

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

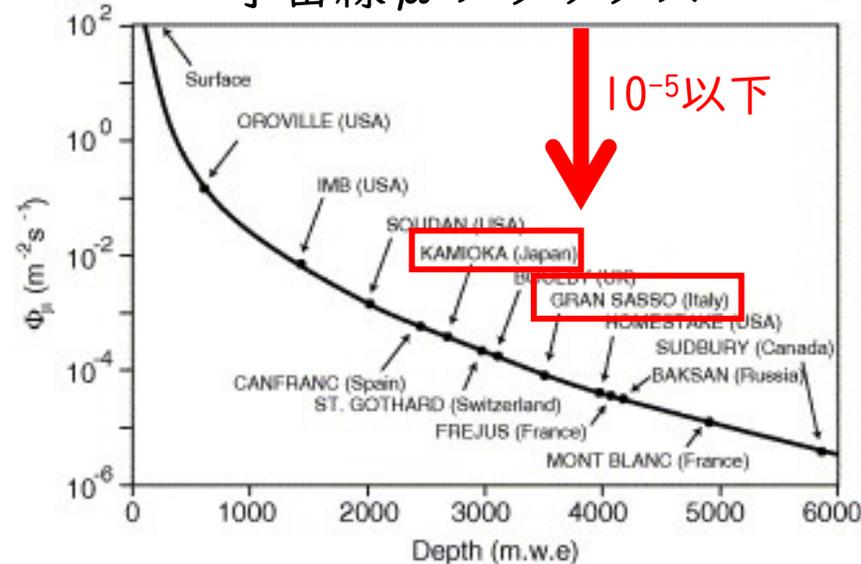
- 地下実験室における環境中性子
- ^3He 比例計数管による測定
- 液体シンチレーター検出器による測定
- まとめ

地下実験室のよい点

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

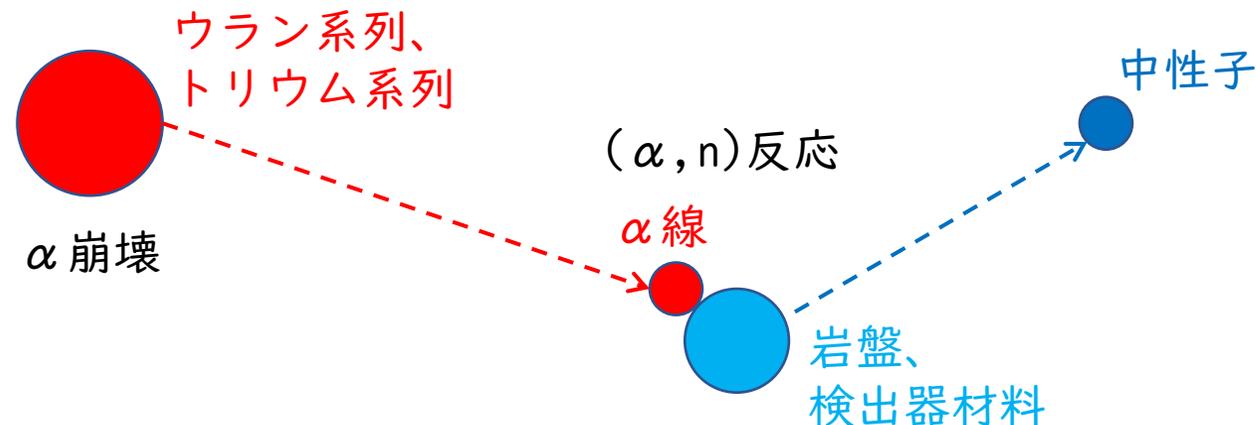
* Astrop. Phys. J., 21(2004), p.523-533

宇宙線 μ 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 β 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 α 線との (α, 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

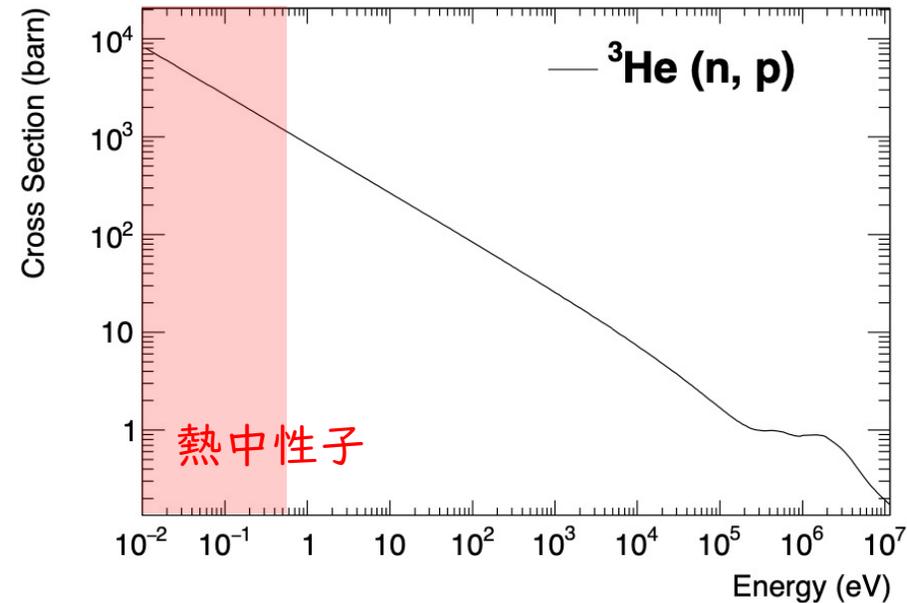
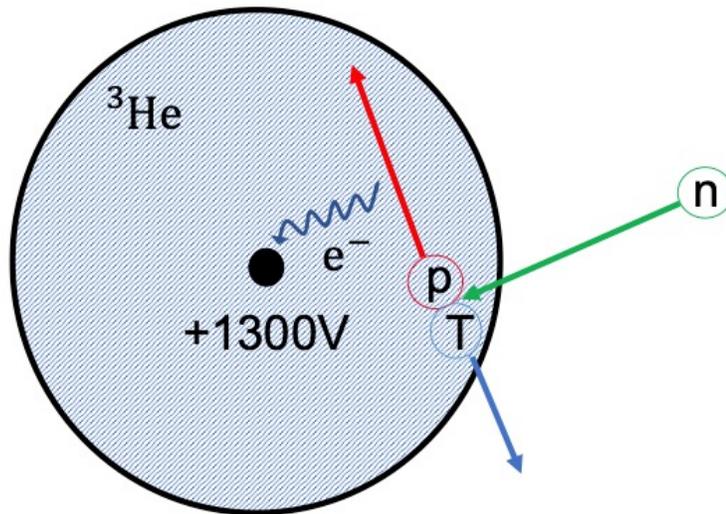


| 検出器 | 標的原子核 | 測定に使う反応 | 感度領域 |
|---------------------|---------------|----------|-------|
| ^3He 比例計数管 | ^3He | (n, p)反応 | 熱中性子 |
| 有機液体シンチレーター | H (主に) | 弾性散乱 | 高速中性子 |

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

^3He 比例計数管

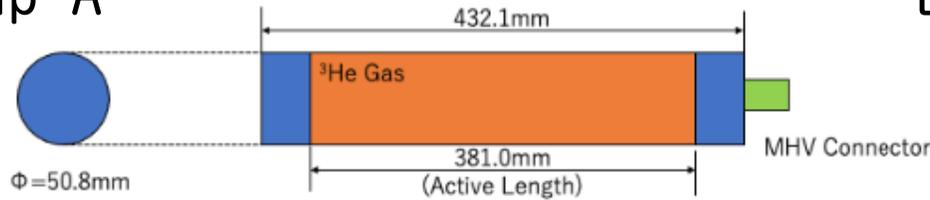
- $^3\text{He} + n \rightarrow p + T + 0.765 \text{ MeV}$
- 熱中性子に高い感度
- 高速中性子は減速材（ポリエチレンなど）で減速後に測定。



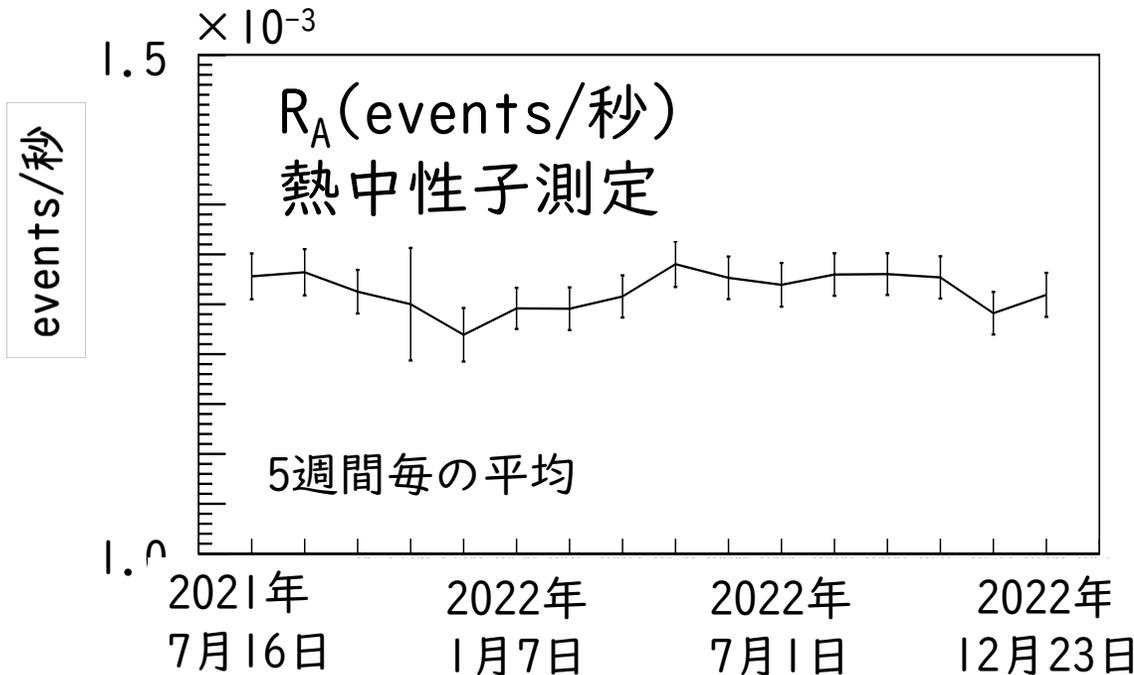
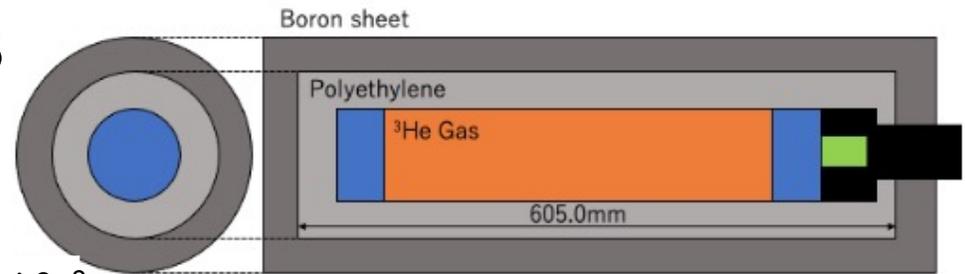
^3He 比例係数管による地下環境中性子測定

- 神岡地下実験室Lab-B、2021年7月～2023年1月

Setup A



B

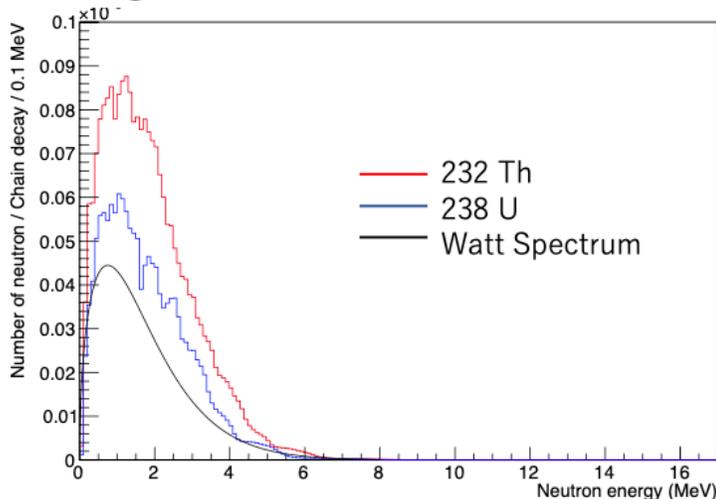


地下環境中性子測定：シミュレーションによる見積もり

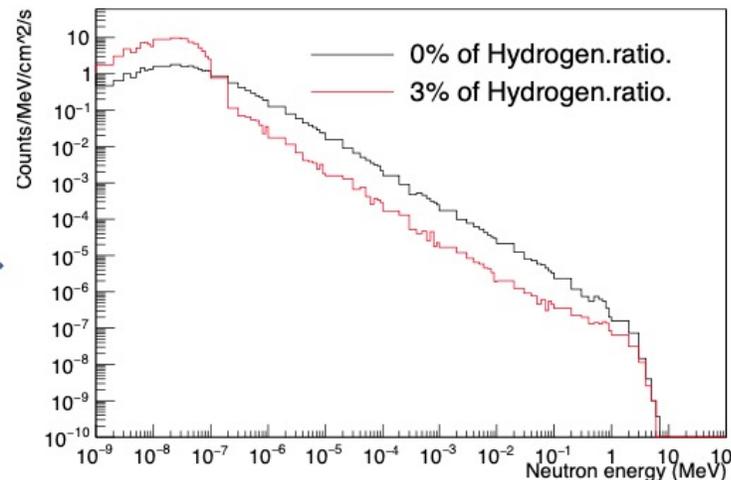
• 先行研究の手法 (K.Mizukoshi et al., PTEP (2018) 123C01.)

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

①発生時スペクトラム



② 輸送後スペクトラム



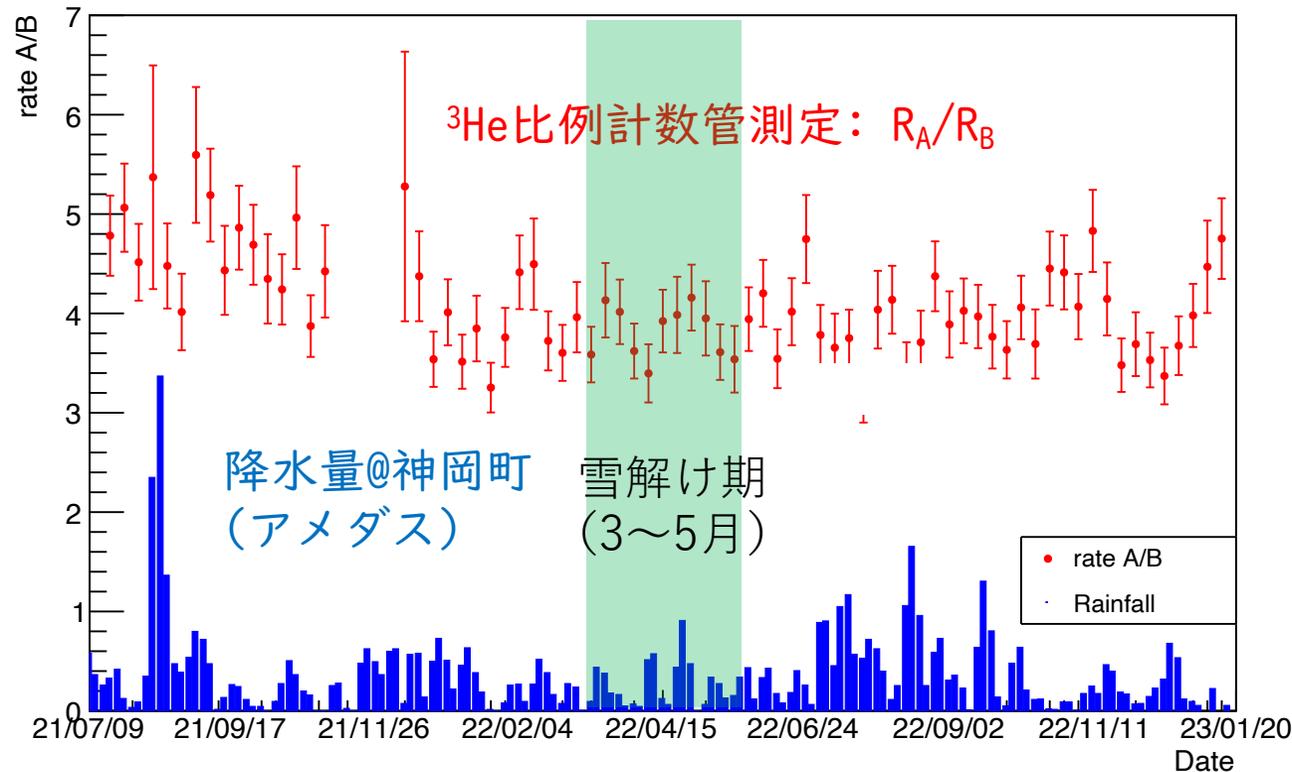
③ ^3He 比例計数管の応答

| 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→熱中性子が多い

* TALYS(www.tendl.web.psi.ch)の計算結果を利用した (α, 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。

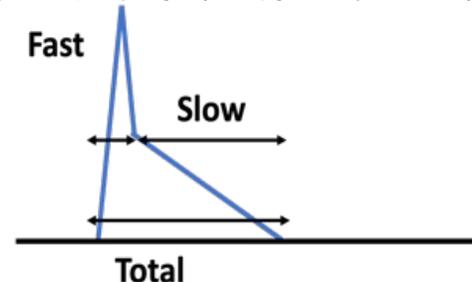
降水量との有意な相関もなかった。

- 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 ^3He 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。

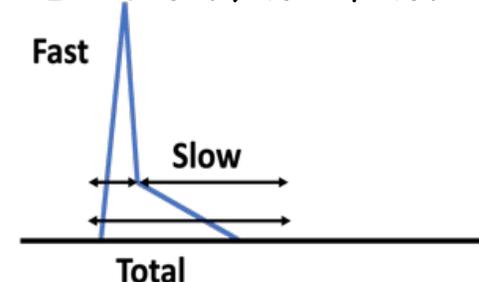
液体シンチレータ*検出器

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

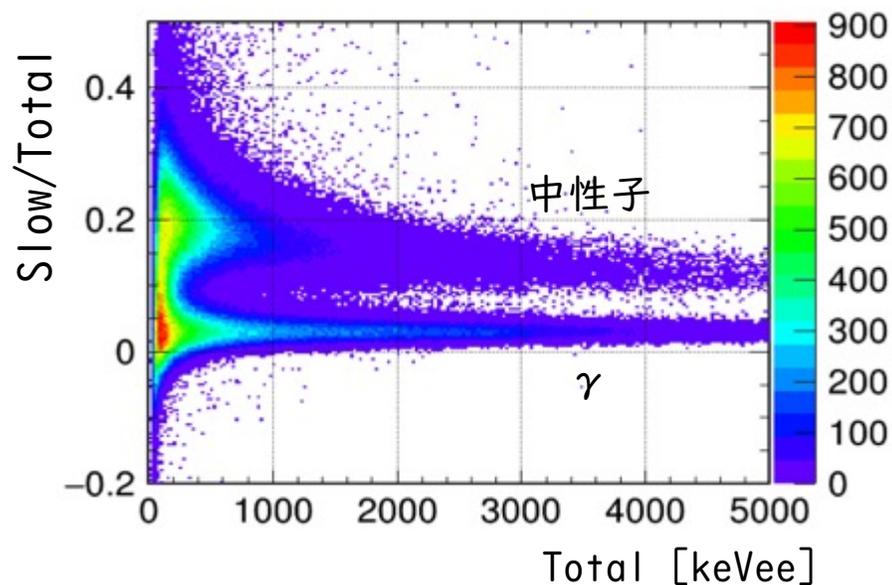
原子核事象(α 線や中性子)



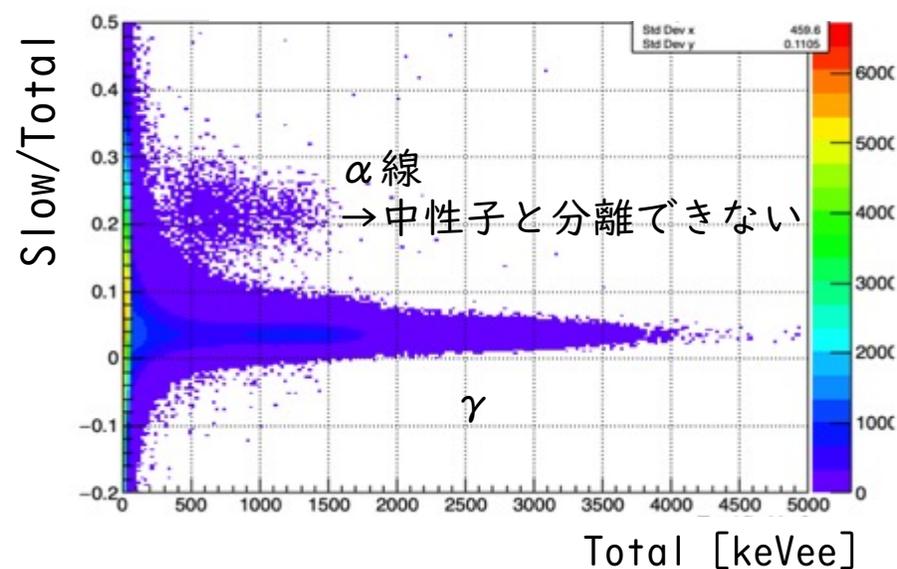
電子事象(γ 線や β 線)



^{252}Cf 中性子線源Run

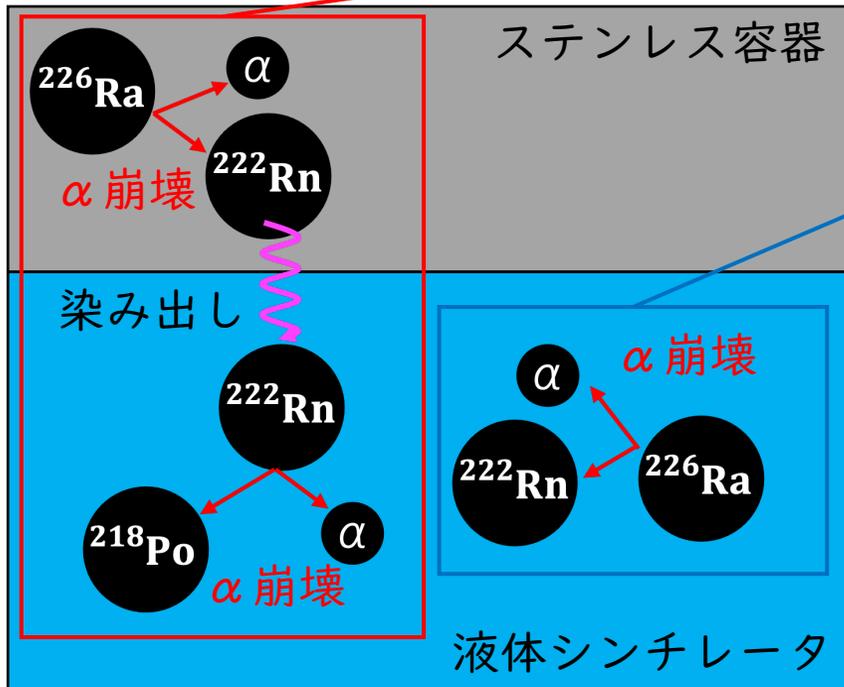


バックグラウンドRun

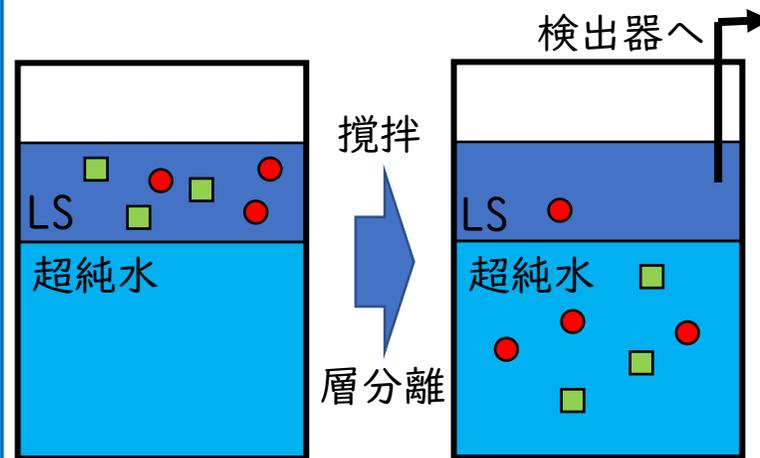


液体シンチレータ検出器の低バックグラウンド化

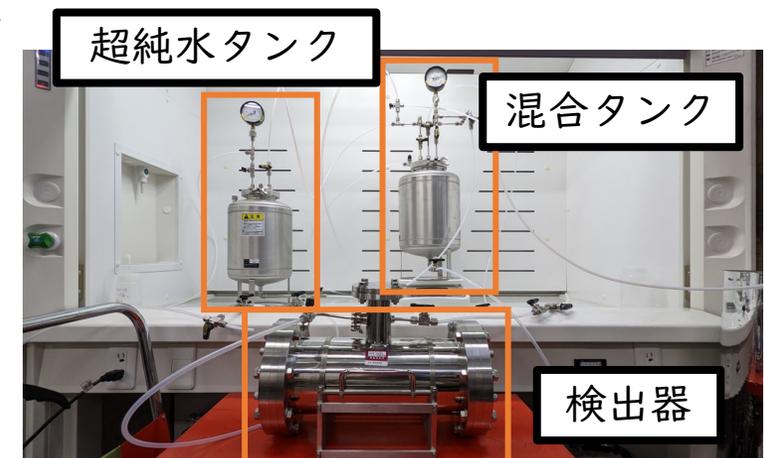
- ステンレス容器からの ^{222}Rn の染み出し
 - 電解複合研磨（ラドン検出器の技術*）



- 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



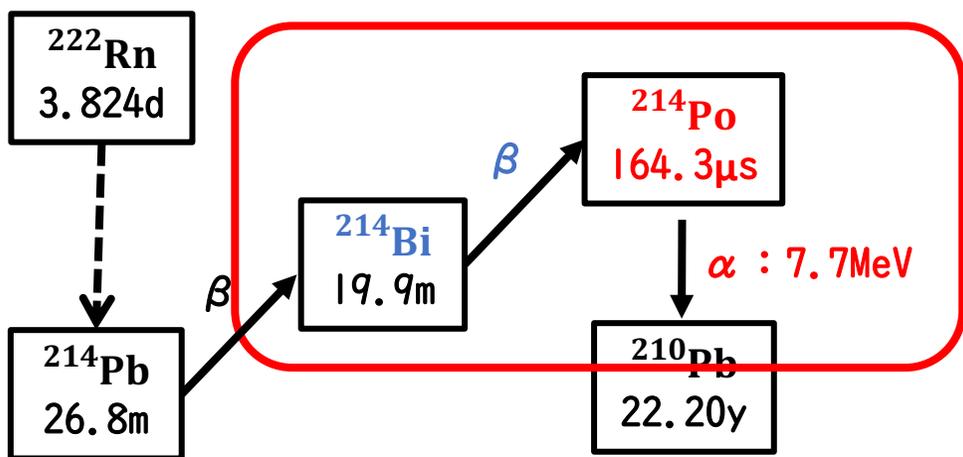
早稲田大の純化システム



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

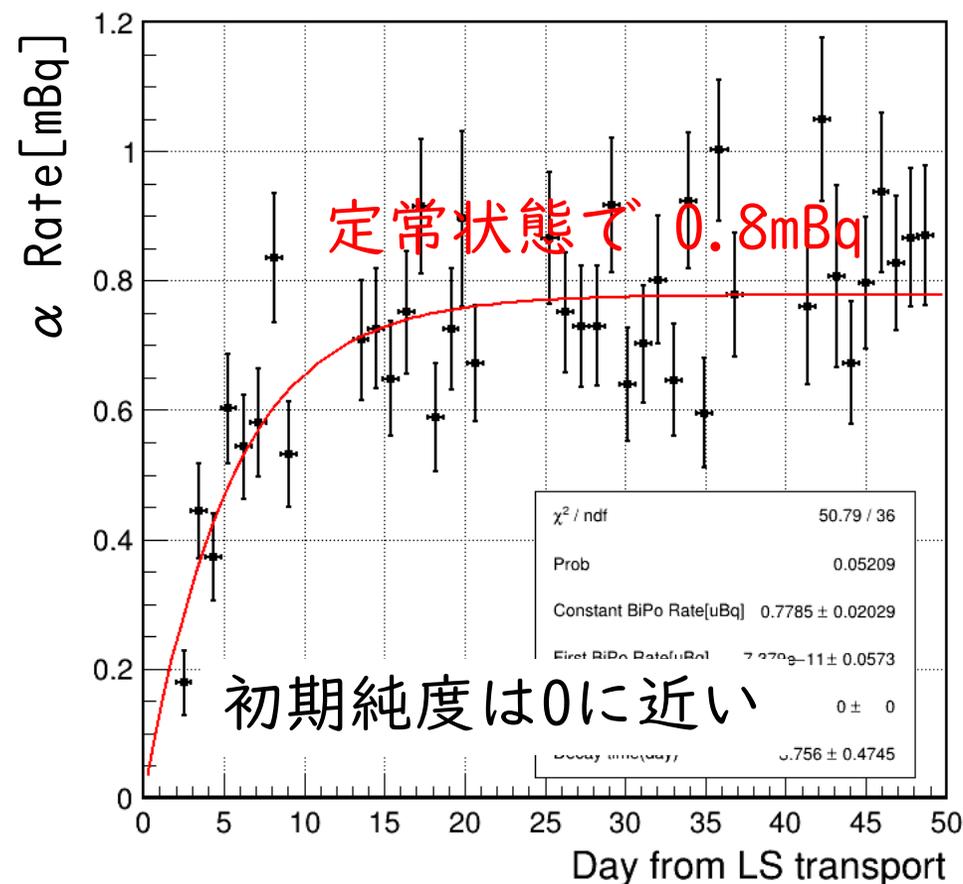
液体シンチレータ検出器の α 線バックグラウンド

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



^{214}Po の半減期が短いため Δt で強力に事象選択可

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

↓
純化で77%減少

↓
純化で変化なし

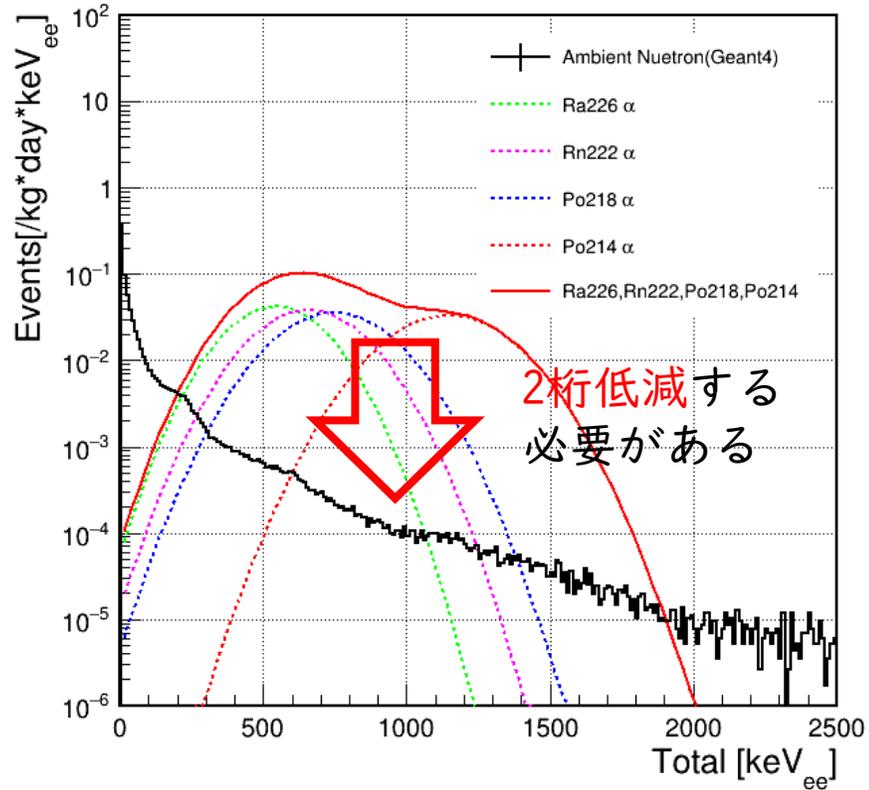
純化後4.8 L中の崩壊頻度

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

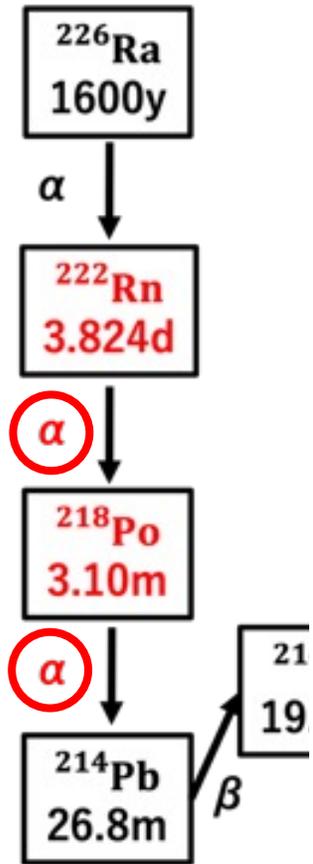
この測定から分かったこと：
液体シンチレーター中のRIが
主なバックグラウンドである場合
U系列の放射平衡は崩れている。

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²²²Rn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: ²²²Rn-²¹⁸Poの **α** と **α** (²¹⁸Po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
 - ^3He 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
 - ^3He 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。
 - ^3He 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

