



# Y(5S) 共鳴からのCP 非保存角 $\phi_1$ 測定 に向けたB- $\pi$ タギングの研究

佐藤 優太郎 (東北大,D2)

高エネルギー物理 春の学校@ 彦根(2011/05/14)

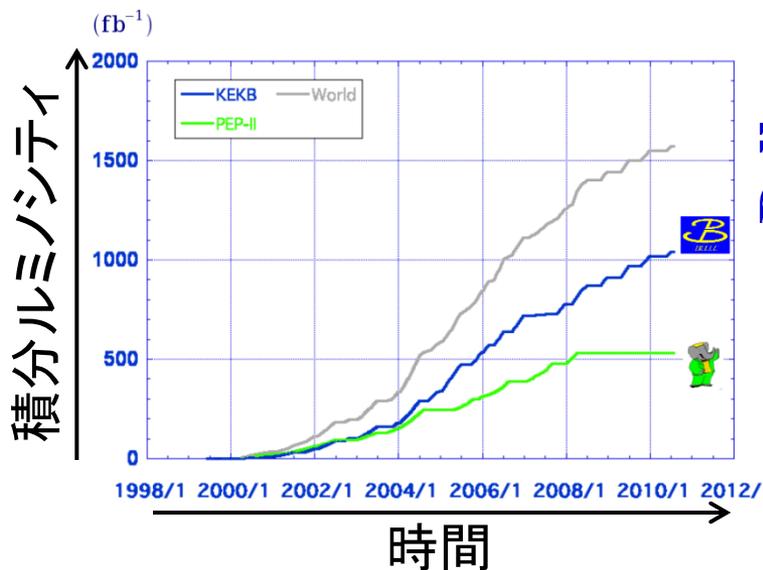
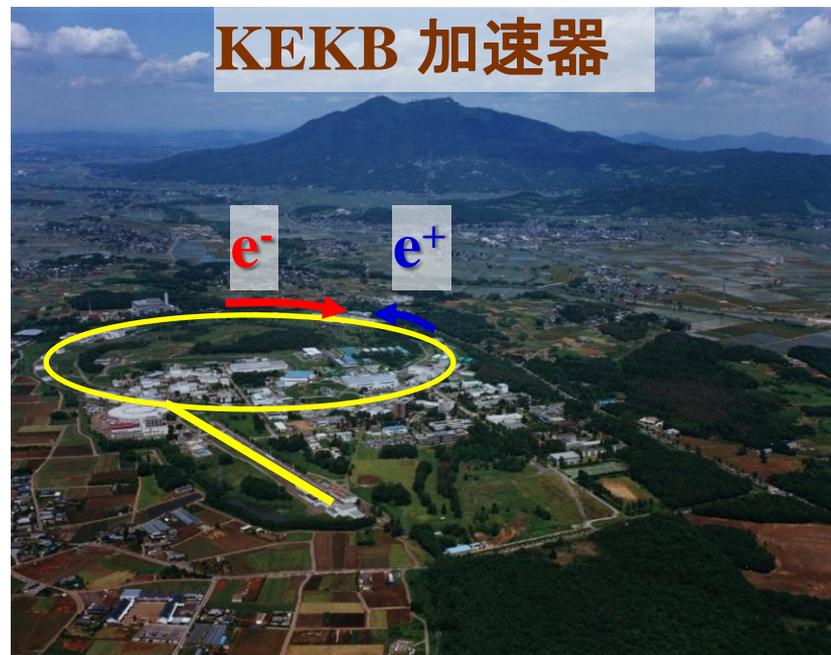
# 目次

- イントロ
  - KEKB/Belle
  - Y(5S) 共鳴
- B- $\pi$  タギング (フレーバータグ)
  - $\phi_1$  測定方法
  - 解析手順
  - Event selection 、 B.G. study
  - MC による測定精度の評価
- まとめ

# KEKB / Belle

## KEKB 加速器 (1999-2010)

- 非対称エネルギー ( $\beta\gamma = 0.425$ )
  - $e^-$  : 8 GeV,  $e^+$  : 3.5 GeV
- 重心系エネルギー
  - 主に Y(4S) 共鳴
- 世界最高のルミノシティ
  - (積分) :  $> 1000 \text{ fb}^{-1}$
  - (ピーク) :  $2.11 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$



Belle

PEP-II

$> 1 \text{ ab}^{-1}$

On resonance:

Y(5S): 121 fb<sup>-1</sup>

Y(4S): 711 fb<sup>-1</sup>

Y(3S): 3 fb<sup>-1</sup>

Y(2S): 24 fb<sup>-1</sup>

Y(1S): 6 fb<sup>-1</sup>

Off reson./scan:

$\sim 100 \text{ fb}^{-1}$

$\sim 550 \text{ fb}^{-1}$

On resonance:

Y(4S): 433 fb<sup>-1</sup>

Y(3S): 30 fb<sup>-1</sup>

Y(2S): 14 fb<sup>-1</sup>

Off resonance:

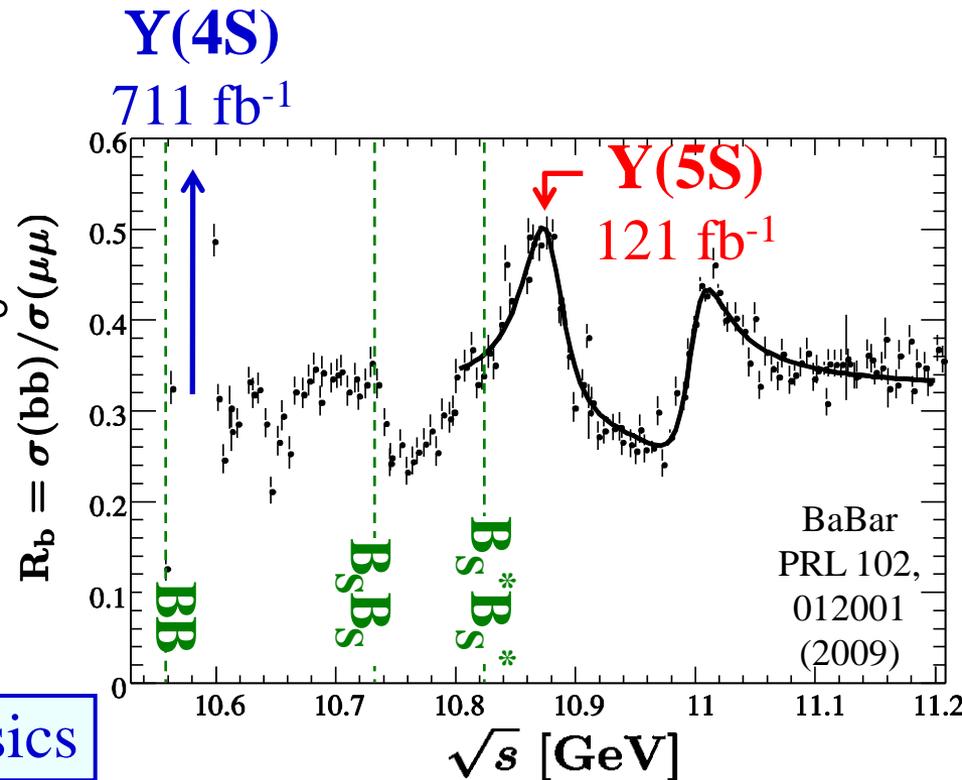
$\sim 54 \text{ fb}^{-1}$

Y(5S) 共鳴のエネルギーで  
121 fb<sup>-1</sup> のデータを収集。  
(ビームエネルギーを2.7%  
ずつ増加させて運転)

# Y(5S) 共鳴

## 質量

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



## 主な崩壊モード

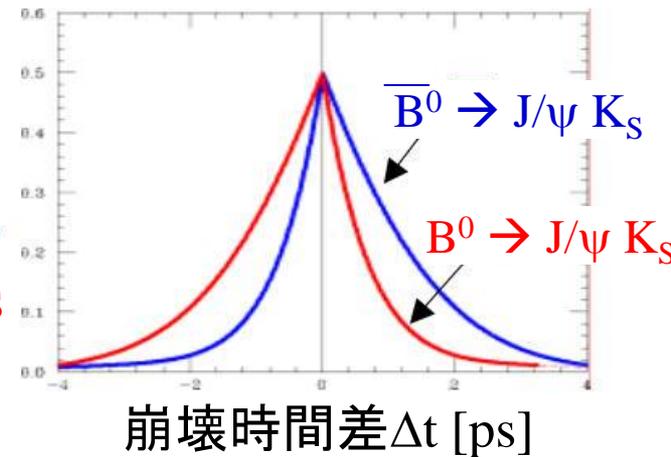
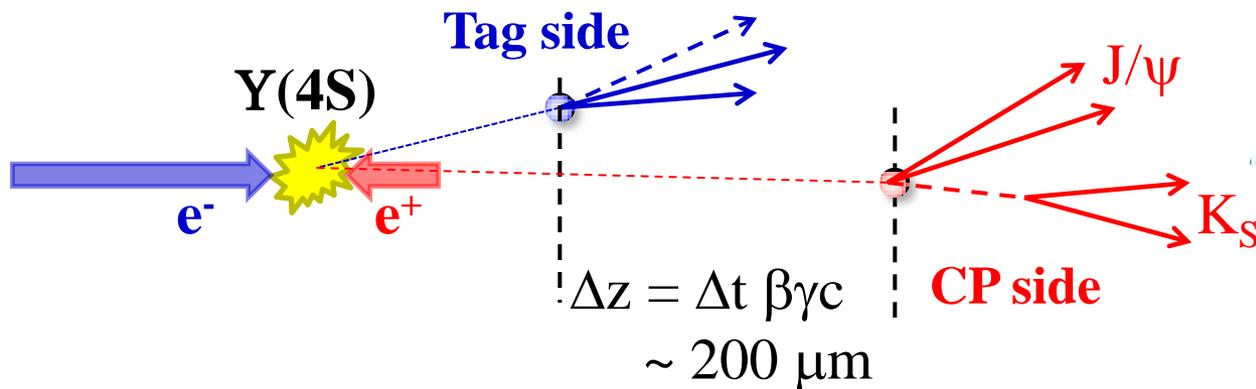
- $Y(5S) \rightarrow B_S^{(*)} B_S^{(*)}$  →  $B_S$  physics
  - $Y(nS) + X$  → Bottom spectroscopy
  - $B^{(*)} B^{(*)} (\pi)(\pi)$
- ( $B^* \rightarrow B \gamma$ ,  $B_S^* \rightarrow B_S \gamma$ )

Y(5S) の崩壊モードから、CP 対称性の破れの角  $\phi_1$  の測定を目指す

# Y(4S) 共鳴からの $\phi_1$ 測定

## $\phi_1$ 測定に必要なこと

- 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( $\Delta z$ )**を測定する。



➡ **崩壊時間差( $\Delta t$ ) の分布に $\sin 2\phi_1$  が現れる**

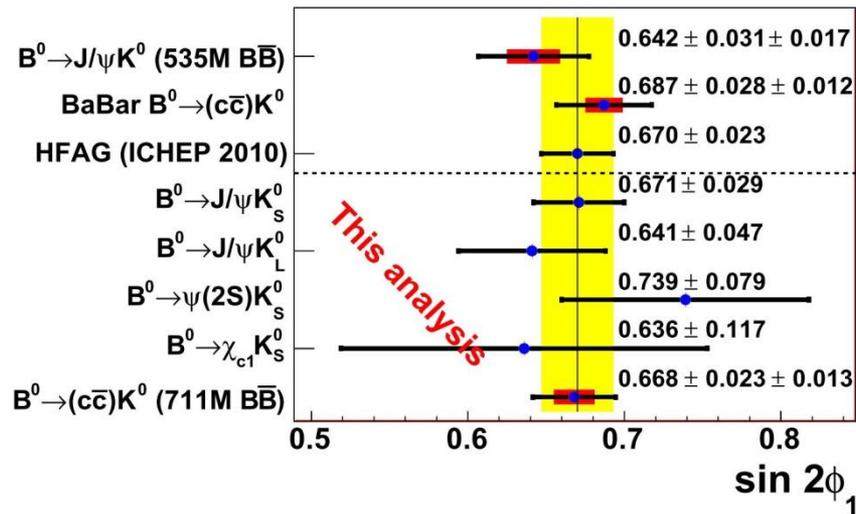
- 2001 年に Belle, BaBar で測定され、2008 年の小林さん、益川さんのノーベル賞受賞に貢献。
- Belle 実験で取得した全データを用いた最終測定結果も。

# $\sin 2\phi_1$ : Combined $\sin 2\phi_1$ measurement

Belle preliminary

Systematic errors:

	$\Delta S$	$\Delta A$
Vertexing	$+0.008$ $-0.009$	$\pm 0.008$
Flavor tagging	$+0.004$ $-0.003$	$\pm 0.003$
Resolution function	$\pm 0.007$	$\pm 0.001$
Physics parameters	$\pm 0.001$	$< 0.001$
Fit bias	$\pm 0.004$	$\pm 0.005$
$J/\psi K_S^0$ signal fraction	$\pm 0.002$	$\pm 0.001$
$J/\psi K_L^0$ signal fraction	$\pm 0.004$	$+0.000$ $-0.002$
$\psi(2S)K_S^0$ signal fraction	$< 0.001$	$< 0.001$
$\chi_{c1}K_S^0$ signal fraction	$< 0.001$	$< 0.001$
Background $\Delta t$	$\pm 0.001$	$< 0.001$
Tag-side interference	$\pm 0.001$	$\pm 0.008$
Total	$\pm 0.013$	$\pm 0.013$



Combination of four modes:

$$S = 0.668 \pm 0.023 \pm 0.013 \text{ (syst)}$$

$$A = 0.007 \pm 0.016 \pm 0.013 \text{ (syst)}$$

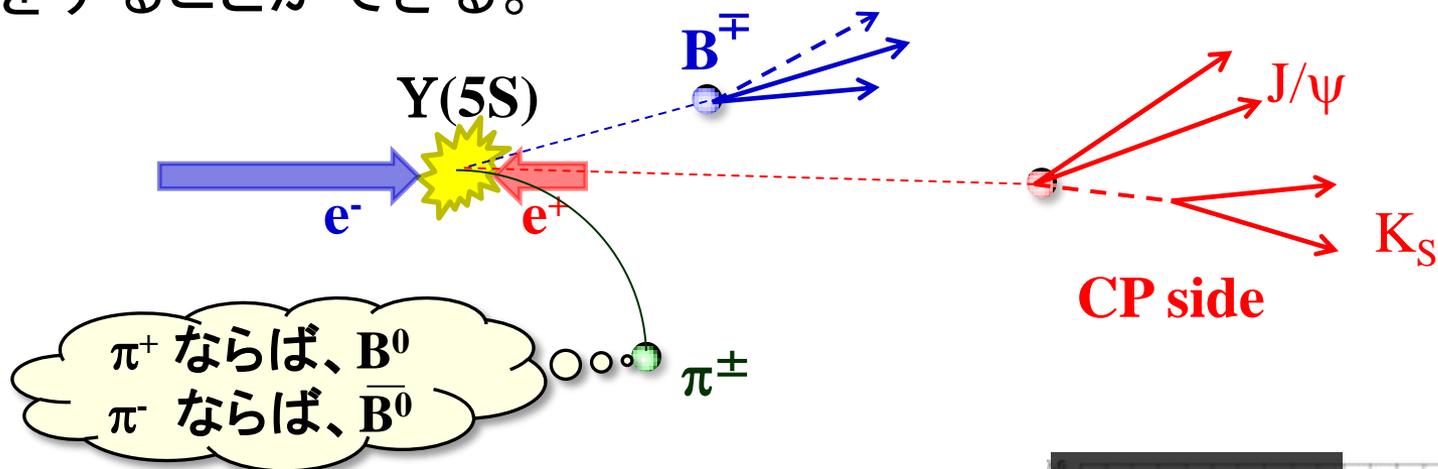
Expect tension in CKM fit to be loosened

Significant improvement in sys. error  
(vertexing, resolution function)

# B- $\pi$ タギングを用いたY(5S) 共鳴からの $\phi_1$ 測定

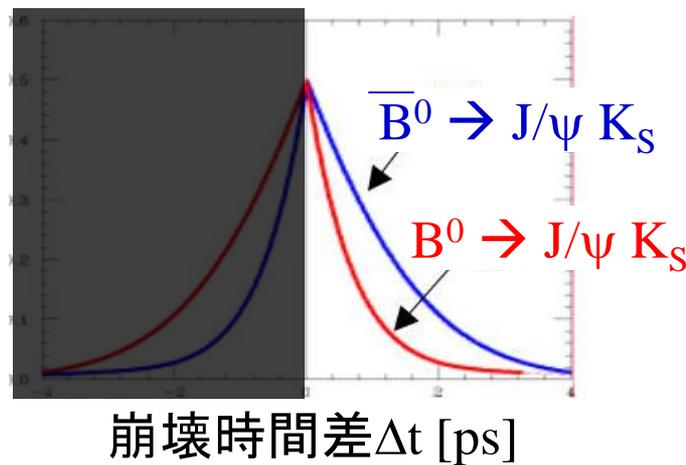
## B- $\pi$ タギング

- Y(5S)  $\rightarrow$  B B  $\pi^\pm$  モードでは、荷電 $\pi$  中間子の符号からフレーバータグをすることができる。



## 特徴

- 崩壊点間距離( $\Delta z$ ) 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。
- 従来のフレーバータグとは異なる系統誤差
- 他のモードにも応用可能。
  - $B \rightarrow \eta_c K_S, \psi(2S) K_S, \pi^+ \pi^-$



$\rightarrow$  B- $\pi$  タギングを用いた解析は、独立した物理結果が出せる。

# 解析手順

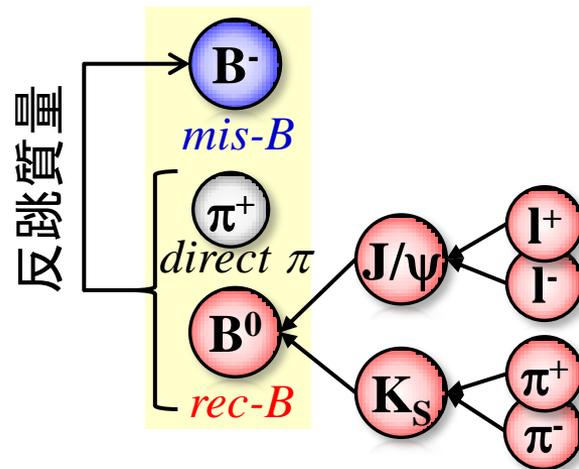
1.  $B^0$  をCP 固有状態から再構成する。
2. 再構成した  $B^0$  と  $\pi^+$  から反跳質量を求める。

$$M_{\text{mis-B}} = |P_{\text{mis-B}}| = |P - (P_{\text{rec-B}} + P_{\pi})|$$

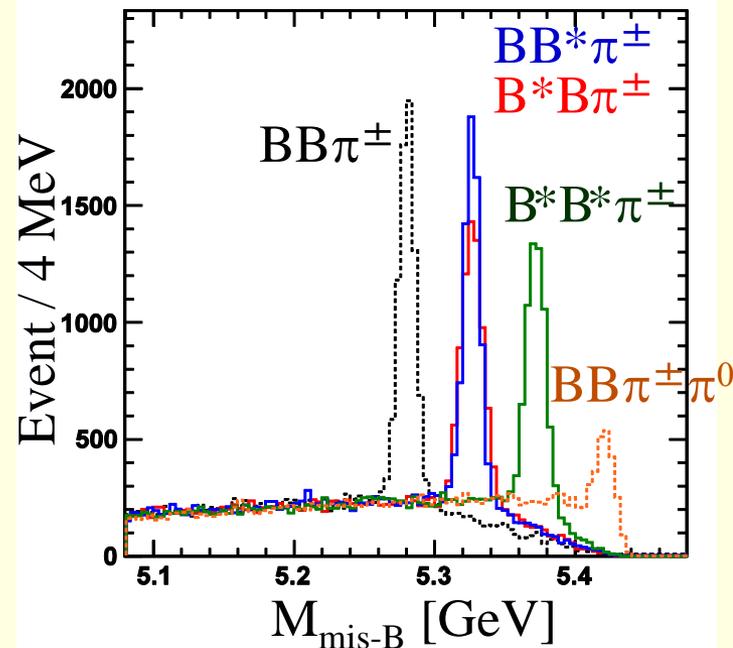
3. イベント数の非対称度から  $\sin 2\phi_1$  を求める。

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

$$\left( x \equiv \frac{\Delta m_{B^0}}{\Gamma_{B^0}} \sim 0.776 \right) \begin{cases} N_+ : \# \text{ of } Y(5S) \rightarrow \bar{B}^0 B^+ \pi^- \\ N_- : \# \text{ of } Y(5S) \rightarrow B^0 B^- \pi^+ \end{cases}$$



## 反跳質量分布



@ signal MC, 50,000 events ( $B \rightarrow J/\psi(\mu\mu) K_S$ )

- 荷電B を再構成して、中性B を反跳質量として観測すると、コントロールサンプルとなる。
- 荷電 $\pi$  中間子の符号を隠して、解析中 (Blind analysis)

# 期待されるイベント数

Belle で取得した全てのY(5S) データを用いた時に得られるシグナルのイベント数を計算した。

- モード :  $B \rightarrow J/\psi(l^+l^-) K_S(\pi^+\pi^-)$

$$\begin{array}{ccccccc}
 N_{BB} & \text{Br}(B^{(*)}B^{(*)}\pi^\pm) & \text{direct } \pi & \text{Br}(J/\psi K_S) & \text{Reconstruction} & & \\
 & & \text{efficiency} & & \text{efficiency} & & \\
 (3.7 \times 10^7) & \times \left( \frac{8.3}{100} \times \frac{2}{3} \right) & \times 0.7 & \times \left( \frac{0.087}{100} \times \frac{1}{2} \right) & \times \frac{2.9}{100} & \sim & \underline{18 \text{ events}}
 \end{array}$$

$$\underbrace{\sin 2\phi_1}_{\text{error} \sim \pm 0.5} = \frac{1+x^2}{x} \cdot \frac{N_+ - N_-}{N_+ + N_-} \pm \frac{1}{\sqrt{18}}$$

$\sim 2$       error  $\sim$

→  $\sin 2\phi_1$  のエラーは0.5 程度。

- ただし、B.G. の影響は考えてない。

# イベント選択

## **B** を再構成するための条件

### Impact parameter

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

### Particle-ID

- **Muon** and **electron** ID  $> 0.1$
- **Kaon** : ID(K/ $\pi$ )  $> 0.1$

### Beam constrained mass

- $M_{bc} : 5.268 \sim 5.440 \text{ GeV}$

### continuum suppression

- $R2 < 0.5$

### Mass

- **J/ $\psi$**  :  $|M_{ll} - m_{J/\psi}| < 30 \text{ MeV}$   
(-100 MeV for  $e^+e^-$ ,  
including  $\gamma$  within 0.05 rad)
- **K<sub>S</sub>** : use K<sub>S</sub> finder class

+

## **反跳質量を求めるための条件**

### PID

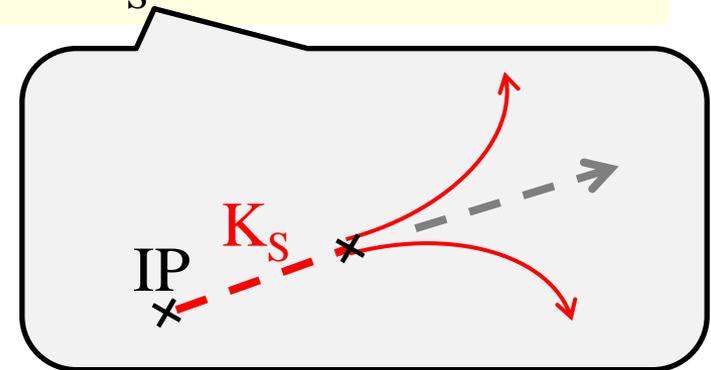
**Pion** : ID( $\pi$ /K)  $> 0.1$

### Beam constrained mass

$M_{bc} : 5.348 \sim 5.440 \text{ GeV}$

### Mass

**B** :  $|M_{J/\psi K} - m_B| < 20 \text{ MeV}$



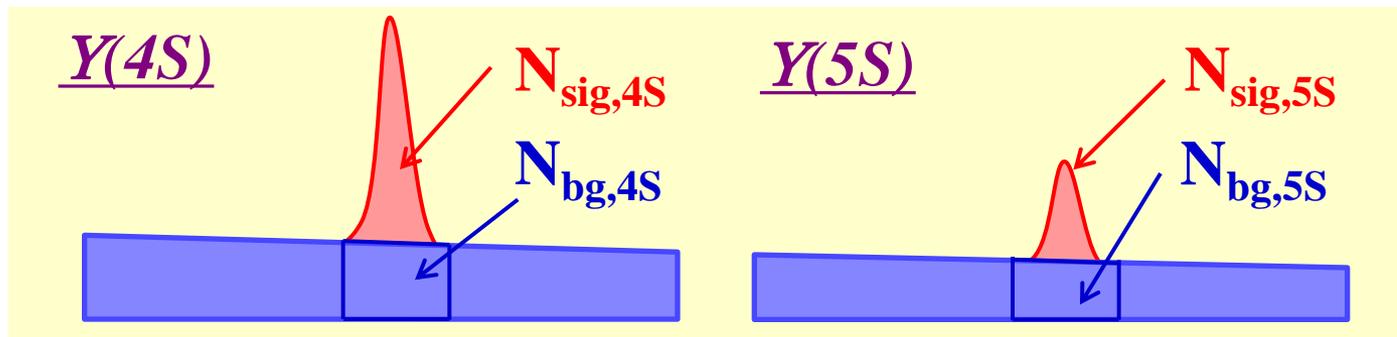
J/ $\psi$ , K<sub>S</sub>, B に、キネマティックフィット (崩壊点、質量を固定) を使用。

# カットの最適化

## rec-B に対する選択条件の最適化

- $J/\psi$  mass window, lepton-ID, K-ID, continuum suppression
  - Y(4S) データ( $\sim 107 \text{ fb}^{-1}$ ) を使用。
  - Y(5S) と Y(4S) の S/N の違いを補正するため、重み付きの Significance を定義。

$$\text{Significance} \equiv \frac{N_{\text{sig}}}{\sqrt{N_{\text{sig}} + w N_{\text{bg}}}} \quad w \equiv \frac{N_{\text{sig},4\text{S}}/N_{\text{bg},4\text{S}}}{N_{\text{sig},5\text{S}}/N_{\text{bg},5\text{S}}}$$



## mis-B に対する選択条件の最適化

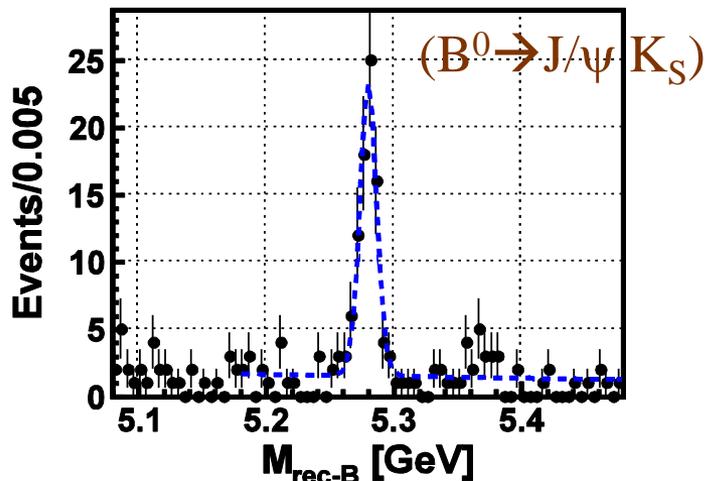
- rec-B mass window, rec-B momentum,  $\pi$ -ID
  - 6 倍の量の MC を使用。

# バックグラウンド

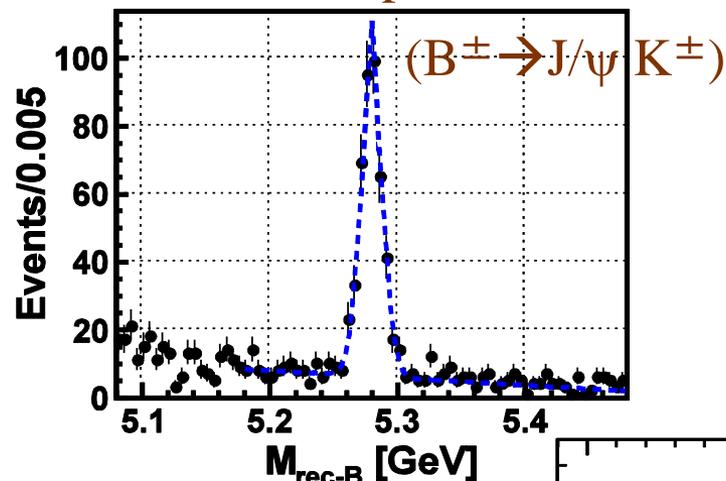
MC を用いて、B.G. 源を確認した。

- $B(\rightarrow J/\psi K)$  の再構成は、低いバックグラウンドレベルで、できている。

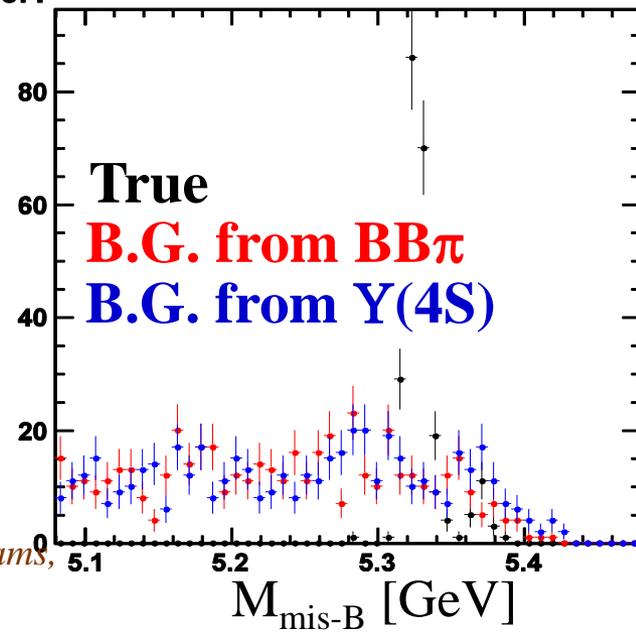
Signal mode



Ctrl. Sample mode



- 偽の direct- $\pi$  を選択することで B.G. となる。
  - $Y(5S) \rightarrow BB\pi^+, BB\pi^0$
- ISR イベントも B.G. となる。
  - $Y(4S) + \text{gamma (ISR)}$



@generic MC, sum of six streams,  
 $B^+ \rightarrow J/\psi K^\pm$  (Ctrl. Sample)

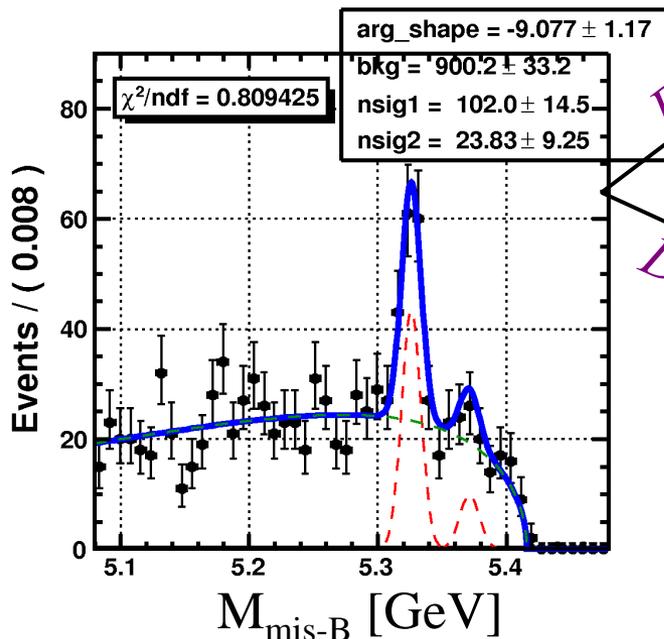
# 反跳質量分布の(同時)フィット

$\sin 2\phi_1$  測定のために、反跳質量分布を同時フィットして、 $BB\pi^\pm$  イベント数の非対称度  $A_{\text{charge}}$  を求めた。

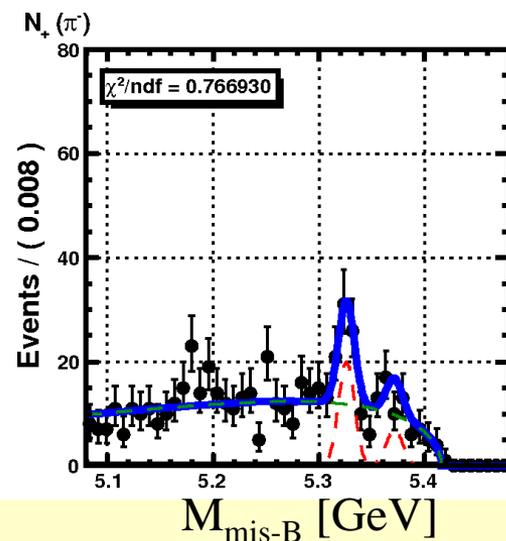
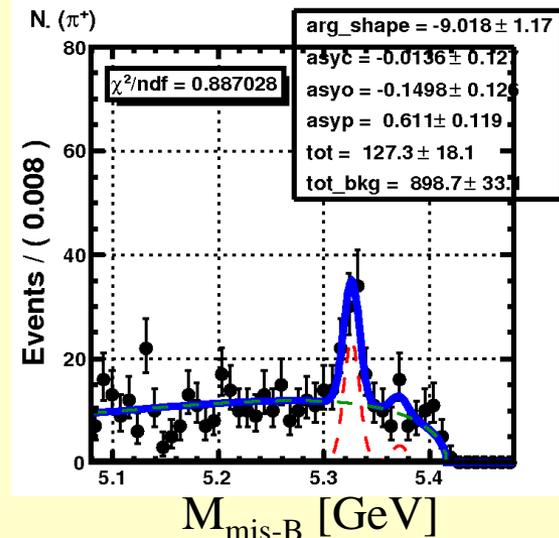
$$\sin 2\phi_1 = \frac{1 + x^2}{x} \cdot \frac{N_+ - N_-}{N_+ + N_-}$$

$N_+$  : # of  $Y(5S) \rightarrow B^0 B^+ \pi^-$   
 $N_-$  : # of  $Y(5S) \rightarrow B^0 \bar{B}^- \pi^+$

Charge asymmetry  
( $A_{\text{charge}}$ )



@ generic MC, sum of six streams,  
 $B^+ \rightarrow J/\psi K_S$



Direct  $\pi = \pi^+$

Direct  $\pi = \pi^-$

# フィット関数

## Fitting function

Gaussian (for  $B^*B\pi + BB^*\pi$ )  
 + Gaussian (for  $B^*B^*\pi$ )  
 + Argus (for  $B.G.$ )

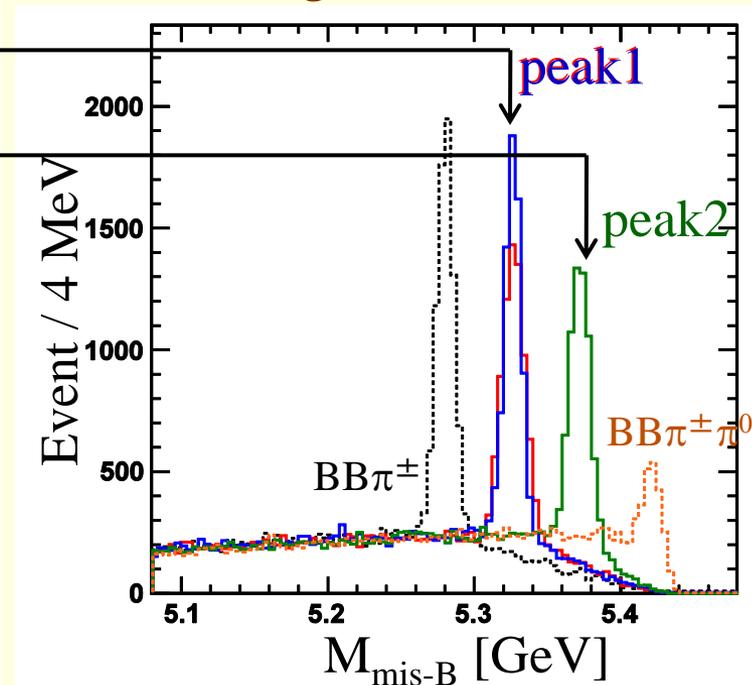
## Fixed parameters

- Width of Gaussians ( $\sigma_1, \sigma_2$ )
- Mean of Gaussians ( $\mu_1, \mu_2$ )
- Argus endpoint (E)

## Floating parameters

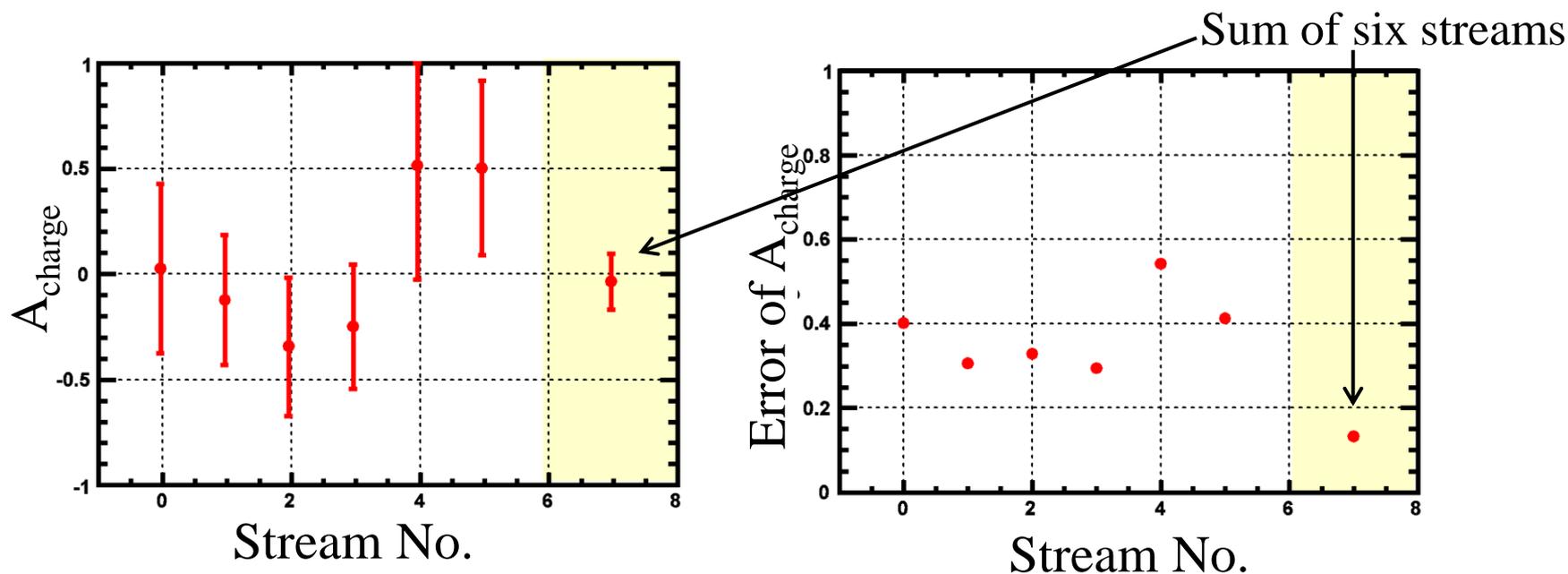
- Normalization of Gaussians ( $N_{1\pm}, N_{2\pm}$ )
- Normalization of Argus ( $N_{bg\pm}$ )
- Argus shape parameter (a)

## Missing mass distribution



@ MC, 50,000 events ( $B \rightarrow J/\psi(\mu\mu) K_S$ )

# フィット結果(シグナルモード)

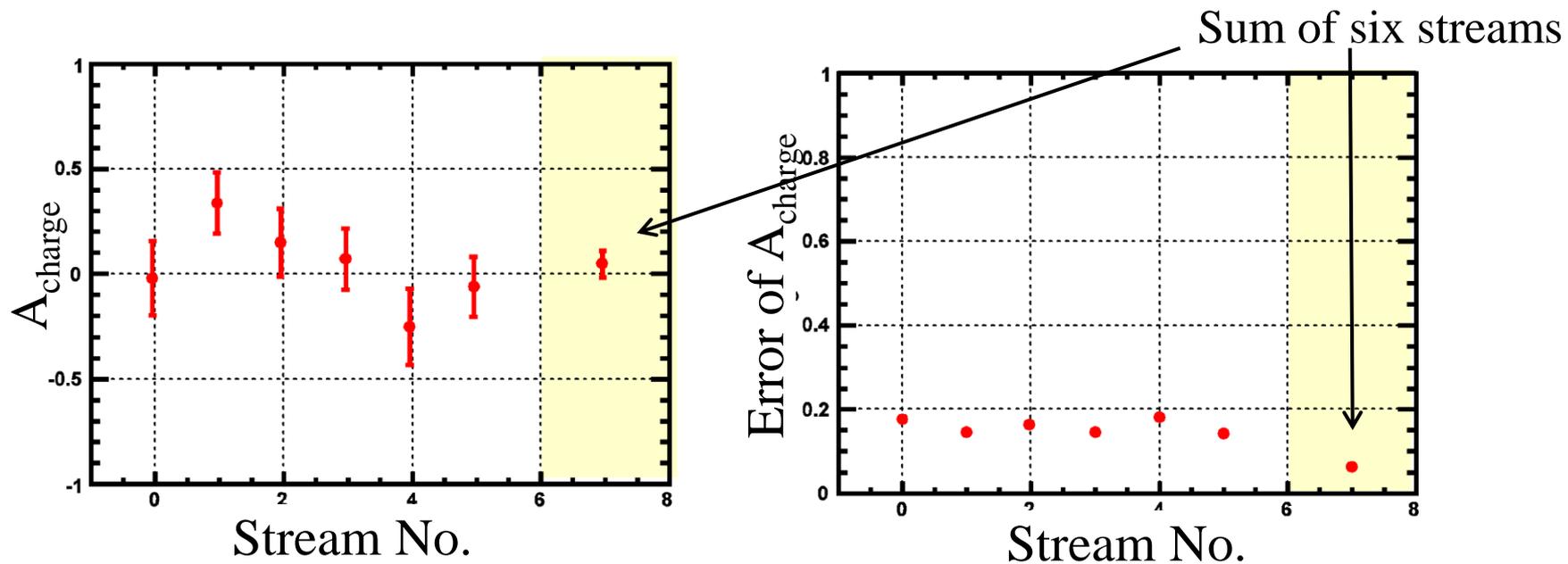


- 期待通りに、0 と矛盾しない非対称度  $A_{\text{charge}}$  が得られた。
  - (MC には CP の破れの効果は入っていない。)
- $\sin 2\phi_1$  のエラーは非対称度  $A_{\text{charge}}$  のエラーの約2倍。
  - 混合パラメータ“x”のエラーは無視できる。

$$\sin 2\phi_1 = \frac{1 + x^2}{x} \cdot \frac{N_+ - N_-}{N_+ + N_-} \quad \begin{matrix} \sim 2 \\ \text{Error} \end{matrix}$$

→  $\sin 2\phi_1$  のエラーは  $\sim 0.8$

# フィット結果(コントロールサンプルモード)



- コントロールサンプルモードでも、期待通りに0と矛盾しない非対称度が得られている。

## まとめ / プラン

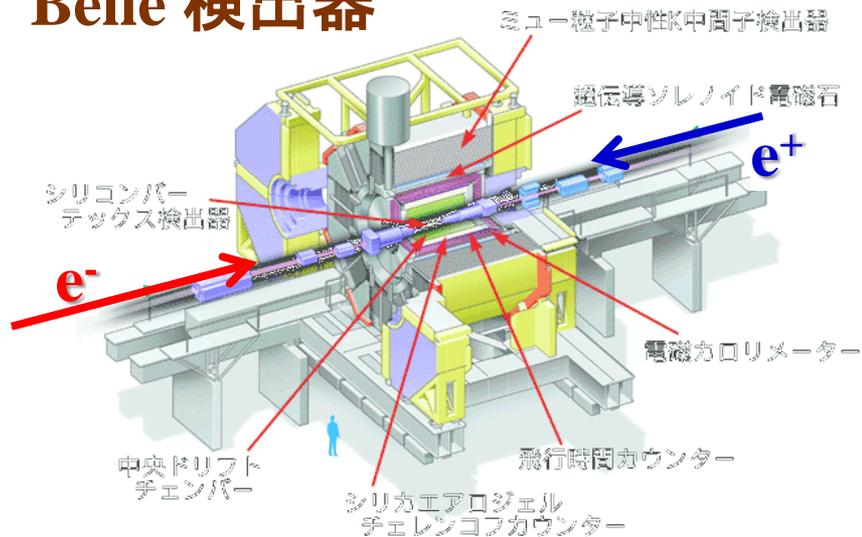
B- $\pi$  タギングを用いて、Y(5S) 共鳴からCP 対称性の破れの角 $\phi_1$  の測定を目指している。

- B- $\pi$  タギングは $\pi$  の荷電からフレーバータグを行う。
- 従来 of 解析とは異なる系統誤差を持つ。
- Belle で取得したY(5S) データ( $121 \text{ fb}^{-1}$ ) を用いた時の $\sin 2\phi_1$  の測定精度をMC で見積もった。
  - $\sigma_{\sin 2\phi_1} \sim 0.8$

# **Backup Slides**

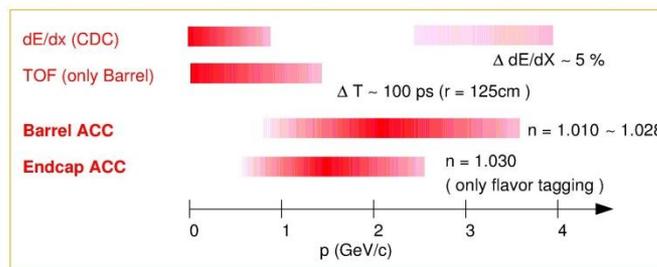
# 粒子識別

## Belle 検出器

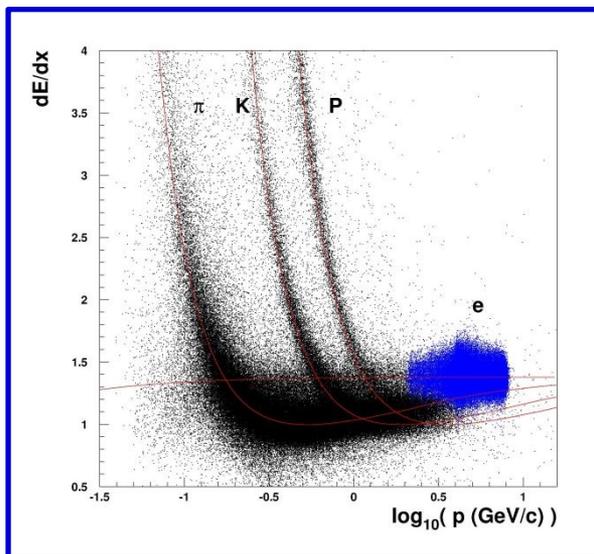


$$\text{Prob}(i : j) = \frac{L(i)}{L(i) + L(j)}$$

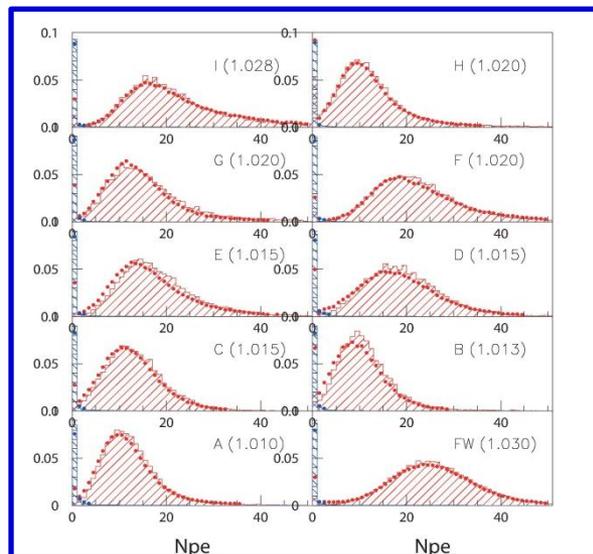
$$L = L^{\text{ACC}} \times L^{\text{TOF}} \times L^{\text{CDC}}$$



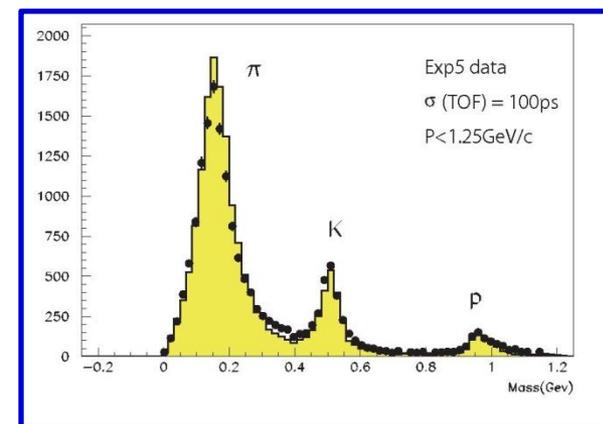
## CDC



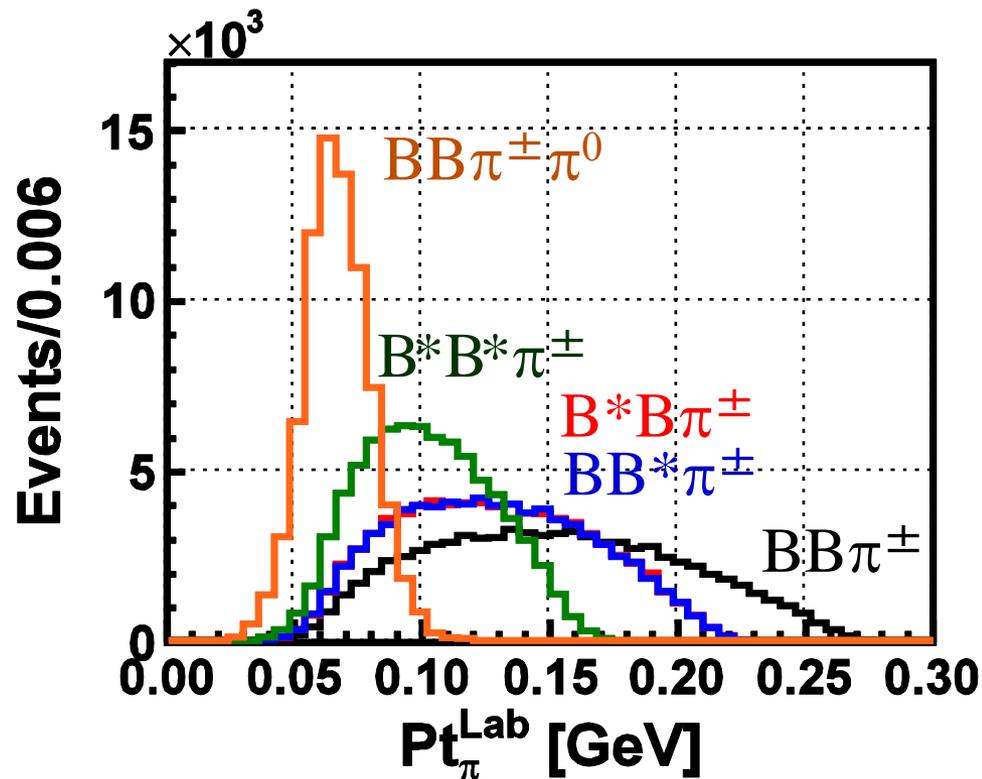
## ACC



## TOF



# Direct pion

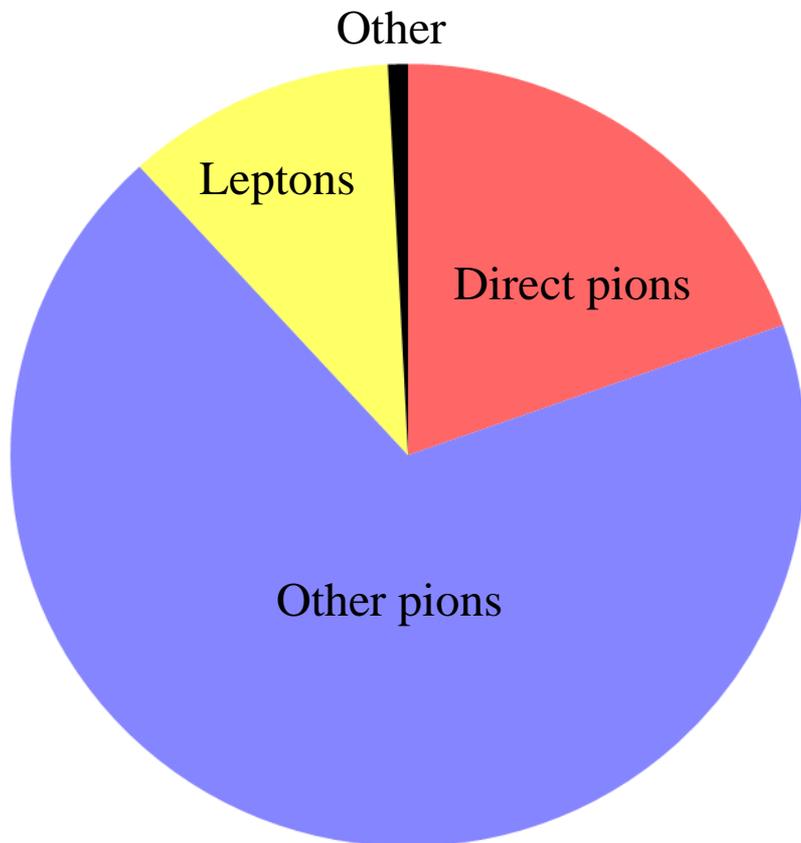


```
***** make hist *****
<hist 0> 78900 events( 78775 / 0 / 125 ) : Added-Files( 0, )
<hist 1> 73850 events( 73781 / 0 / 69 ) : Added-Files( 1, )
<hist 2> 73882 events( 73829 / 0 / 53 ) : Added-Files( 2, )
<hist 3> 62515 events( 62458 / 0 / 57 ) : Added-Files( 3, )
<hist 4> 19531 events( 19458 / 0 / 73 ) : Added-Files( 4, )
```

100,000 events  
dr,dz のカットのみ(No PID)。

# Direct pion candidates

Direct pion candidates



Mother particles of other pions

