

$B \rightarrow DK, D \rightarrow K_s K \pi$ 崩壊によるCP非保存
角 ϕ_3 の測定に向けた $D^* \rightarrow D \pi, D \rightarrow K_s K \pi$
崩壊のDalitz plot解析

2011年 9月 16日

東北大学 鈴木 善明

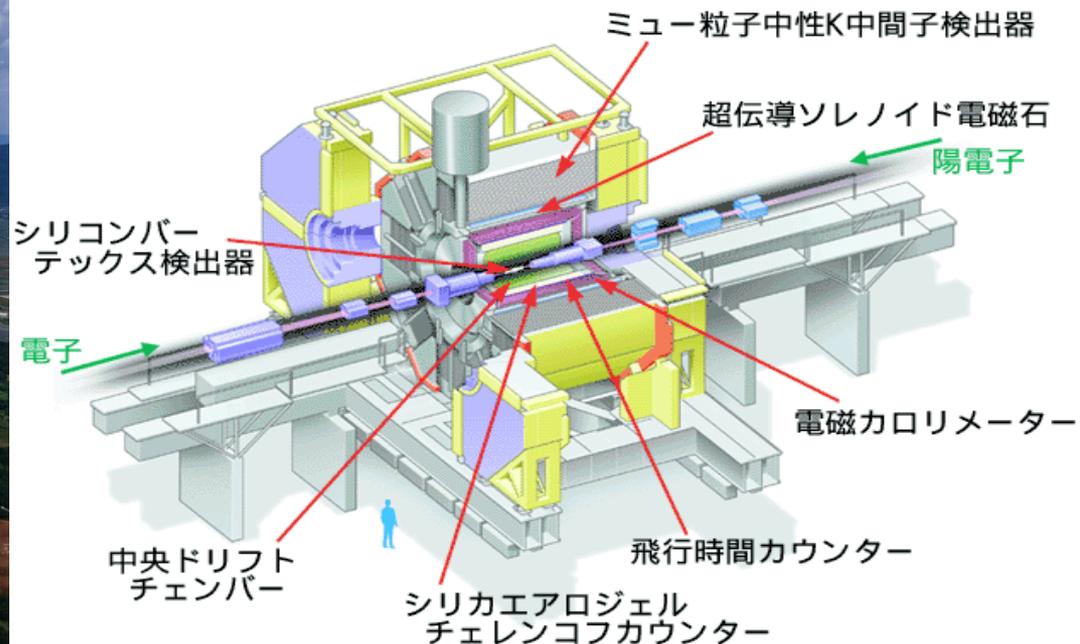
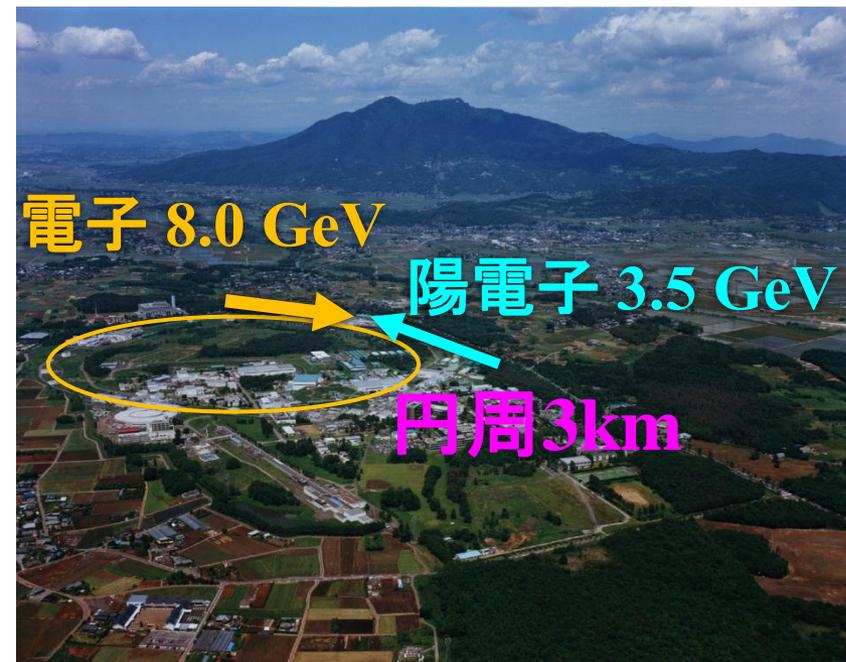
and Belle collaboration

日本物理学会@弘前大学

目次

- イン트로ダクション
 - Belle実験
 - ϕ_3 の測定
 - コントロールサンプル $B^- \rightarrow D\pi^-$, $D \rightarrow K_S K^{\mp} \pi^{\pm}$
- $D^{*\pm} \rightarrow D\pi^{\pm}$, $D \rightarrow K_S K^{\mp} \pi^{\pm}$ 崩壊の研究
 - D の選定
 - Dalitz plot のフィットの手法
 - 結果
- まとめ

Belle実験



- 積分ルミノシティ: 10^{14} fb^{-1} (Y(4S): 711 fb^{-1})
- SuperKEKB, BelleIIへのアップグレードのため2010年6月に運転終了。

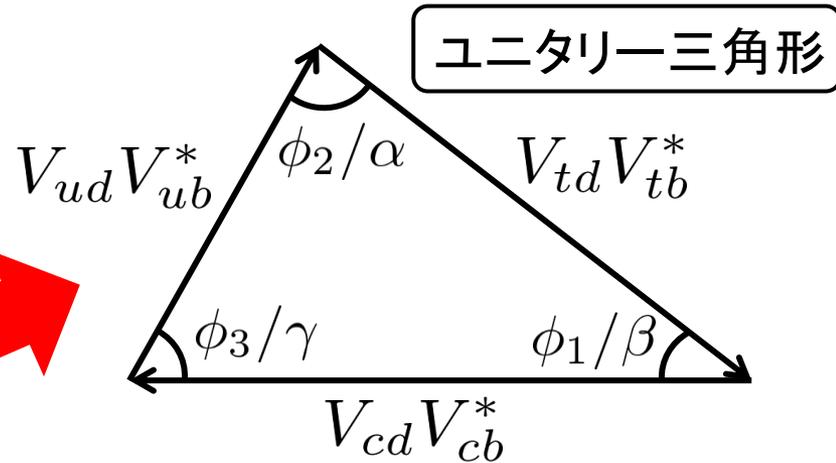
CP非保存角 ϕ_3

CKM行列

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

ユニタリ条件

$$V_{ud}V_{ub}^* + V_{cd}V_{cb}^* + V_{td}V_{tb}^* = 0$$



ϕ_1, ϕ_2 は精度よく測定されており、 ϕ_3 の値が新物理の有無(三角形が閉じるか否か)を決める。

$$\phi_1 = 21.15^\circ \begin{matrix} +0.90^\circ \\ -0.88^\circ \end{matrix}$$

$$\phi_2 = 89.0^\circ \begin{matrix} +4.4^\circ \\ -4.2^\circ \end{matrix}$$

$$\phi_3 = 68^\circ \begin{matrix} +13^\circ \\ -14^\circ \end{matrix}$$

ϕ_1, ϕ_2 : CKMfitter, ICHEP2010

ϕ_3 : CKMfitter, EPS2011

ϕ_3 の測定精度の向上が課題

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

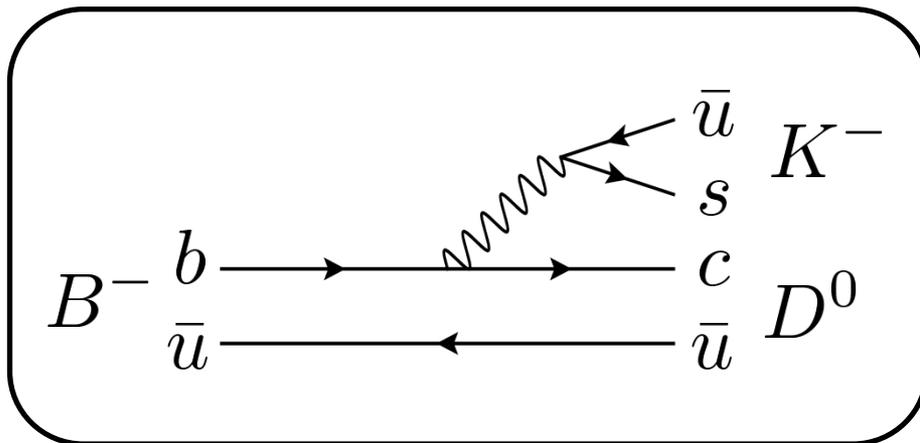
$$\sim -\arg(V_{ub})$$

$b \rightarrow u$ 遷移を含む崩壊

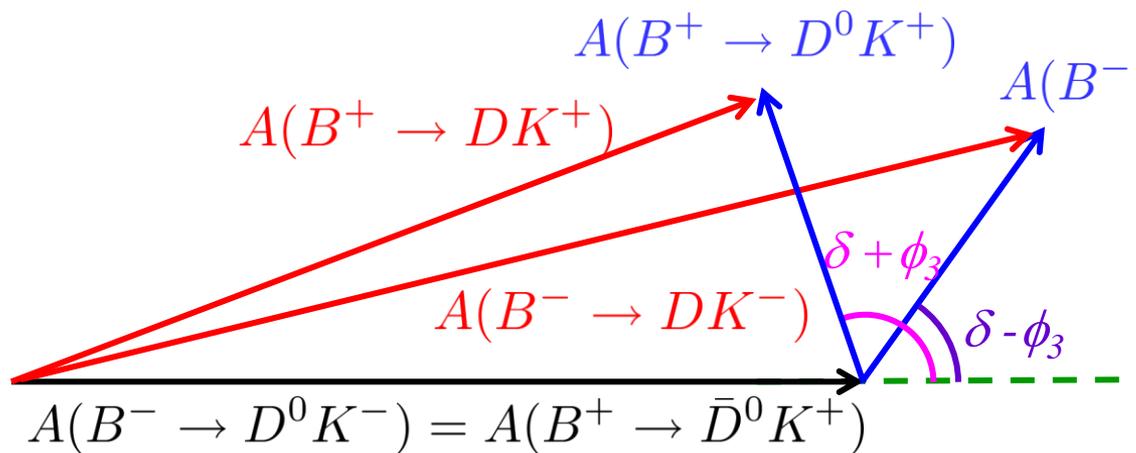
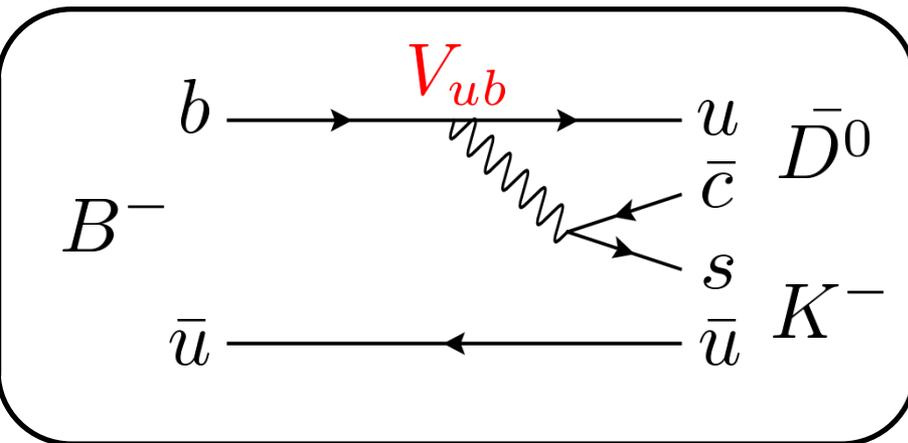
($B \rightarrow DK$)で ϕ_3 の測定が可能。

$B \rightarrow DK$ 崩壊

$$B^- \rightarrow D^0 K^-$$



$$B^- \rightarrow \bar{D}^0 K^-$$



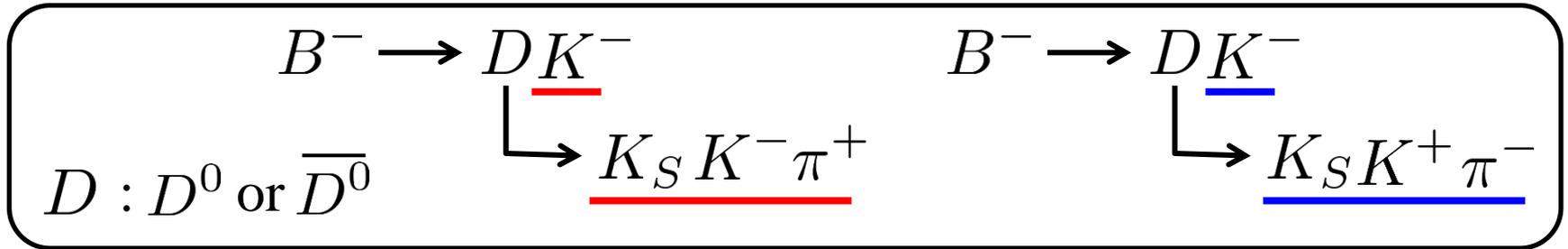
$D : D^0 \text{ or } \bar{D}^0$
 D^0 と \bar{D}^0 は同じ終状態に崩壊しうる。

δ : 強い相互作用に起因する位相差

B^- と B^+ の崩壊分岐比を測定することで δ, ϕ_3 が求まる。

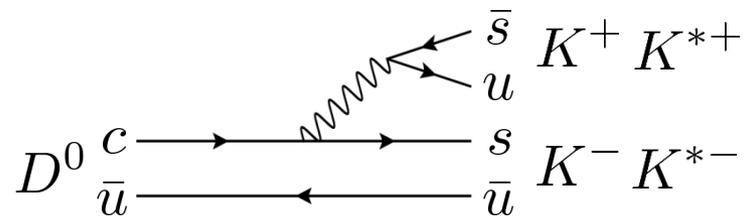
\overline{D}^0 の崩壊

本解析では、 $D \rightarrow K_S K \pi$ 崩壊を用いる。



- 現在の ϕ_3 の最高精度の測定は $D \rightarrow K_S \pi \pi$ の Dalitz plot 解析。
- 様々な中間共鳴状態を含み、様々な強い相互作用の状態が寄与するため ϕ_3 に強い制限をかけることが可能。

特に最大の共鳴である $D \rightarrow K^{*+} K^-$ と $D \rightarrow K^{*-} K^+$ は同じ過程で崩壊し、同じパラメータが寄与するので、多くのパラメータを決定することが出来る。

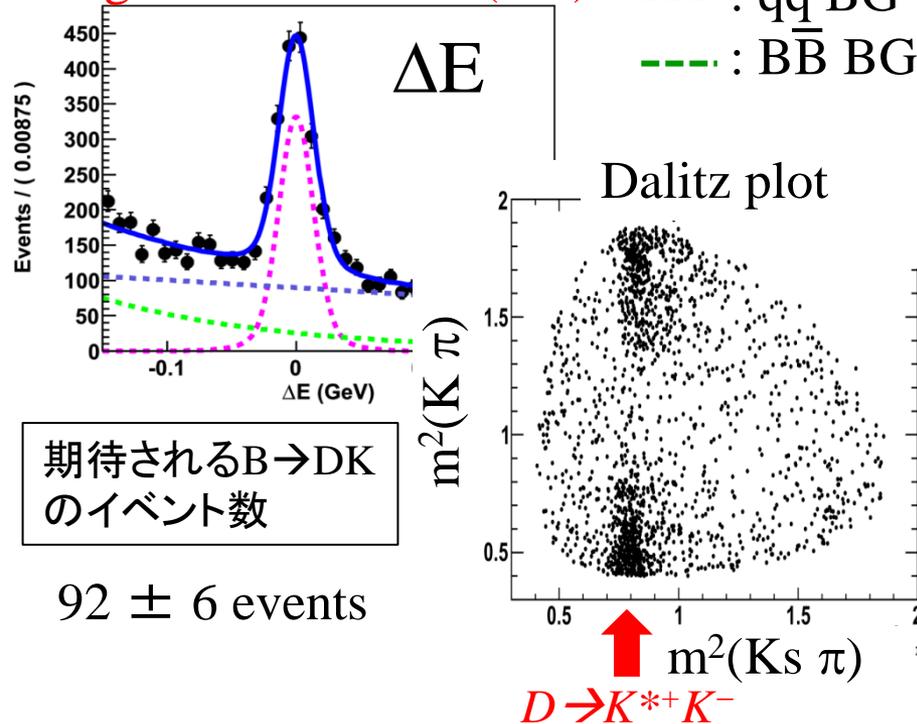


Control sample : $B \rightarrow D\pi, D \rightarrow K_s K\pi$

$B^- \rightarrow D\pi^-, D \rightarrow K_s K^- \pi^+$

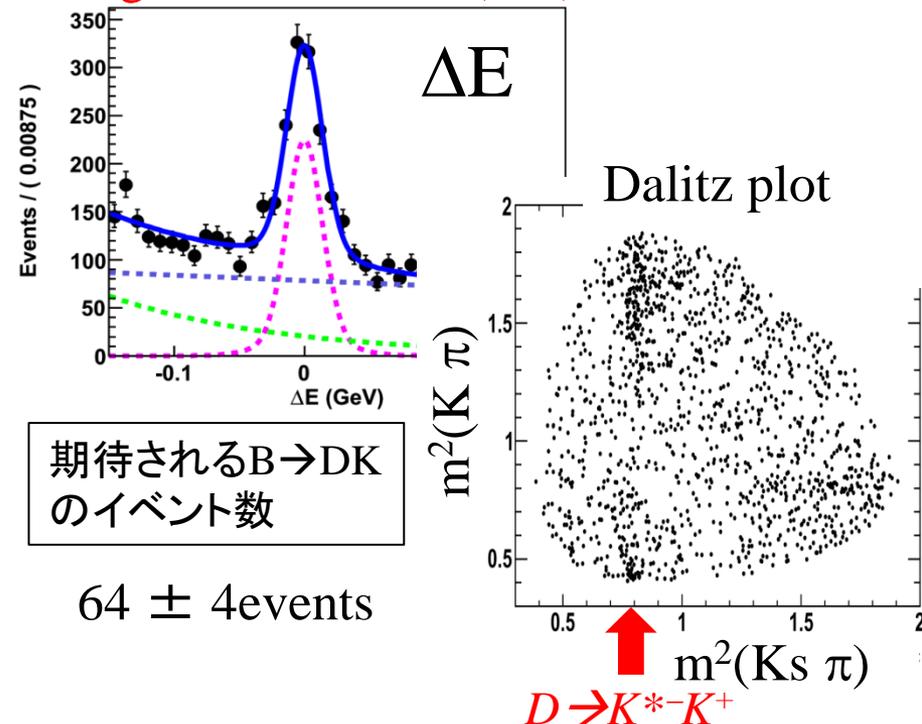
— : total pdf
 - - - : signal
 - - - : $q\bar{q}$ BG
 - - - : $B\bar{B}$ BG

Signal : $1359 \pm 44(\text{stat})$

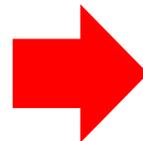


$B^- \rightarrow D\pi^-, D \rightarrow K_s K^+ \pi^-$

Signal : $946 \pm 38(\text{stat})$



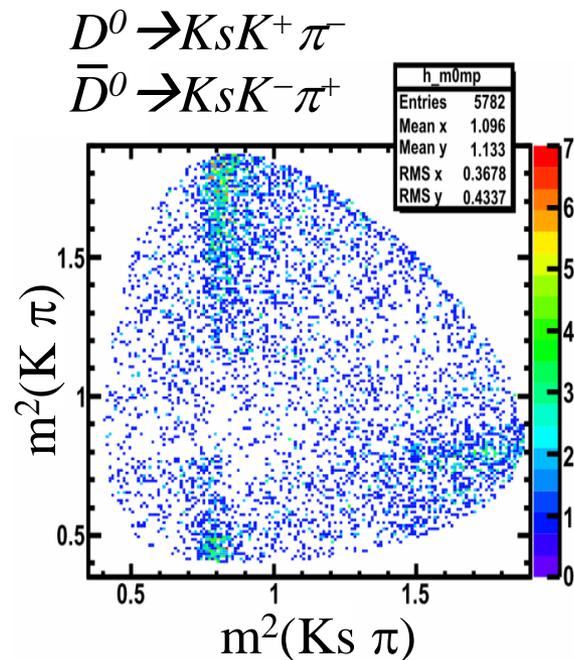
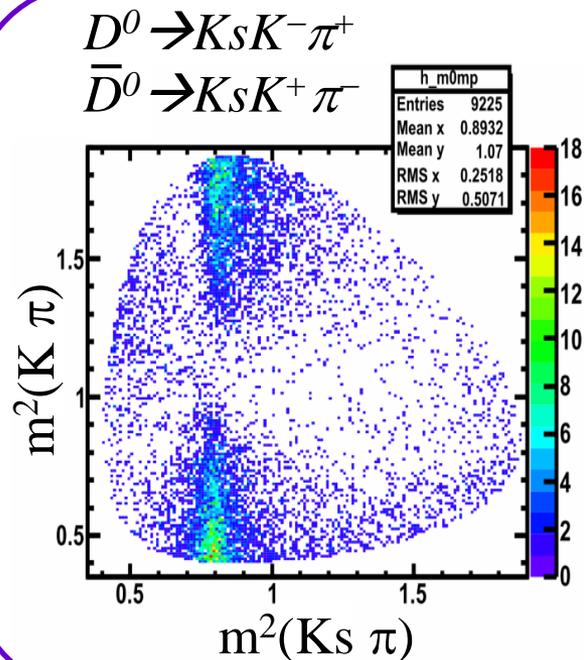
Dalitz plot 上の複雑な構造が見て取れる



Dalitz plot のフィットによって各共鳴の情報を得ることができる

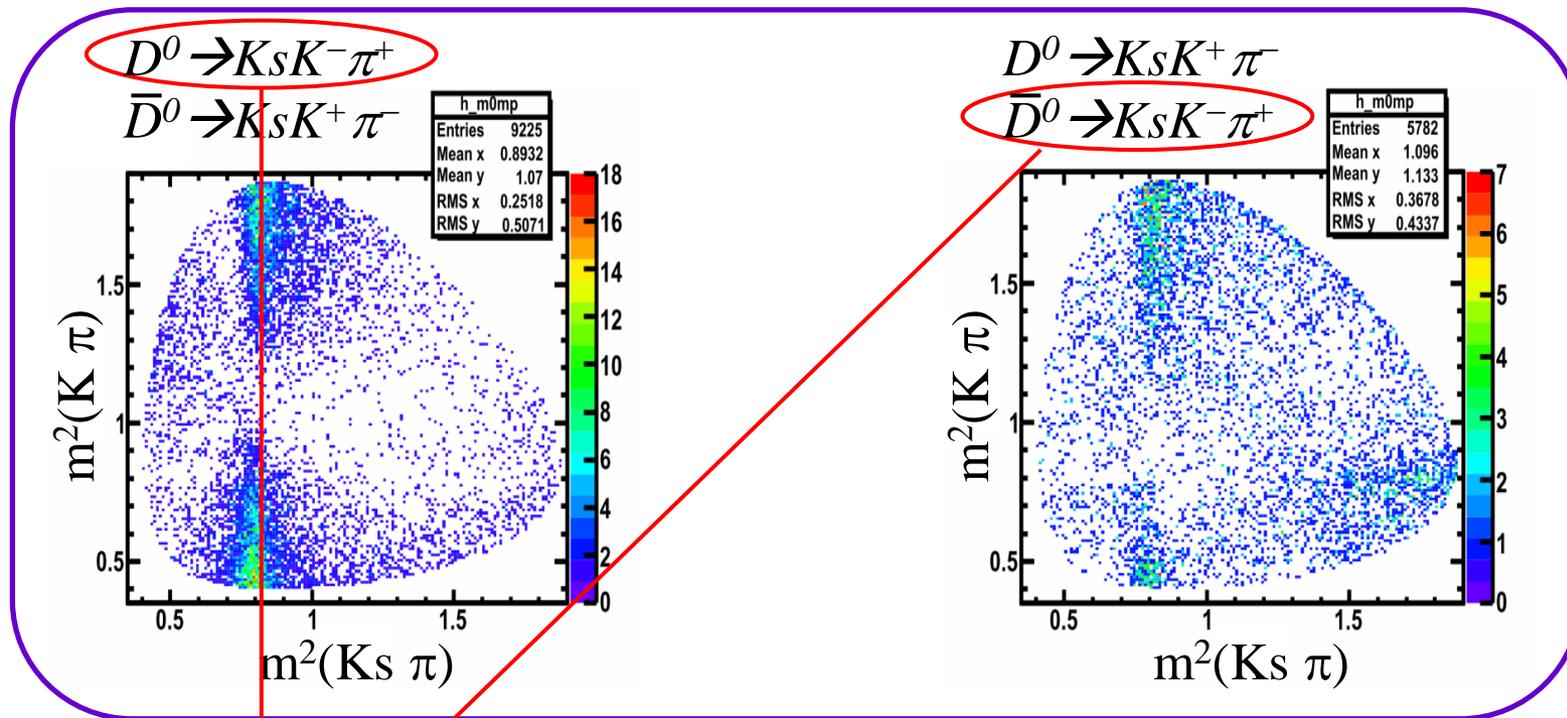
Tagged D の Dalitz Plot

フィットに用いる $D \rightarrow K_s K \pi$ の Dalitz plot の分布のモデルは tagged D (from $D^{*+} \rightarrow D^0 \pi^+$, $D^{*-} \rightarrow \bar{D}^0 \pi^-$) を用いて作成する。



Tagged D の Dalitz Plot

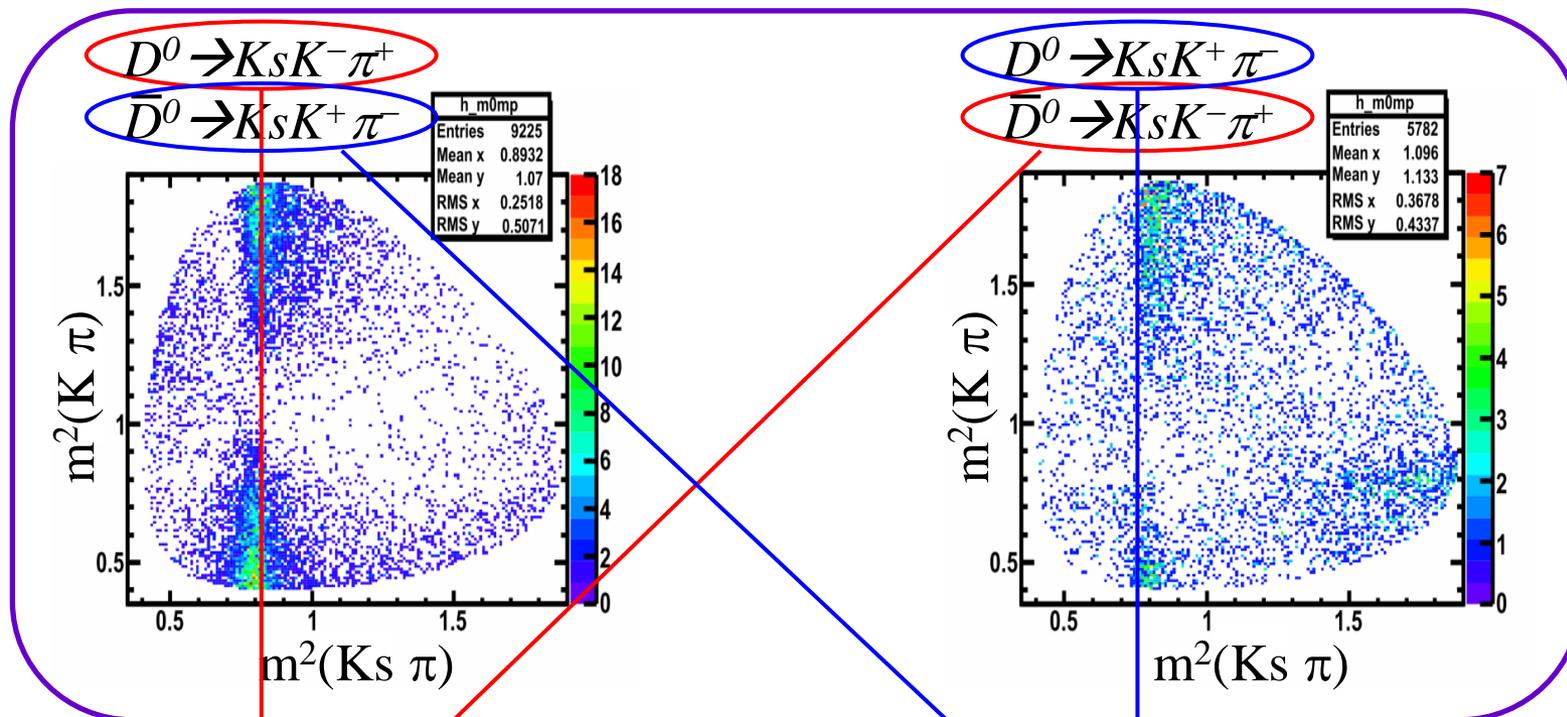
フィットに用いる $D \rightarrow K_s K \pi$ の Dalitz plot の分布のモデルは tagged D (from $D^{*+} \rightarrow D^0 \pi^+$, $D^{*-} \rightarrow \bar{D}^0 \pi^-$) を用いて作成する。



$B^- \rightarrow D \pi^-, D \rightarrow K_s K^- \pi^+$

Tagged D の Dalitz Plot

フィットに用いる $D \rightarrow K_s K \pi$ の Dalitz plot の分布のモデルは tagged D (from $D^{*+} \rightarrow D^0 \pi^+$, $D^{*-} \rightarrow \bar{D}^0 \pi^-$) を用いて作成する。



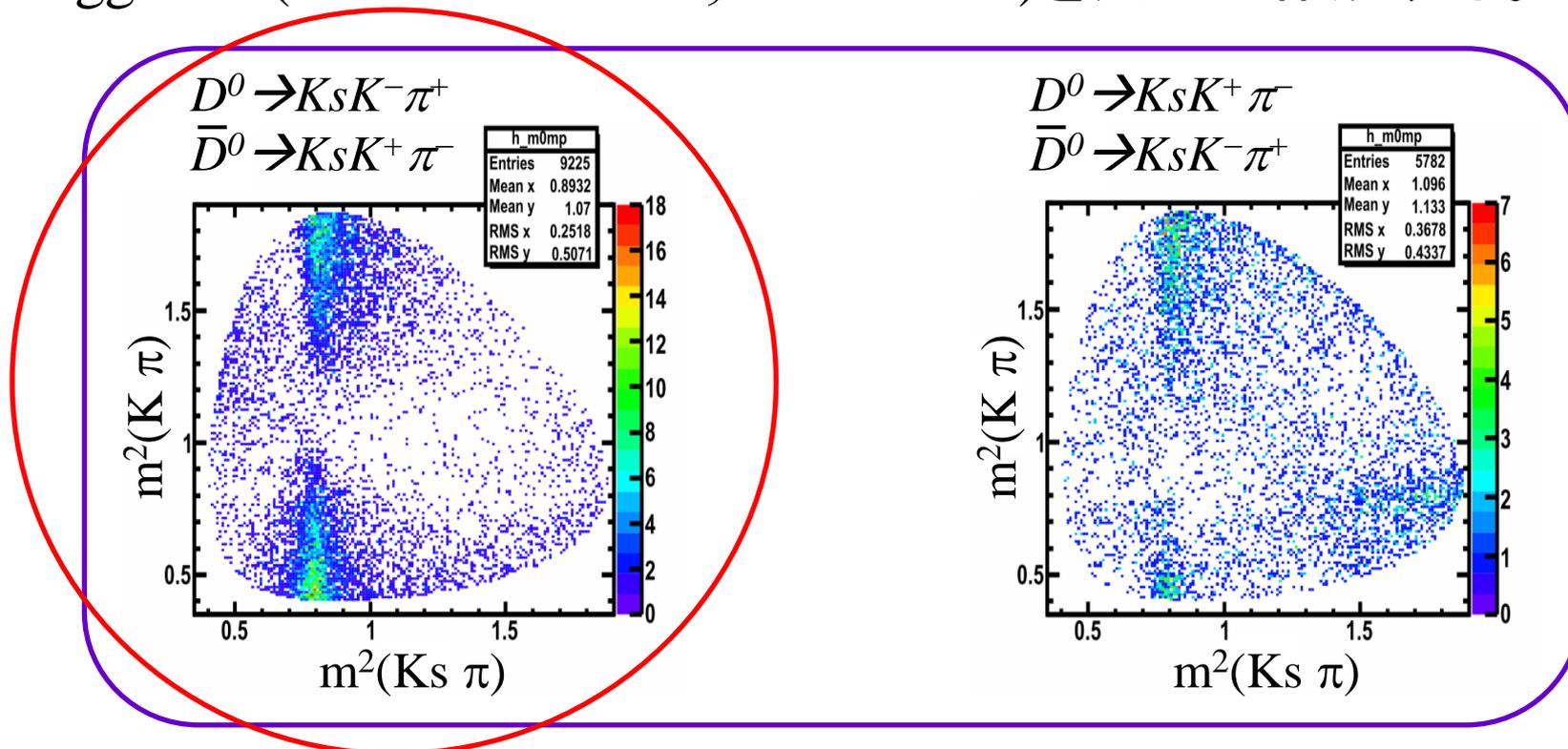
$B^- \rightarrow DK^-, D \rightarrow K_s K^- \pi^+$

$B^- \rightarrow DK^-, D \rightarrow K_s K^+ \pi^-$

この2つの平面上の分布のモデルを重ね合わせてそれぞれの $B \rightarrow DK, D \rightarrow K_s K \pi$ の平面をフィットすることになる。

Tagged D の Dalitz Plot

フィットに用いる $D \rightarrow K_s K \pi$ の Dalitz plot の分布のモデルは tagged D (from $D^{*+} \rightarrow D^0 \pi^+$, $D^{*-} \rightarrow \bar{D}^0 \pi^-$) を用いて作成する。

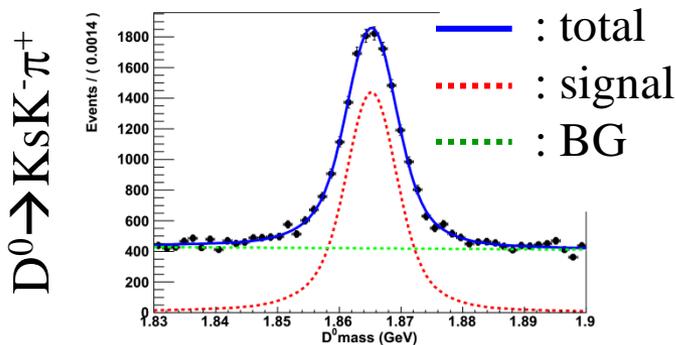


今回はこちらの Dalitz plot のフィット結果を示す。

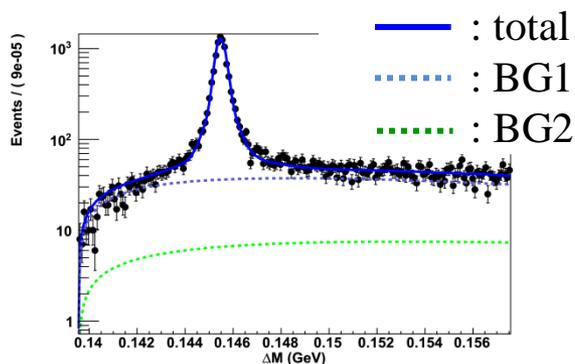
Tagged D の選定

- $Y(4S)$ のデータ 141 fb^{-1} を使用。
- $p^*(D^*) > 2.5 \text{ GeV}/c$
- $|K_s \text{ mass (PDG)} - K_s \text{ mass}| < 0.0125$ ($\sim 4\sigma$)
- $\text{PID}(\pi) < 0.4, \text{PID}(K) > 0.6$
- D^0 mass と ΔM は 2σ でカット。

D^0 mass



ΔM (D^* mass - D^0 mass)

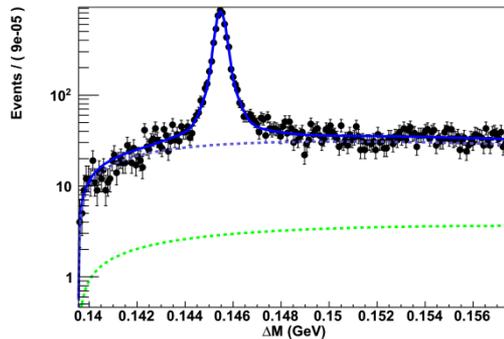
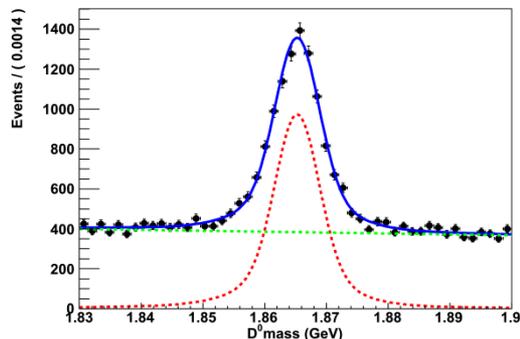


of events / 141 fb^{-1}
 with D^0 mass & ΔM 2σ
 cut.

$\sim 9,300$ events

Purity : 93.1%

$D^0 \rightarrow K_s K^+ \pi^-$

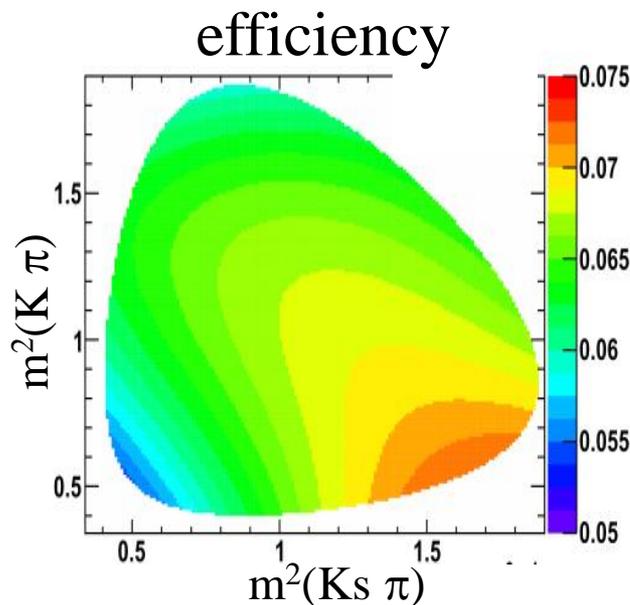


$\sim 5,800$ events

Purity : 92.1%

フィットの手法

- unbinned likelihood fit を利用。
- バックグラウンドは D の purity からフラクションを固定。
- バックグラウンドの形状は D mass のサイドバンドから決定。
- Dalitz plot 上の検出効率を考慮。



フィットに
用いる共鳴

$$\bar{K}_0^*(1430)^0 K_S$$

$$\bar{K}^*(892)^0 K_S$$

$$\bar{K}_1^*(1680)^0 K_S$$

$$\bar{K}_2^*(1430)^0 K_S$$

$$K_0^*(1430)^+ K^-$$

$$K^*(892)^+ K^-$$

$$K_1^*(1680)^+ K^-$$

$$K_2^*(1430)^+ K^-$$

$$a_0(980)^- \pi^+$$

$$a_0(1450)^- \pi^+$$

$$a_2(1320)^- \pi^+$$

共鳴の分布関数

Spin 0

$$A_0 = F_D F_r \frac{1}{M_r^2 - M_{AB}^2 - iM_r \Gamma_{AB}}$$

Spin 1

$$A_1 = F_D F_r \frac{M_{BC}^2 - M_{AC}^2 + \frac{(M_D^2 - M_C^2)(M_A^2 - M_B^2)}{M_{AB}^2}}{M_r^2 - M_{AB}^2 - iM_r \Gamma_{AB}}$$

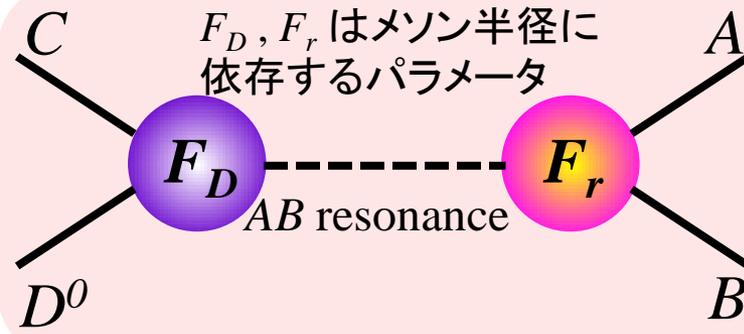
Spin 2

$$A_2 = \frac{F_D F_r}{M_r^2 - M_{AB}^2 - iM_r \Gamma_{AB}} \left[\left(M_{BC}^2 - M_{AC}^2 + \frac{(M_D^2 - M_C^2)(M_A^2 - M_B^2)}{M_{AB}^2} \right)^2 - \frac{1}{3} \left(M_{AB}^2 - 2M_D^2 - 2M_C^2 + \frac{(M_D^2 - M_C^2)^2}{M_{AB}^2} \right) \left(M_{AB}^2 - 2M_A^2 - 2M_B^2 + \frac{(M_A^2 - M_B^2)^2}{M_{AB}^2} \right) \right]$$

$a_0(980)^\pm$

$$A_{a_0(980)} = \frac{g_{K\bar{K}}}{M_r^2 - M_{AB}^2 - i(\rho_{\eta\pi} g_{\eta\pi}^2 + \rho_{K\bar{K}} g_{K\bar{K}}^2)}$$

F_D, F_r はメソン半径に
依存するパラメータ



S. Kopp et al. (CLEO Collaboration),
Phys. Rev. D 63, 092001 (2001)

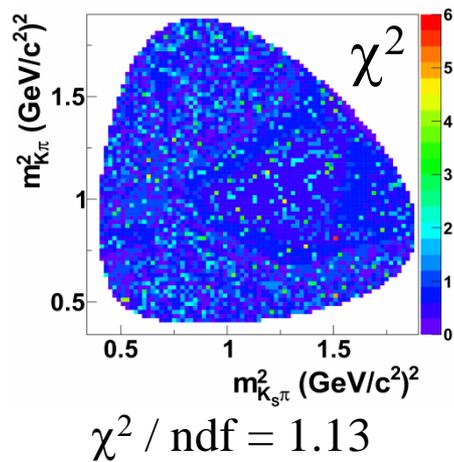
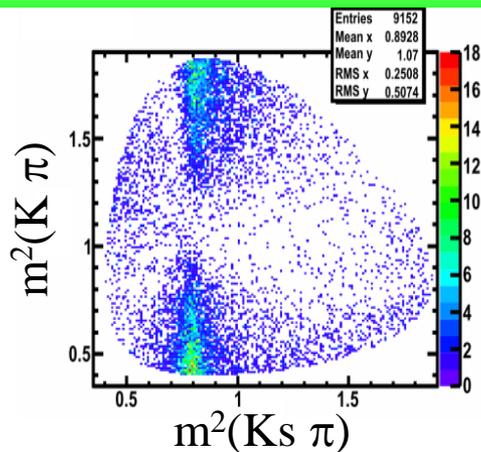
赤字のパラメータをフリーにして
以下の PDF でフィットする。

$$PDF = f_{sig} N_{norm} \left| \sum_j a_j e^{i\varphi_j} A_j \right|^2 + (1 - f_{sig}) PDF_{bkg}$$

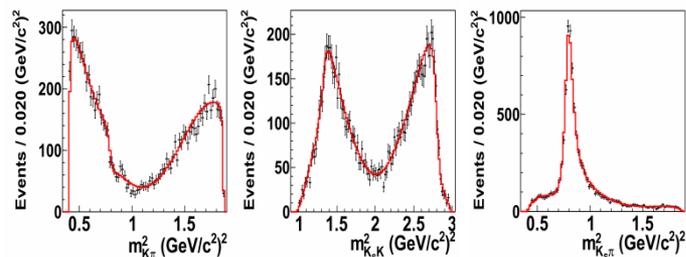
フラクションの定義

$$f_i = \frac{\int |a_i e^{i\varphi_i} A_i|^2 dm_x^2 dm_y^2}{\int |\sum_j a_j e^{i\varphi_j} A_j|^2 dm_x^2 dm_y^2}$$

フィット結果



Mode	Fraction	Amplitude	Phase [rad]
$\bar{K}_0^*(1430)^0 K_S$	0.371	4.371 ± 0.740	0.097 ± 0.145
$\bar{K}^*(892)^0 K_S$	0.014	0.154 ± 0.018	-1.778 ± 0.103
$\bar{K}_1^*(1680)^0 K_S$	0.131	5.935 ± 0.735	2.571 ± 0.139
$\bar{K}_2^*(1430)^0 K_S$	0.007	1.235 ± 0.663	-1.943 ± 0.286
$K_0^*(1430)^+ K^-$	0.139	2.650 ± 0.675	-2.781 ± 0.256
$K^*(892)^+ K^-$	0.553	1	0
$K_1^*(1680)^+ K^-$	0.204	7.405 ± 0.697	2.237 ± 0.117
$K_2^*(1430)^+ K^-$	0.014	1.709 ± 0.440	0.165 ± 0.237
$a_0(980)^- \pi^+$	0.019	1.075 ± 0.283	0.919 ± 0.217
$g_{K\bar{K}}$		0.481 ± 0.126	
$a_0(1450)^- \pi^+$	0.019	0.634 ± 0.109	-0.805 ± 0.207
$a_2(1320)^- \pi^+$	0.000005	0.015 ± 0.109	1.421 ± 4.695
Sum	1.496		



Black dots : data , Red line : fitted function

まとめ

$B \rightarrow DK$, $D \rightarrow K_S K \pi$ 崩壊を用いた ϕ_3 の測定を目指した解析を行っている。

- $D \rightarrow K_S K \pi$ の Dalitz plot 解析の有用な結果は未だない。
- フレーバーが分かる $D^{*+} \rightarrow D^0 \pi^+$ 由来の D を用いて $D^0 \rightarrow K_S K^- \pi^+$ の Dalitz plot をフィットし、情報を得た。
- $D \rightarrow K_S K \pi$ の Dalitz plot のフィット手法を確立し、 $D \rightarrow K_S K \pi$ を用いた ϕ_3 測定の可能性を示した。

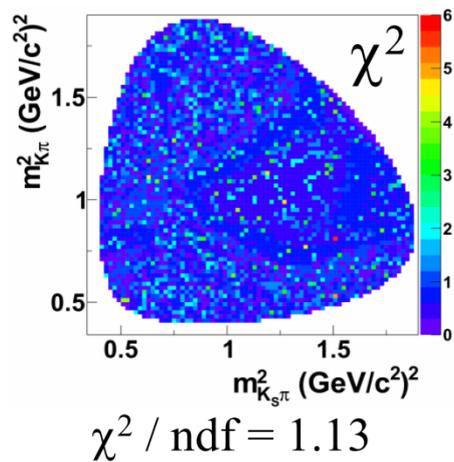
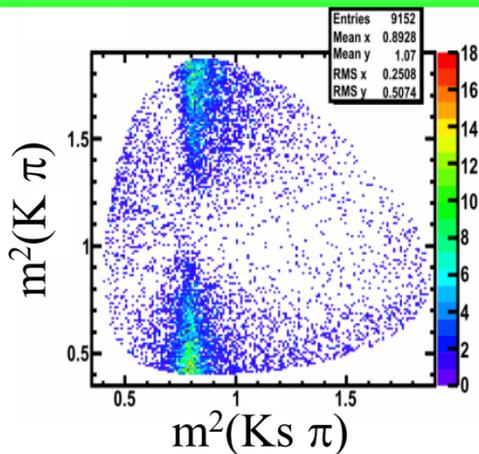
プラン

- $D^0 \rightarrow K_S K^+ \pi^-$ の Dalitz plot のフィットをする。
- Belle の全データを用いた解析を行う。
- 作成した D^0 の Dalitz plot のモデルを利用して $B \rightarrow DK$, $D \rightarrow K_S K \pi$ をフィットし、 ϕ_3 の情報を得る。

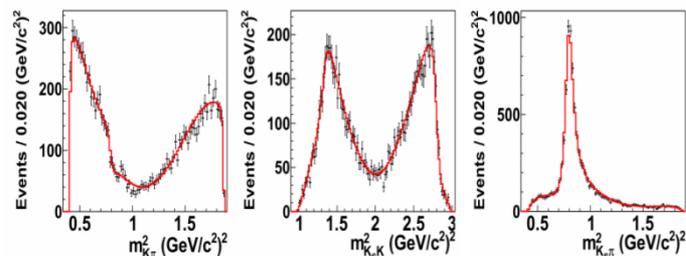
Back up

フィット結果

$a_2(1320)^-$ is added.



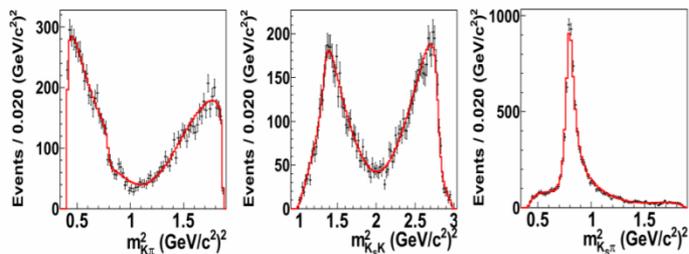
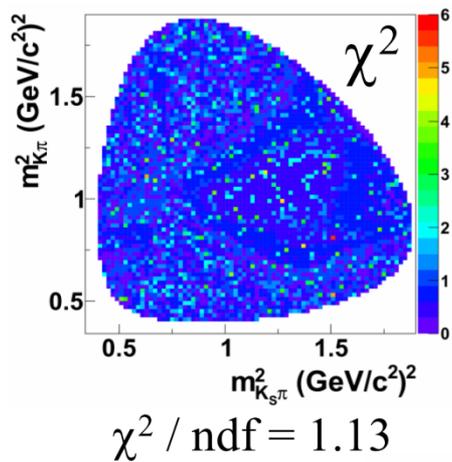
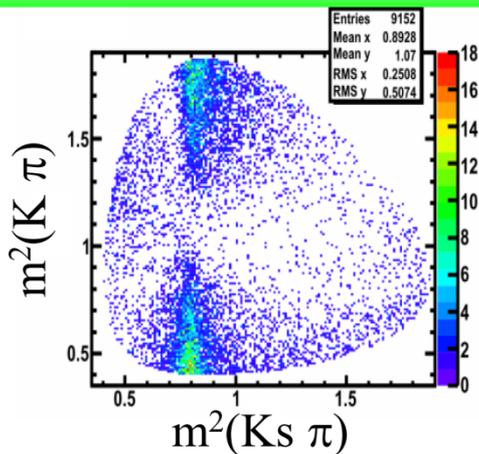
Mode	Fraction	Amplitude	Phase [rad]
$\bar{K}_0^*(1430)^0 K_S$	0.371	4.371 ± 0.740	0.097 ± 0.145
$\bar{K}^*(892)^0 K_S$	0.014	0.154 ± 0.018	-1.778 ± 0.103
$\bar{K}_1^*(1680)^0 K_S$	0.131	5.935 ± 0.735	2.571 ± 0.139
$\bar{K}_2^*(1430)^0 K_S$	0.007	1.235 ± 0.663	-1.943 ± 0.286
$K_0^*(1430)^+ K^-$	0.139	2.650 ± 0.675	-2.781 ± 0.256
$K^*(892)^+ K^-$	0.553	1	0
$K_1^*(1680)^+ K^-$	0.204	7.405 ± 0.697	2.237 ± 0.117
$K_2^*(1430)^+ K^-$	0.014	1.709 ± 0.440	0.165 ± 0.237
$a_0(980)^- \pi^+$	0.019	1.075 ± 0.283	0.919 ± 0.217
$g_{K\bar{K}}$		0.481 ± 0.126	
$a_0(1450)^- \pi^+$	0.019	0.634 ± 0.109	-0.805 ± 0.207
$a_2(1320)^- \pi^+$	0.000005	0.015 ± 0.109	1.421 ± 4.695
Sum	1.496		



Black dots : data , Red line : fitted function

フィット結果

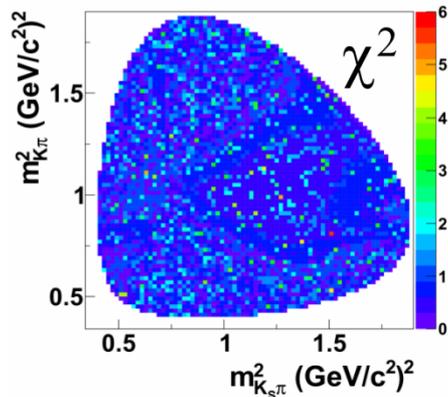
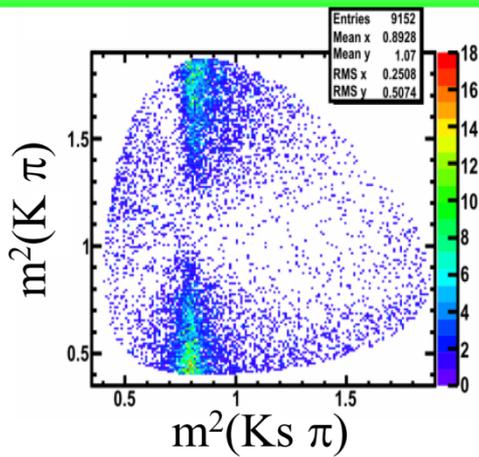
$a_2(1320)^-$ is added.
Used BG profile from MC



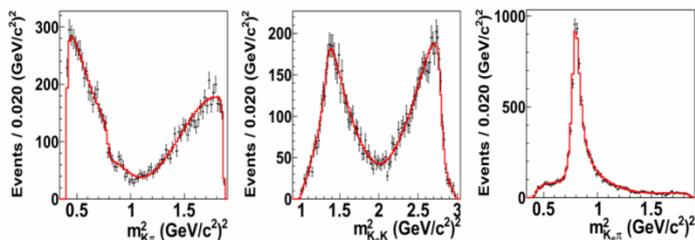
Mode	Fraction	Amplitude	Phase [rad]
$\bar{K}_0^*(1430)^0 K_S$	0.402	4.533 ± 0.785	0.081 ± 0.137
$\bar{K}^*(892)^0 K_S$	0.014	0.155 ± 0.018	-1.776 ± 0.103
$\bar{K}_1^*(1680)^0 K_S$	0.119	5.649 ± 0.724	2.549 ± 0.158
$\bar{K}_2^*(1430)^0 K_S$	0.006	1.113 ± 0.708	-1.911 ± 0.332
$K_0^*(1430)^+ K^-$	0.133	2.584 ± 0.782	-2.837 ± 0.259
$K^*(892)^+ K^-$	0.556	1	0
$K_1^*(1680)^+ K^-$	0.206	7.418 ± 0.715	2.245 ± 0.120
$K_2^*(1430)^+ K^-$	0.014	1.695 ± 0.445	0.174 ± 0.251
$a_0(980)^- \pi^+$	0.028	1.288 ± 0.300	0.965 ± 0.181
$g_{K\bar{K}}$		0.480 ± 0.113	
$a_0(1450)^- \pi^+$	0.018	0.621 ± 0.108	-0.861 ± 0.220
$a_2(1320)^- \pi^+$	0.00002	0.032 ± 0.077	1.393 ± 2.100
Sum	1.495		

Black dots : data , Red line : fitted function

フィット結果 $a_2(1320)^-$ and N.R are added.



$\chi^2 / \text{ndf} = 1.12$

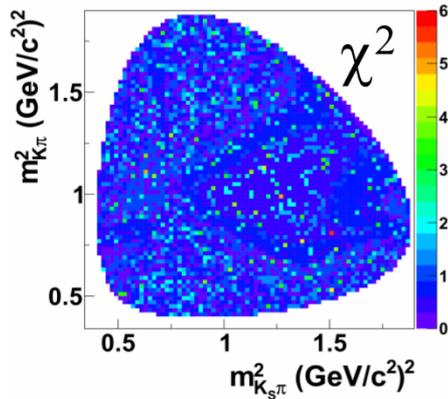
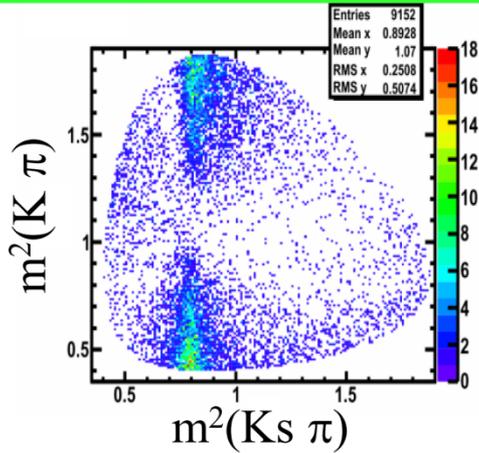


Mode	Fraction	Amplitude	Phase [rad]
$\bar{K}_0^*(1430)^0 K_S$	0.383	4.360 ± 0.780	0.430 ± 0.285
$\bar{K}^*(892)^0 K_S$	0.013	0.149 ± 0.019	-1.916 ± 0.128
$\bar{K}_1^*(1680)^0 K_S$	0.234	7.799 ± 1.824	2.999 ± 0.102
$\bar{K}_2^*(1430)^0 K_S$	0.0232	2.232 ± 0.918	-2.050 ± 0.218
$K_0^*(1430)^+ K^-$	0.110	2.313 ± 1.913	-0.169 ± 0.512
$K^*(892)^+ K^-$	0.573	1	0
$K_1^*(1680)^+ K^-$	0.208	7.360 ± 0.910	2.375 ± 0.162
$K_2^*(1430)^+ K^-$	0.045	3.028 ± 0.650	0.402 ± 0.101
$a_0(980)^- \pi^+$	0.024	1.082 ± 0.315	1.683 ± 0.365
$g_{K\bar{K}}$		0.649 ± 0.138	
$a_0(1450)^- \pi^+$	0.042	0.928 ± 0.132	-0.604 ± 0.137
$a_2(1320)^- \pi^+$	0.00007	0.051 ± 0.084	-0.539 ± 1.501
N.R	0.415	5.303 ± 2.078	-2.416 ± 0.443
Sum	2.071		

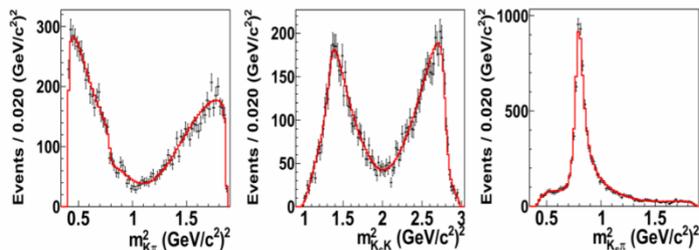
Black dots : data , Red line : fitted function

フィット結果 $a_2(1320)^-$ and N.R are added.

Used BG profile from MC



$\chi^2 / \text{ndf} = 1.12$

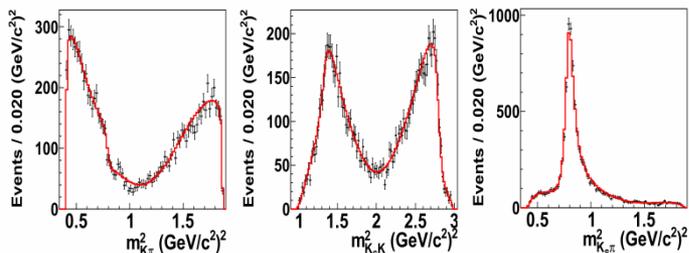
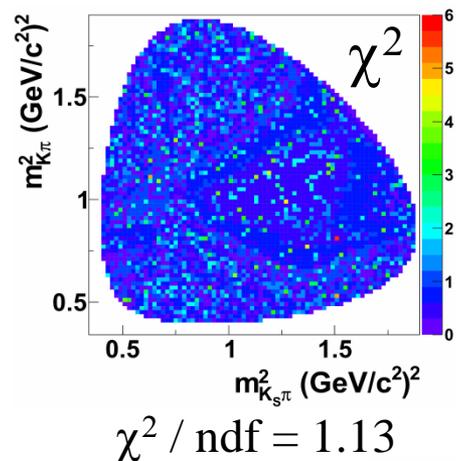
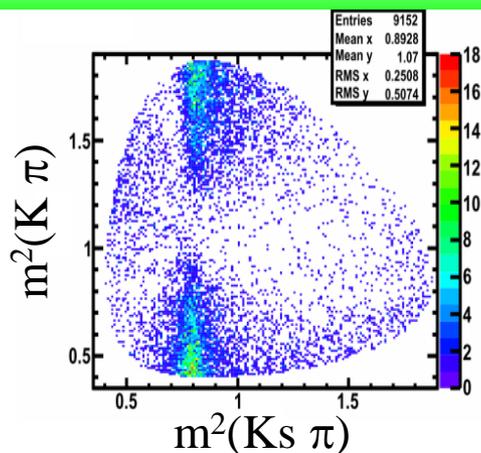


Mode	Fraction	Amplitude	Phase [rad]
$\bar{K}_0^*(1430)^0 K_S$	0.460	4.775 ± 0.830	0.309 ± 0.218
$\bar{K}^*(892)^0 K_S$	0.014	0.151 ± 0.020	-1.890 ± 0.123
$\bar{K}_1^*(1680)^0 K_S$	0.200	7.204 ± 1.759	3.047 ± 0.096
$\bar{K}_2^*(1430)^0 K_S$	0.019	1.999 ± 0.815	-1.989 ± 0.256
$K_0^*(1430)^+ K^-$	0.095	2.146 ± 1.639	-0.083 ± 0.578
$K^*(892)^+ K^-$	0.574	1	0
$K_1^*(1680)^+ K^-$	0.228	7.686 ± 0.857	2.315 ± 0.139
$K_2^*(1430)^+ K^-$	0.039	2.830 ± 0.589	0.374 ± 0.112
$a_0(980)^- \pi^+$	0.030	1.320 ± 0.291	1.025 ± 0.267
$g_{K\bar{K}}$		0.476 ± 0.119	
$a_0(1450)^- \pi^+$	0.036	0.860 ± 0.134	-0.640 ± 0.150
$a_2(1320)^- \pi^+$	0.00015	0.077 ± 0.089	-0.076 ± 0.958
N.R	0.462	5.586 ± 1.865	-2.355 ± 0.402
Sum	2.155		

Black dots : data , Red line : fitted function

フィット結果

Used BG profile from MC



Mode	Fraction	Amplitude	Phase [rad]
$\bar{K}_0^*(1430)^0 K_S$	0.402	4.533 ± 0.785	0.081 ± 0.137
$\bar{K}^*(892)^0 K_S$	0.014	0.155 ± 0.018	-1.776 ± 0.103
$\bar{K}_1^*(1680)^0 K_S$	0.119	5.649 ± 0.724	2.549 ± 0.158
$\bar{K}_2^*(1430)^0 K_S$	0.006	1.113 ± 0.708	-1.911 ± 0.332
$K_0^*(1430)^+ K^-$	0.133	2.584 ± 0.782	-2.837 ± 0.259
$K^*(892)^+ K^-$	0.556	1	0
$K_1^*(1680)^+ K^-$	0.206	7.418 ± 0.715	2.245 ± 0.120
$K_2^*(1430)^+ K^-$	0.014	1.695 ± 0.445	0.174 ± 0.251
$a_0(980)^- \pi^+$	0.028	1.288 ± 0.300	0.965 ± 0.181
$g_{K\bar{K}}$		0.480 ± 0.113	
$a_0(1450)^- \pi^+$	0.018	0.621 ± 0.108	-0.861 ± 0.220
$a_2(1320)^- \pi^+$	0.00002	0.032 ± 0.077	1.393 ± 2.100
Sum	1.495		

Black dots : data , Red line : fitted function

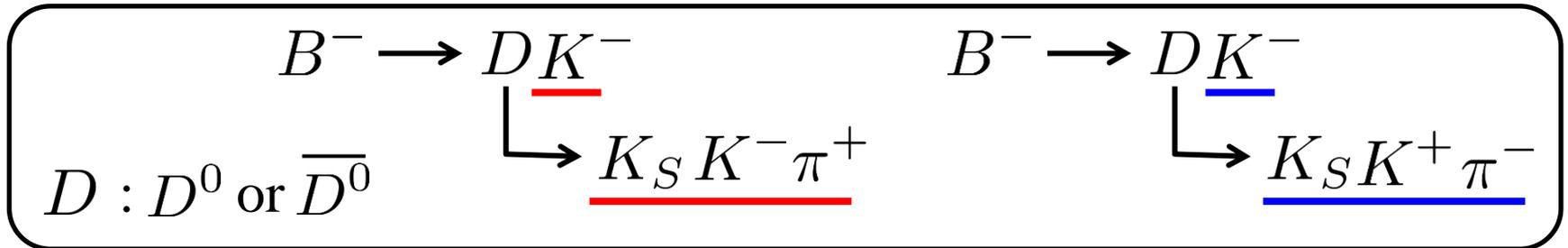
\overline{D}^0 の崩壊

- δ は D^0 の崩壊の種類による
- 希少崩壊のため統計が少ない

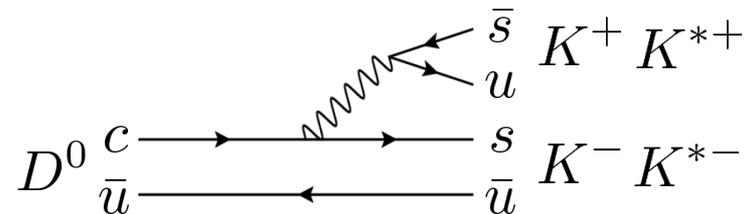


D^0 の崩壊毎の解析、特にまだ解析されていない崩壊モードの解析が必要。

本解析では、 $D \rightarrow K_S K \pi$ 崩壊を用いる。



この崩壊は様々な中間共鳴状態を含むが、特に $D \rightarrow K^{*+} K^-$ と $D \rightarrow K^{*-} K^+$ は同じ過程で崩壊し、同じパラメータが寄与するので、多くのパラメータを決定することが出来る。



$$D \rightarrow [K_S \pi]_{K^*} K$$

$$D \rightarrow [K_S \pi^+]_{K^{*+}} K^-$$

$$D \rightarrow [K_S \pi^-]_{K^{*-}} K^+$$

$$\text{fraction} = \frac{\int |a_r e^{i\phi_r} \mathcal{A}_r|^2 d\mathcal{DP}}{\int |\sum_j a_j e^{i\phi_j} \mathcal{A}_j|^2 d\mathcal{DP}} = \frac{a_r^2 \int |\mathcal{A}_r|^2 d\mathcal{DP}}{\sum_j \sum_{j'} a_j a_{j'}^* \int \mathcal{A}_j \mathcal{A}_{j'}^* d\mathcal{DP}}$$

$$PDF = f_{sig} \frac{|\sum_j a_j e^{i\phi_j} A_j|^2}{\int |\sum_j a_j e^{i\phi_j} A_j|^2 dm_x^2 dm_y^2} + (1 - f_{sig}) PDF_{bkg}$$

- $B \rightarrow DK, D \rightarrow K_s K \pi$ 崩壊の研究
 - KSFW Likelihood ratio
 - コントロールサンプル($B \rightarrow D \pi, D \rightarrow K_s K \pi$)の研究
 - 期待される $B \rightarrow DK$ イベントの数
 - ダリッツ解析の必要性

$B \rightarrow DK, D \rightarrow K_s K \pi$ 崩壊の研究

Selection criteria

Impact parameter	$ dr < 5\text{mm}$, $ dz < 5\text{cm}$
M_{bc}	$5.27 < M_{bc} < 5.29 \text{ GeV}/c^2$
PID	for all charged K : $\text{PID}(K) > 0.6$ for all charged π : $\text{PID}(\pi) < 0.4$
Mass	$ M(\pi^+\pi^-) - M(K_S) < 0.0125 \text{ GeV}/c^2$ $ M(K^*K) - M(D^0) < 0.0159 \text{ GeV}/c^2$
Best candidate selection	Use the best M_{bc}

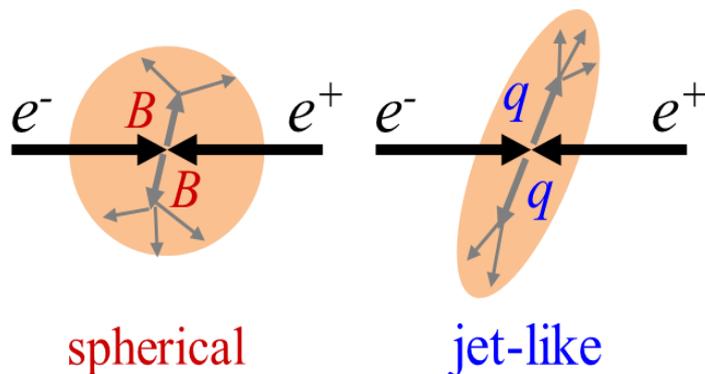
Y(4S)の全データ(711 fb⁻¹)を使用。

Likelihood Ratio (KSFW)

信号事象の数は2次元フィット (KSFW Likelihood vs ΔE)によって求められる。

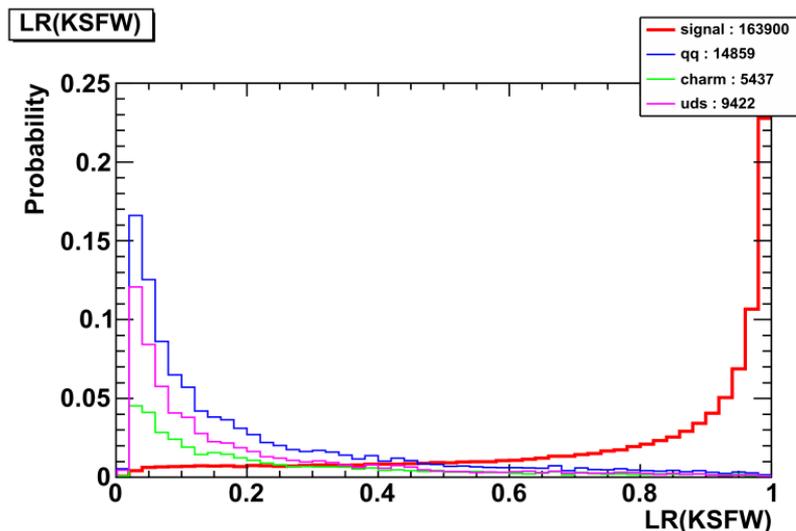
KSFW:

運動量方向などからイベントの形状を数値化する手法。



シグナル(Bを経由)は球状に、
 $q\bar{q}$ イベントはジェット状に分布

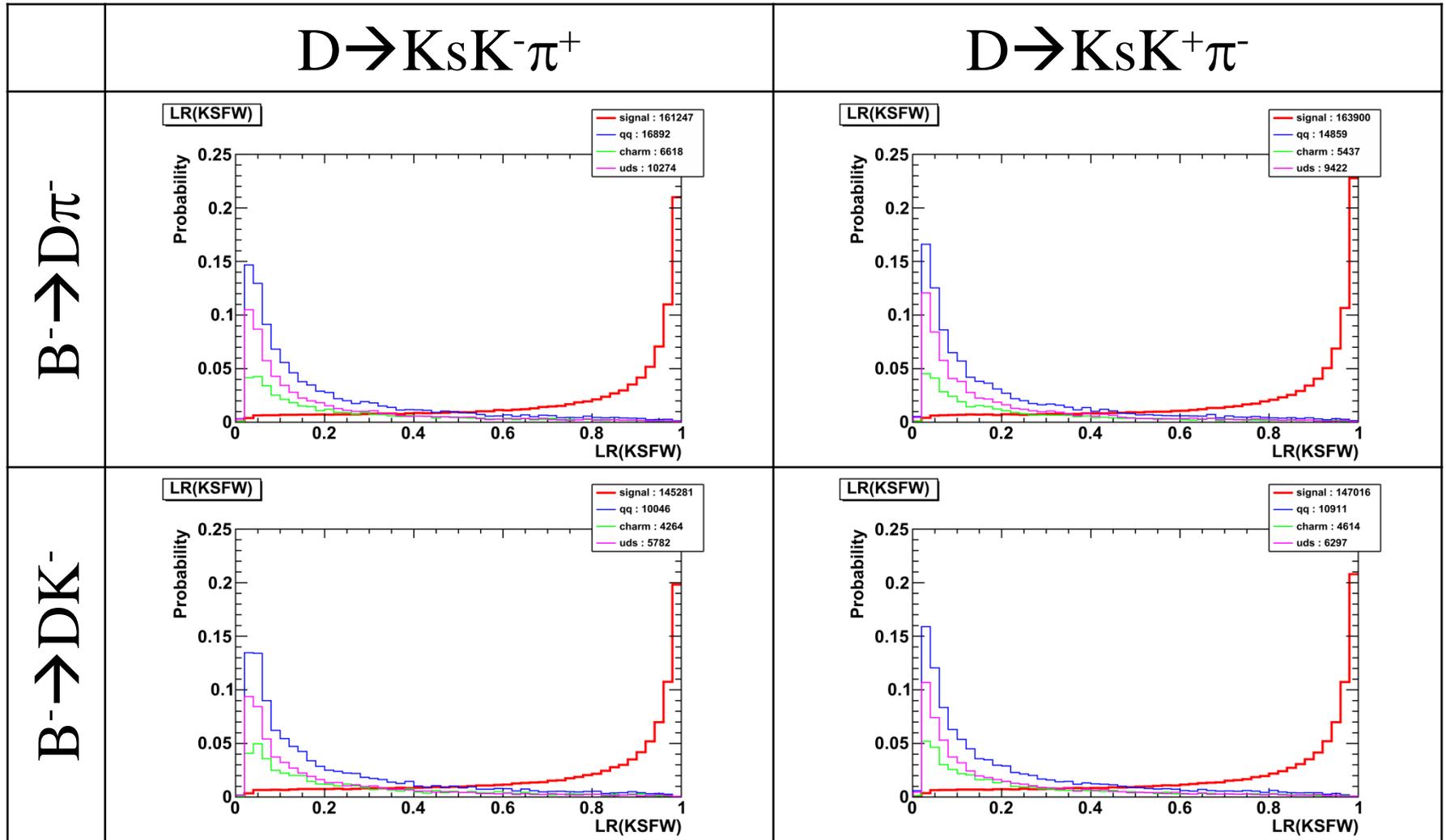
Example of KSFW likelihood ratio



Red : signal

Blue : $q\bar{q}$ (charm + uds)

KSFW Likelihood (MC)



Red : signal Blue : qq (charm + uds)

シグナルと $q\bar{q}$ バックグラウンドはよく分離できている。

フィットに用いるPDF

For ΔE

for signal	Double gaussian
for $B\bar{B}$ background	Exponential
for $q\bar{q}$ background	1 st chebyshev

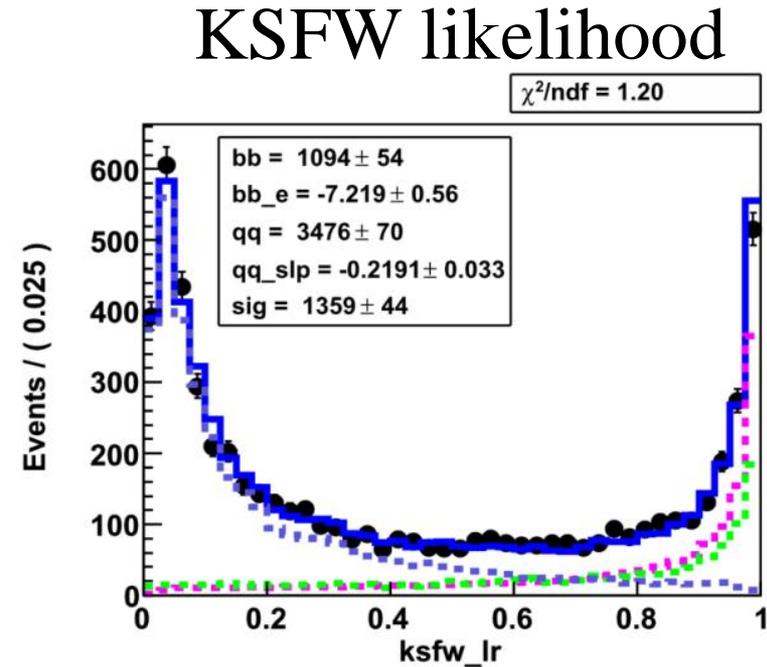
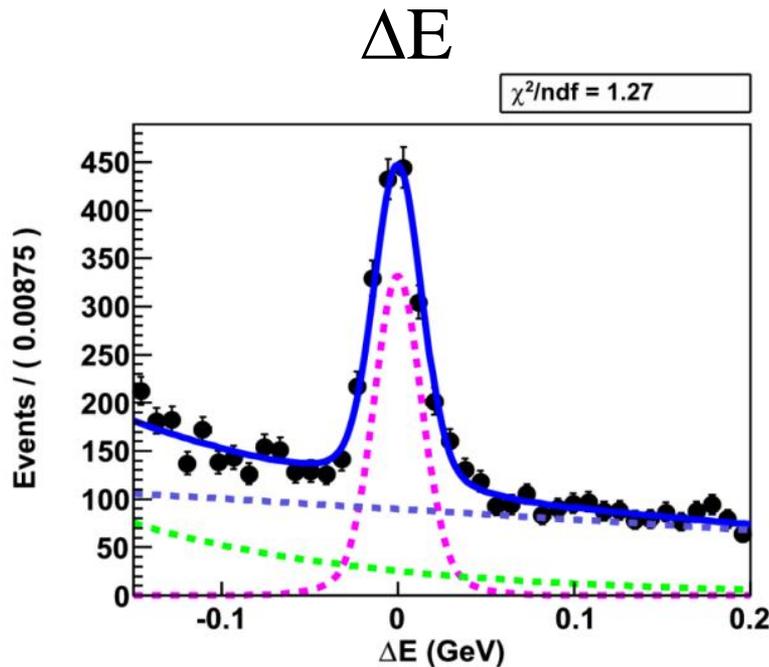
For KSFW likelihood

Histogram PDF

for signal	Obtained from signal MC
for $B\bar{B}$ background	Obtained from $B\bar{B}$ MC
for $q\bar{q}$ background	Obtained from $q\bar{q}$ MC

Control sample : $B^- \rightarrow D\pi^-$, $D \rightarrow K_s K^- \pi^+$

Projection for each axis

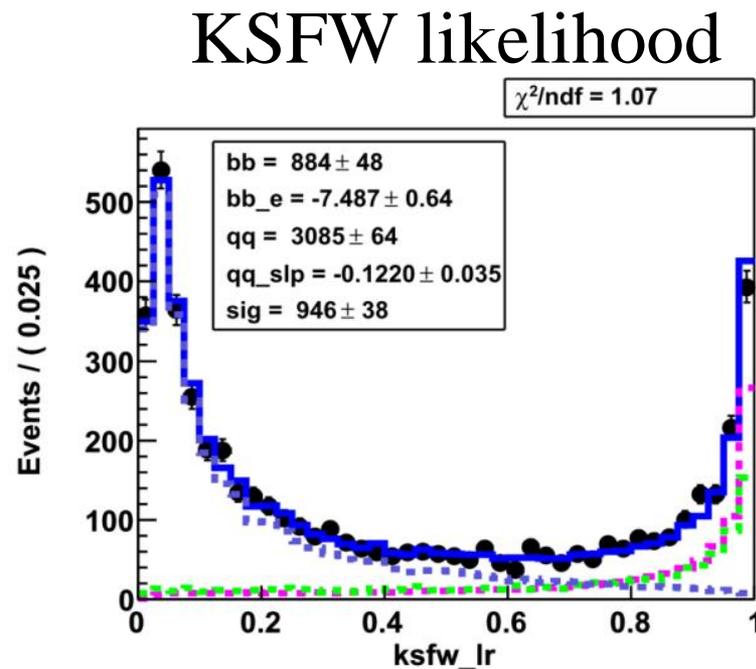
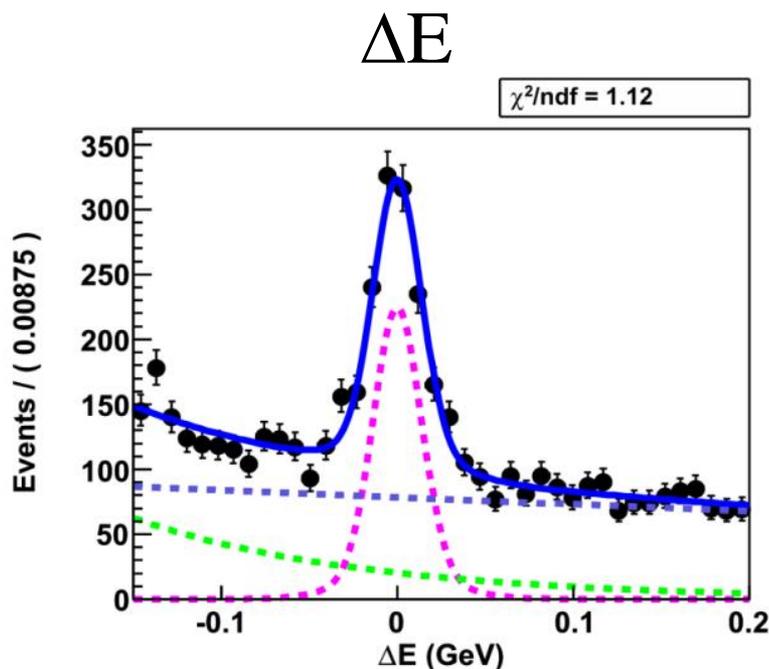


Blue solid : total pdf, Magenta dashed : signal
Blue dashed : $q\bar{q}$ BG, Green dashed : $B\bar{B}$ BG

Signal events : $1359 \pm 44(\text{stat})$

Control sample : $B^- \rightarrow D\pi^-$, $D \rightarrow K_s K^+ \pi^-$

Projection for each axis



Blue solid : total pdf, Magenta dashed : signal
Blue dashed : $q\bar{q}$ BG, Green dashed : $B\bar{B}$ BG

Signal events : $946 \pm 38(\text{stat})$

期待される $B \rightarrow DK$ イベントの数

$B^- \rightarrow D\pi^-, D \rightarrow K_s K^- \pi^+ : 1,359 \pm 44(\text{stat}) \text{ events}$

$B^- \rightarrow D\pi^-, D \rightarrow K_s K^+ \pi^- : 946 \pm 38(\text{stat}) \text{ events}$

$B \rightarrow DK, D \rightarrow K\pi$ の解析によると、

(Y. Horii, K. Trabelsi, H. Yamamoto et al., PRD 78, 071901(R) (2008))

$$\frac{\text{Br}(B^- \rightarrow DK^-)}{\text{Br}(B^- \rightarrow D\pi^-)} = [6.77 \pm 0.23(\text{stat}) \pm 0.30(\text{syst})] \times 10^{-2}$$

期待される $B \rightarrow DK, D \rightarrow K_s K\pi$ イベントの数は、

$B^- \rightarrow DK^-, D \rightarrow K_s K^- \pi^+ : 92 \pm 6 \text{ events}$

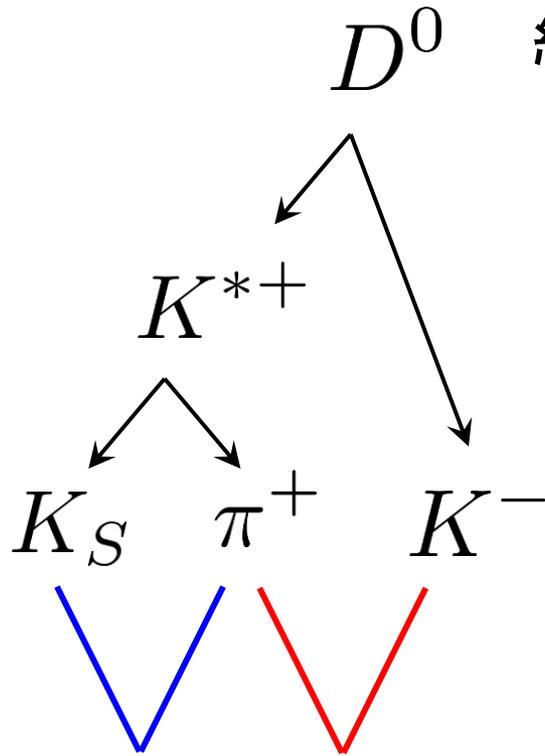
$B^- \rightarrow DK^-, D \rightarrow K_s K^+ \pi^- : 64 \pm 4 \text{ events}$

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。

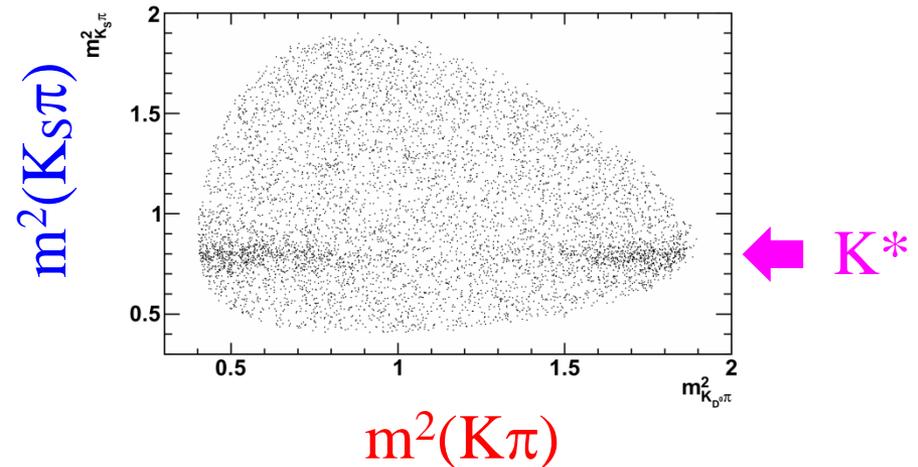
$$D^0 \rightarrow ?? \rightarrow K_S K \pi$$

(e.g. $D \rightarrow K^* K$, $K^{*0} K^0$, $a_0 \pi$, ...etc.)



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 (MC)



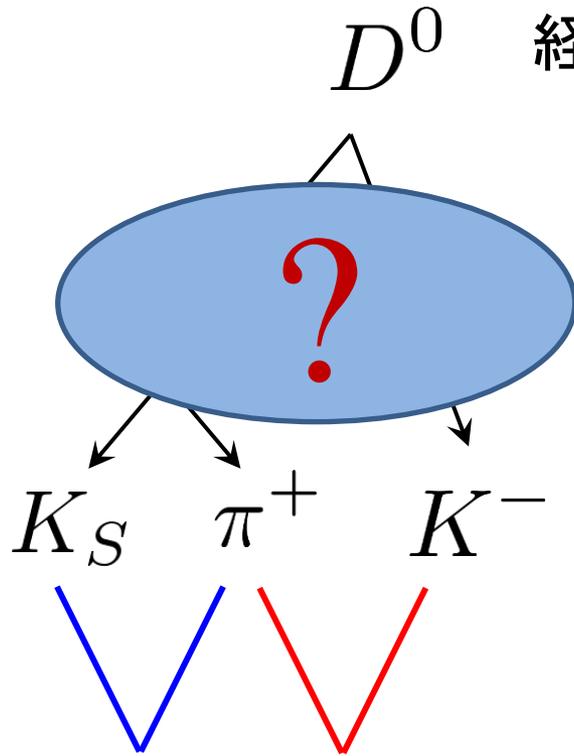
nonresonant modeは
一様に分布する

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。

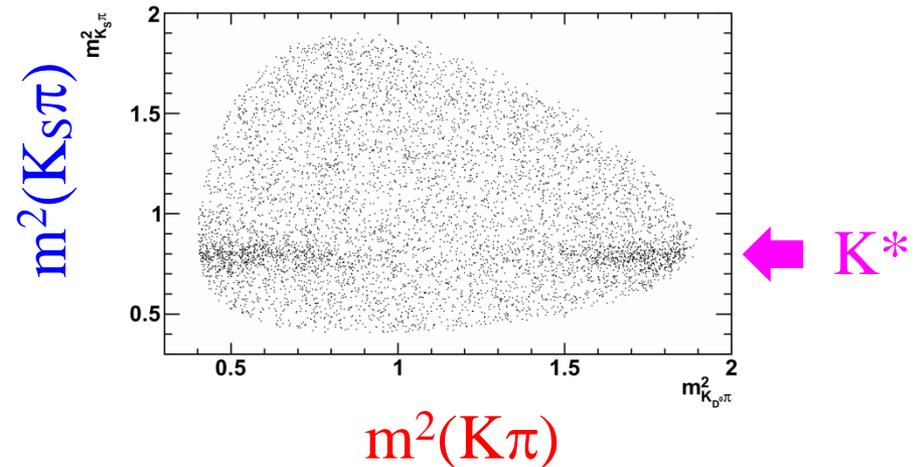
$$D^0 \rightarrow ?? \rightarrow K_S K \pi$$

(e.g. $D \rightarrow K^* K$, $K^{*0} K^0$, $a_0 \pi$, ...etc.)



実際に組み合わせて
massを出してみる。

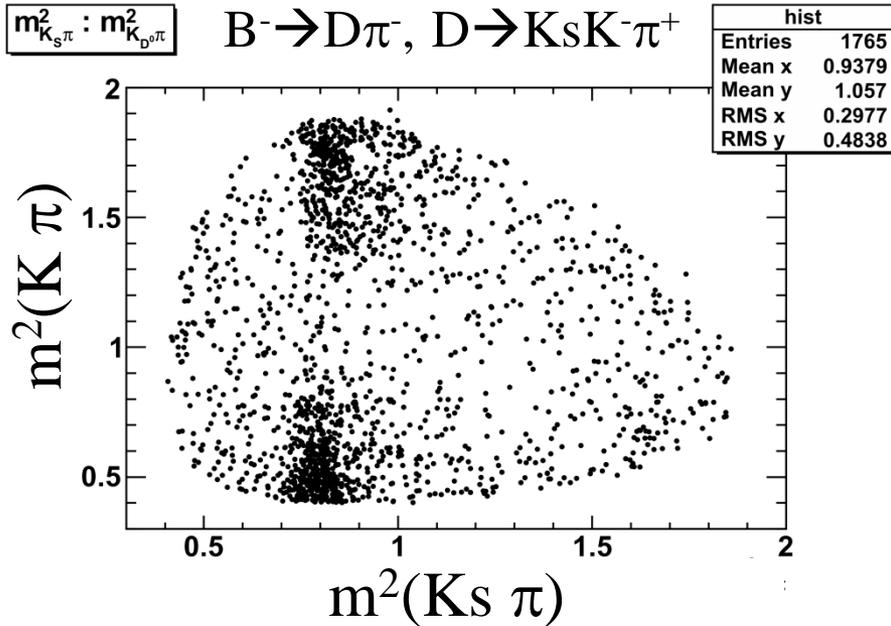
$D^0 \rightarrow K_S K \pi$ の Dalitz Plot (MC)



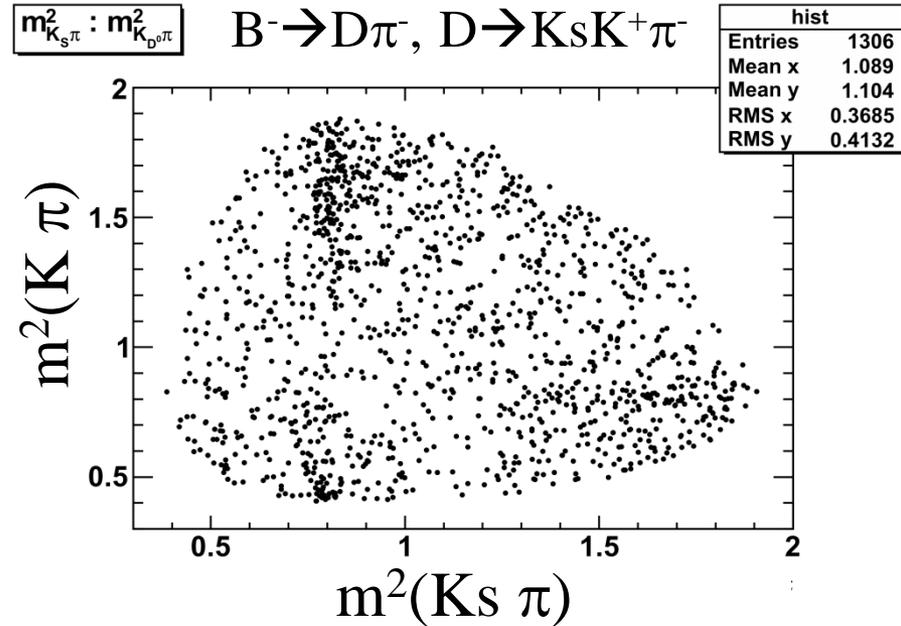
nonresonant modeは
一様に分布する

Dalitz Plot

Dalitz plot (real data) with $|\Delta E| > 0.04$ GeV & LR(KSFW) > 0.2



K*Kのイベントが支配的



より複雑な構造が見て取れる
(K*K, K*⁰K⁰, non-resonant, etc.)

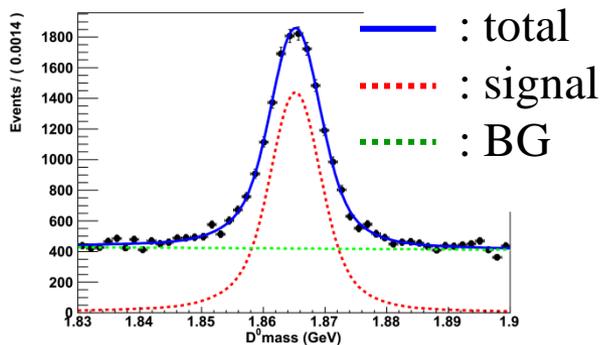
これらのダリッツプロットをフィットし、それぞれの共鳴状態の振幅などの情報を得る必要がある。

Tagged D events

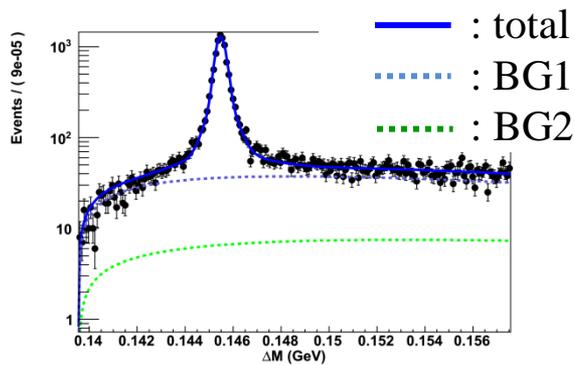
フィットに用いる $D \rightarrow K_S K \pi$ のダリッツ平面のモデルはtagged D (from $D^{*+} \rightarrow D^0 \pi^+$, $D^{*-} \rightarrow \bar{D}^0 \pi^-$)を用いて作られる。

D^0 mass

$D^0 \rightarrow K_S K^- \pi^+$



ΔM (D^* mass - D^0 mass)

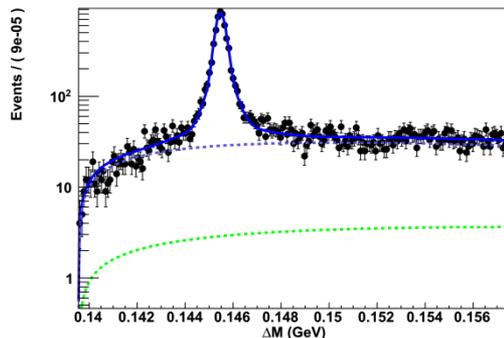
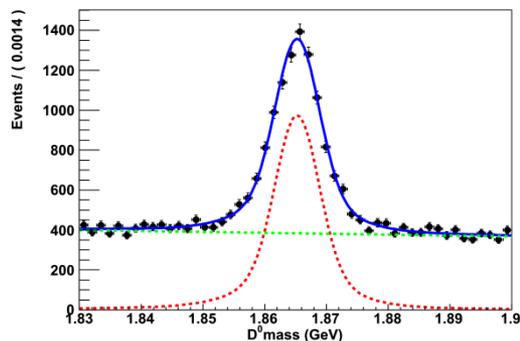


of events / 141 fb^{-1}
with D^0 mass & ΔM 2σ
cut.

~9,300 events

Purity : > 90%

$D^0 \rightarrow K_S K^+ \pi^-$



~5,800 events

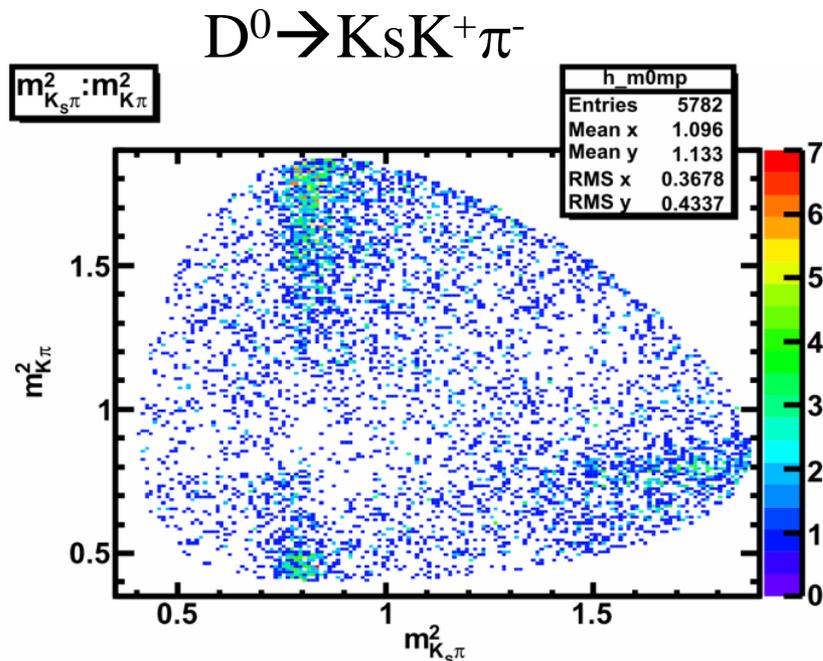
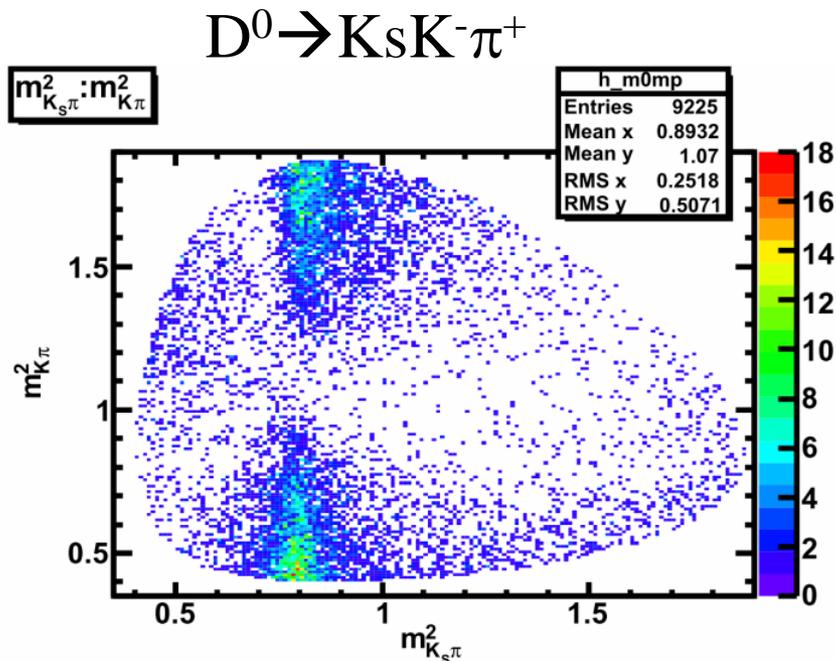
Purity : > 90%

Y(4S) の全データを用いた場合に期待されるtagged D のイベント数は

$D^0 \rightarrow K_S K^- \pi^+$: ~70,000 events

$D^0 \rightarrow K_S K^+ \pi^-$: ~44,000 events

Tagged D の Dalitz Plot



このダリッツプロットから作成したモデルを使って $B \rightarrow DK$ のダリッツプロットをフィットすることになる。

$B \rightarrow DK$ では D^0 と \bar{D}^0 は区別できないため、 $D^0 \rightarrow K_s K^- \pi^+$ と $D^0 \rightarrow \bar{K}_s K^- \pi^+$ の両方が入ってくることになる。

そのため、二つモデルを組み合わせる必要がある。

まとめ

- $B \rightarrow DK$, $D \rightarrow K_s K \pi$ 崩壊を用いた ϕ_3 の測定は未だなされていない。
- 2次元フィット(ΔE versus $LR(KSFW)$)を行い、 $B \rightarrow D\pi$, $D \rightarrow K_s K \pi$ のシグナルを得た。

$$B^- \rightarrow D\pi^-, D \rightarrow K_s K^- \pi^+ : 1,359 \pm 44(\text{stat}) \text{ events}$$

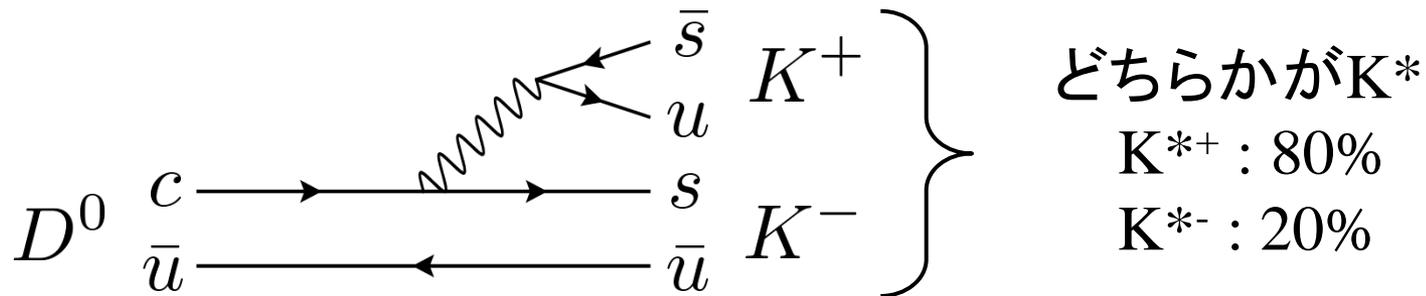
$$B^- \rightarrow D\pi^-, D \rightarrow K_s K^+ \pi^- : 946 \pm 38(\text{stat}) \text{ events}$$

(Belleの全データ(770M BB events)を使用)

- ダリッツ解析に用いられる $B^- \rightarrow DK^-$ のイベント数を見積もった。
 $B^- \rightarrow DK^-, D \rightarrow K_s K^- \pi^+ : 92 \pm 6 \text{ events}$
 $B^- \rightarrow DK^-, D \rightarrow K_s K^+ \pi^- : 64 \pm 4 \text{ events}$
- 今後は統計量の多いtagged D から $D \rightarrow K_s K \pi$ のモデルを作成する。

Back up

D → K* K 崩壊



➔ $D^0(\bar{D}^0) \rightarrow K^{*+} K^-$
 $D^0(\bar{D}^0) \rightarrow K^{*-} K^+$ 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。

$$B^{\oplus} \rightarrow [K^{*\oplus} K^{\pm}]_D K^{\pm} \quad \text{Opposite mode}$$

$$B^{\oplus} \rightarrow [K^{*\oplus} K^{\mp}]_D K^{\pm} \quad \text{Same mode}$$

また、 K^* は $K^{*\pm} \rightarrow K^{\pm} \pi^0 : 1/3$
 $K^{*\pm} \rightarrow K^0 \pi^{\pm} : 2/3$ で崩壊する。

理論 (変形GW法)

B^+ , B^- の opposite mode, same mode の分岐比

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

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

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

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

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

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。

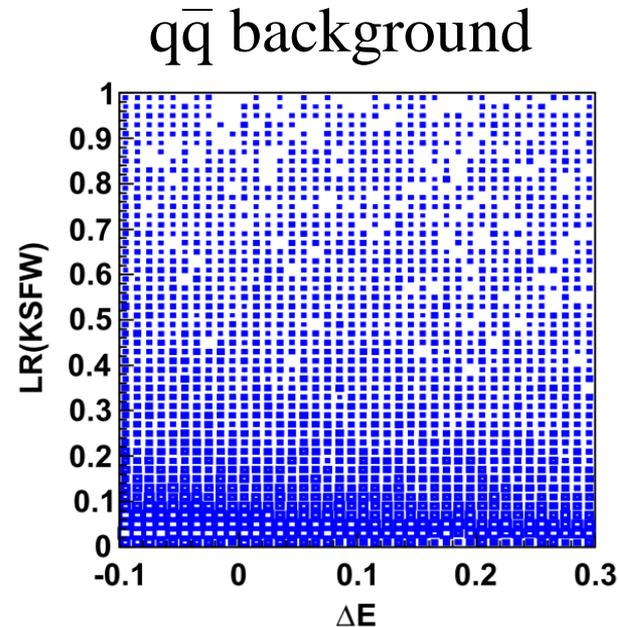
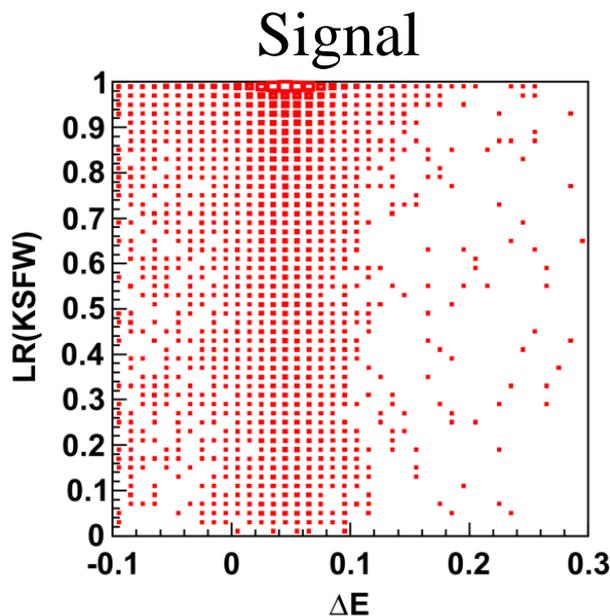
$$\cos \phi_3 = \frac{(R_1 + R_3 - 2)^2 - (R_2 + R_4 - 2r_D^2)^2}{4[(R_1 - 1)(R_3 - 1) - (R_2 - r_D^2)(R_4 - r_D^2)]}$$

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

ΔE とKSFWの相関

ΔE とKSFW likelihoodはほとんど相関を持たない。

そのため、2次元フィットのためのPDFは、単純に ΔE とKSFW likelihoodのPDFの積として表すことができる。

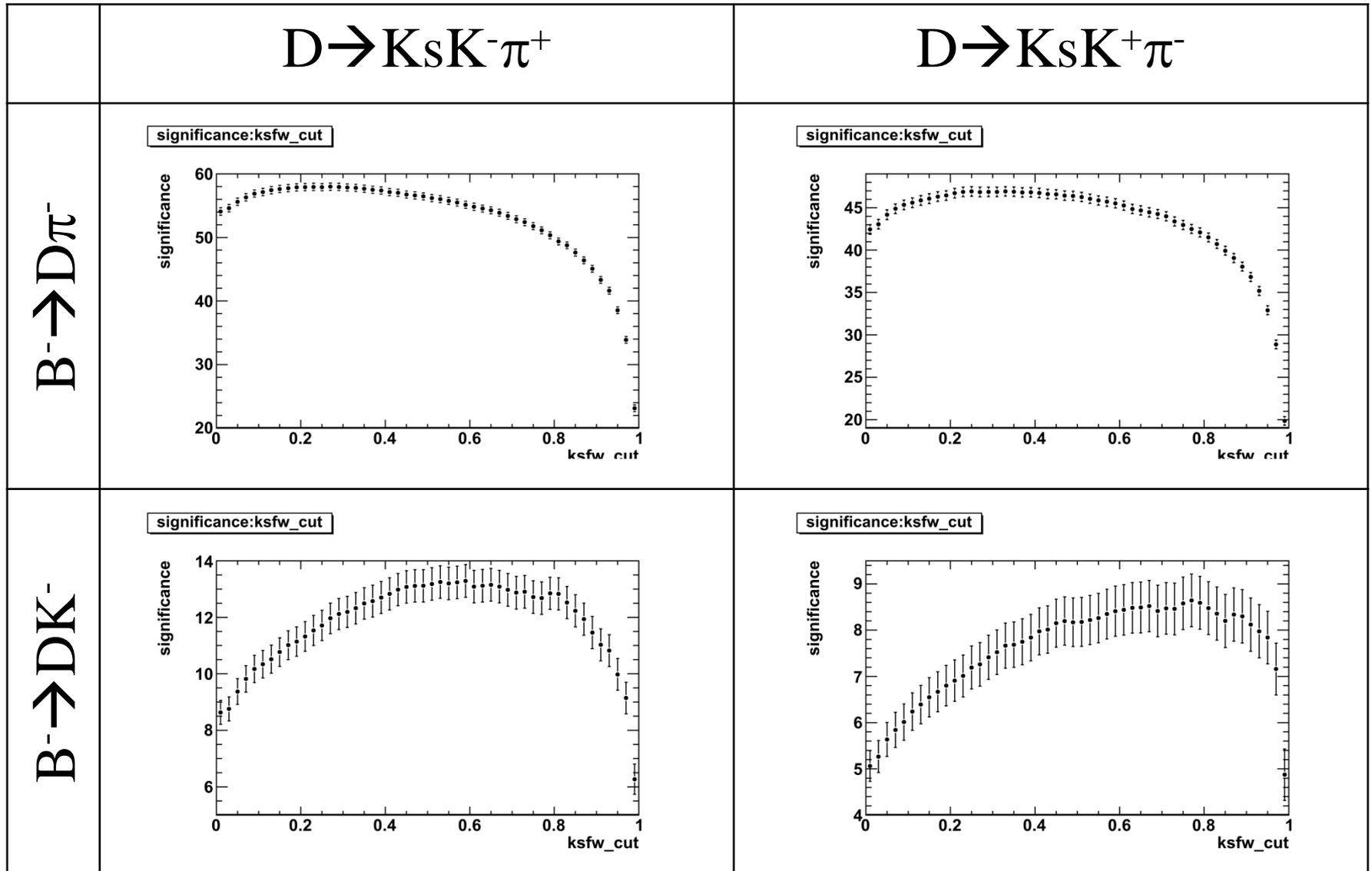


相関係数

0.0083

0.033

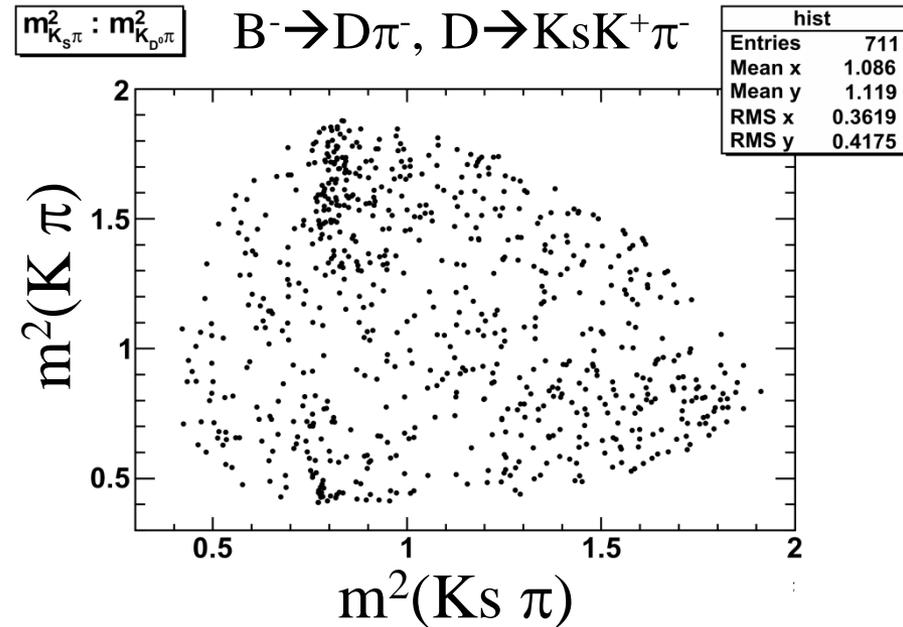
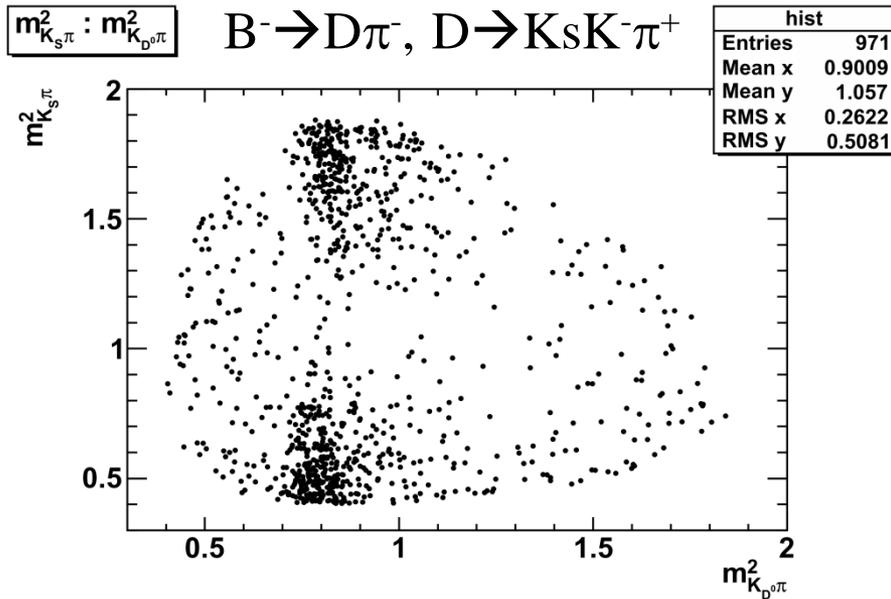
The merit of LR(KSFW)



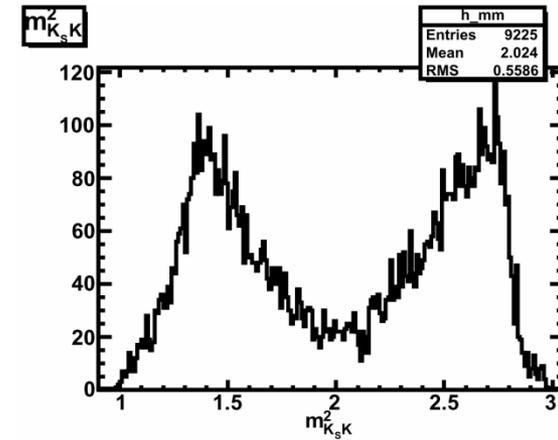
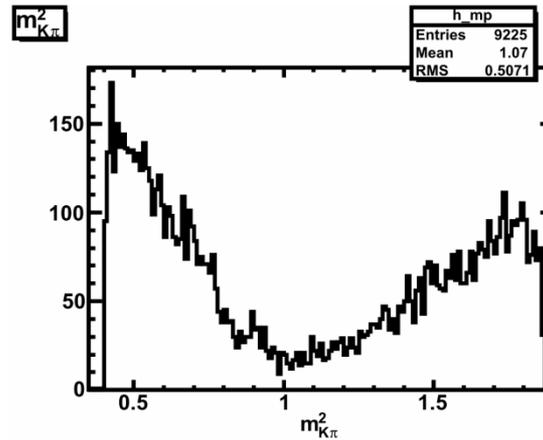
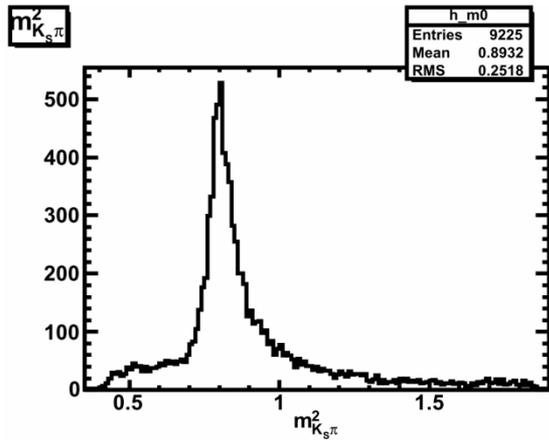
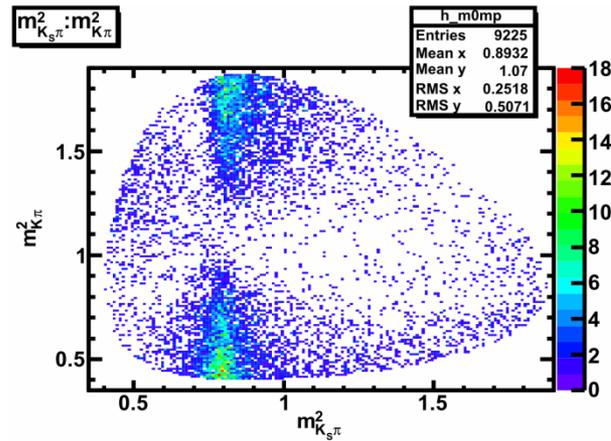
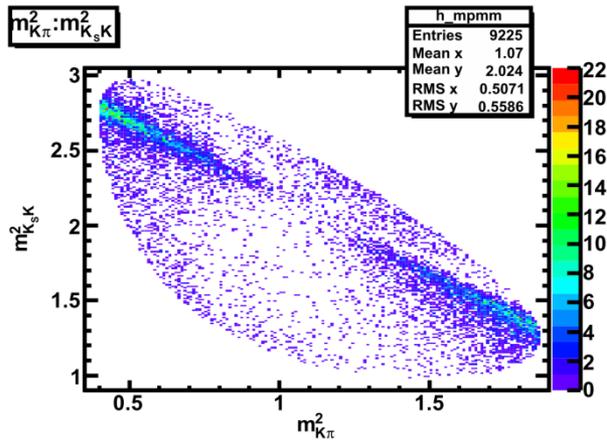
These distributions are reasonable.

Dalitz Plot

Dalitz plot (real data) with $|\Delta E| > 0.04$ GeV & $\text{LR}(\text{KSFW}) > 0.8$



$D^0 \rightarrow K_s K^- \pi^+$ の Dalitz Plot



$D^0 \rightarrow K_s K^+ \pi^-$ の Dalitz Plot

