

ストレンジネス交換反応 における多段階過程

橋本慎太郎

河野通郎^A, 緒方一介, 渡辺幸信^B, 河合光路
九大理, 九歯大^A, 九大総理工^B

KEK 研究会「現代の原子核物理 ー多様化し変化する原子核の描像」

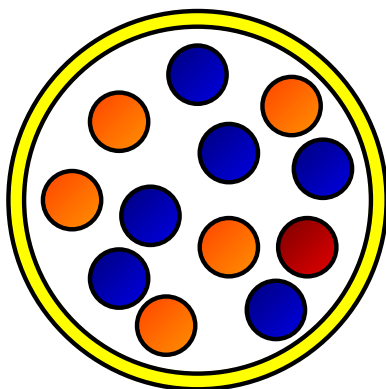
2006年8月1日～8月3日

- ◆ **Introduction**
- ◆ **Strangeness exchange reaction**
- ◆ **Multi-step processes**
- ◆ **SemiClassical Distorted Wave model**
- ◆ **Results**
- ◆ **Summary and future work**

Introduction

◆ ストレンジネス物理: ハイパー核研究

ハイパー核



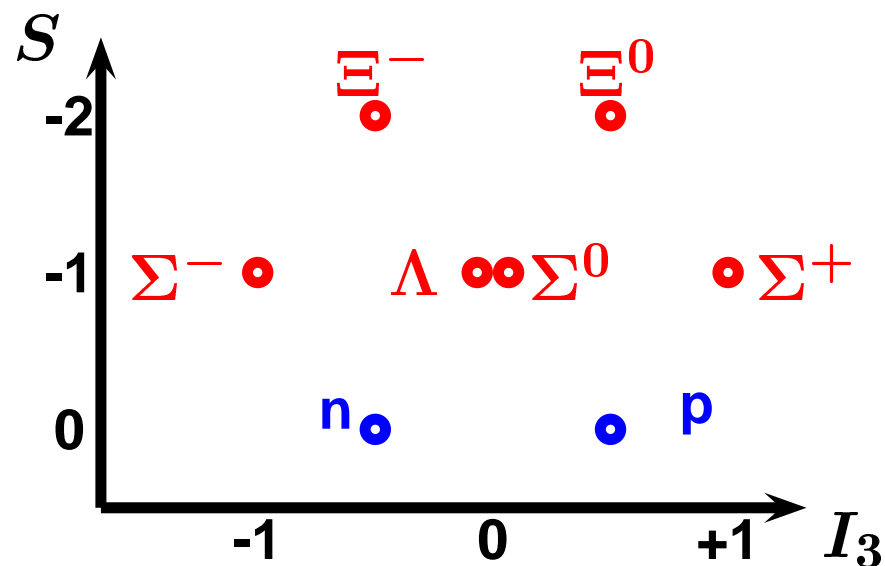
● 陽子

● 中性子

● ハイペロン

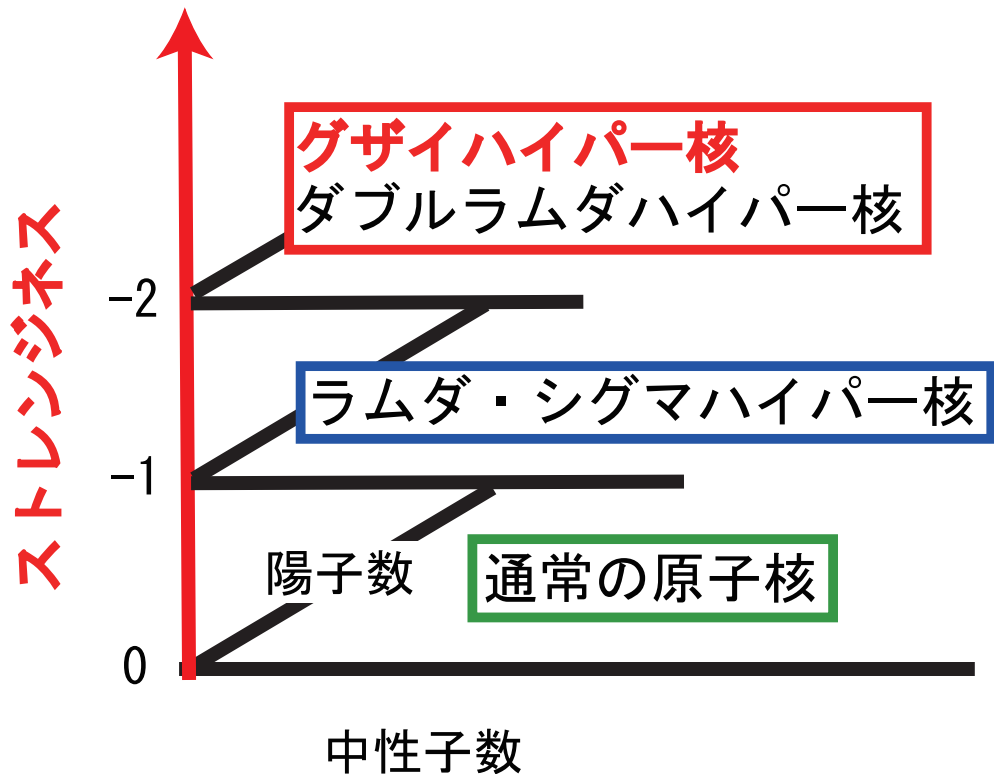
Λ (ラムダ), Σ (シグマ), Ξ (グザイ)

バリオン 8 重項
($J^P = \frac{1}{2}^+$)



Introduction

- ◆ ストレンジネス物理: **ハイパー核**研究
 - ◆ ハイペロン-核子間相互作用
 - ◆ ハイペロン-ハイペロン間相互作用

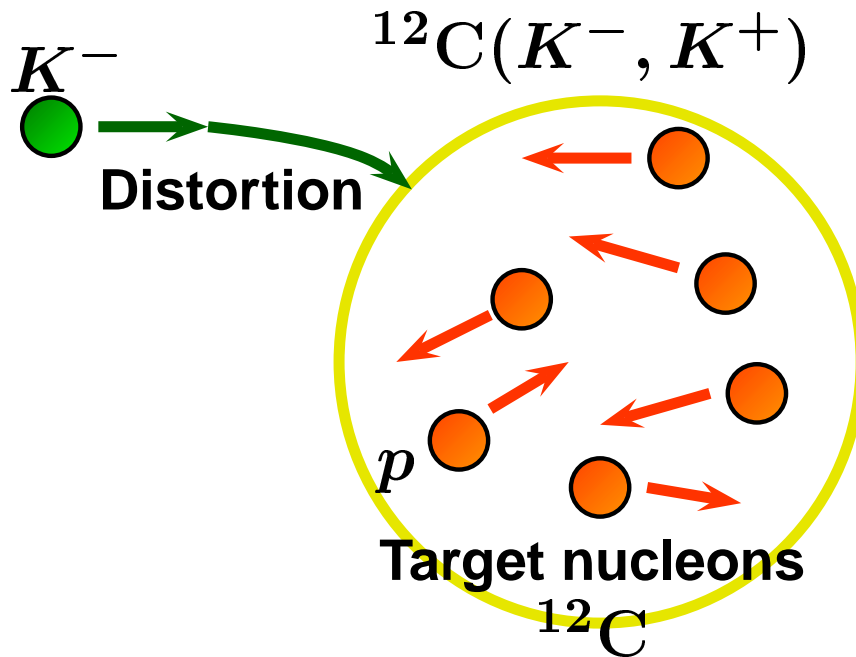


これから **J-PARC**
(大強度陽子加速器計画)

これまで主に解析
されてきた

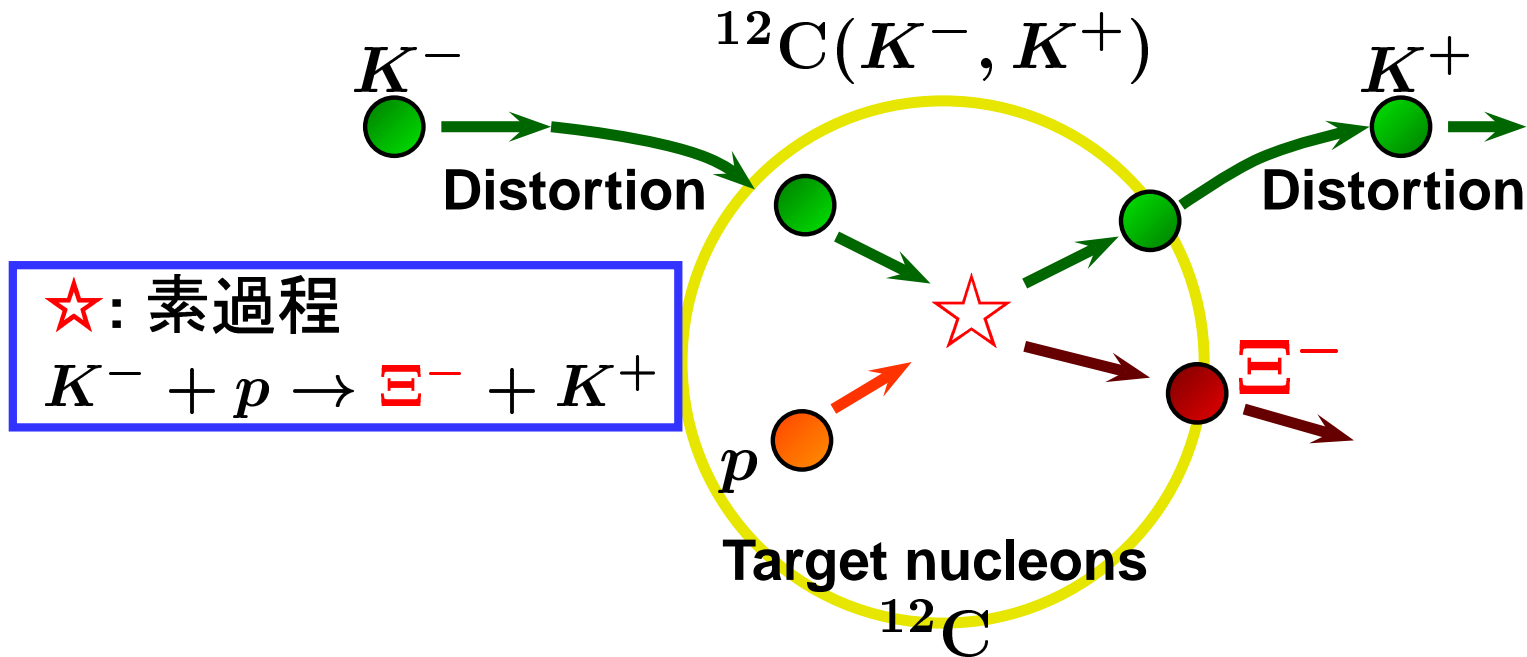
Strangeness exchange reaction

◆ $\Xi(S = -2)$ ハイペロン生成反応



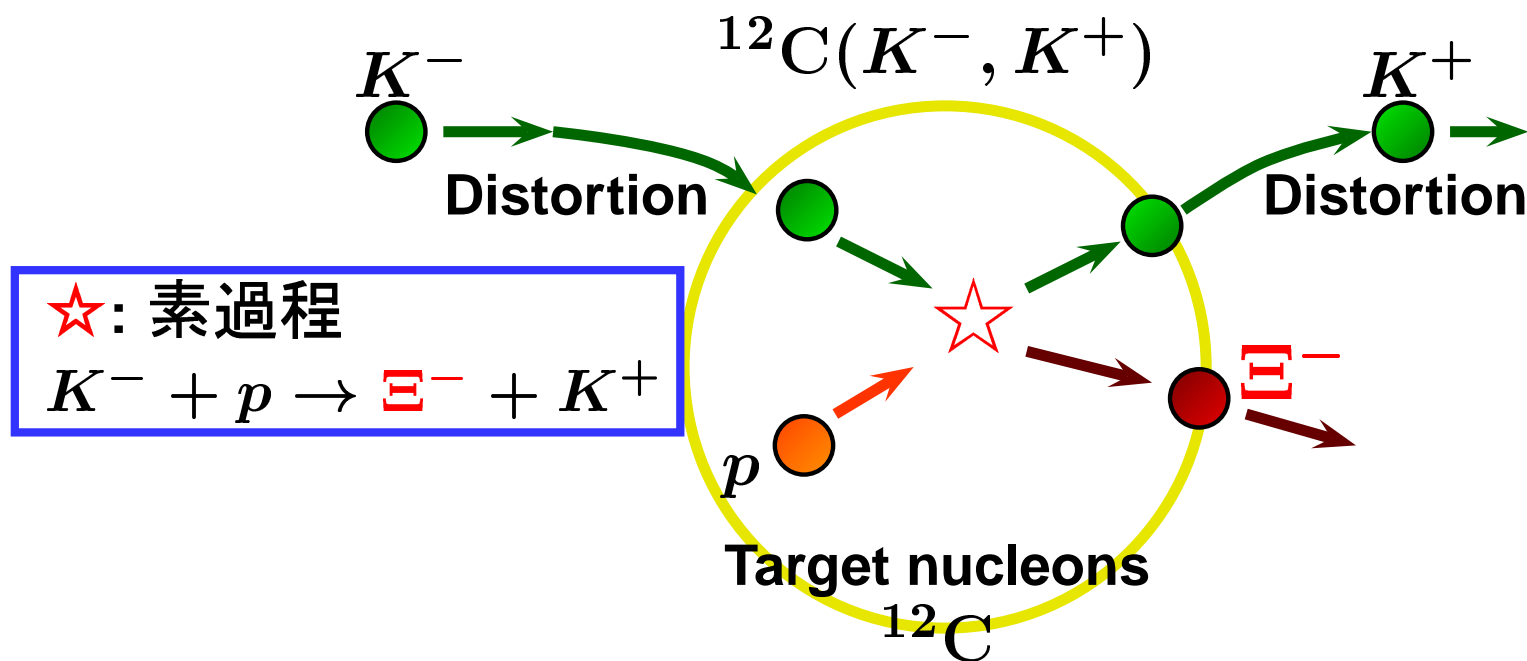
Strangeness exchange reaction

◆ $\Xi(S = -2)$ ハイペロン生成反応



⊗ Strangeness exchange reaction

◆ $\Xi(S = -2)$ ハイペロン生成反応

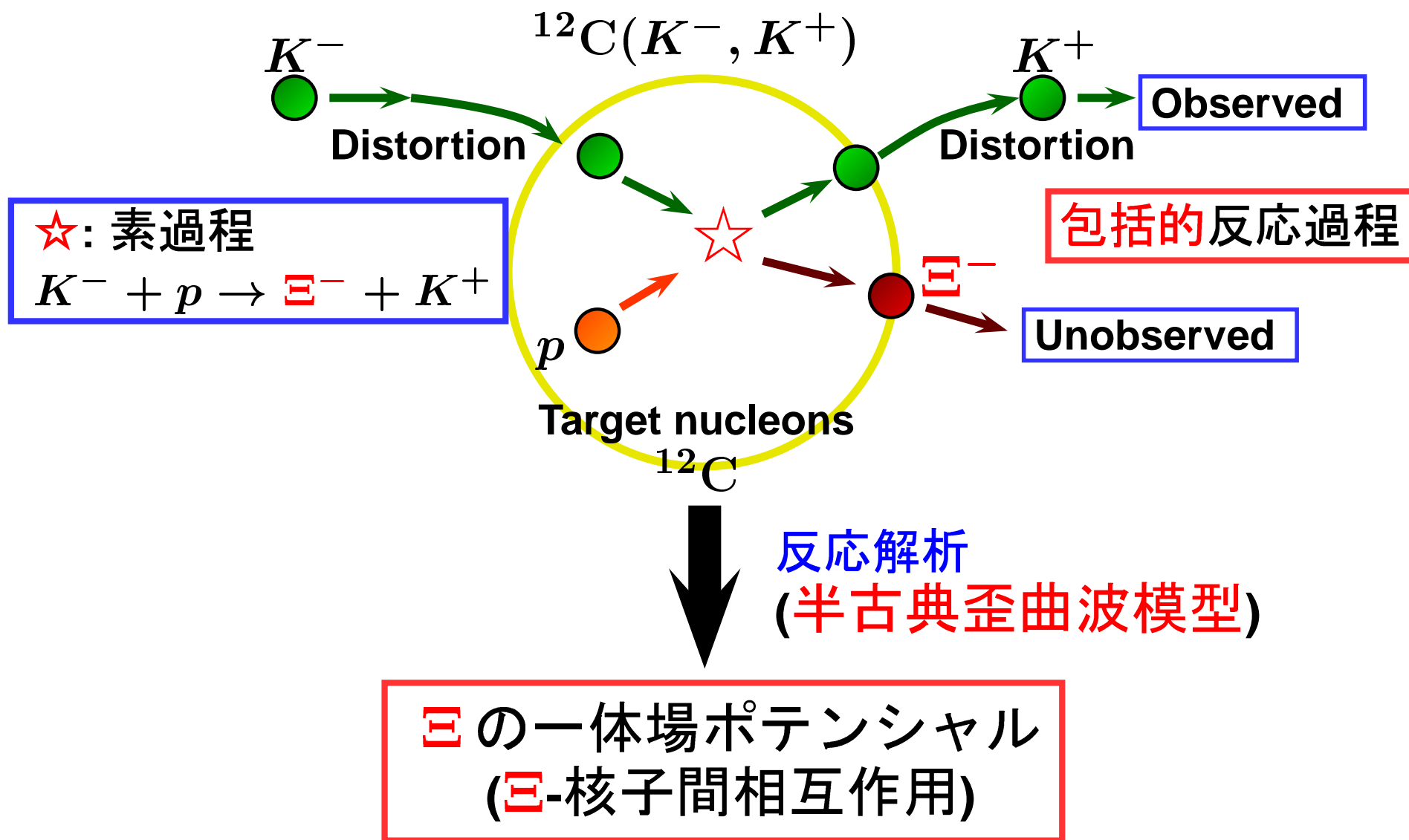


反応解析

Ξ の一体場ポテンシャル
(Ξ -核子間相互作用)

⊗ Strangeness exchange reaction

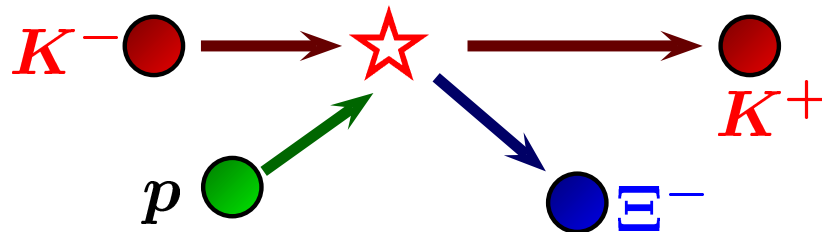
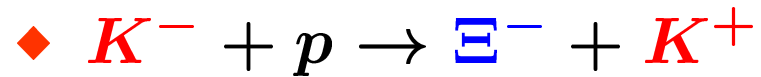
◆ $\Xi(S = -2)$ ハイペロン生成反応



⚡ Multi-step processes

◆ (K^-, K^+) : ダブルストレンジネス交換反応

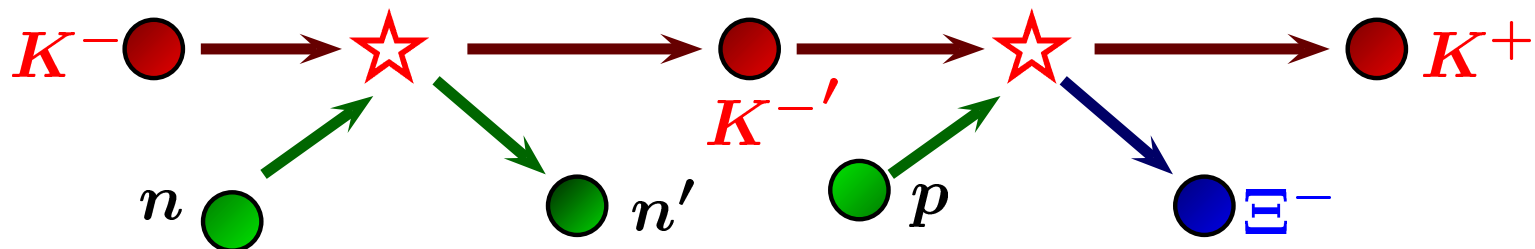
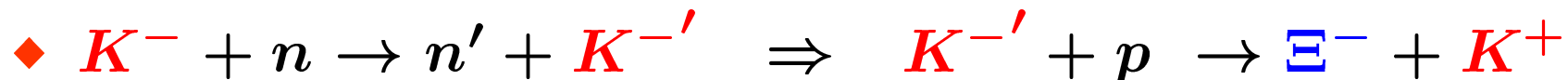
◆ 1 段階過程



⚡ Multi-step processes

◆ (K^-, K^+) : ダブルストレンジネス交換反応

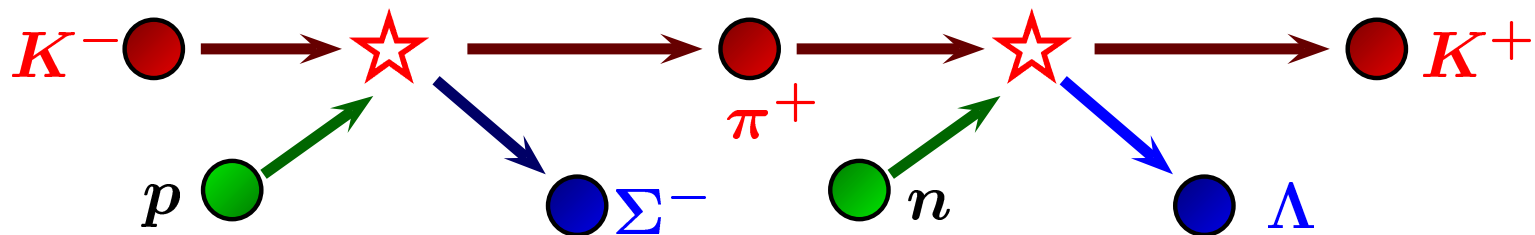
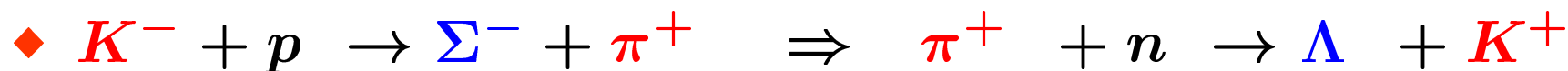
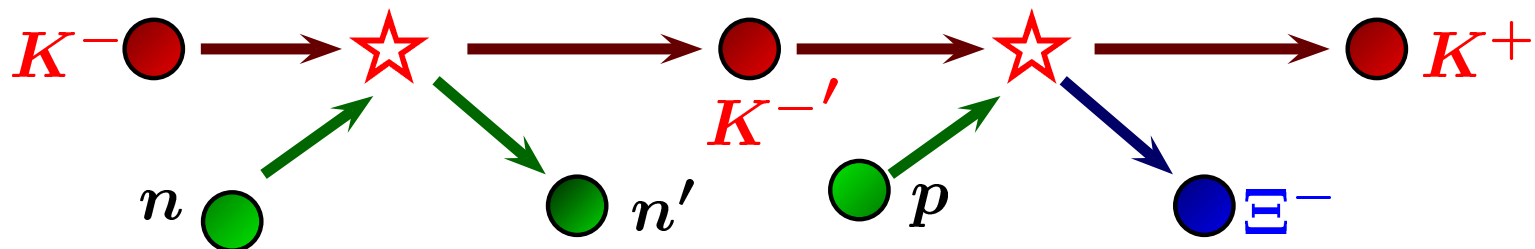
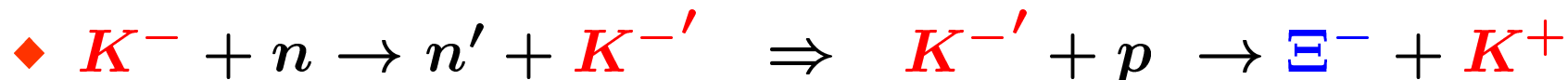
◆ 2段階過程



⚡ Multi-step processes

◆ (K^-, K^+) : ダブルストレンジネス交換反応

◆ 2段階過程



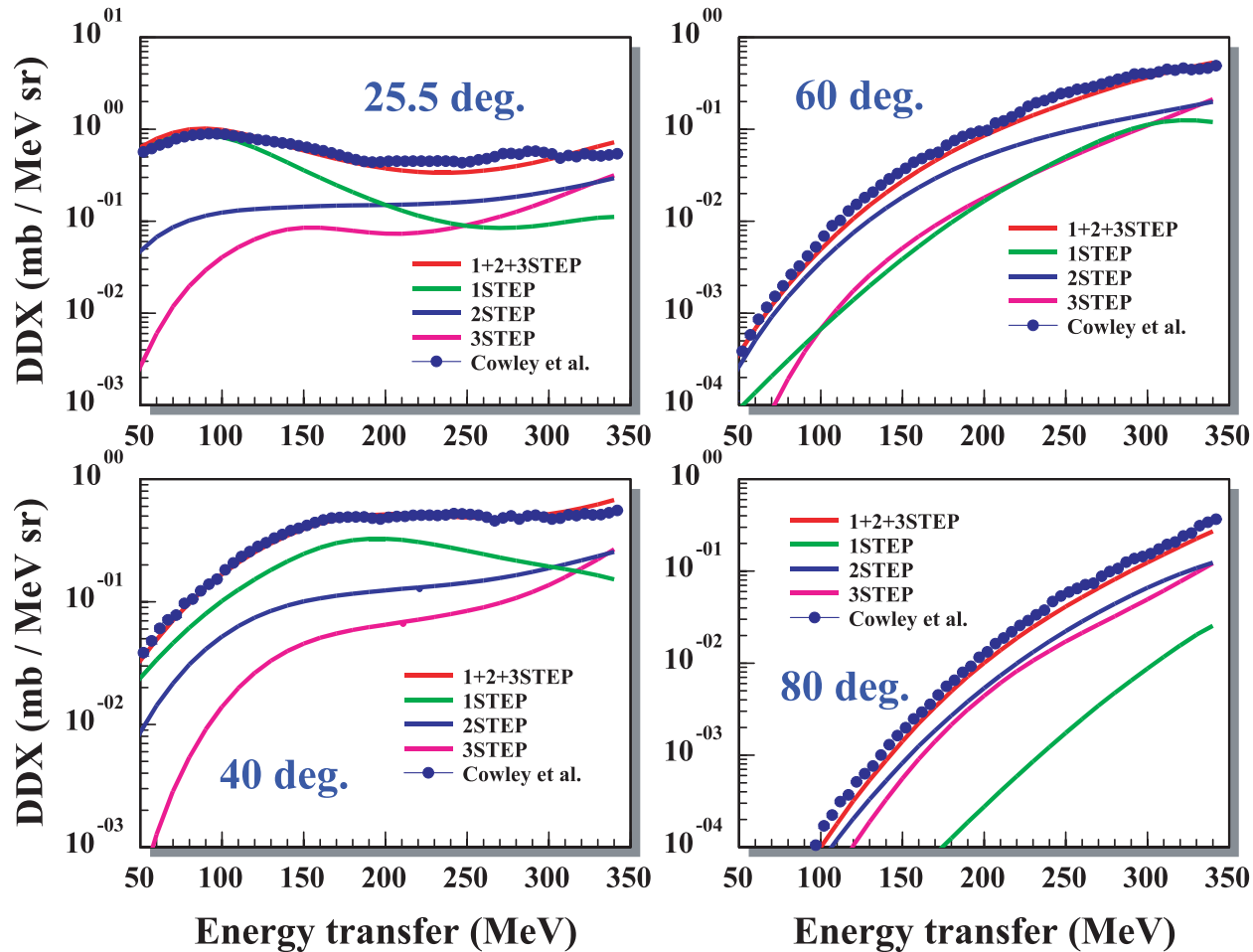
◆ 半古典歪曲波模型

- ◆ 包括的 (p, p') や (p, n) を調節パラメーターなしで定量的に記述
- ◆ 多段階過程計算を比較的容易に定式化
 - ◆ Y. L. Luo and M. Kawai, PLB 235, 211 (1990); PRC 43, 2367 (1991).
 - ◆ M. Kawai and H. A. Weidenmüller, PRC 45, 1856 (1992).
 - ◆ Y. Watanabe, R. Kuwata, Sun Weili, M. Higashi, H. Shinohara, M. Kohno, K. Ogata and M. Kawai, PRC 59, 2136 (1999).
 - ◆ K. Ogata, M. Kawai, Y. Watanabe, Sun Weili and M. Kohno, PRC 60, 054605 (1999).
 - ◆ Sun Weili, Y. Watanabe, M. Kohno, K. Ogata and M. Kawai, PRC 60, 064605 (1999).

Semi-Classical Distorted Wave model (SCDW)

◆ 半古典歪曲波模型

■ Double differential cross section (DDX) for $^{40}\text{Ca}(p, p')$ at 392 MeV



[K. Ogata *et al.*, in preparation.]

Cross section formula for 1-step process

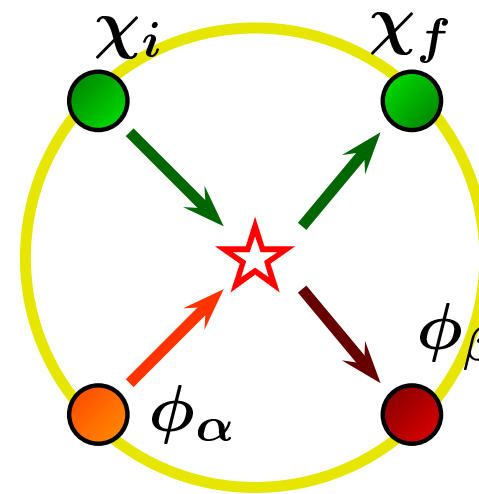
DWBA 展開

$$\frac{d^2\sigma}{dE_f d\Omega_f} = \frac{d^2\sigma^{(1)}}{dE_f d\Omega_f} + \frac{d^2\sigma^{(2)}}{dE_f d\Omega_f} + \dots$$

⚡ Cross section formula for 1-step process

DWBA 展開

$$\frac{d^2\sigma}{dE_f d\Omega_f} = \frac{d^2\sigma^{(1)}}{dE_f d\Omega_f} + \frac{d^2\sigma^{(2)}}{dE_f d\Omega_f} + \dots$$



包括的断面積 (1 段階過程)

$$\begin{aligned} \frac{d^2\sigma^{(1)}}{dE_f d\Omega_f} &= C \sum_{\beta, \alpha} |\langle \chi_f \phi_\beta | v | \chi_i \phi_\alpha \rangle|^2 \delta(\varepsilon_\beta - \varepsilon_\alpha - E_i + E_f) \\ &= C \sum_{\beta, \alpha} \int d\mathbf{r} \chi_f^*(\mathbf{r}) \phi_\beta^*(\mathbf{r}) v(\mathbf{r}) \chi_i(\mathbf{r}) \phi_\alpha(\mathbf{r}) \\ &\quad \times \int d\mathbf{r}' \chi_f(\mathbf{r}') \phi_\beta(\mathbf{r}') v^*(\mathbf{r}') \chi_i^*(\mathbf{r}') \phi_\alpha^*(\mathbf{r}') \\ &\quad \times \delta(\varepsilon_\beta - \varepsilon_\alpha - E_i + E_f) \end{aligned}$$

Cross section formula for 1-step process

局所半古典近似: $\chi_c(r') \cong \chi_c(r) e^{ik_c(r) \cdot s}$ ($r' = r + s$)

$$K(r, r') = \sum_{\beta, \alpha} \phi_{\beta}^*(r) \phi_{\beta}(r') \phi_{\alpha}(r) \phi_{\alpha}^*(r')$$

$\times \delta(\varepsilon_{\beta} - \varepsilon_{\alpha} - E_i + E_f) : s$ に関して短距離



$$\frac{d^2 \sigma^{(1)}}{dE_f d\Omega_f} = C \sum_{\beta, \alpha} \int dr \int dk_{\alpha} |\chi_f(r)|^2 |\chi_i(r)|^2 |\phi_{\beta}(r)|^2 \Phi_{\alpha}(r, k_{\alpha})$$
$$\times |v(r)|^2 \delta(k_f(r) - k_i(r) + k_{\beta}(r) - k_{\alpha})$$
$$\times \delta(\varepsilon_{\beta} - \varepsilon_{\alpha} - E_i + E_f)$$

Cross section formula for 2-step processes

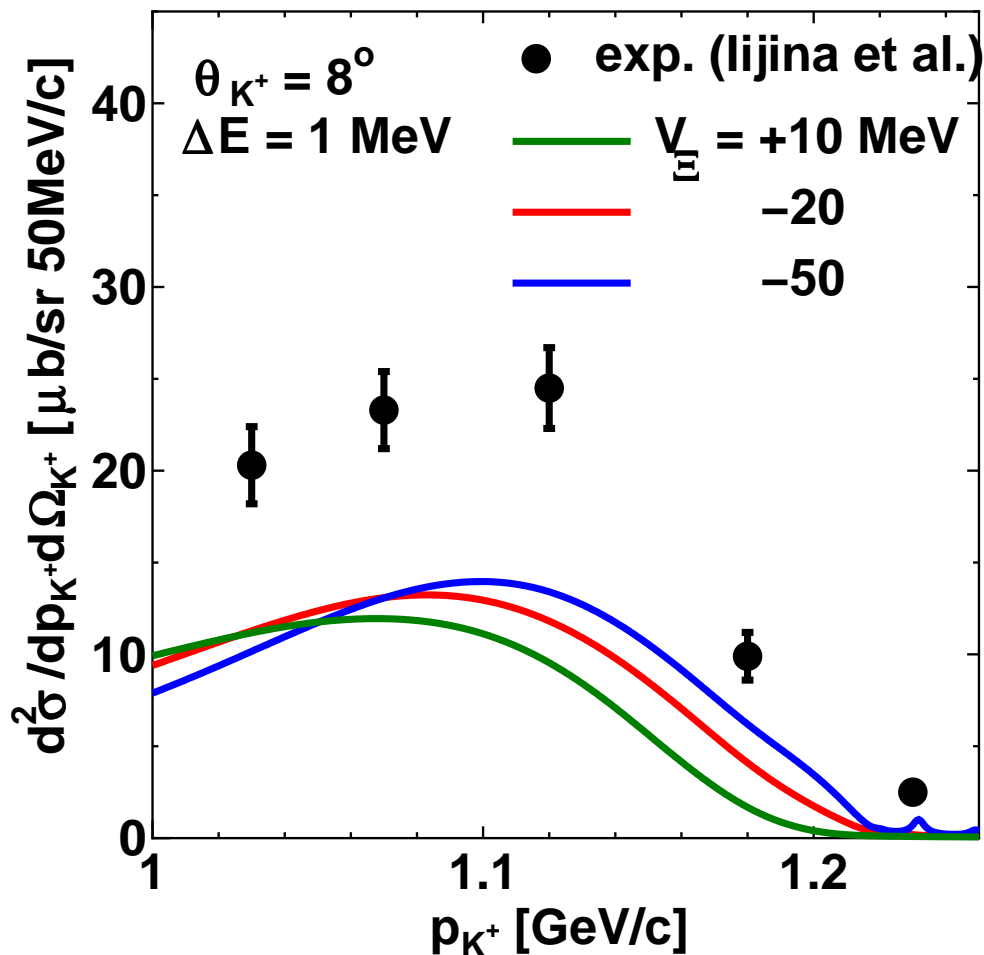
$$\begin{aligned}
 \frac{d^2\sigma^{(2)}}{dE_f d\Omega_f} &= C \int dE_m \iint dr_1 dr_2 |\chi_f(r_2)|^2 |\chi_i(r_1)|^2 \\
 &\times \iint dk_{\alpha_2} dk_{\beta_2} |v_2|^2 \delta(k_{\beta_2} - k_{\alpha_2} + k_f(r_2) - \kappa_m(r)) \\
 &\times \delta(E_f - E_m + \varepsilon_{\beta_2} - \varepsilon_{\alpha_2}) \\
 &\times \left(\frac{\mu}{2\pi\hbar^2} \right)^2 \frac{e^{-2\gamma_m(r)|r_2-r_1|}}{|r_2 - r_1|^2} \\
 &\times \iint dk_{\alpha_1} dk_{\beta_1} |v_1|^2 \delta(k_{\beta_1} - k_{\alpha_1} + \kappa_m(r) - k_i(r_1)) \\
 &\times \delta(E_m - E_i + \varepsilon_{\beta_1} - \varepsilon_{\alpha_1})
 \end{aligned}$$

Ξ production reaction analysis

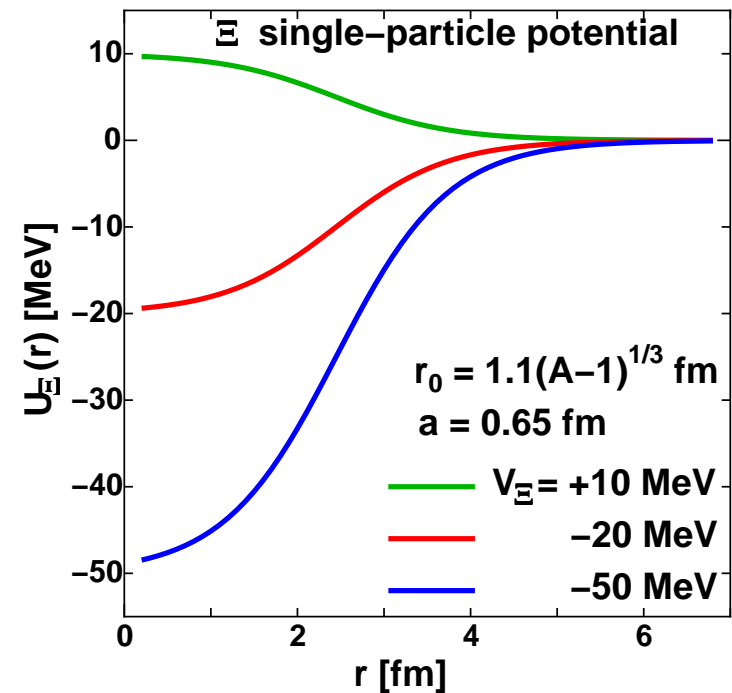
◆ ^{12}C 標的 (K^- , K^+) 反応 (入射運動量 1.65 GeV/c)

実験値: T. Iijima et al., NPA 546, 588 (1992).

■ K^+ momentum spectrum



■ Ξ の一体場ポテンシャル (Woods-Saxon 型を仮定)

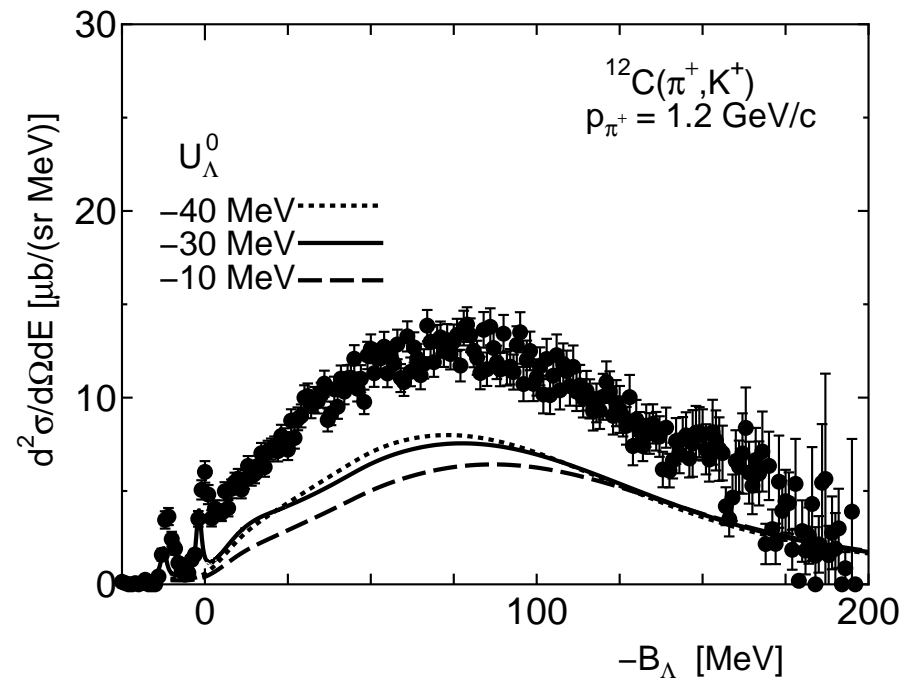
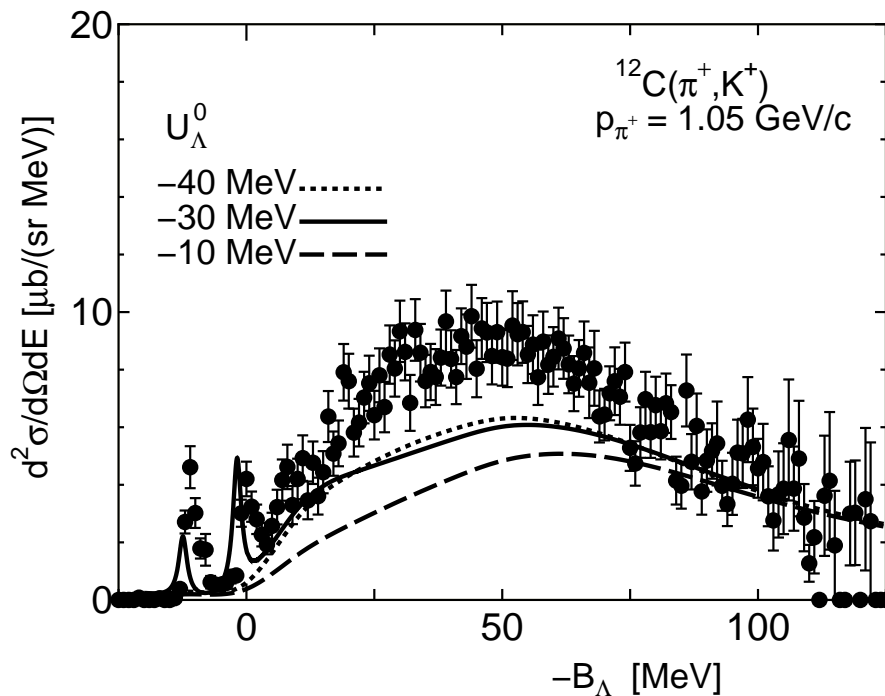


Λ production reaction analysis

◆ ^{12}C 標的 (π^+, K^+) 反応

実験値: H. Noumi et al., PRL 89, 072301 (2002) and P.K. Saha et al., PRC 70, 044613 (2004).

■ Missing-mass spectrum [M. Kohno *et al.*, submitted to PRC.]



Summary and future work

- ◆ 入射運動量 1.65 GeV/c における Ξ 生成 $^{12}\text{C}(K^-, K^+)$ 反応を半古典歪曲波模型 (SCDW) を用いて解析した。
- ◆ SCDW による計算結果は、エネルギー依存性に関しては実験値を再現しているが、その絶対値に関しては 50% ほど過小評価している。
- ◆ 過小評価の傾向は、 Λ 生成 $^{12}\text{C}(\pi^+, K^+)$ 反応でも同様である。

- ◆ より定量的な解析を行うために多段階過程の評価を行う。
- ◆ 過小評価の原因を探る。素過程の媒質効果？