

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18H01210

研究課題名（和文）レプトンフレーバーを手がかりとする新物理探索

研究課題名（英文）Search for physics beyond the Standard Model with lepton flavor

研究代表者

佐藤 丈（Sato, Joe）

横浜国立大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：60322294

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000円

研究成果の概要（和文）：素粒子標準理論では厳密に保存するレプトンフレーバーあるいはレプトン数の保存・破れを手がかりとして、素粒子標準理論を超える物理学理論の構築を模索した。現在の実験観測に見られる不整合を標準理論を拡張することで説明することを試みたり、破れの度合いを見るための新しい実験の提案を行った。また、将来実験への予言についても積極的に行った。一方で、新しいモデルの構築にも挑戦した。具体的には $L\mu-L$ をゲージ化する理論を大統一理論に埋め込めるかについて検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自然をより深く理解するために世界中で素粒子実験や宇宙の観測が行われており、その結果を基に素粒子標準理論の整合性やこれを超える理論の構築が行われている。この流れの中、この研究グループのメンバーもそれぞれの自然観に基づいて、理論の検証や新しい実験の提案、さらには新しい理論の構築を行ってきた。これらの行為は人類の知の地平線を広げる行為であり、地道ではあるものの、人類の総体としての知的欲求を満たす行為である。

研究成果の概要（英文）：We sought to construct a theory of physics beyond the standard model of the article physics, using the conservation and violation of lepton flavor or lepton number, which is strictly conserved in the standard model, as a clue. We have attempted to explain inconsistencies in current experimental observations by extending the Standard Model, and proposed new experiments to observe the degree of violation. We also actively made predictions for future experiments. At the same time, we also tried to construct a new model. Specifically, we examined the possibility of embedding a theory that gauges $L\mu-L$ into the grand unified theory.

研究分野：素粒子論

キーワード：レプトンフレーバー レプトン数 大統一理論 ミューオン $L\mu-L$

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

5年前にヒッグス粒子が見つかり、素粒子標準理論は実験的にも確定していた。標準理論は、地上のあらゆる地上での素粒子実験の結果を18のパラメタで全て説明し、さらに宇宙論にも用いられ、一般相対論的な宇宙像の中で適用すると元素合成が説明できることを始め、その無謬は揺るぎないものとなっていた。

しかし、一方で、ニュートリノ振動や暗黒物質の存在、宇宙に物質しかないことなどが説明できないことが知られており、究極の理論ではないことも分かっていた。

特にニュートリノ振動は、標準理論では保存量だと考えられているレプトンフレーバーが保存していないことを示し、標準理論を超える物理が必要であることを示す直接的な証拠であった。また、電子の異常磁気能率が理論と実験で一致しているのに対し、ミュオンの異常磁気能率では不一致が見られた。これも何らかのミュオンに特徴的な相互作用があることを示唆しており、電子数とミュオン数の間に違いがあるということの意味していると考えられていた。レプトンフレーバーという観点からは、普遍性が破れていると言うことであった。また、宇宙には物質しかないが、それを説明するための有力な理論的枠組みである Leptogenesis を考えると、フレーバーの違いを見る favored leptogenesis という枠組みが最有力であることが分かっていた。

さらに、研究代表者達が行ってきた研究の枠組みで見ても、元素合成に於けるリチウム問題を考えるとフレーバーが破れていた方がよりよく説明できる可能性があること、IceCube における宇宙ニュートリノのエネルギーのスペクトルを見ると電子数とミュオン数とタウ数がそれぞれ独立な量であるとする可能性があること、などが分かっており、レプトンフレーバーが素粒子物理学に残された謎を解明していく上で鍵を握っていると判断できる状況にあった。

実験面でも、国内外で行われるレプトンフレーバーが関与する実験が行われ、あるいは計画されていて、どのような理論的枠組みが可能なのか、又その理論の予言として現在存在する、あるいは近い将来動く予定の実験に対して何が言えるのかを考えることが重要であった。

2. 研究の目的

レプトンフレーバーを手がかりに、新しい素粒子像をトップダウン、ボトムアップ両面から導き、さらにそれを確かめるための実験的アイデアを出すことが研究目的であった。素粒子標準理論では説明できない現象をより統一的に説明する現象論的なモデルを探し、それを元に素粒子のより統一的な描像に近づくとというのが、この研究の目的となった。説明できない現象としては、ニュートリノ振動、暗黒物質の存在、物質優勢という万人に等しく共有されている現象だけでなく、ミュオンの異常磁気能率の説明のように一部否定的に見る研究者がいる事象、さらに IceCube Gap や元素合成のリチウム問題のように本当かどうか意見が分かれる事象にまで踏み込んで統一的な描像を得ることがこの研究の目的であった。そして、そのような新しい描像がどのように検証されるのかについて調べ、実際の検証へとつなげようとした。

3. 研究の方法

レプトンフレーバーを考える上での対称性として、ミュオンの異常磁気能率の説明と IceCube に見られる高エネルギーニュートリノのスペクトルのゆがみを同時に説明する $L_\mu - L_\tau$ 対称性を基準にトップダウン・ボトムアップ両面から研究を進めた。

ボトムアップの手法としては、このモデルがそのほかの実験や観測にどのような影響をもたらすかについて調べ、さらにこの対称性を元にニュートリノ質量とレプトンの混合を説明できるモデルを構築し、繰り込み可能な $L_\mu - L_\tau$ 対称性を持つモデルをベンチマークとしこの対称性の持つ潜在能力を確かめようとした。さらにはミュオンに特化した相互作用を出すので、COMET など将来実験に対してどのような影響があるのかについても、このような新しい相互作用がミュオン原子のスペクトルがどのように変更されるのかを調べることで、確かめようとした。

トップダウンの手法としては、このような対称性がより高次の対称性にどのように統一されていくかを調べていくことにより、高い予言性を持つ理論を構築しようとした。

4. 研究成果

新しい物理を検証する手段、あるいは実験に対する予言として、元素合成のリチウム問題を説明するような枠組みにおけるレプトンフレーバーの役割とその物質優勢の度合いへの寄与 (PRD97, 2018, 115013) を調べた。許されるパラメタ領域が狭いので、この考え方が正しければ数年内に LHC 実験で検証されることを見た。

この研究の主題である $L_\mu - L_\tau$ 対称性を持つ模型とその周辺の物理という意味では、ミュオン原子を使って探索する方法、ビームダンプ実験を使う方法、Hubble tension の説明をこの枠組みで行う手法などを考察した。

研究開始当時には近い将来、そして現実に 2022 年度からレプトンフレーバーの破れを荷電レプトンを用いて行う $\mu - e$ 転換現象を測定する COMET 実験や Mu2E 実験が始まった。大量 ($10^{15} - 10^{17}$ 以上) のミュオン原子を作りそこから出てくる電子のスペクトルを詳細に測定する実験なので、他にも新しい物理への感度があることが期待できる。

実験そのものの感度やその理論への貢献について COMET 実験の一員として technical design report (PTEP2020) にまとめることに寄与した。Comet Phase-I での感度や理論への貢献、さらにそれに続く Phase-II で素粒子物理に対してどのような貢献があるのかについてまとめている。

個別の研究としては、 $\mu - e$ 転換そのものを効率よく測定するためにターゲットに使う原子核への依存性の考察 (PRD105, 2022) を行うほか、新しい物理の影響がどのように見えるか (PRD102, 2020) またレプトンフレーバーの破れの破れを見るための $\mu - e$ 転換とは異なる反応様式である $\mu^- + e^- \rightarrow e^- + e^-$ について (PRD100, 2019)、さらにレプトンフレーバーだけでなくレプトン数を破る $\mu^- \rightarrow e^+$ 転換について調べた (PLB836, 2023)。

$\mu^- \rightarrow e^-$ 転換はその素過程が有効理論の意味でも複数考えることができ、その素過程ごとに原子核の質量数と陽子数への依存性が違う。このことは以前から知られていたがそれを PRD105 では改めて詳細に調べた。

この素過程の違いを見る別種の方法として我々が提案したのが $\mu^+ + e^- \rightarrow e^- + e^-$ という反応様式で、PRD100 ではその違いを見るために偏極したミュオン由来のミュオン原子を使う手法を提案した。

また標準理論を拡張すると、軽い粒子が導入されることが多々あるが、その影響でミュオン原子由来の電子のスペクトルがゆがむ可能性がある。このことを利用してあたら良い物理の探索を行う可能性を指摘したのが PRD102 である。

そして、レプトン数をも破る $\mu^- \rightarrow e^+$ 転換は通常 $\mu^- \rightarrow e^-$ 転換よりはるかに小さい分岐比しか持たないとされているがそれが本当か、理論を現在の実験と整合するように、しかし $\mu^- \rightarrow e^+$ の分岐比が大きくなるようにパラメタをチューンできるだけ行うことで確かめた。結果として、ある種の模型の一部のパラメタ領域において逆転し、しかも将来的にミュオン原子を使う実験で見える可能性があることを示した (PLB836)。

他にも、ミュオンが大量に作られるようになるとミュオンと電子の束縛状態であるミュオニウムが大量に生成されるようになるので、これを利用して、ミュオニウム - 反ミュオニウム転換と、これの電子版とも言えるニュートリノを伴わない二重電子崩壊過程との関連について軽いスカラーを伴う模型において議論した (PRD105, PRD106)。

軽い道の粒子を探る実験としては beam dump の手法も広く用いられており、そのいくつかは動いている。この研究で主に考えたい模型の枠組みではそのような粒子が予言されるので、それらを beam dump 実験でどの程度観測できるのか、JHEP2021, JHEP2023 で調べた。JHEP2021 では直接的にそのような軽い粒子がどの程度見えるのかについて、JHEP2023 ではその副産物としてのレプトンフレーバーの破れがどの程度見えるのかについての議論を行った。

一方で軽い粒子について議論する際、特にそれがゲージボソンである場合、理論の整合性、つまり繰り込み可能性を無視した有効理論で議論される。有効理論であると見逃す洋式があるので、そのベンチマーク模型として具体的に $L_\mu - L_\tau$ をゲージ化した繰り込み可能な模型を構築した (PRD100)。ニュートリノ振動が説明できるよう模型を構築すると、この対称性故にニュートリノを伴わない二重電子崩壊過程に対して制限がつく。ゲージ対称性が自発的に破れるので、繰り込み可能な理論の範囲でゲージボソンに質量を持たせることができ、さらにいろいろな変種はあるが、このような模型では一般にマヨロンと言われる軽いスカラー粒子が導かれる。

これを受け、Hubble tension と言われる事象をこの模型の範囲でどのように説明されるのかについて研究した (PTEP2021)。Hubble tension というのは、ハッブル定数の測定方法が大別して二通りあるのだが、それらが一致しないことを言う。この解決手段の一つとしてニュートリノと結合する軽い粒子を入れるやり方があるが、まさに今考えている模型はそのような構造を持ち、従来軽いゲージボソンだけ (あるいはマヨロンだけ) を入れる模型について有効理論の枠内で考察されてきたが、一般に両方同時に考察すべきだと理解したので、その枠内で考察を行い、たしかにこの tension が閑話することを見た。

$L_\mu - L_\tau$ ゲージ対称性は新たにゲージ対称性を導入することになるので、これも含めたゲージ対称性の統一を考えると、従来の大統一理論の枠内には収まらないことが分かる。これまで、この対称性も含めた大統一理論の枠内の可能性は考えられていなかったが、JHEP2022 で超対称性非線形模型の枠内であれば、すべてを統一する可能性があることを示した。

これら以外の研究としては、物質優勢 (leptogenesis) と暗黒物質の存在量の説明を同時に行う asymmetric dark matter の考え方の枠内でさらにニュートリノ振動も説明で久野化について考察

し、その結果を PLB2023 に発表した。似たような観点から $B-L$ ゲージ対称性を持つ模型について同様の考察も行った (PRD106)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Heeck Julian, Szafron Robert, Uesaka Yuichi	4. 巻 105
2. 論文標題 Isotope dependence of muon decay in orbit	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 53006
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevD.105.053006	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 Araki Takeshi, Asai Kento, Shimomura Takashi	4. 巻 2021
2. 論文標題 Electron beam dump constraints on light bosons with lepton flavor violating couplings	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 82
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/JHEP11(2021)082	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 Araki Takeshi, Asai Kento, Honda Kei, Kasuya Ryuta, Sato Joe, Shimomura Takashi, Yang Masaki J S	4. 巻 2021
2. 論文標題 Resolving the Hubble tension in a $U(1)_{L_\mu-L_\tau}$ model with the Majoron	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 103
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/ptep/ptab108	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 Uesaka Yuichi	4. 巻 102
2. 論文標題 Model identification in $\mu - e - \mu \rightarrow e - \mu - e$ conversion with invisible boson emission using muonic atoms	5. 発行年 2020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.102.095007	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 Takeshi Araki, Kento Asai, Joe Sato, and Takashi Shimomura	4. 巻 100
2. 論文標題 Low scale seesaw models for low scale $U(1)L_\mu - L$ symmetry	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 95012
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.100.095012	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 Yoshitaka Kuno, Joe Sato, Toru Sato, Yuichi Uesaka, and Masato Yamanaka	4. 巻 100
2. 論文標題 Momentum distribution of the electron pair from the charged lepton flavor violating process $\mu - e - e - e$ in muonic atoms with a polarized muon	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 75012
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.100.075012	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 The COMET Collaboration	4. 巻 2020
2. 論文標題 COMET Phase-I technical design report	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 033C01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptz125	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 Munehiro Kubo, Joe Sato, Takashi Shimomura, Yasutaka Takanishi, Masato Yamanaka	4. 巻 D97
2. 論文標題 Big-bang nucleosynthesis and leptogenesis in the CMSSM	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review	6. 最初と最後の頁 115013
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.97.115013	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 Sato Joe	4. 巻 2022
2. 論文標題 Aiming for unification of $L_{\mu} - L_e$ and the standard model gauge group	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP07(2022)011	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 Sato Joe, Sugawara Kohei, Uesaka Yuichi, Yamanaka Masato	4. 巻 836
2. 論文標題 Determination of coupling patterns by parallel searches for $\mu^+ e^+$ and $\mu^+ e^-$ in muonic atoms	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 137617 ~ 137617
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2022.137617	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 Asai Kento, Sakai Yuhei, Sato Joe, Takanishi Yasutaka, Yamanaka Masato	4. 巻 836
2. 論文標題 Asymmetric mediator in scotogenic model	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 137627 ~ 137627
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2022.137627	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 Fukuyama Takeshi, Mimura Yukihiro, Uesaka Yuichi	4. 巻 105
2. 論文標題 Transverse positron polarization in the polarized μ^+ decay related with the muonium-to-antimuonium transition	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 75024
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.105.075024	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 Fukuyama Takeshi、Mimura Yukihiro、Uesaka Yuichi	4. 巻 106
2. 論文標題 Neutrinoless double beta decay and the muonium-to-antimuonium transition in models with a doubly charged scalar	5. 発行年 2022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.106.055041	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 Eijima Shintaro、Seto Osamu、Shimomura Takashi	4. 巻 106
2. 論文標題 Revisiting sterile neutrino dark matter in gauged $U(1)_{B-L}$ model	5. 発行年 2022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.106.103513	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 Araki Takeshi、Asai Kento、Otono Hidetoshi、Shimomura Takashi、Takubo Yosuke	4. 巻 2023
2. 論文標題 Search for lepton flavor violating decay at FASER	5. 発行年 2023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(2023)145	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40件 (うち招待講演 17件 / うち国際学会 16件)

1. 発表者名 荒木威
2. 発表標題 Electron beam dump実験によるcLFV探索
3. 学会等名 素粒子物理学の進展2021, 京都大学基礎物理研究所
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuichi Uesaka
2. 発表標題 Theoretical motivations for the muonium and anti-muonium transition
3. 学会等名 Second Internatinal Workshop on the Extension Project for the J-PARC Hadron Experimental Facility (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤丈
2. 発表標題 Unification of $L_\mu - L_\tau$ and the standard model gauge group
3. 学会等名 素粒子物理学の進展2021, 京都大学基礎物理研究所
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤丈
2. 発表標題 「気がついたら益川さんの研究を追っていた。 KMとニュートリノ、BKMUとCoset Space Unification、それから・・・」
3. 学会等名 素粒子論のこの 50 年、そして未来 益川さんを偲んで
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Joe Sato
2. 発表標題 Theory Overview :CLFV at muon scale
3. 学会等名 Snowmass21 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Joe Sato
2. 発表標題 IceCube Gap and Lmu-Ltau model
3. 学会等名 the International Conference of Computational Methods in Sciences and Engineering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤丈
2. 発表標題 Low scale seesaw models for low scale $U(1)L_\mu-L_\tau$ symmetry
3. 学会等名 素粒子現象論研究会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柿澤広明
2. 発表標題 ミュオン原子を用いた最小 $U(1)_{L_\mu-L_\tau}$ 模型の検証可能性
3. 学会等名 日本物理学会 2020年 秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柿澤広明
2. 発表標題 ミュオンDecay In Orbitの精密測定による、最小 $U(1)$ 拡張標準模型の探索可能性の検証
3. 学会等名 日本物理学会 2021年 春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 永山未来
2. 発表標題 Neutralino dark matter のSommerfeld enhancement機構 による間接検出の可能性
3. 学会等名 日本物理学会 2021年 春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 粕谷竜太
2. 発表標題 線り込み可能な $L_\mu-L_\tau$ 模型によるHubble tensionの解決
3. 学会等名 日本物理学会 2021年 春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 J.Sato
2. 発表標題 Big-bang nucleosynthesis and Leptogenesis in CMSSM
3. 学会等名 15th Computational Chemistry (CC) Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J.Sato
2. 発表標題 Big-bang nucleosynthesis and Leptogenesis in CMSSM
3. 学会等名 Dark Side of the Universe 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J.Sato
2. 発表標題 Theoretical overview of Lepton Flavor Violation
3. 学会等名 The 3rd J-PARC Symposium (J-PARC2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J.Sato
2. 発表標題 Low scale seesaw models for low scale $U(1)L_\mu-L_\tau$ symmetry
3. 学会等名 International Conference on Neutrinos and Dark Matter (NDM-2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 J.Sato
2. 発表標題 COMET Data Analysis with Deep Learning
3. 学会等名 Machine Learning at LHC (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 J.Sato
2. 発表標題 IceCube Gap and $L_\mu-L_\tau$ model
3. 学会等名 Ryukyu Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 平良優奈
2. 発表標題 原子軌道上のミュオン崩壊における高次補正の効果
3. 学会等名 日本物理学会 2020年 年次大会 素粒子論領域
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤丈
2. 発表標題 COMET Data Analysis with Deep Learning
3. 学会等名 「ニュートリノで拓く素粒子と宇宙」研究会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤丈
2. 発表標題 深層学習による COMET 実験データ解析
3. 学会等名 素粒子物理学の進展 2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤丈
2. 発表標題 深層学習による COMET 実験データ解析の試み
3. 学会等名 素粒子現象論研究会2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 下村崇
2. 発表標題 レプトンと弱結合するMeVスケールのゲージ粒子の物理とその検証可能性
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 下村崇
2. 発表標題 Light Z' boson search from scalar boson decays in $L\mu - L$ model at collider experiments
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Shimomura
2. 発表標題 Search for light scalar boson in $L\mu - L$ model at ILC experiments
3. 学会等名 基研研究会 素粒子物理学の進展 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Shimomura
2. 発表標題 Light Z' boson from scalar boson decay at collider experiments in $U(1)L\mu - L$ model
3. 学会等名 Asian Linear Collider Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 荒木威
2. 発表標題 高エネルギー宇宙ニュートリノから探る新物理
3. 学会等名 久保治助教授退官記念研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Joe Sato
2. 発表標題 Big-bang nucleosynthesis and Leptogenesis in CMSSM
3. 学会等名 26th International Conference on Supersymmetry and Unification of Fundamental Interactions (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Joe Sato
2. 発表標題 Distinguishing muon LFV effective couplings using $\mu^+e^-e^-$ in a muonic atom
3. 学会等名 The 20th International Workshop on Neutrinos from Accelerators (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Joe Sato
2. 発表標題 Physics with Muon
3. 学会等名 Symposium for muon and neutrino physics 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤丈
2. 発表標題 COMET実験における電子のエネルギーの深層学習による決定
3. 学会等名 第二回琉球大学計算科学シンポジウム：“量子論の物理・化学的アプローチで迫る物質・自然界の謎”（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤丈
2. 発表標題 深層学習によるCOMET実験データ解析の試み
3. 学会等名 日本物理学会 2019年 年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Joe Sato
2. 発表標題 Aiming for Unification of $L\mu-L$ and the standard model gauge group
3. 学会等名 ICCSME2022（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Joe Sato
2. 発表標題 Aiming for Unification of $L\mu-L$ and the standard model gauge group
3. 学会等名 MMQS22（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Joe Sato
2. 発表標題 Determination of coupling patterns by parallel searches for $\mu^+ e^+$ and $\mu^+ e^-$ in muonic atoms
3. 学会等名 Third International Workshop on the Extension Project for the J-PARC Hadron Experimental Facility (3rd J-PARC HEF-ex WS) ((招待講演) (国際学会))
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐藤丈
2. 発表標題 Determination of coupling patterns by parallel searches for $\mu^+ e^+$ and $\mu^+ e^-$ in muonic atoms
3. 学会等名 素粒子現象論研究会 2022 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 上坂 優一
2. 発表標題 ミュオニウム-反ミュオニウム転換で探るレプトンフレーバー混合
3. 学会等名 Kagoshima Workshop on Particles, Fields, and Strings 2023 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 酒井裕平
2. 発表標題 cotogenic Model におけるダークマターとバリオンの起源の追求
3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 須田亮介
2. 発表標題 8次元商空間を用いたCoset space dimensional reductionから得られる模型の分類
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 浅野友哉
2. 発表標題 $U(1)L_\mu - L$ ゲージボソンとMajoronによるHubble Tensionの解決
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takashi Shimomura
2. 発表標題 Type-II seesaw models with modular A4 symmetry
3. 学会等名 Recent development of modular flavor symmetry (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2023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	下村 崇 (Shimomura Takashi) (00447278)	宮崎大学・教育学部・准教授 (17601)	

6. 研究組織（つづき）

	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	荒木 威 (Araki Takeshi) (40645884)	奥羽大学・歯学部・講師 (31602)	
研究分担者	上坂 優一 (Uesaka Yuichi) (60826618)	九州産業大学・理工学部・特任講師 (37102)	

	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
研究協力者	高西 康敬 (Takanishi Yasutaka)		
研究協力者	梁 正樹 (Ryo Masaki)		
研究協力者	山中 真人 (Yamanaka Masato)		

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
---------	---------