

ニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊探索のための Gdを含んだ結晶の性能評価

東京大学 横山・中島研 修士1年 正木結太

共同研究者：東大理、東北大 NIH^A, 東北大金研^B, 阪大レーザー研^C, 東大宇宙線研^D, 東北大 RCNS^E
中島康博, 林崎響, 水野裕介, 室朝喜, 黒沢俊介^{A,B,C}, 山路晃広^{B,C}, 関谷洋之^D, 細川佳志^E, 市村晃一^E

Introduction

ニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊の探索がさまざまな核種で行われており、¹⁶⁰Gdも二重ベータ崩壊核の候補

探索実験ではバックグラウンドによる制限
ウクライナでGSO結晶を用いて行われた先行研究^[1]での不純物量

U系列：0.3 mBq/kg, Th系列：2.3mBq/kg

SK-Gdのために開発した硫酸ガドリニウムは1桁程度高純度

(どちらの系列でも0.05mBq/kg以下)

先行研究より高純度なGd結晶を開発し探索実験に利用したい

マヨラナ粒子

反粒子と粒子が同一であるもの

ニュートリノがマヨラナ粒子→標準模型を超える物理

バリオン数の破れなど解決する可能性

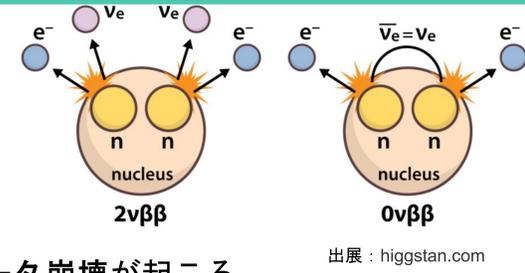
二重ベータ崩壊

原子核内の2つの中性子が

2つの陽子へと崩壊する反応

ニュートリノがマヨラナ粒子なら

ニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊が起こる



GPS

オキサイド社から購入

Ce添加Gd₂Si₂O₇

優れたエネルギー分解能

高い蛍光出力

(GSO：先行実験で用いられていた素材)

本実験では10mm角の結晶を使用

実験で用いたGPS



株式会社オキサイド ホームページより

	GPS	GSO
蛍光出力 (NaI=100)	~140	20
減衰時間 (ns)	50~130	30~60
エネルギー分解能 (¹³⁷ Cs, %)	5~7	8~10
密度 (g/cm ³)	5.5	6.7
吸湿潮解性	無	無
自己放射	無	無

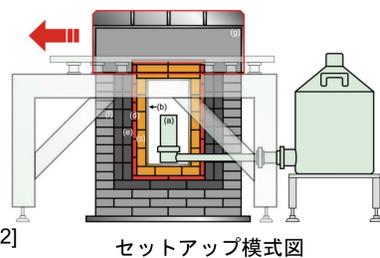
Ge検出器での測定

神岡地下実験施設にあるGe検出器で測定

結晶試料はシールドで囲まれている

半導体検出器はエネルギー分解能に優れる

核種由来のγ線スペクトルから放射能を評価^[2]



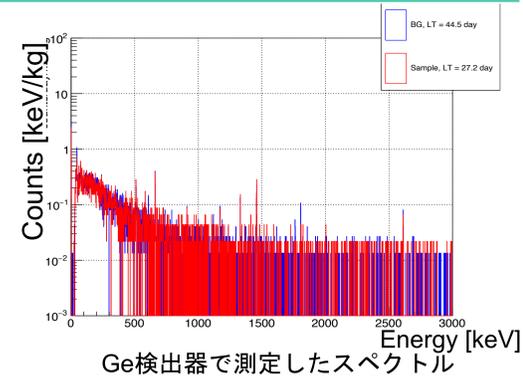
U系列(Middle U-chain) :

< 23.76 [mBq/kg]

Th系列 : < 37.71 [mBq/kg]

以上のような上限値を得た

より小さい放射線量を評価したい



遅延同時計数

²¹⁴Bi→²¹⁴Po→²¹⁰Pbのような中間核種の半減期が短い連続崩壊を計数(²¹⁴Po: 164.3μs)

放射平衡を仮定し、連続崩壊が含まれる系列の放射性不純物量を計算できる

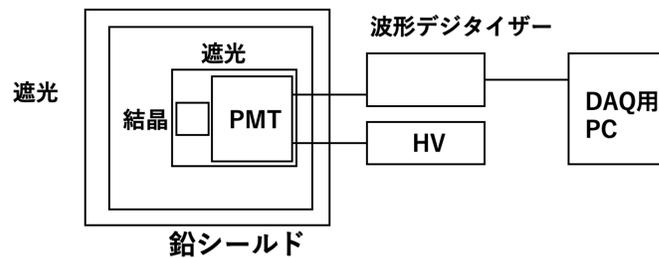
計数結果をフィッティングし、積分することでイベント数を計算

今回の測定での対象

U系列, Middle U-chain : ²¹⁴Bi → ²¹⁴Po (半減期 1.64μs) → ²¹⁰Pb

Th系列 : ²¹²Bi → ²¹²Po (半減期 300ns) → ²⁰⁸Pb

セットアップ



結晶のシンチレーション光をPMTで集光

波形デジタルで記録

波形から時間差やエネルギーの情報を計算する

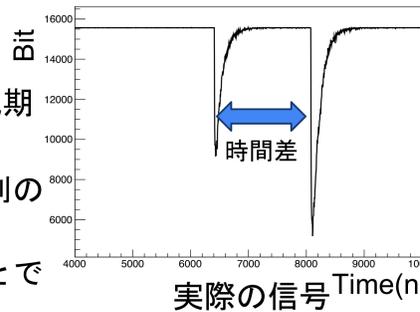
測定時間：860時間

使用したPMT：浜松ホトニクス社、H11934-300

光電面30mm四方、増幅率1.2×10⁶

デジタル：250MS/s、14Bit

信号：4ns刻み、163830点 → 信号長：約660μs



結果

連続崩壊の最初の信号と次の信号間の時間差分布を計算、フィット

フィッティング関数：f(x)=A exp(-x/B) + C

Bは崩壊の時定数 (例：²¹⁴Bi → ²¹⁴Po → ²¹⁰Pbで1.64μs/log2 = 2.37μs)

CはペDESTAL、十分大きい時間差の部分から計算

フィッティング結果から関数を積分、連続崩壊のイベント数を計算

U系列

A : 2.54 ± 1.37

イベント数 : 30.1 ± 16.2

不純物量 :

1.77 ± 0.95 [mBq/kg]

Th系列

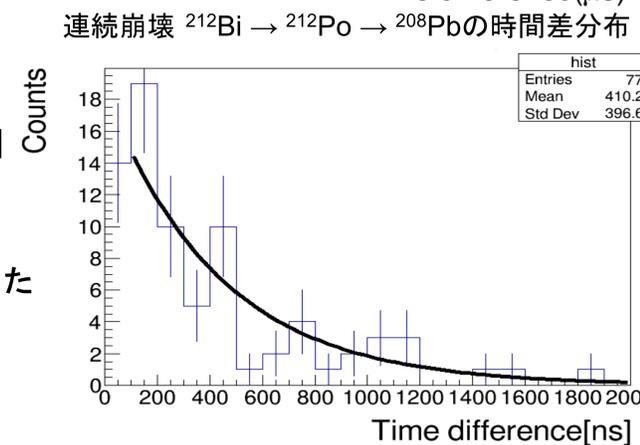
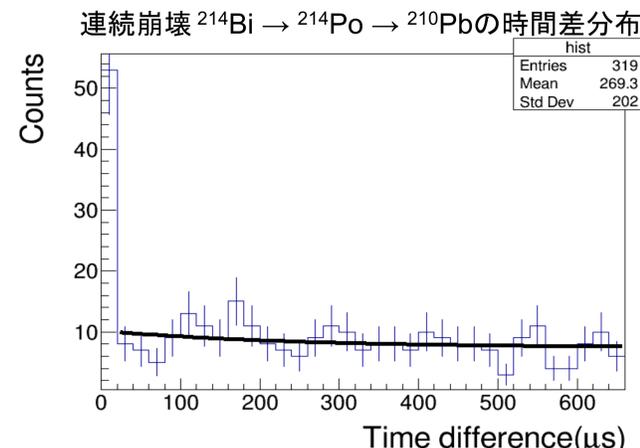
A : 18.6 ± 2.7

イベント数 : 80.4 ± 11.7

不純物量 :

4.71 ± 0.68 [mBq/kg]

どちらの系列においても
有意な含有量を測定できた



まとめ

二重ベータ崩壊探索実験のために高純度Gd結晶が必要

オキサイド社からGPS結晶を購入、複数の手法で不純物量を評価

現時点で先行研究と同程度のオーダーの不純物量が得られている

展望

不純物の由来を特定し、さらなる高純度化を目指す

α線とβ線の波形弁別を試し、可能なら適用

他の種類のGd結晶 (GAGG) についても性能評価中

測定方法	U系列 [mBq/kg]	Th系列[mBq/kg]
先行研究	0.271 ± 0.004	2.287 ± 0.013
Ge検出器	< 23.76	< 37.71
遅延同時計数	1.77 ± 0.95	4.71 ± 0.68

参考文献

[1] F. A. Danevech et al, Quest for double beta decay of ¹⁶⁰Gd and Ce isotopes, Nuclear Physics A 694 (2001) 375-391

[2] K Ichimura et al, Development of a low-background HPGe detector at Kamioka Observatory, Progress of Theoretical and Experimental Physics, Volume 2023, Issue 12, December 2023, 123H01

2025/3/7-8 第10回「極低放射能技術」研究会