

D01 班(理論班)研究報告

京大基研 大西 明



新学術領域研究
「実験と観測で解き明かす
中性子星の核物質」

2013 年度研究会

2013 年 12 月 27-28 日



■ 計画研究

- 代表:大西、特定研究員:祖谷
- 高密度中性子星物質
 - ◆ 分担:原田、木村、土手、研究員:山縣関原 → 椿原
- 低密度中性子星物質
 - ◆ 分担:中田、松尾、小野、研究員:稻倉
- 天体現象
 - ◆ 分担:飯田、巽、中里、研究員:石塚
- 連携研究者
 - ◆ 国広、西崎、親松、丸山、阿武木、大橋、柴崎、中務 (B)
 - ◆ 2013 年度より追加
山本安夫 (理研)、高塚龍之 (岩手大)、河野通郎 (九州歯科大)、
宮川貴彦 (愛知教育大)、武藤巧 (千葉工大)、
住吉光介 (沼津高専)、佐川弘幸 (会津大)

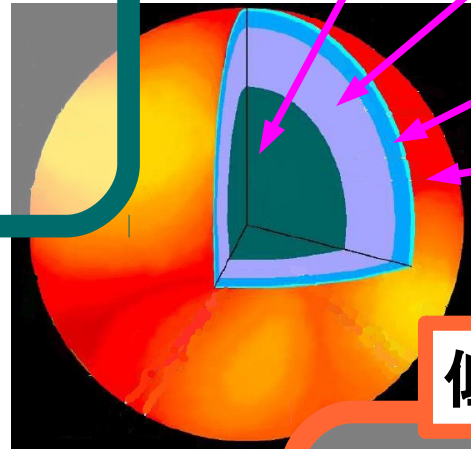
■ 公募研究代表者

- 安武、萩野、木内、大橋、根村

実験と観測で解き明かす中性子星の核物質

高密度領域 (A 班)

ハイパー核、K 中間子核、
YN, YY 相互作用、
有効相互作用、
(重イオン衝突)、



Hyperons, mesons, quarks

Asym. nuclear matter
+elec.+ μ

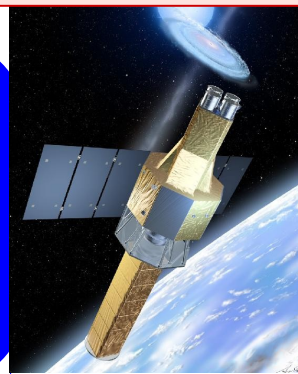
Nuclei+neutron gas+elec.

Nuclei + elec.

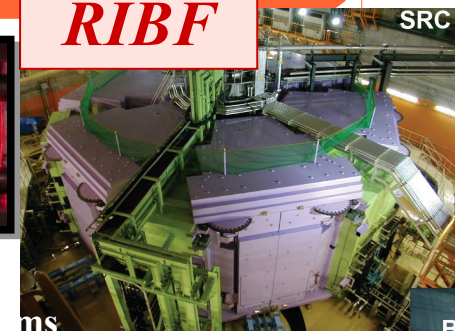
低密度領域 (B 班)

対称エネルギー、
対相関ギャップ、
BEC-BEC cross over、
冷却原子系とのつながり、

ASTRO-H



RIBF



天体現象 (C 班)

半径、質量、
温度(時間依存性)、
星震、パスタ、

中性子星と核物質の理論研究 (D01: 理論計画班)

高密度領域

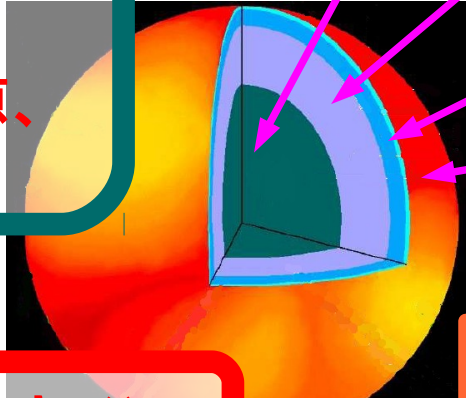
原田 (Prod.)、
木村 (Structure)、
土手 (Kaon Nucl.)、
研究員: 山縣 - 関原 → 椿原、
公募: 根村

Hyperons, mesons, quarks

Asym. nuclear matter
+elec.+ μ

Nuclei+neutron gas+elec.

Nuclei + elec.



J-PARC



大西、祖谷

ASTRO-H



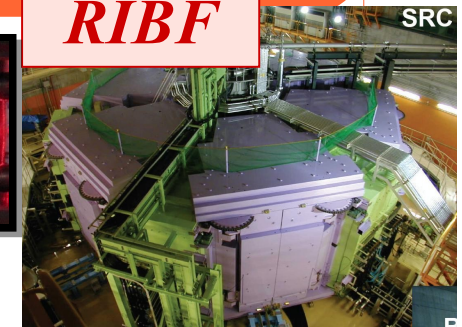
天体現象

飯田 (Phen.)、
巽 (Quark)、
中里 (Pasta)、
石塚 (研究員)、
公募: 木内、安武

低密度領域

中田 (Sym.E)、
松尾 (EOS)、
小野 (HIC)、
稲倉 (研究員)、
公募: 萩野、大橋

RIBF



SRC

連携: 国広、西崎、親松、丸山、阿武木、大橋、柴崎、中務 (B)
・ 山本、高塚、河野、宮川、武藤、住吉、佐川

縦糸：中性子星物質状態方程式

■ 2つの大問題：質量と半径

- Massive Neutron Star puzzle: $M_{\max} > 2 M_{\odot}$

Demorest et al. (2010)

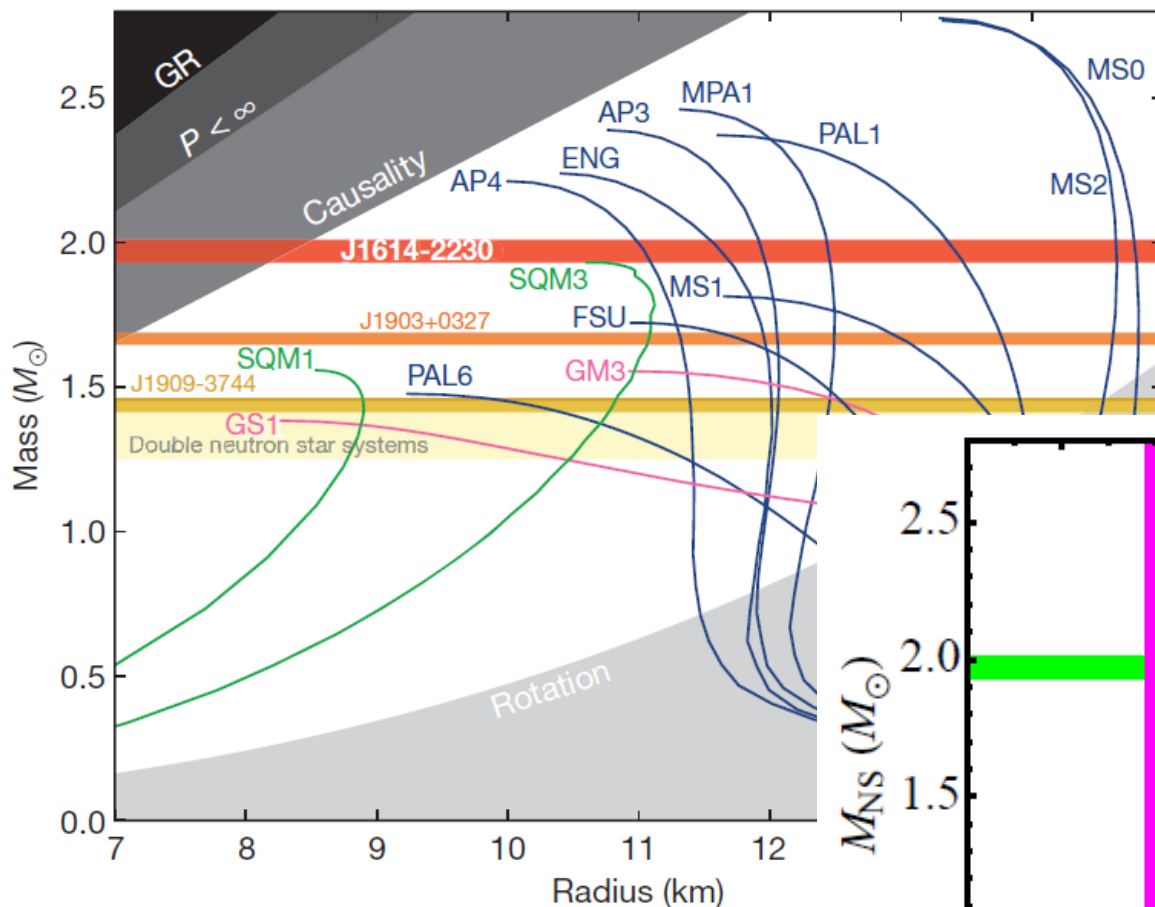
→ ハイペロン・K 中間子は存在しないのか？

- Compact Neutron Star puzzle: $R \sim 9 \text{ km}$?

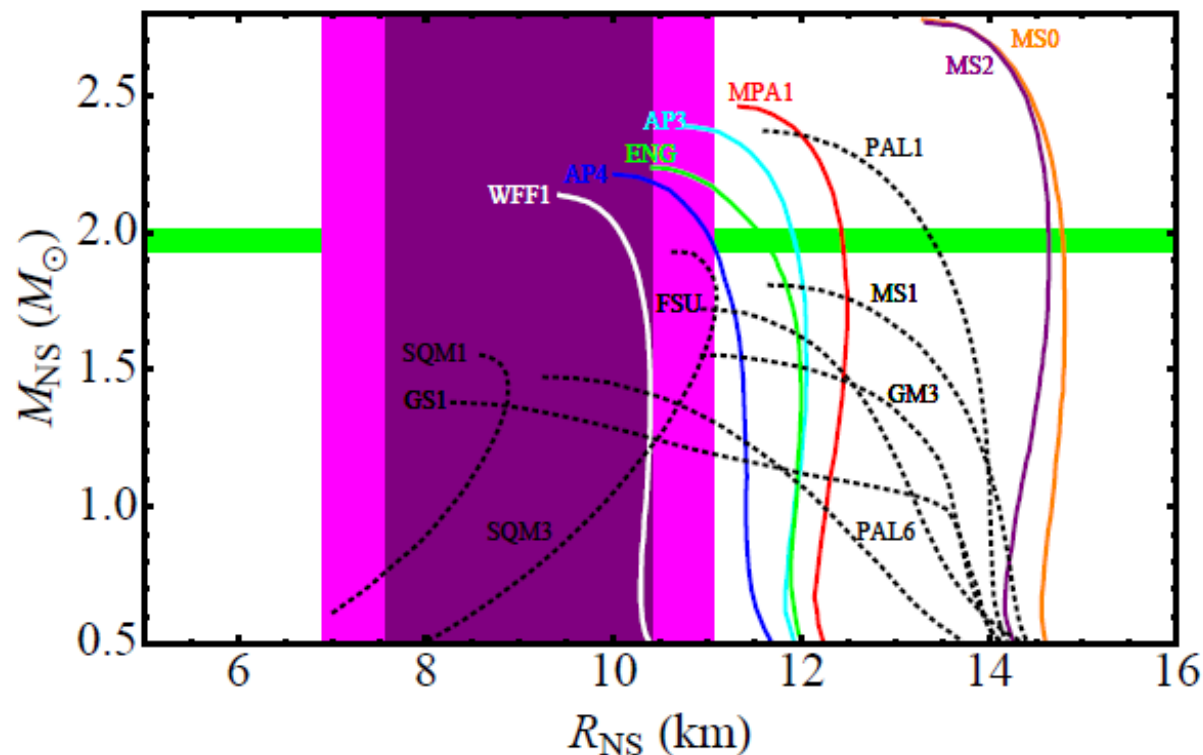
Guillot et al. (2013), Ozel et al. (2009)

→ 対称エネルギーは高密度 ($\rho=(1-3) \rho_0$) で小さいのか？

Neutron Star Mass and Radius

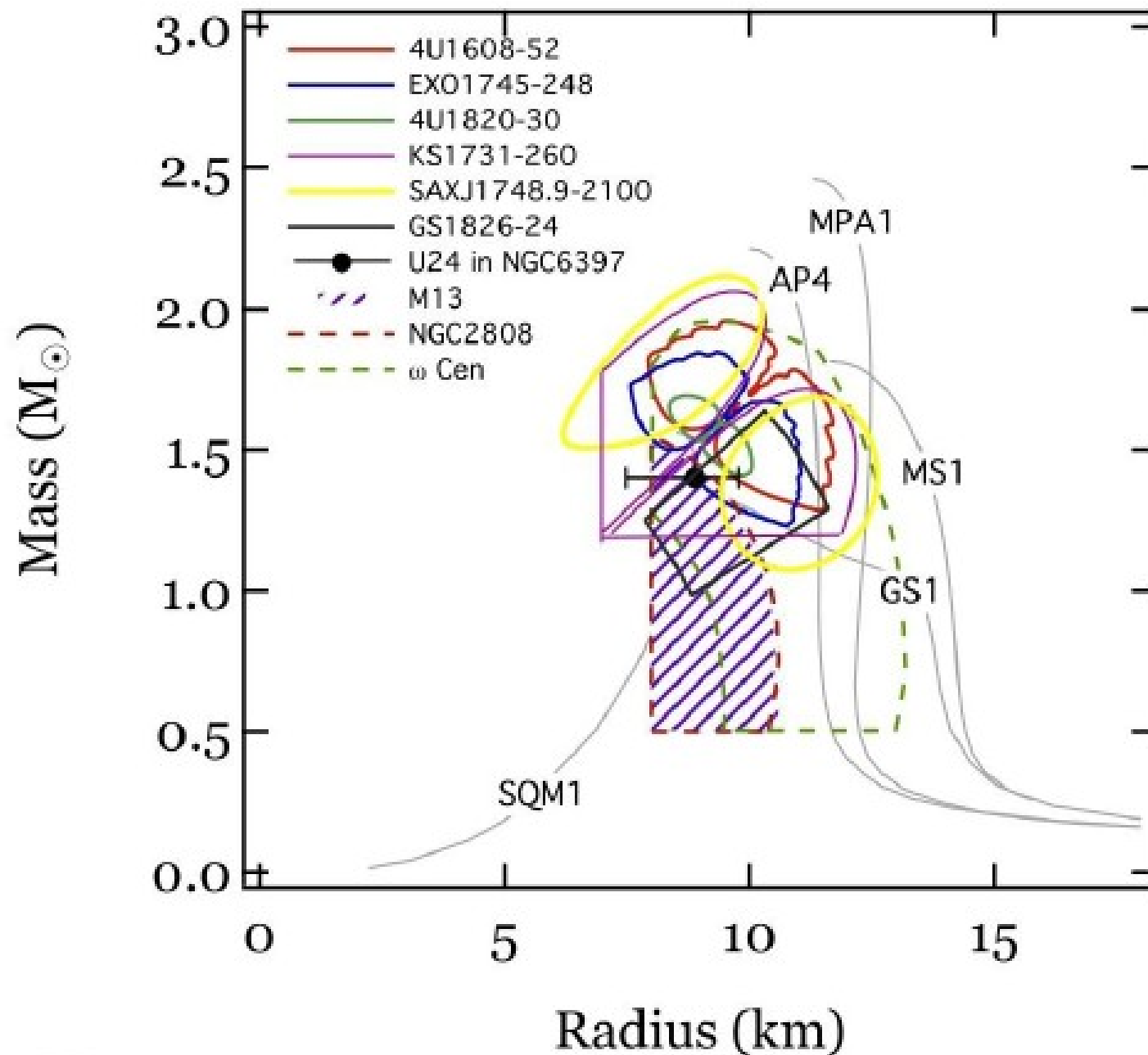


Demorest et al. (2010)



Guillot et al. (2013)

Current Radius Measurements



Remarkable agreement in radii between different spectroscopic measurements

$R \sim 9-12$ km

Majority of the 10 radii smaller than vanilla nuclear EoS
AP4 predictions

Can already constrain the neutron star EoS

縦糸：中性子星物質状態方程式

■ 2つの大問題：質量と半径

- Massive Neutron Star puzzle: $M_{\max} > 2 M_{\odot}$

Demorest et al. (2010)

→ ハイペロン・K 中間子は存在しないのか？

- Compact Neutron Star puzzle: $R \sim 9 \text{ km}$?

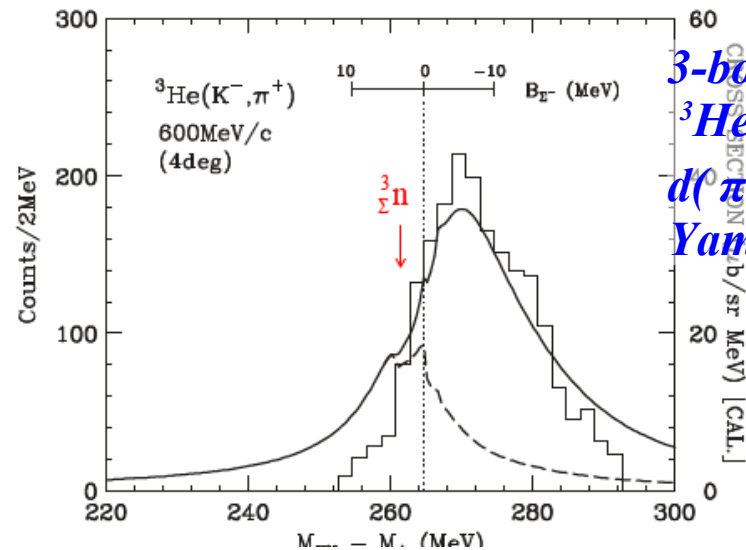
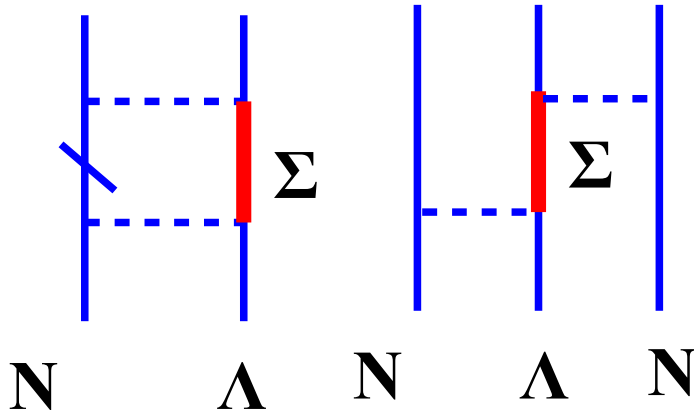
Guillot et al. (2013), Ozel et al. (2009)

→ 対称エネルギーは高密度 ($\rho=(1-3) \rho_0$) で小さいのか？

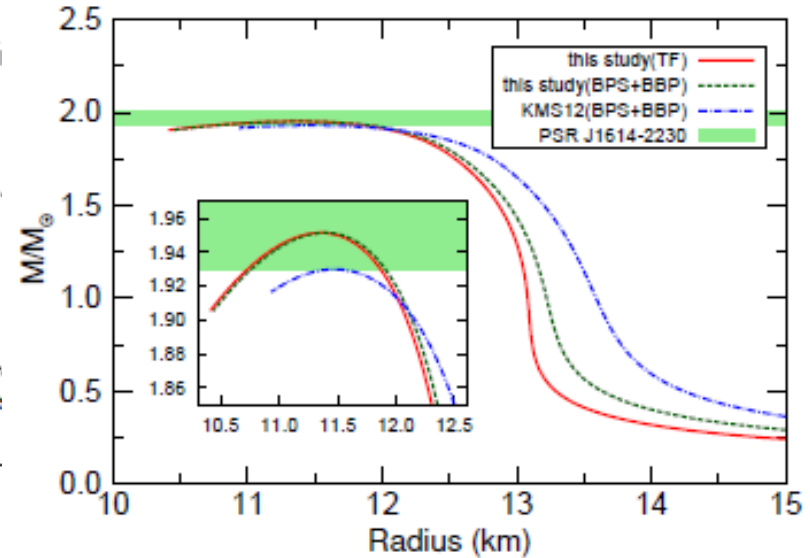
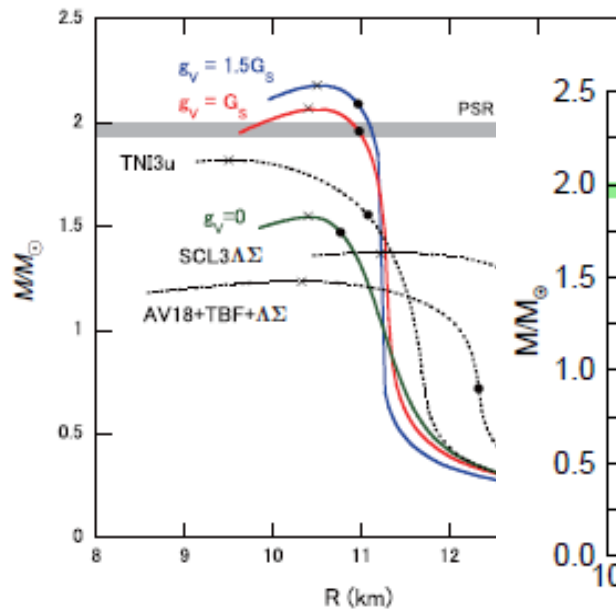
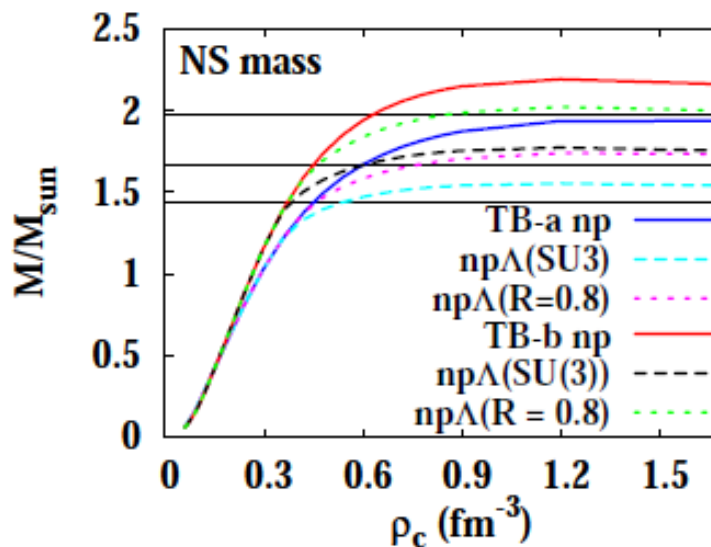
■ 新学術理論班 (計画班) の取り組み

- ハイペロン・K 中間子を含む 3 体系・3 体力、クォーク力学からの EOS
原田・土手・椿原・大西・中里・高塚
- 対称エネルギーと原子核構造・反応、天体現象
中田・稲倉・小野・飯田・祖谷

Massive NS puzzle: 3-body force or quarks ?



3-body int. Kohno et al.,
 ${}^3\text{He}(K^-, \pi^+) {}^3\Sigma n$ Harada et al.
 $d(\pi^+, K^+) Kpp$ Dote et al.,
 Yamagata-Sekihara et al.



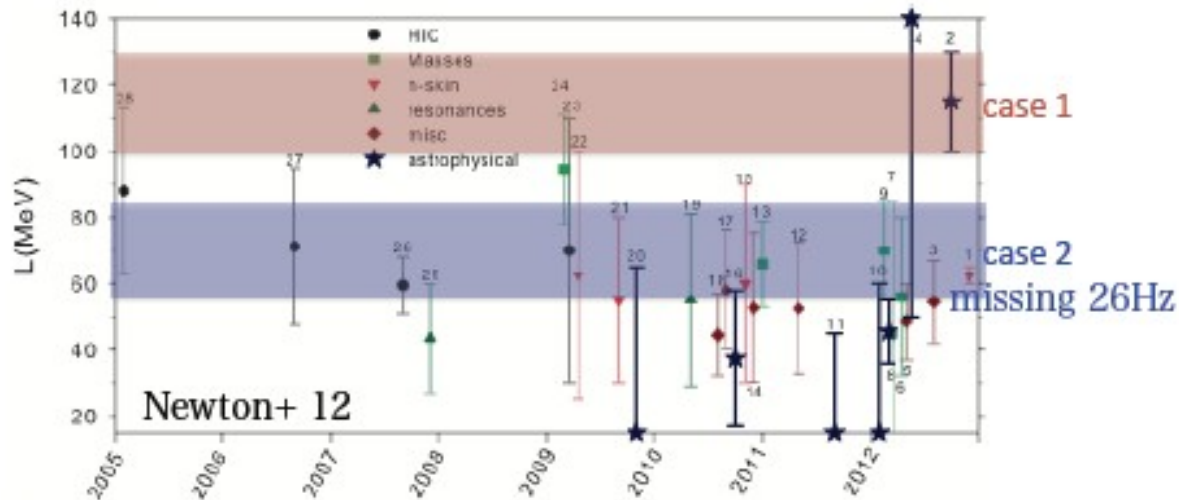
RMF w/ 3B int. Tsubakihara, AO (2013)

Masuda, Hatsuda, Takatsuka (2013)

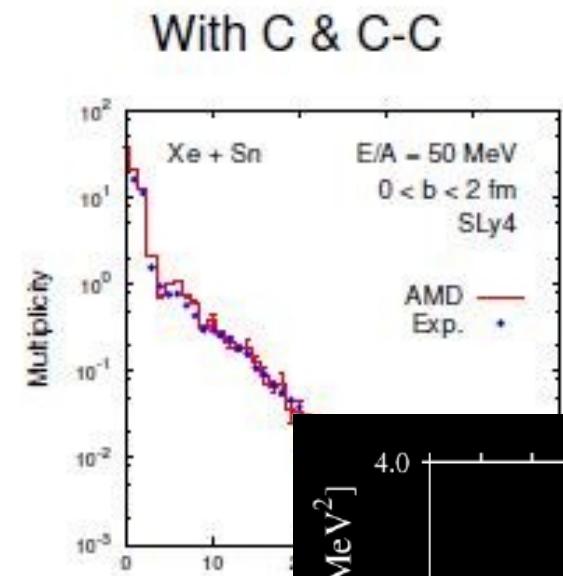
Miyatsu, Yamamuro, Nakazato (2013)

Compact NS puzzle: How Esym behave ?

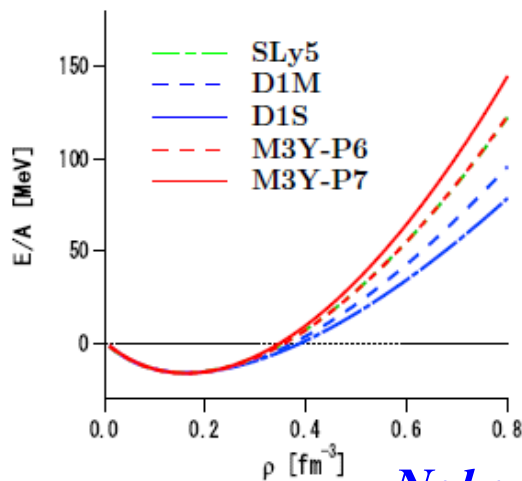
Ono et al.



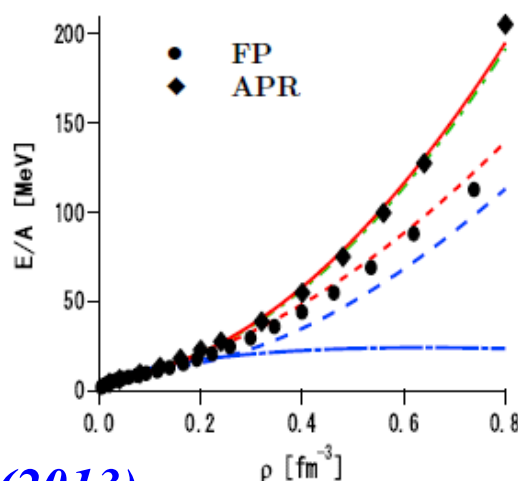
QPO → *Esym*:
 Sotani, Nakazato, Iida, Oyamatsu (2012-13)
 (Fig. is taken from Newton et al.(2012))



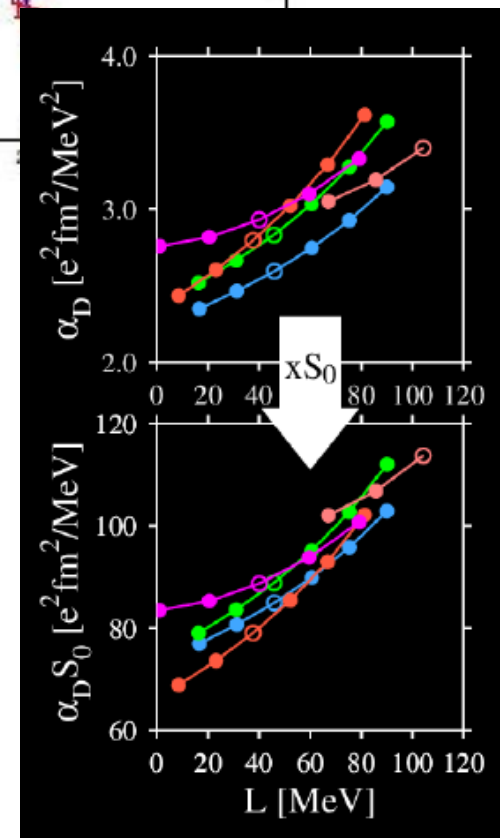
symmetric nuclear matter



neutron matter



Nakada (2013)



Inakura et al. (2013)

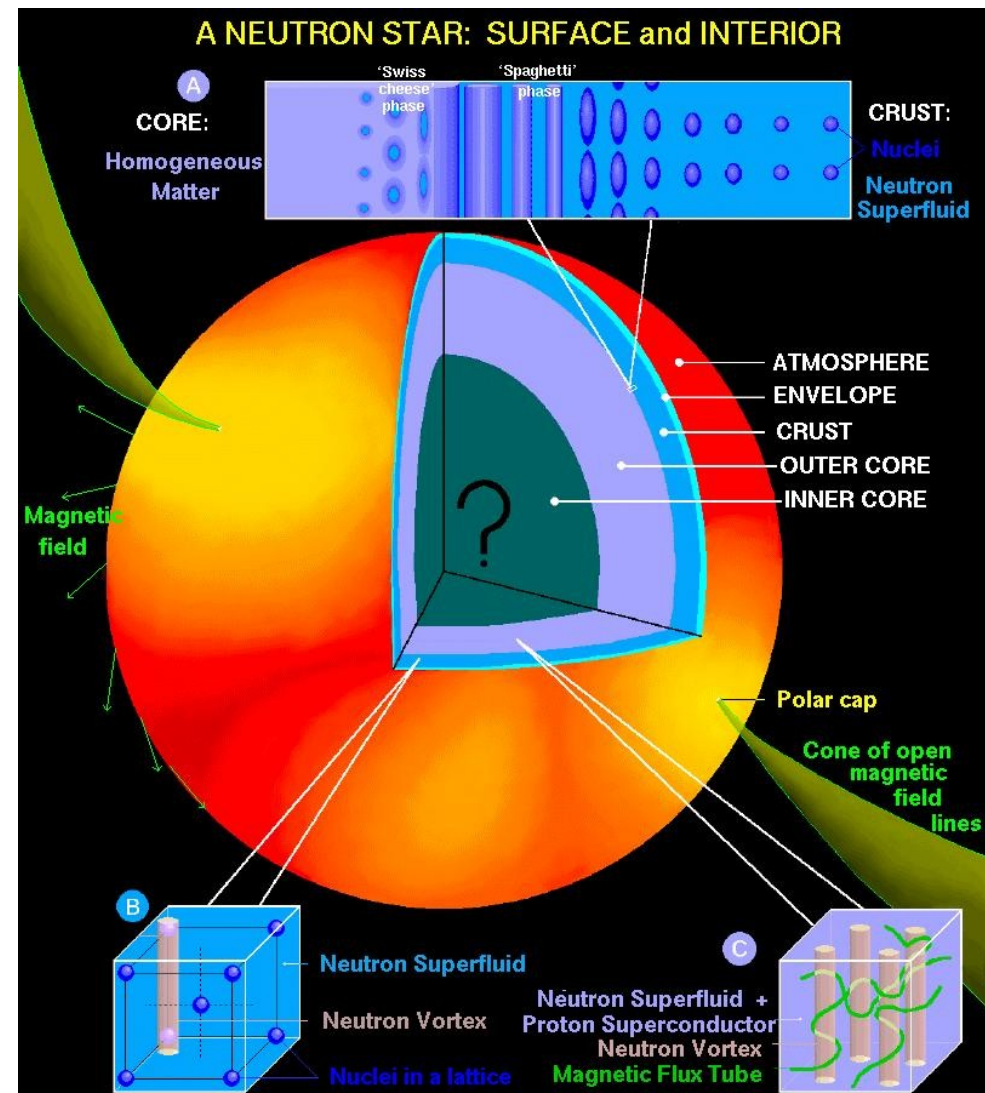
横糸: 多様な物性を楽しむ!

■ 中性子星物質の多様性

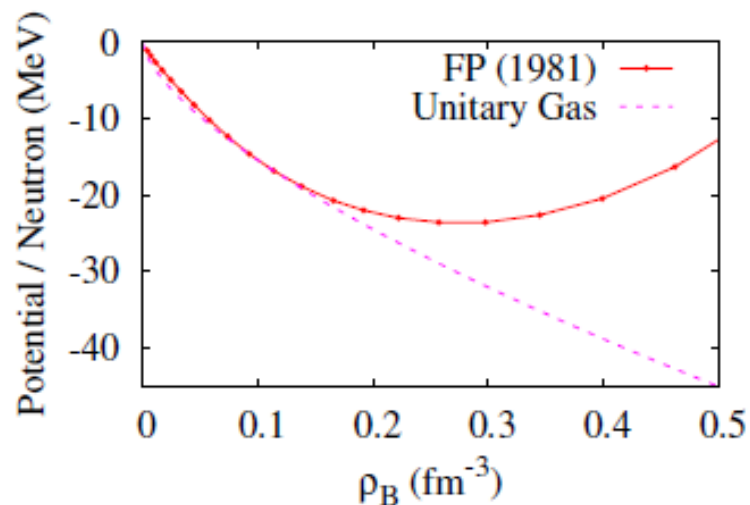
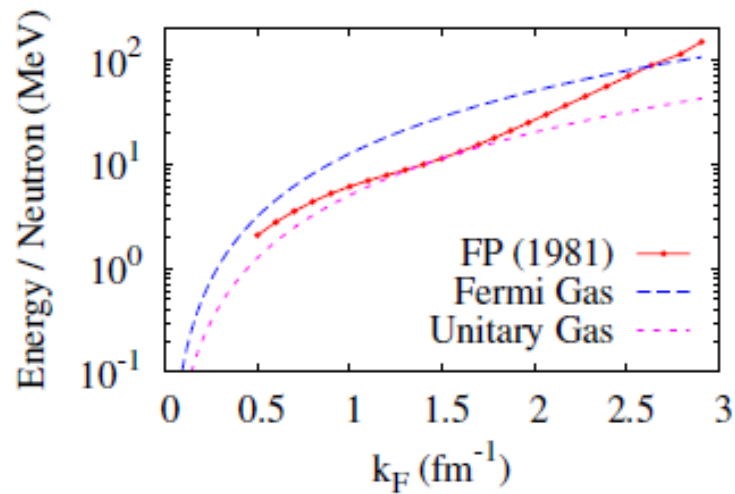
- BEC-BCS crossover
- 非一様性の多様性
 $\text{bcc} \rightarrow \text{pasta} \rightarrow \text{unif.}$
 $\rightarrow \text{inhomo. chiral cond.} \rightarrow \text{quarks}$
- 構成粒子の多様性
 $A + e \rightarrow A + n + e \rightarrow N + e$
 $\rightarrow N, Y, \pi, K, q, qq, \dots$

■ 新学術理論班

- Pairing: 松尾、大橋
- 非一様凝縮: 巽、丸山

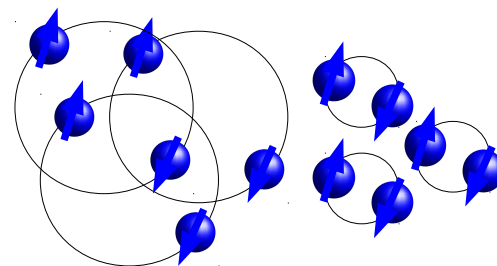


中性子星物質における多様性



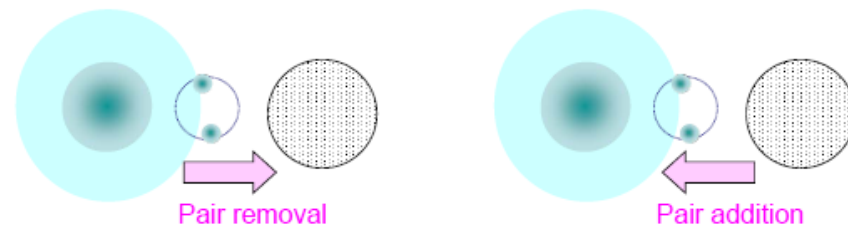
$$E^{\text{Unitary}} = \xi E^{\text{Free}}$$

$$\xi \simeq 0.4 \text{ (Bertsch parameter)}$$



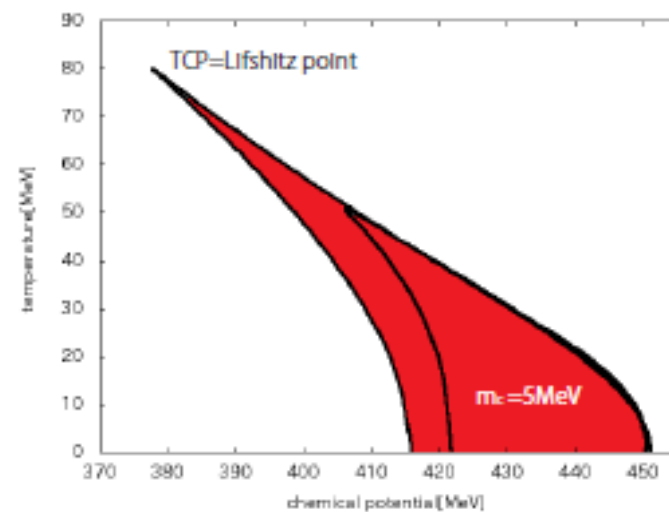
Pair transfers in neutron-rich nuclei

Shimoyama, Matsuo



Pair transfer process, for Sn isotopes, $^{132}\text{Sn} \sim$

Anomalous 0^+ state, a new kind of pair vibration



Tatsumi, Nishiyama, Karasawa

Summary

- 理論班の目標：
「微視的物理（核物理・量子多体論）＋観測との整合性」から
中性子星物質状態方程式を得る。
 - 現象論的には可能(?)。微視的にはまだ道遠し。
- 理論班の横系：
中性子星に現れうる多様な物質の様相を調べる。
 - 磁場、元素生成、QCD 核力などの公募研究課題にも広がり。
- 新学術領域の秘かな目標
「原子核・天体物理・物性物理連携」
(c.f. 素核宇連携)

Let's Enjoy NS Physics !