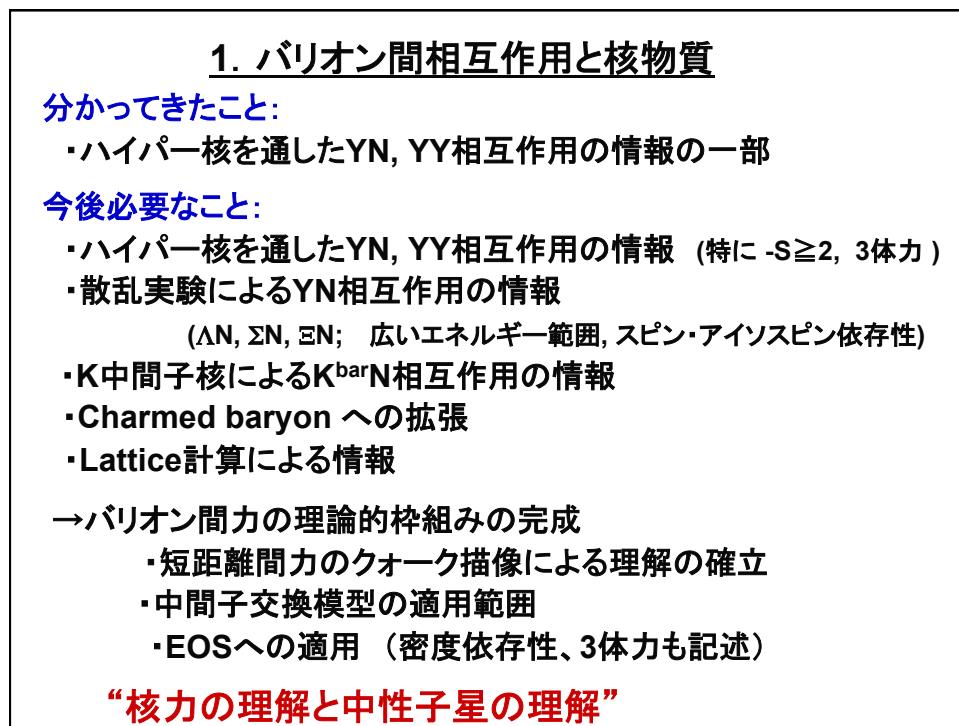
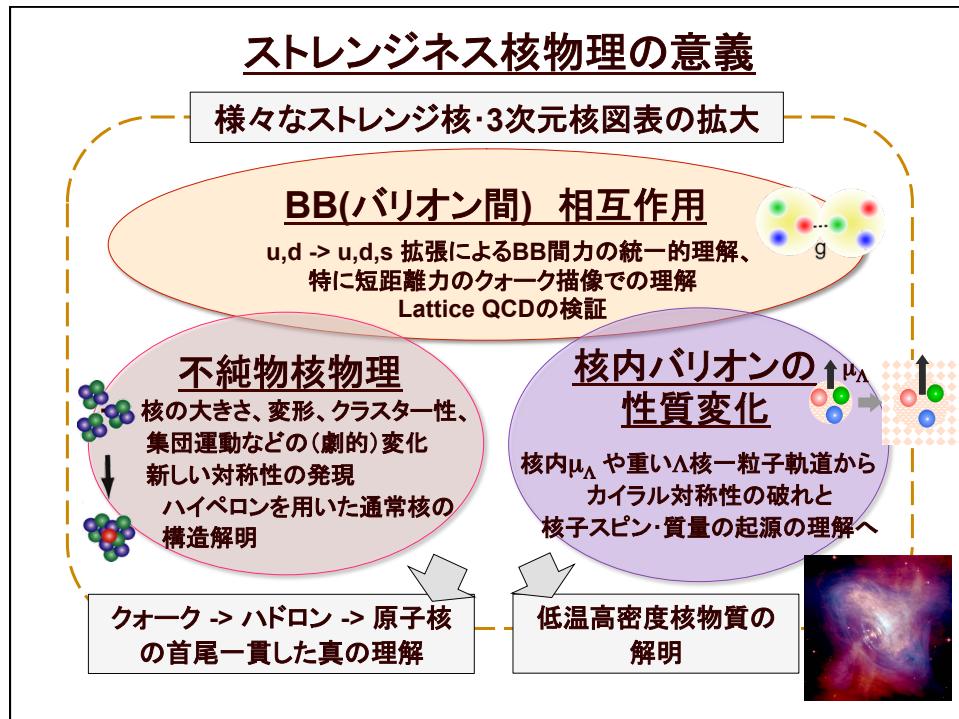


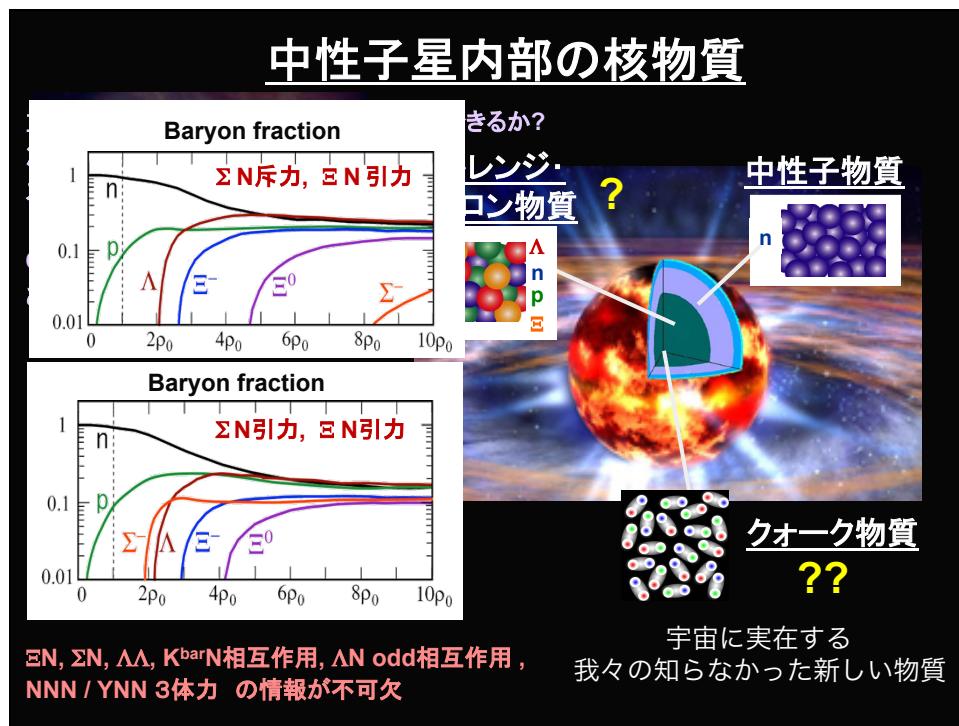
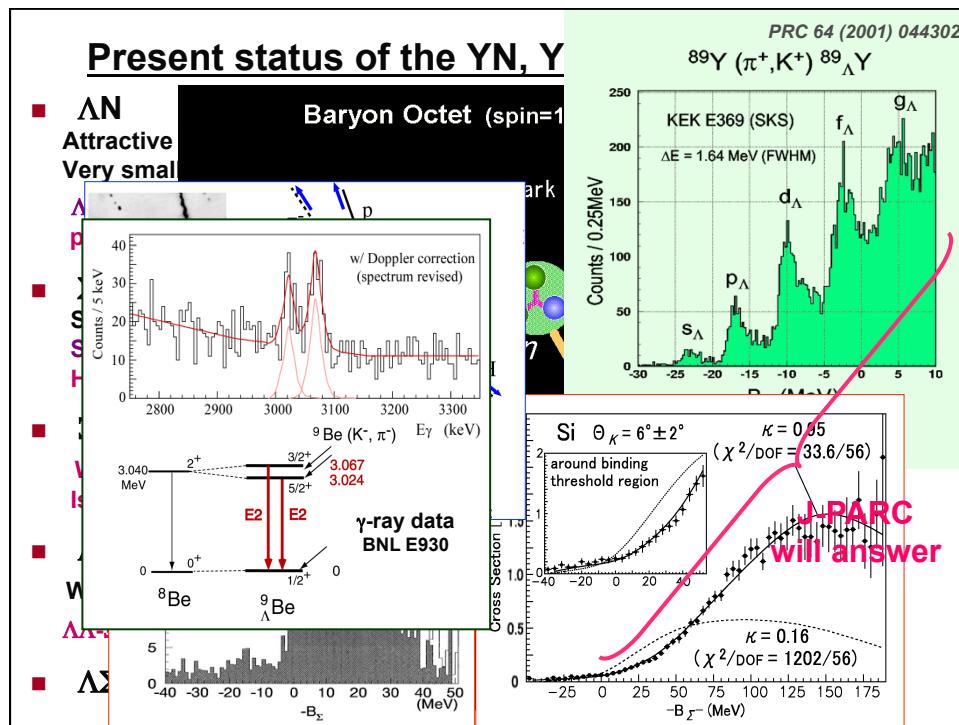
# ストレンジネス核物理 の現状と展望

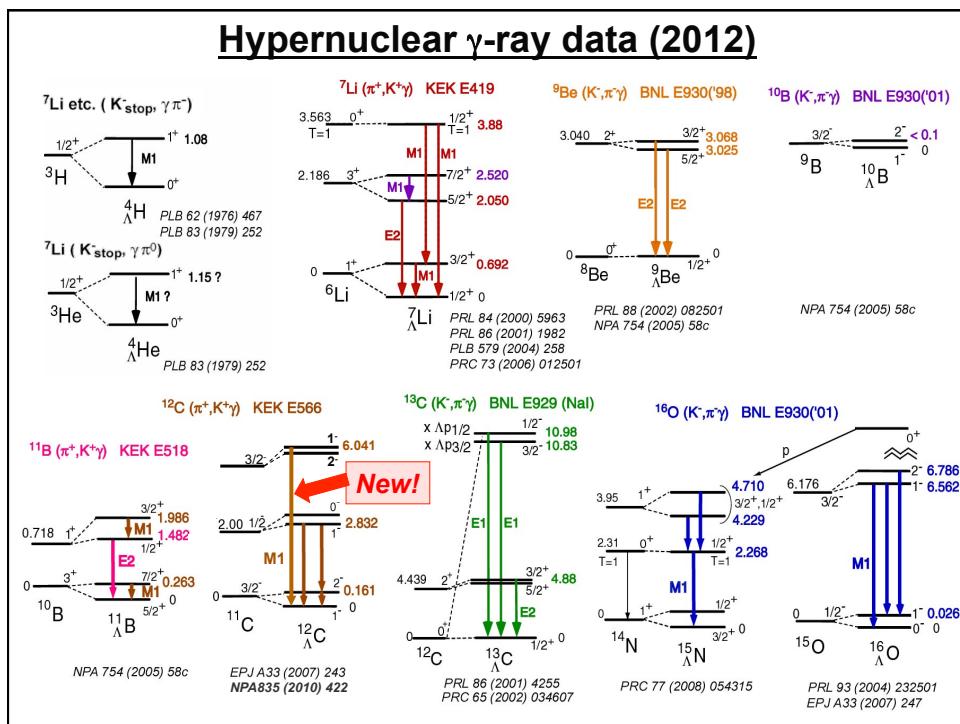
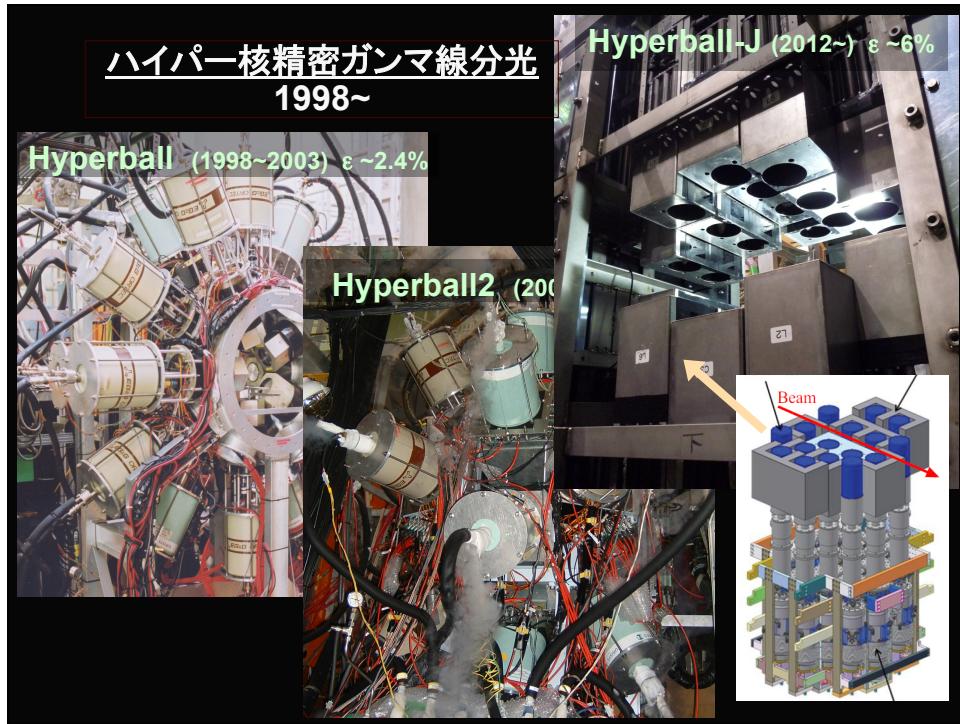
東北大学理学研究科 田村裕和  
Tohoku University  
H. Tamura

## Contents

1. バリオン間相互作用と核物質  
ハイパー核の精密構造とYN散乱
2. 核内ハドロン  
核内 $\Lambda$ のg因子と $\Lambda$ 单一粒子軌道
3. 核構造  
 $\Lambda$ の不純物効果
4. おわりに







## $\Lambda N$ スピン依存相互作用

### Two-body $\Lambda N$ effective interaction

Dalitz and Gal, Ann. Phys. 116 (1978) 167  
Millener et al., Phys. Rev. C31 (1985) 499

$$V_{\Lambda N}^{\text{eff}} = V_0(r) + V_\sigma(r) \vec{s}_\Lambda \vec{s}_N + V_\Delta(r) \vec{\lambda}_{\Lambda N} \vec{s}_\Lambda + V_N(r) \vec{\lambda}_{\Lambda N} \vec{s}_N + V_T(r) \vec{s}_{12}$$

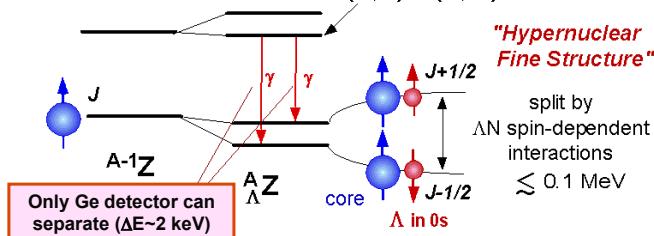
$\bar{V}$        $\Delta$        $S_\Lambda$        $S_N$        $T$

even known  
from  $U_\Lambda = -30$  MeV

p-shell: 5 radial integrals for  $s_\Lambda p_N$  w.f.

$$\Delta = \int V_\sigma(r) |u(r)|^2 r^2 dr, \quad r = r_{s_\Lambda} - r_{p_N}$$

(K,  $\pi^+$ ) or ( $\pi^+, K^+$ )



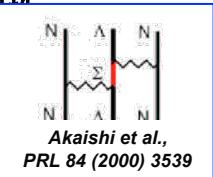
$\gamma$ -線データ =>  $\Delta = 0.33$  (0.43 for  $A=7$ ),  $S_\Lambda = -0.01$ ,  $S_N = -0.4$ ,  $T = 0.03$  [MeV]  
すべてのスピン依存力が小さいことが確立

## ハイパー核レベルエネルギーの再現

Millener's parameter set

$A=7 \sim 9 \quad \Delta = 0.430 \quad S_\Lambda = -0.015 \quad S_N = -0.390 \quad T =$

$A=10 \sim 16 \quad \Delta = 0.330 \quad S_\Lambda = -0.015 \quad S_N = -0.350 \quad T =$



Calculated from G-matrix using  $\Lambda N$ - $\Sigma N$  force in NSC97f

doublet spacing

contribution of each term (keV)

KeV

	$J_u^\pi$	$J_l^\pi$	$\Delta\Sigma$	$\Delta$	$S_\Lambda$	$S_N$	$T$	$\Delta E^{\text{th}}$	$\Delta E^{\text{exp}}$
$^7_Li$	$3/2^+$	$1/2^+$	72	628	-1	-4	-9	693	692
$^7_ALi$	$7/2^+$	$5/2^+$	74	557	-32	-8	-71	494	471
$^8_ALi$	$2^-$	$1^-$	151	396	-14	-16	-24	450	(442)
$^9_ALi$	$5/2^+$	$3/2^+$	116	530	-17	-18	-1	589	
$^9_AN$	$3/2_2^+$	$1/2^+$	-80	231	-13	-13	-93	-9	
$^9_ABe$	$3/2^+$	$5/2^+$	-8	-14	37	0	28	44	43
$^{10}_AB$	$2^-$	$1^-$	-15	188	-21	-3	-26	120	< 100
$^{11}_AB$	$7/2^+$	$5/2^+$	56	339	-37	-10	-80	267	264
$^{11}_AC$	$3/2^+$	$1/2^+$	61	424	-3	-44	-10	475	505
$^{12}_AC$	$2^-$	$1^-$	61	175	-12	-13	-42	153	161
$^{15}_AN$	$1/2_1^+$	$3/2_1^+$	44	244	34	-8	-214	99	
$^{15}_AN$	$3/2_2^+$	$1/2_2^+$	65	451	-2	-16	-10	507	481
$^{16}_AO$	$1^-$	$0^-$	-33	-123	-20	1	188	23	26
$^{16}_AO$	$2^-$	$1_2^-$	92	207	-21	1	-41	248	224

D.J. Millener, J.Phys.Conf.Ser. 312 (2011) 022005

## $\Lambda N$ スピン依存相互作用

- Two-body  $\Lambda N$  effective interaction Dalitz and Gal, Ann. Phys. 116 (1978) 167  
Millener et al., Phys. Rev. C31 (1985) 499

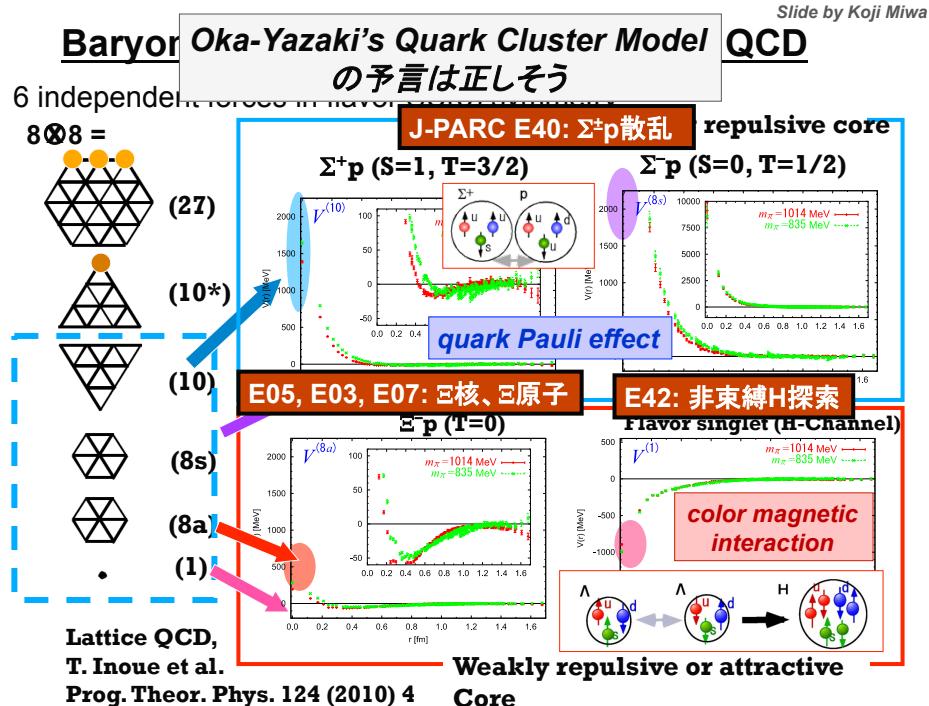
$$V_{\Lambda N}^{\text{eff}} = V_0(r) + V_\sigma(r) \bar{s}_\Lambda \bar{s}_N + V_\Lambda(r) \bar{t}_{\Lambda N} \bar{s}_\Lambda + V_N(r) \bar{t}_{\Lambda N} \bar{s}_N + V_T(r) s_{12}$$

$\bar{V}$        $\Delta$        $S_\Lambda$        $S_N$        $T$

- Feedback to BB interaction models thru G-matrix calc. (Millener)

Nijmegen models  
(中間子交換)

	$\Delta$	$S_\Lambda$	$S_N$	$T$	(MeV)
ND	-0.048	-0.131	-0.264	0.018	
	0.072	-0.175	-0.266	0.033	
	1.052	-0.173	-0.292	0.036	
	0.421	-0.149	-0.238	0.055	
	0.381	-0.108	-0.236	0.013	
	0.146	-0.074	-0.241	0.055	
	Exp.	0.4	0.0	-0.4	
					LS force:
					All Nijmegen models fail.
					Quark model looks OK.

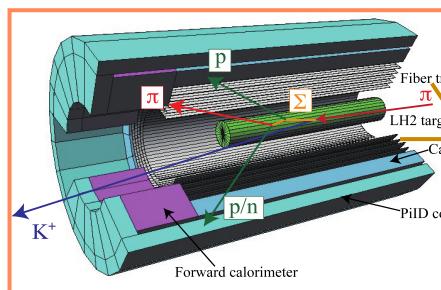
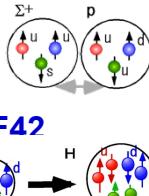


## 斥力芯の起源を解明する

Oka-Yazaki's QCM: (confirmed by Lattice)

■ Quark Pauli effect ---  $\Sigma^+ p$  interaction **E40**

■ Color magnetic interaction – H diquarkon **F42**



J-PARC E40 (Miwa et al.)  
 $\Sigma p$  Scattering Experiment

MPPC+Sci.fiber

- $\Sigma^+$  production by  
1.3 GeV/c  $\pi^+ p \rightarrow K^+ \Sigma^+$
- $\Sigma^+$  track not directly measured
- Measure proton momentum vector  
→ kinematically complete

⇒  $d\sigma/d\Omega$  for  $\Sigma^+ p$ ,  $\Sigma^- p$ ,  $\Sigma^- p \rightarrow \Lambda n$   
( $p_\Sigma = 400\text{-}700 \text{ MeV}/c$ )

=> Phase shift of  ${}^3S_1$  channel      => confirm quark Pauli effect

## 2. 核内バリオンの振る舞い

分かったこと:

- ・ハイパー核内での大まかな $\Lambda$ 单一粒子軌道

今後必要なこと:

- ・ $\Lambda$ ハイパー核を用いた核内バリオンの性質変化  
g因子、 $\Lambda$ 弱崩壊率 spin-flip B(M1), weak decay, ...
- ・ $\Lambda$ ハイパー核を用いた核内粒子軌道の精密研究  
平均場理論の精密テスト、LS分岐の起源、  
重い $\Lambda$ 核にいたる詳細なレベル

→ 平均場とそこでのバリオンの振る舞いの理解

→ バリオンの質量やスピン、構造の理解への手がかり

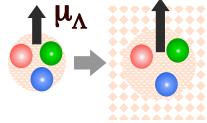
**“原子核とハドロンの理解の深化”**

## 核内 $\Lambda$ の磁気モーメント

カイラル対称性の部分的回復で変化するか？

$$\mu_q = \frac{e\hbar}{2m_q c} \quad m_q: \text{Const. quark mass}$$

$m_q$ は核内で減少  $\rightarrow \mu$ は増加？



$\rightarrow$  constituent quarkとは？スピンの起源は？の理解の手がかり

### $\Lambda$ -スピン反転 M1 遷移の遷移確率 $B(M1)$

$$\begin{aligned} B(M1) &= (2J_{up} + 1)^{-1} |\langle \Psi_{low} \parallel \mu \parallel \Psi_{up} \rangle|^2 \\ &= (2J_{up} + 1)^{-1} |\langle \Psi_{\Lambda\downarrow} \Psi_c \parallel \mu \parallel \Psi_{\Lambda\uparrow} \Psi_c \rangle|^2 \\ &\quad \mu = g_c J_c + g_\Lambda J_\Lambda = g_c J + (g_\Lambda - g_c) \\ &= \frac{3}{8\pi} \frac{2J_{low} + 1}{2J_c + 1} (g_\Lambda - g_c)^2 \quad [\mu_N^2] \quad \Lambda\text{スピンによる } g_c \text{ の変化は小さい} \end{aligned}$$

$$\Gamma = BR / \tau = \frac{16\pi}{9} E_\gamma^3 B(M1)$$

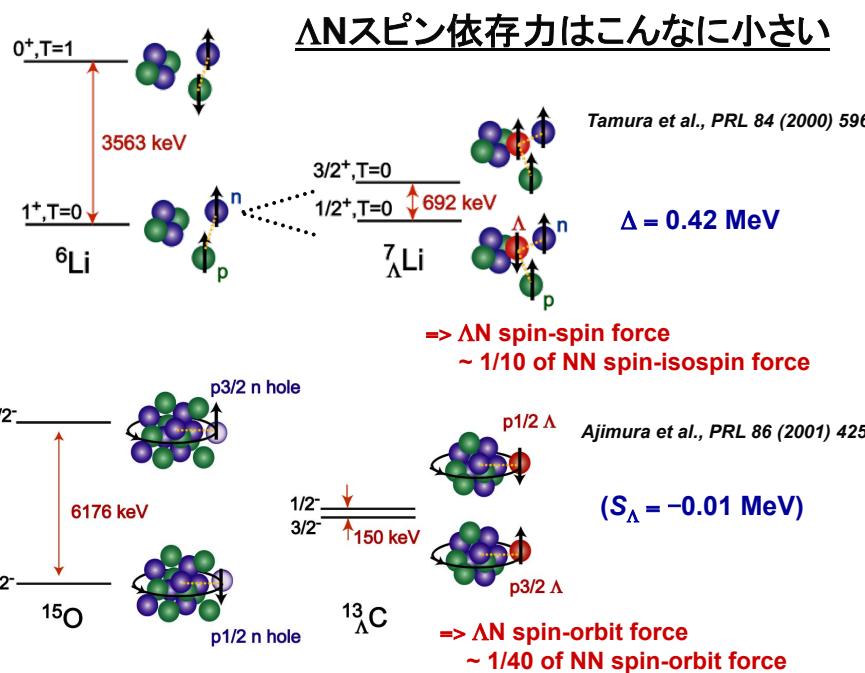
Doppler Shift  
Attenuation Method

Prelim. data for  ${}^7\Lambda\text{Li}(3/2^+ \rightarrow 1/2^+)$  (BNL E930, M.Ukai)

$$g_\Lambda = -1.1^{+0.6}_{-0.4} \mu_N \leftrightarrow g_\Lambda(\text{free}) = -1.226 \mu_N$$

J-PARC E13 (Tamura et al.)  
 $\gamma$  spectroscopy of light  $\Lambda$  hypernuclei

$\Delta|g_\Lambda - g_c| \sim 3\%$  for  ${}^7\Lambda\text{Li}$ ,  $\sim 10\%$  for  ${}^{19}\Lambda\text{F}$   
その後アイソスピン、密度依存性



## Λの単一粒子軌道の測定

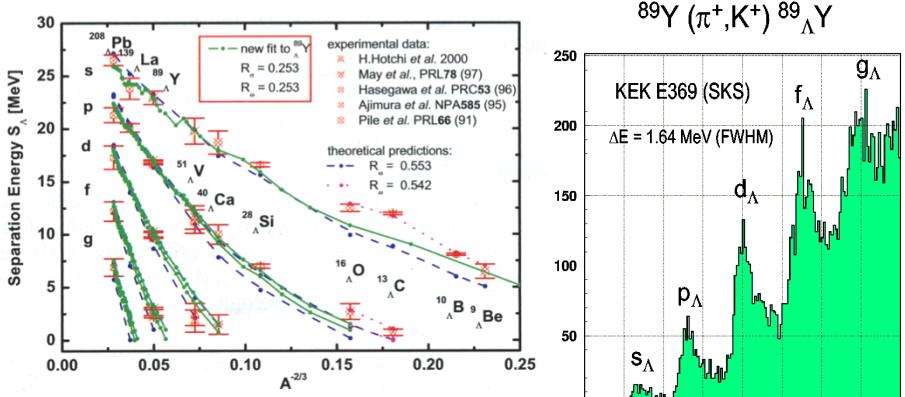


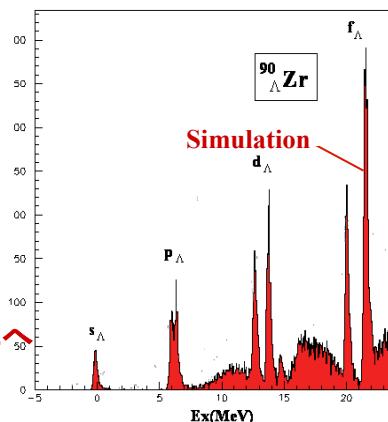
Fig. 2. DDRH results for separation energies of single- $\Lambda$  hypernuclei.

- $E(s_\Lambda, p_\Lambda, d_\Lambda, f_\Lambda, \dots) < 0.1$  MeV accuracy  
High resolution ( $\pi^+, K^+$ , ( $e, e' K^+$ )
- $E(s_\Lambda) - E(p_\Lambda), E(p_{1/2\Lambda}) - E(p_{3/2\Lambda}) < 0.01$  MeV accuracy  
 $\gamma$  spectroscopy for  $E1(p_\Lambda \rightarrow s_\Lambda)$

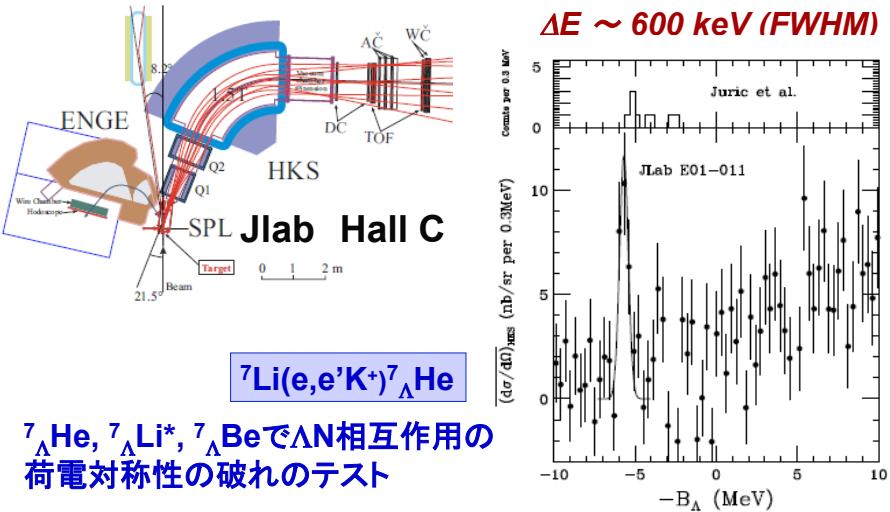
## Λ单一粒子軌道の精密データから何がわかるか

- “单一粒子軌道”の起源の理解  
平均場と有効相互作用の物理的・定量的理解
- LS splittingの起源の定量的理解  
(2体 LS力、テンソル力、多体相関?)
- 物理的理解に基づく正確なEOSの確立  
→高密度核物質の理解
- 核内バリオンと核内バリオン間力の媒質効果の影響

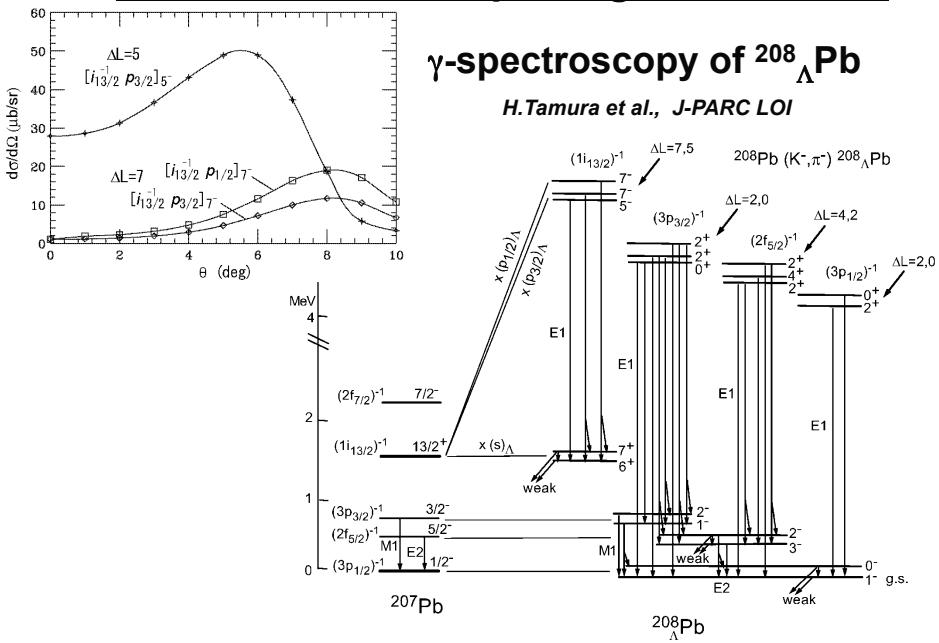
=> 原子核とハドロンのより深い理解へ



## (e,e'K<sup>+</sup>) spectroscopy @ Jlab



## ガンマ線による LS splittingの精密測定へ



### 3. 不純物効果を用いた核構造の研究

分かったこと:

- ・ $\Lambda$ による核収縮効果 ( $^7\Lambda\text{Li}$ )



今後必要なこと:

- ・「不純物効果」(収縮、ハローの消失、クラスター・球形転換、変形や集団運動の変化) の系統的研究
- ・ $\Lambda$ 応答を用いた通常核の構造の理解  
詳細なレベル構造, B(E2), 生成断面積, ...



-> 核構造の理解、核構造理論の進化

**“原子核構造の理解の深化へ”**

おわりに

ストレンジネスを使って、  
核力の問題、EOSの問題、平均場の問題、  
ハドロン構造の問題、核構造の問題  
=核物理の本質的テーマ

を攻めるときが来た。

J-PARCハドロン施設の拡張・高度化  
Jlab, Mainz, GSI/FAIR等海外との連携  
理論とのますますの連携  
をすすめたい。

山崎・中井(杉本)研の伝統を新時代の核物理研究に生かしたい