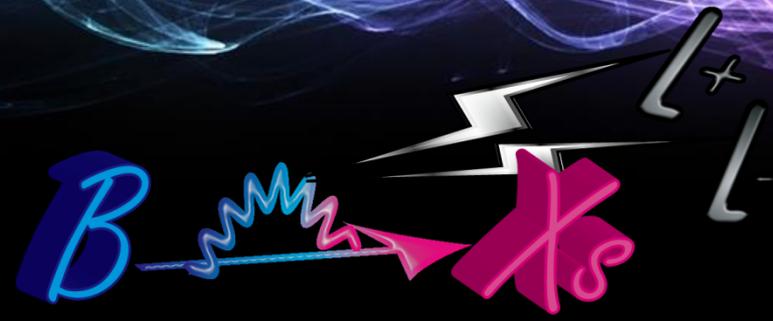




イントロダクション
と
シグナルMC解析入門



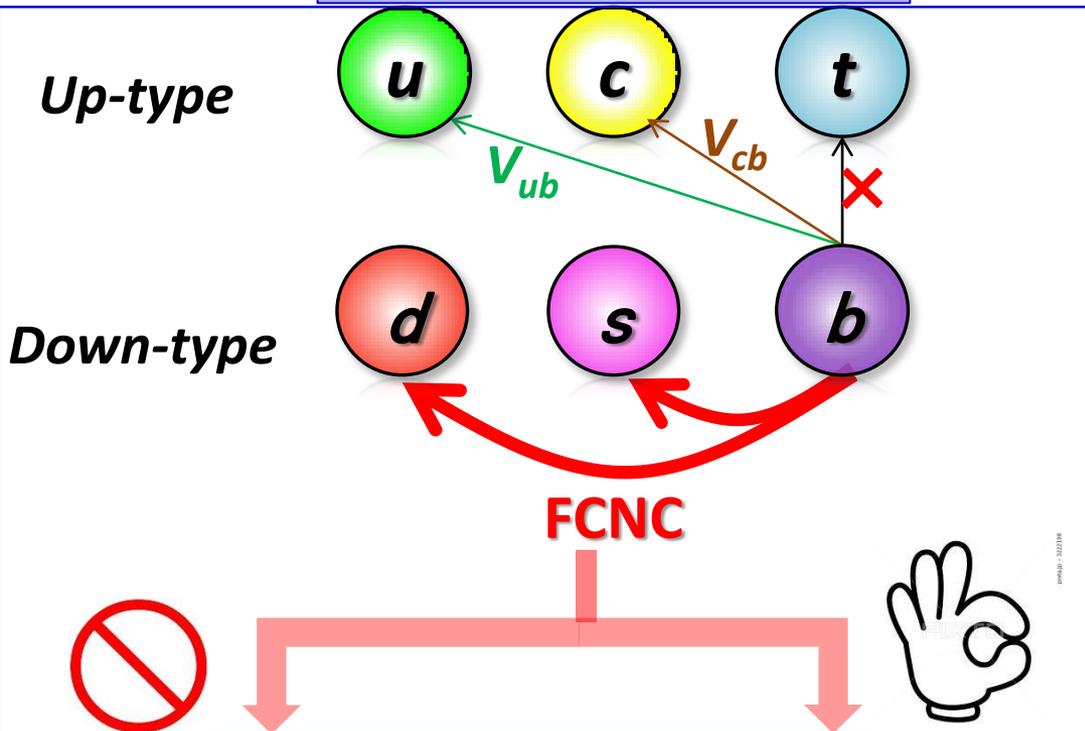
Belle実験におけるB中間子のXsll崩壊 事象を用いた崩壊分岐比の測定



2013.5.30 高エネルギー春の学校
東北大学 加藤恵里子

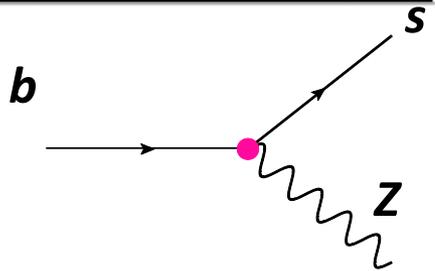
Flavor Changing Neutral Current(FCNC) ²

標準模型でのクォーク反応

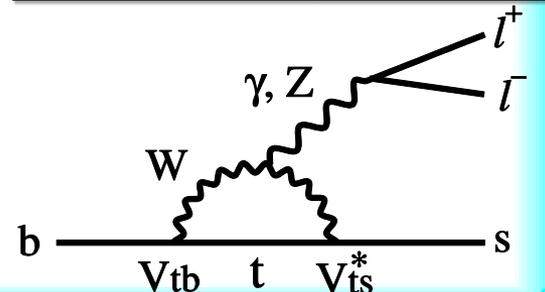


- フレーバー変える中性カレント
- 標準模型においてループを介して反応する。
 - ループに新粒子回る可能性あるため新物理に感度あり。

ツリーダイアグラム

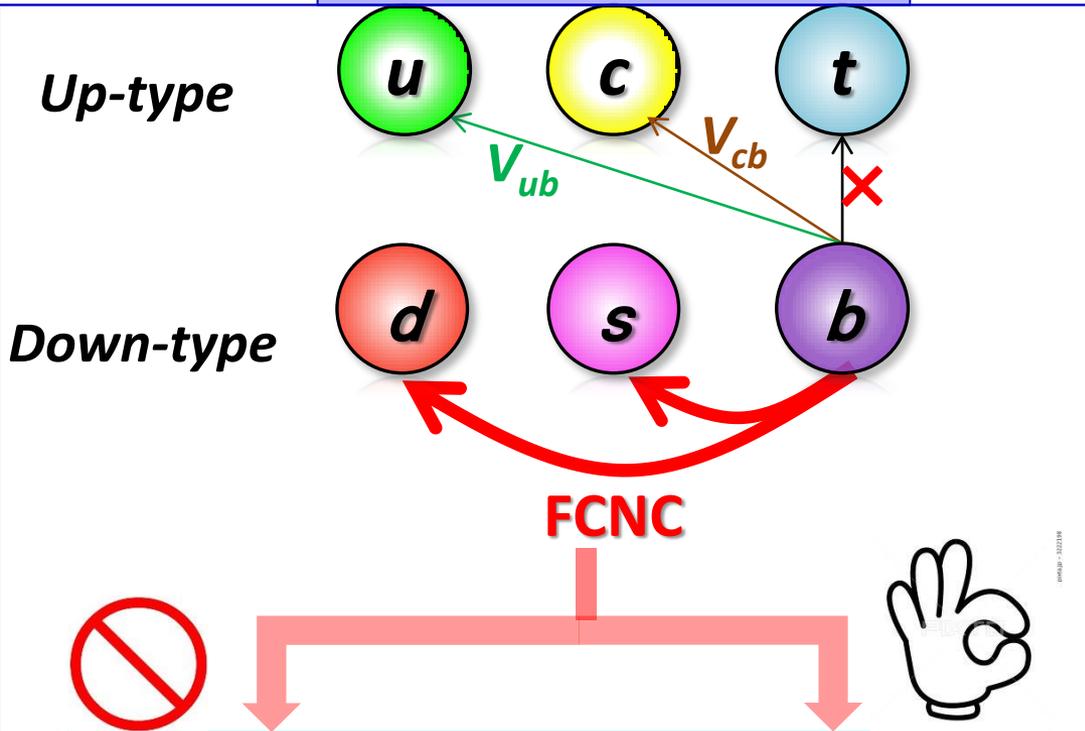


ペンギンダイアグラム



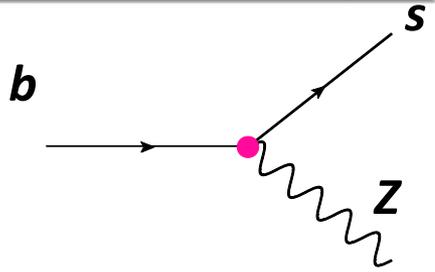
Flavor Changing Neutral Current(FCNC) ³

標準模型でのクォーク反応

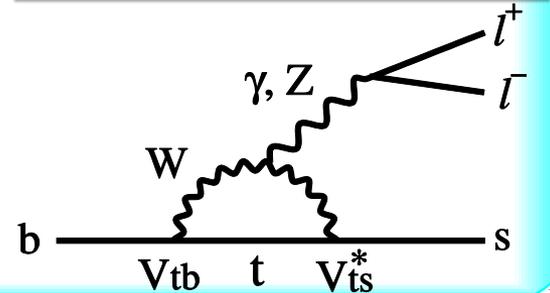


- フレーバー変える中性カレント
- 標準模型においてループを介して反応する。
 - ループに新粒子回る可能性あるため新物理に感度あり。

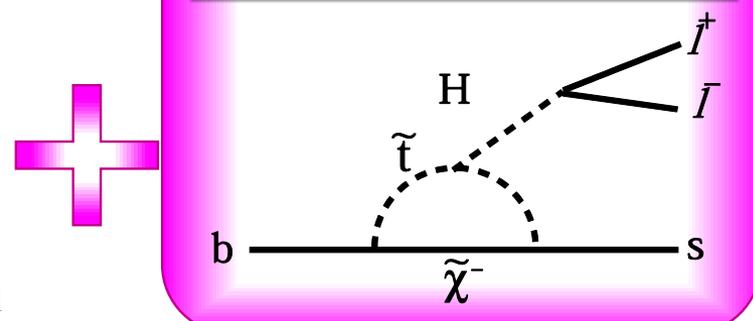
ツリーダイアグラム



ペンギンダイアグラム



新物理ダイアグラム

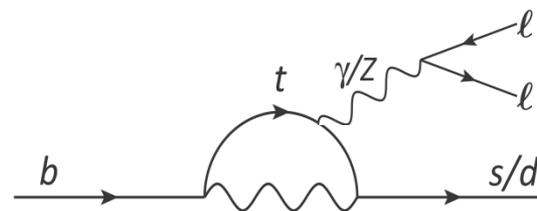
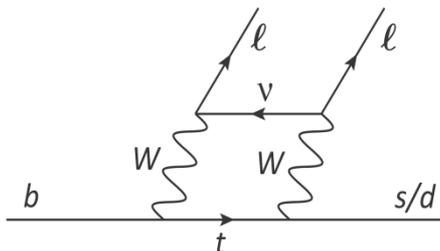
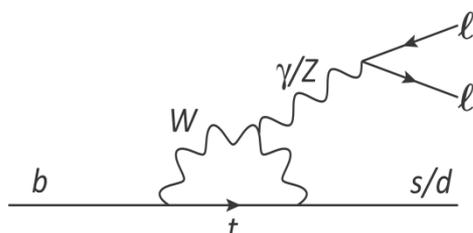
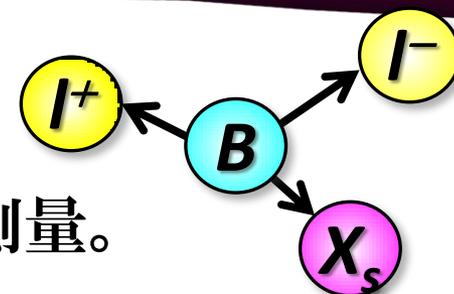


b→sll 特徴

■ b→sll 崩壊事象

- FCNC反応+3体崩壊
- 様々なダイアグラムの寄与。多彩な観測量。

➤ 新物理を広く探ることができる。



<豊富な観測量>:レプトン対不変質量2乗(q^2)依存性を見れる。

- 本研究
- 崩壊分岐比、崩壊分岐比の q^2 依存性($\frac{d\Gamma}{dq^2}$) ←まずこれに取り掛かる
 - CP非対称性(A_{cp})、アイソスピンの破れ(Δ_{0+})
 - レプトン普遍性
 - 前後非対称性(A_{FB})

➤ 標準模型の予言とのズレをみて新物理を探る。

$b \rightarrow sll$ 崩壊分岐比測定方法

■ exclusive再構成法(特定のモード測定: $K/K^* ll$)

– (形状因子による)理論の不定性、 $\sim 30\%$

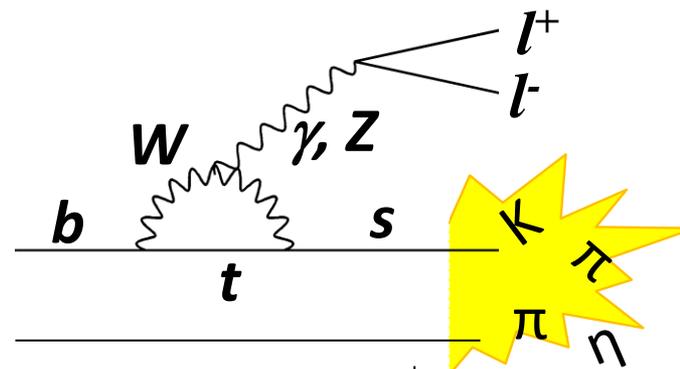
$$- \text{Br}(B \rightarrow Kll) = (0.35 \pm 0.11(f) \pm 0.04(\mu_b) \pm 0.02(m_{t,\text{pole}}) \pm 0.0005(m_c/m_b)) \times 10^{-6}$$

■ Fully inclusive再構成法

– X_s を見ずに2つのレプトンだけ測定

– 理論誤差小。背景事象が膨大なため困難。

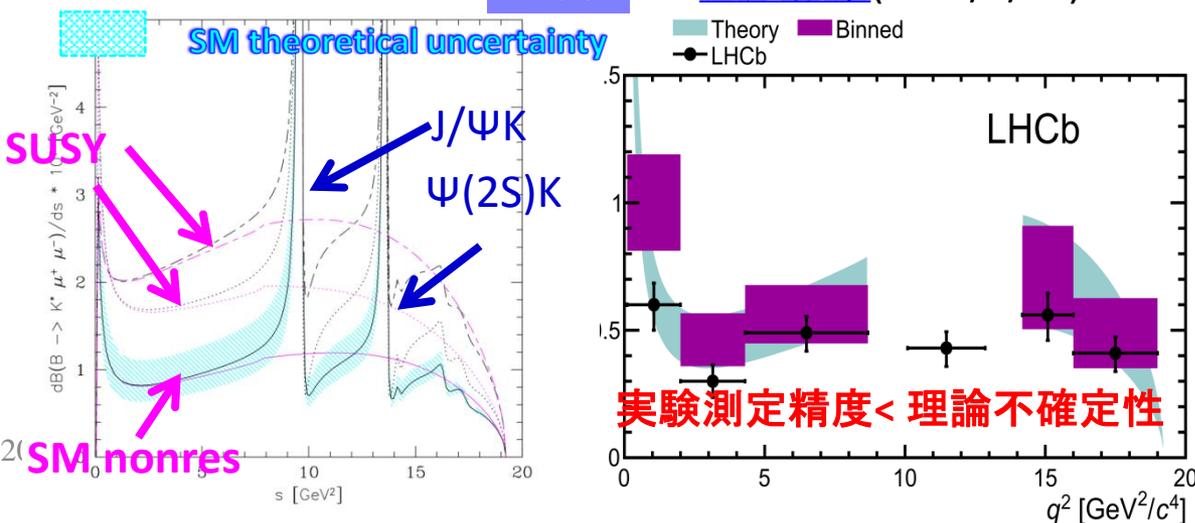
➤ Semi-inclusive再構成法を行う。



理論計算

$K^* \mu \mu$

測定結果(2013/4/23)



理論誤差小

理論誤差大

semi-inclusive再構成法とは

■ Semi-inclusive再構成法

- ストレンジネス(S)=1のモードをなるべく多く集める。
- π^0 を含むモードが多数あるため、LHCでは困難。



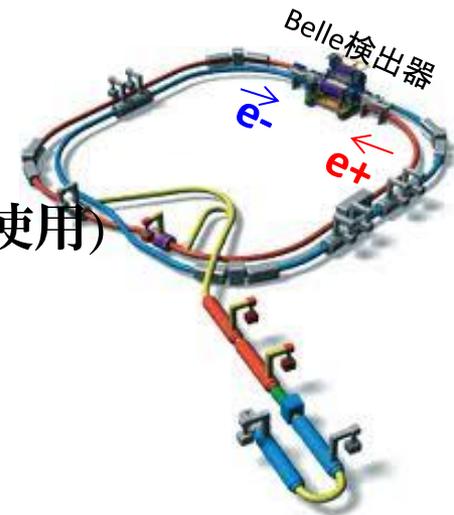
手法	ハドロン化不定性	背景事象との分離
Exclusive	△	◎
Fully inclusive	◎	△
Semi-inclusive	○	○

Belle 実験

■ KEKB加速器(1999-2010)

- 重心系エネルギー：主に10.58 GeV Y(4S) → BB
- 世界最高のルミノシティ
- (積分)：1040 fb⁻¹(本解析ではY(4S) 711fb⁻¹のデータを使用)
- (瞬間)： $2.11 \times 10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

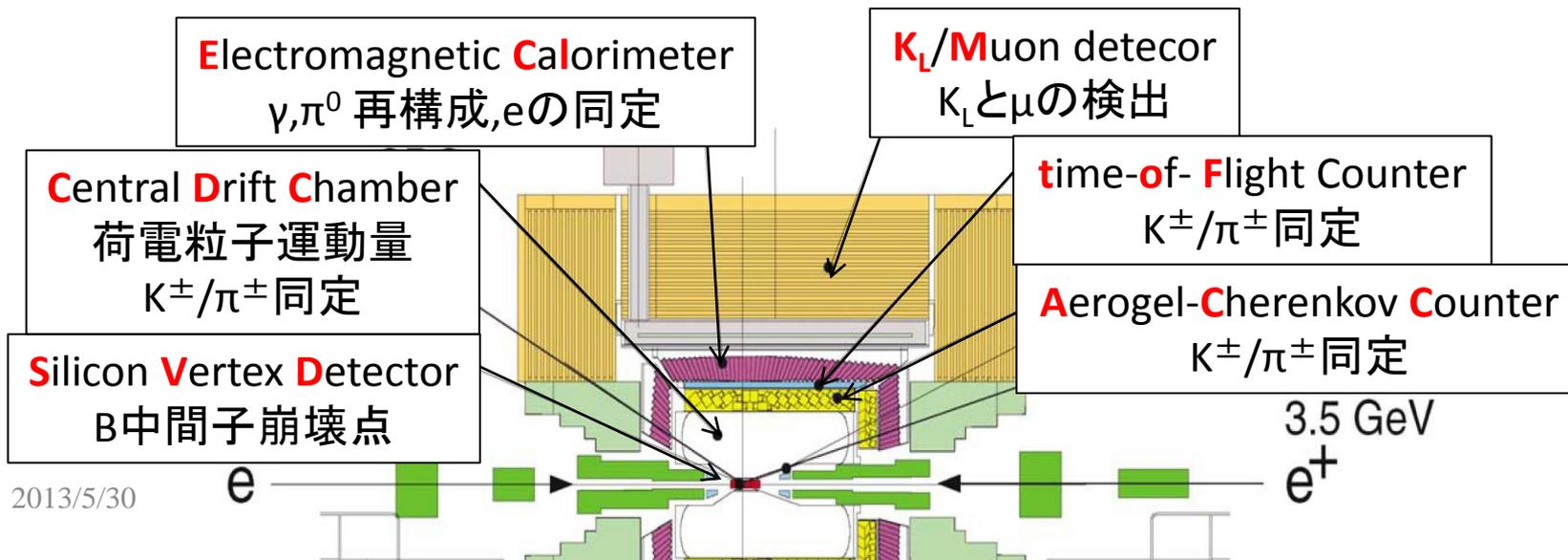
<KEKB加速器>



■ Belle 検出器

- 高い粒子識別能力を持った汎用検出器

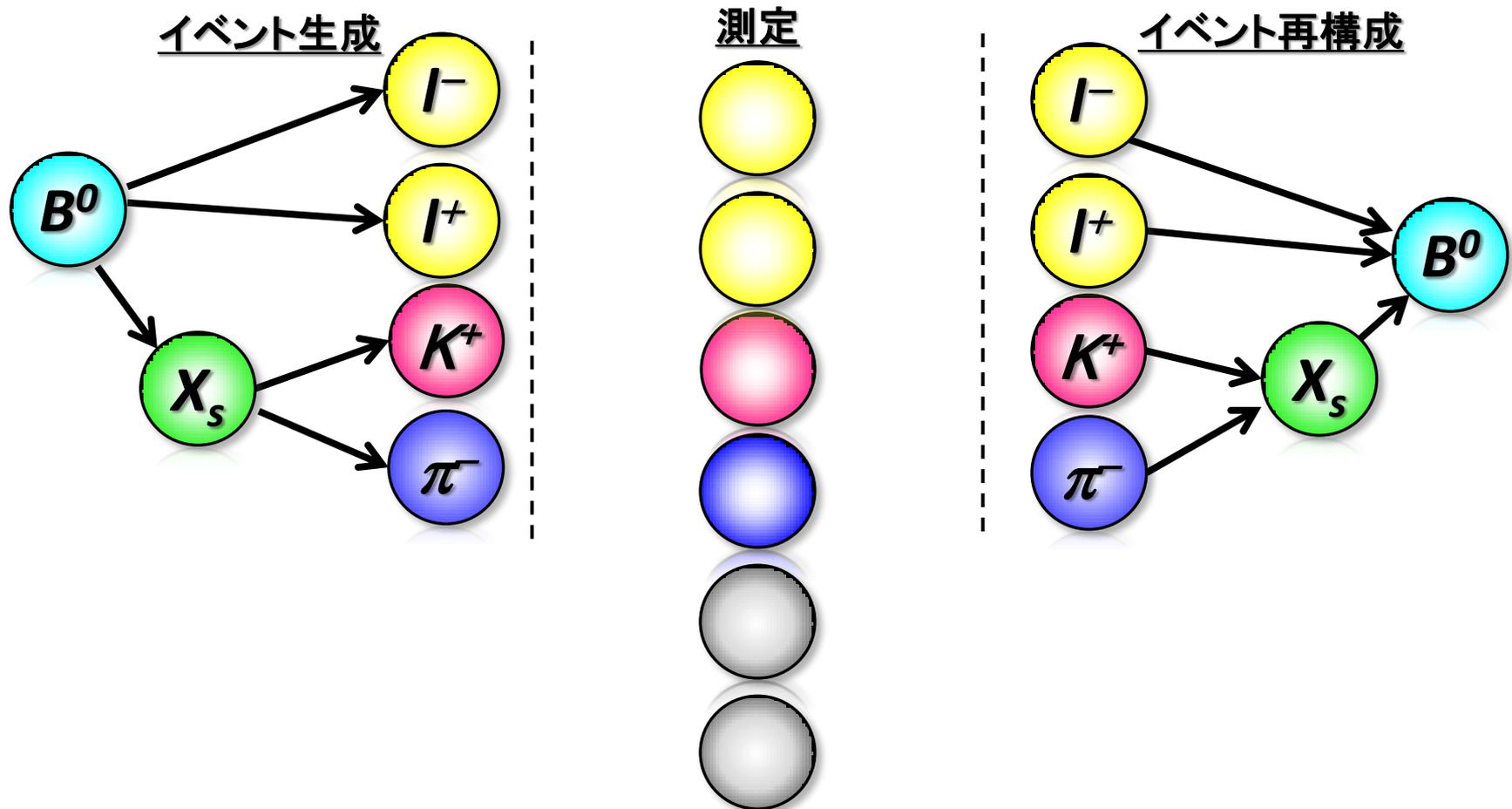
<Belle 検出器>



解析手順の概要(イベントの再構成)

■ なるべく多くの $S=1$ のモード(総称 X_S)を集める。

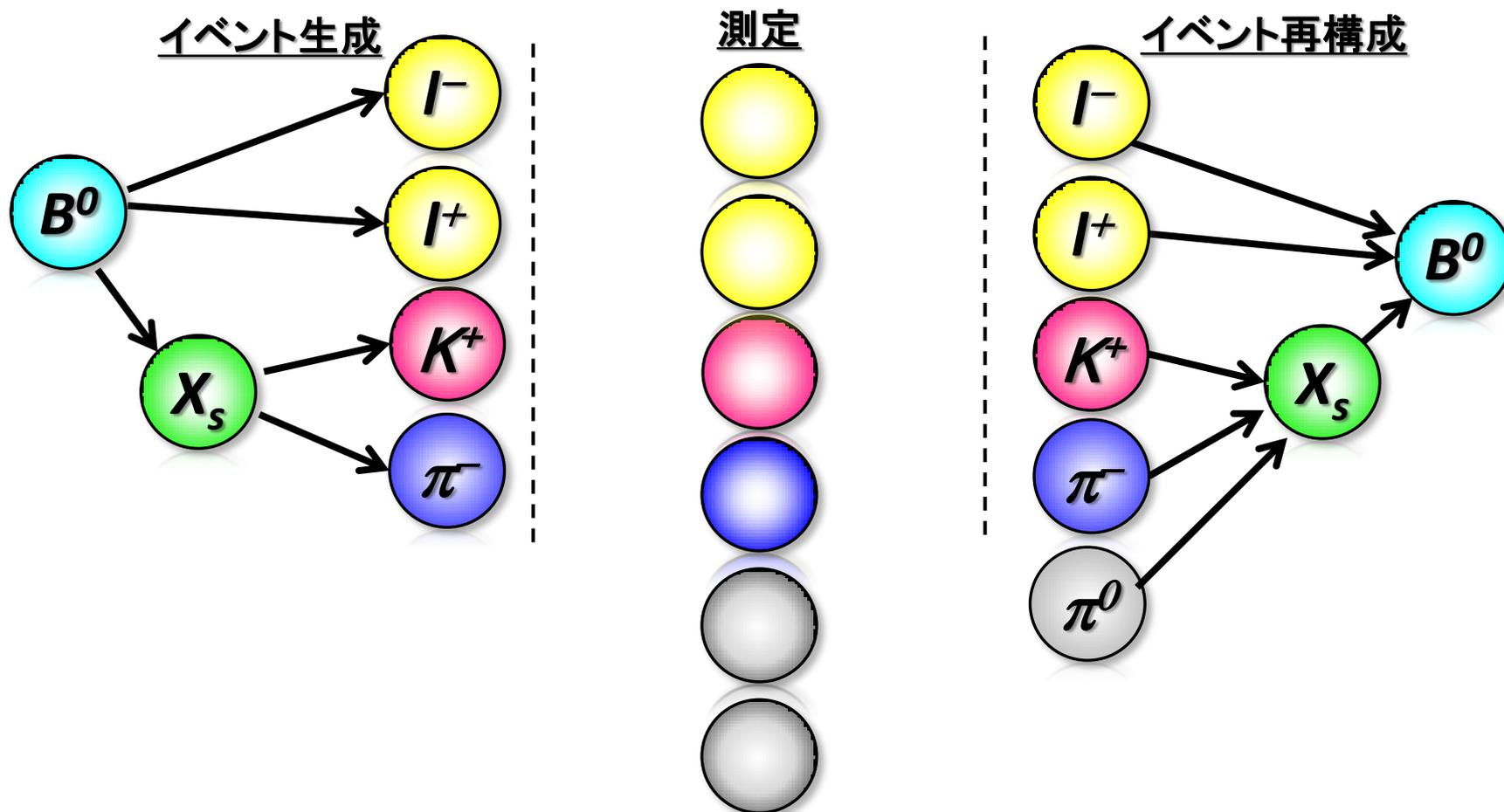
– $K_{\text{see}}, K^{\pm}\pi^0 e e, K^{\pm}\pi^{\pm}\pi^{\pm} e e, K_S \eta$ etc...



解析手順の概要(イベントの再構成)

■ なるべく多くの $S=1$ のモード(総称 X_s)を集める。

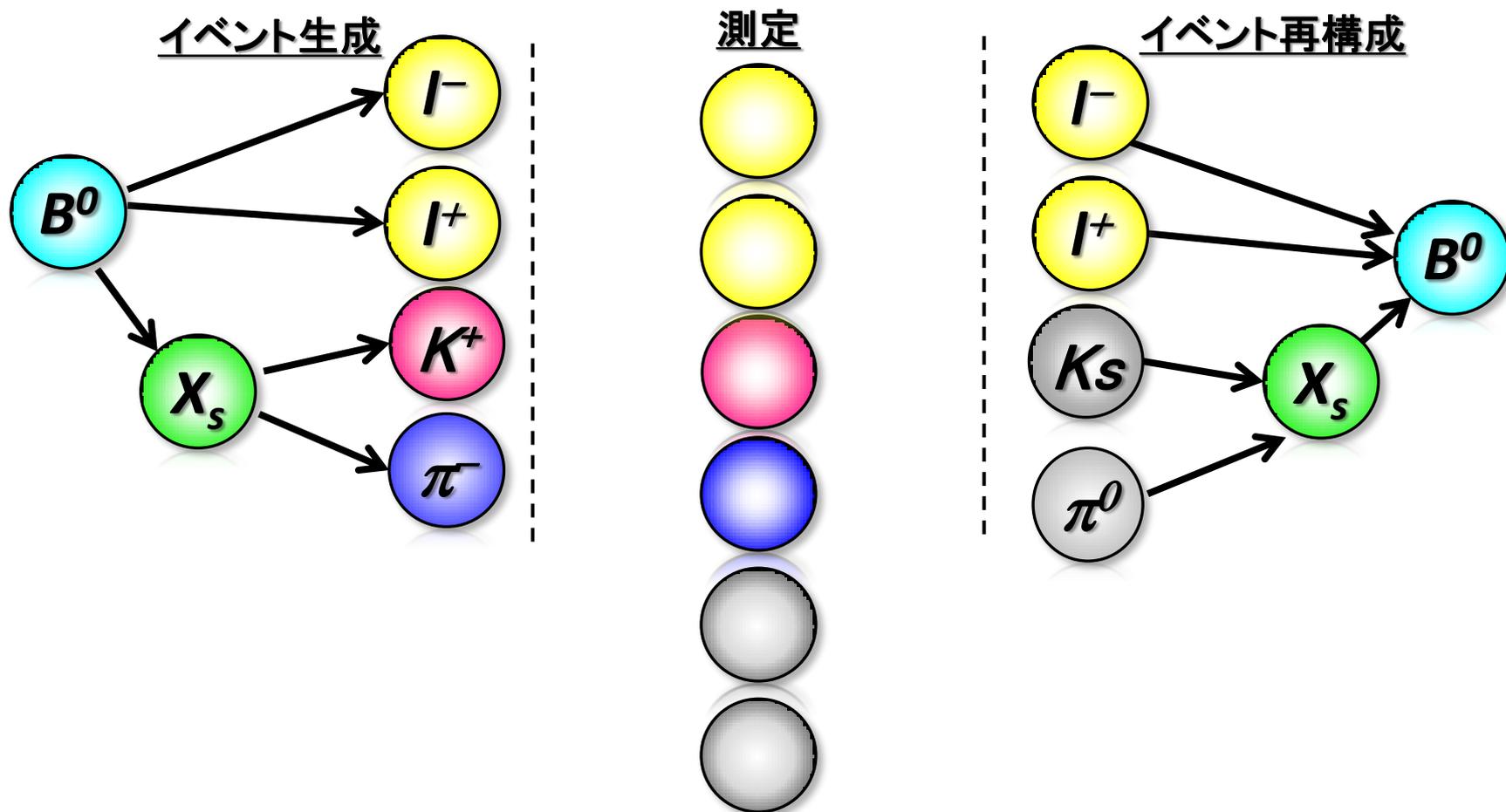
– K_{see} , $K^\pm\pi^0ee$, $K^\pm\pi^\pm\pi^\pm ee$, $K_s\eta$ etc...



解析手順の概要(イベントの再構成)

■ なるべく多くの $S=1$ のモード(総称 X_s)を集める。

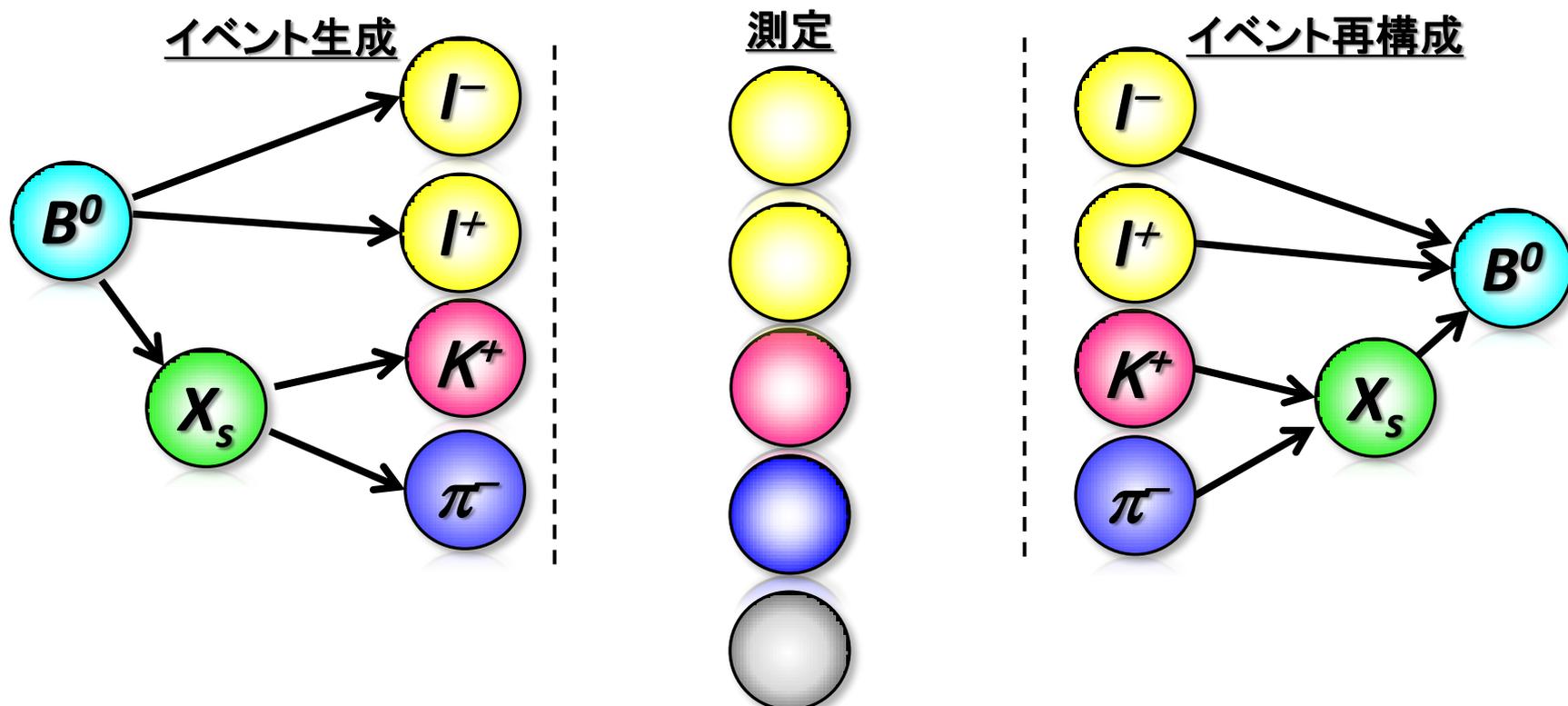
– $K_{\text{see}}, K^{\pm}\pi^0 e e, K^{\pm}\pi^{\pm}\pi^{\pm} e e, K_s \eta$ etc...



解析手順の概要(イベントの再構成)

■ なるべく多くの $S=1$ のモード(総称 X_s)を集める。

– $K_{\text{see}}, K^{\pm}\pi^0\text{ee}, K^{\pm}\pi^{\pm}\pi^{\pm}\text{ee}, K_s\eta$ etc...

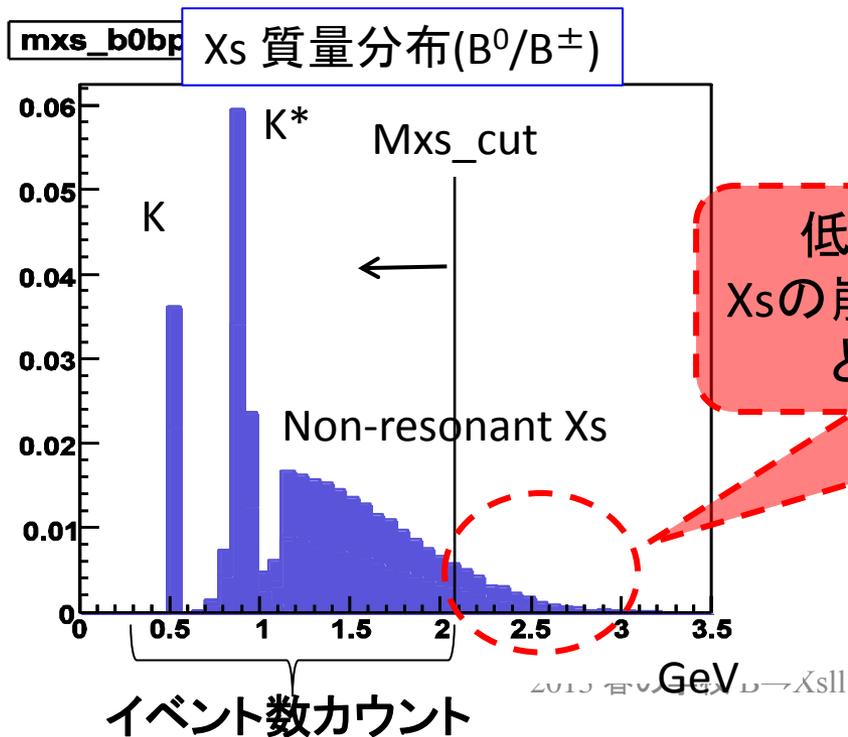


X_s の崩壊モードの全ての可能な組み合わせについて、 X_s を再構成。
さらにB中間子を再構成し、最後に一番Bらしいイベントを選択。
これで $B \rightarrow X_s$ 候補が捕まった。

解析手順の概要

1. $B \rightarrow X_{sll}$ 候補イベントを収集(B再構成、最適B候補選出、背景事象分離)
 2. M_{Xs_cut} 以下のイベント数を数える。
 3. X_s 質量分布を外挿。
 4. X_s 全領域質量のイベント数を見積もる。
- $B \rightarrow X_{sll}$ 崩壊分岐比が得られた。

系統誤差が大きくなる



低Pのレプトンのバックグラウンド↑
 X_s の崩壊先のmultiplicity↑ ∴ efficiency↓
 どうしてもカットされてしまう領域

過去の結果(semi-inclusive)

■ Babar

- $80 \text{ fb}^{-1} \text{ K}\pi(n=0\sim 2) \text{ } M_{X_s} < 1.8 \text{ GeV}/c^2$
- $\text{Br}(B \rightarrow X_{sll}) = (5.6 \pm 1.5(\text{stat}) \pm 0.6(\text{exp sys}) \pm 1.1(\text{model sys})) \times 10^{-6}$

■ Belle

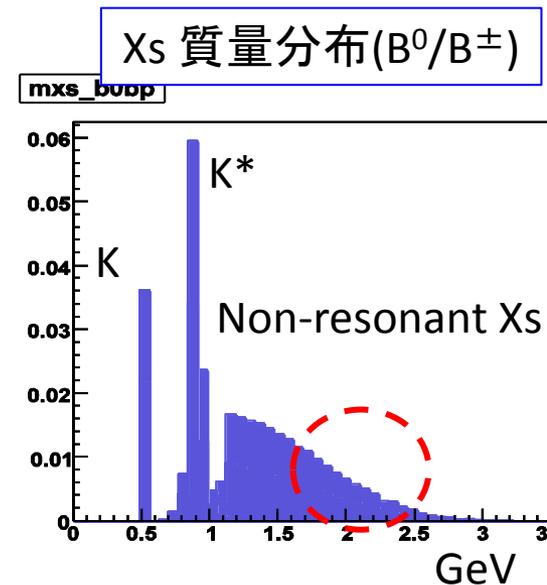
- Iwasaki $140 \text{ fb}^{-1} \text{ K}\pi(n=0\sim 4) \text{ } M_{X_s} < 2.0 \text{ GeV}/c^2$
- $\text{Br}(B \rightarrow X_{sll}) = (4.11 \pm 0.83(\text{stat}) + 0.85 - 0.81(\text{syst})) \times 10^{-6}$

➤ 統計誤差と系統誤差共に抑えないといけない

■ 対策(本解析のポイント！)

- なるべく多くのモードを収集して、高い X_s 質量領域の分布の形の精度を上げる。(背景事象↑)
- M_{X_s} のカット値をあげる。(背景事象↑)
- 統計誤差が悪くなる。

➤ 統計誤差⊕系統誤差を最小化するように最適化する



解析スタート!

解析モードの選択

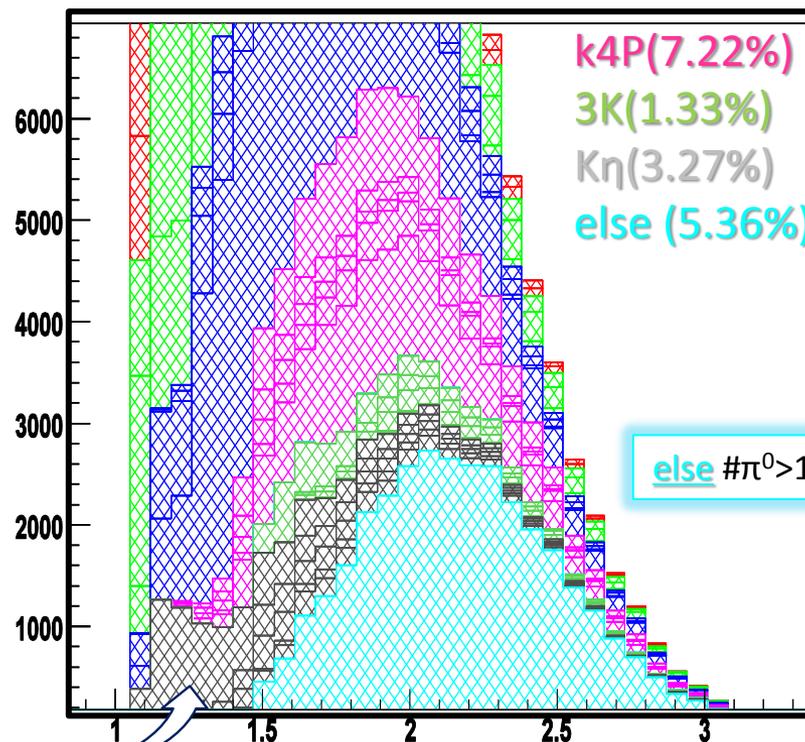
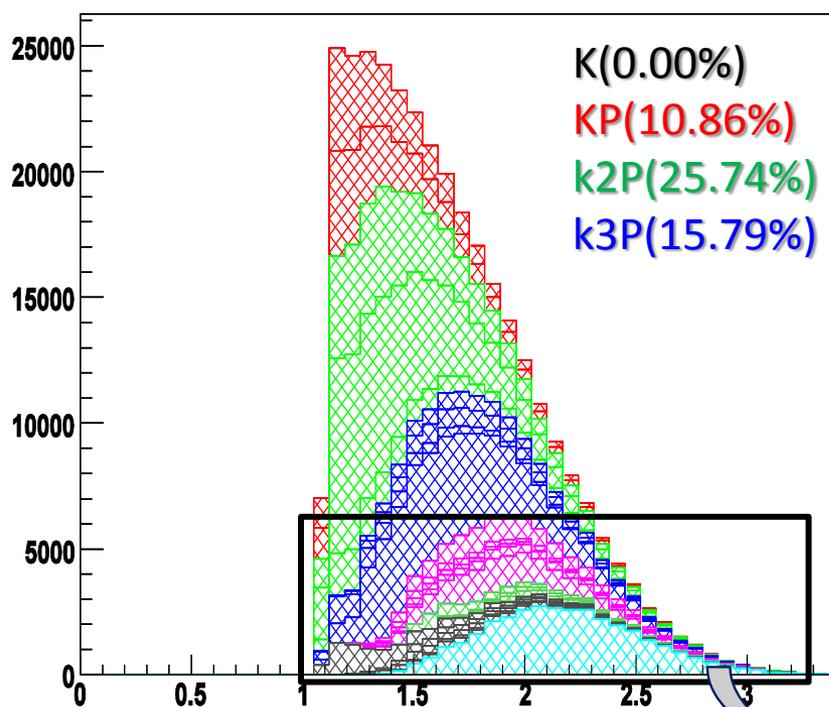
■ MC(JETSET)でnon-resonant Xsの崩壊先を見る

- 主に、 $Kn\pi$ ($n=0\sim 4$)、 $K\eta$ 、 $3K$ ($\eta \rightarrow \gamma\gamma$)
- π^0 2個以上のモードは使わない。

➤ Non-res. Xsの終状態の54%をカバーできる(K_L を含めれば79%)

Non-resonant Xs 質量分布

Xs mass for signal mode



else # $\pi^0 > 1$: 4.20%

解析モードの選択

■ 過去の結果

- Babar: $K_n\pi$ ($n=0\sim 2$), 10終状態
- Belle : $K_n\pi$ ($n=0\sim 4$), 18終状態

■ 本解析: 22終状態をトライ(さらに追加の可能性もあり)

SG mode	$B^0 / \overline{B^0}$		B^\pm	
K		K_S^0	K^\pm	
$K\pi$	$K^\pm \pi^\mp$	$K_S^0 \pi^0$	$K^\pm \pi^0$	$K_S^0 \pi^\mp$
$K2\pi$	$K^\pm \pi^\mp \pi^0$	$K_S^0 \pi^\pm \pi^\mp$	$K^\pm \pi^\mp \pi^\mp$	$K_S^0 \pi^\pm \pi^0$
$K3\pi$	$K^\pm \pi^\mp \pi^\pm \pi^\mp$	$K_S^0 \pi^\pm \pi^\mp \pi^0$	$K^\pm \pi^\mp \pi^\pm \pi^0$	$K_S^0 \pi^\pm \pi^\mp \pi^\mp$
$K4\pi$	$K^+ \pi^\mp \pi^\pm \pi^\mp \pi^0$	$K_S^0 \pi^\mp \pi^\pm \pi^\mp \pi^\pm$	$K^+ \pi^\mp \pi^\pm \pi^\mp \pi^\pm$	$K_S^0 \pi^\mp \pi^\pm \pi^\mp \pi^0$
$K\eta$		$K_S^0 \eta$	$K^+ \eta$	
3K		$K_S^0 K^+ K^-$	$K^+ K^- K^+$	

粒子選択

■ 荷電粒子($e^\pm \mu^\pm K^\pm \pi^\pm$)

- 衝突点付近から来ていること
- $P_e^{\text{lab}} > 0.40 \text{ GeV}$, $P_\mu^{\text{lab}} > 0.80 \text{ GeV}$
- レプトンと同じ方向(50mrad)に飛んでいる γ は bremsstrahlung γ とみなす。
- 粒子識別

■ $K_S(\rightarrow \pi^+ \pi^-)$ 再構成

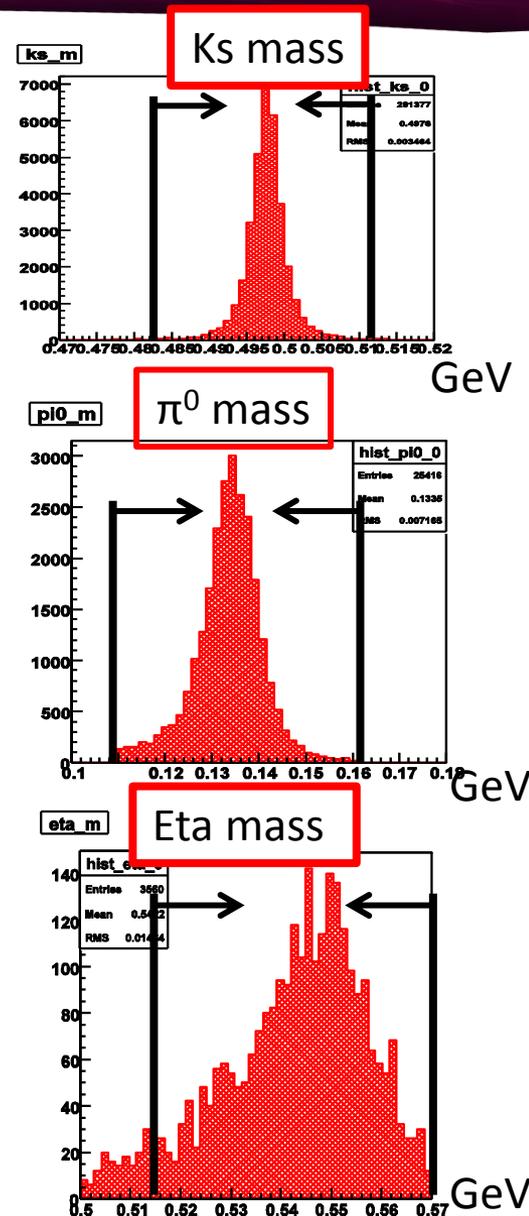
- 衝突点から離れたバーテックス
- 2つの飛跡の間の距離
- 再構成した K_S の運動量の向きと衝突点の方向
- $|M(\pi\pi) - M(K_S)| < 15 \text{ MeV}$

■ $\pi^0(\rightarrow \gamma\gamma)$ 構成

- $E_\gamma^{\text{lab}} > 50 \text{ MeV}$, $E_{\pi^0}^{\text{lab}} > 400 \text{ MeV}$
- $|M(\gamma\gamma) - M(\pi^0)| < 10 \text{ MeV}$

■ $\eta(\rightarrow \gamma\gamma)$ 再構成

- $E_\gamma^{\text{min}} > 50 \text{ MeV}/c^2$, $0.515 \text{ GeV}/c^2 < M(\gamma\gamma) < 0.570 \text{ GeV}/c^2$
- Helicity angle cut: $|\cos\theta_\eta^{\text{hel}}| < 0.9$



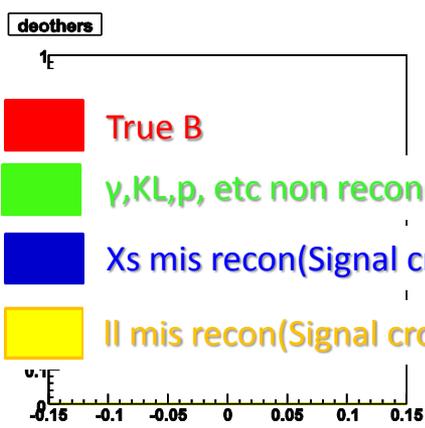
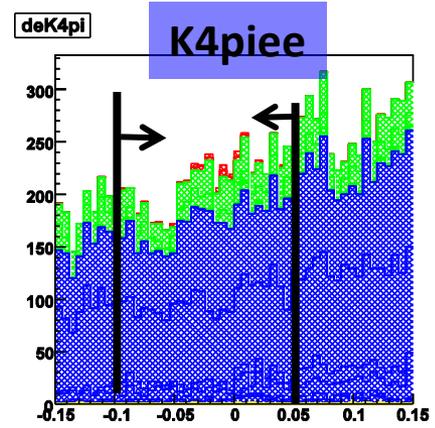
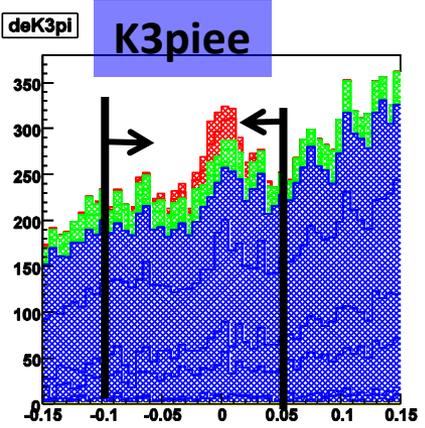
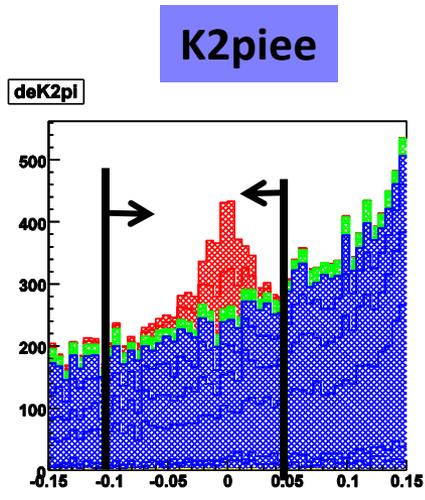
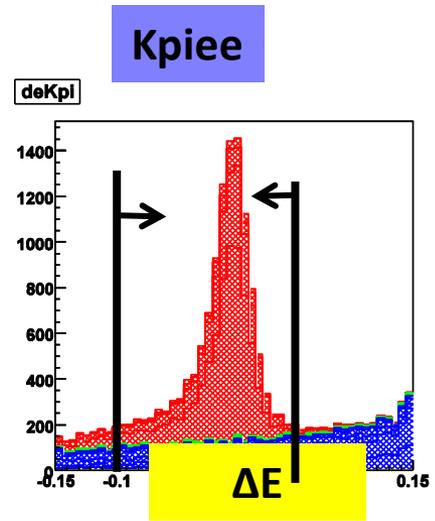
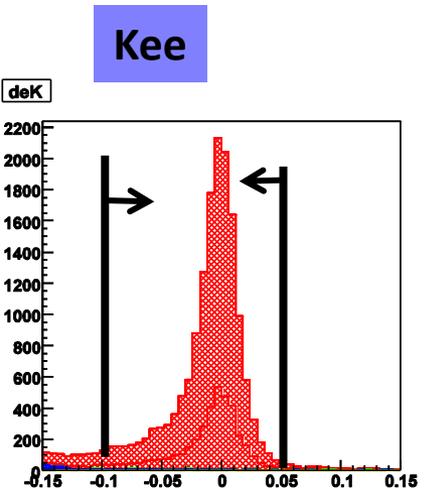
B 中間子再構成(preliminary)

Energy difference

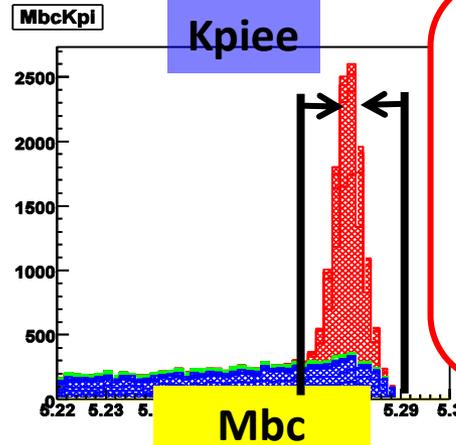
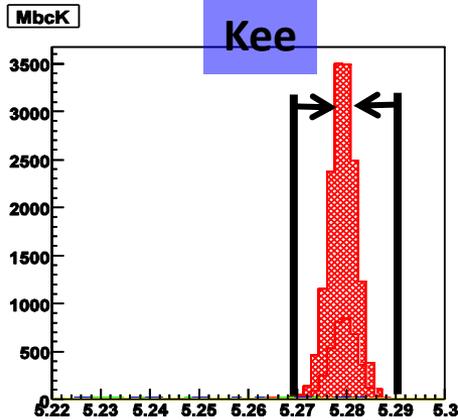
$$\Delta E \equiv E_{recB}^* - E_{beam}^*$$

信号0となる。

E_{beam} : ビームエネルギー@ビーム重心系



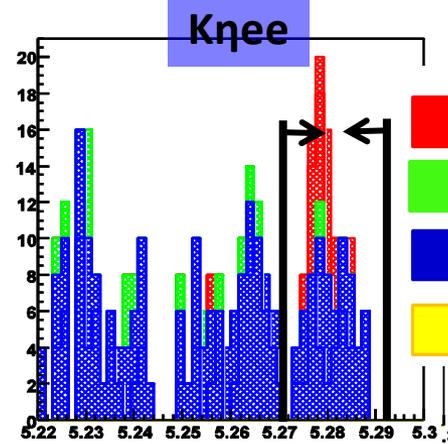
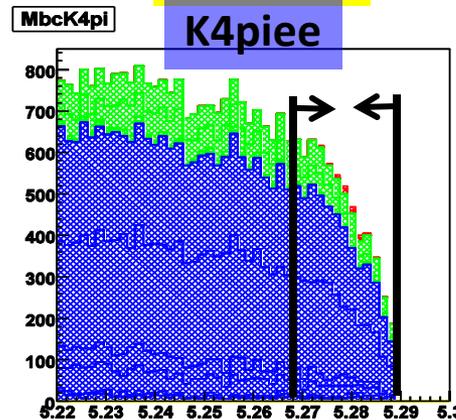
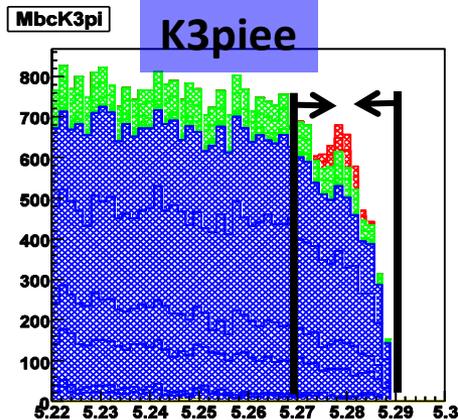
B 中間子再構成 (preliminary)



Beam constrained mass (M_{bc})

$$M_{bc} \equiv \sqrt{E_{beam}^*{}^2 - P_{recB}^*{}^2}$$

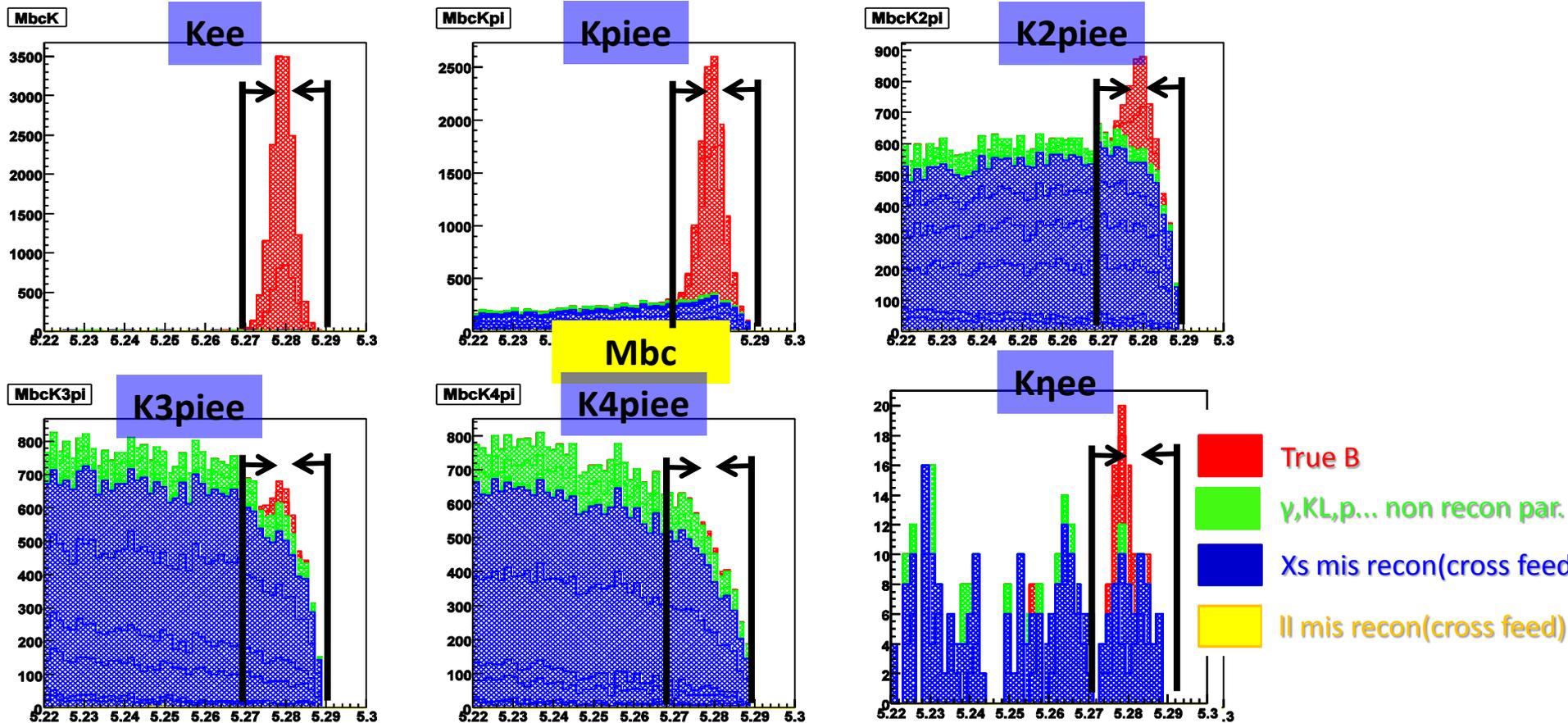
信号: Bの質量



- True B
- γ, KL, p, \dots non recon par.
- Xs mis recon (cross feed)
- ll mis recon (cross feed)

	K	kpi	k2pi	k3pi	k4pi
Efficiency	29.74%	6.36%	2.37%	1.03%	0.91%
Purity	99.12%	75.31%	17.37%	5.45%	1.419%

B 中間子再構成 (preliminary)



	K	kpi	k2pi	k3pi	k4pi
Efficiency	29.74%	6.36%	2.37%	1.03%	0.91%
Purity	99.12%	75.31%	17.37%	5.45%	1.419%

まとめと今後

<まとめ>

- $b \rightarrow sll$ 崩壊事象は、新物理に感度がある。
- Semi-inclusive法を用いて $B \rightarrow Xsll$ を測定。
- 系統誤差及び統計誤差ともに抑えることが重要。
- $Kn\pi$ ($n=0\sim 4$)までで B の再構成ができた。
- $K\eta$ 、 $3K$ のモードもみていく

<今後>

- 粒子選択の最適化。
- 最適 B 候補選出の最適化。
- 信号と背景事象の分離の最適化。

BACK UP



event selection criteria (pre BG rej.)

- Charmonium veto
 - $-0.40 \text{ GeV}/c^2 < M_{e\bar{e}(\gamma)} - M_{J/\psi} < 0.15 \text{ GeV}/c^2$
 - $-0.25 \text{ GeV}/c^2 < M_{\mu\bar{\mu}} - M_{J/\psi} < 0.10 \text{ GeV}/c^2$
 - $-0.25 \text{ GeV}/c^2 < M_{e\bar{e}(\gamma)} - M_{\psi(2S)} < 0.10 \text{ GeV}/c^2$
 - $-0.15 \text{ GeV}/c^2 < M_{\mu\bar{\mu}} - M_{\psi(2S)} < 0.10 \text{ GeV}/c^2$
- γ -conv./ π^0 dalitz decay rejection
 - $M_{\ell+\ell-} > 0.2 \text{ GeV}/c^2$
- Minimum z distance
 - $|\Delta z_{\text{II}}| < 190 \text{ um}$
- B candidate signal box window
 - $5.27 < M_{bc} < 5.29 \text{ GeV}/c^2$
 - $-0.10 < \Delta E < 0.05 \text{ GeV}$ for electron mode
 - $-0.05 < \Delta E < 0.05 \text{ GeV}$ for muon mode
- Xs mass cut : $M_{X_s} < 2.1 \text{ GeV}$ (will be changed)
- Xsll vertex cut: C.L. of B vertex $< 10^{-18}$