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：高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・助手

(2) 研究従事者氏名：根村英克

所属機関・部局・職名：高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・学振研究員

(3) 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・ミュオン科学研究室・研究嘱託

(4) 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・助手

(5) 共同従事者氏名：山中信弘

所属機関・部局・職名：理化学研究所・原子物理研究室・基礎特別研究員

2. 当該年度の実施報告の詳細

(1) 軽いダブルラムダハイパー核の少数多体問題に基づく構造研究 (肥山詠美子・根村英克・上村正康)

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、${}^{6}_{\Lambda\Lambda}\mathrm{He}$、${}^{10}_{\Lambda\Lambda}\mathrm{Be}$ 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 $\mathrm{Spring8}$、さらには KEK における $\mathrm{J\text{-}PARC}$ 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、ハイペロン一核子 (YN) 間、ハイペロンーハイペロン (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、$\mathrm{J\text{-}PARC}$ 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、$\mathrm{J\text{-}PARC}$ 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・根村・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、$\mathrm{J\text{-}PARC}$ 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。

- p 殻ダブルラムダハイパー核、${}^{6}_{\Lambda\Lambda}\mathrm{He}$ を $\alpha+\Lambda+\Lambda$ の 3 体問題、${}^{7}_{\Lambda\Lambda}\mathrm{Li}$, ${}^{7}_{\Lambda\Lambda}\mathrm{He}$, ${}^{8}_{\Lambda\Lambda}\mathrm{Li}$, ${}^{9}_{\Lambda\Lambda}\mathrm{Li}$, ${}^{9}_{\Lambda\Lambda}\mathrm{Be}$, ${}^{10}_{\Lambda\Lambda}\mathrm{Be}$ を $\alpha + x(=n, p, d, t, {}^{3}\mathrm{He}, \alpha) + \Lambda + \Lambda$ の 4 体問題に基づき、$\mathrm{J\text{-}PARC}$ での実験に先駆けたエネルギーレベルの予言と波動関数の算出を行った。また、$\mathrm{KEK\text{-}E373}$ で発見された ${}^{10}_{\Lambda\Lambda}\mathrm{Be}$ (デマチヤナギイベント) が励起状態の発見であることを指摘した。また準備的段階であるが、現実的 ΞN 相互作用を用いて、$NNN\Xi$ ハイパー核の 4 体計算を行い、エネルギー準位の予言を行なった。(肥山・上村)

- これまで、${}^{5}_{\Lambda}$He の 5 体問題を解くことに成功してきた。そして，${}^{5}_{\Lambda}$He における，^{4}He コア核の組み替え効果によるエネルギーの変化がかなり大きいことを，これまでに明らかにしてきた．

  その後，$S = -2, A \leq 6$ の系の研究をすすめ，昨年 10 月には，アメリカの jlab における国際会議 (HYP2003) で，講演発表を行なった（根村）

(2) エキゾチック原子分子における組替え散乱反応研究（木野康志・山中信弘）

μCF おいてミュオンの最大の損失は、ミュオンが核融合によって生じるヘリウム原子核に捕まり μCF のサイクルから外れる「α 付着」である。核融合後ヘリウム原子核は MeV オーダーの運動エネルギーを持つためこれに付着したミュオンは周囲の水素原子と衝突し、ヘリウム原子核からはぎ取られる（ミュオン再活性化と呼ぶ）。現在ミュオン再活性化に関する精密な計算がないため、ミュオン活性化後のミュオン付着率に理論と実験値で大きな食い違いがあり、この反応のエネルギー依存性等を調べる事により μCF のサイクル率を増加させる可能性もある。

GEM による反応の高速かつ高精度な計算法を開発し、ミュオン、陽電子、反陽子等を含むエキゾチック原子分子、ストレンジネスを含むハイパー原子核や中性子過剰核等の少数多体系の構造および反応の計算に適用し、数々の成功を収めてきた。また、TDCC により、陽電子衝突による Ps（電子と陽電子の束縛系）生成、水素原子の励起およびイオン化、弾性散乱の断面積の計算を広いエネルギー範囲において実験値をうまく再現すると共に波動関数の時間変化により反応のダイナミクスを視覚的に表現する事に成功した。また本研究により時間に依存する計算で初めて弾性散乱の計算を可能にした。

3. 口頭研究会発表、発表論文（査読）、国際会議等のプロシーディングス論文

[1]"Gaussian Expansion Method for Few-Body Systems" [invited review paper]
E. Hiyama, Y. Kino and M. Kamimura
Progress in Particle and Nuclear Physics **51** (2003), 223.

[2] "New treatment of breakup comtinuum in the method of continuum discretized coupled channels"
T. Matsumoto, T. Kamizato, K. Ogata, Y. Iseri, E. Hiyama, M. Kamimura and M. Yahiro
Physical Review C **68** 064607 (2003).

[3] "Few-body aspects of light hypernuclei"
E. Hiyama, M. Kamimura, T. Motoba, T. Yamada and Y. Yamamoto
Nuclear Physics A (Proceedings of the 17th International IUPAP Conference on Few-Body Problems in Physics, Duhrum, U.S.A., June, 2003) (2003) in press.

[4] "Why interesting to study structure of light hypernuclei?"
E. Hiyama, M. Kamimura, T. Motoba, T. Yamada and Y. Yamamoto
Proceedings of the International Pre-Symposium on Electrophoto-production of Strangeness on Nucleons and Nuclei, Sendai, June, 2003 (World Scientific, 2003), in press.

[5]"Three- and four-body structure of light hypernuclei"
E. Hiyama, M. Kamimura, T. Motoba, T. Yamada and Y. Yamamoto

Proceedings of the International Symposium on Electrophoto-production of Strangeness on Nucleons and Nuclei, Sendai, June, 2003 (World Scientific, 2003), in press.

[6]"Weakly bound states in light hypernuclei"

E. Hiyama

Few-Body Systems (Proceedings of the International Workshop on Critical Stability, Trento, Italy, September, 2003), in press.

[7] "Three- and four-body structure of light double Λ hypernuclei"

E. Hiyama, M. Kamimura, T. Motoba, T. Yamada and Y. Yamamoto

Nuclear Physics A (Proceedings of 8th International Conference on Hypernuclear and Strange Particle Physics, Newport News, U.S.A., October, 2003), in press.

[8] "Clustering aspects of light hypernuclei"

E. Hiyama

Nuclear Physics A (Proceedings of the 8th International Conference of Clustering Aspects of Nuclear Structure and Dynamics (CLUSTER'03), Nara, November, 2003), to be published.

[9] "Theoretical Prediction to double Λ Hypernuclear Spectroscopy with antiproton"

E. Hiyama

Nuclear Instruments and Method in Physics Research, Section B (Proceedings of the International Conference on Low Energy Antiproton Physics, Yakohama, Japan, March, 2003), in press.

[10] "4He の second 0+状態と電子非弾性散乱"

肥山詠美子、B. Gibson、上村正康、

日本物理学会年会、２００３年３月、東北学院大学

[11] "３体・４体系励起擬状態波動関数と E_λ sum rule"

肥山詠美子、松本琢磨、上村正康、

日本物理学会分科会、２００３年９月、宮崎大学

[12] "${}^{4}_{\Lambda\Lambda}$H と $\Lambda\Lambda - \Xi N$ 結合"

肥山詠美子、上村正康、元場俊雄、山田泰一、山本安夫

日本物理学会分科会、２００３年９月、宮崎大学

[13] " Rearrangement Energies for Light Hypernuclear Systems"

H. Nemura and Y. Akaishi,

Nuclea Physics A (The proceedings of t he 17th International IUPAP Conference on Few-Body Problems in Physics, Duke University, Durham, North Carolina, USA, June 5-10, 2003), in press.

[14] "Full Coupled Channel Approach to S =3Đ2 s-Shell Hypernuclear Systems"

H. Nemura, S. Shinmura, Y. Akaishi and Khin Swe Myint

Nuclear Physics A (The proceedings of the VIII International Conference on Hypernuclear & Strange Particle Physics, Jefferson Lab, Newport News, Virginia, USA, O ctober 14-18, 2003), in press.

[15] " Novel Aspect of ${}^{5}_{\Lambda}$He and Tensor $\Lambda N - \Sigma N$ Coupling
H. Nemura and Y. Akaishi,
Nuclear Physics A (The proceedings of the 8th International Conference on Clustering Aspects of Nuclear Structure and Dynamics, Nara, Japan, November 24-29, 2003), in press.

[16] " Study of Multistrange Light Hypernuclear Systems"
H. Nemura, S. Shinmura, Y. Akaishi and Khin Swe Myint,
The proceedings of the YITP Workshop on Nuclear Matter under Extreme Conditions, Kyoto, Japan, December 1-3, 2003.

[17] Stochastic Variational Search for ${}^{4}_{\Lambda\Lambda}$H
H. Nemura, Y. Akaishi and Khin Swe Myint,
Phys. Rev. C **67**, 051001(R) (2003).

[18] "陽電子消滅の時間依存 散乱理論"
山中信弘, 高野靖史, 木野康志, 工藤博司, 市村淳
第 40 回理工学における同位元素・放射線研究発表会、2003 年 7 月 9 日 ~ 11 日、東京都新宿区 (日本青年館)

[19] "原子への一時的な陽電子捕獲による陽電子の直接消滅断面積の増加機構"
高野靖史，木野康志，山中信弘，工藤博司，市村淳、
日本物理学会 2003 年秋季大会、2003 年 9 月 20 日 ~ 23 日、岡山市 (岡山大学)

[20] "低エネルギー電子および陽電子による水素原子の励起・イオン化断面積の時間依存チャネル結合計算"
久保田佳宏，木野康志，山中信弘，工藤博司
日本物理学会 2003 年秋季大会、2003 年 9 月 20 日 ~ 23 日、岡山市 (岡山大学)

[21] "陽電子弾性散乱断面積の時間依存チャネル結合計算"
山中信弘，木野康志
日本物理学会 2003 年秋季大会、2003 年 9 月 20 日 ~ 23 日、岡山市 (岡山大学)

[22] "時間依存チャネル結合配列法の開発と反陽子・水素原子衝突への応用"
山中信弘，木野康志
日本物理学会 59 回年次大会、2004 年 3 月 27 日 ~ 30 日、福岡市 (九州大学箱崎キャンパス)

[23] "Direct Positron Annihilation in a Dense Gas"
N. Yamanaka, Y. Kino, Y. Takano, H. Kudo and A. Ichimura,
13th International Conference on Positron Annihilation (ICPA13), Kyoto, Japan, September 7-13, 2003.

[24]"Enhancement of Direct Positron Annihilation Due to Temporal Capture by an Atom"
N. Yamanaka, Y. Kino, Y. Takano, H. Kudo and A. Ichimura
Physical Review A, 67, 052712 (4 pages) (2003).

[25] "Numerical Accuracy of the Energy Levels of Antiprotonic Helium Atoms"
Y. Kino, M. Kamimura and H. Kudo
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 214, 84-88 (2004).