

科学研究費補助金（学術創成研究費）公表用資料
〔事後評価用〕

平成16年度採択分

平成22年3月31日現在

研究課題名（和文）

電子線ビームによるハイパー原子核分光研究の展開

研究課題名（英文）

Exploring hypernuclear spectroscopy by electron beams

研究代表者

氏名 橋本 治 (Osamu Hashimoto)

所属研究機関・部局・職 東北大学・大学院理学研究科・教授



推薦の観点：国際的に対応を強く要請される研究

研究の概要：ストレンジネスの電磁生成現象をキーとして1) 我々が創始した電子線を用いたハイパー核精密反応分光という新しい研究手法を米国ジェファーソン研究所において展開することを第一の目標とする。それと相補的に2) 東北大学電子光研究センターにおいて、ストレンジネス電磁生成素過程の研究を光子による中性K中間子生成過程を通して強力に推進することを第二の研究目的とする。本研究で確立、展開したこの二つの研究の柱がお互いを支えながらストレンジネスの電磁生成という研究分野の発展を推進する。

研究分野： 数物系科学

科研費の分科・細目： 物理学 素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード： ストレンジネス、ハイパー核、電磁相互作用、 $(e, e' K^+)$ 反応、 K^0 中間子

1. 研究開始当初の背景

ストレンジ・クォークを含むハイパー原子核は、ハドロン多体系の研究にとって不可欠の役割を果たす。本研究に先立ち、我々は電子線を用いたハイパー核精密反応分光という新しい研究手法を創始すると同時に、中性K中間子を閾値領域で電磁生成することに成功した。国際競争の厳しいこの分野で日本がリードを保つためには、この機を逃さずストレンジネスの電磁生成という新しい研究分野を速やかに展開することが必要であった。

2. 研究の目的

本研究は、ストレンジ・クォークをもつ重粒子としては最も安定な Λ ハイペロンを束縛する Λ ハイパー核を $(e, e' K^+)$ 反応によって最高質量分解能で測定し(1) 原子核深部に深く束縛された Λ ハイペロンの性質、(2) Λ ハイパー核の構造、(3) Λ 核子間相互作用を明らかにすることを第1の研究の柱とする。また、第2の柱として、 Λ ハイペロンおよびストレンジネスの電磁生成素過程を電荷の関与しない特異的な生成チャンネルである $\gamma + n \rightarrow \Lambda + K^0$ 反応を通じて究明する。この2本の研究の柱のもと、ストレンジネス核物理研究を大きく展開することを目的としている。

3. 研究の方法

これまでの開拓的研究の成功をもとに我々が開発し米国バージニア州ジェファーソン国立研究所に設置した高分解能K中間子

検出器(HKS)を最大限に利用するため、電子線を用いたハイパー核研究に特化した高分解能散乱電子スペクトロメータ(HES)を新規に設計、製作した(図1)。

これにより、軽いハイパー核から $A=50$ 領域の中重ハイパー核まで広い質量領域において質の高い精密分光が可能になった。

一方、東北大学核理研においては重陽子(中性子)を標的として閾値領域における中性K中間子の光生成実験を強力に進めるため中性K中間子スペクトロメータ(NKS2)を製作設置し、 Λ, K^0 等のストレンジネス生成に伴う崩壊粒子(p, π^+)測定実験を推進した。

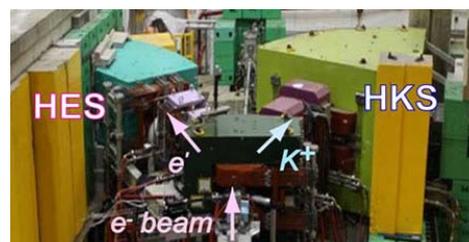


図1 JLab Hall C に設置した、HKS, HES(新設)スペクトロメータ

4. 研究の主な成果

(1) $^{12}_{\Lambda}B$ ハイパー核精密分光

我々の第一世代 $(e, e' K^+)$ ハイパー核実験により反応分光によるハイパー核のエネルギー分解能は初めて1 MeVを切ることに成功したが、本研究はさらにそれを2倍近く改善するとともに世界最高である500keV(FWHM)以下の分解能を達成した。これにより、コア

核の励起状態も観測することに成功した。

(2) ${}^7_{\Lambda}\text{He}$ ハイパー核による ΔN 相互作用における荷電対称性の破れの研究

従来、エマルジョンによるデータのみであった中性子過剰ハイパー核である ${}^7_{\Lambda}\text{He}$ スペクトルを初めて測定し、 Λ 粒子の束縛エネルギーを正確に決定した。近年のクラスター計算の進歩により $A=7, T=1$ アイソスピン3重項ハイパー核の束縛エネルギーを高精度で計算できるようになった。しかし、この結果は $A=4$ ハイパー核 (${}^4_{\Lambda}\text{H}, {}^4_{\Lambda}\text{He}$) のエネルギー差を説明するために現象論的に導入された ΔN 間相互作用ポテンシャルの荷電対称性の破れ (CSB) の効果を取り入れると本研究で初めて決定された ${}^7_{\Lambda}\text{He}$ 実験結果と矛盾する (図2)。CSB 項の研究に大きなインパクトを与えるデータであり、重粒子間力の荷電対称性の破れに関する貴重な情報として注目を浴びている。

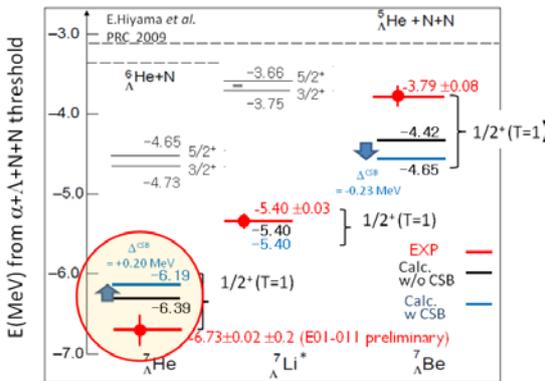


図2 $A=7, T=1$ のハイパー核の束縛エネルギーを $\alpha \Lambda$ NN をゼロとしてプロットした。CSB を入れない計算結果 (黒) に CSB 効果を取り入れると (青)、実験結果 (赤) とのずれが大きくなる。

(3) p 殻領域を超える ${}^{28}_{\Lambda}\text{Al}, {}^{52}_{\Lambda}\text{V}$ ハイパー核の分光

HKS スペクトロメータと傾斜法を採用することにより、 $(e, e' K^+)$ 反応を用いて、p 殻領域を超えたハイパー核である ${}^{28}_{\Lambda}\text{Al}$ の精密分光に初めて成功した。 Λ が s, p, (d) 軌道に入った状態が観測されるとともに、各軌道の束縛エネルギーが決定された (図3)。理論予想よりも深く束縛されている基底状態に関しては現在、詳細な殻模型計算との比較、検討を行っている。

さらに、第3世代実験として2009年秋にデータ収集に成功した ${}^7_{\Lambda}\text{He}$ から ${}^{52}_{\Lambda}\text{V}$ に至る広い質量領域のデータ解析が進行中である。

(4) 中性 K 中間子の電磁生成

生成閾値領域における K^0 電磁生成微分断面積の測定に成功するとともに、さらにアップグレードした中性 K 中間子スペクトロメ

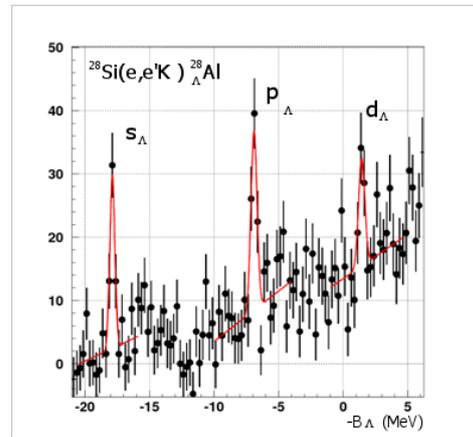


図3 初めて得られた ${}^{28}_{\Lambda}\text{Al}$ のスペクトラム

ータ (NKS2) を用いて 角度前方領域までのユニークな高統計データを収集し、最新理論と比較、検討している。

5. 得られた成果の世界・日本における位置づけとインパクト

本研究で確立、展開した $(e, e' K^+)$ 反応によるハイパー核分光研究は JLab にとどまらず、ドイツ Mainz 大学 MAMI-C 加速器においても研究がスタートした。日本でも J-PARC における K, π 中間子ビームを用いたハイパー核研究が本格化しつつある。相補的な新手法である $(e, e' K^+)$ 反応分光が確立し、飛躍的に発展した意味は大きい。JLab における本グループの活発な研究活動と J-PARC における中間子ビームを用いた研究を互いに相補的に推進することによって国際ネットワーク基盤が整備されつつある。本研究により今後も日本がストレンジネス核物理研究における中心的な役割を果たすことが可能となった。

6. 主な発表論文

(研究代表者は二重線、研究分担者は一重下線、連携研究者は点線)

(1) **Hypernuclear Spectroscopy at JLab Hall C**, O.Hashimoto *et al.* (95名中 OH1番目, SNN13, YF4, HK6, MK7, KM9, SK19) Nuclear Physics A 835 (2010) 121-128.

(2) **Photoproduction of neutral kaons on a liquid deuterium target in the threshold region**, K.Tsukada, *et al.* (28名中 OH6番目 SNN 15番目, YF4番目, HK10番目, KM11番目), Physical Review C78 (2008)014001

(3) **Hypernuclear spectroscopy using the $(e, e' K^+)$ reaction**, L.Yuan *et al.* (69人中 OH31番目, SNN 49番目, FY 24番目, TT60番目), Physical Review C 73 (2006) 044607.

(4) **Spectroscopy of Λ hypernuclei** O.Hashimoto and H.Tamura, Progress in Particle and Nuclear Physics, 57 (2006) 564-653

ホームページ:

<http://lambda/strangeness/gakujutsusousou/ei-j.html>