

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：11301

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2016～2020

課題番号：16H06490

研究課題名（和文）標準模型を超える素粒子模型と新たな時空像

研究課題名（英文）Particle Physics Beyond Standard Model and Novel Space Time Picture

研究代表者

山口 昌弘（Yamaguchi, Masahiro）

東北大学・理学研究科・教授

研究者番号：10222366

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 84,100,000円

研究成果の概要（和文）：電弱新物理の解明に基づくボトムアップ的研究、超弦理論に基づくトップダウンの研究、そして新物理に基づく宇宙進化史の研究の3つをテーマを掲げ、それらを通じて、時空に関する理解を深めることを目指した。具体的な研究成果として、標準模型における電弱真空の崩壊率の詳細な計算を世界で初めて完成させた。将来の加速器実験で超対称粒子の探索・検証手法に関する研究を行った。また、Dブレーン系が回転する超弦理論の定常解を考察することでプランクスケールから電弱スケールを導出する模型について研究した。さらに、新物理に現れる長寿命不安定粒子について、ビッグバン元素合成シナリオとの整合性を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

LHCにおけるヒッグス粒子の発見により素粒子の標準模型は完成したものの、標準模型は理論的には不自然な理論と考えられ、新物理の存在が期待される。また宇宙論に目を向ければ暗黒物質の存在など標準模型を超える物理の存在が示唆されている。本研究では、新物理に対して、素粒子物理学、超弦理論、宇宙論など多角的な観点から、新物理がどのこれらの分野にどのような帰結をもたらすか研究を進めてきた。LHC等の実験によりまだ新物理は発見されていないが、本研究の成果は新物理に制限を与えるとともに、将来の新物理の発見がもたらす宇宙発展や時空の理解へ貢献することが期待される。

研究成果の概要（英文）：Our research has three themes: bottom-up research based on the elucidation of new electroweak physics, top-down research based on superstring theory, and research on the evolutionary history of the universe based on new physics, through which we aim to deepen our understanding of space-time.

As a specific research achievement, we completed the first ever detailed calculation of the decay rate of the electroweak vacuum in the Standard Model. Research was conducted on methods to search for and verify supersymmetric particles in future accelerator experiments. We also studied a model that derives the electroweak scale from the Planck scale by considering stationary solutions of superstring theory with a rotating D-brane system. Furthermore, we clarified the consistency of long-lived unstable particles appearing in the new physics with the Big Bang elemental synthesis scenario.

研究分野：素粒子論

キーワード：素粒子物理学 超対称性 宇宙論

1. 研究開始当初の背景

LHC 実験で発見されたヒッグス粒子が、構造を持たないスカラー粒子と無矛盾であるという実験事実は、電弱スケールが内包するエネルギースケールの階層性の問題を改めて想起させ、このエネルギースケールでの新たな物理原理の存在を強く示唆する。一方で、標準模型を超える新たな物理現象が未発見ということは、その新たな物理原理に対する非常に単純な仮説を否定し、階層性の問題の解が、より複雑な様相を呈していることを暗示している。

LHC による直接的な新物理の探索と地下素粒子実験や精密宇宙観測等の成果を踏まえ、これまでよりも理論的な思考の幅を広げながら、電弱スケール及びより高いエネルギースケールで実現される素粒子模型とそれが示唆する時空像、そしてそこから導かれる宇宙像を解明することは、素粒子物理学の理論的研究に課せられた喫緊の課題であるといえる。

2. 研究の目的

本研究では、LHC 実験による未踏エネルギー領域の新物理探索並びに地下素粒子実験や精密宇宙観測等の進展を踏まえ、ボトムアップ的な素粒子理論研究、超弦理論に基づくトップダウン的な研究、及び新物理に基づく宇宙進化史の研究を融合し、電弱スケールでの標準模型を超える超対称性等の新物理及びプランクスケールに至るより高いエネルギースケールで実現される物理を明らかにする。そして、新物理から導かれるミクロな世界の「時空像」を解明し、宇宙初期における「時空の発展史」に新たな知見をもたらす。そして、それらを融合し、領域内の他の理論・実験班と連携することで、領域全体の目標である「時空」の物理学の創出に貢献する。具体的には、1. 電弱新物理の解明に基づくボトムアップ的研究、2. 超弦理論に基づくトップダウン的研究、3. 新物理に基づく宇宙進化史の研究、を進めさらに融合を図る。

3. 研究の方法

ボトムアップ的な素粒子理論研究に関しては、トラック情報を用いた長寿命粒子探査の可能性をさらに探り、グルイーン以外の粒子探査に関しても研究を進める。また、重たい超対称粒子が現れる超対称模型の研究を進め、LHC 実験に対する示唆を明らかにする。超弦理論に基づくトップダウン的研究に関しては、超弦理論から出発して高いエネルギースケールで超対称性を破りつつ電弱スケールを安定化する可能性として D ブレーンが回転の効果で超対称性を破るようなシナリオを研究し、電弱スケールの物理への影響を明らかにする。さらに新物理に基づく宇宙進化史の研究としては、未知の粒子が宇宙軽元素合成に与える影響に関する研究、真空の崩壊に関する研究をさらに発展させる。さらに超対称模型を含む拡張されたヒッグス模型における電弱スケールでの宇宙バリオン数生成について、精緻な研究を行う。

さらに、精密フレーバー実験、暗黒物質探査、宇宙背景放射の精密観測、21cm 線観測など、LHC 実験以外の高エネルギー実験や宇宙観測から新たな知見が得られる可能性がある。新たな実験、観測結果が得られた場合、その素粒子標準模型を超える物理への意味を明らかにする。

4. 研究成果

現在我々の住む宇宙がいかに現在の姿となったかについては未だ多くの謎が残されているが、上記の3つのテーマについての研究により、新たな時空像、そして時空の物理と密接に関連した宇宙の進化の様相について、新たな知見を得た。特に時空の物理と密接に関連すると期待されている超対称性が TeV スケールに現れる可能性とその検証手法、そして超対称性がトップダウン的観点から現在の宇宙においてどのように実現されているかを明らかにすることは、本研究の主要テーマである。また、時空の物理と密接に関連した現在の宇宙・真空の様相や宇宙の歴史を理解や、素粒子標準模型の枠内では理解できない宇宙論的諸問題(暗黒物質、インフレーションなど)にも取り組んだ。

研究成果としては、まず、全ての基本となる標準模型の基底状態の理解があげられる。本研究計画では、標準模型における電弱真空の崩壊率の詳細な計算を世界で初めて完成させた。また、新物理探査・検証の新たな手法の提唱という研究目的については複数の手法を提唱しており、今後は理論・実験グループの密接な協力により実現を目指す必要がある。また、超対称性などの、時空と密接に関連した素粒子模型の研究では、トップダウン的観点・模型構築という観点から、特に超対称性を持つ模型についての研究成果が得られた。最近指摘された μ 粒子異常磁気能率のアノマリーは TeV スケール超対称性のような電弱スケール近傍の新物理の存在を強く示唆しており、本研究計画で得られた超対称模型に関する知見をそれら実験結果と整合性を持つ模型構築に生かしていくということは、極めて興味深い。

具体的研究成果は、以下の通りである。電弱新物理の解明に基づくボトムアップ的研究においては、将来の加速器実験で超対称粒子の探査・検証手法に関する研究を行なった。本研究計画と A06 班浅井氏他と共同で、将来の陽子・陽子型加速器における超対称粒子の質量測定の手法を提案し、その手法によりゲージノ質量が数パーセントの精度で測定可能であることを確認した。さらに、標準模型における電弱真空の安定性について研究し、LHC 実験により精度よく決定され

たトップクォーク質量およびヒッグス粒子質量を用いて、標準模型における電弱真空の崩壊率の1ループ補正まで含めた計算に世界で初めて成功した。

超弦理論に基づくトップダウン的研究においては、超弦理論の定常解を考察することでプランクスケールから電弱スケールを導出する模型について研究した。特に、D-ブレーン系が回転する定常解を考察することで、超対称性が弱く破れ、結果として電弱スケールとプランクスケールの大きな階層性を説明する可能性を考え、D-ブレーンに働くポテンシャルの正確な計算に成功した。この結果を用いて、今後この模型に基づく電弱スケールとプランクスケールの階層性の理解が期待される。

新物理に基づく宇宙進化史の研究では、標準模型を超える物理に現れる長寿命不安定粒子について、特にビッグバン元素合成シナリオとの整合性を明らかにした。特に、これまで詳細に理解されていなかった軽い(質量が GeV 程度以下の)不安定粒子について、その崩壊の効果まで取り入れた宇宙初期の軽元素量の計算を行うことに成功し、軽い不安定粒子の宇宙初期の残存量に対しての上限を寿命ごとに求めることに成功した。さらに、暗黒物質探査のため、物性系(例えばマグノン励起をもつ強磁性体)を用いた新たな手法を提唱するとともに、暗黒物質によるマグノンの励起率の量子論的に手法での見積もりに成功した。その結果、物性系を用いることで、既存の暗黒物質探査手法では探査が困難な軽い(μeV 程度の質量の)暗黒物質探査の新たな可能性を指摘した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計31件（うち査読付論文 31件／うち国際共著 5件／うちオープンアクセス 12件）

| | |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名 Asai Shoji, Chigusa So, Kaji Toshiaki, Moroi Takeo, Saito Masahiko, Sawada Ryu, Tanaka Junichi, Terashi Koji, Uno Kenta | 4. 巻 2019 |
| 2. 論文標題 Studying gaugino masses in supersymmetric model at future 100 TeV pp collider | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics | 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) 10.1007/JHEP05(2019)179 | 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 Abe Tomohiro, Chigusa So, Ema Yohei, Moroi Takeo | 4. 巻 100 |
| 2. 論文標題 Indirect studies of electroweakly interacting particles at 100 TeV hadron colliders | 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.100.055018 | 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 Chigusa So, Moroi Takeo, Shoji Yutaro | 4. 巻 800 |
| 2. 論文標題 Bounce configuration from gradient flow | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Physics Letters B | 6. 最初と最後の頁 135115 ~ 135115 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2019.135115 | 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 Chigusa So, Moroi Takeo, Nakayama Kazunori | 4. 巻 803 |
| 2. 論文標題 Signals of axion like dark matter in time dependent polarization of light | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Physics Letters B | 6. 最初と最後の頁 135288 ~ 135288 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2020.135288 | 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 Iso Satoshi, Kawana Kiyoharu, Shimada Kengo | 4. 巻 102 |
| 2. 論文標題 QCD axions and CMB anisotropy | 5. 発行年 2020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.102.103513 | 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 Iso Satoshi, Kitazawa Noriaki, Ohta Hikaru, Suyama Takao | 4. 巻 2020 |
| 2. 論文標題 Dynamics of revolving D-branes at short distances | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics | 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) 10.1007/JHEP01(2020)182 | 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 Iso Satoshi, Ohta Hikaru, Suyama Takao | 4. 巻 2019 |
| 2. 論文標題 Effective potential for revolving D-branes | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics | 6. 最初と最後の頁 151 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP04(2019)151 | 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 Iso Satoshi, Kitazawa Noriaki | 4. 巻 35 |
| 2. 論文標題 A possibility of Lorentz violation in the Higgs sector | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Modern Physics Letters A | 6. 最初と最後の頁 2050064 ~ 2050064 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0217732320500649 | 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 Iso Satoshi, Kawana Kiyoharu | 4. 巻 2019 |
| 2. 論文標題 Density renormalization group for classical liquids | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics | 6. 最初と最後の頁 148 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/pty148 | 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 Yamauchi Daisuke, Aoki Hajime, Iso Satoshi, Lee Da-Shin, Sekino Yasuhiro, Yeh Chen-Pin | 4. 巻 2019 |
| 2. 論文標題 Observational signatures of dark energy produced in an ancestor vacuum: forecast for galaxy surveys | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics | 6. 最初と最後の頁 055 ~ 055 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2019/05/055 | 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 Iso Satoshi, Kawana Kiyoharu | 4. 巻 2018 |
| 2. 論文標題 RG-improvement of the effective action with multiple mass scales | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics | 6. 最初と最後の頁 165 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP03(2018)165 | 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 Chigusa So, Moroi Takeo, Shoji Yutaro | 4. 巻 97 |
| 2. 論文標題 Decay rate of electroweak vacuum in the standard model and beyond | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review D | 6. 最初と最後の頁 116012 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.97.116012 | 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 Moroi Takeo, Nakayama Kazunori, Tang Yong | 4. 巻 783 |
| 2. 論文標題 Axion-photon conversion and effects on 21 cm observation | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Physics Letters B | 6. 最初と最後の頁 301 ~ 305 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2018.07.002 | 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 Hamaguchi Koichi, Ibe Masahiro, Moroi Takeo | 4. 巻 2018 |
| 2. 論文標題 The swampland conjecture and the Higgs expectation value | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics | 6. 最初と最後の頁 23 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP12(2018)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 Chigusa So, Ema Yohei, Moroi Takeo | 4. 巻 789 |
| 2. 論文標題 Probing electroweakly interacting massive particles with Drell-Yan process at 100 TeV hadron colliders | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Physics Letters B | 6. 最初と最後の頁 106 ~ 113 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2018.12.011 | 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 Masahiro Yamaguchi, Wen Yin | 4. 巻 2018 |
| 2. 論文標題 A novel approach to finely tuned supersymmetric standard models: The case of the non-universal Higgs mass model | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics | 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) 10.1093/ptep/pty002 | 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 Satoshi Iso, Kiyoharu Kawana | 4. 巻 1803 |
| 2. 論文標題 RG-improvement of the effective action with multiple mass scales | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 JHEP | 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) 10.1007/JHEP03(2018)165 | 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 Satoshi Iso, Noriaki Kitazawa, Sumito Yokoo | 4. 巻 382 |
| 2. 論文標題 Electromagnetic Radiation in a Semi-Compact Space | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Phys.Lett. A | 6. 最初と最後の頁 541-547 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physleta.2017.12.012 | 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 Satoshi Iso, Hikaru Ohta, Takao Suyama | 4. 巻 2018 |
| 2. 論文標題 Secular Terms in Dyson Series to All-Orders of Perturbation | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics | 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) 10.1093/ptep/pty079 | 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 Hajime Aoki, Satoshi Iso, Da-Shin Lee, Yasuhiro Sekino, Chen-Pin Yeh | 4. 巻 97 |
| 2. 論文標題 Vacuum fluctuations in an ancestor vacuum: A possible dark energy candidate | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Phys.Rev. D | 6. 最初と最後の頁 43517 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.97.043517 | 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 Atsushi Higuchi, Satoshi Iso, Kazushige Ueda, Kazuhiro Yamamoto | 4. 巻 96 |
| 2. 論文標題 Entanglement of the Vacuum between Left, Right, Future, and Past: The Origin of Entanglement-Induced Quantum Radiation | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Phys. Rev. D | 6. 最初と最後の頁 83531 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.96.083531 | 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 Satoshi Iso, Pasquale D. Serpico, Kengo Shimada | 4. 巻 119 |
| 2. 論文標題 QCD-Electroweak First-Order Phase Transition in a Supercooled Universe | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Phys. Rev. Lett. | 6. 最初と最後の頁 141301 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.119.141301 | 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 Satoshi Iso, Rumi Tatsukawa, Kazushige Ueda, Kazuhiro Yamamoto | 4. 巻 96 |
| 2. 論文標題 Entanglement-induced quantum radiation | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Phys. Rev. D | 6. 最初と最後の頁 45001 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.96.045001 | 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 M. Endo, T. Moroi, M. M. Nojiri and Y. Shoji | 4. 巻 1711 |
| 2. 論文標題 False Vacuum Decay in Gauge Theory | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 JHEP | 6. 最初と最後の頁 74 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP11(2017)074 | 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 K. Kohri, T. Moroi and K. Nakayama | 4. 巻 772 |
| 2. 論文標題 Can decaying particle explain cosmic infrared background excess? | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Phys. Lett. B | 6. 最初と最後の頁 628 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2017.07.026 | 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 S. Chigusa, T. Moroi and Y. Shoji | 4. 巻 119 |
| 2. 論文標題 State-of-the-Art Calculation of the Decay Rate of Electroweak Vacuum in the Standard Model | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Phys. Rev. Lett. | 6. 最初と最後の頁 211801 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.119.211801 | 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 M. Kawasaki, K. Kohri, T. Moroi and Y. Takaesu | 4. 巻 97 |
| 2. 論文標題 Revisiting Big-Bang Nucleosynthesis Constraints on Long-Lived Decaying Particles | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Phys. Rev. D | 6. 最初と最後の頁 23502 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.97.023502 | 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 H. Ito, O. Jinnouchi, T. Moroi, N. Nagata, and H. Otono | 4. 巻 711 |
| 2. 論文標題 Extending the LHC Reach for New Physics with Sub-Millimeter Displaced Vertices | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Phys. Lett. B | 6. 最初と最後の頁 568-575 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2017.06.00 | 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 S. Chigusa and T. Moroi | 4. 巻 2017 |
| 2. 論文標題 Bottom-Tau Unification in Supersymmetric SU(5) Models with Extra Matters | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 PTEP | 6. 最初と最後の頁 063B05 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptx062 | 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 Y. Ema, K. Hamaguchi, T. Moroi, and K. Nakayama | 4. 巻 1701 |
| 2. 論文標題 Flaxion: a minimal extension to solve puzzles in the standard model | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 JHEP | 6. 最初と最後の頁 96 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP01(2017)096 | 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 S. Iso, P. D. Serpico, and K. Shimada | 4. 巻 119 |
| 2. 論文標題 QCD-Electroweak First-Order Phase Transition in a Supercooled Universe | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Phys. Rev. Lett. | 6. 最初と最後の頁 141301 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.119.141301 | 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 |

〔学会発表〕 計7件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 6件)

| |
|--|
| 1. 発表者名 Takeo Moroi |
| 2. 発表標題 Beam-Dump Experiment at the ILC |
| 3. 学会等名 Workshop on Long lived particle searches in various energy scales (September 18, 2018), Tokyo, Japan. (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Takeo Moroi |
| 2. 発表標題 Implication of the LHC results and future prospects |
| 3. 学会等名 日本物理学会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Takeo Moroi |
| 2. 発表標題 Conversion of axion to photon in early universe and 21cm signal |
| 3. 学会等名 PACIFIC 2018.09 (August 31 -- September 4, 2018), Moorea, French Polynesia (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Takeo Moroi |
| 2. 発表標題 Conversion of dark radiation to photon in early universe and 21cm signal |
| 3. 学会等名 COSMO2018 (August 28 -- 31, 2018), Daejeon, Korea. (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Takeo Moroi |
| 2. 発表標題 State-of-the-art calculation of the decay rate of the electroweak vacuum in the standard model |
| 3. 学会等名 KPS meeting (April 25 -- 27, 2018), Daejeon, Korea (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Satoshi Iso |
| 2. 発表標題 Vision for High Energy Physics - From strings to Higgs |
| 3. 学会等名 Higgs Coupling 2018 (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Satoshi Iso |
| 2. 発表標題 Towards solving the hierarchy problem in string theory |
| 3. 学会等名 3rd East Asia Joint WS on Fields and Strings 2018 (国際学会) |
| 4. 発表年 2018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 |
|-------|--|---|----|
| 研究分担者 | 磯 暁 (Iso Satochi) (20242092) | 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・教授 (82118) | |
| 研究分担者 | 諸井 健夫 (Moroi Takeo) (60322997) | 東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・教授 (12601) | |

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|