

令和 2 年 5 月 20 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16H03995

研究課題名（和文）ダブルストレンジネス核の精密構造研究とその相互作用の決定

研究課題名（英文）structure of double strangeness nuclei and its interaction

研究代表者

肥山 詠美子（Hiyama, Emiko）

九州大学・理学研究院・教授

研究者番号：10311359

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000円

研究成果の概要（和文）：バリオン間相互作用の統一的理解を目指して、 $S=-2$ のハイペロン間相互作用の決定を本プロジェクトでは、研究目的とした。具体的には、 $NN$ 、 $NNN$ の未発見グザイハイパー核の構造研究に集中した。実際に使用する相互作用として、格子QCDという第一原理理論に基づいたグザイ核子間相互作用を用いて、構造計算を行った。その結果、 $NN$ の3体系には束縛状態は現れず、 $NNN$ の4体系になって初めて束縛状態が存在することを解き明かした。また、 $NNN$ システムを観測するためには、重イオン反応による実験が重要であることを指摘した。この研究は、2020年3月にプレスリリースされた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本プロジェクトにより、第一原理計算による信頼できるグザイ核子間相互作用を活用し、軽い原子核であるテトラ・グサイ原子核（核子が3つとグザイ粒子が1つ）の束縛状態の可能性を予言し、実験の可能性を指摘した。この原子核が将来、実験で存在を確定された時には、グザイ核子相互作用の詳細を理解することにつながる。また、この相互作用は中性子星の内部構造の研究に重要な役割を行うことが期待される。

研究成果の概要（英文）：To understand Baryon-Baryon interaction in unified way, we have studied  $S=-2$  hyperon-hyperon interaction. In detail, we focused on  $NN$  and  $NNN$  three- and four-body systems which has never been observed. As for  $N$  interaction, we employed  $N$  potential with basis on Lattice QCD, which is one of ab-initio calculation. As a result, there was no bound state for  $NN$  three-body system. On the other hand, we had a bound state for  $NNN$  four-body system. We propose to perform heavy ion reaction to observe it. We published press release in March in 2020.

研究分野：原子核理論

キーワード：ハイパー核 少数多体系物理

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

現代の原子核物理学や宇宙物理学の大きな研究目標の一つは、核子等を含むバリオン間相互作用の決定である。本目標の一環として、核子間相互作用の研究が実験・理論の両面から精力的になされ、その詳細が明らかになってきた。また、ストレンジネスと呼ばれるクォークを含む粒子(ラムダ粒子)と核子間相互作用についても、この20年の間に実験・理論の急速な発展により、その詳細が明らかになりつつある。この詳細が明らかになったラムダ-核子間相互作用を活用して、中性子星最大質量理論的研究が始まった。この研究のためには、ラムダ-ラムダ相互作用、およびグザイ-核子間相互作用の詳細も重要であることが認識されてきた。

## 2. 研究の目的

そこで、理論・実験の強力な協力体制の下、(i)ダブルストレンジネスハイパー核(2つのラムダ粒子と原子核、もしくはグザイ粒子と原子核で構成される原子核)の束縛エネルギーを求め、(ii)束縛エネルギーの実験値から未知のラムダ-ラムダ間相互作用、およびグザイ-核子間相互作用の詳細を理論的に明らかにすることを大きな研究目標とする。具体的にはp波のラムダ-ラムダ間相互作用およびスピン依存力、 $N^-$  結合相互作用、グザイ-核子間相互作用の決定を理論的に行う。

## 3. 研究の方法

信頼できる核子間相互作用を用いて、 $A=3 \sim 10$ までの軽いグザイハイパー核のエネルギー準位を预言する。また、 $A=4 \sim 16$ までのダブルラムダハイパー核のエネルギー準位を预言し、ラムダ-ラムダ相互作用のp波、 $N^-$  結合に関する情報を引き出す。これらの構造計算には、応募者が開発した「無限小変位ガウス・ローブ関数展開法」を用いる。これらの一連の研究で構築されたラムダ-ラムダ相互作用、グザイ-核子間相互作用を中性子星最大質量の計算に適用する。この際に、クラスター変分法を用いて、状態方程式を解く。さらには、ハイペロン-核子間相互作用のみならず、核力に付随する3体力についても、原子核の構造から導く。

## 4. 研究成果

(1) 2016年に4つの中性子で構成されるテトラ中性子の存在が実験的に報告された。この原子核が存在するとすれば、 $T=3/2$ の3体力の情報を得られる大変重要な実験である。また、 $T=3/2$ の3体力の研究は、この研究における目的の一つである中性子星最大質量を解き明かす鍵ともなるので、早速、この原子核の4体構造研究を行った。テトラ中性子原子核は、束縛状態だけでなく、共鳴状態の可能性もあるため、共鳴状態を求めるために複素座標回転法を用いた。結果、 $T=3/2$ の3体力が非現実的なくらい強い引力がなければ、テトラ中性子原子核は共鳴状態とさえも存在することは難しいことを明らかにした。

(2) キソイベントと言われる $^{14}N^-$ で構成されるグザイハイパー核のスピン・パリティの理論的同定を行うために、相対論的平均場近似でこの問題に取り組んだ。その結果、このキソイベントは、束縛状態の $^{14}N$ にp軌道にいる粒子が結合している系だということを指摘した。

(3) 第一原理計算である格子QCD理論に基づくグザイ-核子間相互作用が提案されたことを受けて、このグザイ-核子間相互作用を使用し、最も軽い束縛するグザイハイパー核を理論的に预言を行った。また、同時に、中間子理論に基づくグザイ-核子間相互作用として、Nijmegenポテンシャルを用いた。その結果、NNN ハイパー核が最も軽い束縛するグザイハイパー核であ

ることを明らかにし、このハイパー核をテトラグザイハイパー核と命名した。この一連の研究は、Physical Review Letter 誌に掲載され、2020年3月にプレスリリースを行い、日刊工業新聞、科学新聞に掲載された。

上記(1) - (3)の一連の業績により、2019年4月に文部大臣表彰科学賞、研究部門を受賞した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Emiko Hiyama and Kazuma Nakazawa	4. 巻 68
2. 論文標題 Structure of $S=-2$ Hypernuclei and Hyperon-Hyperon Interaction	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Annual Review of Nuclear and Particle Science	6. 最初と最後の頁 131-159
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-nucl-101917-021108">https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-nucl-101917-021108</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Jehhee Lee, Qian Wu, Yasuro Funaki, Hongshi Zong and Emiko Hiyama	4. 巻 -
2. 論文標題 Three-body structure of $^9\text{Be}$ with cluster model	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Few-body systems	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI: 10.1007/s00601-019-1502-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nodoka Yamanaka, Taiichi Yamada, Emiko Hiyama and Yasuro Funaki	4. 巻 95
2. 論文標題 Electric dipole moment of $^{13}\text{C}$	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 065503-065503
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1103/PhysRevC.95.065503">https://doi.org/10.1103/PhysRevC.95.065503</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Y. Funaki, M. Isaka, E. Hiyama T. Yamada and K. Ikeda	4. 巻 773
2. 論文標題 Multi-cluster dynamics in $^{13}\text{C}$ and analogy to clustering in $^{12}\text{C}$	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 336-343
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI 10.1016/j.physletb.2017.08.048	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 D. Skoupil and P. Bydzovsky	4. 巻 97
2. 論文標題 Photo- and electroproduction of $K^+$ with a unitary-restored isobar model	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 25202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1103/PhysRevC.97.025202">https://doi.org/10.1103/PhysRevC.97.025202</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 D. Sloupil and P. Bydzovsky	4. 巻 97
2. 論文標題 Photo- and electroproduction of $K^+$ with a unitarity-restored isobar model	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 25202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1103/PhysRevC.97.025202">https://doi.org/10.1103/PhysRevC.97.025202</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計15件 (うち招待講演 11件 / うち国際学会 15件)

1. 発表者名 肥山詠美子
2. 発表標題 Calculations of NN and NNN systems
3. 学会等名 The 13th International Conference on Hypernuclear and strange particle physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 肥山詠美子
2. 発表標題 Structure of light p-shell hypernucle
3. 学会等名 The 13th International Conference on Hypernuclear and strange particle physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 肥山詠美子
2. 発表標題 Recent progress of few-body problems in Physics
3. 学会等名 International Conference on Simplicity, Symmetry and Beauty of Atomic Nuclei (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 肥山詠美子
2. 発表標題 Recent progress of hypernuclear physics
3. 学会等名 APS-JPS joint meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 肥山詠美子
2. 発表標題 Structure of light hypernuclei
3. 学会等名 International workshop on Universal Physics in Many-Body Quantum Systems--From Atoms to Quarks-- (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 肥山詠美子
2. 発表標題 structure of light s-shell hypernuclei
3. 学会等名 57th International Winter meeting on Nuclear physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Dalibour Skoupil
2. 発表標題 K+ Photo- and Electroproduction of Proton
3. 学会等名 International Workshop on Hadron and Nuclear Physics 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Dalibor Skoupil
2. 発表標題 Photoproduction of K+
3. 学会等名 The 7th Asia-Pacific Conference on Few-body problems in Physics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 肥山詠美子
2. 発表標題 Structure of light neutron-rich nucleus, $^5\text{H}$
3. 学会等名 International workshop on 'Walk on the neutron-rich side' (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 肥山詠美子
2. 発表標題 Five-body calculation of heavy pentaquark system
3. 学会等名 International workshop on 'The Charm and Beauty of strong Interactions' (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 肥山詠美子
2. 発表標題 recent progress in few-body physics and structure of hypernuclei
3. 学会等名 The 7th Asia-Pacific Conference on Few-body problems in Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 肥山詠美子
2. 発表標題 Structure of hypernuclei and N interaction
3. 学会等名 XVII International Conference on Hadron Spectroscopy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 肥山詠美子
2. 発表標題 Five-body structure of heavy pentquark system
3. 学会等名 International workshop on Critical stability of Quantum Few-body systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 D. Skoupil
2. 発表標題 Photoproduction of $K^+ \Lambda$
3. 学会等名 The 7th Asia-Pacific Conference on Few-body problems in Physics (国際学会)
4. 発表年 2017年



1. 発表者名 D. Skoupil
2. 発表標題 Photoproduction of $K^+ \Lambda$
3. 学会等名 International workshop on Hadron and Nuclear Physics 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	富樫 甫 (Togashi Hajime)		