

自己無撞着平均場理論に基づく原子核の低励起モード及びその核子間相互作用との関係の研究

Study on low-excitation modes of nuclei and their linkage to nucleonic interaction based on self-consistent mean-field theory

中田 仁

千葉大学大学院理学研究院

1. 研究目的

自己無撞着平均場理論及び RPA (QRPA を含む) は、量子多体系の基底状態及び低励起状態を記述する上で標準的な理論であり、核子間相互作用に基づく微視的立場から原子核の基底状態及び低励起状態を総合的に理解するのにも適している。しかしその input である核子間有効相互作用には大いに検討の余地があり、しばしば核構造理解の妨げとなっている。我々は今まで、微視的相互作用に最小限の現象論的修正を加えた半微視的相互作用を用いた平均場計算により、原子核の基底状態の性質に対するテンソル力や 3 体 LS 力の影響等を調べ、一定の成果を挙げてきた。本 project はこれを低励起モードに拡張し、核構造論の精密化に繋げることを目的としたものである。近年、自己無撞着平均場理論に用いられている有効相互作用の多くが実は非物理的な不安定解を持つことが指摘されているのに対し、半微視的相互作用ではそのような不安定解が知られておらず、励起 mode への応用の意義・関心が増している。

2. 研究成果の内容

2022 年度に引き続き、球対称 HFB+QRPA と軸対称 HFB+角運動量射影を併用して Sn 原子核の基底状態近傍の構造について調べた。64<N<82 領域では、新たな parameter を導入することなく HFB+QRPA 計算により第 1 励起 energy と E2 遷移確率が再現された。他方、中性子欠乏領域では従来の球形という描像では理解が困難で、殻構造故に四重極変形し易く、基底状態が弱く変形していると解釈される。軸対称 HFB+角運動量射影により、弱い変形を考慮することで E2 遷移確率を再現し得ることも確認できた。これらの成果を論文として出版した。

また、2022 年度までに、角運動量射影により変形 Hartree-Fock 解における回転エネルギーを調べ、軽い核や変形が弱い場合を除き運動エネルギーや相互作用がほぼ一定の割合で寄与することを明らかにしたが、対相関が効き始めるとこの描像が大き

く崩れる。その分析を通じて、回転エネルギーに対する相互作用の寄与が核内での核子間の平均距離と密接に関連していることを突き止め、その成果を出版した。

さらに、Sn 核の monopole 励起に対する HFB+QRPA 計算実行の準備も行った。

3. 学際共同利用プログラムが果たした役割と意義

昨年度報告書でも述べた通り、本研究では有限レンジ、特に湯川型を持つ半微視的有効相互作用を用いているため、QRPA 計算及び角運動量射影計算は並列計算によってのみ実行可能である。QRPA 計算では ScaLAPACK を利用した MPI での高速化、角運動量射影では OpenMP+MPI による hybrid 並列化を行っている。他方、相互作用行列要素を扱うため、個々の node において保持すべき memory も相当量である。学際共同利用はこれらの条件を満たす計算資源を提供してくれ、本研究 project の遂行に本質的である。

4. 今後の展望

単極巨大共鳴 (GMR) の中性子過剰度依存性から、核物質状態方程式、特に非圧縮率の isospin 依存項が抽出できると期待されているが、実験 data からは核種によって整合した結果が得られていない。2023 年度は準備に留まったが、Sn 領域での HFB+QRPA 計算を実行し、半微視的相互作用を用いてこの問題に access したい。また、所謂擬スピン対称性のため中性子欠乏 Sn 核が四重極変形に対しソフトな構造を持つことが分かったが、中性子過剰側や他の原子核にも同様の例が発現する可能性があり、これについても調べたい。

5. 成果発表

(1) 学術論文

・ Y. Omura, H. Nakada, K. Abe and M. Takahashi, “Low-energy quadrupole collectivity of Sn nuclei in self-consistent calculations with a semi-realistic interaction”, Phys. Rev. C 108, 054308 (2023)

・ K. Abe and H. Nakada, “Pairing effects on pure rotational energy of nuclei”, J. Phys. G 51, 035101 (2024).

(2) 学会発表

・ H. Nakada, ”Deformability of neutron-deficient Sn nuclei studied by self-consistent calculations with semi-realistic interaction”, The International Symposium on Physics of Unstable Nuclei 2023 (May 4–8, 2023, Phu Quoc Island, Vietnam, 口頭発表)

(3) その他

なし

筑波大学計算科学研究センター 2023 年度学際共同プログラム利用報告書

使用計算機	使用計算機に ○	配分リソース※	
		当初配分	追加配分
Cygnus			
Wisteria/BDEC-01	○	45,000	0
※配分リソースについてはノード時間積をご記入ください。			