	研究代表者	名古屋大学・素粒子宇宙起源研究所・教授 飯嶋 徹 (いじま とおる)	研究者番号:80270396
	研究課題情報	課題番号: 23H05433 キーワード: 素粒子実験、レプトン、加速器、粒子測定技術	研究期間: 2023年度~2027年度

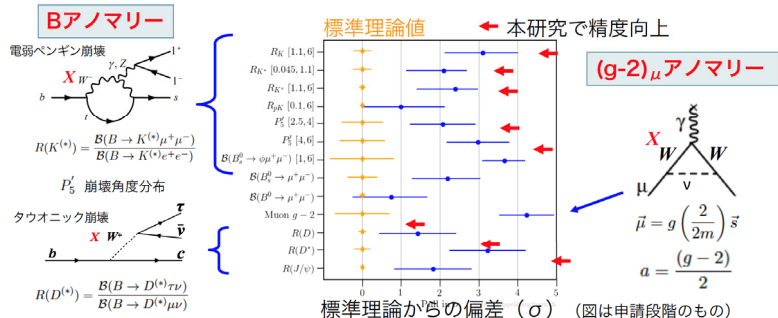
なぜこの研究を行おうと思ったのか（研究の背景・目的）

●研究の全体像

物質を構成するクォークとレプトンは3つの世代からなり、粒子の世代は「フレーバー」とも呼ばれている。3世代の粒子は、質量の違い以外は全く同じ性質を持つように見え、これを「普遍性」と呼ぶ。素粒子の標準理論は究極の理論とは考えられておらず、標準理論を超える新物理の発見が次なる目標となっているが、CERNのLHC加速器をもってしても新粒子生成の兆候が見えないなかで、このフレーバーに注目した精密測定が重要視されている。申請者達は、電子-陽電子衝突実験（Bファクトリー実験（KEKB/Belle実験））において、荷電レプトンのフレーバー；電子(e)、ミュー(μ)、タウ(τ)に注目した探究を早くから手がけてきたが、同様の研究が世界的にも進んだ結果、幾つかのB中間子の崩壊で標準理論からの乖離が見つかり、「Bアノマリー」と呼ばれている（図1）。その中で最も注目されているのが、B中間子がタウレプトンに変化するタウオンニック崩壊とミューオンへの崩壊を比較したもので、強度比R(D^(*))が標準理論から乖離する「フレーバー普遍性の破れ」である。また、B中間子がK中間子とレプトン対に変化する崩壊においても同様の乖離やその他の異常が報告されている。一方、ミューオンがもつ磁石の性質を表すミューオン異常磁気能率(g-2)_μにおいても、アメリカでの最近の実験結果によって標準理論からの乖離がより明瞭となり、これらは「フレーバーアノマリー問題」と総称される世界的な喫緊の研究課題として注目されている。本研究では、日本が先導するスーパーBファクトリー実験における独自性の高い研究で、このフレーバーアノマリー問題を探究する。

●世界最高ルミノシティ実験 -SuperKEKB/Belle II実験-

我々が日本のKEKで進めているスーパーBファクトリー実験（SuperKEKB/Belle II実験）は、この「フレーバーアノマリー問題」の解決に向けて、他所にはない絶好かつ必須の機会を提供する（図2参照）。SuperKEKB加速器は世界最高のルミノシティ（衝突性能を表す指標）を有しており、Belle II実験で収集されるB中間子の崩壊に関する大量のデータによりBアノマリーの精密検証が可能となる。また、B崩壊と同時に収集される電子-陽電子精密データは、(g-2)_μの検証に重要なインプットとなる（後述）。今後は、更に衝突性能を高め、先行実験の50倍の世界最高統計データの蓄積を目指す。そのためには、ビーム電流増加に伴う検出器バックグラウンドの抑制など、検出器技術の改良や増強も必須となる。そこで、本研究では、この世界最高ルミノシティ実験を駆使して、「フレーバーアノマリー問題」の決着と標準理論を超える新物理の発見を目指すとともに、そのために必須となる実験技術の改良や新たな開発を進める。



フレーバー普遍性の破れ フレーバーアノマリー問題は世界的な喫緊の研究課題

図1：フレーバーアノマリー。幾つかのB中間子崩壊やミューオン異常磁気能率(g-2)_μの測定値が標準理論からの乖離を示している。

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

このような状況をふまえ、本研究では、SuperKEKB/Belle II 実験を主導する研究者が核となり、「フレーバーアノマリー問題」の決着と標準理論を超える新物理の発見を目指す。具体的な研究課題として以下を掲げる。

●B 中間子崩壊におけるレプトン普遍性の破れの精密検証

SuperKEKB/Belle II 実験では、様々なパターンのB中間子崩壊データが収集可能であるが、そのなかでも緊急性の高いレプトン普遍性の破れの検証を進める。上述のR(D^(*))比を数%の誤差で決めるとともに、崩壊粒子の角度分布や運動量分布などの詳細測定を進める。これにより新物理に対する感度を高めるとともに、標準理論からのズレが確定した場合には、可能性が高い新物理モデルの絞り込みを進める。

●電子-陽電子衝突の精密測定による(g-2)_μ量子補正効果の実験的決定

SuperKEKB/Belle II実験は、(g-2)_μアノマリーに関しても重要なインプットを与える。(g-2)_μの標準理論予想値の最大誤差となっている強い相互作用の効果は理論的計算が困難であるが、Belle IIにおける電子-陽電子衝突の精密測定データで決定することができる。本研究では、J-PARC で準備中の(g-2)_μ実験の研究者や理論研究者とも協力して、標準理論予言値の高精度化からアノマリー検証の信頼度向上を図る。

●ルミノシティ増強に向けたBelle II検出器の改良

今後、加速器のルミノシティを増強して、より大量のデータを安定に収集するためには、高頻度で検出器に飛び込むバックグラウンド粒子への対応が必須である。本研究では、以下の技術開発研究を進める。

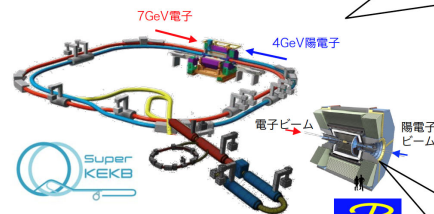
- 1) 我々が独自開発した「TOPカウンター」、「エアロジェルRICH」と呼ばれる粒子検出器に、より性能の高い光センサーの開発を進める。これにより高バックグラウンド環境下での粒子識別性能を大幅に改善する。
- 2) 荷電粒子のみならず、ガンマ線の飛行時間 (TOF) を20ピコ秒の高時間分解能で測定できる検出器の導入を検討する。これにより、加速器を周回する大電流ビームの散乱による事象を排除して、電子-陽電子衝突による信号事象をより高純度かつ高効率で検出することが可能となる。
- 3) データ収集システムが記録できる許容範囲以下にデータを削減するために、最先端の電子回路技術によって実時間で粒子をトラッキングし、記録すべき事象を瞬時に判断する次世代トリガー装置を開発する。この改良は、特に、精度の高い電子-陽電子衝突断面積の測定を行うのに必須となる。

●期待される成果

本研究期間中に、現在の10倍以上のデータ量を蓄積、これにより現在兆しが見えているフレーバーアノマリーの確定を図る。仮に、複数のB中間子崩壊と(g-2)_μでフレーバーアノマリーが確定すれば、素粒子物理学のブレークスルーとなり、そのインパクトは極めて大きい。確定したアノマリーを説明可能なモデルで他の新現象を予言し、本研究でより性能を高めた実験で更に検証を進めるなど、新物理の詳細スタディを進める道が開かれる。

SuperKEKB加速器

- 7GeV電子 x 4GeV陽電子の衝突型加速器
- 世界で唯一のナノビーム衝突方式を採用



Belle II実験

- 2019年3月から本格的な衝突運転を開始。
- 先行実験：KEKB/Belle実験の50倍のデータ蓄積を目指す

This block contains diagrams and photos of Belle II detector components. At the top, it shows the 'Bアノマリー探究' (B anomaly search) and '(g-2)_μアノマリー探究' (muon g-2 anomaly search) using electron-positron collision data. Below, it highlights '独自に開発し導入した検出器の改良' (Improvements of detectors developed and introduced independently) and '増加するバックグラウンドへの対応' (Response to increasing background). Photos show the 'TOPカウンター' (TOP counter) and 'エアロジェルRICH' (Aerogel RICH) detectors.

図2 SuperKEKB/Belle II実験。本研究でフレーバーアノマリー探求と検出器の改良を進める。