



TOHOKU
UNIVERSITY

Belle実験における $B \rightarrow K^* \gamma$ 崩壊の崩壊分岐比及び アイソスピン、 CP 非対称性の測定

東北大理

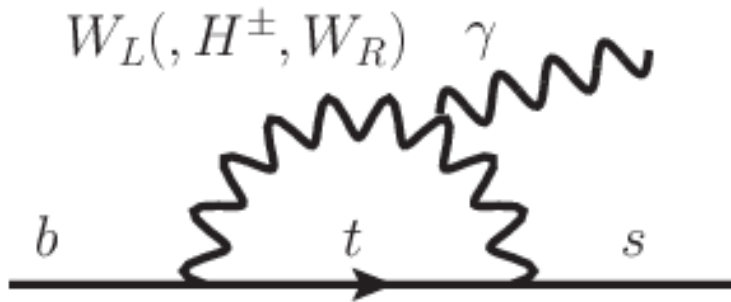
堀口朋裕、石川明正、山本均、
他 Belle Collaboration

• $b \rightarrow s\gamma$ 遷移

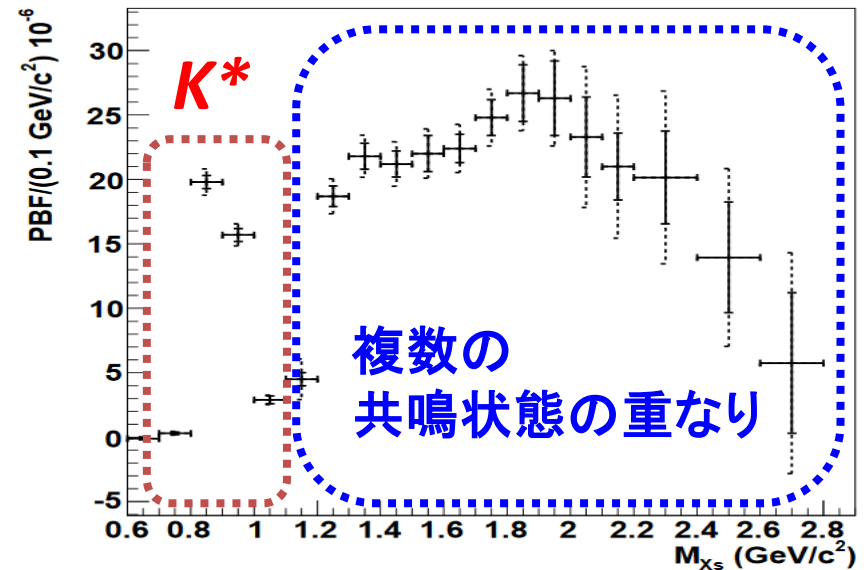
- 標準模型ではツリーレベルの崩壊は禁止。最低1ループの崩壊
- ループ中に新物理の寄与がある場合、観測量が標準模型の予言からズれる可能性がある⇒ 新物理に感度あり

• 信号事象, $B \rightarrow K^*(892)\gamma$

- $b \rightarrow s\gamma$ 崩壊の約10%
- 他の共鳴状態と分離が可能



$b \rightarrow s\gamma$ のファインマン図



$b \rightarrow s\gamma$ の $M(X_s)$ 分布

Ph.D thesis written by T. Saito.

http://epx.phys.tohoku.ac.jp/~saito/Belle/dthesis_saito.pdf

X_s : ストレンジネス1のハドロンの総称

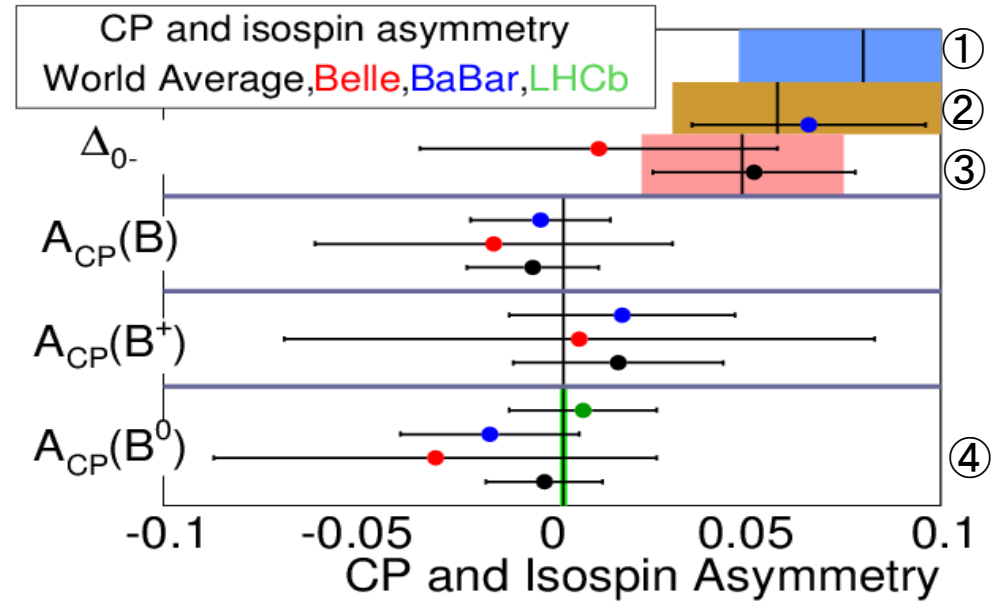
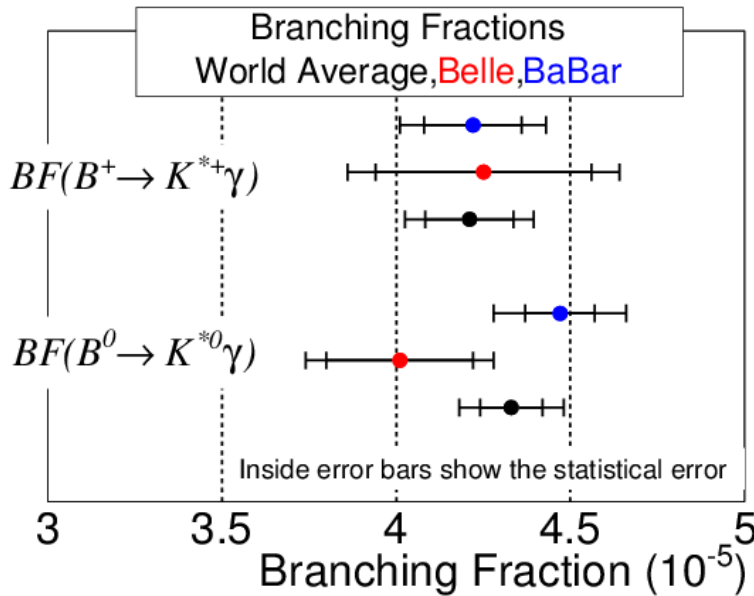
観測量

- 崩壊分岐比(BF)
- アイソスピン非対称性(Δ_{0-})
- CP非対称性(A_{CP})
- B^+ と B^0 のCP非対称性の差(ΔA_{CP})

$$\Delta_{0-} = \frac{\Gamma(\bar{B}^0 \rightarrow \bar{K}^{*0} \gamma) - \Gamma(B^- \rightarrow K^{*-} \gamma)}{\Gamma(\bar{B}^0 \rightarrow \bar{K}^{*0} \gamma) + \Gamma(B^- \rightarrow K^{*-} \gamma)}$$

$$A_{CP} = \frac{\Gamma(\bar{B} \rightarrow \bar{K}^* \gamma) - \Gamma(B \rightarrow K^* \gamma)}{\Gamma(\bar{B} \rightarrow \bar{K}^* \gamma) + \Gamma(B \rightarrow K^* \gamma)}$$

$$\Delta A_{CP} = A_{CP}^{B^-} - A_{CP}^{\bar{B}^0}$$



上図の色ついている領域は理論の予言

- ① Phys.Lett. B539 (2002) 227-234, ② Theor. Phys. 46, 895 (2006),
- ③ & ④ PRD 88, 094004 (2013)

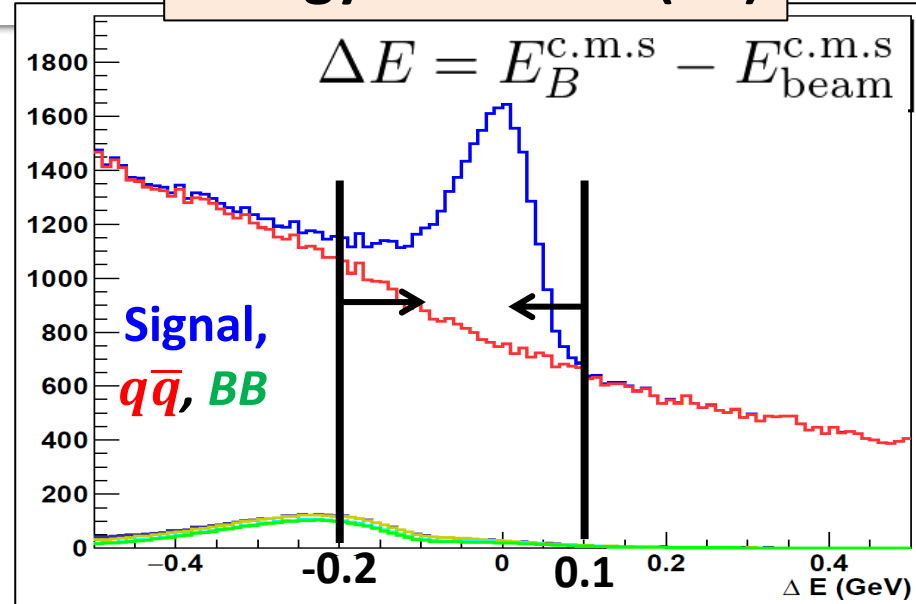
Belle (nBB: 85×10^6), **BaBar** (nBB: 383×10^6), **LHCb** (1fb^{-1})で測定

→ **772×10^6 のB中間子対を使って精度向上を目指す**

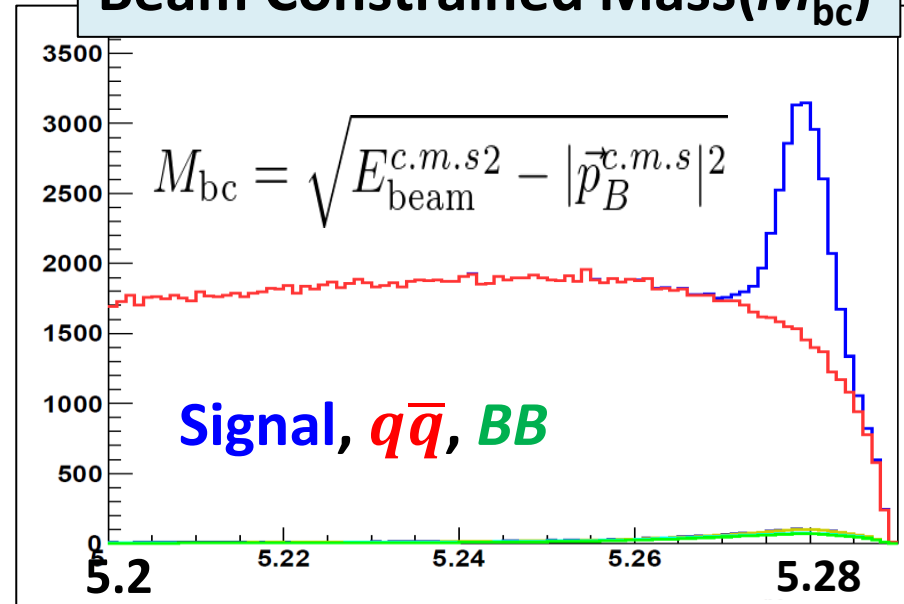
再構成

- 4種類の信号事象を再構成
 - $B^0 \rightarrow K_S \pi^0 \gamma, K^+ \pi^- \gamma$
 - $B^+ \rightarrow K_S \pi^+ \gamma, K^+ \pi^0 \gamma$
- 粒子の選択
 - 孤立した高エネルギー光子
 - $E_\gamma > 1.8 \text{ GeV}$
 - $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ の再構成
 - $|M_{\pi^0}^{\text{PDG}} - M_{\gamma\gamma}| < 10 \text{ MeV}/c^2$
 - $K_S \rightarrow \pi^+ \pi^-$ の再構成
 - 最近接点を使った崩壊点補正
 - $|M_{K_S}^{\text{PDG}} - M_{\pi\pi}| < 10 \text{ MeV}/c^2$
 - 荷電粒子
 - K/ π 識別
- 運動学変数(M_{bc} と ΔE)を定義

Energy Difference(ΔE)

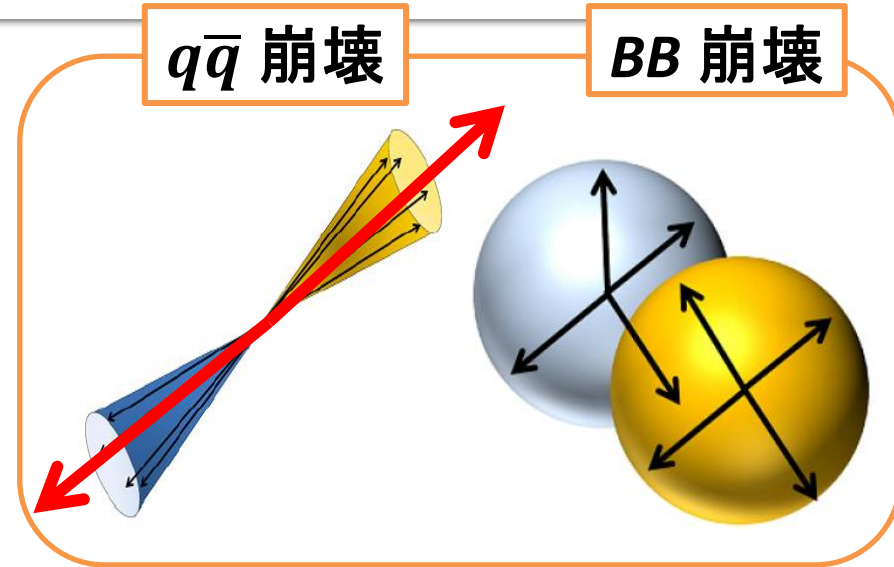


Beam Constrained Mass(M_{bc})

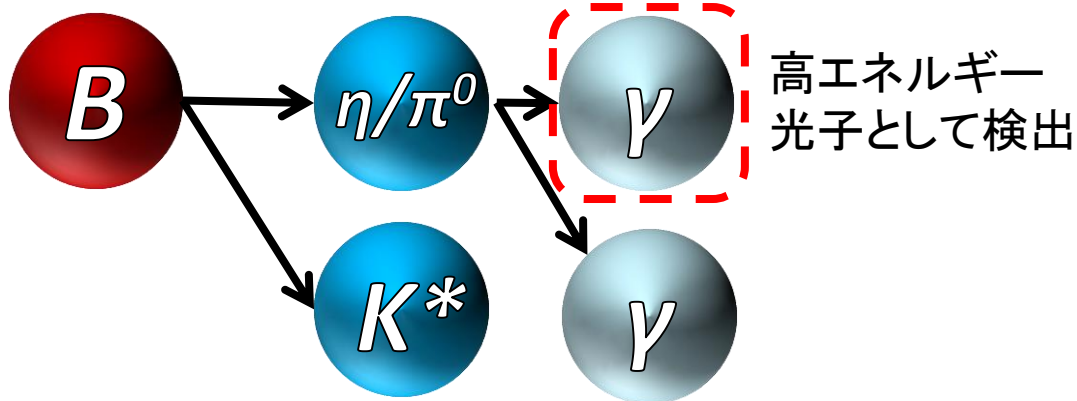


背景事象の抑制

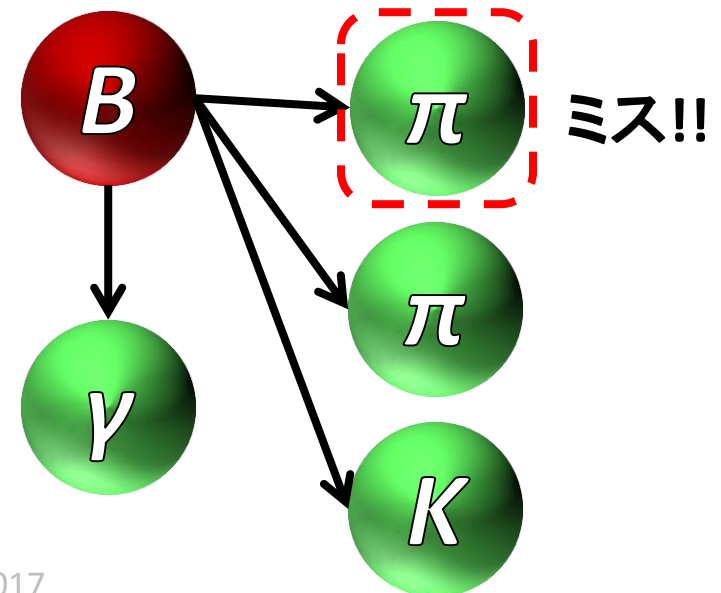
- $e^+e^- \rightarrow q\bar{q}$ ($q = u, d, c, s$)
 - 信号数の2倍程度(再構成後)
 - イベント形状をによる選別
 - **83%** の信号事象を残して、**89%** の背景事象抑制
- B 由来の背景事象
 - M_{bc} にピークを作る
 - 信号数の7% 程度



rare B事象: 信号の2~3%



$Xs\gamma$ 事象: 信号の5~6%



信号抽出方法

Unbinned Maximum Likelihood で M_{bc} をフィット

• 方針:

Self flavor tagging 可能な崩壊を、 B と \bar{B} の崩壊とで分けて考え、7種類の M_{bc} 分布を同時フィット

- 6種類: $K^+\pi^-\gamma$, $K^-\pi^+\gamma$, $K_S\pi^+\gamma$, $K_S\pi^-\gamma$, $K^+\pi^0\gamma$, $K^-\pi^0\gamma$
- 1種類: $K_S\pi^0\gamma$ (自信で $B^0\bar{B}^0$ の区別はできない)

• 利点

– 観測量を同時に決定

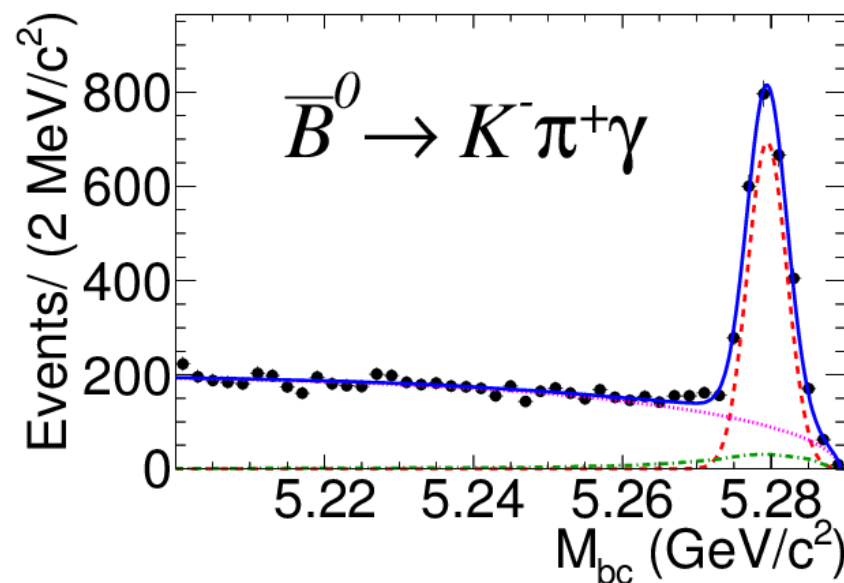
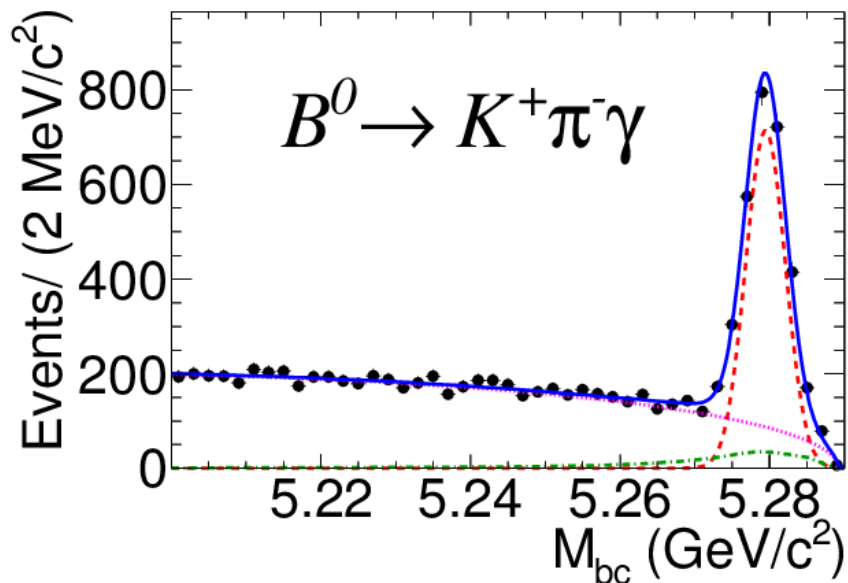
- $BF(B^0 \rightarrow K^{*0}\gamma)$, $BF(B^+ \rightarrow K^{*+}\gamma)$, Δ_{0-} , $A_{CP}(B^0 \rightarrow K^{*0}\gamma)$,
 $A_{CP}(B^+ \rightarrow K^{*+}\gamma)$, ΔA_{CP}

– フィットにつく系統誤差を抑えられ、Numerical calculation に比べ、複雑な誤差伝搬の計算が必要ない

フィット結果

$B^0 \rightarrow K^+ \pi^- \gamma, \bar{B}^0 \rightarrow K^- \pi^+ \gamma$ の M_{bc} 分布

Total, 信号(Gaussian), $q\bar{q}$ (ARGUS),
BB(ARGUS+ Bifurcated Gaussian)



崩壊過程	$N(\bar{B})$	$N(B)$	合計
$B^0 \rightarrow K_s \pi^0 \gamma$	—	—	$349 \pm 23 \pm 6$
$B^0 \rightarrow K^+ \pi^- \gamma$	2294	2361	$4650 \pm 82 \pm 51$
$B^+ \rightarrow K_s \pi^- \gamma$	756	717	$1473 \pm 46 \pm 15$
$B^+ \rightarrow K^+ \pi^0 \gamma$	569	575	$1144 \pm 46 \pm 22$

系統誤差

A_{CP} と ΔA_{CP} の測定は統計誤差が支配的なので省略

(%)	BF($K^*0\gamma$)	BF($K^*+\gamma$)	Δ_{0-}
MC stat.	0.13	0.19	0.11
Bの生成数	1.37	1.37	—
光子	2.00	2.00	—
Tracking	0.70	0.80	0.05
K/ π ID	1.57	0.81	0.38
Ks	0.05	0.39	0.17
π^0	0.09	0.42	0.17
その他のselection	0.75	0.77	0.19
f_{+-}/f_{00}	1.20	1.20	1.20
Fitter bias	0.17	0.18	0.08
Fit param.	1.15	1.01	0.21
Total	3.50	3.27	1.28

$$f_{+-}/f_{00} = \frac{\Gamma(\Upsilon(4S) \rightarrow B^+ B^-)}{\Gamma(\Upsilon(4S) \rightarrow B^0 \bar{B}^0)} \text{ (値はPDGより)}$$

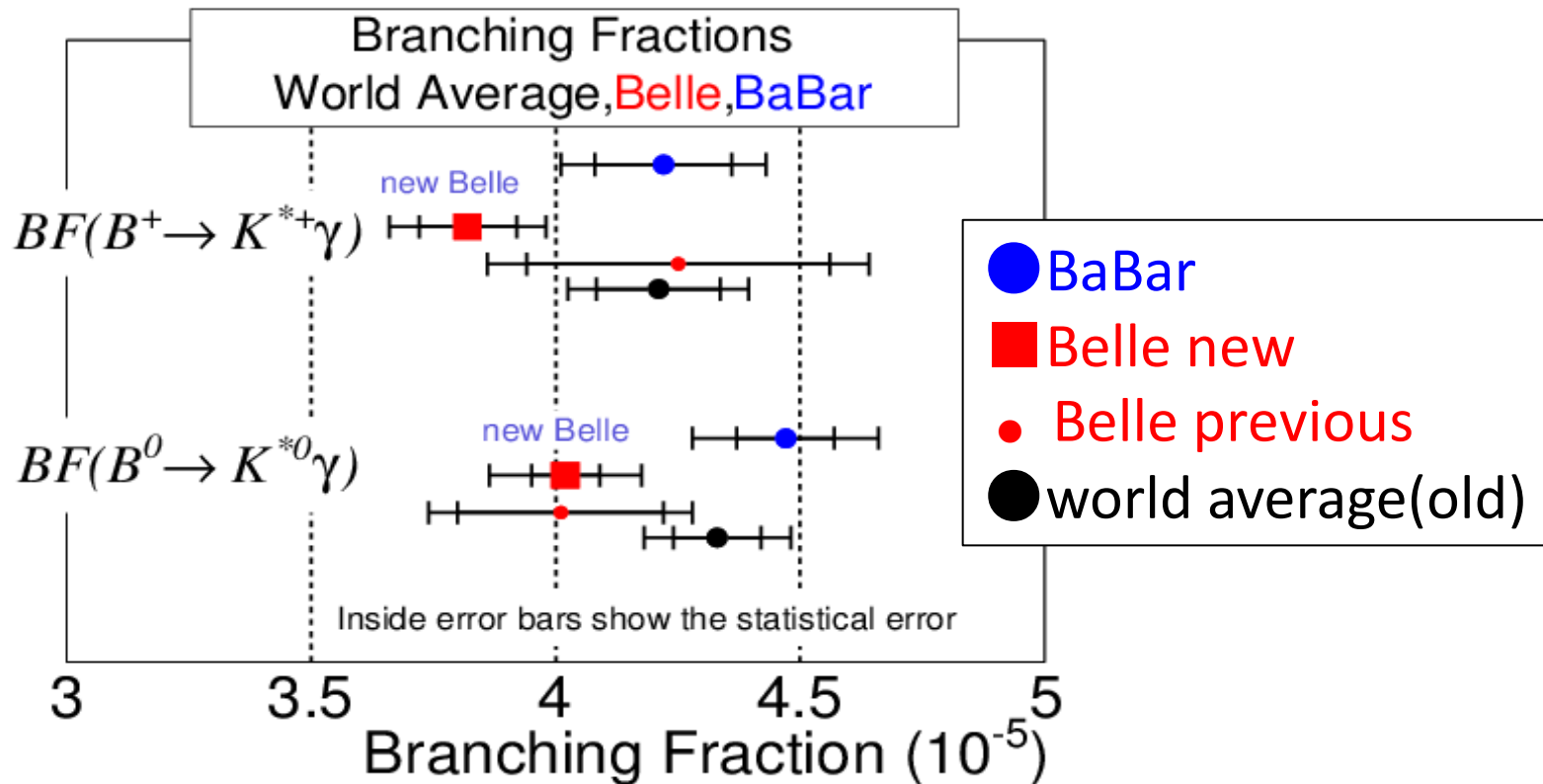
結果(崩壊分岐比)

世界一の精度を更新

$$\mathcal{B}(B^0 \rightarrow K^{*0} \gamma) = (4.02 \pm 0.07 \pm 0.14) \times 10^{-5}$$

$$\mathcal{B}(B^+ \rightarrow K^{*+} \gamma) = (3.82 \pm 0.10 \pm 0.13) \times 10^{-5}$$

系統誤差が支配的



Belleの前結果と 1σ 以内、BaBarの結果と 1.5σ 以内で一致

結果(非対称度)

全観測量で世界一の精度を更新

$$\Delta_{0-} = (+6.2 \pm 1.5 \pm 0.5 \pm 1.2(f_{+-}/f_{00}))\%$$

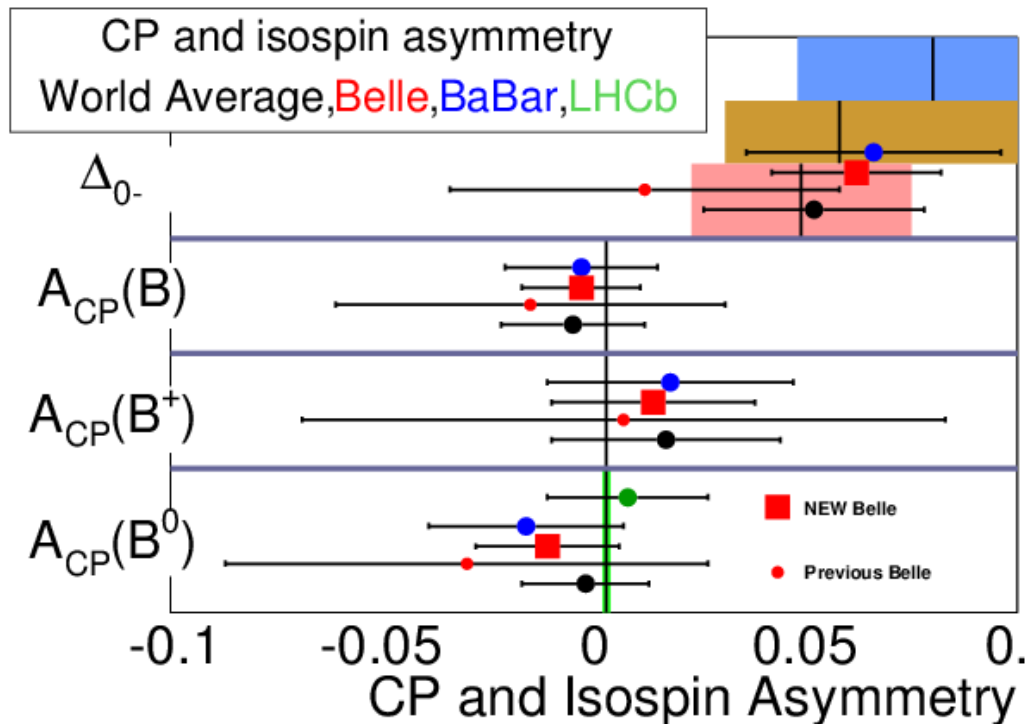
$$A_{CP}(B^0 \rightarrow K^{*0}\gamma) = (-1.1 \pm 1.7 \pm 0.2)\%$$

$$A_{CP}(B^+ \rightarrow K^{*+}\gamma) = (+1.4 \pm 2.4 \pm 0.3)\%$$

$$A_{CP}(B \rightarrow K^*\gamma) = (+0.3 \pm 1.4 \pm 0.2)\%$$

$$\Delta A_{CP} = (+2.5 \pm 2.9 \pm 0.3)\%$$

- 全観測量で標準模型の
予言と無矛盾
- **アイソスピン破れの兆候を
世界で初めて観測(3.1 σ)**



- LHCb ● BaBar
- Belle new
- Belle previous
- world average

まとめ

- Belle 実験の全データ($772 \times 10^6 B\bar{B}$)を用いて $B \rightarrow K^*\gamma$ の測定をした。

全ての測定で
世界最高精度

$$\mathcal{B}(B^0 \rightarrow K^{*0}\gamma) = (4.02 \pm 0.07 \pm 0.14) \times 10^{-5}$$

$$\mathcal{B}(B^+ \rightarrow K^{*+}\gamma) = (3.82 \pm 0.10 \pm 0.13) \times 10^{-5}$$

$$\Delta_{0-} = (+6.2 \pm 1.5 \pm 0.5 \pm 1.2(f_{+-}/f_{00}))\%$$

$$A_{CP}(B^0 \rightarrow K^{*0}\gamma) = (-1.1 \pm 1.7 \pm 0.2)\%$$

$$A_{CP}(B^+ \rightarrow K^{*+}\gamma) = (+1.4 \pm 2.4 \pm 0.3)\%$$

$$A_{CP}(B \rightarrow K^*\gamma) = (+0.3 \pm 1.4 \pm 0.2)\%$$

$$\Delta A_{CP} = (+2.5 \pm 2.9 \pm 0.3)\%$$

- アイソスピン破れの兆候を世界で初めて観測した(3.1σ)。
- 標準模型を越える物理に制限を付けることができる。
- Belle II で更なる精度向上が期待される。

Backup slide

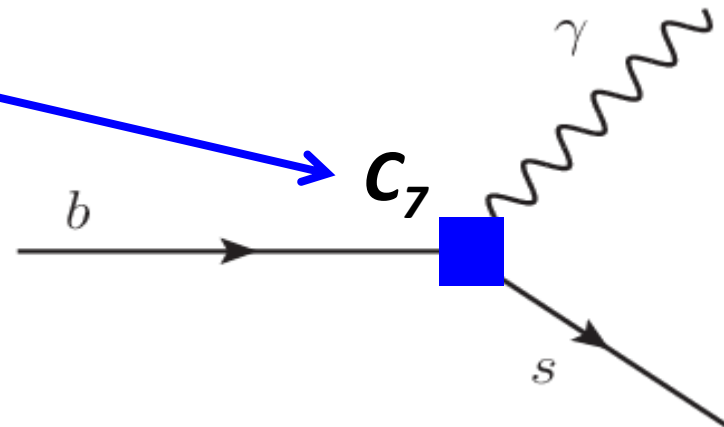
Operator Product Expansion

- 有効ハミルトニアンをWilson係数(C_i)と実効オペレータ(O_i)を使って書き表す。
 - 量子効果を1つのvertexに押し込め、Wilson係数で表現

$$\mathcal{H}_{\text{eff}} = -\frac{4G_F}{\sqrt{2}} \sum_i \lambda_{\text{CKM}} C_i(\mu, M) O_i(\mu)$$

電磁ペンギン崩壊オペレータの係数

$$O_7 = \frac{e}{16\pi^2} m_b (\bar{s}_L \sigma^{\mu\nu} b_R) F_{\mu\nu}$$



- C_7 は標準模型では実数
- 新物理の効果がある場合、 C_7 にズレが見られる
- 理論計算の精度
 - Inclusive($b \rightarrow s\gamma$ 全て): ハドロン化の影響小
⇒ 崩壊分岐比、比の観測量が新物理に感度
 - Exclusive($B \rightarrow K^*\gamma, B \rightarrow K_1\gamma$ など): ハドロン化の不定性大
⇒ 比を計算して不定性をキャンセルできるので新物理に感度

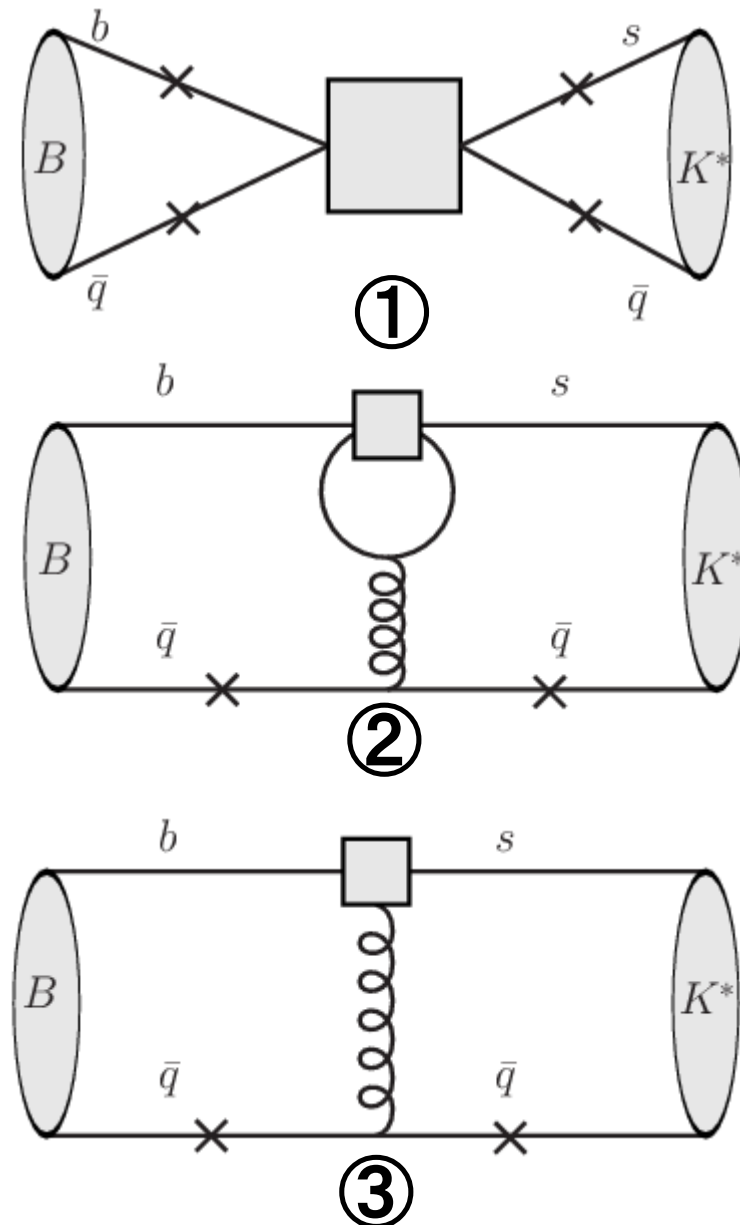
Isospin violation

Annihilation or spectator particle with photon emission events arise isospin violation. By charge difference between “u” and “d” quark, non-zero isospin value is evaluated.

$$\Delta_{0-} = \text{Re}(b_d - b_u)$$

$$b_q = \frac{12\pi^2 f_B Q_q}{m_b T_1^{B \rightarrow K^*} a_7^c} \left(\frac{f_{K^*}^\perp}{m_b} K_1 + \frac{f_{K^*} m_{K^*}}{6\lambda_B m_B} K_2 \right)$$

- ① Annihilation diagram
- ② Charm penguin effect
- ③ Chromo-magnetic dipole operator

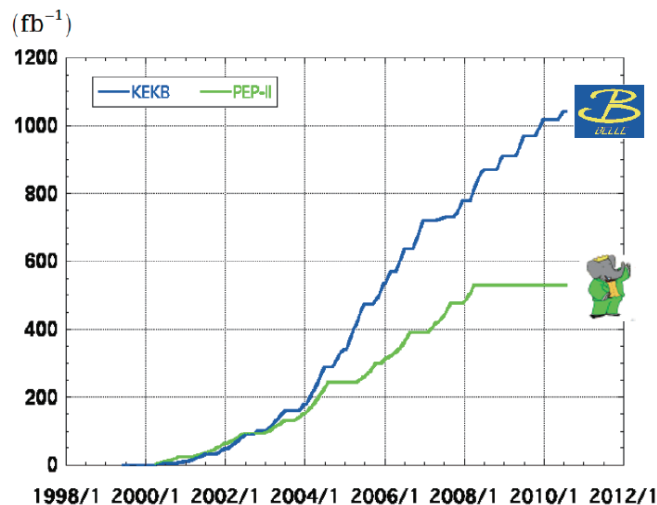


Belle実験(加速器)

○KEKB加速器(1999-2010)

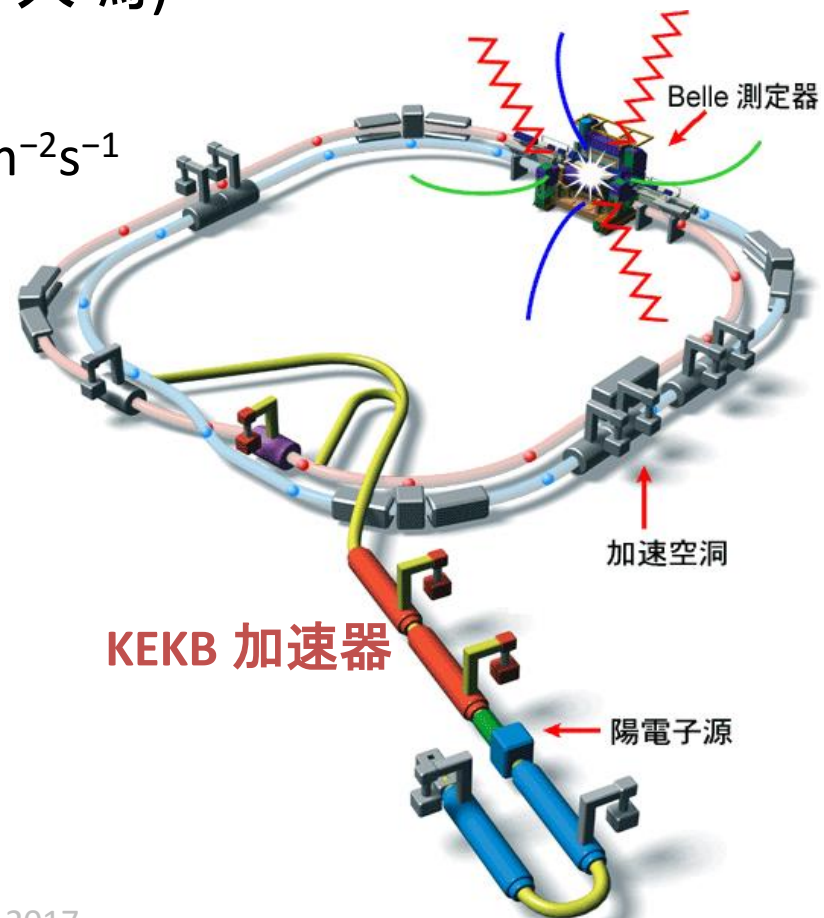
- 茨城県つくば市にある周長3kmの円形加速器
- 電子(8GeV)、陽電子(3.5GeV)の衝突
- 主要運転は **10.58 GeV (Y(4S) 共鳴)**
- 世界最高輝度の運転
 - 瞬間ルミノシティ: $2.11 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
 - 積分ルミノシティ: 1040 fb^{-1}

Integrated luminosity of B factories



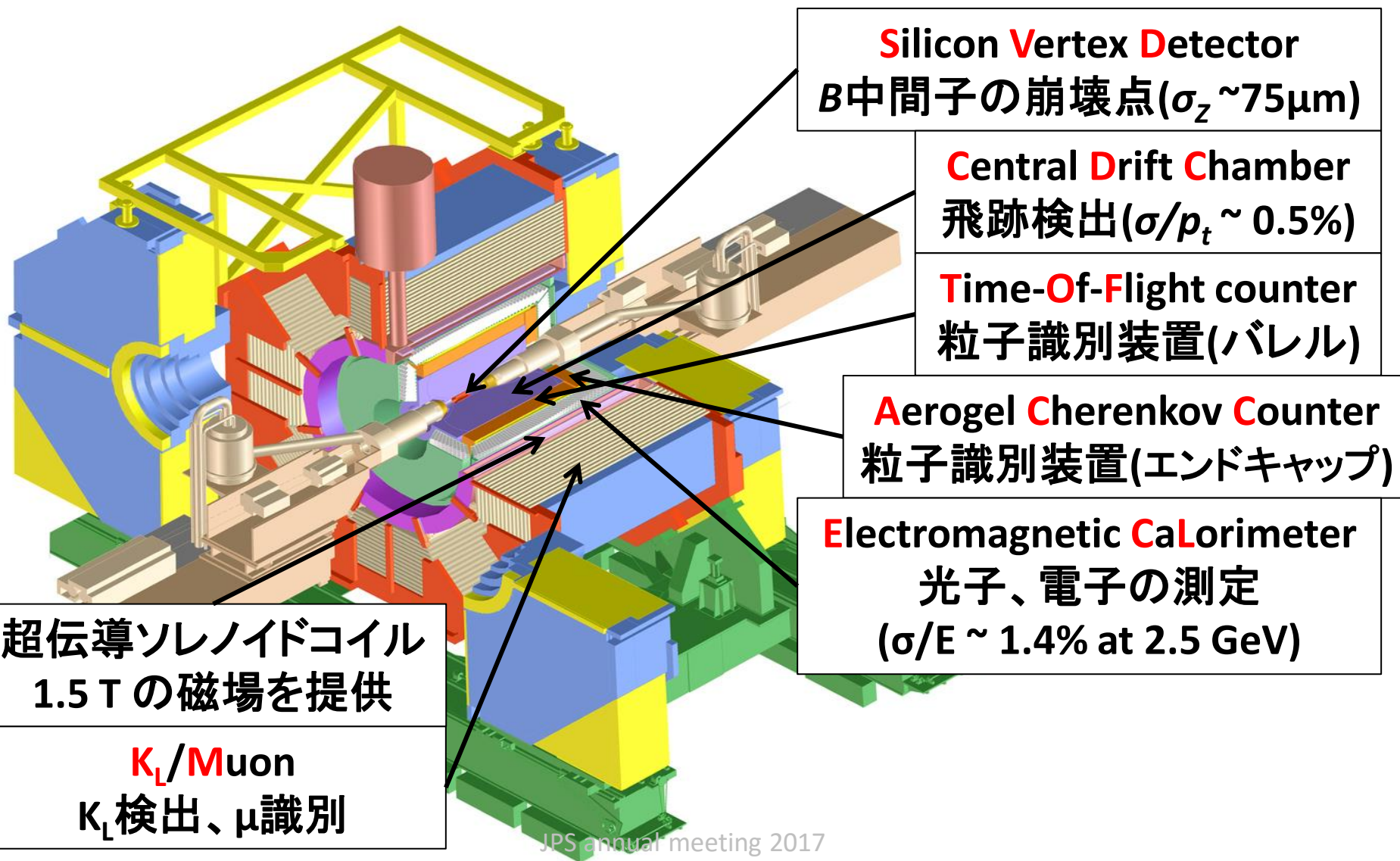
> 1 ab⁻¹
On resonance:
 Y(5S): 121 fb⁻¹
 Y(4S): 711 fb⁻¹
 Y(3S): 3 fb⁻¹
 Y(2S): 25 fb⁻¹
 Y(1S): 6 fb⁻¹
Off reson./scan:
 ~ 100 fb⁻¹

~ 550 fb⁻¹
On resonance:
 Y(4S): 433 fb⁻¹
 Y(3S): 30 fb⁻¹
 Y(2S): 14 fb⁻¹
Off resonance:
 ~ 54 fb⁻¹



Belle実験(測定器)

○高い粒子識別能力と運動量測定精度を持つ複合型検出器



MCサンプル生成

● 生成する信号事象

- $Y(4S) \rightarrow BB, B \rightarrow K^*(892)\gamma$
- 世界平均の崩壊分岐比
- Belle 実験200回分を生成

崩壊分岐比(10^{-5})

$$B^0 \rightarrow K^{*0}\gamma \quad 4.33$$

$$B^+ \rightarrow K^{*+}\gamma \quad 4.21$$

● 想定する背景事象

- Continuum background ($e^+e^- \rightarrow qq$)
- Generic B decay ($b \rightarrow cW$)
- Rare B decay ($b \rightarrow u/s/d$ 遷移)
 - $B \rightarrow K^*\eta, K^*\pi, K\pi$ 等
- $X_s\gamma$ decay ($b \rightarrow s\gamma : M_{X_s} > 1.15 \text{ GeV}/c^2$)
 - $K^*\gamma$ と $K\pi\pi\gamma$ を除いた $b \rightarrow s\gamma$ 崩壊
- $B \rightarrow K\pi\pi\gamma$ decay
 - 信号領域にピークを作る背景事象を詳細に見積もる

$B \rightarrow K\pi\pi\gamma$ 崩壊(10^{-6})

$$B \rightarrow K_1(1270)\gamma \quad 14.5$$

$$B \rightarrow K_1(1400)\gamma \quad 4.1$$

$$B \rightarrow K^*(1410)\gamma \quad 11.0$$

$$B \rightarrow K^*_2(1430)\gamma \quad 1.2$$

$$B \rightarrow K^*(1680)\gamma \quad 15.9$$

○ は Peaking background

高エネルギー光子の再構成

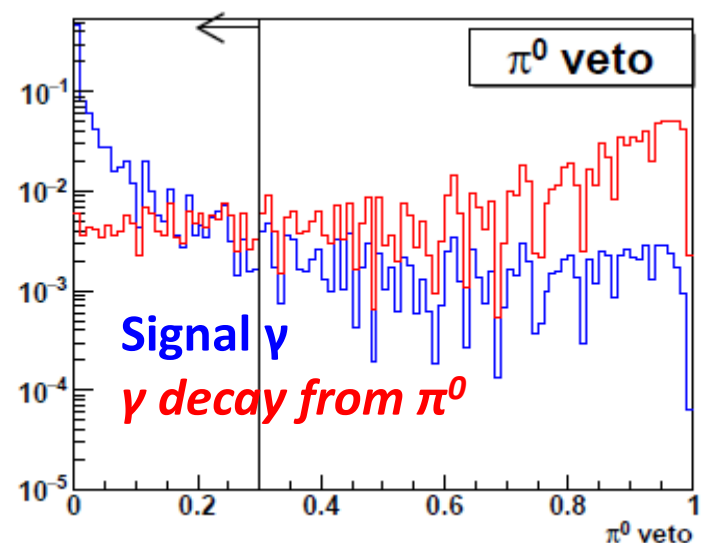
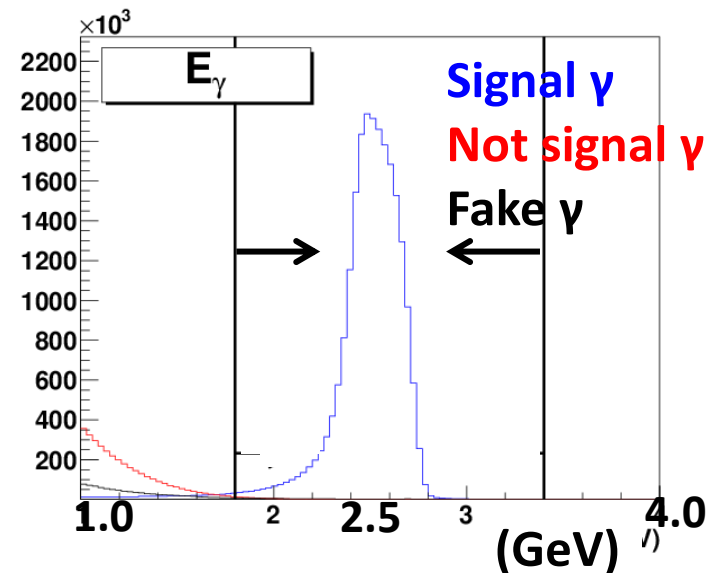
$b \rightarrow s\gamma$ 崩壊で最も特徴的な信号
高エネルギーで孤立したECLクラスターを選ぶ

● クラスターへの要求

- $1.8 < E_\gamma < 3.4$ GeV (重心系)
- クラスターの広がり
- ビーム軸に対する光子の角度 (バレルのみ)

● π^0/η veto

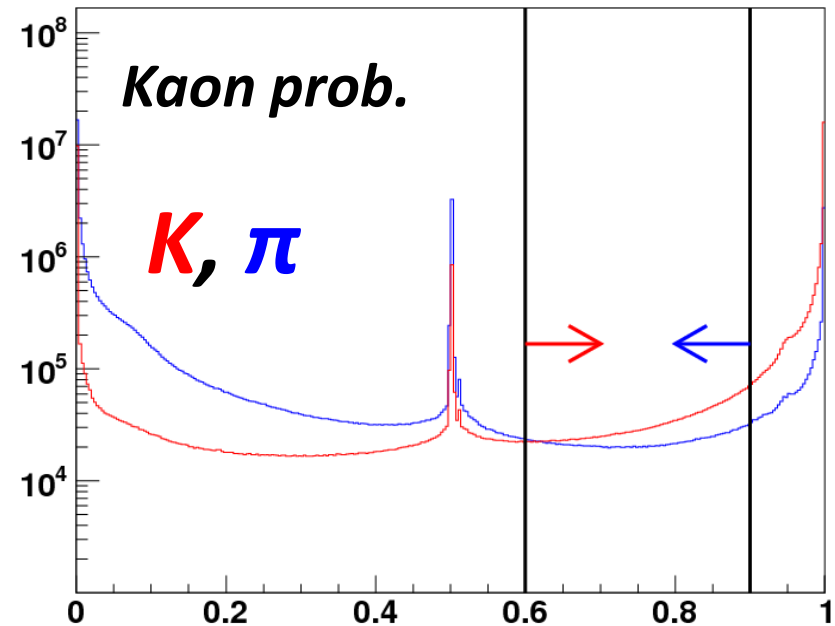
- $\pi^0(\eta)$ から崩壊した高い運動量をもつ光子の除去
- イベント中の光子を組み合わせ、尤度を計算
 - $m_{\gamma\gamma}$: 2光子の不変質量
 - $\pi^0(\eta) \rightarrow \gamma_{\text{high}}\gamma_{\text{low}}$ 崩壊の γ_{low} の運動量



粒子の再構成

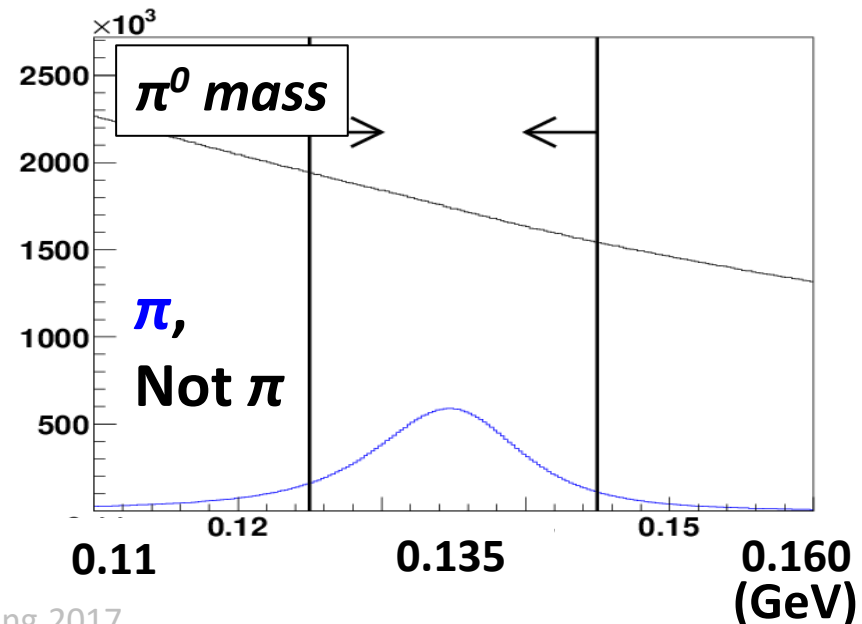
● 荷電粒子(K^\pm, π^\pm)の選択

- インパクトパラメータ
- $p > 0.1 \text{ GeV}/c$
- K/π 粒子識別
 - Likelihood による識別: ACC, TOF, CDC のヒット情報
 - 誤識別率(π) 8.5%



● $\pi^0 (\rightarrow \gamma\gamma)$ の再構成

- $|M_{\pi^0}^{\text{PDG}} - M(\gamma\gamma)| < 10 \text{ MeV}/c^2$
- $\cos\vartheta_{\gamma\gamma} > 0.5$
- $E_\gamma > 50 \text{ MeV}$
- $p > 0.5 \text{ GeV}/c$

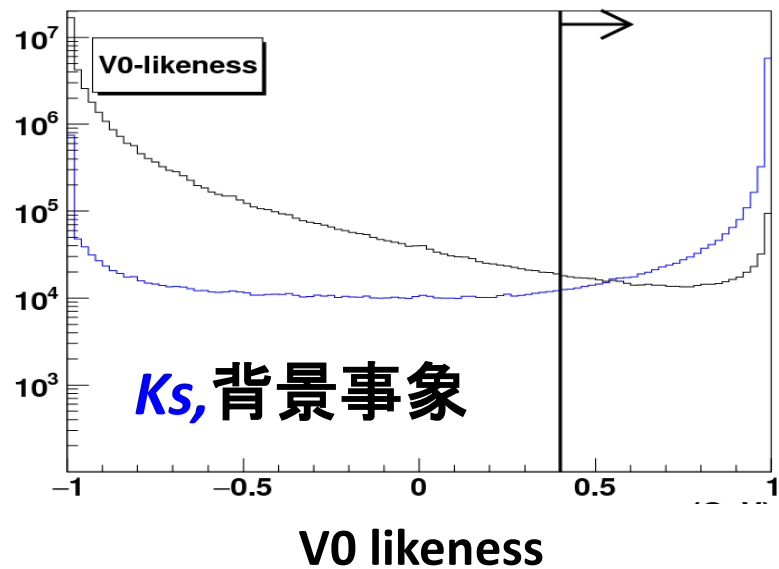
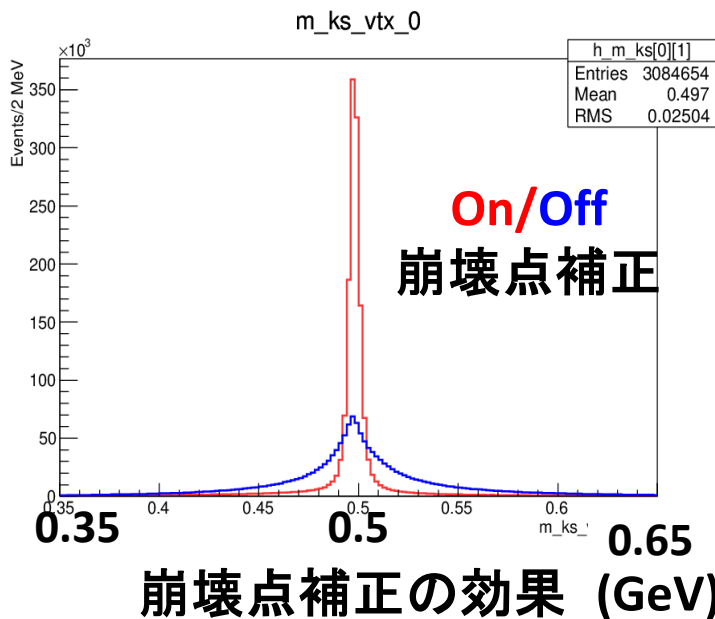


K_S の再構成

- 再構成モード $K_S \rightarrow \pi^+\pi^-$
- 崩壊点の再計算
 - 荷電トラック2本の最近接点を計算し、 K_S の崩壊点として4元運動量を再計算
- K_S の質量
 - $|M_{K_S} - M_{\pi\pi}| < 10 \text{ MeV}/c^2$

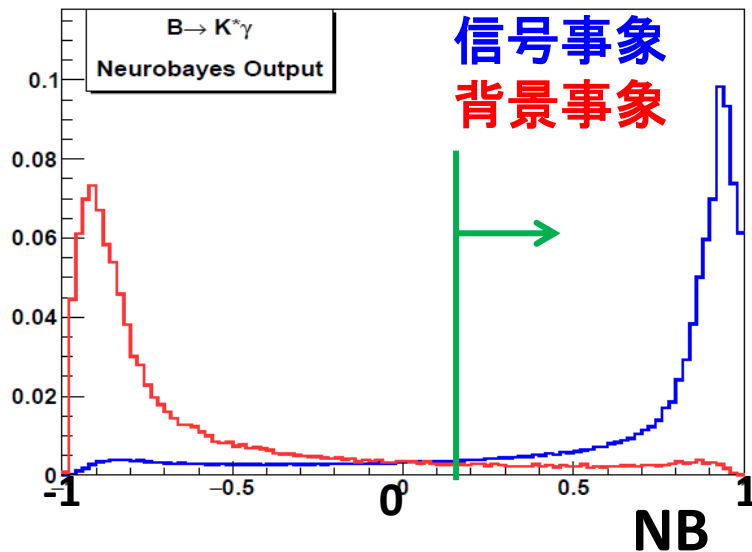
● 背景事象の除去

- ニューラルネットワークを用いた多変数解析
 - V0-particle likeness (13変数)
 - 2本の荷電粒子に崩壊する粒子
 - 運動量、角度分布、飛行距離等
 - Λ likeness (7変数)
 - proton を仮定したトラックと π を仮定したトラックの不変質量、 π の運動量等

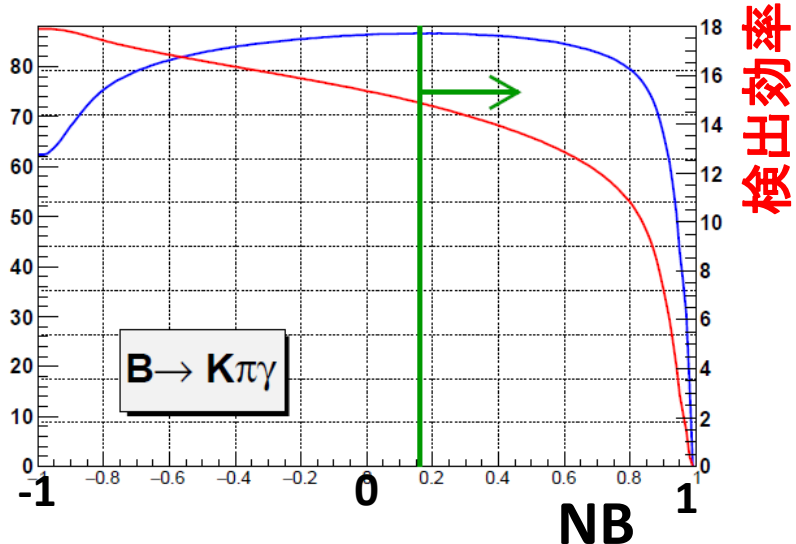


背景事象抑制

- ニューラルネットワーク(NB)を使って多変数解析
- 信号有意度が最大になるように、出力(NB)を決定



有意度



83% の信号事象を残して、**89%** の背景事象抑制に成功
(先行研究ではLikelihoodにより**73%**の信号を残し**90%**の背景事象の抑制)

qq 背景事象除去後、

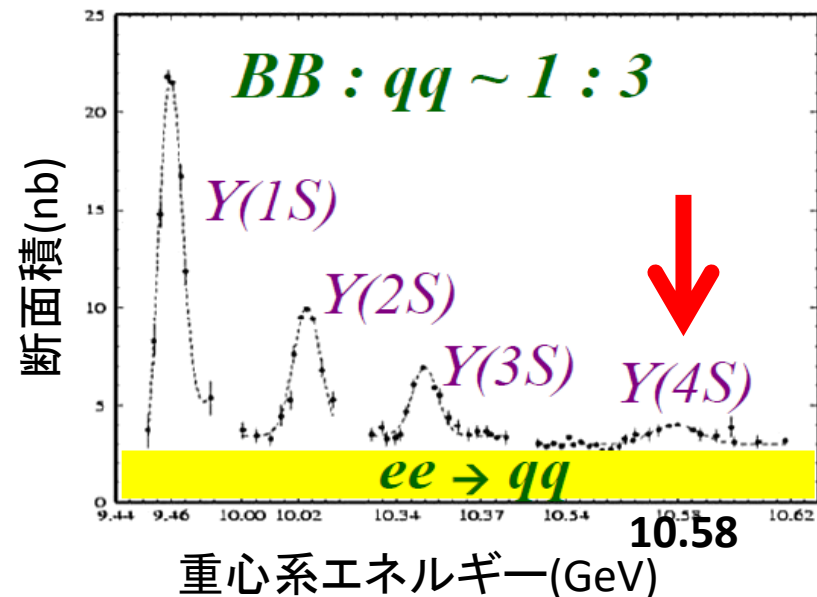
1事象にB候補が1つであることを乱数を用いて要求

背景事象の除去と扱い方針

● qq 背景事象

- B 生成事象の約3倍の断面積
- 信号数の2倍程度(再構成後)
- イベント形状によって選別可能
- 有意度を最大化するように選別

$$\text{有意度} = \frac{N_{\text{sig.}}}{\sqrt{N_{\text{sig.}} + N_{\text{bkg.}}}}$$



● B 由来の崩壊事象

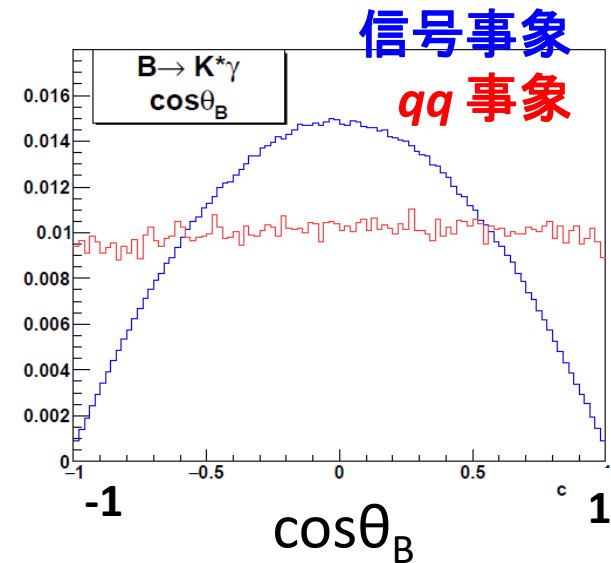
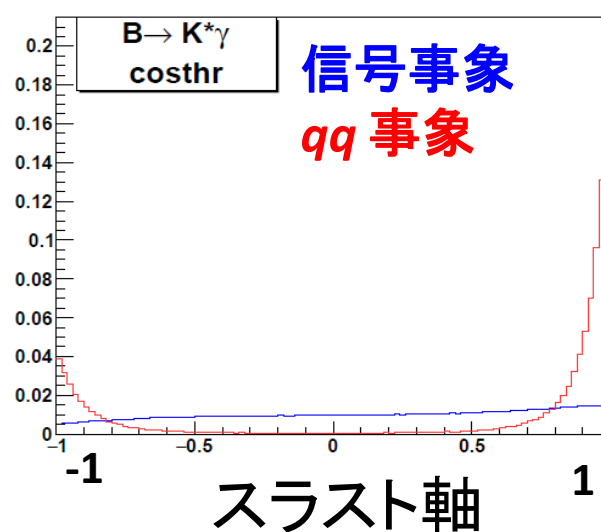
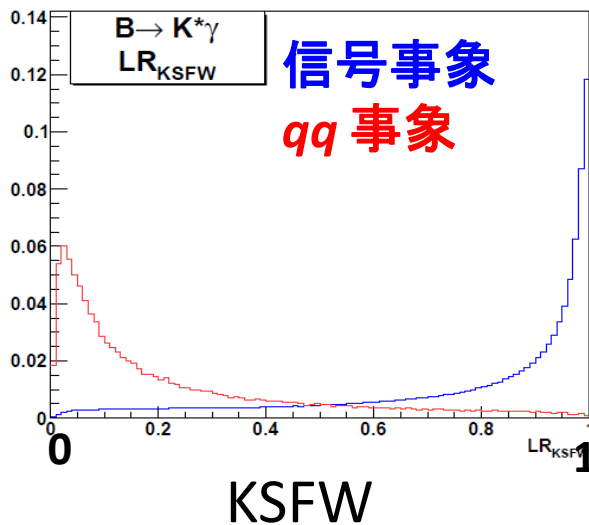
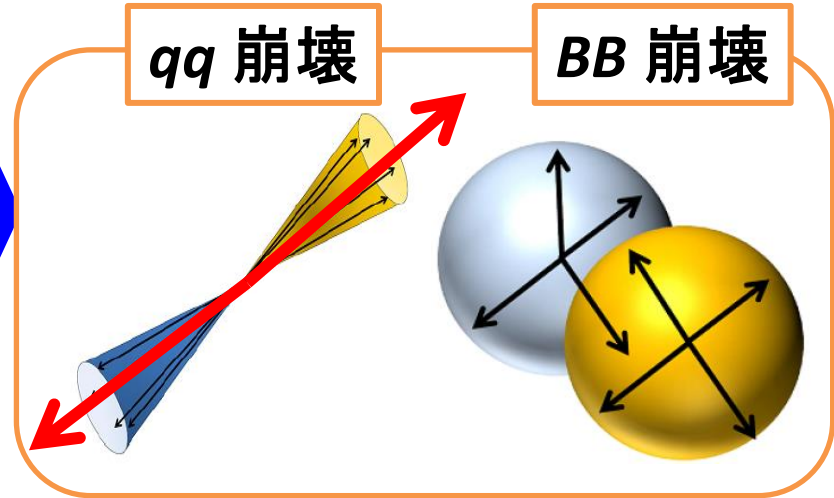
- 信号数の7%程度の混入
- M_{bc} にピークを作る

$B \rightarrow K^+ \pi^- \gamma$	信号	qq	B 由来全て	検出効率	有意度
生成時	21599.9	2.3×10^9	7.6×10^8	100%	-
再構成	7457.2	33597.2	822.5	34.61%	36.44
π^0/η veto	6852.4	13207.0	697.3	31.8%	47.56

多変数解析による qq 背景事象抑制

選別に有効なパラメータ(9種類)

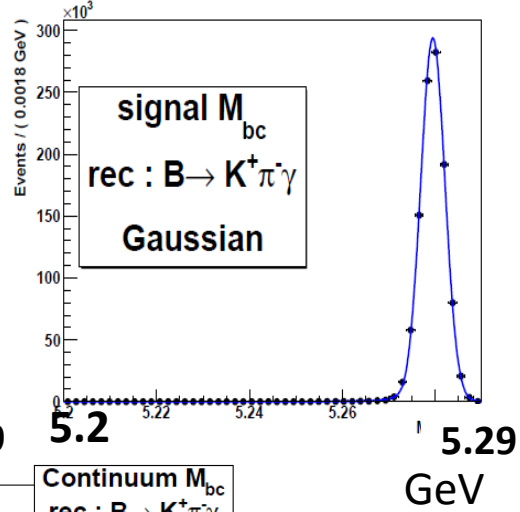
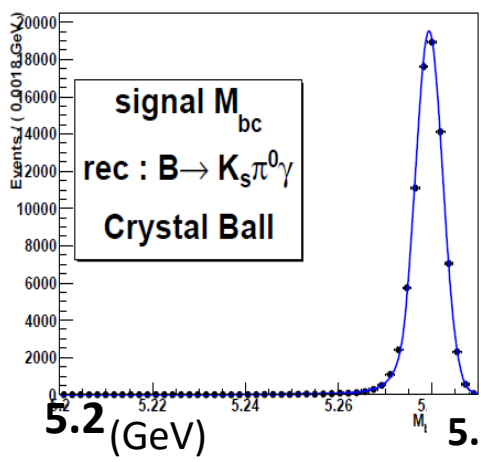
- ルジャンドル多項式を用いたイベント形状 (KSFW)
- $\cos\theta_{\text{thrust}}$ (スラスト軸)
- Sphericity (5種類)
- $\cos\theta_B$ (重心系での B 崩壊角)
- フレーバータグパラメータ, qr



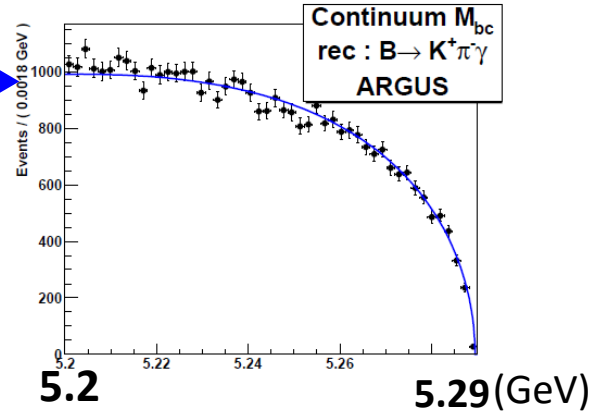
PDFの決定

● 信号事象 \longrightarrow

- π^0 を含む崩壊:
Crystal Ball
- π^0 を含まない崩壊:
Gaussian



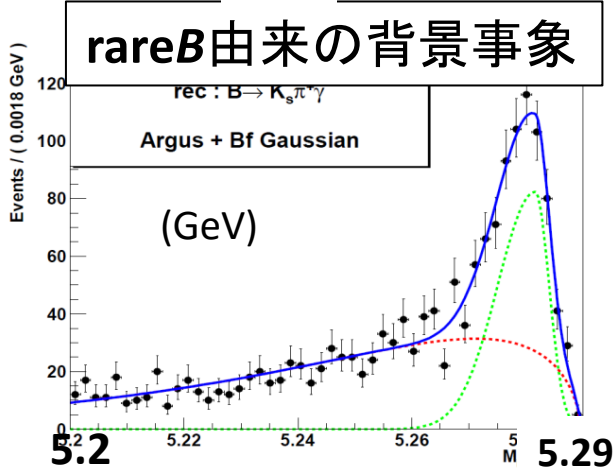
● qq 背景事象: ARGUS関数 \longrightarrow

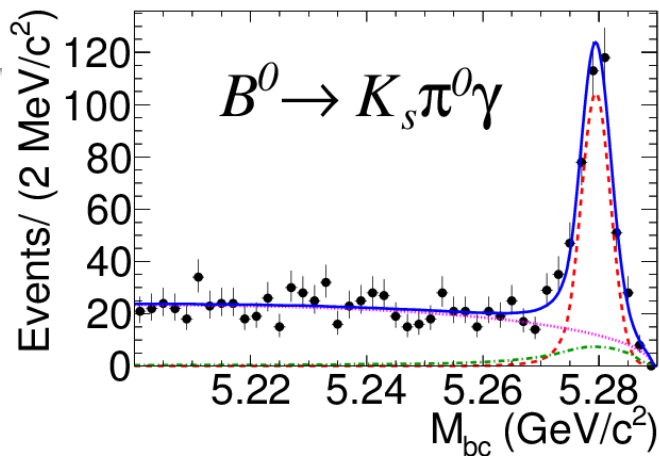


● B由来の背景事象 (信号に対するイベント数)

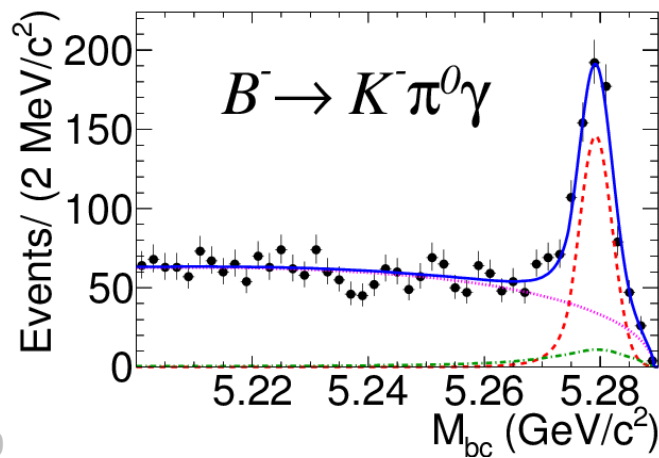
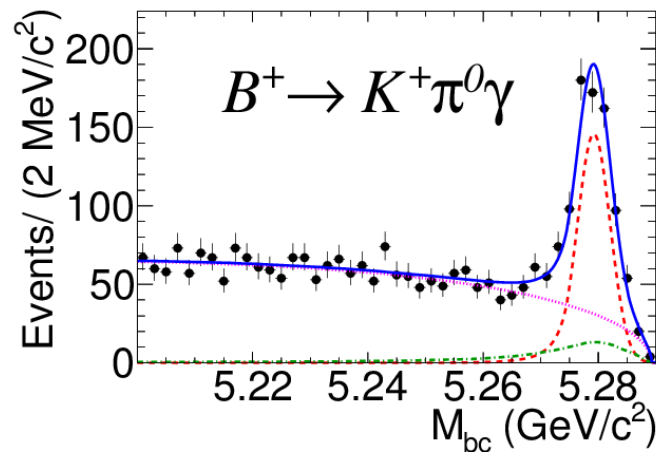
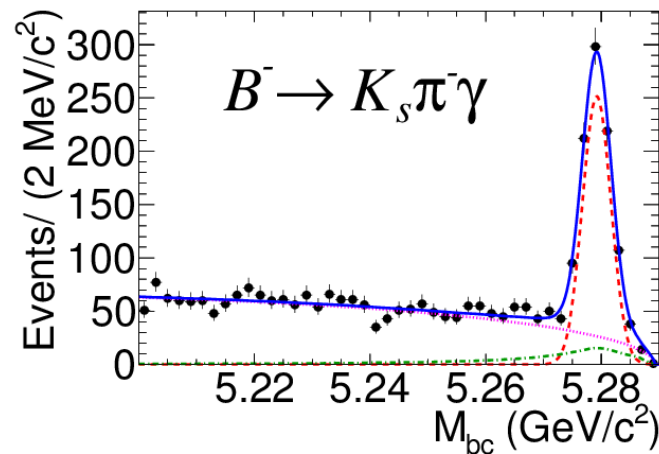
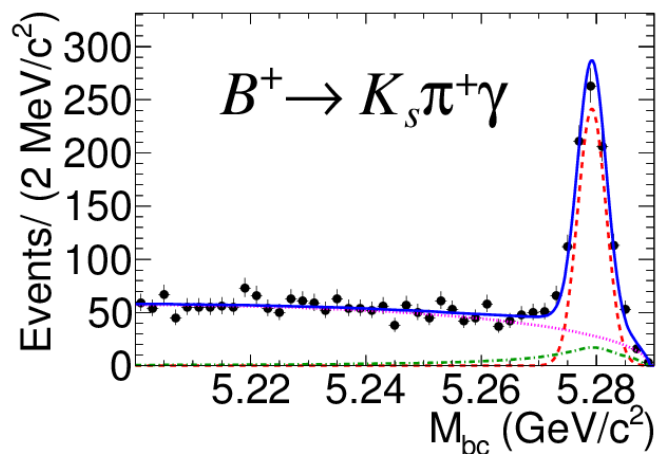
- Generic B decay (0.1%) : ARGUS
- Rare B decay (2.3%)
- $X_s \gamma$ decay (4.9%)
- Cross-feeds (0.9%)
- Combinatorial (0.4%)

ARGUS + Bifurcated Gaussian





Total, 信号, $q\bar{q}$, BB



系統誤差 (崩壊分岐比)

(%)	$K_S\pi^0\gamma$	$K+\pi-\gamma$	$K_S\pi+\gamma$	$K+\pi^0\gamma$	$K^*0\gamma$	$K^*+\gamma$
MC stat.	0.37	0.14	0.24	0.29	0.13	0.19
Bの生成数	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37
光子	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Tracking	0.70	0.70	1.05	0.35	0.70	0.80
K/ π ID	—	1.65	0.80	0.84	1.58	0.81
Ks	0.59	—	0.59	—	0.05	0.39
π^0	1.27	—	—	1.27	0.09	0.42
M($K\pi$)	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
qq sup.	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
ΔE window	1.16	0.34	0.07	1.19	0.40	0.43
f_{+-}/f_{00}	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Fit bias	2.35	0.19	0.66	1.31	0.17	0.18
Fit param.	1.78	1.13	0.95	1.85	1.15	1.01
Total	4.51	3.52	3.35	4.10	3.50	3.26

系統誤差 (A_{CP} , ΔA_{CP} , Δ_{0-})

A_{CP}

(%)	$K^*0\gamma$	$K_S\pi^+\gamma$	$K^+\pi^0\gamma$	$K^*+\gamma$	$K^*\gamma$	ΔA_{CP}	Δ_{0-}
MC stat.	/	/	/	/	/	/	0.11
tracking	/	/	/	/	/	/	0.05
K/ π ID	/	/	/	/	/	/	0.38
K_S	/	/	/	/	/	/	0.17
π^0	/	/	/	/	/	/	0.17
Charge asym.	0.19	0.37	0.32	0.26	0.15	0.161	0.00
Life time	/	/	/	/	/	/	0.19
f_{+-}/f_{00}	/	/	/	/	/	/	1.20
Fit bias	0.07	0.12	0.16	0.09	0.08	0.12	0.08
Fit param.	0.09	0.09	0.16	0.09	0.08	0.29	0.21
Total	0.22	0.40	0.39	0.29	0.19	0.35	1.28

Likelihood の定義

$$\begin{aligned}
 -\ln \mathcal{L} = & - \sum_i \ln \mathcal{L}_i^{K_s \pi^0 \gamma}(BF^N) && \text{添え字の } \mathbf{N}, \mathbf{C} \text{ は } \mathbf{B}^0, \mathbf{B}^+ \text{ の崩壊} \\
 & && \text{を表す} \\
 & - \sum_i \ln \mathcal{L}_i^{K^+ \pi^- \gamma}(BF^N, A_{CP}^N) - \sum_i \ln \mathcal{L}_i^{K^- \pi^+ \gamma}(BF^N, A_{CP}^N) \\
 & - \sum_i \ln \mathcal{L}_i^{K_s \pi^+ \gamma}(BF^C, A_{CP}^C) - \sum_i \ln \mathcal{L}_i^{K_s \pi^- \gamma}(BF^C, A_{CP}^C) \\
 & - \sum_i \ln \mathcal{L}_i^{K^+ \pi^0 \gamma}(BF^C, A_{CP}^C) - \sum_i \ln \mathcal{L}_i^{K^- \pi^0 \gamma}(BF^C, A_{CP}^C)
 \end{aligned}$$

6種類のパラメータを決定

$BF(B^0 \rightarrow K^{*0} \gamma), BF(B^+ \rightarrow K^{*+} \gamma),$

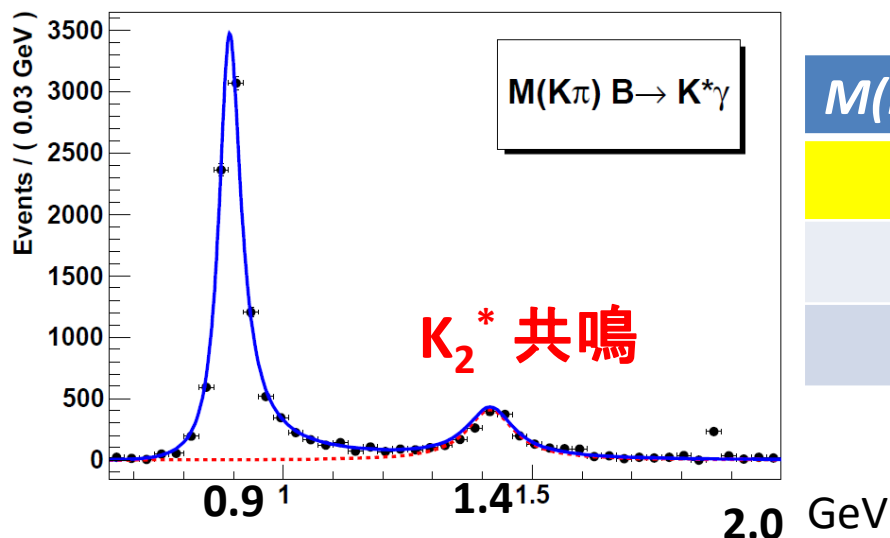
$A_{CP}(B^0 \rightarrow K^{*0} \gamma), A_{CP}(B^+ \rightarrow K^{*+} \gamma), \Delta_{0-}, \Delta A_{CP}$

- $M(K\pi)$ 30 MeV/c² ごとに M_{bc} のフィットし、 $M(K\pi)$ 分布を作成
- P-wave Breit-Wigner 関数で $M(K\pi)$ 分布を $K^*(892)$ と $K_2^*(1430)$ に対してフィットし、 $B \rightarrow K\pi\gamma$ の寄与を見積もる

P-wave Breit-Wigner の Amplitude

$$\mathcal{M}_{\text{BW}}(M_{K\pi}, M_{K\gamma}) = F_B F_{K^*} \frac{M_{K\gamma}^2 - M_{\pi\gamma}^2 + (M_B^2 - M_\gamma^2)(M_\pi^2 - M_K^2)}{M_{K^*}^2 - M_{K\pi} - iM_{K^*}\Gamma_{K\pi}}$$

$\Gamma_{K\pi}$: 不変質量依存の崩壊幅



$M(K\pi)$ window	信号数	背景数
75 MeV	7692.7 ± 80.9	8.4 ± 0.2
80 MeV	7816.6 ± 82.2	9.1 ± 0.2
90 MeV	8026.5 ± 84.4	10.4 ± 0.3

0.11% を系統誤差とする

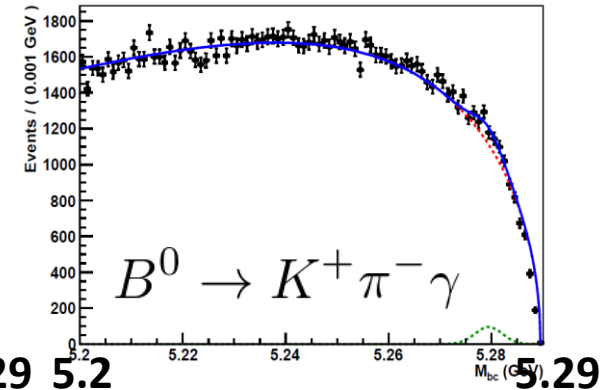
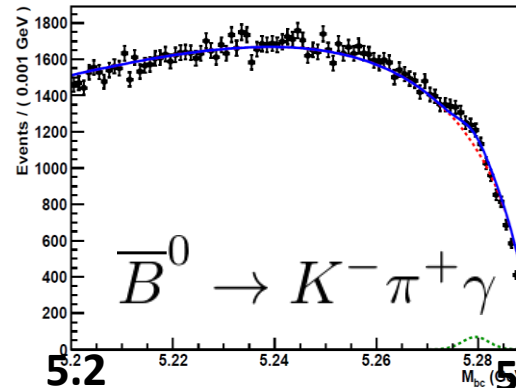
正負電荷の検出器の反応の違い

荷電粒子の検出効率は電荷によって異なる

- qq 事象が支配的な領域の M_{bc} 分布をフィットして決定
 - $-0.5 < \Delta E < 0.5 \text{ GeV}$, $|M(K\pi) - M(K^*)| < 75 \text{ MeV}/c^2$,
NB(ニューラルネット出力) < 0
 - ピークを持つ要素は 0.5%程度 → ガウシアン で決定
 - Continuum 成分は ARGUS で決定
- **結果**

Asymmetryの定義

$$A = \frac{N(B) - N(\bar{B})}{N(B) + N(\bar{B})}$$



崩壊モード

Asymmetry (%)

$$B^0 \rightarrow K^+ \pi^- \gamma / B^0 \rightarrow K^- \pi^+ \gamma \quad 0.32 \pm 0.19 \pm 0.02$$

$$B^+ \rightarrow K_s^+ \pi^0 \gamma / B^- \rightarrow K_s^- \pi^0 \gamma \quad -0.34 \pm 0.37 \pm 0.02$$

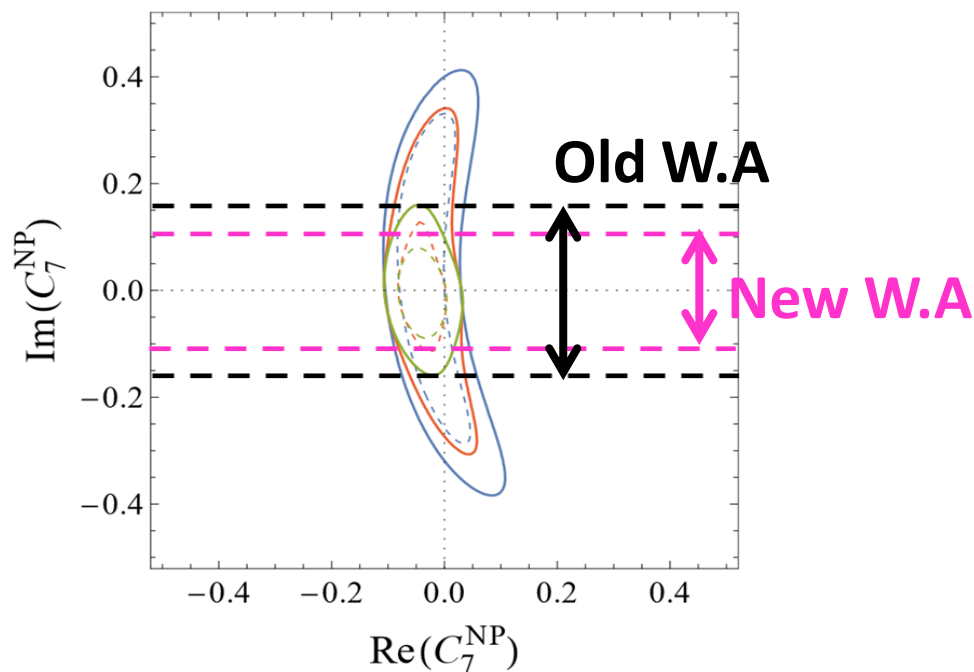
$$B^+ \rightarrow K^+ \pi^0 \gamma / B^- \rightarrow K^- \pi^0 \gamma \quad 0.87 \pm 0.33 \pm 0.03$$

結果考察(CP非対称性の測定)

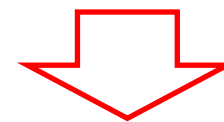
$B \rightarrow K^* \gamma$ のCP非対称性は C_7 の虚数項に感度

$$A_{CP}(B^0 \rightarrow K^* \gamma) \sim [0.003 - 0.45 \text{Im}C_7(m_b)] \frac{\mathcal{B}(B^0 \rightarrow K^{*0} \gamma)_{SM}}{\mathcal{B}(B^0 \rightarrow K^{*0} \gamma)}$$

Altmannshofer, W. & Straub, D.M.
Eur. Phys. J. C (2015) 75: 382



$$|\text{Im}(C_7)| < 0.16 (95\% \text{C.L.})$$



$$|\text{Im}(C_7)| < 0.11 (95\% \text{C.L.})$$

新物理に強い制限をかけられる

実数項と虚数項の C_7 への制限

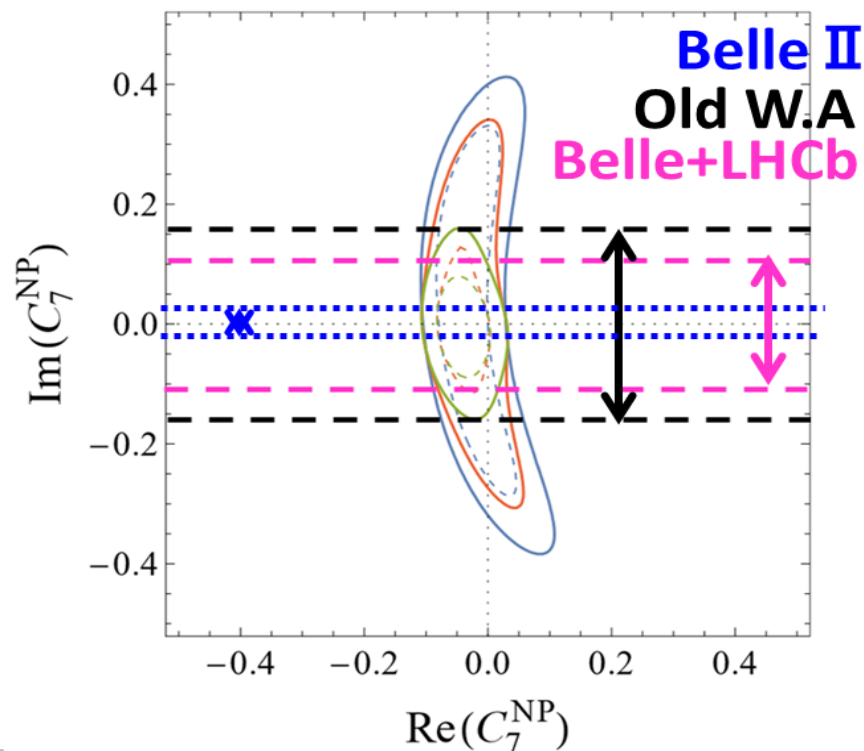
青: $A_{CP}(B \rightarrow K^* \gamma)$ の結果含まない

赤: $A_{CP}(B \rightarrow K^* \gamma)$ の結果含む。50%の理論の不定性

緑: $A_{CP}(B \rightarrow K^* \gamma)$ の結果含む。25%の理論の不定性

Belle II における測定精度

- 2018年から運転開始予定
- 積分ルミノシティ:50倍
- 崩壊分岐比(系統誤差改善が狙い)
 - Belleの測定で系統誤差が支配的
 - ΔE の要求を厳しくすることで、 B 由来の背景事象を減らす。
 - 粒子識別効率の改善
- CP 非対称性, ΔA_{CP}
(統計誤差改善が狙い)
 - $\sim 0.3\%$ 以下の測定精度
- アイソスピン非対称性
(統計、系統誤差両方改善)
 - $\sim 0.2\%$ の統計誤差
 - f_+/f_{00} の測定も向上見込み



f_{+-}/f_{00}

- **The ratio of BFs btw $Y(4S) \rightarrow B^0 B^0$ and $B^+ B^-$**
 - assuming 100% of the branching fraction of $Y(4S) \rightarrow BB$
- **Calculation of the reconstructed events with signal (N_s) and double (N_d) tag method**

$$N_s = 2N_{B\bar{B}} f_{00} \epsilon_s \mathcal{B}(B^0 \rightarrow D^{*+} \ell^- \nu)$$

$$N_d = N_{B\bar{B}} f_{00} \epsilon_d [\mathcal{B}(B^0 \rightarrow D^{*+} \ell^- \nu)]^2$$

$$f_{00} = \frac{\epsilon_d / \epsilon_s^2 N_s^2}{4N_d N_{B\bar{B}}}$$

$$f_{+-}/f_{00} = 1.058 \pm 0.024$$

- Dominated uncertainty is statistical uncertainty however it is comparable to total systematic uncertainty.
- Major systematic source is number of B mesons (nBB).
- nBB uncertainty comes from the cross section measurement of the decay of $ee \rightarrow \mu\mu$.
- This parameter will be improved in Belle II .

- We consider about the CP and isospin asymmetries which have peaking backgrounds.

崩壊	Δ_{0-}	A_{CP}
$B \rightarrow Xs\gamma$	-0.01 ± 0.06	0.015 ± 0.02
$B \rightarrow Xs\eta$	0 ± 0.20	-0.13 ± 0.05
$B \rightarrow K^*\eta$	-	0.19 ± 0.05
$B \rightarrow K^*\pi^0$	-	-0.15 ± 0.13

誤識別率(w)の見積もり

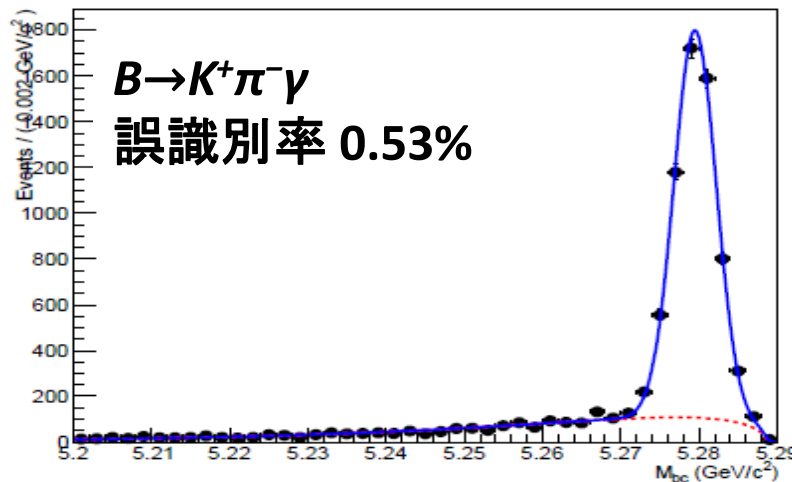
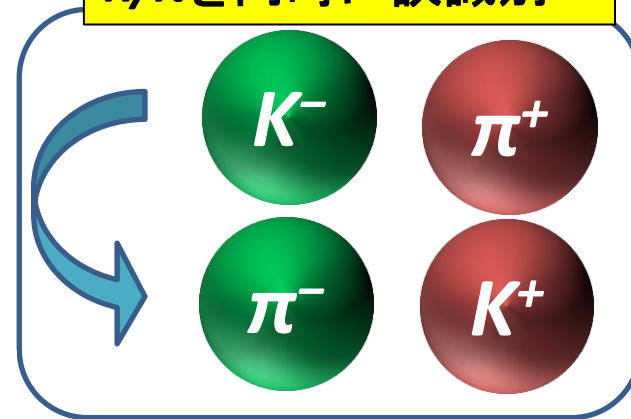
CP非対称性の測定に影響する誤識別の寄与

$$A_{CP} = \frac{1}{1 - 2w} \frac{\mathcal{B}(\bar{B} \rightarrow \bar{K}^* \gamma) - \mathcal{B}(B \rightarrow K^* \gamma)}{\mathcal{B}(\bar{B} \rightarrow \bar{K}^* \gamma) + \mathcal{B}(B \rightarrow K^* \gamma)}$$

w : 誤識別率

- Double Miss ID イベント
 - $K^\pm \pi^\mp$ を同時に誤識別
- M_{bc} 分布のピークを抽出し非対称度を計算
 - ピークPDF: ガウシアン
 - 背景事象: ARGUS関数

K/ π を同時に誤識別



その他の系統誤差

- **B中間子数 (1.37%)**
 - Off-resonance の運転との比較をして計算。 $(771.581 \pm 10.566) \times 10^6$
- **光子の検出効率(2.0%)**
 - Radiative Bhabha event ($e^+e^- \rightarrow e^+e^- \gamma$) と missing 4-vector の比を計算
- **K/ π 識別 (1.65% at $B \rightarrow K^+ \pi^- \gamma$)**
 - $D^{*+} \rightarrow D^0 \pi^+ \gamma$, $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$ を再構成し、PIDの選別前後の信号数を比較して評価する。 π_s^+ によって D^0 か anti- D^0 か決定できる。
 - 運動量と $K\pi$ の数に依存するので崩壊過程ごとに評価
- **π^0 検出効率(1.27%)**
 - $\varepsilon = N(\eta \rightarrow 3\pi^0)/N(\eta \rightarrow \gamma\gamma)$ と定義し、MCと実データの比を計算して評価する。ただし $N(\eta \rightarrow \gamma\gamma)/N(\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma)$ はMCとデータで等しいと仮定。
- **Fitter の不定性**
 - フィット関数を持つ不定性: ToyMC から決定
 - 固定したパラメータの不定性: Control sample や別実験の測定結果から不定性を求める
- **物理定数(PDGより)**
 - life time ratio $\tau(B^+)/\tau(B^0) = 1.076 \pm 0.004$
 - $\Upsilon(4S)$ の崩壊分岐比 (f_{+-}/f_{00}) = 1.058 ± 0.024