

Belle II実験における  
 $B^0 \rightarrow \eta_c \gamma K^\pm \pi^\mp$  崩壊の探索

修士論文発表会

2021/2/16

高エネルギー物理学研究室 M2 西川 愛

# $B^0 \rightarrow \eta_c \gamma K^\pm \pi^\mp$ の研究

研究動機：  $\eta_c \gamma$  に崩壊する新ハドロンの探索  
 (X(3872)のC-oddパートナー または  $h_c(2P)$  の探索)

・ X(3872)とは…

エキゾチックハドロンの一つ。

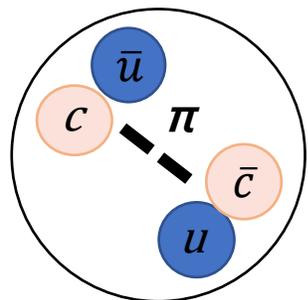
Belle実験で見つかった質量3872MeVの幅が狭い共鳴。

$J^{PC} = 1^{++}$  のメソン分子とチャームoniumの混合状態とする説が有力。

(Jはスピン、Pはパリティ、Cは荷電共役を表す。)

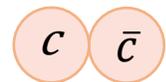
$J^{PC} = 1^{+-}$  のパートナー状態(C-oddパートナー)も存在するかも知れない。 ←本研究の出発点

$$|D^0 \bar{D}^{*0}\rangle + |\bar{D}^0 D^{*0}\rangle$$



混合状態

$\chi_{c1}(2P)$



考えられるX(3872)の概要図

チャームonium

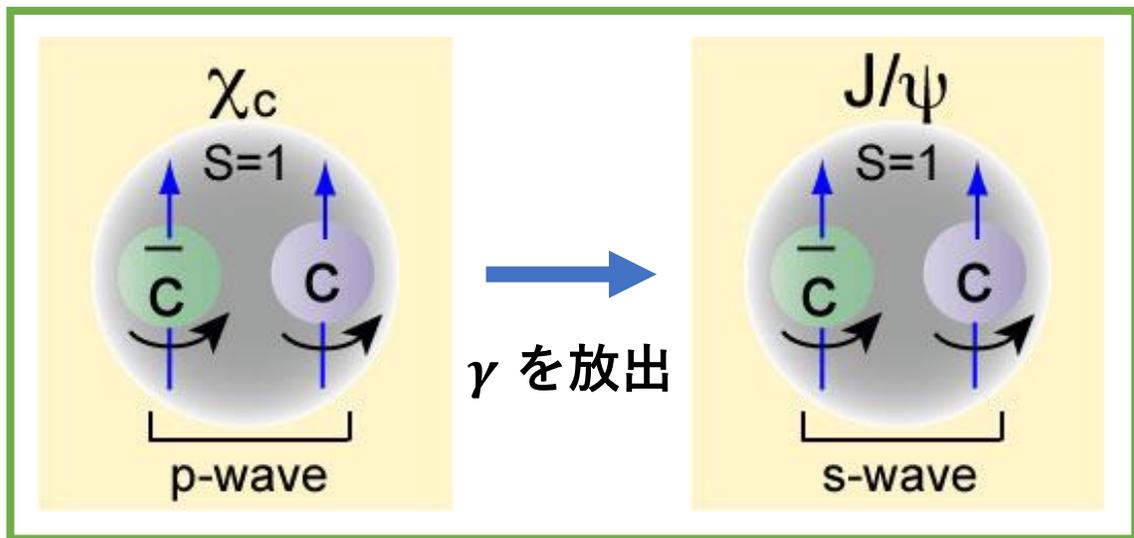
	$\eta_c$	$J/\psi$	$h_c$	$\chi_{c0}$	$\chi_{c1}$	$\chi_{c2}$
$J^{PC}$	$0^{-+}$	$1^{--}$	$1^{+-}$	$0^{++}$	$1^{++}$	$2^{++}$
質量 [MeV/ $c^2$ ]	2984	3097	3525	3415	3511	3556
$2s+1L_J$	$1S_0$	$3S_1$	$1P_1$	$3P_0$	$3P_1$	$3P_2$

# X(3872) と C-odd パートナー

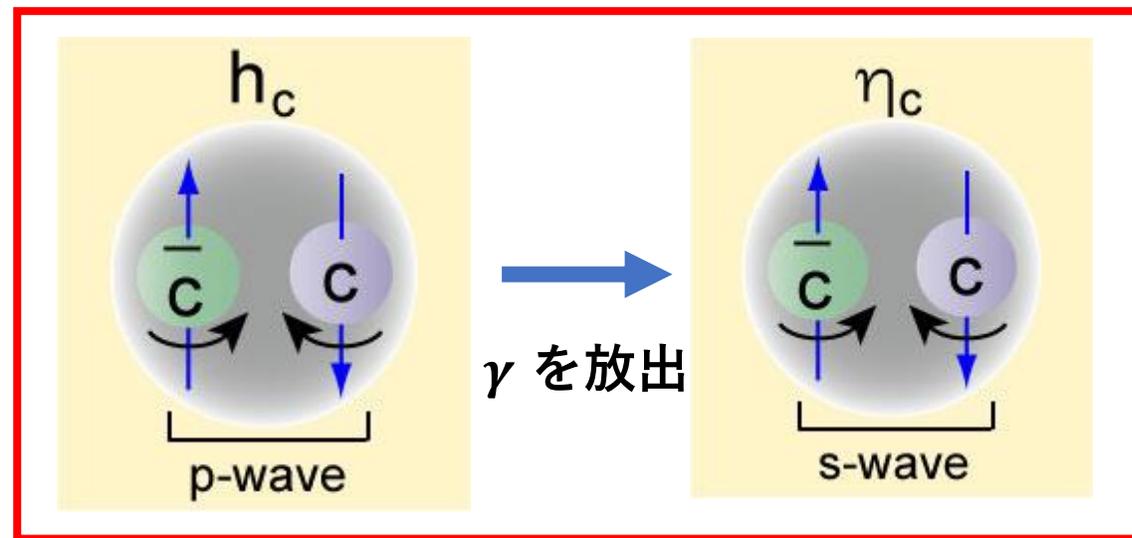
X(3872)がメソン分子 $|D^0\bar{D}^{*0}\rangle + |\bar{D}^0D^{*0}\rangle$  と  $\chi_{c1}(2P)$  の混合状態として、  
 $J/\psi\gamma$ モードには主としてチャームONIウム成分である $\chi_{c1}(2P)$ の輻射崩壊による。

C-oddパートナーが $|D^0\bar{D}^{*0}\rangle - |\bar{D}^0D^{*0}\rangle$ と同じ量子数のチャームONIウム成分 $h_c(2P)$ の  
 混合状態とすると、輻射崩壊するのに量子数の矛盾がないのは $\eta_c\gamma$ である。

X(3872)での輻射崩壊



C-oddパートナーでの輻射崩壊



$$\text{Br}(h_c(1P) \rightarrow \eta_c(1S)\gamma) = 51\%$$

# Bから発生する崩壊

本研究ではチャーモニウムライクの源としてBメソンを選んでいる。

Bメソンは質量が $5.28 \text{ GeV}/c^2$  と大きい。

→二体崩壊の場合、崩壊後の娘粒子は互いに反対方向に高い運動量を持って離れる。  
そのため、終状態相互作用が小さいので、崩壊振幅を、この二つの娘粒子に至る  
2つのカレントの積で表したものが良い近似になる。(ファクトリゼーション)

→ファクトリゼーションでは

$J^{PC} = 0^{-+}, 1^{--}, 1^{++}$  のチャーモニウムは生成しやすいが、  
 $J^{PC} = 0^{++}, 1^{+-}, 2^{++}$  は生成しにくい。

よって本研究ではファクトリゼーションの制約がなくなるBメソンの三体崩壊に着目している。

# 研究する崩壊モード

以上のことより、研究する崩壊モードは  $B^0 \rightarrow \eta_c \gamma K^\pm \pi^\mp$

X(3872)のC-oddパートナー または  $h_c(2P)$ の探査感度を調べるために、 $\eta_c \gamma$ に崩壊するチャーモニウムとして既知の $h_c$ (質量:3525MeV/c<sup>2</sup>, 幅:0.7MeV/c<sup>2</sup>)を選んだ。

MCシミュレーションデータ(Signal MC)を作成し解析を行った。

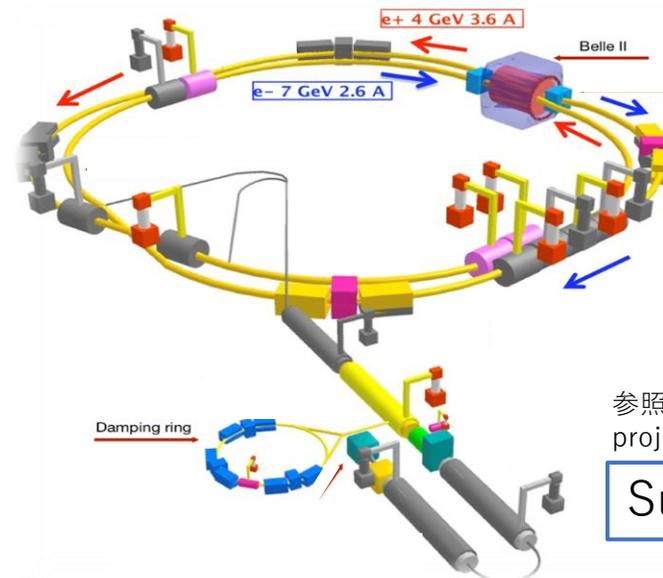
$$\begin{array}{l} B^0 \rightarrow h_c K^\pm \pi^\mp \\ \quad \quad \quad \searrow \\ \quad \quad \quad \eta_c \gamma \\ \quad \quad \quad \quad \quad \searrow \\ \quad \quad \quad \quad \quad K_S^0 K^\pm \pi^\mp \text{ or } p\bar{p} \end{array}$$

$\eta_c$ のそれぞれの崩壊モードについて10万事象を生成した。

これは $\eta_c \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^\mp$ モードでは34600事象の $\eta_c$ を作成したことに相当する。

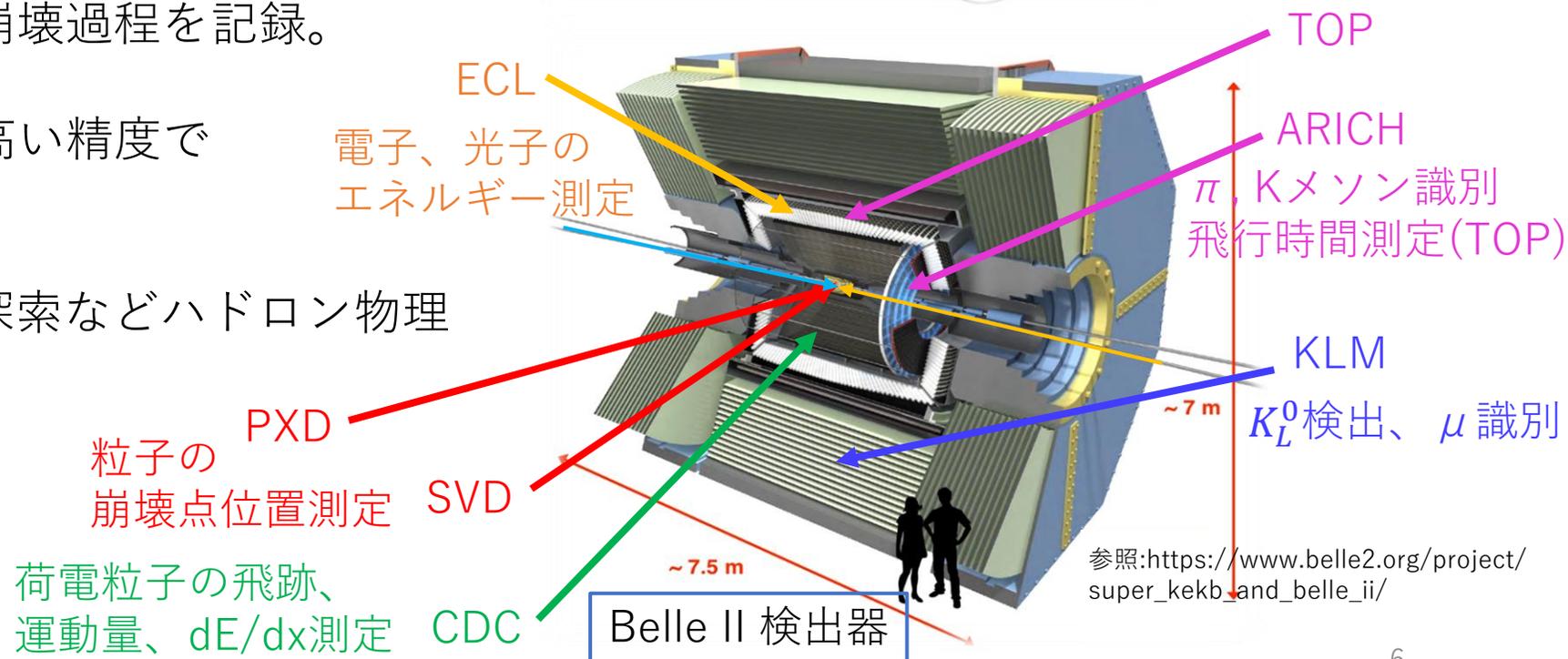
# Belle II 実験

- 電子7GeV・陽電子4GeVの非対称エネルギー衝突型加速器。
- 2019年3月より本格的に物理データの取得開始、10年間で $50 \text{ ab}^{-1}$ のデータを収集予定。
- Bメソンを大量に生成して崩壊過程を記録。
- 荷電Kメソンや $\pi$ メソンを高い精度で識別、検出する。
- X(3872)のパートナー粒子探索などハドロン物理の新展開も期待できる。

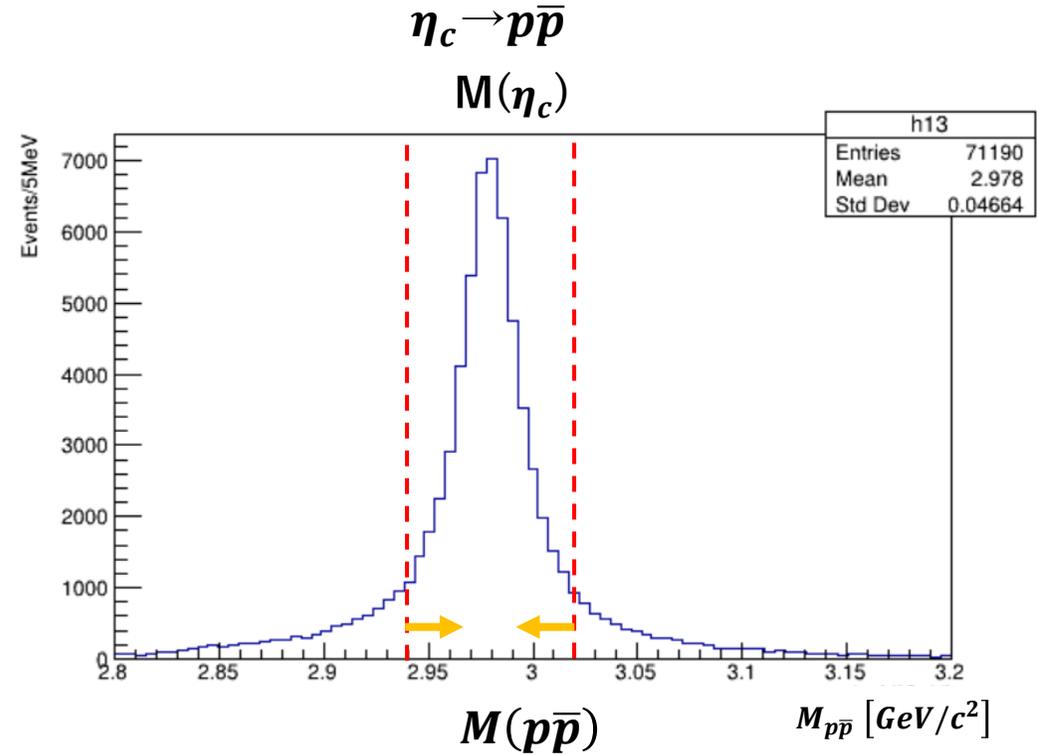
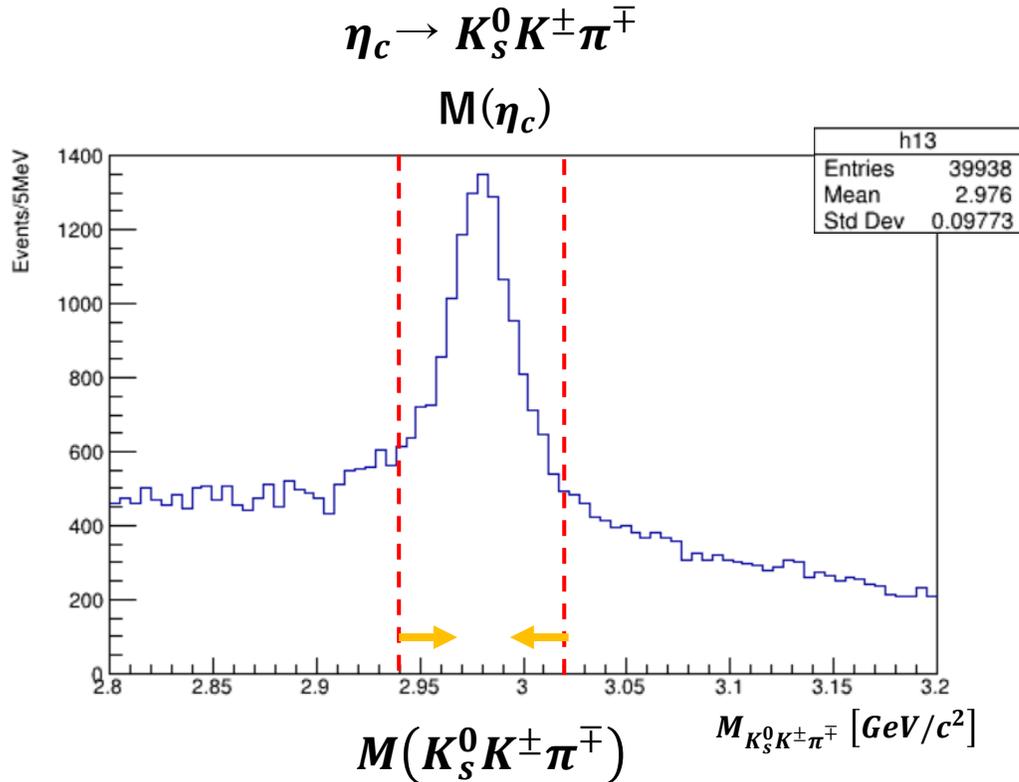
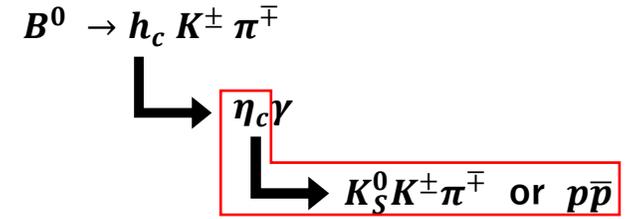


参照:[https://www.belle2.org/project/super\\_kekb\\_and\\_belle\\_ii/](https://www.belle2.org/project/super_kekb_and_belle_ii/)

SuperKEKB加速器



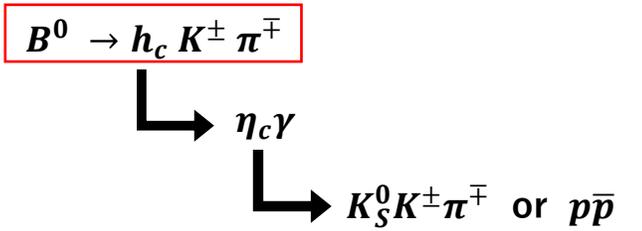
# $\eta_c$ 候補の不変質量分布 (Signal MC)



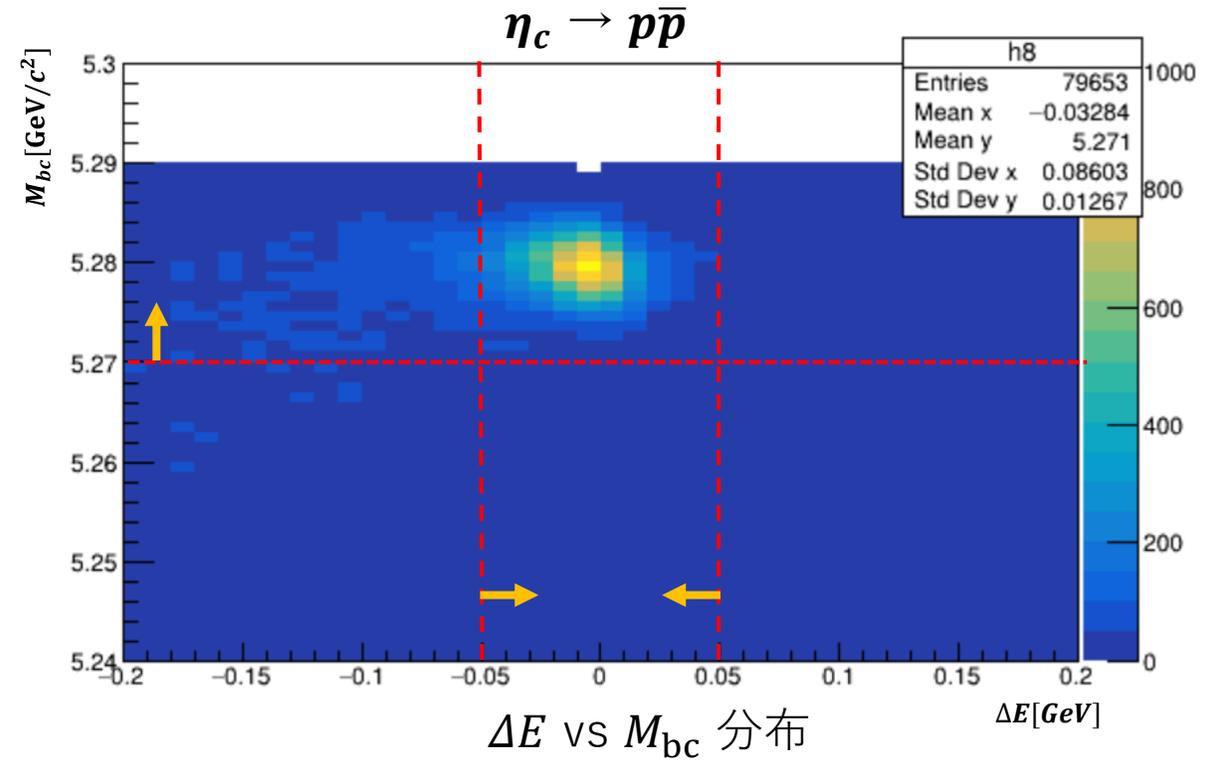
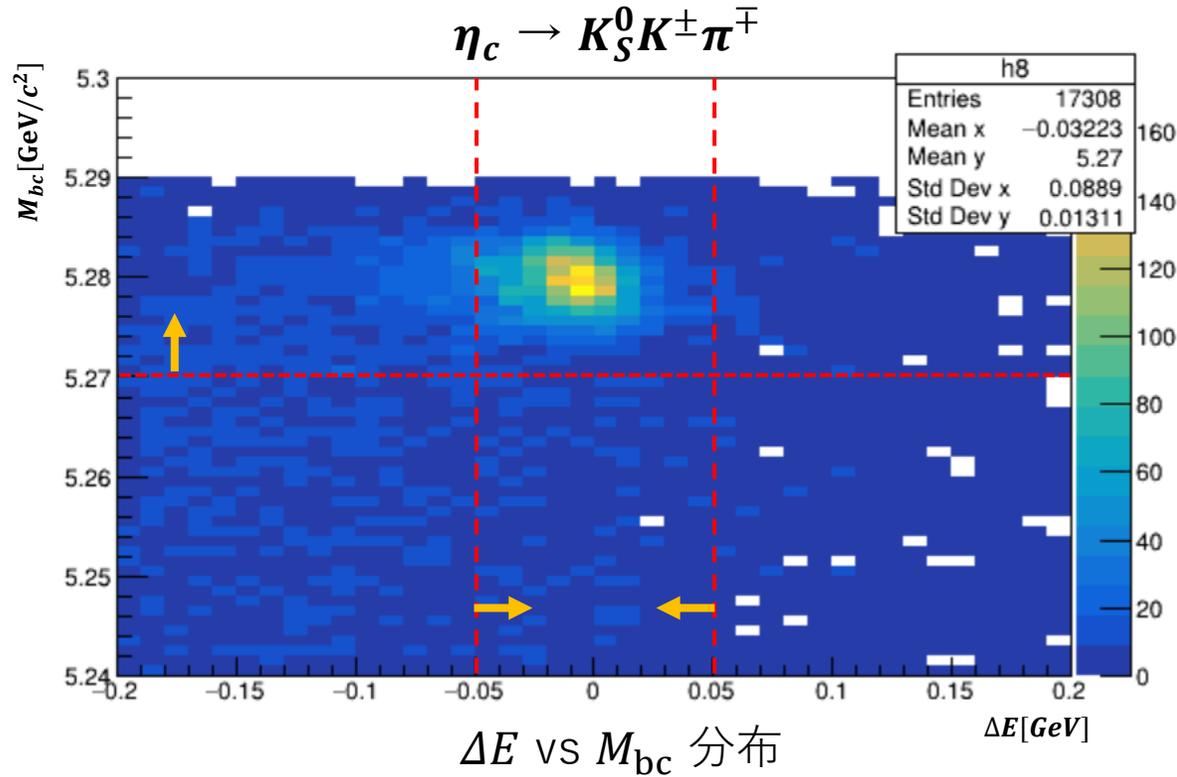
$\eta_c$  の質量  $2.984 \text{ GeV}/c^2$  付近にピークが立っていることが確認できた。

赤点線の範囲 ( $2.94 \text{ GeV}/c^2 < M(K_S^0 K^\pm \pi^\mp)$  or  $M(p\bar{p}) < 3.02 \text{ GeV}/c^2$ ) に入るものを  $\eta_c$  候補とした。

# $B^0 \rightarrow \eta_c \gamma K^+ \pi^-$ の再構成



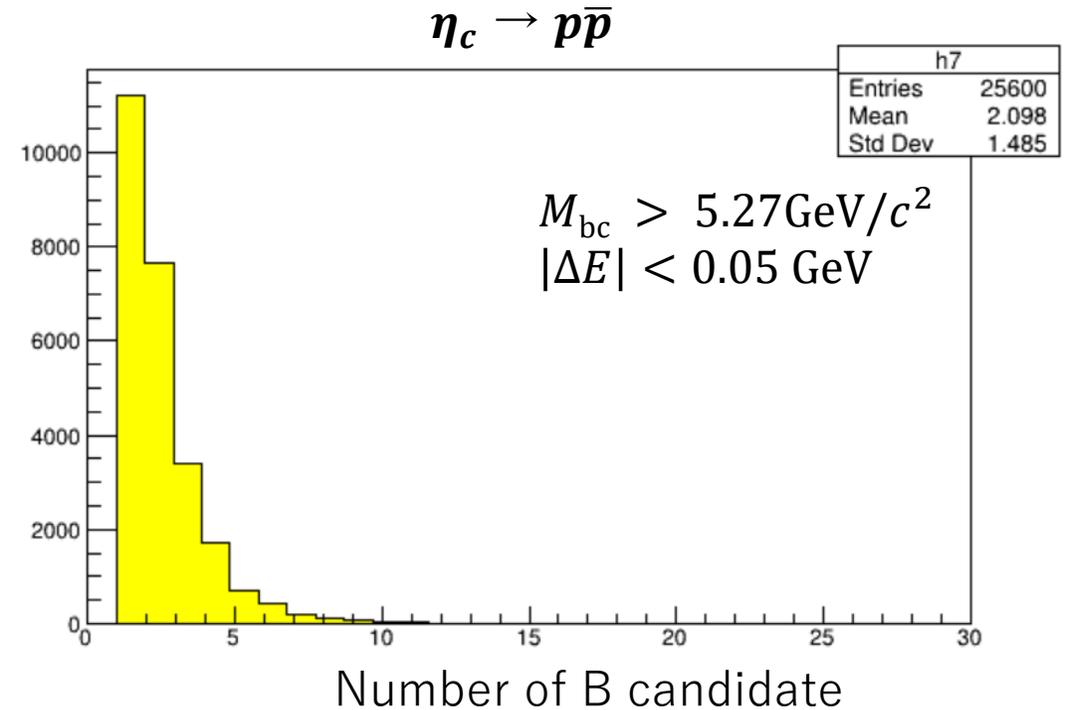
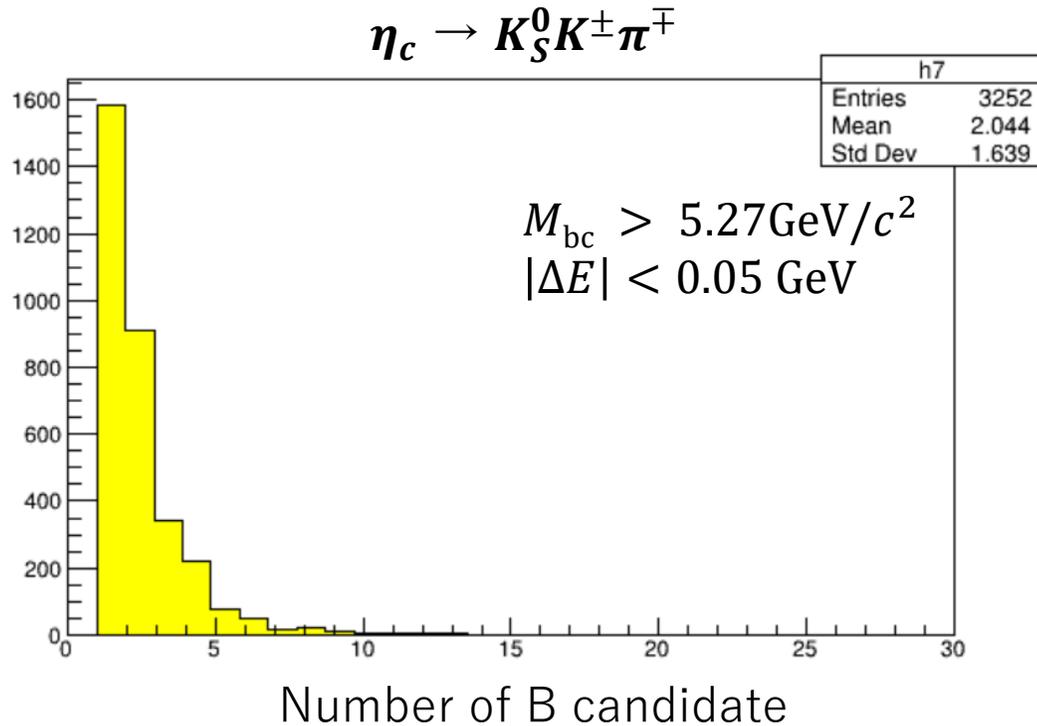
重心系での変数  $\Delta E = E_B - (E_{CM}/2)$  と  $M_{bc} = \sqrt{(E_{CM}/2)^2 - P_B^2}$  の二次元プロット。  
 Bメソン崩壊信号では  $\Delta E = 0$ ,  $M_{bc} = 5.28 \text{ GeV}/c^2$  にピークが立つ。



赤点線の範囲  $|\Delta E| < 0.05 \text{ GeV}$ ,  $M_{bc} > 5.27 \text{ GeV}/c^2$  にピークが立っている。  
 →この範囲をSignal regionとした。

# 1事象当たりのBメソン候補の数

Signal region内で1事象ごとに見出されるBメソン候補の数を調べた。



$\eta_c \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^\mp$ ,  $\eta_c \rightarrow p\bar{p}$  のどちらも半数近くは複数の候補が来ている。  
→その中で最良のものを選別する必要がある。

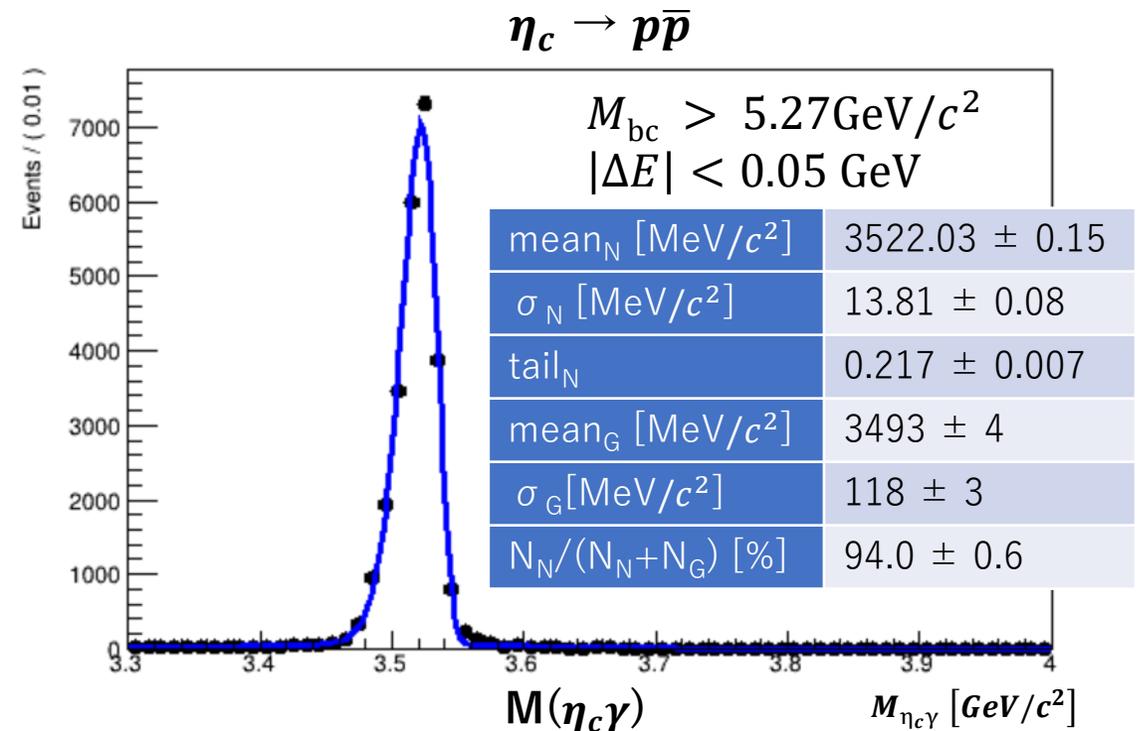
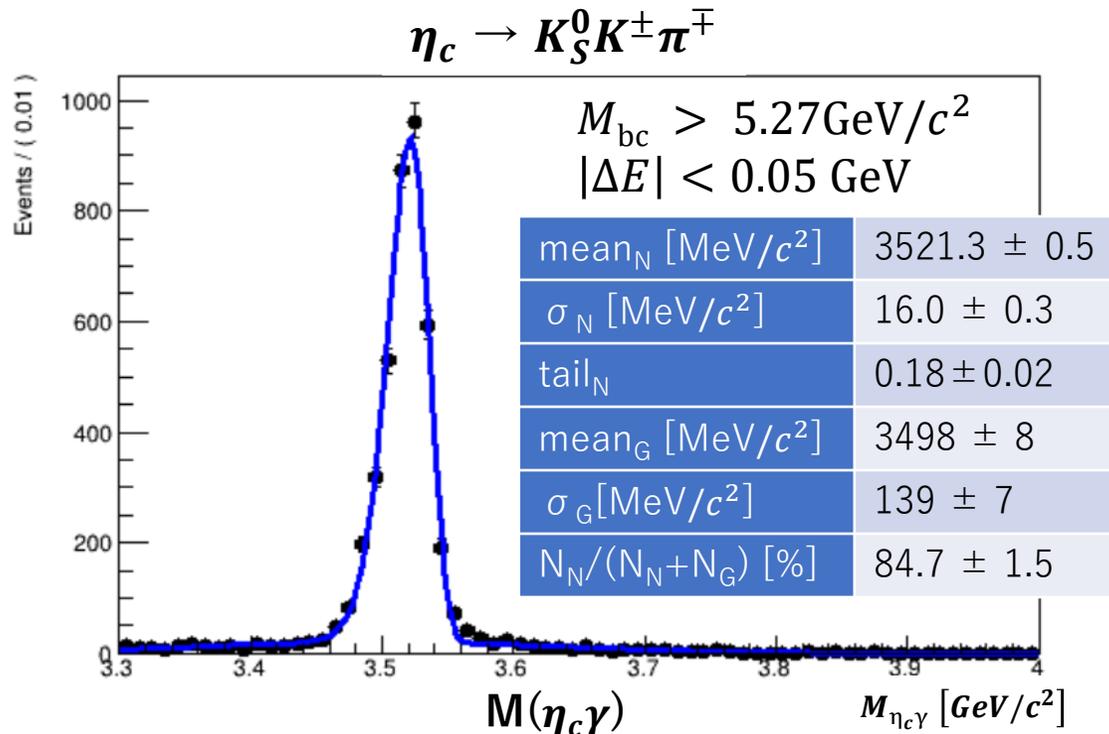
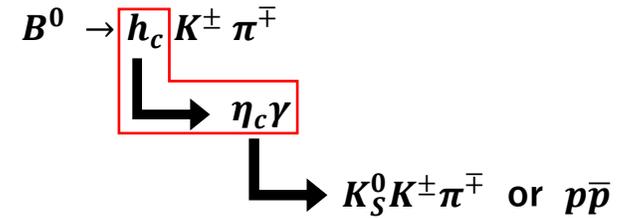
本研究では、最良候補選別として $|\Delta E|$ が一番小さいものを選ぶ。

# $\eta_c \gamma$ 不変質量分布

BメソンSignal region内の事象の $\eta_c \gamma$ 不変質量分布。

非対称な分布：非対称Gaussian(添え字:N)

(+分布の裾は幅広Gaussian、割合は小さく、添え字:G)でフィット。

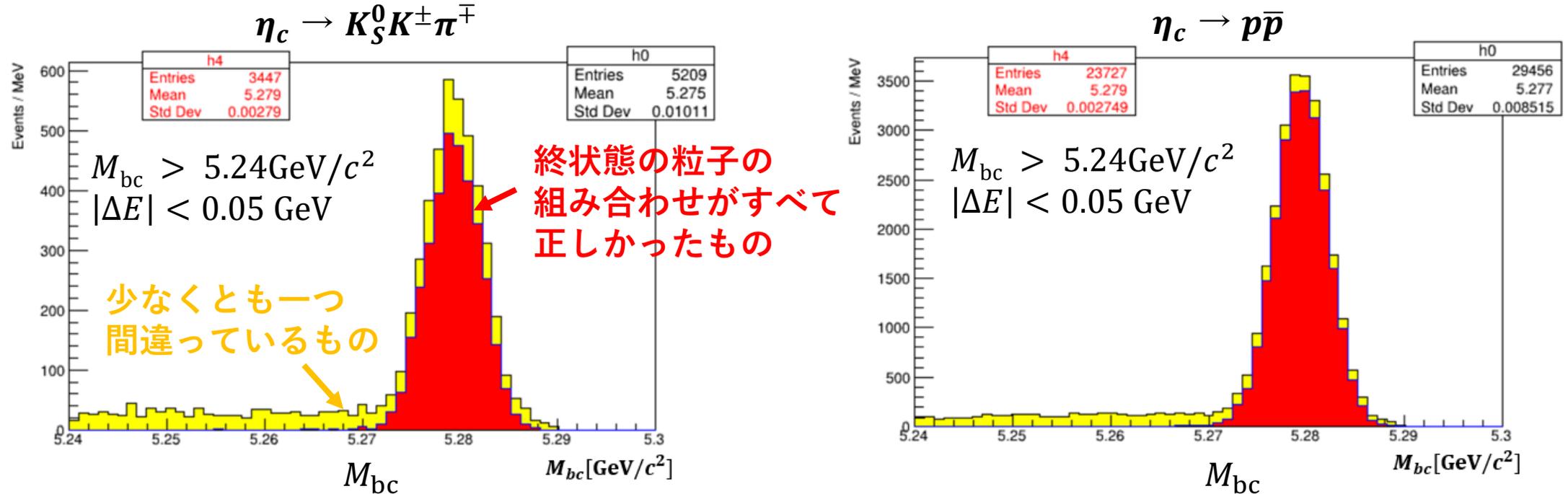


どちらのモードも $h_c$ の質量(3525MeV/c<sup>2</sup>)付近にピークが立っている。

分解能は $\eta_c \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^\mp$ :16 MeV/c<sup>2</sup>、 $\eta_c \rightarrow p \bar{p}$ :14 MeV/c<sup>2</sup>が期待できる。

# 信号検出効率

最良候補選別後の  $|\Delta E| < 0.05 \text{ GeV}$ ,  $M_{bc} > 5.24 \text{ GeV}/c^2$ に見出された  $M_{bc}$  分布。



信号検出効率は  $\eta_c \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^\mp$ :12.5%,  $\eta_c \rightarrow p\bar{p}$ モード:26.0%、  
最良候補選別が正しいものを選ぶ確率は  $\eta_c \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^\mp$ :79.5%,  $\eta_c \rightarrow p\bar{p}$ :91.1%  
と求められた。

# 信号事象数の期待値

信号事象数の期待値 $N_{sig}$ は

$N_{sig} = (\text{中性}B\text{メソン数}) \times (\text{各崩壊分岐比}) \times (\text{検出効率}\epsilon)$ で求められる。

100 fb<sup>-1</sup>あたりの中性Bメソン: $5.83 \times 10^7$  個

$Br(B^0 \rightarrow h_c K^+ \pi^-): 10^{-4}$  を仮定。

$$\begin{aligned} \eta_c \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^\mp : N_{sig} &= (\text{中性}B\text{メソン数}) \times Br(B^0 \rightarrow h_c K^+ \pi^-) \times Br(h_c \rightarrow \eta_c \gamma) \times \\ &\quad Br(\eta_c \rightarrow K_S^0 K^+ \pi^-) \times Br(K_S^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-) \times (\text{検出効率}\epsilon) \\ &= 5.83 \times 10^7 \times 10^{-4} \times 0.51 \times \left(0.073 \times \frac{2}{3} \times \frac{1}{2}\right) \times 0.69 \times 0.125 \\ &\simeq 6.2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \eta_c \rightarrow p\bar{p} : N_{sig} &= (\text{中性}B\text{メソン数}) \times Br(B^0 \rightarrow h_c K^+ \pi^-) \times Br(h_c \rightarrow \eta_c \gamma) \times \\ &\quad Br(\eta_c \rightarrow p\bar{p}) \times (\text{検出効率}\epsilon) \\ &= 5.83 \times 10^7 \times 10^{-4} \times 0.51 \times 0.0015 \times 0.26 \\ &\simeq 1.16 \end{aligned}$$

この値はBelle全データでは数十事象、 Belle IIでは数百～数千事象にあたる。

# バックグラウンドの見積もり

バックグラウンドにはcontinuumと $B\bar{B}$ の二つのものがあり、100 fb<sup>-1</sup>相当の各Event TypeのMCシミュレーションデータを使用してバックグラウンドの見積もりを行った。以下の表はSignal region内に入ってくる事象数の結果。

残存バックグラウンドの事象数

Event Type	$\eta_c \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^\mp$	$\eta_c \rightarrow p\bar{p}$
$u\bar{u}$	4580	1496
$d\bar{d}$	1109	241
$s\bar{s}$	3253	344
$c\bar{c}$	17200	1642
continuum	26142	3723
$B^0\bar{B}^0$	4026	269
$B^+B^-$	4148	418
$B\bar{B}$	8174	687
全Type合計	34316	4410

continuumは $B\bar{B}$ 以外のハドロン生成事象、 $e^+e^- \rightarrow u\bar{u}, d\bar{d}, s\bar{s}, c\bar{c}$

$\eta_c \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^\mp$ よりも $\eta_c \rightarrow p\bar{p}$ の方が予想されるバックグラウンドの事象数は少なく、どちらの崩壊モードでもcontinuumが占めるバックグラウンドの方が支配的であることが分かった。

信号事象数の期待値は100 fb<sup>-1</sup>あたり

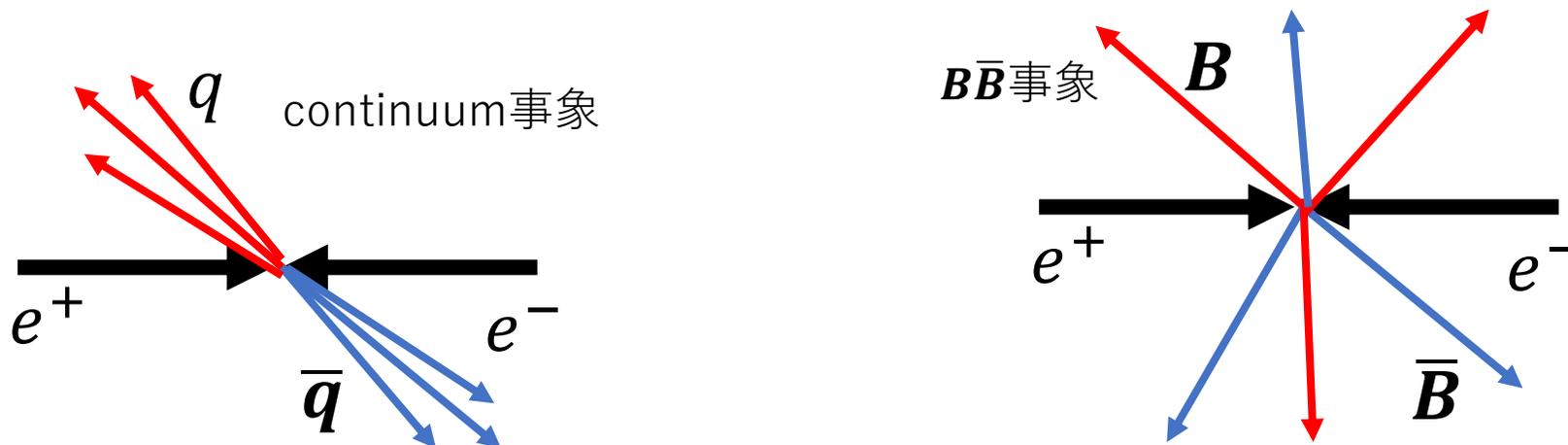
$\eta_c \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^\mp$ :6.2事象,  $\eta_c \rightarrow p\bar{p}$ モード:1.16事象  
→バックグラウンドの低減が必要不可欠。 13

# continuumバックグラウンドの抑制

本研究ではFastBDT(BDT:Boosted Decision Tree)なる多変量解析アルゴリズムを用いて、continuum由来のバックグラウンド事象数の削減を図る。

u, d, s, cクォークは質量が重心系エネルギーより軽いので、continuum事象では高い運動量を持ち、ハドロンジェットが形成される。逆に **$B\bar{B}$** 事象では運動量は小さく、等方的な分布となる。

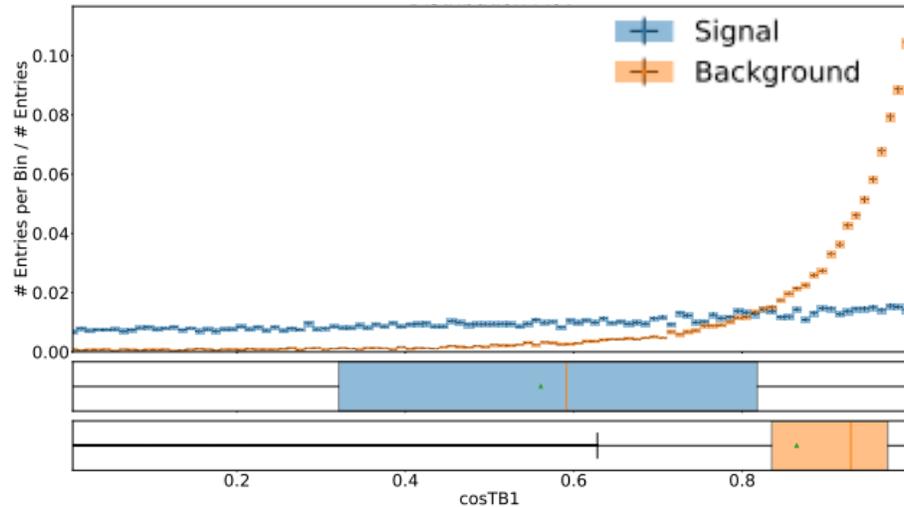
→事象形状を表す変数群を多変量解析に使用した。



# continuumバックグラウンドの抑制に使用した変数

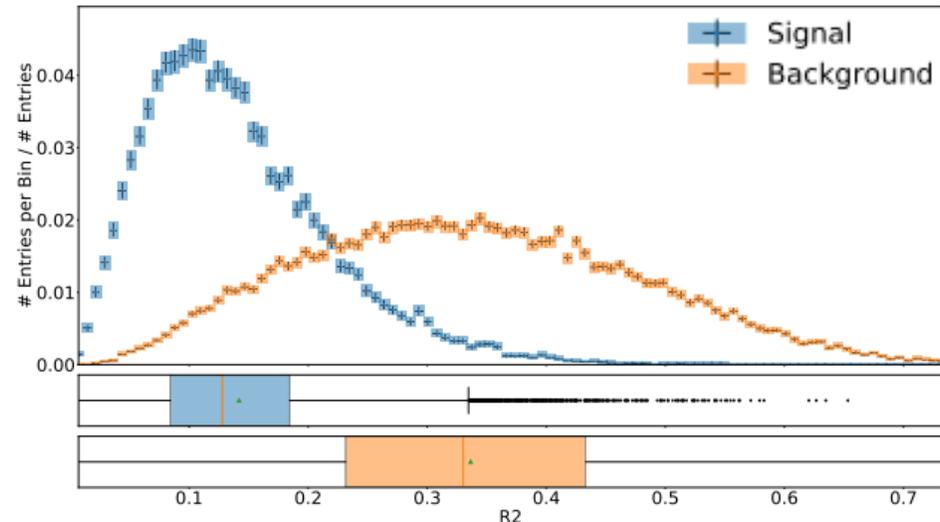
Belle標準の事象形状の変数(16種類)、CLEO実験でcontinuum抑制に使用されていた変数(9種類)、スラスト関係の変数(4種類)、R2の計30変数を使用。

cosTBTO



事象形状がジェットライクだと  
1にピークが表れる。

R2



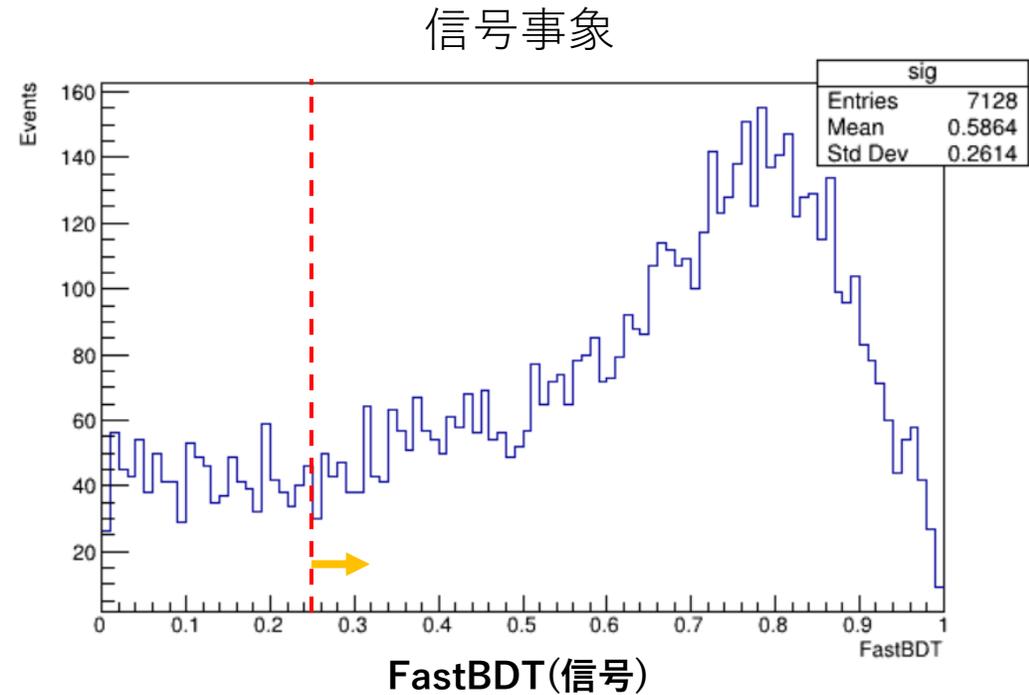
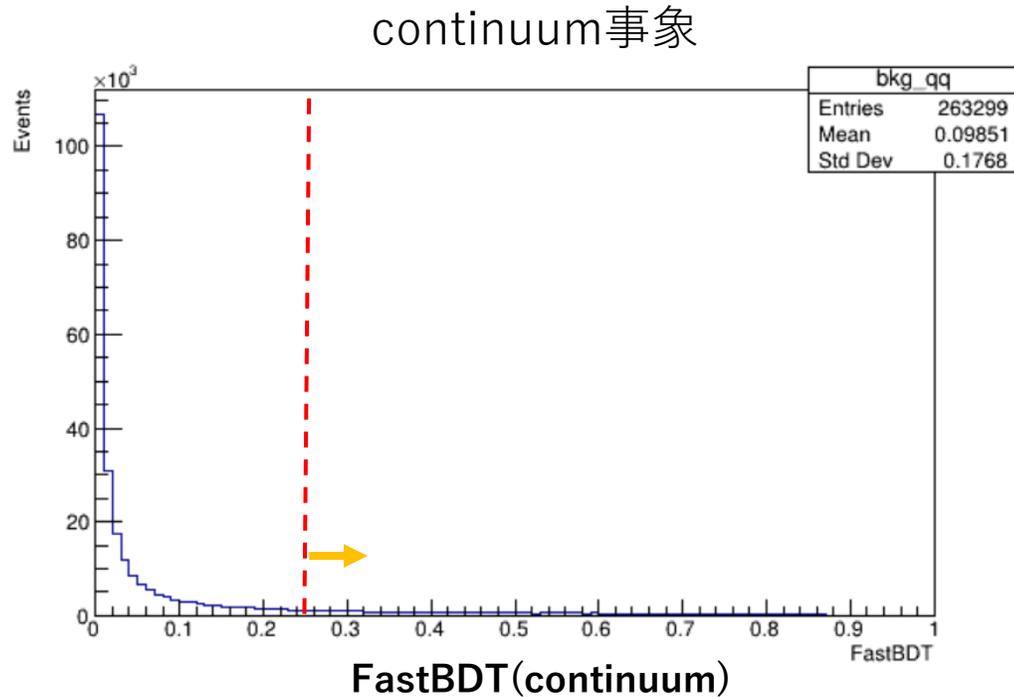
等方的な事象は0に、  
ジェットライクな事象は1に分布する。

FastBDTはこれら複数の変数の相関を考慮して分離を最大化するソフトウェア  
→continuumに対して0を、信号に対して1を返す確率分布を出力する。

# FastBDT出力値( $\eta_c \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^\mp$ )

以下は学習の結果として得られたFastBDT出力値の分布である。

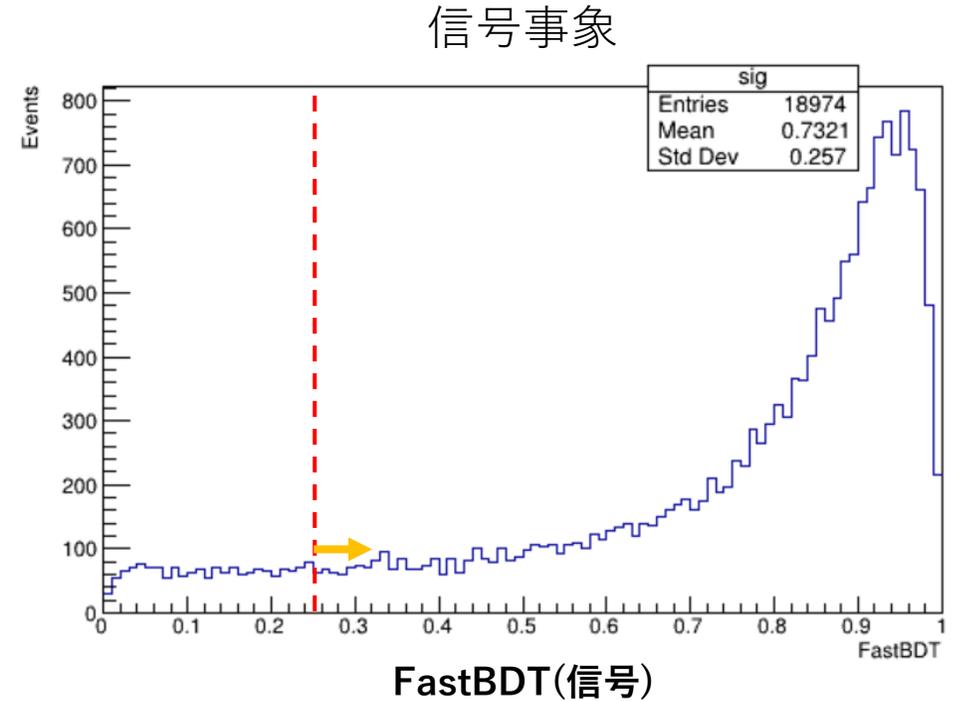
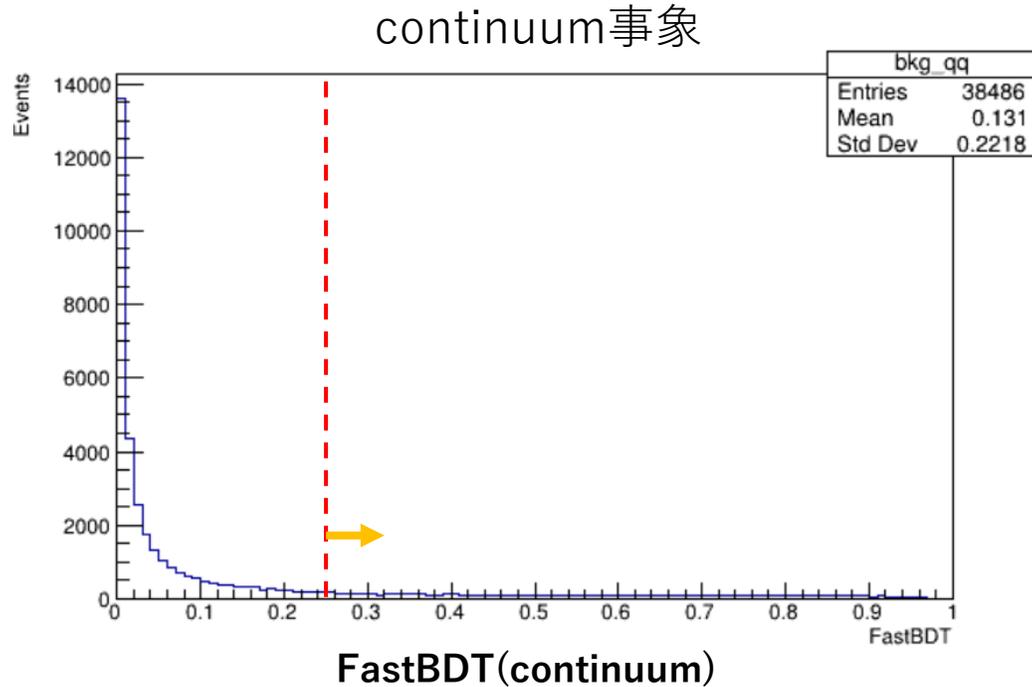
0に近いほどcontinuum事象、1に近いほど信号事象らしい事象であることを表す。



FastBDT > 0.25 を課すことで  
continuum事象を88%低減しつつ、信号事象を86%保持することが分かった。  
 $\eta_c \rightarrow p\bar{p}$ モードでも同様の解析を行った。

# FastBDT出力値( $\eta_c \rightarrow p\bar{p}$ )

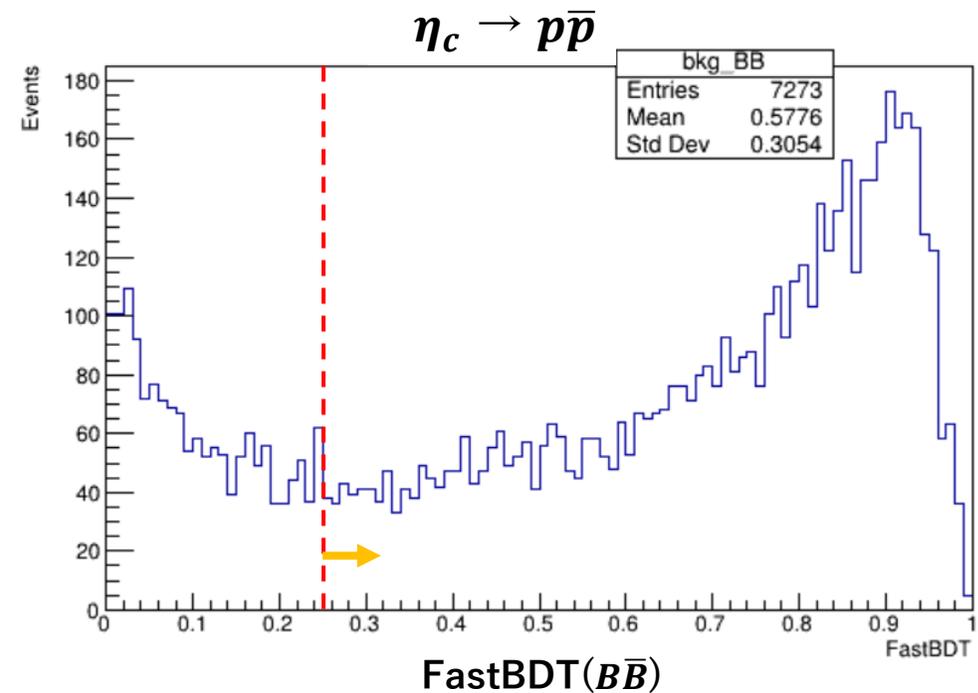
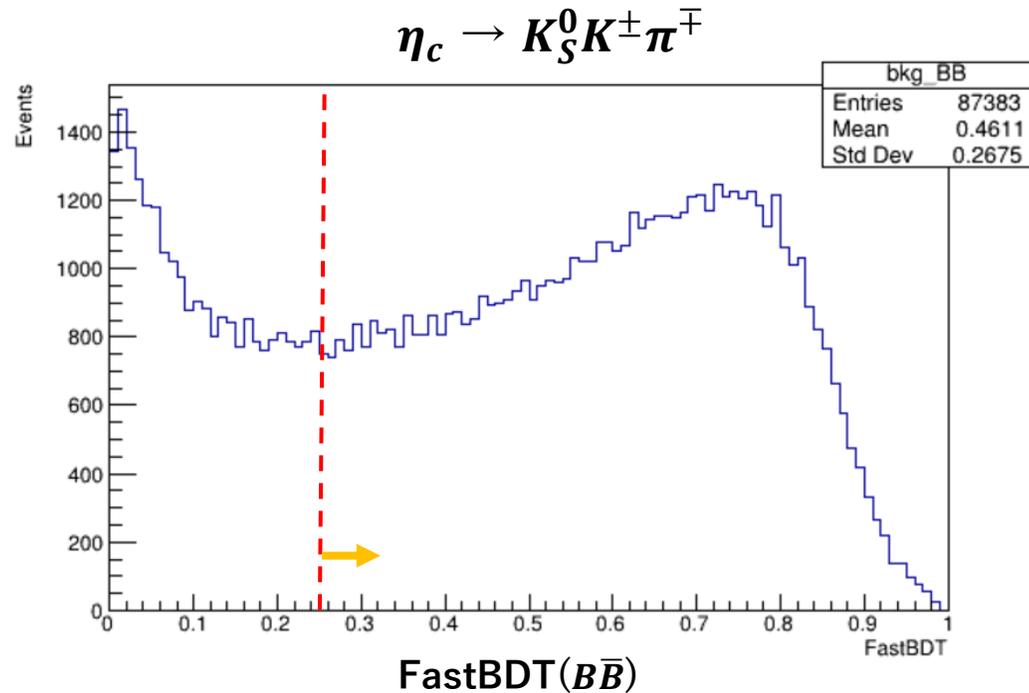
$\eta_c \rightarrow p\bar{p}$ モードでのFastBDT出力値の分布。



FastBDT > 0.25 を課すことで continuum事象を84%低減しつつ、信号事象を92%保持することが分かった。

# FastBDT出力値( $B\bar{B}$ 事象)

どちらのモードも0付近と1よりの部分にピークがあり、continuum事象と信号事象の中間的な分布となる。



FastBDT > 0.25 を課すことで

$\eta_c \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^\mp$ モードでは29%,  $\eta_c \rightarrow p\bar{p}$ モードでは23%の $B\bar{B}$ 事象を削減できることが分かった。

# $M_{bc}$ 分布のフィット結果

信号事象はGaussianでフィットを行い、わずかに再構成に失敗して広く分布する成分には ARGUS 関数を使用した。

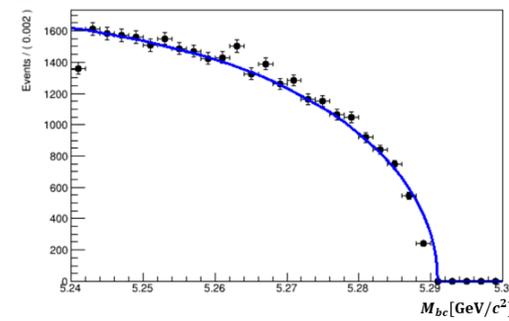
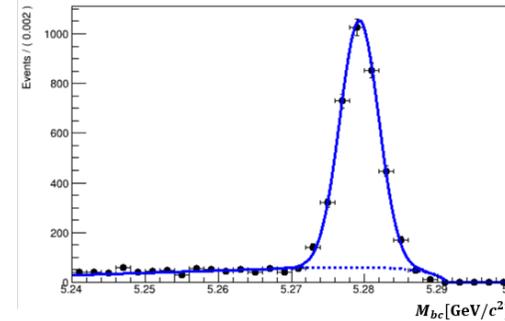
バックグラウンド事象はARGUS 関数を使用してフィットを行った。

$$F_{Argus} = N \cdot m \cdot \left[ 1 - \left( \frac{m}{m_0} \right)^2 \right]^p \cdot \exp \left[ c \cdot \left( 1 - \left( \frac{m}{m_0} \right)^2 \right) \right]$$

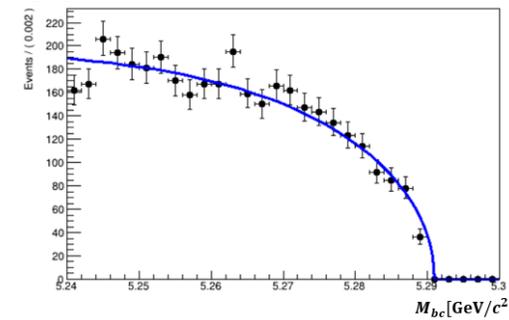
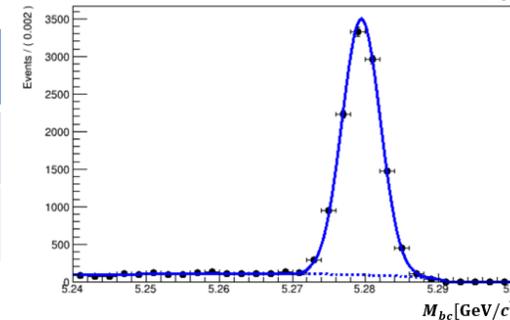
$M_{bc}$ 分布のフィット結果

	$\eta_c \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^\mp$	$\eta_c \rightarrow p \bar{p}$
mean <sub>G</sub> [GeV/c <sup>2</sup> ]	5.27933 ± 0.00005	5.27946 ± 0.00003
σ <sub>G</sub> [GeV/c <sup>2</sup> ]	0.00264 ± 0.00004	0.00261 ± 0.00002

$\eta_c \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^\mp$



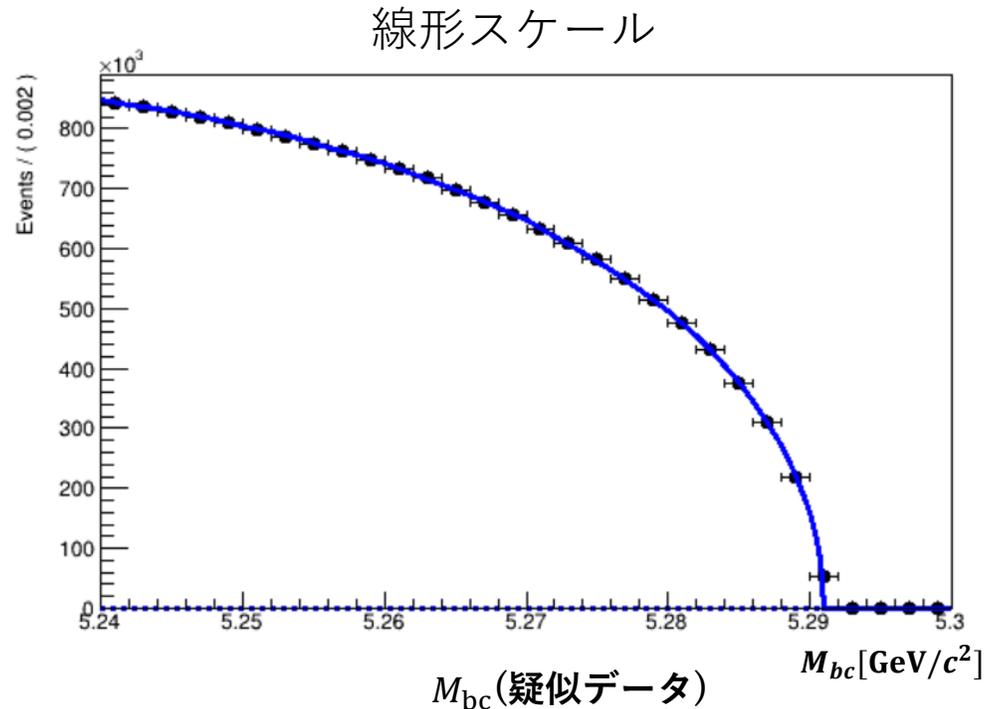
$\eta_c \rightarrow p \bar{p}$



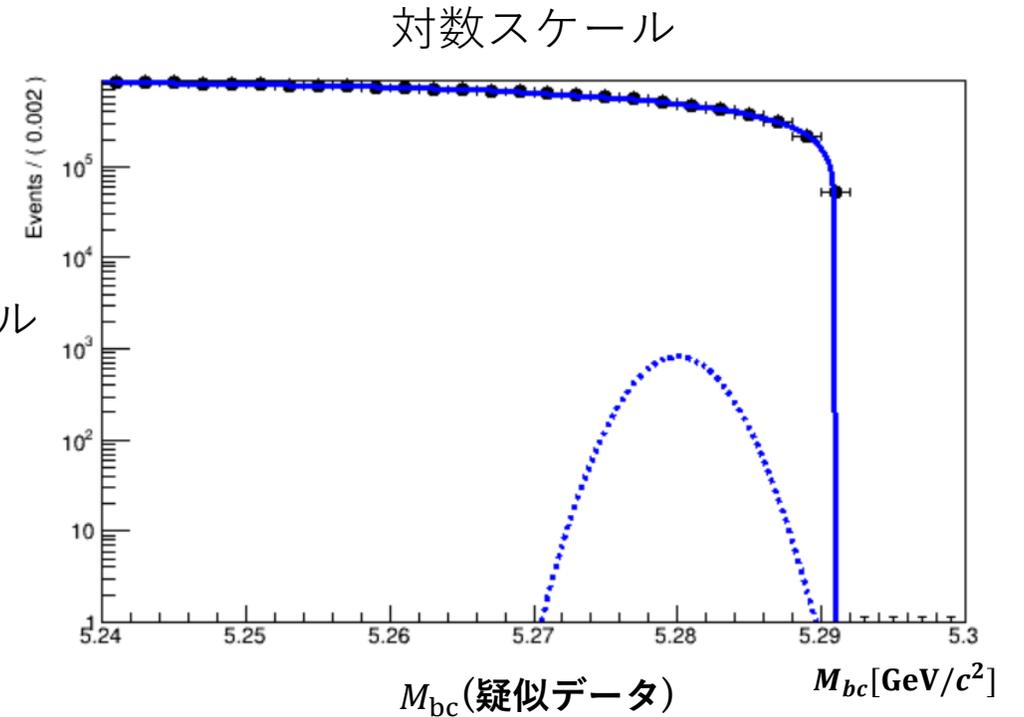
これらのフィット結果を用いて疑似データを作成した。

# 期待される感度 ( $\eta_c \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^\mp$ )

以下の図は50  $\text{ab}^{-1}$ に対応する疑似データ分布である。



➡  
対数スケール  
で表示

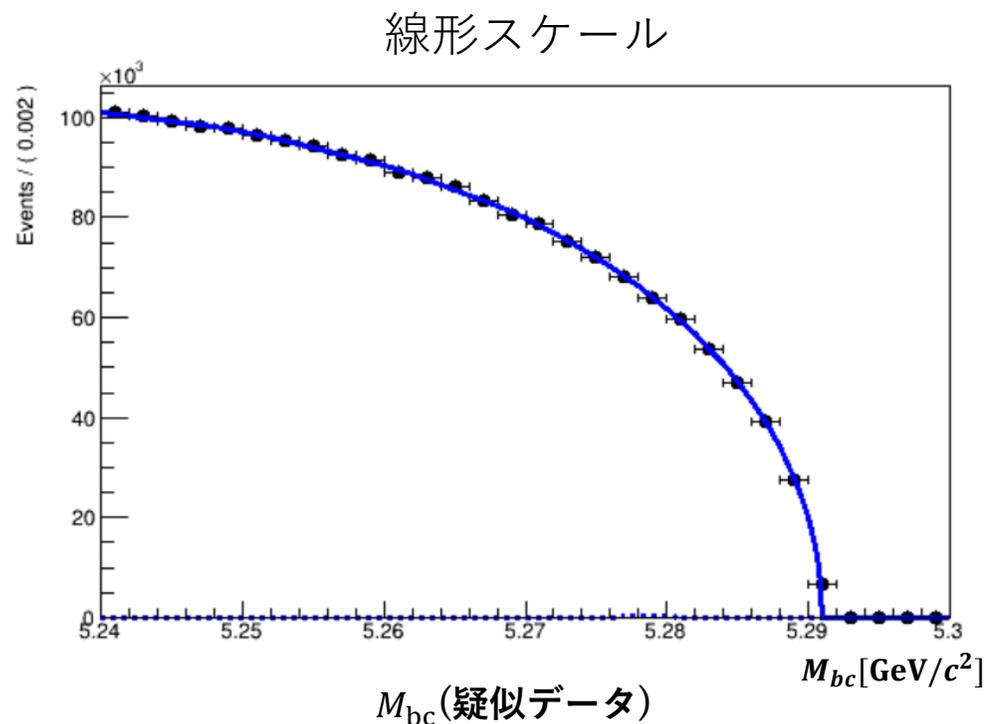


フィットが返した信号事象数は  $2694 \pm 2231$  事象であった。

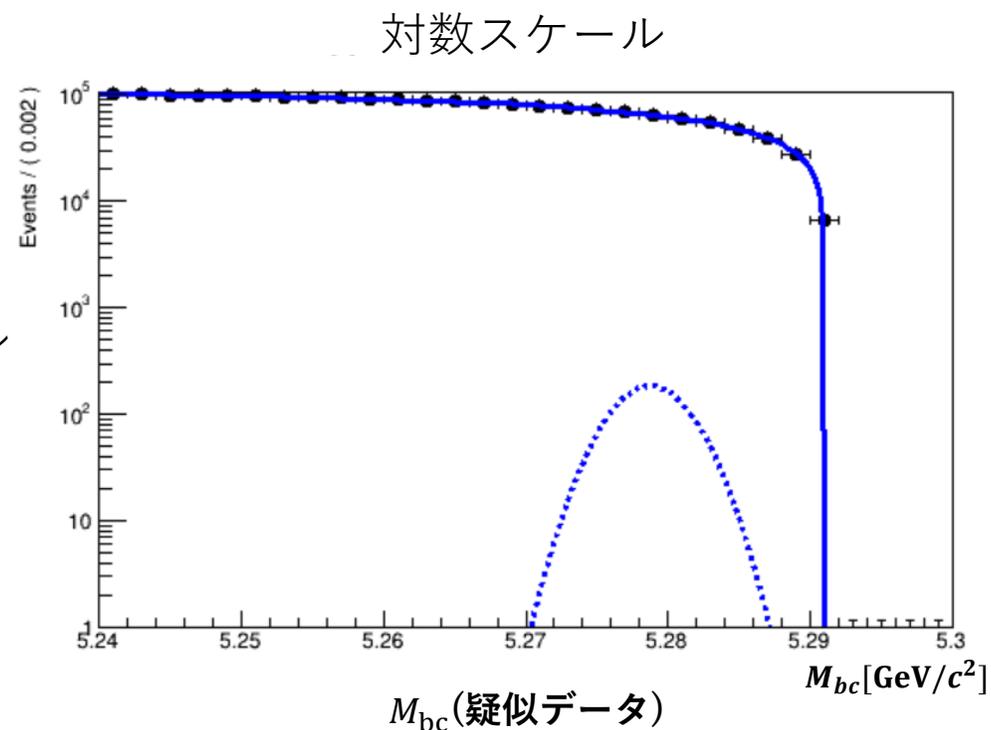
$\eta_c \rightarrow p\bar{p}$  モードでも同様の解析を行った。

# 期待される感度 ( $\eta_c \rightarrow p\bar{p}$ )

以下の図は50 ab<sup>-1</sup>に対応する疑似データ分布である。



➡  
対数スケール  
で表示



フィットが返した信号事象数は $598 \pm 382$ 事象であった。

どちらのモードでも有意な信号を確認することは難しいことが分かった。

# まとめ

- $\eta_c \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^\mp$  と  $\eta_c \rightarrow p\bar{p}$  の2つのモードで  $B^0 \rightarrow \eta_c \gamma K^\pm \pi^\mp$  の再構成や  $|\Delta E|$  を用いた最良候補選別を行い、信号検出効率や信号事象数期待値を求めた。

$\eta_c \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^\mp$  モードの検出効率は12.5%, 100 fb<sup>-1</sup>あたりの信号事象数は6事象

$\eta_c \rightarrow p\bar{p}$  モードの検出効率は26.0%, 100 fb<sup>-1</sup>あたりの信号事象数は1事象

→ Belle II 全データで数百～数千事象にあたる。

- バックグラウンド事象数を見積もると、何もバックグラウンドを削減する措置を講じない場合S/N比が1/5000程度。

→ バックグラウンドの除去が必要不可欠。

# まとめ

- FastBDTを用いたcontinuum事象低減により、continuum由来のバックグラウンドを一桁ほど落とすことが分かった。
- バックグラウンド事象と信号事象で $M_{bc}$ 分布のフィットを行い、FastBDT学習結果とこれらのフィット結果を用いて、期待される感度の見積もりを行った。  
→どちらのモードでも有意な信号を確認することは難しいことが分かった。

# 今後の展望

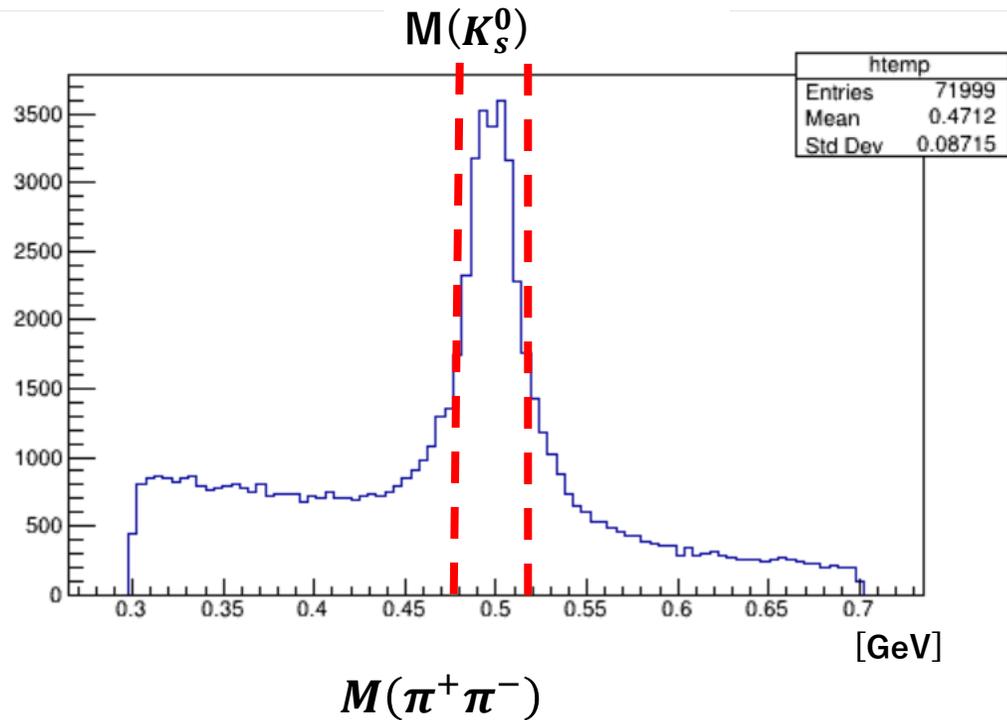
**$B\bar{B}$** バックグラウンド低減措置の導入や、本研究では活用していなかった情報(崩壊点再構成による $\Delta t$ 分布の違い等)により、さらにバックグラウンドの低減を図ることが挙げられる。

Back up

# 選別条件

- Track selection
  - $dr < 2\text{cm}$  ,  $dz < 5\text{cm}$  (except for  $K_S^0$  daughter)
  - $K/\pi$  id  $> 0.6$  for K, otherwise  $\pi$
  - Proton-id LR  $> 0.2$
- $K_S^0$  selection
  - $|M(\pi\pi) - M_{K_S^0}| < 20\text{MeV}$
- $\gamma$  selection
  - $E_\gamma > 100\text{MeV}$
  - $clusterE9/E21 > 0.9$
- $\eta_c$  candidates
  - $|M(K_S^0 K^\pm \pi^\mp) - M_{\eta_c}| < 40\text{MeV}$  for  $\eta_c \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^\mp$
  - $|M(p\bar{p}) - M_{\eta_c}| < 40\text{MeV}$  for  $\eta_c \rightarrow p\bar{p}$

# $K_S^0$ 候補の不変質量分布 (Signal MC)

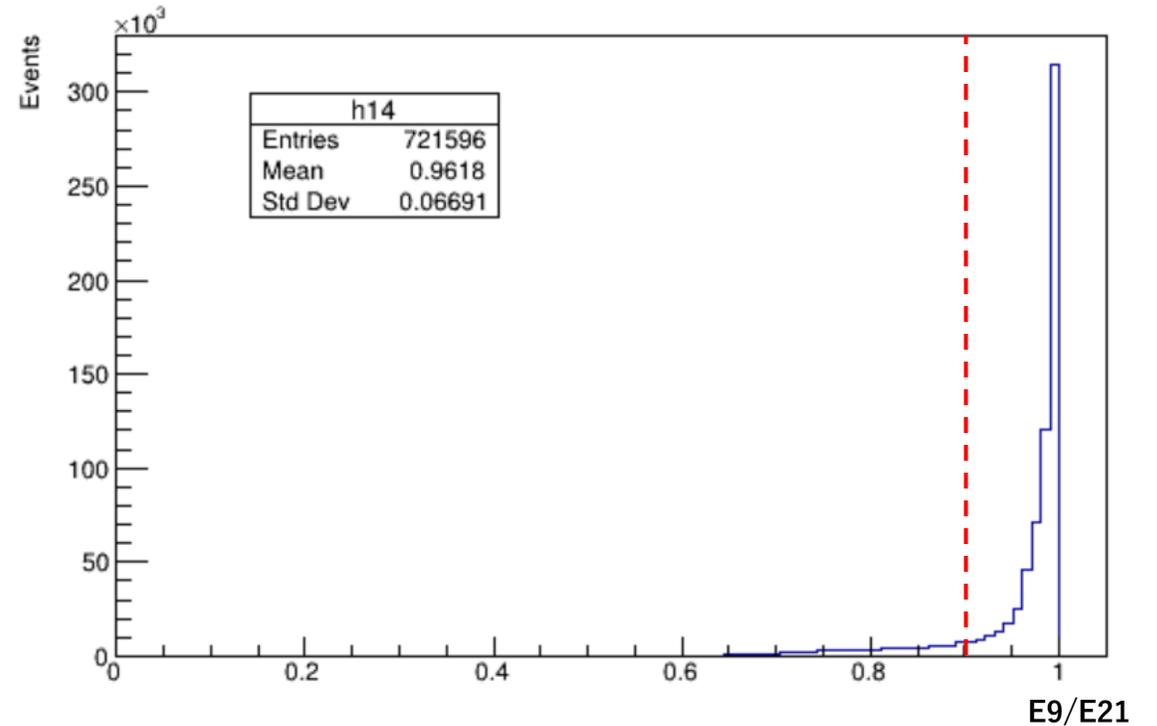
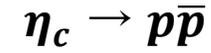
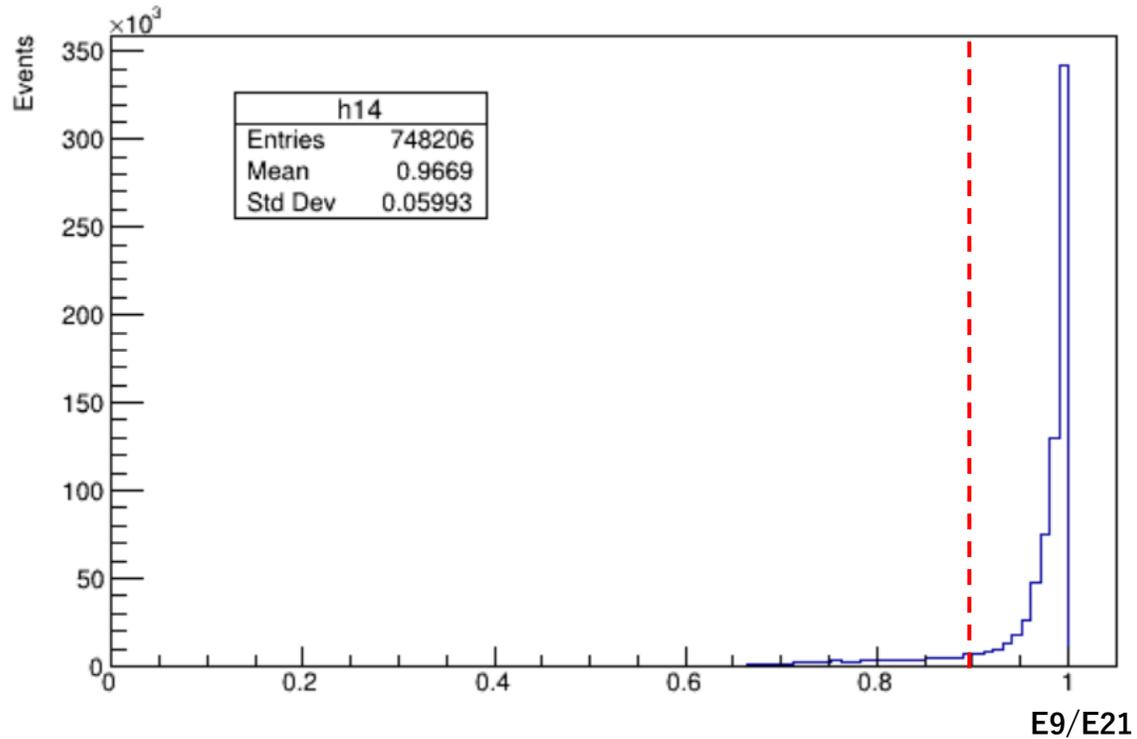


$K_S^0$  の質量  $497.6 \text{ MeV}/c^2$  付近にピークが立っていることが確認できた。

赤点線の範囲 ( $477.6 \text{ MeV}/c^2 < M(\pi^+ \pi^-) < 517.6 \text{ MeV}/c^2$ ) に入るものを  $K_S^0$  候補とした。

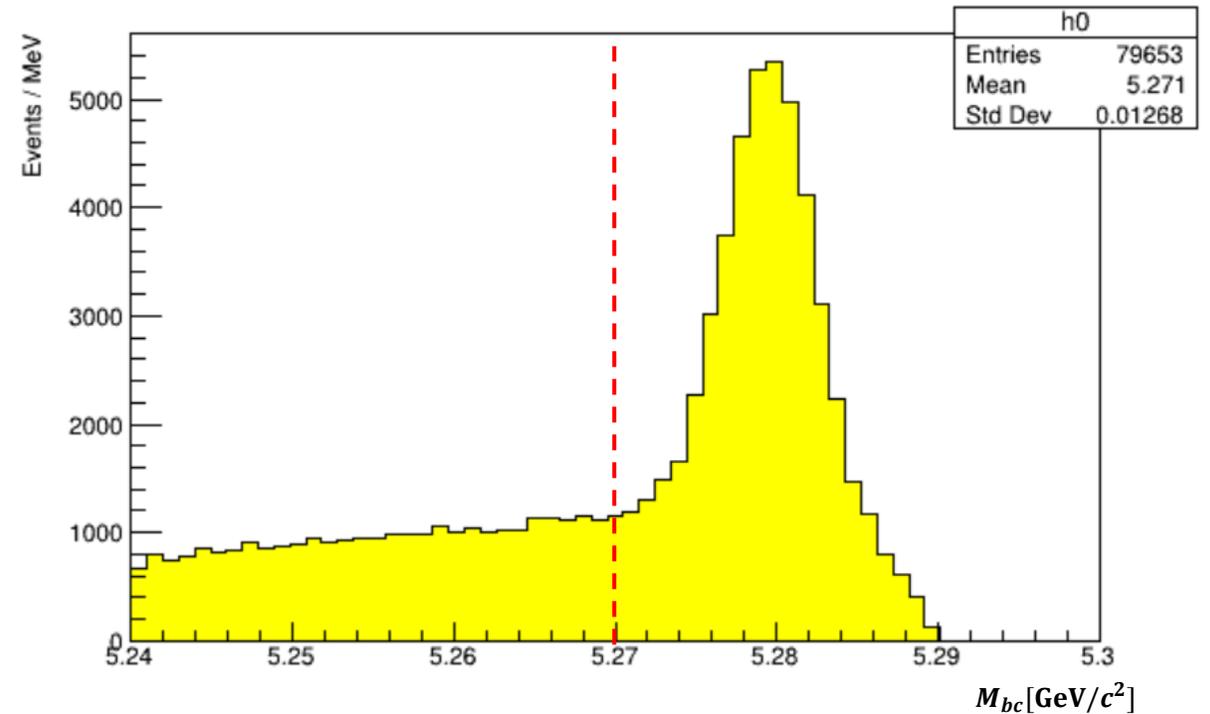
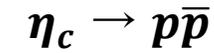
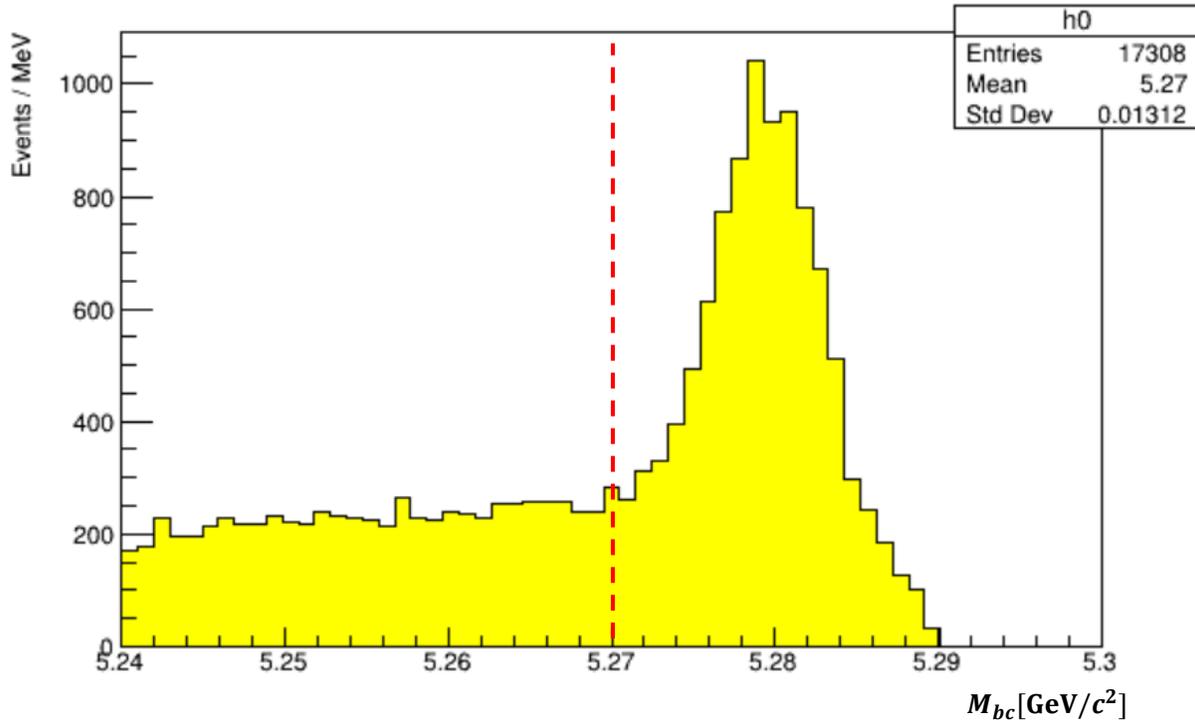
# GammaのE9/E21分布

cutはE > 0.1とgammaの推奨cut。



# $M_{bc}$ 分布

ここで  $M_{bc} = \sqrt{(E_{CM}/2)^2 - P^2}$ ,  $\Delta E = E - (E_{CM}/2)$ 。  
B崩壊信号では  $M_{bc} = 5.28 \text{ GeV}/c^2$ ,  $\Delta E = 0$  にピークが立つ。

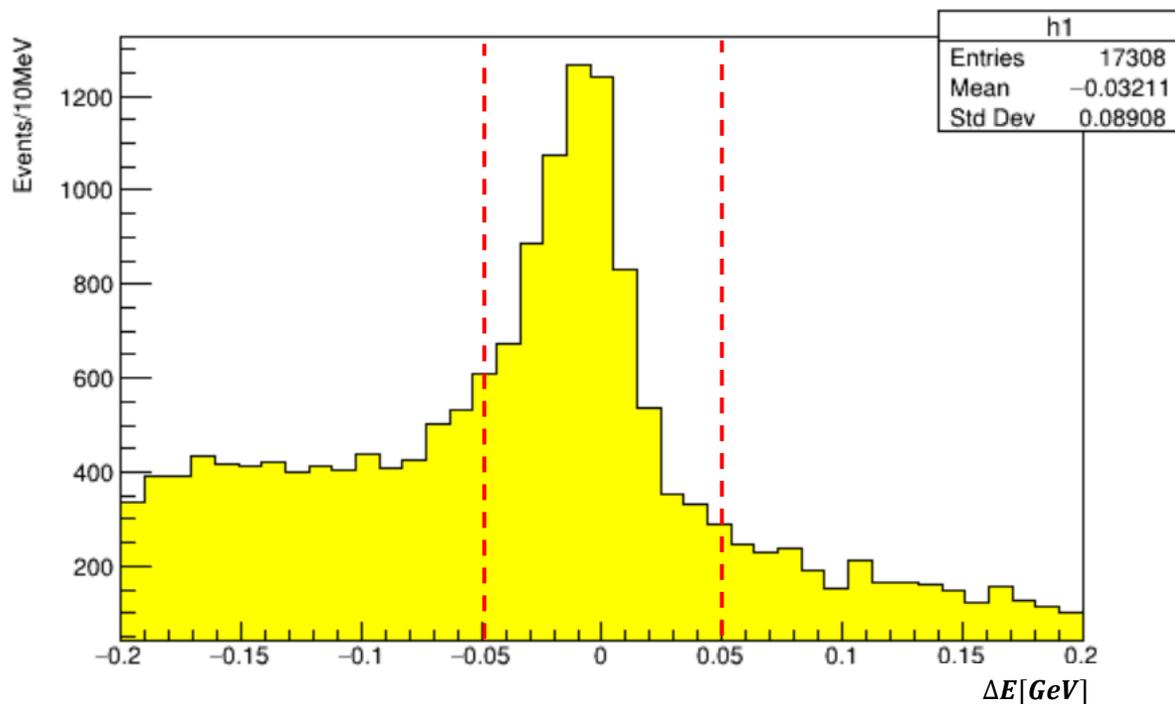


$|\Delta E| < 0.05 \text{ GeV}$  の cut かけていない。

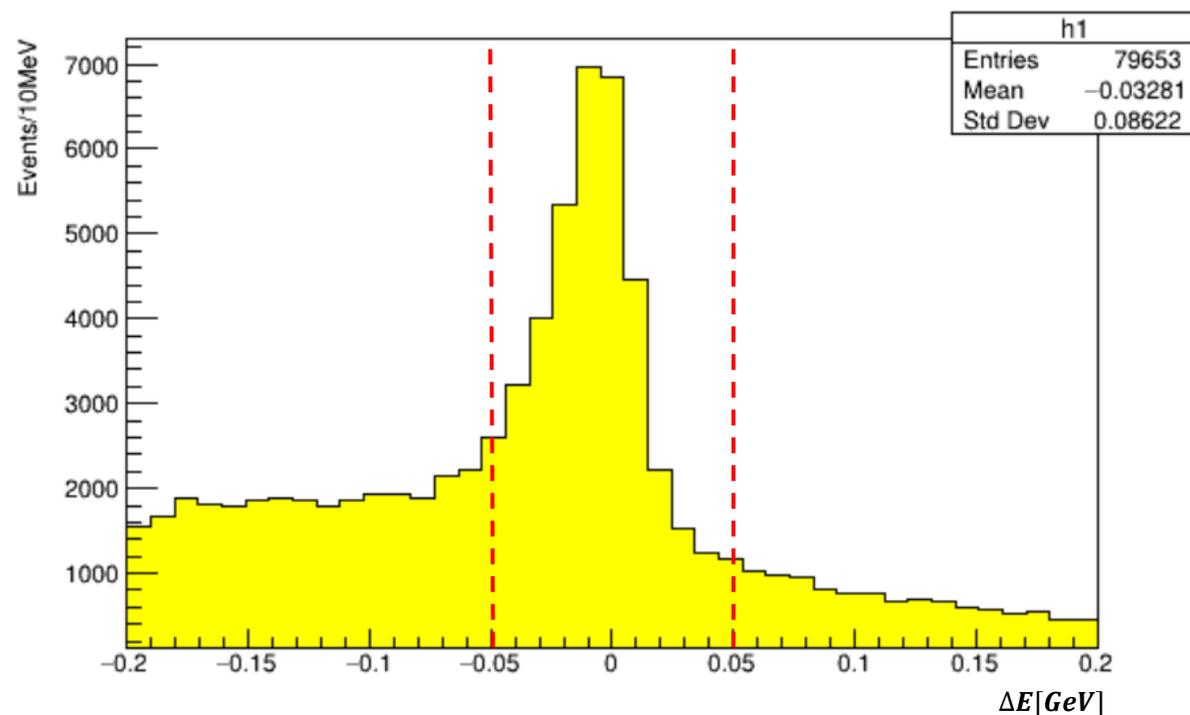
# $\Delta E$ 分布

ここで  $M_{bc} = \sqrt{(E_{CM}/2)^2 - P^2}$ ,  $\Delta E = E - (E_{CM}/2)$ 。  
B崩壊信号では  $M_{bc} = 5.28 \text{ GeV}/c^2$ ,  $\Delta E = 0$  にピークが立つ。

$\eta_c \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^\mp$



$\eta_c \rightarrow p\bar{p}$



$M_{bc} < 5.27 \text{ GeV}/c^2$  のcutかけていない、

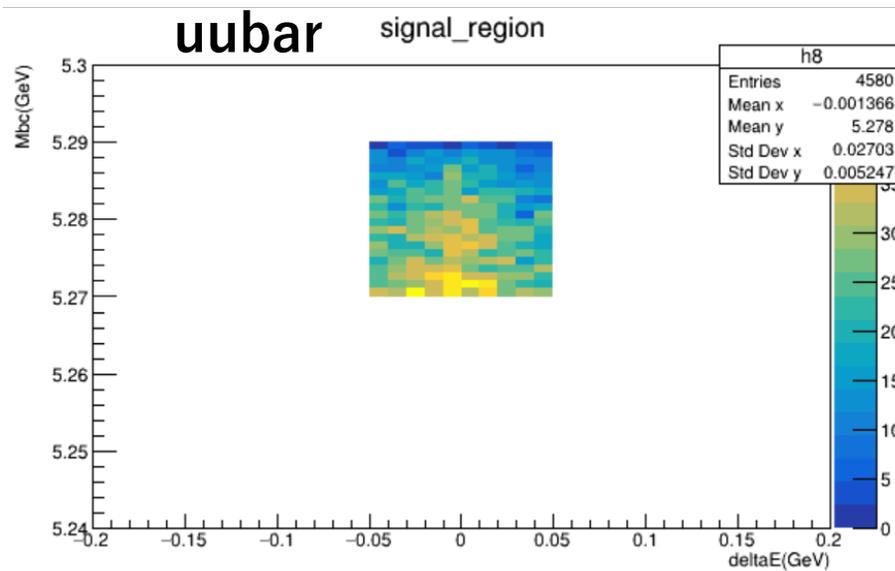
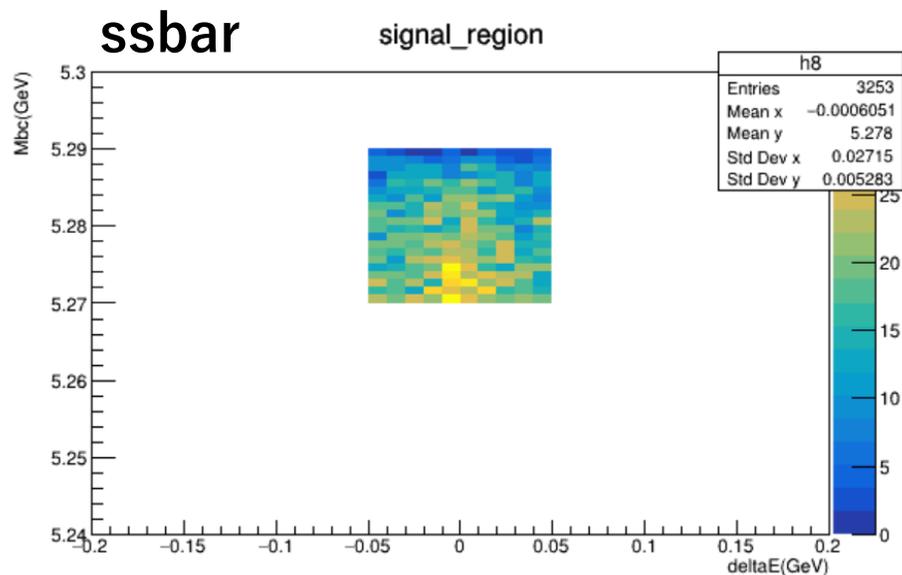
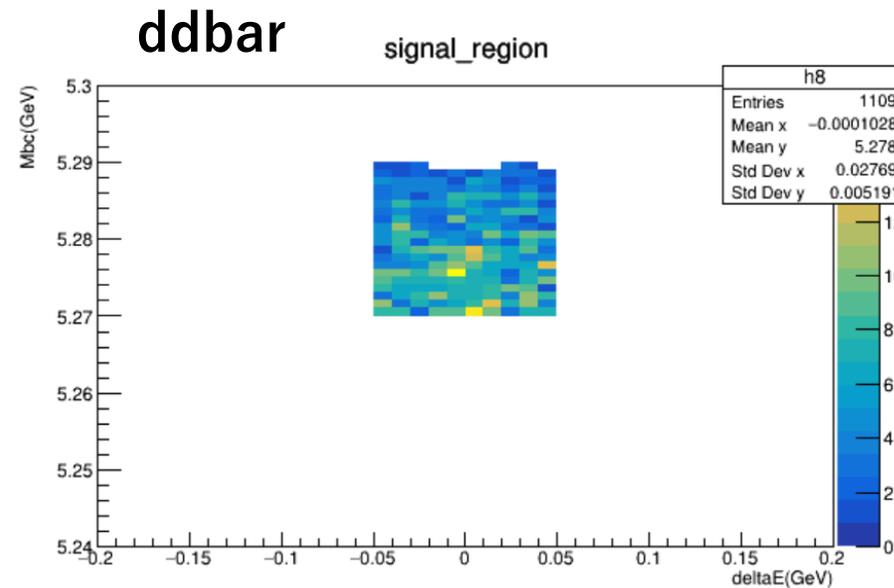
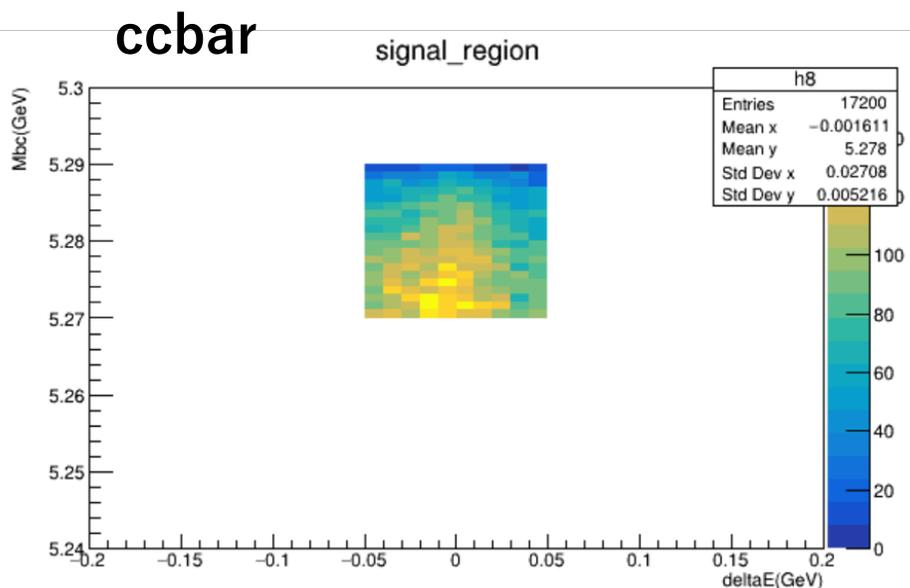
# バックグラウンドの見積もり

Belle II共用モンテカルロシミュレーションデータを用いた。

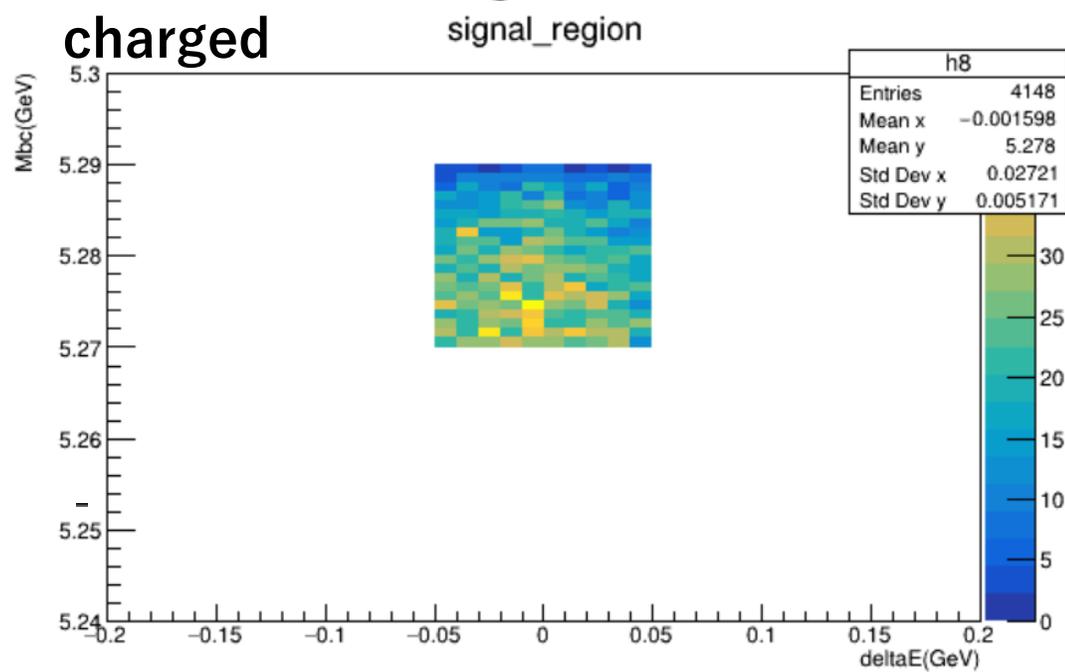
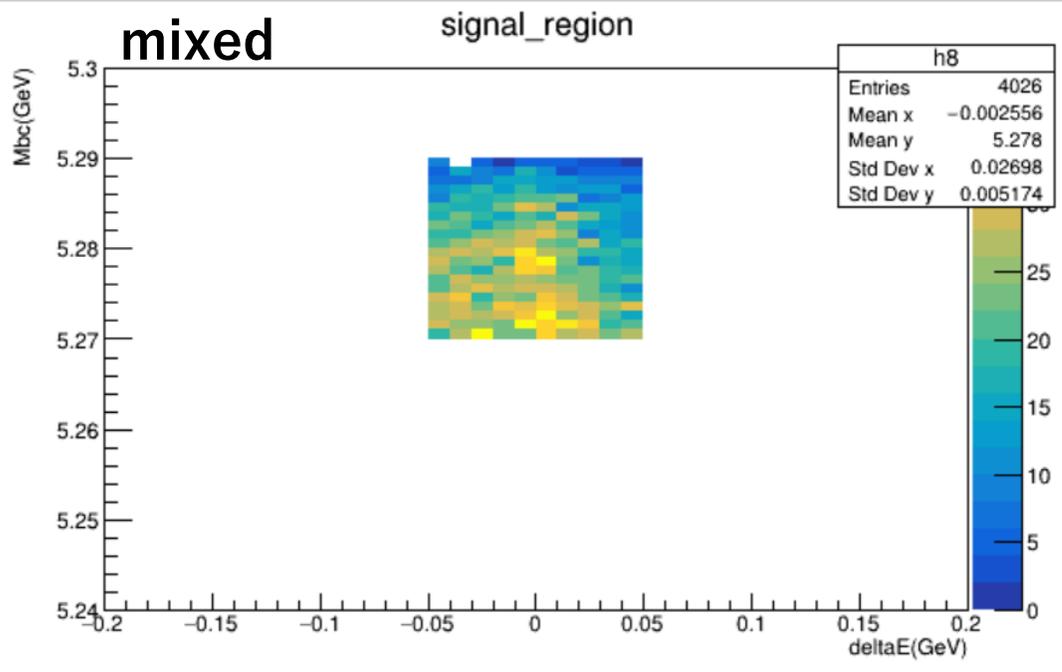
$\eta_c \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^\mp$ ,  $\eta_c \rightarrow p\bar{p}$  に崩壊するモードの二種類の解析を行った。  
対応する積分ルミノシティは100 fb<sup>-1</sup>。

	対応するEvent数
$u\bar{u}$	161M
$d\bar{d}$	40M
$s\bar{s}$	38M
$c\bar{c}$	133M
$B^0\bar{B}^0$	54M
$B^+B^-$	51M
$\tau^+\tau^-$	92M

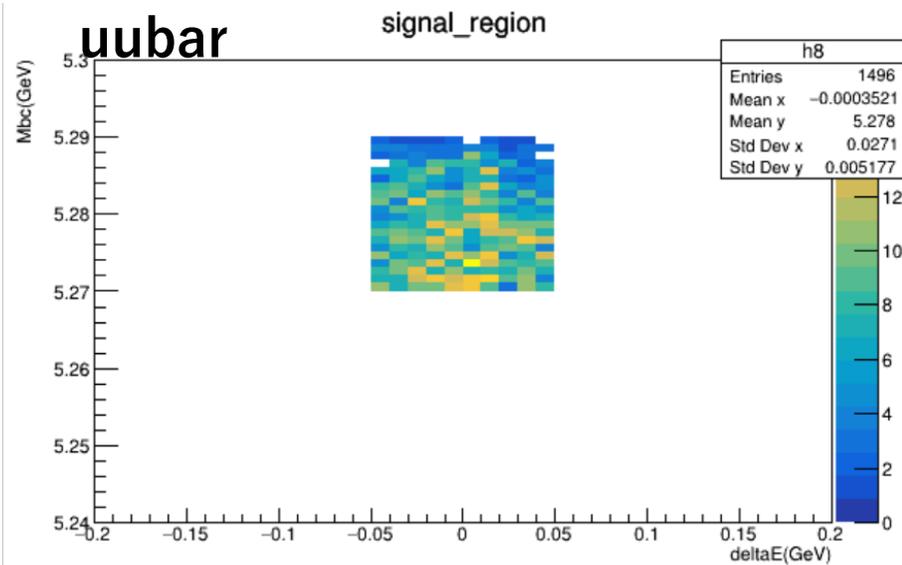
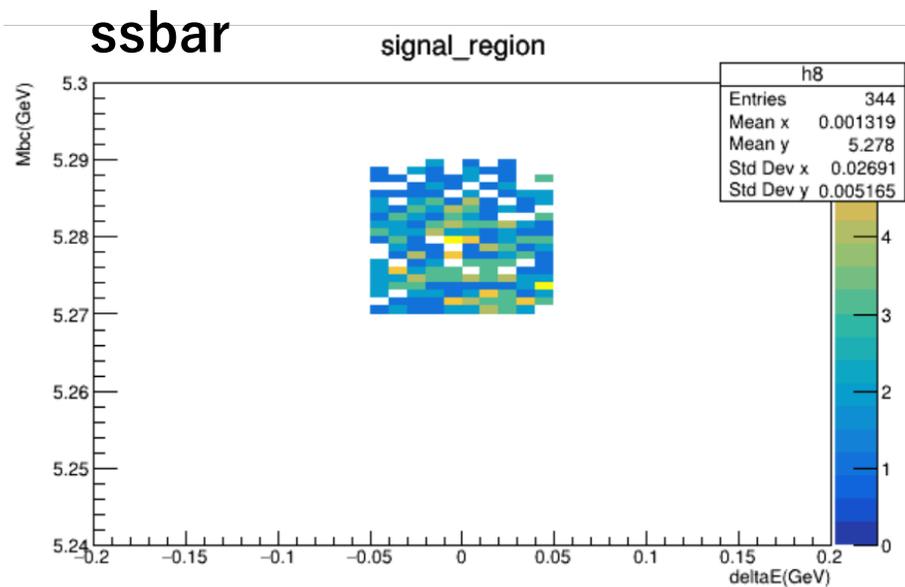
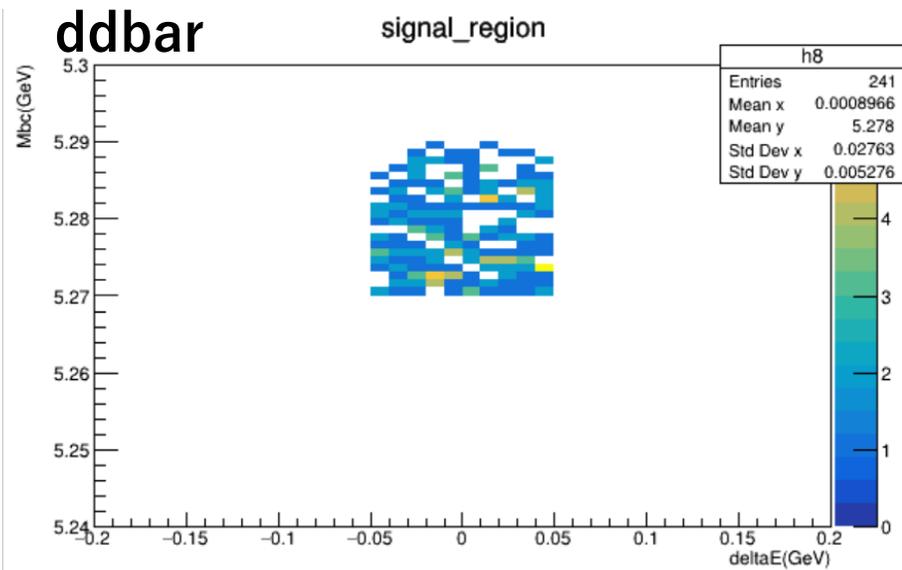
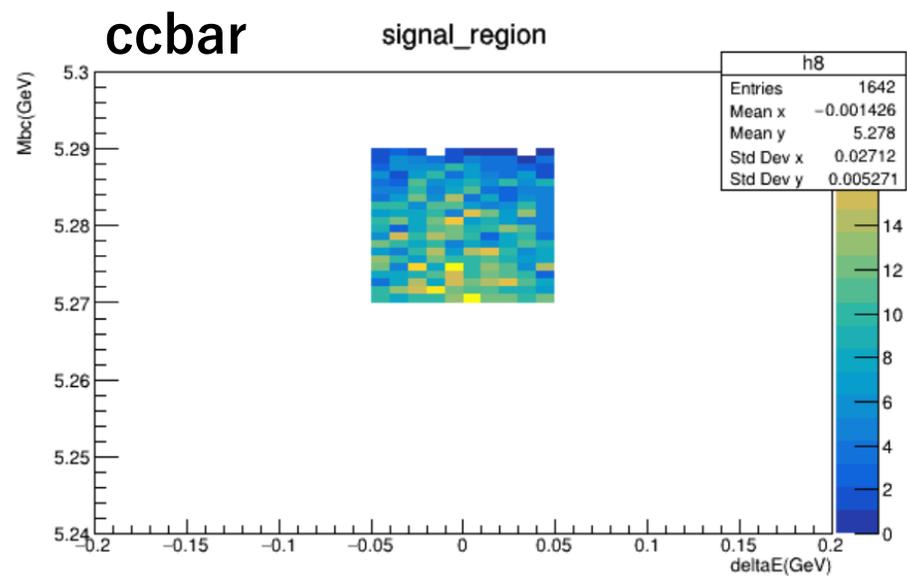
# bkgの見積もり : BCSあり ( $\eta_c \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^\mp$ )



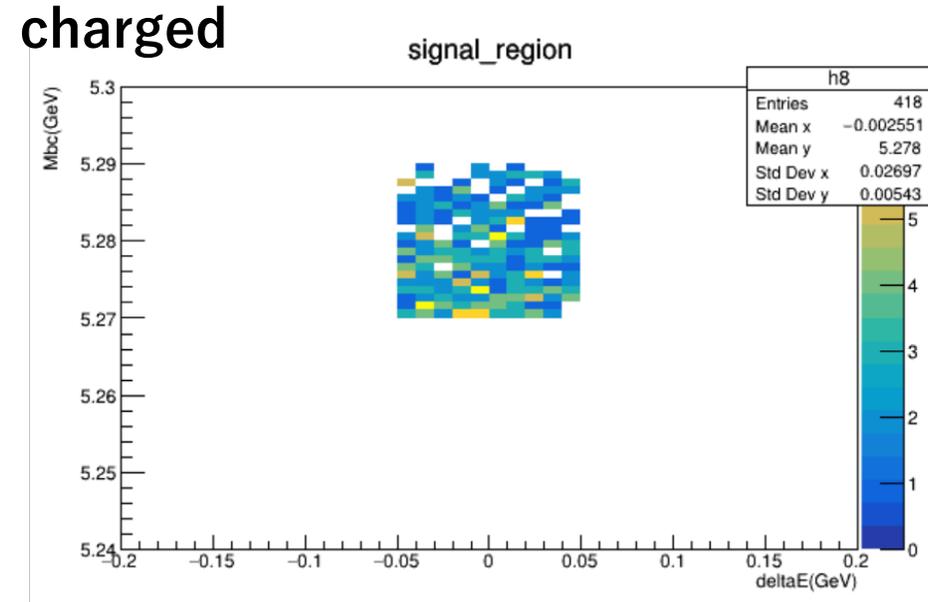
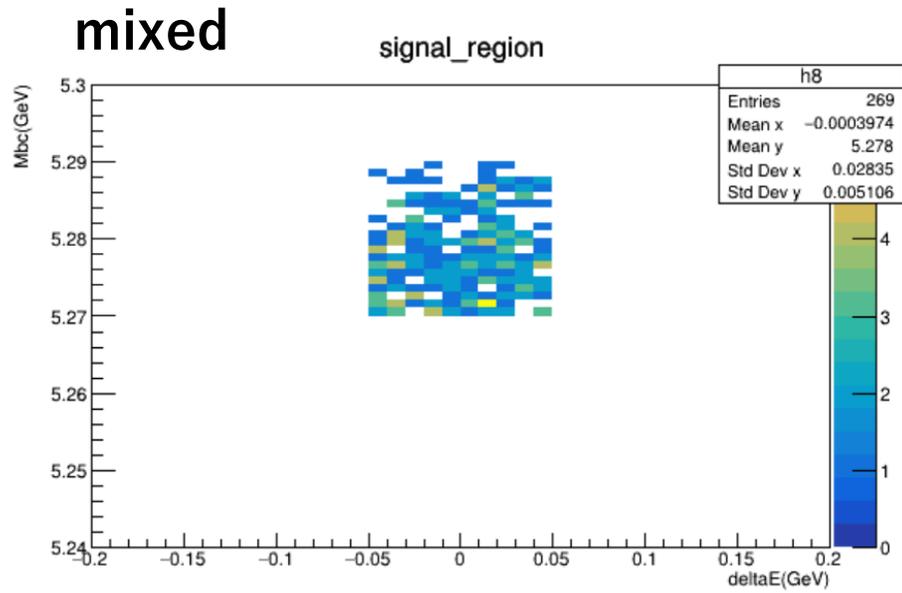
# bkgの見積もり : BCSあり ( $\eta_c \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^\mp$ )



# bkgの見積もり : BCSあり ( $\eta_c \rightarrow p\bar{p}$ )



# bkgの見積もり : BCSあり ( $\eta_c \rightarrow p\bar{p}$ )



# continuum suppressionに使用した変数

KSFW moments(14種類) +  $p_t^{sum}$  +  $M_{miss}^2$  : Belle標準のイベント形状の変数  
運動量方向などからイベントの形状を数値化。

cleoConeThrust (9種類) : CLEO実験で $q\bar{q}$ 抑制に使用されていた変数  
スラスト軸とROEの運動量方向の間の角の大きさを場合分けして、  
それぞれの場合のROEの運動量の合計を表す。

thrustBm, thrustOm, cosTBTO, cosTBz : スラスト関係の変数  $T = \max_{|n|=1} \frac{\sum_i |\vec{n} \cdot p_i|}{\sum_i |p_i|}$   
BメソンやROEのスラスト軸の大きさや、  
BメソンとROEのスラスト軸の間の角、Bメソンのスラスト軸とz軸の間の角を表す。

R2 : Reduced Fox-Wolfram moment  
0~1の値を取り、0に近いほど等方的、1に近いほどジェット形状。

# FastBDT学習結果

学習結果であるFastBDT出力値の条件を課すことでSignal region内に入ってくる事象数の変化を調べた。

FastBDT出力値の条件を課す前後の事象数の比較

	continuum事象	$B\bar{B}$ 事象	信号事象
$\eta_c \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^\mp$ Cut条件なし	26142	8174	4416
$\eta_c \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^\mp$ FastBDT > 0.25	3195	5800	3798
$\eta_c \rightarrow p\bar{p}$ Cut条件なし	3723	687	12970
$\eta_c \rightarrow p\bar{p}$ FastBDT > 0.25	583	531	11945

FastBDT > 0.25の条件を課すことで  
 $\eta_c \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^\mp$ モードでは  
continuum事象を88%低減しつつ、  
信号事象を86%保持でき、  
 $\eta_c \rightarrow p\bar{p}$ モードでは  
continuum事象を84%低減しつつ、  
信号事象を92%保持できることが分  
かった。  
 $B\bar{B}$ 事象は $\eta_c \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^\mp$ モードで  
29%、 $\eta_c \rightarrow p\bar{p}$ モードで23%低減され  
ることが確認された。

# $M_{bc}$ 分布のフィット結果

信号事象はGaussianでフィットを行い、わずかに再構成に失敗して広く分布する成分には ARGUS 関数を使用した。

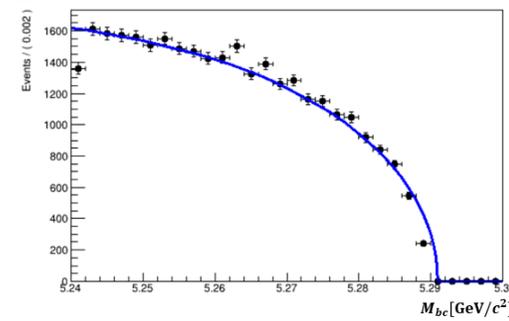
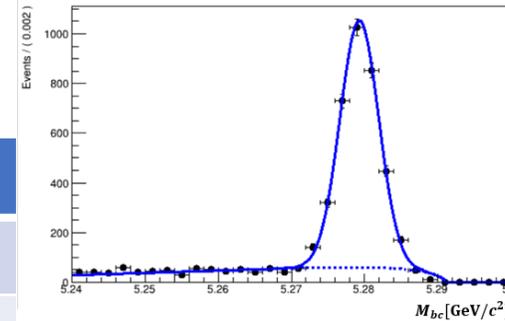
バックグラウンド事象はARGUS 関数を使用してフィットを行った。

各フィット結果を以下の表にまとめる。

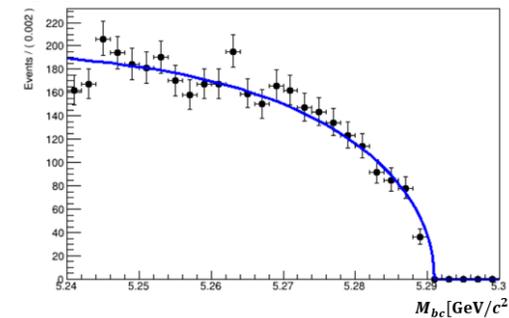
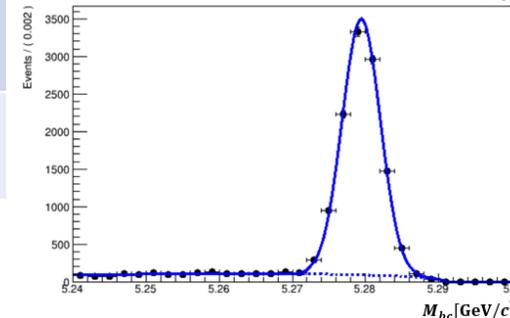
$M_{bc}$ 分布のフィット結果

	$\eta_c \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^\mp$	$\eta_c \rightarrow p\bar{p}$
mean <sub>G</sub> [GeV/c <sup>2</sup> ]	5.27933 ± 0.00005	5.27946 ± 0.00003
σ <sub>G</sub> [GeV/c <sup>2</sup> ]	0.00264 ± 0.00004	0.00261 ± 0.00002
信号事象 Argus shape parameter	-100 ± 61	-48 ± 6
バックグラウンド事象 Argus shape parameter	-14.7 ± 1.1	-18 ± 3

$\eta_c \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^\mp$



$\eta_c \rightarrow p\bar{p}$



信号事象のフィット結果のmean<sub>G</sub>, σ<sub>G</sub>を、バックグラウンド事象のフィット結果のArgus shape parameterを使用してToy MCを作成した。

# BCS方法の検討

$\eta_c \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^\mp$  モード

	sig	isSig	Efficiency	purity
etacchi BdE	1954	1630	5.6%	83.4%
etacchihigh BdE	2667	2234	7.7%	83.8%
BdE	4027	3249	11.6%	80.7%
etacBchi high	1798	1552	5.2%	86.3%
etacBchi	1092	908	3.2%	83.2%
noBCS	5573	3965	16.1%	71.1%

$\eta_c \rightarrow p\bar{p}$  モード

	sig	isSig	Efficiency	purity
etacchi BdE	24040	22081	24.0%	91.9%
etacchihigh BdE	24126	22167	24.1%	91.9%
BdE	24273	22281	24.3%	91.8%
etacBchi high	16817	15546	16.8%	92.4%
etacBchi	13564	12132	13.6%	89.4%
noBCS	29498	25106	29.5%	85.1%

Signal MC 10万イベントを使用してBCS方法の検討を行った。 $(\eta_c \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^\mp)$ は34600events)

左の表は各条件のBCSを行った場合にSignal region内に入ってきたイベント数をまとめた表である。

chiはvertex constraint fitの $\chi^2$  probabilityを使用して、dEはdeltaEを使用してBCSを行ったもの。highは $\chi^2$  probabilityが一番大きいものを選ぶということをしている。

Efficiencyが一番高いBdEのBCSが解析に一番よさそう。

# 参考文献

粒子の質量など

PDG,2020,「The Review of Particle Physics (2020)」

[https://pdg.lbl.gov/2020/listings/contents\\_listings.html](https://pdg.lbl.gov/2020/listings/contents_listings.html)

フィット関係

[RooFit Users Manual 300-33](#)

[Microsoft Word - RooFit Users Manual 300-33 \(cern.ch\)](#)

R2

G. C. Fox, S. Wolfram, Phys. Rev. Lett. 41, 1581,(1978)

<https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.41.1581>