

## 「特別推進研究」研究期間終了後の効果・効用、波及効果に関する自己評価書

- 研究代表者氏名 橋本 治（東北大学・大学院・理学研究科・教授）
- 研究分担者氏名 中村 哲（東北大学・大学院・理学研究科・助教授）  
藤井 優（東北大学・大学院・理学研究科・助手）  
加藤 静吾（山形大学・理学部・教授）  
高橋 俊行（東北大学・大学院・理学研究科・助手）  
前田 和茂（東北大学・大学院・理学研究科・助教授）
- 研究課題名「電磁プローブによるラムダハイパー核の研究」
- 課題番号 12002001
- 補助金交付額（直接経費のみ）

平成12年度	100,000千円
平成13年度	160,000千円
平成14年度	125,000千円
平成15年度	35,000千円

### 【研究期間終了後の効果・効用、波及効果に関する内容】

#### 1. 特別推進研究の研究期間終了後、研究代表者自身の研究がどのように発展したか。

##### (1) 概要

陽子と中性子に加えて奇妙さ量子数(strangeness)をもった重粒子（ハイペロン）を強い相互作用によって束縛するハイパー原子核研究は、ハイペロンを探針としてu、d、s 3種のクォークを構成要素とする新しい物質形態を明らかにすることを可能とする。さらに、ハイペロンも含んだ重粒子間相互作用（「拡張された核力」）の観点から、未だ解明されていない核力を究明するためにも大きな役割を果たす。従来、ラムダハイパー核分光研究は、 $K^-$ あるいは $\pi$ 中間子ビームを用いて行われてきた。本研究では提案時に二つの柱を設定し、それぞれの柱に対して研究期間中に第1世代の実験研究を成功させた。本研究の**第一の柱**は、電子線を用いたハイパー核生成反応の特長を生かして初めて高分解能ハイパー核分光実験を米国ジェファーソン国立研究所における超伝導連続電子線加速器施設において成功させ、ハイパー核分光研究の新時代を確立することであった。中間子ビームによるハイパー核生成に対し、電子ビームによる生成断面積は100倍以上小さく、実験の原理的可能性すら疑問視されていたが、本特別推進研究により初めてエネルギー分解能750keV(FWHM)のハイパー核分光実験を成功させ奇妙さ量子数を持つ原子核研究の新時代を開拓した。本研究は、東北大学理学研究科とのMOU(2004-2008)をもとに、ジェファーソン研究所の全面的支持を受けまたDOE(Nuclear Physics)からのSupport Letter(2004)も得て、特別推進研究、学術創成研究の研究費でラムダハイパー核分光実験に最適化した高分解能K中間子スペクトロメータ(HKS)と高分解能散乱電子スペクトロメータ(HES)を製作し、第2世代、第3世代の実験へと発展させた。**第2世代の実験**については、2005年に成功裏にデータ収集を行い困難な解析を経て現在最終段階に入っているが、予備的に $^{12}_{\Lambda}B$ の基底状態に対して500keV(FWHM)以下の分解能を得て当初の目的を達成した。また、高い分解能を得るため薄いターゲットを用いるにもかかわらず $^{12}_{\Lambda}B$ の基底状態に対して200ケ/日以上ハイパー核検出率が達成されている。それらの予備的結果は関連する国際会議で報告しているが(e, e' K+)反応によるハイパー核分光実験が今後のハイパー核分光研究にとって欠くことのできないものとして広く認識されるようになった。あわせて、内外の理論家と協力してそれらのデータに対する理論的解析も進め

ている。さらに、HES スペクトロメータを完成させ、**第3世代**の電子線によるラムダハイパー核反応分光研究を目指しHKS-HESを組み合わせて行うE05-115実験が2009年に実施される。既に、大型磁気スペクトロメータ磁石2基(HKS, HES)をジェファーソン国立研究所 Hall C 実験室に搬入した。2009年4月からは検出器の設置作業および実験準備が始め、8月にはビームが実験室に供給されて実験が開始する予定である。特別推進研究の成果の上に実施される第3世代実験によって、 $^{12}_{\Lambda}\text{B}$ の基底状態に対して400 keV(FWHM)程度の分解能と1000ヶ/日以上ハイパー核検出率を実現する。これにより、本格的なハイパー核反応分光実験を通じて例えば $^{52}\text{Cr}$ をターゲットとしたA=50領域の中重ラムダハイパー原子核構造の研究が初めて可能となる。また、軽い質量領域の中性子過剰ラムダハイパー核等についても飛躍的に質の高い分光研究を進めることが出来る。

一方特別推進研究の**第2の柱**として、(e, e' K+)反応によるハイパー核生成過程の基礎となる素過程である光子によるK中間子生成素過程の研究を設定した。東北大学原子核理学研究施設の電子加速器から得られる1 GeV領域のエネルギーが標識化された光子ビームは、ちょうど(e, e' K+)反応でハイパー核生成に関与する仮想光子のエネルギー領域のストレンジネス生成過程を明らかにする上でユニークな役割を持っている。特に、光子が中性子と相互作用をして中性K中間子とラムダ粒子を生成する過程は、反応に関与する粒子がすべて中性であり直接的には電荷が関与しないことから、これまで得られているK<sup>+</sup>中性子生成データと組み合わせることにより、理論的にも未だ明らかではない1 GeV領域での電磁相互作用によるストレンジネス生成過程を究明する上で重要なデータを与える。特別推進研究では、新たに中性K中間子検出器(NKS)と液体重水素ターゲットを製作し、 $^{12}\text{C}$ および重陽子をターゲットとして1 GeV領域の光子により生成される中性K中間子の運動量分布、角度分布を測定することに成功した。ユニークな反応過程であり、広く理論構築に進められている所謂アイソバーモデルに大きな影響を与えている。関係する理論研究者と共に得られたデータをもとストレンジネス生成過程の解析をおこない、二つの論文として発表された。これらの成果に基づき、超前方に放出される粒子も含めて高い運動量分解能で測定可能な**第2世代の中性K中間子検出器("NKS2")**を2006年に、またおよび中性K中間子とともに生成されるハイペロンの検出も目指してNKS2のターゲット周りのVertex検出器を高性能ドリフトチェンバーに置き換えた**第3世代実験を行うための"NKS2 upgrade"**を2008年後半に完成させた。NKS2による中性K中間子測定第2世代実験によるデータ収集は2007年に成功し解析が進められている。また、2008年には"NKS2 upgrade"による検出器調整実験が進められることとなった。NKS2によっては既にハイペロンも観測されており、"NKS2 upgrade"によって、ハイペロンの偏極も含めて物理観測量を拡大することを目指している。理論研究者との密接な協同研究が進められており、(e, e' K+)反応によるハイパー核生成過程の基礎データでもある光子によるストレンジネス生成過程の研究が大きく展開している。

## (2) 論文発表、国際会議等への招待講演における発表など

### 論文発表

1. Hypernuclear spectroscopy program at JLab Hall C,  
O.Hashimoto, S.N.Nakamura, Y.Fujii, S. Kato, T. Takahashi, H. Tamura et al., Nuclear Physics A804 (2008) 125-138.
2. Photoproduction of neutral kaons on a liquid deuterium target in the threshold region,  
K.Tsukada, T.Takahashi, O. Hashimoto, H. Kanda, K. Maeda, S.N. Nakamura, H. Tamura et. al, Physical Review C78 014001-1-10 (2008).
3.  $\gamma$ -ray spectroscopy of  $^{16}_{\Lambda}\text{O}$  and  $^{16}_{\Lambda}\text{N}$  hypernuclei via the  $^{16}\text{O}(K^-, \pi^-)$  reaction,

- M.Ukai, O. Hashimoto, S.N.Nakamura,H. Tamura et al.,  
Physical Review C77, 054315-1-20 (2008).
4. Photo-production of neutral kaons on  $^{12}\text{C}$  in the threshold region,  
T.Watanabe, O. Hashimoto, S.N. Nakamura, T. Takahashi, H. Tamura et al.,  
Physics Letter B 651 269-274 (2007).
  5. Observation of the 7 MeV excited spin-flip and non-spin-flip partners in  $^{16}_{\Lambda}\text{O}$  by  $\gamma$ -ray spectroscopy,  
M. Ukai ,O. Hashimoto, S.N. Nakamura, H. Tamura et al.,  
The European Physical Journal A33 (2007), 247-250.
  6. Elastic and inelastic scattering of  $\pi^+$  and  $\pi^-$  on  $^{12}\text{C}$  at 995 MeV/c,  
K. Aoki, Y. Fujii, T. Takahashi, O. Hashimoto, et al., Phys. Rev. C76, 024610 (2007)
  7. Cascade gamma decay in the  $^7_{\Lambda}\text{Li}$  hypernucleus,  
M. Ukai, O. Hashimoto, S.N. Nakamura, H. Tamura, et al.,  
Phys. Rev. C 73 (2006) 012501(R).
  8. Exclusive measurement of the nonmesonic weak decay of Lambda He-5 hypernucleus,  
B.H. Kang, O. Hashimoto, S.N. Nakamura, T. Takahashi, H. Tamura, et al.,  
Phys.Rev.Lett. 96:062301 (2006)
  9. Hypernuclear spectroscopy using the  $(e,e' K^+)$  reaction,  
L. Yuan, Y. Fujii, O. Hashimoto, S.N. Nakamura, et.al., Phys. Rev. C 73, 044607 (2006).
  10. Spectroscopy of  $\Lambda$  hypernuclei,  
O. Hashimoto and H. Tamura, Prog. Part. Nucl. Phys. 57, 564-654 (2006).
  11. Future hypernuclear program at JLab Hall C,  
S.N.Nakamura, O. Hashimoto, Y. Fujii, H. Tamura, T. Takahashi, K. Maeda, H. Kanda, et al.,  
Nucl. Phys. A754, 421-429 (2005).
  12. Where do we go from here? Summary of HYP2003,  
O.Hashimoto, Nucl.Phys. A754, 455-463 (2005).
  13. Inclusive pion double charge exchange on  $^{16}\text{O}$  above the Delta resonance,  
A.P. Krutenkova, T. Watanabe, D. Abe, Y. Fujii, O. Hashimoto, V.V. Kulikov, T. Nagae, H. Noumi,  
H. Outa, P.K. Saha, T. Takahashi, H. Tamura, et al., Phys. Rev. C72 037602 (2005).
  14.  $K^0$  photoproduction on C-12 in the threshold region,  
T.Watanabe,Y.Fujii,O. Hashimoto, K. Maeda, S.N.Nakamura, T. Tamura, et al.,  
Nucl.Phys. A754 (2005) 327-331.
  15. Hypernuclear weak decay experiments at KEK: nn and np coincidence measurement,  
H.Outa , O. Hashimoto, S.N. Nakamura, H. Tamura, et al., Nucl. Phys. A 754, 157-167 (2005).
  16. Beam test of a dual radiator Cherenkov detector with aerogel and wavelength-shifting  
acrylic plastic,  
M. Carl, J. Reinhold, Y. Fujii, J. Haggblad, O. Hashimoto, M. Iijima, A. Matsumura, S. N.  
Nakamura, H.Nomura, Y. Okayasu, A.Ohtani, M.Oyamada, Y.Sato, L.Tang,  
Nucl. Inst. and Meth. A527 301-307, (2004).
  17. Neutron and proton energy spectra from the non-mesonic weak decays of  $^5_{\Lambda}\text{He}$  and  $^{12}_{\Lambda}\text{C}$ ,  
S. Okada, O.Hashimoto, S.N. Nakamura, H. Tamura, et al., Phys.Lett., B597,249-256(2004).
  - 18.Study of the Sigma nucleus potential by the  $(\pi^-,K^+)$  reaction on medium-to-heavy nuclear targets,  
P.K. Saha, O. Hashimoto, K. Maeda, T. Takahashi, H. Tamura, et al.,  
Phys.Rev. C 70, 044613 (2004).

## 国際会議等への招待講演等

集会名: International Symposium on Strangeness in Nuclear and Hadronic Systems

開催期日・場所: 2008.12.14-17, 2008, Sendai, Japan

発表論文名: Opening address

集会名: Electron-Nucleus Scattering X (Elba X)

開催期日・場所: 2008.6.23-27, 2008, Elba, Italy

発表論文名: Hypernuclear Spectroscopy 招待講演

集会名: Asia Science Forum

開催期日、場所: 2007.9.10-11, Sendai International Center

発表論文名: Exploring New Science by Bridging Particle-Matter Hierarchy 基調講演

集会名: International Cooperation Meeting on Hypernuclear Spectroscopy by the (e, e' K+) reaction

開催期日、場所: 2006.12.7-9, MIAMI, Florida, USA

発表論文名: Hypernuclear spectroscopy of  $\Lambda$  hypernuclei 総合講演

集会名: 9th Int. Conf. on Hypernuclear and Strange Particle Physics (HYP2006),

開催期日、場所: 2006.10.10-14, Mainz, Germany

発表論文名: Hypernuclear spectroscopy program at JLab Hall C 招待講演

集会名: Int. Workshop on Strangeness Nuclear Physics (SNP2006),

開催期日・場所: 2006.9.5-9, Zhang Jia Jie, China

発表論文名: Electro- and photo- production of strangeness on nucleons and nuclei  
招待講演

集会名: International Collaboration Meeting of JLab Hall A collaboration

開催期日・場所: 2005.6.23-24, Virginia, USA

発表論文名: (e, e' K+) hypernuclear spectroscopy with sub-MeV resolution 招待講演

集会名: International meeting on Hypernuclear Spectroscopy

開催期日・場所: 2005.12.16-17, Sendai, Japan

発表論文名: Introduction to the hypernuclear spectroscopy 開会講演

集会名: International conference on Strangeness Nuclear Physics

開催期日・場所: 2004.7.29-31, Osaka, Japan

発表論文名: The (e, e' K+) hypernuclear spectroscopy with sub-MeV resolution  
招待講演

## (3) 研究費の取得状況 (研究代表者として取得しているもののみ)

研究種目名: 科学研究費補助金 学術創成研究

研究課題名: 「電子線ビームによるハイパー原子核分光研究の展開」

研究期間 : 平成16年度—平成20年度  
研究機関全体の配分額 : 415,200 千円

#### (4) 特別推進研究の研究成果を背景に生み出された新たな発見・知見

米国ジェファーソン国立研究所に設置された HKS および、散乱電子スペクトロメータを用いた第二世代実験 E01-011 は 2005 年にジェファーソン研究所からビームタイムの割り当てが行われ夏から秋にデータを収集が実施された。新造した HKS は予想通りの性能を発揮し、また新規に導入した”ティルト法”(電子線スペクトロメータを水平面に対して傾斜させることにより制動輻射およびメーラー散乱による散乱電子を排除する方法)により背景雑音は 10,000 倍以上低減し、ビーム強度、標的厚を増やすことによりルミノシティを 250 倍にしたにもかかわらずバックグラウンドは 1/100 以下にすることができた。新規に導入した HKS, ティルト法により  $^{12}_{\Lambda}\text{B}$ ,  $^7_{\Lambda}\text{He}$ ,  $^{28}_{\Lambda}\text{Al}$  の三種類のハイパー核の精密分光をエネルギー分解能 400-500keV という最高分解能で行うことに成功した。

図 1 は  $^{12}_{\Lambda}\text{B}$  のハイパー核質量スペクトラムである。ハイパー核反応分光としては世界最高のエネルギー分解能 450keV (FWHM) と高いハイパー核収集率を同時に達成したことを示している。図に示されるように、特別推進研究期間中の第 1 世代実験に引き続き第 2 世代実験を成功させたことによりラムダハイパー核の (e, e' K+) 反応による分光実験を確立し、A~16 までの p 殻ハイパー核を越えて質の高いハイパー核反応分光研究を中重殻領域へと進めることを可能とした。図 2 に初めて観測された  $^{28}_{\Lambda}\text{Al}$  スペクトルを示す。

この結果、東北大学グループが主導する国際共同実験グループが創始した電子線によるラムダハイパー核分光研究は新たな学問分野として確立し、イタリアグループによる JLab Hall A における軽いラムダハイパー核分光、ドイツ・マインツ大学における MIMI C 加速器施設を用いたストレンジネス電磁生成実験が始まりつつある。東北大学グループは、軽いハイパー核から中重ハイパー核まで系統的に分光研究を行うため、学術創成研究 (H16-20「電子線ビームによるハイパー原子核分光研究の展開」代表 橋本)のもと、ハイパー核電磁生成分光実験に特

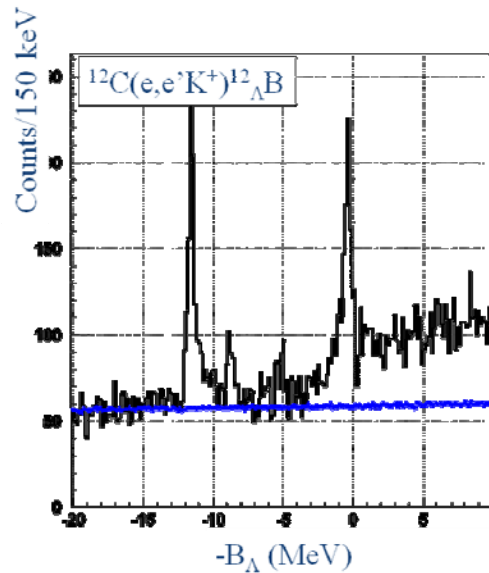


図 1 JLab 第 2 世代実験 E01-011 で測定した  $^{12}_{\Lambda}\text{B}$  のハイパー核質量スペクトル。第 1 世代実験と比べると新規に導入した HKS, ティルト法により分解能、統計量、S/N の全てが圧倒的に改善している。

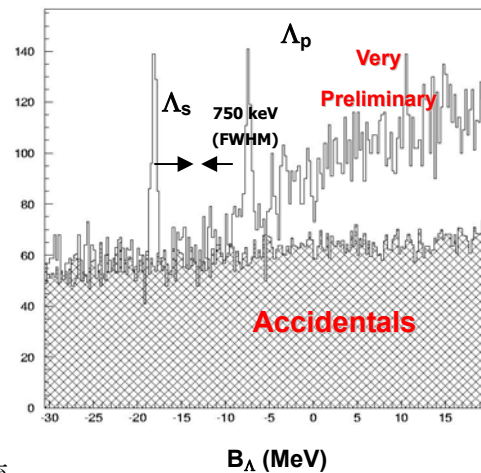


図 2 JLab 第 2 世代実験 E01-011 で測定した  $^{28}_{\Lambda}\text{Al}$  のハイパー核質量スペクトル。

化した高分解能散乱電子スペクトロメータ(HES)を製作した。現在、HKSとHESを使う第3世代実験 JLab E05-115の準備を進めつつある。HESは国内で製作、テストを行った後、ジェファーソン研究所に輸出し、現在 JLab Hall C 実験室で組み立てが完了している。E05-115 実験のビームタイムは2009年夏を予定している。

一方、特別推進研究のもと東北大学原子核理学研究施設で実光子ビームを用いて進めてきた中性K中間子電磁生成素過程の研究も、第1世代のNKS実験のデータをもとに、最近確立されつつあった電磁相互作用によるストレンジネス生成過程のための Saclay Lyon および kMAID アイソバーモデルが荷電K中間子の生成過程に対しては概ね説明するものの中性K中間子の生成に関しては不完全であることが示された。本データによって電磁相互作用によるストレンジネス生成過程が明らかになるとともに、今後の理論構築になくてはならない基本的データを得た。

## **2. 特別推進研究の研究成果が他の研究者により活用された状況はどうか。**

### **(1) 学界への貢献の状況**

本特別推進研究は本研究グループの示す研究課題と実験提案をもとに、国際ネットワークのもとに実施されてきた。特にストレンジネス核物理、ハイパー核物理は、我が国の研究が理論実験共に世界をリードしているが、本研究によってはハイパー核分光分野へ貢献がなされた。この中で、最高分解能での反応分光実験が可能となったことで、初めて ${}^7_{\Lambda}\text{He}$ の基底状態の質量の絶対値が明らかになり、 $A=7$  ラムダハイパー核( ${}^7_{\Lambda}\text{He}$ ,  ${}^7_{\Lambda}\text{Li}$ ,  ${}^7_{\Lambda}\text{Be}$ )のクラスターモデルによる理論計算との比較により、ハイパー核における荷電対称性に関する検討が進められている。また、初めて所謂 p-shell ラムダハイパー核より重いラムダハイパー核として ${}^{28}_{\Lambda}\text{Al}$ の高精度ハイパー核質量スペクトルも観測され、 $(\pi^+, K^+)$ 反応によって既知の ${}^{28}_{\Lambda}\text{Si}$ スペクトルとの比較が最新の理論計算とも照合しつつ実施されている。いずれも、実験研究者と理論研究者の密接な連携によるものであり、本研究によるデータが広く認められてきていると言える。

これまで、米国ジェファーソン国立研究所の連続電子線加速器が唯一 $(e, e' K^+)$ 反応ラムダハイパー核分光を実現出来る加速器施設であった。しかしながら、最近ドイツマインツ大学では電子エネルギーを1.5 GeVまで増強することに成功し、2009年には $(e, e' K^+)$ 反応によるストレンジネス生成実験を開始する予定であり、さらにラムダハイパー核分光に向けて準備も行っている。本研究における我々の成功をうけてマインツ大学より連携を強く求められており、2006年には東北大学理学研究科とLetter of Interestを交換している。

電子線ビームによるラムダハイパー核分光研究の基礎を確立したことは、J-PARCで今後ストレンジネス核物理大きく展開しようとする我が国の研究者にとっても、相補的かつ連携が必要な研究分野であり、我々の研究を通じて、米国、ヨーロッパ、アジアの研究者がJ-PARCにおける21世紀の核物理研究に参加することを促す役割も果たしてきた。

さらに、特別推進研究期間に橋本を議長として2003年に開催した国際会議”Electroproduction of Strangeness on Nucleons and Nuclei (SENDAI03)”を受けて、2008年12月に国際会議”Strangeness in Nuclear and Hadronic Systems (SENDAI8)”を橋本、田村を共同議長として東北大学において開催した。特別推進研究以降の関連分野の発展を、予想以上に米国、ドイツ、イタリア、オランダ、チェコ、イスラエル、アルメニア、ロシア、中国、韓国、インドネシア等々、日本以外の世界各地から60名近いこの分野の実験、理論の第一人者が一同に会し、総勢120名の専門家会議として活発に議論することが出来た。本特別推進研究をもとの国際共同研究、連携体制の発展と世界の学界への貢献を示している

と考えている。

この間、上記国際会議意外にも多数の理論研究者が我が国のみならず世界から仙台を訪問し、特別推進研究およびそれに引き続く実験データの理論的解析と議論に関わってきた。たとえば、チェコ科学アカデミーの Petr Bydžovský 主任研究員は 学術振興会外国人招へい研究員として 2007 年に 3 ヶ月に亘って、東北大学に滞在し、電子及び光子による核子及び原子核中における“奇妙さ量子数”生成過程の研究の理論計算を進め、橋本および我が国の理論研究者とともに、論文が投稿される最終段階にある。

## (2) 論文引用状況

調査日 2009 年 1 月 29 日

### 研究期間中に発表された論文

・ Spectroscopy of medium-heavy Lambda hypernuclei via the ( $\pi^+$ ,  $K^+$ ) reaction

Hotchi H, Nagae T, Outa H, Noumi H, Sekimoto M, Fukuda T, Bhang H, Kim YD, Kim JH, Park H, Tanida K, Hashimoto O, Tamura H, Takahashi T, Sato Y, Endo T, Satoh S, Nishida J, Miyoshi T, Saitoh T, Kishimoto T, Sakaguchi A, Ajimura S, Shimizu Y, Mori T, Minami S, Sumihama M, Sawafuta R, Tang L

PHYSICAL REVIEW C Volume: 64 Issue: 4 Article Number: 044302, OCT 2001

「本研究を提案する基礎となった KEK 1.2 GeV SKS スペクトロメータを用いた ( $\pi^+$ ,  $K^+$ ) 反応によるラムダハイパー核分光研究の最新データを報告する論文。特に、 $^{89}_{\Lambda}Y$  ハイパー核の質の高い質量スペクトルを測定し、ラムダハイペロンの核内軌道とスピン軌道相互作用によるエネルギー準位の分離の可能性を論じた、本特別推進研究の提案する高分解能ハイパー核分光実験の重要性を示した。」 61 回

・ High resolution spectroscopy of the  $^{12}_{\Lambda}B$  hypernucleus produced by the ( $e, e' K^+$ ) reaction

Miyoshi T, Sarsour M, Yuan L, et al., PHYSICAL REVIEW LETTERS Volume: 90 Issue: 23 Article Number: 232502, JUN 13 2003

「本特別推進研究の成果として、電子線を用いたラムダハイパー核分光を世界で初めて成功させたことを報告する論文。反応分光として世界一の分解能を達成し、 $^{12}_{\Lambda}B$  ハイパー核の生成過程と構造を論じ、電子線を用いたラムダハイパー核分光が今後非常に有望であることを示した。」 31 回

・ A silicon strip detector used as a high rate focal plane sensor for electrons in a magnetic spectrometer

Miyoshi T, Lan KA, Fujii Y, Hashimoto, O, et al.,  
NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH SECTION A-ACCELERATORS  
SPECTROMETERS DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT Volume: 496 Issue: 2-3 Pages:  
362-372, JAN 11 2003

「本特別推進研究にて構築した、電子線を用いたラムダハイパー核分光システムの散乱電子焦点面検出器として用いるシリコンストリップ検出器について、非常に高い計数率 (200MHz/80cm) での応用法について示した論文」 5 回

・ New ( $e, e' K^+$ ) hypernuclear spectroscopy with a high resolution kaon spectrometer  
Fujii Y, Hashimoto O, Honda D, et al., NUCLEAR PHYSICS A Volume: 721 Pages: 1079C-1082C,  
JUN 30 2003

「本特別推進研究にて構築した高分解能 K 中間子スペクトロメータについて、ジェファソン研究所において実験審査会によって認められた新たなハイパー核分光研究の可能性を示した論文」 2 回

• Photoproduction of neutral kaons on C in the threshold region,

Takahashi T, Fujii Y, Hashimoto O, et al. , NUCLEAR PHYSICS A Volume: 721 Pages: 991C-994C, JUN 30 2003

「炭素標的からの中性 K 中間子の光生成を閾値領域で行い、ストレンジネスの電磁生成に対して新たな知見をもたらした論文」 2 回

• Facilities for hypernuclear physics at JHF and JLab

Hashimoto O, NUCLEAR PHYSICS A, Volume: 691, Issue: 1-2, Pages: 457C-463C, AUG 13 2001

「現在 J-PARC として稼動している東海村の陽子加速器と、本特別推進研究にて用いた米国ジェファソン研究所の電子線加速器のそれぞれについて、どのようなハイパー核の物理が展開できるかについて比較検討した論文」 2 回

### 研究期間終了後に発表された論文

• Spectroscopy of  $\Lambda$  hypernuclei

Hashimoto O, Tamura H,

PROGRESS IN PARTICLE AND NUCLEAR PHYSICS, VOL 57, NO 2 Pages: 564-653, 2006

「本特別推進研究で行われた研究を含め、ラムダハイパー核分光研究の新たな知見に関する報告と総説を兼ねた論文。本特別推進研究の主題であるハイパー核分光研究の意義と研究の到達点および今後の展望を示したもので、短期間に広く引用されている。」 53 回

• Hypernuclear fine structure in  $0^{-16}(\Lambda)$  and the  $\Lambda$  N tensor interaction

Ukai M, Ajimura S, Akikawa H, Alburger DE, Banu A, Chrien RE, Franklin GB, Franz J, Hashimoto O, Hayakawa T, Hotchi H, Hashimoto O, Imai K, Kishimoto T, May M, Millener DJ, Minami S, Miura Y, Miyoshi T, Mizunuma K, Nagae T, Nakamura SN, Nakazawa K, Okayasu Y, Pile P, Quinn BP, Rusek A, Sato Y, Sutter R, Takahashi H, Tang L, Tamura H, Tanida K, Yuan L, Zhou SH

PHYSICAL REVIEW LETTERS, Volume: 93, Issue: 23, Article Number: 232501, Published: DEC 3 2004

「本研究と並行して相補的ハイパー核分光研究として進めたガンマ線分光による代表的な論文。 $^{16}_{\Lambda}O$  のガンマ線を観測し、その構造情報からラムダ核子相互作用におけるテンソル力が小さいことを示した。」 20 回

• gamma-ray spectroscopy in  $\Lambda$  hypernuclei

Tamura H, Fujii Y, Hiyama E, Hashimoto, O, Imai K, Kishimoto T, May M, Miura Y, Miwa , Nagae T, Nakamura SN, Nouri H, Ota H, Pile P, Takahashi T, Tang L, Tanida K, Ukai M, et al.

NUCLEAR PHYSICS A, Volume: 754, Pages: 58C-69C, Published: MAY 30 2005

「 $^{16}_{\Lambda}O$  ( $1(-) \rightarrow 1(-)$ ,  $0(-)$ ),  $^{10}_{\Lambda}B$ ,  $^7_{\Lambda}Li$  ( $7/2(+) \rightarrow 5/2(+)$ ),  $^9_{\Lambda}Be$  ( $3/2(+) \rightarrow 1/2(+)$ ) のガンマ線を Ge 検出器によって観測し、ラムダ核子相互作用のスピんに依存する項について総合的に論じた論文」 19 回

• Hypernuclear spectroscopy using the  $(e, e'K^+)$  reaction

Yuan L, Sarsour M, Miyoshi T, Hashimoto, O et al. , PHYSICAL REVIEW C Volume: 73 Issue: 4 Article Number: 044607, APR 2006



「本特別推進研究の成果として得られた高分解能な  $^{12}\text{B}$  ハイパー核の励起エネルギースペクトルから、ハイパー核の構造について議論した本論文」 11回

• Radio frequency picosecond phototube

Margaryan A, Carlini R, Ent R, Hashimoto, O. et al. ,

NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS A Volume: 566 Issue: 2 Pages: 321-326, OCT 15 2006

「米国ジェファーソン研究所の電子線加速器からの RF 信号(500 MHz)を用いて、少ない光量においても高い時間分解能(20 ps)を得られる光電子増倍管を開発し、ハイパー核分光実験でのチェレンコフカウンタへの応用など時間分解能を必要とする多様な応用の可能性を示した論文」 2回

### 3. その他、効果・効用等の評価に関する情報。

#### (1) 研究成果の社会への還元状況

これらの特別推進研究における研究の二つの柱は、その成果に基づきさらに発展しており、今後の努力がさらに必要であるが、ストレンジネスハイパー核物理の世界拠点の一つを確立することに成功したと考えている。

特に、本研究は国際協同研究をベースに展開されている。参加する修士博士学生は、ジェファーソン研究所に長期に滞在し、あるいは頻繁に往復し、現地の共同研究者、大学院学生さらに技術者と直接共同作業を進める。大学院教育における国際化が叫ばれる中、中規模国際協同研究の中で実質的に大学院学生を共同研究者として扱っている。このような世界拠点の確立に伴い、若手の教育にも大きな貢献をしている。東北大学における数物系の21世紀COEにおいては、本国際協同研究で得られた経験を大学院学生の国際化教育に生かしてきた。2008年度から採択されたグローバルCOEを基盤とする教育研究活動も支えている。

ジェファーソン国立研究所は米国における原子核物理学の中心研究所の一つである。この中で、所長をはじめ物理担当副所長等の理解も得て、本国際共同プログラムは、1998年に物理専攻とJLab物理部とのMOU締結に引き続き、2003年からは5年間の東北大学理学研究科とジェファーソン研究所とのMOUを締結し、2008年には2013年までの5年間の延長を行いさらに共同研究を強化することを確認したところである。

既に述べたように、エネルギー省(DOE Nuclear Physics)からのSupport letterも日米の国際共同研究の一翼を担っている。橋本は2003年にはジェファーソン研究所のエネルギー省による外部評価委員会委員として、同研究所の評価を行っている。また、橋本は2008年より米国物理学会誌Physical Review C Editorに指名され、現在3年間の任期を努めている。既述のように、電子線によるラムダハイパー核分光成功の影響は、ドイツマインツ大学、イタリアINFN(ROME)グループ等との協同研究への道を開いており、その中で米国のみならず日米欧三極の電子線ビームによるストレンジネス核物理に関する国際連携研究体制が形成されつつある。12月に開催されたSENDAI08においても今後の展開について、学生の交流も含めて議論された。

一方、橋本は、2007年までJ-PARCの利用者協議会議長を務めるなど、本特別推進研究のもとに進めたストレンジネス核物理分野での研究活動をもとに、我が国の加速器科学の発展にも貢献してきた。2008年10月には、日本学術振興会によるアジア学術セミナーを橋本を議長としてJ-PARCにおける幅広い加速器科学の機会をアジアの研究者、大学院学生に周知し協同研究を確立するため北京で我が国から100名、中国、韓国、台湾から140名、総数240名の参加を得て開催した。この会議においても、ラムダハイパー核分光を中心とする電子線によるストレンジネス核物理の研究は、J-PARCにおける中間子ビーム

を用いた強い相互作用によるストレンジネス核物理研究と車の両輪であるため、特別推進とそれに引き続く研究に関わる発表が行われている。関係する中国の共同実験研究者、理論研究者の参加もあり、本特別推進研究とその後の展開による国際学界に対する広い意味での貢献と考えられる。

## (2) 研究計画に関与した若手研究者の成長の状況

高橋俊行	東北大学理学研究科助教	—> 高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所第3系准教授
里 嘉典	ポストドク	—> 米国ジェファーソン研究所ポストドク 高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所第3系助教、准教授
三好 敏喜	博士学生	—> 米国ヒューストン大学ポストドク —> 高エネルギー加速器研究機構・特任助教
岡安 雄一	博士学生	—> 高輝度光科学研究センター加速器部門研究員
渡辺 英臣	博士学生	—> 岐阜大学ポストドク
塚田 暁	博士学生	—> 東北大学理学研究科物理専攻助教 —> 理化学研究所岩崎先端中間子研究室研究員
広瀬 健太郎	博士学生	—> 東北大学理学研究科原子核理学研究施設助教