



Y(5S) モードにおける CP対称性の破れの角 ϕ_1 の測定

東北大

素粒子実験研究室 (D1)

佐藤 優太郎

Y(5S) グループ

B ワークショップ@熱海

Contents

- Y(5S)
- $\sin 2\phi_1$ の測定方法
- コントロールサンプルを含む、過去の解析結果との比較
- カットの最適化
- まとめ・プラン

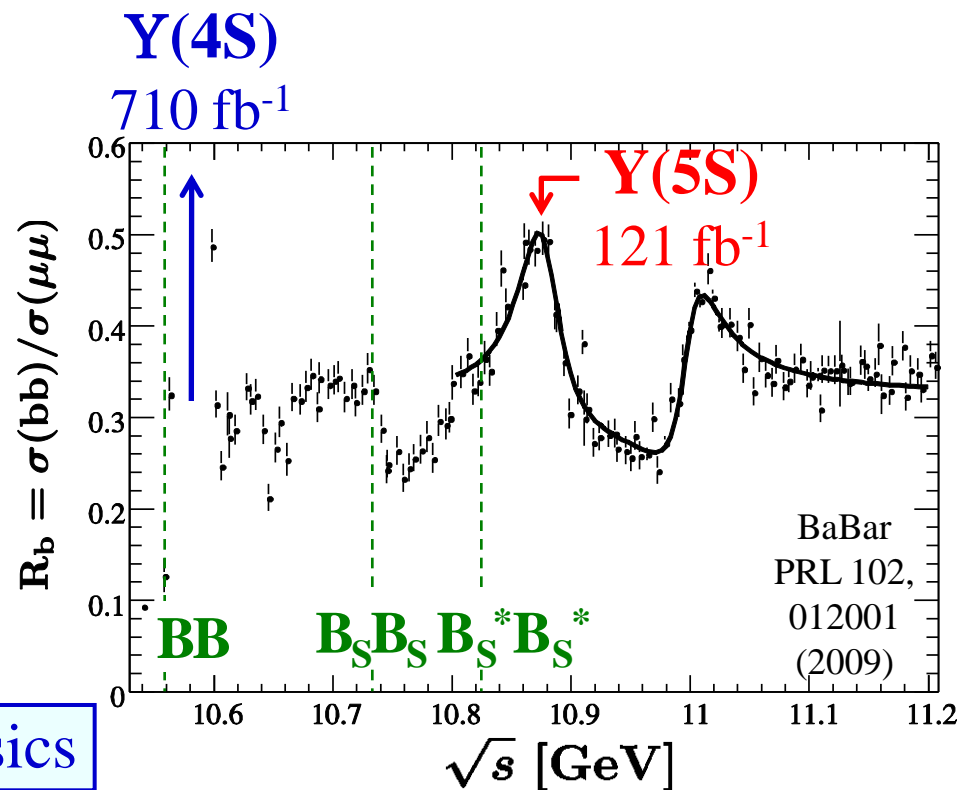
Y(5S)

質量

- $M_{Y(5S)} = 10.865 \pm 0.008$ [GeV]
 - Y(4S) より、約 $2 M_\pi$ だけ重い。
 - $B_S B_S$ threshold を越えている。

主な崩壊モード

- $Y(5S) \rightarrow B_S^{(*)} B_S^{(*)}$ \rightarrow B_S physics
 - $\rightarrow Y(nS) + X$ \rightarrow Bottom spectroscopy
 - $\rightarrow B^{(*)} B^{(*)} (\pi)(\pi)$
- ($B^* \rightarrow B \gamma$, $B_S^* \rightarrow B_S \gamma$)



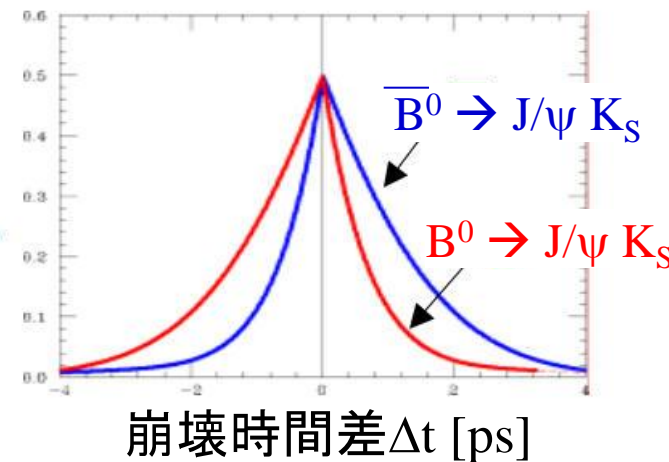
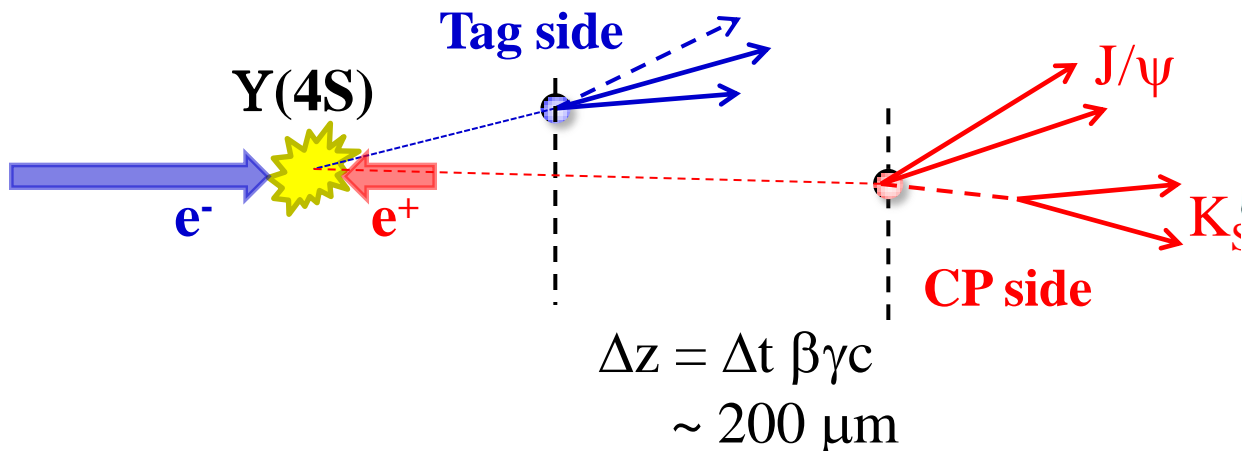
Y(5S) の崩壊モードから、CP 対称性の破れの角 ϕ_1 の測定を目指す

従来の $\sin 2\phi_1$ 測定方法

CP 対称性の破れを測定するのに必要なこと

- Tag side のBの**フレーバーを識別**する。
- CP side のBをCP 固有状態から再構成する。
- **崩壊点間距離(Δz)**を測定する。

➡ 崩壊時間差(Δt) の分布に $\sin 2\phi_1$ が現れる

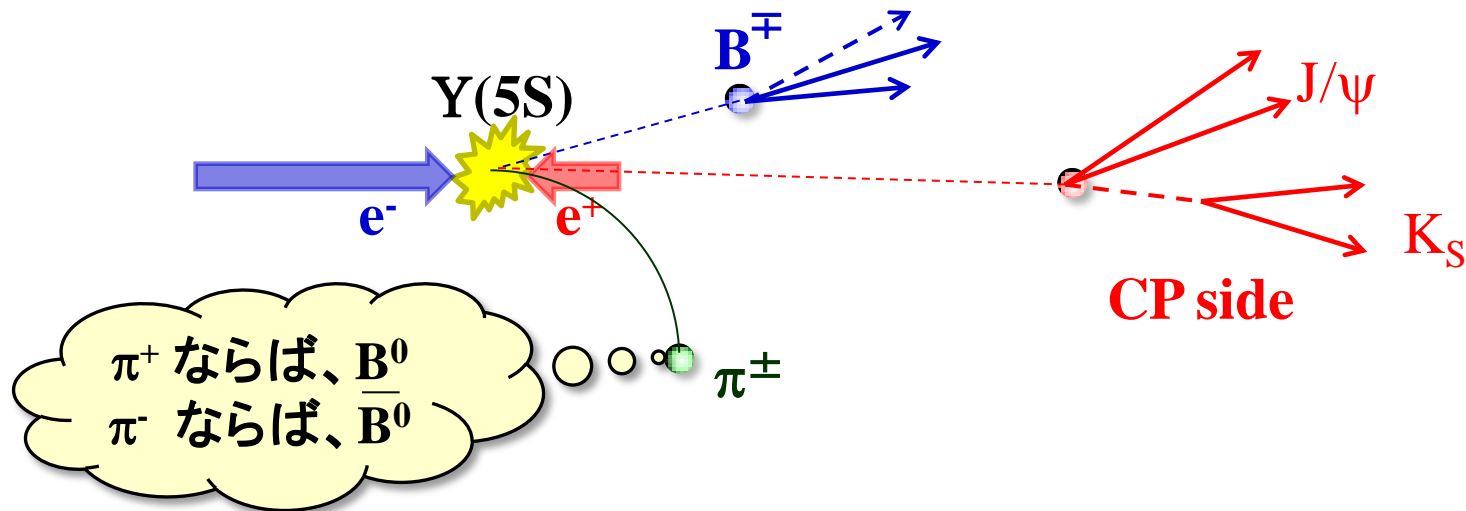


- ✓ Tag side のフレーバータグに複雑なアルゴリズムが必要。
- ✓ 典型的な崩壊点間距離とSVD の測定精度が同程度。

B π tagging (1/2)

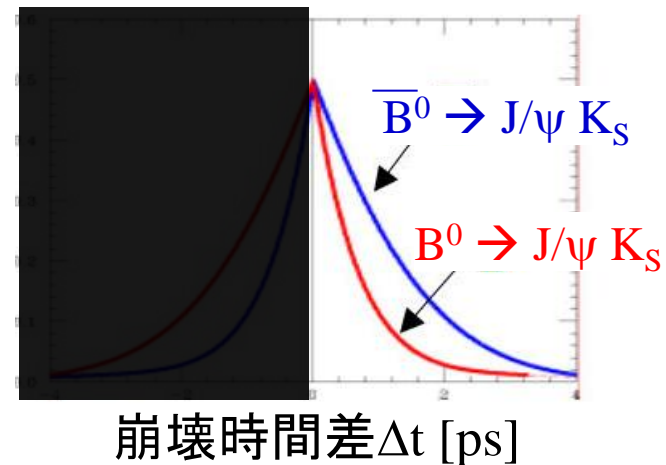
荷電 π 中間子の符号からフレーバータグを行う。

- $Y(5S) \rightarrow \bar{B}^0 B^{\mp} \pi^{\pm}$ がシグナルモードとなる。



特徴

- シンプルなフレーバータグ
- 崩壊点間距離(Δz)を測定する必要がない。
 - イベント数だけで、CPの破れが見える。
- 他のモードにも応用可能。
 - $B \rightarrow \eta_c K_S, \psi(2S) K_S, \pi^+ \pi^-$



B π tagging (2/2)

解析手順

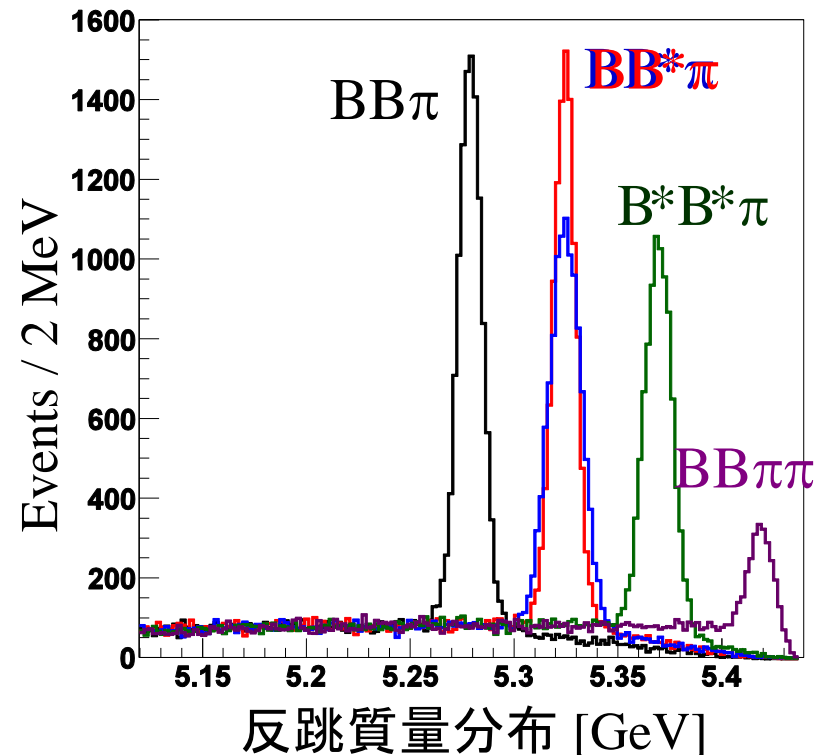
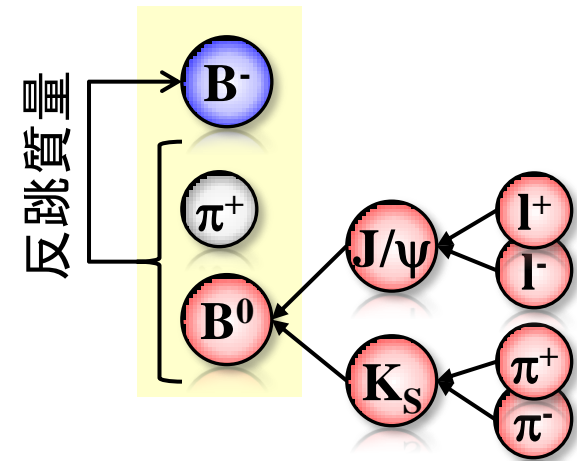
- B 0 をCP 固有状態から再構成する。
 - ΔE と M_{bc} は使用していない。
- 再構成したB 0 と π^+ から反跳質量を求める。
- イベント数から $\sin 2\phi_1$ を求める。
 - 非対称度

$$A \equiv \frac{N_+ - N_-}{N_+ + N_-} = \frac{x}{1 + x^2} \sin 2\phi_1$$

$$\left(\begin{array}{l} N_+ : \bar{B}^0 B^+ \pi^- \text{ のイベント数} \\ N_- : B^0 B^- \pi^+ \text{ のイベント数} \end{array} \right) \left(x \equiv \frac{\Delta m_{B^0}}{\Gamma_{B^0}} \sim 0.776 \right)$$

$$\sin 2\phi_1 = \frac{1 + x^2}{x} A$$

荷電 π 中間子の符号を隠して、
解析 (Blind analysis)



参考となる過去の解析

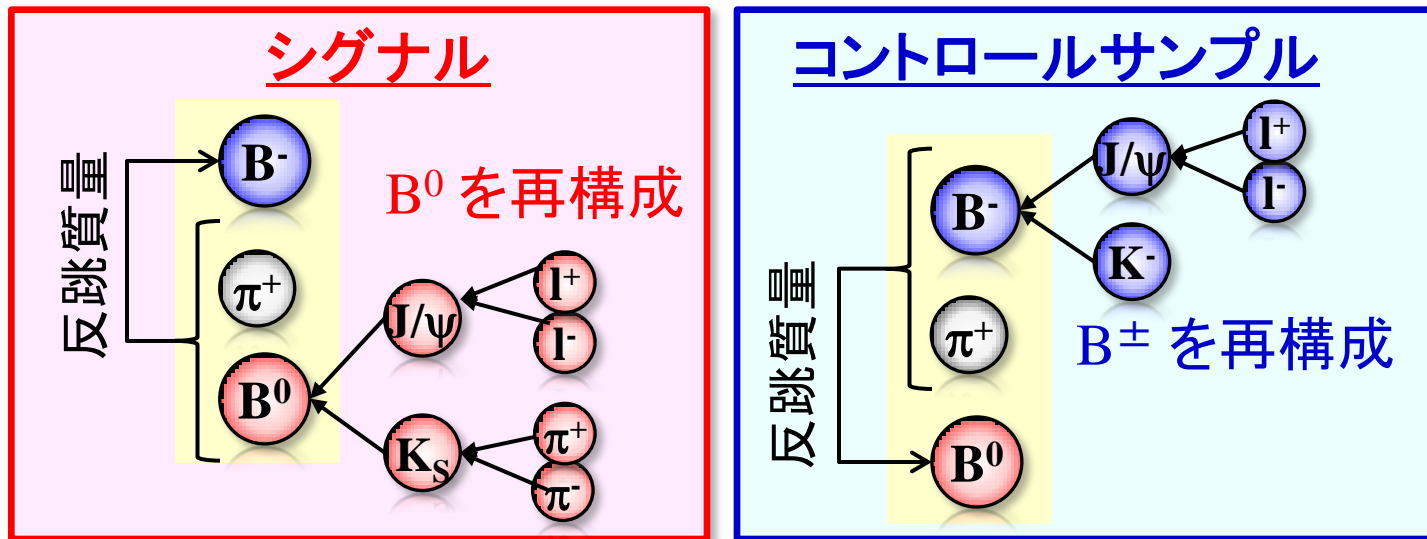
$Y(5S) \rightarrow B^{(*)} B^{(*)} (\pi)(\pi)$ の崩壊分岐比測定を目的としている。

(Phys.Rev.D81,112003, A.Drutskov)

- $B^0 \rightarrow J/\psi K^{*0}(K\pi)$
- $B^- \rightarrow J/\psi K^-$
- $B^0 \rightarrow D^-(K2\pi) \pi^+$
- $B^- \rightarrow D^0(K\pi) \pi^-$
- $B^- \rightarrow D^0(K3\pi) \pi^-$

使用したモード

- 崩壊分岐比が大きく、精度よく測定されていて、終状態に荷電粒子のみを含むモードを使用。
- 荷電B 中間子を再構成すると、コントロールサンプルとなる。



→ 過去の解析の結果を再現してみた。

– (23.6 fb⁻¹, case A)

イベント選択

過去の解析の条件と、ほぼ同じ条件でイベントを再構成した。

トラック選択

- $dr < 2 \text{ cm}$
- $dz < 5 \text{ cm}$

粒子識別

- **Muon** and **electron** ID > 0.2
- **Kaon** : ID(K/ π) > 0.6
(0.8 for K from D)
- **Pion** : ID(π /K) > 0.4

運動量カット

- $M_{bc} : 5.268 \sim 5.44 \text{ GeV}$

Mass and vertex constrained fit

Vertex constrained fit

($\chi^2 < 100$)

qq B.G の抑制

- $|\cos\theta| < 0.75$ and $R2 < 0.4$
for modes with D
- $|\cos\theta| < 0.9$ and $R2 < 0.5$
for modes with J/ ψ

質量カット

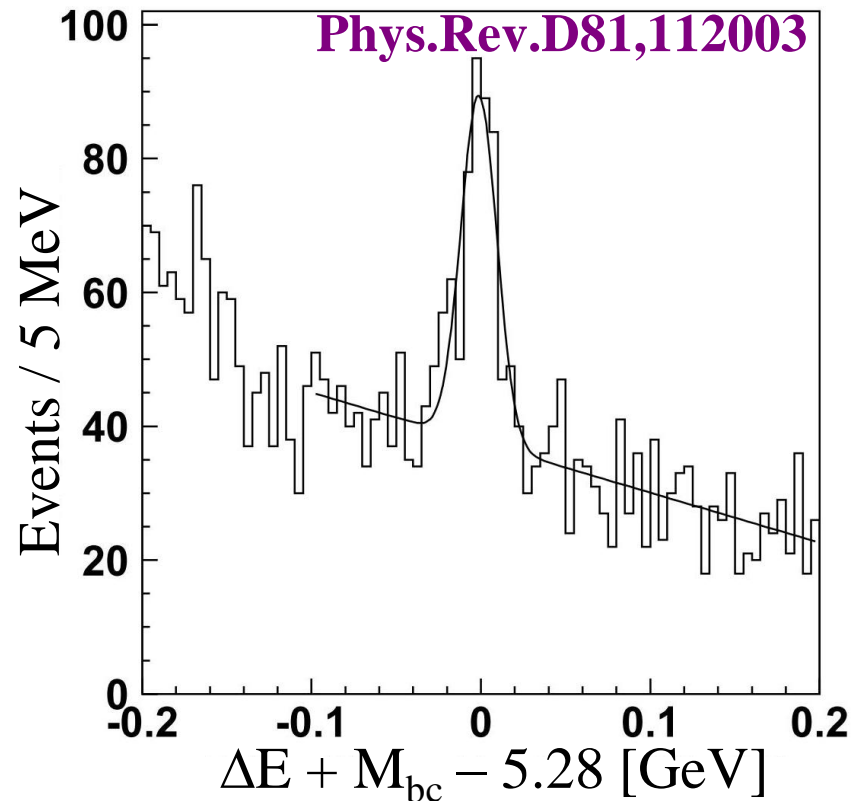
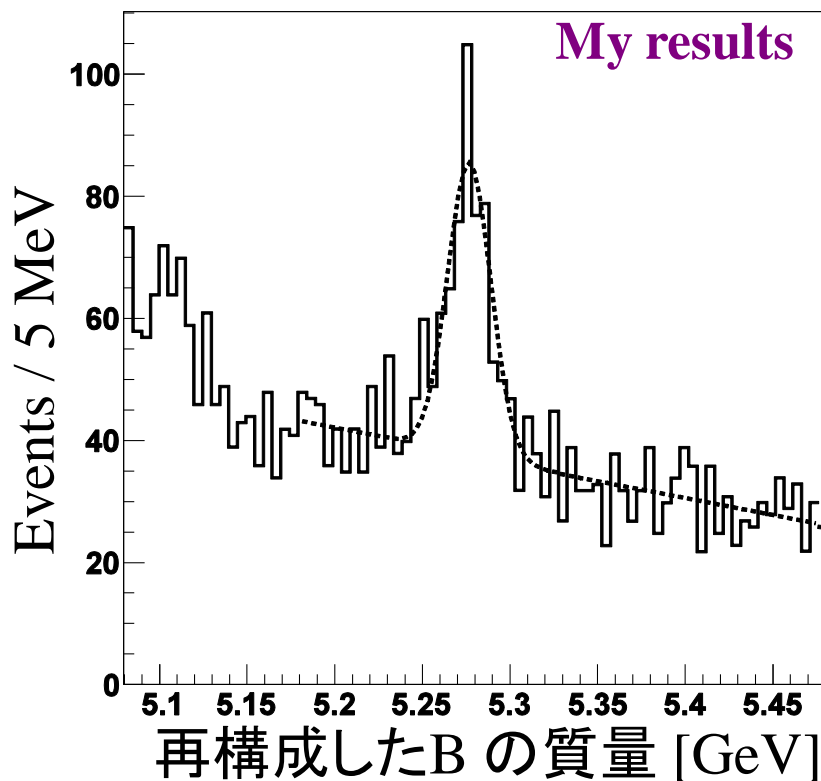
- **J/ ψ** : $|\Delta M_{J/\psi}| < 30 \text{ MeV}$
(-100 MeV for e^+e^- ,
including γ within 0.05 rad)
- **K^{*0}** : $|\Delta M_{K^{*0}}| < 50 \text{ MeV}$
- **D** : $|\Delta M_D| < 10 \text{ MeV}$
- **K_S** : good K_S of K_S finder class
 $|\Delta M_{K_S}| < 7 \text{ MeV}$

再構成したB の分布

以下の2つの値を求めて、過去の結果と比較した。

- **Efficiency** : Signal MCから求められる検出効率
- **Yield** : Real Data から得られるイベント数
 - フィット関数 : ガウス関数(Sig.) + 1次関数(B.G.)

$$B^- \rightarrow D^0(K3\pi)\pi^+$$



過去の解析結果との比較

| case A | My results | Phys.Rev.D81, 112003 |
|---|---------------------------|--------------------------------|
| J/ ψ K _S | 2.02 ± 0.12 % 55 ± 9 | None |
| J/ ψ K ⁻ | 3.73 ± 0.28 % 223 ± 15 | 3.41 ± 0.19 % 221 + 16 - 15 |
| J/ ψ K ^{*0} | 1.35 ± 0.11 % 114 ± 11 | 1.30 ± 0.08 % 105 ± 11 |
| D ⁰ (K π) π ⁻ | 0.95 ± 0.02 % 227 ± 21 | 0.97 ± 0.03 % 215 ± 21 |
| D ⁰ (K3 π) π ⁻ | 1.10 ± 0.03 % 299 ± 32 | 1.17 ± 0.06 % 275 ± 32 |
| D ⁻ (K2 π) π ⁺ | 1.79 ± 0.02 % 272 ± 26 | 1.80 ± 0.08 % 247 ± 25 |

Efficiency
Yield

※PID の系統誤差は補正済み。

→ 全てのモードで、矛盾しない結果が得られた。

相違点

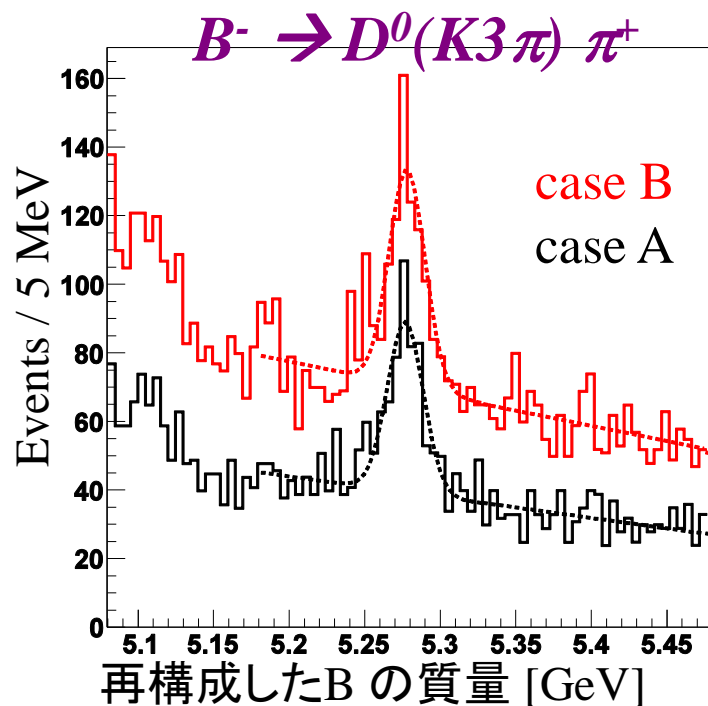
- Multiple candidates の確率が一致しない。
→ Best Candidate selection を導入。

case A と case B の比較

case B (new tracking) とは

- 検出器の情報から粒子を再構成するアルゴリズムが case A (old tracking) より、改善されている。
 - SVD、CDC のトラッキングアルゴリズムの改善。
 - ECL のthreshold の最適化。

Efficiency
Yield



| | case B | case A |
|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| J/ ψ K _S | 2.41 ± 0.02 % 56 ± 8 | 2.16 ± 0.02 % 55 ± 9 |
| J/ ψ K ⁻ | 4.13 ± 0.03 % 254 ± 16 | 3.98 ± 0.03 % 223 ± 15 |
| J/ ψ K ^{*0} | 1.58 ± 0.02 % 116 ± 11 | 1.48 ± 0.02 % 114 ± 11 |
| D ⁰ (K π) π^- | 1.09 ± 0.01 % 283 ± 26 | 1.03 ± 0.01 % 227 ± 21 |
| D ⁰ (K3 π) π^- | 1.39 ± 0.02 % 380 ± 46 | 1.21 ± 0.02 % 299 ± 32 |
| D ⁻ (K2 π) π^+ | 2.06 ± 0.02 % 297 ± 27 | 1.96 ± 0.02 % 272 ± 26 |

※PID の系統誤差は未補正

→ 予想通り、case B の方がEfficiency、yield 共に増えている。

予想されるイベント数

Y(5S) の全データを使った場合に、得られるイベント数を計算した。

$$\begin{array}{cccc}
 \# \text{ BB} & \text{Br (BB}\pi^\pm) & \text{Direct } \pi & \text{Reconstruction} \\
 & & \text{efficiency} & \text{efficiency} \\
 & & & \text{Br (J}/\psi \text{ K}_S) \\
 \hline
 (3.7 \times 10^7) & \times \left(\frac{8.3}{100} \times \frac{2}{3} \right) & \times 0.7 & \times \left(\frac{0.087}{100} \times \frac{1}{2} \right) \times \frac{2.4}{100} \sim \underline{15 \text{ events}}
 \end{array}$$

→ $\sin 2\phi_1$ を測定する上で、統計的にはぎりぎり。

$$\sin 2\phi_1 = \frac{1 + x^2}{x} A$$

$$\left(\begin{array}{l} N_+ : \bar{B}^0 B^+ \pi^- \text{ のイベント数} \\ N_- : B^0 B^- \pi^+ \text{ のイベント数} \end{array} \right)$$

$$A \equiv \frac{N_+ - N_-}{N_+ + N_-}$$

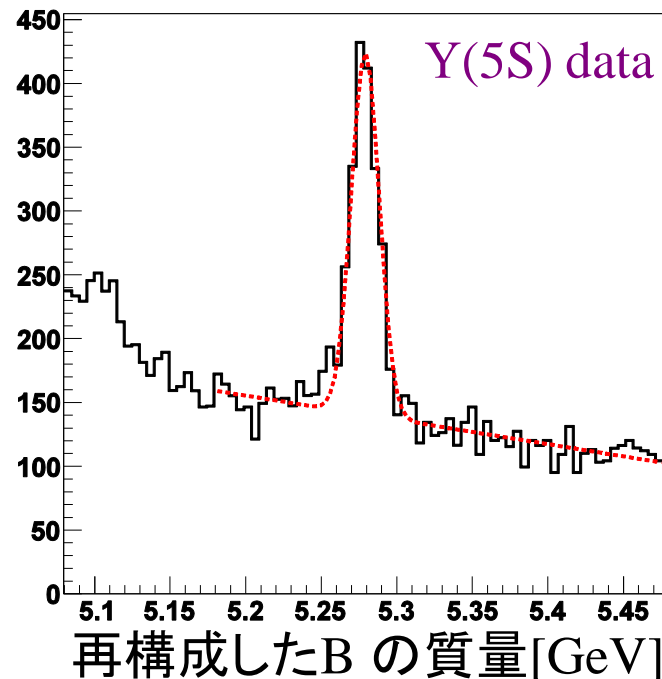
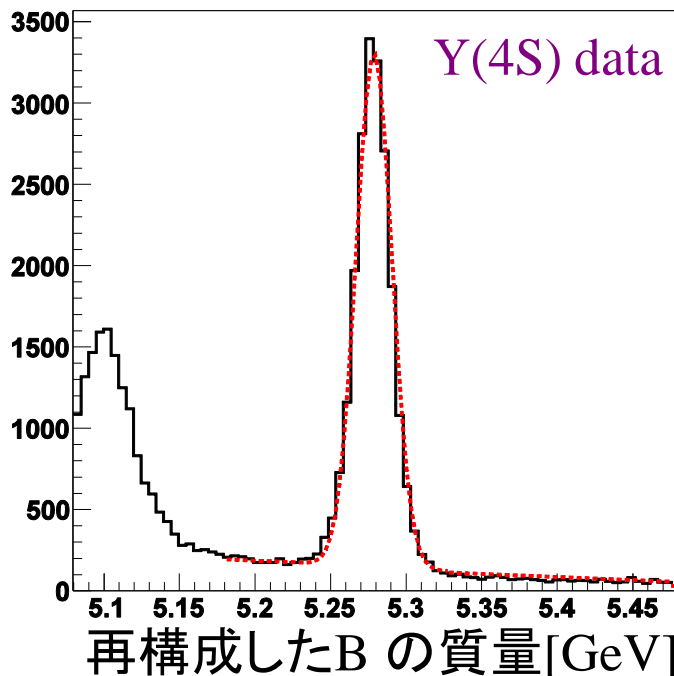
$$\left(x \equiv \frac{\Delta m_{B^0}}{\Gamma_{B^0}} \sim 0.776 \right)$$

カットの最適化 (方針)

caseB (new tracking) に合わせて、カットの最適化を行った。

- 使用したデータ : $Y(4S)$, 107 fb^{-1} (exp 61,63,65), case B
- 方針 : 1 つずつカットを動かして、
Significance を最大にするカットの値を探す。
- $Y(4S)$ と $Y(5S)$ で S/N 比が異なるため、**重み**を付けている。

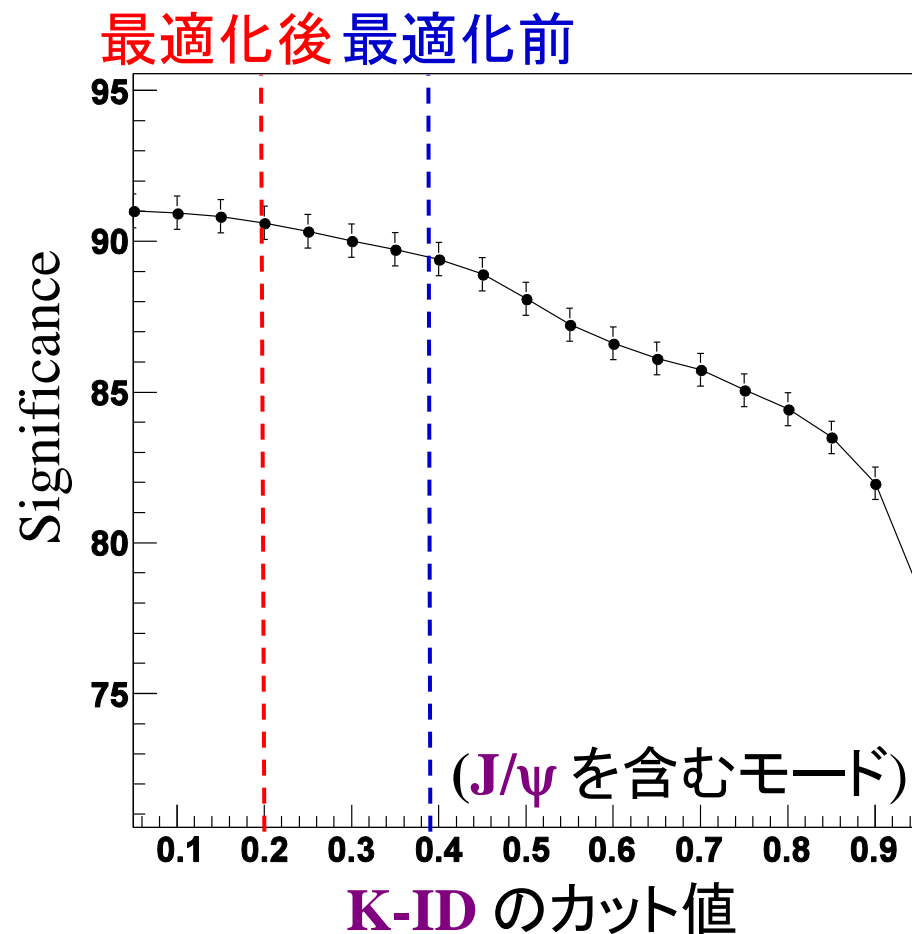
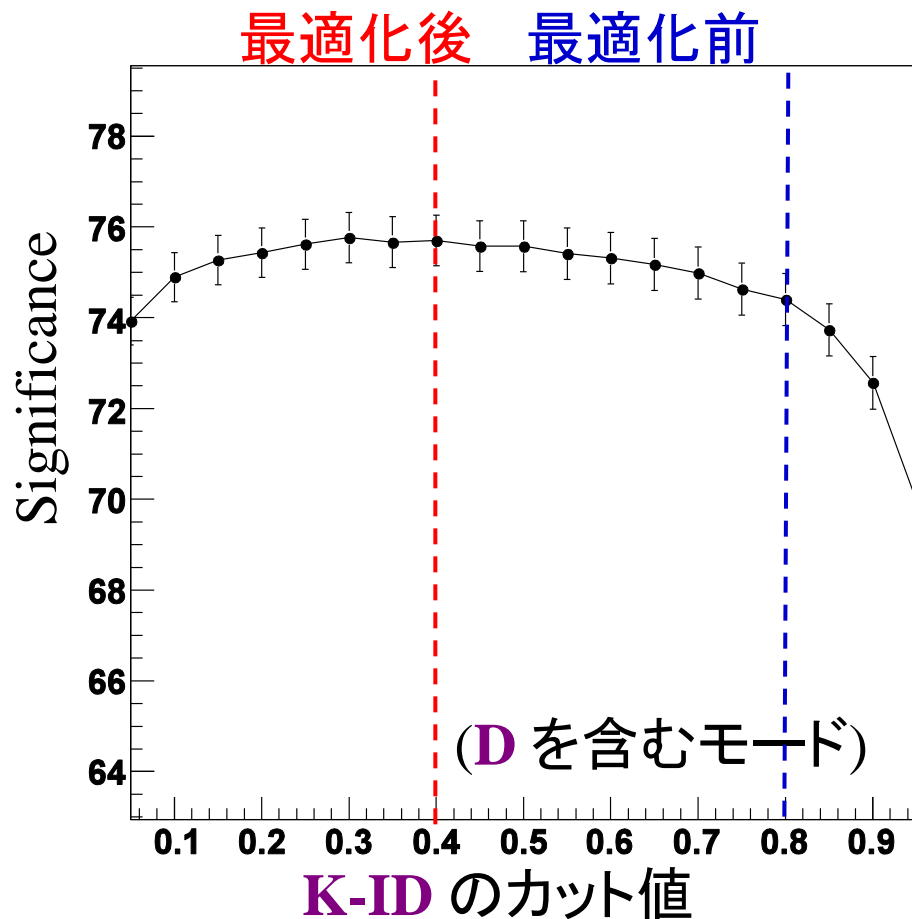
$$\text{Significance} \equiv \frac{N_{sig}}{\sqrt{N_{sig} + wN_{bg}}}$$



カットの最適化 (例)

カットの値を動かして、significance が最大になる値を探した。

(例) K-ID の最適化



変更したカットの値

トラック選択

- $dr < 2 \text{ cm} \rightarrow 0.2 \text{ cm}$
- $dz < 5 \text{ cm} \rightarrow 2 \text{ cm}$

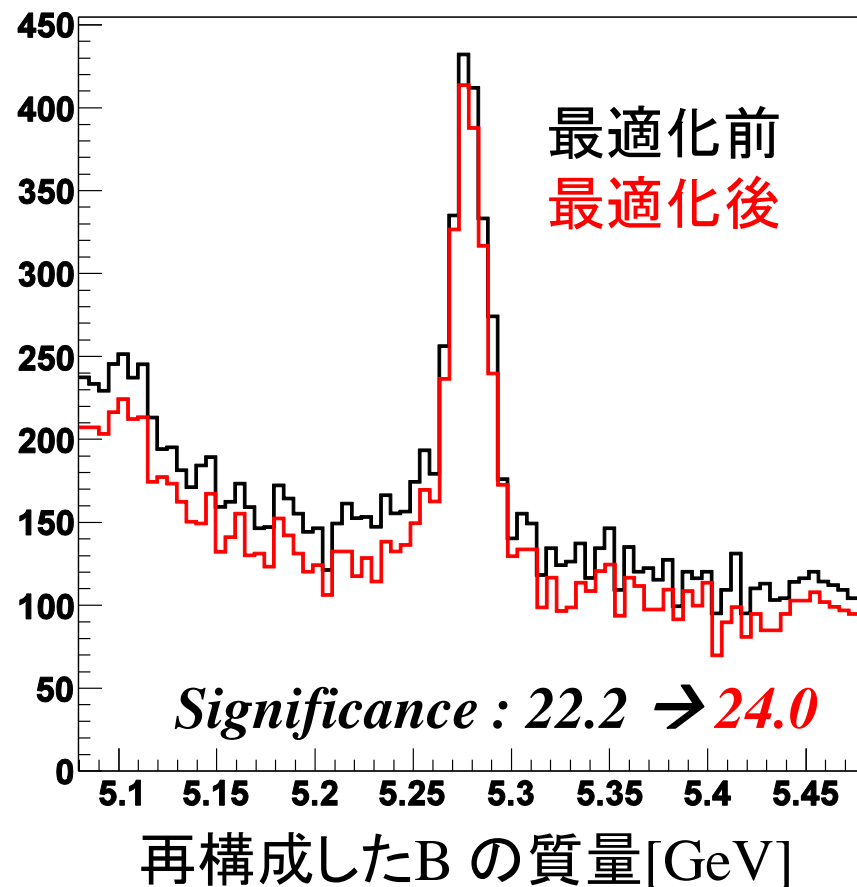
粒子識別

- Muon and electron ID $> 0.2 \rightarrow 0.1$
- Kaon : ID(K/ π) $> 0.6 \rightarrow 0.2$
(0.8 for K from D)
 $\hookrightarrow 0.4$
- Pion : ID(π /K) $> 0.4 \rightarrow 0.2$

キネマティックフィット

- $\chi^2 < 100$ (D を含むモード)
 $\hookrightarrow 15$

→ カットの最適化を終えたので、Y(5S) の全部のデータを用いて解析をする(予定)。



まとめ・今後のプラン

- $Y(5S) \rightarrow BB\pi$ の崩壊モードを用いて、CP 対称性の破れの角 $\sin 2\phi_1$ の測定を行っている。
- $B\pi$ tagging : 荷電 π 中間子の符号から B のフレーバーを識別する。
 - シンプルなフレーバータグ
 - 崩壊点間距離を測定する必要がない。
 - 他のモードにも応用可能。
- コントロールサンプルとなる崩壊モードを扱っている過去の解析と同じ結果を得られることを確認した。
- case B(new tracking) に合わせたカットの最適化を行った。
- $Y(5S)$ の全部のデータを使った解析を行う(予定)。