



研究課題名 大強度ミュオン粒子源で挑む荷電レプトンフレーバ研究

大阪大学・理学研究科・教授

あおき まさはる
青木 正治

研究課題番号： 21H04971

研究者番号： 80290849

研究期間： 令和3年度～令和7年度 研究経費（期間全体の直接経費）： 488,300千円

キーワード： 素粒子、ミュオン粒子、稀崩壊、荷電レプトンフレーバ

【研究の背景・目的】

素粒子の標準理論はヒッグス粒子の発見によって完成したが、これによって宇宙の全ての現象を説明できるようになったわけではない。素粒子の標準理論を超えた新しい物理法則は必ず存在すると誰もが信じているが、どのようにしてそこに至るのか手探りの状態にある。荷電レプトンフレーバを破る(cLFV)反応は素粒子の標準理論では強く抑制されている。しかし、素粒子の反応においてレプトンフレーバが保存されなければならない第一原理は存在しない。良く考えられた高い感度の実験によって、標準理論を超える cLFV 現象を観測できるかもしれないと期待されている。

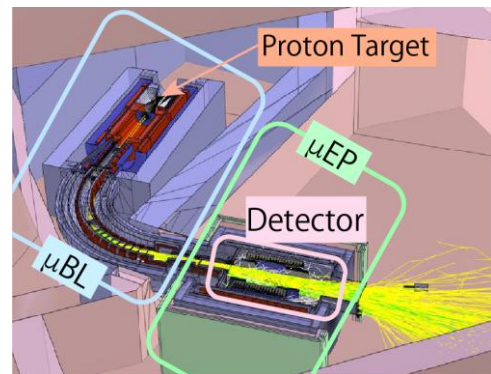
本研究の目的は、素粒子の標準理論を超えた新しい物理を切り拓くために、ミュオン粒子・電子(μ - e)転換過程探索の実験を実現し発展させることにある。そのために、従来の 100 倍を超える分岐比 3×10^{-15} の感度で μ - e 転換過程を探索する。これによって PeV のエネルギースケールで物理を俯瞰する研究領域を切り拓いてゆく。

【研究の方法】

負電荷ミュオン粒子(μ^-)をアルミニウム標的に入射すると、 μ^- はエネルギーを失いながら減速してアルミ原子の原子軌道にトラップされ、たちどころにエネルギーを失って 1s 軌道に落ち着く。この状態はミュオン原子と呼ばれ、1s 軌道にある μ^- はアルミ原子核と「密に接触」した状態になる。ここでもしも cLFV 反応が存在すれば、ミュオン粒子が原子核と反応($\mu^- + \text{Al} \rightarrow e^- + \text{Al}$)して 104.97 MeV の単色電子を放出すると期待される。この特徴的なエネルギーをもった電子が、本研究で発見を目指す μ - e 転換過程の信号である。

荷電レプトンフレーバを破る反応の候補には μ - e 転換過程の他にも何種類かあるが、大量に生成可能である軽いミュオン粒子を用いて、原子核(クォーク)と密に接触させた状態を通して反応させる点に本研究の大きな特徴がある。これによって、さまざまな新しい物理に対して網羅的に高い感度で探索を行うことを可能としている。

本研究で使用する実験装置を図に示す。本研究では、世界第一級の大強度陽子加速器 J-PARC の実験ホールに建設中である革新的な大強度ミュオン粒子ビームライン(μ BL)を活用するために、これに最適化したミュオン粒子実験装置(μ EP)を建設し、高い放射線環境下で優れた運動量分解能を発揮する物理検出器を実装して物理データ収集と物理解析を遂行し、非常に稀な現象である μ - e 転換過程の発見を目指す。過去の稀過程研究で積み重ねられた経験と叡智に基づき、タイムリーに物



大強度ミュオン粒子実験装置

理成果を創出しながら実データに基づく着実な改良で実験感度を改善してゆく。

【期待される成果と意義】

本研究は、世界で最初に荷電レプトンフレーバを破る事象を発見できるポテンシャルを持つ。この過程が発見されれば宇宙・素粒子研究に大きなインパクトを与えることは必須である。信号を発見するに至らなくても、上限値の更新は標準理論を超えた新物理を理解する大きな情報源となる。本研究での成果に加えて、 $\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$ 崩壊や $\mu^+ \rightarrow e^+ e^+ e^-$ 崩壊、 τ 粒子の cLFV やレプトン普遍性の研究などによってもたらされる結果を含めて総合的に解析することにより、人類が未だ直接到達できない高エネルギーの物理法則に対する理解が大きく進展することが期待できる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ The COMET Collaboration, “COMET Phase-I technical design report”, Prog. Theor. Exp. Phys. 2020, 033C01 (2020).
- ・ A. Aguilar-Arevalo, M. Aoki, M. Blecher *et al.*, “Improved Measurement of the $\pi \rightarrow e \nu$ Branching Ratio”, Phys. Rev. Lett. 115, 071801 (2015).
- ・ The COMET Collaboration, “Conceptual Design Report for Experimental Search for Lepton Flavor Violating $\mu^- e^-$ Conversion at Sensitivity of 10^{-16} with a Slow-Extracted Bunched Proton Beam (COMET)”, a document submitted to J-PARC PAC, 23rd June 2009.

【ホームページ等】

<https://comet.kek.jp>
aokim@phys.sci.osaka-u.ac.jp