



$B^- \rightarrow DK^-$, $D \rightarrow K^+ \pi^-$ 崩壊の探索

日本物理学会 第63回年次大会

2008年3月25日

東北大学 堀井泰之, 他 Belle Collaboration

目次

1. 序論
2. CP 非保存角 ϕ_3 と $B^- \rightarrow DK^-$ 崩壊
3. $B^- \rightarrow DK^-$, $D \rightarrow K^+ \pi^-$ 崩壊の探索
 - $B^- \rightarrow D\pi^-$, $D \rightarrow K^+ \pi^-$ も解析
4. 結論

序論

- 標準理論
 - 多くの実験的検証と共に成功を収めてきた。
 - しかし、いくつかの問題を内包。→より根源的な物理
- 標準理論の問題の一つ
 - 多くのインプットパラメタを含む。
(特にクォーク、レプトンセクター)
- フレーバー物理
 - クォーク、レプトンの物理。
 - その発展は、より根源的な物理に迫る手段の一つ。

Belle実験

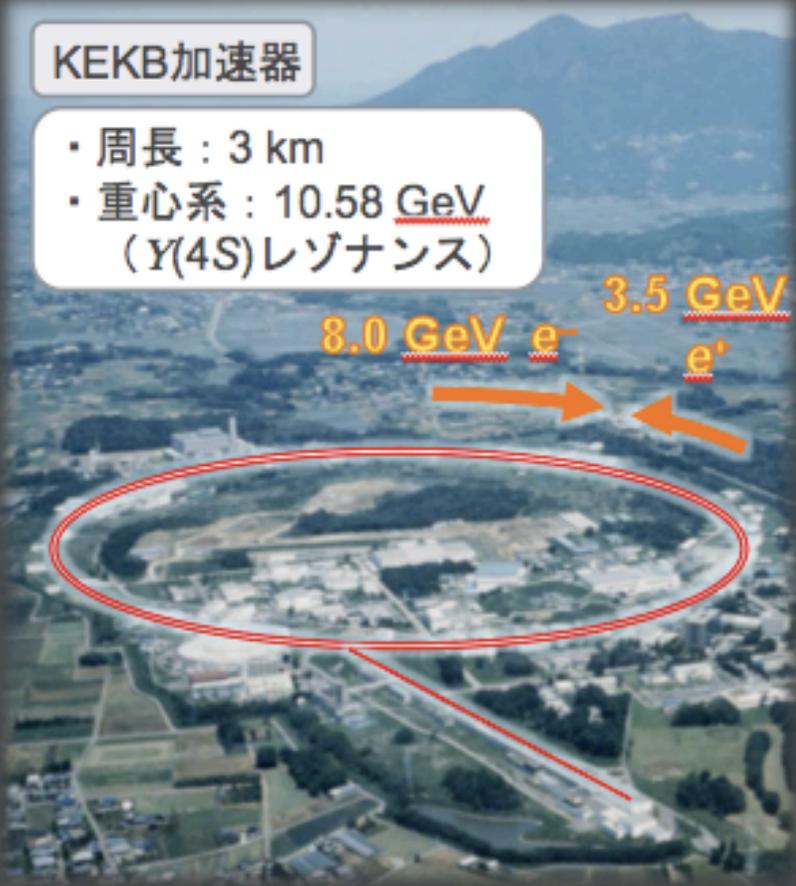
- フレーバー物理の発展に貢献

- 約400人（55機関14カ国）による共同実験。
- 積分ルミノシティ766/fb
（ピークルミノシティ17.1/nb/sec）

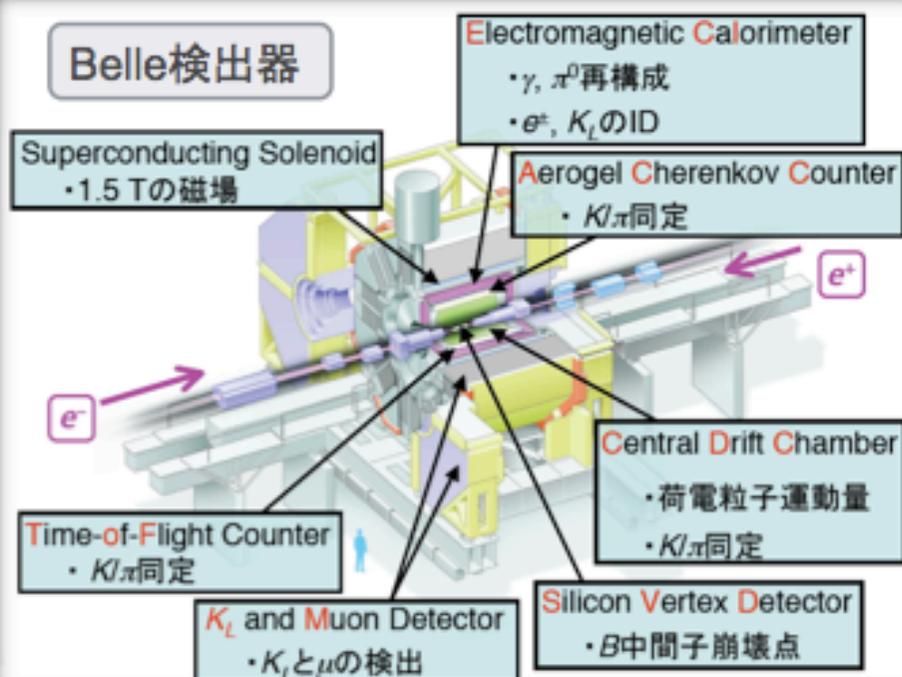
KEKB加速器

- 周長：3 km
- 重心系：10.58 GeV
（ $\Upsilon(4S)$ レゾナンス）

8.0 GeV e^- 3.5 GeV e^+



Belle検出器



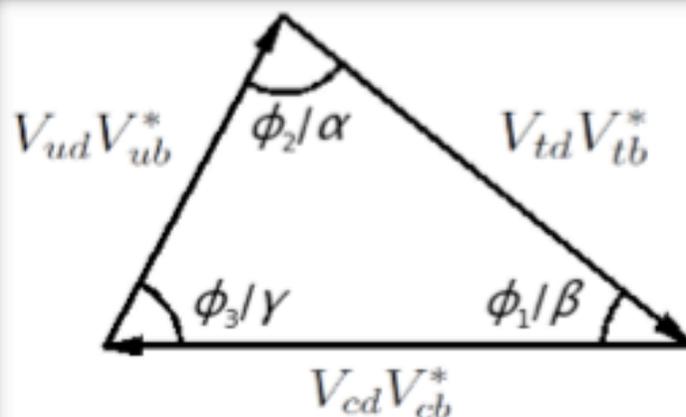
CP非保存角 ϕ_3

- CKM (カビボ・小林・益川) 行列
クォークの混合に関わるユニタリ行列

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

複素位相を押し込められる。

- ユニタリティ三角形とCP非保存角 ϕ_3



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

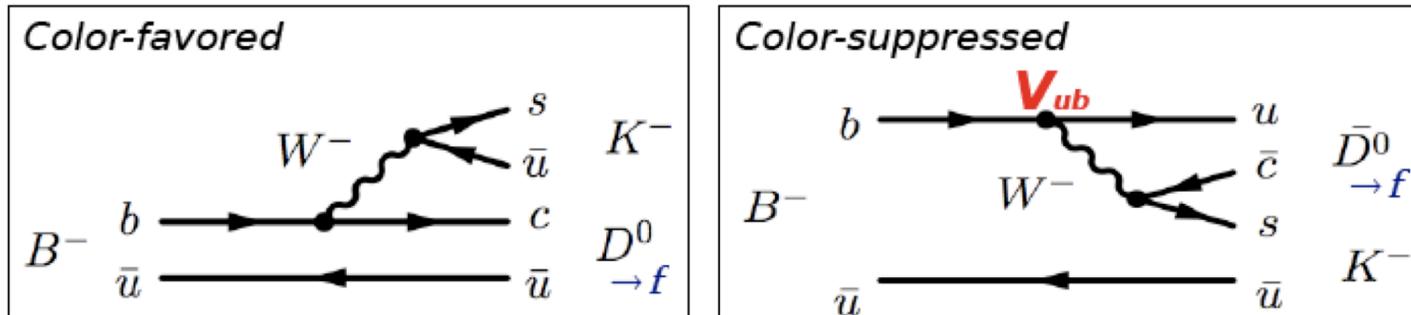
$$\phi_3 \equiv \arg \left(\frac{V_{ud}V_{ub}^*}{-V_{cd}V_{cb}^*} \right) \sim -\arg(V_{ub})$$

標準理論のインプットパラメタの一つ

$B^- \rightarrow DK^-$ 崩壊

 $D : D^0 \text{ または } \bar{D}^0$

(No penguin)



- D^0 と \bar{D}^0 の同じ終状態 f を用いて ϕ_3 にアプローチできる。
- 基本的に ϕ_3 は振幅の比の大きさ r_B と一緒に抽出する。

$$r_B \equiv \left| \frac{A(B^- \rightarrow \bar{D}^0 K^-)}{A(B^- \rightarrow D^0 K^-)} \right|$$

- 最も精度の良い測定は $f = K_S \pi^+ \pi$ を用いたもの。(635M $B\bar{B}$)

$$\phi_3 = 76^\circ \begin{matrix} +12^\circ \\ -13^\circ \end{matrix} (\text{stat}) \pm 4^\circ (\text{sys}) \pm 9^\circ (\text{model})$$

$$r_B = 0.16 \pm 0.04 \pm 0.01 \pm 0.05$$

本解析で扱う崩壊

(荷電共役な崩壊
も含める。)

◎ $f=K^+\pi$

- $B^- \rightarrow DK^-, D \rightarrow f$: $B^- \rightarrow D_{\text{sup}} K^-$
 - $B^- \rightarrow DK^-, D \rightarrow K^-\pi^+$: $B^- \rightarrow D_{\text{fav}} K^-$ との比をとる。

$$R_{DK} \equiv \frac{\mathcal{B}(B^- \rightarrow D_{\text{sup}} K^-)}{\mathcal{B}(B^- \rightarrow D_{\text{fav}} K^-)}$$

$$= r_B^2 + r_D^2 + 2r_B r_D \cos(\phi_3) \cos \delta$$

$$r_D \equiv \left| \frac{A(D^0 \rightarrow K^+\pi^-)}{A(D^0 \rightarrow K^-\pi^+)} \right| \text{ (well known)}$$

$$\delta = \delta_B + \delta_D \text{ (Strong phase difference)}$$

- ϕ_3 のモデルに依存しない測定のために使える。

[D. Atwood, I. Dunietz and A. Soni,
PRL78, 3357 (1997); PRD63, 036005 (2001)]

- $B^- \rightarrow D\pi, D \rightarrow f$: $B^- \rightarrow D_{\text{sup}} \pi$
 - $B^- \rightarrow D\pi, D \rightarrow K^-\pi^+$: $B^- \rightarrow D_{\text{fav}} \pi$ との比をとる。
 - 標準理論からCP非対称度が無視できると期待される。

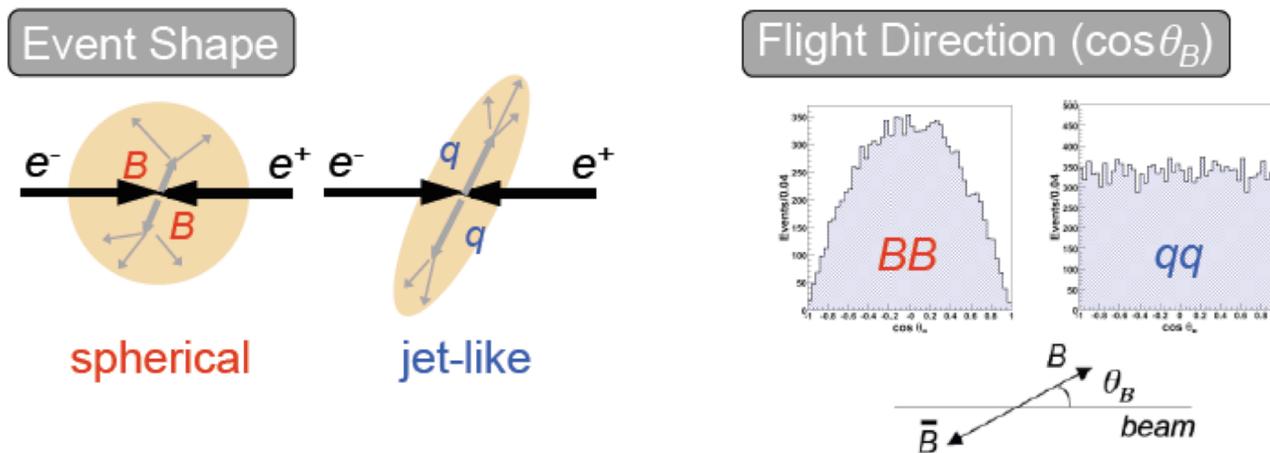
崩壊の再構成と $q\bar{q}$ バックグラウンド抑圧

- K^\pm/π^\pm 同定 : Efficiency $\sim 90\%$ 、Fake rate $\sim 10\%$
- D 中間子質量の要請 : $|M(K^+\pi) - 1.865| < 0.015 \text{ GeV}/c^2$ (3σ)
- B 中間子候補の再構成

$$M_{bc} \equiv \sqrt{E_{\text{beam}}^2 - |\vec{p}_{K^+} + \vec{p}_{\pi^-} + \vec{p}_{K^-}|^2} : |M_{bc} - 5.279| < 0.007 \text{ GeV}/c^2 (3\sigma)$$

$$\Delta E \equiv E_{K^+} + E_{\pi^-} + E_{K^-} - E_{\text{beam}} : \text{フィットする。}$$

- $q\bar{q}$ バックグラウンド ($q=u,d,s,c$) の抑圧

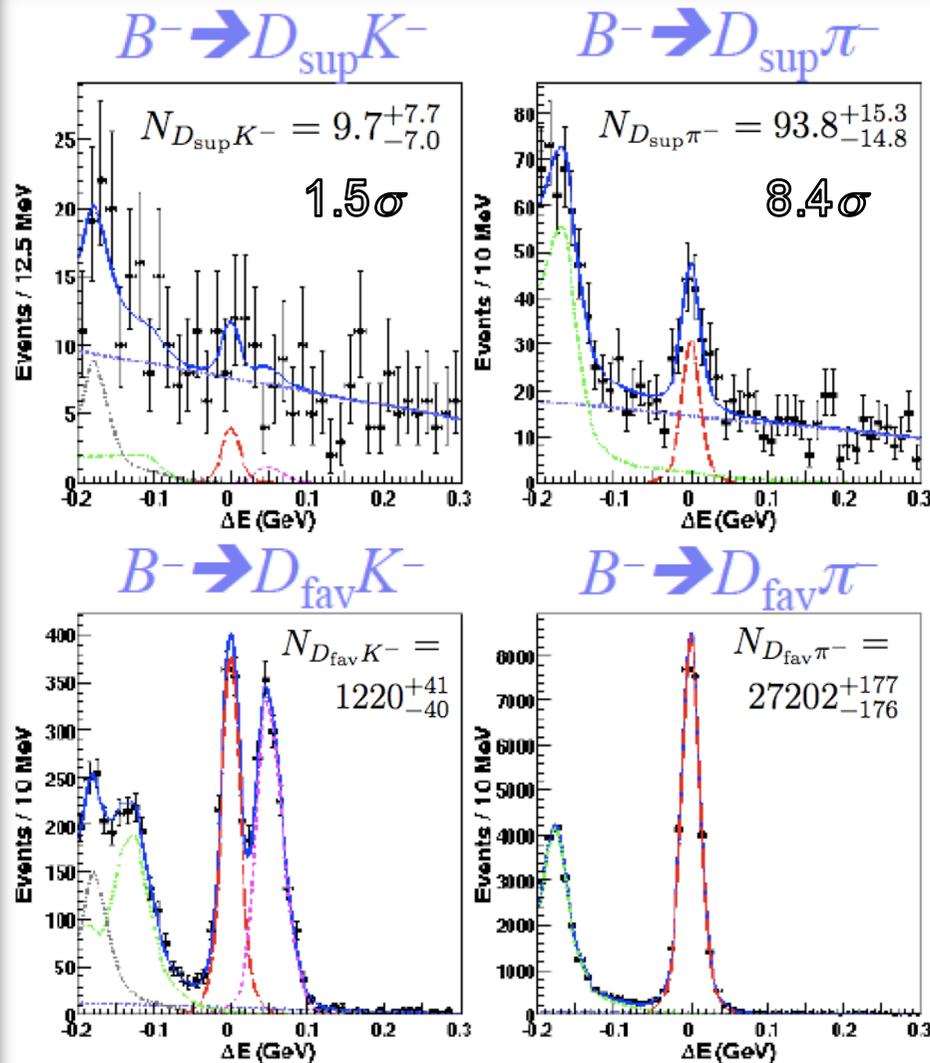


$\Delta E=0$ にピークするバックグラウンド

- $B^- \rightarrow D\pi$, $D \rightarrow K^+K^-$ (for $B^- \rightarrow D_{\text{sup}}K^-$)
 - $M(K^+\pi) \sim M_D$ のときバックグラウンドになる。
 - $M(K^+K^-) \sim M_D$ のイベントを禁止する。
→ 禁止後、 (0.22 ± 0.19) イベントが残る。→ 差し引く。
- $B^- \rightarrow D_{\text{fav}}h^-$ (for $B^- \rightarrow D_{\text{sup}}h^-$) $h=K, \pi$
 - D の崩壊からの2つの粒子に対するミスIDから来る。
 - IDを入れ替えたとき $M(K^+\pi) \sim M_D$ になるイベントを禁止。
→ 禁止後、 (0.17 ± 0.13) イベントが残る。→ 差し引く。
- $B^- \rightarrow K^+\pi h^-$ (for $B^- \rightarrow D_{\text{sup}}h^-$)
 - $M(K^+\pi)$ サイドバンドのデータをフィットして効いてくるイベント数 (-2.3 ± 2.4) を得た。
→ $+2.4$ イベントを系統誤差として扱う。

ΔE フィット

(657M $B\bar{B}$)



- ◎ 実線 : 和
- ◎ 点線 : 成分
 - 赤 : Signal
 - 緑 : $B^- \rightarrow X\pi$ BG (as $B^- \rightarrow D^*\pi$)
 - 灰 : $B^- \rightarrow XK^-$ BG (as $B^- \rightarrow D^*K^-$)
 - 青 : $q\bar{q}$ BG
 - 桃 : $B^- \rightarrow D\pi$ BG

3. $B \rightarrow DK, D \rightarrow K^+\pi$ 崩壊の探索
(657M $B\bar{B}$)

◎ R_{Dh} ($h=K, \pi$)

$$R_{Dh} \equiv \frac{\mathcal{B}(B^- \rightarrow D_{\text{sup}} h^-)}{\mathcal{B}(B^- \rightarrow D_{\text{fav}} h^-)} = \frac{N_{D_{\text{sup}} h^-} / \epsilon_{D_{\text{sup}} h^-}}{N_{D_{\text{fav}} h^-} / \epsilon_{D_{\text{fav}} h^-}}$$

ϵ : 検出効率

$$R_{DK} = [8.0_{-5.7}^{+6.3}(\text{stat})_{-2.8}^{+2.0}(\text{sys})] \times 10^{-3}$$

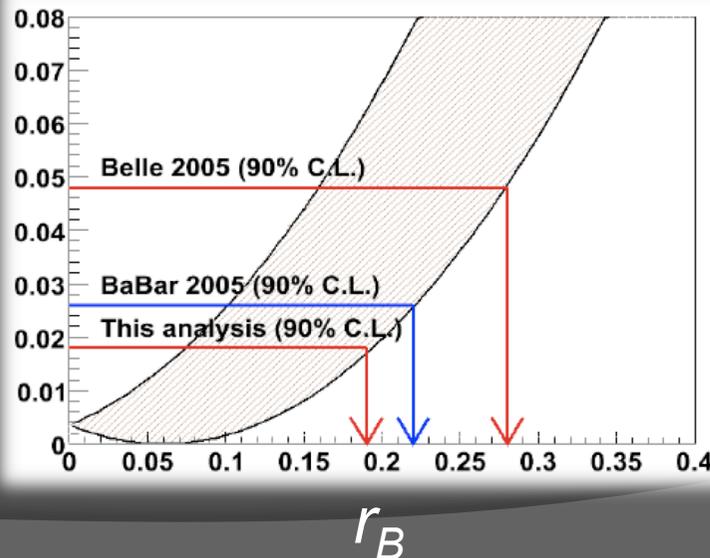
$$R_{D\pi} = [3.40_{-0.54}^{+0.56}(\text{stat})_{-0.21}^{+0.13}(\text{sys})] \times 10^{-3}$$

- DK のシグナルは有意でなかったので、

$$R_{DK} < 1.8 \times 10^{-2} \text{ (90\% C.L.)}$$

◎ r_B

R_{DK}



$$R_{DK} = r_B^2 + r_D^2 + 2r_B r_D \cos \phi_3 \cos \delta$$

$$r_D = 0.0574_{-0.0010}^{+0.0012} \text{ [HFAG'07]}$$

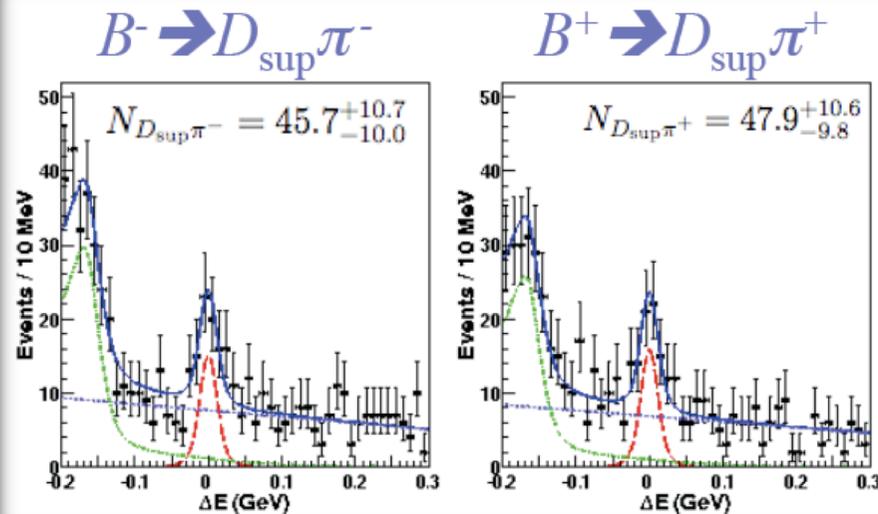
$$r_B < 0.19 \text{ (90\% C.L.)}$$

$f=K_S \pi^+ \pi$ による測定と無矛盾。

$$r_B = 0.16 \pm 0.04 \pm 0.01 \pm 0.05$$

CP非対称度 $\mathcal{A}_{D\pi}$

$$\mathcal{A}_{D\pi} \equiv \frac{\mathcal{B}(B^- \rightarrow D\pi^-) - \mathcal{B}(B^+ \rightarrow D\pi^+)}{\mathcal{B}(B^- \rightarrow D\pi^-) + \mathcal{B}(B^+ \rightarrow D\pi^+)}$$



$$\mathcal{A}_{D\pi} = -0.023 \pm 0.218(\text{stat}) \pm 0.071(\text{sys})$$

- ◎ 標準理論で期待される通りの結果。

結論

◎ $B^- \rightarrow D_{\text{sup}}^- K^-$

有意なシグナルは見つからなかったが、90% C.L.での上限値

$$R_{DK} < 1.8 \times 10^{-2}, \quad r_B < 0.19$$

を得た。この方法による ϕ_3 測定にはもっと統計が必要。

◎ $B^- \rightarrow D_{\text{sup}}^- \pi^-$

8.4 σ の有意さでシグナルを測定し、0と一致するCP非対称度を得た。→標準理論と矛盾しない。

Back up slides

Belle実験

- フレーバー物理の発展に貢献

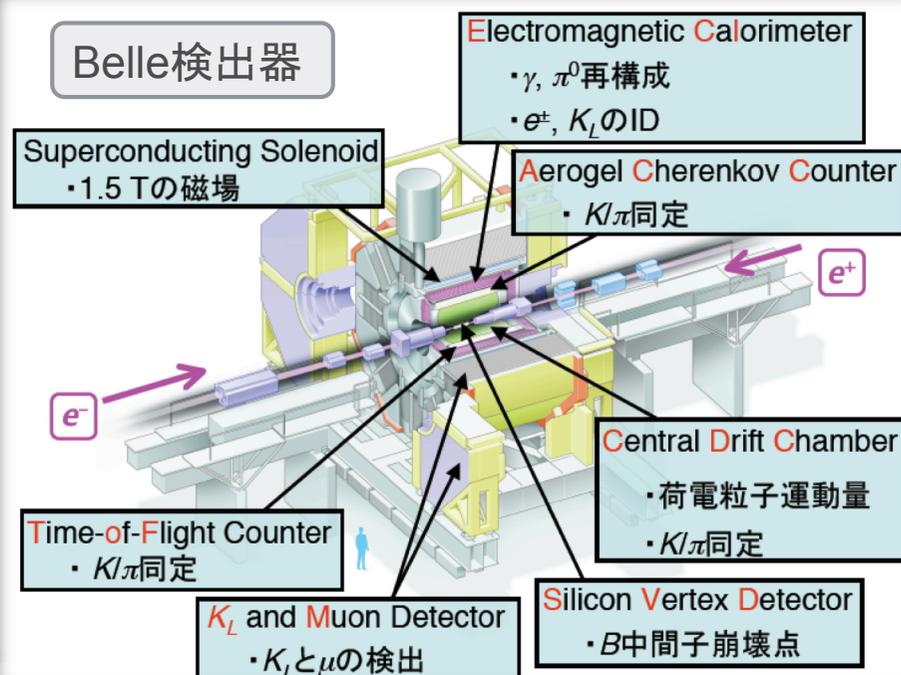
- 約400人（55機関14カ国）による共同実験。
- 積分ミノシティ766/fb
（ピークミノシティ17.1/nb/sec）

KEKB加速器

- 周長：3 km
- 重心系：10.58 GeV
（ $Y(4S)$ レゾナンス）

8.0 GeV e^- 3.5 GeV e^+

Belle検出器



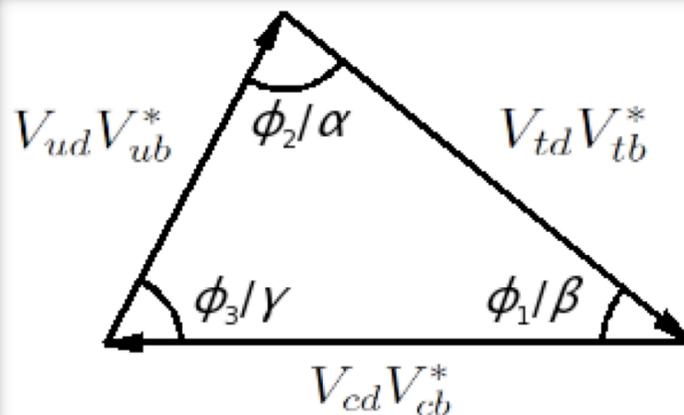
CP非保存角 ϕ_3

- CKM (カビボ・小林・益川) 行列
クォークの混合に関するユニタリ行列

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

複素位相を押し込められる。

- ユニタリティ三角形とCP非保存角 ϕ_3



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

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

標準理論のインプットパラメタの一つ