

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 29 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24740331

研究課題名(和文) 太陽フレアに伴うコロナ擾乱現象の観測的研究

研究課題名(英文) Observational study on coronal disturbances associated with solar flares

研究代表者

浅井 歩 (Asai, Ayumi)

京都大学・宇宙総合学研究ユニット・准教授

研究者番号：50390620

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：太陽表面では、太陽面爆発(太陽フレア)に代表される磁気プラズマ現象が絶え間なく発生し、またしばしばこれに付随して形成される衝撃波は宇宙空間での擾乱源となるため、宇宙天気研究の中でも特に重要な現象である。私は本研究で、太陽コロナで観測される衝撃波に着目し、衝撃波の多波長での様子や時間発展、また衝撃波を駆動していると考えられる噴出物との関係について調べた。それにより、観測する波長や装置の違いから従来は「異なる現象」として報告されていた衝撃波・波動現象の関係を、統一的に明らかにすることに成功した。

研究成果の概要(英文)：Solar flares, the most energetic explosion in the solar system, are very spectacular. They are sometimes associated with coronal disturbance, that is, shocks, ejections, and waves in the corona, which affect seriously the solar-terrestrial environment, and therefore, they are very important for space weather researches. I have investigated comprehensively coronal disturbances associated with flares by using multi-wavelength data.

研究分野：太陽物理学

キーワード：太陽物理学 超高層大気物理学 太陽フレア 衝撃波 磁気嵐

1. 研究開始当初の背景

太陽表面では、太陽フレア(太陽面爆発)に代表される磁気プラズマ現象が絶え間なく発生している。これらの太陽面磁気活動現象や関連して発生するプラズマ噴出現象は、宇宙空間のプラズマ磁場環境にとっての擾乱源である。そのため、太陽フレアや噴出現象の発生、およびそれらが宇宙空間に与える影響は、「宇宙天気」研究として盛んに研究されている。噴出現象の前方には、衝撃波が形成される。この衝撃波は、宇宙空間において高エネルギー粒子を加速するなど、宇宙天気研究の中でも特に重要な現象である。

太陽観測データからは、フレア直後に形成されるコロナ中を伝播する衝撃波などのコロナ擾乱がしばしば観測される。コロナ擾乱の一つ、「H α 線モートン波」(図1)はコロナ中を伝播する衝撃波面が下層大気である彩層に接する際に引き起こされる。その速度は1000km/s 近くにまで達し、プラズマ塊噴出の前方に現れる。また、X線観測でも波動現象(X線波)がモートン波に付随して観測されており、これらがコロナ中を伝播する電磁流体衝撃波であることが確認されている。一方、人工衛星により極端紫外線では、「EIT波」などと呼ばれる、異なる種類の波動現象が観測されるようになった(EITとはSOHO衛星搭載の極紫外線撮像望遠鏡の名称)。EIT波は当初、モートン波のコロナ版ではないかと期待されたが、モートン波やX線波動に比べ典型的な速度が約300km/sと遅く、フレア領域からほぼ等方に伝播するなど、その物理的特徴が異なることが知られている。また、2機のSTEREO衛星による立体的な構造も報告されるようになった(図2)。しかしながら、EIT波の発生原因は不明であり、モートン波・X線波動との同時観測例も少なく、そもそも波動現象であるのかどうかという実態についてさえ明らかにはなっておらず、議論の対象であった。

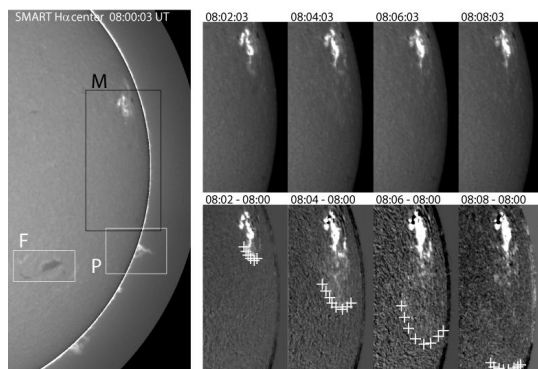


図1) (モートン波) (左)2011年8月9日のH α 線像。この日発生した大フレアに伴ってモートン波が発生した。(右)四角い領域(M)の時間変化(上)とその差分画像(下)。+サインは波面の位置を示す(5. 主な発表論文等・雑誌論文の[5]より)。

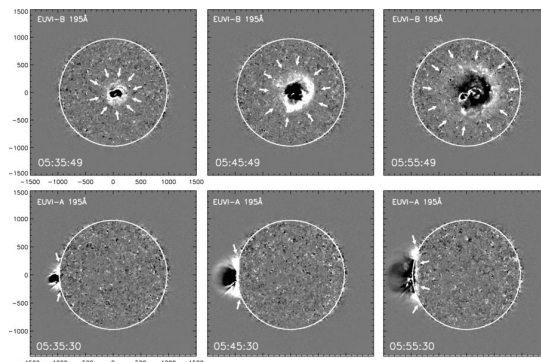


図2) (EIT波)2機のSTEREO衛星によって立体的に観測されたEIT波。2009年2月13日、小フレアに伴い発生し、速度260km/sでほぼ等方に伝播している(EIT波の波面を矢印で示す)。Kienreichら(2009)より。

2. 研究の目的

本研究では、H α 線モートン波については京都大学飛騨天文台など地上観測によるH α 線観測のデータを、X線波動現象・EIT波については「ひので」衛星など人工衛星によるさまざまな観測データを解析することで、多角的にコロナ擾乱をとらえ、その立体構造や時間発展を観測の立場から探った。

近年、人工衛星による太陽観測は格段に整備されている。「ひので」衛星(2006年打ち上げ)は、搭載するX線望遠鏡(XRT)により高精度なX線観測を行っている。これにより、フレア本体に比べ格段に暗いX線波面をとらえることも可能である。加えて極端紫外線撮像分光装置(EIS)も搭載しており、分光観測によるコロナプラズマの詳細な診断が可能となっている。また、STEREO衛星(2006年打ち上げ)は、2機の衛星をそれぞれ地球軌道の前方・後方に配置することで、極紫外線での前面・後面からの立体視観測を行っている(図2)。さらには2010年3月に打ち上げられたSDO衛星は、極紫外線における太陽全面画像をそれまでにない高い時間分解能で取得しており、太陽全面にわたって伝播するコロナ擾乱現象を逃さず観測している。一方、京都大学飛騨天文台では、SMART望遠鏡などによりH α 線の多波長全面画像を定常的に観測しており、フレアに伴う衝撃波現象(H α 線モートン波)をこれまでに数十例観測している。本研究期間は、2014年4月ごろと推定される太陽活動極大期をカバーしており、太陽フレア観測(および付随するコロナ擾乱現象)の絶好の好機の中遂行された。

私は、これらの観測データを駆使し、コロナ擾乱の伝播過程を詳細に追った。特に、EIT波の3次元立体構造、衝撃波とそのドライバであるプラズマ噴出現象との関係を調べた。また、H α 線データやX線データから波動現象(モートン波やX線波動)の観測例を探し、それらとEIT波現象と構造の比較から、両者の関係を探った。また、極端紫外線・X線の

それぞれで複数の波長データを用いることで温度解析を行い、衝撃波面の物理状態を調べた。加えて、観測データから再現されるコロナのポテンシャル磁場と衝撃波の伝播の関係や、衝撃波ドライバであるプラズマ噴出との関係について調べた。

3. 研究の方法

本研究は、まず観測データの取得や解析に重点を置いた。SDO 衛星（2010年3月打ち上げ）のデータを有効利用するため、2010年4月以降に起きた太陽フレアについて、波動現象が起きているイベントをサーベイした。京都大学飛騨天文台の SMART 望遠鏡による H α 線画像や他の人工衛星データなど、即時公開されているデータ入手を用いた。これらにより、2011年8月9日のフレア、2010年8月18日のフレア、2012年3月7日のフレアなど、研究に適した観測データを入手するに至った。一方で、SDO 衛星打ち上げ以前に蓄積された観測データ (SMART、STEREO のデータを中心に) や、飛騨天文台フレア監視望遠鏡 (FMT) により得られた H α 線モートン波やフィラメント噴出についての観測データも積極的に用いた。

次に、得られた観測データを詳細に解析した。特に、波動現象と噴出現象との関係や、コロナ擾乱の詳細な時間発展などを調べた。また、数値シミュレーションにより、実データに基づく太陽コロナのポテンシャル磁場構造と、プラズマ噴出現象と衝撃波面の形成・時間発展を調べた。

4. 研究成果

(1) コロナ擾乱の時間発展の詳細解析と、プロミネンス・フィラメントの振動

2011年8月9日に発生したフレア (図1) や2012年3月7日に発生したフレアなどいくつかのモートン波 EUV 波同時観測イベントについて、コロナ擾乱の時間発展と、それらが伝播することによって生じる、遠方のプロミネンス・フィラメントの振動について詳細に調べた。また STEREO 衛星を用いて、立体的な構造の同定を行った。

EUV 波には速く伝播するものや遅く伝播するものなど複雑な様相を呈しているが、少なくとも速く伝播する EUV 波の一部と H α 線モートン波では波面が一致することが明らかになった。フレア領域から遠方に位置するフィラメント・プロミネンスが振動を生じることがあるが、これらも、速い EUV 波の通過によるものであることが分かった。加えて、速い EUV 波はコロナ質量放出や惑星間空間衝撃波の伝播速度ともおおむね一致することを明らかにした。

フィラメントは、衝撃波の通過により振動

を始めるが、その際フィラメントの全面のプラズマが圧縮される。この圧縮の様子 (圧縮率) を用いて、観測が難しい衝撃波面の物理

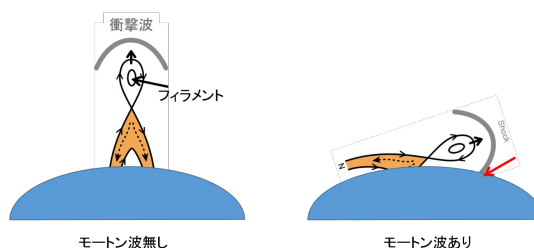


図3) (モートン波の概念図) フィラメントに伴う噴出が太陽面に対して垂直に近い場合 (左) と水平に近い場合 (右)。左の場合は衝撃波が彩層面と設置せず、モートン波も発生しないと考えられる。

量を探るといって新たな手段を確立した。

(2) コロナ擾乱とフィラメント噴出の関係について

H α 線モートン波はフィラメント噴出と高い相関があることが知られている。これは、噴出するフィラメントに駆動されて、その前面に衝撃波が生じていると考えられる。そこで、京都大学飛騨天文台 FMT によるモートン波イベントについて、ドライバと考えられるフィラメント噴出に着目し、その速度場解析を行った。

それによると、フィラメントは、太陽面に比較的水平に近く (太陽面からの仰角が小さく) なる傾向があることが分かった。これは、フィラメント前面に発生する衝撃波の開き角が比較的小さく、モートン波として観測されるためには、それが彩層面と接する必要があるため、太陽面に対して水平な方向に噴出される必要があるため、と考えられる (図3)。

(3) コロナ擾乱についての数値シミュレーション

上記(2)の結果に基づき、コロナ擾乱 (衝撃波) のコロナ中の伝播について、数値シミュレーションを用いて調べた。実際の観測データに基づく太陽コロナのポテンシャル磁場構造中に、水平に噴出されるフィラメントを模した強い速度場を初期に与えた場合と、当局的なエネルギー解放を想定した圧力上昇をインプットした場合を比較し、前者の場合、衝撃波が比較的狭い開き角で伝播する様子を数値的に再現することを明らかにした。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計13件)

1. Takahashi, T., Asai, A., Shibata, K., "Prominence Activation By Coronal Fast Mode Shock", *The Astrophysical Journal* (以下 ApJ), **801**, 37 (2015) 査読有

DOI: 10.1088/0004-637X/801/1/37

2. Asai, A., Kiyohara, J., Takasaki, H., Narukage, N., Yokoyama, T., Masuda, S., Shimojo, M., Nakajima, H., “Temporal and Spatial Analyses of Spectral Indices of Nonthermal Emissions Derived from Hard X-Rays and Microwaves”, *ApJ*, **763**, 87 (2013) 査読有
DOI: 10.1088/0004-637X/763/2/87
 3. Kusano, K., Bamba, Y., Yamamoto, T. T., Iida, Y., Toriumi, S., Asai, A., “Magnetic Field Structures Triggering Solar Flares and Coronal Mass Ejections”, *ApJ*, **760**, 31 (2012) 査読有
DOI: 10.1088/0004-637X/760/1/31
 4. Asai, A., Ichimoto, K., Kitai, R., Kurokawa, H., Shibata, K., “A Study on Red Asymmetry of Halpha Flare Ribbons Using a Narrowband Filtergram in the 2001 April 10 Solar Flare”, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, **64**, 20 (2012) 査読有
DOI: 10.1093/pasj/64.1.20
 5. Asai, A., Ishii, T. T., Isobe, H., Kitai, R., Ichimoto, K., UeNo, S., Nagata, S., Morita, S., Nishida, K., Shiota, D., Oi, A., Akioka, M., Shibata, K., “First Simultaneous Observation of an Halpha Moreton Wave, EUV Wave, and Filament/Prominence Oscillations”, *ApJ Letters*, **745**, L18 (2012) 査読有
DOI: 10.1088/2041-8205/745/2/L18
- 〔学会発表〕(計47件)
1. 浅井歩, 石井貴子, 柴田一成, E. G. Kupriyanova, 「飛騨天文台 SMART で観測された、2013年5月14日の巨大フレアに伴う白色光・H線強度の準周期的振動について」, 日本天文学会 2015年春季年会, 2015年3月18-21日, 大阪大学(大阪府豊中市)
 2. 廣瀬公美, 一本潔, 浅井歩, 大辻賢一, 北井礼三郎, 京都大学 SMART チーム, 「飛騨天文台 SMART 望遠鏡及び SDO 衛星を用いたフィラメントの消失要因の調査」, 日本天文学会 2015年春季年会, 2015年3月18-21日, 大阪大学(大阪府豊中市)
 3. 浅井歩, 磯部洋明, 北井礼三郎, 上野悟, 塩田大幸, 新堀淳樹, 森田諭, 草野完也, 「太陽極端紫外線および彩層画像データに基づく、太陽紫外線放射量の活動周期変動」, 地球電磁気・地球惑星圏学会 第136回総会, 2014年10月31日-11月3日, キッセイ文化ホール(長野県松本市) 招待講演
 4. Asai, A., Shibata, K., Ishii, T. T., Isobe, H., Takahashi, T., “Simultaneous Observation of Moreton Waves, EUV waves, and Filament Oscillations”, Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 11th Annual Meeting, 2014年7月28日-8月1日, ロイトン札幌(札幌市)
 5. 高橋卓也, 浅井歩, 柴田一成, “Diagnosis of coronal shock strength using the activation of large amplitude prominence oscillation”, 日本地球惑星科学連合 2014年度連合大会, 2014年4月28日-5月2日, パシフィコ横浜(横浜市)
 6. 山口雅史, K. Shaltout, 浅井歩, 森田諭, 柴田一成, 北井礼三郎, 石井貴子, 上野悟, 中村尚樹, 高樺真介, 吉永祐介, A. Hillier, 大辻賢一, 成影典之, D. Cabezas, M. Gutierrez, Y. Buleje, M. Ishitsuka, J. Ishitsuka, R. Terrazas, L. Martinez, 「京都大学飛騨天文台 FMT で観測されたモートン波現象に付随するフィラメント噴出の統計的研究」, 日本天文学会 2014年春季年会, 2014年3月19-22日, 国際基督教大学(東京都三鷹市)
 7. Asai A., “Recent Giant Solar Flares and their Relation to Space Weather”, International CAWSES-II Symposium, 2013年11月18日-22日, 名古屋大学(名古屋市) 招待講演
 8. Asai A., “Recent Flare Studies and Space Weather”, International CAWSES-II Symposium, 2013年11月18日-22日, 名古屋大学(名古屋市) 招待講演・パネラー
 9. 浅井歩, 磯部洋明, 塩田大幸, 渡邊皓子, 上野悟, 新堀淳樹, 横山正樹, 北井礼三郎, 草野完也, “Long-Term Variation of Solar UV/EUV Radiation Examined by Full-Disk Solar Images”, 日本地球惑星科学連合 2013年度連合大会, 2013年5月19日-24日, 幕張メッセ(千葉市)
 10. Takahashi, T., Asai, A., Ishii, T. T., Ichimoto, K., Shibata, K., “Prominence oscillation and compression as evidence of shock nature of globally propagated EUV wave”, 日本天文学会 2013年春季年会, 2013年3月20日-23日, 埼玉大学(さいたま市)
 11. Tamazawa, H., Yamaguchi, M., Fukuoka, T., Asai, A., Shibata, K., “The Relation between the Filament Eruption and the Shock in the Radial Direction”, 日本天文学会 2013年春季年会, 2013年3月20日-23日, 埼玉大学(さいたま市)
 12. 浅井歩, 磯部洋明, 北井礼三郎, 上野悟, 林寛生, 新堀淳樹, 羽田裕子, 横山正樹, 塩田大幸, 草野完也, 「太陽画像データに基づく太陽紫外線放射量の活動周期変動の推定と、超高層大気への影響」, 日

- 本天文学会 2012 年秋季年会, 2012 年 9 月 19 日-21 日, 大分大学(大分市)
13. 高橋卓也, 浅井歩, 石井貴子, 一本潔, 柴田一成, 「2012 年 3 月 7 日の X5.4 フレアに伴う噴出現象・コロナ擾乱現象の解析」, 日本天文学会 2012 年秋季年会, 2012 年 9 月 19 日-21 日, 大分大学(大分市)
 14. 福岡隆敏, 浅井歩, 一本潔, 柴田一成, 「2011 年 8 月 9 日の巨大フレアに伴うコロナ擾乱現象と、噴出現象について」 日本天文学会 2012 年秋季年会, 2012 年 9 月 19 日-21 日, 大分大学(大分市)
 15. 玉澤春史, 山口雅史, 浅井歩, 柴田一成, 「モートン波発生とフィラメント噴出の角度依存性」, 日本天文学会 2012 年秋季年会, 2012 年 9 月 19 日-21 日, 大分大学(大分市)
 16. 羽田裕子, 磯部洋明, 浅井歩, 石井貴子, 塩田大幸, 今村剛, 豊田裕之, 「金星探査機「あかつき」に対する太陽高エネルギー粒子被ばくの評価」, 日本天文学会 2012 年秋季年会, 2012 年 9 月 19 日-21 日, 大分大学(大分市)
 17. Asai, A., “CME eruption and accompanying phenomena observed in the low corona”, Fifth Solar Orbiter Workshop, 2012 年 9 月 10 日-14 日 (ベルギー・ブルージュ) 招待講演
 18. Asai, A., “Moreton and EUV waves observed by STEREO, SDO, and ground-based instruments, and their association to CMEs”, 39th COSPAR Scientific Assembly, 2012 年 7 月 14 日-22 日 (インド・マイソール) 招待講演
 19. 浅井歩, 柴田一成, 石井貴子, 北井礼三郎, 一本潔, 磯部洋明, 塩田大幸, 「2011 年 8 月 9 日の太陽フレアに伴うコロナ擾乱現象について」, 日本地球惑星科学連合 2012 年度連合大会, 2012 年 5 月 20 日-25 日, 幕張メッセ(千葉市)

〔図書〕(計 2 件)

1. 小久保英一郎, 嶺重慎(編), 浅井歩 他, 岩波書店, 「宇宙と生命の起源 2 - ヒッグス粒子から iPS 細胞まで(岩波ジュニア新書)」・5 章「いまどきの太陽」, 81-100 (2014)
2. 谷口義明(監修), 柴田一成, 浅井歩 他, 講談社, 「新天文学事典(ブルーバックス)」・8 章「太陽」, 277-319 (2013)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

名称: 機械学習によるアルゴリズムを用いた太陽フレア予報システム

発明者: 村主崇行, 磯部洋明, 柴山拓也, 羽田裕子, 柴田一成, 浅井歩, 中村裕一, 根本茂, 駒崎健二

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特願 2014-153706 号

出願年月日: 平成 26 年 7 月 29 日

国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

浅井 歩 (ASAI, Ayumi)

京都大学・宇宙総合学研究ユニット・特定准教授

研究者番号: 50390620