

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 17 日現在

機関番号：32689

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2022

課題番号：18K13537

研究課題名（和文）物質由来の原始重力波を用いた初期宇宙探査

研究課題名（英文）Probing the Early Universe through Primordial Gravitational Waves Sourced by Matter Fields

研究代表者

藤田 智弘 (Fujita, Tomohiro)

早稲田大学・高等研究所・講師（任期付）

研究者番号：20815857

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：極初期宇宙からやってくる原始重力波の生成メカニズムと、その性質を詳しく調べることが主な研究テーマであった。初期宇宙に未知の物質が存在した可能性は高い。それらがどのようなときに重力波を放出するのか、放出された重力波にどのような痕跡が残るかを調査した。まずは既知の存在であるU(1)、SU(2)ゲージ場による重力波放出を詳細に調べた。その後、超ひも理論が预言する2-form場のモデルや、あらゆる非可換ゲージ場が共通して重力波を生成するメカニズムなどの研究へと発展させた。さらに、強い磁場によって光子が重力波に変換されるシナリオなど、物質が直接重力波を作るのではない可能性をも幅広く研究した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近い将来に日本の打ち上げるLiteBIRD衛星などによって、極初期の宇宙から飛んでくる重力波が観測されると期待されている。そのような観測で判明する重力波の性質から、未知の初期宇宙の姿を描き出したい。そのためには、どのような物質が初期宇宙に存在したら、どのような重力波が作り出されるのか、その対応関係を知っておく必要がある。私のこの科研費研究では、様々な物質が様々な性質を持った重力波を放出する可能性を風漬しに調べ上げることで、その対応関係のパターンを見つけていくことを狙いとした。期待通り、数多くの理論モデルを研究し、それを縦断する重力波放出の法則をある程度見出すことができた。

研究成果の概要（英文）：The main research theme was to investigate in detail the generation mechanism of primordial gravitational waves coming from the very early universe and their properties. It is highly likely that unknown matter existed in the early universe. We investigated when they emit gravitational waves and what kind of signatures they left behind in the emitted gravitational waves. First, gravitational waves emitted by known particles, U(1) and SU(2) gauge fields, were investigated. Then, we studied the model of 2-form fields predicted by string theory and general non-Abelian gauge fields that commonly produce gravitational waves. We also extensively studied alternative emission mechanisms such as the conversion of photons into gravitational waves under strong magnetic fields.

研究分野：宇宙論

キーワード：宇宙論 重力波 インフレーション

1. 研究開始当初の背景

宇宙初期に生成された重力波は原始重力波と呼ばれ、いまだ未検出であるものの、その初観測に向けて様々な実験グループがしのぎを削っている。特に次世代の観測として、日本の衛星計画 LiteBIRD とアメリカを中心とする地上実験計画 CMB-S4 が、2020 年代後半に現在よりも 2 桁高い感度での観測を目指しており、観測家・理論家ともに大きく注目されている。しかし、実際に測定されたとき「原始重力波観測から初期宇宙について何がわかるのか？」ということは必ずしも明らかではなかった。

近年、原始重力波が初期宇宙に存在した物質を探索する全く新しいプローブとしての可能性を持っていることが明らかになってきた。今のところ極高エネルギーの初期宇宙において、どのような物質(粒子)が存在したのかはほとんど何も分かっていない。もし未知の粒子が初期宇宙に存在し、重力波を放出したとすると、重力波を観測することによってその存在を検証することができる。宇宙モデルを構築し、さらに究極理論に迫る上で、未知の粒子の情報は必要不可欠であり、原始重力波はそのための非常にユニークな方法である。このような潜在力が認識されつつも、具体的にどのように原始重力波から初期宇宙の情報を抜き出すかはまだまだ未開拓であった。

2. 研究の目的

私の研究の最終的な目標は、原始重力波が運んでくる初期宇宙に関する情報を取りつづ手段を確立することである。特に本研究では、どのような物質からどのような特性を持つ原始重力波が作られるのかを網羅的に調べ上げる。そうして粒子の種類と重力波特性の対応表を作ることで、原始重力波が検出された際にその源となった粒子を特定できるよう準備する。近い将来に次世代観測が行われ、実際に原始重力波が検出されることを見込むと、このようにして観測結果が意味するところを理論的に明らかにすることは喫緊の課題である。未知の粒子が作る原始重力波の特性を調べていくことで、対応関係を整理していくとともに、どのような観測量に注目すればいいのかも明らかにする。

3. 研究の方法

原始重力波は振幅・スペクトルの傾き・偏極・非ガウス性・統計的異方性、等の観測量を通じて情報を運んでくる。初期宇宙に存在したと考えられる粒子のうち、検出可能なほど大きな重力波を放出し得るものに狙いを付けて、理論モデルを軸に上記の重力波特性に対する予言を計算していく。粒子と言っても様々なものが考えられるが、ベクトル場に注目して調べるという方針は立っていた。なぜならインフレーション中にはボーズ粒子が大きなエネルギーを持ちやすいことが知られている。ボーズ粒子にはスカラー場、ベクトル場、テンソル場(=重力波)がある。しかしスカラー場では、CMB 観測で観測可能な重力波は生成されないことが分かっているため、自然と候補はベクトル場に絞られる。素粒子標準模型に含まれるベクトル場はゲージ場なので、素粒子模型に立脚する理論モデルとしてはゲージ場を考えることになる。勿論、後述の通りそれ以外の興味深い可能性も見逃さないように、幅広く研究を行った。

4. 研究成果

本研究で得られた成果を以下にまとめる。まずは極初期宇宙の加速膨張期として知られるインフレーションの間に、物質場から強い重力波が放出されるようなシナリオを検討した。作られる重力波の性質は物質場に大きく依存しており、以下の通りの新しい発見があった。

● U(1)ゲージ場

最も基本的なゲージ粒子である U(1)ゲージ場のモデルを調査した。この場合、作られる重力波の振幅に統計的異方性があること、すなわち特定の方向から来る重力波は振幅が大きくなる傾向にあり、別の方向から来るものは弱くなるという特異な性質があることは、以前の我々の研究で分かっていた。私は共同研究者とともに、その特徴が LiteBIRD に代表される次世代の観測によってどこまで検出可能かを定量的に評価した。

● SU(2)ゲージ場

SU(2)ゲージ場による重力波生成はよく調べられてきているが、我々は2つの新しい方向でさらなる精査を行った。1つはゲージ場にエネルギーを供給するスカラー場のポテンシャルが変わったときに重力波のスペクトルにどのような影響があるのか。もう1つは重力波と温度ゆらぎの相互相関という新しい観測量の計算である。特に前者の研究では、重力波スペクトルは大きく3種類に分類できることを示し、CMB

による観測可能性も検証した。

● 一般の非可換ゲージ場

一般の非可換ゲージ場が大きく寄与するインフレーションのモデルの構築と、そのモデルにおける重力波の生成について研究した。これまでゲージ場が背景成分(vev)を持つようなインフレーションモデルはSU(2)の場合である chromo-natural inflation model しか知られていなかった。私は共同研究者らとそれを拡張し、一般の非可換ゲージ場でも同様の安定解が多数存在することを示した。個別の解はSU(2)部分群に対応するため、SU(N)なら N が大きいほど解の多様性は大きくなる。有効ポテンシャル等を用いた解析的な議論と、具体例として SU(3)と SU(4)の場合において全ての自由度の時間発展を数値的に解く直接的な議論の両方を行い、両者が一致することも示した。

さらに線形摂動論を解析し、背景解が多数あるうちのどれか1つに留まる限りは、一次摂動の範囲で非可換ゲージ場のつくる重力波は SU(2)と見分けがつかないという普遍性があることを発見した。さらに SU(3)ゲージ場が重力波を放出するモデルにおいて、宇宙がどのように等方的に進化するかも数値的に調査した。SU(3)モデルでは等方宇宙の解が2つ存在し、パラメータによってはその間の遷移が起こる。この現象は SU(2)では起こらず、重力波の観測によってその痕跡を発見できる可能性があることを示した。他にも摂動の高次効果(ループ効果)を取り入れれば SU(N)固有の観測的示唆が得られると期待される。

● 2-form 場

超ひも理論が预言する 2-form field という場が強い重力波を生成するようなモデルを構築し、その帰結を精査した。先行研究では 2-form field が初期宇宙に存在しても、大きな重力波は作られないと議論されていた。しかし我々は 2-form field が実は大きな重力波を作る場合があり、さらには U(1)ゲージ場とは異なる統計的異方性を生じさせることを示した。したがって、将来観測で原始重力波から未知の粒子を探索する際には、統計的異方性が鍵になりうると分かった。

さらに初期宇宙で物質から直接発せられる以外のメカニズムで原始重力波が生成・増幅されるシナリオとして以下のものを研究した。

● 磁場中の光子からの変換

初期宇宙に大量に存在する光子が宇宙磁場によって重力波に変換される過程を考えた。光子が飛んでいるだけでは重力波は生じないが、静磁場中を飛ぶ光子は非常に小さい確率ながら重力波に変換することは古くから理論的に知られていた。初期宇宙では非常に強力な磁場が存在した可能性があり、加えて莫大な量の光子があったことが分かっている。初期宇宙において宇宙磁場と熱浴光子から作られる重力波を初めて計算し、現在においても極めて振動数の高い重力波として残存している可能性を指摘した。この重力波を観測できれば、重力波生成時、つまり初期宇宙に熱化していた自由度(=粒子の種類の数)が推定できることも議論した。

● Massive gravity 理論における増幅

重力理論が修正されていたときにどのような原始重力波が生成されるかも興味深い問題である。特に重力子が質量を持つ Massive Gravity 理論では、インフレーションで重力波が作られた後にその質量が小さくなることで、振幅が大きく増幅される可能性を私は共同研究者らと指摘していた。今回の研究ではそのような重力波は、修正されない重力理論(=一般相対性理論)の場合と比べて、大きな非ガウス性という観測的特徴を持つことを発見した。その形や観測方法なども詳しく議論した。

● Dynamical Chern-Simons 理論における増幅

Dynamical Chern-Simons 重力理論という拡張された重力理論において、振動するスカラー場が重力波と結合していると、伝搬する重力波がパラメータ共鳴を起こして増幅する可能性が先行研究によって指摘されていた。我々も同じ状況を精査し、もしスカラー場が空間的に一様に振動しているならば、強い共鳴増幅が起きることを確かめた。しかしながら、スカラー場の振動が場所によって異なる位相を持つような現実的な状況を考えると増幅は非常に弱くなることを発見した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計22件（うち査読付論文 20件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Okano So, Fujita Tomohiro	4. 巻 2022
2. 論文標題 When does the Schwinger preheating occur?	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 040 ~ 040
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2022/03/040	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 Nagano Koji, Nakatsuka Hiromasa, Morisaki Soichiro, Fujita Tomohiro, Michimura Yuta, Obata Ippei	4. 巻 104
2. 論文標題 Axion dark matter search using arm cavity transmitted beams of gravitational wave detectors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 0
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.104.062008	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 Fujita Tomohiro, Murai Kai, Obata Ippei, Shiraishi Maresuke	4. 巻 2022
2. 論文標題 Gravitational wave trispectrum in the axion-SU(2) model	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 007 ~ 007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2022/01/007	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 Tomohiro Fujita, Hiromasa Nakatsuka, Kyohei Mukaida, Kai Murai	4. 巻 accepted
2. 論文標題 SU(N)-natural inflation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 0
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 Fujita Tomohiro, Murai Kai, Namba Ryo	4. 巻 105
2. 論文標題 Universality of linear perturbations in $SU(N)$ natural inflation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 0
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.105.103518	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 Fujita Tomohiro, Kamada Kohei, Nakai Yuichiro	4. 巻 102
2. 論文標題 Gravitational waves from primordial magnetic fields via photon-graviton conversion	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.102.103501	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 Okano So, Fujita Tomohiro	4. 巻 2021
2. 論文標題 Chiral gravitational waves produced in a helical magnetogenesis model	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 026 ~ 026
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2021/03/026	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 Fujita Tomohiro, Obata Ippei, Tanaka Takahiro, Yamada Kei	4. 巻 38
2. 論文標題 Resonant gravitational waves in dynamical Chern-Simons-axion gravity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Classical and Quantum Gravity	6. 最初と最後の頁 045010 ~ 045010
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6382/abce49	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 Fujita Tomohiro, Durrer Ruth	4. 巻 2019
2. 論文標題 Scale-invariant helical magnetic fields from inflation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 008 ~ 008
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2019/09/008	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 Taruya Atsushi, Saga Shohei, Breton Michel-Andr?s, Rasera Yann, Fujita Tomohiro	4. 巻 491
2. 論文標題 Wide-angle redshift-space distortions at quasi-linear scales: cross-correlation functions from Zel'dovich approximation	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 4162 ~ 4179
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stz3272	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 Fujita Tomohiro, Mizuno Shuntaro, Mukohyama Shinji	4. 巻 2020
2. 論文標題 Primordial tensor non-gaussianity from massive gravity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 023 ~ 023
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2020/01/023	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 Michimura Yuta, Oshima Yuka, Watanabe Taihei, Kawasaki Takuya, Takeda Hiroki, Ando Masaki, Nagano Koji, Obata Ippei, Fujita Tomohiro	4. 巻 1468
2. 論文標題 DANCE: Dark matter Axion search with riNg Cavity Experiment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012032 ~ 012032
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1468/1/012032	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 Nagano Koji, Obata Ippei, Fujita Tomohiro, Michimura Yuta	4. 巻 1468
2. 論文標題 Axion Dark Matter Search with Interferometric Gravitational Wave Detectors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012027 ~ 012027
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1468/1/012027	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 Bolis Nadia, Fujita Tomohiro, Mizuno Shuntaro, Mukohyama Shinji	4. 巻 2018
2. 論文標題 Quantum entanglement in multi-field inflation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 004 ~ 004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2018/09/004	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 Obata Ippei, Fujita Tomohiro, Michimura Yuta	4. 巻 121
2. 論文標題 Optical Ring Cavity Search for Axion Dark Matter	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	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) 10.1103/PhysRevLett.121.161301	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 Obata Ippei, Fujita Tomohiro	4. 巻 99
2. 論文標題 Footprint of two-form field: Statistical anisotropy in primordial gravitational waves	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	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) 10.1103/PhysRevD.99.023513	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 Fujita Tomohiro, Kuroyanagi Sachiko, Mizuno Shuntaro, Mukohyama Shinji	4. 巻 789
2. 論文標題 Blue-tilted primordial gravitational waves from massive gravity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 215 ~ 219
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2018.12.025	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 Hiramatsu Takashi, Yokoyama Shuichiro, Fujita Tomohiro, Obata Ippei	4. 巻 98
2. 論文標題 Hunting for statistical anisotropy in tensor modes with B-mode observations	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review D	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) 10.1103/PhysRevD.98.083522	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 Fujita Tomohiro, Tazaki Ryo, Toma Kenji	4. 巻 122
2. 論文標題 Hunting Axion Dark Matter with Protoplanetary Disk Polarimetry	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	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) 10.1103/PhysRevLett.122.191101	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 Fujita Tomohiro, Namba Ryo, Obata Ippei	4. 巻 2019
2. 論文標題 Mixed non-gaussianity from axion-gauge field dynamics	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 044 ~ 044
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2019/04/044	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 Fujita Tomohiro, Sfakianakis Evangelos I., Shiraishi Maresuke	4. 巻 2019
2. 論文標題 Tensor spectra templates for axion-gauge fields dynamics during inflation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 057 ~ 057
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2019/05/057	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 Nagano Koji, Fujita Tomohiro, Michimura Yuta, Obata Ippei	4. 巻 123
2. 論文標題 Axion Dark Matter Search with Interferometric Gravitational Wave Detectors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	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) 10.1103/PhysRevLett.123.111301	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 -

〔学会発表〕 計12件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 藤田智弘
2. 発表標題 SU(N) gauge-natural inflation
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤田智弘
2. 発表標題 ゲージ場の宇宙論 (物理学会若手奨励賞受賞記念講演)
3. 学会等名 日本物理学会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomohiro Fujita
2. 発表標題 Primordial GWs from the axion-SU(2) gauge fields during inflation
3. 学会等名 Zooming in on Axions in the Early Universe @ CERN (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomohiro Fujita
2. 発表標題 Hunting Axion Dark Matter with New Techniques
3. 学会等名 Beyond general relativity beyond cosmological standard model (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomohiro Fujita
2. 発表標題 Axion Dark Matter Search with Gravitational Wave Detectors
3. 学会等名 APPC2019 14th Asia-Pacific Physics Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomohiro Fujita
2. 発表標題 Monkey Theory: a general and simple theory of bias expansion
3. 学会等名 PTchat@Kyoto (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤田智弘
2. 発表標題 原始惑星系円盤の偏光観測による暗黒物質アクシオンの探査
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomohiro Fujita
2. 発表標題 New Axion Dark Matter Search with Proto-Planetary Disks
3. 学会等名 Topics in Astroparticle and Underground Physics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomohiro Fujita
2. 発表標題 Hunting Axion Dark Matter with New Techniques
3. 学会等名 JGRG29 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomohiro Fujita
2. 発表標題 Primordial Gravitational Waves in a Massive Graviton Theory
3. 学会等名 Essential next steps for gravity and cosmology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomohiro Fujita
2. 発表標題 Novel Ways to Hunt Axion Dark Matter: Observation and Experiment
3. 学会等名 Winter Mini Whorkshop on Gravity and Cosmology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomohiro Fujita
2. 発表標題 Search for Axion Dark Matter with New Approaches
3. 学会等名 FAPESP&JSPS Whorkshop on dark energy, dark matter and galaxies (国際学会)
4. 発表年 2019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