

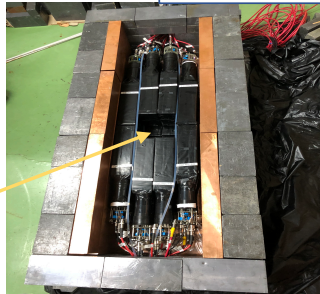
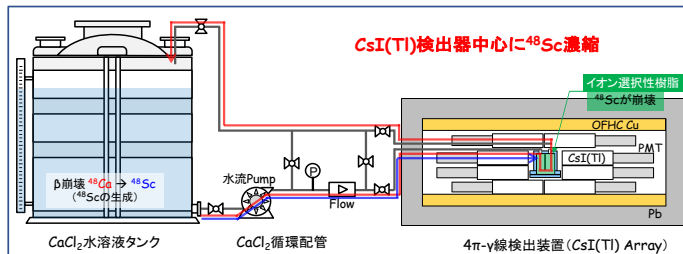
48Ca のβ崩壊半減期測定に向けた GEANT4 による 検出器の再現

阪大理、阪大RCNP^A

山本 朝陽、原田 卓明、吉田 斉、梅原 さおり^A

実験セットアップ

- 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



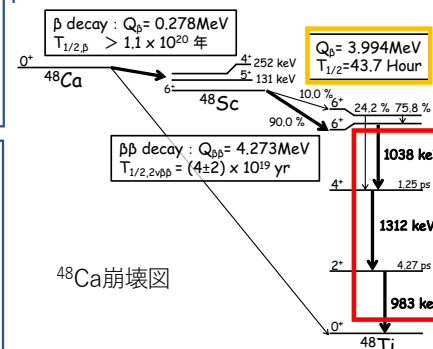
- 長い半減期を測定するためには、
多くの崩壊核種、高い検出効率が要求される。
- ✓ 多くの放射線ソース
…外部タンクを循環させ、検出器内部で捕集する。
- ✓ 高い検出効率
…捕集部分を30本のCsI(Tl)検出器で**4π 囲む**。

- 放射平衡状態： $^{48}\text{Ca} \rightarrow ^{48}\text{Sc} \rightarrow ^{48}\text{Ti}$ を利用
- $^{48}\text{Ti}^*$ 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。
→ 実験で使いたい線源では、半減期が長く測定することが困難である。(Geant4で再現)

目的

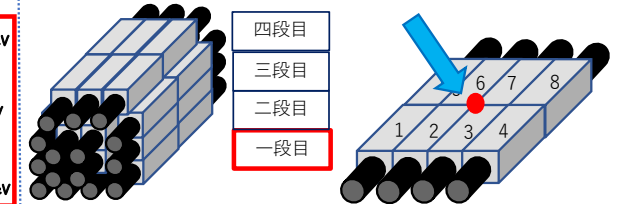
- CANDLES実験では ^{48}Ca を用いて、 $0\nu\beta\beta$ の探索が行われている。
- ^{48}Ca はβ崩壊のちγ線も放出し、 $0\nu\beta\beta$ の探索を困難にしている。
- ^{48}Ca のβ崩壊事象を正確に評価する必要がある。
→ ^{48}Ca のβ崩壊の半減期を評価することが重要である。



30本での再現

CsI(Tl)の配置

サンプルスペースの高さ0mm地点Aとする



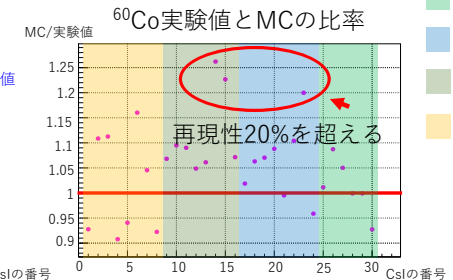
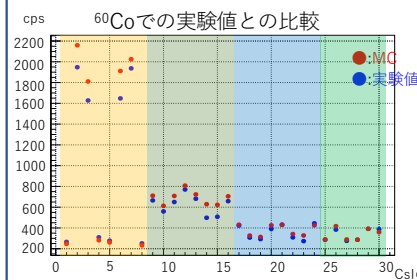
^{48}Sc は983keV、1038keV、1312 keVでの同時検出効率なので
その領域を含む ^{60}Co の1173keV、1333keVの同時検出効率で性能評価。

^{60}Co (地点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 $13.70 \pm 0.01 \%$ → MC/実験値 = 1.07 → **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(地点A:高さ0mm)

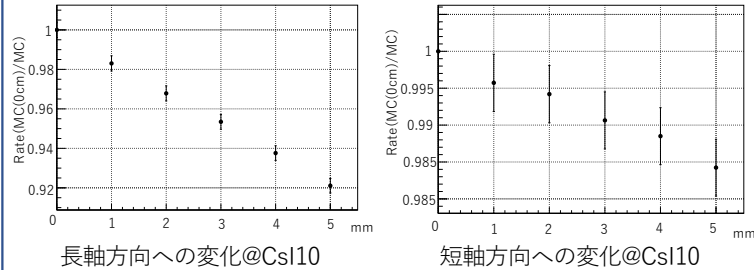


要因

- 検出器の設置場所のずれ → MCで位置をずらしmm単位での影響を確認
- MCの再現性 → CsI1本でスペクトルを再現し確認
- CsI(Tl)検出器の応答 → 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

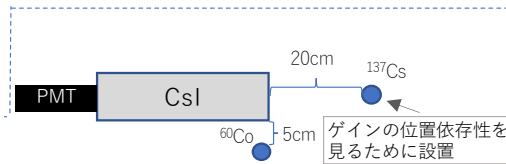
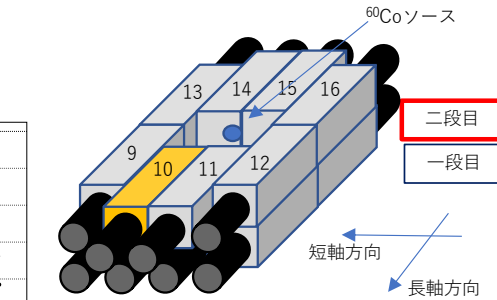
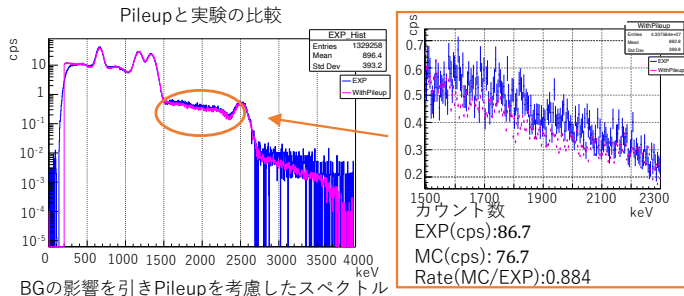
エネルギースペクトルとRateの再現

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(5 μ s)以内をPileupとして足し合わせる。(CsI(Tl)の減衰時間も考慮)

BGの影響を引き、Pileupを考慮することによりスペクトルの形状を再現した。
1500~2700keVの領域では10%程度ずれているが、 ^{60}Co の γ 線の角度依存性によるものと考えられる。

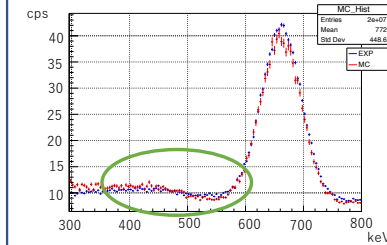


^{48}Sc 測定のエネルギ領域 (900keV~1400keV) →MCで良く再現

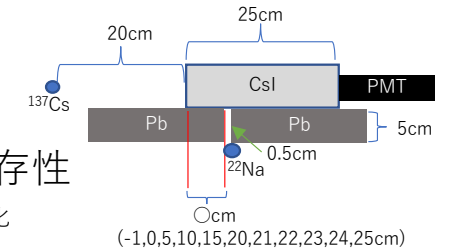
更なる再現性の向上には以下のものが考えられる

- ・ ^{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

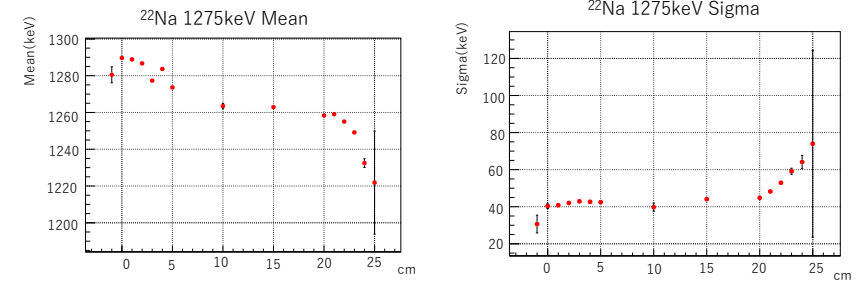


左下スペクトル(300keV~800keV)を見ると400keV~600keVでずれていることがわかる。その原因として、CsI(Tl)検出器の反応位置によるものが考えられたのでCsI(Tl)の反応位置を制限し応答を確認した。



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。