Magara, T. 2009/07/22 'ひのてが解き明かす最新の太陽像', シンポジウム「太陽活動と地球環境」, 慶応大学
7. Magara, T. 2009/05/30, 'Solar penumbral jets にみる太陽面磁場のトポロジーと活動性の関係', 太陽コロナ活動の室内再現実験研究会, 東京大学柏キャンパス
8. Magara, T. 2009/05/16, 'Characteristic development of magnetic shear in a flare-productive sunspot obtained from the vector-field observations of photospheric magnetic field by Hinode', Japan Geoscience Union, Spring Meeting, 幕張
9. Magara, T. 2009/03/29, 'Solar penumbral jets にみる太陽面磁場のトポロジーと活動性の関係', 第 64 回 物理学会, 立教大学
10. Magara, T. 2009/03/24, '太陽黒点上空で見られる penumbral microjet の MHD モデル', 日本天文学会春季年会, 大阪府立大学
11. Magara, T. 2009/03/12, '太陽フレアに見る磁気エネルギーの注入及び不安定化に伴うエネルギー解放過程', 宇宙プラズマ爆発現象研究会, 名古屋大学
12. Magara, T. 2009/03/10, 'ひのでで見えてきた太陽の乱流構造', 統計数理研共同研究集会, 統計数理研 (広尾)

13. Magara, T. 2008/12/15, ‘分裂性磁束官の浮上による太陽面現象の駆動過程’, 第 21 回理論天文学懇談会, 国立天文台 (三鷹)
 14. Magara, T. 2008/12/10, ‘Toward understanding 3D and dynamic nature of solar prominences’, Solar Activity in Solar Cycle 24, Napa, USA
 15. Magara, T. 2008/10/29, ‘Emergence of a partially split flux tube into the solar atmosphere’, 2008 Huntsville Workshop, Huntsville, USA
 16. Magara, T. 2008/10/07, ‘What do we learn from the flux emergence study based on a comparison between simulations and observations? II’, 2008 Flux Emergence Workshop, 京都
 17. Magara, T. 2008/10/03, ‘Hinode’s observational result on the saturation of magnetic helicity injected into the solar atmosphere and its relation to the occurrence of a solar flare’, 2nd Hinode Science Meeting, Boulder, USA
 18. Magara, T. 2008/09/12, ‘Fragmented magnetic features subject to magnetoconvection in an emerging flux region on the Sun observed by Hinode’ 日本天文学会秋季年会, 岡山理科大学
 19. Magara, T. & Shibata, K. 2008/09/12, ‘A magnetic reconnection model for solar penumbral microjets discovered by Hinode’ 日本天文学会秋季年会, 岡山理科大学
 20. Magara, T. 2008/07/27, ‘New view of the Sun revealed by Hinode’, EAYAM2008, 中国、嘉峪関
 21. Magara, T. 2008/05/27, ‘A model for a flare-productive region on the Sun obtained by Hinode’, Japan Geoscience Union, Spring Meeting, 幕張
 22. Magara, T. 2008/03/25, ‘The property of helicity and current in a flare-productive active region obtained by Hinode’, 日本天文学会春季年会, 東京、代々木
 23. Magara, T. 2007/12/09, ‘Hinode がもたらす新しい太陽像’, 地文台によるサイエンス, 甲南大学
 24. Magara, T. 2007/10/23, ‘An investigation into the initiation mechanism of a solar flare based on the observed nature of photospheric magnetic field’, International CAWSES Symposium, Kyoto, Japan
 25. Magara, T. 2007/09/27, ‘An investigation into the initiation mechanism of a solar flare based on the observations of photospheric magnetic fields by Hinode’, 日本天文学会秋季年会, 岐阜大学
 26. Magara, T. et al. 2007/08/24, ‘Sunspot motion and its relation to activity observed in NOAA10930’, Hinode Science Meeting, Dublin, Ireland
 27. Magara, T. 2007/06/13, ‘What do we learn from the flux emergence study based on the comparison between simulations and observations?’, Structure and Dynamics of Solar Magnetic Fields, St. Andrews, UK
- [その他]
ホームページ等
<http://web.khu.ac.kr/~magara/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

真柄 哲也 (MAGARA TETSUYA)

国立天文台・ひので科学プロジェクト

研究員

研究者番号 : 00437196

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし