

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 23 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2021

課題番号：16K05322

研究課題名(和文)弦の構成的定式化に基づく標準模型とプランクスケール物理の統合

研究課題名(英文)Unification of the standard model and the Planck scale physics based on constructive formulation of string theory

研究代表者

川合 光 (KAWAI, Hikaru)

京都大学・理学研究科・教授

研究者番号：80211176

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：以下の3項目のそれぞれについて発展があり、計15篇の論文として公表した。(i)川名、柳生、濱田、尾田氏との共同研究において、プランクスケールまで矛盾がないような標準模型の修正の可能性を論じた。(ii)春名、川名両氏との共同研究において、マルチバースによる自然性問題の解消を拡張して、電弱スケールがプランクスケールから非摂動的に得られる可能性を示した。(iii)Ho、横倉両氏との共同研究において、ブラックホールの水平線近傍での場の相互作用を調べ、古典的な等価原理が量子論の極限としては得られないことを示した。これは、古典重力と量子重力の本質的な違いがどのようなものであるかを理解する一歩となると思われる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

超弦理論に基づいた統一理論の研究がはじまって40年近くが経つが、未だに素粒子物理学の根幹をなす基本理論には至っていない。一方、LHCによるHiggs粒子の発見と、TeV領域において超対称性等の新現象が存在しないことの発見は、素粒子物理学がこれまでの考え方に捉われない新たな方向性を模索する時代へ入ったことを示している。それとともに標準模型では説明不可能な現象や、標準的な場の理論の考え方では理解できない問題も存在する。現在われわれの手中にある実験結果の意味を深く考察し、場の理論のダイナミクスや量子重力・弦理論とのつながりを再検討することが、次世代の科学を築いていく手掛かりとなる。

研究成果の概要(英文)：Developments were made on each of the following three topics, which were published as a total of 15 papers. (i) In collaboration with Kawana, Yagyu, Hamada, and Oda, we discussed the possibility of modifying the standard model so that it is consistent up to the Planck scale. (ii) In collaboration with Haruna and Kawana, we extended the resolution of the naturalness problem by multiverse and showed the possibility that the electroweak scale can be obtained non-perturbatively from the Planck scale. (iii) In collaboration with Ho and Yokokura, we investigated the field interaction near the horizon of a black hole and showed that the classical equivalence principle cannot be obtained as a limit of quantum theory. This may be a step toward understanding what the essential difference between classical and quantum gravity is.

研究分野：素粒子論

キーワード：素粒子 量子重力 弦理論 標準模型 プランクスケール 行列模型 自然性問題 マルチバース

1. 研究開始当初の背景

超弦理論に基づいた統一理論の研究がはじまって既に 40 年近くが経つが、未だに素粒子物理学の根幹をなす基本理論には至っていない。一方、LHC による Higgs 粒子の発見と、TeV 領域において超対称性等の新現象が存在しないことの発見は、素粒子物理学がこれまでの考え方に捉われない新たな方向性を模索する時代へ入ったことを示している。それとともに、標準模型では説明するのが困難な現象(暗黒物質や宇宙でのバリオン数非対称性の起源)や、標準的な場の理論の考え方では理解できない問題(階層性問題や宇宙項問題など)も存在する。これらの諸問題を解決するためには、現在われわれの手中にある実験結果の意味を深く考察し、場の理論のダイナミクスや量子重力・弦理論とのつながりを再検討することで、ポスト LHC 時代の新しい素粒子論を構築することが重要となる。

2. 研究の目的

LHC の結果によると、超対称性は低エネルギーには見当たらず、しかも Higgs 場は elementary と考えてもよい。また、最新のデータに基づいた解析によると、標準模型はプランクスケールまで安定で矛盾のない理論でありうる。これは、標準模型の物理とプランクスケールの物理が直接つながっており、標準模型と量子重力の統合を試みるのが十分現実的であることを示唆している。そのような試みは、top down 的な視野からある程度なされてきたが、プランクスケールと標準模型のスケール間の情報がなかったため、目覚ましい進展はなかった。本研究は、上記の事情をふまえて、top down および bottom up 両面から、自然性問題等の弦理論・場の理論の根幹に関する研究を進め、時空の創発を含む究極の理論に迫ろうというものである。

具体的な目的は以下のとおりである。

本研究では、いろいろな視点からの研究を発展させ、その中から共通する真理を引き出し、統合をはかる形で究極の理論の全貌を明らかにすることを試みる。具体的には、以下の研究を進める。

(1) 行列模型による時空と物質の創発

超弦理論を完成させ、重力まで含めた究極の統一模型を構築する有力な候補が行列模型であるが、これまでは行列模型から標準模型を直接導出する試みはあまり真剣になされていなかった。本研究では上記のような LHC から得られる知見をもとに、解析的とり数値的両面から行列模型の性質をあらたに解析し、時空自身の生成からはじめ、標準模型が正しく再現されているかを調べる。

(2) 自然性に対する新しい理解の試み

従来、自然性は超対称性との関連で議論されることが多かったが、LHC の結果はより広い視野から議論しなおす必要性を示している。たとえば、時空のトポロジーが量子的に揺らいでいる効果を取り入れたり、経路積分をカノニカルアンサンブル型からミクロカノニカルアンサンブル型に変形するなど、従来の局所場の理論を少し拡張したような系を考える。そのような系では、いわゆる Big Fix、すなわち、宇宙項をふくむすべての結合定数がダイナミカルに決まる可能性すらあるが、その結果が本当に現実的なパラメーターを再現しているかどうかを検討する。

(3) プランクスケールの物理とインフレーション

Higgs 粒子、トップクォークの質量をはじめとする最新のデータに基づいたくりこみ群の解析によると、Higgs 場の有効ポテンシャルは、プランクスケール付近で平坦になっている可能性がある。これは、標準模型がプランクスケールまで有効である可能性を示唆しているのみならず、Higgs 場が宇宙初期のインフレーションを引き起こしている可能性も示している。すなわち、標準模型がプランクスケールの物理、特に弦理論と直接つながっており、時空の創生もプランクスケールで説明されるという非常に単純な描像が成り立つ可能性がある。本研究では、行列模型と場の理論の両面から、そのような可能性が現実に成り立つか検討する。また、ポテンシャルの平坦性から、ダークマターに対してどのような制限がつくかを解析する。

(4) ブラックホールと情報問題

ブラックホールが形成され蒸発する過程で、情報がどのように蓄えられ、また戻ってくるのかを考察することは、量子重力の真の自由度がどのようなものであるかを解明するための第一歩として広くなされてきた。これに対し本申請者は、横倉祐貴氏との予備的な共同研究において、ブラックホールは本来蒸発するものであるという仮定のもとでは、いわゆる特異性や情報消失問題はおきず、ブラックホール内部の構造を議論することができる可能性があることを示した。本研究では、その結果と行列模型の解析を融合させ、量子重力・弦理論の真の自由度を求め、時空創発のメカニズムの解明に迫る。

3. 研究の方法

ポスト LHC 時代の素粒子論の構築に向けて、さまざまな側面からの解析を行う。具体的には、

- (1) 行列模型による時空と物質の創発
- (2) 自然性に対する新しい理解の試み
- (3) プランクスケールの物理とヒッグスインフレーションの可能性
- (4) ブラックホールと情報問題と行列模型の自由度

に関して、数値的および解析的な考察を並行して進める一方で、研究会、セミナーなどを通じて、国内外の素粒子物理、場の理論、物性理論、宇宙論、数理物理などの専門家たちと幅広く交流することによって、新しい視点を開き問題を解決する。

4. 研究成果

基本的な問いは「標準模型は本当に弦理論の真空か」ということである。これは長年の問題であるが、この十年の実験・観測結果は、bottom up と top down 的なアプローチが大変近いものであることを示している。いいかえると、電弱スケールとプランクスケールの間にある「小さなギャップ」を埋めることで、両者がつながる可能性がある。この「小さなギャップ」としては、暗黒物質、バリオン数生成、宇宙初期のインフレーションなど、場の理論内で解決できるものに加えて、量子重力・自然性問題など、場の理論の考え方自体の変更も考慮する必要がある。

当研究者は長年、「行列模型による時空と物質の創発」と、「自然性に対する新しい理解の試み」の2つの視野を融合させることを考えている。

当研究では、以下のような問題を有機的に結び付けて、上記の「小さなギャップ」の全体像の説明を試み、まだ最終的ではないものの、一定の成果を得た。その結果を、当研究を開始して以来の6年間で15編の論文として発表した。

）Higgs 場の質量および自己結合定数の起源をプランクスケールの物理から解明する。また、その観点から Higgs インフレーションを調べ、プランクスケールに近いエネルギー領域を解明する。

）弦理論・行列模型から帰結されるマルチバースを解析し、低エネルギー有効理論としての場の量子論がどのように修正されるべきかを議論し、自然性問題を解明する。

）ブラックホールの時間発展を形成から蒸発まで、場の理論の第1原理から解析し、重力の量子論と古典論の本質的な違いを解明する。

具体的には、以下の研究を進めた。

(1) 行列模型による時空と物質の創発

超弦理論を完成させ、重力まで含めた究極の統一模型を構築する有力な候補が行列模型であるが、これまでは行列模型から標準模型を直接導出する試みはあまりシリアスになされていなかった。本研究では上記のような LHC から得られる知見をもとに、解析的・数値的両面から行列模型の性質をあらたに解析し、時空自身の生成からはじめ、標準模型が正しく再現されているかを調べた。

(2) 弦理論と場の量子論の非摂動効果の研究

重力を不可避的に含む超弦を通じて、時空パラメーターと素粒子パラメーター間の相関を見出すことを試みた。TeV 領域に超対称性がなかった事を踏まえ、弦理論及び場の量子論の両面から、超対称性に代わる新しい原理として多重臨界点原理について考察し、標準模型を越える物理現象を予言する新しい方向性を追求した。

(3) 自然性に対する新しい理解の試み

従来、自然性は超対称性との関連で議論されることが多かったが、LHC の結果はより広い視野から議論しなす必要性を示している。たとえば、量子重力において時空のトポロジーが揺らいでいる効果を取りいれたり、経路積分をカノニカルアンサンブル型から変形するなど、従来の局所場の理論を少しはみ出したような系を考える可能性がある。そのような場合、いわゆる Big Fix、すなわち、宇宙項をふくむすべての結合定数がダイナミカルに決まる可能性があるか検討した。

(4) 電弱対称性の破れとプランクスケールの物理

126GeV の Higgs 粒子の自己相互作用は、プランクスケール付近で消滅する。また低エネルギー超対称性への実験的制限は、質量項の安定性(階層性問題)に対する再考察を必要とする。本研究では、階層性問題と安定性限界直上にある Higgs 質量を、プランク物理の観点から見直した。特に、「平坦ポテンシャルをもつ Higgs 場の導出」に焦点を絞り、弦理論と電弱理論の橋渡しを目指した。

以上を総合して、LHC 後の時代をみすえた素粒子像の構築を試みたが、国内外の関連する研究の中での位置づけは以下のとおりである。

LHC 実験の結果、多くの研究者がいわば Pre-LHC 時代の価値観から解放される必要性を強く感じている。126 GeV Higgs 質量の意味を先駆的に予言したのは Nielsen 達 (1996)だが、Espinosa 達(2012)はプランクスケールまでの真空の安定性限界を計算した。これらの研究は、電弱スケールとプランクスケールが直接関係する可能性を示唆している。また、Higgs 場の裸の質量をカットオフスケールの関数として表すと、やはり、プランクスケール付近でゼロになることが、本研究者のグループにより見出されたが、これは、Higgs 場の起源が弦理論の平坦なポテンシャルを

持つ励起であることを示唆している。一方で弦理論を構成的に定式化し、非摂動的なダイナミクスを理解する試みも大きな流れになっている。B 行列模型は本研究者のグループが提案し、さらに、非可換時空構造の導出、4次元マルチバースの自発的発生など、豊富な構造が解明されてきた。海外でも Steinacker 達をはじめ、標準模型を埋め込む研究が精力的になされ、カイラルフェルミオンの起源や世代対称性の創発などが議論されている。最近では数値シミュレーションも進歩し、ダイナミクスが理解されつつある。

過去20年間の素粒子論研究は、数理的色彩の強い弦理論研究と、TeV スケール超対称性を仮定する現象論的研究に遊離していた。LHC で両者をつなぐ新たな手掛かりが得られつつあり、素粒子論研究は新局面に向っている。本研究の特色は、LHC 以前の時代のバイアスから解放され、bottom up と top down アプローチを融合することで、新しい素粒子論を展開することであり、その一つの方向性を示すことができたと考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 17件 / うち国際共著 5件 / うちオープンアクセス 17件）

1. 著者名 Ho Pei-Ming, Kawai Hikaru, Yokokura Yuki	4. 巻 2022
2. 論文標題 Planckian physics comes into play at Planckian distance from horizon	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 1-24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP01(2022)019	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 Kawai Hikaru, Yokokura Yuki	4. 巻 105
2. 論文標題 Interior metric of slowly formed black holes in a heat bath	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.105.045017	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 Kawai Hikaru, Kawana Kiyoharu	4. 巻 2022
2. 論文標題 The multicritical point principle as the origin of classical conformality and its generalizations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 1-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptab161	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 Hamada Yuta, Kawai Hikaru, Kawana Kiyoharu, Oda Kin-ya, Yagyu Kei	4. 巻 81
2. 論文標題 Minimal scenario of criticality for electroweak scale, neutrino masses, dark matter, and inflation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The European Physical Journal C	6. 最初と最後の頁 1-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjc/s10052-021-09735-z	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 Hamada Yuta, Kawai Hikaru, Oda Kin-ya, Yagyu Kei	4. 巻 2021
2. 論文標題 Dark matter in minimal dimensional transmutation with multicritical-point principle	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 1-31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP01(2021)087	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 Kawai Hikaru, Yokokura Yuki	4. 巻 6
2. 論文標題 Black Hole as a Quantum Field Configuration	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Universe	6. 最初と最後の頁 1~70
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/universe6060077	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 Haruna Junichi, Ishii Takaaki, Kawai Hikaru, Sakai Katsuta, Yoshida Kentaroh	4. 巻 2020
2. 論文標題 Large N analysis of $T\overline{T}$ -deformation and unavoidable negative-norm states	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 1-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP04(2020)127	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 Junichi Haruna, Hikaru Kawai	4. 巻 Volime 2020, Issue 3
2. 論文標題 Weak scale from Planck scale: Mass scale generation in a classically conformal two-scalar system	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 1-41
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptz165	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 Yuta Hamada, Hikaru Kawai, Yukari Nakanishi, Kin-ya Oda	4. 巻 B953
2. 論文標題 Cosmological implications of Standard Model criticality and Higgs inflation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Physics	6. 最初と最後の頁 1-31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nuclphysb.2020.114946	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 Pei-Ming Ho, Hikaru Kawai, Yoshinori Matsuo, Yuki Yokokura	4. 巻 1811
2. 論文標題 Back Reaction of 4D Conformal Fields on Static Geometry	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 JHEP	6. 最初と最後の頁 56
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP11(2018)056	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 Sho Higuchi, Hikaru Kawai	4. 巻 B936
2. 論文標題 Universality of soft theorem from locality of soft vertex operators	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nucl. Phys.	6. 最初と最後の頁 400-447
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nuclphysb.2018.09.024	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 Yu Hamada, Hikaru Kawai	4. 巻 no. 6,
2. 論文標題 Axial U(1) current in Grabowska and Kaplan 's formulation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 PTEP	6. 最初と最後の頁 063B09
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptx086	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 Hikaru Kawai, Yuki Yokokura	4. 巻 3(2)
2. 論文標題 A Model of Black Hole Evaporation and 4D Weyl Anomaly	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Universe	6. 最初と最後の頁 51
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/universe3020051	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 Hikaru Kawai, Kiyoharu Kawana, Katsuta Sakai	4. 巻 no.4
2. 論文標題 A note on graviton exchange in the emergent gravity scenario	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 PTEP	6. 最初と最後の頁 043B06
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptx036	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 Masafumi Fukuma, Hikaru Kawai, Katsuta Sakai, Junji Yamamoto	4. 巻 no.7
2. 論文標題 Massive higher spin fields in curved spacetime and necessity of non-minimal couplings	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 073B02
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptw080	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 Yuta Hamada, Hikaru Kawai, Kiyoharu Kawana, Koji Tsumura	4. 巻 D94 no.1
2. 論文標題 Models of the LHC diphoton excesses valid up to the Planck scale	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Phys.Rev.	6. 最初と最後の頁 14007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.94.014007	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 Takehiko Asaka, Satoshi Iso, Hikaru Kawai, Kazunori Kohri, Toshifumi Noumi, Takahiro Terada.	4. 巻 no.12
2. 論文標題 Reinterpretation of the Starobinsky model	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 1230
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptw161	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15件(うち招待講演 12件/うち国際学会 12件)

1. 発表者名 Hikaru Kawai
2. 発表標題 Quantum Gravity and Naturalness
3. 学会等名 10th International Conference on Exact Renormalization Group 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hikaru Kawai
2. 発表標題 Random geometry and naturalness
3. 学会等名 Randomness, Integrability and Representation Theory in Quantum Field Theory 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hikaru Kawai
2. 発表標題 Quantum Gravity and Naturalness
3. 学会等名 Humboldt Kolleg Frontiers in Physics: From the Electroweak to the Planck Scales (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hikaru Kawai
2. 発表標題 Quantum Gravity and Naturalness
3. 学会等名 KEK Theory Workshop 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hikaru Kawai
2. 発表標題 Emergence of space-time from matrices
3. 学会等名 Space Time Matrices (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hikaru Kawai
2. 発表標題 Problems and prospects of the IIB matrix model
3. 学会等名 Matrix Models for Noncommutative Geometry and String Theory (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hikaru Kawai
2. 発表標題 Multiverse Partition function and Maximum Entropy Principle
3. 学会等名 KEK Theory Workshop 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hikaru Kawai
2. 発表標題 Universal Non-Perturbative Effect in Quantum Gravity / String Theory
3. 学会等名 Non-Perturbative Methods in Field Theory and String Theory (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hikaru Kawai
2. 発表標題 Universal Non-Perturbative Effect in Quantum Gravity / String Theory
3. 学会等名 International Symposium in Honor of Professor Nambu for the 10th Anniversary of his Nobel Prize in Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hikaru Kawai
2. 発表標題 Matrix models and quantum space-time
3. 学会等名 Training School "Quantum Spacetime and Physics Models" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hikaru Kawai
2. 発表標題 Multi-local action and Higgs inflation
3. 学会等名 KEK theory workshop 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hikaru Kawai
2. 発表標題 Emergence of space-time and the naturalness problem in matrix models
3. 学会等名 International Workshop on Noncommutative geometry, Duality and Quantum Gravity (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hikaru Kawai
2. 発表標題 A model of black hole evaporation and Weyl anomaly
3. 学会等名 KEK theory workshop 2016
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 横倉祐貴, 川合光
2. 発表標題 エネルギー運動量テンソルの量子論的構成とブラックホールの内部構造
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 福間将文, 川合光, 酒井勝太, 山本順二
2. 発表標題 場の理論におけるcurved spacetime上のmassive higher spin粒子の定式化
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2016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
---------	---------