

令和 6 年 6 月 4 日現在

機関番号：62616

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04019

研究課題名（和文）彩層磁場計測と深層学習を駆使した太陽コロナ加熱研究

研究課題名（英文）Observational study on solar coronal heating using chromospheric magnetic field measurement and deep learning

研究代表者

岡本 丈典（Okamoto, Joten）

国立天文台・SOLAR-Cプロジェクト・助教

研究者番号：70509679

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：太陽観測ロケット実験 CLASP2、CLASP2.1 の実施と得られたデータの解析から、太陽彩層の異なる3つの高度での磁場強度の導出に成功し、太陽彩層磁場の立体構造を世界で初めて観測から明らかにした。また、導出した磁場の時間変化の有用性について慎重な解析と議論を行い、CLASP2光学系では波動などの事象に基づく磁場強度の変化を検出することができないと結論付けた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

太陽大気の中でも彩層は非常に活動的な層であり、その磁氣的振る舞いが太陽大気における様々な現象の源となっている。よって、彩層の磁場構造を明らかにすることは、地球へも少なからず影響を及ぼすフレアの発生や太陽風の性質を理解することにつながる。今回の成果は、太陽表面からコロナへとつながる未知の磁場構造を解き明かした点、また、我々が開発した観測技術が彩層磁場構造の研究に有効であることを実証した点で画期的である。

研究成果の概要（英文）：Through the sounding rocket experiments CLASP2 and CLASP2.1 and the analysis of the obtained data, we succeeded in deriving the magnetic field strength at three different altitudes in the solar chromosphere and clarified the three-dimensional structure of the solar chromospheric magnetic field from observations for the first time in the world. After careful analysis and discussion of the usefulness of the time variation of the derived magnetic field, we concluded that the CLASP2 optical system is incapable of detecting changes in the magnetic field strength based on events such as wave motions.

研究分野：太陽物理学

キーワード：ロケット観測 太陽 彩層 磁場 ゼーマン効果 紫外線 偏光分光

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、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

2020年までの過去数十年、「コロナ加熱問題」は太陽物理学が解き明かさねばならない課題として常に挙げられ続けており、それは現在も変わっていない。どの大・中・小型ミッションの最終目標にも掲げられ、いつまで経っても進歩がないという話を時々耳にするが、その批判は正しくない。観測的理解は近年大きく進展しており、実質的な研究内容は劇的に進化している。大きな分岐点となったのは2006年打ち上げの太陽観測衛星「ひので」であり、プロミネンスやスピキュールなどを構成する微細な彩層プラズマが普遍的な振動を伴っていることを明らかにした (Okamoto et al. 2007, Science, 318, 1577; De Pontieu et al. 2007, Science, 318, 1574)。これらの微細構造は太陽大気コロナにある磁力線がプラズマによって可視化されたものであり、その振動は即ち磁場が揺れていることを意味する。そして、この振動はコロナ中を伝播する波動 (アルヴェン波) によって引き起こされていると解釈されており、それまで軽視されていたコロナ加熱問題における波動の役割が再認識されることとなった。2013年には太陽観測衛星「IRIS」が加わり、コロナ加熱問題における太陽彩層の研究が厚みを増した。これにより、波動観測の研究はさらに進み、波動の散逸に伴う加熱現象として「共鳴吸収」という物理過程が重要であることを観測的に初めて示すに至った (Okamoto et al. 2015, ApJ, 809, 71, Antolin et al. 2015, ApJ, 809, 72)。コロナ加熱は「波動」「ナノフレア」の2つが有力候補であり、その一角を担う波動の性質について引き続き研究を突き進めることが望ましい。

では、コロナ加熱問題を解くにあたり、波動研究において足りないものは何か。それは、散逸過程の解明が進んでいないこと、そして伝播・散逸におけるエネルギー量の見積もりが不十分なことである。散逸過程は「共鳴吸収」による加熱メカニズムが上述の1例報告されただけであり、「位相混合」や「衝撃波加熱」といった他の物理過程を排除するものではない。また、コロナ加熱に必要なエネルギーの見積もりについては「 $\text{erg}/\text{cm}^2/\text{s}$ 」という単位を用いて議論するが、この「 $/\text{cm}^2$ 」と「 $/\text{s}$ 」の取り扱いが観測的にはいつも曖昧である。波がどこにでも常時あれば問題ないが、断続的、局所的であるなら、それぞれ効率は下がり、波動の持つエネルギーがコロナ加熱のための必要量に達していない可能性もある。そして、「 erg 」に関しても、波動が伝播するコロナ中の磁場強度 (あるいは密度) が測定できないために仮定を挟む必要があり、見積もられたエネルギーの不定性は大きくなってしまう。

2. 研究の目的

加熱を担う主力候補である「波動」が太陽コロナ中でどのように伝播・散逸するかを把握せねばならないが、その定量的理解のためにはこれまで難しいとされてきた太陽大気中での磁場計測が必須である。この点を踏まえ、研究代表者を含む国際チームは新たな太陽彩層磁場観測手法の検証を行うロケット実験 CLASP2 を2019年に実施した (その後、2021年に本課題推進中に追加観測である CLASP2.1 実験も実施)。得られた彩層磁場データに、衛星「ひので」「IRIS」がもたらす光球磁場・彩層運動の情報も加味し、波動が持つエネルギーの見積もりを1桁以下の高い精度で行うことで、これまでの波動研究における不定性を払拭することを第一の目的とした。また、「ひので」や「IRIS」が10年に渡って蓄積した大量の撮像データに深層学習を適用し、波動の自動検出を行うことで、太陽面の磁気活動に応じた波動の振る舞いを統計的に調べる。これにより、波動加熱の場所依存性、時間依存性の理解につなげることを第二の目的に掲げ、これらを複合的に扱うことでコロナ加熱研究の進展を図った。これらはいずれも挑戦的課題であり、いずれか一方しか達成できないことも予め想定したものである。

3. 研究の方法

CLASP2 は6分間の観測のうち、2分半を強い磁場を持つプラージュと呼ばれる領域の観測に割り当てた。また、衛星「ひので」や「IRIS」なども同時刻を含む前後数時間に渡り、同領域の観測を行ったため、太陽表面から彩層・コロナに至る高度ごとの情報が得られている。

まず、CLASP2 の最大の利点は、これまで測定例のない彩層上部のベクトル磁場情報を得たことである。較正解析から期待された偏光が十分な精度で捉えられていることを確認し、CLASP2 データを用いて科学研究を進めることの懸念はない。しかし、波動研究を行うには典型的な波動の振動周期 (2~5分) に比べて観測時間が短いため、CLASP2 単独では波動を正確に検出できるかは明確ではない。そこで、より長時間の観測を実施した「IRIS」の彩層観測動画や分光データを用いて、プラージュから放射状に広がる微細構造の振動を検出し、磁力線を伝播する波動を捉えることとした。この際、研究対象は必ずしも CLASP2 観測時間帯だけでなく、その前後の観測で見られた波動でもよい。これは時間的に同じ磁力線構造を扱う限り、磁場強度は短時間で大きくは変化しないと考えられるためである。ここで、捉えた波動に磁場情報を加味すれば、これまでで最も正確な波動の輸送エネルギーを見積もることができる。特に、彩層上部

はコロナとの接続点であり、密度の急激な変化に伴って磁場強度も大きく変化しているはずで、これまで数ガウスなのか 100 ガウスなのか観測から全くわからなかった磁場強度を、1 桁以下の精度で決定できることに大きな意味がある。

4. 研究成果

(1) 太陽彩層磁場の 3 次元構造

まずは CLASP2 データの較正とそれに基づく磁場強度の導出を試みた。CLASP2 との同時観測を実施した衛星 IRIS、SDO、ひのでの観測データを用いて画像間・時系列間の位置合わせを行った上で、時系列データを全積分 (2.5 分間) することで偏光精度を高め、ストークス I と V によるフィッティングから磁場強度を導出した。この際、電離マグネシウム線は波長中心付近とウィングで太陽大気中の形成高度が異なることを踏まえ、中性マンガ線も含めた異なる 3 つの高度での磁場計測に成功した。また、ひのでの光球磁場も加えた 4 高度における磁場の高度分布を世界で初めて示すことができた。その結果を 1 つの模式図にしたものが図 1 で、太陽表面ではキュッとすぼまったチューブ状の「磁束管」が、互いに少しずつ離れて分布していることを示す一方、彩層では (図の青、黒、赤の面) [1] 太陽表面に比べて急激に磁場強度が弱まること、[2] 彩層の中でも上空に行くに従って徐々に磁場が弱くなっていること、[3] 太陽表面で磁場が弱い場所でも彩層では比較的強い磁場が存在すること、などが明らかとなった。これらのことから、磁束管が彩層で急激に膨張し互いにひしめき合うという、これまで太陽研究者が想像するも、その証拠が得られなかった彩層磁場の様子が初めて観測から明らかになった。

この成果は CLASP2 国際チーム統括責任者の 1 人である石川遼子氏を筆頭著者として Science Advances に掲載され、国立天文台よりウェブリリースを行った。

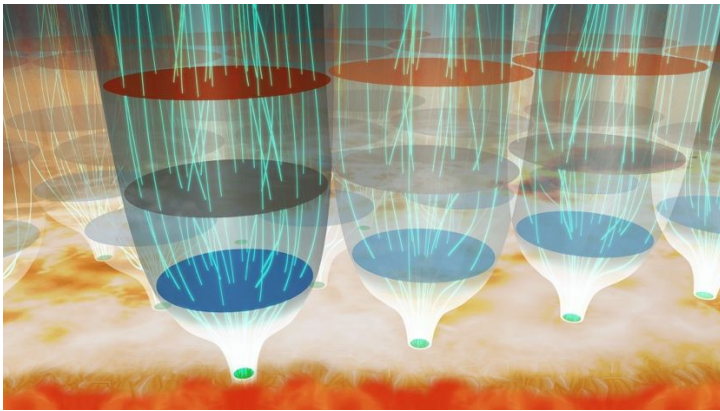


図 1：太陽観測ロケット実験 CLASP2 とひので衛星の共同観測から明らかになった、太陽表面から彩層最上部に至る磁束管の様子。4 つの高さ (太陽表面、彩層底・中・最上部) で磁場を観測し、高度方向に広がる構造を示している。

(2) 彩層磁場強度の時間変化

彩層磁場強度の時間変化を調べるため、(1)の研究では 2.5 分積算していたストークス V プロファイルの時間積分を減らし、どれくらいの積算量なら科学研究を遂行するだけの信頼に足るデータが得られるかを検証した。その結果、15 秒間の積分が磁場強度の導出を行う 1 つの目安 (20-30 ガウス程度の誤差；(1)で導出した活動領域の彩層磁場 200-300 ガウスの 10%) となることを示した。ただし、各場所における磁場強度に応じたフィッティング誤差が生じることがわかり、200 ガウス以下の彩層磁場においては、2.5 分間の時間変化を議論することは難しく、CLASP2 のデータからエネルギー輸送を担うと考えられる波動現象の検出については困難であると一度は結論付けた。しかし、一方でフィッティング誤差は一様ではなく、太陽構造や現象に依存する何らかの傾向がある可能性が想定された。そのため、CLASP2 の観測時間 2.5 分を含む前後 20 分以上の観測を行った IRIS によるマグネシウム線のスペクトルデータから波動などの現象の有無を判別し、CLASP2 のマグネシウム線、マンガ線から導出した磁場強度の時間変化と比較することで、新たな知見の取得を試みた。その結果、IRIS データからは衝撃波伝播の分光パターンが数例見つかри、同じ観測位置での CLASP2 データから、彩層 3 高度における磁場強度変化を精査した。結果として、彩層上部と底部で磁場強度の変動が見られる一方、高度間で位相や周期に相関がなかったこと、その中間地点にあたる彩層中部では磁場強度が時間的に安定していたこと、また変動の大小と信号雑音の大小が相関していることから、波動などの 1 つの物理現象がこれらを包括的に引き起こしているとは考えにくいとの結論に至った (図 2 参照)。

つまり、CLASP2 光学系では波動などの事象に基づく磁場強度の変化を検出することができない。この結果は今後の装置開発への 1 つの指標となる。現在、米国が CLASP2 の観測波長域

を含む望遠鏡を搭載した人工衛星計画を進めているが、CLASP2 と口径に大きな違いはないため、実現可能な科学課題について本成果を踏まえ有益な提言ができるだろう。

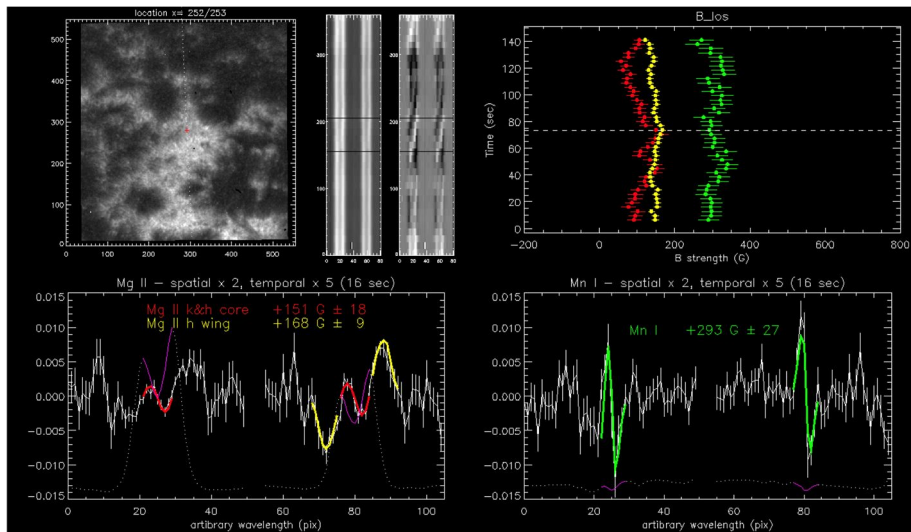


図 2：波動と考えられる現象を捉えたスペクトルと磁場導出結果。上段左は IRIS の撮像画像。点線が CLASP2 スリット位置で、赤十字が参照スペクトルの位置。上段中央の 2 つは IRIS のスペクトルの時間変化（横軸は波長：マグネシウム k 線, h 線を切り出して表示、縦軸は時間）、左が元のデータ、右が時間方向にハイパスフィルタ（時間的に変化するものを強調）をかけたもの。2 本の黒横線で挟まれた部分が CLASP2 の観測時間。上段右は CLASP2 データから導出した磁場強度の時間変化。緑がマンガン線（彩層底部）、黄色がマグネシウム線ウイング（彩層中部）、赤がマグネシウム線コア（彩層上部）。破線は下図で表示したスペクトルの時刻。下図は左がマグネシウム線スペクトルとフィッティング結果。右はマンガン線。色は上段右と同様。

(3) CLASP2.1 実験の実施とデータ較正

CLASP2 実験の成功により、CLASP2 の装置をそのまま使用することで開発費用を抑えつつ、観測方法を CLASP2 のスリット固定観測から、スリットスキャン観測に変更することで広範囲に渡る彩層磁場情報を取得することを目的に、CLASP2.1 実験を計画し、NASA, ISAS/JAXA に提案、いずれも採択された。そして、2021 年 10 月 8 日、米国ホワイトサンズミサイル実験場にて飛翔実験を実施した。大気圏外における 5 分間の飛翔で当初の計画通り、17 回の観測位置移動によるラスタースキャンデータの取得に成功した。この観測では、太陽面上のプラージュと呼ばれる磁気活動の強い領域を主要対象とし、同一対象の共同観測を実施した太陽観測衛星「ひので」や「IRIS」によるデータも得ることができた。研究代表者は主に観測位置情報を得るための較正を担当し、ロケットの指向方向、回転方向、及び観測装置の空間分解能を衛星 SDO の同時観測データと比較することで決定し、研究チームに展開、共有した。この情報は CLASP2.1 較正データとして、そのヘッダ部分に格納され、将来世界の研究者に公開されることになっている。衛星ひのでの太陽表面磁場情報、CLASP2.1 の彩層磁場情報から、3 次元的な太陽磁場の姿を構築しており、表面から上空にかけて弱くなる磁場に加え、表面では弱いが高空では強くなる場所（黒点半暗部付近）なども見られ、研究チームで議論を重ね、2024 年 6 月時点でチームメンバーを筆頭著者として論文投稿間近である。

上記で具体的に示した研究以外にも、CLASP チームから 4 本の出版論文が出された（偏光較正に関する解析結果、直線偏光の太陽面位置依存性に関する研究、磁場導出手法の開発、直線偏光から磁場の向きを導出する研究）。これらには全て共著者として参加し、データ較正や内容の議論で貢献している。

一方、この研究課題の開始とともに世界を襲ったコロナ禍が、CLASP 国際会議の開催延期、CLASP2.1 ロケット打ち上げ実験参加者の制限など、研究活動に与えた影響は少なくない。メールやオンライン会議システムなどを駆使しつつ、海外の研究者との意思疎通は図ってきたが、元来 3 年であった本課題を 1 年延長するなど、成果創出に時間がかかっている。これは本課題のもう一つのテーマである深層学習にも影響し、4 年間で報告に値する成果を出すには至らなかった。しかし、共同研究者との議論や計算機環境構築といった下地は作ったので、課題期間終了後も引き続き継続する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 6件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Donguk Song, Ryohko Ishikawa, Ryouhei Kano, David E. McKenzie, Javier Trujillo Bueno, Frederic Auchere, Laurel A. Rachmeler, Takenori J. Okamoto, Masaki Yoshida, Ken Kobayashi, Christian Bethge, Hirohisa Hara, Kazuya Shinoda, Toshifumi Shimizu, Yoshinori Suematsu, Bart De Pontieu, et al.	4. 巻 297
2. 論文標題 Polarization Accuracy Verification of the Chromospheric LAYer SpectroPolarimeter	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Solar Physics	6. 最初と最後の頁 135 (32pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11207-022-02064-8	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 Ryohko Ishikawa, Javier Trujillo Bueno, Ernest Alsina Ballester, Luca Belluzzi, Tanausu del Pino Aleman, David E. McKenzie, Frederic Auchere, Ken Kobayashi, Takenori J. Okamoto, Laurel A. Rachmeler, Donguk Song	4. 巻 945
2. 論文標題 Evidence for the Operation of the Hanle and Magneto-optical Effects in the Scattering Polarization Signals Observed by CLASP2 across the Mg II h and k Lines	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 125 (24pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/acb64e	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 該当する
1. 著者名 L. A. Rachmeler, J. Trujillo Bueno, D. E. McKenzie, R. Ishikawa, F. Auchere, K. Kobayashi, R. Kano, T. J. Okamoto, C. W. Bethge, D. Song, E. Alsina Ballester, L. Belluzzi, T. del Pino Aleman, A. Asensio Ramos, M. Yoshida, T. Shimizu, A. Winebarger, A. R. Kobelski, G. D. Vigil, B. De Pontieu, N. Narukage, et al.	4. 巻 936
2. 論文標題 Quiet Sun Center to Limb Variation of the Linear Polarization Observed by CLASP2 Across the Mg II h and k Lines	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 67 (9pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac83b8	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 該当する

1. 著者名 Hao Li, Tanusu del Pino Aleman, Javier Trujillo Bueno, Ryohko Ishikawa, Ernest Alsina Ballester, David E. McKenzie, Frederic Auchere, Ken Kobayashi, Takenori J. Okamoto, Laurel A. Rachmeler, Donguk Song	4. 巻 945
2. 論文標題 Tomography of a Solar Plage with the Tenerife Inversion Code	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 144 (10pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/acb76e	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 該当する

1. 著者名 R. Ishikawa, J. Trujillo Bueno, T. del Pino Aleman, T. J. Okamoto, D. E. McKenzie, F. Auchere, R. Kano, D. Song, M. Yoshida, L. A. Rachmeler, K. Kobayashi et al.	4. 巻 7
2. 論文標題 Mapping solar magnetic fields from the photosphere to the base of the corona	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eabe8406 (7pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.abe8406	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 該当する

1. 著者名 T. Tsuzuki, R. Ishikawa, R. Kano, N. Narukage, D. Song, M. Yoshida, F. Uraguchi, T. J. Okamoto, D. McKenzie, K. Kobayashi, L. Rachmeler, F. Auchere, J. Trujillo Bueno	4. 巻 11444
2. 論文標題 Optical design of the Chromospheric LAYER Spectro-Polarimeter (CLASP2)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the SPIE	6. 最初と最後の頁 114446W (12pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2562273	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10件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 J. Okamoto
2. 発表標題 The strongest magnetic fields in sunspots and their statistical properties
3. 学会等名 Solar Polarization Workshop 10 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1 . 発表者名 R. Ishikawa, T. J. Okamoto, R. Kano, T. Tsuzuki, F. Uraguchi, D. Song, D. E. McKenzie, K. Kobayashi, G. Vigil, F. Auchere, J. Trujillo Bueno, L. Rachmeler, C. Bethge, T. Sakao, and CLASP2.1 team
2 . 発表標題 Demonstration of the mapping of chromospheric magnetic fields by CLASP2.1
3 . 学会等名 日本天文学会春季年会
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 D. E. McKenzie, R. Ishikawa, J. Trujillo Bueno, F. Auchere, K. Kobayashi, A. Winebarger, R. Kano, D. Song, T. J. Okamoto, L. Rachmeler, B. De Pontieu, G. Vigil, L. Belluzzi, E. Alsina Ballester, T. del Pino Aleman, C. Bethge, T. Sakao, J. Stepan
2 . 発表標題 Demonstration of Chromospheric Magnetic Mapping with CLASP2.1
3 . 学会等名 Hinode-14 meeting (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Joten Okamoto
2 . 発表標題 Initial results of the CLASP2 rocket experiment to measure magnetic fields in the solar chromosphere
3 . 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Joten Okamoto
2 . 発表標題 UV Spectro-Polarimetry in the Solar Atmosphere -- Results from Two Sounding Rocket Experiments CLASP1 and CLASP2
3 . 学会等名 IAUS 360: Astronomical Polarimetry -- New Era of Multi-Wavelength Polarimetry (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 D. McKenzie, R. Ishikawa, J. Trujillo Bueno, F. Auchere, K. Kobayashi, A. Winebarger, R. Kano, D. Song, T. J. Okamoto, A. Kobelski, L. Rachmeler, B. De Pontieu, G. Vigil, L. Belluzzi, E. Alsina Ballester, T. del Pino Aleman, C. Bethge, T. Sakao, J. Stepan
2 . 発表標題 Demonstration of Chromospheric Magnetic Mapping with CLASP2.1
3 . 学会等名 54th Meeting of the Solar Physics Division (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 Joten Okamoto
2 . 発表標題 Temporal variation of magnetic field strength with CLASP2
3 . 学会等名 CLASP 2.1 Science Meeting (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 Joten Okamoto
2 . 発表標題 Challenges to the Solar Coronal Heating Problem by Satellite Observations and Rocket Experiments
3 . 学会等名 APRIM 2023 (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 R. Ishikawa, D. McKenzie, J. Trujillo Bueno, F. Auchere, D. Song, T. J. Okamoto, R. Kano, K. Kobayashi, A. Kobelski, G. Vigil, A. Winebarger, L. Rachmeler, C. Bethge, E. Alsina Ballester, T. del Pino Aleman, H. Li, B. De Pontieu, L. Belluzzi, T. Sakao, J. Stepan
2 . 発表標題 3D mapping of the magnetic field in the whole atmosphere of an active region plage using spectropolarimetric observations with CLASP2.1 and Hinode
3 . 学会等名 Hinode-16/IRIS-13 science meeting (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1. 発表者名 A. Tei, S. Gunar, J. Okamoto
2. 発表標題 Are There Any Differences in the Chromosphere of Coronal Holes and Quiet-Sun ?
3. 学会等名 Hinode-16/IRIS-13 science meeting (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

太陽表面からコロナ直下に迫る 太陽観測ロケット実験CLASP2が測定した太陽大気の磁場
<https://hinode.nao.ac.jp/news/results/clasp2-publication-202102/>

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

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