

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月15日現在

機関番号：34406

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21740194

研究課題名（和文）不安定核における核力の特異性と  $\pi$  中間子の役割

研究課題名（英文）Specificity of nuclear force and the role of pion in unstable nuclei

研究代表

明 孝之 (MYO TAKAYUKI)

大阪工業大学・工学部・講師

研究者番号：20423212

研究成果の概要（和文）：原子核は陽子と中性子が  $\pi$  中間子とよばれる粒子を交換することで結合する。この結合の力は  $\pi$  中間子交換力とよばれる。本研究ではこの力が原子核の構造の決定に果たす役割を解明した。まず  $\pi$  中間子交換力をもつ非等方性を発揮できる新しい原子核模型を構築し、次にその模型を用いて質量数が軽い原子核の構造を解析した。その結果、原子核のエネルギー準位の記述において、 $\pi$  中間子交換力が本質的な役割を果たすことが解明された。他の研究成果として、中性子が陽子よりも過剰な原子核に現れる多体の共鳴状態の理論的予言とその構造解析を行った。

研究成果の概要（英文）：The nucleus is formed by the one-pion exchange potential (OPEP) between protons and neutrons. In this study, we investigate the role of the OPEP, which contains the non-central component. We first develop the theoretical method to treat the OPEP in nuclei and next apply this method to analyze the structures of light nuclei. From the results, it is found that the OPEP plays a decisive role to explain the excitation energy spectra. In addition, we also predict the many-body resonances observed in neutron-rich unstable nuclei and investigate the structures of those resonances.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	2,400,000	720,000	3,120,000

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：原子核（理論）、核力、テンソル力、不安定核、共鳴

## 1. 研究開始当初の背景

(1)原子核は核力によって結合するが、その機構は不明であった。理由は核力の主要素である  $\pi$  中間子交換力から生まれるテンソル力が、非中心力であるために理論的扱いが困難であり、そのためテンソル力の果たす役割が不明瞭であったからである。

(2)原子核は陽子または中性子のどちらか一方が過剰になると不安定になり、時間が経つと崩壊する共鳴状態となる。このような極限状態の原子核の性質は未知であり興味深い。不安定核の性質を知ることは原子核物理の最先端課題の一つである。

## 2. 研究の目的

(1)原子核における核力、特にテンソル力の役割を解明する。そのためにテンソル力を記述できる新しい原子核模型の構築も行う。その模型により、テンソル力が原子核の構造に生む特徴を理解し、「核力と核構造」の関係を解明する。

(2)不安定核に特徴的に現れる共鳴状態の性質を調べる。特に中性子が過剰な原子核に現れる多体の共鳴状態の予言とその構造を調べる。

## 3. 研究の方法

(1) 原子核の構造における核力の役割を調べるために、核力が持つテンソル力の効果を記述する新しい原子核模型を構築した。模型の名称は「テンソル最適化殻模型 (Tensor-Optimized shell model, TOSM)」である。

(2)核力は核子間が短距離のときに斥力になる。このため原子核内では、核子は互いにある程度の距離を保って存在している。この効果を扱う理論的方法として「ユニタリー相関演算子法 (Unitary Correlation Operator Method, UCOM)」を用いた。

(3)原子核の多体の共鳴状態を扱う理論として筆者がこれまで精力的に発展させてきた「複素座標スケールリング法 (Complex Scaling Method, CSM)」を用いた。

## 4. 研究成果

(1)まず核力の記述に必要な原子核模型である「テンソル最適化殻模型 TOSM」の構築に成功した。模型の特徴は、原子核内において、テンソル力により励起した核子の運動を、原子核の結合エネルギーに対する変分問題として顕わに扱う点である。この模型を用いて軽い原子核の結合エネルギーを計算したところ、厳密解をよく再現した。すなわち TOSM の有用性が確立された。今後は TOSM を用いた、原子核における核力の役割の解明が期待される。

(2)テンソル最適化殻模型 TOSM を用いて、軽い不安定核の構造を解析した。特に、不安定核の基底・励起状態におけるテンソル力の働きの違い、すなわちテンソル力が生み出す状態依存性を調べた。その結果、原子核の各状態の配位に応じてテンソル力の効果が異なることが判明した。それを起因として原子核の励起スペクトラムが再現されることが理解できた。図 1 にヘリウム同位体の場合の結果を示す。今後はさらに質量数が大きい原子核へ TOSM を適用することが考えられる。

(3)複素座標スケールリング法 CSM を使用して、不安定核に現れる共鳴状態の予言を行った。理論的には最大で 5 体に崩壊する共鳴状態を扱えるところまで発展した。その範囲で中性子過剰な原子核の共鳴状態のエネルギー準位を実験に先駆けて予言し、更にそれらの内部構造を解明した。図 2 にヘリウム同位体の共鳴準位の結果を示す。今後は、この研究成果を基盤として、更に 6 体、7 体の共鳴状態の解析が期待される。

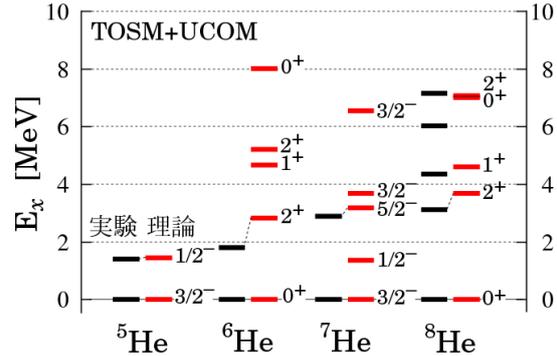


図 1: TOSM を用いたヘリウム同位体の励起エネルギー・スペクトラム

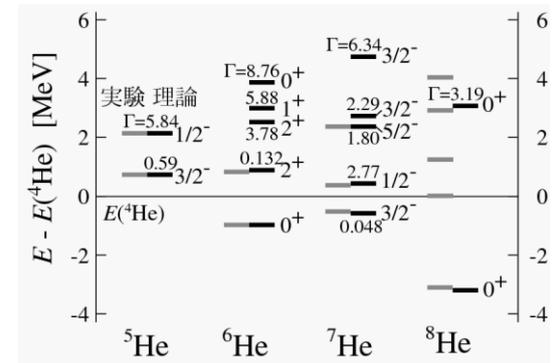


図 2: CSM を用いたヘリウム同位体の共鳴エネルギー準位の予言

## 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 26 件)

① Isoscalar monopole excitations in 160:  $\alpha$ -cluster states at low energy and mean-field-type states, Taiichi Yamada, Yasuro Funaki, Takayuki Myo, Hisashi Horiuchi, Kiyomi Ikeda, Gerd. Roepke, Peter Schuck, Akihiro Tohsaki, Physical Review C 85 (2012) 034315, 査読有, DOI:10.1103/PhysRevC.85.034315

② Four-body resonances of 7B using the

- complex scaling method, Takayuki Myo, Yuma Kikuchi, Kiyoshi Kato, *Physical Review C* 84 (2011) 064306, 査読有, DOI:10.1103/PhysRevC.84.064306
- ③ Three-body model analysis of  $\alpha$ +d elastic scattering and the  $d(\alpha, \gamma)^6\text{Li}$  reaction in complex-scaled solutions of the Lippmann-Schwinger equation, Yuma Kikuchi, Nozomi Kurihara, Atsushi Wano, Kiyoshi Kato, Takayuki Myo and Masaaki Takashia, *Physical Review C* 84 (2011) 064610, 査読有, DOI: 10.1103/PhysRevC.84.064610
- ④ Role of the tensor interaction in He isotopes with a tensor-optimized shell model, Takayuki Myo, Atsushi Umeya, Hiroshi Toki and Kiyomi Ikeda, *Physical Review C* 84 (2011) 034315, 査読有, DOI:10.1103/PhysRevC.84.034315
- ⑤ Five-body resonances of  $^8\text{He}$  using the complex scaling method, Takayuki Myo, Ryosuke Ando and Kiyoshi Kato, *Physics Letters B* 691 (2010) 150-155, 査読有, DOI:10.1016/j.physletb.2010.06.034
- ⑥ Two-neutron correlations in  $^6\text{He}$  in a Coulomb breakup reaction, Yuma Kikuchi, Kiyoshi Kato, Takayuki Myo, Masaaki Takashina and Kiyomi Ikeda, *Physical Review C* 81 (2010) 044308, 査読有, DOI: 10.1103/PhysRevC.81.044308
- ⑦ Tensor optimized shell model using bare interaction for light nuclei, Takayuki Myo, Hiroshi Toki and Kiyomi Ikeda, *Modern Physics Letters A* 25 (2010), pp.1985-1988, 査読無, DOI: 10.1142/S0217732310000800
- ⑧ One-neutron removal strength of  $^7\text{He}$  into  $^6\text{He}$  using the complex scaling method, Takayuki Myo, Ryosuke Ando, Kiyoshi Kato, *Physical Review C* 80 (2009) 014315, 査読有, DOI:10.1103/PhysRevC.80.014315
- ⑨ Coulomb Breakup Reactions in Complex-Scaled Solutions of the Lippmann-Schwinger Equation, Yuma Kikuchi, Takayuki Myo, Masaaki Takashina, Kiyoshi Kato, Kiyomi Ikeda, *Progress of Theoretical Physics* 122 (2009) pp.499-510, 査読有, DOI: 10.1143/PTP.122.499
- ⑩ Tensor-optimized shell model with bare nucleon-nucleon interaction for  $^4\text{He}$ , Takayuki Myo, Hiroshi Toki and Kiyomi Ikeda, *Progress of Theoretical Physics* 121 (2009) pp.511-531, 査読有, DOI: 10.1143/PTP.121.511
- [学会発表] (計 53 件)
- ① 明孝之, テンソル最適化シェルモデルによる s-p シェル核構造, 日本物理学会第 67 回年次大会・シンポジウム「テンソル力による核子多体系の構造とそのダイナミックス」, 関西学院大学, 2012 年 3 月 26 日
- ② Takayuki Myo, Halo formation in  $^{11}\text{Li}$ : The Role of Pairing and Tensor Correlations, 501. WE-Heraeus-Seminar, Physikzentrum Bad Honnef, Germany, 2012 年 3 月 21 日
- ③ Takayuki Myo, Role of tensor force in light nuclei with tensor optimized shell model, International molecule on "Nuclear forces and neutron-rich matter", 京都大学, 2012 年 3 月 13 日
- ④ Takayuki Myo, Roles of tensor force in light nuclei with tensor optimized shell model, International symposium on frontiers in nuclear physics -tensor interaction in nuclear and hadron physics-, 北航大学, Beijing, China, 2011 年 11 月 2 日
- ⑤ Takayuki Myo, Resonances and Continuum States of Drip-Line Nuclei Using the Complex Scaling Method, YKIS2011 Symposium Frontier Issues in Physics of Exotic Nuclei, 京都大学, 2011 年 10 月 11 日
- ⑥ Takayuki Myo, Roles of tensor and pairing correlations in neutron drip-line nuclei, YIPQS Long-term workshop Dynamics and Correlations in Exotic Nuclei, 京都大学, 2011 年 10 月 3 日
- ⑦ 明孝之, He 同位体におけるテンソル力の働きと高運動量成分, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 弘前大学, 2011 年 9 月 16 日
- ⑧ 明孝之, He 同位体におけるテンソル相関の役割, 日本物理学会第 66 回年次大

会, 新潟大学, 2011年3月25日

- ⑨ Takayuki Myo, Role of Tensor Force in Light Nuclei Based on the Tensor Optimized Shell Model, International conference on the structure of baryons "BARYONS' 10", 大阪大学, 2010年12月10日
- ⑩ Takayuki Myo, Roles of tensor and pairing correlations in neutron drip-line nuclei, International symposium "Halo2010", 葉山, 2010年12月8日
- ⑪ 明 孝之, 4He, 5Heにおけるテンソル関連の役割, 日本物理学会 2010年秋季大会, 九州工業大学, 2010年9月11日
- ⑫ Takayuki Myo, Resonances and Continuum States of Drip-Line Nuclei Using the Complex Scaling Method, The 24th International Nuclear Physics Conference (INPC2010), University of British Columbia, Vancouver Canada, 2010年7月5日
- ⑬ Takayuki Myo, Resonances and continuum states of halo nuclei using the complex scaling method, 2nd Workshop on "State of the Art in Nuclear Cluster Physics", Universite Libre de Bruxelles, Brussels, Belgium, 2010年5月27日
- ⑭ 明 孝之, 8Heの5体共鳴状態の構造, 日本物理学会第65回年次大会, 岡山大学, 2010年3月23日
- ⑮ Takayuki Myo, Tensor optimized shell model using bare interaction for light nuclei, International Symposium "Forefront of researches in exotic nuclear structures", Tokamachi, Niigata, 2010年3月4日
- ⑯ Takayuki Myo, Tensor optimized shell model using bare interaction for light nuclei, Workshop on "Hadron and Nuclear Physics (HNP09)", Osaka University, 2009年11月16日
- ⑰ Takayuki Myo, Resonances of He isotopes using complex scaling method, 3rd joint meeting of the nuclear physics divisions of the APS and JPS, Hawaii big island, USA, 2009年10月14日

⑱ Takayuki Myo, Tensor optimized shell model using bare interaction for light nuclei, 19th International IUPAP Conference on Few-Body Problems in Physics, Germany, Bonn, 2009年9月2日

⑲ Takayuki Myo, Tensor optimized shell model using bare interaction for light nuclei, 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON NUCLEAR REACTION MECHANISMS, Varenna, Italy, 2009年6月18日

[図書] (計2件)

- ① Kiyomi Ikeda, Takayuki Myo, Kiyoshi Kato and Hiroshi Toki, Springer, Di-neutron clustering and deuteron-like tensor correlation in nuclear structure focusing on 11Li, Lecture Notes in Physics (LNP) 818 (2010) "Clusters in Nuclei" Volume 1, pp.165-221.
- ② A. Hosaka, T. Myo, H. Nagahiro and K. Nawa, World Scientific, Proceedings of the international workshop on hadron and nuclear physics, (2010) 406 pages.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

明 孝之 (Myo Takayuki)  
大阪工業大学・工学部・講師  
研究者番号: 20423212

### (2) 研究協力者

土岐 博 (Toki Hiroshi)  
大阪大学・核物理研究センター・名誉教授  
研究者番号: 70163962  
池田 清美 (Ikeda Kiyomi)  
理化学研究所・仁科加速器研究センター  
・客員研究員  
研究者番号: 40011548