

科学研究費助成事業（特別推進研究）公表用資料
〔研究進捗評価用〕

平成22年度採択分

平成25年5月29日現在

研究課題名（和文） **MEG 実験-レプトンフレーバーの破れから
大統一理論へ**

研究課題名（英文） **MEG Experiment - From Lepton Flavor
Violation toward Grand Unified Theory**

研究代表者

森 俊則 (MORI TOSHINORI)

東京大学・素粒子物理国際研究センター・教授



研究の概要：世界最高強度のミュー粒子ビームを持つスイス・ポールシェラー研究所（PSI）において、本研究グループが開発した優れた素粒子測定器を用いた MEG 実験を実施し、素粒子の標準理論では起こり得ないミュー粒子の $\mu \rightarrow e\gamma$ （ミューイーガンマ）崩壊をこれまでにない感度で探索し、大統一理論とニュートリノ質量の謎に迫る。

研究分野：数物系科学、物理学

科研費の分科・細目：素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：素粒子（実験）

1. 研究開始当初の背景

素粒子には、物質を作り上げている第一世代の素粒子以外にもっと重いものがあり、合わせて3世代の素粒子が存在する。異なる世代の素粒子が互いに移り変わることは制限されていると考えられ、その事を「フレーバーの保存」という。ただクォークの世代間の移り変りはKEKのBファクトリ等で観測されており、ノーベル賞となった小林・益川両氏の理論によってよく理解されている。つまりクォークではフレーバーは破れている。

一方ニュートリノでも世代間の移り変りが起っている事が、スーパーカミオカンデ等が発見したニュートリノ振動現象によって明らかになった。これは予期しなかった現象であり、同様にニュートリノの仲間である荷電レプトン（電子、ミュー粒子、タウ粒子）においても世代間の移り変りが起るかどうかが、大きな注目が集まった。

荷電レプトンの移り変りは標準理論では厳しく禁止されており、その発見は、標準理論を超える新しい物理法則が存在する決定的な証拠となる。特に、宇宙初期には素粒子に働く3種類の力が統一されていたとする超対称大統一理論では、特にミュー粒子と電子の間において世代間の移り変りが小さいながらも実験で測定可能な確率で起ることが分かった。

そこで、ミュー粒子から電子へ移り変わる $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊反応を探索することにより、超対称大統一理論の検証を目指す国際共同実験（MEG 実験）を開始することにした。

2. 研究の目的

(1) MEG 実験によって大統一理論が予言する 10^{-13} という極微の分岐比まで $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊を探索する。

(2) MEG 実験を通して得られた知見と経験を基に、現存の大強度ミュー粒子ビームを使って到達できる究極感度の実験を実現する為の開発研究を行い、新たな実験の提案を行う。

3. 研究の方法

大量のミュー粒子が必要であるため、世界最高強度の DC ミュー粒子ビームを持つ PSI 研究所において、本研究グループが考案・開発した独創的で巧みな実験装置を設置して、国際共同実験 MEG を実施する。実験装置は、本研究グループの実験提案に賛同したスイス・イタリア・ロシア・米国の研究グループと共同で既に建設・設置して、2008 年度より実験を開始している。

本研究では、実験装置の維持・修理と改良を行って実験感度を順次改善しながらデータを取得・解析して、大統一理論の検証を進めていく。

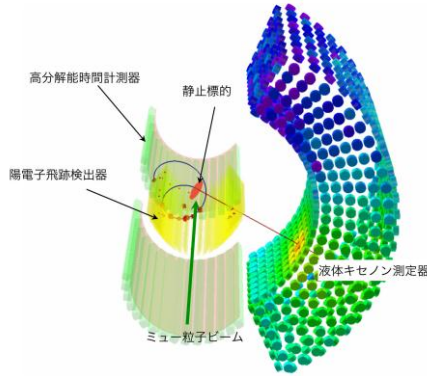
並行して実験装置の開発研究を行い、現存のミュー粒子ビームを使ってさらに感度を上げた究極の実験の設計、提案を目指す。

4. これまでの成果

毎年前年度を大幅に越える大量の実験データを取得することにより、統計精度を大きく上げてきた。特に 2010 年度と 2011 年度は、

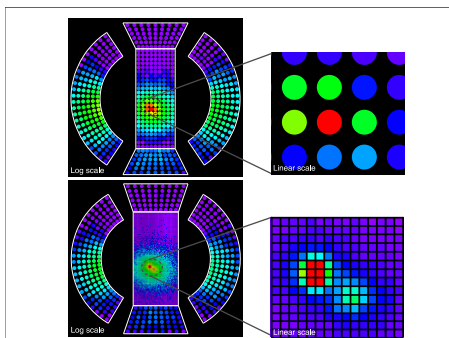
それぞれ前年度までに取得したデータ量をほぼ倍増することができた。さらに実験装置の性能改善や系統誤差の削減、データ解析手法の改良などにより、統計精度以上に実験感度を上げながら実験を行ってきた。

物理解析も迅速に進め、データ取得後ほぼ1年後には最終結果を論文にまとめている。これにより毎年度感度を上げた新しい探索結果を公表する事ができている。



実際に観測された $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊の候補事象

これまでのところ残念ながら $\mu \rightarrow e\gamma$ 事象の発見には至っておらず、崩壊分岐比で以前の実験より約20倍厳しい 5.7×10^{-13} という上限値 (信頼度 90%) を課すことになった。これは標準的な超対称大統一理論に対して極めて厳しい制限となっている。CERNのLHC実験でも超対称粒子などの新物理現象を探索しているが、LHCが強い相互作用をする新粒子に感度が高いのに対して、MEG実験は強い相互作用をしない新粒子に感度が高く、相補的となっている。また、LHCで発見されたヒッグス粒子が比較的軽かった事により、超高エネルギーで成り立つ大統一理論の可能性は高まっていると考えられる。



現 MEG 実験 (上) と究極感度実験 (下) でのガンマ線再構成 (シミュレーション)

究極感度の実験については、測定器の研究開発と実験設計が順調に進み、その結果に基づいて2012年12月に実験提案書をまとめてPSIに提案したところ、翌1月のPSI研究委員会において高い評価で承認された。

5. 今後の計画

MEG実験は2013年度も引き続きデータを取得し、現在解析中の2012年度データと合わせて総データ量をさらに倍増する見込みであり、MEG実験として最終的な探索を行って $\mu \rightarrow e\gamma$ 事象の兆候発見を目指す。

一方、究極感度実験については、PSIで承認された実験提案書に基づいて、実験の実現に向けて準備を進めていく。順調に行けば2015年中には準備が整う見込みであり、今後運転経費も含めた具体的な実施計画を策定していく予定である。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

(研究代表者は二重線、研究分担者は一重下線、連携研究者は点線)

(1) T.Haruyama, T.Iwamoto, S.Mihara, T.Mori, H.Nishiguchi, W.Ootani, R.Sawada, Y.Uchiyama et al., "New constraint on the existence of the $\mu^+ \rightarrow e\gamma$ decay", Phys. Rev. Lett. 110, 201801, 1-5 (2013)

(2) T.Haruyama, T.Iwamoto, S.Mihara, T.Mori, H.Nishiguchi, W.Ootani, R.Sawada, Y.Uchiyama et al., "The MEG detector for $\mu^+ \rightarrow e\gamma$ decay search," Eur. Phys. J. C 73:2365, 1-59 (2013)

(3) T.Haruyama, T.Iwamoto, S.Mihara, T.Mori, H.Nishiguchi, W.Ootani, R.Sawada, Y.Uchiyama et al., "MEG Upgrade Proposal," Upgrade Proposal to PSI, PSI R99-05.2, arXiv:1301.7225 (2012)

(4) 西村康宏、第6回日本物理学会若手奨励賞、"A Search for the Decay $\mu^+ \rightarrow e\gamma$ Using a High-Resolution Liquid Xenon Gamma-Ray Detector," (2012)

(5) T.Haruyama, T.Iwamoto, S.Mihara, T.Mori, H.Nishiguchi, W.Ootani, R.Sawada, Y.Uchiyama et al., "New limit on the lepton-flavour violating decay $\mu^+ \rightarrow e\gamma$," Phys. Rev. Lett. 107, 171801, 1-5 (2011)

(6) 内山雄祐、第5回日本物理学会若手奨励賞、"Analysis of the First MEG Physics Data to Search for the Decay $\mu^+ \rightarrow e\gamma$," (2011)

(7) T.Haruyama, T.Iwamoto, S.Mihara, T.Mori, H.Nishiguchi, W.Ootani, R.Sawada, Y.Uchiyama et al., "A limit for the $\mu^+ \rightarrow e\gamma$ decay from the MEG experiment," Nucl. Phys. B834, 1-12 (2010)

[注：著者名はすべてアルファベット順]

ホームページ

<http://meg.icepp.s.u-tokyo.ac.jp>

<http://www.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/meg/>