$B^0 \to K^{\pm} \pi^{\mp} \gamma \eta_c$崩壊過程における$\gamma \eta_c$質量スペクトラムの研究

奈良女子大学

修士二年

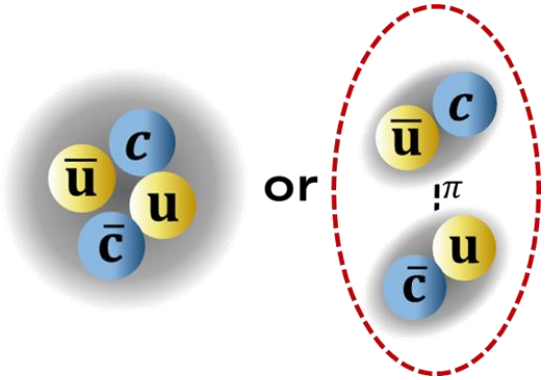
皆吉 遥

Flavor Physics Workshop 2018

X(3872)について①

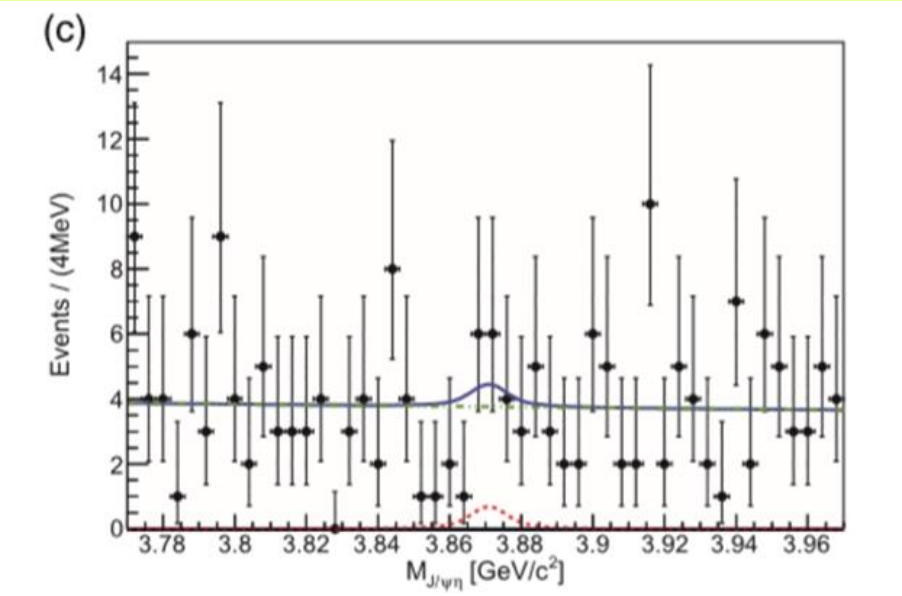
＊本研究の主題＊
X(3872)のC-oddパートナーを探索する

X(3872)



- X(3872)はエキゾチックハドロンの一種
- J/ψ $\pi^+\pi^-$への崩壊で発見され、$D^0\bar{D}^{0*}$へ崩壊することが知られている
- 先行研究で$J/\psi\,\eta$モードによるC-oddパートナー探索は否定的結果であったため、テトラクオークであるという可能性が低くなった (Belle ; Prog. Theor. Exp. Phys. 2014, 043C01)→

先行研究より
$B^{\pm} \to J/\psi\,\eta\,K$ 候補中の
J/ψ η普遍質量分布
($M_{(J/\psi\,\eta)}$)



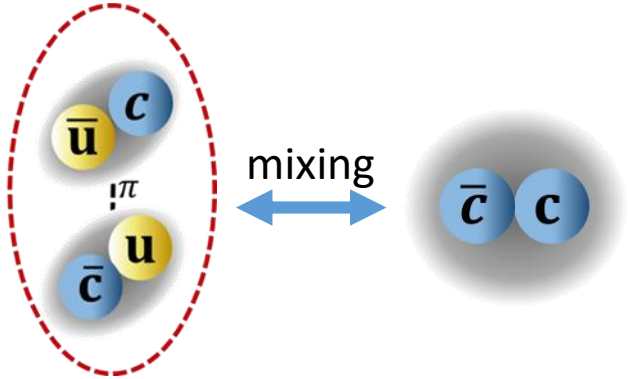
青の実線：Fit全体
赤い点線：シグナル成分
緑の点線：残り

X(3872)について②

- Br{X(3872)→$D^0\bar{D}^{0*}$} ≅ 10 × Br{X(3872)→J/ψ $\pi^+\pi^-$ }
- J^{PC} = 1++
- X(3872) → J/ψ γ , ψ(2S) γ あり。

↓

- 純粋なメソン分子ではなさそう
- 同じJ^{PC}のチャーモニウムとメソン分子の混合状態か。
- C-oddパートナー$J^{PC} = 1^{+-}$が同様だと考える



$J^{PC} = 1^{++}$

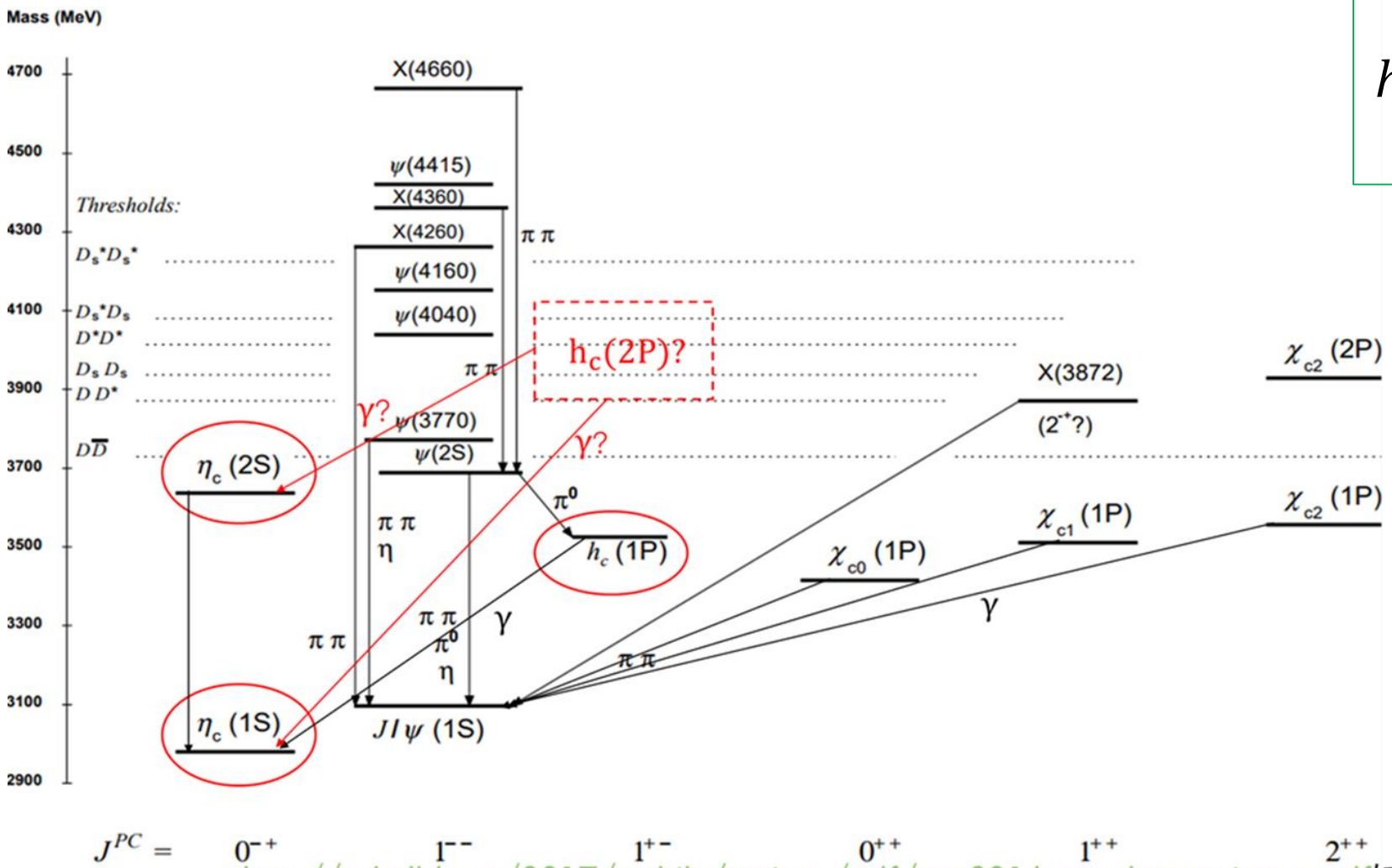
$$|X(3872)\rangle = \frac{|D^0\bar{D}^{*0}\rangle + |\bar{D}^0D^{*0}\rangle}{\sqrt{2}}cos\theta + |X_{c1}(2P)\rangle sin\theta$$

$J^{PC} = 1^{+-}$

$$\left|\begin{matrix}X(3872)\\[c-odd]\end{matrix}\right\rangle = \frac{|D^0\bar{D}^{*0}\rangle - |\bar{D}^0D^{*0}\rangle}{\sqrt{2}}cos\theta' + |h_c(2P)\rangle sin\theta'$$

→ X(3872)はメソン分子とチャーモニウム($c\bar{c}$)の混合状態と考える

チャーモニウム $h_c(1P)$、$h_c(2P)$



http://pdg.lbl.gov/2017/mobile/reviews/pdf/rpp2016-rev-charmonium-m.pdfに加筆

$J^{PC} = 1^{+-}$のチャーモニウムh_c(1P)は確認済みの粒子であり$\eta_c\,\gamma$が主要なモード(約50%)

↓

未確認の$h_c(2P)$は未発見。メソン分子と混ざるとしたらこっちか

↓

いずれにしろ$\eta_c\,\gamma$は着目すべき崩壊モードである

まず手をつけるべき崩壊モード

$B^0 \to h_c K^+ \pi^-$

$\quad \hookrightarrow \eta_c \gamma$

$\quad\quad \hookrightarrow K_s^0 K^\pm \pi^\mp$

- 二体崩壊 $B \to h_c K$は抑制されている(QCD Factorization)

(Belle;PRD 74, 012007 (2006))

- なので3体崩壊に着目する

Belle実験

- KEKB加速器が1999-2010の間稼働
- 各検出器で粒子の飛跡、エネルギー、運動量などを測定する
- 現在は収集を終えたデータを用い、解析を行っている

KOL粒子とμ粒子の検出

1.5[T]の磁場生成

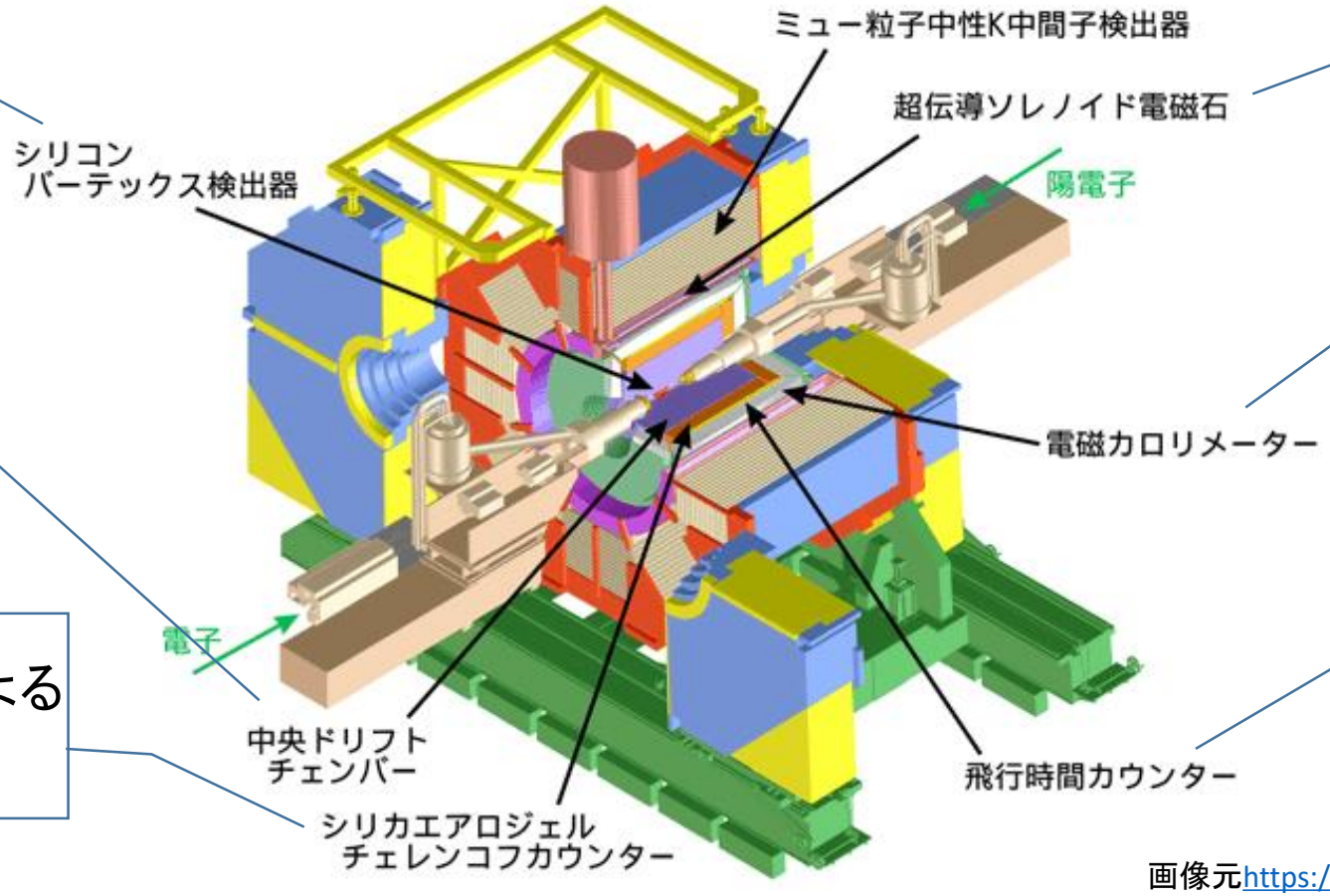
B中間子の崩壊点測定

光子の検出とエネルギー測定

荷電粒子の運動量測定

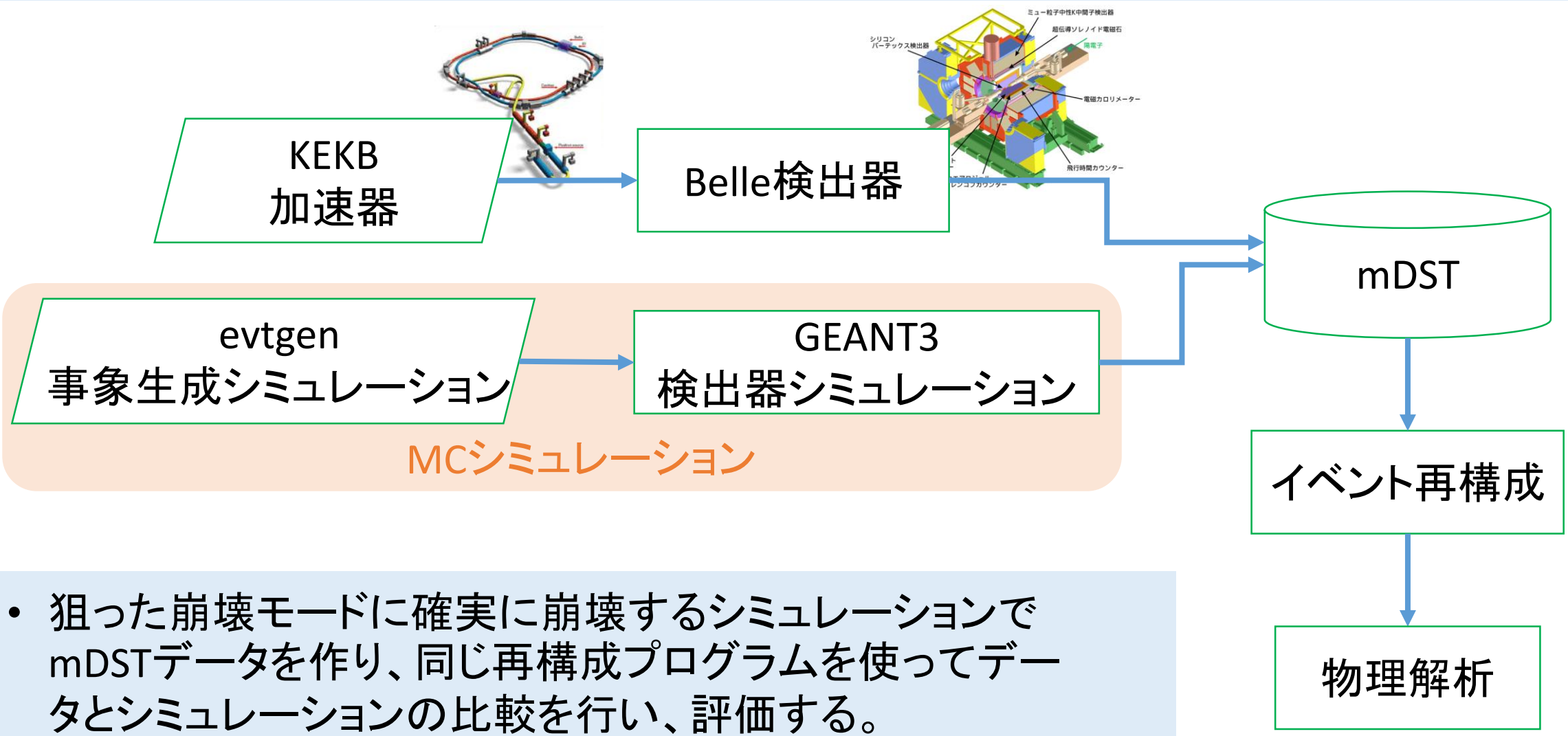
飛行時間差によるK/π粒子識別

チェレンコフ光によるK/π粒子識別



画像元https://www2.kek.jp/ja/tour/electron-51.htmlより加筆

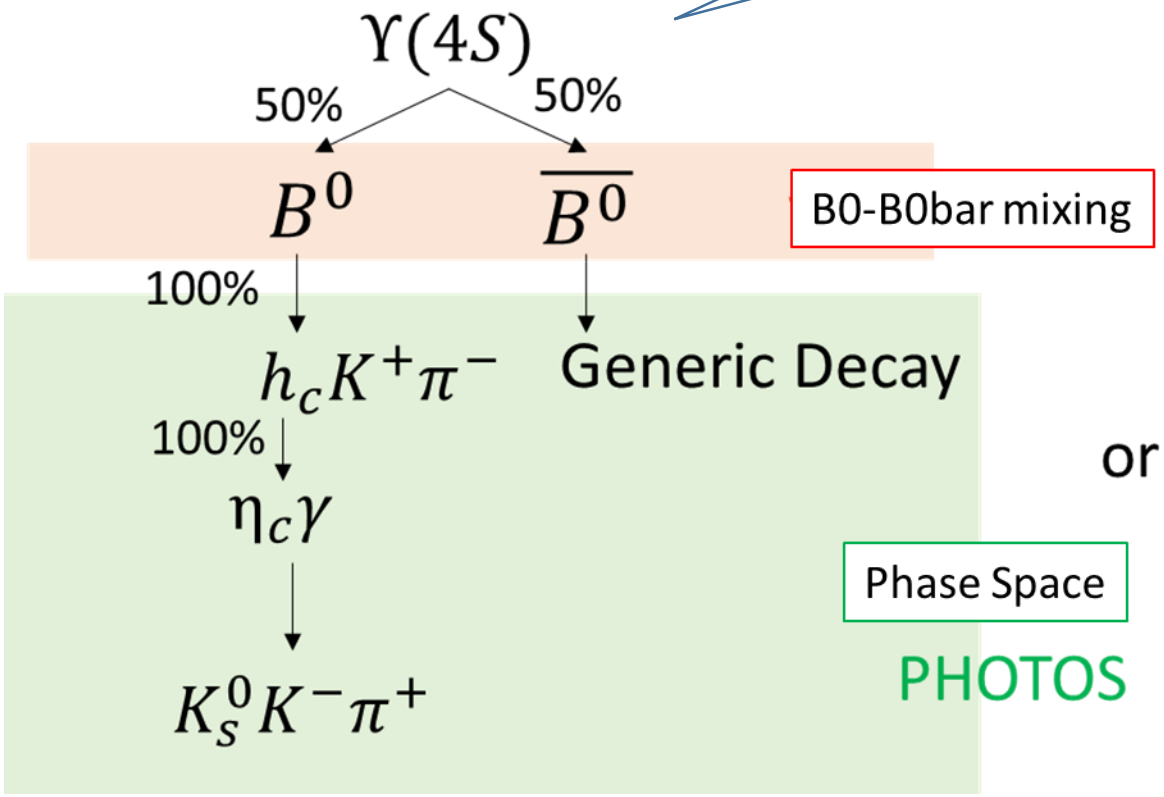
解析の流れ



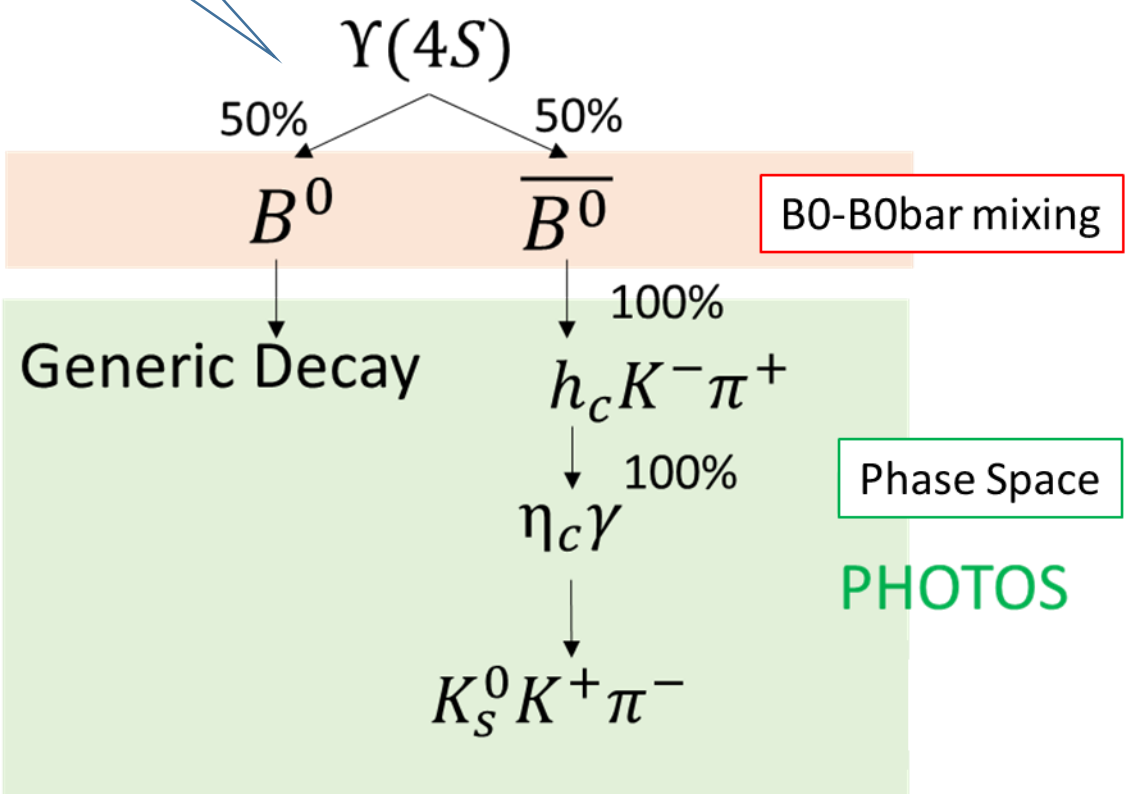
- 狙った崩壊モードに確実に崩壊するシミュレーションでmDSTデータを作り、同じ再構成プログラムを使ってデータとシミュレーションの比較を行い、評価する。

信号事象生成

以下の互いに荷電共役な事象を1対1で発生させる



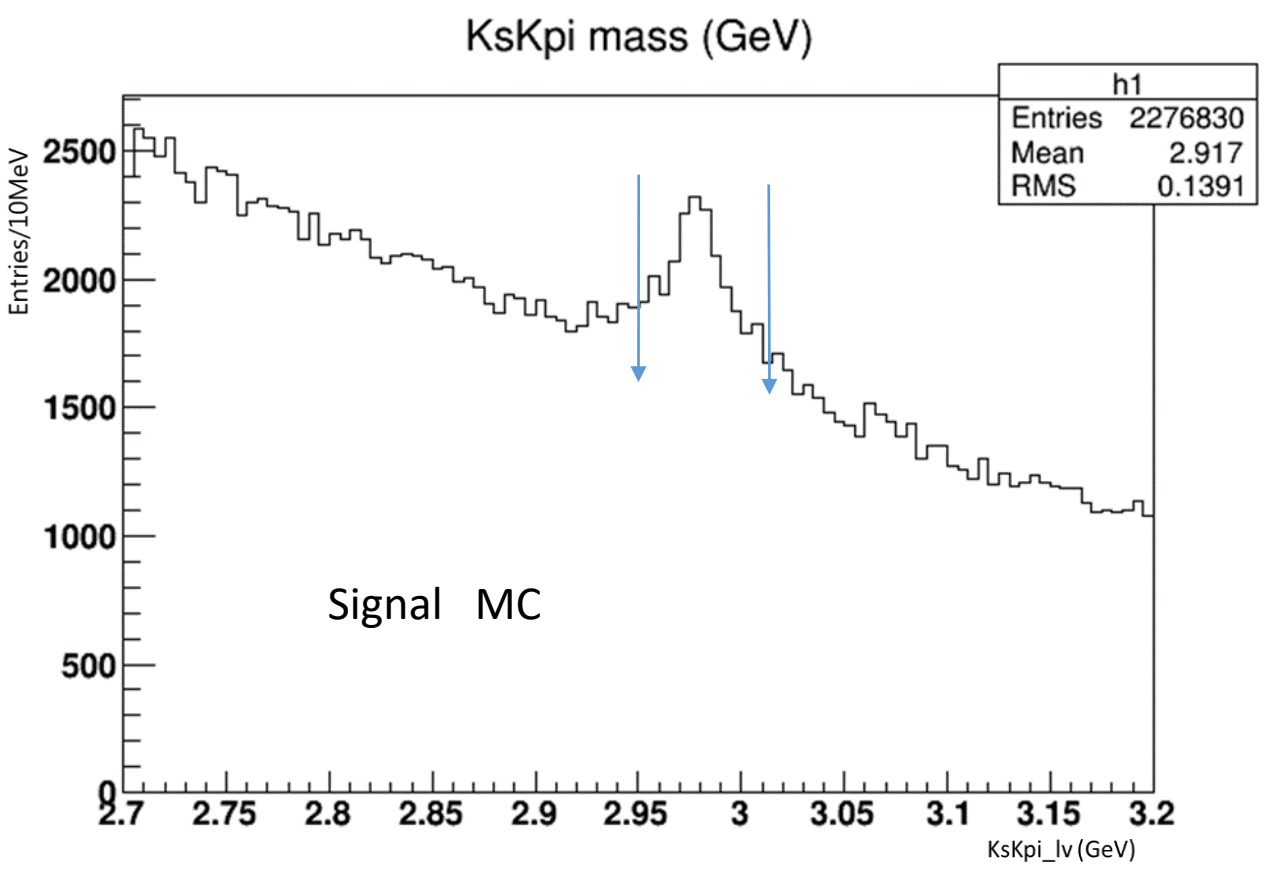
or



粒子生成シミュレーションの流れ。Y(4S)から50%ずつB0とその反粒子に崩壊する。

その後の崩壊が、{ 片方は確実に指定の崩壊モードに崩壊する / もう片方(GenericDecay)は一般的な崩壊を行う } ように設定する。

η_c reconstraction & γ selection

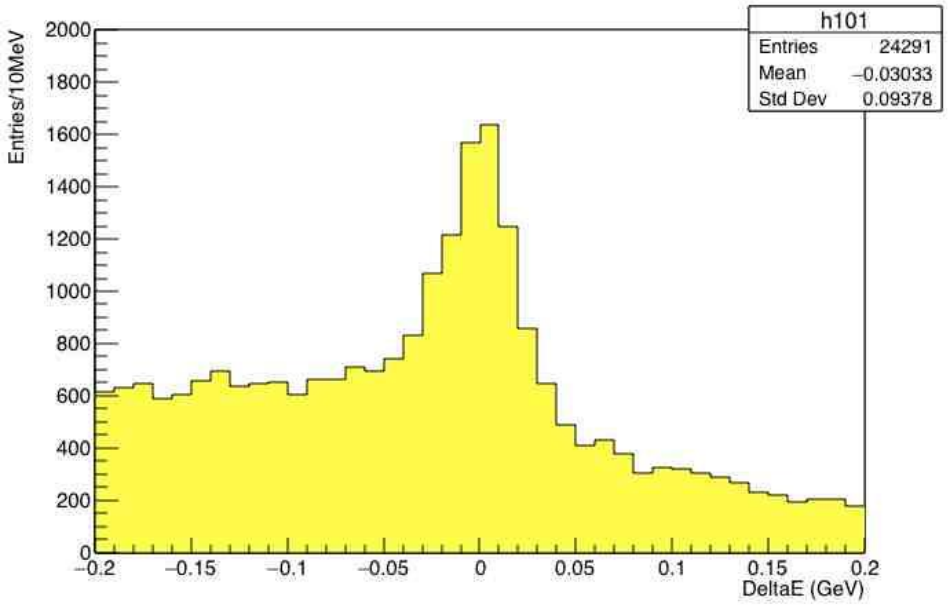


$$\eta_c \to K_S^0 K^+ \pi^- (and\ C.C.)$$

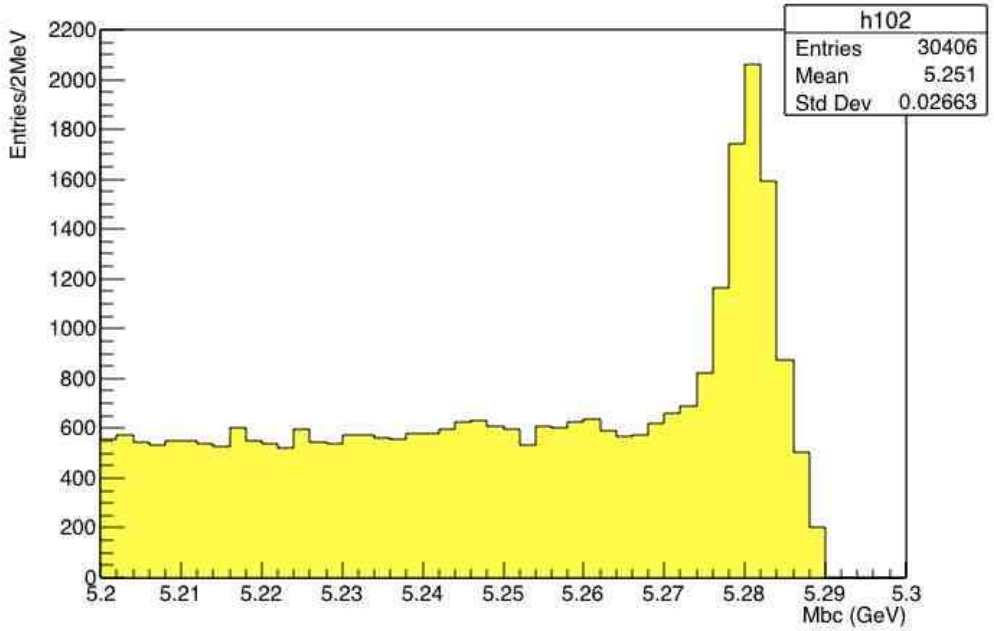
- ${}^{L_K}/_{(L_K+L_\pi)} > 0.6$ のものをK, それ以外はπとする
- $\left|M_{(\pi^+\pi^-)} - M_{K_0^S}\right| < 0.02\ [{}^{GeV}/_{c^2}]$を$K_S^0 \to \pi^+\pi^-$候補とする
- Mass-vertex Fitを適用
- $\left|M_{(K_S^0 K^+\pi^-)} - M_{\eta_c}\right| < 0.04\ [{}^{GeV}/_{c^2}]$ の範囲のイベントをη_cの候補として選ぶ
- $\begin{cases} E_\gamma > 100[MeV](End-cap) \\ E_\gamma > 50[MeV](barrel) \end{cases}$

$B^0 \to \eta_c \gamma K^+ \pi^-$(and C.C.)再構成

delta E

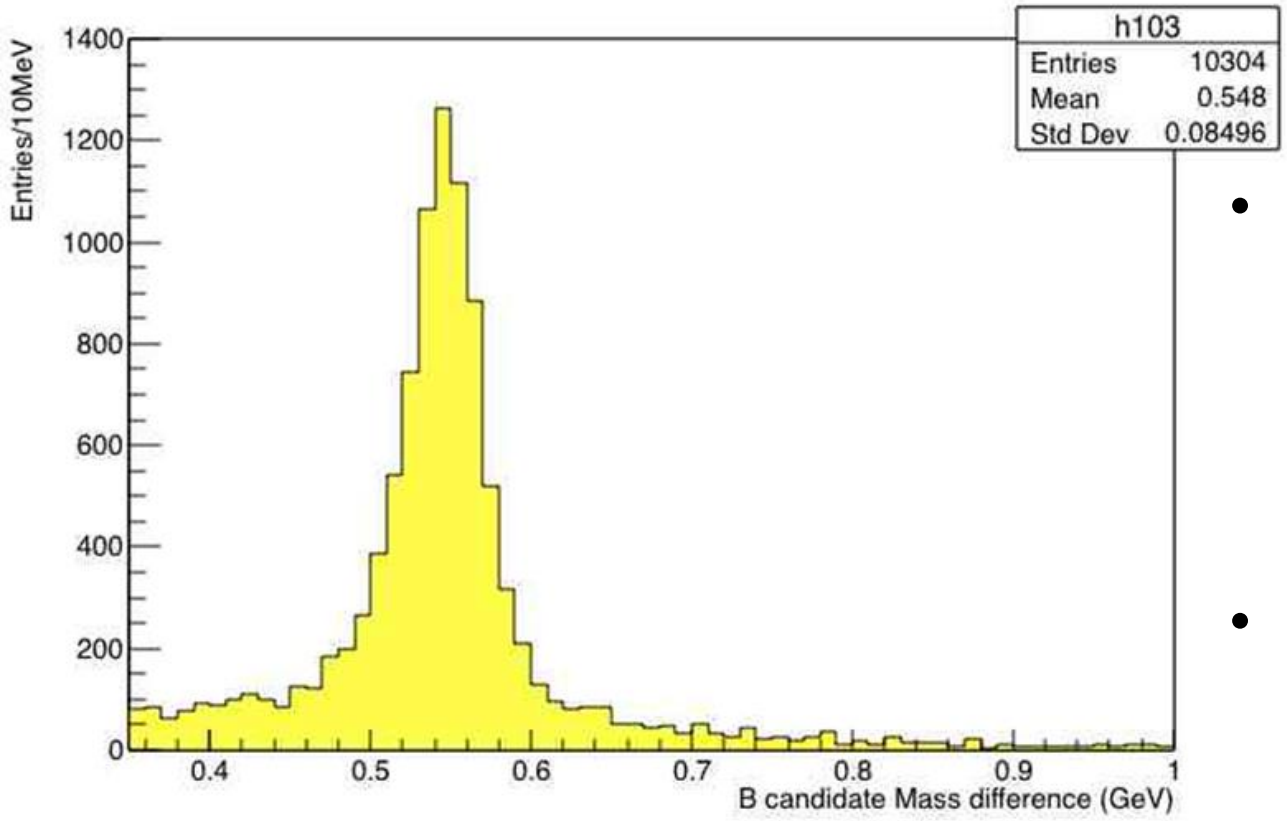


B0 mass (CMF)



- $\Upsilon(4S)$静止系では、対でできるB^0と$\bar{B}^0$はエネルギーを等しく持って、back-to-back に進む。
- $M_{bc} = \sqrt{\left(E_{beam}^2 - (\sum \vec{p}_{recon})^2\right)}$ と $\Delta E = \sum E - E_{beam}$ の分布でBメソン崩壊の信号を確認できる。

Mass difference 分布



- B0 再構成の結果から

$$\begin{cases} -0.05[\mathrm{GeV}] < \Delta \mathrm{E} < 0.05[\mathrm{GeV}] \\ -5.27[{}^{GeV}/_{c^2}] < M_{bc} \end{cases}$$

でBメソン崩壊候補をえらび分布を見る

- シグナルMCではh_c (1P)が生成されているので0.55[GeV]付近にピークが見られる

- 質量3872[MeV]の共鳴状態が $\eta_c\ \gamma$ に崩壊するなら $3.872[GeV] - 2.983[GeV] = 0.889[GeV]$ 付近にピークを形成する

まとめ　今後の展望

- $B^0 \to \eta_c \gamma K^+ \pi^- (and\ C.C.)$ は X(3872)のC-oddパートナーまたはBメソン崩壊中のh_cまたは$h_c(2P)$生成を探索する上で興味深い崩壊モードである
- $B^0 \to h_c K^+ \pi^-,\ h_c \to \eta_c \gamma, \eta_c \to K_S^0 K^+ \pi^- (and\ C.C.)$の信号事象モンテカルロシミュレーションデータを生成し、再構成プログラムが動作していることを確認した

【今後】

- 1イベント中に複数候補が出現した場合、best candidateを選ぶ手順をこれから考える
- バックグラウンドの見積もりと抑制策の検討、信号を抽出するフィットのツール作成が今後の課題である

ありがとうございました

補足スライド

X(3872)の発見

- 2003年にBelle実験が B → J/ψπ+π−K 過程を再構成してJ/ψπ+π− の不変質量分布を調べると，右図に示すように質量3872 MeV/c2 の幅が狭い共鳴状態があることが見出され，X(3872)と名づけられた。

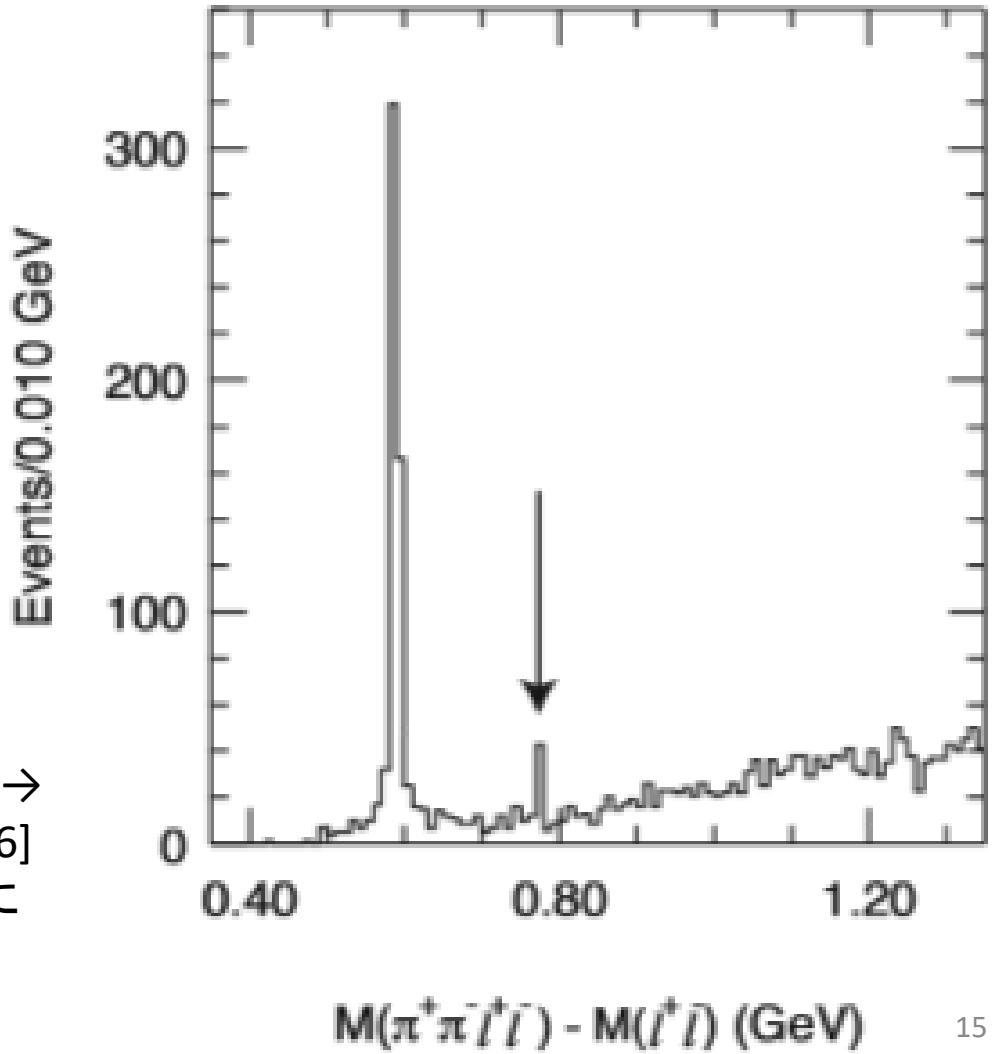
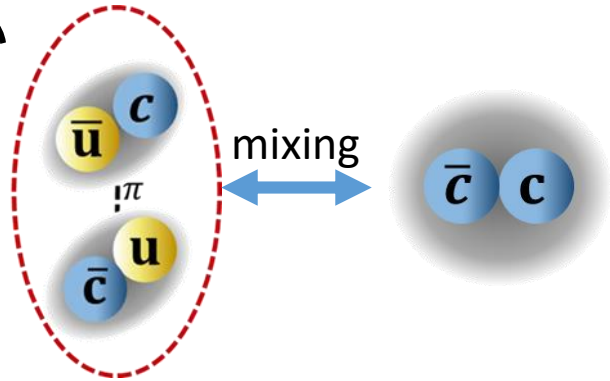


図 2→
B± → J/ψπ+π−K± 過程における J/ψπ+π− と J/ψの質量差分布[6]を示す。0.59 GeVのピークは既知 のチャーモニウムであるψ(2S)によるもので，X(3872) に対応するピークを矢印で示す。

X(3872)について

- Br{X(3872)→$D^0\bar{D}^{0*}$} は Br{X(3872)→J/ψ $\pi^+\pi^-$ } の約10倍
  →チャーモニウムであるより、c,uを含むエキゾチックハドロンである可能性が高い
- 先行研究より J^{PC} = 1++ とわかっている
- X(3872) → J/ψ γ , ψ(2S) γ あり。
- 純粋なメソン分子と考えると束縛エネルギーがかなり小さく、X(3872)の体積が鉛原子核とほぼ同じ体積を持ってしまい、娘粒子のJ/ψの1000倍の大きさを持つことになってしまうため、純粋なメソン分子ではなさそう
- 以上より、X(3872)をメソン分子と同じJ^{PC}＝1^{++}のチャーモニウムχ_{c1}(2P) の混合状態と考えると、C-oddパートナー$J^{PC} = 1^{+-}$についても同様の考察ができる



$J^{PC} = 1^{++}$

$$|X(3872)\rangle = \frac{|D^0\bar{D}^{*0}\rangle + |\bar{D}^0D^{*0}\rangle}{\sqrt{2}}cos\theta + |X_{c1}(2P)\rangle sin\theta$$

$J^{PC} = 1^{+-}$

$$\left|\begin{matrix}X(3872)\\[c-odd]\end{matrix}\right\rangle = \frac{|D^0\bar{D}^{*0}\rangle - |\bar{D}^0D^{*0}\rangle}{\sqrt{2}}cos\theta' + |h_c(2P)\rangle sin\theta'$$

→ X(3872)はメソン分子とチャーモニウム($c\bar{c}$)の混合状態と考える

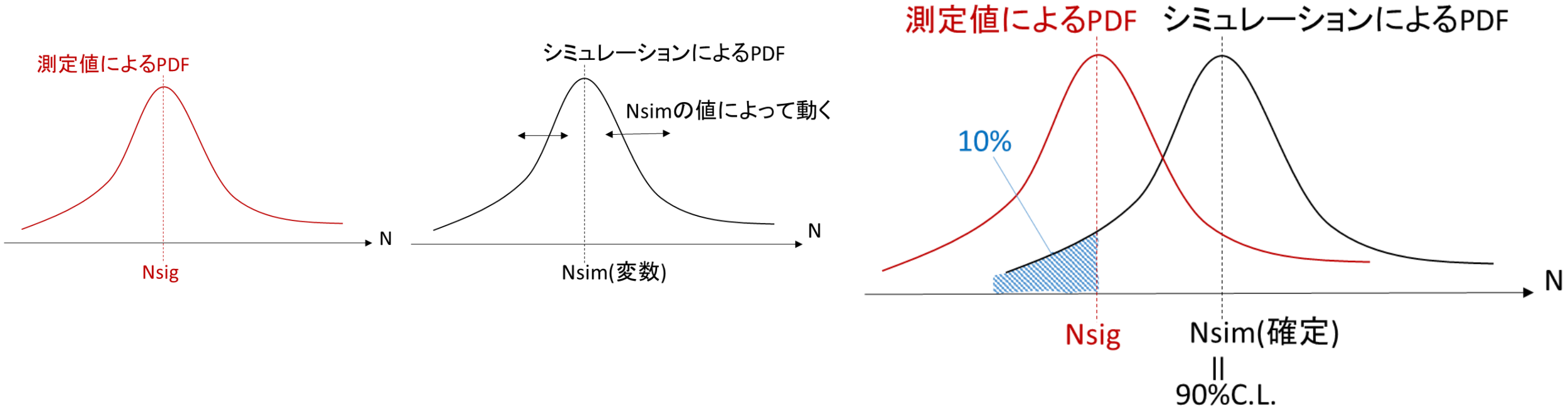
QCD factorization

- 重い粒子からの二体崩壊では、娘粒子が大きい運動量を持って即座に遠くへ離れて行くので、娘粒子同士は終状態相互作用を起こしにくい
- 遷移振幅が二本のカレントの積の形でかけることをfactorizationという。
- factorizationが成り立つ際に物理量J^{PC}によって生成されやすい粒子とされにくい粒子がある
- 生成され易いJ^{PC}は　0^{-+}、1^{--}、1^{++}　($c\bar{c}$ でいうと η_c , J/ψ, χ_{c1})
- 生成されにくいJPCは　0^{++}、1^{+-}、2^{++}　($c\bar{c}$ でいうと χ_{c0} , h_c , χ_{c2})

- つまりhcは二体崩壊では生成しづらい粒子である

「U.L. = Upper Level」「90%C.L. = 90%Confidence Level」

- 測定したイベント数Nsigが、全体のイベント数の10%のところになるように仮定してシミュレーションを行った結果が 90%C.L.



- Nsimを使って計算した崩壊分岐比は上限(U.L.)になる

Mass constrained Fit

1粒子につき(x,y,z,px,py,pz,E)
の7パラメーター

【Fit】

Fitはχ^2が最小となる**パラメータ**の期待値を求めるために行う

$$\chi_1^2 = \frac{(x_1 - x_1^E)^2}{\sigma_{x1}^2} + \cdots + \frac{(p_{z1} - p_{z1}^E)^2}{\sigma_{pz1}^2} + \frac{(E_1 - E_1^E)^2}{\sigma_{E1}^2}$$

$$\chi^2 = \chi_1^2 + \chi_2^2 + \cdots + \chi_n^2$$

この式に対して質量($m^2 = E^2 - p^2$)を固定することでestimated parameterを計算する方法をMass constrained Fit という

[条件] $m_x^2 = (E_1^E + E_2^E)^2 - \{(p_{x1}^E +_{x2}^E)^2 + (p_{y1}^E + p_{y2}^E)^2 + (p_{z1}^E + p_{z2}^E)^2\}$

ここの質量の値がPDGの値によって固定される