

## 論文の内容の要旨

### 論文題目

#### Search for a Lepton Flavor Violating Muon Decay Mediated by a New Light Neutral Particle with the MEG Detector

( 新しい軽い中性粒子を媒介としたレプトンフレーバーを保存しない  
ミュオン粒子崩壊のMEG検出器による探索 )

氏名 名取寛顕

素粒子物理においてこれまで構築されてきた標準理論は大きな成功であり、素粒子の振る舞いを非常に良く記述している。しかし、多くの恣意的に決定されたパラメータを含むなど問題を含んでおり、標準理論を超えた新たな物理の存在が期待されている。そこで新たな物理の鍵となるのが、標準理論の枠内では観測不可能である荷電粒子におけるレプトンフレーバーを保存しない反応事象の観測や、新粒子の発見等である。本論文では、MEG実験において2009年、2010年に $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊探索のために取得した実験データを用いて、終状態に2つのガンマ線を伴うレプトンフレーバー非保存過程 $\mu \rightarrow e\phi$ 、 $\phi \rightarrow \gamma\gamma$ 事象の世界初の探索を行い、レプトンフレーバーを保存しない崩壊過程の媒介をする未知の非常に軽い中性粒子 $\phi$ の探索を行った。

MEG実験は $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊の探索を目的とした実験であり、ミュオン粒子を静止させるターゲット、陽電子スペクトロメータ、ガンマ線検出器から構成されており、スイスのポールシェラー研究所 (PSI) の大強度DCミュオン粒子ビームを用いて実験を行なっている。陽電子スペクトロメータは45MeV以上の陽電子を測定するよう設計されており、陽電子の検出感度のある放出方向に対しての正反対の位置にガンマ線検出器は置かれ、液体キセノンをシンチレータとしたカロリメータとなっている。それぞれの検出器のアクセプタンスは、 $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊に対して全立体角のおよそ10%を覆う。MEG実験は $\mu \rightarrow e\gamma$ 探索に特化した設計となっており、ガンマ線検出器の立体角の大きさや、陽電子スペクトロメータの検出効率のエネルギー依存性から $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊以外の事象に対する測定精度は高くない。しかし、新粒子 $\phi$ が存在する場合、その質量、寿命によっては、MEG実験は $\mu \rightarrow e\phi$ 、 $\phi \rightarrow \gamma\gamma$ 崩壊を良い精度で測定することが可能となる。 $\phi$ の質量が小さい時、放出される陽電子の運動量は $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊のそれと近い値となる。またこの場合、 $\phi$ は光速に近い速度で運動するため、ローレンツブーストによりガンマ線間の角度は小さくなり、二つのガンマ線が共にガンマ線検出器によって観測できるようになり、またガンマ線と陽電子の放出角が正反対に近い方向となり、 $\mu \rightarrow e\gamma$ 記録用のトリガーで測定することが出来るようになる。さらに、 $\phi$ の寿命が長いことでガンマ線が検出器のそばで生成される事象が増え、これも検出器のアクセプタンス、トリガーの検出効率の両面から検出効率に寄与することになる。

本実験では二つのガンマ線を一つのセグメント化されていない検出器によって測定している。ガンマ線検出器は液体キセノンをシンチレータとしてその有感領域を全方位から覆う846本の光電子増倍管で構成されており、ガンマ線の再構成は光電子増倍管から得られた光量分布から行う。また、 $\phi$ の崩壊点の再構成は、時間情報を用いず、陽電子とガンマ線の再構成した位置、エネルギーを用い、 $\mu \rightarrow e\phi$ 、 $\phi \rightarrow \gamma\gamma$ と運動学的に合致するよう再構成を行った。これは背景事象数の見積りにタイムサイドバンドを使用するため、時間構造に偏りをつくらないためである。

解析では二つのガンマ線、陽電子、 $\phi$ の崩壊点の再構成した結果を用い、カット解析によってシグナル数、背景事象数を測定した。背景事象としては複数のミュオン粒子の崩壊に起因する陽電子、ガンマ線が偶発的に重なって $\mu \rightarrow e\phi$ 、 $\phi \rightarrow \gamma\gamma$ の様に見える事象が主であり、シグナル領域から時間的にず

らした三種類のタイムサイドバンドからこの数を見積もった。MEG実験における $\mu \rightarrow e\phi$ 、 $\phi \rightarrow \gamma\gamma$ 崩壊に対する検出効率については、ミュー粒子の通常の崩壊過程である Michel 崩壊 ( $\mu \rightarrow e\nu\nu$ ) と  $\mu \rightarrow e\phi$ 、 $\phi \rightarrow \gamma\gamma$ の検出効率の比をモンテカルロシミュレーションを用いて計算し、 $\mu \rightarrow e\gamma$ 測定データと並行して記録している Michel 崩壊観測用トリガーからの Michel 崩壊事象数を計測し、これらの積から実験の検出精度を見積もった。最終結果として背景事象数の統計的誤差、検出精度の系統誤差、統計的誤差を加味しての $\mu \rightarrow e\phi$ 、 $\phi \rightarrow \gamma\gamma$ 崩壊の分岐比を導出した。

ターゲットに静止した $\mu$ 粒子の個数にして $1.8 \times 10^{14}$ に相当するデータを解析した結果として、 $\mu \rightarrow e\phi$ 、 $\phi \rightarrow \gamma\gamma$ 事象は観測されず、分岐比として $\phi$ の質量が $10 \text{ MeV} \leq M\phi \leq 26 \text{ MeV}$ 、寿命が $1\text{ns}$ 以下の場合で $O(10^{-11})$ の崩壊分岐比の上限値を与えた。 $\phi$ の質量が小さい領域での本実験のこの結果は通常の $\mu \rightarrow e\gamma\gamma$ 崩壊事象の探索上限値からの制約より高感度の結果であり、 $\mu \rightarrow e\phi$ 、 $\phi \rightarrow \gamma\gamma$ の崩壊分岐費に対して最も強い制限を与えている。

本実験において検出精度は統計量によって制限されており、観測を続け、データを蓄積することで測定精度の改善が期待される。MEG実験は2013年までの測定が計画されており、今後の測定によって3倍の測定精度の向上が見込まれる。