

素粒子・原子核・宇宙「京からポスト京に向けて」シンポジウム
@筑波大学文京校舎、2017/02/16

サブ課題B 原子核 量子多体計算に基づく 原子核構造・反応研究

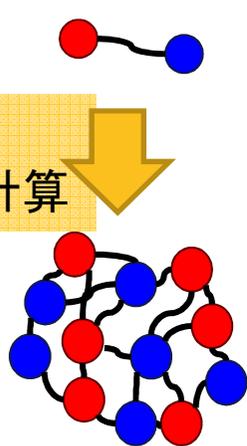
東大原子核セ 清水則孝

サブ課題B・原子核 プロジェクトの基本理念

複雑な核力から出発しつつ、大規模量子多体計算により、原子核の多体構造を明らかにし、その性質を計算する。素粒子、宇宙、エネルギーなどの問題へ応用。

核力(+3体力)

軽い核の
第一原理計算

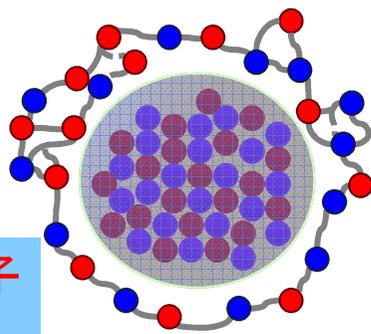


量子多体計算 ⇒ 殻模型計算
(モンテカルロ殻模型)

有効相互作用の構築
摂動論(Extended KK)
3体力効果

モンテカルロ殻模型

● 中性子
● 陽子



中性子過剰核のエキゾチック核構造の解明
基礎的な核データの計算により
さまざまな応用を目指す。

- ・ 素粒子(ニュートリノレス二重ベータ崩壊)
- ・ 宇宙(元素合成 r過程)
- ・ 原子力(長寿命核分裂生成物の構造計算)

サブ課題B 原子核研究の位置づけ

大規模実験施設との連携



理研RIBF加速器

爆発的天体の数値計算と
重元素の起源探究

中性子過剰核・元素合成

量子多体計算に基づく
原子核構造・反応研究

核力

QCDに基づくバリオン相互作用および核物質状態方程式の研究

大塚孝治（東大理）

「京で見えてきた原子核の新たな構造原理」

角田直文（東大CNS）

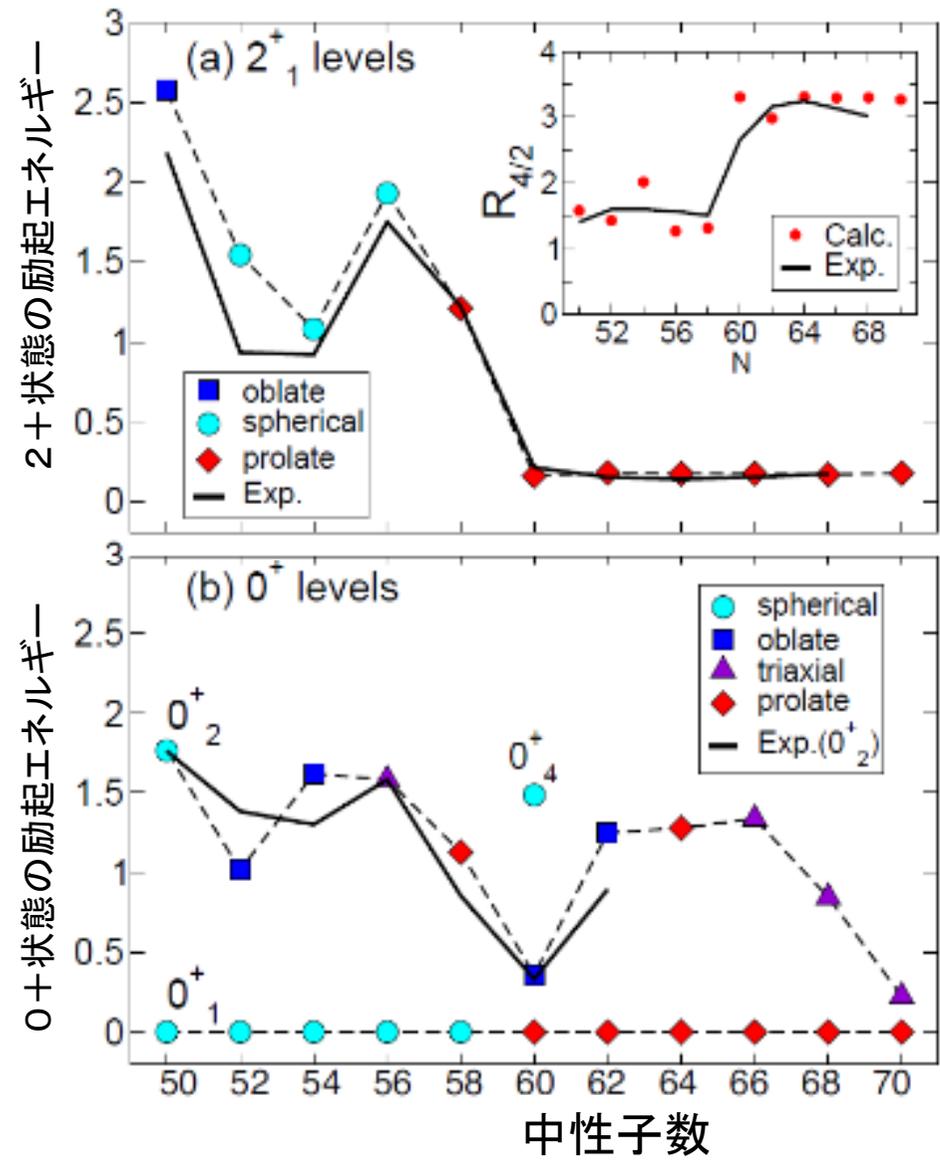
「核力から出発した非現象論的な中重原子核構造の研究
— 多体摂動論と大規模殻模型計算を用いて —」

宮城宇志（東大理）

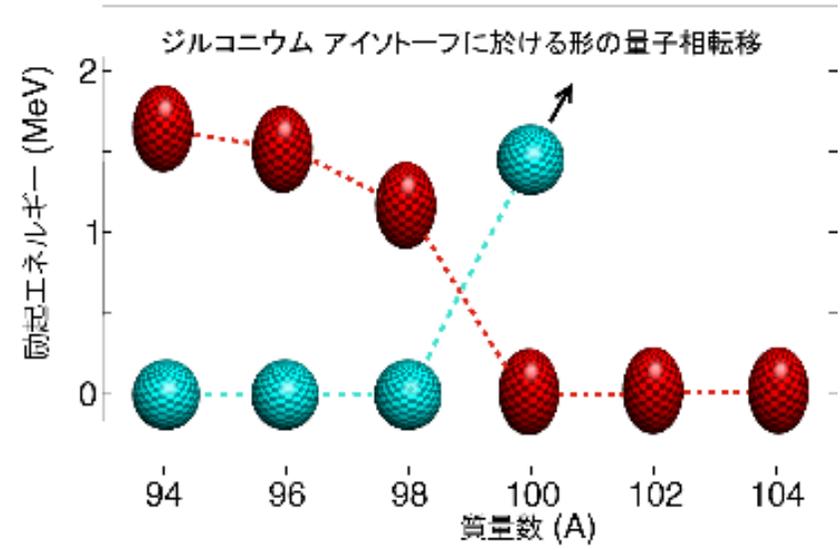
「ユニタリ模型演算子法による中重核の第一原理的な計算」

今年度のハイライト: ジルコニウム同位体と量子相転移

T. Togashi, Y. Tsunoda, T. Otsuka and N. Shimizu,
 Phys. Rev. Lett. **117**, 172502 (2016)
 Editor's suggestion に選出



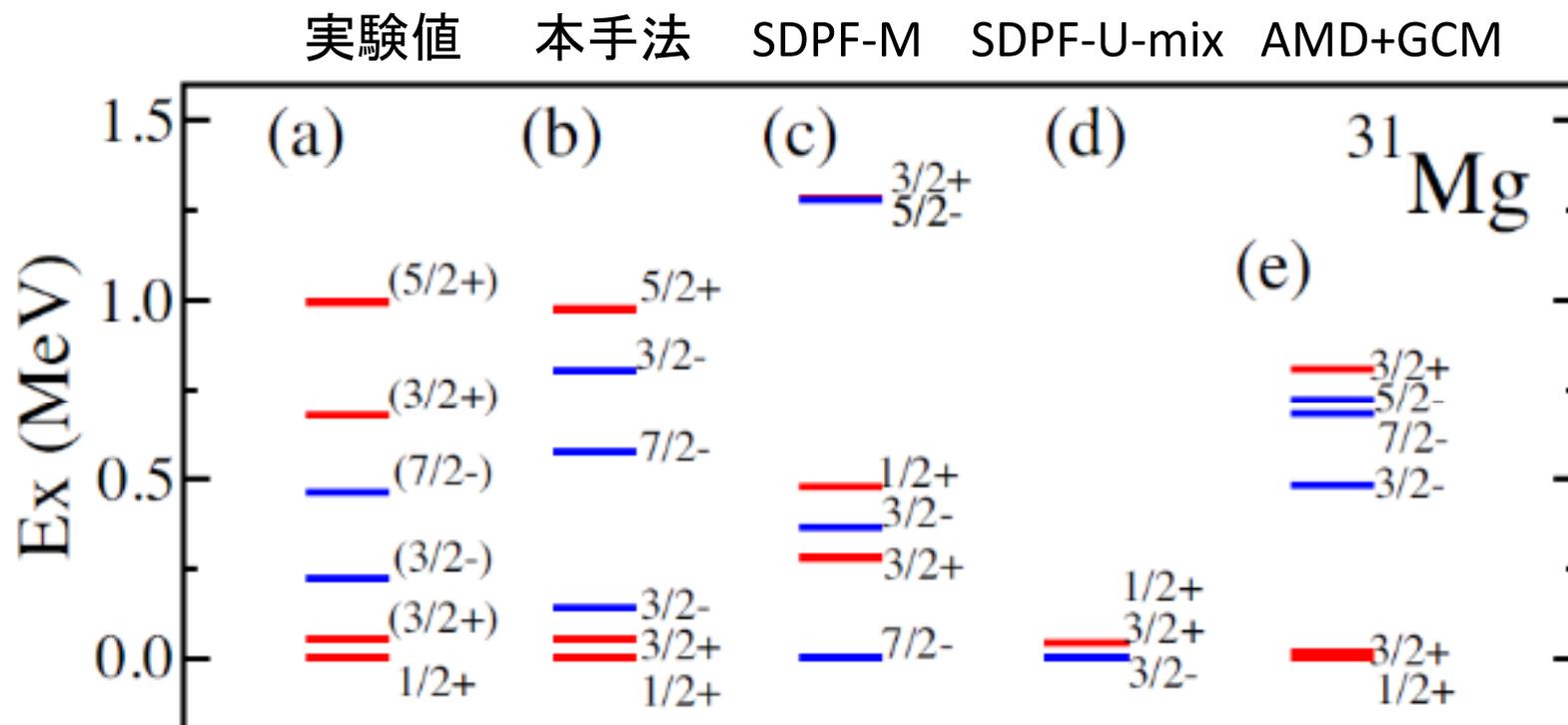
中性子数60を境とした 2^+ 励起エネルギーの劇的な変化
 球形からプロレート変形への「量子相転移」を明らかに



新しい概念「量子自己組織化」へつながり

核力から出発した微視的殻模型計算

N. Tsunoda *et al.*,
Phys. Rev. C accepted



中性子過剰核“反転の島”領域の記述

核力から有効相互作用を求める

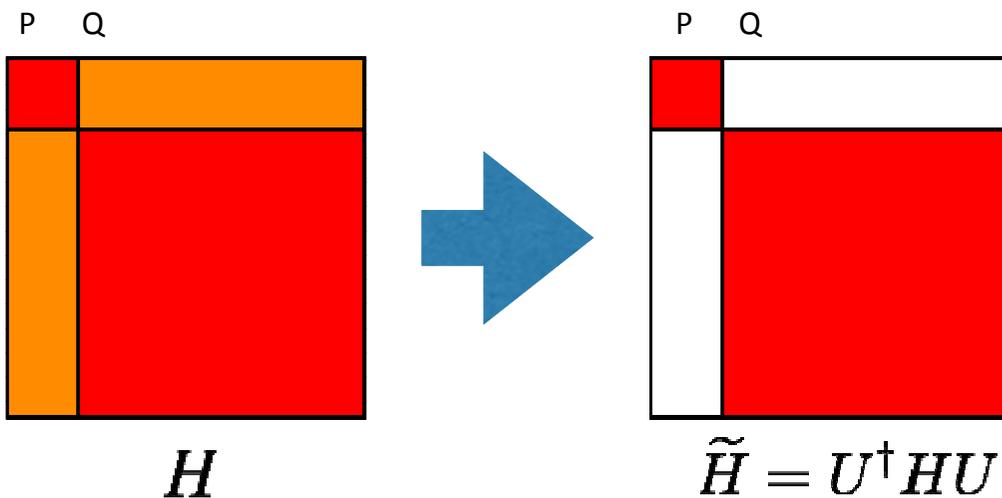
多体摂動論の改良(EKK理論)+3体力の有効2体力化

3体力寄与の検証、多体相関の様相がこれまでの成果と異なることが明らかに

ユニタリ模型演算子法(UMOA)による核構造計算

多体シュレーディンガー方程式をユニタリ変換によって解く

$$\begin{aligned}
 H|\Psi\rangle &= E|\Psi\rangle \\
 (U^\dagger H U)(U^\dagger|\Psi\rangle) &= E(U^\dagger|\Psi\rangle) \\
 \tilde{H}|\Phi\rangle &= E|\Phi\rangle
 \end{aligned}$$



UMOAでのUの選び方

$$U = e^{S^{(1)}} e^{S^{(2)}} \dots e^{S^{(A)}}$$

$S^{(n)}$ は反エルミートn体演算子

殻模型計算と比して、適用範囲は限られるが計算量は小さい。
HALQCD核力を用いた核構造計算がスタート。