

研究計画記載様式

研究概要

(1) 研究目的等

特定(継続)-2 (研究目的)、3 (平成17年度までの研究経過)、4 (平成17年度までの研究の評価) の内容を簡潔にまとめて記入してください。

本研究は、標準理論では起こり得ないミュー粒子崩壊 $\mu \rightarrow e\gamma$ を、独創的な優れた実験装置を用いて、力の大統一やニュートリノ質量から期待される極微の分岐比まで徹底探索し、超対称性の存在を通して超高エネルギーの物理に迫ろうとするものである。本研究の研究者が提案した実験 MEG は、新しく考案した高性能の測定器によって、 10^{-12} - 10^{-14} という極微の分岐比まで測定することが可能となっており、実験に必要な大強度 DC ミュー粒子ビームを持つスイス Paul Scherrer Institut (PSI 研究所) において既に実施が承認されている。そこで本研究では、実験装置の製作・設置を行い、この国際共同実験 MEG を実施して、 $\mu \rightarrow e\gamma$ 反応の発見・測定を目指す。これによって本領域内で LHC 実験と合わせた総合的な解析を行うことにより、今後の素粒子物理研究の方向を決定することになる。これまでのところ順調に開発・研究が進み、実験装置の建設が行われている。本研究としてはほぼ当初の計画通り進行しているが、海外共同研究者の担当部分において予期しなかった不可避な計画の遅れが生じており、今後は実験全体でより密な連絡を取ることで、当初の予定通り平成18年度の実験開始を目指す。

(2) 平成18年度以降の研究計画・方法等

特定(継続)-5 (平成18年度以降の研究計画・方法)、6 (当初計画との変更点) の内容を簡潔にまとめて記入してください。

新たに2名研究分担者を加え、さらに米国からの共同研究者の参加を得て、上記研究目的の達成を目指して更に強力に研究を押し進める。平成18年度には実験装置を完成させ、検出器の総合的試験、エンジニアリングランを遂行する。さらに実験データの収集を開始し、平成21年度まで実験装置を最高の状態に維持して実験を続ける。このため、スタッフ・ポスドクおよび学生が常に現地 PSI に滞在して、実験装置の運転保守、データ収集の遂行、データ解析結果を行っていく。森は実験の代表者として海外共同研究者も含めた実験全体の指揮をとり統括する。本研究の研究者は、COBRA 電磁石、液体キセノン検出器、ミュー粒子ビームならびにターゲット、ソフトウェアを含むオフライン解析システムを担当する。陽電子飛跡検出器、陽電子飛行時間カウンター、トリガー、データ収集システムなどは、海外の共同研究者の担当であり、森の指揮の下緊密に連絡を取り合い全体としてスムーズに実験を遂行していく。データ解析は、森、大谷が統括し、全員で分担して行う。検出器較正はこの実験の成否を握っており、長期間にわたって定期的に較正を行いデータの質を常に監視する必要があるため、三原が中心となり研究支援者を雇用してその任に当たる。当初計画と比べて、実験の運転・維持およびデータ解析のため物品費を1-2割増額したが、一方、現地研究者のサポートにより外国旅費をやや減額することが可能となったため、全体の研究経費として変化はない。

領域略称名	ヒッグス超対称性	継続分の課題番号	16081205	研究機関名	東京大学	研究代表者氏名	森 俊則
-------	----------	----------	----------	-------	------	---------	------

研究計画記載様式

研究目的

- ①研究目的（科学研究費の交付を希望する研究期間内に、何を、どこまで明らかにしようとするのか）、
- ②当該領域の推進に貢献できる点、
- ③領域内での研究の有機的な結合により新たな研究の創造が期待できる点、
- ④当該分野におけるこの研究(計画)の学術的な特色・独創的な点及び予想される結果と意義、
- ⑤国内外の関連する研究の中での当該研究の位置づけ、
- ⑥平成 18 年度において継続して科学研究費補助金または科学研究費補助金以外の研究費(府省・地方公共団体・研究助成法人・民間企業等からの研究費)の助成を受ける予定がある場合は、当該研究課題と本研究課題との相違点、
 について焦点を絞り、具体的かつ明確に記入してください。

研究目的

スーパーカミオカンデ実験によってニュートリノが極微の質量を持つことが明らかになったが、これはシーソー理論を通して未知の超高エネルギー（ $10^{12} \sim 10^{16}$ GeV）に新しい物理が存在することを強く示唆する。一方、LEP 実験によって見出された超対称性による力の大統一も、そのような超高エネルギーで実現される。力の大統一やニュートリノ質量の起源となる新しい物理はレプトンの世代間の混合を引き起こし、これによって、標準理論では起こり得ないミュオン崩壊反応 $\mu \rightarrow e\gamma$ が、現在の実験の上限値に近い分岐比で起こることが最近になって示された。

本研究は、この標準理論では起こり得ないミュオン崩壊 $\mu \rightarrow e\gamma$ を、独創的な優れた実験装置を用いて、力の大統一やニュートリノ質量から期待される極微の分岐比まで徹底探索し、超対称性の存在を通して超高エネルギーの物理に迫ろうとするものである。

本研究の研究者が提案した実験 MEG (Mu-E-Gamma) は、新しく考案した独創的な実験装置によって、 $10^{-12} \sim 10^{-14}$ という極微の分岐比まで測定することが可能となっている。実験に必要な大強度 DC ミュオン粒子ビームを持つスイス Paul Scherrer Institut (PSI 研究所) において既に実施が承認されており、スイス・イタリア・ロシアおよび米国の共同研究者が加わって国際共同実験として、実験装置の開発を進めてきた。そこで本研究では、実験装置の製作・設置を行い、この国際共同実験 MEG を実施して、 $\mu \rightarrow e\gamma$ 反応の発見・測定を目指す。

研究の意義、領域内での貢献など

本研究による $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊の発見によって、標準理論を越える新しい物理の存在が実証される。さらにその分岐比・角度分布を測定することにより、新しい物理のエネルギースケールや対称性について絞り込むことも可能となる。ただし、この新しい物理を正しく理解するためには、本研究領域の LHC 実験で得られる結果、特に超対称性粒子の直接探索の結果と合わせ、様々な理論的な予想と比較して、研究領域として総合的に研究することが必須である。また、 $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊がもし発見されなかった場合には、ニュートリノの質量や力の大統一に対する我々の理解が大きく覆され、LHC 実験と合わせた総合的な解析により、今後の素粒子物理研究の方向を決定的に変えることになる。

研究の特色・位置づけ

$\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊の探索に必要な毎秒 10^8 程度の大強度 DC ミュオン粒子ビームは、スイスの PSI 研究所でしか得られない。本研究において実施する MEG 実験は、独創的で巧みな実験装置によって、世界で初めて大統一理論やニュートリノ質量が指し示す極微の分岐比まで測定を可能としたものであり、超高エネルギーの物理から期待される $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊分岐比に到達可能な世界唯一の実験となっている。その他関連研究では、原子核による $\mu \rightarrow e$ 転換を探索する実験を J-PARC で行う検討がされているが、まだ具体的な実験提案には至っていない。

その他の研究費の助成

研究代表者の森は、学術振興会・先端研究拠点事業「最強度 DC ミュオン粒子ビームを用いたレプトンフレーバー物理研究の国際的推進」(平成 17-18 年度) のコーディネーターであるが、これはレプトンフレーバーの物理研究の世界的拠点となる国際ネットワークの形成を目指すものであり、国際共同実験 MEG を実施する本研究とは異なる。

研究計画記載様式

平成17年度までの研究経過 (研究の進展状況、新たに得られた知見を記入してください。)

液体キセノンガンマ線検出器については、高計数率に対する性能と量子効率を改善した光電子増倍管を使って、PSI 研究所 π E5 ビームラインにおいて、プロトタイプ検出器による最終的なビーム試験を行った。これにより、エネルギー分解能に加えて時間分解能も十分に良い値が得られることを実証した。このビーム試験においては、さらに、実験で用いる予定の電子回路のプロトタイプを試用して、クロストークやノイズなどについて評価を行った。この結果を元にして、実際の実験までに電子回路に改良を加えていく。また、検出器から得られた波形シグナルをよく再現する検出器シミュレーションを開発し、これを用いてバックグラウンド事象とシグナル事象の選別効率に対する再評価を現在進めている。光電子増倍管については、低温でも高計数率下での動作に耐えるブリーダ回路を開発し、実験に向けて製作を開始した。現在までに予備分を除くかなりの数の光電子増倍管が納入されており、順次プロトタイプ検出器内に設置して、低温下での性能試験を行っている。これによって要求される性能を満たすもののみを検出器に用いる予定である。キセノンの純化に関しては、プロトタイプ検出器により、低温液体ポンプとモレキュラーシーブス純化カートリッジを組み合わせて、液相の状態でも高速に純化する方法を確立した。また、緊急時や検出器の保守時に液体キセノンを液体の状態でも保持するための貯蔵用真空断熱容器の製作を行った。以上の成果を踏まえ、最終デザインを決定して、キセノン検出器の製作を開始した。現在、検出器の真空断熱容器、光電子増倍管サポート、純化装置および真空系の製作・組立を行っている。また、液体キセノン検出器の較正を行うため、荷電交換反応で生成される中性 π 粒子から出るガンマ線をタグする測定器システムの開発も平行して進めている。

大強度ミュー粒子ビームラインについては、ロシアにおいて建設していたミュー粒子ビーム輸送ソレノイド電磁石が完成し、これによって陽電子スペクトロメータの入り口まで完成した。現在、静電セパレータに加えてビーム輸送ソレノイドも含めたビーム調整を進めているところである。中間結果によると、必要以上のビーム強度が得られることが期待されている。今後陽電子スペクトロメータ内にヘリウムバッグ等の設置を行い、ターゲット直前までのビーム調整を行う予定である。ミュー粒子静止ターゲットについては、具体的な設計を進めており、今年度後半に実装する予定である。また平行して、キセノン検出器に影響を及ぼす可能性のある中性子バックグラウンドを、ボナー球と ^3He カウンターを用いて測定し、ほぼ問題のないレベルであることを確認した。

陽電子スペクトロメータに関しては、COBRA 電磁石がビームラインに設置され、粒子検出器のない状態で磁場測定を行った。ドリフトチェンバーおよびタイミングカウンターは工学設計が終了し、既に本格的な製造が開始されている。今年度後半に COBRA 内に取り付けて試験を行う。

検出器の性能管理や較正、実験データの選別、および物理解析に必要なソフトウェアの開発も、モンテカルロシミュレーションやビーム試験で得られたデータを使って精力的に進めてきた。開発したソフトウェアを使い、これまでに得られたプロトタイプ検出器による試験結果などを総合して、最終的に実験で達成可能な物理に対する感度の再評価を現在行っている。また、実験で得られる非常に大量のデータを蓄積し高速に処理するために必要な計算機資源について最終検討を進めている。

領域略称名	ヒッグス超対称性	継続分の課題番号	16081205	研究機関名	東京大学	研究代表者氏名	森 俊則
-------	----------	----------	----------	-------	------	---------	------

研究計画記載様式

平成17年度までの研究の評価

当初に計画した研究目的、研究計画・方法に対し、どこまで達成されたか、また、研究遂行上に生じた学術上の問題点等について記入してください。
また、平成17年度に評価を受けた領域の総括班については、中間評価のコメントを記載し、それに対する対応について記入してください。

研究の発足と同時に実験装置の最終開発、設計、建設と順調に進めて来ており、本計画研究としては、ほぼ当初の計画通りに予定を達成、進行している。ただ、当初予期しなかった問題により、液体キセノン検出器の光電子増倍管に使用するブリーダー回路の最終設計が遅れたため、光電子増倍管の性能・較正試験の計画にやや遅れが出ている。

また、本研究はイタリア・スイス・ロシアおよび米国との国際共同研究であり、海外の共同研究者における計画遂行の遅れがあった。中でも、ロシアで建設したミュオン粒子輸送ソレノイド電磁石の納入が輸入手続きなどにより予定より3ヶ月遅れ、また、イタリアで製作中の真空断熱容器が入札の手続きや非磁性材料の入荷の遅れなどにより半年近く予定が遅れるなど、実験装置全体の最終的な integration の予定に大きな影響が出ている。平成17年度最後の四半期に加速器が停止されることもあり、全実験装置による総合的な engineering run は、平成18年度に持ち越される見込みである。ただし、平成18年度中に実験を開始する予定に変更はない。

これらの遅れの原因のほとんどは不可避なものであったが、今後は、国際共同実験全体の統轄責任者でもある研究代表者の森が、海外での進捗状況に更に注意を払い、海外の共同研究者とより密に連絡を取り合って対処して行く予定である。

研究計画記載様式

平成 18 年度以降の研究計画・方法

＜各年度の計画に分けて記入してください。また、I 及び II を区別するため、I を記入後は点線を引いて分けてください。＞

I. 研究目的を達成するための研究計画・方法について

①研究代表者・研究分担者の相互関係(役割分担状況)も含めて研究計画・方法を具体的に記入してください。また、②例えば、主要設備(現有設備を含む)との関連、旅費については調査予定地域や実施体制、また、謝金等については人数や支援の内容など、経費と研究計画との関連性についても記入してください。③「設備備品費」、「旅費」又は「謝金等」のいずれかが各年度の応募研究費の総額の 90%を超える場合には、これらの費用に重点をおかなければならない理由を記入してください。さらに、④海外共同研究者や科学研究費への応募資格を有しない企業の研究者等(公募要領 7 頁を参照)との共同研究を含む場合には、その必要性及びこれらの者とのように共同して研究を実施していくのかについて記入してください。

II. 生命倫理・安全対策等に関する留意事項（該当者のみ）

社会的コンセンサスが必要とされている研究、生命倫理・安全対策に対する取組が必要とされている研究など関連する法令等を遵守しなければ行うことができない研究を含む場合については、対策としてどのような措置を講じようとしているのか具体的に記入してください。

現在、平成 18 年度に向けて PSI での MEG 実験装置の設置を行い、検出器の総合的試験、エンジニアリングランを開始するべく精力的に実験準備が遂行されている。平成 18 年度には実験データの収集を開始し、平成 21 年度まで実験を遂行する。実験装置の運転保守、データ収集の遂行、データ解析結果による実験装置へのフィードバックを迅速に行うため、スタッフ・ポスドクおよび学生が常に数名 PSI に滞在する必要がある。

今までと同様、森は実験の代表者として海外共同研究者も含めた実験全体の指揮をとり統括する。本研究の研究者は従来どおり、COBRA 電磁石、液体キセノン検出器、ミュオン粒子ビームならびにターゲット、ソフトウェアを含むオンライン解析システムを担当する。陽電子飛跡検出器、陽電子飛行時間カウンター、トリガー、データ収集システムなどは、海外の共同研究者の担当であり、森の指揮の下緊密に連絡を取り合いスムーズに実験を遂行していく。特に実験データ収集開始直後はトリガー、データ収集システムに関して、バックグラウンドに対する様々な最適化が必要とされる。データの解析を迅速に行いその後の実験に反映させることが肝要である。データ解析は、森、大谷が統括し、全員で分担して行う。データ収集を行う際にはスイス側責任者の S. Ritt と協力して進める。

検出器較正はこの実験の成否を握っており、長期間にわたって定期的な較正を行いデータの質を常に監視する必要がある。このため研究支援者として 2 人を雇用してその任務に当たらせる予定である。液体キセノン検出器の較正には荷電交換反応により生成した中性パイ中間子を利用する方法、ならびに低エネルギー陽子ビームおよび中性子による励起軽原子核からのガンマ線を利用する方法の 2 つを使用する。

最後の 2 年間に偏極ミュオン粒子ビームを使用するべく準備を行う。これにより、角度分布から $\mu \rightarrow e\gamma$ への感度を上げ、また発見できたときには、 $\mu \rightarrow e\gamma$ の角度分布から背後にある新しい物理の対称性を探ることが可能となる。

平成 18 年度

- キセノン検出器の運転、液体キセノンの純化、現実の実験条件でのバックグラウンドの計測を行う（寺沢、春山）。
- データ収集を開始するにあたり検出器較正を行うための各種装置の設置作業を行う。結晶シンチレータ (NaI)、駆動装置、液体水素ターゲットの試験を終えた後、MEG 実験装置への組み込みを行い荷電交換反応のよるパイ中間子生成事象を利用した検出器較正を行う（三原）。
- バックグラウンドの詳細な検討を行いながら、本格的に実験を開始する(森他全員)。
- これら一連の作業と並行して偏極ミュオン粒子ターゲット、偏極度測定装置の開発を開始する（真木）。
- 年度後半のビーム停止期間中には検出器保守作業を行う。COBRA 超伝導電磁石用冷凍機の保守作業（大谷）、キセノン検出器光電子増倍管保守作業、キセノン純化装置保守作業(三原)、電子回路機器保守 (Ritt) が必要となる。これらの保守作業のためメタルガスカート、真空配管部品、電子回路部品等を必要とする。

平成 19 年度

- 引き続きデータ収集を続ける。バックグラウンドを見ながらビーム強度を可能な範囲で最大にする（森他全員）。
- データ量が急速に増えるため解析用計算機の増強が必要となる（大谷）。データ解析は PSI と東京の両方で行う。
- 平成 18 年度から開発を開始した偏極ミュオン粒子ターゲット、偏極度測定装置を COBRA 電磁石内部に組み込み試験を行う（真木）。前年度取得したデータの解析結果により、翌年度以降の偏極ミュオン粒子による測定計画を策定。
- 光電子増倍管、陽電子飛跡検出器用の波形計測用電子回路の更新を行い、電気信号ノイズの低減、検出器分解能の向上を目指す (Ritt)。
- ビーム停止期間中には前年度と同様検出器保守作業が必要となる。

平成 20 年度

- これまでに得られた解析結果に基づいて適宜な時期に偏極ミュオン粒子を使った実験を開始する（森、真木他全員）。
- さらにデータ量が増大し、また新しい波形計測用電子回路からの波形データを解析するため解析用計算機の増強が必要となる（大谷）。
- ビーム停止期間中には前年度までと同様検出器保守作業が必要となる。

平成 21 年度

- 12 月までデータ収集を行い、最終較正の後すべてのデータを用いた最終的な解析を行う。
- 研究をまとめ、成果発表を行う。

領域略称名	ヒッグス超対称性	継続分の課題番号	16081205	研究機関名	東京大学	研究代表者氏名	森 俊則
-------	----------	----------	----------	-------	------	---------	------

研究計画記載様式

当初計画との変更点

研究計画・方法、設備、及び主な研究経費等について、補助金の交付を受けた当初の内容と、これを変更する場合にはその変更点及びその理由を記入してください。

研究目的をより確実に達成するため、新たな研究分担者として、液体キセノン検出器や超伝導電磁石に関して世界的にも実績のある大谷、三原が加わった。

本研究は、スイス・イタリア・ロシアとの4カ国による国際共同実験であったが、本研究に参加を希望する海外の研究グループは多く、新たに米国のグループの参加を認めて、5カ国による国際共同実験となった。

実験の準備が進むに伴って、実験の運転・維持およびデータ解析に必要な費用が当初計画以上にかかることが分かり、それに合わせて物品費を1-2割増額した。一方で、PSI 研究所現地におけるサポートが予想以上に得られるようになったため、外国旅費をやや減額することが可能となり、全体の研究経費としては大きな変化はない。また、これによる研究計画の大きな変更はない。

研究成果の発表状況

この研究の成果に関して、学術誌等に発表した論文(著者名、論文名、学協会誌名、巻(号))、最初と最後のページ、発表年(西暦)、及び学会等における発表状況について記入してください。

学術誌等に発表した論文

- T.Haruyama et al. "Development of a high-power coaxial pulse-tube refrigerator for a liquid xenon calorimeter," Adv. Cryog. Eng. 49 1459-1466, 2004
- T.Doke, T.Haruyama, T.Mori, T.Terasawa et al. "Development of a liquid-xenon photon detector," Cryogenics, 44 223-228, 2004
- T.Doke, T.Haruyama, A.Maki, T.Mori, K.Terasawa, S.Yamashita et al. "Absorption of scintillation light in a 100L liquid xenon gamma-ray detector and expected detector performance" Nucl. Instr. and Meth. A545 753-764, 2005

学会発表

(国際会議)

T.Mori, "Liquid Xenon Scintillation Detector for the MEG Experiment," XeSAT2005, Tokyo, Japan, March 8-10, 2005.

(低温工学・超伝導学会)

- 春山富義他 「粒子検出用液体 Xenon システムの研究(12)－MEG 実験用液体キセノンポンプによる循環精製試験 -」 第 72 回 2005 年度春季低温工学・超伝導学会
- 久松康子、森俊則、春山富義他 「液体 Xe カロリメータ用光電子増倍管の低温における性能評価」 第 71 回 2004 年度終期低温工学・超伝導学会

(日本物理学会)

- 名取寛顕、森俊則他 「MEG 実験用液体キセノン検出器のキセノンの液相純化について」 2005 年日本物理学会秋期大会
 - 内山雄祐、森俊則他 「MEG 実験用液体キセノン検出器におけるデジタル波形処理を用いたパイルアップ事象の研究」 2005 年日本物理学会秋期大会
 - 西口創、森俊則他 「MEG 実験用低物質質量ドリフトチェンバーの実機製作」 2005 年日本物理学会秋期大会
 - 久松康子、森俊則他 「モンテカルロシミュレーションを用いた MEG 実験における muon radiative decays に関する考察」 2005 年日本物理学会秋期大会
- 他、第 60 回年次大会での発表 5 件、2004 年秋期大会での発表 4 件

研究計画記載

設備備品費の明細			消耗品費の明細				
[多数の図書、資料を購入する場合は「西洋中世政治史関係図書」のようにある程度、図書、資料の内容が判明するような表現で記入してください。]			[記入に当たっては特定領域研究研究計画調書（継続）作成・記入要領を参照してください。]				
年度	品名・仕様 (数量×単価) (設置機関)	金額	品名	金額			
18	偏極ミュオン粒子用偏極度測定装置 (1×5,000) (PSI 研究所)	5,000	結晶シンチレータ用光 センサー (APD)	15,000			
	ガンマ線検出器信号増幅器・1GHz (15×200) (PSI 研究所)	3,000	真空配管部品	6,000			
	キセノンガス精製装置・Mono Torr PS4 (1×2,000) (PSI 研究所)	2,000	電子回路部品	8,500			
	キセノンガス純化フィルタ・500slpm (1×1,000) (PSI 研究所)	1,000	メタルシール	5,500			
	計	11,000	計	35,000			
19	解析用サーバ計算機・10GFLOPS (3×2,000) (東京大学、PSI 研究所)	6,000	真空配管部品	6,000			
	大容量ストレージアレイ・20TB (2×2,500) (東京大学、PSI 研究所)	5,000	電子回路部品	8,500			
	計	11,000	メタルシール	5,500			
20	解析用サーバ計算機・10GFLOPS (3×2,000) (東京大学、PSI 研究所)	6,000	真空配管部品	6,000			
	光ディスクアーカイブ装置・30TB (2×2,000) (東京大学)	4,000	電子回路部品	8,500			
	計	10,000	メタルシール	5,500			
21	計算機 CPU アップグレード (5×400) (東京大学)	2,000	真空配管部品	3,500			
	高速ネットワーク機器一式 (イーサネットスイッチ、ネットワーク サーバ他)	2,000	電子回路部品	5,000			
	計	4,000	メタルシール	5,500			
領域略称名	ヒッグス超対 称性	継続分の 課題番号	16081205	研究 機関名	東京大学	研究代表 者氏名	森 俊則

究計画記載

旅費等の明細 <small>（記入に当たっては、特定領域研究研究計画調書作成・記入要領(継続)を参照してください。）</small>								
年度	国内旅費		外国旅費		謝金等		その他	
	事 項	金額	事 項	金額	事 項	金額	事 項	金額
1 8	調査・研究	700	調査・研究	17,500	研究補助	400	研究支援者雇用費	2,400
	成果発表	200	成果発表	500				
	計	900	計	18,000	計	400	計	2,400
1 9	調査・研究	700	調査・研究	17,500	研究補助	400	研究支援者雇用費	2,400
	成果発表	200	成果発表	500				
	計	900	計	18,000	計	400	計	2,400
2 0	調査・研究	700	調査・研究	17,500	研究補助	400	研究支援者雇用費	2,400
	成果発表	200	成果発表	500				
	計	900	計	18,000	計	400	計	2,400
2 1	調査・研究	500	調査・研究	14,000	研究補助	400	印刷費	300
	成果発表	400	成果発表	1,500				
							研究支援者雇用費	2,400
	計	900	計	15,500	計	400	計	2,900