

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 20万円(一部予定)

南野彰宏 (横国大)

for 中性子測定コンソーシアム

2024年度ICRR共同利用研究成果発表会

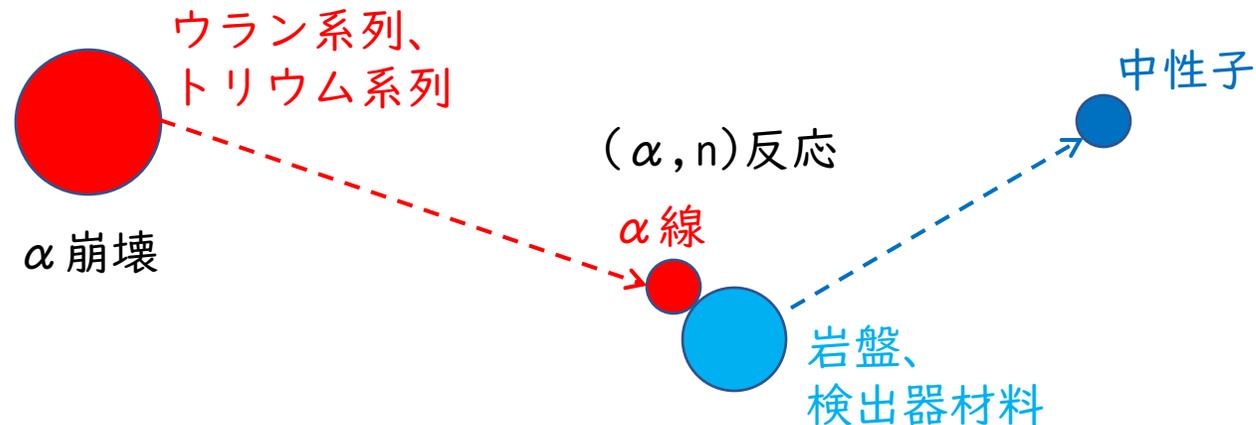
2025年1月30日

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データにおける2つの問題
- まとめと今後の予定

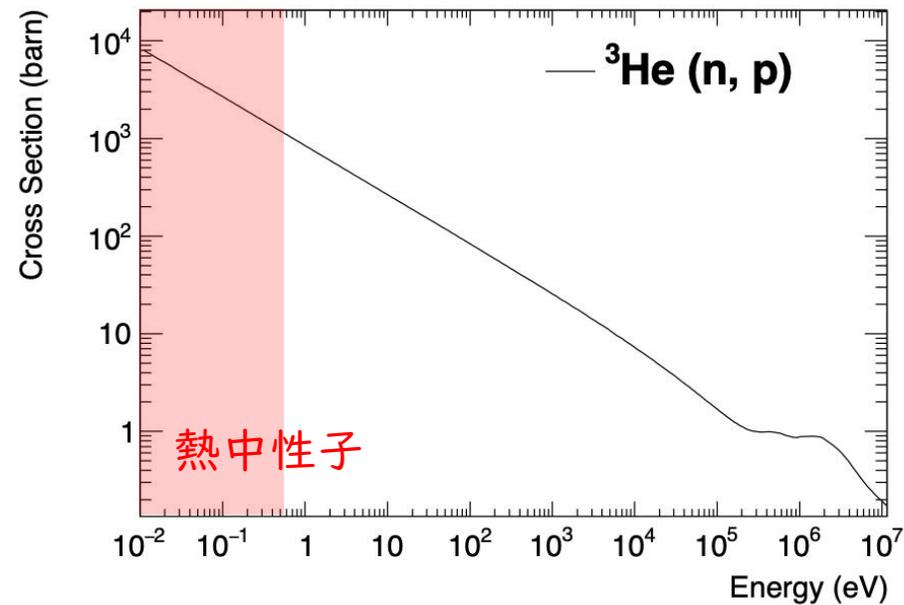
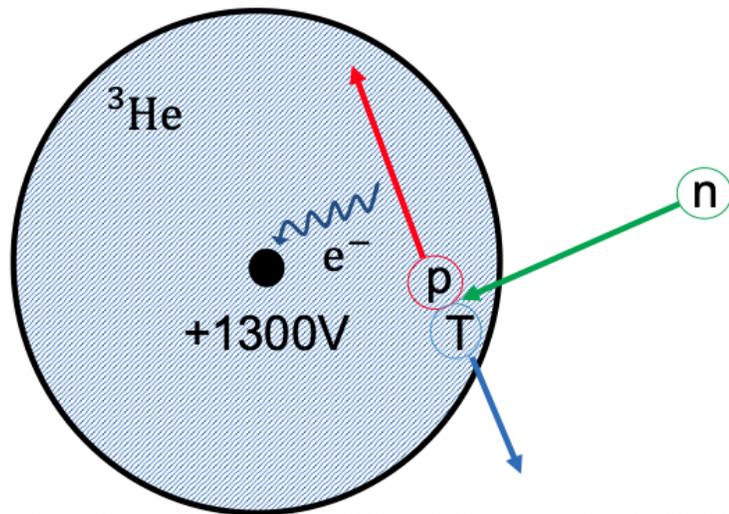
地下実験室における環境中性子

- 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

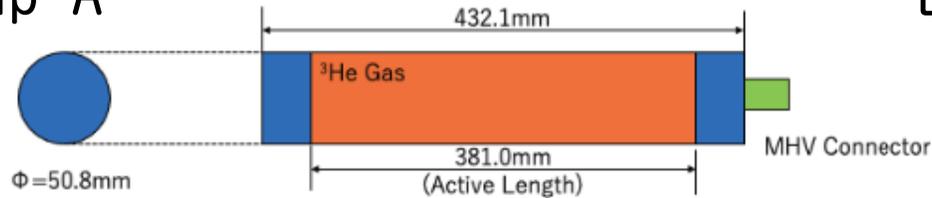
2023年4月～



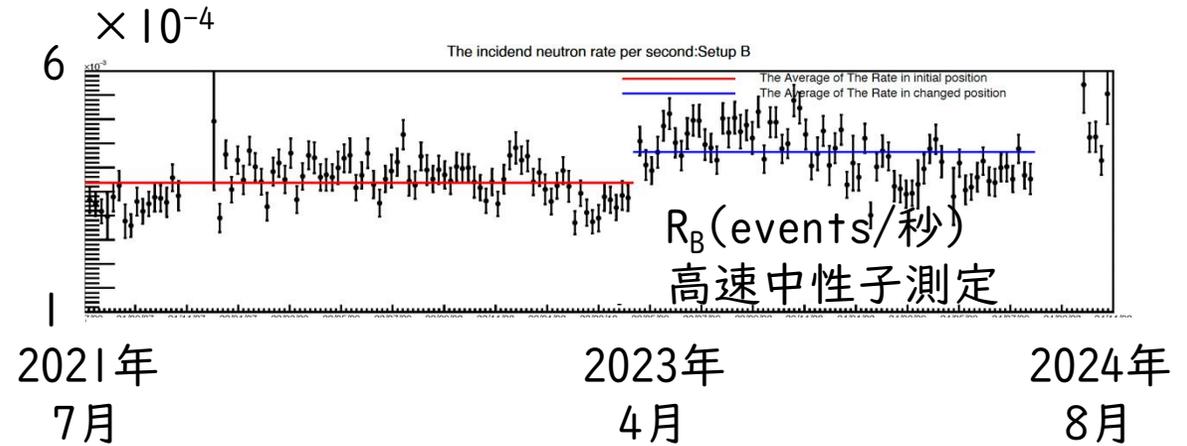
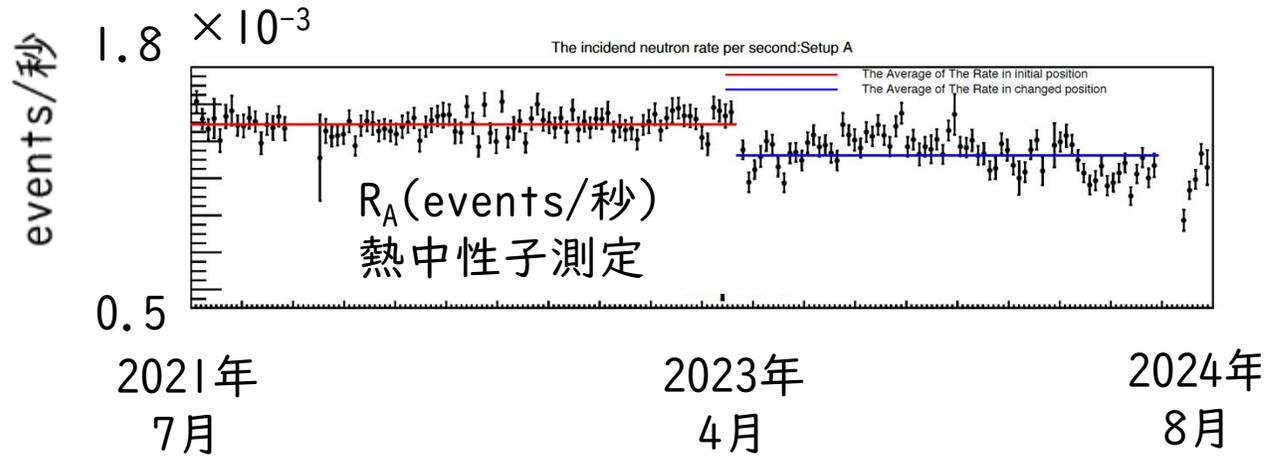
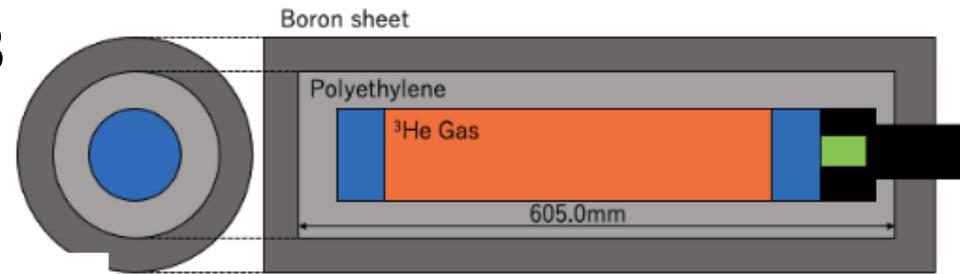
^3He 比例係数管による地下環境中性子測定

- 神岡地下実験室Lab-B、2021年7月～2023年4月、2023年4月～2024年8月

Setup A



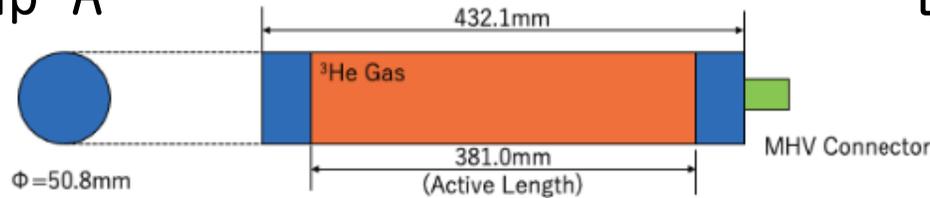
B



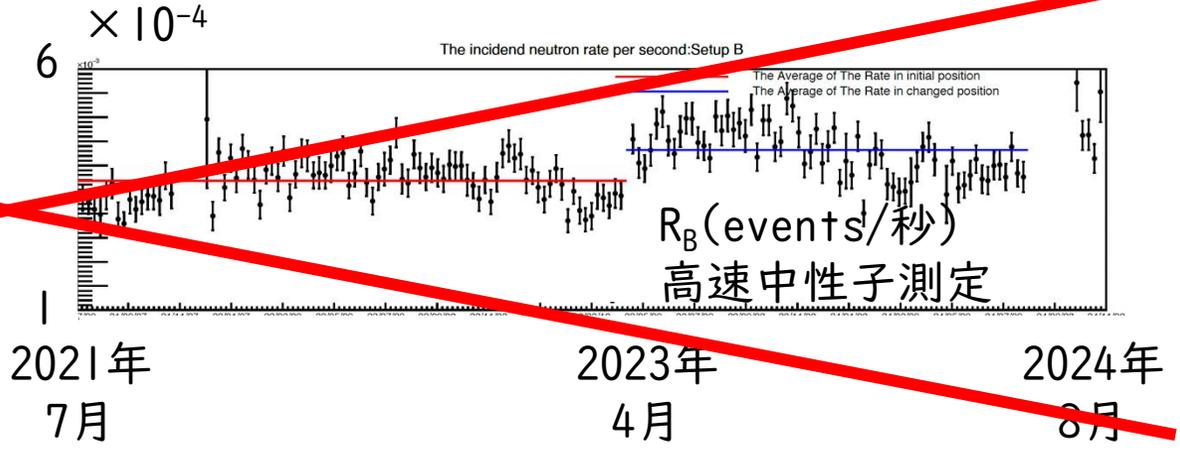
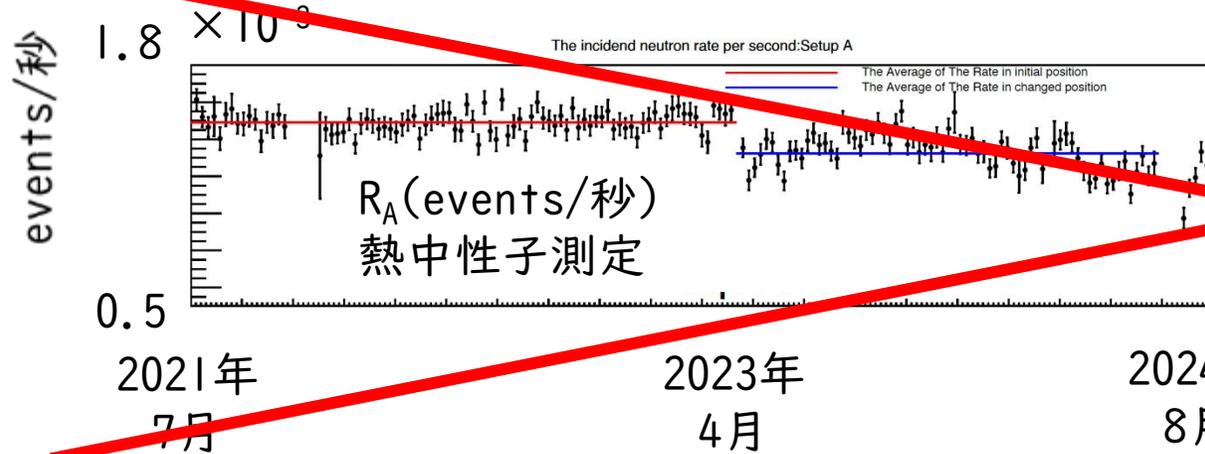
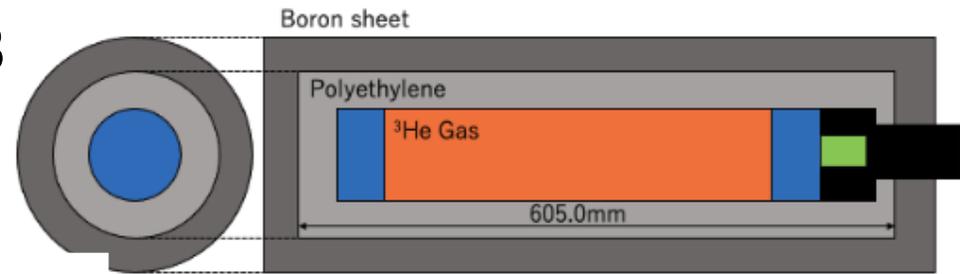
^3He 比例係数管による地下環境中性子測定

- 神岡地下実験室Lab-B、2021年7月～2023年4月、2023年4月～2024年8月

Setup A

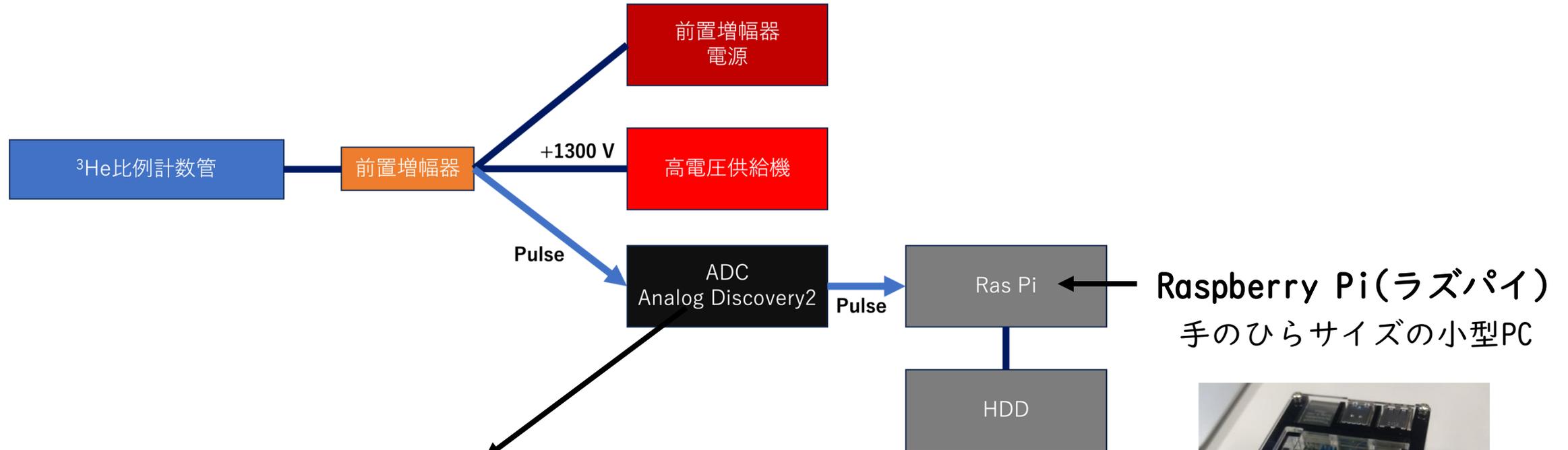


B



後述する理由のために観測データが信頼できないと結論した。

問題①: ^3He 比例計数管のデータ収集系



Raspberry Pi(ラズパイ)
手のひらサイズの小型PC



Analog Discovery 2(AD2)

USBオシロスコープ及び
多機能計測器 (Digilent社)

→ ^3He 比例計数管からのアナログ信号を
デジタル信号として記録



問題①: ^3He 比例計数管のデータ収集系

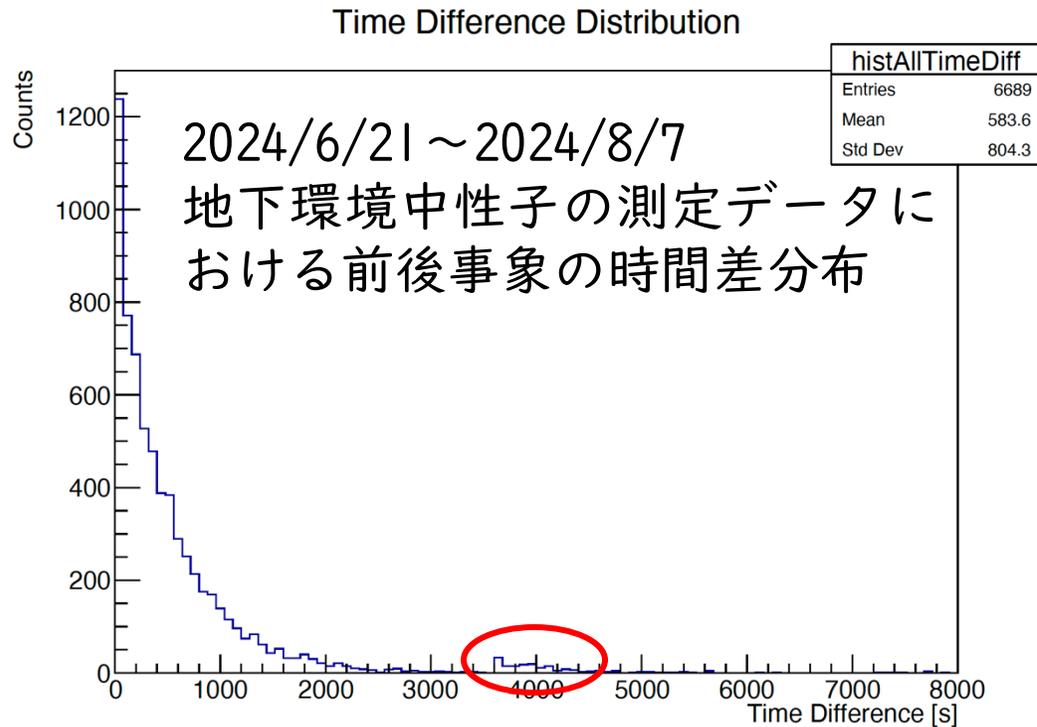
- 環境中性子測定時の前後事象の時間差分布に外れ値を確認

- 3600秒から4400秒に信号が観測される割合

- 指数関数に従う場合: 0.2%

- 測定データ: 2.2%

他の期間および校正データ (^{252}Cf) でも同様の問題を確認



テストパルスを用いた試験でも問題（測定できない時間が発生）を再現

観測データは信頼できないと結論

問題①: ^3He 比例計数管のデータ収集系

- 問題への対策I

- ラズパイの安定性向上

- 高耐久なSDカードに変更
- 冷却ファンを追加
- 高出力のACアダプターに変更



テストパルスを用いた数週間の試験で、問題は再現しなくなった。

- 長期試験開始後は半年ごとに新しいSDカードに交換
- データ収集プログラムの改良も検討中

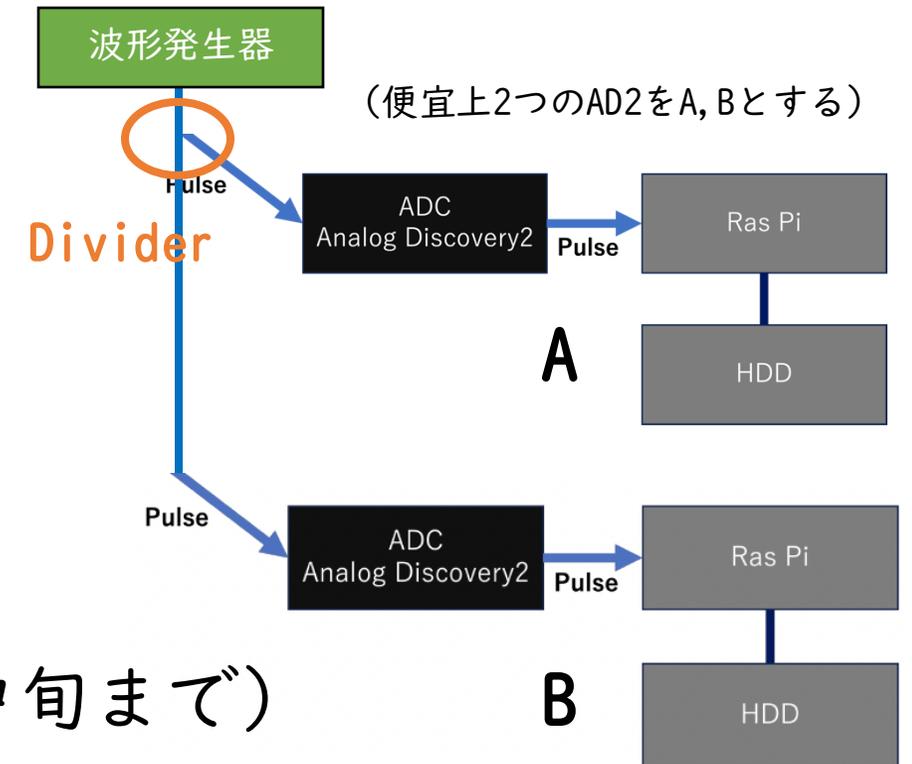
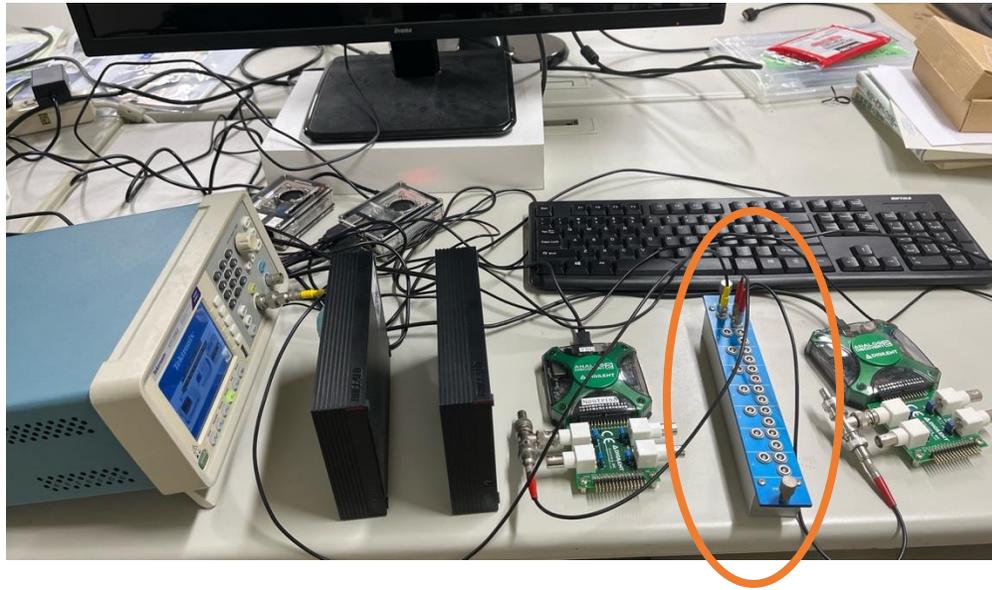


SanDisk High Endurance
microSD™ Card - 32GB



問題①: ^3He 比例計数管のデータ収集系

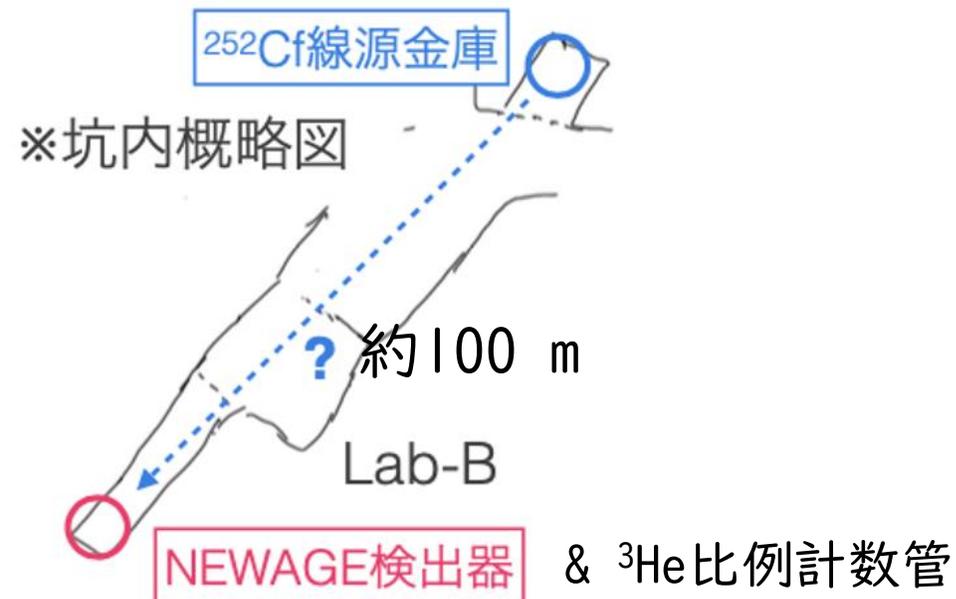
- 問題への対策2
 - データ収集系の多重化
 - 1台の ^3He 比例計数管を2つのデータ収集系で測定し、ORを取る。



テストパルスを用いて試験中 (2025年2月中旬まで)

問題②:地下金庫内の ^{252}Cf 中性子線源の影響

- 同じ地下実験室Lab-Bで測定中のNEWAGE実験から地下金庫内の ^{252}Cf 中性子線源の影響の可能性について報告を受けた。
- 先述のデータ収集系の問題により追測定が実現できていない。
- データ収集系の問題を解決後、地下金庫内に ^{252}Cf が「あり」と「なし」の状態を観測を数ヶ月行い、影響を定量的に見積もる。



まとめと今後の予定

- 神岡地下環境中性子測定
 - ^3He 比例計数管を用いて2021年7月から2024年8月まで測定を行ったがデータ収集系の問題が発覚し、観測データは信頼できないと結論した。
- 今後の予定
 - ^3He 比例計数管：対策を施したのデータ収集系で2025年2月中旬までテストパルスによる長期試験を行った後、2025年2月末から神岡地下実験室で観測を再開する。最初に地下金庫内の ^{252}Cf 中性子線源の影響を定量的に見積もった後、地下環境中性子の長期測定を開始する。
 - 液体シンチレーター中性子検出器： α 線バックグラウンド低減に向けた研究を再開する。

バックアップ

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



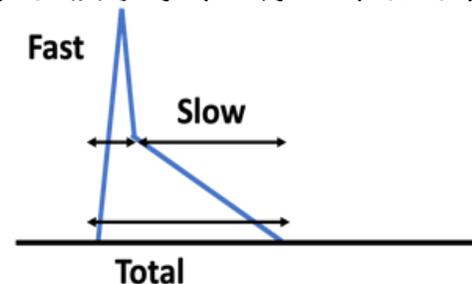
検出器	標的原子核	測定に使う反応	感度領域
^3He 比例計数管	^3He	(n, p)反応	熱中性子
有機液体シンチレーター	H (主に)	弾性散乱	高速中性子

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

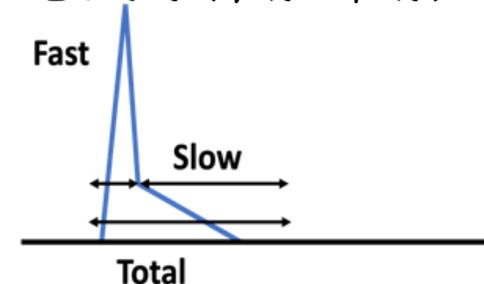
液体シンチレータ*検出器

- 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。

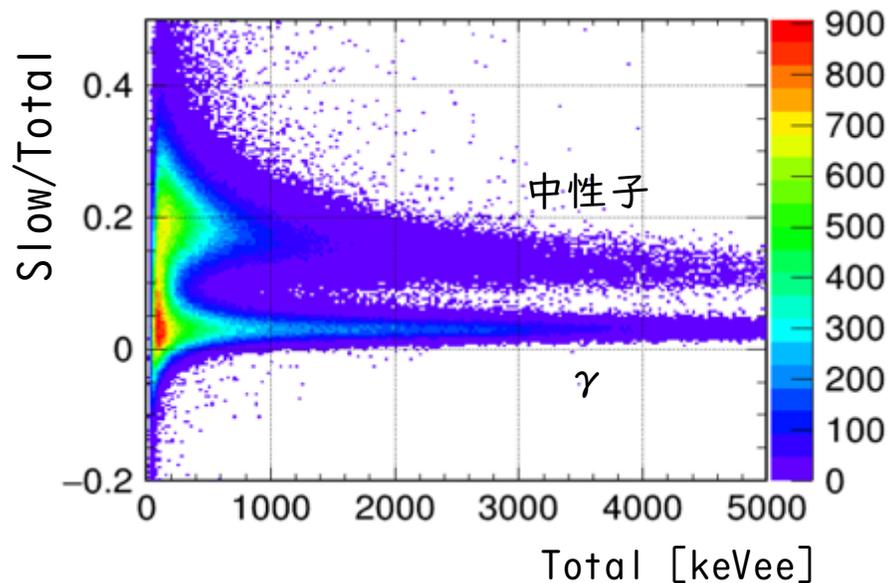
原子核事象(α 線や中性子)



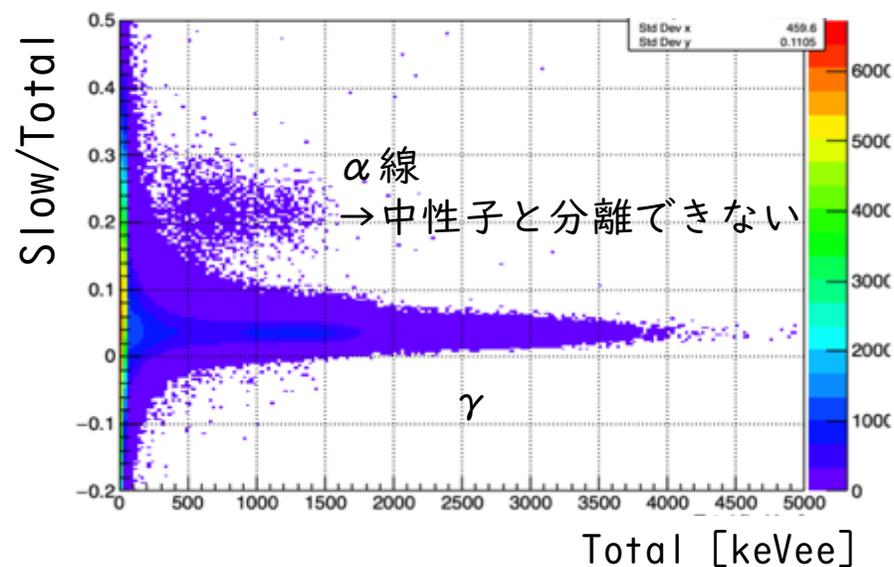
電子事象(γ 線や β 線)



^{252}Cf 中性子線源Run

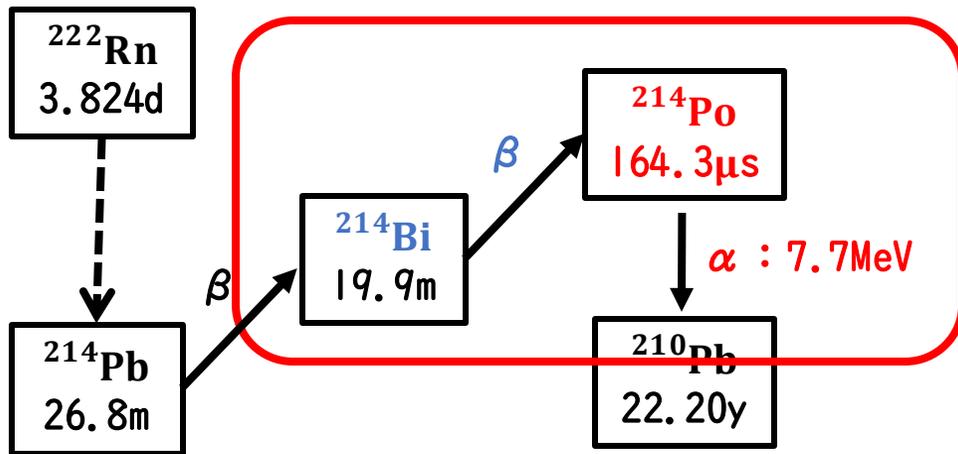


バックグラウンドRun



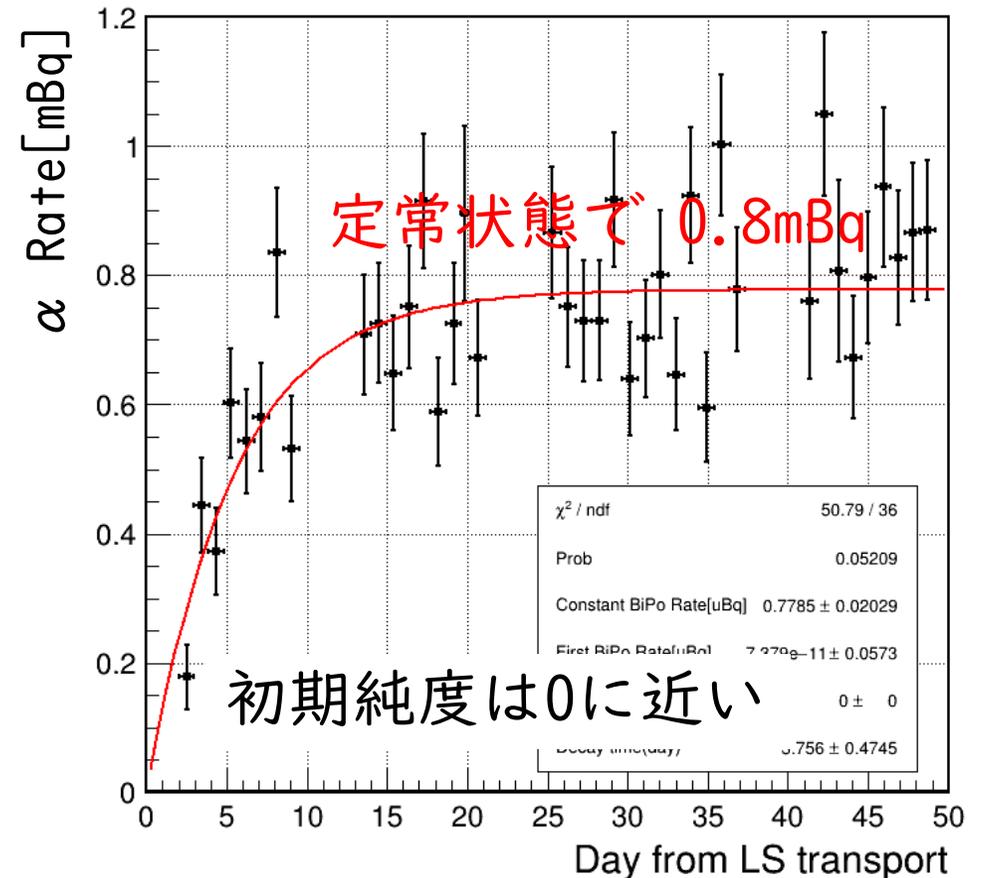
液体シンチレータ検出器の現状

- 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 で強かに事象選択可

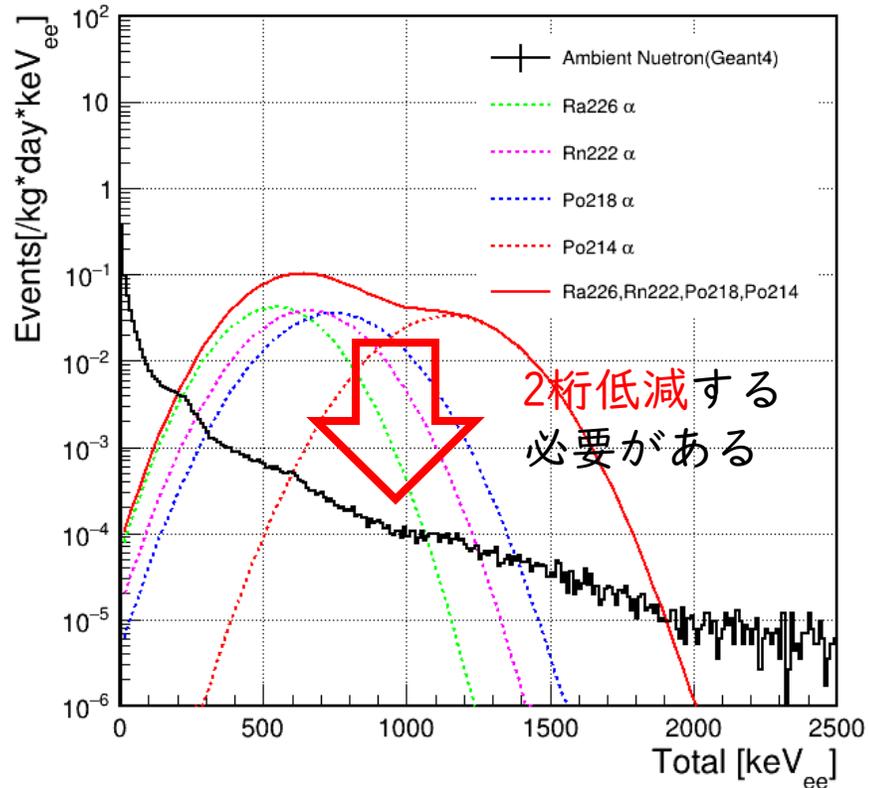
Bi-Po α 線レートの時間変動



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)

