

# 地下実験施設における 環境中性子測定

横浜国立大学

修士2年

佐々木 遼太

# 環境中性子バックグラウンド

地下素粒子実験では環境中性子がバックグラウンドとなる

ex) 暗黒物質直接探索における高速中性子の原子核反跳

ニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊探索実験における(n,  $\gamma$ )反応

地下環境における環境中性子のフラックスやエネルギースペクトルの理解が重要

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

先行研究\*1によって、神岡地下実験施設内(Lab-B)での環境中性子フラックスが求められた

神岡地下における環境中性子フラックス\*1

環境中性子は岩盤中のウランやトリウム等の条件によって異なる



地下実験施設の場所によってバックグラウンドに差が出る

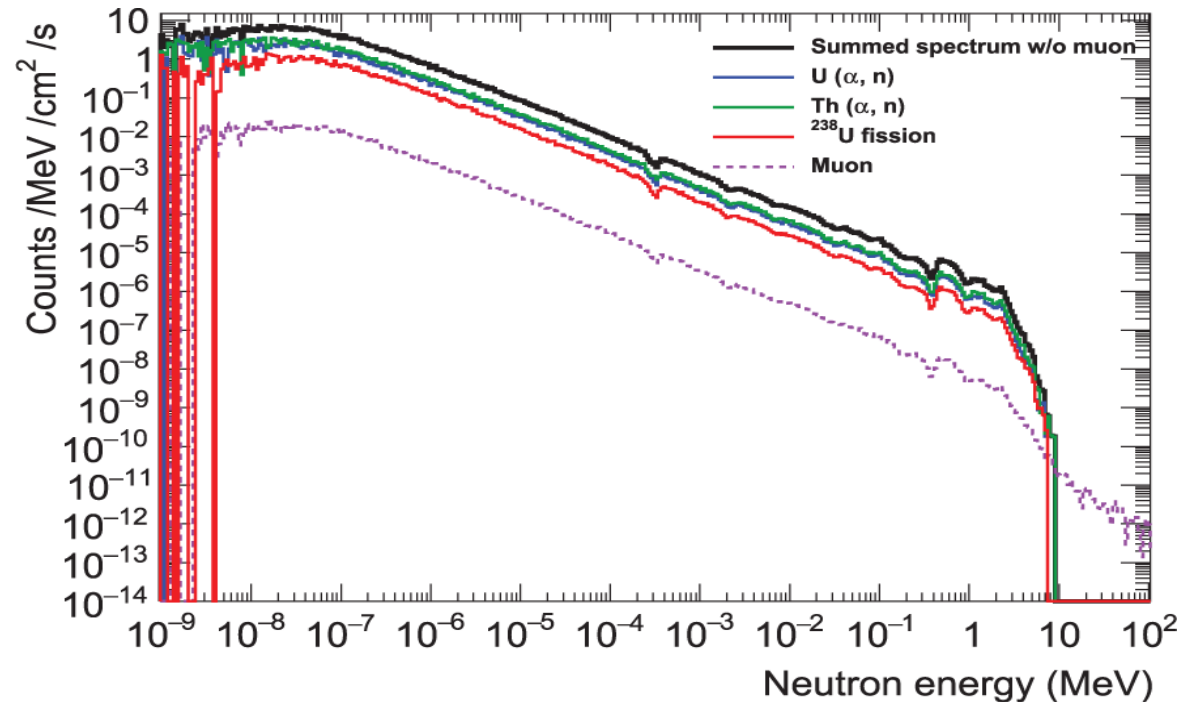
\*1 K. Mizukoshi et al. Measurement of ambient neutrons in an underground laboratory at the Kamioka Observatory. *Progress of Theoretical and Experimental Physics*, Vol 2018, Issue 12.

# 環境中性子を生成する主要因

- 地下実験施設の岩盤中のウラン、トリウム系列  
→崩壊によって放出される $\alpha$ 線が岩盤中の原子核と $(\alpha, n)$ 反応を起こすことで中性子が生成
- $^{238}\text{U}$ の自発核分裂反応
- 宇宙線ミューオンの核破砕反応

10MeV以下の領域において  
ミュオン由来の中性子は  
ウラン、トリウム由来の1/100

本研究では10MeV以上の領域に  
感度を持たないため  
ミュオンの寄与は無視する



厚さ2mの岩に囲まれた直径1mの球形実験室に  
輸送された生成源ごとの中性子スペクトル\*1 **3**

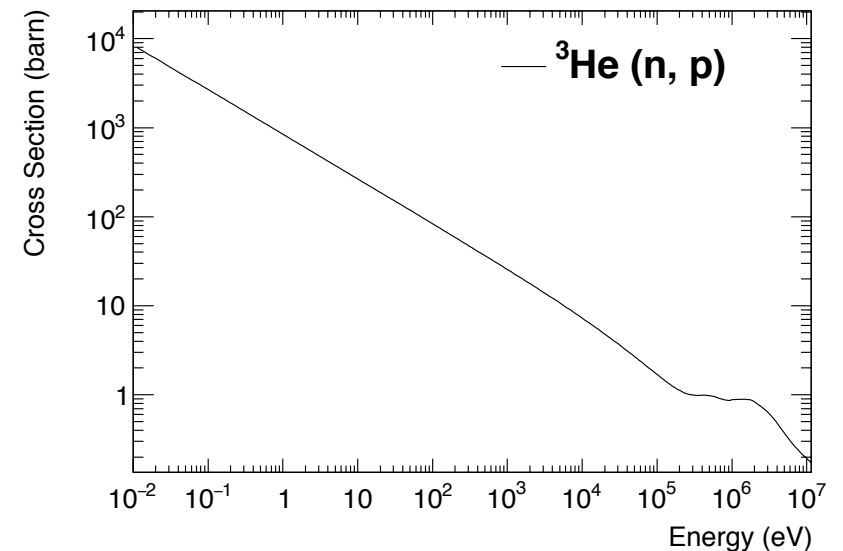
# 本研究の目標

- ・ 熱中性子( $\sim 0.025\text{eV}$ )に高い感度を持つ  $^3\text{He}$  比例計数管を複数台用いて環境中性子を多地点、長期同時測定し、各地点でのバックグラウンドを調査
- ・ 早稲田の小津氏と協力し、高速中性子( $>1\text{MeV}$ )に高い感度を持つ液体シンチレータとも併せて測定、解析



宇宙線研究所  
小林氏より  
借用した  
 $^3\text{He}$  比例計数管

熱中性子感度：146 cps/nv  
測定数の目安：98 events/day  
陽極電圧のプラトー領域：1125-1625 V  
封入ガス気圧：9.8 atm  
長さ：43.2 cm 直径：5.1 cm

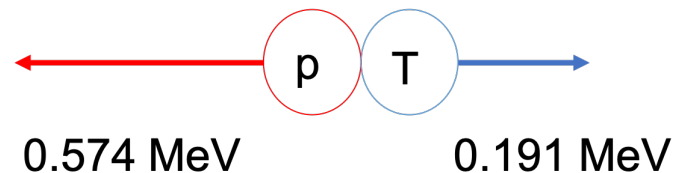
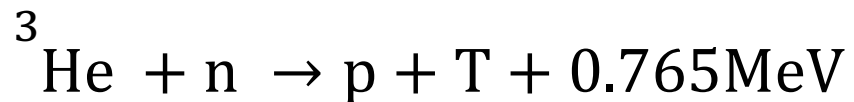


中性子のエネルギーに対する  
 $^3\text{He}$  ガスの反応断面積\*2

\*2 Keiichi SHIBATA et al. Jendl-4.0: A new library for nuclear science and engineering. *Journal of Nuclear Science and Technology*, Vol. 48, No. 1, pp.1-30, 2011.

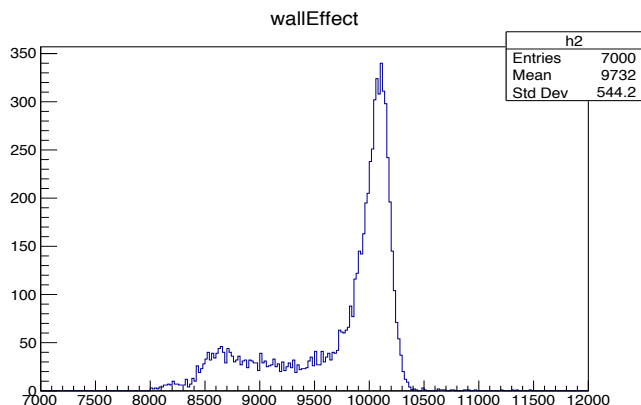
# $^3\text{He}$ 比例計数管の測定原理

①入射中性子と  $^3\text{He}$ ガスが  $^3\text{He}(n,p)$ 反応(Q値 : 0.765 MeV ,  $E_p = 574$  keV,  $E_T = 191$  keV )

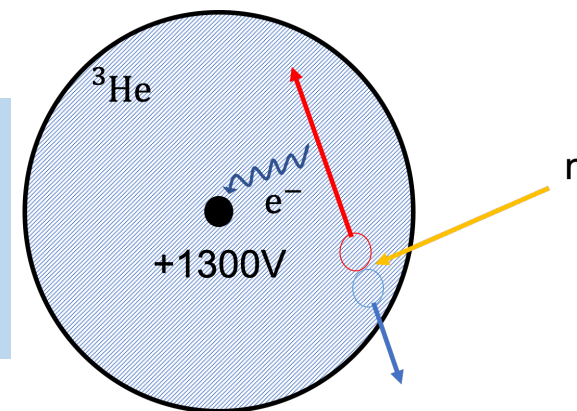


②生成された陽子とトリチウムが  $^3\text{He}$ ガスを電離することで電子を生成

③生成された電子は検出器中心の強電場で加速され  $^3\text{He}$ ガスを電離、これを繰り返すことで電子が増幅し、それを電流として読み出す



壁際で反応が起こると全エネルギーを  $^3\text{He}$ ガスに落とす前に検出器の外に飛び出す(壁際効果)



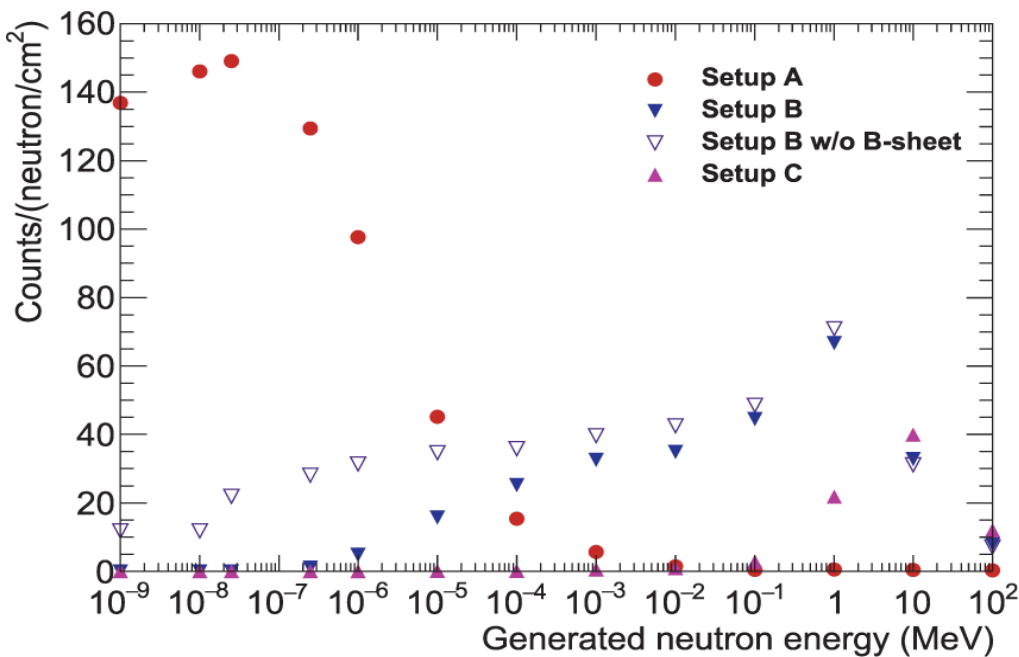
中性子線源  $^{252}\text{Cf}$  を照射した際のエネルギースペクトル

# 高速中性子の測定



ポリエチレンとボロンシート

$^3\text{He}$ 比例計数管で高速中性子を測定する際は  
高速中性子を減速（熱化）させるためのポリエチレンや  
環境熱中性子を遮蔽するためのボロンシートが必要である



Setup A：通常の  $^3\text{He}$ 比例計数管

→熱中性子のみ強い感度を持つ

Setup B：6.5cmのポリエチレンと

4mmのボロンシート(20%  $\text{B}_4\text{C}$ )を巻いたもの

→高速中性子のみ強い感度をもつ

Setup B w/o B-Sheet：6.5cmのポリエチレンを巻いたもの

→熱中性子にも感度をもつ

Setup C：11.5cmのポリエチレンと

4mmのボロンシート(20%  $\text{B}_4\text{C}$ )を巻いたもの

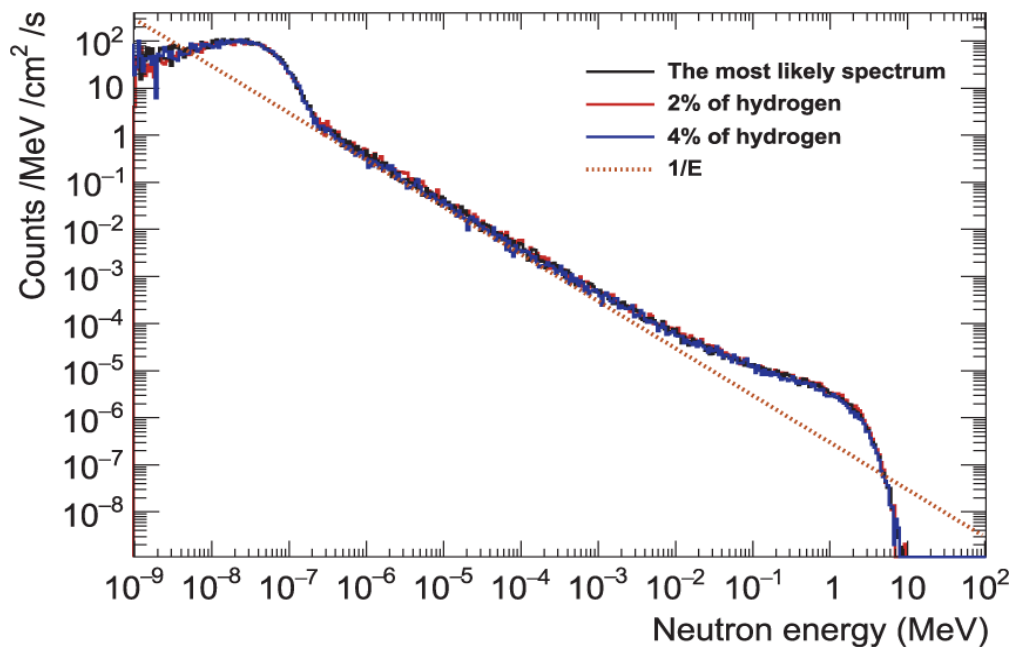
→  $^{252}\text{Cf}$ 線源の中性子に強い感度をもつ（校正用）

入射中性子エネルギーに対する  
中性子フラックスあたりのカウント(MC simulation) \*1

# 中性子のエネルギースペクトル

${}^3\text{He}(n,p)$ 反応における放出エネルギー(0.765 MeV)は入射中性子エネルギーに対して非常に大きいいため  
 ${}^3\text{He}$ 比例計数管による入射中性子エネルギーの検出は不可能

イベントレートを中性子フラックスに変換するために  
中性子のエネルギースペクトルが必要



シミュレーションにて  
比例計数管が十分に収まる半径  $r$  cm の球を通過した  
中性子数を  $N_{\text{MC}}$  とすると中性子のフルエンス  $\Phi_{\text{MC}} [\text{cm}^{-2}]$  は

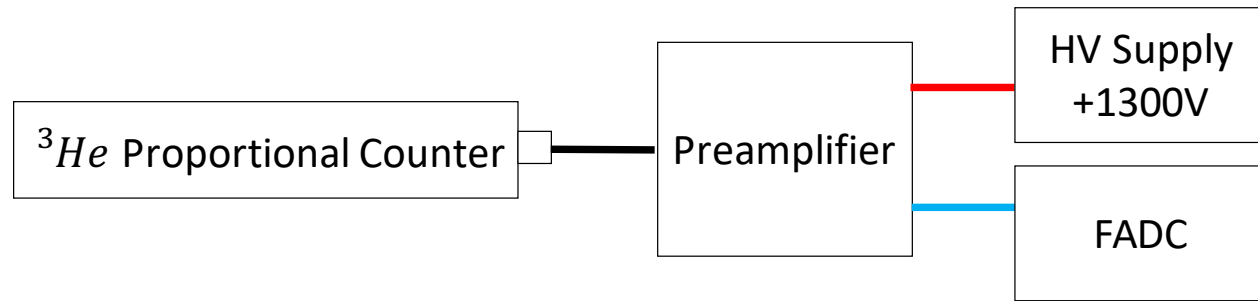
$$\Phi_{\text{MC}} = \frac{N_{\text{MC}}}{\pi r^2}$$

$\Phi_{\text{MC}}$  で入射した時の比例計数管の反応数を  $N_{\text{MC,det}}$   
イベントレートを  $R$  とすると、フラックス  $\Phi [\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}]$  は

$$\Phi = \frac{\Phi_{\text{MC}}}{N_{\text{MC,det}}} R$$



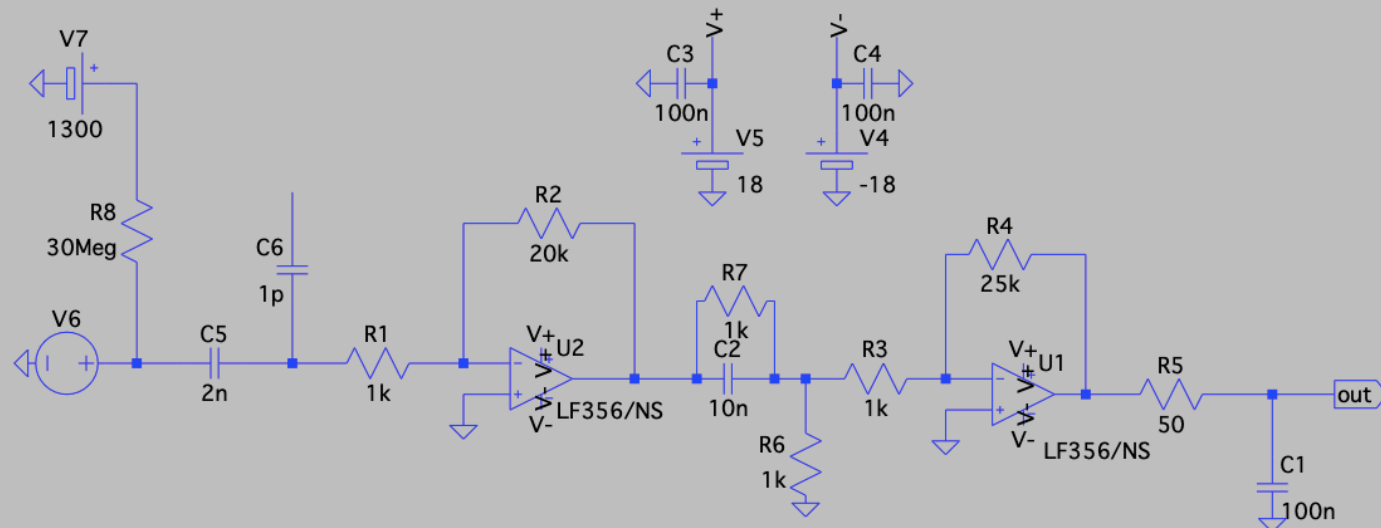
# 測定の読み出し系



比例計数管から流れる電流は非常に小さい



前置増幅機によって信号を～500倍に増幅



複数個の前置増幅機が必要となるため  
購入ではなく自作を選択

神戸大学 身内氏、水越氏が以前  
作成されたものを参考に作成中

←作成予定の回路

LTspiceにて細部を調整しながら  
シミュレーション中



# DAQ

インターフェースモジュール LPC-320910 によって  
AD変換を行いデータ収集予定

サンプリング速度：40MS/s

サンプリング時間：約0.1秒間

アナログトリガ：入力信号が指定のトリガレベルを  
上回るまたは下回る際にトリガを発生

入力レンジ：バイポーラ  $\pm 1V$

対応しているOSやスロットが旧式のものであったため  
中古でPCを購入してセットアップを行なった

PC： GV329W/L (NEC製 2010年発売)

スロット：PCI

OS：Fedora 14



基盤を介して  
BNCケーブルと接続  
(LEMOによるテストパルス  
も入れられるようにする)

LPC-320910へ接続



# 今後の展望

- 増幅回路の理論を学び、LTspice(電子回路シミュレータ)でシミュレーションを行う
- ブレッドボードで試作した後に回路を作成し  
横浜国立大学内での環境中性子のデータ収集をテストする
- 神岡地下実験施設にて3台の $^3\text{He}$ 比例計数管と液体シンチレータを用いた多地点、長期同時測定を行い、結果を解析する