

その他のプロセスでの エキゾチックハドロンの探索

中野英一（大阪市立大学）

「新ハドロン」 *Kick-off* ミーティング

研究項目

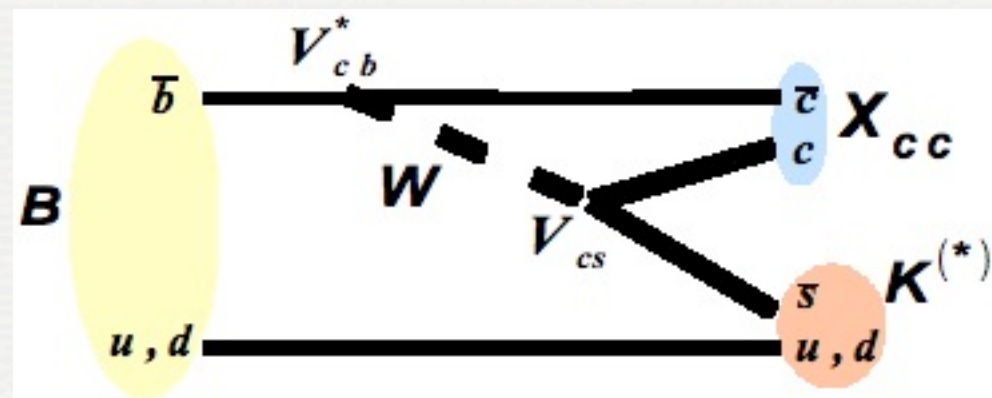
1. B中間子崩壊でのチャーモニウム・チャーム中間子を伴うエキゾチックハドロンの研究
2. B中間子崩壊でのバリオン・反バリオン・中間子への崩壊を用いたペンタクオーク探索
3. 電子・陽電子衝突反応におけるエキゾチックハドロンの探索・測定
4. 光子・光子衝突反応におけるエキゾチックハドロンの探索・測定
5. Y(1S)から Y(6S)共鳴励起状態のエネルギー領域でのエキゾチックハドロンの探索・測定
6. 検出器をターゲットとする固定標的実験手法によるエキゾチックハドロンの探索・測定

BELLE実験でのエキゾチック ハドロンの探索（その他）

charge	Name	J^{PC}	$\Gamma(\text{MeV})$	Decay modes	Experiments	Interpretation
neutral	$Y_s(2175)$	1^-	~ 58	$\phi f_0(980)$	BaBar / BESII / Belle	
	$X(3872)$	1^{++}	< 2.3	$\pi\pi J/\psi, \gamma J/\psi, DD^*$	Belle / CDF / D0 / BaBar	DD^* molecule?
	$X(3915)$		~ 23	$J/\psi \omega$	Belle	
	$Z(3930)$	2^{++}	~ 29	DD	Belle	$\chi_{c2}'(?)$
	$X(3940)$	$0^{?+}$	~ 37	$DD^*(\text{not } DD, \omega J/\psi)$	Belle	$\eta_c''(?)$
	$Y(3940)$	$?^{?+}$	~ 30	$\omega J/\psi(\text{not } DD^*)$	Belle / BaBar	
	$Y(4008)$	1^-	~ 220	$\pi\pi J/\psi$	Belle(not BaBar)	
	$Y(4140)$	$?^{?+}$	~ 11	$J/\psi \phi$	CDF	$D_s^* D_s^*$ molecule?
	$X(4160)$	$0^{?+}$	~ 140	$D^* D^*(\text{not } DD, DD^*)$	Belle	$\eta_c''(?)$
	$Y(4260)$	1^-	~ 80	$\pi\pi J/\psi(\text{not } \pi\pi\psi')$	BaBar / CLEO / Belle	ccg hybrid?
	$X(4350)$	$?^{?+}$	~ 13	$J/\psi \phi$	Belle	$D_s^* D_s^*$ molecule?
	$Y(4350)$	1^-	~ 75	$\pi\pi\psi'(\text{not } \pi\pi J/\psi)$	BaBar / Belle	
	$Y(4630)$	1^-	~ 92	$\Lambda_c \Lambda_c(?)$	Belle	
	$Y(4660)$	1^-	~ 50	$\pi\pi\psi', \Lambda_c \Lambda_c(?)$	Belle	
charged	$Z^\pm(4430)$	$???$	~ 100	$\psi(2S)\pi^\pm$	Belle(not BaBar)	4 quark?
	$Z^\pm(4050)$	$???$	~ 80	$\chi_{c1}\pi^\pm$	Belle	4 quark?
	$Z^\pm(4250)$	$???$	~ 180	$\chi_{c1}\pi^\pm$	Belle	4 quark?

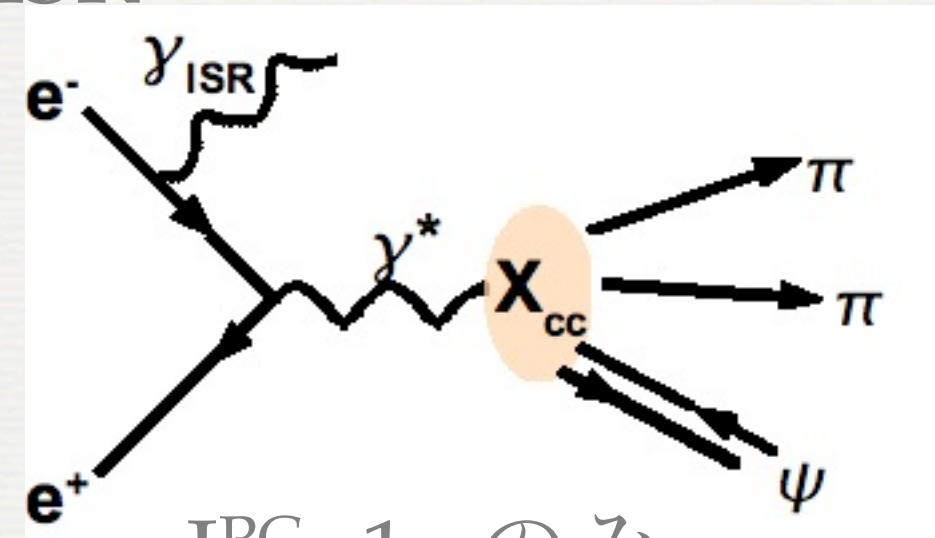
BファクトリーでのCC生成

B崩壊



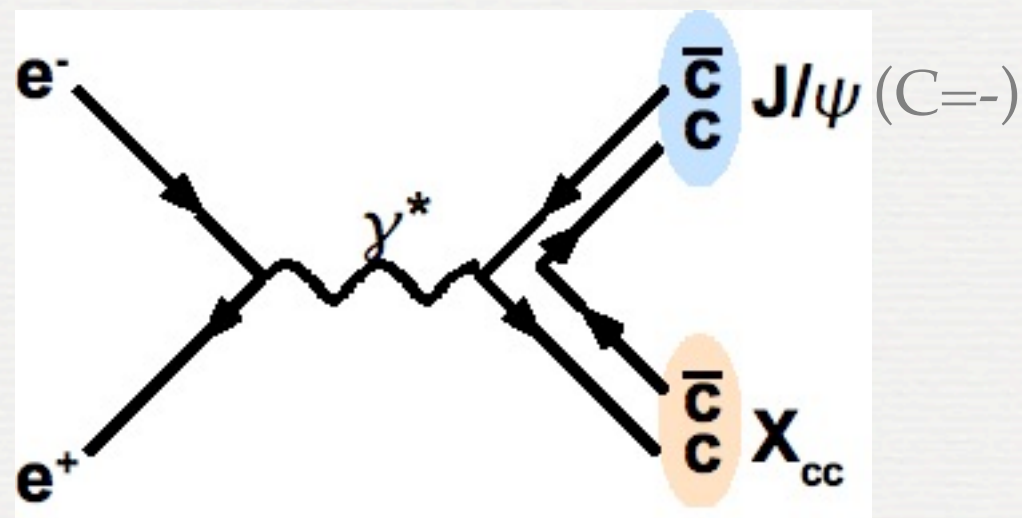
$$J^{PC}=0^{-+}, 1^{--}, 1^{++}$$

ISR



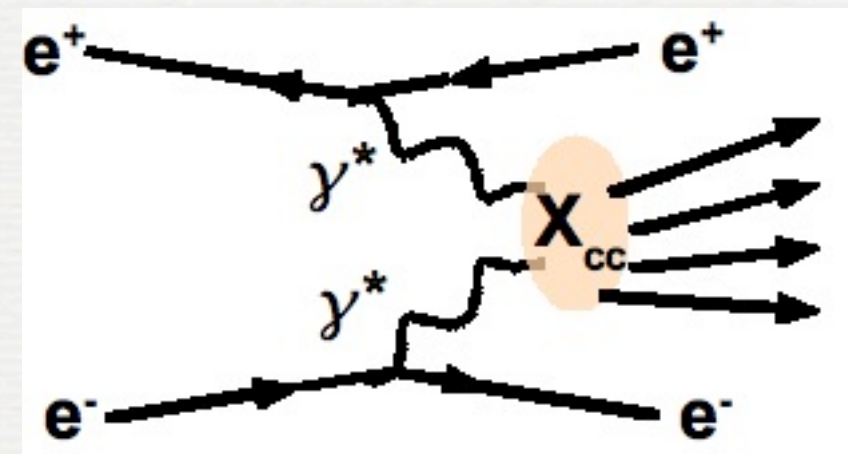
$$J^{PC}=1^{--} \text{ のみ}$$

Double charmonium 生成



C=+状態

光子光子衝突 (2光子過程)



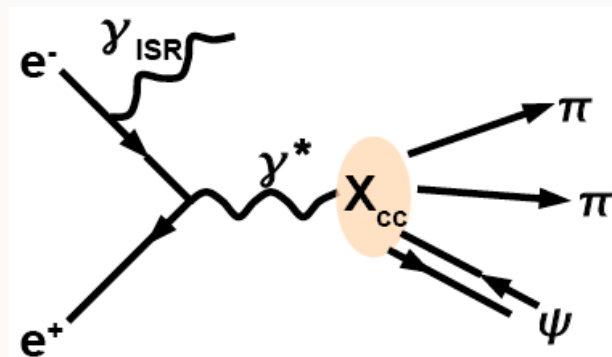
$$J^{PC}=0^{-+}, 0^{++}, 2^{++}$$

電子・陽電子衝突

Y FAMILY

- Y(4008), Y(4260), Y(4360), Y(4660)?

- ISR過程で観測

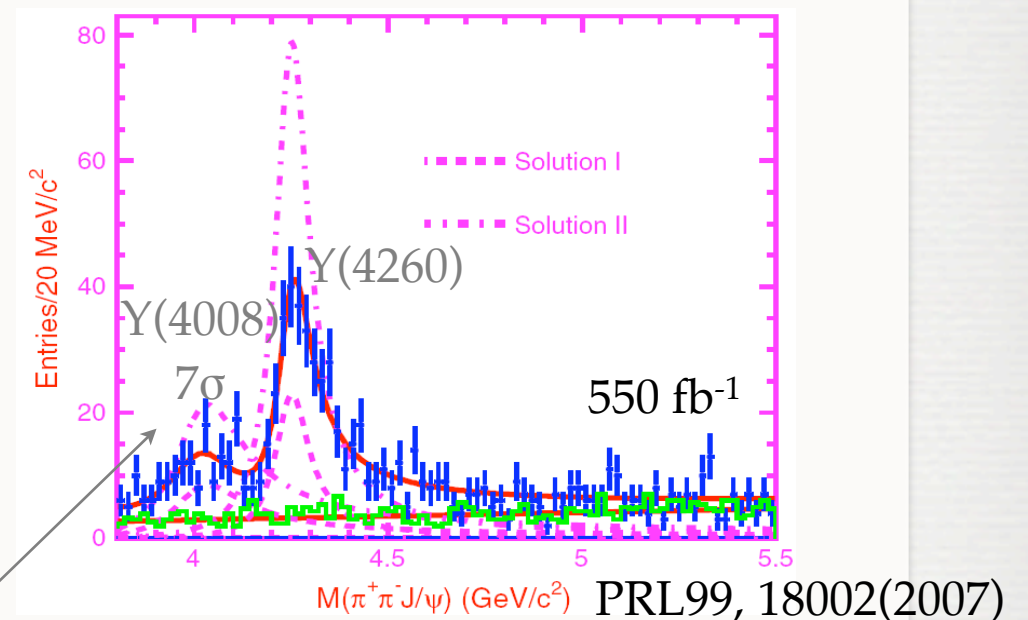


- BaBarが $J/\psi\pi\pi$ でY(4260)を発見

- Belleでも確認
反跳質量を再構成

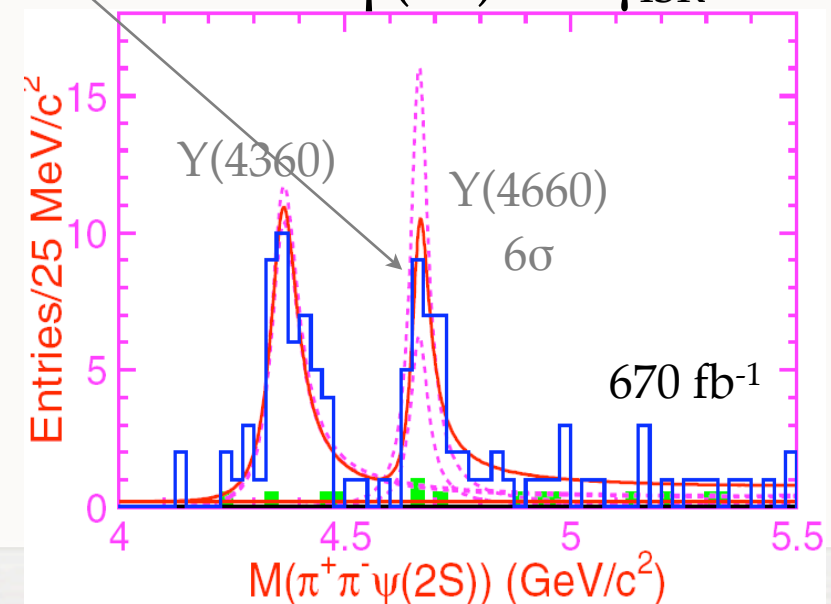
$$M_{\text{rec}} = \sqrt{(E_{\text{cms}} - E_{J/\psi\pi\pi}^*)^2 - p_{J/\psi\pi\pi}^{*2}}$$

$$e^+e^- \rightarrow J/\psi\pi^+\pi^-\gamma_{\text{ISR}}$$



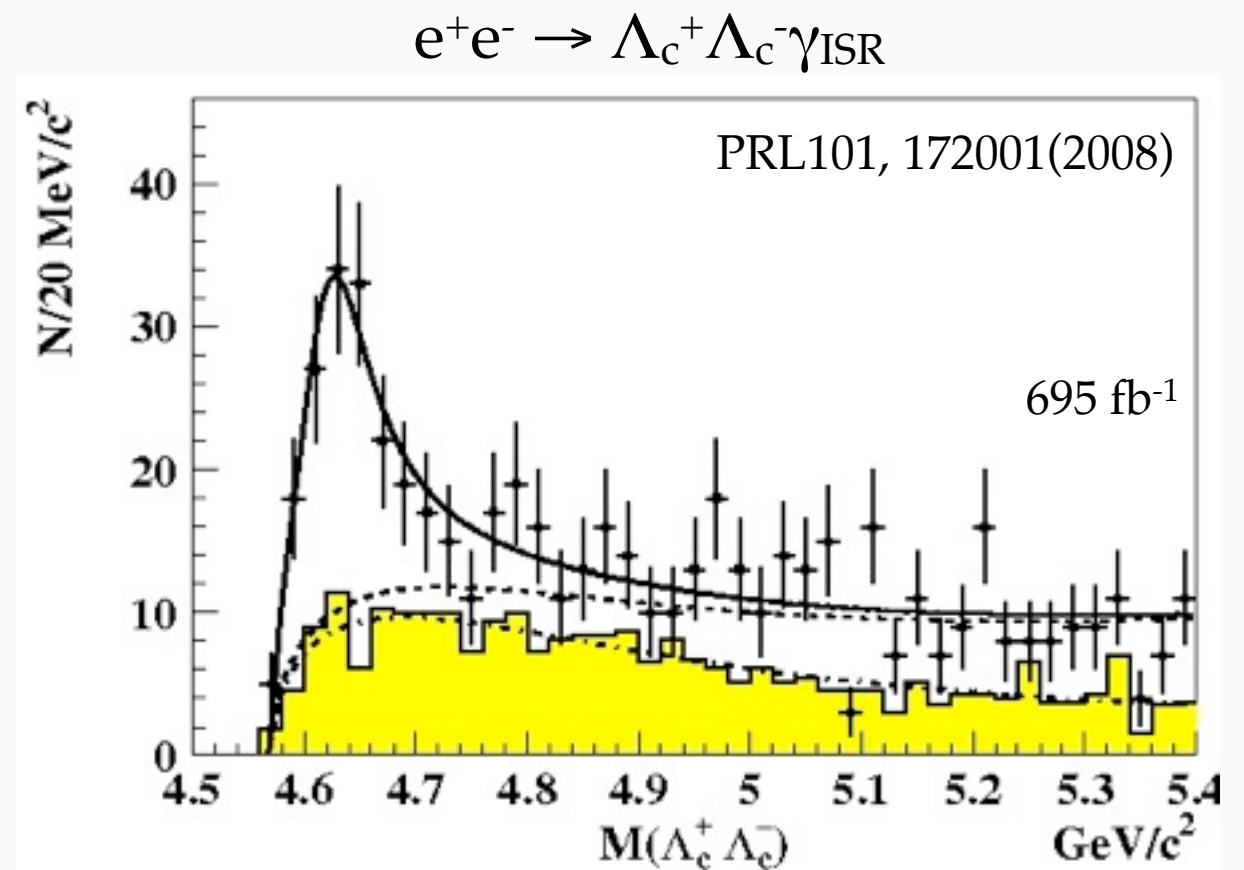
BaBarでは見られない

$$e^+e^- \rightarrow \psi(2S)\pi^+\pi^-\gamma_{\text{ISR}}$$



PRL99, 14002(2007)

- $X(4630) \rightarrow \Lambda_c \Lambda_c$ も観測
- 8.2σ
- $X(4630) = Y(4660)$ か？
- $D^{(*)}D^{(*)}$ threshold より上
- 共鳴か？



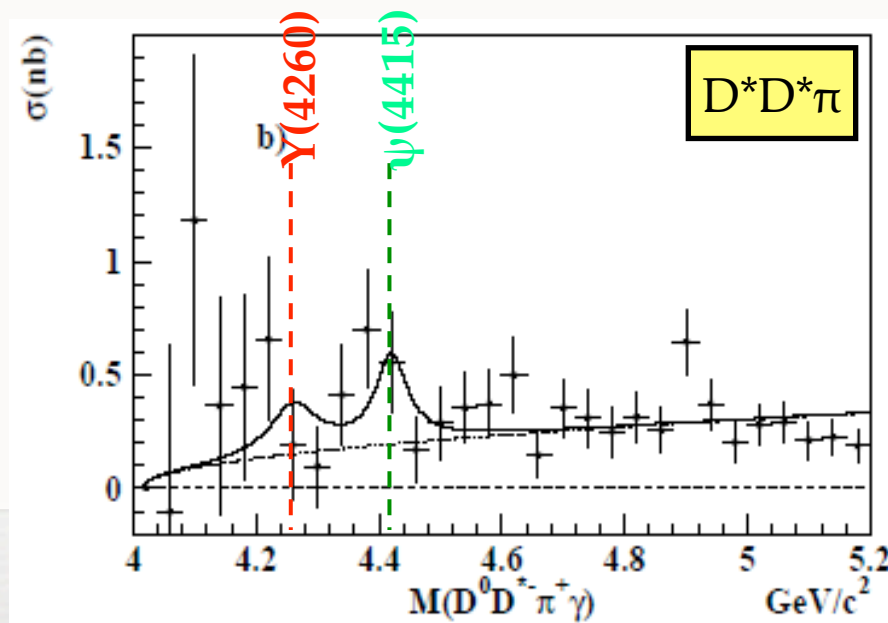
- $D^{(*)}D^{(*)}$ の断面積と比較

- 共鳴では無さそう

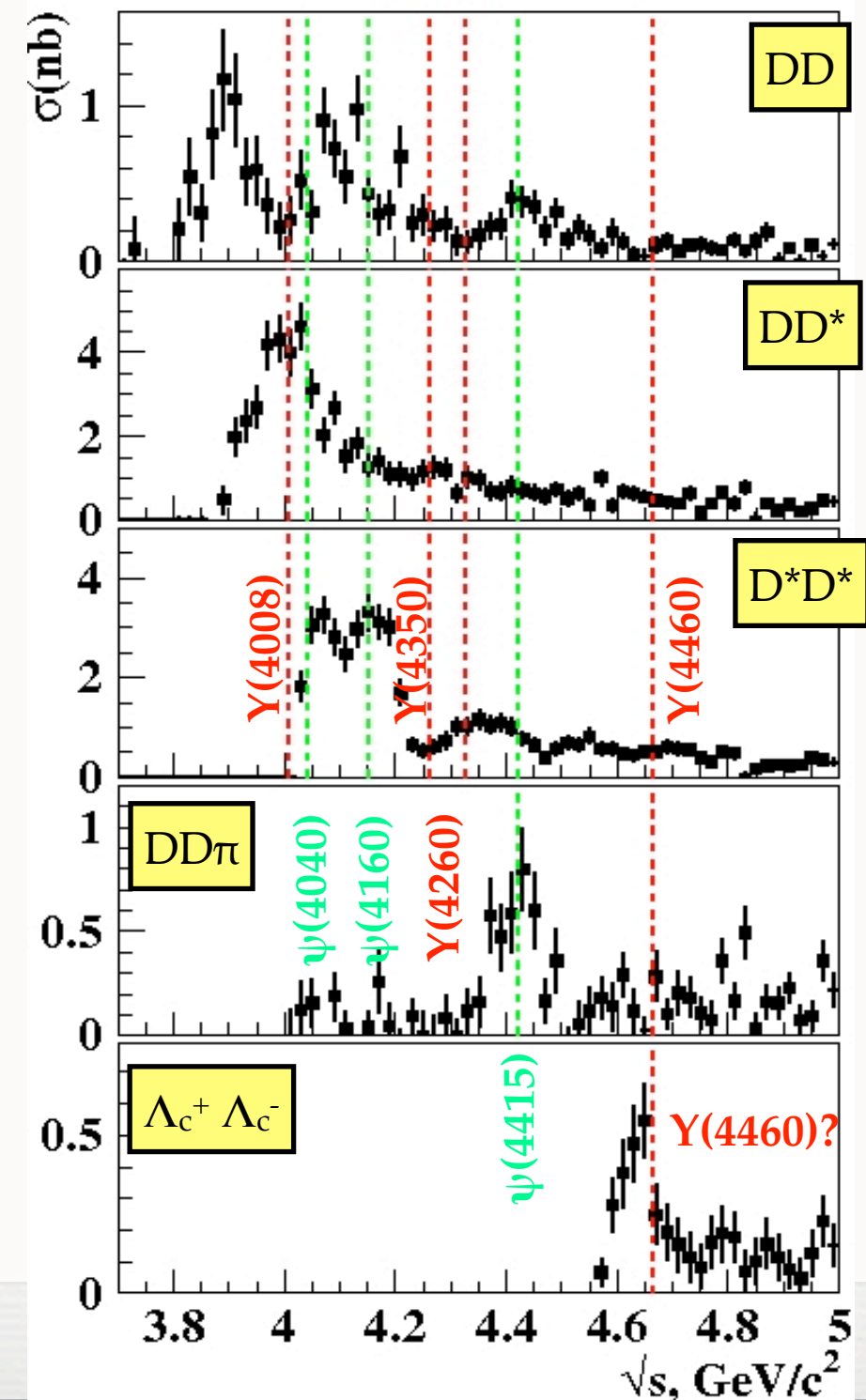
- DD_1 分子？ ccgハイブリッド？ tetra quark？

- $DD_1 \rightarrow [DD^*\pi]$ に信号無し

し



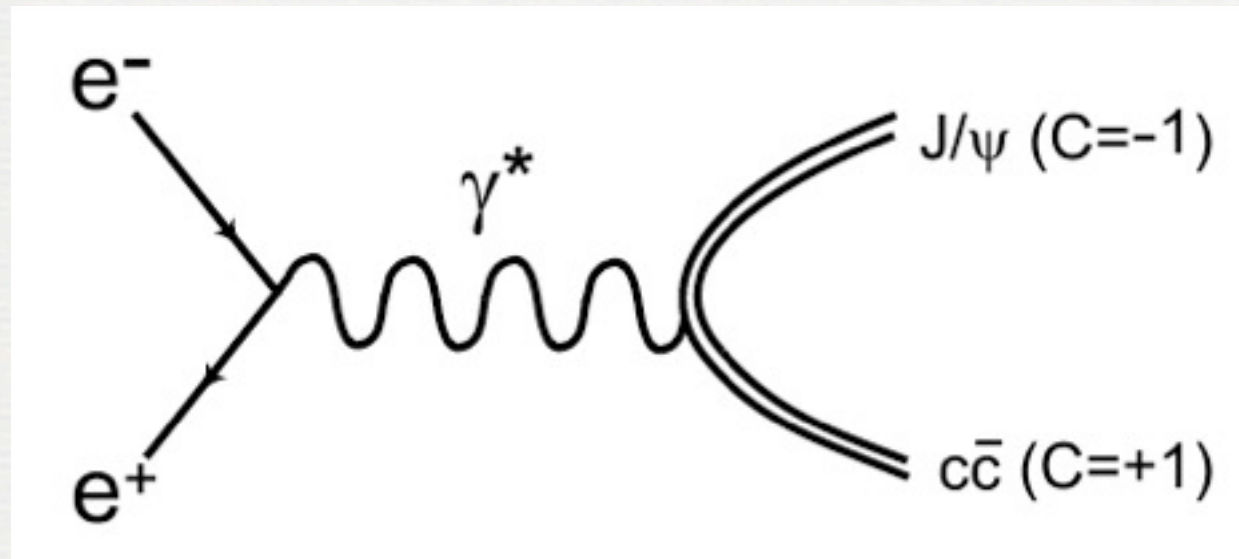
PRD77, 011103(2008)



Y(4260)での課題

- Y(4260) : $J/\psi\pi^+\pi^-$ では探索した。 $J/\psi\pi^0\pi^0$ や $J/\psi\eta\eta$ でも行う。
- CLEOでは $J/\psi\pi^0\pi^0$ への崩壊を確認
- $B \rightarrow Y(4260)K$ は無いか？
(ISRでは不可能)
- BaBarでは見つけていない

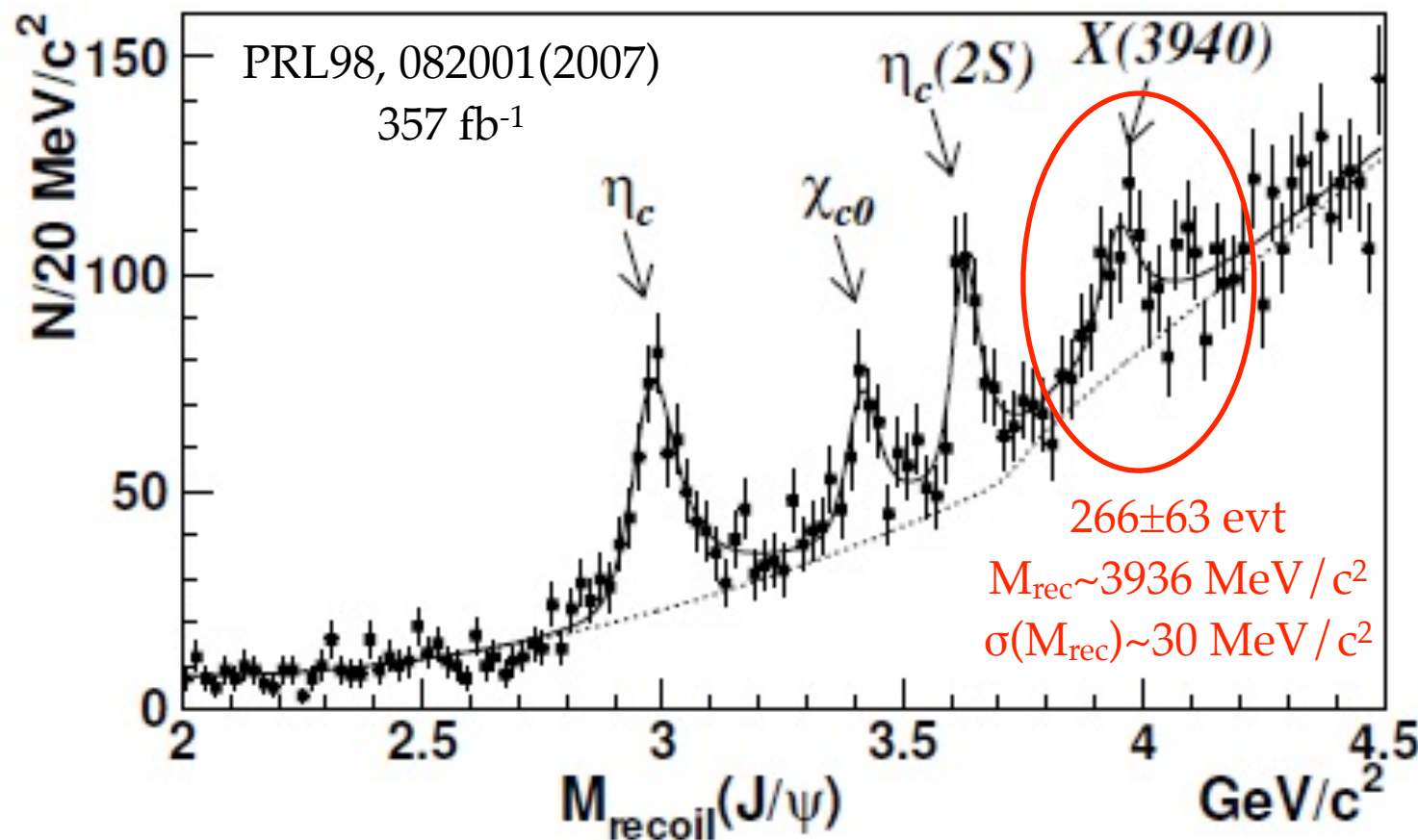
DOUBLE CHARMONIUM



$J/\psi \rightarrow \ell^+ \ell^-$ を再構成

反跳質量を再構成

$$M_{\text{rec}} = \sqrt{(E_{\text{cms}} - E_{J/\psi}^*)^2 - p_{J/\psi}^{*2}}$$



$X(3940) \rightarrow DD^*$?

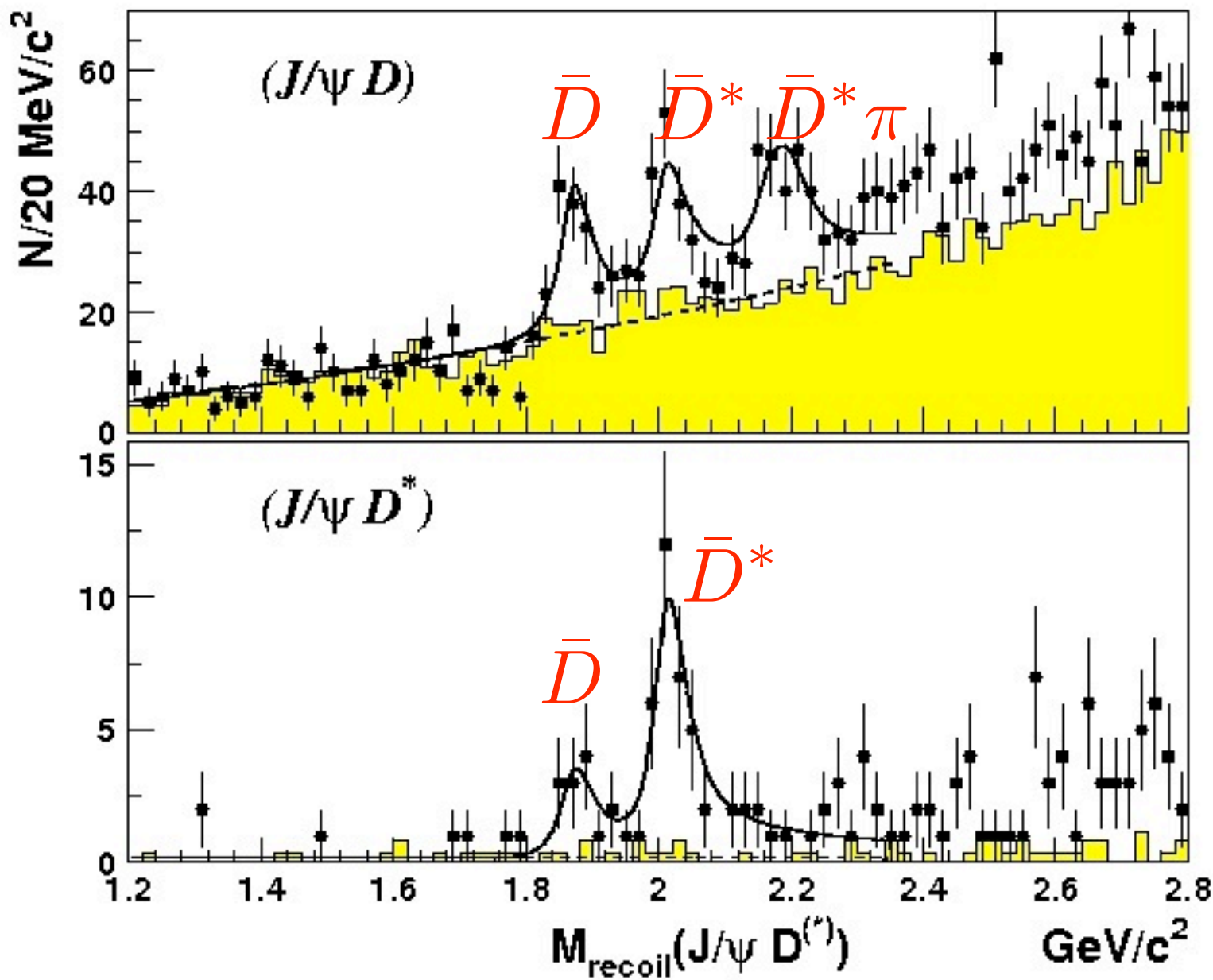
データを増やす

J/ψD^(*)を再構成した反跳質量分布

PRL100, 202001(2008)

693 fb⁻¹

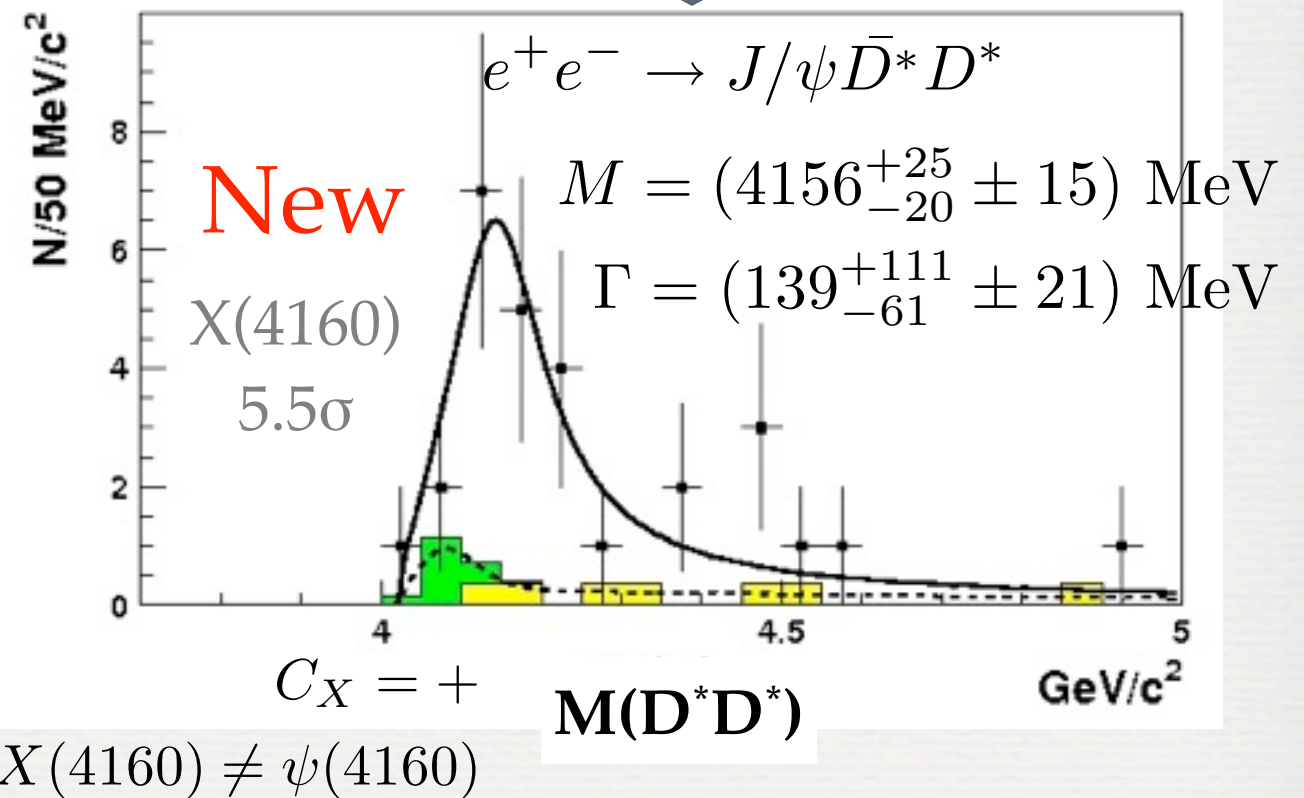
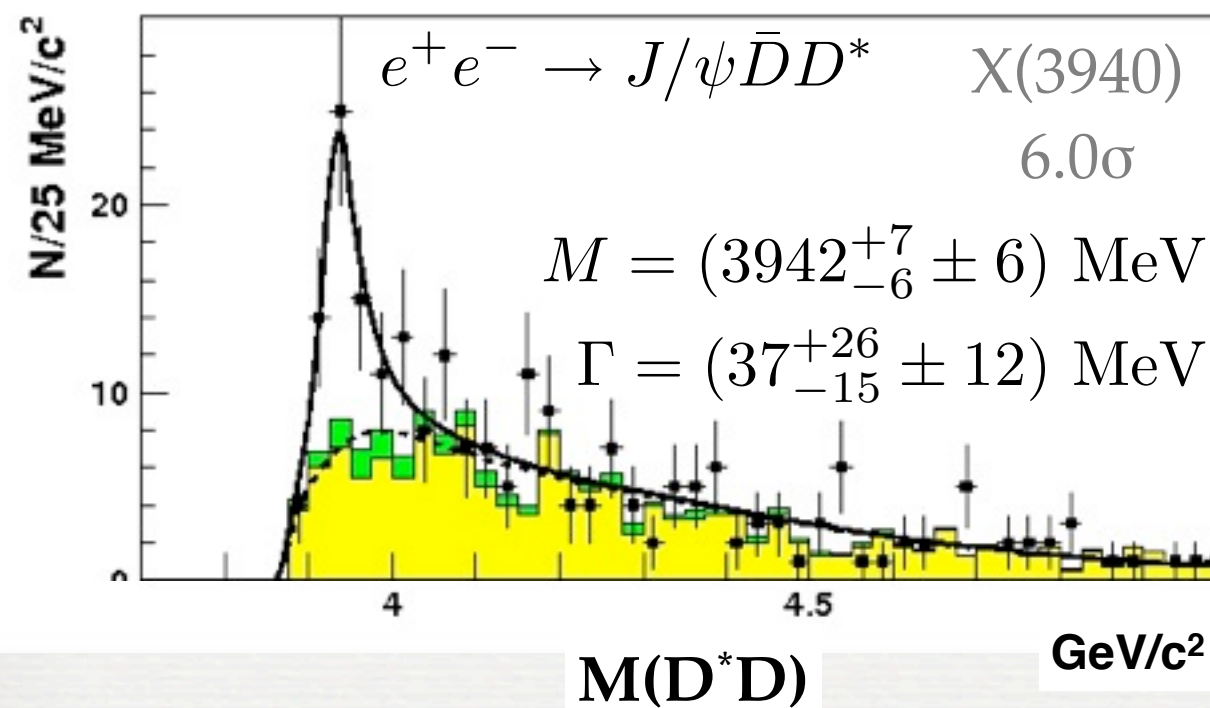
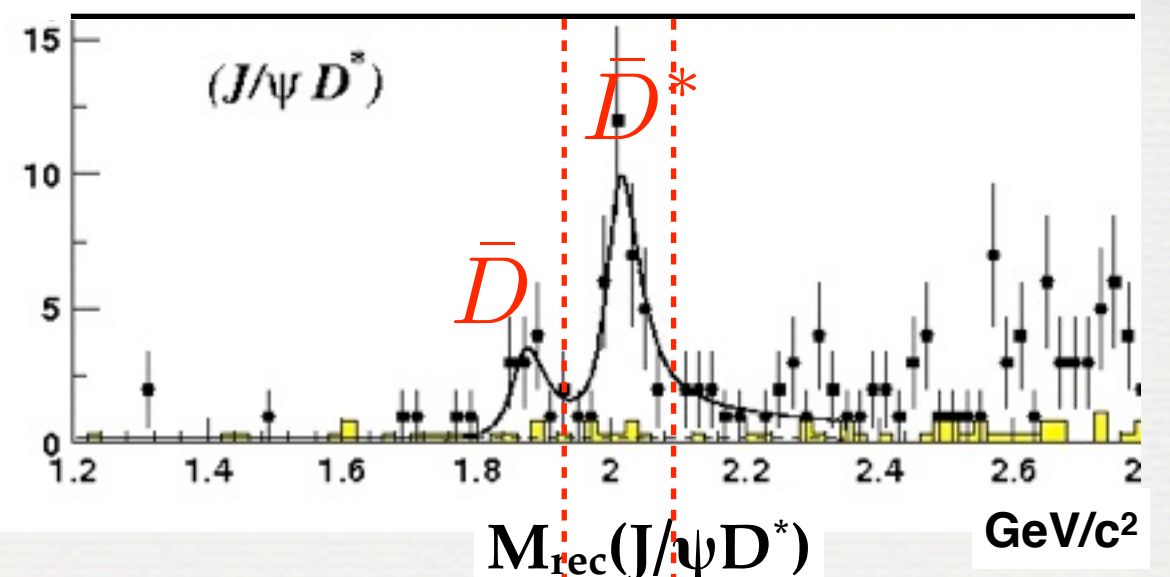
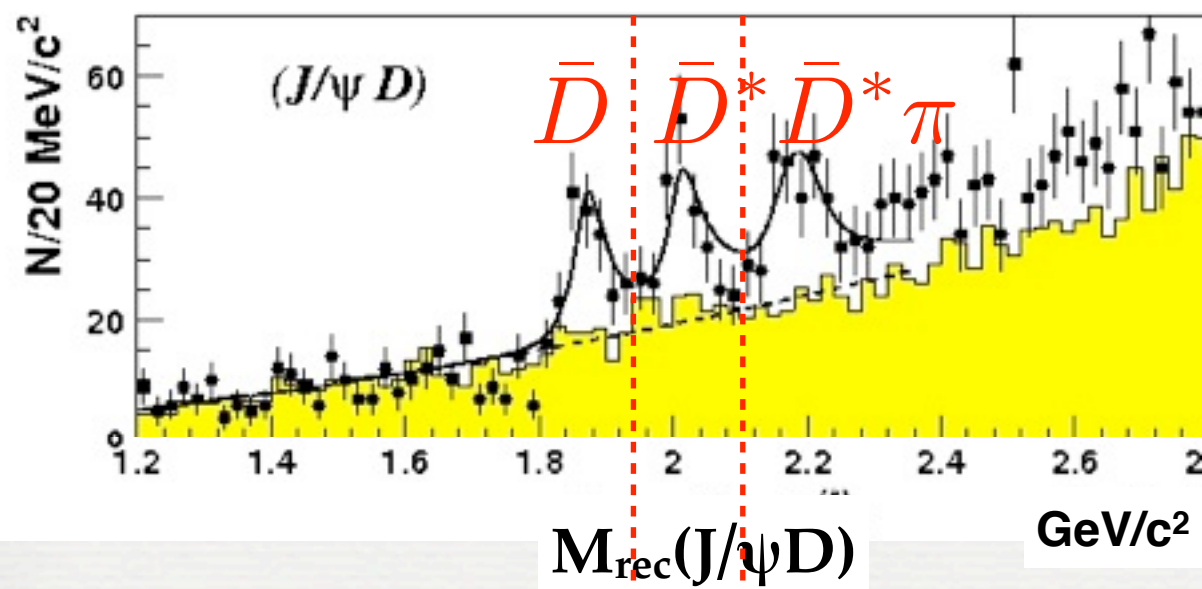
J/ψD⁰, J/ψD^{0*}, J/ψD⁺D⁺,
J/ψD⁺D^{0*}, J/ψD⁺D⁰
をタグ出来る



	$J/\psi D_{\text{rec}}$		$J/\psi D_{\text{rec}}^*$	
	N	$\mathcal{N}_\sigma$	N	$\mathcal{N}_\sigma$
$J/\psi D\bar{D}$	162 ± 25	7.6	—	—
$J/\psi D^* \bar{D}$	159 ± 28	6.5	$19.0^{+6.3}_{-5.3}$	5.8
$J/\psi D^* \bar{D}^*$	173 ± 32	5.6	$47.2^{+8.5}_{-7.8}$	8.4

$M_{\text{rec}}(J/\psi D^{(*)}) = M(D^{(*)})_{\text{nominal}}$
 として、 $M_{\text{rec}}(J/\psi)$ 分布を作る

$$M_{\text{rec}}(J/\psi) = M_{\text{rec}}(D^{(*)} D^{(*)})$$



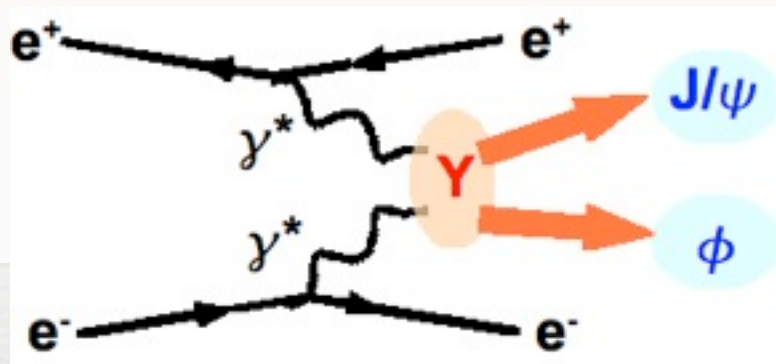
$\eta_c(3S), \eta_c(4S), \chi_{c0}(3P)$? 質量が大きすぎる

angular analysis が必要: $\gamma\gamma \rightarrow DD^*, D^* D^*$

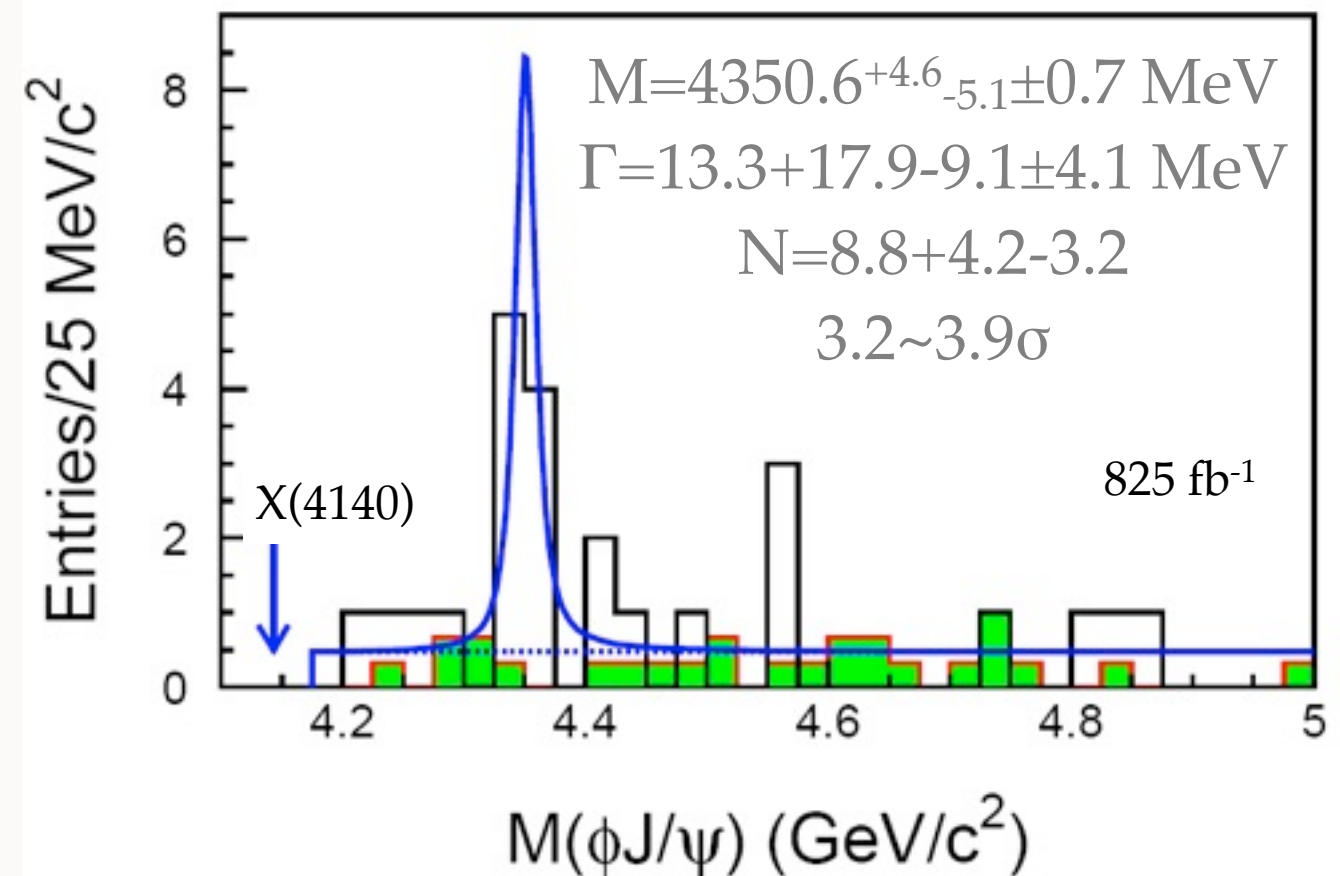
2光子過程

$Y(4140)$

- CDFでBの崩壊で観測された
- $Y(4140) \rightarrow \phi J/\psi$ を探索
- Belleでは確認出来ず
- $\gamma\gamma \rightarrow \phi J/\psi$ で探索



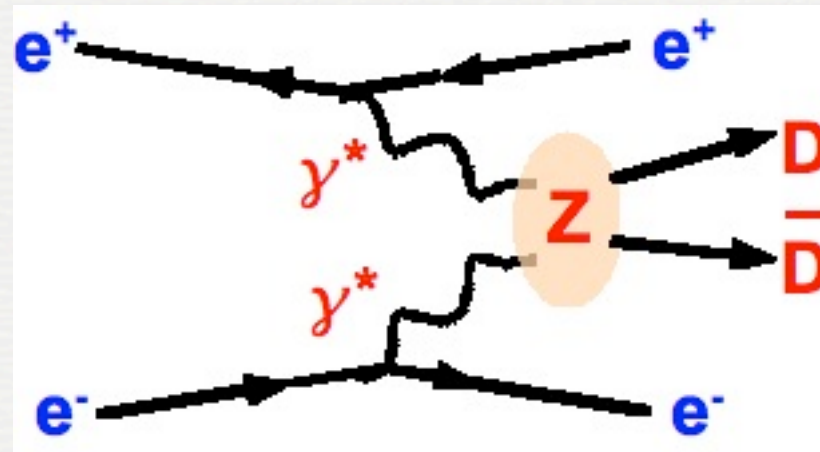
- 副産物として $Y(4350)$?



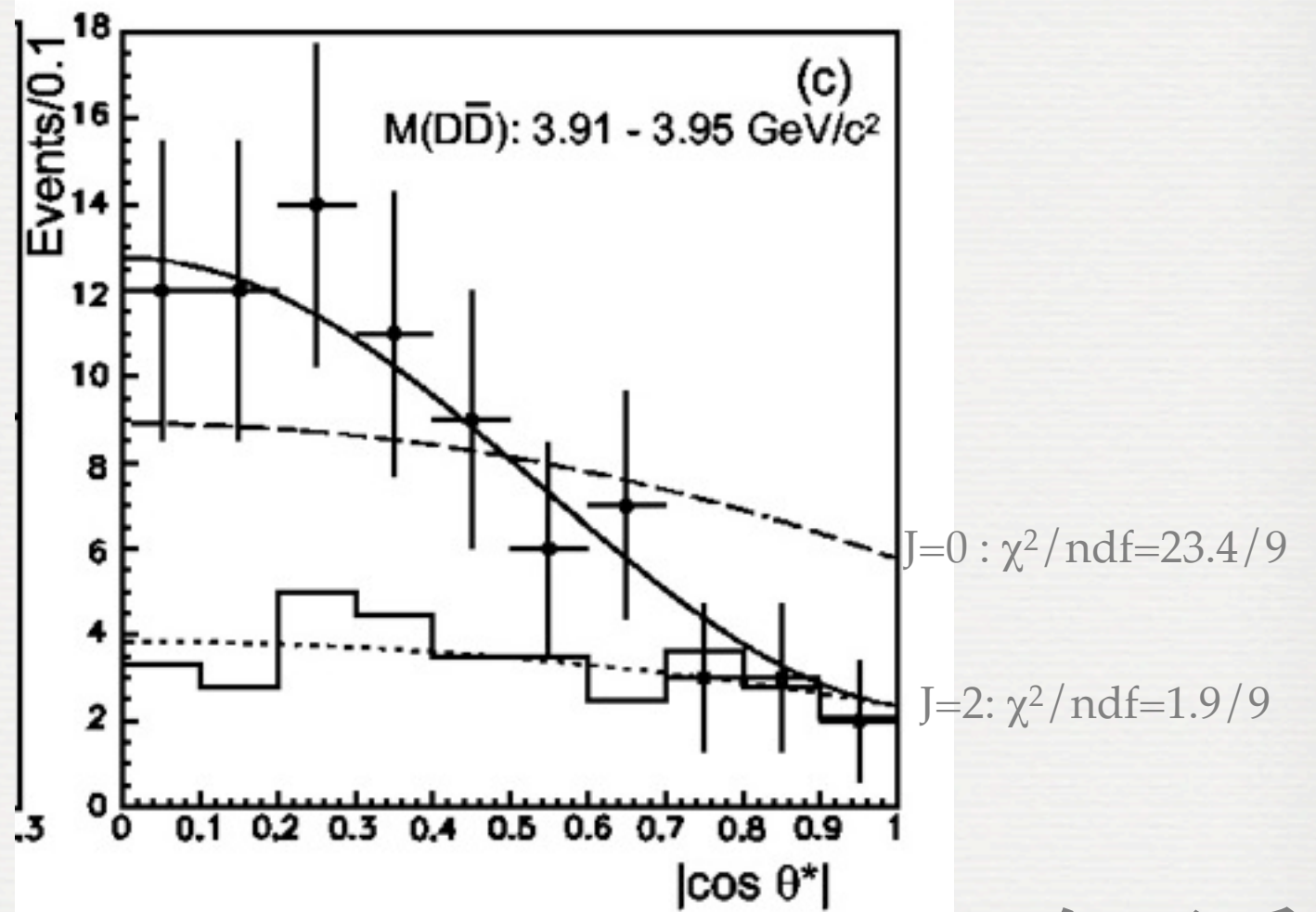
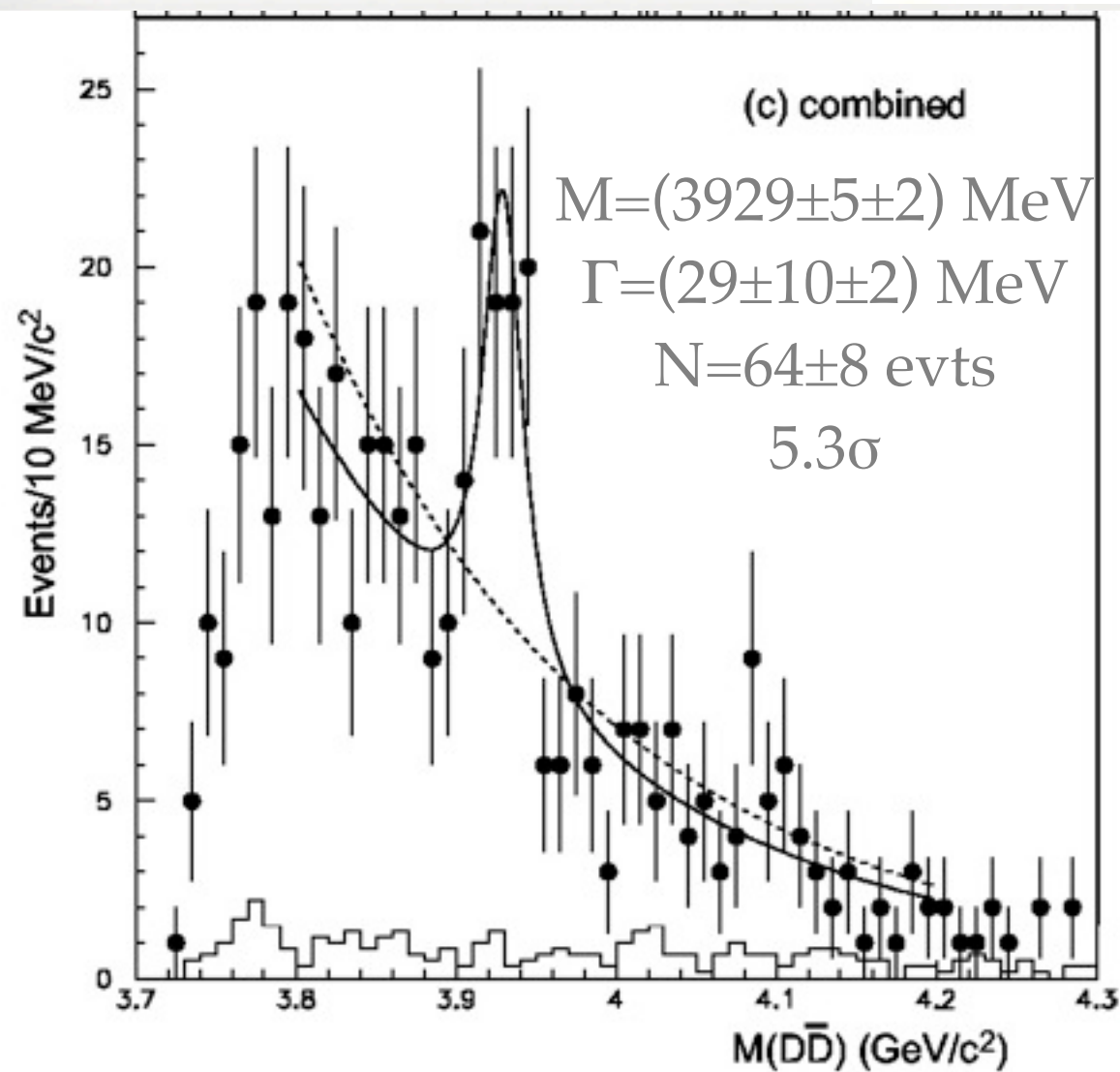
- $D_s^* D_s^*$ 分子? P-wave cc ?

Z(3930)

$$\gamma\gamma \rightarrow DD$$



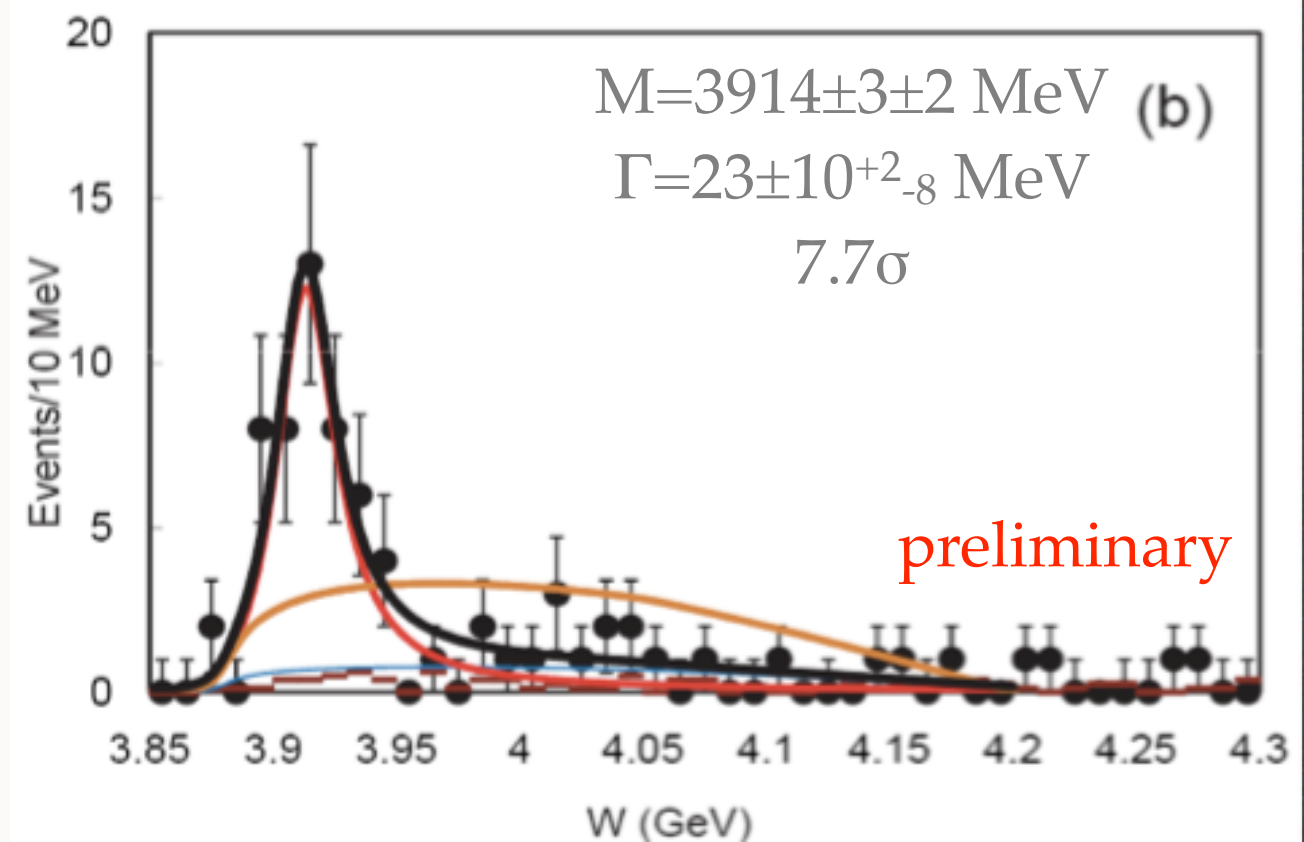
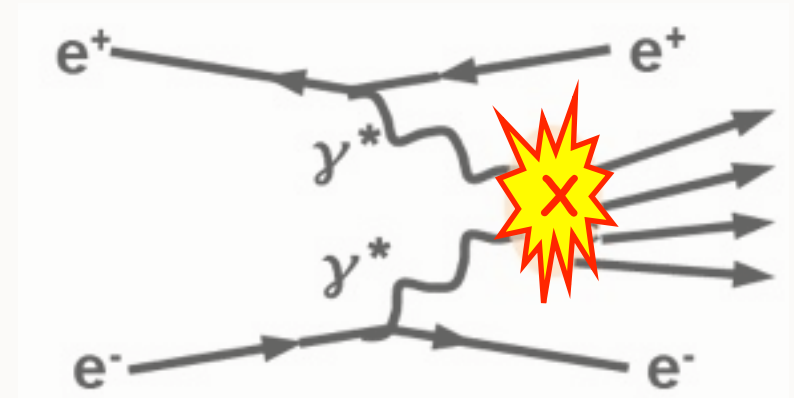
PRL96, 082003(2006)



$\chi^2_{c2'}$ と無矛盾

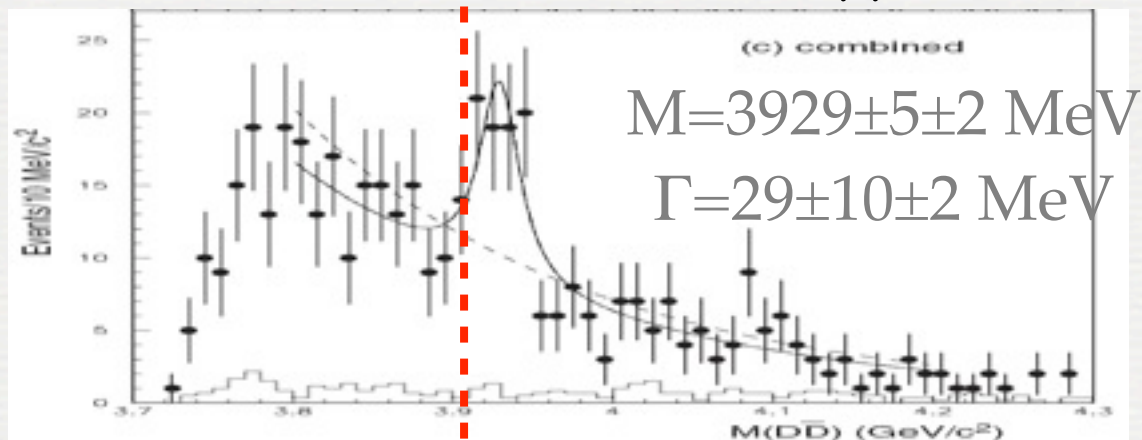
X(3915)

- $\gamma\gamma \rightarrow \omega J/\psi$ に新しいピーク
- $X(3915)=Z(3930)?(\chi_{c2}')$
- 3940 MeV近辺のstateと比較



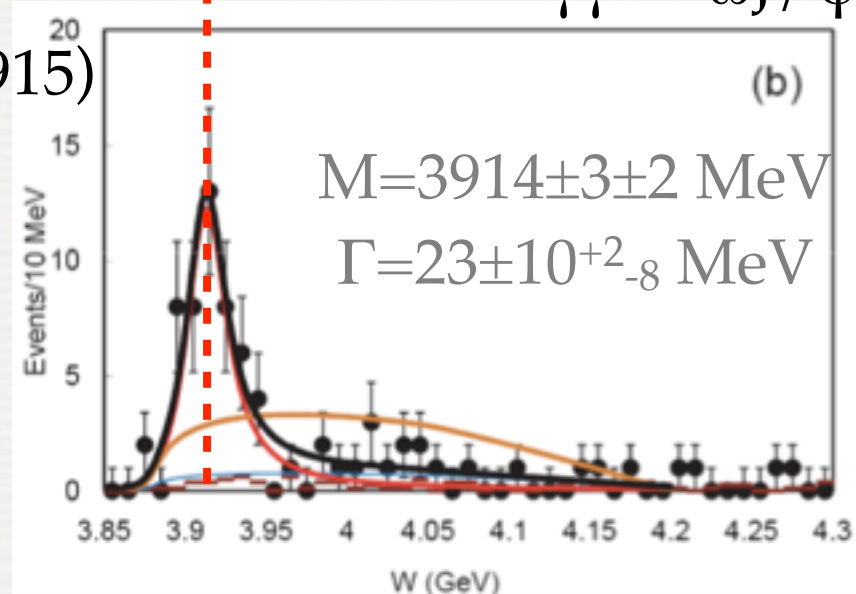
Z(3930)

$\gamma\gamma \rightarrow DD$



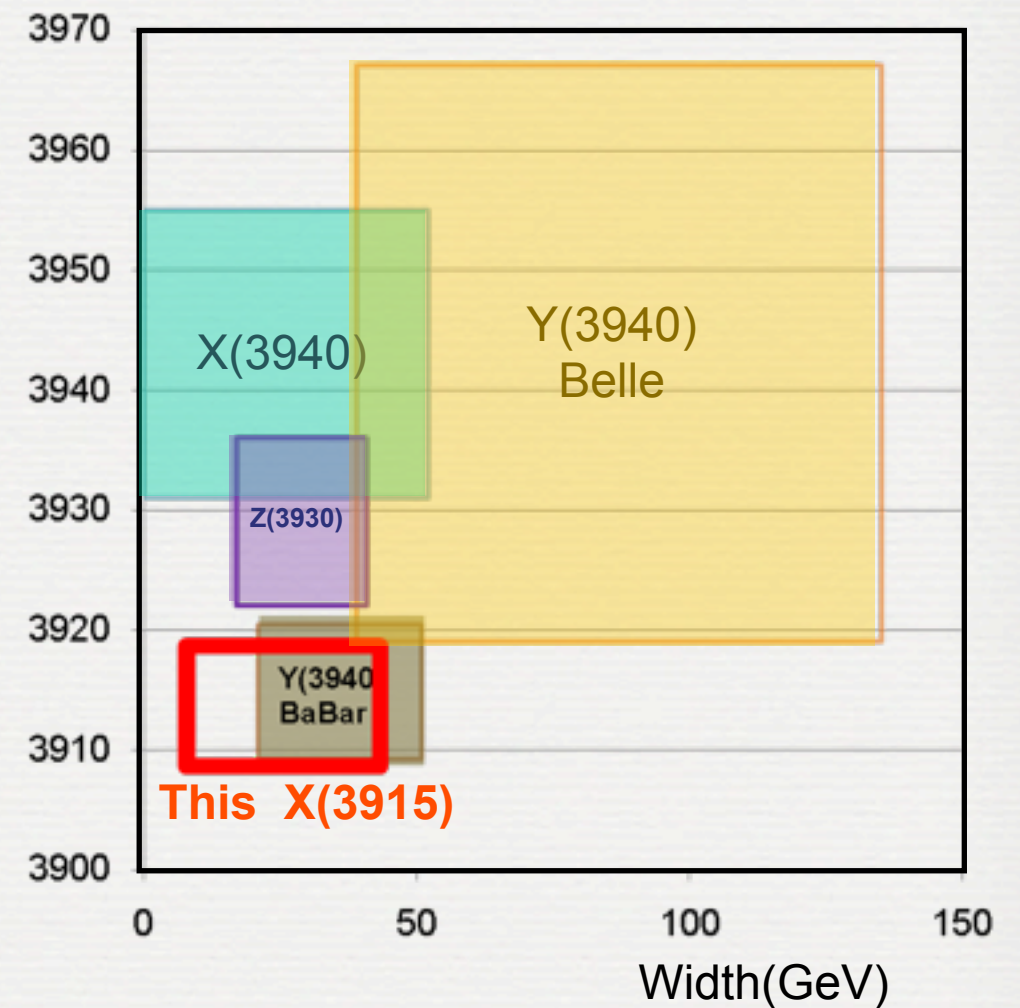
X(3915)

$\gamma\gamma \rightarrow \omega J/\psi$



Mass(GeV)

Range: $\pm(\sigma(\text{stat.}) \oplus \sigma(\text{sys.}))$

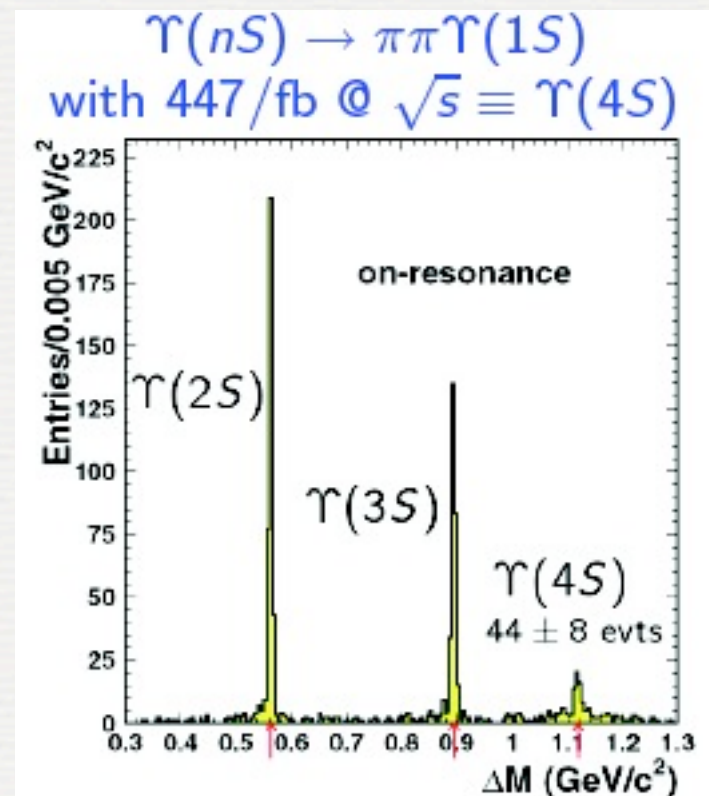


BaBar の Y(3940)?

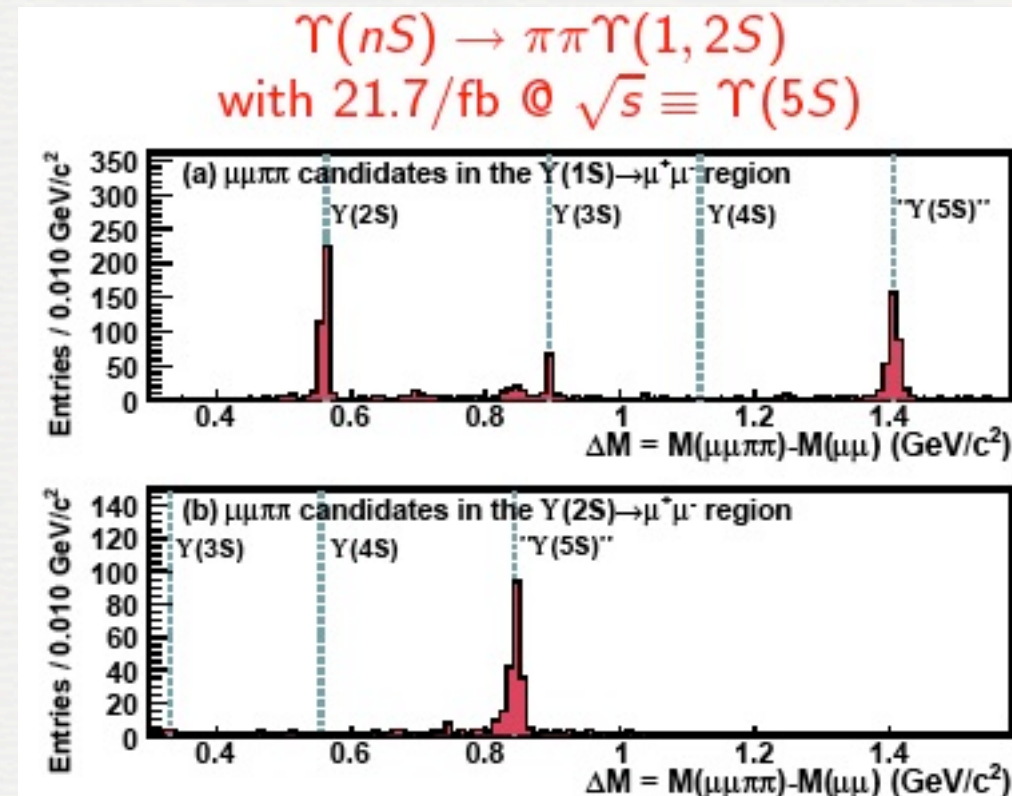
Y(1S)~Y(6S)の共鳴

新しいspectroscopyが有るか？

→ $Y(5S) \sim Y(6S)$ でエネルギースキャン



PRD75, 071103(2007)

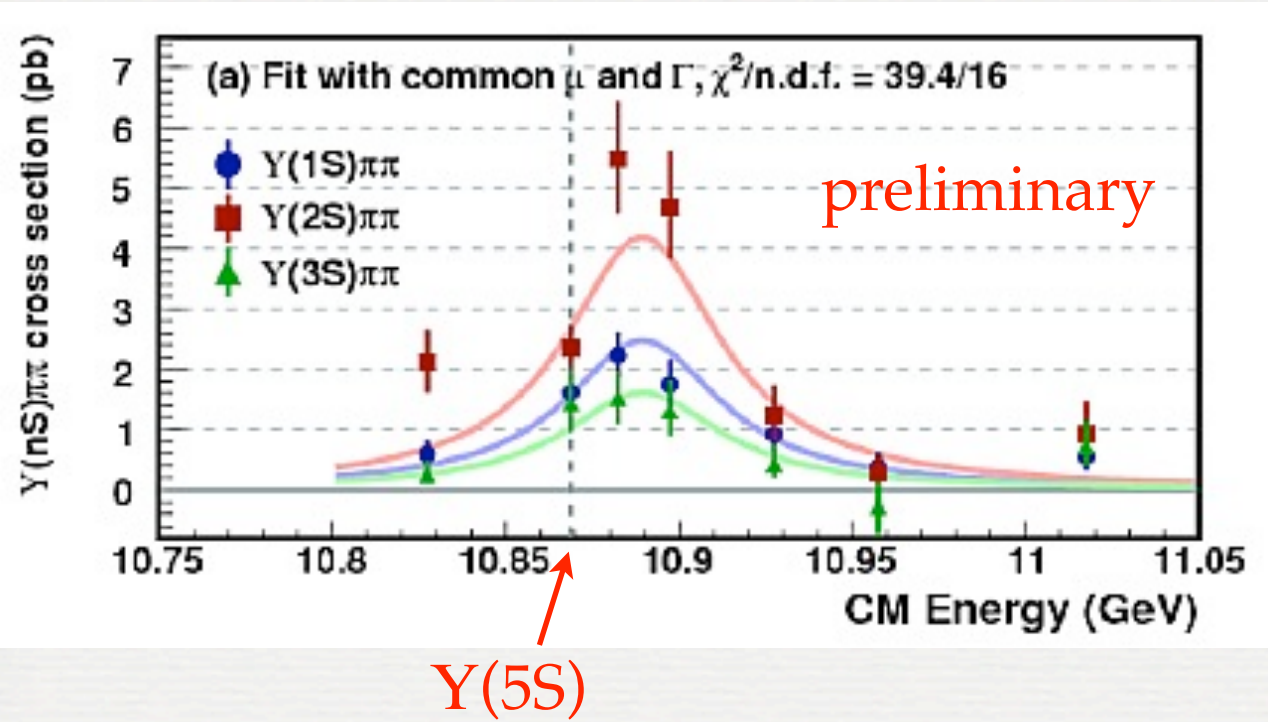


PRL100, 102003(2008)

bb	$Y(2S)$	$Y(3S)$	$Y(4S)$	$Y(5S)$
$\Gamma(\text{total})$	32 keV	20 keV	20.5 keV	110 MeV
$\Gamma(\pi\pi Y(1S))$	6 keV	0.9 keV	1.9 keV	0.59 MeV

何故5Sだけ広い？未知の状態と $Y(5S)$ が重なっているのか？

Y(5S)～ Y(6S) でエネルギースキヤ ン



mean と width を共通にした
3つのBWを同時フィット

	$\pi\pi Y(1S)$	$\pi\pi Y(2S)$	$\pi\pi Y(3S)$
peak [pb]	$2.46^{+0.27}_{-0.25} \pm 0.18$	$4.18^{+0.49}_{-0.46} \pm 0.55$	$1.61^{+0.31}_{-0.28} \pm 0.21$
M [MeV]	$10889.6 \pm 1.8 \pm 1.6$		
Γ [MeV]	$54.7^{+8.5}_{-7.2} \pm 2.5$		

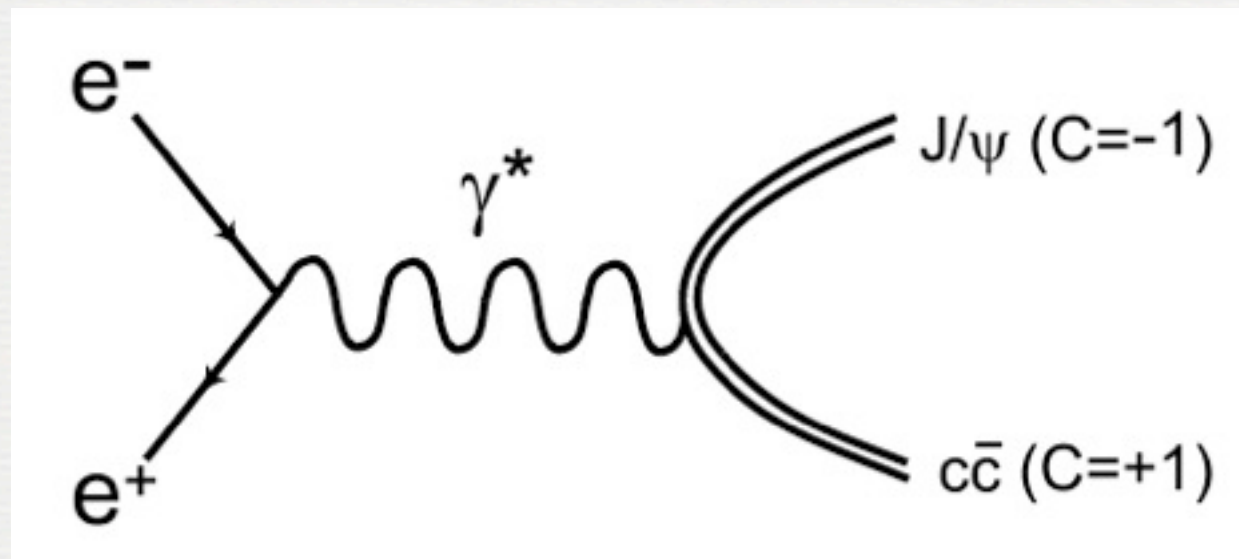
Y(5S)とは異なる
M : 25 MeV 高い
 Γ : 5S の1/2

Y_bの発見
(最初のbottom exotic hadron)

まとめ

- 多くのXY状態を観測(charmonium+light meson)
 - ISR、double charm生成、2光子過程
- それらはexotic hadronである可能性が大きい
 - “分子”状態、tetra quark、ccgハイブリッド
- いくつかの状態は同じものをダブルカウント？
- モデルで説明がつきにくい

- これらの性質を詳しく解析する
 - 理論にフィードバック
- Y_b の発見 → 最初の bottom exotic hadron
 - 他にもあるか？
- さらなる探求
 - 別のモードを導入、タグ方法の改良→統計の向上



$C=+1$ に置き換え？

$C=-1$ 状態の探索

タグ側のバックグラウンド？