

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H01246

研究課題名(和文)中性子星種族の多様性とそれを作り出す中性子星磁気圏の多様性・変動性の起源の解明

研究課題名(英文)A study on neutron star populations and their variety and their origin

研究代表者

柴田 晋平 (Shibata, Shinpei)

山形大学・理学部・客員教授

研究者番号：90187401

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、中性子星にどのような多重極磁場・トロイダル磁場が発生し進化していくかという種族の多様性の仕組みを解明することを目指した。研究成果として、観測的には、電波とX線によりカニパルサーの同時観測を実施して、巨大電波パルスに付随してX線パルスの増光があることを発見した。これによりパルサーからの放射機構解明に大きく貢献した。理論的には、磁極付近の電磁カスケードを解き、放射がどのようなスペクトルになるかを計算するプログラムを開発した。ガンマ線から赤外線までをカバーし、星表面の熱放射線と総合した計算は他に類を見ない。これは、いろいろな種族の中性子星の診断に今後貢献する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

宇宙全体の構造と進化を考える際に、さまざまな様相を示す中性子星の種族と数を把握することは非常に大きな課題である。しかし、中性子星の多彩な見え方を完全に把握できていないためにこの問題は解決できていない。本研究では電波とX線の同時観測という方法で巨大電波パルスという現象の理解に貢献した。また、X線の放射機構と中性子星の磁場強度を診断するためのコンピュータコードを開発することができた。今後、中性子星の種族の理解に大きく貢献すると考えられる。

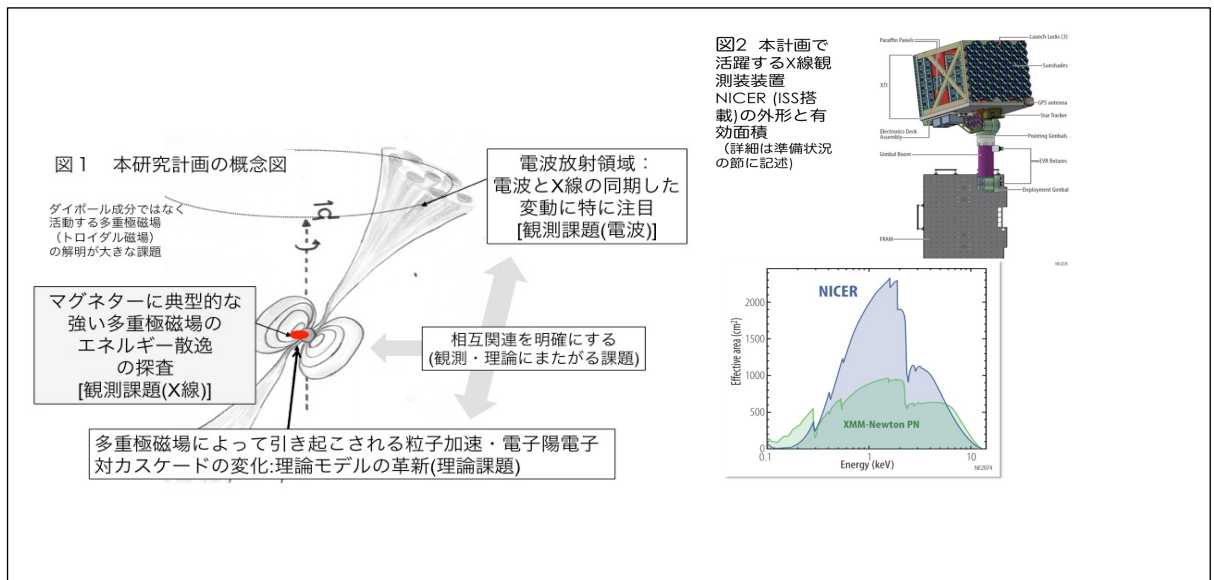
研究成果の概要(英文)：This project aims to clarify the mechanism that produces variety seen in the neutron star population. During the term, (1) we discover the X-ray emission associated with the giant radio pulses from the Crab pulsar by simultaneous X-ray-radio observations, (2) we develop a new code to calculate the radiation spectrum from neutron star polar cap from gamma-ray to IR. The former provide a strong constraint for the emission mechanism of the giant radio pulses. For the latter development, the large coverage of spectrum is unique and never been done before. In the future, this code is used to diagnose the variety of the neutron star population, particularly to infer the surface magnetic field strength.

研究分野：天文学

キーワード：中性子星 パルサー X線天文学 電波天文学 磁気圏

1. 研究開始当初の背景

中性子星は、強磁場コンパクト天体として、超新星爆発機構の理解の上で重要な天体であるだけでなく高密度な内部の状態方程式の解明や電波パルサーを用いた低周波重力波の検出手段、中性子星連星合体の物理など、宇宙物理の広範な分野において重要な位置を占める。しかし、最近、中性子星にたくさんの種類が見つかり、放射の急激な時間変動にも様々なタイプがあることが分かり、これらの多様性の起源の解明が大きな課題になっている。これは隣接分野すべてに関わる避けて通れない問題である。ブレークスルーは、従来のダイポール磁場を元にした議論を超えて、多重極磁場(特に非常に強いトロイダル磁場)の振る舞いを理解することであると考えられるようになった。本研究では:(1)2017年より稼働を始めたX線望遠鏡 NICER によって精密X線分光を多数の孤立中性子星に対して行い、代表的な電波パルサーについてはX線と電波の同時観測をおこなうことで、多重極磁場(特に非常に強いトロイダル磁場 $\sim 10^{15}\text{G}$)に起因する現象を従来にない精度で捉える、(2)強い多重極磁場をもった磁気圏を理解するために必要な新しい理論モデルを構築する。さらに、(3)統計モデルを介することで、中性子星の多重極磁場の発生と進化の実態を解明する。



2. 研究の目的

[根幹をなす問い] ダイポール磁場の小さいマグネターの発見により、ダイポール磁場以外の強い(10^{15}G 以上)多重極磁場(特に、トロイダル成分)が作られ変動していることが多様性を生んでいると示唆された。中性子星の強い多重極磁場・トロイダル磁場に関する理解が大きな課題になった。

[目的とゴール] 本研究では、どのようなパラメータの中性子星にどのような多重極磁場・トロイダル磁場が発生し進化していくかという種族の多様性の仕組みを解明する。同時に、多重極磁場・トロイダル磁場がどのような仕組みで変動の多様性を作るかを明らかにする。

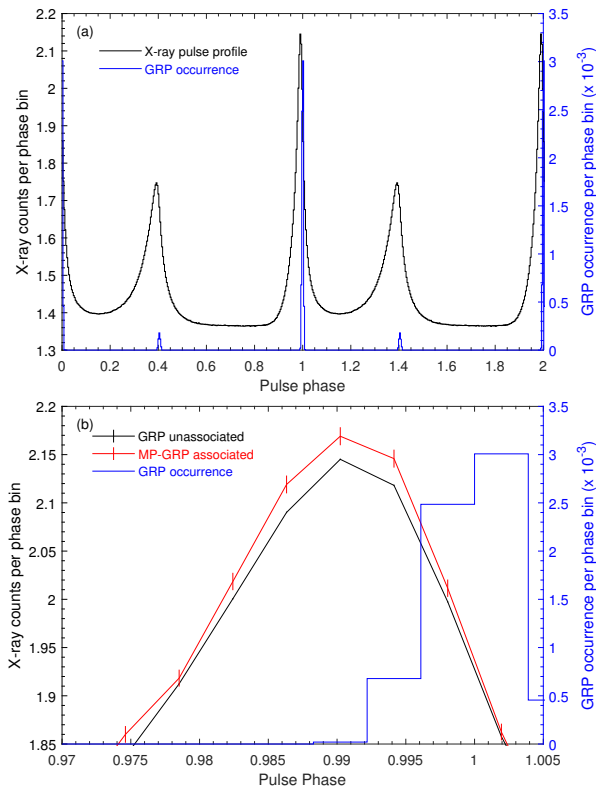
3. 研究の方法

[1] X線・電波観測の蓄積、精緻化：中性子星に特化したX線観測装置NICERによって多様性の研究に適したおよそ30の天体について熱的放射と非熱的放射、線スペクトルを分離して抽出し、パルス位相での変動および長期変動の巨大データを集積する。(性能/実現性の検証は次節) これによって、中性子星の多重極磁場の分布の解明し、また、複数の加熱・加速機構をそれぞれに分けて分析することが初め可能になる。

X線観測では電波・γ線との位相比較を行うだけでなく、観測条件が整っている幾つかのパルサーについては電波との同時観測を実施する。

[2]. 理論モデルの革新と適用：現状では観測が豊富に得られても多重極磁場の効果に対して十分に制限を課すことができず、理論の革新が必要である。本計画では、すでに完成している粒子加速の粒子コードにペア生成の効果を含めるためにモンテカルロコードを組み合わせた新しいコードを作成する(これまでの実績と準備は次節に示した)。その中に多重極磁場の効果が含まれる(加速電場と電場スクリーニングへの影響、表面からの光子との衝突角度、生成した粒子のピッチ角など)。上記のシミュレーションによって、スピンドアウン

光度と年齢、ダイポール磁場、多重極磁場の関数として粒子の加速電圧や空間分布とエネルギー分布、加熱量を得る。このようにして、観測量であるパルス波形、成分が分離されたX線スペクトル、(将来的には偏光)の解釈が可能になる。



4. 研究成果

[1](X線・電波同時観測による磁気圏構造の解明)

特に著しい成果はISS搭載のX線望遠鏡NICERと国内の電波望遠鏡を用いたカニパルサーからのパルスの同時観測であろう。図は黒線は0.3-10keVのX線パルスを2周期分示している。青線は白田と鹿島で観測された巨大電波パルス(GRP)の波形を示している。X線と電波のパルスは同期していることがわかる。しかし、電波パルスがわずかに先行する。GRPが見られた周期と見られなかった周期を分けてX線強度を比較すると下の図のようにGRPに同期してX線の増光があることがわかった。増光量は3.8 ± 0.7%であった。

図 カニパルサーからのX線および電波の同時観測によるパルス波形(上)、及び、GRPと通常の電波パルスを分けた時のX線

パルサーがパルスとして放射するエネルギーのだいぶぶんはX線からガンマ線領域でありパルサー磁気圏で高エネルギー粒子加速が起こっている証拠である。一方、電波放射はその数十万分の1のエネルギーの現象であり、その放射機構が粒子加速と同関係しているか

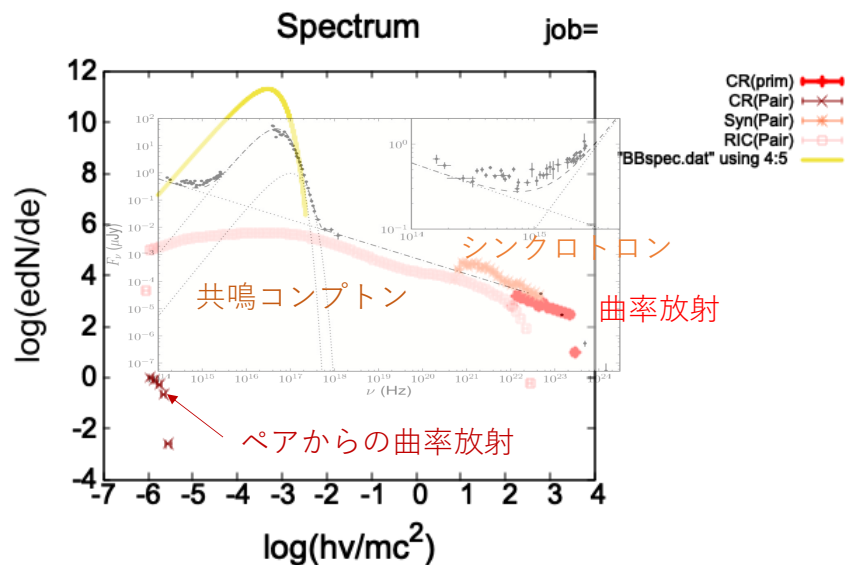
はわかっていない。しかし、今回の観測で電波の数万倍に上る増光(GRP)が粒子加速の主要部分である X 線の増光と同時に起こっていることがわかった。これによってバースト的な加速の増加がありそれに付随して GRB が生じることがわかった。磁気圏粒子加速についての大きな知見となった。

[2](中性子星からの X 線放射機構の理論的研究)

中性子星からの X 線放射は、すべての電磁波の放射の中で、最も情報量が多い。しかし、中性子星(特に、回転駆動型パルサーおよびマグネター)からの X 線の起源はよくわかっていない。最も有力な候補は共鳴コンプトン散乱である。我々は共鳴コンプトン散乱を含めた Polar Cap での電磁カスケードを計算するコードをこのプロジェクトで開発した。

X 線を放射する粒子はカスケードの下流側であるややエネルギーのちいさな粒子であるため多くの計算量を必要とし、これまでに得られていなかったが今回開発したコードで X 線、可視光までの

スペクトルと計算することができた。結果として、中性子星からの熱放射線と共鳴散乱する電磁雪崩下流の電子・陽電子からの逆コンプトン放射で観測される程度の X 線が放射されることがわかった。



解いた過程は、一次加速粒子を種として、曲率放射、シンクロトロン放射、共鳴逆コンプトン放射およびこれらの放射による磁気的な電子陽電子対生成というプロセスが複合して起こる電磁カスケードである。将来、磁気圏の粒子シミュレーションに組み込む可能性を考えて光子も電子・陽電子とともに粒子として運動するとして計算した。結果、計算量が非常に大きくなってしまった。今後、高速化の工夫が必要である。

図 新しく開発した Polar Cap における電磁カスケードコードによって得られたスペクトル(カラー)と観測されたパルサー PSR B0656+14 のスペクトルの比較。

観測との比較については、磁場強度だけでなく中性子星表面からの熱放射などに中性子星ごとの個性が現れるので、今後、詳細な観測と合わせた比較が必要である。これは本研究課題の期間内に終えることができなかった。ここで行われる観測の診断により磁場強度(多重極磁場)の個性がわかるので、中性子星種族の理解が格段に進むとおもわれる。今後この方針を進めていきたい。

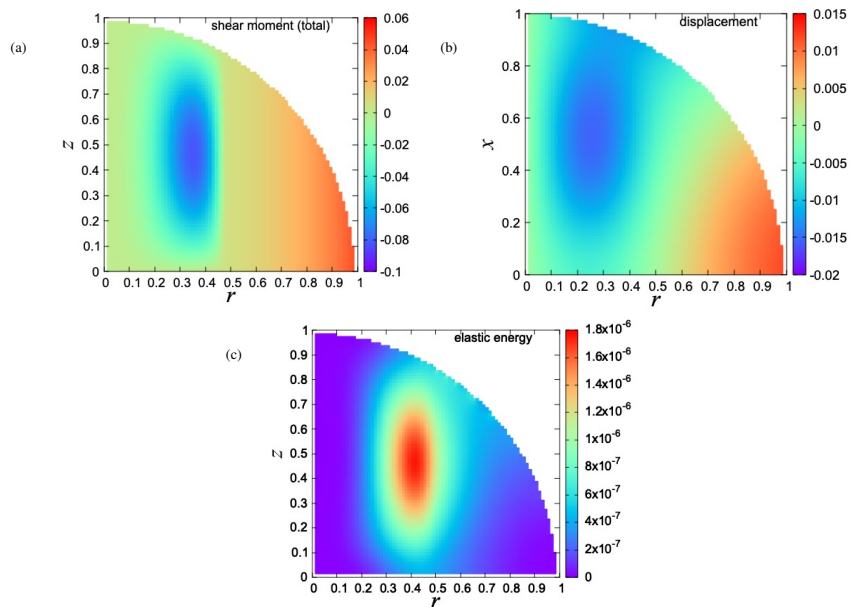
[3](中性子内部に働く磁気圏からの力、トルク分布に関する研究)

本研究は、研究期間の途中で新たに発生した課題の解決に関するものである。磁気圏からのエネルギー放射にともない反作用として中性子星には回転を減速させるトルクがはたらく。いわゆる、スピンドラウトルクである。中性子星内部においてこの力がどのように分布するかについてはグリッチ(回転速度のジャンプする現象)やマグネターバーストに関連するため重要なテーマである。このトルクの働き方について従来の理論が間違っていることを発見し、正しい見方を提示して発表した(Shibata, S., Kisaka, S. 1021)

重要な結果は以下の二つの点にまとめられる。

- (1) 一般的に考えられている Polar Cap や Ouger Gap における粒子加速とそれともなうガンマ線放射においては角運動量を有効に放射できないので、その代償として光円柱の外側において従来考えられていなかったような現象が起こりうる。
- (2) 磁気圏電流が中性子内で閉じるときにジュール熱を発生する。これは角運動量を消費しないエネルギー放出なので、その副作用として中性子星表面と内部における回転各速度のずれが発生する。ただし、そのずれは観測されているグリッチを起こすものではない。

中性子内部の電流分布を仮定して、星内部の減速トルクの分布(左上)、変形(右上)、弾性エネルギー(下)を計算する。そして弾性エネルギーが最初になる電流分布を求める。左の図では電流の侵入の深さが



0.4 付近で弾性エネルギーが最低になっている。電流が中程度に星内部に侵入していた方が弾性エネルギーが小さいことがわかる。従来、電流は表面近くで閉じると想像されていたが、それは誤りであって、電流は中性子星内部に深く侵入することを初めて適した(Shibata and Kisaka, 2021)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計41件（うち査読付論文 40件／うち国際共著 21件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Younes George, Guver Tolga, Kouveliotou Chryssa, Baring Matthew G., Hu Chin-Ping, Wadiasingh Zorawar, Begicarslan Beste, Enoto Teruaki, Gogus Ersin, Lin Lin, Harding Alice K., van der Horst Alexander J., Majid Walid A., Guillot Sebastien, Malacaria Christian	4. 巻 904
2. 論文標題 NICER View of the 2020 Burst Storm and Persistent Emission of SGR 1935+2154	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L21～L21
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3847/2041-8213/abc94c	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 Ho Wynn C G, Espinoza Cristobal M, Arzoumanian Zaven, Enoto Teruaki, Tamba Tsubasa, Antonopoulou Danai, Bejger Micha?, Guillot Sebastien, Haskell Brynmor, Ray Paul S	4. 巻 498
2. 論文標題 Return of the Big Glitcher: <i>NICER</i> timing and glitches of PSR J0537-6910	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 4605-4614
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/mnras/staa2640	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 Hu Chin-Ping, Begicarslan Beste, Guver Tolga, Enoto Teruaki, Younes George, Sakamoto Takanori, Ray Paul S., Strohmayer Tod E., Guillot Sebastien, Arzoumanian Zaven, Palmer David M., Gendreau Keith C., Malacaria C., Wadiasingh Zorawar, Jaisawal Gaurava K., Majid Walid A.	4. 巻 902
2. 論文標題 NICER Observation of the Temporal and Spectral Evolution of Swift J1818.0-1607: A Missing Link between Magnetars and Rotation-powered Pulsars	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 1～1
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3847/1538-4357/abb3c9	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 Kisaka Shota, Levinson Amir, Toma Kenji	4. 巻 902
2. 論文標題 Comprehensive Analysis of Magnetospheric Gaps around Kerr Black Holes Using 1D GRPIC Simulations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 80～80
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3847/1538-4357/abb46c	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 Kojima Yasufumi, Kisaka Shota, Fujisawa Kotaro	4. 巻 502
2. 論文標題 Evolution of magnetic deformation in neutron star crust	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 2097 ~ 2104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa3489	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, Shotaro; Kisaka, Shota; Terasawa, Toshio; Enoto, Teruaki	4. 巻 483
2. 論文標題 Relativistic fireball reprise: radio suppression at the onset of short magnetar bursts	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 MNRAS	6. 最初と最後の頁 4175-4186
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/sty3388	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 Malacaria Christian, Bogdanov Slavko, Ho Wynn C. G., Enoto Teruaki, Ray Paul S., Arzoumanian Zaven, Cazeau Thoniel, Gendreau Keith C., Guillot Sebastien, Guver Tolga, Jaisawal Gaurava K., Wolff Michael T., on behalf of the NICER Magnetar & Magnetospheres Team	4. 巻 880
2. 論文標題 A Joint NICER and XMM-Newton View of the "Magnificent" Thermally Emitting X-Ray Isolated Neutron Star RX J1605.3+3249	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 74 ~ 74
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab2875	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 Tamba Tsubasa, Bamba Aya, Odaka Hirokazu, Enoto Teruaki	4. 巻 71
2. 論文標題 Temporal and spectral X-ray properties of magnetar SGR 1900+14 derived from observations with NuSTAR and XMM-Newton	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 90
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psz073	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 Guver Tolga, Gogus Ersin, Vurgun Eda, Enoto Teruaki, Gendreau Keith C., Sakamoto Takanori, Gotthelf Eric V., Arzoumanian Zaven, Guillot Sebastien, Jaisawal Gaurava K., Malacaria Christian, Majid Walid A.	4. 巻 877
2. 論文標題 NICER Observations of the 2018 Outburst of XTE J1810?197	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L30 ~ L30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ab212d	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 Enoto Teruaki, Kisaka Shota, Shibata Shinpei	4. 巻 82
2. 論文標題 Observational diversity of magnetized neutron stars	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Reports on Progress in Physics	6. 最初と最後の頁 106901 ~ 106901
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6633/ab3def	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 Morello V, Keane E F, Enoto T, Guillot S, Ho W C G, Jameson A, Kramer M, Stappers B W, Bailes M, Barr E D, Bhandari S, Caleb M, Flynn C M L, Jankowski F, Johnston S, vanStraten W, Arzoumanian Z, Bogdanov S, Gendreau K C, Malacaria C, Ray P S, Remillard R A	4. 巻 493
2. 論文標題 The SURvey for Pulsars and Extragalactic Radio Bursts ? IV. Discovery and polarimetry of a 12.1-s radio pulsar	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 1165 ~ 1177
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa321	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 Terasawa, Toshio	4. 巻 38
2. 論文標題 Pulsar observations in Japan: Leading role of Kashima Observatory in 2009-2019	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Technology Development Center News	6. 最初と最後の頁 23-26
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 Sezer A, Ergin T, Cesur N, Tanaka S J, Kisaka S, Ohira Y, Yamazaki R	4. 巻 492
2. 論文標題 Suzaku and Fermi view of the supernova remnant 3C 396	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 1484 ~ 1491
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stz3571	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 Kimura Shigeo S., Murase Kohta, Ioka Kunihiro, Kisaka Shota, Fang Ke, Meszaros Peter	4. 巻 887
2. 論文標題 Upscattered Cocoon Emission in Short Gamma-Ray Bursts as High-energy Gamma-Ray Counterparts to Gravitational Waves	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L16 ~ L16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ab59e1	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 Nakagawa Yujin, Ebisawa Ken, Enoto Teruaki	4. 巻 70
2. 論文標題 Energy-dependent intensity variation of the persistent X-ray emission of magnetars observed with Suzaku	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psy013	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 Shotaro, Kisaka Shota, Terasawa Toshio, Enoto Teruaki	4. 巻 483
2. 論文標題 Relativistic fireball reprise: radio suppression at the onset of short magnetar bursts	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 4175 ~ 4186
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/sty3388	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 Kisaka Shota, Ioka Kunihiro, Kashiyama Kazumi, Nakamura Takashi	4. 巻 867
2. 論文標題 Scattered Short Gamma-Ray Bursts as Electromagnetic Counterparts to Gravitational Waves and Implications of GW170817 and GRB 170817A	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 39 ~ 39
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aae30a	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 Younes George, Guver Tolga, Kouveliotou Chryssa, Baring Matthew G., Hu Chin-Ping, Wadiasingh Zorawar, Begicarslan Beste, Enoto Teruaki, Gogus Ersin, Lin Lin, Harding Alice K., van der Horst Alexander J., Majid Walid A., Guillot Sebastien, Malacaria Christian	4. 巻 904
2. 論文標題 NICER View of the 2020 Burst Storm and Persistent Emission of SGR 1935+2154	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L21 ~ L21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/abc94c	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 Hu Chin-Ping, Ueda Yoshihiro, Enoto Teruaki	4. 巻 909
2. 論文標題 Possible Periodic Dips in the Pulsating Ultraluminous X-Ray Source M51 ULX-7	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 5 ~ 5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abd7a5	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 Makishima Kazuo, Enoto Teruaki, Yoneda Hiroki, Odaka Hirokazu	4. 巻 502
2. 論文標題 A <i><i>NuSTAR</i></i> confirmation of the 36 ks hard X-ray pulse-phase modulation in the magnetar 1E?1547.0???5408	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 2266 ~ 2284
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stab149	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 Younes G., Baring M. G., Kouveliotou C., Arzoumanian Z., Enoto T., 他 21名	4. 巻 5
2. 論文標題 Broadband X-ray burst spectroscopy of the fast-radio-burst-emitting Galactic magnetar	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Astronomy	6. 最初と最後の頁 408 ~ 413
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41550-020-01292-x	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 Enoto Teruaki, Terasawa Toshio, Kisaka Shota, Hu Chin-Ping, 他35名	4. 巻 372
2. 論文標題 Enhanced x-ray emission coinciding with giant radio pulses from the Crab Pulsar	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 187 ~ 190
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/science.abd4659	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 Enoto Teruaki, Ng Mason, Hu Chin-Ping, Gver Tolga, Jaisawal Gaurava K., O' Connor Brendan, G. Ersin, Lien Amy, Kisaka Shota, 他17名	4. 巻 920
2. 論文標題 A Month of Monitoring the New Magnetar Swift J1555.2-5402 during an X-Ray Outburst	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L4 ~ L4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ac2665	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 Makishima K., Tamba T., Aizawa Y., Odaka H., Yoneda H., Enoto T., Suzuki H.	4. 巻 923
2. 論文標題 Discovery of 40.5 ks Hard X-Ray Pulse-phase Modulations from SGR 1900+14	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 63 ~ 63
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac28fd	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 Eie Sujin, Terasawa Toshio, Akahori Takuya, Oyama Tomoaki, Hirota Tomoya, Yonekura Yoshinori, Enoto Teruaki, Sekido Mamoru, Takefuji Kazuhiro, Misawa Hiroaki, Tsuchiya Fuminori, Kisaka Shota, Aoki Takahiro, Honma Mareki	4. 巻 73
2. 論文標題 Multi-frequency radio observations of the radio-loud magnetar XTE J1810-197	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 1563 ~ 1574
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psab098	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 Younes George, Hu Chin-Ping, Bansal Karishma, Ray Paul S., Pearlman Aaron B., Kirsten Franz, Wadiasingh Zorawar, G Ersin, Baring Matthew G., Enoto Teruaki, 他11名	4. 巻 924
2. 論文標題 X-Ray Burst and Persistent Emission Properties of the Magnetar SGR 1830-0645 in Outburst	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 136 ~ 136
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac3756	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 Younes George, Lander Samuel K, Baring Matthew G., Enoto Teruaki, Kouveliotou Chryssa, Wadiasingh Zorawar, Ho Wynn C. G., Harding Alice K., Arzoumanian Zaven, Gendreau Keith, Guver Tolga, Hu Chin-Ping, Malacaria Christian, Ray Paul S., Strohmayer Tod E.	4. 巻 924
2. 論文標題 Pulse Peak Migration during the Outburst Decay of the Magnetar SGR 1830-0645: Crustal Motion and Magnetospheric Untwisting	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L27 ~ L27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ac4700	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 Hazboun Jeffrey S., Crump Jack, Lommen Andrea N., Montano Sergio, Berry Samantha J. H., Zeldes Jesse, Teng Elizabeth, Ray Paul S., Kerr Matthew, Arzoumanian Zaven, Bogdanov Slavko, Deneva Julia, Lewandowska Natalia, Markwardt Craig B., Ransom Scott, Enoto Teruaki, 他4名	4. 巻 928
2. 論文標題 A Detection of Red Noise in PSR J1824-2452A and Projections for PSR B1937+21 Using NICER X-Ray Timing Data	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 67 ~ 67
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac54ae	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 Rajwade K M, Stappers B W, Lyne A G, Shaw B, Mickaliger M B, Liu K, Kramer M, Desvignes G, Karuppusamy R, Enoto T, G?ver T, Hu Chin-Ping, Surnis M P	4. 巻 512
2. 論文標題 Long term radio and X-ray evolution of the magnetar Swift J1818.0-1607	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 1687 ~ 1695
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stac446	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 Ho Wynn C. G., Kuiper Lucien, Espinoza Cristobal M., Guillot Sebastien, Ray Paul S., Smith D. A., Bogdanov Slavko, Antonopoulou Danai, Arzoumanian Zaven, Bejger Michal, Enoto Teruaki, Esposito Paolo, Harding Alice K., Haskell Brynmor, Lewandowska Natalia, Maitra Chandreyee, Vasilopoulos Georgios	4. 巻 939
2. 論文標題 Timing Six Energetic Rotation-powered X-Ray Pulsars, Including the Fast-spinning Young PSR J0058-7218 and Big Glitcher PSR J0537-6910	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 7 ~ 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac8743	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 Herman L. Marshal, 他91名	4. 巻 940
2. 論文標題 Observations of 4U 1626?67 with the Imaging X-Ray Polarimetry Explorer	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 70 ~ 70
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac98c2	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 Roberto Taverna 他96名	4. 巻 378
2. 論文標題 Polarized x-rays from a magnetar	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 646 ~ 650
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/science.add0080	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 Sergey S. Tsygankov、他多数 (IXPE Collaboration)	4. 巻 941
2. 論文標題 The X-Ray Polarimetry View of the Accreting Pulsar Cen X-3	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L14 ~ L14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/aca486	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 Doroshenko Victor、他多数 (IXPE Collaboration)	4. 巻 6
2. 論文標題 Determination of X-ray pulsar geometry with IXPE polarimetry	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Astronomy	6. 最初と最後の頁 1433 ~ 1443
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41550-022-01799-5	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 Fei Xie 他多数 (IXPE Collaboration)	4. 巻 612
2. 論文標題 Vela pulsar wind nebula X-rays are polarized to near the synchrotron limit	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature	6. 最初と最後の頁 658 ~ 660
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41586-022-05476-5	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 Kojima Yasufumi、Kisaka Shota、Fujisawa Kotaro	4. 巻 946
2. 論文標題 Evolutionary Deformation toward the Elastic Limit by a Magnetic Field Confined in the Neutron-star Crust	5. 発行年 2023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/acc06b	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 Fujisawa Kotaro, Kojima Yasufumi, Kisaka Shota	4. 巻 519
2. 論文標題 Strong toroidal magnetic fields sustained by the elastic crust in a neutron star	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 3776 ~ 3784
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stac3750	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 Ikebe Sota, Takefuji Kazuhiro, Terasawa Toshio, Eie Sujin, Akahori Takuya, Murata Yasuhiro, Hashimoto Tetsuya, Kisaka Shota, Honma Mareki, Yoshiura Shintaro, Suzuki Syunsaku, Oyama Tomoaki, Sekido Mamoru, Niinuma Kotaro, Takeuchi Hiroshi, Yonekura Yoshinori, Enoto Teruaki	4. 巻 75
2. 論文標題 Detection of a bright burst from the repeating fast radio burst 20201124A at 2 GHz	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 199 ~ 207
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psac101	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 Fujisawa Kotaro, Kisaka Shota, Kojima Yasufumi	4. 巻 516
2. 論文標題 Magnetically confined mountains on accreting neutron stars with multipole magnetic fields	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 5196 ~ 5208
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stac2585	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 Shibata Shinpei, Kisaka Shota	4. 巻 507
2. 論文標題 On the angular momentum extraction from the rotation powered pulsars	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 1055 ~ 1063
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stab2206	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 Bamba Aya, Shibata Shinpei, Tanaka Shuta J, Mori Koji, Uchida Hiroyuki, Terada Yukikatsu, Ishizaki Wataru	4. 巻 74
2. 論文標題 Spectral break of energetic pulsar wind nebulae detected with wideband X-ray observations	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 1186 ~ 1197
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psac062	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 -

〔学会発表〕 計36件 (うち招待講演 13件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 榎戸輝揚 (理研), 寺澤敏夫 (東京大, 国立天文台), 木坂将大 (広島大), 他17名
2. 発表標題 かにパルサーの巨大電波パルスに伴うX線超過の発見
3. 学会等名 日本天文学会2021年春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 寺澤敏夫 (東京大, 国立天文台), 榎戸輝揚 (理研), 木坂将大 (広島大), 他17名
2. 発表標題 かにパルサーの巨大電波パルス:X線との相関解析のためのデータベース概要
3. 学会等名 日本天文学会2021年春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木寛大、馬場彩 (東大理)、柴田晋平 (山形大)
2. 発表標題 付随するコンパクト天体の運動を用いた超新星残骸の年齢推定の信頼性評価
3. 学会等名 日本天文学会2021年春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木坂将大 (広島大)、榎戸輝揚 (理研)、寺澤敏夫 (東京大, 国立天文台), 他17名
2. 発表標題 かにバルサーの巨大電波パルスに伴うX線超過の理論モデル
3. 学会等名 日本天文学会2021年春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Enoto, T.
2. 発表標題 Highly-magnetized neutron stars as one of the potential origins of FRBs
3. 学会等名 YITP YIPOS workshop “Fast Radio Bursts: A Mystery Being Solved?”, Kyoto University and online, February 12, 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Enoto, T.
2. 発表標題 Magnetars as a Candidate of the Origin of Fast Radio Bursts
3. 学会等名 AAPPs-DACG Workshop on Astrophysics, Cosmology and Gravitation, online, November 13, 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木坂将大
2. 発表標題 GRPモデル再考
3. 学会等名 研究会「中性子星及び; 関連現象-興味ある課題を検討しよう-」, online, 2020年
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木坂将大
2. 発表標題 高速電波バーストのブレイクスルー
3. 学会等名 理論懇シンポジウム , online, 2020 年 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Teruaki Enoto
2. 発表標題 Magnetars and Rotation-powered Pulsars with NICER
3. 学会等名 233rd Meeting of the American Astronomical Society (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 榎戸輝揚
2. 発表標題 パルサーやマグネターのX線-電波同時観測
3. 学会等名 茨城大学重点研究・研究会「突発・変動現象の電波フォローアップ (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 榎戸輝揚
2. 発表標題 NICER の初期成果とコンパクト天体観測の将来
3. 学会等名 第18回高宇連研究会「高エネルギー宇宙物理学の最前線と2020/30年代のロードマップ」 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 榎戸輝揚
2. 発表標題 硬X線で開拓する中性子星のサイエンス
3. 学会等名 FORCE 研究会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Teruaki Enoto
2. 発表標題 Astronomical Diversity of Neutron Stars and Application to the Fundamental Physics
3. 学会等名 The Evolution of Massive Stars and Formation of Compact Stars: from the Cradle to the Grave” (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 榎戸輝揚
2. 発表標題 電磁波による宇宙観測で迫る中性子星の状態方程式
3. 学会等名 日本物理学会「宇宙・素粒子・核・物性でつなぐ中性子星物理の現在と未来」合同領域：素粒子論，実験核物理，宇宙線・宇宙物理，領域1，領域6 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 寺澤敏夫
2. 発表標題 Crabパルサー：鹿島観測の10年を振り返って
3. 学会等名 第17回I V S技術開発センターシンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 久野晋之介 他(寺澤敏夫)
2. 発表標題 The largest glitch in the Crab pulsar in 2017 November
3. 学会等名 日本天文学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柴田晋平
2. 発表標題 パルサーポーラーキャップにおける電子陽電子カスケードからの放射モデルの完成に向けて
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 渡邊 春花
2. 発表標題 マグネターCXOU J171405.7-381031のXMM NewtonによるX線スペクトルの決定
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 荻原理沙
2. 発表標題 光子計数による可視パルサー観測のための半導体光センサの性能評価
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 渡邊瑛里
2. 発表標題 Swift 衛星を用いた強磁場電波パルサーの系統的観測[
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 木坂 将大
2. 発表標題 ショートガンマ線バーストの長時間放射成分の散乱
3. 学会等名 第31回理論懇シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木坂 将大
2. 発表標題 ブラックホール磁気圏での電磁カスケード
3. 学会等名 高エネルギー天体現象小研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木坂 将大
2. 発表標題 ブラックホール磁気圏での電場遮蔽
3. 学会等名 高エネルギー宇宙物理学研究会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shota Kisaka
2. 発表標題 Scattered short gamma-ray bursts
3. 学会等名 Jet and Shock Breakouts in Cosmic Transients (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寺澤敏夫
2. 発表標題 パルサー・突発天体の電波観測/日本の現状
3. 学会等名 光学赤外線天文連絡会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柴田晋平
2. 発表標題 中性子星磁気圏の物理
3. 学会等名 首都大学東京, 理学研究科セミナー
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寺澤敏夫
2. 発表標題 Crab pulsar電波パルスの統計的性質
3. 学会等名 京都大学理学研究科 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Eie, Sujin 他
2. 発表標題 Multi-frequency radio observations of a new outburst from the recently reactivated transient magnetar XTE J1810-197
3. 学会等名 日本天文学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡邊 春花、馬場 彩、柴田 晋平、渡邊 瑛里
2. 発表標題 マグネター CXOU J171405.7 - 381031 の XMM Newton による X 線スペクトルの決定
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡邊瑛里, 柴田晋平, 坂本貴紀, 馬場彩
2. 発表標題 Swift 衛星を用いた強磁場電波パルサーの系統的観測
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柴田晋平、木坂将大、大野寛)、 高田順平
2. 発表標題 パルサーポーラーキャップにおける電子陽電子カスケードからの放射モデルの完成に向けて
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柴田 晋平
2. 発表標題 Key issues in the theory of pulsar magnetosphere
3. 学会等名 SRON seminar, the Netherlands
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柴田 晋平
2. 発表標題 パルサー磁気圏の理論研究の今後の戦略
3. 学会等名 高エネルギー宇宙物理学研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柴田 晋平
2. 発表標題 パルサーのトルク問題と中性子星内部電流の決定
3. 学会等名 高エネルギー宇宙物理学研究会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柴田 晋平
2. 発表標題 Pulsar Polar Cap
3. 学会等名 研究会「中性子星・超新星残骸及び関連天体」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柴田 晋平
2. 発表標題 カニ星雲の現象論的モデルの戦略(IXPE以降)
3. 学会等名 2023年冬季「中性子星・超新星残骸及び関連天体」研究会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 山口 弘悦、榎戸 輝揚	4. 発行年 2021年
2. 出版社 日刊工業新聞社	5. 総ページ数 160
3. 書名 今日からモノ知りシリーズ トコトンやさしい天文学の本	

1. 著者名 高原文郎、家正則、小玉英雄、高橋忠幸(編) 柴田晋平、榎戸輝揚(分担執筆)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 912
3. 書名 宇宙物理学ハンドブック	

〔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	木坂 将大 (Kisaka Shota) (10639107)	広島大学・先進理工系科学研究科(理)・助教 (15401)	

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
研究分担者	榎戸 輝揚 (Enoto Teruaki) (20748123)	国立研究開発法人理化学研究所・開拓研究本部・理研白眉研究チームリーダー (82401)	
研究分担者	寺澤 敏夫 (Terasawa Toshio) (30134662)	東京大学・宇宙線研究所・名誉教授 (12601)	
研究分担者	三澤 浩昭 (Misawa Hiroaki) (90219618)	東北大学・理学研究科・准教授 (11301)	

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