

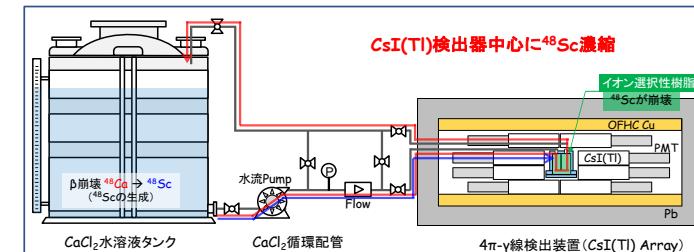
48Ca の β 崩壊半減期測定に向けた GEANT4 による検出器の再現

阪大理、阪大RCNP^A

山本 朝陽、原田 卓明、吉田 斎、梅原 さおり^A

実験セットアップ¹

- CsI(Tl)検出器
 - 65mm × 65mm × 250mm
 - PMT口径50mmΦ
 - 検出器×30本
 - 無酸素銅シールド(OFHC銅)
 - 厚さ 50mm
 - 鉛シールド
 - 厚さ 100mm
 - チューブ
 - 口径6mm
 - サンプルスペース
 - 130mm × 130mm



- 長い半減期を測定するためには、
多くの崩壊核種、高い検出効率が要求される。
- ✓多くの放射線ソース
 - …外部タンクを循環させ、検出器内部で捕集する。
- ✓高い検出効率
 - …捕集部分を30本のCsI(Tl)検出器で4π囲む。

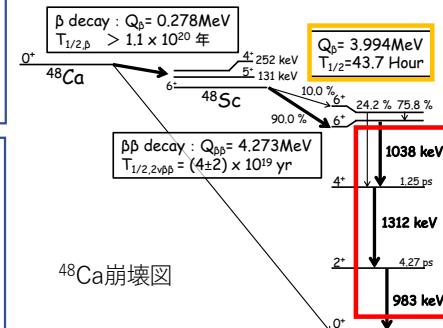
- 放射平衡状態： $^{48}\text{Ca} \rightarrow ^{48}\text{Sc} \rightarrow ^{48}\text{Ti}$ を利用
- $^{48}\text{Sc}^*$ から放出される3本の γ 線を、CsI(Tl)検出器30本で観測する。
(3本の γ 線を同時計測することで、偶然的な事象を減らすことができる。)
- nat. CaCl_2 (~255kg)水溶液(630L)を使用; $^{48}\text{Ca} \sim 170\text{g}$
- Sc^{3+} イオンがキレート樹脂に濃縮されて、 ^{48}Sc が β 崩壊する。
 1. Ca^{2+} イオン(大量):樹脂には吸着されず、経路内を循環し続ける。
 2. Sc^{3+} イオン; ^{48}Ca の β 崩壊でタンク内で生成され、キレート樹脂内で捕獲される。

4π囲んだことによる検出効率がどれほどなのか。

→ 実験で使用したい線源では、半減期が長く測定することが困難である。(Geant4で再現)

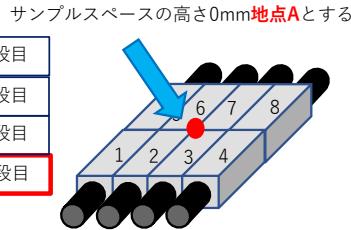
目的

- CANDLES実験では ^{48}Ca を用いて、 $0\nu\beta\beta$ の探索が行われている。
- ^{48}Ca は β 崩壊のうち γ 線も放出し、 $0\nu\beta\beta$ の探索を困難にしている。
- ^{48}Ca の β 崩壊事象を正確に評価する必要がある。
- ^{48}Ca の β 崩壊の半減期を評価することが重要である。



30本での再現

CsI(Tl)の配置



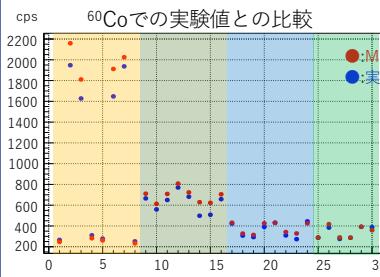
^{48}Sc は983keV、1038keV、1312 keVでの同時検出効率なので
その領域を含む ^{60}Co の1173keV、1333keVの同時検出効率で性能評価。

^{60}Co (点A:高さ0mm)の1173keVと1333keVの γ 線の同時検出効率

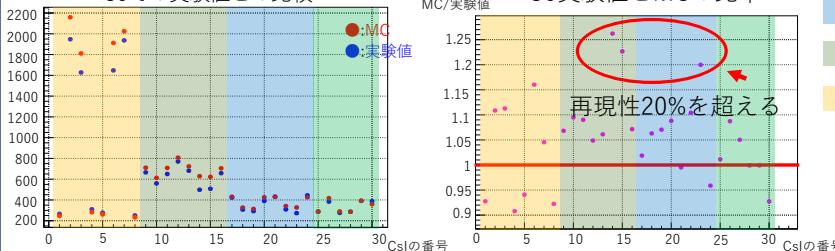
- 実験値 $12.80 \pm 0.03\%$
- MC $13.70 \pm 0.01\%$ $\rightarrow \text{MC/実験値} = 1.07 \rightarrow 7\%$ のずれ

全体の精度目標は10%以下だが、精度向上のために個々のCsI(Tl)の再現度を確認。

^{60}Co を線源として、各CsI(Tl)の1173keVの γ 線検出数(点A:高さ0mm)



^{60}Co 実験値とMCの比率



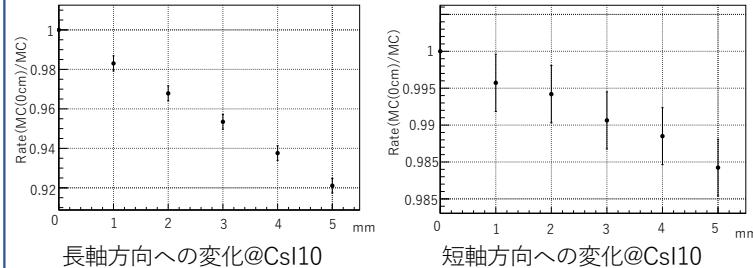
要因

- 検出器の設置場所のずれ $\rightarrow \text{MCで位置をずらしmm単位での影響を確認}$
- MCの再現性 $\rightarrow \text{CsI1本でスペクトルを再現し確認}$
- CsI(Tl)検出器の応答 $\rightarrow \text{CsIの反応位置をコリメートにより制限し確認}$

CsI(Tl)検出器の距離依存性

配置のずれによる影響をMC上確認。

検出器1本のみを動かし線源との距離による検出数の変化を確認



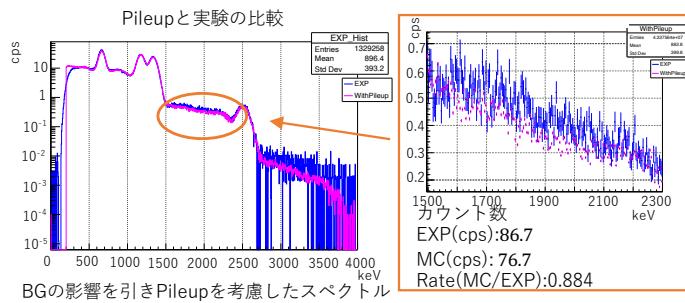
5mmの配置ずれで10%程度の減少
→設置位置に**mm単位での正確性が必要**となるため
CsI(Tl)検出器の固定具などが必要になる

エネルギースペクトルとRateの再現

Geant4では再現されないPileupによる影響を計算により再現

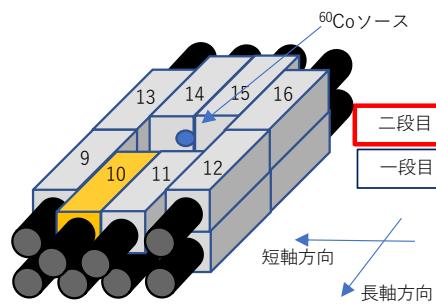
▪ Pileupの再現 ▪

- 1.MCのスペクトルを確率分布とした事象を生成し、乱数により時間(0~1sec)を与える。
- 2.200keV以上の事象からADCゲートの時間(5μs)以内をPileupとして足し合わせる。(CsI(Tl)の減衰時間も考慮)

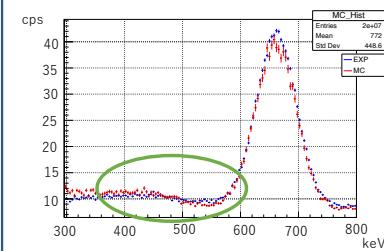


^{48}Sc 測定のエネルギー領域 (900keV~1400keV)
→MCで良く再現

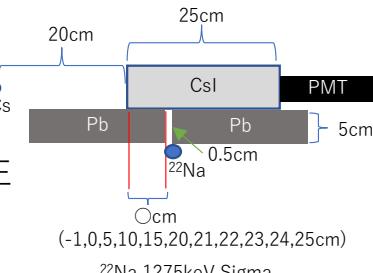
- 更なる再現性の向上には以下のものが考えられる
 - ^{60}Co の γ 線角度依存性の考慮
 - Peakの低エネルギー部分の改善(右上参照)



Peakの低エネルギー部分の改善

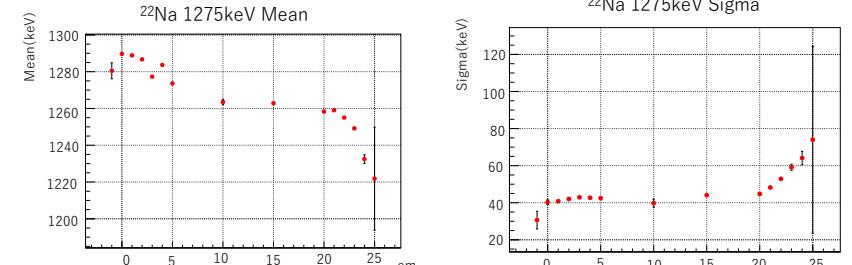


左下スペクトル(300keV~800keV)を見ると400keV~600keVでずれていることがわかる。その原因として、CsI(Tl)検出器の反応位置によるものが考えられたのでCsI(Tl)の反応位置を制限し応答を確認した。



CsI(Tl)の反応位置の依存性

反応位置を制限しゲインと分解能の変化を確認した。



線源に近いと1%程度光量が上がる→今後MCに組み込むことにより再現度を上げる
(目的核 ^{48}Sc は主に先端部分での反応が多いので影響は少ないと考えられる)

まとめ・展望

- ・目的核の ^{48}Sc の γ 線領域900keV~1400keVでよく再現することができた。
 - ・30本では、全体の検出効率で10%以内の精度での再現ができた。
 - ・また、固定具などを用いることにより1本ごとの再現度も向上させられる。
 - ・30本の精度を配置の調節などにより向上させる
 - ・PMTからTIなどを発生させPMT由来のBGの影響を評価する。
 - ・検出器外部からミューオンなどを発生させ宇宙線による影響を評価する。
 - ・ CaCl_2 を循環させ ^{48}Sc の寿命測定を行う。