

令和元年6月17日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K05319

研究課題名(和文)フレーバー物理から探る新物理の理論研究

研究課題名(英文)Theoretical study of physics beyond the standard model probed from flavor physics

研究代表者

戸部 和弘 (Tobe, Kazuhiro)

名古屋大学・理学研究科・准教授

研究者番号：20451510

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：この研究で、 μ 粒子異常磁気能率やB中間子崩壊($B \rightarrow D^{(*)}$)などで報告されている標準模型との食い違い(アノマリー)を、標準模型にヒッグス2重項を加えたtwo Higgs doublet model (2HDM)で説明できないか、を特に調べた。2HDMにある μ -フレーバーを破る相互作用が、当時報告されていたヒッグス粒子の異常崩壊 $h \rightarrow \mu\mu$ と μ 粒子異常磁気能率のアノマリーを同時に説明できることがわかった。また2HDMで $B \rightarrow D^{(*)}$ のアノマリーを説明することは難しいことがわかったが、少しでも食い違いを出すような場合でも、LHC実験で特徴的な現象が予言されることを指摘した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で、 μ 粒子異常磁気能率やB中間子崩壊で指摘されている標準模型との食い違い(アノマリー)を標準模型を超えた理論で説明できるか、またその場合は(特にLHC実験の)他の現象でどのような予言があるのかを調べたものである。本研究により、現在行われているLHC実験などでどのような探索をすればこのようなアノマリーを説明できる新物理が検証できるかを明らかにした。このようなアノマリーが本当だったら標準模型を超えた理論はどのようなものであるか、の一端が明らかになっただけでなく、またそれを探索する実験研究にとっても、どのような探索が有効か、が明らかになり、将来の理論実験研究に示唆を与えることが出来た。

研究成果の概要(英文)：We studied an muon anomalous magnetic moment (μ on $g-2$) and B-meson decay ($B \rightarrow D^{(*)}$), where the discrepancies between the standard model predictions and the measured values (anomalies) have been reported, within a framework of a two Higgs doublet model. We found that the μ -flavor violating interaction in the 2HDM can accommodate both an anomalous Higgs boson decay $h \rightarrow \mu\mu$ and the anomaly of the muon $g-2$. We also found that it is difficult to explain the current anomaly in $B \rightarrow D^{(*)}$ within the 2HDM, and the even small discrepancy in the 2HDM suggests the interesting new particle productions and decays at the LHC experiment, which can be very different from the standard model phenomena.

研究分野：素粒子理論

キーワード：フレーバー物理 素粒子標準模型を超える理論

1. 研究開始当初の背景

素粒子の標準模型は、ヒッグス粒子の予言通りの発見や精密測定からの検証などによって、非常に成功した理論と言える。しかし、さらなる様々な実験による検証によって、最近では標準模型の予言値との食い違い(アノマリー)が指摘されている現象も存在する。それらの食い違いはまだ統計的に確定した段階ではないが、それらの食い違いが本当で、新物理によるものだとすれば、比較的軽い新粒子の存在を示唆するので、現在行われている LHC 実験などの直接探査のいい標的になり得る。よって、そのような物理をいま研究する意義は十分ある。

研究開始当初に報告されていたミュオン粒子異常磁気能率の実験値と予言値の食い違い、CMS 実験でヒッグスの崩壊現象 $h \rightarrow \mu\mu$ で事象の超過、また B 中間子の崩壊 ($B \rightarrow D^{(*)}$ や $B \rightarrow K^{(*)}\mu\mu$ など)での標準模型の予言値との食い違い、などは新物理に関して非常に重要なヒントになり得ると考えこの研究を開始した。

2. 研究の目的

このような標準模型からの食い違いが指摘されている現象を深く考慮することで、標準模型を超える新物理を探索することが本研究の目的である。特に、いくつかのアノマリーを統一的に説明することができるシナリオは存在するのか、またアノマリーを説明するだけでなく他の現象で予言はないのか、それは LHC 実験などで検証できるのか、を明らかにすることである。

3. 研究の方法

標準模型にさらに doublet Higgs を加える拡張をした、two Higgs doublet 模型 (2HDM) は、標準模型を超えたフレーバーの破れを持つモデルとして知られている。実験的に標準模型を超えたフレーバー構造の存在の示唆があるので、まず 2HDM をレファレンス模型として、上で指摘したアノマリーについて考えてみる。2HDM では、重いヒッグス粒子の μ フレーバーの破れの相互作用によって、標準模型ヒッグス粒子のフレーバーの破れた崩壊 $h \rightarrow \mu\mu$ を説明すると同時に、 μ 粒子異常磁気能率に μ 粒子の質量に比例した大きな量子補正を生成することができ、2つの標準模型からの食い違いの現象を統一的な見方で解決できる可能性がある。よって、まずこの2つのアノマリーを説明する理論のパラメータ領域を明らかにし、そのパラメータ領域で、他の現象に何か予言(特に LHC 実験で検証可能な予言)があるのかを調べる。

またこのような 2HDM で、B 中間子の崩壊現象 $B \rightarrow D^{(*)}$ を考え、どれだけ大きな標準模型の予言からのズレが可能なのかを明らかにする。そうすることで、このモデルが現在報告されているアノマリーを説明できるか、が明らかに出来る。

また、B 中間子崩壊でアノマリーが報告されている $B \rightarrow D^{(*)}$ や $B \rightarrow K^{(*)}\mu\mu$ などの現象は標準模型ではそれぞれ中性カレント、荷電カレントによって生成される現象であるが、これらのアノマリーが共通の新物理による統一的な説明があるとしたら、非常に興味深い。そのようなシナリオが可能なのかを調べる。

4. 研究成果

μ 粒子異常磁気能率の実験値と標準模型の予言値との食い違い、および CMS 実験が報告したヒッグス粒子の $h \rightarrow \mu\mu$ 崩壊の事象超過、を同時に説明できる標準模型を超える理論として 2HDM を解析し、それらのアノマリーを同時に説明できる理論のパラメータ領域を明らかにした。

μ フレーバーの破れの相互作用が存在するので、これに関係する μ 粒子および μ 粒子の崩壊現象などを詳しく調べた。特に、これらのアノマリーを同時に説明できるシナリオで、 μ 粒子の崩壊現象 $h \rightarrow \mu\mu$ は将来の実験で検出可能なレベルにあり得ることがわかった。また μ 粒子の崩壊を調べ、 e と μ の崩壊の間のレプトンフレーバーのユニバーサリティーの破れが標準模型の予言に比べて大きくなり得ることがわかり、将来の実験でこのような量の測定がこのシナリオの検証となることを指摘した。また μ 崩壊を詳しく調べ、この崩壊を特徴付けるいわゆるミッセルパラメータに 0.01%-0.1%程度の補正を生成し得ることが分かった。またこの μ 粒子崩壊のミッセルパラメータへの補正の大きさは、 μ 粒子異常磁気能率の補正の大きさとの相関があることがわかった。最新の CMS 実験の結果を見ると、ヒッグス粒子の崩壊 $h \rightarrow \mu\mu$ に事象超過は見られないことから、現在では、模型の μ フレーバーの破れの相互作用に制限が与えられる状況である。しかしこのような相関を確認することは $h \rightarrow \mu\mu$ によらずにこのシナリオを検証できることを示唆するので、非常に重要と言える。

また B 中間子の崩壊現象 $B \rightarrow D^{(*)}$ で報告されているアノマリーに動機付けられて、2HDM での $B \rightarrow D^{(*)}$ の予言値を詳しく調べた。他の様々な現象からの実験的な制限(特に B_c)を考慮すると、2HDM の枠内では $B \rightarrow D^{(*)}$ の崩壊分岐比に(報告されているアノマリ

ーほどの) 標準模型との大きな食い違いを出すことは難しいことがわかった。しかし小さな食い違いしか生成されない場合でも、2 HDM で新しく加わる重いヒッグス粒子の生成や崩壊現象のために、LHC 実験で標準模型にはない現象が可能なことを指摘した。将来検証が進むと $B \rightarrow D^{(*)}$ に報告されているアノマリーの大きさは変化する可能性もあるので、将来の B 中間子崩壊および LHC 実験の結果の推移に注意していくことが重要である。

また、B 中間子崩壊でアノマリーが報告されている $B \rightarrow D^{(*)}$ や $B \rightarrow K^{(*)} \mu \mu$ などの現象は標準模型ではそれぞれ中性カレント、荷電カレントによって生成される現象である。これらのアノマリーを統一的に説明できる理論を構築できるのか、を考えることはさらなる統一理論を探索する上で興味深い問いである。先行研究では、ベクトルレプトクォークを導入して、その媒介によって報告されているアノマリーを同時に説明できる可能性が指摘されている。このようなベクトルレプトクォークは、標準模型を拡張して SU(4)ゲージ対称性が SU(3)ゲージ対称性に自発的に破れる時に、質量を獲得する重いゲージ粒子の一部として導入することが可能である。このような機構で幾つかモデルが提唱されているが、このようなベクトルレプトクォークが直接標準模型のフェルミオンと相互作用をすると、他の重いゲージ粒子とも直接相互作用するために、様々な実験的制限に抵触し、整合性のある模型を作るのが複雑になってしまう傾向がある。先行研究を参考に、それを拡張することで模型の単純化を試みたが、面白い模型の構築はなかなか簡単ではないことがわかった。またこのタイプの模型の現象論的な研究に関して、他の現象との相関などについて研究した。最新の実験の結果を見ても、B 中間子の崩壊現象に関してのアノマリーはまだ存在する傾向が見られるので、本研究で行なった研究を基に今後も簡単な模型の構築を目指したい。

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 4 件)

- (1) S. Iguro, K. Tobe, “R(D^{*}) in a general two Higgs doublet model”, Nucl. Phys. B925, 560 (2017). (査読あり)
- (2) K. Tobe, “Flavor physics in general two Higgs doublet model”, PoS KMI2017, 002 (2017). (査読なし)
- (3) K. Tobe, “Michel parameters for l decays $l \rightarrow l' \nu \bar{\nu}$ ($l=e, \mu$) in a general two Higgs doublet model with μ - e flavor violation”, JHEP 1610, 114 (2016). (査読あり)
- (4) Y. Omura, E. Senaha, K. Tobe, “ e - and μ -physics in a general two Higgs doublet model with μ - e flavor violation”, Phys. Rev. D94, 55019 (2016). (査読あり)

[学会発表](計 3 件)

- (1) K. Tobe, “Flavor physics in general two Higgs doublet model”, The 3rd International Symposium on “Quest for the Origin of Particles and the Universe (KMI2017)”, Nagoya University, Japan. 2017 年 1 月 (招待講演)
- (2) K. Tobe, “New Physics for Muon g-2 Anomaly”, 素粒子物理学の進展 2016, 京都大学基礎物理学研究所, 2016 年 9 月 (招待講演)
- (3) K. Tobe, “Charged Lepton Flavor Violation (CLFV), Anomalous Magnetic Moment (g-2) and Electric Dipole Moment (EDM)”, The 2nd International Conference on Charged Lepton Flavor Violation, Charlottesville Virginia USA, 2017 年 6 月 (招待講演)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：
ローマ字氏名：
所属研究機関名：
部局名：
職名：
研究者番号(8桁)：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：
ローマ字氏名：

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、研究者個人に帰属されます。