

令和 4 年度 (2022) 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：48Ca の二重ベータ崩壊の研究 英文：Study of double beta decay of 48Ca
研究代表者	梅原さおり（大阪大学核物理研究センター）
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、Anawat Rittirong、瀧平勇吉、松岡健次、（大阪大学理学研究科）吉田斉、阪井俊樹、吉岡篤志、三好剛、（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、戸澤理詞、平岩侑、村松佳樹、丹羽雄大、中島諄也、祐伯蓮、（筑波大学数理物質系物理学域）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、（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研究開発部）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 ($0\nu\beta\beta$) 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説明する際に重要な実験になる。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（ベータ検出器）を用いた CANDLES-III 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>CANDLES-III での測定の主なバックグラウンド事象には下記の二つがある[1]。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 結晶内部の放射性不純物による $^{212}\text{Bi}\rightarrow^{212}\text{Po}$(半減期 0.3$\mu\text{sec}$)の連続信号 2) 結晶内部の放射性不純物による ^{208}Tl 信号 <p>本年は、それぞれの事象の解析的除去法を開発した。それぞれについて下記に述べる。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 結晶内部の放射性不純物による $^{212}\text{Bi}\rightarrow^{212}\text{Po}$(半減期 0.3$\mu\text{sec}$)の連続信号 <p>これまでのパイルアップ波形フィッティングによる $^{212}\text{Bi}^{212}\text{Po}$ 事象識別に加えて、新たに機械学習解析を導入した。その結果を図 1 に示す。ここでは、人工的に作成したパイルアップ事象に対して機械学習解析を導入し、時間差を判定している。縦軸が $^{212}\text{Bi}^{212}\text{Po}$ 事象の除去効率、横軸は事象の時間差を示している。機械学習解析の結果、2 事象の全エネルギーが 3MeV 領域と低い場合、時間差が 1ch(2nsec)の事象の判定効率は 85%以下とやや低いが、$0\nu\beta\beta$事象のエネルギー領域である 4MeV 以上の領域では、時間差が 1ch(2nsec)の $^{212}\text{Bi}^{212}\text{Po}$ 事象除去効率を 99%以上と十分に改善することができた。</p> <ol style="list-style-type: none"> 2) 結晶内部の放射性不純物による ^{208}Tl 信号 <p>^{208}Tl 信号は、$^{212}\text{Bi}\rightarrow^{208}\text{Tl}$(半減期 3 分)と連続して起こるため、先行の $^{212}\text{Bi}\alpha$崩壊事象</p>

を同定することで識別できる。この ^{212}Bi と ^{208}Tl 事象のペアを多くの偶然発生事象からより正確に選別する必要がある。そのために、 ^{212}Bi と ^{208}Tl の事象の再構成位置の距離 (ΔR) と偶然発生事象の二つの事象の再構成位置の距離を調べた。その結果を図 2 に示す。a) (上図) は ^{212}Bi 事象と ^{208}Tl 事象の再構成位置が同一結晶でなかった場合の 2 事象の再構成された距離 ΔR のシミュレーション結果を示す。偶然発生事象の場合は、となりの CaF_2 結晶に相当する位置に分布するが、 ^{208}Tl 事象の場合は、 ΔR が近いことを示している。この違いを利用し、 $\Delta R < 90$ を ^{208}Tl と判定することで 95% 以上を除去できる見込みであることが分かった。

今後この 2 手法を二重ベータ崩壊測定解析に導入する。

[1] 南雄人、「CANDLES におけるニュートリノを出さない二重ベータ崩壊のための研究」; 阪井俊樹、「CANDLES 実験による二重ベータ崩壊の研究における機械学習を用いた波形解析によるバックグラウンド除去の評価」; 三好剛、「CANDLES 実験におけるバックグラウンド事象低減のための MC シミュレーション開発」; 吉岡篤志、「CANDLES 実験における ^{208}Tl 背景事象除去の為に波形弁別の改善」、日本物理学会 2023 年春季大会、2023 年 3 月

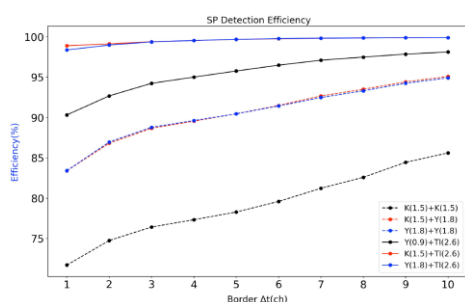


図 1 : $^{212}\text{Bi}^{212}\text{Po}$ 事象の除去効率。横軸はカットする時間差を示している。 $0\nu\beta\beta$ 事象エネルギー領域である 4MeV 以上の事象において、時間差が $1\text{ch}(2\text{nsec})$ 以上と判定された事象を除去することで、 $^{212}\text{Bi}^{212}\text{Po}$ 事象除去効率が 99% 以上になることを示している。

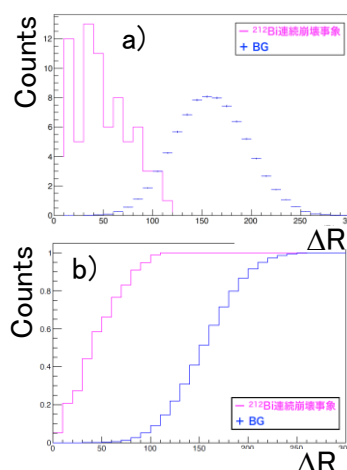


図 2 : a) (上図) 2 事象の再興された位置距離。 ^{212}Bi 事象と ^{208}Tl 事象の再構成位置が同一結晶ではなかった場合の 2 事象の再構成された位置距離をピンクで示している。b) (下図) 2 事象の位置距離で事象選別した場合の選別効率。 CaF_2 結晶の場合、 90mm 位置でカットすることで対象エネルギー領域の ^{208}Tl の 95% 以上が除去されることを示している。