Study for the measurement of ϕ_3 using $B^0 \rightarrow DK^{*0}$ followed by $D \rightarrow K_S\pi^+\pi^-$ with model-independent Dalitz analysis
(ϕ_3測定に向けたモデル依存の無いDalitz解析を用いた$B^0 \rightarrow DK^{*0}$, $D \rightarrow K_S\pi^+\pi^-$崩壊の研究)

素粒子実験　根岸 健太郎
B1SD2015

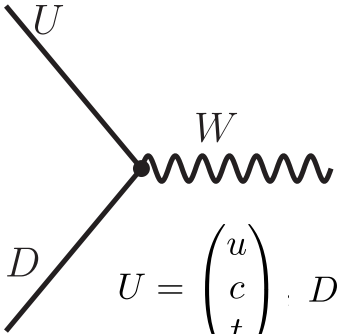
平成27年 1月 29日

目次

1. ϕ_3 測定　D論本文 1章
2. Belle 実験　2章
3. $B^0 \rightarrow DK^{*0}$ 崩壊の解析　3章
   - 信号再構成
   - 背景事象除去
   - Dπコントロールサンプルの研究
4. 結果　4章
   - 信号抽出
   - 統計誤差
   - 系統誤差
5. 結論、及び考察　5 − 6章

ユニタリ三角形

- KM機構 ：弱い相互作用のクオークセクターでCP非保存を説明



$$U = \begin{pmatrix} u \\ c \\ t \end{pmatrix},\quad D = \begin{pmatrix} d \\ s \\ b \end{pmatrix}$$

$$\mathcal{L}_{\text{int.}} = -\frac{g}{\sqrt{2}}(\bar{U}_L V_{CKM} \gamma_\mu D_L W_\mu^+) + h.c.$$

複素位相を持つ

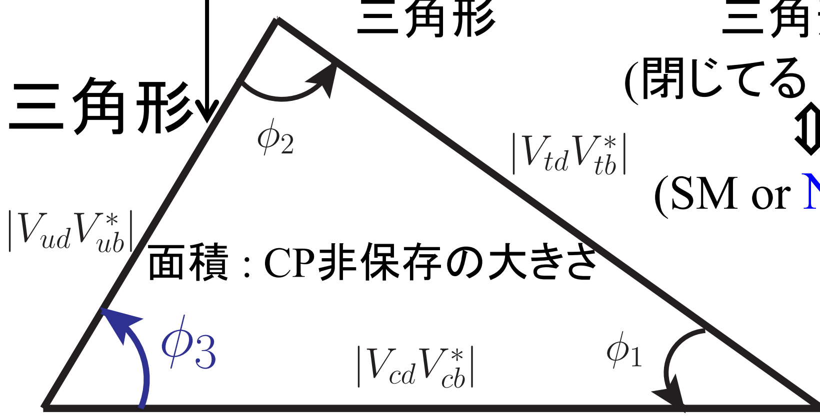
$$V_{CKM} \equiv \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} 1-\lambda^2/2 & \lambda & A\lambda^3(\rho - i\eta) \\ -\lambda & 1-\lambda^2/2 & A\lambda^2 \\ A\lambda^3(1-\rho-i\eta) & -A\lambda^2 & 1 \end{pmatrix} + \mathcal{O}(\lambda^4)$$

- CKM行列はユニタリ $V_{CKM}^\dagger \cdot V_{CKM} = I$
- b列, d列に関しユニタリ条件

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

複素平面上に三角形

ユニタリ三角形



三角形が
(閉じてる or 閉じない)
⇕
(SM or NPの効果)

CKMfitter 2014

$$\phi_1 = (21.50^{+0.75}_{-0.74})^\circ$$
$$\phi_2 = (85.4^{+4.0}_{-3.9})^\circ$$
$$\phi_3 = (70.0^{+7.7}_{-9.0})^\circ$$

- **角度ϕ_3を測定**

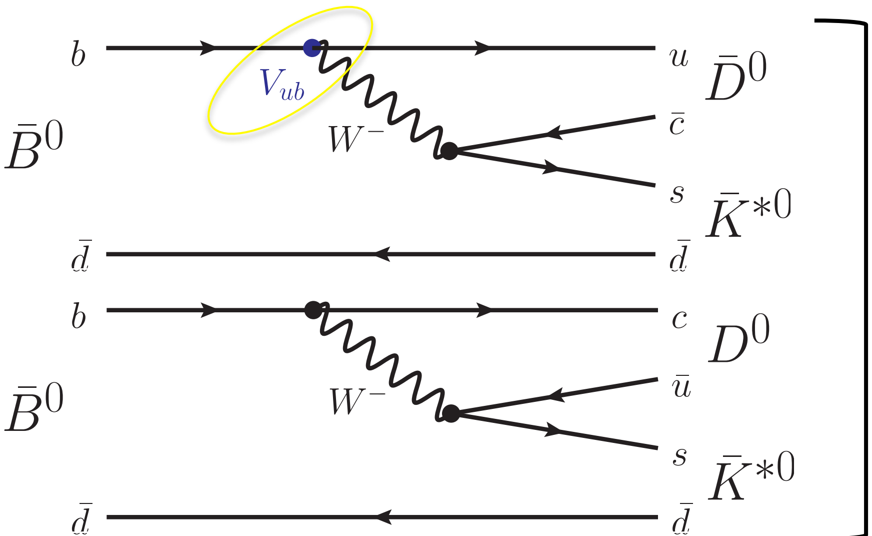
$$\phi_3 \equiv \arg\left(\frac{V_{ud}V_{ub}^*}{-V_{cd}V_{cb}^*}\right)$$

ϕ_3 測定

- ϕ_3 の測定はV_{ub} の位相を測る事と同義

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

- B → DK 崩壊はb → u 遷移を含む経路と含まない経路が干渉する



弱い相互作用位相差

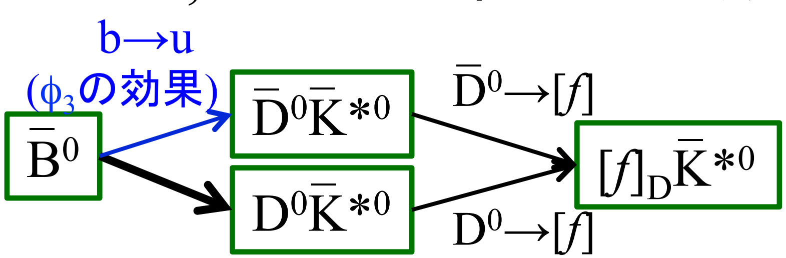
$\equiv \phi_3$ (CPで符号反転)

強い相互作用位相差

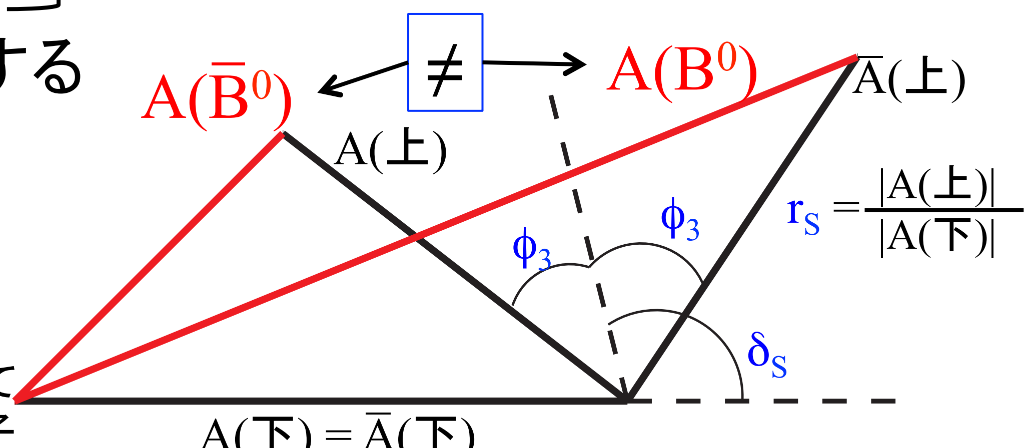
$\equiv \delta_S$ (CPで符号反転せず)

$$r_S \equiv \frac{|崩壊振幅(上(V_{ub}含む))|}{|崩壊振幅(下)|}$$

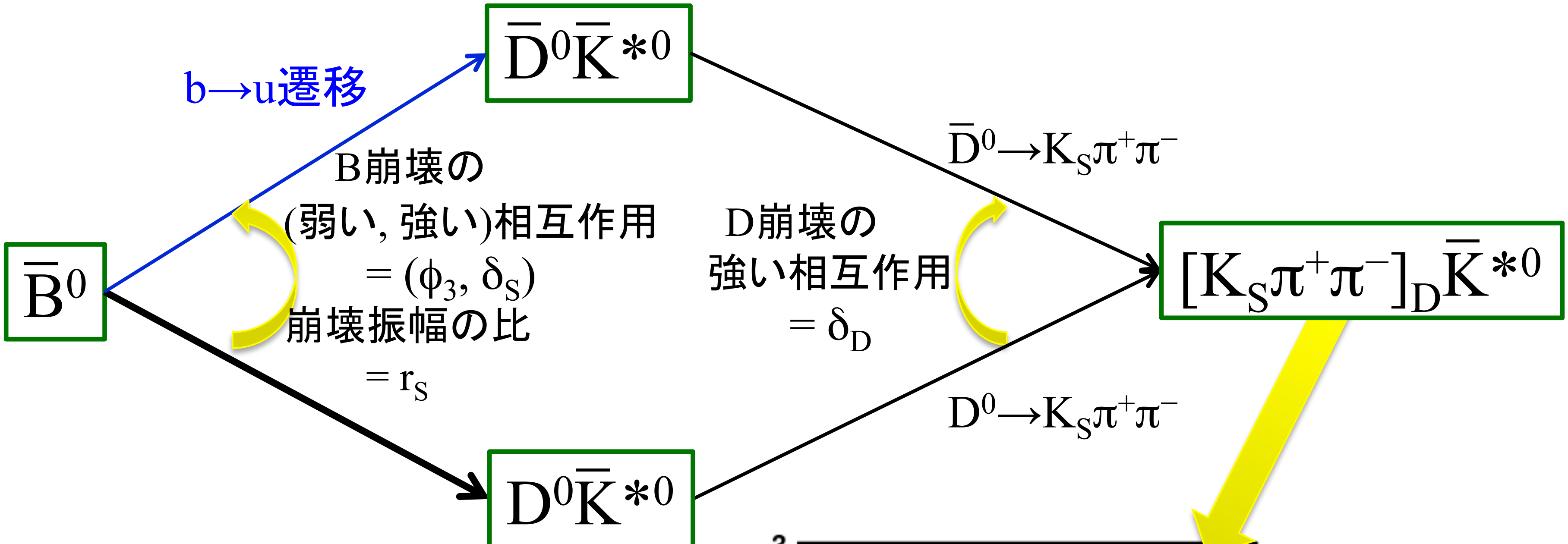
$\bar{D}^0$, D^0が同じ終状態に崩壊する



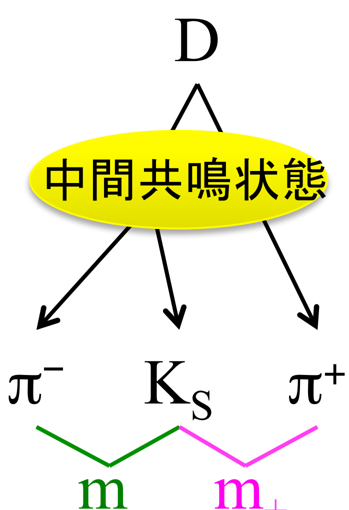
上下経路の干渉を経て
CPが破れる様子



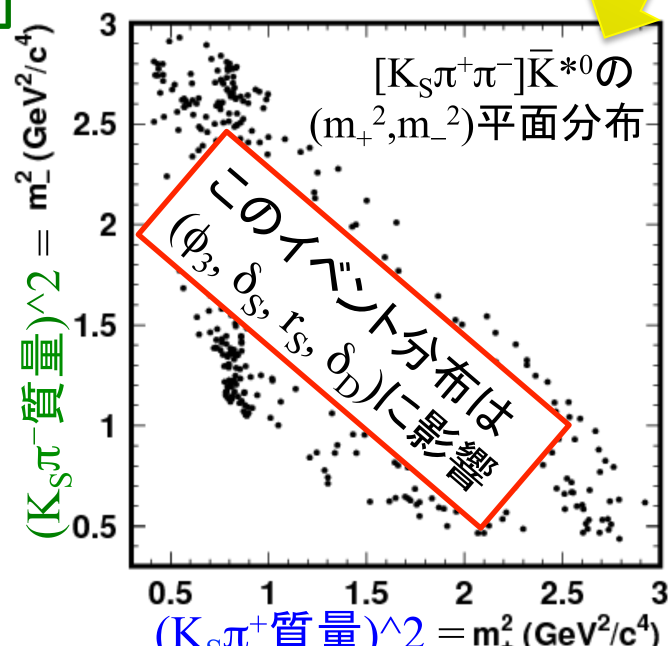
$B^0 \to DK^{*0}$崩壊のϕ_3測定



$D \to K_S\pi^+\pi^-$崩壊



(m_+^2, m_-^2)平面上で干渉の様子を観測する



B崩壊による
(ϕ_3, δ_S, r_S)は
(m_+^2, m_-^2)よらない

D崩壊による
δ_D は
(m_+^2, m_-^2)による

$$\boxed{\delta_D \equiv \delta_D(m_+^2, m_-^2)}$$

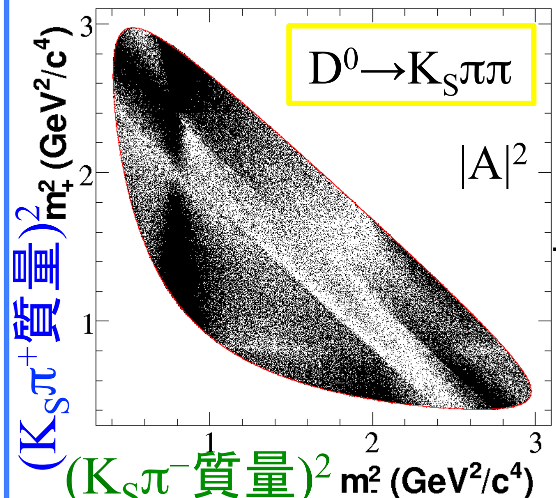
Dalitz 解析 (GGSZ 法)

(m_+^2, m_-^2)平面(≡**Dalitz 平面**)上での干渉の様子を観測する

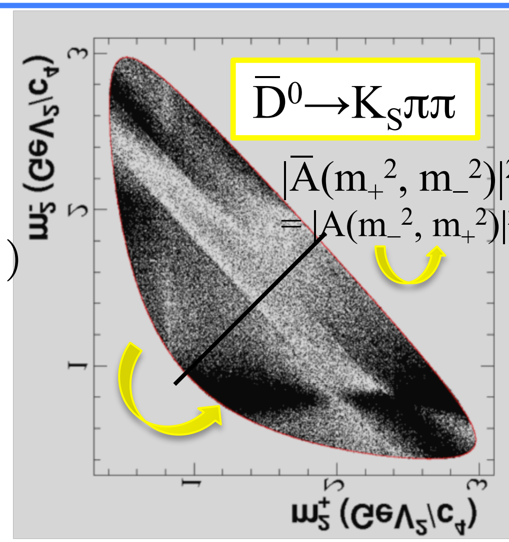
崩壊振幅 (Dalitz平面上各点での) $\boxed{A \equiv A(m_+^2, m_-^2)}$

$$A(\bar{B}^0 \to D\bar{K}^{*0}) = A(D^0 \to K_S\pi^+\pi^-) + r_S e^{i(\delta_S+\phi_3)} A(\bar{D}^0 \to K_S\pi^+\pi^-)$$

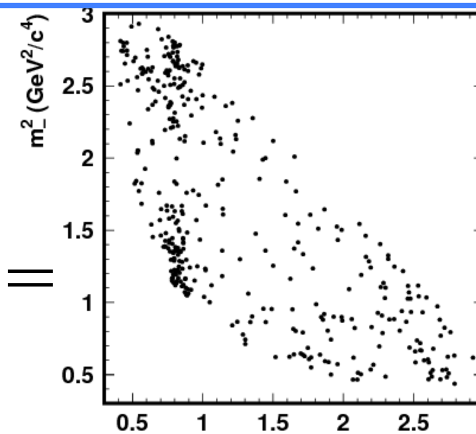
干渉のイメージ
(崩壊比を
振幅だと思って)



$$+ r_S e^{i(\delta_S+\phi_3)}$$



$$=$$



$\bar{B}^0 \to D\bar{K}^{*0}$崩壊の
D Dalitz平面

$B^0 \to DK^{*0}$イベント数(m_+^2, m_-^2) (正しく)

$\propto$

$$|A_{(\bar{B}^0 \to D\bar{K}^{*0})}|^2 = |A_{(D^0 \to K_S\pi^+\pi^-)} + r_S e^{i(\delta_S+\phi_3)} A_{(\bar{D}^0 \to K_S\pi^+\pi^-)}|^2$$
$$= |A + r_S e^{i(\delta_S+\phi_3)} \bar{A}|^2$$
$$= |A|^2 + r_S^2 |\bar{A}| + 2r_S |A||\bar{A}| (\cos(\delta_S+\phi_3)\cos\delta_D + \sin(\delta_S+\phi_3)\sin\delta_D)$$

$|A|(m_+^2, m_-^2)$はD$^0 \to K_S\pi^+\pi^-$のイベント数を観測する事で解る

$\boxed{\delta_D(m_-^2, m_+^2)\text{さえ解れば}(\phi_3, \delta_S, r_S)\text{測定が可能}}$

Dalitz 解析 (GGSZ 法)

Model-Independent Dalitz

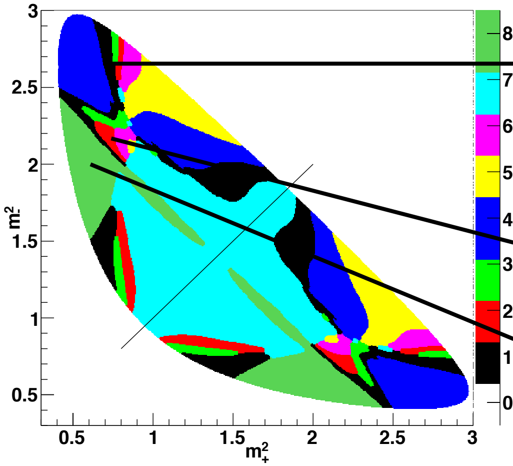
CLEOからδ_Dの測定値が報告された(Dalitz平面上のある領域(Bin)で平均したもの)

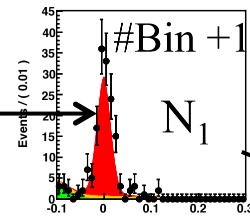
Phys.Rev. D82 (2010) 112006

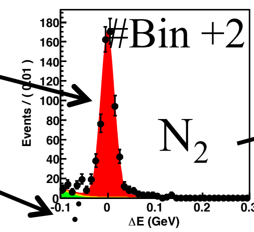
$$c_i \sim \langle \cos \delta_D \rangle$$
$$s_i \sim \langle \sin \delta_D \rangle$$

c_1	-0.009
c_2	$+0.900$
c_3	$+0.292$
c_4	-0.890
c_5	-0.208
c_6	$+0.258$
c_7	$+0.869$
c_8	$+0.798$
s_1	-0.438
s_2	-0.490
s_3	-1.243
s_4	-0.119
s_5	$+0.853$
s_6	$+0.984$
s_7	-0.041
s_8	-0.107

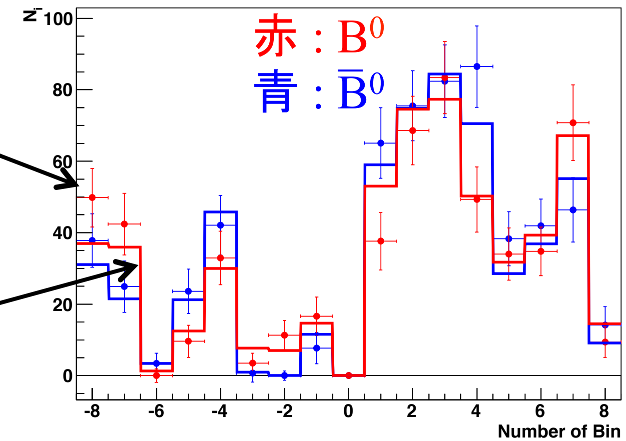
CLEOより







例)



i Binの目のシグナル数 $N_i = h_B[K_i + (x^2+y^2)K_{-i} + 2k\sqrt{K_i K_{-i}}(xc_i + ys_i)]$

$\overline{B}^0 \to D^0 \overline{K}^{*0}$　　$\overline{B}^0 \to \overline{D}^0 \overline{K}^{*0}$　　干渉による項

h_B：規格化定数(フリーパラメター)

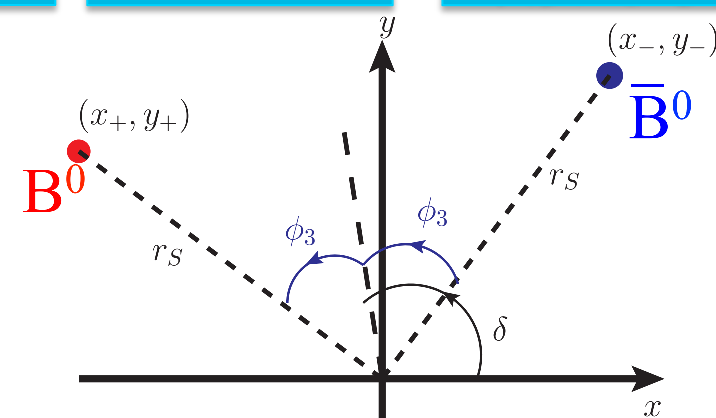
K_i：$D^0 \to K_S\pi\pi$ イベント数

$D^{*\pm} \to D^0\pi^\pm$, $D^0 \to K_S\pi\pi$ から求める

k　：補正係数(後述)

$$x_\pm = r_S \cos(\delta_S \pm \phi_3)$$
$$y_\pm = r_S \sin(\delta_S \pm \phi_3)$$

測定値

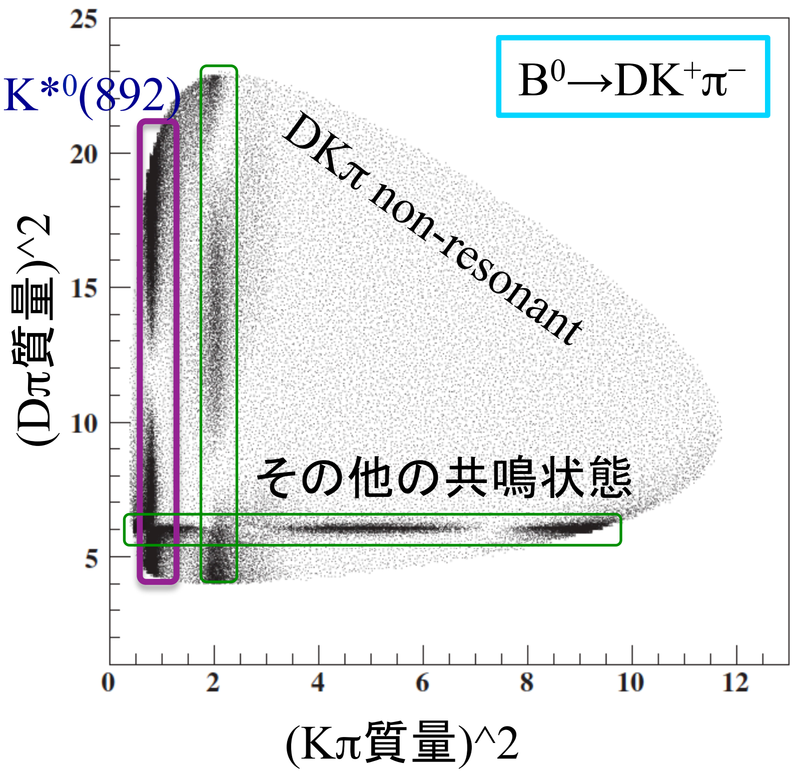


k値

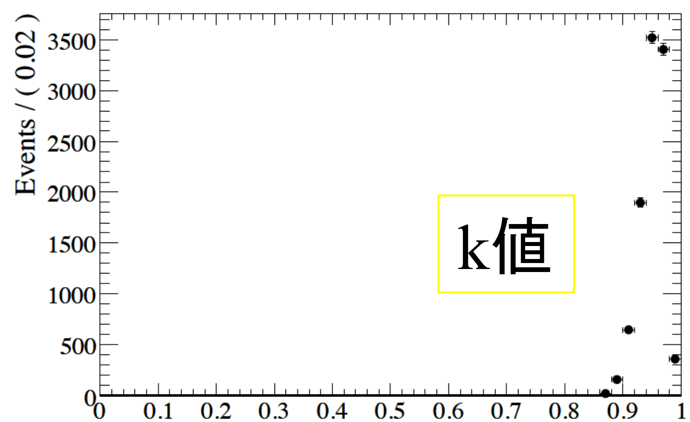
- DKπ, K*の高次共鳴状態からの補正(k (≦ 1))が干渉項に掛かる

i Bin目のシグナル数

$$N_i = h_B[K_i + (x^2 + y^2)K_{-i} + 2\boxed{k}\sqrt{K_i K_{-i}}(xc_i + ys_i)]$$



B⁻→D⁰K*⁻研究から
類推される共鳴状態を
仮定したMC シミュレーション



k = 0.95 ± 0.03　(BaBarより)

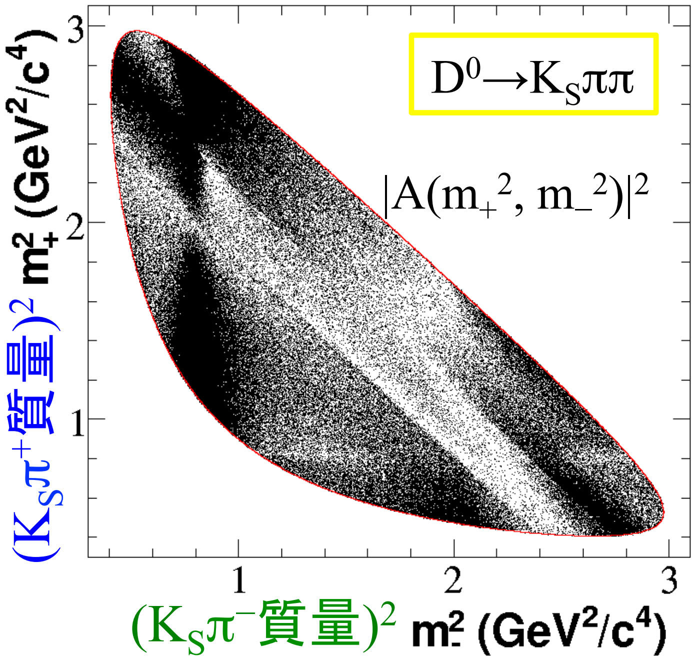
k ~ 1 ; K*⁰(892)以外の寄与が小さい

DK*⁰崩壊を用いてϕ_3測定が出来る

Model-Independent vs Model-Dependent

- かつて, (δ_DがCharm-Factoryから報告されていなかった)

$A(D^0 \to K_S\pi^+\pi^-)(m_+^2, m_-^2)$を



Modelを”仮定”し評価

Intermediate state	Amplitude	Phase (°)	Fit fraction (%)
$K_S\sigma_1$	1.56 ± 0.06	214 ± 3	11.0 ± 0.7
$K_S\rho^0$	1.0 (fixed)	0 (fixed)	21.2 ± 0.5
$K_S\omega$	0.0343 ± 0.0008	112.0 ± 1.3	0.526 ± 0.014
$K_Sf_0(980)$	0.385 ± 0.006	207.3 ± 2.3	4.72 ± 0.05
$K_S\sigma_2$	0.20 ± 0.02	212 ± 12	0.54 ± 0.10
$K_Sf_2(1270)$	1.44 ± 0.04	342.9 ± 1.7	1.82 ± 0.05
$K_Sf_0(1370)$	1.56 ± 0.12	110 ± 4	1.9 ± 0.3
$K_S\rho^0(1450)$	0.49 ± 0.08	64 ± 11	0.11 ± 0.04
$K^*(892)^+\pi^-$	1.638 ± 0.010	133.2 ± 0.4	62.9 ± 0.8
$K^*(892)^-\pi^+$	0.149 ± 0.004	325.4 ± 1.3	0.526 ± 0.016
$K^*(1410)^+\pi^-$	0.65 ± 0.05	120 ± 4	0.49 ± 0.07
$K^*(1410)^-\pi^+$	0.42 ± 0.04	253 ± 5	0.21 ± 0.03
$K_0^*(1430)^+\pi^-$	2.21 ± 0.04	358.9 ± 1.1	7.93 ± 0.09
$K_0^*(1430)^-\pi^+$	0.36 ± 0.03	87 ± 4	0.22 ± 0.04
$K_2^*(1430)^+\pi^-$	0.89 ± 0.03	314.8 ± 1.1	1.40 ± 0.06
$K_2^*(1430)^-\pi^+$	0.23 ± 0.02	275 ± 6	0.093 ± 0.014
$K^*(1680)^+\pi^-$	0.88 ± 0.27	82 ± 17	0.06 ± 0.04
$K^*(1680)^-\pi^+$	2.1 ± 0.2	130 ± 6	0.30 ± 0.07
Nonresonant	2.7 ± 0.3	160 ± 5	5.0 ± 1.0

Modelの不定性が不可避

(もし, 知らない共鳴状態が存在した

or 仮定した共鳴状態が実は無かった

or …

→ (ϕ_3, r_S, δ_S)の測定にバイアスを生む)

Belle フルデータ $B^- \to DK^-$

Mod.-Dep. (2004)　統計　系統 Model不定性

$$\phi_3 = 80.8 ^{+13.1}_{-14.8} \pm 5.0 \pm 8.9$$

Mod.-Ind. (2012)　統計　系統 c_i, s_iの測定精度

$$\phi_3 = 77.3 ^{+15.1}_{-14.9} \pm 4.1 \pm 4.3$$

中性B崩壊 荷電Bとの比較

- 荷電B崩壊に比べ稀崩壊

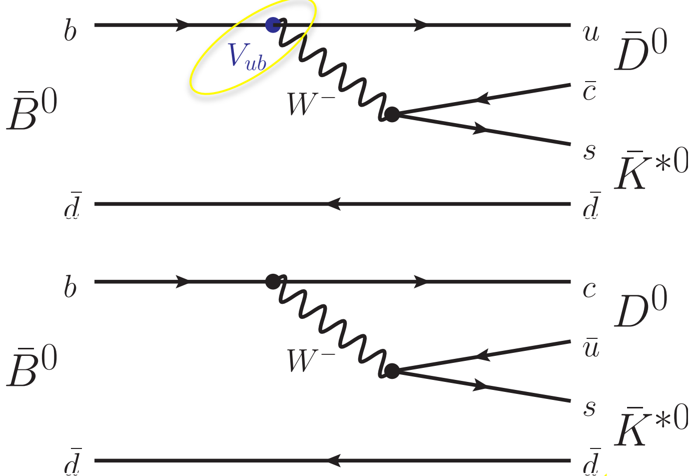
$$\mathrm{Br}(B^0 \to \bar{D}^0 K^{*0}) = (4.2 \pm 0.6) \times 10^{-5}$$
$$\mathrm{Br}(B^+ \to \bar{D}^0 K^+) = (3.65 \pm 0.33) \times 10^{-4}$$

~1/10 ☹
シグナルが少ない

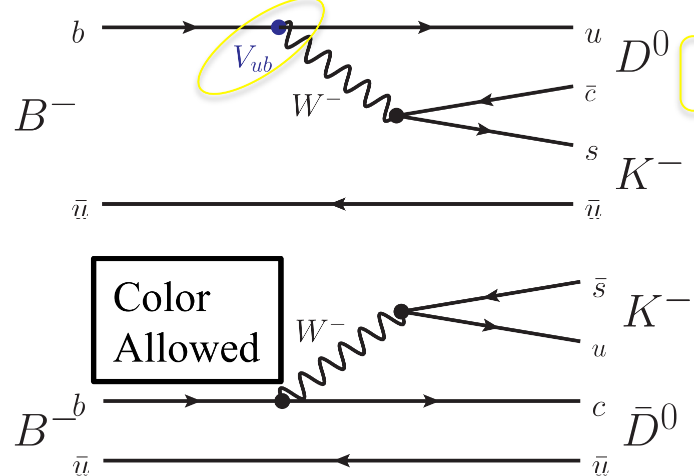
- **ただし r (ϕ_3の効果)は大きい**

中性B崩壊のr_Sは3σ以上でnon-0の測定出来ていない

$\bar{B}^0 \to D\bar{K}^{*0}$



$B^- \to DK^-$



b→u遷移(ϕ_3の効果)が入ってくる経路

$r_S = [0.2 - 0.4]$
(予測値)

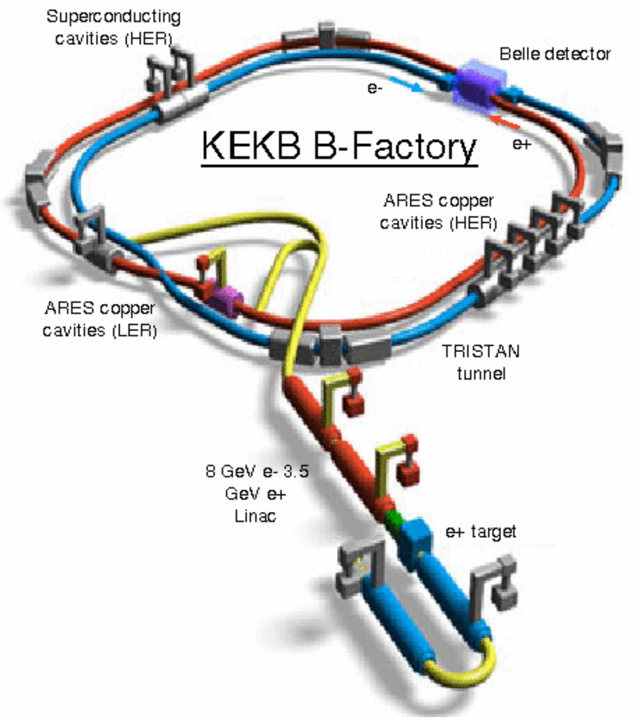
~3倍☺

$r_B = 0.0972^{+0.0063}_{-0.0064}$
CKMfitter 2014

中性Bを用いて, 荷電Bとは独立にϕ_3測定が期待出来る

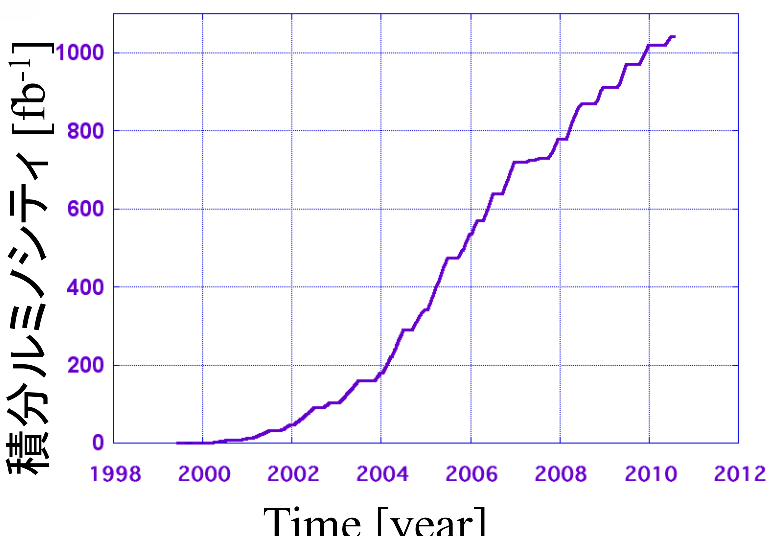
2. Belle 実験

Belle実験 KEKB加速器



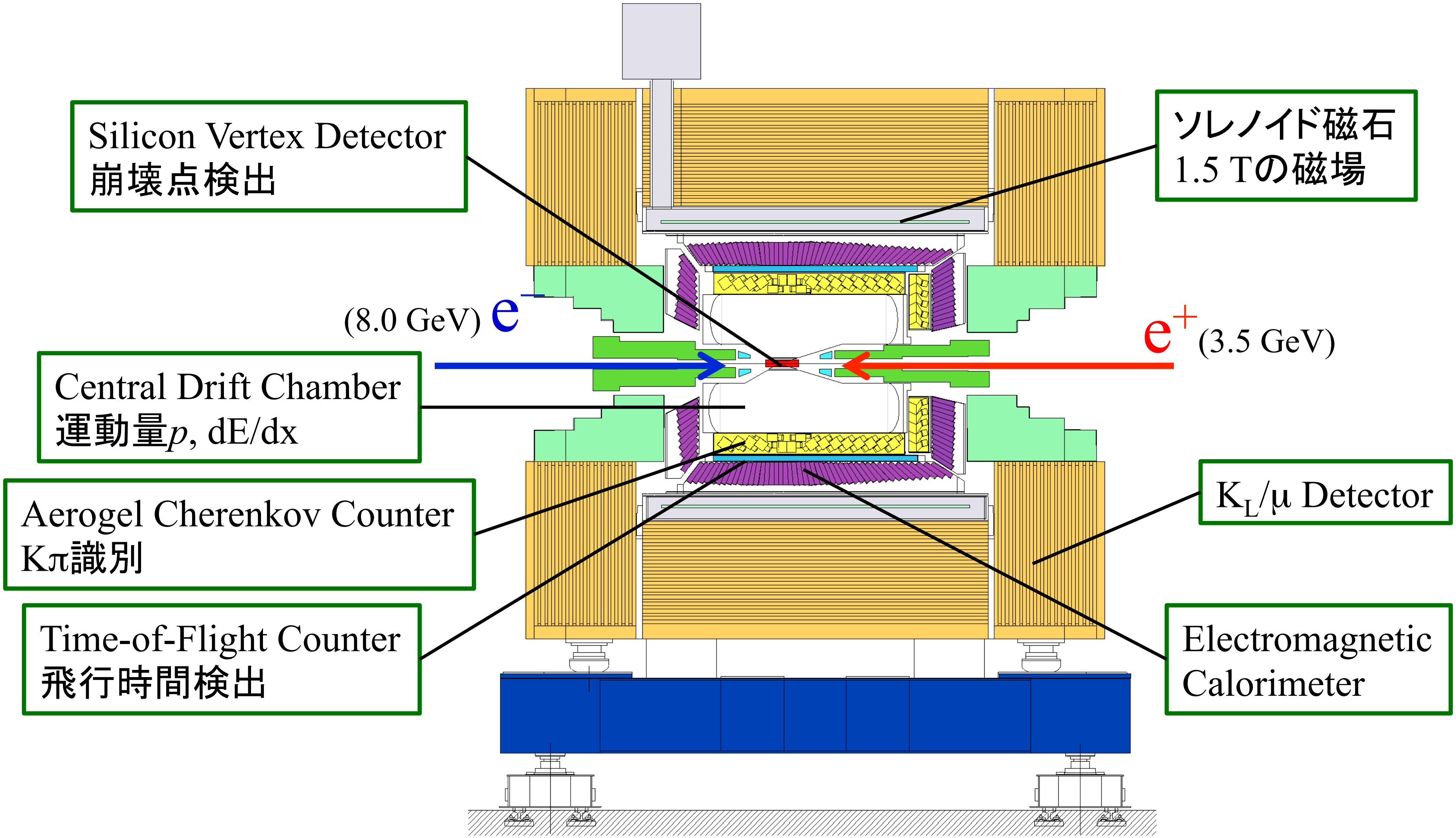
KEKB加速器 (1999 – 2010)

- 重心エネルギー : 10.58 GeV
  - $\Upsilon(4S) \rightarrow B\bar{B}$ (~ 100 %)
- 非対称エネルギー : $\beta\gamma = 0.425$
- 世界最高のルミノシティ
  - (積分) : 1040 fb^{-1}
  - (瞬間) : $2.11 \times 10^{34}\ \mathrm{cm}^{-2}\mathrm{s}^{-1}$



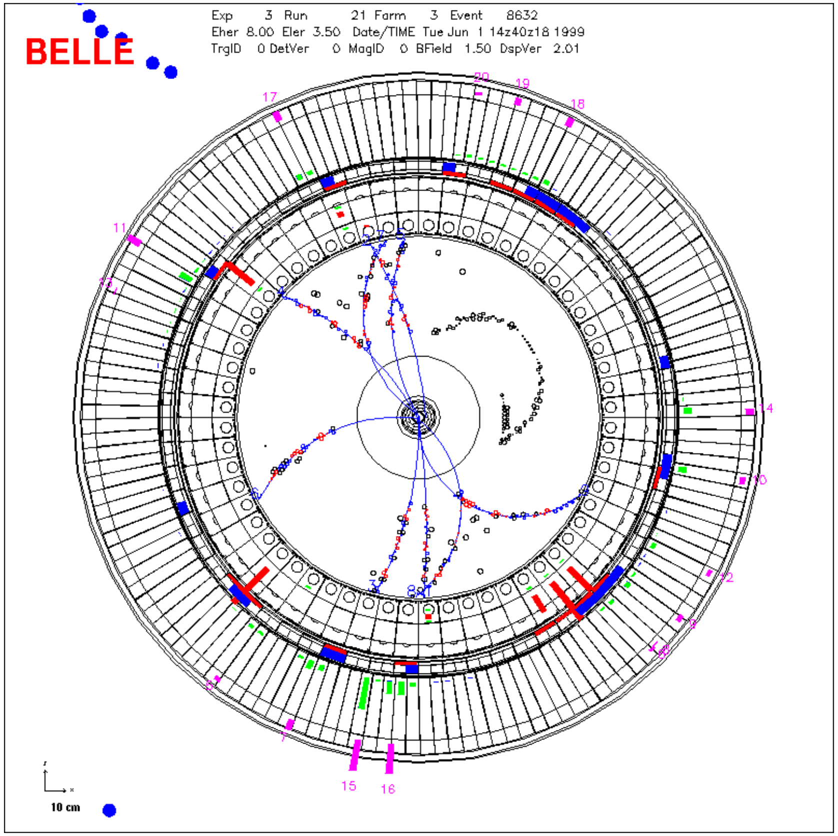
本解析では全Υ(4S)データ
($711\ \mathrm{fb}^{-1}$, 7.72億$B\bar{B}$ペア)を使用

Belle実験
Belle検出器



- 崩壊点分解能, 粒子識別能力が高い

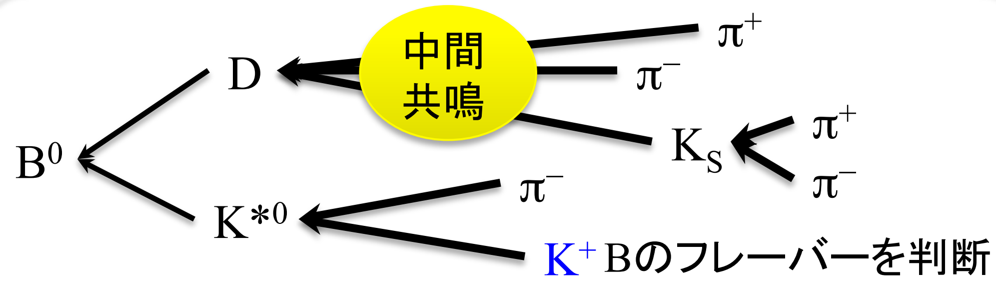
B物理に適した実験, 検出器である



3. $B^0 \to DK^{*0}$ 崩壊の解析

シグナル再構成

K_S, D, K^{*0}中間子の再構成



粒子識別(K/π)
CDC, ACC, TOF情報から

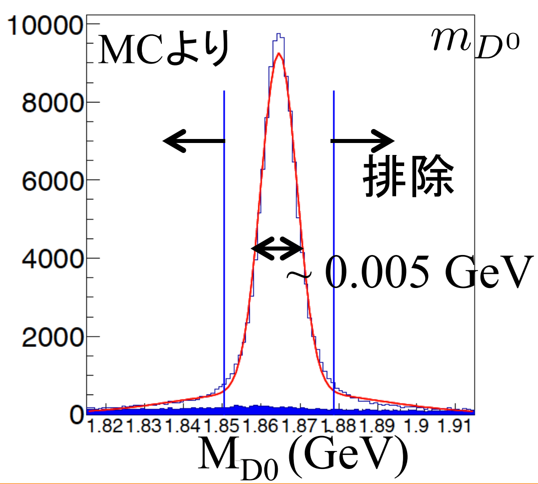
- Efficiency 90 %
- Fake rate 10 %

K_Sは$\pi^+\pi^-$から再構成
K_Sの特徴から
寿命が長い, ある程度飛ぶ

- Purity 94%
- Efficiency 87%

Dの再構成

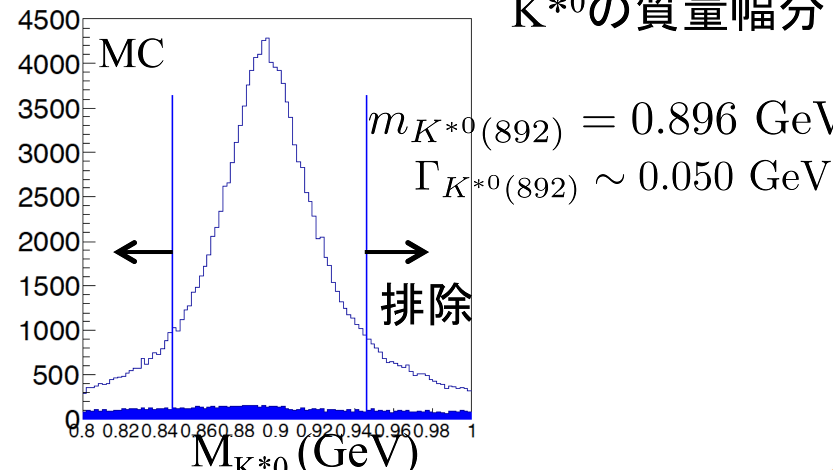
- π^+, π^-とK_Sより再構成
- $|M_{K_S\pi\pi} - m_{D^0}| < 0.015$ GeV



$K^{*0}(\bar{K}^{*0})$の再構成

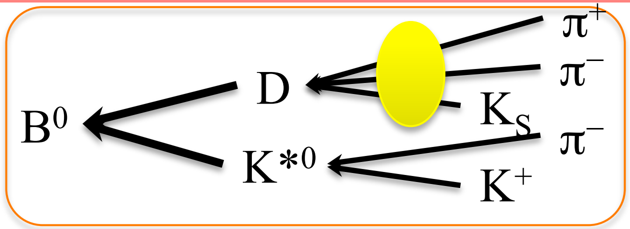
- K^+,π^- (K^-,π^+)より再構成
- $|M_{K\pi} - m_{K^{*0}}| < 0.050$ GeV

K^{*0}の質量幅分



シグナル再構成

B^0の再構成



粒子識別(K/π)
CDC, ACC, TOF情報から

- Efficiency 90 %
- Fake rate 10 %

K_Sは$\pi^+\pi^-$から再構成
K_Sの特徴から

- Purity 94%
- Efficiency 87%

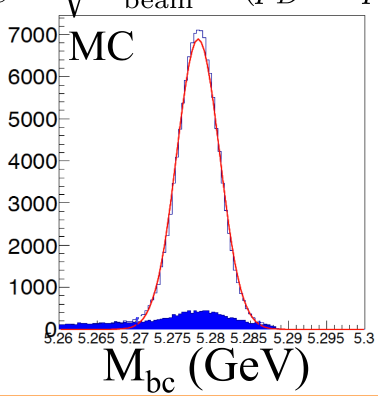
- Dの再構成
  - π^+, π^-とK_Sより再構成
  - $|M_{K_S\pi\pi} - m_{D^0}| < 0.015$ GeV

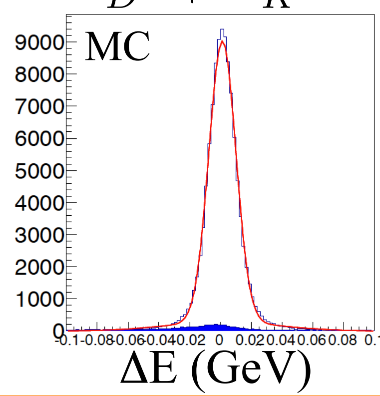
- $K^{*0}(\bar{K}^{*0})$の再構成
  - K^+,π^- (K^-,π^+)より再構成
  - $|M_{K\pi} - m_{K^{*0}}| < 0.050$ GeV

- B^0の再構成

(1イベント中複数のB^0候補が組めた時)質量がB^0質量に近いものを一つ選ぶ

- $M_{bc} \equiv \sqrt{E_{\rm beam}^2 - (\vec{p}_{D^0} + \vec{p}_{K^{*0}})^2}$
- $\Delta E \equiv E_{D^0} + E_{K^{*0}} - E_{\rm beam}$





M_{bc}, ΔEは
シグナルの抽出に
用いる

背景事象除去

- $D^{*\pm}$背景事象除去
  - $D^{*\pm}$が含まれる背景事象は$D^{*\pm}\rightarrow D^0\pi^\pm$から$D^0$が生成されシグナルとして捉え易い
  - $D^{*\pm}$とD^0の質量差(ΔM)から除去

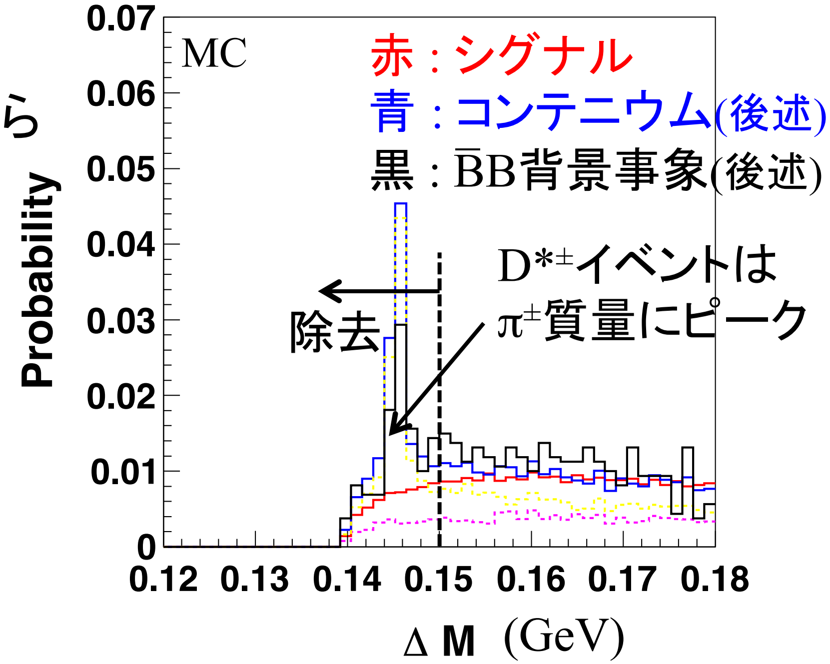
$D^{*\pm} \rightarrow \pi^\pm$ このπがいないかを探す

$D^{*\pm} \rightarrow D^0$

適当なKπ → K^{*0}

$D^0 + K^{*0} \rightarrow B^0$(シグナル)

$$\Delta M > 0.15\ \mathrm{GeV}$$



- D^-K^{*+}背景事象除去
  - シグナルと終状態が同じ
  - $K^{*0}\pi^-$質量分布から除去

$B^0 \rightarrow D^-,\ K^{*+}$

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

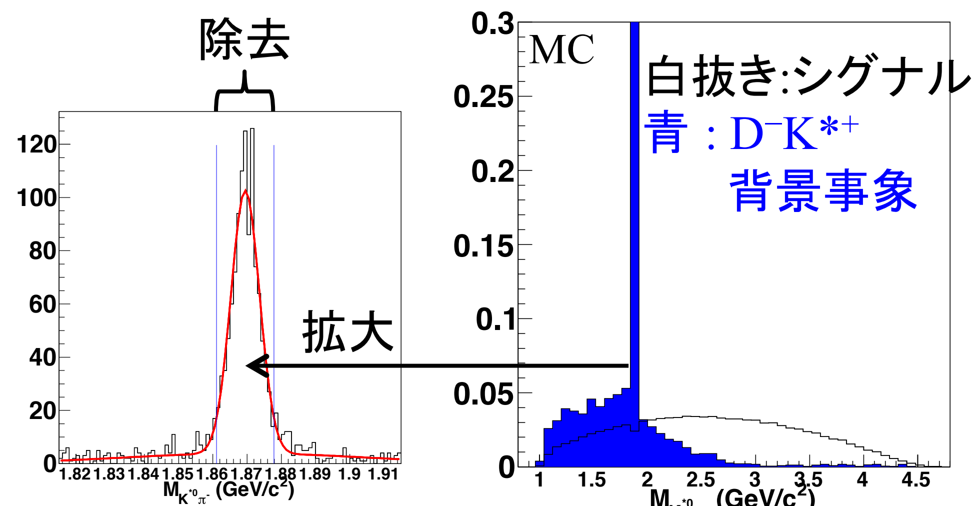
$K^{*+} \rightarrow \pi^+, K_S$

$K^+\pi^- \rightarrow K^{*0}$

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

$K^{*0} + D^0 \rightarrow B^0$(シグナル)

$$|\ M_{K^{*0}\pi^-} - m_{D^-}\ | > 0.04\ \mathrm{GeV}$$



背景事象

- 特に中性Bの解析はシグナルの崩壊分岐比が小さく,
  背景事象の理解, 評価がとても重要である

  - コンティニュアム背景事象
    - $e^+e^-\to q\bar{q}$, ($q = u,d,s,c$); Υ(4S)以外の事象(次ページ)

  - $B\bar{B}$ 背景事象
    - e^+e^-から$B\bar{B}$ ペアが生成され、シグナル以外の崩壊をしているが,
      シグナルとして再構成されてしまう事象
      - D^0が真な$B\bar{B}$背景事象
      - D^0が偽な$B\bar{B}$背景事象

  - ピーキング背景事象
    - 特定の崩壊モードが特にシグナルに見え易く,
      シグナルの抽出に用いられるパラメータ(ΔE, M_{bc})でピークを作るもの
      - $D^0\rho^0$背景事象
      - $D^0a_1^+$背景事象

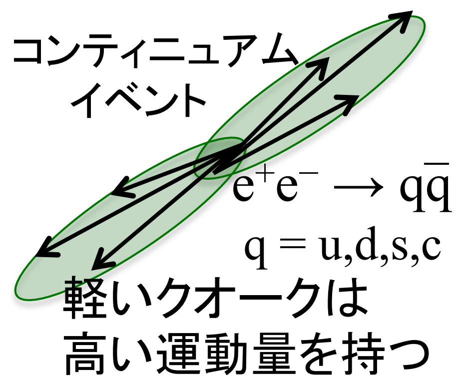
これら三種類の背景事象をシグナル抽出の際に同時に評価する

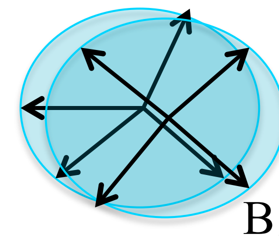
コンティニュアム背景事象の抑制

コンティニュアム背景事象とは
e^+e^-が(u,d,s,c)の軽いクオーク対を
生成するイベント

Process	σ [nb]
$b\bar{b}$	1.1
$c\bar{c}$	1.3
$q\bar{q}$ $(q = u, d, s)$	2.1

(cc̄ と qq̄: $B\bar{B}$の~3倍)

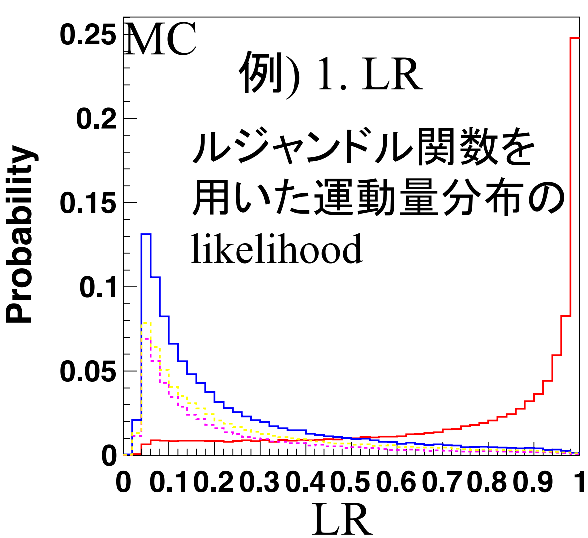




- コンティニュアム背景事象抑制に12の変数を用いる

イベントトポロジーによる

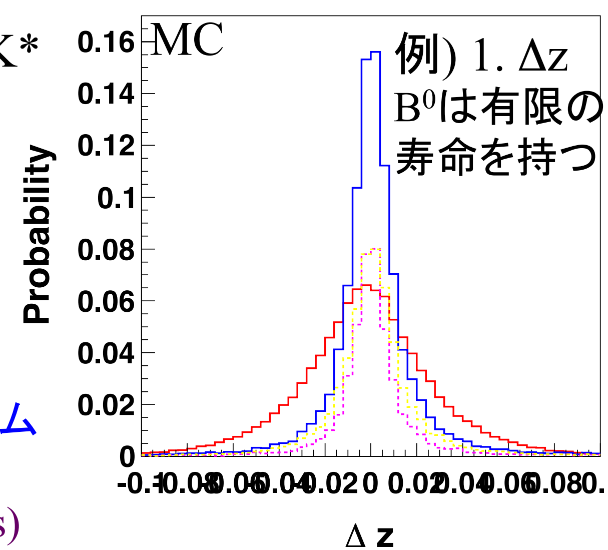
1. LR
2. $\cos\theta_{thr.}$
3. v1_v1
4. v2_v2
5. v3_v3
6. v1_z
7. $thru_{oth.}$



B崩壊による

1. Δz
2. dist. DK*
3. $|qr|$
4. $\cos\theta_B$
5. $\cos\theta^D_B$

赤:シグナル
青:コンティニュアム
緑破線: q = c
紫破線: q = (u,d,s)



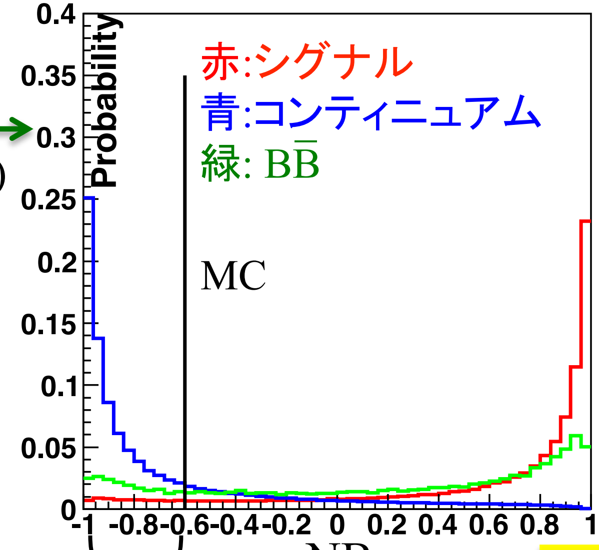
シグナルとコンティニュアム事象が分離可能なパラメータを見つけた

コンティニュアム背景事象の抑制

- コンティニュアム背景事象抑制出来る12の変数をコンバイン (NeuroBayesというニューラルネット利用)

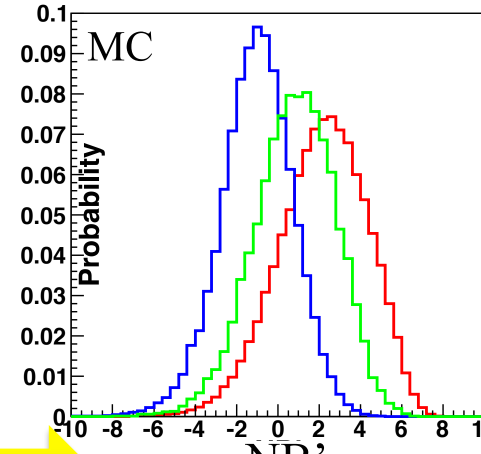
1. LR
2. v1_v1
3. Δz
4. dist. DK*
5. $|qr|$
6. $\cos\theta_B$
7. $\cos\theta_{thr}$
8. thru_oth
9. v1_z
10. v3_v3
11. v2_v2
12. $\cos\theta^D_B$

NB = NB(LR,v1_v1,…)
MCより求める



除去

NB > − 0.6



$$NB' \equiv \ln\left(\frac{NB - NB_{\rm low}}{NB_{\rm high} - NB}\right)$$

$$NB_{\rm low} = -0.6$$

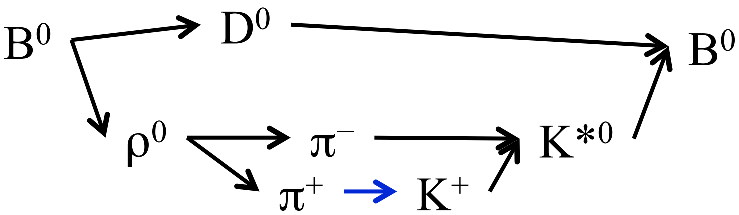
$$NB_{\rm high} = 0.9992$$

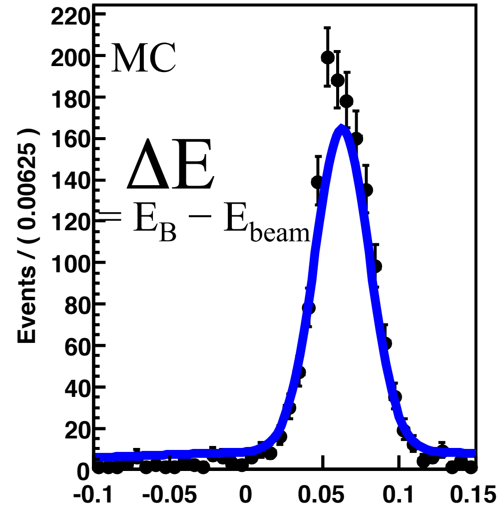
NB'に変換する事でフィットし易くなる

このNB'もシグナルの抽出に用いる
→シグナルは(ΔE, NB', M_{bc})の3次元から抽出

ピーキング背景事象

- 1つ粒子識別を間違えたイベント
  - 例) $D^0\rho^0$

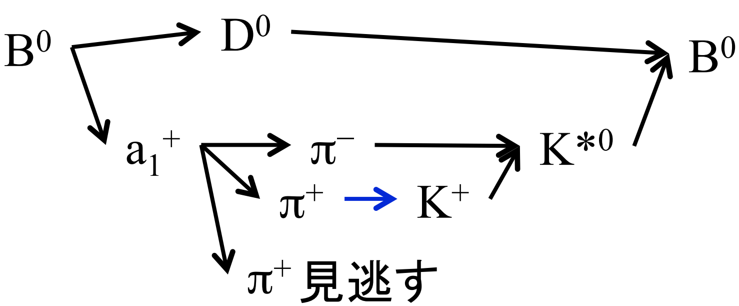


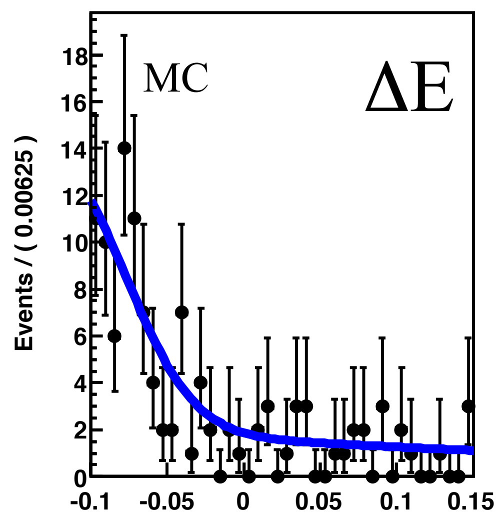


πをKと識別ミスしているので、$m_\pi \rightarrow m_K$分運動量に応じてΔEが正側にシフト(~0.05 GeV)

B崩壊なので、コンテニュアム抑制のNB'とM_{bc}はシグナルとほぼ同様

- 1つ粒子識別を間違えπを見逃すイベント
  - 例) $D^0a_1^+$, $D^{*0}\rho^0$



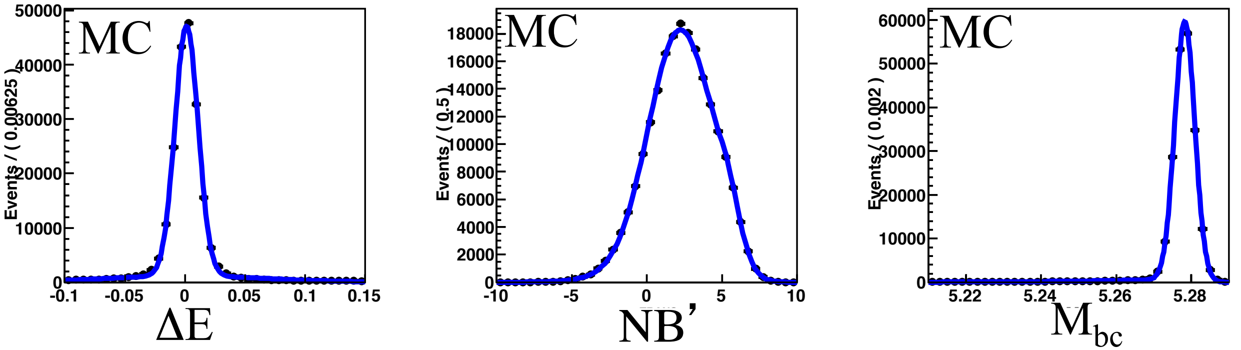


πを1つ逃しているので、ΔE~0 GeVから負側に鋭い立ち上がり

ピーキング背景事象はMCより分布の形を決めシグナル抽出時に同時に評価する

シグナル抽出に用いるPDF

- シグナルは3次元(ΔE, NB', M_{bc})の分布をフィットして得る

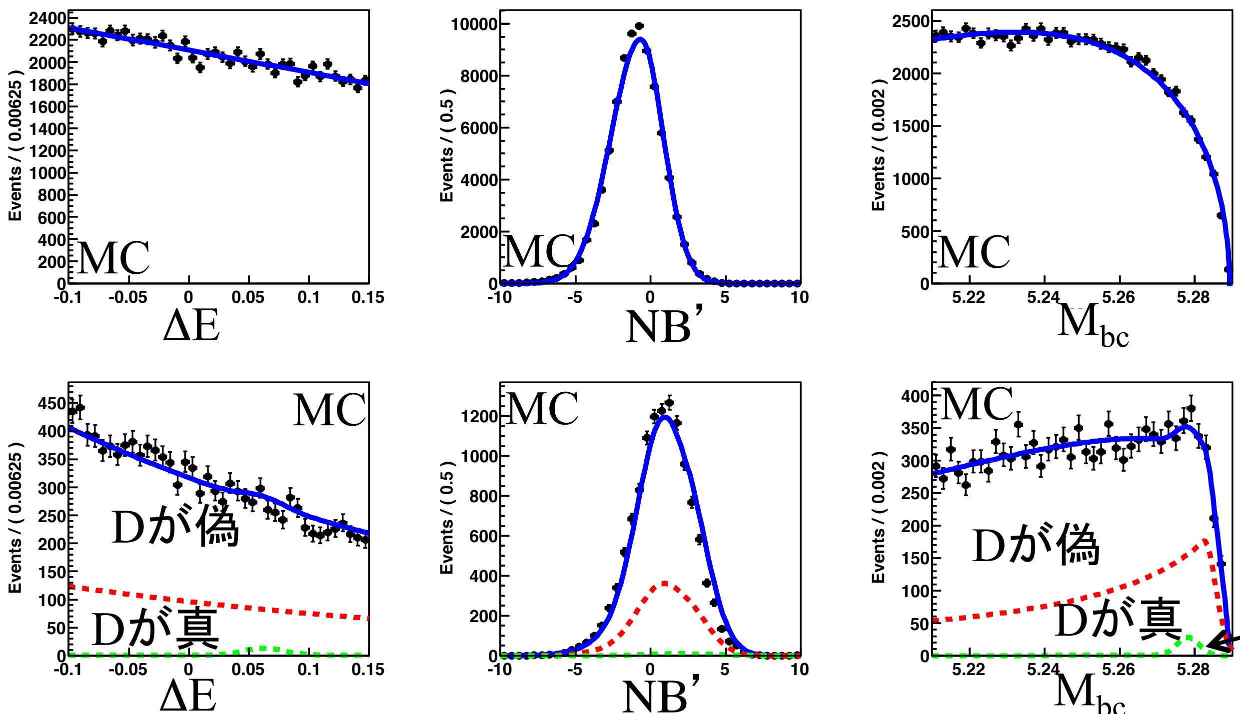


MCから
分布の形状を得る

- 同時に(コンティニュアム, B$\bar{B}$, ピーキング)背景事象もフィットする

コンティニュアム

B$\bar{B}$イベント
＋ピーキング



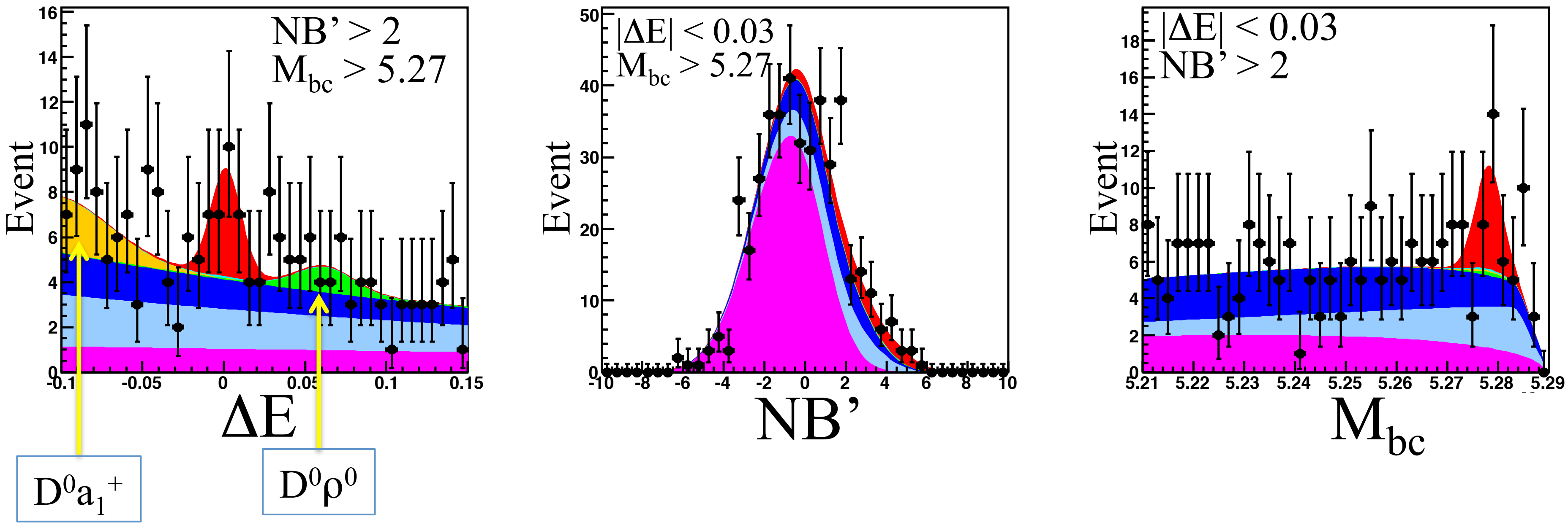
MCから
分布の形状を得る

ピーキング背景事象

シグナル抽出

- 3次元(ΔE, NB’, M_{bc})フィットによりシグナル数を求める、
ここで, Dalitz平面上Bin分けせず, シグナルの総数N_{total}を求めた

772×10^6 $B\bar{B}$



赤　：シグナル
青　：D^0 偽 $B\bar{B}$
水色：D^0 真 $B\bar{B}$
紫　：コンティニュアム

$N_{total} = 44.2^{+13.3}_{-12.1}$ イベント　誤差は統計誤差のみ

統計Significance = 2.8 σ

$D\pi^{\pm}$ コントロールサンプルの解析

- $D\pi$崩壊(実データ)を用いて,
  Bin分けしたシグナル抽出で(x,y)が得られるか妥当性のチェック
  - $D\pi$崩壊
    DKと同様にϕ_3測定が可能
    - ϕ_3感度は非常に低い　$r \sim 0.01$　$r = \dfrac{|振幅(\phi_3効果を含む崩壊)|}{|振幅(\phi_3効果を含まない崩壊)|}$
    - 信号数は非常に大きい　$Br(B^+ \to D^0\pi^+) = (4.81 \pm 0.15)\times 10^{-3}$　~ 100倍大きい
  - $B^- \to DK^-$を用いたモデル依存の無いDalitz解析でも
    コントロールサンプルとして用いられ, 結果が報告されている

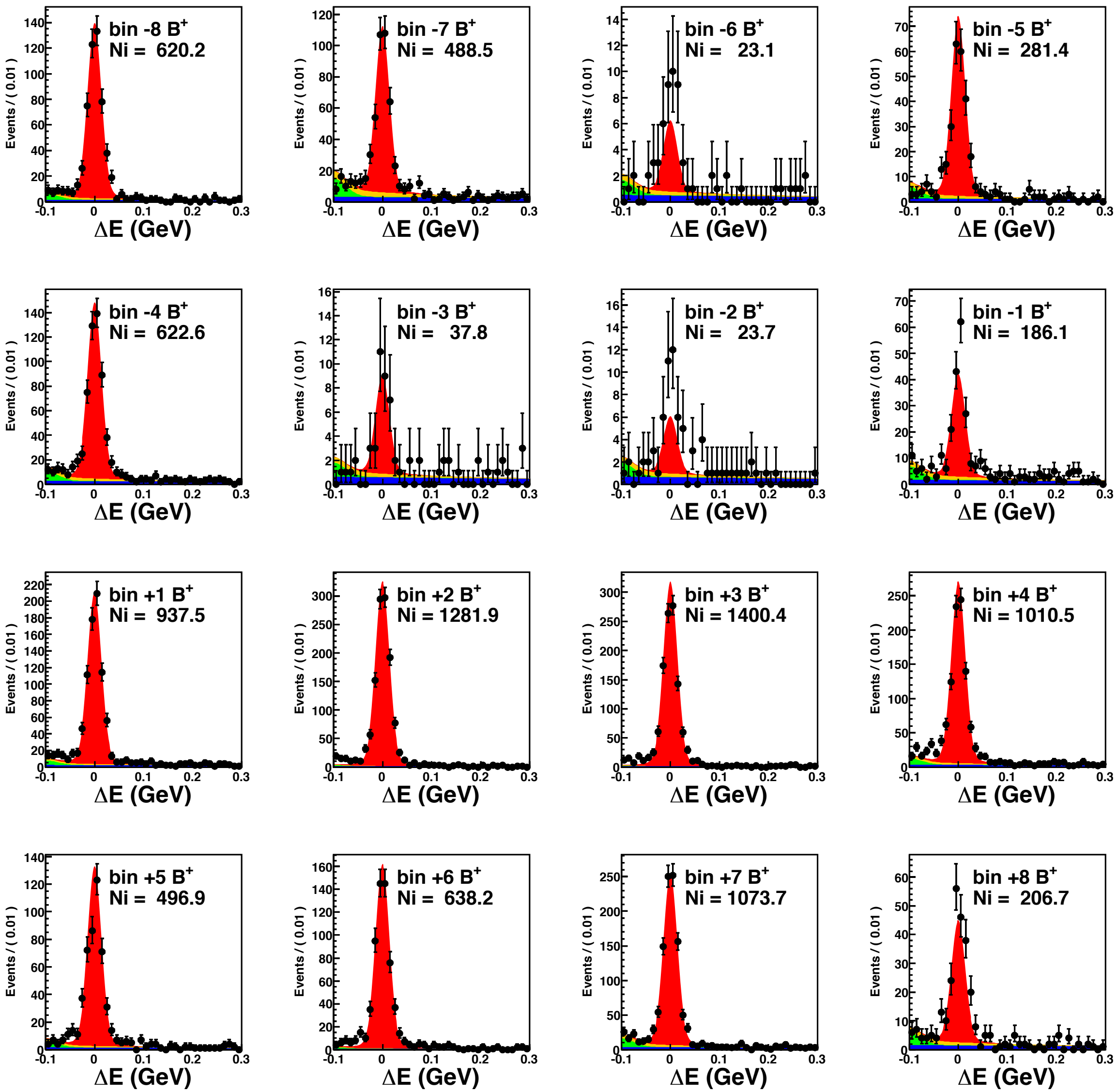
$$x_- = -0.0045 \pm 0.0087 \pm 0.0056$$
$$y_- = -0.0231 \pm 0.0107 \pm 0.0077$$
$$x_+ = -0.0172 \pm 0.0089 \pm 0.0065$$
$$y_+ = +0.0129 \pm 0.0103 \pm 0.0088$$

$r \sim 0.01$ から
$|x(\mathrm{or}\ y)| \sim 0.01$程度を期待される

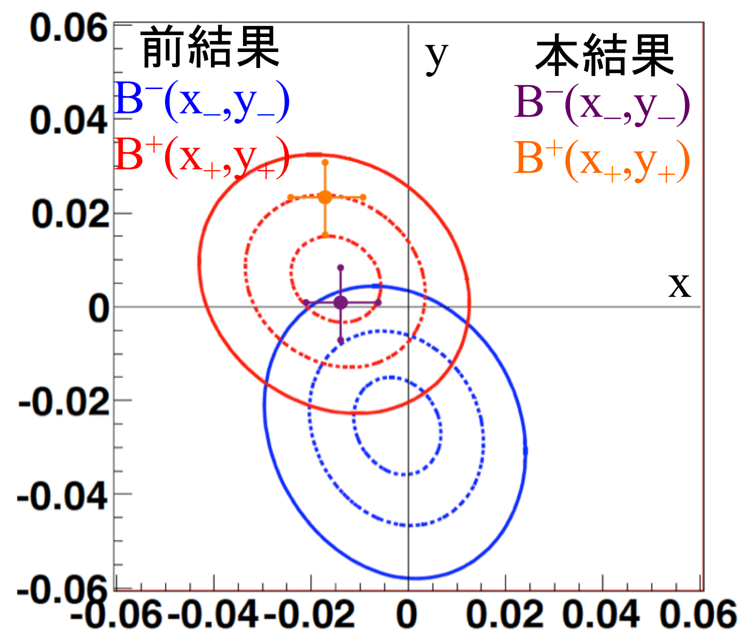
Phys.Rev. D85 (2012) 112014
本解析と同じ
Belle実験のフルデータ

この先行研究と, 同じデータサンプルから
コンシステントな結果を得られるかチェックする

$D\pi^{\pm}$ コントロールサンプルの結果



$$x_- = -0.0142 \pm 0.0077$$
$$y_- = +0.0010 \pm 0.0076$$
$$x_+ = -0.0169 \pm 0.0083$$
$$y_+ = +0.0225 \pm 0.0076$$

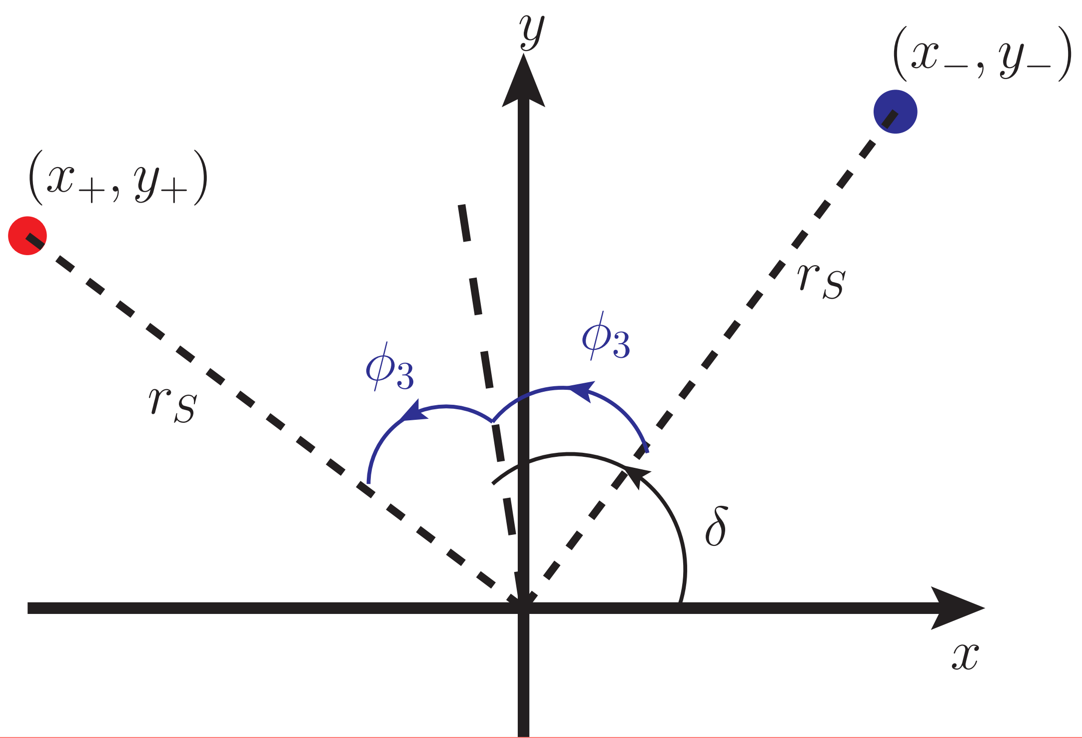


B^-側(x_-, y_-)のズレは

- K_Sのセレクション
- コンテニュアム抑制

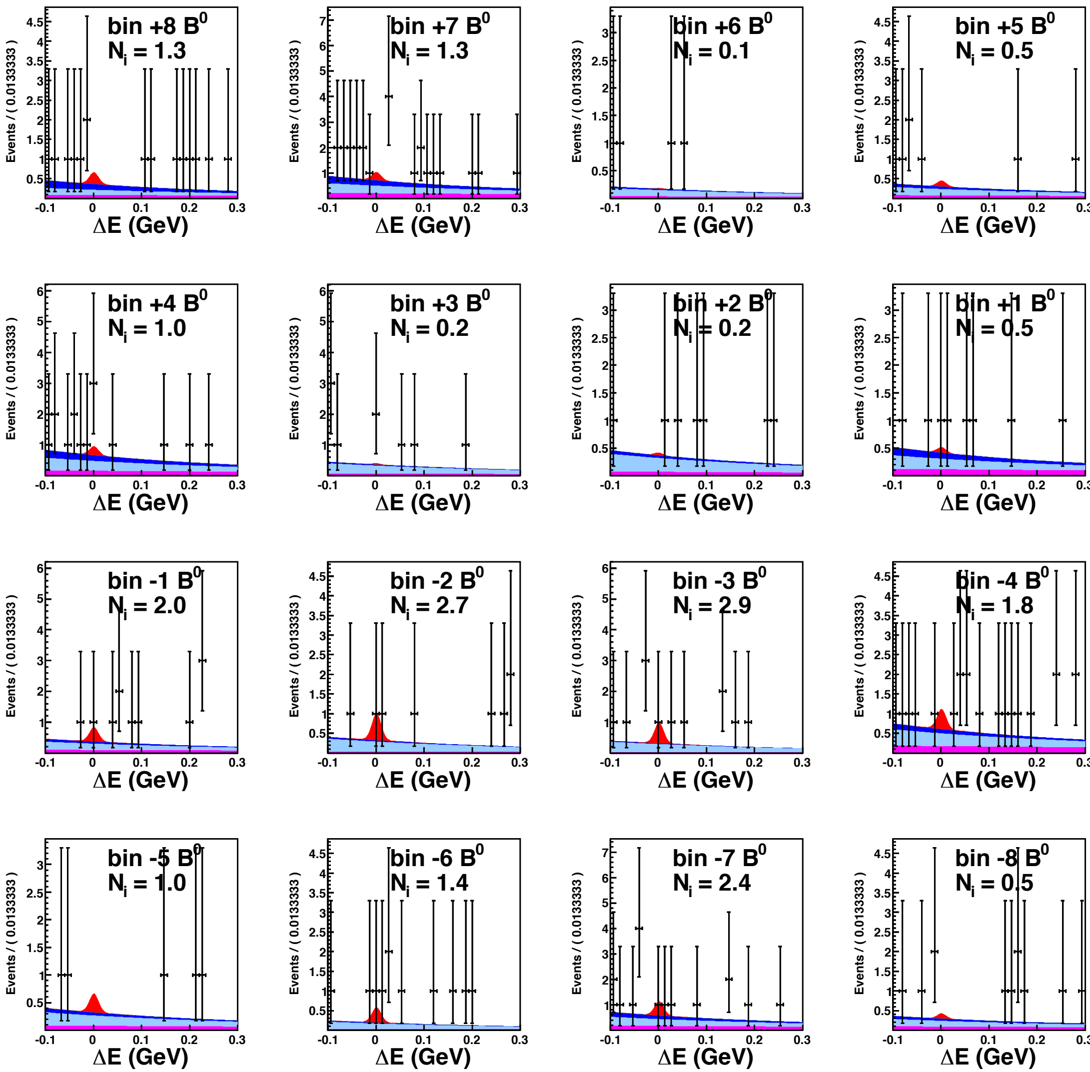
}と思われる

実データを用いて(x, y)フィットの妥当性を確認する事が出来た



4. 結果

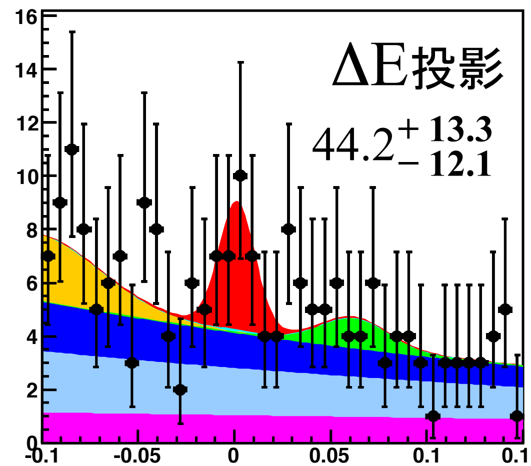
DK*^{0} 実データにおける$(x_\pm, y_\pm)$の結果



B^0

$\overline{B}^0$側も足して

背景事象のBin間の比を成分毎にMCで決定



$(x,y)_{meas.}$の結果
(likelihood分布から)

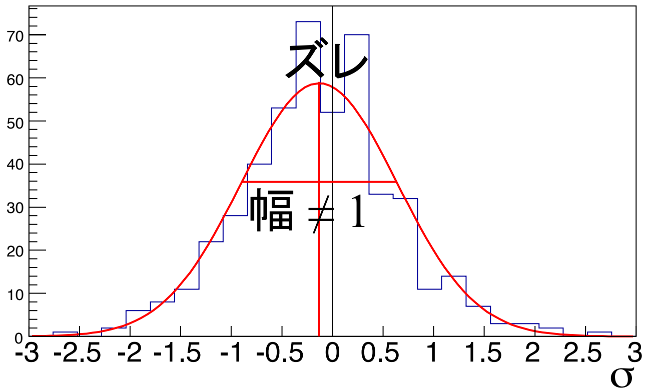
$$x_{-\,meas.} = +0.29\,^{+0.45}_{-0.42}$$
$$y_{-\,meas.} = -0.33\,^{+0.51}_{-0.54}$$
$$x_{+\,meas.} = +0.07\,^{+0.55}_{-0.40}$$
$$y_{+\,meas.} = +0.05\,^{+0.51}_{-0.63}$$

- 測定値からフィットバイアスを含む真値, 統計誤差を求める →次ページ

Feldman-Cousin frequentist法

- 真値, 統計誤差をFeldman-Cousin法を用いて求める

例)y_+値 $\dfrac{y_{+true} - y_{+obt.}}{\Delta y_{+obt.}}$ 分布



統計誤差を表現出来ていれば
中心値0, 幅1のガウシアンになる

少数統計による

大統計でstandardなガウシアンになる事を確認

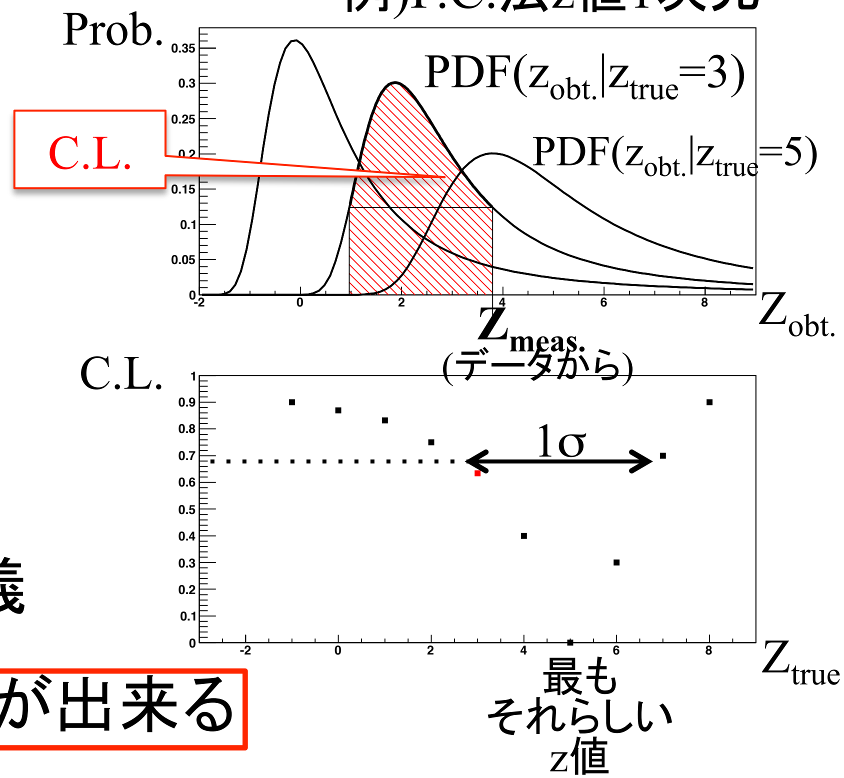
- 一次元(z値)でのF.C.法

1. Probability Density Function
   (真値がz_{true}の時の$z_{obt.}$分布)を得る

1.5. データから$z_{meas.}$を得る

2. PDF > PDF($z_{meas.}|z_{true}$)領域を
   積分しConfidence Level(z_{true})と定義

例)F.C.法z値1次元



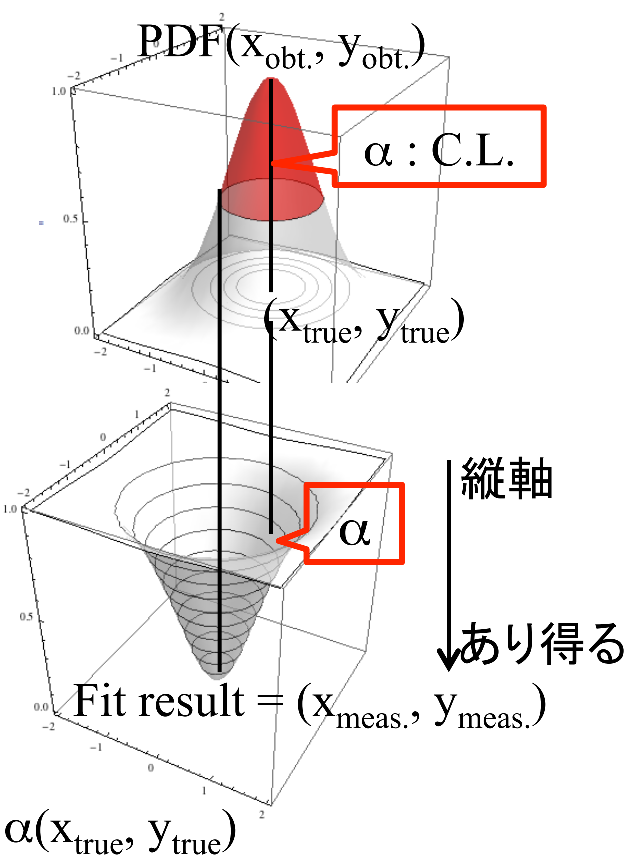
測定値から真値と誤差を見積もる事が出来る

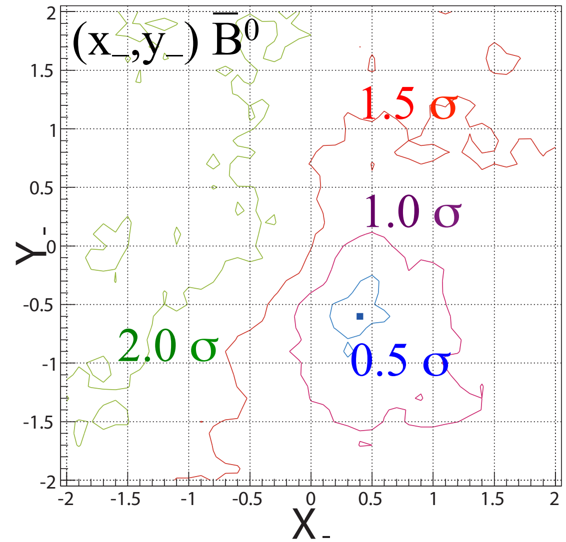
統計誤差

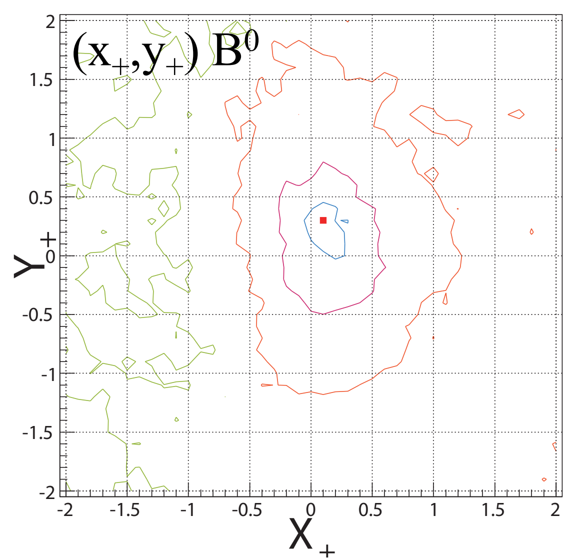
- F.C.法を用いConfidence Level$(x,y)_{true}$を測定

PDFは$N_i(x,y)_{true}$をPoissonでふらつかせたMCシミュレーションより求める

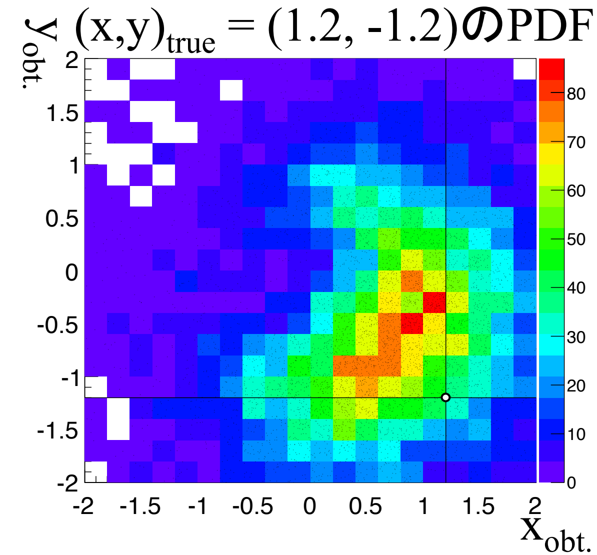
二次元F.C.法







例)



(x,y) 結果 統計誤差のみ

$$x_- = +0.4\ {}^{+1.1}_{-0.6}$$

$$y_- = -0.6\ {}^{+0.8}_{-1.0}$$

$$x_+ = +0.1\ {}^{+0.7}_{-0.4}$$

$$y_+ = +0.3\ {}^{+0.5}_{-0.8}$$

系統誤差

1) Dalitz図上Bin毎の検出効率の補正
2) Dalitz図上Bin間のCross-feedの補正
3) 三次元フィット時のPDFの誤差
4) D^0崩壊の統計誤差(K_iの誤差)
5) c_i, s_iの誤差(CLEOより)
6) kの誤差(BaBarより)

Source of uncertainty	Δx_-	Δy_-	Δx_+	Δy_+
1) Dalitz plots efficiency	±0.00	$^{+0.01}_{-0.00}$	±0.01	$^{+0.00}_{-0.01}$
2) Crossfeed between bins	±0.00	$^{+0.01}_{-0.00}$	$^{+0.01}_{-0.00}$	±0.00
3) PDF shape	$^{+0.01}_{-0.07}$	$^{+0.07}_{-0.01}$	$^{+0.01}_{-0.10}$	$^{+0.04}_{-0.06}$
Signal	±0.00	±0.00	±0.00	±0.00
$B\bar{B}$	$^{+0.01}_{-0.07}$	$^{+0.07}_{-0.01}$	$^{+0.01}_{-0.10}$	$^{+0.04}_{-0.06}$
Continuum	±0.00	±0.00	±0.00	$^{+0.00}_{-0.01}$
$D^0\rho^0$	±0.00	±0.00	±0.00	$^{+0.00}_{-0.01}$
$D^0a_1^+$	±0.00	$^{+0.00}_{-0.01}$	±0.00	±0.00
4) Flavor-tagged statistics	±0.00	±0.00	±0.00	$^{+0.00}_{-0.01}$
5) c_i, s_i precision	±0.03	$^{+0.09}_{-0.08}$	±0.05	$^{+0.08}_{-0.10}$
6) k precision	±0.00	±0.01	±0.00	±0.00
Total without c_i, s_i precision	$^{+0.01}_{-0.07}$	$^{+0.07}_{-0.02}$	$^{+0.02}_{-0.10}$	$^{+0.04}_{-0.06}$
Total	$^{+0.03}_{-0.08}$	$^{+0.12}_{-0.08}$	$^{+0.05}_{-0.11}$	$^{+0.09}_{-0.12}$

シグナル抽出のPDF(特に$B\bar{B}$)
D崩壊の強い相互作用の位相差c_i, s_i
} 支配的

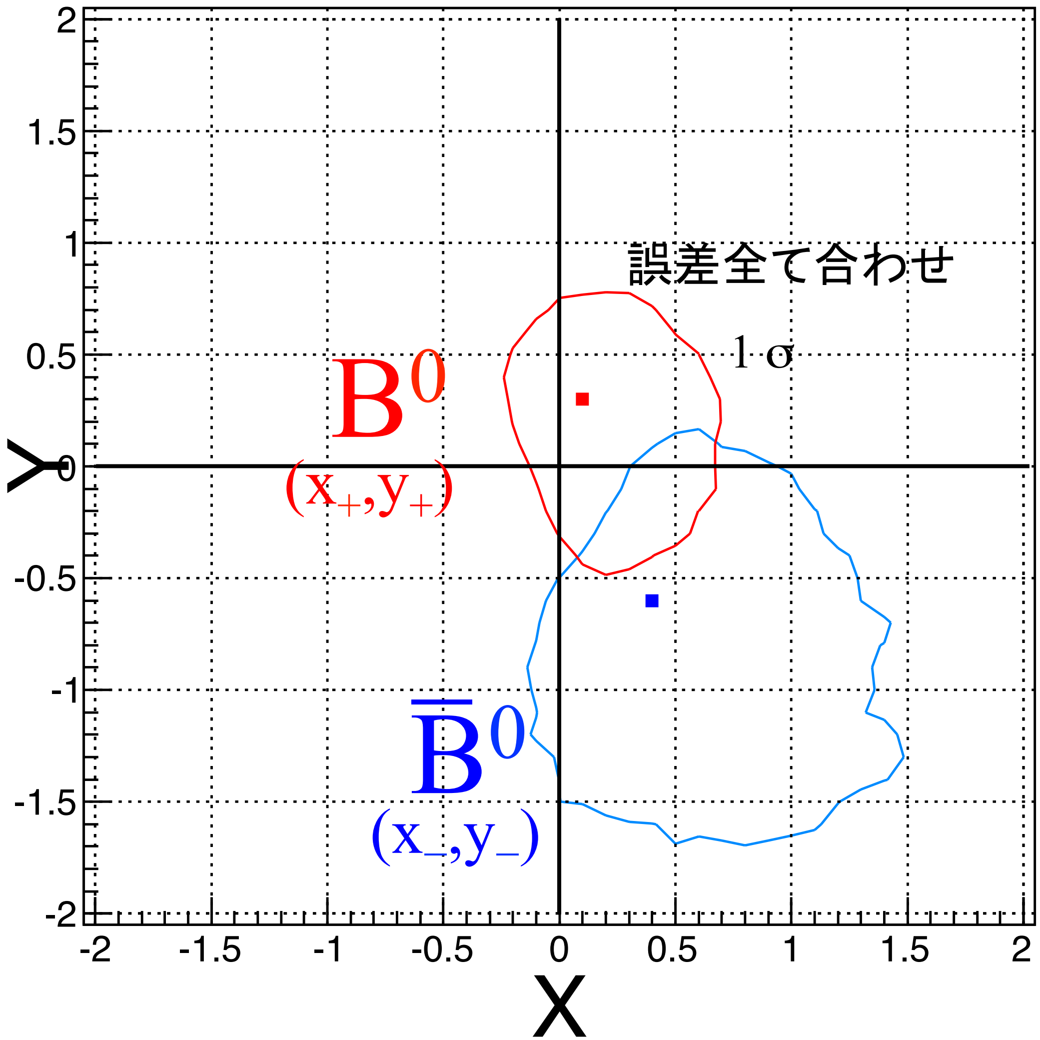
c_i,s_i以外　c_i,s_i

- $\Delta x_- = {}^{+0.0}_{-0.1} \pm 0.0$
- $\Delta y_- = {}^{+0.1}_{-0.0} \pm 0.1$
- $\Delta x_+ = {}^{+0.0}_{-0.1} \pm 0.1$
- $\Delta y_+ = {}^{+0.0}_{-0.1} \pm 0.1$

系統誤差は上記の誤差分に相当する(x,y)平面のガウシアンを仮定しPDFに畳込み, 統計誤差と系統誤差をコンバインする

(x,y)測定の結果

- 系統誤差も含んだPDFから(x,y)平面上のC.L.を求める



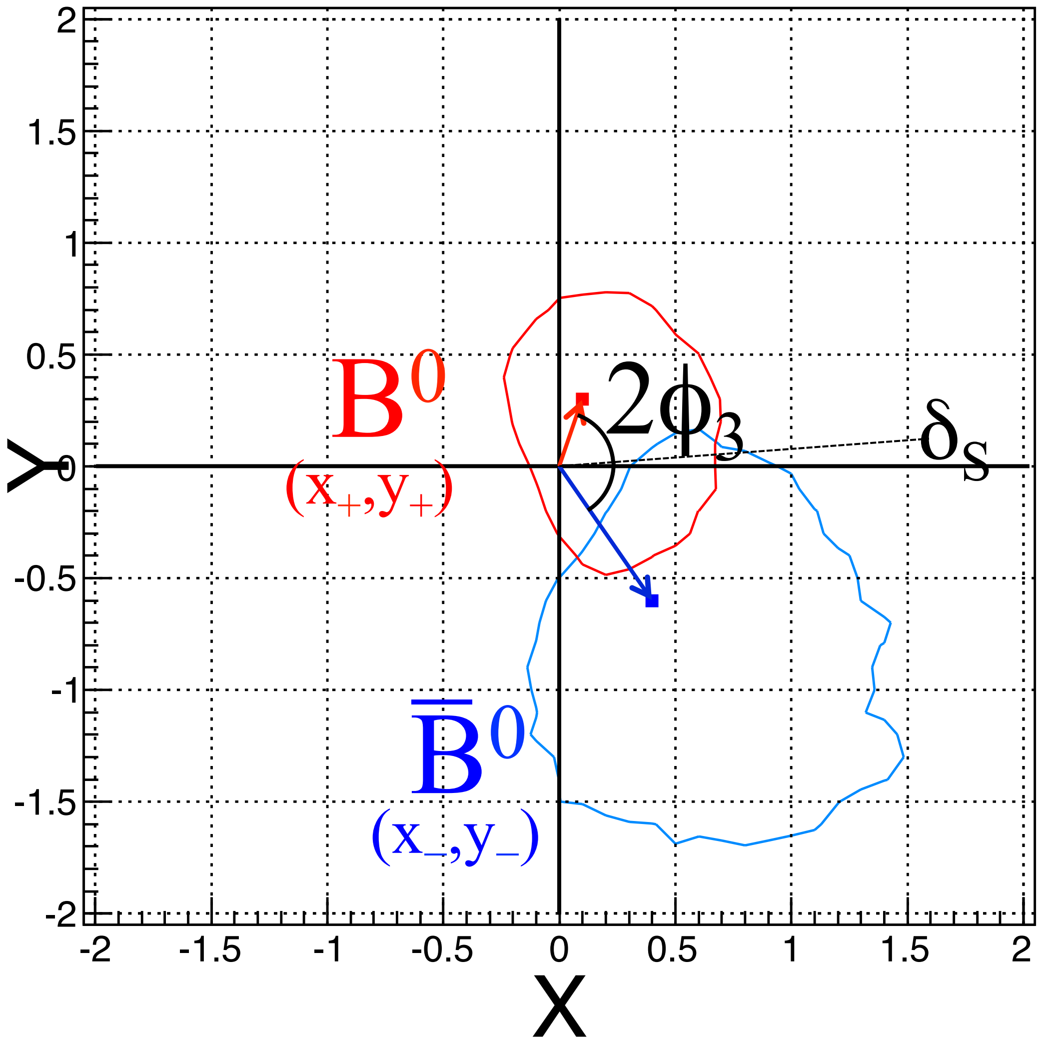
本研究の
測定値((x,y)値)
の最終結果

		統計	系統	c_i,s_i
x_-	$= +\,0.4$	$^{+1.0}_{-0.6}$	$^{+0.0}_{-0.1}$	$\pm\,0.0$
y_-	$= -\,0.6$	$^{+0.8}_{-1.0}$	$^{+0.1}_{-0.0}$	$\pm\,0.1$
x_+	$= +\,0.1$	$^{+0.7}_{-0.4}$	$^{+0.0}_{-0.1}$	$\pm\,0.1$
y_+	$= +\,0.3$	$^{+0.5}_{-0.8}$	$^{+0.0}_{-0.1}$	$\pm\,0.1$

B^0 (x_+,y_+) が0と無矛盾

(x,y)測定の結果

- 系統誤差も含んだPDFから(x,y)平面上のC.L.を求める



本研究の測定値((x,y)値)の最終結果

		統計	系統	c_i,s_i
x_-	$= +0.4$	${}^{+1.0}_{-0.6}$	${}^{+0.0}_{-0.1}$	± 0.0
y_-	$= -0.6$	${}^{+0.8}_{-1.0}$	${}^{+0.1}_{-0.0}$	± 0.1
x_+	$= +0.1$	${}^{+0.7}_{-0.4}$	${}^{+0.0}_{-0.1}$	± 0.1
y_+	$= +0.3$	${}^{+0.5}_{-0.8}$	${}^{+0.0}_{-0.1}$	± 0.1

B^0 (x_+,y_+) が0と無矛盾
→角度の測定は出来ないので,
r_Sの上限値を求める

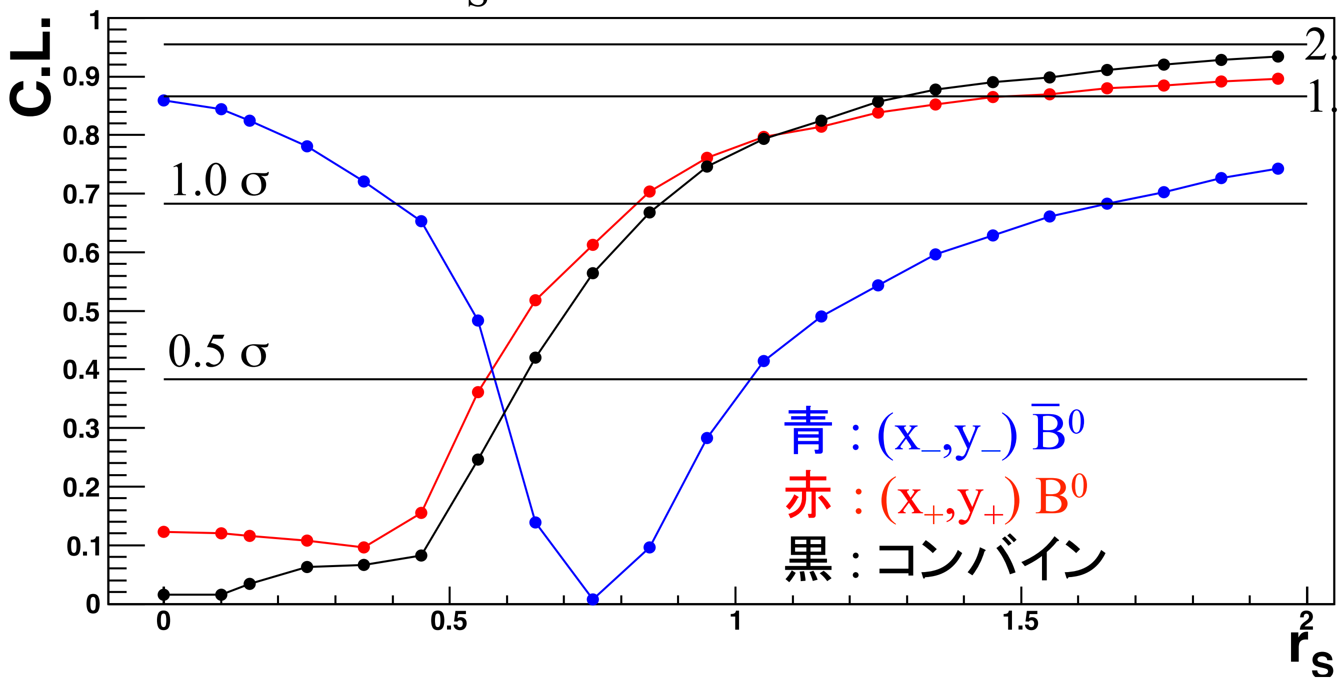
r_S測定

– 物理量の一つであるr_Sを測定し, 上限を求めた

r : ϕ_3測定を制限する因子　ϕ_3測定誤差は 1/r でスケールされる

$$x_\pm = r_S \cos(\delta_S \pm \phi_3)$$
$$y_\pm = r_S \sin(\delta_S \pm \phi_3)$$

r_Sへ投影したC.L.



$r_S < 0.87$　@ 68 % C.L.

他実験でのr_S測定 @ 68 % C.L.

LHCb (2014) $r_S = 0.240^{+0.055}_{-0.048}$

BaBar (2008) $r_S < 0.30$

Phys.Rev. D90 11, 112002

Phys.Rev. D79 072003

結論, 及び考察

- r_S は0と無矛盾
  - $B^0 \to DK^{*0}$シグナル数が小さかった $44.2\,^{+13.3}_{-12.1}$ (統計誤差が支配的)
    崩壊分岐比で $Br(B^0 \to DK^{*0}) = (2.9 \pm 0.9) \times 10^{-5}$

	イベント数	$Br(B^0 \to DK^{*0})$	ずれ
本結果	44.2	$(2.9 \pm 0.9) \times 10^{-5}$	
BaBar	78	$(5.2 \pm 1.2) \times 10^{-5}$	-1.5σ
PDG	64	$(4.2 \pm 0.6) \times 10^{-5}$	-1.2σ

ただし"ずれ"は
大きくない

  - 統計的なふらつきによる
- Belle II 実験(予定)では

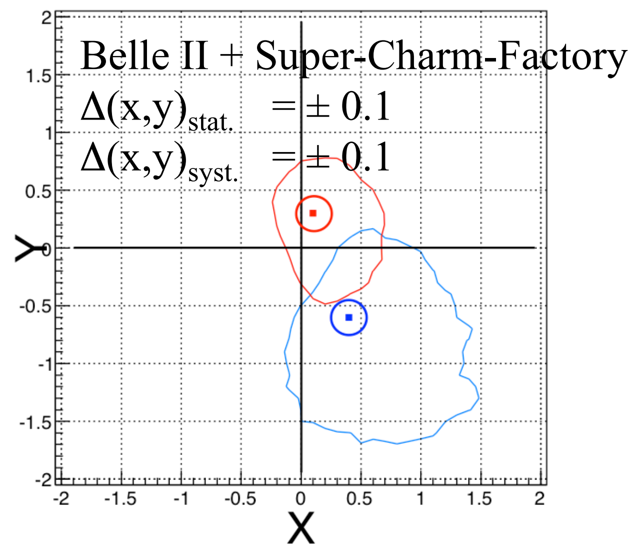
統計 系統

$$x_- = +0.4\,^{+1.0}_{-0.6}\,^{+0.0}_{-0.1}$$
$$y_- = -0.6\,^{+0.8}_{-1.0} \pm 0.1$$
$$x_+ = +0.1\,^{+0.7}_{-0.4} \pm 0.1$$
$$y_+ = +0.3\,^{+0.5}_{-0.8} \pm 0.1$$

50倍$B\bar{B}$

統計誤差→ O(<0.1)
現系統誤差と同等

1. K/π識別能力が上がる
   →$B\bar{B}$背景事象の抑制
2. Super-Charm-Factory
   →c_i, s_iの誤差が減る



$B^0 \to DK^{*0}$崩壊を用いϕ_3測定の可能性

まとめ

- ϕ_3は標準理論の検証の為に重要なパラメータの一つ
- 本解析モード$B^0 \to DK^{*0}$崩壊はϕ_3測定に有用
  - ϕ_3は多くのモードから制限をかけて測定する

- 中性B中間子を用いたモデル依存の無いDalitz解析は世界初
  - 結果

	統計	系統	c_i, s_i
$x_- = +0.4$	$^{+1.0}_{-0.6}$	$^{+0.0}_{-0.1}$	± 0.0
$y_- = -0.6$	$^{+0.8}_{-1.0}$	$^{+0.1}_{-0.0}$	± 0.1
$x_+ = +0.1$	$^{+0.7}_{-0.4}$	$^{+0.0}_{-0.1}$	± 0.1
$y_+ = +0.3$	$^{+0.5}_{-0.8}$	$^{+0.0}_{-0.1}$	± 0.1

$r_S < 0.87$ @ 68 % C.L.

r_Sが小さく, ϕ_3測定出来なかった

本モードでのϕ_3測定可能性を示せた

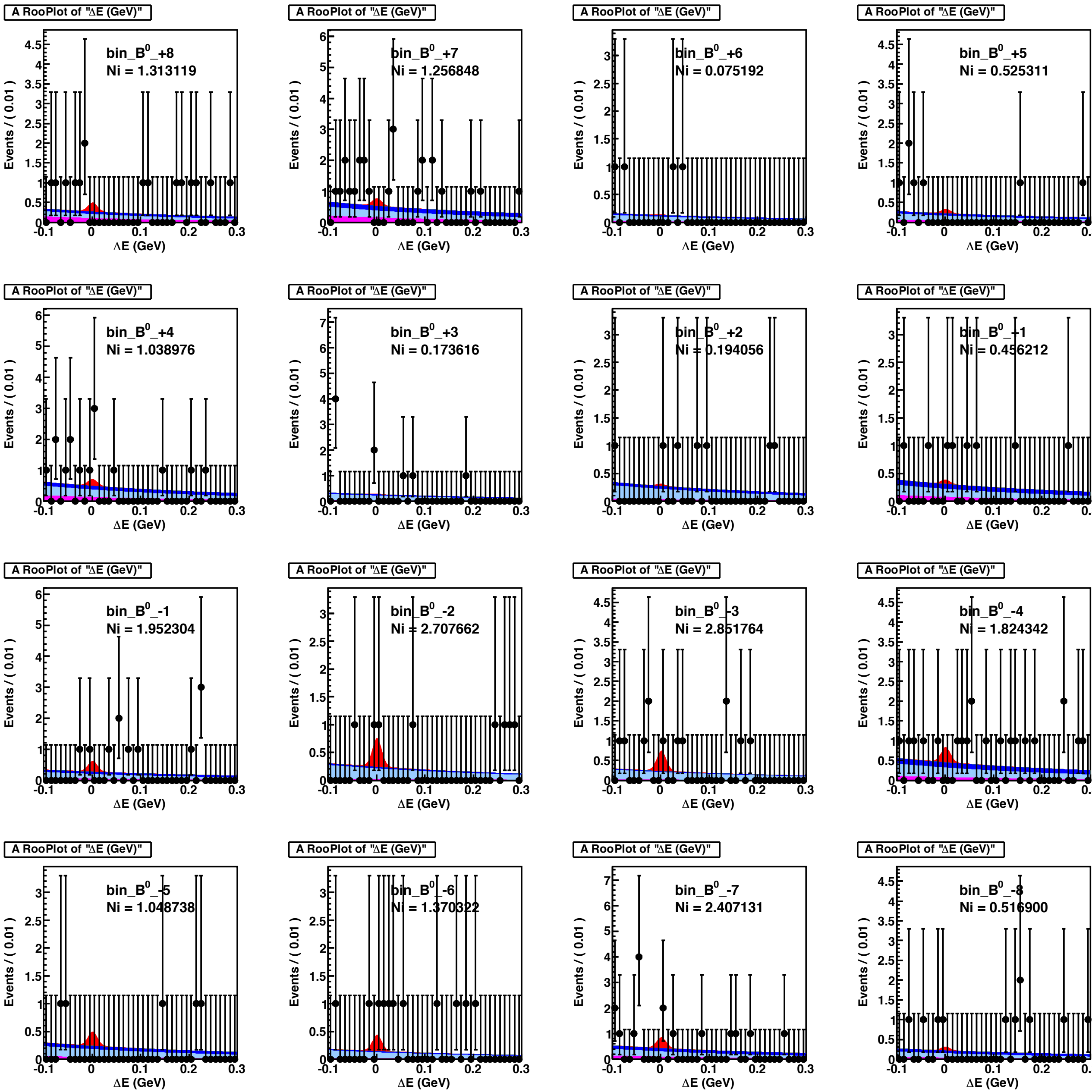
ありがとうございました

THANK YOU FOR LISTENING

BACKUP

1. Belle subdetectors
2. qq suppression parameters
3. Other ϕ_3 measurements $B \to DK$
4. $B^0 \to DK^{*0}$, $D \to K\pi$ ADS Belle (MY M THESIS)
5. $B^0 \to DK^{*0}$, $D \to K\pi$, KK, $\pi\pi$ ADS+GLW LHCb (Most precise r_S)
6. $B^0 \to DK^{*0}$, $D \to K_S\pi\pi$ Mod.-Dep. Dalitz BaBar
7. $B^+ \to DK^+$, $D \to K_S\pi\pi$ Mod.-Ind. Dalitz Belle (First Mod.-Ind. Dalitz, $D\pi$)
8. $B^+ \to D^{(*)}K^+$, $D \to K_S\pi\pi$ Mod.-Dep. Dalitz Belle
9. (Value of r_S) W.A vs Belle Modeled Dalitz r_S
10. CLEO c_i,s_i measurement (δ_D)
11. About small signal statistic and large backgrounds
12. misc.

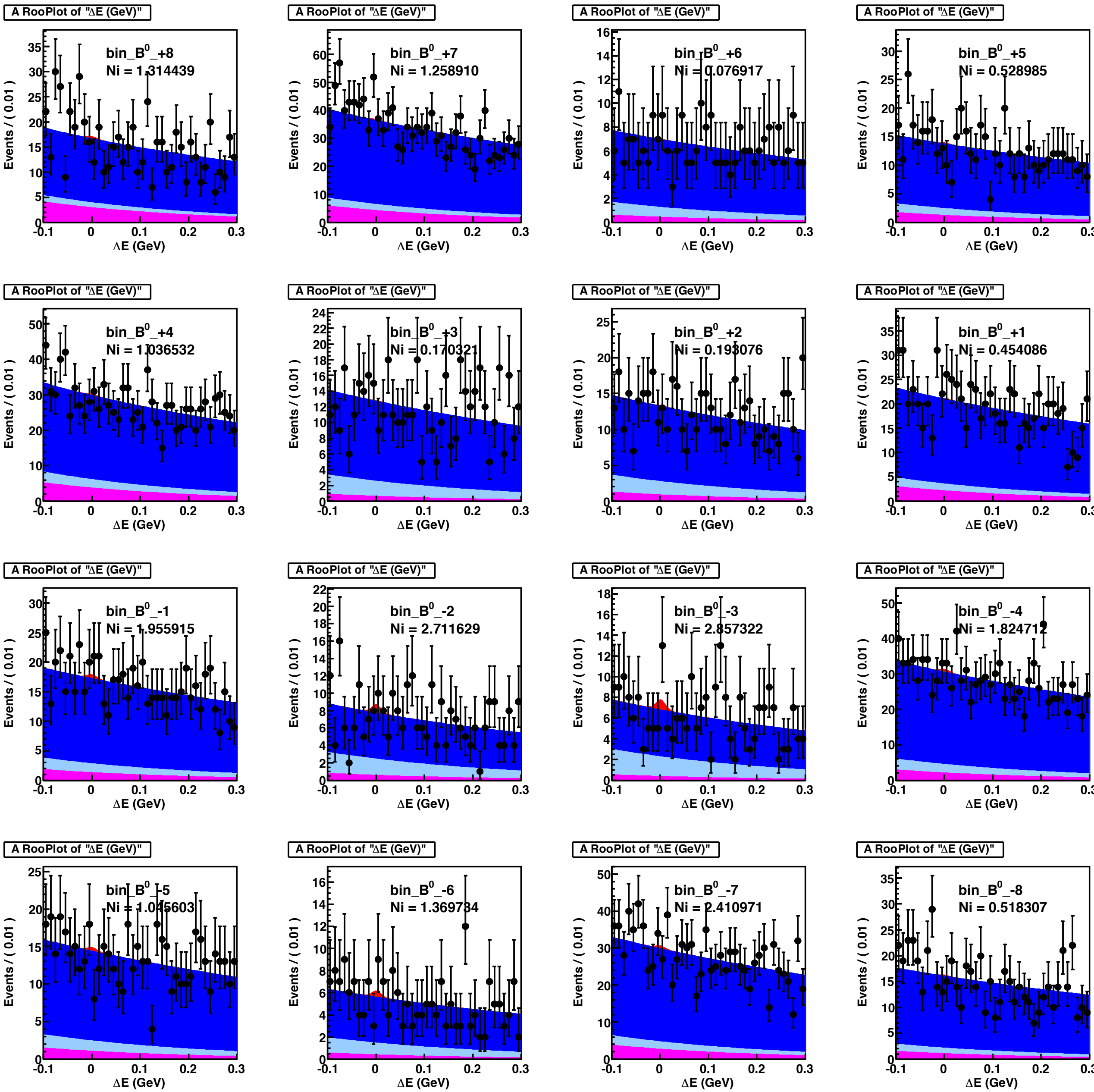
DK*0 実データにおける$(x_\pm, y_\pm)$の結果



(x,y)の結果
(likelihood分布から)

$$x_- = +0.294 \pm 0.316$$
$$y_- = -0.334 \pm 0.411$$
$$x_+ = +0.073 \pm 0.417$$
$$y_+ = +0.052 \pm 0.448$$

DK*^{0} 実データにおける$(x_\pm, y_\pm)$の結果



Fitは出来てる

(x,y)の結果
(likelihood分布から)

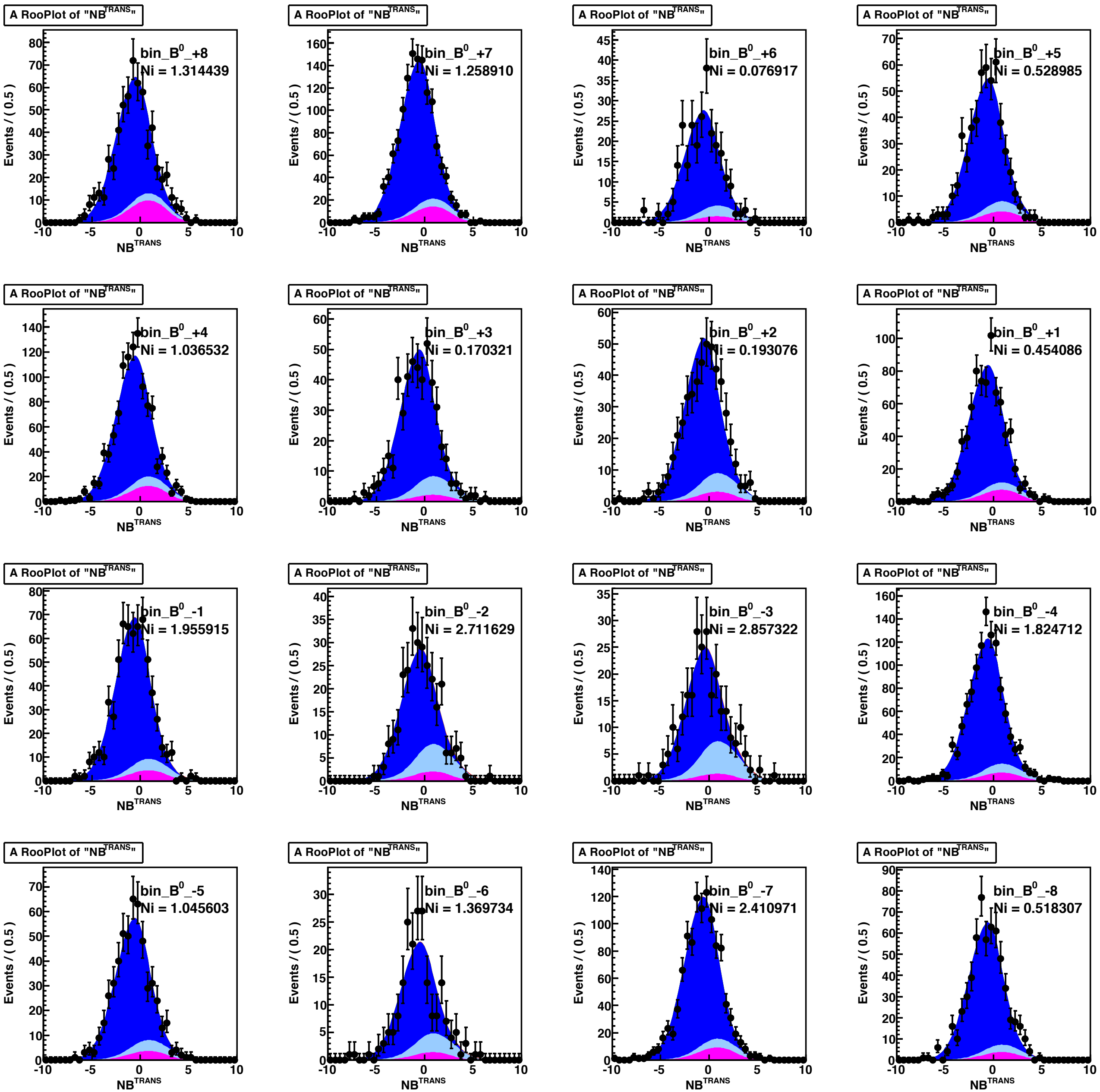
$x_- = +0.294 \pm 0.316$

$y_- = -0.334 \pm 0.411$

$x_+ = +0.073 \pm 0.417$

$y_+ = +0.052 \pm 0.448$

DK*0 実データにおける$(x_\pm, y_\pm)$の結果



Fitは出来てる

(x,y)の結果
(likelihood分布から)

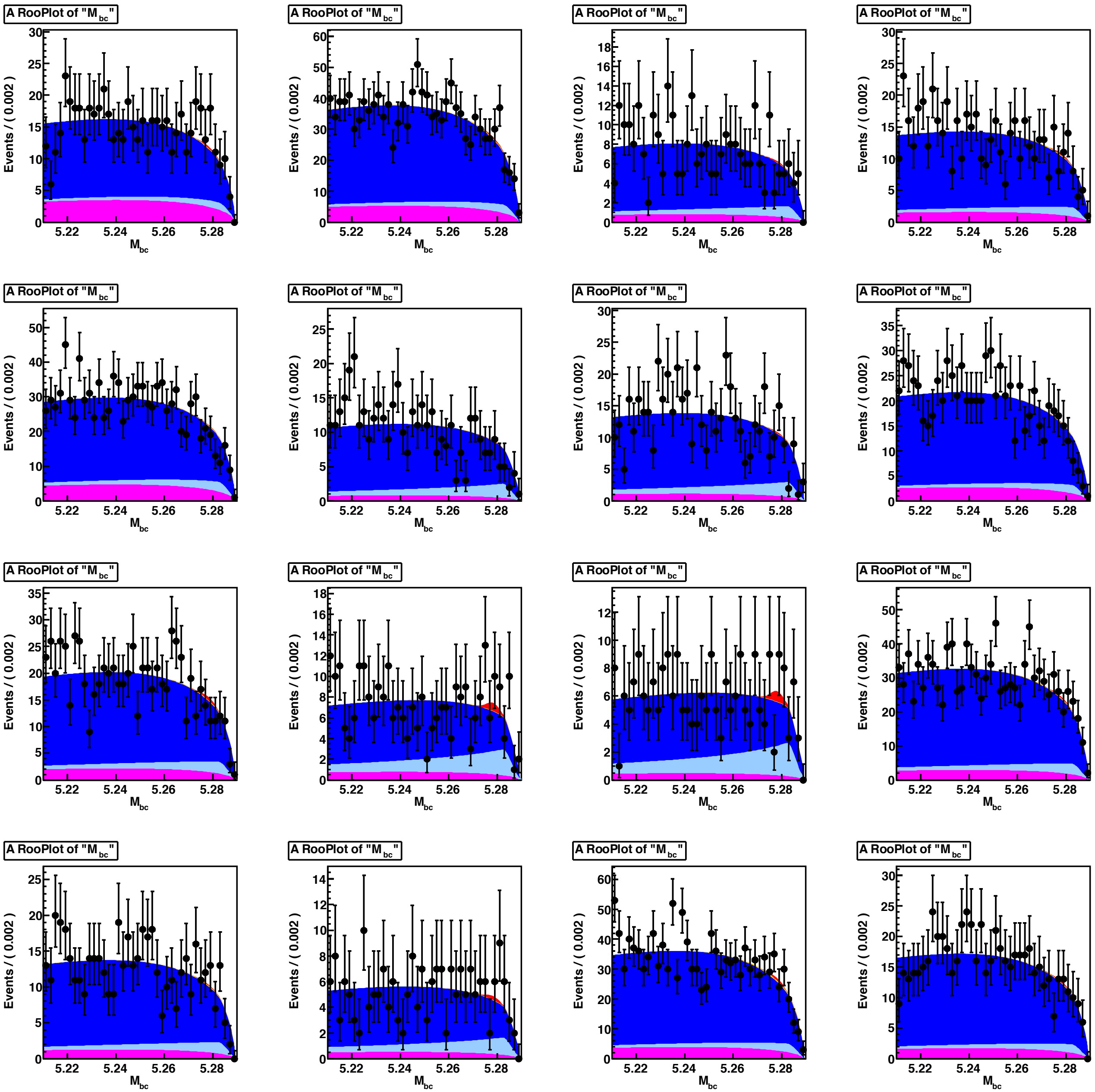
$x_- = +0.294 \pm 0.316$

$y_- = -0.334 \pm 0.411$

$x_+ = +0.073 \pm 0.417$

$y_+ = +0.052 \pm 0.448$

DK*^{0} 実データにおける$(x_\pm, y_\pm)$の結果



Fitは出来てる

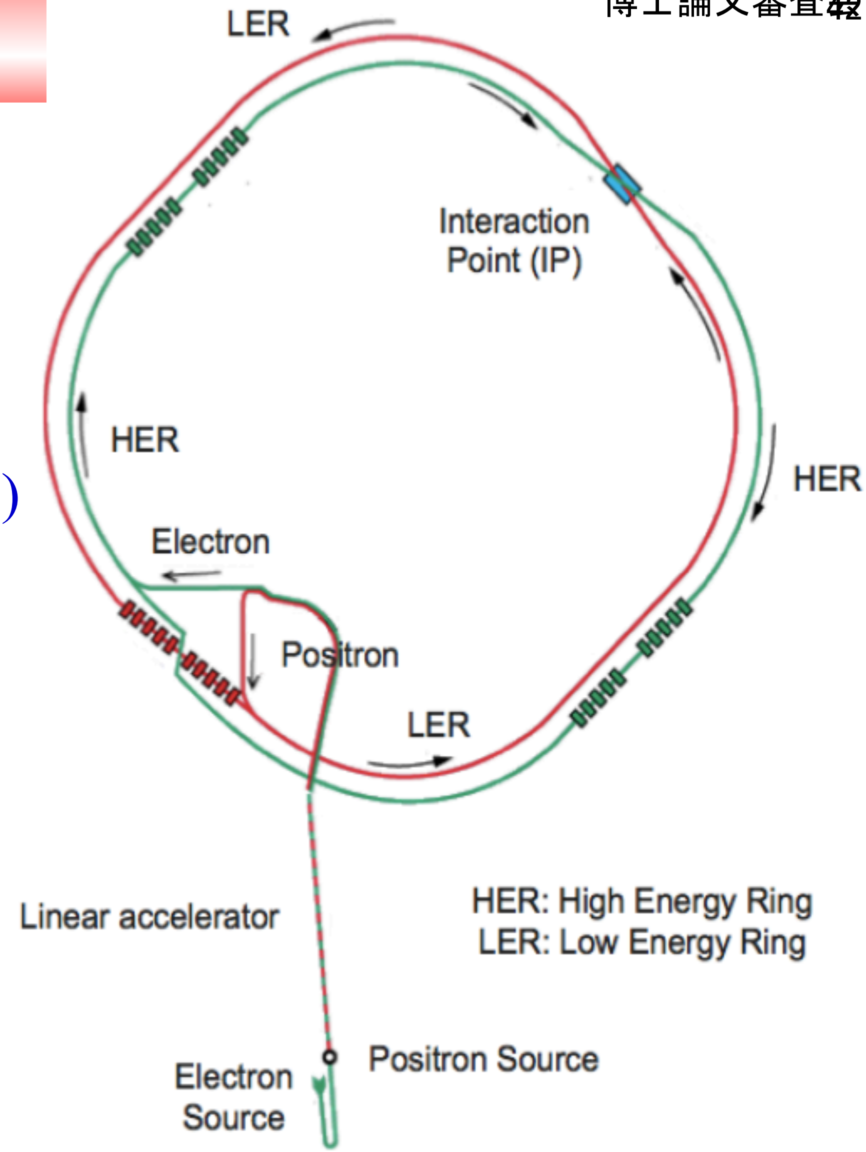
(x,y)の結果
(likelihood分布から)

$x_- = +0.294 \pm 0.316$
$y_- = -0.334 \pm 0.411$
$x_+ = +0.073 \pm 0.417$
$y_+ = +0.052 \pm 0.448$

戻る

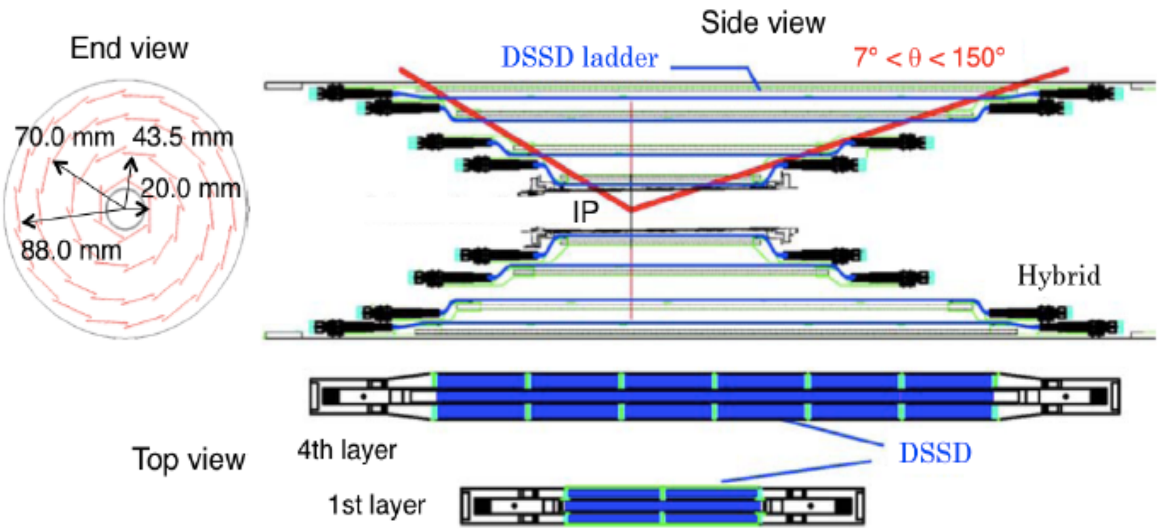
KEKB加速器

- 電子源 : 熱電子銃
- 陽電子源 :
  電子をタングステンに入射し抽出
- 電子8.0 GeV／陽子3.5 GeV (βγ ~ 0.4)
- 入射器 : 2004年から連続入射法
- 電流 : 双方1 A程度
- バンチ数 : 双方1000程度
- バンチ当たり粒子数 : 10^{10}
- ビーム : O(1) μm x O(100) μm
- 衝突点での交差角 : 22 mrad
- 2007年から「クラブ衝突」導入



[1]The luminosity is described as $\mathcal{L} = N_+N_-f/4\pi\sigma_x^*\sigma_y^*$, where $N_\pm$ is the number of particles $e^\pm$ per bunch, f is the frequency of collision, and $\sigma_{x,y}^*$ is the beam size at IP in x or y direction.

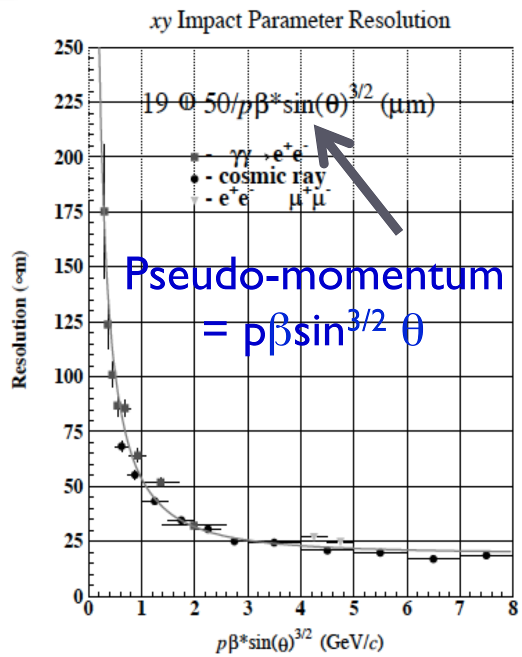
SVD (Silicon Vertex Detector)

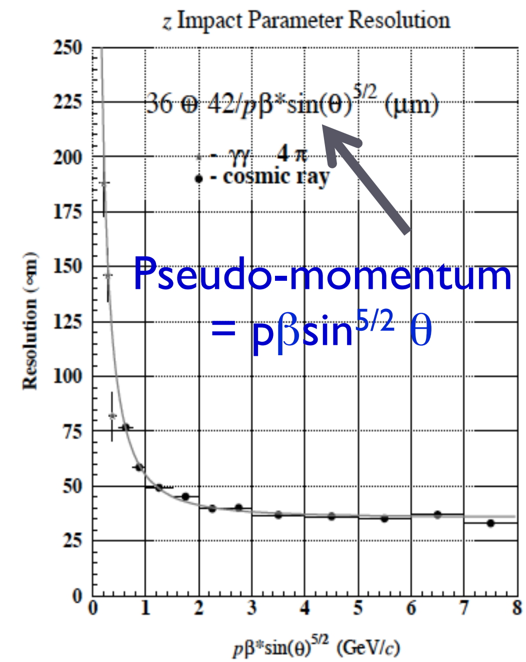


DSSD = double-sided Si strip
Chip size: 57.5 x 33.5 mm^2
Strip pitch: 25 (p)/50 (n) μm

B中間子観測における
典型的分解能: $\sigma_{\Delta z}$ ~ 80 μm.

読み出し: VA1TA集積回路を用いる。
チップの放射線耐性は20 Mrad。
(1 rad = 0.01 J/kg)





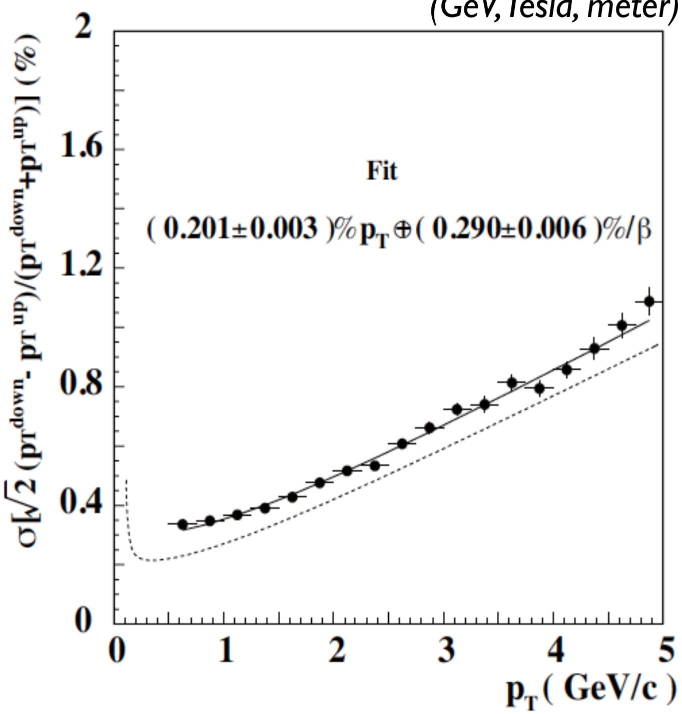
CDC (Central Drift Chamber)

- Anode: 50 layers including 18 stereo wires
  (30μm-diameter gold-plated tungsten)
- r from beam axis = 8.3-86.3 cm
- $-77 < z < 160$ cm ($17° < \theta < 150°$)

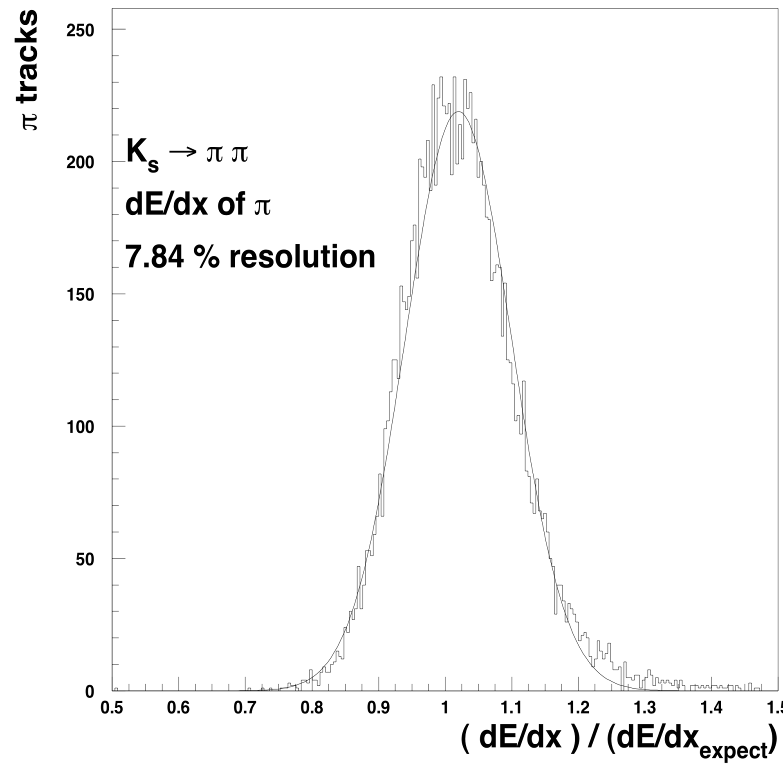
p_T分解能

$$p_T = 0.3qBr$$

(GeV, Tesla, meter)



dE/dx分解能の例



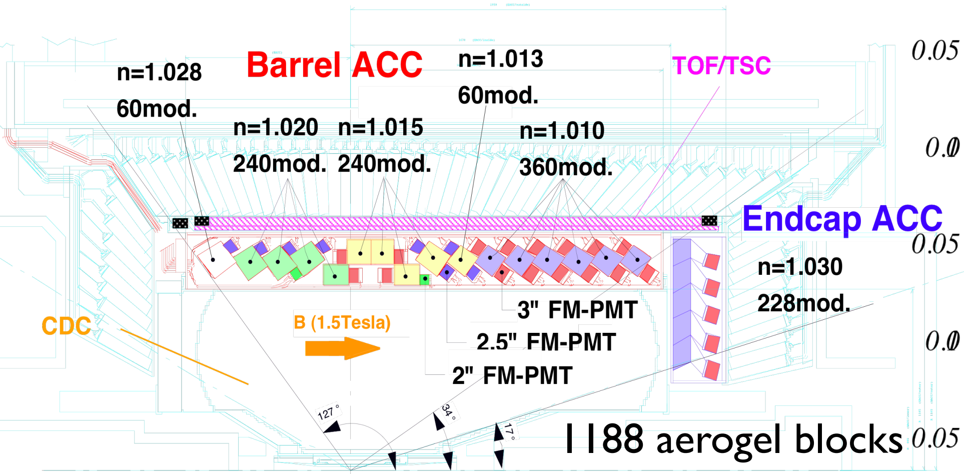
物質密度を上げれば分解能は良くなる。
Belleでは、多重クーロン散乱を
避けるためにHe+C_2H_6を利用。
(Gas gain = 10^5 @ 3 kV)

ACC (Aerogel Cherenkov Counter)

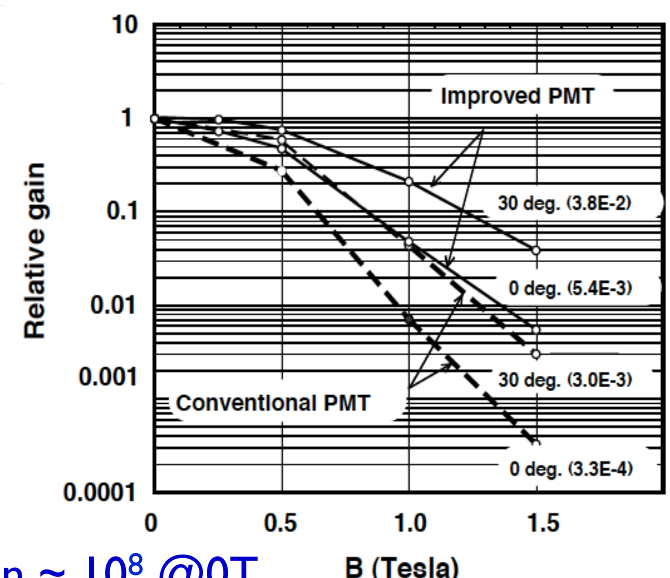
戻る

$$n > \frac{1}{\beta} = \sqrt{1 + \left(\frac{m}{p}\right)^2}$$

K/π separation from 1.2 GeV to 3.5 GeV

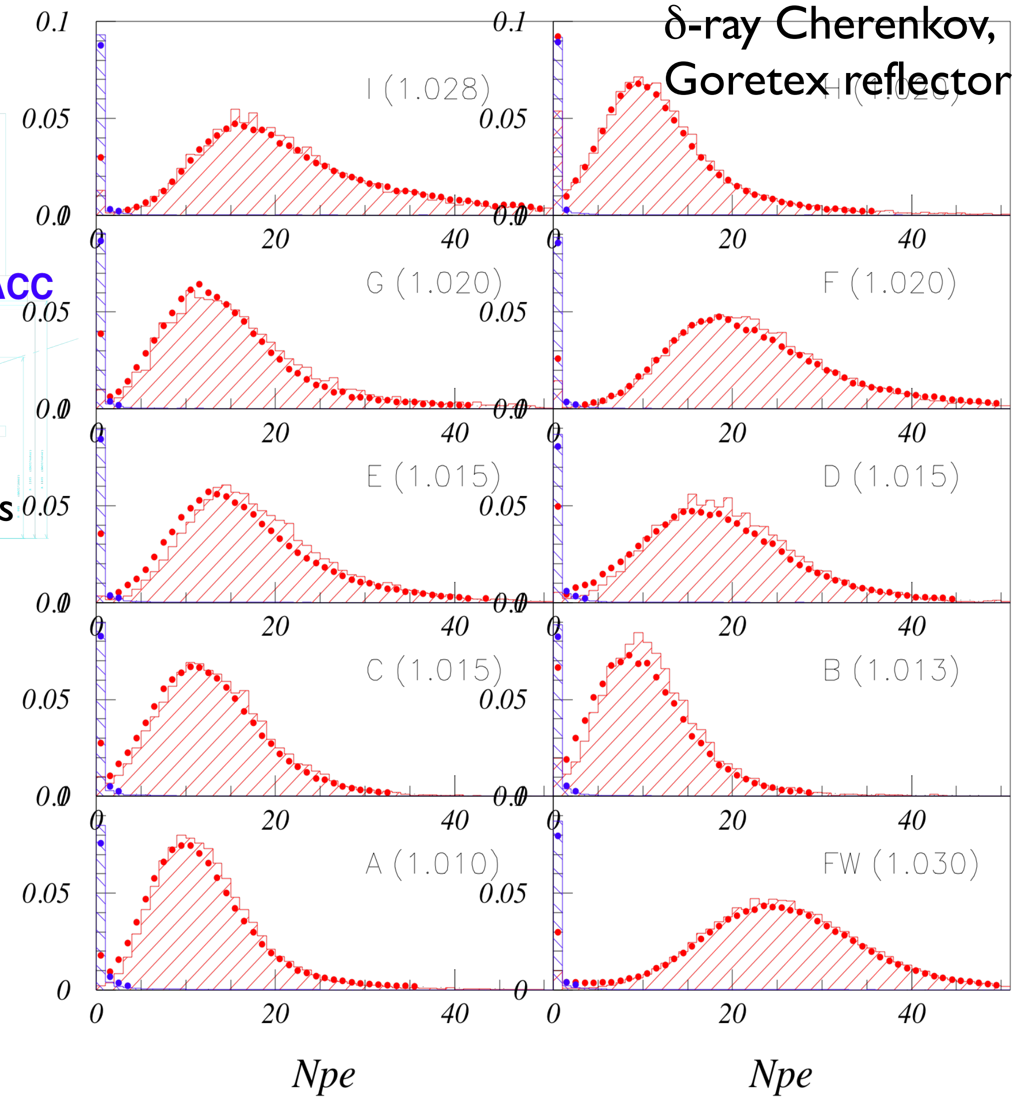


1188 aerogel blocks



Gain ~ 10^8 @0T

δ-ray Cherenkov, Goretex reflector

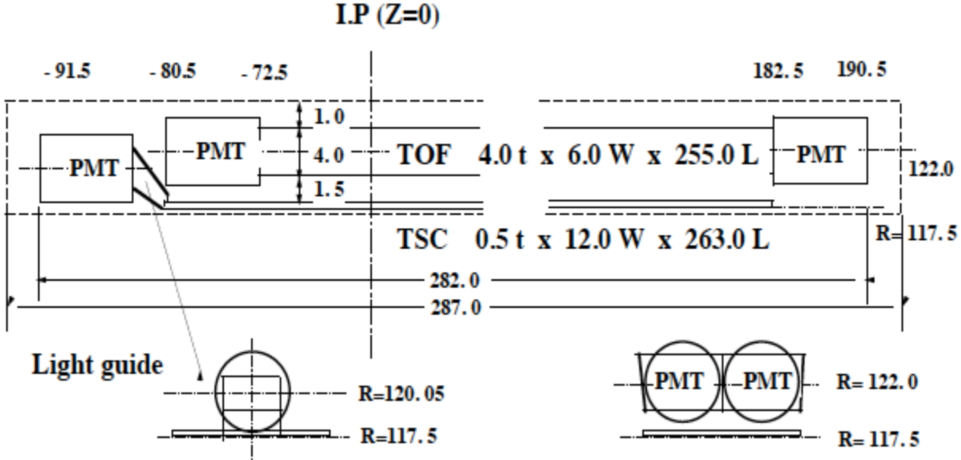


(Poisson distribution smeared by FM PMTs.)

TOF (Time-of-Flight Counter)

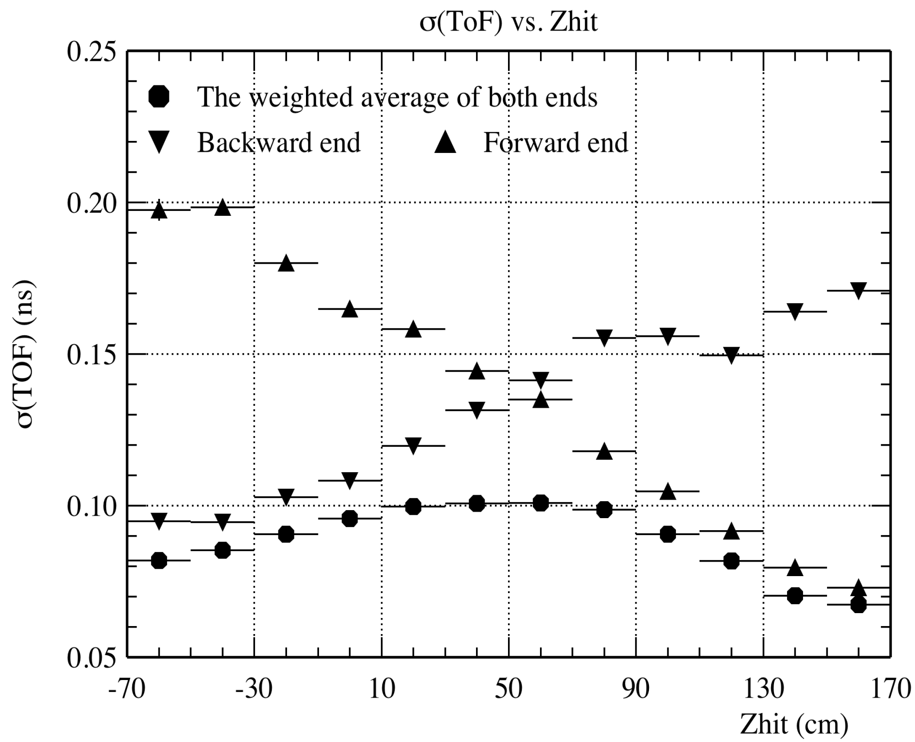
戻る

- r from beam axis = 120 cm
- Length = 3-m long, $N_{scintillators}$ = 128
- σ_T = 100 psec
- K/π separation up to 1.2 GeV



$$t = \frac{l}{c\beta} = \frac{l}{c}\sqrt{1+\left(\frac{m}{p}\right)^2}$$

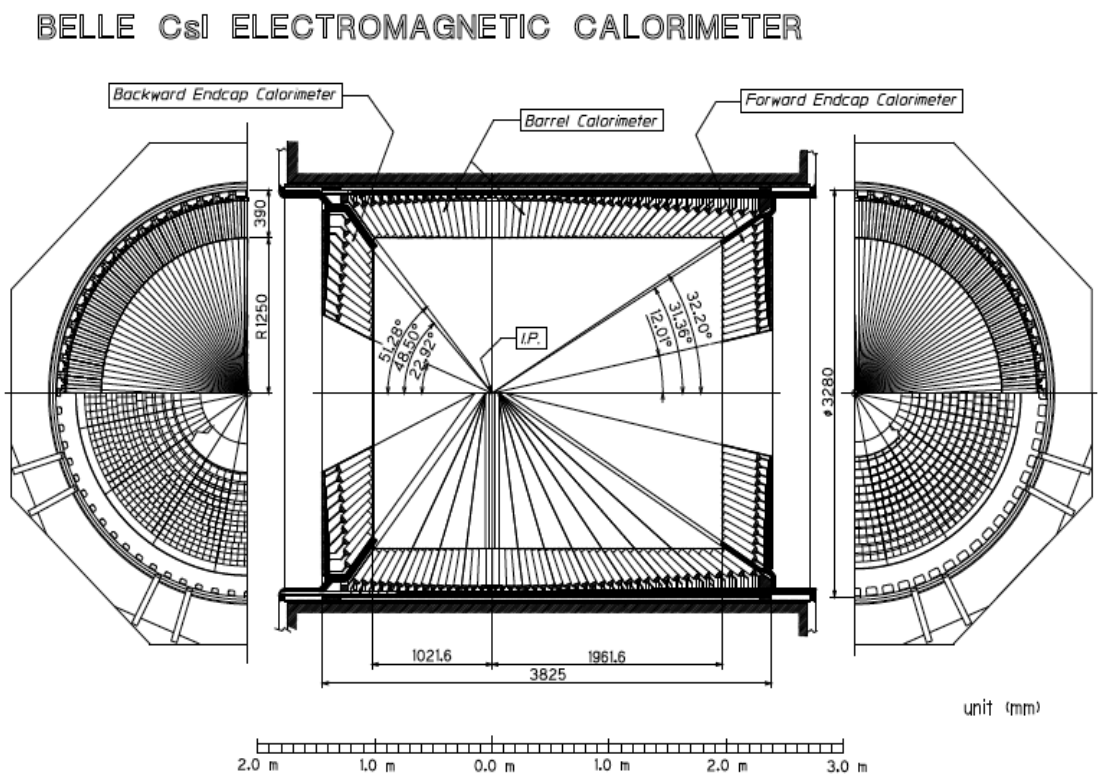
飛行時間分解能



飛行距離、シンチレーションの早さ、光量、PMT性能などが大切な要素。

ECL (Electromagnetic Calorimeter)

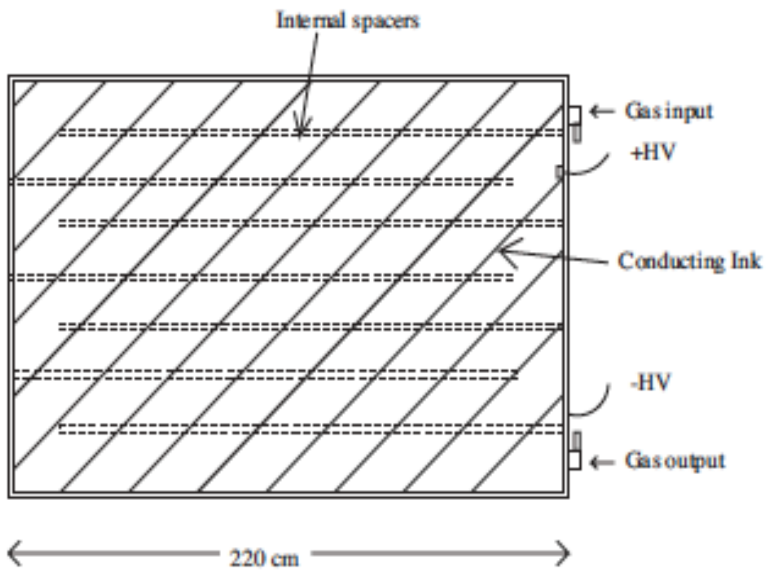
- PINフォトダイオードを用い、電磁シャワーを検出。
- エネルギー分解能は、~1.3%/√E。位置分解能は~0.5 cm/√E。(E in GeV)
（回路ノイズ、シャワーの漏れ、較正誤差などが効いてくる。）



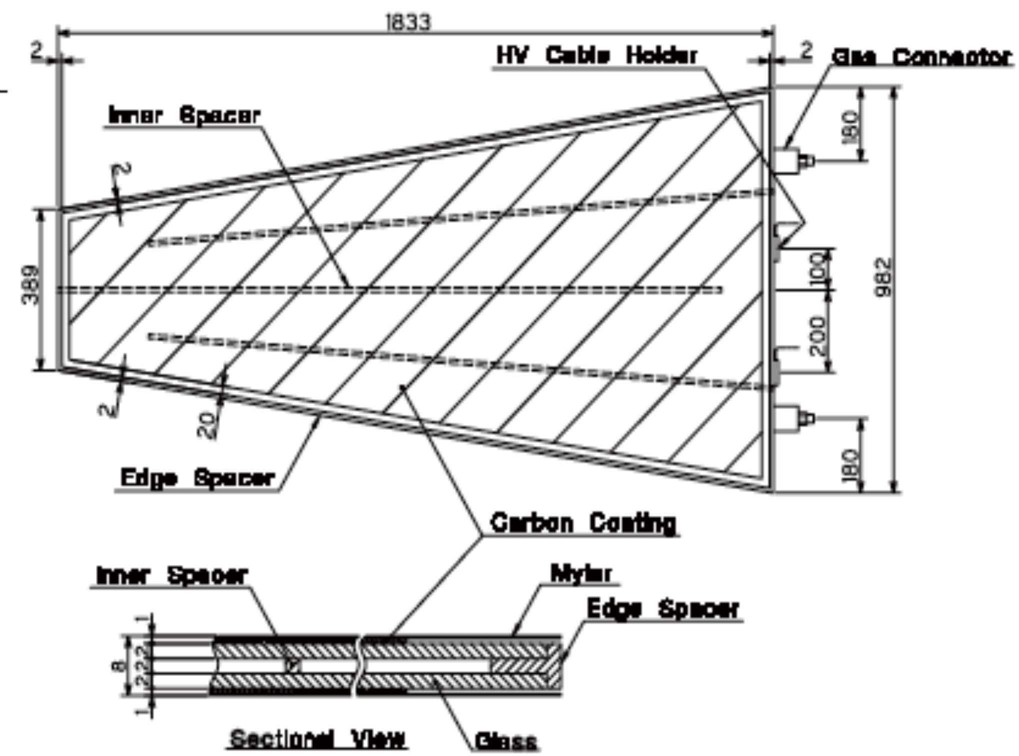
KLM (K_L/Muon Detector)

- 鉄とRPC (Registive Plate Chamber)のサンドイッチ構造(14層)。
- K_L(シャワーを発生)とMuon(長い飛跡)の検出を行う。

Gas	Symbol	Mol. weight	Density (g/l)
Argon	Ar	39.95	1.784 (0°C, 1atm)
Butane–silver	C_4H_{10}	58.12	2.6 (0°C, 1atm)
HFC-134a	CH_2FCF_3	102.0	4.5



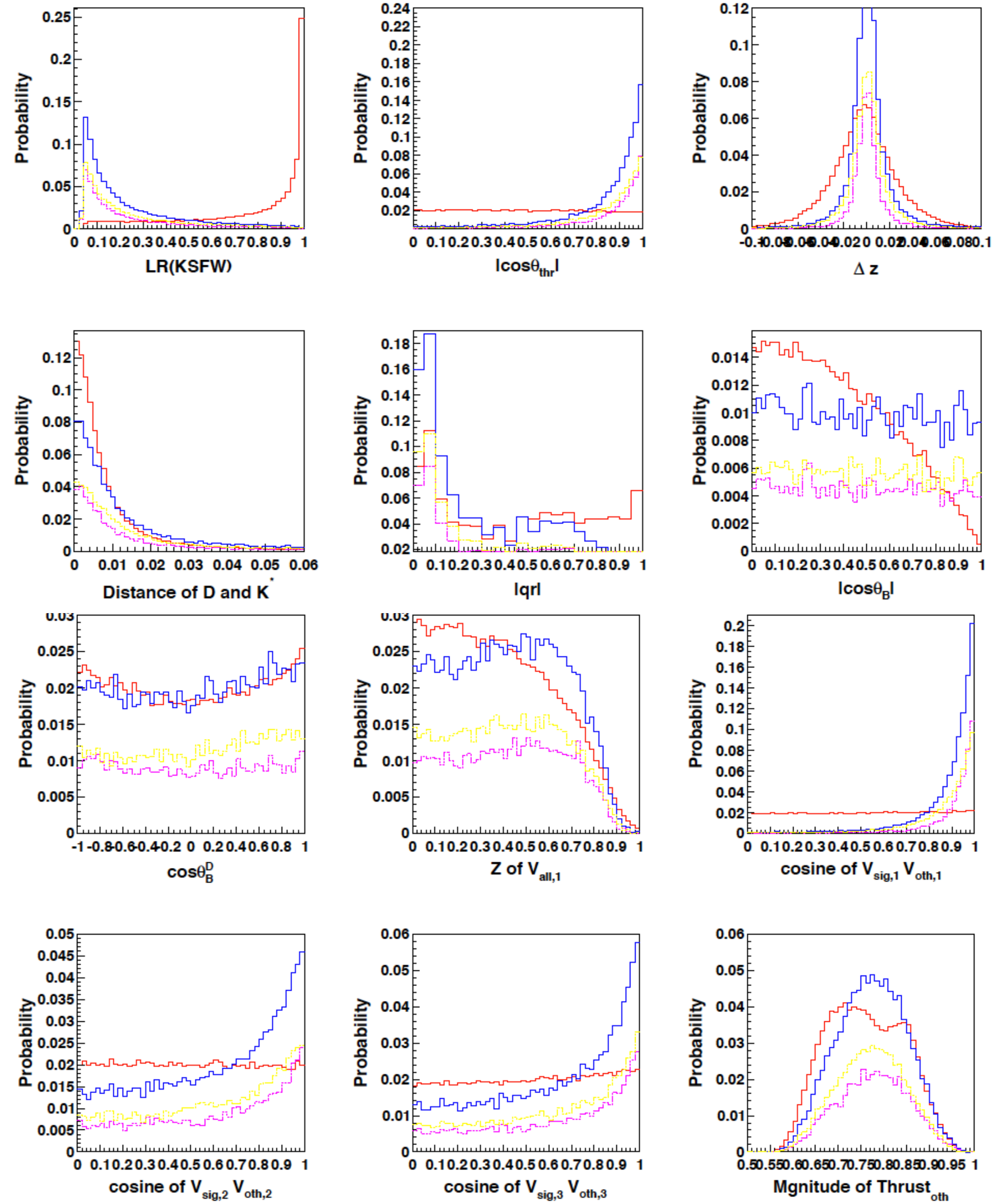
(a) Barrel RPC.



(b) End-cap RPC.

コンテニウム抑制パラメータ

戻る



コンテニウム抑制パラメータ

戻る

Variable	Only this (σ)	Without this (σ)	Corr. to others
LR(KSFW)	290	62	0.85
v1_v1	280	35	0.87
Δz	145	68	0.29
distance$_{DK^{*0}}$	105	49	0.23
$\mid qr \mid$	126	51	0.31
$\mid \cos\theta_B \mid$	102	42	0.21
$\mid \cos\theta_{\mathrm{thr}} \mid$	246	14	0.81
thru_oth	58	12	0.23
v_Z	42	9	0.18
v3_v3	84	7	0.64
v2_v2	80	6	0.66
$\cos\theta_B^D$	10	4	0.12

KSFW

- Fox-Wolfram (FW) moment (P_l = l-th Legendre polynomial):

$$H_l \equiv \sum_{i,j} |\vec{p}_i||\vec{p}_j| P_l(\cos\theta_{ij}),$$

- Fisher discriminant of Super FW (SFW):

$$\mathrm{SFW} \equiv \sum_{l=2,4} \alpha_l \left(\frac{H_l^{\mathrm{so}}}{H_0^{\mathrm{so}}}\right) + \sum_{l=1}^{4} \beta_l \left(\frac{H_l^{\mathrm{oo}}}{H_0^{\mathrm{oo}}}\right)$$

Separate signal B and the other B.

- Kakuno-SFW:

$$\mathrm{KSFW} \equiv \sum_{l=0}^{4} R_l^{\mathrm{so}} + \sum_{l=0}^{4} R_l^{\mathrm{oo}} + \gamma \sum_{n=1}^{N_t} |p_{t,n}|,$$

Missing momentum, Charges of tracks, … Fisher coefficients are determined for seven missing mass regions.

Flavor tagging

- B-flavor taggingは、下記の情報を用いて行う。

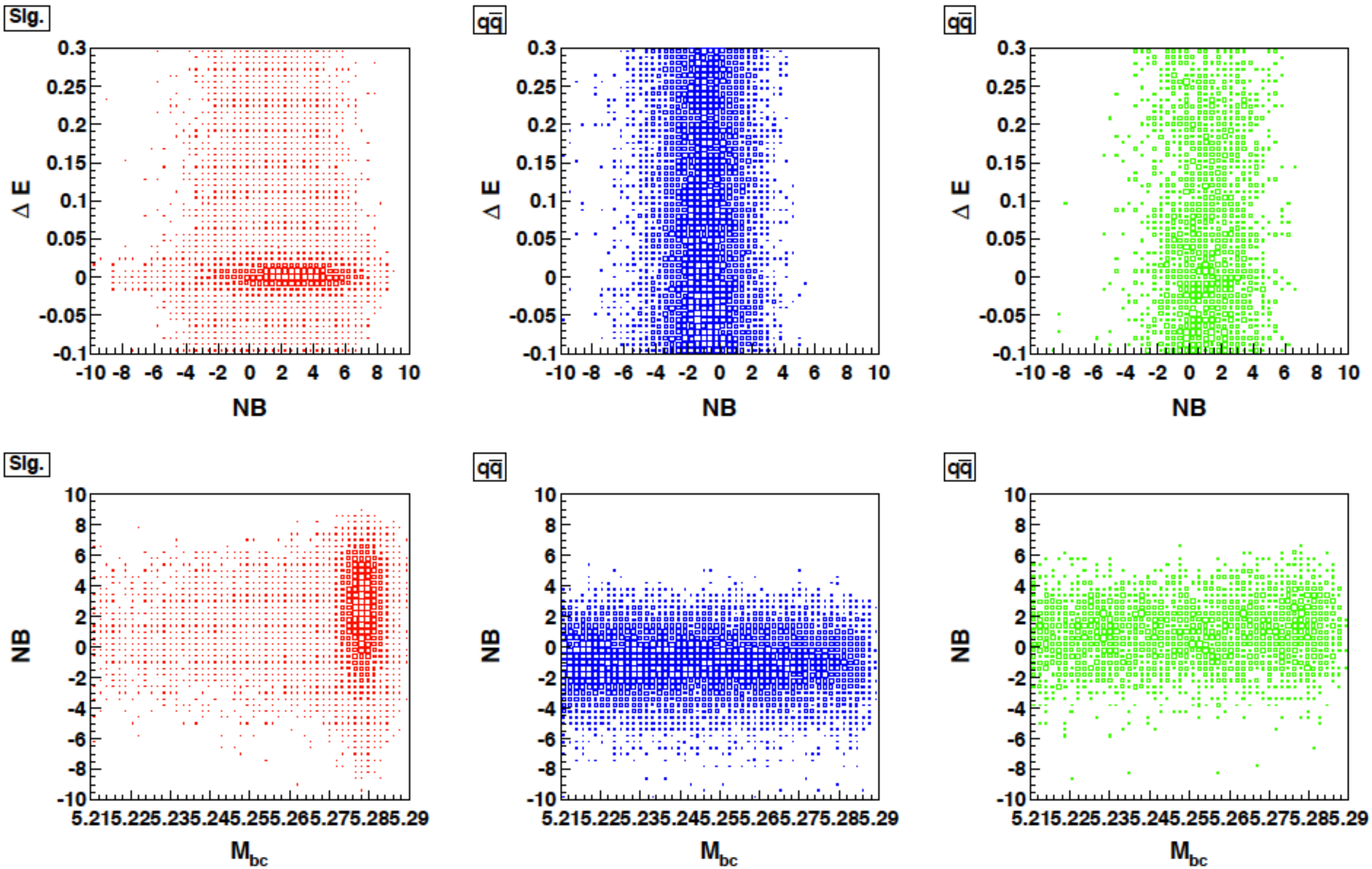
(1) high-momentum leptons from $B^0 \to X\ell^+\nu$ decays,
(2) kaons, since the majority of them originate from $B^0 \to K^+X$ decays through the cascade transition $\overline{b} \to \overline{c} \to \overline{s}$,
(3) intermediate momentum leptons from $\bar{b} \to \bar{c} \to \bar{s}\ell^-\bar{\nu}$ decays,
(4) high momentum pions coming from $B^0 \to D^{(*)}\pi^+X$ decays,
(5) slow pions from $B^0 \to D^{*-}X, D^{*-} \to \overline{D}^0\pi^-$ decays, and
(6) $\overline{\Lambda}$ baryons from the cascade decay $\bar{b} \to \bar{c} \to \bar{s}$.

事象ごとに、(1)から(2)に関連した約50の変数を得て、多次元Likelihood法を用いる。

Taggingの精度r_{tag}は、qq背景事象分離に用いる。

(ΔE, Mbc, NB')

戻る



	Correlation factor (%)	
	ΔE vs $\mathcal{NB}$	$\mathcal{NB}$ vs $m_{\rm bc}$
Signal	-4	6
$B\bar{B}$	-2	-2
$q\bar{q}$	1	10

導入

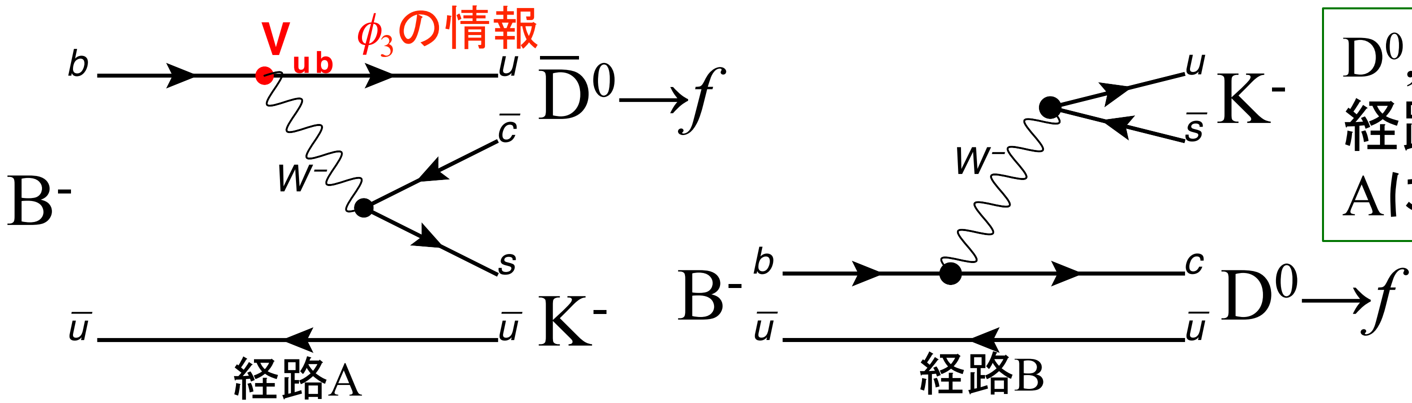
戻る

- 未だ$B^0 \to D[K^+\pi^-]_{K*0}$の主に$b \to u$を介したsuppressed decayは観測されず
  - 荷電Bよりb→u遷移含む崩壊の干渉が強い
  - 中性B中間子のDK*^{0}崩壊について研究が望まれる
- また2012年, $B^+ \to [K_S\pi^+\pi^-]_D K^+$ にて世界初のモデル依存の無いDalitz解析を用いたϕ_3測定結果が発表された
  - $\phi_3 = (77.3^{+15.1}_{-14.9} \pm 4.1 \pm 4.3)^\circ$ PRD **85**, 112014 (2012) @ Belle Collaboration
    (r_B = 0.145 ± 0.030 ± 0.010 ± 0.011)
  - このモデル依存の無いDalitz解析を用いたϕ_3測定は将来Super-B Factoryにおいて非常に有用であり, これを用いた$B^0 \to [K_S\pi\pi]_D[K^+\pi^-]_{K*0}$の$\phi_3$ 測定を目指す

ϕ_3測定法の中でDalitz法が最も感度が高い
Model-Independentでは(c_i, s_i)の誤差もチャーム物理より将来的に小さく出来る

ϕ_3測定とB → DK崩壊

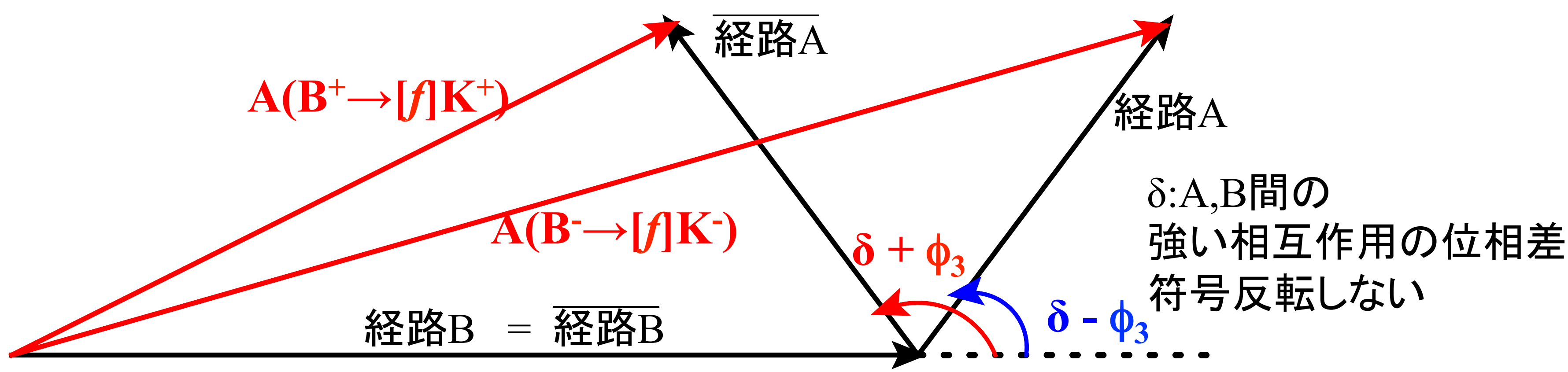
D : D^0 or $\bar{D}^0$



D^0,$\bar{D}^0$が同じ終状態fへ
経路A,Bが干渉
Aにb→u(ϕ_3の効果)

経路A,BのAmplitudeの足し算をする

- Charge Conjugateで弱い相互作用の位相は符号が**反転する**
- 経路A,B間で強い相互作用の位相差δが入ってくる
(Charge Conjugateで符号は**反転せず**)



・ 観測量は赤線の(経路A,Bの干渉を経た)二乗 (B^-とB^+の崩壊分岐比)

ϕ_3測定

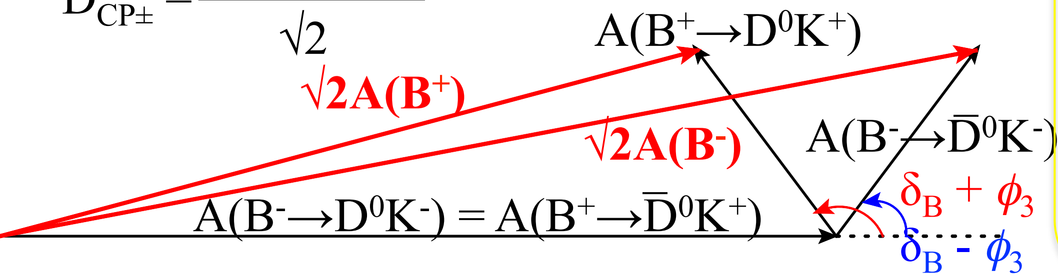
- $B^- \to DK^-$
  - GLW法 (Gronau-London-Wyler)
    $D \to \pi\pi$, CP Eigenstate
    - Signal大きい
    - CP非対称性小さい
  - ADS法 (Atwood-Dunietz-Soni)
    $D \to K\pi$, Flavor Specific
    - Signal小さい
    - CP非対称性大きい
  - GGSZ法(Dalitz) (Giri-Grossman-Soffer-Zupan)
    $D \to K_S\pi\pi$, 三体崩壊
    - GLWとADSを引っ括め解析

大きく三つに分けて、順に説明します

GLW, ADS法

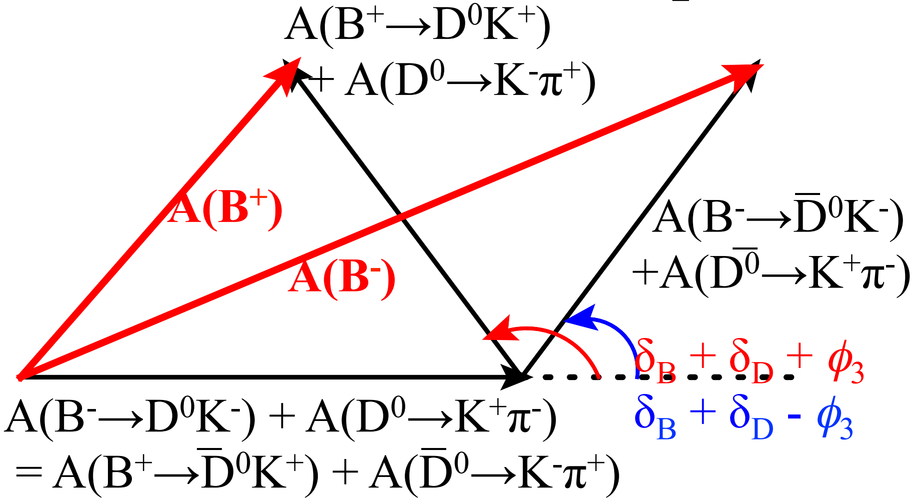
GLW法　D→CP Eigenstate

$$D_{CP\pm} = \frac{(D^0 \pm \bar{D}^0)}{\sqrt{2}}$$

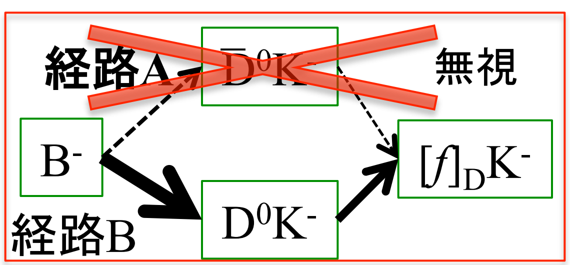


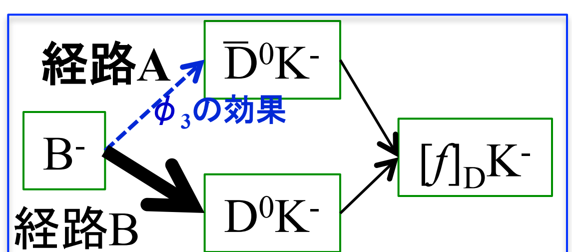
$$R_{\pm} = \frac{\boxed{\Gamma(B^- \to D_{CP\pm}K^-) + \Gamma(B^+ \to D_{CP\pm}K^+)}}{\boxed{\Gamma(B^- \to D_{\rm fav}K^-) + \Gamma(B^+ \to D_{\rm fav}K^+)}}$$
$$= 1 + r_B^2 \pm 2r_B \cos\delta_B \cos\phi_3$$
$$A_{\pm} = \frac{\Gamma(B^- \to D_{CP\pm}K^-) - \Gamma(B^+ \to D_{CP\pm}K^+)}{\Gamma(B^- \to D_{CP\pm}K^-) + \Gamma(B^+ \to D_{CP\pm}K^+)}$$
$$= \frac{\pm 2r_B \sin\delta_B \sin\phi_3}{R_{\pm}}$$

ADS法　Kπ, Flavor Specific



$$R_{ADS} = \frac{\boxed{\Gamma(B^- \to D_{\rm sup}K^-) + \Gamma(B^+ \to D_{\rm sup}K^+)}}{\boxed{\Gamma(B^- \to D_{\rm fav}K^-) + \Gamma(B^+ \to D_{\rm fav}K^+)}}$$
$$= r_B^2 + r_D^2 + 2r_B r_D \cos(\delta_B + \delta_D)\cos\phi_3$$
$$A_{ADS} = \frac{\Gamma(B^- \to D_{\rm sup}K^-) - \Gamma(B^+ \to D_{\rm sup}K^+)}{\Gamma(B^- \to D_{\rm sup}K^-) + \Gamma(B^+ \to D_{\rm sup}K^+)}$$
$$= \frac{\pm 2r_B r_D \sin(\delta_B + \delta_D)\sin\phi_3}{R_{ADS}}$$



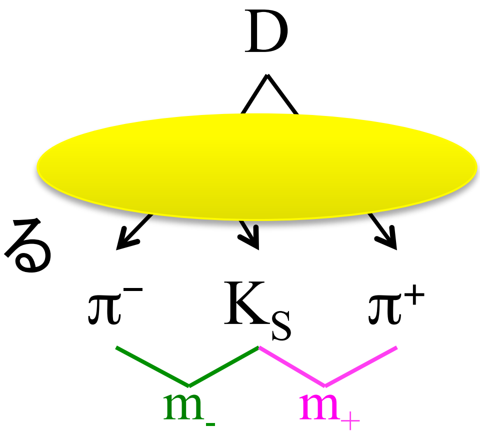


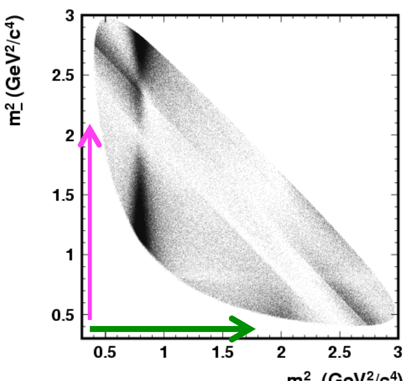
r_B：経路A,Bの比(B崩壊の比)
δ_B：B崩壊の強い相互作用の位相差

r_D：D崩壊の比
δ_D：D崩壊の強い相互作用の位相差

GGSZ法

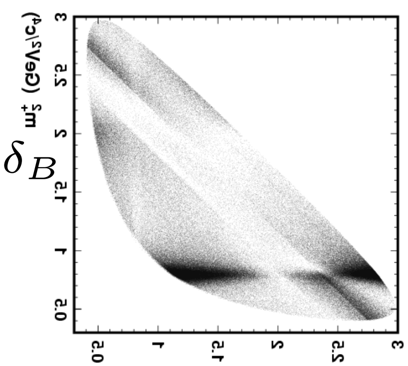
- $D \rightarrow K_S\pi\pi$, etc
  - D崩壊が三体崩壊
  - 三体崩壊のレゾナンス分布にϕ_3の影響が現れる
    - 経由するレゾナンス(Dalitz図の場所)によって D崩壊の強い相互作用の位相(δ_D)が異なる





$D^{*-} \rightarrow \bar{D}^0\pi^-$
$\bar{D}^0 \rightarrow K_S\pi^+\pi^-$

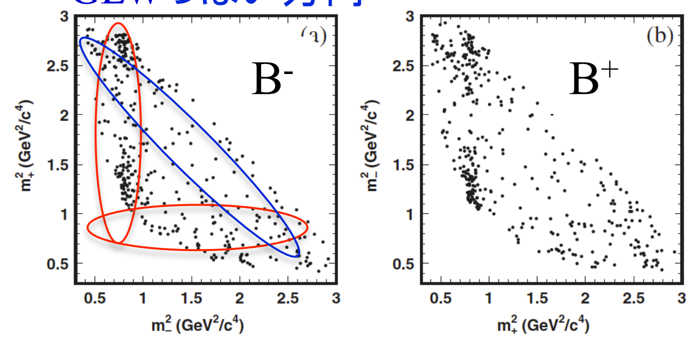
$$+r_B e^{\pm i\phi_3 + i\delta_B}$$



$D^{*+} \rightarrow D^0\pi^+$
$D^0 \rightarrow K_S\pi^+\pi^-$

$$=$$

ADSっぽい方向
GLWっぽい方向



典型的に求める四つの変数

$$x_\pm = r_B \cos(\pm\phi_3 + \delta_B)$$
$$y_\pm = r_B \sin(\pm\phi_3 + \delta_B)$$

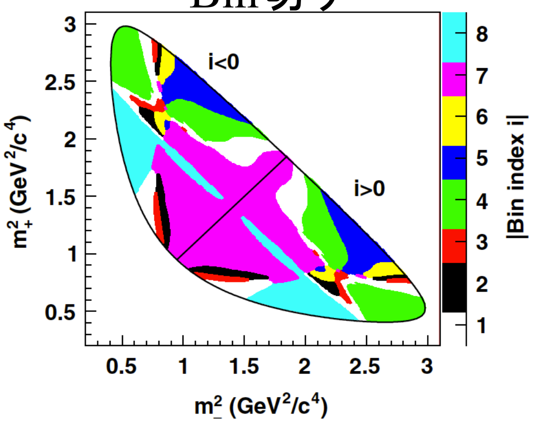
A. Poluektov, PRL 81, 112002 (2010)

$$\phi_3 = (78.4 \pm 3.6(stat.) \pm 8.9(syst.)^{+11.6}_{-10.8}(model))^\circ$$

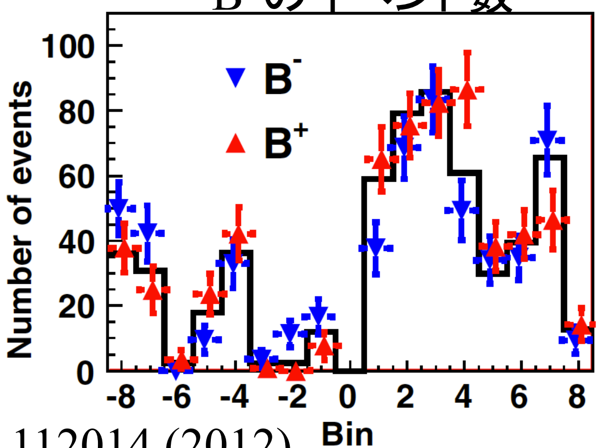
Model Independent Dalitz

- D → $K_S\pi\pi$, etc
  - D崩壊が三体崩壊
  - 三体崩壊のレゾナンス分布にϕ_3の影響が現れる
    - 経由するレゾナンス(Dalitz図の場所)によって D崩壊の強い相互作用の位相(δ_D)が異なる
    - ➢ Dalitz図上δ_D値の等高線を引き、Bin切りして単純にSignalを数える Bin毎にδ_Dが解っているのでϕ_3が出せる

Bin切り



$B^{\pm}$のイベント数



A. Poluektov, PRD 85, 112014 (2012)

$$\phi_3 = (77.3^{+15.1}_{-14.9} \pm 4.1 \pm 4.3)^\circ$$

$$r_B = 0.145 \pm 0.030 \pm 0.010 \pm 0.011$$

$$\delta_B = (129.9 \pm 15.0 \pm 3.8 \pm 4.7)^\circ$$

レゾナンス分布を評価するモデルの不定性が無い
現状では統計エラーが優位
→D,B Factoryの
統計が溜まれば
(次世代D,B Factoryで)
解決出来る!!

ϕ_3測定

- $B^- \to DK^-$
  - GLW法
    $D \to \pi\pi$, CP Eigenstate
    - Signal大きい
    - CP非対称性小さい
  - ADS法
    $D \to K\pi$, Flavor Specific
    - Signal小さい
    - CP非対称性大きい
  - GGSZ法(Dalitz)
    $D \to K_S\pi\pi$, 三体崩壊
    - GLWとADSを引っ括め解析

現在のϕ_3は
これらの結果を
Combineしたもの

全部ひっくるめて、連立方程式を作る事になるので、
他のモードを解析すればする程ϕ_3の制限がかかる！

中性Bでの ϕ_3測定

- $B^- \to DK^-$

同様の方法がとれる

  - GLW法
    $D \to \pi\pi$, CP Eigenstate
    - Signal大きい
    - CP非対称性小さい
  - ADS法
    $D \to K\pi$, Flavor Specific
    - Signal小さい
    - CP非対称性大きい
  - GGSZ法(Dalitz)
    $D \to K_S\pi\pi$, 三体崩壊
    - GLWとADSを引っ括め解析

- $\bar{B}^0 \to D\bar{K}^{*0}$
  - GLW法
  - ADS法
  - GGSZ法(Dalitz)

Belleの
Full Dataで
解析しているのは
自分だけ

中性Bで同様に解析した時の欠点と利点

→ 次ページ

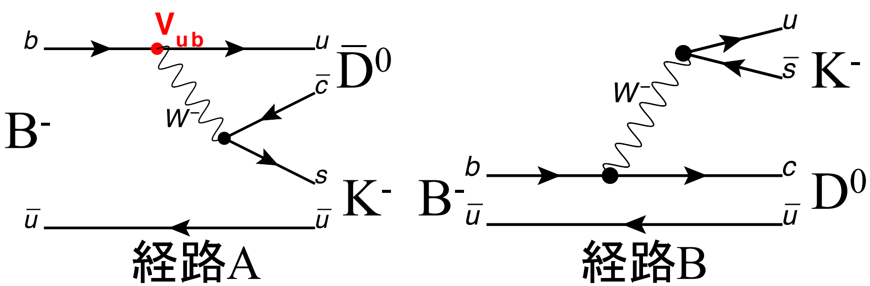
中性Bでの ϕ_3測定

- $B^- \to DK^-$　　同様の方法がとれる　　• $\bar{B}^0 \to D\bar{K}^{*0}$

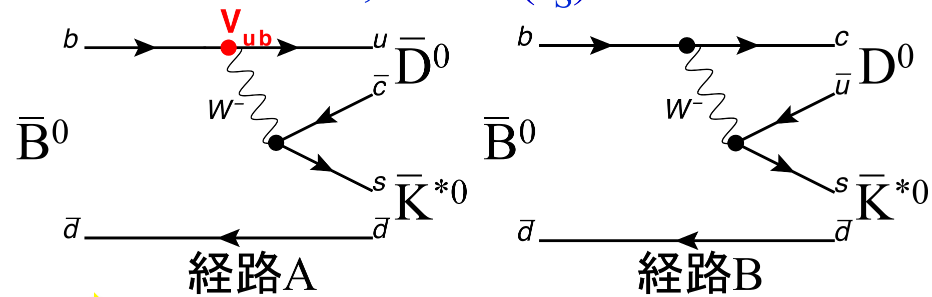
  – 崩壊分岐比
  $Br(B^- \to D^0K^-) = (3.68 \pm 0.33) \times 10^{-4}$　　～1/10

  – ☹分岐比は小さい
  $Br(B^0 \to D^0K^{*0}) = (4.2 \pm 0.6) \times 10^{-5}$

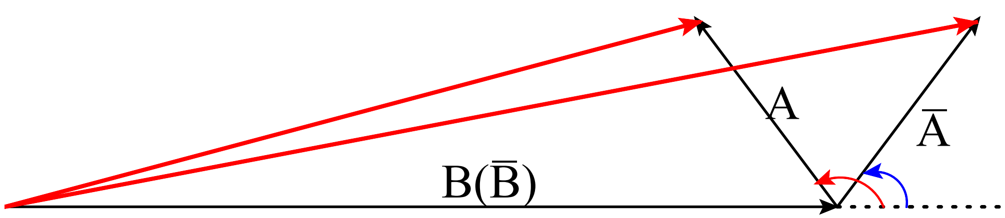
  – 経路A,Bの比



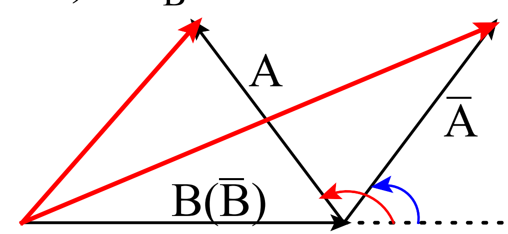
  – ☺経路A,Bの比(r_S)が1に近い!!



$r_B(DK) = 0.099 \pm 0.008$　　～10倍(?)　　$r_S(\text{expected}) \sim r_B \times 9$



右の方が
非対称度
測り易い



  – ☺$K^{*0} \to K^+\pi^-$によるB Flavor Tag

$$K^{*0} \to \begin{cases} K^+\pi^- & \sim 2/3 \\ K^0\pi^0 & \sim 1/3 \end{cases}$$

B^0-$\bar{B}^0$混合の効果が入らない

$B^0 \to DK^{*0}$

- 今までやった事
  - ADS法
    D→KπにてR_{ADS}を測定

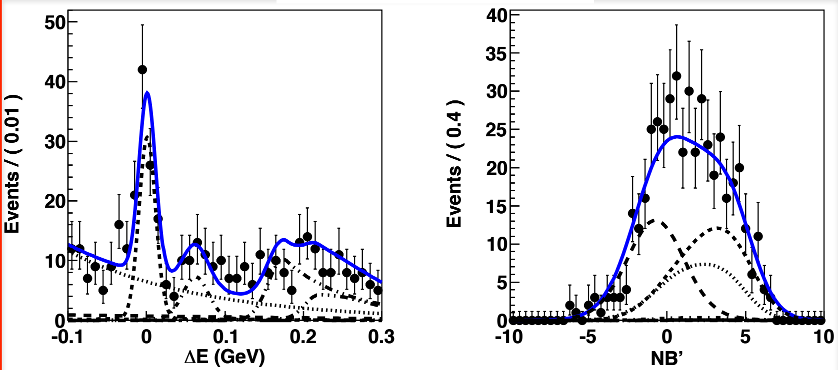
Suppressed mode

$$R_{DK^*} \cong \frac{\boxed{\Gamma(B^0 \to [K^+\pi^-]_D K^{*0}) + \Gamma(\bar{B}^0 \to [K^-\pi^+]_D \bar{K}^{*0})}}{\boxed{\Gamma(B^0 \to [K^-\pi^+]_D K^{*0}) + \Gamma(\bar{B}^0 \to [K^+\pi^-]_D \bar{K}^{*0})}}$$

$$= r_S^2 + r_D^2 + 2kr_S r_D \cos(\delta_S + \delta_D)\cos\phi_3$$

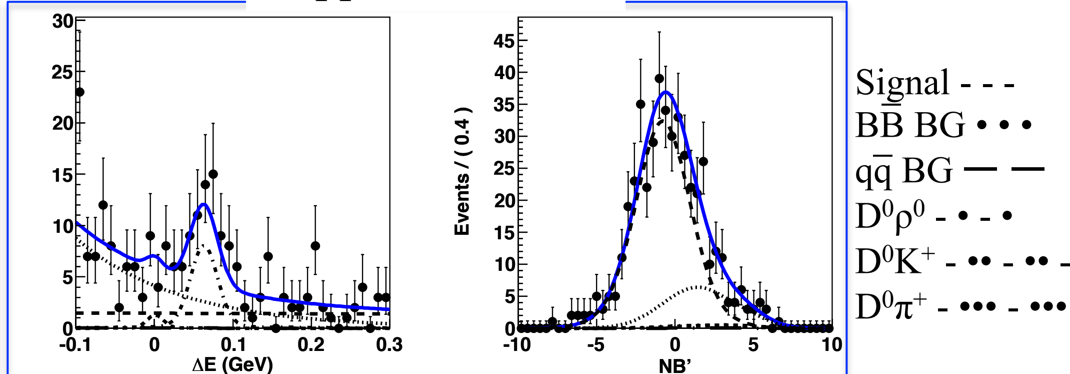
Favored

Favored mode



$N_{sig} = 190^{+22.3}_{-21.2}$

Suppressed mode



$N_{sig} = 7.7^{+10.6}_{-9.5}$ “0 consistent”

PRD 86, 011101 (2012)

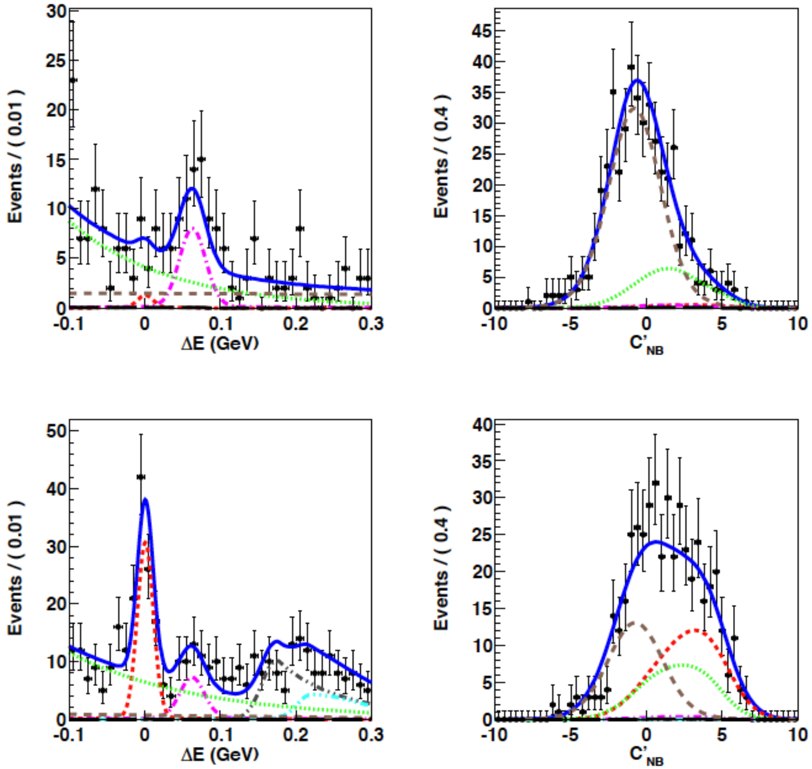
– $R_{ADS} = (4.5^{+5.6}_{-5.0}{}^{+2.8}_{-1.8}) \times 10^{-2}$
  < 0.16 (@ 95 % C.L.)

$r_D^2 = (3.80 \pm 0.10) \times 10^{-3}$ (PDG)
$k \sim 1$ (BaBar simulation studies)
から$R_{DK^*} \sim r_S^2$ (非常に保守的に)として
$r_S < 0.4$ ← 予想値より小さい可能性!!

- これからやる事
  - D→$K_S\pi\pi$ Model Independent Dalitz

$B^0 \to [K\pi]_D K^{*0}$ ADS method

戻る



Mode	ϵ (%)	N	$\mathcal{R}_{DK^{*0}}$
$B^0 \to [K^+\pi^-]_D K^{*0}$	21.0 ± 0.3	$190^{+22.3}_{-21.2}$	$(4.1^{+5.6}_{-5.0}) \times 10^{-2}$
$B^0 \to [K^-\pi^+]_D K^{*0}$	20.9 ± 0.3	$7.7^{+10.6}_{-9.5}$	

Source	Uncertainty $[10^{-2}]$
Signal PDFs	$+0.1 - 0.2$
$\bar{D}^0\rho^0$ PDFs	$+0.0 - 0.1$
Combinatorial $B\bar{B}$ PDFs	$+1.8 - 1.2$
Peaking background PDFs	$+0.1 - 0.1$
$q\bar{q}$ PDFs	$+2.2 - 1.4$
$\bar{D}^0K^+$ PDFs	$+0.0 - 0.0$
$\bar{D}^0\pi^+$ PDFs	$+0.0 - 0.1$
Fit bias	$+0.4 - 0.0$
Efficiency	$+0.1 - 0.1$
Charmless decay	$+0.0 - 0.3$
Combined	$+2.8 - 1.8$

$\mathcal{R}_{DK^{*0}} \equiv \Gamma(B^0 \to [K^-\pi^+]_D K^+\pi^-)/\Gamma(B^0 \to [K^+\pi^-]_D K^+\pi^-)$ to be $(4.1^{+5.6+2.8}_{-5.0-1.8}) \times 10^{-2}$

$\mathcal{R}_{DK^{*0}} < 0.16$ at the 95% confidence level

$$r_S = \sqrt{\frac{\Gamma(\bar{B}^0 \to \bar{D}^0\bar{K}^{*0})}{\Gamma(\bar{B}^0 \to D^0\bar{K}^{*0})}}$$

$$\begin{aligned}\mathcal{R}_{DK^{*0}} &\equiv \frac{\Gamma(B^0 \to [K^-\pi^+]_D K^+\pi^-)}{\Gamma(B^0 \to [K^+\pi^-]_D K^+\pi^-)} \\ &= r_S^2 + r_D^2 + 2kr_Sr_D\cos(\delta_S+\delta_D)\cos\phi_3\end{aligned}$$

$B^0 \to [K_S\pi\pi]_D K^{*0}$

- $B^0 \to [K_S\pi\pi]_D K^{*0}$にModel IndependentなDalitzを適用する
  - 予想されるシグナル数

$$N_{\rm sig} = N_{\rm fav} \times \frac{Br(D \to K_S\pi\pi)}{Br(D \to K\pi)} \times \frac{eff_{K_S\pi\pi}}{eff_{\rm fav}}$$

$$\sim 190 \times \frac{3 \times 10^{-2}}{4 \times 10^{-2}} \times \frac{9.7 \times 10^{-2}}{21.0 \times 10^{-2}}$$

$$\sim 68 \text{ events}$$

N_{fav} : $B^0 \to [K\pi]_D K^{*0}$ Favored Modeのシグナル数

$eff_{fav(KS\pi\pi)}$: $B^0 \to [K\pi]_D K^{*0}$ Favored Mode ($B^0 \to [K_S\pi\pi]_D K^{*0}$)の検出効率

  - 参考)荷電Bで同等程度のSginal統計によるϕ_3測定の結果(Belle)
    - A. Poluktov, PRD 70, 072003 (2004)
      $B^- \to D^{(*)} K^-$でModel Dependent

$$\boxed{\phi_3 = (77 {}^{+17}_{-19} \pm 13 \pm 11(\text{model}))^\circ}$$

DK^- 146 events $\to r_B = 0.26^{+0.10}_{-0.14}$

~2σで求まっている

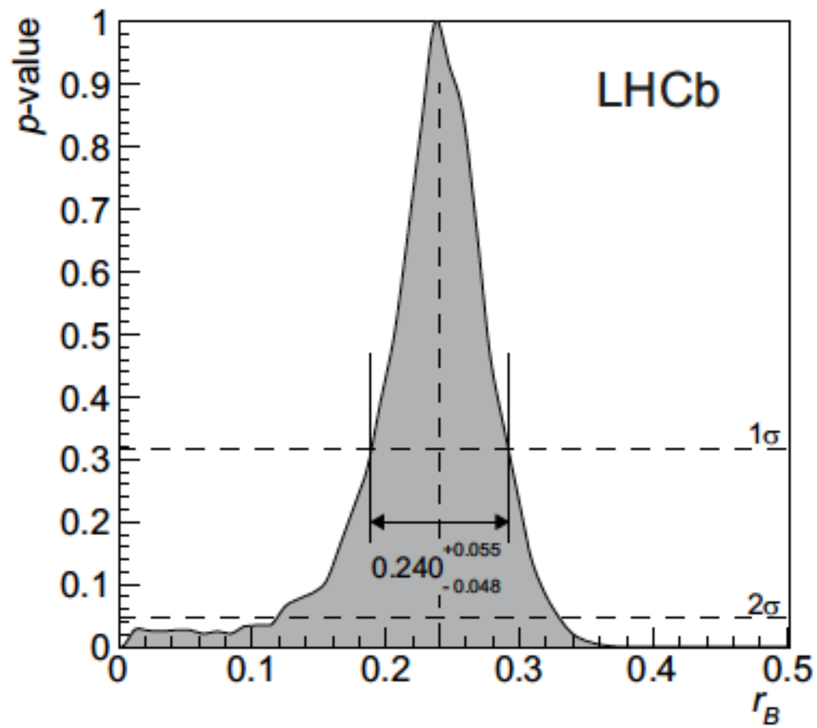
(D^*K^- 39 events)

- 統計ではFactor~1/2程度だが、
  中性Bの方が非対称度が大きい

LHCb B^0 ADS+GLW

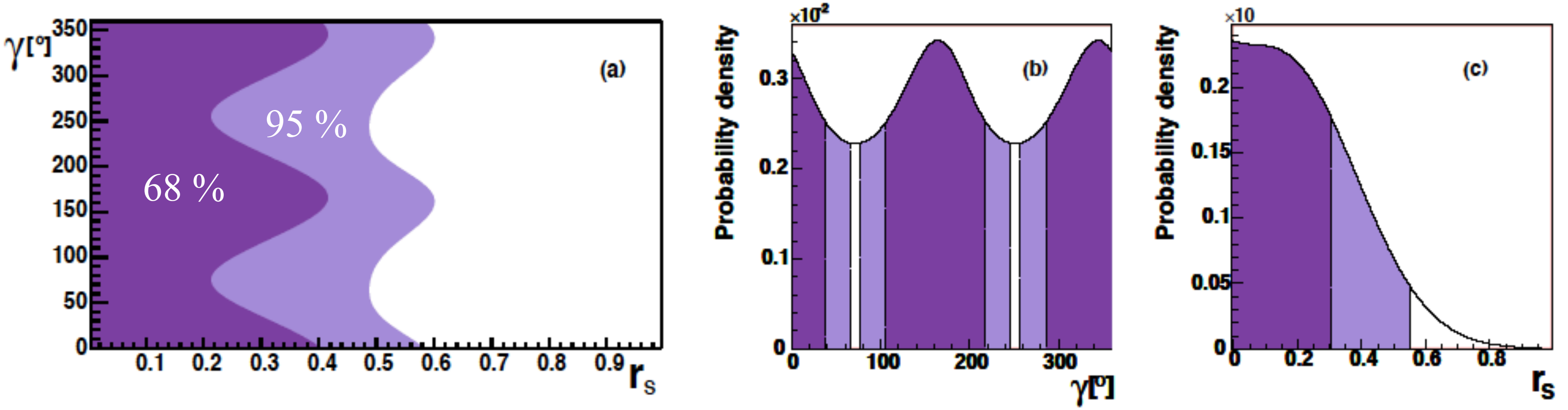
Channel	Signal yield	Channel	Signal yield
$\overline{B}^0 \to D(\pi^- K^+)\overline{K}^{*0}$	24 ± 12	$B^0 \to D(\pi^+ K^-)K^{*0}$	26 ± 12
$\overline{B}^0 \to D(K^- \pi^+)\overline{K}^{*0}$	370 ± 22	$B^0 \to D(K^+ \pi^-)K^{*0}$	405 ± 23
$\overline{B}^0 \to D(K^+ K^-)\overline{K}^{*0}$	36 ± 9	$B^0 \to D(K^+ K^-)K^{*0}$	53 ± 10
$\overline{B}^0 \to D(\pi^+ \pi^-)\overline{K}^{*0}$	18 ± 6	$B^0 \to D(\pi^+ \pi^-)K^{*0}$	21 ± 7
$B^0_s \to D(\pi^- K^+)\overline{K}^{*0}$	933 ± 33	$\overline{B}^0_s \to D(\pi^+ K^-)K^{*0}$	993 ± 34
$B^0_s \to D(K^+ K^-)\overline{K}^{*0}$	115 ± 12	$\overline{B}^0_s \to D(K^+ K^-)K^{*0}$	125 ± 13
$B^0_s \to D(\pi^+ \pi^-)\overline{K}^{*0}$	39 ± 7	$\overline{B}^0_s \to D(\pi^+ \pi^-)K^{*0}$	35 ± 7

$$\mathcal{A}_d^{KK} = -0.20 \pm 0.15 \pm 0.02, \quad \mathcal{A}_d^{\pi\pi} = -0.09 \pm 0.22 \pm 0.02,$$
$$\mathcal{R}_d^{KK} = 1.05\,^{+0.17}_{-0.15} \pm 0.04, \quad \mathcal{R}_d^{\pi\pi} = 1.21\,^{+0.28}_{-0.25} \pm 0.05,$$
$$\mathcal{R}_d^{+} = 0.06 \pm 0.03 \pm 0.01, \quad \mathcal{R}_d^{-} = 0.06 \pm 0.03 \pm 0.01,$$
$$\mathcal{R}_{ds}^{KK} = 0.10 \pm 0.02 \pm 0.01, \quad \mathcal{R}_{ds}^{\pi\pi} = 0.15 \pm 0.04 \pm 0.01,$$
$$\mathcal{A}_s^{KK} = -0.04 \pm 0.07 \pm 0.02, \quad \mathcal{A}_s^{\pi\pi} = 0.06 \pm 0.13 \pm 0.02,$$
$$\mathcal{A}_d^{K\pi} = -0.03 \pm 0.04 \pm 0.02, \quad \mathcal{A}_s^{\pi K} = -0.01 \pm 0.03 \pm 0.02,$$



- 3.0 fb^{-1} @ LHC pp collision

BaBar B^0 Dalitz



- 371×10^6 BB @ BaBar
- Signal 39 ± 9
- eff. (10.8 ± 0.5) %

68 %

$$
\begin{aligned}
\gamma &= (162 \pm 56)^\circ \text{ or } (342 \pm 56)^\circ; \\
\delta_S &= (62 \pm 57)^\circ \text{ or } (242 \pm 57)^\circ; \\
r_S &< 0.30;
\end{aligned}
$$

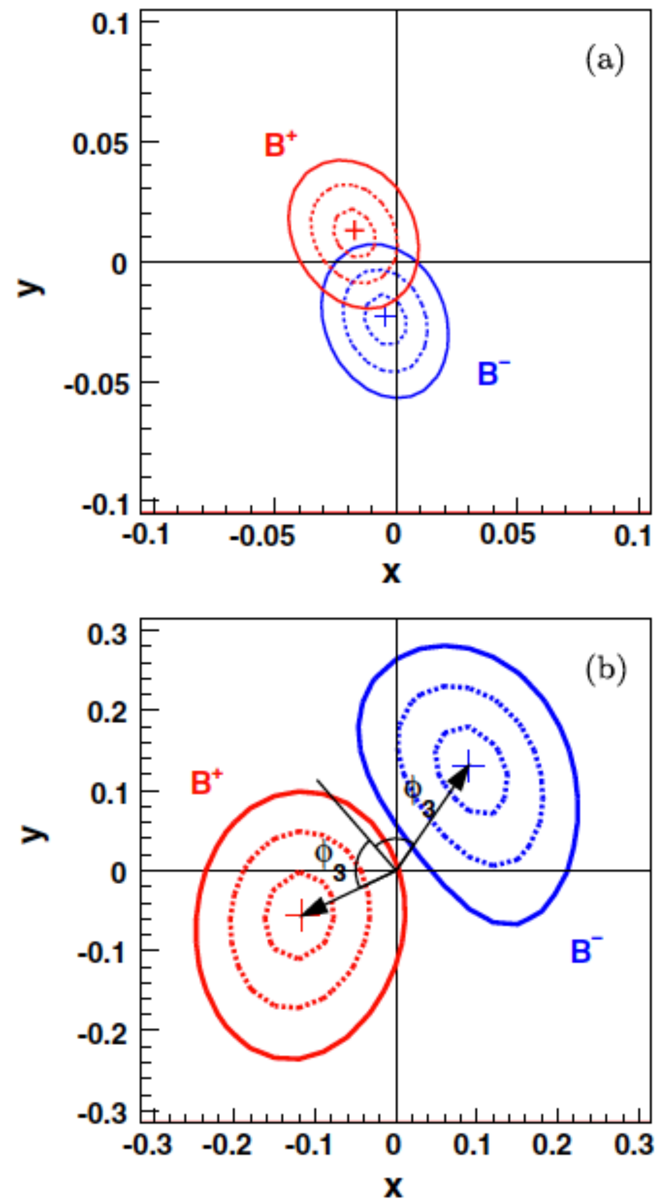
95 %

$$
\begin{aligned}
\gamma &\in [77, 247]^\circ \text{ or } [257, 426]^\circ; \\
\delta_S &\in [-23, 147]^\circ \text{ or } [157, 327]^\circ; \\
r_S &< 0.55.
\end{aligned}
$$

Belle $B^{\pm}$ Dalitz Mod.-Ind.

Bin i	N_i^-	N_i^+
−8	49.8 ± 8.2	37.8 ± 7.5
−7	42.2 ± 8.6	24.9 ± 7.2
−6	0.0 ± 1.9	3.4 ± 2.9
−5	9.6 ± 4.5	23.6 ± 6.2
−4	32.9 ± 7.5	42.1 ± 8.3
−3	3.5 ± 2.8	0.7 ± 2.5
−2	11.3 ± 4.1	0.0 ± 1.3
−1	16.6 ± 5.4	7.7 ± 4.4
1	37.6 ± 8.0	65.1 ± 9.9
2	68.6 ± 9.6	75.5 ± 9.8
3	83.4 ± 10.1	82.4 ± 10.2
4	49.3 ± 9.1	86.5 ± 11.4
5	34.0 ± 7.3	38.3 ± 7.6
6	34.8 ± 6.8	41.9 ± 7.5
7	70.8 ± 10.6	46.4 ± 9.0
8	9.4 ± 4.3	14.2 ± 5.1
Total	574.9 ± 29.9	601.6 ± 30.8

Parameter	$B^{\pm} \to D\pi^{\pm}$	$B^{\pm} \to DK^{\pm}$
x_-	$-0.0045 \pm 0.0087 \pm 0.0049 \pm 0.0026$	$+0.095 \pm 0.045 \pm 0.014 \pm 0.010$
y_-	$-0.0231 \pm 0.0107 \pm 0.0041 \pm 0.0065$	$+0.137^{+0.053}_{-0.057} \pm 0.015 \pm 0.023$
$\mathrm{corr}(x_-, y_-)$	-0.189	-0.315
x_+	$-0.0172 \pm 0.0089 \pm 0.0060 \pm 0.0026$	$-0.110 \pm 0.043 \pm 0.014 \pm 0.007$
y_+	$+0.0129 \pm 0.0103 \pm 0.0059 \pm 0.0065$	$-0.050^{+0.052}_{-0.055} \pm 0.011 \pm 0.017$
$\mathrm{corr}(x_+, y_+)$	-0.205	$+0.059$

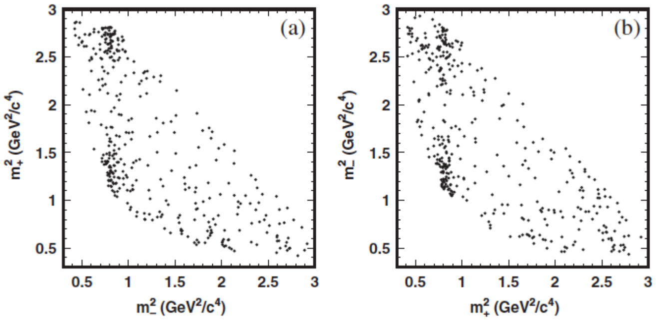


$$\phi_3 = (77.3^{+15.1}_{-14.9} \pm 4.1 \pm 4.3)^{\circ}$$

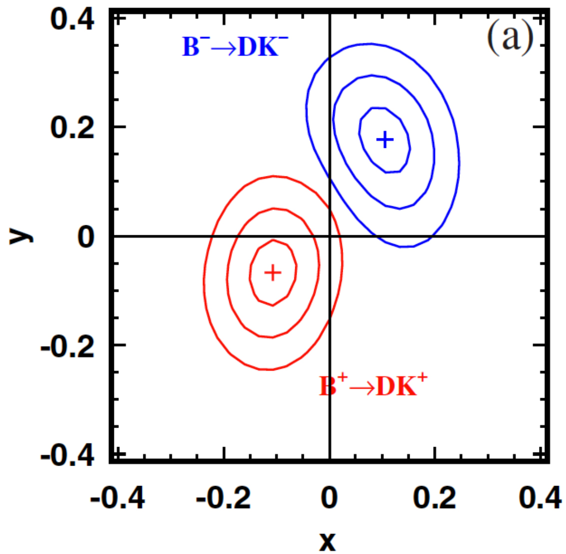
$$r_B = 0.145 \pm 0.030 \pm 0.010 \pm 0.011$$

$$\delta_B = (129.9 \pm 15.0 \pm 3.8 \pm 4.7)^{\circ},$$

Belle B± Dalitz Mod.-Dep.



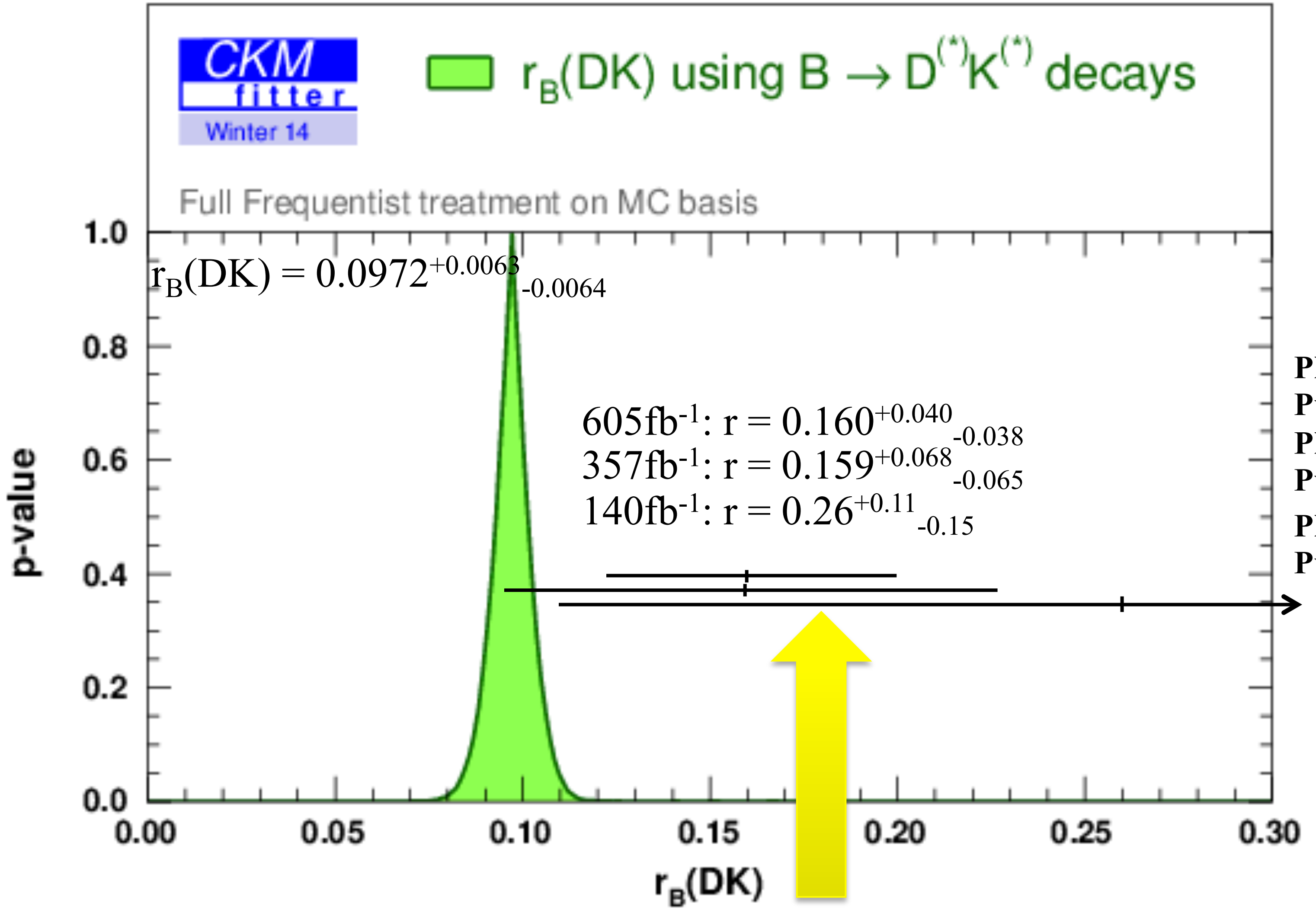
Intermediate state	Amplitude	Phase (°)	Fit fraction (%)
$K_S\sigma_1$	1.56 ± 0.06	214 ± 3	11.0 ± 0.7
$K_S\rho^0$	1.0 (fixed)	0 (fixed)	21.2 ± 0.5
$K_S\omega$	0.0343 ± 0.0008	112.0 ± 1.3	0.526 ± 0.014
$K_S f_0(980)$	0.385 ± 0.006	207.3 ± 2.3	4.72 ± 0.05
$K_S\sigma_2$	0.20 ± 0.02	212 ± 12	0.54 ± 0.10
$K_S f_2(1270)$	1.44 ± 0.04	342.9 ± 1.7	1.82 ± 0.05
$K_S f_0(1370)$	1.56 ± 0.12	110 ± 4	1.9 ± 0.3
$K_S\rho^0(1450)$	0.49 ± 0.08	64 ± 11	0.11 ± 0.04
$K^*(892)^+\pi^-$	1.638 ± 0.010	133.2 ± 0.4	62.9 ± 0.8
$K^*(892)^-\pi^+$	0.149 ± 0.004	325.4 ± 1.3	0.526 ± 0.016
$K^*(1410)^+\pi^-$	0.65 ± 0.05	120 ± 4	0.49 ± 0.07
$K^*(1410)^-\pi^+$	0.42 ± 0.04	253 ± 5	0.21 ± 0.03
$K_0^*(1430)^+\pi^-$	2.21 ± 0.04	358.9 ± 1.1	7.93 ± 0.09
$K_0^*(1430)^-\pi^+$	0.36 ± 0.03	87 ± 4	0.22 ± 0.04
$K_2^*(1430)^+\pi^-$	0.89 ± 0.03	314.8 ± 1.1	1.40 ± 0.06
$K_2^*(1430)^-\pi^+$	0.23 ± 0.02	275 ± 6	0.093 ± 0.014
$K^*(1680)^+\pi^-$	0.88 ± 0.27	82 ± 17	0.06 ± 0.04
$K^*(1680)^-\pi^+$	2.1 ± 0.2	130 ± 6	0.30 ± 0.07
Nonresonant	2.7 ± 0.3	160 ± 5	5.0 ± 1.0



Parameter	$B^+ \to DK^+$
x_-	$+0.105 \pm 0.047 \pm 0.011$
y_-	$+0.177 \pm 0.060 \pm 0.018$
$x_- - y_-$ correlation	-0.289
x_+	$-0.107 \pm 0.043 \pm 0.011$
y_+	$-0.067 \pm 0.059 \pm 0.018$
$x_+ - y_+$ correlation	$+0.110$

Parameter	$B^+ \to DK^+$ mode
ϕ_3	$(80.8^{+13.1}_{-14.8} \pm 5.0 \pm 8.9)^\circ$
r	$0.161^{+0.040}_{-0.038} \pm 0.011^{+0.050}_{-0.010}$
δ	$(137.4^{+13.0}_{-15.7} \pm 4.0 \pm 22.9)^\circ$

r_B の ずれ



Phys. Rev. D 70, 072003
Published 22 Oct. 2004
Phys. Rev. D 73, 112009
Published 29 June 2006
Phys. Rev. D 81, 112002
Published 16 June 2010

Modelに依るバイアスではないのだろうか…

CLEO c_i, s_i

$$c_i = \frac{\int\limits_{\mathcal{D}_i} \sqrt{p_D \bar{p}_D} \cos(\Delta\delta_D(m_+^2, m_-^2)) d\mathcal{D}}{\sqrt{\int\limits_{\mathcal{D}_i} p_D d\mathcal{D} \int\limits_{\mathcal{D}_i} \bar{p}_D d\mathcal{D}}},$$

The coefficients K_i are obtained precisely from a very large sample of D^0 decays in the flavor eigenstate, which is accessible at B-factories. The expected number of events in the Dalitz plot of D_{CP} decay equals to

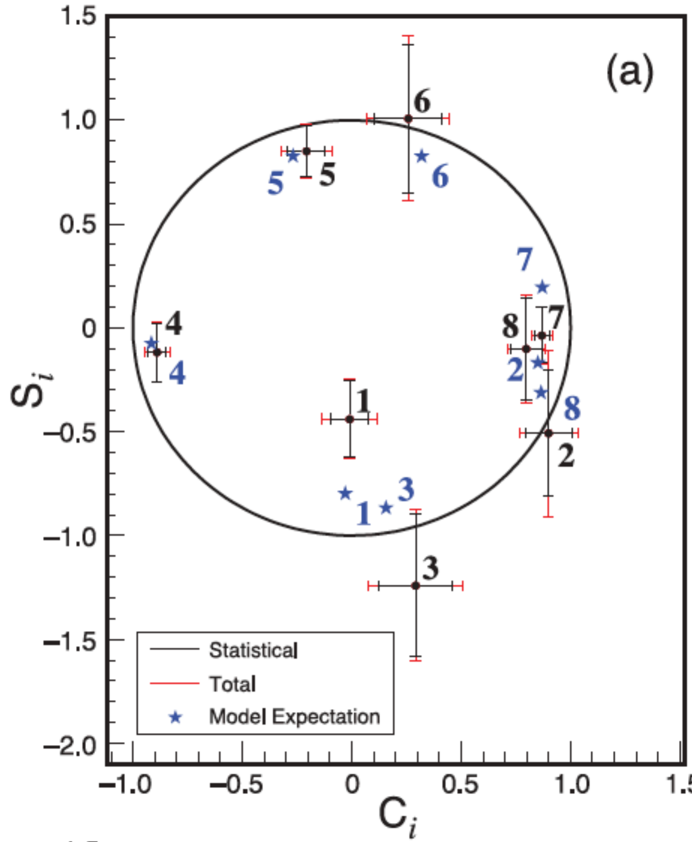
$$\langle M_i \rangle = h_{CP}[K_i + K_{-i} + 2\sqrt{K_i K_{-i}} c_i], \qquad (10)$$

and thus can be used to obtain the coefficient c_i. As soon as the c_i and s_i coefficients are known, one can obtain x and y values (hence, ϕ_3 and other related quantities) by a maximum likelihood fit using equation (8).

In the case of a binned analysis, the number of events in the region of the $(K_S^0\pi^+\pi^-)^2$ phase space is

$$\langle M \rangle_{ij} = h_{\rm corr}[K_i K_{-j} + K_{-i} K_j - 2\sqrt{K_i K_{-i} K_j K_{-j}}(c_i c_j + s_i s_j)]. \qquad (14)$$

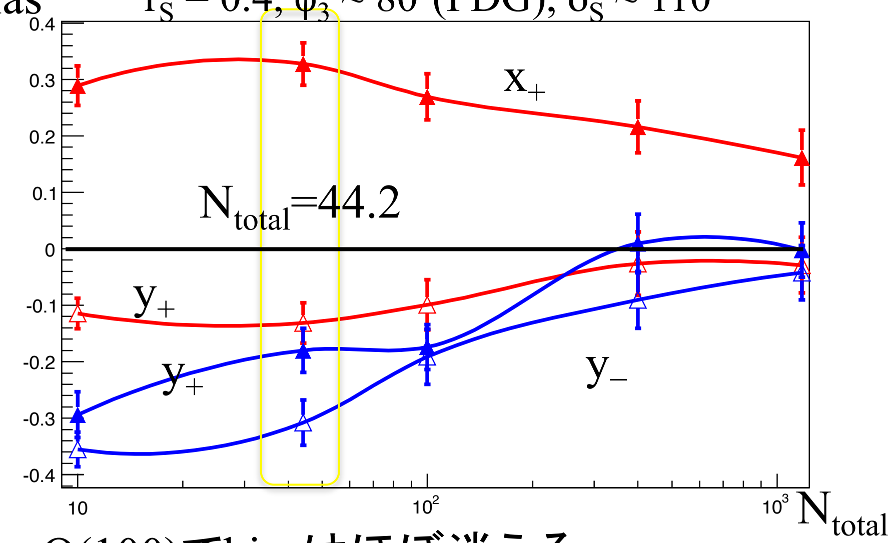
Here two indices correspond to two D mesons from $\psi(3770)$ decay. It is logical to use the same binning as in the case of D_{CP} statistics to improve the precision of the determination of c_i coefficients, and to obtain s_i from data without model assumptions, contrary to D_{CP} case. Note that in the case of using $(K_S^0\pi^+\pi^-)^2$ decays, the parameters c_i and s_i are treated as independent variables. The obvious advantage of this approach is its being unbiased for any finite $(K_S^0\pi^+\pi^-)^2$ statistics (not only asymptotically as in the case of D_{CP} data).



	CLEO measurement
c_1	$-0.009 \pm 0.088 \pm 0.094$
c_2	$+0.900 \pm 0.106 \pm 0.082$
c_3	$+0.292 \pm 0.168 \pm 0.139$
c_4	$-0.890 \pm 0.041 \pm 0.044$
c_5	$-0.208 \pm 0.085 \pm 0.080$
c_6	$+0.258 \pm 0.155 \pm 0.108$
c_7	$+0.869 \pm 0.034 \pm 0.033$
c_8	$+0.798 \pm 0.070 \pm 0.047$
s_1	$-0.438 \pm 0.184 \pm 0.045$
s_2	$-0.490 \pm 0.295 \pm 0.261$
s_3	$-1.243 \pm 0.341 \pm 0.123$
s_4	$-0.119 \pm 0.141 \pm 0.038$
s_5	$+0.853 \pm 0.123 \pm 0.035$
s_6	$+0.984 \pm 0.357 \pm 0.165$
s_7	$-0.041 \pm 0.132 \pm 0.034$
s_8	$-0.107 \pm 0.240 \pm 0.080$

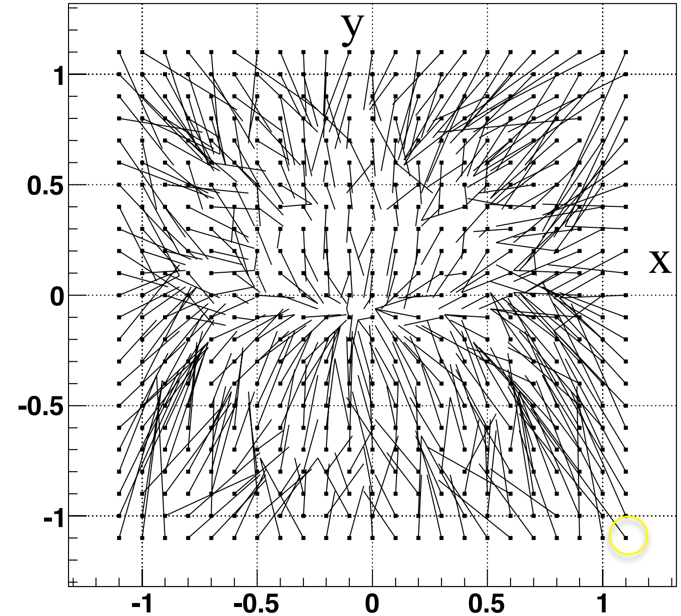
Bias vs N_{total}

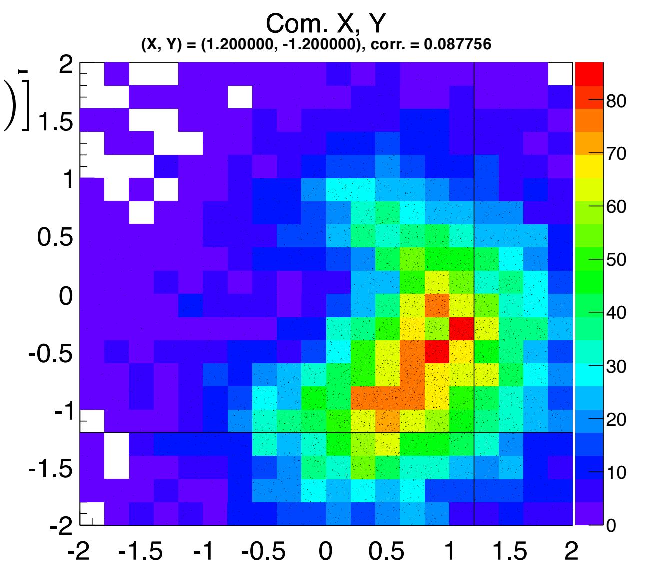
- N_{total}を変えるとbiasが無くなる



O(100)でbiasはほぼ消える

(x,y)平面での各点でのbias





$$N_i = h_B[K_i + \boxed{(x^2+y^2)}K_{-i} + 2k\sqrt{K_iK_{-i}}(xc_i + ys_i)]$$

r_S方向に巻き付く

(シグナルの小数統計とBGの大統計)
r_Sが大きいと、小さい方にバイアスを持つ