

# J-PARCでチャームバリオンの物 理をやる価値

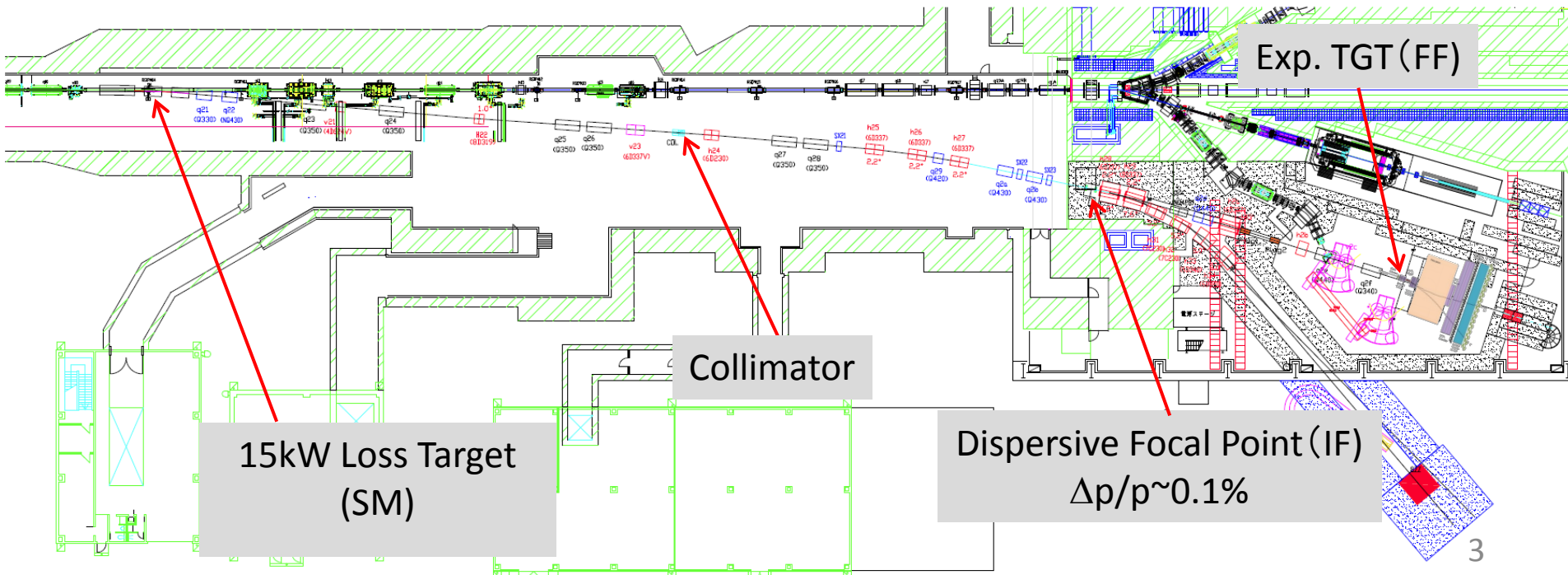
H. Noumi

# A new research project in High-res., High-p Beam Line at J-PARC

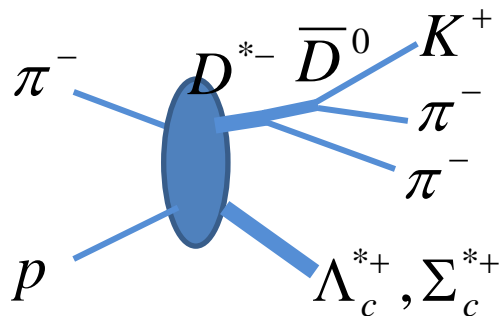
- Proposed by RCNP, Osaka U. under the MOU on research cooperation between RCNP, IPNS/KEK, and the J-PARC Center
- Role of RCNP
  - Collect research ideas and collaborators
  - Introduce new methods/techniques
    - High-resolution, high-p Secondary Beam Line
    - Multi-particle Spectrometer
  - Conduct hadron physics with a leadership of RCNP

# High-p Line for 2<sup>nd</sup>ary Beam

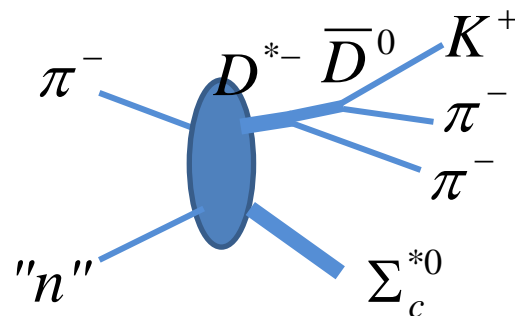
- High-intensity secondary beam (unseparated) can be delivered.
  - 2 msr<sup>-2</sup>%,  $1.0 \times 10^7$  Hz @ 15 GeV/c  $\pi$
- High-resolution beam:  $\Delta p/p \sim 0.1\%$ 
  - Momentum dispersion and eliminate 2<sup>nd</sup> order aberrations



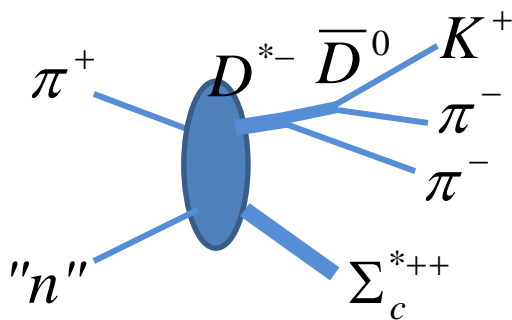
# 使う反応：Missing Mass分光法



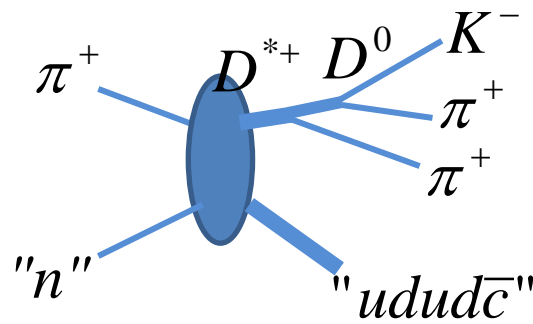
“主たるモード”



“中性子標的(重陽子中)”

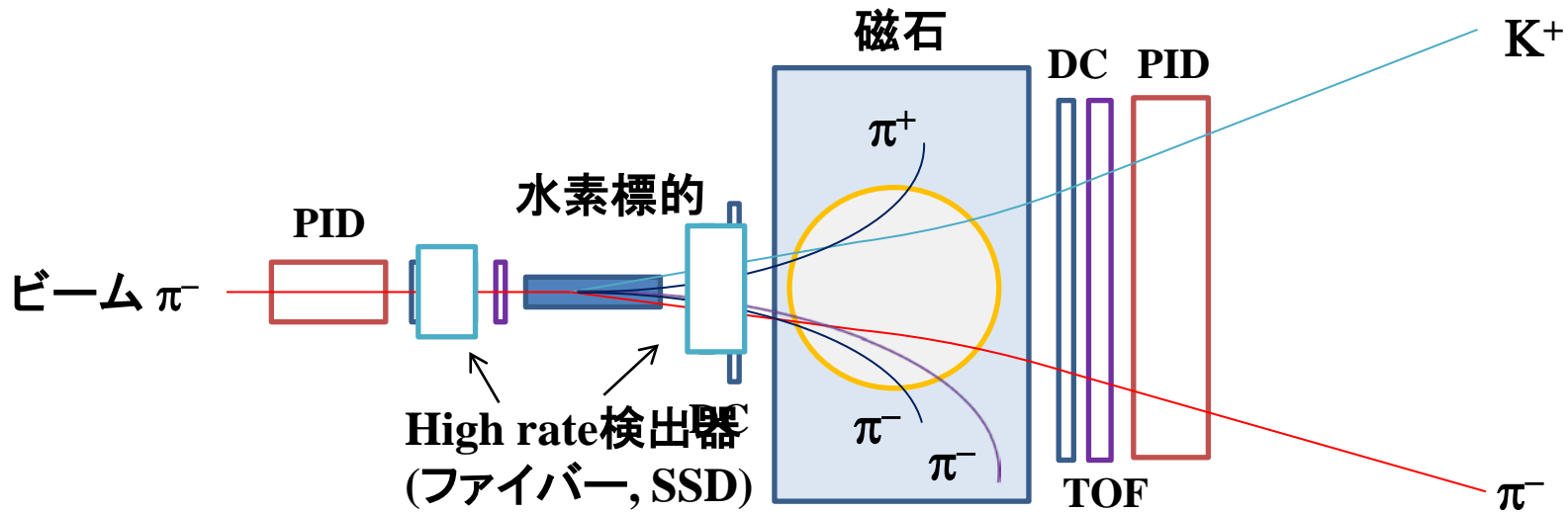


“2重荷電交換反応”



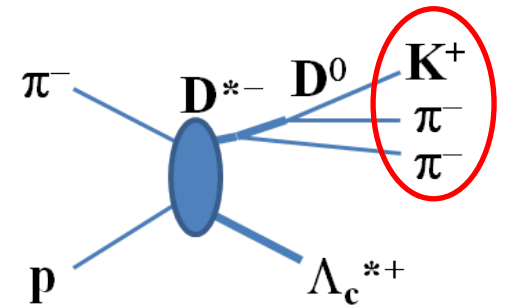
“エキゾチック チャンネル”

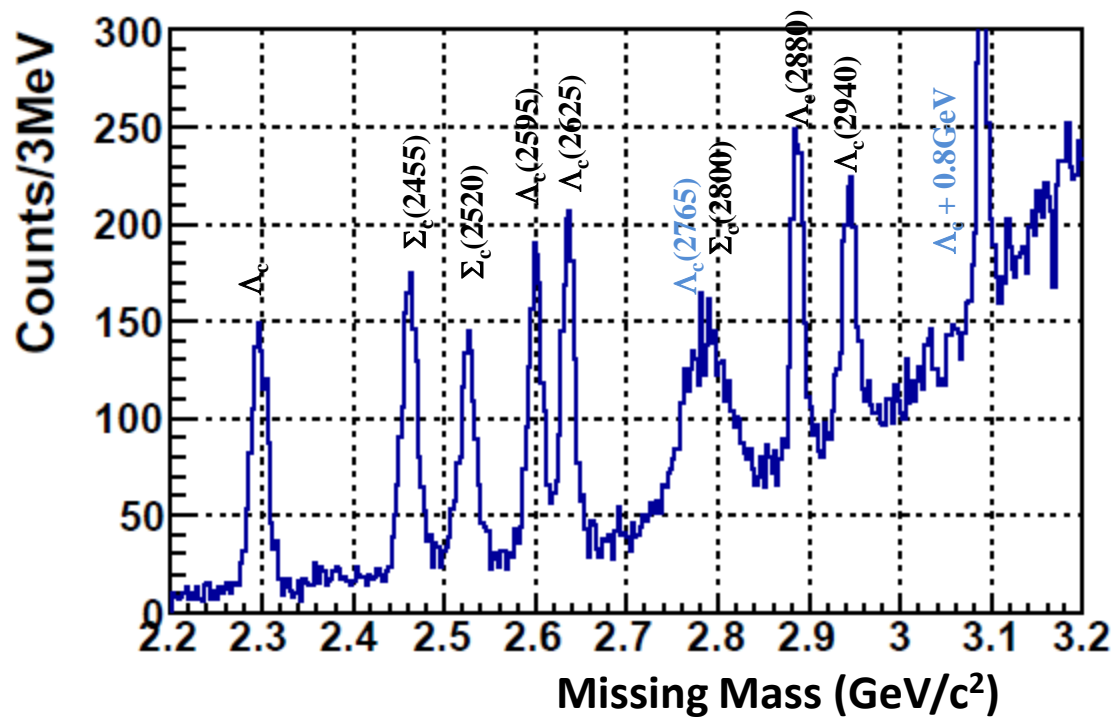
# 実験のデザイン

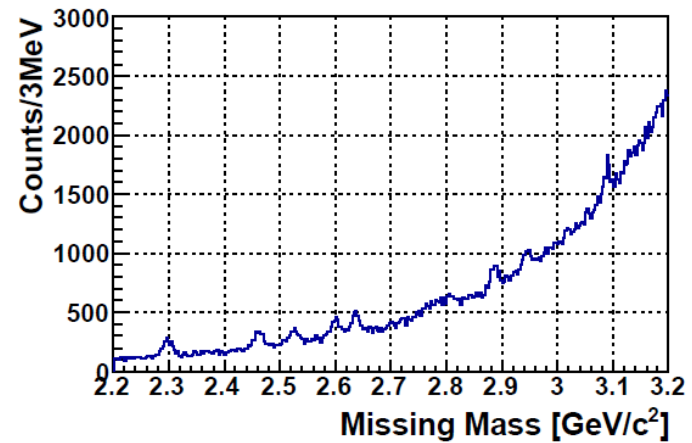
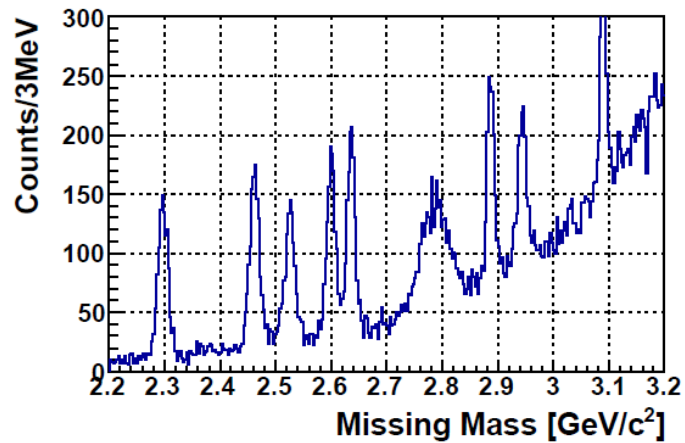
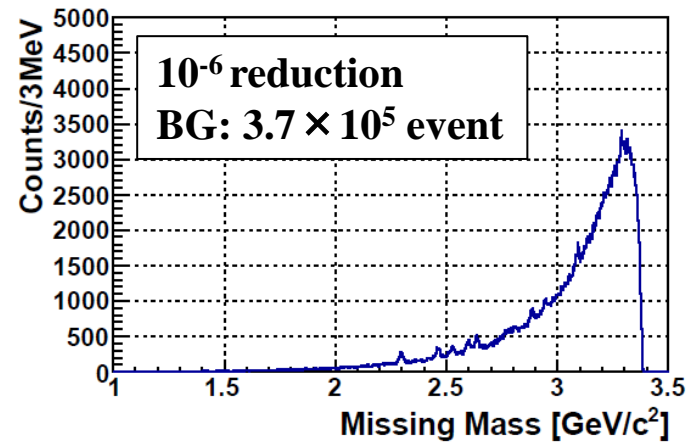
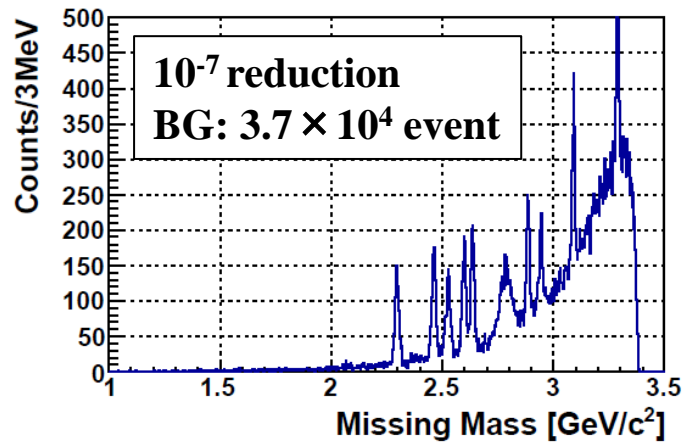


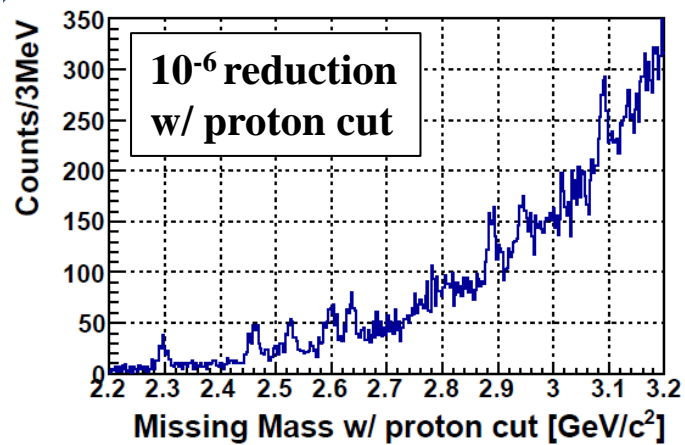
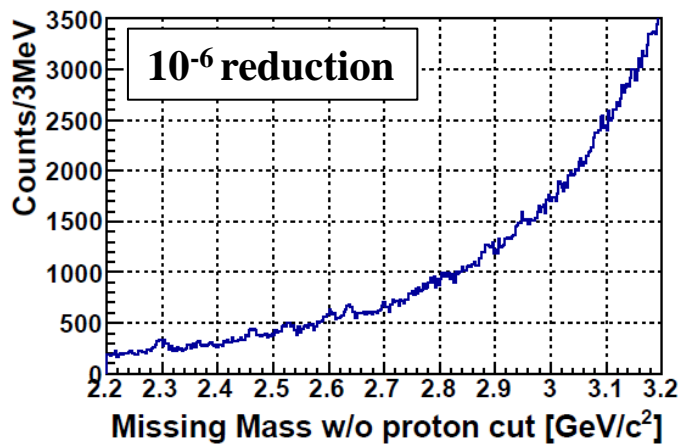
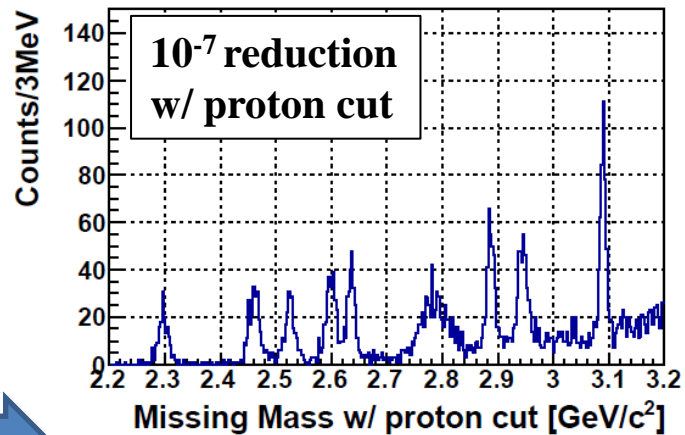
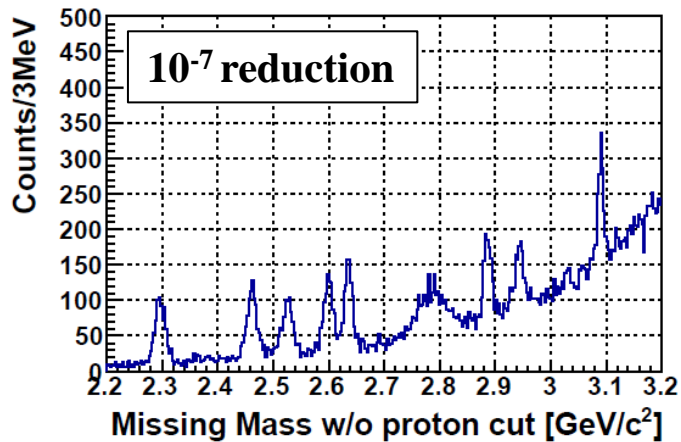
## 高分解能&大立体角スペクトロメータ

- 磁石近傍に大面積の検出器を設置
- 検出器の構成: 分解能を重視
  - 可能な崩壊モードの測定:  $Y_c^* \rightarrow Y_c + \pi$  等
- 大強度ビーム環境下での多重粒子の測定







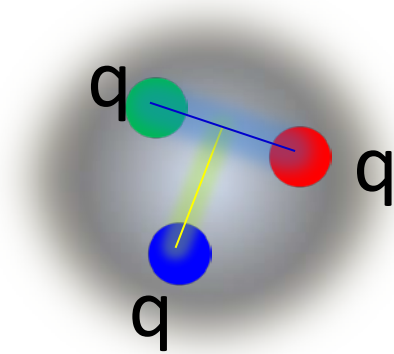




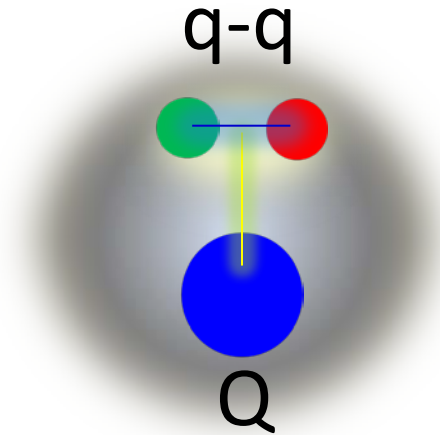
# 測定できるもの、できそうなもの

- 励起エネルギーと幅 (数MeV~100MeV程度まで)
  - 基底状態から高励起状態 (~1GeV)まで一気に生成
    - 崩壊過程によらない観測
  - 量子数のコントロール
    - $p(\pi^-, D^{*-}) \Lambda_c^+, \Sigma_c^+, p(\pi^+, D^{*-}) \Sigma_c^{++}, n(\pi^-, D^{*-}) \Sigma_c^0$
    - $n(\pi^+, D^{*+}) \bar{D}N^0, (p(\pi^-, D^{*+}) \bar{D}N^-, p(\pi^+, D^{*+}) \bar{D}N^+)$
- 生成断面積
- 崩壊分岐比 (部分幅) : 角分布の守備範囲による
  - 高励起状態から $\pi$ 、 $K$ 、 $D$ を1 (か2) 吐いて幅の狭い低励起状態 ( $\Lambda_c/\Sigma_c$ とか $\Xi_c$ とか $N$ )へ崩壊するもの
  - スピン?

# チャームバリオンから何がわかる？



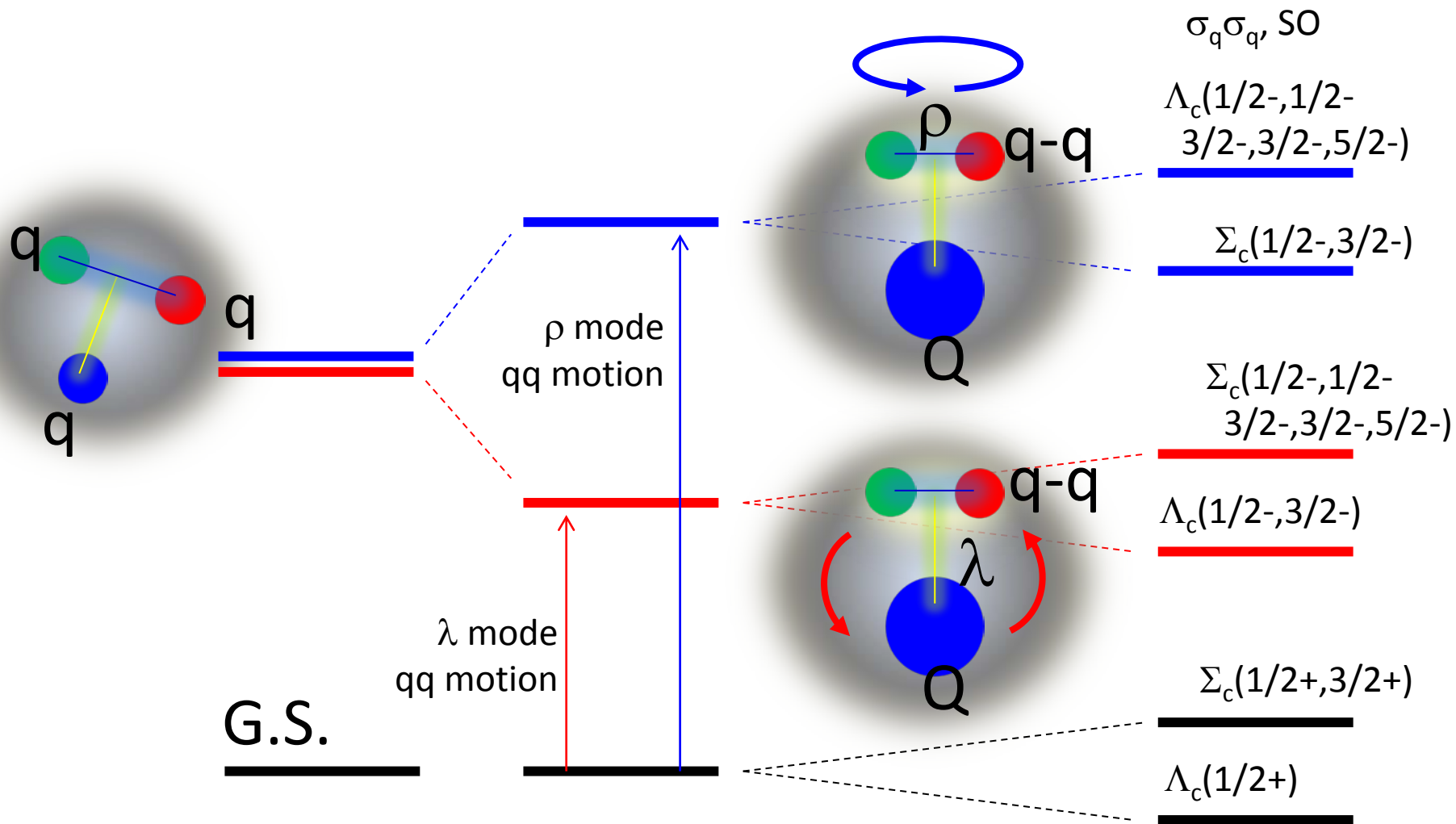
$SU_F(3)$  good  
Chiral Symmetry  
Strong coupling to HG boson  
Diquark?  
Molecular State?



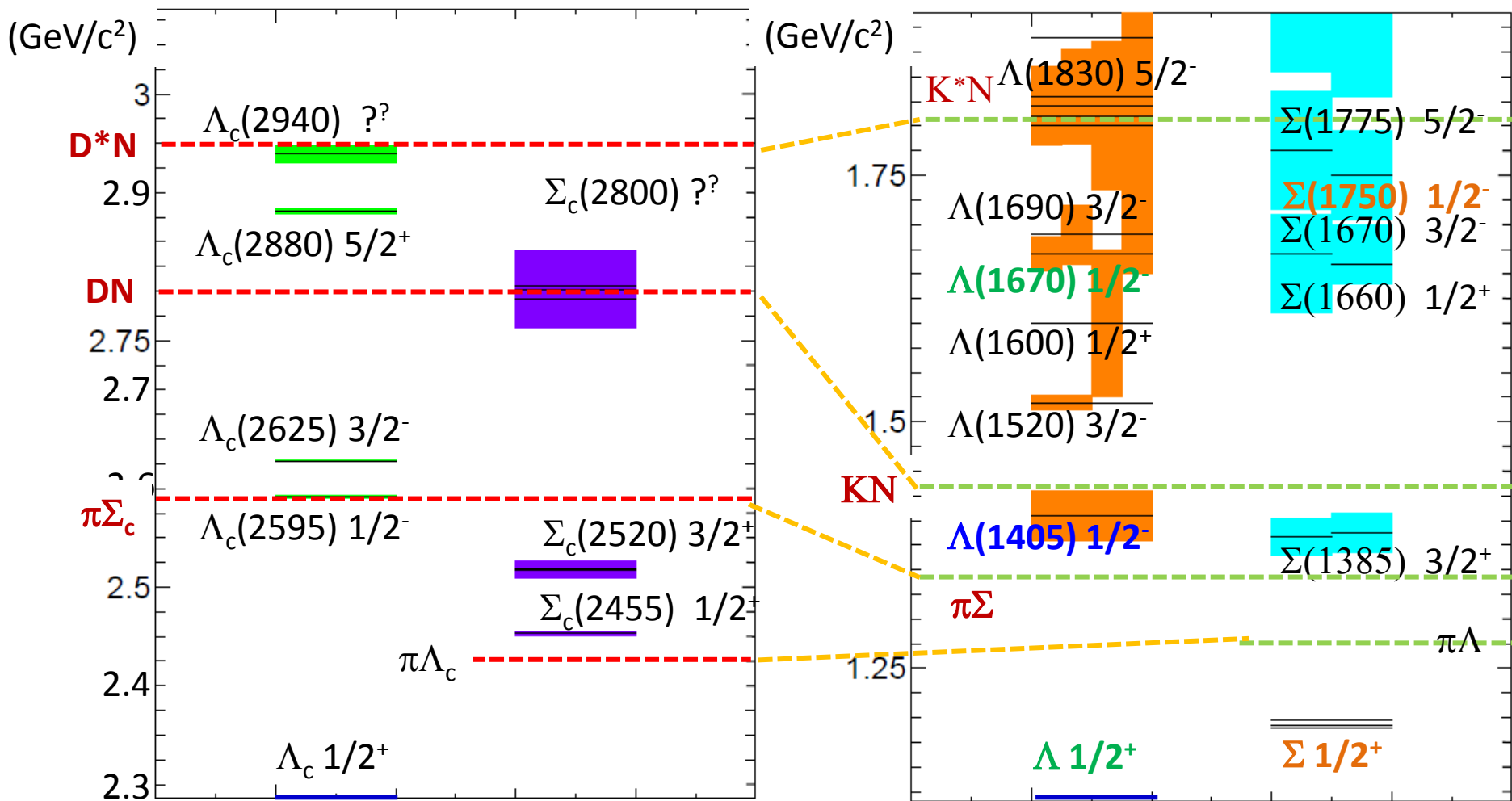
$SU_F(4)$  broken  
Heavy Quark Symmetry  
Weak coupling to HG boson  
Diquark  
Molecular state

# ダイクォーク

- 何をみればよいのか？
- レベル構造？ 特徴は？ 何が証拠になる？
  - 模型計算：クォーク間力の根拠？
    - そもそもそれを知りたい？
  - LQCD計算： 励起状態は難しい(のか？)
    - $Q\bar{Q}$ 間力 $\leftrightarrow$ (よいとされる)ポテンシャル模型との比較可能
    - $qq(Qq/QQ)$ 間力はわかっていない？
    - ダイクォーク  $\rightarrow$  カラー超伝導への道はつくのか？
  - (Linear) Regge Trajectory (slope)?
- 崩壊分岐比
  - $\Lambda_c \rightarrow \pi\Sigma_c / K\Xi_c / D_p$  は $Y_c$ の構造を反映するのか
  - 結合定数が重要？  $\rightarrow$ LQCD

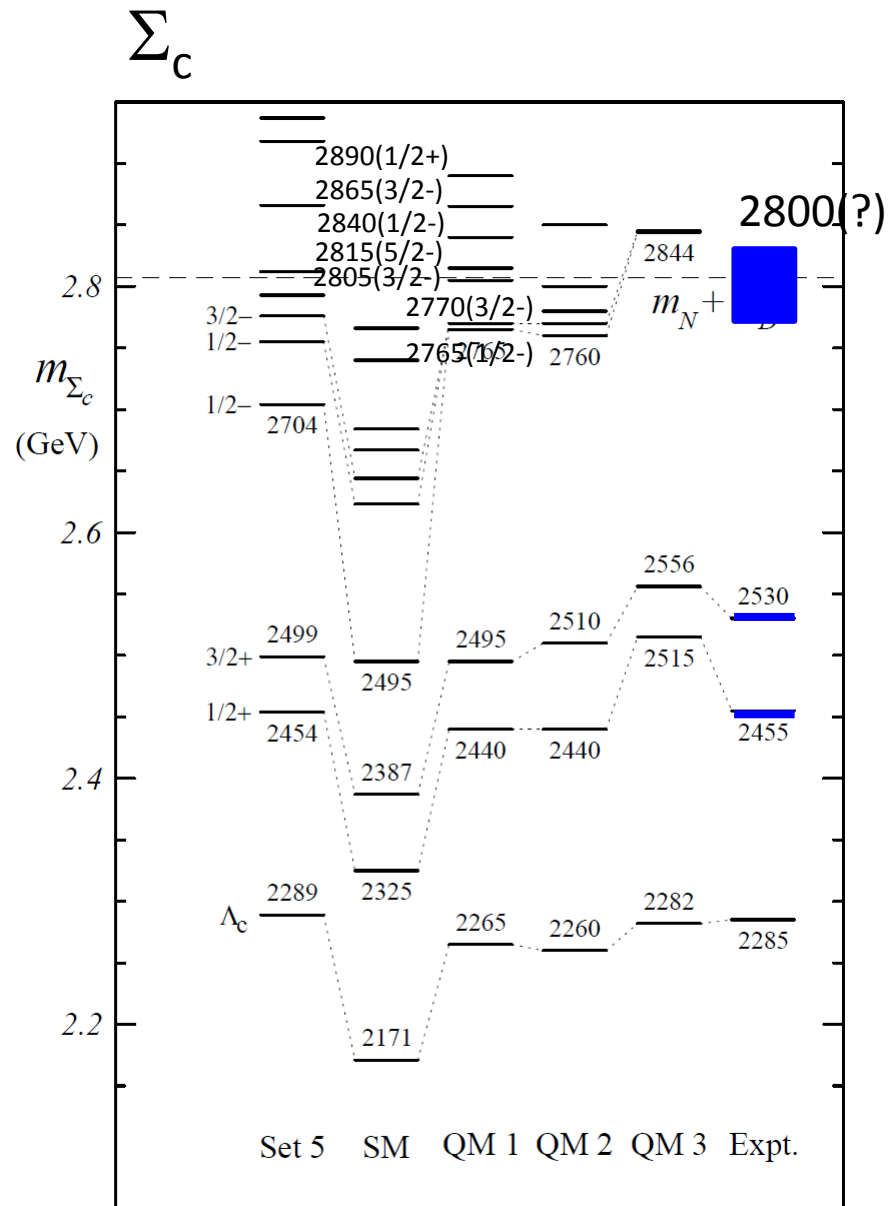
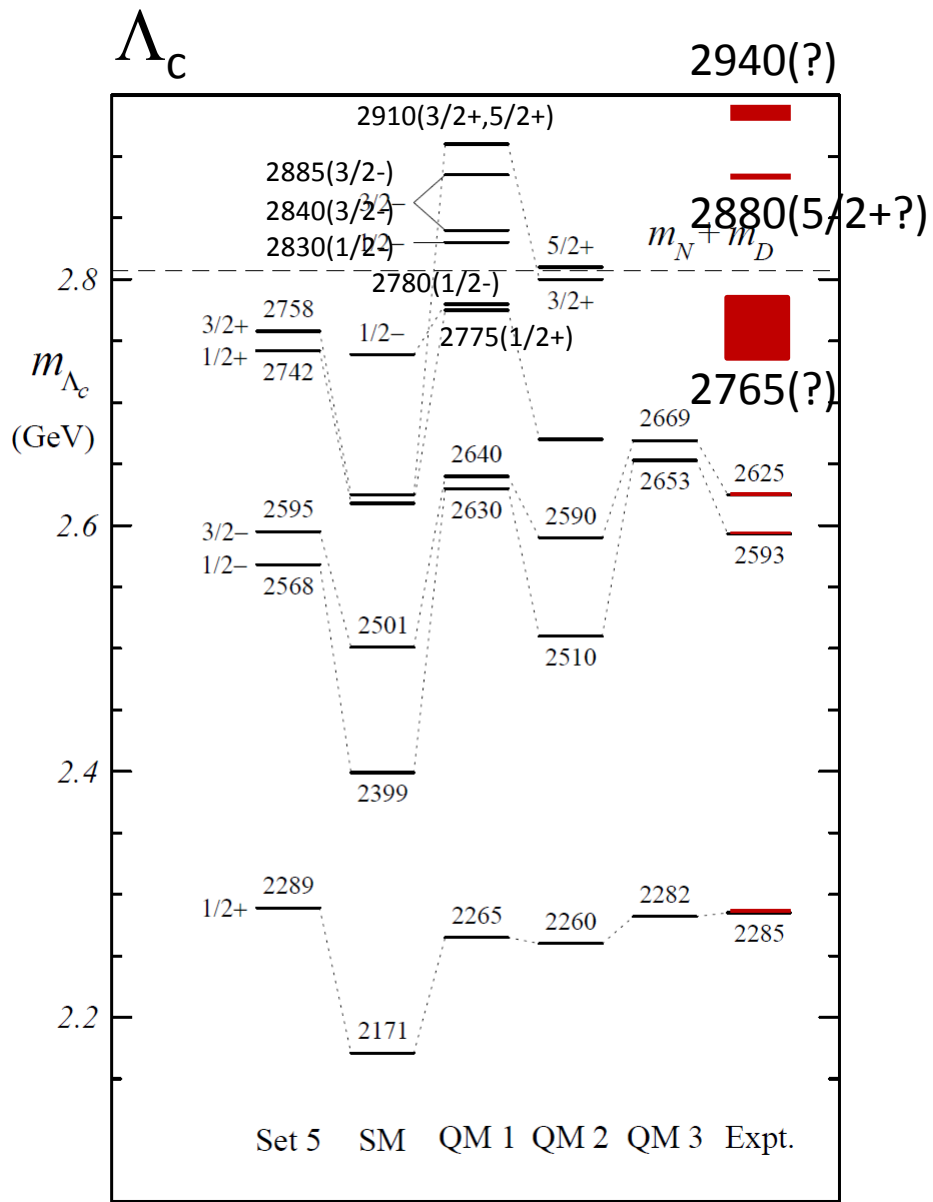


# バリオンスペクトル(励起エネルギー~1 GeV)



- ダイクオーク相関:  $\Lambda_c^*(5/2^-)$ ,  $\Sigma_c^*(5/2^-)$
- ハドロンクラスター: “DN”分子状態
- カイラルパートナー、ほか、..

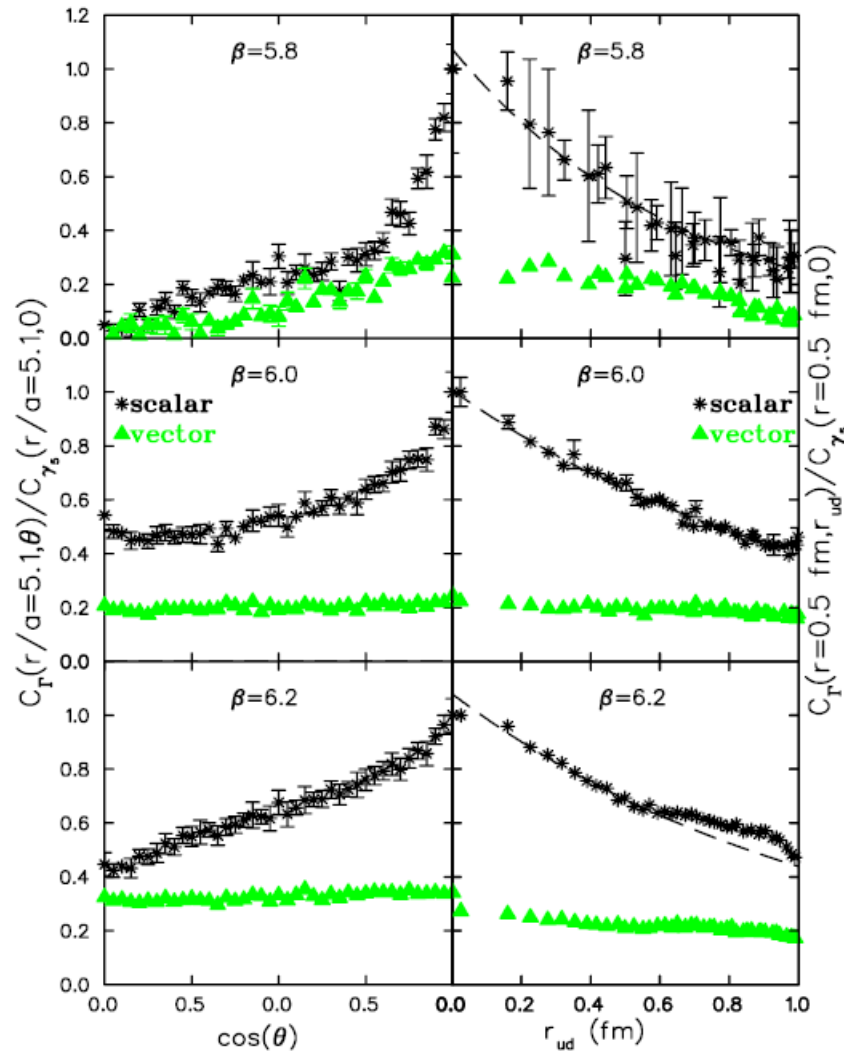
} どのように現れるか?



# Diquarks in LQCD

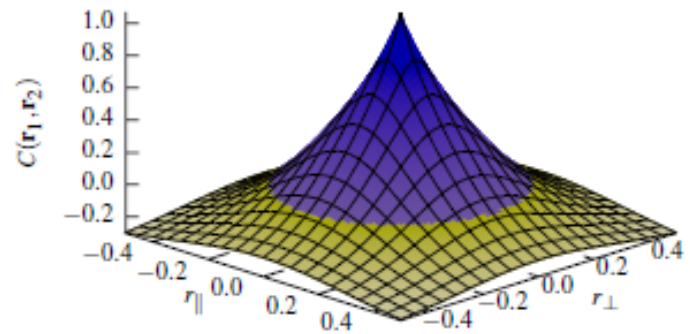
C. Alexandrou, Ph. de Forcrand,  
and B. Lucini, PRL 97, 222002(2006)

J. Green, M. Engelhardt, J. Negele, and  
P. Varilly, AIP Conf. Proc. 1441, 172(2012)

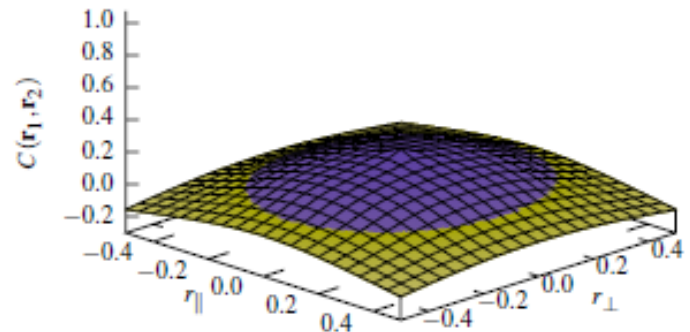


$+$ ,  
 $S_1$

good  $m_\pi = 293 \text{ MeV}$



bad  $m_\pi = 293 \text{ MeV}$



# Lattice studies

## Diquark correlation function

$$C(\mathbf{r}_u, \mathbf{r}_d; t) = \langle 0 | J_\Gamma(0, 2t) \rho_u(\mathbf{r}_u, t) \rho_d(\mathbf{r}_d, t) J_\Gamma^\dagger(0, 0) | 0 \rangle$$

$$\rho(\mathbf{r}, t) = \bar{q}_f \gamma_0 q_f, \quad f = u, d$$

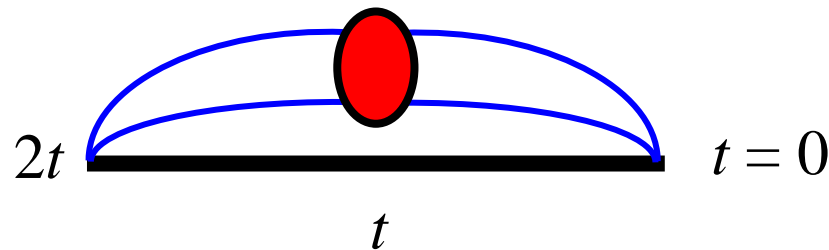
$$J_\Gamma(x) = \varepsilon^{abc} [u_a^T(x) C \Gamma d_b(x) \pm d_a^T(x) C \Gamma u_b(x)] s_c(x)$$

*ud*-diquark

Static heavy quark

$$\rho_u(\mathbf{r}_u, t) \rho_d(\mathbf{r}_d, t)$$

cクォークは十分重くない？



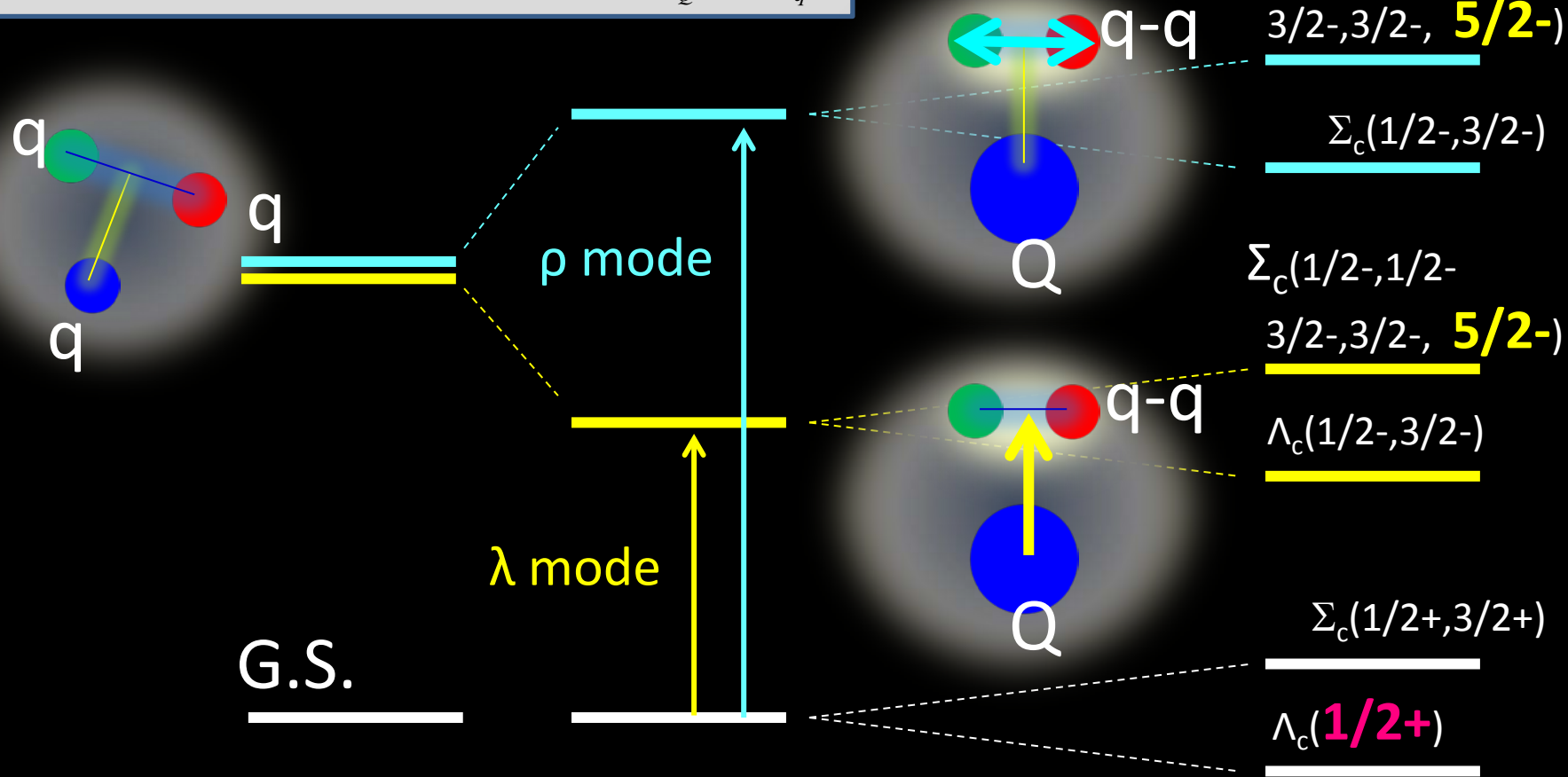


# Lattice計算の意味？

- 強いqq相関(カラー $3^{\text{bar}}$ )がみられる
  - 広がりは0.3fm？ ハドロンのサイズと同等？
  - これはダイクオークとってよいのか。
  - だとすると”mass”は？
    - 距離の関数？

$$\omega_\lambda / \omega_\rho = \sqrt{(M_Q + 2m_q) / 3M_Q} \rightarrow 1 \quad (M_Q = m_q)$$

$$\rightarrow \sqrt{1/3} \quad (M_Q \gg m_q)$$



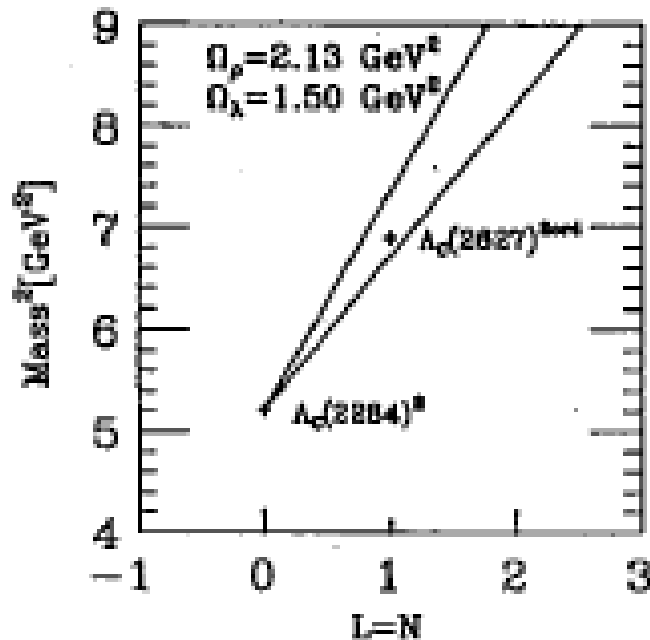
# Covariant Oscillator Quark Model

S. Ishida et al, PTP91, 775(1994)

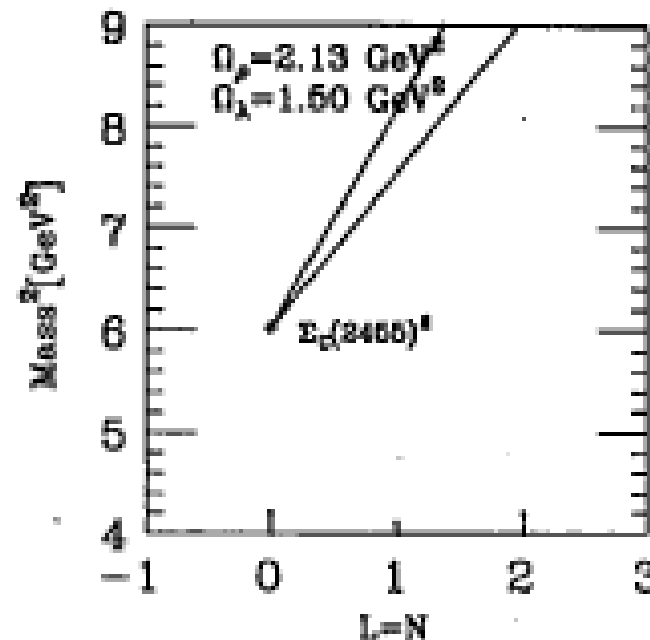
Mesons:  $M^2 = \Omega L + M_0^2$ ,  $\Omega_\rho = 2(2m + M) \left( \frac{3K_3}{m} \right)^{1/2}$ ,

Baryons:  $M^2 = \Omega_\rho L_\rho + \Omega_\lambda L_\lambda + M_0^2$ ,  $\Omega_\lambda = 2(2m + M) \left( \frac{K_3}{m} + \frac{2K_3}{M} \right)^{1/2}$ .

(a)  $\Lambda_c$



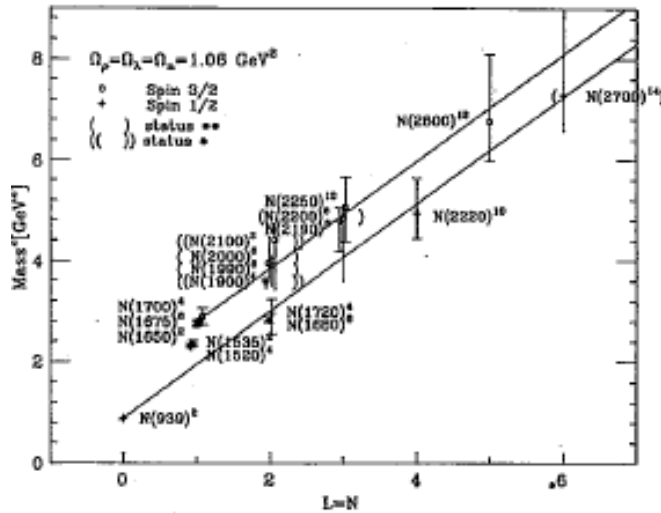
(b)  $\Sigma_c$



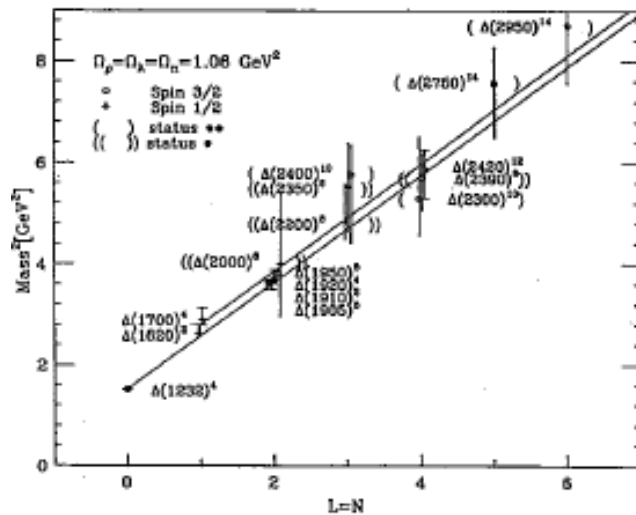
# COQM

S. Ishida et al, PTP91, 775(1994)

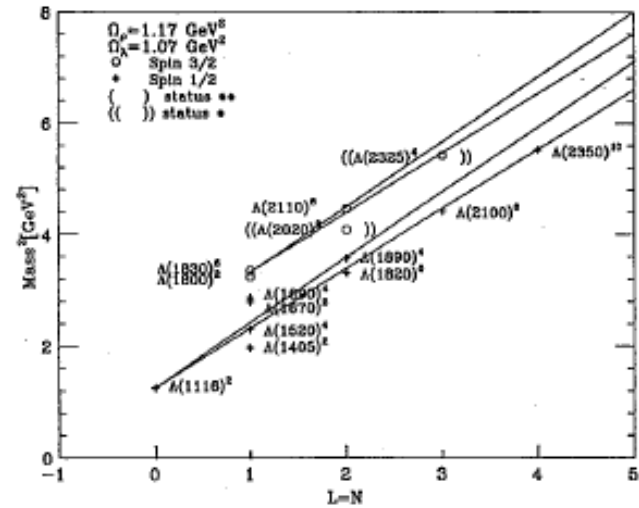
(a) N



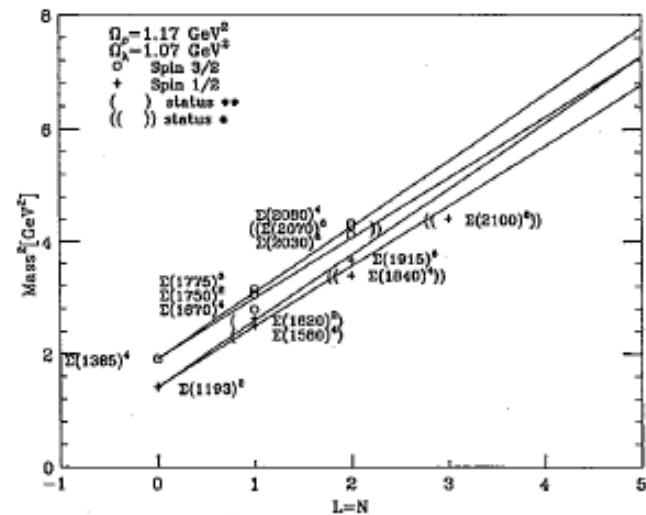
(b)  $\Delta$



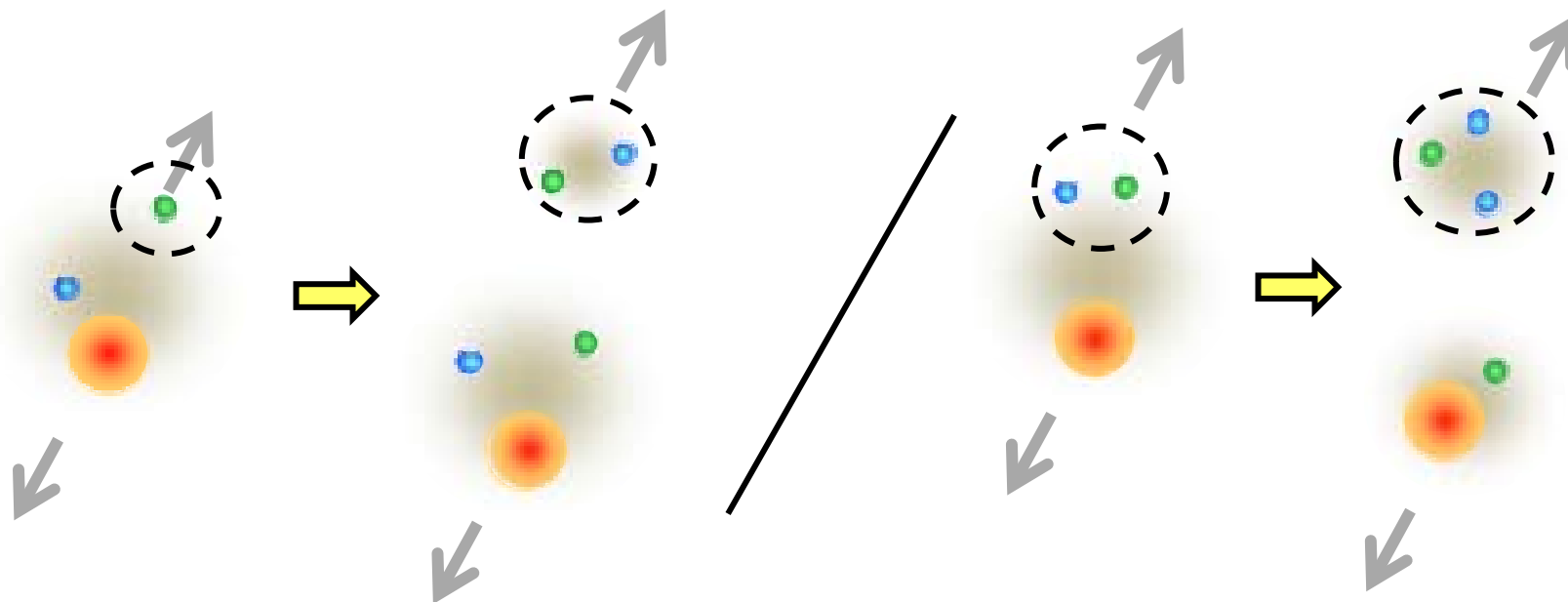
(c)  $\Lambda$



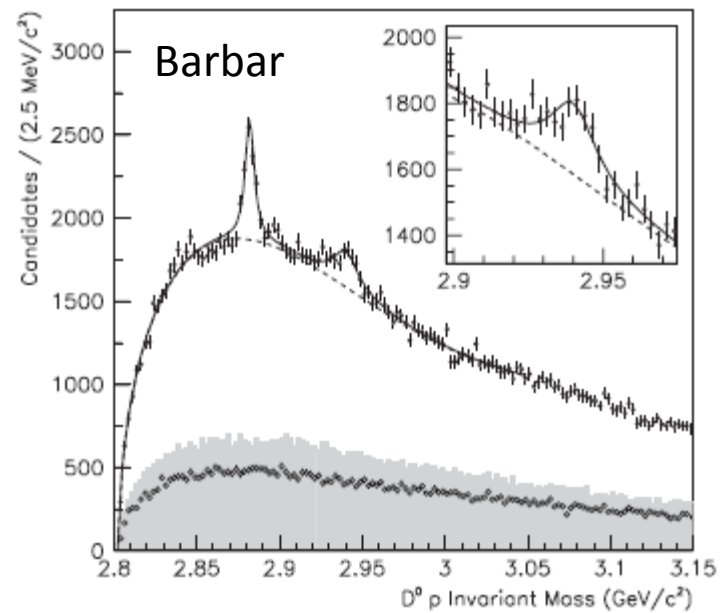
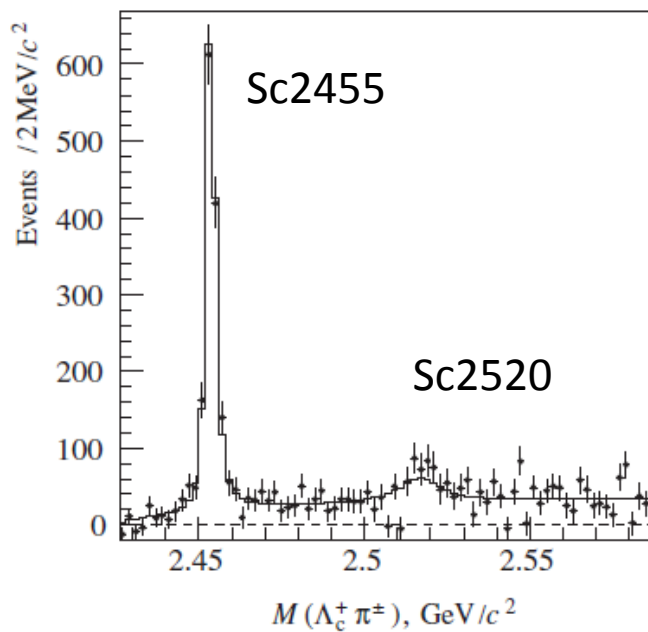
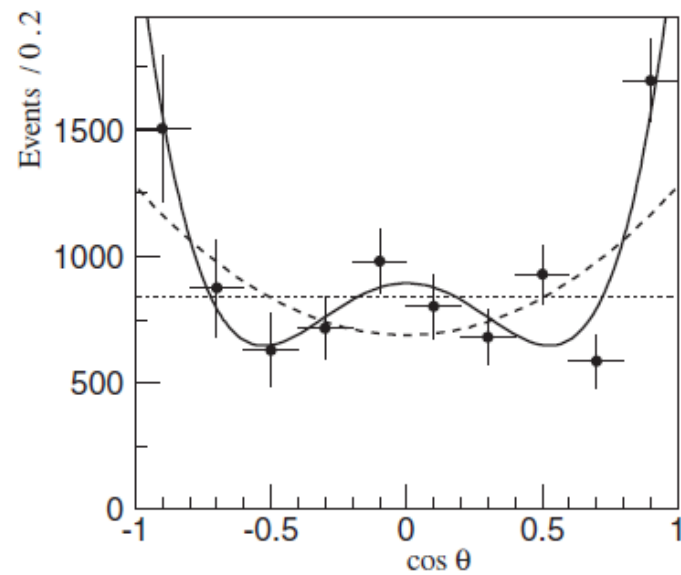
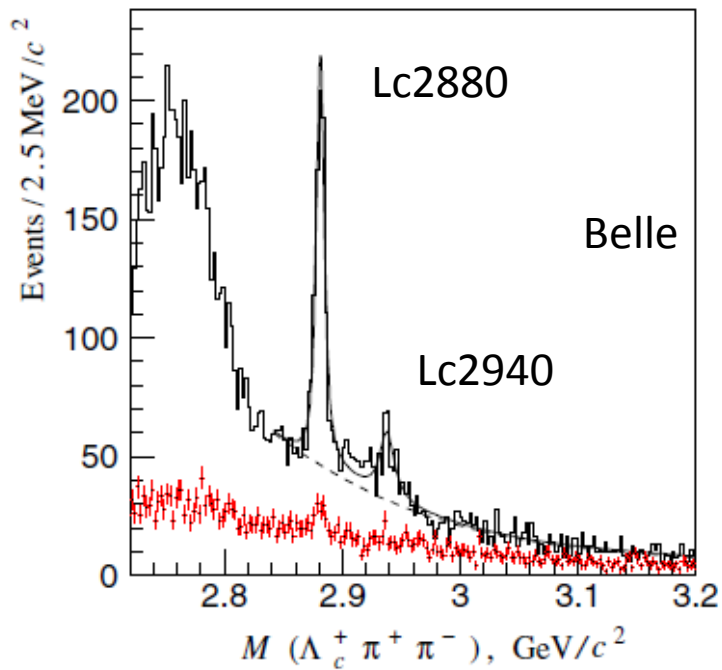
(d)  $\Sigma$



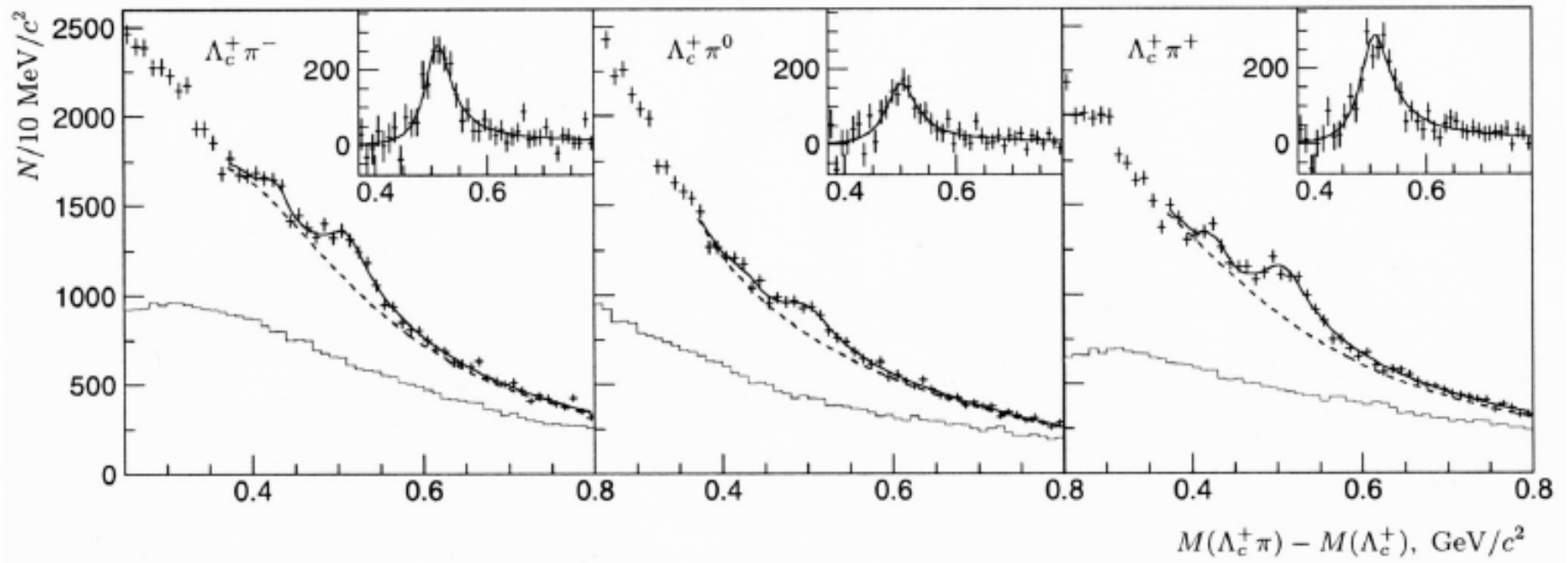
# What to observe



$$\text{Ratio: } [q\bar{q} + qqQ]/[Q\bar{q} + qqq]$$



# Belle



# Qqbar+qqqとQqqの区別？

- サイズ

- 電磁形状因子の直接測定は困難

- E2電磁崩壊(部分)幅

- UR  $\wedge$ cビームによる電磁散乱？(思いつき)

- ほかに方法はないのか？



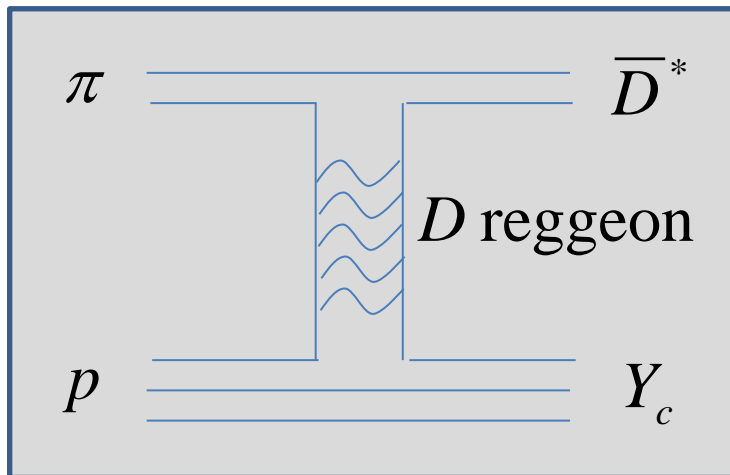
# やっぱり知りたい $p(\pi^-, D^{*-})$ の生成断面積

$$\sigma(s) = C \int_{t_0}^{t_1} dt \left[ \frac{1}{64\pi s (p_m^{cm})^2} g_1^2 g_2^2 |F(t)|^2 |s/s_0|^{2\alpha(t)} \right]$$

高エネルギー2体反応の描像

→ quark planar diagram (下図)

エネルギー依存性の傾向再現 (左図)



A.B. Kaidalov, ZPC12, 63(1982)

c.f.

V.Yu Grishina et al., EPJA25, 141('05)

A.I. Titov & Kampfer, PRC78, 025201('08)

$$g_1 : \pi D D^*$$

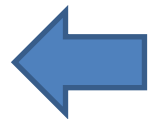
$$g_2 : D N Y_c$$

$$|F(t)|^2 = \exp(2R^2 t),$$

$R^2$  : slope parameter

$\alpha(t)$  : Regge Trajectory

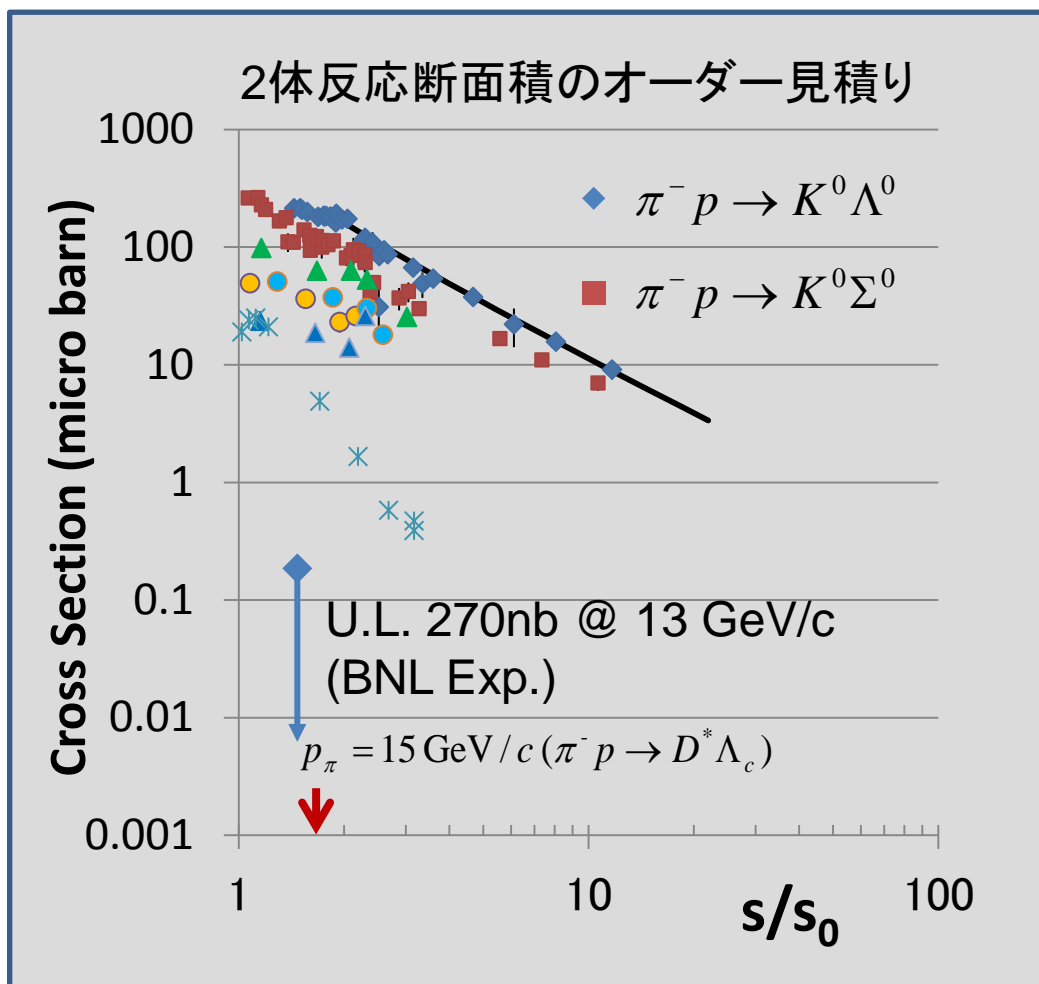
$s_0 = (m_M + m_B)^2$  : scale parameter

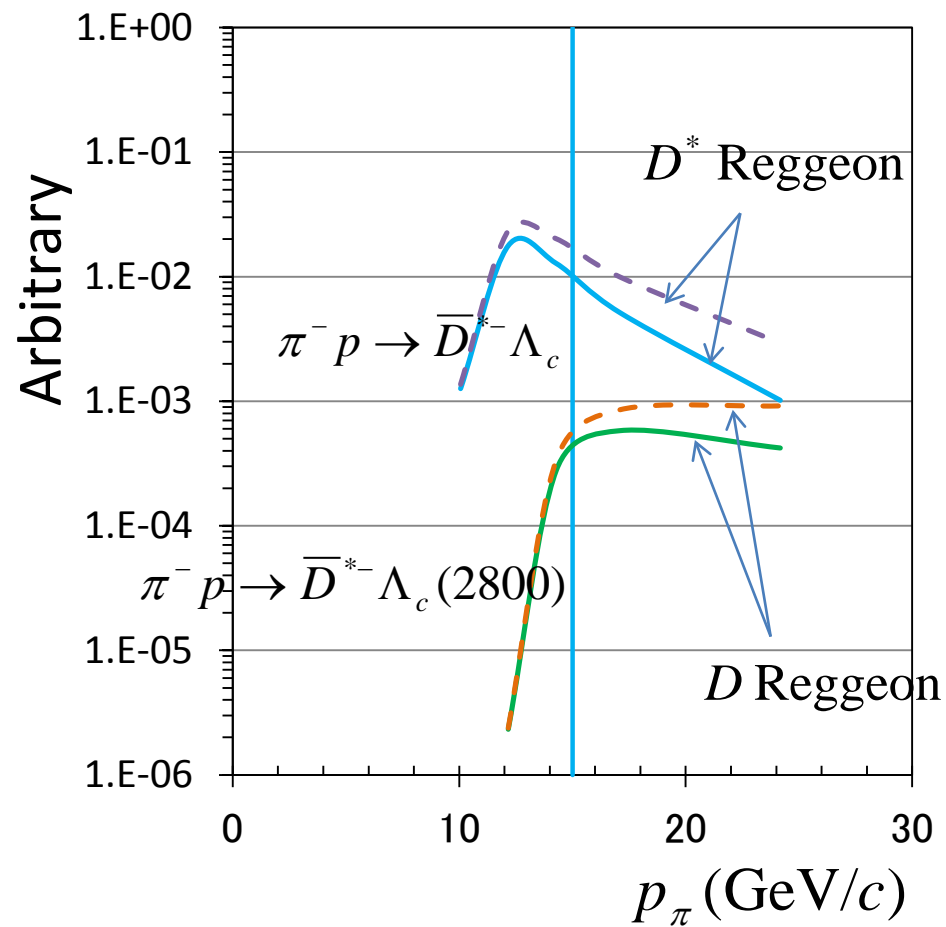
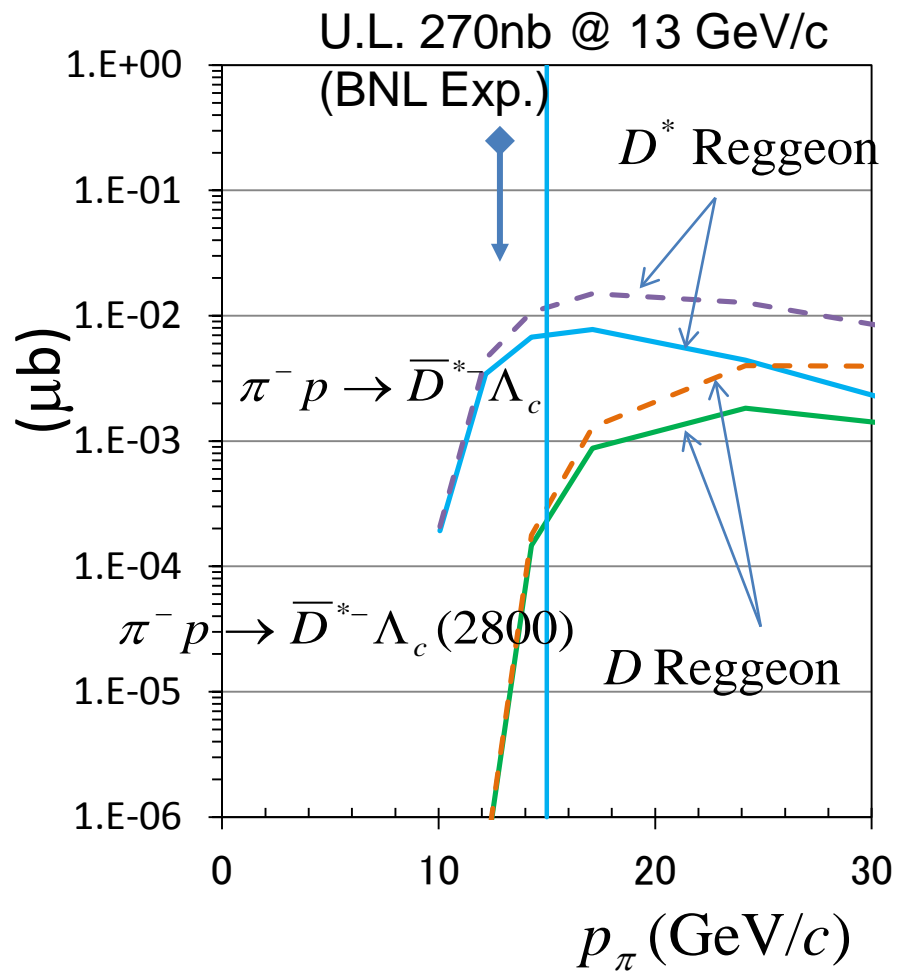


# $p(\pi^-, D^{*-})$ の生成断面積？

過去の実験： $\sigma < 270 \text{ nb} @ 13 \text{ GeV}/c$  (PRL55, 154(1985))

$\sigma(\pi^- p \rightarrow K\Lambda, K\Sigma)$ に対して $10^{-4} \sim 10^{-5}$ ？





# 断面積からわかることは？

- 生成率の系統的比較
  - $NDY_c$ 、 $ND^*Y_c$  結合定数 : LQCD?
  - $NDY_c^*$  結合定数  $Y_c^* \rightarrow DN$
  - 形状因子 (遷移)
- pQCD計算との比較から何かわかる？
  - そもそも、、、

# ちょっと発散気味ですが

- 結局ハドロンのクォーク構造からわかること
  - QCDに対するインパクト？
  - 閉じ込め力の起源に迫れる？
  - ダイクォーク凝縮？