

令和 3 年度 (2021) 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 of double beta decay of ^{48}Ca
研究代表者	(大阪大学核物理研究センター)梅原さおり
参加研究者	(大阪大学核物理研究センター) 能町正治、岸本忠史、南雄人、松岡健次、瀧平勇吉、吉田朋美、三好剛、(大阪大学大学院理学研究科) 吉田斉、原田卓明、山本朝陽、阪井俊樹、吉岡篤志、湯田秀明、白井竜太 (福井大学学術研究院工学系部門) 玉川洋一、橋本明弘、小川泉、中島恭平、戸澤理司、(筑波大学) 飯田崇史、(徳島大学大学院社会産業理工学研究部) 伏見賢一、岸田有美子、坂上陽俊 (大阪産業大学デザイン工学部) 裕隆太、Anawat Rittirong、(佐賀大学教育学部) 大隅秀晃、(若狭湾エネルギー研究センター) 鈴木耕拓、(東京大学宇宙線研究所) 竹本康浩
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時に、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 300kg) 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。また、次世代検出器として ^{48}Ca 濃縮と CaF_2 蛍光熱量検出器の開発を進めている。</p> <p>2021 年度は、神岡施設において CANDLES システムの二重ベータ崩壊測定を行った 131 日間のデータを解析した。収集したデータに対して、下記の信号をバックグラウンドとして除去した。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 液体シンチレータでエネルギーデポジットした信号 2) 結晶内部の放射性不純物による $^{212}\text{Bi} \rightarrow ^{212}\text{Po}$ (半減期 0.3μsec) の連続信号の候補事象 3) 結晶内部の放射性不純物による ^{208}Tl 信号の候補事象 4) 発光位置が CaF_2 結晶の位置ではない信号 <p>1)、2) 4) の信号を除去したときの二重ベータ崩壊信号に対する検出効率は 0.709、また、3) の解析をしたときの検出効率は 0.761 (高純度結晶 21 個を使用した場合) であった。これらの解析を行った結果、高純度結晶 21 個を使用した結果では、Q 値領域でのバックグラウンドのない測定を実現した (図 1 参照)。この結果を用いて、^{48}Ca のニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊の半減期として 5.6×10^{22} 年の下限値を得た。これは測定時間が 4 か月と短いにも関わらず、先行する ^{48}Ca の二重ベータ崩壊測定と同程度の結果であった。また、バックグラウンド源の見積もりをした結果を図 2 に示す。</p>

これは、結晶内部に含まれる放射性不純物が比較的多い結晶も含めたエネルギースペクトルである。結晶内部に含まれる放射性不純物量から見積もられるバックグラウンドスペクトルを青線で記載している。結果、主なバックグラウンド源は、結晶内部に含まれる放射性不純物であることが分かった（図2参照）。したがって、より高純度 CaF_2 結晶を用いることで、さらに高感度測定を実現できることが分かった。一方、この結果から、CANDLESIII 装置のバックグラウンドレベルは 10^{-3} 事象/keV/年/(kg of nat. Ca)と、世界の他の次世代二重ベータ崩壊測定装置と比較して同等、もしくはそれ以下の超低バックグラウンドを実現していることが分かった[1]。

今後さらに測定を継続し半減期下限値を更新する一方、さらに高感度の検出器開発を進め、マヨラナ性検証を実現する。

参考文献：

1] CANDLES Collaboration、Phys. Rev. D 103(2021)092008

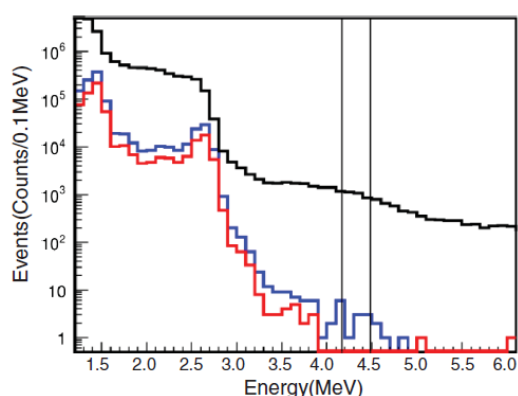


図1：高純度結晶を用いた二重ベータ崩壊測定結果。黒線はすべての事象、青線は、本文中に記載の事象1) 2)を除去したスペクトル、赤線は、1) 2) 3) 4)のバックグラウンド除去の後のエネルギースペクトルである。Q値領域に事象が観測されていないことがわかる。

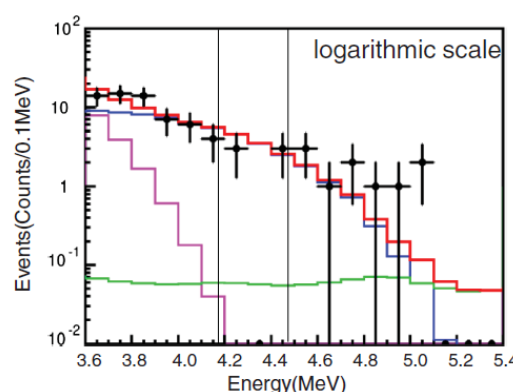


図2：全結晶を用いたエネルギースペクトル。赤線は見積もられる全バックグラウンド事象、青線は結晶内部の不純物によるバックグラウンド事象、マゼンタはニュートリノを放出する二重ベータ崩壊事象、緑は中性子捕獲から放出されたガンマ線事象、を示している。Q値付近では、結晶内部の放射性不純物からのバックグラウンド事象が多いことがわかる。