

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2021

課題番号：17H02878

研究課題名（和文）高スケール超対称性模型の実験的検証の研究

研究課題名（英文）Experimental tests of high-scale supersymmetry

研究代表者

柳田 勉（Yanagida, Tsutomu）

東京大学・カブリ数物連携宇宙研究機構・客員上級科学研究員

研究者番号：10125677

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,700,000円

研究成果の概要（和文）：有力な新物理候補とである高スケール超対称模型について、加速器での検証、天体観測での検証、理論研究の観点から包括的に研究を行った。加速器での検証では、ウィーノ暗黒物質等における消失荷電トラックと標準模型粒子対生成への輻射補正シグナル、及びグルイーノ探査における機械学習を用いた背景事象の抑制について新たな知見を得た。天体観測における検証では、矮小楕円体銀河における暗黒物質分布推定のための新しいアルゴリズムを開発し、暗黒物質の間接探査における不定性のコントロールに寄与した。理論研究では、他暗黒物質候補の可能性やミュオン粒子の異常磁気能率の説明について模型の新しい可能性について提案を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高スケール超対称模型はLHC実験において発見されたヒッグス粒子の質量を説明するとともに、通常超対称模型に厳しい制限を課す宇宙論やフレーバー物理との相性も良い、素粒子標準模型を超える新物理の筆頭候補の一つであり、その検証において定量的な見通しを与えることで学術的に高い意義を持つ成果を報告できたと考える。また、具体的な検証には、加速器における探査として、LHC実験をはじめ将来のILC実験や巨大ハドロン加速器実験が、天体観測における検証として、ガンマ線観測や測光・分光観測が関わるため、これらの（超）大型プロジェクトの科学的意義に関わる報告ともなっており社会的意義も大きい。

研究成果の概要（英文）：We have comprehensively studied the high-scale SUSY model from the viewpoint of collider and indirect dark matter detections, as well as theoretical developments for the extension of the model. As for the collider detection, we have developed the wino and higgsino dark matter studies using the disappearing charged-track and the radiative correction to SM lepton pair productions, and those of the gluino using a machine-learning technic to suppress the background. As for the indirect detection, we have proposed a new algorithm for accurately estimating the dark matter distribution at dwarf spheroidal galaxies and contributed to the control of the background against the signal. As for theoretical studies, we have proposed the possibility of having other dark matter candidates in the model and the extension of the model to explain the “anomaly” of the muon anomalous magnetic moment.

研究分野：素粒子論

キーワード：素粒子論 超対称模型 暗黒物質 高エネルギー加速器研究 高輝度加速器研究

## 1. 研究開始当初の背景

高スケール超対称性模型は、LHC 実験で発見された約 125 GeV の質量をもつヒッグス粒子を自然に説明する最もシンプルな超対称性模型として、本研究の研究代表(柳田)達によって提案され、素粒子標準模型を超える新物理の最有力候補の一つとして世界中にて活発な研究が行われている。本模型では、殆どの超対称性粒子が約 100 TeV と重く予言されるため、様々な実験・観測結果や宇宙論的制限と無矛盾である一方、標準模型ゲージ粒子の超対称性パートナーであるゲージノは約 1 TeV と比較的軽く予言され、特に、中性弱ゲージ粒子のパートナーであるウィーノは、最も軽い超対称性粒子として、WIMP 暗黒物質の良い候補となっている。一方、上記の理由により、高スケール超対称性模型はその検証が難しいことでも知られている。殆どの超対称性粒子の質量は電弱スケールに比べはるかに大きいため加速器実験での直接生成探査が難しく、最も軽い超対称性粒子であるウィーノでも加速器実験で調べるのには限度がある可能性が指摘されている。また、暗黒物質の直接探査においても、少なくとも近い将来にシグナルを検出することは難しいことが判明している。さらに、暗黒物質の間接探査においては、天文由来の不定性のため確実な結論を出せないのが現状となっている。そのため、本模型の検証において本当に有望な実験はどれであるのか、またその実験において、実際にどの程度模型パラメータ領域を探査可能であるのかについて、現実的な観点から定量的に評価を行うことが、重要かつ喫緊の課題となっている。

## 2. 研究の目的

高スケール超対称模型の研究に重要な五つ項目に対し以下の通りの研究目標を設定する。

- ✓ **理論研究(新たな可能性の追求)**: ミュー中間子の異常磁気能率を説明可能な模型の拡張について議論する。また、電弱スケールの自然さに対しても、宇宙論を含めた再考察を行う。
- ✓ **ハドロン加速器における検証**: クォーク由来とグルーオン由来のジェットを区別するアルゴリズムを発展させ、グルイーノ探査の感度向上を行う。また、消失荷電トラックを用いたウィーノ探査で、将来の LHC における探査可能な質量領域を定量的に明らかにする。
- ✓ **レプトン加速器における検証**: ILC 実験等を念頭に置き、標準模型粒子の対生成過程に対するウィーノからの輻射補正に焦点を当て、どの程度探査可能であるのかにつき評価する。
- ✓ **暗黒物質探査における検証**: 矮小楕円体銀河からの線を用いた暗黒物質の間接検出に焦点を当て、銀河内の暗黒物質分布に由来する系統誤差を、系統的かつ定量的に評価する。
- ✓ **高輝度加速器における検証**: 高スケール超対称模型が予言する重いスクォークやスレプトン質量行列構造への高輝度加速器実験における検証可能性について可能なら議論を行う

## 3. 研究の方法

**ハドロン加速器における暗黒物質直接探査**: ウィーノやヒグシーノ暗黒物質の荷電消失トラック探査に焦点を当て、どの程度重い暗黒物質が探査可能であるのかにつき評価する。

**ハドロン加速器におけるグルイーノ探査**: ジェットの内部構造や ISR ジェットを利用し、高スケール超対称模型の未探査パラメータ領域にたいし、探査感度の向上をおこなう。

**レプトン・ハドロン加速器における暗黒物質間接探査**: 標準模型粒子の対生成過程に対するウィーノ、ヒグシーノからの輻射補正について、理論的側面に重点をおき研究を行う。

**ガンマ線を用いた暗黒物質探査**: 矮小楕円体銀河からのガンマ線を用いた暗黒物質の間接検出を念頭に、楕円体銀河内の暗黒物質の分布について、実データを用いて研究を行う。

**理論研究(新しい可能性の追求)**: 高スケール超対称性模型の新しい可能性に言及し、それらが予言する新物理シグナルを評価し、LHC 実験等の新物理探査で検証可能性を調べる。

## 4. 研究成果

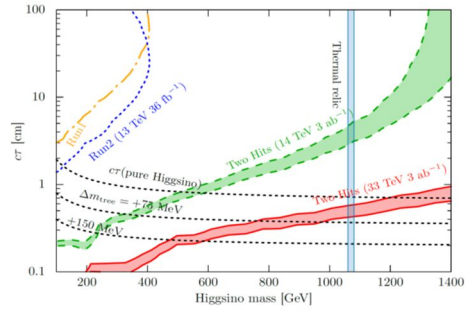
### 1. 加速器実験における暗黒物質の直接探査

高スケール超対称性模型では、超対称性スカラー粒子の質量は重い一方、暗黒物質候補であるヒグシーノやウィーノと呼ばれるフェルミオン粒子は TeV スケール 以下にあると期待される。そのため、LHC 実験等の加速器実験では、これらの暗黒物質候補の直接生成が可能ではあるが、生成された暗黒物質をどのように観測するのかというのが大きな問題である。

ヒグシーノ暗黒物質とウィーノ暗黒物質自身の電荷は中性であるが、弱い相互作用に関するアイソスピンのパートナーである荷電粒子も同時に存在して、これらの質量は暗黒物質よりもわずかに重いだけである。この荷電粒子は暗黒物質に崩壊するが、両者の質量の縮退のために、荷電粒子の寿命は非常に長くなり、その崩壊長も数センチ程度と対極的なスケールとなる。LHC 実験等の加速器実験では、この荷電粒子による粒子トラックを観測するこ

とが、高スケール超対称性模型での暗黒物質候補の最も有効な観測手段となっている。

現状の LHC 実験では、粒子トラックの観測のためには 10cm 以上の長い荷電粒子の軌跡が要求される。これは超対称性模型の予言する値と比べて大きく、そのため検出感度が指数関数的に落ちてしまう。そこで我々は、実験物理学者とともに、これらの問題を解決するための提案を行った[1]。検出器で観測される荷電粒子の情報だけでなく、陽子衝突反応が起きたポイントの情報を使うことにより、より短い荷電粒子の軌道でのトラックの再構成を提案した。これらの手法を用いることで暗黒物質の発見領域が大きく向上を示した。右図にはヒッグシーノ暗黒物質の検出可能領域を示す。この手法によって、暗黒物質の熱的残存量が現在の観測値と一致する 1TeV 程度のヒッグシーノも将来の加速器実験で観測可能であることを明らかにした。



右図にはヒッグシーノ暗黒物質の検出可能領域を示す。この手法によって、暗黒物質の熱的残存量が現在の観測値と一致する 1TeV 程度のヒッグシーノも将来の加速器実験で観測可能であることを明らかにした。

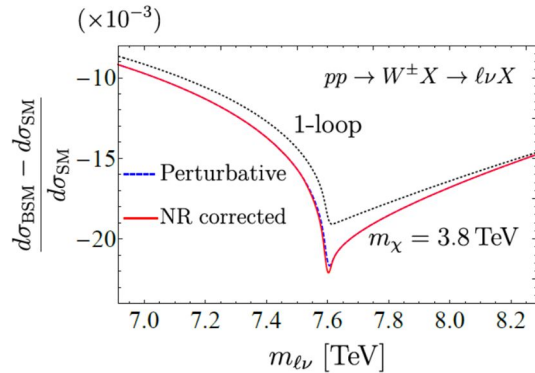
[1] H. Fukuda, N. Nagata, H. Oide, H. Otono, S. Shirai, PRL124, 10, 101801, 2020.

## II. 加速器実験における暗黒物質の間接探査

高エネルギー超対称模型の予言するウィーノ暗黒物質の加速器探査について、標準模型粒子の対生成過程に対するウィーノ暗黒物質からの輻射補正をみることにより、間接的に実行することが可能である。この戦略に従い、荷電レプトン対シグナル[2]、及びニュートリノを伴うモノ荷電レプトンシグナル[3]に焦点を当て、2ループ及び非摂動効果(閾値異常効果)を含めた計算を行い[4]、将来加速器実験における探査に有用な結果を得た。

将来のレプトン加速器実験 (ILC 等) では荷電レプトン対シグナルが、また将来のハドロン加速器実験 (HL-LHC、100TeV コライダー等) では更にモノ荷電レプトンシグナルが重要となるが、これらのシグナルに対するウィーノ暗黒物質からの輻射補正は、中性電弱ボソン(フォトン及び Z ボソン)及び荷電電弱ボソン(W ボソン)への真空偏極が主な寄与となる。これらの寄与に関して、2ループ及び非相対論的有效場理論を用いた閾値付近における非摂動効果を計算し、ウィーノ暗黒物質の加速実験での間接探査のシグナルを計算した。

右図はハドロン加速器実験 (LHC) を例に、モノ荷電レプトンシグナルがウィーノ暗黒物質の効果によりどの程度影響を受けるかについて、1ループの結果、1 + 2ループの結果、1 + 2ループに閾値異常効果を取り入れた結果を示したものである。見ての通り、その影響は 2% 程度であると同時に、2ループからの寄与も十分に見て取れる。一方、閾値異常の効果はまさしく閾値付近で現れているがそれほど大きな寄与を与えない。この効果の大きさは、終状態の荷電レプトンにたいするエネルギー測定分解能に非常によるため、ハドロン加速器よりも精度の高いレプトン加速器においては、その影響が大きくなるものと見込まれる。



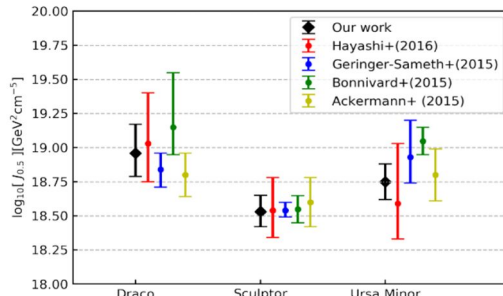
[2] S. Matsumoto, S. Shirai, M. Takeuchi, JHEP06, 049, 2018.

[3] S. Matsumoto, S. Shirai, M. Takeuchi, JHEP03, 076, 2019.

[4] T. Katayose, S. Matsumoto, S. Shirai, PRD103, 095017, 2021.

## III. 矮小楕円体銀河における暗黒物質分布の評価

高スケール超対称模型の予言するウィーノ、またはヒッグシーノ暗黒物質は、弱電荷を持ち、その質量が TeV スケールと重いため、ゾンマーフェルト効果により対消滅断面積が増大することが知られている。そのため、銀河系(近傍)における、暗黒物質の対消滅により生成されたガンマ線を検出することで、間接的な暗黒物質の探査を行う、いわゆる暗黒物質の間接探査は、模型の検証という観点で有効な手段である。様々なガンマ線ターゲット内で、暗黒物質質量が多く、シグナルに対するバックグラウンドが少ない矮小楕円体銀河(dSph)が特に有効であり注目を集めている。一方、dSphからの暗黒物質シグナルの強度を見積もるためには、暗黒物質が dSph 内でどのように分布をしているのかについての情報が必要となる。



暗黒物質分布の評価は、暗黒物質質量モデルを測光・分光観測データと比較することにより得られるが、考慮すべき系統誤差も存在する。質量モデルにおいては、通常、球対称が仮定されるが、実際には楕円体であるため軸対称を仮定した解析が望まれる。観測データにおいては、dSph に属する星と、観測者と dSph の間に存在する前景星の分離が重要となる。特に後者は暗黒物質分布を過剰に見積もる危険性があり、今回はそれを踏まえ統計的にシンプルな方法で前景星の影響をコントロールするアルゴリズムを開発した[5, 6]。また、本アルゴリズムを現実の観測データに適用することで、暗黒物質の間接検出に必要な J 因子( ~ 暗黒物質分布の 2 乗の積分)を見積もり、他手法により見積もられた結果と比較した[7]。結果は右図の通りである。使用データはいずれも Classical dSph のものであり、S/N 比が高いこともあり他手法を用いたものと無矛盾な結果が得られた一方、将来得られる S/N 比の低い Ultra-faint dSph に適用した際は、本アルゴリズムの優位性が現れると期待される。

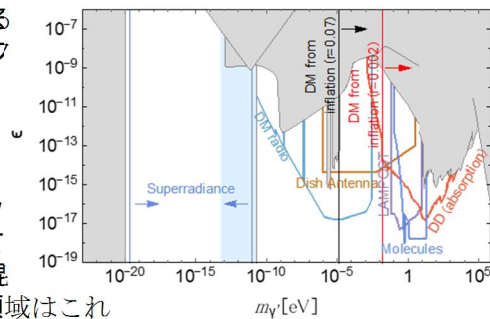
- [5] K. Ichikawa, M. Ishigaki, S. Matsumoto, M. Ibe, et al. MNRAS468, 2884, 2017  
 [6] K. Ichikawa, S. Horigome, M. Ishigaki, S. Matsumoto, et al. MNRAS479, 64, 2018  
 [7] S. Horigome, K. Hayashi, M. Ibe, M. Ishigaki, et al. MNRAS499, 3320, 2020.

#### IV. 他暗黒物質候補 (アクシオン、ダークフォトン) と生成機構

高スケール超対称性模型におけるダークマター候補のひとつはウィーノに代表される WIMP (Weakly Interacting Massive Particle) であるが、その相補的な候補として QCD アクシオンやダークフォトンといった非常に軽いダークマター候補が挙げられる。WIMP の場合とは異なり、このような軽いダークマターは多様な非熱的過程によって生成されるため、初期宇宙における進化を通じて高いスケールにある標準理論を超える物理のプロープになる。

QCD アクシオンは強い CP 問題の解として有力な Peccei-Quinn 機構において予言される非常に軽い粒子であり、いわゆる Misalignment 機構によって容易に生成することが可能である。とくに QCD アクシオンを超弦理論において実現する場合、その崩壊定数は典型的に  $10^{16-17}$  GeV と非常に大きくなる。そのためアクシオン場の初期振幅に関する微調整をしない限り、QCD アクシオンの存在量が観測値より数桁も大きくなるという問題が指摘されていた。高橋は QCD スケール以下のインフレーションが非常に長く続くと、QCD アクシオン場の確率分布がポテンシャル最小値にピークを持つ Bunch-Davies 分布に従うことを示し、初期振幅に関する微調整を必要とせず、自然にダークマター存在量を説明できる事を明らかにした[8]。

非常に軽いダークマターとして注目を集めているもう一つの候補にダークフォトンがある。QCD アクシオンとは異なり、 $10 \mu\text{eV}$  以下の質量を持つ軽いダークフォトン・ダークマターを生成することは困難であった。高橋はダークフォトンと結合するアクシオン場を導入することで、タキオン不安定性を通じて大量かつ非常に冷たいダークフォトンが生成されることを示した。右図において縦軸に光子とダークフォトンとの間の運動項混合、横軸はダークフォトンの質量である。灰色領域はこれ



までに実験において排除されており、様々な将来実験の予想感度を色付きの線で示している。従来は生成が困難であった軽い領域(図の縦黒線より左側の領域)を含む、この図の全領域においてダークフォトンがダークマターとなる生成機構を提案することができた[9]。

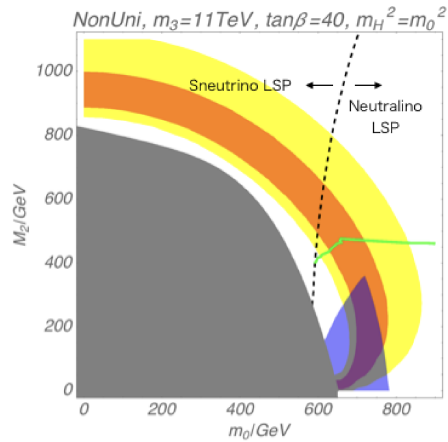
- [8] F. Takahashi, W. Yin, A. H. Guth, PRD98, 015042, 2018.  
 [9] P. Agrawal, N. Kitajima, M. Reece, et al. PLB801, 135136 2020

#### V. Split-Family SUSY とミュオン g-2

Split-Family 超対称性標準模型は、最初の 2 つの世代の標準模型物質の超対称パートナーの質量が  $O(100-1000)$  GeV、第 3 世代の超対称パートナーの質量が  $O(10)$  TeV となる模型である。このような階層的なスペクトルを用いると、ミュオン中間子の異常磁気能率(g-2)の測定値と観測されたヒッグス粒子の質量を同時に説明することが可能となる。そこで、LHC 実験からの最新の超対称パートナー粒子の質量制限を考慮し、Split-Family 超対称性標準模型を再考察した。また、この模型におけるのフレーバー混合の問題についても研究した[10]。

今回の解析では、3 つのゲージノの質量が大統一模型のスケールで等しくなる模型と、グレイノ質量が他の 2 つに比べて重い場合の 2 つのケースについて考察を行った。その結果、前者の場合、ミュオン中間子の g-2 を 2 以内で説明する領域のほとんどが、LHC 実験の制限によりすでに棄却されていることが明らかになった。これは、クォーク、グルーオン、W/Z ボゾンの超対称パートナーの質量が軽いことが理由である。一方、グレイノの質量を自由なパラメータとして数 TeV 領域にとると、加速器実験の制限と矛盾することなく、ミュオン中間子の g-2 を 2 以内で説明可能なパラメータ領域が残されていることを明らかにした。

Split-Family 模型ではフレーバー混合が問題となるが、これについては 2 つのシナリオ、最小混合シナリオと小混合シナリオについて解析を行った。最小シナリオでは、CKM 行列がフレーバー混合の唯一の原因であることを仮定するが、その場合には、超対称粒子のフレーバー混合への寄与が十分に小さく、現在の観測と矛盾しないことが示された。混合が小さいシナリオでは、超対称性の破れのパラメータに CKM 混合行列と同程度の混合角を仮定して解析したが、その結果、レプトンのフレーバー対称性の破れの崩壊である  $\mu \rightarrow e \gamma$  が最も厳しい制約となることが示された。右図は、ミュー中間子の異常磁気能率を説明可能なパラメータ領域の一例が示されている。

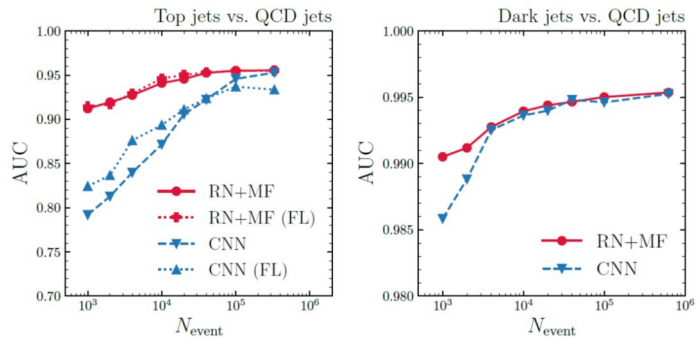


オレンジ(黄色)の領域では理論予想と観測値が  $1 \pm 2\%$  の範囲で一致する。図の横軸は 1、2 世代の超対称パートナーの質量。縦軸は Bino/Wino の統一模型スケールでの質量。グルイーノ質量は統一模型スケールで 2.6 TeV に設定されている。灰色の領域はスレプトンの 2 乗質量が負になるために棄却されている。青い領域は LHC からの制限で棄却されている。緑の線上ではニュートラリーノ暗黒物質の残存量が現在の観測値を再現する。[10] M. Ibe, M. Suzuki, T. T. Yanagida, N. Yokozaki, EPJ C79, 688, 2019.

## VI. 加速器実験におけるグルイーノ探査

LHC 実験においては、Higgs、top、Z、W 粒子などの相互作用の精密測定や、高スケール模型におけるグルイーノ等の比較的重たい新粒子の生成、崩壊現象の探査が期待される。新物理の影響は、高い運動エネルギーをもつ粒子の分布に現れると考えられており、このような加速された粒子の効率のよい同定には、LHC 実験の発見能力を向上させることが重要である。

本研究では、機械学習を使った手法によって、新粒子の探査がどの程度向上できるかにつき検討を行った[11-14]。深層学習は、加速した粒子の作るジェットを、クオーク・ジェットやグルーオン・ジェットと分別するジェットの分類において、これまで知られているジェットの内部構造を定量化する量を使った分類と比較して、飛躍的に高い同定能力を持っているが、理論予測の不定性(イベント・ジェネレータ)への依存性が大きく、実験データの比較に問題があることが判明した。このような不定性を軽減するために、深層学習がジェット分類に使う量の定量化、特に非常に一般的に定義された 2 点相関や、粒子の点分布を定量化するミンコフスキー汎関数などが、一般的な機械学習のアルゴリズムと比較して、同等な分類効率をあげるとともに、訓練コストが低く、少数のイベントでも訓練が可能なることを明らかにした。右図は機械学習アルゴリズムの分類効率をしめしたもののえあ



る。従来の方法(CNN)に比べ、本課題で作成したジェット分類(RN+MF)のアルゴリズムは、少ないイベント数(横軸)で高い分類効率(縦軸)を達成することが見て取れる。

- [11] A. Chakraborty, S. Kuttimalai, S. Lim, M. Nojiri, R. Ruiz, EPJ C78, 679, 2018.
- [12] A. Chakraborty, S. Lim, M. M. Nojiri, JHEP07, 135, 2019.
- [13] A. Chakraborty, S. Lim, M. M. Nojiri, Michihisa Takeuchi, JHEP07, 111, 2020.
- [14] S. Lim, M. Nojiri, PRD105, 014004, 2022.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計53件（うち査読付論文 52件 / うち国際共著 27件 / うちオープンアクセス 25件）

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Iwamoto Sho, Yanagida Tsutomu T., Yokozaki Norimi                                     | 4. 巻<br>823                   |
| 2. 論文標題<br>Wino-Higgsino dark matter in MSSM from the g-2 anomaly                               | 5. 発行年<br>2021年               |
| 3. 雑誌名<br>Physics Letters B   | 6. 最初と最後の頁<br>136768 ~ 136768 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.physletb.2021.136768                                      | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する                  |
| 1. 著者名<br>Cox Peter, Han Chengcheng, Yanagida Tsutomu T.  | 4. 巻<br>104                   |
| 2. 論文標題<br>Muon g-2 and coannihilating dark matter in the minimal supersymmetric standard model | 5. 発行年<br>2021年               |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review D   | 6. 最初と最後の頁<br>75035           |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevD.104.075035   | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する                  |
| 1. 著者名<br>Choi Gongjun, Lin Weikang, Visinelli Luca, Yanagida Tsutomu T.                        | 4. 巻<br>104                   |
| 2. 論文標題<br>Cosmic birefringence and electroweak axion dark energy                               | 5. 発行年<br>2021年               |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review D   | 6. 最初と最後の頁<br>L101302         |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevD.104.L101302  | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する                  |
| 1. 著者名<br>Kainulainen Kimmo, Nurmi Sami, Schiappacasse Enrico D., Yanagida Tsutomu T.           | 4. 巻<br>104                   |
| 2. 論文標題<br>Can primordial black holes as all dark matter explain fast radio bursts?             | 5. 発行年<br>2021年               |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review D   | 6. 最初と最後の頁<br>123033          |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevD.104.123033   | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する                  |

|  |                  |
|--|------------------|
| 1. 著者名<br>Katayose Taisuke, Matsumoto Shigeki, Shirai Satoshi, Watanabe Yu | 4. 巻<br>2021     |
| 2. 論文標題<br>Thermal real scalar triplet dark matter                         | 5. 発行年<br>2021年  |
| 3. 雑誌名<br>Journal of High Energy Physics                                   | 6. 最初と最後の頁<br>44 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/JHEP09(2021)044                        | 査読の有無<br>有       |
| オープンアクセス<br>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<br>-        |

|  |                     |
|--|---------------------|
| 1. 著者名<br>Horigome Shun-ichi, Katayose Taisuke, Matsumoto Shigeki, Saha Ipsita | 4. 巻<br>104         |
| 2. 論文標題<br>Leptophilic fermion WIMP: Role of future lepton colliders           | 5. 発行年<br>2021年     |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review D  | 6. 最初と最後の頁<br>55001 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevD.104.055001                        | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>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<br>-           |

|   |                     |
|---|---------------------|
| 1. 著者名<br>Lim Sung Hak, Nojiri Mihoko M.                | 4. 巻<br>105         |
| 2. 論文標題<br>Morphology for jet classification            | 5. 発行年<br>2022年     |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review D                             | 6. 最初と最後の頁<br>14004 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevD.105.014004 | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する        |

|  |                  |
|--|------------------|
| 1. 著者名<br>Ibe Masahiro, Kobayashi Shin, Nakayama Yuhei, Shirai Satoshi | 4. 巻<br>2021     |
| 2. 論文標題<br>Muon g-2 in gauge mediation without SUSY CP problem         | 5. 発行年<br>2021年  |
| 3. 雑誌名<br>Journal of High Energy Physics                               | 6. 最初と最後の頁<br>98 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/JHEP07(2021)098                    | 査読の有無<br>有       |
| オープンアクセス<br>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<br>-        |

|  |                   |
|--|-------------------|
| 1. 著者名<br>Ibe Masahiro, Kobayashi Shin, Nakayama Yuhei, Shirai Satoshi | 4. 巻<br>2022      |
| 2. 論文標題<br>Cosmological constraints on dark scalar                     | 5. 発行年<br>2022年   |
| 3. 雑誌名<br>Journal of High Energy Physics                               | 6. 最初と最後の頁<br>198 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/JHEP03(2022)198                    | 査読の有無<br>有        |
| オープンアクセス<br>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<br>-         |

|  |                     |
|--|---------------------|
| 1. 著者名<br>Katayose Taisuke, Matsumoto Shigeki, Shirai Satoshi  | 4. 巻<br>103         |
| 2. 論文標題<br>Nonperturbative effects on electroweakly interacting massive particles at hadron collider | 5. 発行年<br>2021年     |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review D  | 6. 最初と最後の頁<br>95017 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevD.103.095017  | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>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<br>-           |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Jeong Kwang Sik, Matsukawa Kohei, Nakagawa Shota, Takahashi Fuminobu             | 4. 巻<br>2022            |
| 2. 論文標題<br>Cosmological effects of Peccei-Quinn symmetry breaking on QCD axion dark matter | 5. 発行年<br>2022年         |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Cosmology and Astroparticle Physics                                   | 6. 最初と最後の頁<br>026 ~ 026 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1088/1475-7516/2022/03/026                                  | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する            |

|  |                      |
|--|----------------------|
| 1. 著者名<br>Inomata Keisuke, Kawasaki Masahiro, Mukaida Kyohei, Terada Takahiro, Yanagida Tsutomu T. | 4. 巻<br>101          |
| 2. 論文標題<br>Gravitational wave production right after a primordial black hole evaporation           | 5. 発行年<br>2020年      |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review D  | 6. 最初と最後の頁<br>123533 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevD.101.123533  | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する         |



|  |                               |
|--|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Choi Gongjun, Yanagida Tsutomu T., Yokozaki Norimi                           | 4. 巻<br>810                   |
| 2. 論文標題<br>Feebly interacting U(1)B-L gauge boson warm dark matter and XENON1T anomaly | 5. 発行年<br>2020年               |
| 3. 雑誌名<br>Physics Letters B  | 6. 最初と最後の頁<br>135836 ~ 135836 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.physletb.2020.135836                             | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する                  |

|  |                      |
|--|----------------------|
| 1. 著者名<br>Inomata Keisuke, Kawasaki Masahiro, Mukaida Kyohei, Yanagida Tsutomu T.              | 4. 巻<br>126          |
| 2. 論文標題<br>NANOGrav Results and LIGO-Virgo Primordial Black Holes in Axionlike Curvaton Models | 5. 発行年<br>2021年      |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review Letters  | 6. 最初と最後の頁<br>131301 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevLett.126.131301                                     | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する         |

|  |                           |
|--|---------------------------|
| 1. 著者名<br>Horigome Shun-ichi, Hayashi Kohei, Ibe Masahiro, Ishigaki Miho N, Matsumoto Shigeki, Sugai Hajime                          | 4. 巻<br>499               |
| 2. 論文標題<br>J-factor estimation of Draco, Sculptor, and Ursa Minor dwarf spheroidal galaxies with the member/foreground mixture model | 5. 発行年<br>2020年           |
| 3. 雑誌名<br>Monthly Notices of the Royal Astronomical Society  | 6. 最初と最後の頁<br>3320 ~ 3337 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1093/mnras/staa2909   | 査読の有無<br>有                |
| オープンアクセス<br>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<br>-                 |

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Saikawa Ken'ichi, Shirai Satoshi                                      | 4. 巻<br>2020            |
| 2. 論文標題<br>Precise WIMP dark matter abundance and Standard Model thermodynamics | 5. 発行年<br>2020年         |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Cosmology and Astroparticle Physics                        | 6. 最初と最後の頁<br>011 ~ 011 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1088/1475-7516/2020/08/011                       | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する            |

|  |                   |
|--|-------------------|
| 1. 著者名<br>Chakraborty Amit、Lim Sung Hak、Nojiri Mihoko M.、Takeuchi Michihisa                                  | 4. 巻<br>2020      |
| 2. 論文標題<br>Neural network-based top tagger with two-point energy correlations and geometry of soft emissions | 5. 発行年<br>2020年   |
| 3. 雑誌名<br>Journal of High Energy Physics   | 6. 最初と最後の頁<br>111 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/JHEP07(2020)111  | 査読の有無<br>有        |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する      |

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Nakai Yuichiro、Suzuki Motoo、Takahashi Fuminobu、Yamada Masaki  | 4. 巻<br>816                   |
| 2. 論文標題<br>Gravitational waves and dark radiation from dark phase transition: Connecting NANOGrav pulsar timing data and hubble tension | 5. 発行年<br>2021年               |
| 3. 雑誌名<br>Physics Letters B   | 6. 最初と最後の頁<br>136238 ~ 136238 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.physletb.2021.136238  | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する                  |

|  |                      |
|--|----------------------|
| 1. 著者名<br>Takahashi Fuminobu、Yamada Masaki、Yin Wen   | 4. 巻<br>125          |
| 2. 論文標題<br>XENON1T Excess from Anomaly-Free Axionlike Dark Matter and Its Implications for Stellar Cooling Anomaly | 5. 発行年<br>2020年      |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review Letters  | 6. 最初と最後の頁<br>161801 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevLett.125.161801   | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>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<br>-            |

|   |                     |
|---|---------------------|
| 1. 著者名<br>Evans Jason L.、Ibe Masahiro、Yanagida Tsutomu T. | 4. 巻<br>103         |
| 2. 論文標題<br>Proton decay in product group unification      | 5. 発行年<br>2021年     |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review D                               | 6. 最初と最後の頁<br>35009 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevD.103.035009   | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する        |

|   |                  |
|---|------------------|
| 1. 著者名<br>Hiramatsu Takashi, Ibe Masahiro, Suzuki Motoo   | 4. 巻<br>2020     |
| 2. 論文標題<br>Cosmic string in Abelian-Higgs model with enhanced symmetry - Implication to the axion domain-wall problem | 5. 発行年<br>2020年  |
| 3. 雑誌名<br>Journal of High Energy Physics  | 6. 最初と最後の頁<br>54 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/JHEP09(2020)054   | 査読の有無<br>有       |
| オープンアクセス<br>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<br>-        |

|  |                  |
|--|------------------|
| 1. 著者名<br>Matsumoto Shigeki, Tsai Yue-Lin Sming, Tseng Po-Yan          | 4. 巻<br>2019     |
| 2. 論文標題<br>Light fermionic WIMP dark matter with light scalar mediator | 5. 発行年<br>2019年  |
| 3. 雑誌名<br>Journal of High Energy Physics 7                             | 6. 最初と最後の頁<br>50 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/JHEP07(2019)050                    | 査読の有無<br>有       |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する     |

|  |                     |
|--|---------------------|
| 1. 著者名<br>Ghosh Dilip Kumar, Katayose Taisuke, Matsumoto Shigeki, Saha Ipsita, Shirai Satoshi, Tanabe Tomohiko | 4. 巻<br>101         |
| 2. 論文標題<br>Role of future lepton colliders for fermionic Z-portal dark matter models                           | 5. 発行年<br>2020年     |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review D101   | 6. 最初と最後の頁<br>15007 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevD.101.015007  | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する        |

|  |                   |
|--|-------------------|
| 1. 著者名<br>Ho Shu-Yu, Takahashi Fuminobu, Yin Wen                           | 4. 巻<br>2019      |
| 2. 論文標題<br>Relaxing the cosmological moduli problem by low-scale inflation | 5. 発行年<br>2019年   |
| 3. 雑誌名<br>Journal of High Energy Physics 4                                 | 6. 最初と最後の頁<br>149 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/JHEP04(2019)149                        | 査読の有無<br>有        |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する      |

|   |                   |
|---|-------------------|
| 1. 著者名<br>Daido Ryuji, Ho Shu-Yu, Takahashi Fuminobu  | 4. 巻<br>2020      |
| 2. 論文標題<br>Hidden monopole dark matter via axion portal and its implications for direct detection searches, beam-dump experiments, and the H0 tension | 5. 発行年<br>2020年   |
| 3. 雑誌名<br>Journal of High Energy Physics 1  | 6. 最初と最後の頁<br>185 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/JHEP01(2020)185   | 査読の有無<br>有        |
| オープンアクセス<br>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<br>-         |

|   |                   |
|---|-------------------|
| 1. 著者名<br>Fukuda Hajime, Luo Feng, Shirai Satoshi   | 4. 巻<br>2019      |
| 2. 論文標題<br>How heavy can neutralino dark matter be? | 5. 発行年<br>2019年   |
| 3. 雑誌名<br>Journal of High Energy Physics 4          | 6. 最初と最後の頁<br>107 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/JHEP04(2019)107 | 査読の有無<br>有        |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する      |

|   |                      |
|---|----------------------|
| 1. 著者名<br>Fukuda Hajime, Nagata Natsumi, Oide Hideyuki, Otono Hidetoshi, Shirai Satoshi | 4. 巻<br>124          |
| 2. 論文標題<br>Cornering Higgsinos Using Soft Displaced Tracks                              | 5. 発行年<br>2020年      |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review Letters 124   | 6. 最初と最後の頁<br>101801 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevLett.124.101801                              | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する         |

|   |                   |
|---|-------------------|
| 1. 著者名<br>Yanagida Tsutomu T., Yin Wen, Yokozaki Norimi                               | 4. 巻<br>2019      |
| 2. 論文標題<br>Bino-wino coannihilation as a prediction in the E7 unification of families | 5. 発行年<br>2019年   |
| 3. 雑誌名<br>Journal of High Energy Physics 12   | 6. 最初と最後の頁<br>168 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/JHEP12(2019)169                                   | 査読の有無<br>有        |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する      |

|  |                   |
|--|-------------------|
| 1. 著者名<br>Ibe Masahiro, Suzuki Motoo, Yanagida Tsutomu T., Yokozaki Norimi | 4. 巻<br>79        |
| 2. 論文標題<br>Muon g - 2 in Split-Family SUSY in light of LHC run II          | 5. 発行年<br>2019年   |
| 3. 雑誌名<br>The European Physical Journal C79                                | 6. 最初と最後の頁<br>688 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1140/epjc/s10052-019-7186-5                 | 査読の有無<br>有        |
| オープンアクセス<br>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<br>-         |

|  |                   |
|--|-------------------|
| 1. 著者名<br>Chakraborty Amit, Lim Sung Hak, Nojiri Mihoko M.                               | 4. 巻<br>2019      |
| 2. 論文標題<br>Interpretable deep learning for two-prong jet classification with jet spectra | 5. 発行年<br>2019年   |
| 3. 雑誌名<br>Journal of High Energy Physics 07  | 6. 最初と最後の頁<br>135 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/JHEP07(2019)135                                      | 査読の有無<br>有        |
| オープンアクセス<br>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<br>-         |

|  |                     |
|--|---------------------|
| 1. 著者名<br>Ibe Masahiro, Kamada Ayuki, Kobayashi Shin, Kuwahara Takumi, Nakano Wakutaka | 4. 巻<br>100         |
| 2. 論文標題<br>Baryon-dark matter coincidence in mirrored unification                      | 5. 発行年<br>2019年     |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review D100   | 6. 最初と最後の頁<br>75022 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevD.100.075022                                | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する        |

|  |                 |
|--|-----------------|
| 1. 著者名<br>Cox Peter, Han Chengcheng, Yanagida Tsutomu T.                         | 4. 巻<br>98      |
| 2. 論文標題<br>Muon g-2 and dark matter in the minimal supersymmetric standard model | 5. 発行年<br>2018年 |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review D  | 6. 最初と最後の頁<br>- |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevD.98.055015                           | 査読の有無<br>有      |
| オープンアクセス<br>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<br>-       |

|  |                 |
|--|-----------------|
| 1. 著者名<br>Cox Peter、Han Chengcheng、Yanagida Tsutomu T、Norimi Yokozaki.   | 4. 巻<br>-       |
| 2. 論文標題<br>Gaugino Mediation Scenarios for Muon $g-2g-2$ and Dark Matter | 5. 発行年<br>2019年 |
| 3. 雑誌名<br>arXiv:1805.02802 [hep-ph]                                      | 6. 最初と最後の頁<br>- |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし   | 査読の有無<br>無      |
| オープンアクセス<br>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<br>-       |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Fukuda Hajime、Matsumoto Shigeki、Yanagida Tsutomu T.                    | 4. 巻<br>789             |
| 2. 論文標題<br>Direct detection of ultralight dark matter via astronomical ephemeris | 5. 発行年<br>2019年         |
| 3. 雑誌名<br>Physics Letters B  | 6. 最初と最後の頁<br>220 ~ 227 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.physletb.2018.12.038                       | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|  |                       |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Ichikawa Koji、Horigome Shun-ichi、Ishigaki Miho N、Matsumoto Shigeki、Ibe Masahiro、Sugai Hajime、Hayashi Kohei | 4. 巻<br>479           |
| 2. 論文標題<br>Foreground effect on the J-factor estimation of ultrafaint dwarf spheroidal galaxies                      | 5. 発行年<br>2018年       |
| 3. 雑誌名<br>Monthly Notices of the Royal Astronomical Society  | 6. 最初と最後の頁<br>64 ~ 74 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1093/mnras/sty1387  | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |

|   |                       |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Nagai Ryo、Takahashi Fuminobu、Yokozaki Norimi  | 4. 巻<br>784           |
| 2. 論文標題<br>Heavy gravitino from dynamical generation of right-handed neutrino mass scale, and gravitational waves | 5. 発行年<br>2018年       |
| 3. 雑誌名<br>Physics Letters B   | 6. 最初と最後の頁<br>37 ~ 42 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.physletb.2018.07.022  | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |

|  |                 |
|--|-----------------|
| 1. 著者名<br>Takahashi Fuminobu, Yin Wen, Guth Alan H.    | 4. 巻<br>98      |
| 2. 論文標題<br>QCD axion window and low-scale inflation    | 5. 発行年<br>2018年 |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review D                            | 6. 最初と最後の頁<br>- |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevD.98.015042 | 査読の有無<br>有      |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する    |

|   |                 |
|---|-----------------|
| 1. 著者名<br>Matsumoto Shigeki, Shirai Satoshi, Takeuchi Michihisa   | 4. 巻<br>2018    |
| 2. 論文標題<br>Indirect probe of electroweakly interacting particles at the high-luminosity Large Hadron Collider | 5. 発行年<br>2018年 |
| 3. 雑誌名<br>Journal of High Energy Physics  | 6. 最初と最後の頁<br>- |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/JHEP06(2018)049   | 査読の有無<br>有      |
| オープンアクセス<br>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<br>-       |

|  |                 |
|--|-----------------|
| 1. 著者名<br>Matsumoto Shigeki, Shirai Satoshi, Takeuchi Michihisa  | 4. 巻<br>2019    |
| 2. 論文標題<br>Indirect probe of electroweak-interacting particles with mono-lepton signatures at hadron colliders | 5. 発行年<br>2019年 |
| 3. 雑誌名<br>Journal of High Energy Physics   | 6. 最初と最後の頁<br>- |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/JHEP03(2019)076  | 査読の有無<br>有      |
| オープンアクセス<br>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<br>-       |

|   |                 |
|---|-----------------|
| 1. 著者名<br>Ibe Masahiro, Kamada Ayuki, Kobayashi Shin, Nakano Wakutaka | 4. 巻<br>2018    |
| 2. 論文標題<br>Composite asymmetric dark matter with a dark photon portal | 5. 発行年<br>2018年 |
| 3. 雑誌名<br>Journal of High Energy Physics                              | 6. 最初と最後の頁<br>- |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/JHEP11(2018)203                   | 査読の有無<br>有      |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する    |

|   |                 |
|---|-----------------|
| 1. 著者名<br>Ibe Masahiro, Kamada Ayuki, Kobayashi Shin, Kuwahara Takumi, Nakano Wakutaka                  | 4. 巻<br>2019    |
| 2. 論文標題<br>Ultraviolet completion of a composite asymmetric dark matter model with a dark photon portal | 5. 発行年<br>2019年 |
| 3. 雑誌名<br>Journal of High Energy Physics  | 6. 最初と最後の頁<br>- |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/JHEP03(2019)173   | 査読の有無<br>有      |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する    |

|   |                 |
|---|-----------------|
| 1. 著者名<br>Chakraborty Amit, Kuttimalai Silvan, Lim Sung Hak, Nojiri Mihoko M., Ruiz Richard                             | 4. 巻<br>78      |
| 2. 論文標題<br>Monojet signatures from heavy colored particles: future collider sensitivities and theoretical uncertainties | 5. 発行年<br>2018年 |
| 3. 雑誌名<br>The European Physical Journal C   | 6. 最初と最後の頁<br>- |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1140/epjc/s10052-018-6149-6  | 査読の有無<br>有      |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する    |

|   |                 |
|---|-----------------|
| 1. 著者名<br>Chakraborty Amit, Endo Motoi, Fuks Benjamin, Herrmann Bjorn, Nojiri Mihoko M., Pani Priscilla, Poleseello Giacomo | 4. 巻<br>78      |
| 2. 論文標題<br>Flavour-violating decays of mixed top-charm squarks at the LHC   | 5. 発行年<br>2018年 |
| 3. 雑誌名<br>The European Physical Journal C   | 6. 最初と最後の頁<br>- |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1140/epjc/s10052-018-6331-x  | 査読の有無<br>有      |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する    |

|  |                        |
|--|------------------------|
| 1. 著者名<br>H. Fukuda, M. Ibe, M. Suzuki, T. T. Yanagida     | 4. 巻<br>B771           |
| 2. 論文標題<br>A "gauged" U(1) Peccei-Quinn symmetry           | 5. 発行年<br>2017年        |
| 3. 雑誌名<br>Physics Letters                                  | 6. 最初と最後の頁<br>327--331 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.physletb.2017.05.071 | 査読の有無<br>有             |
| オープンアクセス<br>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<br>-              |



|  |                     |
|--|---------------------|
| 1. 著者名<br>K. Inomata, M. Kawasaki, K. Mukaida, T. T. Yanagida  | 4. 巻<br>D97         |
| 2. 論文標題<br>Double inflation as a single origin of primordial black holes for all dark matter and LIGO observations | 5. 発行年<br>2018年     |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review  | 6. 最初と最後の頁<br>43514 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevD.97.043514   | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する        |

|   |                          |
|---|--------------------------|
| 1. 著者名<br>K. Ichikawa, M. N. Ishigaki, S. Matsumoto, M. Ibe, H. Sugai, K. Hayashi, S. Horigome    | 4. 巻<br>468              |
| 2. 論文標題<br>Foreground effect on the $J$ -factor estimation of classical dwarf spheroidal galaxies | 5. 発行年<br>2017年          |
| 3. 雑誌名<br>Monthly Notices of the Royal Astronomical Society   Oxford Academic                     | 6. 最初と最後の頁<br>2884--2896 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1093/mnras/stx682  | 査読の有無<br>有               |
| オープンアクセス<br>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<br>-                |

|   |                        |
|---|------------------------|
| 1. 著者名<br>H. Fukuda, N. Nagata, H. Otono, S. Shirai   | 4. 巻<br>B781           |
| 2. 論文標題<br>Higgsino Dark Matter or Not: Role of Disappearing Track Searches at the LHC and Future Colliders | 5. 発行年<br>2018年        |
| 3. 雑誌名<br>Physics Letters   | 6. 最初と最後の頁<br>306--311 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.physletb.2018.03.088  | 査読の有無<br>有             |
| オープンアクセス<br>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<br>-              |

|   |                        |
|---|------------------------|
| 1. 著者名<br>D. Ryuji, T. Fuminobu, Y. Norimi                          | 4. 巻<br>B780           |
| 2. 論文標題<br>Enhanced axion-photon coupling in GUT with hidden photon | 5. 発行年<br>2018年        |
| 3. 雑誌名<br>Physics Letters   | 6. 最初と最後の頁<br>538--542 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.physletb.2018.03.039          | 査読の有無<br>有             |
| オープンアクセス<br>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<br>-              |

|   |                        |
|---|------------------------|
| 1. 著者名<br>N. Kazunori, T. Fuminobu, Y. Norimi                           | 4. 巻<br>B770           |
| 2. 論文標題<br>Gravitational waves from domain walls and their implications | 5. 発行年<br>2017年        |
| 3. 雑誌名<br>Physics Letters   | 6. 最初と最後の頁<br>500--506 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.physletb.2017.05.010              | 査読の有無<br>有             |
| オープンアクセス<br>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<br>-              |

|   |                  |
|---|------------------|
| 1. 著者名<br>M. Endo, T. Moroi, M. M. Nojiri, Y. Shoji | 4. 巻<br>11       |
| 2. 論文標題<br>False Vacuum Decay in Gauge Theory       | 5. 発行年<br>2017年  |
| 3. 雑誌名<br>Journal of High Energy Physics            | 6. 最初と最後の頁<br>47 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/JHEP11(2017)074 | 査読の有無<br>有       |
| オープンアクセス<br>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<br>-        |

|  |                        |
|--|------------------------|
| 1. 著者名<br>M. Endo, T. Moroi, M. M. Nojiri, Y. Shoji                  | 4. 巻<br>B771           |
| 2. 論文標題<br>On the Gauge Invariance of the Decay Rate of False Vacuum | 5. 発行年<br>2017年        |
| 3. 雑誌名<br>Physics Letters  | 6. 最初と最後の頁<br>281--287 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.physletb.2017.05.057           | 査読の有無<br>有             |
| オープンアクセス<br>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<br>-              |

|  |                   |
|--|-------------------|
| 1. 著者名<br>M. Ibe, W. Nakano, Y. Shoji, K. Suzuki                     | 4. 巻<br>3         |
| 2. 論文標題<br>Migdal Effect in Dark Matter Direct Detection Experiments | 5. 発行年<br>2018年   |
| 3. 雑誌名<br>Journal of High Energy Physics                             | 6. 最初と最後の頁<br>194 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/JHEP03(2018)194                  | 査読の有無<br>有        |
| オープンアクセス<br>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<br>-         |

|  |                               |
|--|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Agrawal Prateek, Kitajima Naoya, Reece Matthew, Sekiguchi Toyokazu, Takahashi Fuminobu | 4. 巻<br>801                   |
| 2. 論文標題<br>Relic abundance of dark photon dark matter  | 5. 発行年<br>2020年               |
| 3. 雑誌名<br>Physics Letters B  | 6. 最初と最後の頁<br>135136 ~ 135136 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.physletb.2019.135136                                       | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する                  |

[学会発表] 計47件 (うち招待講演 44件 / うち国際学会 40件)

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>松本重貴  |
| 2. 発表標題<br>Weak-charged WIMPs and Role of near-future direct detection experiments |
| 3. 学会等名<br>地下素核研究会 (招待講演) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>松本重貴   |
| 2. 発表標題<br>Summary talk on BSM signals at future lepton colliders |
| 3. 学会等名<br>ILCX2021 (招待講演) (国際学会)                                 |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>高橋 史宜   |
| 2. 発表標題<br>QCD Axion Dark Matter in the presence of Peccei-Quinn symmetry breaking |
| 3. 学会等名<br>Chung-Ang University Beyond the Standard Model Workshop (招待講演) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|                                  |
|----------------------------------|
| 1. 発表者名<br>高橋 史宜                 |
| 2. 発表標題<br>アクシオンの宇宙論的進化とその役割     |
| 3. 学会等名<br>第77回日本物理学会年次大会 (招待講演) |
| 4. 発表年<br>2022年                  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>高橋 史宜  |
| 2. 発表標題<br>Light dark matter  |
| 3. 学会等名<br>“What is dark matter? - Comprehensive study of the huge discovery space in dark matter” Annual Symposium (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>白井智                                       |
| 2. 発表標題<br>ILC 物理の最新動向 - 将来レプトンコライダーで解くべき問題、解けない問題 - |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会第77回年次大会 (招待講演)                     |
| 4. 発表年<br>2022年                                      |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>柳田 勉   |
| 2. 発表標題<br>The Origin of Matter                             |
| 3. 学会等名<br>The Albanova Colloquium at Nordita (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2020年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>松本 重貴  |
| 2. 発表標題<br>Review on WIMP dark matter   |
| 3. 学会等名<br>International Symposium of JSPS Core-to-Core program “DMNet” (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>高橋 史宜  |
| 2. 発表標題<br>QCD Axion and PBH, Anomaly-free ALP DM and XENON1T       |
| 3. 学会等名<br>Zooming in on Axions in the Early Universe (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2020年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>高橋 史宜  |
| 2. 発表標題<br>Review of theoretical models explaining the XENON1T excess |
| 3. 学会等名<br>APCTP-KPS-JPS joint meeting (招待講演) (国際学会)                  |
| 4. 発表年<br>2020年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>白井智   |
| 2. 発表標題<br>Cornering Higgsino at the LHC               |
| 3. 学会等名<br>KEK-PH Lectures and Workshops (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2020年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>白井智  |
| 2. 発表標題<br>Naturalness and Typicality   |
| 3. 学会等名<br>Summer camp on ILC accelerator, physics and detectors 2020 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2020年   |

|                                 |
|---------------------------------|
| 1. 発表者名<br>伊部昌宏                 |
| 2. 発表標題<br>Migdal効果             |
| 3. 学会等名<br>ミグダル観測検討会2020 (招待講演) |
| 4. 発表年<br>2020年                 |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>野尻美保子   |
| 2. 発表標題<br>The Role of Jet Geometry in Jet Classification                              |
| 3. 学会等名<br>Energy Frontier in Particle Physics: LHC and Future Colliders (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2020年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>野尻美保子                        |
| 2. 発表標題<br>Dark Jet の深層学習による分類とジェットの幾何学 |
| 3. 学会等名<br>PPP2020 素粒子物理学の進展            |
| 4. 発表年<br>2020年                         |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>松本 重貴  |
| 2. 発表標題<br>Overview on Thermal DM Models with emphasis on Electroweak Charges |
| 3. 学会等名<br>Dark matter searches in the 2020s (招待講演) (国際学会)                    |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>松本 重貴  |
| 2. 発表標題<br>Overview of dark matter physics and the impact of “neutrino” experiments in dark matter searches |
| 3. 学会等名<br>CosNuMM2019 (招待講演) (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>高橋 史宜  |
| 2. 発表標題<br>Axion and Inflation  |
| 3. 学会等名<br>New Physics at the Low Energy Scales NEPLES-2019 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>高橋 史宜   |
| 2. 発表標題<br>ALP cosmology and its experimental implications   |
| 3. 学会等名<br>Axions in the Lab and in the Cosmos (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>白井 智   |
| 2. 発表標題<br>Indirect Probe of Electroweak-Interacting Particles with Lepton Signatures at Hadron Colliders |
| 3. 学会等名<br>SUSY2019 (招待講演) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>白井 智  |
| 2. 発表標題<br>Wino theory and future prospects                |
| 3. 学会等名<br>Dark matter searches in the 2020s (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>柳田 勉   |
| 2. 発表標題<br>Who Orders the Dark Matter?  |
| 3. 学会等名<br>The 2019 International Workshop on Baryon and Lepton Number Violation (*BLV201*) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|                                    |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>野尻 美保子                  |
| 2. 発表標題<br>機械学習とジェットの物理            |
| 3. 学会等名<br>大阪市立大学 素粒子現象論研究会 (招待講演) |
| 4. 発表年<br>2019年                    |



|                                    |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>野尻 美保子                  |
| 2. 発表標題<br>機械学習の解釈可能性とジェットの物理      |
| 3. 学会等名<br>基礎物理学研究所 PPP2019 (招待講演) |
| 4. 発表年<br>2019年                    |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>伊部 昌宏  |
| 2. 発表標題<br>Migdal Effect in Dark Matter Direct Detection Experiments and Its Applications |
| 3. 学会等名<br>Johns Hopkins Workshop (招待講演) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>伊部 昌宏  |
| 2. 発表標題<br>New Type of Cosmic String Solutions with Long Range Forces |
| 3. 学会等名<br>Berkeley Week 2020 (招待講演) (国際学会)                           |
| 4. 発表年<br>2020年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>S. Matsumoto                                      |
| 2. 発表標題<br>Dark Matter Search at 240-250GeV Lepton Colliders |
| 3. 学会等名<br>COSMO 2018 (招待講演) (国際学会)                          |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>S. Matsumoto                                      |
| 2. 発表標題<br>Dark Matter Search at 240-250GeV Lepton Colliders |
| 3. 学会等名<br>PACIFIC 2018.9 (招待講演) (国際学会)                      |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>S. Matsumoto   |
| 2. 発表標題<br>Light Fermionic Thermal Dark Matter with Light Scalar Mediator             |
| 3. 学会等名<br>Yonsei university Cosmology and High Energy physics workshop (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>F. Takahashi  |
| 2. 発表標題<br>An optimistic view on inflaton hunt   |
| 3. 学会等名<br>Revealing the history of the universe with underground particle and nuclear research 2019 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>F. Takahashi                                 |
| 2. 発表標題<br>The QCD axion window and low-scale inflation |
| 3. 学会等名<br>Identification of Dark Matter 2018 (国際学会)    |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>S. Shirai   |
| 2. 発表標題<br>SUSY and Cosmology/Naturalness  |
| 3. 学会等名<br>Joint Kavli IPMU - ICEPP Workshop on New Directions for LHC: Run 2 and Beyond (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>S. Shirai  |
| 2. 発表標題<br>How to exploit the available LHC data  |
| 3. 学会等名<br>Joint Kavli IPMU - ICEPP Workshop on Future Directions for HEP (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|                                       |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>M. Ibe                     |
| 2. 発表標題<br>A Gauged U(1) PQ symmetry  |
| 3. 学会等名<br>Invisible 18 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2018年                       |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>M. Ibe  |
| 2. 発表標題<br>Asymmetric Dark Matter.   |
| 3. 学会等名<br>Revealing the history of the universe with underground particle and nuclear research 2019 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>M. Nojiri   |
| 2. 発表標題<br>Monojet signatures at the High-Luminosity and High-Energy LHC |
| 3. 学会等名<br>ICHEP 2019 (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>M. Nojiri   |
| 2. 発表標題<br>Jet Spectrum for Machine learning                 |
| 3. 学会等名<br>IAS program for High energy physics (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>T. Yanagida                          |
| 2. 発表標題<br>The Origin of Matter in the Universe |
| 3. 学会等名<br>Higgs Centre Colloquia (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2017年                                 |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>S. Matsumoto  |
| 2. 発表標題<br>Estimating J-factors of dSphs for indirect dark matter detections |
| 3. 学会等名<br>PLANCK 2017 (招待講演) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|                                    |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>S. Matsumoto            |
| 2. 発表標題<br>Weak-charged WIMP       |
| 3. 学会等名<br>YKIS 2018 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2017年                    |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>S. Shirai  |
| 2. 発表標題<br>Scientific significance of long-lived particle searches at LHC and ILC |
| 3. 学会等名<br>寿命エキゾチック粒子探索の最前線 (招待講演)  |
| 4. 発表年<br>2017年   |

|                                   |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名<br>S. Shiari              |
| 2. 発表標題<br>Compressed SUS         |
| 3. 学会等名<br>LHCP2017 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2017年                   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>F. Takahashi   |
| 2. 発表標題<br>The ALP miracle                                      |
| 3. 学会等名<br>7th General IAXO Collaboration Meeting (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2017年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>F. Takahashi                                     |
| 2. 発表標題<br>The ALP miracle                                  |
| 3. 学会等名<br>Post-inflationary String Cosmology (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2017年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>M. M. Nojiri   |
| 2. 発表標題<br>Colliders confronting BSM: Past, present and future                          |
| 3. 学会等名<br>Bethe Forum on "SUSY breakdown confronting LHC and other data" (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2017年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>M. M. Nojiri   |
| 2. 発表標題<br>Dark Matter Signature at Future Colliders                                    |
| 3. 学会等名<br>NCTS Annual Theory Meeting 2017, Particle Cosmology and String (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2017年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>M. Ibe   |
| 2. 発表標題<br>Dark Matter Candidates in a Heavy QCD Axion Model              |
| 3. 学会等名<br>Olivefest: Astroparticle Physics Looking Forward (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2017年   |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                       | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)                                   | 備考 |
|-------|---|---|----|
| 研究分担者 | 松本 重貴<br>(Matsumoto Shigeki)<br><br>(00451625)  | 東京大学・カブリ数物連携宇宙研究機構・教授<br><br>(12601)                    |    |
| 研究分担者 | 白井 智<br>(Shirai Satoshi)<br><br>(10784499)      | 東京大学・カブリ数物連携宇宙研究機構・特任助教<br><br>(12601)                  |    |
| 研究分担者 | 野尻 美保子<br>(Nojiri Mihoko)<br><br>(30222201)     | 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<br>原子核研究所・教授<br><br>(82118) |    |
| 研究分担者 | 伊部 昌宏<br>(Ibe Masahiro)<br><br>(50599008)       | 東京大学・宇宙線研究所・准教授<br><br>(12601)                          |    |
| 研究分担者 | 高橋 史宜<br>(Takahashi Fuminobu)<br><br>(60503878) | 東北大学・理学研究科・教授<br><br>(11301)                            |    |

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5件

|  |                    |
|--|--------------------|
| 国際研究集会<br>KASHIWA DARK MATTER SYMPOSIUM 2021                     | 開催年<br>2021年～2021年 |
| 国際研究集会<br>Quarkonia meet Dark Matter                             | 開催年<br>2021年～2021年 |
| 国際研究集会<br>Dark Sectors of Astroparticle Physics (AstroDark-2021) | 開催年<br>2021年～2021年 |

|  |                    |
|--|--------------------|
| 国際研究集会<br>KASHIWA DARK MATTER SYMPOSIUM 2020                                   | 開催年<br>2020年～2020年 |
| 国際研究集会<br>Beyond the BSM (The 4th Kavli IPMU -Durham IPPP -KEK -KIAS workshop) | 開催年<br>2018年～2018年 |

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                                |                          |              |      |
|----------|--|--------------------------|--------------|------|
|          |  |                          |              |      |
| 中国       | Tsung-Dao Lee Inst.,<br>Shanghai J. U. | Zhejiang U.              | Zhongshan U. | 他1機関 |
| 米国       | Rutgers U.                             | KICP, Chicago U.         | UC, Berkeley | 他2機関 |
| ハンガリー    | Eotvos U.                              |                          |              |      |
| フィンランド   | Jyvaskyla U.                           |                          |              |      |
| 韓国       | Pusan Natl. U.                         | IBS, ICTP                | KAIST        |      |
| ドイツ      | DESY                                   | Munich, Max Planck Inst. |              |      |
| インド      | Bangalore, Indian Inst. Sci.           | U. Calcutta              |              |      |
| その他の国・地域 | Academia Sinica (台湾)                   |                          |              |      |
| 英国       | Durham U., IPPP                        |                          |              |      |
| フランス     | Paris, LPTHE                           | Annecy, LAPTH            | CERN         |      |