

# $\Lambda \rightarrow p\pi^-$ 過程を用いた陽子識別効率 の導出方法の確立


名古屋大学 M1

平田 光

# イントロダクション

- チャームバリオンの解析に向けて
  - …チャームバリオンを含む全てのバリオンの終状態には必ず陽子が含まれる
  - バリオンを含む過程を解析するためには精密な陽子識別効率とその系統誤差を抑えることが必要

## 本研究のテーマ

- 系統誤差が**1%未満**となることを目指し、モンテカルロサンプルを用いて陽子識別効率の導出方法を確立する
- 
- 実データ(Phase2とphase3)を用いて陽子識別効率とその系統誤差を評価する

# 導出方法

陽子識別効率の定義

$$\epsilon_{\text{pID}} = \frac{\text{陽子と識別された陽子数}}{\text{全陽子数}}$$

- 陽子識別なしに全陽子数を見積もる

→ 綺麗な陽子のサンプルが必要

$\Lambda \rightarrow p\pi^-$  過程

- $\Lambda$ の64%が陽子と $\pi^-$ 中間子に崩壊する
- $\Lambda$ は比較的寿命が長い( $c\tau$ : 7.8 [cm])  
→ 信号と背景事象の区別がしやすい

陽子の数 =  $\Lambda$ の数

- 陽子と識別された陽子数 = 陽子識別後に残った $\Lambda$ の数

→ 陽子識別の要求として全検出器からのlikelihood ratioの情報を用いる

主にTOP, ARICH, CDC, SVD, PXD

# 解析手順

全ての荷電粒子のトラックから2本選び、陽子と $\pi^-$ 中間子とみなして $p\pi^-$ 不変質量を組む

$\Lambda$ が飛ぶ性質を用いて $\Lambda$ 選別

陽子識別の要求あり・なしで不変質量分布をフィットし、 $\Lambda$ の数を求め陽子識別効率を計算

陽子の運動量とトラック方向( $\cos\theta$ )それぞれ12個の領域に分け、陽子識別効率の運動量と $\cos\theta$ 依存性を調べる

## 使用したMCサンプル

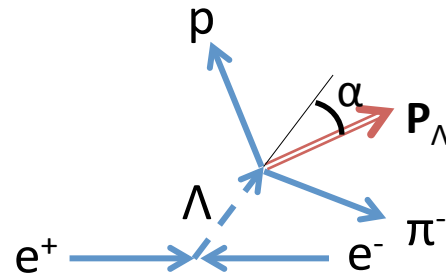
衝突エネルギー10.58GeV, phase3, ビームバックグラウンドなし

BBbar : 公式のジェネリックMCサンプル (MC8)

qqbar : release9を用いて自分で生成したジェネリックMCサンプル

} 10fb<sup>-1</sup>

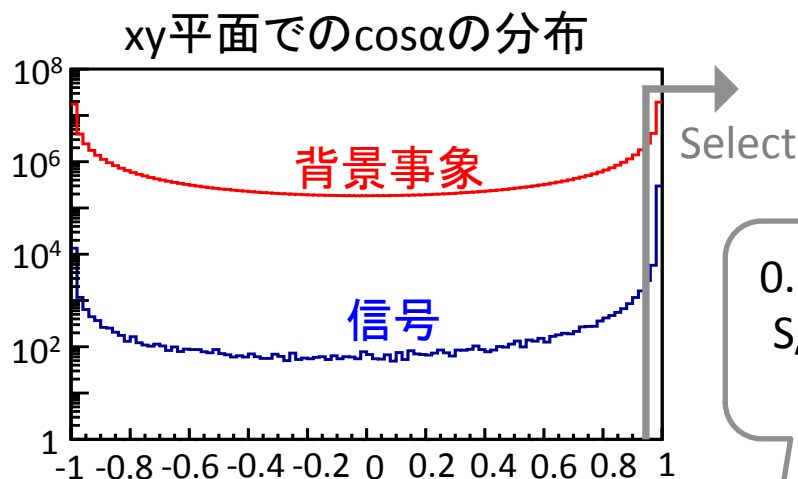
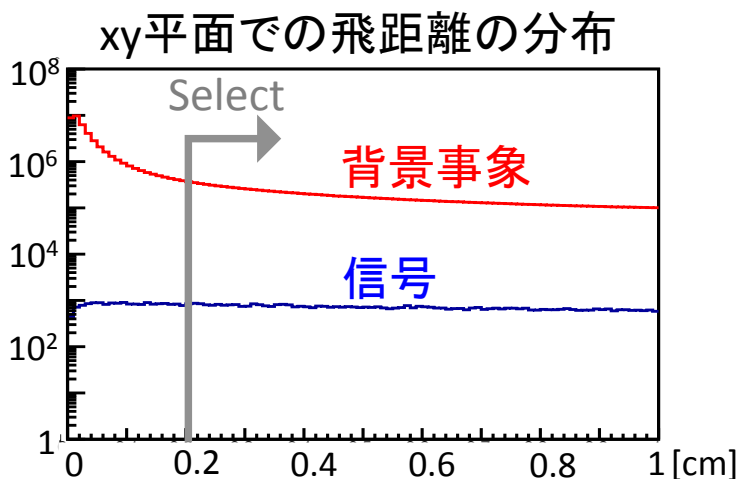
# Λ選別決定法



- 以下2つの変数を用いてΛを選別

- Λの飛距離
- 衝突点からΛの崩壊点を結ぶベクトルとΛの運動量ベクトル間の角度α

→7つのΛの運動量領域に分けて、 $\frac{S}{\sqrt{S+N}}$  が最大となるように  
変数を最適化  
(S: 信号数, N: 背景事象数)



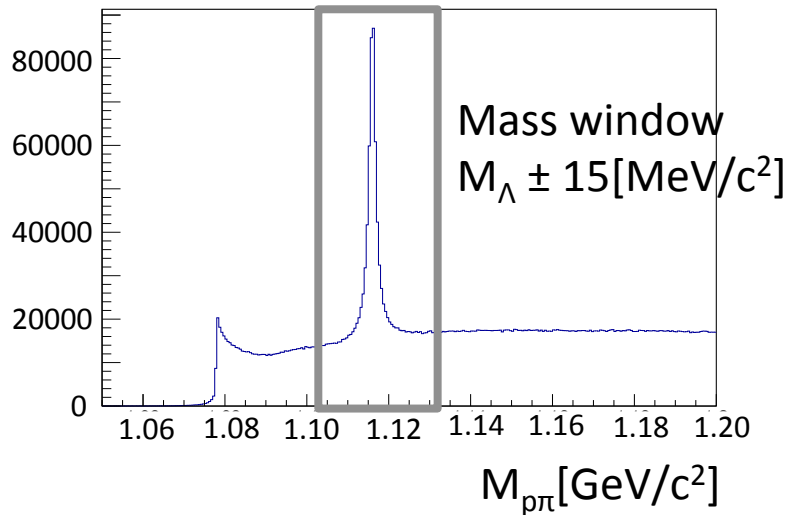
0.5GeV/c以下は  
S/Nが悪かった  
ため除外

- 飛距離 > 0.20 cm,  $\cos\alpha > 0.9997$ , Λの運動量 > 0.5 GeV/c  
π中間子と仮定した粒子のpion ID > 0.722

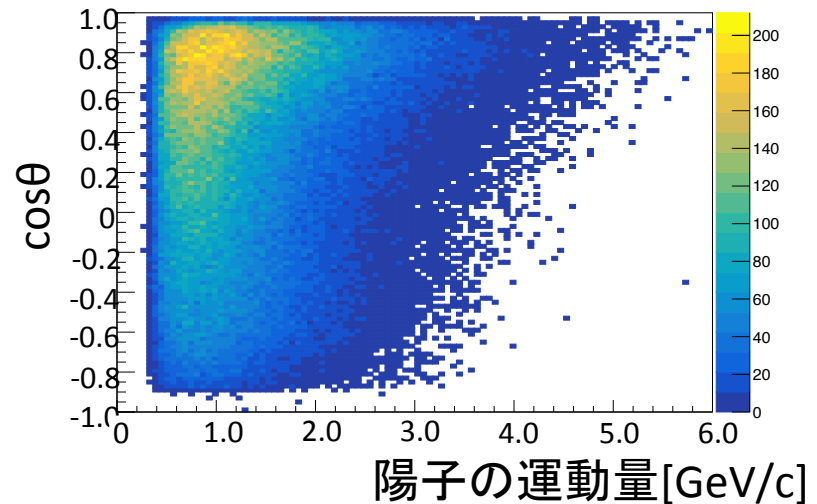
pとπの組み合わせ間違いを除く

# $\Lambda$ 選別で得られたサンプル

$\Lambda$ 選別後の $p\pi^-$ 不変質量分布



陽子の運動量と $\cos\theta$ の2次元ヒストグラム



- 陽子識別の要求なしで $\Lambda$ のピークがはっきり見られる
- 陽子の運動量、 $\cos\theta$  ( $\theta$ : ビーム軸からの角度)を広くカバーできる (ただし、陽子の運動量0.2  $\text{GeV}/c$  以下はカバーできない)

※ この $\Lambda$ 選別では他の長寿命の粒子( $K_s$ など)も残ってしまう

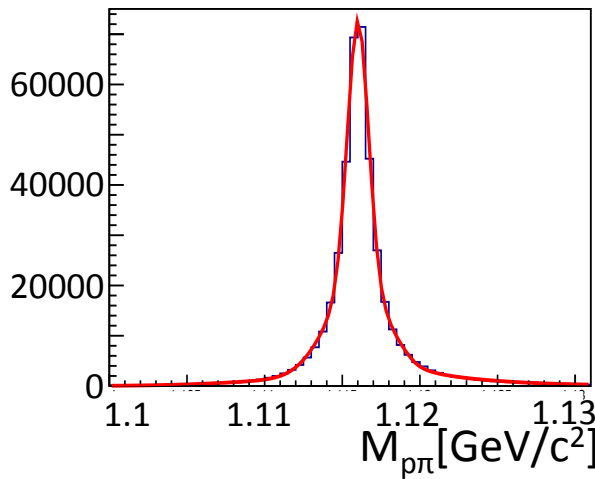
# フィット法

$\Lambda$ の数(陽子の数)は不変質量分布をフィットすることで求める

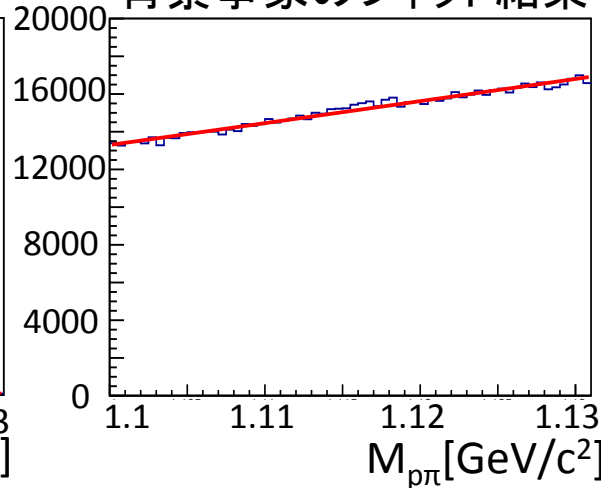
→ MCTruthの情報を使って信号と背景事象の分布にあった関数を決める

信号 : ガウス関数2つ + クリスタルボール関数  
背景事象 : 二次関数

信号のフィット結果

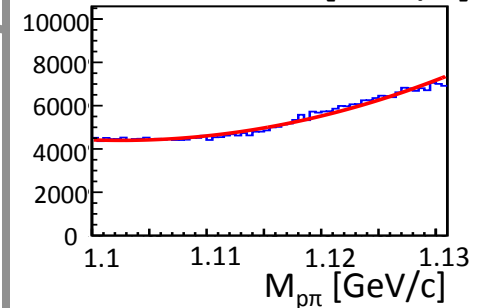


背景事象のフィット結果

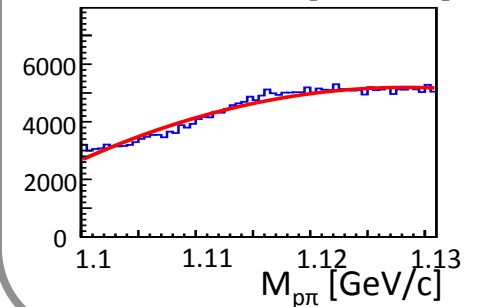


非線形背景事象  
に対応するため

$0.6 \leq P < 0.8 [\text{GeV}/c]$



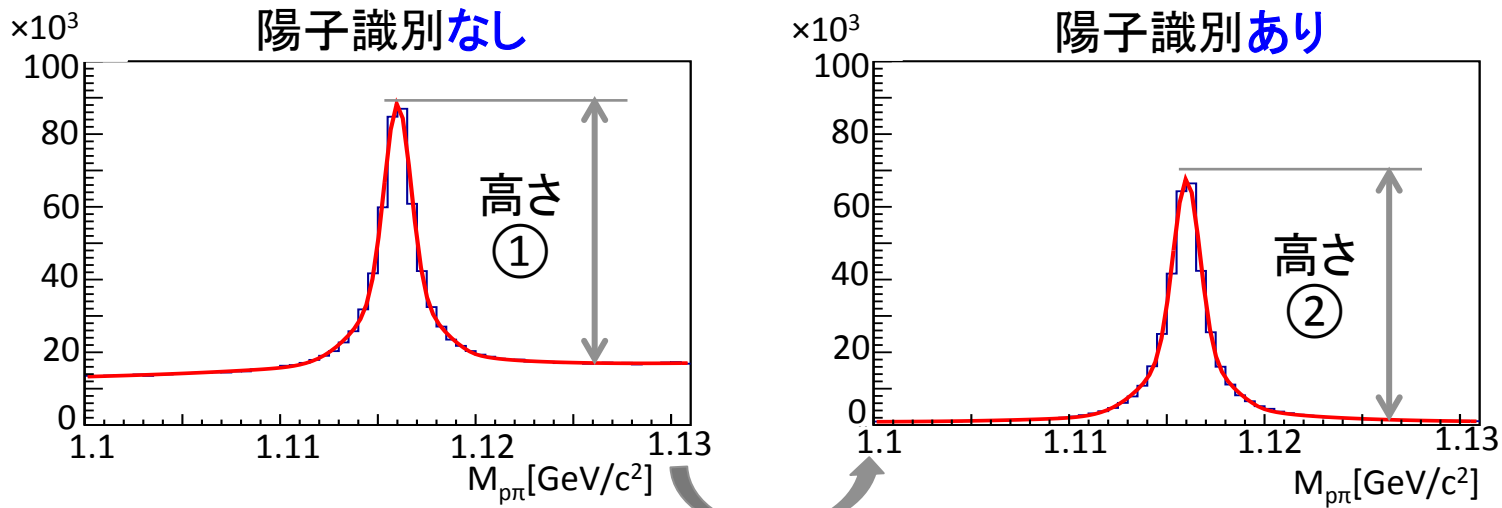
$0.8 \leq P < 1.0 [\text{GeV}/c]$



- 信号関数の高さ以外の全てのパラメータを固定する  
 $\propto$  陽子数

# 陽子識別効率

陽子識別の要求:  $\mathcal{L}_{pK} = \frac{\mathcal{L}_p}{\mathcal{L}_p + \mathcal{L}_K} > 0.6$ ,  $\mathcal{L}_{p\pi} = \frac{\mathcal{L}_p}{\mathcal{L}_p + \mathcal{L}_\pi} > 0.6$



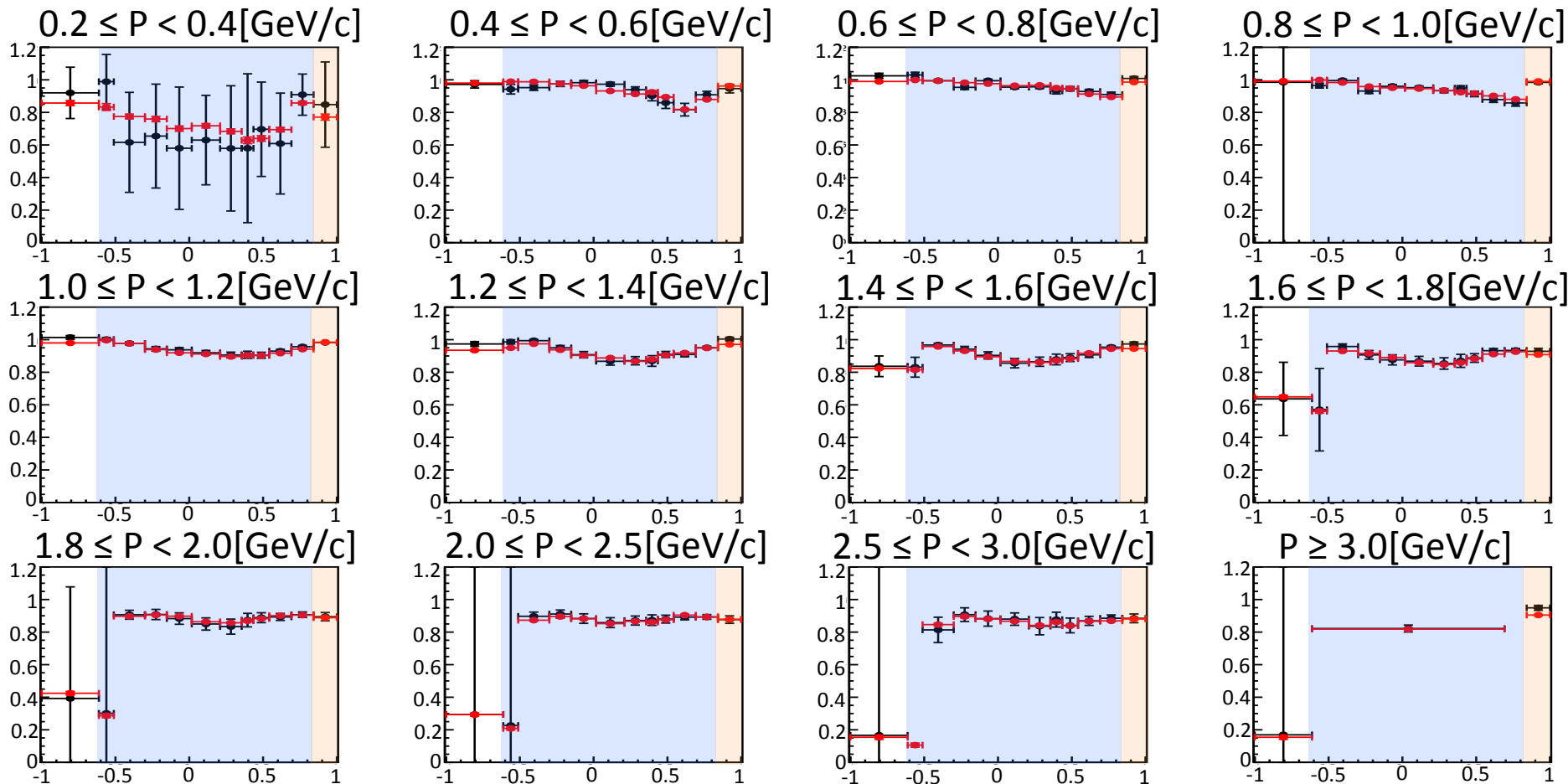
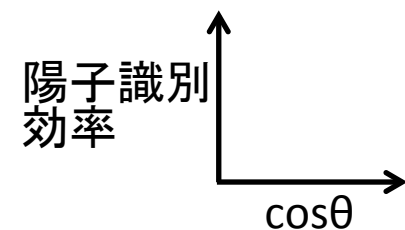
非陽子起源の背景事象が減りS/Nが向上

- ピークの高さの比①/②から、陽子識別効率を求める  
全領域での陽子識別効率:  $91.32 \pm 0.19 \%$   
真の値 (MCTruth):  $90.73 \%$  (差  $0.59 \pm 0.19 \%$ )  
→ 相対的に0.65%程度の誤差で求められる



# 陽子の各運動量領域での陽子識別効率の $\cos\theta$ 依存性

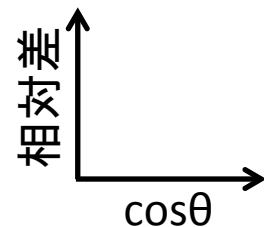
黒点: フィットでの結果, 赤点: MCTruth, : 後方エンドキャップ  
: バレル部(TOP), : 前方エンドキャップ(ARICH)



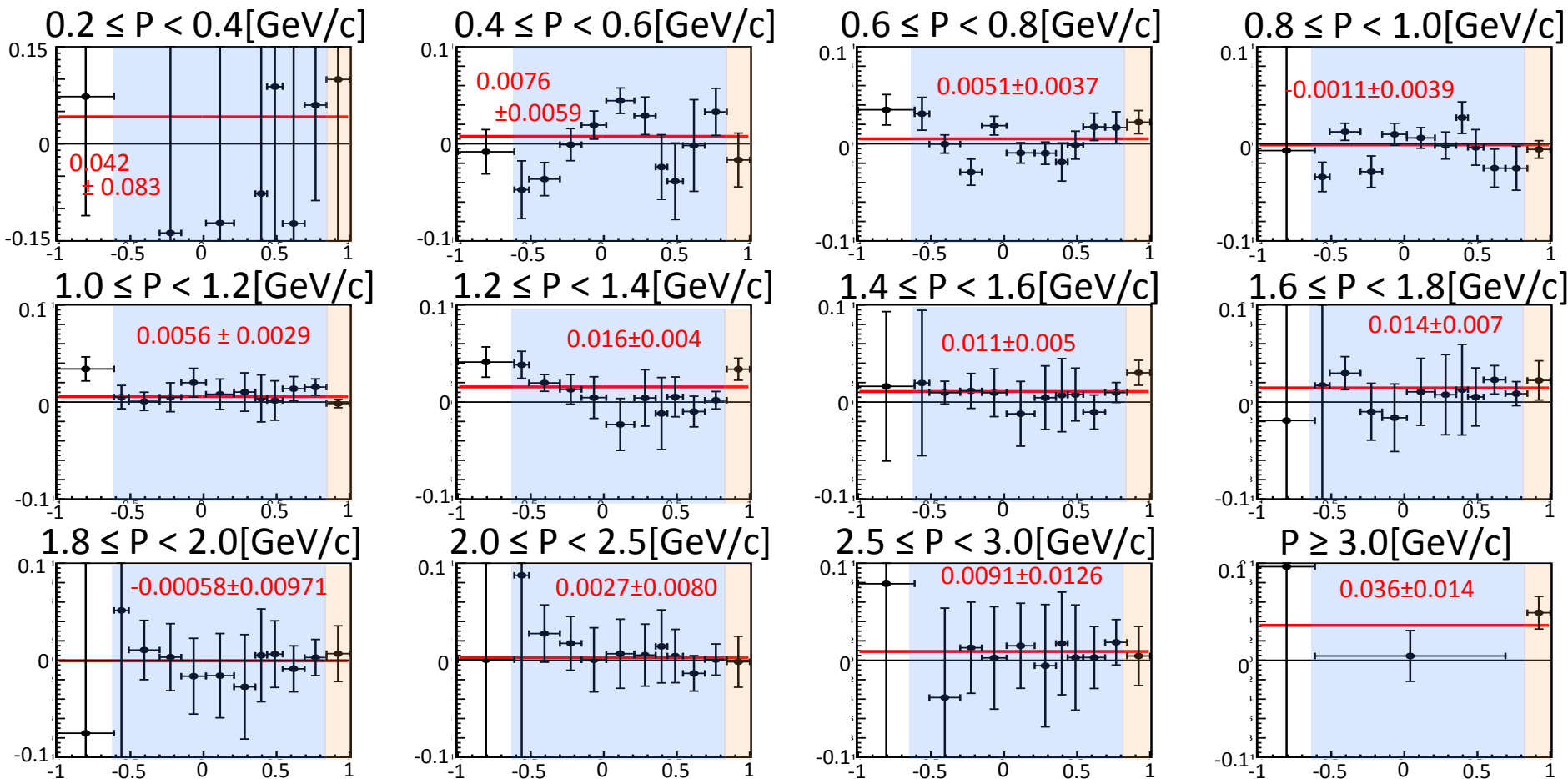
➤ TOP・ARICHがある領域のほとんどで識別効率が90%以上を保っている

# MCTruthとの相対差

$$\text{相対差} = \frac{[\text{Fit}] - [\text{MCTruth}]}{[\text{MCTruth}]}$$

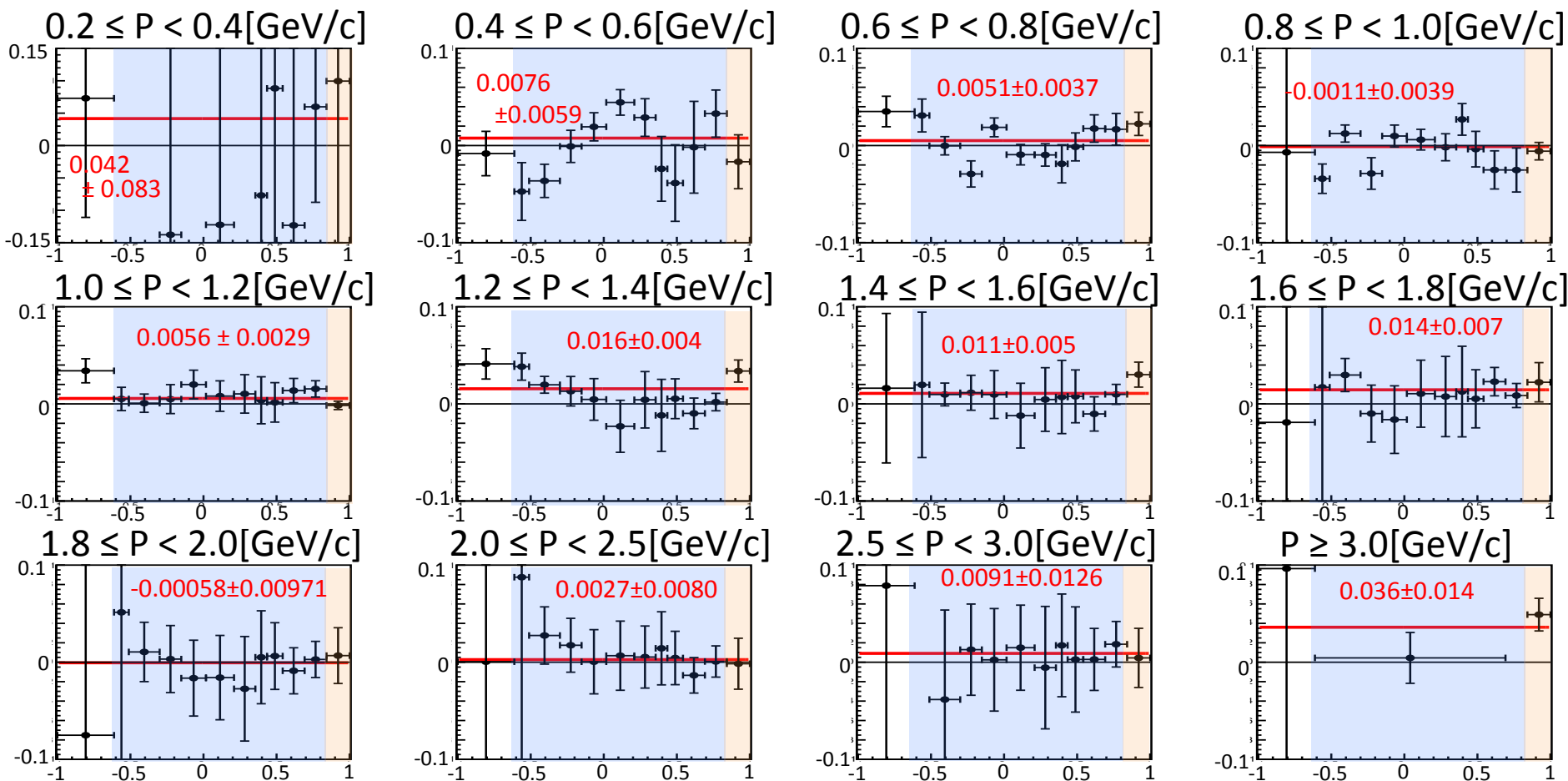


黒点: 相対差,  : 後方エンドキャップ  
 : バレル部(TOP),  : 前方エンドキャップ(ARICH)



➤ Fitで得た結果がMCTruthより大きく見積もられやすい

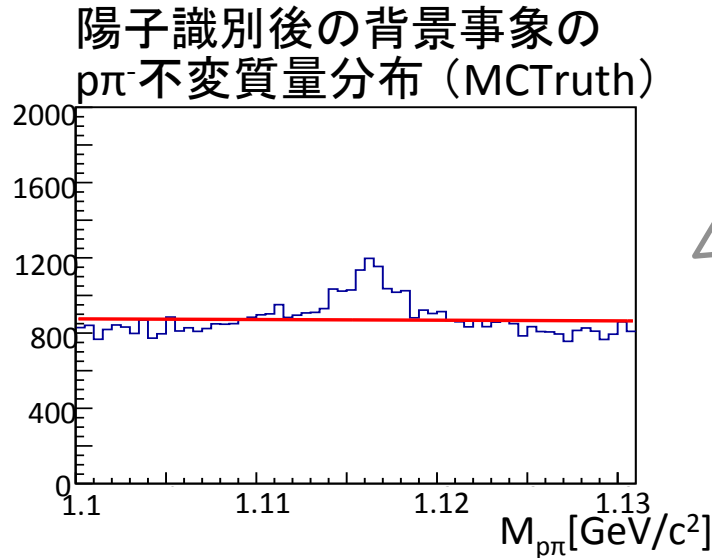
ほとんどの領域で陽子識別効率はMCTruthと2%以内で一致  
 →本導出方法の妥当性が確認できた



➤Fitで得た結果がMCTruthより大きく見積もられやすい

# MCTruthの問題

- 背景事象の $M_{\Lambda}$ 付近にピークがある・・・特に陽子識別要求後にはっきり現れている



## MCTruthの真の $\Lambda$ の選び方

- 再構成した粒子が $\Lambda$  (anti- $\Lambda$ )
  - 陽子と仮定した荷電粒子が陽子 (反陽子)
  - $\pi$ 中間子と仮定した荷電粒子が $\pi$ 中間子 ( $\pi^+$ 中間子)
- ※背景事象はこれの逆をとる

もしこのピークが $\Lambda$ によるものならば、MCTruthの識別効率は本来より小さく見積もられてしまう

## 影響の目安

$0.2 \leq P < 1.0$  [GeV/c]・・・ MCTruthでの識別効率は約1%小さく見積もられる

$P \geq 1.0$  [GeV/c]・・・約0.5%小さく見積もられる

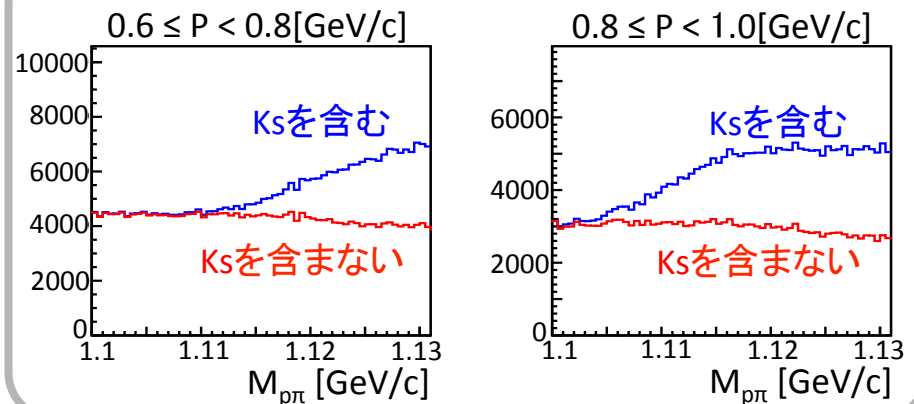
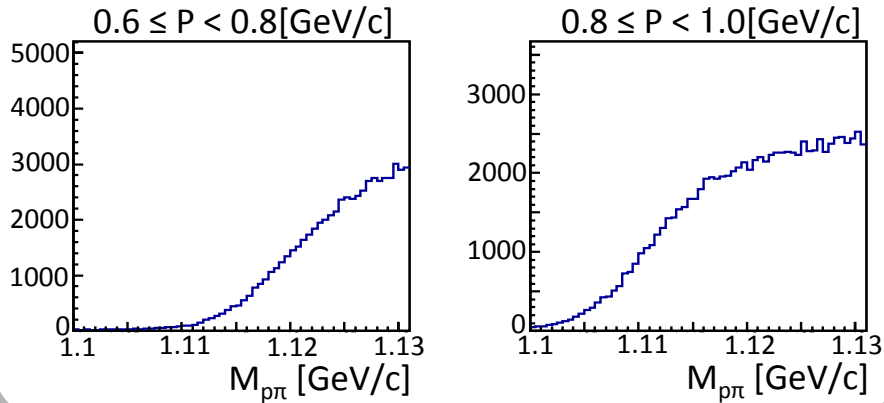
# Ksの影響

現在の背景事象に多く含まれているのはKsのイベント

## 非線形背景事象の要因

Ksを含む時と含まない時の  
 $M_{\rho\pi}$  背景事象分布(MCTruth)

Ksの $\rho\pi^-$ 不変質量分布(MCTruth)



Ksイベントを除去、または差っ引くことができれば

- S/Nがよくなる
- 背景事象の分布が単純になる

→ 誤差削減につながると期待

# まとめ

- $\Lambda \rightarrow p\pi^-$  過程を用いて陽子識別効率の手法を確立中
    - 全領域で0.5%程度の誤差で求められる
    - 運動量 $\cdot\cos\theta$ 領域に分けて、MCTruthと2%以内で一致
- 解析の方向性としては間違っていないことを確認  
系統誤差を1%未満にするため改善を目指す

# 今後

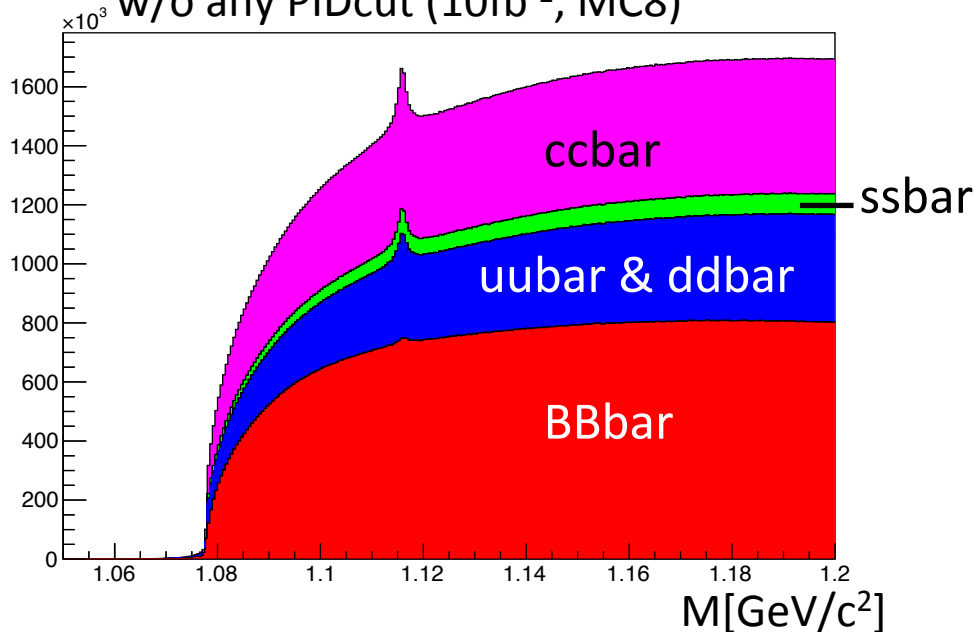
- MCTruthで見られたピークの原因をしらべ、対応を考える
- 非線形背景事象の原因である $K_S$ を除去、または差っ引いて識別効率を求める

**BACK UP**

# Generic MC samples

- I checked the  $p \pi^-$  invariant mass distribution with generic MC samples
  - Here, I use  $Y(4S)$  generic MC samples of phase III without beam background

The distribution of  $p \pi^-$  invariant mass w/o any PIDcut ( $10\text{fb}^{-1}$ , MC8)



Sample type	Signal contribution	Background contribution
$BB\bar{b}$	14%	40%
$u\bar{u}$	30%	22%
$d\bar{d}$	8.3%	5.3%
$s\bar{s}$	15%	5.3%
$c\bar{c}$	33%	27%

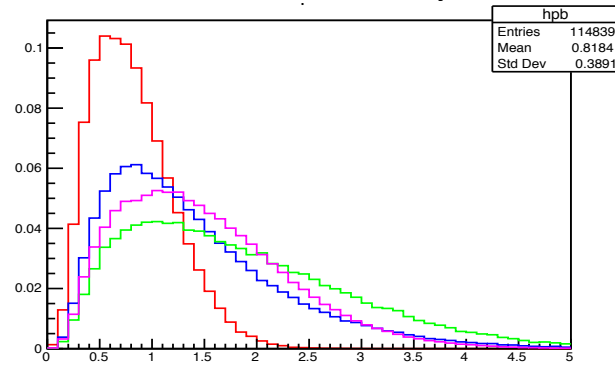
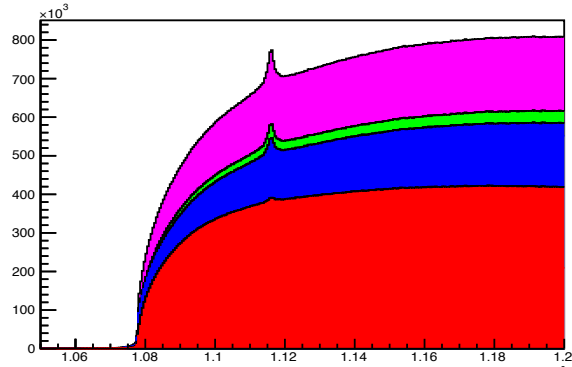
- There are a great deal more background than signal MC
- **Signal in continuum samples is very important to analysis  $\Lambda^0$**



# Check of the generic samples

- I generated generic MC samples ( $5\text{fb}^{-1}$ ) by myself by using release-00-09-00 with the bug-fixed module.

$\rho\pi^-$  invariant mass w/o any PID cut      momentum w/o any PID cut



Red : BBbar  
(official generic MC)

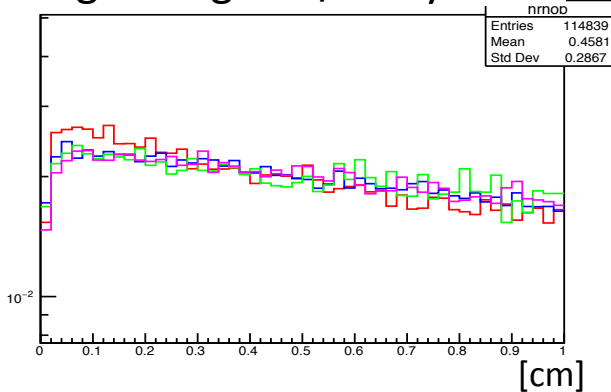
Blue : uubar and  
ddbar

Green : ssbar

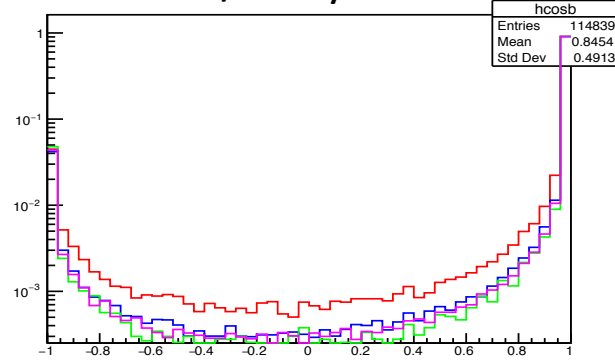
Pink : ccbar

generated by myself

flight length w/o any PID cut

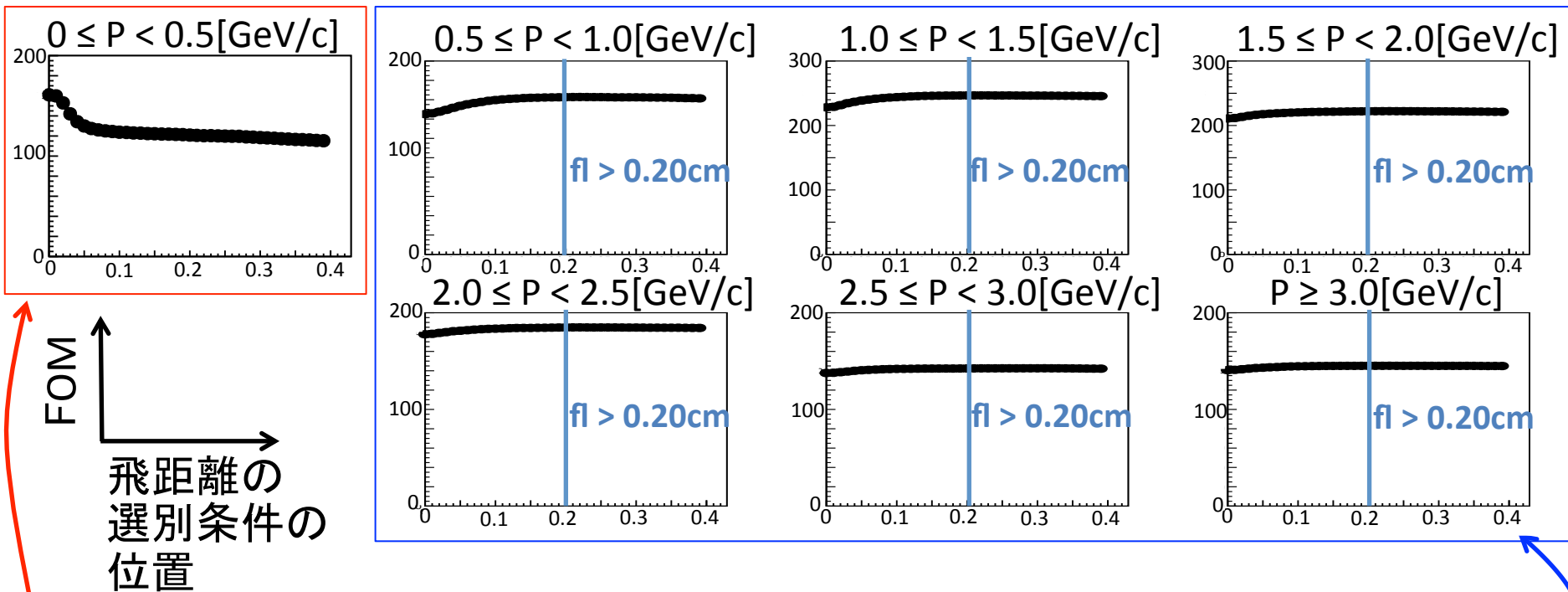


$\cos\alpha$  w/o any PID cut



➤ They have the correct distribution as well as signal MC

# FOM vs 飛距離の選別条件の位置

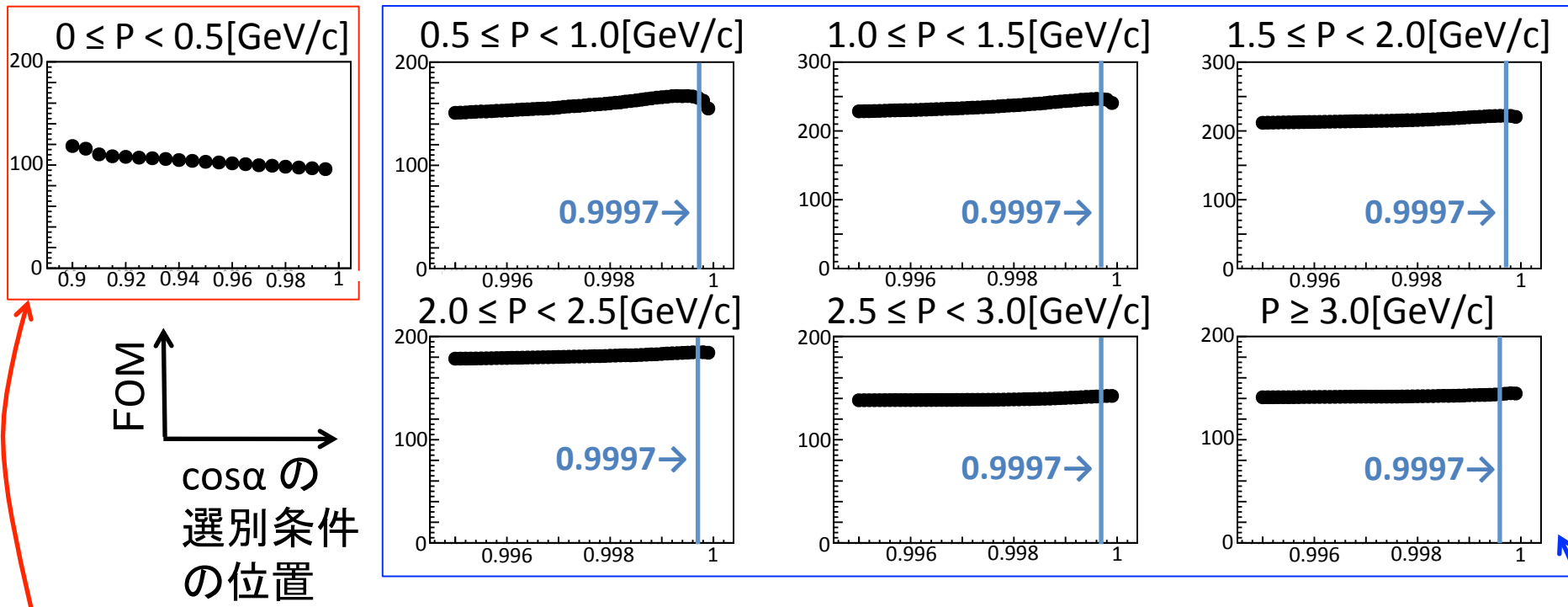


- $P_{\Lambda} < 0.5 [\text{GeV}/c]$ ; 飛距離の条件ではFOMは向上しない
- For  $P_{\Lambda} \geq 0.5 [\text{GeV}/c]$ , プラトーになる

したがって、以下のように飛距離の条件を決定した

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{For } 0 < P_{\Lambda} < 0.5 [\text{GeV}/c], \quad fl > 0.4 P_{\Lambda} \\ \text{For } P_{\Lambda} \geq 0.5 [\text{GeV}/c], \quad fl > 0.2 \end{array} \right.$$

# FOM vs $\cos\alpha$ の選別条件の位置

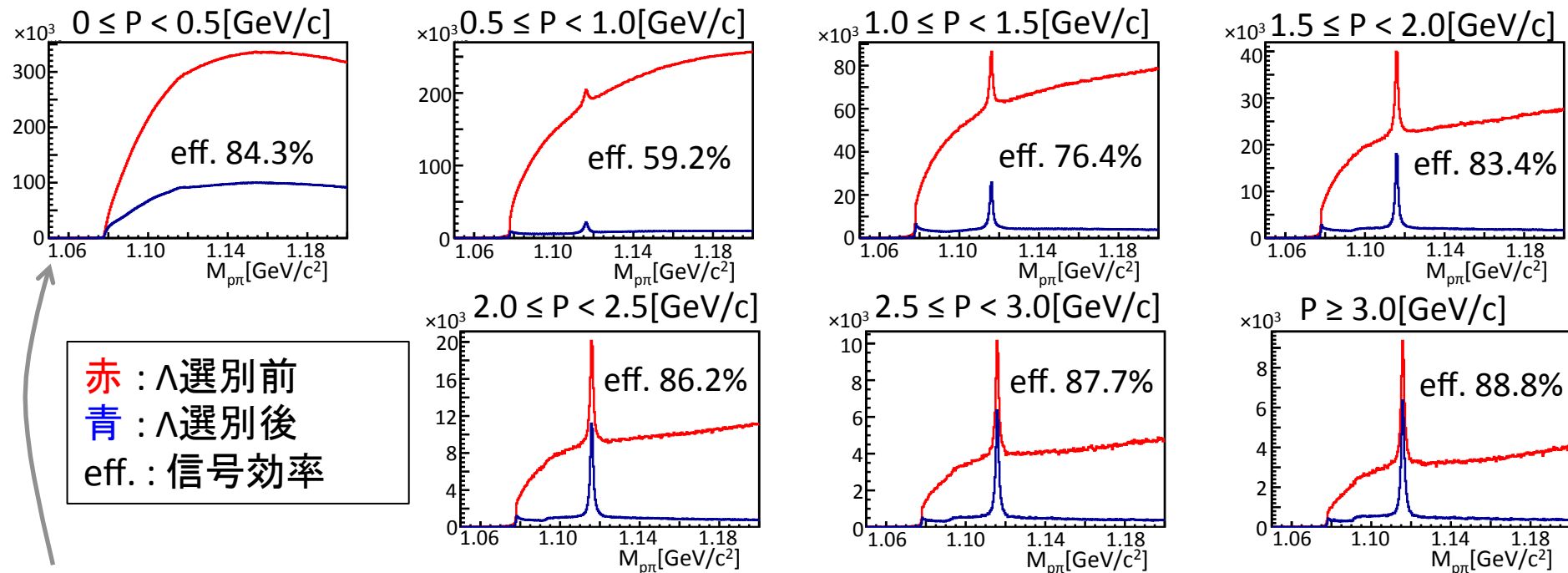


- $P_{\Lambda} < 0.5$  [GeV/c]:  $\cos\alpha$ 選別ではFOMは向上しない
- $P_{\Lambda} \geq 0.5$  [GeV/c]:  $\cos\alpha > 0.9997$ のときFOMが最大

したがって、以下のように $\cos\alpha$ の条件を決定した

$$\begin{cases} \text{For } 0 < P_{\Lambda} < 0.5 \text{ [GeV/c], } \cos\alpha > -1 + 3.9994 P_{\Lambda} \\ \text{For } P_{\Lambda} \geq 0.5 \text{ [GeV/c], } \cos\alpha > 0.9997 \end{cases}$$

# $\Lambda$ 選別前後の不変質量分布

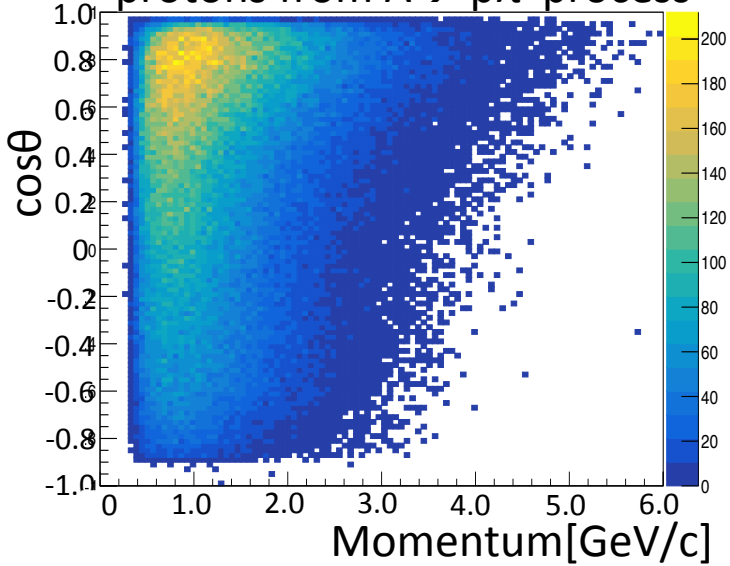


- $P_\Lambda < 0.5$  [GeV/c] S/Nが悪すぎる ( $S/N = 0.0127$ )
- $P_\Lambda \geq 0.5$  [GeV/c]の領域で信号効率は75.6%  
→  $P_\Lambda \geq 0.5$  [GeV/c]の領域のみ使用する

# Binning of momentum and $\cos\theta$

- The samples covers proton momentum except for around 0-0.2GeV/c and  $\cos\theta$  widely
  - Proton-ID efficiency is obtained in following binning

Momentum vs  $\cos\theta$  of true protons from  $\Lambda \rightarrow p\pi^-$  process



	Polar angle range			Momentum range [GeV/c]
1	-1.0 -- -0.612	Backward	1	0.2-0.4
2	-0.612 - - 0.511	Barrel	2	0.4-0.6
3	-0.511 - -0.300		3	0.6-0.8
4	-0.300 - -0.152		4	0.8-1.0
5	-0.152 - 0.017		5	1.0-1.2
6	0.017 - 0.209		6	1.2-1.4
7	0.209 - 0.355		7	1.4-1.6
8	0.355 - 0.435		8	1.6-1.8
9	0.435 - 0.542		9	1.8-2.0
10	0.542 - 0.692		10	2.0-2.5
11	0.692 - 0.842		11	2.5-3.0
12	0.842 - 1.000	Forward	12	> 3.0

# Fit procedure for proton-ID efficiency

- To extract  $\Lambda^0$  yield, I use fit
  - Signal and background shape is determined by fitting invariant mass distribution of all proton momentum and  $\cos\theta$  region
    - Signal : 2 Gaussian + 1 Crystalball function
    - Background : Linear function
  - Fixed ratio of 3 sigmas, ratio of heights, tail shape of Crystalball required 3 means are equivalent to be the same

For each bin, determined signal background shape by using MCTruth (remain one parameter of the  $\Lambda^0$  numbers )

- Fit invariant mass w/ and w/o proton ID
- Obtain proton-ID efficiency

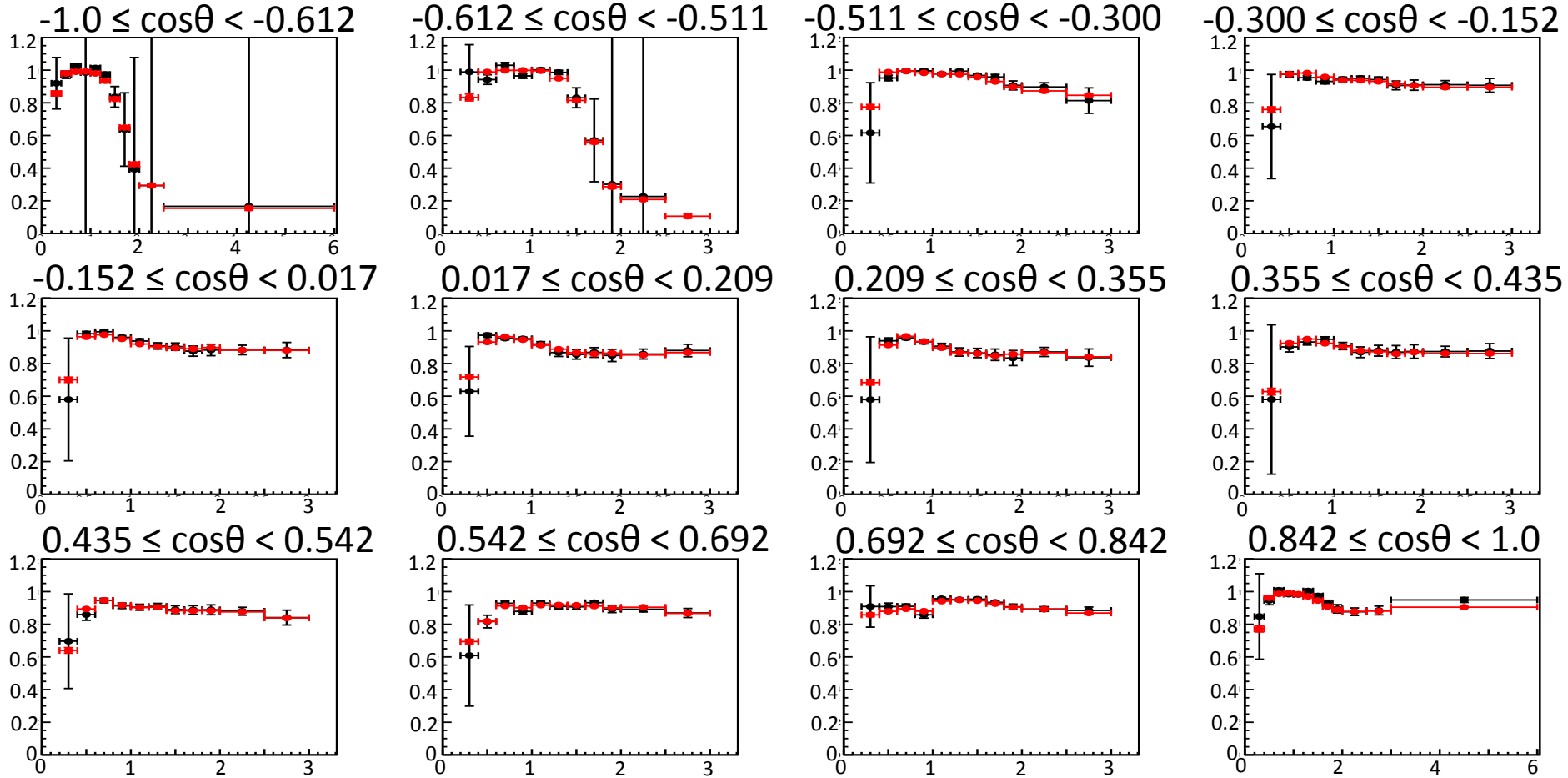
$$\mathcal{L}_{pK} = \frac{\mathcal{L}_p}{\mathcal{L}_p + \mathcal{L}_K} > 0.6$$

$$\mathcal{L}_{p\pi} = \frac{\mathcal{L}_p}{\mathcal{L}_p + \mathcal{L}_\pi} > 0.6$$

# Proton-ID efficiency as a function of proton momentum



Black point : Fit, Red point : MCTruth



- proton-ID eff. are bad for  $-1.0 < \cos\theta < -0.612$ (backward) and  $-0.612 < \cos\theta < -0.511$  (TOP prism)

# Relative deviation between proton-ID eff. of fit and that of MCTruth (momentum)

$$\text{Relative deviation} = \frac{[\text{Fit}] - [\text{MCTruth}]}{[\text{MCTruth}]}$$

