

大規模殻模型計算による Z=28近傍核の研究

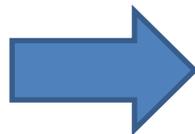
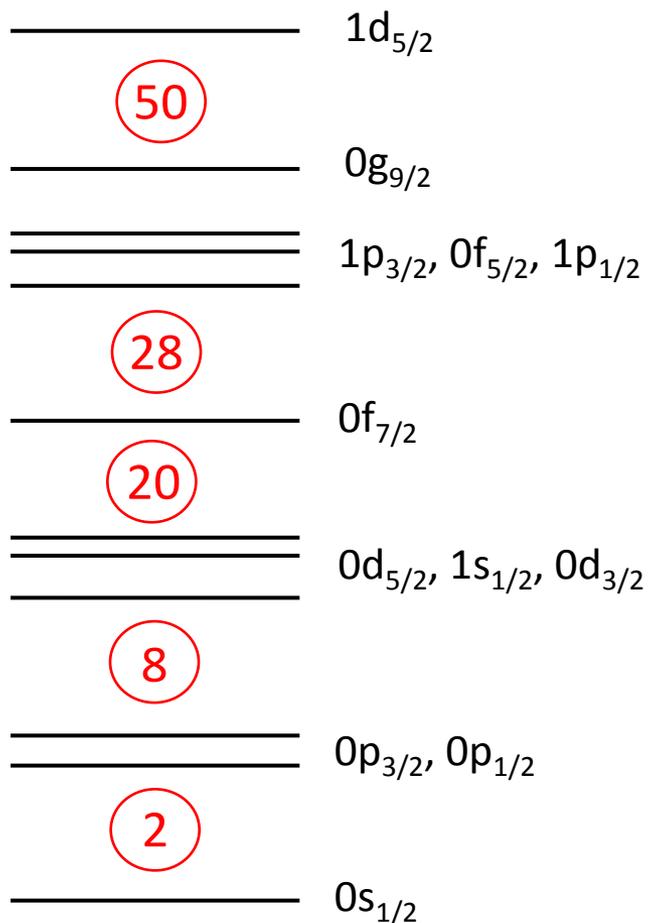
東京大学理学系研究科物理学専攻

角田佑介

共同研究者: 大塚孝治(東大理)
清水則孝(東大CNS)
本間道雄(会津大数理セ)
宇都野穰(原子力機構)

Motivation

安定核 ($Z \sim N$) の殻構造



エキゾチック原子核 ($Z \ll N, Z \gg N$)
では異なる構造

魔法数の消滅、
新たな魔法数の発現など

魔法数の核種: 閉殻
基底状態は球形
高い励起エネルギー



開殻の核種:
原子核は変形し得る
低い励起エネルギー

Motivation

エキゾチック原子核 ($Z \ll N, Z \gg N$) で起こる現象

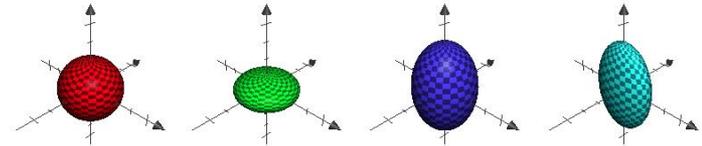
殻構造の進化

殻ギャップの大きさの変化

Magicityの強さの変化

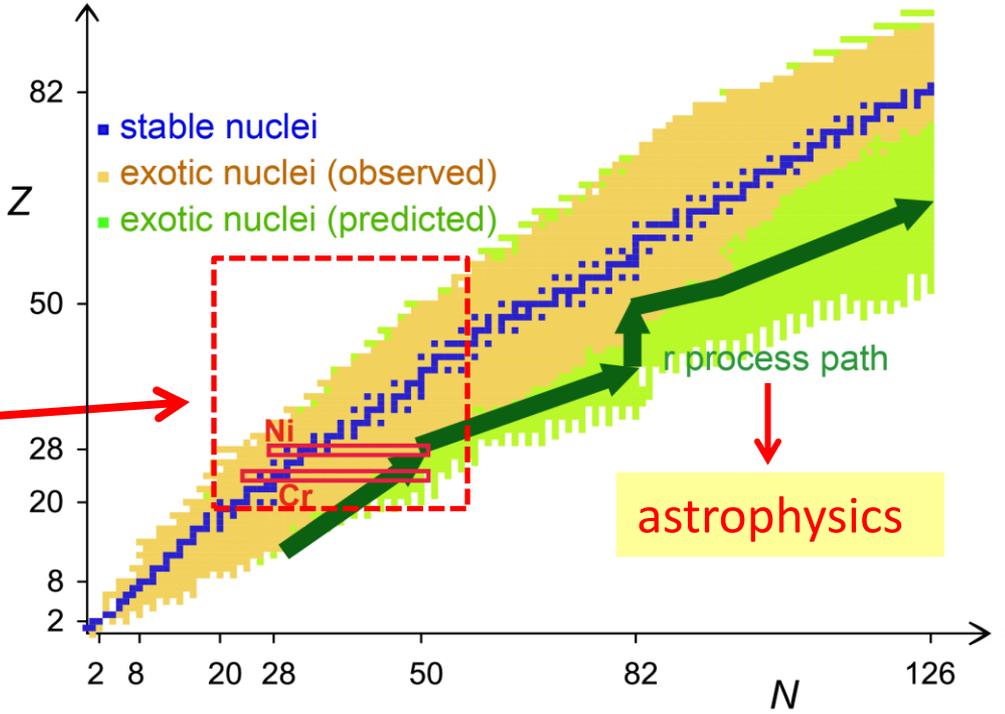
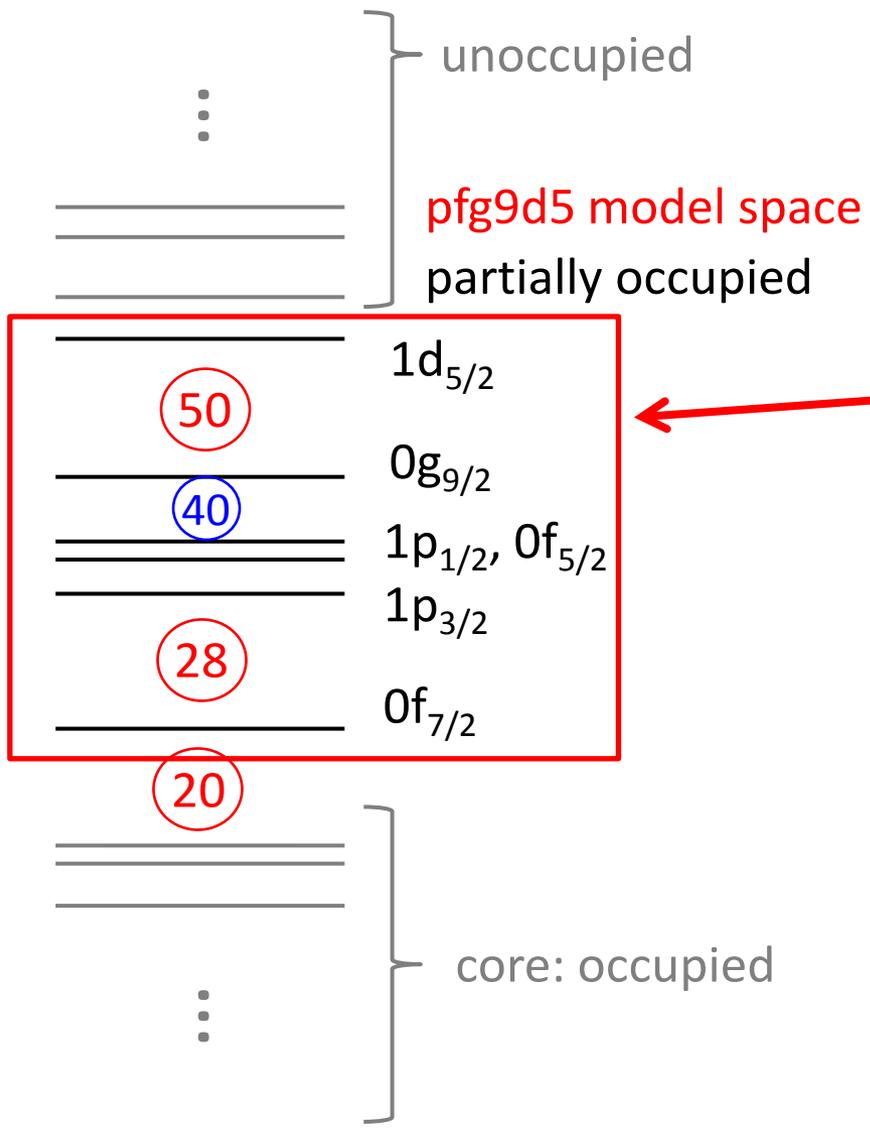
変形共存

異なる変形状態の共存



広い模型空間での大規模計算が必要

殻模型計算

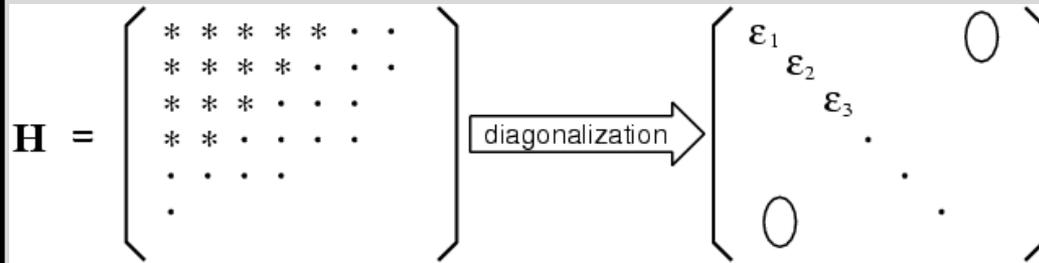


広い模型空間
 ⇒ 魔法数28、50、準魔法数40の
 保持・破れを議論

微視的・経験的有効相互作用を
 組み合わせたものを用いる

モンテカルロ殻模型 (MCSM)

10¹⁵次元以上 (pfg9d5空間)



Conventional Shell Model
all Slater determinants

広い模型空間では
直接対角化は不可能

約100次元



Monte Carlo Shell Model
bases important for a specific eigenstate

モンテカルロ殻模型では、
MCSM基底による小さな
ハミルトニアン行列を対角化

T. Otsuka *et al.* PPNP47, 319 (2001)

$$|\Psi_N\rangle = \sum_{n=1}^N \sum_{K=-J}^J f_{n,K}^{(N)} P_{MK}^{J\pi} |\psi_n\rangle$$

固有状態

角運動量・
パリティ射影

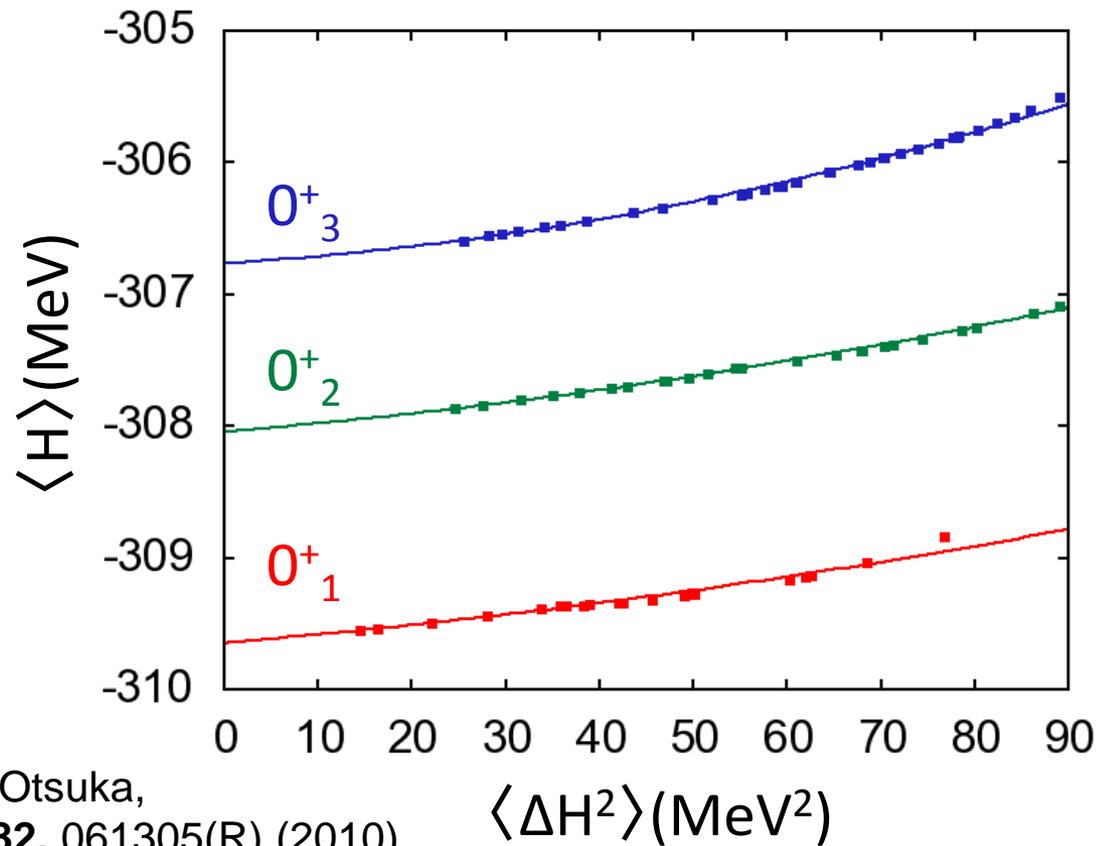
Slater行列式

補助場MC+変分的手法で
固有エネルギーを最小化

エネルギー分散を用いた外挿

- エネルギー分散
 $\langle \Delta H^2 \rangle = \langle H^2 \rangle - \langle H \rangle^2$
を横軸にして
二次式で外挿
- 基底数を変えて
各点をプロット

$^{68}\text{Ni } 0^+$ の外挿



N. Shimizu, Y. Utsuno, T. Mizusaki, T. Otsuka,
T. Abe, and M. Honma, Phys. Rev. C **82**, 061305(R) (2010)

Based on T. Mizusaki and M. Imada,
Phys. Rev. C **65**, 064319 (2002); **67**, 041301(R) (2003)

並列計算

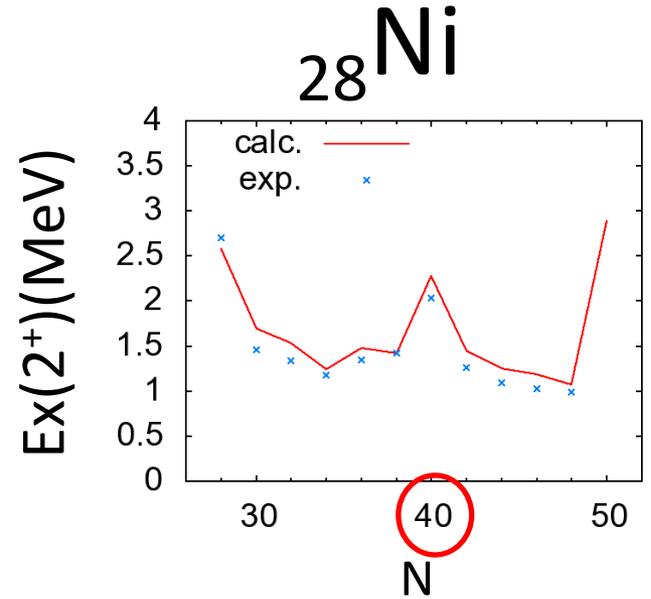
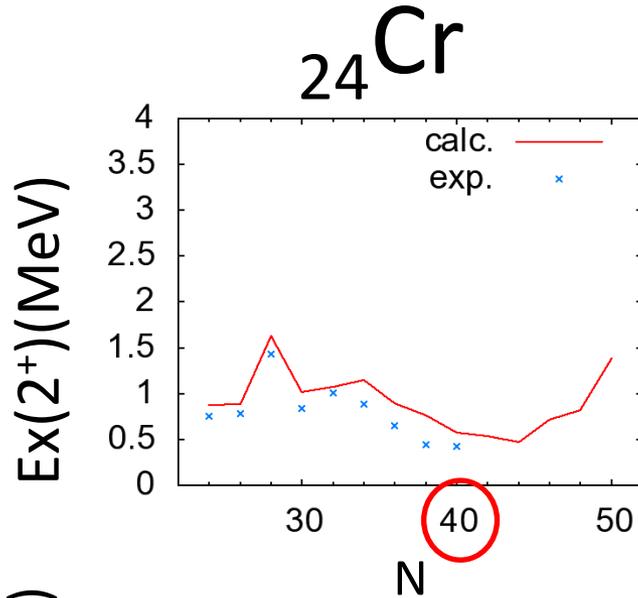
- 角運動量射影での3次元回転についての積分が計算のボトルネック
⇒ 分点数 $\sim 50,000$
- 分点ごとに並列計算
- 京コンピュータ (AICS)、FX10 (東大)、T2Kオープンスパコン(東大、筑波大)を用いて計算
- $^{68}\text{Ni } 8^+$ の計算に7680 CPUコアで14時間(京コンピュータ)



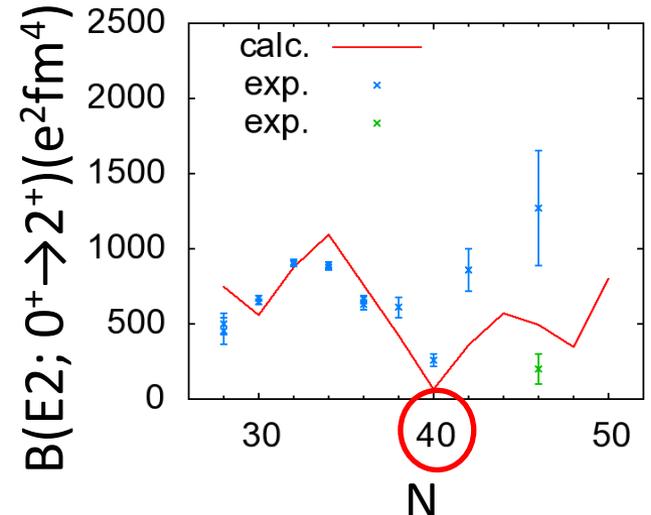
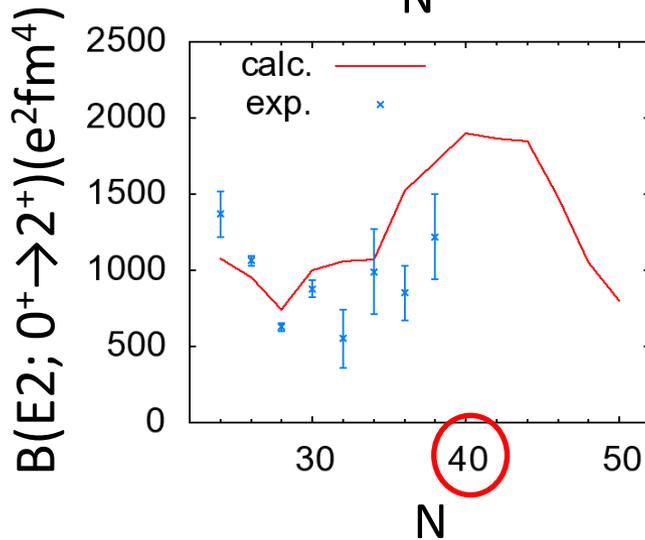
京コンピュータ

Cr, Niの計算結果

2⁺ 励起
エネルギー



B(E2; 0⁺→2⁺):
換算遷移確率



x B. Pritychenko, et al., arXiv:1102.3365v2 (2011)
x de Angelis, private communication

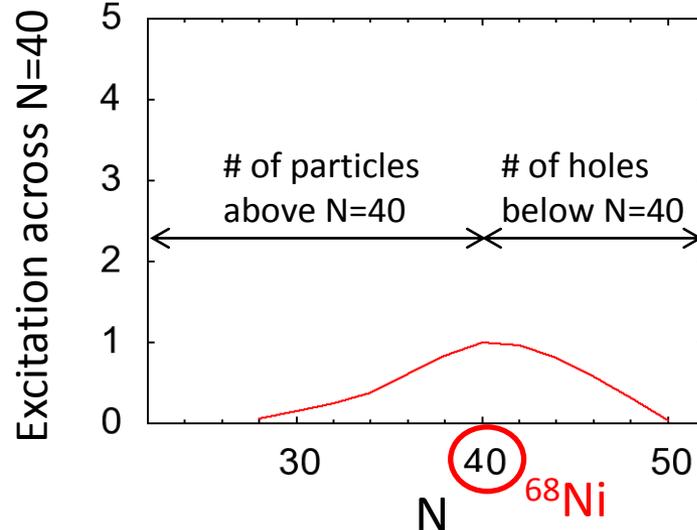
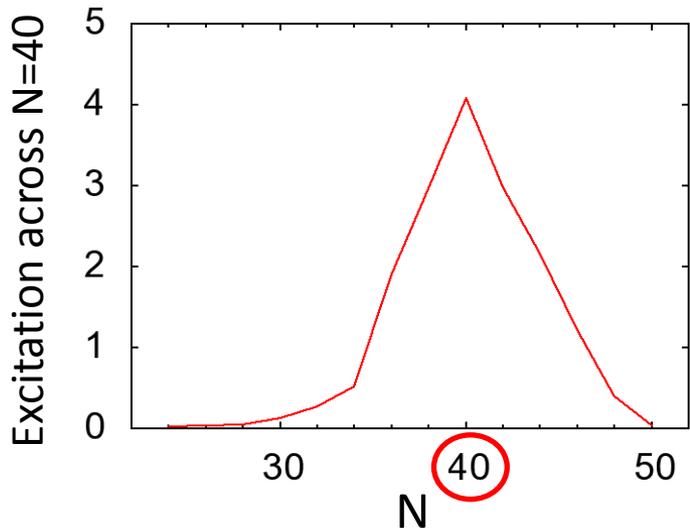
Neutron excitation across N=40 gap

^{24}Cr

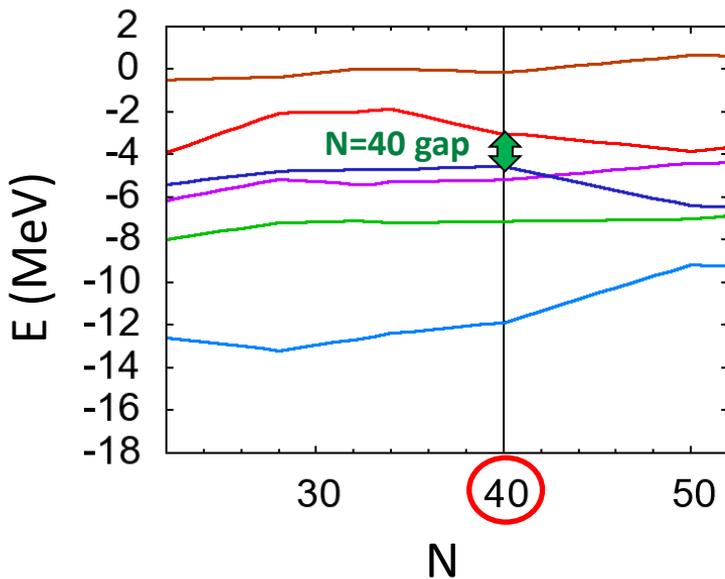
N=40 magicity
の変化

^{28}Ni

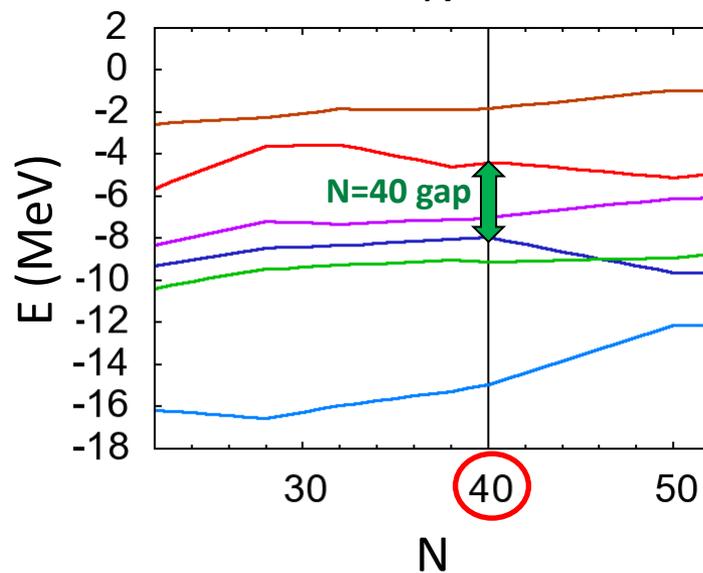
of neutrons excited across N=40 (0^+_{11})



Neutron effective single-particle energy



d5/2
g9/2
p1/2
f5/2
p3/2
f7/2



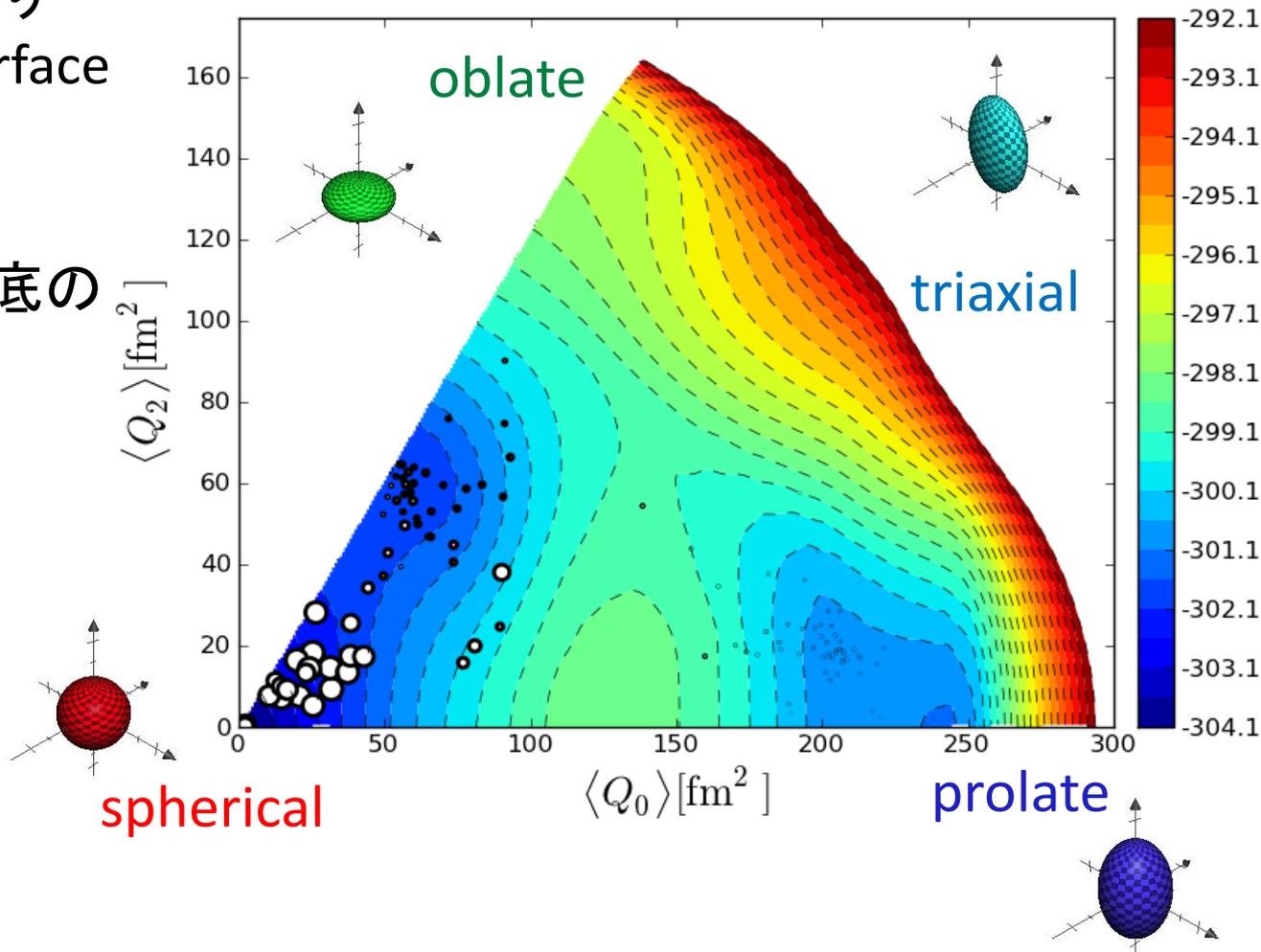
PES (四重極変形のエネルギー等高線)

0^+_1 state of ^{68}Ni ($Z=28, N=40$)

- Constrained HFにより
Potential energy surface
(PES)を計算

- 点の位置:
射影前のMCSM基底の
四重極変形

- 点の面積:
射影後の基底と
波動関数との
overlap probability



^{68}Ni 0^+ 状態 \Leftrightarrow 異なる形状

四重極モーメントを対角化し
主軸を求める

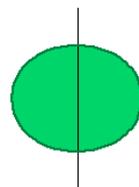
β : 変形パラメータ

$\beta > 0$: prolate

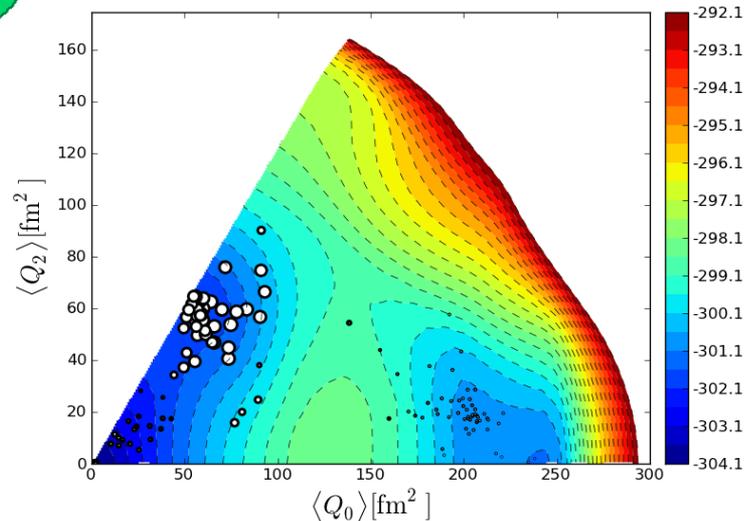
$\beta = 0$: spherical

$\beta < 0$: oblate

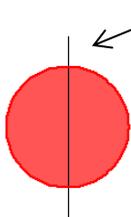
変形共存



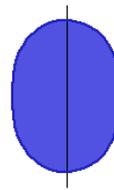
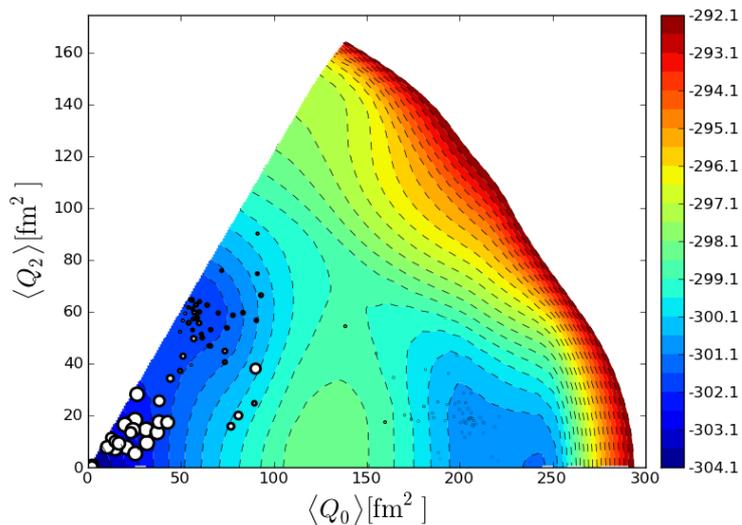
0^+_2 : oblate $\beta \sim -0.2$



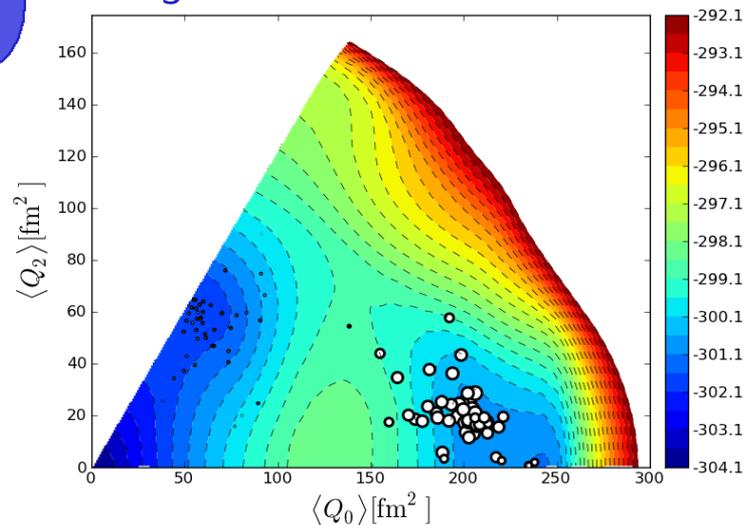
対称軸



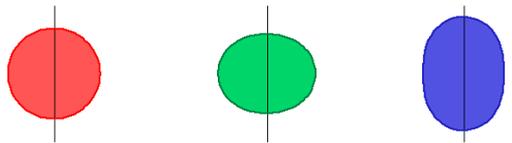
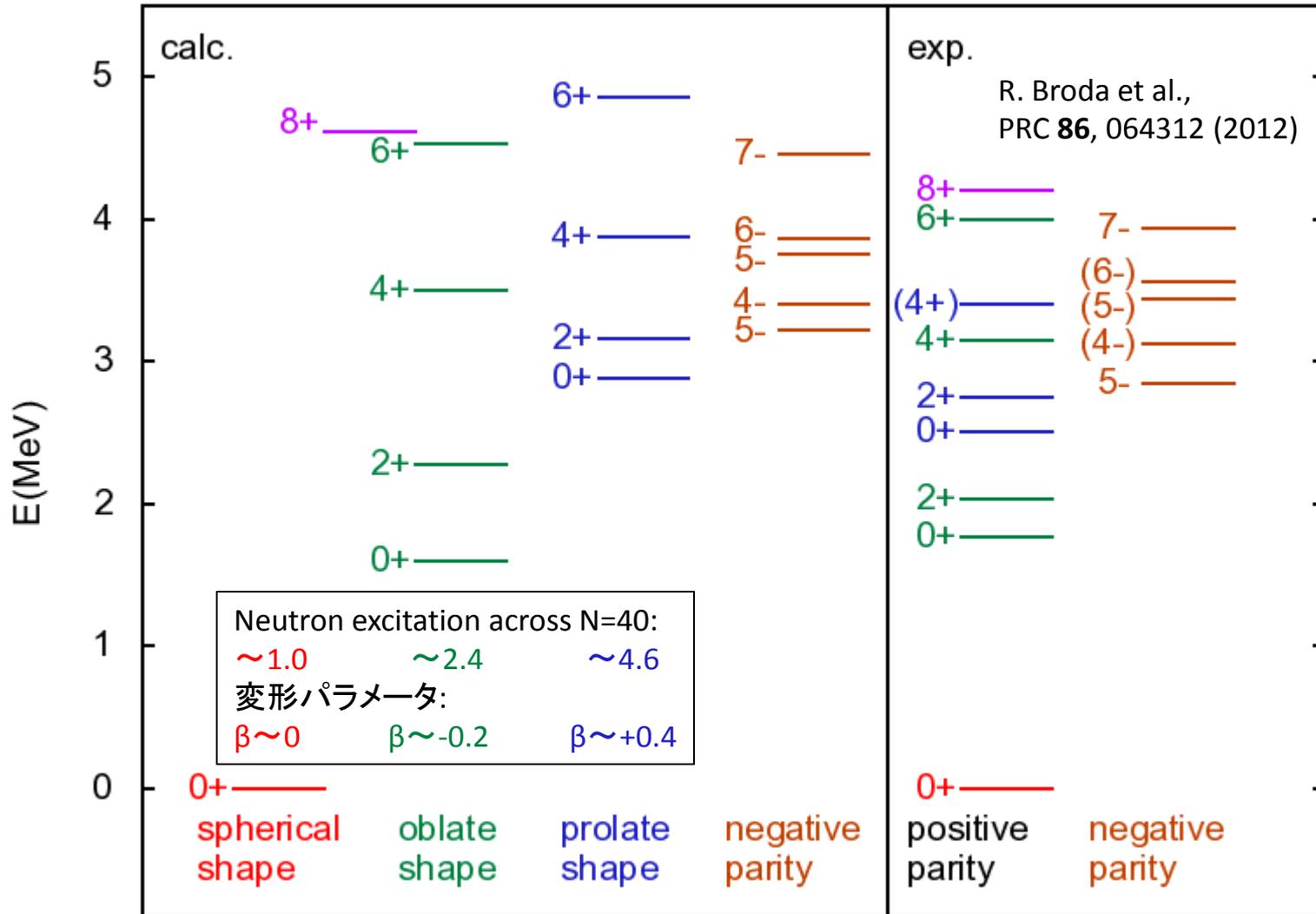
0^+_1 : spherical $\beta \sim 0$



0^+_3 : prolate $\beta \sim +0.4$



Level scheme of ^{68}Ni



色分けは計算による推測

Summary

- pfg9d5空間でCr, NiについてMCSM計算
- MCSM基底に対応する点をPES上にプロットし原子核形状を解析

- CrとNiとでN=40のmagicityが変化
- ^{68}Ni の 0^+ の3状態 \leftrightarrow 3つの異なる変形
3 MeV以下の励起エネルギー (変形共存)
- ^{68}Ni の励起エネルギーの計算値が実験と一致

↳ 同一のハミルトニアンを用いた統一的記述