



TOHOKU
UNIVERSITY

$B \rightarrow X_s \gamma$ 崩壊を用いた新物理探索

齋藤 智之
(東北大学)

内容

- イン트로ダクション
- シグナルMCの解析

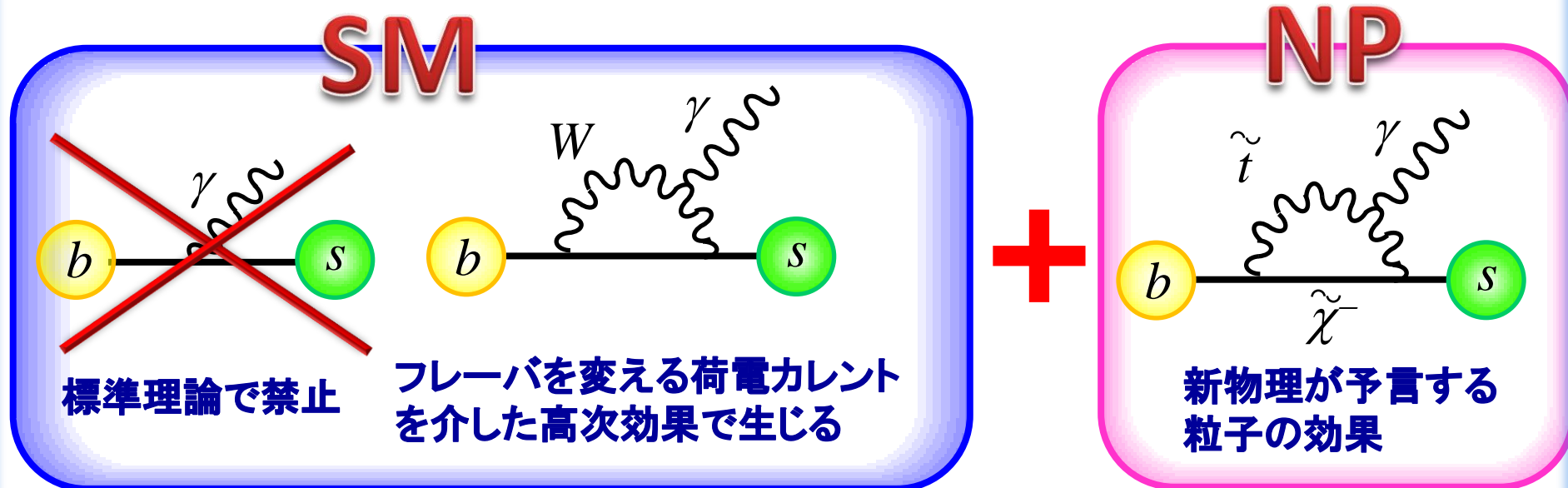
2011/12/07 B ワークショップ @ 磐梯熱海

イントロダクション

$b \rightarrow s \gamma$ 遷移

● $b \rightarrow s \gamma$ の特徴

- ▶ 標準理論ではツリーレベルで禁止 (Flavor Changing Neutral Current)
1ループのペンギンダイアグラムで起こる
→ ループを回る重い新粒子への感度大
- ▶ LHCbでは難しい測定 → 膨大な γ バックグラウンド



$b \rightarrow s\gamma$ の崩壊分岐比測定

$b \rightarrow s\gamma$ の崩壊分岐比測定

$B \rightarrow X_s \gamma$

$B \rightarrow K^* \gamma$ etc

Inclusive 崩壊測定

複数モードをまとめて測定

理論の誤差小

→新物理に感度大、測定は大変

exclusive 崩壊測定

特定のモードを測定

▪ form factorの不定性大
で理論誤差大

→新物理への感度低

$b \rightarrow s \gamma$ の崩壊分岐比測定

$b \rightarrow s \gamma$ の崩壊分岐比測定

$B \rightarrow X_s \gamma$

$B \rightarrow K^* \gamma$ etc

Inclusive 崩壊測定

複数モードをまとめて測定

理論の誤差小

→新物理に感度大、測定は大変

exclusive 崩壊測定

特定のモードを測定

- form factorの不定性大
- で理論誤差大
- 新物理への感度低

X_s の Full-inclusive 再構成

(X_s を再構成せずに γ のエネルギーのみ測定)

- 理論の不定性小さい
- 検出器、背景事象の精密な理解必須

X_s の Semi-inclusive 再構成

(たくさんの崩壊モードから X_s を再構成)

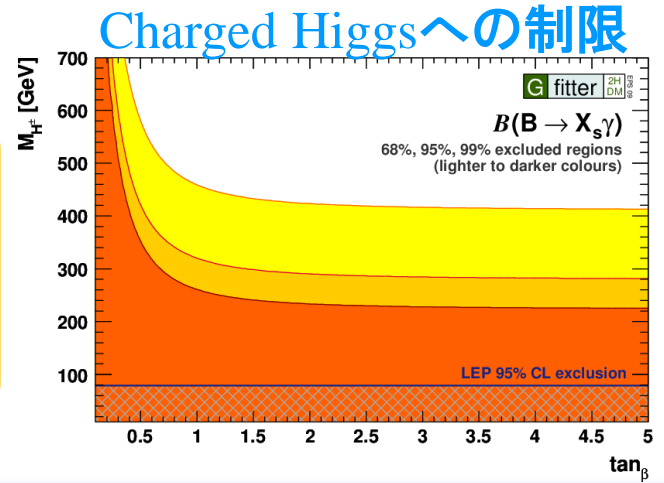
$B \rightarrow X_s \gamma$ 崩壊分岐比

Semi-inclusive再構成法を用いた $B \rightarrow X_s \gamma$ の崩壊分岐比測定

| | Belle | Babar |
|---------------------|--|---|
| 崩壊分岐比 [10^{-4}] | $3.36 \pm 0.53 \pm 0.42^{+0.50}_{-0.54}$ | $3.27 \pm 0.18^{+0.55 +0.04}_{-0.40 -0.09}$ |
| 測定条件 | $X_s < 2.1 \text{ GeV}, 6 \text{ fb}^{-1}$ | $X_s < 2.8 \text{ GeV}, 82 \text{ fb}^{-1}$ |

- 世界平均. : $(3.60 \pm 0.23) \times 10^{-4}$ [PDG10] Full-inclusive含む
 $(3.55 \pm 0.24 \pm 0.09) \times 10^{-4}$ [HFAG10]
- 理論予言値 : $(3.15 \pm 0.23) \times 10^{-4}$

▶ Belleでのアップデート必須
 ▶ Belleの全データ(711 fb^{-1})使えば統計100倍
 ▶ 系統誤差が支配的な解析になる



$B \rightarrow X_s \gamma$ の非対称度

● Direct CPの破れ : B と \bar{B} の振幅の違い

$$A_{CP} = \frac{|A(B \rightarrow X_s \gamma) - \bar{A}(\bar{B} \rightarrow X_s \gamma)|}{|A(B \rightarrow X_s \gamma) + \bar{A}(\bar{B} \rightarrow X_s \gamma)|}$$

- ▶ 比なので理論的・実験的誤差がキャンセル(exclusiveでも新物理に感度あり)
- ▶ 標準理論では $\sim 0.5\%$ の破れ

● アイソスピンの破れ : B^0 と B^+ の崩壊幅の違い

$$\Delta_{0+} = \frac{|\Gamma(B^+ \rightarrow X_s \gamma) - \Gamma(B^0 \rightarrow X_s \gamma)|}{|\Gamma(B^+ \rightarrow X_s \gamma) + \Gamma(B^0 \rightarrow X_s \gamma)|}$$

- ▶ 標準理論では $+5\sim 10\%$ の破れ

| | Belle | Babar |
|---------------|---|--|
| A_{CP} | $0.002 \pm 0.050 \pm 0.030$ (140 fb ⁻¹) | $-0.011 \pm 0.030 \pm 0.014$ (350fb ⁻¹) |
| Δ_{0+} | 未測定 | $-0.006 \pm 0.058 \pm 0.009 \pm 0.024$ (350fb ⁻¹) |

研究の目的

Belleの全データ(711 fb⁻¹)でsemi-inclusive再構成法を用い、
 $B \rightarrow X_s \gamma$ の崩壊分岐比と非対称度を測定

- 崩壊分岐比 : 6 fb⁻¹ (by 後田さん)からの up-date
- CPの破れ : 140 fb⁻¹ (by 西田さん)からの up-date
- アイスピンの破れ : (Belleで)初観測 !
- B⁰とB⁺のA_{CP}の違い : 初観測 !
(arXiv:1106.4589v1[hep-ph])

Key Point: いかに系統誤差を抑えるかが勝負

研究の目的

Belleの全データ(711 fb⁻¹)でsemi-inclusive再構成法を用い、
B→X_sγの崩壊分岐比と非対称度を測定

- **崩壊分岐比** : 6 fb⁻¹ (by 後田さん)からの up-date
- **CPの破れ** : 140 fb⁻¹ (by 西田さん)からの up-date
- **アイソスピンの破れ** : (Belleで)初観測 !
- **B⁰とB⁺のA_{CP}の違い** : 初観測 !
(arXiv:1106.4589v1[hep-ph])

Key Point: いかに系統誤差を抑えるかが勝負

▶ MCのハドロン化の系統誤差

→ より**多くのX_sの終状態**を再構成する

研究の目的

Belleの全データ(711 fb⁻¹)でsemi-inclusive再構成法を用い、
B→X_sγの崩壊分岐比と非対称度を測定

- **崩壊分岐比** : 6 fb⁻¹ (by 後田さん)からの up-date
- **CPの破れ** : 140 fb⁻¹ (by 西田さん)からの up-date
- **アイソスピンの破れ** : (Belleで)初観測 !
- **B⁰とB⁺のA_{CP}の違い** : 初観測 !
(arXiv:1106.4589v1[hep-ph])

Key Point: いかに系統誤差を抑えるかが勝負

▶ MCのハドロン化の系統誤差

→ より**多くのX_sの終状態**を再構成する

▶ X_sの質量分布の外挿の系統誤差

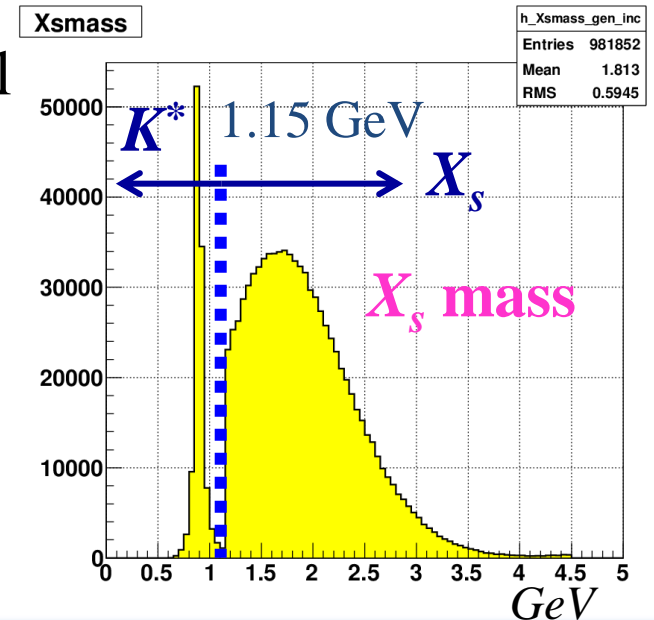
→ より**高いX_sの質量**の領域を理解する

シグナルMCの解析

シグナルMC

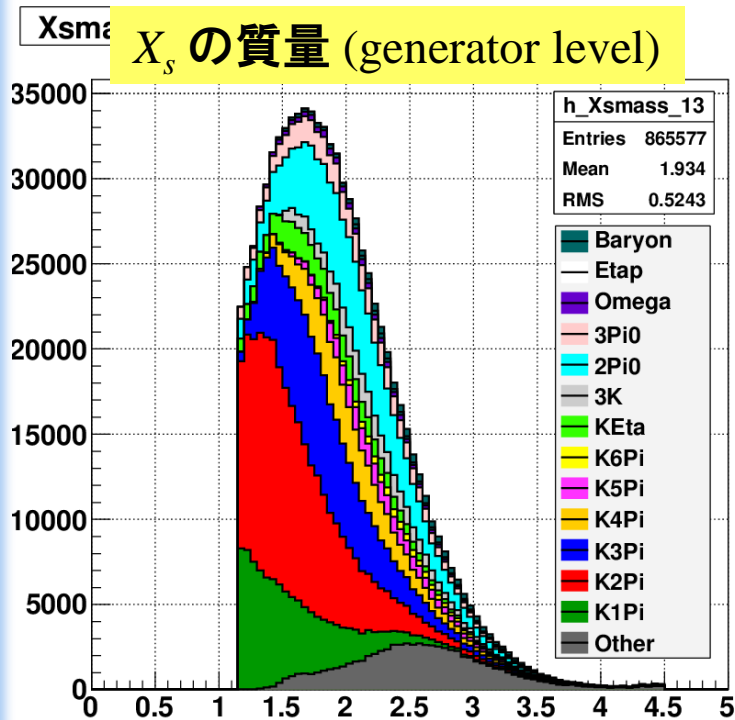
- シグナルの解析を行うために2つのMCサンプル、inclusive $X_s\gamma$ と exclusive $K^*\gamma$ を用いる

- ▶ X_s は Pythia でハドロン化
- ▶ $X_s\gamma$ と $K^*\gamma$ のサンプルは崩壊分岐比の比で混合
 - $X_s\gamma : K^*\gamma = 32 \times 10^{-5} : 4 \times 10^{-5}$
- ▶ X_s の質量分布はKagan-Neubert model で生成
 - K^*/X_s 遷移値: 1.15 GeV
- ▶ 生成したイベント数
 - 10^6 イベント ~ データの2倍



X_s の崩壊

- X_s はハドロン化 → どんな崩壊モードにしているかチェック



| | イベント数 | 割合(%) |
|--------|--------|-------|
| KPI | 100946 | 11.7 |
| K2Pi | 213800 | 24.7 |
| K3Pi | 132030 | 15.3 |
| K4Pi | 62492 | 7.2 |
| K5Pi | 23681 | 2.7 |
| K6Pi | 8042 | 0.9 |
| KEta | 37138 | 4.3 |
| 3K | 30381 | 3.5 |
| 2Pi0 | 118863 | 13.7 |
| 3Pi0 | 41288 | 4.8 |
| Omega | 9230 | 1.1 |
| EtaP | 5944 | 0.7 |
| Baryon | 9467 | 1.1 |
| Other | 72275 | 8.3 |
| 合計 | 865577 | |

π^0 は1つまで

KEta : $K\eta + 0\sim 3\pi$
($\eta \rightarrow \gamma\gamma$)

3K : $3K + 0\sim 2\pi$

2 π^0 : $K 2\sim 6\pi, K\eta,$
3Kの2 π^0 を含む

3 π^0 : $K 3\sim 6\pi, K\eta$
で3 π^0 を含む

Omega : $\omega \rightarrow \pi^0\gamma$

EtaP : $\eta' \rightarrow \rho^0\gamma$

Baryon : p, n, Λ

- ▶ $K\pi \sim K4\pi$ と $3K, 3K\pi$ を再構成済み → ~67% ($K^*\gamma$ も含めて)
- ▶ $K\eta$ と $2\pi^0$ の割合が大きい。

イベント再構成

- 現在までに25の $B \rightarrow X_s \gamma$ の終状態を再構成

$$X_s \rightarrow K\pi, K_s\pi, K\pi^0, K_s\pi^0 \quad (\text{K}\pi)$$

$$K\pi\pi, K_s\pi\pi, K\pi\pi^0, K_s\pi\pi^0 \quad (\text{K}2\pi)$$

$$K\pi\pi\pi, K_s\pi\pi\pi, K\pi\pi\pi^0, K_s\pi\pi\pi^0 \quad (\text{K}3\pi)$$

$$K\pi\pi\pi\pi, K_s\pi\pi\pi\pi, K\pi\pi\pi\pi^0, K_s\pi\pi\pi\pi^0 \quad (\text{K}4\pi)$$

$$KKK, KKK_s, KK_sK_s \quad (\text{3K})$$

追加 { $KKK\pi, KKK_s\pi, KKK\pi^0, KKK_s\pi^0, \quad (\text{3K}\pi)$

$KK_sK_s\pi, KK_sK_s\pi^0$

- ▶ 以前のBelleの解析では16の終状態、 $K\pi \sim K4\pi$ を再構成していた → 9つの終状態を追加
- ▶ Babarでは38モード再構成!! → まだ増やすべき

イベント選別

● K^\pm, π^\pm 選別

- $|dr| < 0.5 \text{ cm}$
- $|dz| < 5.0 \text{ cm}$
- K : $\text{Prob}(K/\pi) > 0.6$
- π : $\text{Prob}(K/\pi) < 0.6$
- $p_\pi^* > 100 \text{ MeV}$

● K_s 選別

- findKs
- $|M_{K_s} - \text{PDG}| < 10 \text{ MeV}$

● π^0 選別

- $E_\gamma > 50 \text{ MeV}$
- $123 < M_{\pi^0} < 143 \text{ MeV}$
- $\cos\theta_{\gamma\gamma} > 0.4$

● γ 選別

- $1.8 < E_\gamma^* < 3.4 \text{ GeV}$
- $33^\circ < \theta_\gamma < 128^\circ$ (バレル領域)
- $E_{9/25} > 0.95$

▶ シグナル領域

$-0.15 < \Delta E < 0.08 \text{ GeV}, 5.27 \text{ GeV} < M_{bc} (p_\gamma \text{ はスケール})$

▶ カットの値はまだ最適化していない

$$\Delta E \equiv E_{X_s}^* + E_\gamma^* - E_{beam}^*$$

$$M_{bc} \equiv \sqrt{(E_{beam}^*/c^2)^2 - (|\vec{p}_B^*|/c)^2}$$
$$\vec{p}_B^* = \vec{p}_{X_s}^* + (\vec{p}_\gamma^*/|\vec{p}_\gamma^*|) \times (E_{beam}^* - E_{X_s}^*)/c$$

M_{bc} と ΔE 分布

● イベント選別後の M_{bc} と ΔE 分布

▶ シグナル領域

$$5.27 < M_{bc}, \quad -0.15 < \Delta E < 0.08$$

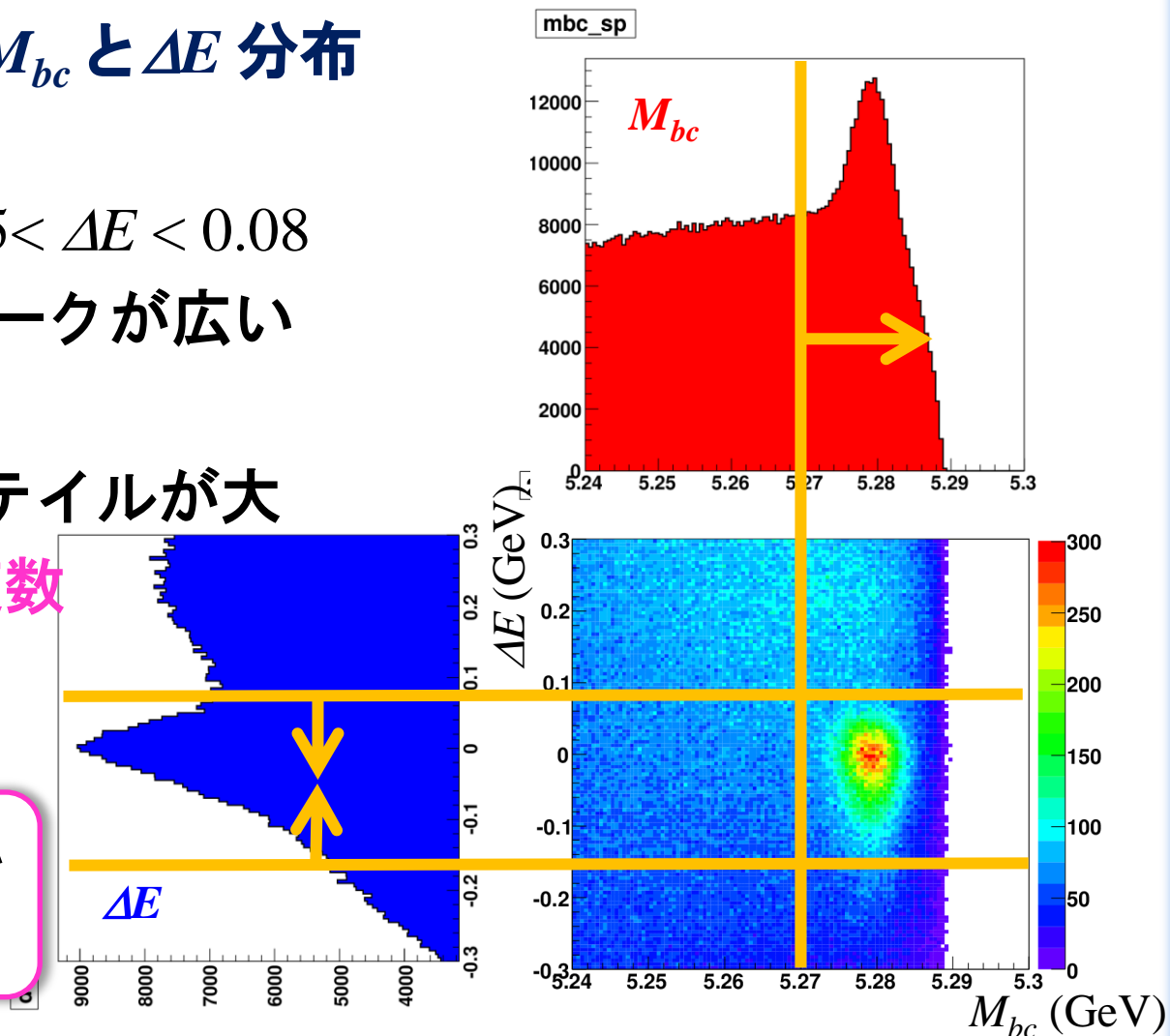
▶ M_{bc} と ΔE とともにピークが広い

→ γ の影響

▶ 2つともピークのテイルが大

→ 1イベントに複数の
のB候補

Bの最適候補の選択を
することが必要



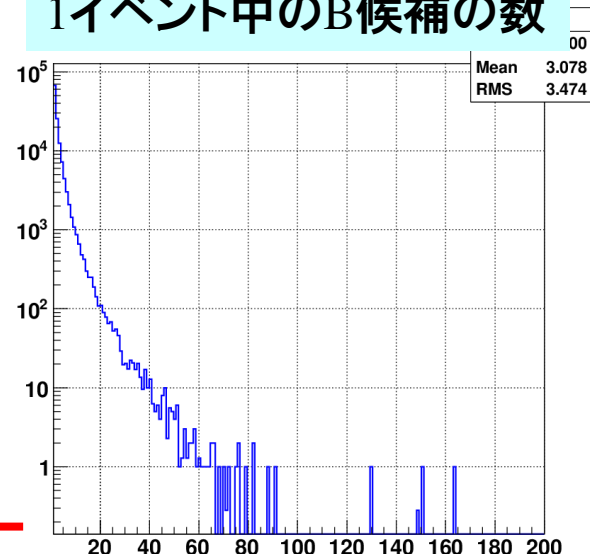
Bの最適候補の選択

● Bの複数候補の数をチェック

- ▶ $5.24 \text{ GeV} < M_{bc}$,
 $-0.15 < \Delta E < 0.08 \text{ GeV}$
- ▶ かなり多いイベントあり
- ▶ 平均 : 3.1

⇒ 正しいBの候補を選択できるかが重要

1イベント中のB候補の数



● 最適候補選択 ; Best candidate selection(BCS)

- ▶ X_s の崩壊点フィットの最大のC.L.を持つ候補を選択
($K_s \pi^0 \gamma$ 候補を含む場合 → $|\Delta E|$ の最小の候補を選択)
- ・ 複数の候補が残った場合 → $|\Delta E|$ の最小の候補を選択

再構成効率とPurity

| | | $K\pi$ | $K2\pi$ | $K3\pi$ | $K4\pi$ | $3K$ | $3K\pi$ |
|-----------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|---------------|
| Before BC | # of total | 36145 19.5% | 41313 25.6% | 41348 41.5% | 39868 86.2% | 948 16.4% | 1074 15.3% |
| | # of true | 31569 17.1% | 20776 12.9% | 6792 6.8% | 1693 3.7% | 781 13.5% | 314 4.5% |
| | # of cross-feed | 2216 6.1% | 13235 32.0% | 24662 59.6% | 31130 78.1% | 161 17.0% | 594 55.3% |
| | Purity | 87.3% | 50.3% | 16.4% | 4.2% | 82.4% | 29.2% |
| | | $K\pi$ | $K2\pi$ | $K3\pi$ | $K4\pi$ | $3K$ | $3K\pi$ |
| After BC | # of total | 30153 16.3% | 23576 14.6% | 13909 14.0% | 9131 19.8% | 781 14.1% | 575 9.1% |
| | # of true | 28046 7.2% | 15582 9.7% | 4018 4.0% | 883 1.9% | 674 12.1% | 224 3.5% |
| | # of cross-feed | 1079 3.6% | 5285 22.4% | 7002 50.3% | 6681 73.2% | 93 11.9% | 278 48.3% |
| | Purity | 93.0% | 66.1% | 28.9% | 9.7% | 86.3% | 39.0% |
| | | $K\pi$ | $K2\pi$ | $K3\pi$ | $K4\pi$ | $3K$ | $3K\pi$ |

*cross-feed : 他モードの混入

再構成効率 (Reco/Generate)

Cross-feedの割合 (cross-feed/total)

- BCS前後で
 - cross-feed減
 - purityアップ
- 全体の再構成効率 = 8.0 %

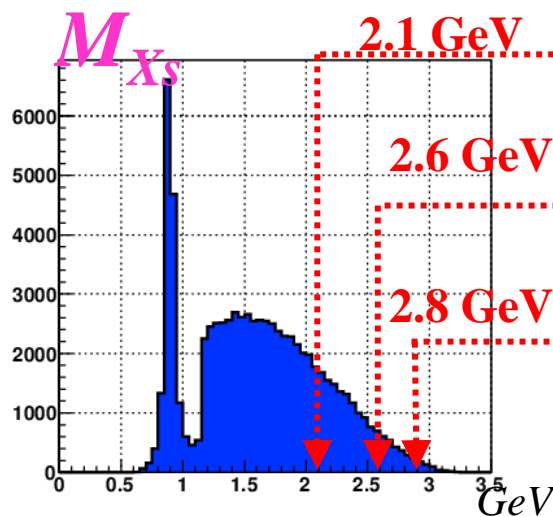
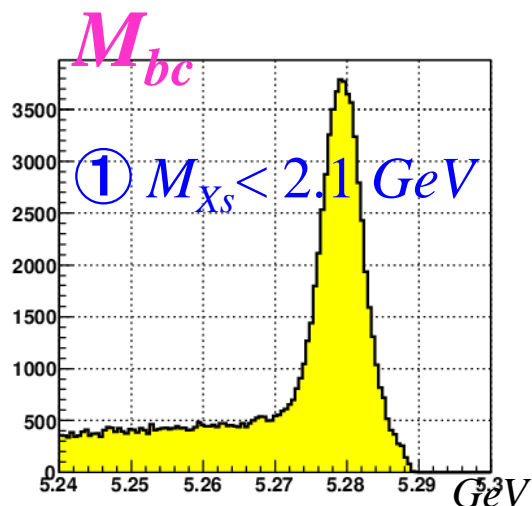
結果改善のために...

- ▶ より効果的なBCSを探す
- ▶ $K\eta$ と $2\pi^0$ モードの再構成 ← より多くの終状態を理解し、ハドロン化の系統誤差を減らすため

Best candidate selection後の M_{bc} と X_s 質量

● BCS後の M_{bc} と X_s の質量(M_{X_s})分布

M_{X_s} の大きな領域を理解したい



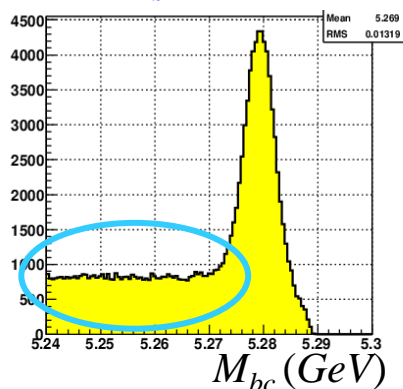
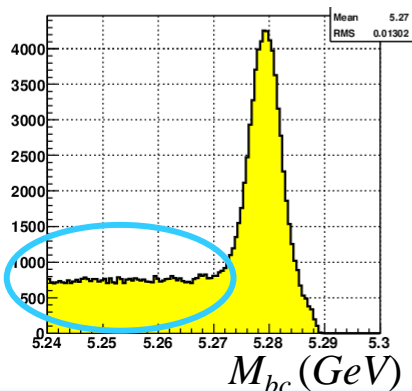
① 前のBelleの解析のカット

② 目標のカット
(可能なら2.8GeV)

③ Babar のカット
(しかし 2.6~2.8GeV
にはシグナルなし)

② $M_{X_s} < 2.6 \text{ GeV}$

③ $M_{X_s} < 2.8 \text{ GeV}$



M_{X_s} のカット値を上げると再構成をミスしているイベント増
(もちろんBGも)



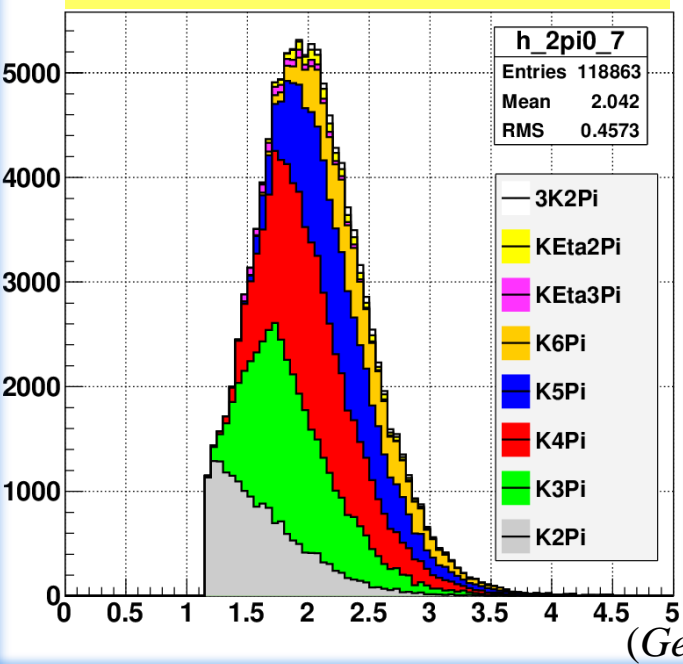
$M_{X_s} < 2.6 \text{ GeV}$ が妥当(?)

次の予定： $2\pi^0$ モードの再構成

● $2\pi^0$ を含むモードの再構成を行う

- ▶ X_s の終状態の13.7%
- ▶ γ のBGが多くあり再構成効率が低く、理解が難しい
- ▶ 以前のBelleの解析では行っていないがBabarではやっている

$2\pi^0$ モードの X_s 質量分布
(generator level)



| | イベント数 | 割合 |
|---------|--------|-------|
| K2Pi | 18238 | 15.3% |
| K3Pi | 29462 | 24.8% |
| K4Pi | 32946 | 27.7% |
| K5Pi | 22452 | 18.9% |
| K6Pi | 11935 | 10.0% |
| KEta2Pi | 1244 | 1.0% |
| KEta3Pi | 1542 | 1.3% |
| 3K2Pi | 1014 | 0.9% |
| Sum | 118833 | |

~40%
 $K4\pi$ の $2\pi^0$ モード
は理解困難

$K2\pi$ と $K3\pi$ の
 $2\pi^0$ モードに挑戦

まとめと予定

● まとめ

- ▶ $B \rightarrow X_s \gamma$ の崩壊分岐比と非対称度は新物理に感度あり
- ▶ Semi-inclusive 再構成法を用いて $B \rightarrow X_s \gamma$ を測定
- ▶ 現在までに25の X_s の終状態を再構成
 - ▶ Best candidate selection
 - ▶ 再構成効率とcross-feedの割合、purityを調べた

● 予定

- ▶ $K\eta(\pi)$ と $2\pi^0$ モードの再構成
- ▶ より効果的なBest candidate selection
- ▶ バックグラウンドの研究

Back up

$b \rightarrow s\gamma$ inclusive 崩壊分岐比測定

$$\Gamma(b \rightarrow s\gamma) = \frac{G_F^2 \alpha_{em} m_b^5 |V_{ts}^* V_{tb}|^2}{32\pi^3} |C_7^{\text{eff}}|^2$$

Effective Hamiltonian of inclusive radiative B decay

$$\mathcal{H}_{\text{eff}} = -\frac{4G_F}{\sqrt{2}} V_{tb} V_{ts}^* \sum_{i=1}^{10} C_i(\mu) O_i(\mu)$$

C_i : Wilson coefficient

$O_{1,2}$: current current operator

O_{3-6} : QCD penguin operator

$O_{7,8}$: electro- and chromo operator

$O_{9,10}$: semi-leptonic operator

find K_s

● K_s を選ぶための4つの要求

- ▶ π^+ と π^- の飛跡が衝突点付近からきていない(dr)
- ▶ K_s の運動量の向きが衝突点方向($d\phi$)
- ▶ π^+ と π^- の飛跡が共通の1点(= K_s の崩壊点)からきている(z_dist)
- ▶ K_s がある程度走っている(fl)

Efficiency Matrix After Best candidate selection

| | | Reconstructed Mode | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|--------------------|--------------------|----------------|-----------------|------------------|---------------|-------|------------------|-------------------|---------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|------------------|--------------------|-------|-------|--------------------|-----------|
| Generated Mode | | Kπ | Ksπ | Kπ ⁰ | Ksπ ⁰ | Kππ | Ksππ | Kππ ⁰ | Ksππ ⁰ | K3π | Ks3π | K2ππ0 | Ks2ππ0 | K4π | Ks4π | K3ππ0 | Ks3ππ0 | 3K | 2K2s | 3Kπ | 2K2sπ | 3Kπ ⁰ | 2K2sπ ⁰ | K2Ks | K2Ksπ | K2Ksπ ⁰ | Sum (Gen) |
| | | Kπ | 17460 24.8% | 11 | 96 | 0 | 502 | 12 | 401 | 3 | 112 | 3 | 47 | 3 | 6 | 1 | 35 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | Ksπ | 40 | 5721 15.2% | 7 | 39 | 97 | 206 | 79 | 137 | 31 | 14 | 20 | 28 | 0 | 7 | 8 | 7 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 37714 |
| | Kπ ⁰ | 233 | 4 | 4744 12.6% | 3 | 192 | 1 | 433 | 1 | 38 | 0 | 95 | 5 | 4 | 0 | 17 | 1 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 37740 |
| | Ksπ ⁰ | 3 | 85 | 4 | 1149 6.5% | 3 | 63 | 46 | 147 | 7 | 14 | 9 | 30 | 2 | 3 | 7 | 4 | 4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17614 |
| | Kππ | 65 | 2 | 11 | 0 | 9112 17.9% | 18 | 308 | 2 | 534 | 11 | 354 | 3 | 58 | 1 | 99 | 7 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50941 |
| | Ksππ | 7 | 19 | 2 | 2 | 46 | 2205 | 24 | 58 | 148 | 127 | 39 | 107 | 9 | 20 | 39 | 11 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 23307 | |
| | Kππ ⁰ | 111 | 1 | 28 | 0 | 426 | 10 | 5426 9.6% | 1 | 421 | 6 | 342 | 12 | 42 | 4 | 167 | 2 | 4 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 56538 | |
| | Ksππ ⁰ | 3 | 31 | 0 | 13 | 11 | 205 | 90 | 1548 5.1% | 37 | 92 | 49 | 158 | 6 | 14 | 41 | 33 | 0 | 4 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 30453 | |
| | Kπππ | 1 | 0 | 2 | 0 | 43 | 2 | 23 | 0 | 2220 13.1% | 8 | 123 | 3 | 121 | 4 | 183 | 1 | 7 | 1 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16982 |
| | Ksπππ | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 24 | 5 | 3 | 61 | 512 | 14 | 65 | 15 | 48 | 50 | 47 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 9009 | |
| | Kπππ ⁰ | 15 | 0 | 3 | 0 | 246 | 4 | 149 | 1 | 740 | 8 | 3389 | 20 | 232 | 3 | 556 | 6 | 6 | 0 | 5 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 50223 | |
| | Ksπππ ⁰ | 3 | 3 | 0 | 0 | 8 | 59 | 11 | 24 | 68 | 165 | 48 | 786 | 16 | 78 | 100 | 115 | 0 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 23382 | |
| | K4π | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 51 | 0 | 27 | 0 | 519 | 6 | 110 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 5806 |
| | Ks4π | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 5 | 0 | 3 | 12 | 115 | 29 | 16 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2741 |
| | K3ππ ⁰ | 2 | 0 | 0 | 0 | 19 | 2 | 13 | 1 | 249 | 4 | 92 | 10 | 252 | 4 | 1471 | 13 | 2 | 0 | 3 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 24487 |
| | Ks3ππ ⁰ | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 8 | 2 | 1 | 31 | 46 | 5 | 43 | 13 | 95 | 83 | 345 | 31 | 0 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13191 |
| | 3K | 1 | 0 | 0 | 0 | 9 | 1 | 3 | 0 | 26 | 0 | 5 | 1 | 6 | 0 | 17 | 0 | 560 | 1 | 17 | 0 | 11 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3766 |
| | 2K2s | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 0 | 17 | 3 | 2 | 0 | 1 | 0 | 8 | 0 | 1 | 123 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1788 |
| | 3Kπ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 1 | 0 | 10 | 0 | 14 | 0 | 0 | 111 | 2 | 7 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1985 |
| | 2K2sπ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 3 | 1 | 6 | 2 | 21 | 2 | 0 | 1 | 1 | 78 | 5 | 8 | 0 | 1 | 0 | 2073 |
| | 3Kπ ⁰ | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | 4 | 0 | 3 | 1 | 5 | 2 | 21 | 2 | 79 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1541 |
| | 2K2sπ ⁰ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 7 | 0 | 0 | 1 | 1 | 5 | 1 | 22 | 0 | 0 | 0 | 736 |
| | K2Ks | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 5 | 1 | 0 | 219 |
| | K2Ksπ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 4 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 1 | 2 | 6 | 0 | 544 |
| | K2Ksπ ⁰ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 154 |
| | Kη | 8 | 0 | 28 | 0 | 50 | 0 | 69 | 0 | 18 | 1 | 51 | 0 | 12 | 0 | 29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5092 |
| | Ksη | 0 | 0 | 0 | 12 | 1 | 31 | 13 | 27 | 3 | 13 | 4 | 15 | 1 | 4 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2390 |
| | Kηπ | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 2 | 28 | 0 | 64 | 0 | 24 | 0 | 9 | 0 | 67 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 4129 |
| | Ksηπ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 2 | 5 | 10 | 17 | 2 | 34 | 2 | 15 | 7 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2299 |
| | Kηπ ⁰ | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 11 | 0 | 4 | 0 | 44 | 0 | 4 | 0 | 20 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2228 |
| | Ksηπ ⁰ | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 3 | 1 | 6 | 1 | 10 | 1 | 3 | 3 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1041 |
| | Kη2π | 2 | 0 | 1 | 0 | 4 | 1 | 7 | 0 | 17 | 0 | 68 | 1 | 42 | 1 | 95 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2453 |
| | Ksη2π | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 1 | 12 | 1 | 14 | 8 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1067 |
| | Kηππ ⁰ | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 20 | 0 | 14 | 0 | 2 | 0 | 84 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1930 |
| | Ksηππ ⁰ | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 5 | 0 | 4 | 0 | 3 | 8 | 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1030 |
| | Other | 70 | 40 | 63 | 2 | 184 | 68 | 446 | 96 | 578 | 114 | 701 | 263 | 563 | 153 | 2066 | 418 | 19 | 18 | 46 | 18 | 42 | 24 | 1 | 3 | 2 | 474951 |
| | Sum | 18027 | 5917 | 4989 | 1220 | 10975 | 2932 | 7600 | 2069 | 5536 | 1176 | 5579 | 1618 | 1976 | 602 | 5460 | 1093 | 613 | 160 | 218 | 126 | 149 | 63 | 8 | 13 | 6 | |
| | TRUE | 16988 | 5588 | 4414 | 1056 | 8183 | 1936 | 4263 | 1200 | 1674 | 417 | 1549 | 378 | 349 | 74 | 377 | 83 | 549 | 120 | 94 | 67 | 48 | 14 | 5 | 5 | 1 | |
| | Purity (%) | 94.2% | 94.4% | 88.5% | 86.6% | 74.6% | 66.0% | 56.1% | 58.0% | 30.2% | 35.5% | 27.8% | 23.4% | 17.7% | 12.3% | 6.9% | 7.6% | 89.6% | 75.0% | 43.1% | 53.2% | 32.2% | 22.2% | 62.5% | 38.5% | 16.7% | |

M_{bc}

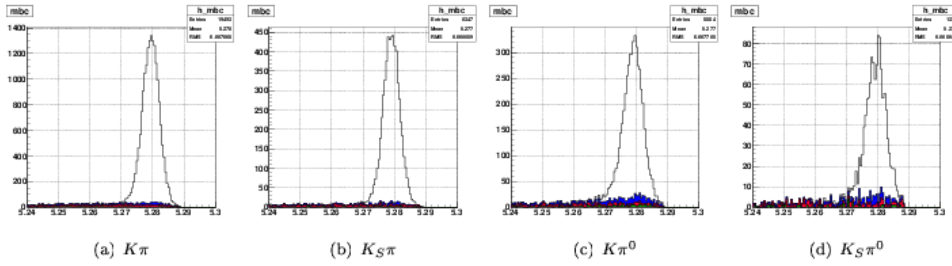


Figure 1: $K\pi$

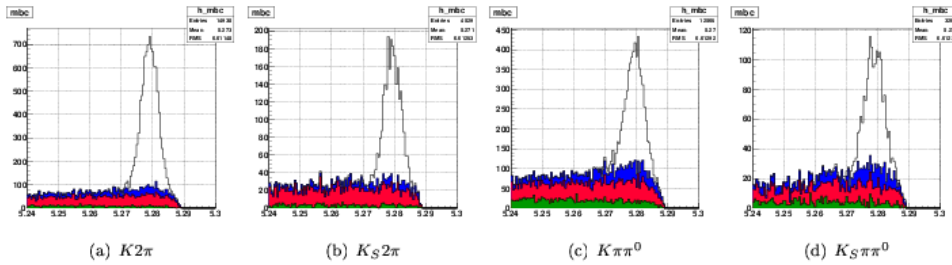


Figure 2: $K2\pi$

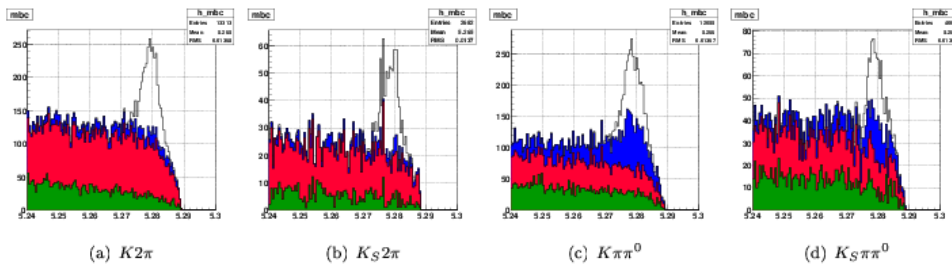


Figure 3: $K3\pi$

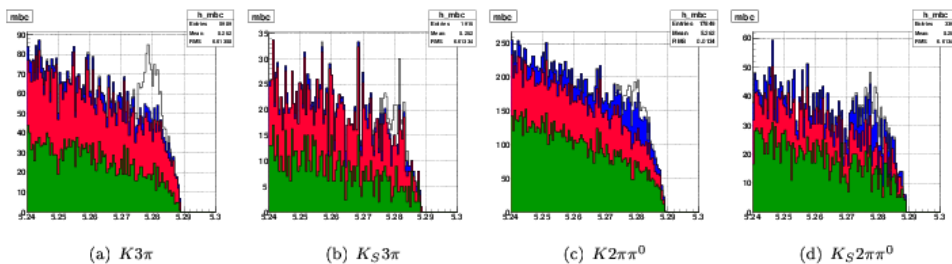
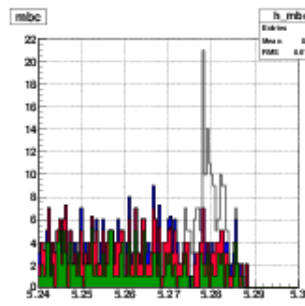
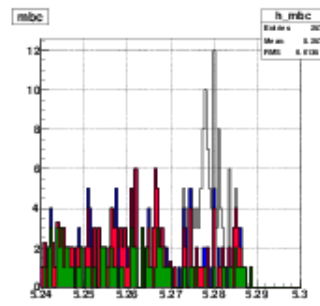


Figure 4: $K4\pi$

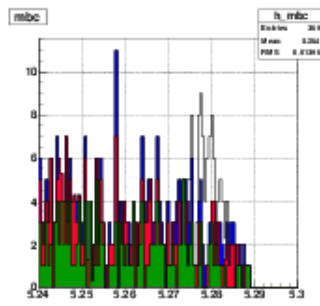
White : True
 Blue : False combination
 Red : Off-diagonal
 Green : Other



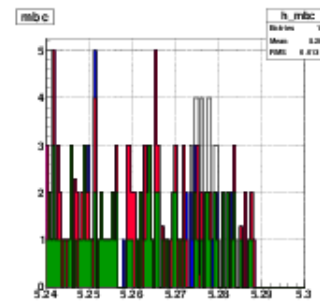
(a) $3K\pi$



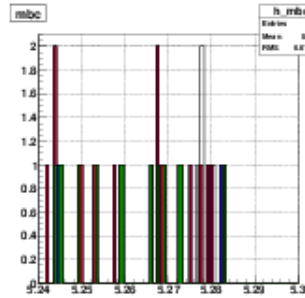
(b) $2KK_S\pi$



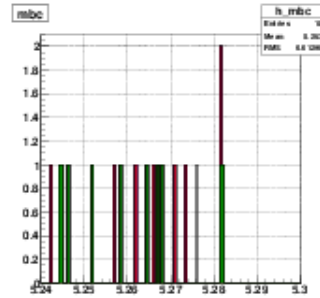
(c) $3K\pi^0$



(d) $2KK_S\pi^0$



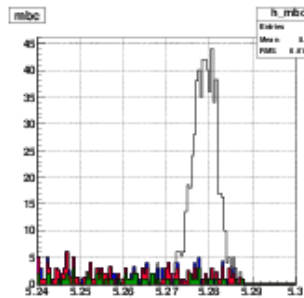
(e) $K2KK_S\pi$



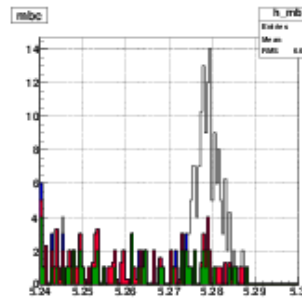
(f) $K2KK_S\pi^0$

White : True
 Blue : False combination
 Red : Off-diagonal
 Green : Other

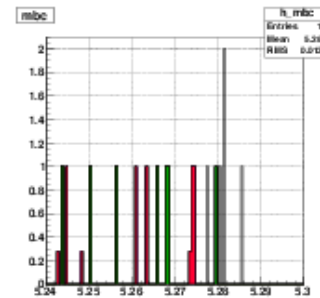
Figure 6: $3K\pi$



(a) $3K\pi$



(b) $2KK_S$



(c) $K2K_S$

Figure 5: $3K$

ΔE

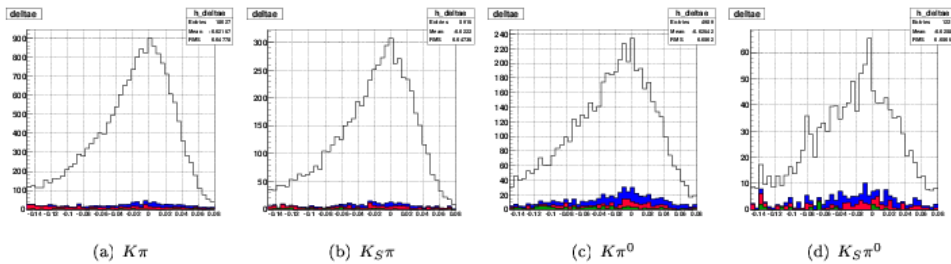


Figure 1: $K\pi$

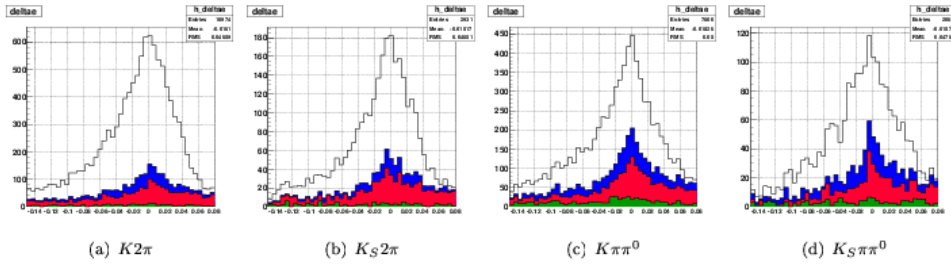


Figure 2: $K2\pi$

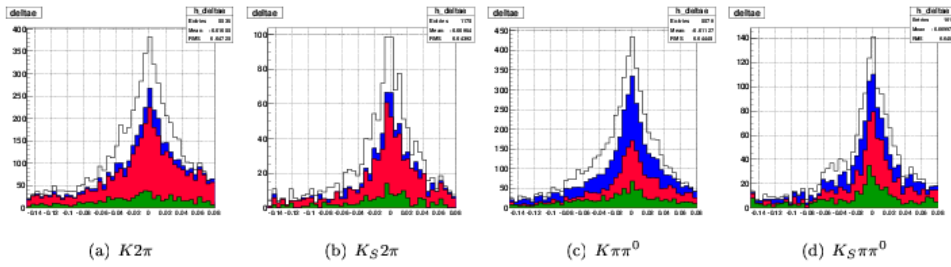


Figure 3: $K3\pi$

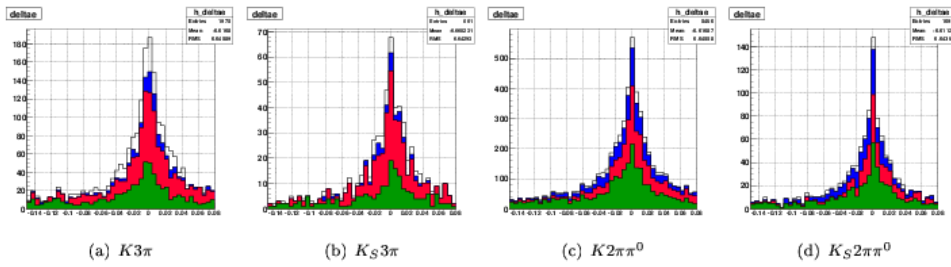
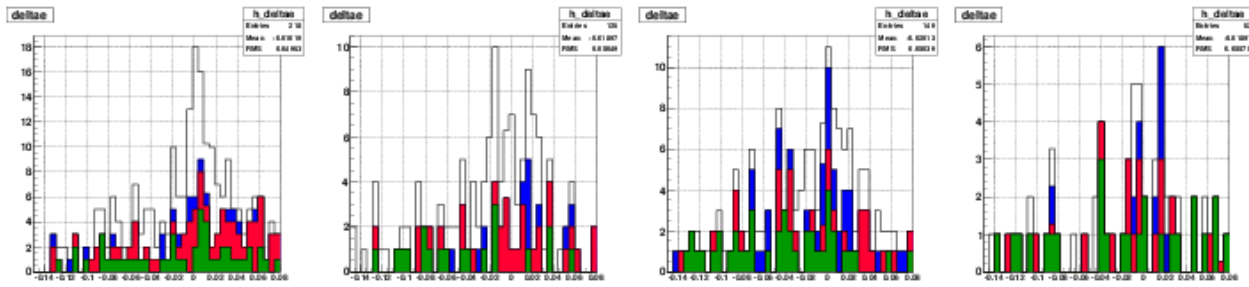


Figure 4: $K4\pi$

White : True
 Blue : False combination
 Red : Off-diagonal
 Green : Other

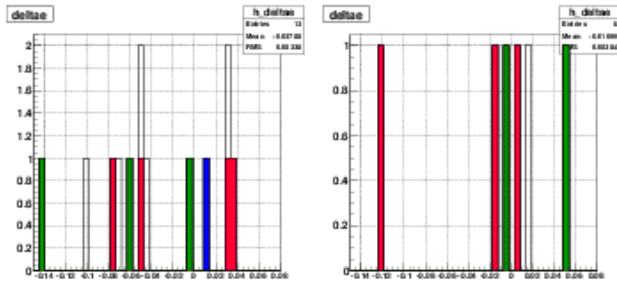


(a) $3K\pi$

(b) $2KK_S\pi$

(c) $3K\pi^0$

(d) $2KK_S\pi^0$

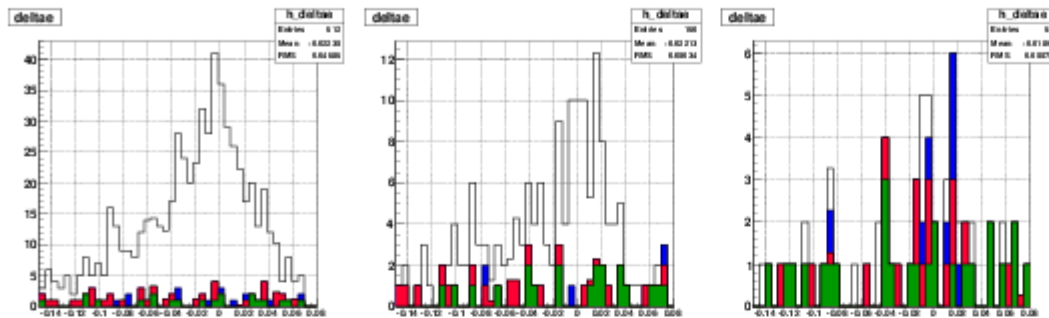


(e) $K^2K_S\pi$

(f) $K^2K_S\pi^0$

White : True
 Blue : False combination
 Red : Off-diagonal
 Green : Other

Figure 6: $3K\pi$



(a) $3K$

(b) $2KK_S$

(c) K^2K_S

Figure 5: $3K$

X_s mass

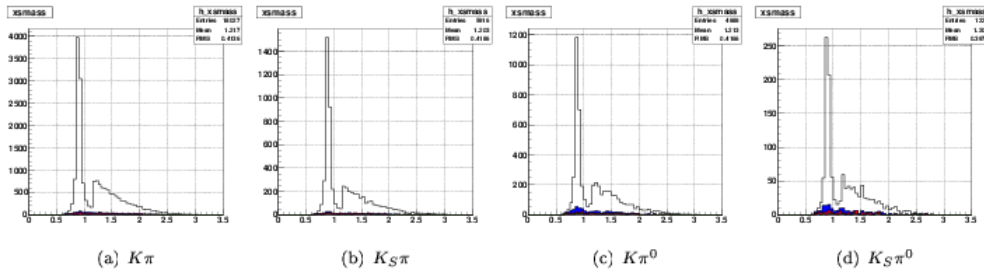


Figure 1: $K\pi$

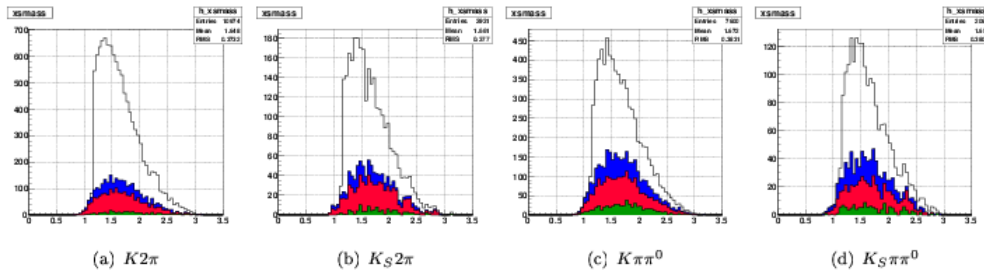


Figure 2: $K2\pi$

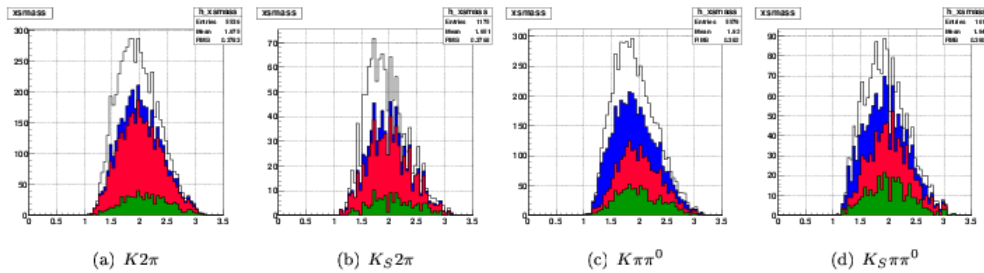


Figure 3: $K3\pi$

White : True
 Blue : False combination
 Red : Off-diagonal
 Green : Other

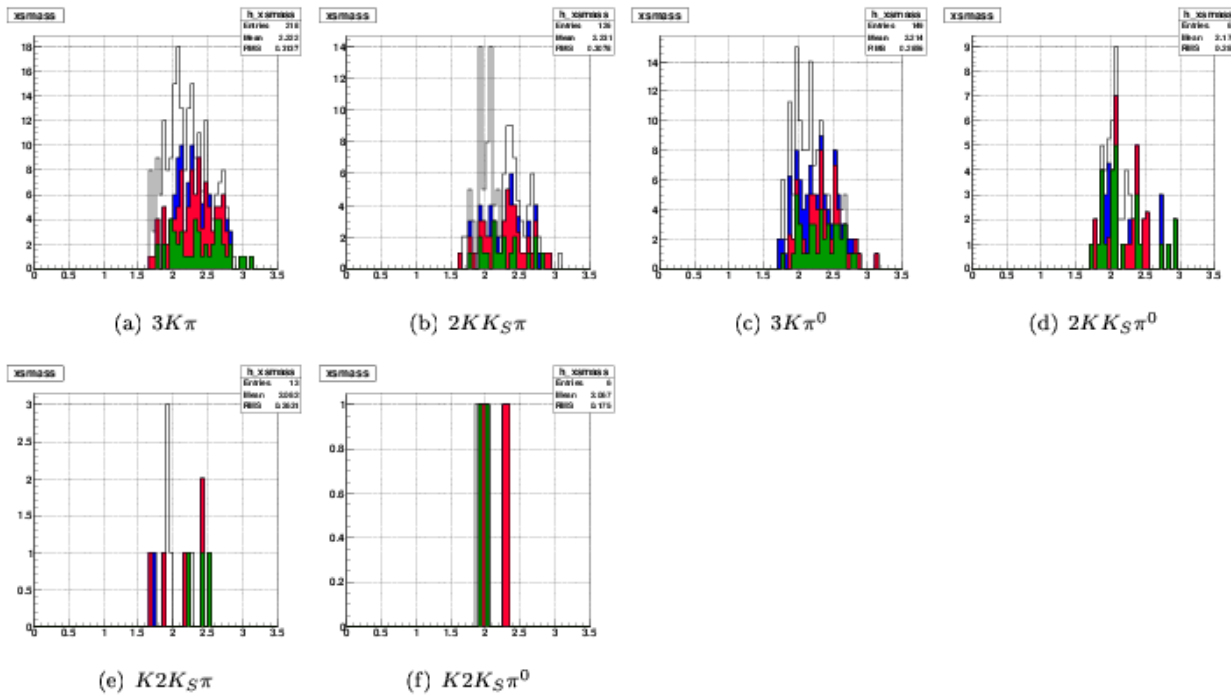


Figure 6: $3K\pi$

White : True
 Blue : False combination
 Red : Off-diagonal
 Green : Other

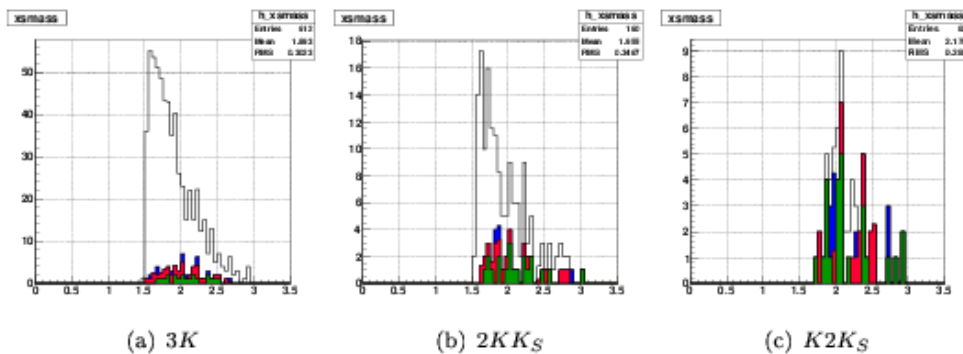


Figure 5: $3K$

