$B \to [K^*K]_D K$の解析

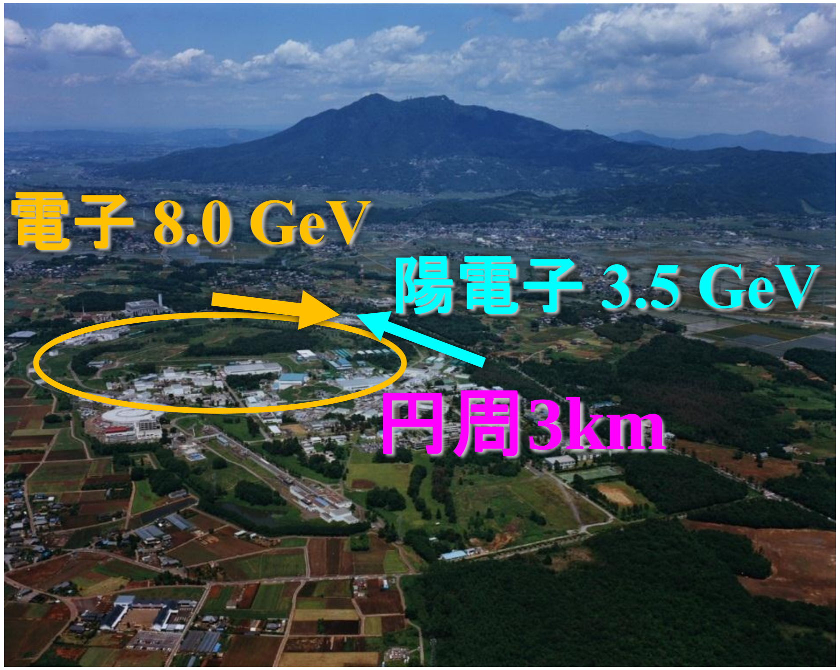
2010/10/14

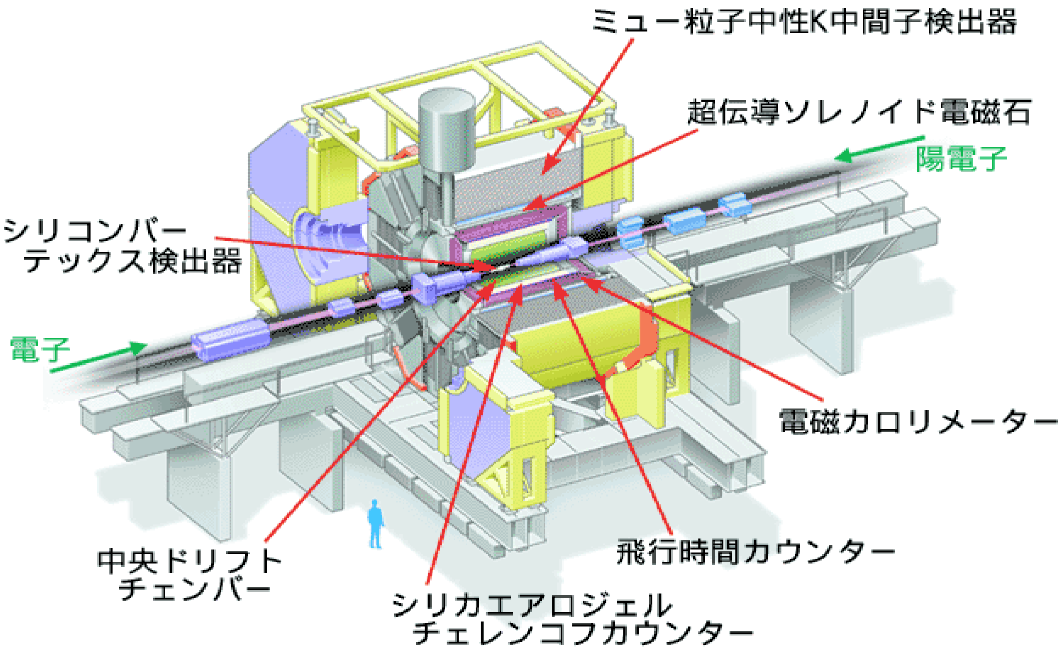
東北大学
素粒子実験研究室
鈴木　善明

- イントロダクション
- ϕ_3の測定
- D→K*Kの解析
- 今後($q\bar{q}$ suppression)
- おわりに

イントロダクション

Belle実験





- 積分ルミノシティ : 1014 fb^{-1} (Υ(4S) : 711 fb^{-1})
- BelleIIへのアップグレードのため2010年6月に運転停止。

CKM行列

- Charged current weak interaction Lagrangian

$$\mathcal{L}_{\mathrm{int,qW}} = -\frac{g}{\sqrt{2}}\left[\left(\overline{U}_L\gamma^\mu \boldsymbol{V} D_L\right) W_\mu^+ + (\overline{D}_L\gamma^\mu \boldsymbol{V}^\dagger U_L)W_\mu^-\right]$$

$$U = \begin{pmatrix} u \\ c \\ t \end{pmatrix},\ D = \begin{pmatrix} d \\ s \\ b \end{pmatrix}$$ 質量固有状態

CKM行列 $\boldsymbol{V} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix}$

$$= \begin{pmatrix} 1-\frac{\lambda^2}{2} & \lambda & A\lambda^3(\rho - i\eta) \\ -\lambda & 1-\frac{\lambda^2}{2} & A\lambda^2 \\ A\lambda^3(1-\rho-i\eta) & -A\lambda^2 & 1 \end{pmatrix} + \mathcal{O}(\lambda^4)$$

大きな複素位相
を押し込める

Wolfensteinによる表記 $\lambda = \sin\theta_c \sim 0.22$

（L. Wolfenstein, Phys. Rev. Lett. 51, 1945(1983)）

ユニタリー三角形

CKM行列はユニタリー行列であるから、

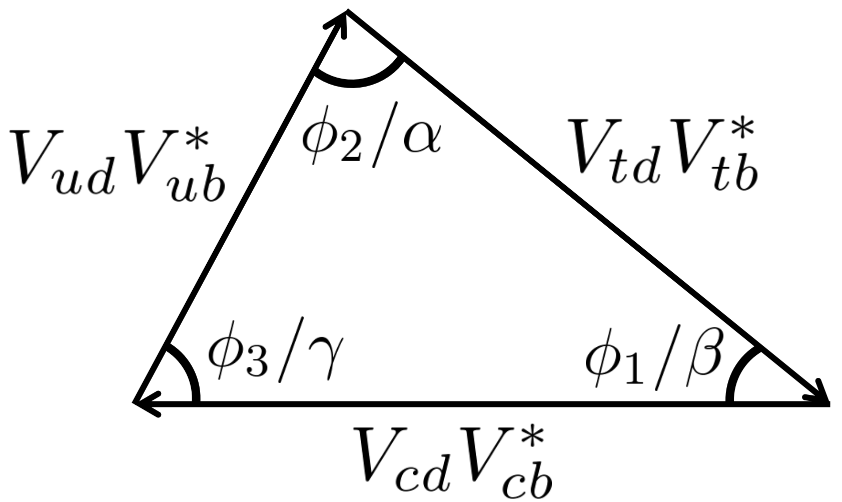
$$VV^\dagger = 1$$

$$\Rightarrow \quad V_{ud}\underline{V_{ub}^*} + V_{cd}V_{cb}^* + \underline{V_{td}}V_{tb}^* = 0$$

- 大きな複素位相を押し込んだ要素を含む
- 各項の大きさ(辺の長さ)が同程度

⬇

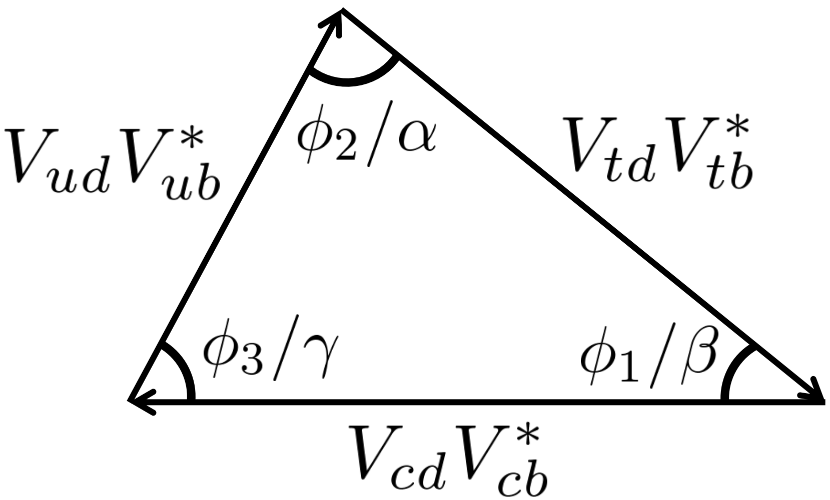
潰れていない三角形を
描くことができる。
(角度測定がしやすい)



- イントロダクション
- ϕ_3の測定
- D→K*Kの解析
- 今後($q\bar{q}$ suppression)
- おわりに

ϕ_3の測定

CP非保存角ϕ_3



$$\phi_1 = 21.15^\circ \,{}^{+0.90^\circ}_{-0.88^\circ}$$

$$\phi_2 = 89.0^\circ \,{}^{+4.4^\circ}_{-4.2^\circ}$$

$$\boxed{\phi_3 = 71^\circ \,{}^{+21^\circ}_{-25^\circ}}$$

(CKMfitter, 2010)

$$\phi_3 \equiv \arg\left(\frac{V_{ud}V_{ub}^*}{-V_{cd}V_{cb}^*}\right)$$

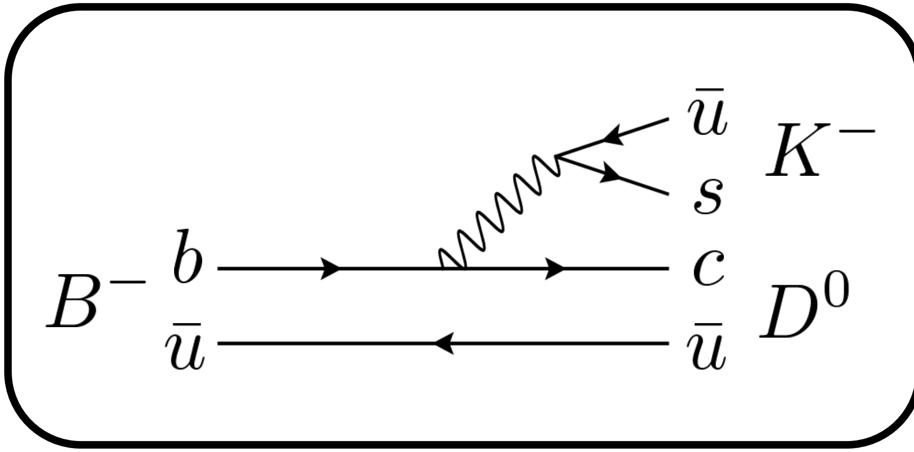
$$\sim \arg\underline{(V_{ub})}$$

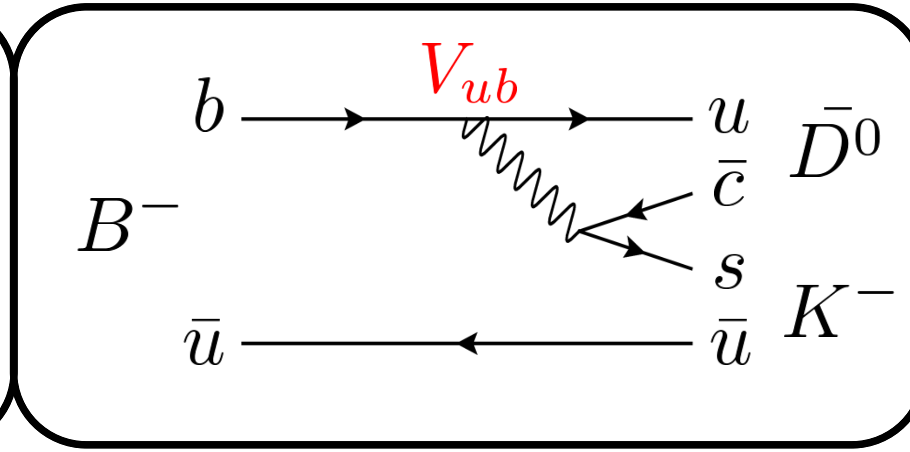
b→u遷移を含む崩壊
(B→DK)で測定が可能。

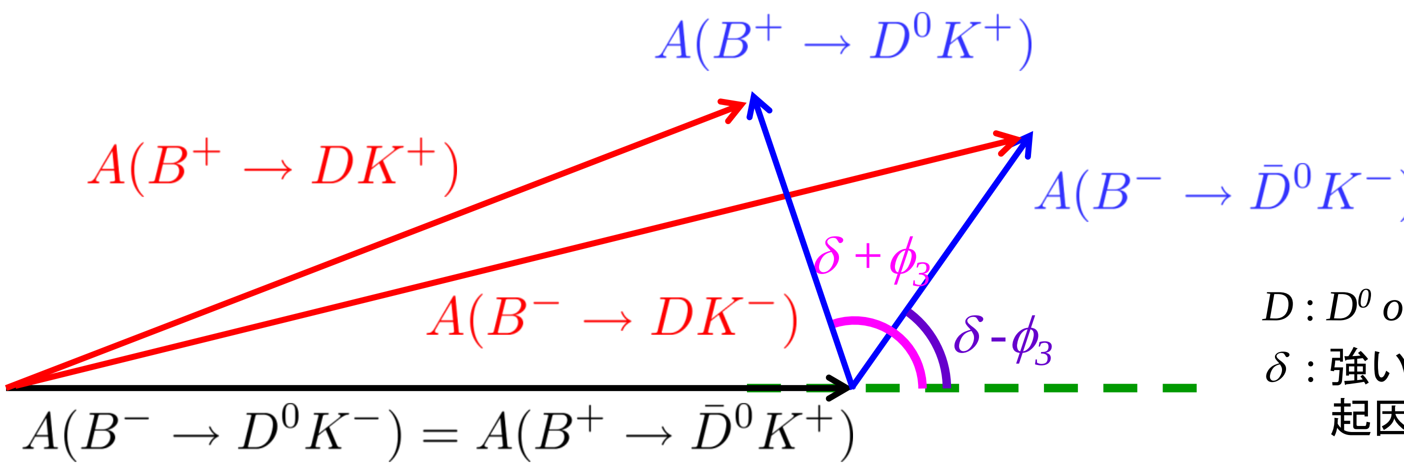
- B→DKの崩壊を用いれば tree diagramのみの寄与で測定できる。
- 精度の向上が課題。

B→DK

$B^- \to D^0 K^-$ $\quad$ $B^- \to \bar{D}^0 K^-$







D : D^0 or $\bar{D}^0$

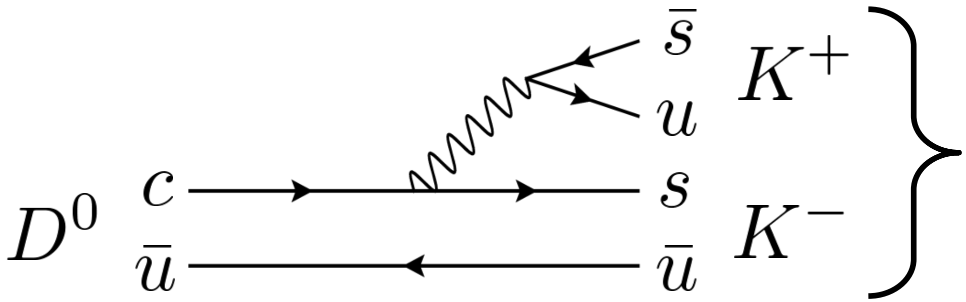
δ : 強い相互作用起因の位相差

B^-とB^+の崩壊分岐比を測定することでδ, ϕ_3が求まる。

- イントロダクション
- ϕ_3の測定
- D→K*Kの解析
- 今後($q\bar{q}$ suppression)
- おわりに

D→K*Kの解析

D→K*K



どちらかがK*

K*$^+$: 80%

K*$^-$: 20%

$D^0(\overline{D}^0) \to K^{*+}K^-$
$D^0(\overline{D}^0) \to K^{*-}K^+$
の2つの終状態が存在する。

Bの電荷と合わせてモードを判別する。

$$B^{\pm} \to [K^{*\mp}K^{\pm}]_D K^{\pm}$$ Opposite mode

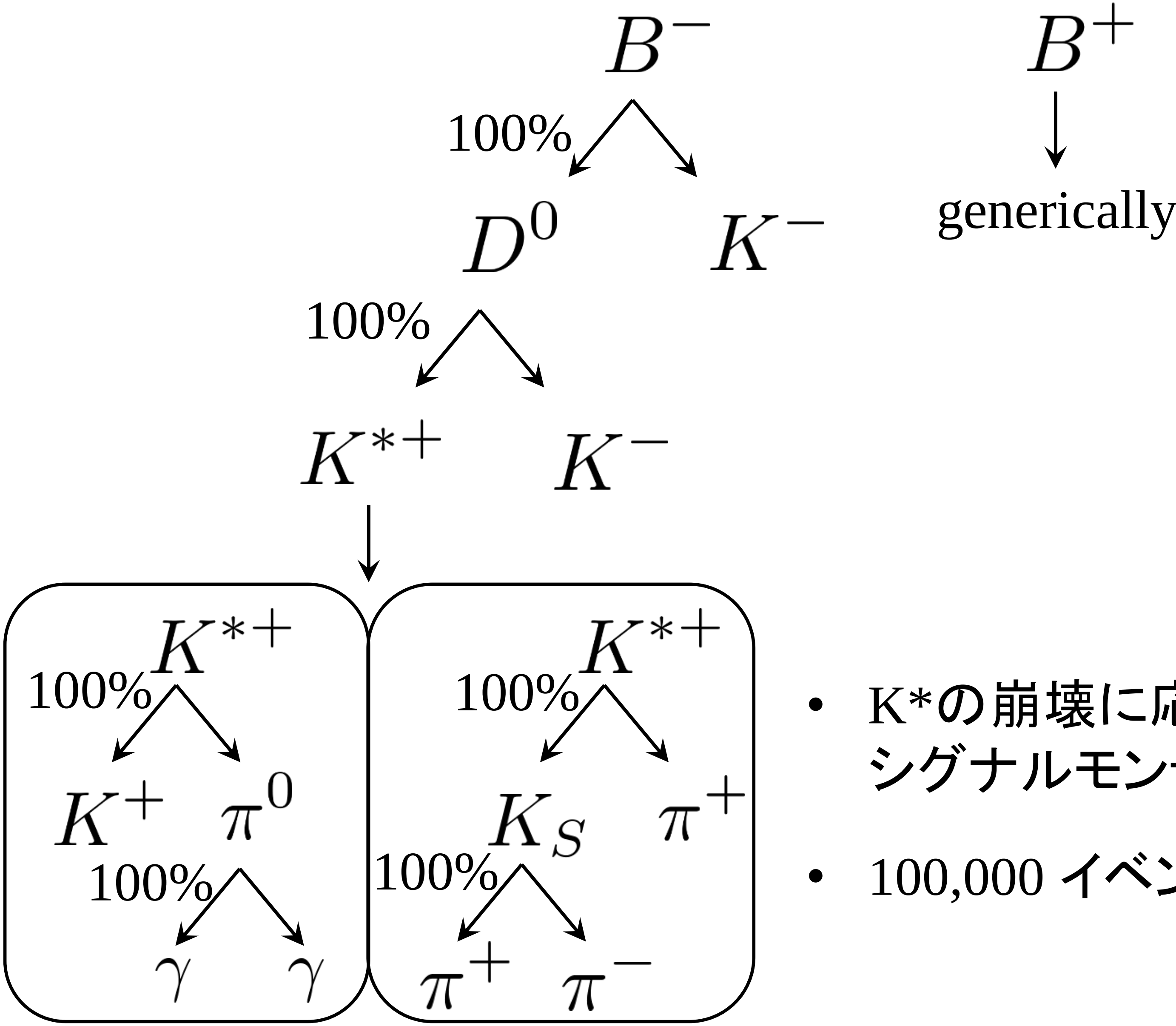
$$B^{\pm} \to [K^{*\pm}K^{\mp}]_D K^{\pm}$$ Same mode

また、K*は

$$K^{*\pm} \to K^{\pm}\pi^0 \ : 1/3$$
$$K^{*\pm} \to K^0\pi^{\pm} \ : 2/3$$

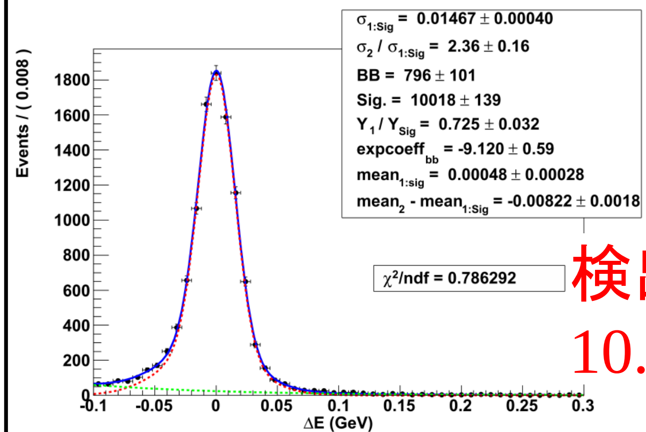
で崩壊する。

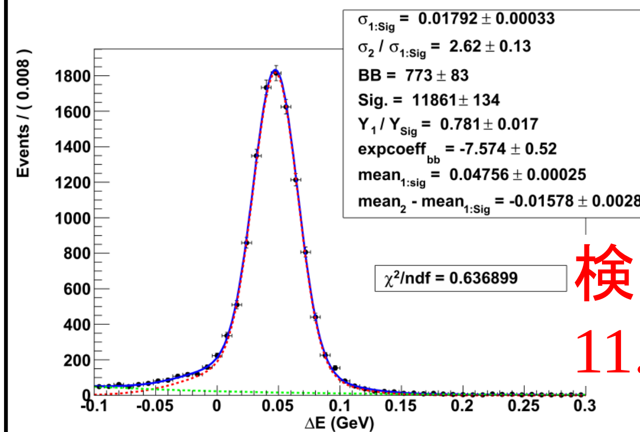
シグナルモンテカルロの生成

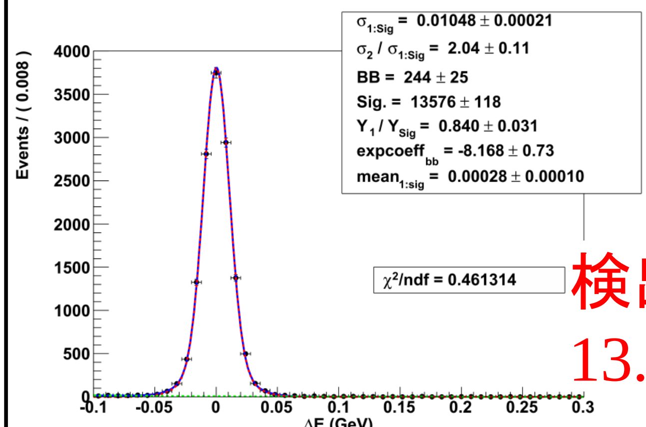


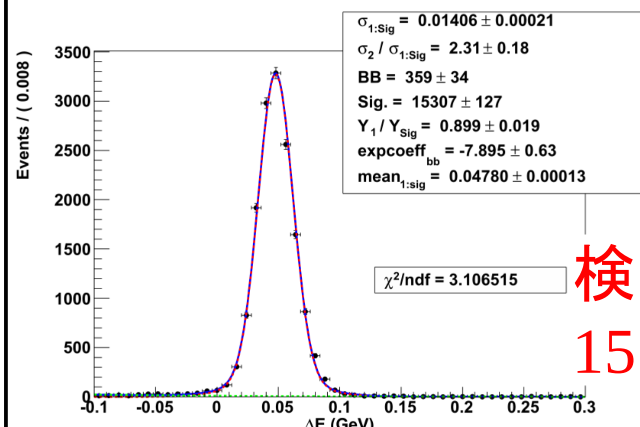
- K*の崩壊に応じて2種類のシグナルモンテカルロを作成。
- 100,000 イベントずつ。

シグナルモンテカルロ: ΔE フィット

<table>
<tr><th></th><th>B→DK</th><th>B→Dπ</th></tr>
<tr><td>$K^*\to K\pi^0$</td><td>

検出効率
10.0±0.1%
yield : 10,018±139</td><td>

検出効率
11.9±0.1%
yield : 11,861±134</td></tr>
<tr><td>$K^*\to K_S\pi$</td><td>

検出効率
13.6±0.1%
yield : 13,576±118</td><td>

検出効率
15.3±0.1%
yield : 15,307±127</td></tr>
</table>

期待されるイベント数

実際のデータでは、772×10^6 個（711 fb^{-1}）のB^+B^-対が生成されたと見積もられる。

$$r_B = \left| \frac{A(B^- \to \bar{D}^0 K^-)}{A(B^- \to D^0 K^-)} \right| = 0.101, \quad r_D = \left| \frac{A(\bar{D}^0 \to K^{*+} K^-)}{A(D^0 \to K^{*+} K^-} \right| = 0.589$$

として各モードの生成数を見積もると、

Opposite mode $B^\pm \to [K^{*\mp} K^\pm]_D K^\pm$: 1,060 events

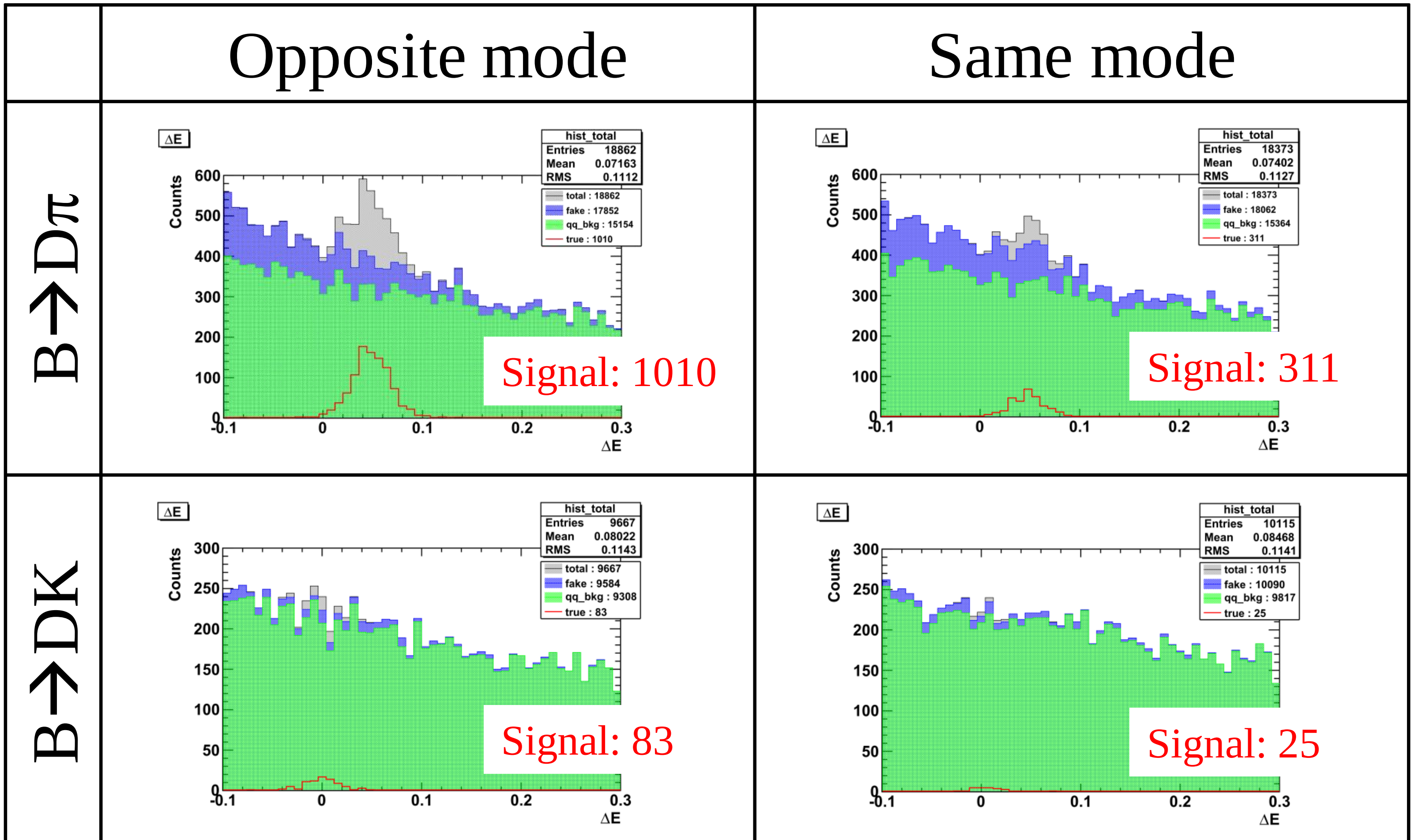
Same mode $B^\pm \to [K^{*\pm} K^\mp]_D K^\pm$: 375 events

K*の崩壊の分岐比と各モードの検出効率から、

	Opposite mode	Same mode	ϕ_3による増減
K*→Kπ^0	35 events	13 events	最大 ±4 events
K*→$K_S\pi$	33 events	12 events	最大 ±4 events

$B\bar{B}$ + $q\bar{q}$ モンテカルロ

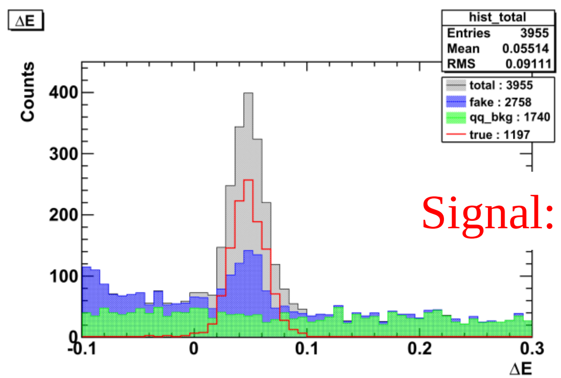
$K^* \rightarrow K\pi^0$, 実際のデータの2倍のサイズ ※$q\bar{q}$ suppressionはしていない

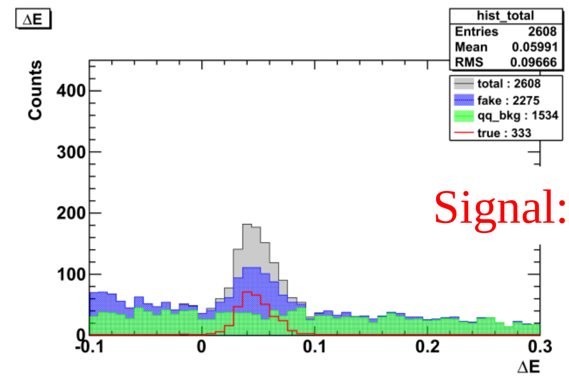


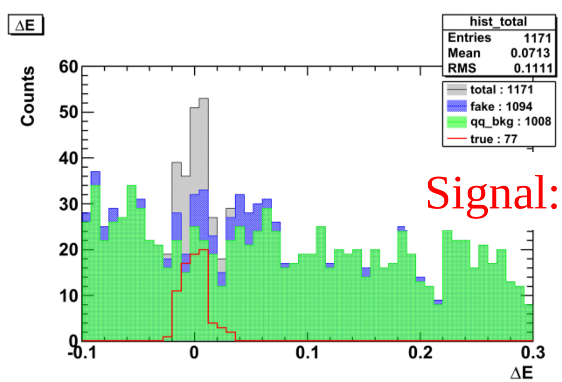
灰 : 全体 赤 : signal 青 : 全BG 緑 : qq BG

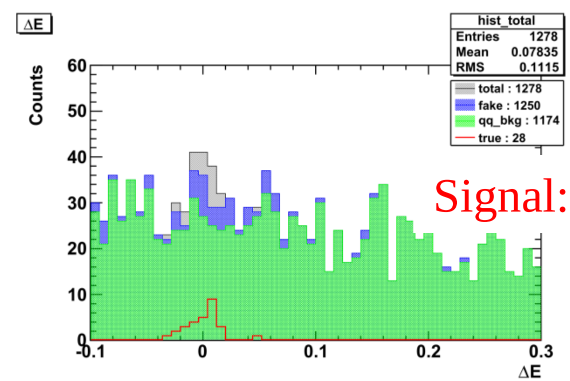
BB̄ + qq̄ モンテカルロ

K*→$K_S\pi$, 実際のデータの2倍のサイズ ※qq̄ suppressionはしていない

<table>
<tr><th></th><th>Opposite mode</th><th>Same mode</th></tr>
<tr><td>B→Dπ</td><td>

Signal: 1197</td><td>

Signal: 333</td></tr>
<tr><td>B→DK</td><td>

Signal: 77</td><td>

Signal: 28</td></tr>
</table>

灰 : 全体　赤 : signal　青 : 全BG　緑 : qq BG

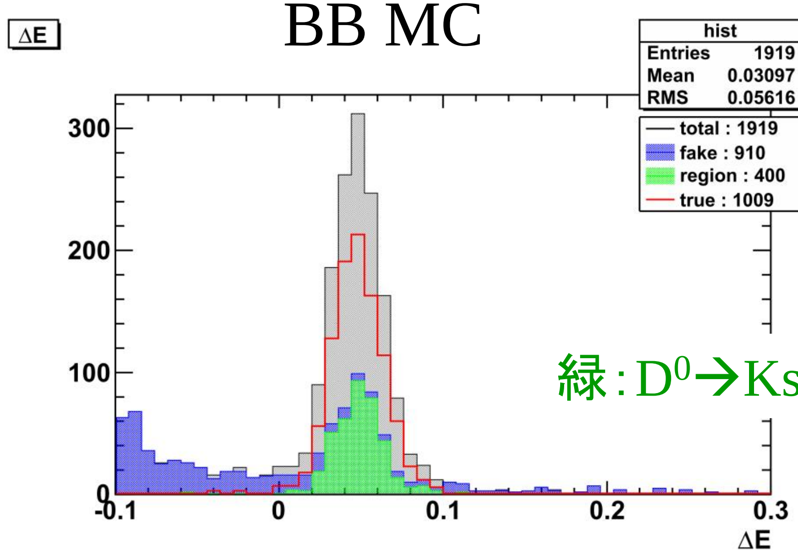
K*→Ksπモードにおけるpeaking BG

MCであるので、どのように
イベントを生成したかを参照
することができる。

正体は

D⁰→KsKπ (nonresonant mode)

BB MC



緑 : D^0→KsKπ

PDG(2006)によると、

$$BR(D^0 \to K_s K^- \pi^+) = (3.4 \pm 0.5) \times 10^{-3}$$

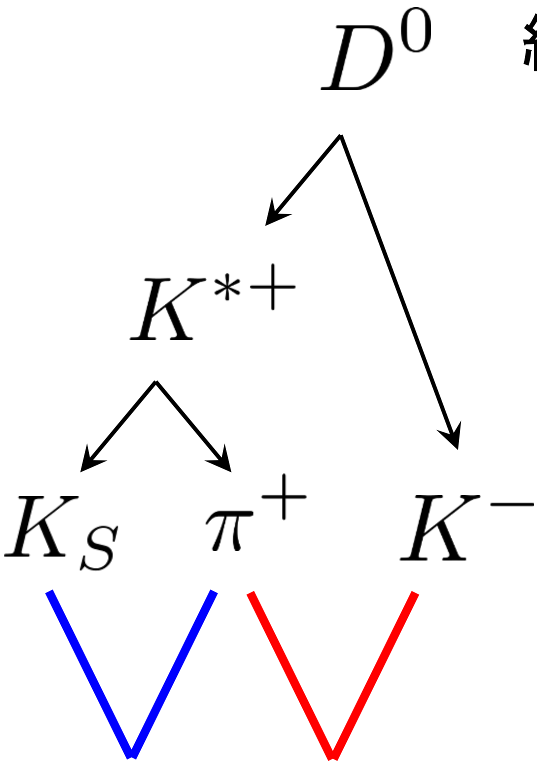
$$BR(D^0 \to [K_s \pi^+]_{K^{*+}} K^-) = (1.2 \pm 0.3) \times 10^{-3}$$

D^0のphase spaceは非常に狭いため、大きく寄与する。

Dalitz Plot

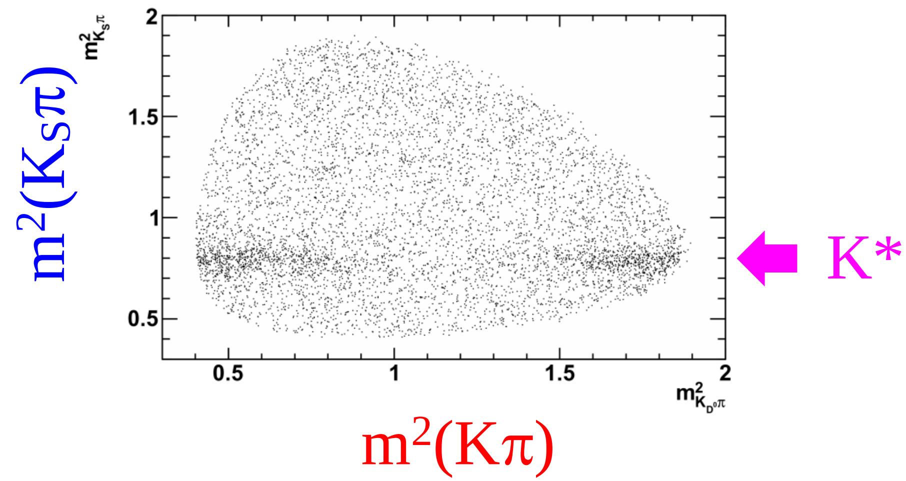
同じ終状態でも異なる共鳴状態を
経由してきている可能性がある。

$D^0 \rightarrow ?? \rightarrow K_S K \pi$



実際に組み合わせて
massを出してみる。

$D^0 \rightarrow K_S K \pi$のDalitz Plot

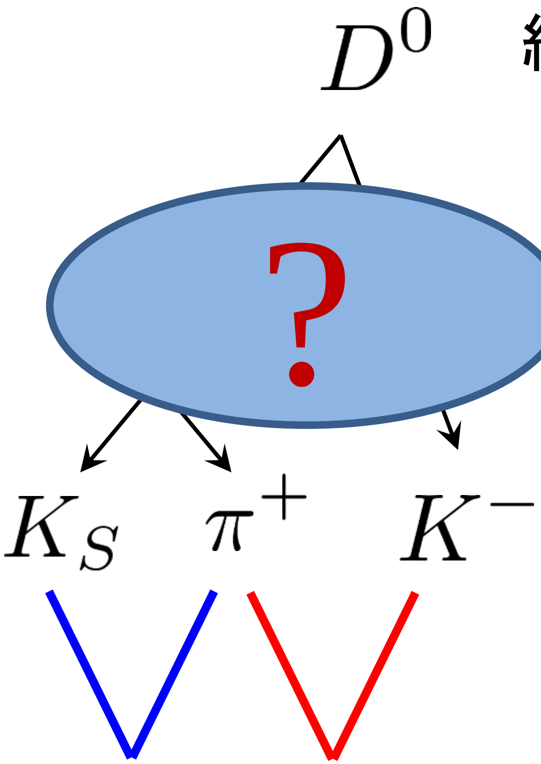


nonresonant modeは
一様に分布する

Dalitz Plot

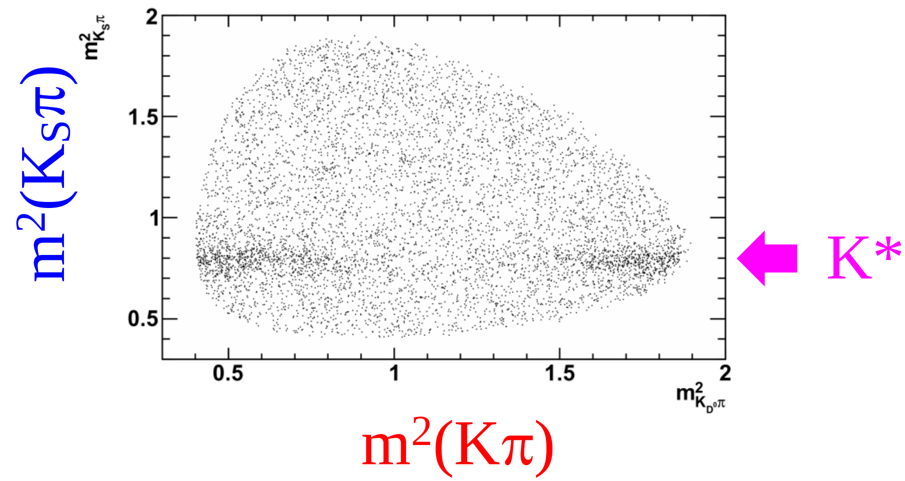
同じ終状態でも異なる共鳴状態を
経由してきている可能性がある。

$D^0 \rightarrow ?? \rightarrow K_S K \pi$



実際に組み合わせて
massを出してみる。

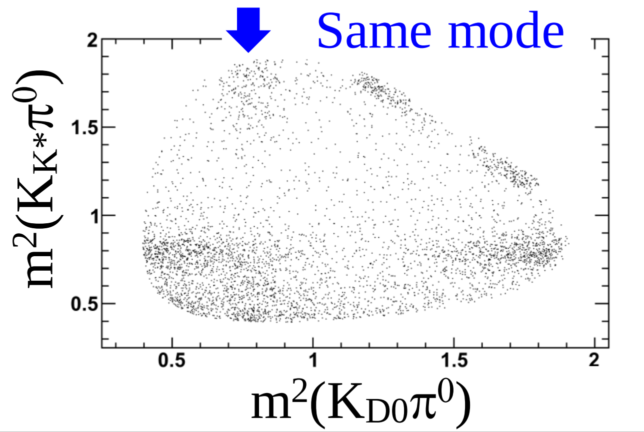
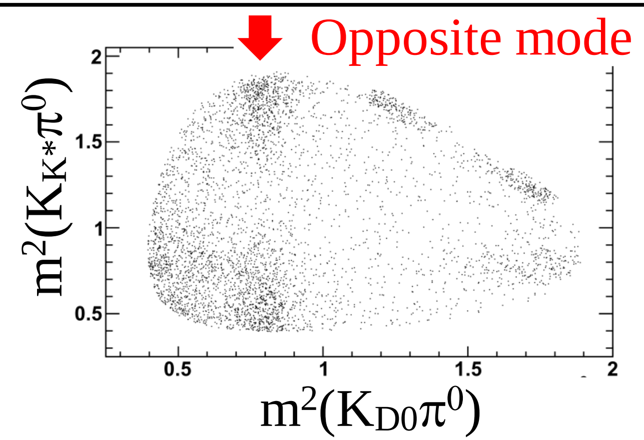
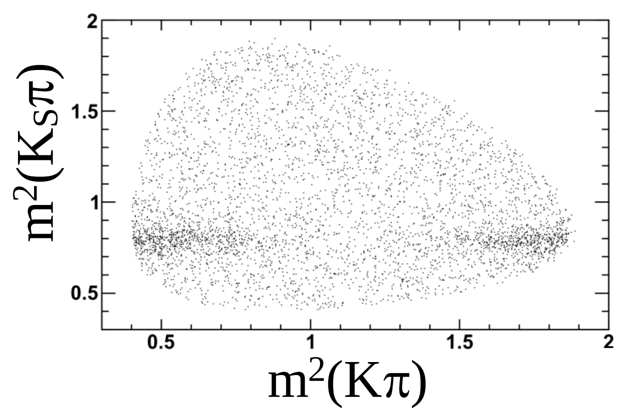
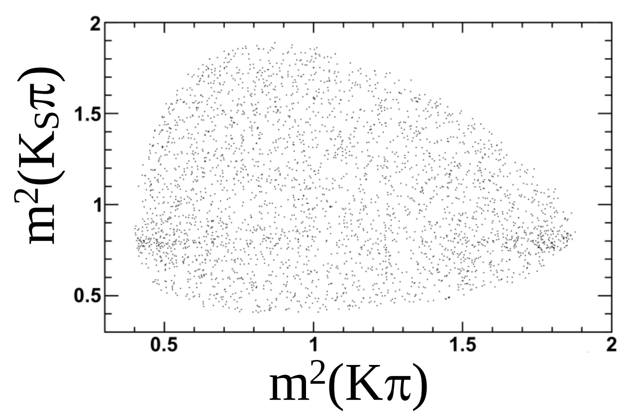
$D^0 \rightarrow K_S K \pi$のDalitz Plot



nonresonant modeは
一様に分布する

各モードのDalitz Plot ($B\bar{B}$)

B→Dπ, MC(BB), 実際のデータの2倍のサイズ

<table>
<tr><th></th><th>Opposite mode</th><th>Same mode</th></tr>
<tr><td>K*→Kπ⁰</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>K*→K_Sπ</td><td>
</td><td>
</td></tr>
</table>

Opposite mode, Same modeがお互いのバックグラウンドになる

Nonresonant mode（一様分布）がバックグラウンドになる

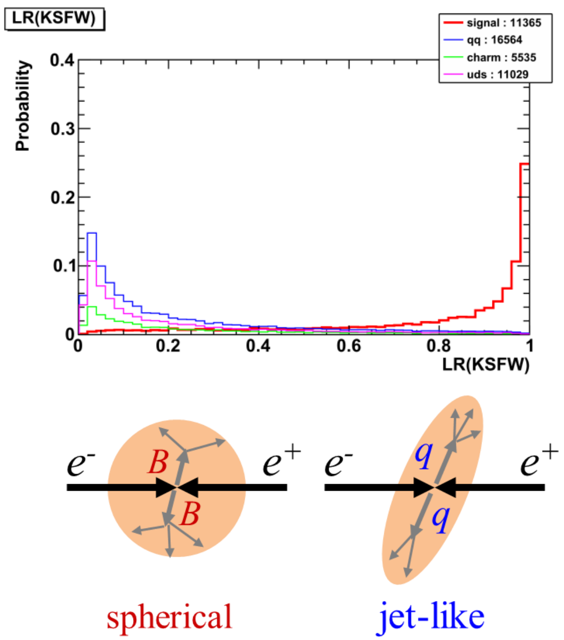
これらのバックグラウンドはシグナル領域に入ってくるため、慎重に扱う必要がある。

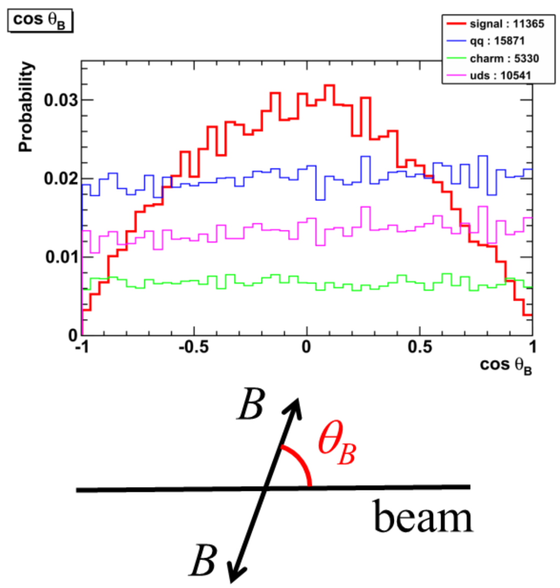
- イントロダクション
- ϕ_3の測定
- D→K*Kの解析
- 今後($q\bar{q}$ suppression)
- おわりに

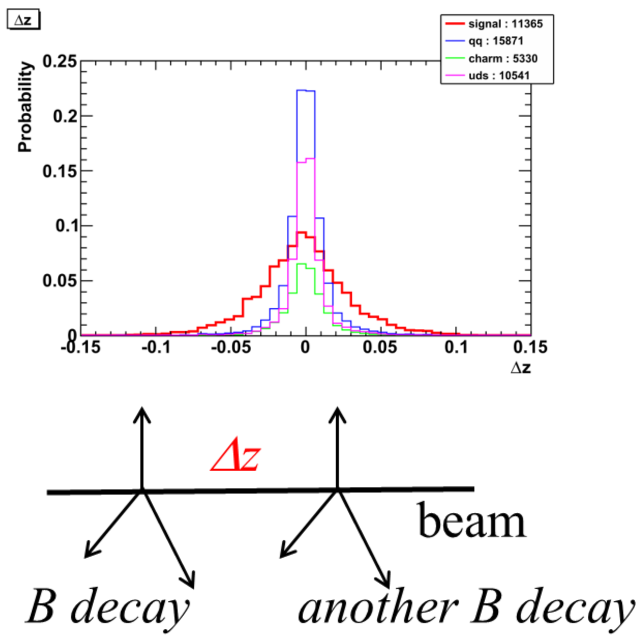
今後($q\bar{q}$ suppression)

qq̄ suppression

シグナルとqq̄イベントで分布の異なるパラメータを
Neural Net (NeuroBayes)にインプットし、分離させる。







etc…

赤 : シグナル
青 : qq　桃 : uds　緑 : charm

現在、様々なパラメータを検証中

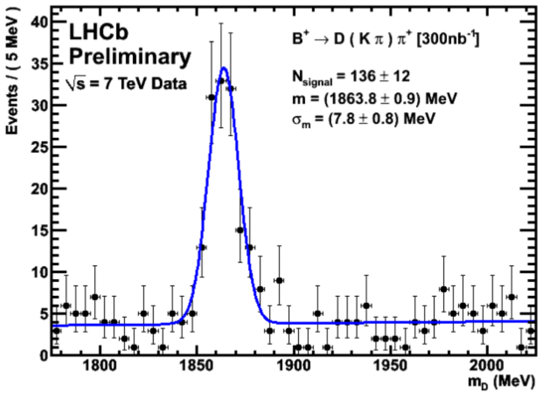
- イントロダクション
- ϕ_3の測定
- D→K*Kの解析
- 今後($q\bar{q}$ suppression)
- おわりに

おわりに

LHCbとの比較

LHCb (M. Williams, CKM2010)

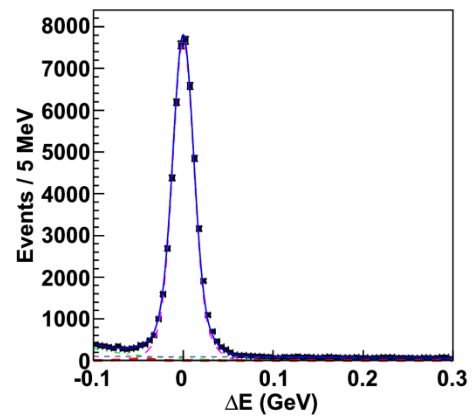
$$B^{\pm} \to D\pi^{\pm},\ D \to K^{\pm}\pi^{\mp}$$



136±12 events, 300 nb^{-1}

Belle (Y. Horii, CKM2010)

$$B^{\pm} \to D\pi^{\pm},\ D \to K^{\pm}\pi^{\mp}$$



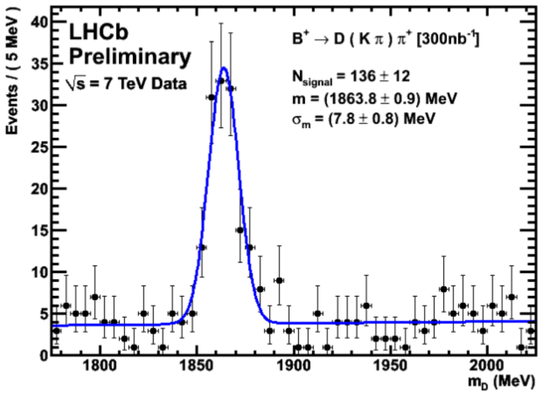
Y. Horii

49,164±245 events, 711 fb^{-1}

LHCbとの比較

LHCb (M. Williams, CKM2010)

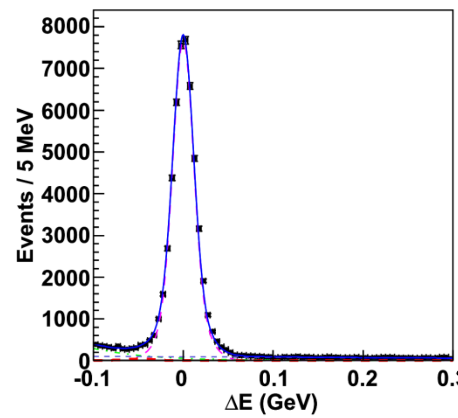
$$B^\pm \to D\pi^\pm,\ D \to K^\pm\pi^\mp$$



136±12 events, 300 nb^{-1}

Belle (Y. Horii, CKM2010)

$$B^\pm \to D\pi^\pm,\ D \to K^\pm\pi^\mp$$



Y. Horii

49,164±245 events, 711 fb^{-1}

1 fb^{-1}ためると･･･
（来年末予定）

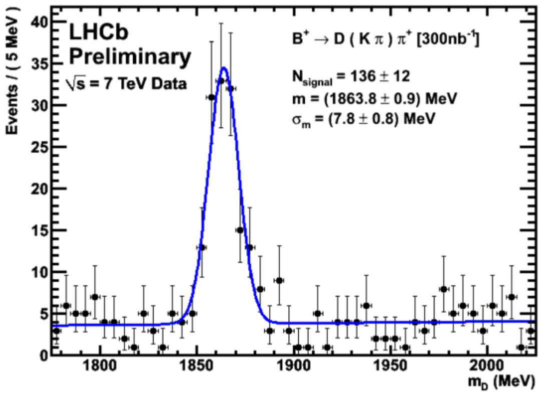
~450,000 events

Belleの9倍!!

LHCbとの比較

LHCb (M. Williams, CKM2010)

$$B^\pm \to D\pi^\pm,\ D \to K^\pm\pi^\mp$$



136±12 events, 300 nb^{-1}

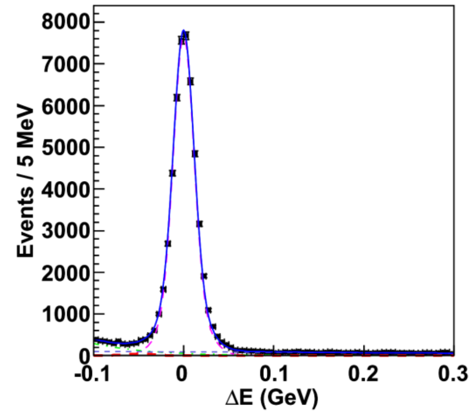
1 fb^{-1}ためると･･･
（来年末予定）

~450,000 events

Belleの9倍!!

Belle (Y. Horii, CKM2010)

$$B^\pm \to D\pi^\pm,\ D \to K^\pm\pi^\mp$$



Y. Horii

49,164±245 events, 711

でもたぶん
大丈夫(?)

LHCbでは･･･

- BGが多く、π^0の再構成が難しい。
- エネルギーが高くKsが検出器内で崩壊しない可能性がある。

まとめ

- ユニタリー三角形の角の一つであるϕ_3はtree diagramで測定でき、その測定は新物理探索において重要な役割を果たす。
- しかし、ϕ_3は3つの角の中で最も精度が悪く、精密測定が求められている。
- ϕ_3測定のための$B \rightarrow [K^*K]_D K$の解析に向けてモンテカルロによるシミュレーション等を行い、実現の可能性を示したとともにPeaking backgroundなどの問題も明らかにした。
- 今後は$q\bar{q}$ suppressionを行い、よりクリアな信号が得られるようにしてゆく。

ご清聴、ありがとうございました。

Back Up

理論

B^+, B^-のopposite mode, same modeの分岐比

$$A[B^- \to K^-(K^{*+}K^-)_D] = |A_B A_D| \left[1 + r_B r_D e^{i(\delta_B + \delta_D - \phi_3)}\right]$$ Opposite mode

$$A[B^- \to K^-(K^{*-}K^+)_D] = |A_B A_D| e^{i\delta_D} \left[r_D + r_B e^{i(\delta_B - \delta_D - \phi_3)}\right]$$ Same mode

$$A[B^+ \to K^+(K^{*-}K^+)_D] = |A_B A_D| \left[1 + r_B r_D e^{i(\delta_B + \delta_D + \phi_3)}\right]$$ Opposite mode

$$A[B^+ \to K^+(K^{*+}K^-)_D] = |A_B A_D| e^{i\delta_D} \left[r_D + r_B e^{i(\delta_B - \delta_D + \phi_3)}\right]$$ Same mode

$$r_B = \left|\frac{\bar{A}_B}{A_B}\right| = \left|\frac{A(B^- \to \bar{D}^0 K^-)}{A(B^- \to D^0 K^-)}\right|, \quad r_D = \left|\frac{\bar{A}_D}{A_D}\right| = \left|\frac{A(\bar{D}^0 \to K^{*+}K^-)}{A(D^0 \to K^{*+}K^-}\right|$$

r_Dは他の測定で精度よく測定されている(既知数)とする。

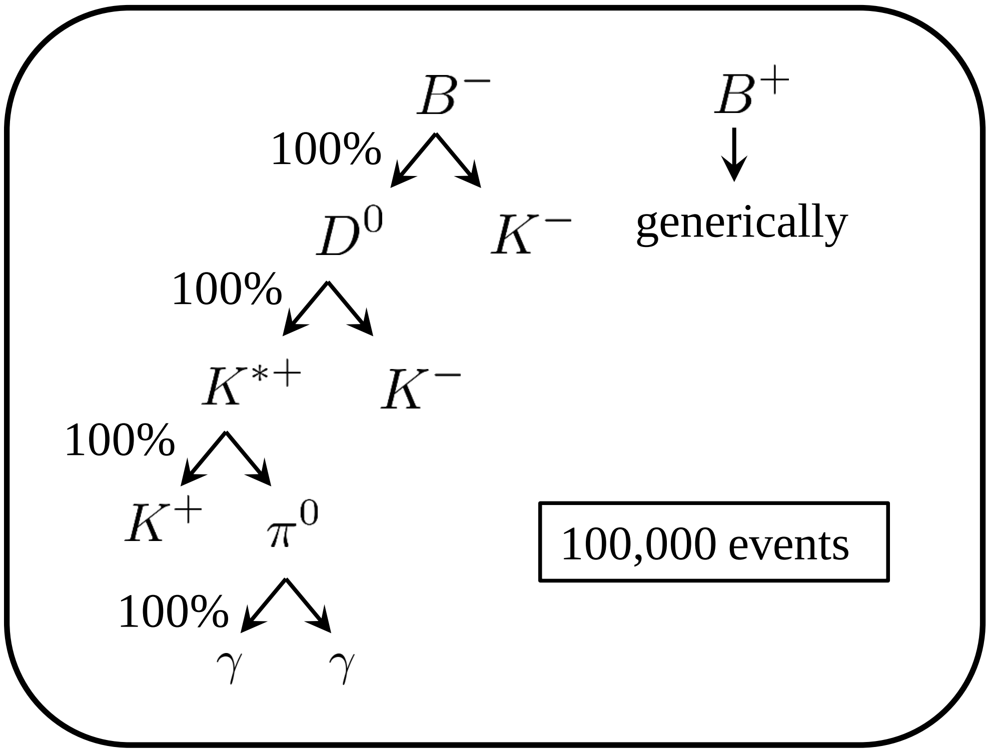
→未知数はδ_D, δ_B, r_B, ϕ_3の4つ。分岐比の4式を連立すれば解ける。

$$\boxed{\cos\phi_3 = \frac{(R_1 + R_3 - 2)^2 - (R_2 + R_4 - 2r_D^2)^2}{4[(R_1 - 1)(R_3 - 1) - (R_2 - r_D^2)(R_4 - r_D^2)]}}$$

$$R_1 = \left[\frac{A[B^- \to K^-(K^{*+}K^-)_D]}{A_B A_D}\right]^2, \; R_2 = \cdots$$

Reconstruction of $K^{*+} \to K^+\pi^0$ mode

Signal MC

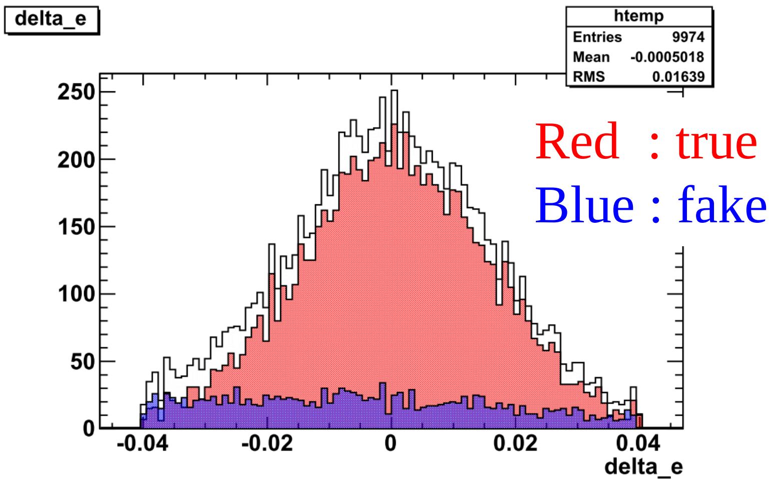


Selection criteria

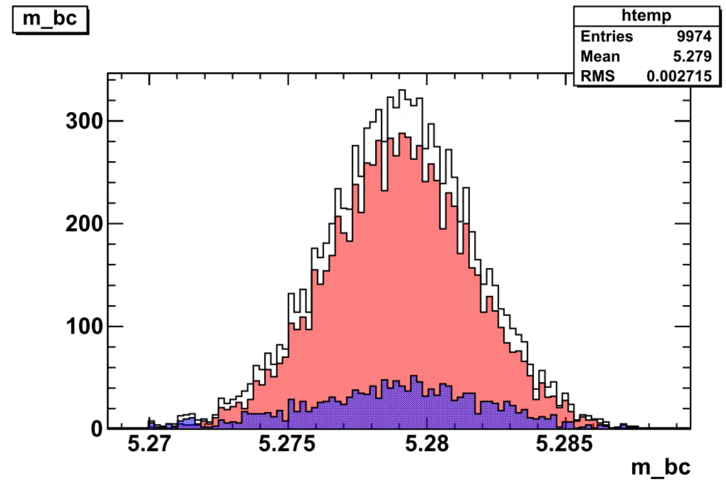
Impact parameter	$\lvert dr \rvert < 5mm$, $\lvert dz \rvert < 5cm$
π^0 reconstruct	$E_\gamma > 30$ MeV , $\chi_{mass}{}^2 < 40$
M_{bc} & ΔE	$5.27 < M_{bc} < 5.29$, $\lvert \Delta E \rvert < 0.04$
PID	for all charged K : PID(K) > 0.8
mass	$\lvert M(K^+\pi^0) - M(K^{*+}) \rvert < 0.075$ $\lvert M(K^{*+}K^-) - M(D^0) \rvert < 0.0159$
helicity angle	for K* : $\lvert \cos\theta \rvert > 0.4$
Best candidate selection	Use χ^2 of M_{bc} & $M(D^0)$

Reconstructed parameter

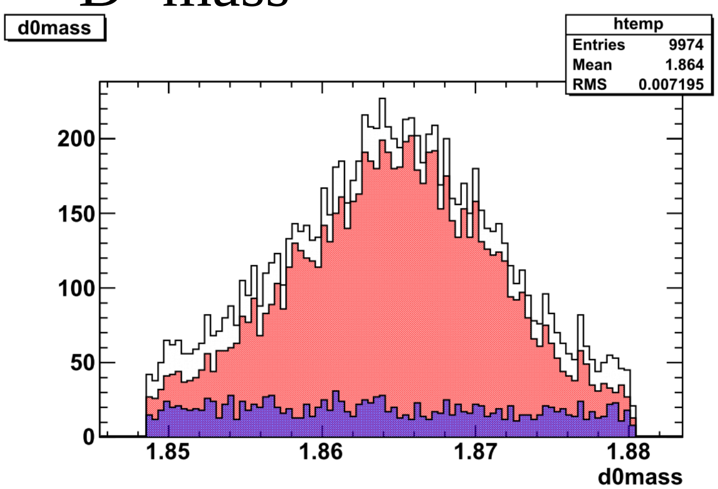
ΔE



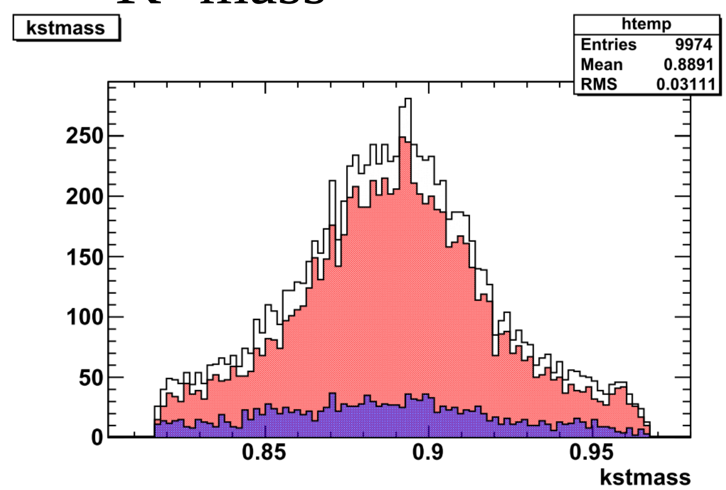
M_{bc} (beam constrained mass)



D^0 mass



K^* mass

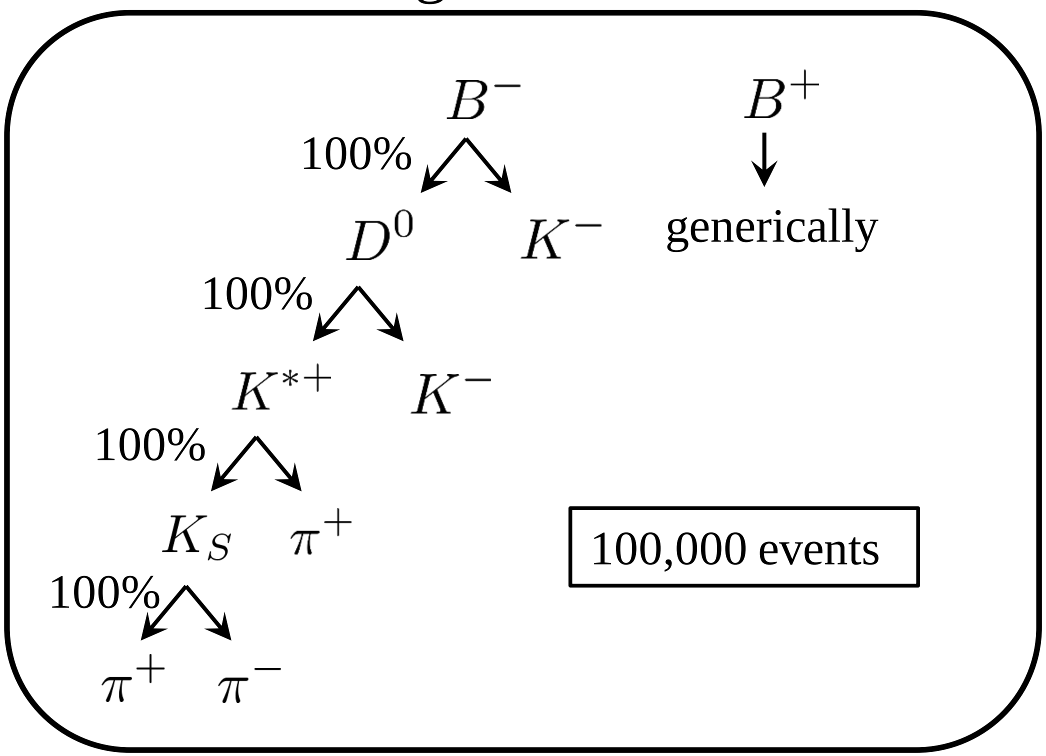


9,974 events are reconstructed.

Detection efficiency is 9.97±0.10 % .

Reconstruction of $K^{*+} \to K_S \pi^+$ mode

Signal MC

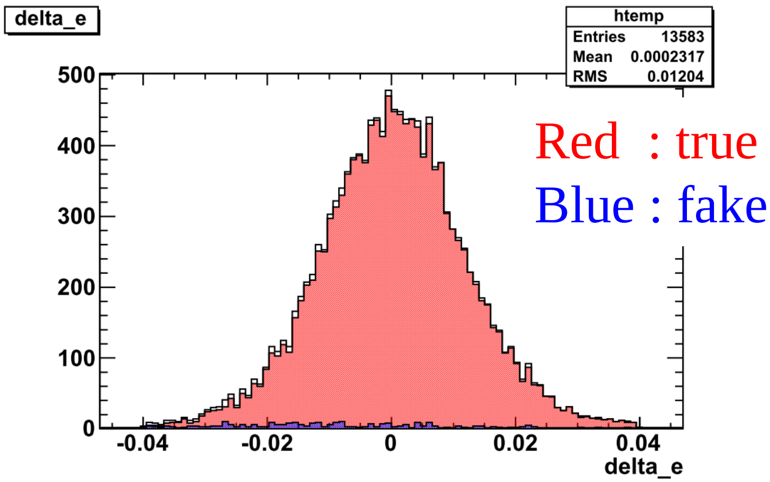


Selection criteria

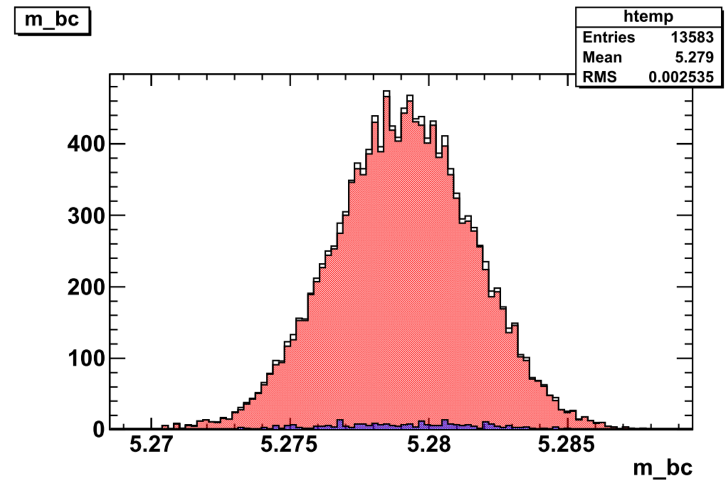
Impact parameter	$\|dr\| < 5mm$, $\|dz\| < 5cm$
M_{bc} & ΔE	$5.27 < M_{bc} < 5.29$, $\|\Delta E\| < 0.04$
PID	for all charged K : PID(K) > 0.8 for all charged π : PID(π) < 0.2
mass	$\|M(\pi^+\pi^-) – M(K_S)\| < 0.00208$ $\|M(K_S\pi^+) – M(K^{*+})\| < 0.075$ $\|M(K^{*+}K^-) – M(D^0)\| < 0.0159$
helicity angle	for K* : $\|\cos\theta\| > 0.4$
Best candidate selection	Use χ^2 of M_{bc} & $M(D^0)$

Reconstructed parameter

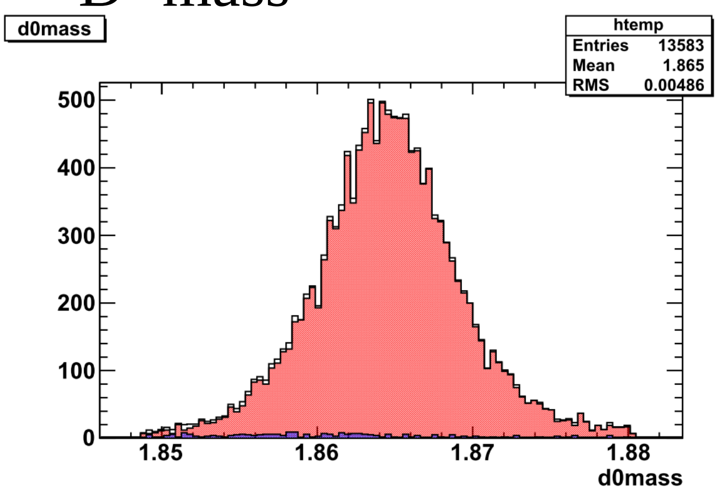
ΔE



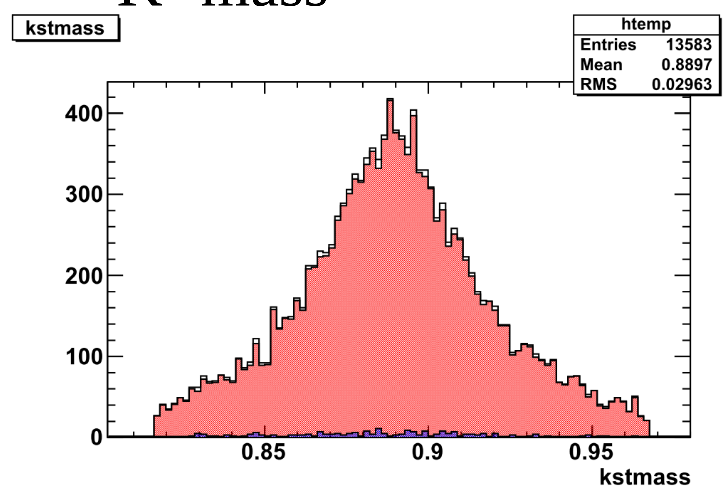
M_{bc} (beam constrained mass)



D^0 mass



K^* mass



13,583 events are reconstructed.

Detection efficiency is 13.6 ± 0.1 % .

Sum & Asymmetry

$$N_{-+} \equiv N[B^{-} \to (K^{*+}K^{-})_D K^{-}]$$

$$N_{\text{opp}} = N_{-+} + N_{+-}$$

$$A_{\text{opp}} = \frac{N_{-+} - N_{+-}}{N_{-+} + N_{+-}}$$

Opposite mode

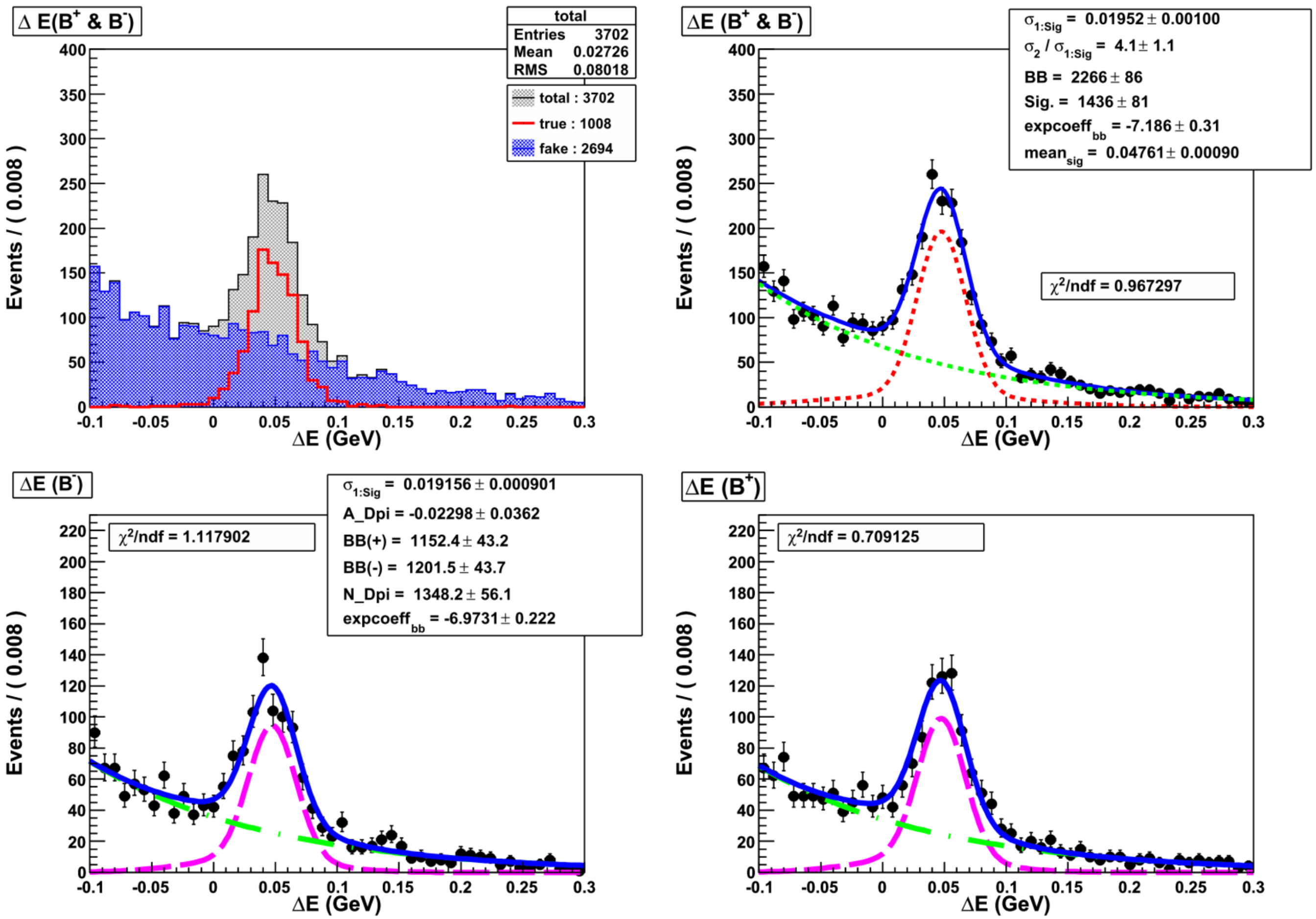
$$N_{\text{same}} = N_{--} + N_{++}$$

$$A_{\text{same}} = \frac{N_{--} - N_{++}}{N_{--} + N_{++}}$$

Same mode

同時fit

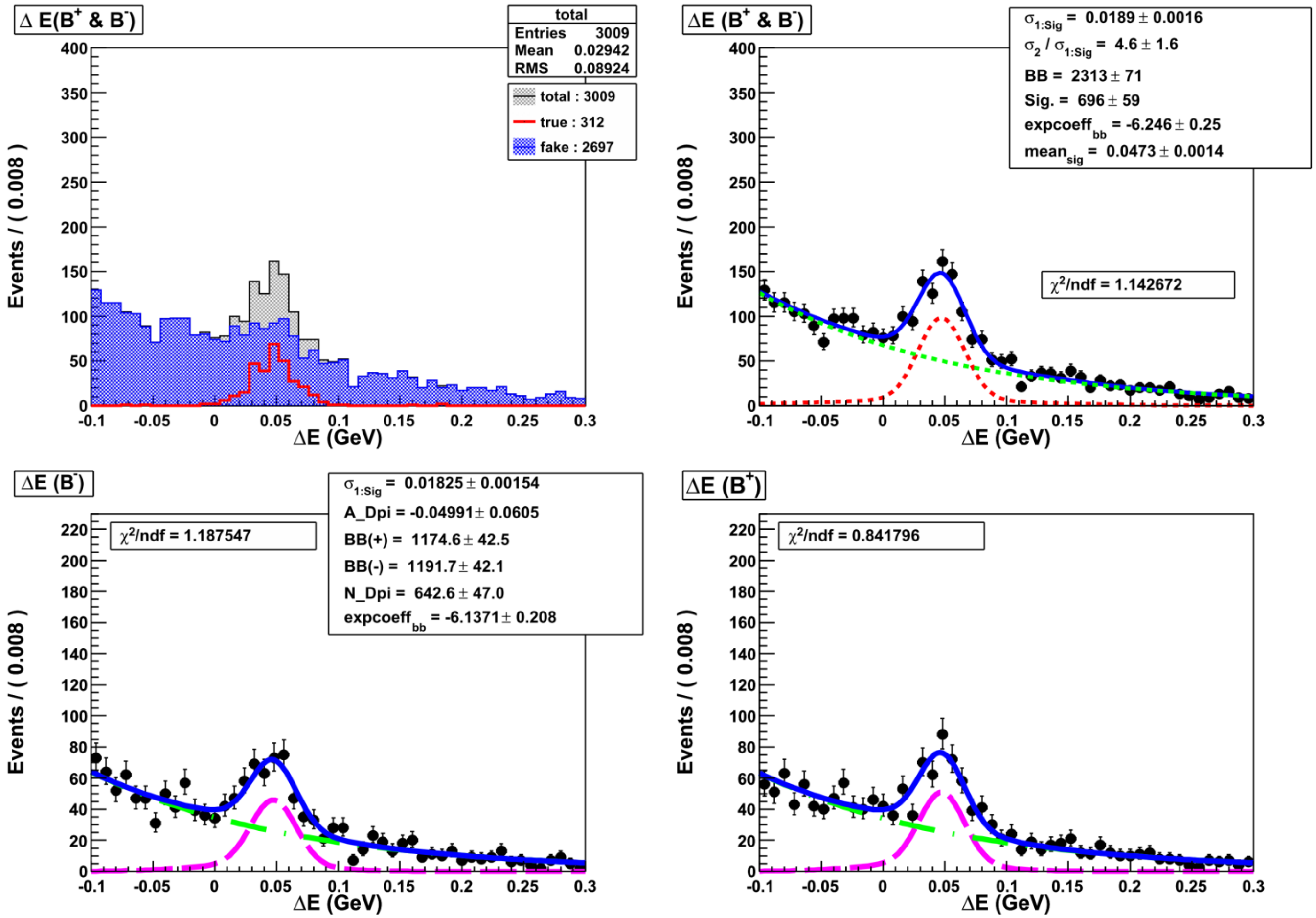
$B \rightarrow D\pi$, $K^* \rightarrow K\pi^0$ mode N_{opp} , A_{opp}



$$N_{opp} = 1348.2 \pm 56.1, \quad A_{opp} = -0.023 \pm 0.036$$

同時fit

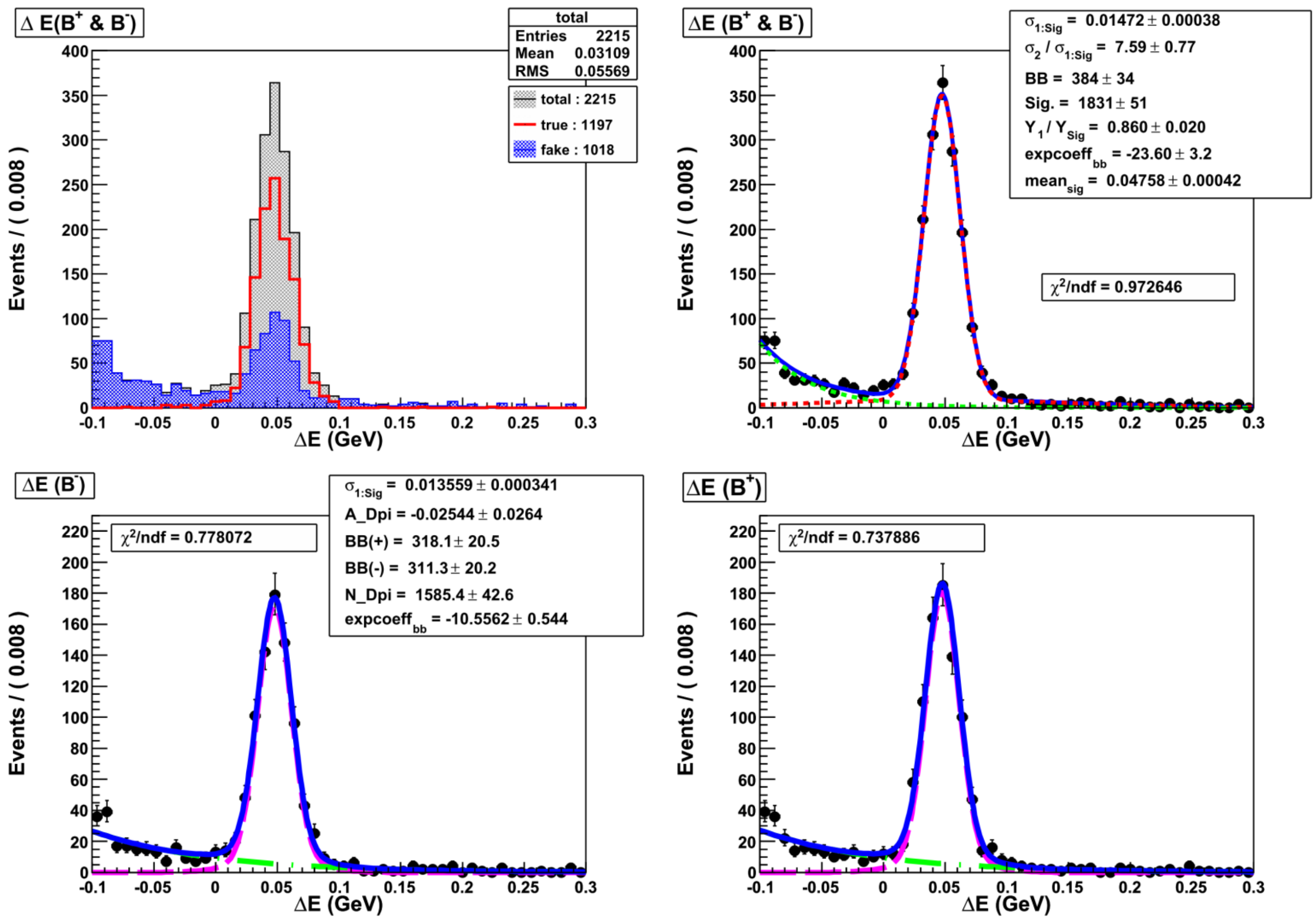
$B \rightarrow D\pi$, $K^* \rightarrow K\pi^0$ mode N_{same} , A_{same}



$$N_{same} = 642.6 \pm 47.0, \quad A_{same} = -0.050 \pm 0.060$$

同時fit

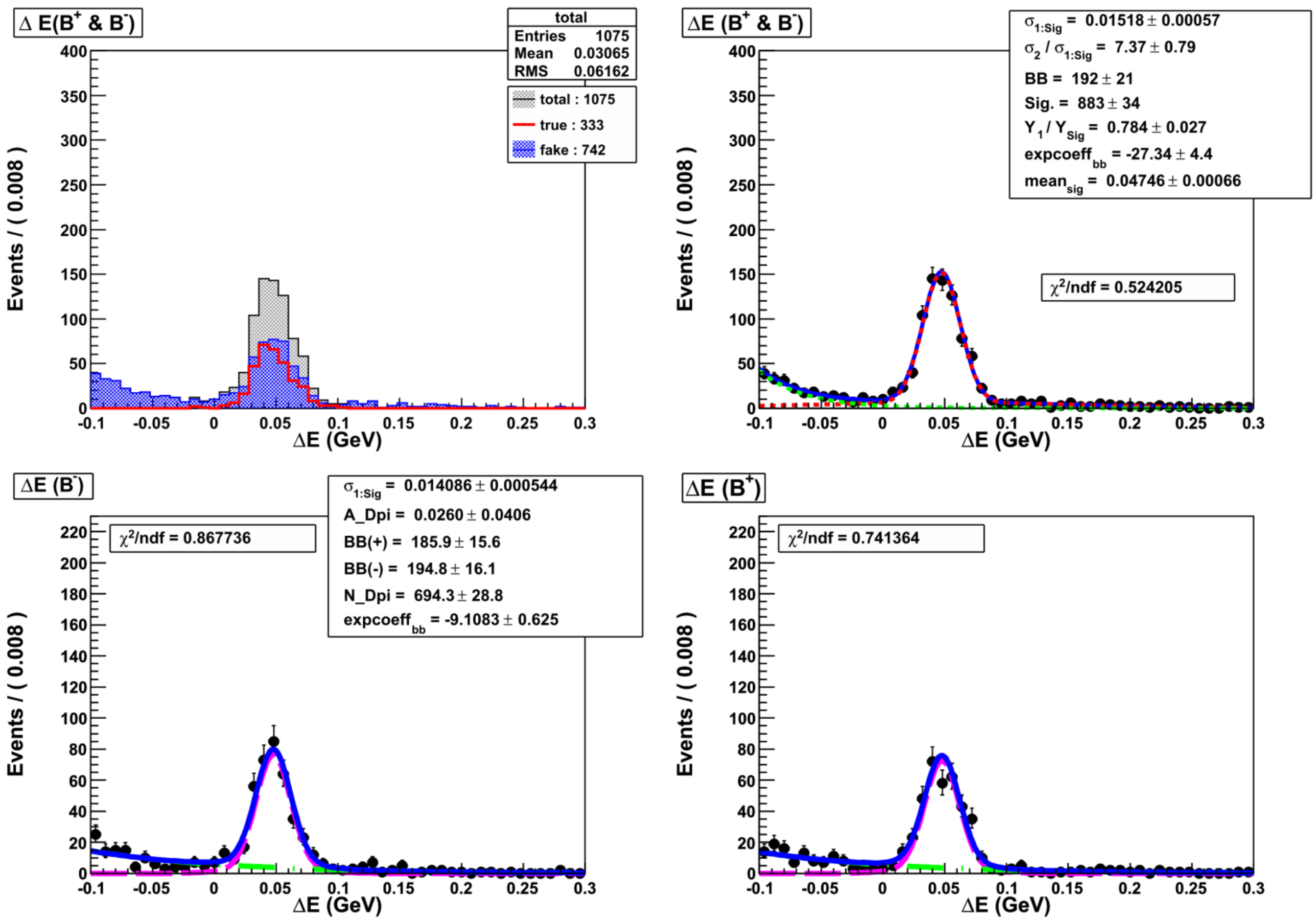
$B \to D\pi$, $K^* \to K_S\pi$ mode N_{opp} , A_{opp}



$N_{opp} = 1585.4 \pm 42.6$, $A_{opp} = -0.025 \pm 0.026$

同時fit

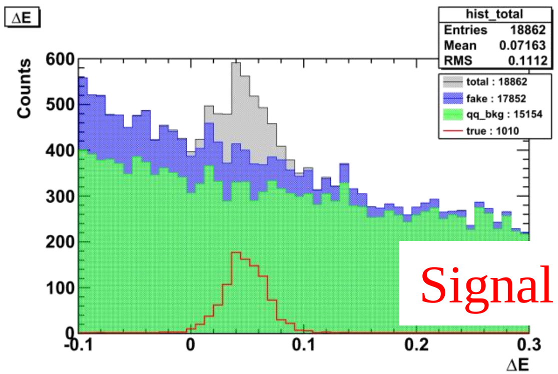
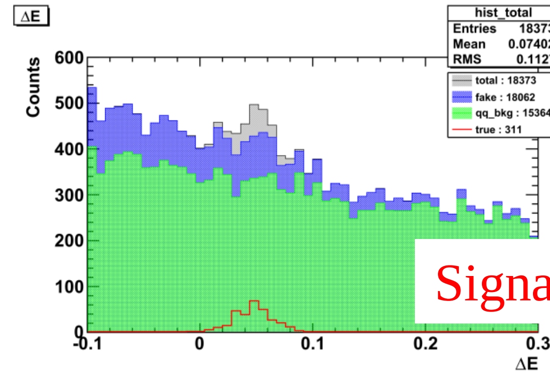
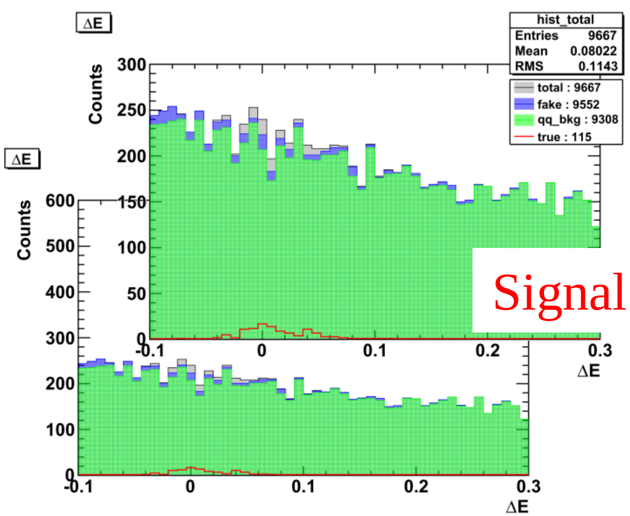
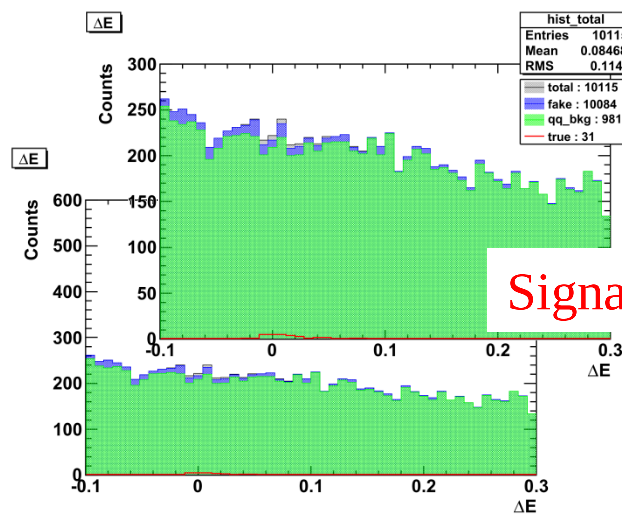
$B \to D\pi$, $K^* \to K_S\pi$ mode N_{same} , A_{same}



$$N_{same} = 694.3 \pm 28.8, \quad A_{same} = 0.026 \pm 0.041$$

$B\bar{B}$ + $q\bar{q}$ モンテカルロ

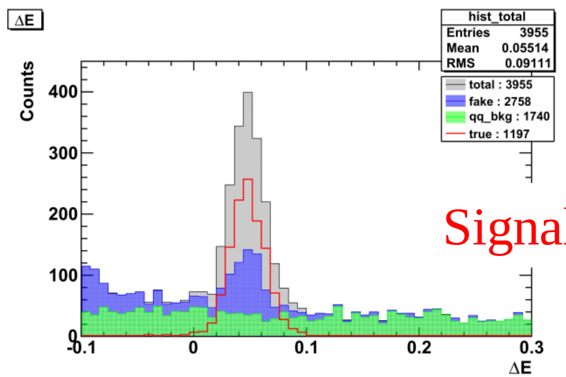
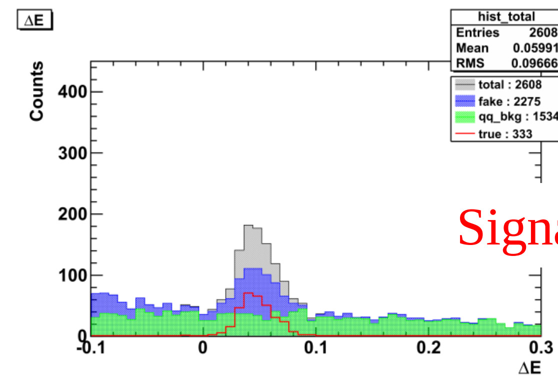
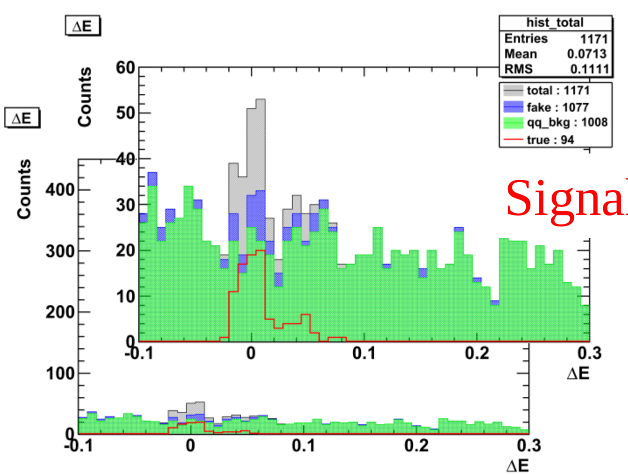
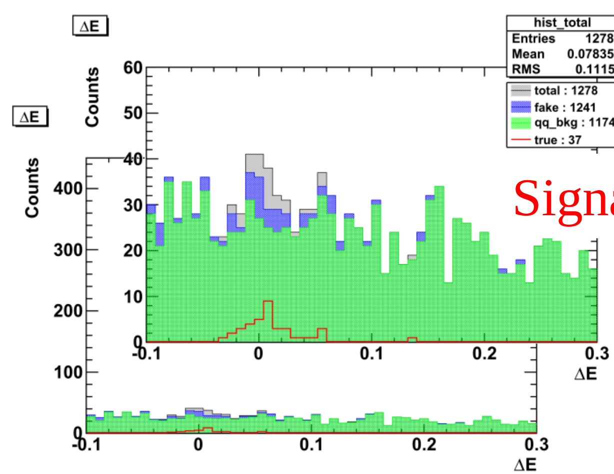
K*→Kπ^0, 実際のデータの2倍のサイズ　※$q\bar{q}$ suppressionはしていない

	Opposite mode	Same mode
B→Dπ	 Signal: 1010	 Signal: 311
B→DK	 Signal: 115	 Signal: 31

赤 : signal
青 : 全BG
緑 : qq BG

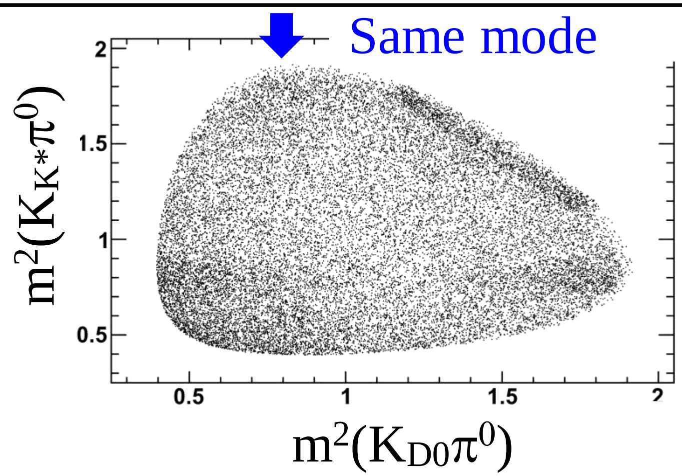
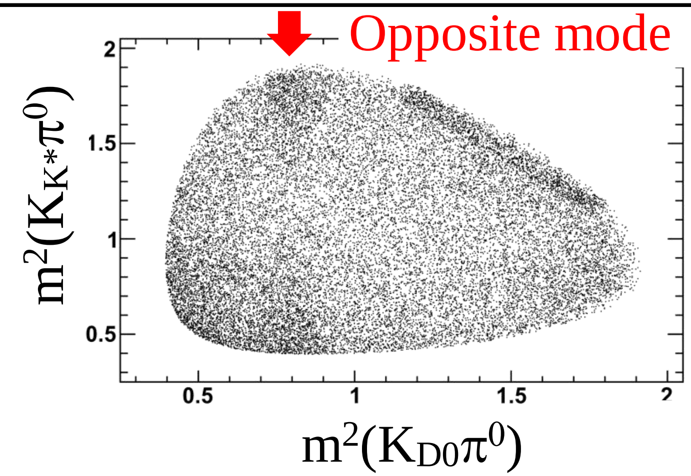
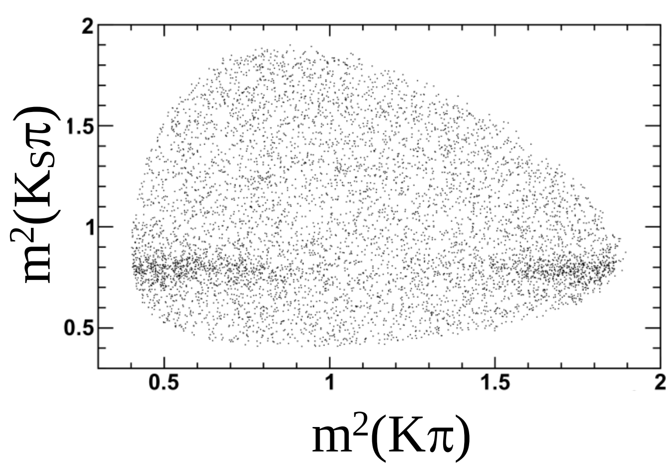
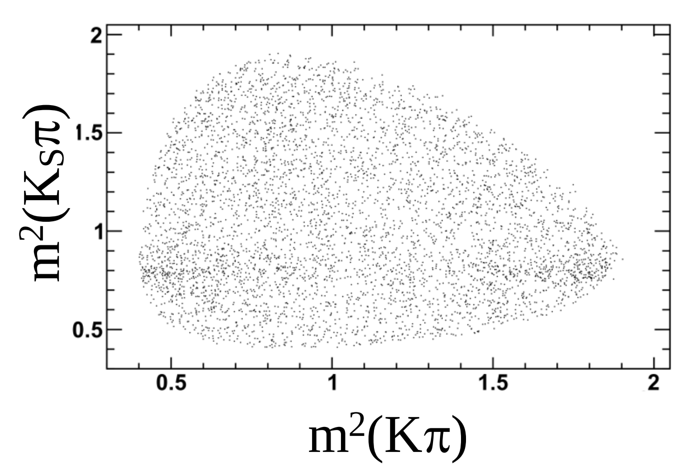
$B\bar{B}$ + $q\bar{q}$ モンテカルロ

K*→$K_S\pi$, 実際のデータの2倍のサイズ ※$q\bar{q}$ suppressionはしていない

	Opposite mode	Same mode
B→Dπ	 赤 : signal 青 : 全BG 緑 : qq BG Signal: 1197	 Signal: 333
B→DK	 Signal: 94	 Signal: 37

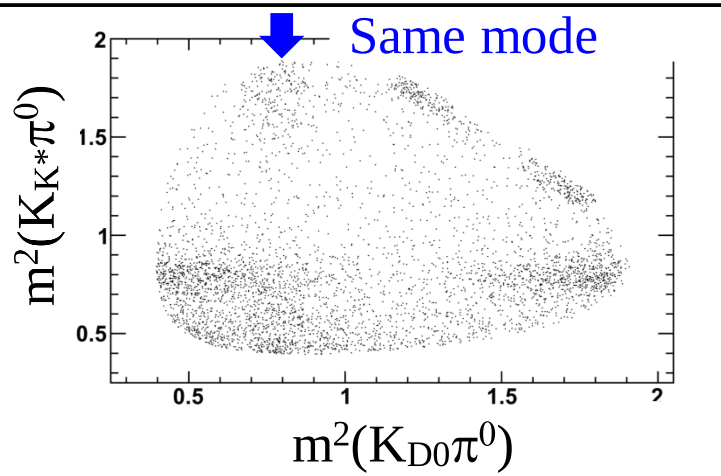
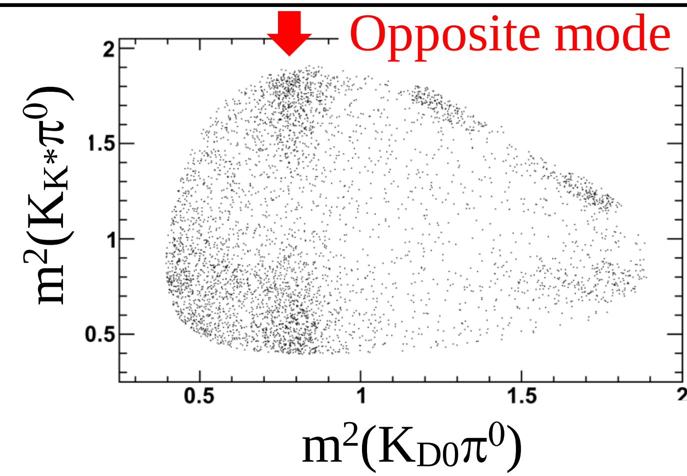
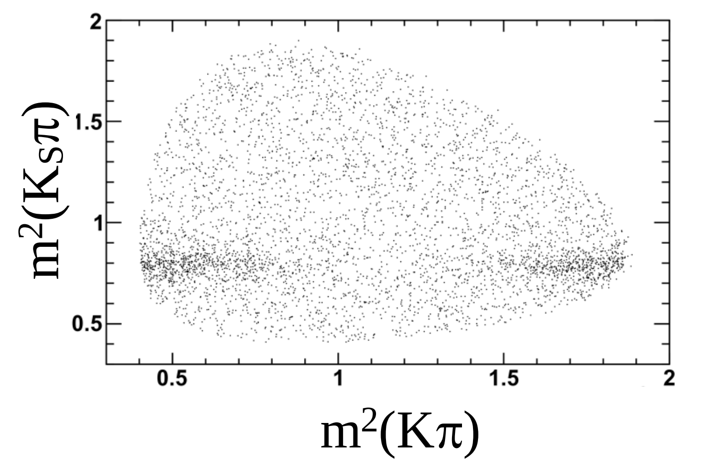
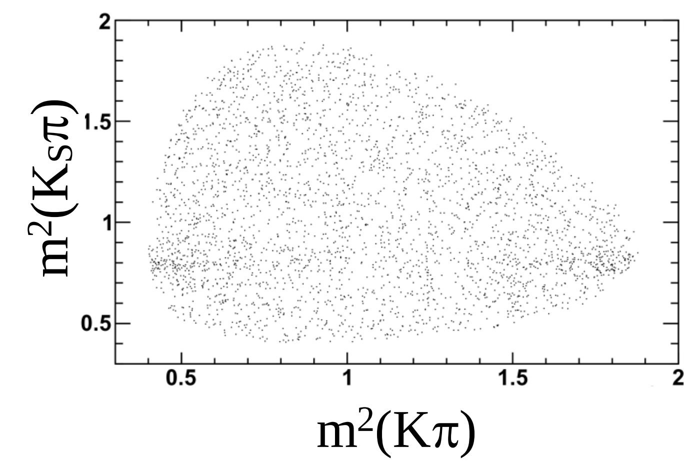
各モードのDalitz Plot ($B\bar{B}$+$q\bar{q}$)

B→Dπ, MC(BB+qq), 実際のデータの2倍のサイズ

<table>
<tr><th></th><th>Opposite mode</th><th>Same mode</th></tr>
<tr><td>$K^* \rightarrow K\pi^0$</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>$K^* \rightarrow K_S\pi$</td><td>
</td><td>
</td></tr>
</table>

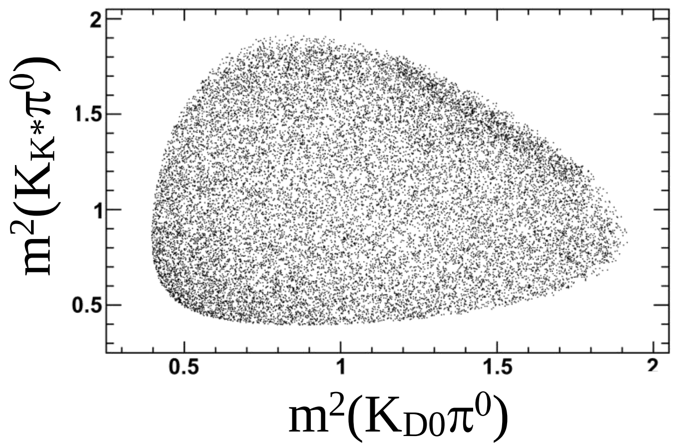
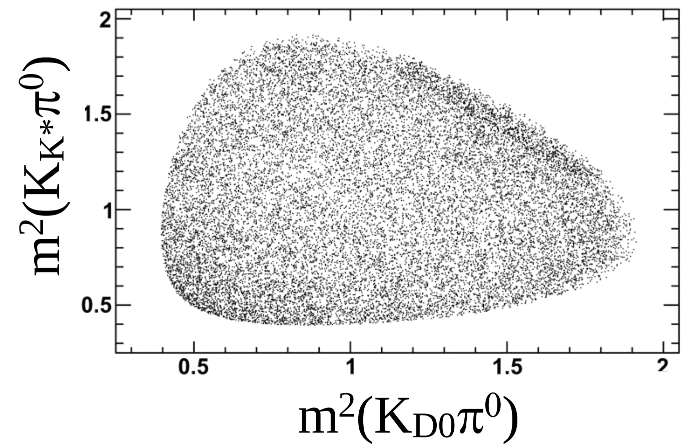
各モードのDalitz Plot (B$\bar{B}$)

B→Dπ, MC(BB), 実際のデータの2倍のサイズ

	Opposite mode	Same mode
$K^* \to K\pi^0$		
$K^* \to K_S\pi$		

各モードのDalitz Plot ($q\bar{q}$)

$B \rightarrow D\pi$, MC(qq), 実際のデータの2倍のサイズ

	Opposite mode	Same mode
$K^* \rightarrow K\pi^0$		
$K^* \rightarrow K_S\pi$