

平成 30 年 6 月 12 日現在

機関番号：12701

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K17661

研究課題名(和文) 微視的核構造反応模型の応用と発展

研究課題名(英文) Application and development of microscopic nuclear structure and reaction models

研究代表者

古本 猛憲 (Furumoto, Takenori)

横浜国立大学・教育学部・准教授

研究者番号：20581086

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,800,000円

研究成果の概要(和文)：原子核は核子から構成された微小粒子であるため、核子レベルの微視的観点から、その様相を捉える必要がある。その原子核が持つ多様性を調べるため、微視的観点から核構造を構築し、さらに、核反応模型に適用した。本研究では、この微視的核構造反応模型を用いて、不安定核の分析を行った。本研究成果の中で、リチウム同位体原子核における余剰中性子の糊的効果について原子核散乱現象を通して明らかにすることができる可能性を示したことは大きな成果である。

研究成果の概要(英文)：The condition of the nucleus is investigated from the microscopic viewpoint because the nucleus is composed of nucleons. To investigate the variety of the nucleus, we apply the microscopic nuclear structure model to the microscopic nuclear reaction model. In this study, the unstable nucleus is analyzed with the nuclear structure and reaction models. It is important production that we demonstrated the glue-like role of the valence neutrons in the lithium isotopes through the nuclear scattering phenomenon.

研究分野：原子核理論物理学

キーワード：原子核構造 原子核反応 クラスタ模型 チャネル結合法

### 1. 研究開始当初の背景

原子核物理において、実験施設の発達に伴い不安定核の大規模な系統的解析が進められている。その不安定核の解析には、核反応解析を通じて得られる情報が多く、原子核の特有な構造情報を精密に測るためには、その核反応解析の信頼性が重要となる。実験データの解析において、核構造情報を反映した核反応解析を行うためには「核構造模型」・「核反応模型」・「相互作用模型」の3つの模型を通じて得られることが多い。その3つの模型を融合した微視的核構造反応模型を利用して原子核の理解に繋げる。

### 2. 研究の目的

(1) 微視的核構造反応模型を用いて、比較的軽い原子核の系統的解析を行う。比較的軽い原子核は、核子数がひとつ異なるだけで劇的な構造変化を示すことが多い。このような劇的な構造変化を見せる原子核では、特に閾値を超えるような励起状態近傍で顕著な相違性を見ることが出来る。そのため、軽い原子核の系統的な分析により、相違性と類似性をそれぞれ明らかにする。また、それを核構造の観点からではなく、核反応や相互作用の観点からも同時に分析を行い、原子核の多様性や特異性を明らかにする。

(2) 微視的核構造反応模型の発展のため、密度行列を用いた信頼性の高い模型の構築を行う。密度行列を用いることによって、弾性散乱において基底状態が含む原子核の多様性について議論を行うことが期待される。微視的核構造反応模型の発展は、これらの密度行列の情報を実験観測可能な断面積から明らかにすることが期待される。

### 3. 研究の方法

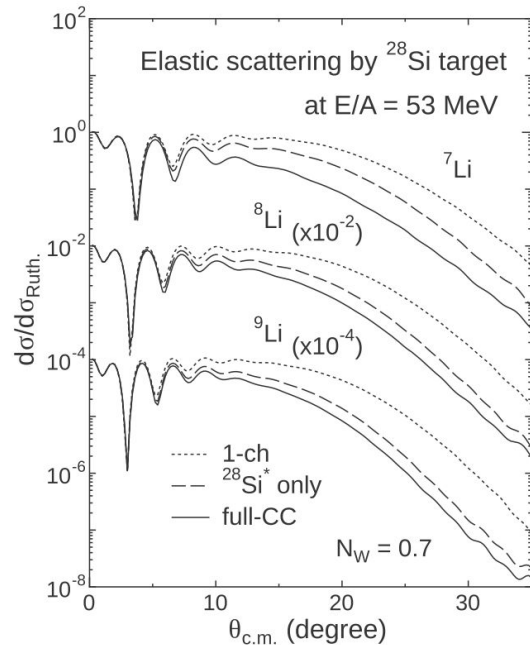
(1) 微視的核構造反応模型を用いて、比較的軽い原子核の構築を行い、その核構造の変化に着目をする。具体的には、 $6\text{Li}$  に核子を加えていった際の原子核のクラスター構造や殻構造の変化に注目する。さらに、その核構造変化が原子核反応現象に与える影響を調べる。そして、実験測定可能な物理量との対応の理解を深める。

(2) 一方で、模型の発展として密度行列を用いた  $4\text{He}+4\text{He}$  散乱実験解析を行う。核子数が少ない原子核である  $3\text{He}$ 、 $3\text{H}$  の解析も同時に進め、密度行列を用いた微視的核構造反応模型の構築を行う。

### 4. 研究成果

(1) 安定な原子核にさらに中性子や陽子が余剰ついた原子核を不安定核と呼ぶ。近年、そのような不安定原子核の分析が活発に進められている。本研究では、その不安定核と呼ばれるにも関わらず、余剰中性子が糊のような役割を果たすことによって、原子核構造

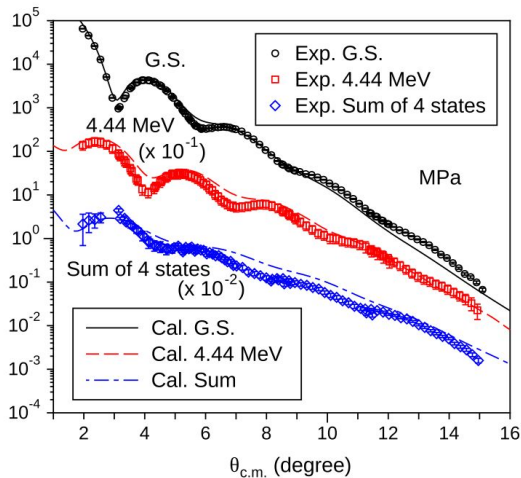
が安定化する現象に着目し、実験観測可能な物理量において分析を進めた。その結果、 $6\text{Li}$  原子核に余剰中性子を加えることにより、余剰中性子の糊効果によって、リチウム同位体原子核の構造が安定化し、その構造の安定化による効果が原子核弾性散乱反応現象にチャネル結合効果を通じて現れることを明らかにした。(雑誌論文、学会発表、)



図は雑誌論文 より抜粋

(2) 実験観測技術の発展に基づき、中性子星の研究が活発化している。これまでの中性子星の理論的な研究は、現象論的な手法が多く、大きな不定性を含んでいた。本研究では、現実的核力に基づいて中性子星の構築を理論的に行い、その不定性を可能な限り取り除き、最大質量と半径の関係について TOV 方程式を用いて導いた。さらに、今後観測されると期待される中性子星の大きさについて、いくつかシミュレーションの結果を与えた。(雑誌論文)

(3) 理論的に予言されていた高エネルギー重イオン散乱現象の特異性を確信するためには、実験的な測定が必要不可欠となる。そのため、第一段階として、核子当たり 100 MeV の重イオン散乱実験が行われた。その弾性・非弾性散乱実験の結果を分析することにより、核子間に働く三体斥力の働きや、原子核が励起する効果について検証を行った。その結果、三体斥力の役割が最も顕著であることを明らかにした。また、原子核の励起が散乱現象に与える寄与についても詳細に分析を行った。(雑誌論文、)



図は雑誌論文 より抜粋

(4) 原子核散乱を記述するためには、その散乱粒子となる原子核が励起する効果を見捨てることできない。そのため、対象となる原子核の構造情報を詳しく知る必要がある。本研究では、微視的クラスター模型を用いて、 $^9\text{Li}$  と  $^{10}\text{Be}$  の原子核構造を構築した。その後、微視的核反応模型によって原子核散乱の計算を行った。そして、 $^9\text{Li}$  と  $^{10}\text{Be}$  原子核の類似性と相違性について分析を行った。(雑誌論文、学会発表)

(5) 密度行列は、原子核の基底状態について、一般的な密度分布より詳細な情報を含んでいると考えられている。本研究では、その密度行列を利用した原子核反応計算の開発を行った。しかし、弾性散乱を通じて得られる密度行列の情報は、不定性のある問題もあり、はっきりと示すことはできなかった。しかし、この成果はこれまでの研究成果を裏付けるものとなり、過去の成果の信用性を高めるものとなった。(学会発表)

(6) (5) の成果により、弾性散乱現象においては、一般的に用いられている密度分布を利用して解析を進められることが明らかになった。そのため、密度分布を用いたグローバル光学ポテンシャルの構築を進めた。グローバル光学ポテンシャルは、系統的に弾性散乱を記述するだけでなく、歪曲波ポルン近似法やチャネル結合法などにより、弾性散乱以外の反応分析に幅広く利用することができる。そのグローバル光学ポテンシャルは、これまで安定核のみ構築されてきたが、本研究では不安定核領域まで拡張を行い、幅広く利用することができるようデータベース化を進めた。(学会発表)

### 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6件)

T. Furumoto, T. Suhara, and N. Itagaki, Effect of channel coupling on the elastic scattering of lithium isotopes, *Physical Review C*, 査読有, Vol. 97, 2018, pp.044602-1 044602-9, <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevC.97.044602>

Y. Yamamoto, H. Togashi, T. Tamagawa, T. Furumoto, N. Yasutake, and Th. A. Rijken, Neutron-star radii based on realistic nuclear interactions, *Physical Review C*, 査読有, Vol. 96, 2017, pp.065804-1 065804-8, <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevC.96.065804>

T. Furumoto, T. Suhara and N. Itagaki, Study of similarity and dissimilarity between  $^{10}\text{Be}$  and  $^9\text{Li}$  nuclei with microscopic structure and reaction models, *Journal of Physics: Conference Series*, 査読有, Vol.863, 2017, pp.012014-1 012014-3, <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/863/1/012014>

W. W. Qu, G. L. Zhang, S. Terashima, T. Furumoto, Y. Ayyad, Z. Q. Chen, C. L. Guo, A. Inoue, X. Y. Le, H. J. Ong, D. Y. Pang, H. Sakaguchi, Y. Sakuragi, B. H. Sun, A. Tamii, I. Tanihata, T. F. Wang, R. Wada, and Y. Yamamoto, Repulsive three-body force and channel-coupling effects via  $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$  scattering at 100A MeV, *Physical Review C*, 査読有, Vol.95, 2017, pp.044616-1 044616-14, <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevC.95.044616>

T. Furumoto, T. Suhara and N. Itagaki, Comparison Between  $^9\text{Li}$  And  $^{10}\text{Be}$  Nuclei from Viewpoint Of Nuclear Structure And Reaction, *Proceedings of Science*, 査読無, INPC2016, 2017, pp.224-1 224-7, <https://doi.org/10.22323/1.281.0224>

W. W. Qu, G. L. Zhang, S. Terashima, T. Furumoto, Y. Ayyad, Z. Q. Chen, C. L. Guo, A. Inoue, X. Y. Le, H. J. Ong, D. Y. Pang, H. Sakaguchi, Y. Sakuragi, B. H. Sun, A. Tamii, I. Tanihata, T. F. Wang, R. Wada and Y. Yamamoto, Effects of repulsive three-body force in  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$  scattering at 100A MeV, *Physics*

Letter B, 査読有, Vol. 751, 2015, pp. 1-6,  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2015.10.008>

[学会発表](計15件)

古本 猛憲、須原 唯広、堀内 涉、江幡 修一郎、椿原 康介、板垣 直之、微視的光学ポテンシャルの不安定核領域への適用と展望、市大ワークショップ「原子核のダイナミクスの現状と展望」～Highlights and Outlook on Dynamics of Atomic Nuclei～、大阪市立大学、2018

T. Furumoto, K. Tsubakihara, S. Ebata and W. Horiuchi, Expansion of global optical potential toward unstable nucleus, One-day Workshop at RIKEN Nishina Center "Current status of the microscopic description of nucleon-nucleus scattering", 理化学研究所和光キャンパス、2017

T. Furumoto, T. Suhara and N. Itagaki, Channel coupling effect for elastic scattering of Li isotope, Workshop on Nuclear Cluster Physics 2017 (WNC2017)、北海道大学、2017

T. Furumoto, K. Tsubakihara, S. Ebata and W. Horiuchi, Construction of global optical potential for nucleon-nucleus systems from microscopic view point, The International Symposium on Physics of Unstable Nuclei 2017 (ISPUN17)、ハロン市(ベトナム)、2017

古本 猛憲、堀内 涉、江幡 修一郎、椿原 康介、不安定核領域まで拡張された核子-核子間グローバル光学ポテンシャルの構築、日本物理学会 2017 年秋季大会、宇都宮大学、2017

古本 猛憲、須原 唯広、板垣 直之、重イオン散乱現象から探るリチウム同位体の構造、RCNP 研究会「核子・ストレンジネス多体系におけるクラスター現象」、大阪大学核物理研究センター、2017

古本 猛憲、須原 唯広、堀内 涉、江幡 修一郎、椿原 康介、板垣 直之、光学ポテンシャルのこれまでとこれから、RIBF 理論若手放談会：エキゾチック核物理の広がり、理化学研究所神戸キャンパス、2017

古本 猛憲、堀内 涉、山本 安夫、密度行列を用いた重イオン弾性散乱の記述、日本物理学会第 72 回年次大会、大阪大学豊

中キャンパス、2017

古本 猛憲、須原 唯広、板垣 直之、クラスター波動関数を用いた重イオン散乱の系統的記述、研究会「クラスター・平均場の両側面からみる原子核構造の多様性とそのダイナミクス」、大阪市立大学、2017

T. Furumoto, T. Suhara and N. Itagaki, Comparison between  ${}^9\text{Li}$  and  ${}^{10}\text{Be}$  nuclei from viewpoint of nuclear structure and reaction, International Nuclear Physics Conference (INPC2016)、アデレード(オーストラリア)、2016

T. Furumoto, T. Suhara, N. Itagaki, Y. Sakuragi and Y. Yamamoto, The study of nuclear interaction and structure through microscopic reaction model, ECT\* Workshops and collaboration meetings "Towards consistent approaches for nuclear structure and reactions", トレント(イタリア)、2016

T. Furumoto, T. Suhara and N. Itagaki, Study of similarity and dissimilarity between  ${}^{10}\text{Be}$  and  ${}^9\text{Li}$  nuclei with microscopic structure and reaction models, The 11th International Conference on Clustering Aspects of Nuclear Structure and Dynamics (Cluster'16)、ナポリ(イタリア)、2016

古本 猛憲、須原 唯広、板垣 直之、微視的核構造反応モデルを用いた  ${}^{10}\text{Be}$  原子核の研究、日本物理学会第 71 回年次大会、東北学院大学、2016

古本 猛憲、須原 唯広、板垣 直之、反応断面積による  ${}^{10}\text{Be}$  原子核の基底状態半径と coupling 効果、RCNP 研究会「全反応断面積及び荷電変化断面積による陽子・中性子半径研究の現状と展望」、大阪大学核物理研究センター、2016

古本 猛憲、畳込みモデルにおける局所密度近似の座標の取り方による影響、日本物理学会 2015 年秋季大会、大阪市立大学、2015

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

古本 猛憲 (FURUMOTO, Takenori)  
横浜国立大学・教育学部・准教授  
研究者番号：20581086

(2)研究協力者

板垣 直之 (ITAGAKI, Naoyuki)

須原 唯広 (SUHARA, Tadahiro)

山本 安夫 (YAMAMOTO, Yasuo)

堀内 渉 (HORIUCHI, Wataru)