

# Migdal効果探索のための CF<sub>4</sub>ガス $\mu$ -TPCを用いた 中性子ビームにおける背景事象の評価

島田 拓弥

身内賢太郎 東野聡 中村輝石(ICRR) 池田智法(京大)

神戸大学粒子物理研究室 **NEWAGE**

2020.12.09 **ミグダル**観測検討会 day2

# INDEX

---

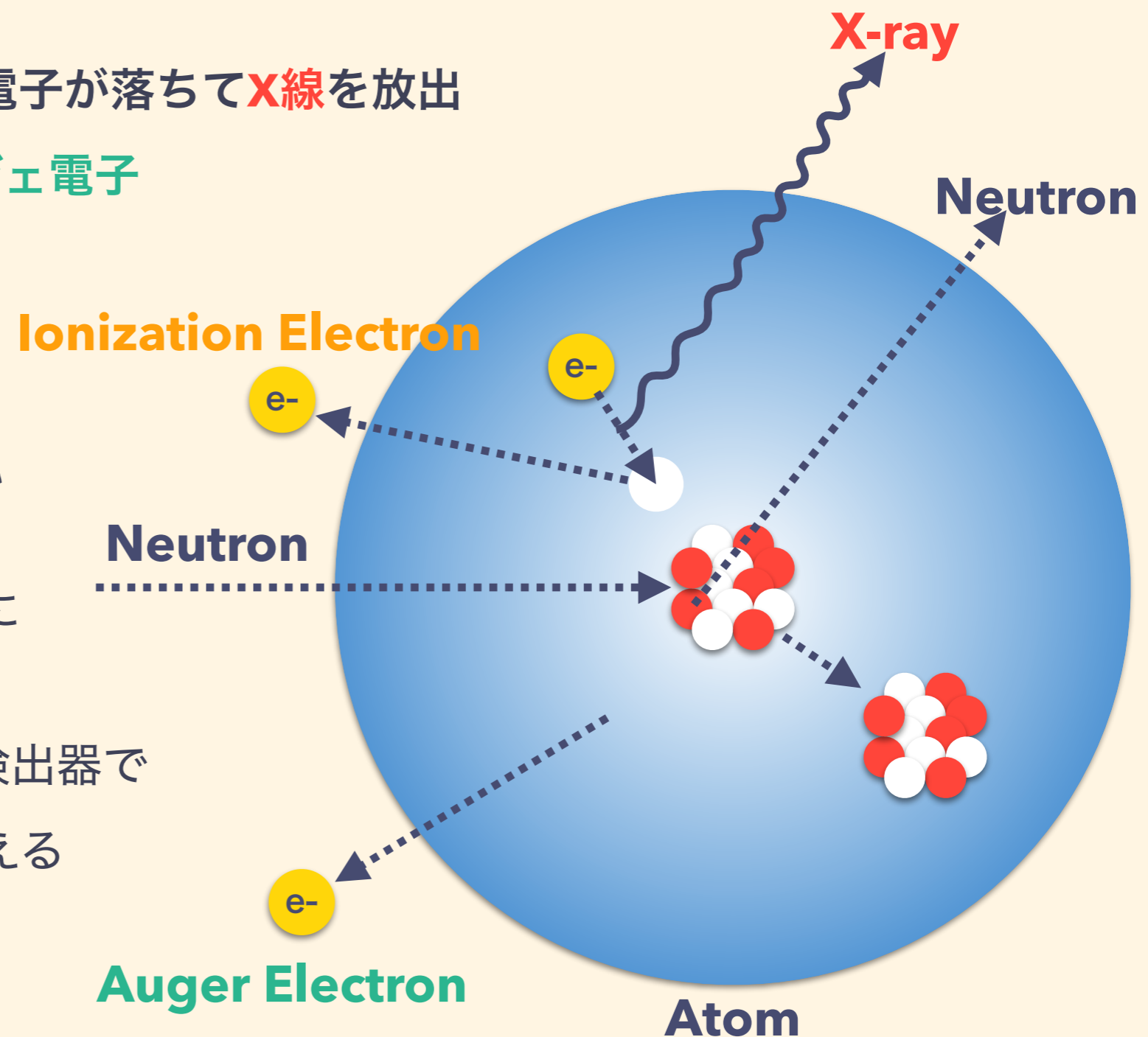
- ▶ ミグダル観測に向けて
- ▶ 中性子ビームライン測定
- ▶ 解析
- ▶ まとめ

# ミグダル観測に向けて

## ミグダル効果 / 背景事象

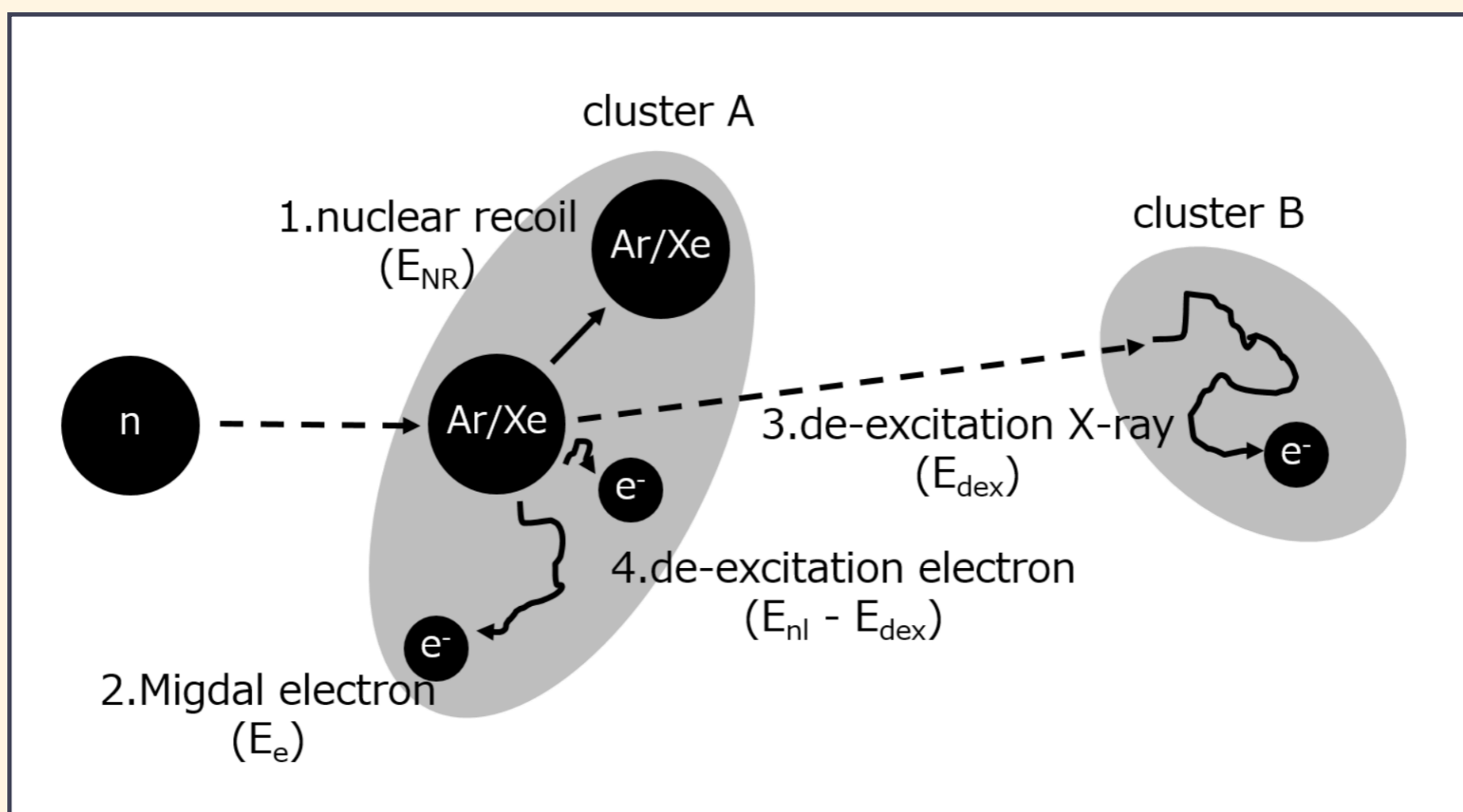
# ミグダル効果 (原子核反跳に対する)

- 原子核反跳によって原子核の周りの電子にゆらぎを生じさせる
- 原子内側の電子が稀に電離する
  - ▶ 1, ミグダルによる電離電子
  - ▶ 2, 電離した電子の殻にある殻の電子が落ちてX線を放出
  - ▶ 3, X線での自己電離によるオージェ電子
- 詳しいことは皆さんのほうが知っているので割愛
  - ▶ というかまだよくわかっていない
- しかし要するに上記の3つを実験的に起きていることを観測できればよい
  - ▶ 今回は中村さんの論文からガス検出器でX線による2クラスター生成を考える  
([arXiv:2009.05939](https://arxiv.org/abs/2009.05939))



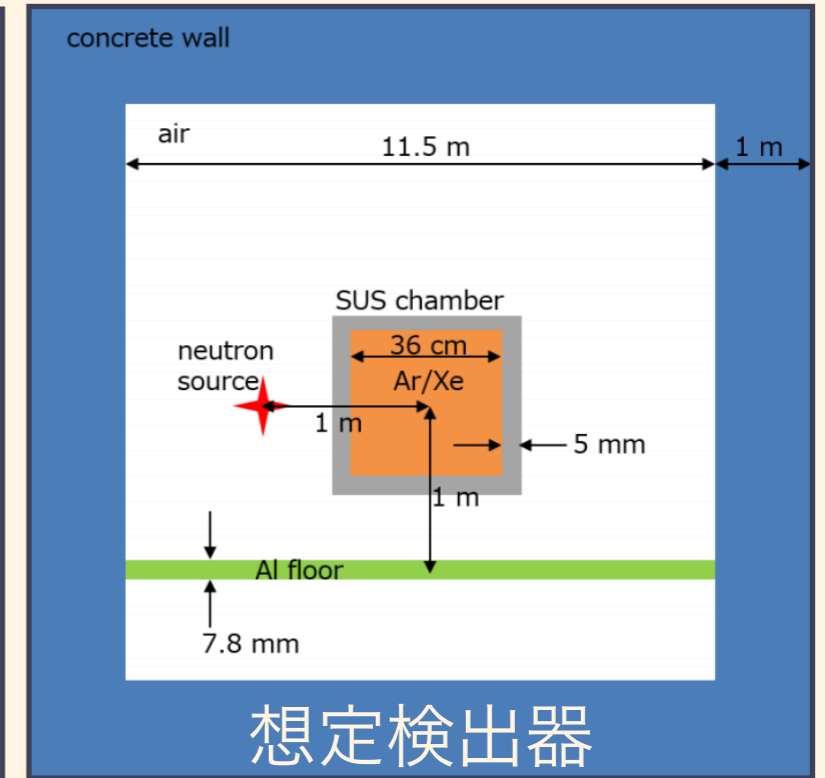
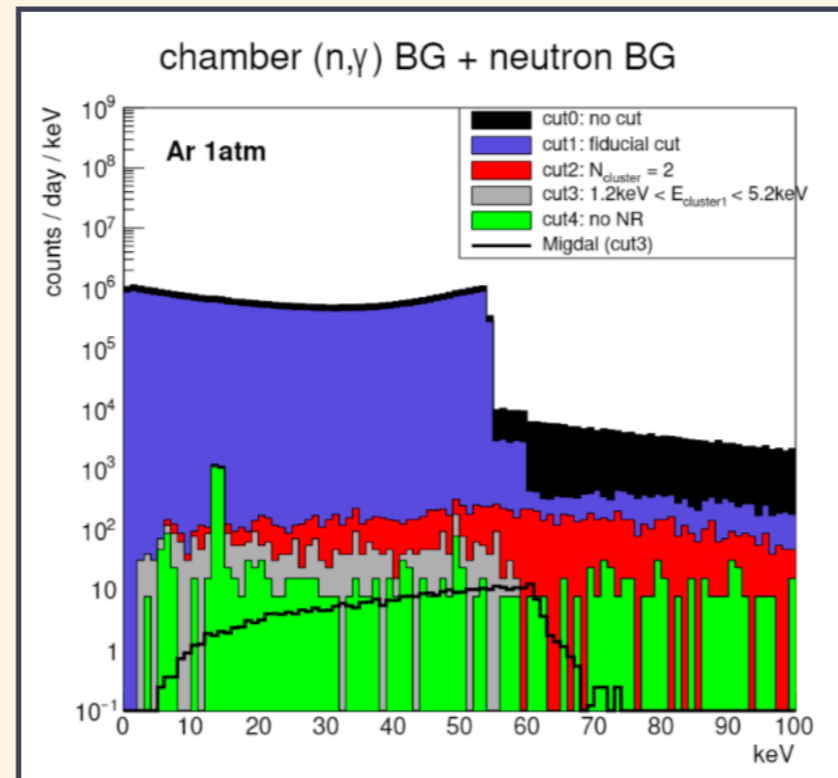
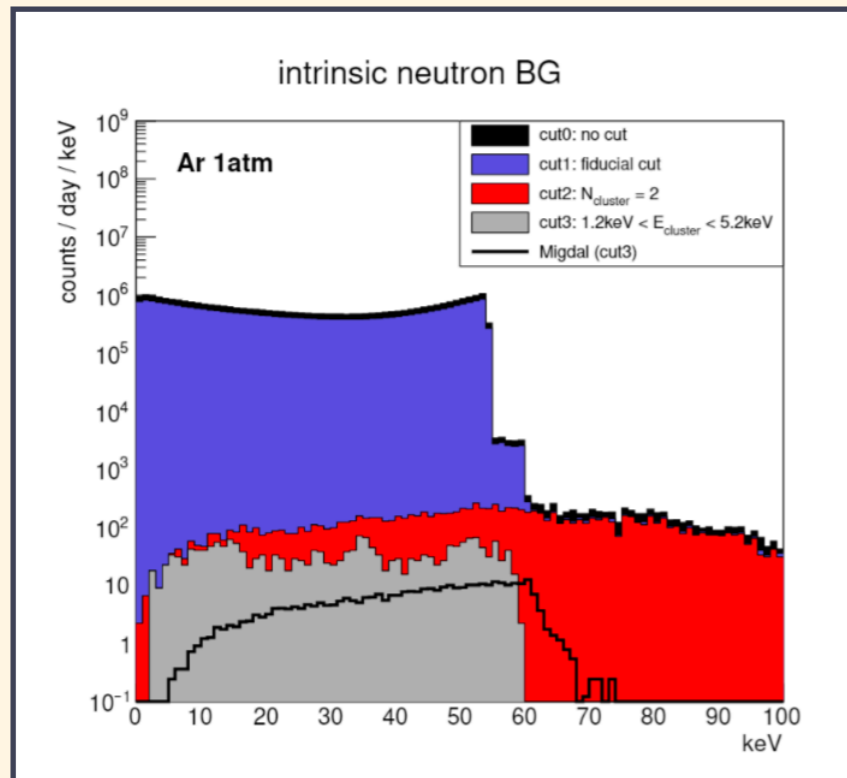
# ミグダル効果による2クラスター

- ほぼ論文紹介になるが、 ([arXiv:2009.05939](https://arxiv.org/abs/2009.05939))
- X線による2クラスター
  - ▶ X線は少し離れたところで光電効果を起こすと考えられる
- このクラスターを見つけない
  - ▶ **位置のわかるガス検出器**を使えば検出できるはず
  - ▶ NEWAGEにおまかせの案件



# 背景事象 (simulation)

- 原子核反跳を見たいので中性子ビームを想定する (Geant4 simulation)
  - ▶ 仮に2クラスターを見分けることができれば背景事象はかなり落とせる



- しかし、それを乗り越えてくるものも存在する
  - ▶ X線のエネルギーやPIDによるカットで更に落とせる
- 中性子ビームを用いたときに起きる主な2クラスター背景事象
  - ▶ 中性子の**多重散乱**
  - ▶ 中性子が作るガンマ線(**n,γ**)による2クラスター

# 今回の目的

---

◎ 3つの目的。主に背景事象への理解

## 1、まず、そもそも実験的に2クラスターが見えるのか

▶ 背景事象であれ何であれ

## 2、2種類のエネルギーの中性子ビームテストのデータを用いて

### 2クラスター背景事象の量を比較

▶ KEK : 14MeV

▶ 産総研 : ~565keV

## 3、生き残った2クラスター事象についての理解を深める

▶ これはかなり難しい

# 中性子ビームライン測定

KEK / 産総研



# 中性子ビーム

---

- ◎ 今回用いる2種類の中性子ビームライン
  - ▶ 前発表の東野さんの話とかぶるので簡単に
  - ▶ 僕がいなかったときの測定なので、池田さん(京大)のほうが詳しいと思いますが
  - ▶ 大体以下のエネルギーの中性子
- ◎ KEK
  - ▶ エネルギー : 14 MeV
  - ▶ DTジェネレータ
- ◎ 産総研
  - ▶ エネルギー : 565 keV (ターゲットによって変えられる)
  - ▶ Li(p,n)Be反応??

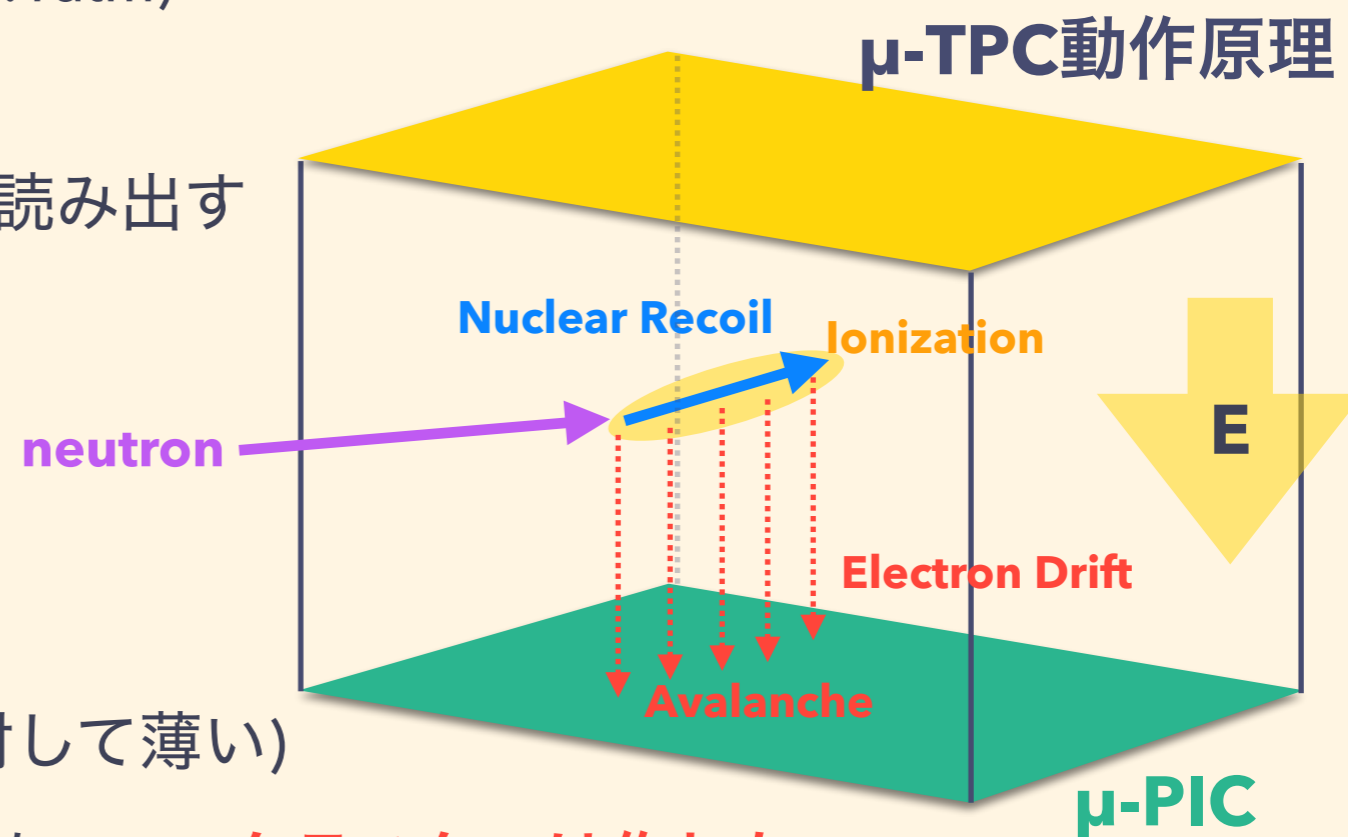
# 今回用いた検出器 ( $\mu$ -TPC $\text{CF}_4$ 0.1 atm)

## ◎ $\mu$ -TPC : micro Time Projection Chamber -> 3次元飛跡検出器

- ▶  $\mu$ -PICによる2次元平面(x,y)位置情報
  - ▶ 電子ドリフトによるドリフト方向(z)時間情報
- 3次元飛跡再構成が可能
- ▶ ガス標的 (Ar,  $\text{CF}_4$ ,  $\text{SF}_6$ , etc.) : 低エネルギー( $\sim$ keV)であっても飛跡長を稼げる
    - 更に稼ぐために低圧動作する(今回は0.1 atm)
    - Migdal効果のモデル
  - ▶  $\mu$ -PICやGEMによる**ガス増幅**で信号を読み出す

## ◎ $\text{CF}_4$ ガスの特徴

- ▶ C1つとF4つ (Arに比べてガンマ線に対して薄い)
- ▶ Migdalが起きたとして、X線は $<1$ keVなので**2クラスターは作れない**
- ▶ 今回はMigdalが起きない(起きたとして検出効率は低い)とする



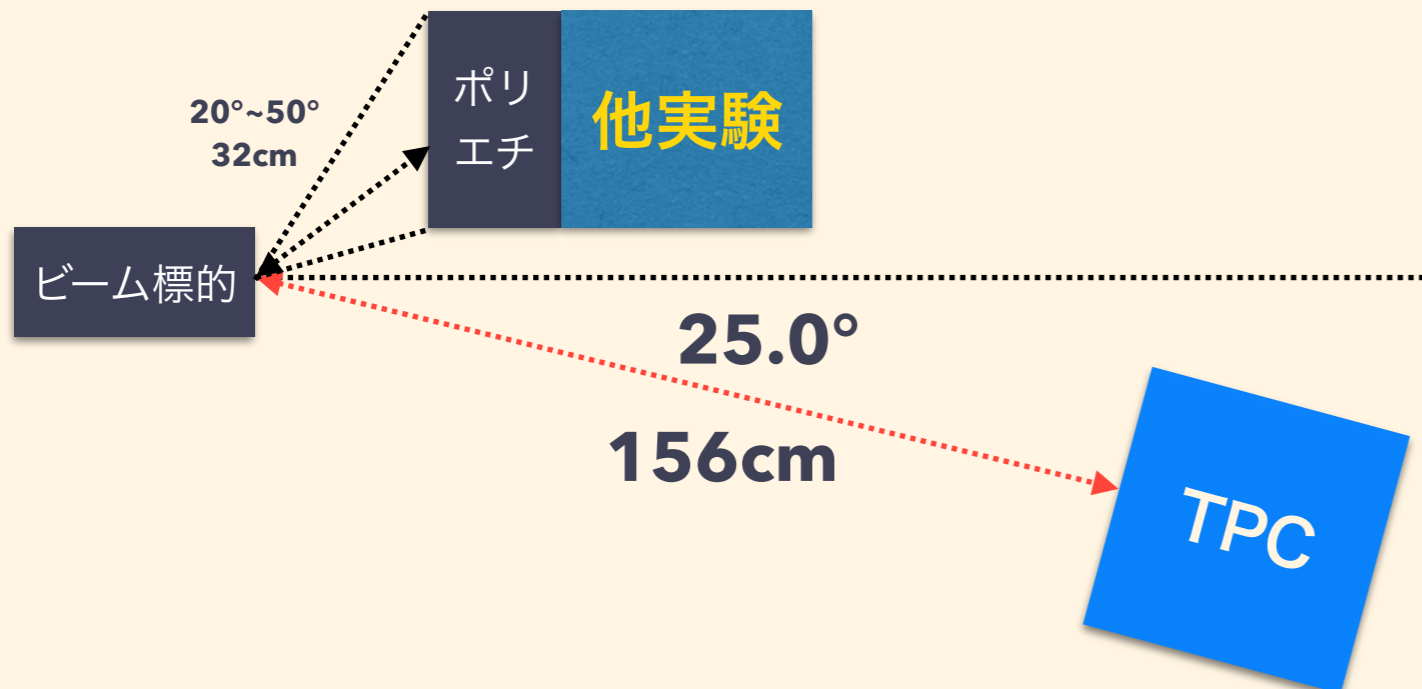
# 測定セットアップ

## ◎ KEK

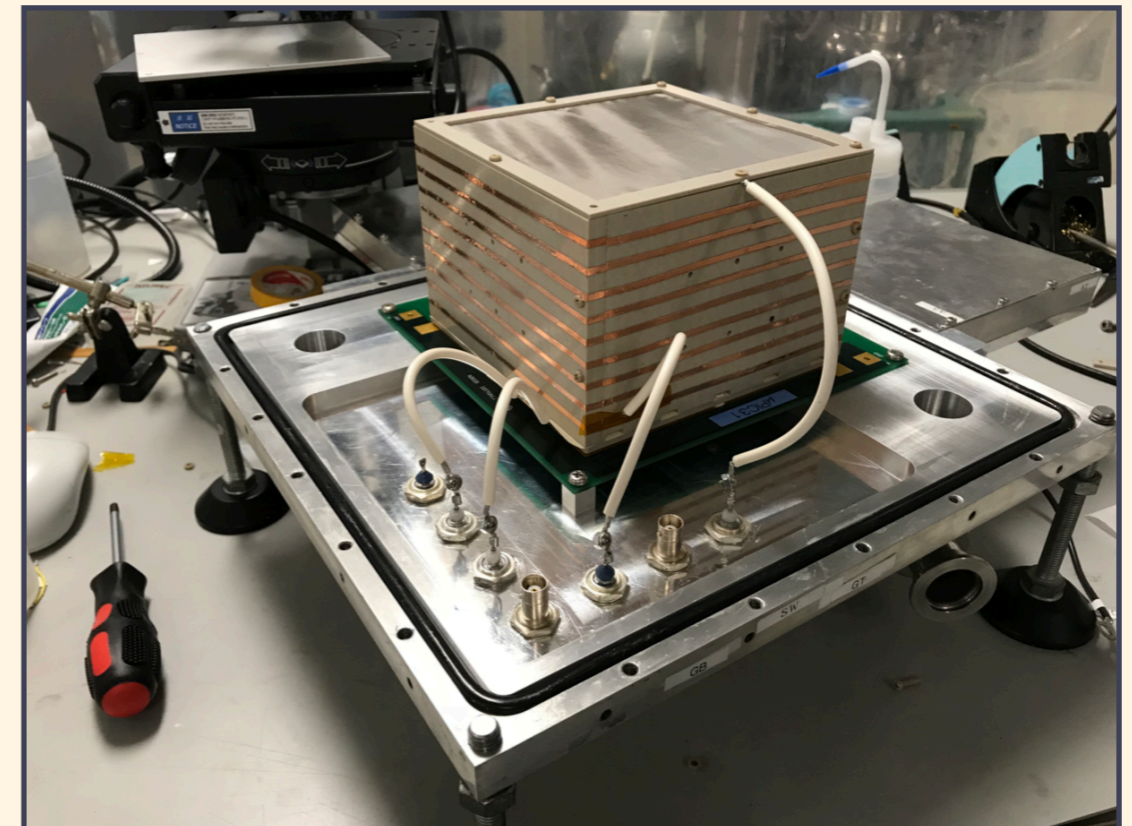
- ▶  $\mu$ -TPC (10cm角×高さ5cm)
- ▶ 検出器位置 : ??
- ▶ 中性子エネルギー : 14MeV

## ◎ 産総研

- ▶  $\mu$ -TPC (10cm角×高さ10cm)
- ▶ 検出器位置 : 下図
- ▶ 中性子エネルギー : 565 keV



### 10cm角×10cm $\mu$ -TPC



# 解析

クラスター解析 / 背景事象について

# エネルギースペクトル

- ◎ エネルギー閾値 (DAQ)

- ▶ KEK :  $\sim 100\text{keV}$  ( gas gain  $\sim 500$  )、産総研 :  $\sim 30\text{keV}$  ( gas gain  $\sim 1800$  )

KEKのときの検出器の状態があまり良くない

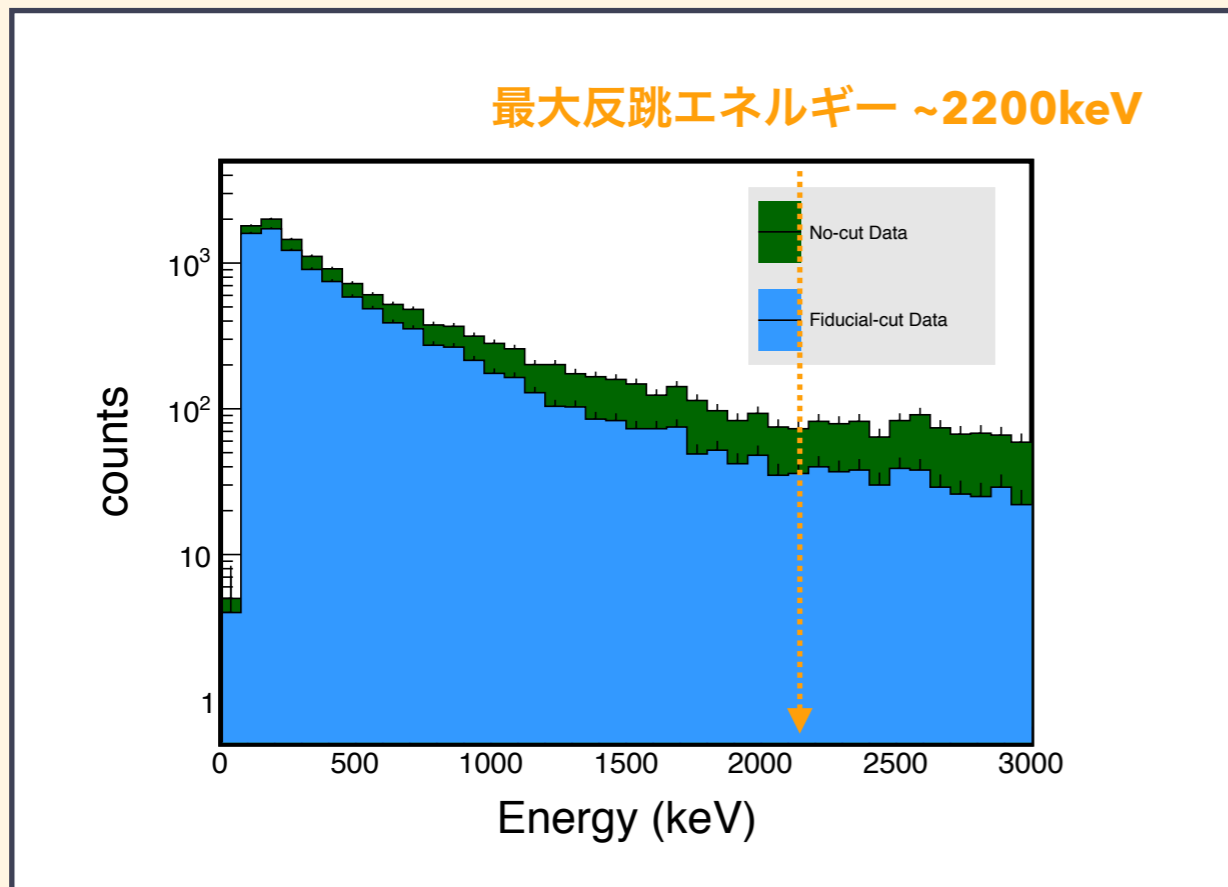
- ◎ 適切なFiducial cut [xmin~xmax , ymin~ymax]

- ▶ KEK : [-4.5~4.5,-4.5~4.5]、産総研 : [-4.5~4.5,2.0~4.5] (ノイズが多かったため)

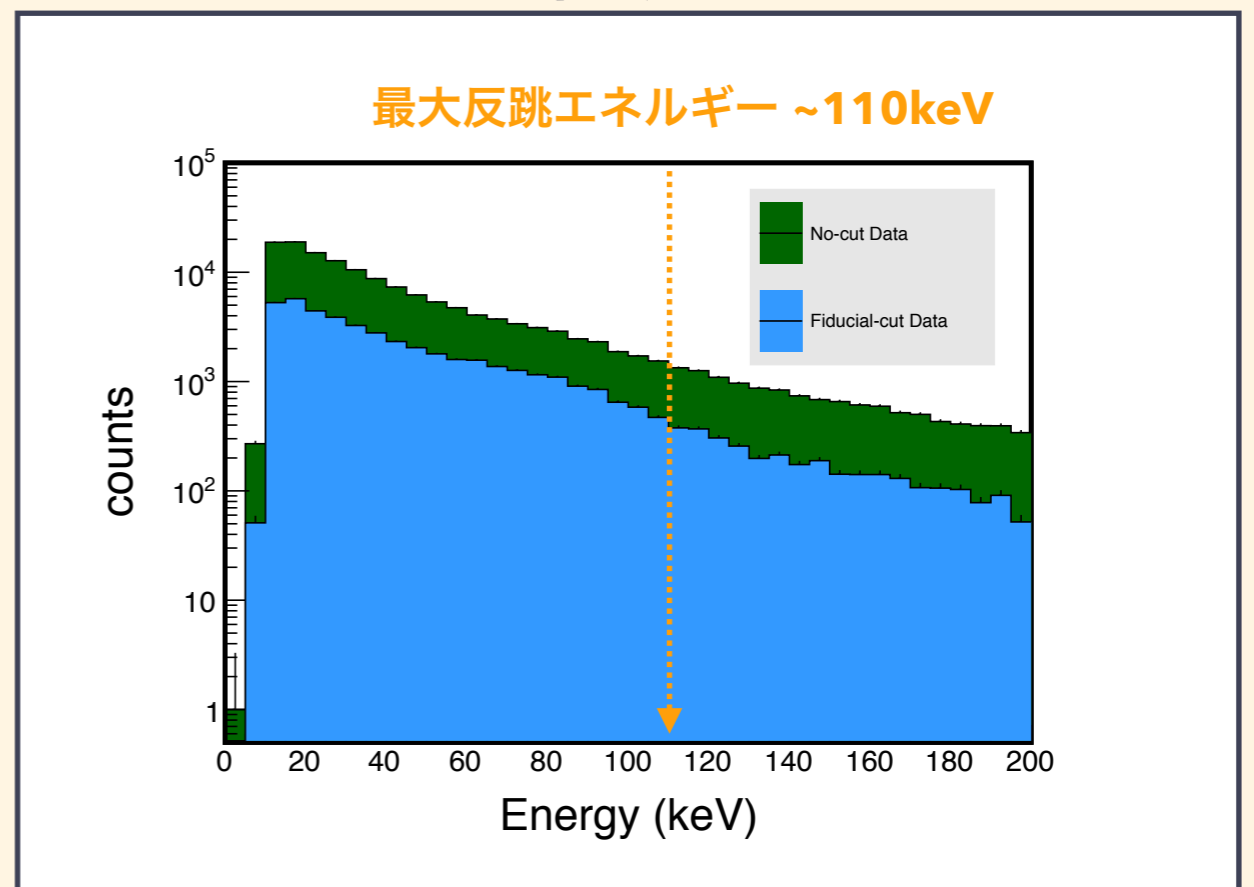
- ◎ F原子核の最大反跳エネルギー (括弧内中性子エネルギー) ※BACKUP

- ▶ KEK :  $\sim 2200\text{keV}$  (14MeV)、産総研 :  $\sim 110\text{keV}$  (565keV)

## KEKデータ

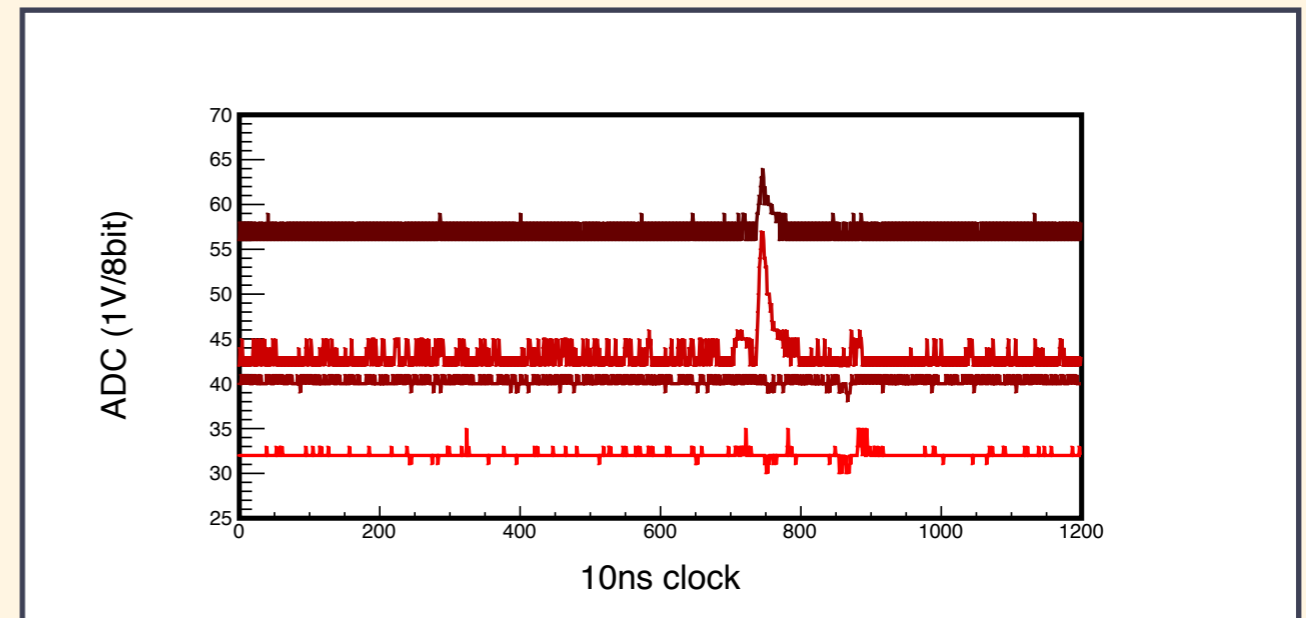
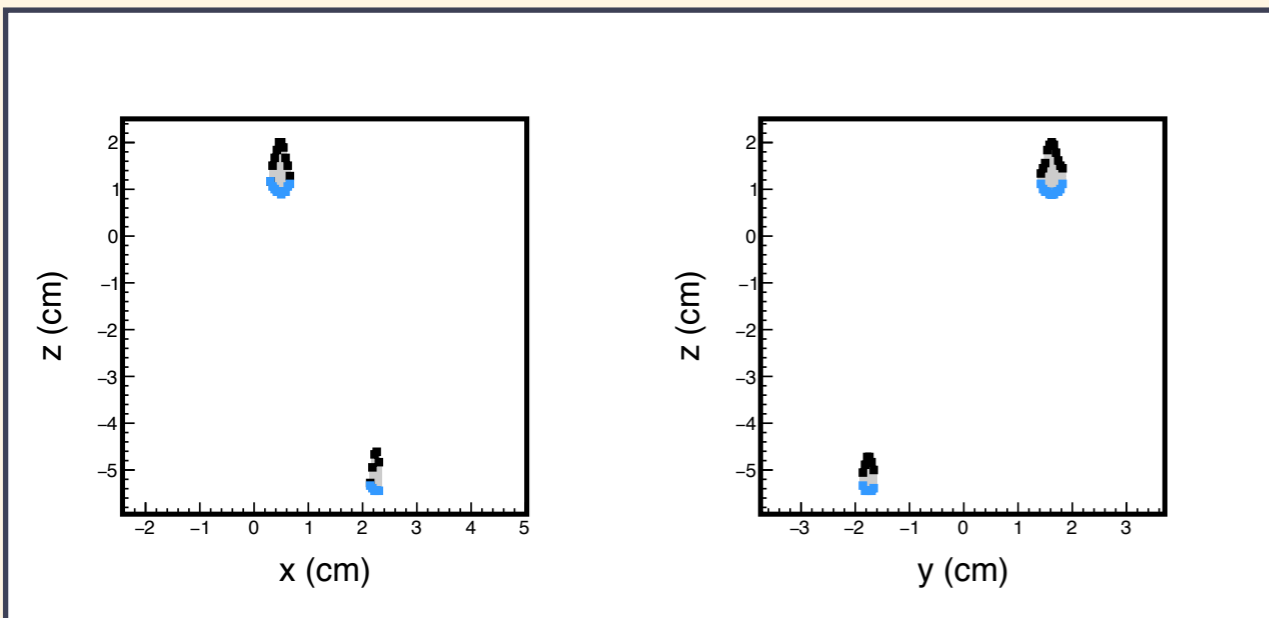
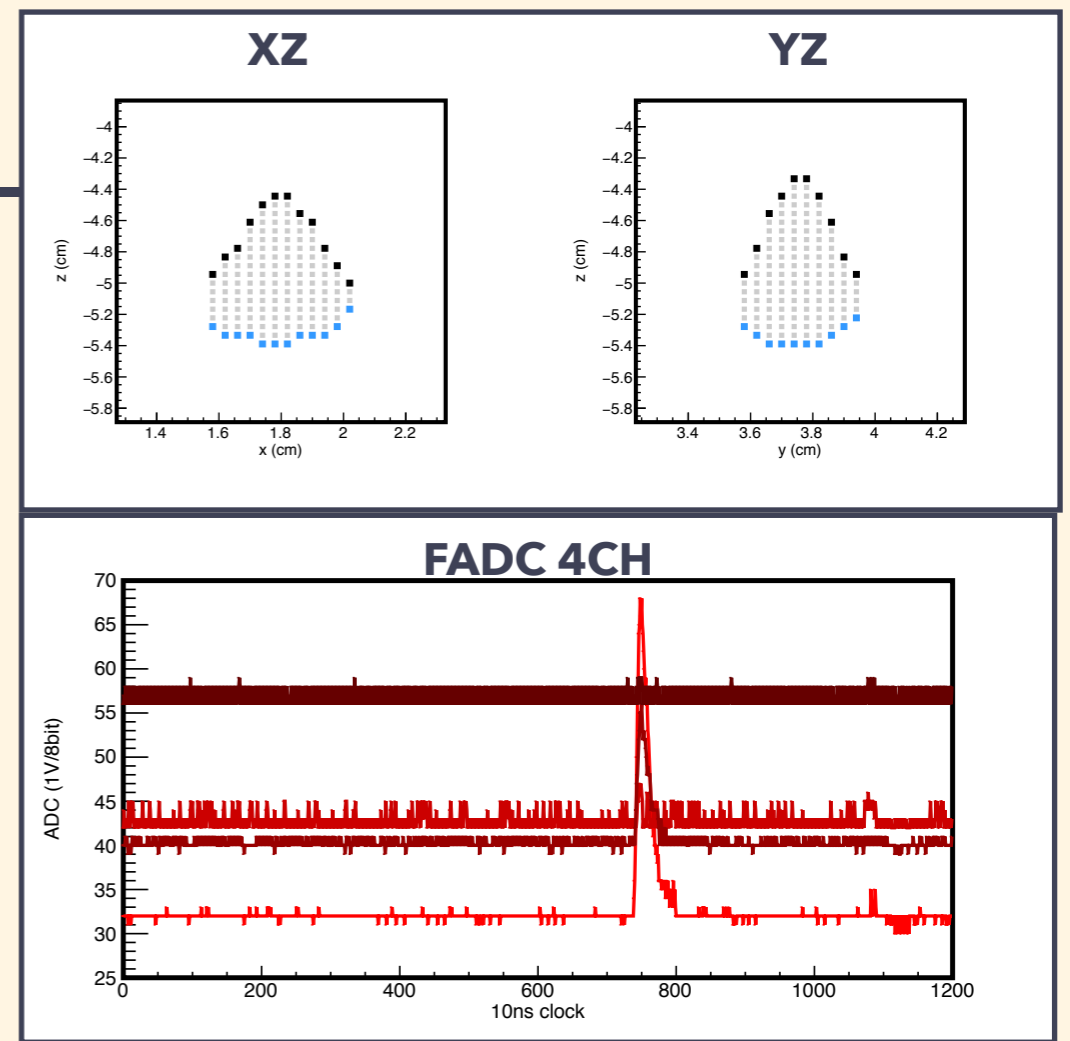


## 産総研データ



# 2クラスター事象

- 今回の検出器のDAQから読み出せる情報 ->
  - ▶ 1stripのTOT情報 (strip pitch = 400um)
    - 位置・(相対)時間情報
  - ▶ FADC波形情報(192strip sum×4)
    - エネルギー情報
- 2クラスター事象を観測 (産総研データ)
  - ▶ クラスター間距離 : ~7.5cm



**$\mu$ -TPC(ガス検出器)で2クラスター事象(ミグダルの背景事象)を観測**

# 複数クラスター事象の観測

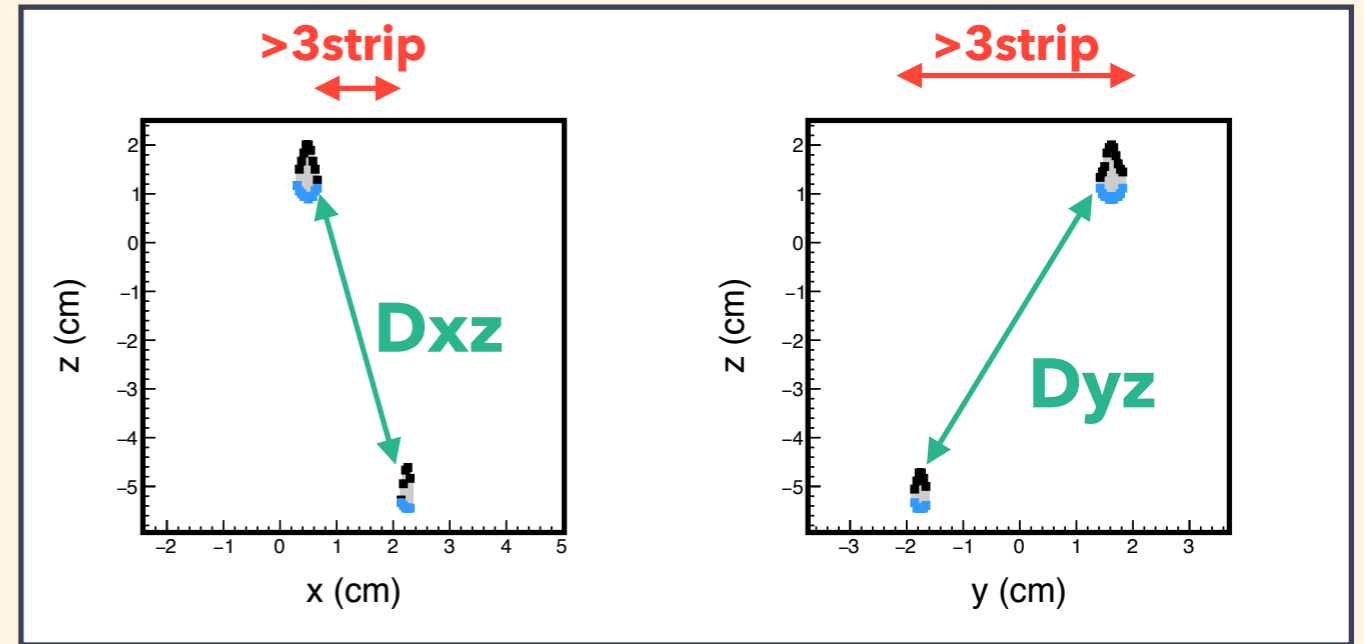
## ● クラスターの条件

### ▶ Strip条件

- 少なくとも3strip以上離れていること

### ▶ distance条件

- クラスター間距離 ( $D_{xz}$ や $D_{yz}$ )  $> 1\text{cm}$

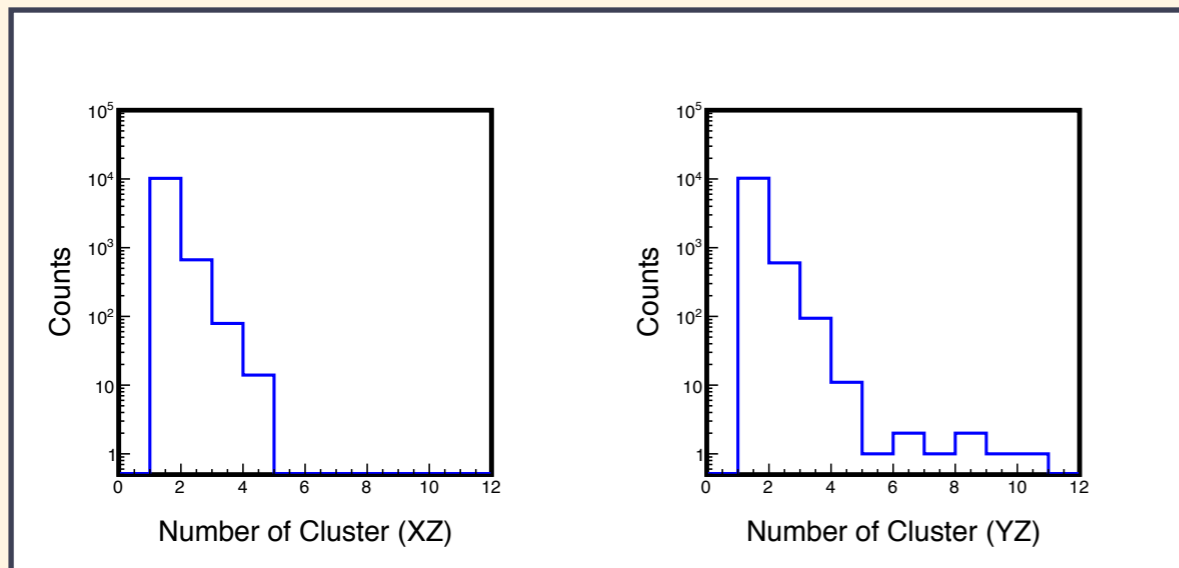


## ● KEKと産総研の測定データのクラスター数分布

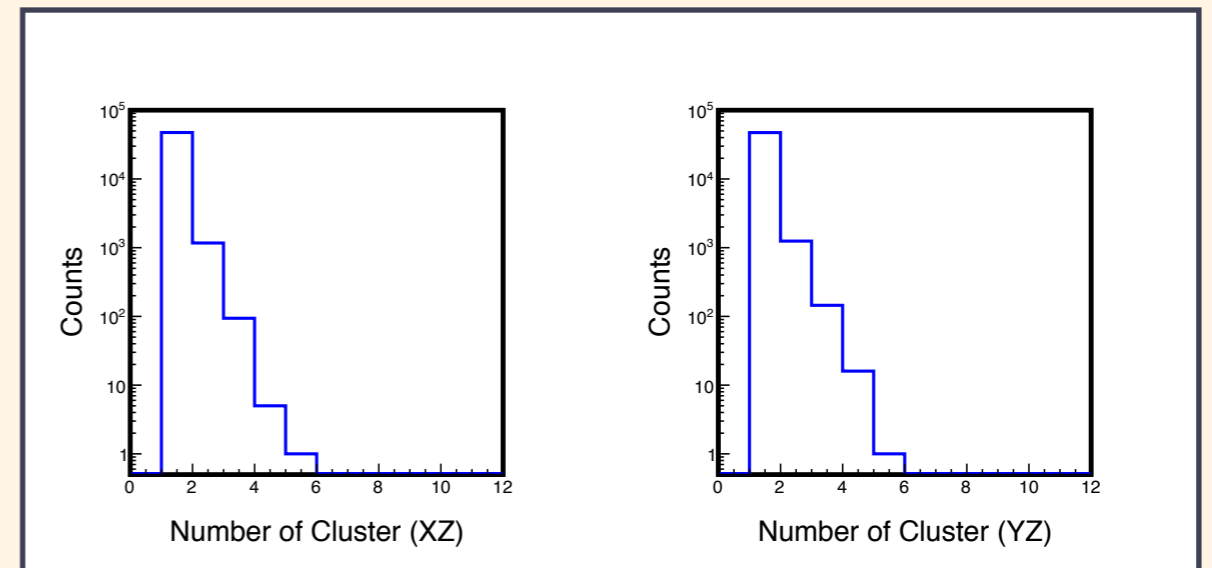
- ▶ 産総研データの方が1クラスターの割合は多い

- ▶ 検出器の大きさにも依存してくる (KEK: $10\times 10\times 5\text{cm}^3$ , 産総研: $10\times 10\times 10\text{cm}^3$ )

### KEKデータ



### 産総研データ



# 2クラスターカット

|          | クラスター数 |   |   |   |    |    |
|----------|--------|---|---|---|----|----|
|          | 1      | 2 | 1 | 2 | 2< | 任意 |
| XZ分布     | 1      | 2 | 1 | 2 | 2< | 任意 |
| YZ分布     | 1      | 1 | 2 | 2 | 任意 | 2< |
| 2クラスター判定 | ×      | ○ | ○ | ○ | ×  | ×  |

◎ 右表：2クラスターカット内容

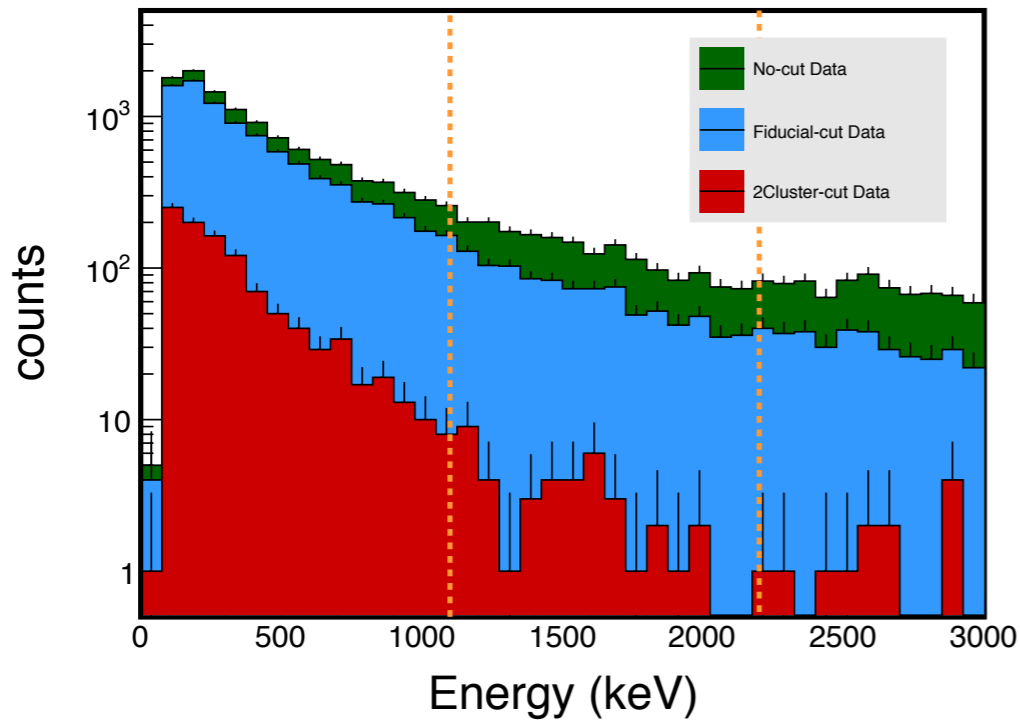
- ▶ Xの事象がカットされる
- ▶ Max Cluster = 2のときのみ

◎ 最大反跳エネルギーからその半分までの数を比較 (点線内の赤/青)

- ▶ KEK : **4.11 %** ( 49 ev / 1191 ev )
  - ▶ 産総研 : **0.65 %** ( 77 ev / 11882 ev )
- エネルギーが低いほうがBGは少なくなる

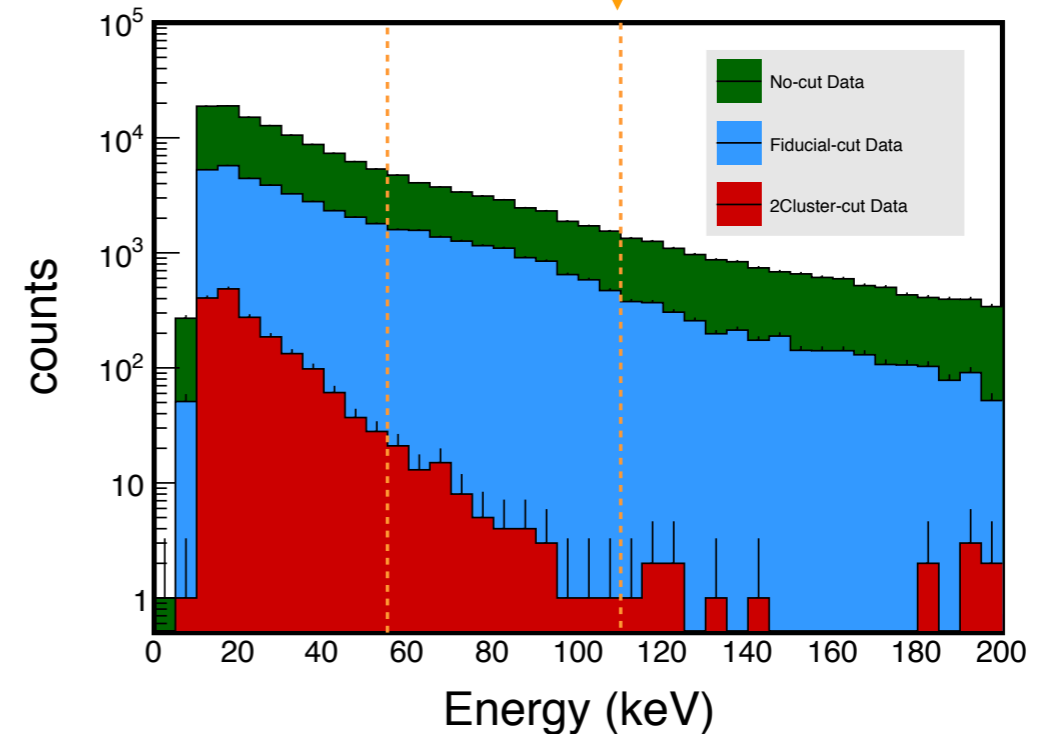
KEKデータ

最大反跳エネルギー ~2200keV



産総研データ

最大反跳エネルギー ~110keV





# 2クラスターカット

|          | クラスター数 |   |   |   |    |    |
|----------|--------|---|---|---|----|----|
|          | 1      | 2 | 1 | 2 | 2< | 任意 |
| XZ分布     | 1      | 2 | 1 | 2 | 2< | 任意 |
| YZ分布     | 1      | 1 | 2 | 2 | 任意 | 2< |
| 2クラスター判定 | ×      | ○ | ○ | ○ | ×  | ×  |

◎ 右表：2クラスターカット内容

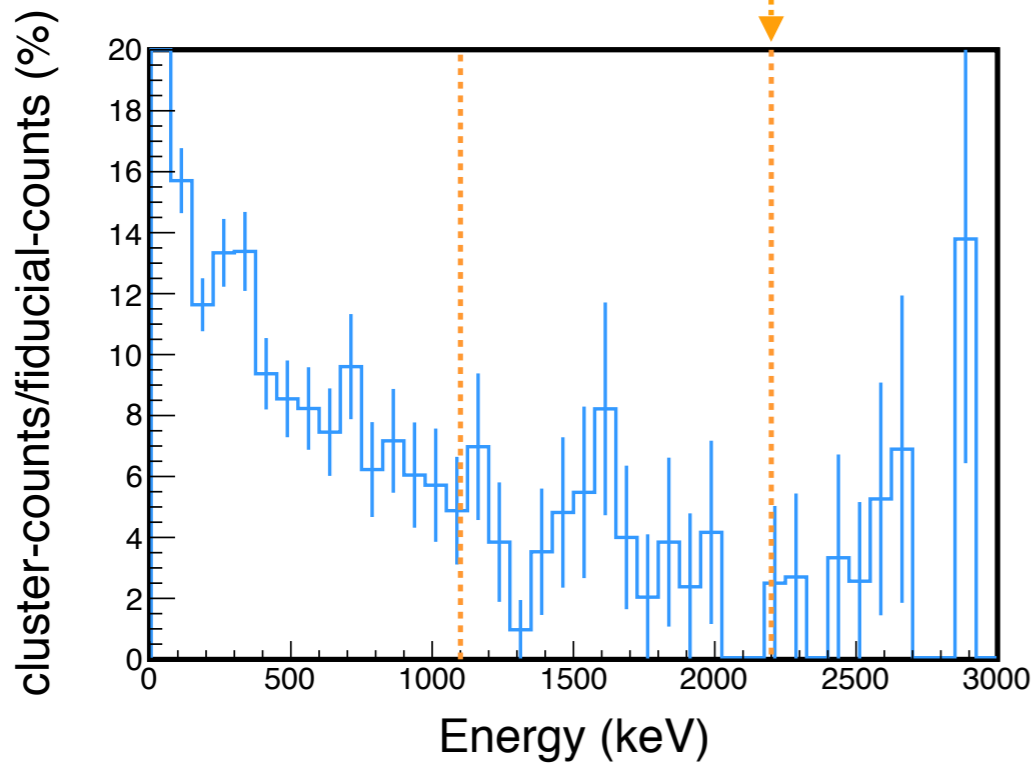
- ▶ Xの事象がカットされる
- ▶ Max Cluster = 2のときのみ

◎ 最大反跳エネルギーからその半分までの数を比較 (点線内の赤/青)

- ▶ KEK : **4.11 %** ( 49 ev / 1191 ev )
  - ▶ 産総研 : **0.65 %** ( 77 ev / 11882 ev )
- エネルギーが低いほうがBGは少なくなる

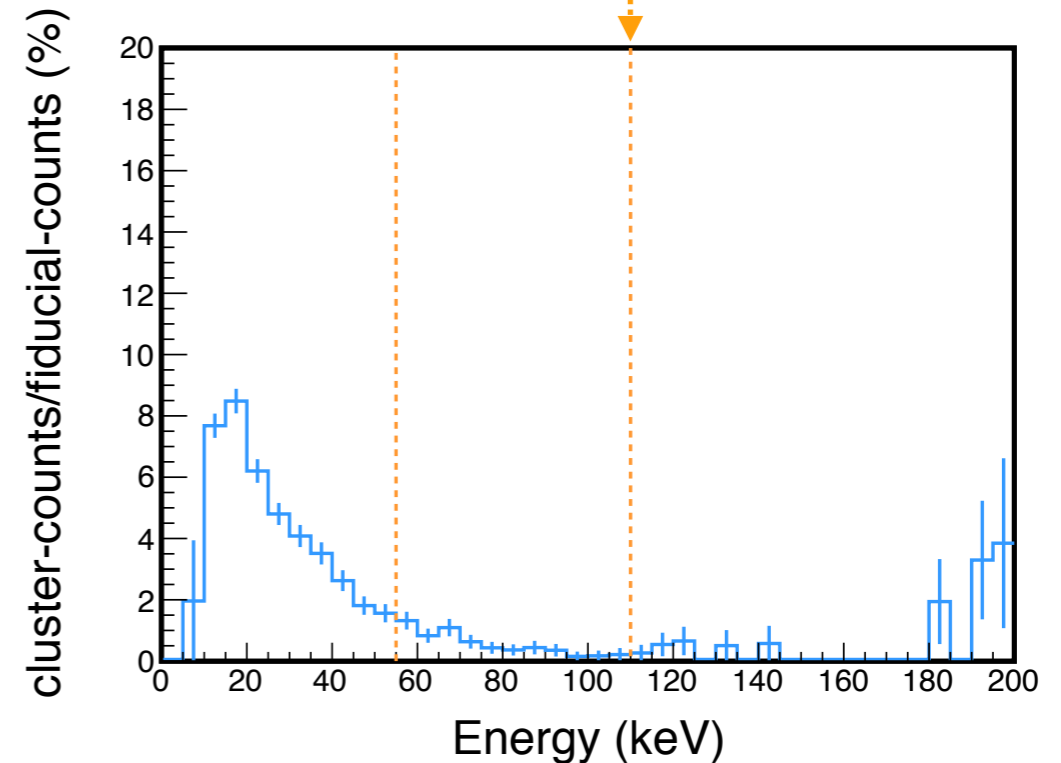
KEKデータ

最大反跳エネルギー ~2200keV



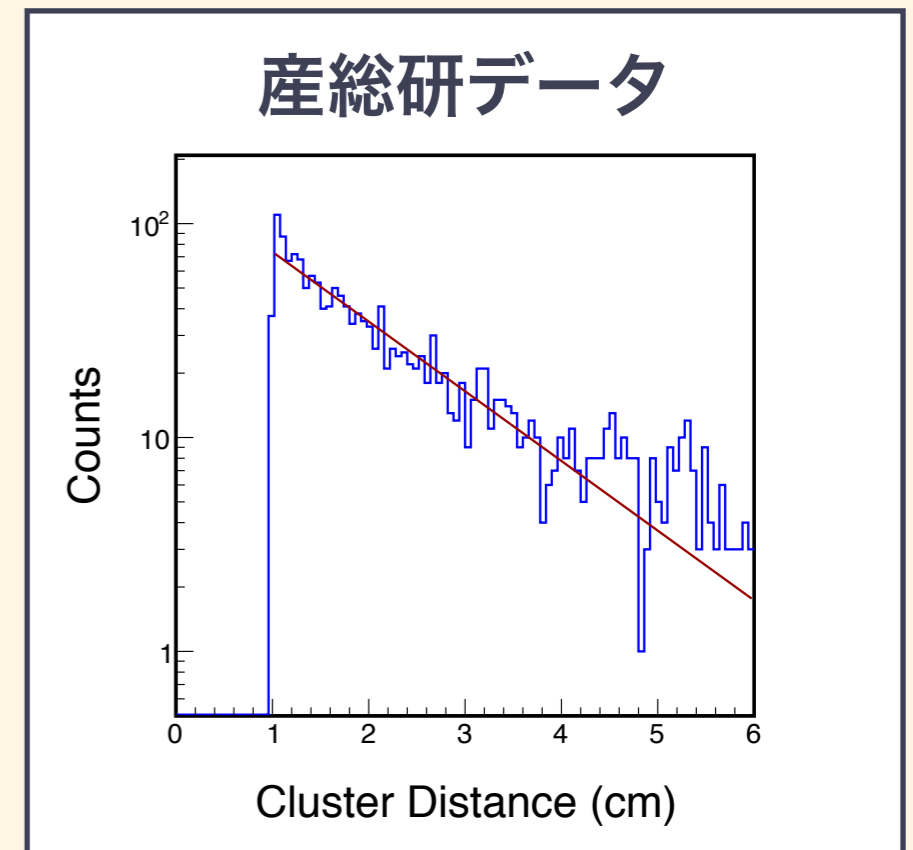
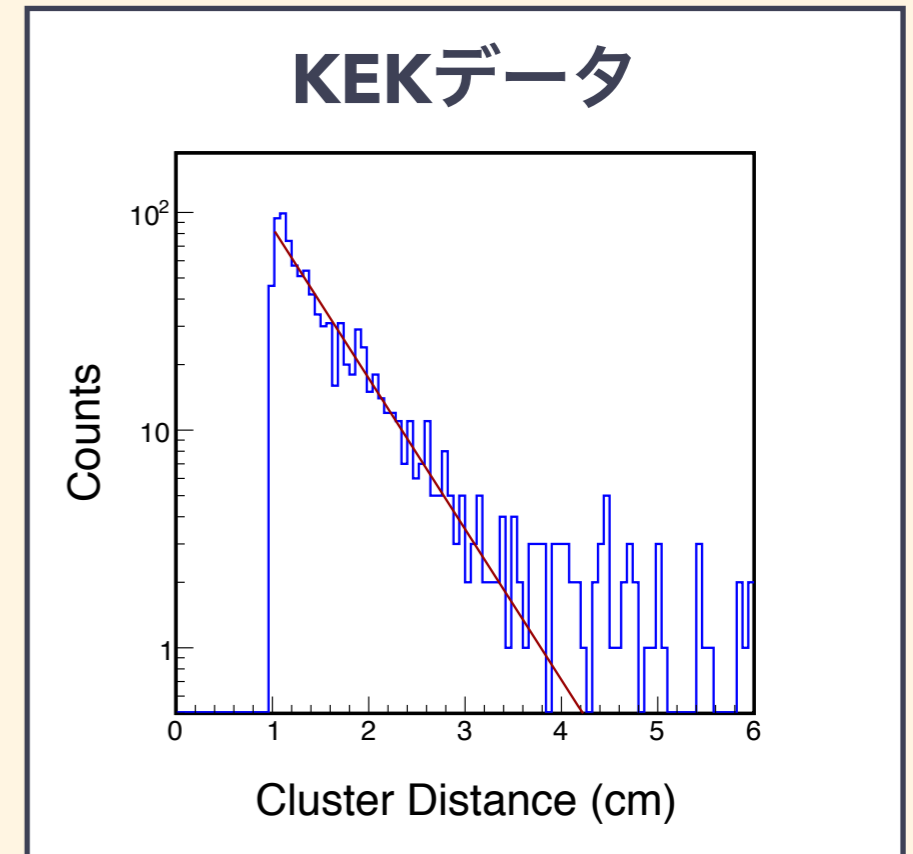
産総研データ

最大反跳エネルギー ~110keV



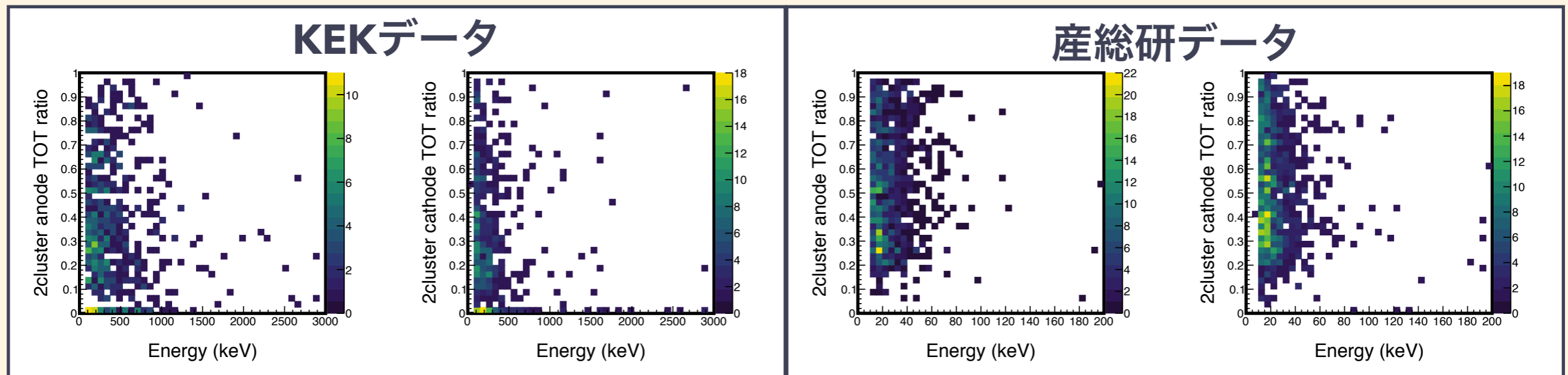
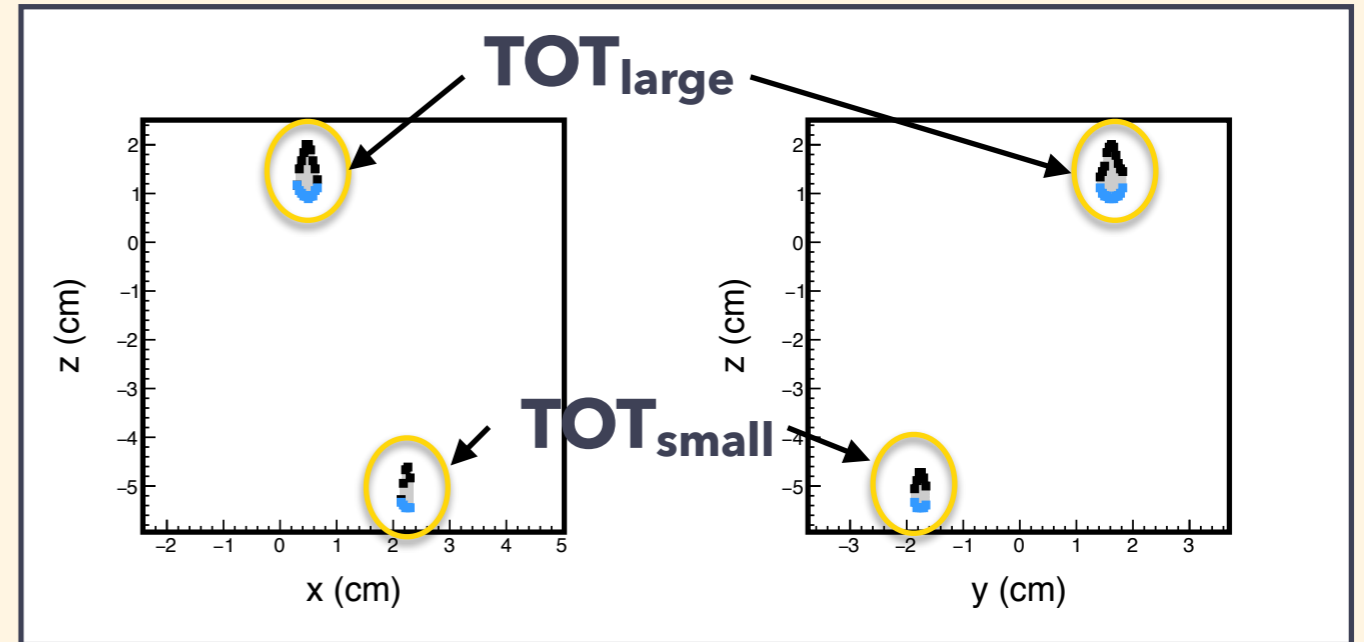
# 2クラスター背景事象 (クラスター間距離)

- 2クラスター背景事象のクラスター間距離
- 時定数が違う
  - ▶ KEKデータ : **0.62** cm
  - ▶ 産総研データ : **1.33** cm
  - ▶ Ar 1atm ミグダル 3.2keV : ~**2.5cm**
- 基本的に多重散乱が優位なのでこの時定数は中性子の散乱断面積によるもの
  - ▶ 計算していないが、
- 産総研のデータはガスゲインが高いのでエネルギーの低いガンマ線をよくhitさせている。
  - ▶ 背景事象を多く見積もっている可能性
  - ▶ 検出器依存がありそうか
  - ▶ BGのstudyが必要か
- 気持ちいいところで**クラスター間距離カット**をかければミグダルに対するのS/Nは良くなるはず



# 2クラスター背景事象 (エネルギーデポジット)

- 2クラスターのエネルギーデポジットの比はどうなっているか
- TOT-sum : 波形のTOTをsumしたもの
  - ▶ エネルギーにほぼ比例する
  - ▶ 2つのクラスターに対してTOT-sumを定義する
  - ▶ このTOTの比をがどうなっているか
  - ▶  $TOT_{small} / TOT_{large}$
- KEKは $TOT_{small} / TOT_{large}$ が小さいものが多いガンマ線orノイズ成分だと思われる
- TOT ratio ~ 1は同じようなデポジットの仕方をしているもの(多重散乱の可能性)



# まとめ・議論

## 背景事象の様子を見てみて

# まとめ

---

- ◎ 中性子ビーム測定における2クラスター背景事象の測定 ( の解析 ) を行った
- ◎ クラスターの検出を達成
- ◎ 2クラスターカットによるミグダル背景事象を見積もった
  - ▶ KEK : 4.11 % (14MeV)
  - ▶ 産総研 : 0.64 % (565keV)
- ◎ 背景事象のStudyを行った
  - ▶ まあほぼ何もわからない
  - ▶ 検出器の状態があまり良くなかったのもあり、評価が難しい

# 議論

---

- ◎ 議論の焦点

- ▶ どちらのエネルギーが良いか
- ▶ どのような検出器が良いか

- ◎ 中性子ビーム

- ▶ 高エネルギー

- メリット
  - 一般的にミグダルの起きる確率が高い？
- デメリット
  - 2クラスターの背景事象が多い

- ▶ 低エネルギー

- メリット
  - 2クラスター背景事象が少ない
- デメリット
  - ミグダルの確率が低い？
  - 検出器によってはS/Nが効いてくる

- ◎ 検出器

- ▶ ガス検出器 (Ar, Xe)

- トポロジー & トポロジーのエネルギーを検出したい

- ▶ PID (ガンマ or 中性子)

**BACK UP**

# 各較正

- 較正用にベッセル内に $^{241}\text{Am}$ を置いている。

- ▶ 磁石で移動可能

- エネルギー較正

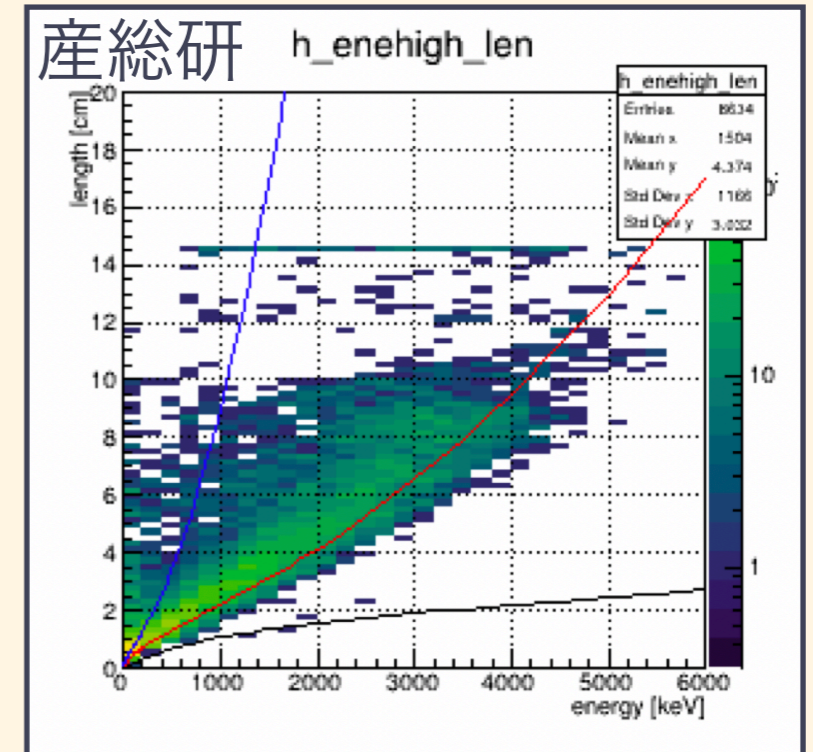
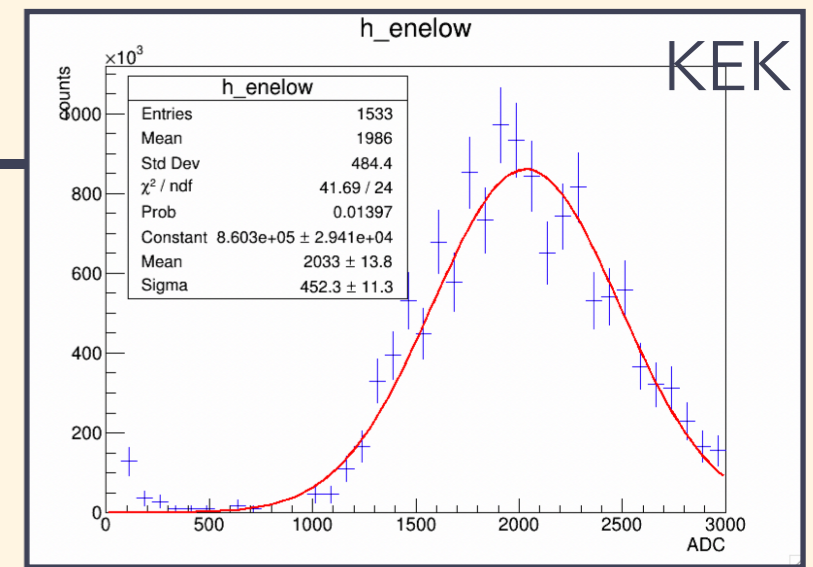
- ▶ KEK :  $^{241}\text{Am}$ の5.4MeVアルファ線の突き抜け事象 (~2.4MeV)

- ▶ 産総研 :  $^{241}\text{Am}$ の5.4MeVアルファ線の飛跡長とエネルギーの関係(SRIM)

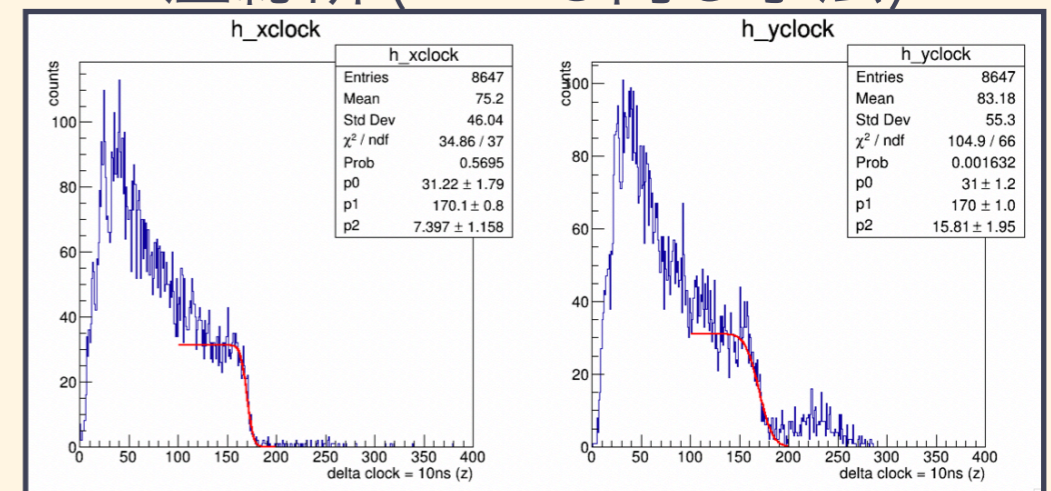
- ドリフト速度測定

- ▶ ドリフト距離は最大値が決まっている(5cm or 10cm)

- ▶ アルファ線の突き抜け事象のZ方向の長さで較正



産総研 (KEKも同じ手法)

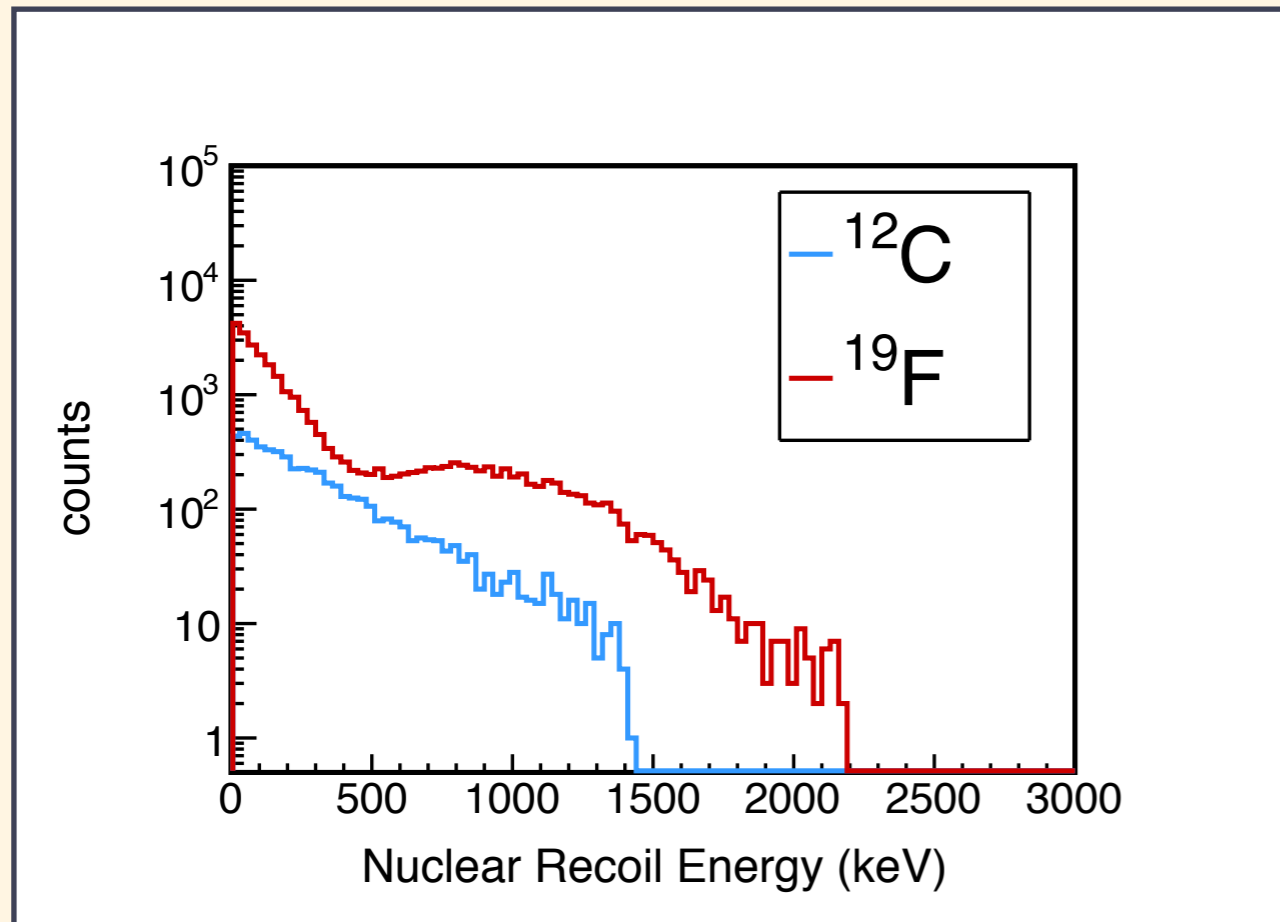




# 中性子ビーム最大反跳エネルギー

- Geant4にてそれぞれのエネルギーで $\mu$ TPCに打ち込んだときの原子核反跳エネルギーのスペクトル

KEK : 14MeV



産総研 : 565keV

