

令和 6 年 6 月 4 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K03857

研究課題名（和文）様々な相対論的重力現象解析に基づく重力の本質理解に向けて

研究課題名（英文）Towards Understanding Gravity Based on Analysis of Various Relativistic Gravitational Phenomena

研究代表者

前田 恵一（MAEDA, Kei-ichi）

早稲田大学・理工学術院・名誉教授

研究者番号：70199610

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：ビッグバン宇宙論の成功や重力波の発見により、一般相対性理論は相対論的重力理論として益々正しいものと考えられる様になっている。その一方で、宇宙初期やブラックホール内部の特異点の存在はその修正を余儀なくしている。また、現代宇宙論の最大の謎であるダークエネルギー問題解明のために、修正重力理論などの研究が盛んに行われるようになってきている。本研究では、様々な相対論的重力現象を解析することで、重力の本質解明に取り組んだ。特に階層三体系のダイナミクスとその重力波の解析において2つの新しい観測可能な現象を発見し、また最小修正重力理論がダークエネルギー問題の説明を与える可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

重力研究の進展は新しい物理学誕生につながる可能性を秘めており、ダークエネルギー等の現代宇宙論の最大の謎の解明への第一歩となる研究は学術的に大きな意義がある。

研究成果の概要（英文）：With the success of Big Bang cosmology and the discovery of gravitational waves, general relativity is increasingly considered a correct relativistic theory of gravity. On the other hand, the existence of singularities in the early universe and within black holes necessitates its modification. Additionally, in order to solve the dark energy problem, which is the greatest mystery of modern cosmology, research on modified theories of gravity has become active. In this study, we tackled the elucidation of the nature of gravity by analyzing various relativistic gravitational phenomena. In particular, we discovered two new observable phenomena in the dynamics of hierarchical triple systems and their gravitational waves, and also showed that minimal modified gravity theory could provide an explanation for the dark energy problem.

研究分野：理論宇宙物理学

キーワード：一般相対性理論 重力波 階層的三体系 ブラックホール ダークエネルギー 修正重力理論 時空特異点

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

重力は非常に不思議な力である。身近な存在にも関わらず、人類はまだ完全にその正体を掴んでいない。ニュートンは、地球上の物体の落下現象と天体の運動を統一する万有引力を発見し、近代物理学を発展させた。1915年に発表された一般相対性理論は、ニュートン重力理論と特殊相対性理論の間の矛盾を解消するだけでなく、重力を時空の幾何学として捉えることで、時空の概念を根本的に変える画期的な理論となった。太陽系における検証実験等によりその理論は確実なものとなったが、さらに時空を物理学の対象としたことで、宇宙論、ブラックホール、重力波というまったく新しい研究分野を開拓した。現代宇宙論の標準モデルとなったビッグバン宇宙論は様々な精密観測により確かなものとなっている。また、ブラックホールはエネルギー源を提供する「天体」として今や相対論的天体物理学には欠かせない存在となっている。近年の連星系からの重力波の直接観測は、一般相対性理論が強い重力場でも正しいことを示しただけでなく、ブラックホールの存在も現実のものとした。このように重力の研究は、ことあるごとに物理学を大きく進化させてきた。そしていま、力の統一や量子重力といった超ミクロの世界と広大な宇宙という超マクロの世界の両極端で人類は大きな謎に遭遇し、その答えの「鍵」としての「重力」が注目されている。そして重力によるその謎解明が、再び物理学の新しい展開に導くのではと期待される。

2. 研究の目的

以上のような学術的背景において、重力に関する様々な自然現象を詳細に解析し、重力の本質を捉えることは新しい物理学の発見に繋がる重要な過程と考える。特に、近年の重力波の発見はその様なアプローチを加速すると考えられ、総合的かつ系統的な相対論的重力の研究による重力の理解が急務となる。そこで本研究では様々な相対論的重力現象の解析を行うことでその解明に一歩でも近づくことを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、まず一般相対性理論を前提とした様々な重力現象を解析する。もちろん、このような研究はこれまでも非常に数多く行われているが、本研究では従来あまり考えられていない設定での研究を行う。基本方程式

本研究の構造



が非常に複雑なアインシュタイン方程式の解析では、これまで解析が比較的容易な定常状態や対称性の高い系の研究が主に行われてきた。そのような解析は、ブラックホールの予言やビッグバン膨張宇宙論など多くの重要な成果を挙げている。しかし自然界にはより複雑な現象が数多く存在する。たとえば一般の系は非可積分系で、カオスなどの重要な非線形現象が様々なと

ここで見いだされている。そこで、本研究では非可積分重力系のダイナミクスの解析を中心に
行う。特に、そのような系から放出される重力波を解析し、観測的に重要な情報をもたらすか
について系統的な考察を行う。これにより重力の新しい側面が明らかになると期待される。
一方で、一般相対性理論は、ミクロの世界では修正を余儀なくされる。Penrose-Hawkingにより
示されたように宇宙の始まりやブラックホール内部には特異点が存在し、そこでは理論が破綻
している。量子重力や素粒子統一理論などでその問題解決に取り組んでいるが未だに答えは得
られていない。また、精密観測によりビッグバン宇宙論の正しさは確固としたものになってい
るが、新たな謎も現れている。2011年度にノーベル物理学賞が与えられた現代宇宙論最大の謎で
ある宇宙の加速膨張の発見である。ビッグバン理論の基礎となっている一般相対性理論では、
通常物質に対しては万有引力が働くため宇宙膨張は減速される。観測された加速膨張を説明
するためには通常物質とは異なる奇妙な物質の存在が必要となり、それをダークエネルギー
とよんでいる。観測からそれは宇宙全体のエネルギー密度の7割を占め、宇宙定数(真空のエン
ルギー)のような性質を持っていることがわかっている。しかしながら、現在の加速膨張が示唆
するエネルギー・スケールは遙かに小さく、またその値がなぜ物質(ダークマター)密度と同程
度であるのかという大きな謎が存在する。これまでの常識的なアプローチでは解決が困難で、
自然界における基本法則の根幹にも関わる重要な問題を提起している。このダークエネルギー
問題は、現在科学に対する挑戦でもあり、物理学の最重要課題の一つと考えられる。その問題
解決に向けては、いろいろなアプローチが試みられているが、重力にその起源を求める試みが
最も多い。上記特異点問題および宇宙の加速膨張問題は、重力が「普遍的な引力」という性質
をなぜ持っているのかという疑問と密接に関連すると考えられる。そこで本研究の第2の柱とし
て、一般相対性理論を超える理論や考え方によってこれら2つの重要課題を解明することができ
るかどうかを探る。もちろんこれまで数多くの研究がなされているが、本研究では、3つの異なる
立場(一般相対性理論、修正重力理論、対応原理的アプローチ)を比較しながら解析する。

4. 研究成果

本研究では重力の本質的理解のため、特に以下の2つの特徴(非可積分性・普遍的引力)に着目
し、様々な相対論的重力現象の解析を行った。

(1)一つは、相対論的重力の非線形性特有の現象解析で、現在最も正しいと考えられている一般
相対性理論を基礎に、非可積分系およびそのカオス的振る舞い、またそれに伴う放出重力波の
解析を行う。現在発見されているブラックホール連星や中性子星連星以外の重力波源はさらに
新たな情報をもたらすと期待され、重力波観測などを通して非可積分系における重力の特質を
明らかにすることを目指した。具体的には、主に階層三体系(近接連星が第3の天体と連星系を
構成する三体系)のダイナミクスとそのような系からの重力波の解析を次の2つの場合に行っ
た。(A) ニュートン重力およびポストニュートン近似に基づく階層的三体系のダイナミクスと
その系からの放出重力波。(B) 超巨大ブラックホールまわりの連星系のダイナミクス。

(A) ニュートン重力およびポストニュートン近似における階層的三体系について考察し、内
連星の離心率と軌道傾斜角の間の振動をもたらす von Zeipel-Lidov-Kozai (vZLK) 機構について
詳細に解析し、vZLK機構が顕著に表れる状況において、重力波の間接観測と直接観測の2つの
新しい観測可能性を指摘した。内連星にパルサーを含む場合、vZLK機構により内連星の離心率
が大きくなると重力波放出が増大し、その結果として重力波放出による近星点移動の累積変化

曲線に曲がりが生ずる。近星点移動の累積変化は重力波の間接観測となるが、その曲線に曲がりを発見できれば階層三体系であることの証拠を与える。また直接観測としては、円軌道に近い通常の連星系では観測が困難なスパイラル相においても階層三体系であれば離心率が大きくなるときには大量の重力波が放出されるため、十分な重力波放出が期待できる。内連星の離心率の変動に伴い、観測される重力波の強度が周期的に変化するため、他の重力波源と識別が可能となる。星質量ブラックホール、中間質量ブラックホール、超巨大質量ブラックホールの様々な組み合わせを詳細に調べた結果、多くのモデルにおいて現在計画されているLISAなどの宇宙重力波干渉計で十分観測可能となることを示した。この系の重要な特長は、vZLK機構により離心率が大きくなる状況が周期的に現れ、同様の重力波放出が周期的に繰り返し起こるため、一旦そのような重力波源を発見すると次に観測可能となる時期が予想でき、より詳細な観測が期待できる点にある。

(B) 銀河中心に存在する超巨大ブラックホールまわりの連星系のダイナミクスを解析した。このような系はより現実的な階層三体系を与え、今後の観測に重要になる。超巨大ブラックホールは背景時空として与え、そのまわりの連星系の運動は局所慣性系を設定し、ニュートン近似により取り扱う。連星が十分コンパクトな場合には重力の非常に強いISCO(最内安定円軌道)近傍を運動する連星においても規則正しい安定なvZLK振動が起こり、(A)の場合同様の興味深い現象が期待されることを明らかにした。また結合が少し弱い連星の場合、カオス的な振る舞いを示し、離心率の最大振幅や振動周期が不規則になる。また初期軌道傾斜角が 90° に近い場合には軌道面反転を引き起こす場合があることを示した。これらの系からの重力波解析は重力波天文学に重要な情報を与え、また相対論的重力系の非可積分性を明らかにすると期待される。

(2) もう一つは、「普遍的引力」の起源を探るため、一般相対性理論を超えるアプローチを解析した。素粒子統一理論を含めた修正重力理論に基づく解析で、宇宙の加速膨張の原因を探った。超ミクロの世界と超マクロの世界の両極端で人類は大きな謎に遭遇しているが、本研究では一般相対性理論を超える理論や考え方によってこれらの謎解明に迫る。これまでもこれらの謎解明に向けた修正重力理論に基づく様々な重力現象の解析は行われているが、本研究では、重力子の2自由度を超える新たな自由度(例えばスカラー場)を導入しない最小修正重力理論に注目し、その宇宙論的応用に関して解析を行った。たとえばcuscuta-galileon重力理論では、適当なポテンシャルを選ぶと、ビッグバンから現在の加速膨張につながる宇宙進化モデルが構築できる。このモデルに基づくと、近傍超新星観測によるハッブル定数の値と宇宙背景輻射の解析から得られた値の不一致問題を解決する可能性があることを示した。またcuscuton重力理論およびその拡張理論に関して宇宙論的観測からの制限を与えた。またもう一つの拡張理論であるVCDM理論に関して、他の理論との比較および重力崩壊からのブラックホール形成過程について明らかにした。これらの考察から、上記の最小修正重力理論は、ダークエネルギーを説明するだけでなく、スカラー重力理論のようなこれまでの修正重力理論に含まれるスカラー自由度などの問題が現れないと予想される。

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 8件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Maeda Kei-ichi, Gupta Priti, Okawa Hirota	4. 巻 108
2. 論文標題 Chaotic von Zeipel-Lidov-Kozai oscillations of a binary system around a rotating supermassive black hole	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 123041
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.108.123041	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 Minamitsuji Masato, Maeda Kei-ichi	4. 巻 108
2. 論文標題 Black hole thermodynamics in Horndeski theories	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 84061
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.108.084061	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 Maeda Kei-ichi, Gupta Priti, Okawa Hirota	4. 巻 107
2. 論文標題 Dynamics of a binary system around a supermassive black hole	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 124039
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.107.124039	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 De Felice Antonio, Maeda Kei-ichi, Mukohyama Shinji, Pookkillath Masroor C.	4. 巻 2023
2. 論文標題 Gravitational collapse and formation of a black hole in a type II minimally modified gravity theory	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 030 ~ 030
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2023/03/030	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 Panpanich Sirachak, Maeda Kei-ichi	4. 巻 83
2. 論文標題 Cosmological dynamics of Cuscuta-Galileon gravity	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The European Physical Journal C	6. 最初と最後の頁 104022
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjc/s10052-023-11356-7	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 De Felice Antonio, Maeda Kei-ichi, Mukohyama Shinji, Pookkillath Masroor C.	4. 巻 106
2. 論文標題 Comparison of two theories of Type-IIa minimally modified gravity	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 24028
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.106.024028	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 Kazunori Kohri, Kei-ichi Maeda	4. 巻 9
2. 論文標題 A possible solution to the helium anomaly of EMPRESS VIII by cuscuton gravity theory	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 910
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptac114	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 Kei-ichi Maeda, Sirachak Panpanich	4. 巻 105
2. 論文標題 Cuscuta-Galileon cosmology: Dynamics, gravitational constants, and the Hubble constant	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 104022
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.105.104022	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 V. Cardoso, C..B. Macedo, K. Maeda, H. Okawa	4. 巻 39
2. 論文標題 ECO-spotting: looking for extremely compact objects with bosonic fields	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Classical and Quantum Gravity	6. 最初と最後の頁 34001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6382/ac41e7	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 S. Kawamura et al	4. 巻 5
2. 論文標題 Current status of space gravitational wave antenna DECIGO and B-DECIGO	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 PTEP	6. 最初と最後の頁 05A105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptab019	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 Suzuki Haruka, Gupta Priti, Okawa Hirotada, Maeda Kei-ichi	4. 巻 500
2. 論文標題 Post-Newtonian Kozai-Lidov mechanism and its effect on cumulative shift of periastron time of binary 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 1645 ~ 1665
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa3081	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 Yan Haobo, Zhong Yuan, Liu Yu-Xiao, Maeda Kei-ichi	4. 巻 807
2. 論文標題 Kink-antikink collision in a Lorentz-violating ϕ^4 model	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 135542 ~ 135542
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2020.135542	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 Sato Seiga, Maeda Kei-ichi	4. 巻 101
2. 論文標題 Stability of hybrid Higgs inflation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 103520
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.101.103520	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 Gupta Priti, Suzuki Haruka, Okawa Hirota, Maeda Kei-ichi	4. 巻 101
2. 論文標題 Gravitational waves from hierarchical triple systems with Kozai-Lidov oscillation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 104053
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.101.104053	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 Okabayashi Kazumasa, Maeda Kei-ichi	4. 巻 2020
2. 論文標題 Maximal efficiency of the collisional Penrose process with a spinning particle. II. Collision with a particle on the innermost stable circular orbit	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 130
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptz143	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 Suzuki Haruka, Gupta Priti, Okawa Hirota, Maeda Kei-ichi	4. 巻 486
2. 論文標題 Cumulative shift of periastron time of binary pulsar with Kozai-Lidov oscillation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters	6. 最初と最後の頁 L52-L57
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnrasl/slz058	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 Panpanich Sirachak, Ponglertsakul Supakchai, Maeda Kei-ichi	4. 巻 100
2. 論文標題 Cosmological dynamics and double screening of DBI-Galileon gravity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 44038
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.100.044038	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 Shimada Keigo, Aoki Katsuki, Maeda Kei-ichi	4. 巻 99
2. 論文標題 Metric-affine gravity and inflation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 104020
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.99.104020	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 Kawamura Seiji, et al	4. 巻 28
2. 論文標題 Space gravitational-wave antennas DECIGO and B-DECIGO	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Modern Physics D	6. 最初と最後の頁 1845001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0218271818450013	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14件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Kei-ichi Maeda
2. 発表標題 Chaotic vZLK oscillations of a binary system around SMBH and gravitational waves
3. 学会等名 YITP long-term workshop "Gravity and Cosmology 2024" (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 川村静児, 他
2. 発表標題 スペース重力波アンテナDECIGO計画 (156) : DECIGOの概要
3. 学会等名 日本物理学会2022年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 川村静児, 他
2. 発表標題 スペース重力波アンテナDECIGO計画 (146) : DECIGOの概要
3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川村静児, 他
2. 発表標題 スペース重力波アンテナDECIGO計画 (138) : DECIGOの概要
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川村静児, 他
2. 発表標題 スペース重力波アンテナDECIGO計画(131) : DECIGOの概要
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川村静児, 他
2. 発表標題 スペース重力波アンテナDECIGO計画(125) : DECIGOの概要
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川村静児, 他
2. 発表標題 スペース重力波アンテナDECIGO計画(118) : DECIGOの概要
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kei-ichi Maeda
2. 発表標題 Hierarchical Triple System and Gravitational Waves
3. 学会等名 The 14th International Conference on Gravitation, Astrophysics and Cosmology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kei-ichi Maeda
2. 発表標題 General Relativity vs Modified Gravity
3. 学会等名 7th Korea-Japan Workshop on Dark Energy: Maeda's Universe (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安東正樹, 他
2. 発表標題 スペース重力波アンテナDECIGO計画 (110) : DECIGOの概要
3. 学会等名 日本物理学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安東正樹, 他
2. 発表標題 スペース重力波アンテナDECIGO計画 (106) : B-DECIGOの概要
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kei-ichi Maeda
2. 発表標題 Gravitational Waves from Hierarchical Triple System
3. 学会等名 String theory, Gravitation and Cosmology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kei-ichi Maeda
2. 発表標題 Hybrid Higgs Inflation - Observational Constraints and Reheating
3. 学会等名 15th Rencontres du Vietnam "Cosmology" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kei-ichi Maeda
2. 発表標題 Gravitational Waves from Hierarchical Triple System
3. 学会等名 The First Hangzhou International Meeting on Gravitational Waves (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 前田恵一・田辺誠	4. 発行年 2022年
2. 出版社 サイエンス社	5. 総ページ数 168
3. 書名 演習形式で学ぶ特殊相対性理論	

〔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			
インド	IndianInstitute of Science, Bangalore			
タイ	Mahidol University			
ポルトガル	IST, Universidade de Lisboa			
メキシコ	Universidade Federal do Para			
中国	Xi'an Jiaotong University	Lanzhou University		