

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）は、H21年4月～9月の間に、 $\alpha + \Lambda + N + N$ の4体模型に基づいて、 $A = 7$ ハイパー核の荷電対称性の破れについて研究を行った。その結果、 ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ 、 ${}^4_{\Lambda}\text{He}$ に存在する荷電対称性を再現するような荷電対称相互作用を現象論的ではあるが、使用すれば、 $A=7$ ハイパー核のエネルギースペクトルにも、その影響が出てくることを指摘した。このことを検証するためには、アメリカの JLAB 施設における電子散乱実験が必要不可欠であることを指摘した。今後の実験が期待される。この研究成果については、現在、Physical Review C に投稿中である。

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発揮している。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 Ps 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 Ps 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 Ps 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、 Ps 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 Ps 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 and T. Yamada, 'Structure of light hypernuclei', Progress in Particle and Nuclear Physics **63** 339 (2009).
2. Y. Kubota, Y. Kino 'A Coupled Channel Study on a Binding Mechanism of Positronic Alkali Atoms', New Journal of Physics **10**, 023038(10pp) (2008).

国際会議等における口頭発表

1. 肥山詠美子ハイパー核から決めるバリオン間力
「バリオン間相互作用に基づく核物質の構造」研究会、盛岡、6月25日 6月27日
2. E. Hiyama
Structure of three- and four-body light hypernuclei
International Summer School on Subatomic Physics, Beijing, August 23-27, 2009
3. E. Hiyama
Recent progress in hypernuclear physics
19th International IUPAP Conference on Few-body Problem in Physics, Bonn, Germany, August 31-September 5, 2009.
4. E. Hiyama
Few body systems with $S=-1$ and -2
10th International Conference on Hypernuclear and Strange Particle Physics, Tokai, Japan, 14-18 September, 2009.
5. E. Hiyama
Few-body aspects of hypernuclear physics
Japanese French Symposium on New paradigms in nuclear physics, Paris, French, Septem-

ber 29- 2 October, 2008

6. E. Hiyama

Five-body structure of double hypernuclei

3rd Joint Meeting of the Nuclear Physics Division of the American Physical Society and the Physical Society of Japan, Hawaii, October 13-17, 2009.

7. Y. Kino

Stau atomic collision and big-bang nucleosynthesis

The 8th Asian International Seminar on Atomic and Molecular Physics, The University of Western Australia, Perth, Australia, November 23-28 2008

8. 木野康志

スタウ原子分子反応とビッグバン元素合成

第25回無機・分析化学コロキウム、大崎市、5月30～31日

9. 久保田佳宏、淵上修平、木野康志

陽電子アルカリ金属原子の結合機構

原子衝突研究協会第33回年会、2008年8月5日～7日、北海道大学低温科学研究所、札幌市

10. 二瓶英和、木野康志、関根勉酸素分子によるポジトロニウムのスピン転換反応

原子衝突研究協会第33回年会、2008年8月5日～7日、北海道大学低温科学研究所、札幌市

11. 上村正康、木野康志、肥山詠美子

ビッグバン元素合成におけるスタウ触媒核融合反応 [II]

原子衝突研究協会第33回年会、2008年8月5日～7日、北海道大学低温科学研究所、札幌市