

# ショートトーク

格子 QCD と J-PARC のハイペロン相互作用方面

根村英克

理化学研究所仁科加速器研究センター  
肥山ストレンジネス核物理研究室

# – 依頼内容

## ⊗ YN, YY 相互作用について

- ⊗ 格子 QCD で正しく出たら、何ができるか？
- ⊗ 5年後、10年後の実験へ向けて、  
こんな実験をやって欲しいという要請
- ⊗ 現象論への可能なインパクト

## - YN, YY 相互作用について

### ⊗ 格子 QCD で正しく出たら、何ができるか？

#### ⊗ 今やっていること。

⊗ 最低エネルギーの散乱状態を格子 QCD で計算

⊗ 散乱パラメータ（散乱長）

⊗ ハイペロンポテンシャル (S-wave)  
(テンソル力への拡張は可能)

#### ⊗ 近い将来できること（現実的クォーク質量で）

⊗ まず NN が正しく出ることを確認。  
(散乱長、有効距離、重陽子、)

⊗  $\Lambda$  N の格子 QCD の結果（散乱長、有効距離）が、  
軽いハイパー核のデータ ( $\Lambda^3\text{H}$ ,  $\Lambda^4\text{H}$ ,  $\Lambda^4\text{He}$ ) と  
矛盾しないか？

#### ⊗ やらなくてはいけないこと

⊗ ハイパー核の構造計算に使えるポテンシャルにする  
には、テンソル+スピン軌道力+  $\Lambda$  N -  $\Sigma$  N 結合  
が必要

## - YN, YY 相互作用について

- ⊗ 5年後、10年後の実験へ向けて、こんな実験をやって欲しいという要請
  - ⊗ 散乱実験
  - ⊗ Charge symmetry breaking
  - ⊗ 磁気モーメントの測定
  - ⊗  $S=-2$  を超えた超ハイパー核探索

# - YN, YY 相互作用について

## ⊗ 現象論への可能なインパクト

⊗ 格子 QCD は、ハイパー核物理にとって非常に強力なツールになりえる。

⊗ 長年のもやもやした問題が解決

⊗  $\Lambda$  n のスピン依存性

⊗  $\Sigma$  N の強い斥力

⊗  $\Lambda\Lambda$  と H-dibaryon 状態

⊗ N  $\Xi$  相互作用 (引力? 斥力?)

⊗ よりエキゾチックな系への展開

⊗ NN から  $\Xi\Xi$  ( $\Omega\Omega$ ?) まで

⊗ S=-2 を超えた超ハイパー核

⊗  $\Lambda\Lambda\Xi$  ハイパー核?



# FY calculation with and w/o 3NF

- Three nucleon force does not change the  $B_{\Lambda}$  so much.
- A. Nogga, *et al.*, PRL**88**, 172501 (2002).

TABLE II.  $NN$  and  $3N$  interaction dependence of the  ${}^4_{\Lambda}\text{He}$  SE's  $E_{\text{sep}}^{\Lambda}$  and the  $0^+ - 1^+$  splitting  $\Delta$ . We show results for different combinations of  $YN$ ,  $NN$ , and  $3N$  forces ( $YNF$ ,  $NNF$ , and  $3NF$ ). All energies are given in MeV.

$YNF$	$NNF$	$3NF$	$E_{\text{sep}}^{\Lambda}(0^+)$	$E_{\text{sep}}^{\Lambda}(1^+)$	$\Delta$
SC97e	Bonn $B$	...	1.66	0.80	0.84
SC97e	Nijm 93	...	1.54	0.72	0.79
SC97e	Nijm 93	TM	1.56	0.70	0.82
SC89	Bonn $B$	...	2.25	...	...
SC89	Nijm 93	...	2.14	0.02	2.06
SC89	Nijm 93	TM	2.19	...	...

# Results of SVM

⊗ *Ab initio* calculation for the complete set of *s*-shell hypernuclei

⊗ H. N., *et al.*, PRL**89**, 142504 (2002).

TABLE I.  $\Lambda$  separation energies, given in units of MeV, of  $A = 3-5$   $\Lambda$  hypernuclei for different  $YN$  interactions. The scattering lengths, given in units of fm, of  $^1S_0(a_s)$  and  $^3S_1(a_t)$  states are also listed.

$YN$	$a_s$	$a_t$	$B_\Lambda(^3\Lambda\text{H})$	$B_\Lambda(^4\Lambda\text{H})$	$B_\Lambda(^4\Lambda\text{H}^*)$	$B_\Lambda(^4\Lambda\text{He})$	$B_\Lambda(^4\Lambda\text{He}^*)$	$B_\Lambda(^5\Lambda\text{He})$
SC97d(S)	-1.92	-1.96	0.01	1.67	1.20	1.62	1.17	3.17
SC97e(S)	-2.37	-1.83	0.10	2.06	0.92	2.02	0.90	2.75
SC97f(S)	-2.82	-1.72	0.18	2.16	0.63	2.11	0.62	2.10
SC89(S)	-3.39	-1.38	0.37	2.55	Unbound	2.47	Unbound	0.35
Experiment			$0.13 \pm 0.05$	$2.04 \pm 0.04$	$1.00 \pm 0.04$	$2.39 \pm 0.03$	$1.24 \pm 0.04$	$3.12 \pm 0.02$

TABLE II. Probabilities, given in percentage, of finding a  $\Sigma$  particle in  $A = 3-5$   $\Lambda$  hypernuclei for different  $YN$  interactions.

$YN$	$P_\Sigma(^3\Lambda\text{H})$	$P_\Sigma(^4\Lambda\text{H})$	$P_\Sigma(^4\Lambda\text{H}^*)$	$P_\Sigma(^4\Lambda\text{He})$	$P_\Sigma(^4\Lambda\text{He}^*)$	$P_\Sigma(^5\Lambda\text{He})$
SC97d(S)	0.06	1.27	1.37	1.24	1.35	2.04
SC97e(S)	0.15	1.49	0.98	1.45	0.96	1.55
SC97f(S)	0.23	1.88	1.09	1.83	1.08	1.87
SC89(S)	0.65	3.73	Unbound	3.59	Unbound	1.33



# CSB between ${}_{\Lambda}^4\text{H}$ and ${}_{\Lambda}^4\text{He}$

$$\Delta B_{\Lambda} = B_{\Lambda}({}_{\Lambda}^4\text{He}) - B_{\Lambda}({}_{\Lambda}^4\text{H}) = 0.35 \pm 0.07 \text{ MeV} \quad ,$$

$$\Delta B_{\Lambda}^* = B_{\Lambda}({}_{\Lambda}^4\text{He}^*) - B_{\Lambda}({}_{\Lambda}^4\text{H}^*) = 0.24 \pm 0.15 \text{ MeV} .$$

⊗ Only the Coulomb gives opposite sign.

⊗ See  $\Delta V_{NN,C}^{\text{CSB}}$  and  $\Delta V_{YN,C}^{\text{CSB}}$  in Table V by Nogga, *et al.*

⊗ Origin of CSB

⊗ Mass difference among  $(\Sigma^+, \Sigma^0, \Sigma^-)$

⊗  $\Lambda$ - $\Sigma^0$  mixing

⊗ “One has to conclude that none of the present day meson-theoretical Nijmegen  $YN$  forces describes the  $0^+$  state energies, the  $0^+$ - $1^+$  spin splittings and the differences in the SE's for  ${}_{\Lambda}^4\text{He}$  and  ${}_{\Lambda}^4\text{H}$  correctly.”

⊗ “Therefore our  $\Delta_{\text{CSB}}$  results seem to support a large  $\Sigma$  component in the WF.”

A. Nogga, *et al.*, PRL**88**, 172501 (2002).

# CSB between ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ and ${}^4_{\Lambda}\text{He}$

## ⊗ FY calculations

⊗ A. Nogga, *et al.*, PRL**88**, 172501 (2002).

TABLE IV. CSB splitting of the  ${}^4_{\Lambda}\text{He}$ - ${}^4_{\Lambda}\text{H}$  mirror nuclei. We show SE's  $E_{\text{sep}}^{\Lambda}$  and the CSB splitting  $\Delta_{\text{CSB}}$  of the SC89 and SC97*e* potential models (*YNF*). The first three rows compare  $0^+$  state results to the experimental values, the last two  $1^+$  states results. The calculations are based on Nijm 93; the *3NF* has been neglected. All energies are given in MeV.

$J^{\pi}$	<i>YNF</i>	$E_{\text{sep}}^{\Lambda}({}^4_{\Lambda}\text{He})$	$E_{\text{sep}}^{\Lambda}({}^4_{\Lambda}\text{H})$	$\Delta_{\text{CSB}}$
$0^+$	SC97 <i>e</i>	1.54	1.47	0.07
	SC89	2.14	1.80	0.34
	Expt.	2.39(3)	2.04(4)	0.35
$1^+$	SC97 <i>e</i>	0.72	0.73	-0.01
	Expt.	1.24(5)	1.00(6)	0.24

# CSB between $\Lambda^4\text{H}$ and $\Lambda^4\text{He}$

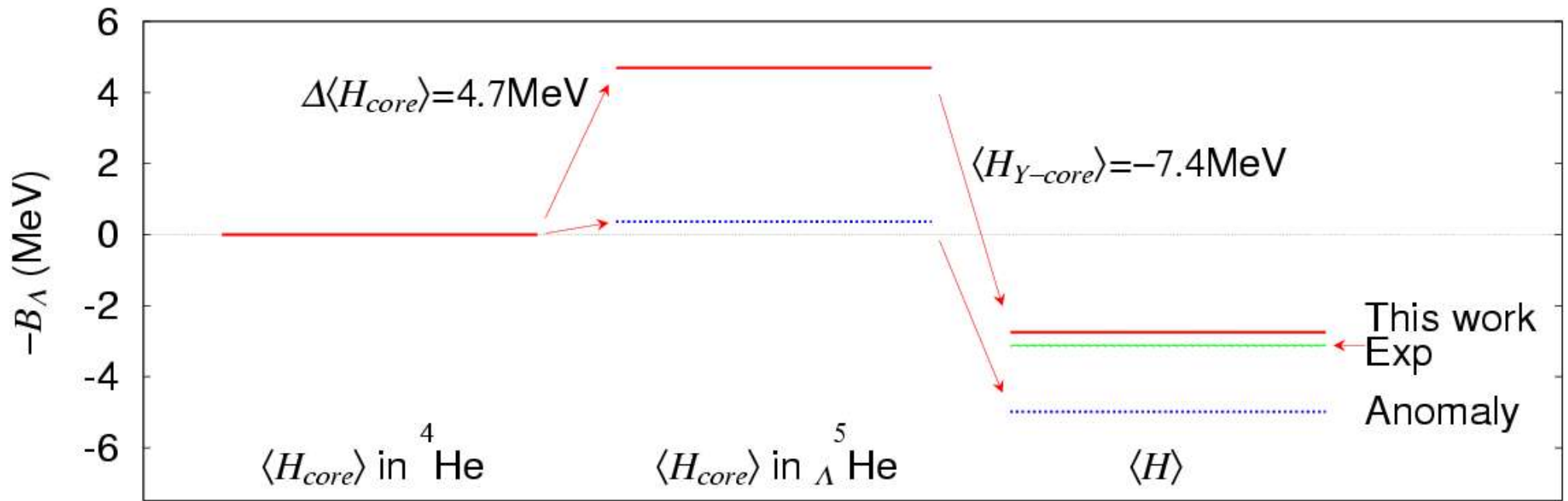
## ⊗ FY calculations

⊗ A. Nogga, *et al.*, PRL**88**, 172501 (2002).

TABLE V. Perturbative calculation of the CSB splitting of  ${}^4_\Lambda\text{He}$  and  ${}^4_\Lambda\text{H}$  SE's in the  $0^+$  states. See text for explanations of the various parts. The results are based on the SC89 or SC97e  $YN$  force (YNF) and on Nijm 93. The  $3NF$  has been neglected. All energies are given in keV.

$YNF$	$\Delta T^{\text{CSB}}$	$\Delta V_{NN,C}^{\text{CSB}}$	$\Delta V_{YN,\text{nucl.}}^{\text{CSB}}$	$\Delta V_{YN,C}^{\text{CSB}}$
SC89	132	-9	255	-27
SC97e	47	-9	44	-7

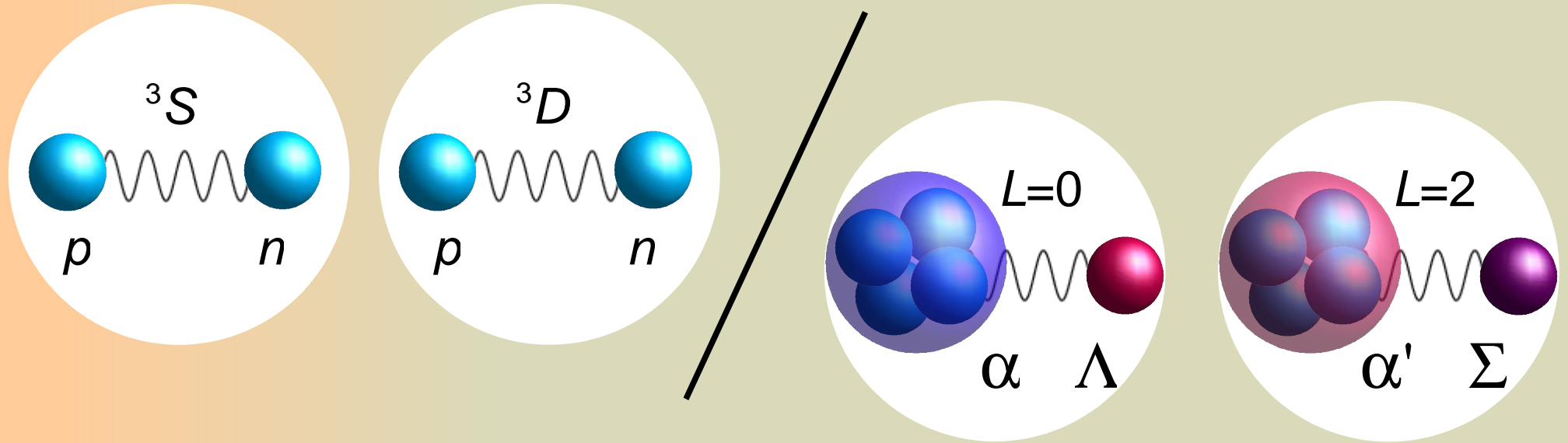
# Rearrangement effect of $\Lambda^5\text{He}$



$$H = \sum_{i=1}^A \left( m_i c^2 + \frac{\mathbf{p}_i^2}{2} m_i \right) - T_{CM} + \sum_{i<j}^{A-1} v_{ij}^{(NN)} + \sum_{i=1}^{A-1} v_{iY}^{(NY)} = H_{\text{core}} + H_{Y\text{-core}} ,$$

$$H_{\text{core}} = \sum_{i=1}^{A-1} \frac{\mathbf{p}_i^2}{2} m_N - \frac{\left( \sum_{i=1}^{A-1} \mathbf{p}_i \right)^2}{2(A-1)m_N} + \sum_{i<j}^{A-1} v_{ij}^{(NN)} = T_{\text{core}} + V_{NN} .$$

# Comparison between $d=p+n$ and $\text{core}+Y$



	$\langle T_S \rangle$	$\langle T_D \rangle$	$\langle V_{NN}(\text{central}) \rangle$	$\langle V_{NN}(\text{tensor}) \rangle$	$\langle V_{NN}(\text{LS}) \rangle$
	(MeV)	(MeV)	(MeV)	(MeV)	(MeV)
AV8	8.57	11.31	-4.46	-16.64	-1.02
G3RS	10.84	5.64	-7.29	-11.46	0.00
	$\langle T_{Y-c} \rangle_{\Lambda}$	$\langle T_{Y-c} \rangle_{\Sigma} + \Delta \langle H_c \rangle$	$\langle V_{YN}(\text{のこり}) \rangle$	$2 \langle V_{\Lambda N - \Sigma N}(\text{tensor}) \rangle$	
${}^5_{\Lambda}\text{He}$	9.11	3.88+4.68	-0.86	-19.51	
${}^4_{\Lambda}\text{H}^*$	5.30	2.43+2.02	0.01	-10.67	
${}^4_{\Lambda}\text{H}$	7.12	2.94+2.16	-5.05	-9.22	