

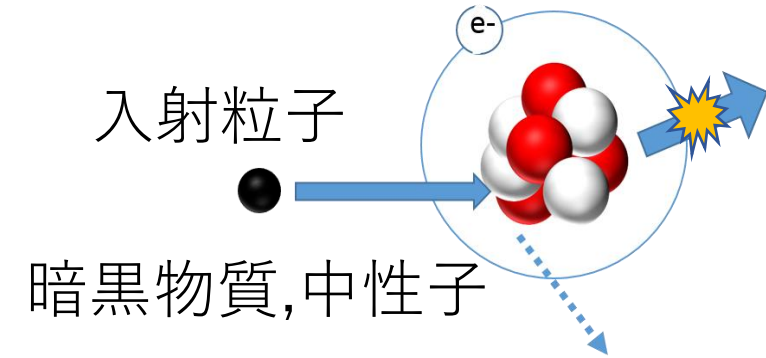
液体シンチレータを 用いた中性子波形弁別

先進理工学部 寄田研究室 物理学科
学部4年 小津龍吉

中性子測定の研究目的とその環境依存性

- 中性子は暗黒物質探索実験のバックグラウンド

原子核反跳事象



- 中性子を実験環境下において測定する

環境中性子

- ・ 宇宙線起因
 - ミューオンと大気・岩盤の反応
 - 二次宇宙線

地上



地下

(ミューオン減少)

- ・ 岩盤起因
 - U/Th系列の自発核分裂や(α , n)

岩盤の組成は場所ごとに異なる



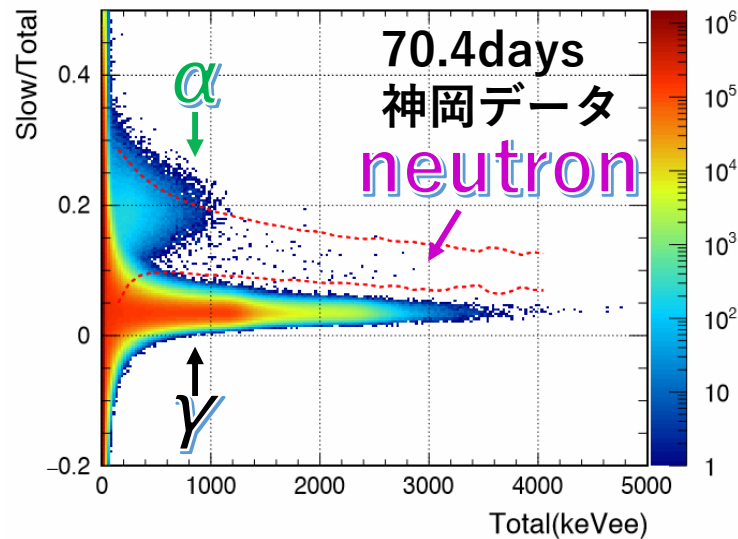
実験環境下での
中性子測定 1/8

神岡坑内での中性子測定(2016年度,鈴木優飛修士論文)

◆神岡宇宙素粒子研究施設のLab-Bで液体シンチレータ（後述）を用いて測定

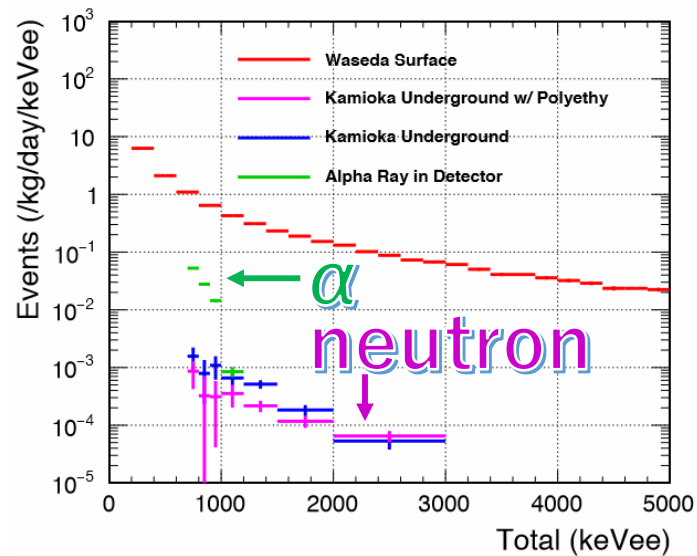
- 測定方法、測定セットアップを確立
-早稲田地上、神岡地下で測定

- 波形弁別分布

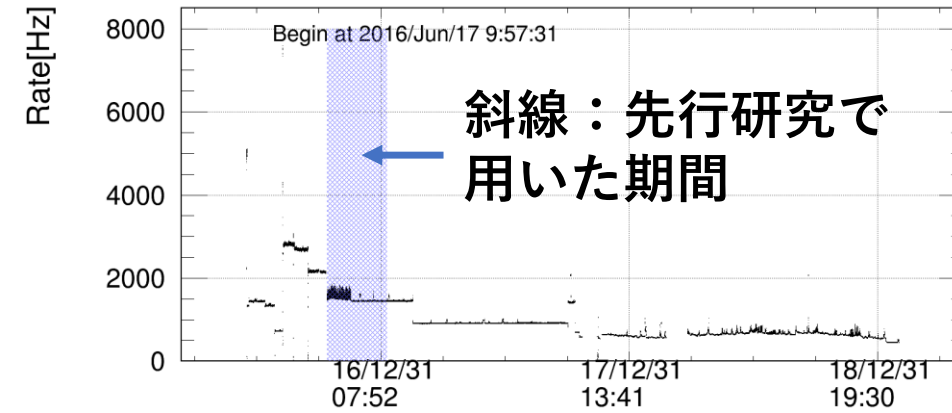


点線： ^{252}Cf で定義

- レートの算出, etc.



地下1MeV以下に
おいて α はnの100倍



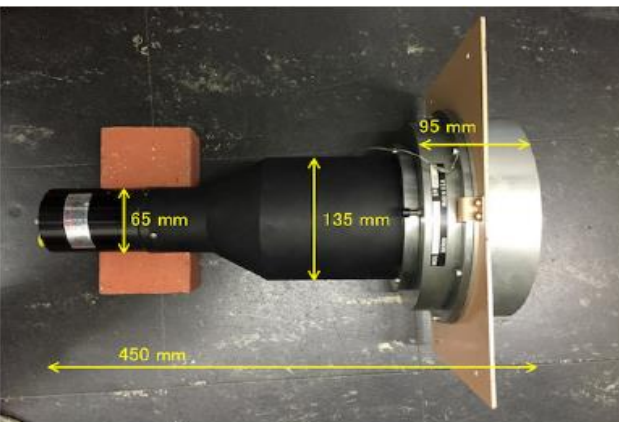
残された課題

- ◆1MeV以下の α の低減による低エネルギー領域の波形弁別
- ◆長期データ（二年分の統計）の解析（1.2MeV以上）

➡ 本発表では長期データの解析を行った。

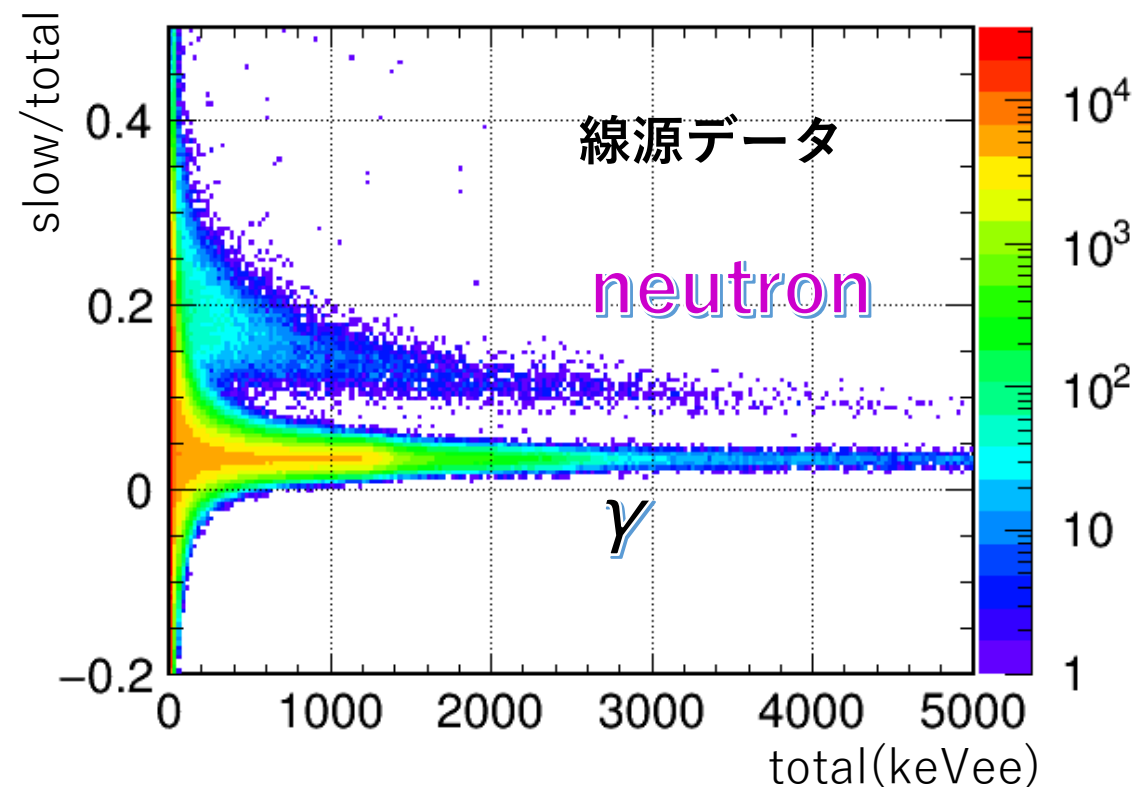
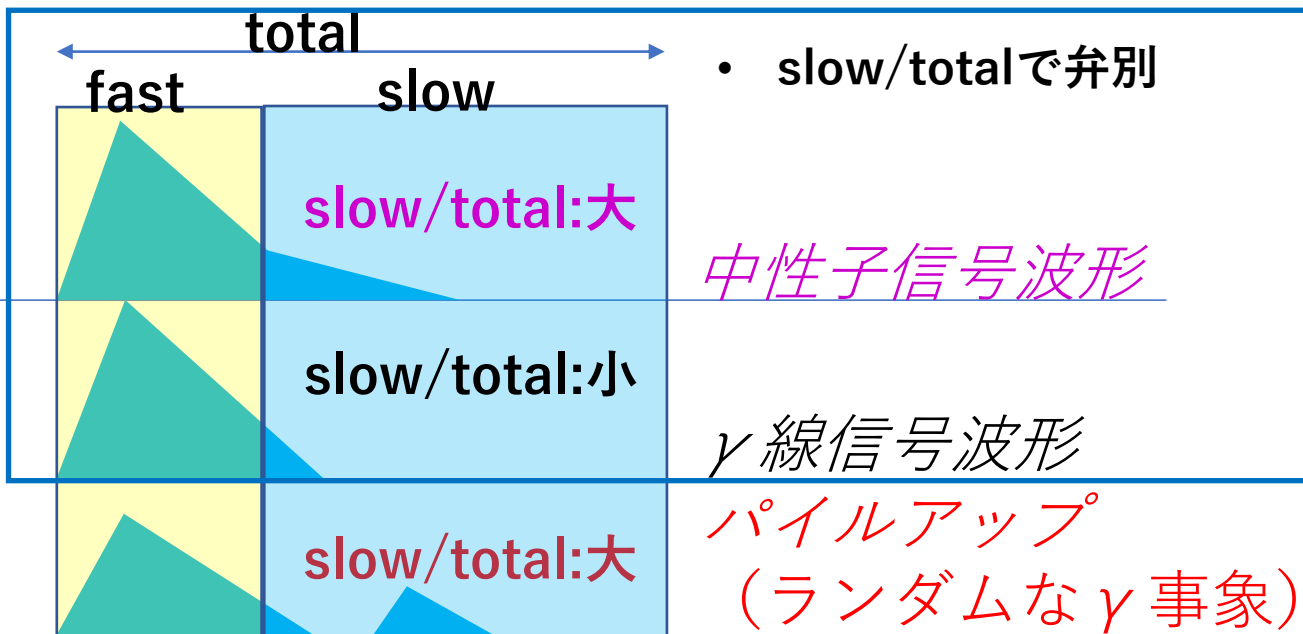
液体シンチレータを用いた測定

◆ 測定に用いたシンチレータ：BC-501A



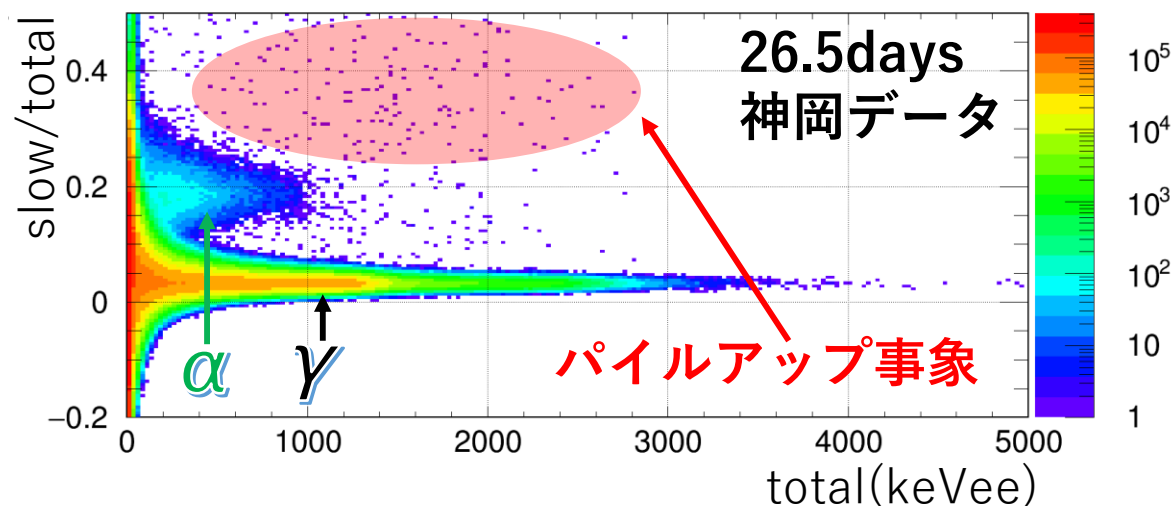
- 有感領域5L(4.37kg)
- 高速中性子
(0.1-1.0MeV)以上と
 γ 線に感度を持つ
- 鉛、ポリエチレン
シールド内で測定

◆ 波形弁別に優れ環境 γ 線との弁別が可能



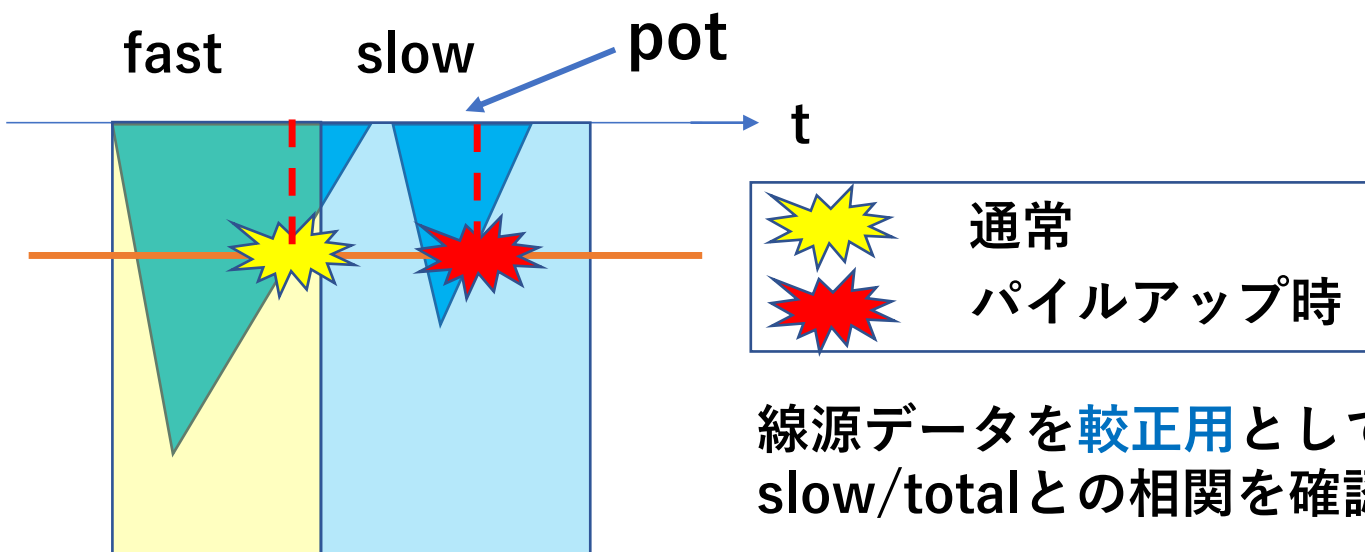
^{252}Cf 線源を用いて中性子と γ 線の
分離能力を確認

パイルアップ事象の除去

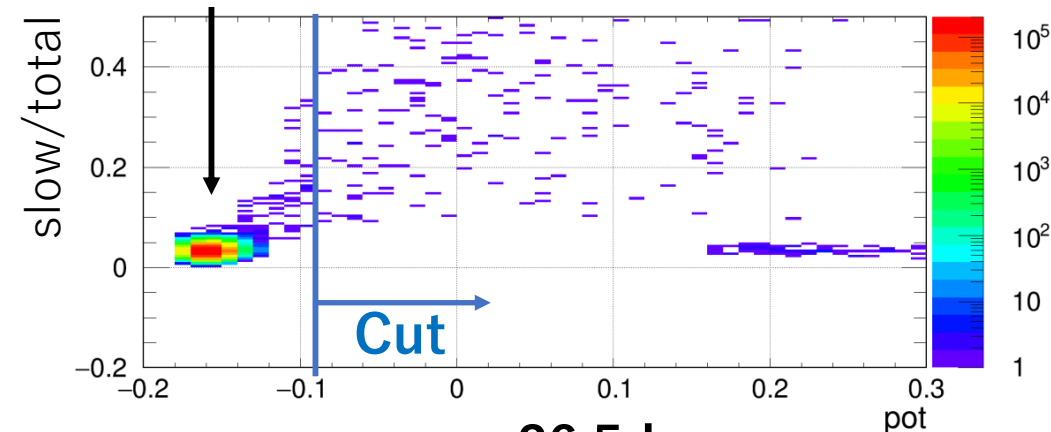
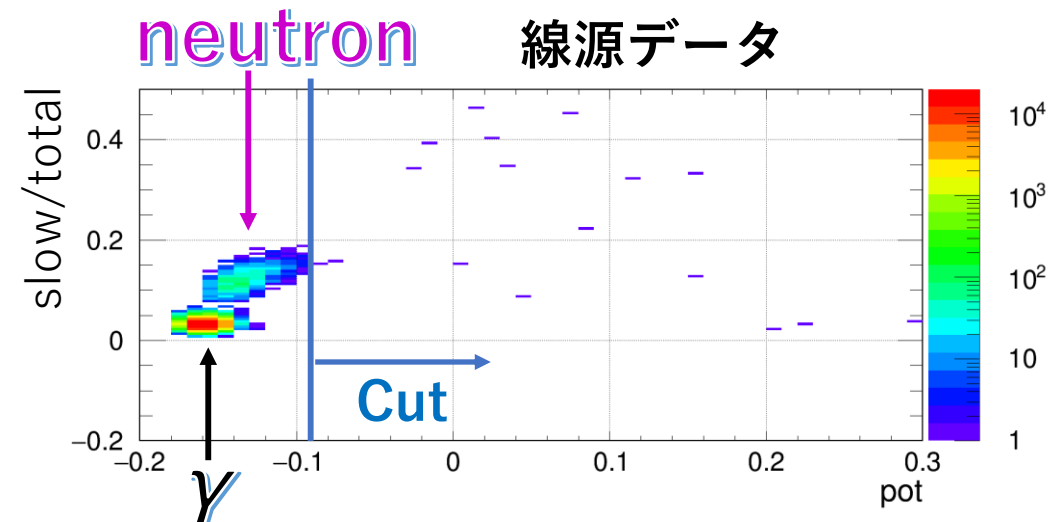


2つの波形の時間情報の差を利用して取り除く

◆ 取り除く波形

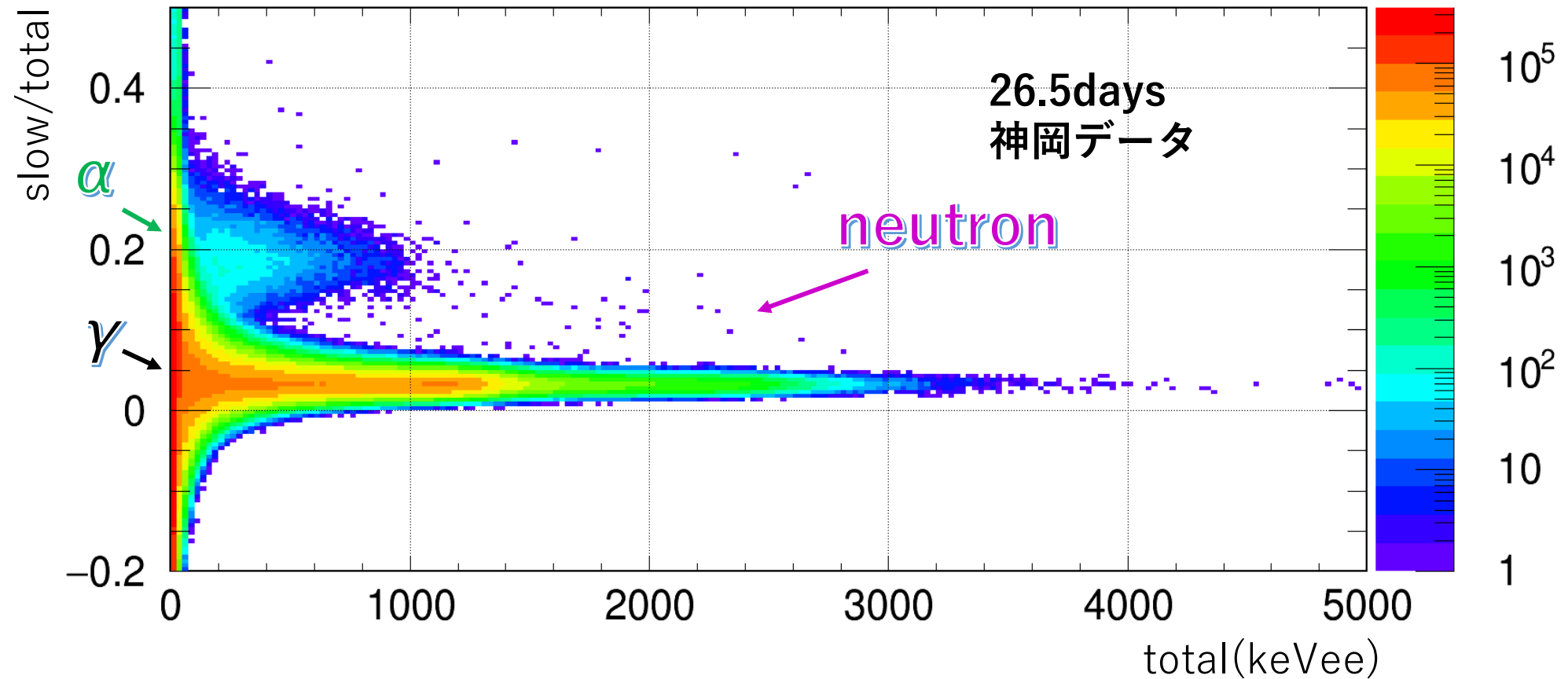


◆ slow/total vs pot



26.5days
神岡データ

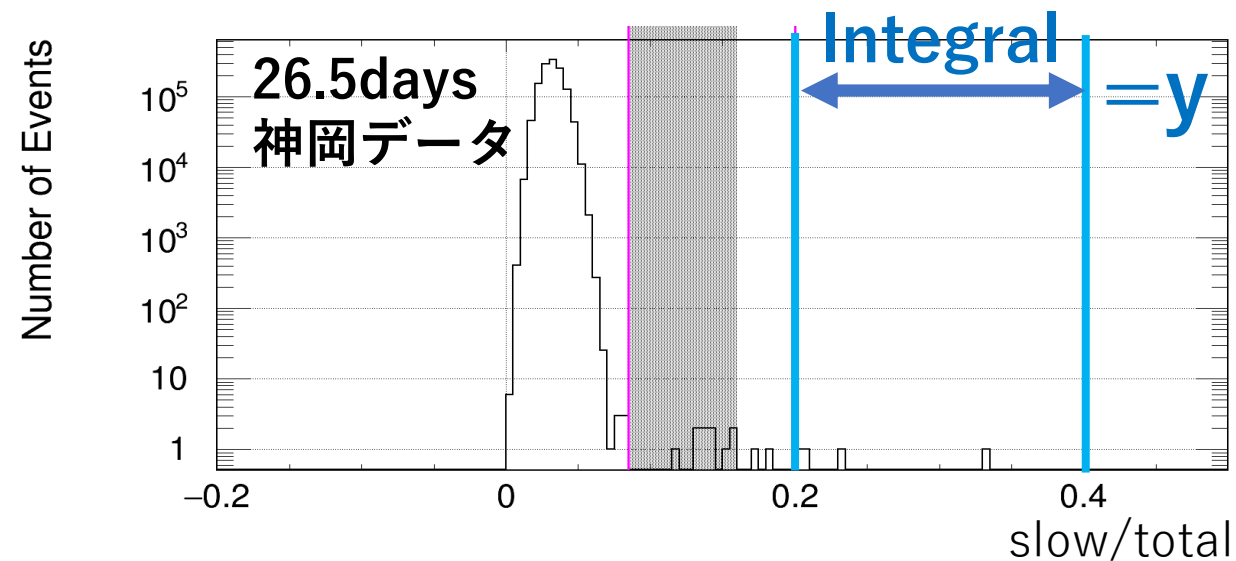
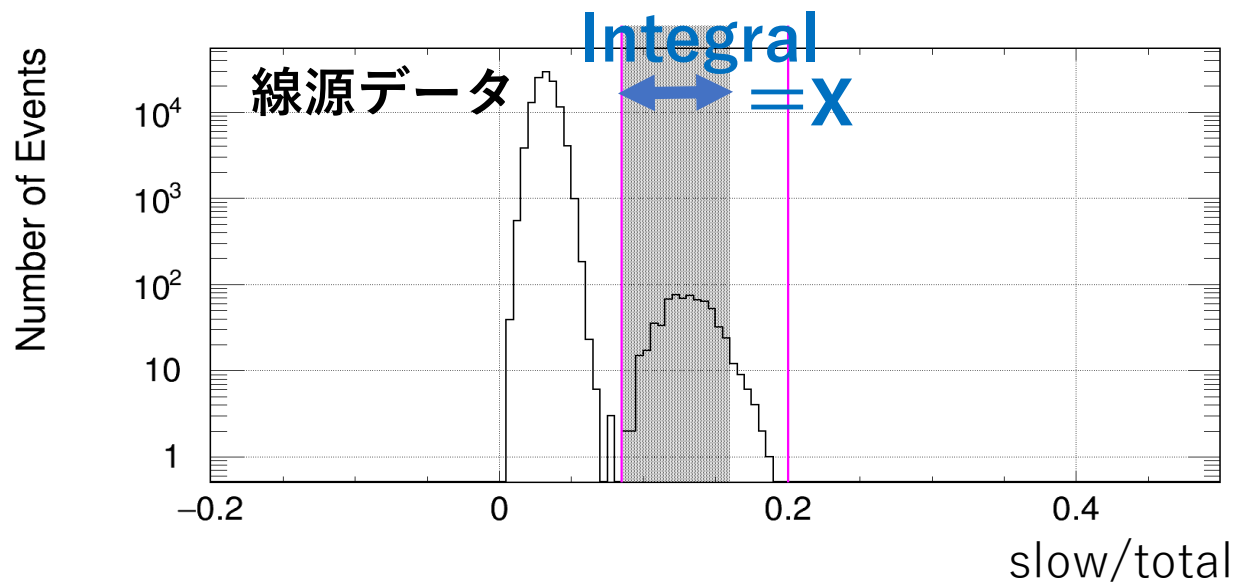
神岡地下における中性子識別結果



線源不使用のデータにおいても同様に中性子と γ 線の分離を確認。

中性子事象数算出

◆エネルギー毎に射影したslow/total分布



◆事象数の補正

- 線源データを用いて中性子信号領域を決定(灰色)

$$N = N_{\text{中}} + N_{\text{flat background}}$$

- $N_{\text{flat background}}$ を高いslow/total領域で数える

- 補正を加えた事象数を算出する

$$N_{\text{中}} = (x - \alpha y) / \beta$$

α, β : 補正係数

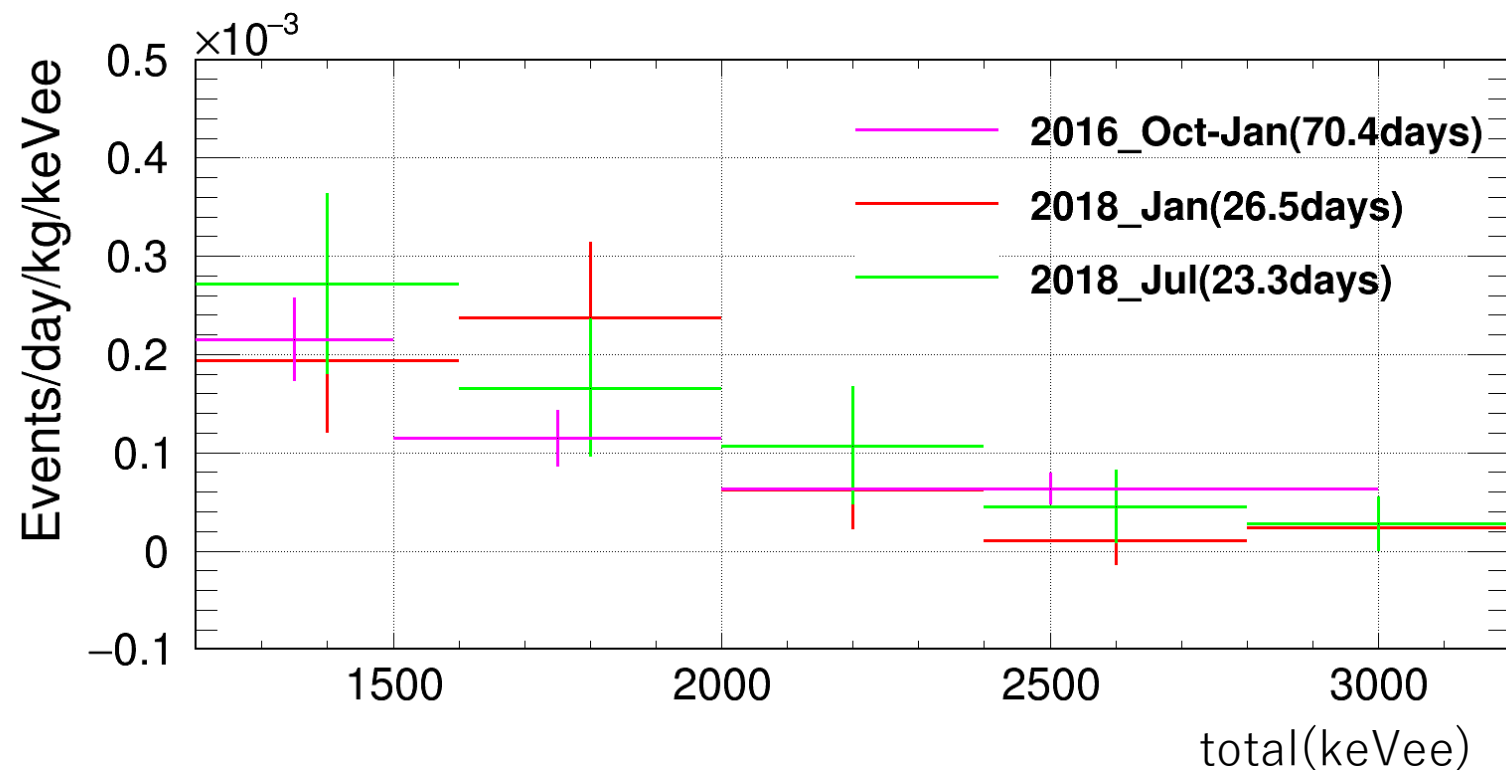
レートの測定結果と先行研究との比較

■ 1200-3200keVeeの中性子レート

測定期間	Events ($\times 10^{-1}/\text{day/kg}$)
2016_Oct-Jan	1.9 ± 0.25
2018_Jan	2.1 ± 0.48
2018_Jul	2.5 ± 0.55

※2016_Oct-Janは3000keVeeまで

■ 中性子レートのスペクトル



■ 本解析の中性子レートは先行研究とエラーの範囲内で一致

■ 月によるレートの変動はエラーの範囲内で一致

まとめ・展望

●波形弁別の実行

-中性子likeな波形を残しつつ、パイルアップ事象の除去をして中性子の波形弁別を確認した。

●中性子事象数の算出

-より中性子likeな領域の事象を用いて事象数に補正を加えた。

●Rateの算出

-本手法で1月と7月について誤差の範囲内での一致を見ることができた。

-また、先行研究と誤差の範囲内での一致を見ることができた。

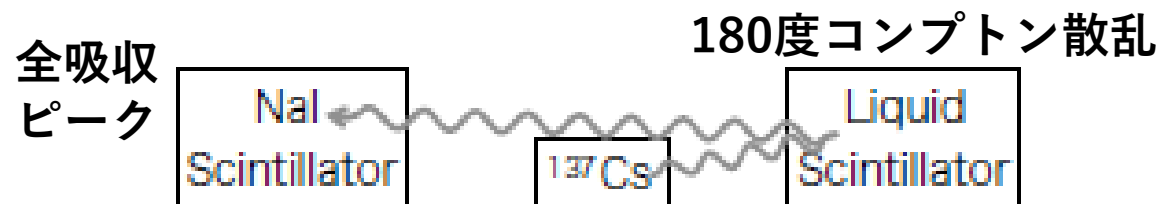
■ 今後の展望

年間のレート変動について確認する。

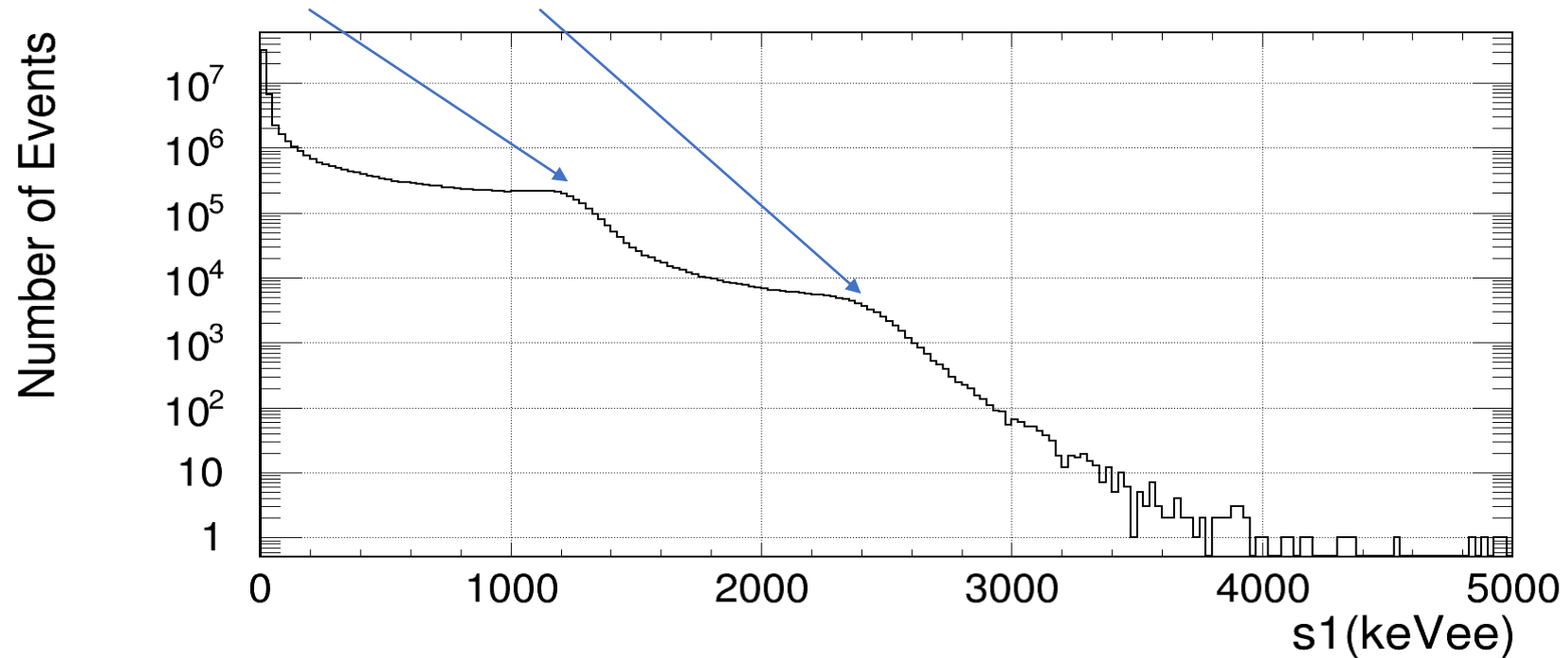
低エネルギー領域の波形弁別が課題となる。

Back up

◆ Calibration



^{40}K や ^{232}Th のコンプトンエッジ



LS_property

Scintillation Properties	BC-501A	BC-501	BC-519
Light Output, %Anthracene	78	80	60
Wavelength of Maximum Emission, nm	425	425	425
Decay Time, short component, ns	3.2	3.3	4.0
Atomic Composition			
No. of H Atoms per cc ($\times 10^{22}$)	4.82	5.25	6.62
No. of C Atoms per cc ($\times 10^{22}$)	3.98	4.08	3.83
Ratio H:C Atoms	1.212	1.287	1.728
No. of Electrons per cc ($\times 10^{23}$)	2.87	2.97	2.96

General Technical Data -

Density g/cc	BC-501A	0.874
	BC-501	0.901
	BC-519	0.875
Refractive Index, n_D	BC-501A	1.505
	BC-501A	1.530
	BC-501	1.538
Refractive index at 425nm	BC-519	1.50
	BC-501A	24°C
	BC-501	47°C
Flash Point, T.O.C.	BC-519	74°C

引火点

◆ Liquid Scintillator

-BC-501A

溶媒：キシレン(solvent to solute:1.66ns)

溶質：発光材, POPOP (波長変換材)

時定数:

- Fast:3.16ns
- 中間成分:32.3ns
- Slow:270ns

α 線のエネルギー

- U/Th系列の中で α 崩壊を起こす核種の内,
もっともエネルギーの高い α 線を放出する核種 : ^{212}Po
 $8.875\text{MeV} < ^{16}\text{O}, ^{28}\text{Si}, ^{40}\text{Ca}$ の (α, n) 反応の Threshold Energy

自発核分裂と (α, n) 反応のエネルギー

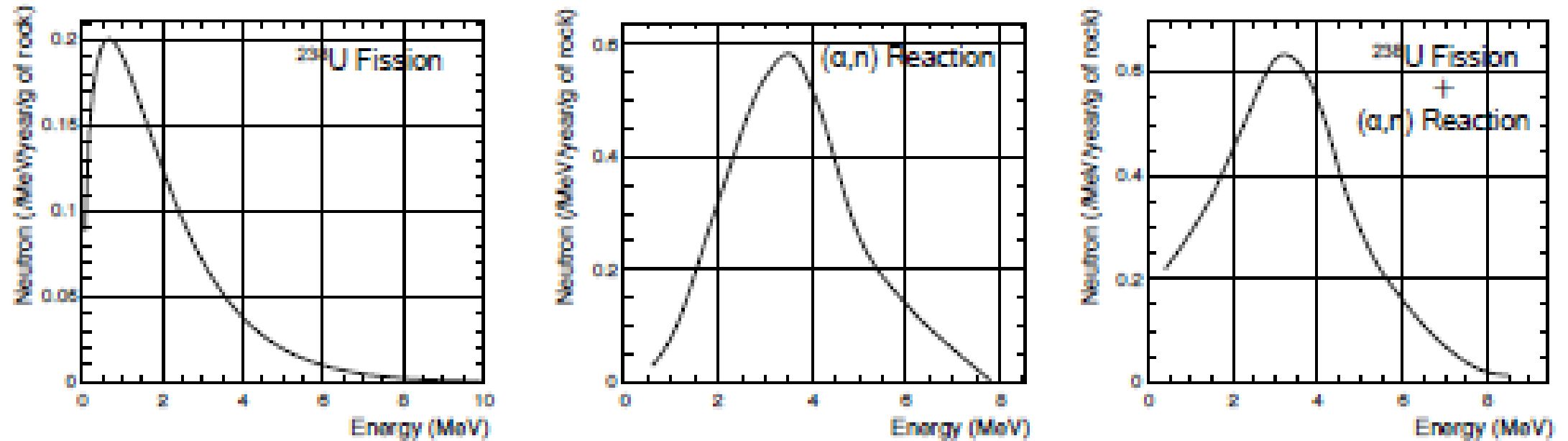


図 3.2: 自発核分裂と (α, n) 反応起因の中性子エネルギースペクトル [10]

◆ Bi-Po

- Bi-Poの場合, $\Delta t < 1\text{ms}$ で信号が来る確率98.5%
→ある半減期 T_{half} を持つ放射性核種の崩壊までに要する時
 $\lambda (= \ln 2 / T_{\text{half}})$ を崩壊定数として,

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

ここから, 信号間の時間間隔 $\Delta t < T$ の場合のCut Efficiencyは,

$$\int_0^T f(t) dt = 1 - e^{-\lambda T}$$

$T = 1\text{ms}$ ならば, 半減期 $164\mu\text{s}$ の ^{214}Po に対するCut Efficiencyは0.985となる。

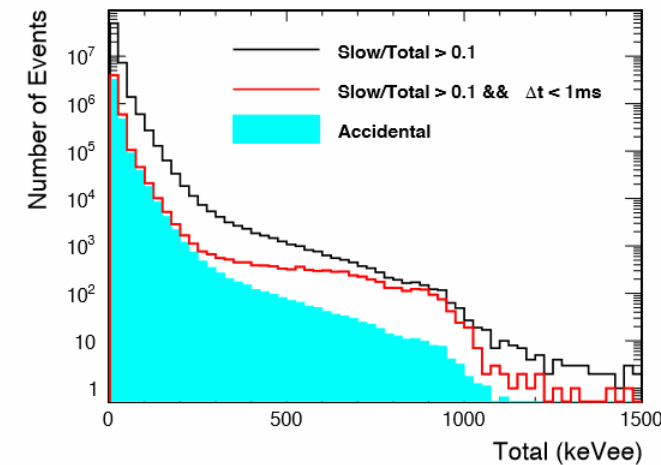
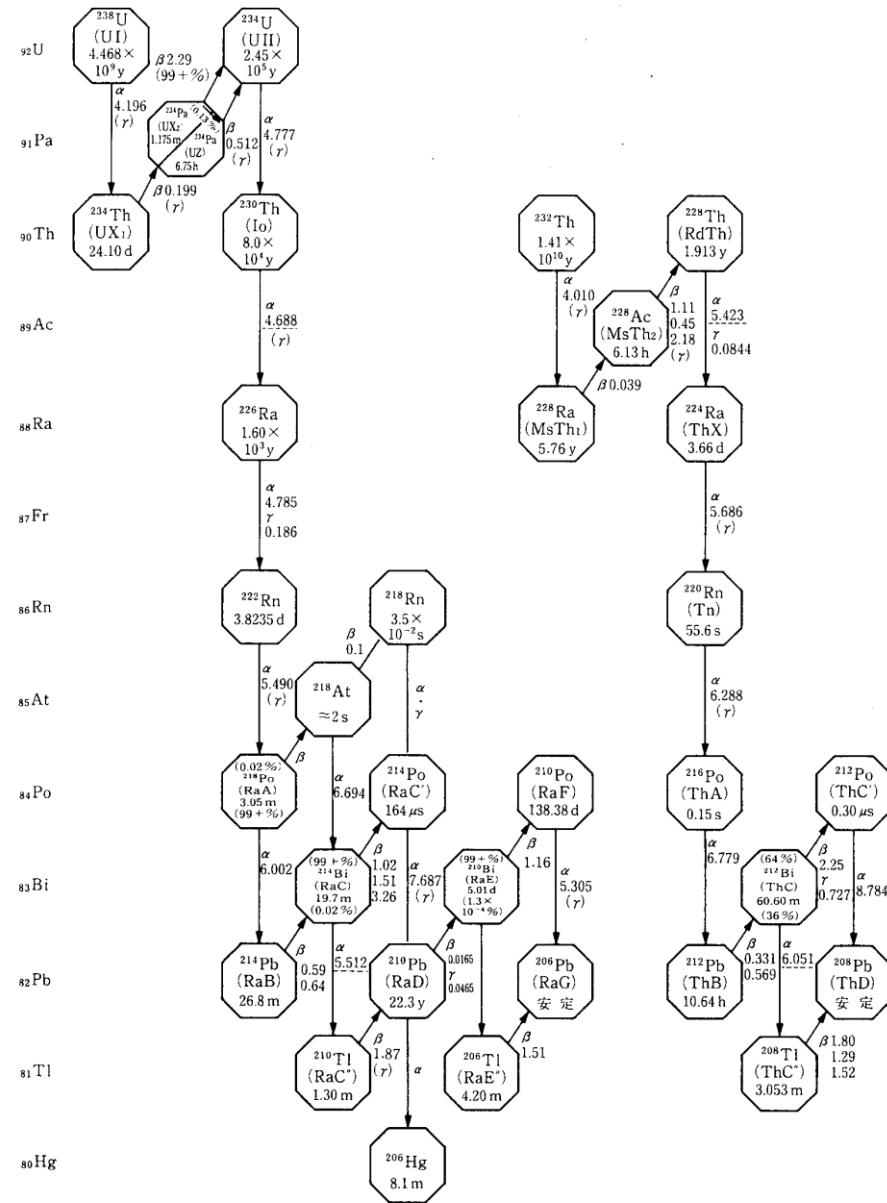
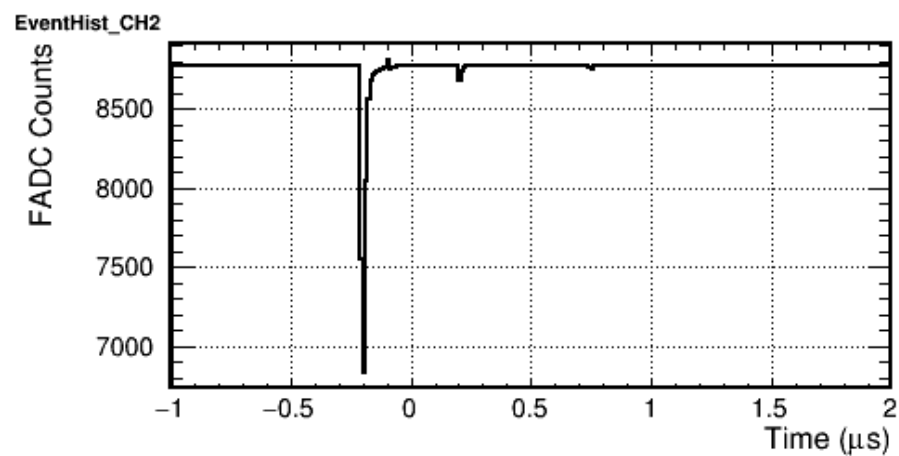
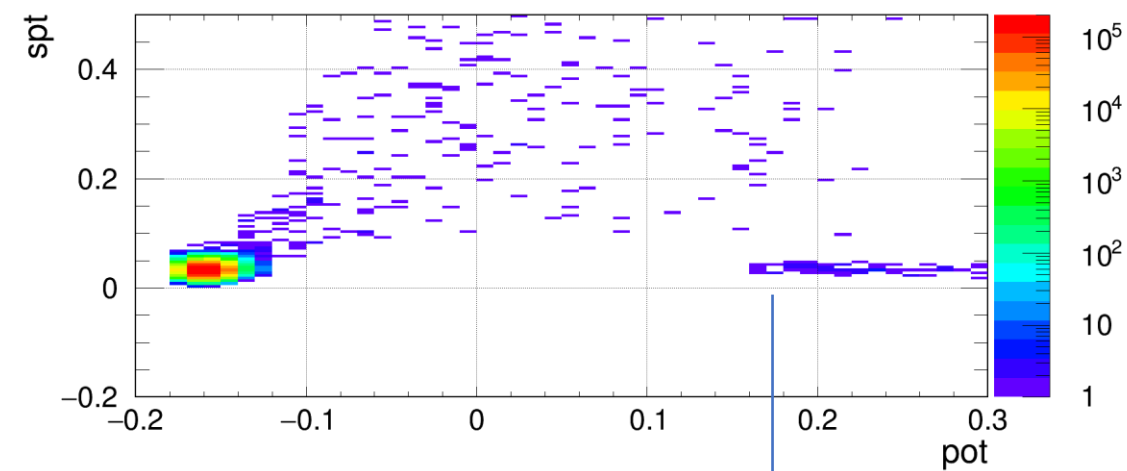


図 3.25: Delayed Coincidence を用いた ^{214}Po の抽出

U/Th系列



線源不使用、 γ 線でpotの大きな波形



peakの時間によるCutを行わなかった場合の分布

