

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 12万円

南野彰宏（横国大）

for 中性子測定コンソーシアム

2023年度ICRR共同利用研究成果発表会

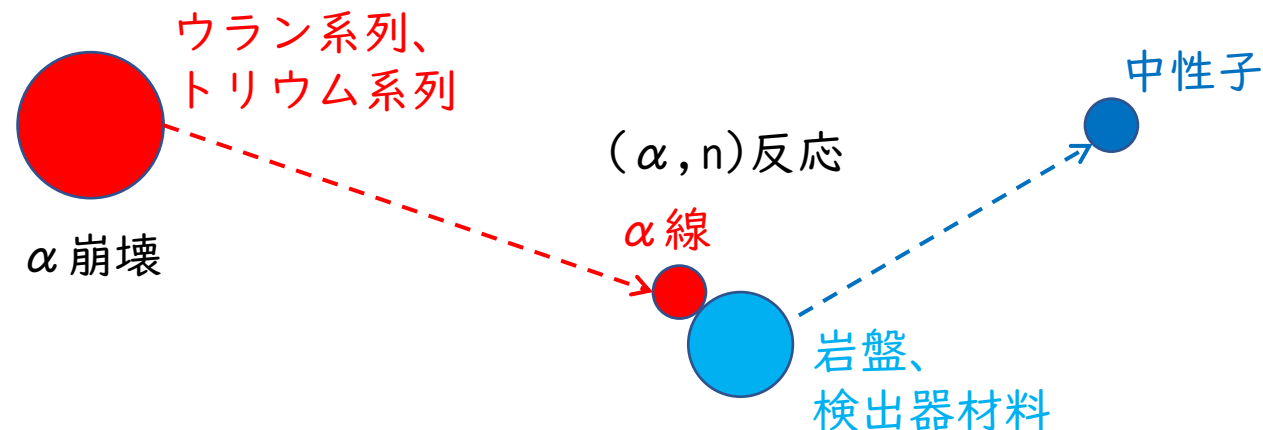
2024年2月22日

目次

- 地下実験室における環境中性子
- ^3He 比例計数管による長期測定
- 液体シンチレーター検出器の現状と展望
- まとめ

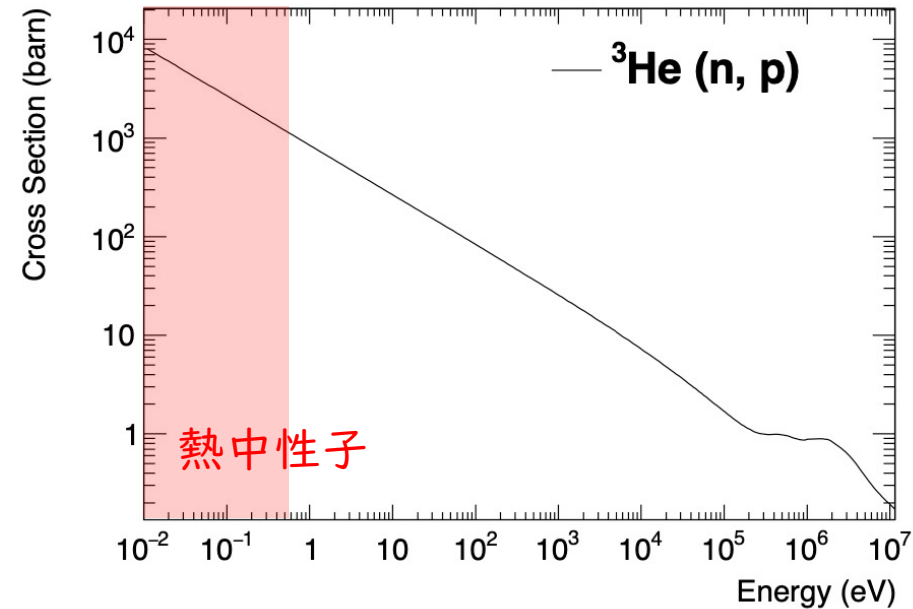
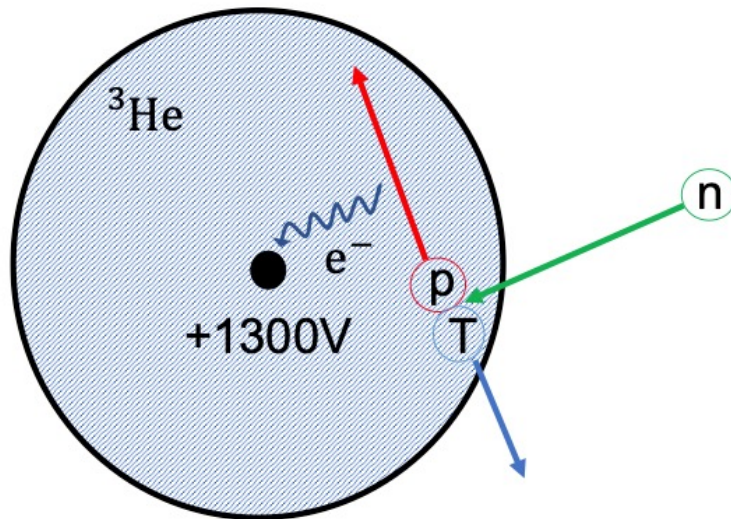
地下実験室における環境中性子

- 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。



^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

2021年7月～2023年4月

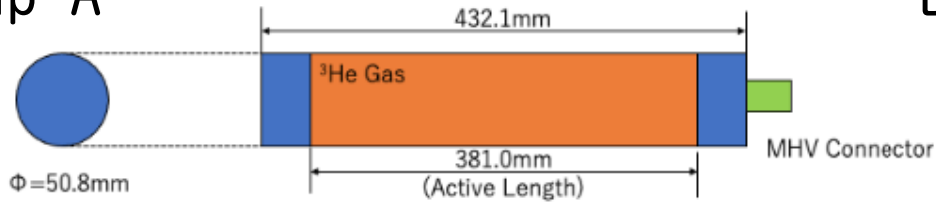
2023年4月～



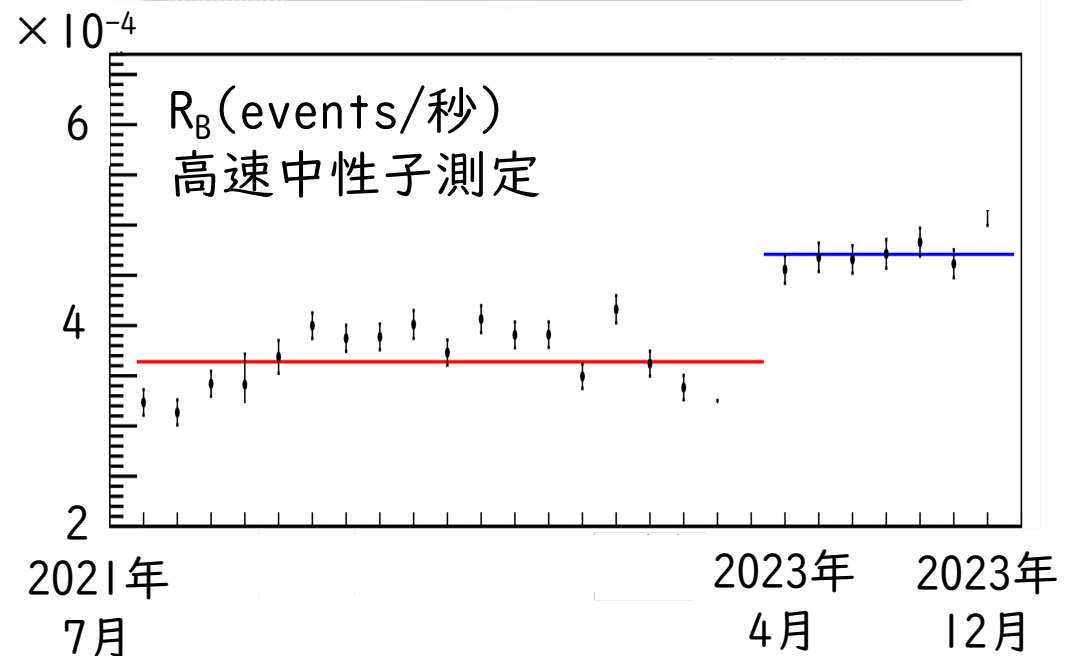
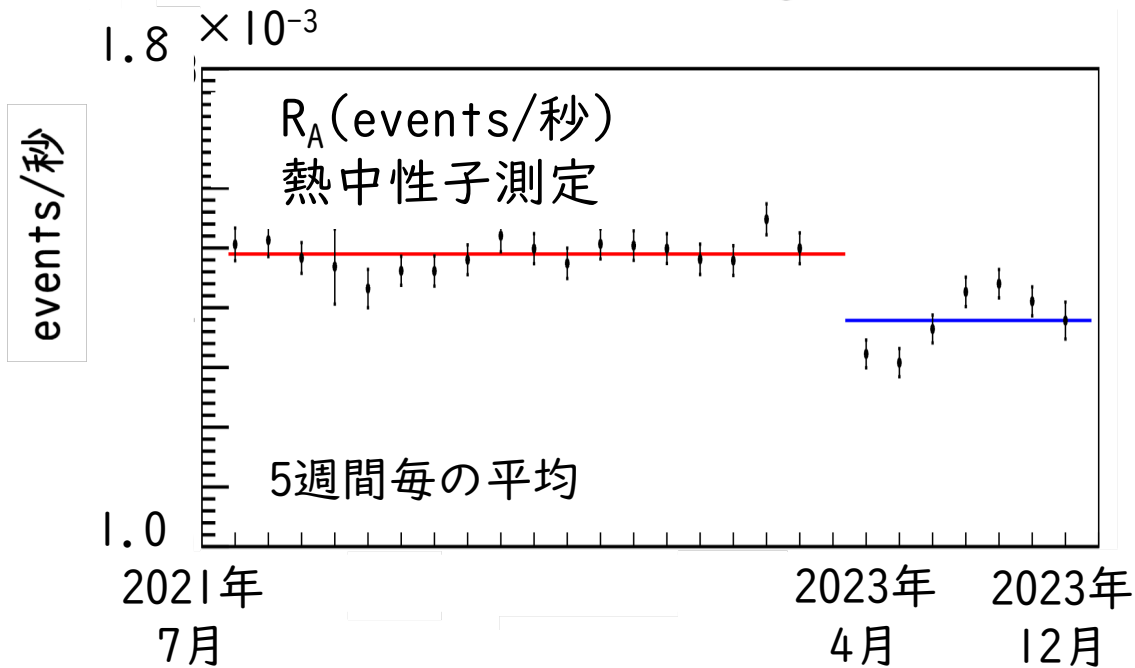
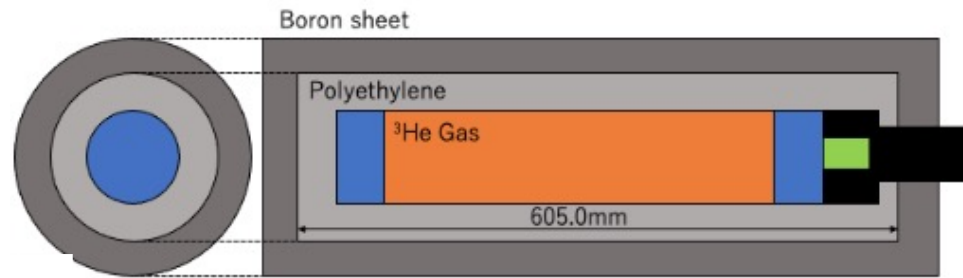
^3He 比例係数管による地下環境中性子測定

- 神岡地下実験室Lab-B、2021年7月～2023年4月、2023年4月～

Setup A



B

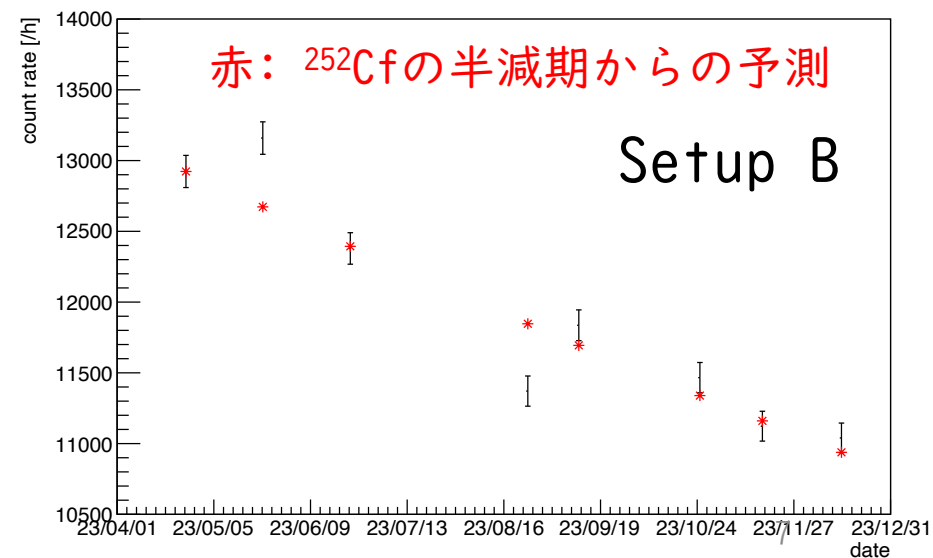
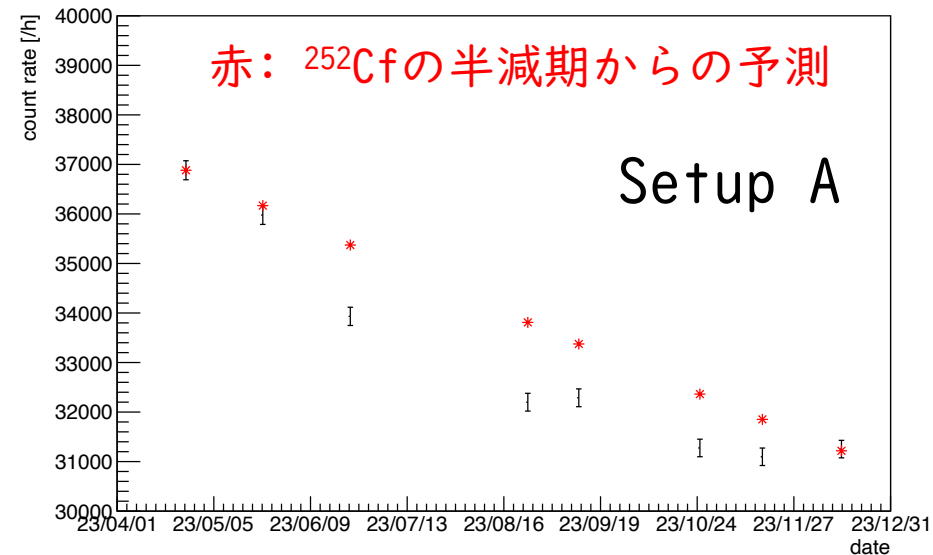
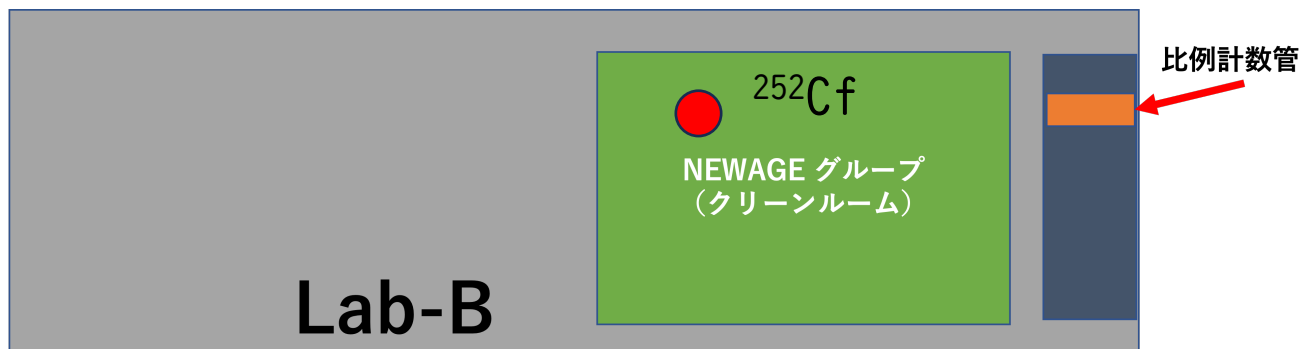


^3He 比例計数管の較正

^3He 比例計数管の感度が変化していないか確認

- 2023年4月～
- ^{252}Cf 線源からの中性子を1時間照射
- 月に一回程度の頻度で実施

NEWAGEグループに線源を指定の場所に置いていただいている。



^3He 比例計数管の較正

予想値とのずれは

Setup A: -5% ~ 0%

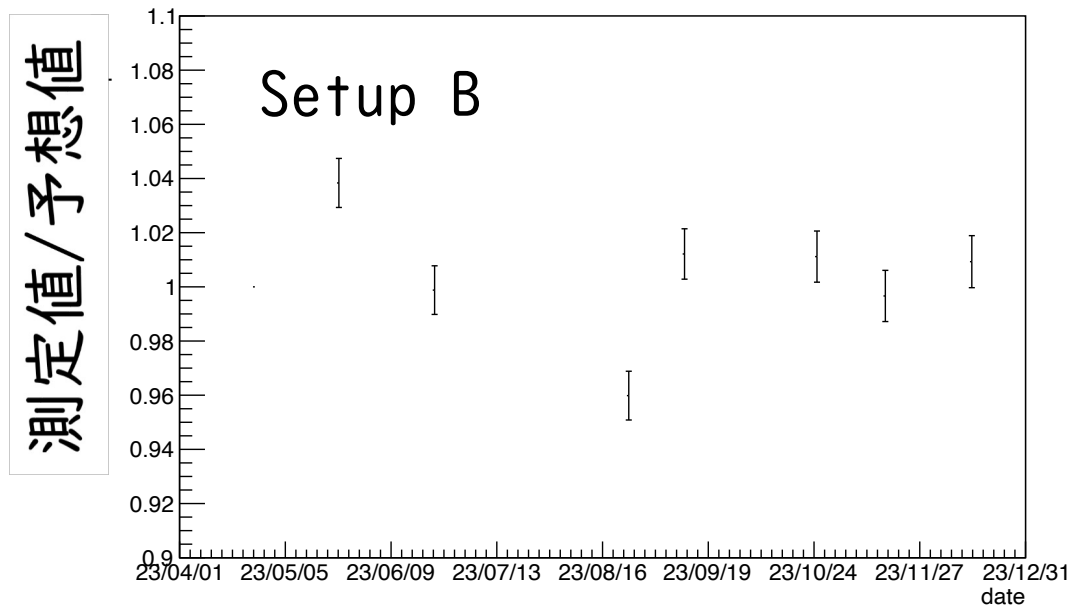
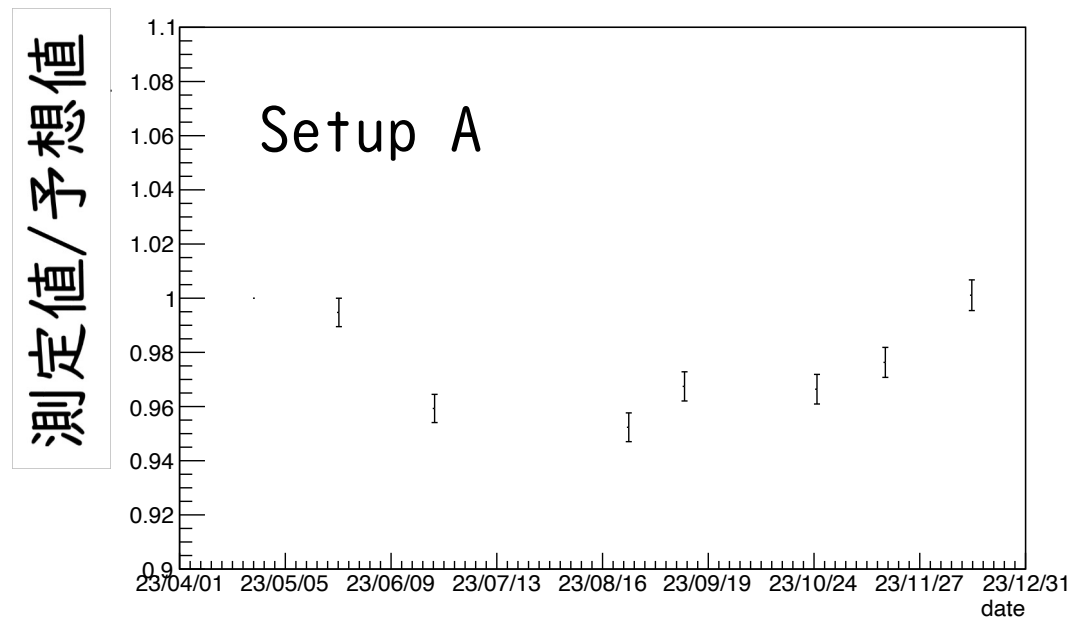
Setup B: -4% ~ +4%

予想値とのずれの原因を調査中

→ゲインが変わっていないことは確認済

統計誤差が大きい

→較正時間を増やすことを検討



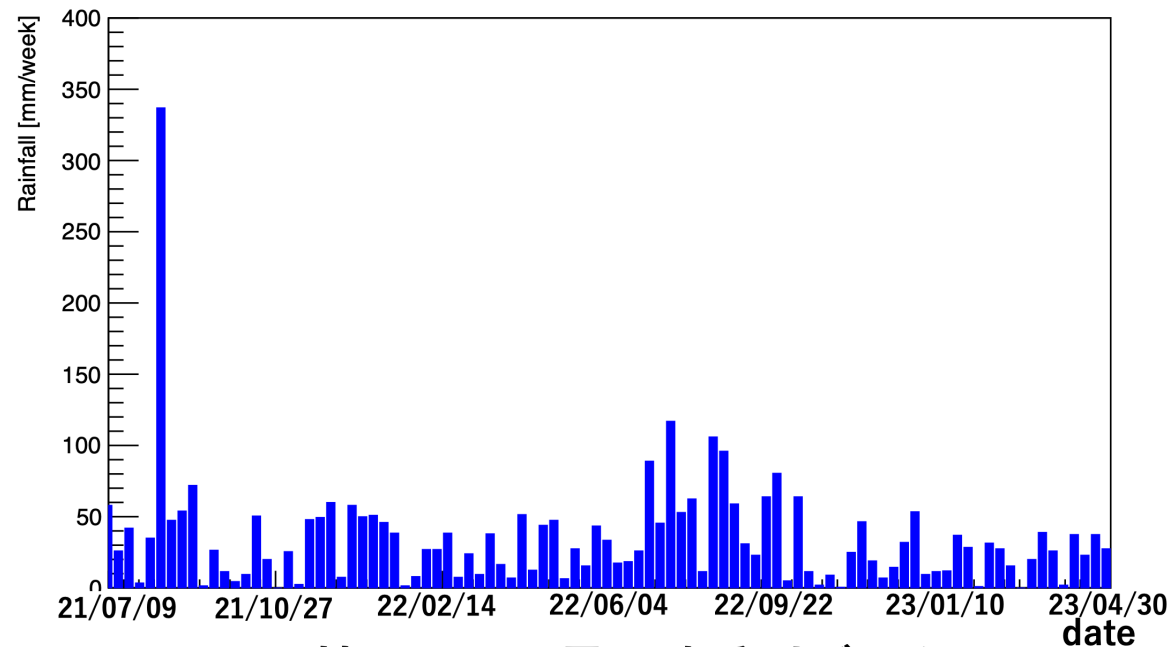
環境パラメータとの相関

2021年7月～2023年4月のデータを用いて環境パラメータとの相関を調べた

1. 雨量
2. 空気中のRn濃度
3. 空気中の湿度

雨量との相関①

- AMeDASにより神岡町で観測された雨量データを用いた



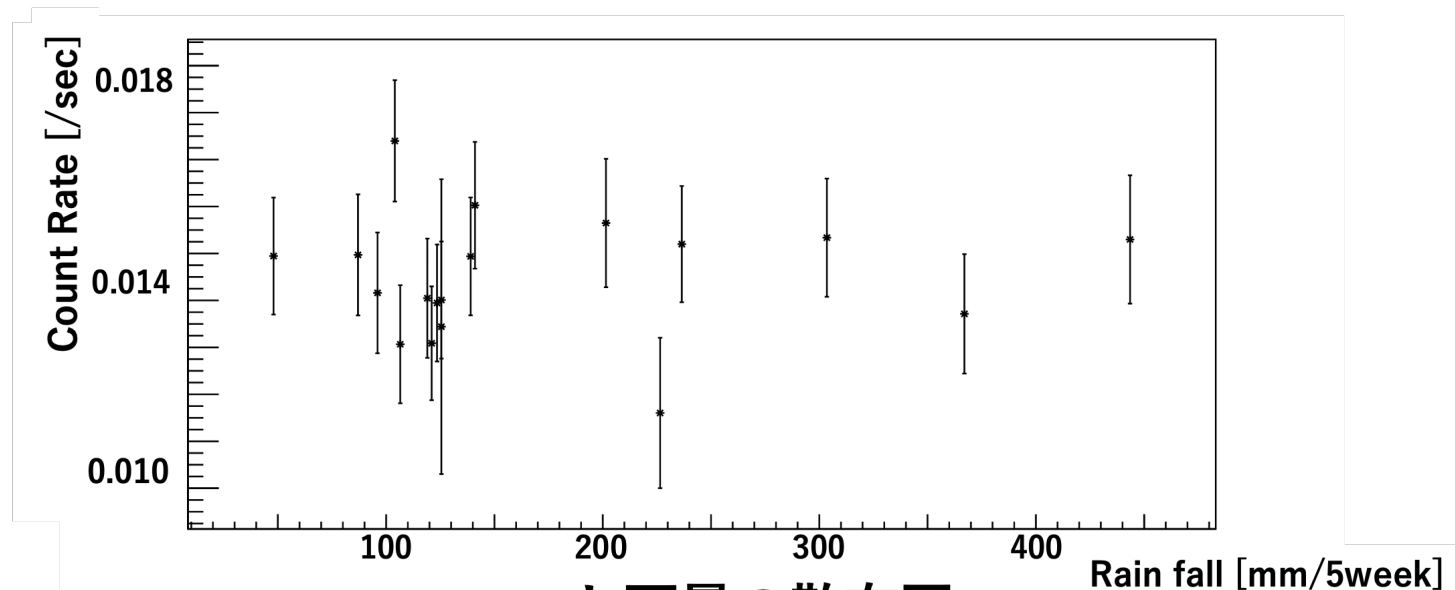
神岡町の雨量の時系列データ



AMeDASと地下実験室の場所

雨量との相関②

- 5週間毎の R_A 、 R_B 、その比 (R_A/R_B) と雨量の相関を計算



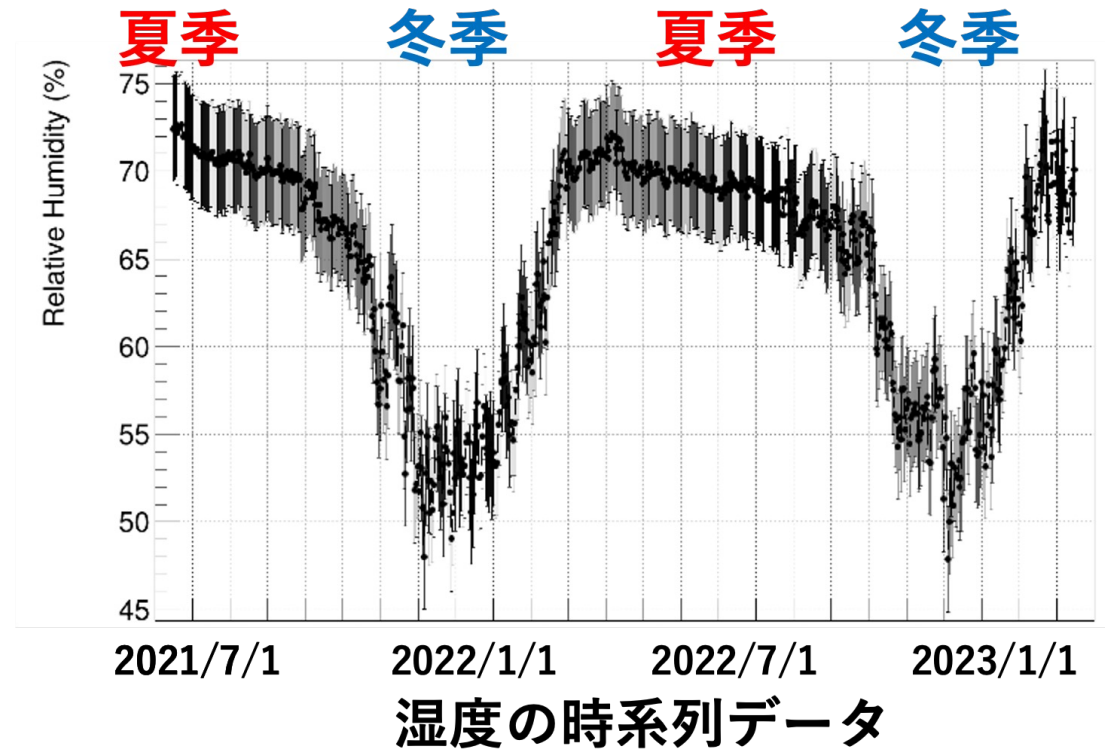
R_A と雨量の散布図

結果

	R_A	R_B	R_A/R_B
相関係数	0.17	0.12	-0.08

結論：相関なし

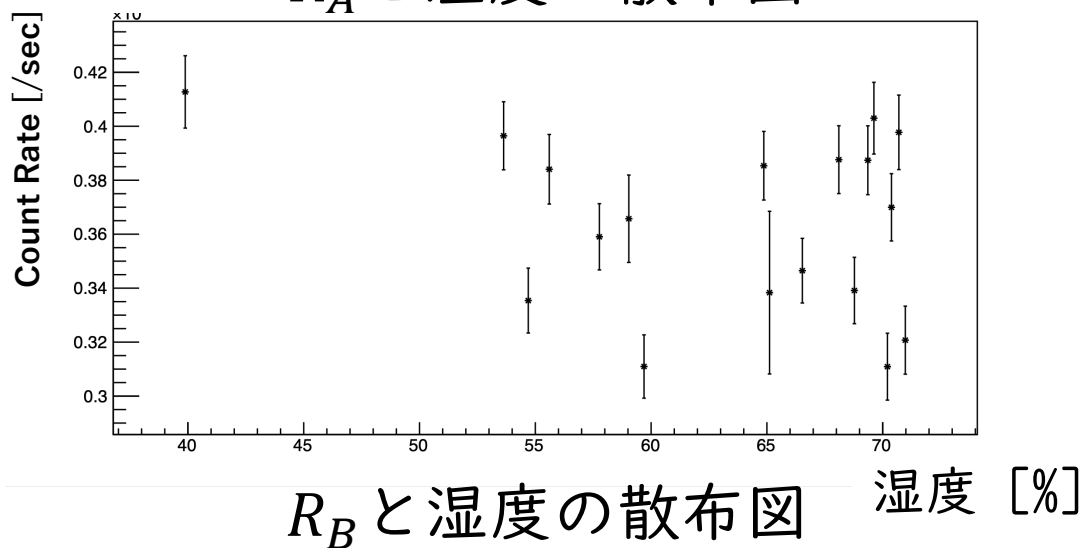
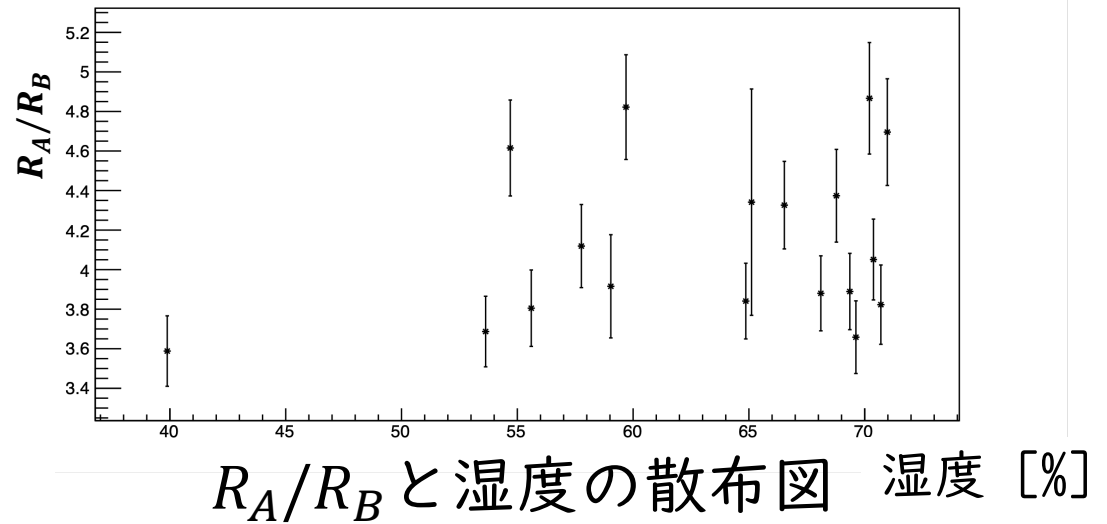
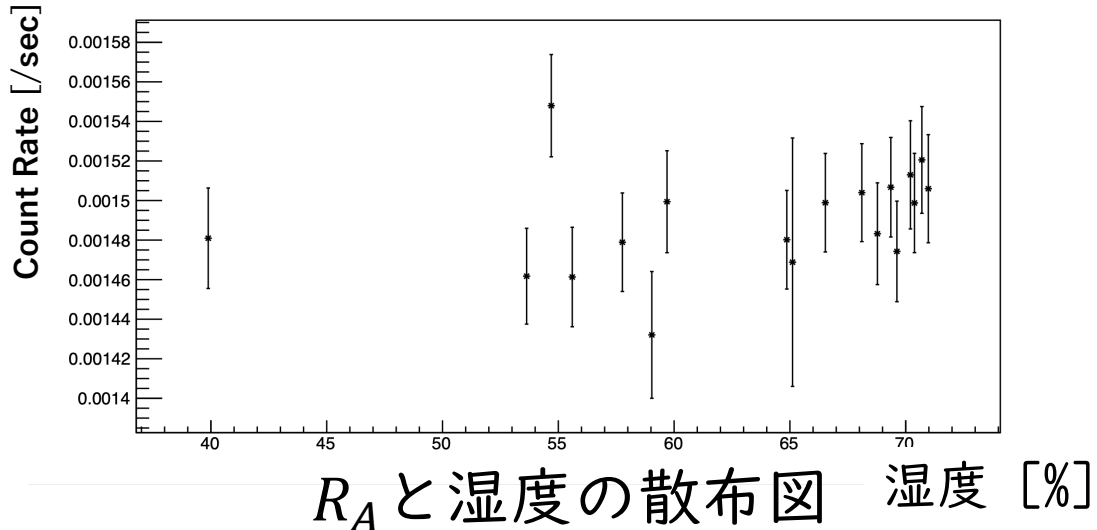
湿度との相関①



湿度の測定場所：Lab-B近くの坑道

夏季は坑内の空気が閉じ込められるので湿度が高い

湿度との相関②

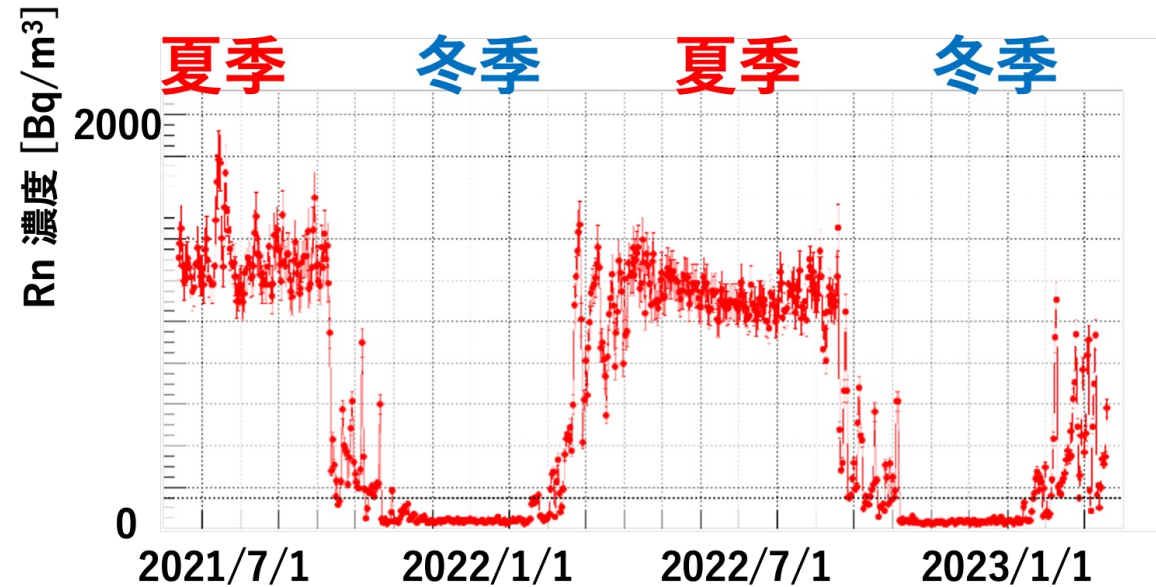


結果

	R_A	R_B	R_A/R_B
相関係数	0.28	-0.27	0.28

R_A 、 R_A/R_B で正の弱い相関
 R_B で負の弱い相関
 →シミュレーションで検証

Rn濃度との相関①

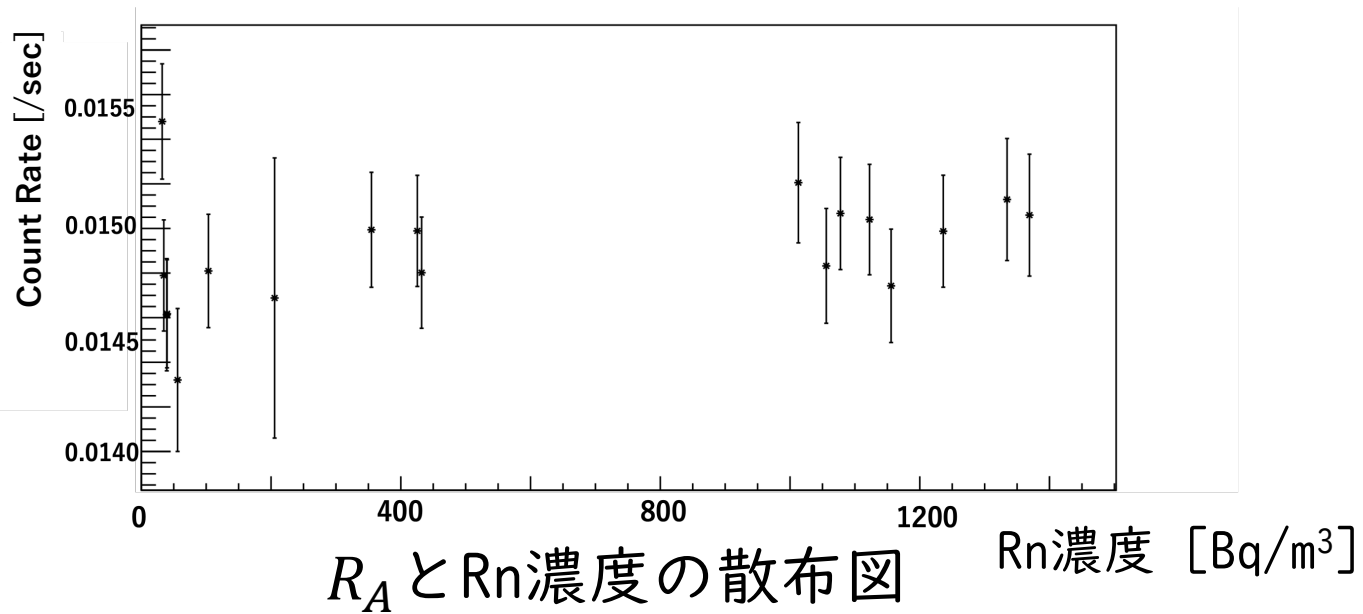


Rn濃度の時系列データ

Rn濃度の測定場所：Lab-B近くの坑道

夏季は坑内の空気が閉じ込められるのでRn濃度が高い

Rn濃度との相関



結果

	R_A	R_B	R_A/R_B
相関係数	0.41	-0.11	0.19

R_A で正の弱い相関
→シミュレーションで検証

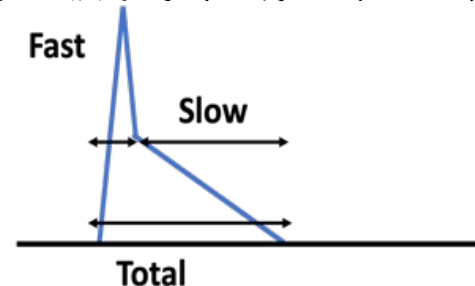
地下環境中性子長期観測のまとめ

- 結論
 - 雨量との相関はなし
 - 湿度、空气中Rn濃度との弱い相関はあり
- 今後
 - 湿度、空气中Rn濃度の影響をシミュレーションで検証

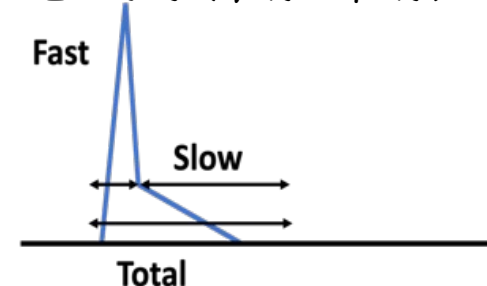
液体シンチレータ*検出器

- 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。

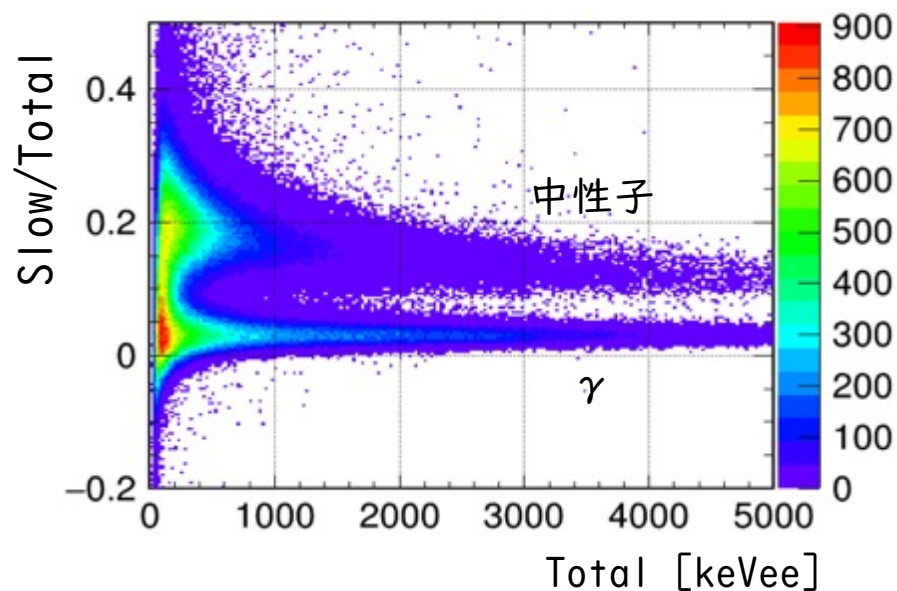
原子核事象(α 線や中性子)



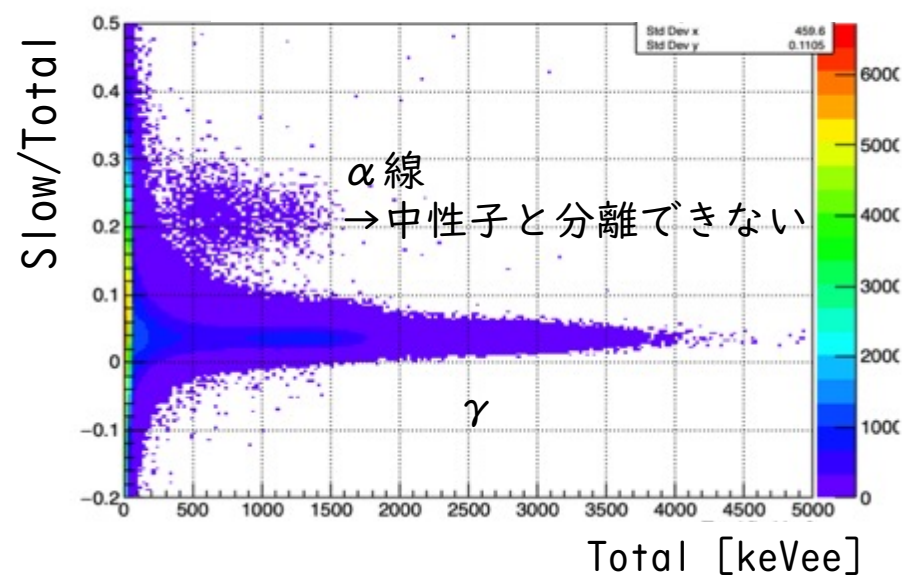
電子事象(γ 線や β 線)



^{252}Cf 中性子線源Run

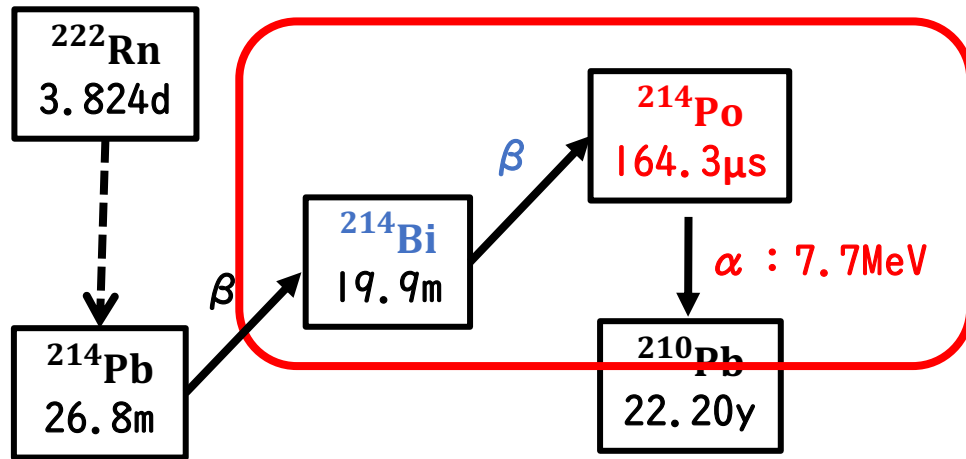


バックグラウンドRun



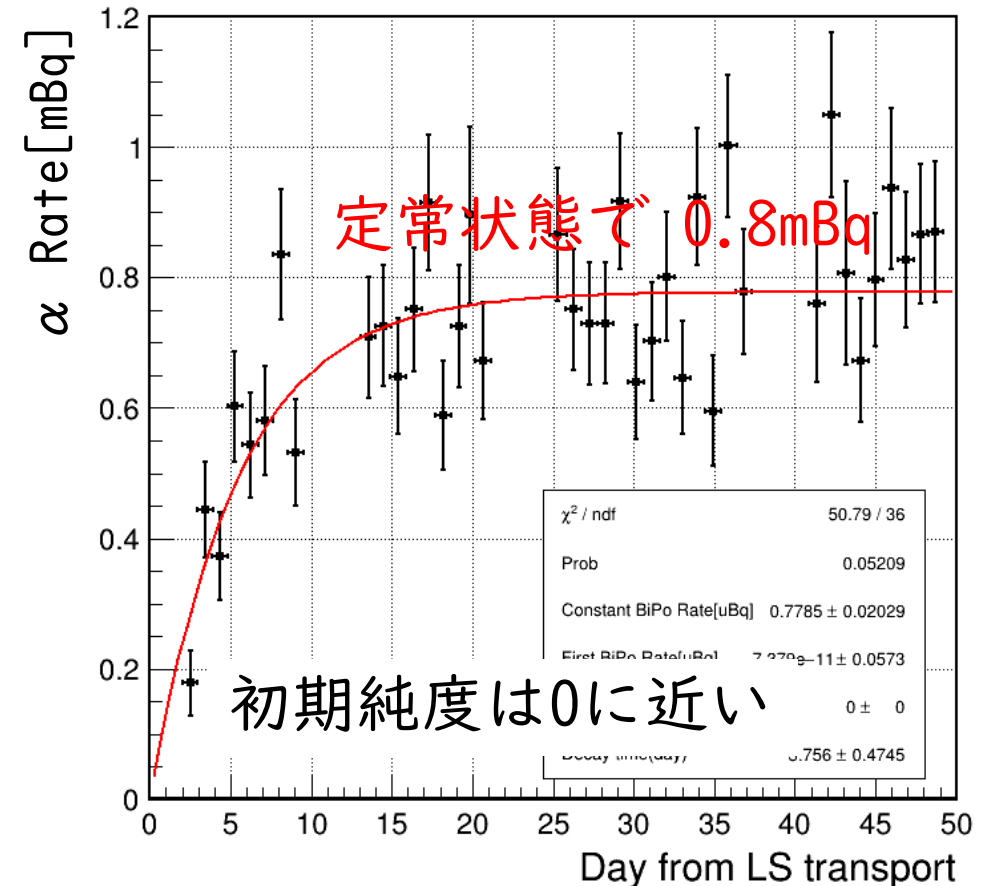
液体シンチレータ検出器の現状

- 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

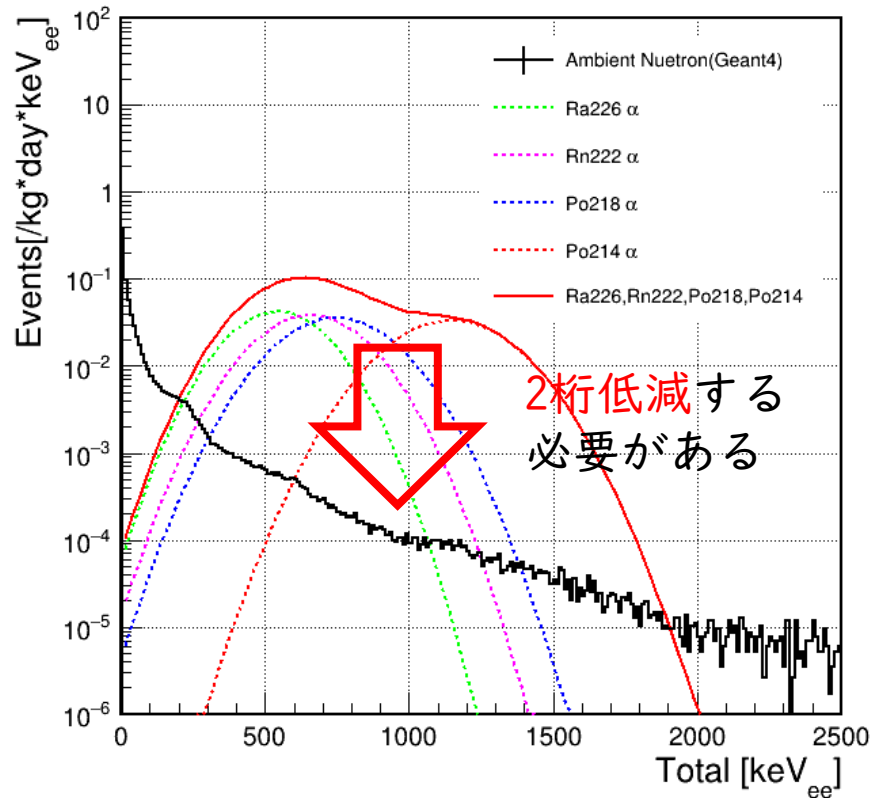
Bi-Po α 線レートの時間変動



液体シンチレータ検出器の展望



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



- α 線バックグラウンドを1桁低減する@早稲田大
 - 液体シンチレータの純化
 - 窒素バブリングによる ^{222}Rn の低減
 - ステンレス容器の表面処理
- 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: ^{222}Rn - ^{218}Po の α と α (^{218}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
 - ^3He 比例計数管による2021年7月～2023年4月の測定と環境パラメータを比較したところ、湿度とRn濃度に相関が見られた。
- 今後の予定
 - 弱い相関が見られた湿度、Rn濃度の影響をシミュレーションで検証。
 - 中性子線源を用いた定期的な較正を継続する。
 - 液体シンチレーター検出器の α 線バックグラウンドを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神岡地下で行う。

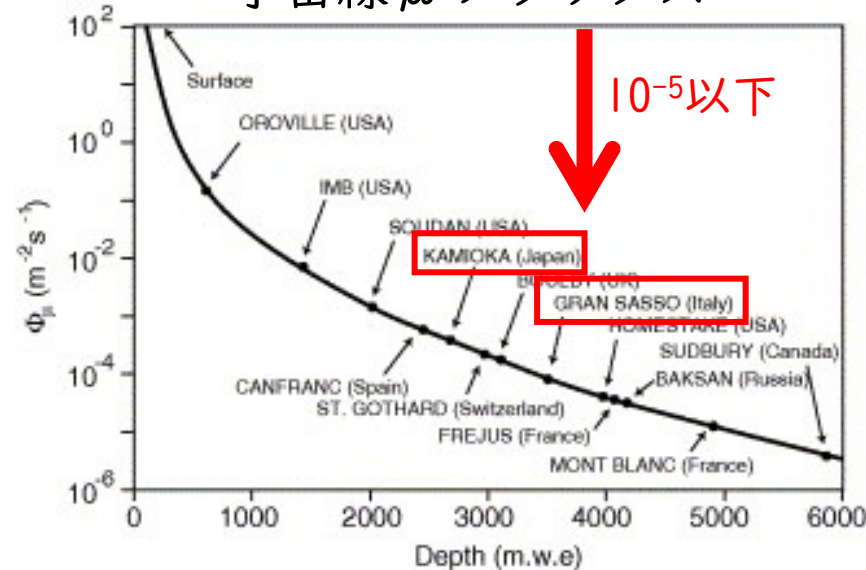
バックアップ

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

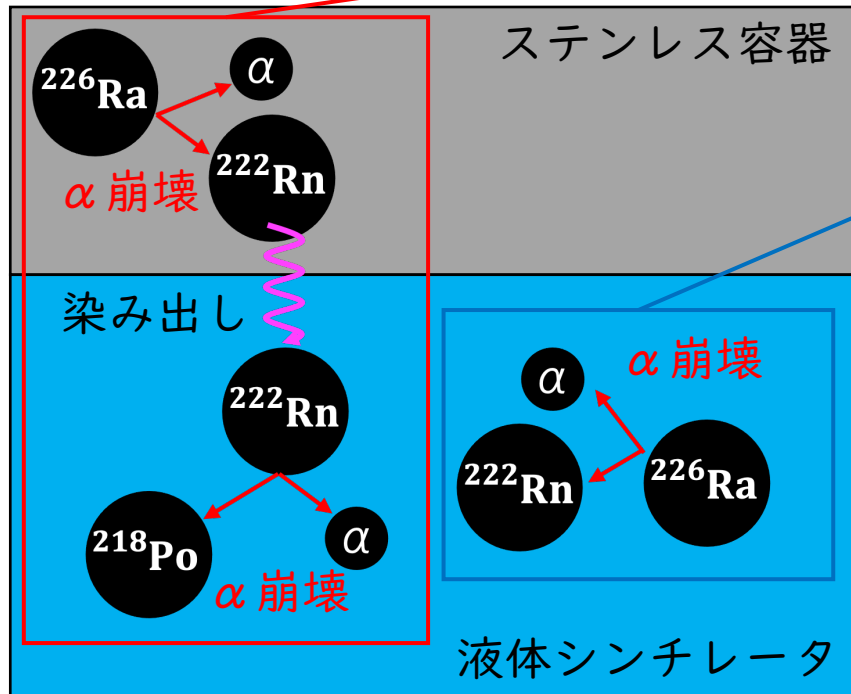


検出器	標的原子核	測定に使う反応	感度領域
^3He 比例計数管	^3He	(n, p)反応	熱中性子
有機液体シンチレーター	H (主に)	弾性散乱	高速中性子

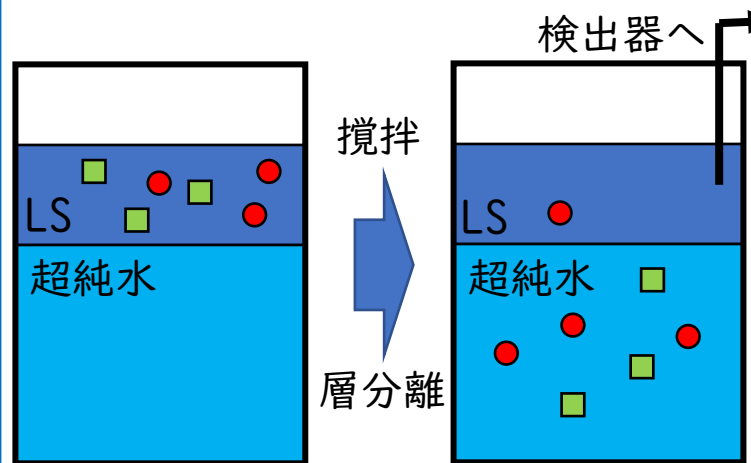
熱中性子: 運動エネルギーが0.5 eV以下
高速中性子: 運動エネルギーが1 MeV以上

液体シンチレータ検出器の低バックグラウンド化

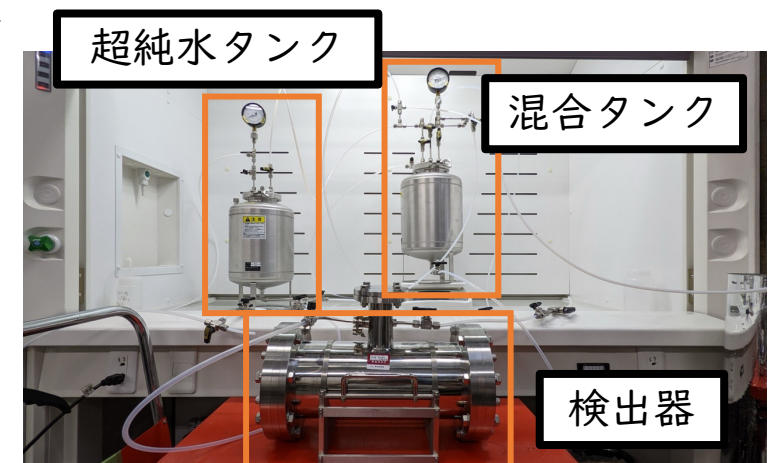
- ステンレス容器からの ^{222}Rn の染み出し
 - 電解複合研磨（ラドン検出器の技術*）



- 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



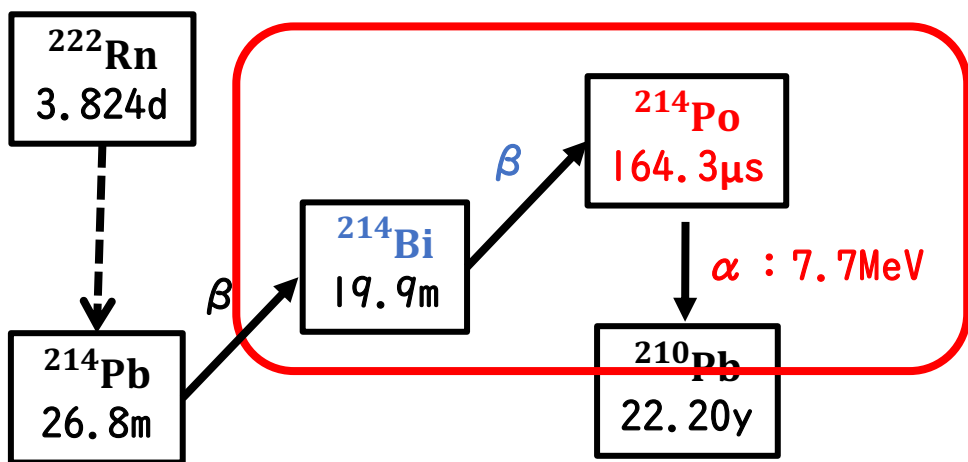
早稲田大の純化システム



* 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

