

平成22年 5月30日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19540474

研究課題名（和文） 太陽風の起源およびその加速メカニズムの観測的研究

研究課題名（英文） Observational study of the origin and acceleration mechanism of the solar wind

研究代表者

北井 礼三郎（京都大学・理学研究科・准教授）

Reizaburo Kitai

研究者番号：40169850

研究成果の概要（和文）：太陽観測衛星「ひので」と京都大学飛騨天文台地上太陽望遠鏡との共同観測の解析を行った。その結果、（1）活動領域でのジェットを伴う微小爆発エラーマンボム、（2）太陽静穏領域に遍在するジェット現象であるスピキュール、（3）彩層ガス噴出であるサージ等の太陽ジェット現象の発生機構が磁気再結合によるものであることを観測的に明らかにした。また併せて、（4）活動領域での活動の源となる磁気浮上領域および（5）黒点内部微細構造の特質を世界最先端の詳しさと観測的に明らかにした。

研究成果の概要（英文）：Driving mechanisms of solar jet phenomena such as Ellerman bomb, spicules and surges are clarified by the analysis of the cooperative observation between the satellite HINODE and the ground-based solar telescopes at Hida Observatory, Kyoto University. Besides, we have got the detailed observational results on the behavior of emerging flux regions and the fine structure of sunspot umbrae.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
19年度	1,500,000	450,000	1,950,000
20年度	1,100,000	330,000	1,430,000
21年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：太陽物理学

科研費の分科・細目：天文学・太陽物理学

キーワード：太陽風、彩層ジェット、太陽活動領域

1. 研究開始当初の背景

太陽からは、太陽風、フィラメント爆発、コロナ質量放出、サージ噴出、スピキュールジェットなど、様々な形でプラズマガスが放出され、太陽系惑星間空間および地球に多大な影響を与えていることが知られている。ところが、それぞれの現象の発生過程の詳細に

ついては、いまだ解明されていない状況であった。その加速がどのようになされるのか、またガスの加熱機構は何であるかなどについては、定説が確立されていなかった。特に、太陽表面における様々なジェット現象については、微細な構造の解明が肝要で、そのため観測的にもそのダイナミクスが明らか

になってはいなかった。高空間分解能観測および高分散分光観測による詳細観測が必要な段階であった。我々の研究は、この太陽表面上でのジェット現象の過程を明らかにして、それが太陽風および惑星間空間擾乱の加速に及ぼす影響を明らかにするものであった。

2. 研究の目的

太陽表面で発生するジェット現象のダイナミクスを観測的に明らかにし、その成因を探ることをこの研究の目的とした。観測対象としたものは、サージ噴出現象、スピキュールジェット現象、および太陽活動領域で発生する加熱とジェットを伴うエラーマンボム、これらのジェット現象を惹き起こす活動領域の誕生時の浮上磁場ダイナミクスおよび活動領域成熟期の黒点内部微細構造の振る舞いである。太陽表面に普遍的に存在する対流現象および磁場との相互作用が如何に様々な噴出現象を生み出すのかを、単色像高分解能観測と分光的解析手段を用いて明らかにすることを研究の基礎とした。

3. 研究の方法

この研究では、太陽表面の微細な現象をとらえる高分解能単色像観測と、高分散分光観測およびその解析が研究方法の中心となる。我々は、太陽観測衛星「ひので」と飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡および太陽磁場活動研究望遠鏡を用いる共同観測を実施することによって、研究の対象としたジェット現象等の観測データを得る方法をとった。「ひので」では、CaIIH 単色像および連続光像を取得して微細な構造の変化をとらえることとし、飛騨天文台の地上望遠鏡では、波長可変リフィルタによる H α 線近傍の多波長単色像、高分散分光器による彩層、光球線分光スペクトル、更には、スペクトロポラリメータによる偏光スペクトルのデータを用いてガス場の速度場、磁場、温度、乱流速度などの物理量の時間変化を解明する方法を採用した。

4. 研究成果

(1) エラーマンボム : 太陽表面への浮上磁場近傍で頻発するエラーマンボムの偏光分光観測により、磁束の浮上が単純な Ω 型のものではなく、磁束管の所々が光球に取り残された形をとることを明らかにした。そして、その取り残されたところでの磁場の再結合現象によってエラーマンボムの加熱がなされていることを明らかにした (Watanabe et al. 2007)。また、この磁気再結合過程によって、コロナ方向と光球方向の双方向にジェットが噴出していることを観測的に初めて捉えることに成功した (Matsumoto et al.

2008)。更には、「ひので」高分解観測により、従来知られていなかったエラーマンボムの内部構造を解明し、コアとハローに分解でき、磁気再結合過程のシミュレーション結果を参照して、詳細な加熱モデルを提唱した (Matsumoto et al. 2008)。この内部構造の時間変化を更に詳細に解析して、エラーマンボムでの磁気再結合の素過程をとらえることに成功して、その寿命、サイズ等を初めて導くことができた。また、一つのエラーマンボムにおいて、このような素過程が断続的に発生していることを見出した (Hashimoto et al. 2010)。

(2) スピキュール : スピキュールは、その遍在性から、太陽コロナひいては太陽風への質量供給源とされてきた。ところが、従来、スピキュールジェット現象は活動領域等磁場の強い領域では存在しないと考えられてきた。観測的にも確認がされておらず、その理論的な解釈もなされていた。この説を検証するため、「ひので」の CaIIH 単色像に画像処理を施して詳細解析したところ、プラージュ域でもスピキュールが存在していることを観測的に初めて捉えた。静穏領域のスピキュールに比して、その長さは短いながら常に存在していることを確認した。そして、理論シミュレーションの結果を参照して、その加速機構は、衝撃波加速によって説明されることを明らかにした (Anan et al. 2010)。一方、コロナホールでのリムスピキュールの H α 輝線の分光スペクトルの解析から、その温度、マイクロ乱流速度を導出した。ところが、輝線スペクトル幅を説明するには、30km/s 程度のマクロ乱流が必要であることがわかった。このマクロ乱流は、近年発見された太陽彩層に遍在する Alfvén 波でも説明がつかないものであり、今後の研究課題である (Shoji et al. 2010)。

(3) サージ噴出 : 活動領域から 100km/s もの速さで噴出するサージは、そのエネルギー源が不明であった。一つの説では、太陽表面上のガスの大規模な流れが、磁場をシアすることによって磁場に自由エネルギーを蓄積して、一挙に開放するというシナリオが提唱されていた。我々は、ドームレス太陽望遠鏡の連続光像時系列データを、局所相関法によって解析し、水平方向のシア流の有無を観測した。その結果、そのような流れは観測されず、むしろ極性の異なる磁場領域をお互いに押しつける流れがあることがわかった。そして、その対向流が磁気再結合過程を彩層で惹き起こしてサージ噴出を起こしているというモデルを提唱した (Kitai 2010)。

(4) 磁気浮上領域 : 磁気浮上領域は、黒点発生の源となるものであり、またエラーマンボムやサージといったジェット現象が頻発する領域である。この領域での磁束管の

光球彩層での上昇ダイナミックスの解明は、ジェット現象の解明に直接つながるものである。我々は、単純な浮上磁場領域を「ひので」画像から選び出しその時間発展を詳細に解析した。その結果、大気圧力が急激に変わる光球・彩層において、磁束管が横方向に4km/sの速さで膨張すること、および磁束管が加速されつつ上昇することを観測的に定量的に求め、理論シミュレーションとほぼ一致することを検証した(Otsuji et al. 2007, 2010)。

(5) 黒点内部構造 : 黒点暗部では、微細な Umbral dot という構造がある。この構造は強い磁場のある場所でのエネルギー輸送を解明するキーとなる現象である。この輸送過程は、ジェット現象のトリガーには直接影響しないものの、その大気構造を決める重要な因子となっている。我々は、「ひので」画像を用いて、その温度、寿命、サイズ、固有運動を明らかにし(Kitai et al. 2007)、磁場観測データを援用して、電磁流体的物理量を多数のサンプルについて求め、Umbral dot が強い磁場中での対流現象の現れであることを明らかにした。(Watanabe et al. 2009a, 2009b)。

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 14 件)

1. Kitai, R. (2010)

On the Relation between Surge Activities and Photospheric Horizontal Velocity Field PASJ, in printing (査読あり)

2. Anan, T.; Kitai, R. and 15 colleagues (2010)

Spicule Dynamics over Plage Region PASJ, inprinting (査読あり)

3. Hashimoto, Y., Kitai R., and 13 colleagues (2010)

Internal Fine Structure of Ellerman Bombs PASJ, in printing (査読あり)

4. Shoji, M.; Nishikawa, T.; Kitai, R.; and Ueno, S.,(2010)

Spectroscopic Studies of Limb Spicules. I. Radial and Turbulent Velocities Publications of the Astronomical Society of Japan, in printing. (査読あり)

5. Otsuji, K., Kitai, R., Matsumoto, T., and Ichimoto, K. (2010)

Ca II K Spectral Study of an Emerging

Flux Region using Domeless Solar Telescope in Hida Observatory PASJ, in printing (査読あり)

6. Otsuji, K.; Nagata, S.; Ueno, S.; Kitai, R.; Kimura, G.; Nakatani, Y.; Ishii, T.; Morita, S.; Shibata, K., (2009)

The tandem Fabry Perot Full-Disk Solar Vector Magnetogram system for the Solar Magnetic Activity Research Telescope (SMART)

American Geophysical Union, Fall Meeting 2009, abstract #SH33B-1498 (査読なし)

7. Watanabe, H.; Kitai, R.; Ichimoto, K., (2009)

Characteristic Dependence of Umbral Dots on Their Magnetic Structure

The Astrophysical Journal, Volume 702, Issue 2, pp. 1048-1057. (査読あり)

8. Watanabe, H.; Kitai, R.; Ichimoto, K. and Katsukawa, Y., (2009)

Magnetic Structure of Umbral Dots Observed with the Hinode Solar Optical Telescope

Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol.61, No.2, pp.193—200 (査読あり)

9. Kitai, R.; Hashimoto, Y.; Anan, T.; Watanabe, H.; and 11 colleagues (2008)

Cooperative observation of solar atmospheric heating by Hida observatory and Hinode

American Geophysical Union, Fall Meeting 2008, abstract #SH41B-1625 (査読なし)

10. Watanabe, H.; Kitai, R.; and 7 colleagues (2008)

Spectropolarimetric Observation of an Emerging Flux Region: Triggering Mechanisms of Ellerman Bombs

The Astrophysical Journal, Volume 684, Issue 1, pp. 736-746. (査読あり)

11. Matsumoto, T.; Kitai, R.; and 14 colleagues (2008)

Cooperative Observation of Ellerman Bombs between the Solar Optical Telescope aboard Hinode and Hida/Domeless Solar Telescope

Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol.60, No.3, pp.577—584 (査読あり)

12. Matsumoto, T.; Kitai, R.; and 5

colleagues (2008)
Height Dependence of Gas Flows in an
Ellerman Bomb
Publications of the Astronomical Society of
Japan, Vol.60, No.1, pp.95—102 (査読あり)

13. Otsuji, K.; Shibata, K.; Kitai, R. and
14colleagues (2007)
Small-Scale Magnetic-Flux Emergence
Observed with Hinode Solar Optical
Telescope
Publications of the Astronomical Society of
Japan, Vol.59, No.SP3, pp.S649--S654 (査
読あり)

14. Kitai, R.; Watanabe, H.; and 16
colleagues (2007)
Umbral Fine Structures in Sunspots
Observed with Hinode Solar Optical
Telescope
Publications of the Astronomical Society of
Japan, Vol.59, No.SP3, pp.S585--S591 (査
読あり)

〔学会発表〕 (計 10 件)

1. 大辻賢一、北井礼三郎
飛騨-ひので共同観測による浮上磁場領域の
Ca 線スペクトル解析
2009 年太陽研究会「太陽の多角的観測と宇
宙天気研究の新展開」(2009 年 12 月 24 日)

2. 森田 諭、柴田一成、上野 悟、一本 潔、
北井礼三郎、大辻賢一
飛騨-ひので共同観測(SOT-DST での Ca II
anemone jets イメージスペクトル同時観測)
2009 年太陽研究会「太陽の多角的観測と宇
宙天気研究の新展開」(2009 年 12 月 24 日)

3. 北井礼三郎、橋本祐樹、上野悟、一本潔、
柴田一成、小路真木子、西川宝
DST 分光観測の成果-Ellerman Bomb およ
び Limb Spicule
2009 年太陽研究会「太陽の多角的観測と宇
宙天気研究の新展開」(2009 年 12 月 24 日)

4. 阿南徹、北井礼三郎、一本潔、上野悟、永
田伸一、柴田一成ほか 10 名
Spicules over Plage area
日本天文学会 2009 年秋季学会 (2009 年 9 月
15 日)

5. 上野悟、森田諭、西塚直人、柴田一成、一
本潔、北井礼三郎、永田伸一ほか 11 名
2007 年飛騨-ひので協同観測より：彩層ジ
ェットの分光学的特性 II -超粒状斑セル内彩
層上層でのスパイク状ブライトニング現象-

日本天文学会 2009 年春季学会 (2009 年 3 月
25 日)

6. 森田 諭、柴田一成、上野 悟、一本 潔、
西塚直人、北井礼三郎、永田伸一ほか 10 名、
飛騨-ひので共同観測分光データを用いた
CaII アネモネジェットの研究 2: 光球面ベ
クトル磁場成分の発展との相関
日本天文学会 2009 年春季学会 (2009 年 3 月
25 日)

7. 渡邊皓子、北井礼三郎、一本潔、Alexandra
Tritschler、Thomas Rimmele
黒点暗部における、上昇流を伴う輝点の侵入
日本天文学会 2009 年春季学会 (2009 年 3 月
25 日)

8. 川手朋子、北井礼三郎、柴田一成、永田伸
一、上野悟ほか
ひのでドームレス共同観測におけるスピキ
ュールの解析
日本天文学会 2008 年春季年会 (2008 年 3 月
25 日)

9. 渡邊皓子、北井礼三郎、柴田一成、上野悟
ほか
Ellerman Bomb を伴う浮上磁場領域におけ
る磁力線形状の時間変化
日本天文学会 2008 年春季年会 (2008 年 3 月
26 日)

10. 北井礼三郎
Observations of solar activity at Hida
observatory as a basis of space weather
research
Conference on Earth Sun System
Exploration : Energy Coupling Within and
Between Plasma Regimes (2008 年 1 月 15
日)

〔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 (京都大学・理・准教授)

Reizaburo Kitai

研究者番号：40169850

(2) 研究分担者

西川 宝 (京都経済短期大学・経営情報・
教授)

Takara Nishikawa

研究者番号：10172636

柴田 一成 (京都大学・理・教授)

Kazanari Shibata

研究者番号：70144178

永田 伸一 (京都大学・理・助教)

Shin'ichi Nagata

研究者番号：30362437

上野 悟 (京都大学・理・助教)

Satoru Ueno

研究者番号：70303807

(3) 連携研究者

()

研究者番号：