

# 状態方程式とハドロン物理

京大基研 大西 明

- Introduction
- 高密度天体を理解する上で Day 1 実験に加えて必要となる実験は何か？
  - Hyperon-Hadron Interaction via FSI effects  
YY, Kbar-Y, ....
- Summary

「J-PARC ハドロン物理の将来研究計画を考える」研究会  
Sep. 1-2, 2008, RIKEN

# 岡さんからの宿題メール

KEK のほぼ同種の研究会も盛況のうちに終わり、次、、という感じですが、同じことを繰り返す意味はないと思います。

肥山さんの意図にそっているかどうかはわかりませんが、私は KEK の研究会の内容より、さらに先を考えたいと思います。はっきりしている目標よりもっと大胆なスペキュレーションと(できれば)夢がある話を聞きたいと思います。

そこで、皆様に2つの課題を出します。

- (1) DAY1 実験で成果がでたと仮定して、次のプロジェクトはなにか。  
DAY1 で何が確立したら、どう進むか、進めるか。  
あるいは DAY1 と関係なくハドロン物理として、次に目指すのは何か。

たとえば、...( 中略 )....

Dense QCD と高密度天体物理の関係をつけるには、JPARC で何をすればいいのか。中性子星の観測データと結びつくのか。高密度中に置かれたハイペロンや K はどうふるまうのか。どうやったらそれを探れるのか。

# Dense QCD

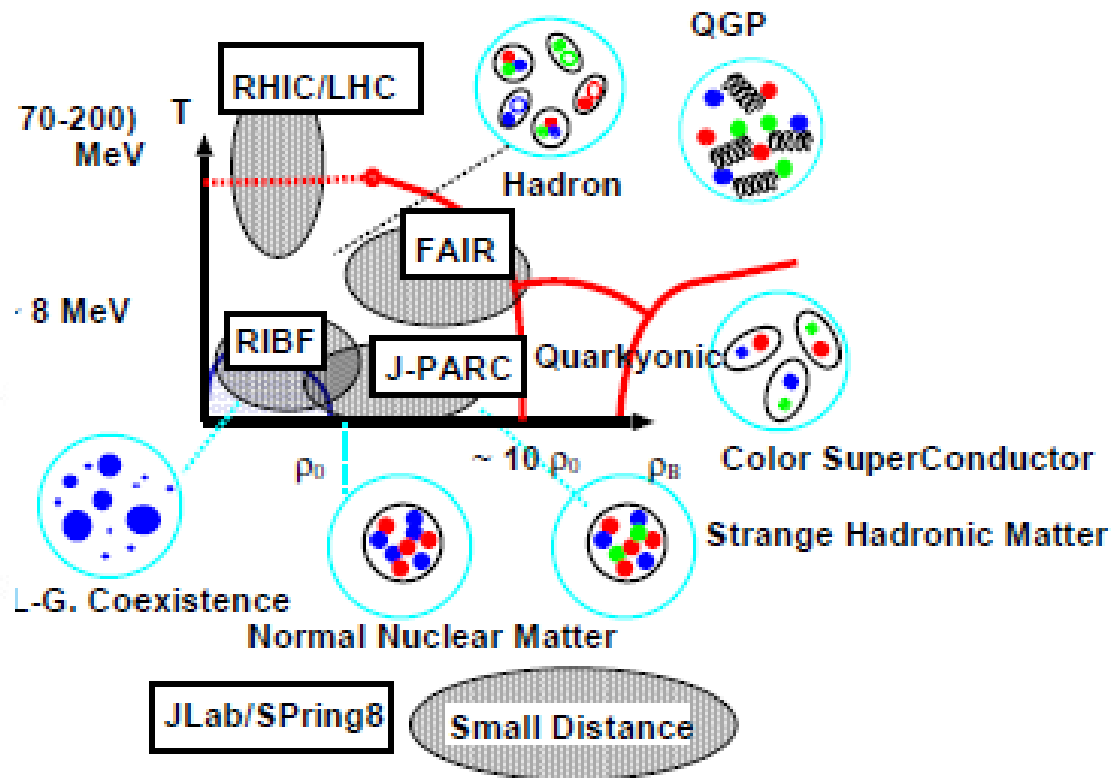
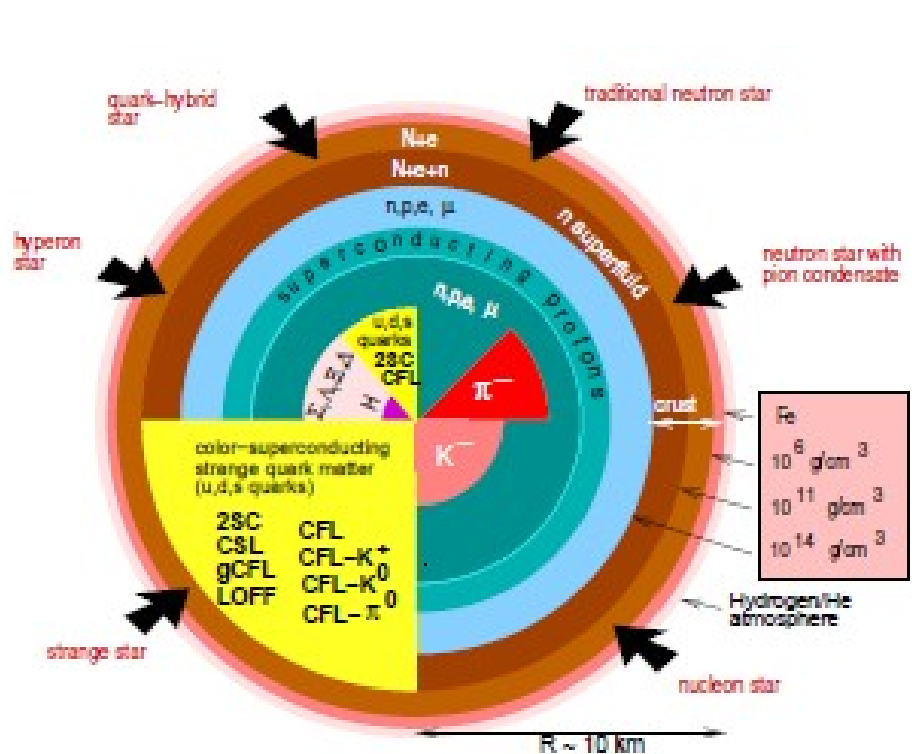
## J-PARC 第一期実験

ハイパー核 ( $\Xi$  核、 $\Lambda$  核、 $\Sigma$  核)、中間子核 (K,  $\eta$ ,  $\phi$ )、媒質効果、エキゾチックハドロン、構造関数、稀崩壊、...

## 様々な観測量によるクォーク多体系の性質の解明

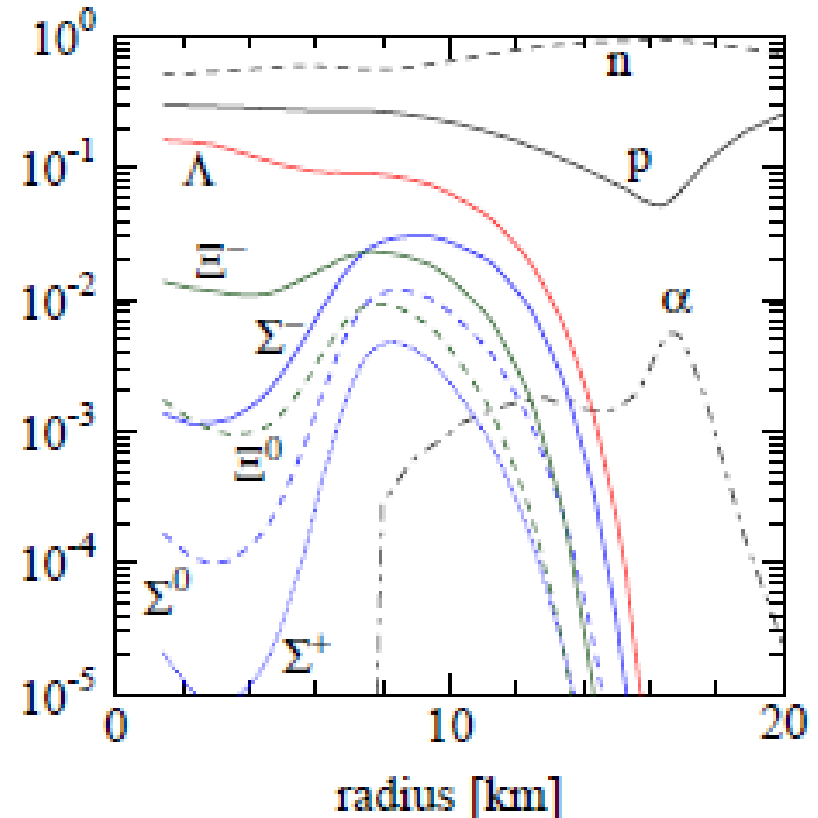
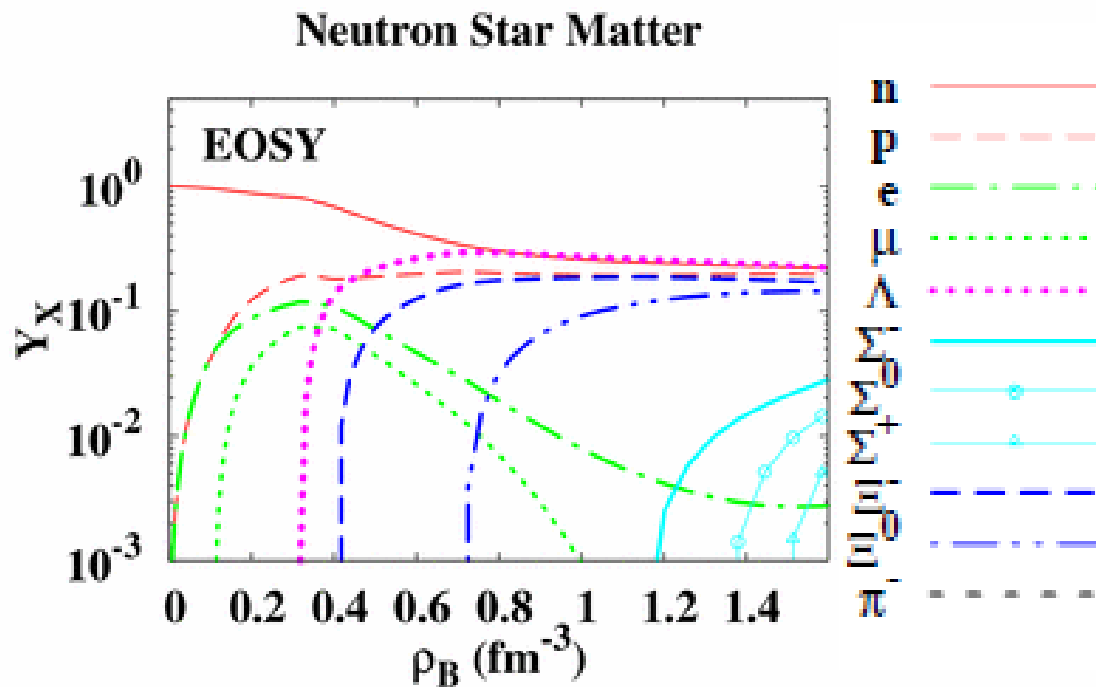
→ 実験データに基づく高密度物質の解明へ (Dense QCD)

## 高密度物質を議論するうえで J-PARC 実験 (第一期) は十分か?



# Particle Fraction in Neutron Stars / BH Formation

- Various hyperons should appear !
  - Neutron Star  $\rightarrow \Lambda, \Xi (\Sigma)$  ( $\Lambda$  can be as much as neutron)
  - Black Hole formation  $\rightarrow \Lambda, \Sigma, \Xi, \dots$  (Total hyperon fraction  $\sim 20\%$ )
- Do we have pions, kaons, quarks ?



Ishizuka et al., JPG 2008

Sumiyoshi et al. submitted



# Which interaction should be measured ?

## ■ Necessary interaction for Dense QCD

### ● A Goal

= Hadronic matter Density Functional  
at various Baryon Density, Charge Fraction, Temperature  
under hadronic beta equilibrium.

### ● Hadron potential in NUCLEAR matter

$Y, K^- \rightarrow$  J-PARC Day 1 +  $\alpha$

$\pi \rightarrow$  GSI, RIBF

$\eta, \omega, \phi, \rho.. \rightarrow$  J-PARC Day 2 (?)

### ● Hadron-Hyperon Interaction

$\Lambda\Lambda \rightarrow$  J-PARC Day 1

$\Lambda\Sigma, \Lambda\Xi, \Sigma\Xi \rightarrow$  TO DO

$\pi Y, K\bar{K} Y, KY, \eta Y, \omega Y, \rho Y, K^* Y, \phi Y, \dots \rightarrow ?$

### ● Meson-Meson Interaction

$\pi\pi, \pi K, K\bar{K} \rightarrow$  Meson Res. Spectroscopy + Background / Lattice

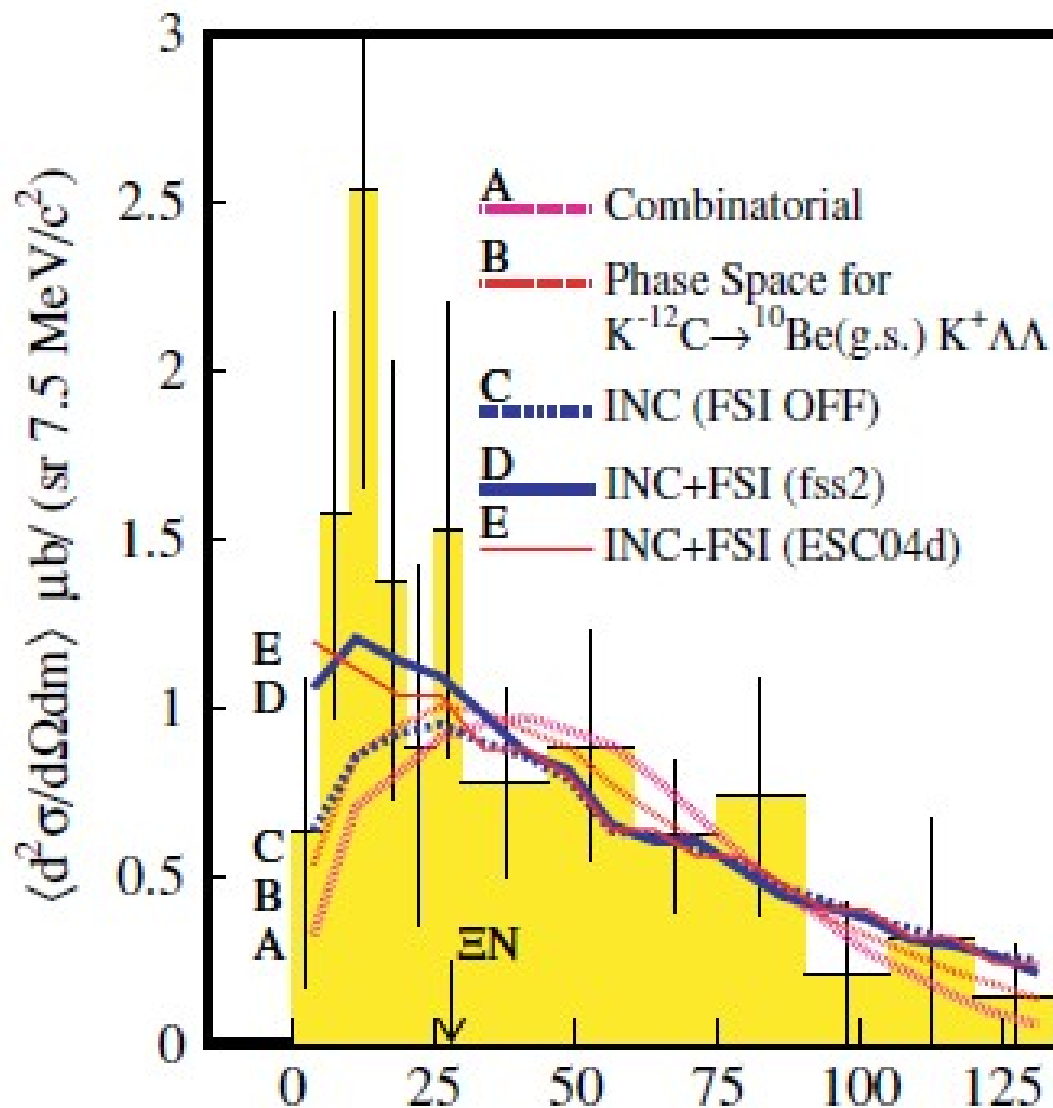
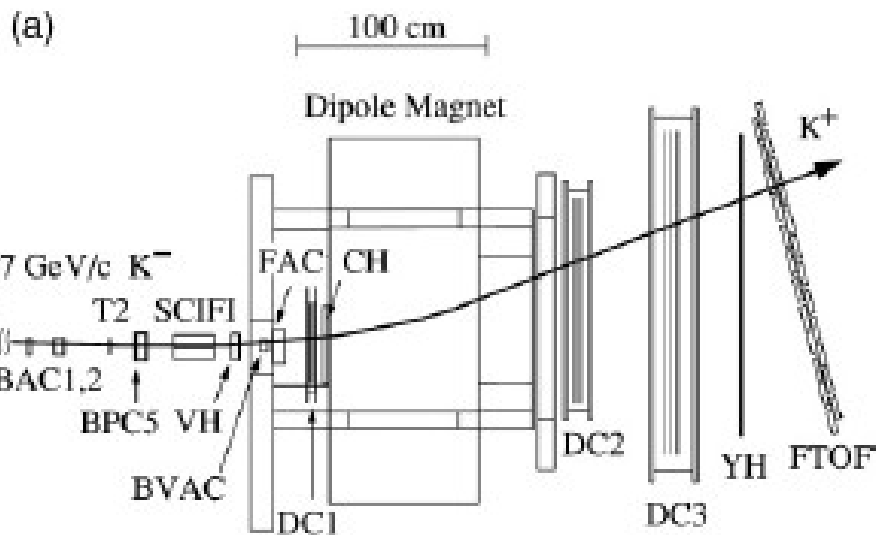
$KK, K\omega, K\rho \rightarrow ?$

How to measure Unstable-Unstable Interaction ?

# Example: $\Lambda\Lambda$ interaction through FSI

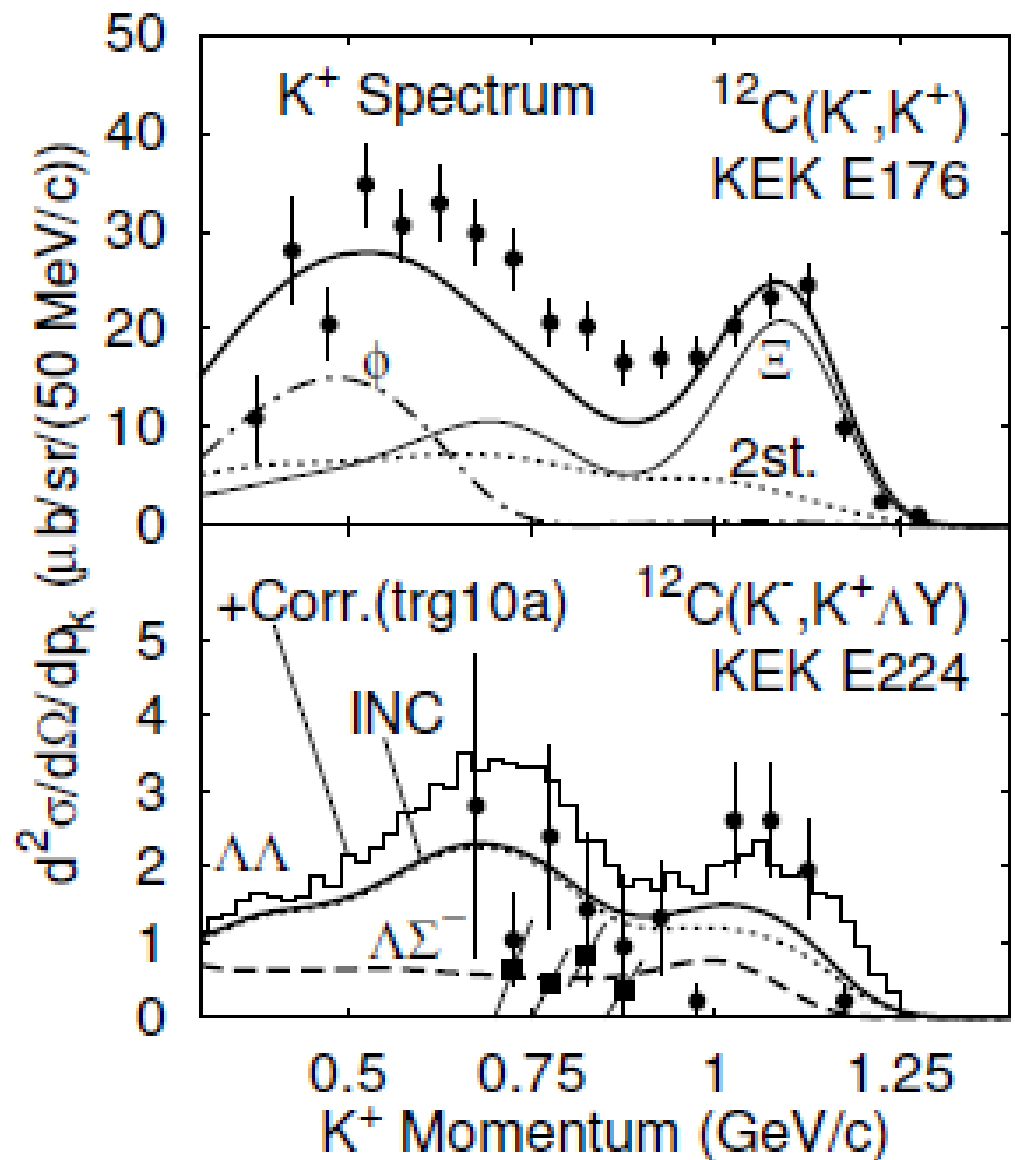
Yoon et al. (KEK-PS E522 Collab.), PRC75('07),022201(R)

- $^{12}\text{C}(\text{K}^-, \text{K}^+) + \text{SciFi}$   
→  $\Lambda\Lambda$  invariant mass spectrum
- Not Inconsistent with  
Cascade Source Func.  
+ FSI (fss2, ESC04d)  
or H dibaryon as a resonance  
(significance  $\sim 2\sigma$ )



# $\Lambda\Sigma$ interaction through FSI

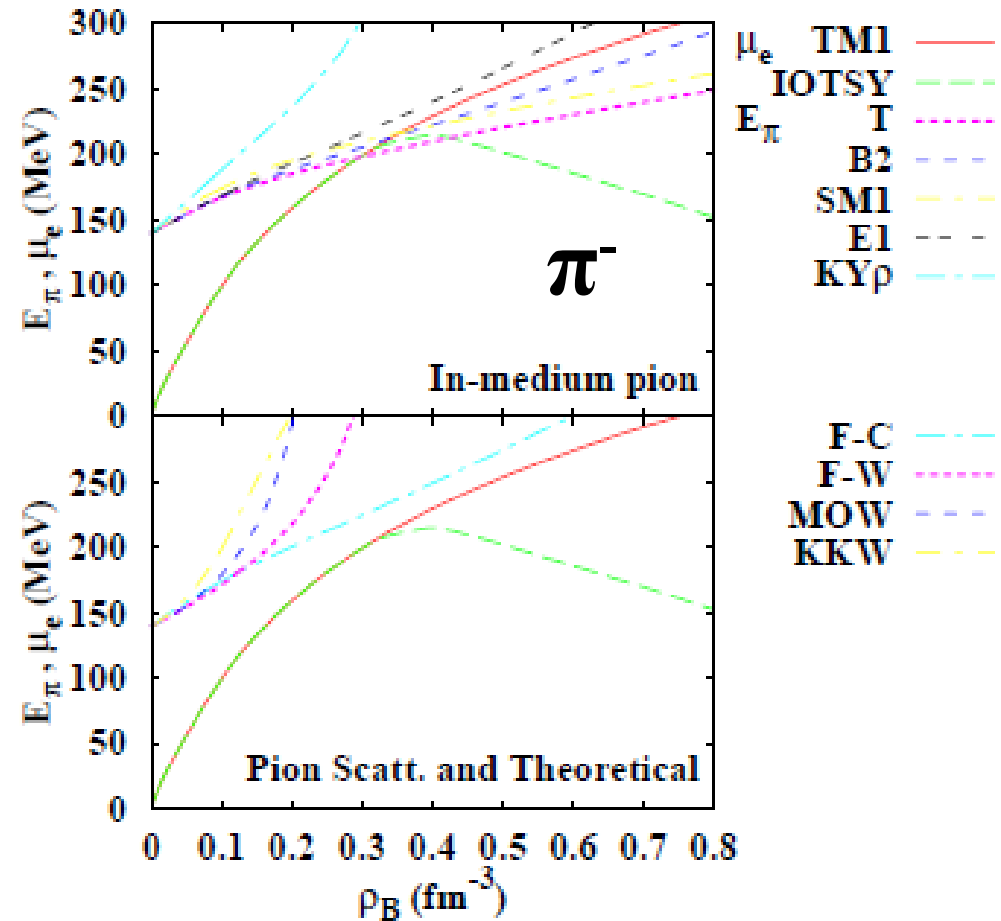
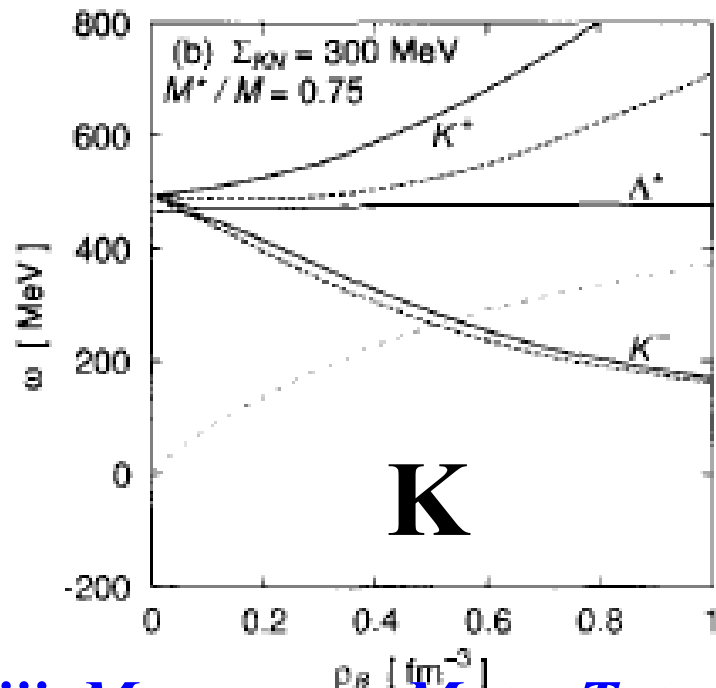
- $\Sigma^-$  may not appear in neutron stars (repulsive  $\Sigma N$ ), but we do not know  $\Sigma$  pot. in HYPERONIC matter.
- Can we measure it thru FSI ?  
Statistically, Yes  
E.g. KEK E224 (Ahn et al.)  
→  $\sigma(\Lambda\Sigma^-) \sim \sigma(\Lambda\Lambda) \times (0.2-0.3)$
- Problems
  - Low  $P(K^+)$  (many prongs)
  - Small Yield



*Nara et al., 1997 / AO et al., 2000*

# Kaons in Neutron Star

- Assuming that Deeply Bound Kaonic Nuclei are found in Day 1
  - $\rightarrow V(K^-, \rho_0) \sim -(150-200) \text{ MeV}$
  - $\rightarrow$  Possibility of Kaon Cond.
- s-wave  $\pi$  cond. is sensitive to density dep. of  $b_1$ , and existence of hyperons



Fujii, Maruyama, Muto, Tatsumi, 1996

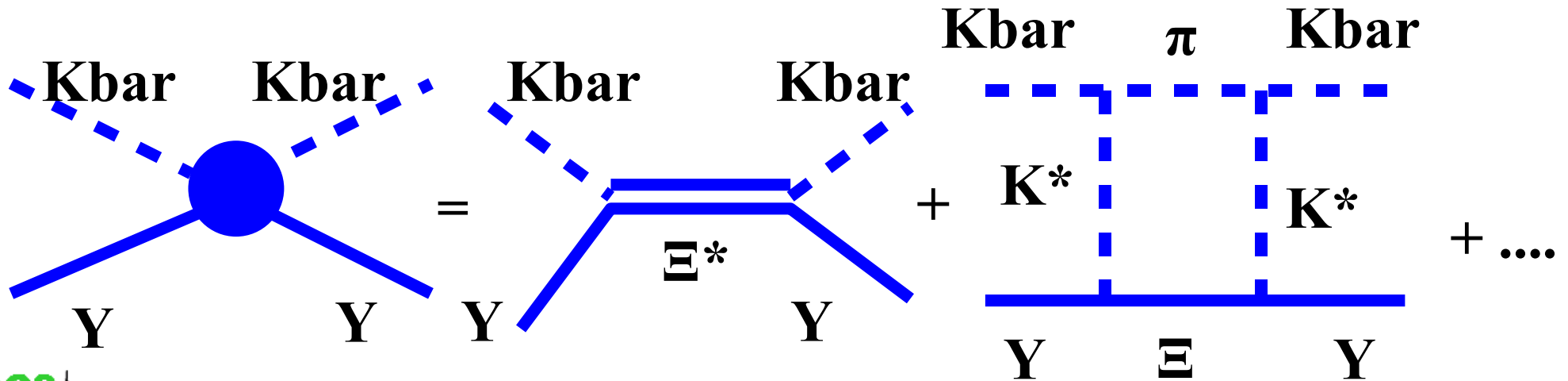
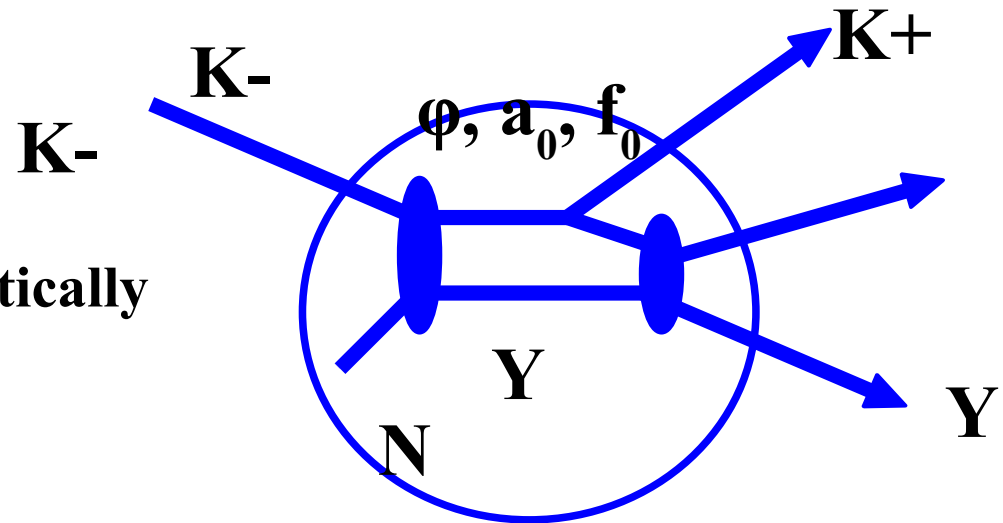
AO, Jido, Sekihara, Tsubakihara, in prep.



# *Kbar-Y interaction*

- Resonance Search in  $\Xi^*$  Channel  $\rightarrow$  Not well explored  
... Chances of Discovery of many resonances
- $P(K^+) \sim 1$  GeV region  $\rightarrow \Xi^*$  production, 2 step, Heavy-Meson Decay
- Problem

- Limited type of diagram  
 $\rightarrow$  Smaller Yield
- 1.8 GeV  $K^-$  may not be energetically enough to produce  $Kbar Y$



# Summary

- ハドロン物理学の大目標 ( の一つ )  
= QCD から出発して、クォーク・ハドロン多体系を理解すること
- Day 1 実験 @J-PARC  
= Y, Kbar, 中間子と原子核の相互作用、エキゾチックハドロン
- 高密度天体の理解に必要なさらなる実験 = Hyperon-Hadron Int.
  - $\Lambda\Lambda, \Lambda\Sigma$  はおそらく可能
  - Y Kbar 相互作用と  $\Xi$  共鳴  
= Challenging and Valuable
  - S=-3 はどうするか?  
( 静止  $\Omega^-$  からの Triple  $\Lambda$  ? )
  - Hyperon 物質内ハドロン?
- Largest Problem = Small Yield  
→ Dedicated Exp't よりもむしろ  
Min. Bias Exp't  
「終状態相互作用で測れるものは  
全て測る」観測機

