

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01253

研究課題名(和文) 日本と中国の太陽電波干渉計による多周波同時撮像観測による太陽フレア研究の進展

研究課題名(英文) solar-flare researches based on the multi-wavelength simultaneous imaging observations of solar radio telescopes in Japan and China

研究代表者

増田 智 (Masuda, Satoshi)

名古屋大学・宇宙地球環境研究所・准教授

研究者番号：10262916

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 9,500,000円

研究成果の概要(和文)：中国の新太陽電波望遠鏡MUSERのグループと太陽フレアの粒子加速現象に関する国際共同研究を推進した。2020年3月で観測を終了した野辺山電波ヘリオグラフ(NoRH)と試験観測中であったMUSERで同時観測されたイベントに関して詳細解析を行った。太陽フレアの磁気リコネクション領域の上側での粒子加速現象をMUSERが捉え、同時に下側での加速に対応する増光をNoRHが捉えたことにより、磁気リコネクション領域の上下で同時に粒子加速が起きていることが確認できた。また、MUSERで観測された微小な電波バーストの周波数ドリフトの特徴の時間変化から、粒子加速領域が高速で上方に移動していることを示す結果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

まず、太陽フレアの標準モデルである磁気リコネクションによるエネルギー解放モデルを想定した場合、そのエネルギー解放領域の上空と下方で同時に粒子加速が起きていることを示す重要な観測結果が得られた。フレア領域が、太陽から惑星間空間につながる磁場を含んでいた場合、高エネルギー粒子が惑星間空間に流出すると考えられ、宇宙天気研究にもつながる。また、本研究では上空の粒子加速領域が高速で上方に移動している可能性を示唆する結果を得た。これは、上空に放出されたプラズモイド周辺での粒子加速だと解釈でき、プラズマ物理学の理論計算や室内実験で説明・実証すべき課題を提起することになる。

研究成果の概要(英文)：We promoted international joint research on particle acceleration phenomena of solar flares with the group of the new solar radio telescope 'MUSER' in China. We performed a detailed analysis of events simultaneously observed with the Nobeyama Radioheliograph (NoRH), which finished its scientific operation in March 2020, and MUSER, which was in the test observation phase. MUSER captured particle acceleration signatures above the magnetic reconnection site of a solar flare, and NoRH simultaneously observed a brightening corresponding to the acceleration below the magnetic reconnection site. These observational facts suggest that particle acceleration simultaneously takes place above and below the reconnection site. In addition, the temporal behavior in the frequency-drift characteristics of a lot of tiny radio bursts observed with MUSER indicates that the particle acceleration region was moving upward at high speed.

研究分野：太陽物理学

キーワード：太陽フレア 粒子加速 電波

1. 研究開始当初の背景

太陽フレアは、太陽コロナ中で発生する太陽系内最大のエネルギー解放現象である。太陽フレアでは、コロナ中の磁場エネルギーが、熱エネルギー(プラズマ加熱)、非熱的粒子エネルギー(粒子加速)、運動エネルギー(惑星間空間へのプラズマ放出)に変換される。この3つのエネルギー変換過程の中で、最も理解が進んでいないのは、粒子加速である。粒子加速は、宇宙プラズマにおいて、超新星残骸から地球磁気圏に至るまで、幅広い領域で見られる非常にありふれた現象であり、研究は活発に行われているが、いまだ解明に至っていない状況であった。

また、開始当時は、中国において、新しい太陽電波干渉計(MUSER)が建設され、定常観測を始めようとしていた時期であった。この装置は、日本の野辺山電波ヘリオグラフ(NoRH)と異なる周波数で太陽を観測しており、この2台の装置のデータを合わせることで、0.4GHz から34GHz まで広い周波数帯に渡って、太陽全面の2次元画像を得ることができる。これは、世界の太陽電波観測史上で初めて実現される全く新しいデータセットである。このデータセットを用いた太陽フレアにおける粒子加速の研究を行うというのが、開始当初のモチベーションであった。

2. 研究の目的

上で述べたような状況において、本研究では、太陽フレアの粒子加速に残された以下の問題点について重点的に取り組む計画を策定した。

A どこで電子は加速されるのか。

磁気リコネクションモデルの枠組みで考えると、加速領域の候補として、リコネクションの現場、リコネクションポイントからリコネクションで作られた閉じたフレアループまでの間(ループトップ上空)、フレアループ内の3つの可能性が残されている。硬X線のtime-of-flight 解析の結果は、ループトップ上空に加速域があることを示唆しているが、直接的な証拠は無い(Aschwanden et al., ApJ, 1996 など)。

B フレア後半でさらに高エネルギーまで加速する2段階加速はあるのか。

フレア後半において、MeV レベルの高エネルギー電子からの放射(ガンマ線やマイクロ波)の継続時間が長いケースが多いが、この要因は、磁気ループ中にトラップされている時間が電子のエネルギーに依存するせいなのか、2段階目の加速が起きているせいなのか、決着がついていない。

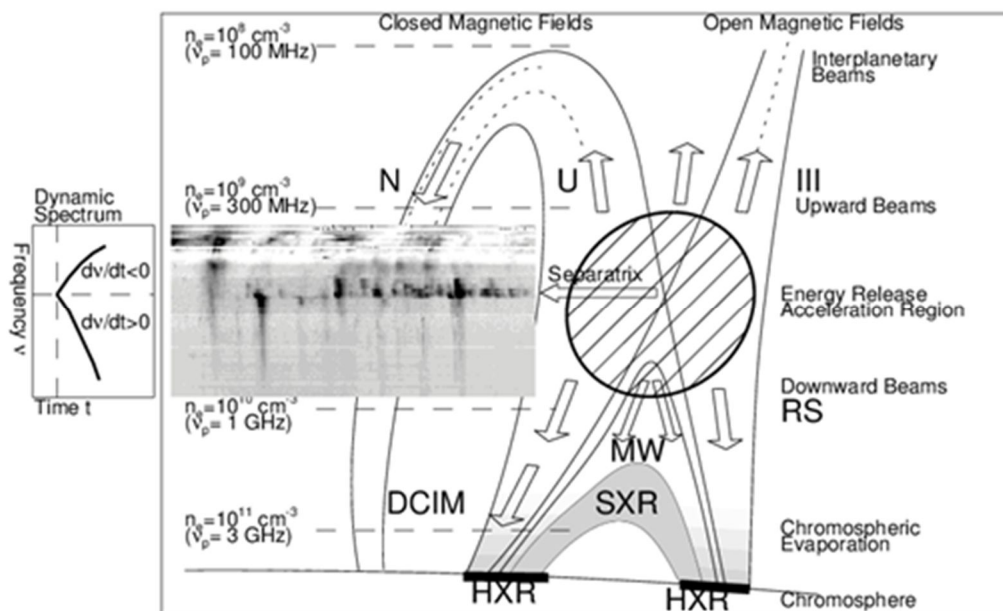


図1 太陽フレアモデルと電磁波放射の模式図 (Aschwanden 2005)

図1は、磁気リコネクションに基づく太陽フレアモデルを示している。加速された電子は、周りのプラズマ中の陽子・イオンと衝突することにより、制動放射として硬X線を放射する。加速電子の平均自由行程がループサイズよりも長いためにコロナ中ではほとんど放射されずに、ループ足元の彩層に降り込んだ際に硬X線は放射される(図1のHXR)。したがって、コロナ中の加速領域を直接観測することは難しい。また、磁力線の周りの旋回運動により、ジャイロシンクロトロン放射としてマイクロ波も放射される(図1のMW)。が、磁場が強い場所で放射が強くなる性質上、フレアループに比べて磁場が弱いと考えられる加速領域を観測することは難しい。今

までの世界最高の組み合わせである硬 X 線(RHESSI 衛星)とマイクロ波(NoRH)の観測では、フレアループ上空の硬 X 線源が加速領域ではないかという観測結果の報告があるが、決定的ではない(Krukcer et al., ApJ, 2010)。加速領域に関しては、硬 X 線の time-of-flight 解析により、加速領域はフレアループの上空であることを推測する研究結果が報告されているが、いろいろな仮定に基づく推測である(Aschwanden et al., ApJ, 1996 など)。

本研究では、磁気リコネクション領域よりも下方だけの情報ではなく、上方への加速情報も得られる中国の新太陽電波望遠鏡 MUSER を用いる点が特徴となっている。高高度コロナの観測に適した低周波帯の望遠鏡はこれまでもヨーロッパなどにはあったが、時差の関係で低高度コロナの撮像観測ができる NoRH との同時観測は不可能であった。低周波帯で世界最高の撮像観測性能を持っている MUSER の完成で、ついに同一経度帯に世界最高の望遠鏡が 2 台揃うことになった(NoRH と MUSER の性能は、表 1 参照)。

このペアを用いて、太陽フレアの粒子加速領域を特定すること、さらには、2 段階目の粒子加速機構が存在しているのかどうかを明らかにすることを本研究の目的とする。

	NoRH	MUSER	
観測周波数	17, 34 GHz	0.4 – 2 GHz	2 – 15 GHz
チャンネル数	2	64	512
視野	太陽全面	太陽全面	太陽全面
空間分解能	15 秒角, 8 秒角	51 秒角 – 10 秒角	10 秒角 – 1.4 秒角
時間分解能	0.1 秒	0.025 秒	0.2 秒
円偏波	R, L (17GHz のみ)	R, L	R, L

表 1: 観測装置の諸元

3. 研究の方法

NoRH と MUSER により同時観測された太陽フレアの解析を行うことが主な研究手法になる。図 1 の一番左側の Dynamic spectrum と書かれたパネルは、電子の運動に伴う電波バーストの周波数ドリフトを説明した図である。MUSER の低周波観測は、リコネクション領域から上向きに加速された電子を、放射周波数が高速に低周波側にドリフトする($d f/dt < 0$)プラズマ放射として捉えることができる。これは type-III バーストと呼ばれる現象であるが、撮像観測の例は僅かであり、それを捉えることだけでも加速域を特定する際に貴重な情報となる。さらに、MUSER 高周波帯及び NoRH の観測で、下向きに加速された電子の様子を捉えることができ、放射の空間構造とタイミングを比較することにより、マイクロ波を放射している MeV レベルの電子が磁気リコネクション領域近辺で加速されたのか、それとももっと下方で加速されたのか、区別することができる。つまり、MUSER で観測される加速電子と NoRH で観測される加速電子が同一起源のものなのか、別の加速領域・機構で加速されたものなのかを明らかにする。

研究計画期間中に新型コロナウイルスのパンデミックが発生した影響で、中国の MUSER の観測がストップしてしまったこと、日本から中国への出張や中国から日本への招へいが困難になったことなどがあり、MUSER を必ずしも使用せずに、当初の科学目的を達成しようという試みも実施した。具体的には、NoRH が観測した太陽フレアに見られる電波源の高速伝播現象の研究と Fermi 衛星の太陽フレア観測データを用いた電子の加速領域に関する研究である。これらの研究成果も関連成果として、次項で報告する。

4. 研究成果

NoRH と MUSER の同時観測に成功した太陽での活動現象は、2014 年から 2015 年ごろの MUSER の試運転時代のイベントも含めて 29 イベントであった。そのうち、本研究課題のテーマに最適なイベントとして、2015 年 11 月 22 日に発生したイベントに関して、詳細解析を行った。このイベントの特徴は、MUSER の 1-2GHz 帯で 10 秒程度の間で微小 type-III バースト群が高周波から低周波に放射周波数帯を変えながらイベントが進行し、NoRH の 17GHz の電波強度最大時刻ごろ、その傾向が逆転し、低周波から高周波に戻る現象が観測された点である。そこで、我々はこの微小 type-III バーストの個々の周波数ドリフトの向きに着目し、解析を進めた。その結果、ダイナミクススペクトル上で、コロナ上部への加速電子の運動に対応すると考えられる負の周波数ドリフトを持つバーストと、逆向きの運動に対応する正のドリフトを持つバーストの間に境界(周波数ギャップ)が存在し、その境界が時間的に低周波から高周波に移動していることが分かった。この境界が、コロナの上方と下方に運動する高エネルギー電子の共通の出発点になっており、そこが加速領域であると考えるのが自然である。そして、本研究課題の目的の一つである加

速領域の候補としては、磁気リコネクション領域、もしくは、フレアループ上空の衝撃波領域など検討した。が、加速領域自体が高速に高高度への移動しているように観測されていることから、それらの領域では説明が困難であり、磁気リコネクション領域から上空に噴出されたプラズモイドに関連した加速領域ではないかと推察される。NoRH は磁気リコネクション領域から下向きに加速された電子からの放射を検出しており、MUSER の観測と合わせると、フレアのエネルギー解放領域(磁気リコネクション領域)の上下で粒子加速がほぼ同時に起きていることを示した観測結果になっている。この結果は、日本天文学会や国際会議「Plasma Explosions in the Universe」などで発表を行った。

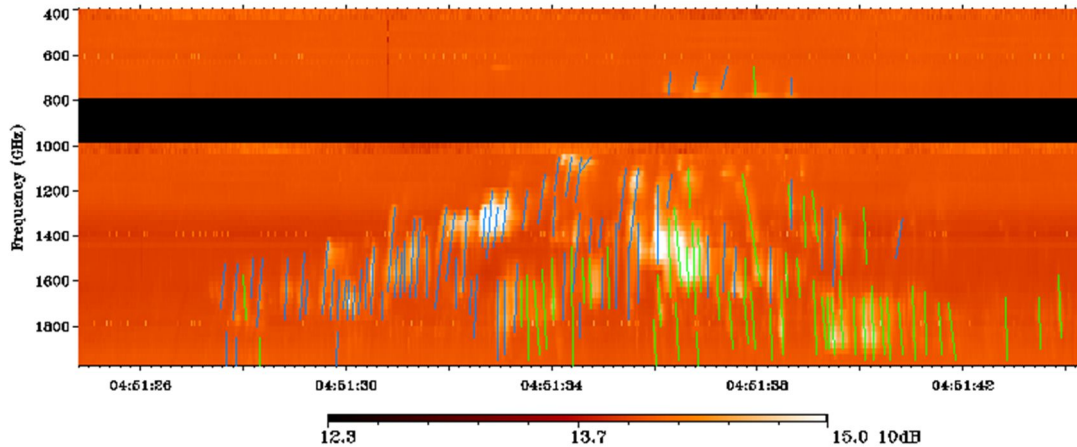


図2 MUSER で2015年11月22日に観測された微小 type-III パースト群(カラー)。横軸は時間(約20秒間)で縦軸は周波数(0.4-2 GHz)。周波数ドリフトの正(黄)と負(青)により、特定されたそれぞれの微小パーストを示している。

また、本研究計画期間中に、この研究以外にも中国の MUSER グループと複数の共同研究を実施し、その成果は、X. Chen 博士、J. Huang 博士、B. Tan 博士、C. Tan 博士をそれぞれ筆頭著者とする計4篇の学術論文として出版されている。

さらに、本研究課題に関連して、大学院生と共同でいくつかの研究を行った。一つは、NoRH で観測された電波源の高速(約10万 km/s)伝播現象の詳細解析から、加速された電子のピッチ角(磁場と電子の運動方向のなす角)分布に制限を与える研究である。過去に一例だけ報告例があるが、その研究に対して、この研究では高エネルギー電子が運動する磁気ループの形状や磁場強度をSDO衛星の磁場観測データを元に計算し、モデル磁場ではなく、より現実に近いコロナ磁場構造の中を運動する高エネルギー電子の様子を探ることができた。この結果は、学術雑誌にすでに投稿し、査読中である。それとは、全く別の方向性を持った研究として、Fermi衛星の高時間分解能の硬X線データを用いたTime-of-Flight解析により、電子加速領域の太陽コロナ中での高度を求める研究も行った。これまでの同手法の研究を発展させ、一つのフレア期間中での加速領域の高度の時間変化を調べることを実現し、実際、ある太陽フレアでは、フレア期間の後半の時間帯で加速領域の高度が前半より有意に高くなっていることを示す結果が得られた。これは、太陽フレアの粒子加速領域を特定し、粒子加速モデルに制限を与える重要な成果であると考えている。この結果については、論文化を進めている段階である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 10件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Huang Jing, Tan Baolin, Masuda Satoshi, Cheng Xin, Kumar Bisoi Susanta, Melnikov Victor	4. 巻 874
2. 論文標題 Localized Microwave and EUV Bright Structures in an Eruptive Prominence	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 176 ~ 176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab0e80	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 Chen Xingyao, Yan Yihua, Tan Baolin, Huang Jing, Wang Wei, Chen Linjie, Zhang Yin, Tan Chengming, Liu Donghao, Masuda Satoshi	4. 巻 878
2. 論文標題 Quasi-periodic Pulsations before and during a Solar Flare in AR 12242	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 78 ~ 78
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab1d64	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 Tan Baolin, Chen Naihua, Yang Ya-Hui, Tan Chengming, Masuda Satoshi, Chen Xingyao, Misawa H.	4. 巻 885
2. 論文標題 Solar Fast-drifting Radio Bursts in an X1.3 Flare on 2014 April 25	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 90 ~ 90
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab4718	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 Lastufka Erica, Krucker Sam, Zimovets Ivan, Nizamov Bulat, White Stephen, Masuda Satoshi, Golovin Dmitriy, Litvak Maxim, Mitrofanov Igor, Sanin Anton	4. 巻 886
2. 論文標題 Multiwavelength Stereoscopic Observation of the 2013 May 1 Solar Flare and CME	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 9 ~ 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab4a0a	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 Muraki Yasushi, Vald'es-Galicia Jose F, Gonz'alez Luis Xavier, Kamiya Kohki, Katayose Yusaku, Koga Kiyokazu, Matsumoto Haruhisa, Masuda Satoshi, Matsubara Yutaka, Nagai Yuya, Ohnishi Munehiro, Ozawa Syunsuke, Sako Takashi, Shibata Shoichi, Takita Masato, Tanaka Yasuyuki, Tsuchiya Harufumi, Watanabe Kyoko, Zhang Ji Long	4. 巻 72
2. 論文標題 Possible detection of solar gamma-rays by ground-level detectors in solar flares on 2011 March 7	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 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psz141	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 Shimojo Masumi, Kawate Tomoko, Okamoto Takenori J., Yokoyama Takaaki, Narukage Noriyuki, Sakao Taro, Iwai Kazumasa, Fleishman Gregory D., Shibata Kazunari	4. 巻 888
2. 論文標題 Estimating the Temperature and Density of a Spicule from 100 GHz Data Obtained with ALMA	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L28 ~ L28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ab62a5	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 鶴田康介	4. 巻 -
2. 論文標題 白色光フレア発生に関わる多波長観測データの統計解析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 防衛大学校 理工学研究科 修士論文	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Fujiki Ken'ichi, Shibasaki Kiyoto, Yashiro Seiji, Tokumaru Munetoshi, Iwai Kazumasa, Masuda Satoshi	4. 巻 294
2. 論文標題 Comparative Study of Microwave Polar Brightening, Coronal Holes, and Solar Wind over the Solar Poles	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Solar Physics	6. 最初と最後の頁 176 (9pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11207-019-1418-6	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 Kamiya Kohki, Koga Kiyokazu, Masuda Satoshi, Matsumoto Haruhisa, Muraki Yasushi, Okudaira Osamu, Shibata Shoichi, Tajima Hiroyasu, Tanaka Yasuyuki, Yamamoto Tokonatu, Watanabe Kyoko	4. 巻 73
2. 論文標題 High-energy gamma-rays and neutrons observed in very impulsive solar flare on 2012 June 3	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 1443 ~ 1469
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psab089	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 Tan Cheng-Ming, Klein Karl Ludwig, Yan Yi-Hua, Masuda Satoshi, Tan Bao-Lin, Huang Jing, Yuan Guo-Wu	4. 巻 21
2. 論文標題 Energy and spectral analysis of confined solar flares from radio and X-ray observations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Research in Astronomy and Astrophysics	6. 最初と最後の頁 274 ~ 274
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1674-4527/21/11/274	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 Kliem Bernhard, Lee Jeongwoo, Liu Rui, White Stephen M., Liu Chang, Masuda Satoshi	4. 巻 909
2. 論文標題 Nonequilibrium Flux Rope Formation by Confined Flares Preceding a Solar Coronal Mass Ejection	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 91 ~ 91
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abda37	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 Lee Jeongwoo, White Stephen M., Chen Xingyao, Chen Yao, Ning Hao, Li Bo, Masuda Satoshi	4. 巻 901
2. 論文標題 Microwave Study of a Solar Circular Ribbon Flare	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L10 ~ L10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/abb4dd	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 Okamoto K., Nakano Y., Masuda S., Itow Y., Miyake M., Terasawa T., Ito S., Nakahata M.	4. 巻 295
2. 論文標題 Development of a Method for Determining the Search Window for Solar Flare Neutrinos	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Solar Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11207-020-01706-z	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 矢倉昌也	4. 巻 -
2. 論文標題 ガンマ線天文衛星Fermi の観測に基づく太陽フレア中の粒子加速領域の時間変化の研究	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 名古屋大学大学院理学研究科 修士論文	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 松本圭太郎	4. 巻 -
2. 論文標題 電波撮像観測に基づく太陽フレアにおける高エネルギー電子の加速・伝播過程に関する研究	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 名古屋大学大学院理学研究科 修士論文	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Krucker Sam, Masuda Satoshi, White Stephen M.	4. 巻 894
2. 論文標題 Microwave and Hard X-Ray Flare Observations by NoRH/NoRP and RHESSI: Peak-flux Correlations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 158 ~ 158
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab8644	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

〔学会発表〕 計51件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 25件）

1. 発表者名 Satoshi Masuda, Sam Krucker, Stephen White
2. 発表標題 Statistical study of solar flares simultaneously observed with RHESSI and Nobeyama Radioheliograph
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi Masuda
2. 発表標題 International Collaboration with/after Nobeyama Radioheliograph
3. 学会等名 Workshop of Solar Radio Astronomy（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Masuda, S. Krucker, and S. White
2. 発表標題 Characteristics of big solar flares observed with RHESSI and Nobeyama Radioheliograph
3. 学会等名 Hinode-13/IPELS 2019（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 増田 智、Sam Krucker、Stephen White
2. 発表標題 RHESSI 衛星と野辺山電波ヘリオグラフ で観測された太陽フレアの特徴
3. 学会等名 日本天文学会2019年秋季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi Masuda
2. 発表標題 International collaboration on solar radio physics in the east Asia after Nobeyama Radioheliograph
3. 学会等名 Korea-Japan Space Weather Workshop 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi Masuda
2. 発表標題 Twenty-seven years of Nobeyama Radioheliograph: Its contribution to understanding of particle acceleration in solar flares
3. 学会等名 AGU fall meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi Masuda
2. 発表標題 Tiny Energy-Release Phenomena on the Sun Detected by Nobeyama Radioheliograph
3. 学会等名 The 4th PSTEP International Symposium (PSTEP-4) and the 2nd ISEE Symposium "Toward the Solar-Terrestrial Environmental Prediction as Science and Social Infrastructure" (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 増田智、ICCON
2. 発表標題 国際コンソーシアムによる野辺山電波ヘリオグラフの運用
3. 学会等名 太陽研連シンポジウム「太陽研究の現状と将来展望」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 増田智、ICCON
2. 発表標題 国際コンソーシアムによる野辺山電波ヘリオグラフの運用(2015年4月-2020年3月)
3. 学会等名 日本天文学会2020年春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川手朋子、岡本文典、岩井一正、増田智、下条圭美
2. 発表標題 ALMA観測による太陽大気構造の理解
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鶴田康介、渡邊恭子、増田智、Sam Krucker
2. 発表標題 マイクロ波スペクトルの折れ曲がり周波数と白色光放射温度の統計解析による白色光フレア発生条件の探索
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kyoko Watanabe, Kosuke Tsuruda, Satoshi Masuda, Sam Krucker
2. 発表標題 Microwave Turn-over Frequencies, Emission Temperatures, and Impulsivity for White-light Solar Flares
3. 学会等名 AOGS 16th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡邊恭子, 岩田陽介, 佐々木力椰, 北田昌也, 増田智
2. 発表標題 太陽フレアにおける非熱的電子のスペクトルと磁場構造の関係
3. 学会等名 日本天文学会2019年秋季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鶴田康介, 渡邊恭子, 増田智, Sam Krucker
2. 発表標題 白色光放射温度・磁場領域の統計解析による白色光フレア発生条件の探索
3. 学会等名 日本天文学会2019年秋季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kyoko Watanabe, Kosuke Tsuruda, Satoshi Masuda, Sam Krucker
2. 発表標題 A Statistical Study of Magnetic Features of White-light Flares
3. 学会等名 AGU fall meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kosuke Tsuruda, Kyoko Watanabe, Satoshi Masuda, Sam Krucker
2. 発表標題 Statistical Analysis of Magnetic Features of White-light Flares
3. 学会等名 The 4th PSTEP International Symposium (PSTEP-4) and the 2nd ISEE Symposium "Toward the Solar-Terrestrial Environmental Prediction as Science and Social Infrastructure" (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鶴田康介, 渡邊恭子, 増田智, Sam Krucker
2. 発表標題 白色光フレア発生に関わる多波長観測データの統計解析
3. 学会等名 太陽研連シンポジウム「太陽研究の現状と将来展望」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡邊恭子, 鶴田康介, 増田智, Sam Krucker
2. 発表標題 白色光フレアと磁場の関係についての統計的研究
3. 学会等名 日本天文学会2020年春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Masuda
2. 発表標題 Quarter Century of Nobeyama Radioheliograph and Its Contribution to Space Weather Research
3. 学会等名 2019 URSI Asia-Pacific Radio Science Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S.Masuda, S. Krucker, and S. White
2. 発表標題 The NoRH/RHESSI Big Flare Catalogue
3. 学会等名 日本天文学会2018年秋季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 増田 智
2. 発表標題 粒子加速 現状の理解: 太陽フレア
3. 学会等名 研究会「宇宙プラズマにおける粒子加速」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 増田 智、International Consortium for the Continued Operation of Nobeyama Radioheliograph (ICCON)
2. 発表標題 2018年度野辺山電波ヘリオグラフ運用報告
3. 学会等名 太陽研連シンポジウム「太陽研究の現状と将来展望」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Kawate, S. Imada, S. Masuda, S. Ishikawa
2. 発表標題 Plasma Diagnostics around a coronal HXR source
3. 学会等名 RHESSI-17 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Kawate, S. Krucker, S. Masuda, S. Imada, S. Ishikawa
2. 発表標題 Dynamics of high-energy electrons near the reconnection region in a solar flare
3. 学会等名 Magnetic reconnection 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川手朋子, S.Krucker, 増田智, 今田晋亮, 石川真之介
2. 発表標題 コロナ硬X線源周辺領域における極端紫外線を用いたプラズマ診断
3. 学会等名 日本天文学会2018年秋季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Watanabe, K. Tsuruda, S. Masuda, S. Krucker
2. 発表標題 A systematic study of microwave and hard X-ray observations to search for characteristics of white-light flares
3. 学会等名 Hinode-12 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鶴田康介, 渡邊恭子, 増田智, Sam Krucker
2. 発表標題 マイクロ波及び硬X線放射の統計的研究による白色光フレア発生条件の特定
3. 学会等名 日本天文学会2018年秋季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鶴田康介, 渡邊恭子, 増田智, Sam Krucker
2. 発表標題 白色光フレア発生に関するマイクロ波スペクトルの折れ曲り周波数の統計的研究
3. 学会等名 太陽研連シンポジウム「太陽研究の現状と将来展望」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鶴田康介, 渡邊恭子, 増田智, Sam Krucker
2. 発表標題 白色光フレア発生に関するマイクロ波スペクトルの折れ曲り周波数の統計的研究
3. 学会等名 日本天文学会2019年春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Masuda and K. Matsumoto
2. 発表標題 Database of solar flare images observed with Nobeyama
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Matsumoto and S. Masuda
2. 発表標題 Study of electron acceleration/propagation processes in a solar flare using Nobeyama Radioheliograph
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 M. Yakura and S. Masuda
2. 発表標題 Time of Flight analysis of accelerated electrons in solar flares by using Fermi Gamma-ray Space Telescope
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1 . 発表者名 K. Matsumoto, S. Masuda, K. Iwai, T. Kaneko, and T. Minoshima
2 . 発表標題 Investigation of the Pitch Angle Distribution of the Accelerated Electrons Generating a Fast Propagation of a Microwave Source During a Solar Flare Observed with Nobeyama Radioheliograph
3 . 学会等名 AOGS 2022 (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 M. Yakura and S. Masuda
2 . 発表標題 Evolution of the Electron Acceleration Site in Solar Flares by Using Time-of-flight Analysis with Multiple Time-windows
3 . 学会等名 AOGS 2022 (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 S. Masuda, C. Tan, B. Tan, Y. Yan, and H. Misawa
2 . 発表標題 Upward motion of electron acceleration region in a small solar flare
3 . 学会等名 Plasma Explosions in the Universe 2022 (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 K. Matsumoto, S. Masuda, and T. Kaneko
2 . 発表標題 Bouncing Motion of Accelerated Electrons in a Flare Loop Observed with Nobeyama Radioheliograph
3 . 学会等名 Plasma Explosions in the Universe 2022 (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 M. Yakura and S. Masuda
2. 発表標題 Evolution of the electron acceleration site in a solar flare using Time-of-Flight analysis with multiple Time-Windows
3. 学会等名 Plasma Explosions in the Universe 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Masuda, K. Matsumoto, H. Hayakawa, and M. Shimojo
2. 発表標題 Digitization of Toyokawa radio polarimeter plot data (1958-1978) and size estimation of past large solar flare
3. 学会等名 The 5th ISEE Symposium: Toward the Future of Space-Earth Environmental Research (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 M. Yakura and S. Masuda
2. 発表標題 Time of Flight analysis of accelerated electrons in solar flares by using Fermi Gamma-ray Space Telescope
3. 学会等名 The 5th ISEE Symposium: Toward the Future of Space-Earth Environmental Research (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 増田智、松本圭太郎、下条圭美、早川尚志
2. 発表標題 豊川強度偏波計プロットデータ(1958年-1978年)のデジタル化と過去の大フレアの規模推定
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 松本圭太郎、増田智、金子岳文
2. 発表標題 野辺山電波ヘリオグラフを用いたフレアに伴う電子の加速・伝搬過程
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 矢倉昌也、増田智
2. 発表標題 線天文衛星Fermiを用いた太陽フレアのTime-of-Flight解析
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 増田 智
2. 発表標題 太陽フレアフープ上空における高エネルギー電子の観測
3. 学会等名 第17回ERGサイエンス会議（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 増田智、松本圭太郎、下条圭美、早川尚志
2. 発表標題 太陽電波バーストのピークフラックスと太陽フレアクラスの関係：1950年代の巨大太陽フレアへの応用
3. 学会等名 太陽研連シンポジウム2022
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松本圭太郎、増田智、岩井一正、金子岳史、簗島敬
2. 発表標題 野辺山電波ヘリオグラフを用いたフレアに伴う電子の加速・伝搬過程 II
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 矢倉昌也、増田智
2. 発表標題 “Time-of-Flight” 解析による太陽フレア粒子加速領域の時間変化の推定
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 Satoshi Masuda, Chengming Tan, Yihua Yan, Baolin Tan, and Hiroaki Misawa
2. 発表標題 Electron acceleration region in a small solar flare observed with Nobeyama Radioheliograph and MUSER
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Satoshi Masuda, Chengming Tan, Baolin Tan, Yihua Yan
2. 発表標題 NoRH とMUSER で同時観測された2015年11月22日の微小フレア 2
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 S.-J. Kim, S. Masuda, and J.-W. Lee
2. 発表標題 Two Distinct Brightness Distributions of Microwave Loop during M-class Flare
3. 学会等名 AOGS 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 増田 智、Chengming Tan
2. 発表標題 NoRH とMUSERで同時観測された2015年11月22日の微小フレア
3. 学会等名 日本天文学会2020年秋季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 増田 智、International Consortium for the Continued Operation of Nobeyama Radioheliograph (ICCON)
2. 発表標題 国際コンソーシアムによる野辺山電波ヘリオグラフの運用 (2015年4月-2020年3月)
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2020年大会
4. 発表年 2020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
連携研究者	渡邊 恭子 (Watanabe Kyoko) (10509813)	防衛大学校・応用科学群・准教授 (82723)	

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
連携研究者	浅井 歩 (Asai Ayumi) (50390620)	京都大学・理学研究科・准教授 (14301)	
連携研究者	川手 朋子 (Kawate Tomoko) (10647100)	核融合研究所・研究部・助教 (63902)	

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			
中国	中国国家天文台			
スイス	北西スイス応用科学大学			