

## 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29日現在

機関番号：21602  
 研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2008～2011  
 課題番号：20540277  
 研究課題名（和文） 対相関とエネルギー密度関数による非対称核物質及び原子核の研究  
 研究課題名（英文） Study of asymmetric nuclear matter and nuclei by pairing and energy density functional

## 研究代表者

佐川 弘幸（Sagawa Hiroyuki）  
 会津大学・コンピュータ理工学部・教授  
 研究者番号：50178589

研究成果の概要（和文）：微視的理論に基づく対相関とエネルギー密度関数を用いて、非対称核物質及び原子核の構造の研究を行った。特にスピンアイソスピン励起とテンソル力の相関の効果に注目し原子核内での、テンソル型密度関数を決定した。また状態方程式に対する対相関の効果을明らかにし、核物質および中性子核物質に対する効果を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：We studied asymmetric nuclear matter and finite nuclei using microscopic pairing interactions and energy density functional. Especially, spin-isospin excitations are studied to clarify the role of the tensor interactions in nuclear medium. The effect of pairing correlations on nuclear Equation of State is also discussed to clarify its role on the properties of nuclear matter and neutron matter.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

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：spin-isospin excitation、対相関、テンソル力、中性子星

## 1. 研究開始当初の背景

この分野の研究は、実験的にも理論的にも新しい加速器施設や国際的な研究施設の開設が世界的にも相次いで活発な研究活動を開始していた。新しい加速器はそれまで地球上では生成できなかった未知の原子核を生成しその性質を探ることを可能にした。理論の面でも、国内外の研究者が新しい不安定原子核の有限量子多体系としての構造や動力学の研究のみならず、有限多体系でのBCS-BEC(Bose Einstein 凝縮)crossoverなどの新しい相転移の研究も活発であった。ま

た、宇宙初期の原子核の生成や超新星や中性子星の構造を解くための境界領域の研究を活発であった。

## 2. 研究の目的

この研究では、対相関を含めた現実的なHamiltonianまたはLagrangianから出発した平均場理論により、中性子星等の無限系および非対称な不安定原子核を含めた量子多体系の構造を研究する。一つの大きなテーマは、核物質の状態方程式と有限多体系の集団運動の相関性を明らかにすることであり、特

に状態方程式のスピンに依存する部分や、アイソベクトル部分を実験的に検証することに注目する。もう一つのテーマは、核子密度が小さくなる原子核表面付近での対相関の効果の変化と核子対の空間的な凝縮の関係を探る。このような研究は、非対称核物質やアイソスピンの大きな不安定原子核の構造を明らかにする意味で重要であるのみならず、超新星爆発メカニズムや中性子星の内部の構造を研究するために重要な状態方程式を実験室系から検証し、その決定ための情報を与えることになることから、境界領域への impact も大きな研究テーマである。

### 3. 研究の方法

研究の方法としては、量子多体系を取り扱う微視的理論である、Hartree-Fock 理論や random phase approximation (RPA, 乱雑位相近似) もとにして、有効相互作用として広く用いられている Skyrme 型相互作用を用いた。また対相関として Isospin に依存する相互作用を用い、Hartree-Fock+BCS 理論や Hartree-Fock-Bogolyubov 近似を用いて基底状態への対相関の効果を定量的に検討した。励起状態に関しては Quasi-Particle RPA 用いてその効果を研究した。

### 4. 研究成果

この科研費による研究の成果として次のような項目が挙げられる。

#### • Skyrme 型のテンソル力と Spin-Dipole 励起

ここ数年、テンソル力の平均場や励起状態に対する効果が注目されている。テンソル力の特徴として、強い角運動量依存性があり、我々はスピン双極子型遷移に注目し、自己無撞着な Hartree-Fock+ random phase 近似をもちいて、テンソル力が励起エネルギーに対してどのような効果を持つかを明らかにしてきた。この研究により、現象論的なテンソル力を含むエネルギー密度関数と Landau parameter の関係に注目し実験との対応からその現実的な parameter を選んだ。

#### • 粒子-振動結合に対する統一的微視的理論

一粒子エネルギー準位やその spectroscopic 因子にたいする平均場近似をこえた効果の重要性が注目されている。我々は Skyrme 相互作用に基づいて統一的な self-consistent な理論により粒子-振動結合を用いて一粒子エネルギーを評価し実験量との対応しながら、その効果を定量的に検討した。

#### • 原子核の非圧縮率と対相関

対相関が強い原子核で、原子核の基本的な性

質である非圧縮率がどのような効果を受けるかを、微視的理論により計算し、対相関の定量的な効果を明らかにした。

#### • 反ハロー効果と対相関

多くの緩く結合した原子核でハロー効果が観測されている。我々是对相関がそのハロー効果を弱め、原子核の反応断面積の odd-even staggering 効果を引きをこすことを指摘した。

### 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 40 件)

① Global investigation of odd-even mass differences and radii with isospin dependent pairing interactions. 査読有  
Phys. Rev. C85, 014321/pp.1-8 (2012).

C. A. Bertulani, Hongliang Liu and H. Sagawa

② Hyperon effect in covariant density functional theory with recent astrophysical observations. 査読有  
Phys. Rev. C85, 025806 (2012)/pp.1-7.

WenHui Long, Bao Yuan Sun, Kouichi Hagino, Hiroyuki Sagawa

③ Odd-even staggering of reaction cross sections for 22, 23, 240 isotopes. 査読有  
Phys. Rev. C85, 037604 /pp. 1-2(2012)

K. Hagino and H. Sagawa

④ A new finite-range droplet mass model and associated EOS parameters. 査読有  
Phys. Rev. Lett. 108, 052501/pp.1-4 (2012)  
P. Moller, W.D. Myers, H. Sagawa and S. Yoshida

⑤ Evidence of a pairing anti-halo effect in the odd-even staggering in reaction cross sections of weakly bound nuclei. 査読有  
Phys. Rev. C84, 011303/pp.1-4 (2011).

K. Hagino and H. Sagawa

⑥ Spin-dipole excitations in 160 and tensor correlations. 査読有  
Phys. Rev. C84, 044329/pp.1-6 (2011)

C.L. Bai, H. Sagawa, G. Colo, H.Q. Zhang, and X.Z. Zhang

⑦ Effect of proton-proton Coulomb repulsion on soft dipole excitations of light proton-rich nuclei. 査読有  
Phys. Rev. C84, 057301/pp.1-3 (2011)

T, Oishi, K. Hagino and H. Sagawa

⑧ Ground state properties and Coulomb dissociation of the deformed halo nucleus  $^{31}\text{Ne}$ . 査読有

Phys. Rev. C 83, 04303(R)/pp. 1-5, (2011)  
Y. Urata, K. Hagino and H. Sagawa

⑨ Effect of pairing correlations on incompressibility and symmetry energy in nuclear matter and finite nuclei. 査読有

Phys. Rev. C 82, 024322/pp. 1-8, (2010)  
E. Khan, J. Margueron, G. Colo, K. Hagino and H. Sagawa

⑩ Di-proton correlation in a proton-rich Borromean nucleus  $^{17}\text{Ne}$ . 査読有

Phys. Rev. C 82, 024315, (2010)/pp. 1-5; errata, Phys. Rev. C 82, 069901 (2010)  
T. Oishi, K. Hagino and H. Sagawa

⑪ Nuclear single-particle states: dynamical shell model and energy density functional methods. 査読有

J. Phys. G 37, 064013/pp. 1-6 (2010).  
P. F. Bortignon, G. Colo and H. Sagawa

⑫ Spin and Spin-Isospin instabilities and Landau parameters of Skyrme interactions with tensor terms. 査読有

Phys. Rev. C 81, 044302/pp. 1-7, (2010)  
Li-Gang Cao, G. Colo and H. Sagawa

⑬ Effect of the Tensor Force on Charge-Exchange Spin-Dependent Excitations of  $^{208}\text{Pb}$ . Phys. Rev. Lett. 105, 072501/pp. 1-4 (2010). 査読有

C. L. Bai, H. Q. Zhang, X. Z. Zhang, F. R. Xu, H. Sagawa, and G. Colo

⑭ Odd-even mass difference and isospin dependent pairing interaction. 査読有

Phys. Rev. C 80, 027303/pp. 1-4 (2009)  
C. A. Bertulani, Hongfeng Lu and H. Sagawa

⑮ Extended Skyrme interaction: spin fluctuations in dense matter. 査読有

J. Phys. G 36, 125102/pp. 1-11 (2009)  
J. Margueron and H. Sagawa

⑯ Effect of Tensor Correlations on Gamow-Teller States in  $^{90}\text{Zr}$  and  $^{208}\text{Pb}$ . 査読有

Phys. Lett. B 675, pp. 28-31 (2009)  
C. L. Bai, H. Sagawa, H. Q. Zhang, X. Z. Zhang, G. Colo and F. R. Xu

⑰ Quenching of Gamow-Teller strength due to Tensor Correlations in  $^{90}\text{Zr}$  and  $^{208}\text{Pb}$ . 査読有

Phys. Rev. C 79, 041301(R)/pp. 1-5 (2009).  
C. L. Bai, H. Q. Zhang, X. Z. Zhang, F. R. Xu, H. Sagawa, and G. Colo.

⑱ Two-particle Correlations in Continuum dipole excitations in Borromean nuclei. 査読有

Phys. Rev. C 80, 031301(R)/pp. 1-4 (2009).  
K. Hagino, H. Sagawa, T. Nakamura and T. Shimoura.

⑲ Possible Shape Coexistence and Magnetic Dipole Transitions in  $^{17}\text{C}$  and  $^{21}\text{Ne}$ . 査読有

Phys. Rev. C 78, 041304(R)/pp. 1-5 (2008).  
H. Sagawa, X. R. Zhou, T. Suzuki, and N. Yoshida

⑳ Effective Pairing Interactions with Isospin Density Dependence. 査読有

Phys. Rev. C 77, 054309 (2008) pp. 1-10.  
J. Margueron, H. Sagawa and K. Hagino

㉑ Effective Mass and Pairing correlations. 査読有

Phys. Rev. C 77, 054308 (2008) pp. 1-5.  
S. Yoshida and H. Sagawa

㉒ Strong dineutron correlation in  $^8\text{He}$  and in  $^{18}\text{C}$ . 査読有

Phys. Rev. C 77, 054317/pp. 1-9 (2008).  
K. Hagino, N. Takahashi and H. Sagawa

㉓ Axial and reflection asymmetry of the nuclear ground state. 査読有

Atomic Data and Nuclear Data Tables 94, pp. 758-780 (2008). P. Moller, R. Bengtsson, B. G. Carlsson, P. Olivius, T. Ichikawa, H. Sagawa and A. Iwamoto

[学会発表] (計 25件)

① Pairing correlations and anti-halo effect in weakly bound nuclei.

YKIS2011 Symposium 'Frontier Issues in Physics of Exotic Nuclei'

(11th - 15th October, 2011)  
Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto, Japan. H. Sagawa and K. Hagino

② Tensor correlations and Spin dependent excitations

French Japanese Symposium on Nuclear Structure Problems (January 4-8, RIKEN,

Saitama, Japan, 2011)

H. Sagawa

③ New type of pairing interactions in nuclear matter and finite nuclei.

International symposium on ``Many-body correlations from dilute to dense nuclear systems'' (Paris, France, February 15-18, 2011) H. Sagawa

④ Tensor interactions and nuclear structure. International Workshop on ``Nuclear Structure : Recent Developments'' (Dubna, Russia, October 14-16, 2010) H. Sagawa

⑤ Di-neutron and do-proton correlations in the ground state and E1 excitations of Borromean nuclei.

Japan-Italy EFES workshop (September 6-8, 2010, Torino, Italy) H. Sagawa

⑥ Tensor interactions and nuclear structure. PASI 2010 on RARE isotopes (August 1-13, 2010, Joao Pessoa, Brazil), H. Sagawa

⑦ Effect of tensor interaction on Spin-Dipole excitations

Japan-German nuclear physics symposium (June 16-18, 2010, RIKEN, Japan)

H. Sagawa

⑧ Effect of tensor interaction on Single-particle states and Spin-dependent excitations, JUSTIPEN-EFES workshop (March 15-17, 2010, Oak Ridge, USA)

H. Sagawa

⑨ Dineutron correlation in the ground state and E1 excitations of Borromean nuclei. Int. Conference Niigata2010 ( March 1-4, 2010, Niigata, Japan)

K. Hagino, H. Sagawa, and T. Oishi

⑩ Effect of tensor interaction on heavy and superheavy nuclei

Proc. of Int. Conference Niigata2010 ( March 1-4, 2010, Niigata, Japan)

Xian-Rong Zhou and H. Sagawa

⑪ Spin instability and Tensor interactions.

France-Japan meeting on ``Mean Field Theory'' (February 26-27, 2010, RIKEN, Japan) H. Sagawa

⑫ Tensor correlations in Spin-Isospin response. International Symposium on

``Spin-Isospin Response 2010 (February 18-21, 2010, University of Tokyo, Japan)

H. Sagawa

⑬ Spin-Isospin response and tensor interactions. International Workshop on

``Spin-Isospin excitations'' (September 28- October 2, 2009, Trento, Italy)

H. Sagawa

⑭ Tensor correlations in Nuclei International Symposium on ``Nuclear Structure in Us table Nuclei''

(June 30-July 4, 2009, Dubna, Russia)

H. Sagawa

⑮ Effect of tensor interactions on evolution of single-particle states

International Symposium on ``Collective Motions in Exotic Nuclei (COMEX4)''

(June 2-5, 2009, Mackinac Island, Michigan, USA) H. Sagawa

⑯ On Spin Fluctuations in Dense Matter Skyrme interactions. Int. Workshop on

``Bulk Nuclear Properties''

(Nov. 19-22, 2008, Michigan State University, USA)

H. Sagawa and J. Margueron

⑰ Pairing correlations in unstable nuclei and BCS-BEC crossover

Proc. of France-Japan workshop on ``New Paradigms of Nuclear Physics''

(Sept. 29 - Oct. 2, 2008, Paris, France)

H. Sagawa, J. Margueron and K. Hagino

⑱ Isospin Dependent Pairing Interactions and BCS-BEC crossover

``Nuclear Physics and Astrophysics: From Stable Beams to Exotic Nuclei'' (June 25 - 30, 2008, Cappadocia, Turkey)

Hiroyuki Sagawa, J. Margueron and K. Hagino

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

佐川 弘幸 (Sagawa Hiroyuki)

会津大学・コンピュータ理工学部・教授

研究者番号: 50178589

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号:

(3)連携研究者

吉田 智 ( Yoshida Satoru )  
法政大学・自然科学センター・教授  
研究者番号 : 60297992