

# $B \rightarrow K_S \eta \gamma$ を用いた時間依存 CPV 探索に向けて ～シグナル再構成の最適化～



東北大学 博士課程後期2年

中野浩至

2012年11月06日

## 目次

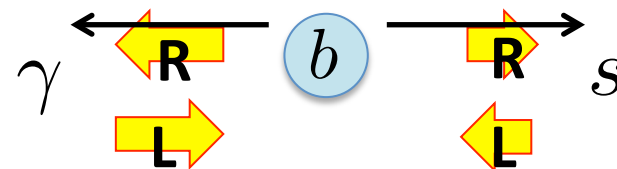
導入(研究の動機など)

モンテカルロシミュレーションによるイベント選別の決定と数の見積もり

今後の展望

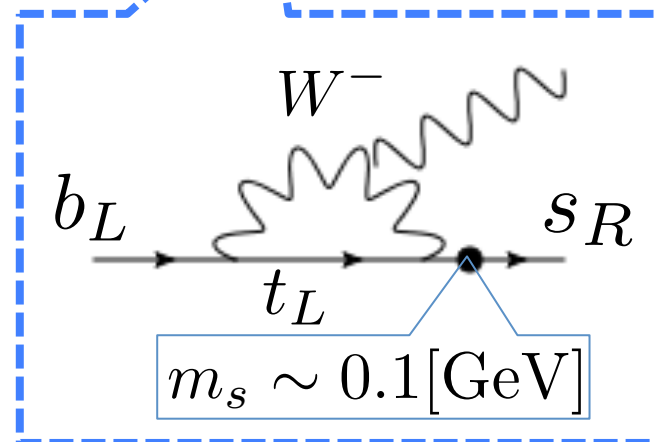
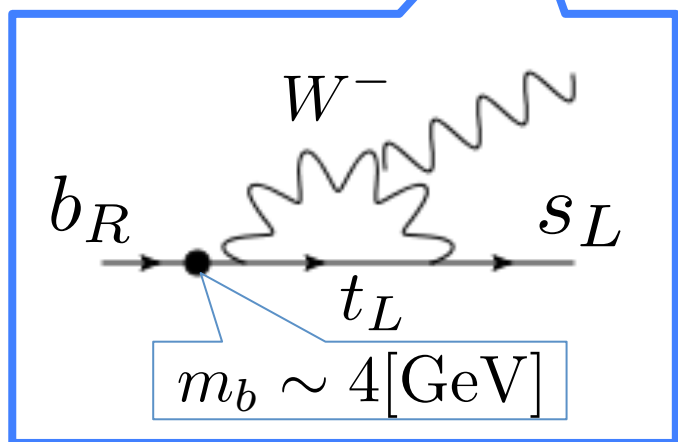
# b → s γ 崩壊の光子の偏極

b → s γ 崩壊で出る光子の偏極は、  
s が右巻きなら右巻き。s が左巻きなら左巻き。



$$b \rightarrow s \gamma = b_R \rightarrow \text{left-handed } \gamma + s_L + b_L \rightarrow \text{right-handed } \gamma + s_R$$

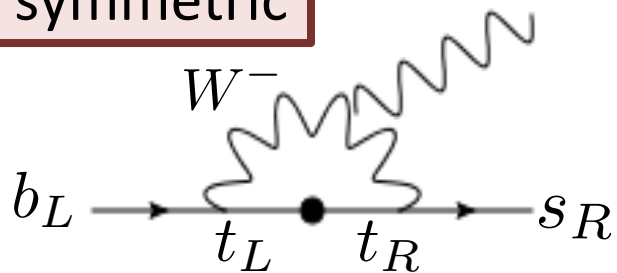
↑こっちが主



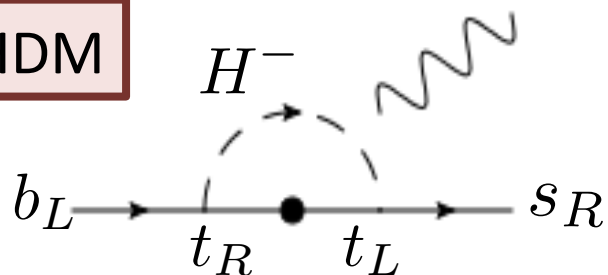
標準模型では、(4<sup>2</sup> : 0.1<sup>2</sup> の割合で) b → s γ の光子はほとんど左巻き  
( $\bar{b} \rightarrow \bar{s} \gamma$  の光子はほとんど右巻き)

# $b \rightarrow s \gamma$ 崩壊の光子の偏極

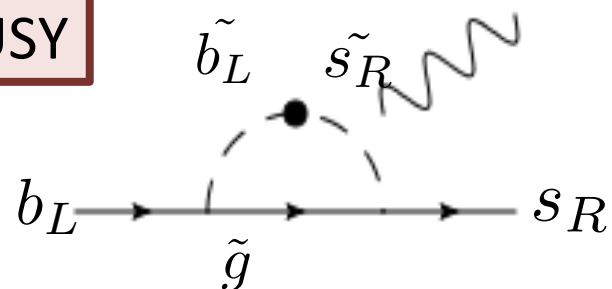
LR symmetric



2HDM

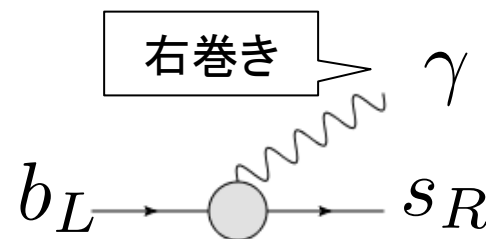


SUSY

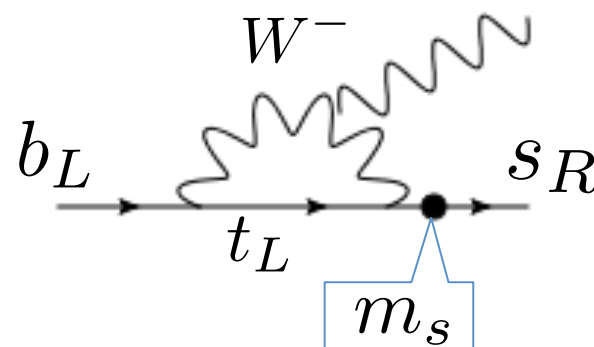


もし、新物理があると...

右巻き



こっちも増える↑

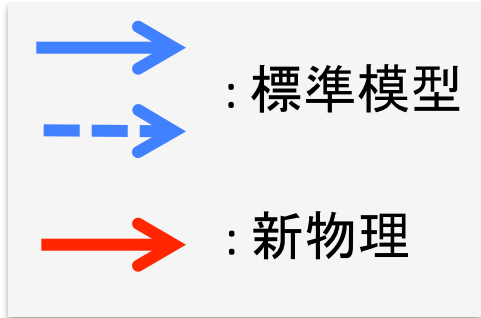
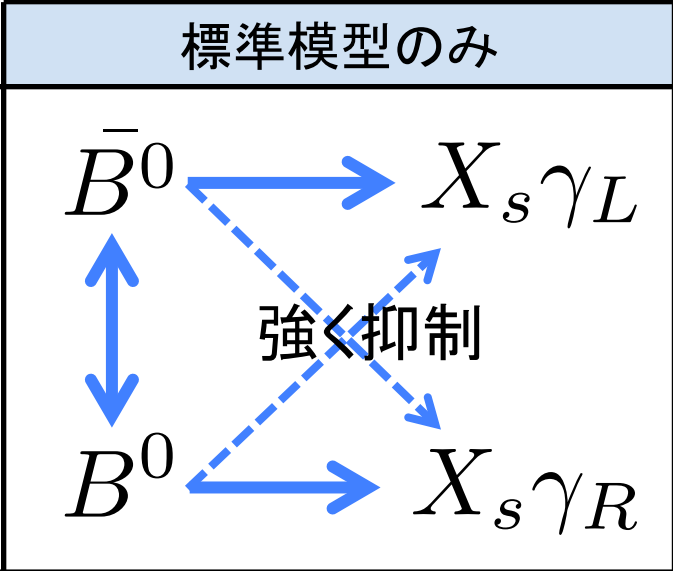
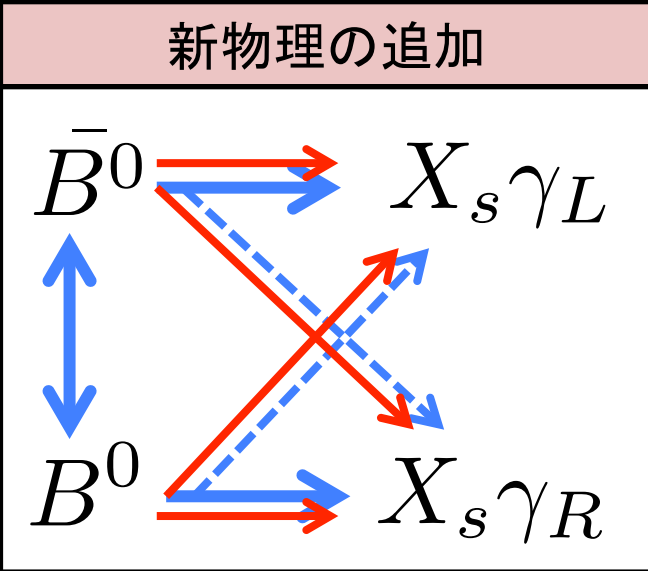


新物理によって右巻き光子の割合が増えるかも

→ 光子の偏極を調べれば新物理の探索ができる！

# 本研究の動機

時間依存のCP破れを見るには、終状態への経路が2つ必要。

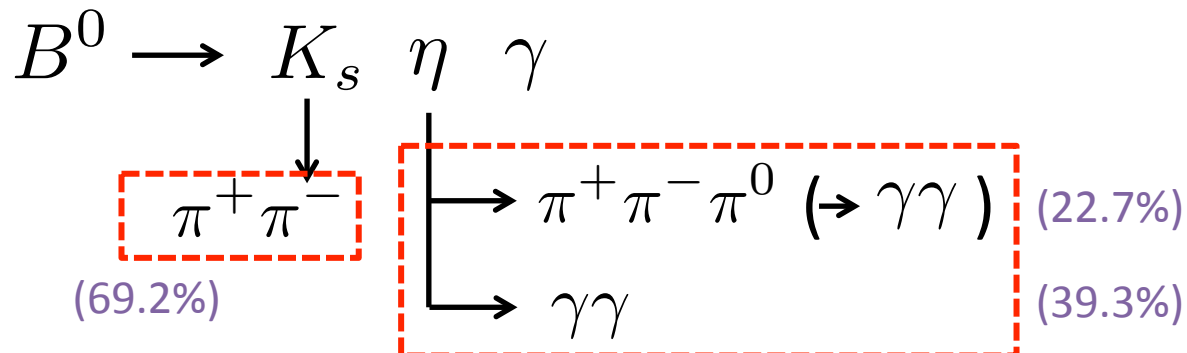
	標準模型のみ	新物理の追加
 <p>→ : 標準模型                  - - -&gt; : 標準模型                  → : 新物理</p>	 <p>強く抑制</p>	
$\frac{N_{\bar{B} \rightarrow \bar{f}}(t) - N_{B \rightarrow f}(t)}{N_{\bar{B} \rightarrow \bar{f}}(t) + N_{B \rightarrow f}(t)}$ $= \mathcal{S} \cdot \sin(\Delta mt)$	$\mathcal{S} \simeq 2 \frac{m_s}{m_b} \sin(2\phi_1)$ <p>すごく小さい</p> <p>arXiv:hep-ph/9704272v1</p>	<p><b>大きな <math>\mathcal{S}</math> が測定されるかもしれない</b></p>

標準模型では見られないはずのCP破れを見られたら新物理の効果！

## 崩壊モードと Belle でやる意義

$$B \rightarrow K_S \eta \gamma$$

使用する  
崩壊モード



## 各実験での状況



- BaBar 実験

arXiv:0805.1317v1

- 崩壊率は  $\mathcal{B}(B^0 \rightarrow \eta K^0 \gamma) = 7.1_{-2.0}^{+2.1} \pm 0.4 \times 10^{-6}$
- S の測定値は  $470 \times 10^6$  の BB ペアを用いて  $-0.18_{-0.46}^{+0.49} \pm 0.12$
- 統計誤差が支配的。

統計誤差      系統誤差



- LHCb 実験

- pp 衝突のため、 $\pi^0$ ,  $\eta$  由来の  $\gamma$  測定が困難。



- Belle 実験

- BB ペアのデータは  $770 \times 10^6$  と BaBar の 1.6 倍の統計。
- まだ1度も S の測定は行われていない。今回が初！

## 解析の手順と今回発表する内容

$$B \rightarrow K_S \eta \gamma$$

今回の内容

モンテカルロデータを用いて選別方法を決定し、イベント数を見積もる。

Significance (  $N_{\text{Sig}} / \sqrt{N_{\text{Sig}} + N_{\text{BG}}}$  ) を大きくする！

バックグラウンドをいかに減らすかが重要。

研究対象に似たイベントの実験データを用いて、解析プログラムの動作確認。

実験データから時間依存CP非保存の測定。

# バックグラウンドを減らす方法

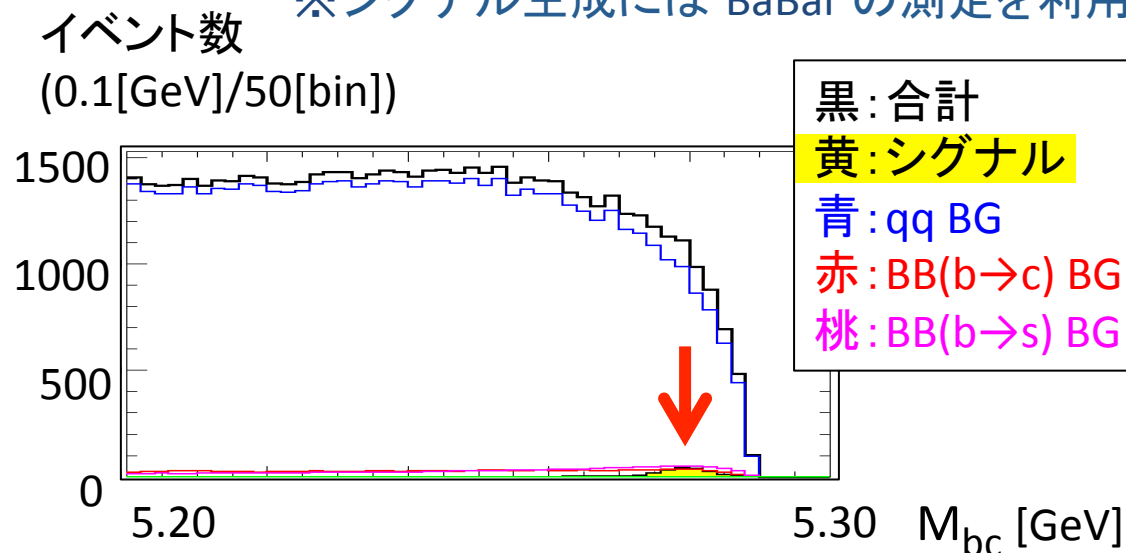
$$B \rightarrow K_S \eta \gamma$$

シグナルは多くのバックグラウンドに埋もれているため、バックグラウンドを除去する必要がある。

※シグナル生成には BaBar の測定を利用

$$M_{bc} \equiv \sqrt{E_{\text{beam}}^2 - p_B^2}$$

ビームエネルギーと  
粒子の運動量から  
求めたB候補の質量の分布→



本解析で行ったバックグラウンド (BG) 除去は4つ

- $\eta, \pi^0 \rightarrow \gamma \gamma$  由来の  $\gamma$  の除去
- qq BG (q = u, d, s, c) 除去
- 既知の CP 破れを持つ BG の除去
- $B \rightarrow K_S \pi^0 \gamma$  の除去

# 1 $\pi^0$ , $\eta$ 由来の $\gamma$ のカット

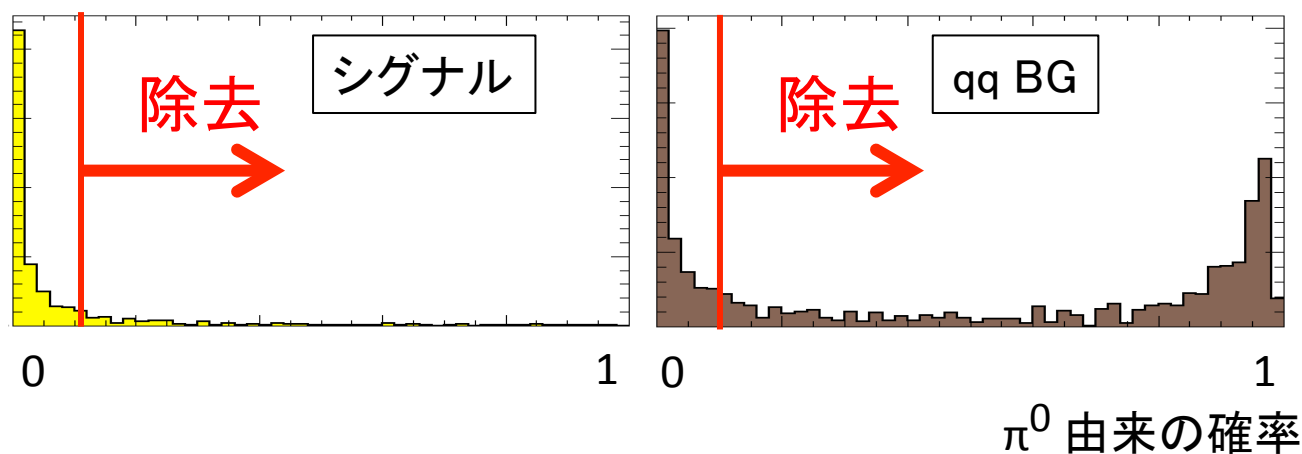
$$B \rightarrow K_S \eta \gamma$$

$$\pi^0 \rightarrow \gamma \gamma \quad \eta \rightarrow \gamma \gamma$$

エネルギーの高い光子があると、バックグラウンドになりやすい。

## 除去の方法

- $\gamma$  候補に対して、イベント内から  $\pi^0$ ,  $\eta$  を組めるもっともらしい相手  $\gamma$  を探し、MCの分布に基づき、 $\pi^0$ ,  $\eta$  由来である確率を計算する。
- $\pi^0$  由来の確率、 $\eta$  由来の確率が高いものを除去した。



シグナルをほとんど落とす事なく、バックグラウンドを落とせる

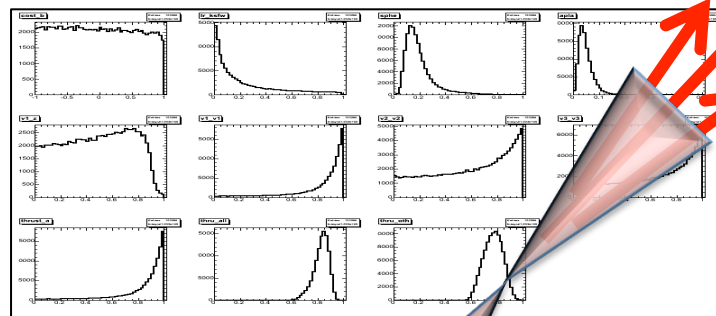
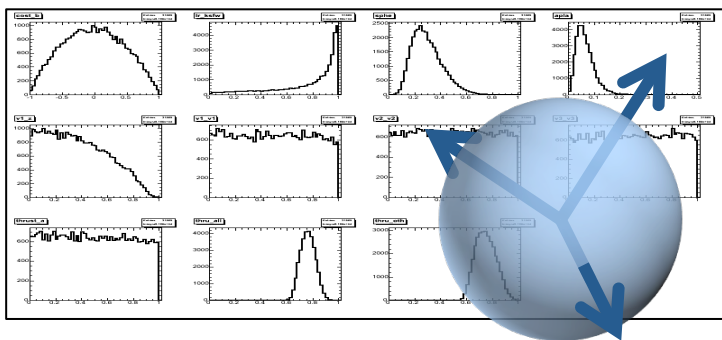


## 2 qq バックグラウンドのカット

$$B \rightarrow K_S \eta \gamma$$

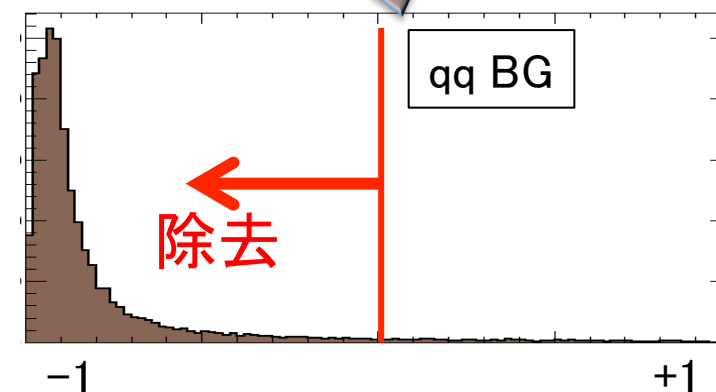
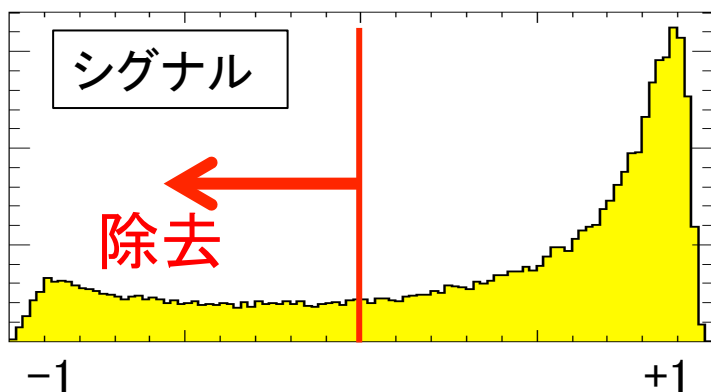
軽いクォーク対( $q = u, d, s, c$ )のBGを崩壊の形状を表す計11の変数をニューラルネットを使用し分離した。

\*バックアップあります



↓ B中間子の崩壊は等方的

↓ qq BG の崩壊はするどい



シグナルと qq BG が良く分離できている

ニューラルネットの出力



## 4 $B \rightarrow K_s \pi^0 \gamma$ の除去

$$B \rightarrow K_s \eta \gamma$$

$B \rightarrow K_s \pi^0 \gamma$  + 他の  $\gamma$  として、多く紛れてくる。

$B \rightarrow K_s \pi^0 \gamma$  を組めた場合、そのイベントを除去

条件

$\pi^0$ の質量	$120 < M < 150$ [MeV]	$\Delta E \equiv E_B - E_{\text{beam}}$ $M_{\text{bc}} \equiv \sqrt{E_{\text{beam}}^2 - p_B^2}$
$\gamma$ のエネルギー	$1.6 < E \text{ (CM系)} < 3.4$ [GeV]	
$\Delta E$	$-0.20 < \Delta E < 0.10$ [GeV]	
beam-energy を用いた B の質量	$5.27 < M_{\text{bc}}$ [GeV]	

	組めなかった	組めた
シグナル	72.1 (98.6%)	1.0 ( 1.4%)
$B \rightarrow K_s \pi^0 \gamma$ BG	16.6 (42.3%)	22.6 (57.7%)
その他の BB BG	35.9 (88.2%)	4.8 (11.8%)

除去

$B \rightarrow K_s \pi^0 \gamma$  を狙って落とすことができている

# セレクション条件の最適化

## セレクションの最適化を行った

- 「qq BG 除去に使うニューラルネットの出力」や質量などに対して行った。
  - 次のページで(一部を)紹介
  - Significance を最大にするようにした。
- $\eta$  の崩壊モード、Bの崩壊位置測定の可否によって、3グループに分類。
  - $\eta \rightarrow \gamma \gamma$  で  $K_S$  によってBの崩壊位置を測定できる
  - $\eta \rightarrow \gamma \gamma$  で  $K_S$  によってBの崩壊位置を測定できない
  - $\eta \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$  で  $\eta$  によってBの崩壊位置を測定できる

$\eta$ の崩壊モードが変わると、データの分布も変化するため。

崩壊位置測定は時間依存性を調べるために必要。

# セレクション条件の内容 (一部)

$\eta \rightarrow \gamma\gamma$   $K_s$  で崩壊位置を測定可  
測定不可

$\eta \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$   $\eta$  で崩壊位置を測定可

最適化の対象

$\pi^+ \pi^- \rightarrow K_s$

$K_s$  の質量  $480 < M < 516,$   
 $480 < M < 516$  [MeV]

$\gamma\gamma \rightarrow \eta$

$\gamma$  のエネルギー  $E$  (lab系)  $> 200,$   
 $200$  [MeV]  
 $\gamma \gamma$  のなす角  $\cos\theta > 0.1,$   
 $0.2$   
 $\eta$  の質量  $515 < M < 570,$   
 $516 < M < 576$  [MeV]

$\pi^+ \pi^- \rightarrow K_s$

$K_s$  の質量  $480 < M < 516$  [MeV]

$\pi^+ \pi^- \pi^0 \rightarrow \eta$

$\eta$  の質量  $538 < M < 555$  [MeV]

$\gamma\gamma \rightarrow \pi^0$

$\gamma$  のエネルギー  $E$  (lab系)  $> 50$  [MeV]  
 $\gamma \gamma$  のなす角  $\cos\theta > 0.3$   
 $\pi$  の質量  $120 < M < 150$  [MeV]

$K_s \eta \gamma \rightarrow B^0$

$\gamma$  のエネルギー  $1.6 < E$  (CM系)  $< 3.4$  [GeV]  
 $\Delta E$   $-0.15 < \Delta E < 0.08$  [GeV]  
beam-energy を用いた  $B$  の質量  $5.27 < M_{bc}$  [GeV]

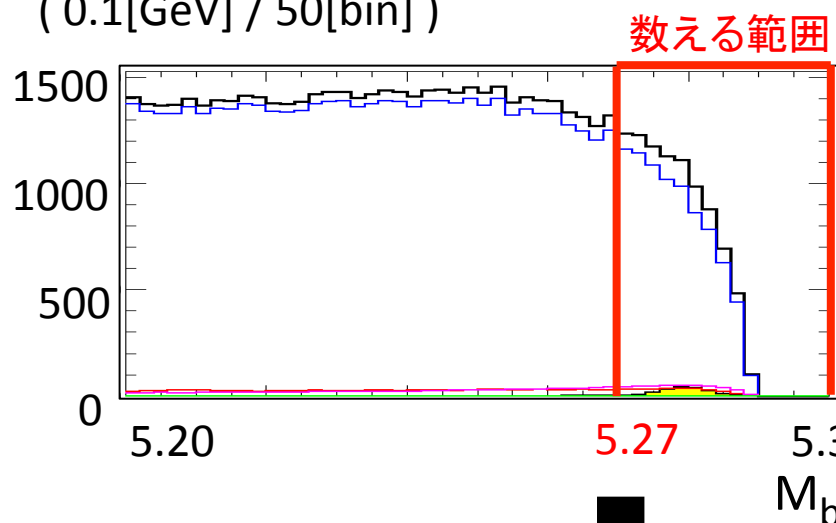
$\Delta E \equiv E_B - E_{\text{beam}}$   
 $M_{bc} \equiv \sqrt{E_{\text{beam}}^2 - p_B^2}$

# イベント数の変化

$$B \rightarrow K_S \eta \gamma$$

イベント数

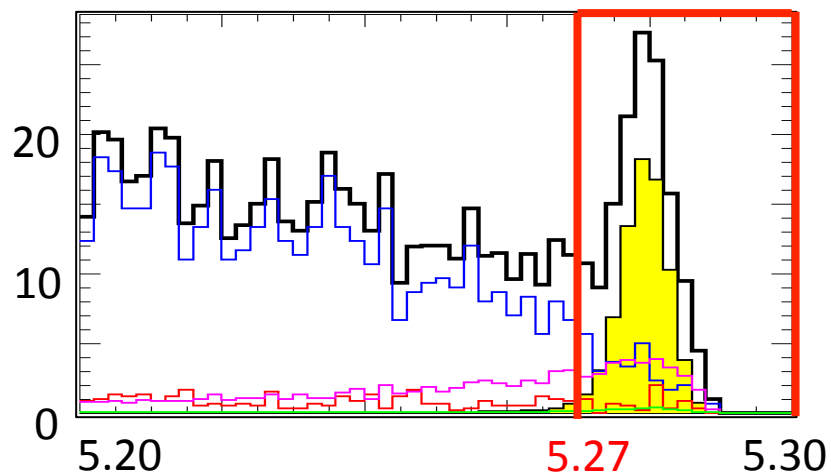
( 0.1[GeV] / 50[bin] )



黒: 合計  
 黄: シグナル  
 青: qq BG  
 赤: BB(b→c) BG  
 桃: BB(b→s) BG

ここまでで紹介した、

- ・ 4つのカット
- ・ セレクション条件の最適化



シグナル : 74.3

BG : 64.8

Significance (  $N_{\text{Sig}} / \sqrt{N_{\text{Sig}} + N_{\text{BG}}}$  ) : **6.4**

となった！

# さらに significance を向上させるには

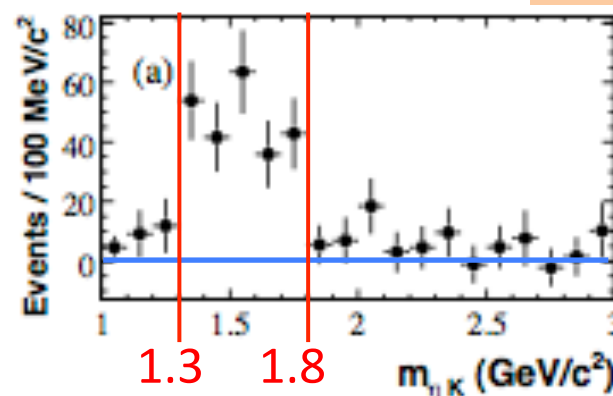
今後さらに significance の向上が期待できる

M( $K\eta$ ) の領域を分割する

$K\eta$  系の質量が 1.3~1.8 [GeV]  
のあたりとそれ以外に分割

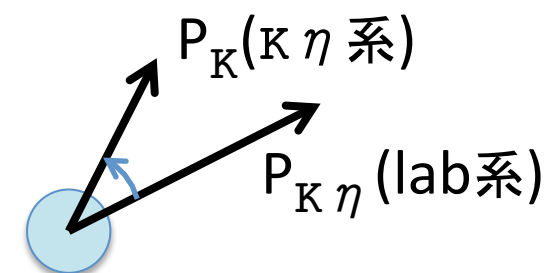
BaBar の測定

arXiv:0805.1317v1



$K\eta$  系のスピンの情報を利用する

$K\eta$  系の運動量と  $K$  の運動量のなす角の分布で  
qq BG を分離する事ができると考えられる。



モンテカルロではわからないので、  
 $B^+ \rightarrow K^+ \eta \gamma$  のデータを見て、  
 $B \rightarrow K_S \eta \gamma$  に適用する。

# 展望

これまで行われた  $b \rightarrow s \gamma$  の時間依存 CP 破れの測定

Mode	Experiment	$S_{CP}(b \rightarrow s\gamma)$
$K^*(892)\gamma$	<a href="#">BaBar</a> N(BB)=467M	$-0.03 \pm 0.29 \pm 0.03$
	<a href="#">Belle</a> N(BB)=535M	$-0.32^{+0.36} \quad -0.33 \pm 0.05$
	Average	$-0.16 \pm 0.22$
$K_S \pi^0 \gamma$ (incl. $K^* \gamma$ )	<a href="#">BaBar</a> N(BB)=467M	$-0.17 \pm 0.26 \pm 0.03$
	<a href="#">Belle</a> N(BB)=535M	$-0.10 \pm 0.31 \pm 0.07$
	Average	$-0.15 \pm 0.20$
$K_S \eta \gamma$	<a href="#">BaBar</a> N(BB)=465M	$-0.18^{+0.49} \quad -0.46 \pm 0.12$
$K_S \rho^0 \gamma$	<a href="#">Belle</a> N(BB)=657M	$0.11 \pm 0.33^{+0.05} \quad -0.09$
$K_S \phi \gamma$	<a href="#">Belle</a> N(BB)=772M	$0.74^{+0.72} \quad -1.05^{+0.10} \quad -0.24$

こちらの full data 解析も  
まだされていない。  
この解析の後、行う予定。

単純計算で統計誤差は、

$$\frac{0.5}{6.4/4.0} \sim 0.3$$

くらい(?)

<http://www.slac.stanford.edu/xorg/hfag/triangle/moriond2012/index.shtml>



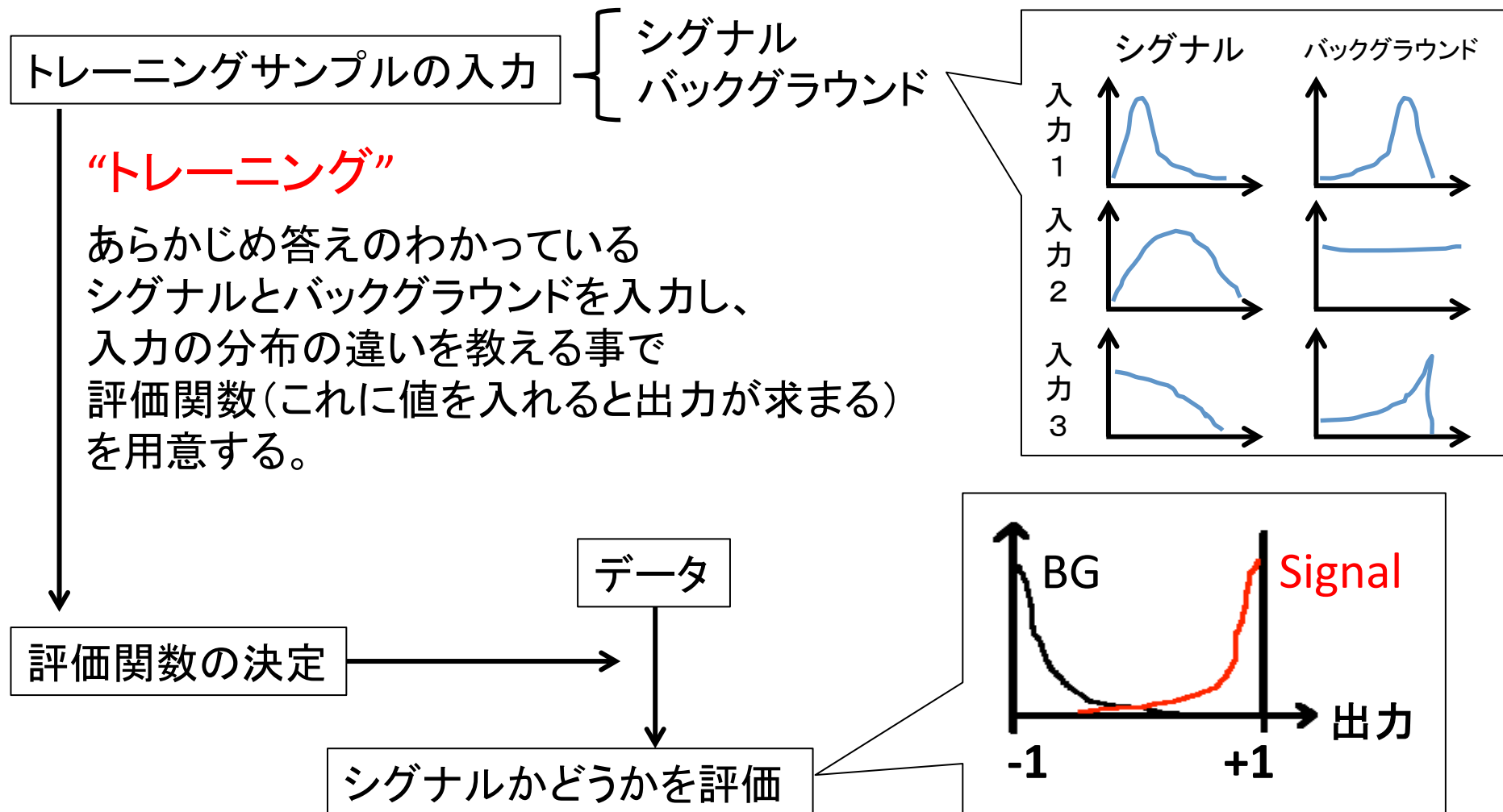
## まとめ

- $B \rightarrow K_S \eta \gamma$  の時間依存の CP 破れを探索中。
  - 標準模型では抑制されている。
  - CP 破れの観測ができれば、**新物理**の影響。
- モンテカルロシミュレーションを用いて、セレクションの最適化を行った。
  - バックグラウンド源を特定し、取り除く方法を決定。
  - Significance は **6.4**。精度のよい測定結果が期待できる。
  - $B^+ \rightarrow K^+ \eta \gamma$  の情報を利用し、さらに significance を上げる事ができるかもしれない。

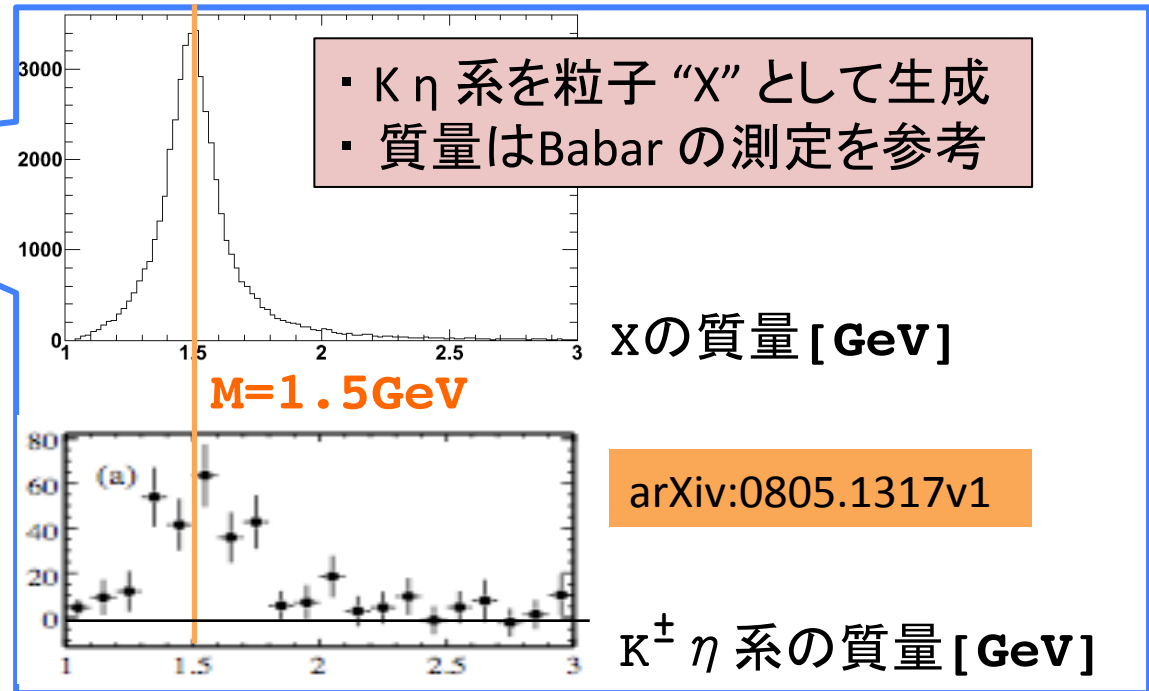
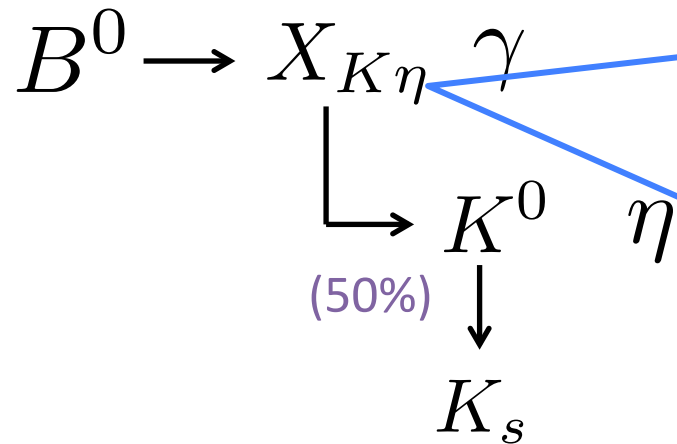
# Back up

# ニューラルネットの概要

複数の値を入力することで、  
シグナルっぽいかバックグラウンドっぽいかを出力してくれる。



# モンテカルロによるシグナル生成



$K\eta$  系のスピンは1に設定しているが、  
 実際には、1や2が混ざった状態かもしれない。

# qq BG 除去に使用した 11 の変数

- 1) ビーム方向に対する B 中間子の運動量の向きの  $\cos$
- 2) ルジャンドル関数に基づいたイベント形状の情報
- 3) sphericity
- 4) aplanarity
- 5) イベント全体の 1st sphericity axis と z 軸のなす角の  $\cos$
- 6) シグナル側と逆側の 1st sphericity axis のなす角の  $\cos$
- 7) シグナル側と逆側の 2nd sphericity axis のなす角の  $\cos$
- 8) シグナル側と逆側の 3rd sphericity axis のなす角の  $\cos$
- 9) シグナル側と逆側の thrust vector のなす角の  $\cos$
- 10) イベント全体の thrust
- 11) タグ側の thrust

