

^{48}Ca の二重ベータ崩壊の研究

梅原さおり

大阪大学核物理研究センター

umehara@rcnp.osaka-u.ac.jp

研究代表者: 岸本忠史

CANDLES collaboration

大阪大学、福井大学、京都産業大学、佐賀大学、
徳島大学、広島大学、東北大学

candles



Outline



✦ CANDLES III システム

✦ CaF_2 (pure) シンチレータ + 液体シンチレータ

✦ CANDLES III (地下=U.G.) システム

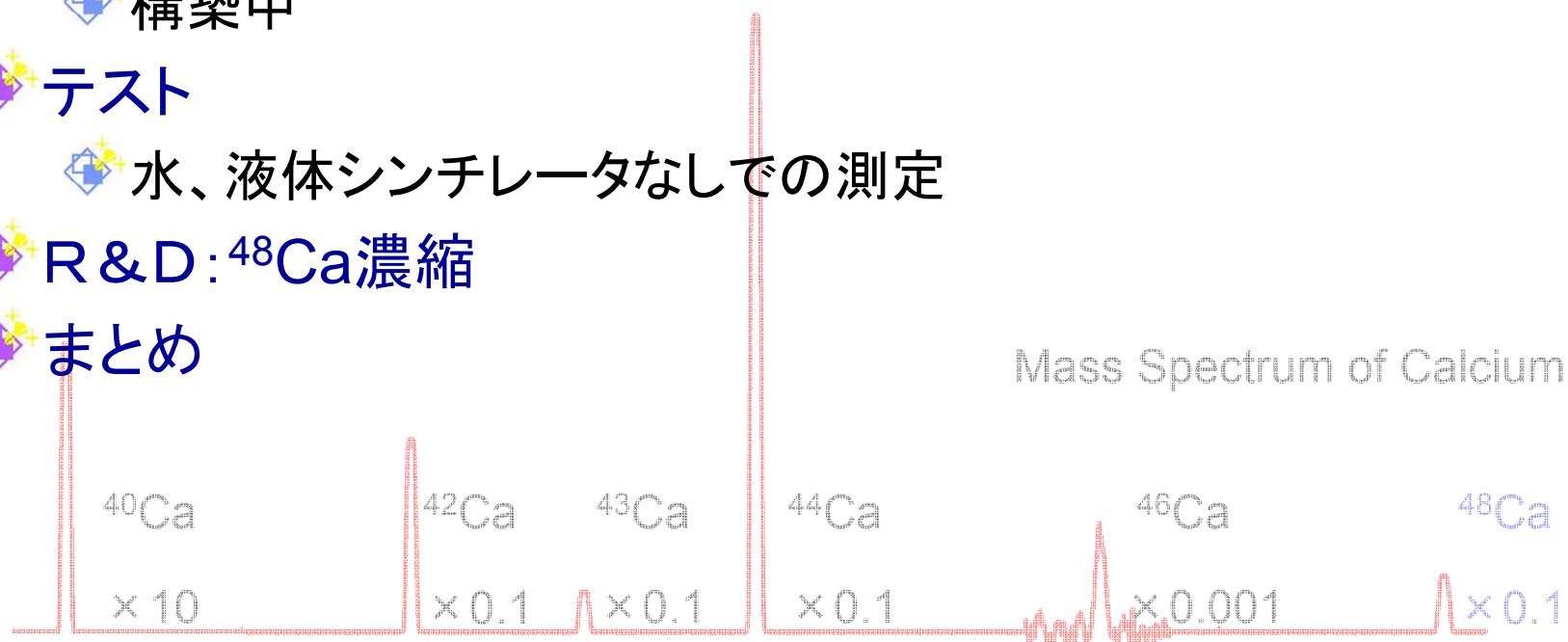
✦ 構築中

✦ テスト

✦ 水、液体シンチレータなしでの測定

✦ R&D: ^{48}Ca 濃縮

✦ まとめ





二重ベータ崩壊



✦ ニュートリノを放出する二重ベータ崩壊

✦ 標準模型内; 実験的に確認済み

✦ ニュートリノ放出を伴わない二重ベータ崩壊

✦ 未確認 $T_{1/2}^{0\nu\beta\beta} \geq 10^{25}$ years

✦ cf. H.V. Klapdor-Kleingrothaus *et al.*

✦ 二重ベータ崩壊の測定のためには . . .

✦ 大量の二重ベータ崩壊核

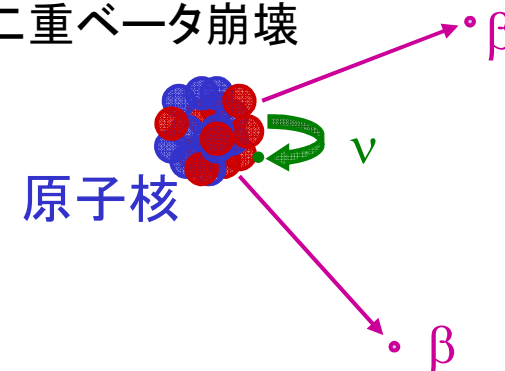
数kg ~ 数ton

✦ 低バックグラウンド測定

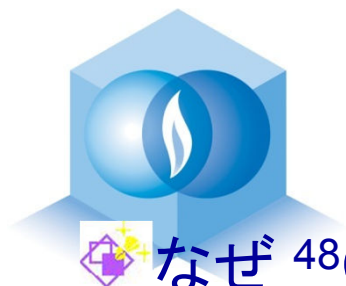
$$1/m_\nu \propto T^{1/2} \propto M_{\text{detector}}^{1/2}$$

$$1/m_\nu \propto T^{1/2} \propto M_{\text{detector}}^{1/4}$$

ニュートリノを放出しない
二重ベータ崩壊



バックグラウンド事象がない時
バックグラウンド事象がある時



^{48}Ca の二重ベータ崩壊



なぜ ^{48}Ca ?

高いQ値(4.27MeV) . . .

^{76}Ge (2.0MeV), ^{100}Mo (3.0MeV), ^{130}Te (2.5MeV)

→低バックグラウンド

Q値がBGよりも高い

$E_{\text{max}}=2.6\text{MeV}$ (^{208}Tl , γ 線)

3.3MeV(^{214}Bi , β 線)

^{48}Ca を用いて

バックグラウンドのない測定をめざす

CaF_2 を用いた ^{48}Ca の二重ベータ崩壊

CANDLESシステム



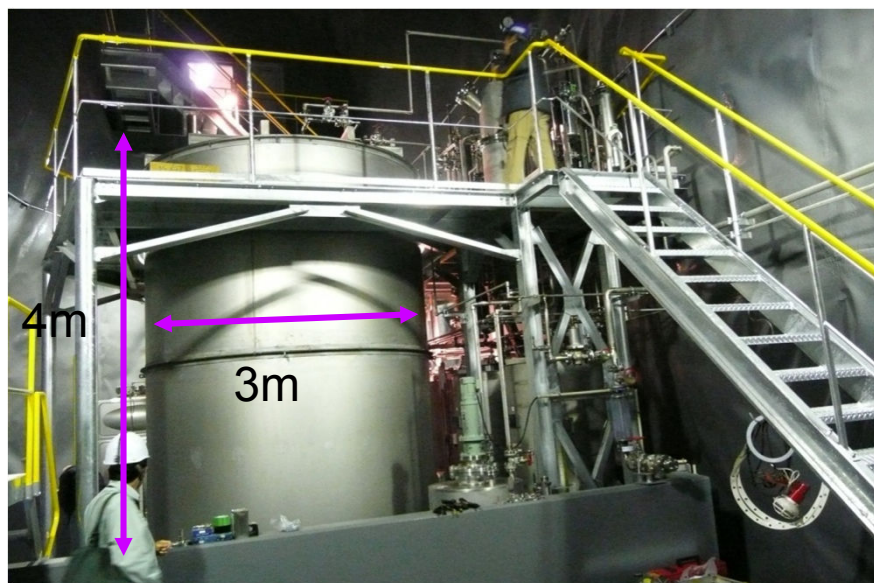
CANDLES III(地下)



神岡研究施設: 実験室D

CANDLES III(地下)

^{48}Ca 量=350g

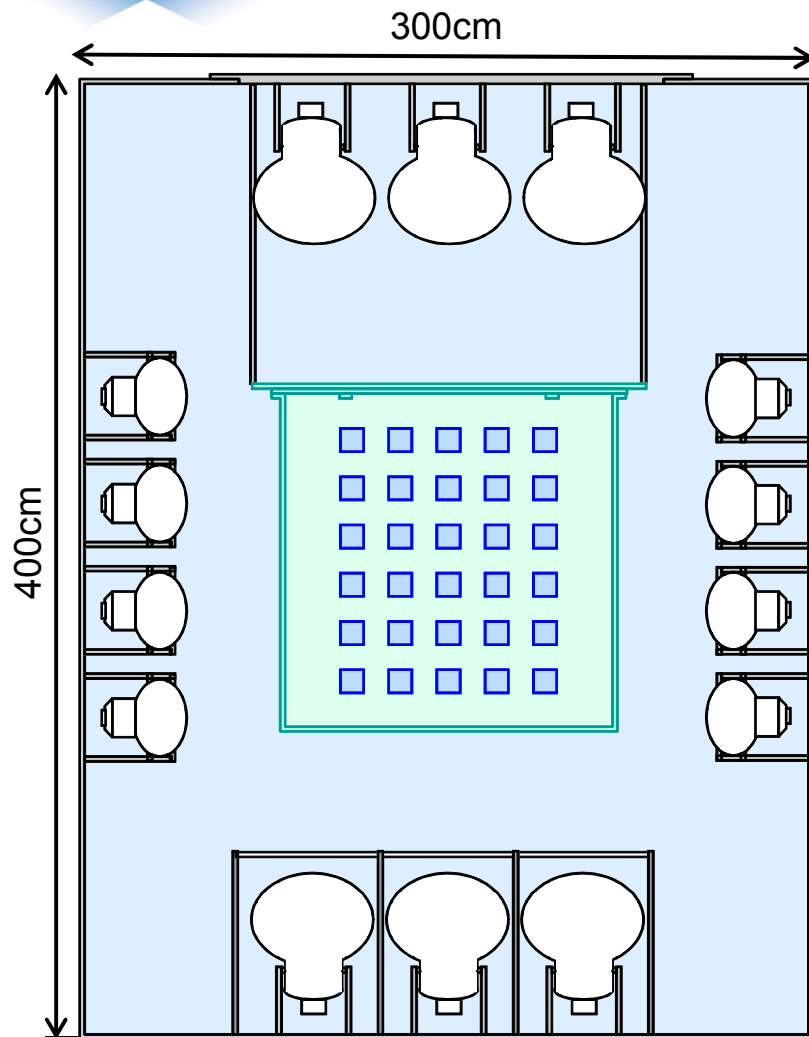


CANDLES III(地下)





CANDLES III(地下)



シンチレータ

✦ $\text{CaF}_2(\text{pure})$ シンチレータ (CaF_2)
10cm角 × 96結晶(16個 × 6段)
=305kg
(先行検出器ELE VIの46倍)

✦ 液体シンチレータ(LS)
ベトーカウンタとして使用

光電子増倍管

✦ 13inch PMTs × 48
✦ 17inch PMTs × 14

フルインストールでの測定は今年度中に



テスト



液体シンチレータの純化システムの運転

プラスチックシンチレータを用いた宇宙線測定

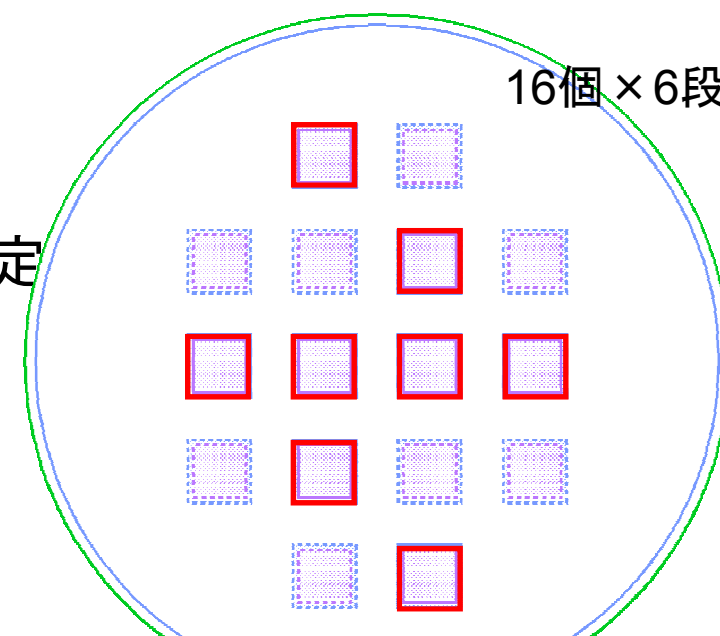
3プラスチック測定、プラスチック＋水のみ (CaF_2 なし) 測定

水、液体シンチレータなしの測定

ほぼ CaF_2 信号のみが観測

= veto 検出器がない測定

24個 (8個 × 3段) の CaF_2 結晶での測定



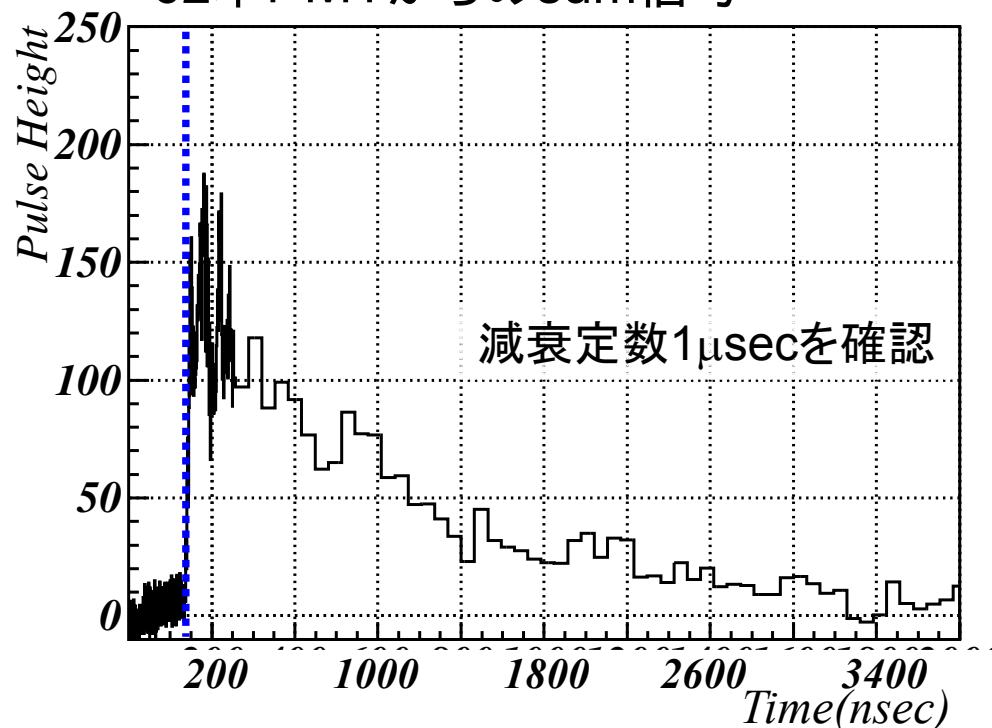
液体シンチレータタンク上部から見た
結晶配置

水、液体シンチレータなしの測定



典型的な波形

62本PMTからのsum信号

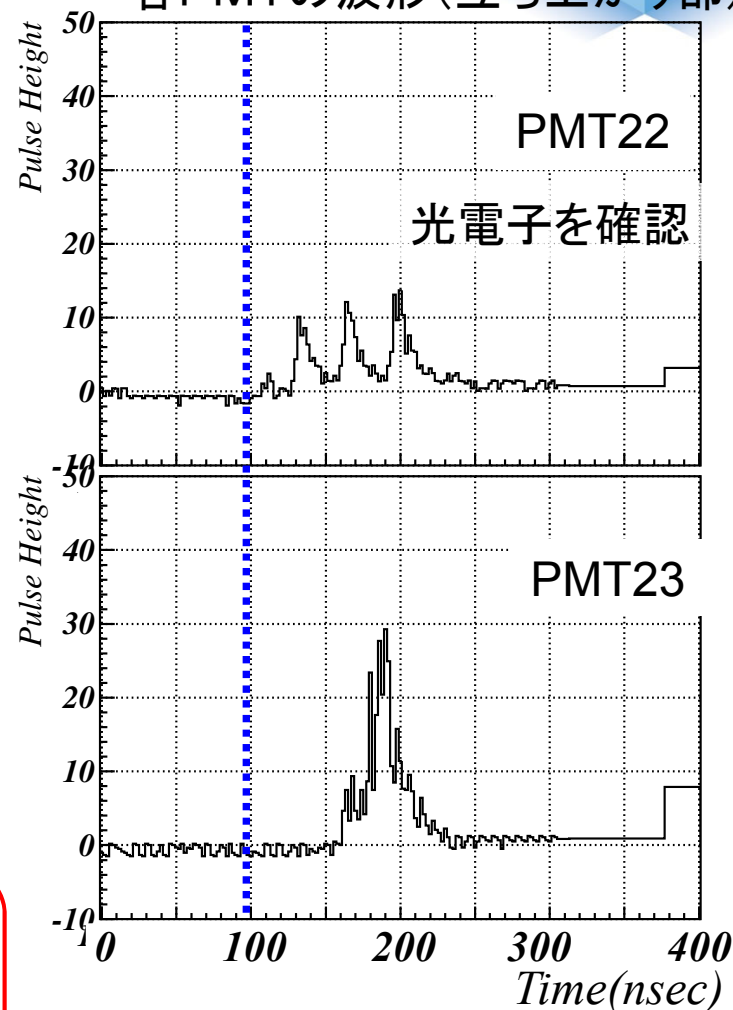


CANDLES用FADC

- ・ 波形の立ち上がりは500MHz FADCで、後半は16MHz FADCで。
- ・ PMT62chにインストール済み

梅原さおり

各PMTの波形(立ち上がり部)

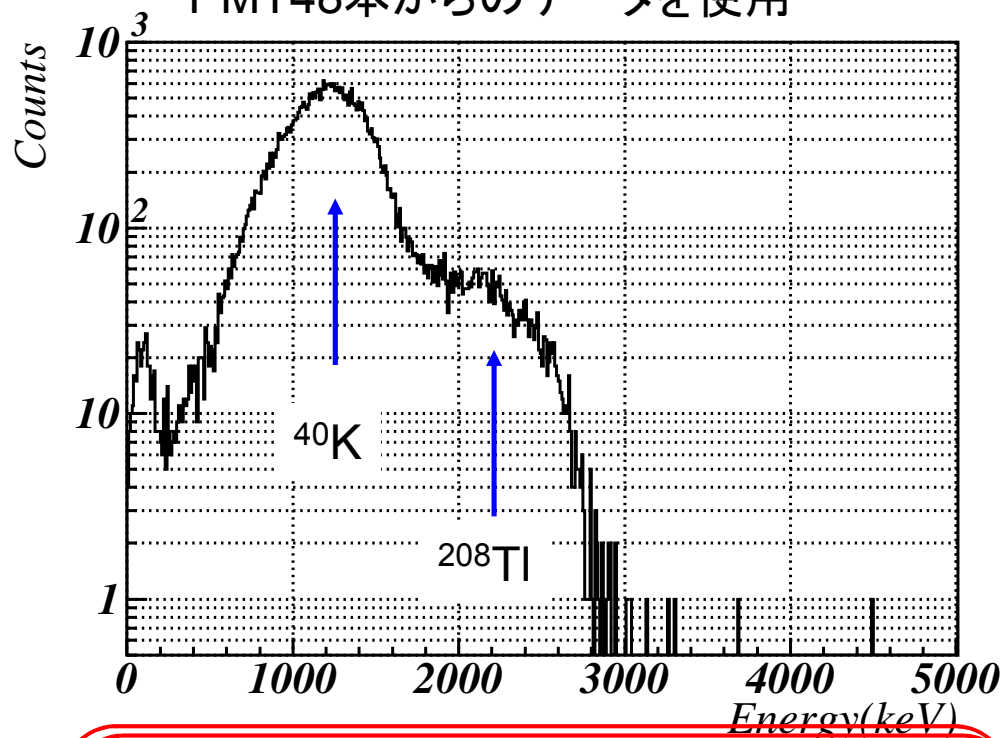


2010年12月18日、ICRR共同利用成果報告会

水、液体シンチレータなしの測定

エネルギースペクトル

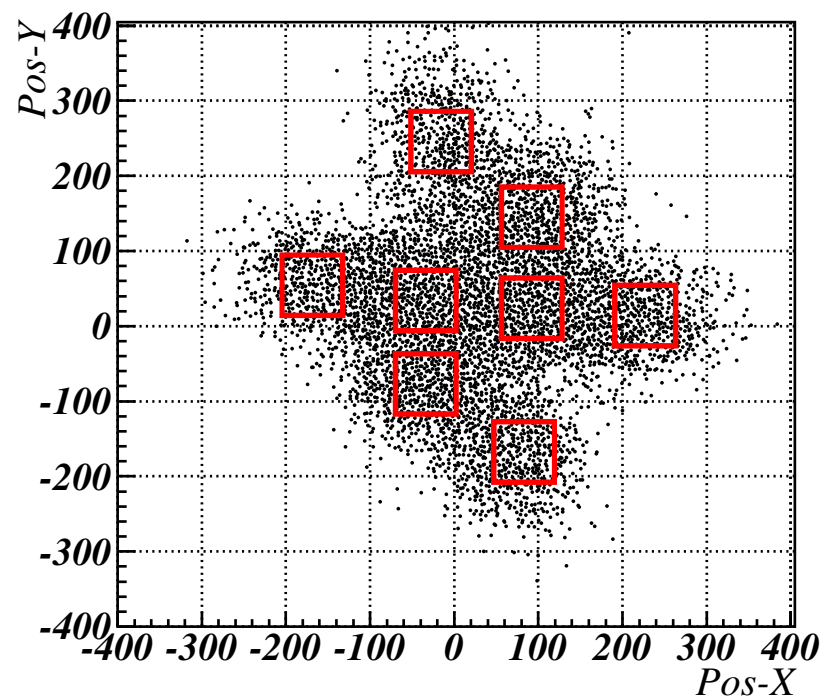
PMT48本からのデータを使用



- ・ (水、液体シンチレータがないので)
大量の ^{40}K 、 ^{208}Tl 事象を確認
→ CaF_2 波形の基本データとして利用
- ・ 気になるバックグラウンドは、、、
地上より3桁以上少ないことはわかるが、、、

事象位置の再構成

PMT48本からのデータを使用

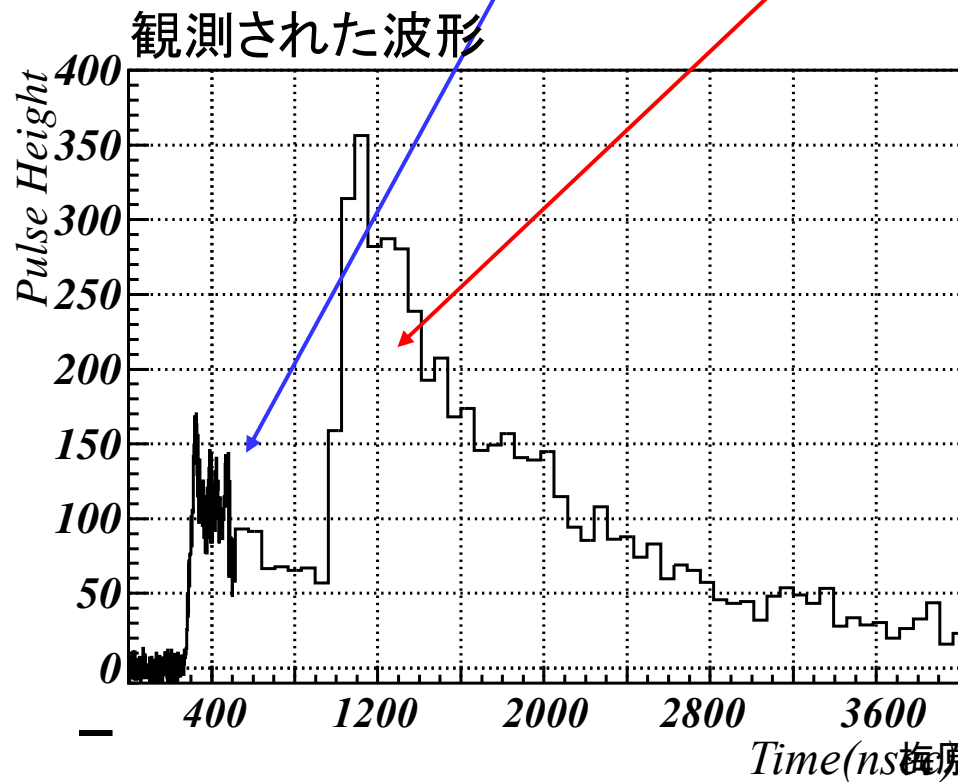
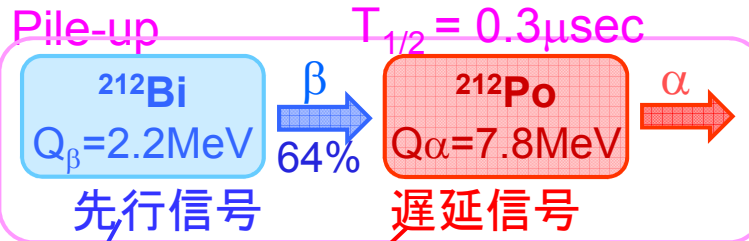
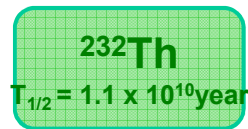


- ・ 液体シンチレータがあるときと比べて
結晶位置の判別が困難

Q値付近の事象は？

連続信号

Th-Chain



連続信号

- ・不純物の多い結晶($\sim 30 \text{ mBq/kg}$)
- ・エネルギー4.5 MeV



^{48}Ca 濃縮



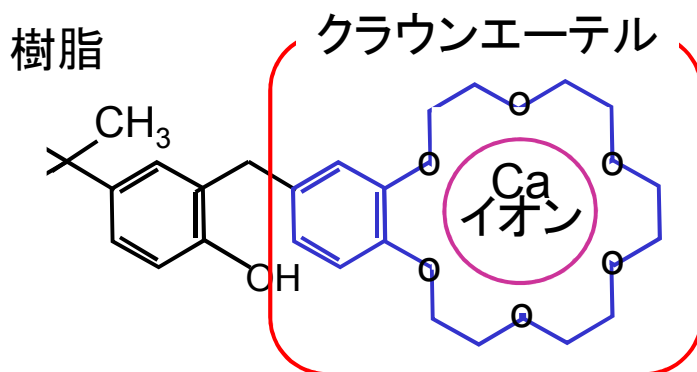
 ^{48}Ca $0\nu\beta\beta$ 測定 of 感度向上のため...

大量の ^{48}Ca (~10~kg)が必要

→1st Step : 検出器の大型化: 300kg(現在) ~ 2tonの CaF_2

→2nd Step : ^{48}Ca 濃縮 (~2% $\leftrightarrow$ 自然存在比0.187%)

クラウンエーテルを用いたCa濃縮



	天然同位体比
^{40}Ca	96.941%
^{42}Ca	0.647%
^{43}Ca	0.135%
^{44}Ca	2.086%
^{46}Ca	0.004%
^{48}Ca	0.187%



クラウンエーテル樹脂

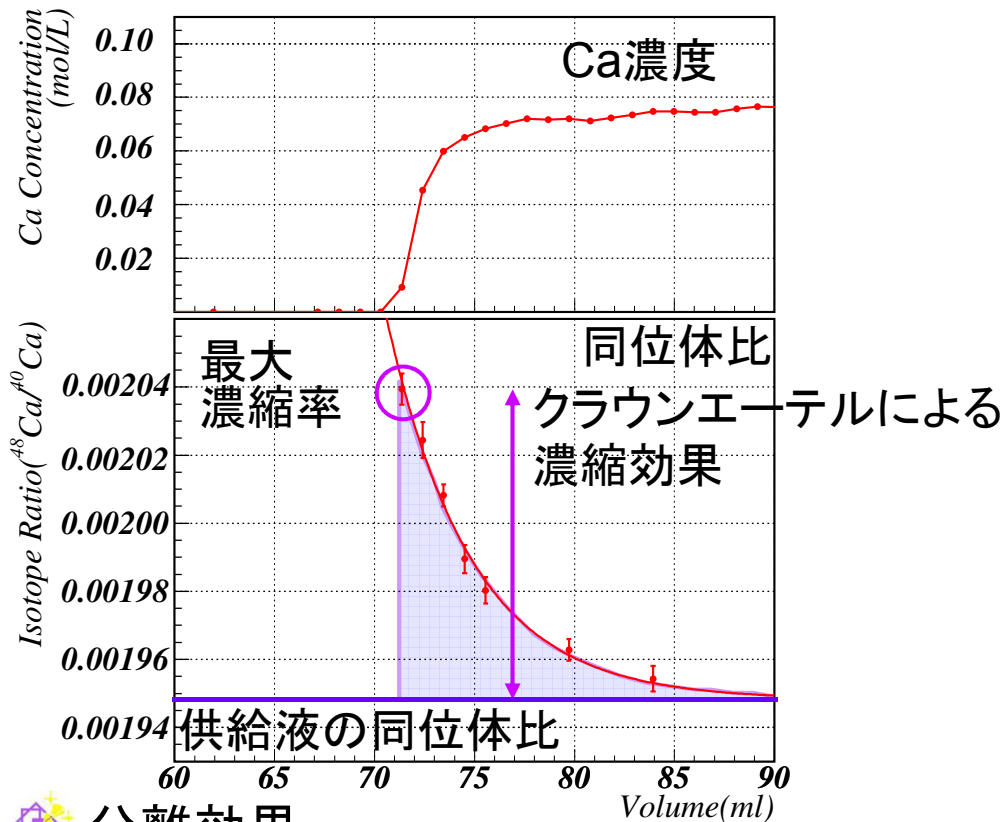


濃縮方法

クラウンエーテルを用いた濃縮

クラウンエーテルがCaを吸着

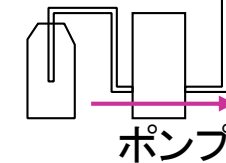
^{40}Ca の保持が優勢



分離効果

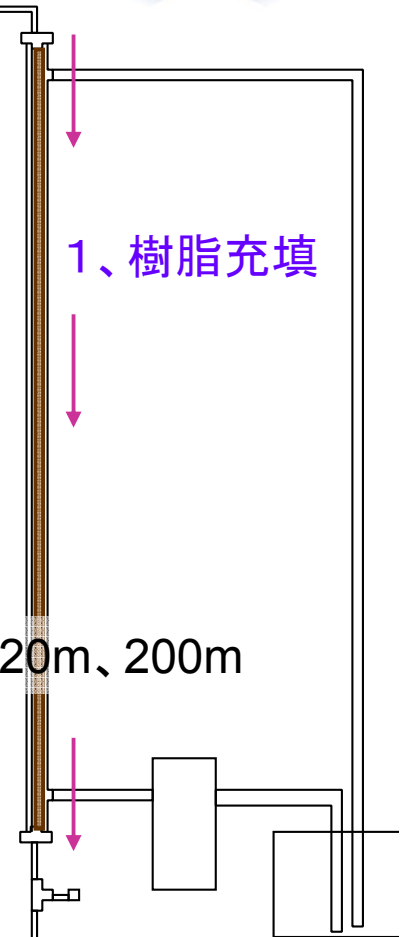
明らかに分離効果が現れている

2、Ca溶液供給



1、樹脂充填

泳動距離: 1m、20m、200m

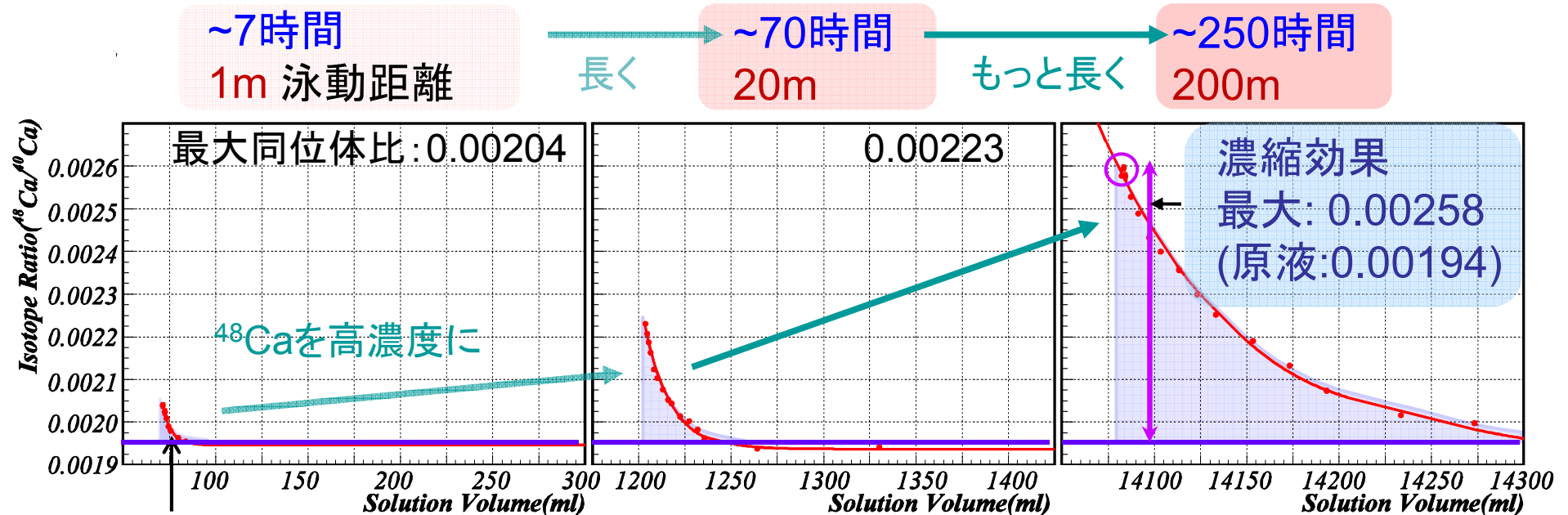


3、サンプリング

り、2010 ^{48}Ca が濃縮された 利用成果報告会
カルシウム溶液

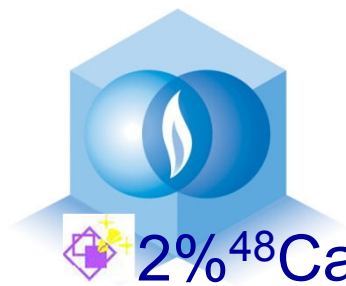
濃縮結果

長距離泳動実験による濃縮の結果



泳動結果

- 安定した吸着、濃縮効果を確認: 分離係数 3×10^{-3}
- より高い同位体比、より大量のカルシウム
~7時間(1m) → ~250時間(200m)
カルシウム量: $\times 17$ 、同位体比の増加: $\times 8$



おおまかな見積もり



2%⁴⁸Ca(10倍)、200kgカルシウム

分離係数= 3×10^{-3} : 初期設定で実現

泳動時間 : 5~ years

分離係数= $(5 \sim 6) \times 10^{-3}$: テスト実験で実現(溶媒変更や温度調整)

泳動時間 : 1.5~ years

条件調査

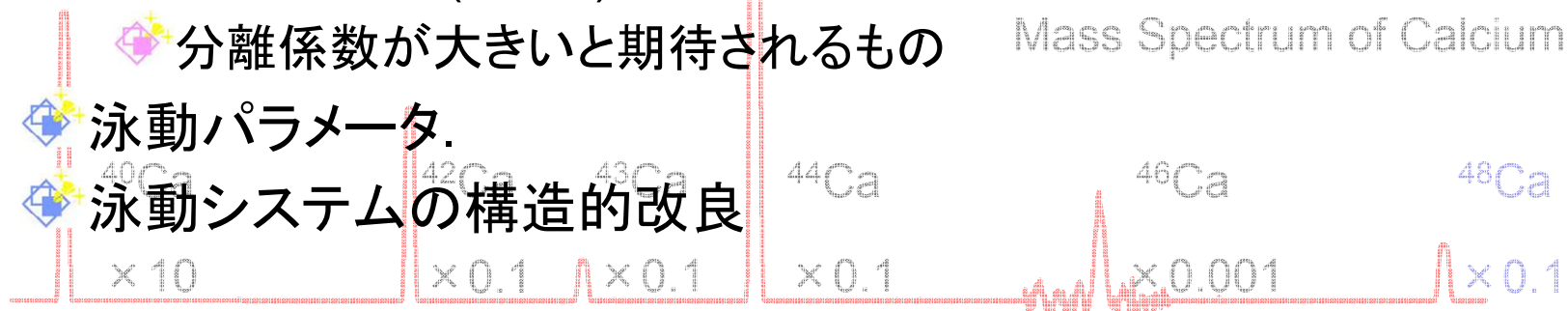
クラウンエーテル種類

比較的安価 (~1/10)なもの

分離係数が大きいと期待されるもの

泳動パラメータ

泳動システムの構造的改良





まとめ



CANDLES

-  現在CANDLES III(地下)
-  水、液体シンチレータなしのテスト

今後

-  来年CANDLES IIIの測定開始予定
-  ^{48}Ca 濃縮をすすめ、いずれは結晶入れ替え
 -  $\text{nat. CaF}_2(\text{pure}) \rightarrow ^{48}\text{CaF}_2(\text{pure})$

共同利用研究予算

-  19万円 . . . 神岡 $\leftrightarrow$ 大阪、徳島他の旅費として使用