

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2007年度～2009年度  
 課題番号：19540262  
 研究課題名（和文） 原子核低エネルギー現象の統一的理解のための基盤形成  
 研究課題名（英文） Research toward unified understanding of low-energy phenomena in atomic nuclei

研究代表者 中田 仁 Hitoshi Nakada  
 千葉大学・大学院理学研究科・教授  
 研究者番号：80221448

## 研究成果の概要（和文）：

核子間有効相互作用を軸として、理論的立場から核構造及び低エネルギー核反応を統一的理解するための基盤形成を目指して、微視的相互作用に基づく汎用的有効相互作用の開発、その核構造への応用、テンソル力の効果の検証、低エネルギー核反応を核構造と共通に扱うための理論的検討、核構造と核反応をつなぐ物理量である核準位密度の微視的計算を行った。また、同時にそれらのための数値計算法の開発を進めた。

## 研究成果の概要（英文）：

Aiming at unified understanding of nuclear structure and low-energy nuclear reactions with appropriate effective nucleon-nucleon interactions, we have developed widely applicable effective interactions based on microscopic nucleon-nucleon interactions, have applied them to nuclear structure problems including effects of the tensor force, have examined basis of reaction theories for unified description with the structure problems, and have computed nuclear level densities that connects nuclear structure and reactions. We have also developed numerical methods for these purposes.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

## 研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学 素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：半現実的核子間有効相互作用、平均場近似、乱雑位相近似、テンソル力、核子・原子核散乱、光学ポテンシャル、軸対称変形核、核準位密度

## 1. 研究開始当初の背景

実験的研究の進展に伴い、不安定原子核の構造が従来の予想を覆すものであることが

明らかになってきた。新世代不安定核ビームの稼働を間近に控え、それまでの核構造モデルの見直しと共に、ドリップ線近傍で特に重

要となる核構造と核反応の統合的な視点を模索すべき時期に来ていたと言えよう。

## 2. 研究の目的

半微視的な立場から核子間有効相互作用を再構築し、そのような相互作用を軸として、安定核から不安定核における構造とその変遷の統一的記述、さらにそれらの低エネルギー反応をも共通の基盤から理解・記述することを目指し、その端緒を開くことを企図した。

## 3. 研究の方法

有効相互作用に関する微視的理論に基づいて得られた M3Y 相互作用に対し、核物質と二重閉殻核の性質、陽子閉殻核の対相関に注意を払って修正を加える。これを用いて平均場モデル及び乱雑位相近似に基づく数値計算を実行し、安定核・不安定核の基底状態や低励起状態の性質を調べ実験と比較した。

他方、光学モデルに基づいて原子核の弾性散乱に関する物理量や反応断面積を調べる。核構造論との接続のため、従来無視されてきたリアレンジメント項が重要なので、その取扱いに特に注目した。

## 4. 研究成果

以下のような研究成果を得た。

- (1) 半微視的核子間有効相互作用を開発し、核構造計算に応用した。
  - ① 対相関を考慮に入れて M3Y 相互作用の修正を行い、汎用的・実用的な半微視的核子間有効相互作用を得た。
  - ② 半微視的核子間有効相互作用を、平均場近似により球形核に応用し、殻構造変化や tensor 力の役割などを調べた。特に中質量不安定核の殻構造を詳しく調べた。
  - ③ 半微視的核子間有効相互作用を、乱雑位相近似により  $^{208}\text{Pb}$  などの M1 励起に応用し、最近の精密実験の結果と比較することにより強度分裂に対する tensor 力の役割を指摘した。
- (2) Gauss 関数展開法を発展的に応用することにより、半微視的相互作用を含む有限レンジ相互作用を用いた核構造研究のための新しい数値計算法を開発した。
  - ① Gauss 関数展開法を用いた、軸対称変形核に対する自己無撞着平均場計算の方法及びプログラムを開発し、drip 線近傍でも有効であることを確かめた。また、中性子 drip 線近傍核に重点を置いて Mg 同位体の密度分布を調べた。
  - ② 二重閉殻核を対象として、Gauss 関数展開法に基づく乱雑位相近似のプログラムを開発し、他の手法との比較等によってその有効性、特に drip

線にかなり近い核の励起モードに対しても有効な数値計算法であることを示した。

- (3) 核子・原子核弾性散乱におけるリアレンジメント・ポテンシャルの影響の評価を試みた。

- ① 核子・原子核弾性散乱の光学ポテンシャルを核子間相互作用から微視的に求める際、従来はリアレンジメントの効果を無視してきた。リアレンジメントに起因する項の存在を指摘し、その評価法を定式化した。

- ②  $^{40}\text{Ca}$ ,  $^{90}\text{Zr}$ ,  $^{208}\text{Pb}$  を対象として、核子弾性散乱や反応断面積におけるリアレンジメント・ポテンシャルの影響の評価を試みた。しかし、虚数部に対する影響が重要とみられるもののその定量的評価が容易でなく、確定的な結論を示すに至っていない。

- (4) 核準位密度は低エネルギー核反応において重要な役割を担う。殻モデルモンテカルロ法を使って、主殻内の多体相関を full に取り入れた核準位密度の計算を行った。

- ① 量子モンテカルロ法に角運動量射影を組み込む、比較的簡便な方法を開発し、これを応用して核準位密度の角運動量依存性を調べた。

- ② 殻モデルモンテカルロ法におけるアイソスピン射影の手法を開発し、有効相互作用の補正を精度よく行えることを示した。

- ③ 希土類領域の変形核に対して殻モデルモンテカルロ法計算を実行し、核準位密度を再現できることを示した。有効相互作用についても調べた。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 10 件)

- 1) H. Nakada, “Modified parameter-sets of M3Y-type semi-realistic nucleon-nucleon interaction for nuclear structure studies”, *Physical Review C* 81, 027301-1-4 (2010) (査読有)
- 2) H. Nakada, “Mean-field and RPA approaches to stable and unstable nuclei with semi-realistic interactions”, *The European Physical Journal A* 42, 565-569 (2009) (査読有)
- 3) H. Nakada, “Mean-field and RPA approaches to stable and unstable nuclei with semi-realistic interactions”, AIP Conference

Proceedings 1165, 271–274 (2009) (査読無)

4) T. Shizuma, T. Hayakawa, H. Nakada, 他5名(8番目), “Spin-flip M1 strengths in  $^{208}\text{Pb}$ ”, AIP Conference Proceedings 1153, 297–302 (2009) (査読無)

5) H. Nakada, K. Mizuyama, M. Yamagami and M. Matsuo, “RPA calculations with Gaussian expansion method”, Nuclear Physics A 828, 283–305 (2009) (査読有)

6) T. Shizuma, T. Hayakawa, H. Nakada, 他5名(8番目), “Fine structure of magnetic dipole strength distribution in  $^{208}\text{Pb}$ ”, Physical Review C 78, 061303(R)-1–4 (2008) (査読有)

7) H. Nakada, “Mean-field approach to nuclear structure with semi-realistic nucleon-nucleon interactions”, Physical Review C 78, 054301-1–13 (2008) (査読有)

8) H. Nakada and Y. Alhassid, “Isospin-projected nuclear level densities by the shell model Monte Carlo method”, Physical Review C 78, 051304(R)-1–4 (2008) (査読有)

9) Y. Alhassid, L. Fang and H. Nakada, “Heavy deformed nuclei in the shell model Monte Carlo approach”, Physical Review Letters 101, 082501-1–4 (2008) (査読有)

10) H. Nakada, “Application of Gaussian expansion method to nuclear mean-field calculations with deformation”, Nuclear Physics A 808, 47–59 (2008) (査読有)

[学会発表] (計18件)

1) 中田 仁, “N=40 近傍の殻構造”, 日本物理学会第65回年次大会, 2010年3月23日, 岡山大学津島キャンパス

2) H. Nakada, “Shell structure in neutron-rich Ca and Ni nuclei”, International Symposium “Forefronts of Researches in Exotic Nuclear Structures”, March 3, 2010, 新潟県十日町市

3) H. Nakada, “Toward realistic nuclear mean fields”, EFES-LIA Workshop on the Nuclear Energy Density Functional Method, February 26, 2010, 理化学研究所仁科加速器研究センター

4) H. Nakada, “Mean-field approach to nuclei and nuclear matter with semi-realistic interaction”, Yukawa International Program for

Quark-Hadron Sciences “New Frontiers in QCD 2010 — Exotic Hadron Systems and Dense Matter —”, January 22, 2010, 京都大学基礎物理学研究所

5) H. Nakada, “RPA calculations with Gaussian expansion method”, 3rd Joint Meeting of the Nuclear Physics Division of the APS and JPS, October 13, 2009, Waikoloa, Hawaii, U. S. A.

6) T. Shizuma, “Nuclear photon scattering experiments by quasi-monochromatic, linearly polarized light sources”, 3rd Joint Meeting of the Nuclear Physics Division of the APS and JPS, October 10, 2009, Waikoloa, Hawaii, U. S. A.

7) 中田 仁, “原子核のE1及びM1励起に対する理論的アプローチの現状と課題”, RCNPミニワークショップ “原子核のE1, M1励起モードの探究と今後の戦略”, 2009年8月6日, 大阪大学核物理研究センター

8) H. Nakada, “Application of semi-realistic interaction to nuclear structure problems”, YITP International Workshop on Development of nuclear structure models from the viewpoint of nuclear force, May 20, 2009, 京都大学基礎物理学研究所

9) H. Nakada, “Spin- and isospin-projected nuclear level densities in the shell model Monte Carlo methods”, 2nd Workshop on Level Density and Gamma Strength, May 12, 2009, Oslo, Norway

10) H. Nakada, “Mean-field and RPA approaches to stable and unstable nuclei with semi-realistic interactions”, International Conference on Nuclear Structure and Dynamics, May 7, 2009, Dubrovnik, Croatia

11) 中田 仁, “半現実的相互作用が導く原子核の現実的平均場”, 日本物理学会第64回年次大会, 2009年3月30日, 立教学院池袋キャンパス

12) H. Nakada, “Mean-field and RPA approaches to stable and unstable nuclei with semi-realistic interactions”, The 5th International Conference on Exotic Nuclei and Atomic Masses, September 11, 2008, Ryn, Poland

13) 新開 豪, “低エネルギー核子-原子核弾性散乱におけるリアレンジメントポテンシャルの影響Ⅲ”, 日本物理学会

2008年秋季大会, 2008年9月23日, 山形大学北白川キャンパス

14) 中田 仁, “Heavy deformed nuclei in the shell model Monte Carlo approach”, 日本物理学会2008年秋季大会, 2008年9月20日, 山形大学北白川キャンパス

15) H. Nakada, “Nuclear mean-field calculations with Gaussian expansion method”,

JUSTIPEN-EFES-Hokudai-UNEDF meeting, July 23, 2008, 北海道大沼公園

16) H. Nakada, “Shell model Monte Carlo approach to level densities of heavy deformed nuclei”, Workshop on Statistical Nuclear Physics and Applications in Astrophysics and Technology, July 10, 2008, Athens, Ohio, U. S. A.

17) H. Nakada, “Application of semi-realistic interaction to nuclear mean-field approaches”, First FIDIPRO-JSPS Workshop on Energy Density Functionals in Nuclei, 2007年10月26日, Keruu, Finland

18) H. Nakada, “Mean-field calculations with Gaussian expansion method”, YITP Workshop on Nuclear Structure: New Pictures in the Extended Isospin Space, 2007年6月11日, 京都大学基礎物理学研究所

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

出願年月日 :

国内外の別 :

○取得状況 (計0件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

取得年月日 :

国内外の別 :

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中田 仁 (千葉大学・大学院理学研究科・教授)

研究者番号 : 80221448

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし