

# LHCf実験とATLAS実験の共同解析 のためのデータ処理

木下幸祐<sup>A</sup>, 毛受弘彰<sup>A</sup>, 伊藤好孝<sup>AB</sup>, Peter Steinberg<sup>C</sup>

他LHCfコラボレーション, ATLAS-ZDCグループ

名大ISEE<sup>A</sup>, 名大KMI<sup>B</sup>, BNL<sup>C</sup>



# 空気シャワーを用いた高エネルギー宇宙線観測

## ○ 高エネルギー宇宙線観測

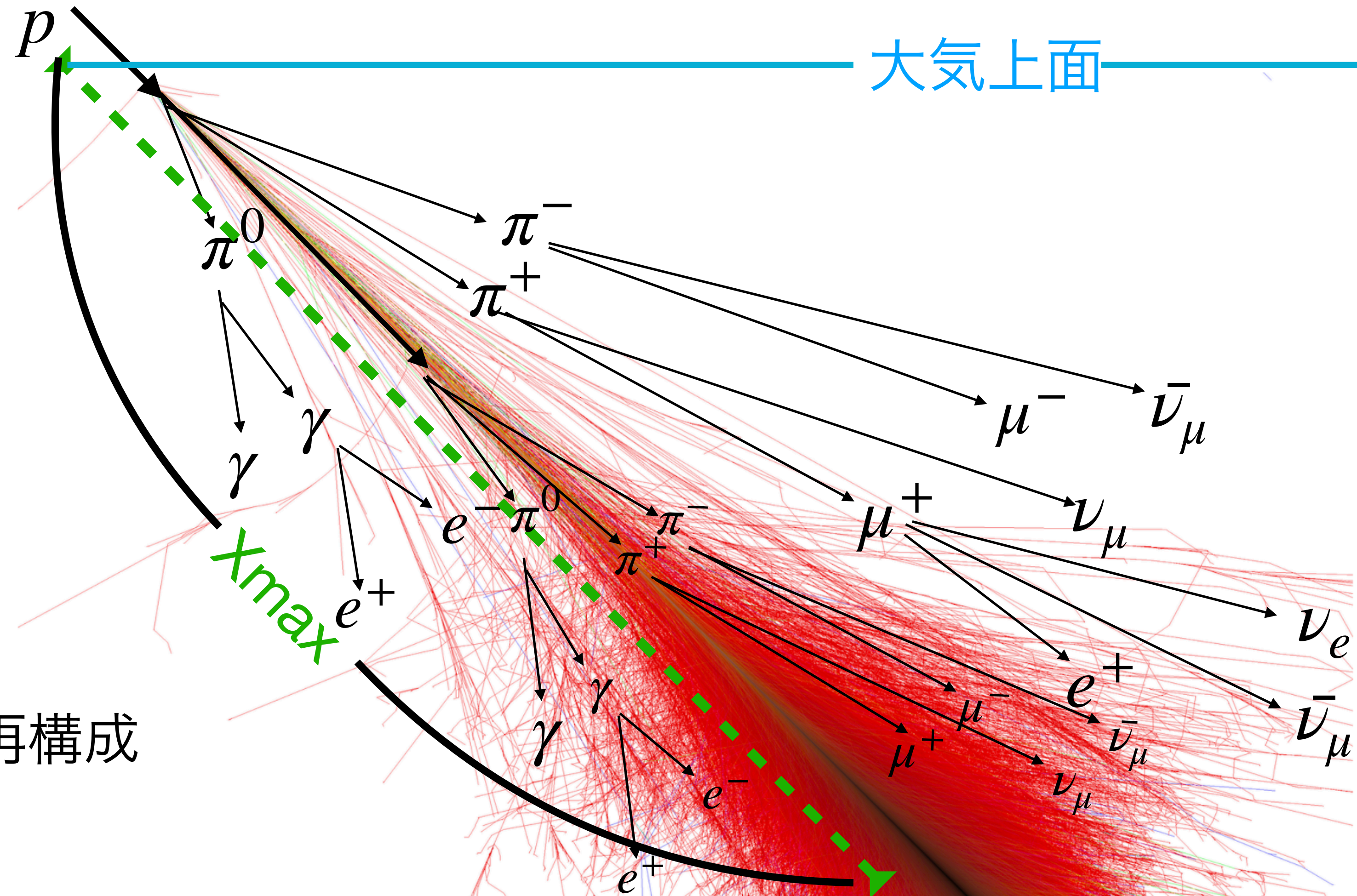
- 直接観測することは難しい
- $10^{18}$  eVの宇宙線は1年間で $1\text{km}^2$ に1個
- 空気シャワーを測定
  - 地表検出器による到来粒子数の測定
  - 大気蛍光望遠鏡による縦方向発達の測定

➡ MCによる一次宇宙線の情報の再構成

エネルギー、到来方向、質量組成

$X_{\text{max}}(\text{g}/\text{cm}^2)$

大気上面からシャワー中の粒子数が最大となる大気深さ

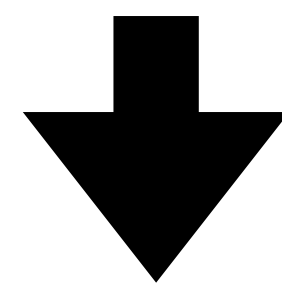




# ハドロン相互作用モデルによる観測値への影響

## ○ 空気シャワーに与える影響

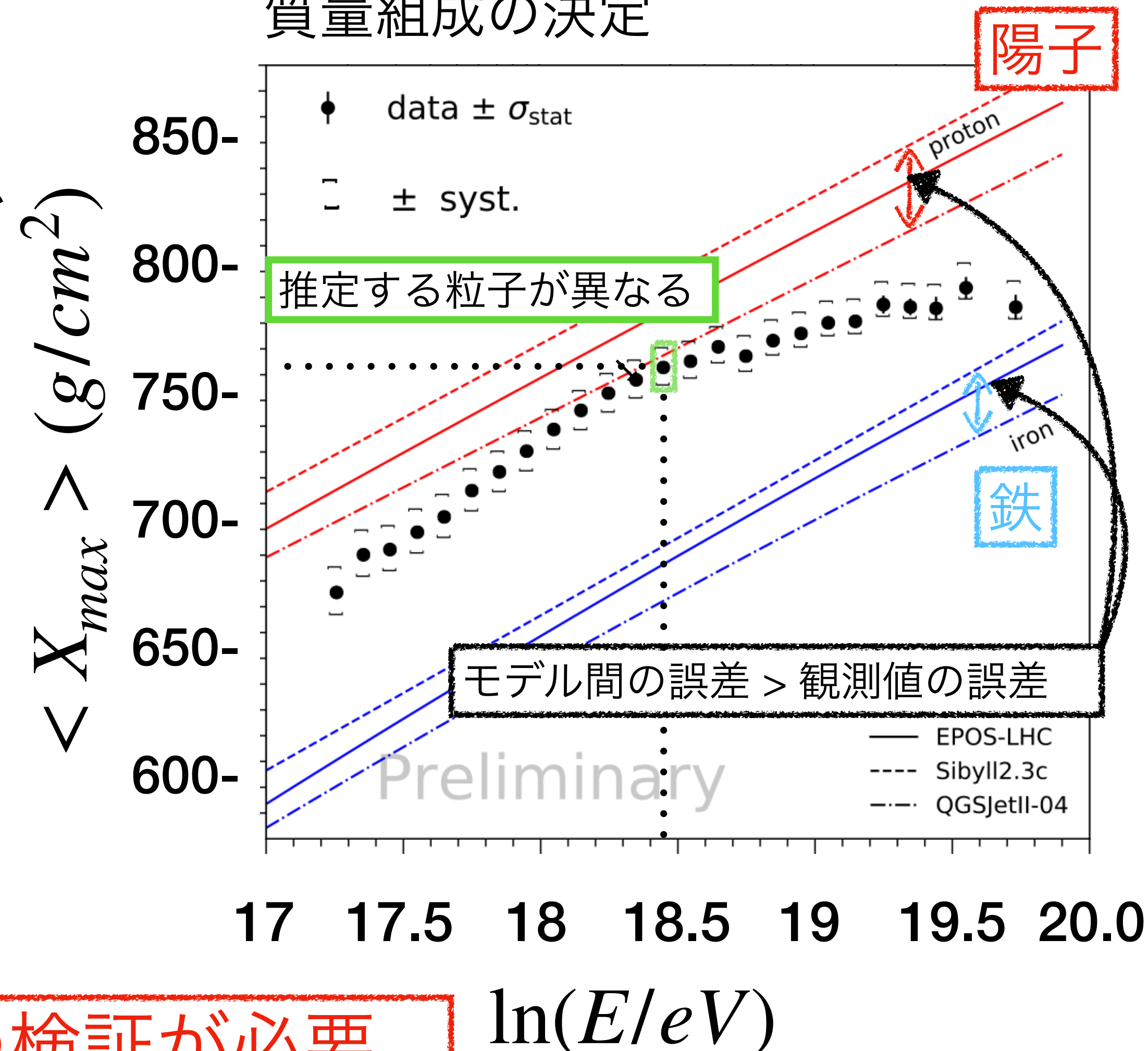
- シミュレーションによって情報を再構成
- ハドロン相互作用モデル毎に観測データの解釈が異なる (ex.質量組成の決定)



- 高精度測定には大気中における相互作用の正しい理解が必須
- 相互作用モデルが現象論で記述されるため校正が不可欠

PoS(ICRC2019)482

質量組成の決定



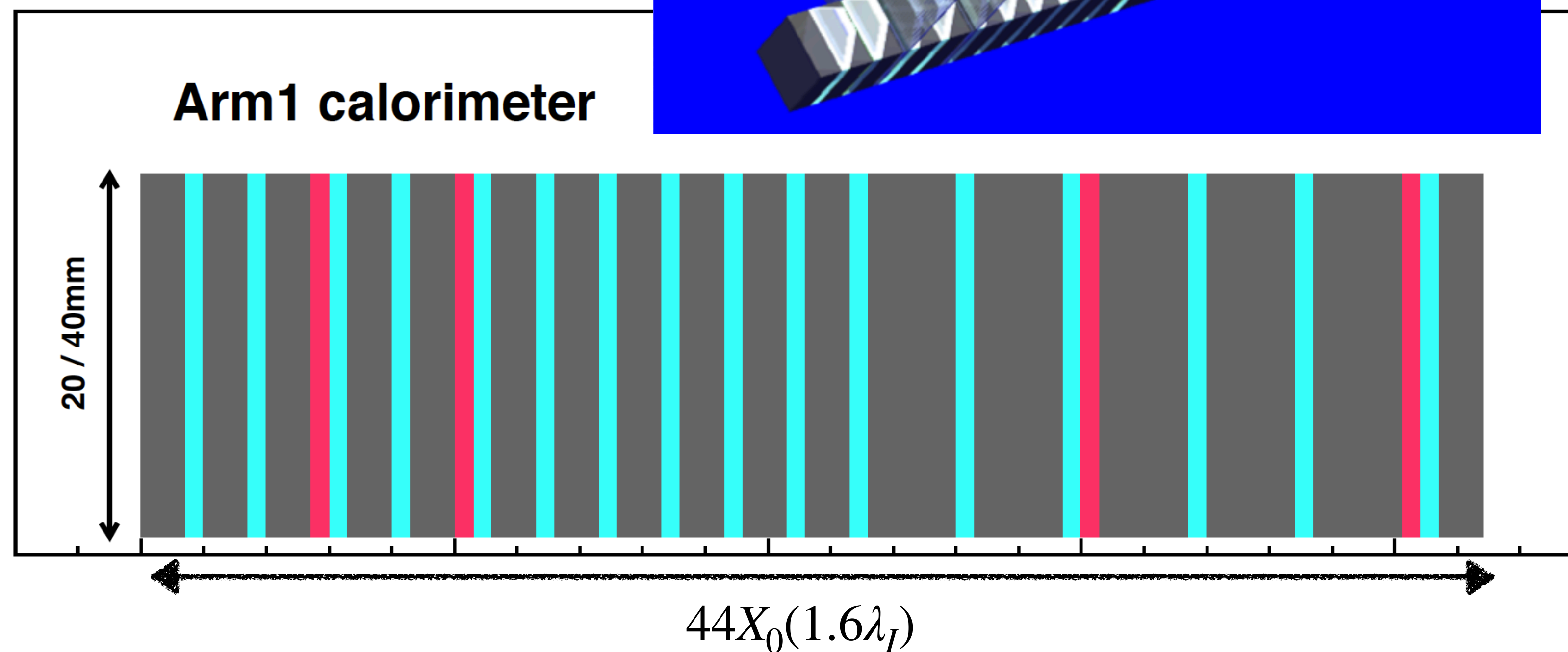
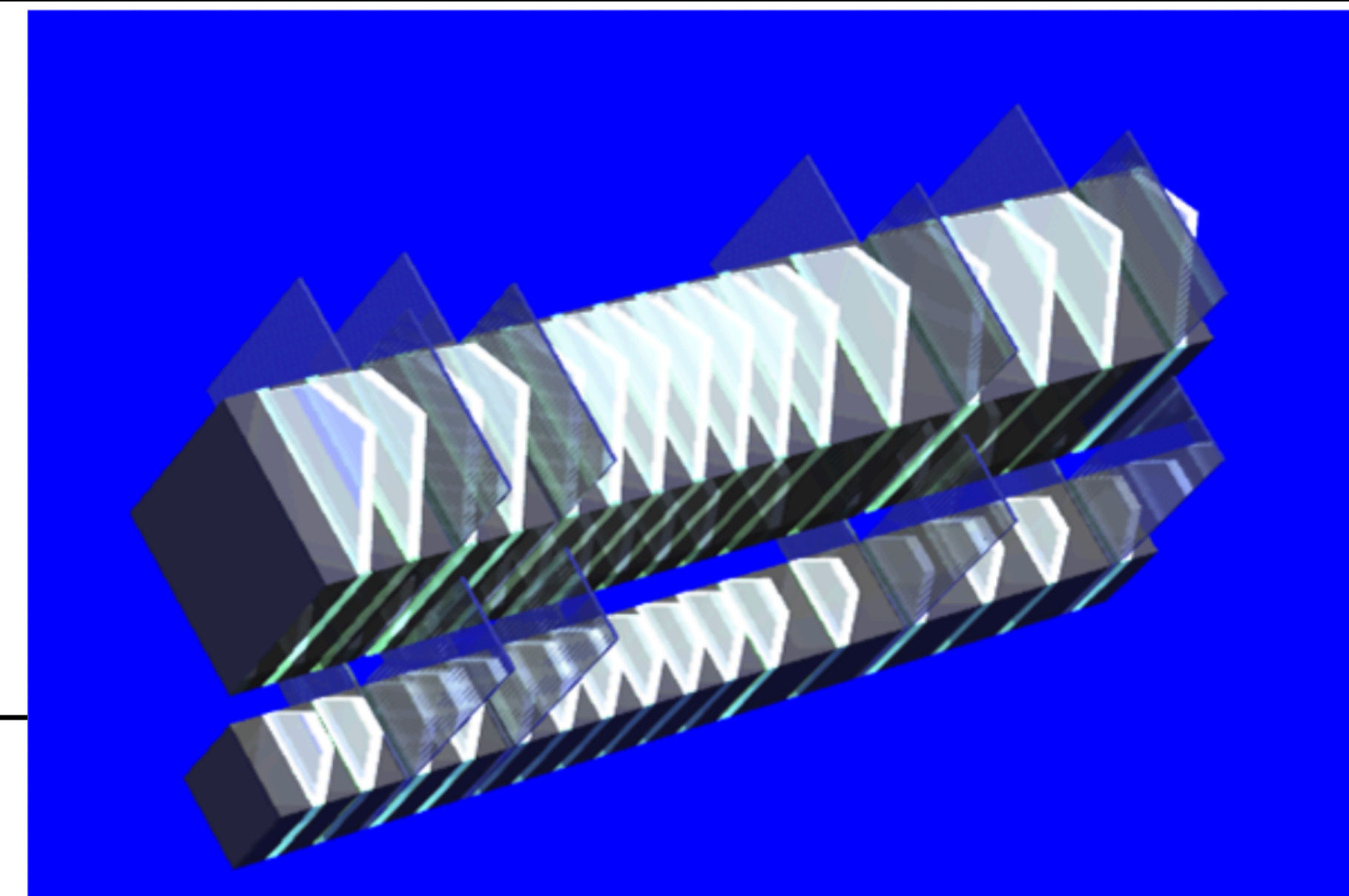
加速器によるハドロン相互作用モデルの検証が必要

$\ln(E/eV)$

# LHCf検出器

- サンプリングカロリメータ
- 位置検出層4層
- シャワー発達層, シンチレータ層16層
  - 44放射長
  - 1.6相互作用長
- 40×40mm, 20×20mm (arm1)
- 32×32mm, 20×20mm (arm2)
  - 独立した二つの検出面
  - 複数入射を防ぐため

- タングステン層
- シンチレータ層
- 位置検出層

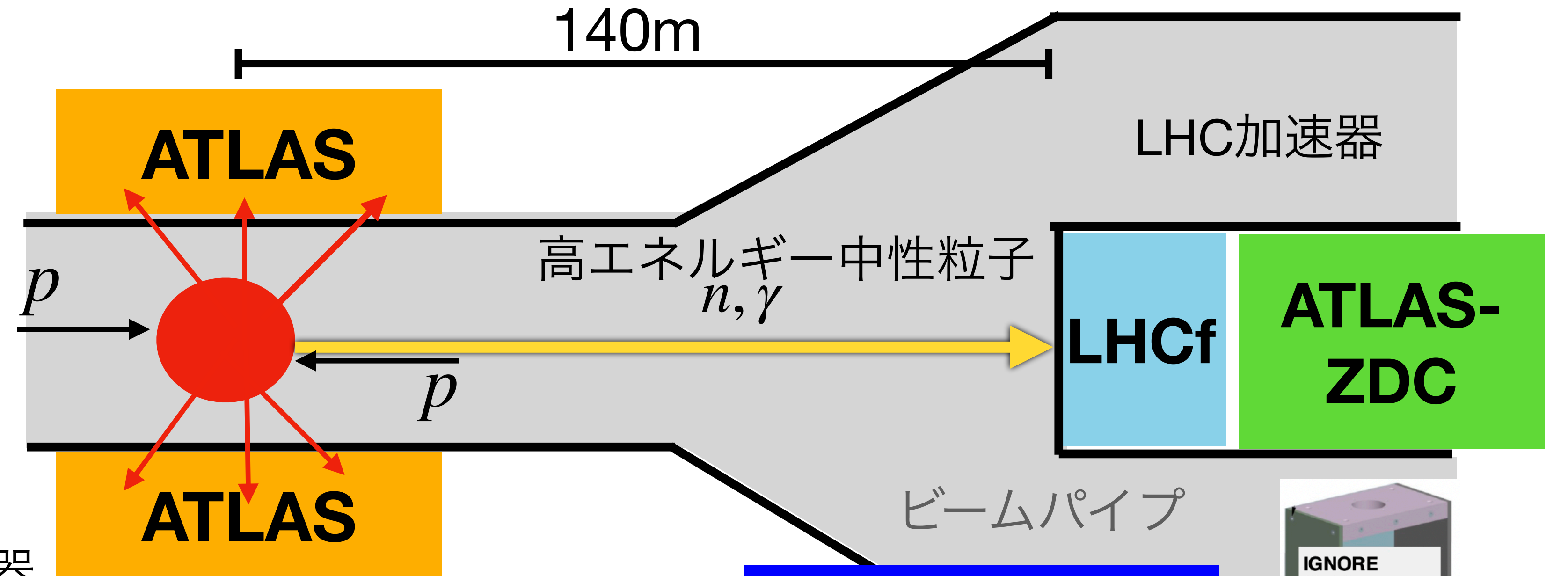




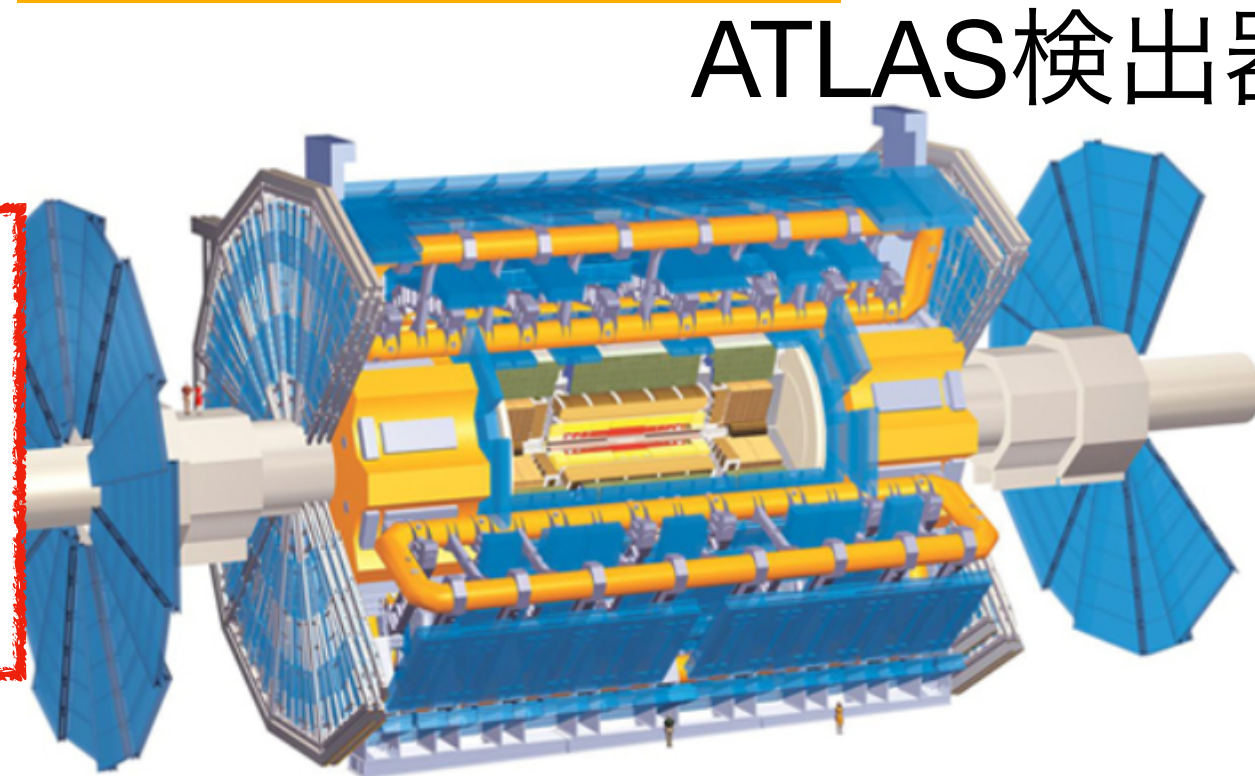
# LHCf実験

## ○ 2022年測定

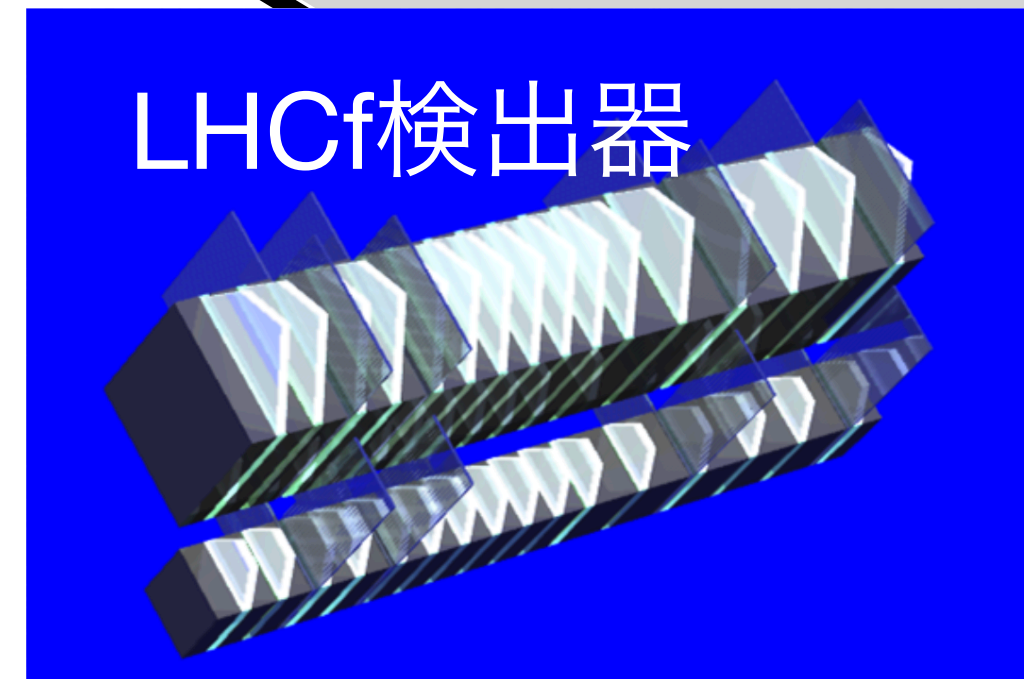
- pp衝突 ( $\sqrt{s}=13.6\text{TeV}$ )
- 衝突点から±140mに設置
- ATLAS実験との共同測定
- 衝突点中心：ATLAS検出器
- 衝突点前方：ATLAS-ZDC検出器



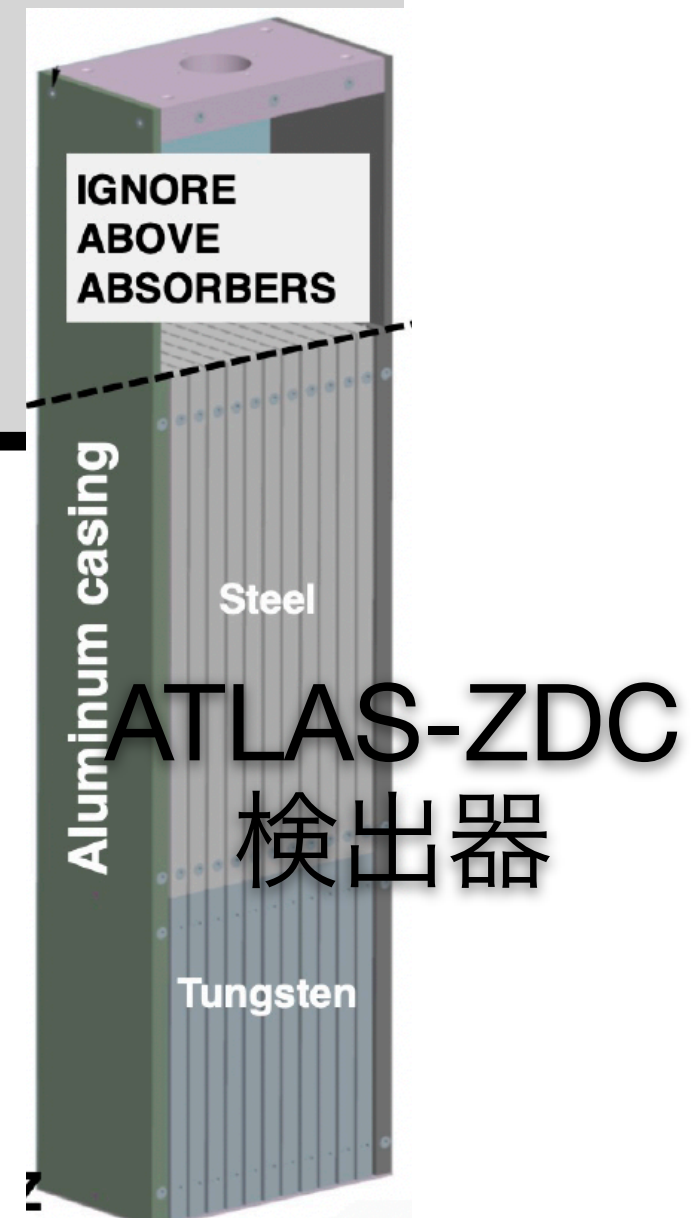
**300Mイベント**  
**2022/9/23 ~ 2022/9/26**



ATLAS検出器



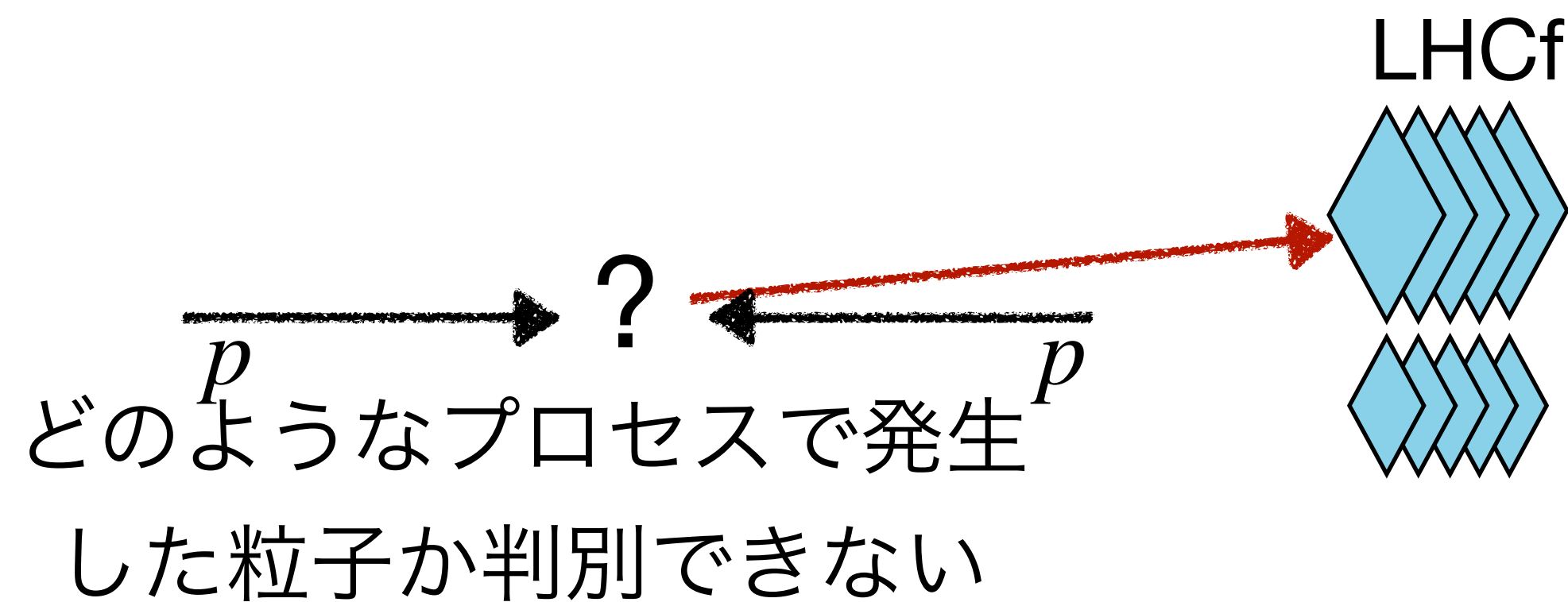
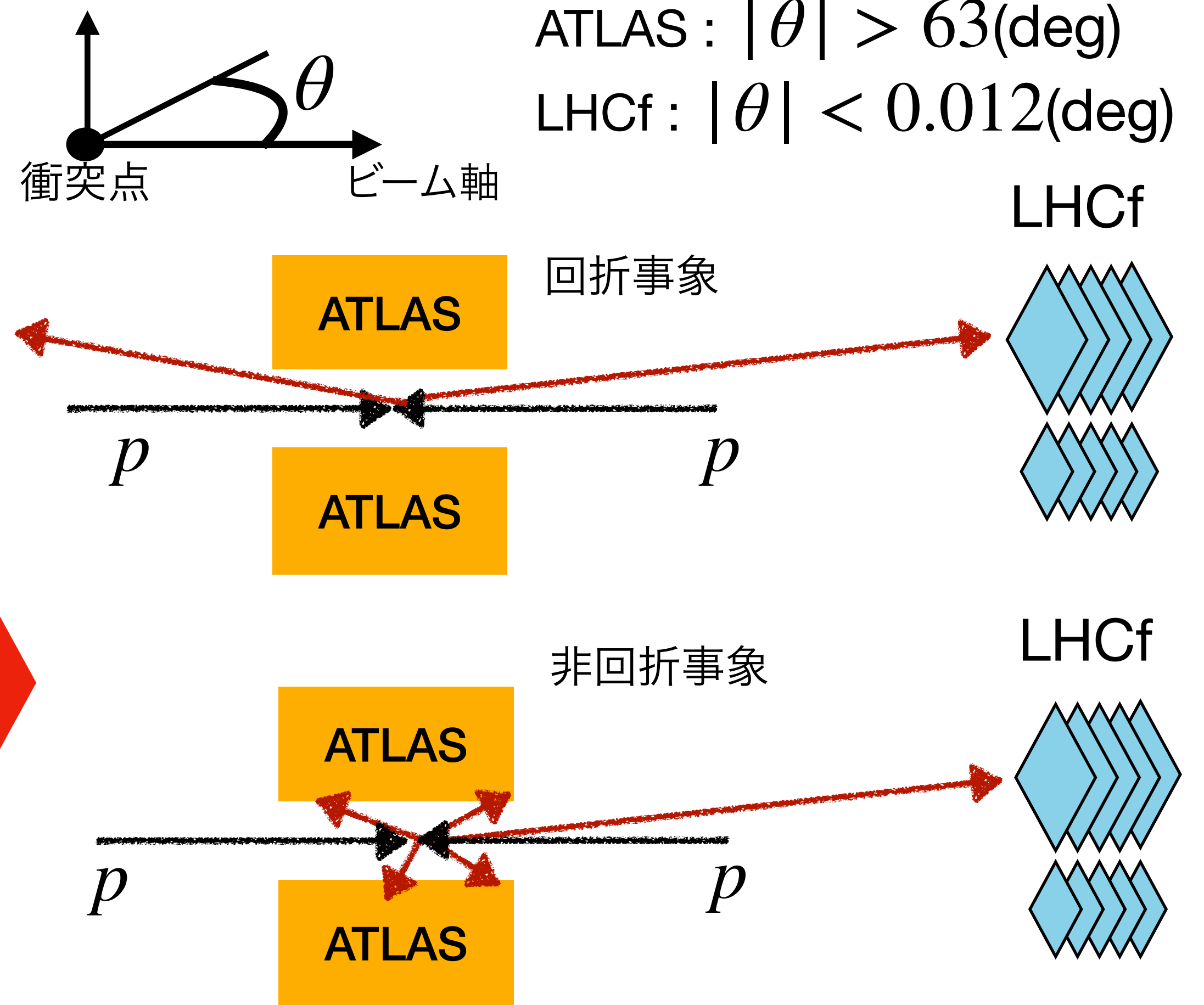
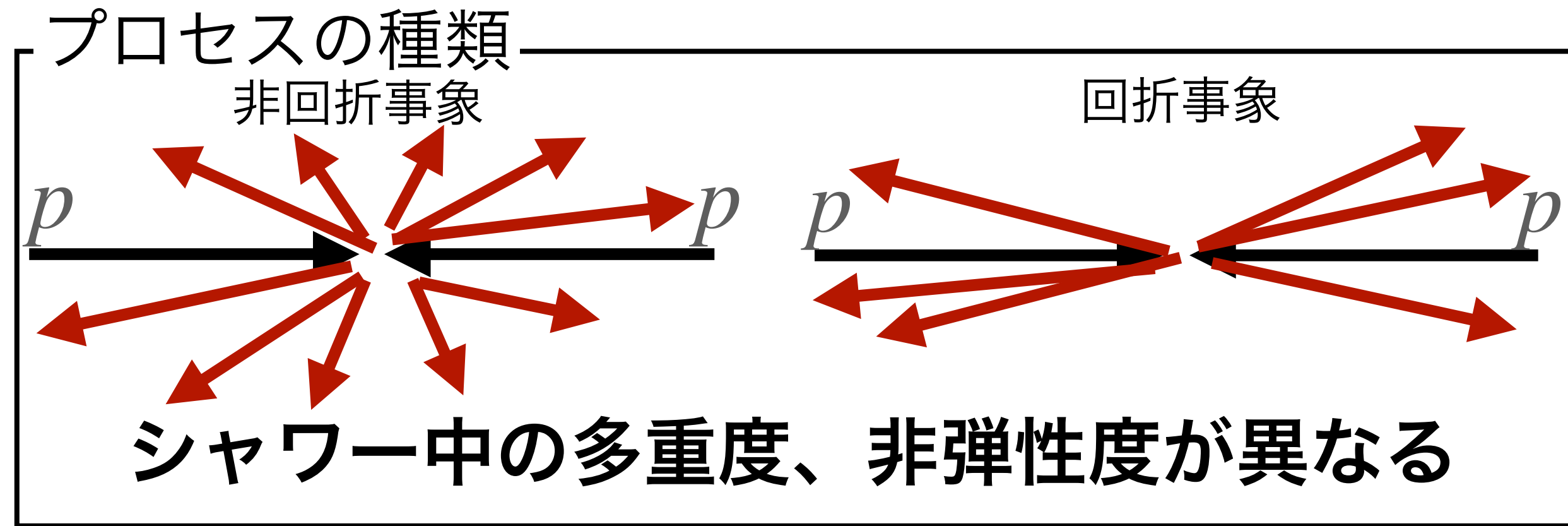
LHCf検出器



ATLAS-ZDC  
 検出器

# LHCf-ATLAS共同解析の動機

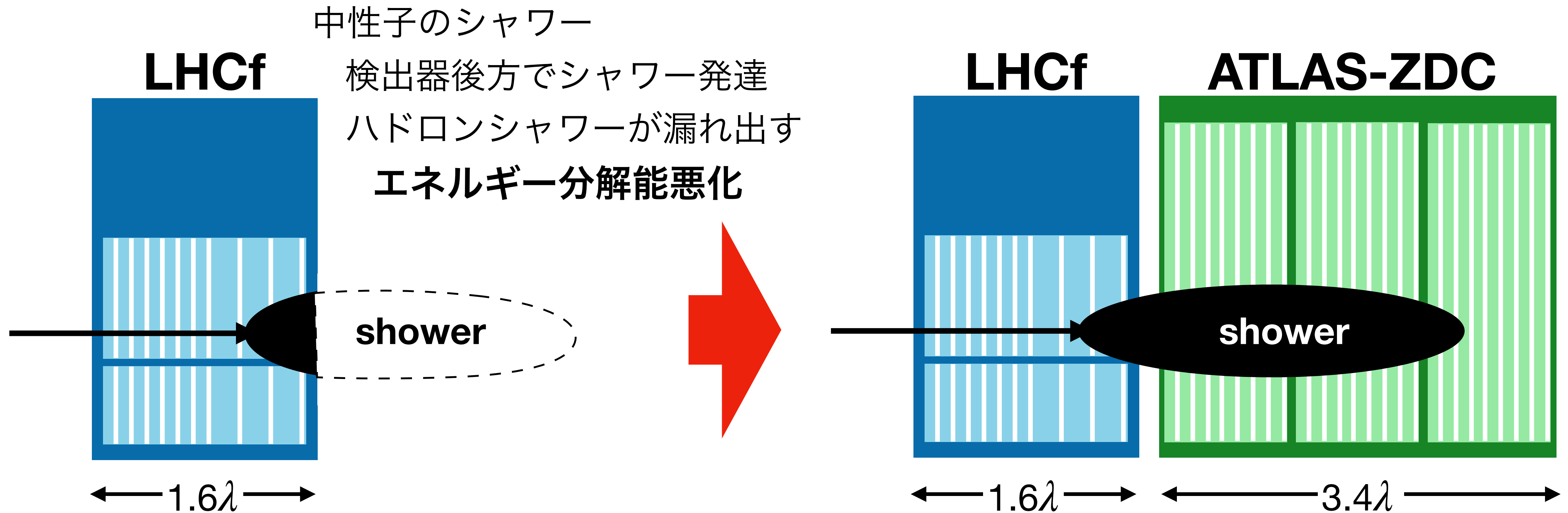
## ○ プロセス毎の解析 (中心領域での共同解析)



ハドロン相互作用モデルの改良につながる

# LHCf-ATLAS共同解析の動機

- 中性子エネルギー分解能の向上（前方領域での共同解析）



**ZDCとの共同測定でLHCfから漏れ出すシャワーを検出することでエネルギー分解能を向上（2022 物理学会春季大会 近藤）**

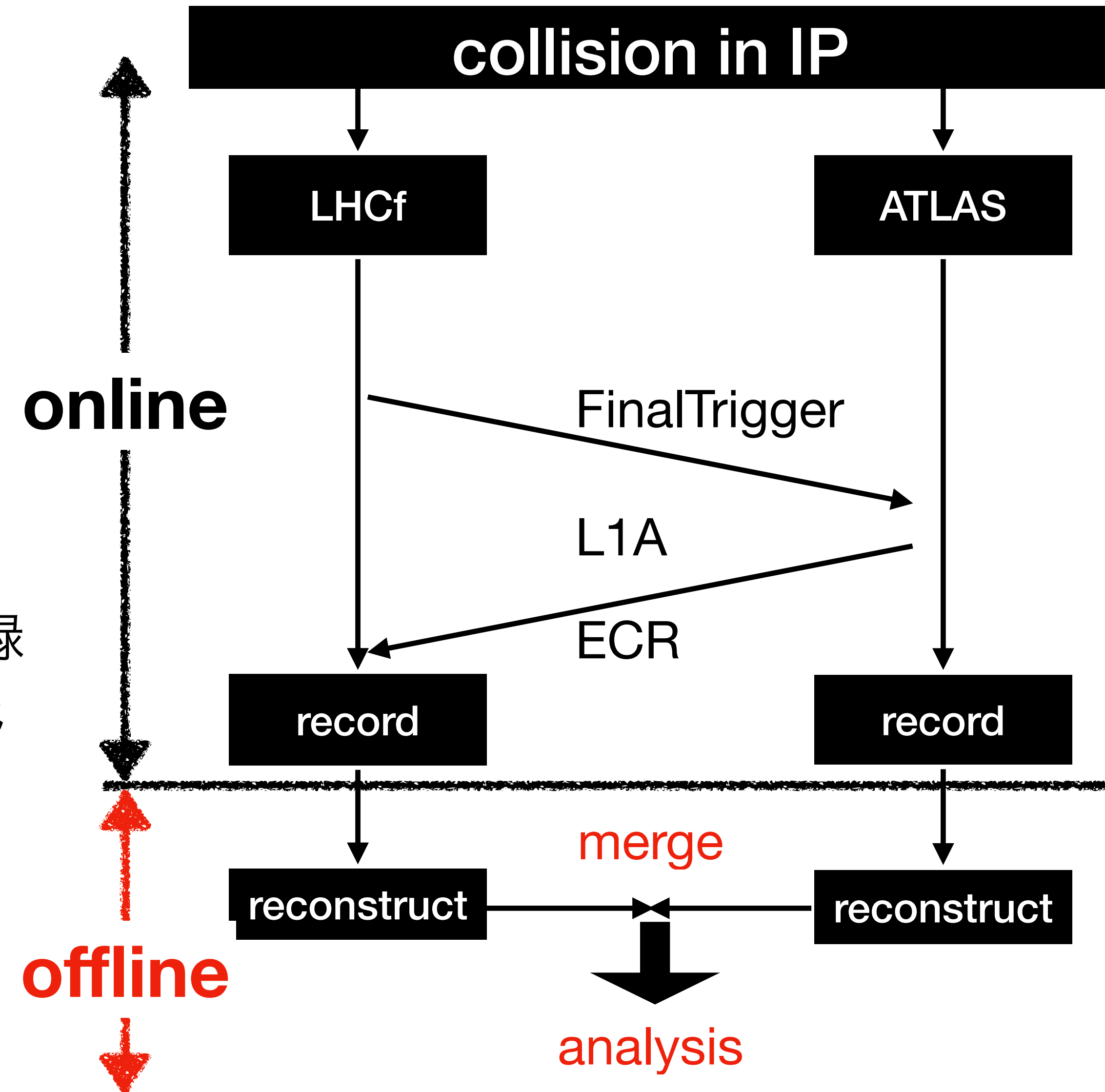


# データ取得の流れ

## ○ イベント記録

1. LHCfで粒子検出
  2. ATLASにLHCfのトリガー情報 (FinalTrigger) を送る
  3. ATLASではFinalTriggerの有無を条件として記録
  4. ATLASからL1A (= 0 or 1) をLHCfに送る
  5. LHCfでL1AとECRを記録
- ATLAS, LHCf ( Arm1, Arm2 )が独立してデータを記録
  - 共同解析はお互いが記録したイベントデータが同じイベントである必要がある

**イベントマッチの手法の開発と  
その検証を行う**





# イベントマッチ

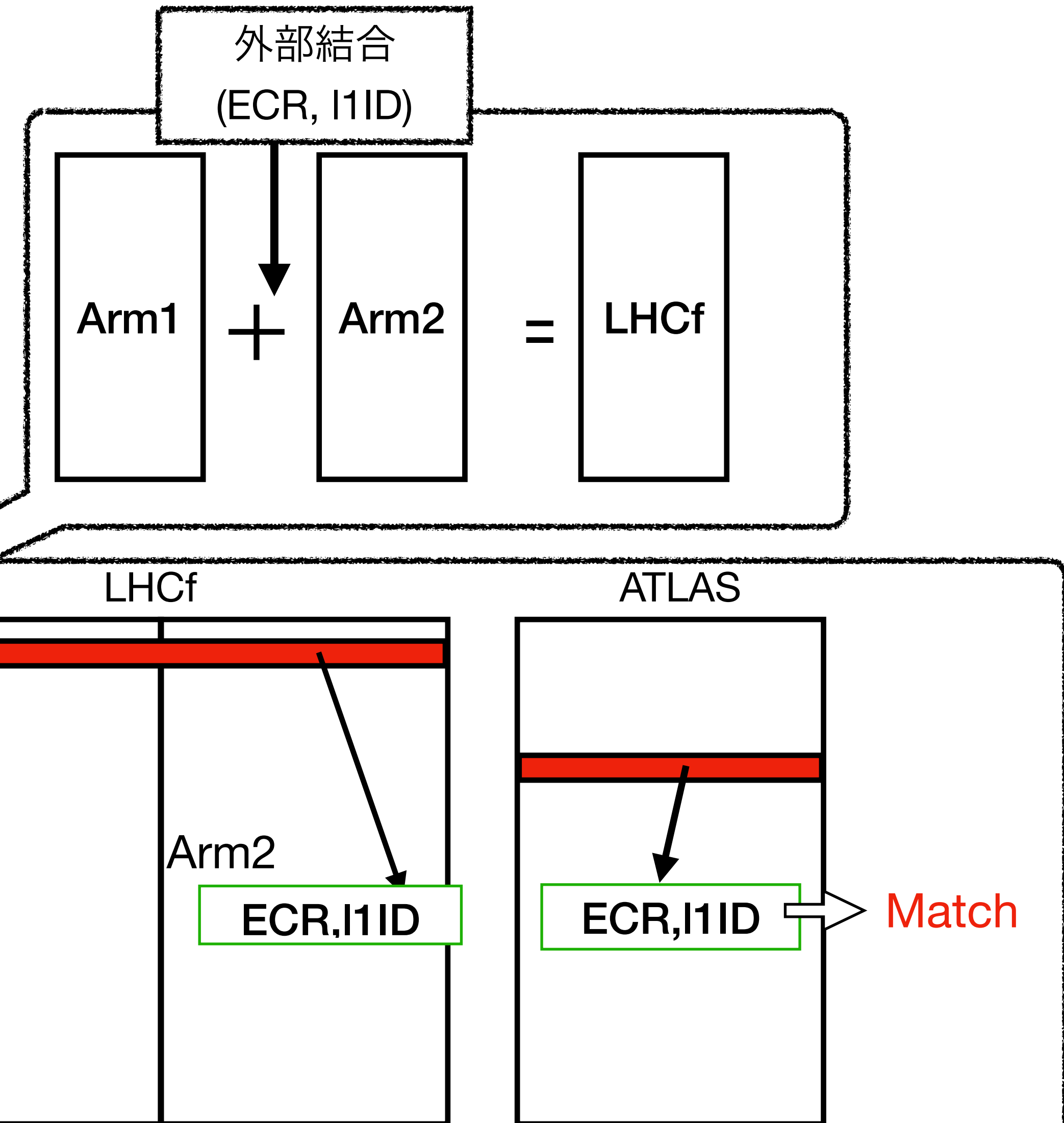
## ○ イベントマッチに用いるデータ

L1ID: ATLASでイベント識別に使用している通し番号  
(=L1Aの発生回数)

ECR (Event Counter Reset) : 4秒毎に振られる通し番号  
(=L1IDのリセット回数)

## ○ イベントマッチの手法

1. Arm1, Arm2 : L1A=1のイベント,  
ATLAS : L1LHCf=1のイベント
2. Arm1とArm2のデータを結合  
(独立に記録しているため)
3. ATLASから提供されたデータを時間順にソート
4. ECRとL1IDを用いてイベントマッチ



# イベントマッチの結果と検証

## ○ イベントマッチの結果 (10分あたり ~ 1M)

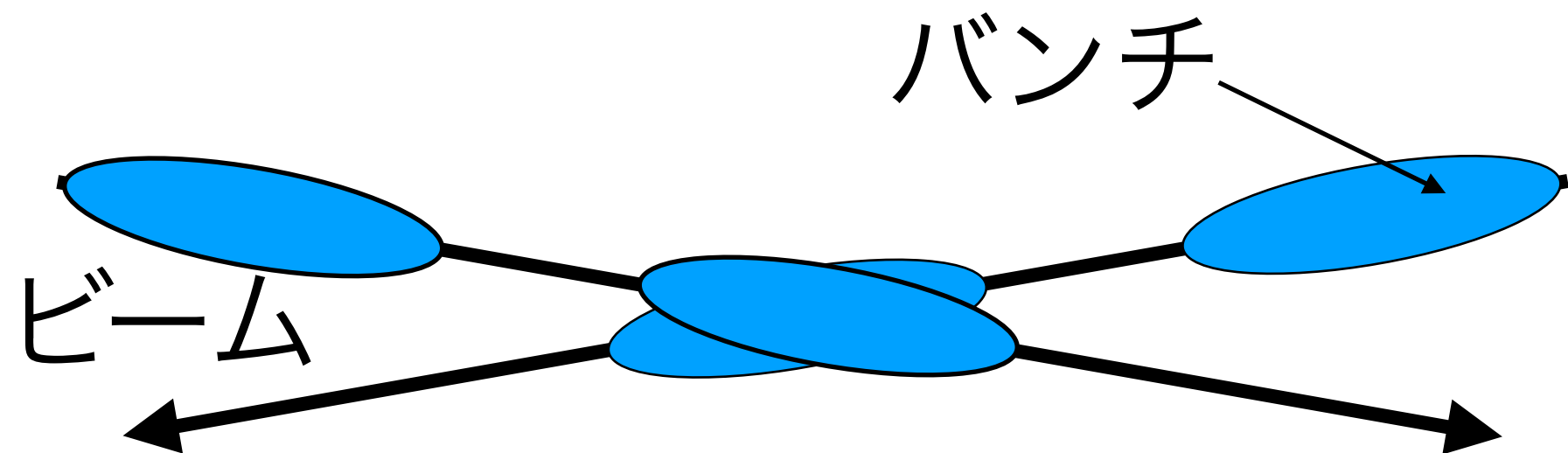
	マッチしていない LHCfのイベント	マッチしていない ATLASのイベント	マッチした イベント
イベント数	~200	~200	~1M

## ○ イベントマッチの検証

- マッチしたお互いのイベントのBCID
- ATLASのイベントデータによる条件が与えるヒストグラムの変化

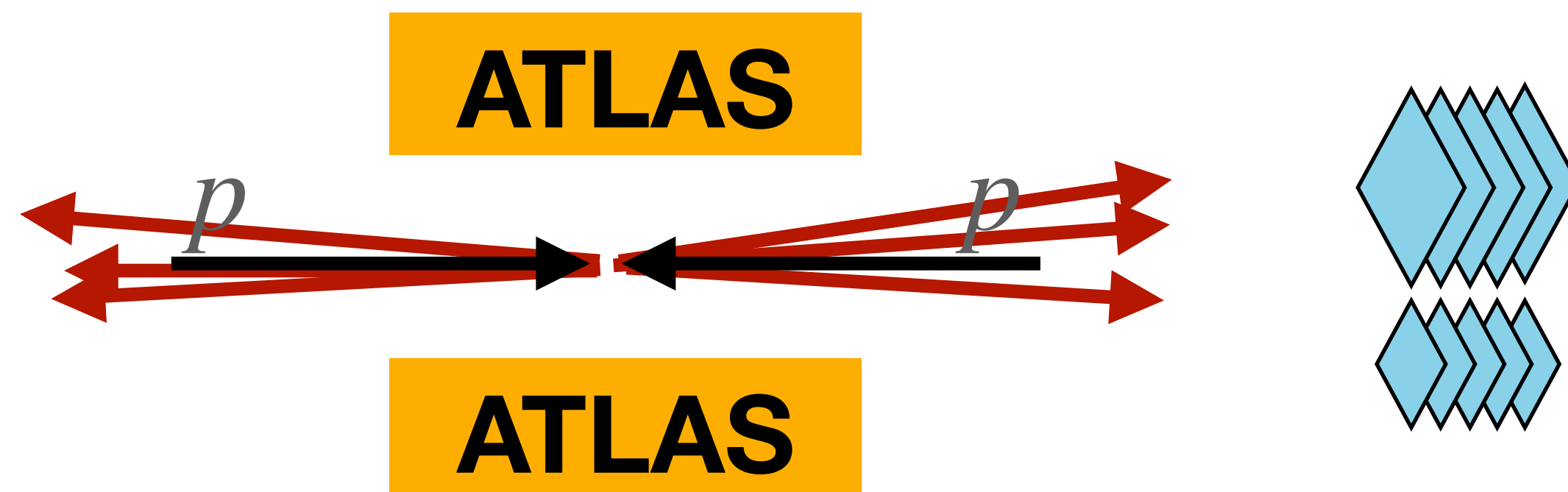
### BCID(Bunch Crossing ID)

- バンチ：加速器内のビームの塊
- BCID：バンチに振られる識別番号(1~3323)



### 光子のエネルギースペクトラムの変化

- ATLAS内部検出器で検出された荷電粒子数=0を条件として追加
- 回折事象ではないイベントをカット





# BCIDを用いたイベントマッチの検証

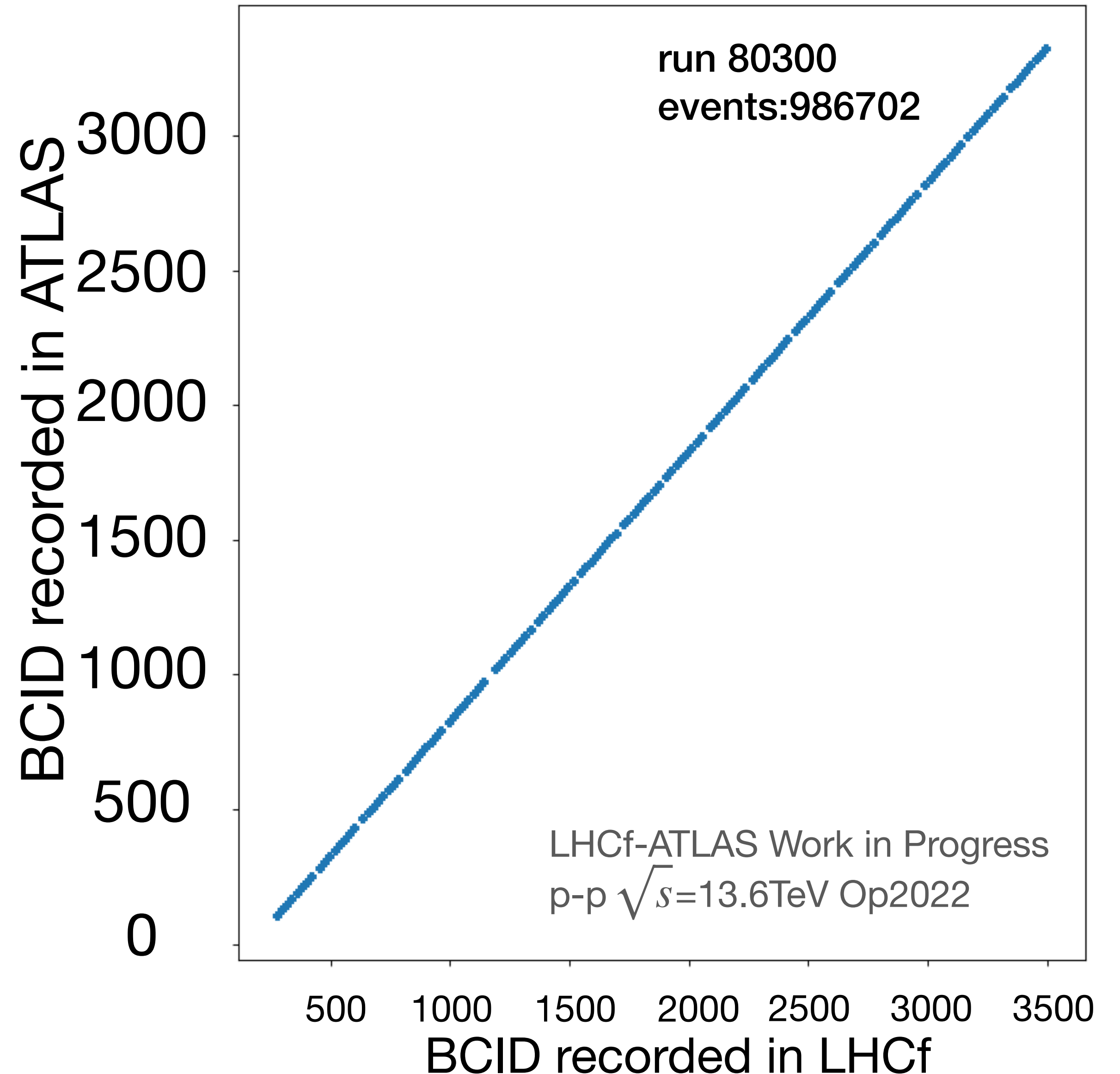
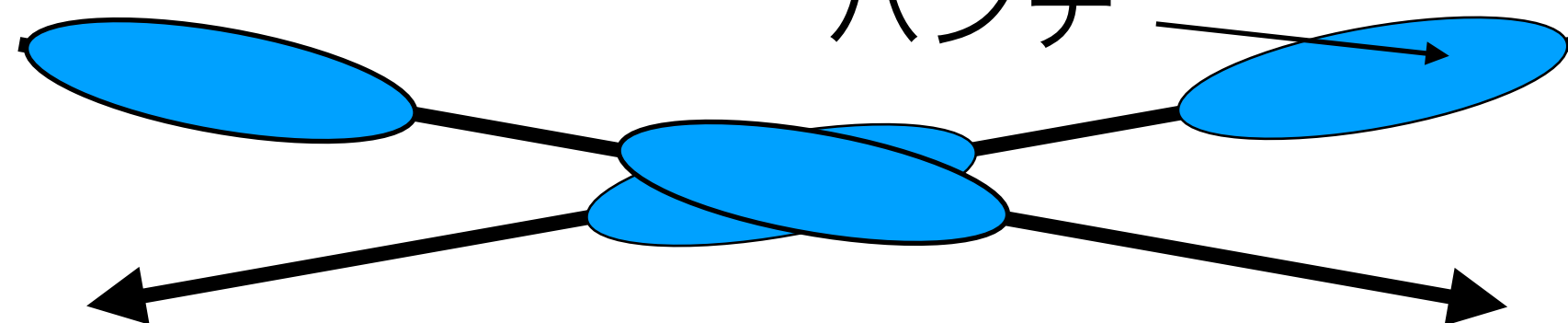
## ○ BCID散布図

- 一次関数になっている
- ずれたデータ点が一つも見つからなかった
- 他のランでも同様の結果

完全に一対一に対応している

### BCID(Bunch Crossing ID)

- バンチ：加速器内のビームの塊
- BCID：バンチに振られる識別番号(1~3323)
  - LHCfとATLASでIDの降り始めが異なるバンチ



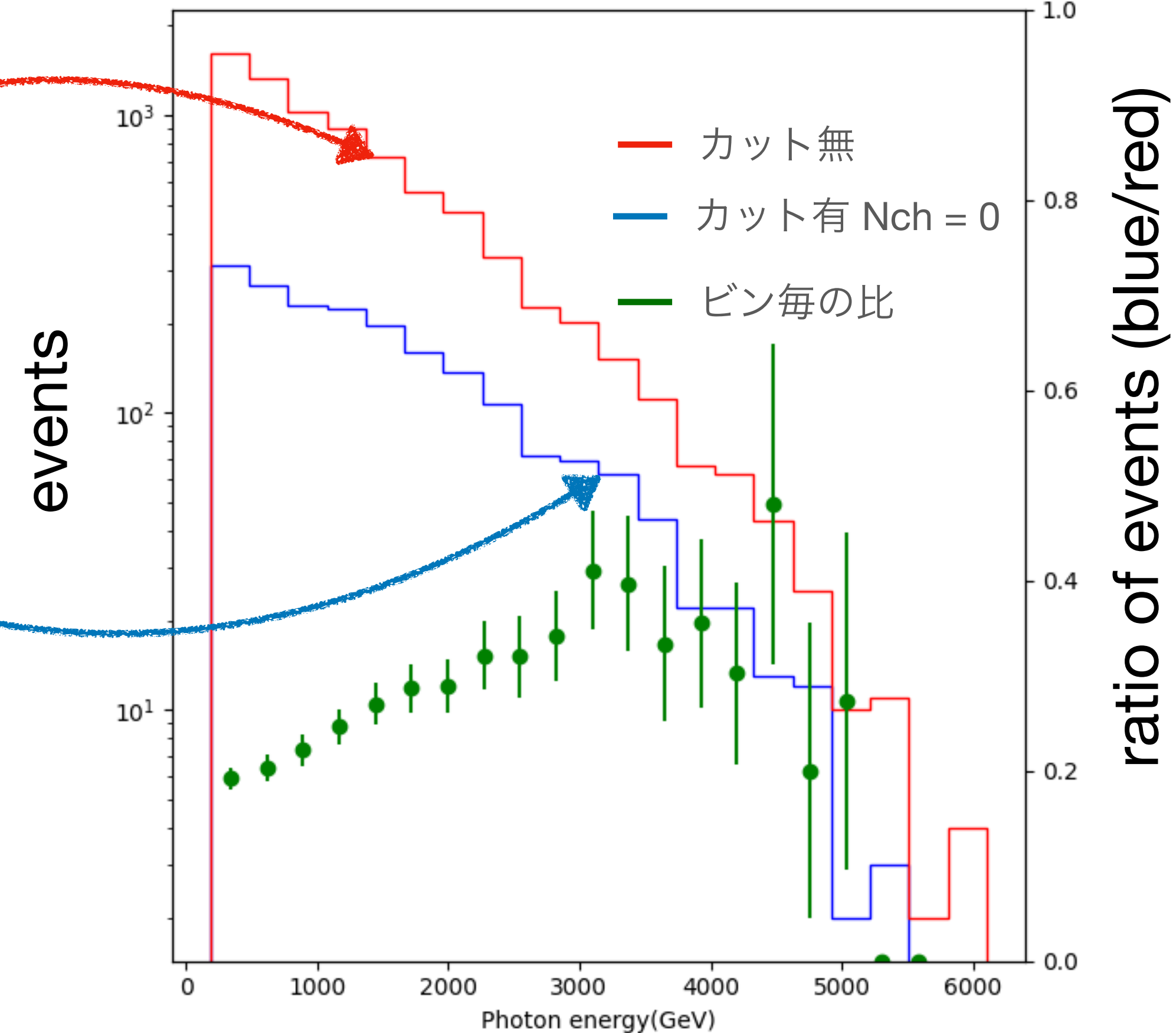
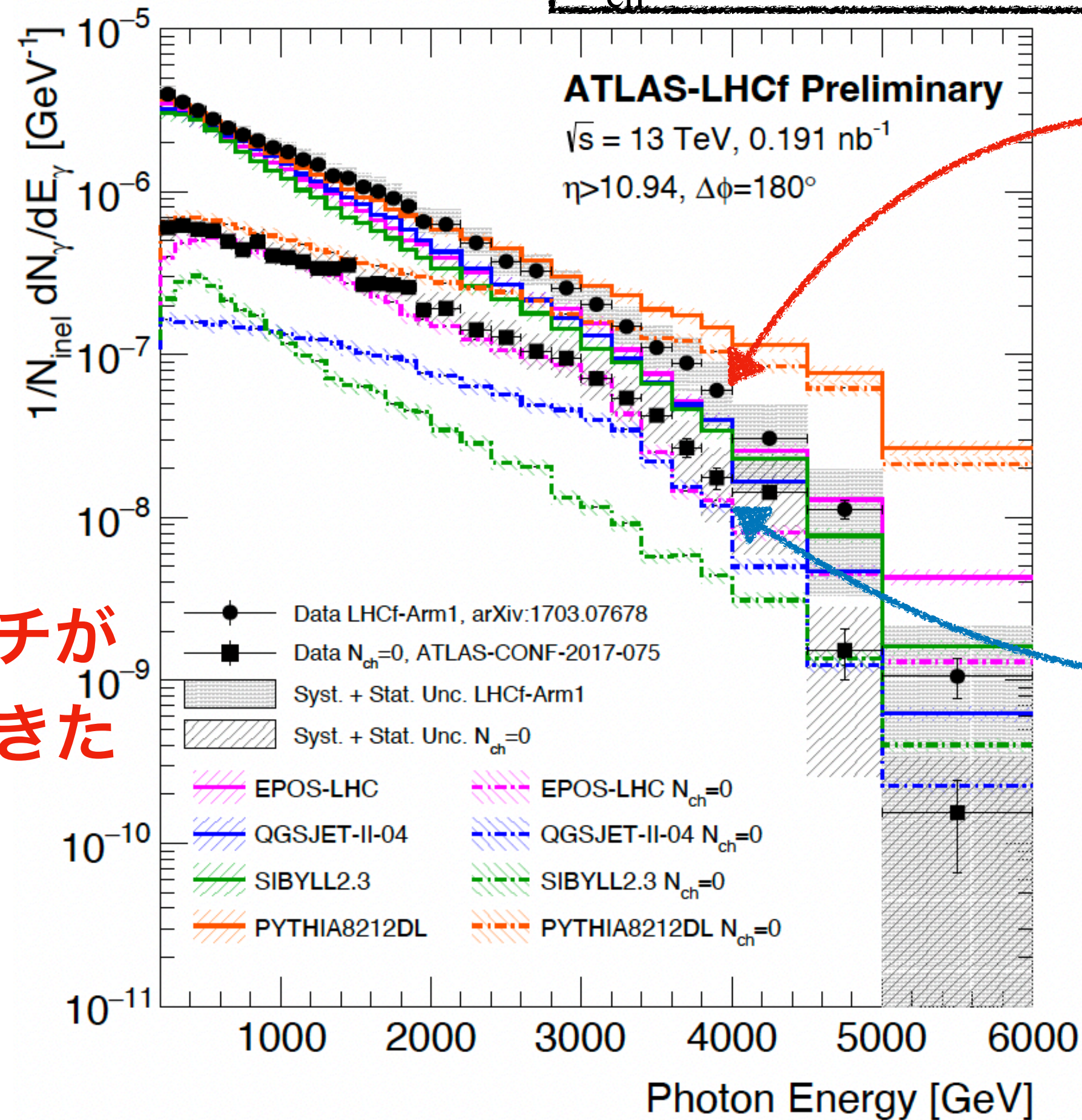


# 光子のエネルギースペクトラムの変化

- ATLAS飛跡検出器内で検出される荷電粒子の有無でスペクトラムに変化があることが報告された (2017 ATLAS-CONF-2017-075)

荷電粒子が  $2.5 > |\eta|, p_T > 0.1(\text{GeV})$  であるイベント  
 $N_{ch}$ : ATLAS飛跡検出器で検出される荷電粒子数

LHCf-ATLAS Work in Progress  
 p-p  $\sqrt{s}=13.6\text{TeV}$  Op2022



2015年の測定結果から得られたスペクトラムと同様の傾向

物理現象の面からもマッチができていることが確認できた



# まとめ

- 2022年測定データに対する共同解析のために必要なイベントマッチを行うプログラムを開発した
  - マッチしたイベントは1M当たり99.98%
  - マッチしていないLHCfのイベントとATLASのイベントはともに~200
- BCID、スペクトラムから正しくマッチできていることが確認できた
  - 全てのランでイベントマッチが完了している
- 共同解析に取り掛かる準備が完了した

**Back Up**



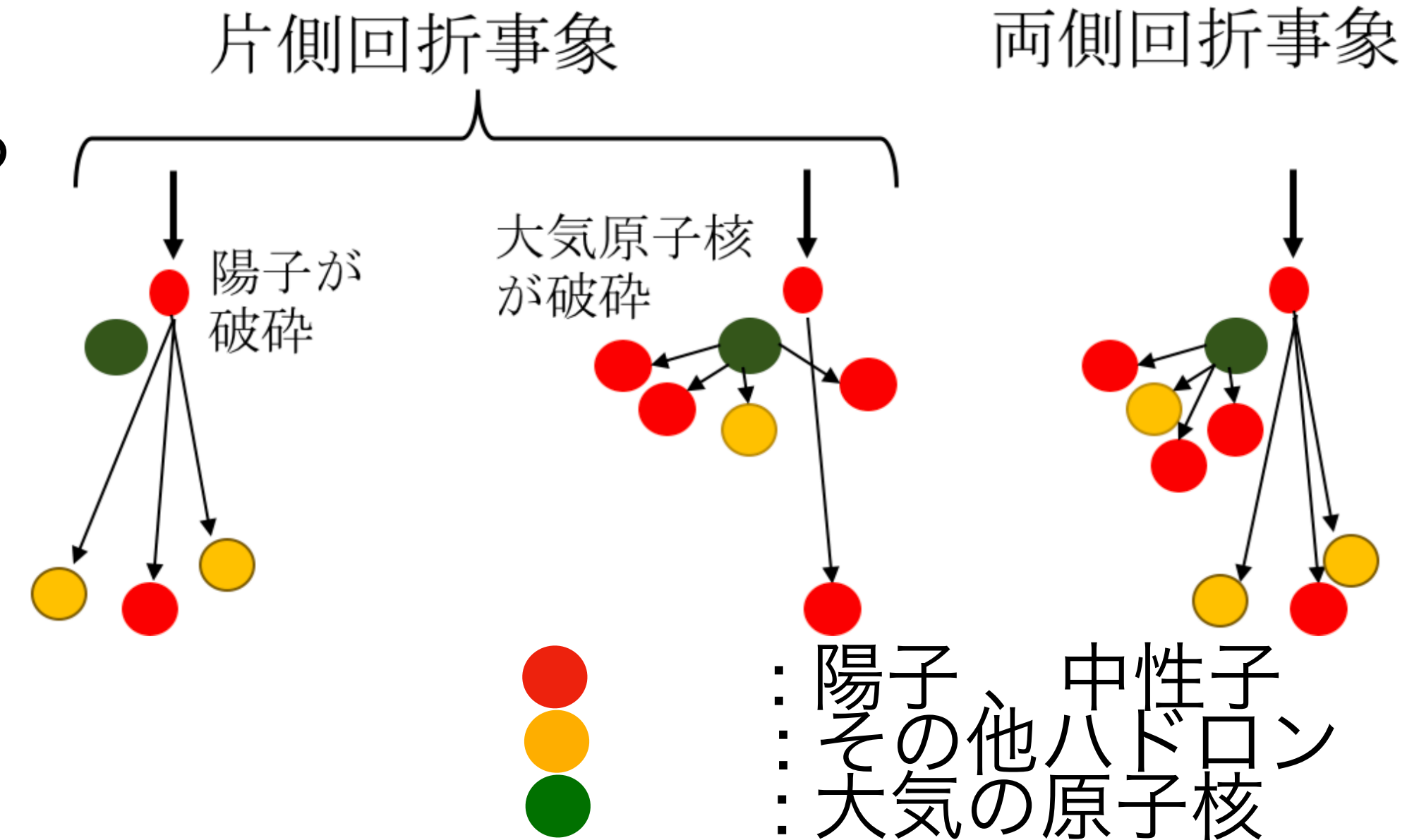
# 空気シャワーにおける回折事象のパラメータ

$\sigma$  (散乱断面積) : 回折事象と非回折事象の比を決める

シャワーの発達に大きく寄与するパラメータ

$K_{el} = E_0/E$  (弾性度) ->2次粒子のエネルギーに影響

$n_{mult}$  (多重度) ->2次粒子の数に影響



10<sup>15</sup>eVの陽子を大気に入射した場合の、陽子と大気原子の衝突におけるパラメータの違い

使用モデルはQGSJET II-04 (2019 名大 大橋 修論)

	非回折事象	片側回折事象 (入射陽子が破碎)	片側回折事象 (大気原子核が破碎)	両側回折事象
散乱断面積 [mb]	312.5	26.6	15.5	14.4
弾性度 $E_1/E_0$	0.43	0.70	0.99	0.65
多重度 $n_{multi}$	53.2	9.7	11.7	23.5