

# B04 神岡地下観測所における 中性子フラックス測定

査定金額：20万円

用途：旅費、修繕費

南野彰宏（横国大）

for 中性子測定コンソーシアム

2022年度ICRR共同利用研究成果発表会

2023年2月22日

# 目次

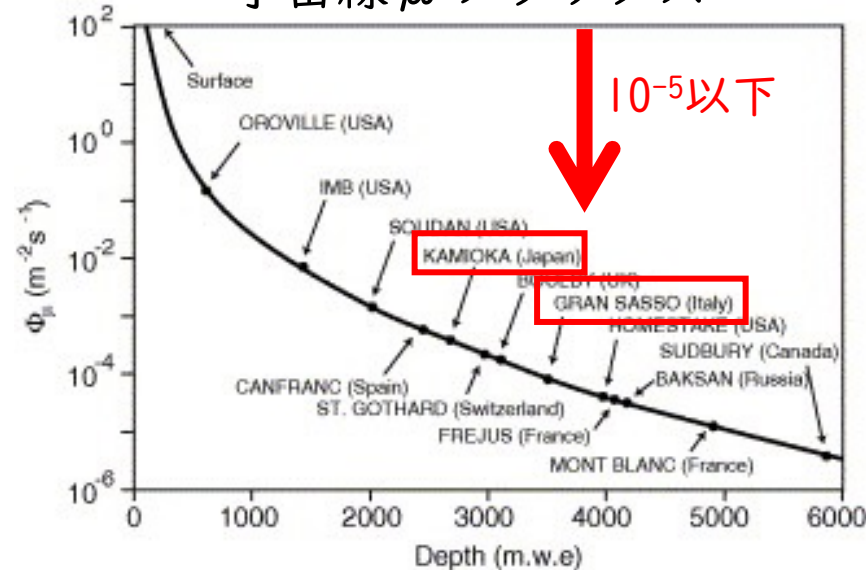
- 地下実験室における環境中性子
- $^3\text{He}$ 比例計数管による測定
- 液体シンチレーター検出器による測定
- まとめ

# 地下実験室のよい点

- 宇宙線  $\mu$  が地上の  $10^{-5}$  倍以下
  - 宇宙線  $\mu$  の核破砕による放射性核種の生成が抑えられる。
  - 宇宙線  $\mu$  による核破砕起源の環境中性子が少ない。

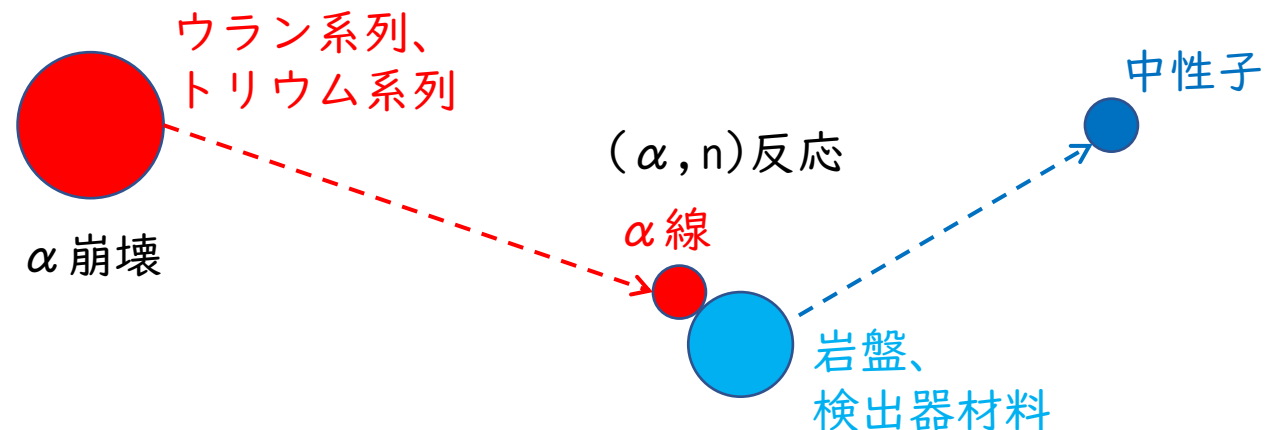
\* Astrop. Phys. J., 21(2004), p.523-533

宇宙線  $\mu$  フラックス



# 地下実験室における環境中性子

- 地下宇宙素粒子実験のバックグラウンド源
  - 標的物質との弾性散乱→宇宙暗黒物質直接探索
  - 標的物質との非弾性散乱→ニュートリノを伴わない二重 $\beta$ 崩壊探索
- 地下実験室での主な環境中性子発生源
  - 岩盤や検出器材料とそれに含まれるウラン系列、トリウム系列の崩壊で発生する $\alpha$ 線との $(\alpha, n)$ 反応。



# 地下実験室の環境中性子測定

- 中性子測定コンソーシアム
  - 2015年に若手を中心に立ち上げ。
  - 複数の実験グループで協力
- 本研究では2種類の検出器を開発

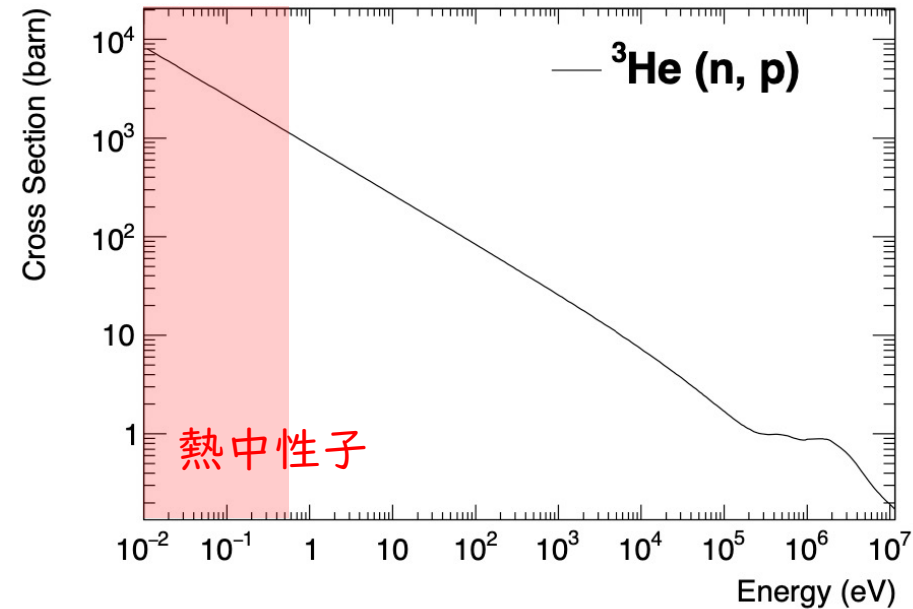
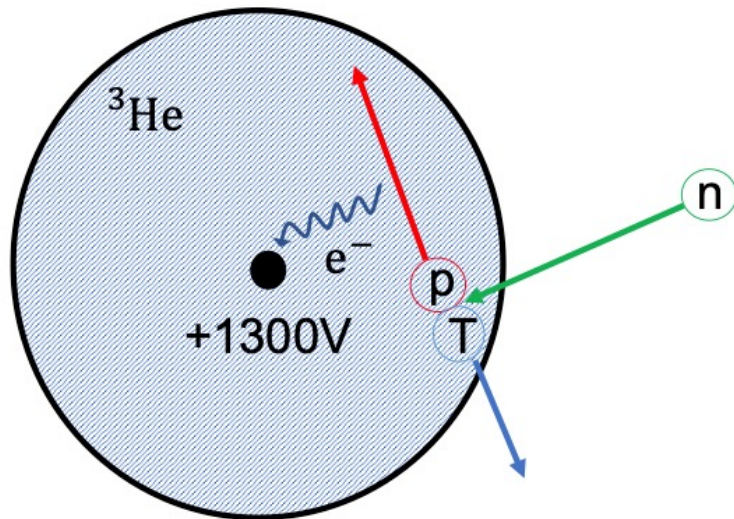


検出器	標的原子核	測定に使う反応	感度領域
$^3\text{He}$ 比例計数管	$^3\text{He}$	(n, p)反応	熱中性子
有機液体シンチレーター	H (主に)	弾性散乱	高速中性子

熱中性子: 運動エネルギーが0.5 eV以下  
高速中性子: 運動エネルギーが1 MeV以上

# $^3\text{He}$ 比例計数管

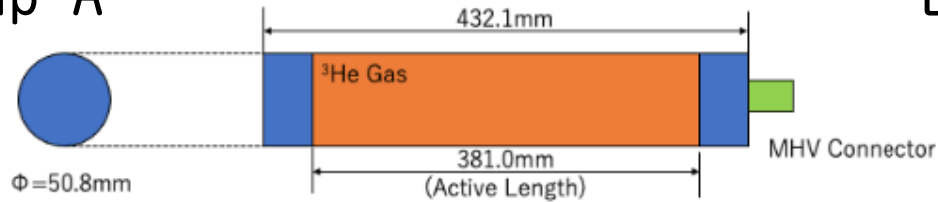
- $^3\text{He} + n \rightarrow p + T + 0.765 \text{ MeV}$
- 熱中性子に高い感度
- 高速中性子は減速材（ポリエチレンなど）で減速後に測定。



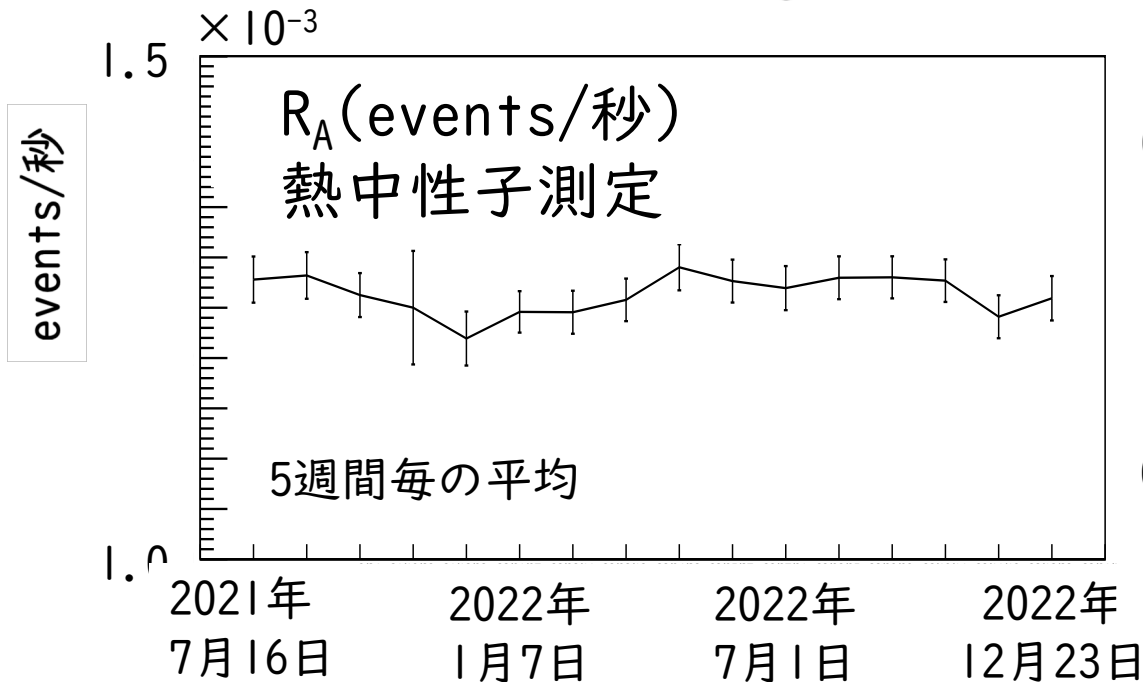
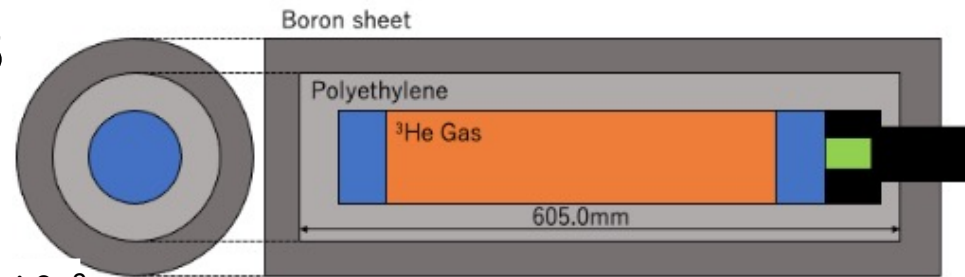
# $^3\text{He}$ 比例係数管による地下環境中性子測定

- 神岡地下実験室Lab-B、2021年7月～2023年1月

Setup A



B

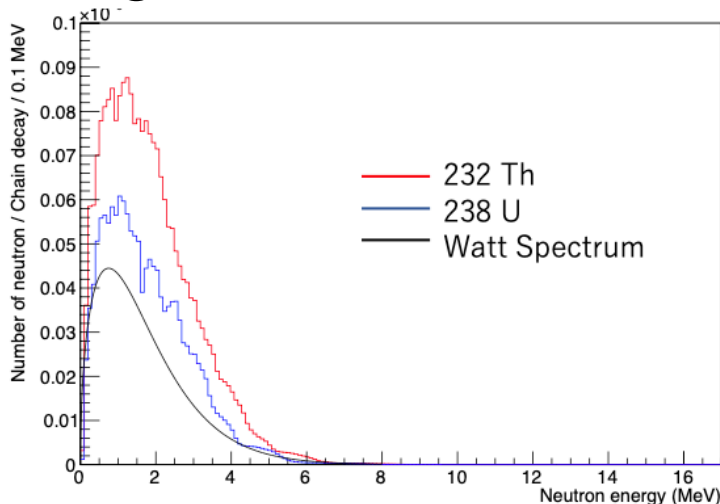


# 地下環境中性子測定：シミュレーションによる見積もり

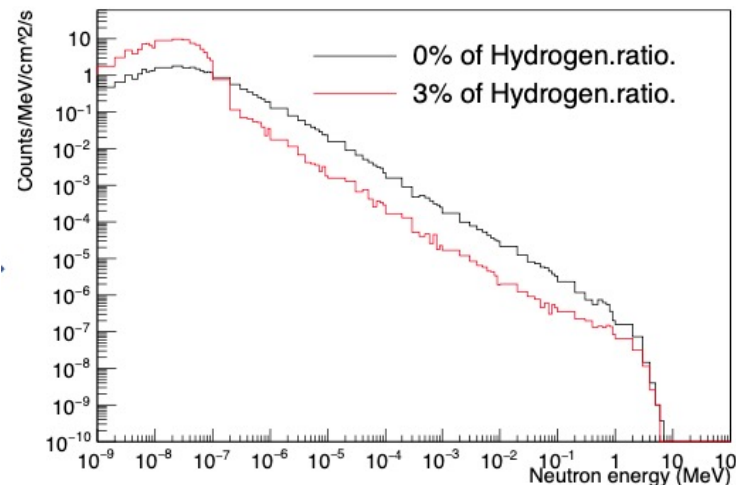
• 先行研究の手法 (K.Mizukoshi et al., PTEP (2018) 123C01.)

- ① 中性子の発生：岩盤中の $(\alpha, n)$ 反応  $\rightarrow$  NeuCBOT\*
- ② 岩盤から実験室への中性子の輸送  $\rightarrow$  Geant4
- ③ 各中性子のスペクトラムに対する $^3\text{He}$ 比例計数管の応答  $\rightarrow$  Geant4

①発生時スペクトラム



② 輸送後スペクトラム



③  $^3\text{He}$ 比例計数管の応答

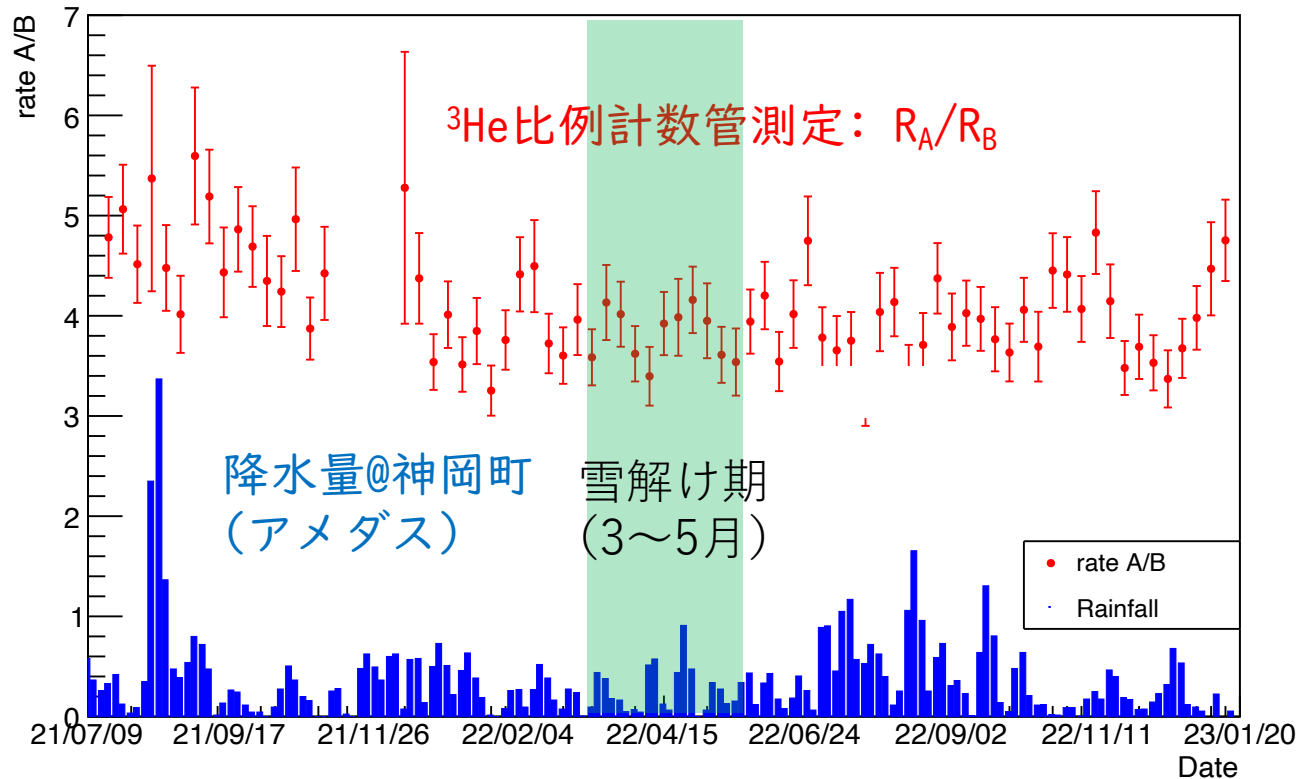
岩盤中の水素(質量比)	0%	3%
$R_A$ (熱中性子)	3567	10792
$R_B$ (高速中性子)	3980	2484
$R_A/R_B$	0.9	4.4

岩盤中の水が多い $\rightarrow$ 熱中性子が多い

\* TALYS([www.tendl.web.psi.ch](http://www.tendl.web.psi.ch))の計算結果を利用した $(\alpha, n)$ 反応シミュレーター



# 地下環境中性子測定：降水量との比較



岩盤中の水素 (質量比)	2%	3%	3.5%
$R_A/R_B$	3.4	4.4	4.7

雪解け期 (3月~5月)、シミュレーションの予想に反して  $R_A/R_B$  の測定値は増えなかった。

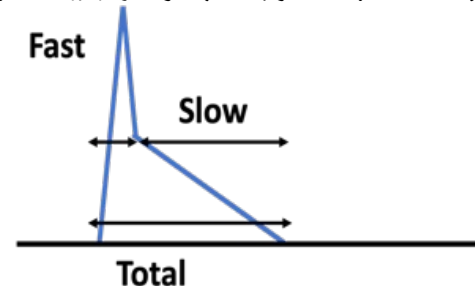
降水量との有意な相関もなかった。

- 長期観測を継続し、複数年に渡りカウントレートを調査する。
- 中性子線源を用いた $^3\text{He}$ 比例計数管の較正を定期的に行う。
- エネルギースペクトルを直接測定できる液体シンチレータ検出器と同時観測を行う。
- 測定を行ったLab-B付近のトンネル排水量やラドン濃度との相関を調べる。

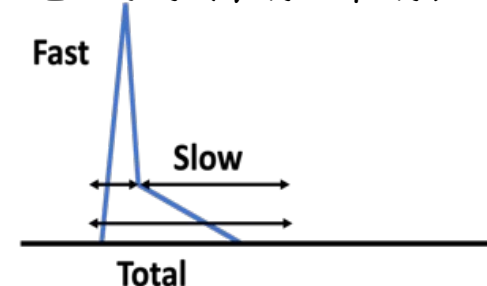
# 液体シンチレータ\*検出器

- 中性子に反跳された陽子を検出。
- 波形弁別により $\gamma$ 線、電子は除去できるが $\alpha$ 線は難しい。

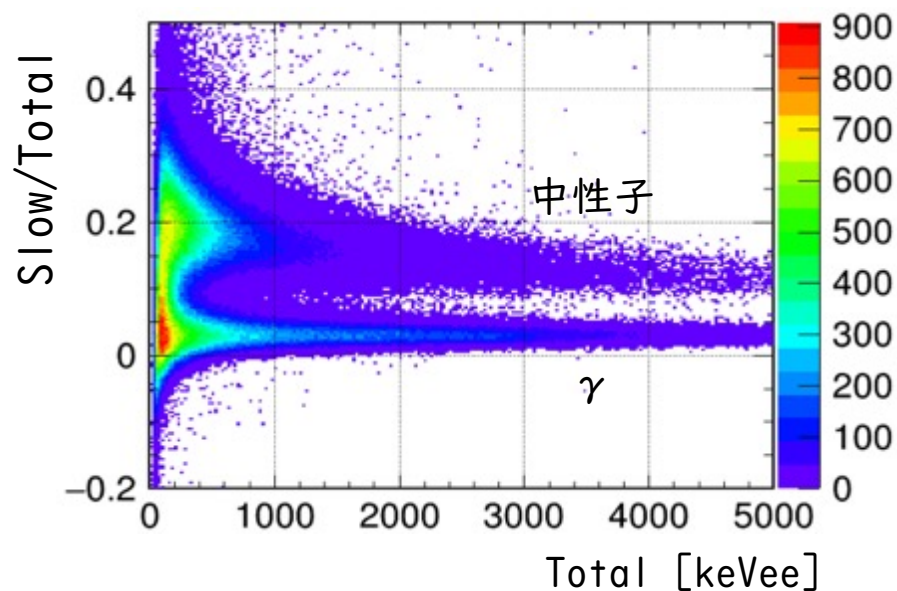
原子核事象( $\alpha$ 線や中性子)



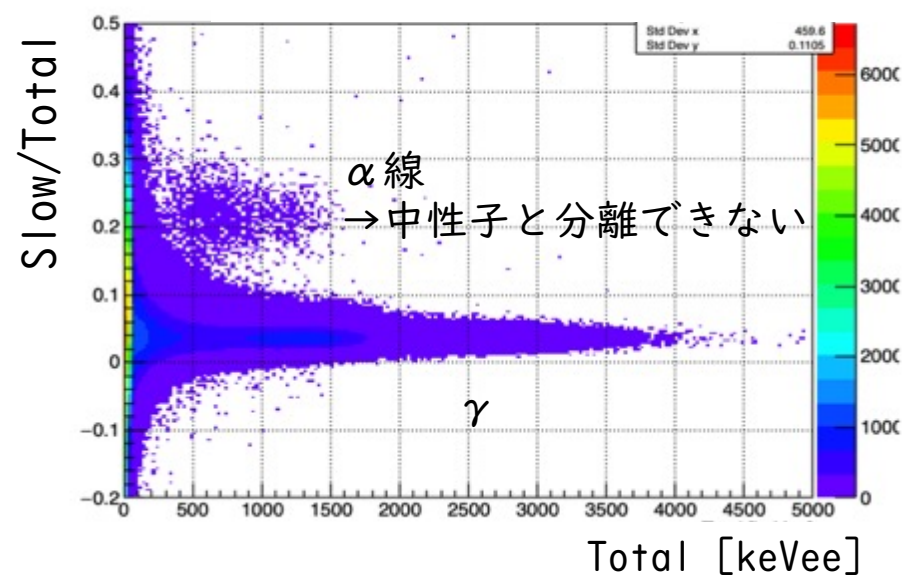
電子事象( $\gamma$ 線や $\beta$ 線)



$^{252}\text{Cf}$ 中性子線源Run

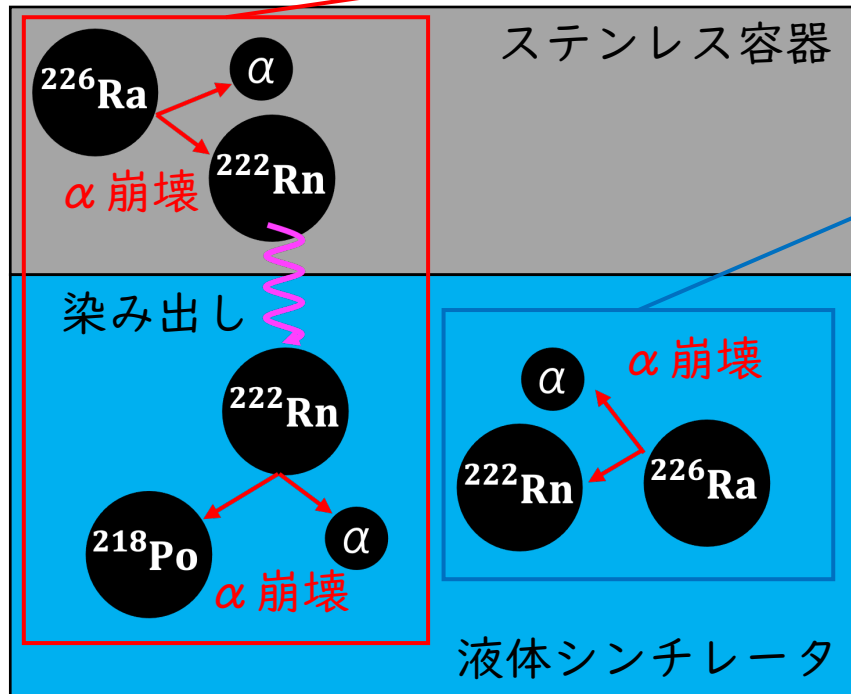


バックグラウンドRun

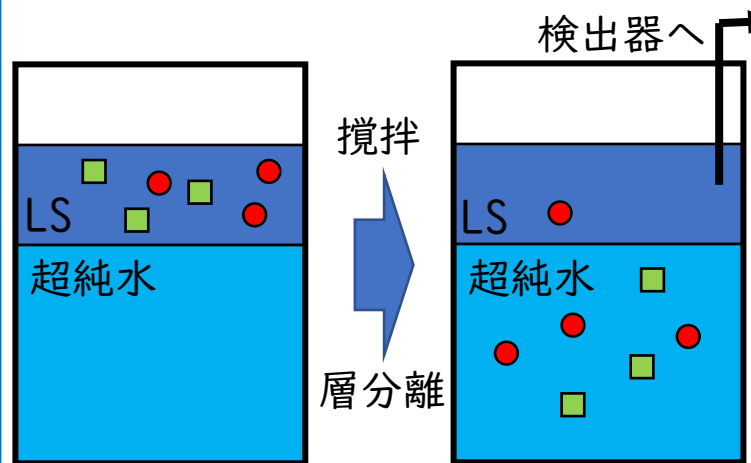


# 液体シンチレータ検出器の低バックグラウンド化

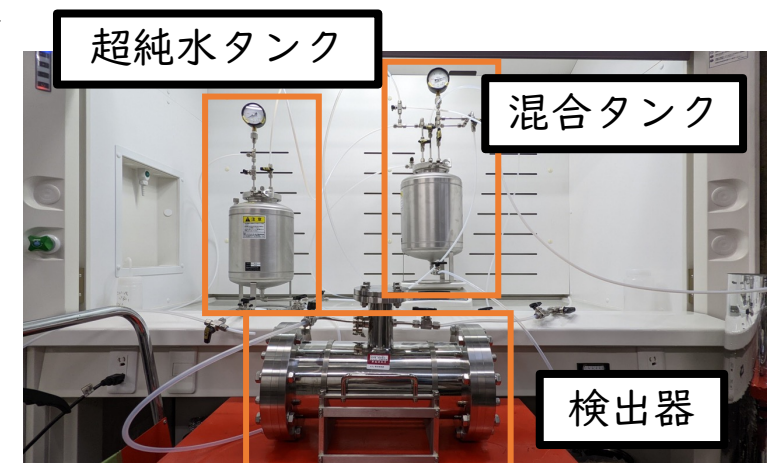
- ステンレス容器からの $^{222}\text{Rn}$ の染み出し
  - 電解複合研磨（ラドン検出器の技術\*）



- 液体シンチレーター中の放射性核子
  - 超純水による液液抽出



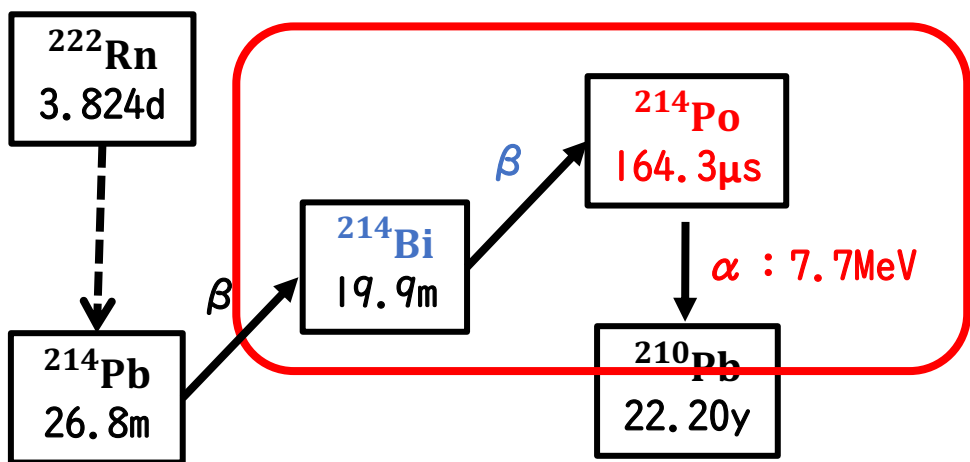
早稲田大の純化システム



\* J. of Phys. Conf. Series 469 (2013) 012007.

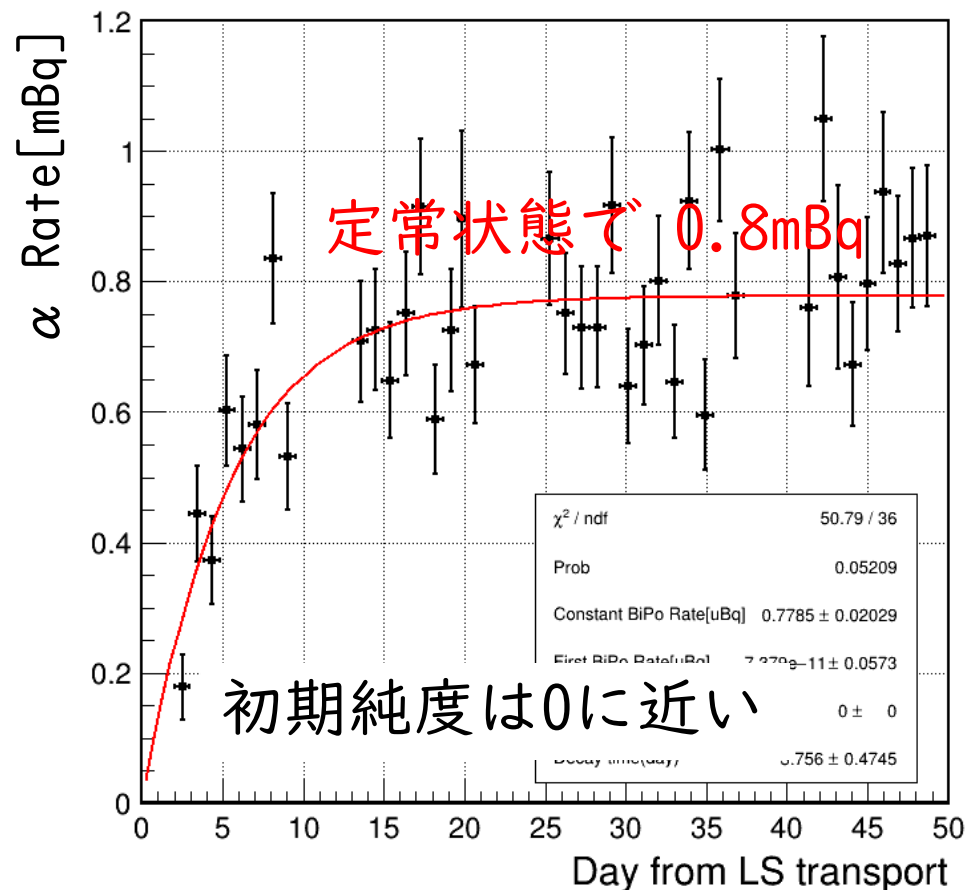
# 液体シンチレータ検出器の $\alpha$ 線バックグラウンド

- $\alpha$ 線バックグラウンドを $^{214}\text{Bi}$ - $^{214}\text{Po}$ の遅延同時計測で評価



$^{214}\text{Po}$ の半減期が短いため $\Delta t$ で強力に事象選択可

Bi-Po  $\alpha$ 線レートの時間変動



# ICP-MSによる液体シンチレーター中RI測定@筑波大

## 液体シンチレーター4.8 L中のRI量

	$^{232}\text{Th}$ の質量 [pg]	$^{238}\text{U}$ の質量 [pg]
純化前1	$26.2 \pm 0.1$	$0.0911 \pm 0.0234$
純化前2	$27.7 \pm 0.2$	$0.119 \pm 0.023$
純化前3	$24.1 \pm 0.4$	$0.216 \pm 0.034$
純化前 (平均)	$26.0 \pm 0.2$	$0.143 \pm 0.016$
純化後1	$6.04 \pm 0.06$	$0.214 \pm 0.019$
純化後2	$5.56 \pm 0.24$	$0.0594 \pm 0.0308$
純化後3	$6.32 \pm 0.12$	$0.143 \pm 0.012$
純化後 (平均)	$5.97 \pm 0.09$	$0.140 \pm 0.013$

↓  
純化で77%減少

↓  
純化で変化なし

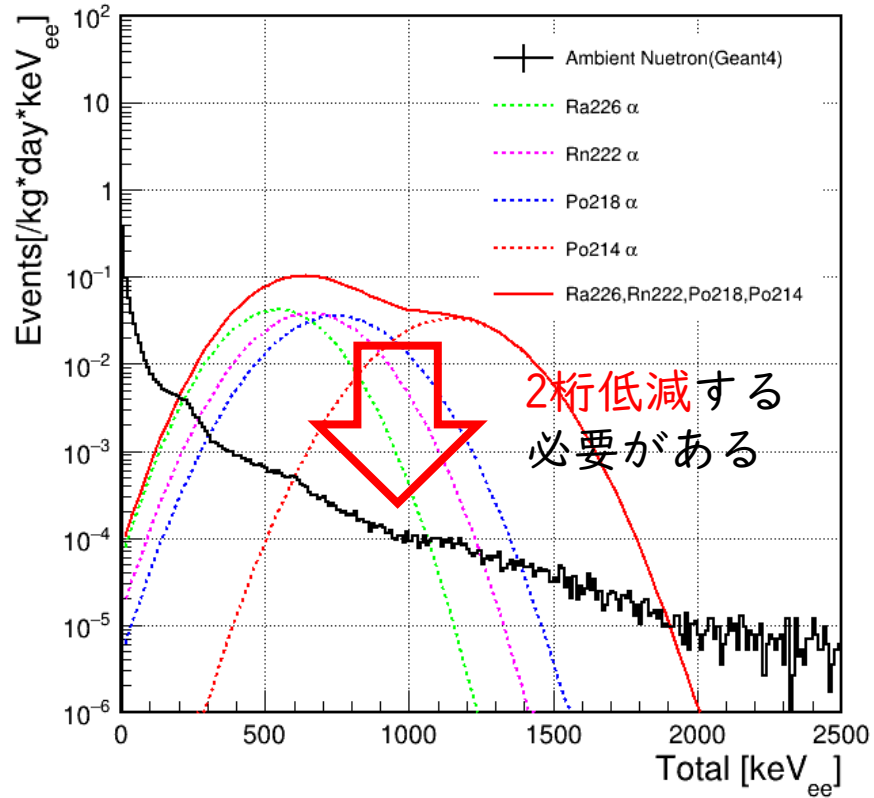
## 純化後4.8 L中の崩壊頻度

	崩壊頻度 [mBq]
$^{232}\text{Th}$	$(2.42 \pm 0.03) \times 10^{-5}$
$^{238}\text{U}$	$(1.74 \pm 0.16) \times 10^{-6}$
$^{214}\text{Po}$ (遮蔽体中)	0.784

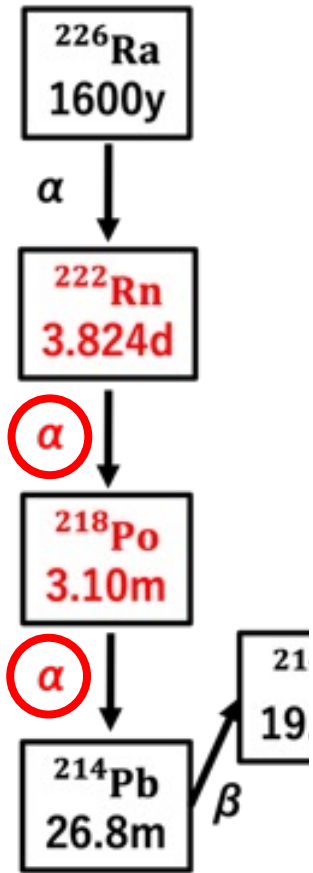
この測定から分かったこと：  
液体シンチレーター中のRIが  
主なバックグラウンドである場合  
U系列の放射平衡は崩れている。

# 液体シンチレータ検出器のバックグラウンドの低減に向けて

期待される環境中性子スペクトラムと  
α線バックグラウンド(0.8mBq)の比較



- 低バックグラウンド化で **1桁** 低減
  - ステンレス容器の表面処理
  - 液体シンチレータの純化
  - 窒素バブリングによる<sup>222</sup>Rnの低減
- 解析で **更に 1桁** 低減
  - γ線のパイルアップによる偽事象
  - 遅い遅延同時計測: <sup>222</sup>Rn-<sup>218</sup>Poの **α** と **α** (<sup>218</sup>Poの半減期 3.1分)



# まとめと今後の予定

- 神岡地下環境中性子測定
  - $^3\text{He}$ 比例計数管による2021年7月～2023年1月の測定と降水量を比較したところ、有意な相関はなかった。
  - 液体シンチレーター検出器のバックグラウンドを2桁低減する必要がある。
- 今後の予定
  - $^3\text{He}$ 比例計数管の長期測定を継続する。
  - 液体シンチレーター検出器のバックグラウンドを低バックグラウンド化で1桁、解析で1桁低減する。
  - $^3\text{He}$ 比例計数管と液体シンチレーター検出器の同時測定を行う。

バックアップ



# 地下環境中性子測定：降水量との比較

