

# LHCf 実験による $\eta$ 中間子解析 1

名大 ISEE

篠田麻衣子、他LHCfコラボレーション

# 研究の目的

---

これまでのLHCf実験では中性子、光子、 $\pi^0$ の解析が行われてきた

LHCで様々な測定が行われモデルの修正がされてきたが未だに違いが残る



$\pi$ 以外のメソン (特に $\rho$ ) によるシャワー発達への影響が注目されている

→ LHCf実験で検出感度のある $\eta$ の生成断面積を測定する

# $\eta$ 中間子

$\eta$ 中間子とは...

❖ 不変質量  $M_\eta = 547\text{MeV} > M_{\pi^0} = 139\text{MeV}$

❖ 生成直後にすぐ崩壊  $c\tau \ll 1$

❖ 崩壊モード

$2\gamma$  : 39.41 %

$3\pi^0$  : 32.68 %

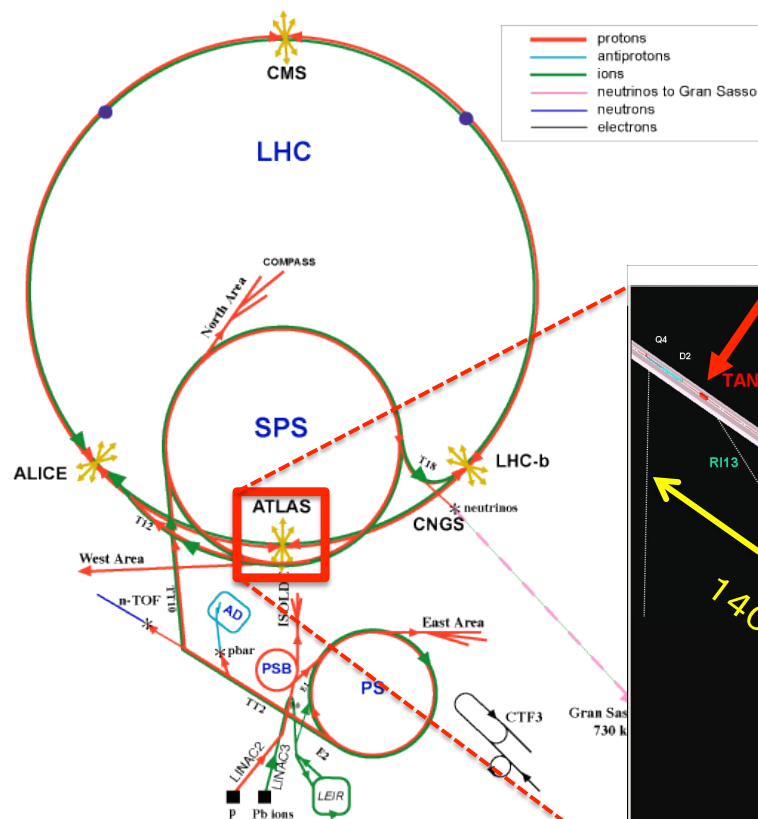
$\pi^+ \pi^- \pi^0$  : 22.92 %

← このモードが測定可能

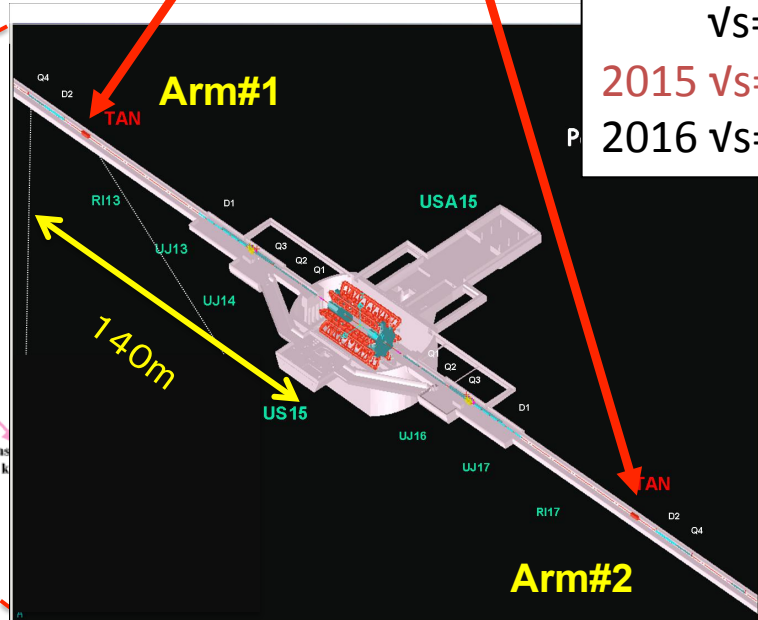
# LHCf実験

## LHCf実験とは

スイスにあるCERN研究所で行われる、国際コラボレーション実験  
超前方に生成される中性粒子を観測、宇宙線空気シャワー発達の理解を目指す



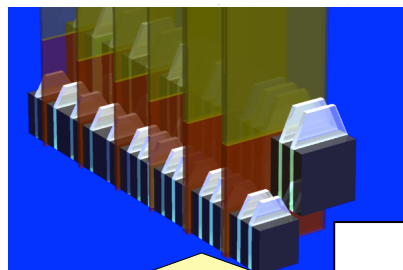
## LHCf検出器



## これまでの活動

- 2009  $v_s=0.9\text{TeV}$  陽子衝突
- 2010  $v_s=0.9, 7\text{TeV}$  陽子衝突
- 2013  $v_s=2.76\text{TeV}$  陽子衝突
- $v_s=5.02\text{TeV}$  陽子鉛衝突
- 2015  $v_s=13\text{TeV}$  陽子衝突
- 2016  $v_s=8\text{TeV}$  陽子鉛衝突

# LHCf実験の検出器について

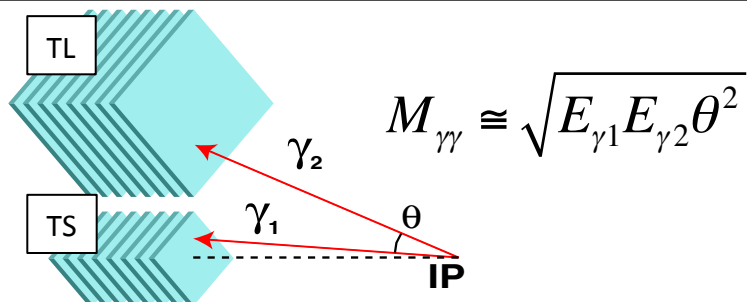


Arm#2 Detector  
25mmx25mm+32mmx32mm  
2XY-2X-2Y Silicon strip detectors

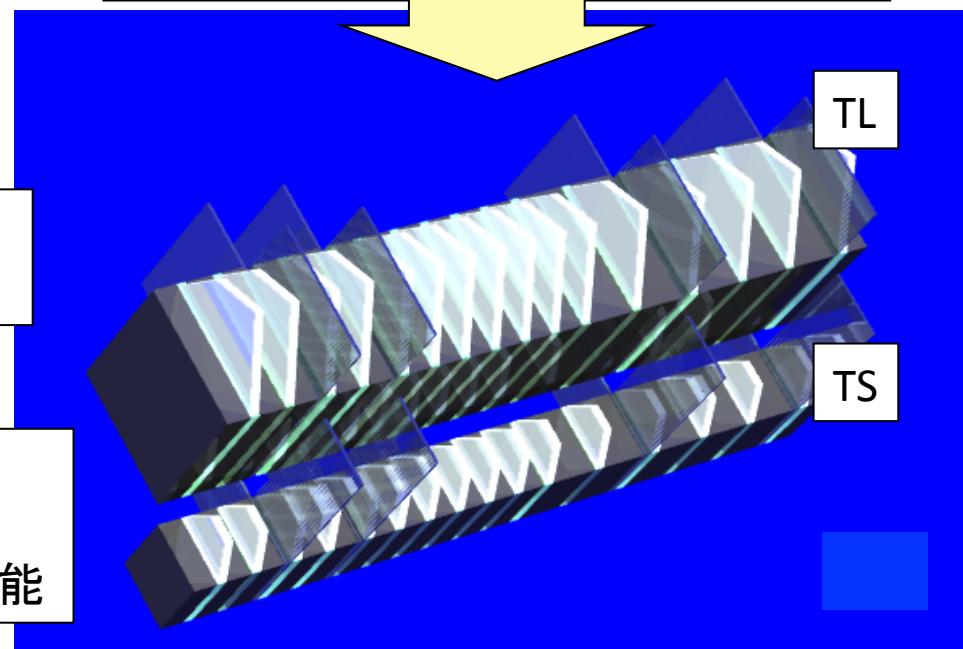
Arm2 検出器  
(本講演では未使用)

2つのカロリメータ (TL, TS) で構成されており  
衝突によって生成された二次粒子を捉える

2つのカロリメータにガンマ線が同時に  
入射した事象を選ぶことで、衝突によって  
生成された $\pi^0$ や $\eta$ 中間子を同定することが可能



Arm#1 Detector  
20mmx20mm+40mmx40mm  
4 XY GSObar+MAPMT



光子に対するエネルギー分解能 : 5%以下

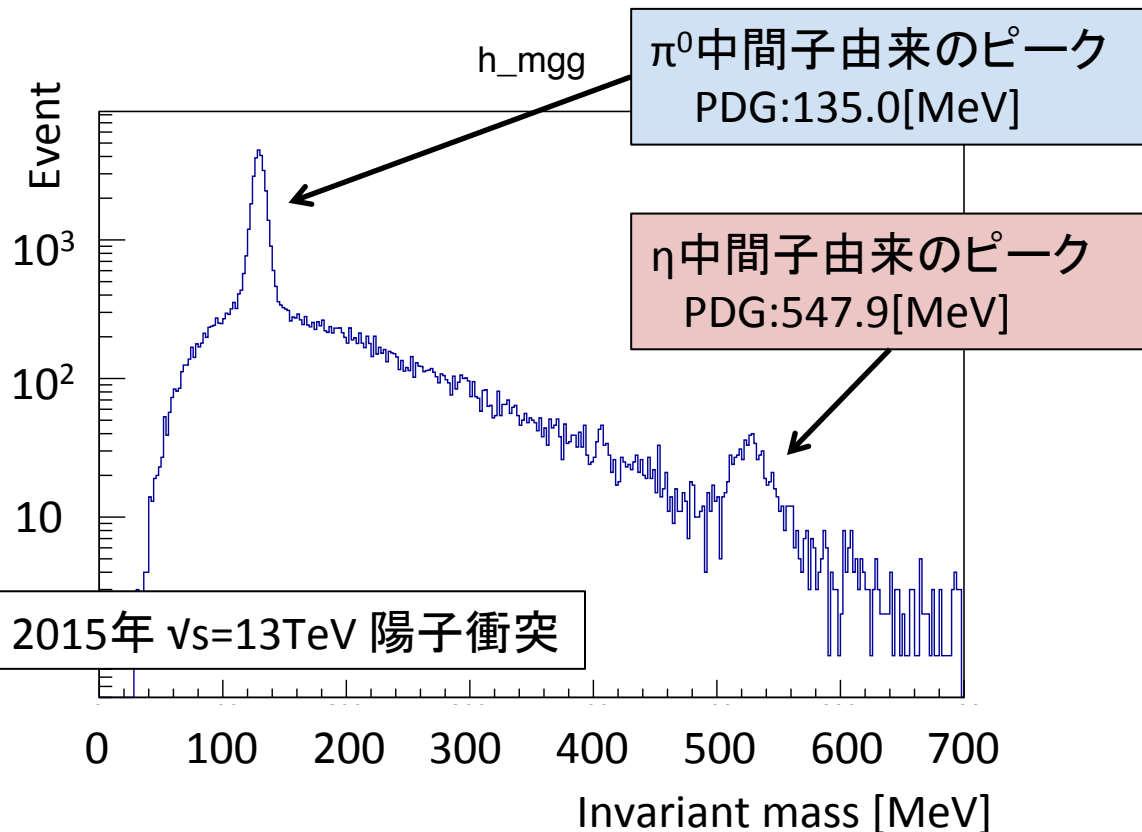
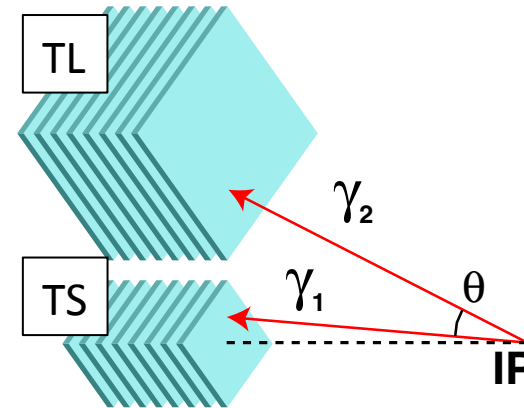
光子に対する位置分解能 : <200 $\mu$ m

# 測定方法

## イベント選択

### Type I イベント

陽子衝突によって生成された $\pi^0$ 中間子や $\eta$ 中間子から崩壊した二本の $\gamma$ 線がTL, TSにそれぞれ1つずつ入射したものを選択

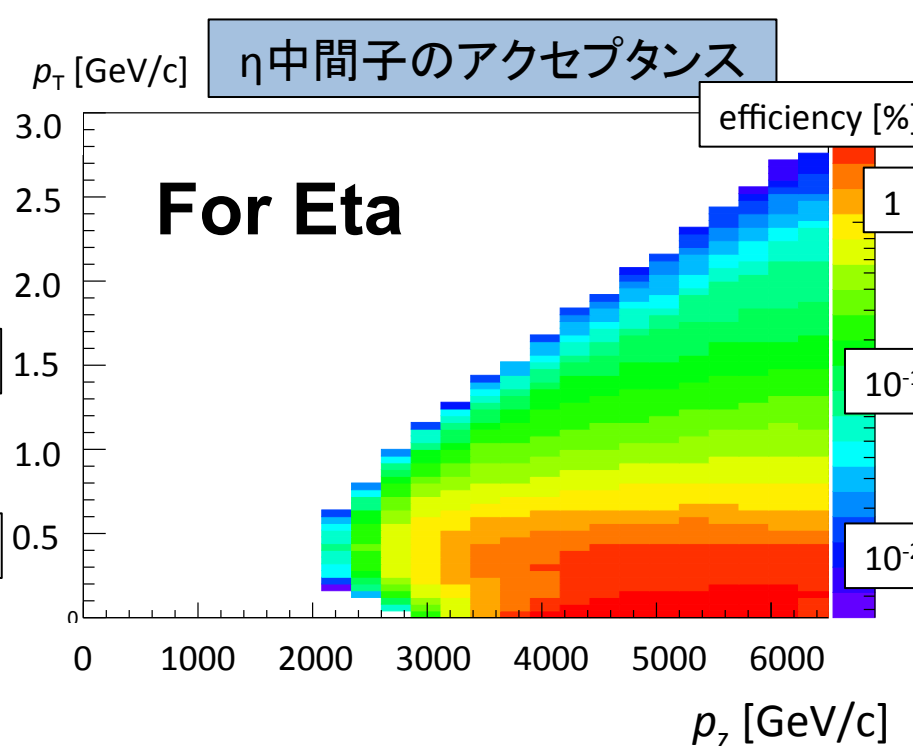
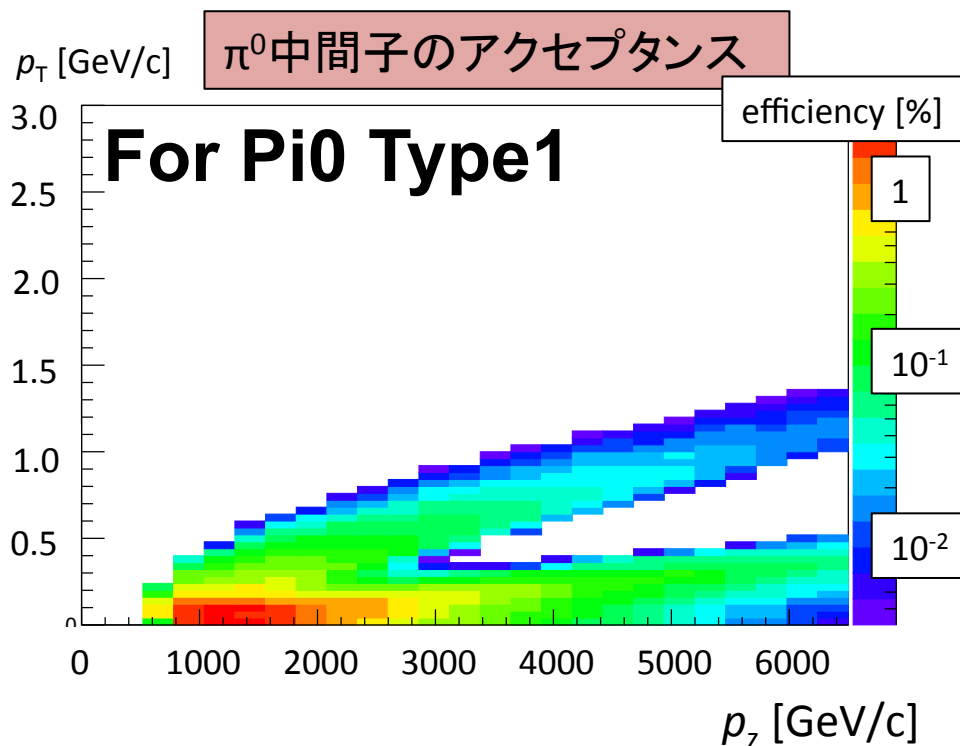
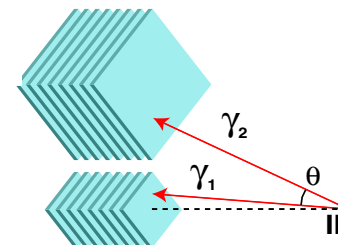


$$M_{\gamma\gamma} \cong \sqrt{E_{\gamma 1} E_{\gamma 2} \theta^2}$$

◀ 選択した $\gamma$ 線のエネルギーから上式より不変質量分布を作成

# アクセプタンス Geometrical Acceptance

$\sqrt{s} = 13\text{TeV}$  での  $\pi^0$  (Type I) と  $\eta$  のアクセプタンス



- $\pi^0$ は500GeV以上のエネルギーに感度がある
- $\eta$ は2TeV以上のエネルギーに感度がある

# 解析 Analysis

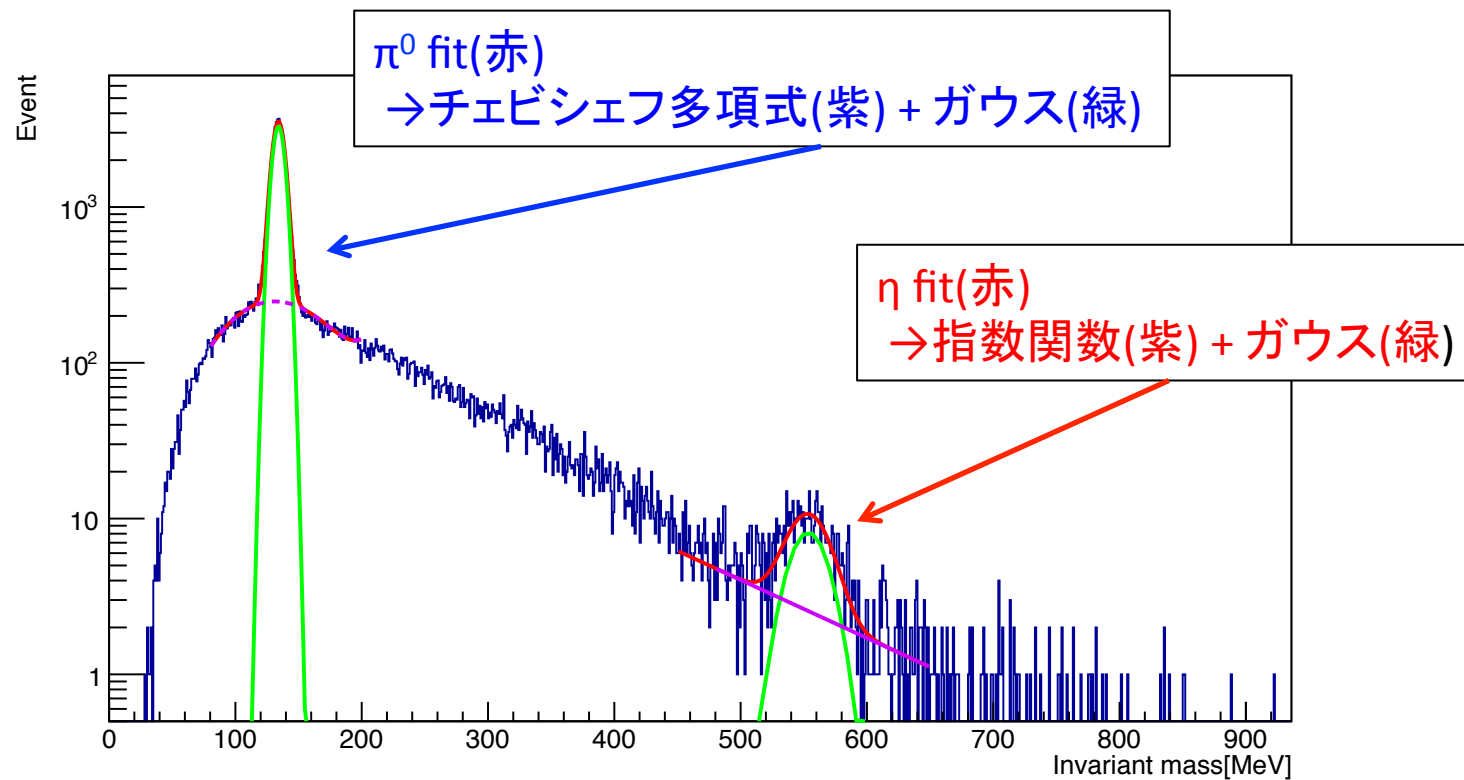
- LHCf 光子標準解析ツール
- 使用したデータ **Data Set**
  - 2015/6/12-13 Fill#3855 Run:44299-45105  
(光子解析に使用したRunを含む)
- イベント選別 **Event Selection**
  - photon likeなイベントがカロリメータに1つずつ  
入射した場合のみを使用 **Photon in each tower**
- モンテカルロシミュレーション(MC)
  - QGSJET II -4  $10^8$ 衝突生成
  - EPOS-LHC  $4 \times 10^7$ 衝突生成
  - 検出器シミュレーションはEPICSを使って行った



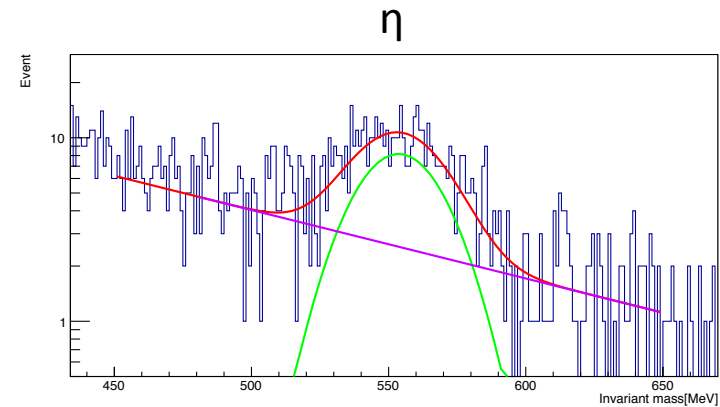
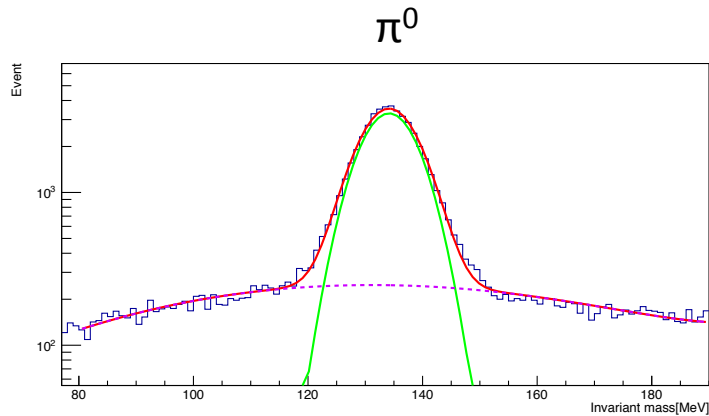
# 生成比 Ratio of measured events

$\eta$ 中間子と $\pi^0$ 中間子の生成比

$\pi^0$ と $\eta$ のバックグラウンドを除いた生成数を求めるために、以下のFitを行った



# 生成比 Ratio of measured events



ヒストグラムからバックグラウンドを引いて生成数をもとめた  
→ MCでも同様に行い、 $\eta/\pi^0$ 比を求めた

イベント数比

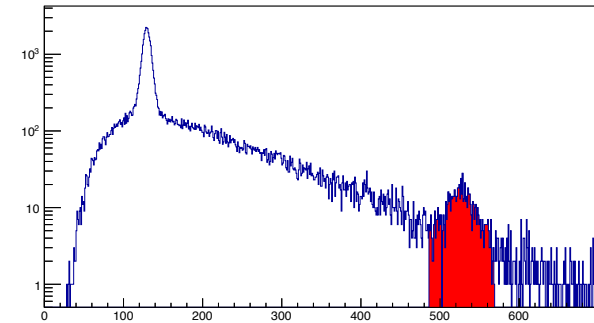
	data	QGS	EPOS
$\eta/\pi^0$	0.0201 $\pm 0.0009$	0.0099 $\pm 0.0005$	0.0368 $\pm 0.0017$

MC間で明らかに生成比が異なる  
dataがMCモデルと異なる

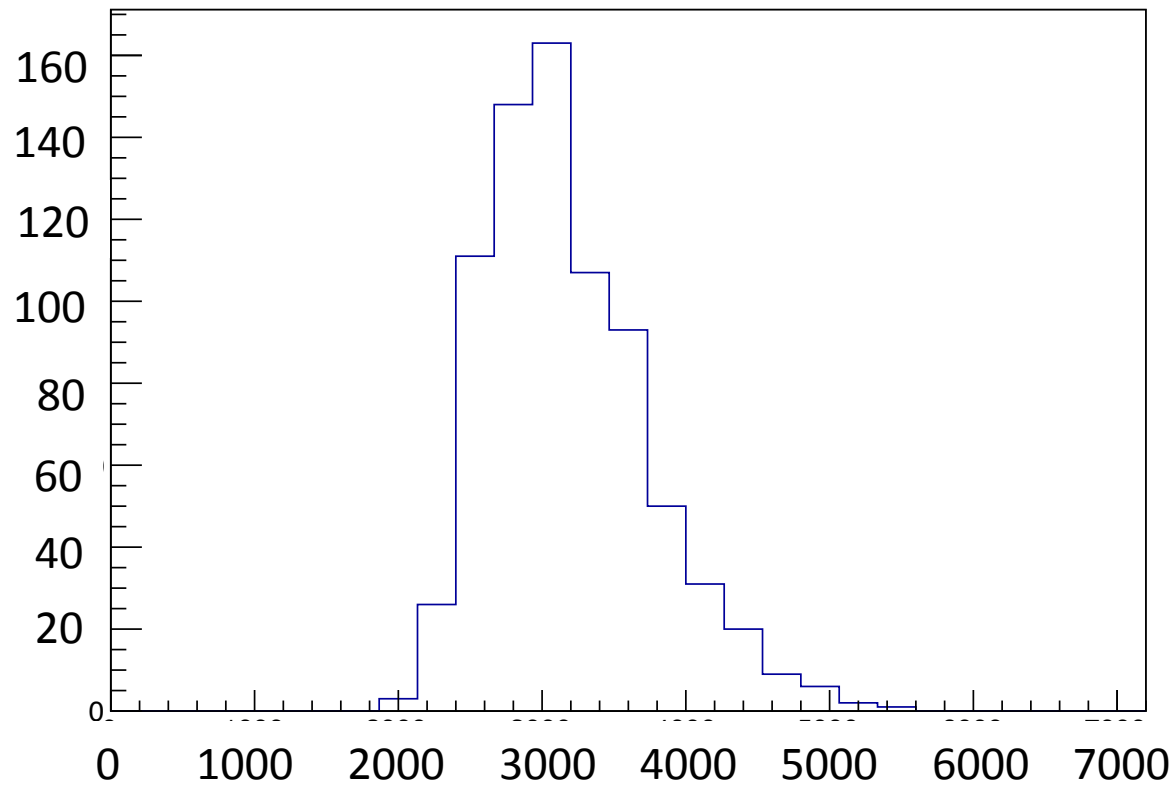
**Error : Statistical error**

# エネルギースペクトル Energy Spectrum

不変質量分布から $\eta$ 中間子由来のピーク周り  
 $\pm 3\sigma$ を抜き出しエネルギースペクトルを求めた



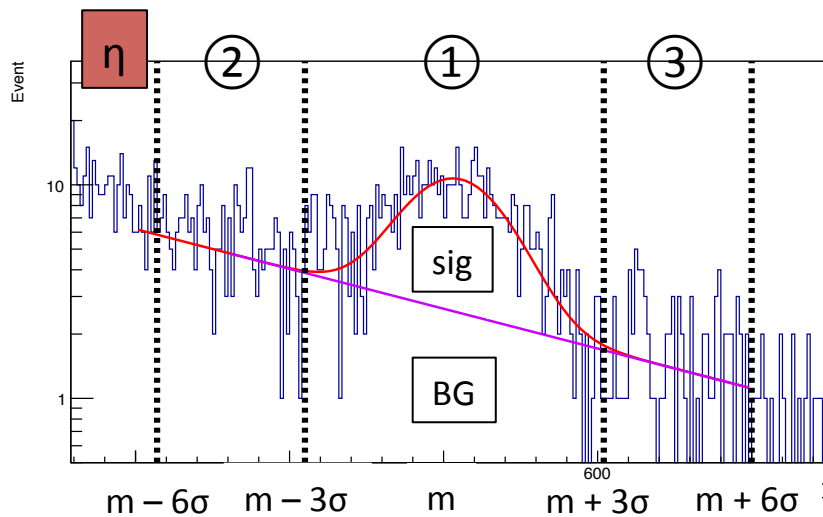
Event



E [GeV]

# Sideband method

## バックグラウンドの除去



- ① ( mean  $\pm 3\sigma$  )
- ② ( mean -  $6\sigma \sim$  mean -  $3\sigma$  )
- ③ ( mean +  $3\sigma \sim$  mean +  $6\sigma$  )

$$f_{\text{① sig}} = f_{\text{① sig+BG}} - R * f_{\text{②③ BG}}$$

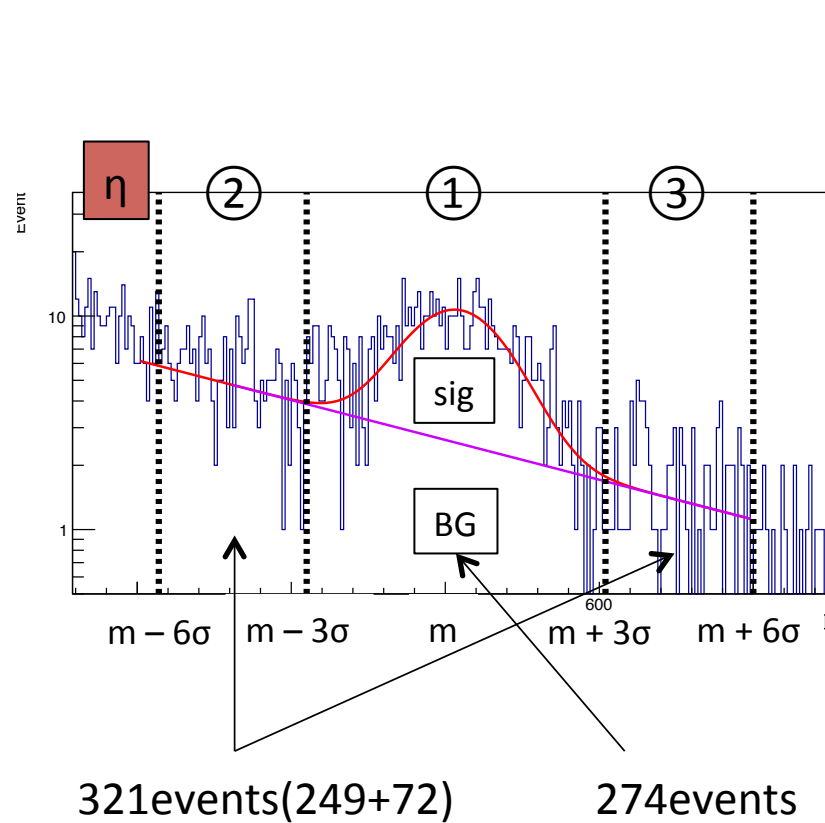
$$R = \text{①}_{\text{BG}} / (\text{②} + \text{③})_{\text{BG}}$$

## “Sideband method”

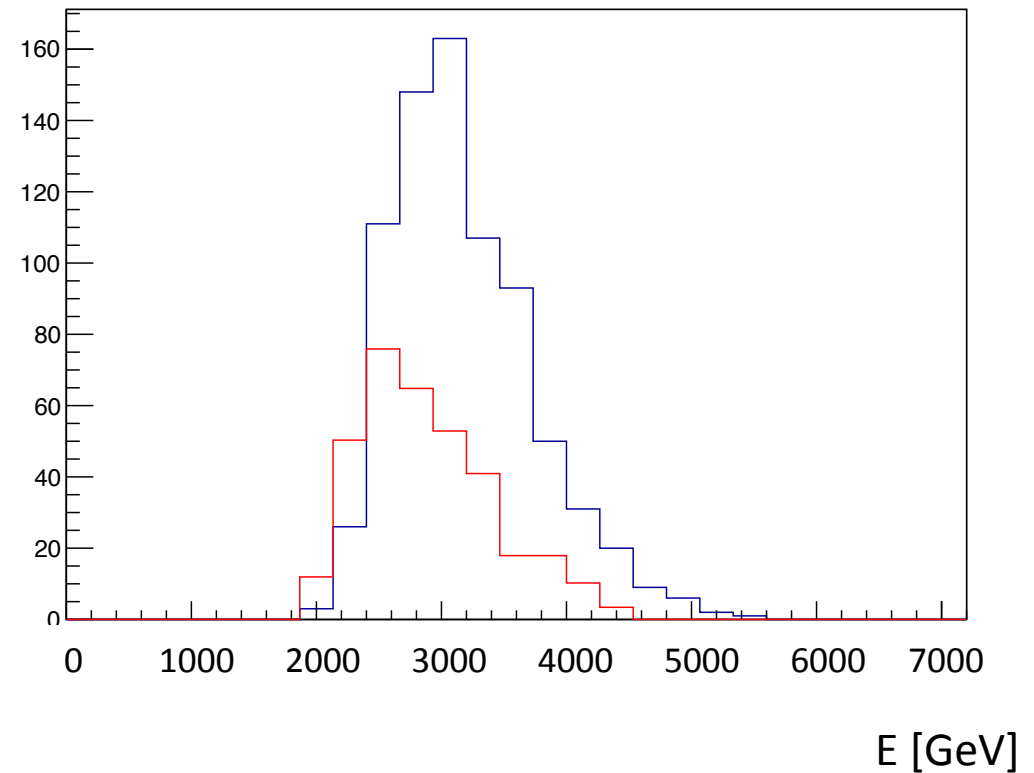
BGを引きsigのみのスペクトルを求めたい  
そこで、BGスペクトルの形を  
②③でのスペクトルから見積もる

1. ①と②③のBGのイベント数比R  
を求める
2. ①の範囲と②+③の範囲で  
各々ptスペクトルを求め  
①からR倍した②+③をひく

# バックグラウンドイベント



Event

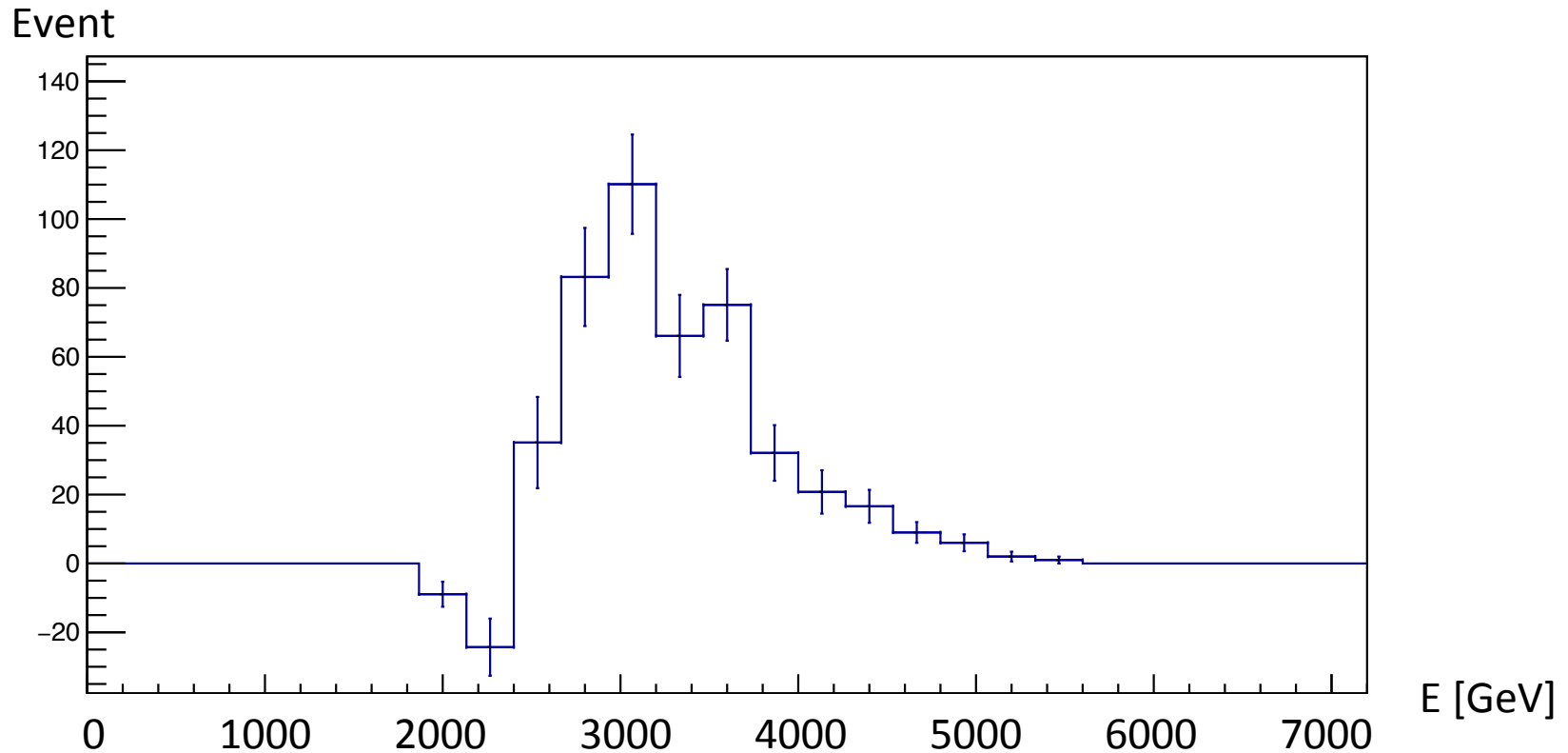


青 : ピーク周り①のpt, 赤 : BG領域②③でのpt

Sideband method より 赤のヒストを  $R = 274/321 = 0.85$  倍してバックグラウンドを除く

# エネルギースペクトル

バックグラウンドを除いたスペクトルを求めた



## 今後の課題

- ❖ 検出器効果やアクセプタンスの効果を補正したスペクトルを出す
- ❖ MCと比較する

- LHCf実験で $\eta$ 中間子の物理解析行った

## まとめ

- $\pi^0$ と $\eta$ の生成比は  
 $\eta$  対  $\pi^0$  比で dataが 0.02, QGSが0.01, EPOSが0.04  
と モデル間で異なる値であること、dataとMCでも一致しないことを確認
- $\eta$ のエネルギースペクトルを求め、  
”Sideband method”を用いてバックグラウンドを除去した

## 今後の展望

- 検出器効果やアクセプタンスの効果の補正も含めたスペクトルを求める
- MCと比較する

**Optimization of analysis criteria**  
**Corrections**  
**Comparison with MC**

buck up

---