

$B \rightarrow K_S \eta \gamma$ 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

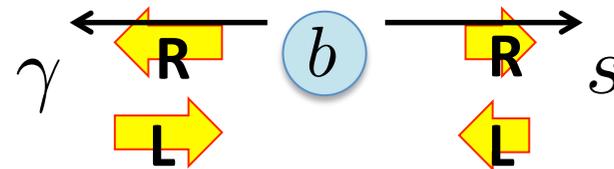
導入(研究の動機など)

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

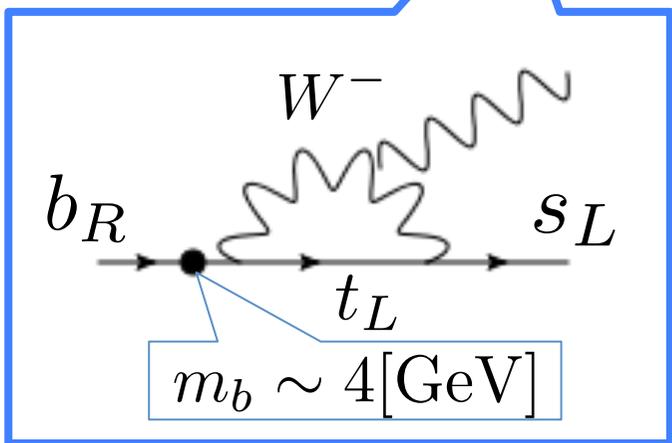
b → s γ 崩壊の光子の偏極

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。

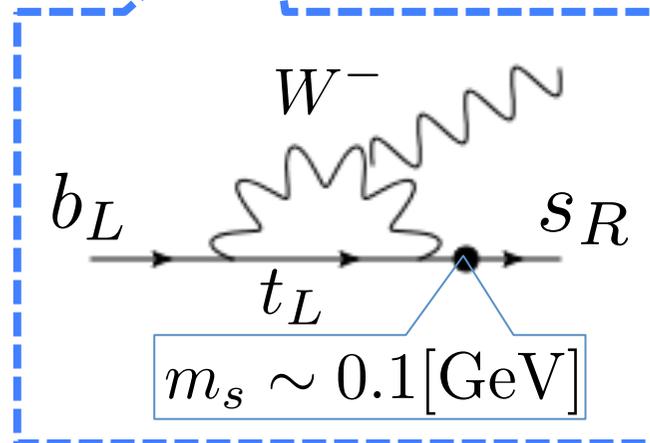


$$b \rightarrow s \gamma = b_R \rightarrow \text{左巻き } \gamma \rightarrow s_L + b_L \rightarrow \text{右巻き } \gamma \rightarrow s_R$$

↑こっちが主



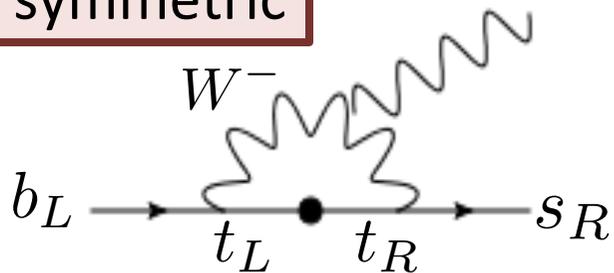
標準模型



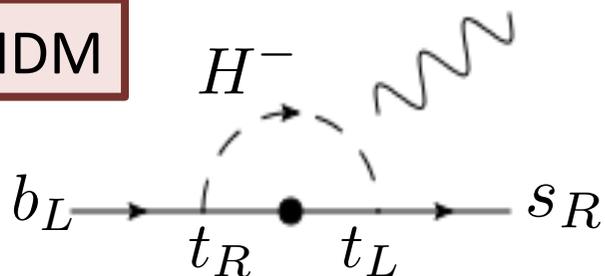
標準模型では、(4² : 0.1² の割合で) b → s γ の光子はほとんど左巻き
($\bar{b} \rightarrow \bar{s} \gamma$ の光子はほとんど右巻き)

$b \rightarrow s \gamma$ 崩壊の光子の偏極

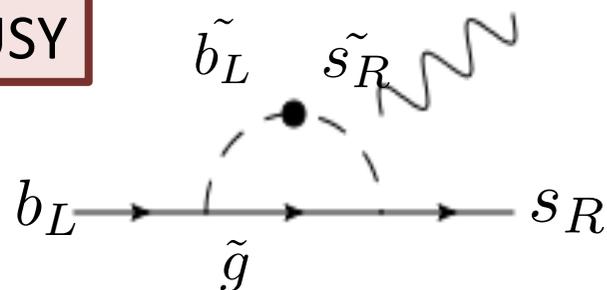
LR symmetric



2HDM

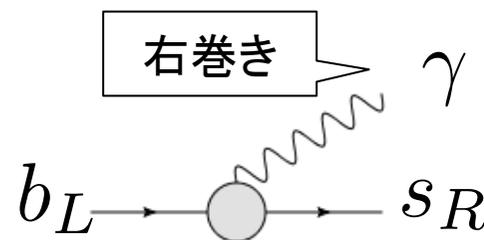


SUSY

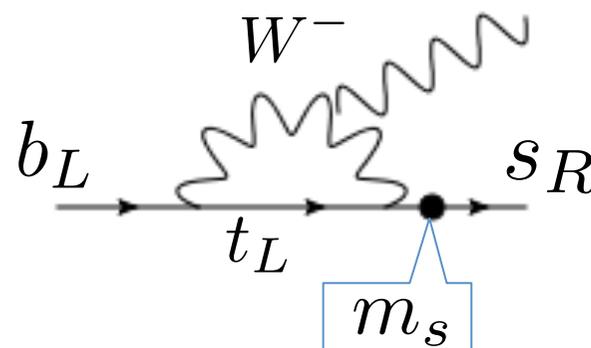


もし、新物理があると...

右巻き



こっちも増える↑

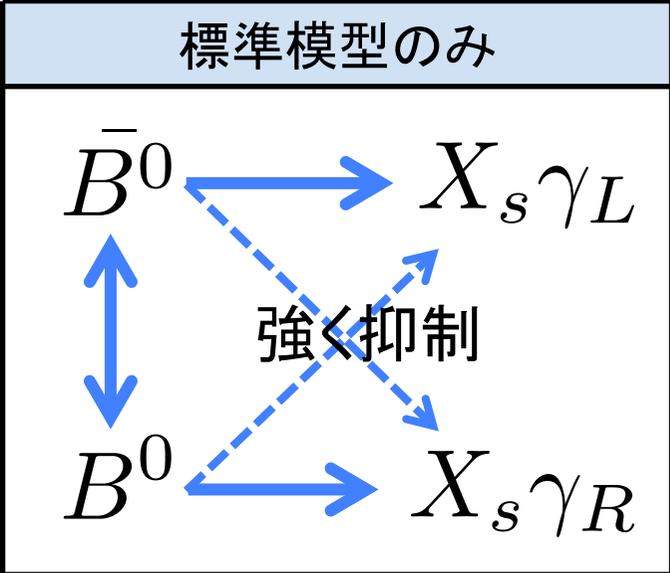
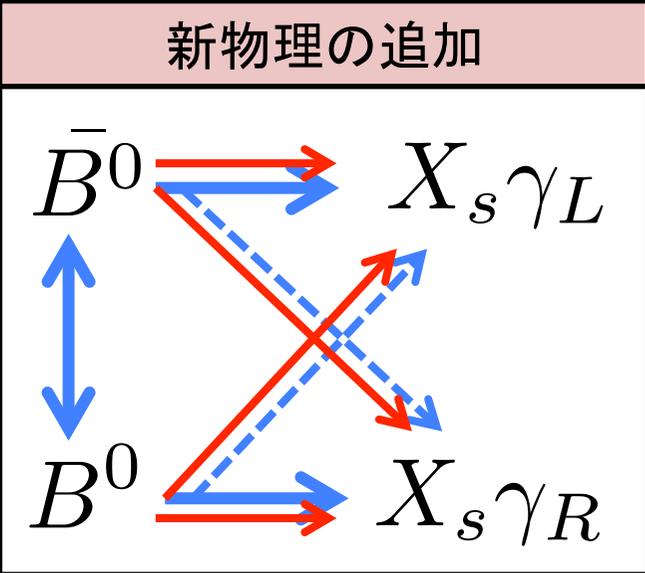


新物理によって右巻き光子の割合が増えるかも

→ 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。

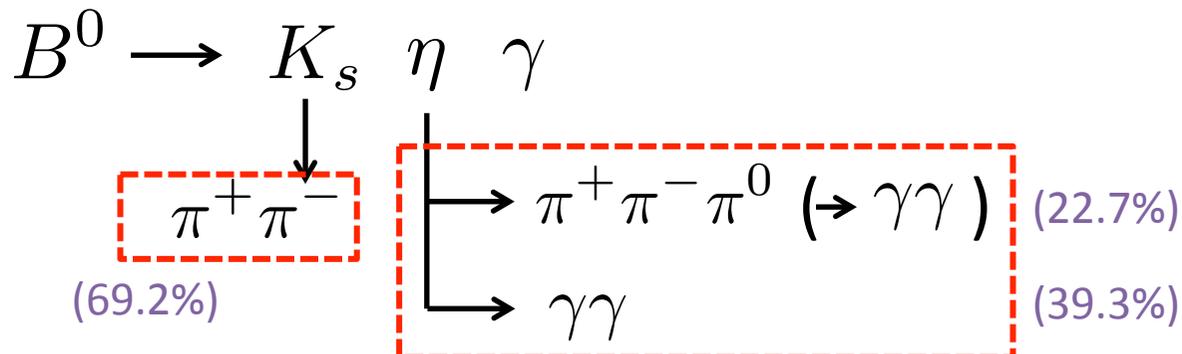
	標準模型のみ	新物理の追加
 <p>→ : 標準模型 - - -> : 標準模型 → : 新物理</p>	 <p>強く抑制</p>	
$\frac{N_{\bar{B} \rightarrow \bar{f}}(t) - N_{B \rightarrow f}(t)}{N_{\bar{B} \rightarrow \bar{f}}(t) + N_{B \rightarrow f}(t)}$ $= \mathcal{S} \cdot \sin(\Delta mt)$	$\mathcal{S} \simeq 2 \frac{m_s}{m_b} \sin(2\phi_1)$ <p>すごく小さい</p> <p>arXiv:hep-ph/9704272v1</p>	<p>大きな \mathcal{S} が測定されるかもしれない</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 470×10^6 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、 π^0 , η 由来の γ 測定が困難。



- Belle 実験

- BB ペアのデータは 770×10^6 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

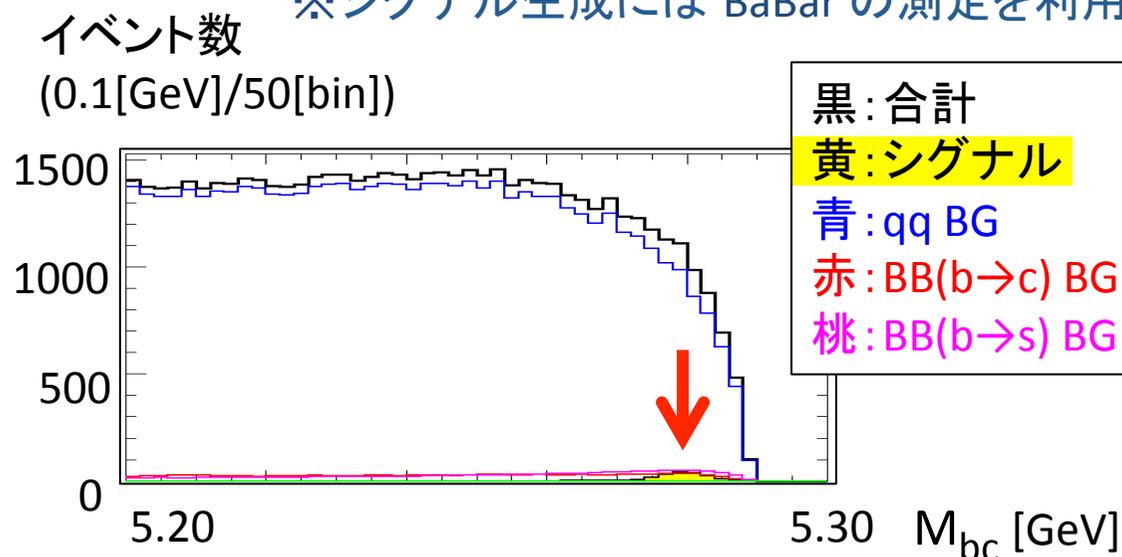
$$B \rightarrow K_S \eta \gamma$$

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 γ 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 π^0 , η 由来の γ のカット

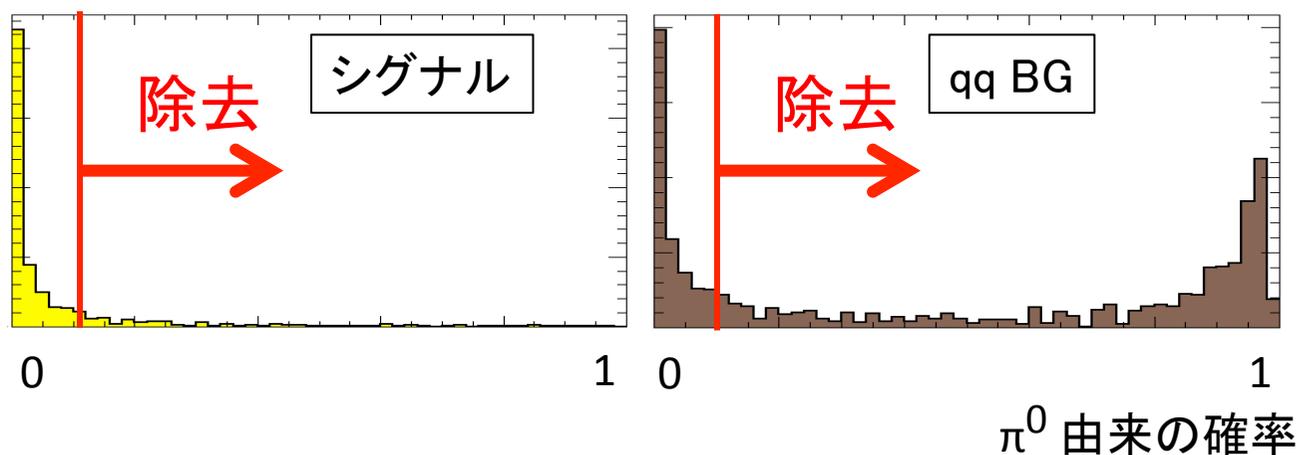
$$B \rightarrow K_S \eta \gamma$$

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

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

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



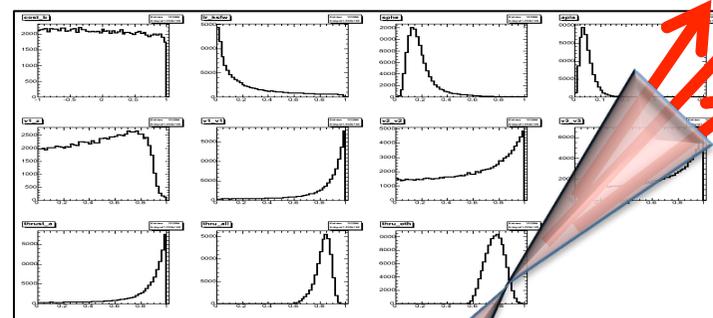
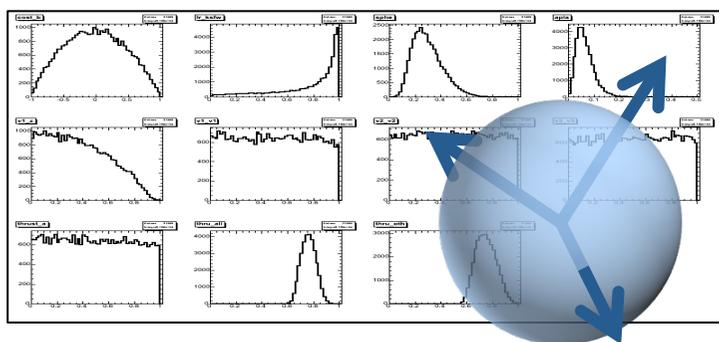
シグナルをほとんど落とす事なく、バックグラウンドを落とせる

2 qq バックグラウンドのカット

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

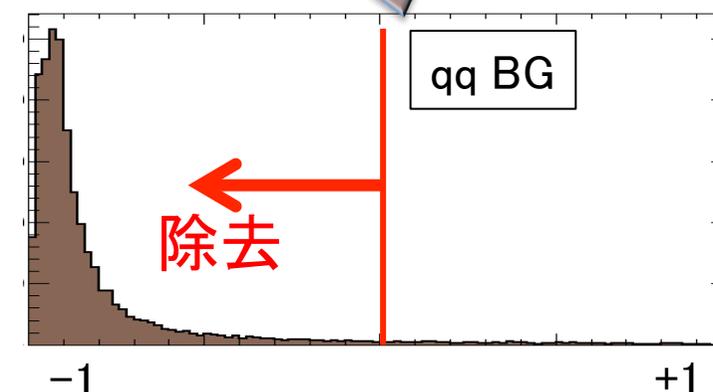
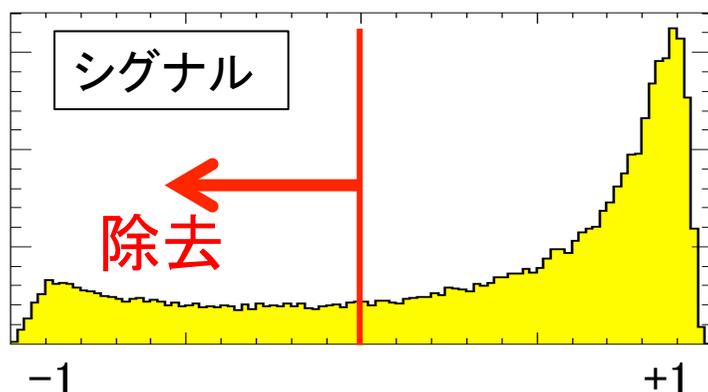
軽いクォーク対($q = u, d, s, c$)のBGを崩壊の形状を表す計11の変数をニューラルネットを使用し分離した。

*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 γ 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

π^0 の質量

$$120 < M < 150 \text{ [MeV]}$$

γ のエネルギー

$$1.6 < E \text{ (CM系)} < 3.4 \text{ [GeV]}$$

ΔE

$$-0.20 < \Delta E < 0.10 \text{ [GeV]}$$

$$\Delta E \equiv E_B - E_{\text{beam}}$$

beam-energy を用いた B の質量

$$5.27 < M_{\text{bc}} \text{ [GeV]}$$

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

	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。
- η 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 η によってBの崩壊位置を測定できる

η 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

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

$\gamma\gamma \rightarrow \eta$

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

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

K_s の質量 $480 < M < 516$ [MeV]

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

η の質量 $538 < M < 555$ [MeV]

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

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

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

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

$$\Delta E \equiv E_B - E_{\text{beam}}$$

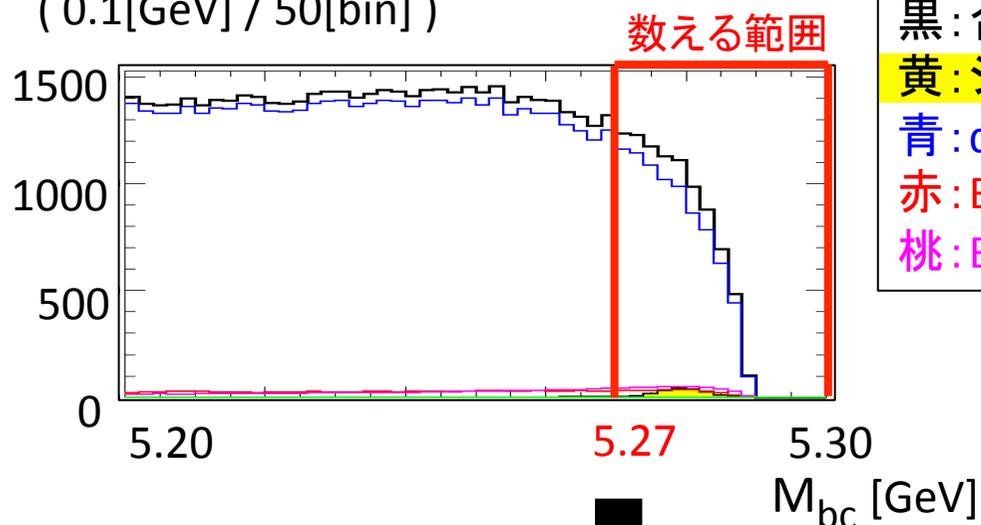
$$M_{bc} \equiv \sqrt{E_{\text{beam}}^2 - p_B^2}$$

イベント数の変化

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

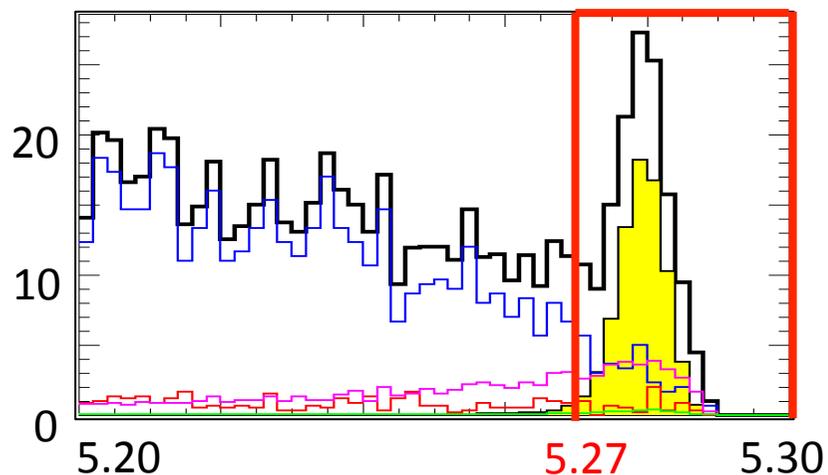
イベント数

(0.1[GeV] / 50[bin])



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

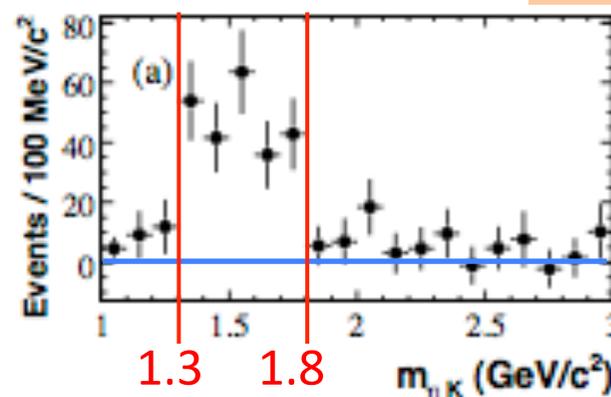
今後さらに significance の向上が期待できる

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

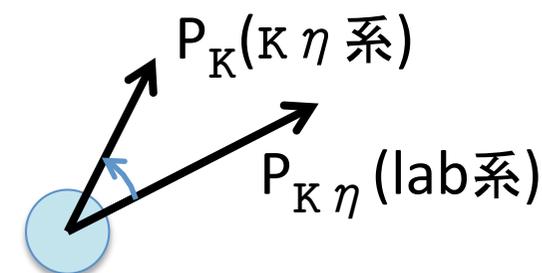
BaBar の測定

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

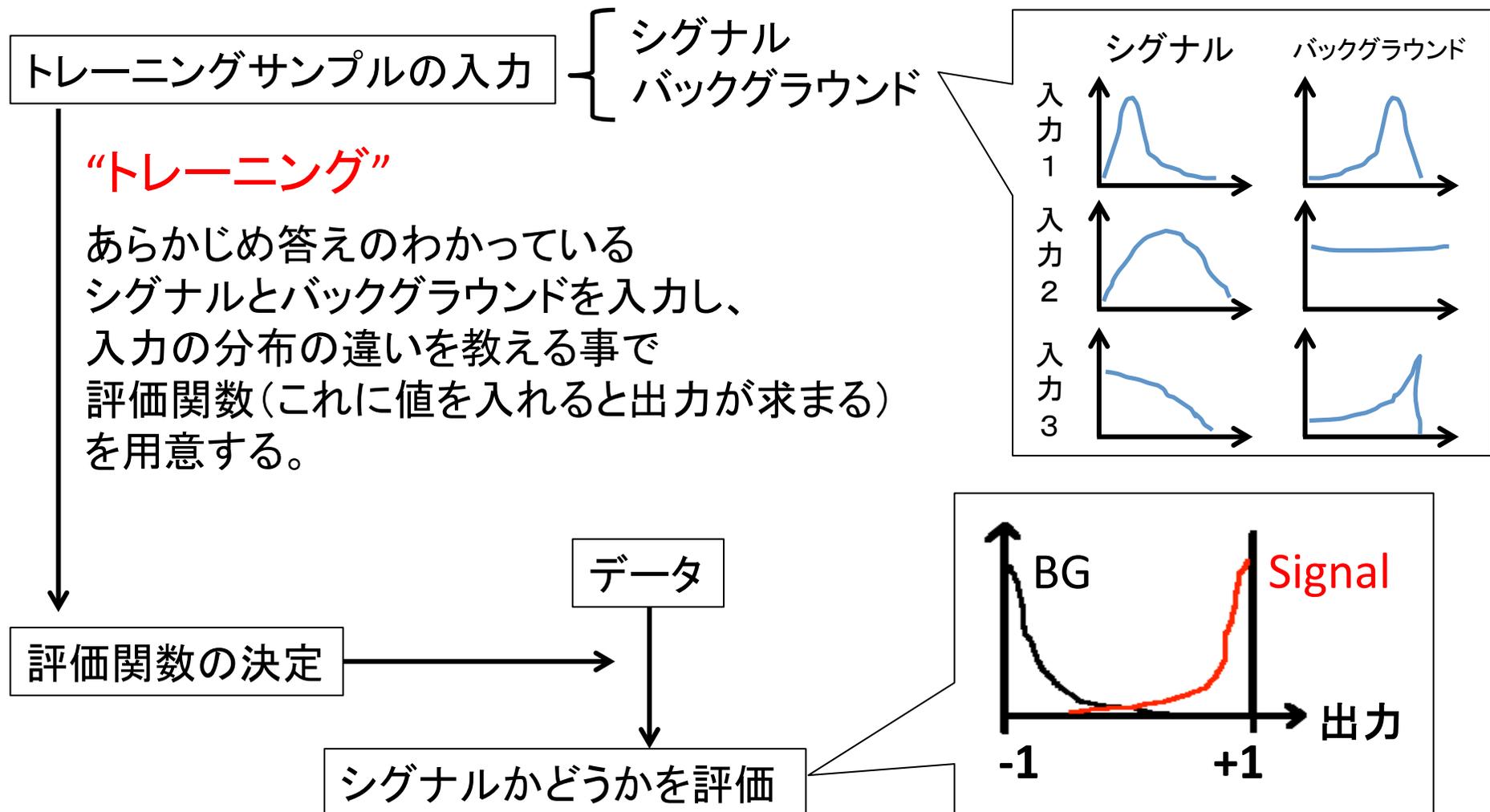
まとめ

- $B \rightarrow K_S \eta \gamma$ 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。

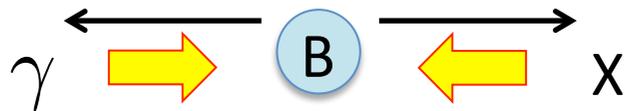
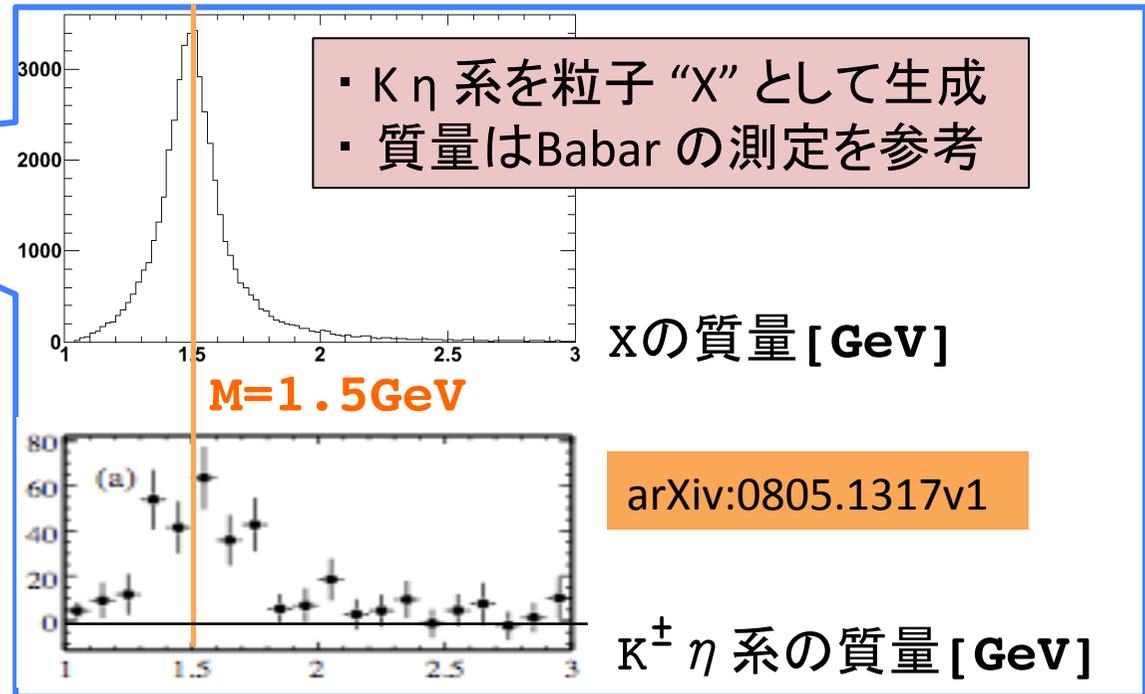
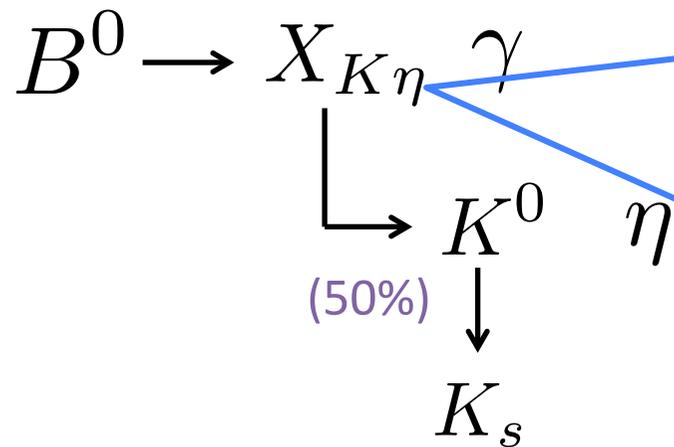
Back up

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

