

180mTa半減期の測定

野田健太^A、安田圭吾^A、高草元^A、佐久間幹人^A、吉田齊^B、梅原さおり^C
 大阪大学 理学部物理学科^A 大阪大学 理学研究科 物理学専攻^B 大阪大学 RCNP^C

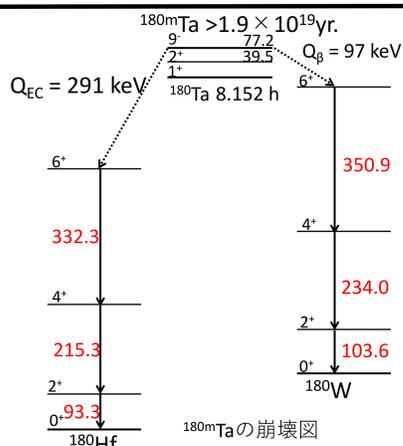
1. Introduction

180mTaの特徴

- 核異性体でありながら長い半減期を持つ
 $T_{1/2} > 1.9 \times 10^{19}(\text{yr.})$ [1]
- 天然存在比がかなり小さい
 $^{180\text{m}}\text{Ta} : ^{181}\text{Ta} = 0.012 : 99.988$
- 半減期の測定はとても重要

[1] I.J.Arnquist et. al., Phys. Rev. Lett.131,152501(2023)

大質量の天然Ta試料を用意しHPGe検出器を囲う

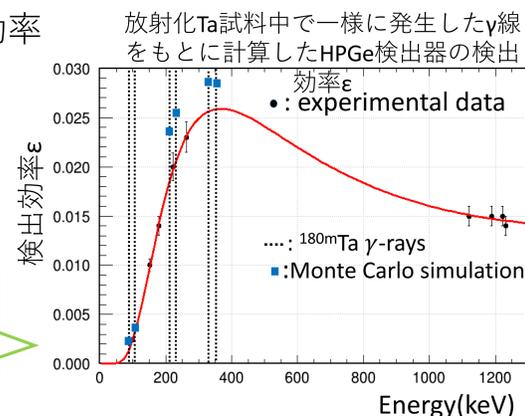


放射化Taを用いての検出効率の評価

$$\epsilon(E) = A \exp\left(\sum_{i=0}^3 a_i \left(\ln\left(\frac{E}{E_0}\right)\right)^i\right)$$

A, E_0, a_i : フィッティングパラメータ

- Ta試料での減衰
- 幾何学的な条件(立体角)も同一
- γ 線放出確率含まず



半減期の測定方法

HPGeを用いての180mTaの測定

- 長時間にわたる測定 T
- エネルギー高分解能
- 測定できた γ 線の数 N_{count}



HPGe検出器の内部構造の解明

検出効率 ϵ

波形解析によるBG低減

$$T_{1/2} = \frac{I_{\gamma} \cdot \ln 2 \cdot N_0 \cdot \epsilon \cdot T}{N_{\text{count}}}$$

N_0 : $^{180\text{m}}\text{Ta}$ 原子の数
 I_{γ} : γ 線の放出確率

2. 実験方法とその結果

実験環境とHPGe検出器の内部構造

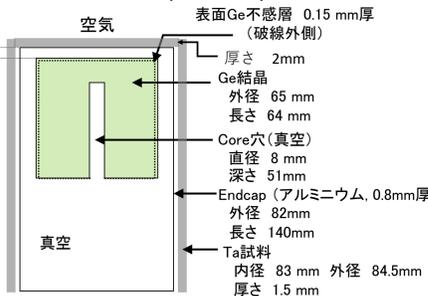
神岡地下実験施設



測定に用いたTa試料



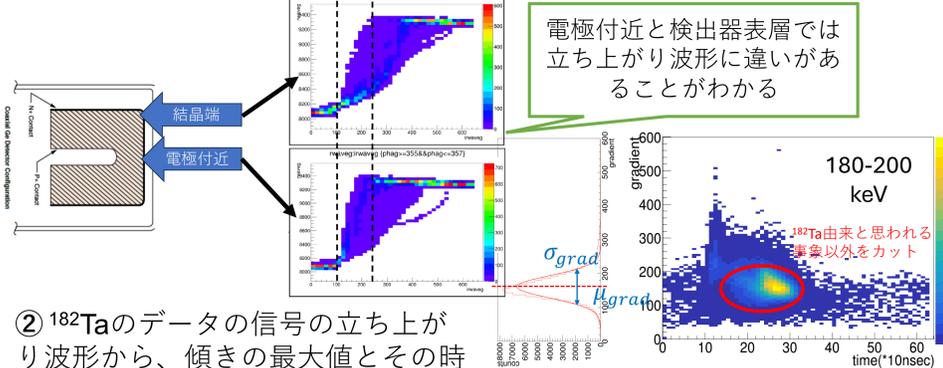
HPGe検出器(側面図)



波形解析によるHPGe検出器のBG低減

①BGとピークでは信号の立ち上がり方に違いがあることに着目

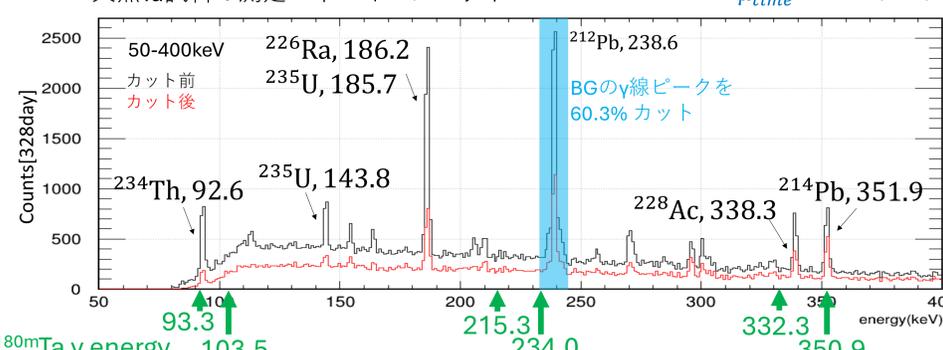
BGの除去に利用



② ^{182}Ta のデータの信号の立ち上がり波形から、傾きの最大値とその時間で二次元ヒストグラムを作成、BGのカット

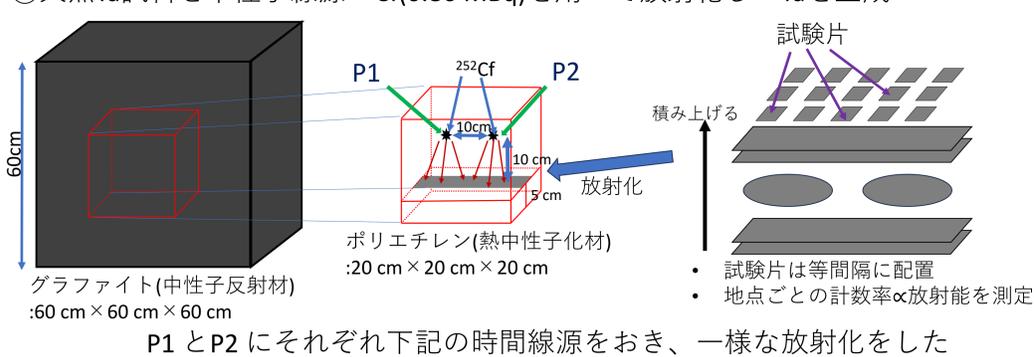
③ 得られた楕円カットを天然Ta試料のデータに適用しBGを除去

天然Ta試料の測定エネルギースペクトル

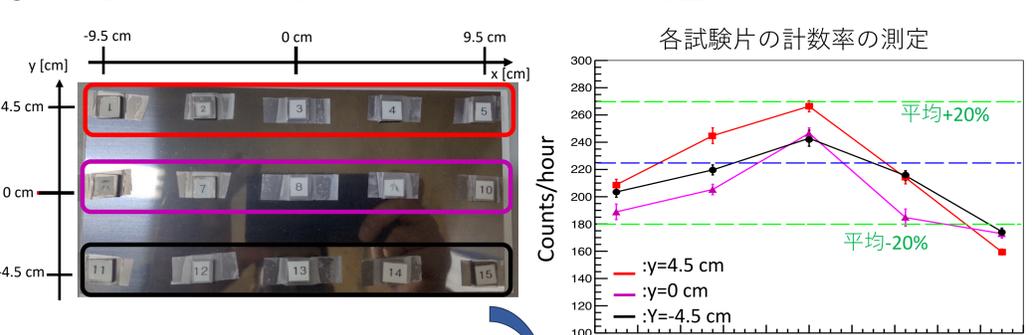


検出効率の評価

①天然Ta試料を中性子線源 ^{252}Cf (0.86 MBq)を用いて放射化し ^{182}Ta を生成

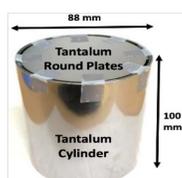


②放射化Ta試料の放射能を試験片の計数率をもとに定量的に評価



放射化Ta試料全体の放射能 $892 \pm 65 \text{ Bq}$

③天然Ta試料測定次と同形状に放射化Ta試料を加工



④評価した放射能と放射化Ta試料の実際の崩壊事象数から検出効率を評価!

この手法を用いるメリット

- 幾何学的な影響を排除
- γ 線の減衰効果の再現
- γ 線のエネルギー領域が $^{180\text{m}}\text{Ta}$ のものと同じ

半減期の計算

上記の結果から、 $^{180\text{m}}\text{Ta}$ の半減期の下限値は左図のように計算できた

$T_{\text{live}} = 328.4 \text{ d}$

検出効率と楕円カット後の結果

$^{180\text{m}}\text{Ta} E_{\gamma}$ (keV)	103.5	215.3	234.0	332.3	350.9
S without cut	22.48	21.72	22.17	17.02	25.04
S with cut	15.91	16.45	16.97	13.39	18.92
after/before cut	0.708	0.757	0.765	0.787	0.756
$\epsilon (\times 10^{-3})$ without cut	2.82	1.89	20.8	25.5	25.7
the lower limit of $T_{1/2} (\times 10^{16} \text{ yrs})$	2.6	1.8	20	31	21

3. 考察

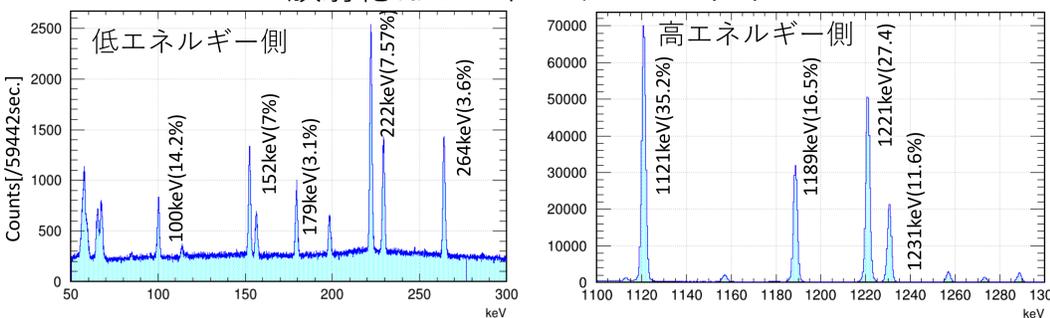
- 20%の誤差はありつつも一様な放射化を行うことができた
- 検出効率を計算なしで実験的に評価することができた
- 波形解析で低エネルギー側のBGピークを60%カットすることができた
- 実験開始前の当時最新の半減期の下限値 $4.5 \times 10^{16}(\text{yr.})$ [2]を更新することに成功した

今後の課題

- 半減期の下限値について検出効率の誤差を考慮しておらず、不十分
- 検出効率の評価には波形解析を用いておらず、今後解析を進める

[2] B. Lehnert, M. Hult, G. Lutter, and K. Zuber Phys. Rev. C 95,044306 (2017)

放射化Taのエネルギースペクトル



^{182}Ta 崩壊図

