

**Belle実験における  
 $B \rightarrow X_s \gamma$ の $\delta A_{CP}$ 測定**



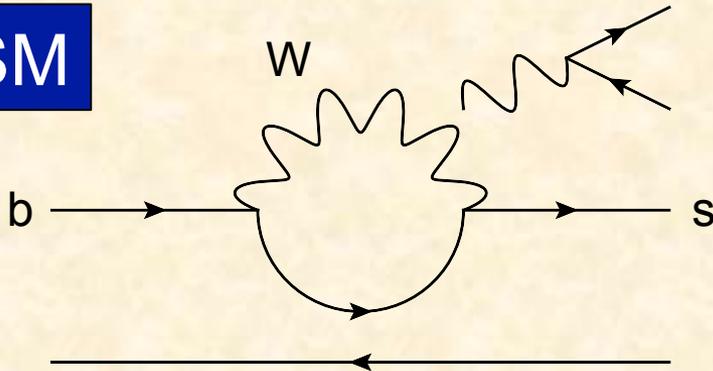
Shun Watanuki  
(Touhoku University)

# 目次

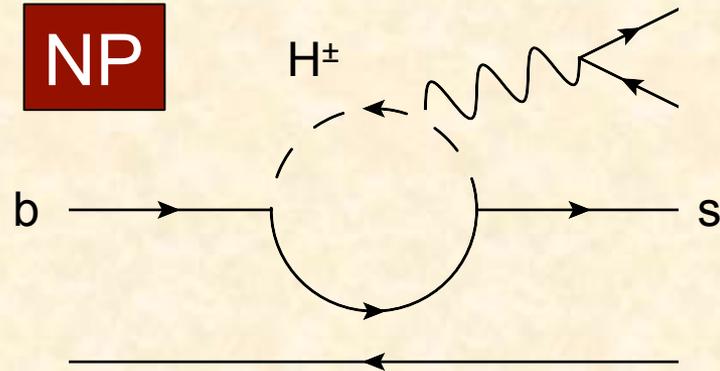
- FCNCを用いた新物理探索
- 本研究の目的
- 解析方法図説
- 現状 (信号事象の再構成)
- 今後の予定

# FCNCを用いたNP探索

SM

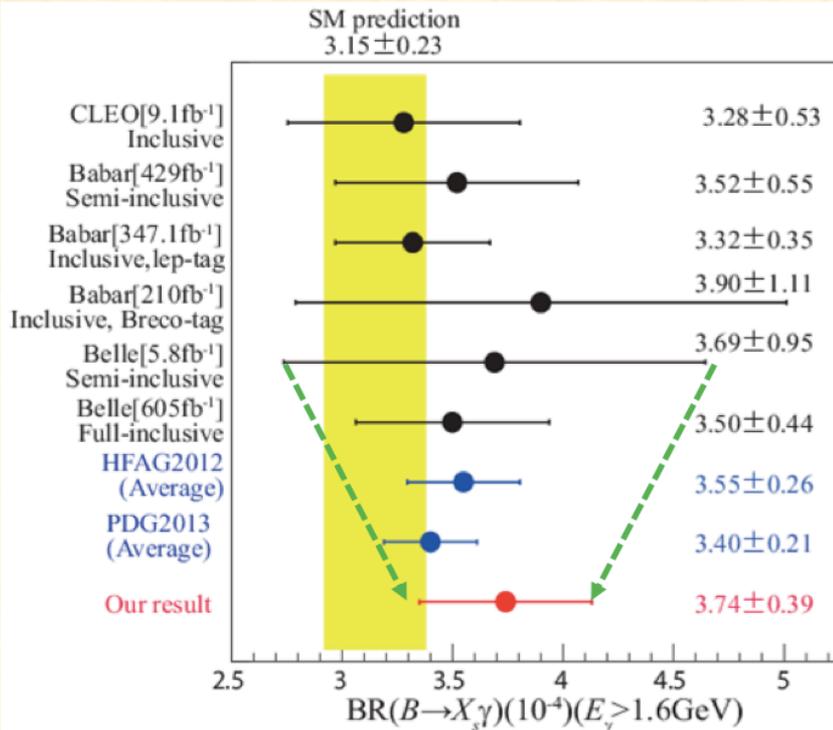


NP

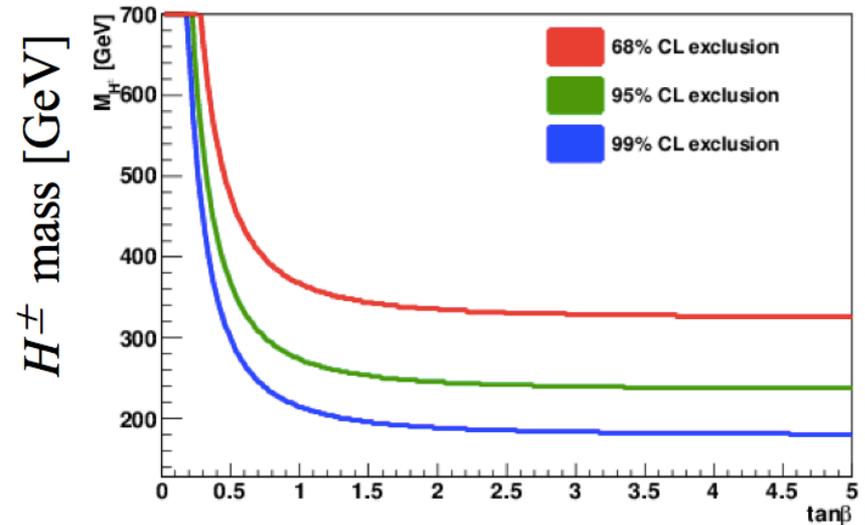


- FCNC = 電荷が変わらずフレーバーが変わる
  - SMではツリーレベルで禁止されている
  - つまりループでしか実現せず、NPの効果(もしあるなら)顕著に現れるはず
    - ➔ 崩壊分岐比がSM予想からずれる
  - 荷電ヒッグスやSUSY粒子の探索が可能！
- Bの崩壊ではb→s遷移が、b→d遷移より2桁( $|V_{td}/V_{ts}|^2$ )大きい

# B → X<sub>s</sub>γ 崩壊分岐比の先行研究

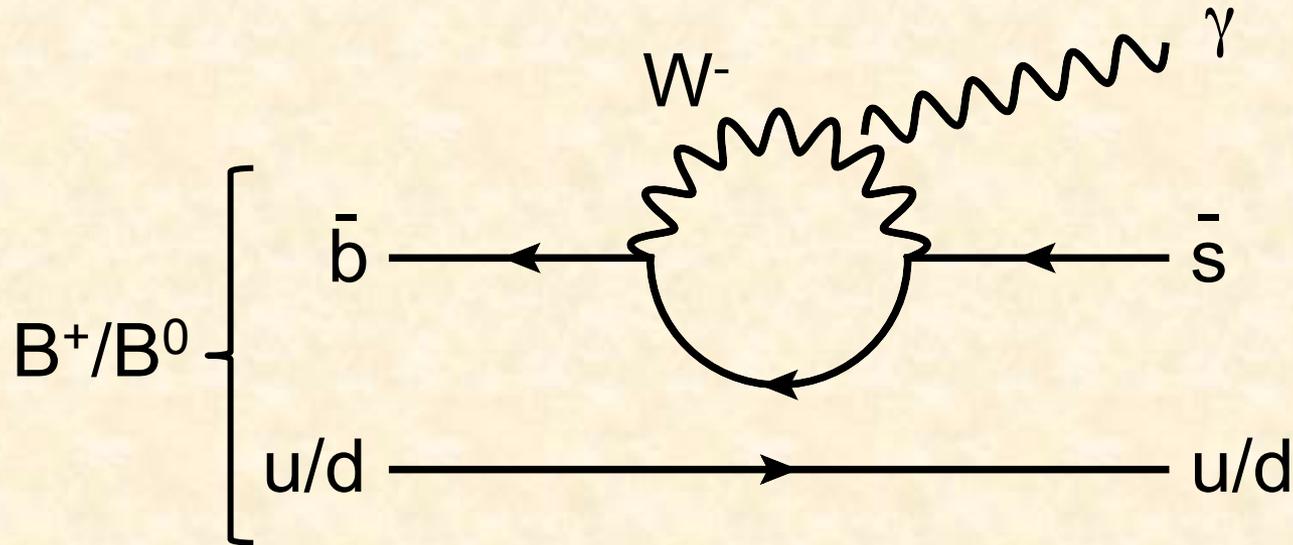


## 2HDMへの制限



- Belleのフルデータを用いたBR(B → X<sub>s</sub>γ)の測定結果は、1.3σでSM予想と一致
- m<sub>H<sup>±</sup></sub> > 238 GeV/c<sup>2</sup> (95% CL)の制限を与えている

# 本研究の目的

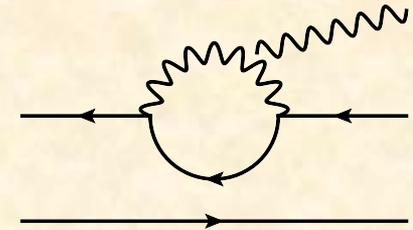


- $B \rightarrow X_s \gamma$ を再構成し以下の物理量を測定
  1. CP対称性の破れ
  2. アイソスピン非対称度
  3. CP破れのアイソスピン非対称度 ( $\delta A_{CP}$ )

# CP対称性の破れ

- ループ中を新粒子が回ることで $A_{CP}$ 増減

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



- SM予想:  $-0.6\% < A_{CP} < +2.8\%$

long-distance effect →

削減できない  
理論の不定性

BABARの最新の結果( $429\text{fb}^{-1}$ )では $A_{CP} = +(1.7 \pm 1.9 \pm 1.0)\%$   
→ Belleのフルデータ( $711\text{fb}^{-1}$ )で統計誤差を削減できるが...

もっといい方法がある

※ PRL 106, 141801 (2011)

# $A_{CP}$ のアイソスピン非対称度

- long-distance effectはアイソスピンに対して独立  
→  $\delta A_{CP}$ は不定性をキャンセルできる

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

$B^+ / B^-$ の $A_{CP}$

$$A_{CP}^{B^0} = \frac{\Gamma(\overline{B}^0 \rightarrow X_s \gamma) - \Gamma(B^0 \rightarrow X_s \gamma)}{\Gamma(\overline{B}^0 \rightarrow X_s \gamma) + \Gamma(B^0 \rightarrow X_s \gamma)}$$

$B^0 / \overline{B}^0$ の $A_{CP}$

$$\delta A_{CP} = A_{CP}^{B^+} - A_{CP}^{B^0}$$

- $A_{CP}$ と比べ理論的に非常にクリーンなNP探索が可能！

$$\delta A_{CP} \sim 4\pi^2 \alpha_s \frac{\widetilde{\Lambda}_{78}}{m_b} \text{Im} \left( \frac{C_{8g}}{C_{7\gamma}} \right)$$

Wilson係数の比の虚部に比例  
→ 0からずれていたらNPの根拠

# 解析方法

- 準包括的再構成法：  
ハドロン化モデルに由来する系統誤差を抑えるため、**s=ストレンジネス(K中間子)を含む終状態**をできるだけ多く再構成
- 再構成の困難なモードはMCにより推定する

# 解析方法

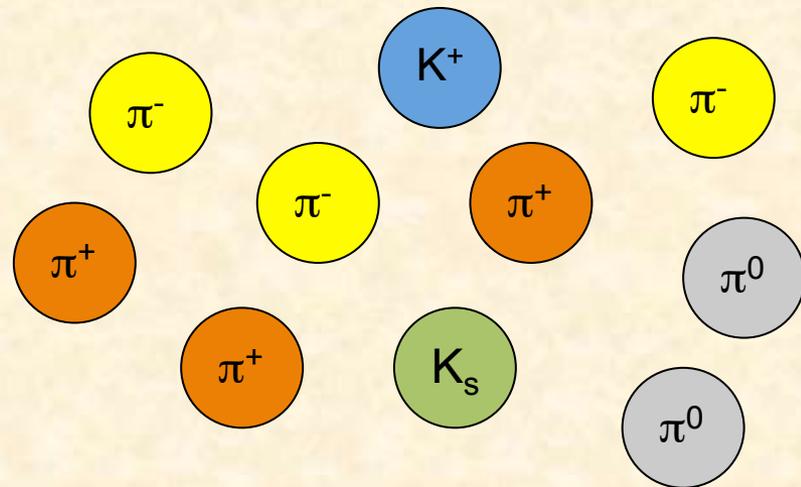
※黒はNeutral mode、赤はCharged mode

$K\pi$	$K\pi\pi^0$	$K\pi\pi^0\pi^0$	$K\eta\pi\pi^0$
$K_S\pi$	$K_S\pi\pi^0$	$K_S\pi\pi^0\pi^0$	$K_S\eta\pi\pi^0$
$K\pi^0$	$K\pi\pi\pi$	$K\eta$	$KKK$
$K_S\pi^0$	$K_S\pi\pi\pi$	$K_S\eta$	$KKK_S$
$K\pi\pi$	$K_S\pi\pi\pi^0$	$K\eta\pi$	$KK_SK_S$
$K_S\pi\pi$	$K\pi\pi\pi^0$	$K_S\eta\pi$	$KKK\pi$
$K\pi\pi^0$	$K\pi^0\pi^0$	$K\eta\pi^0$	$KKK_S\pi$
$K_S\pi\pi^0$	$K_S\pi^0\pi^0$	$K_S\eta\pi^0$	$KKK\pi^0$
$K\pi\pi\pi$	$K\pi\pi^0\pi^0$	$K\eta\pi\pi$	
$K_S\pi\pi\pi$	$K_S\pi\pi^0\pi^0$	$K_S\eta\pi\pi$	

- 以上の38モードにより $X_S$ の69%をカバーする  
(系統誤差によってはさらにモードを増やせるか検討)

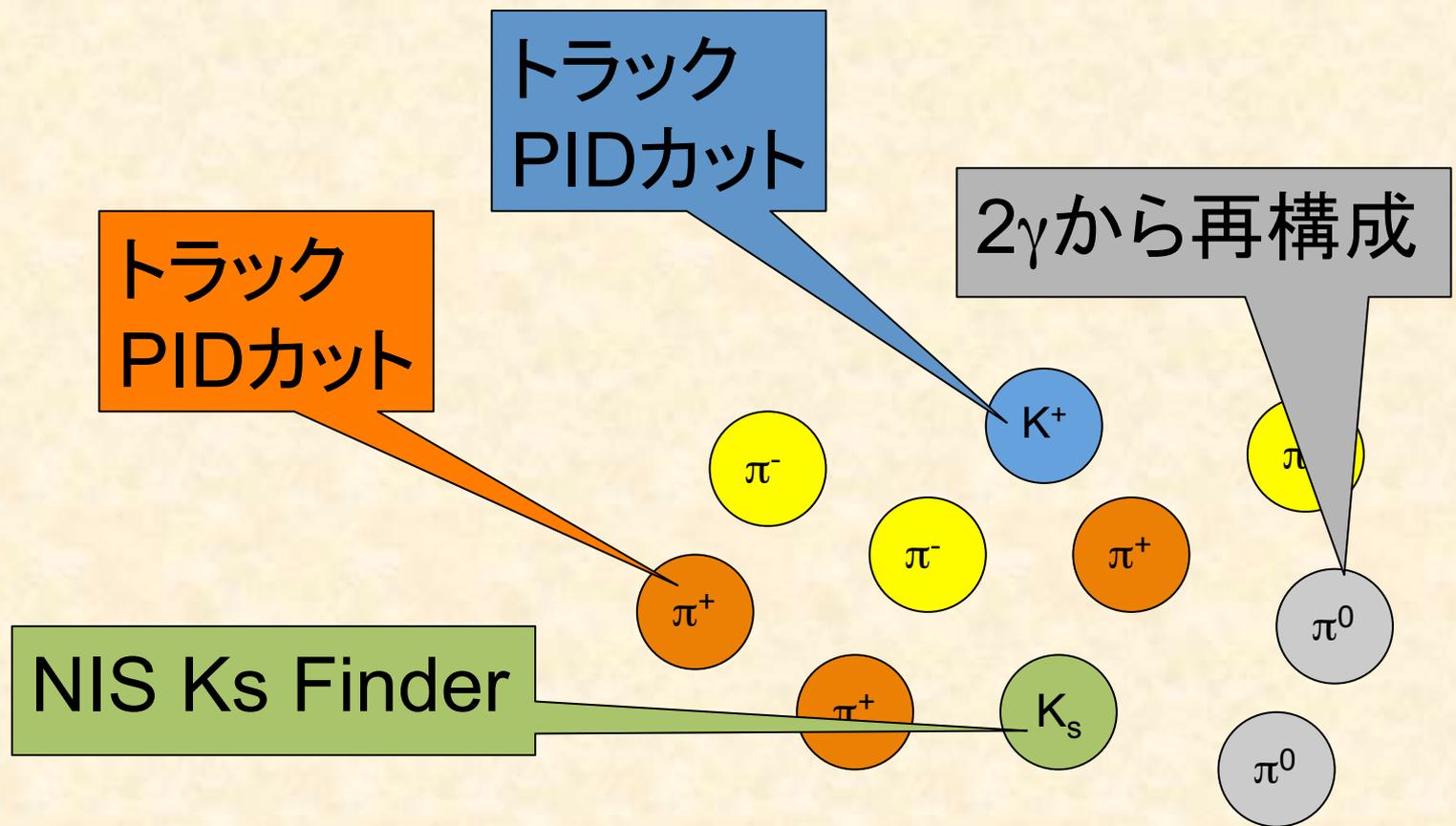
# 解析方法

1. 目標のモードの再構成に必要な基本粒子  
[ $\pi^0, \pi^\pm, K_s, K^\pm, \eta$ ] を取得/再構成



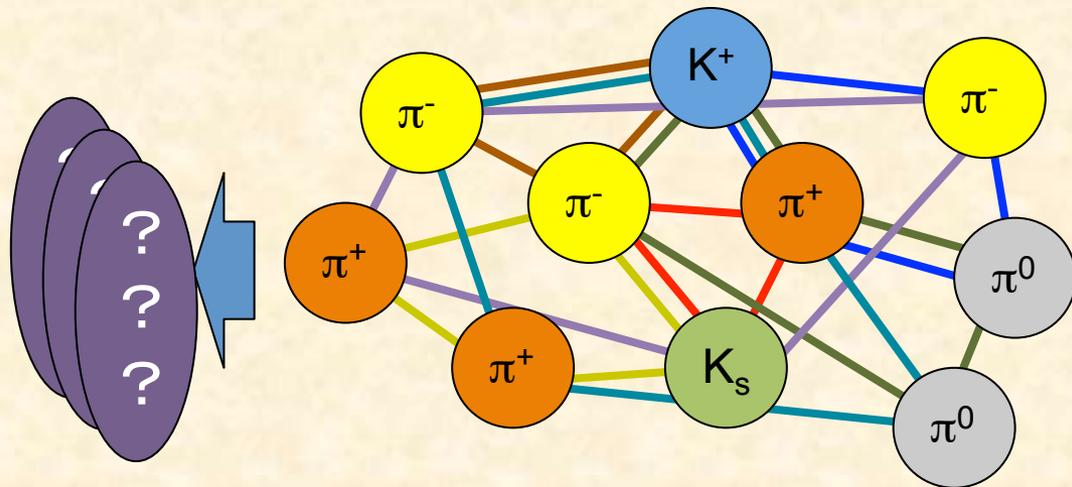
# 解析方法

1. 目標のモードの再構成に必要な基本粒子  
[ $\pi^0, \pi^\pm, K_s, K^\pm, \eta$ ] を取得/再構成



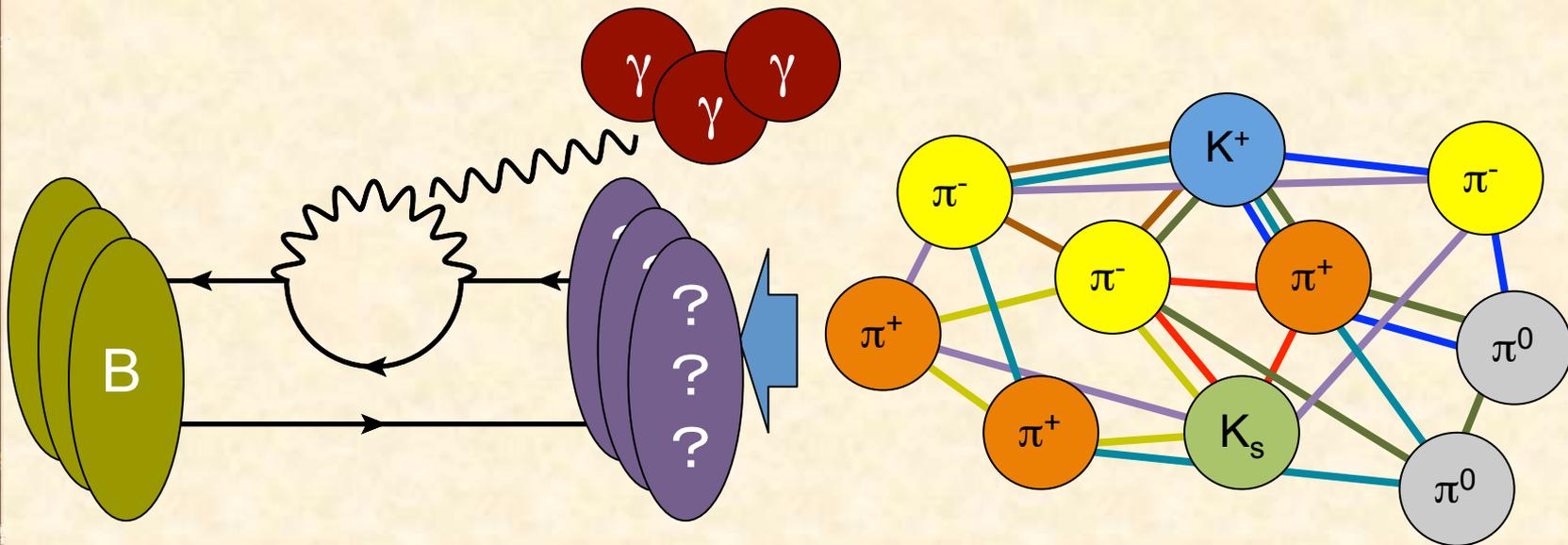
# 解析方法

1. 目標のモードの再構成に必要な基本粒子  
[ $\pi^0, \pi^\pm, K_s, K^\pm, \eta$ ] を取得/再構成
2. いろいろ組合わせて $X_s$ ”候補”を再構成



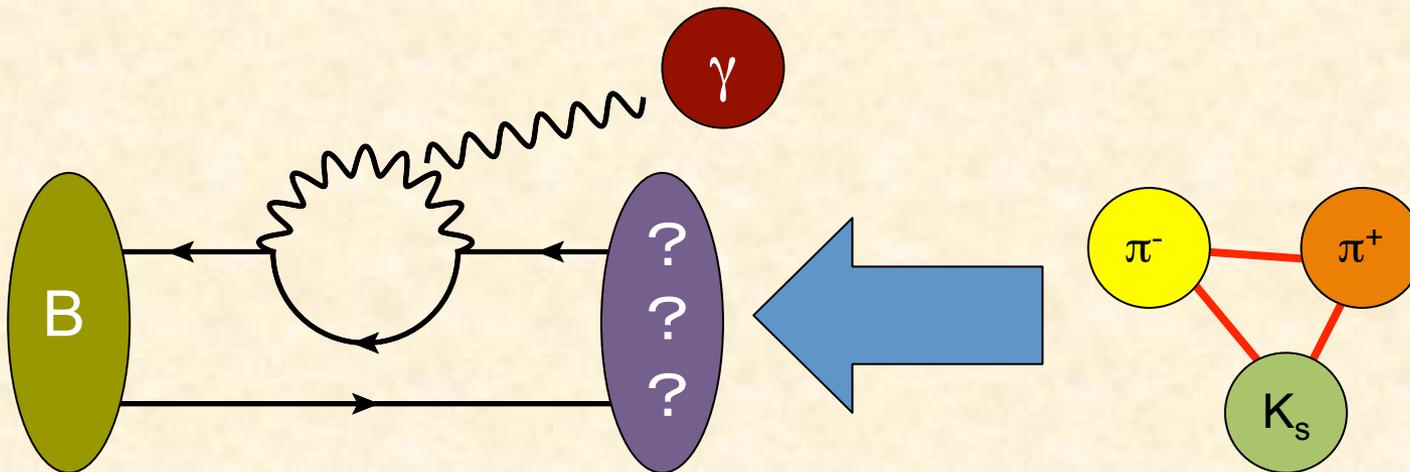
# 解析方法

1. 目標のモードの再構成に必要な基本粒子  
[ $\pi^0, \pi^\pm, K_s, K^\pm, \eta$ ] を取得/再構成
2. いろいろ組合わせて $X_s$ ”候補”を再構成
3. 同じく $\gamma$ 候補を作り、 $X_s$ と組合わせてBを再構成



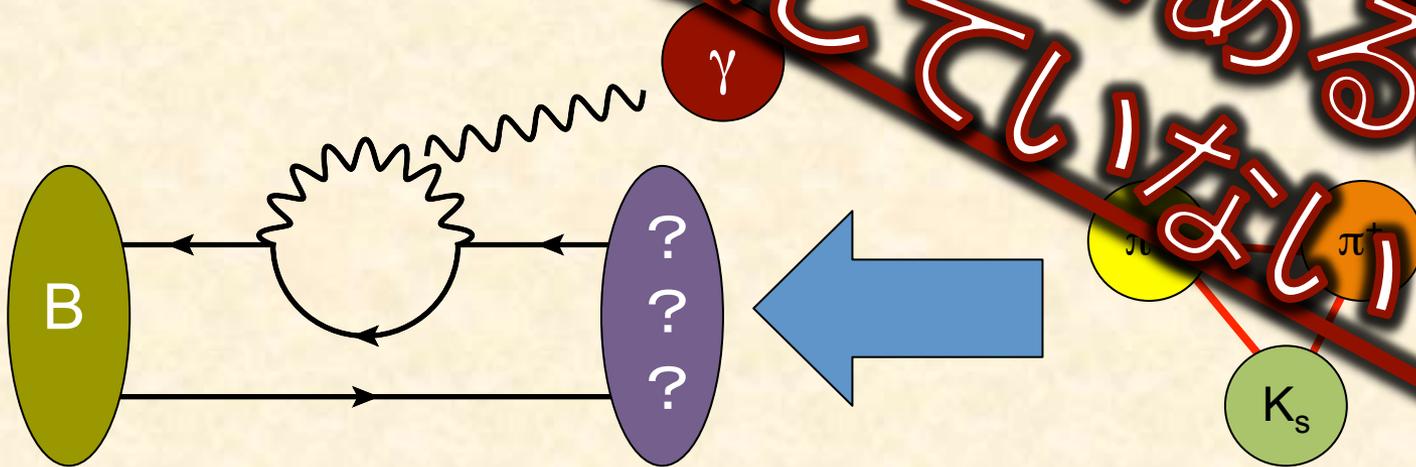
# 解析方法

1. 目標のモードの再構成に必要な基本粒子  $[\pi^0, \pi^\pm, K_s, K^\pm, \eta]$  を取得/再構成
2. いろいろ組合わせて  $X_s$  "候補" を再構成
3. 同じく  $\gamma$  候補を作り、 $X_s$  と組合わせて  $B$  を再構成
4.  $\delta E$  が小さいなどの条件で、最も良い再構成を選ぶ



# 解析方法

1. 目標のBの再構成に必要な基本粒子  
[ $\pi^0, \pi^\pm, K_s, \dots$ ] を取得/再構成
2. いろいろ組み合わせの“候補”を再構成
3. 同じく $\gamma$ 候補をX<sub>s</sub>と合わせてBを再構成
4.  $\delta E$ が小さいものの中で、最も良い再構成を選ぶ

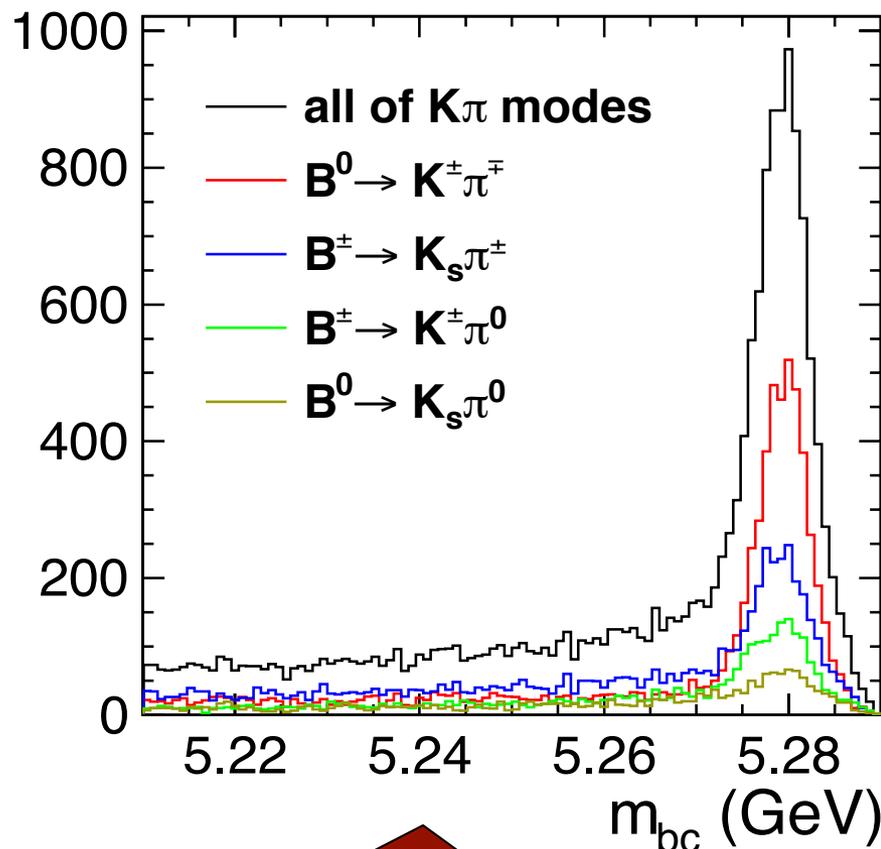


# beam constraint mass ( $m_{bc}$ )

- Bのエネルギーとして、ビームエネルギーを利用して計算した質量

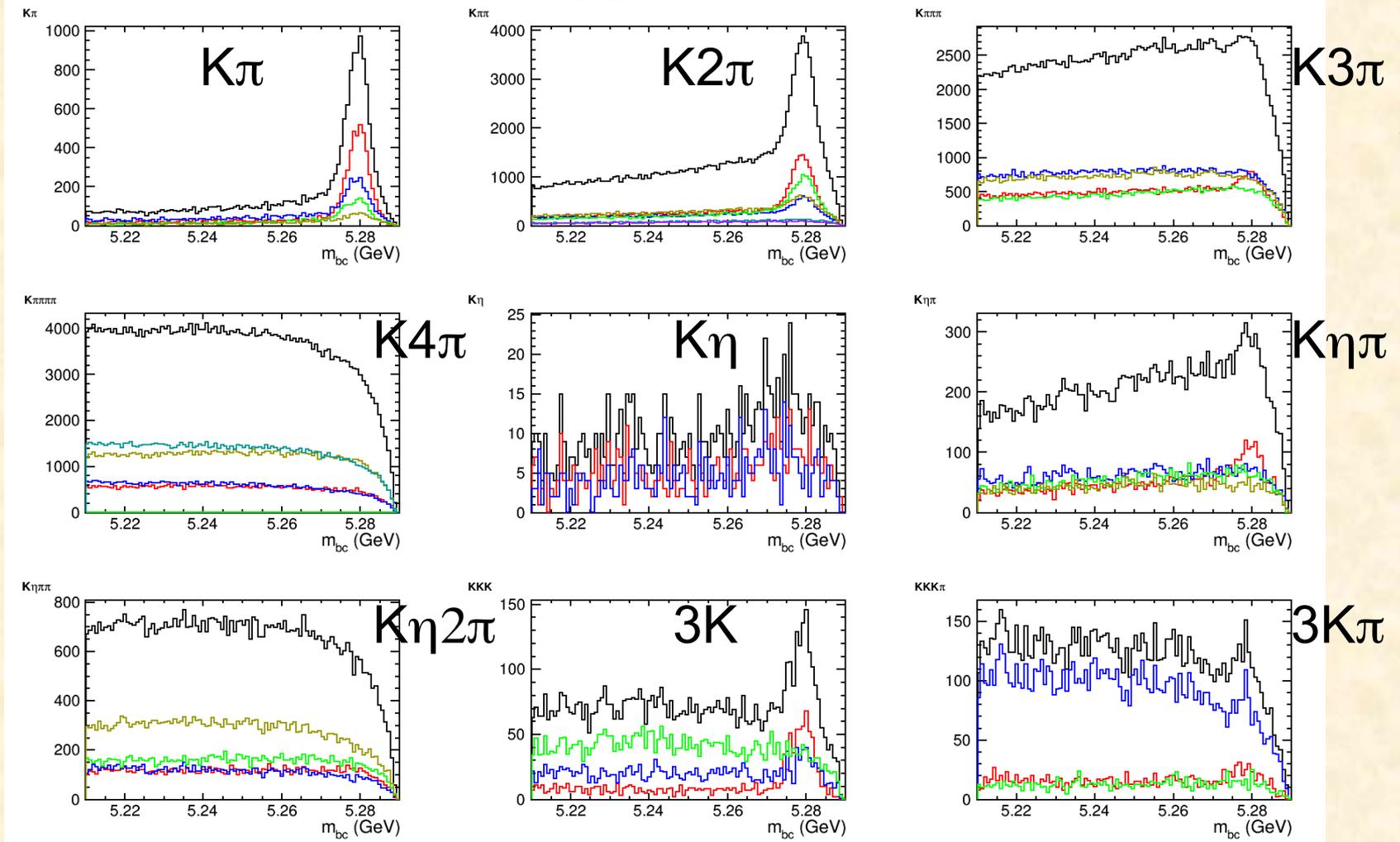
$$m_{bc} := \sqrt{E_{beam}^2 - |\vec{p}_B|^2}$$

- 最終的にはこれをフィットして Signal yieldsを抽出する



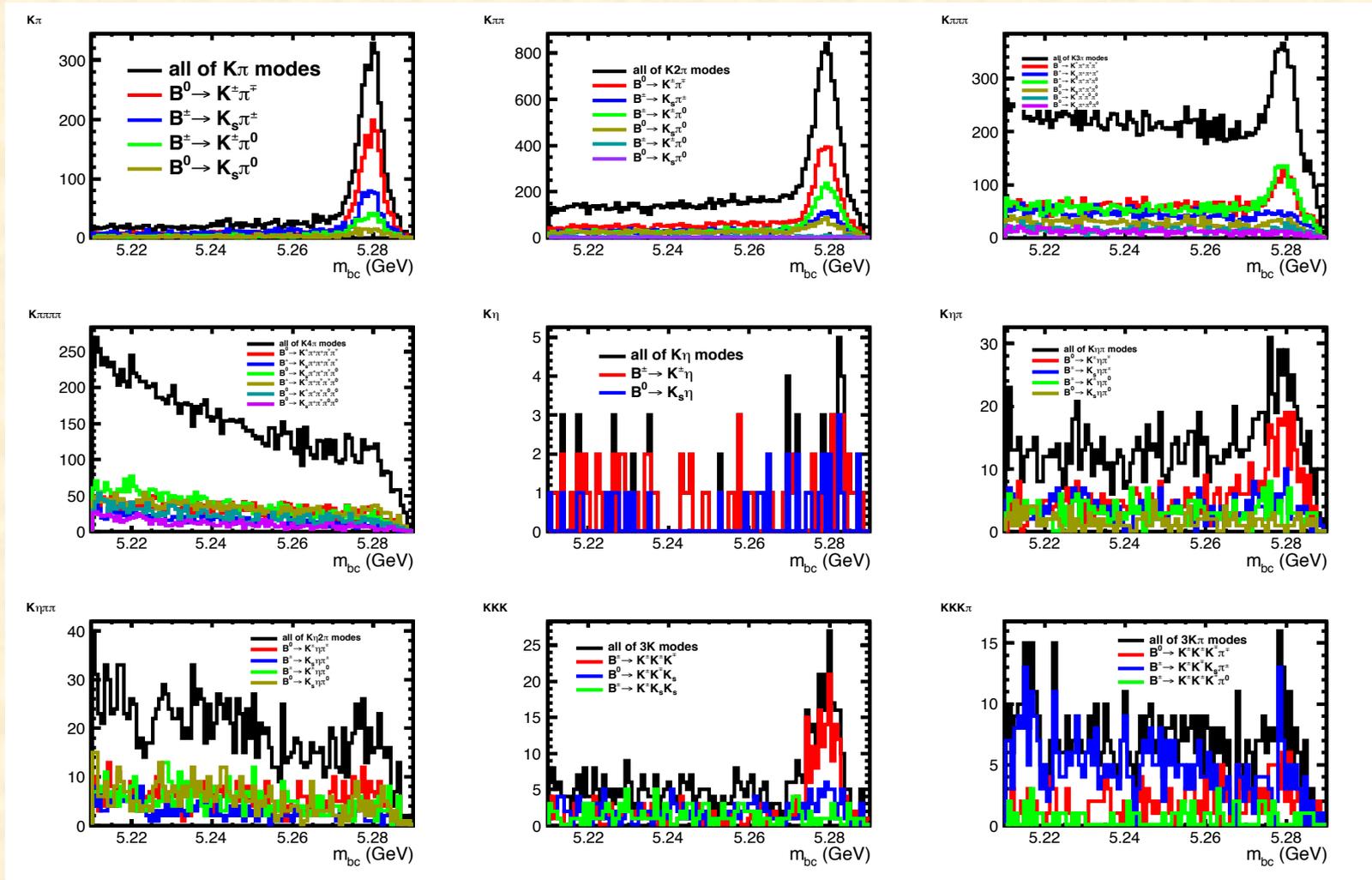
$\pi^0$ を含むモードは分解能が悪くなる

# Signalの $m_{bc}$ 分布(38モード)



- Best candidate selection前の $m_{bc}$ 分布

# 簡易的なBest Candidate Selection



- $\delta E$ 最小のモードを選別、no cutで2Mイベント  $\Rightarrow$   $\sim 0.5$ Mイベント (eff $\sim 0.21$ )

# 現時点での再構成モードのpurity

$K\pi$	73.8%	$K\pi\pi\pi^0$	42.5%	$K\pi\pi\pi^0\pi^0$	20.5%	$K\eta\pi\pi^0$	10.0%
$K_S\pi$	42.0%	$K_S\pi\pi\pi^0$	28.8%	$K_S\pi\pi\pi^0\pi^0$	12.1%	$K_S\eta\pi\pi^0$	7.7%
$K\pi^0$	65.1%	$K\pi\pi\pi\pi$	12.6%	$K\eta$	0.0%	$KKK$	70.7%
$K_S\pi^0$	36.2%	$K_S\pi\pi\pi\pi$	8.1%	$K_S\eta$	7.7%	$KKK_S$	25.4%
$K\pi\pi$	50.7%	$K_S\pi\pi\pi\pi^0$	14.2%	$K\eta\pi$	38.0%	$KK_SK_S$	5.1%
$K_S\pi\pi$	36.6%	$K\pi\pi\pi\pi^0$	26.1%	$K_S\eta\pi$	19.8%	$KKK\pi$	30.4%
$K\pi\pi^0$	66.3%	$K\pi^0\pi^0$	20.1%	$K\eta\pi^0$	19.4%	$KKK_S\pi$	15.3%
$K_S\pi\pi^0$	40.6%	$K_S\pi^0\pi^0$	11.7%	$K_S\eta\pi^0$	11.4%	$KKK\pi^0$	21.9%
$K\pi\pi\pi$	22.8%	$K\pi\pi^0\pi^0$	20.9%	$K\eta\pi\pi$	12.9%		
$K_S\pi\pi\pi$	12.0%	$K_S\pi\pi^0\pi^0$	10.5%	$K_S\eta\pi\pi$	8.4%		

- 各再構成モードのpurity (正しかった再構成モードの割合)
- $\pi$ が多いモードや $\eta$ を含むモードは特に低い  
 ➔ 選別条件を改善する必要あり

# まとめと今後の予定

- $B \rightarrow X_s \gamma$  は 2HDM などの新物理に感度のある解析が可能
- $A_{CP}$  の理論的不定性はアイソスピン非対称度を取ることでキャンセル、理論のエラーの少ない解析 ( $\delta A_{CP}$  測定)
- $\delta A_{CP}$  は Wilson 係数 ( $C_8/C_7$ ) の虚部に比例するので、0 でない値が得られれば何か新物理がある
  
- まずは先行研究の再現までをがんばる
- BG の再構成とカット
  - ニューラルネットを利用した  $qq$  BG の排除と、D veto による **peaking BG** ( $B \rightarrow D\rho$  など) の排除が先行研究から予想される焦点か
- purity を高くする選別方法の模索
  - これにもニューラルネットを使う？
- 分布の理解、PDF の作成
- フィット、計算、誤差の見積もり



バックアップ

# peaking BGの例

- $B \rightarrow D\rho$ は信号領域にピークを持ち、系統誤差として効いてくる
- 特にDを狙い撃ちして排除する必要がある

