

1. 研究組織

(1) 研究責任者氏名：肥山詠美子

所属機関・部局・職名：奈良女子大学・理学部・准教授

(2) 研究従事者氏名：上村正康

所属機関・部局・職名：理化学研究所・岩崎先端中間子研究室・研究嘱託

(3) 共同従事者氏名：木野康志

所属機関・部局・職名：東北大学大学院・理学研究科・准教授

2. 当該年度の実施報告の詳細

ストレンジネス核物理分野における研究は、この数年間の実験技術の進歩により、飛躍的に発展している。例えば、軽いラムダハイパー核に対して、数 keV の精度でガンマ線の精密実験が初めて可能となり、まだ未知の部分の多い ΛN 間相互作用についての貴重な情報が得られつつある。また、ツインラムダハイパー核の生成や新しいダブルラムダハイパー核、 ${}^6_{\Lambda\Lambda}\text{He}$ 、 ${}^{10}_{\Lambda\Lambda}\text{Be}$ が観測されたことが、皆無に等しい $\Lambda\Lambda$ 間相互作用の決定に重要な足がかりとなっている。今後、ストレンジネス核物理の分野では、実験面ではアメリカの TJLAB、日本の Spring8、さらには KEK における J-PARC への大きな展望が拓いている。この状況下で、ストレンジネス核物理の分野は、ハイペロン-核子 (YN) 間、ハイペロン-ハイペロン (YY) 間相互作用を統一的に理解することを大きな目的の一つとして、理論・実験の両面から活発に研究が進行中である。特に、理論面から要求される最近の緊急な課題は、構造とタイアップした YY 相互作用の決定、J-PARC を視野に入れた新しいダブルラムダハイパー核や Ξ ハイパー核のエネルギーレベルの予言である。特に Ξ ハイパー核のスペクトロスコピー実験は、J-PARC における実験が実行に移った際、ハイパー核実験として最初に行なう実験である。従って、 Ξ ハイパー核のエネルギー準位の理論的予言は急務とされている。

報告者等（肥山・上村）の主たる研究目的は、軽いダブルラムダハイパー核、及び Ξ ハイパー核の 3 体～6 体問題に基づいた構造計算を行い、 YY 相互作用の決定、J-PARC を視野に入れた新しいダブルラムダハイパー核・ Ξ ハイパー核のエネルギー準位の予言を行うことである。 ${}^7_{\Lambda}\text{Li} = \alpha + \Lambda + n + p$ の 4 体模型にたち、実験で観測されている $T = 0$ 状態の $1/2^+ - 3/2^+$ と、 $5/2^+ - 7/2^+$ の分岐エネルギーを再現することを確かめた。また、分岐の要因となっている、スピン・スピニカ、及びスピン軌道力の妥当性について、検証した。未発見グザイハイパー核の一つである $\alpha\Xi NN$ 系の 4 体計算を行い、束縛する可能性を指摘した。現段階は、準備的計算であるので、さらなる計算については、平成 19 年度に行う。

エキゾチック原子・分子は、原子・分子を構成する電子や原子核の一部がこれらとは別種の粒子に置換わった多体系である。含まれる粒子の多様性から、素粒子・原子核物理学から物性物理学まで幅広い範囲に対し様々な知見を与えらるとともに、計算物理学的にも量子少数多体系の精密解法の開発に威力を発揮している。ここで開発・実行された計算手法は、上記のハイパー核構造の計算など多彩な粒子系にに應用されている。駅ぞ地区右舷史・分子の中でも陽電子を含む原子分子系においては、近年、低速陽電子ビームの開発が急速に進展し、eV 領域において数十 meV の精度での陽電子ビームが可能となった。これにより、原子・分子の構造や陽電子と原子・分子との相互作用が陽電子衝突を通じて直接観測が可能となり、これまで不明な点が多かった陽電子と物質との相互作用の素過程が明らかになりつつある。また、陽電子は電子と同じ質量をもつため電子のように波動関数が広く拡がり、正電荷を持つため原子核と反発する。即ち、陽電子は原子・分子の電子雲の外側で原子・分子と非常に弱く結合する。その結合は電子の波動関数のテール部分に敏感であり、電子・陽電子対消滅を通じて観測される。特にテール部分は従来の量子化学計算では記述が困難な領域であり、今後研究

が進めば原子分子物理や化学に大きなインパクトを与える。

今年度は、陽電子とアルカリ金属原子との束縛状態や散乱状態の計算を行った。現在、陽電子とアルカリ金属原子との散乱において、ポジトロニウム（陽電子と電子の水素原子様の束縛状態）生成断面積について実験と理論の間に不一致があり大きな問題となっている。アルカリ金属原子は価電子と陽イオンコアに分離でき、これらと陽電子による3体系として取り扱った。ここで、陽イオンコアの電荷の大きさは電子や陽電子と同じであるため、電子・陽電子間相関は相対的に大きく量子化学的な手法による原子核からの1中心モデルは不適であり、粒子間相関を直接取込む計算が必要である。電子または陽電子による陽イオンコアの分極を正確に取り入れる必要があるが、さらに電子と陽電子が同時に存在する事による陽イオンコアの多重分極（3体力）も重要である。陽電子アルカリ金属原子の束縛状態は、ポジトロニウムと陽イオンコアの解離しきい値（-6.8 eV）の僅か0.06 eV下にある。このため束縛状態はポジトロニウムが陽イオンの周りに弱く結合した構造をとるが、結合様式はポジトロニウムの分極だけでは説明がつかなかった。今回、3つの粒子間相関を陽に取り入れた計算を行い、電子・陽電子相関の他に、陽イオンコア・電子間の短距離相関も重要であることを初めて指摘した。さらに、ここで得られた3体基底関数を用い、陽電子+アルカリ金属原子散乱の計算を行った。入射エネルギーが1 eV以下の低エネルギー散乱では、計算結果は粒子間のポテンシャルエネルギーに敏感で、今後は実験値との詳細な比較のためにはより詳細な粒子間相互作用の決定が必要である。

3. 口頭研究発表，発表論文（査読），国際会議のプロシーディング論文，そのほかの投稿中の論文等のリスト

1. E. Hiyama, Y. Yamamoto, Th. A. Rijken, T. Motoba, “*Four-body structure of ${}^7_{\Lambda}Li$ and ΛN spin-dependent interaction*”, Phys. Rev. C **74**, 054312 (2006).

国際会議報告書

1. E. Hiyama, Y. Yamamoto, Th. A. Rijken, T. Motoba, “*Few-body aspects of hypernuclear physics*”, Proceedings of the 18th International IUPAP Conference on Few-Body Problems in Physics (Few-Body 18), Nuclear Physics A, in press.

国際会議等における口頭発表

1. E. Hiyama, “*Three- and four-body structure of $S = -2$ hypernuclei*”, 6th China-Japan Joint workshop on nuclear physics, Shanghai, China, May 16-19, 2006.
2. E. Hiyama, “*Few-body aspects of hypernuclear physics*”, 18th International IUPAP Conference on Few-Body Problems in Physics (Few-Body 18), Santos, Brazil, August, 2006.
3. E. Hiyama, “*Structure of $S = -2$ hypernuclei*”, International Workshop on Strangeness nuclear physics in 2006, Zhanzanjie, China, September, 2006.
4. E. Hiyama, “ *Ξ bound states and $\Lambda\Lambda$ hypernuclei*”, 9th International Conference on Hypernuclear and Strange Particle Physics, Mainz, Germany, October 10-14, 2006.
5. E. Hiyama, H. Suganuma, M. Kamimura, “*Four- and Five-body Calculation of Exotic Hadrons*”, Yukawa International Seminar (YKIS) 2006, New Frontiers in QCD, Kyoto, Japan, November 20-December 8, 2006.
6. Y. Kino, “*High-precision calculation of few-body systems*”, International symposium on spectroscopy, reaction dynamics and manipulation of atoms and molecules, Sendai, Japan, February 26-27, 2007.

7. Y. Kubota and Y. Kino, "Calculation of structure and energy levels of positronic alkali atoms", International symposium on spectroscopy, reaction dynamics and manipulation of atoms and molecules, Sendai, Japan, February 26-27, 2007.

発表論文リスト(和文)

学会発表

1. 肥山詠美子, 山本安夫, Th. A. Rijken, 元場俊雄, 「 ΛN 相互作用と $A = 7$ ハイパー核の構造」, 日本物理学会 2007 年分科会, 首都大学キャンパス, 2007 年 3 月 25-28 日.
2. 肥山詠美子, 山本安夫, 元場俊雄, 上村正康, 「軽い Ξ ハイパー核の構造」, 日本物理学会 2007 年分科会, 首都大学キャンパス, 2007 年 3 月 25-28 日.
3. 久保田佳宏, 木野康志, 「陽電子アルカリ原子の構造とエネルギー準位の計算」 日本物理学会 2006 年秋季大会, 千葉大学, 2006 年 9 月 23 日-26 日.
4. 伊藤浩明, 久保田佳宏, 木野康志, 「陽電子とリチウム原子衝突におけるポジトロニウム生成断面積」 日本物理学会 2006 年春季大会, 鹿児島大学, 2007 年 3 月 18 日-21 日.

その他(国内における研究会など)

1. 肥山詠美子, 「Structure of Ξ hypernuclei」, 特定領域, ストレンジネスで探るクオーク多体系研究会, 熱海温泉, 2006 年 12 月 13 日-15 日.
2. 肥山詠美子, 「 $S = -2$ ハイパー核の現状と J-PARC を目指した今後の課題」, ストレンジネスとエキゾテックス・理論の課題」研究会, 志摩ビーチホテル, 鳥羽, 2007 年 3 月 1-3 日.
3. 久保田佳宏, 木野康志, 「陽電子アルカリ原子の粒子間相互作用」, 原子衝突研究協会第 31 回研究会, 自然科学研究機構岡崎コンファレンスセンター, 岡崎市 2006 年 8 月 10 日~11 日.
4. 伊藤浩明, 久保田佳宏, 木野康志, 「陽電子とリチウム原子の低エネルギー散乱における Ps 生成断面積の理論計算」, 原子衝突研究協会第 31 回研究会, 自然科学研究機構岡崎コンファレンスセンター, 岡崎市 2006 年 8 月 10 日~11 日.
5. 高野靖史, 木野康志, 山中信弘, 市村淳, 「陽電子-水素原子衝突における陽電子消滅断面積の計算」, 原子衝突研究協会第 31 回研究会, 自然科学研究機構岡崎コンファレンスセンター, 岡崎市 2006 年 8 月 10 日~11 日.