

B04

神岡地下観測所における 中性子フラックスの測定

査定金額: 20万円
用途: 旅費

南野彰宏 (横浜国立大学)

東京大学宇宙線研究所共同利用成果発表会

2022年1月25日

目次

- 研究の概要
- 環境中性子の測定
- 岩盤中水分量測定
- まとめと今後の予定

研究の概要

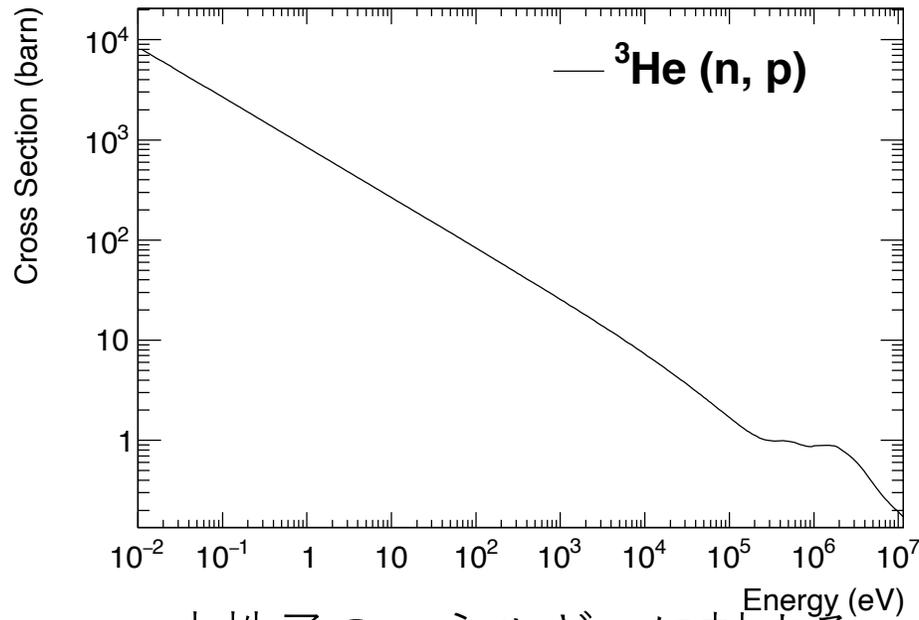
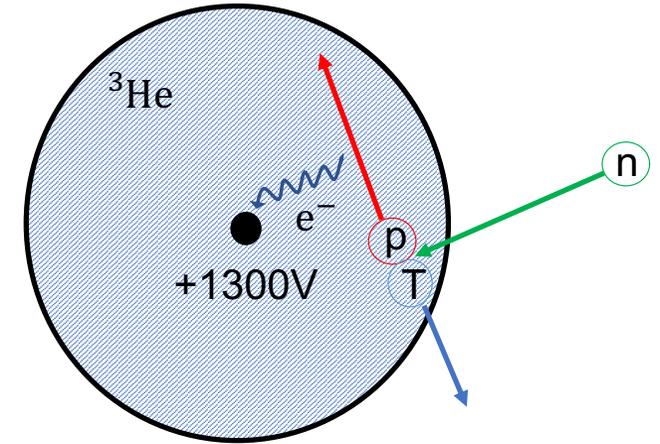
- 2014年度に中性子測定コンソーシアムとして活動開始。
- 目的: 実験グループを跨いで技術・機材などを共有し、多地点・長期測定を行い、結果を公表・共有すること。

環境中性子の測定

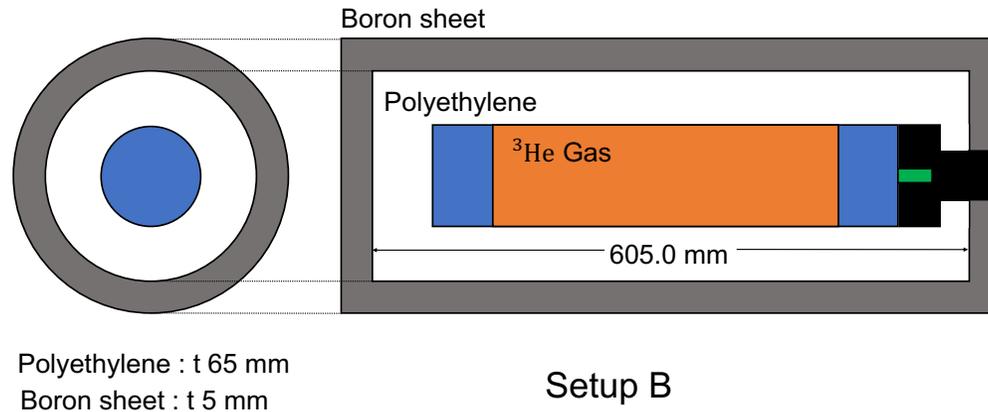
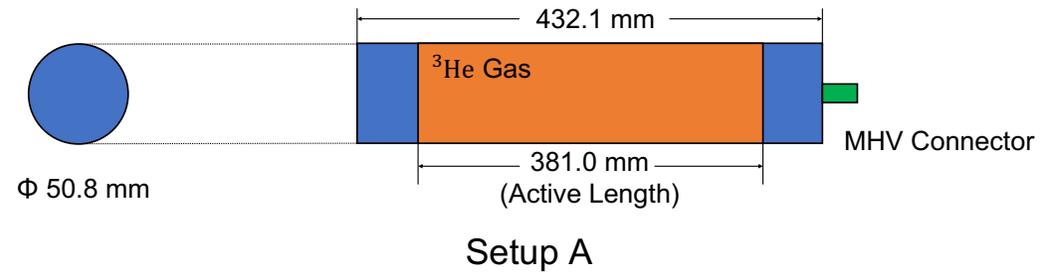
熱中性子：<0.5 eV、高速中性子：>1 MeV

^3He 比例計数管

- ◎ 熱中性子に高い感度。
- △ 高速中性子は減速後間接的に測定。



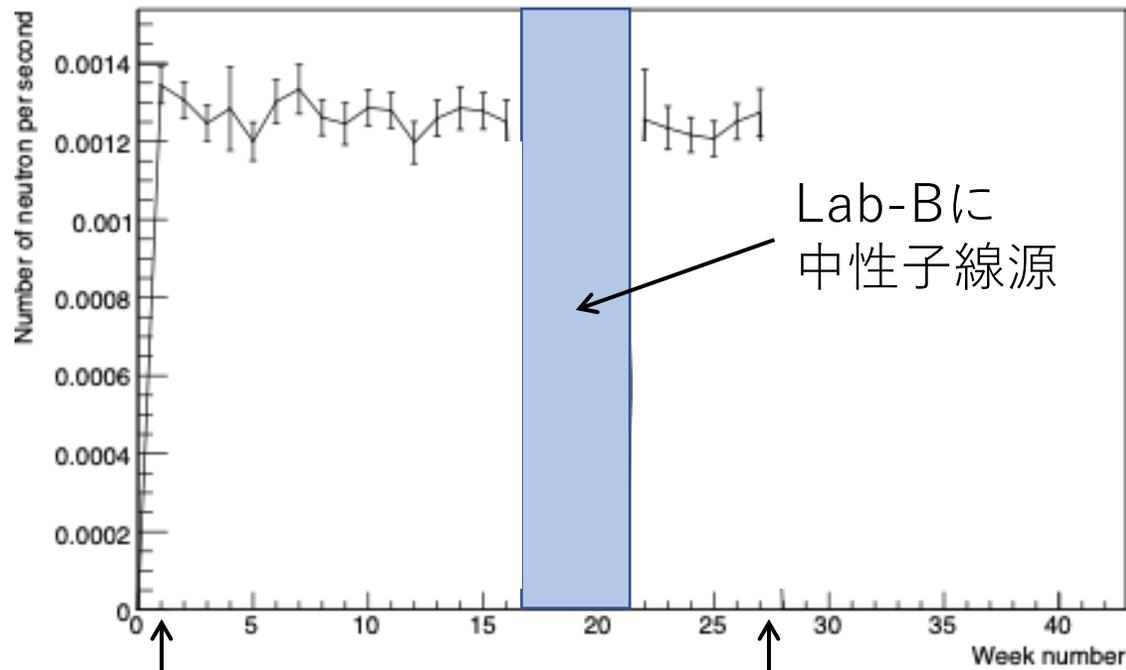
中性子のエネルギーに対する
 ^3He ガスの反応断面積



^3He 比例計数管

- 測定場所: 神岡地下実験室Lab-B
- 測定期間: 2021年7月9日から2022年1月21日

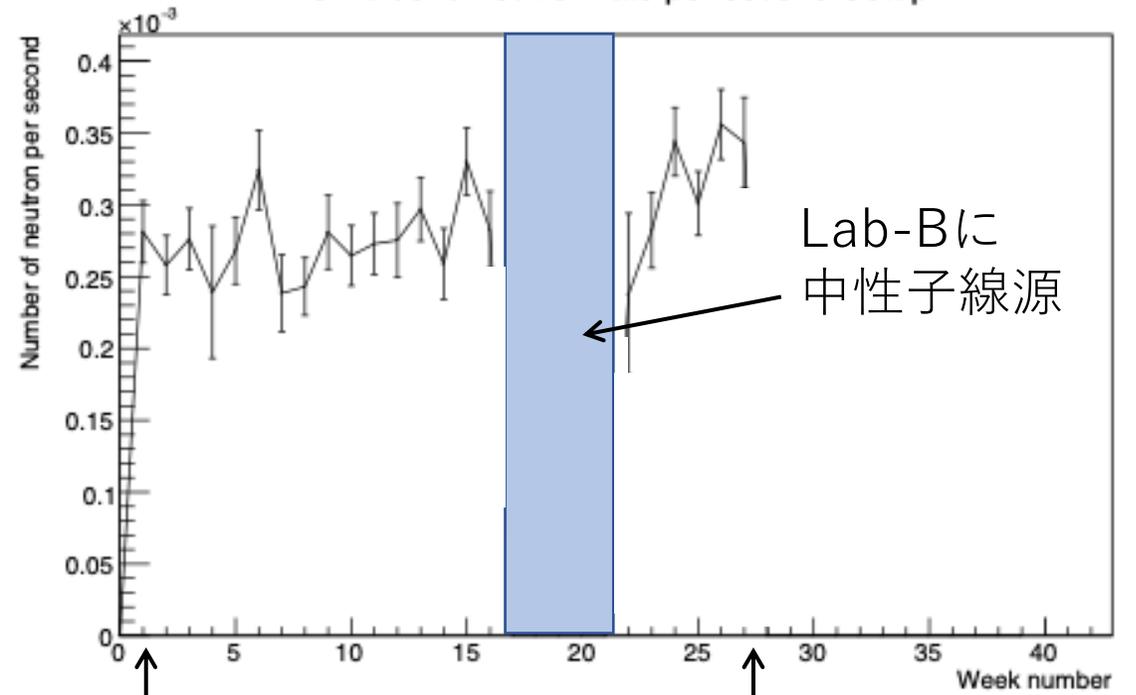
The incident neutron rate per second: Setup A



2021/7/9の週

2022/1/21の週

The incident neutron rate per second: Setup B



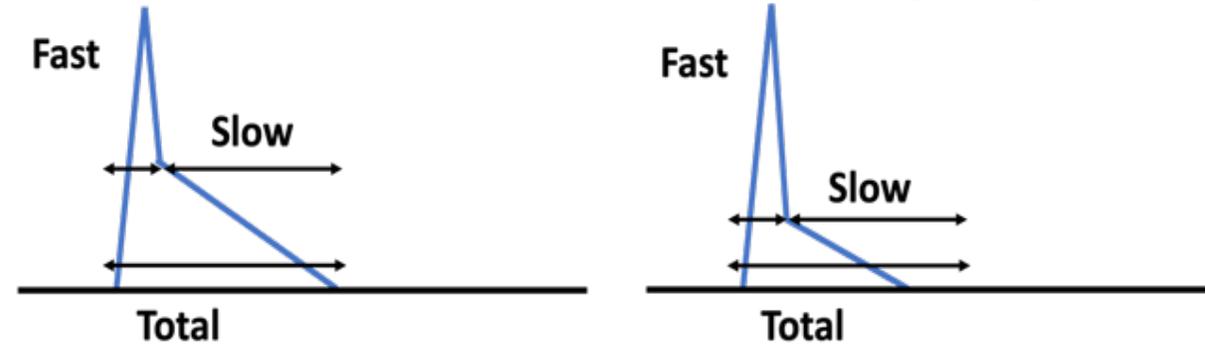
2021/7/9の週

2022/1/21の週

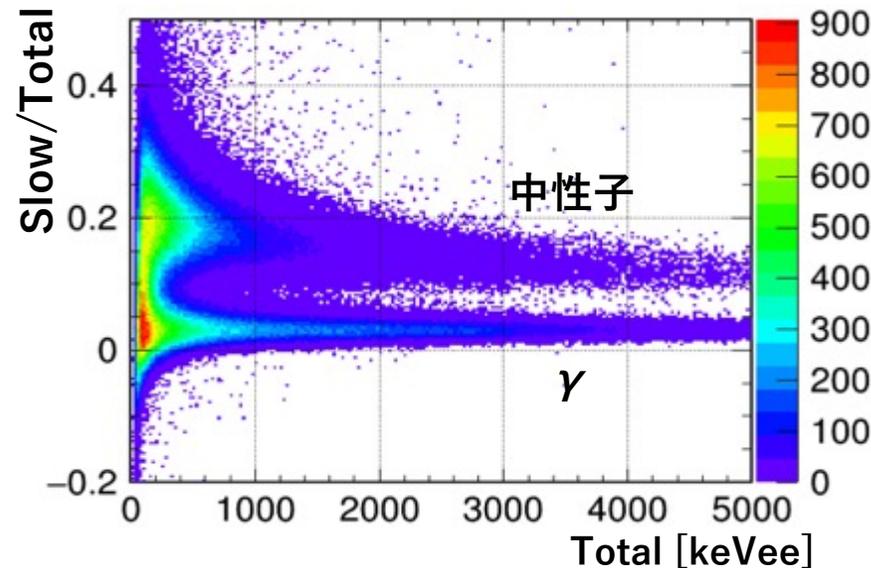
液体シンチレータ—検出器

- 高速中性子を直接測定
- PSD(波形弁別法) が得意
 - 原子核反跳と電子反跳を分離
 - α 線バックグラウンドがやっかい

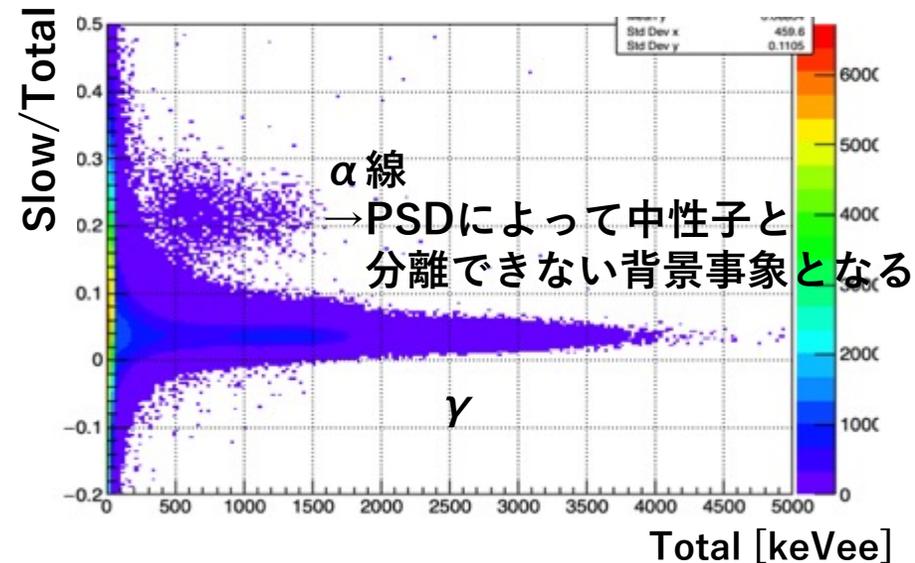
原子核反跳事象(α 線や中性子) 電子反跳事象(γ 線や β 線)



^{252}Cf 使用データにおけるPSD分布

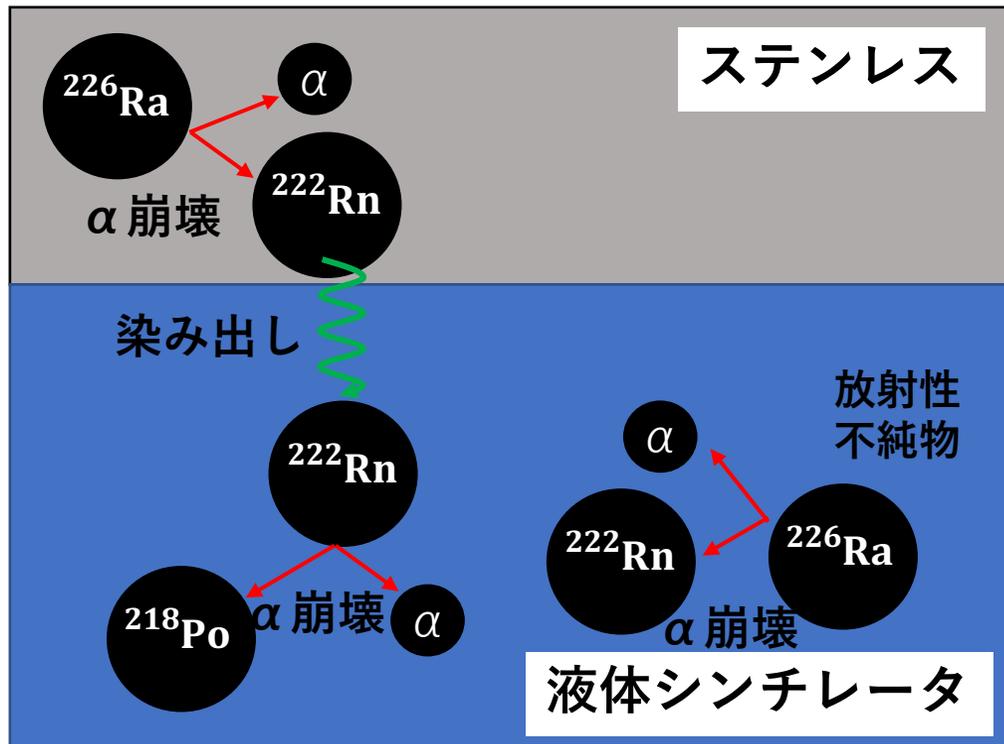


バックグラウンドRunにおけるPSD分布



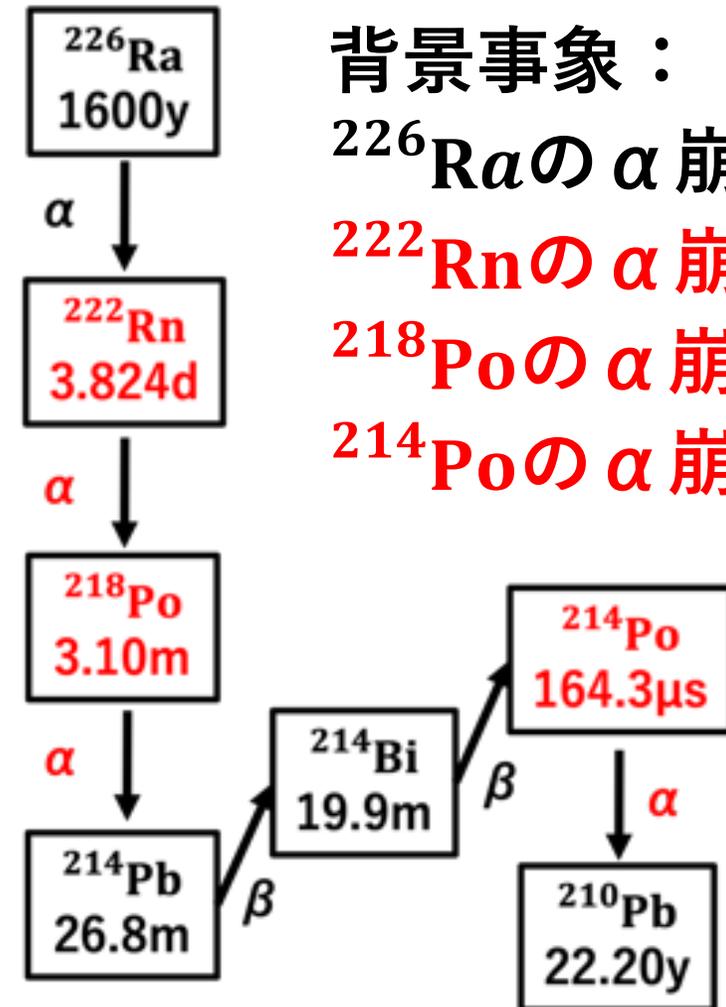
液体シンチレータ—検出器

- α 線バンクグラウンドの低減
 - 液シン中の放射性不純物を除去
 - ステンレス容器からの ^{222}Rn の染み出し低減



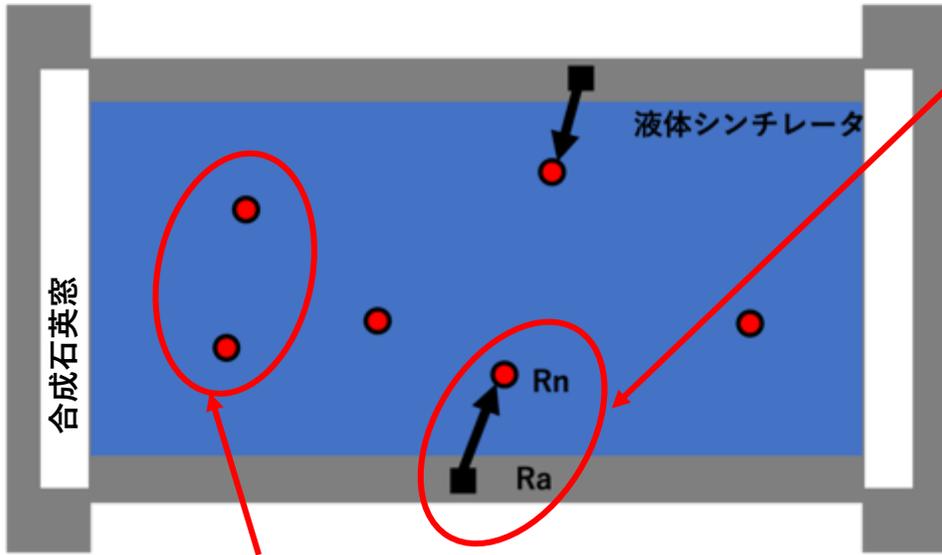
背景事象：

- ^{226}Ra の α 崩壊
- ^{222}Rn の α 崩壊
- ^{218}Po の α 崩壊
- ^{214}Po の α 崩壊

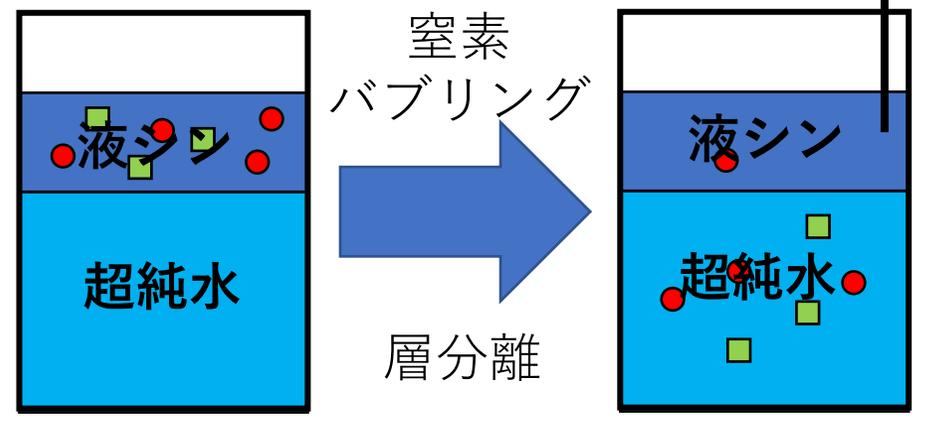


液体シンチレータ－検出器

岩澤（早大）



・放射性不純物の除去
液体シンチレータの純化



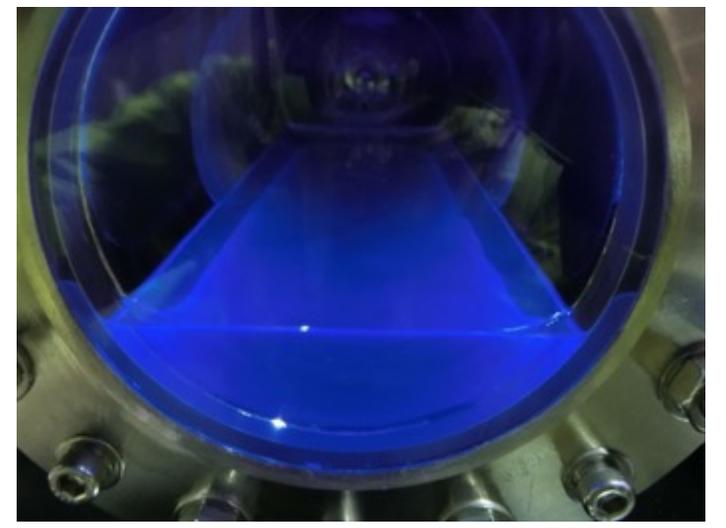
・ ^{222}Rn の染み出し低減化
電解複合研磨 (ECB)

電気化学的 & 研磨剤による研磨
神岡Rn検出器の技術

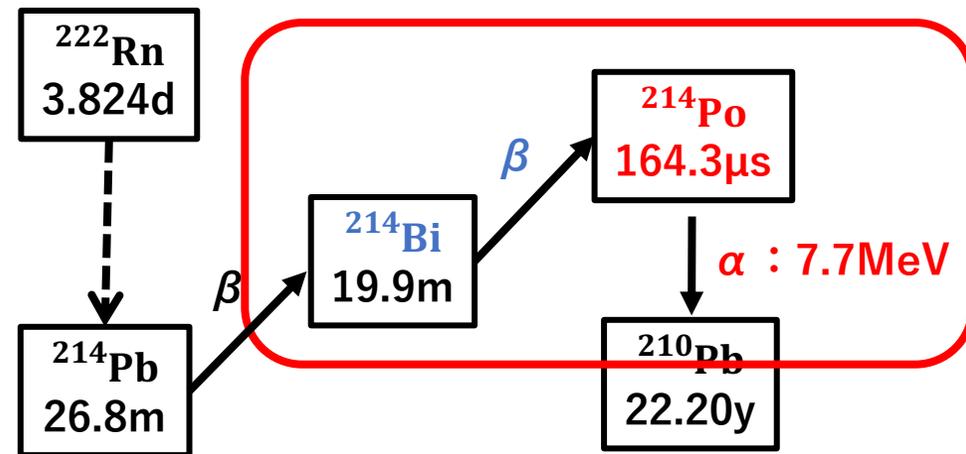
J. of Phys. Conf. Series 469 (2013) 012007,
PTEP 2015, 033H01, etc



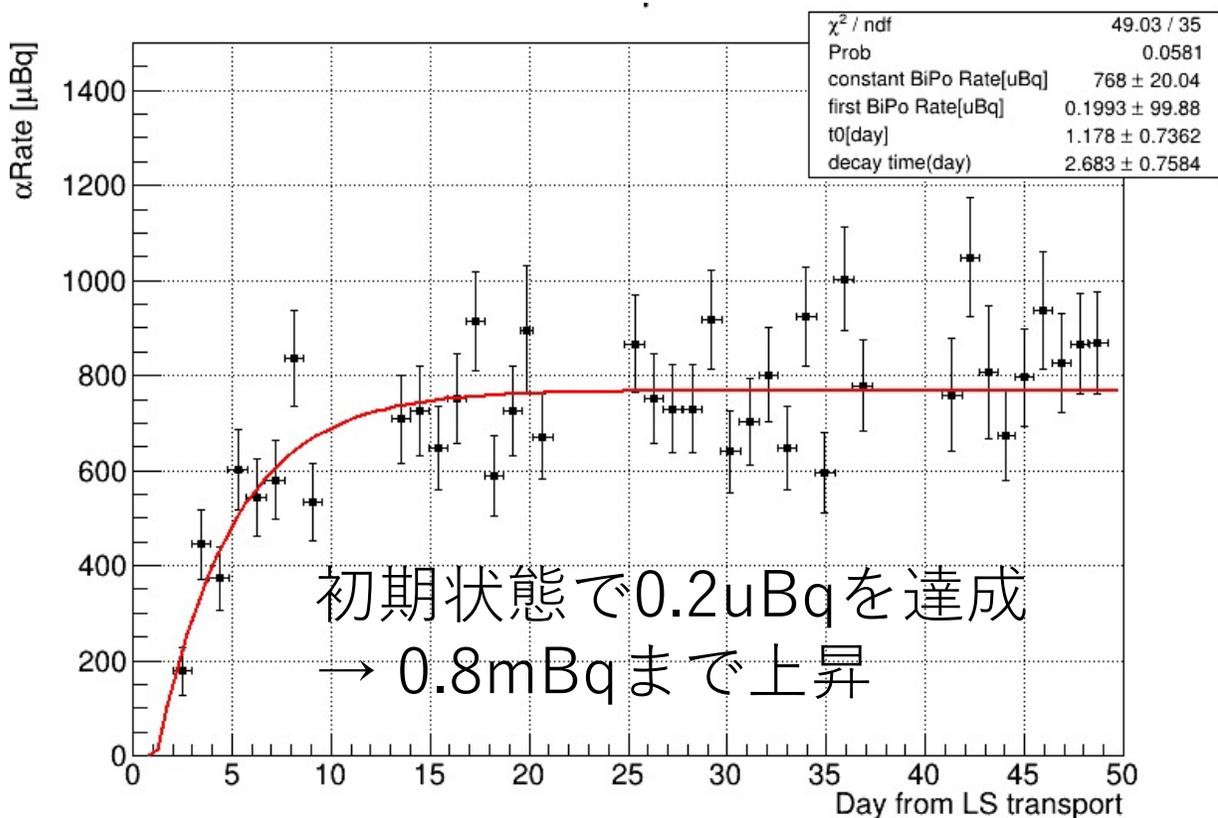
純化した液体シンの移送



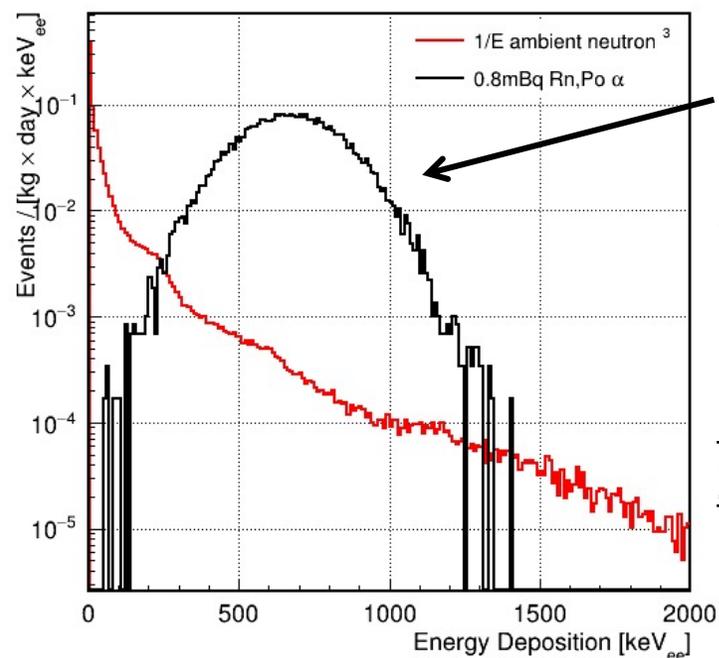
液体シンチレータ—検出器



Bi-Po α線レート



^{214}Po の半減期が短いため Δt で強力に事象選択可



^{222}Rn 事象頻度が
0.8mBqのときの
 α 線BG*

2桁落としたい



1. 解析的に取り除く
2. よりRnを低減した
検出器

* 小津龍吉、早大修論 (2020) Geant4 による

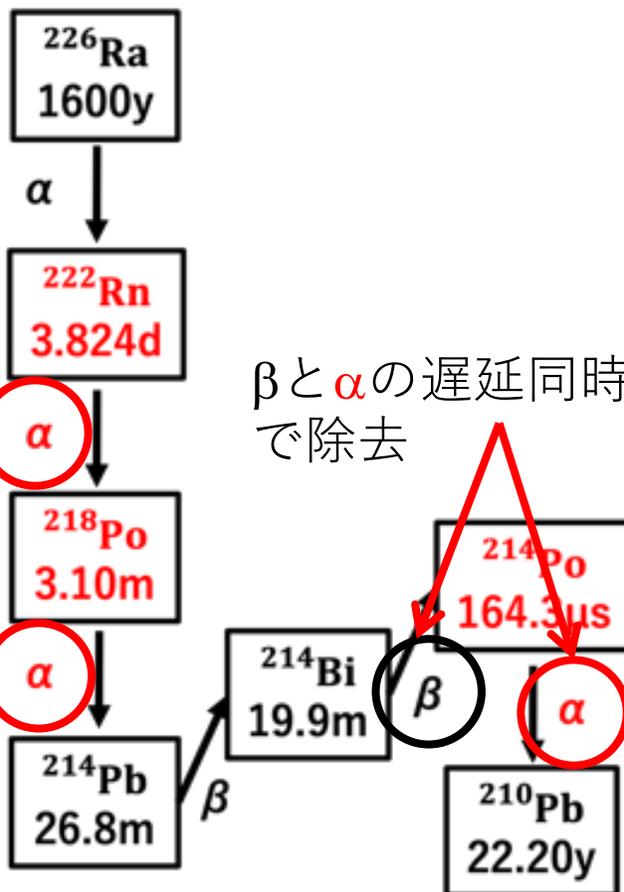
液体シンチレータ—検出器

- 解析的に α 線BGを取り除く

^{222}Rn 事象頻度が低い場合

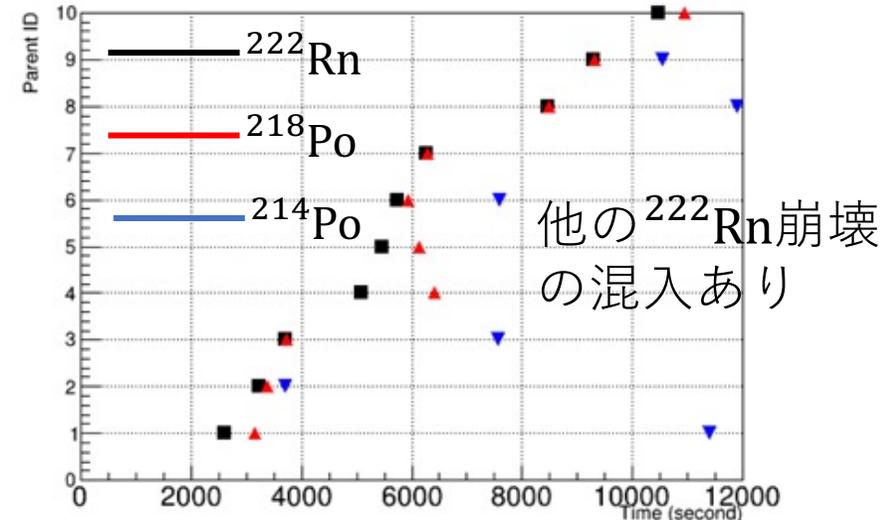
Time Window	500秒
中性子検出効率[%]	41.2
α 事象除去率[%]	94.4

α と α の遅延同時計測で除去

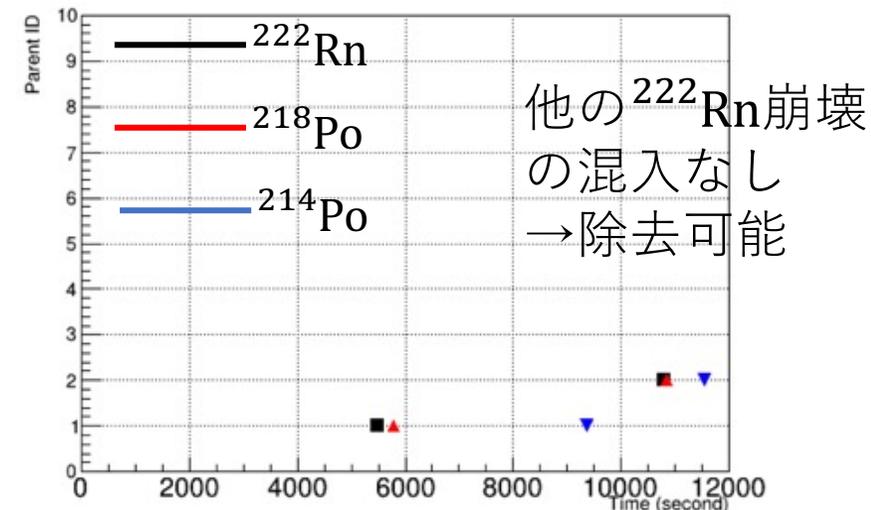


β と α の遅延同時計測で除去

^{222}Rn 事象頻度 = 0.8mBq (実測値)



^{222}Rn 事象頻度 = 0.08mBq

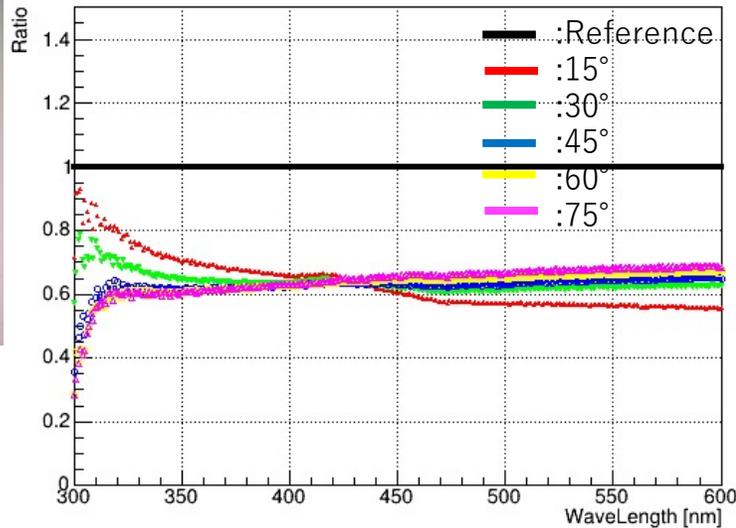
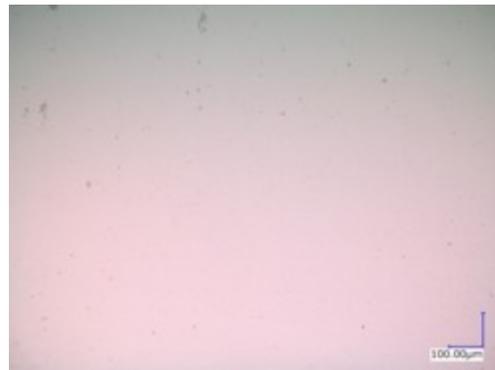


液体シンチレータ検出器

- よりRnを低減した検出器 → 表面処理方法の変更を検討

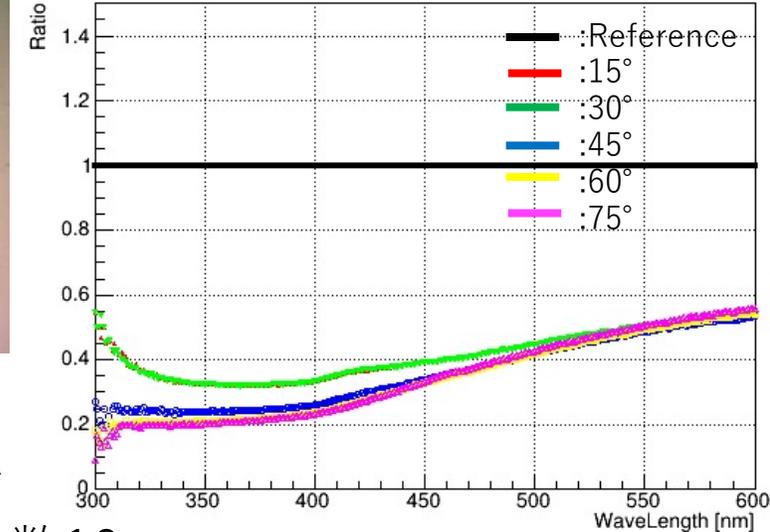
EP処理表面(電解研磨)

EP反射率測定データ



GEP処理表面

GEP反射率測定データ



→皮膜が厚くなることでRnの染み出し低減を期待

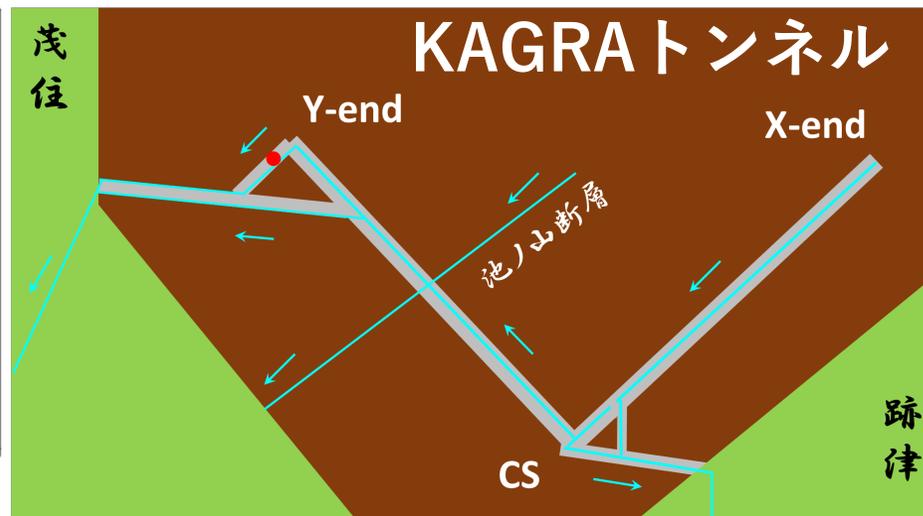
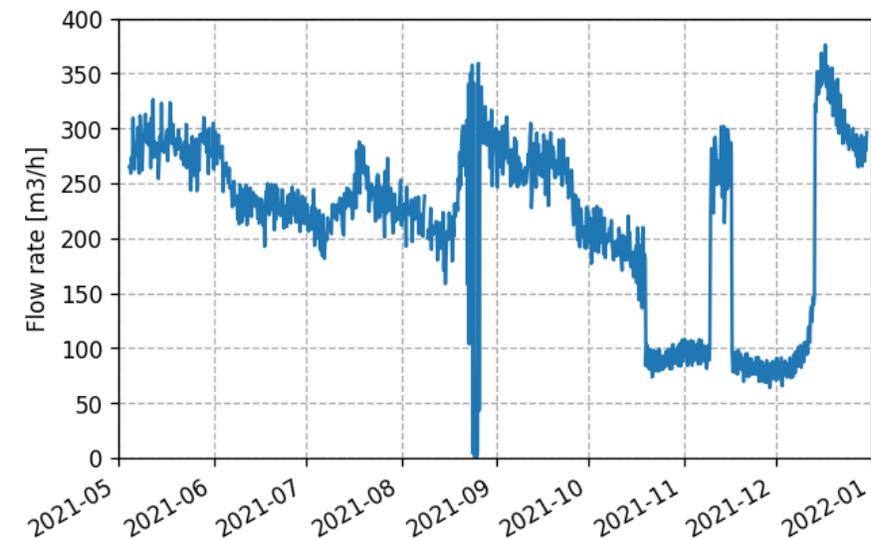
岩盤中水分量の測定

KAGRA トンネルの排水量モニター

鷲見 (天文台)

G09 “KAGRAにおける環境由来のノイズ削減に関する研究”

- 神岡の地下水モニターは極低BG実験だけでなく、KAGRAの重力波観測でも重要である (水流による重力場雑音)
- KAGRAでは2021年度から新たな水流計を導入し、1分サンプルの常時測定を行っている。
 - これまでは神岡鉱業による1日1回測定(エクセルシート)のみ
- 今後、環境中性子フラックスの季節変動との相関を調査予定



まとめと今後の予定

- まとめ
 - ^3He 比例計数管で測定中
 - 液体シンチレーター検出器のバックグラウンドを低減中
 - 神岡地下岩盤中の水分量を測定中
- 今後の予定
 - 複数の検出器で同時測定を行う。
 - 測定結果と岩盤中水分量との相関を調べる。
 - 測定結果とシミュレーションを比較する。

バックアップ

研究の概要

- 中性子測定コンソーシアム

7つの実験グループ

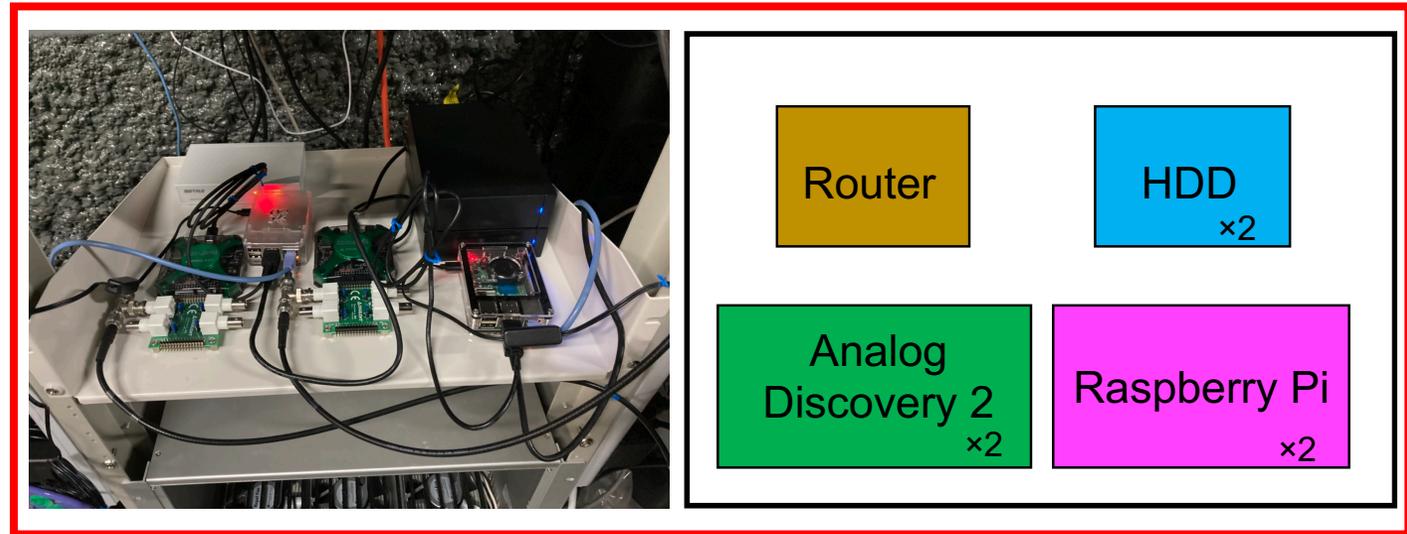
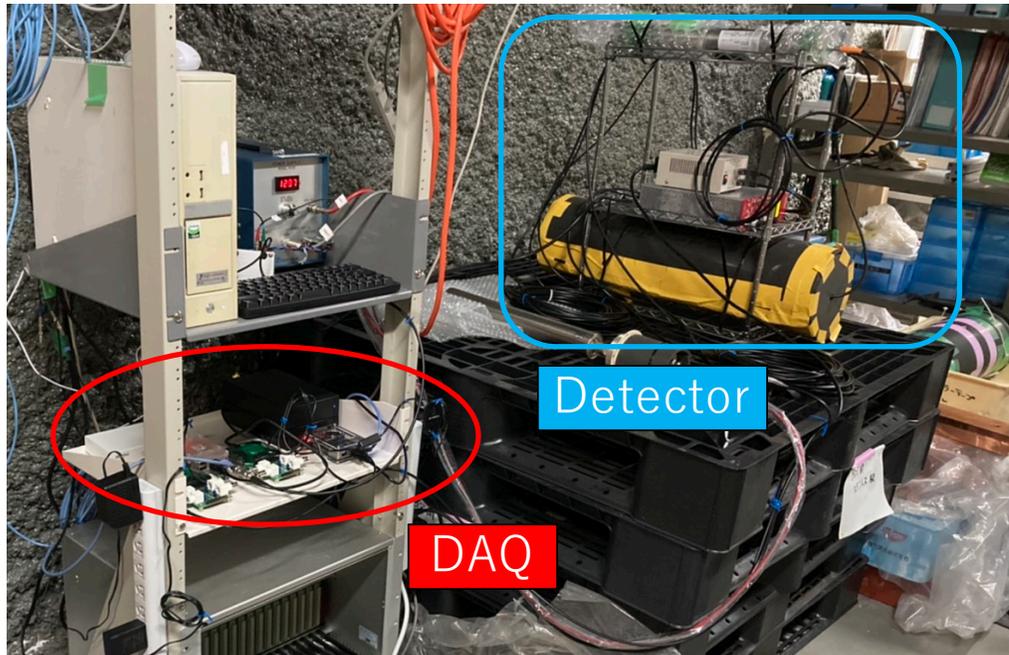
- 大阪大学：CANDLES
- 神戸大学：NEWAGE
- 東京大学：XMASS
- 東北大学：KamLAND
- 名古屋大学：NEWSdm
- 早稲田大学：ANKOK
- 横浜国立大学：SK-Gd

5つの検出器

- ^3He 比例計数管
- 液体シンチレータ
- 原子核乾板
- ^6Li ドーププラスチックシンチレータ
- BF^3 比例計数管

^3He 比例計数管

- データ収集系（DAQ）を小型化*。
 - 様々なサイトでの測定が容易になった。



環境中性子シミュレーション (発生)

- 岩盤中RIと岩盤の (α, n) 反応: NeuCBOT*
- ^{238}U の自己核分裂: Watt Spectrum

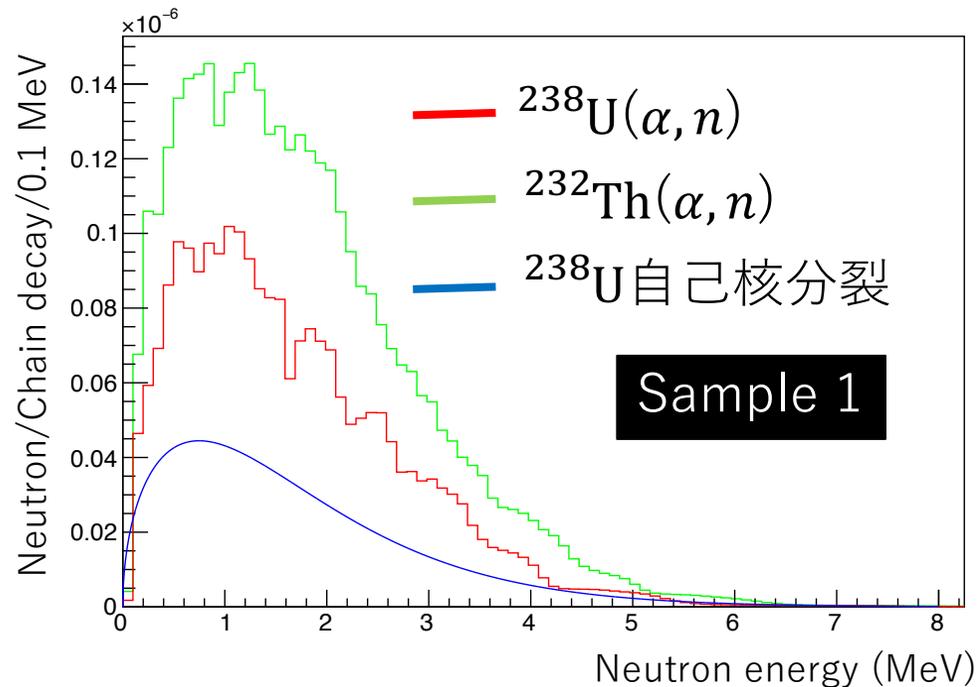


表 5.1: 神岡坑内における岩石成分の重量比 (%)

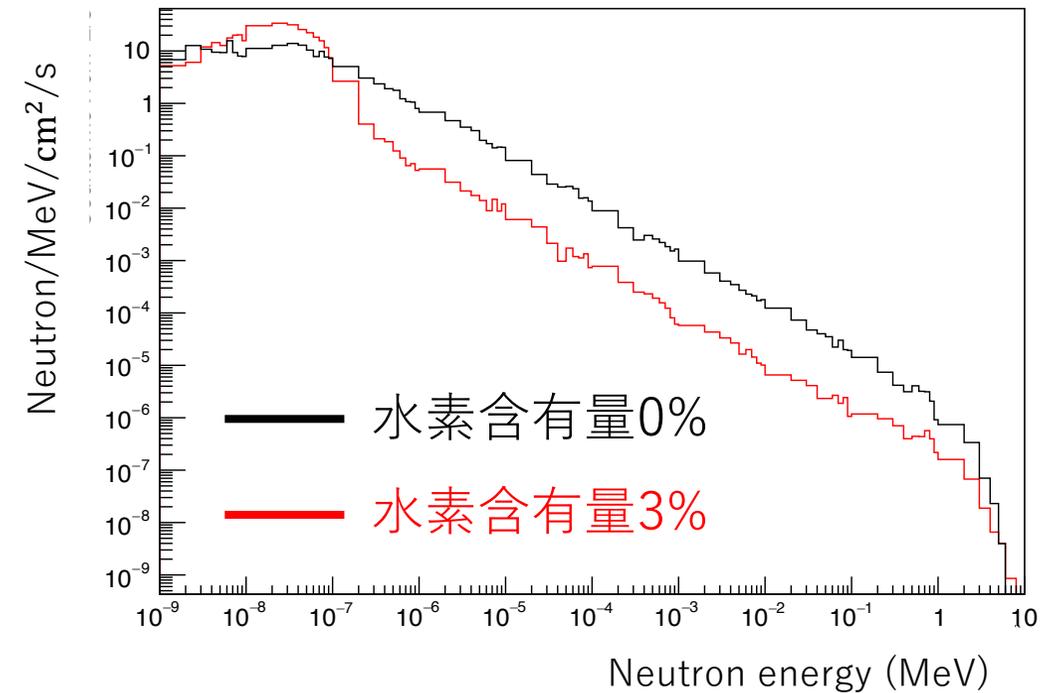
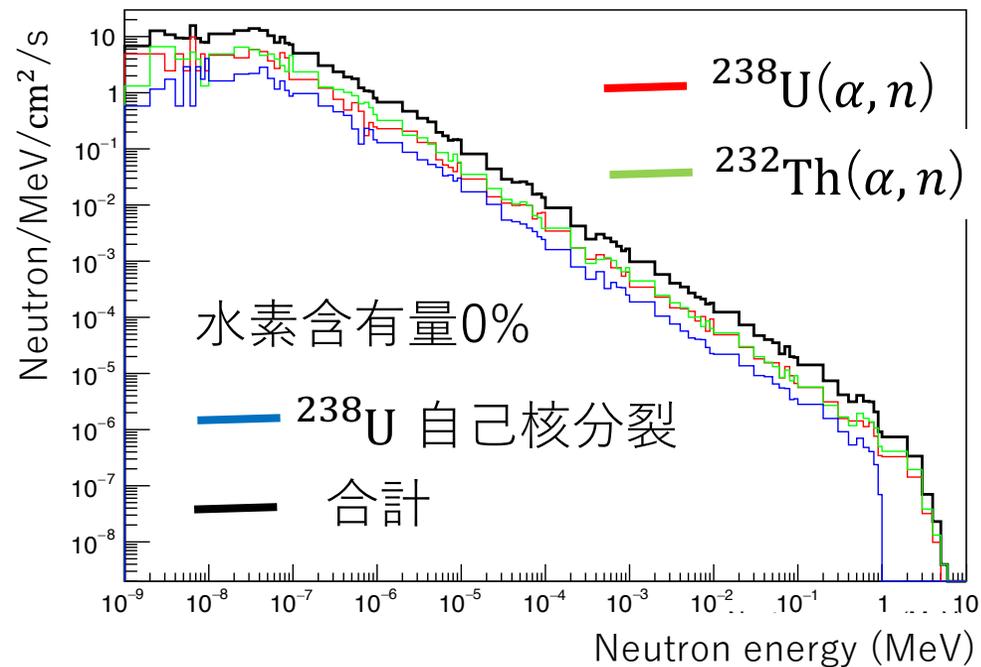
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	ZnO	
Sample 1	35.75	11.35	10.95	1.09	0.99	39.37	0.02	0.35	0.10	0.03	
Sample 2	33.74	0.74	23.94	4.63	1.92	34.35	0.32	0.02	0.17	0.17	
Sample 3	25.62	0.25	19.32	3.73	1.16	41.54	0.00	0.02	3.01	5.35	
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	K ₂ O	H ₂ O
JR-1	75.45	12.83	0.91	0.10	0.12	0.67	4.02	0.02	0.11	4.41	1.36
JA-3	62.27	15.56	6.38	0.10	3.72	6.24	3.19	0.12	0.70	1.41	0.31

発生させた中性子の運動エネルギー

* <https://github.com/shawest/neucbot>

環境中性子シミュレーション (輸送)

- 岩盤中の中性子の輸送: Geant4
 - 岩盤中の水分量が増えると熱中性子が増え、高速中性子が減る。

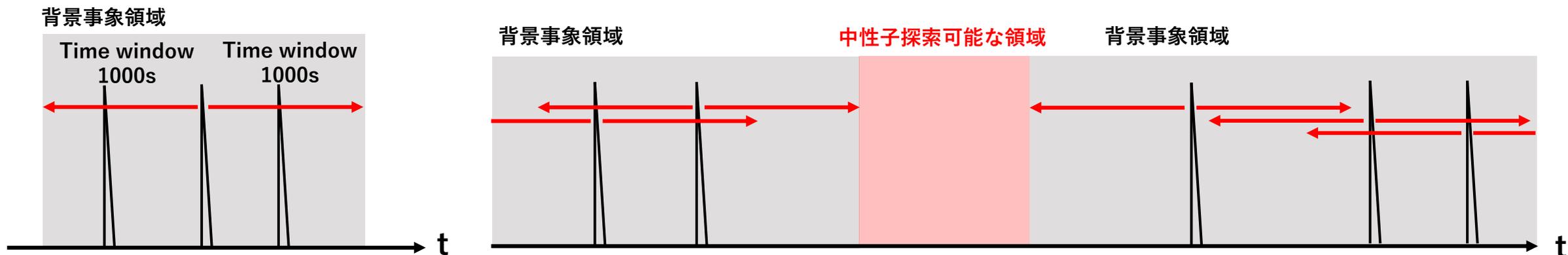


実験室に輸送された中性子の運動エネルギー

現行検出器における課題

- 背景事象領域の定義

- 中性子探索可能な領域の定義



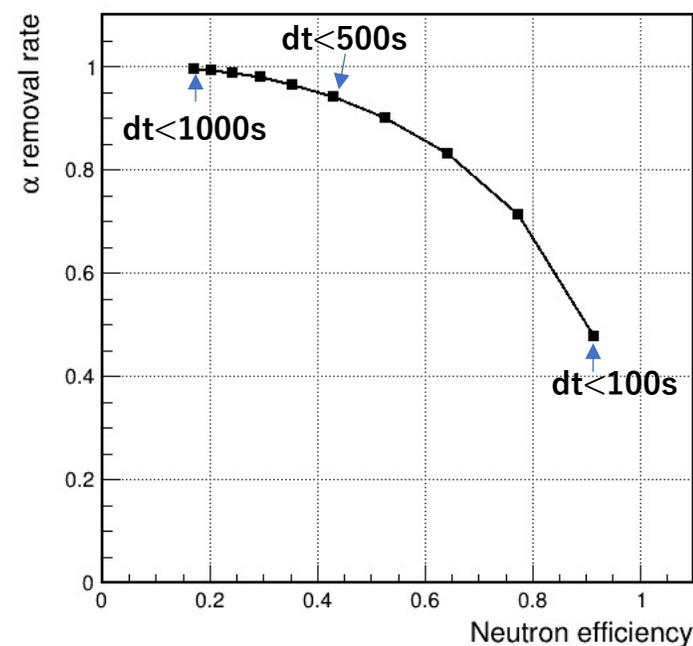
- 各種定義

$$\text{中性子に対する効率}[\%] = \frac{\text{中性子探索可能な時間}[s]}{\text{全時間}[s]} \times 100$$

$$\alpha \text{ 事象除去率} [\%] = \frac{\text{カットで除けた } \alpha \text{ 事象}[Events]}{\text{全イベント数}[Events]} \times 100$$

Time Window	1000s	500s
中性子に対する効率[%]	14.9	41.2
α 事象除去率[%]	99.8	94.4

Rejection vs Efficiency



dtの条件のみでは中性子効率を大幅に削ってしまう。

→条件に検出位置、エネルギーの情報を入れることにより改善を期待

条件を決めるためシミュレーションによる理解が重要となる