

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)

東大宇宙線研共同利用成果発表会

2021年2月8日

目次

- B04の概要
- ^3He 比例計数管を用いた測定
 - 神岡地下実験室Lab-B
 - Hyper-Kの建設サイト（栃洞坑内）
- 液体シンチレーター検出器を用いた測定
 - 神岡地下実験室Lab-B
- 今後の予定

B04の概要

- 2014年度に中性子測定コンソーシアムとして活動を開始した。
- 地下実験室で行う低バックグラウンド実験で主要なバックグラウンドのひとつである環境中性子を実験グループの枠を超えて測定を行う。
- ICRR共同利用では、2016年度より活動を開始した。

^3He 比例計数管で
神岡地下実験室Lab-B

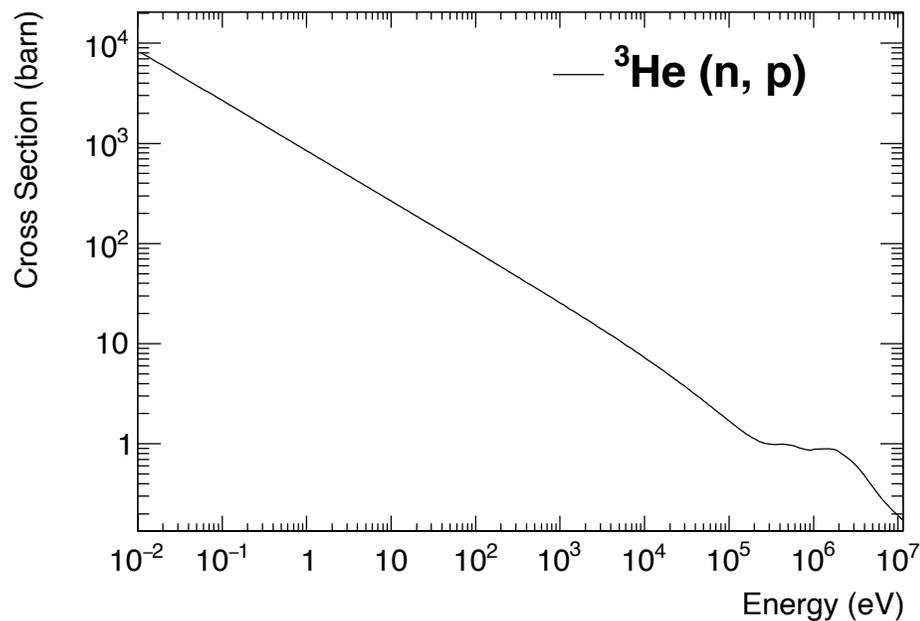
K.Mizukoshi et al., PTEP(2018) 123C01の追試

佐々木 (横国大)

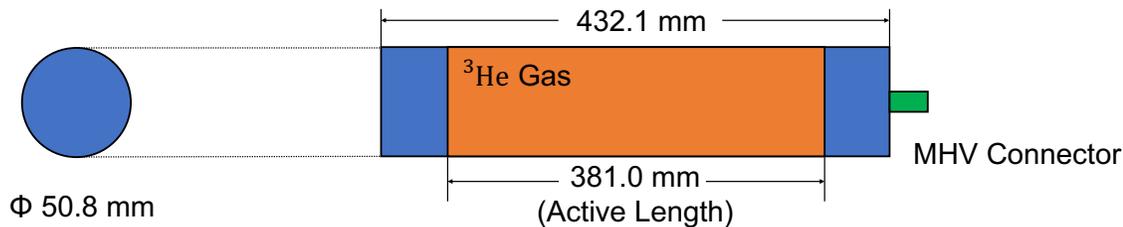
中性子の測定

熱中性子： <0.5 eV
高速中性子： >1 MeV

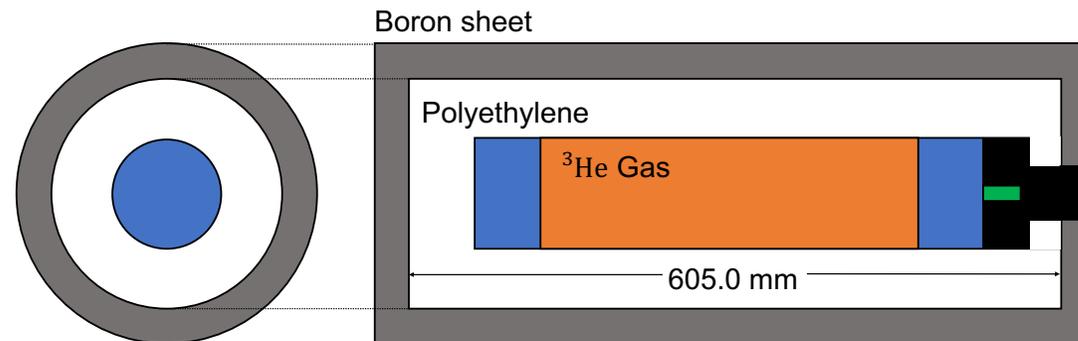
- ^3He 比例計数管は熱中性子に高い感度を持つ
- 高速中性子の測定
→高速中性子を減速させ ^3He 比例計数管の感度領域まで運動エネルギーを落とす



中性子のエネルギーに対する
 ^3He ガスの反応断面積[2]



Setup A



Polyethylene : t 65 mm
Boron sheet : t 5 mm

Setup B

Setup A : 通常の ^3He 比例計数管
→熱中性子に高い感度を持つ

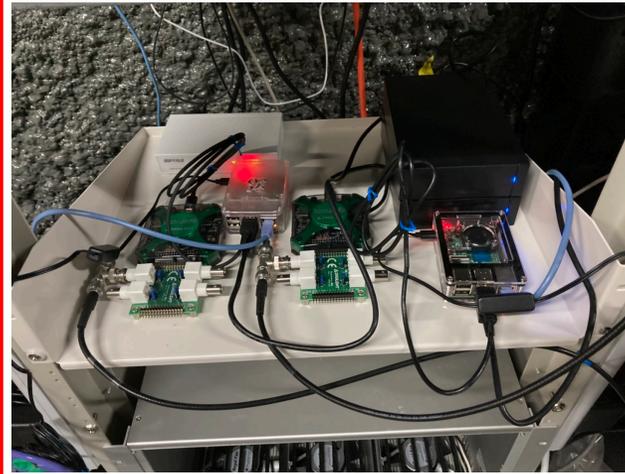
Setup B : 厚さ6.5cmのポリエチレン容器(中性子減速材)に
5mmのボロンシート(熱中性子吸収材)を巻く
→高速中性子に高い感度をもつ

測定のセットアップ

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

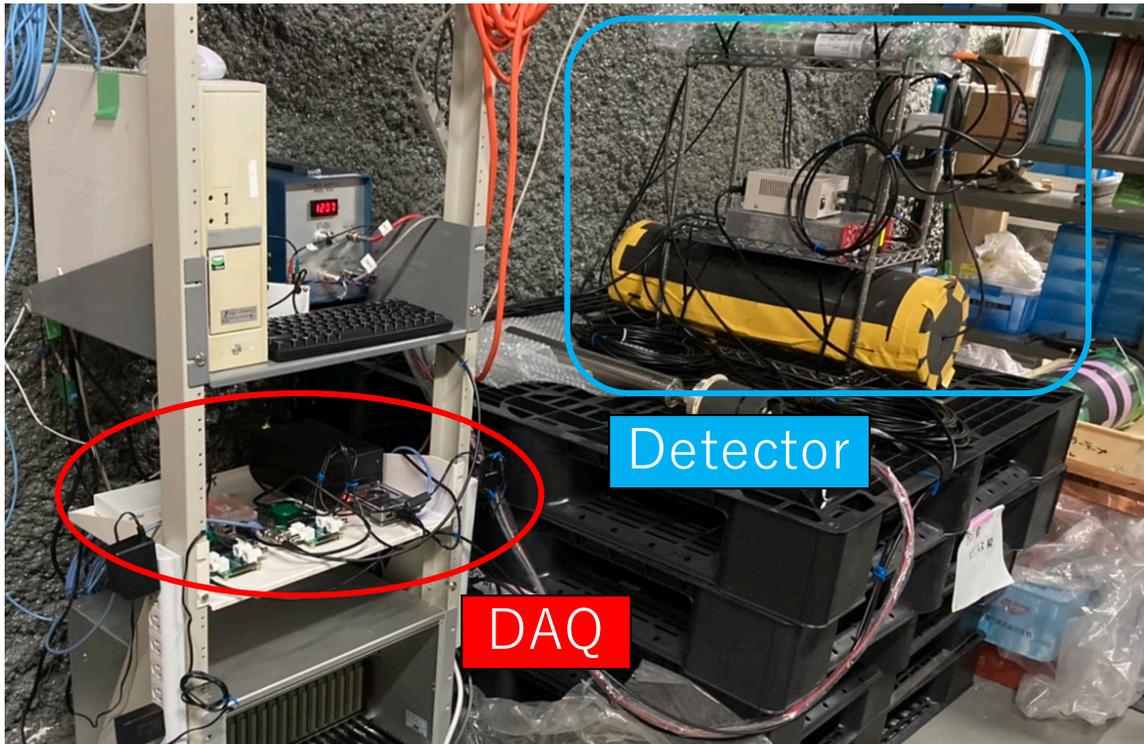


Router

HDD
×2

Analog
Discovery 2
×2

Raspberry Pi
×2



Detector

DAQ



Setup A

Pre-Amp
×2

Pre-Amp
Power
Supply

HV Supply

Setup B

DAQ

Detector

測定結果

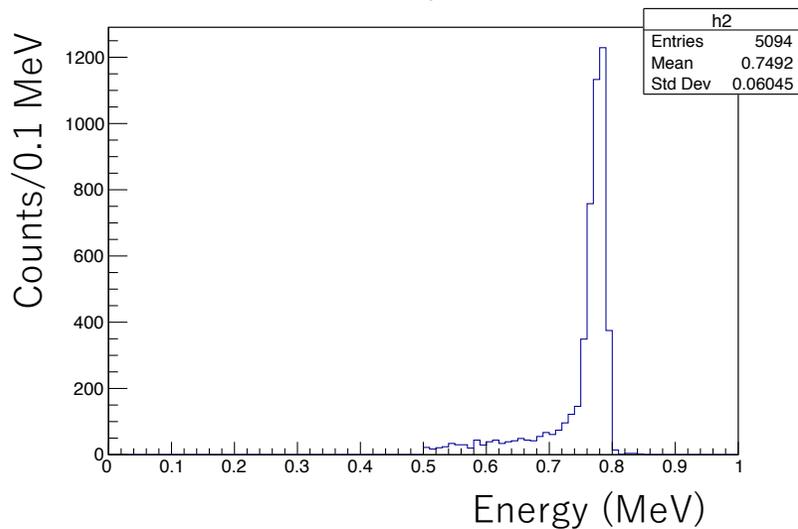
測定場所

→神岡地下実験室Lab-B

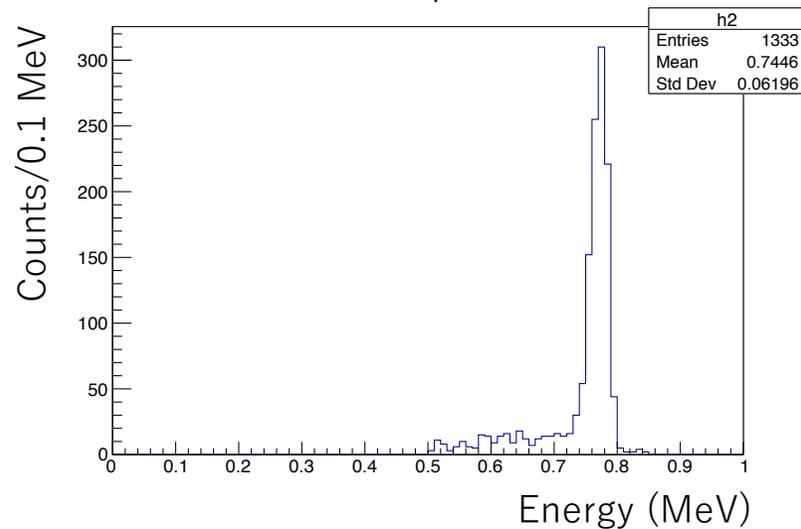
測定期間

→2020年10月10日～2021年1月13日

Setup A



Setup B



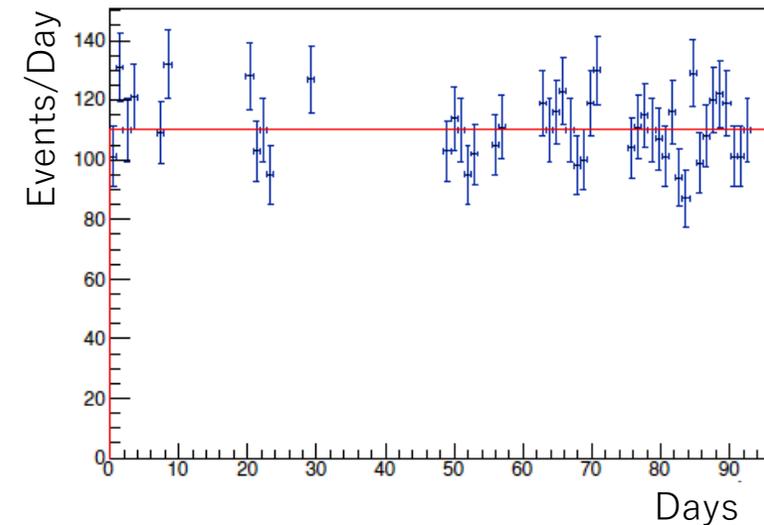
波高スペクトル

表 4.2: 各セットアップの測定情報

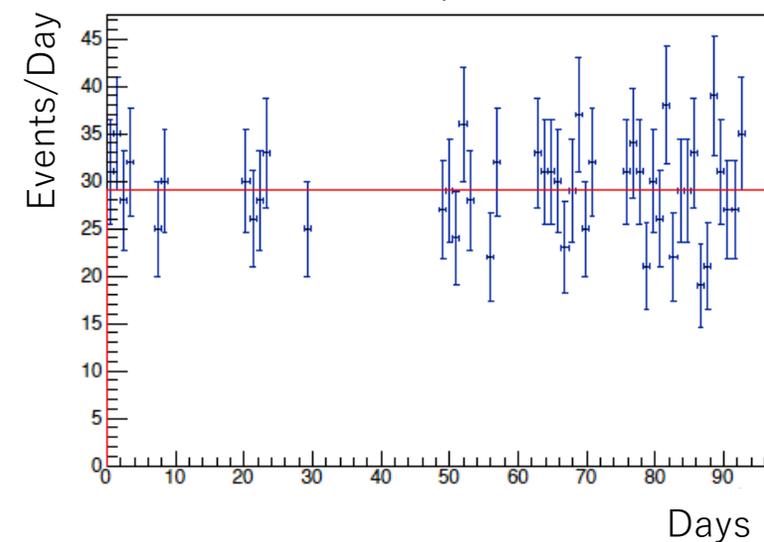
Setup	Live Time (day)	N (counts)	R (10^{-3} cps)
A	45	5094	1.546
B	45	1333	0.405

有効測定時間：45日間
→Lab-Bで中性子線源が
使用された日を
測定から除いた

Setup A



Setup B



1日あたりのイベント数

環境中性子フラックス

岩盤中の水素含有量が上がる
 →実験室に輸送される熱中性子の量が増え
 高速中性子の量が減る
 →Setup Aのレート増、 Setup Bのレート減

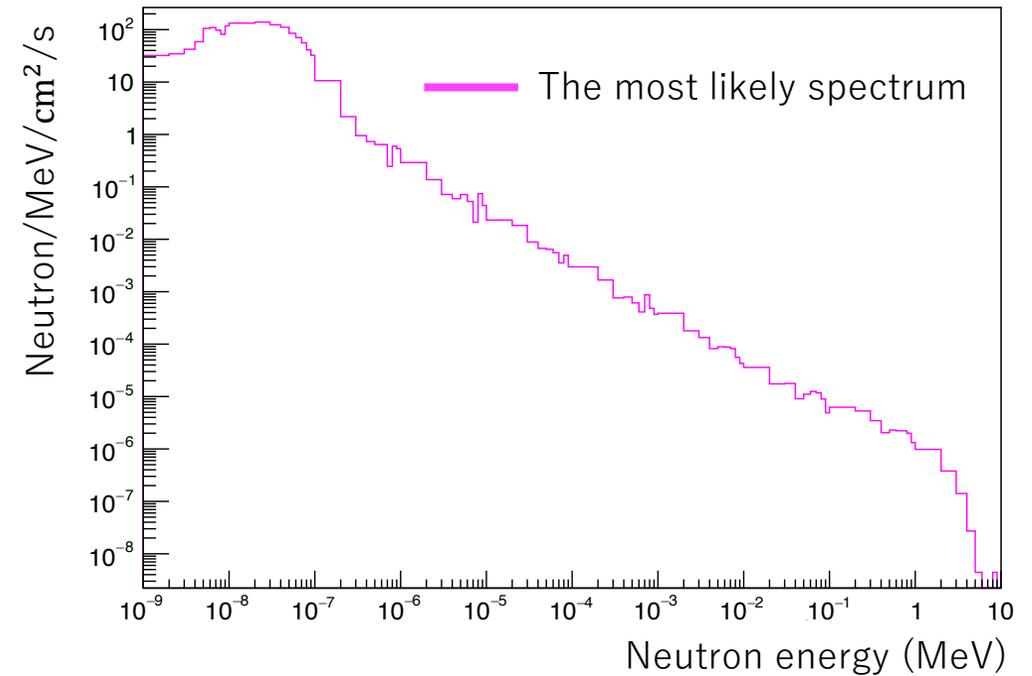
表 5.3: 岩盤中の水素含有量と測定レートの関係

% of Hydrogen	$R_{A,G4}/R_{B,G4}$
0	0.946
1	2.521
2	3.452
3	4.650

測定におけるレートの比 $R_A/R_B=3.817$
 →岩盤中の水素含有量は2%であると推定

表 5.5: Lab-B における環境中性子フラックス

Energy range	Flux $\Phi(\times 10^{-6} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1})$
< 0.5 eV	10.06
0.5 eV ~ 1 keV	2.79
1 keV ~ 1 MeV	5.15
$\geq 1 \text{ MeV}$	1.53
Total	19.54



トータルフラックスで規格化した
 環境中性子のエネルギースペクトル

考察

表 6.1: 岩盤中の水素含有量による環境中性子フラックスの変化

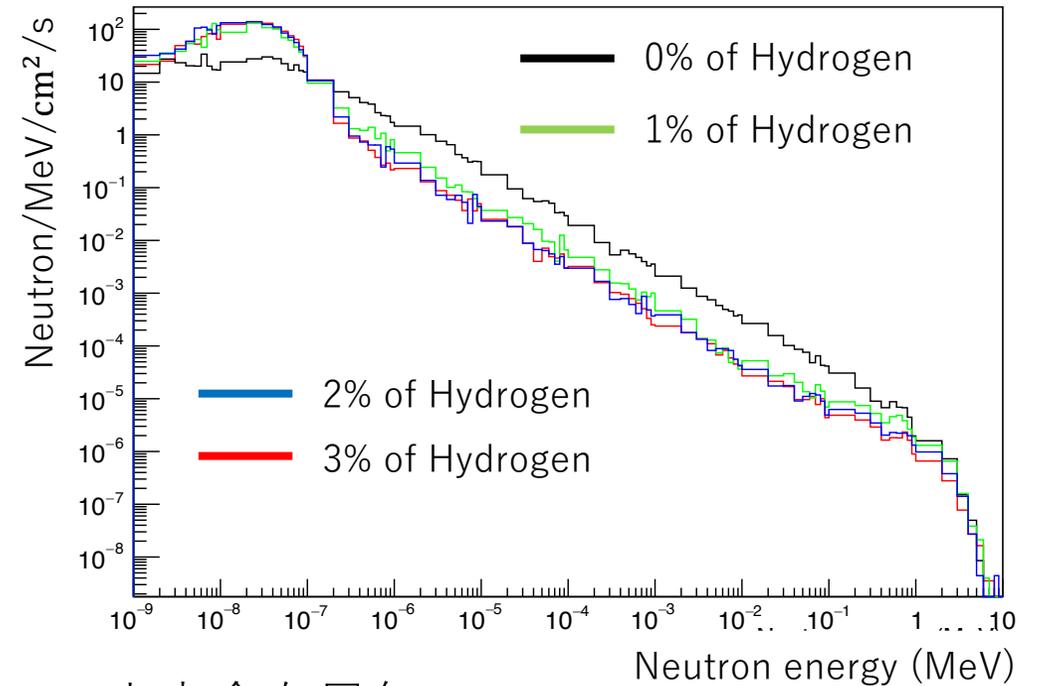
	0 %	1 %	2 %	3 %
$\Phi_{<0.5\text{eV}}$	4.87	8.86	10.06	10.05
$\Phi_{0.5\text{eV}\sim 1\text{keV}}$	18.92	4.77	2.79	2.67
$\Phi_{1\text{keV}\sim 1\text{MeV}}$	25.23	7.55	5.15	4.32
$\Phi_{\geq 1\text{MeV}}$	2.53	2.20	1.53	1.07
Φ_{Total}	51.56	23.39	19.54	18.10

表 6.2: 先行研究 [1] で求められた Lab-B における環境中性子フラックス

Energy range	Flux $\Phi(\times 10^{-6}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1})$
< 0.5 eV	7.88
0.5 eV ~ 1 keV	3.11
1 keV ~ 1 MeV	8.65
≥ 1 MeV	3.88
Total	23.52

(3% of Hydrogen)

- 岩盤中の水素含有量の増加に伴い
トータルフラックスは減少
熱中性子の占める割合は増加
- 先行研究[1]で推定されたLab-Bの岩盤中の
水素含有量は3%、本研究では2%
→岩盤中の水素含有量は測定時期によって変化
- 環境中性子フラックスの比較 (表6.1の2%と表6.2)
→各エネルギー領域の割合や
トータルフラックスは概ね一致



水素含有量毎の
環境中性子のエネルギースペクトル

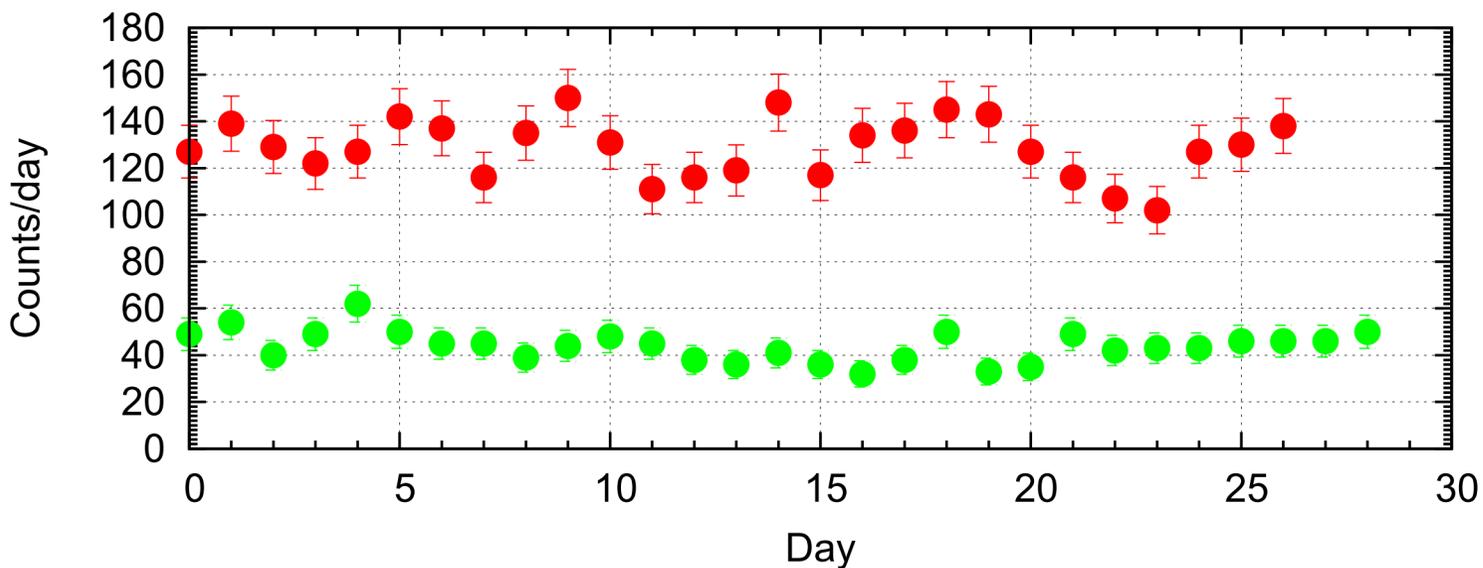
^3He 比例計数管で
Hyper-Kの建設サイト（栃洞坑内）

竹田（ICRR）

Results @HK site (Tochibora (-300mL))

Count rate @HK site

Setup A (red), Setup B (green)



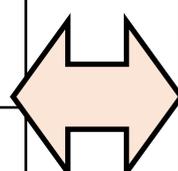
- 15% higher than that in SK site (Lab-B).
- Ratio between setup A and B is not different significantly.
- Energy spectrum may not be so much different from that in SK site.
- More detailed investigation (distribution of U/Th in the rock of HK site) needs to be continued.

Ref: Rate @SK site (Lab-B)

K. Mizukoshi et. Al., PTEP 2018 123C01

	Rate [cps]
Setup A	$(1.295 \pm 0.034^{+0.039}_{-0.033}) \times 10^{-3}$
Setup B	$(0.446 \pm 0.018^{+0.013}_{-0.011}) \times 10^{-3}$

$$R_A/R_B = 2.90 \pm 0.14^{+0.04}_{-0.03}$$



	time	counts	Rate [cps]
Setup A (2020/03/05-4/01)	2331703 sec (26.99 days)	3471	$(1.489 \pm 0.025) \times 10^{-3}$
Setup B (2020/02/05-03/05)	2504332 sec (28.99 days)	1274	$(0.509 \pm 0.014) \times 10^{-3}$

$$R_A/R_B = 2.93 \pm 0.09$$

液体シンチレータ—検出器を
用いた測定
神岡地下実験室Lab-B

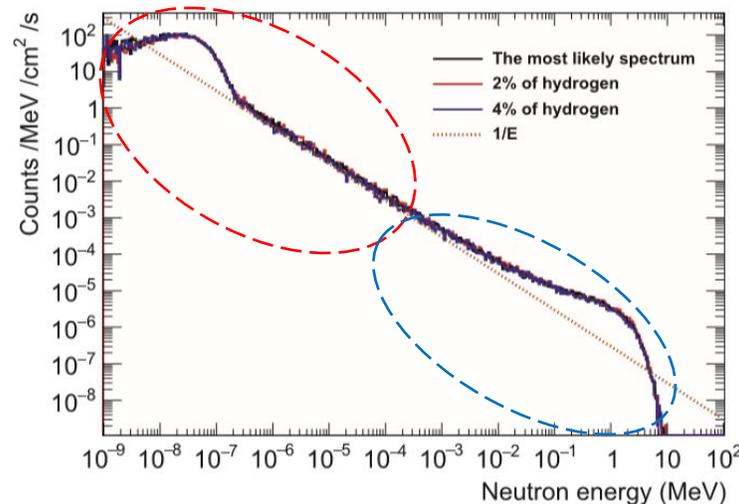
小津（早稲田大）

液体シンチレータ－検出器による測定の意義

- ・ フラックスの理解は深まっているが、エネルギースペクトラムを理解したデータは少ない。

中性子フラックス[cm ² /s]	測定場所	検出器	エネルギー範囲
23.5×10 ⁻⁶	神岡地下 ¹	³ He比例計数管	Thermal + Non-thermal
5.89×10 ⁻⁶	Gran Sasso ²	³ He比例計数管	Thermal + Non-thermal

- ・ ³He比例計数管の測定から推測されるスペクトラム¹



形はシミュレーションから算出。

MeV領域は測定が難しい。

MeV中性子に直接感度を持つ液体シンチレータで測定する。

1)K.Mizukoshi et al.,PTEP(2018) 123C01 2)A.Rindi et al., NIM A 272(1988) 871

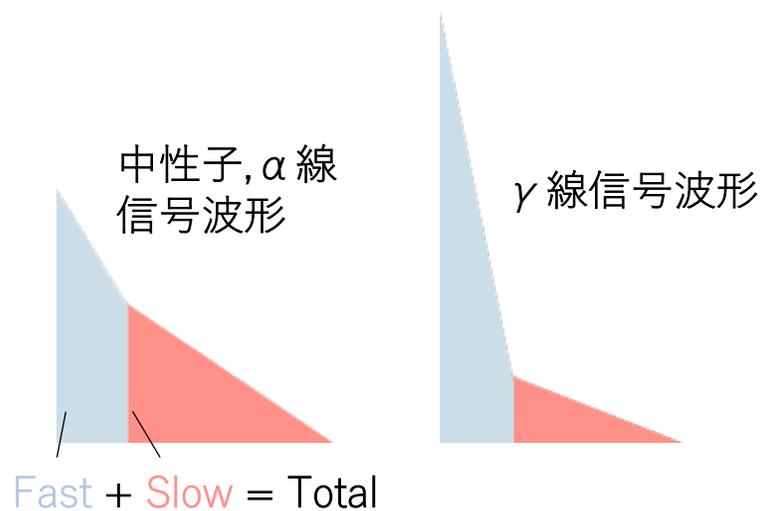
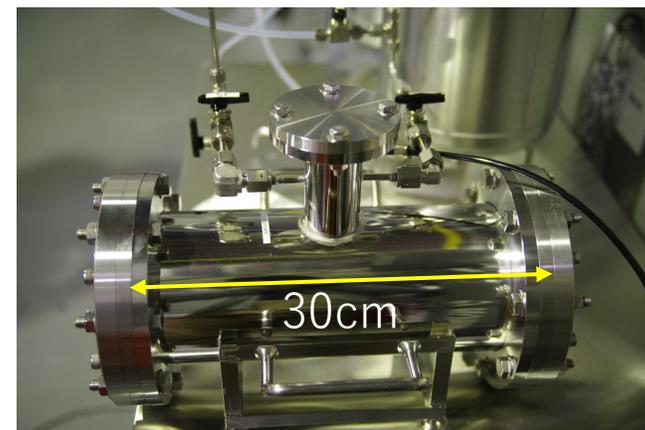
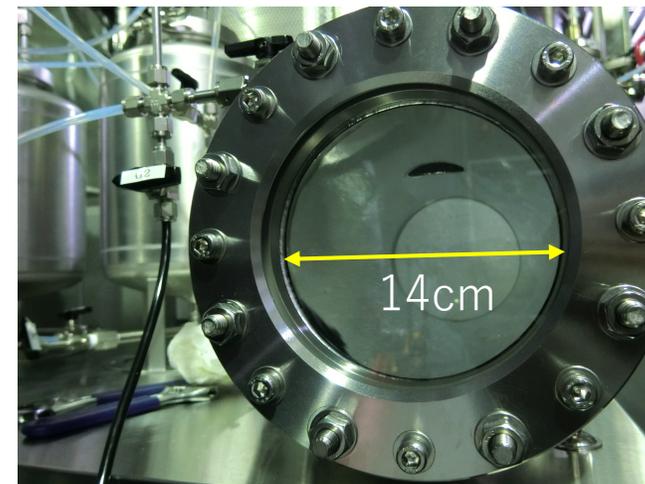
液体シンチレータ検出器

□検出器容器

- 円柱状の検出器 (4.6 L, 4.0 kg)
- PMT両読みで、内面には電解研磨

□液体シンチレータ

- BC-501A (Saint-Gobain社製)
- シンチレーション光は3ns, 32ns, 270nsの時定数を持つ。
- dE/dx の違い→上記3成分の割合の変化。

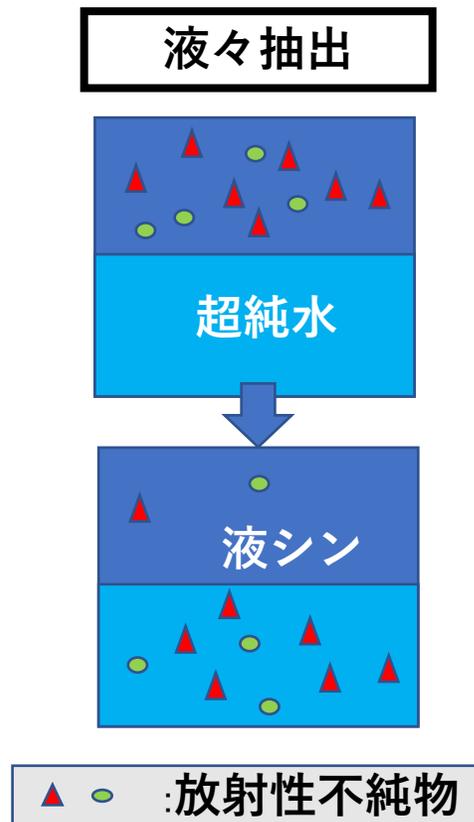


ある積分区間で分けたときの比
(=Slow/Total) で粒子識別可能

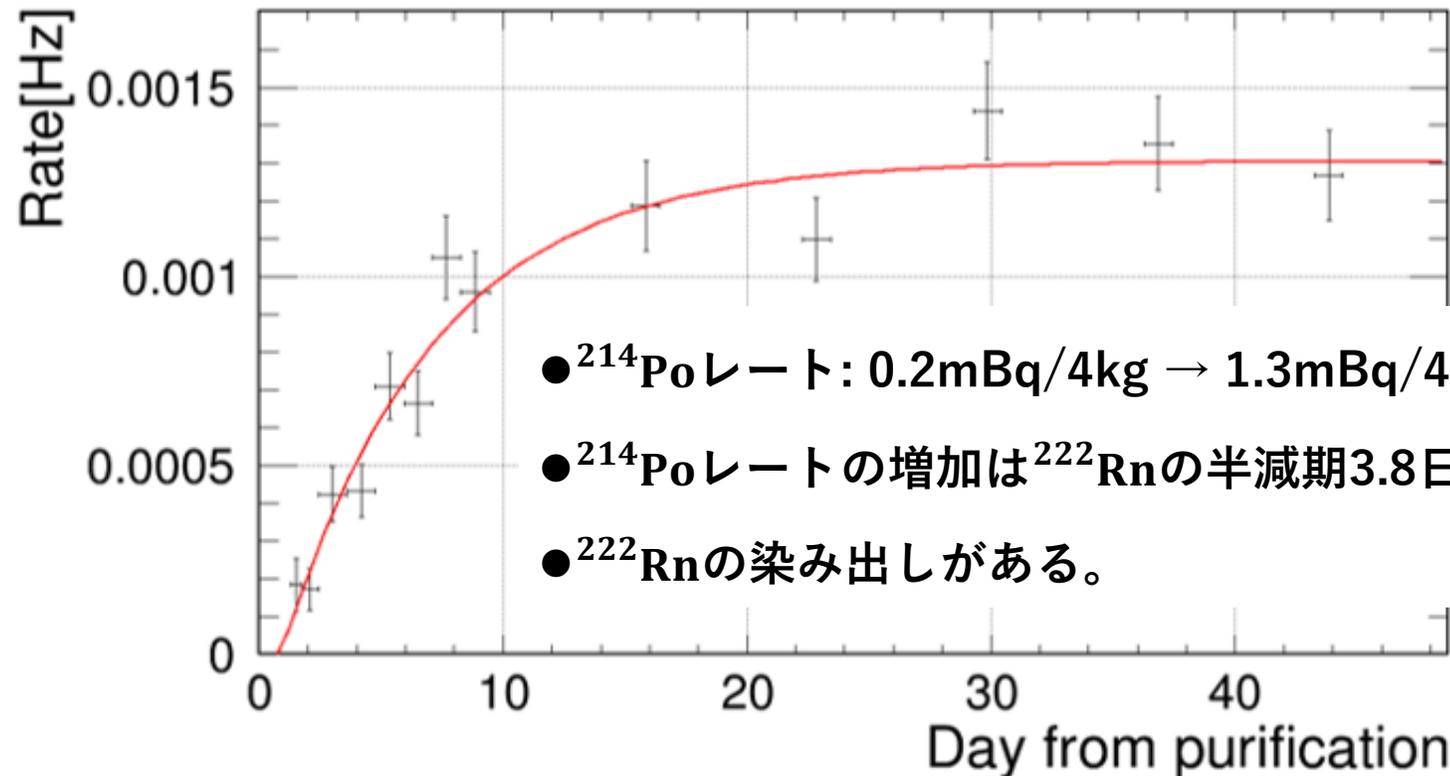
α 線レートの変化@神岡地下実験室Lab-B

- α 線と中性子の弁別は困難。
 - α 線の源は液体シンチレータや検出器部材内に存在する。

- 初期純度を高める作業を行った。(超音波洗浄、液々抽出)



液々抽出直後からの ^{214}Po α 線レートの時間変化



α 線バックグラウンドの低減

K Hosokawa et al 2013 J. Phys.: Conf. Ser.
469 012007

- ラドン検出器のノウハウ（機械的+化学的な電解複合研磨）を導入し、
~1 μBq (^{214}Po α) を達成できる見込み。
- 液体シンチレータ検出器の残り α 線量は現在の100分の1以下になり、
地下環境中性子のイベント数と α 線バックグラウンド数が同程度になる。
- 容器の作製は完了。試験進行中。2021年3月中の測定を目指す！

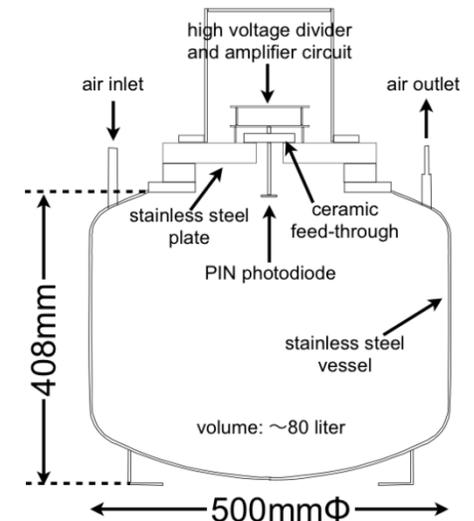
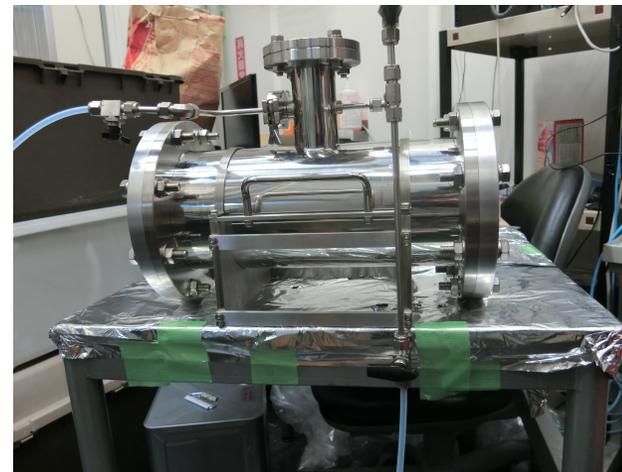


Figure 1. Schematic view of the 80L radon detector



今後の予定

- ^3He 比例計数管を用いた測定
 - 岩盤中の水分量の測定を行う。（天文台の鷺見さんとの共同研究）
 - 長期測定を行い、岩盤中の水分量との相関を調べる。
 - 様々なサイトの岩盤の組成を調査する。
 - 様々なサイトで測定を行い、岩盤の組成との相関を調べる。
- 液体シンチレーター検出器を用いた測定
 - α 線バックグラウンドを100分の1以下に低減し、神岡地下実験室の環境中性子の直接観測を成功させる。
 - 液体シンチレーター検出器の量産を行い、神岡地下実験室の様々なサイトで長期測定を行う。