

J-PARCでチャームバリオンの物 理をやる価値

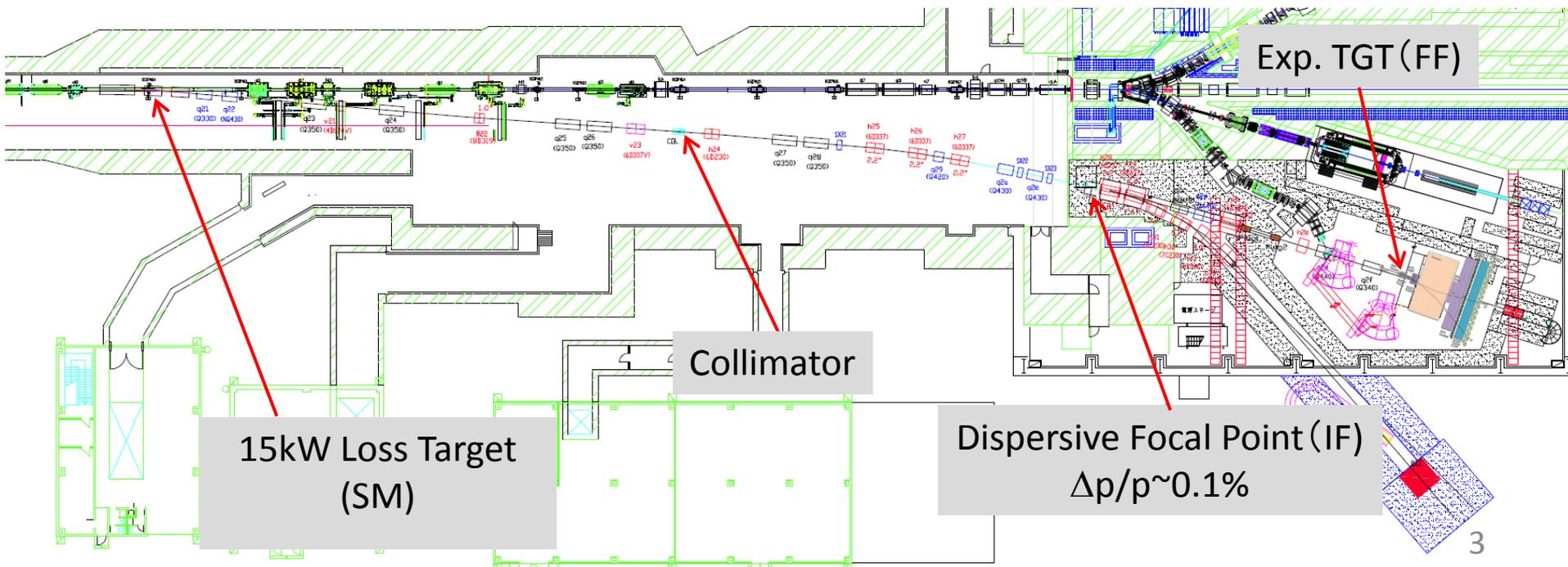
H. Noumi

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

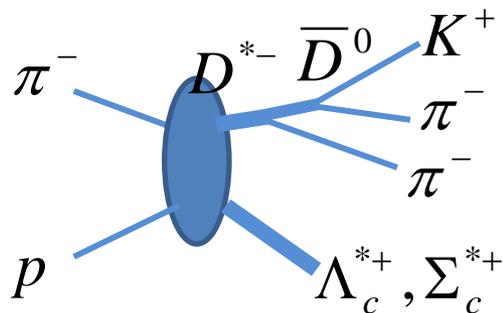
- Proposed by RCNP, Osaka U. under the MOU on research cooperation between RCNP, IPNS/KEK, and the J-PARC Center
- Role of RCNP
 - Collect research ideas and collaborators
 - Introduce new methods/techniques
 - High-resolution, high-p Secondary Beam Line
 - Multi-particle Spectrometer
 - Conduct hadron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

High-p Line for 2ndary Beam

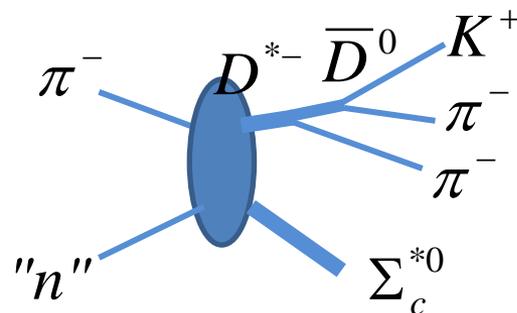
- High-intensity secondary beam (unseparated) can be delivered.
 - 2 msr²%, 1.0 x 10⁷ Hz @ 15 GeV/c π
- High-resolution beam: $\Delta p/p \sim 0.1\%$
 - Momentum dispersion and eliminate 2nd order aberrations



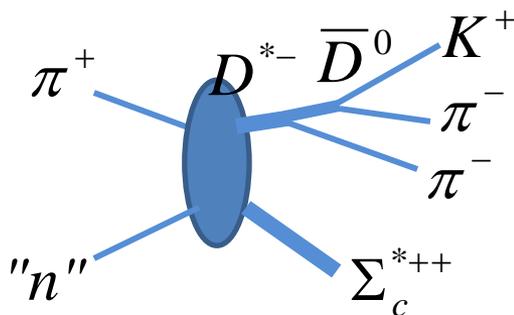
使う反応：Missing Mass分光法



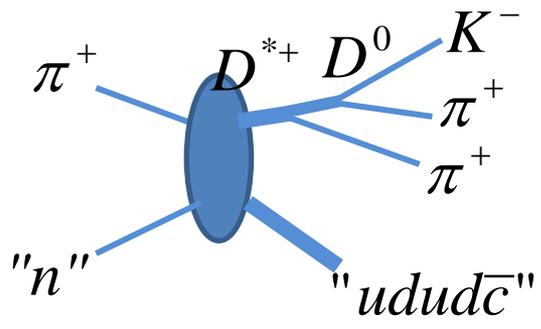
“主たるモード”



“中性子標的(重陽子中)”

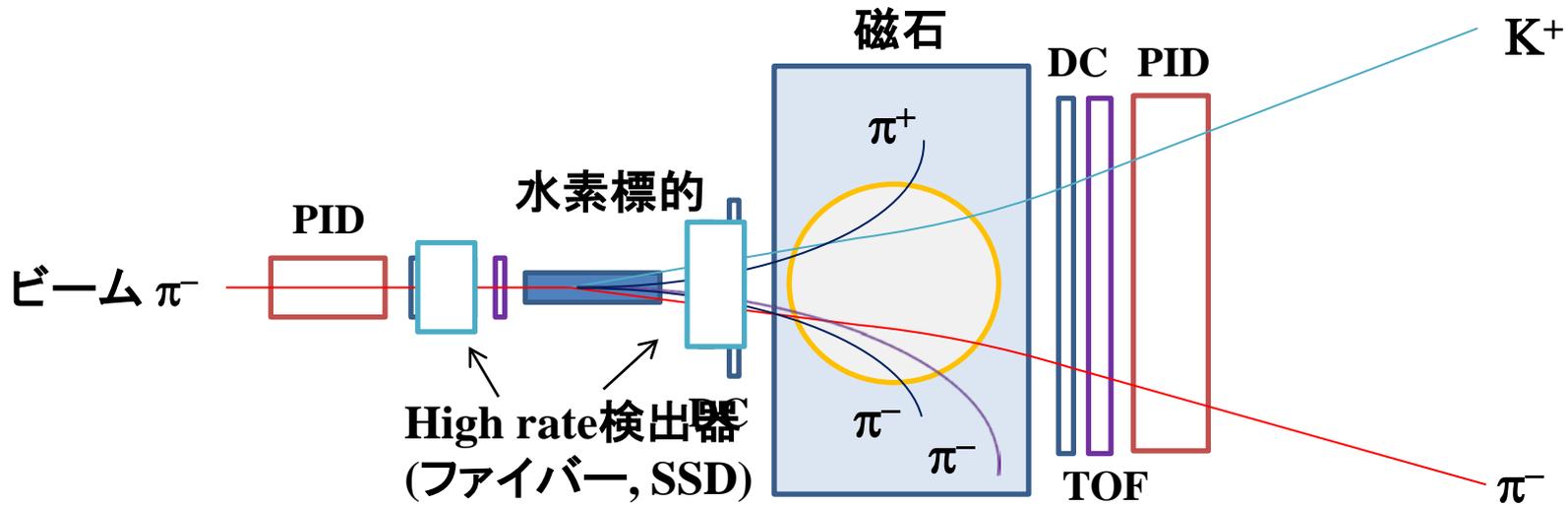


“2重荷電交換反応”



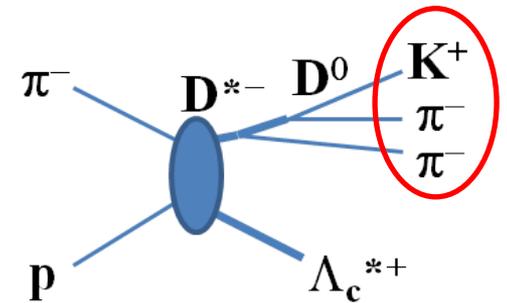
“エキゾチック チャンネル”

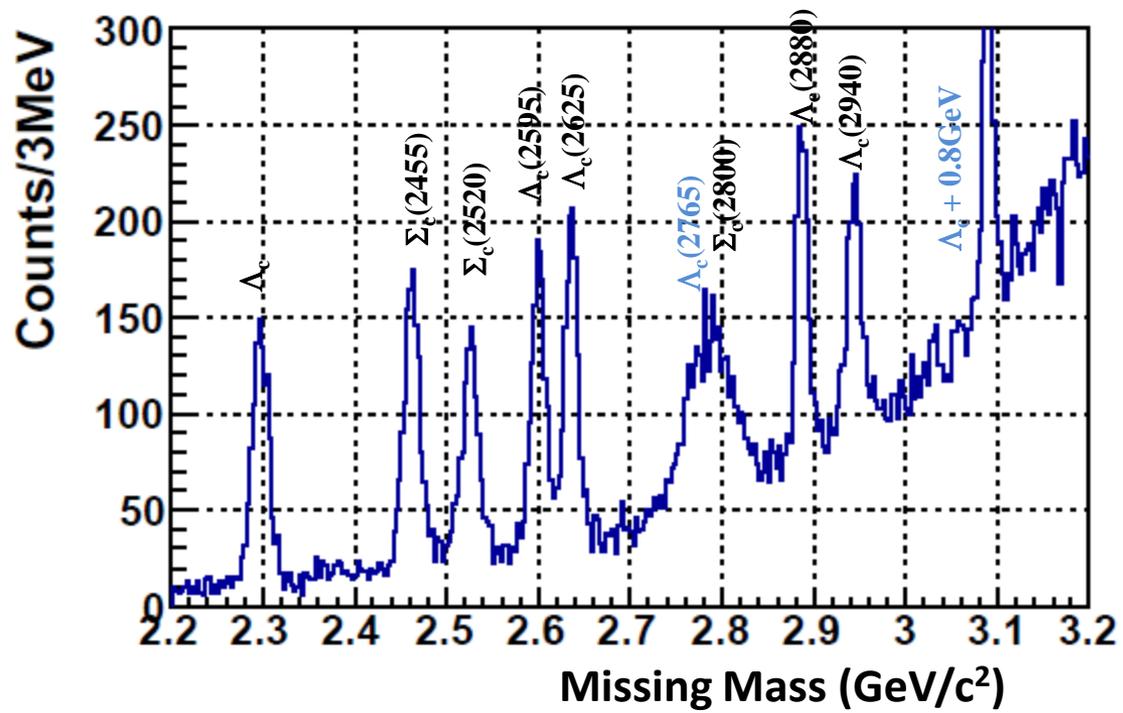
実験のデザイン

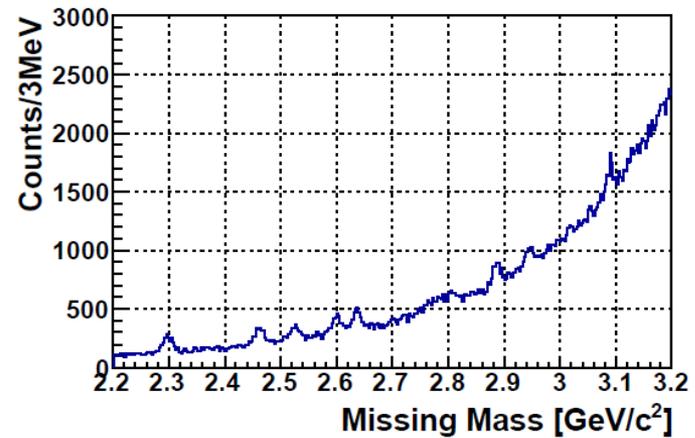
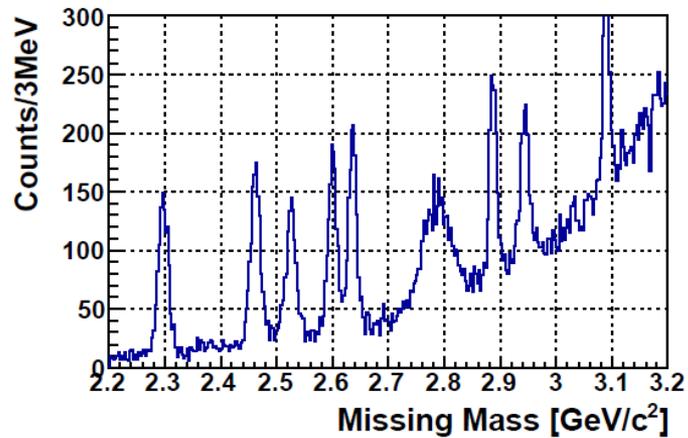
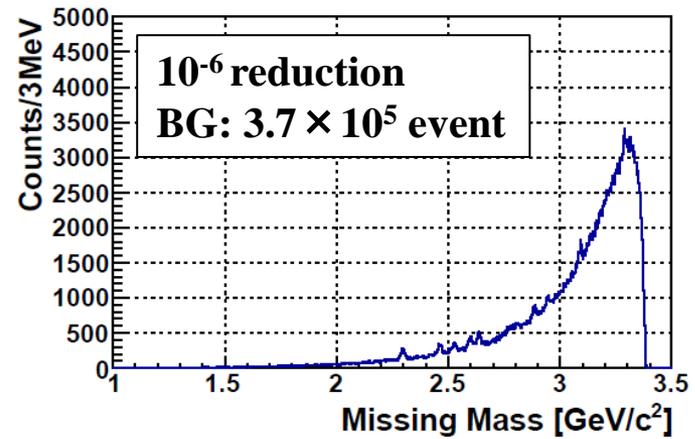
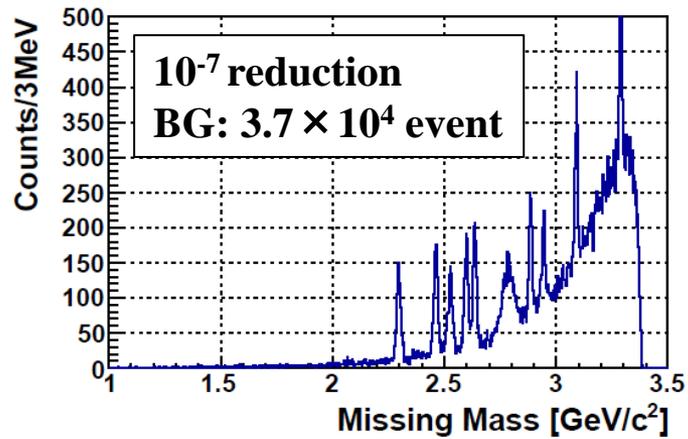


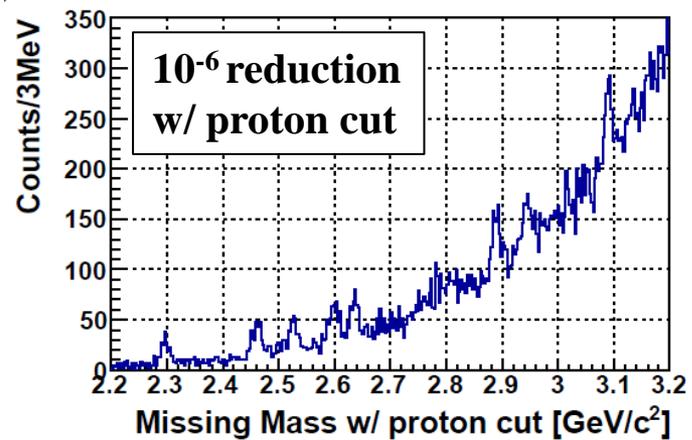
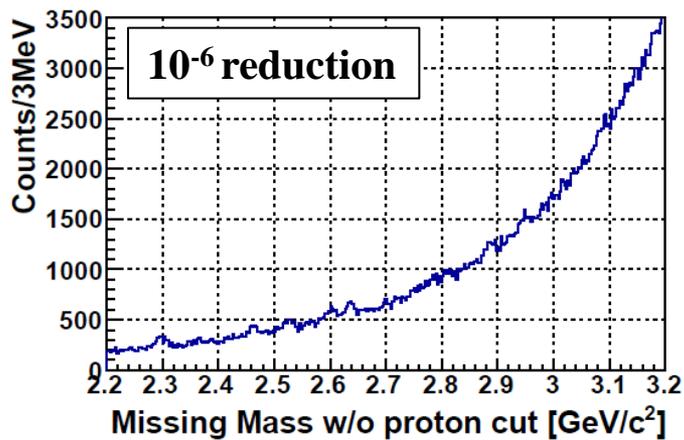
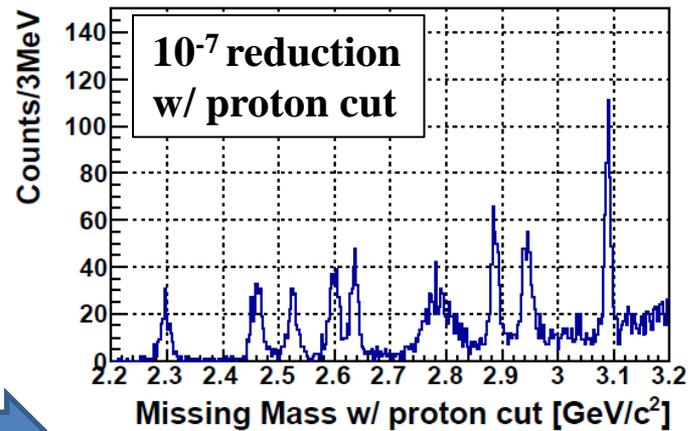
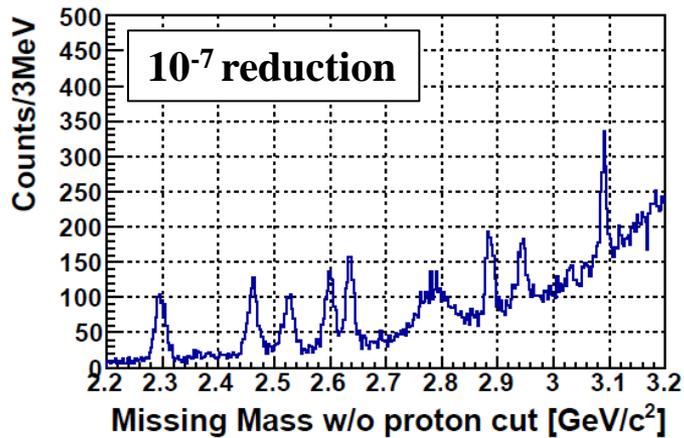
高分解能&大立体角スペクトロメータ

- 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





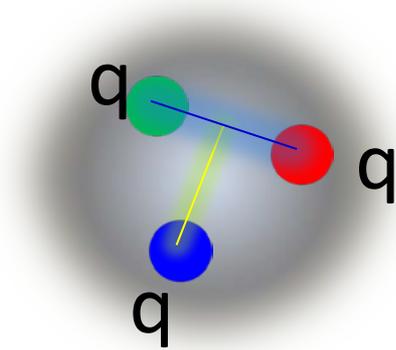




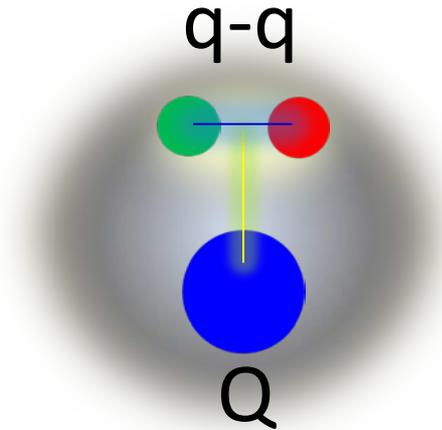
測定できるもの、できそうなもの

- 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 π 、 K 、 D を1 (か2) 吐いて幅の狭い低励起状態 (Λ_c/Σ_c とか Ξ_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？



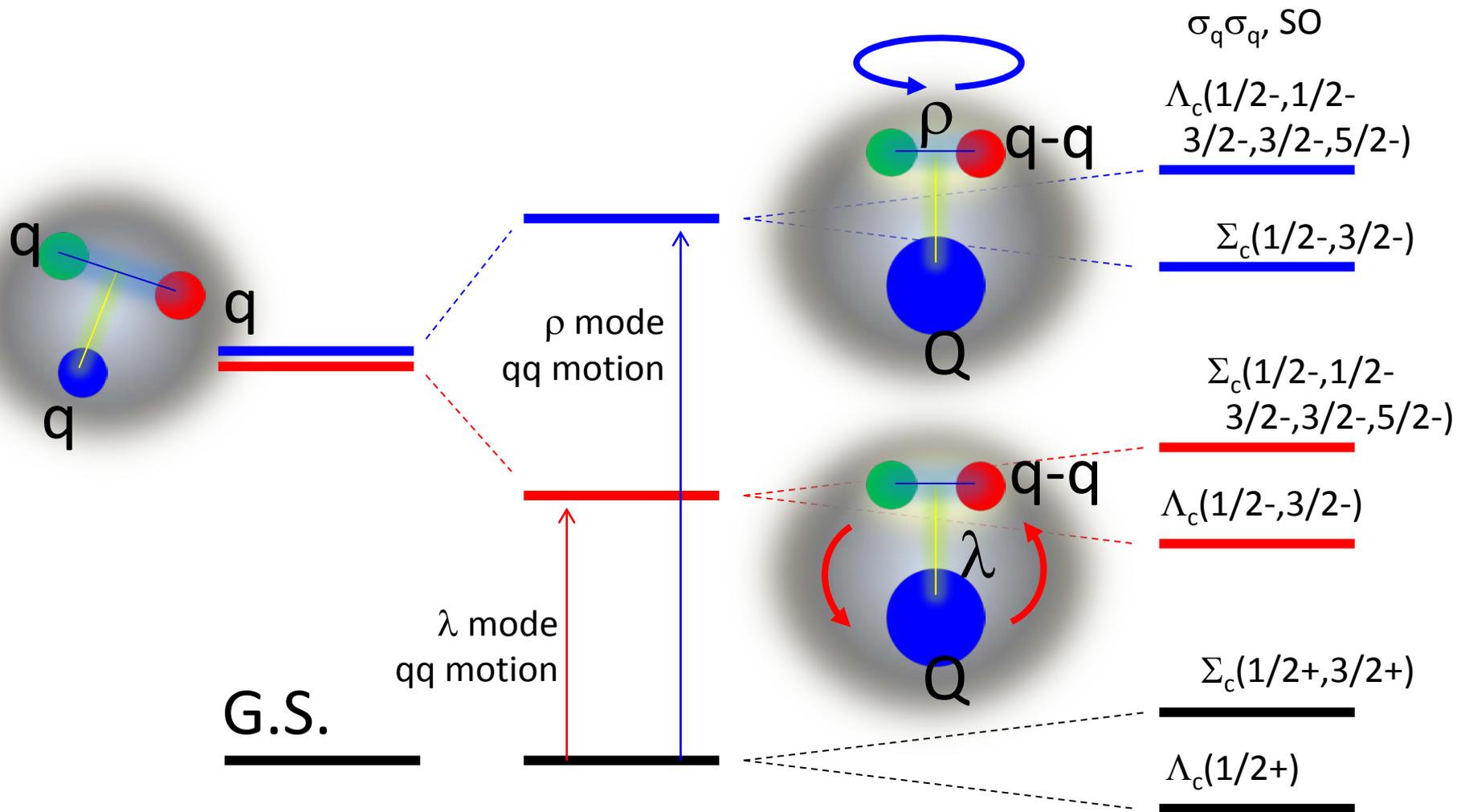
$SU_F(3)$ good
Chiral Symmetry
Strong coupling to HG boson
Diquark?
Molecular State?



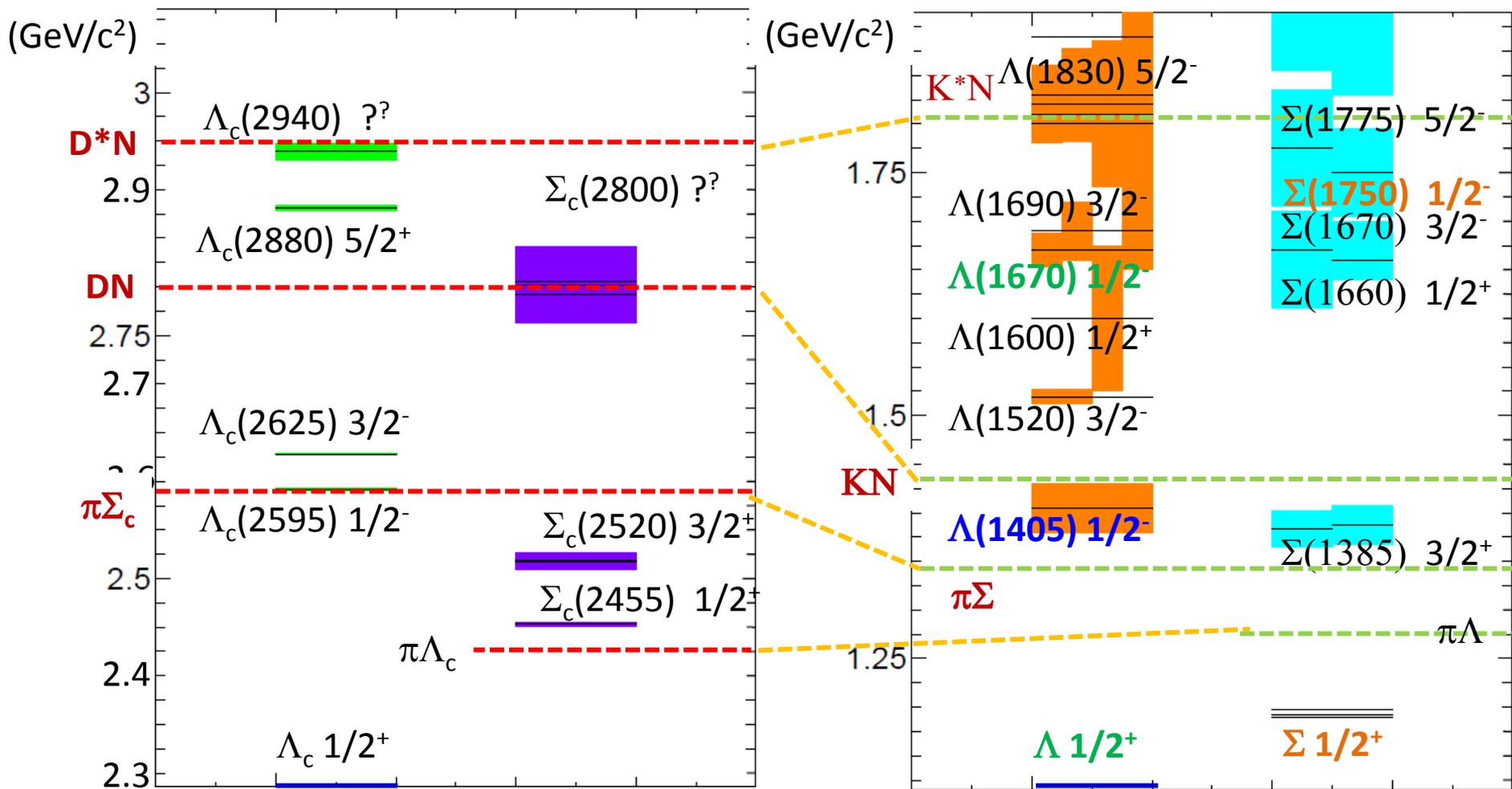
$SU_F(4)$ broken
Heavy Quark Symmetry
Weak coupling to HG boson
Diquark
Molecular state

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)



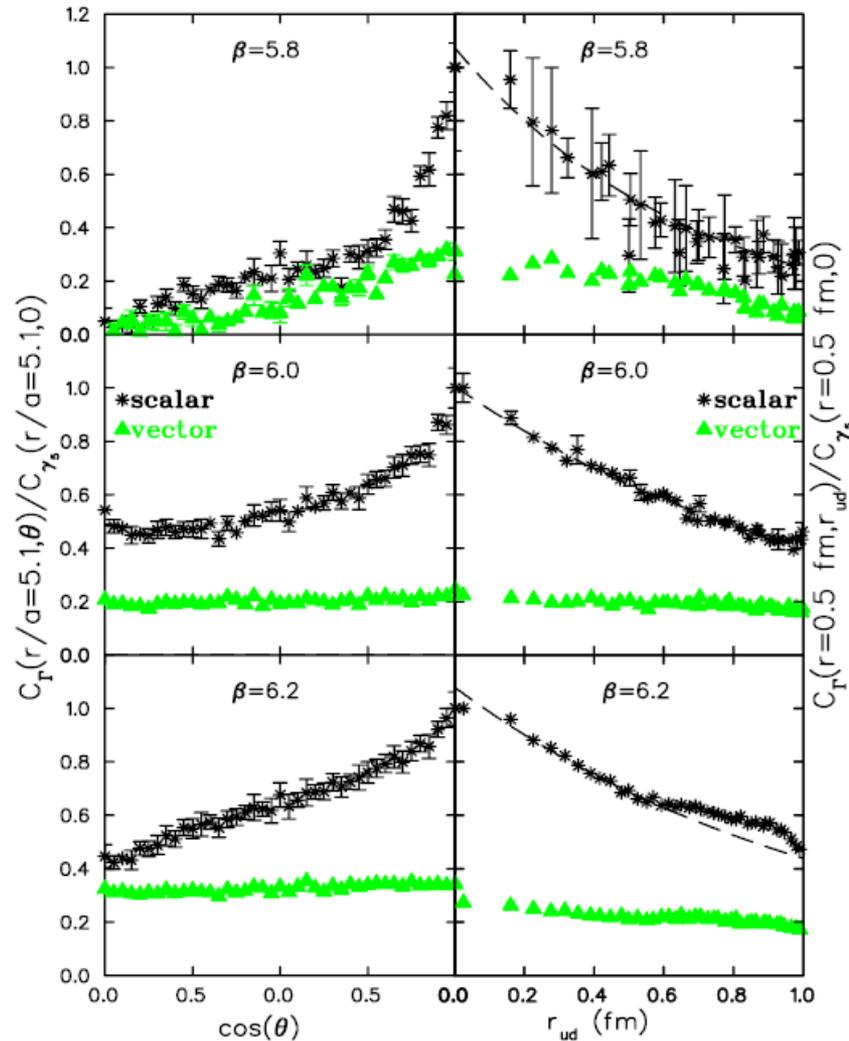
- ダイクオーク相関: $\Lambda_c^*(5/2^-)$, $\Sigma_c^*(5/2^-)$
- ハドロンクラスター: “DN” 分子状態
- カイラルパートナー、ほか、..

} どのように現れるか?

Diquarks in LQCD

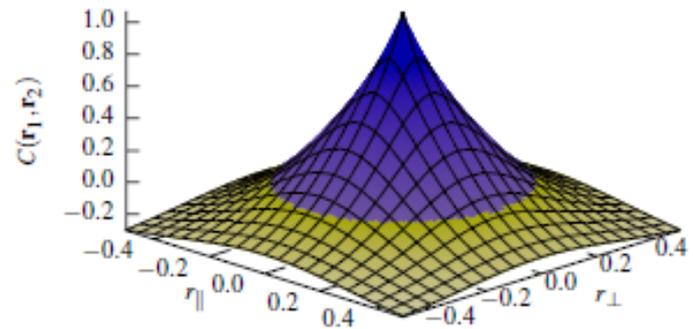
C. Alexandrou, Ph. de Forcrand,
and B. Lucini, PRL 97, 222002(2006)

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

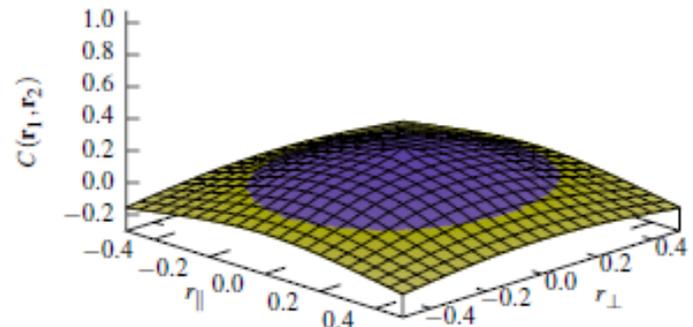


$+$,
 S_1

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



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



Lattice studies

Diquark correlation function

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

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

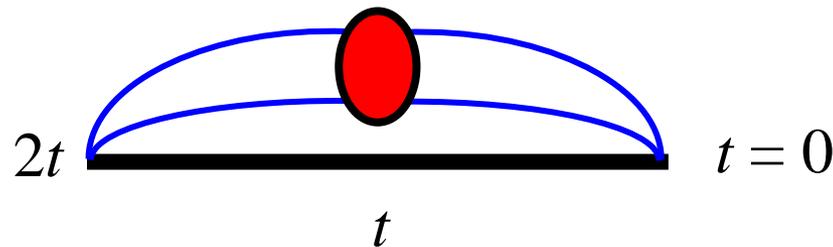
$$J_\Gamma(x) = \varepsilon^{abc} [u_a^T(x) C \Gamma d_b(x) \pm d_a^T(x) C \Gamma u_b(x)] s_c(x)$$

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？

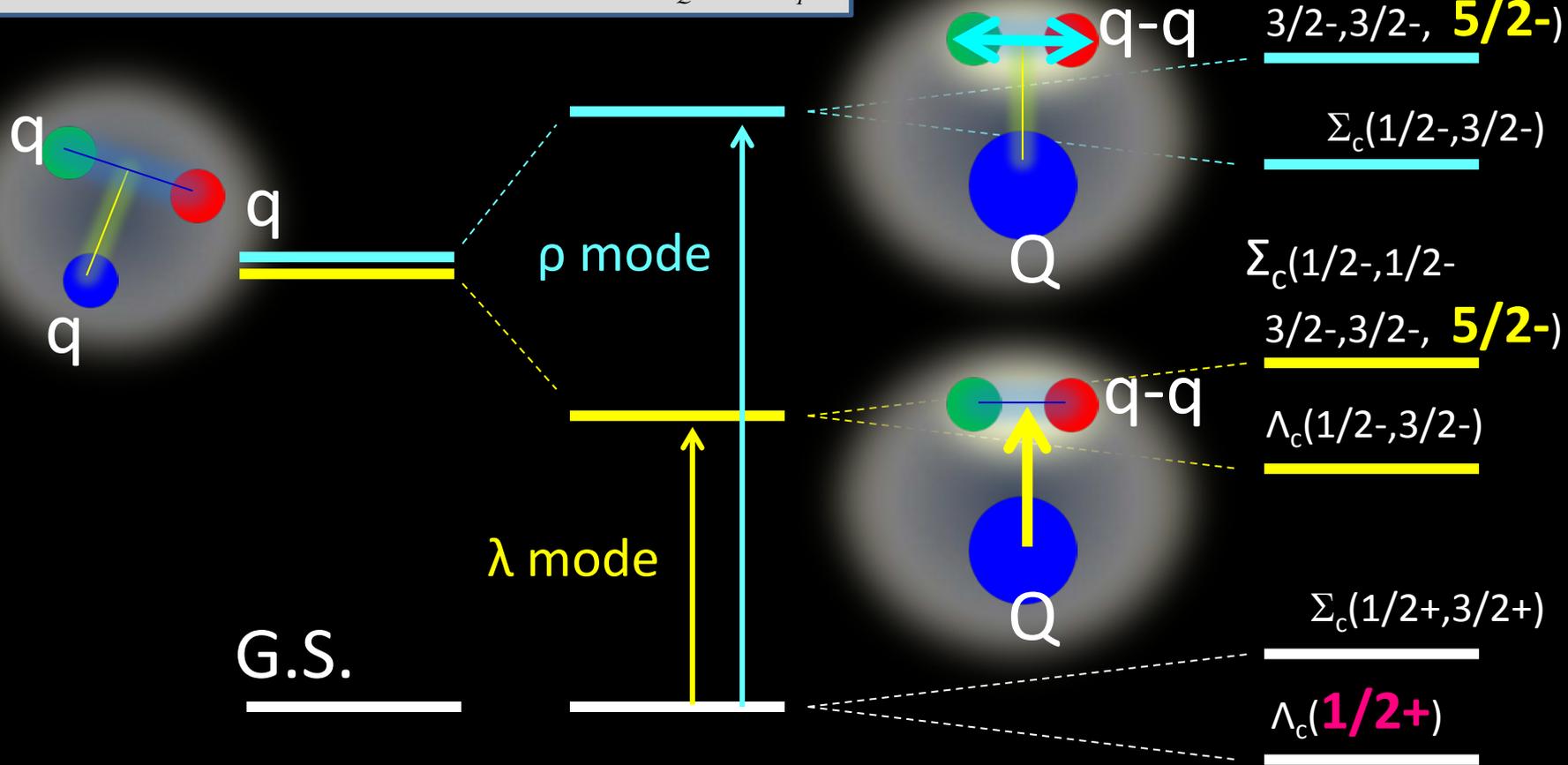


Lattice計算の意味？

- 強いqq相関(カラー 3^{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？

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

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



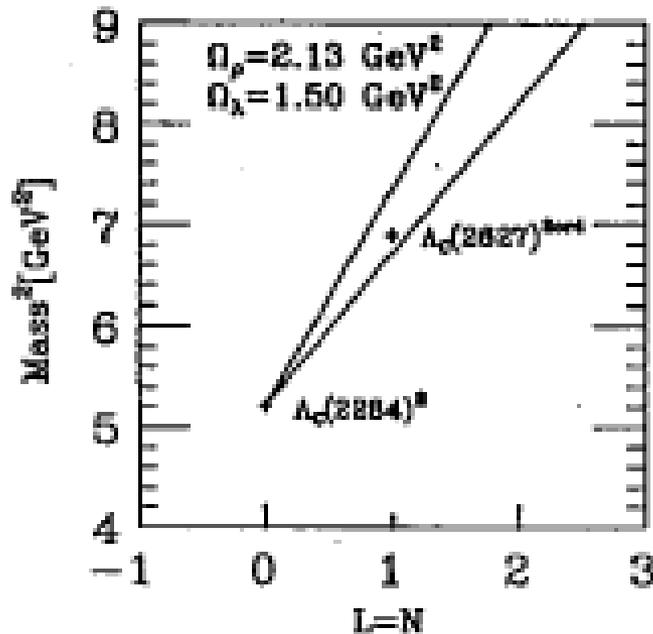
Covariant Oscillator Quark Model

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

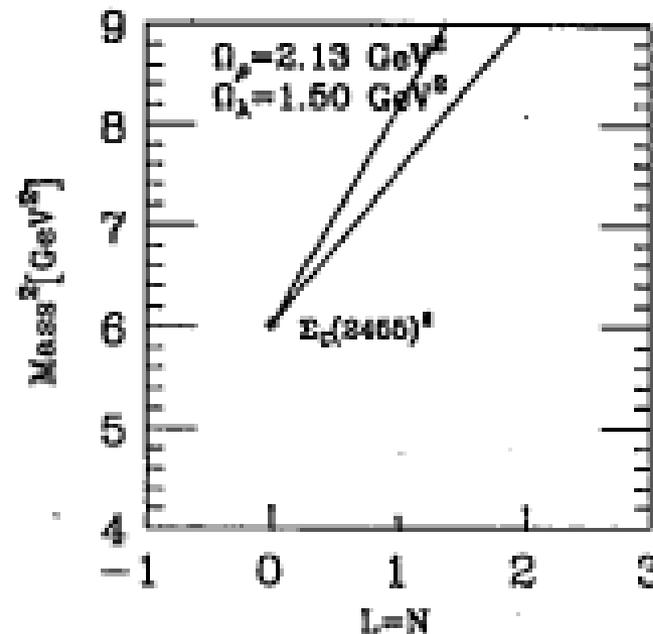
Mesons: $M^2 = \Omega L + M_0^2$, $\Omega_\rho = 2(2m + M) \left(\frac{3K_3}{m} \right)^{1/2}$,

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) Λ_c



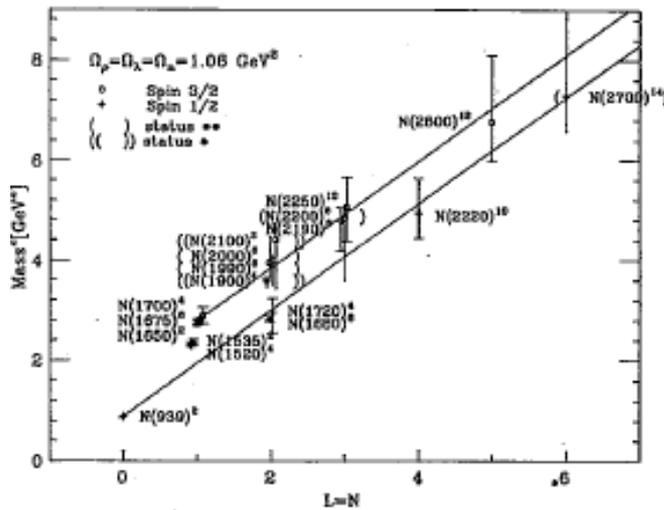
(b) Σ_c



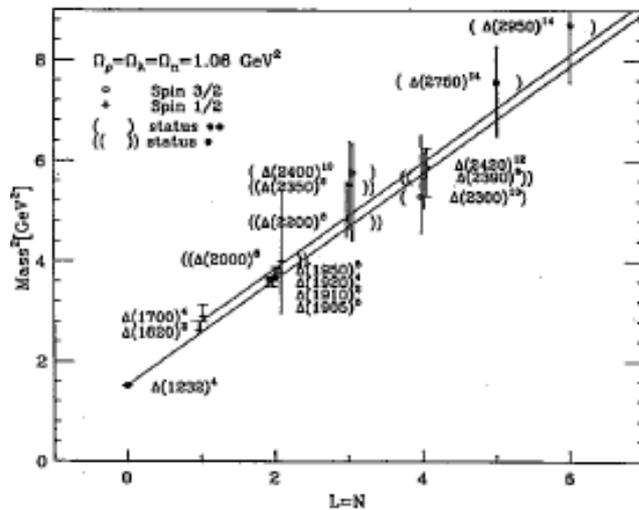
COQM

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

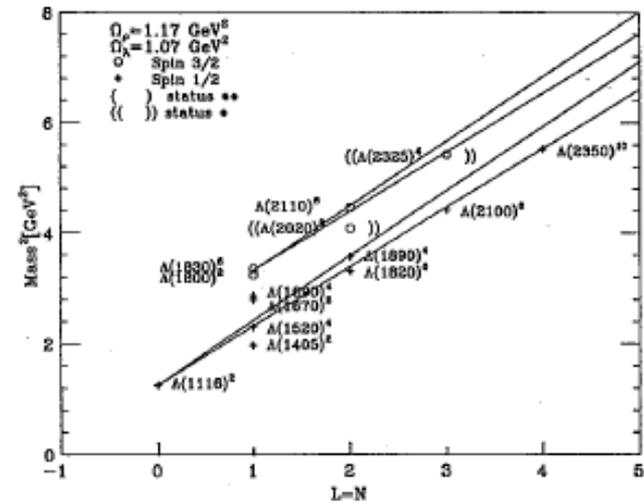
(a) N



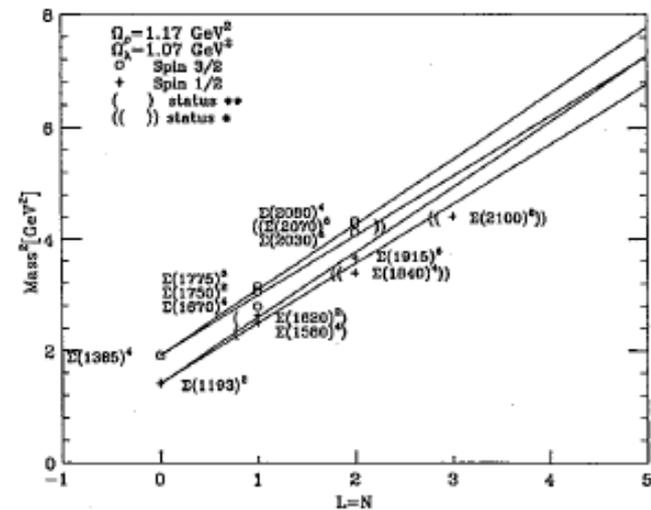
(b) Δ



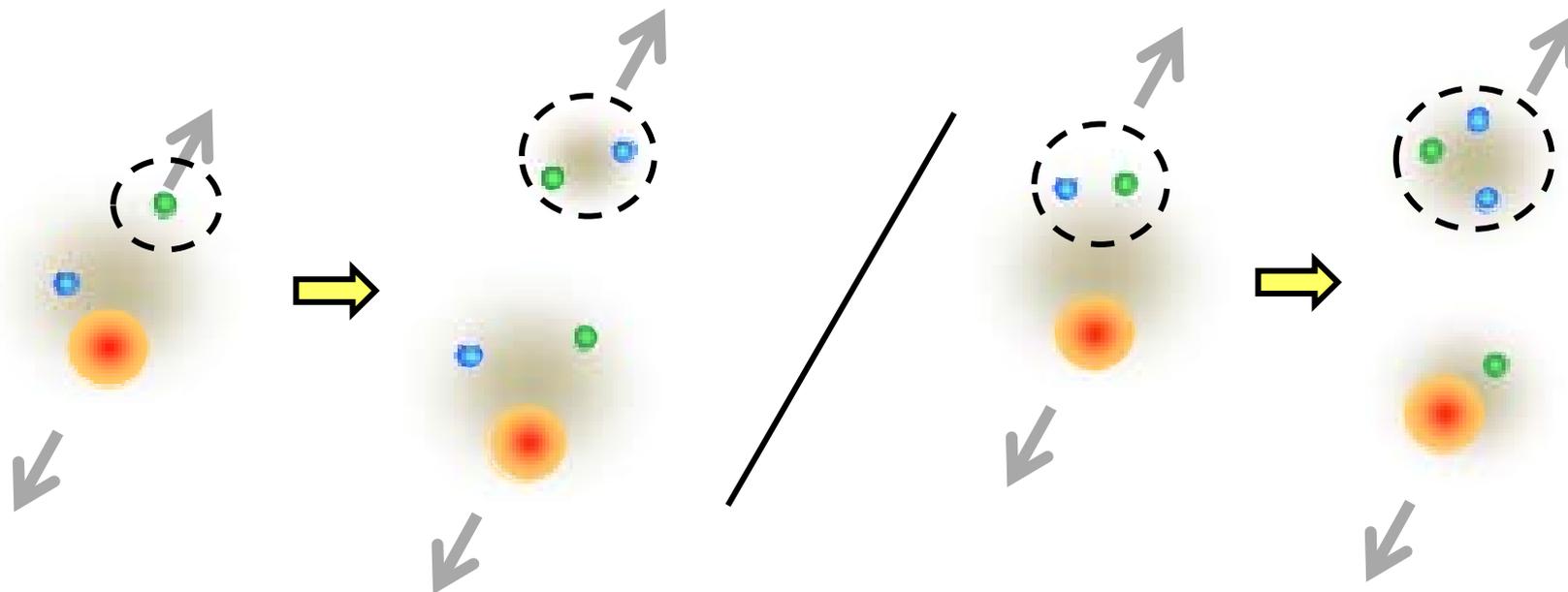
(c) Λ



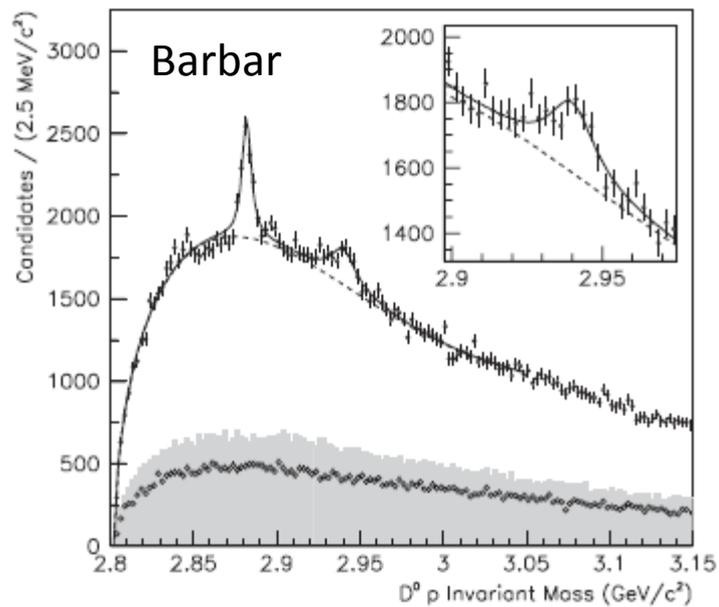
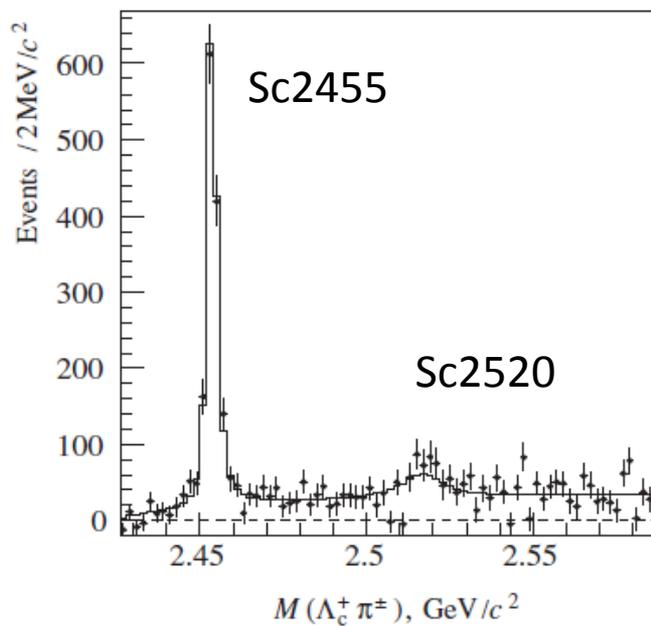
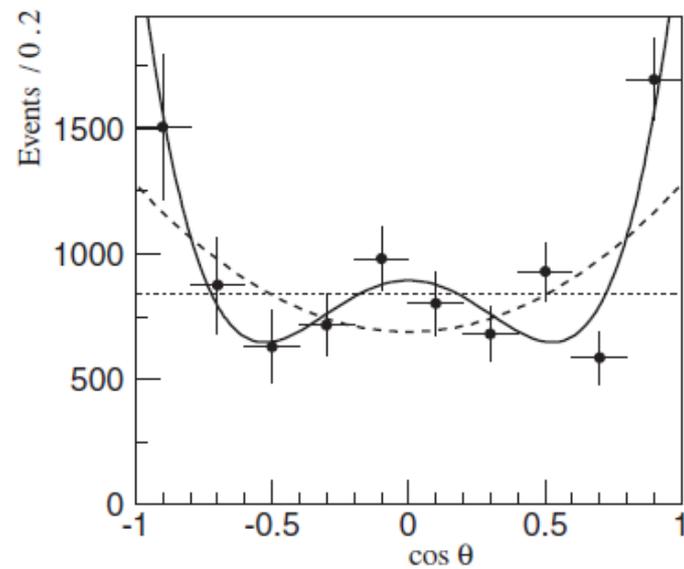
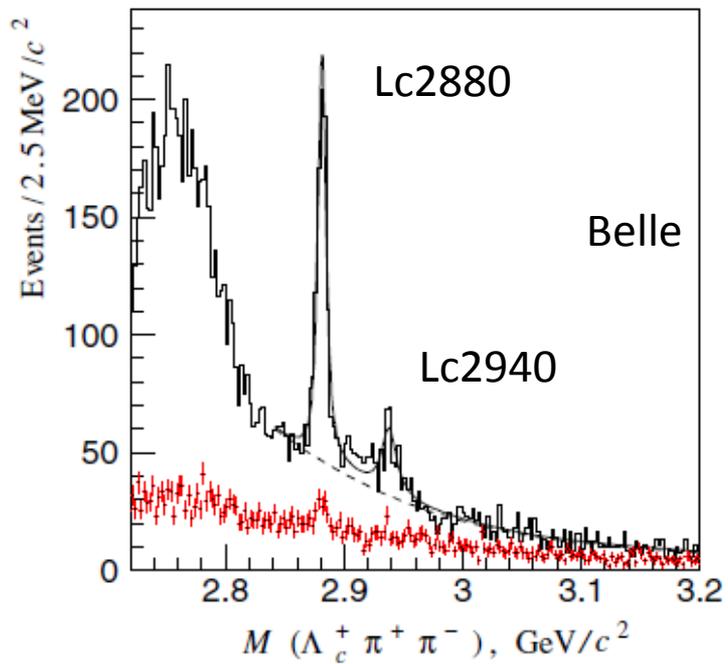
(d) Σ



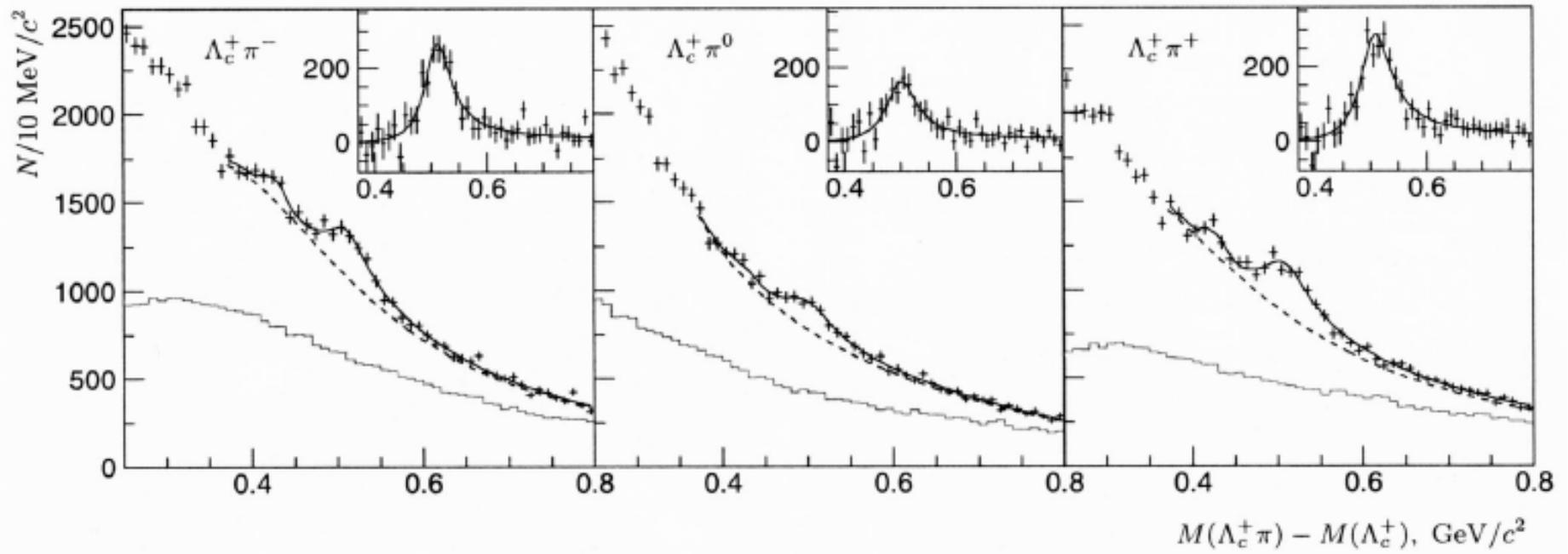
What to observe



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



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？

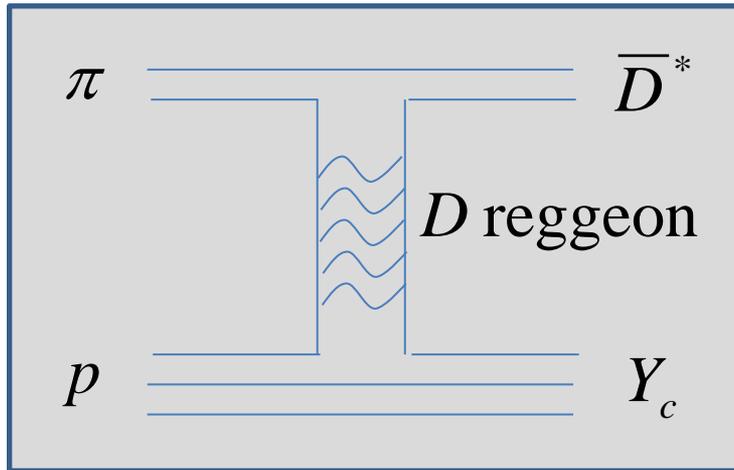
やっぱり知りたい $p(\pi^-, D^{*-})$ の生成断面積

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

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)

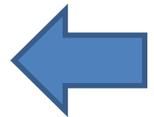
A.I. Titov & Kampfer, PRC78, 025201('08)

$g_1 : \pi D D^*$

$g_2 : D N Y_c$

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

R^2 : slope parameter



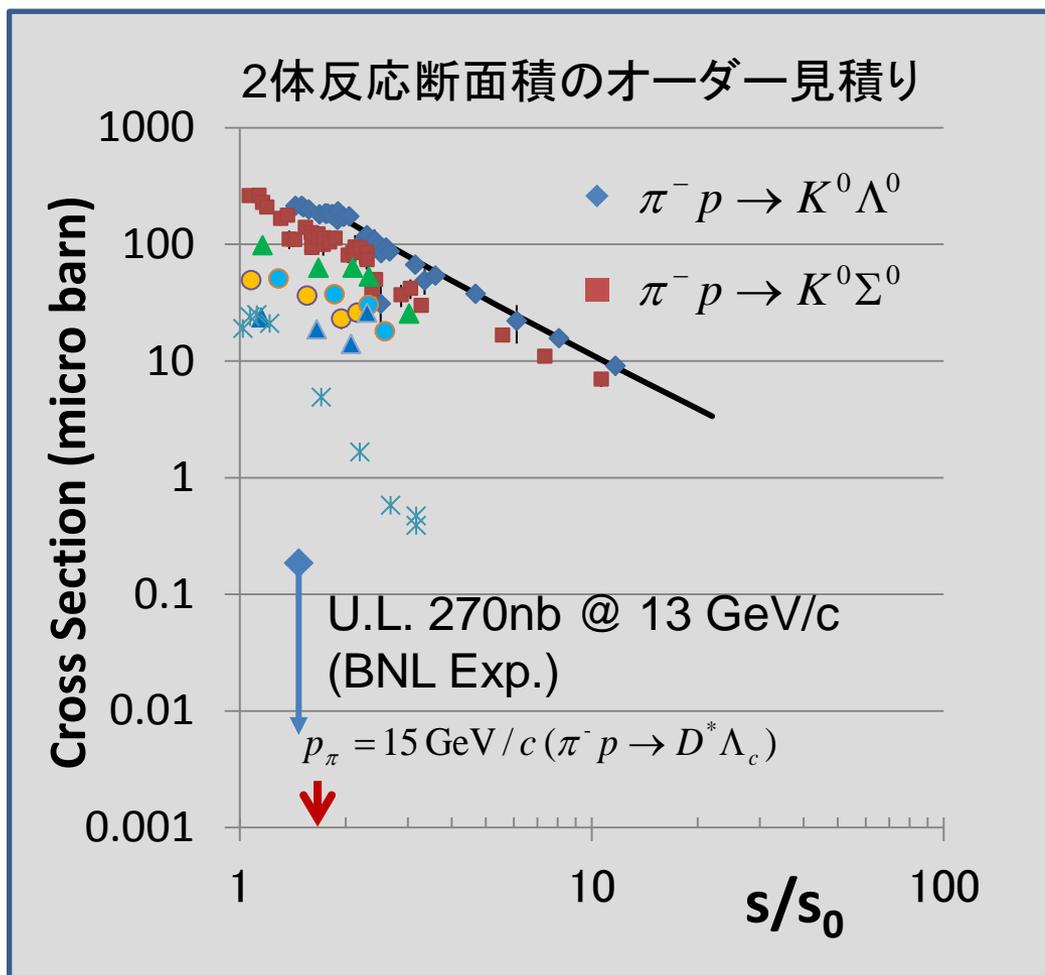
$\alpha(t)$: Regge Trajectory

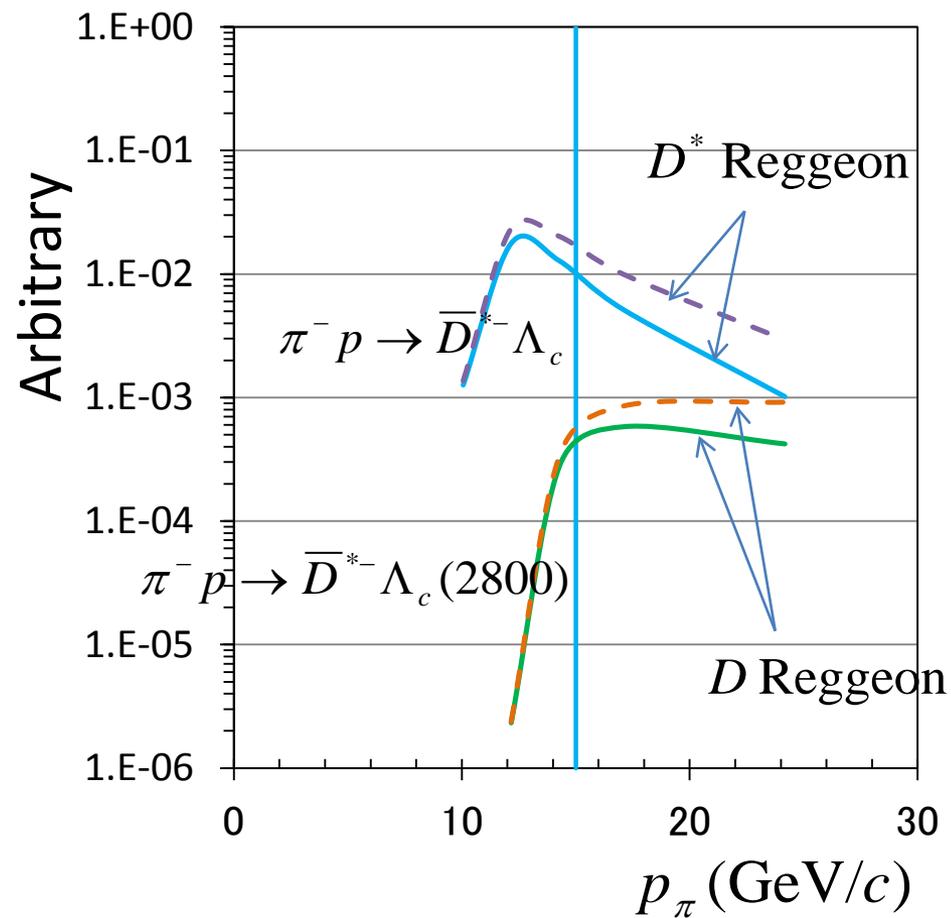
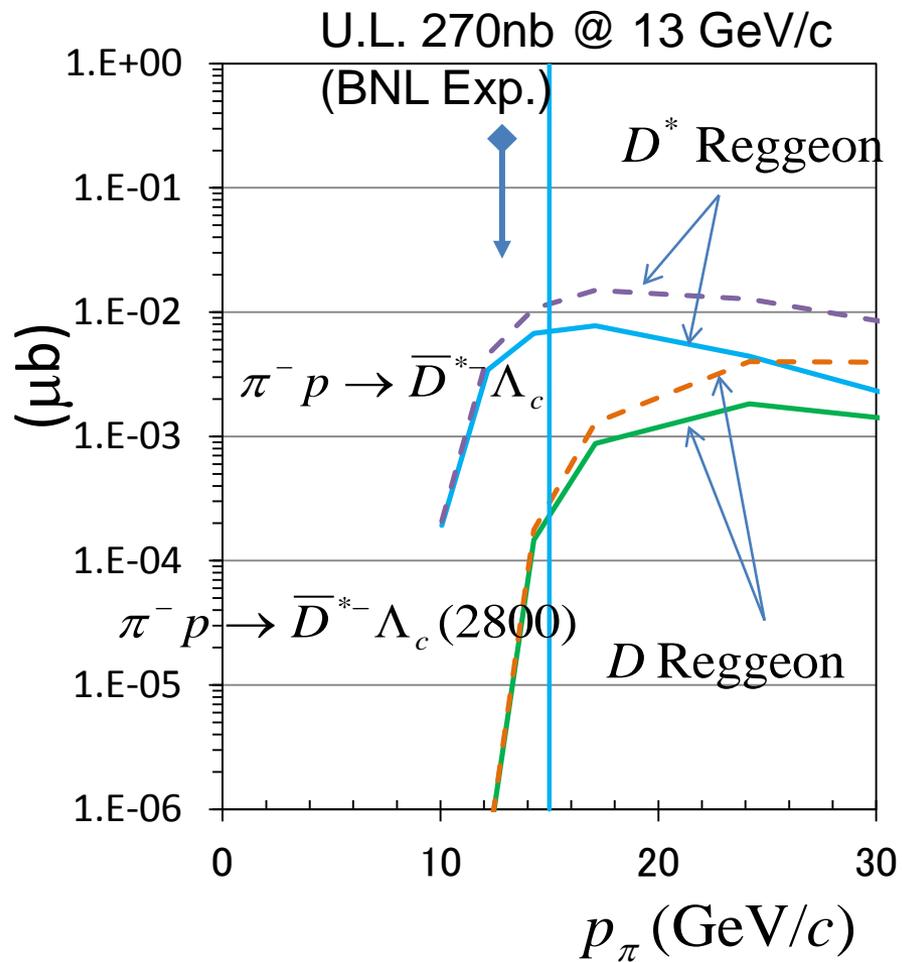
$s_0 = (m_M + m_B)^2$: scale parameter

$p(\pi^-, D^{*-})$ 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？