

# 大きな電離損失をする 粒子の探索実験

---

2017/5/20

神戸大学 粒子物理学研究室

酒井 貴義

# 実験の背景, 動機

- ・ 既知の宇宙線の電荷は1もしくは0。  
ex ;  $\mu: \pm 1$   $\pi: \pm 1, 0$   $K: \pm 1, 0$   $p: +1$ 。  
⇒ 多電荷の宇宙線の探索は新粒子の発見につながる。

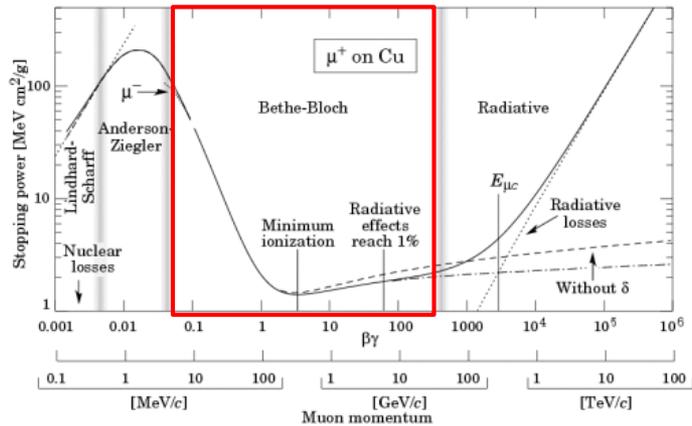
- ・ 荷電粒子が物質中を通過すると、  
電子との衝突により  
エネルギーを失い(電離損失),  
電荷が大きいほど損失は大きくなる。

- ・ 新粒子ではない宇宙線中の  
多電荷の粒子は光速に対し  
比較的速度が小さい。

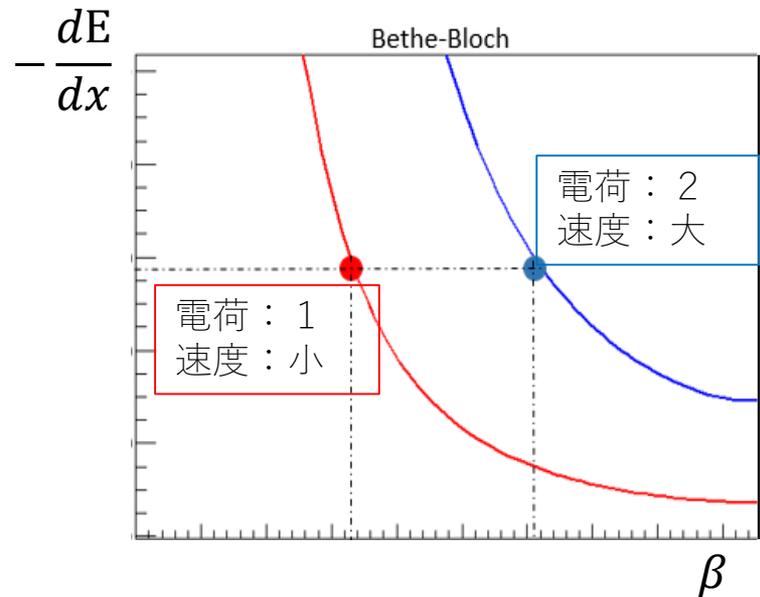
ex ;  $\alpha$  線, 鉄の原子核

比較的光速に近く  
エネルギー損失の  
大きい粒子は  
新粒子と判別できる。

# 実験の探索原理・目標



ミューオンの  $-\frac{dE}{dx}$  と運動量の関係



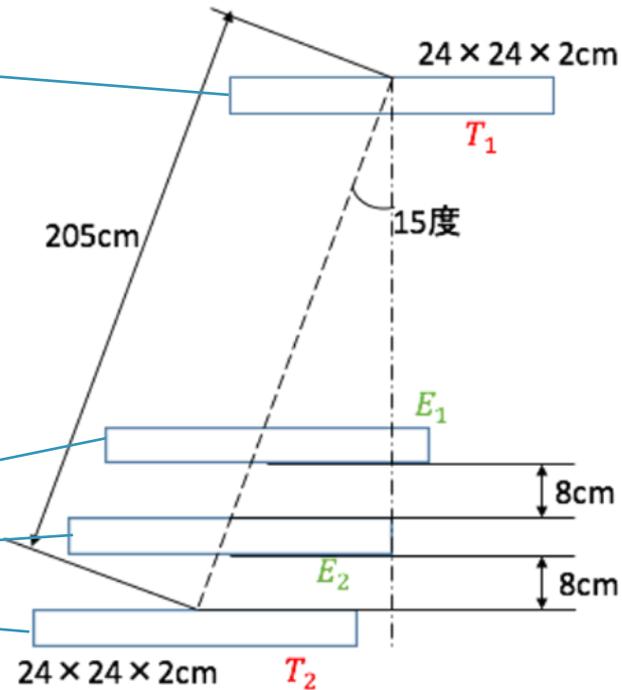
- 今回の対象の宇宙線の電離損失は Bethe-Bloch の式(1)に従う。

$$\left\langle -\frac{dE}{dx} \right\rangle = K Z^2 \frac{Z}{A} \frac{1}{2\beta^2} \left[ \ln \left( \frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2 T_{max}}{I^2} - \beta^2 - \frac{\beta\gamma}{2} \right) \right]$$

- エネルギー損失が同じ値でも、粒子の速度が同じとは限らない

⇒ 粒子探索装置の性能調査のため、光速に対して比較的速度が遅く、エネルギー損失の大きい粒子があるか調べた。

# 装置全体のセットアップ



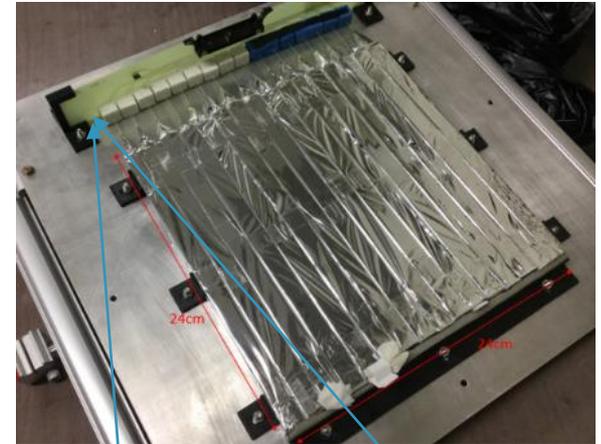
シンチレータの配置

実験装置の全体図

$\left[ \begin{array}{l} T_1, T_2 : \text{TOF測定用シンチ} \quad 24 \times 24 \times 2^t [\text{cm}] \\ E_1, E_2 : \text{エネルギー損失測定用シンチ} \end{array} \right.$

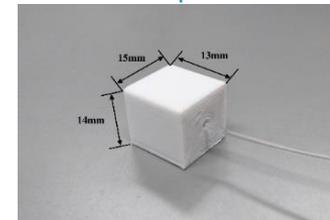
# 実験装置(電離損失測定)

- ファイバー読み出しシンチレータ :  
棒状シンチレータ( $24 \times 1.5 \times 1.4^t$ [cm])に  
波長変換ファイバーを差し込み,  
反射材で包んだものを16本並べた。  
⇒1シンチとみれば $24 \times 24 \times 1.5^t$ [cm]



ファイバー型シンチレータ

- 先端部分は1mm角MPPCと接続しており,  
シンチレータとMPPCの接続部分を  
補強するため, コネクタを作成した。



コネクタ

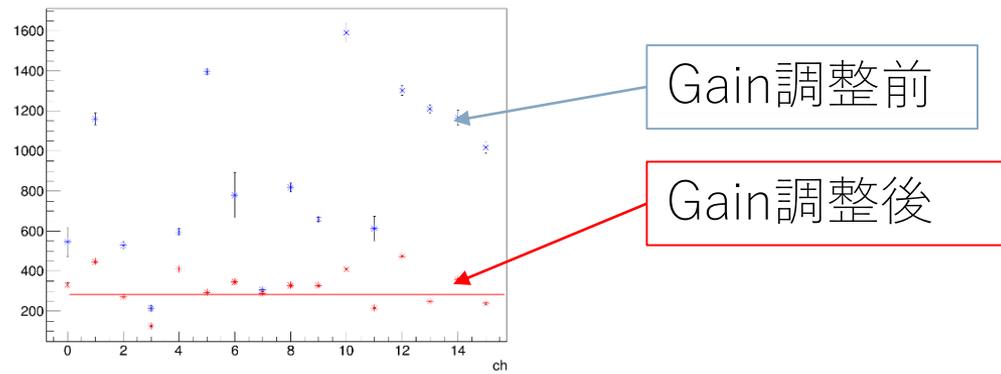
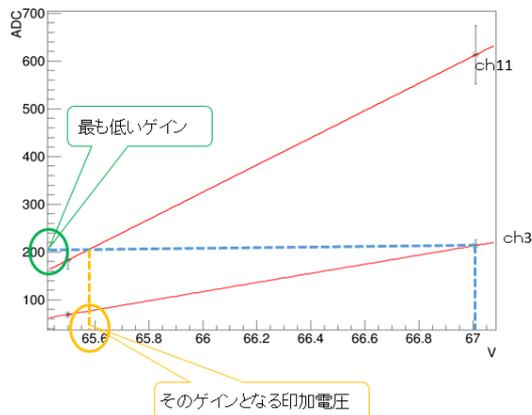
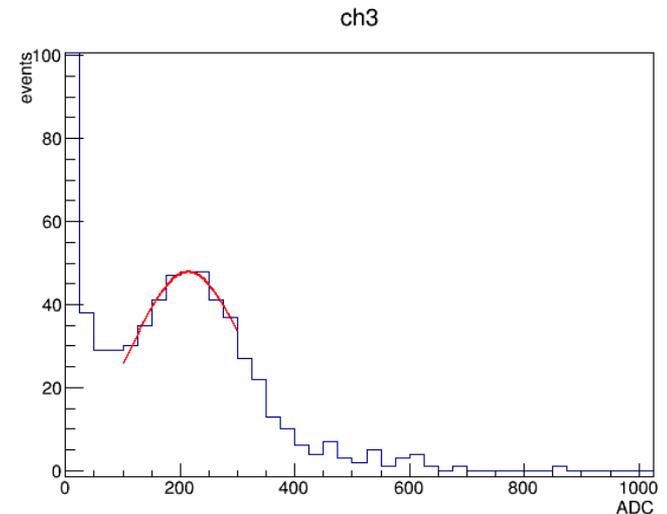


1mm角MPPC

- MPPC :  
多数のAPD ピクセルが受光面に並んだ,  
入射光が微弱な時に優れた感度を持つ半導体検出器

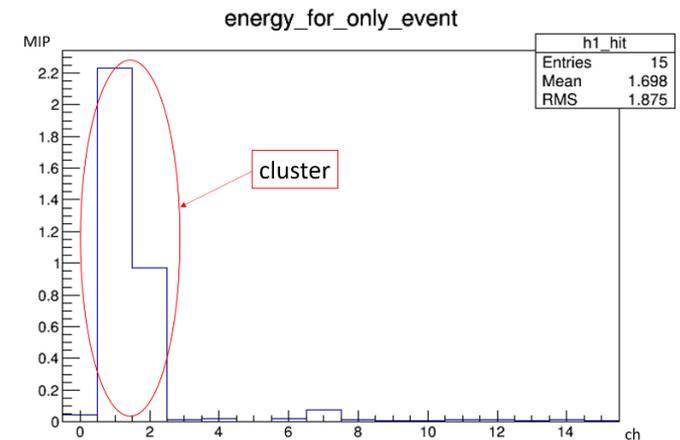
# Gain調整

- 各チャンネルのGainを調整するため、宇宙線を用いてMIPピークを測定。
- 各MPPCの動作電圧に差があるため、MIPピークがバラバラであった。  
⇒各チャンネルのGain Curveを作成し各MPPCにかかる電圧を調整し、Gainが最も低いチャンネルに揃えた。
- 200ADCカウントを1 MIPとした。



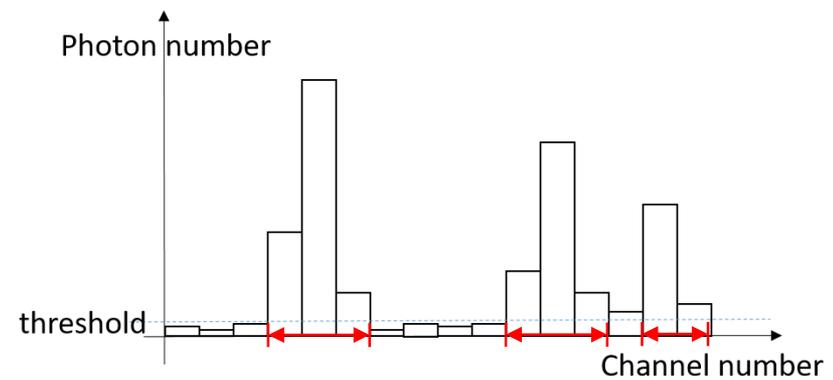
# クラスタアルゴリズム

- 複数のチャンネルにわたって信号が現われる。  
宇宙線が斜めに入射して、  
複数のシンチを通過するのが原因。  
⇒各クラスタを区別し積分する  
クラスタアルゴリズムが必要。



各チャンネルのエネルギー損失

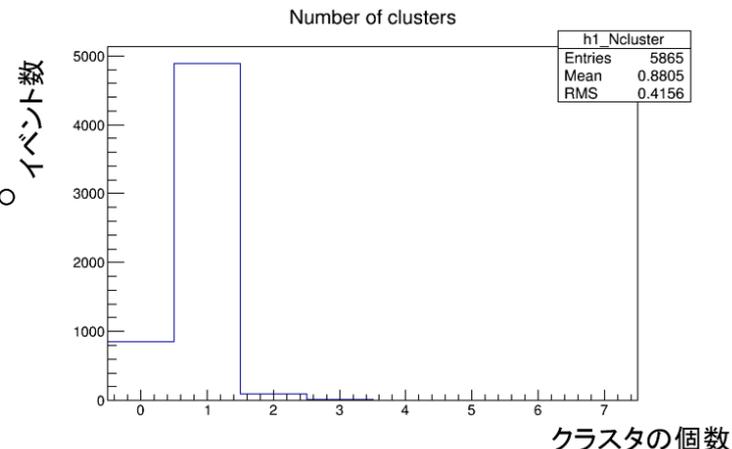
- Threshold以下のチャンネルは無視。  
ThresholdはADC値で30とした。  
ゼロもしくは谷の部分で  
チャンネルを区切る。  
谷のエネルギーはゼロし、  
区切られた領域で積分した。



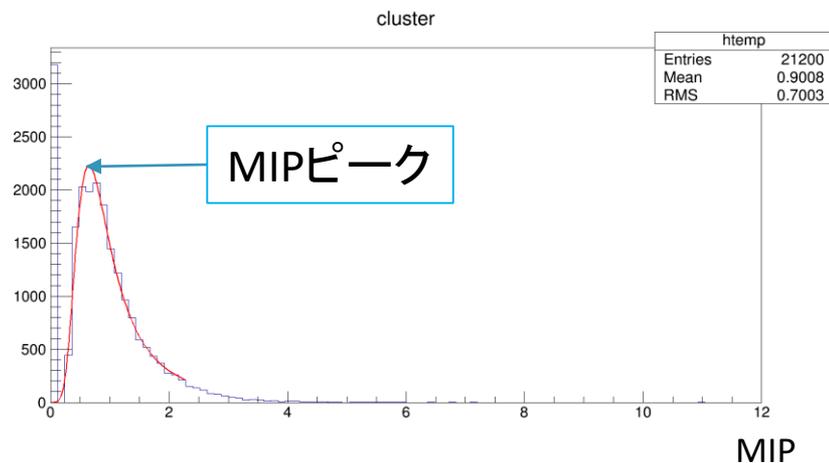
クラスタアルゴリズムの仕組み

# クラスタの個数と電離損失

- クラスタが2個以上のイベントは、1個のイベントの約2%程度であった。  
← 上下のトリガーシンチレータを2つの別の粒子が通ったイベント。



- クラスタ1個当たりのエネルギー損失は右下図。横軸はMIP単位で1MIP付近をランダウフィットするとピーク値は  $0.90 \pm 0.15$  であり、ほぼ1 MIPに規格化されている。



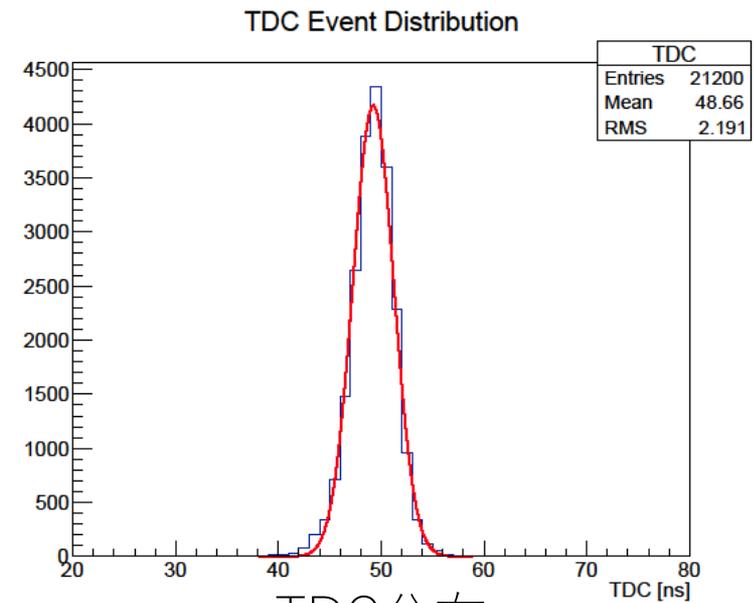
# TOF測定

- TOF測定用のシンチレータとして、2つのプラスチックシンチレータ( $24 \times 24 \times 2^t [cm]$ )を使用。
- 右図はTOFのイベント数分布。  
Gaussian Fit より標準偏差は  $\sigma = 2.2$

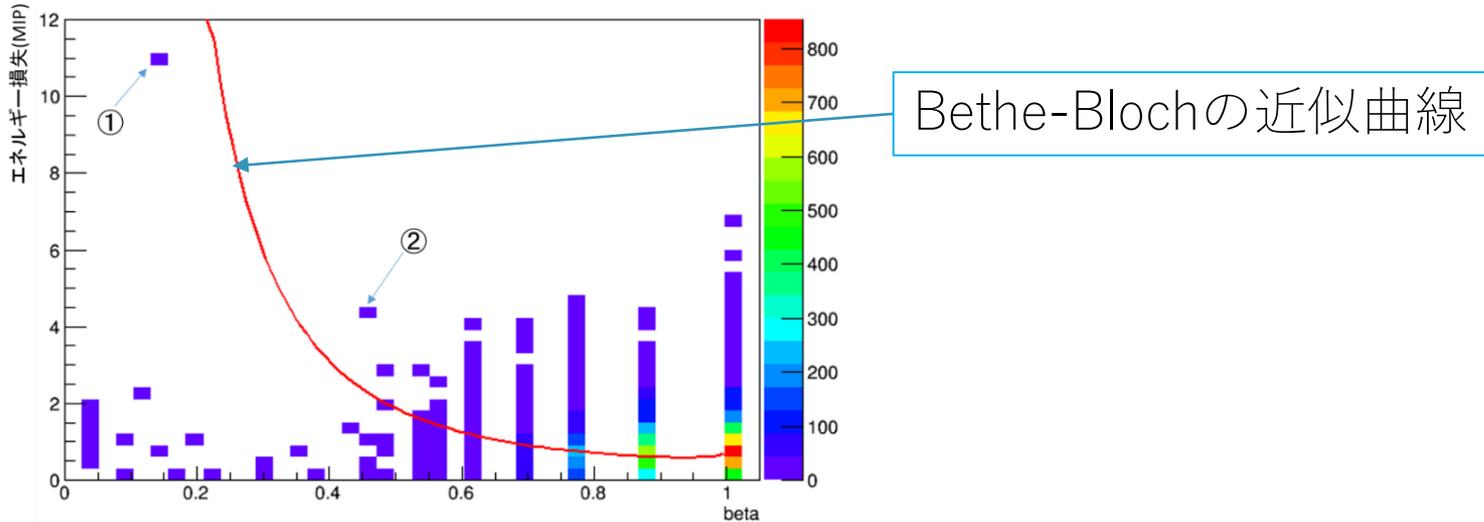
- 粒子の速度を $v$ ，光速 $c$ とすると，今回の実験のTOF測定では

$$\beta = \frac{v\sigma}{c} = \frac{2.05[m]}{3 \times 10^8 [m/s]} \frac{6.8 + 2.2 [ns]}{2.05 [m]} = 0.76$$

より， $\beta > 0.8$ の速度では光速との判別ができない。



# 実験結果



粒子の速度とクラスターのエネルギーの相関

- ①と②のイベントが比較的速度が遅く、エネルギー損失の大きいイベントである。  
⇒1層のシンチレータではその宇宙線のエネルギー損失が真に大きいのか判断できない。  
⇒もう1つのエネルギー損失測定用のシンチレータを動作させる必要があった。

# 実験のまとめ

---

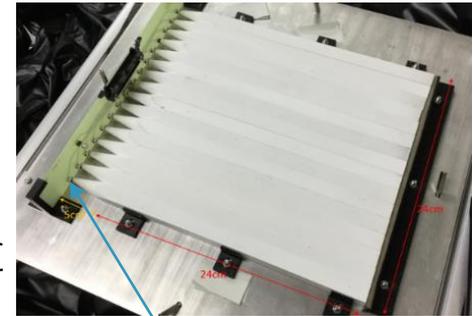
- エネルギー損失測定のために、  
ファイバー読み出しシンチレータを製作した。  
ファイバー読み出しシンチレータのゲイン調整を行った。
- TOF の測定にプラスチックシンチレータを2枚導入した。  
その時間差を調べることでTOF を求めた。
- クラスタアルゴリズムを開発した。  
各イベントのエネルギー損失の1次元ヒストグラムを作成した。  
その分布はlandau で説明できる。
- 速度とエネルギー損失の相関を調べた。  
速度が小さくエネルギー損失の大きいイベントはあったが、  
ファイバー読み出しシンチレータ1層では不十分であった。

Back up

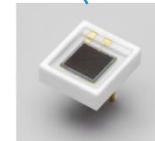
---

# 実験装置(電離損失測定)

- 直付け型シンチレータ：  
先端に円錐状のライトガイドを取り付け  
光漏れのないよう白色の反射塗料を塗った  
棒状シンチレータを16本並べた。
- 先端部と3mm MPPCは直接接している。  
今回はGein調整がよくなかったため、  
解析では使用していない。



直付け型シンチレータ



3mm MPPC

# 実験装置(TOF測定)

- 宇宙線信号の時間差を読み取るために、2つのプラスチックシンチレータをBRoaD IIIというモジュールに接続した。このモジュールは1nsの時間分解能を持つ。



上部のシンチレータ

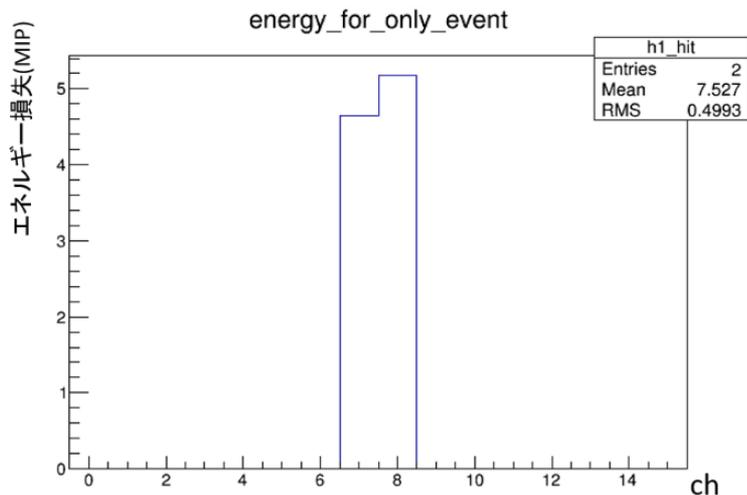


下部のシンチレータ

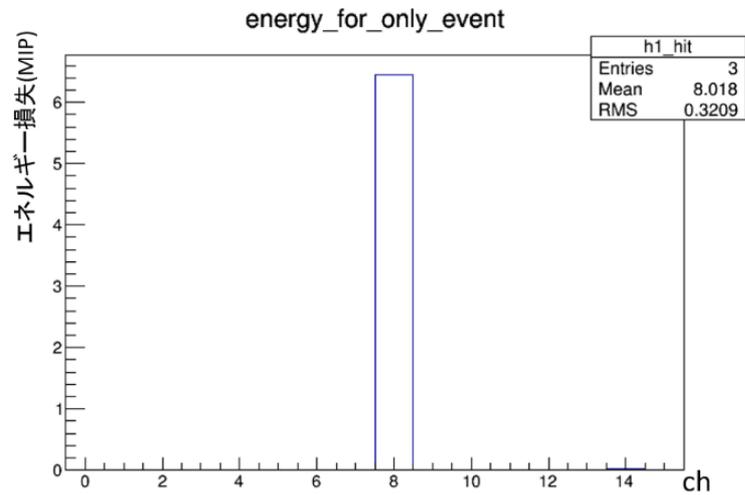


BRoaD III

# 実験結果



①のイベントディスプレイ



②のイベントディスプレイ

- ・ これらは速度が小さく、エネルギー損失の大きいイベントである。