

令和元年6月7日現在

機関番号：34314

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2018

課題番号：26400235

研究課題名(和文) 太陽活動領域微細構造形成の観測的研究

研究課題名(英文) Observational study of the formation of fine structure in solar active regions

研究代表者

北井 礼三郎 (Kitai, Reizaburou)

佛教大学・教育学部・非常勤講師

研究者番号：40169850

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：太陽活動が発生する黒点の微細な構造を、高い空間および時間分解能で観測することによって、その起源を明らかにした。具体的には、黒点の中で活動性が高いデルタ型黒点を研究し、その磁気的な時間発展から、太陽対流層内でのプラズマの流れによって、2回ループしたねじれ磁束管が形成されて太陽表面上に浮上したものであることを明らかにした。また、黒点半暗部の微細構造の形成を追跡して、表面に対して傾斜した磁場構造と周辺対流の作用によって半暗部が形成されることを明らかにした。更には、黒点周辺の加熱領域であるプラージュ域に発生するダイナミックなジェット噴出の基礎データを得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的には、太陽物理学で謎として残されてきたデルタ型黒点の高い活動性を説明することができたこと、また、黒点半暗部の形成機構を観測的に初めて明らかにしたこと、また、プラージュ域の加熱機構を解明する重要な基礎データを得られたことに意義がある。この結果は、太陽物理学のみならず他の恒星の活動性を解明するための基礎となる。

社会的には、太陽活動が地球気候に及ぼす影響が近年論じられており、地球温暖化現象を解明するための基礎データを提供するという意義がある。特にプラージュ域の加熱は、地球に照射する紫外線量に深く関係しており、さらなる研究が必要である。

研究成果の概要(英文)：Observation of fine structures in solar active regions, in high spatial and temporal resolutions, disclosed the origins of several active phenomena. (1) The temporal evolution of delta-type sunspots were statistically studied to reveal their magnetic structure underneath the solar surface. Double writhed loop formation by plasma flow is the origin of the high activity and the special magnetic configuration of delta-type sunspots. (2) The penumbral area of sunspots are found to be formed by the interaction of the surrounding granular convective flows with the inclined magnetic field. (3) In the plage area in active regions, where atmospheric heating is higher than the other area, short jets are prolifically found to be ejected. Basic spectroscopic data were obtained and now under close study to get the true source of the heating, i.e., shock heating by jets or magneto-acoustic wave damping.

研究分野：太陽物理学

キーワード：太陽活動 太陽大気加熱機構 黒点 太陽活動 ジェット現象 衝撃波加熱

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

日本の太陽観測衛星「ひので」は、その空間解像度、シーイングフリーな画像安定性という性能を発揮して、太陽外層は一様ではなく、様々な距離スケールの構造に満ちていること、そしてそれらの構造がとどまることなく揺れ動いていることを明らかにしてきた。例えば、光球に見られる対流粒状斑、直径 200 km 程度の微細磁気要素、黒点暗部微細構造、半暗部フィラメント、微細な輝点集合体である白斑領域での現象論的な描像が詳細に得られてきた。更には、ジェット噴出を伴う爆発現象が、微細なスケールから太陽半径スケールの広い距離スケールにわたってユビキタスに出現することも新知見として得られた。

「ひので」観測の高分解能撮像観測で見出された上記のダイナミックな構造・現象は、光球や彩層内にとどまっているわけではなく、より深い層や、また、より高い層の構造と密接につながっていることが判明してきた。そして、それらの構造・現象の成因を明らかにするには、太陽表面 2 次元空間だけではなく、高さ方向にも高い空間分解能を持った情報を得ることの重要性が再認識された。

### 2. 研究の目的

(1) 「ひので」観測衛星による高空間分解能撮像観測と、高空間分解能高分散分光観測を併用して太陽大気の 3 次元的構造形成・時間発展を観測的に明らかにする。これにより、なぜ太陽表面にこのような多彩な構造が形成されるのかという太陽物理学の課題解明へ寄与する。

(2) 分光観測は、テクニカルファーストライトが完了した京都大学飛騨天文台のドームレス太陽望遠鏡の補償光学装置を使用して、これまでにない高空間分解能分光を行う。同時に高速単色像撮像を行い、スペckルマスキング法を適用して望遠鏡の理論的分解能に迫る最高の態勢で観測を行う。

### 3. 研究の方法

初年度には、高速単色像撮影システムを製作し、京都大学理学研究科飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡で使用すべく調整して観測に使用する。補償光学補正済の太陽像を用いた高分散分光スペクトロヘリオグラフ観測を、主として黒点暗部輝点、エラーマンボム、フレアカーネル、スピキュールの 4 つの対象について以降研究期間にわたって実施し、解析する。

### 4. 研究成果

(1) 型黒点とフレア活動: 太陽活動サイクル 23 の 11 年間について統計解析の結果、型(特に型)の黒点は他の型の黒点に比べて、強いフレアを発生しやすいことを確認した。特にデルタ型黒点で面積が大きなものほど強いフレアを発生し、黒点面積とフレア強度との間にはべき関数的な相関があることを発見した。型黒点については、磁場配位が 4 重極に成長するという特徴があることを見出した。この成長形態は、太陽対流層内でガスの流れによってコイル状に 2 回ねじれた磁束管の浮上により 4 重極磁気配位になるというモデルを提案した。この磁気配位が、デルタ型を形成しかつその中の反平行磁気配位がフレアを引き起こすというモデルである。

(2) 黒点半暗部の形成: 太陽観測衛星「ひので」の G-band で観測された黒点半暗部の形成機構を解析したところ、磁束が次々と集積してゆくとき、磁束の浮上が急激な場合、および磁束管が回転しているときあるいはねじれた磁束管が浮上してくるときのいずれかの場合に黒点半暗部が形成されることを見出した。この結果は、半暗部形成に Magnetic Pumping 機構が働いているということ初めて観測的に示す成果となった。

(3) プラージュ加熱問題: 太陽表面の活動領域には、彩層で加熱が長時間続いているプラージュという領域がある。この加熱の機構はいまだ未解明である。この課題では、プラージュ域のスペクトロヘリオグラム観測を実施し、加熱が磁気再結合によるエネルギー開放によるものか、あるいは未知の高周波電磁流体波の散逸によるのかを切り分け可能な高い時間・空間分解能の資料を得た。現在、精力的に解析を継続している。

### 5. 主な発表論文等

#### [雑誌論文](計 7 件)

“Dandelion” Filament Eruption and Coronal Waves Associated with a Solar Flare on 2011 February 16, Cabezas, Denis P.; Martinez, Lurdes M.; Buleje, Yovanny J.; Ishitsuka, Mutsumi; Ishitsuka, Jose K.; Morita, Satoshi; Asai, Ayumi; UeNo, Satoru; Ishii, Takako T.; Kitai, Reizaburo; Takasao, Shinsuke; Yoshinaga, Yusuke; Otsuji, Kenichi; Shibata, Kazunari, *The Astrophysical Journal*, Volume 836, Issue 1, article id. 33, <NUMPAGES>11</NUMPAGES> pp. (2017).  
DOI:10.3847/1538-4357/836/1/33

Evolution and Flare Activity of  $\delta$ -Sunspots in Cycle 23, Takizawa, K.; Kitai, R., *Solar Physics*, Volume 290, Issue 7, pp. 2093-2116, (2015).  
DOI: 10.1007/s11207-015-0720-1

Morphological study of penumbral formation, Kitai, Reizaburo; Watanabe, Hiroko; Otsuji, Ken'ichi, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, Volume 66, Issue SP1, id.S11<NUMPAGES>5</NUMPAGES> pp., (2014).  
DOI:10.1093/pasj/psu084

Formation and Decay of Rudimentary Penumbra around a Pore, Watanabe, Hiroko; Kitai, Reizaburo; Otsuji, Kenichi, The Astrophysical Journal, Volume 796, Issue 2, article id. 77, <NMPAGES>7</NMPAGES> pp. (2014).

DOI:10.1088/0004-637X/796/2/77

The Tandem Etalon Magnetograph of the Solar Magnetic Activity Research Telescope (SMART) at Hida Observatory, Nagata, Shin'ichi; Morita, Satoshi; Ichimoto, Kiyoshi; Nishida, Keisuke; Nakatani, Yoshikazu; Kimura, Goichi; Kaneda, Naoki; Kitai, Reizaburo; UeNo, Satoru; Ishii, Takako T., Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 66, Issue 2, id.45,(2014)

DOI:10.1093/pasj/psu023

International Collaboration and Academic Exchange of the CHAIN Project in this Three Years (Period), Ueno, Satoru; Shibata, Kazunari; Morita, Satoshi; Kimura, Goichi; Asai, Ayumi; Kitai, Reizaburo; Ichimoto, Kiyoshi; Nagata, Shin'ichi; Ishii, Takako; Nakatani, Yoshikazu; Masashi, Yamaguchi; et al., Sun and Geosphere, vol.9, no.2, p.97-103. Bibliographic Code: 2014SunGe...9...97U,(2014)

Within the International Collaboration CHAIN: a Summary of Events Observed with Flare Monitoring Telescope (FMT) in Peru, Ishitsuka, J.; Asai, A.;Morita, S.; Terrazas, R.; Cabezas, D.; Gutierrez, V.; Martinez, L.; Buleje, Y.; Loayza, R.; Nakamura, N.; Takasao, S.; Yoshinaga, Y.; Hillier, A.; Otsuji, K.; Shibata, K.; Ishitsuka, M.; Ueno, S.; Kitai, R.; Ishii, T.; Ichimoto, K.; Nagata, S.; Narukage, N., Sun and Geosphere, vol.9, no.2, p.85-96.,(2014)

Bibliographic Code: 2014SunGe...9...85I

〔学会発表〕(計 2 件)

Development of the Universal Tunable Filter and High-resolution Imaging Observation with the Fuxian Solar Observatory, Hagino, M.; Ichimoto, K.; Ueno, S.; Kimura, G.; Otsuji, K.; Kitai, R.; Zhong, L.; Xu, Z.; Shinoda, K.; Hara, H.; Suematsu, Y.; Shimizu, T., Coimbra Solar Physics Meeting: Ground-based Solar Observations in the Space Instrumentation Era Proceedings of a Meeting held at the University of Coimbra, Coimbra, Portugal In 5-9 October 2015. Edited by Ivan Dorotic, Catherine E. Fischer, and Manuela Temmer. ASP Conference Series, Vol. 504. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, 2016, p.103

Morphological model for quadrupolar sunspots, Takizawa, K.; Kitai, R., American Geophysical Union, Fall Meeting 2014, abstract id.SH41B-4136

Bibliographic Code: 2014AGUFMSH41B4136T

〔図書〕(計 1 件)

エリザベート・ネム＝リブ、ジェラルド・チュイリエ、北井 礼三郎著、「太陽活動と気候変動」、2019年、恒星社厚生閣、総ページ数 268

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年:

国内外の別:

取得状況(計 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

(1)研究分担者

研究分担者氏名：一本 潔

ローマ字氏名：Ichimoto Kiyoshi

所属研究機関名：京都大学大学院

部局名：理学研究科

職名：教授

研究者番号(8桁): 70193456

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。