



Title	Background Reduction Techniques for Neutrinoless Double Beta Decay Search at CANDLES Experiment
Author(s)	Batpurev, Temuge
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/76363">https://doi.org/10.18910/76363</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## Abstract of Thesis

Name ( Batpurev Temuge )	
Title	<b>Background Reduction Techniques for Neutrinoless Double Beta Decay Search at CANDLES Experiment</b> <b>(CANDLES実験でのニュートリノレス二重ベータ崩壊探索のためのバックグラウンド除去方法の開発)</b>
<p>The neutrinoless double beta decay(<math>0\nu\beta\beta</math>) is a currently unobserved decay in which two neutrons simultaneously decay into two protons and two electrons without any emitted neutrinos. This is a lepton number violating decay and it is only allowed if the neutrino is a Majorana type particle. Thus the observation of <math>0\nu\beta\beta</math> confirms the Majorana nature of the neutrino as well as provide clues to leptogenesis and the absolute mass scale of the neutrino. The expected half-life of the decay is on the order of <math>10^{27}</math> years.</p> <p>The CANDLES(CAlcium fluoride for studies of Neutrino and Dark matters by Low Energy Spectrometer) experiment is looking for <math>0\nu\beta\beta</math> using <math>^{48}\text{Ca}</math> isotope contained in scintillating <math>\text{CaF}_2</math> crystals. Because the natural abundance of <math>^{48}\text{Ca}</math> is about 0.2%, an extremely low background detector is required to observe <math>0\nu\beta\beta</math>.</p> <p>The main source of background in the <math>0\nu\beta\beta</math> signal energy region comes from the decay of <math>^{212}\text{Bi}</math>, which is a natural background occurring due to contamination of the <math>\text{CaF}_2</math> crystals. The <math>^{212}\text{Bi}</math> has an <math>\alpha</math> and <math>\beta</math> decay channels, both of which deposit backgrounds in the Q value region of <math>0\nu\beta\beta</math>. In this study, two new methods were developed to reduce the backgrounds from these decay channels. Of interest is the application of neural network method for physics data analysis. The neural network developed in this study is shown to improve background rejection efficiency over traditional methods. The new methods were used to reject backgrounds with good efficiency and the remaining background counts were estimated.</p>	

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( Temuge Batpurev )	
	(職) 氏 名
論文審査担当者	主 査 教授 川畑 貴裕
	副 査 教授 山中 卓
	副 査 教授 能町 正治
	副 査 特任教授 岸本 忠史
	副 査 准教授 梅原 さおり
	副 査 准教授 吉田 斉
<b>論文審査の結果の要旨</b>	
<p>近年のニュートリノ研究から、ニュートリノの素粒子的性質が解明されつつあるが、質量の絶対値やその起源、およびニュートリノだけがなぜ微小な質量を持つのかなど未解明な基本的性質が多く残されている。ニュートリノレス二重ベータ (<math>0\nu\beta\beta</math>) 崩壊探索は、それらの謎に迫ることができ、ニュートリノの基本性質を解明するうえで極めて重要な研究と位置づけられている。この <math>0\nu\beta\beta</math> 崩壊は、理論的には <math>10^{27}</math>年以上の半減期が予想されており、探索には大容量の崩壊核種と、極低バックグラウンド観測が絶対条件である。</p> <p>本論文は、神岡地下実験施設に設置された CANDLE-III 検出器を使用して <math>0\nu\beta\beta</math> 崩壊を行う研究において、Q 値 (4.27MeV) 領域における主要なバックグラウンドである、CaF<sub>2</sub> 結晶内の <sup>212</sup>Bi ( <sup>232</sup>Th の娘核種 ) の崩壊事象の同定を高効率で行うための解析手法の開発を行っている。</p> <p>CANDLE-III 検出器は、96 個の CaF<sub>2</sub> シンチレーション結晶(10cm 立方体)を液体シンチレータに沈め、両方のシンチレーション光を周囲に配置した 62 本の光電子増倍管 (PMT) で検出している。1 つ目の主要バックグラウンドである <sup>212</sup>Bi→<sup>212</sup>Po→<sup>208</sup>Pb の崩壊は、連続的に β 崩壊と α 崩壊が発生する。この連続崩壊の半減期 (<sup>212</sup>Po の半減期) は 299 nsec であり、これまでの解析では、PMT の信号波形から、信号の時間差が 20nsec 以上で、かつ後半の信号が α 線による信号 (短時定数の信号成分の存在と、単色エネルギー) であるという条件を満たす場合に除去してきた。20nsec 以下の時間差の信号は、連続崩壊だと認識できず、多くがバックグラウンドとして事象候補に残っていた。学位申請者は、この連続する 2 崩壊の短時間差事象を、ニューラルネットワークを実装した機械学習プログラムの解析手法を確立することで、高確率で同定し、4nsec の時間差の信号に対して 95%の確率で同定することに成功している。これまでの解析手法で同程度の効率を達成していたのは 38nsec の時間差であるため、飛躍的な改善を達成したことになる。2 つ目の主要バックグラウンドである <sup>208</sup>Tl の β 崩壊事象の同定においても新しい解析手法を開発している。<sup>208</sup>Tl の崩壊は、<sup>212</sup>Bi→<sup>208</sup>Tl→<sup>208</sup>Pb と崩壊し、<sup>212</sup>Bi→<sup>208</sup>Tl の α 崩壊が、半減期にして 3 分前に起こっている。これまでの解析はこの先行 α 信号を検出することで、<sup>208</sup>Tl 崩壊信号の同定を行ってきた。しかし、<sup>208</sup>Tl の β 崩壊は、100%の確率で 2.61MeV の γ 線を発生するため、96 個配置された CaF<sub>2</sub> 結晶の 1 結晶から容易に逸脱して他の結晶で発行を起こす。同定の条件として、同一結晶での α 線事象測定を条件とする旧来の解析手法では、<sup>208</sup>Tl 崩壊の複数結晶発光事象を除去できない。学位申請者は、62 本の PMT の光量比分布を利用して、複数結晶発光事象と単一結晶事象を分離する解析手法を確立し、新たに複数結晶発光事象を同定し、バックグラウンドとして高効率で除去する手法を確立した。</p> <p>この結果は <sup>48</sup>Ca の <math>0\nu\beta\beta</math> 崩壊を研究する上で、CANDLE-III 検出器が極低バックグラウンドを実現するための新しいデータ解析ツールとして機械学習によるプログラムが、極めて有効であることを初めて示し、今後の高感度観測実現に大きな貢献をしている。</p> <p>以上のことから、本論文は博士 (理学) の学位論文として十分価値あるものと認める。</p>	