

# 地下実験における 極低バックグラウンド実現 に向けた研究

B10: 高純度ゲルマニウム検出器を用いた放射線不純物量測定

B15: 地下実験のための放射能分析装置の開発

B16: 神岡地下観測所における中性子フラックスの測定



南野彰宏（横浜国立大学）  
ICRR共同利用研究成果発表会  
2019年12月14日

# B10:高純度ゲルマニウム検出器 を用いた放射線不純物量測定



申請時所属機関： ICRR神岡、岡山大

メンバー(2名)： 市村晃一(代表)、伊藤慎太郎

査定金額：10万円

使途：

- ・ラジウム吸着樹脂関連(硝酸、ボトル等の消耗品)に使用予定

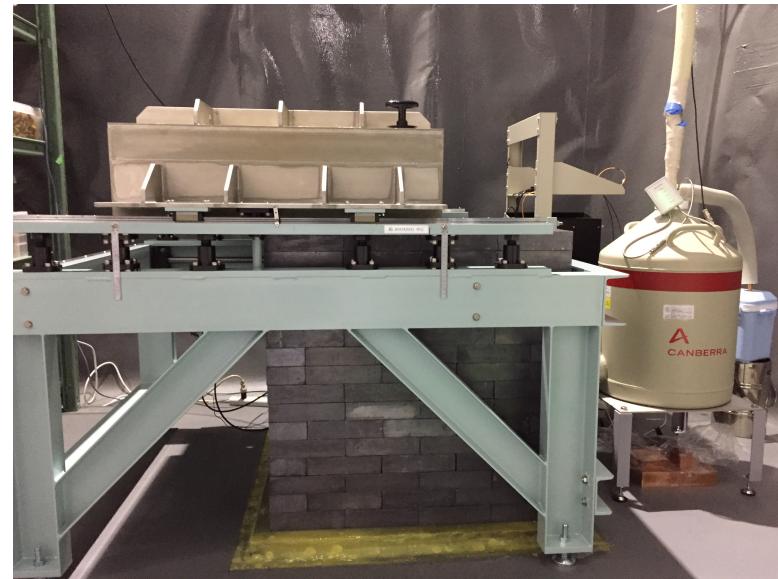
# 本研究(B10)の目的

高純度ゲルマニウム検出器を用いて放射性不純物量を測定する。

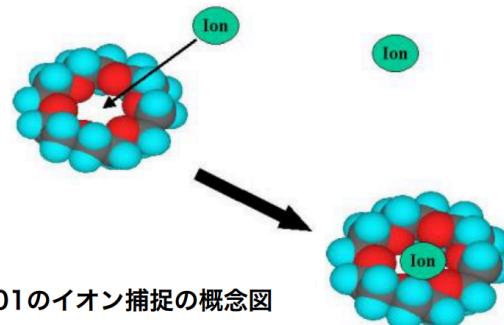
特にラジウム吸着樹脂を用いた濃縮手法により、 $^{226}\text{Ra}$ の高感度測定法を確立する

S. Ito et al, PTEP Volume 2018, issue 9, 091H01

## 高純度ゲルマニウム検出器

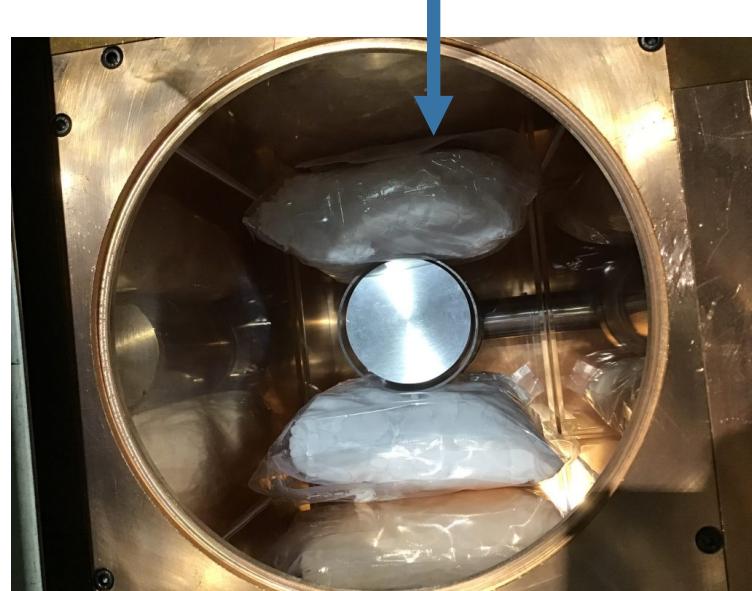


ラジウム吸着樹脂  
(AnaLig-Ra01)

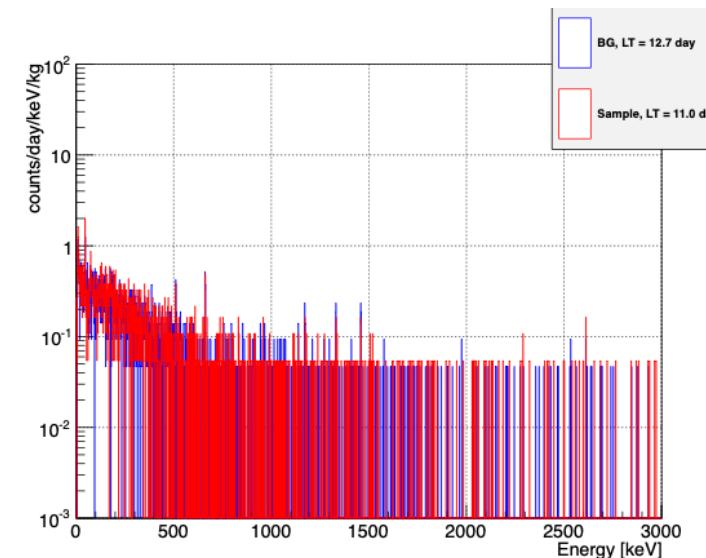


# 本研究(B10)の状況

SK-Gd実験で用いられる硫酸ガドリニウムをラジウム吸着樹脂を用いた測定や、直接測定を継続して行っている



ラジウム吸着樹脂  
と測定結果



# B15: 地下実験のための 放射能分析装置の開発



申請時所属機関： 神戸大、徳島大、大阪大、福井大、ICRR神岡

メンバー(19名)： 竹内 康雄（代表）、伏見 賢一、関谷 洋之、岸本 康宏、  
身内 賢太朗、梅原 さおり、吉田 斎、小川 泉、竹田 敦、小林 兼好、中野  
佑樹、伊藤 博士、中村 輝石、池田智法、石浦宏尚、中村拓馬、塩沢 知晃、  
山本 祥太郎、林 長宏

査定金額：21万円

使途：

- ・ノイズカットトランス (9万円)
- ・表面 $\alpha$ 装置用、電解研磨済み銅メッシュ(5万円)
- ・旅費(神戸～神岡等、7万円使用見込み)

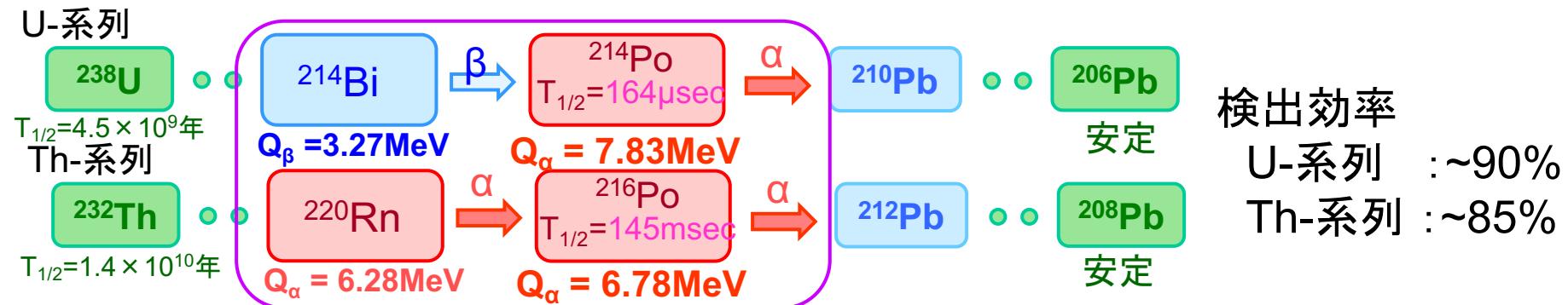
# 本研究(B15)の概要

- 新学術「地下素核」(H26-H30年度)での、技術的連携を実現する取り組みとしてH27年度より開始。
  - 神岡地下の坑内実験室A (LAB-A)で、最先端の放射能分析装置を、各計画研究グループの枠を超えて連携して、研究・開発・構築を進める。
- 新学術「地下宇宙」(2019年度～)でも、引き続き技術的連携を推進する。
  - 開発した装置による分析作業、新たな技術開発、他。
- 今年度の主な活動：
  - 結晶内部の不純物測定装置： CaF<sub>2</sub>結晶スクリーニング
  - 表面α線分析装置： 各種サンプル分析

# 結晶内部の不純物測定装置

- 測定対象：遅延同時計数測定

梅原、吉田、小川



## □ 実験室Aでの測定



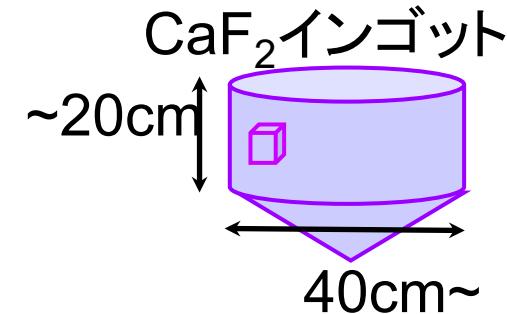
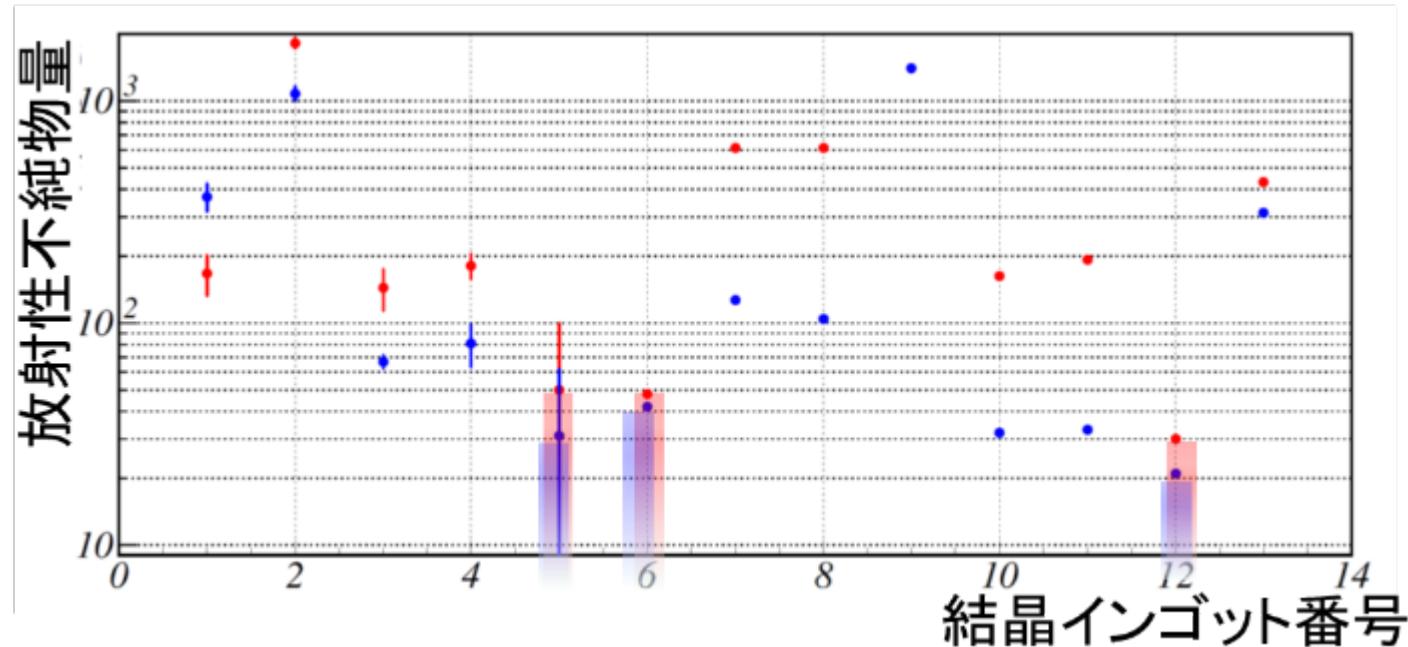
測定装置(RCNP)

測定感度:  $\sim 5\mu\text{Bq}/\text{kg}$ (pptレベル)(測定時間10日)  
・感度は $\text{CaF}_2$ 結晶サイズが制限  
・現在、装置を用いた結晶評価が進行中  
→ 安定運転モード

# 高感度化：CaF<sub>2</sub>結晶の入れ替え

- ・業者A：CaF<sub>2</sub>インゴットの調査
  - ・不純物測定：高純度インゴットの選定例

梅原、他、



- ・結晶のウラン量
- ・結晶のトリウム量

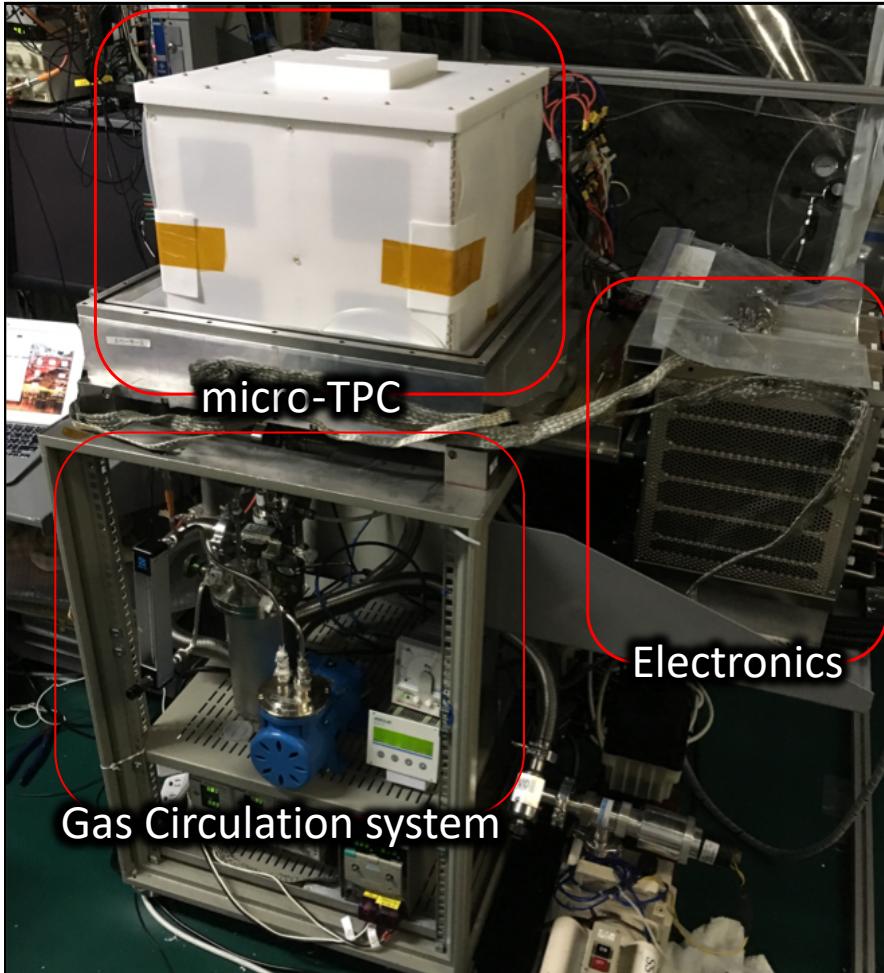
## 本年度測定

- ・CANDLES入れ替え用のCaF<sub>2</sub>結晶スクリーニング  
20μBq/kg以下(合格レベル)~2mBq/kg

# $\mu$ -TPCを用いた表面 $\alpha$ 分析測定

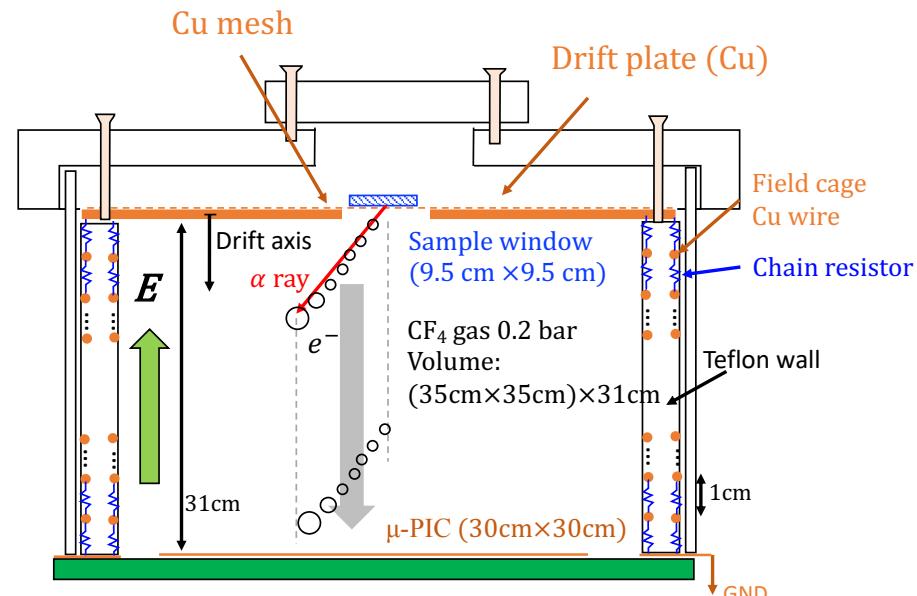
伊藤、石浦、身内

## Alpha-ray Imaging Chamber (AICHAM)



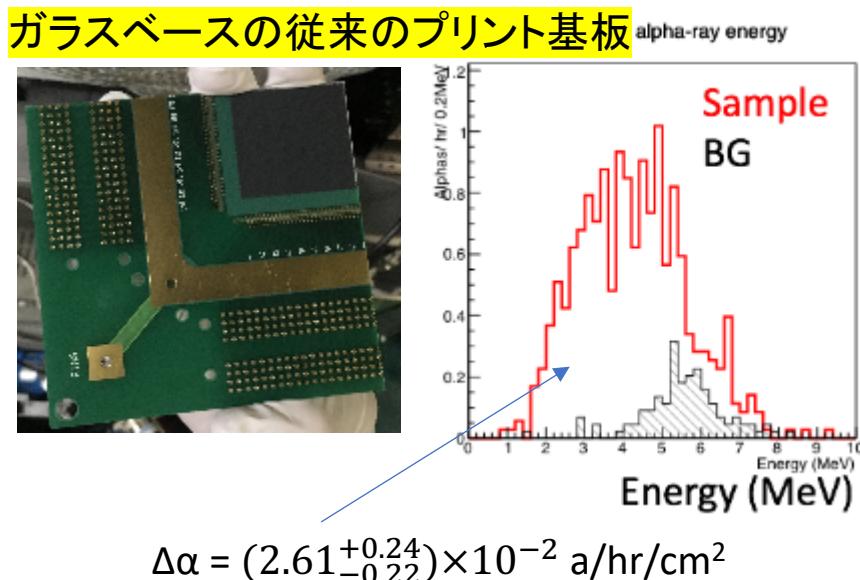
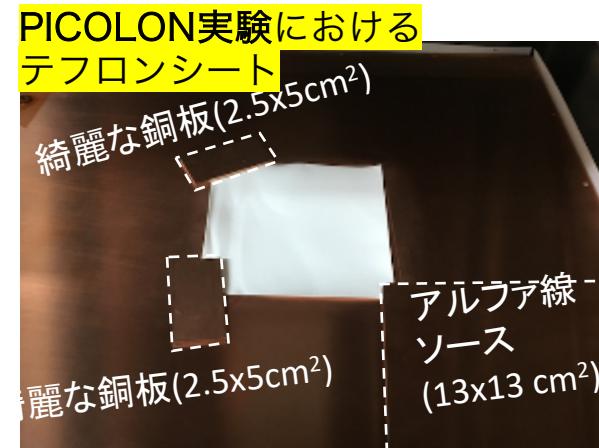
- 表面からの $\alpha$ 線: 暗黒物質・ $\beta\beta$ 実験などで問題
- NEWAGEのマイクロTPCで感度よく測定する
- Low- $a$   $\mu$ -PICを実装し感度2桁改善
- 位置解像度 ( $\sigma \sim 6$  mm)
- 達成感度:  $\sim 10^{-3}$  Alpha/cm<sup>2</sup>/hr @ 2週間
- 極低放射能BGで汚染イメージが取得できるユニークな放射線分析装置

NIMA *in press.* arxiv.1903.01090  
doi: 10.1016/j.nima.2019.163050



# サンプルの表面α分析状況

伊藤、石浦、身内



- アルファ線イメージ分析は、安定的に運用されている。複数サンプルの表面α線の同時分析にも成功した。少量のサンプル測定に関して効率がよい。
- Hyper-K, PICOLON, 中性子コンソーシアムなど、グループの枠を超えて表面α分析を実施している(共同利用を通じて分野へ貢献されている)
- 性能改善として、
  - 冷却活性炭を追加してラドンBGを抑制する。
  - 本装置のμ-PICや部材をより不純物の少ない材料に取り替えることで感度改善を目指す。

# B16: 神岡地下観測所における 中性子フラックスの測定 (中性子測定コンソーシアム)



申請時所属機関： 横国大、早稲田大、神戸大、阪大、東北大、京大、ICRR神岡

メンバー(20名)： 南野彰宏（代表）、佐々木遼太、竹田敦、市村晃一、小林兼好、細川佳志、和田佳樹、身内健太郎、池田智法、石村宏尚、中村拓馬、上野龍一、寄田浩平、田中雅士、木村眞人、青山一天、小津龍吉、吉田斉、山本康平、小原脩平

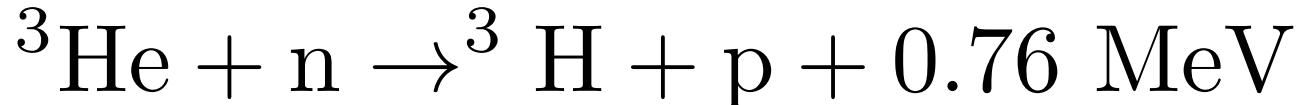
**査定金額：20万円**

**用途：**

- 旅費(横浜、早稲田、神戸～神岡)

# 本研究(B16)の概要

- 新学術「**地下素核**」(H26-H30年度)で、**中性子測定コンソーシアム**として若手を中心に活動開始。
  - 地下極低バックグラウンド実験で主要なバックグラウンドのひとつである環境中性子を、各計画研究グループの**枠を超えて連携**し、測定する。
  - ICRR共同利用ではB11（代表：身内氏）でH28年度より活動開始。
- 新学術「**地下宇宙**」(2019年度～)では、**中性子測定コンソーシアム**の活動を継続・発展させる。
  - 地下実験室における多地点・長期測定、検出器の低BG化、他。
- 今年度の主な活動：**
  - $^3\text{He}$ 比例計数管： 神岡地下実験室（Lab-C）における長期測定  
多地点測定にむけて検出器を追加（1台→3台）
  - 液体シンチレーター検出器： 低BG化（目標： $\alpha$ 線BGを1/10以下）

$^3\text{He}$ 比例計数管

- 神岡地下(Lab-B)での環境中性子測定 (2018年度以前の成果@B11)
  - PTEPに掲載: <https://doi.org/10.1093/ptep/pty133>

Flux ( $\times 10^{-6} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	Thermal (<0.5 eV)	Non-thermal
Kamioka (This result, Mizukoshi)	$7.9 \pm 0.2$ $+0.7$ $-0.7$	$15.6 \pm 0.5$ $+1.2$ $-1.4$
Kamioka (Minamino 2004)	$8.26 \pm 0.58$	$11.5 \pm 1.2$
Gran Sasso (A. Lindi 1988)※	$13.3 \pm 1.5$	$10.2 \pm 1.1$
LSM (K. Eitel 2012)※	$14.3 \pm 1.3$	$4.2 \pm 2.8$

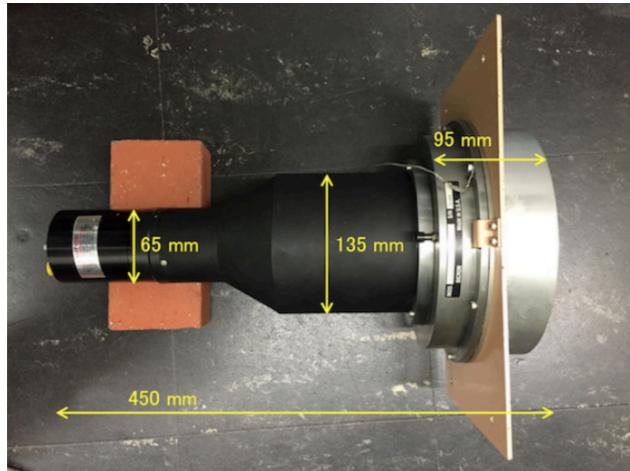
※ They used the different definition of flux. We compared in the same definition.

グラナサッソと神岡は同程度 (岩盤中のU/Thの( $\alpha, n$ )+自発核分裂が主なソース)

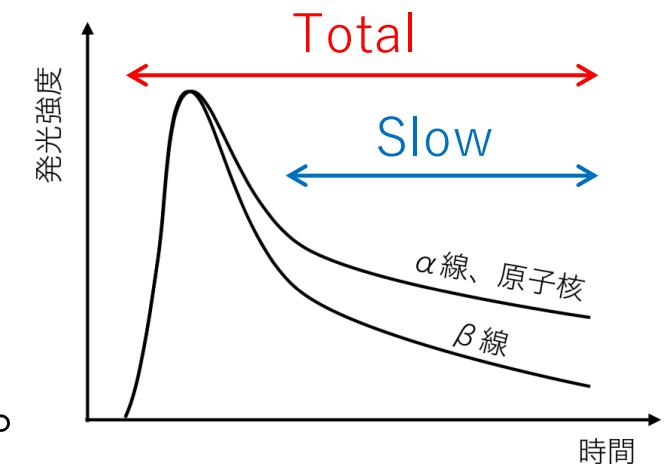
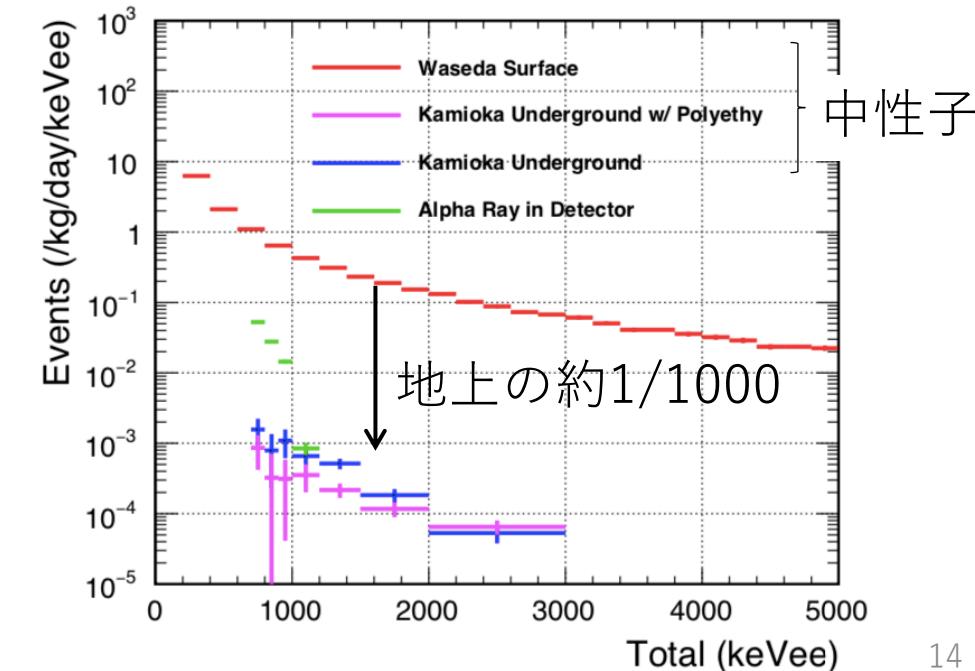
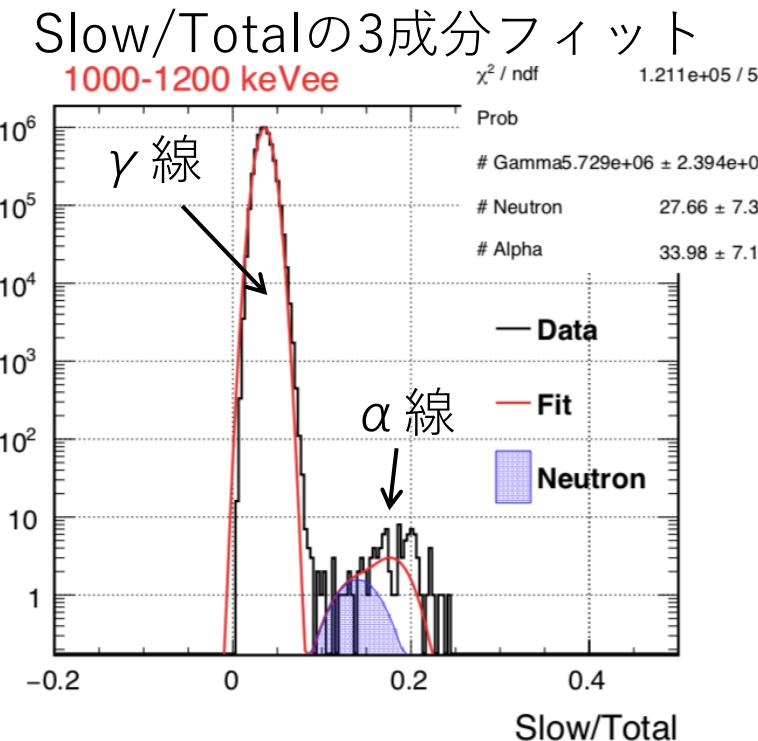
- $^3\text{He}$ 比例計数管を3台に増やし、多地点・長期観測に向けた準備中

# 液体シンチレーター検出器

- 液シン検出器による神岡地下の環境中性子測定
  - 神岡地下は地上の約1/1000
  - $\alpha$ 線BGのため10MeV以下の測定が困難。
  - 目標:  **$\alpha$ 線BGを1/10以下に低減**し、閾値1 MeVで測定。



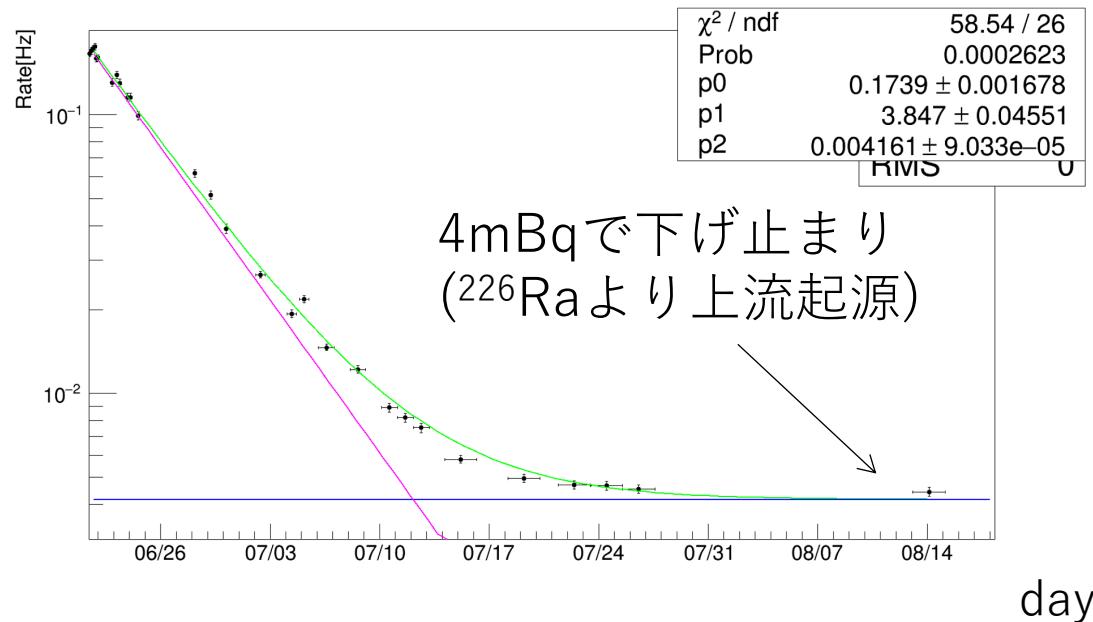
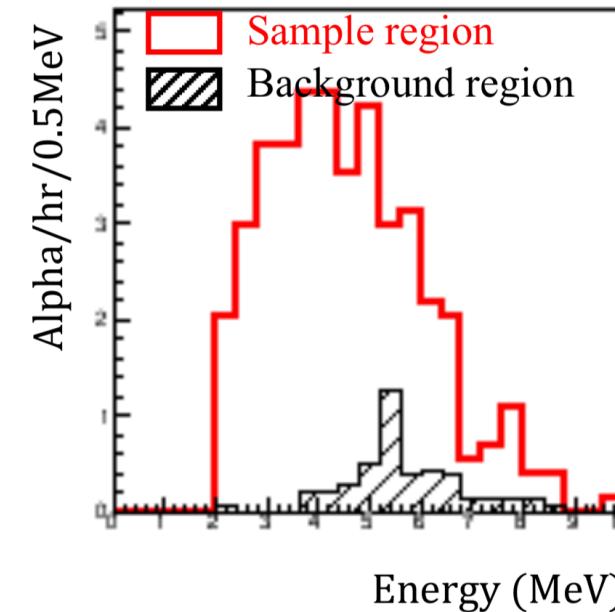
液シン(BC501A, 4.37kg)  
PMT(浜ホト H6527)



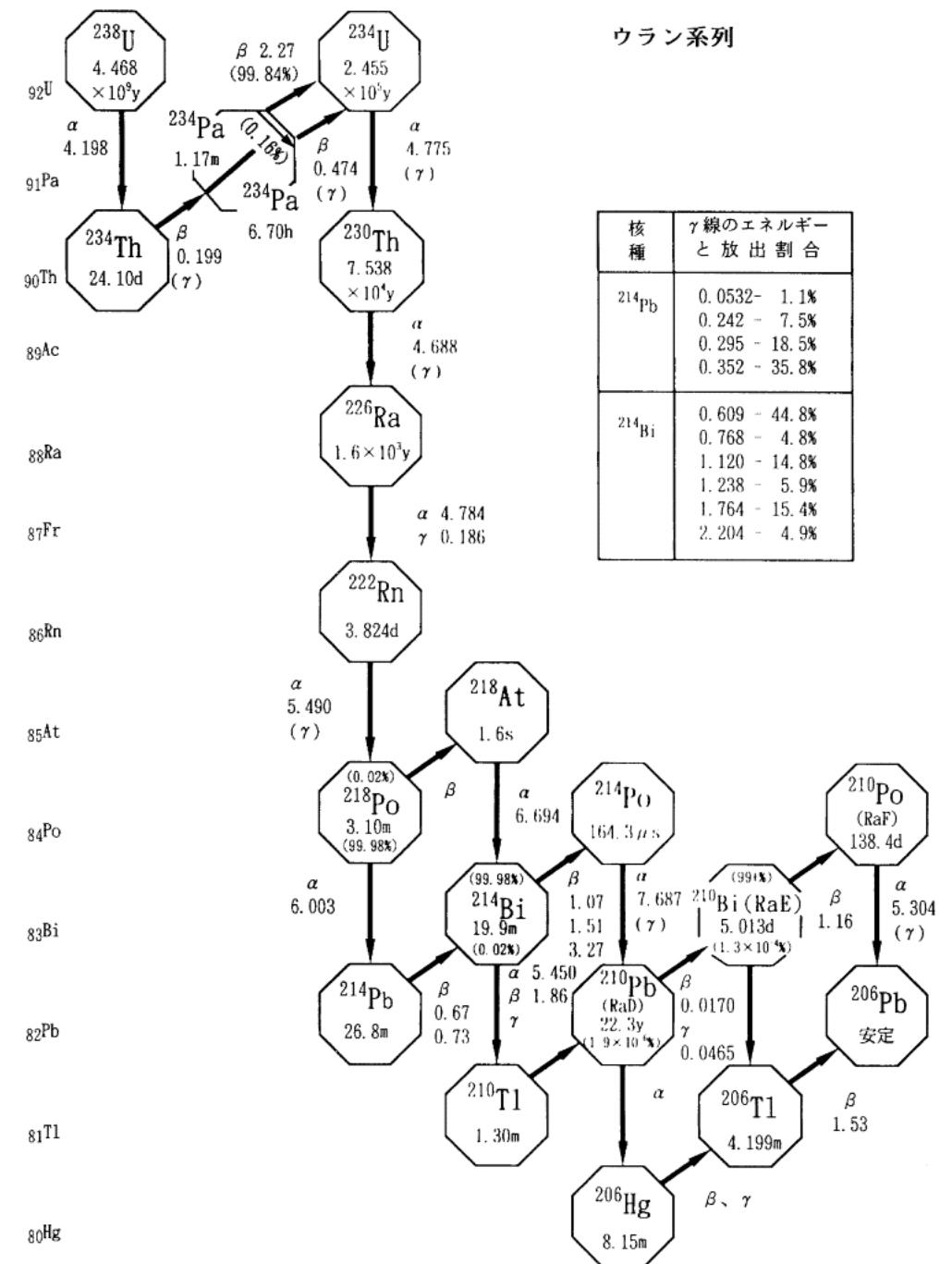
# 液体シンチレーター検出器の低BG化

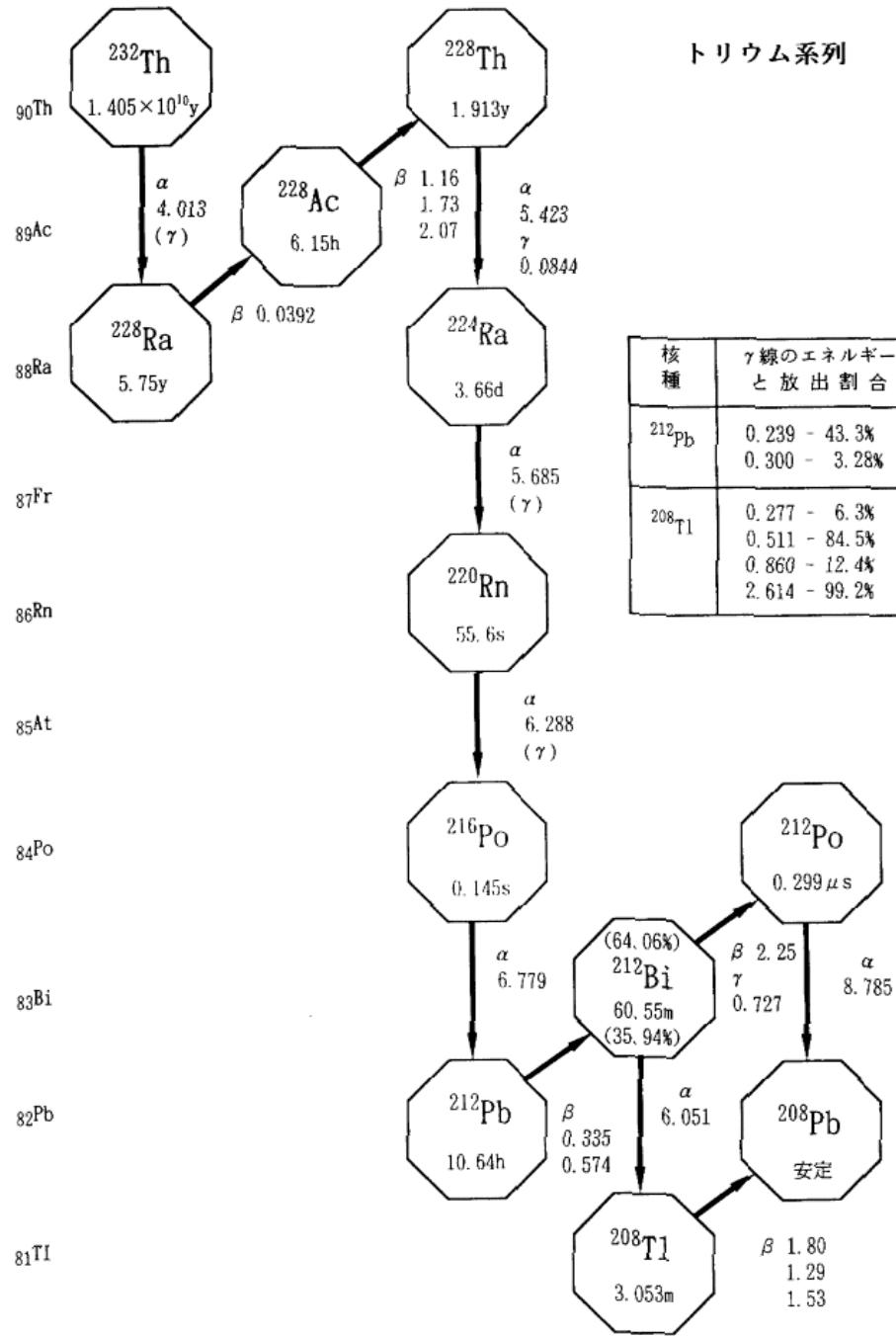
- 低BG化: ステンレス容器（反射材なし）+ 液シンの純化
  - Bi-Poのrateは $^{222}\text{Rn}$ の半減期で減少後、4mBqで下げ止まり。
    - 低BG化前とオーダーで同じ。更なる低BG化が必要。
    - 液シン自体はICP-MS測定（環境科学技術研究所）からU, Thに関して非常にきれい。
    - 表面 $\alpha$ 分析測定(AICHAM)からフランジ窓ガラスが汚い。 $\rightarrow$  **石英窓**へ交換。

Bi-Po delayed coincidenceの頻度

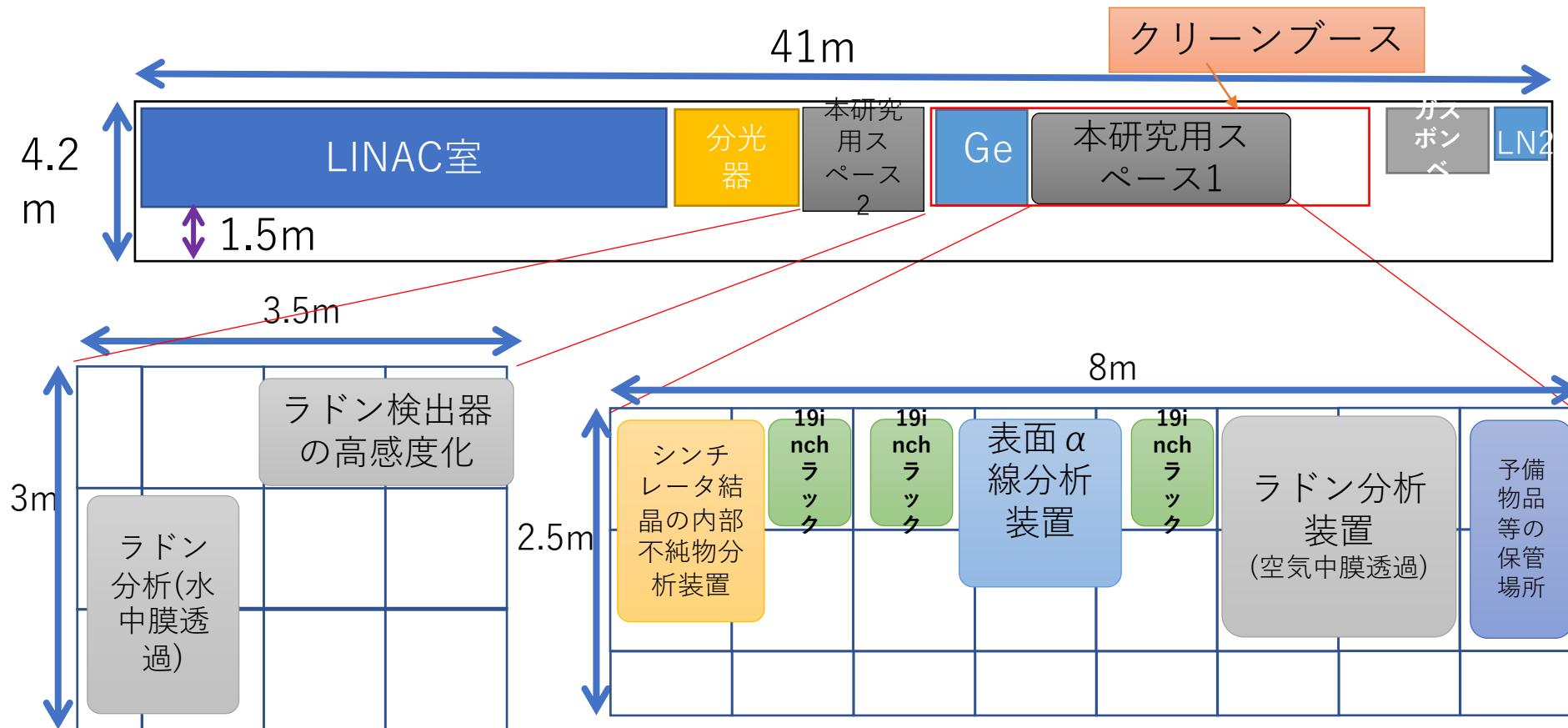
フランジ窓ガラスの表面 $\alpha$ 分析測定(AICHAM)

# Backup



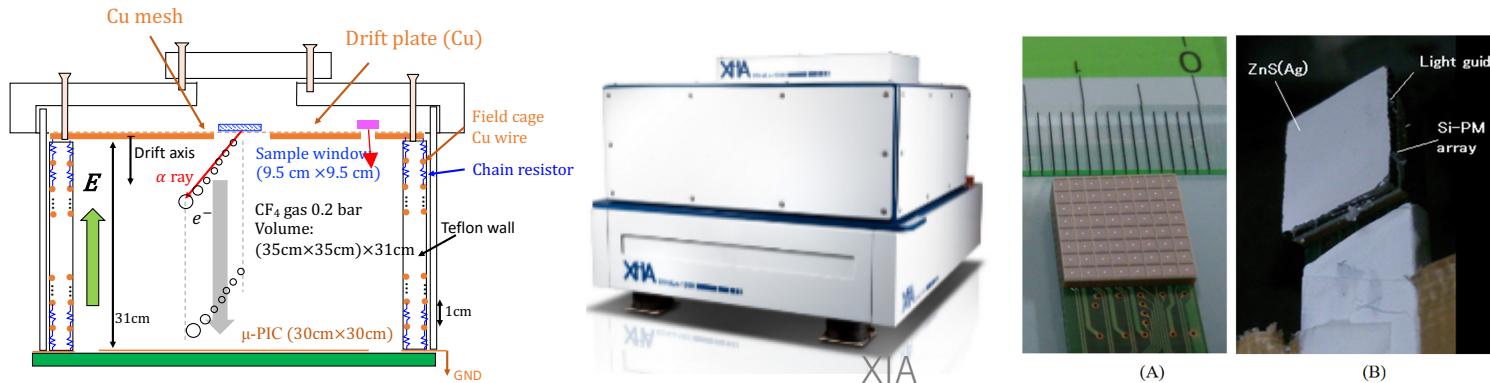


# LAB-A: 装置の配置図





## 2. アルファ線イメージ分析装置 性能比較

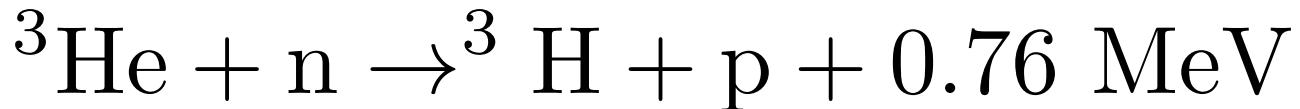


~2weeks measurement specification

	<b>AICHAM</b> <a href="https://arxiv.org/abs/1903.01090">arxiv.1903.01090</a>	<b>Ultra-Lo 1800</b> <a href="#">NIM A 750</a> 96, <a href="#">NIM A 884</a> 157.	<b>ZnS(Ag)+SiPM</b> <a href="#">NIM A 894 (2018)</a> 33.
Method	$\mu$ -TPC	Ion-chamber	Scintillation photon
Effective Area	10 cm x 10 cm	707 cm <sup>2</sup> , 1800 cm <sup>2</sup>	8 mm x 8 mm
Position resolution	7 mm ( $\sigma$ )	—	0.2 mm (FWHM)
Energy resolution	7% ( $\sigma$ )@ 5.3 MeV	4.7% ( $\sigma$ ) @5.3 MeV	74% (FWHM) @5 MeV
Detection efficiency	21%	>90%	0.3%
Limited Sensitivity	$10^{-3}$ a/cm <sup>2</sup> /hr	$10^{-4}$ a/cm <sup>2</sup> /hr	0.06 cpm ( $\sim 10^3$ a/cm <sup>2</sup> /hr)

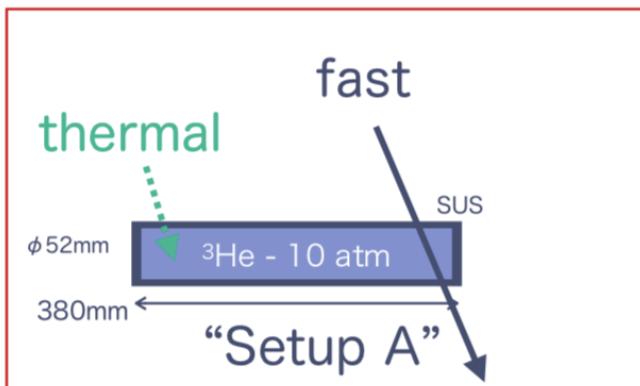
# $^3\text{He}$ 比例計数管

- 検出原理

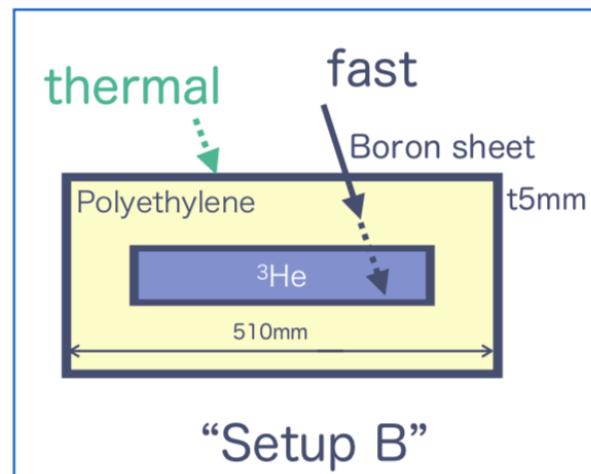
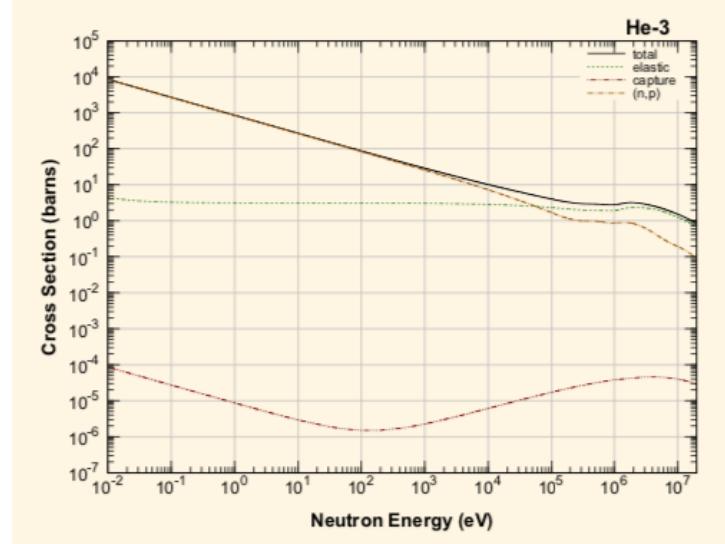
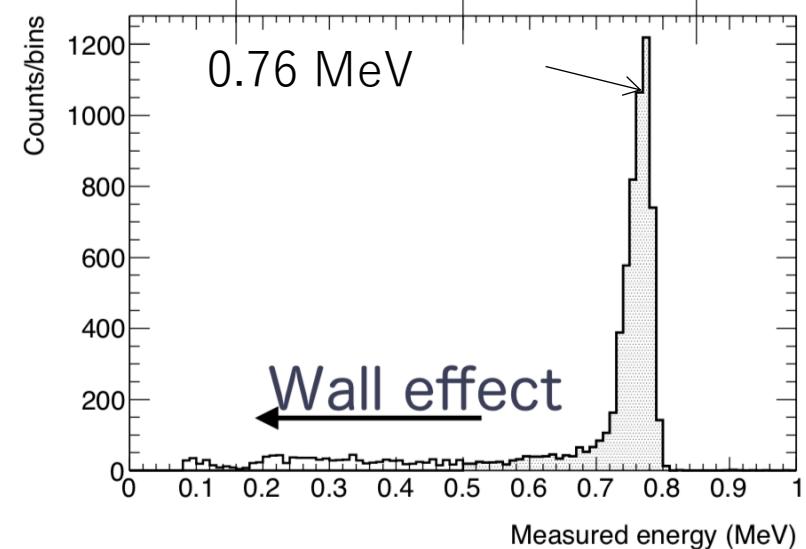


- 熱中性子( $\sim 0.025\text{eV}$ ): 高い感度
- 高速中性子: 減速材(ポリエチ)で熱化し検出
  - スペクトルを仮定し、Geant 4で検出効率の見積り(不定性大)

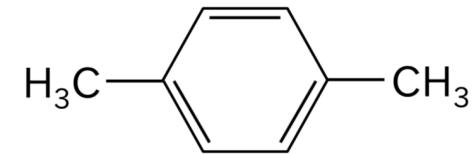
## 熱中性子測定



## 高速中性子測定

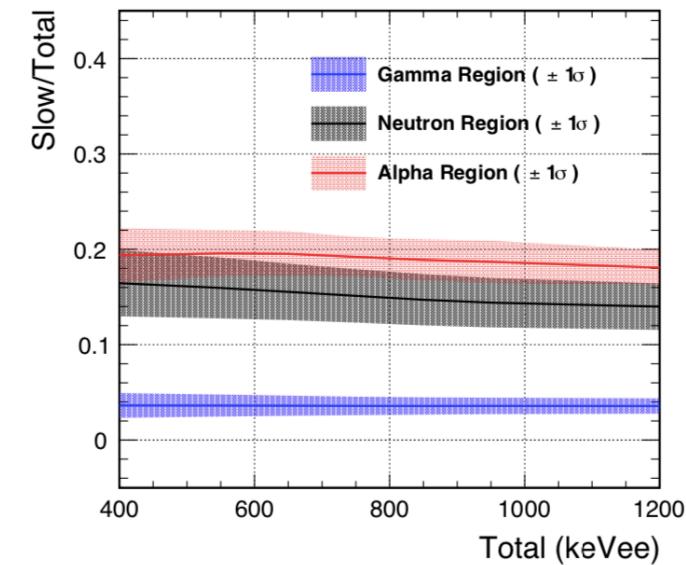
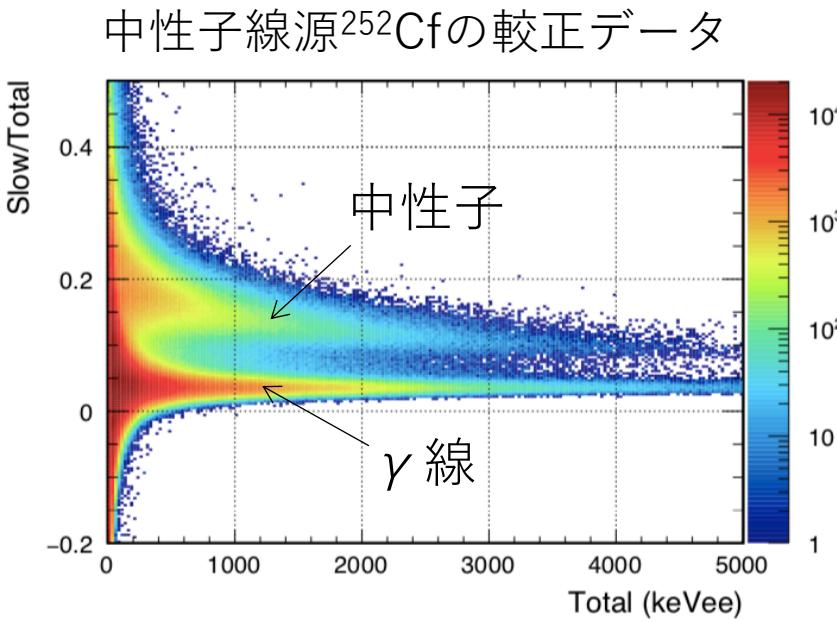
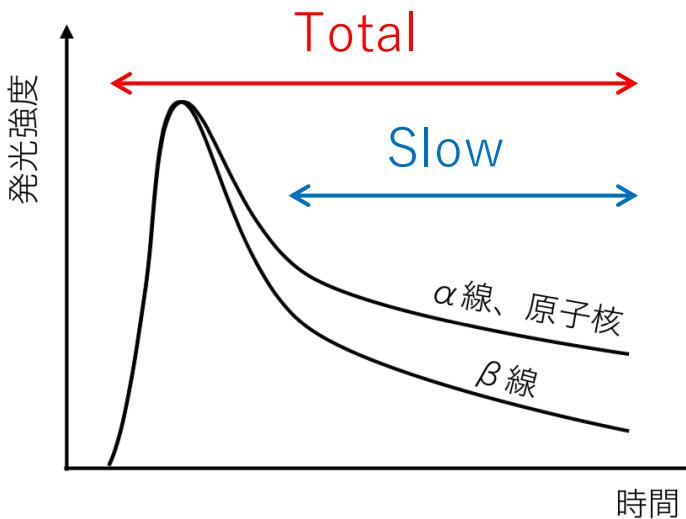
 $^3\text{He}$ と中性子の反応断面積中性子線源( $^{252}\text{Cf}$ )較正データ

# 液体シンチレーター検出器



- 検出原理

- 液シンBC-501A: 溶媒（キシレン） + 発光物質 + 波長変換剤
- 中性子が陽子を反跳したエネルギーをシンチ光で観測。
- 波形弁別で  $\gamma$  線 ( $\beta$  線) BGは低減できるが、 $\alpha$  線BGはきつい。

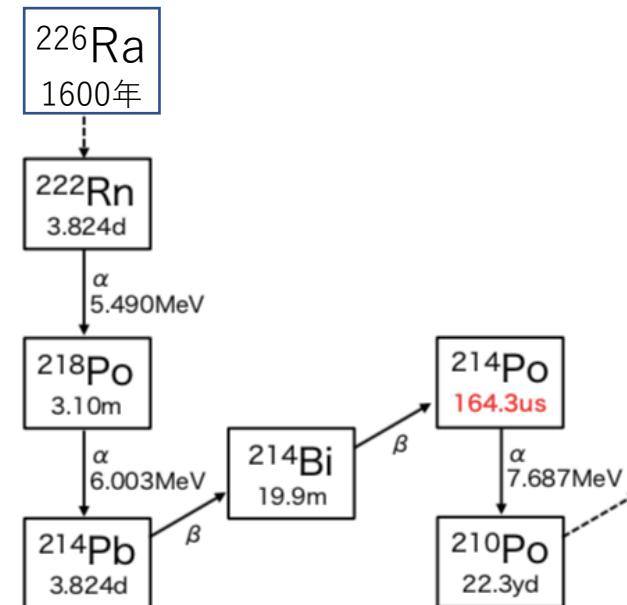


# 液シン検出器低BG化の速報

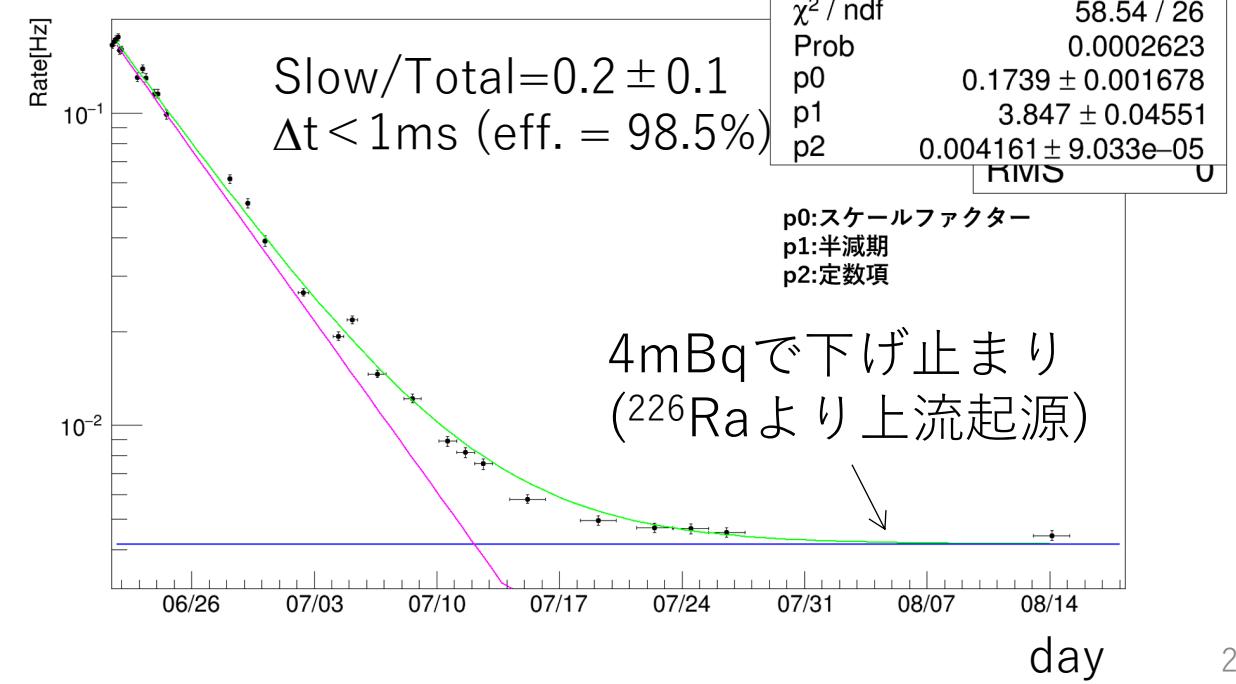
- 低BG化: ステンレス容器（内側反射材なし）+ 液シンの純化
  - Bi-Poのrateは $^{222}\text{Rn}$ の半減期で減少後、4mBqで下げ止まり。
  - 今のところ低BG化前とオーダーで同じ。更なる低BG化が必要。



ウラン系列の一部



Bi-Po delayed coincidenceの頻度



## Gadolinium powder status

- ▶ 14tons of Gd sulfate have been delivered to Kamioka by the end of September
- ▶ Radioactivity screening is being performed on all the different lots in order to validate if the Gd-powder passes our requirements.
- ▶ 2/3 of the Gd powder have been screened in Kamioka (about half have been screened by Ge detectors outside Japan).
- ▶ So far, all the samples passed our requirements.



Chain	Isotope	Requirement (mBq/kg)
238U	238U	< 5
	226Ra	< 0.5
232Th	232Th	< 0.05
	228Ra	< 0.05
	228Th	< 0.05
235U	235U	< 30
	227Ac/Th	< 30