

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K03867

研究課題名（和文）暗黒物質模型の分類分けに基づく真空構造の解明

研究課題名（英文）Study of vacuum structure based on the classification of dark matter models

研究代表者

大村 雄司 (Omura, Yuji)

近畿大学・理工学部・准教授

研究者番号：00772097

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、ボトムアップ的に現象論的な暗黒物質(DM)模型を構築することで模型を分類分けし、それぞれの模型の現在の実験的および理論的制限や検証方法を研究した。特に（未知の）弱い相互作用をするDMに注目し、DMとレプトンの間に湯川結合がある場合を考え、DMのスピンの質量などに応じて現在許されているパラメータ領域を高次補正まで取り入れて数値的に明らかにした。また、真空構造に関わる余剰スカラー場が引き起こす物理も研究し、特に標準模型の予言との不一致が報告されている観測量に対して余剰スカラーおよびDMがどのように寄与するかを具体的に模型を構築することで評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年の宇宙観測により、暗黒物質(DM)の存在が明らかになってきた。その一方で、DMの正体、物理的性質は未だにわかっておらず、その謎の解明のために数多くの研究が行われている。近年のDMの直接観測実験などによりDMの性質に非常に強い制限が強く課せられている。また、DM模型だけでなく標準模型の理論的問題から新物理の有力候補であった理論の多くが、近年の実験結果により棄却されている。本研究は、この現状を踏まえ、現象論的なDM模型を包括的に研究し、最新の実験結果と照らし合わせ、DMの正体と標準模型の背後にある理論を考える方向性として、どの道が正しいかを明らかにする。

研究成果の概要（英文）：There are many candidates for dark matter. In this research, many kinds of dark matter (DM) models are constructed, and physics induced by DM and other extra particles is studied in each model. In particular, we focus on the DM models where DM interacts with leptons via the weak coupling and Yukawa couplings. We look for the parameter space consistent with the latest experimental results, and discuss the future prospects in future experiments. In addition, the signals, that are deviated from the Standard Model predictions, are also studied in the DM models with extra scalars that contribute to symmetry breaking. Based on the results, we discuss the vacuum structure of our universe.

研究分野：素粒子物理学

キーワード：暗黒物質 LHC実験 フレーバー物理 対称性の破れ

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

素粒子物理学では、素粒子標準模型(SM)が実験的に非常に成功している。SMでは、基本スカラー粒子としてヒッグス場が導入され、ヒッグス場が負の質量二乗項を持つことで電弱対称性の破れが実現される。その不思議な質量項の背景には、未知の物理があると期待され、長年様々な可能性が提案されてきた。近年、LHC実験によりその未知の物理を精度良く検証することが可能で、どの方向性が正しいか活発に議論されている。

その一方で、宇宙観測の進展により、我々の宇宙には電磁相互作用をしない暗黒物質(DM)が宇宙の30%程度を占めていることが分かっている。DMの候補も、素粒子物理学研究において数多く提案されており、その有力候補の一つとして(未知の)弱い相互作用をする安定な素粒子がある。現在、DMの直接探索、間接探索実験が進展し、DMモデルの構造も、より具体的に調べることが可能になってきている。DMがなぜ宇宙に存在するのか、そしてDMは電弱対称性の破れにどのような関係するかが解き明かすべき重要課題として挙げられる。

2. 研究の目的

本研究では、電弱対称性の破れを起こす真空構造の解明とDMモデルの新物理探索による検証を念頭に、暗黒物質の性質と真空構造の関係を調べることを目的とする。特にDMが(未知の)弱い相互作用をするモデルに着目し、DMの性質からモデルの分類分けを行い、それぞれの場合の期待される真空構造を明らかにしていくことを研究目的とする。特に、電弱対称性の破れの起源から期待されるDMの性質や質量領域、DMとSM粒子の相互作用を明らかにし、DMの安定性の背後に期待される対称性と真空構造の関係を研究する。

3. 研究の方法

DMをSMに加えた現象論的なモデルを構築し、DMの物理的性質に基づいてモデルの分類分けを行う。分類分けの基準として、DMのスピン、DMが弱い相互作用をするか、SM粒子との湯川結合があるかを考える。そして、それぞれのモデルでの実験バウンドと将来実験での検証方法を研究する。特に、本研究では最後の湯川結合があるDMモデルにおいて、DMの量子数によって実験による検証方法がどのようになるか、近年のSMの予言値との不一致が報告されている観測量(ミュオンの異常磁気モーメントや中間子の稀崩壊過程など)に対して、どのようなインパクトがそれぞれのモデルであるかを議論する。その上で、これらの現象論的なDMモデルを有効的に導く理論を考え、SMの背後にあるモデルを研究し、電弱対称性の破れやSMのゲージ対称性とDMの関係を議論する。

現在、DMの直接探索実験の進展により、多くのDMモデルは非常に強い制限を受ける。この現状を考慮し、とくにDMがレプトンと主に相互作用するレプトンポータルDMモデルに関して、モデルの現状と将来実験での展望を集中的に研究する。

4. 研究成果

本研究課題では、宇宙の真空構造の解明を念頭においた、DMモデルの研究を行った。特に(未知の)弱い相互作用をするDMに注目し、ボトムアップ的に現象論的なDMモデルを構築することでモデルを分類分けし、それぞれのモデルの現状や検証方法を包括的に研究した。特に注目したモデルは、DMがレプトンと湯川相互作用をするモデルで、モデルの分類分けとそれぞれのモデルの現状と将来実験での展望を高次補正まで取り入れて議論した。例えば、DMが実スカラー場、複素スカラー場、ディラックフェルミオン場、マヨラナフェルミオン場の場合をそれぞれ考え、それらのDMの特性に応じたモデルを具体的に構築し、DMの残存量や直接探索実験におけるシグナルを高次補正まで取り入れて数値的に解析した。さらにはDM物理だけでなく、LHC実験でのDMを伴う物理過程を解析し、検証方法を提案した。

DMの質量が10GeVから1TeV程度の領域では、DMの直接探索実験からDMと核子の散乱断面積の大きさは非常に強い制限を受ける。本研究の高次補正を取り入れた解析によって、DMがレプトンと主に相互作用をする場合でも強い実験的制限を受けることを本研究では明らかにしている。さらに、ミュオンの異常磁気モーメントやLHC実験における終状態にZボゾンやレプトンを伴うシグナルにおいて、本研究のDMモデルが検証可能であることを明らかにしている。

また、DMの直接探索実験の感度がまだ比較的低い、DMが10GeV以下の領域についても研究を行った。このような軽いDMは、宇宙観測だけでなくLHC実験で終状態にDMとZボゾンやレプトンを伴うシグナルによって検証することができることを数値的に明らかにした。

この軽いDMは、論文JHEP03(2023)010、JHEP02(2021)231で研究されているように、DMの観測実験だけでなく、LHC実験やフレーバー実験で検証することができる。さらにはJHEP02(2021)231ではDMがニュートリノに対消滅するシグナルを探すことによって、ニュートリノ実験で検証可能であることも発見した。この10GeV以下の質量領域は未だDMの直接探索実験でもカバーできていない領域であるため、近年注目を集めているとともに、今後進展が期待できるニュートリノ実験やコライダー実験でも検証できることを示している点でもインパクトのある結果である。

これらの結果により、まだ DM の種類が限定的ではあるが、現在の実験が示唆する DM 模型の特徴がある程度分かってきて、これらの DM 模型を有効的に出すような理論を探し出すヒントとなり、SM の背後にある理論と宇宙の真空構造の全体像の解明につながると期待している。

この他にも、余剰ヒッグス場がある模型や標準模型のゲージ対称性が拡張された模型での真空構造の解析、それらの模型のフレーバー物理での検証方法を議論し、特に標準模型の予言からのズレが報告されている観測量に関して研究を行った。現在、ミューオン異常磁気モーメントや B 中間子の終状態にレプトンを伴う稀崩壊などにおいて、標準模型の予言からのずれが報告されている。さらには、LHC 実験で 95GeV 付近の質量領域にエクセスが報告されている。これらと DM の関係、さらに真空構造に寄与するスカラー場との関係を具体的に模型を構築することで現象論的な研究を行った。例えば、ミューオンの異常磁気モーメントのずれを説明するためには、DM が実スカラー場の場合に他の実験と無矛盾に説明できることを論文 JHEP08(2020)042、Phys. Rev. D106(2022)1, 015005 で示した。論文 Phys. Rev. D106(2022)1, 015005 では、ミューオンの異常磁気モーメントだけでなく近年 CDF 実験により報告された W ボゾンの質量の結果に基づいた研究を行った。さらには、電弱対称性の破れに寄与するような余剰スカラー粒子の研究においては、95GeV 付近といった軽い領域では、エクセスが報告されている過程とは異なるプロセスで検証できることを示した。

その他にも、大統一理論といった非常に高いスケールの物理の検証方法に関して研究を行った。大統一理論は自然界にある弱い相互作用、強い相互作用、電磁相互作用を統一して電荷の起源を説明できるだけでなく、超対称性を課すことにより DM も実現できる、非常に有力な新物理の一つである。大統一理論の予言として陽子崩壊がよく知られているが、本研究では大統一理論の予言が、低エネルギーまで存在する余剰スカラー粒子が引き起こす物理に存在する可能性を提案している。その具体例として、余剰スカラー粒子の媒介によって引き起こされるフレーバー物理を解析し、大統一理論の検証可能性を議論した。そして、この研究から大統一理論のエネルギースケールから電弱対称性の破れのエネルギースケールまで模型を解析することにより、宇宙の真空がどのような対称性をどのようにして破ることで現在の宇宙に至ったかを議論した。まだ特定のパラメータ領域に限られた議論だが、今後の研究により陽子崩壊などの今までに知られている観測量以外の検証方法をより明確に提案し、宇宙の真空構造の全体像がどのようなになっているかを明らかにすることができると期待している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 12件 / うちオープンアクセス 17件）

| | |
|--|---------------------|
| 1. 著者名 Iguro Syuhei, Kawamura Junichiro, Okawa Shohei, Omura Yuji | 4. 巻 2022 |
| 2. 論文標題 Importance of vector leptoquark-scalar box diagrams in Pati-Salam unification with vector-like families | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics | 6. 最初と最後の頁 22 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP07(2022)022 | 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 Kawamura Junichiro, Okawa Shohei, Omura Yuji | 4. 巻 106 |
| 2. 論文標題 W boson mass and muon g-2 in a lepton portal dark matter model | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review D | 6. 最初と最後の頁 15005 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.106.015005 | 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 Iguro Syuhei, Kitahara Teppei, Omura Yuji | 4. 巻 82 |
| 2. 論文標題 Scrutinizing the 95-100 GeV di-tau excess in the top associated process | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 The European Physical Journal C | 6. 最初と最後の頁 1053 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjc/s10052-022-11028-y | 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 Iguro Syuhei, Okawa Shohei, Omura Yuji | 4. 巻 2023 |
| 2. 論文標題 Light lepton portal dark matter meets the LHC | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics | 6. 最初と最後の頁 10 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP03(2023)010 | 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 Iguro Syuhei, Kawamura Junichiro, Okawa Shohei, Omura Yuji | 4. 巻 104 |
| 2. 論文標題 TeV-scale vector leptoquark from Pati-Salam unification with vectorlike families | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review D | 6. 最初と最後の頁 75008 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.104.075008 | 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 Iguro Syuhei, Kawamura Junichiro, Omura Yuji, Shigekami Yoshihiro | 4. 巻 6 |
| 2. 論文標題 Higgs flavor phenomenology in a supersymmetric left-right model with parity | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics | 6. 最初と最後の頁 125 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP06(2021)125 | 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 Okawa Shohei, Omura Yuji | 4. 巻 2 |
| 2. 論文標題 Light mass window of lepton portal dark matter | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics | 6. 最初と最後の頁 231 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP02(2021)231 | 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 Iguro Syuhei, Omura Yuji, Takeuchi Michihisa | 4. 巻 9 |
| 2. 論文標題 Probing μ flavor-violating solutions for the μ on $g-2$ anomaly at Belle II | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics | 6. 最初と最後の頁 144 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP09(2020)144 | 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 Kawamura Junichiro, Okawa Shohei, Omura Yuji | 4. 巻 8 |
| 2. 論文標題 Current status and muon $g - 2$ explanation of lepton portal dark matter | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics | 6. 最初と最後の頁 42 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP08(2020)042 | 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 Iguro Syuhei, Omura Yuji | 4. 巻 8 |
| 2. 論文標題 The direct CP violation in a general two Higgs doublet model | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics | 6. 最初と最後の頁 98 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP08(2019)098 | 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 Kawamura Junichiro, Okawa Shohei, Omura Yuji, Tang Yong | 4. 巻 4 |
| 2. 論文標題 WIMP dark matter in the parity solution to the strong CP problem | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics | 6. 最初と最後の頁 162 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP04(2019)162 | 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 11 |
| 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 130 |
| 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 Cho Sungwoong, Ko P., Lee Jungil, Omura Yuji, Yu Chaehyun | 4. 巻 101 |
| 2. 論文標題 Top FCNC induced by a Z boson | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review D | 6. 最初と最後の頁 55015 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.101.055015 | 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 Maekawa Nobuhiro, Omura Yuji, Shigekami Yoshihiro, Yoshida Manabu | 4. 巻 100 |
| 2. 論文標題 Spontaneous SUSY breaking in natural SO(10) grand unified theory | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review D | 6. 最初と最後の頁 115030 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.100.115030 | 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 Omura Yuji | 4. 巻 KMI2019 |
| 2. 論文標題 Interplay between the LHC and flavor physics | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 PoS | 6. 最初と最後の頁 3 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.356.0003 | 査読の有無 無 |
| 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, Kitahara Teppei, Omura Yuji, Zhang Hantian | 4. 巻 107 |
| 2. 論文標題 Chasing the two-Higgs doublet model in the di-Higgs boson production | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review D | 6. 最初と最後の頁 75017 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.107.075017 | 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 Iguro Syuhei, Omura Yuji | 4. 巻 2023 |
| 2. 論文標題 A closer look at isodoublet vector leptoquark solution to the $R_{D^{\ast}}$ anomaly | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics | 6. 最初と最後の頁 84 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP11(2023)084 | 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 |

[学会発表] 計17件(うち招待講演 4件/うち国際学会 11件)

| |
|---|
| 1. 発表者名 大村雄司 |
| 2. 発表標題 TeV-scale vector leptoquark from Pati-Salam unification with vectorlike families |
| 3. 学会等名 Summer Institute 2022 (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 大村雄司 |
| 2. 発表標題 Chasing the two-Higgs doublet model in the di-Higgs production |
| 3. 学会等名 The 36th Regular Meeting of the New Higgs Working Group (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 大村雄司 |
| 2. 発表標題 Impact of light dark matter on Higgs physics |
| 3. 学会等名 ILC Workshop on Potential Experiments ILCX2021 (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 大村雄司 |
| 2. 発表標題 Light mass window of lepton portal dark matter |
| 3. 学会等名 素粒子現象論研究会2021 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 大村雄司 |
| 2. 発表標題 TeV-scale vector leptoquark from Pati-Salam unification with vectorlike families |
| 3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 大村雄司 |
| 2. 発表標題 Light mass window of lepton portal dark matter |
| 3. 学会等名 新ヒッグス勉強会第31回定例会（招待講演） |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--------------------------------|
| 1. 発表者名 大村雄司 |
| 2. 発表標題 フレーバーアノマリーの背後にひそむ理論 |
| 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 大村雄司 |
| 2. 発表標題 Light mass window of lepton portal dark matter |
| 3. 学会等名 「ニュートリノで拓く素粒子と宇宙」研究会 2020 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 大村雄司 |
| 2. 発表標題 Light mass window of lepton portal dark matter |
| 3. 学会等名 HPNP2021 (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 大村雄司 |
| 2. 発表標題 Interplay between flavor physics and the direct search for new physics |
| 3. 学会等名 The 1st Asian-European-Institutes (AEI) Workshop for BSM and the KIAS Workshop on Particle Physics and Cosmology (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 大村雄司 |
| 2. 発表標題 Summary of lepton portal dark matter |
| 3. 学会等名 KEK-PH2020 (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 大村雄司 |
| 2. 発表標題 WIMP dark matter expected in the parity solution to the strong CP problem |
| 3. 学会等名 Scalars 2019 (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 大村雄司 |
| 2. 発表標題 WIMP dark matter expected in the parity solution to the strong CP problem |
| 3. 学会等名 Summer Institute 2019 (SI2019) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 大村雄司 |
| 2. 発表標題 WIMP dark matter expected in the parity solution to the strong CP problem |
| 3. 学会等名 The 25th regular meeting of the new Higgs working group (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 大村雄司 |
| 2. 発表標題 Light lepton portal dark matter meets the LHC |
| 3. 学会等名 日本物理学会 第78回年次大会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 大村雄司 |
| 2. 発表標題 Light lepton portal dark matter meets the LHC |
| 3. 学会等名 Higgs as a Probe of New Physics 2023 (HPNP2023) (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 大村雄司 |
| 2. 発表標題 Light mass window of lepton portal dark matter |
| 3. 学会等名 The 3rd International Joint Workshop & The 11th KIAS Workshop on BSM and Cosmology (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〕

| |
|--|
| 素粒子現象論研究室 https://www.phys.kindai.ac.jp/laboratory/yomura/ |
|--|

| | | |
|---------------------------|-----------------------|----|
| 6. 研究組織 | | |
| 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|