

## 論文内容の要旨

### 論文題目 A Search for the Decay $\mu^+ \rightarrow e^+\gamma$ Using a High-Resolution Liquid Xenon Gamma-Ray Detector (高分解能液体キセノンガンマ線測定器を用いた $\mu^+ \rightarrow e^+\gamma$ 崩壊の探索)

氏名 西村 康宏

素粒子物理において、標準模型は素粒子の振る舞いを非常に良く記述している一方で、階層性問題等の不自然さを抱えている。これを解消するため、超対称性理論等の様々な拡張理論が提唱されている。現在知られる素粒子は、その質量により3世代のフレーバーに区分される。これらはクォーク間では混合し、ニュートリノ間でもニュートリノ振動により混合が知られているが、荷電レプトン間ではこれまで混合が見つかっていない。しかし、提唱されている多くの拡張理論はこの荷電レプトン間の混合を測定できる範囲に予測している。荷電レプトンの1つであるミュオン粒子  $\mu$  の二体崩壊、 $\mu \rightarrow e\gamma$  は、荷電レプトンフレーバーを混合する事象の1つであり、現在まで観測されていないが、拡張理論の多くは現在得られている分岐比上限値辺りに予測している。この崩壊が見つかった場合、新たな物理の存在する証拠となり、見つからない場合でも現在提案されている物理モデルの可能性に制限を課す事ができる。

MEG 実験では、スイスのポール・シェラー研究所 (PSI) にて  $\mu^+ \rightarrow e^+\gamma$  崩壊の探索を行っている。非常に稀なこの崩壊を多くの  $\mu$  崩壊の中から見つけ出すため、900 リットル液体キセノンガンマ線測定器、特殊な磁場勾配を持つ陽電子スペクトロメータ、高速なギガヘルツ波形取得回路が新たに開発された。2008 年には3ヶ月に亘る最初の測定を終え、様々な改良が加えられた後、2009 年には2ヶ月間の測定を行った。

ガンマ線測定器は  $\mu^+ \rightarrow e^+\gamma$  のバックグラウンドを抑えるため、特に重要な役割を果たす。本論文では、液体キセノン測定器の長期モニタと性能評価の手法を確立し、その結果をまとめた。多種の較正源をモニタする事で、2008 年から 2009 年にかけてはキセノンの純化に伴いシンチレーション光量が 2.5 倍にまで回復した推移を、2009 年では安定した運転を確認した。液体キセノンガンマ線測定器の性能評価は、 $\mu^+ \rightarrow e^+\gamma$  からの 53MeV ガンマ線に近いエネルギーとして、 $\pi^-$  荷電交換反応後の  $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$  崩壊で得られる 55MeV エネルギーのガンマ線を用いて行われ、2.1% ( $\sigma$ ) のエネルギー分解能、144ps ( $\sigma$ ) の時間分解能と 5mm ( $\sigma$ ) の位置分解能が見積もられた。

ここで得られた測定性能やバックグラウンド分布は確率密度関数 (PDF) として尤度関数に取り込まれ、 $\mu^+ \rightarrow e^+\gamma$  崩壊数とバックグラウンド数を最尤推定量として最尤法により求める。崩壊数から分岐比に換算するため、必要な  $\mu$  の観測数を見積もる代わりに、ほぼ 100% を占める  $\mu^+ \rightarrow e^+\nu_e\bar{\nu}_\mu$  崩壊からの  $e^+$  数を陽電子検出器で数え上げる事により、相対的に  $\mu^+ \rightarrow e^+\gamma$  と比較し、分岐比を導出した。この相対的な規格化は、粒子停止率・検出効率や時間変動等の不定性を減らすために有用である。また、90% の信頼区間を導出するため、頻度主義に基づき PDF を用いた多数回の実験シミュレーションを行う事で実験自体のふらつきを見積もり、実際の 2009 年実験と比較した。

この手法で、2009 年に得られた測定器性能とデータ分布から、分岐比上限に対する実験の感度  $S_{2009}$  を

$$S_{2009} = 6.1 \times 10^{-12}$$

と見積もった。これは、現在得られている上限値 ( $1.2 \times 10^{-11}$ ) より低く、今後測定を続ける事により更に感度が一桁程向上すると見積もった。

本論文では、2009 年の測定から  $\mu^+ \rightarrow e^+\gamma$  崩壊分岐比、 $\text{Br}(\mu^+ \rightarrow e^+\gamma)$  の上限値を 90% の信頼度で

$$\text{Br}(\mu^+ \rightarrow e^+\gamma) < 1.5 \times 10^{-11}$$

と結論付けた。下限値は  $\mu^+ \rightarrow e^+\gamma$  数が 0 の場合も 90% 信頼区間内にあるため与えられず、分岐比は 0 と矛盾しない結果となった。

MEG 実験は今後数年に亘る長期測定を控えた初期段階にあり、解析手法は一通り確立されたものの向上の余地が残されている。また、少ないデータ取得量がここで得られた感度を制限している。今後の継続した測定により、最終的には崩壊分岐比  $10^{-13}$  の範囲まで探索が可能である。