

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：理化学研究所・仁科加速器研究センター・准主任研究員

(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・肥山ストレンジネス核物理研究室・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）の主たる本年度の研究目的は、 Ξ ハイパーの 3 体・4 体問題に基づいた構造計算を行い、J-PARC を視野に入れた新しいグザイハイパー核のエネルギー準位の予言を行うことである。報告者は、前年度に引き続き、未発見グザイハイパー核の一つである $\alpha\Xi NN$ 、 $\alpha\alpha\Xi N$ 系の 4 体計算の最終計算を行い、束縛する可能性を指摘した。また、J-PARC 施設において、 ${}^{12}\text{C}$ ターゲットでのグザイハイパー核探査実験の次に、 ${}^7\text{Li}$ 、 ${}^{10}\text{B}$ ターゲットでも実験を行うことを提案した。

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つまたは二つが他の荷電粒子に置換わった多体系である。置替わる粒子の電荷と質量の組合せが電子や原子核と異なるため原子・分子では見られない奇妙な現象を示し、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、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發揮している。こ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り、陽電子と原子・分子との相互作用が直接観測が可能となりつつある。陽電子は正電荷を持ち電子と同じ質量をもつため、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、原子分子物理や化学に大きなインパクトを与える。

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 (Ps : 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。これは陽電子とアルカリ金属原子間の相互作用が不十分であるからである。今年度は、陽電子とアルカリ金属原子との束縛状態の計算を行い、陽電子アルカリ原子の結合様式

を解明した。アルカリ金属原子は陽イオンコアと価電子に分離し、価電子と陽イオンコア間の相互作用は、静電相互作用、陽イオンコア分極、電子交換効果を取り入れ、アルカリ金属原子の原子準位を $6s$ 軌道の励起状態まで従来より 1 桁以上の高精度で再現するように決定した。陽電子と陽イオンコア間の相互作用は、電荷の符号を入れ替え電子交換効果を除いたものとした。陽電子アルカリ金属原子三体系では、これに陽イオンコア分極の三体補正が加わる。陽電子アルカリ金属原子は P_s と陽イオンコアの解離しきい値のすぐ下に束縛状態をもち、陽イオンコアから遠くはなれた所で P_s が結合する構造をもつ。得られた波動関数から相関関数を計算し、粒子間相関を調べた。陽電子と価電子間の相関関数は、ポジトロニウムの波動関数にほぼ一致するが、遠方では P_s の分極による長いテールが見られた。一方、価電子と陽イオンコア間の相関関数は、遠方では陽電子と陽イオンコア間の相関関数と一致し、 P_s と陽イオンの緩い束縛状態を再現するが、近距離ではアルカリ金属中での価電子の波動関数の振る舞いを示した。陽電子の方の相関関数は、陽イオンコアから遠ざかるが、アルカリ金属原子の電子雲の外側で電子よりも大きな強度を持っていた。つまり、陽電子アルカリ金属原子は大部分が P_s と陽イオンコアとの分極による結合であるが、波動関数の一部がアルカリ金属原子と陽電子の成分を持ち、これが陽電子の結合に大きな役割を果たしていると解釈できた。実際、アルカリ金属原子のエネルギー準位と陽電子アルカリ金属原子のエネルギー準位が近いものほど陽電子アルカリ金属原子の結合が強い。

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

発表論文

1. E. Hiyama, Y. Yamamoto, T. Motoba, Th. A. Rijken, M. Kamimura, Phys. Rev. C **78**, 054316 (2008).
2. M. Kamimura, Y. Kino and E. Hiyama in press in Prog. Theor. Phys. 121 (2009) no.5

国際会議報告書

1. E. Hiyama
'Few-body aspects of hypernuclear physics' Japanese French Symposium on New paradigms in nuclear physics, Paris, French, September 29- 2 October, 2008, International Journal of Physics E, in press.
2. E. Hiyama
'Four-body structure of hypernuclei' International Symposium on "Strangeness in Nuclear and Hadron Systems", Sendai, Japan, December 15-18, 2008, International Journal of Modern Physics E, in press.

国際会議等における口頭発表

1. E. Hiyama
Four- and five-body calculation of exotic hadron systems
2008 APTCTP-BLTP JINR Joint Workshop on "Quarks and Mesons in Nuclear Physics", APCTP, Postech, Pohang, Korea, April 20-24, 2008
2. E. Hiyama
Three- and four-body structure of light hypernuclear physics
The 3rd China-Japan-Korea Hadron and Nuclear Physics 2008 Symposium, Lanzhou, China, June 23-27, 2008.

3. E. Hiyama
Four- and five-body calculation of exotic hadron systems
International workshop on Hadron Dynamics, Almunecar, Spain, September 25-28, 2008.
4. E. Hiyama
Few-body aspects of hypernuclear physics
Japanese French Symposium on New paradigms in nuclear physics, Paris, French, September 29- 2 October, 2008
5. E. Hiyama
Recent progress in strangeness nuclear physics
Asia Science Seminar on Frontier Science at High-Intensity Proton Accelerator, Beijing, China, October 19-25, 2008
6. E. Hiyama
Recent progress in hypernuclear physics
International Symposium on Heavy Ion Physics 2008, GSI, Darmstadt, Germany, November 17-20, 2008.
7. E. Hiyama
Four-body structure of hypernuclei
International Symposium on "Strangeness in Nuclear and Hadron Systems", Sendai, Japan, December 15-18, 2008.