

2024年3月20日
JPS春

ガスアルゴンTPCによる 原子核反跳に伴った ミグダル効果観測実験



身内賢太郎
(神戸大)

東野聡, 生井凌太,
中村輝石, 内山偉貴, 矢野清志朗,
細川佳志, 吉田将

- Miraclue
- Detector
- Beamtest
- Summary

科研費
KAKENHI

MIRACLUE

= Migdal effect observation by gaseous TPC

• MIGDAL effect

- Low mass DM search with “MIGDAL effect”
- Ordinary nuclear recoil : ionization along the track
- Low energy recoil : ionization efficiency is low \Rightarrow difficult to detect
- Very rare case electrons are emitted
- 原子核反跳に伴うMIGDAL効果は未観測

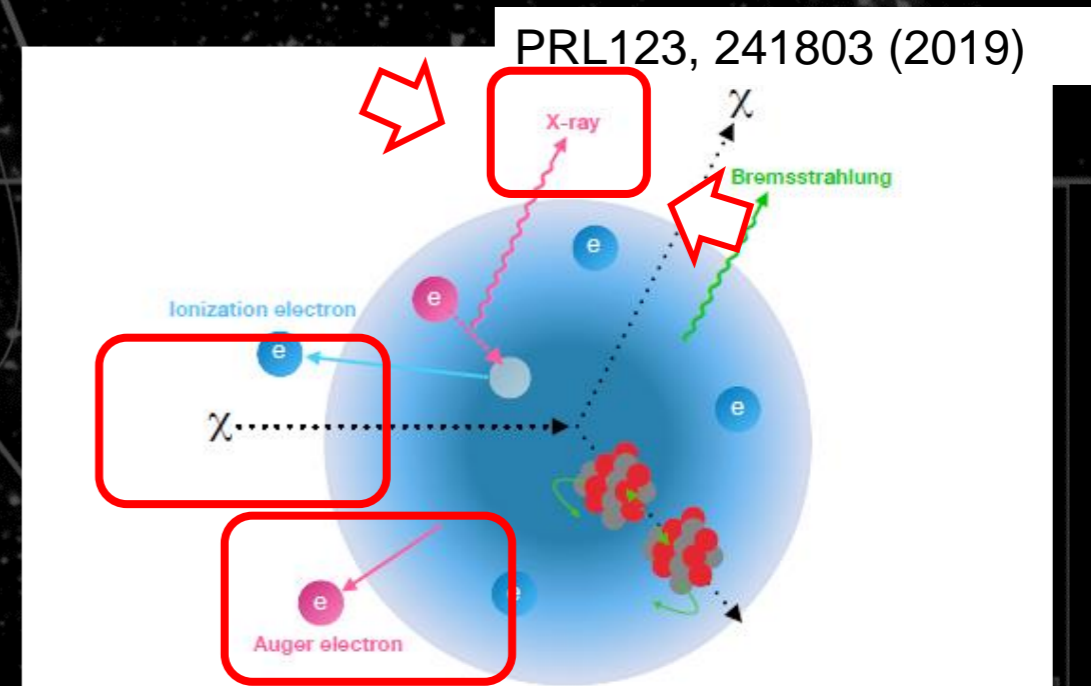
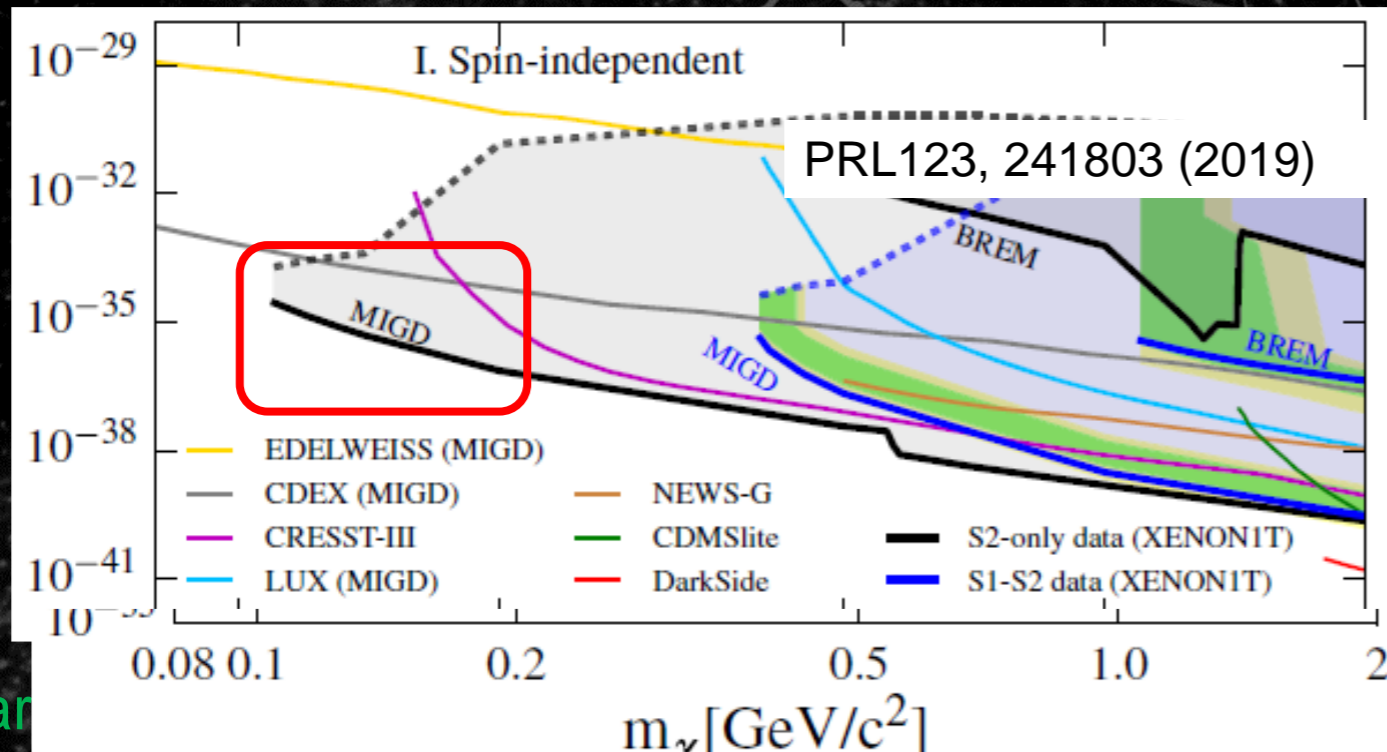


FIG. 1. Illustration of the ER signal production from BREM

MIRACLUE concepts

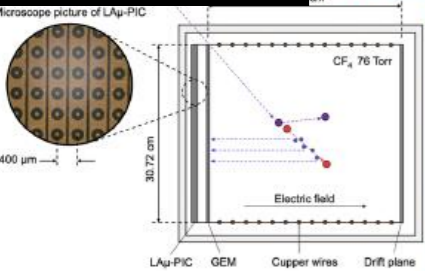
- Ar (1atm) and Xenon (8 atm) gas : direct interests in DM search
- start with existing technologies : less R&D
- characteristic X-ray channel for 2-cluster detection (as the first step) : less BG
- low energy (565keV) neutrons : less BG

MIRACLUE detectors

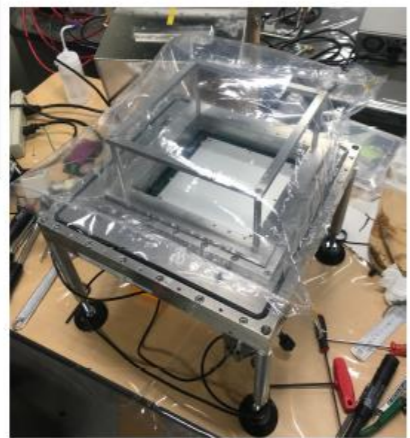
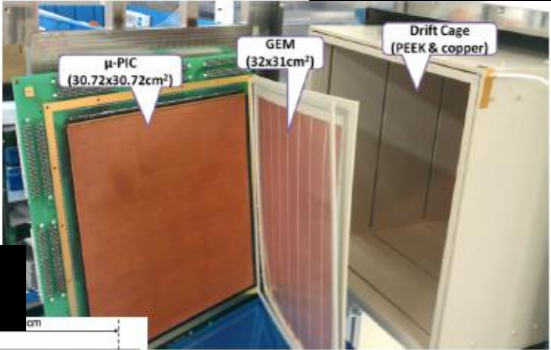


DM

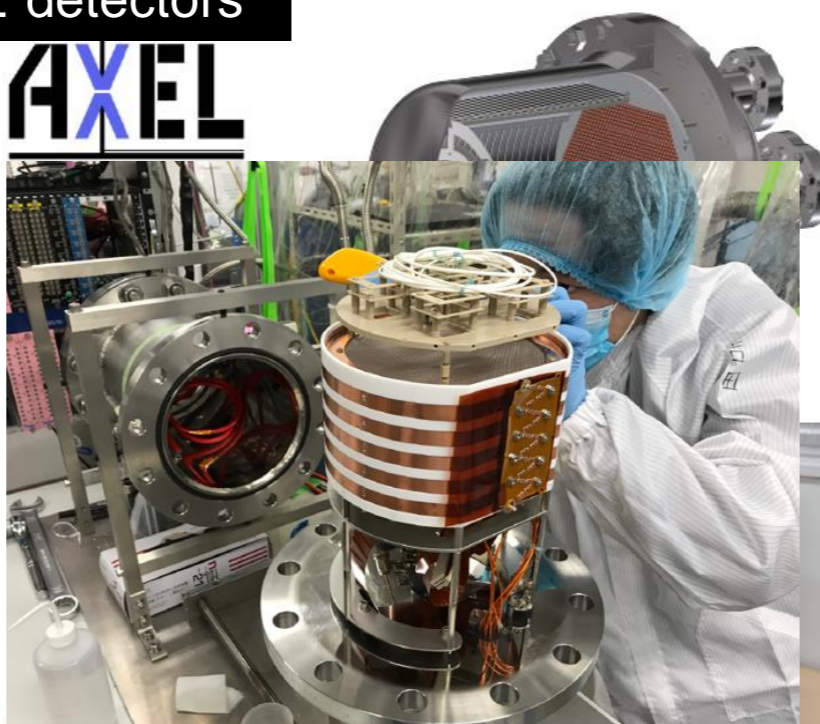
THIS TALK



- Ar 1atm
- GEM + μ PIC
- (10cm)³



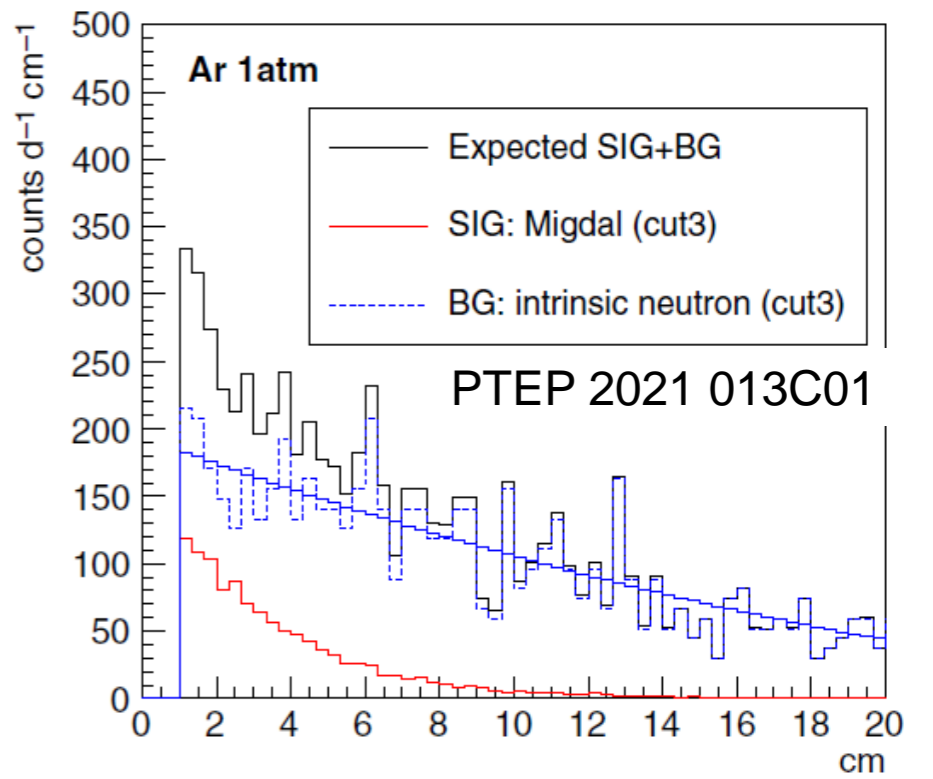
AXEL



Xe gas 8atm
ELCC+MPPC
16cm Φ × 10cm

NEXT TALK

expected signature (2-cluster distance)



• Miraclue 期待される事象数

Table 1. Typical values of parameters for estimating the Migdal effect. The branching ratios for $(n, l) = 1s$ and $q_e = 511$ eV are shown. Details on the event cut are described in Sect. 3.2.

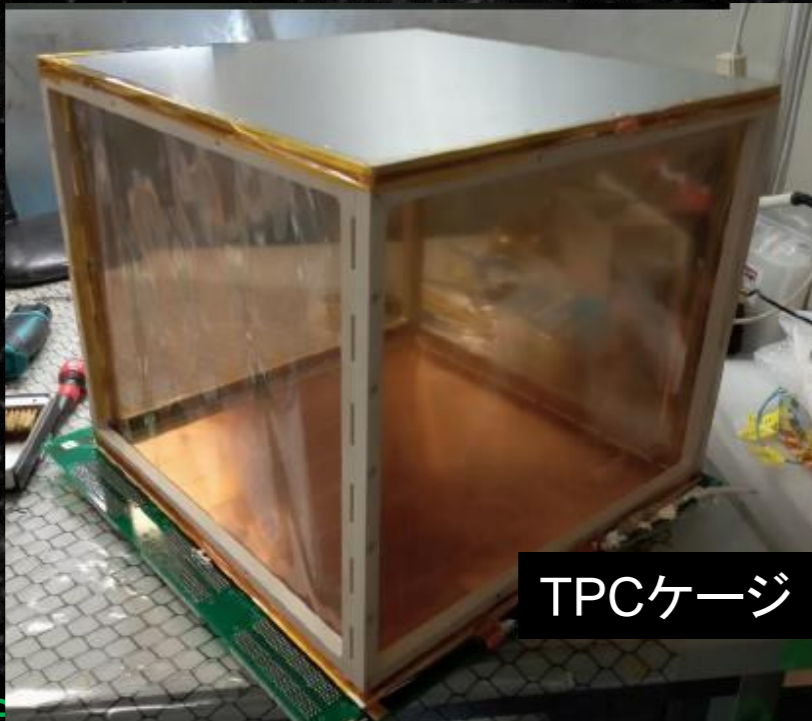
仮定
 $10^3 n \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

Target gas	Ar 1 atm (30 cm) ³	Xe 8 atm (30 cm) ³
Number of nuclei	7.26×10^{23}	5.81×10^{24}
Cross-section for 565 keV neutron	0.65 barn [24]	6.0 barn [24]
Migdal branching	7.2×10^{-5} [15]	4.6×10^{-6} [15]
Fluorescence yield (K shell)	0.14 [25]	0.89 [26]
Scaling factor $(q_e^{\text{max}}/511 \text{ eV})^2$	2.92 [15]	0.280 [15]
Event rate	603 events per day	975 events per day
Event rate (after cut 3)	344 events per day	361 events per day

Detector: KMArT (Kobe Miracle Argon TPC)

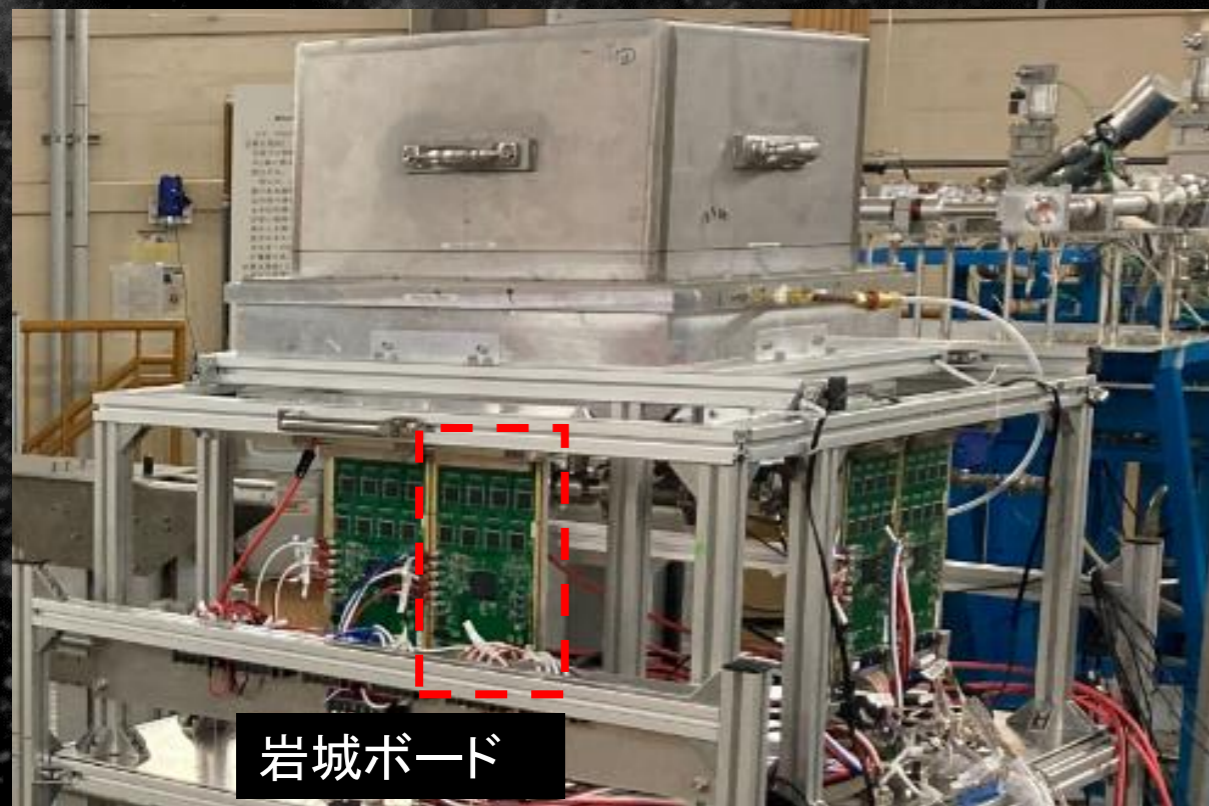
• Detector

- GEM + μ PIC readout $30 \times 30 \text{ cm}^2$: NEWAGE標準
- TPC by resistive sheet : 一様電場
- $100 \mu\text{m}$ EVOH シート 薄型「ベッセル」 : BG (散乱、 n, γ) 低減
- Ar+C₂H₆ 1気圧 (84:16 分圧) : 耐放電

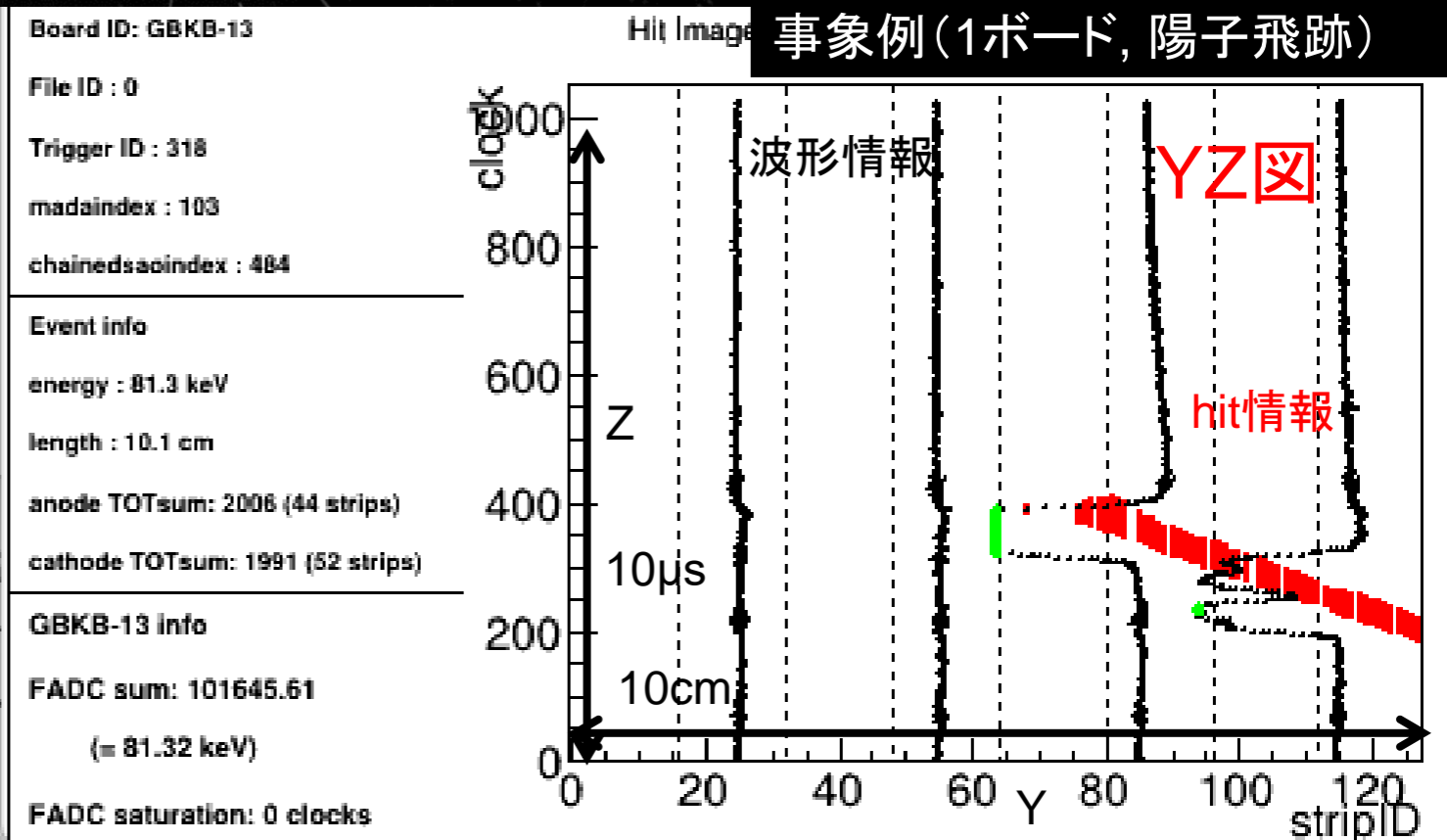


• DAQ

- SMILE実験用に開発された「岩城チップ」+「岩城ボード」
- 1ch/2 strip, 128ch/board
- hit情報 (TOF, TOT @ 100MHz) /ch
- 波形情報 (@ 100MHz) / 32ch
- 使用可能ボード X: 20cm分(256ch) + Y 10cm(128ch)



岩城ボード



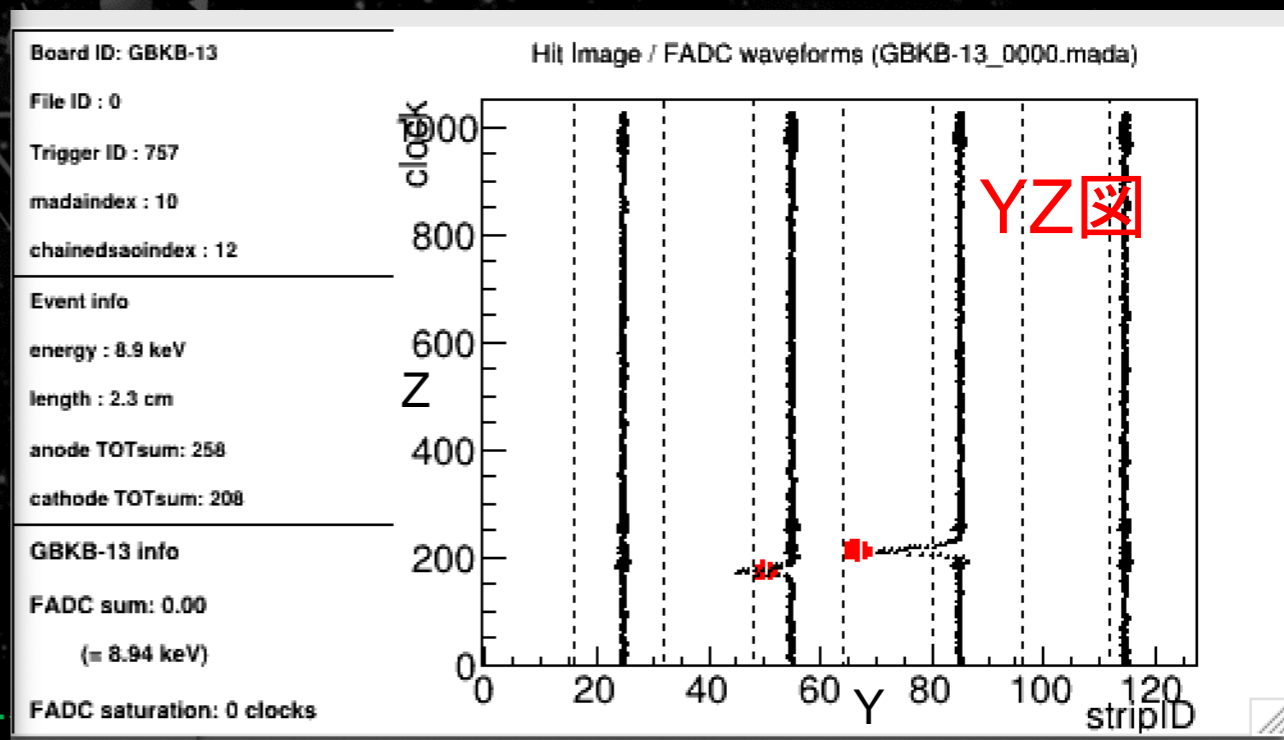
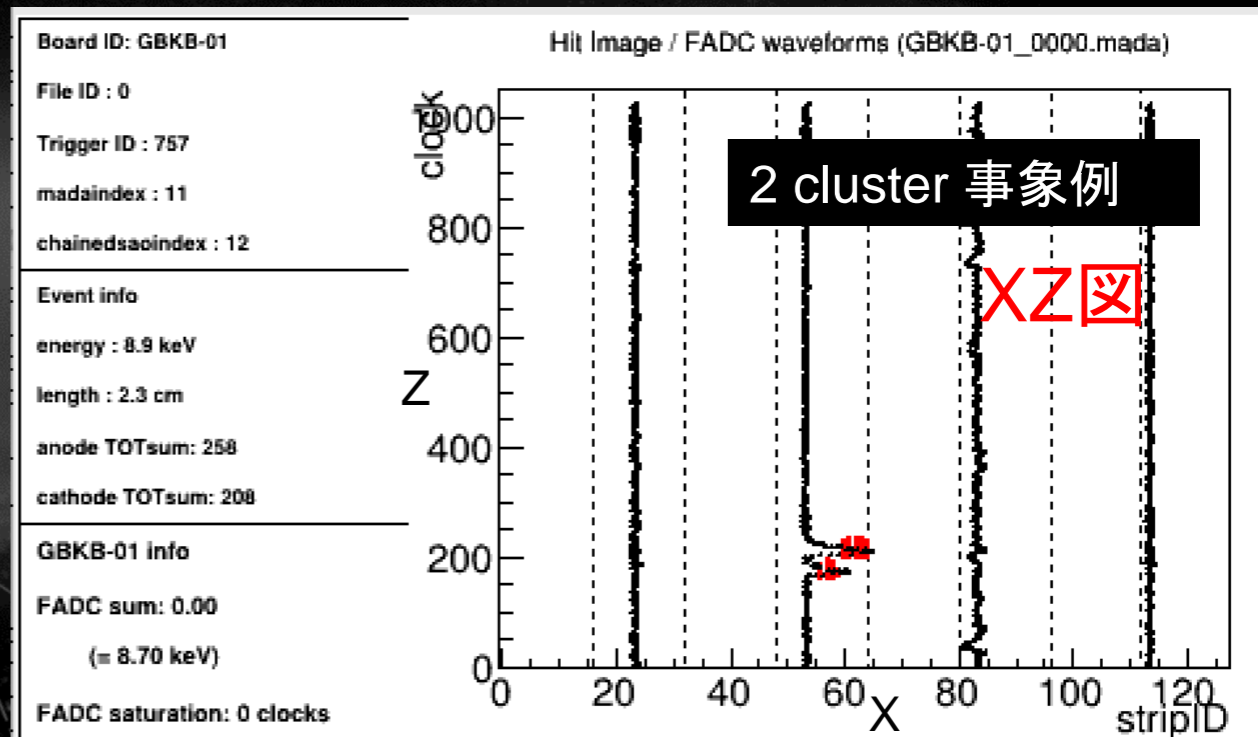
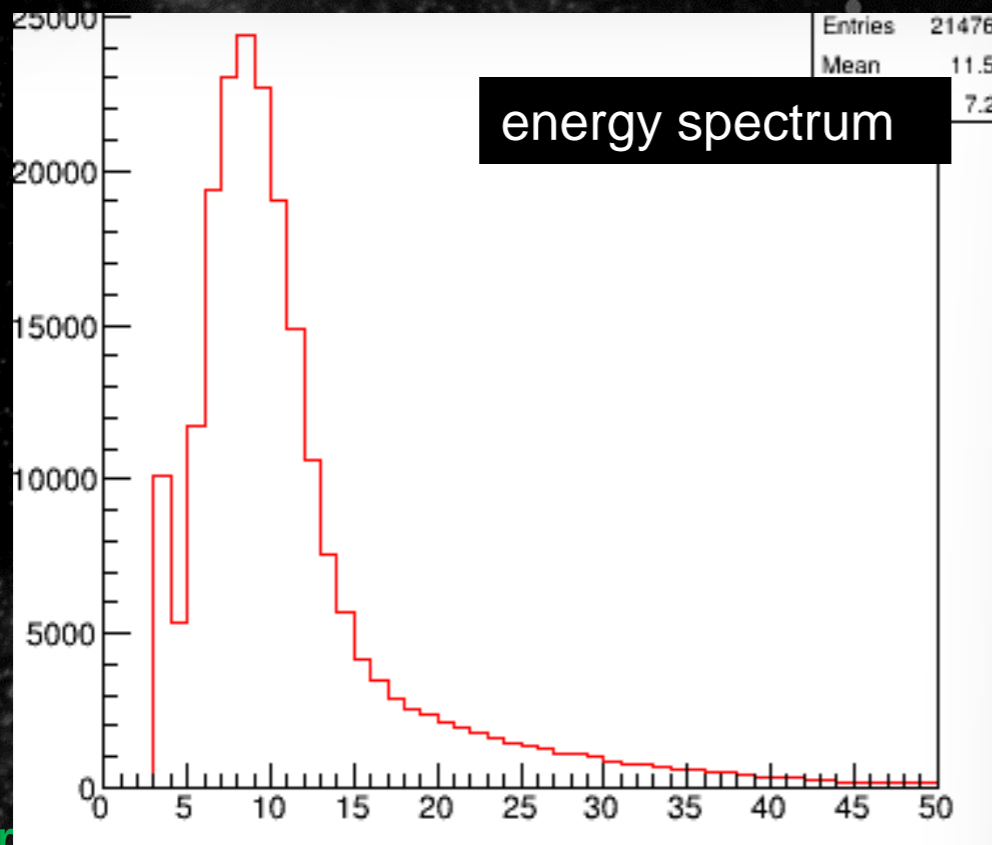
Performance

- 8keV X-rays (cool-X)
- energy calibration
- 2-cluster demonstration
- 5keV電子 + 3keV 電子 (Ar特性X線)

w/ 東大 細川氏

実際にはArを見たい

本番もこれを見る



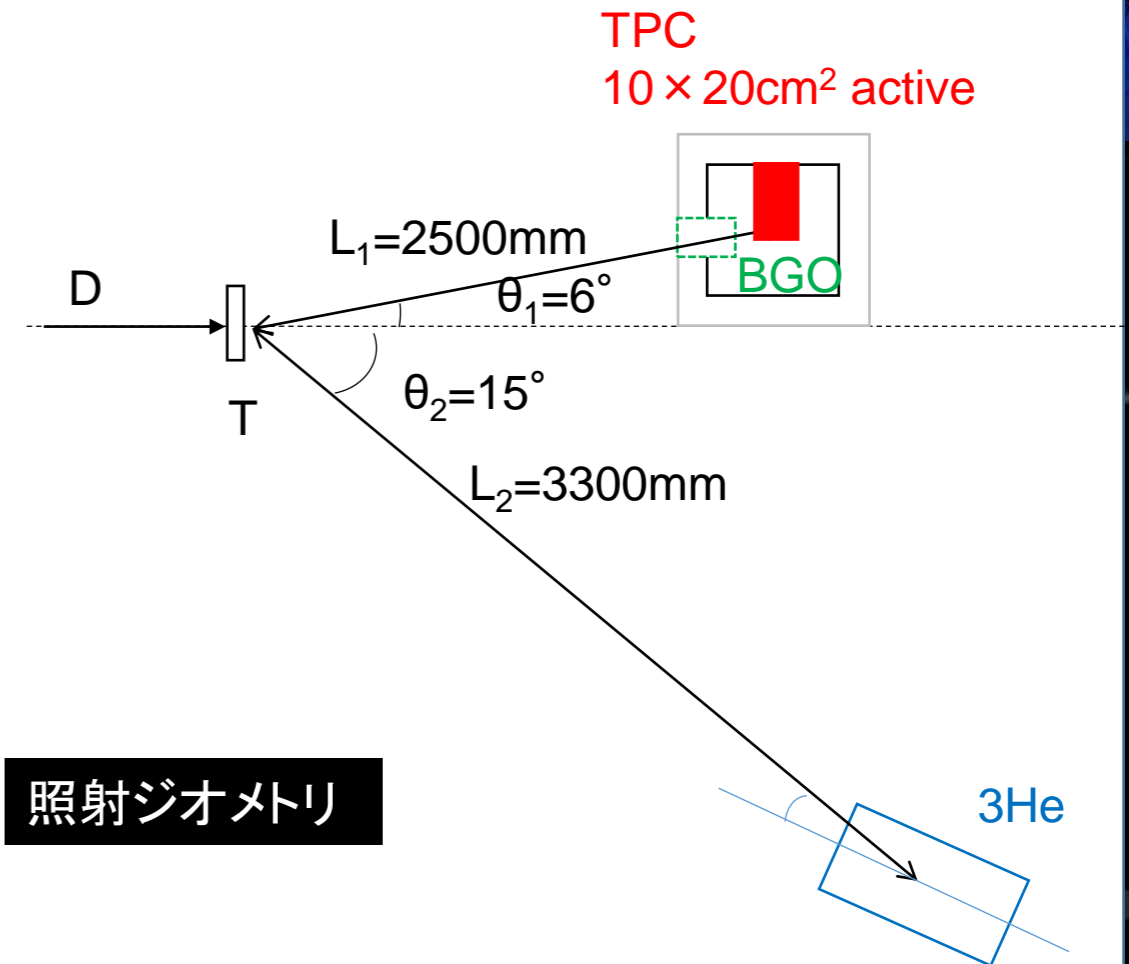
Beamtest 2024-01

• @産総研

- DT beam (中性子 14.8MeV)
- $1.25 \times 10^2 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- 2024年1月24日-25日
- Migdal用データ: $1.05 \times 10^4 \text{ sec}$
- 有感体積 $10 \times 20 \times 30 \text{ cm}^3$

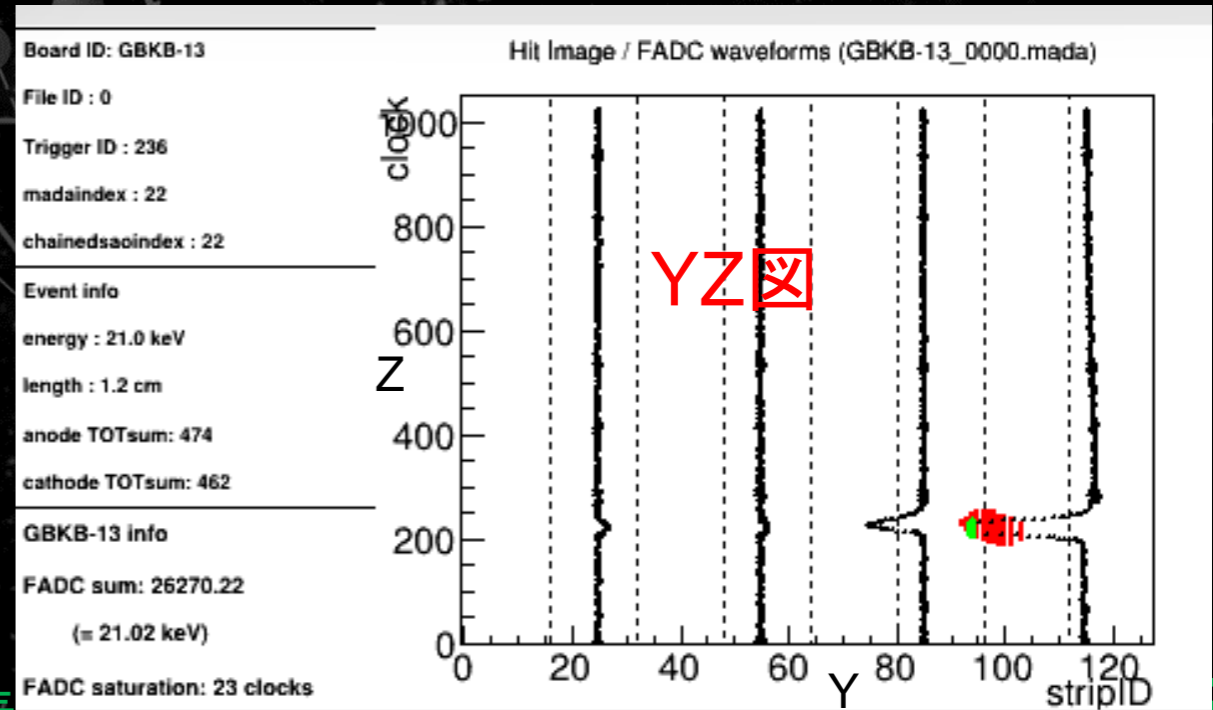
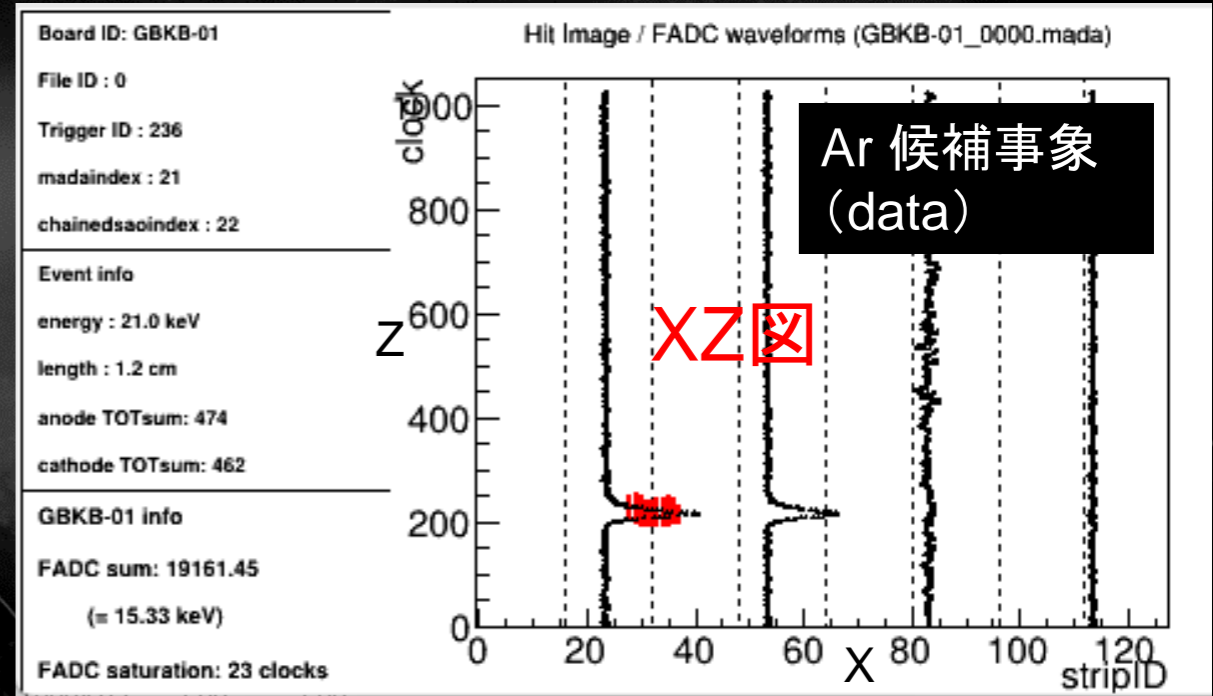
• 14.8MeV 中性子を使用

- 565keVを予定 → 加速器側の都合
- BG, 事象数ともに↑
- 反跳エネルギー↑ 見やすいがサチる



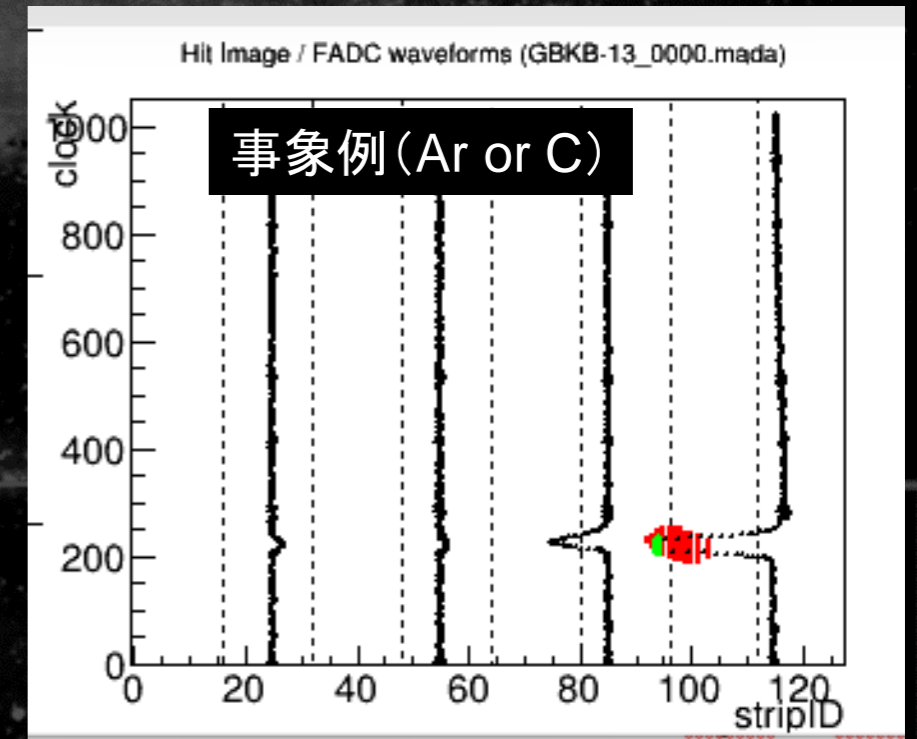
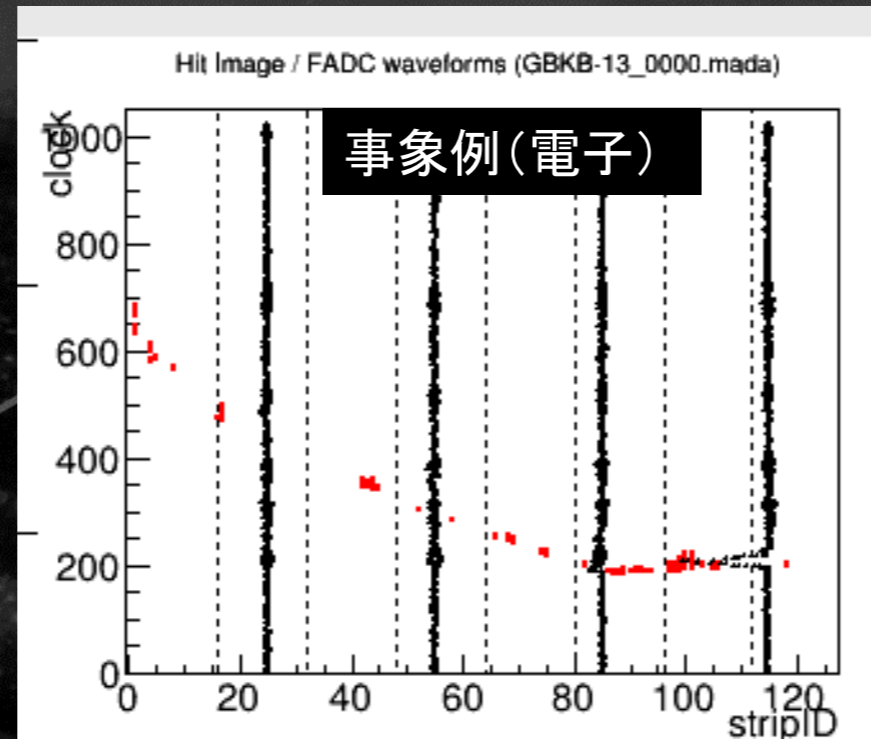
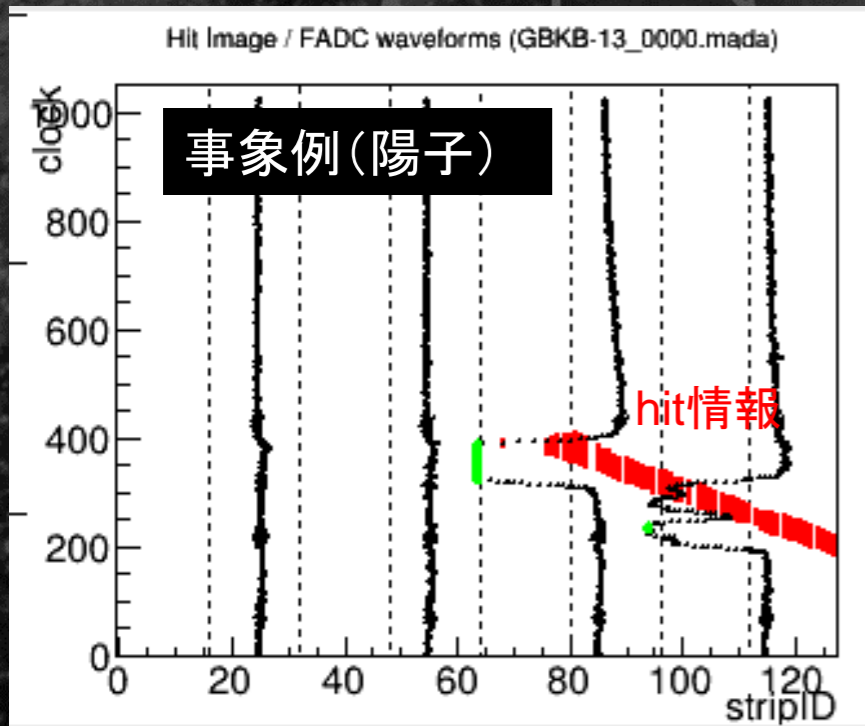
Beamtest データ

- 中性子照射量 $1.3 \times 10^6 \text{ n cm}^{-2}$
- Ar recoil expected : $\sim 5 \times 10^4$ 事象
 - Ar : C : H 反跳 $\sim 2:1:2$ 程度
- MIGADAL (2-cluster) expected : 40 events
- 総トリガー数 :
- 有効事象数 : $\sim 7 \times 10^5$ event

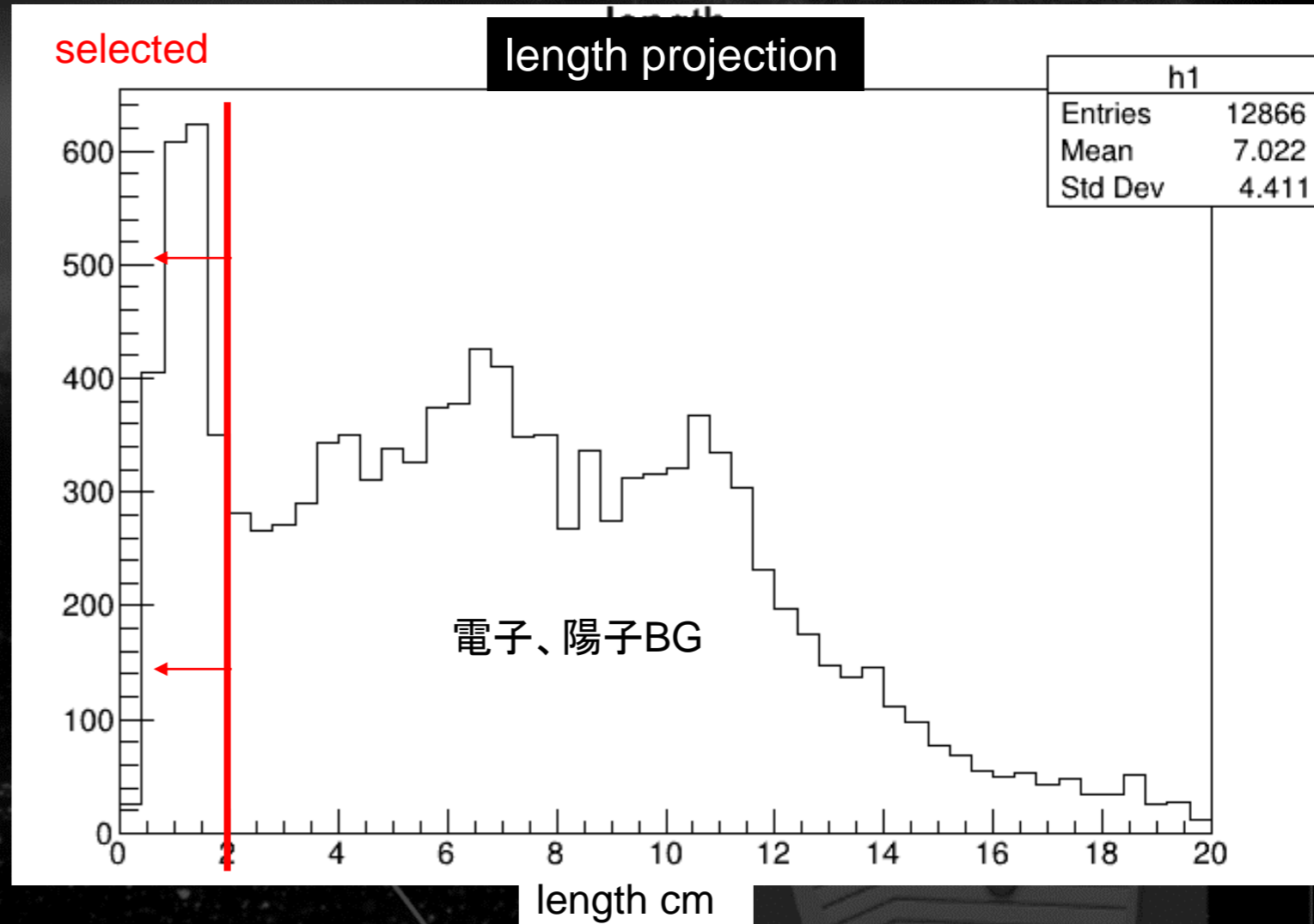
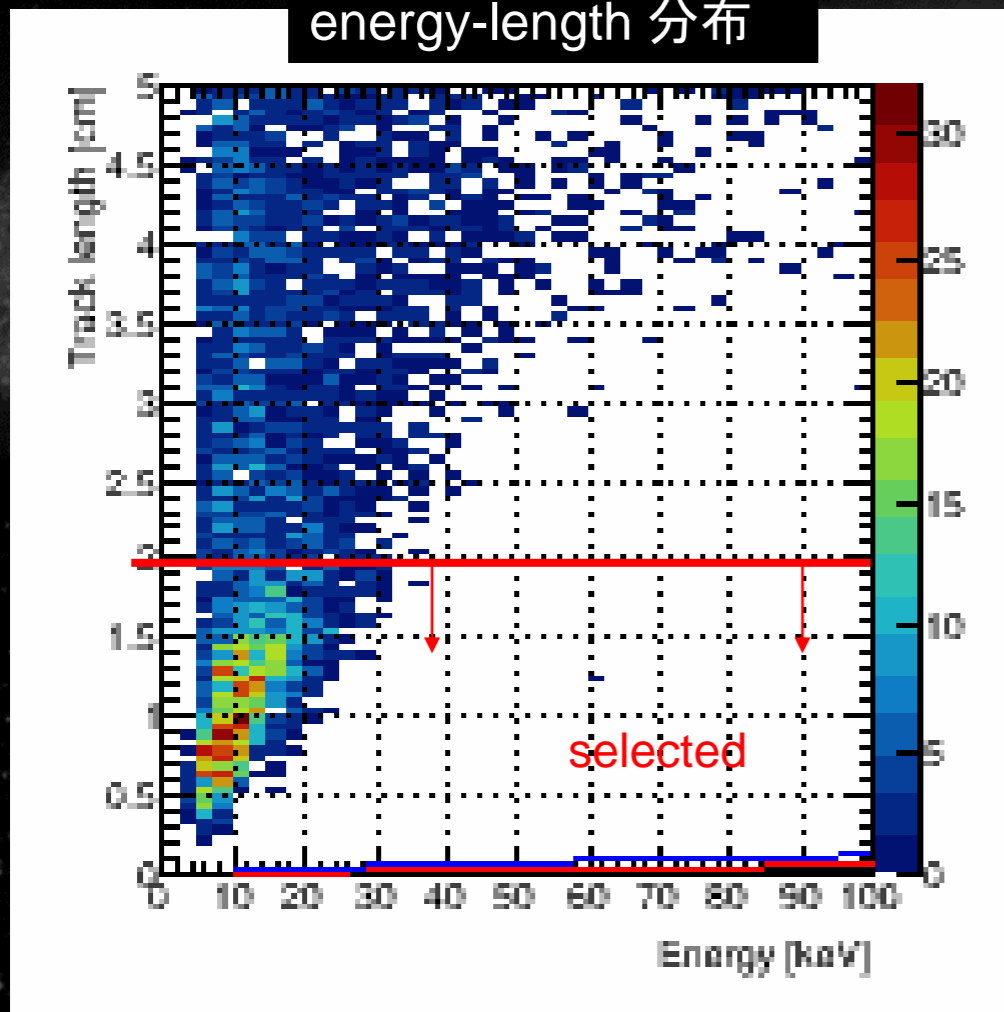


• Event selection

- BG: 陽子反跳、ガンマ線による電子飛跡
- 飛跡による事象選別



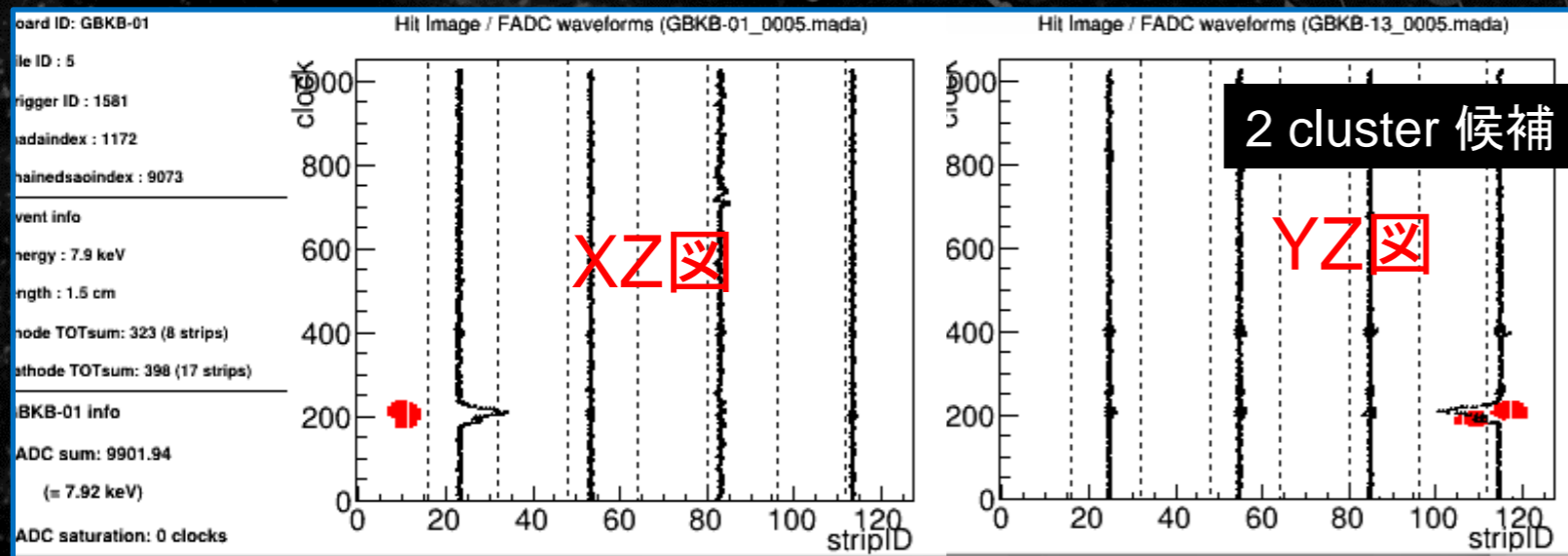
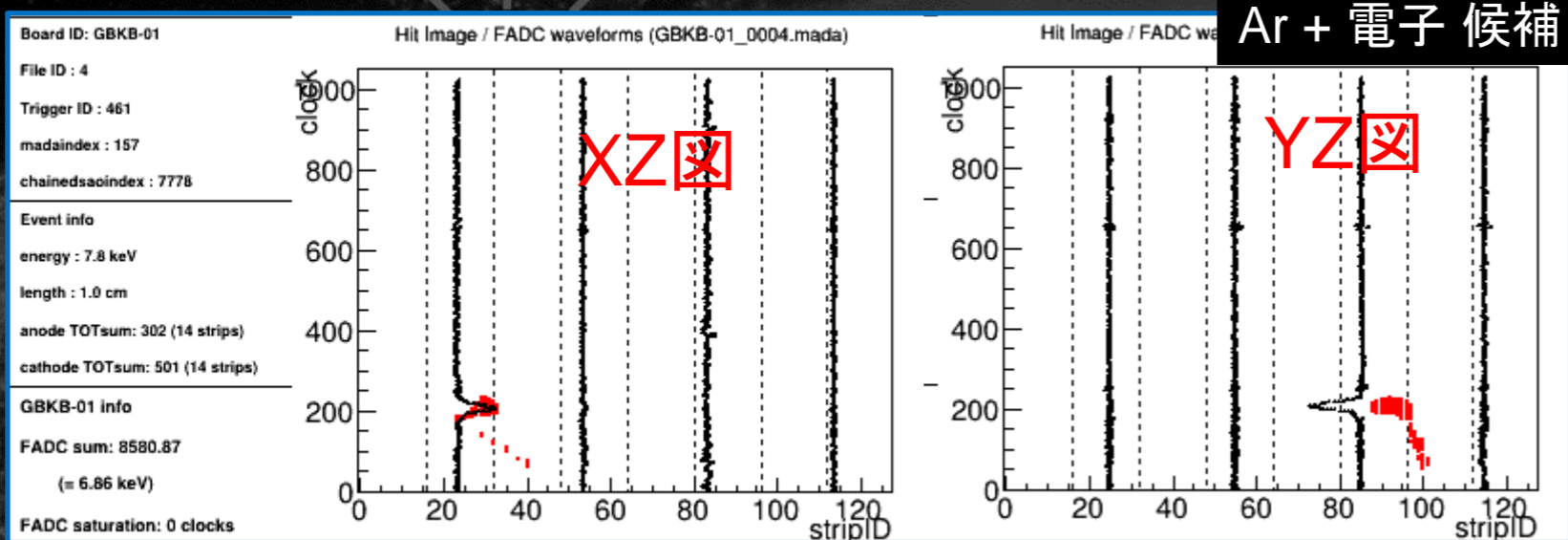
- 飛跡長 (length) によるselection (2cm以下を選択)



- Ar+C (+ 残存BG) 候補事象数: $\sim 1.1 \times 10^5$ event
(Ar+C 0.7×10^5 event expected)

さらなる事象選別のために：イベント目視

- Ar クラスタ+?? 事象の例 (実データ 2例)



今後の解析

- 多変数解析 (NEWAGE解析)
- クラスター解析 (c.f. 次トーク)
- 機械学習 (教師データ作成が課題)

展望・まとめ

• 展望

- 取得データの解析/simulationとの突合せ
- 回路追加
- 低エネルギー (565keV, 2MeV) でのデータ取得

• まとめ

- MIRACLUE
- KMArT $30 \times 30 \times 30 \text{cm}^3$ Ar-based detector
- 2024年中性子照射：MIGDAL 40 事象程度 expected、解析進行中

お楽しみに / 一緒にやりませんか？