

# **sPHENIX-INTT検出器を用いた ビームバックグラウンドの研究**

**A study of the beam background  
with sPHENIX-INTT detector**

**指導教員：村田次郎、中川格  
学籍番号：23LA008Z**

**加藤 智也**

# DATA condition

---

- Run23,24で測定されたAu+Auとp+pの測定データを使用した。
- Run23 Au+Auは55万 event、 MBD N & S  $\geq 1$ 、 磁場なし
- Run23 p+pは150万event、 MBD N & S  $\geq 1$
- Run24 Au+Auは36万event、 MBD N & S  $\geq 1$ 、 磁場なし
- Cutとして、 INTT内で一般的にトリガータイミング、 Hot channel Cut(total channelの4%-5%)

# DATA condition

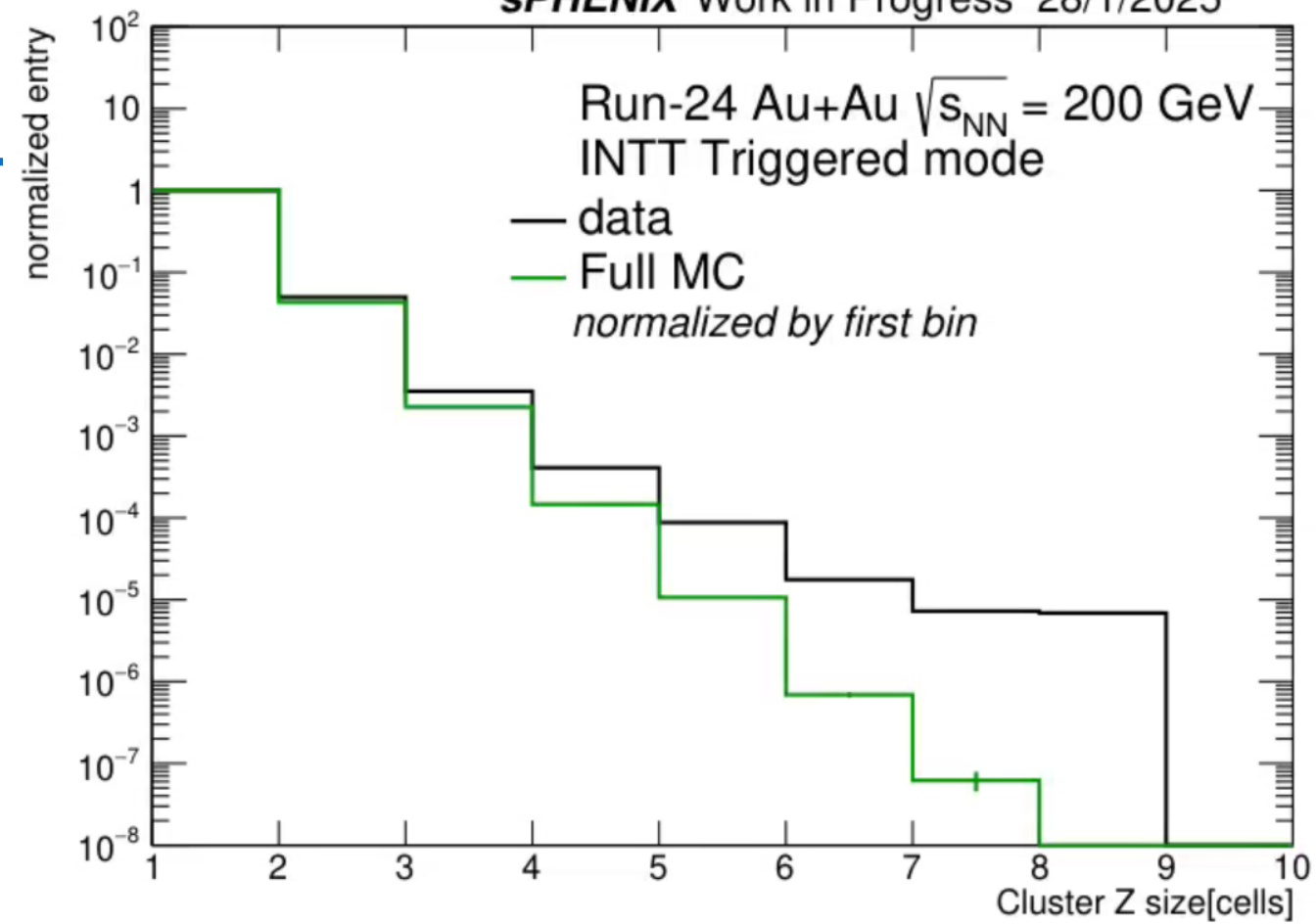
---

① Run54280 360k event by Cheng-Wei

- Run24 Au+Au, MBD N & S  $\geq 1$ , no magnetic filed
- bco cut and Hot channel Cut(total channel's 4%-5%) was applied.

② MC by Cheng-Wei

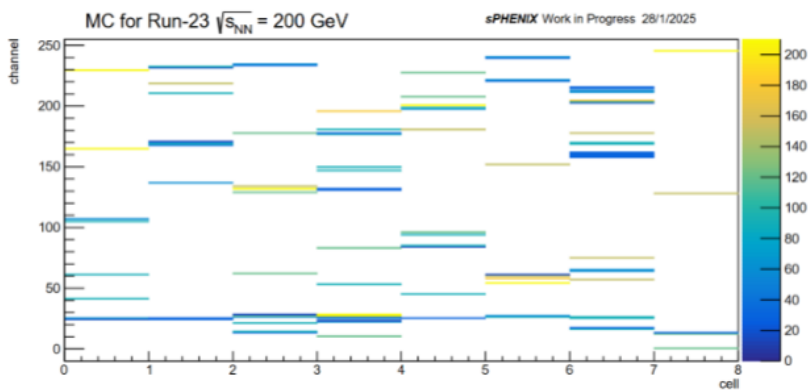
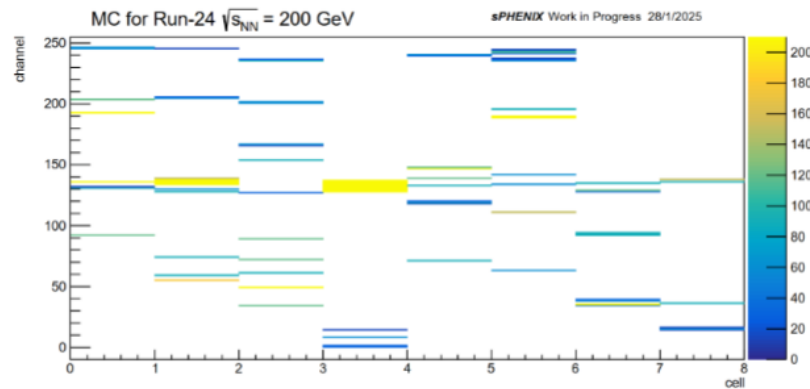
- Tuned for Run54280.



# Hit map

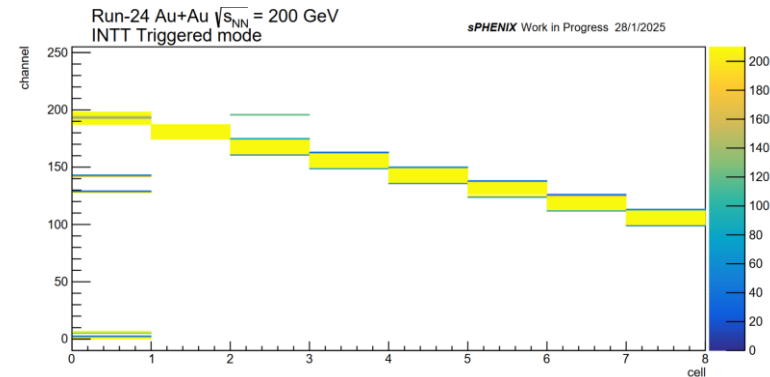
- Hit map of Type-A that Cluster z size=8 was observed by.

MC

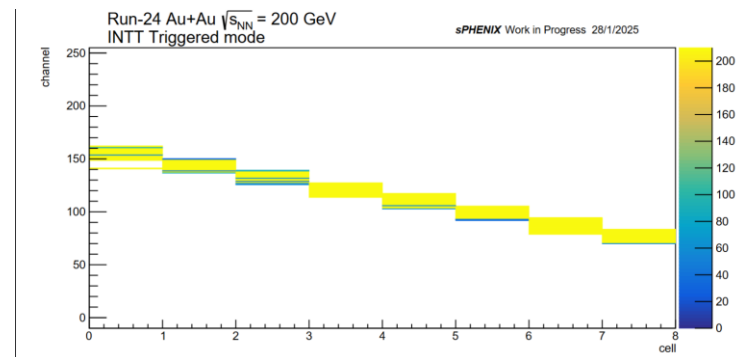


$\Phi(\text{channel})$  向

Z(cell) 方向



data



# タイトル

---

- あ

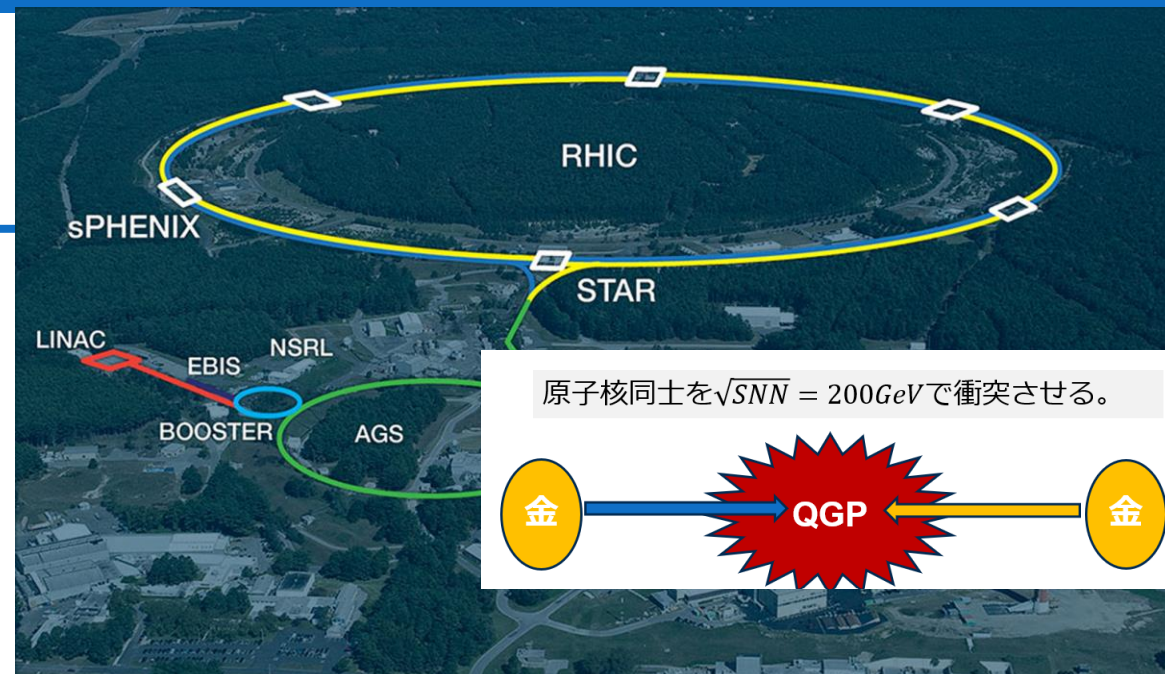
# 背景

---

# 研究背景：sPHENIX実験

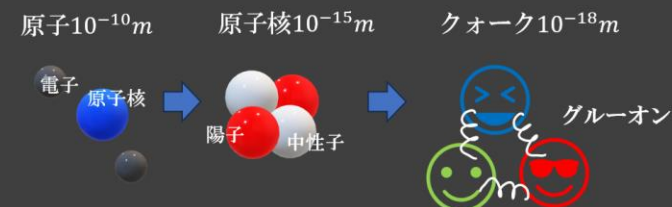
- 概要：米国ブルックヘブン国立研究所 (BNL) にある重イオン衝突型加速器 RHICを用いた実験
- 目的：衝突によって発生した粒子を測定し、クォーク・グルーオン・プラズマの性質の解明

	衝突核子	核子あたりのエネルギー
23年(試運転)	金原子核 + 金原子核 衝突	200GeV
24年	陽子 + 陽子 衝突	200GeV
24年	金原子核 + 金原子核 衝突	200GeV



## 1 クォーク・グルーオン・プラズマ(QGP)とは？

通常



クォーク同士はグルーオンによって結び付いている。

宇宙誕生



0.000001s後の世界



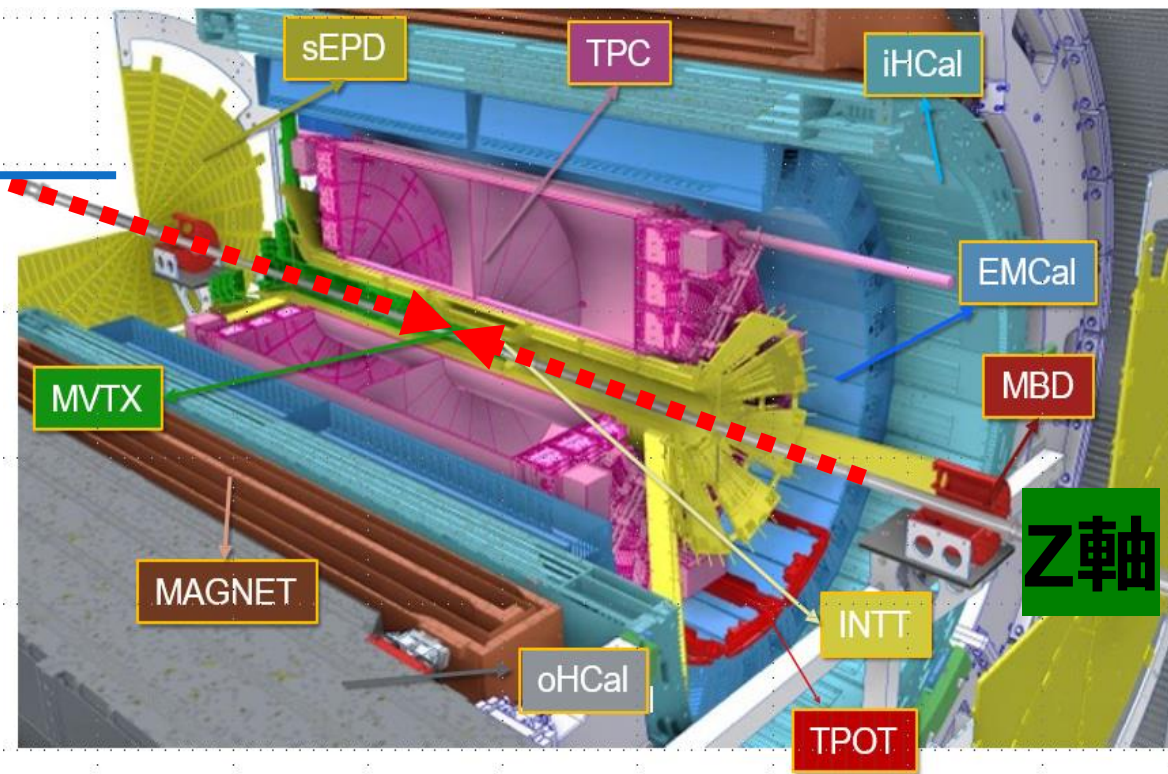
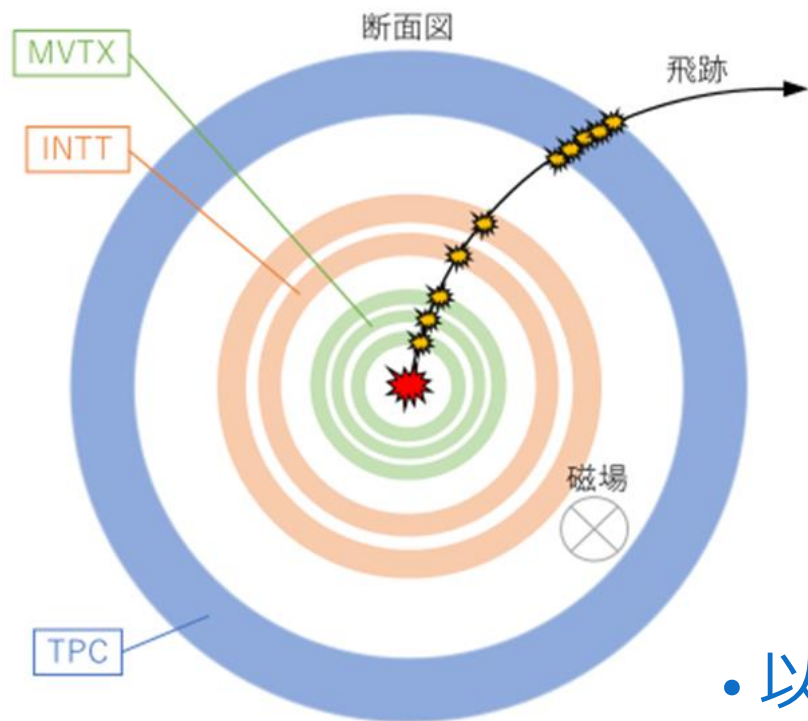
クォークとグルーオンがバラバラ (プラズマ状態)

→クォーク・グルーオン・プラズマ状態(QGP)

温度：2兆度

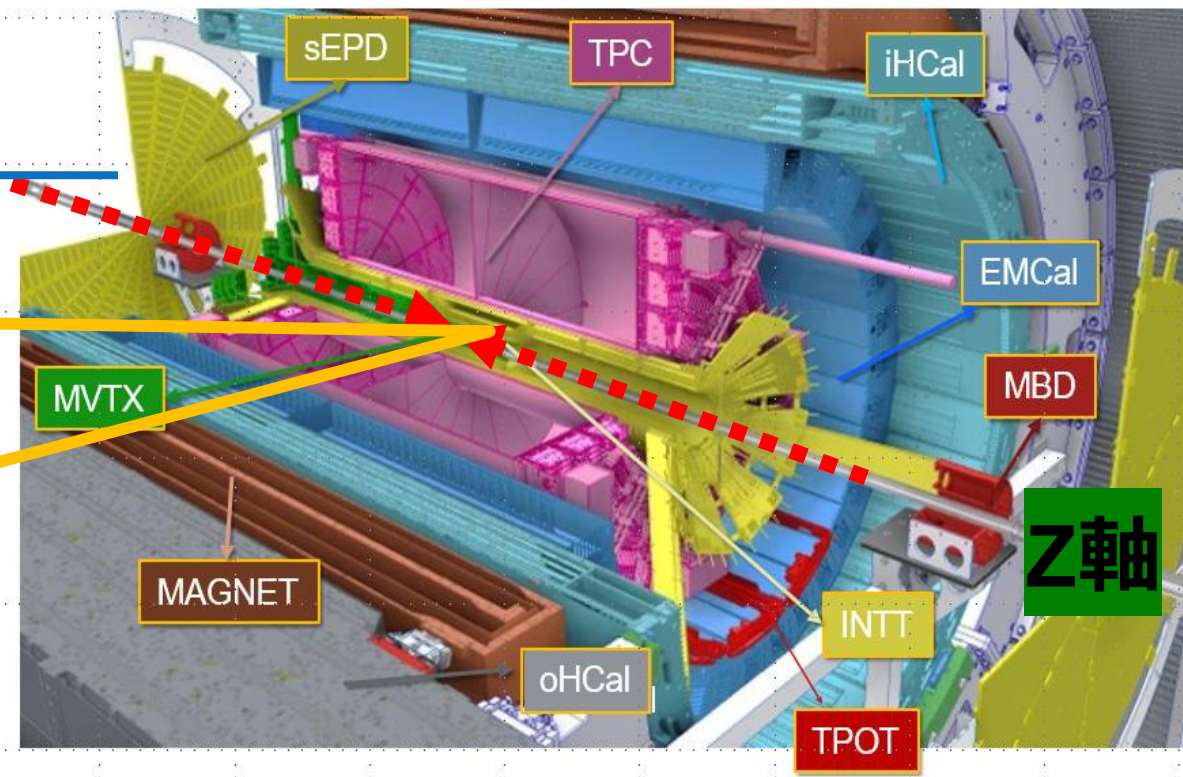
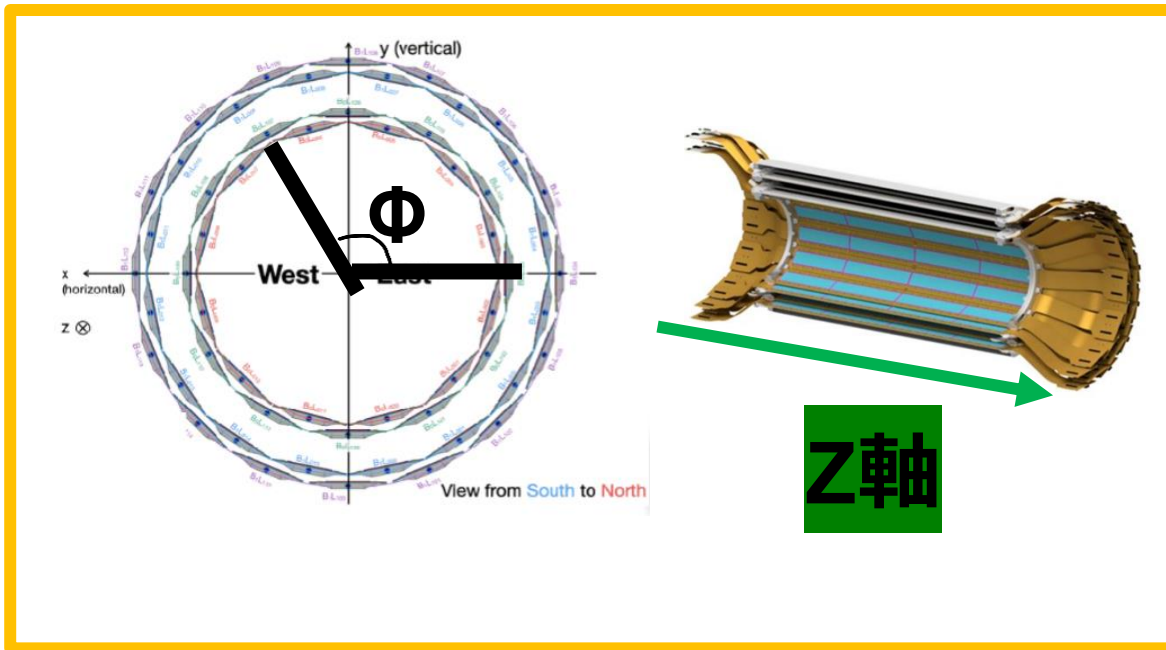


# sPHENIX検出器



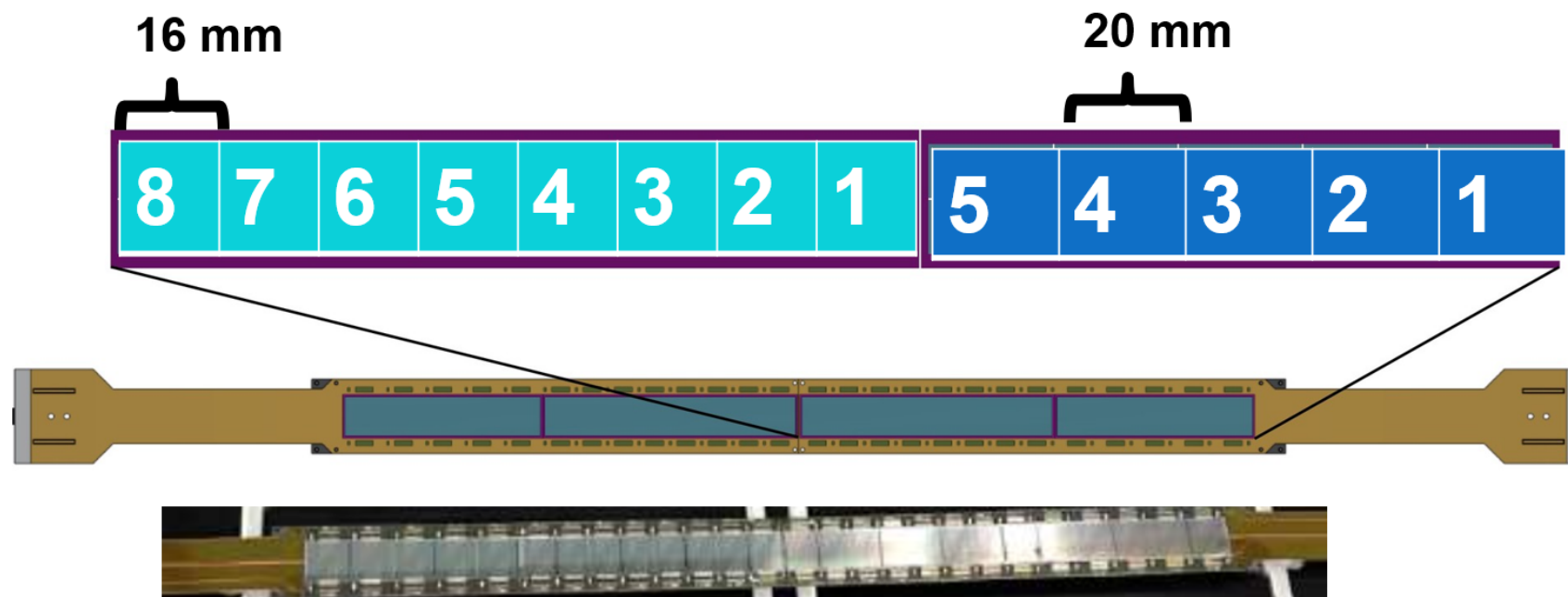
- 以下の3つの検出器から、粒子の飛跡を検出している。
- Time Projection Chamber (TPC)  $30 < r < 78$  cm
- Intermediate Silicon Tracker (INTT)  $7 < r < 12$  cm
- MAPS-based micro-Vertex Detector (MVTX)  $2.3 < r < 3.9$  cm

# 中間シリコン検出器INTT



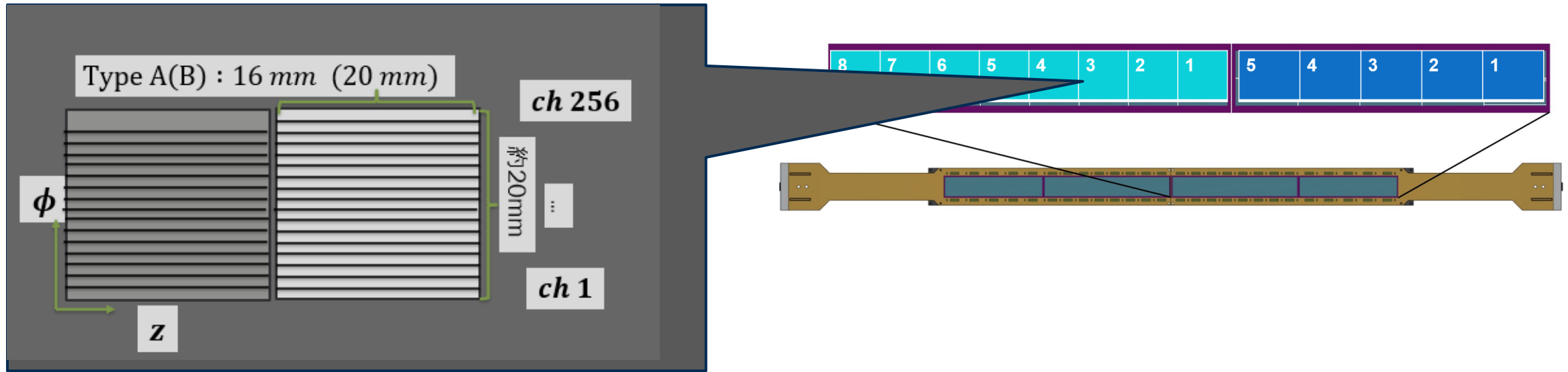
- ・ 2層のバレル構造をもつストリップ型シリコン検出器
- ・ ビーム軸から7-12cmに位置し、中心衝突点から $\pm 23\text{cm}$ 、全方位角を覆う
- ・ sPHENIXの飛跡検出器の中で、唯一時間情報から衝突事象の識別ができる。

# INTTのシリコンラダー



センサータイプ	Type A	Type B
セル個数	8 個	5 個
1セルの横幅	16 mm	20 mm

# INTTのセル

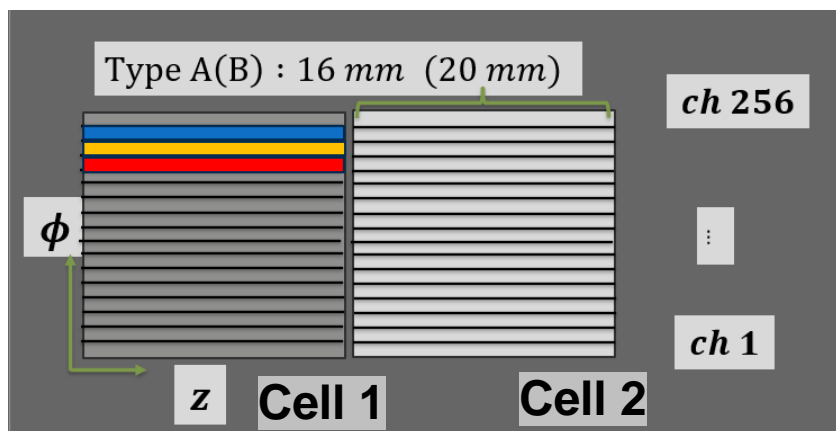


- 1つのCellは $\phi$ 方向に256本のsilicon stripを持つ。
- 一本のstripは78  $\mu\text{m}$ 。
- チャージ シェアリング(電荷が隣のstripに漏れる現象)半径は数  $\mu\text{m}$ 。  
→ 1つの粒子がチャージ シェアリングによって複数stripにHitを与えることは無い。



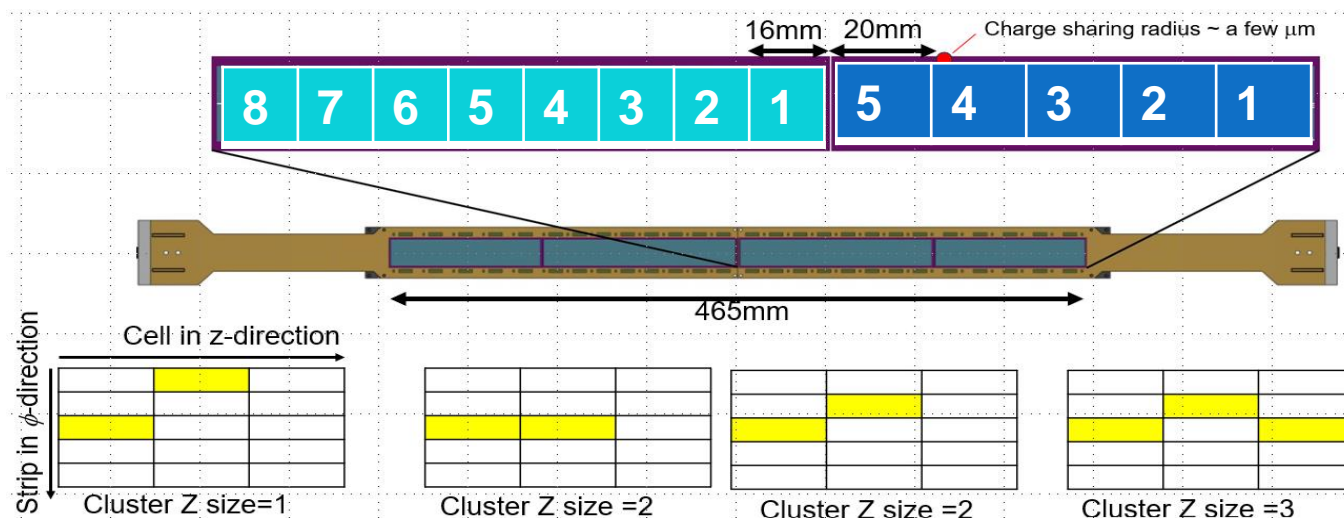
# クラスタリング手法

- 衝突によって発生した粒子は、隣接する複数のsilicon stripを通過する。  
→INTTはHitに対し、クラスタリングを行い同一の粒子によるhitか判断
- $\phi$ 方向クラスタリング: 隣接するstripに対して行う
- Z方向クラスタリング: 隣接するcellに対して行う



## $\phi$ 方向クラスタリング

3hitを1クラスターとしてカウント。  
またCluster phi size=3とhitの数を記録。



## Z方向クラスタリング

条件 1: 隣接するcellでhitが発見される。

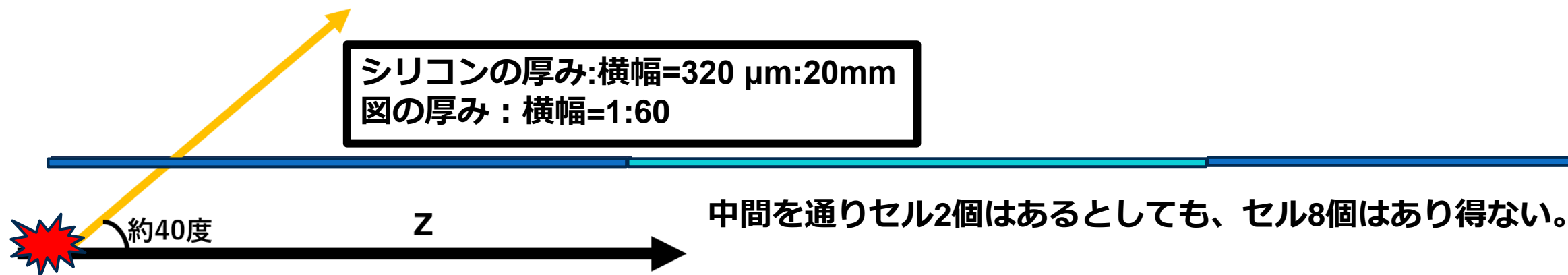
条件 2: これらのヒットは、まったく同じstrip channelか、 $\pm 1$ channel以内のマッチングである

# モチベーション

---

# Large z Cluster

- INTTの測定データ内にCluster Z size=8(z方向に12 cm)が観測。



- Large z Clusterは飛跡検出器のMVTX,TPCでも観測
  - 問題点
  - INTTのクラスターの信頼性への影響。
  - 最も内側のMVTXでは、この現象で測定が困難になっている。
- Large z cluster問題は早急な解決が求められる!!
- 本研究の目的：INTTにおけるLarge z clusterの影響と性質の調査**

# 正体の特定

---



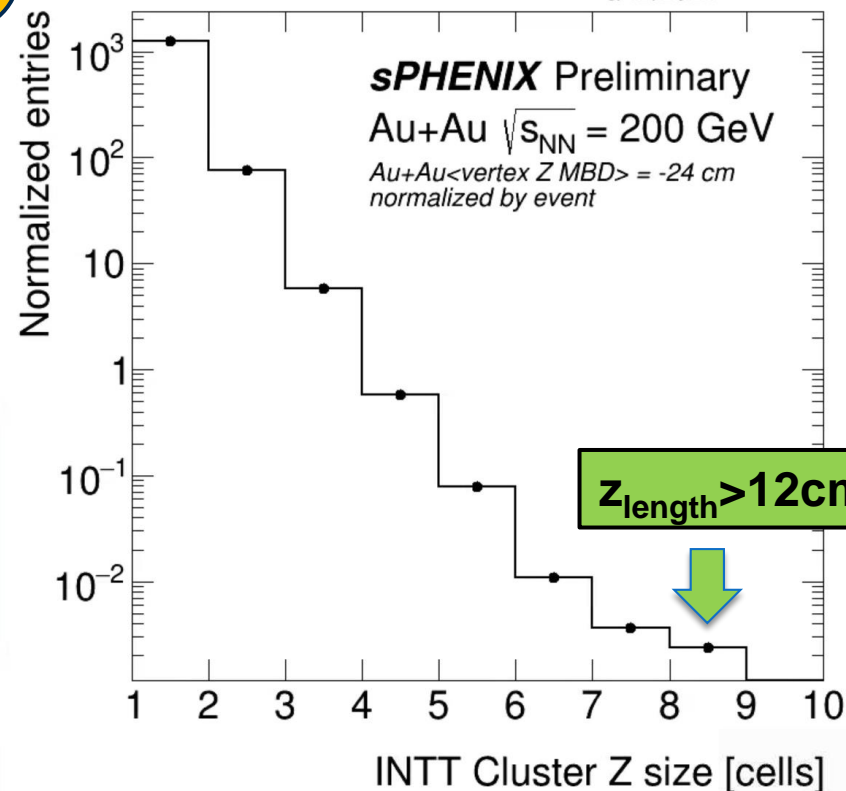
# Cluster z size分布

本研究の解析Dataは全て磁場なし

金

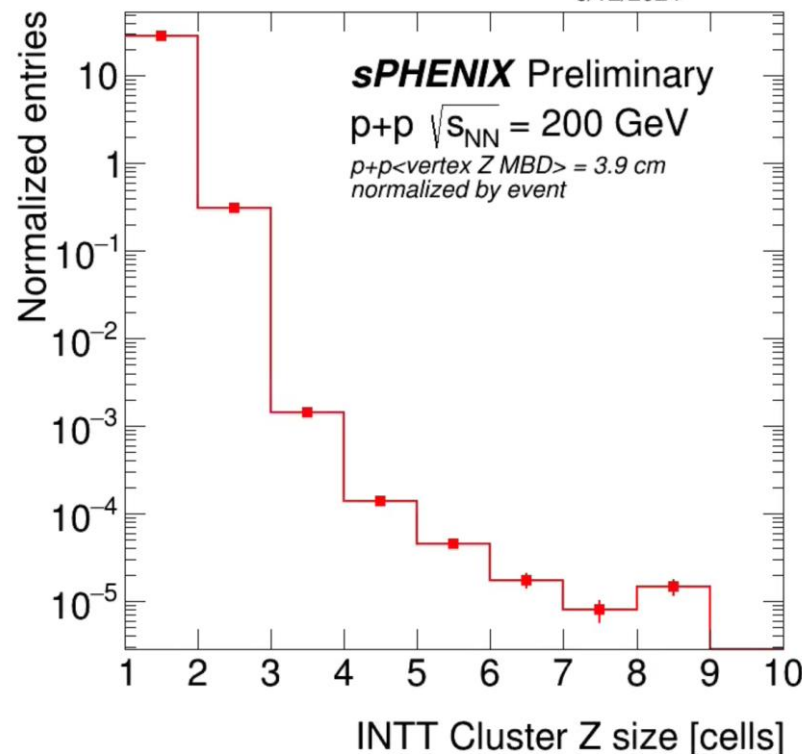
1衝突あたりのCluster z size分布

6/12/2024



陽子

6/12/2024



- INTTをビーム軸と平行に12cm以上貫くクラスターが確認されている。
- Cluster z size=8→type別にクラスタリングを行っている。Type Aの8cellがMAX

# シミュレーションとの比較

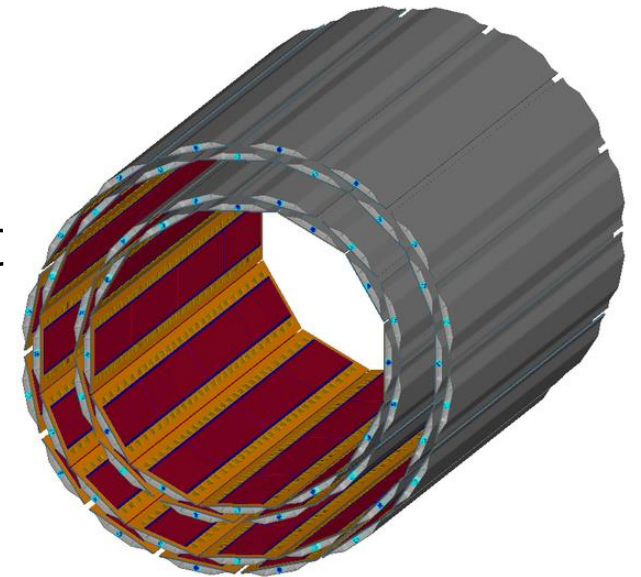
- 比較対象として、モンテカルロ シミュレーション を用いた
- ① Fullモンテカルロ モデル(Full MC)

提供者：sPHENIX 公式、クラスタリングプログラムも公式

概要：Full MCは粒子の相互作用等を考慮した物理シミュレーション。

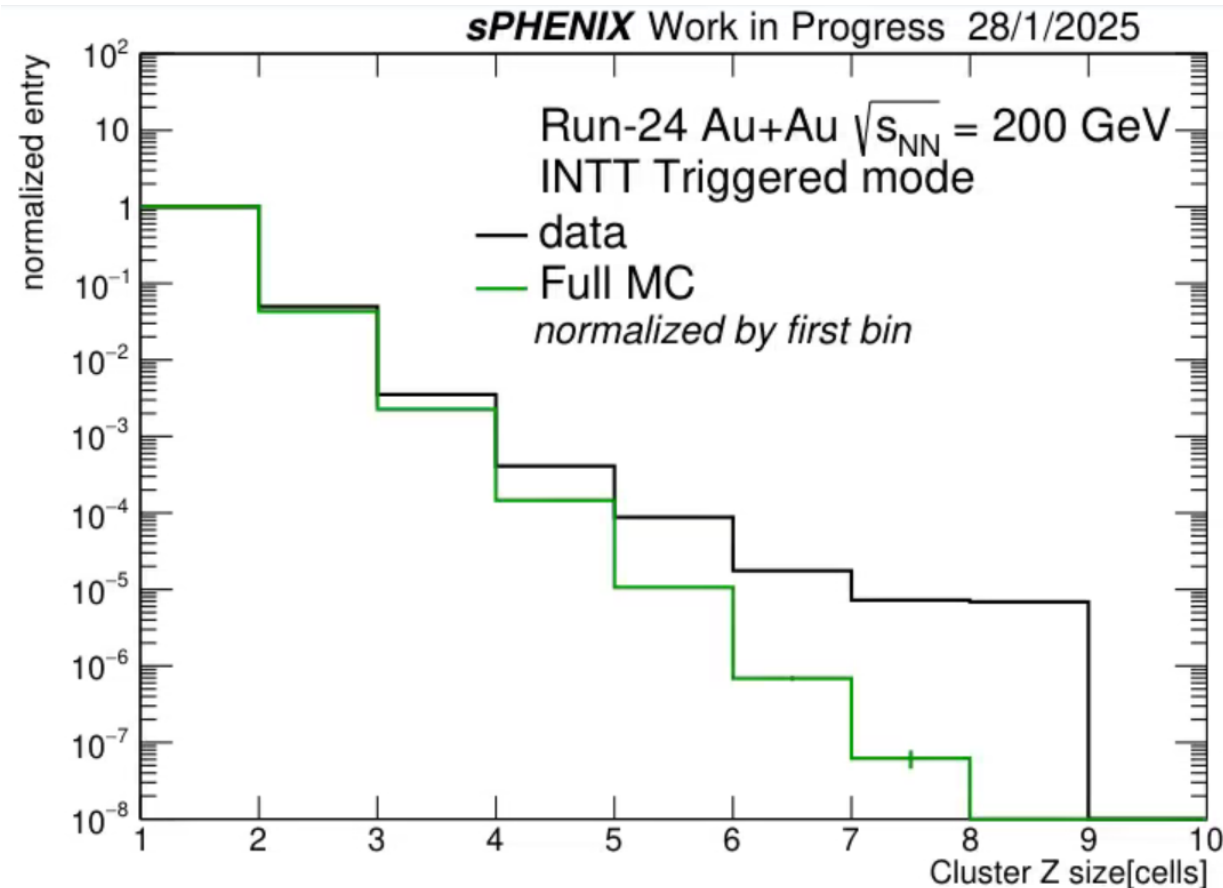
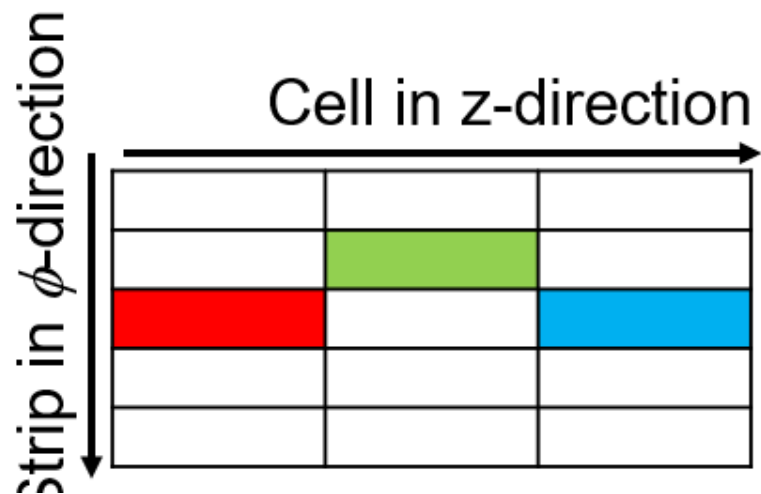
- ① イベントジェネレータ(HIJING)で、金原子核同士の衝突を再現。
- ② 粒子と検出器の反応がシミュレーションできるツール(Geant4)上にINTTを再現。
- ③ ①で生成された粒子に対して②で検出後、クラスタリング。

Point: 実験条件に合うよう調整され、ノイズは含まれていない。



# Large z Clusterの正体

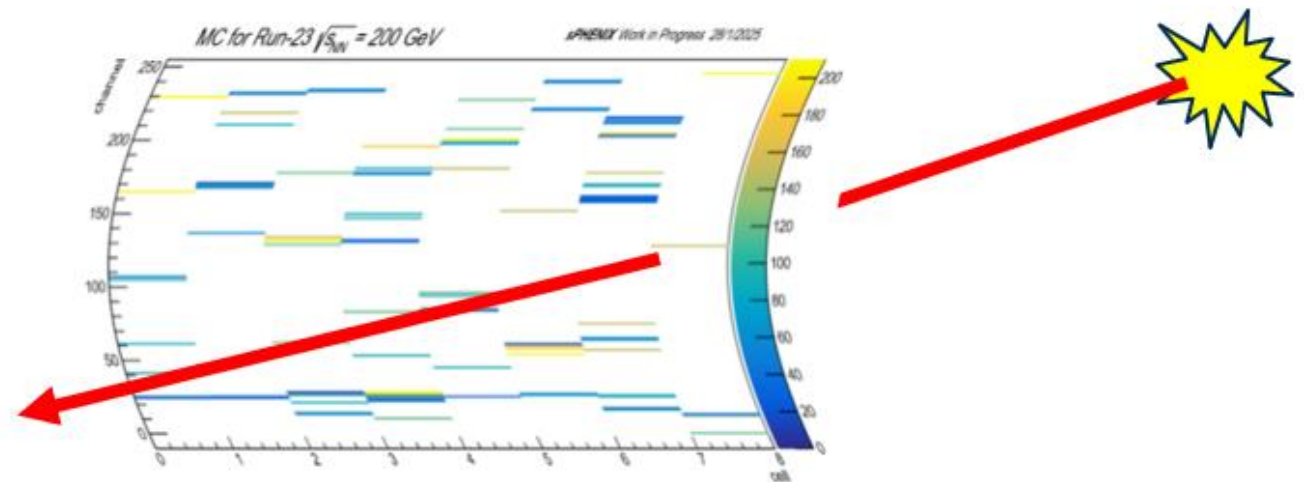
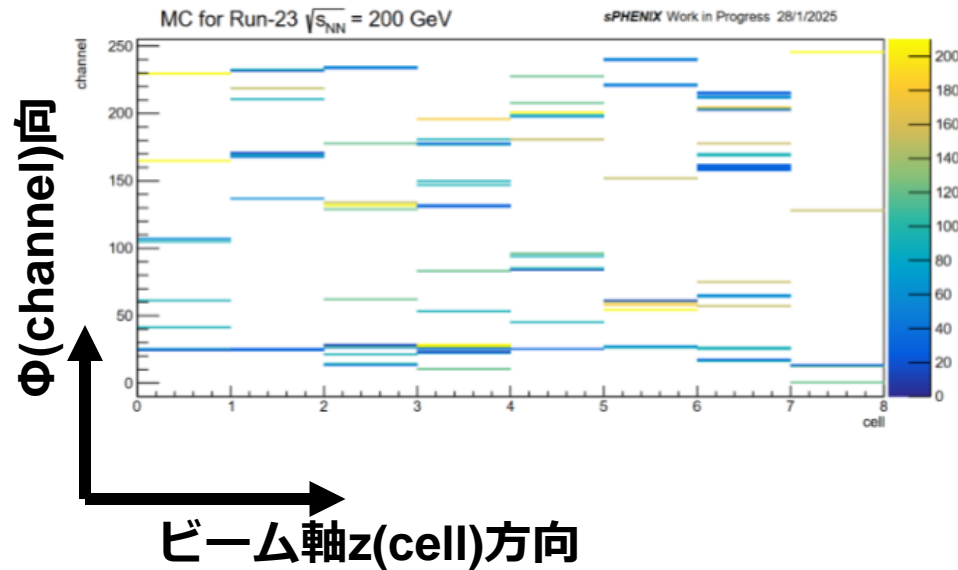
MCで構成されたLarge z Cluster  
は偶然隣り合ったhitの重なり合  
いによる。



Dataには、ビームバックグラウンドが含まれている。

# ヒットマップを作成した。

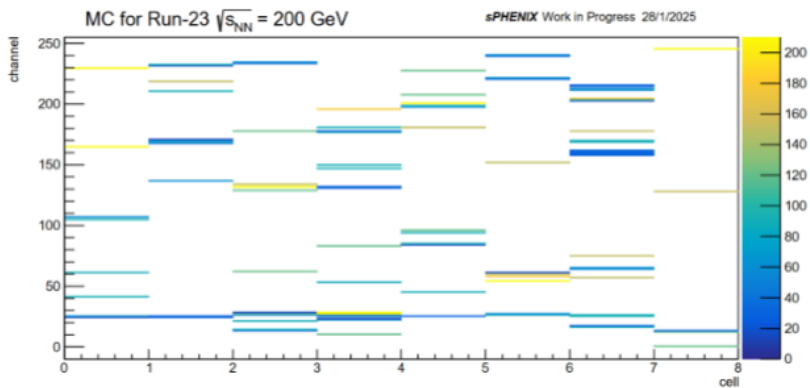
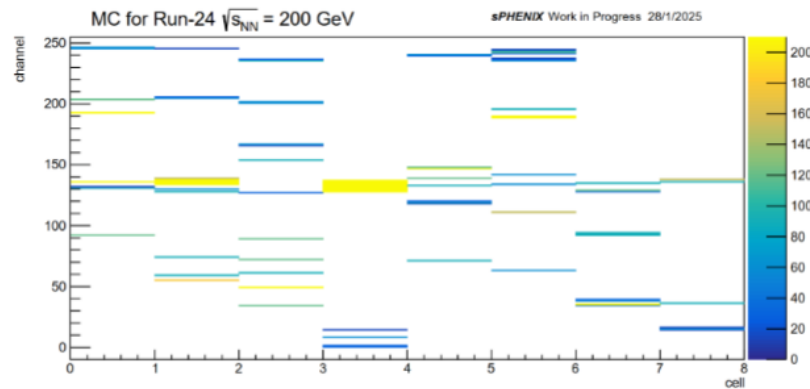
- Cluster z size=8が観測されたtype Aセンサーのヒットパターンを視覚化した。



# ヒットマップ

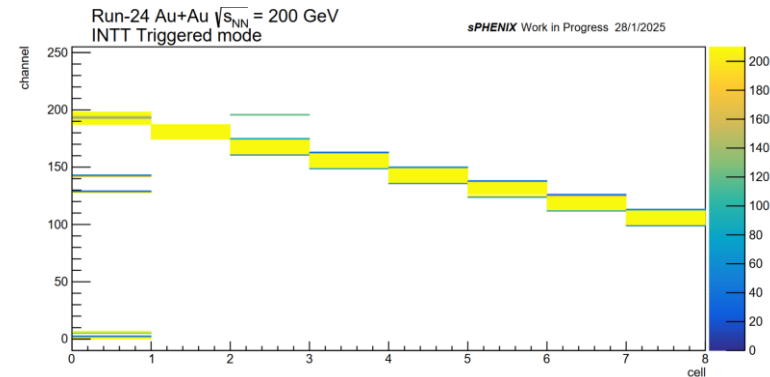
- Cluster z size=8が観測されたtype Aセンサーのヒットパターンを視覚化した。

MC

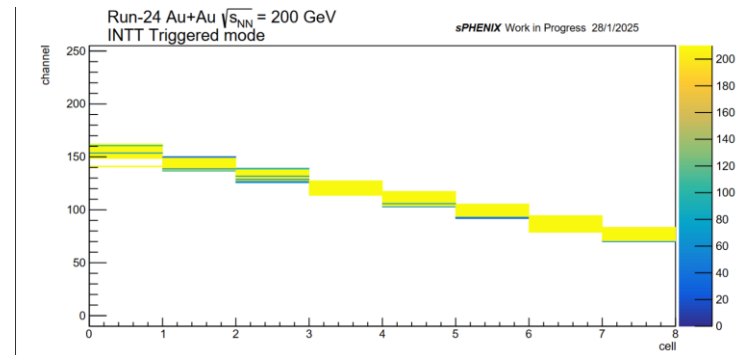


$\Phi(\text{channel})$  向

Z(cell) 方向



data



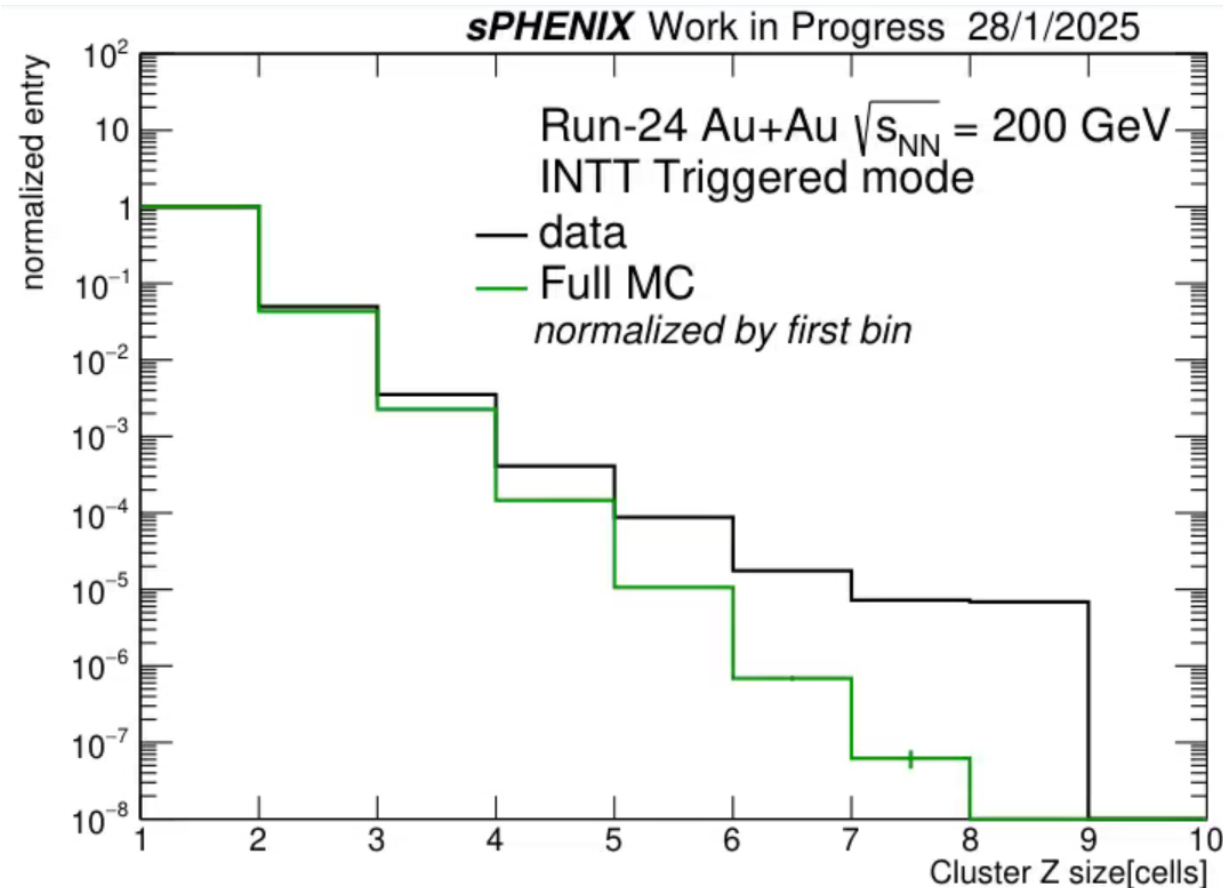
# Large z Clusterの正体

シミュレーションとの比較、  
ヒットマップより、

Large z Clusterの正体が、

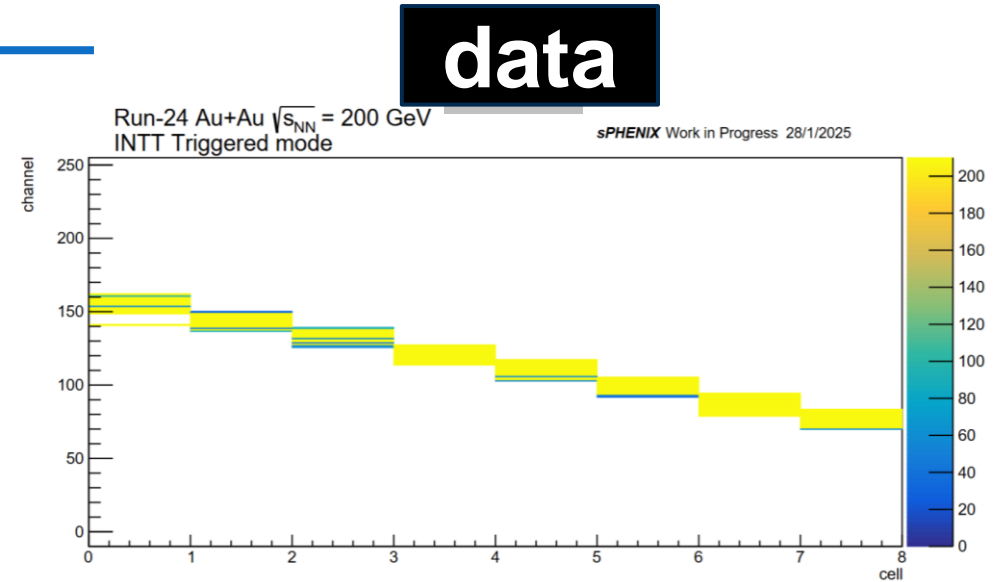
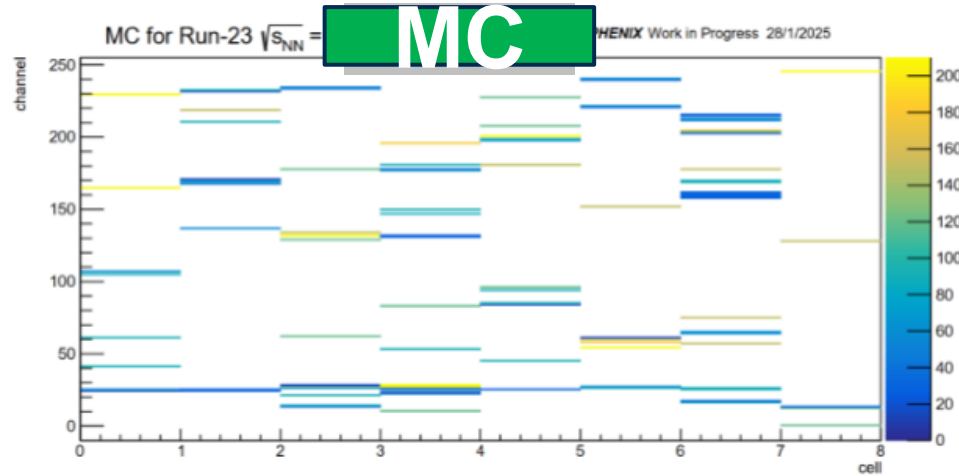
偶然隣り合ったhitの重なり合い

とBeam backgroundの両方に由来すると特定した。



# LARGE Z CLUSTERの特徴

# ヒットマップが示す傾向



## 偶然の重なり合い

## Beam background

① Hit数の多いeventで起きる

Hit数が少なくてもよい→衝突事象と独立

② エネルギー損失量が少ない

損失量が多い

③  $\Phi$ 方向の広がりが小さい

広がりが大きい

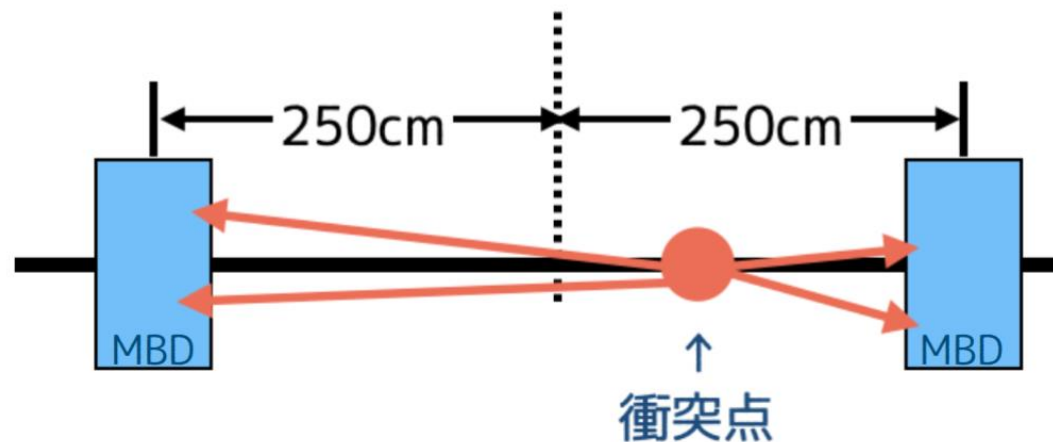


# 衝突点z座標

- 衝突点z座標を求めるために、Minimum Bias Detector (MBD)を使用した。
- ①衝突が起きたかを示すトリガーの提供。

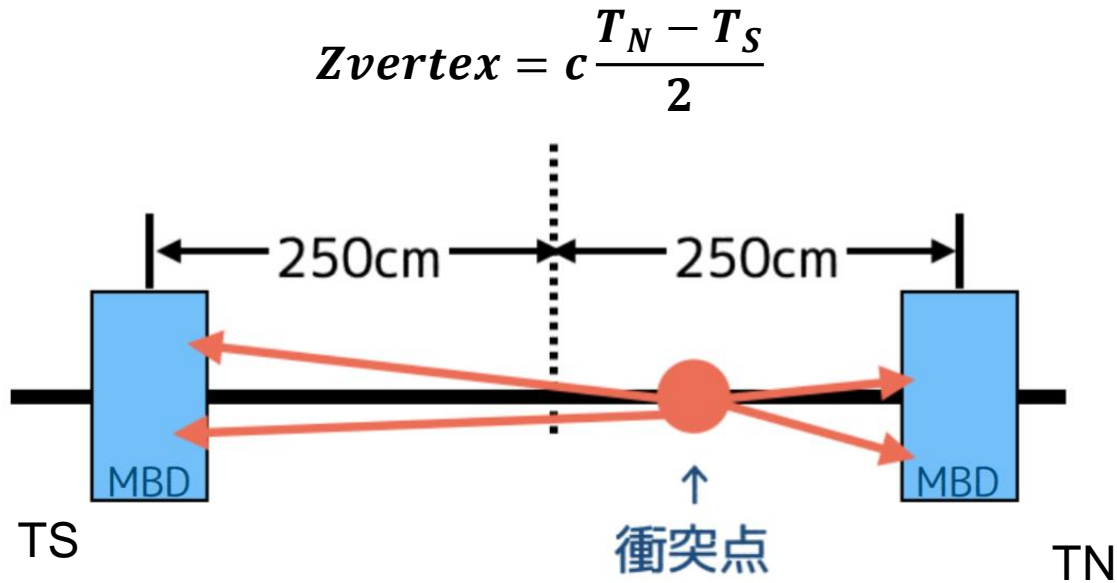
トリガー条件 :  $\text{MBD } N \ \& \ S \geq 1$

チェレンコフ  
検出器



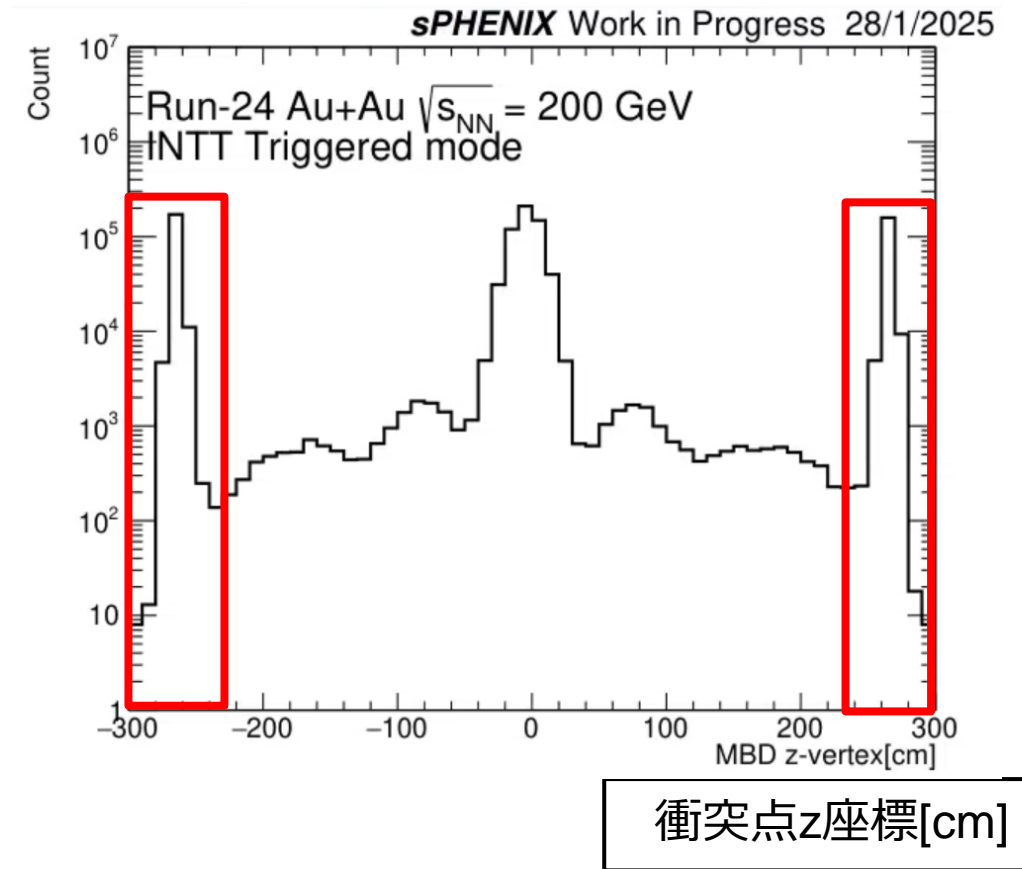
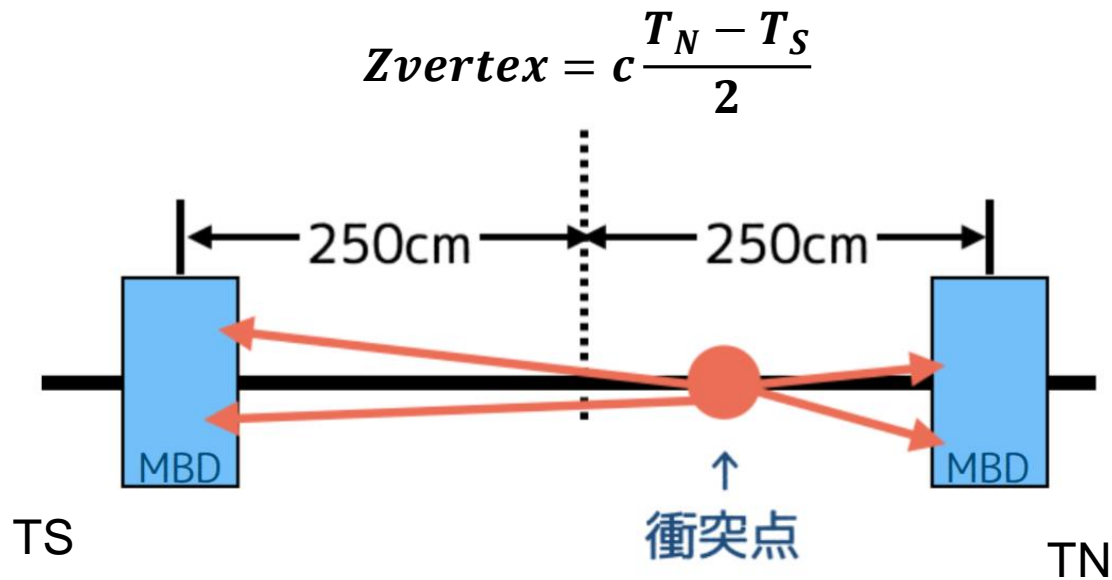
# MBDについて

- 衝突点z座標を求めるために、Minimum Bias Detector (MBD)を使用した。
- ①衝突が起きたかを示すトリガーの提供。
- ②衝突が起きたz vertexの位置の特定。



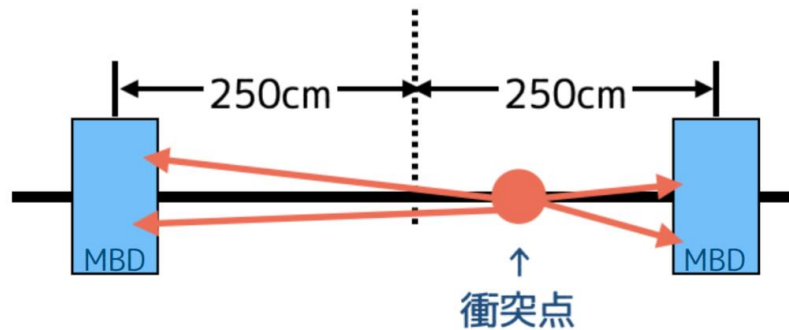
# MBDについて

- 衝突点z座標を求めるために、Minimum Bias Detector (MBD)を使用した。
- ①衝突が起きたかを示すトリガーの提供。
- ②衝突が起きたz vertexの位置の特定。

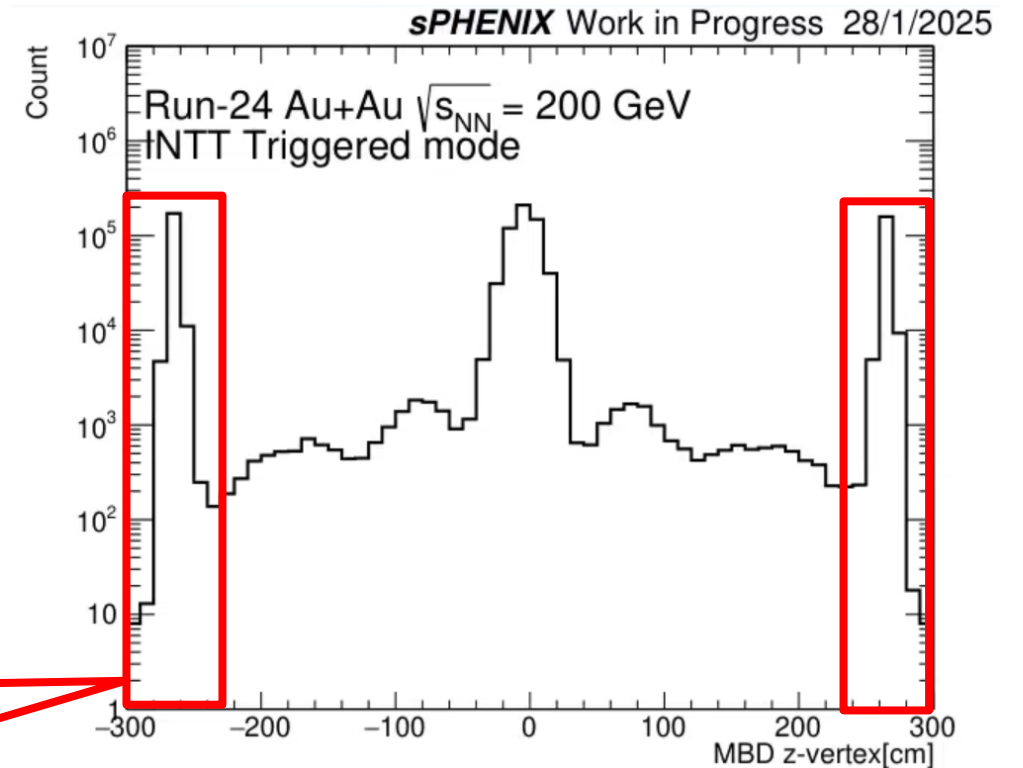


# MBDについて

- 衝突点z座標を求めるために、Minimum Bias Detector (MBD)を使用した。
- ①衝突が起きたかを示すトリガーの提供。
- ②衝突が起きたz vertexの位置の特定。



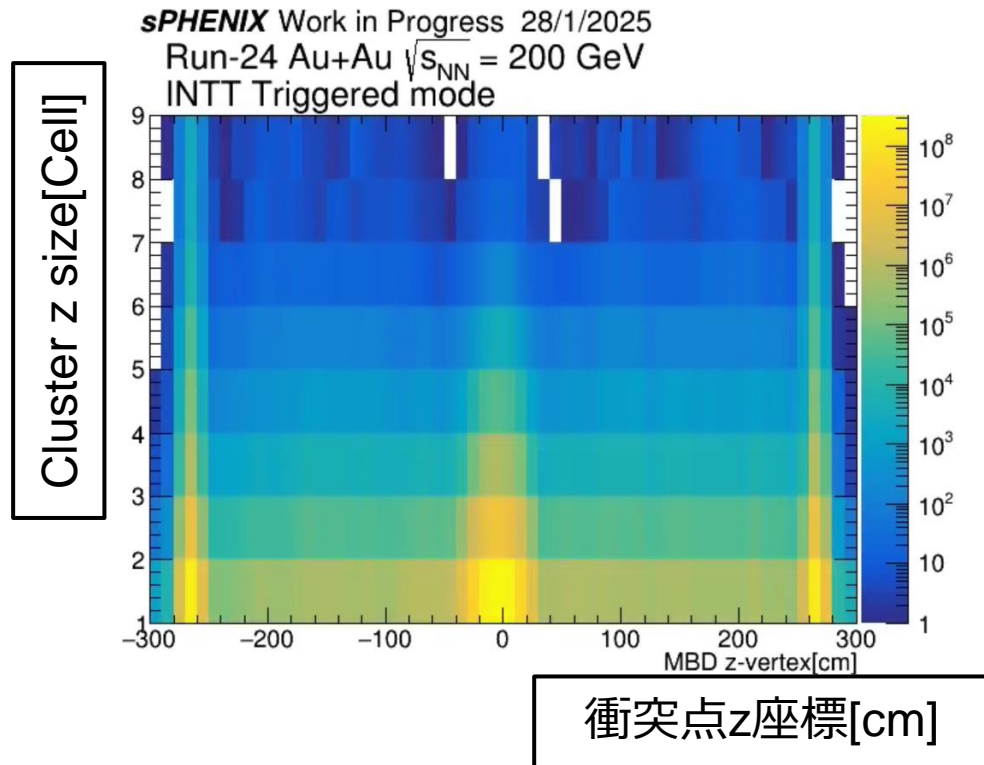
ビームハロー等のノイズにより、トリガー条件を満たしたが、実際には衝突が起きていない。



衝突点z座標[cm]

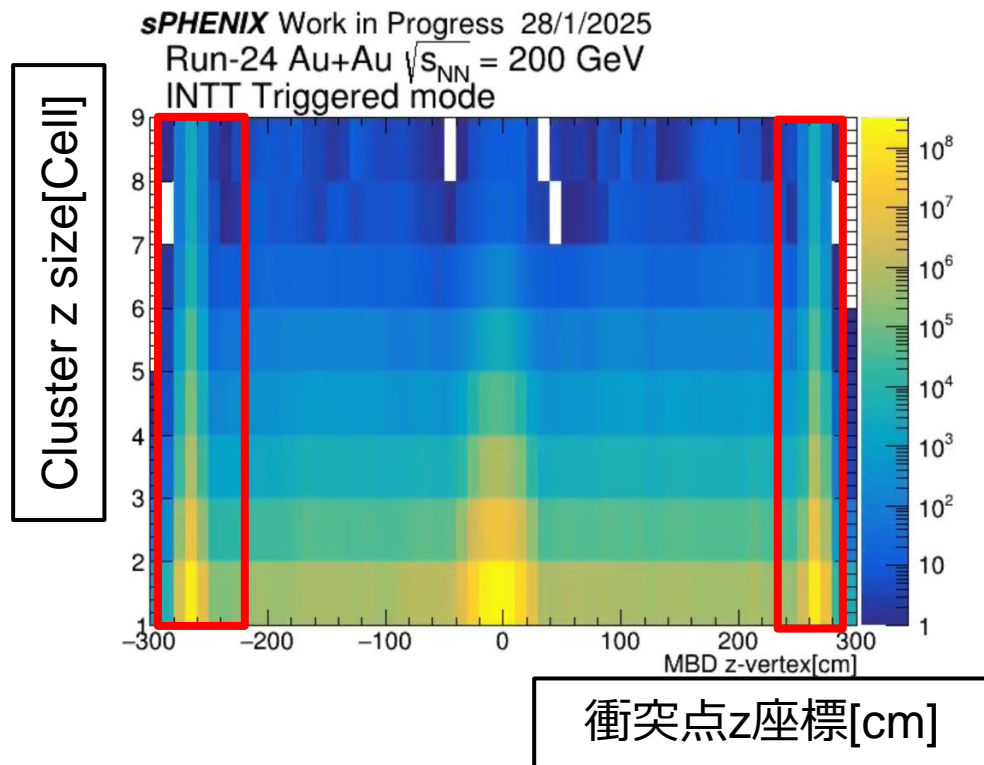
# 衝突点z座標 依存性

- Cluster z sizeの衝突点z座標依存性を確認した。



# 衝突点z座標 依存性

- Cluster z sizeの衝突点z座標依存性を確認した。



衝突が起きていないイベントから多く来ている。

またCluster z size=8とそれ以外Cluster z sizeの割合を比較した結果、

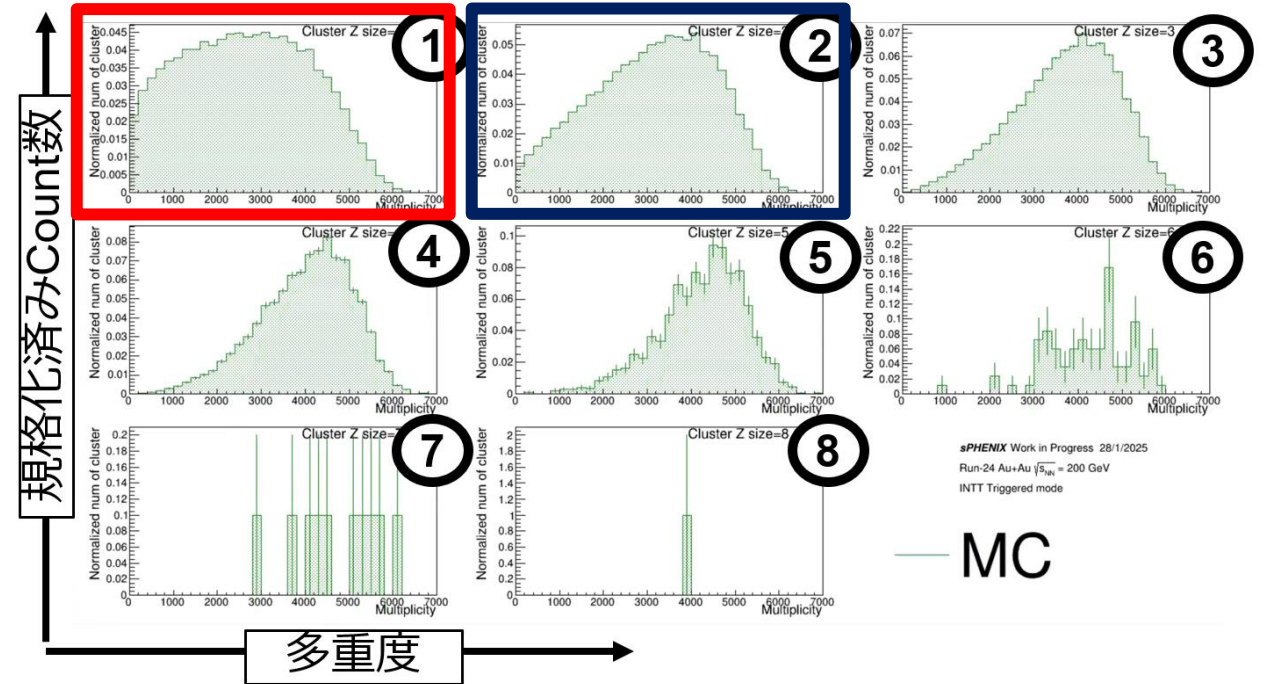
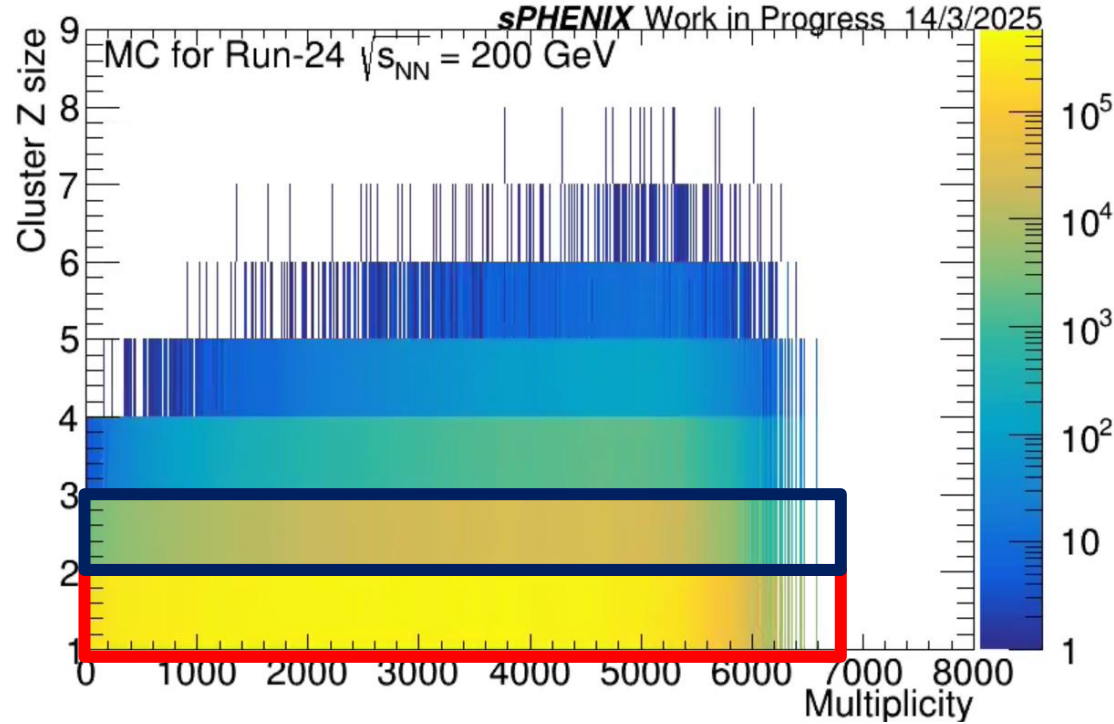
→|衝突点|<30 cm ではCluster z size=8の割合が他のエリアより少ない。

→|衝突点|<30 cm cutは、多くのbeam backgroundの除去に効果的と示唆している。



# Cluster z sizeの多重度(総クラスター数)依存性

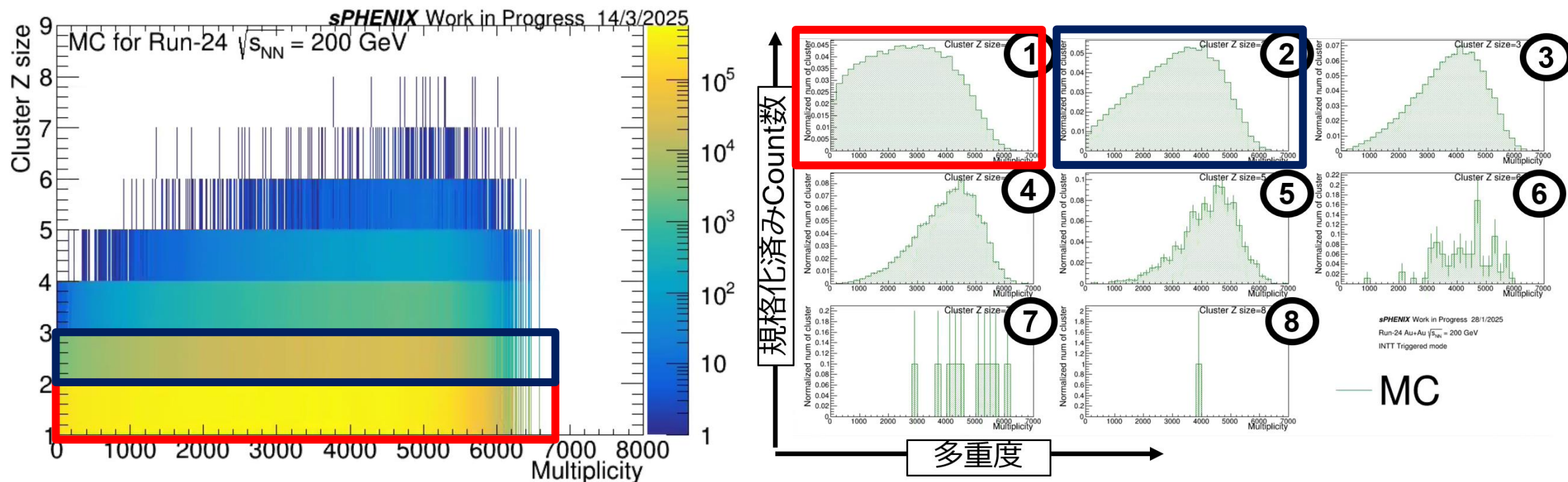
- 多重度(Multiplicity)とは、INTT innerとouterで観測された総クラスター数



MC

# Cluster z sizeの多重度(総クラスター数)依存性

- 多重度(Multiplicity)とは、INTT innerとouterで観測された総クラスター数



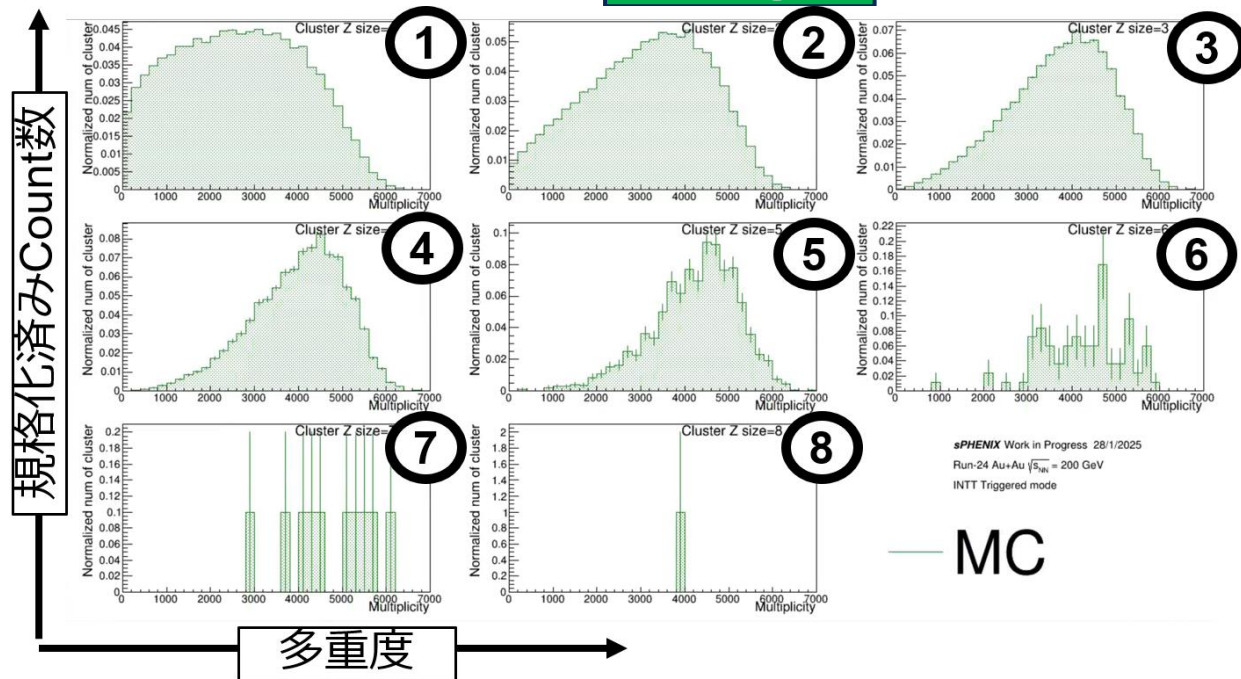
MC

- 結果1 : Cluster z sizeが増加するにつれ、多重度も増加  
→偶然の重なり合いが起きるのに必要な、Hitの数が増えていく。
- 結果2 : 偶然の重なり合いのピークは右にずれていく。  
→Hitが多いeventほど、偶然の重なり合いが起きやすい。

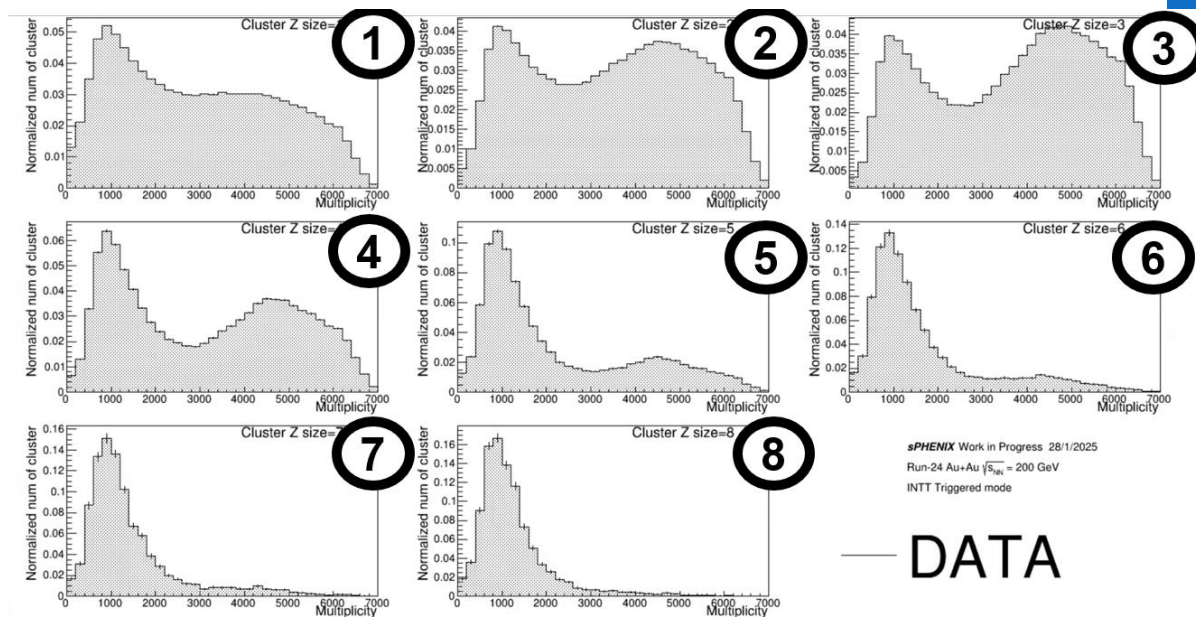


# Cluster z sizeの多重度(総クラスター数)依存性

MC



data



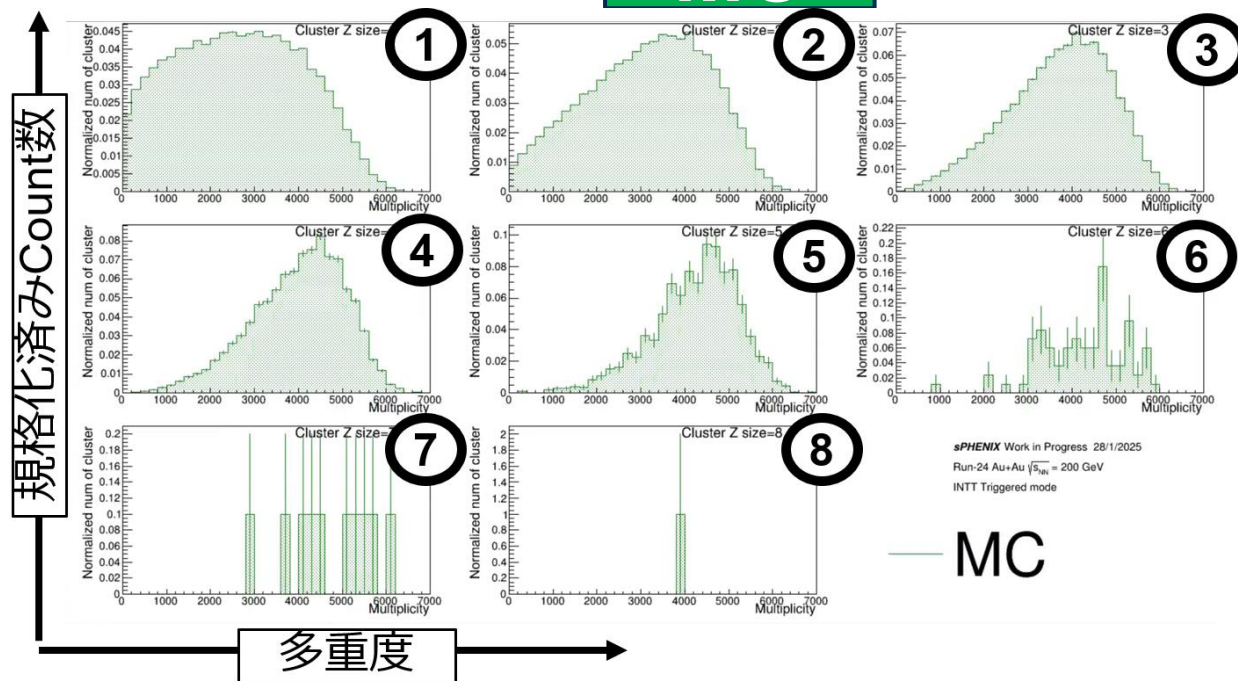
data

結果1：偶然の重なり合いと別のbeam backgroundと思われるピークが観測

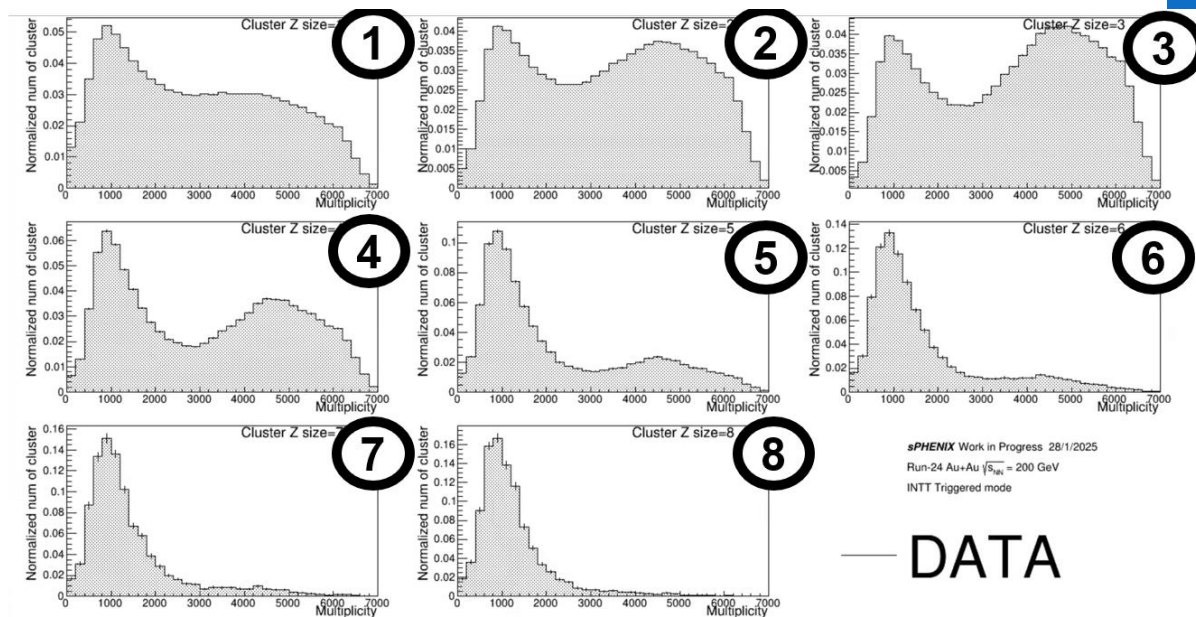
→低い多重度にピークがある。低い多重度を取るイベント(そもそも衝突していないor衝突点が中心から離れた)にbeam backgroundが多く含まれているため

# Cluster z sizeの多重度(総クラスター数)依存性

MC



data

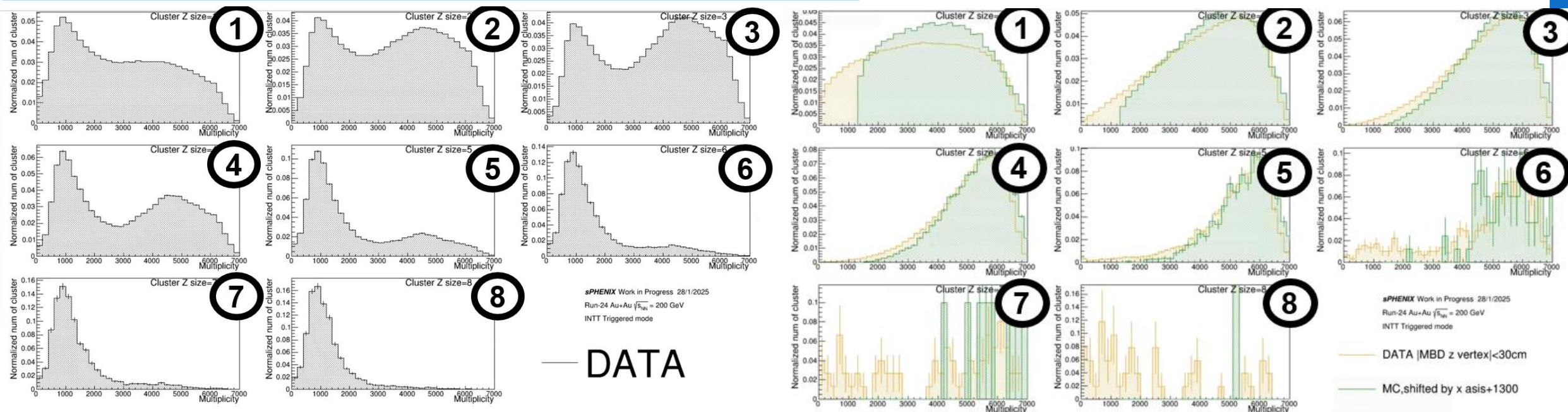


data

結果1 : 偶然の重なり合いと別のbeam backgroundと思われるピークが観測  
結果2 : Cluster z size=1にもピークがある。  
→beam backgroundがCluster z size=1にも含まれている。



# 衝突点カット後のCluster z size分布



Data cut前

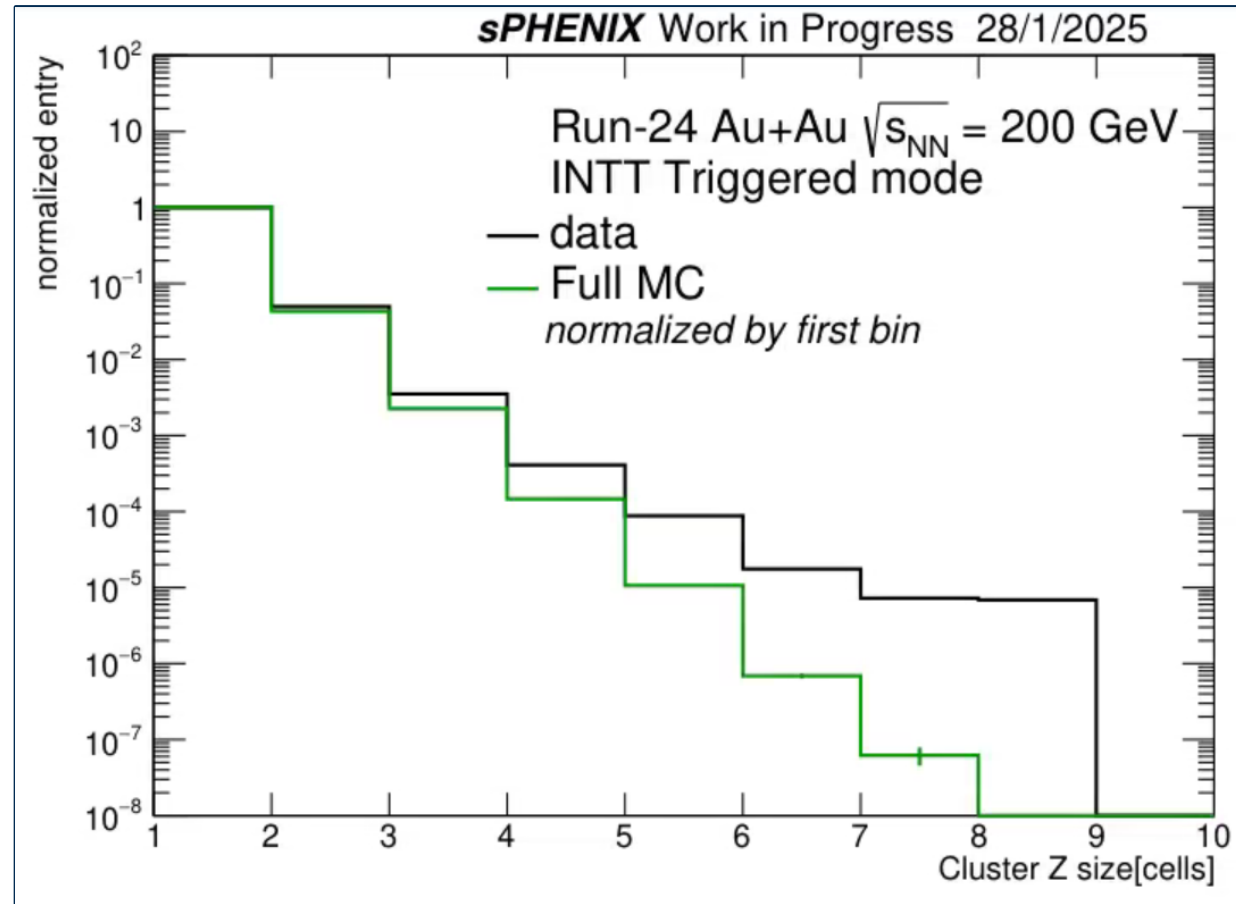
Data cut後

MC  
+1300平行移動

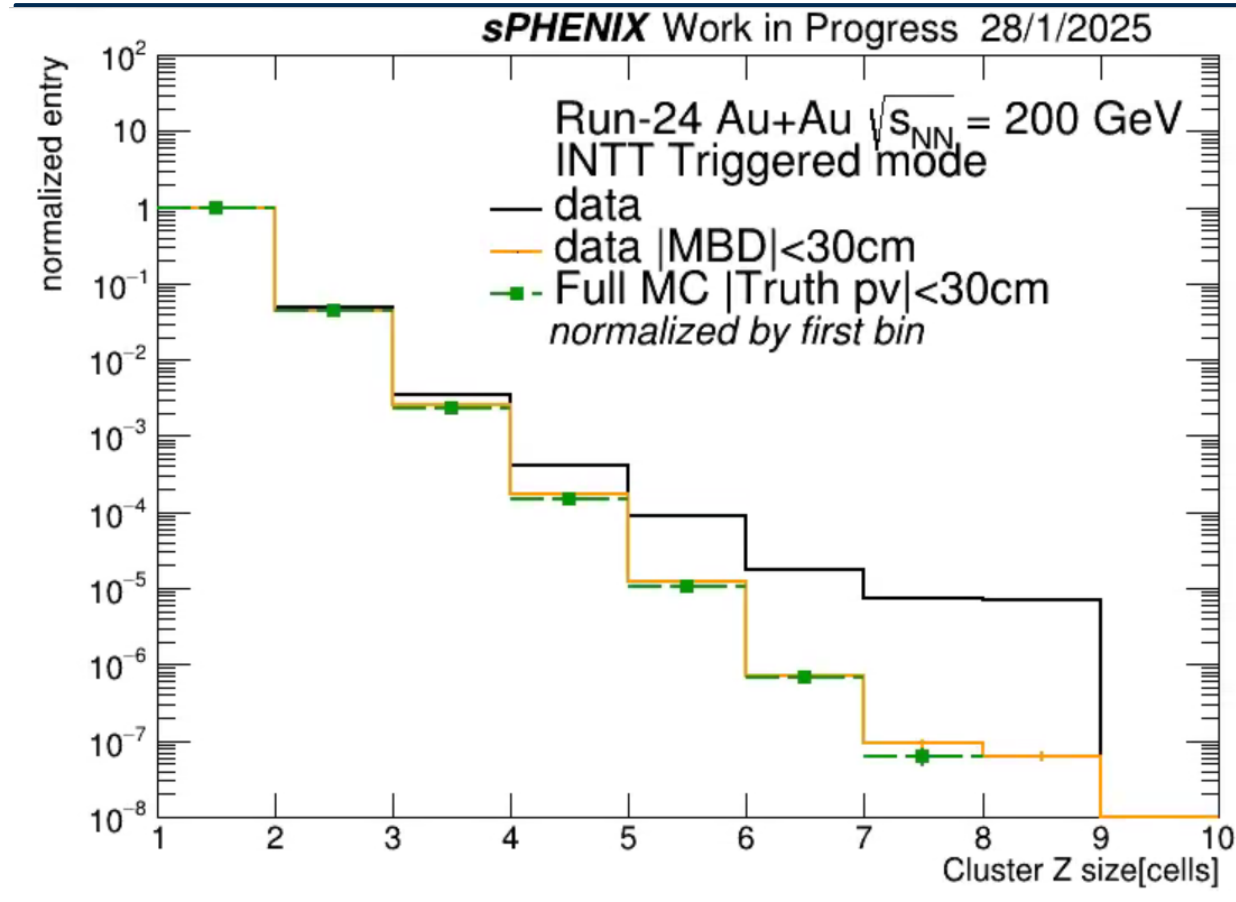
結果1: beam backgroundだと思われていたピークが消滅。

結果2: Cut適用後、DataとMC(+1300)がよく一致した。→偶然の重なり合いが支配

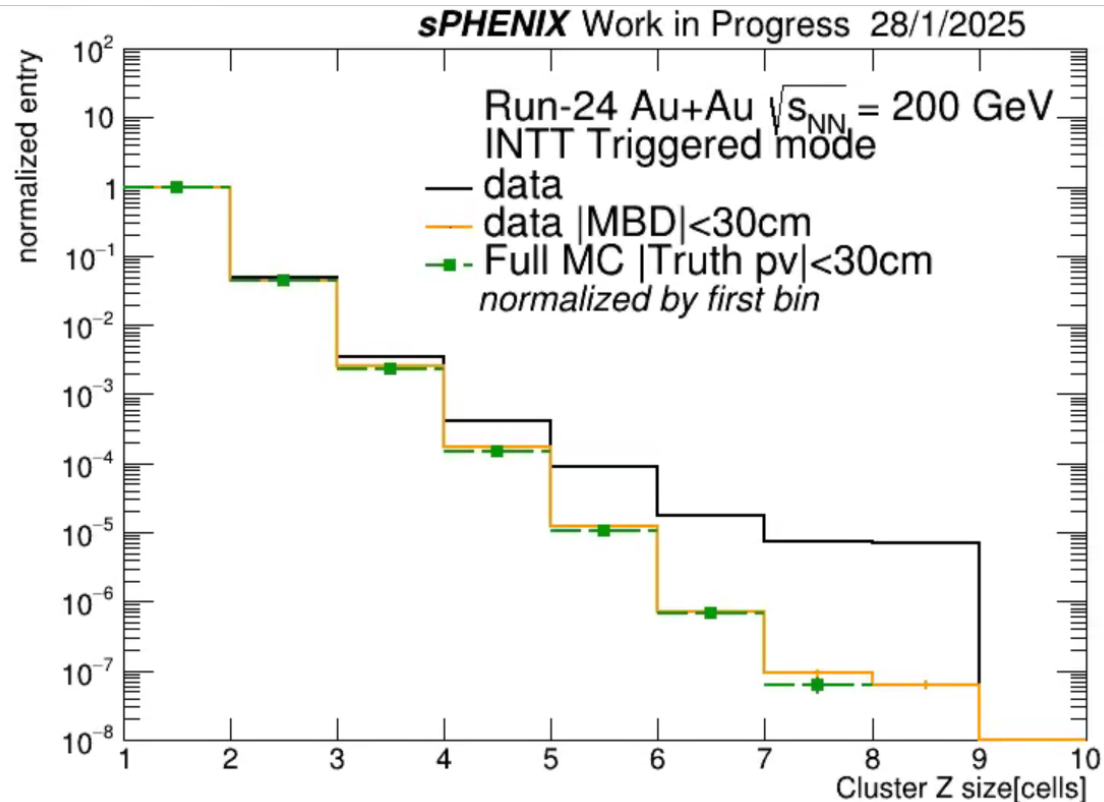
# 衝突点カット後のCluster z size分布



# 衝突点カット後のCluster z size分布

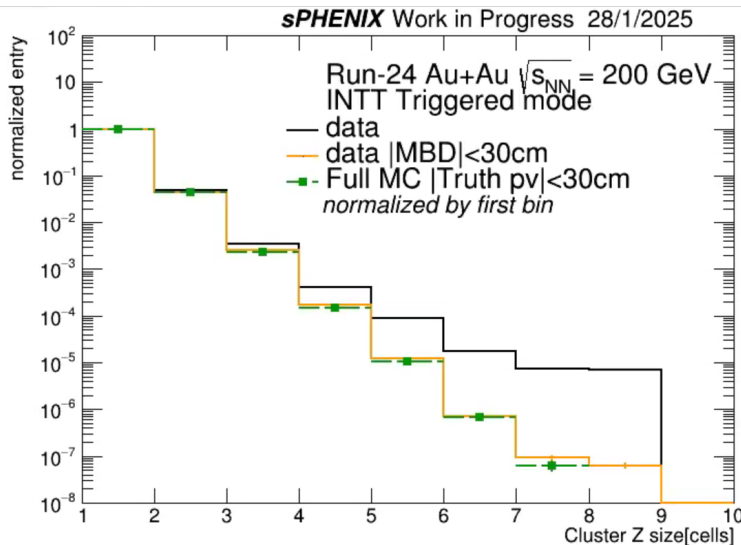


# 衝突点カット後のCluster z size分布



**結果1:  $|衝突点| < 30$  cmを加えたこと  
によって、Full MCとほぼ完璧に一致した。  
→多くのbeam backgroundの除去に成功  
した。  
→残されたbeam backgroundの影響は十  
分に小さいといえる。**

# 衝突点カット後のCluster z size分布



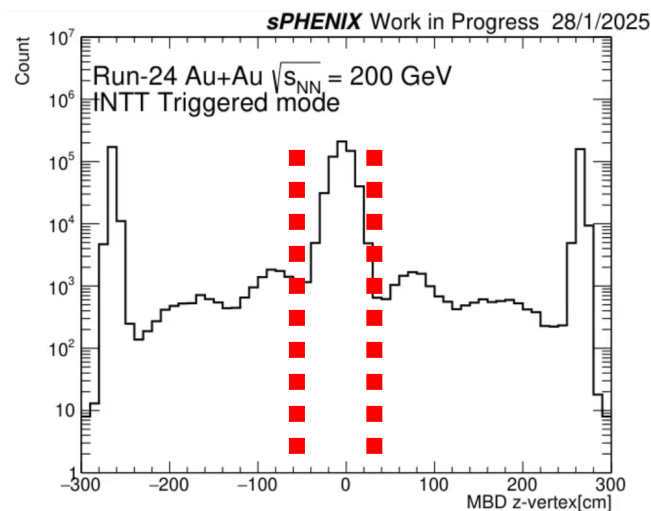
結果1:  $|衝突点| < 30$  cmを加えたことによって、Full MCとほぼ完璧に一致した。

→残されたbeam backgroundの影響は十分に小さいといえる。

結果2:  $|衝突点| < 30$  cmは他の物理解析で使いたい衝突点が中心のイベントを残している。

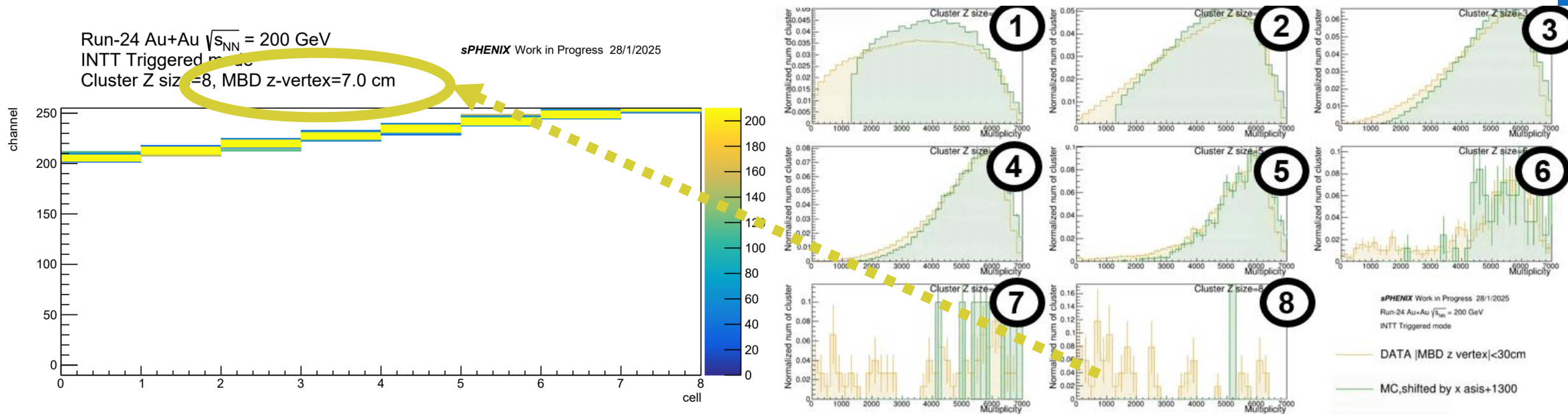
→beam backgroundは、他の物理解析に影響を与えない。

結果3: hit数が増加するごとに、偶然の重なり合いが増えると言える。→INTTではz方向のクラスタリングを廃止。





# 衝突点カット後のCluster z size分布



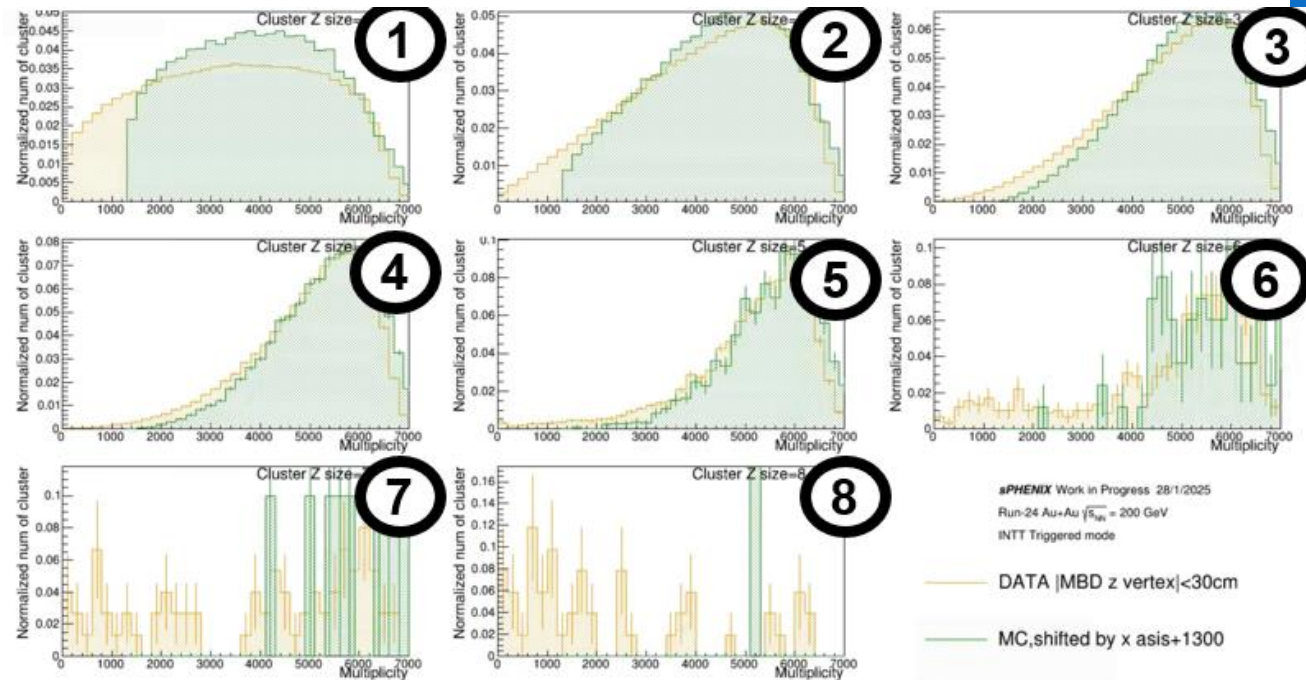
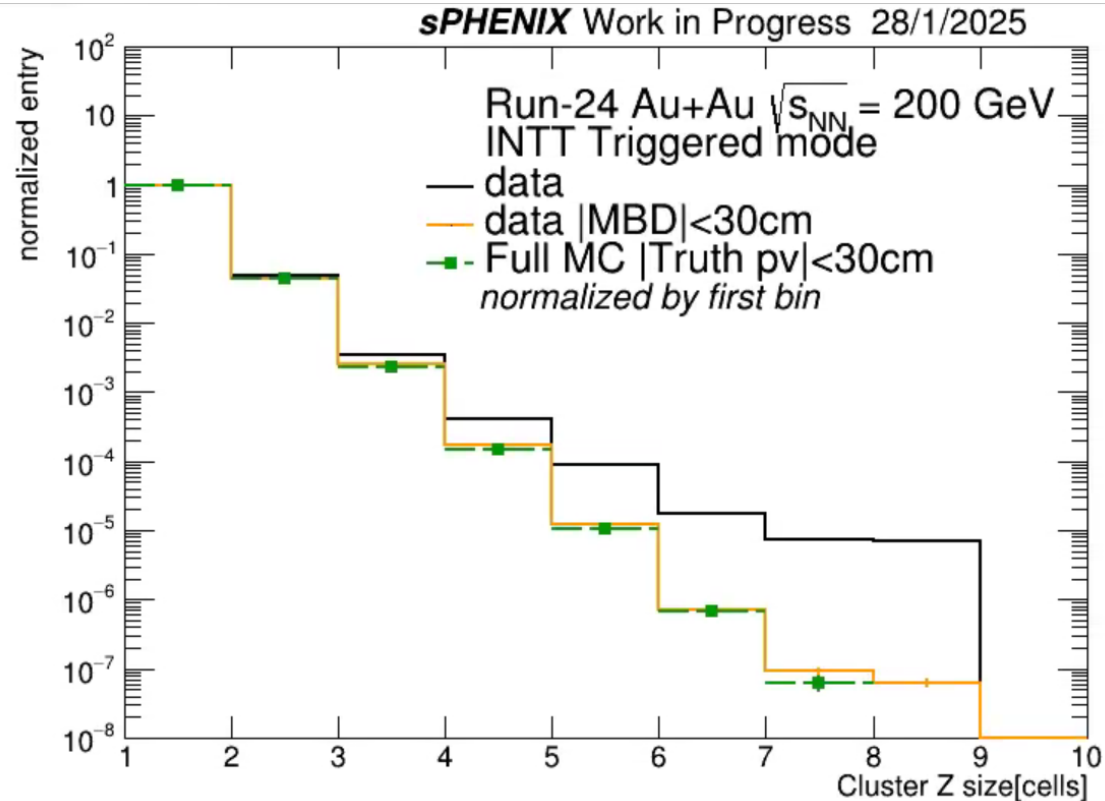
結果1:|衝突点|<30 cmカット後も、beam backgroundは残存している。

結果2:Dataでcluster z size=7,8が一様に広がる

→beam backgroundが本来持つ、衝突事象と独立の特徴が確認できる。



# 衝突点カット後のCluster z size分布



Cluster z size分布と多重度分布の双方で|衝突点z座標|<30 cmが有効である。

# まとめ

---

## ①Large z clusterの正体の特定

- ・ 偶然隣り合ったhitの重なり合いとBeam background(ビームハロー)

## ②beam backgroundの性質の特定

- ・ 偶然の重なり合いは多重度に依存するが、beam backgroundは衝突事象と独立であった。

## ③beam backgroundが他の物理解析に影響を与えるかの判断

- ・ beam backgroundを|衝突z座標|<30 cmでほぼ完ぺきに除去の成功した。
- ・ このカットは物理解析の統計的にも影響を与えない。

## 参考文献

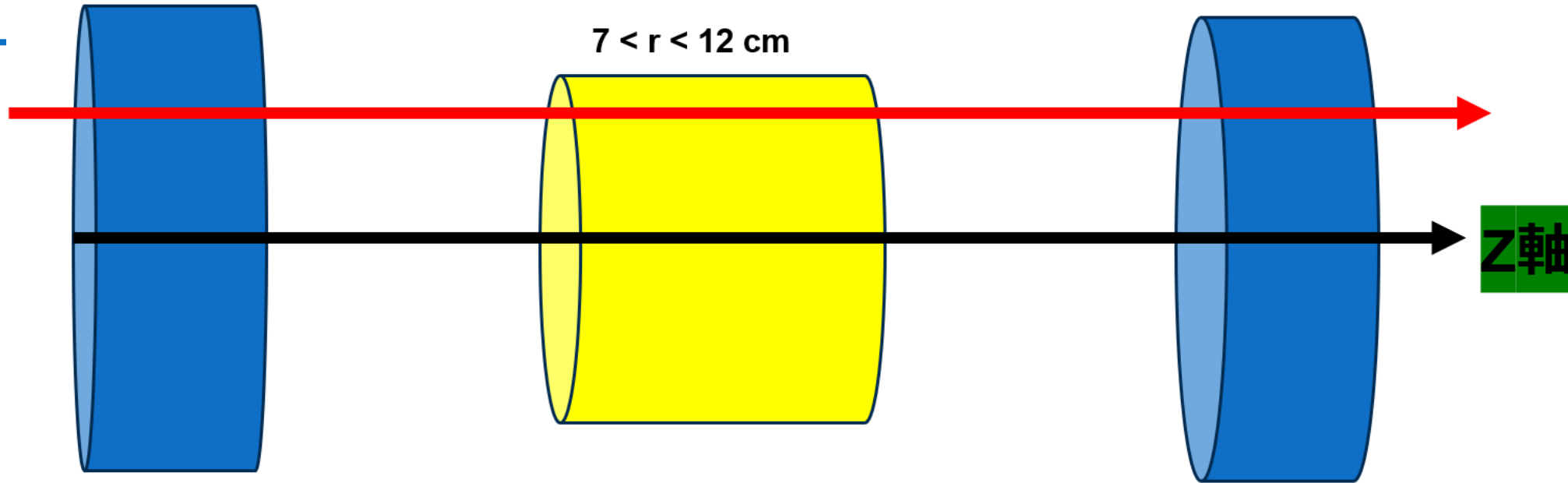
- [1] 秋葉康之 『クォーク・グルーオン・プラズマの物理』 共立出版
- [2] 杉山由佳 2023 「RHIC-sPHENIX 実験の初年度のデータを用いた中間飛跡検出器 INTT の動作検証」, 修士論文, 奈良女子大学大学院
- [3] 波多美咲 2023 「RHIC-sPHENIX 実験初年データにおける粒子多重度の測定」, 修士論文, 奈良女子大学大学院
- [4] Y. Akiba *et al.*, APR **57**, S1 (2023). .
- [5] Xin-Nian Wang and Miklos Gyulassy, Phys. Rev. D44, 3501 (1991).

# バックアップ

---

$4.96 < r < 15.1 \text{ cm}$

$7 < r < 12 \text{ cm}$



① MBD1を通過

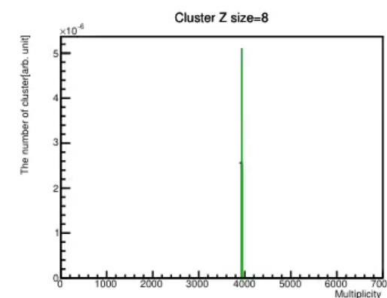
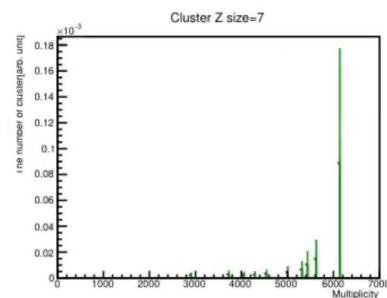
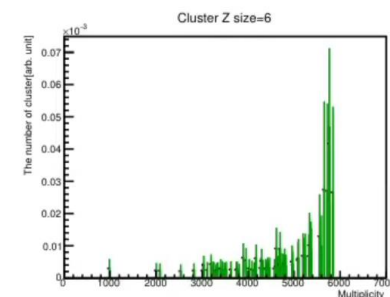
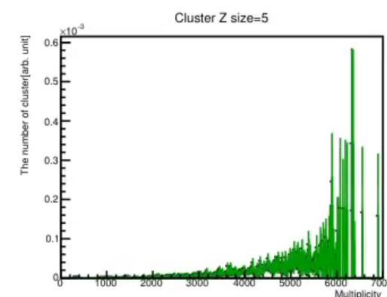
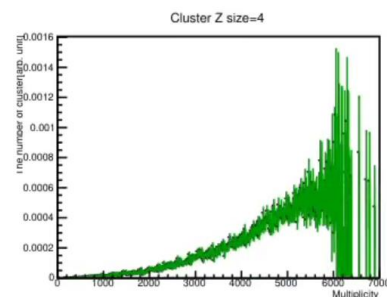
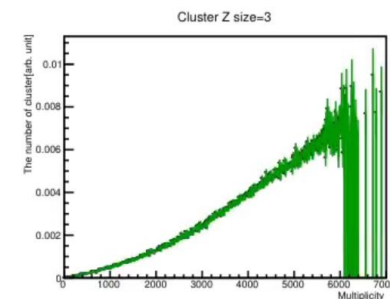
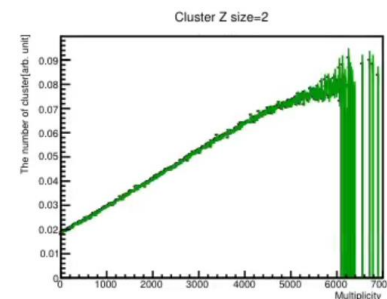
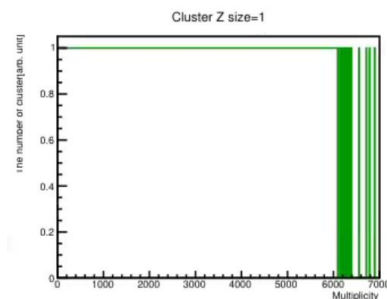
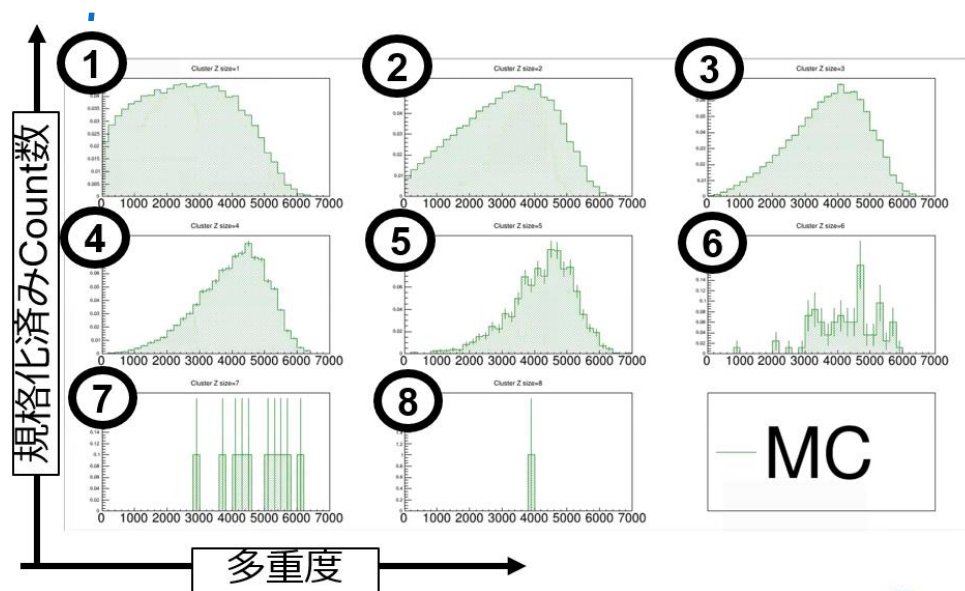
② INTTを通過、信号を残す

③ MBD2を通過

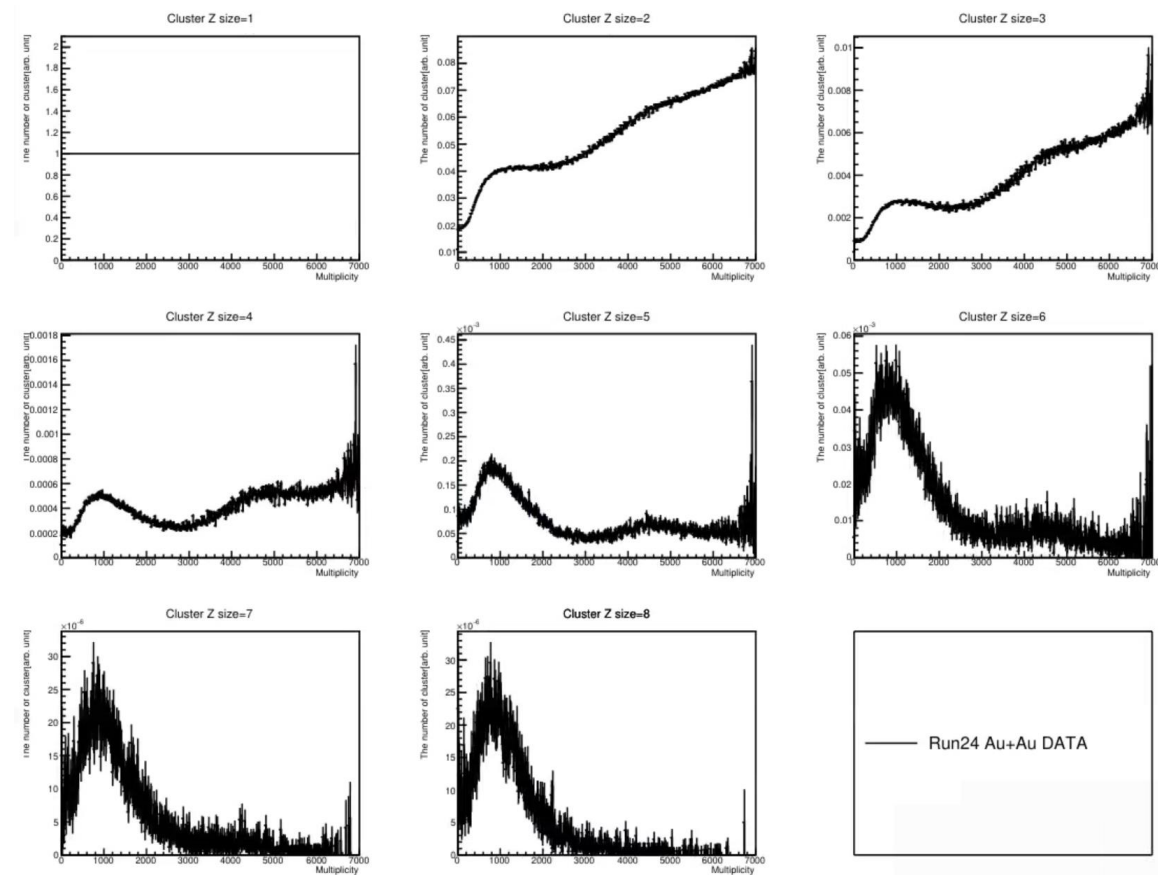
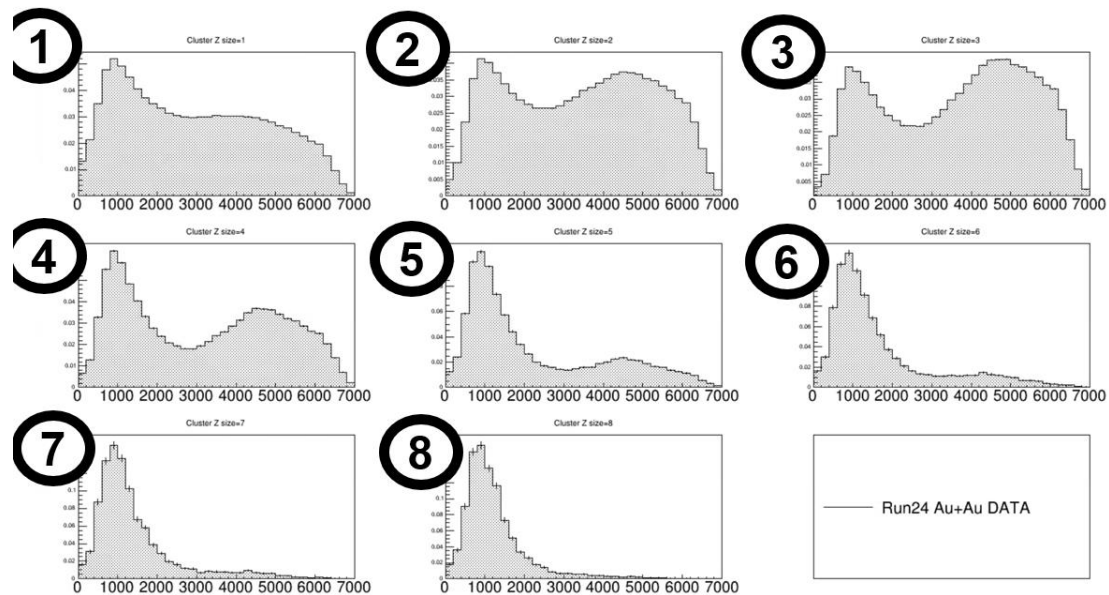
① + ③ でトリガー発行

④ 待機してたbeam 信号が読み出される。  
→ データに混入

# 偶然のヒットの重なり合い

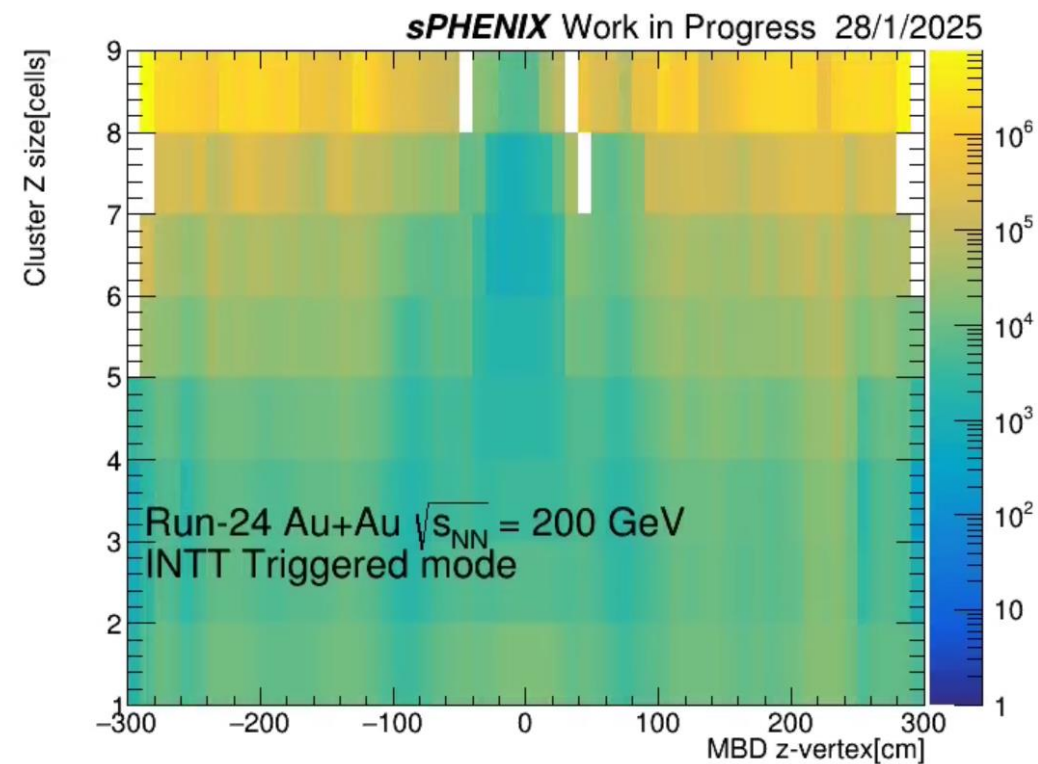
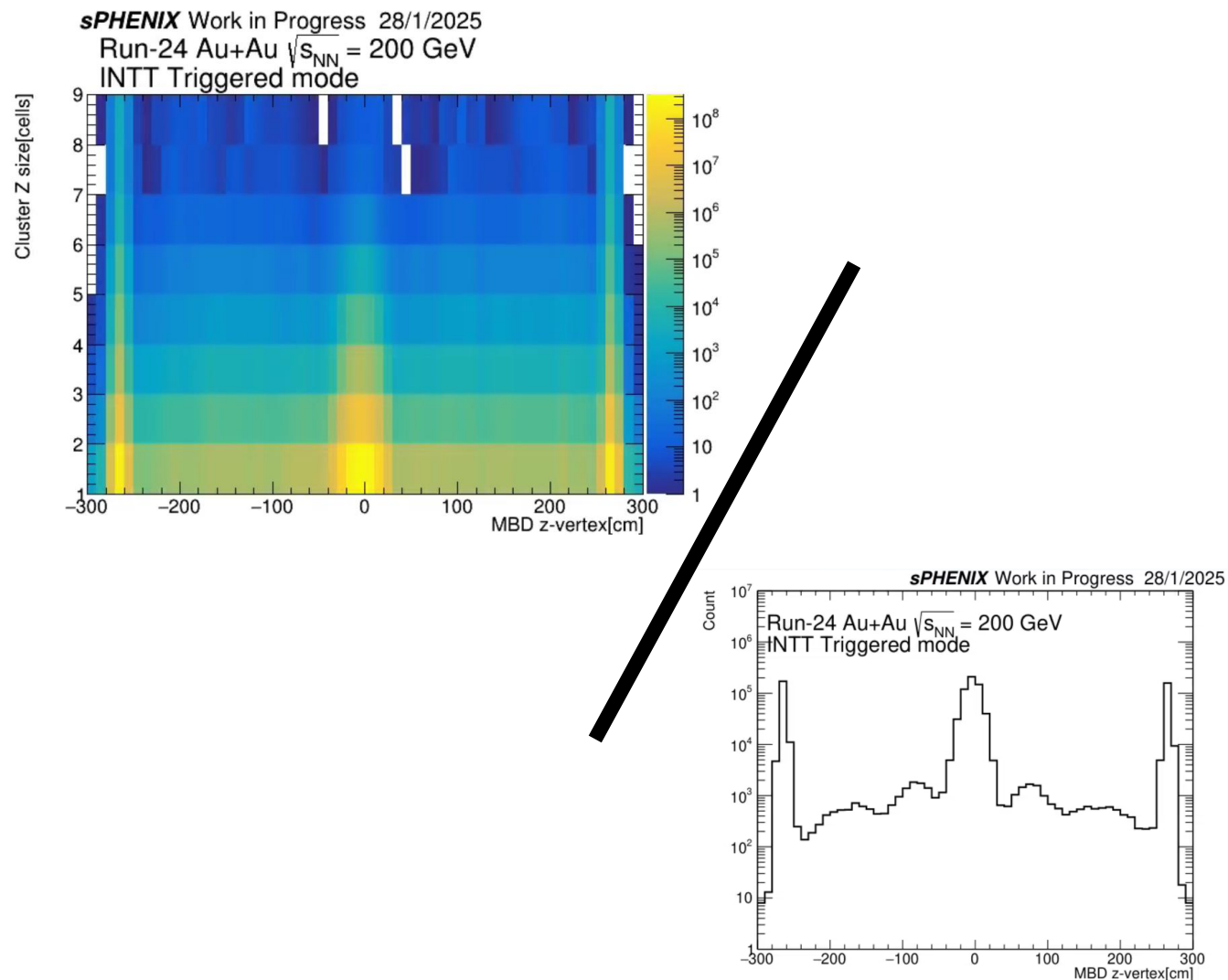


MC

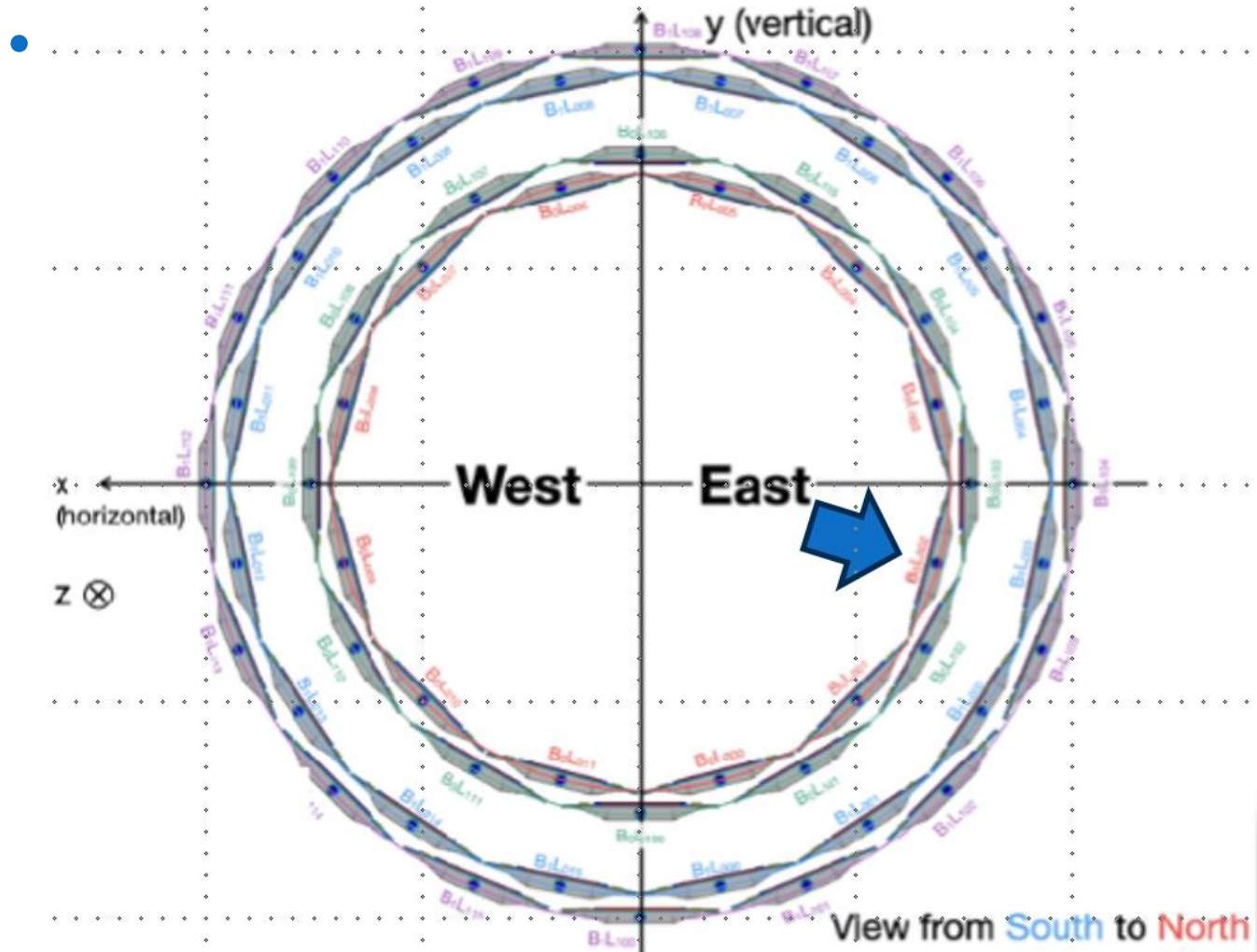




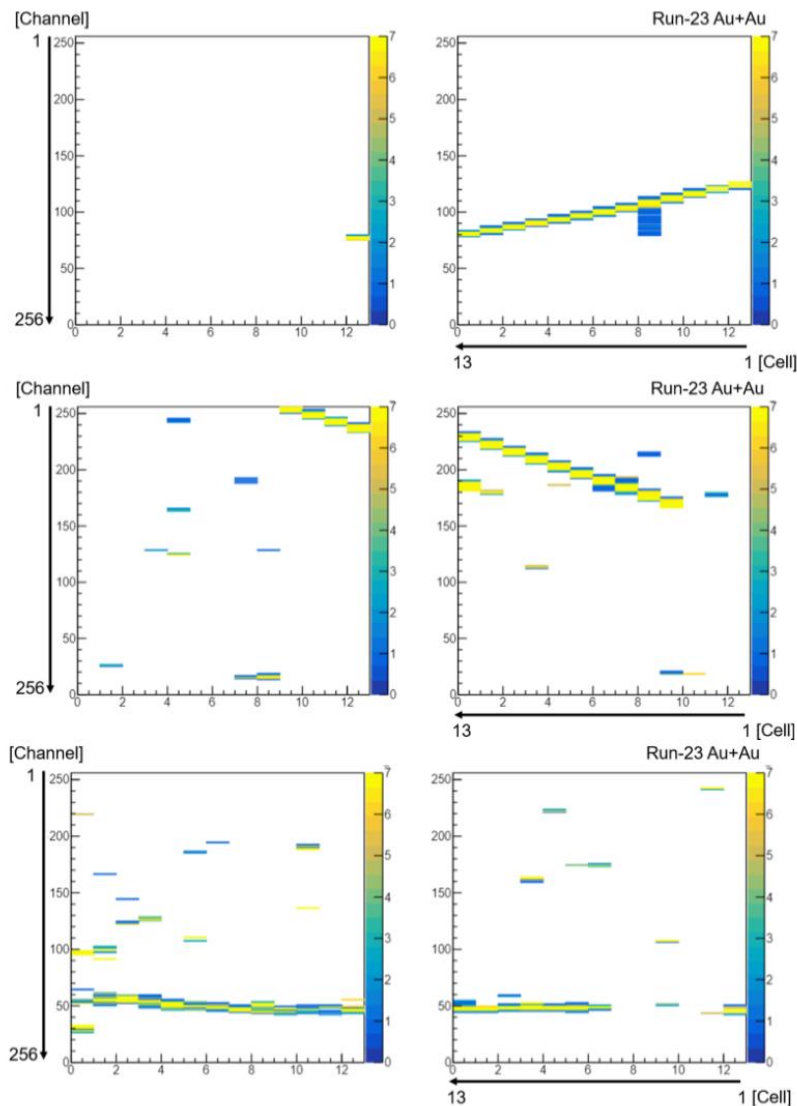
# 衝突点z座標Cutについて



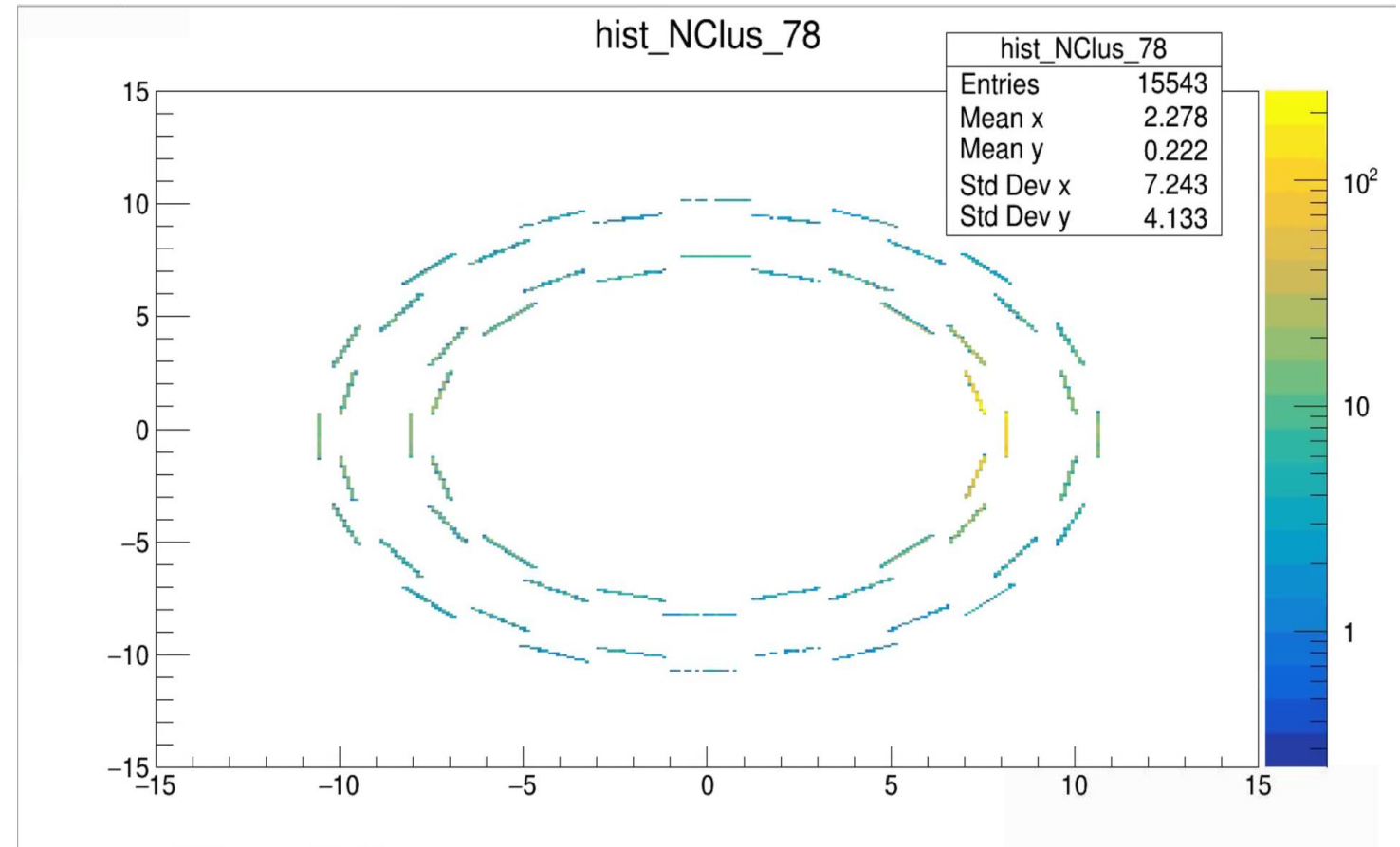
# Toy MC modelに使用したラダー ポジション



# Beam backgroundの長さ



- 偶然の重なり合いが起きないエリアの多重度カットを加えたCluster x;y座標

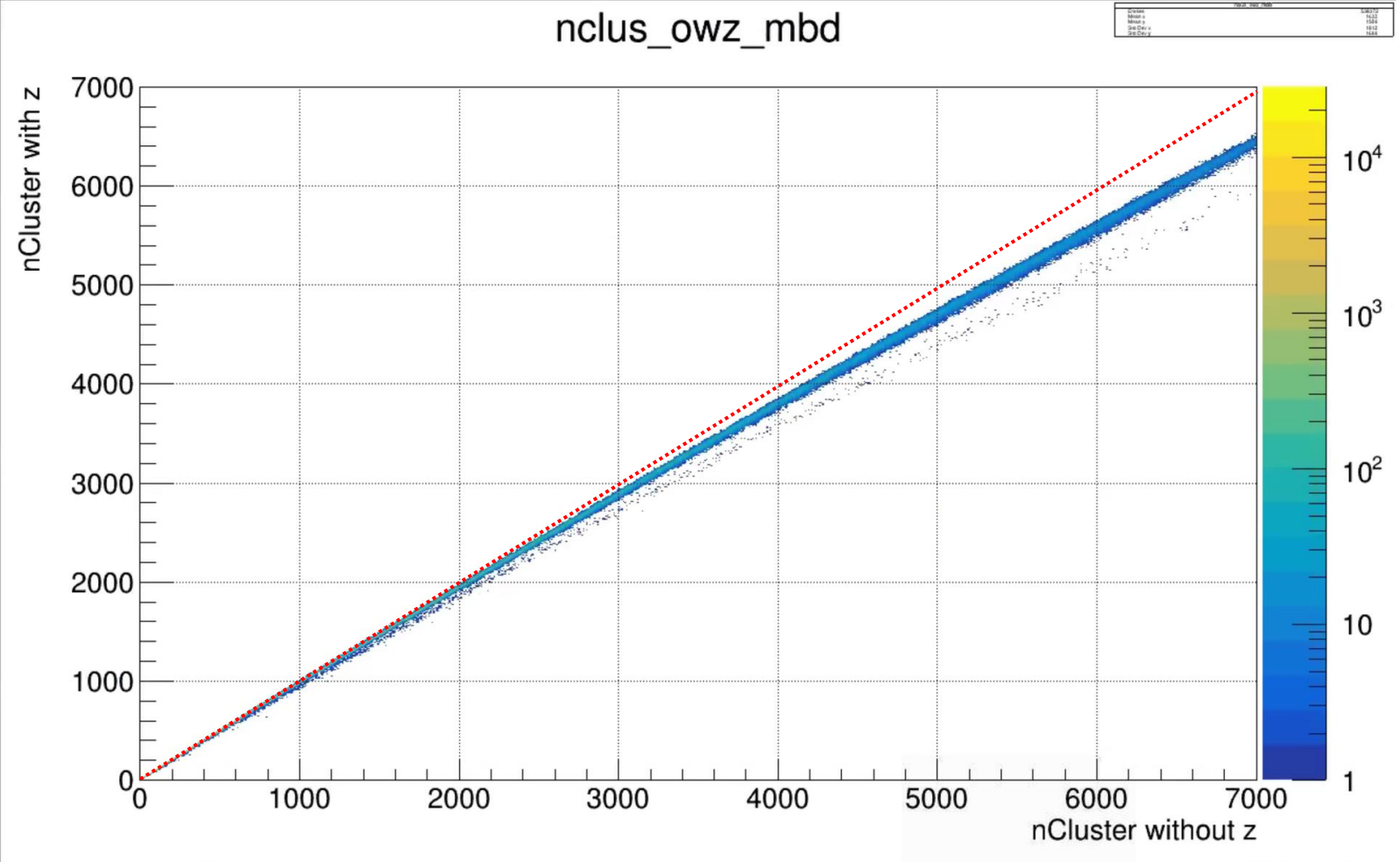
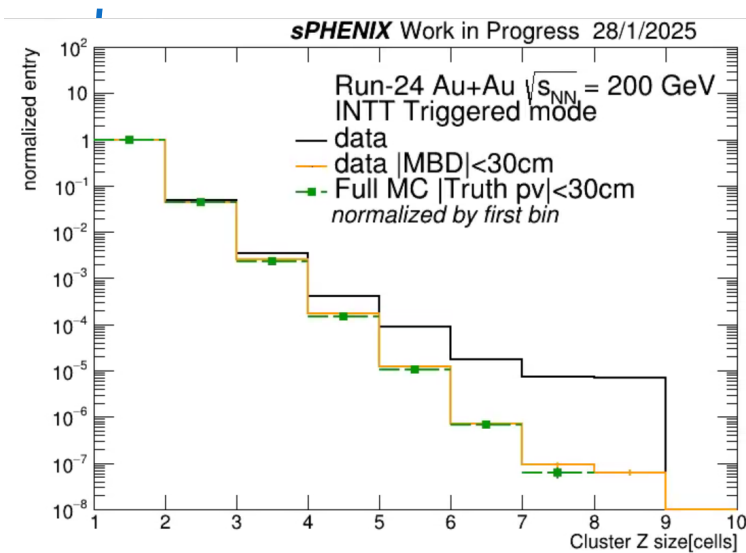


# タイトル

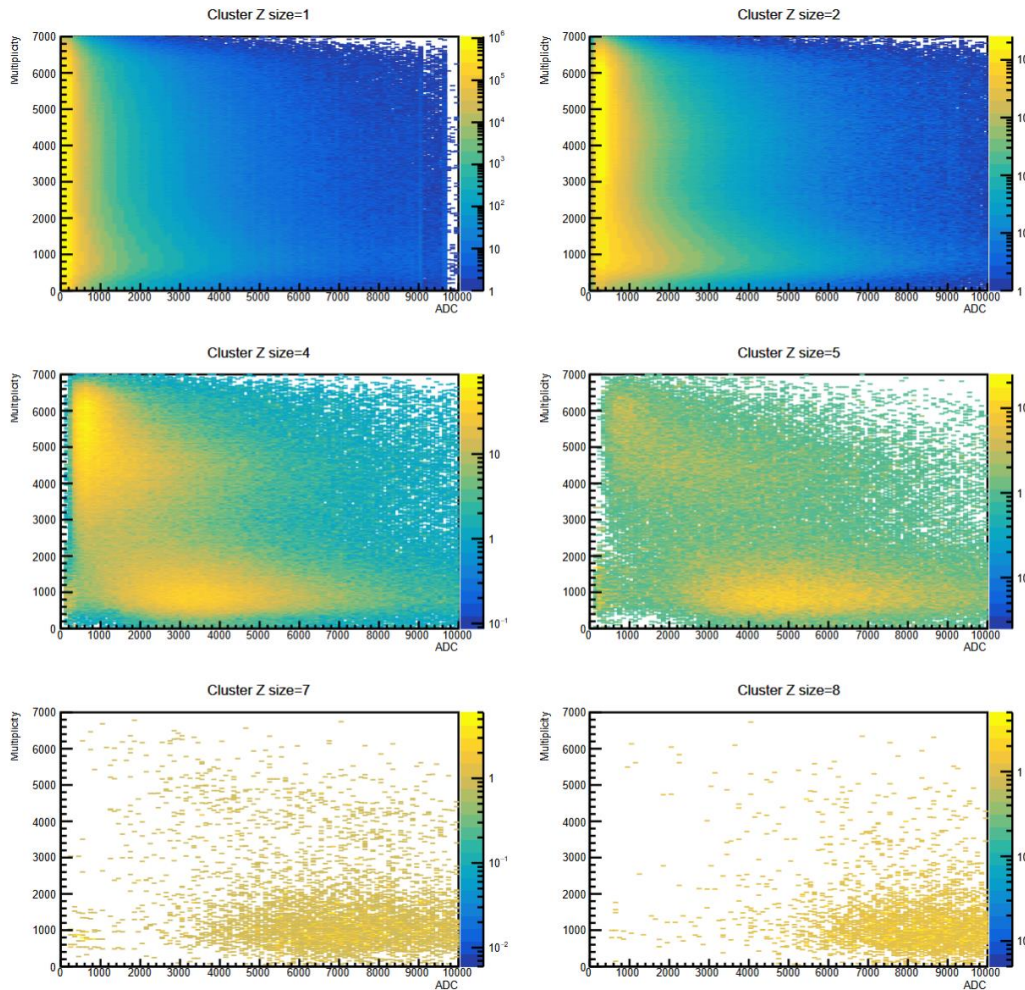
- あ

	クラスター数		
sPHENIX	1		
Toy MC	2		

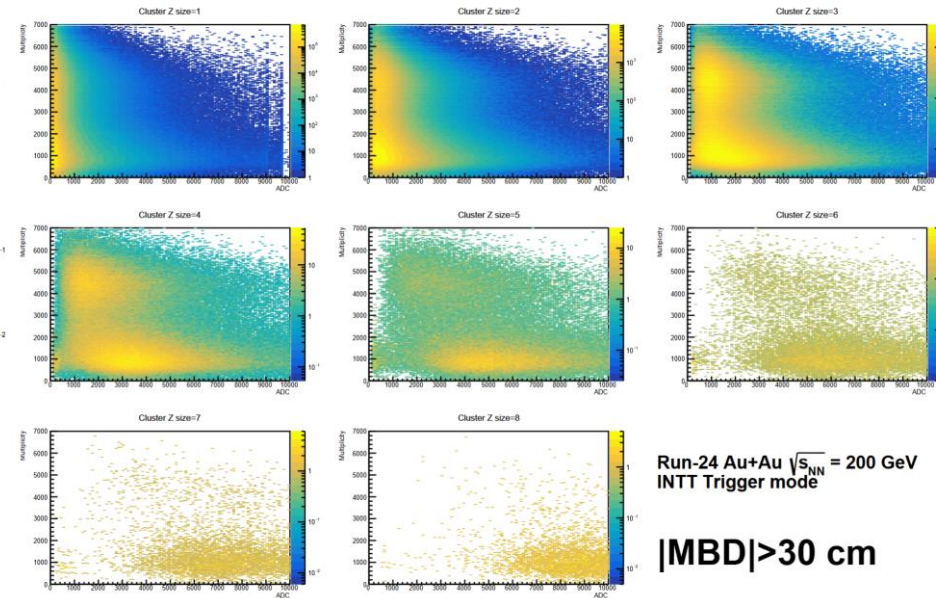
# タイトル







Run-24 Au+Au  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV  
INTT Trigger mode



Run-24 Au+Au  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV  
INTT Trigger mode

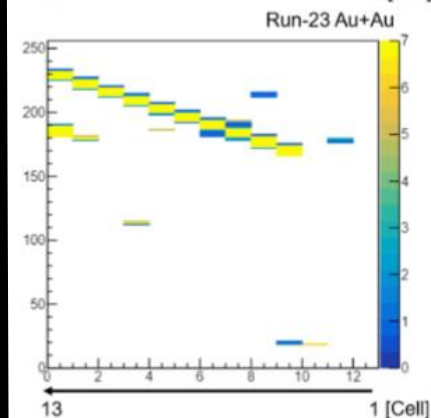
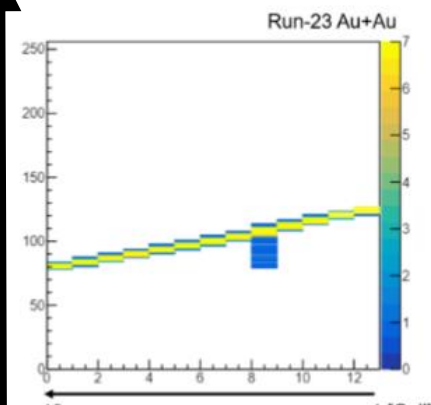
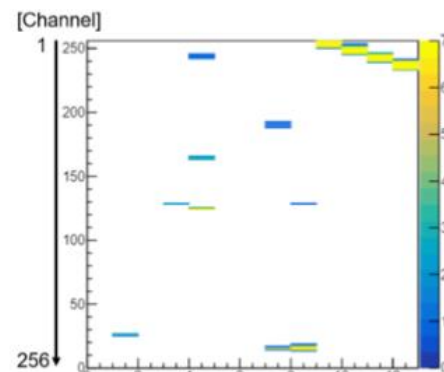
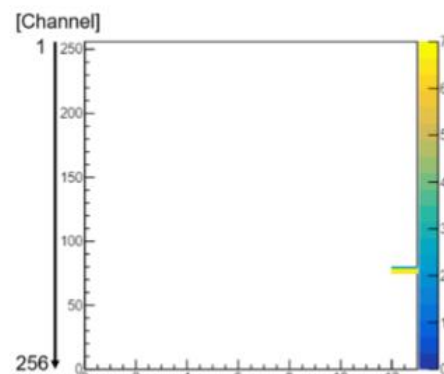
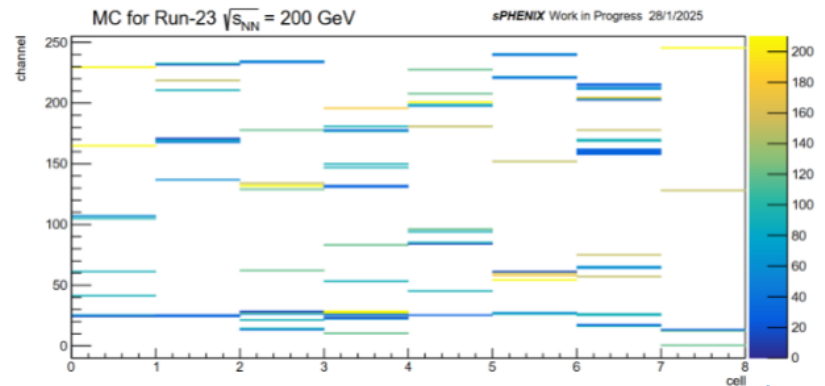
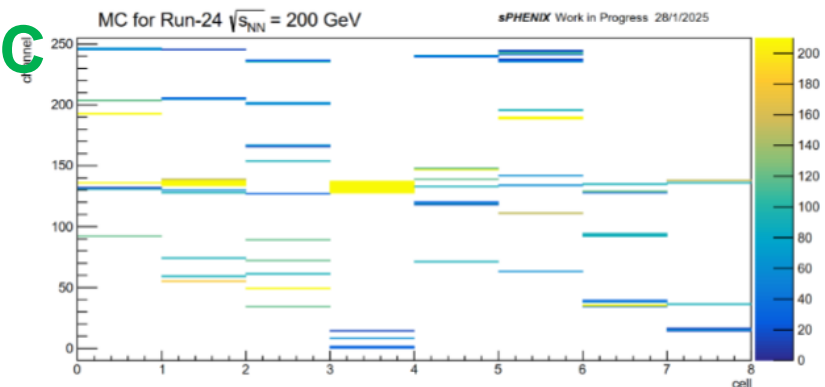
$|\text{MBD}| > 30$  cm



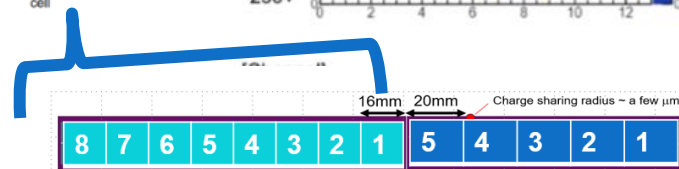
## ヒットマップで観測したbeam background

- ヒットマップに対して、粒子は紙面後ろ側から飛んでくる。

# Full MC (偶然)



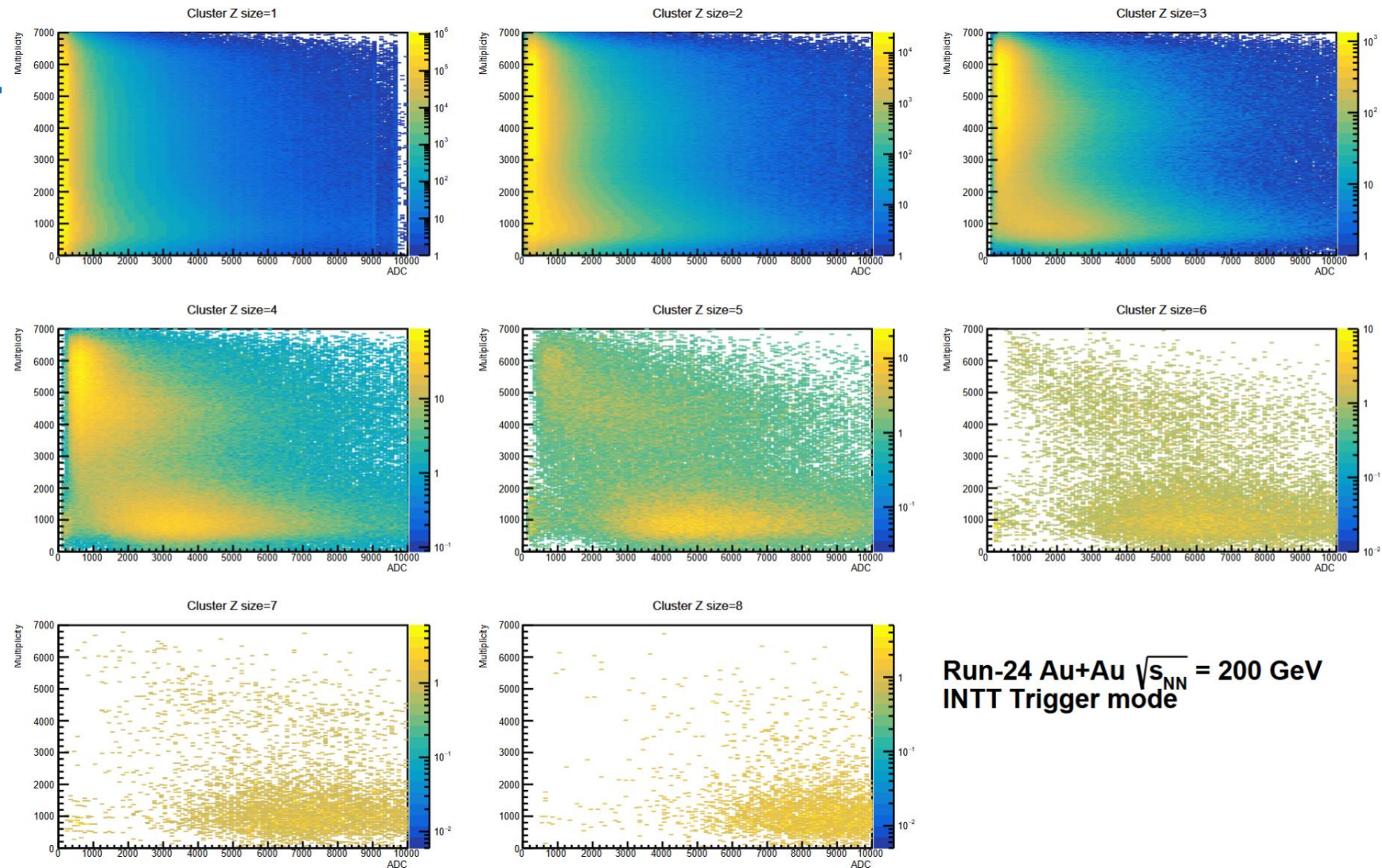
# Data



Z軸

# タイトル

• あ



Run-24 Au+Au  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV  
INTT Trigger mode

# モチベーション

---

Tomoya Kato (form Rikkyo University)

# TITLE

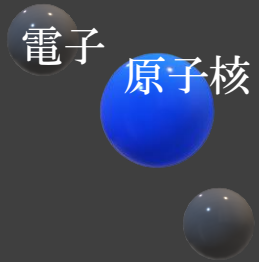
---

Tomoya Kato (form Rikkyo University)

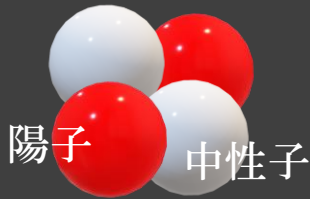
# 1 クォーク・グルーオン・プラズマ(QGP)とは？

## 通常

原子 $10^{-10}m$



原子核 $10^{-15}m$

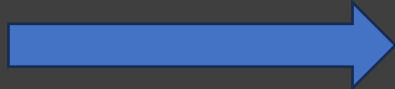


クォーク $10^{-18}m$



クォーク同士はグルーオンによって結び付いている。

## 宇宙誕生



## 0.000001s後の世界



クォークとグルーオンがバラバラ  
(プラズマ状態)

→クォーク・グルーオン・プラズ  
マ状態(QGP)

温度：2兆度

# 目次(Table of Contents)

---

あ  
い  
う



# タイトル

---

- あ

- 図



# タイトル

---

- あ