

平成25年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文： ^{48}Ca の二重ベータ崩壊の研究 英文：Study for double beta decay of ^{48}Ca
研究代表者	大阪大学大学院理学研究科・教授・岸本忠史
参加研究者	(大阪大学核物理研究センター) 教授・能町正治、助教・梅原さおり、助教・飯田崇史、助教・中島恭平、技術補佐員・松岡健次、(大阪大学大学院理学研究科) 准教授・吉田斉、技術職員・鈴木耕拓、D3・角畑秀一、D3・坂雅幸、D2・王偉、D1・Van Thi Thu Trang、D1・Chan Wei Min、M2・土井原正明、M2・石川貴志、M2・田中大樹、M2・田中美穂、M1・太畑貴綺、M1・鉄野高之介、M1・前田剛、(福井大学工学研究科) 教授・玉川洋一、准教授・小川泉、M2・富田翔悟、M2・藤田剛志、M2・川村篤史、M2・原田知優、M1・犬飼裕司、M1・坂本康介、M1・吉澤真敦 (佐賀大学文化教育学部) 教授・大隅秀晃、(京都産業大学理学研究科) 教授・岡田憲志、(徳島大学大学院ソシオ・アーツ・アンド・サイエンス研究部) 准教授・伏見賢一、(大阪産業大学人間環境学部) 准教授・裕隆太、技術補佐員・中谷伸雄
研究成果概要	<p>ニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊の検証は、レプトン数の破れの検証を意味する。これは、宇宙がなぜ物質だけの世界になっているかを物理法則で説明するとき最も重要な実験になる。本研究では、^{48}Ca の二重ベータ崩壊の研究を、CaF_2 シンチレータ (メイン検出器) と液体シンチレータ (ベトー検出器) を用いた CANDLES システムを用いて進めている。</p> <p>本年度は、長時間測定における安定性の評価、および、検出器内部起源バックグラウンドの解析的除去率の評価を行った。また、検出器外部起源バックグラウンド候補の調査を行い、実際の低バックグラウンド測定で得られるデータと比較評価を行った。さらに、バックグラウンド除去効率を改善するために、光電子増倍管の信号読み出し回路の改善をすすめるとともに、CANDLES III の CaF_2 シンチレータの発光性能を向上させるため、冷却システムの導入を行った。それぞれについて下記に述べる。</p> <ul style="list-style-type: none">・安定性の確認： 長期測定に向けて、実験データの安定性の確認を行った。CANDLES III システムでは、定期的に ^{88}Y 線源を用いたエネルギー較正を行っている。一方、我々が用いる CaF_2 シンチレーション結晶の発光量は、温度に依存することが知られている。そのため、通常測定時のデータは、α 線ピークを用いて、温度に依存したゲイン変動を補正した。結果として、長期測定中のゲイン変動を0.5%以内に抑えることに成功した。・検出器内部起源バックグラウンド事象の解析的除去率の評価： CANDLESにおけるバックグラウンド候補 (検出器内部起源) となる事象は2つある。

一つは $^{212}\text{Bi} \rightarrow ^{212}\text{Po}$ による連続崩壊、もう一つは ^{208}Tl 崩壊である。本年度は、現行CANDLESシステムにおける、連続崩壊、 ^{208}Tl 崩壊の除去率の評価を行った。連続信号除去は波形解析によって、 ^{208}Tl 信号除去は波形解析および、時間・位置相関解析を行うことで行った。結果として、連続崩壊は99%の除去、 ^{208}Tl 事象は50%の除去を実現した。

・検出器外部起源バックグラウンドの調査：

検出器外部起源バックグラウンド候補として、中性子起源の事象があげられる。本バックグラウンド量を見積もるために、 ^{252}Cf を用いて中性子線源データを収集した。収集したデータとGEANT4を用いたシミュレーションから、 ^{48}Ca の $Q_{\beta\beta}$ 領域のバックグラウンドとして、中性子捕獲で放出される γ 線の寄与があることを確認した。

・信号読み出し系の改善：

^{208}Tl 崩壊の除去率を向上させるためにDAQの高速化の開発を進めた。段階的に高速化するために、25年度には読み出しハードウェアのシステム変更を行った。これによって、読み出しは、これまでの3倍速度で読み出せるようになった。

・冷却システム

CANDLES IIIシステムに用いている CaF_2 シンチレーション結晶は、冷却することで発光量が増加することがわかっている。実際、我々は小型システムを用いて光量の増加を確認した。さらに、CANDLES IIIシステムに、冷却かつ温度を安定化することで、光量を増加させるとともにゲインを一定化させるためのシステムを導入した。

今後、CANDLESシステムを用いてマヨラナニュートリノ質量 0.5eV の検証を、さらなる検出器の高感度化によって、 0.1eV 以下の領域の検証の実現性評価を進める予定である。

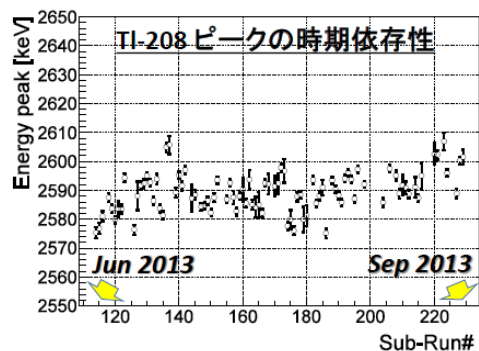


図1：長期測定に向けた安定測定の状態。 ^{208}Tl の γ 線ピーク位置を用いて評価した。結果として、長期測定中のゲイン変動を0.5%以内に抑えることに成功した。

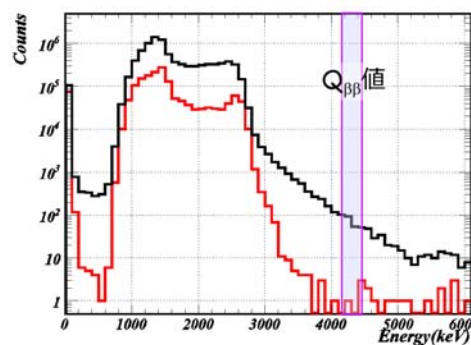


図2：バックグラウンド信号除去の結果、得られたエネルギースペクトル。測定時間は4週間。 $Q_{\beta\beta}$ 領域に4事象を観測した。シミュレーションの結果、観測事象の大部分が、中性子捕獲で放出される γ 線によることが突き止められた。