

## 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・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  $\Lambda N$  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、ハイペロン核子-ハイペロン核子 ( $YY$ ) 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三ハイパー核のエネルギーレベルの予言である。特に三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、三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、及び三ハイパーの 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・三ハイパー核のエネルギー準位の予言を行うことである。応募者は、準備的段階ではあったが、未発見グザイハイパー核の一つである  $\alpha ENN$ 、 $\alpha\alpha EN$  系の 4 体計算を行い、束縛する可能性を指摘した。また、これらの 2 つのシステムに関して、現在信頼されている 2 種の  $EN$  ポテンシャルを使用すると、どちらの相互作用においても、束縛することを明らかにした。束縛するメカニズムについては、次年度にさらに詳しく解析をすすめる予定である。

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 ( $P_s$ : 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ち、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

4. Y. Kubota and Y. Kino

A coupled channel study on a binding mechanism of positronic alkali atoms *New J. Phys.* 10, 023038(10pp) 2008

#### 国際会議報告書

1. E. Hiyama

'Recent progress in hypernuclear physics', International Conference on Nuclear Physics (INPC2007), July, Tokyo, 2007, *Nuclear Physics A* in press.

2. E. Hiyama

'Structure of four-baryon systems', International Symposium on New Facet of Three Nucleon Force -50 years of Fujita-Miyazawa Three Nucleon Force, October, Tokyo, 2007, AIP proceedings in press.

3. M. Kamimura and Y. Kino

'Stau-catalyzed big-bang nucleosynthesis studied with MCF-calculational method'

Proceedings of International Conference on Muon Catalyzed Fusion and Related Topics, Dubuna, 18-21 June 2007, in press.

## 国際会議等における口頭発表

1. E. Hiyama  
*Recent progress in hypernuclear physics*  
International Conference on Nuclear Physics (INPC'2007), July, Tokyo, 2007.
2. E. Hiyama  
*Structure of four-baryon systems*  
International Symposium on New Facet of Three Nucleon Force -50 years of Fujita-Miyazawa Three Nucleon Force, October, Tokyo, 2007.
3. M. Kamimura and Y. Kino  
*Stau-catalyzed big-bang nucleosynthesis studied with MCF-calculational method*  
International Conference on Muon Catalyzed Fusion and Related Topics, Dubuna, 18-21 June 2007.
4. M. Kamimura and Y. Kino  
*Finite size correction to the  $dd\mu$  and  $dt\mu$  molecules*  
International Conference on Muon Catalyzed Fusion and Related Topics, Dubuna, 18-21 June 2007.

## 学会発表

1. 野田仁美、山縣淳子、佐々木健志、肥山詠美子、比連崎悟  $\bar{K}NN$  の3体構造、日本物理学会 2008 年年会、近畿大学、2008 年 3 月
2. 肥山詠美子「Few-body aspects of hypernuclear physics」, 日本物理学会 2007 年年会, 北海道大学, 2007 年 9 月

## その他 (国内における研究会など)

1. 肥山詠美子,  
「少数粒子系物理の現状と今後の展望」  
「核子と中間子の多体問題の統一的描像に向けて」研究会, RCNP, 2007 年 12 月.
2. 浜口幸一, 初田哲男, 上村正康, 木野康志, 柳田勉「スタウ原子・原子核衝突と初期宇宙における原子核融合反応」, 日本物理学会 2007 年年会, 北海道大学, 2007 年 9 月
3. 木野康志, 浜口幸一, 初田哲男, 上村正康, 柳田勉「ビッグバン元素合成におけるスタウ触媒核融合反応」, 原子衝突研究協会第 32 回研究会, 東京工業大学, 2007 年 8 月