

令和 2 年 6 月 29 日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H03991

研究課題名(和文) 新手法を用いたエネルギーフロンティアでの新現象探索を基盤とする素粒子模型の再構築

研究課題名(英文) Rebuilding the model of elementary particle from searches at energy frontiers with new technique

研究代表者

野尻 美保子 (Nojiri, Mihoko)

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

研究者番号：30222201

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：B, K, ミュー粒子の希少崩壊等には、素粒子標準模型の予言からのズレが多数観測されている。このような現象は、素粒子標準模型を拡張した新物理の必要性を示唆している。このような新物理の候補を提案して、現象を説明するとともに、LHC Run IIの高エネルギー衝突実験のデータに対する制限も加えて、可能な模型を絞りこんだ。また、これらの模型がLHC実験で予言する信号を検出するとともに、深層学習を応用して新物理発見に重要な、LHCの top Higgs の探索能力を向上させる新手法を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、LHC実験のエネルギーが飛躍的に向上する時期に企画され、LHC実験によって観測された数々の新物理に対する制限を、低エネルギーで観測される理論的予言からのずれと合わせて、統一的に理解しようとするものである。今後日本で予定されている、B中間子の精密測定や、ミューオンの異常磁気能率の高精度測定などによってこの研究で提案されたシナリオがさらに検証されることが期待される。また最近盛んに研究されるジェット分類の深層学習の背景にある、特徴的な要素を抽出して、幾何学的な意味づけを見出すことに成功した。

研究成果の概要(英文)：Significant deviations from the standard model prediction has been observed in the nature of B, K mesons and muon. Such phenomena indicate the necessity of the extension of the SM. We proposed various models to explain the observed phenomena. We further restrict the model parameters using LHC Run II data. We also predict the signature at the LHC, and proposed new method using deep learning to improve the identification of top quark and Higgs bosons.

研究分野：素粒子論

キーワード：素粒子理論 深層学習 加速器実験 精密測定

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

素粒子標準模型は、素粒子現象をほぼ正しく説明するが、また LHC-b 実験や Belle 実験においては、微弱ではあるが標準模型では説明できない事象が数多く報告されていた。また、ミュオンの異常磁気能率は一貫して標準模型のデータと矛盾しており、軽い新粒子の存在が期待されていた。一方で、LHC run I 実験が Higgs 粒子の発見によって成功裏に終了し、LHC Run II 実験として 13TeV のエネルギーで開始され、コライダー実験から新物理に対して強力な制限を与えるものと予想された。また、暗黒物質の存在が宇宙の観測から明らかになり、これを説明する新粒子が必要とされるようになった。特に、多くの新現象を統一的に説明できる模型を構築する必要があると考えられるようになった。

2. 研究の目的

本研究ではこれまで見出された新物理の兆候(ミュオンの異常磁気能率や、B の崩壊に見られる測定値と標準模型の予言のずれ、LHC Run I, II での新物理信号の過剰)に留意した解析を行って、模型のパラメータを絞り込むとともに、新しい模型の構築を行って、標準模型を超える新しい物理パラダイムを構築することを目指した。

3. 研究の方法

電子、ミュオン、K、B などの精密測定において多くのアノマリーが観察されている。このようなアノマリーは、素粒子標準模型に含まれない新しい粒子が存在し、それらが、エネルギーフロンティア実験で発見できる可能性を示唆している。逆に、LHC 実験のデータは、低エネルギーの異常を説明するシナリオに制限を与えている。そこで特に LHC Run I、ミュオンの異常磁気能率、B 中間子の稀少崩壊などから示唆される新物理に焦点を絞り、具体的な解析を行うことにした。

一方、LHC は本質的に QCD を中心としたハドロン事象であり、Higgs 粒子の新物理の探索には、Higgs 粒子を高い効率で、かつ、系統誤差をコントロールした形で同定する必要がある。本研究では、ジェットの内部構造や quark/gluon ジェットの分離、フレーバータグ等の新手法を使って、LHC Run II での新粒子の探索感度を向上できるか検討を行った。特に、研究の後半では、より注目されるようになった、機械学習の方法について研究した。

4. 研究成果

[B と K のフレーバーのアノマリー]

B ファクトリーのような、高統計のフレーバー実験は、低エネルギーであっても、標準模型の予言からのズレを発見して、新物理に対して、重要な制限を与えることができる。特に、この研究計画の期間においては、B 粒子や K 粒子の性質において、標準模型と矛盾する重要なアノマリーが報告された。一方で、LHC 実験において、軽い超最小粒子に対して厳しい制限が課され、この両者は矛盾するのではないかと危惧された。

本研究では比較的質量の重い超対称粒子の K 粒子の崩壊における効果を検討し、スカラークォークの L-R のフレーバー混合とチャージノによる輻射補正の効果によって説明できることを示した。また、K 中間子崩壊における大きな CP 対称性の破れの存在が指摘されたことを受け、グレイノ粒子がこのような効果を引き起こす可能性があることを示した。また、この模型が近い将来に LHC B 実験や KOTO 実験によって検証されることを示した。

[フレーバーの破れを伴うコライダーシグナル]

このようなフレーバーアノマリーの背景としては、超対称模型で軽いことが期待されるスカラートップ粒子の相互作用にフレーバの破れがある可能性がある。このフレーバーの破れを探索する方法を検討し、終状態にトップクォークとチャームがあるモードの感度について評価を行った。また暗黒物質の生成のシグナルであるモノジェットのイベントについて、親粒子を推定する方法を開発した。

また、2つのヒッグス2重項を含む PQ 模型のドメインウォール問題を、一つのクォークのみが PQ 電荷を持つような模型で解決し、トップクォークのみが PQ 電荷を持つ場合に予言されるトップ稀崩壊 $t \rightarrow c/u$ が LHC 実験において軽微なイベント超過と符合することを指摘した。

またこの模型が、最新の LHC のヒッグスの測定結果とも無矛盾であることを示した。またこの模型をさらに拡張して、レプトンとアップクォークが PQ 電荷を持つ変形アクシオン模型において、ミュオン異常磁気能率が説明可能であることを示した。質量 15 GeV 程度の軽い擬スカラーヒッグス A が同時に予言され、特徴的なシグナルとして、トップクォークの稀崩壊 $t \rightarrow Au$ が予言される。A は di-tau ジェットとして観測されると考えられ、ジェット微細構造を用いることで効率的に発見可能となることを示した。

[ミュオンの異常磁気能率と LHC 実験]

ミュオンの異常磁気能率は、実験的に極めて精密に測定可されている量であり、素粒子標準模型と現在で 3 シグマ以上ずれていることから、標準模型を超える物理の重要な手がかりとされている。本研究では、ミュオン異常磁気能率のアノマリーの示唆する物理について検討した。

- 1) 模型の検討：ヒッグス粒子の質量とミュオン $g-2$ の実験値を超対称標準模型の枠内で同時に説明することが可能な Split Family SUSY 模型の研究を行なった。LHC Run II による超対称粒子探索の結果を用い、普遍的ゲージノ質量の模型ではミュオン中間子の異常磁気能率を説明する可能性はほぼ棄却されなんらかの、拡張が必要なことを明らかにした。超対称模型のフレーバーの破れの問題および宇宙論の方から動機付けが高かった単純なゲージ伝搬型模型等ではミュオン異常磁気能率の説明に重要なスカラーレプトンとカラー電荷を持つ超対称粒子の質量の間の相関が高く LHC の制限を満たしつつミュオン異常磁気能率を説明するのは難しくなっていることを明らかにした。また強い相互作用における CP の破れの問題の有力な解として Peccei-Quinn(PQ) 機構と超対称模型との統一的な理解にも取り組んだ。ゲージ対称性によって高い精度で保護されている PQ 機構を提案し、その機構を応用し、超対称性の力学的破れの模型と PQ 対称性の自発的な破れが同時に実現する模型を考案した。また、この模型では TeV scale にカラー電荷を持つ新粒子が予言され LHC 実験によって検証可能であることを示した。
- 2) 超対称模型では、また、ミュオン粒子異常磁気モーメントの存在は、ミュオン、ヒッグス、ゲージ粒子の超対称粒子が軽くなければ実現しない。一方で、同じ超対称模型では、暗黒物質はにおけるずれと暗黒物質に対する実験的制限から、このようなずれを説明する超対称標準模型が LHC 実験、暗黒物質直接探索実験やレプトン加速実験により検証できることを示した。特に、LHC Run II 実験の進展に伴い、超対称模型のパラメータは厳しく制限されるようになった。スカラーレプトン、チャージーノ、ニュートラリーノなどの実験的制限を網羅し、 $g-2$ の異常磁気能率を説明できるパラメータ領域を明らかにした。特に、スカラーミュオンの質量に関しては、チャージーノより重くなることが要請され、LHC 実験のシグナルを制限した。LHC では超対称性模型からの寄与である場合には、将来の LHC 実験においてカラー電荷をもたない超対称粒子の崩壊から生じるタウ粒子を含むイベントを解析することで検証可能であることを明らかにした。
- 3) また、電子の異常磁気能率にも新しいずれが観測され、これまで知られていたミュオン異常磁気能率と電子の異常磁気能率の両方を同時に理解するする必要に迫られることになった。このような問題を解決するために、フレーバ混合を導入する提案がされていたが、タウレプトンの崩壊から厳しい制限が付けられていた。本研究ではより自然な可能性とし

て、超対称粒子により湯川結合に対する補正に着目し、フレーバー混合に寄らずにアノマリーを説明することを可能にした。このシナリオは、スカラーミュオンが、スカラー電子より軽いモデルで実現されるなど、理論的な予言も興味深く 2019 年 8 月に掲載以降既に 25 件引用されている)

[ジェットを含む新シグナルの新手法]

LHC 実験は エネルギーの増強とともに、その輝度を上げて、エネルギーフロンティアでの探索と、高統計に夜精密測定によって、新物理に迫ることを計画している。特に、高い運動量を持つ top、Higgs W 粒子のハドロンへの崩壊や、暗黒物質の生成に伴って生成されるジェットなどは、新物理の発見にとって重要な役割を担っており、本研究でも成果をあげた。本研究では一貫して、このようなシグナルの理解を深め、感度を向上するための研究を行った。

1 クォークとグルーオンという異なるパートンを起源とするジェットは、その後のパートンシャワーのパターンの違いを利用して統計的に分離することが可能である。一方で、新物理で予言される重い粒子の崩壊は、高エネルギーのクォークを選択的に生成することが予想されていた。多くのジェットが同時に現れるシグナルについて、このクォークジェットを選択的に選り出すことで、バックグラウンドを低減することによって、超対称粒子の探索能力を 500GeV 程度向上することができることを示した。パートンのシャワーのモデリングによる系統誤差の低減が必要であることを明らかにした。

2. ジェットには、クォークやグルーオンの直接生成によるもの以外に、W, t, H など、素粒子モデルの階層性問題に直接関係する粒子が、高エネルギーで放出されるものが多数ある。このようなジェットは内部構造を解析し、QCD ジェットを区別することで、感度を向上させる研究は以前から行われてきた。このような研究は特に、HL-LHC における、これらの粒子の有効相互作用の解明のための、基本的なツールとして重要となっている。

この数年、深層学習を導入することで、トップ粒子や Higgs 粒子への感度を向上させることができるという主張が見られるようになってきた。深層学習による事象の解析は、ジェットを方向と運動量の空間の中のイメージとして捉え、画像の深層学習による分類を応用することで発展してきた。機械学習は複雑な事象間の相関を取り込むことが可能であり、これが効率のよい分類をもたらしている可能性はあるが、一方で、モンテカルロなどによるモデリングが進んでいない量を持ち込むことによって、新たな系統誤差が発生し、期待した精度をだせなくなる懸念がある。また、深層学習が特徴的な量を選ぶことによって精度が向上しているのであれば、その分布をより正確に理解することによって、系統誤差の低減も期待できる。

そこで、本科研費研究期間の後半では、深層学習へのインプットを QCD のソフト、コリニアな発散の問題のない量と、ソフトなアクティビティという 2 つの量に分類し、前者については、2 点のエネルギー相関、後者については、エネルギーの低い粒子の、幾何学的な分布を Integral geometry という数学理論に基づいて、取り込むことを計画した。この 2 つの量で構成された、Multi-Layer Perceptron は Convolutional Neural Network によるジェット分類の結果を良く再現し、画像分類深層学習が、QCD でよく記述できるハードな構造と、少数の幾何学的な量を利用しているということを示唆するものとなった。また、エネルギーの低い粒子のアクティビティはモンテカルロのモデリングが最も難しい部分であるが、この部分のみを切

り離して実験データで記述することも可能であることを証明した。すなわちこの手法は、LHC 実験において、深層学習の良い点を維持しつつ、系統誤差をコントロールする手法を与えることが明らかにしたのである。これらの論文は、ATLAS 実験の機械学習グループの論文リストに採用されるなど、実用的な手法として評価を受けている。

[そのほかのシナリオの検討]

1. [LHC で発見が困難な暗黒物質シナリオ] LHC 実験は、強い相互作用をする新粒子[メディエータ]が、暗黒物質と標準模型の粒子に崩壊する場合、特に高い探索能力を持つ。しかしこのような模型であっても、暗黒物質とメディエータの質量が接近している場合には、発見が難しくなっている。このような場合には、新粒子から放出される粒子ではなく、初期状態のクォークやグルーオンから放出されるモノジェットシグナルが重要となる。このような信号を NLO レベルで予言することが可能になったため、従来よりも精密な検討を行った。暗黒物質の密度を決定するメディエータのスピンをジェットシグナルのジェットの分布から決定できる可能性があることを示した。
2. [750GeV アノマリ] 2016 年には LHC において 750GeV という極めて高い不変質量を持つ 2 光子対のエクセスが観測された。このようなシグナルは理論的に説明することが用意ではなく、そのため多くの研究者に注目された。このためこの年度は、750GeV のおよそ半分の質量を持つ、寿命の長い、QCD 相互作用をする超対称粒子が束縛状態を作って光子に対消滅する模型を構築した。また他の有力なシナリオとして、スカラー粒子が 2 つの極めて軽いスカラー粒子に崩壊し、各々が 2 光子に崩壊する 4 光子状態のシグナルについて検討した。このシグナルでは、同一方向に進む 2 光子状態が、1 光子状態として観測されるわけであるが、光が測定器の中で電子陽電子状態に変わる率を評価することによって、2 光子状態と 1 光子状態が区別できることを示した。
3. [ダークセクター] 暗黒物質を含むダークセクターにあるベクトル粒子である暗黒光子を研究した。暗黒光子は素粒子論的、宇宙論的動機付けを持つ新粒子候補であり、加速器実験の重要なターゲットの一つになっている。本年度は MeV 領域の暗黒光子に対する N_{eff} からの制限の解析を行い、CMB S-IV において宇宙論の熱史によらず約 17MeV の暗黒光子まで検証可能であることを示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計38件（うち査読付論文 37件 / うち国際共著 14件 / うちオープンアクセス 31件）

1. 著者名 Uesaka Yuichi, Takeuchi Michihisa, Yamanaka Masato	4. 巻 26, 021021
2. 論文標題 Charged Lepton Flavor Violation Searches by Lepton-Nucleus Scattering, $\mu N(eN)$ X	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 JPS Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.26.021021	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 Iguro Syuhei, Omura Yuji, Takeuchi Michihisa	4. 巻 2019
2. 論文標題 Testing the 2HDM explanation of the muon $g - 2$ anomaly at the LHC	5. 発行年 2019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/JHEP11(2019)130	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 Endo Motoi, Hamaguchi Koichi, Iwamoto Sho, Kitahara Teppei	4. 巻 2020
2. 論文標題 Muon $g - 2$ vs LHC Run 2 in supersymmetric models	5. 発行年 2020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/JHEP04(2020)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 該当する
1. 著者名 Endo Motoi, Yin Wen	4. 巻 2019
2. 論文標題 Explaining electron and muon $g - 2$ anomaly in SUSY without lepton-flavor mixings	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP08(2019)122	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 Chakraborty Amit、Lim Sung Hak、Nojiri Mihoko M.	4. 巻 2019
2. 論文標題 Interpretable deep learning for two-prong jet classification with jet spectra	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 1-35
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP07(2019)135	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 Ibe Masahiro、Suzuki Motoo、Yanagida Tsutomu T.、Yokozaki Norimi	4. 巻 79
2. 論文標題 Muon g-2 in Split-Family SUSY in light of LHC run II	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The European Physical Journal C	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) 10.1140/epjc/s10052-019-7186-5	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 Ibe Masahiro、Kobayashi Shin、Nakayama Yuhei、Shirai Satoshi	4. 巻 2020
2. 論文標題 Cosmological constraint on dark photon from Neff	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of High Energy 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) 10.1007/JHEP04(2020)009	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 Ibe Masahiro、Shoji Yutaro、Suzuki Motoo	4. 巻 2019
2. 論文標題 Fast-rolling relaxion	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 1-45
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP11(2019)140	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 Chakraborty Amit, Endo Motoi, Fuks Benjamin, Herrmann Bjorn, Nojiri Mihoko M., Pani Priscilla, Polesello Giacomo	4. 巻 78
2. 論文標題 Flavour-violating decays of mixed top-charm squarks at the LHC	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The European Physical Journal C	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjc/s10052-018-6331-x	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 Endo Motoi, Goto Toru, Kitahara Teppei, Mishima Satoshi, Ueda Daiki, Yamamoto Kei	4. 巻 2018
2. 論文標題 Gluino-mediated electroweak penguin with flavor-violating trilinear couplings	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 1-28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP04(2018)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 Lim Sung Hak, Nojiri Mihoko M.	4. 巻 2018
2. 論文標題 Spectral analysis of jet substructure with neural networks: boosted Higgs case	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 1-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP10(2018)181	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 Chakraborty Amit, Kuttimalai Silvan, Lim Sung Hak, Nojiri Mihoko M., Ruiz Richard	4. 巻 78
2. 論文標題 Monojet signatures from heavy colored particles: future collider sensitivities and theoretical uncertainties	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The European Physical Journal C	6. 最初と最後の頁 1-23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjc/s10052-018-6149-6	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 Ibe Masahiro, Kamada Ayuki, Kobayashi Shin, Nakano Wakutaka	4. 巻 2018
2. 論文標題 Composite asymmetric dark matter with a dark photon portal	5. 発行年 2018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/JHEP11(2018)203	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 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 1-23
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Goncalves Dorival, Han Tao, Kling Felix, Plehn Tilman, Takeuchi Michihisa	4. 巻 97
2. 論文標題 Higgs boson pair production at future hadron colliders: From kinematics to dynamics	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.97.113004	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 Chiang Cheng-Wei, Takeuchi Michihisa, Tseng Po-Yan, Yanagida Tsutomu T.	4. 巻 98
2. 論文標題 Muon $g-2$ and rare top decays in up-type specific variant axion models	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.98.095020	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 Endo Motoi, Moroi Takeo, Nojiri Mihoko M., Shoji Yutaro	4. 巻 771
2. 論文標題 On the gauge invariance of the decay rate of false vacuum	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 281 ~ 287
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2017.05.057	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 Endo Motoi, Moroi Takeo, Nojiri Mihoko M., Shoji Yutaro	4. 巻 2017
2. 論文標題 False vacuum decay in gauge theory	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 1-38
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 Ibe Masahiro, Nakano Wakutaka, Shoji Yutaro, Suzuki Kazumine	4. 巻 2018
2. 論文標題 Migdal effect in dark matter direct detection experiments	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 1-35
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP03(2018)194	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 Coy Rupert, Frigerio Michele, Ibe Masahiro	4. 巻 2017
2. 論文標題 Dynamical clockwork axions	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 1-33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP10(2017)002	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 Fukuda Hajime, Ibe Masahiro, Suzuki Motoo, Yanagida Tsutomu T.	4. 巻 771
2. 論文標題 A “gauged” U (1) Peccei-Quinn symmetry	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 327 ~ 331
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2017.05.071	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 Fukuda Hajime, Ibe Masahiro, Yanagida Tsutomu T.	4. 巻 95
2. 論文標題 Dark matter candidates in a visible heavy QCD axion model	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.95.095017	査読の有無 無
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 Endo Motoi, Hamaguchi Koichi, Iwamoto Sho, Yanagi Keisuke	4. 巻 2017
2. 論文標題 Probing minimal SUSY scenarios in the light of muon g-2 and dark matter	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP06(2017)031	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 Endo Motoi, Goto Toru, Kitahara Teppei, Mishima Satoshi, Ueda Daiki, Yamamoto Kei	4. 巻 2018
2. 論文標題 Gluino-mediated electroweak penguin with flavor-violating trilinear couplings	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 1-27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP04(2018)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 Chiang Cheng-Wei, Fukuda Hajime, Takeuchi Michihisa, Yanagida Tsutomu T.	4. 巻 97
2. 論文標題 Current status of top-specific variant axion model	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.97.035015	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 Goncalves Dorival, Kong Kyoungchul, Sakurai Kazuki, Takeuchi Michihisa	4. 巻 97
2. 論文標題 Monotop signature from a fermionic top partner	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.97.015002	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 Takeuchi Michihisa, Uesaka Yuichi, Yamanaka Masato	4. 巻 772
2. 論文標題 Higgs mediated CLFV processes $\mu N (eN) X$ via gluon operators	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 279 ~ 282
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2017.06.054	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 Chengcheng Han, Koji Ichikawa, Shigeki Matsumoto, Mihoko Nojiri, Michihisa Takeuchi	4. 巻 1604, 159
2. 論文標題 Heavy fermion bound states for diphoton excess at 750GeV-collider and cosmological constraints	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 JHEP 1604(2016) 159	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(2016)159	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 Fukuda, Masahiro Ibe, Osamu Jinnouchi, Mihko Nojiri	4. 巻 2017, no3, 033B05
2. 論文標題 Cracking Down on Fake Photons -A Case of 750GeV Diphoton Resonance	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 PTEP	6. 最初と最後の頁 1-21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptx019	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 Biplob Bhattacharjee (Bangalore, Indian Inst. Sci.), Satyanarayan Mukhopadhyay, Mihoko M. Nojiri, Yasuhito Sakaki, Bryan R. Webber	4. 巻 01,044
2. 論文標題 Quark gluon discrimination in the search for gluino pair production at LHC	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 JHEP	6. 最初と最後の頁 1-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP01(2017)044	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 Chengcheng Han, Mihoko M. Nojiri, Michihisa Takeuchi, Tsutomu Yanagida	4. 巻 767
2. 論文標題 Surviving scenario of stop decays for ATLAS $l+$ jets + E_{Tmiss} search	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Phys. Lett. B	6. 最初と最後の頁 37-41
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2017.01.045	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 Dorival Goncalves, Kazuki Sakurai, Michihisa Takeuchi	4. 巻 94, 075009
2. 論文標題 Mono-top Signature from Supersymmetric ttH Channel	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.94.075009	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 Motoi Endo, Yoshitaro Takaesu	4. 巻 758
2. 論文標題 ATLAS on-Z Excess Through Vector-Like Quarks	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Phys.Lett. B	6. 最初と最後の頁 355-358
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2016.05.030	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 Motoi Endo, Satoshi Mishima, Daiki Ueda, Kei Yamamoto	4. 巻 762
2. 論文標題 Chargino contributions in light of recent ϵ'/ϵ	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Phys.Lett. B	6. 最初と最後の頁 493-497
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2016.10.009	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 Dorival Goncalves, Kazuki Sakurai, Michihisa Takeuchi	4. 巻 95, 015040
2. 論文標題 Tagging a monotop signature in natural SUSY	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.95.015030	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 Masahiro Ibe, Tsutomu T. Yanagida	4. 巻 B764
2. 論文標題 Lower limit on the gravitino mass in low-scale gauge mediation with $m_H=125$ GeV	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Phys.Lett. B764 (2017) 260-264	6. 最初と最後の頁 260-264
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2016.11.016	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 Masahiro Ibe, Motoo Suzuki, and Tsutomu T. Yanagida	4. 巻 1702,063
2. 論文標題 Revisiting gravitino dark matter in thermal leptogenesis	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 JHEP	6. 最初と最後の頁 1-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP02(2017)063	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 Masahiro Ibe, Wakutaka Nakano, Motoo Suzuki	4. 巻 95, no 5, 055022
2. 論文標題 "Constraints on Lmu-Ltau gauge interactions from rare kaon decay	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 1-21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.95.055022	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36件 (うち招待講演 31件 / うち国際学会 33件)

1. 発表者名 野尻美保子
2. 発表標題 Interpretable Deep Learning for two prong jet Classification
3. 学会等名 The 4th NPKI worksho "Seaching for New Physics on the Hrizon" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sung Hak Lim (野尻との共同研究)
2. 発表標題 Interpretable Deep Learning for Two -Prong JEt Classificaiton with Jet Spectrum
3. 学会等名 Boost 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹内道久
2. 発表標題 Muon g-2 in 2 HDMs
3. 学会等名 J-PARCK symposium 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 遠藤 基
2. 発表標題 Theory Interplay between Flavor and Energy Frontier
3. 学会等名 韓国物理学会 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 遠藤 基
2. 発表標題 Theory overview of nucleon EDM
3. 学会等名 Workshop on "Nucleon electric dipole moments and spin structure (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹内道久
2. 発表標題 SUSY at Collider
3. 学会等名 27th International Conference on Supersymmetry and Unification of Fundamental Interactions (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊部昌弘
2. 発表標題 New Tpe of Cosmic String Solutions with Long Range Forces
3. 学会等名 Berkely week (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊部昌弘
2. 発表標題 Migdal Effect in Dark Matter Direct Detection Experiments and Its Applications
3. 学会等名 Johns Hopkins Workshop (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Michihisa Takeuchi
2. 発表標題 top flavor-changing interactions and axion
3. 学会等名 Higgs Taggings workshop probing Top-Higgs interactions at the LHC (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Michihisa Takeuchi
2. 発表標題 Recent Developments for the boosted techniques
3. 学会等名 Higgs Couplings 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Michihisa Takeuchi
2. 発表標題 Higgs pair production at future colliders
3. 学会等名 SUSY2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊部昌宏
2. 発表標題 A Gauged U(1) PQ symmetry
3. 学会等名 Invisible 18 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊部昌宏
2. 発表標題 Asymmetric Dark Matter
3. 学会等名 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 2019年

1. 発表者名 Motoi Endo
2. 発表標題 SMEFT effects on $F=2$ FCNC
3. 学会等名 Beyond the BSM (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Motoi Endo
2. 発表標題 New physics in muonium
3. 学会等名 Motoi Endo, Physics of muonium and related topics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野尻美保子
2. 発表標題 Monojet signatures at the High-Luminosity and High-Energy LHC
3. 学会等名 ICHEP 2019 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野尻美保子
2. 発表標題 Jet Spectrum for Machine learning
3. 学会等名 IAS program for High energy physics (香港科技大学) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野尻美保子
2. 発表標題 Dark Matter Signature at Future Colliders
3. 学会等名 NCTS Annual Theory Meeting 2017, Hsinchu (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 野尻美保子
2. 発表標題 Colliders confronting BSM: Past, Present, and Future
3. 学会等名 Bethe forum on SUSY breakdown confronting LHC (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 伊部昌宏
2. 発表標題 Dark Matter Candidates in a Heavy QCD Axion Model
3. 学会等名 Olivefest: Astroparticle Physics Looking Forward (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 伊部昌宏
2. 発表標題 Migdal Effect in Dark Matter Direct Detection Experiments
3. 学会等名 Workshop for Unification and Development of the Neutrino Science Frontier (2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 遠藤基
2. 発表標題 Recent Kaon Anomaly'
3. 学会等名 Basis of the Universe with Revolutionary Ideas (Toyama) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 遠藤基
2. 発表標題 New Physics in Kaon System
3. 学会等名 International workshop on the project for the extended hadron experimental facility of J-PARC (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 竹内道久
2. 発表標題 Tagging a mono-top signature in natural supersymmetry
3. 学会等名 Planck 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 竹内道久
2. 発表標題 New physics searches in Top Sector at LHC
3. 学会等名 GRC particle physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年～2018年

1. 発表者名 竹内道久
2. 発表標題 Top axion
3. 学会等名 TOP 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 竹内道久
2. 発表標題 Status of Weak scale SUSY and interpretation of data
3. 学会等名 SUSY 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 竹内道久
2. 発表標題 Mono-to signature from SUSY ttH and top FCNC decay in the varian axion model
3. 学会等名 Out of Higgs Era into the Dark workshop (Durham) (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Mihoko Nojiri
2. 発表標題 The Case for the WIMP; The Case for a New Idea
3. 学会等名 Internatinal Conference on High Energy Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Mihoko Nojiri
2. 発表標題 Heavy Fermion Bound States for Diphoton Excess at 750GeV
3. 学会等名 SUSY 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Mihoko Nojiri
2. 発表標題 A Guide to survive in early results of LHC RUN II: Long term prospects
3. 学会等名 Pascos 2016 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 伊部昌宏
2. 発表標題 Supersymmetry after Higgs discovery
3. 学会等名 Double Beta Decay and Underground Science" DBD16 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Takeuchi Michihisa
2. 発表標題 " Boosted objects at LHC and 100 TeV collider
3. 学会等名 The 6th KIAS Workshop on Particle Physics and Cosmology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Takeuchi Michihisa
2. 発表標題 Surviving scenario of stop decays for ATLAS l+jets+EmissT search
3. 学会等名 Focus Meeting on Collider Phenomenology, (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Michihisa Takeuchi
2. 発表標題 Di-photon from QCD bound states”
3. 学会等名 Understanding the First Results from the LHC Run II (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Motoi Endo
2. 発表標題 Scale uncertainties in vacuum decay rate
3. 学会等名 1st KEK-KIAS-NCTS Joint Workshop on Particle Physics Phenomenology (国際学会)
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
研究分担者	伊部 昌宏 (Ibe Masahiro) (50599008)	東京大学・宇宙線研究所・准教授 (12601)	
研究分担者	竹内 道久 (Takeuchi Michihisa) (60749464)	名古屋大学・基礎理論研究センター・准教授 (13901)	
研究分担者	遠藤 基 (Endo Motoi) (70568170)	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・准教授 (82118)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 協力者	リム スンハク (Lim Sung Hak)	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・研究員 (82118)	科研費雇用研究員