

# Observation of Two Charged Bottomoniumlike Resonances in $\Upsilon(5S)$ Decays

$\Upsilon(5S)$ 崩壊における、電荷を持つ二つのボトモニウムのような共鳴の観測

A. Bondar, *et al.* (Belle Collaboration), Phys. Rev. Lett. 108, 122001 (2012)

物理学科4年 柴田研究室  
09B10890 眞田 墨

## 目次

1. 実験の目的
2. KEKB加速器と  
Belle検出器
3. データの解析方法
4. 実験結果
5. まとめ

# 1. 実験の目的

ハドロン・・・強い相互作用をする粒子

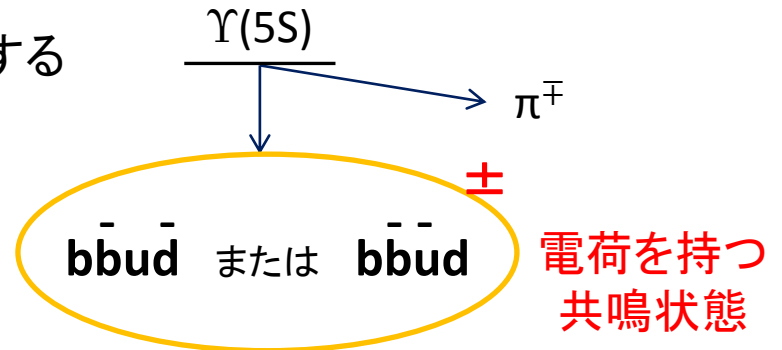
- － バリオン ... 3個のクォークから成る  $qqq$
- － 中間子 ... クォークと反クォークから成る  $q\bar{q}$

クォーク  $\begin{bmatrix} u \\ d \end{bmatrix}$   $\begin{bmatrix} c \\ s \end{bmatrix}$   $\begin{bmatrix} t \\ b \end{bmatrix}$  3世代6種類

➡ 4個のクォーク  $b\bar{b}u\bar{d}$  の共鳴状態はあるか？ という研究を行った

実験方法：電子-陽電子衝突により  $\Upsilon(5S)$  を生成する

$\bar{b}b$  の共鳴状態



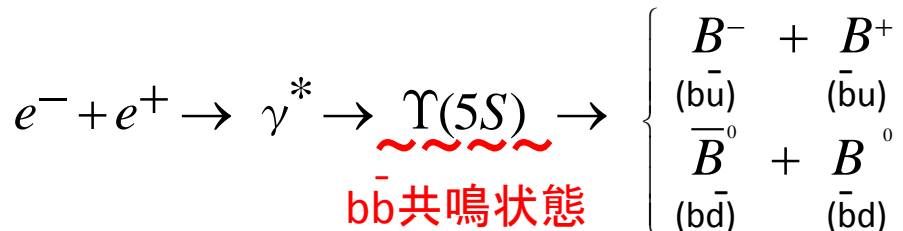
$\Upsilon(1S) + \pi^\pm, \Upsilon(2S) + \pi^\pm, \text{または } \Upsilon(3S) + \pi^\pm$   
に崩壊

# 2. KEKB加速器とBelle検出器

## KEKB加速器

- 筑波のKEKにある電子-陽電子衝突型加速器
- 8 GeVの電子ビームと3.5 GeVの陽電子ビーム
- B中間子と反B中間子を大量に生成するので、Bファクトリーと呼ばれる

主な崩壊モード



- KEKB加速器は、現在は稼働を停止し、superKEKB加速器へのアップデートの最中である



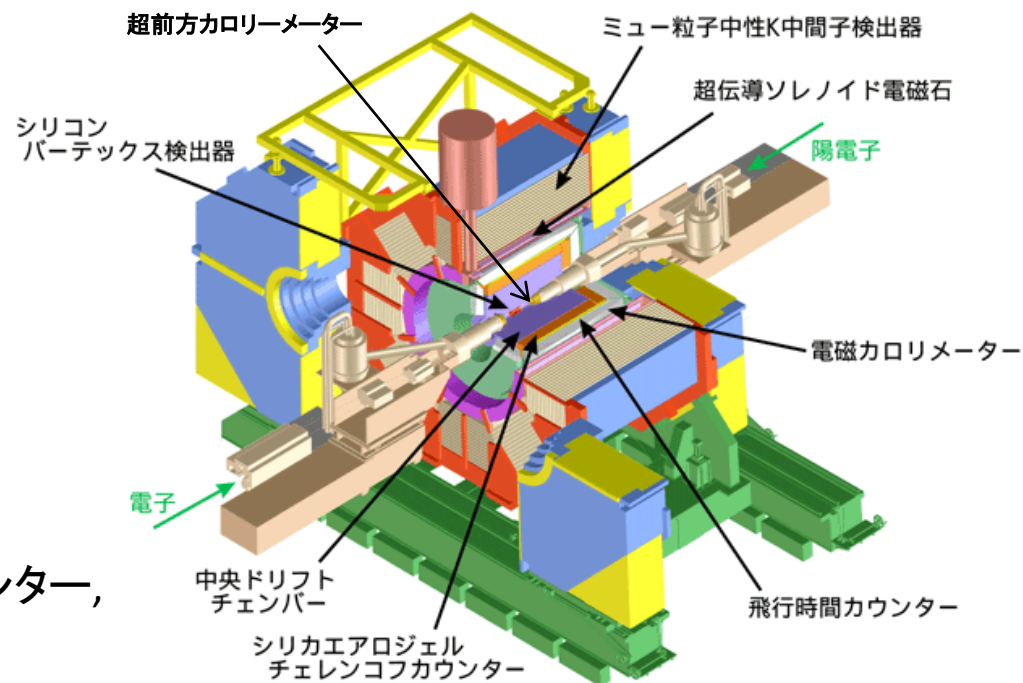
4

KEKB加速器全景写真

[http://legacy.kek.jp/ja/tour/image/page2\\_4.jpg](http://legacy.kek.jp/ja/tour/image/page2_4.jpg)

## Belle検出器の構成

- 荷電粒子の通過した位置を測定：  
シリコンバーテックス検出器，  
中央ドリフトチェンバー
- 粒子のエネルギー測定：  
電磁カロリメーター，  
超前方カロリメーター
- 荷電粒子の識別：  
中央ドリフトチェンバー，  
シリカエアロジェル・チェレンコフカウンター，  
ミュオン粒子・中性K中間子検出器
- 荷電粒子の飛行時間の測定：  
飛行時間カウンター



<http://legacy.kek.jp/ja/activity/ipns/images/belleillust.gif>



特徴の異なる7種類の検出器を組み合わせることで、崩壊を三次元的に捕えることができる

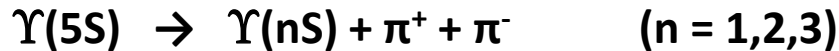
# 3. データの解析方法

$b\bar{b}$  の系をボトモニウムと呼ぶ。スピン1のものを $\Upsilon$ と呼ぶ  
主量子数  $n$  と軌道角運動量  $L$  を用いて、 $\Upsilon(nL)$  として準位が表される。 $n$  は次のように定義される

$$n = N + 1 \quad (N \text{ は動径波動関数のノード数})$$

$\Upsilon(nS)$  の量子数は、 $L = 0, S = 1, J = 1$  である

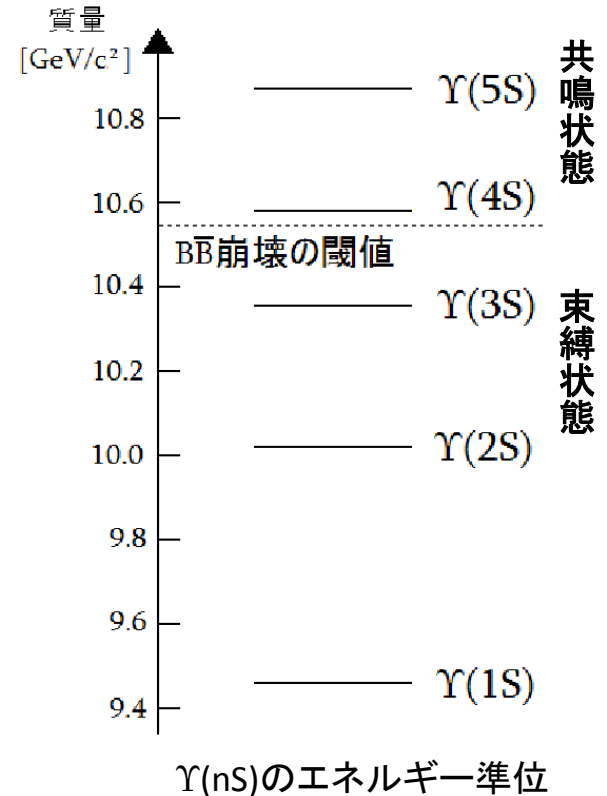
$\Upsilon(5S)$  の崩壊チャネルの一つ



の崩壊過程に注目する

$\Upsilon(5S)$  共鳴ピーク近傍 ( $\sqrt{s} \sim 10.865 \text{ GeV}$ ) での  $121.4 \text{ fb}^{-1}$  データを用いて、この崩壊を再構成できるイベントを分析

$\Upsilon(nS)$  は、 $\Upsilon(nS) \rightarrow \mu^+ + \mu^-$  という崩壊を用いて識別する ( $n = 1, 2, 3$ )

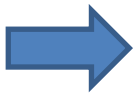


# 4. 実験結果

明らかなバックグラウンドイベントを除いて、  
横軸を $M[\Upsilon(nS)\pi]_{\max}$ 、縦軸をイベント数としてプロット

$M[\Upsilon(nS)\pi]_{\max}$  ...  $\Upsilon(nS)\pi^+$ と $\Upsilon(nS)\pi^-$ の不変質量の大きな方

右図からわかる通り、  
 $n = 1, 2, 3$ のいずれの場合であっても、  
質量分布のほぼ同じ位置に二つのピークが存在する

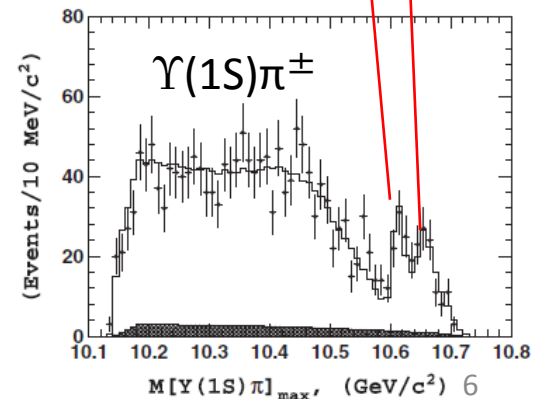
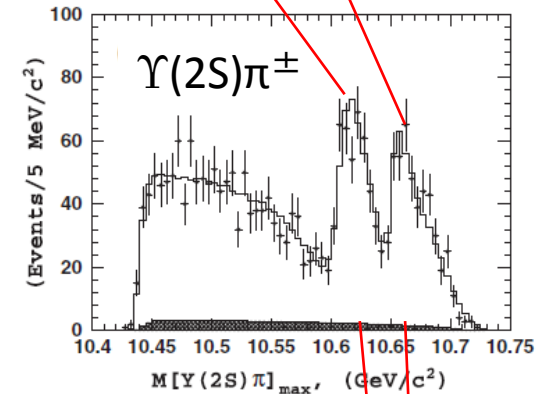
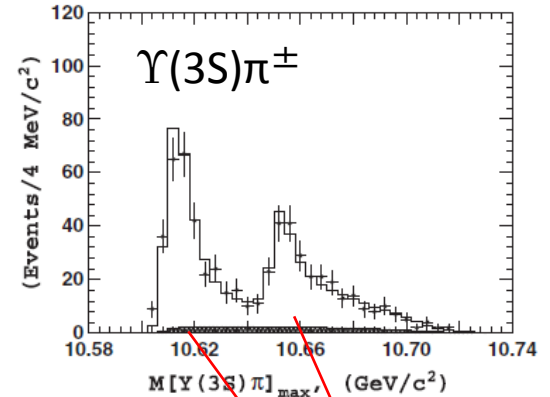


$\Upsilon(5S)$ の崩壊チャネルについて、  
共通した二つの共鳴状態が存在する

$\Upsilon(5S) \rightarrow \Upsilon(nS) + \pi^\pm + \pi^\mp$  ( $n = 1, 2, 3$ )



この二つの共鳴ピークを  
 $Z_b(10610)$ 、 $Z_b(10650)$ と呼ぶことにする



## これらの共鳴状態の解釈

$Z_b(10610)$  と  $Z_b(10650)$  は、電荷の保存則より、電荷を持つことがわかる

➡ 単純な  $b\bar{b}$  の組み合わせではなく、  
四つのクォークを最小構成要素とされる

$Z_b(10610)$  と  $Z_b(10650)$  における質量の重み付き平均は次の通り

$$M(Z_b(10610)) = 10607.2 \pm 0.2 \text{ MeV}/c^2$$

$$M(Z_b(10650)) = 10652.2 \pm 1.5 \text{ MeV}/c^2$$

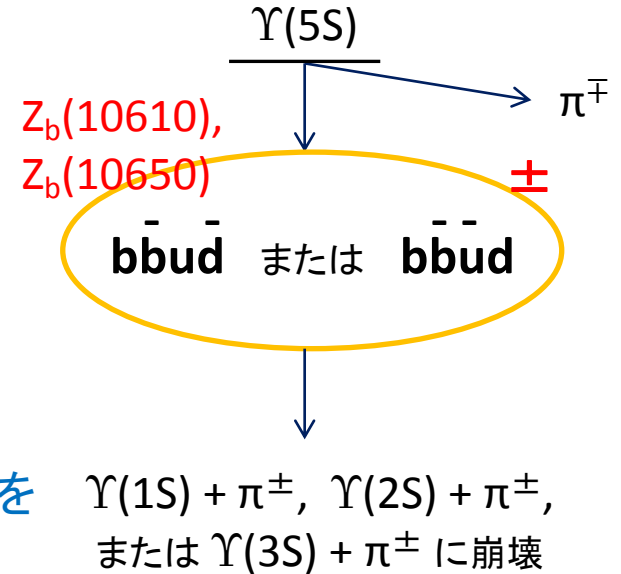
➡  $Z_b(10610)$  と  $Z_b(10650)$  は、それぞれ  $b\bar{b}u\bar{d}$  と  $b\bar{b}u\bar{d}$  などを  
構成要素とするハドロンであると考えられる

$M(Z_b(10610))$  の値は、open beautyチャネル  $B^*\bar{B}$  または  $B\bar{B}^*$  の閾値 ( $10604.6 \text{ MeV}/c^2$ ) よりも、  
1.5  $\text{MeV}/c^2$  程度高いだけ  
( $\bar{b}u$ )( $b\bar{d}$ ) ないしは ( $\bar{b}d$ )( $b\bar{u}$ )

$M(Z_b(10650))$  の値は、open beautyチャネル  $B^*\bar{B}^*$  の閾値 ( $10650.2 \text{ MeV}/c^2$ ) よりも、  
2  $\text{MeV}/c^2$  程度高いだけ

➡  $Z_b(10610)$  と  $Z_b(10650)$  は、 $B^{(*)}$  中間子のペアによる  
「分子」状態であるとする理論的解釈もある

このようなクォークの組み換えが実際に起こっているかどうかは議論の余地がある  
この他にも色々な理論的研究がなされている



# 5. まとめ

- KEKB加速器は、8 GeVの電子と3.5 GeVの陽電子の衝突型加速器である。Belle検出器は、この衝突により生成された粒子を測定する。
- 電子-陽電子衝突によって生成された $\Upsilon(5S)$ の崩壊を詳しく分析することにより、電荷を持つ共鳴ピークとして、 $Z_b(10610)$ と $Z_b(10650)$ が発見された。これらは、 $\Upsilon(nS)(n=1,2,3)$ と $\pi^\pm$ に崩壊する。
- この2つの共鳴状態は電荷を持っているので、単純なボトモニウム( $b\bar{b}$ )ではなく、 $b\bar{b}u\bar{d}$ と $b\bar{b}u\bar{d}$ などが構成要素の候補と考えられる。
- $Z_b(10610)$ と $Z_b(10650)$ は、 $B^{(*)}$ 中間子のペアへの崩壊の閾値の僅か上にある。
- $Z_b(10610)$ と $Z_b(10650)$ が $B^{(*)}$ 中間子のペアによる「分子」的性質を持つとする解釈もあり、理論的な研究も盛んに行われている。

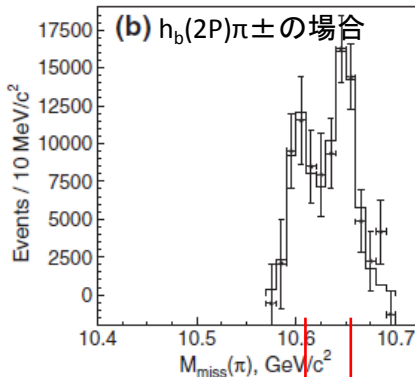


# 実験結果(補足)

本実験では、 $\Upsilon(nS)\pi^+\pi^-$  崩壊と同程度の確率で起こる、次の崩壊チャネルについても調べた

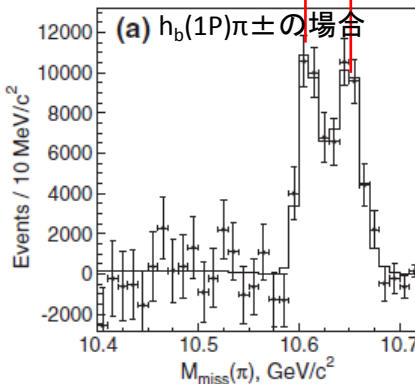
$$\Upsilon(5S) \rightarrow h_b(mP) + \pi^+ + \pi^- \quad (m = 1, 2)$$

$h_b(mP)$ は、主量子数  $m$ 、量子数  $L = 1, S = 0, J = 1$  である、ボトモニウムの束縛状態の一つである



$M_{\text{miss}}(\pi)$  ( $\pi$ から求めたmissing mass)の関数として、崩壊イベントの個数をグラフに描く

$$M_{\text{miss}}(\pi) \Leftrightarrow M(h_b(mP)\pi) \quad (\pi\text{の符号は反対})$$



$\Upsilon(nS)$ への崩壊の場合と同様に、 $Z_b(10610)$ と $Z_b(10650)$ に対応する二つの共鳴ピークが存在

$$\Upsilon(5S) \rightarrow h_b(mP) + \pi^\pm + \pi^\mp \quad (m = 1, 2)$$

