The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Search for Neutrinoless Double Beta Decay in 48Ca with the CANDLESIII experiment
Author(s)	太畑, 貴綺
Citation	大阪大学, 2018, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/69325
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　　太畑　貴綺　　）	
論文題名	Search for Neutrinoless Double Beta Decay in ^{48}Ca with the CANDLESⅢ experiment (CANDLESⅢ実験における^{48}Caを用いたニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊の探索)

論文内容の要旨

ニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊（0νββ）はレプトン数非保存の過程であるために、ニュートリノのマヨラナ性を示すことができる。我々の宇宙が物質優勢であることを理解する手がかりとなる。さらに、崩壊の半減期はニュートリノ質量の絶対値を与える。

この崩壊は非常に稀な現象であるため、観測するには大量の0νββ崩壊、低バックグラウンド技術と高エネルギー分解能が要求される。実験において、バックグラウンド除去は非常に重要である、^{48}CaはQ値が0νββ崩壊核の中で最大の4.3 MeVであり、それは環境放射線より高いエネルギーの為、低バックグラウンドの測定が期待される。我々はこの利点を利用し、バックグラウンドフリー測定を目指している。

CANDLESⅢ実験は2016年6月から神岡地下実験室で測定を開始した。中性子捕獲反応によるγ線が主なバックグラウンドであったため、それらを遮蔽するために検出器のシールドを増強した。現在、中性子捕獲反応によるγ線は無視できるレベルまで低減できた。次に問題となるバックグラウンドはCaF_2結晶に含まれる^{232}Th系列の不純物である。中でも^{212}Bi-Po連続崩壊、^{208}Tlのβ崩壊が問題となる。^{212}Bi-Poは半減期が0.3 μsecとCaF_2結晶の時定数1 μsecより短い。その為、β線とα線の波形が重なり合い、一つの事象として観測される。全エネルギーは約5 MeVとなり、Q値に到達する。^{212}Bi-Po連続崩壊は二つの波形が重なり合うという特徴を用いて、解析的に除去している。^{208}Tlのβ崩壊はQ値が5.0 MeVとなり、Q値のバックグランドとなる。^{208}Tl事象は遅延同時解析で除去している。親核である^{212}Biのα線を検出し、検出した結晶内の事象を半減期の3分よりも十分長い、18分間ベトーすることで除去している

期待されるバックグランド数をモンテカルロシミュレーションを用いて評価し、^{48}Caを用いた0νββ崩壊の新しい制限をつけた。93個の結晶を用いて得られた制限は、$T_{1/2} > 0.33 \times 10^{23}$ yr (90% C.L.) であり、26個の不純物の少ないきれいな結晶を用いて得られた制限は、$T_{1/2} > 1.08 \times 10^{23}$ yr (90% C.L.) となる。26個のきれいな結晶を選択した場合、バックグランドフリー測定を達成し、^{48}Caを用いた0νββ崩壊の一番良い制限をつけることができた。

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　太畑貴綺　）			
論文審査担当者		（職）	氏　名
	主 査	教授	岸本忠史
	副 査	教授	久野良孝
	副 査	教授	能町正治
	副 査	准教授	吉田斉
	副 査	准教授	嶋達志
	副 査	助教	飯田崇史

論文審査の結果の要旨

CANDLES は CaF2 結晶をシンチレーターとして用いて、48Ca のニュートリノを放出しない二重ベータ崩壊(0νββ)を探索する一連の実験である。0νββ の観測はレプトン数の破れを証明し、宇宙が物質だけの世界になる（反物質が消え去る）物理法則を検証する鍵と考えられている。神岡地下実験室に CANDLES III が建設され、現在観測が進められている。非常に稀な現象を探索する CANDLES 実験では、バックグランド(BG)が研究の感度の限界を決め、その低減が研究の成否を決定する。その為には BG の起源を理解する必要がある。本研究は現在の実験で観測されている BG の起源を特定し、それを低減する方法を明らかにすることで研究の限界を取り去り、更に高い感度での観測を可能にすることにある。

48Ca は二重ベータ崩壊核の中で最大の Q 値(4.27 MeV)を持つため、BG の影響を受けにくく、その起源は限られている。Q 値の辺りでの BG としては環境中性子が発生する(n,γ)反応起源の BG が大きな寄与をしていたことが今までの研究で明らかになり、鉛によるγ線とホウ素のシートによる中性子の遮蔽を組み合わせることによって大きく低減させた。現在は、CaF2 結晶に含まれるトリウム系列の放射性原子核が最大の BG になり、更なる高感度の測定にはこの低減が不可欠であることが明らかになった。本論文は、遮蔽後に明らかになった結晶内起源の BG を低減する為の解析方法の開発と、それを実際に神岡地下で観測されたデータに適用して行った解析の報告である。

自然に存在する放射線の最大エネルギーはγ線で 2.6MeV、β線で 3.3MeV で、Q 値はそれらより高いので、BG にならないが、トリウム系列の中の 212Bi→212Po(0.3μ秒)→208Pb のβα崩壊と 212Bi→208Tl(3 分)→208Pb のα崩壊に続くβγ崩壊はそれぞれ 2 つの崩壊の和のエネルギーが観測されることで Q 値近傍に BG を作る。これらが実験の感度向上の最大の障害になっていた。
そこで、申請者は 0.3μ秒の寿命のβα崩壊に関してはβとαが 20 ナノ秒以上離れているイベントは 2 重パルスを同定することで排除した。時間差がそれ以下で分離できないイベントはパルス波形がα崩壊的かβ崩壊的かを判断するχ2 検定法を適用することで排除した。一方で、寿命 3 分の 208Tl のβγ崩壊に関してはパルス波形による弁別が不可能であるので、先行するα粒子を同定することで排除する方法を開発した。特に先行するα粒子は 18 分の長時間ベトーするので、偶然同時係数による検出効率の低下が大きな問題となる。αの検出効率を最適化し、さらに超低 BG 結晶を選ぶことで、BG フリー観測を実現した。この結果 48Ca に関して世界で最も厳しい寿命の下限値を得ることが出来た。

この結果は 48Ca のニュートリノレス二重ベータ崩壊を研究する上で、大きな一歩と言える。
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。