

---

# 準包括的再構成法を用いた $B \rightarrow X_s \gamma$ の崩壊分岐比の測定

---

齋藤 智之 (東北大理)



石川明正、山本均、  
他 Belle collaboration



2014/03/28 日本物理学会2014年 @ 東海大学

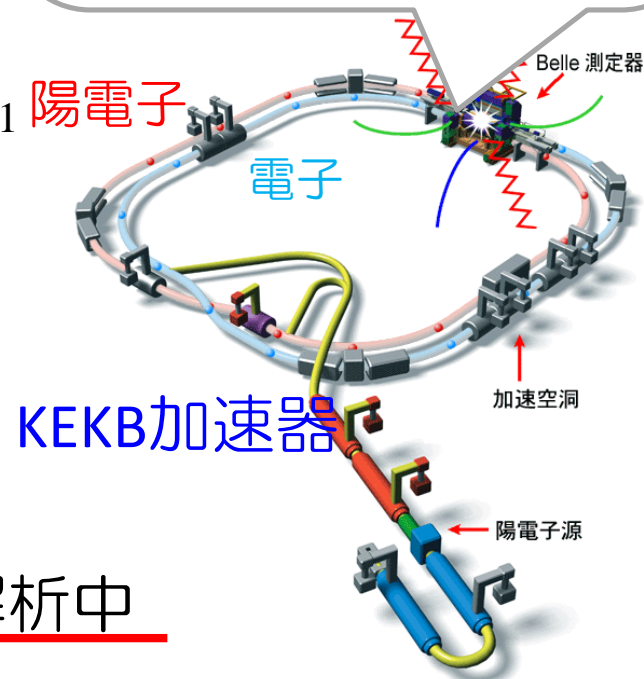
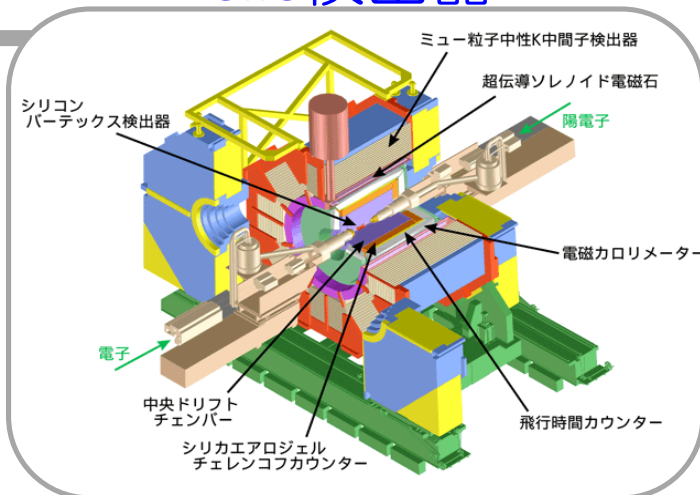
# Belle 実験

目的： $B$  中間子を大量に生成し、崩壊過程を精密測定

- ▶ 電子 8GeV、陽電子 3.5GeV
- ▶  $e^+e^- \rightarrow Y(4S) \rightarrow BB$
- ▶ ピークルミノシティ： $2.1 \times 10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
- ▶ 1秒当たり20の $B$ 中間子対を生成
- ▶ 最終積分ルミノシティ： $\sim 1000 \text{fb}^{-1}$
- ▶ Belle II に向けてアップグレード中。2016年物理ラン開始予定。

現在も最終データを用いて精力的に解析中

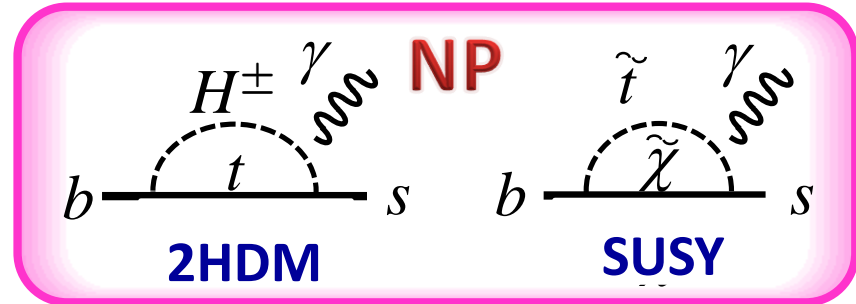
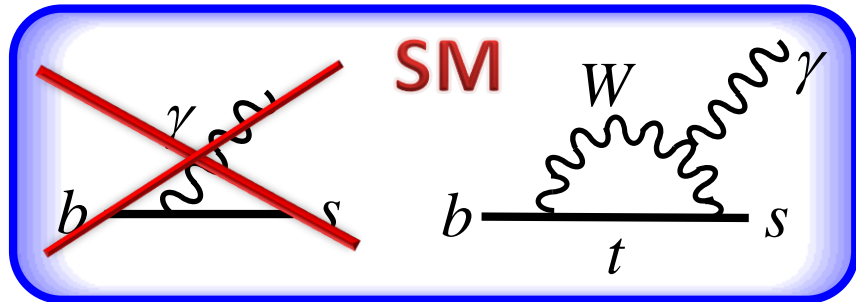
## Belle検出器



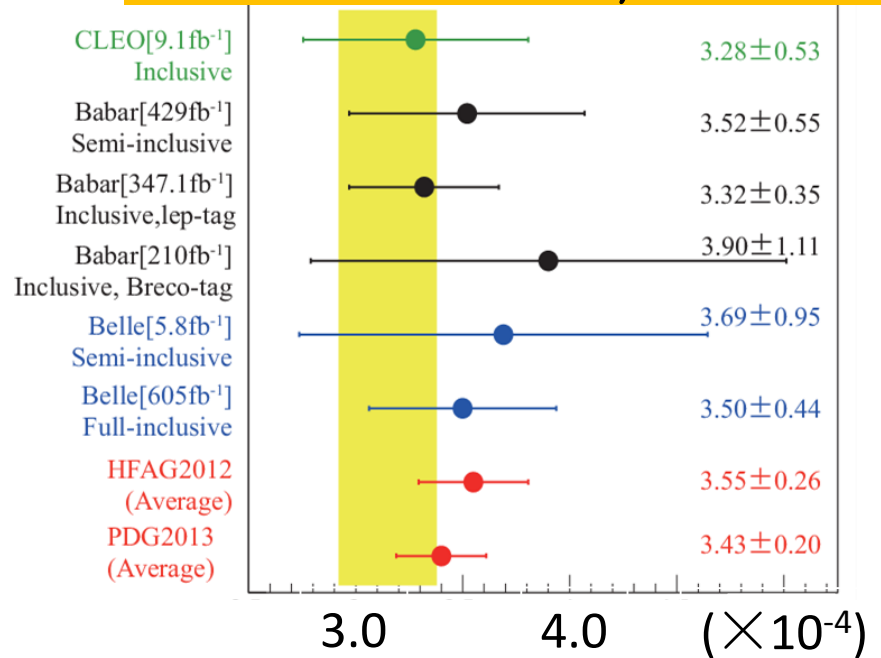
# $b \rightarrow s \gamma$ 遷移

## ● $b \rightarrow s \gamma$ 遷移: Flavor Changing Neutral Current (FCNC)

- ▶ 標準理論ではツリーレベルは禁止。ループを介して起こる。  
--> ループ中に現れる新粒子に感度あり
- ▶ 崩壊分岐比は理論計算が精度よく可能  
--> 新物理探索に有用



### $B(B \rightarrow X_s \gamma)$ 測定 ( $E_\gamma > 1.6$ GeV)

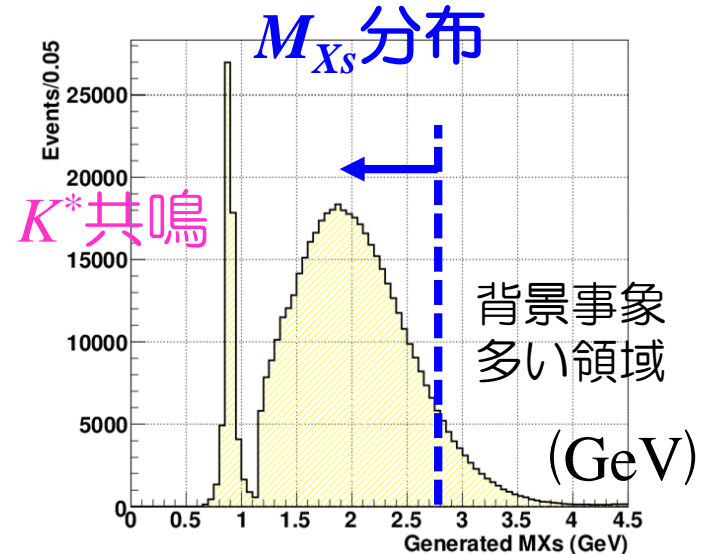
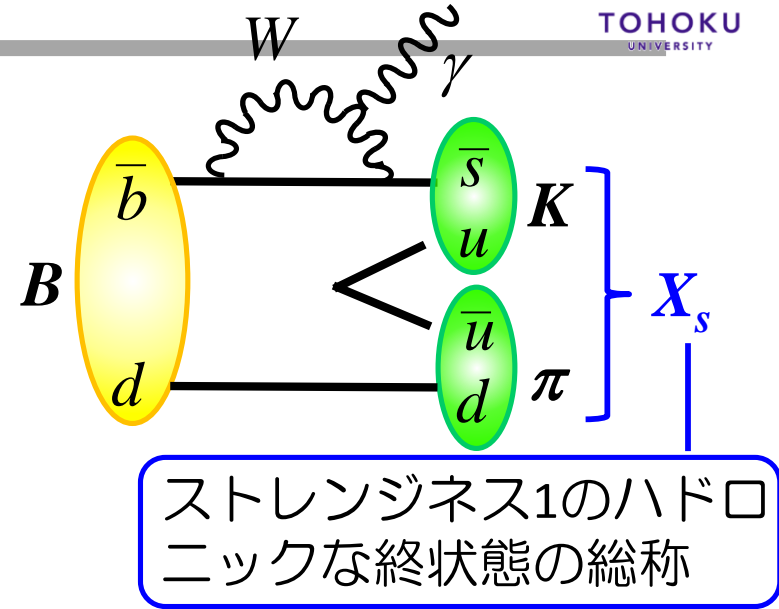


●  $b \rightarrow s \gamma$  信号の測定過程 :  $B \rightarrow X_s \gamma$

- ▶ 多くの終状態があり、 $X_s$ の取り扱いに工夫が必要。

●  $X_s$  の再構成 : 準包括的再構成法

- ▶ できる限り多くの $X_s$ を再構成
- ▶ 光子+ $X_s$ から $B$ を再構成
- ▶  $M_{X_s} < 2.8 \text{ GeV}/c^2$  ( $E_\gamma = 1.9 \text{ GeV}$ )を測定
- ▶ 38 終状態を再構成
  - 「1 or 3  $K$  ( $K_s$ は1つまで)」 + 「1~4  $\pi$  ( $\pi^0$ は2つまで)」 + ( $1\eta$ )
  - $X_s$ の終状態の70%をカバー
- ▶ 再構成しない終状態はPythiaで評価

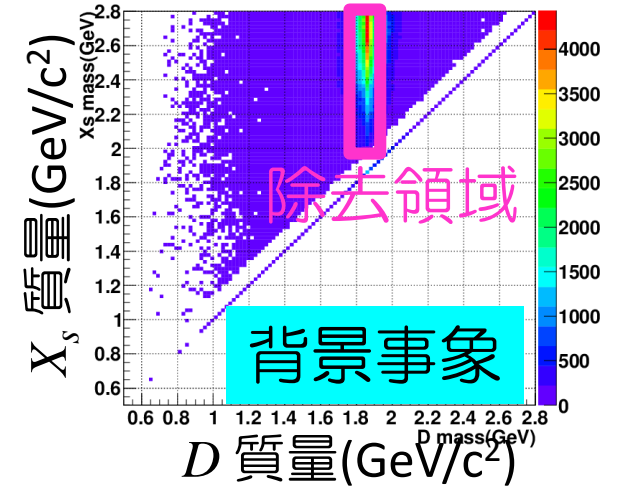


●  $D$  中間子崩壊を含む事象:

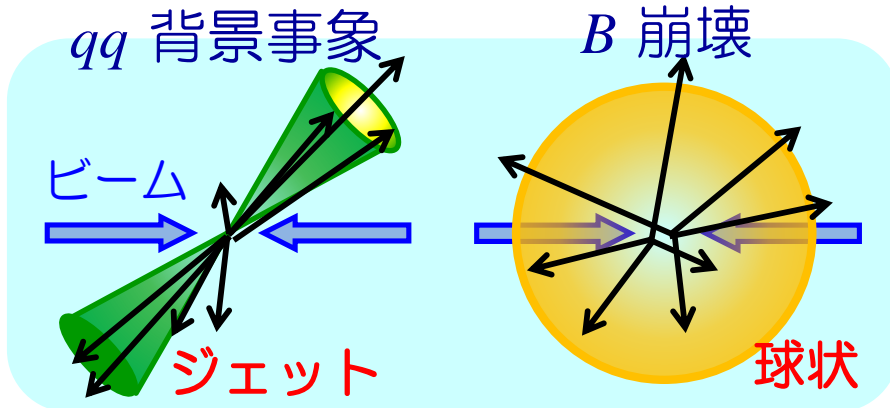
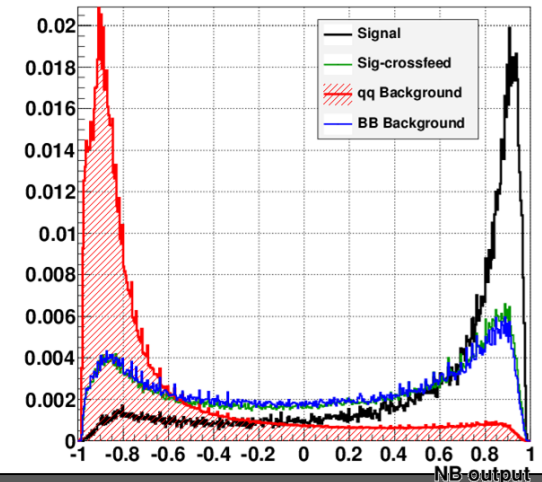
- ▶  $B \rightarrow D^{(*)} \rho$ , etc.
- ▶  $X_s$  を再構成した粒子で  $D$  中間子の質量に近い組み合わせを持つ事象を除去

●  $e^+e^- \rightarrow qq$  ( $q=u, d, c, s$ ) 事象

- ▶ 最大の背景事象
- ▶ ニューラルネットを用いた多変数解析(NeuroBayes)
- ▶ 12の入力変数(主に事象の形)



ニューラルネット出力

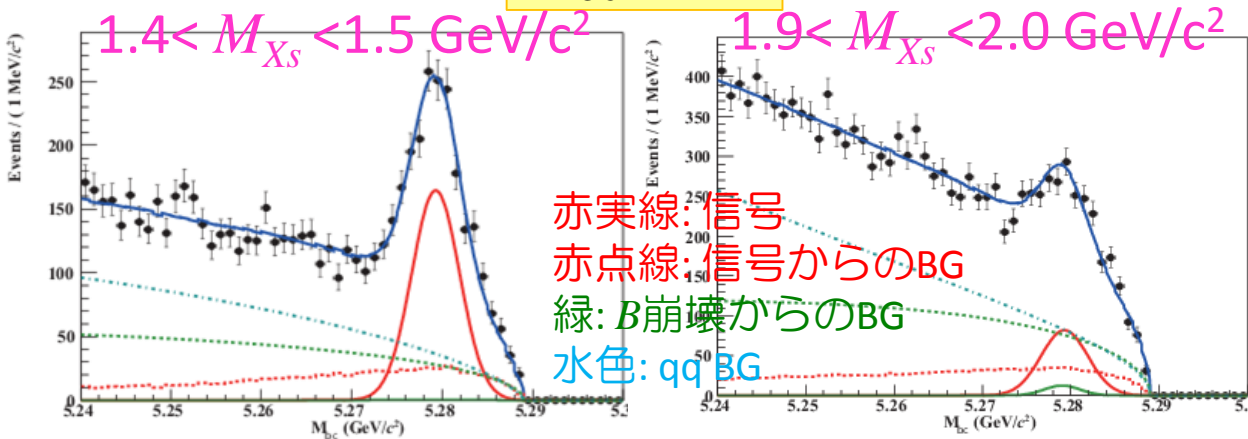


## ● $M_{bc}$ 分布から信号数を抽出

- ▶  $M_{bc} \equiv \sqrt{E_{beam}^2 - |\vec{p}_B|^2}$
- ▶  $M_{X_s}$  のビン毎に信号抽出
  - $0.6 \sim 2.8 \text{ GeV}/c^2 (E_\gamma = 1.9 \text{ GeV})$  で19のビン分け
  - $M_{X_s}$  分布の形に依らず分岐比を算出

$M_{X_s}$ bin( $\text{GeV}/c^2$ )	Yield
0.6-0.7	$-6 \pm 10$
0.7-0.8	$36 \pm 14$
0.8-0.9	$2032 \pm 54$
0.9-1.0	$1689 \pm 49$
1.0-1.1	$301 \pm 27$
1.1-1.2	$310 \pm 31$
1.2-1.3	$1019 \pm 46$
1.3-1.4	$1117 \pm 50$
1.4-1.5	$1090 \pm 52$
1.5-1.6	$806 \pm 50$
1.6-1.7	$723 \pm 37$
1.7-1.8	$664 \pm 37$
1.8-1.9	$652 \pm 54$
1.9-2.0	$542 \pm 60$
2.0-2.1	$403 \pm 54$
2.1-2.2	$285 \pm 35$
2.2-2.4	$449 \pm 80$
2.4-2.6	$273 \pm 84$
2.6-2.8	$87 \pm 82$

### $M_{bc}$ 分布



- ▶ 合計で約11,000事象を観測

# $X_s$ のハドロン化モデルの較正

- 信号再構成効率 $\epsilon$ は終状態の内訳に依存
  - > 正しいハドロン化モデルのMCが必要。

各終状態の割合(%)  
( $1.15 < M_{X_s} < 1.5 \text{ GeV}/c^2$ )

## ハドロン化モデル較正

- ▶ データの各終状態の割合を4つの $M_{X_s}$ 領域毎にチェック
- ▶ Pythiaのモデルを較正
- ▶ 微調整はMCサンプルの各終状態の割合を直接調節。

--> データのモデルを反映したMCを得た

終状態	データ	MC (較正前)
$K\pi \text{ w/o } \pi^0$	$9.5 \pm 1.4$	15.5
$K\pi \text{ w/ } \pi^0$	$5.3 \pm 0.3$	7.8
$K2\pi \text{ w/o } \pi^0$	$25.7 \pm 0.8$	21.4
$K2\pi \text{ w/ } \pi^0$	$44.8 \pm 1.5$	36.1
$K3\pi \text{ w/o } \pi^0$	$0.9 \pm 0.5$	0.9
$K3\pi \text{ w/ } \pi^0$	$8.1 \pm 2.2$	14.7
$K4\pi$	$0.3 \pm 0.5$	0.5
$K2\pi^0$	$2.5 \pm 2.5$	2.5
$K\eta$	$1.7 \pm 0.4$	0.9
$3K$	$0.0 \pm 0.0$	0.0

# 系統誤差

$B$ の数	1.4 %
検出器応答	3.0 %
背景事象除去	3.4 %
$M_{bc}$ PDF	5.1 %
ハドロン化モデル	6.7 %
再構成していないモード	1.6 %
<b>合計</b>	<b>9.3 %</b>

## ● ハドロン化モデル

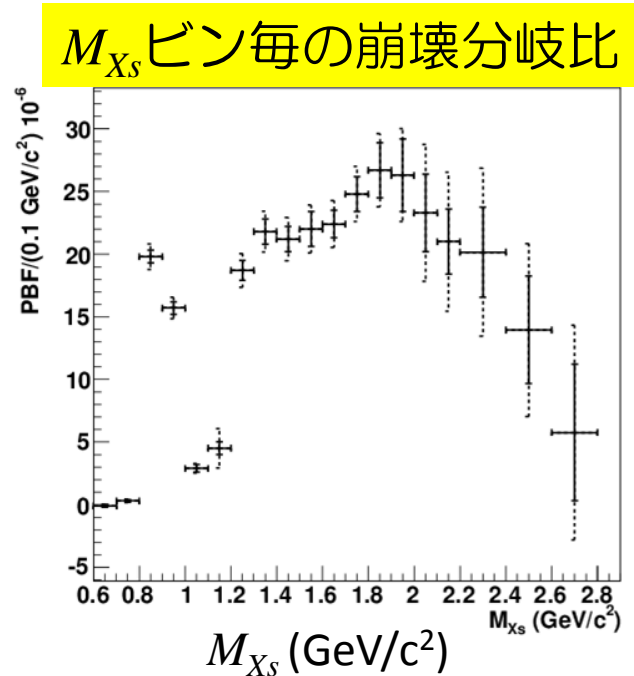
- ▶ 各終状態の比を $\pm 1\sigma$ 変化させ結果のずれを系統誤差とする。

## ● 再構成していないモードの誤差

- ▶ 再構成しているモード：76 % ( $1.15 < M_{Xs} < 2.8 \text{ GeV}/c^2$ )
- ▶ ハドロン化モデルがデータから大きくずれない範囲で Pythia のモデルを変化させ、結果のずれを系統誤差とする。



- 崩壊分岐比は  $M_{X_s}$  ビン毎に評価した。



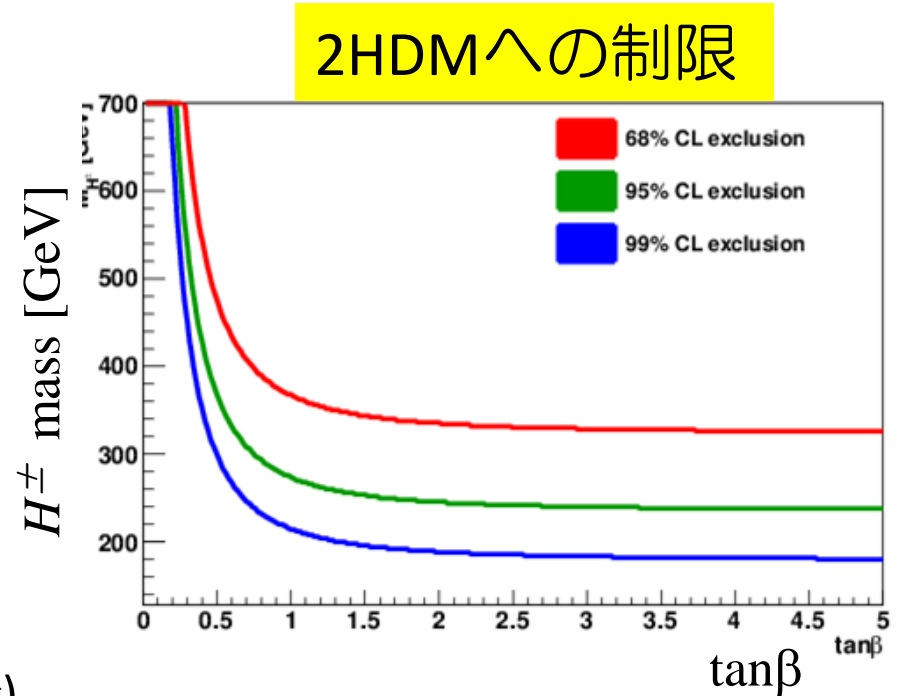
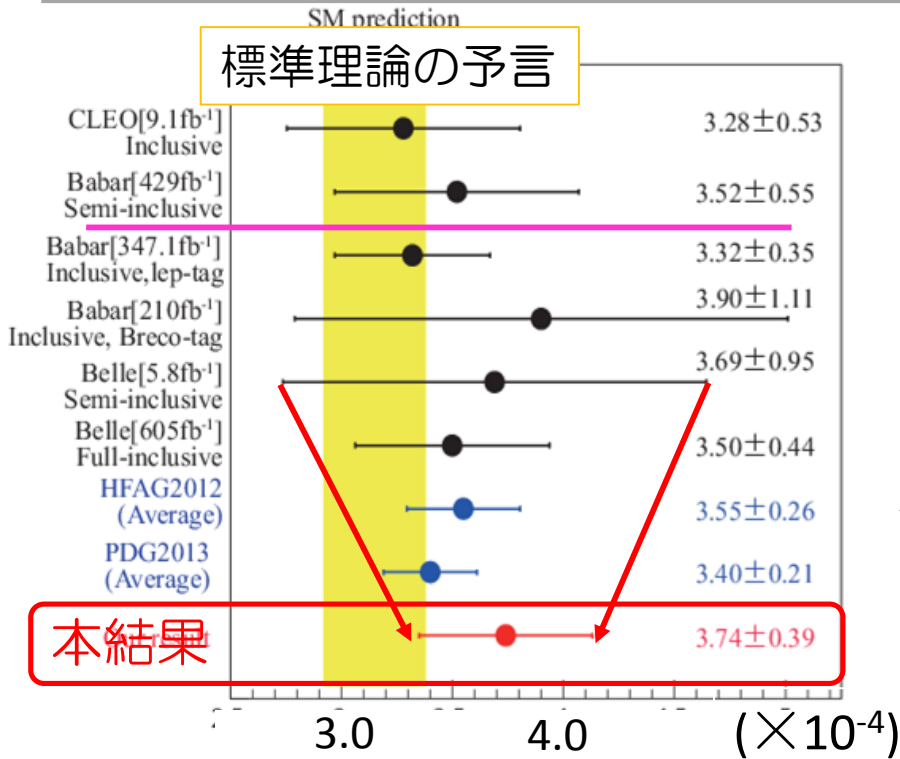
実線:統計誤差  
点線:統計+系統誤差

- ▶ 誤差は  $M_{X_s} > 2.0 \text{ GeV}/c^2$  が支配的。

- $B(B \rightarrow X_s \gamma) = (3.51 \pm 0.17 \pm 0.33) \times 10^{-4} (M_{X_s} < 2.8 \text{ GeV}/c^2)$

- SMの予言値との比較は  $E_\gamma > 1.6 \text{ GeV}$  で行う。

-->  $B(B \rightarrow X_s \gamma) = (3.74 \pm 0.18 \pm 0.35) \times 10^{-4}$  (Preliminary)



- ▶ 以前のBelleの結果と比較して、精度は2.4倍。
- ▶ BaBarの同じ手法より精度は1.4倍。
- ▶ 標準理論の予言( $(3.15 \pm 0.23) \times 10^{-4}$ )とは1.3  $\sigma$ で一致。
- ▶ 本結果単独で2HDMで $M_{H^\pm} > 238 \text{ GeV}/c^2$  (95%CL)の制限を与える。

# まとめ

- Belle実験の全データ $711\text{fb}^{-1}$  (7.72億 $BB$ ペア)を用いて、準包括的再構成法を用いた  $B \rightarrow X_s \gamma$  の崩壊分岐比測定を行った。
  - ▶  $B(B \rightarrow X_s \gamma) = (3.74 \pm 0.18 \pm 0.35) \times 10^{-4} (E_\gamma > 1.6 \text{ GeV})$
- 標準理論の予言とは $1.3 \sigma$ で一致。
- 本結果は2HDMで $M_{H^\pm} > 238 \text{ GeV}/c^2$ (95%CL)の制限を与える。