

令和 6 年 6 月 24 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04038

研究課題名(和文) 日本・ペルー・サウジアラビア高速太陽爆発監視システムの構築と宇宙天気研究への活用

研究課題名(英文) Construction of Japan-Peru-Saudi Arabia high-speed solar explosion monitoring system and its utilization for space-weather researches

研究代表者

上野 悟 (UENO, Satoru)

京都大学・理学研究科・助教

研究者番号：70303807

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：我々は海外適地に太陽から噴出したガス速度を3次元的に測定できる望遠鏡を設置し太陽爆発を常時監視できるよう国際地上観測網(CHAIN)事業を推進しており日本、ペルー、サウジアラビアで観測を行っている。ただ日本以外の既設望遠鏡では測定できる速度に上限があったため当課題では新たに太陽分光器を利用した観測装置を併設する事で海外観測所でも噴出ガスが高速化する迄追跡できるようにする事を最重要目的に設定した。2022年末までcovid19のため海外活動を行えなかったが2023年にペルーに渡航し上記新装置を整備する事ができた。又この間観測データを蓄積しつつ爆発現象やフィラメント構造に関する共同研究を推進した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

2022年、米国の人工衛星がCMEによる磁気嵐の発生予報を見誤り、打ち上げ直後に40基も破壊されると言う事故が発生した。CMEの伝播経路や磁気圏到達時刻の高精度な予測が社会的にも求められる事を痛感する出来事であった。現在CME速度の時間発展の推定方法の多くは天球面上に投影されたCMEの先端を検出してそれを追跡したりフィッティングしたりする手法が採られているが、それでは地球方向や視線垂直方向に噴出した速度の視線方向成分の推定誤差が大きくなる。我々が整備した噴出ガスの3次元速度場を直接観測できる装置群から得られる情報は、今後CME速度の時間発展および地球磁気圏到達時刻の推定精度を大きく向上させる。

研究成果の概要(英文)：We have promoted international ground-based observation network project (CHAIN) to install solar telescopes globally which can measure the 3D velocity field of erupted plasma from solar explosions, so that we can continuously monitor the Sun for 24 hours. At present, we have three solar stations in Japan, Peru and Saudi Arabia. However, there was the upper limit on velocities measured with the existing solar telescopes in Peru and Saudi Arabia. Therefore, in this project, we focused on installing one more instrument used the spectroscopy, so that we can track erupted plasma until its velocity reaches several hundred km/s at our foreign stations also. Because the influence of covid-19 continued until the end of 2022, we couldn't start any overseas activities for the first two years. We could finally visit Peru in 2023 and install the above-mentioned instrument. In addition, we promoted collaborative researches on solar explosive phenomena and filament structures during this period.

研究分野：太陽物理学および宇宙天気研究

キーワード：宇宙天気研究 太陽フレア フィラメント噴出 プロミネンス噴出 国際地上観測ネットワーク

1. 研究開始当初の背景

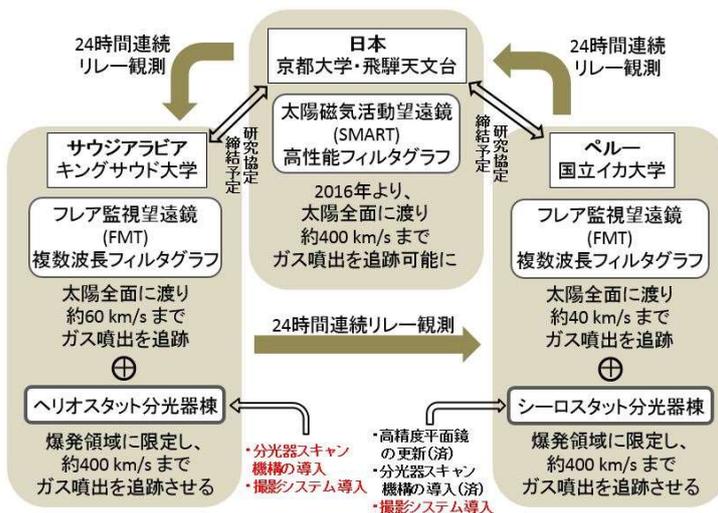
太陽が地球周辺環境に与える影響には様々なプロセスが存在するが、その重要なもののうちの 하나가、太陽の磁束管を纏ったプラズマガスが爆発・噴出して地球磁気圏に到達する現象（フィラメント噴出、コロナ質量放出）である。この現象は例えば地球周辺でオーロラ爆発や地磁気嵐を引き起こす。ただ、そのような地球への影響の大きさは、地球磁気圏に到達する際の太陽プラズマの物理量により、大小様々である。この地球への影響の有無やその大きさを、できる限り早期に予測できるようにすることが太陽地球系科学、特に宇宙天気研究における太陽観測者の重要な役割の一つであるが、現状、太陽面上で爆発が起こった時点で、そこから噴出したプラズマや磁束管が地球にどの程度の影響を与えるのかを正確に予測するのは未だ困難であり、この点を改善していくことが必要であった。例えば、太陽面上から爆発・噴出したフィラメントの持つ物理量が、その後、惑星間空間で観測されるコロナ質量放出（CME）の物理量にどう反映しているのか、どのように時間発展したのかも、未だ観測的にははっきり検証されていなかった。

京大・理・附属天文台では、そのような課題に対応するため、主に太陽の爆発現象を24時間監視し続けることを目的として、複数の海外適地に、実際に太陽から爆発噴出したガスの速度を測定することのできる特徴的な太陽観測望遠鏡を設置し活用する、国際観測ネットワーク事業（CHAIN project）を推進してきている。ただ、現在望遠鏡を設置している日本・ペルー・サウジアラビアの3地点のうち、研究開始当初において、日本以外の2カ所に設置している太陽望遠鏡には、測定することのできる噴出物の速度に上限があり、比較的低速の噴出プロセス初期段階しか捉えることができない状態であった。太陽爆発現象が惑星間空間や地球周辺環境へどのように伝播して、どの程度の影響を与えるかを、より正確に把握・予測するためには、日本では観測できない時間帯に発生した爆発・噴出現象に対しても、より高速化した噴出プロセス後半段階まで現象を追跡できるようにする必要性があった。

2. 研究の目的

太陽面上から噴出するフィラメントの速度は、最も速いもので、秒速約400 kmに至ると考えられている。それに対し、図1に示したように前述のCHAINプロジェクトに属する太陽望遠鏡の内、日本国内の望遠鏡には、既に2016年に高性能フィルタグラフを開発・導入し、フィラメントが発するH α 線（ブラウンホーファー線の一つ）の秒速400 kmに相当するドップラーシフトを検出できる状態に整備できていた。一方、ペルーとサウジアラビアに設置している太陽望遠鏡では、各々秒速数十 kmに相当するドップラーシフトまでしか観測することができない。従って、日本で観測できない時間帯に発生した太陽爆発現象も今回の研究対象とするために、これら2観測所において、定常的に秒速400 kmの噴出ガス速度を観測できるようにすることを、この研究計画における観測装置面での最重要目的とした。ただし、日本で導入した高性能フィルタグラフは、かなり高価で製作にも時間が掛かるため、ペルー、サウジアラビアにおいては、このフィルタグラフを導入するのではなく、各観測所に既設されている太陽分光器を活用することとした。具体的には、太陽面上のできる限り広い面積を、2次元的に分光器でスキャンすることにより、噴出するフィラメント領域を含むH α 線周辺の太陽スペクトルを時間を追って2次元的に取得できるようにすることを目標とした。

図1 日本・ペルー・サウジアラビア高速太陽爆発監視システム

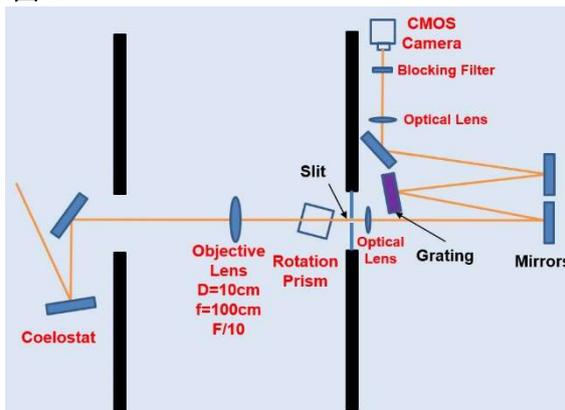


このような新しい観測システムを用いて、主に上記3国間での国際共同研究と言う形で、太陽の爆発が惑星間空間に伝播して行く様子とその影響をより正確に調査・研究することが、当計画の科学的な目的である。なお、当プロジェクトで実施する秒速400kmにまで至る高速太陽爆発現象の速度場監視観測は、世界中の他の天文台や人工衛星でも未だ行なわれておらず、学術的独自性が高く、そのデータは貴重である。近年のコンピュータシミュレーションによれば、爆発で太陽から噴出したプラズマ・磁束管は、宇宙空間に飛び出すにつれて、加速されつつその構造を急激に変化させる（大きく回転するなど）場合もあることが予測されている。これは低速な爆発初期段階だけを観測していても見逃してしまうため、当計画における速度場測定可能範囲の拡大は重要で、これらの観測結果をより太陽から遠方で観測されたコロナ質量放出の構造や物理量と比較したり、コンピュータシミュレーションの初期条件として活用したりすることにより、噴出ガスが地球近傍に到達した際にどのような構造、速度場を持つか予測する際の精度を大きく向上させ、地球上のオーロラ現象や磁気嵐の発生予測・強度予測の向上などに貢献できる。

3. 研究の方法

まず観測装置面においては、ペルー国立イカ大学の場合、**図2**のように、シーロスタット(Coelostat)の高精度平面鏡や分光器スキャン機構(Rotation Prism)は既に導入済みであったため、それら以外の分光スペクトル縮小撮影用の対物レンズ(Objective Lens)、縮小光学系レンズ(Optical Lens)やフィルタ(Blocking Filter)、カメラシステム(CMOS Camera)等の整備を行ない、太陽面上の広い視野に渡って2次元的にスペクトルデータを取得できるようにすることを計画した。また、サウジアラビア・キングサウド大学の場合、分光器棟に太陽光を導入するためのヘリオスタットや太陽分光器は古くから設置されていたが、老朽化により故障していたため、同大学の協力のもと、それらを修繕することで太陽スペクトルを2次元的に取得できるようにすることを想定した。

図2



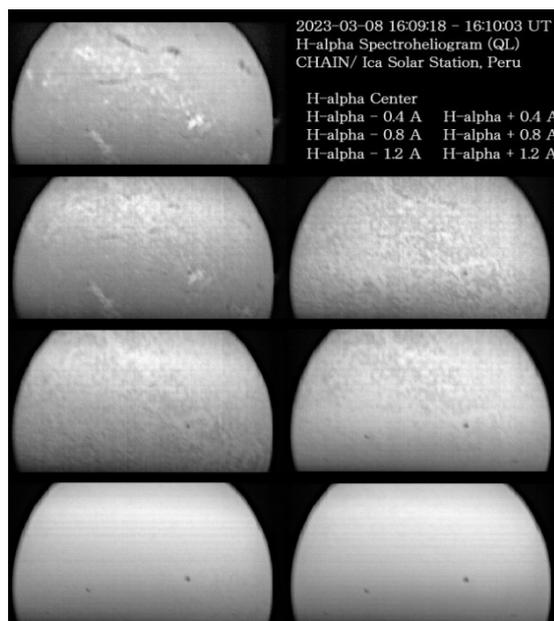
一方、科学的解析・研究の面では、上記CHAINプロジェクトの太陽観測装置群を活用し、他の電波観測装置(例えば名古屋大学のIPS)などで得られる惑星間空間の太陽風やコロナ質量放出の速度分布データとの比較を行なうことにより、太陽から噴出した時点でのフィラメントの物理量(特に3次元速度場や質量)が、どのように惑星間空間へと伝播していくかを観測的に解明すると言った方法を計画した。

4. 研究成果

不運なことに、当研究課題が開始された2020年4月以降、2022年末までの長期に渡り、新型コロナウイルスの世界的感染蔓延が継続し、ペルーやサウジアラビアに渡航できない状態が続いたため、この間、最重要課題である観測装置増強に係る現地での作業を進めることができない状態が続いた。ようやく2022年度末、新型コロナウイルスに関する渡航等の規制が緩和されてきたことを受け、ペルー国立イカ大学に赴き、太陽分光器を利用した観測装置の機能向上作業を実施するに至ったが、今回の研究期間中のサウジアラビアでの装置改良計画については断念した。しかしながら、ペルーにおいては、**図3**のように、太陽全面の約63%もの広い範囲に渡って2次元的に太陽スペクトルをスキャン観測できる装置を実現することができた。

また、科学的解析・研究面においては、海外観測装置の整備の遅れを受けて、この間、主に日本国内で取得したデータを活用し、次ページ以降に示すような、フィラメント噴出の3次元速度場とコロナ質量放出(CME)との関係についてや、高速フィラメント噴出現象の力学的発展過程やその質量の導出、フィラメントやプロミネンス自体の温度や磁場構造の解明、さらに太陽系以外の恒星系における宇宙天気研究への応用等をテーマとする共同研究を推進した。

図3



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Otsu Takato, Asai Ayumi, Ichimoto Kiyoshi, Ishii Takako T., Namekata Kosuke	4. 巻 939
2. 論文標題 Sun-as-a-star Analyses of Various Solar Active Events Using H Spectral Images Taken by SMART/SDDI	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 98 ~ 98
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac9730	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Namekata Kosuke, Ichimoto Kiyoshi, Ishii Takako T., Shibata Kazunari	4. 巻 933
2. 論文標題 Sun-as-a-star Analysis of H Spectra of a Solar Flare Observed by SMART/SDDI: Time Evolution of Red Asymmetry and Line Broadening	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 209 ~ 209
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac75cd	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Gutierrez Maria V, Otsuji Kenichi, Asai Ayumi, Terrazas Raul, Ishitsuka Mutsumi, Ishitsuka Jose, Nakamura Naoki, Yoshinaga Yusuke, Morita Satoshi, Ishii Takako T, Ueno Satoru, Kitai Reizaburo, Shibata Kazunari	4. 巻 73
2. 論文標題 A three-dimensional velocity of an erupting prominence prior to a coronal mass ejection	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 394 ~ 404
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psab006	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Seki Daikichi, Otsuji Kenichi, Isobe Hiroaki, Del Zanna Giulio, Ishii Takako T., Sakaue Takahito, Ichimoto Kiyoshi, Shibata Kazunari	4. 巻 918
2. 論文標題 Small-scale Turbulent Motion of the Plasma in a Solar Filament as the Precursor of Eruption	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 38 ~ 38
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac0d51	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Seki, Daikichi; Otsuji, Kenichi; Ishii, Takako T.; Asai, Ayumi; Ichimoto, Kiyoshi	4. 巻 73
2. 論文標題 Relationship between three-dimensional velocity of filament eruptions and CME association	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 58
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-021-01378-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Otsu Takato, Asai Ayumi	4. 巻 964
2. 論文標題 Multiwavelength Sun-as-a-star Analysis of the M8.7 Flare on 2022 October 2 Using H and EUV Spectra Taken by SMART/SDDI and SDO/EVE	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 75 ~ 75
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ad24ec	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Okada Sanetaka, Ichimoto Kiyoshi, Machida Aki, Tokuda Satomi, Huang Yuwei, UeNo Satoru	4. 巻 72
2. 論文標題 Temperature analysis of solar prominences by multi-wavelength observations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 71
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psaa014	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hashimoto Yuki, Ichimoto Kiyoshi, Huang Yuwei	4. 巻 75
2. 論文標題 Plasma diagnostics and Alfvén wave heating of solar prominences by multiwavelength observations	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 913 ~ 924
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psad049	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamasaki Daiki, Huang Yu Wei, Hashimoto Yuki, Cabezas Denis P, Kawate Tomoko, UeNo Satoru, Ichimoto Kiyoshi	4. 巻 75
2. 論文標題 Magnetic field of solar dark filaments obtained from HeI 10830 A spectropolarimetric observation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 660 ~ 676
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psad027	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計17件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Otsu, T., Asai, A., Ichimoto, K., Ishii, T., T., and Namekata, K.
2. 発表標題 Sun-as-a-star Analysis of H Spectra for Various Active Events on the Sun
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 (JPGU) 2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Otsu, T., Asai, A., Ichimoto, K., Ishii, T., T., and Namekata, K.
2. 発表標題 Sun-as-a-star Analysis of H Spectra for Various Active Events on the Sun
3. 学会等名 COSPAR 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大津天斗, 浅井歩, 一本潔, 石井貴子, 行方宏介
2. 発表標題 京都大学飛騨天文台SMART/SDDIを用いた“星としての太陽活動現象”とH スペクトルの対応に関する研究 III
3. 学会等名 日本天文学会2022年秋季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Denis P. Cabezas, Kiyoshi Ichimoto, Ayumi Asai, Satoru UeNo, Tomoko Kawate, Satoshi Morita, Ken-ichi Otsuji, and Kazunari Shibata
2. 発表標題 A Fast-filament Eruption Observed in the H Line: Imaging Spectroscopy Diagnostic and Modeling
3. 学会等名 日本天文学会2022年秋季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Denis P. Cabezas, Kiyoshi Ichimoto, Petr Heinzel, Julius Koza, Ayumi Asai, Satoru UeNo, and Kazunari Shibata
2. 発表標題 Imaging Spectroscopy Diagnostics of the Cool flare Loops on 2017 September 10
3. 学会等名 日本天文学会2023年春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大津天斗, 浅井歩
2. 発表標題 飛驒天文台SMART/SDDI およびSDO/EVE を用いた2022年10月2日M8.7フレアの多波長分光Sun-as-a-star解析
3. 学会等名 日本天文学会2023年春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Karla F. Lopez, Denis P. Cabezas, Satoru UeNo, Jorge D. Huayna
2. 発表標題 A FILAMENT ERUPTION OBSERVED IN ACTIVE REGION NOAA-11164 ON 2011 MARCH 07 AND ITS ASSOCIATION WITH A CORONAL MASS EJECTION
3. 学会等名 XII Latin American Conference on Space Geophysics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nami Kimura, Ayumi Asai, Kenichi Otsuji, Yosuke A. Yamashiki
2. 発表標題 Characteristics of the filament eruption event on August 9, 2016 with CME using H-alpha Doppler velocity field analysis
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 関大吉、大辻賢一、石井貴子、浅井歩、一本潔
2. 発表標題 Relationship between three-dimensional velocity of filament eruptions and CME association
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Denis P. Cabezas, Kiyoshi Ichimoto, Ayumi Asai, Tomoko Kawate, Satoshi Morita, Satoru UeNo, Kazunari Shibata
2. 発表標題 A Fast-filament Eruption Observed in the H-alpha Line: Imaging Spectroscopy Diagnostic and Modeling
3. 学会等名 日本天文学会2021年秋季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大津天斗、浅井歩、今戸智也、一本潔、行方宏介
2. 発表標題 京都大学飛騨天文台SMART/SDDIを用いた " 星としての太陽活動現象 " とH スpekトルの対応に関する研究
3. 学会等名 日本天文学会2021年秋季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 関大吉, 石井貴子, 浅井歩, 一本潔, 大辻賢一
2. 発表標題 フィラメント噴出の三次元速度とコロナ質量放出との関係について
3. 学会等名 日本天文学会・春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 古谷侑士, 山崎大輝, 石井貴子, 浅井歩, 一本潔, 柴田一成, 大辻賢一
2. 発表標題 SMART/SDDI で観測される小スケールの blue/red shift 現象の詳細解析
3. 学会等名 日本天文学会・春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木村なみ, 大辻賢一, 浅井歩, 山敷庸亮
2. 発表標題 京都大学飛騨天文台SMART/SDDIを用いたフィラメント噴出・消失現象の3次元速度場の導出
3. 学会等名 日本天文学会・秋季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 D.P. Cabezas, K. Ichimoto, A. Asai, S. UeNo, T. Kawate, S. Morita, K. Shibata, K. Otsuji
2. 発表標題 A Fast-filament Eruption Observed in the H α Spectral Line: Imaging Spectroscopy Diagnostic and Numerical Modeling
3. 学会等名 AGU 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 D. Yamasaki, Y. Huang, Y. Hashimoto, D. Cabezas, S. Ueno, T. Kawate, K. Ichimoto
2. 発表標題 Magnetic field of solar dark filaments obtained from He I 1083 nm spectropolarimetric observation
3. 学会等名 Hinode-16/IRIS-13 Symposium (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Hashimoto, K. Ichimoto, Y. Huang, D. Yamasaki, S. UeNo, D. Cabezas, H. Shirato, Y. Matsuda
2. 発表標題 Magnetic field structures of solar prominences obtained from spectropolarimetric observations in He I 10830A
3. 学会等名 Hinode-16/IRIS-13 Symposium (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	一本 潔 (Ichimoto Kiyoshi) (70193456)	京都大学・理学研究科・教授 (14301)	
研究分担者	浅井 歩 (Asai Ayumi) (50390620)	京都大学・理学研究科・准教授 (14301)	
研究分担者	永田 伸一 (Nagata Shinichi) (30362437)	京都大学・理学研究科・助教 (14301)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	カベサス デニス P. (Cabezas Denis P.)	ペルー国立イカ大学、名古屋大学	
研究協力者	イブラヒム アーメッド A. (Ibrahim Ahmed A.)	サウジアラビア、キングサウド大学	
研究協力者	ブレヘ ジョバンニ J. (Buleje Yovanny J.)	ペルー国立イカ大学、ペルー地球物理学研究所	
研究協力者	グティエレス マリア V. (Gutierrez Maria V.)	ペルー国立イカ大学、アルゼンチン天文天体物理学研究所	
研究協力者	ロペス カーラ F. (Lopez Karla F.)	ペルー国立イカ大学、ブラジル・マッケンジー大学	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
サウジアラビア	King Saud University			
ブラジル	Mackenzie Presbyterian University			
アルゼンチン	Inst. for Res. in Astron. and Astrophys.			
ペルー	San Luis Gonzaga National University	Geophysical Institute of Peru	National Central University of Peru	