

令和 6 年 6 月 27 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H01899

研究課題名（和文）重力波検出器KAGRAによる背景重力波探査のデータ解析体制の構築

研究課題名（英文）Stochastic gravitational wave background search with KAGRA

研究代表者

黒柳 幸子（Kuroyanagi, Sachiko）

名古屋大学・理学研究科・招へい教員

研究者番号：60456639

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では背景重力波のデータ解析の体制を整えるための研究に取り組んだ。まずは理論研究にて、スペクトルの形状・非等方性・非ガウス性・偏光といった特徴量を用いることで、背景重力波の起源を特定することができることを示した。また、LIGO-Virgo-KAGRA O3データを用いて、様々な初期宇宙モデルの制限に取り組んだ。さらに非ガウス性を持つ背景重力波に特化したデータ解析コードの開発に取り組み、機械学習を用いて計算速度を大きく改善することに成功した。これらの経験を活かして、今後はO4データ解析に貢献すると共に、本研究で開発したコードの精度を高め、将来の解析に使えるものを作り上げていく予定である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

国際重力波検出器ネットワークに参加したばかりのKAGRAにとって、データ解析の体制を整えるのは急務である。本研究課題の成果により、KAGRAが世界的検出器ネットワークによる背景重力波探査に参加し、科学的成果を上げるための体制作りを推し進める役割を果たす。

一方、背景重力波は宇宙の起源を理解する上で、非常に興味深い観測対象である。本研究にて、背景重力波の特徴を取り出すデータ解析の体制を整えた上で、今後観測技術が向上することによって、初期宇宙からやってくる背景重力波を捉えることができれば、加速器実験では到底届かないような超高エネルギー物理を理解し、宇宙誕生の謎に迫ることができる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we worked on establishing a data analysis framework for gravitational wave background. Initially, through theoretical research, we demonstrated that it is possible to identify the origin of background gravitational waves using features such as spectral shape, anisotropy, non-Gaussianity, and polarization. Additionally, using LIGO-Virgo-KAGRA O3 data, we have provided constraints on various early universe models. Furthermore, we developed data analysis codes specifically for non-Gaussian backgrounds and successfully improved computation speed using machine learning. Leveraging these experiences, we aim to contribute to O4 data analysis in the future. We also plan to enhance the accuracy of the non-Gaussian background analysis code developed in this study and create a tool usable for future analyses.

研究分野：宇宙物理

キーワード：重力波 データ解析 宇宙物理

1. 研究開始当初の背景

Advanced-LIGO による初検出で重力波の観測体制が整い、日本の KAGRA も本格的に稼働を開始する。今後は天体起源の重力波のさらなる検出だけでなく、宇宙誕生直後に作られた原始重力波を探索し、初期宇宙理論を検証することが期待されている。背景重力波は、初期宇宙の現象だけでなく、多数の天体起源の重力波が重なり合うことで観測されることもある。すでに観測されたブラックホールや中性子連星の重力波イベントから、これらが重なって生じる背景重力波のスペクトル強度が予測されており、LIGO がデザイン感度を達成すれば、100Hz 帯での天体起源背景重力波の検出が有力視されている。また、インフレーション中のゲージ場や宇宙再加熱中のパラメータ共鳴などの初期宇宙現象も 100Hz 帯に背景重力波を作る可能性があり、検出時にその起源を判別できるかが課題となっている。背景重力波は特徴的な波形を持たないため、その起源を特定するのは難しい。そのため、スペクトルの形状、非等方性、偏光など、重力波の強度以外の情報を利用する必要がある。

2. 研究の目的

重力波実験の感度の向上により背景重力波の検出が期待される一方で、背景重力波はノイズと似た波形を持つため、検出されてもその起源を特定することが難しいという問題点がある。本研究では、この問題に答えるために、背景重力波のスペクトルの形状・非等方性・非ガウス性・偏光の情報を取り出すためのデータ解析コードを開発し、KAGRA を含む国際的な重力波観測ネットワークによる背景重力波の検出とその起源の推定を行うための体制を整える。本研究が完成することで、近い将来、背景重力波が検出されたときに、その起源への示唆を速やかに与えることができ、光学観測では見ることでできなかった新しい宇宙史の解明に大きな前進をもたらす。

3. 研究の方法

背景重力波の起源を特定し、宇宙の情報を抽出するためには、スペクトルの形状・非等方性・非ガウス性・偏光 4 つの特性を検証することが不可欠である。これらを検出し、それらから生成メカニズムと基礎物理学に関する情報を取り出すための方法を理論、データ解析の両面から確立する。そのために背景重力波の特徴ごとに分けて以下の 4 点に取り組む。

a) スペクトル形状：大きな重力波振幅を予測する新しい理論モデルを調べ、さらに重力波スペクトルの詳細な周波数プロファイルを調査する。またスペクトル形状の情報を用いて重力波観測でモデルを区別することができるか、将来の重力波実験の観測精度を考慮しながら、詳細な予測を行う。また、大きな重力波強度を预言するモデルに対しては、現在公開されている LIGO-Virgo-KAGRA(LVK) O3 データを用いてモデルの制限を試みる。

b) 非等方性：宇宙のごく初期に生成された重力波は、Sachs-Wolfe 効果により、小さい非等方性を持つことが知られている。この非等方性の度合いは初期宇宙の詳細な物理に依って変化する。そこで将来の重力波実験を用いて初期宇宙モデルを制限する能力を予測し、提案を与える。また、ループ状の宇宙ひもから生じるバースト重力波が重なり合って生じる背景重力波も宇宙ひもループが銀河の重力によって多めに存在することで非等方性が生まれることが知られている。この度合いを見積り、将来実験での観測可能性を検証する。

c) 非ガウス性：初期宇宙起源の背景重力波の大半はガウス分布に従うのに対し、ブラックホール連星を代表とする天体起源の重力波イベントが重なり合って生じる背景重力波は、非ガウス性を持つことが知られている。最も検出が有力視されているブラックホール連星起源の背景重力波の非ガウス性の度合いを見積り、ブラックホール形成の歴史モデルにどのように依存するかを調査し、将来の実験の感度と比較する。また、非ガウス性を持つ背景重力波は通常の検出方法では最適でないことが知られているため、より効率の良い新しいデータ解析法を検証する。

d) 偏光：背景重力波の円偏光を预言する理論を網羅的に調べ、将来の重力波観測でモデルに制限をつけることができるかを検証する。特に、インフレーション中のゲージ場を起源とする背景重力波は大きな強度を持つことが知られているため、LVK O3 データを用いてモデルの制限を試みる。

4. 研究成果

a) スペクトル形状

近年注目を集めている原始ブラックホール (PBH) に焦点を当て、PBH の予言する様々な背景重力波のスペクトル形状を調べた。

- 異なる質量関数を持つ PBH 連星に由来する背景重力波のスペクトル形状に関して理論的予測を行った。[Braglia, Garcia-Bellido, Kuroyanagi, JCAP 12 (2021) 12, 012]
- クラスター内のブラックホールの接近イベントによる背景重力波のスペクトル形状とその強度を予測した。[Jaraba, Garcia-Bellido, Kuroyanagi, Phys. Dark Univ. 36 (2022) 101009]
- LVK O3 データを用いて、PBH 形成時に生成された背景重力波に初期曲率揺らぎの非ガウス性がスペクトルの形状に与える影響を考慮しながら新しい制限を与えた。[Inui, Jaraba, Kuroyanagi, Yokoyama, JCAP 05 082 (2024)]
- 標準理論とは異なる kination 期と呼ばれる宇宙膨張の時期があると、インフレーション起源の重力波が増幅し、LVK でも検証可能な振幅の大きな背景重力波が予言される。kination 期を生じさせるモデルは様々あり、モデルに依ってスペクトルの形状も変化するため、その詳細な影響を考慮しながら LVK O3 データを用いて制限を行った。[Duval et al. (+Kuroyanagi), arXiv: 2405.10201]

また、他にも様々な初期宇宙物理に関連する背景重力波のスペクトル形状を調べ、将来の観測で検証できる可能性を議論した。

- 様々な初期宇宙物理が予言する、背景重力波に現れる振動を、将来の実験で検出することが可能かフィッシャー解析を用いて詳細な予言を行った。[Calcagni, Kuroyanagi, Class. Quant. Grav. 41 (2023) 015031]
- LISA Cosmology ワーキンググループのメンバーとして、LISA が宇宙ひもモデルをどの程度制約できるかを予測した。[LISA Cosmology Working Group et al., arXiv: 2405.03740]

b) 非等方性

- 大規模構造の密度ゆらぎが背景重力波の伝播に及ぼす影響を CLASS と呼ばれる数値計算コードを使って解き、Sachs-Wolfe 効果によって生じる背景重力波の非等方性を詳細に調べた。また、背景重力波の非等方性と宇宙背景放射 (CMB) の温度ゆらぎおよび E モード偏光ゆらぎとの相関を調べた。[Braglia, Kuroyanagi, Phys. Rev. D 104 (2021) 12, 123547]
- LISA Cosmology ワーキンググループのメンバーとして、宇宙ひもが重力によって銀河ハロー内に集まってくる現象を考慮し、宇宙ひも起源の背景重力波の非等方性のレベルを推定し、また LISA での検証可能性を議論した。[LISA Cosmology Working Group et al., JCAP 11 (2022) 009]

c) 非ガウス性

- ブラックホール連星からの重力波が重なり合って生成される背景重力波に焦点を当てながら、異なる宇宙論的シナリオが背景重力波の非ガウス性に与える影響を分析した。結果、非ガウス性のレベルがモデルによって異なることが判明し、将来の重力波実験でこれらのシナリオを検証できることを示した。[Braglia, Garcia-Bellido, Kuroyanagi, JCAP 12 (2021) 12, 012]
- 非ガウス性を持つ背景重力波をより効率よく検出するための方法として、深層学習技術を利用した新しいデータ解析方法の開発に取り組んだ。結果、従来の方法と比較して計算時間が大幅に短縮され、同等の検出効率を示した。[Yamamoto, Kuroyanagi, Liu, Phys. Rev. D 107 (2023) 4, 044032]

d) 偏光

- 初期宇宙における円偏波の存在を予測するモデルを網羅的に調べた結果、インフレーション中に大きな背景重力波を生じさせるモデルの中でも代表的な $U(1)$ ゲージ場は CMB や PBH の制限により、将来の重力波観測で検出できるような強度を持たせることは特殊なモデルを考えない限り難しいことが判明した。一方でバックグラウンド場が存在する $SU(2)$ ゲージ場であれば、パラメータ領域は限られるものの、LVK でも観測が可能な重力波を予言することが明らかになった。そのためこのモデルに対し、O3 データを用いて制限を与えた。[Burger et al. (+ Kuroyanagi), arXiv: 2406.11742]

このように背景重力波の特徴に着目した包括的な研究を行うことで、将来の重力波実験の目標を明確にすると共に、実験で検証できる新たな初期宇宙物理を見出すことができた。また LVK データ解析の活動にも積極的に参加したり、O3 データの解析を経験したりすることで、KAGRA の背景重力波班として次の観測 (O4) への参加の基盤を作ることができた。さらに KAGRA の背景重力波班のメンバーで、非ガウス性を持つ背景重力波をより効率よく検出するための独自のコードを開発できたことは特筆したい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 19件 / うち国際共著 16件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Aleestas George, Morr?s Gonzalo, Yamamoto Takahiro S., Garc?a-Bellido Juan, Kuroyanagi Sachiko, Nesseris Savvas	4. 巻 109
2. 論文標題 Applying the Viterbi algorithm to planetary-mass black hole searches	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 123516
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.109.123516	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 Inui Ryoto, Jaraba Santiago, Kuroyanagi Sachiko, Yokoyama Shuichiro	4. 巻 2024
2. 論文標題 Constraints on non-Gaussian primordial curvature perturbation from the LIGO-Virgo-KAGRA third observing run	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 082 ~ 082
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2024/05/082	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 Auclair Pierre et al. (LISA Cosmology Working Group)	4. 巻 26
2. 論文標題 Cosmology with the Laser Interferometer Space Antenna	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Living Reviews in Relativity	6. 最初と最後の頁 45
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s41114-023-00045-2	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 Martin Barandiaran Mikel, Kuroyanagi Sachiko, Nesseris Savvas	4. 巻 41
2. 論文標題 Gravitational waves in the circular restricted three body problem	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Classical and Quantum Gravity	6. 最初と最後の頁 095002 ~ 095002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6382/ad36a7	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 Calcagni Gianluca, Kuroyanagi Sachiko	4. 巻 41
2. 論文標題 Log-periodic gravitational-wave background beyond Einstein gravity	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Classical and Quantum Gravity	6. 最初と最後の頁 015031 ~ 015031
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6382/ad1123	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 Caldarola Marienza, Kuroyanagi Sachiko, Nesseris Savvas, Garcia-Bellido Juan	4. 巻 109
2. 論文標題 Effects of orbital precession on hyperbolic encounters	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 65001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.109.064001	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 Jaraba Santiago, Garcia-Bellido Juan, Kuroyanagi Sachiko, Ferraiuolo Sarah, Braglia Matteo	4. 巻 524
2. 論文標題 Stochastic gravitational wave background constraints from Gaia DR3 astrometry	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 3609 ~ 3622
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stad2141	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 Yamamoto Takahiro S., Kuroyanagi Sachiko, Liu Guo-Chin	4. 巻 107
2. 論文標題 Deep learning for intermittent gravitational wave signals	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 44032
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.107.044032	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 Miyamoto Koichi, Morr?s Gonzalo, Yamamoto Takahiro S., Kuroyanagi Sachiko, Nesseris Savvas	4. 巻 4
2. 論文標題 Gravitational wave matched filtering by quantum Monte Carlo integration and quantum amplitude amplification	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 33150
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.4.033150	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 Braglia Matteo, Garc?a-Bellido Juan, Kuroyanagi Sachiko	4. 巻 519
2. 論文標題 Tracking the origin of black holes with the stochastic gravitational wave background popcorn signal	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 6008 ~ 6019
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stad082	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 Bartolo Nicola et al. (LISA Cosmology Working Group)	4. 巻 2022
2. 論文標題 Probing anisotropies of the Stochastic Gravitational Wave Background with LISA	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 009 ~ 009
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2022/11/009	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 Braglia Matteo, Garc?a-Bellido Juan, Kuroyanagi Sachiko	4. 巻 2021
2. 論文標題 Testing Primordial Black Holes with multi-band observations of the stochastic gravitational wave background	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 012 ~ 012
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2021/12/012	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 García-Bellido Juan, Jaraba Santiago, Kuroyanagi Sachiko	4. 巻 36
2. 論文標題 The stochastic gravitational wave background from close hyperbolic encounters of primordial black holes in dense clusters	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physics of the Dark Universe	6. 最初と最後の頁 101009 ~ 101009
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.dark.2022.101009	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 Braglia Matteo, Kuroyanagi Sachiko	4. 巻 104
2. 論文標題 Probing prerecombination physics by the cross-correlation of stochastic gravitational waves and CMB anisotropies	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 123547
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.104.123547	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 Calcagni Gianluca, Kuroyanagi Sachiko	4. 巻 2021
2. 論文標題 Stochastic gravitational-wave background in quantum gravity	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 019 ~ 019
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2021/03/019	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 Yonemaru N, Kuroyanagi S, Hobbs G, Takahashi K, Zhu X-J, Coles W A, Dai S, Howard E, Manchester R, Reardon D, Russell C, Shannon R, Thyagarajan N, Spiewak R, Wang J-B	4. 巻 501
2. 論文標題 Searching for gravitational-wave bursts from cosmic string cusps with the Parkes Pulsar Timing Array	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 701 ~ 712
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa3721	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 Kuroyanagi Sachiko, Takahashi Tomo, Yokoyama Shuichiro	4. 巻 2021
2. 論文標題 Blue-tilted inflationary tensor spectrum and reheating in the light of NANOGrav results	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 071 ~ 071
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2021/01/071	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 Yamada Rika, Enomoto Yutaro, Nishizawa Atsushi, Nagano Koji, Kuroyanagi Sachiko, Kokeyama Keiko, Komori Kentaro, Michimura Yuta, Naito Takeo, Watanabe Izumi, Morimoto Taigen, Ando Masaki, Furusawa Akira, Kawamura Seiji	4. 巻 384
2. 論文標題 Optimization of quantum noise by completing the square of multiple interferometer outputs in quantum locking for gravitational wave detectors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physics Letters A	6. 最初と最後の頁 126626 ~ 126626
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physleta.2020.126626	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 Matsui Yuka, Horiguchi Koichiro, Nitta Daisuke, Kuroyanagi Sachiko	4. 巻 2020
2. 論文標題 Gravitational wave spectrum from kinks on infinite cosmic strings with Y-junctions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 039 ~ 039
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2020/11/039	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19件 (うち招待講演 18件 / うち国際学会 15件)

1. 発表者名 黒柳幸子
2. 発表標題 Observational constraints on primordial physics through the stochastic gravitational wave background
3. 学会等名 YITP International Molecule-type Workshop “Revisiting cosmological non-linearities in the era of precision surveys” (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 黒柳幸子
2. 発表標題 Searching log-periodic oscillations in the stochastic gravitational wave background
3. 学会等名 APCTP Focus research program: Black Hole and Gravitational Waves: from modified theories of gravity to data analyses (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 黒柳幸子
2. 発表標題 Gravitational waves from cosmic strings
3. 学会等名 Gravitational Wave Probes of Physics Beyond the Standard Model (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 黒柳幸子
2. 発表標題 Searching for planetary-mass primordial black holes
3. 学会等名 Focus Week on Primordial Black Holes (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 黒柳幸子
2. 発表標題 重力波観測の現状と展望
3. 学会等名 第36回 理論懇シンポジウム「高赤方偏移のフロンティア」(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 黒柳幸子
2. 発表標題 Tracking the origin of black holes with the stochastic gravitational wave background popcorn signal
3. 学会等名 12th Iberian Gravitational Waves Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 黒柳幸子
2. 発表標題 Tracking the origin of black holes with the stochastic gravitational wave background popcorn signal
3. 学会等名 Non-linear aspects of cosmological gravitational waves (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 黒柳幸子
2. 発表標題 Early universe cosmology with the stochastic gravitational wave background
3. 学会等名 The Dark Side of the Universe (DSU2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 黒柳幸子
2. 発表標題 Tracking the origin of black holes with the stochastic gravitational wave background popcorn signal
3. 学会等名 Messengers of the Early Universe: Gravitational Waves and Primordial Black Holes (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 黒柳幸子
2. 発表標題 背景重力波：最近の動向と今後の展望
3. 学会等名 第21回 DECIGOワークショップ（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 黒柳幸子
2. 発表標題 重力波宇宙論の展望
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会 宇宙線・宇宙物理領域、素粒子論領域 一般シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 黒柳幸子
2. 発表標題 Proving the Early Universe with gravitational waves
3. 学会等名 第10回観測的宇宙論ワークショップ（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 黒柳幸子
2. 発表標題 Stochastic gravitational wave background in quantum gravity
3. 学会等名 SUSY 2021（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 黒柳幸子
2. 発表標題 Searching for gravitational wave bursts from cosmic string cusps with the Parkes Pulsar Timing Array
3. 学会等名 Gravitational Wave Probes of Physics Beyond Standard Model (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 黒柳幸子
2. 発表標題 Primordial gravitational waves with a blue-tilted spectrum
3. 学会等名 Progress on Old and New Themes in cosmology (PONT) 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 黒柳幸子
2. 発表標題 Gravitational waves from non-local Starobinsky inflation
3. 学会等名 7th Korea-Japan Workshop on Dark Energy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 黒柳幸子
2. 発表標題 重力波宇宙論の展望
3. 学会等名 PPP2020 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 黒柳幸子
2. 発表標題 Search for a stochastic gravitational wave background with LISA
3. 学会等名 The 13th International LISA Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 黒柳幸子
2. 発表標題 Searching for gravitational wave bursts from cosmic string cusps with the Parkes Pulsar Timing Array
3. 学会等名 Spring workshop on gravity and cosmology (招待講演) (国際学会)
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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------