

# J-PARC K1.8BRビームラインにおける $d(K^-,n)$ 反応による $\Lambda(1405)$ 粒子の 精密分光実験

大阪大学核物理研究センター野海研究室

川崎 新吾

# The J-PARC E31 Collaboration

阪大RCNPA, 阪大理<sup>B</sup>, 理研<sup>C</sup>, KEK<sup>D</sup>, 東大理<sup>E</sup>, 東大教養<sup>F</sup>, 東工大理<sup>G</sup>, 京大理<sup>H</sup>, 大阪電通大<sup>I</sup>, INFN-Torino<sup>J</sup>, INFN-LNF<sup>K</sup>, SMI<sup>L</sup>, ソウル国立大<sup>M</sup>, ミュンヘン工大<sup>N</sup>, Torino大<sup>O</sup>, Victoria大<sup>P</sup>, 東北大ELPH<sup>Q</sup>

川崎新吾<sup>A</sup>, 味村周平<sup>A</sup>, 井上謙太郎<sup>A</sup>, 大西宏明<sup>A, C</sup>, 佐田優太<sup>A</sup>, 白鳥昂太郎<sup>A</sup>, 野海博之<sup>A</sup>, 平岩聡彦<sup>A</sup>, 山我拓巳<sup>A</sup>, 阪口篤志<sup>B</sup>, 吉田幸太郎<sup>B</sup>, 板橋健太<sup>C</sup>, 岩崎雅彦<sup>C, G</sup>, 應田治彦<sup>C</sup>, 岡田信二<sup>C</sup>, 佐久間史典<sup>C</sup>, 佐藤将春<sup>C</sup>, Q. Zhang<sup>C</sup>, 橋本直<sup>C</sup>, 馬越<sup>C</sup>, 山崎敏光<sup>C, E</sup>, 飯尾雅実<sup>D</sup>, 石元茂<sup>D</sup>, 岩井正明<sup>D</sup>, 榎本瞬<sup>D</sup>, 鈴木祥仁<sup>D</sup>, 関本美知子<sup>D</sup>, 豊田晃久<sup>D</sup>, 石川隆<sup>E</sup>, 鈴木隆敏<sup>E</sup>, 早野龍五<sup>E</sup>, 藤原裕也<sup>E</sup>, 松田恭幸<sup>F</sup>, 康寛史<sup>G</sup>, 徳田真<sup>G</sup>, 友野大<sup>H</sup>, 永江知文<sup>H</sup>, 藤岡宏之<sup>H</sup>, 福田共和<sup>I</sup>, 溝井浩<sup>I</sup>, L. Busso<sup>J, O</sup>, D. Faso<sup>J, O</sup>, O. Morra<sup>J</sup>, 竜野秀行<sup>K</sup>, M. Bragadireanu<sup>K</sup>, C. Curceanu<sup>K</sup>, C. Guaraldo<sup>K</sup>, M. Iliescu<sup>K</sup>, D. Pietreanu<sup>K</sup>, D. Sirghi<sup>K, L</sup>, F. Sirghi<sup>K, L</sup>, P. Böhler<sup>L</sup>, M. Cargnelli<sup>L</sup>, 石渡智一<sup>L</sup>, 施赫將<sup>L</sup>, J. Marton<sup>L</sup>, 鈴木謙<sup>L</sup>, E. Widmann<sup>L</sup>, J. Zmeskal<sup>L</sup>, H. Bhang<sup>M</sup>, S. Choi<sup>M</sup>, H. Yim<sup>M</sup>, P. Kienle<sup>N</sup>, G. Beer<sup>P</sup>, 塚田暁<sup>Q</sup>

# 目次

- $\Lambda(1405)$ 研究背景
- J-PARC E31 実験
- $d(K^-,n)\Sigma^\pm\pi^\mp$  スペクトラム
- $d(K^-,n)\Sigma^0\pi^0$  モードの同定
- まとめ

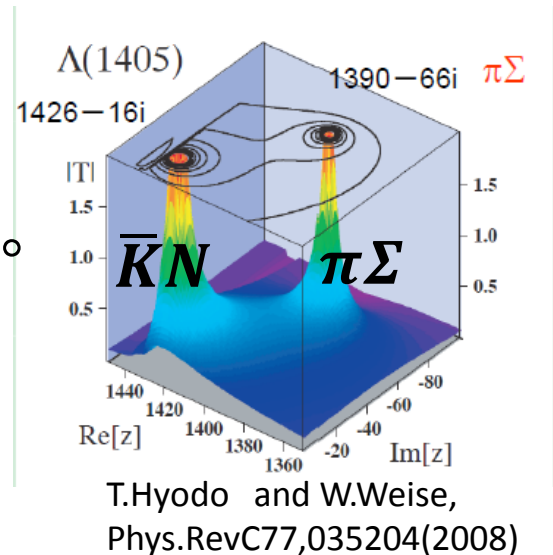
# $\Lambda(1405)$ 研究背景

- $\Lambda(1405)$  3クォーク?  $\bar{K}N$ の束縛状態?

$\Lambda(1405)$ は $\bar{K}N$ 状態と $\pi\Sigma$ 状態、  
2つの共鳴状態近傍の振る舞いで描写できる。

励起状態ハドロン内部構造の理解

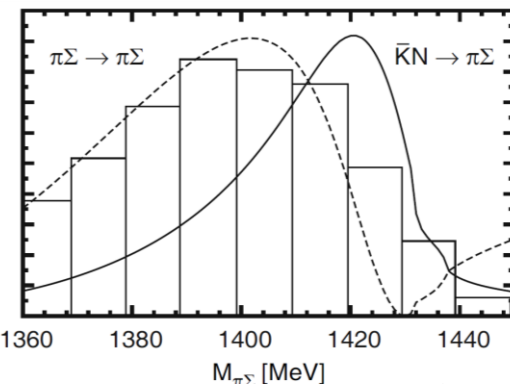
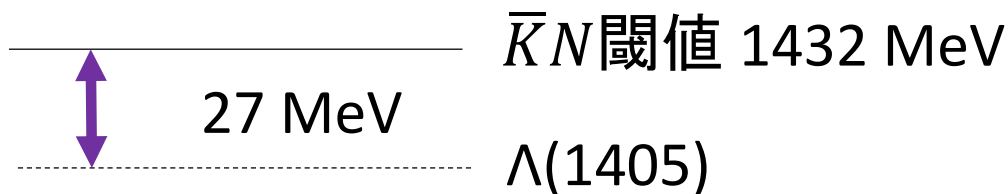
クォーク-ハドロン形成の理解



- $\bar{K}N \rightarrow \pi\Sigma$  での共鳴状態を探る。

$\bar{K}N$ 極を強く反映した反応

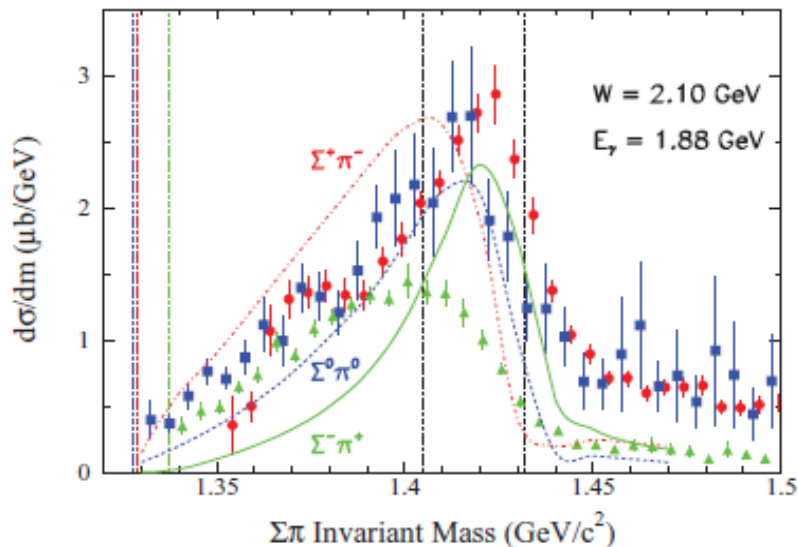
自由空間では反応できない



$d(K^-, n)$  反応  $\bar{K}N$ からの直接生成

# 崩壊モードの分離

- $\pi^\pm, \Sigma^\mp$  は  $I = 0, I = 1$  およびこれらの干渉項が混ざる  
     $\pi^+, \Sigma^-$  と  $\pi^-, \Sigma^+$  で異なるスペクトラムが得られることが期待される
- $\pi^0, \Sigma^0$  は純粋に  $I=0$  のモードである。
- 全崩壊モードの同定により、反応のアイソスピン振幅が分離できる。



$\gamma p \rightarrow K^+ \Lambda(1405)$  反応で測定された  $\Lambda(1405)$  からの崩壊荷電モードによって異なるスペクトラム

K. Moriya *et al.*,  
Phys. Rev. C87, 035206(2013).

崩壊荷電粒子を測定し全崩壊モードの同定を行う

# J-PARC E31実験

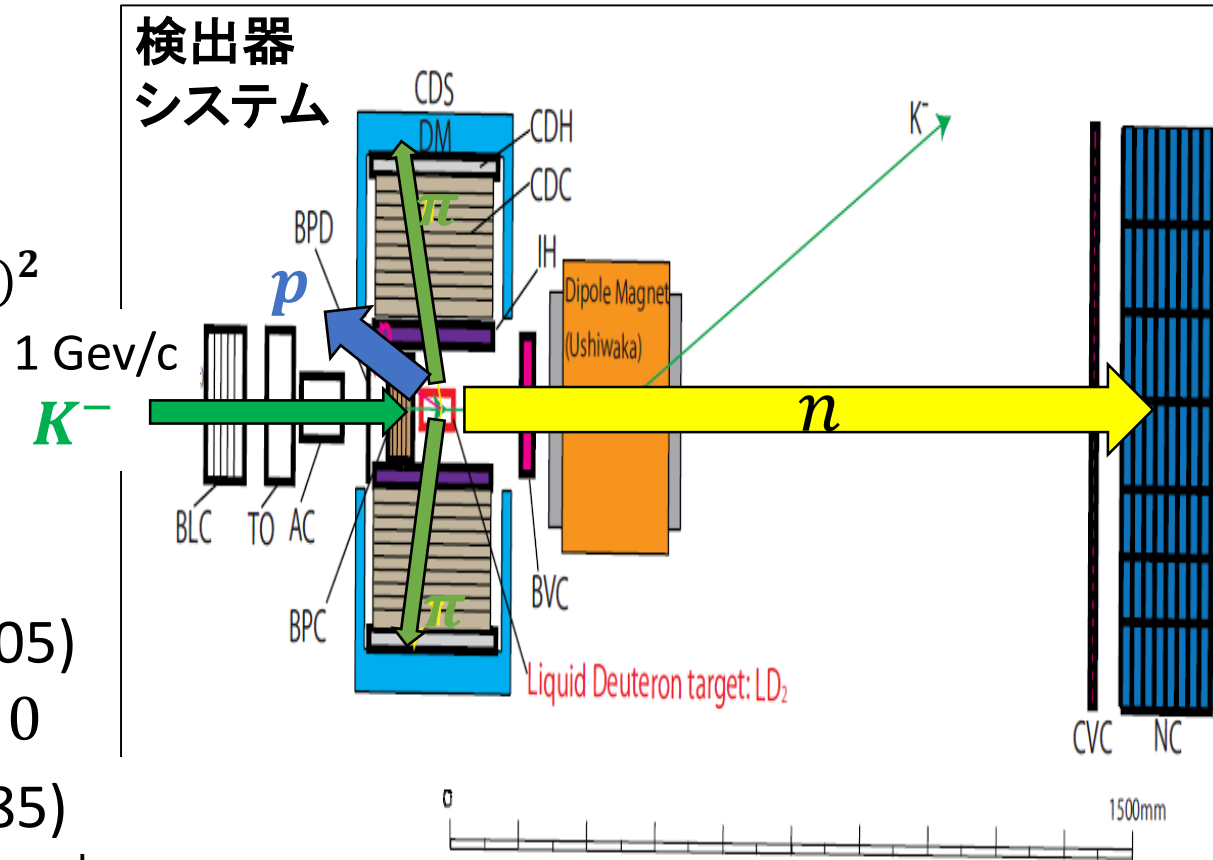
- $d(K^-, n)$  反応
- 欠損質量法による  $\Lambda(1405)$  の質量測定

$$MM(n) = \sqrt{(P_d + P_{K^-} - P_n)^2}$$

- 生成するハイペロン( $\Upsilon$ ) の全崩壊モードの同定

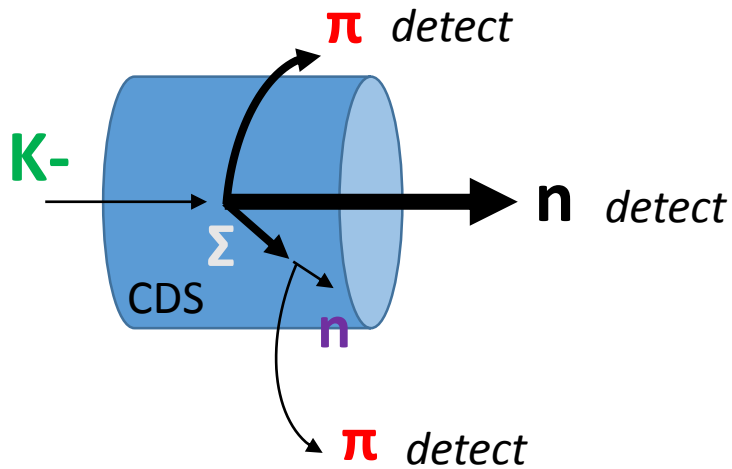
$\Upsilon$	$\rightarrow \pi^0, \Sigma^0$	$\rightarrow \Lambda(1405)$
	$\rightarrow \pi^+, \Sigma^-$	$: I = 0$
	$\rightarrow \pi^-, \Sigma^+$	$\rightarrow \Sigma(1385)$
	$\rightarrow \pi^0 \Lambda$	$: J^P = \frac{3}{2}^+, I = 1$

## J-PARCハドロンホール、K1.8BR

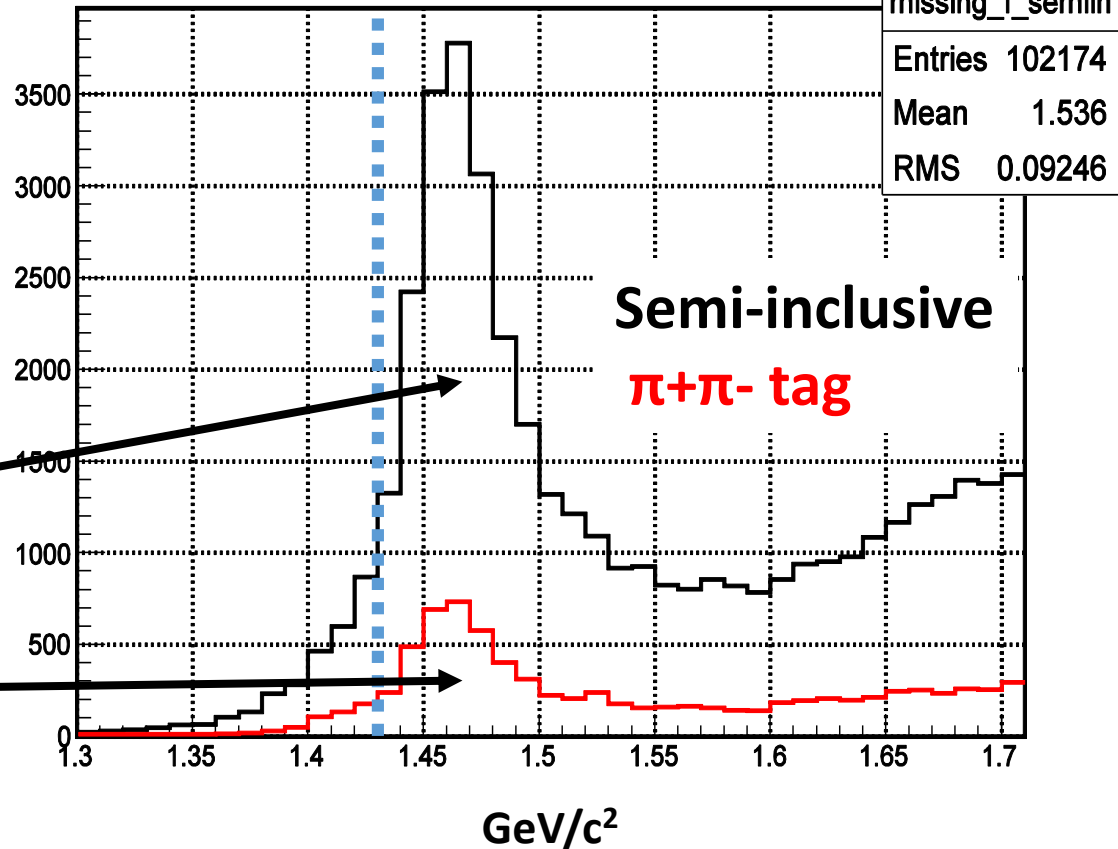


2015年5月 J-PARC E15実験の校正データとして  $d(K^-, n)$  のデータを取得することができた。(2日分)

# $d(K^-, n)$ "X" スペクトラム



$d(K^-, n)$  "X" missing mass



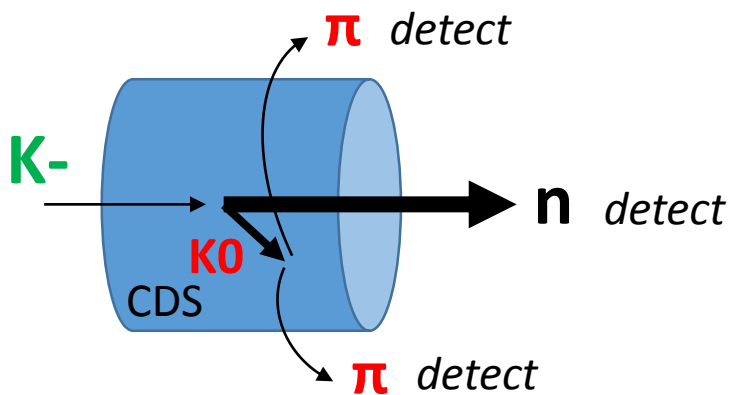
Quasi-elastic scattering  
 $K^- n \rightarrow K^- n$

Charge exchange  
 $K^- p \rightarrow \bar{K}^0 n$

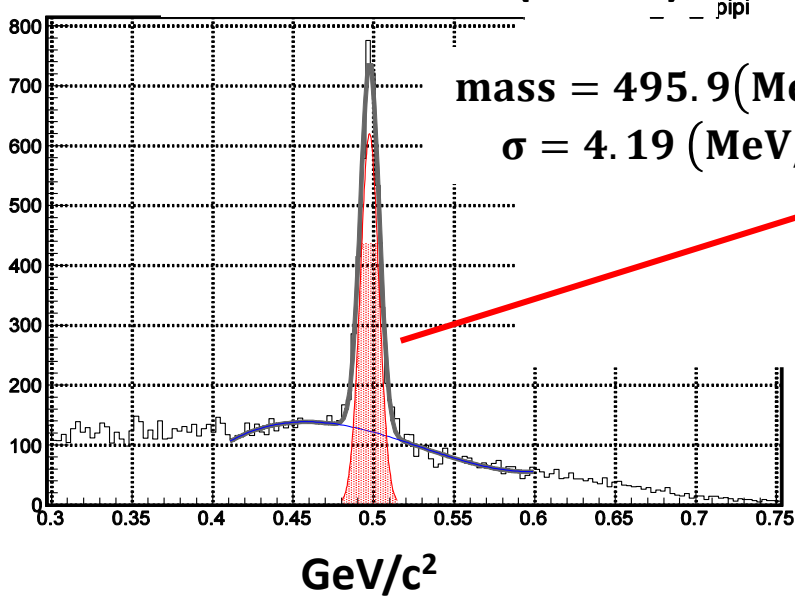
- > 1.47  $\text{GeV}/c^2$  まわりに QF、Charge exchange のピークが見られる。
- >  $\bar{K}N$  閾値以下のイベントが見られる。

# Neutron from charge exchange

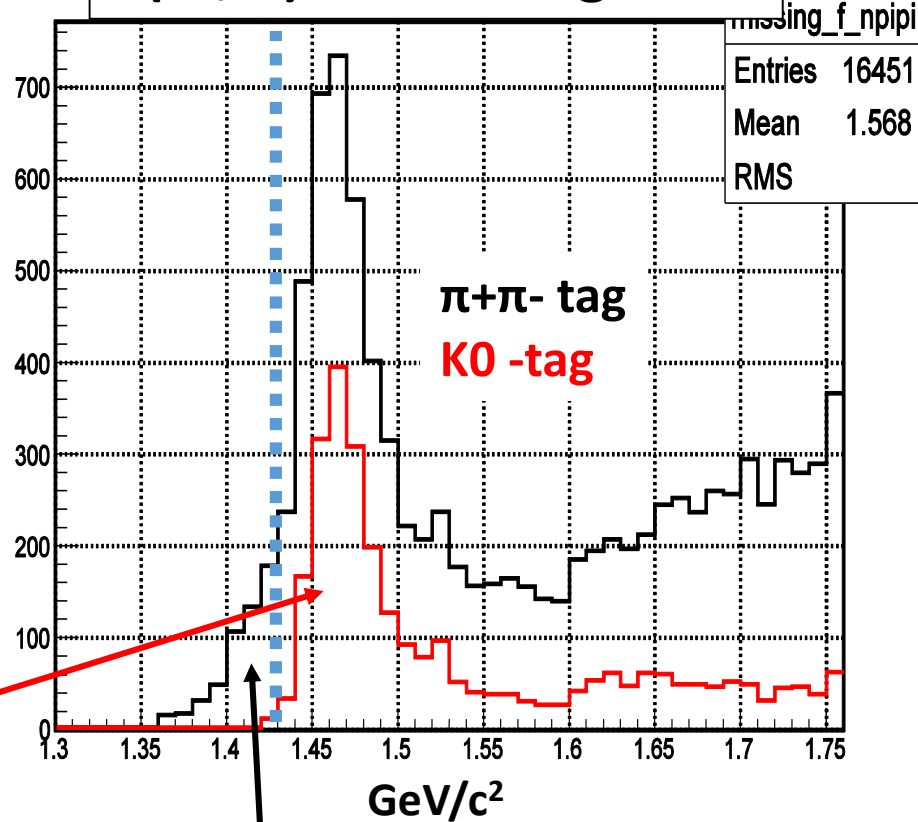
Charge exchange :  $K^- p \rightarrow \bar{K}^0 n$



Invariant mass ( $\pi^- \pi^+$ )



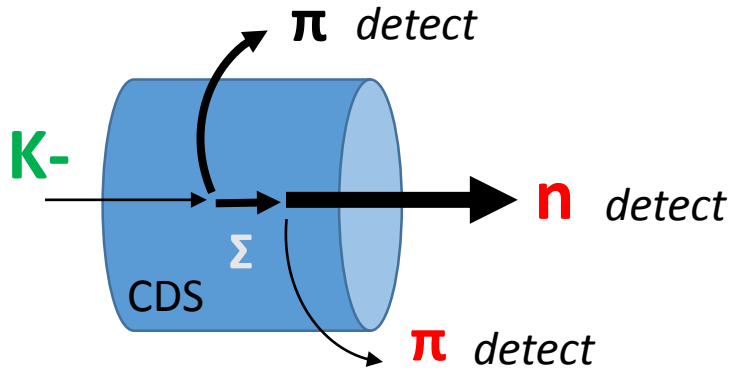
$d(K^-, n) \pi^+ X$  missing mass



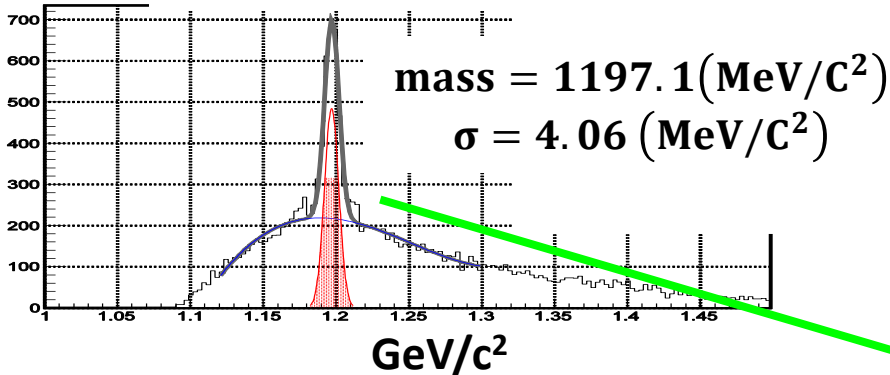
> K0イベントは閾値から立ち上がっている。  
測定の分解能による閾値以下への漏れ込みはない



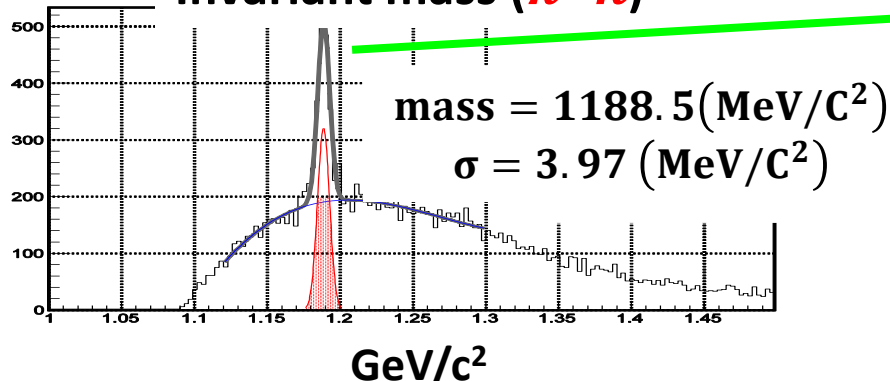
# Neutron from Sigma decay



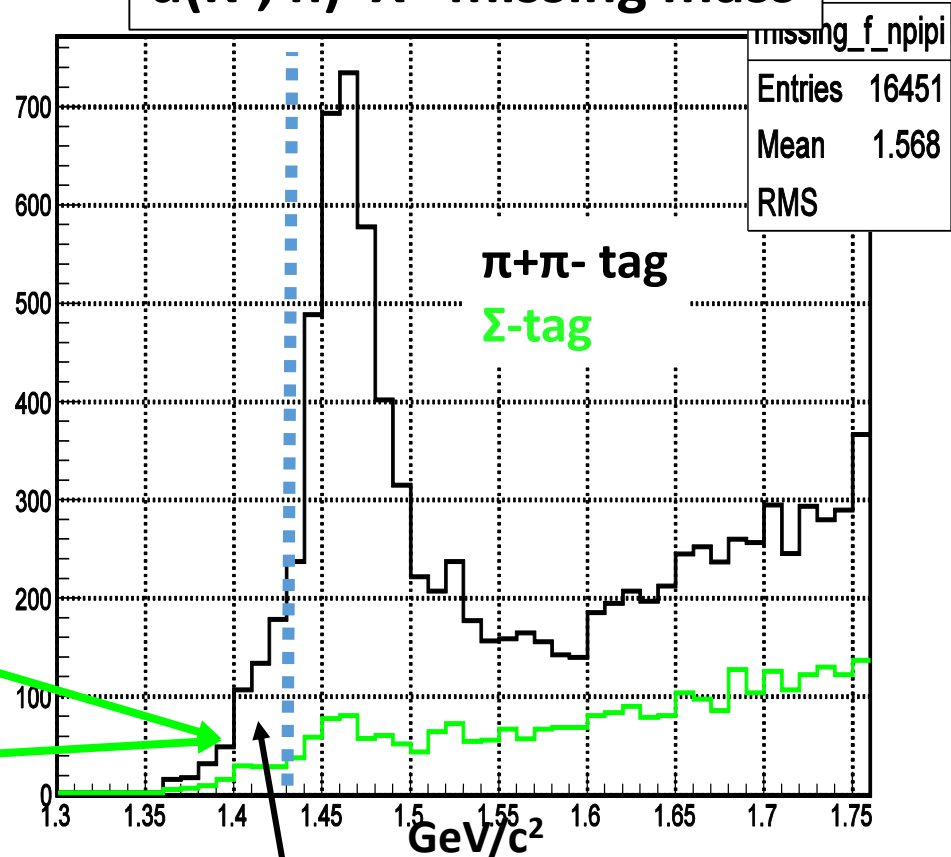
Invariant mass ( $\pi^- n$ )



Invariant mass ( $\pi^+ n$ )



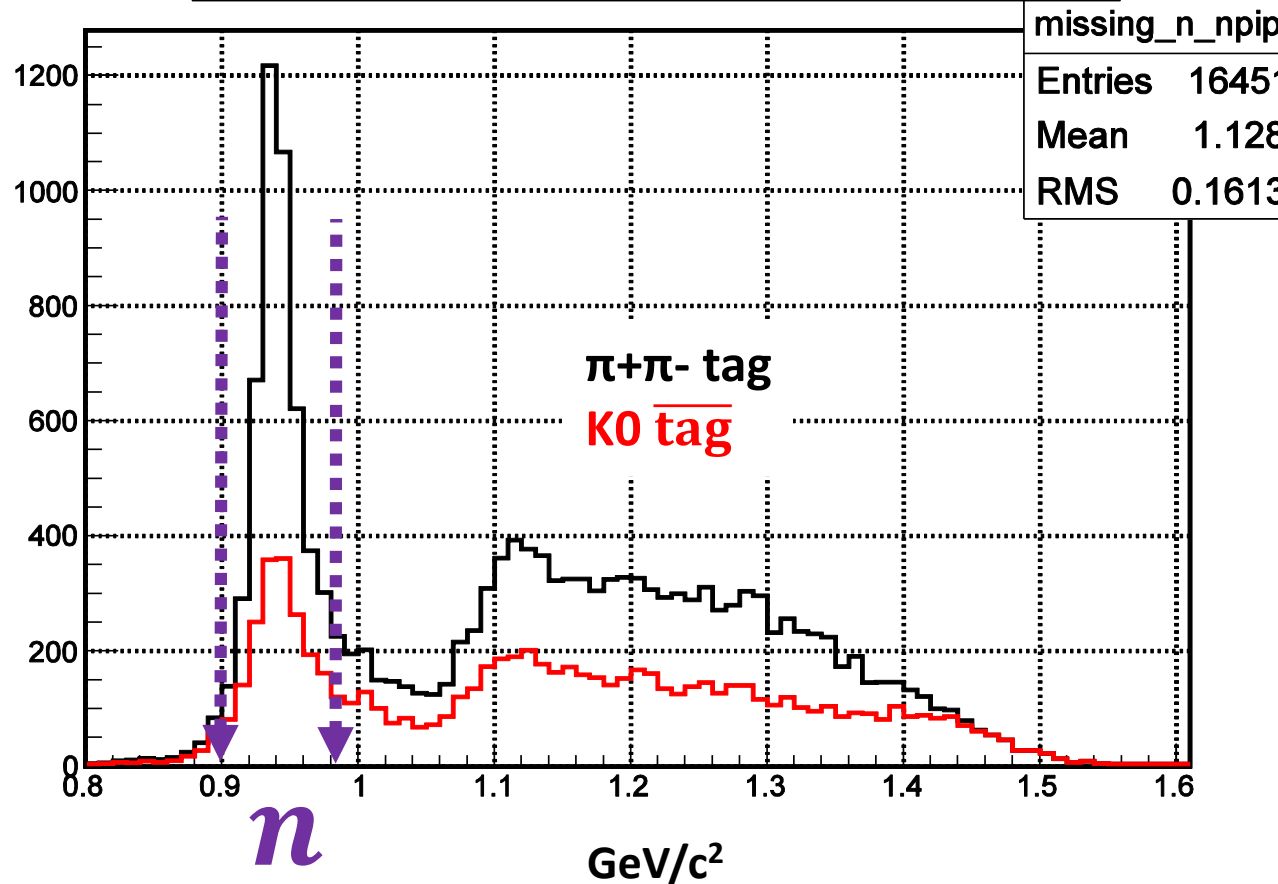
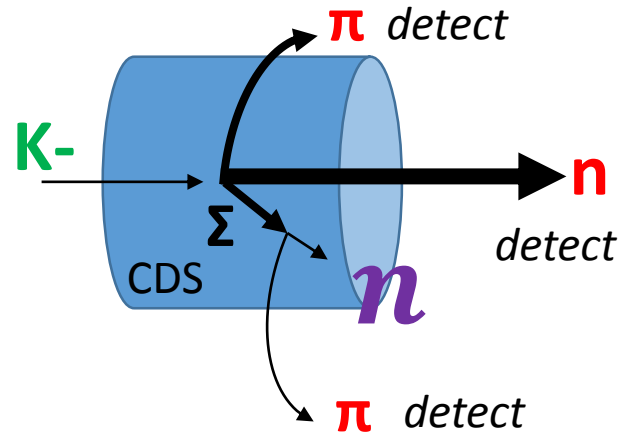
$d(K^-, n) \pi^+ X$  missing mass



> Sigma decay のイベントを差し引いても  $\bar{K}N$  閾値以下のイベントは残る。

# $d(K^-, n)\pi^{\mp}\Sigma^{\pm}$ の特定

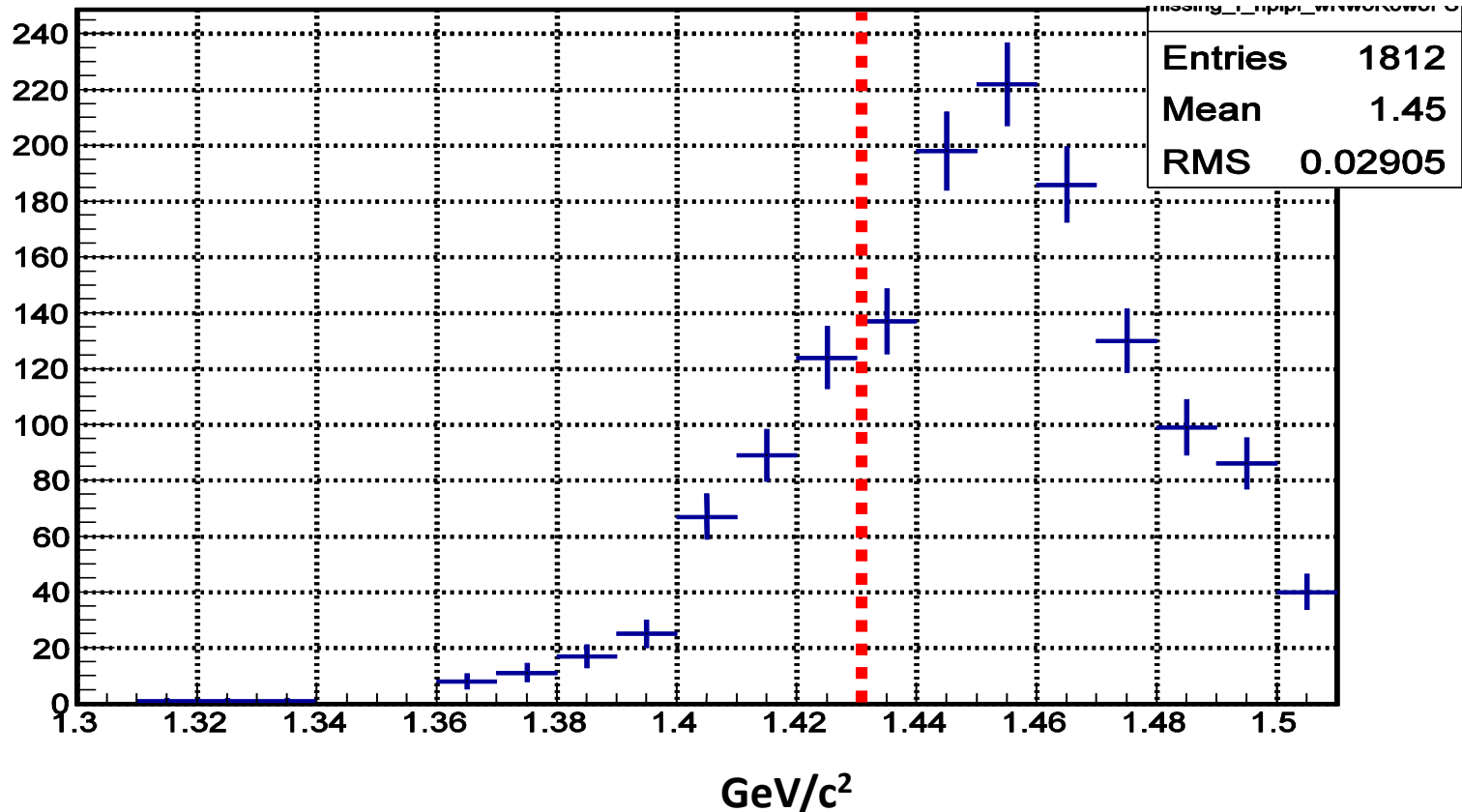
$d(K^-, n\pi^+\pi^-)$  "X" missing mass



- > Missing neutron peak がみえる。
- >  $0.9 \text{ GeV}/c^2 \sim 0.98 \text{ GeV}/c^2$  を  $\pi\Sigma n$  の終状態に選ぶ。

# $d(K^-, n)\pi^{\mp}\Sigma^{\pm}$ スペクトラム

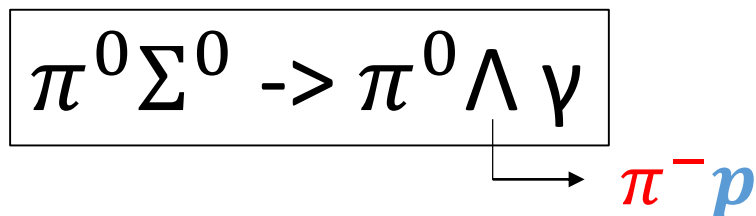
Charge exchange、 $\Sigma$ -decay からの寄与は除いている



- > 閾値以下に構造がみれる。
- >  $I = 0$  と  $I = 1$  が混在している。
- >  $\Sigma^+$ 、 $\Sigma^-$ モードの分離解析が進行中

# $\pi^0 \Sigma^0$ モードの同定

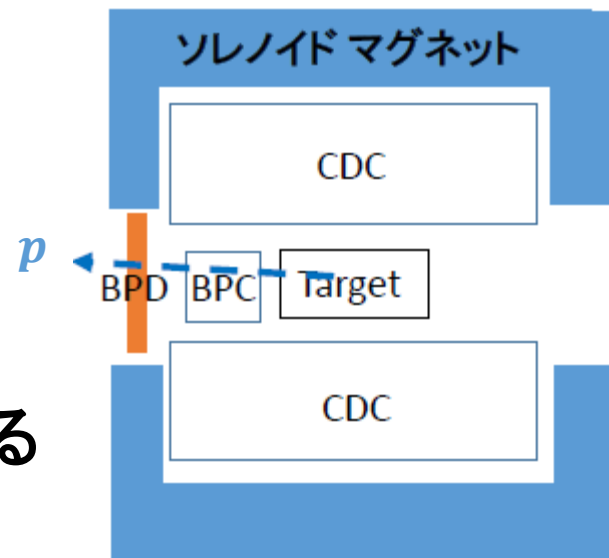
- $\pi^0, \Sigma^0$ は純粹に $l=0$ のモードである。
- 全崩壊モードの同定により、反応のアイソスピン振幅が分離できる。



$\Lambda(1405)$ は後方散乱生成の傾向にある

➡ 後方散乱陽子の測定を行う

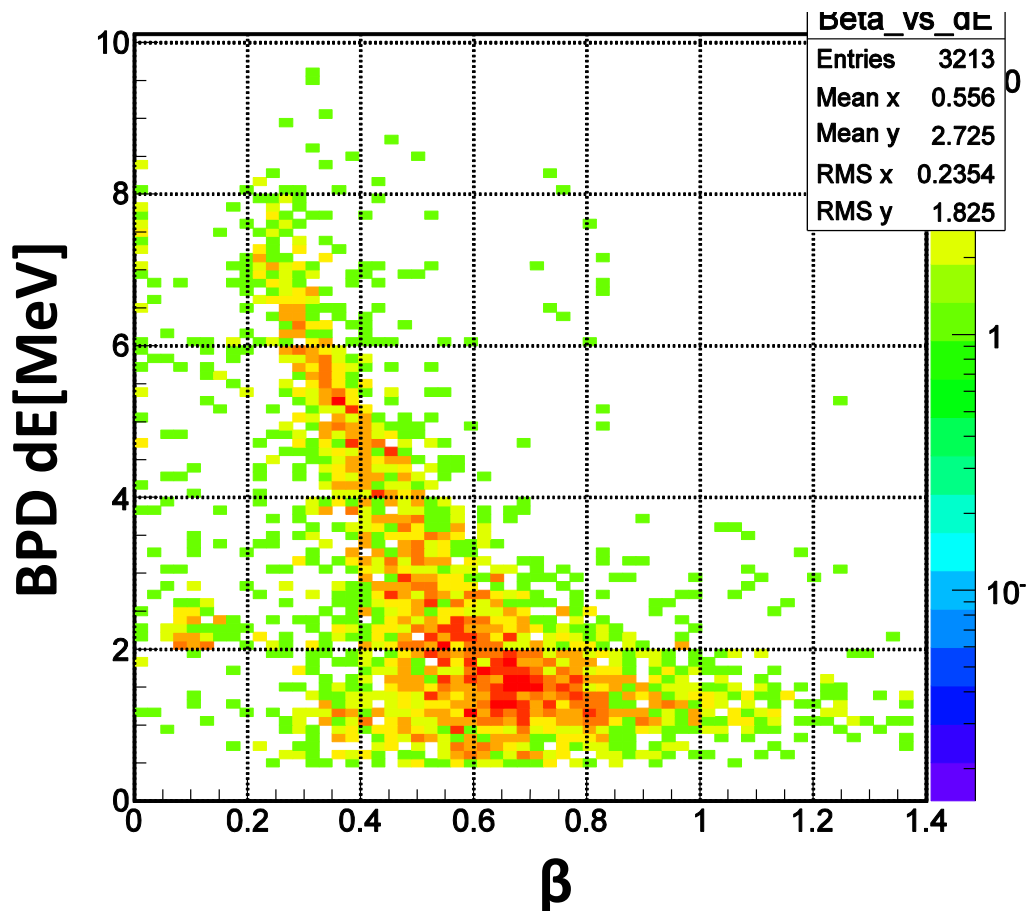
標的後方にTOF法で陽子の運動量を測定する  
検出器(BPD+BPC)を設置



BPD : TOFカウンター  
BPC : トラッキングチェンバー

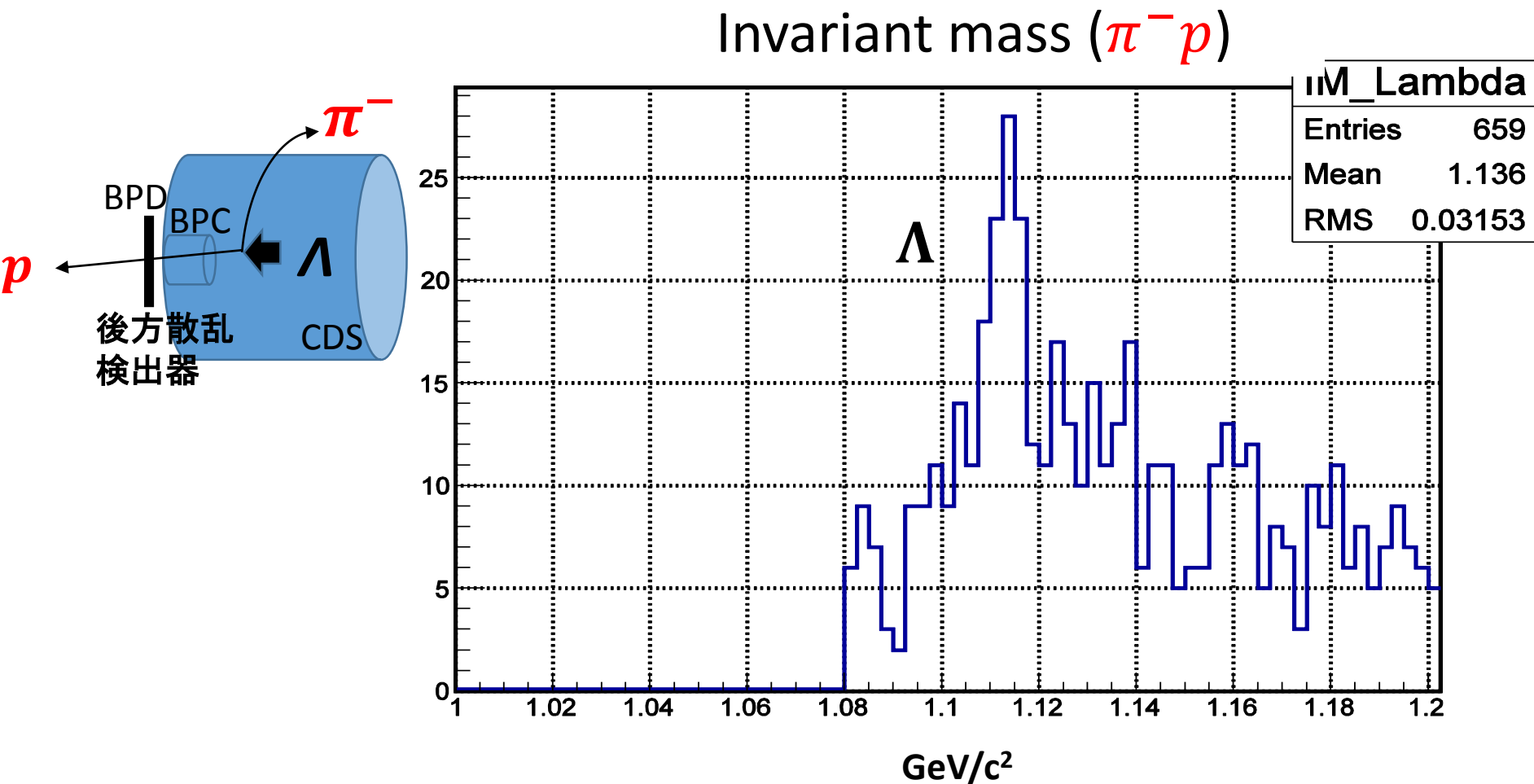
# 後方散乱陽子識別

後方散乱粒子の  $\beta$  と Energy deposit @BPD の相関



- >  $\pi$ 、 $p$ の分離がはっきりしていない
- >  $\pi$ のカット条件の最適化を行う必要がある。

# 後方散乱 $\Lambda$ の同定



- > 後方散乱 $\Lambda$ のピークを確認
- >  $\pi$ のカット条件の最適化によりBGの改善が必要

# まとめ

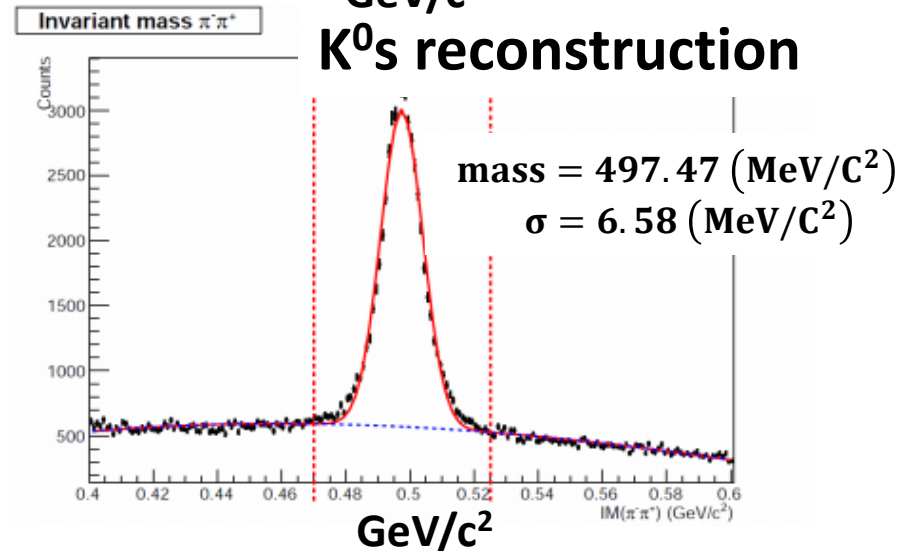
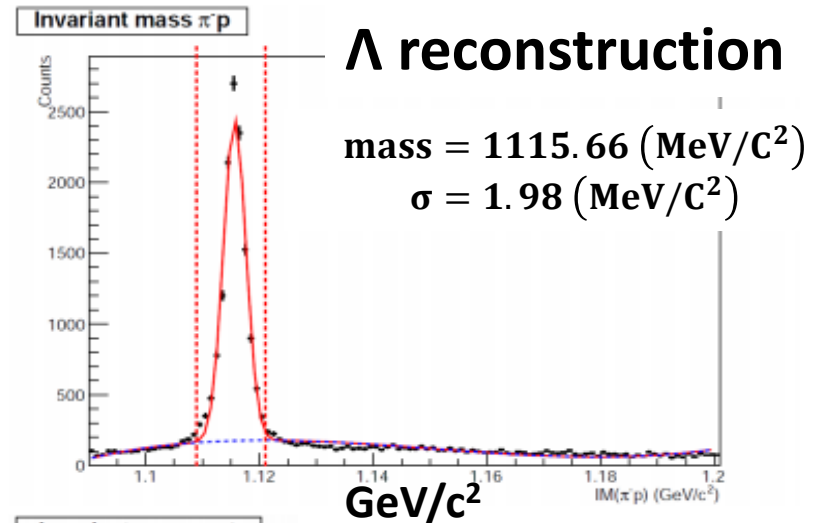
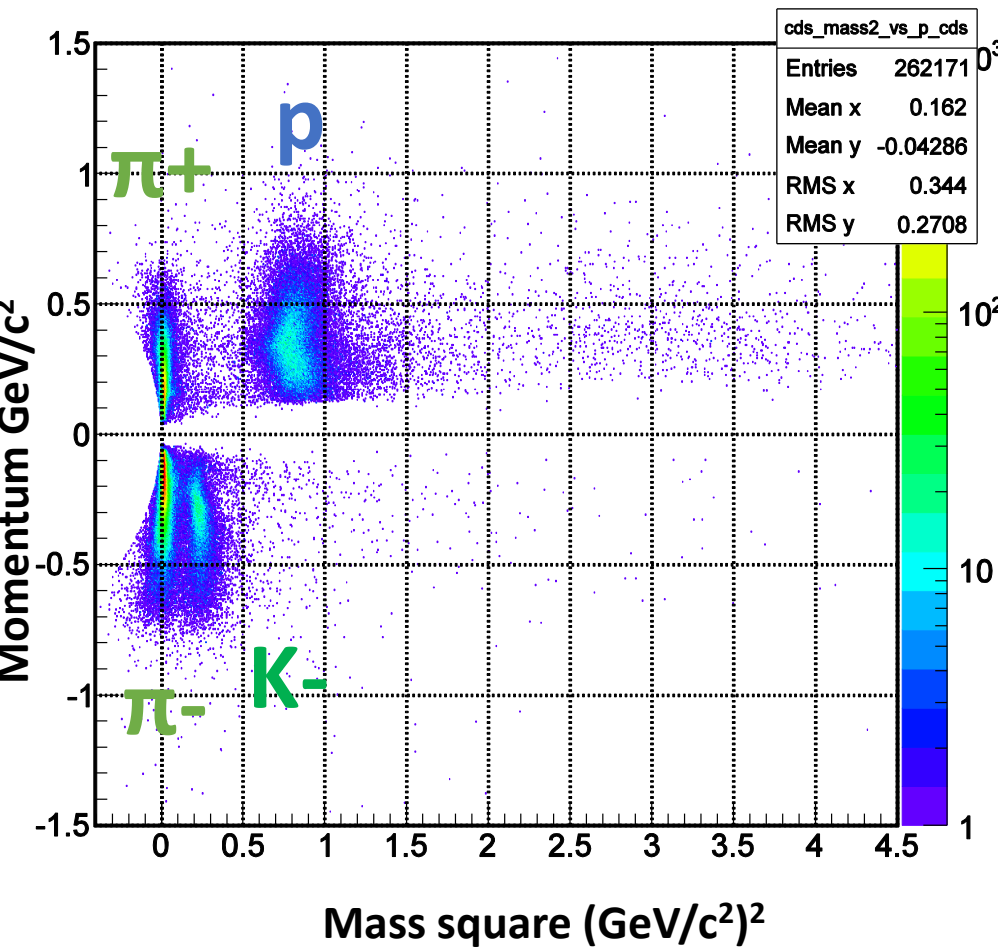
我々はJ-PARC K1.8 BR beam line において $d(K^-,n)$  反応のデータを得た。

- $d(K^-,n)\pi^{\mp}\Sigma^{\pm}$  スペクトラムを求めた
  - 閾値以下に構造が見られる
  - $\pi^+\Sigma^-$ と $\pi^-\Sigma^+$ の区別はしていない
  - $I = 1$ モードが混在している
- アイソスピン $I = 1$ モードを分離するために $\pi^0\Sigma^0$ モードの測定が必要
  - $\pi^0\Sigma^0$ モードの同定に必要な後方散乱 $\Lambda$ のイベントを見ることができた。
  - さらなる統計量での実験を予定している。

**BACK UP**

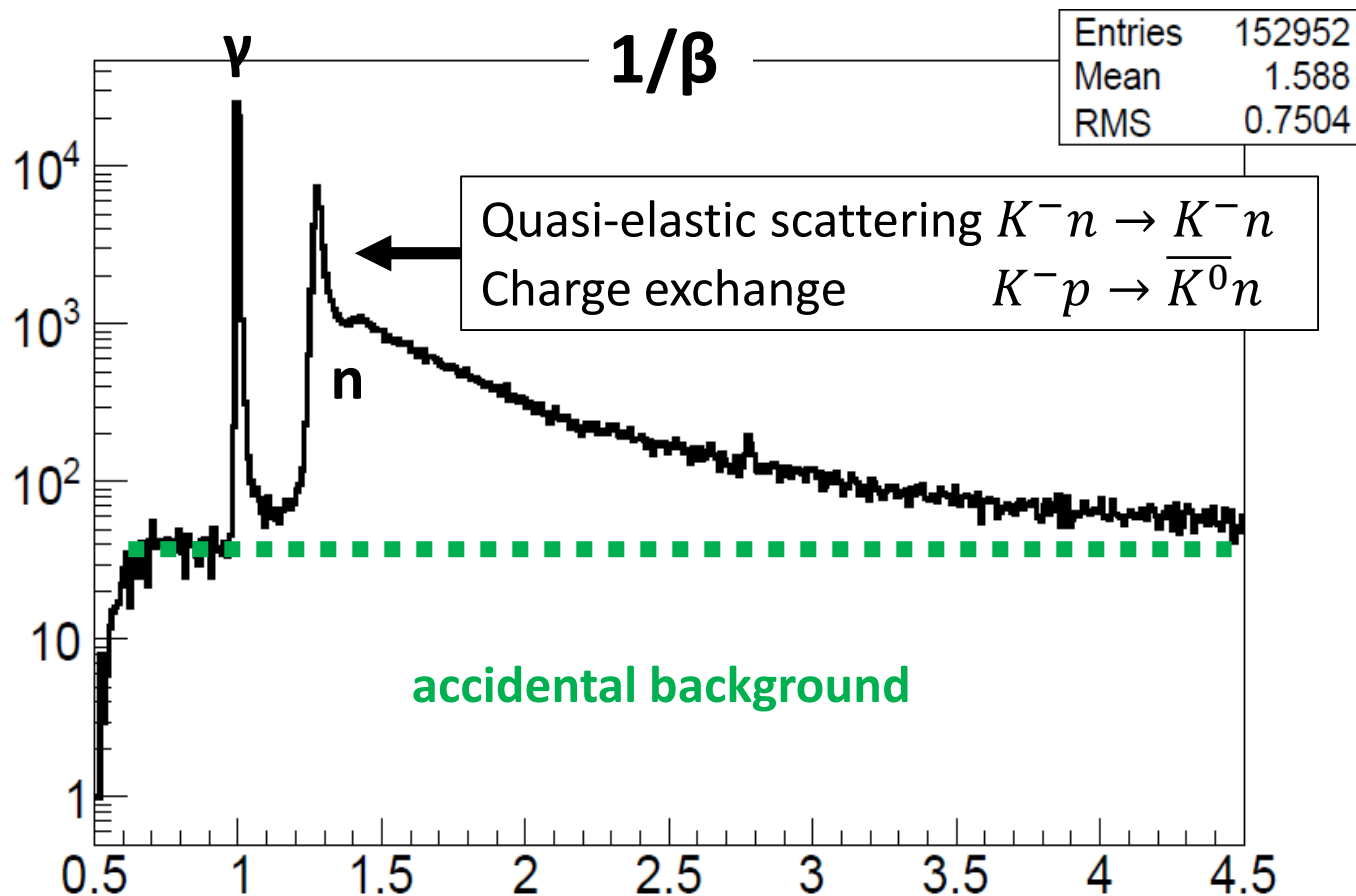


# 崩壊荷電粒子の同定



- > 荷電粒子( $\pi^\pm, K^-, p$ )は円筒形測定器システムにより同定される。
- >  $\Lambda, K^0_s$  の再構成ができる。

# 前方散乱中性子の測定



- >  $\gamma$  イベントと区別される
- > S/N ratio  $\sim 100$ @Quasi-free peak
- > 時間分解能  $\sim 150$  ps@  $\gamma$  peak