

令和 5 年 5 月 29 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18K03608

研究課題名（和文）初期宇宙論から迫る素粒子標準模型を超える物理

研究課題名（英文）Physics Beyond the Standard Model and Early Universe

研究代表者

諸井 健夫（Moroi, Takeo）

東京大学・大学院理学系研究科（理学部）・教授

研究者番号：60322997

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）：本研究は「素粒子標準模型を超える物理の理解」と「新たな素粒子モデルに基づく初期宇宙像の理解」を主目的として進められた。前者に対しては、電弱真空の崩壊率の精密計算に世界で初めて成功するとともに、不安定真空の崩壊率の精密計算の手法を確立した。後者については、軽い長寿命不安定粒子について、ビッグバン元素合成に与える影響を詳細に研究した。さらに、上記主目的に関するテーマ以外にも、素粒子標準模型を超える物理の実験・観測的検証手法を複数提唱した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で提唱された不安定真空の崩壊率の精密計算手法は様々なケースに応用可能であり、様々な素粒子モデルにおける電弱真空の安定性の理解に寄与するものである。また、軽い長寿命不安定粒子に対するビッグバン元素合成への影響はこれまで精密な理解がされていなかったものであり、本研究で得られた結果は今後初期宇宙を理解する上での基本的制限を与えるものとして広く利用可能なものである。さらに、本研究で提唱された素粒子標準模型を超える物理の実験・観測的検証手法は、今後の新物理探査の新たな可能性を与えるものである。

研究成果の概要（英文）：This project has made progress in (i) physics beyond the standard model (BSM) and (ii) early universe from the point of view of BSM physics. For (i), we have performed a full one-loop calculation the electroweak vacuum. We have also established a procedure to calculate the decay rate of false vacuum in a gauge invariant way. For (ii), we have studied the effects of light long-lived unstable particles on big-bang nucleosynthesis. In addition, using the knowledges about the BSM physics from the studies of (i) and (ii), we have proposed several new ideas of discovering the signals of BSM physics.

研究分野：素粒子理論・素粒子論的宇宙論

キーワード：素粒子論 初期宇宙論 ビッグバン元素合成 真空の安定性

## 1. 研究開始当初の背景

宇宙の精密観測は近年急速にその精度を増してきている。このことは、宇宙物理学のみならず、素粒子物理学に対しても重要な情報を与えるものである。また、様々な高エネルギー実験も着実にその成果をあげてきている。特に LHC 実験はヒッグス粒子の発見とそれに続くヒッグス粒子の性質の詳細な研究により、電弱スケール (100GeV 程度のエネルギースケール) までのエネルギースケールの素粒子現象を記述する有効理論としての素粒子標準模型の信頼度を高めることに成功した。しかし、電弱スケール以上のエネルギースケールにおいて素粒子標準模型を超える物理がどのように現れるかについては、理解されていない。

精密宇宙観測や高エネルギー実験が様々なデータを提供している状況において、それらに基づく初期宇宙像並びに素粒子物理模型を確立することは、極めて重要な課題である。電弱スケール以下の素粒子現象は素粒子標準模型によって (ほぼ) うまく説明される一方で、宇宙論的観点からは素粒子標準模型の枠内では説明できない事象が多々存在する。特に、宇宙暗黒物質の素粒子論的理解、インフレーションのダイナミクス、我々の宇宙の物質と反物質の非対称性の起源などについて、素粒子標準模型の枠内で理解が困難なことは多くの研究者の共通認識と言える。これらの諸問題を解決するため、素粒子標準模型がどのように拡張されるかを理解し、その新たな素粒子模型に基づく初期宇宙像を明らかにすることは、多くの研究者が重要と認める研究課題である。

## 2. 研究の目的

上に記した「素粒子標準模型を超える物理的理解」と「新たな素粒子模型に基づく初期宇宙像の理解」に寄与する成果をあげることが、本研究の主目的である。そのため、本研究では特に「ビッグバン元素合成に着目した素粒子標準模型を超える物理の研究」と「電弱真空の安定性に着目した素粒子標準模型を超える物理の研究」に主眼を置いて研究を進める。

「ビッグバン元素合成に着目した素粒子標準模型を超える物理の研究」では、極めて相互作用が弱く寿命が長い粒子についての情報を、ビッグバン元素合成の詳細を調べることにより得ることが目的である。多くの素粒子標準模型を超える物理模型には、極めて相互作用が弱く寿命が長い粒子が現れる。そのような粒子が宇宙初期に作られると、その崩壊はビッグバン元素合成で生成された軽元素量に影響を与える。軽元素量への影響が大きすぎると観測と矛盾することとなるため、長寿命粒子の宇宙初期の生成量について上限を得ることができる。本研究ではこの解析を様々な物理模型に適用し、素粒子標準模型を超える物理がビッグバン元素合成からどのような制限を受けるかを最新の理論的および観測的発展を用いつつ明らかにする。

「電弱真空の安定性に着目した素粒子標準模型を超える物理の研究」においては、様々な素粒子模型においては我々の住む電弱真空が不安定となることに着目して、それらに関する新たな知見を得ることを目的とする。特に、現在の宇宙において電弱真空が実現しているという事実は、素粒子標準模型を超える物理模型に含まれる新粒子の質量や相互作用の強さについての制限を与える。しかし、電弱真空の崩壊率の精密な計算はこれまでなされていなかった。本研究においては、研究代表者が開発した擬真空崩壊率のゲージ不変な計算の手法を電弱真空の崩壊率の計算に適用することにより、様々な素粒子模型における電弱真空の崩壊率を精度よく計算し、様々な素粒子模型に対する制限を高い信頼度で求める。

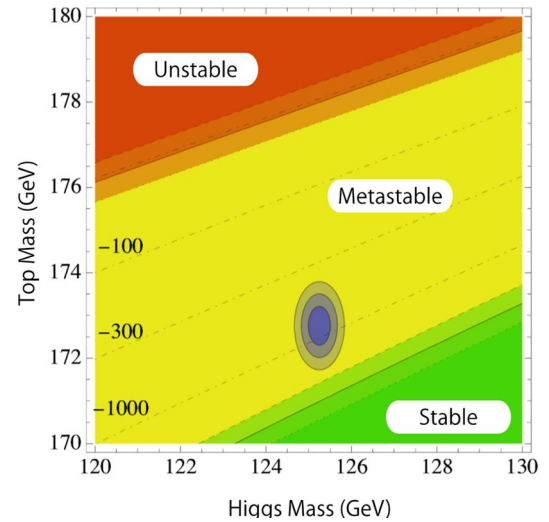
さらに、上記の研究を進める上で得られる素粒子標準模型を超える物理についての知見をさらに発展させるとともに、初期宇宙論に関する諸問題 (暗黒物質やインフレーションなど) および素粒子標準模型を超える物理を実験・観測的に検証する新たな手法を提唱することも、本研究の目的である。

### 3. 研究の方法

理論的研究、特に解析的計算と数値計算を組み合わせ、素粒子標準模型を超える物理、およびそれに基づく初期宇宙についての理解を得る。ビッグバン元素合成については、川崎雅裕氏（東京大学宇宙線研究所）および郡和範氏（高エネルギー加速器研究機構）と協力して研究を進める。電弱真空の研究に関しては、千草颯氏（カリフォルニア大学）および庄司祐太郎氏（ヘブライ大学）と共同で研究を行う。

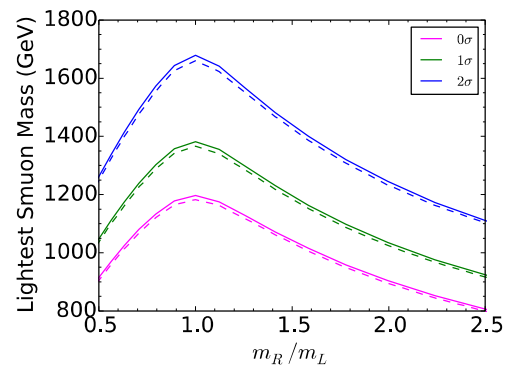
### 4. 研究成果

- (1) 電弱真空の崩壊率を 1 ループの次数で定量的に求めることに成功した。素粒子標準模型の枠内では、電弱真空は不安定であることが知られているが、その崩壊率の性格な計算はなされていなかった。本研究では電弱真空の崩壊率を 1 ループで計算する手法を確立し、標準模型の枠内で崩壊率を定量的に求めた。この計算においては、これまで正確に扱うことができなかったゲージ対称性に付随したゼロモードの効果を正しく取り入れることに成功している。さらに、電弱スケールからプランクスケールの間に新たな粒子が存在する場合の崩壊率も計算し、その影響が重要となる場合があることを指摘した。右図は、本研究により得られた、ヒッグス質量 vs. トップクォーク質量平面上における素粒子標準模型で電弱真空が安定となる領域 (Stable)、不安定であるが寿命が現在の宇宙年齢よりも長く我々が観測している宇宙と無矛盾な領域 (Metastable)、宇宙の寿命が現在の宇宙年齢よりも短くなる領域 (Unstable) である。



- (2)  $\mu$  粒子異常磁気能率のアノマリーは、素粒子標準模型を超える物理の存在を示唆する

ものとして、極めて重要である。超対称模型においては、超対称粒子によるループ効果によって  $\mu$  粒子異常磁気能率が補正を受け、 $\mu$  粒子異常磁気能率のアノマリーの問題が解決される可能性がある。そのようなシナリオにおいては電弱真空の不安定性が引き起こされる可能性があることに着目し、電弱真空の崩壊率を 1 ループの効果まで含めて世界で初めて計算した。そして、その結果をもとに、スカラーミュオン粒子の質量上限を得



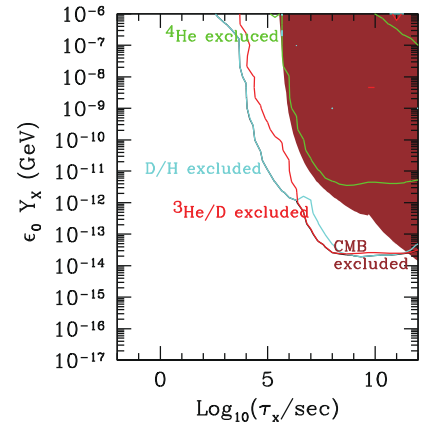
た。右図は、本研究により得られた、 $\mu$  粒子以上磁気能率アノマリーが超対称粒子による輻射補正によって解決されると仮定した場合の、スカラー  $\mu$  粒子の質量の上限値である。ピンク、緑、青はそれぞれ理論値と実験値のずれが 0、1、2 とした場合の結果であり、実線と点線は  $\tan \beta$  と呼ばれる理論のパラメータを変化させた時の上限値の変化を表す。

- (3) 擬真空崩壊率計算のためには、バウンス解と呼ばれるユークリッド化された時空での運動方程式の解を求めることが必要となる。バウンス解は鞍点解であるため、それを数値計算で求めることは困難である。本研究においては、gradient flow と呼ばれる手法に一部手を加えることにより、バウンス解を求めるための flow 方程式を求めることに成功した。本研究では、その理論的バックグラウンドが説明するとともに、この方

方程式は数値計算によって解くことが容易であり、具体的な擬真空を持つ模型に対して flow 方程式を解くことによって我々の提唱した手法が正しくバウンス解を与えることが示した。

- (4) 真空崩壊の崩壊率への 1 ループの輻射補正について、特に崩壊を生じさせる bounce と呼ばれる場の配位に対して複数の場が寄与する場合のゲージ不変な計算を可能にした。

- (5) これまで詳細な研究がなされていなかった GeV よりも軽い長寿命不安定粒子について、ビッグバン元素合成に与える影響を研究した。特にその粒子が光子対、電子・陽電子対などに崩壊する場合について、崩壊の結果引き起こされる軽元素の光分解の効果を数値計算によって詳細に研究し、軽元素量の観測値と矛盾しないパラメータ領域を明らかにした。右図は、質量 1GeV の不安定粒子の宇宙初期イールド量に対するビッグバン元素合成からの制限である。縦軸はイールド量と崩壊時に放出される電磁的エネルギーの積、横軸は粒子の寿命となっている。実線で表されているのが軽元素量の観測および宇宙背景放射のスペクトルの観測から与えられるイールド量の上限值である。



- (6) アクシオンの場合は暗黒物質の重要な候補であるが、その検証は容易ではない。アクシオンの暗黒物質が存在すると光の偏光面が時間的に振動する。本研究においては、長時間の偏光面観測の結果を用いることでアクシオンの暗黒物質が検出できる可能性、とくに偏光面の時間情報をスペクトル分解することにより検出可能なパラメータ領域を大きく広げられることを指摘した。

- (7) 暗黒物質粒子の加速器実験による検証は、今後の素粒子物理における重要なテーマとなっている。本研究においては、特に将来の加速器実験の可能性のひとつとなっている 100TeV 程度の重心系エネルギーをもつ陽子・陽子型加速器において、暗黒物質粒子やそれに付随する新粒子の性質(質量、量子数、寿命など)を測定する手法を提唱するとともに、その測定精度について議論した。

- (8) アクシオンの暗黒物質検出のための新たな手法を提唱した。アクシオンの場合は暗黒物質の重要な候補であるが、その検証は容易ではない。アクシオンの暗黒物質が存在すると光の偏光面が時間的に振動する。本研究においては、長時間の偏光面観測の結果を用いることでアクシオンの暗黒物質が検出できる可能性、とくに偏光面の時間情報をスペクトル分解することにより検出可能なパラメータ領域を大きく広げられることを指摘した。

- (9) 地球近傍でスーパーノバが起こった場合、既に存在する加速器検出器を適切に運用することで、アクシオンのシグナルを検出できる可能性があることを指摘した。

- (10) 物性系アクシオンは、素粒子アクシオンと同じ量子数を持つため、アクシオン暗黒物質などが存在すると、暗黒物質吸収により励起される。このことを用いて、本研究においては、物性系アクシオンを用いた暗黒物質の直接探査が可能であることを指摘するとともに、物性系アクシオン励起の反応率の計算を行った。

- (11) アクシオンや暗黒光子と呼ばれる新粒子が暗黒物質となる場合について、スピン励起を用いたこれら暗黒物質の検出について研究を行なった。スピン励起が存在する物性系においては、スピン励起がこれらの粒子と結合する。本研究では暗黒物質をスピン励起に転換することで暗黒物質探査を行う可能性を指摘し、それによりこれまで探査が行われていないパラメータ領域において暗黒物質探査が可能であることを示した。

- (12) 暗黒物質素粒子の加速器による検証方法の提唱を行った。暗黒物質粒子の加速器実験による検証は、今後の素粒子物理における重要なテーマとなっている。本研究においては、特に将来の加速器実験の可能性のひとつとなっている 100TeV 程度の重心系エネルギーをもつ陽子・陽子型加速器において、暗黒物質粒子やそれに付随する新粒子の

性質(質量、量子数、寿命など)を測定する手法を提唱するとともに、その測定精度について議論した。

- (13) インフレーションを引き起こす場の崩壊によって暗黒物質を生成する新たなシナリオを提案した。特に、暗黒物質がボソンである場合、誘導放出の効果で暗黒物質質量が大きく影響を受ける可能性を指摘するとともに、そのような場合の暗黒物質質量は量子論に時間発展を解いて得る必要があり、古典的ボルツマン方程式を解いて求める方法は定量的に異なる結果を与えることを明らかにした。
- (14) スタロピンスキーインフレーションにおいて、インフレーションを起こすスカラー場(インフラトン)崩壊から暗黒物質生成が起こる可能性を指摘した。特に本研究においては、インフラトン崩壊が標準模型粒子とは重力以外で相互作用を持たないようなセクター(暗黒セクター)に崩壊することにより、暗黒セクターに含まれる安定粒子が暗黒物質となり得ることを指摘するとともに、電弱真空の安定性がこのシナリオに厳しい制限を与えることを明らかにした。
- (15) レプトンとの結合を持つゲージ粒子は、 $\mu$ 粒子異常磁気能率に影響を与えうることや、いわゆるハッブル定数についてのテンション説明の可能性を与えることなどから興味を持たれている。このようなゲージ粒子は、電子・陽電子型加速器で用いられたビームがビームダンプに入射された際に、ビームダンプ内の核子とビームとの散乱により生成される可能性がある。このため、ビームダンプの背後に粒子検出器を設置することで、生成されたゲージ粒子を検出できる可能性がある。本研究においては、そのような方法によるレプトンとの結合を持つゲージ粒子探査について研究し、そのような実験はこれまで他の実験では検証できていないパラメータ領域に感度を持つことを明らかにした。

研究期間全体では、当初の目的であったビッグバン元素合成に基づく標準模型を超える物理の研究、そして電弱真空の安定性に基づく標準模型を超える物理の研究について、それぞれ成果をあげることができた。さらに、それらの研究から派生した加速器現象論や暗黒物質の物理に関しても、成果をあげることができた。

## 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 2件／うちオープンアクセス 13件）

1. 著者名 Chigusa So, Moroi Takeo, Nakayama Kazunori	4. 巻 2021
2. 論文標題 Axion/hidden-photon dark matter conversion into condensed matter axion	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 1, 29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP08(2021)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 該当する
1. 著者名 Asai Kento, Moroi Takeo, Niki Atsuya	4. 巻 818
2. 論文標題 Leptophilic gauge bosons at ILC beam dump experiment	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 136374 - 136374
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2021.136374	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 Li Qiang, Moroi Takeo, Nakayama Kazunori, Yin Wen	4. 巻 2021
2. 論文標題 Hidden dark matter from Starobinsky inflation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 1, 32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP09(2021)179	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 Chigusa So, Moroi Takeo, Nakayama Kazunori	4. 巻 101
2. 論文標題 Detecting light boson dark matter through conversion into a magnon	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 96013
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.101.096013	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 Kawasaki Masahiro, Kohri Kazunori, Moroi Takeo, Murai Kai, Murayama Hitoshi	4. 巻 2020
2. 論文標題 Big-bang nucleosynthesis with sub-GeV massive decaying particles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 048 ~ 048
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2020/12/048	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 Chigusa So, Moroi Takeo, Shoji Yutaro	4. 巻 2020
2. 論文標題 Precise calculation of the decay rate of false vacuum with multi-field bounce	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP11(2020)006	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 Moroi Takeo, Yin Wen	4. 巻 2021
2. 論文標題 Light dark matter from inflaton decay	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP03(2021)301	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 Moroi Takeo, Yin Wen	4. 巻 2021
2. 論文標題 Particle production from oscillating scalar field and consistency of Boltzmann equation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 296
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP03(2021)296	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 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 100TeV 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 179
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	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 100TeV hadron colliders	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 55018
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -



1. 著者名 Chigusa So, Hosomi Yusuke, Moroi Takeo, Saito Masahiko	4. 巻 803
2. 論文標題 Determining wino lifetime in supersymmetric model at future 100 TeV pp colliders	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 135260 ~ 135260
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2020.135260	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 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 -

[学会発表] 計15件 (うち招待講演 15件 / うち国際学会 13件)

1. 発表者名 Takeo Moroi
2. 発表標題 Bounce from Gradient Flow
3. 学会等名 ICNAAM 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takeo Moroi
2. 発表標題 Physics Prospects: High Energy Physics in the Future
3. 学会等名 The 40th Anniversary Symposium of the US-Japan Science and Technology Cooperation Program in High Energy Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takeo Moroi
2. 発表標題 Lifetime of Our Universe
3. 学会等名 ICCMSE 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takeo Moroi
2. 発表標題 Studying EWIMPs at Future Colliders
3. 学会等名 LCWS 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takeo Moroi
2. 発表標題 Higgsino LSP and Higgsino Dark Matter
3. 学会等名 Dark matter searches in the 2020s - At the crossroads of the WIMP (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019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 (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 Stability of electroweak vacuum in the standard model and beyond
3. 学会等名 Cosmological probes of BSM -- from the Big Bang to the LHC (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 Conversion of dark radiation to photon in early universe and 21cm signal
3. 学会等名 COSMO2018 (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 Conversion of axion to photon in early universe and 21cm signal
3. 学会等名 PACIFIC 2018.09 (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 JSP meeting (招待講演)
4. 発表年 2018年

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 (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 Impact of 100 TeV Collider on Supersymmetry
3. 学会等名 Kavli IPMU - ICEPP joint workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takeo Moroi
2. 発表標題 Studying Anomaly-Mediated SUSY Model at Future 100 TeV pp Collider
3. 学会等名 IAS Program on High Energy Physics 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takeo Moroi
2. 発表標題 Studying Gauginos at Future 100TeV pp Collider
3. 学会等名 Yonsei university Cosmology and High Energy physics workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takeo Moroi
2. 発表標題 Beam-Dump Experiment at the ILC
3. 学会等名 JSP meeting (招待講演)
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
---------	---------