

平成 26 年 6 月 20 日現在

機関番号：34314

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23540264

研究課題名(和文) 2次元高分解能分光観測による太陽表面ジェットの研究

研究課題名(英文) Study of solar jets by 2-D high spatial resolution spectroscopic observations

研究代表者

北井 礼三郎 (Kitai, Reizaburo)

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) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：太陽表面では激しい爆発現象が至る所で発生している。近年、我が国の太陽観測衛星「ひので」をはじめとする観測手段が発達して、爆発現象を微細な点まで観測できるようになってきている。太陽表面爆発現象の特徴は、高温プラズマの突発的な出現と高速ジェットの発生である。この研究では、人工衛星、地上望遠鏡を用いた共同観測から、これらの爆発現象が発生する仕組みを明らかにすることを目的とした。その結果、太陽外層での磁気リコネクションという物理的な過程が、重要な役割を果たしていることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：Violent explosive events are often observed on the solar surface. Recent progress of solar observational facilities, such as Japanese satellite HINODE, permits us to investigate the fine structure and dynamics of explosive events. The characteristics of solar events are rapid heating of solar plasma and ejection of high speed gas. Main target of our present study is to observationally clarify the mechanism of the explosive events such as Ellerman bombs, spicules and emerging magnetic field. We are successful to pin-point the physical mechanism of explosion as the magnetic reconnection in the chromosphere.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：太陽活動現象 ジェット 磁気リコネクション 磁気対流現象

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、太陽表面はとどまること揺れ動いていることを明らかにした。特に、質量放出を起こすジェット現象がユビキタスに存在していることを発見した。「ひので」および地上分光観測によりジェット現象について研究が進んだ結果、静穏領域では、スピキュールが巾 200km 程度高さ約 10000km の極めて細い針状のジェットの集合体であることを明らかになった。また、活動領域では、黒点半暗部でペナンプララジェット、CaII ジェット、プラージュジェットが発見された。更には、小規模爆発現象であるエラーマンボムもジェット現象であることが確認された。

これらの太陽表面ジェット現象は、光球彩層レベルでの磁気リコネクションによるエネルギー解放とジェット加速によると考えられている。しかしながら、その電磁流体学的な物理量の分布および時間展開が理論的に予想されているものが観測的に確認されているわけではなく、その真の物理プロセスが解明されてはいない現状である。この太陽表面ジェット現象の機構・起源を明らかにすることは、太陽表面活動現象および恒星表面活動現象の解明のために重要な課題である。

2. 研究の目的

太陽ジェット現象の振る舞いを観測的に明らかにするためには、光球・彩層で形成されるフラウンホーファー線の分光観測およびその解析が必須である。ところが、「ひので」衛星搭載望遠鏡には、波長範囲の限られた偏光分光装置と単色像撮影装置のみであり、ジェット現象の分光観測には適さない。現状では、地上望遠鏡によるケーデンスの高い分光観測で実施すべき重要な課題である。実際、我々は京都大学飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡(DST望遠鏡)と「ひので」衛星との共同観測を行って、太陽リムスピキュール、CaII ジェット、プラージュジェットに挑戦し、一定の成果をあげてきた。しかしながら、我が国で最高性能の DST 望遠鏡においても、地球大気の影響による画像の乱れは残存し、決定的な結論を得ることができてはいない。例えば、DST 望遠鏡で撮影された最高空間分解能の H 分光スペクトルの空間分解能は 1 秒角程度であり、「ひので」で観測された 0.3 秒角程度のスピキュールの一つのジェットのスペクトルを分解できていない。個々のジェットの物理情報は更に高い空間分解能のもとでの分光観測を行うことによってはじめて得られる。地上望遠鏡のシーイング補正手法には、(1) AO を用いたリアルタイム補正像でスリット分光、(2) 狭帯域単色像を取得して、事後ブラインドデコンボリューション法で分光データを合成する二つの手法がある。我々は、DST において

既に(1)の手法を試みており、現在世界的に開発されている(2)の手法を新たに取り入れて(1)と(2)を併用することを計画した。このシステムを用いて、太陽ジェット現象の解明に邁進することを目的とする。

3. 研究の方法

撮像システム、観測光学系を設計・製作する。具体的には、フェーズダイバーシティ(PD)撮像系、観測装置ハードウェアを構築する。同時にブラインドデコンボリューション解析ソフトウェアの開発を実施する。ここで、波長可変単色像フィルターは既存のものを使用する。また、諸外国の同種装置の開発状況を実地調査し、太陽ジェット現象の観測的研究に関する問題点の有無を検討する。以上の準備を基に、主として飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡と「ひので」共同観測を行い、データの解析を推進する。

4. 研究成果

本研究では、太陽表面上に発生するジェット現象のうちエラーマンボム、スピキュールについての観測的描像が明らかになった。併せて、黒点発生領域、黒点周辺の微細構造についても先端的な観測を行い、特に暗部輝点(umbral dot)の詳細な描像を明らかにすることに成功した。

(1) エラーマンボム：従来の空間時間分解能で得られていた知見は、彩層下部で大きさ 700 km 程度の大きさの領域が、高温高圧となり、そこから微細なジェットが噴き出すという描像であった。「ひので」衛星の撮像観測とドームレス太陽望遠鏡での分光観測の成果により、エラーマンボムは、更に微細な 200 km 程度の大きさの内部構造を持ちその内部構造が次々と加熱されていること、高温高圧領域の形成の源は、衝突する反極性の磁束管同士の磁気リコネクションであること、磁気リコネクションは間欠的に発生すること、磁気リコネクションによって駆動されるジェットは、上空及び下層に向かう 2 方向のジェットであることを観測的に明らかにした。これは世界で初めて我々が得た知見である。

(2) スピキュール：従来太陽表面上のスピキュールといわれるジェット現象は、黒点の無い静穏な領域にのみ存在すると考えられてきた。磁場が強い黒点付近やプラージュ部では見られないと思われてきた。「ひので」の高空間分解能観測でプラージュ彩層を観測すると、スピキュールによく似たジェット現象が遍在することを見出した。その運動状態を解析した結果、彩層下部で瞬間的に加速されたガスが磁場に沿って放物運動するというモデルで説明されることが判明した。従って加速機構は、静穏領域もプラージュ域も共通であると考えられる。今回の研究では、加速機構そのものの起源は解明できなかった。残された課題である。

(3) 黒点発生領域 : 「ひので」衛星で観測された黒点発生領域(磁気浮上域)を統計的に解析し、全浮上磁束量によって浮上の形態が異なることを明らかにした。全浮上磁束量が少ない時は、単純な双極の磁場配位であるが、ある一定の値を超えると単純な浮上形態をとらずに、ある基本的な浮上要素が複数個浮上する形態を持つことを明らかにした。全磁束量、磁束浮上率、領域の水平拡大速度との間には、べき乗側が成り立つことを見出した。これについての考察から、磁気浮上は、太陽対流運動と動的な平衡を保ちつつ浮上するという描像を得た。磁束の浮上には、太陽対流層のガスの流れが大きく影響しているということを観測的に明らかにするという成果を得た。

(4) 暗部輝点 : 黒点暗部は様な明るさではなく、直径 200 km 程度の微細な輝点が散在している。この輝点の視線速度場、磁場強度およびその時間変化を捉えることに成功し、この輝点が黒点暗部深層からの対流セルの突入であることを観測的に明らかにした。このことにより、直接的には観測できない黒点暗部深層の対流の様相を推測する新手段を提案することができた。今回の研究では、未解決の謎が残った。一つは、暗部輝点が黒点中央に向けて系統的に移動する機構、他の一つは輝点のサイズが 200 km 程度となる物理的理由である。これらは、引き続き研究の課題となる。

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 13 件)

Takizawa, K.; Kitai, R.; Zhang, Y.: Prominent Photospheric Downflows on Magnetic Neutral Line in a Delta-Type Sunspot, *Solar Physics*, Volume 281, Issue 2, pp.599-609, (2012), 査読有
DOI:10.1007/s11207-012-0116-4

Katsukawa, Y.; Kitai, R.; Watanabe, H.: Persistent Circulating Motion in a Sunspot Umbra, *Hinode-3: The 3rd Hinode Science Meeting*, Proceedings of the conference held 1-4 December 2009 at Hitotsubashi Memorial Hall, Tokyo, Japan. Edited by T. Sekii, T. Watanabe, and T. Sakurai. ASP Conference Series, Vol. 454. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, 2012., p.213, 査読有
http://www.aspbooks.org/a/volumes/table_of_contents/?book_id=454

Morita, S.; Shibata, K.; Ueno, S.; Ichimoto, K.; Kitai, R.; Otsuji, K.: Chromospheric Anemone Jets Observed with Hinode/SOT and Hida Ca II Spectroheliograph, *Hinode-3: The 3rd Hinode Science Meeting*,

Proceedings of the conference held 1-4 December 2009 at Hitotsubashi Memorial Hall, Tokyo, Japan. Edited by T. Sekii, T. Watanabe, and T. Sakurai. ASP Conference Series, Vol. 454. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, 2012., p.95, 査読有

http://www.aspbooks.org/a/volumes/table_of_contents/?book_id=454

Anan, T.; Kitai, R.; Hillier, A.; Kawate, T.; Ichimoto, K.; Shibata, K.: Spicule Dynamics over Plage Region, *Hinode-3: The 3rd Hinode Science Meeting*, Proceedings of the conference held 1-4 December 2009 at Hitotsubashi Memorial Hall, Tokyo, Japan. Edited by T. Sekii, T. Watanabe, and T. Sakurai. ASP Conference Series, Vol. 454. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, 2012., p.91, 査読有

http://www.aspbooks.org/a/volumes/table_of_contents/?book_id=454

Miura, Noriaki; Miyazaki, Jun'ichi; Kuwamura, Susumu; Baba, Naoshi; Hanaoka, Yoichiro; Yamaguchi, Masashi; Ueno, Satoru; Nakatani, Yoshikazu; Nagata, Shin'ichi; Kitai, Reizaburo; Ichimoto, Kiyoshi; Takami, Hideki: Solar adaptive optics at the Hida Observatory: latest achievements of current system and design of new system, *Adaptive Optics Systems III*. Proceedings of the SPIE, Volume 8447, article id. 84474D, 6 pp. (2012), 査読有
DOI: 10.1117/12.925848

Zhang, Y.; Kitai, R.; Takizawa, K.: Magnetic Helicity Transported by Flux Emergence and Shuffling Motions in Solar Active Region NOAA 10930, *The Astrophysical Journal*, Volume 751, Issue 2, article id. 85, 6 pp. (2012), 査読有
DOI: 10.1088/0004-637X/751/2/85

Kitai, R.: Ellerman Bomb as a Manifestation of Chromospheric Fine Scale Activity, *The Fifth Hinode Science Meeting*. ASP Conference Series, Vol. 456, Proceedings of a conference held 10-14 October 2011 at Royal Sonesta Hotel, Cambridge, Massachusetts. Edited by Leon Golub, Ineke De Moortel and Toshifumi Shimizu. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, 2012., p.81, 査読有
http://www.aspbooks.org/a/volumes/table_of_contents/?book_id=456

Asai, Ayumi; Ichimoto, Kiyoshi; Kitai, Reizaburo; Kurokawa, Hiroki; Shibata, Kazunari: A Study on Red Asymmetry of H Flare Ribbons Using a Narrowband Filtergram in the 2001 April 10 Solar Flare, *Publications of the Astronomical Society*

of Japan, Vol.64, No.1, Article No.20, 8 pp.,(2012), 査読有

DOI: 10.1093/pasj/64.1.20

Asai, Ayumi; Ishii, Takako T.; Isobe, Hiroaki; Kitai, Reizaburo; Ichimoto, Kiyoshi; Ueno, Satoru; Nagata, Shin'ichi; Morita, Satoshi; Nishida, Keisuke; Shiota, Daikou; Oi, Akihito; Akioka, Maki; Shibata, Kazunari: First Simultaneous Observation of an H Moreton Wave, EUV Wave, and Filament/Prominence Oscillations, The Astrophysical Journal Letters, Volume 745, Issue 2, article id. L18, 6 pp. (2012), 査読有

DOI: 10.1088/2041-8205/745/2/L18

Kilcik, A.; Yurchyshyn, V. B.; Rempel, M.; Abramenko, V.; Kitai, R.; Goode, P. R.; Cao, W.; Watanabe, H.: Properties of Umbral Dots as Measured from the New Solar Telescope Data and MHD Simulations, The Astrophysical Journal, Volume 745, Issue 2, article id. 163, 14 pp. (2012), 査読有

DOI: 10.1088/0004-637X/745/2/163

Otsuji, Kenichi; Kitai, Reizaburo; Ichimoto, Kiyoshi; Shibata, Kazunari: Statistical Study on the Nature of Solar-Flux Emergence, Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol.63, No.5, pp.1047-1057,(2011), 査読有

DOI: 10.1093/pasj/63.5.1047

Watanabe, Hiroko; Vissers, Gregal; Kitai, Reizaburo; Rouppe van der Voort, Luc; Rutten, Robert J.: Ellerman Bombs at High Resolution. I. Morphological Evidence for Photospheric Reconnection, The Astrophysical Journal, Volume 736, Issue 1, article id. 71, 12 pp. (2011). , 査読有

DOI: 10.1088/0004-637X/736/1/71

Zhang, Yuzong; Kitai, Reizaburo; Narukage, Noriyuki; Matsumoto, Takuma; Ueno, Satoru; Shibata, Kazunari; Wang, Jingxiu: Propagation of Moreton Waves, Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol.63, No.3, pp.685-696,(2011), 査読有

DOI: 10.1093/pasj/63.3.685

〔学会発表〕(計 2 件)

Zhang Yin (NAOC), Kitai R, Takizawa Kan: Magnetic helicity transported by flux emergence and shuffling motions in Solar Active Region NOAA 10930, IAU Symposium 294 Solar and Astrophysical Dynamos and Magnetic Activity(2012年8月25日、北京)

R. Kitai, H. Watanabe, T. Anan, M. Fujimoto, T. Fukuoka, H. Shimono and S. Nagata: Stereoscopic observation of a rapidly rotating filament eruption, AOGS

2011 (2011年8月9日 台北)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

北井 礼三郎 (KITAI Reizaburo)
佛教大学・教育学部・非常勤講師
研究者番号: 40169850

(2) 研究分担者

一本 潔 (ICHIMOTO Kiyoshi)
京都大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号: 70193456

柴田 一成 (SHIBATA Kazunari)
京都大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号: 70144178

(3) 連携研究者

三浦 則明 (MIURA Noriaki)
北見工業大学・工学部・教授
研究者番号: 30209720

上野 悟 (UENO Satoru)
京都大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号: 70303807

永田 伸一 (NAGATA Shin'ichi)
京都大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号: 30362437