

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：24402

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K17693

研究課題名（和文）銀河内外のX線やガンマ線で探る縮退質量スペクトルを擁する素粒子模型

研究課題名（英文）Search for models with particles of degenerated mass spectra

研究代表者

山中 真人 (Yamanaka, Masato)

大阪市立大学・南部陽一郎物理学研究所・特任助教

研究者番号：70585992

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：素粒子物理学において標準模型と呼ばれる枠組みは素粒子が関わるほぼ全ての現象を統一的に記述できている。しかし、暗黒物質の正体、この世界の物質・反物質非対称の起源、ニュートリノ質量の生成機構など未解明の謎も残っている。こういった現象も含め、自然界における物質像・力の仕組みをより包括的に理解するため、根源的素粒子模型の導入とその検証が必須となる。標準模型を超える数々の根源的模型が、理論的動機・実験的動機を基に暗黒物質、及び、暗黒物質と近い質量を持つ粒子を预言する。本研究課題では、こういった粒子がもたらす新奇現象の考案・解析、また、それをプローブに用いた根源的模型の検証を遂行した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

大型加速器実験だけでは暗黒物質、及び、暗黒物質と近い質量を持つ粒子が预言される模型の判別・検証は手に余る。なぜなら、多くの模型は似通ったシグナルを预言し、かつ、こういった模型では新粒子間の質量差が小さいため、バックグラウンドの除去・シグナル選別が困難である。こういった背景の中、加速器実験以外の手段（暗黒物質の存在量、軽元素の存在量、レプトンフレーバー非保存過程探索）で模型の検証を有利に進める術を整えたことが本研究の意義となる。

研究成果の概要（英文）：The standard model of particle physics is not a theory of everything. It is necessary and important to introduce a more fundamental model to comprehensively describe the nature. In this research project, we focus on the particles which is degenerated with dark matter and is long-lived. We proposed various new phenomena by such particles, and investigated the verification of physics beyond the particle standard model using the exotic phenomena.

研究分野：素粒子物理、宇宙物理

キーワード：暗黒物質 長寿命粒子 初期宇宙元素合成 フレーバー非保存過程

1. 研究開始当初の背景

素粒子物理学において標準模型と呼ばれる枠組みは素粒子に関わるほぼ全ての現象を統一的に記述できている。しかし、暗黒物質の正体、この世界の物質・反物質非対称の起源、ニュートリノ質量の生成機構など未解明の謎も残っている。こういった現象も含め、自然界における物質・力の仕組みをより包括的に理解するため、根源的素粒子模型の導入とその検証が必須となる。標準模型を超える数々の根源的模型が、理論的動機・実験的動機を基に、 $O(\text{TeV})$ の質量を持つ暗黒物質、及び、暗黒物質と近い質量を持つ粒子を预言する [1]。

大型加速器実験だけではこういった模型の判別・検証は手に余る。なぜなら、多くの模型は似通ったシグナルを预言し、かつ、こういった模型では新粒子間の質量差が小さいため、バックグラウンドの除去・シグナル選別が困難である。それゆえ、以下の2点が肝要なポイントとなる：(1) 加速器以外に目を向け、より多くの現象・観測を組み合わせた多角的な相互検証 (2) シナリオの差異や粒子の性質の違いに対し高い感度を有する特徴的シグナルの特定。

2. 研究の目的

【目的 1】 加速器実験観測以外の特徴的現象・観測が多いほど、模型を抜け目なく相互検証できる。そこで初期宇宙に目を向ける。暗黒物質と縮退した質量をもつ荷電粒子は、崩壊位相空間が抑圧され、長寿命となり得る。長寿命荷電粒子は軽元素合成の時代に新奇な核反応を誘起し、軽元素合成量に多大な影響を及ぼす [2]。元素合成時の長寿命荷電粒子量が大きいほど、軽元素に及ぼす影響も大きい。そこで、長寿命荷電粒子の存在量を算出し、軽元素量観測値との整合性を要求することで、長寿命荷電粒子の性質や背後の模型に制限・预言を与え、根源的素粒子模型の検証の可能性を広げる。

【目的 2】 近年、暗黒物質に関わる観測結果を背景に、次の3つの特徴を持つシナリオが盛んに研究されている：(1) 暗黒物質と強く相互作用する媒介粒子が存在 (2) 暗黒物質と素粒子標準模型粒子はこの媒介粒子を介してのみ反応 (3) 媒介粒子は長寿命。理論的動機に基づくと、根源的模型で预言される媒介粒子は、多くの場合、暗黒物質と縮退した質量を擁する。縮退度合や媒介粒子の寿命が残存量をどう変動させるか。これを正しく理解することで、暗黒物質・媒介粒子の観測検証から根源的模型の情報を正しく抜き出せるよう理解を整える。

3. 研究の方法

【目的 1】 に沿った研究方法について記す。議論の一般化に先駆け、研究[3]では、根源的模型の有力候補である超対称模型に注目した。この枠組みにおける長寿命荷電粒子はスタウと呼ばれる。初期宇宙におけるスタウ存在量は、暗黒物質との縮退度だけでなく、ス

タウが持つフレーバー非保存相互作用の強さに強く依存する。そこで、フレーバー非保存相互作用の強さを模型の根源的パラメーターの関数として算出し、それを用いてスタウ存在量を求めた。この一連の計算により、軽元素合成量の観測値が模型のフレーバー構造に感度を有することになり、この観測値に無矛盾なパラメーター領域でフレーバー非保存過程の反応率を求め、将来実験における検証可否について論じた。また、元素合成、ヒッグス粒子質量、暗黒物質存在量など諸々の制限値を課すことで、フレーバー非保存過程の反応率のみならず、模型が予言する様々な物理量を高精度に予言可能となった。

上述のように、フレーバー非保存相互作用は根源的模型の理解を進めるうえで欠かせぬ要因である。研究期間中、新規フレーバー非保存過程の精密計算等を通じて、根源的模型の相互検証精度向上を目指した。フレーバー非保存過程の1つであるミュオン-電子転換はミュオン原子内の核種ごとにフレーバー非保存相互作用の型に対する感度が異なる。[8]では、理論計算の不定性を含め、ミュオン-電子転換が現在、そして、近未来にもたらす未知模型検証能力を定量的に明らかにした。これを成すため、原子核とレプトンの重なり度合、並びに、フレーバー非保存相互作用の各パラメーターを要素に持つベクトルを導入し、それらが張り得る空間の広さを指標として用いた。研究[6]ではフレーバー非保存相互作用に対する多角的プローブとしてレプトン-核子散乱に注目した。これまでレプトン-核子散乱の素過程として、クォークが単体で入るものだけ($\ell_i q \rightarrow \ell_j q$)が論じられた。これに対し、研究[6]はクォーク数の保存に注意を払い、クォーク対生成素過程を初めて考案した。さらに、量子補正を通じてグルーオンを始状態・終状態に持つ寄与が現れ、これが最も優勢な素過程であることを明らかにした。また、研究[5]、[7]、[10]では、先行研究にて新規考案したフレーバー非保存過程 ($\mu^- e^- \rightarrow e^- e^-$ in muonic atoms) の反応率を高精度に算出した。その際、鍵となるのは原子核が作るクーロン場の影響である。ミュオンや電子の波動関数を原子核クーロン場による歪みを含めて求め、それらを用いて $\mu^- e^- \rightarrow e^- e^-$ の反応率を算出した。正のクーロン場がレプトン波動関数を中心方向に引き寄せる効果により、大きな原子核ほど反応率が增大することを定量的に示した。

ここから【目的 2】に沿った研究方法について記す。先行研究における残存量計算には媒介粒子の寿命が一切考慮されていなかった。研究[9]では寿命の影響を取り込んだ残存量計算の定式化・数値計算を行なった。寿命の変動は暗黒物質が熱平衡から離脱する際の挙動を支配し、その帰結として残存量が大きく変動することを明らかにした。寿命変動による影響を加味したうえで、暗黒物質と媒介粒子の縮退度合が残存量に及ぼす影響を汎用性を持つ形で定量的に示した。また、暗黒物質と媒介粒子が縮退した toy model を導入し、媒介粒子の寿命や縮退度が暗黒物質残存量にもたらす効果を正しく解することで、模型構造の理解がどれだけ正されるかという例を示した。

4. 研究成果

研究[3]では、暗黒物質と縮退した長寿命荷電粒子が軽元素合成にもたらす影響と共に地上実験（加速器実験、フレーバー非保存過程探索実験）を相互検証することで、根源的模型の検証精度が $O(1)\%$ レベルまで向上可能であることを明らかにした。今後は本成果をよ

り一般的な長寿命荷電粒子に拡張し、根源的模型の検証プローブとして長寿命荷電粒子存在量を洗練させていく。また、研究[4]では、暗黒物質と縮退した長寿命荷電粒子によるリチウム問題解決、及び、ヘリウム原子核破碎効果を系統的にまとめ上げた。リチウム問題解決機構の考案は天文・原子核・素粒子の各分野にとって重大な進展となった。それまでは自身の模型に長寿命荷電粒子が登場することに悲観的であった模型構築屋であったが、その存在が貢献をもたらすと知ると、積極的にその現象論を論じるようになった。模型によっては暗黒物質と長寿命荷電粒子が密接に関係しており、軽元素観測から暗黒物質に迫ることもできる。

フレーバー非保存過程探索は、新粒子を直接生成・検出するわけではなく、高次補正を通じた新粒子の寄与に焦点を当てる間接検証である。そのため、根源的模型の世代構造の理解に向け1つでも多くのフレーバー非保存過程を検証しなくてはいけない。世代構造の理解が進めば、上述の長寿命荷電粒子の存在量計算の精度も向上し、そちらから為される模型の解明も期待できる。こういった事情を鑑みると、研究[5]、[7]、[10]で成された新規フレーバー非保存過程 ($\mu^- e^- \rightarrow e^- e^-$ in muonic atoms) の精密計算は近未来の実験結果と理論計算を繋ぐ必須要素である。また、研究[8]では、核種ごとのフレーバー非保存相互作用に対する感度を示したことで、根源的模型選別に有効な原子核標的を提案することができた。そして、研究[6]では、正しい素過程と共にレプトン-核子散乱断面積を評価し、先行研究と比べ数倍もの齟齬が生じることを見出した。したがって、本研究の定式化により、各模型・各シナリオにおけるフレーバー非保存相互作用を初めて意味のある形で制限・予言できるようになった。近い将来、様々な施設でレプトン-核子散乱の実験が行われることを鑑みると、フレーバー非保存相互作用とその背後の新物理検証にとって、これは極めて重要な成果と言える。

【[9]の成果】残存量は暗黒物質から媒介粒子への対消滅断面積で決まる。多くの模型で暗黒物質と媒介粒子は縮退質量を持つため暗黒物質が十分に対消滅できず、残存量過多となる。媒介粒子の寿命で残存量をコントロールできることが本研究で示され、近年注目される上述のシナリオが数多くの模型に適用可能となった。今後、暗黒物質と縮退する媒介粒子を擁する模型の構築・検証にとって価値ある研究成果と言える。

<引用文献 (本人に下線を付す)>

- [1] 例を挙げると、T. Appelquist, H. C. Cheng and B. A. Dobrescu, ``Bounds on universal extra dimensions,’’ Phys. Rev. D64 (2001) 035002; T. Hambye, F. S. Ling, L. Lopez Honorez and J. Rocher, ``Scalar Multiplet Dark Matter,’’ JHEP 0907 (2009) 090, など
- [2] M. Pospelov, ``Particle physics catalysis of thermal Big Bang Nucleosynthesis,’’ Phys. Rev. Lett. 98 (2007) 231301; T. Jittoh, K. Kohri, M. Koike, J. Sato, K. Sugai, M. Yamanaka and K. Yazaki, ``Big-bang nucleosynthesis with a long-lived charged massive particle including He4 spallation processes,’’ Phys. Rev. D 84 (2011) 035008. など

- [3] M. Kubo, J. Sato, T. Shimomura, Y. Takanishi and M. Yamanaka, ``Big-bang nucleosynthesis and leptogenesis in the CMSSM,’’ Phys. Rev. D 97 (2018) 115013
- [4] J. Sato, T. Shimomura and M. Yamanaka, ``A Solution to Lithium Problem by Long-Lived Stau,’’ Int. J. Mod. Phys. E 26 (2017) 1741005
- [5] Y. Uesaka, Y. Kuno, J. Sato, T. Sato and M. Yamanaka, ``Improved analyses for $\mu^-e^- \rightarrow e^-e^-$ in muonic atoms by contact interactions,’’ Phys. Rev. D 93 (2016) 076006
- [6] M. Takeuchi, Y. Uesaka and M. Yamanaka, ``Higgs mediated CLFV processes $\mu N(eN) \rightarrow \tau X$ via gluon operators,’’ Phys. Lett. B 772 (2017) 279
- [7] Y. Uesaka, Y. Kuno, J. Sato, T. Sato and M. Yamanaka, ``Improved analysis for $\mu^-e^- \rightarrow e^-e^-$ in muonic atoms by photonic interaction,’’ Phys. Rev. D 97 (2018) 015017
- [8] S. Davidson, Y. Kuno and M. Yamanaka, ``Selecting $\mu \rightarrow e$ conversion targets to distinguish lepton flavour-changing operators,’’ Phys. Lett. B 790 (2019) 380
- [9] S. Okawa, M. Tanabashi and M. Yamanaka, ``Relic Abundance in a Secluded Dark Matter Scenario with a Massive Mediator,’’ Phys. Rev. D 95 (2017) 023006
- [10] Y. Kuno, J. Sato, T. Sato, Y. Uesaka and M. Yamanaka, ``Momentum distribution of the electron pair from the charged lepton flavor violating process $\mu^-e^- \rightarrow e^-e^-$ in muonic atoms with a polarized muon,’’ Phys. Rev. D 100 (2019) 075012

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 M. Kubo, J. Sato, T. Shimomura, Y. Takanishi, M. Yamanaka	4. 巻 97
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 D	6. 最初と最後の頁 115013pp1-15
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 S. Davidson, Y. Kuno, M. Yamanaka	4. 巻 790
2. 論文標題 Selecting μ e conversion targets to distinguish lepton flavour-changing operators	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 380 ~ 388
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.physletb.2019.01.042	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 Y. Uesaka, M. Takeuchi, M. Yamanaka	4. 巻 QNP18
2. 論文標題 Charged lepton flavor violation searches by lepton-nucleus scattering	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of QNP2018	6. 最初と最後の頁 024pp1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 Y. Uesaka, M. Takeuchi, M. Yamanaka	4. 巻 772
2. 論文標題 Higgs mediated CLFV processes $\mu N(eN) \rightarrow \tau X$ 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） なし	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 J. Sato, T. Shimomura and M. Yamanaka	4. 巻 26
2. 論文標題 A Solution to Lithium Problem by Long-Lived Stau	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Journal of Modern Physics E	6. 最初と最後の頁 1741005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Y. Uesaka, M. Takeuchi, M. Yamanaka	4. 巻 NuFact2017
2. 論文標題 Higgs mediated CLFV processes $\mu N (eN) \rightarrow \tau X$ via gluon operators	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 PoS	6. 最初と最後の頁 110
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Y. Uesaka, Y. Kuno, J. Sato, T. Sato, M. Yamanaka	4. 巻 97
2. 論文標題 Improved analysis for $\mu^- e^- \rightarrow e^- e^-$ in muonic atoms by photonic interaction	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 015017pp1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Yuichi Uesaka, Yoshitaka Kuno, Joe Sato, Toru Sato, Masato Yamanaka	4. 巻 93
2. 論文標題 Improved analysis of the CLFV decay of muonic atoms $\mu^+ e^- \rightarrow e^+ e^- \gamma$	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 076006pp1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Yoshio Koide, Masato Yamanaka	4. 巻 762
2. 論文標題 Muon-Electron Conversion in a Family Gauge Boson Model	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 41-46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Shohei Okawa, Masaharu Tanabashi, Masato Yamanaka	4. 巻 95
2. 論文標題 Relic Abundance in a Secluded Dark Matter Scenario with a Massive Mediator	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 023006pp1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Masato Yamanaka	4. 巻 DSU2015
2. 論文標題 Leptogenesis in $E_6 \times U(1)_A$ SUSY GUT model	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 DSU2015 Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 043pp1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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37件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 14件)

1. 発表者名 Masato Yamanaka
2. 発表標題 Improved analysis for CLFV processes $\mu N(eN) \rightarrow \tau X$
3. 学会等名 Asian Linear Collider Workshop 2018 (ALCW2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masato Yamanaka
2. 発表標題 Improved analysis for CLFV processes $\mu N(eN) \rightarrow \tau X$
3. 学会等名 The 26th International Conference on Supersymmetry and Unification (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山中真人
2. 発表標題 Big-bang nucleosynthesis and Leptogenesis in the CMSSM
3. 学会等名 素粒子物理学の進展 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山中真人, 久保宗弘, 佐藤丈, 下村崇, 高西康敬
2. 発表標題 Big-bang nucleosynthesis and Leptogenesis in CMSSM
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 岩島呂帆, 山中真人, 吉岡興一
2. 発表標題 ニュートリノと結合するダークマターの崩壊による宇宙線束
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 上坂優一, 竹内道久, 山中真人
2. 発表標題 レプトン原子核散乱を用いた荷電レプトンフレーバー非保存探索
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 山中真人
2. 発表標題 Big-bang nucleosynthesis with long-lived charged particle
3. 学会等名 第二回琉球大学計算科学シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山中真人
2. 発表標題 長寿命荷電粒子がビッグバン元素合成に与える影響
3. 学会等名 九州天文ゼミ(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masato Yamanaka
2. 発表標題 Improved analysis for lepton-nucleus CLFV scattering $\ell_i N \rightarrow \ell_j X$
3. 学会等名 KEK Theory Meeting on Particle Physics Phenomenology (KEK-PH2018 winter) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masato Yamanaka
2. 発表標題 BBN and leptogenesis in the CMSSM
3. 学会等名 Particles, Gravitation and the Universe (PGU 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masato Yamanaka
2. 発表標題 Lepton-nucleus CLFV scattering $\ell_i N \rightarrow \ell_j X$ by scalar interaction
3. 学会等名 Higgs as a Probe of New Physics (HPNP2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masato Yamanaka
2. 発表標題 Search for charged lepton flavor violation using a muonic atom
3. 学会等名 13th International Conference of Computational Methods in Sciences and Engineering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山中真人
2. 発表標題 Asymmetry of matter/antimatter in the universe generated by a quantum interference
3. 学会等名 琉球大学計算科学シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山中真人
2. 発表標題 A crosscheck on the B to Kll anomaly at lepton-nucleus scattering experiments
3. 学会等名 基研研究会 素粒子物理学の進展 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masato Yamanaka
2. 発表標題 Higgs mediated CLFV processes $\mu N(eN) \rightarrow \tau X$ via gluon operators
3. 学会等名 Summer Institute 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大川翔平, 棚橋誠治, 山中真人
2. 発表標題 Relic density with the dark sector temperature in secluded dark matter scenarios
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 上坂優一, 久野良孝, 佐藤丈, 佐藤透, 山中真人
2. 発表標題 偏極ミュオン原子中のCLFV過程 $\mu^- e^- \rightarrow e^- e^-$
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 竹内道久, 上坂優一, 山中真人
2. 発表標題 ヒッグス媒介によるCLFV過程 $\mu N (eN) \rightarrow \tau X$ でのグルーオン素過程の寄与
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masato Yamanaka
2. 発表標題 Higgs mediated CLFV processes $\mu N (eN) \rightarrow \tau X$ via gluon operators
3. 学会等名 The 19th International Workshop on Neutrinos from Accelerators (NUFACT2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山中真人
2. 発表標題 グルーオンの寄与を含めたCLFVレプトン-核子散乱の解析
3. 学会等名 Flavor Physics Workshop 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山中真人
2. 発表標題 レプトンフレーバー非保存相互作用の検証に向けたレプトン-核子散乱の高精度定式化
3. 学会等名 第7回日大理工・益川塾連携シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山中真人
2. 発表標題 原子核を用いたレプトンフレーバーの破れの検証
3. 学会等名 大阪ワークショップ「地上実験で検証可能な新物理」(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masato Yamanaka
2. 発表標題 Improved analysis for CLFV processes $\mu N (eN) \rightarrow \tau X$ with gluon operators
3. 学会等名 The annual Theory Meeting on Particle Physics Phenomenology (KEK- $\&$ shy;PH2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masato Yamanaka
2. 発表標題 Relation of CLFV to cosmological observables in the
3. 学会等名 1st workshop on Phenomenology for Particle and Anti-Particle 2018 (PPAP2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 竹内道久, 上坂優一, 山中真人
2. 発表標題 レプトンフレーバーを破るDIS過程 $\mu N (eN) \rightarrow \tau X$ におけるグルーオン素過程の寄与
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masato Yamanaka
2. 発表標題 Leptogenesis in $E_6 \times U(1)_A$ SUSY GUT model
3. 学会等名 International Symposium on Particles, Strings and Cosmology 2016 (PASCOS2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Masato Yamanaka
2. 発表標題 Improved analysis of the CLFV process: $\mu^- e^- \rightarrow e^- e^-$ in muonic atom
3. 学会等名 Summer Institute 2016 (SI2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 山中 真人
2. 発表標題 Relic Abundance in Secluded Dark Matter Scenario with Massive Mediator
3. 学会等名 基研研究会 素粒子物理学の進展 2016
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 大川 翔平
2. 発表標題 Dark matter thermal production via decaying mediator in a decoupled sector
3. 学会等名 日本物理学会2016年秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 山中 真人
2. 発表標題 Muon-Electron Conversion in a Family Gauge Boson Model
3. 学会等名 日本物理学会2016年秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 山中 真人
2. 発表標題 長寿命スタウ
3. 学会等名 第6回日大理工・益川塾連携シンポジウム
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 山中 真人
2. 発表標題 A new idea to search for charged lepton flavor violation using a muonic atom
3. 学会等名 CUTEシンポジウム：量子状態計算「素粒子から化学へ」（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 山中 真人
2. 発表標題 Muon-Electron Conversion in a Family Gauge Boson Model
3. 学会等名 Flavor Physics Workshop 2016
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Masato Yamanaka
2. 発表標題 Relic Abundance in Secluded Dark Matter Scenario with Massive Mediator
3. 学会等名 The 13th International Symposium on Cosmology and Particle Astrophysics (CosPa2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 山中 真人
2. 発表標題 Search for charged lepton flavor violation
3. 学会等名 Quarks, Leptons and Family Gauge Bosons (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Masato Yamanaka
2. 発表標題 Relic Abundance in Secluded Dark Matter Scenario with Massive Mediator
3. 学会等名 KEK Annual Theory Meeting on Particle Physics Phenomenology (KEKPH16) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 上坂 優一
2. 発表標題 ミューオン原子中のCLFV過程 $\mu^- \rightarrow e^- e^- e^-$ における
3. 学会等名 日本物理学会第72回年次大会
4. 発表年 2017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
--	---------------------------	-----------------------	----