

機関番号：12601

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21740166

研究課題名（和文） ヘリウム3 標的上での静止 K 反応を用いた  $\Lambda(1405)$  状態の研究研究課題名（英文） Study of  $\Lambda(1405)$  by stopped K reaction on helium 3

研究代表者

鈴木 隆敏 (SUZUKI TAKATOSHI)

東京大学・大学院理学系研究科・助教

研究者番号：50415197

研究成果の概要（和文）：J-PARC E15/E17 実験の装置を継承して静止 K 反応において  $\Lambda(1405)$  状態の性質を調べることを目的とし、平成21年7月の J-PARC PAC に実験提案書を提出した (J-PARC P30)。先行して実施される E17 実験の準備を進行し、E17 及び本研究で利用する静止 K 反応向けに K1.8BR ビームラインの K ビーム調整を実行した上で主たる検出器系である CDS の校正を K ビームを利用して実施してビームライン及び実験装置全体の健全性/適性を確認した。

研究成果の概要（英文）：The aim of this research was to reveal the nature of  $\Lambda(1405)$  resonant state by stopped K- reaction with J-PARC E15/E17 experimental setup, and an experimental proposal, P30, has been submitted to J-PARC PAC at July 2009. The preparation of E17, which was to be executed by P30, was advanced, kaon tuning of the K1.8BR beam line was performed, and calibration of main detector, CDS, was performed, so that overall healthiness of the experimental setup was successfully confirmed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：中高エネルギー原子核実験

科研費の分科・細目：若手研究（B）

キーワード：ラムダ 1405、静止 K 反応、反 K 中間子原子核、ストレンジネス核物理

## 1. 研究開始当初の背景

$\Lambda(1405)$  状態とはストレンジネス-1、スピンパリティ  $(1/2)^-$ 、アイソスピン 0 のバリオンの一種であるが、この状態に関しては古くから通常のバリオンと同様の 3 構成子クォークからなる状態としてその質量を説明することは困難であり、反 K 中間子と核子の束縛状態である可能性が高い事が頻りに議論されてきたが、信頼し得るデータの量的/質的な不足によりそれは決定的な物ではなく、現在に至る迄その結論は出ていない。

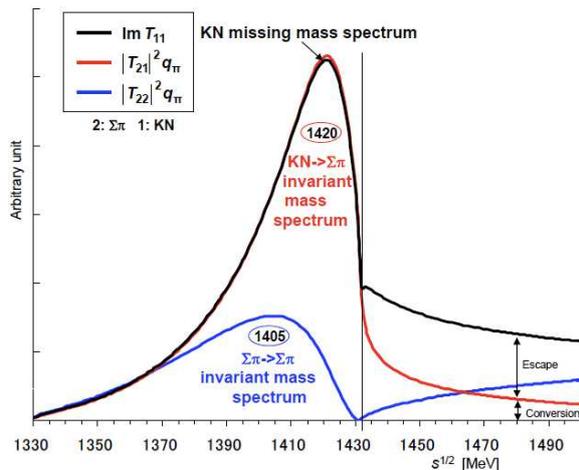
前世紀の終わりに、KEK-PS E228 実験により反 K 中間子水素原子パズルが解決され、その結果  $K-p$  間に強い相互作用による束縛状態が存在しなければならないことが確定し、その束縛状態こそが  $\Lambda(1405)$  の本性である可能性が強まった。その実験結果を受け、赤石と山崎は  $\Lambda(1405)$  を反 K 中間子と核子の強い相互作用による束縛状態と見なし、その質量と幅、及び低エネルギー  $K\bar{K}-N$  散乱データを同時に再現すべく反 K 中間子-核子相互作用を構築し、幾つかの軽い原子核に対し

て相互作用を適用することにより幅が狭く深く束縛した反 K 中間子原子核状態が存在する事を示した。

この赤石-山崎の予言を受け 2000 年代初頭から今日現在にかけて世界各地で反 K 中間子原子核探索実験が実行され、また新たな計画が進行中であるが、その内の幾つかにおいては彼らの予言した束縛状態の候補足り得る幾つかのスペクトル強度が報告され、それらの解釈に対して現在も非常に活発な議論が続いている。議論は反 K 中間子原子核の束縛の理論的拠り所となる  $\Lambda(1405)$  状態の再考察に及び、その結果  $\Lambda(1405)$  の本性はこの新たな興味における現代的問題となった。赤石-山崎の  $\Lambda(1405)$  に対する解釈に対し、Oset、Weise らは  $\Lambda(1405)$  は主に  $K\bar{b}N$  と結合する  $1420\text{MeV}/c^2$  と  $\Sigma\pi$  と結合する  $1390\text{MeV}/c^2$  の 2 つの pole から構成されており、従って  $K\bar{b}N$  間の引力はより弱く、必然として反 K 中間子原子核の束縛は浅いという two-pole 説を主張し、赤石-山崎らの解釈と鋭く対立した。

## 2. 研究の目的

Oset、Weise らと赤石、山崎らの双方の主張を実験的に証明するために、赤石と山崎は  $\Lambda(1405)$  状態に関連した一層の考察を行った。現在  $\Lambda(1405)$  と解釈される  $(\Sigma\pi)^0$  スペクトルは現代の標準的な Hemingway et al のものを始めとして種々の反応によるものが存在しているが、現在反 K 中間子原子核との関連で議論されているアイソスピン  $I=0$  の  $K\bar{b}N$  散乱振幅に最も直接的に読み替えることが出来るのは  $K\bar{b}N \rightarrow \Sigma\pi$  反応によるスペクトルであると結論し(図)、d、 $^3\text{He}$ 、及び  $^4\text{He}$  による静止 K の吸収過程における  $\Sigma\pi$  不変質量の測定を提案した。

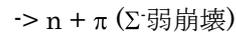
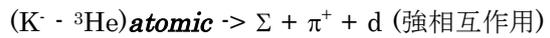


d、 $^3\text{He}$ 、及び  $^4\text{He}$  標的による理論曲線を比較した結果、特に  $^3\text{He}$  において 2 つのモデルの違いは最も大きく、 $^3\text{He}$  標的を用いた高統計/高分解能のデータさえ取得出来ればこれ

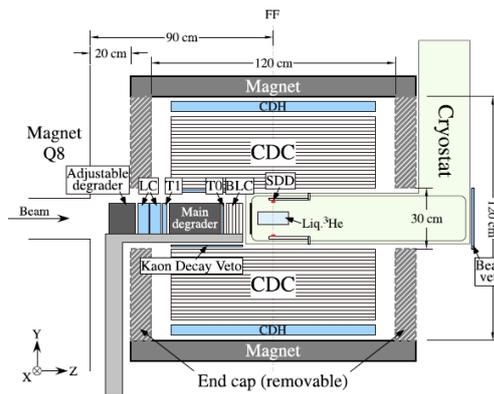
らの相反する仮説の弁別は容易であることが判明したために、本研究では  $^3\text{He}$  による静止 K の吸収過程における  $\Sigma\pi$  不変質量の測定を行い、 $\Lambda(1405)$  状態の本質を明らかにすることを目的とした。

## 3. 研究の方法

研究施設として現在低エネルギー K 中間子ビームを供給出来る唯一の施設である J-PARC を選択し、同じく J-PARC における反 K 中間子ヘリウム 3 原子精密分光実験 E17 の終了後、その実験装置をそのまま引き継ぎ X 線検出器部分のみを撤去して実験を行うことを狙った。本研究では  $^3\text{He}$  上に K を静止させることにより原子状態を形成した後に



反応を検出し、 $(\Sigma^+\pi^0)$  の不変質量分布を構成してその形状を吟味することにより  $\Lambda(1405)$  状態の性質を研究する。E17 実験においては J-PARC K1.8BR ビームラインにおいて  $750\text{MeV}/c$  の K を引き出し、減速して  $^3\text{He}$  標的の中に静止させ、反 K 中間子ヘリウム 3 原子状態を形成した後に脱励起によって放出される X 線を検出する(次図)。



## J-PARC E17 実験装置(実験申請課題技術評価委員会資料より抜粋)

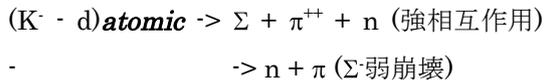
E17 実験及び本研究においては反 K 中間子ヘリウム 3 原子の生成は T0 における K 中間子のエネルギー損失と静止位置のビーム軸方向成分の相関を解析することで保証される。E17 実験においては原子 X 線及び補助的に終状態の荷電粒子の軌道のみを測定するが、本研究に於いては反 K 中間子ヘリウム 3 原子が核吸収で原子核反応を起こした後の反応生成物をエクスクルーシブにその運動量を含めて測定する。 $\Sigma^+$  の弱崩壊起源の中性子は CDC(Cylindrical Drift Chamber) のセンスワイヤを VETO として利用した上で T0-CDH 間での飛行時間測定を行う事でその運動量が測定され、 $\pi^{+/-}$  の電荷と運動量はソレノイド電磁石を用いてビーム軸方向に

0.7T の磁場を印可した上で CDC において検出される軌道より決定される。 $\Sigma^{+/-}$ はそうにして検出された中性子と $\pi^{+/-}$ で計算された不変質量から同定され、運動量が決定される。重陽子を直接検出することは困難であるが、 $\Sigma^{+/-}\pi^{+/-}d$  の終状態は  ${}^3\text{He}(\text{stopped } K^-)$ ,  $\Sigma^{+/-}\pi^{+/-}X^+$  として再構成されるミッシングマス  $X^+$  の値により  $p+n$  や  $p+n+\pi^0$  等の他の終状態から分離/同定される。

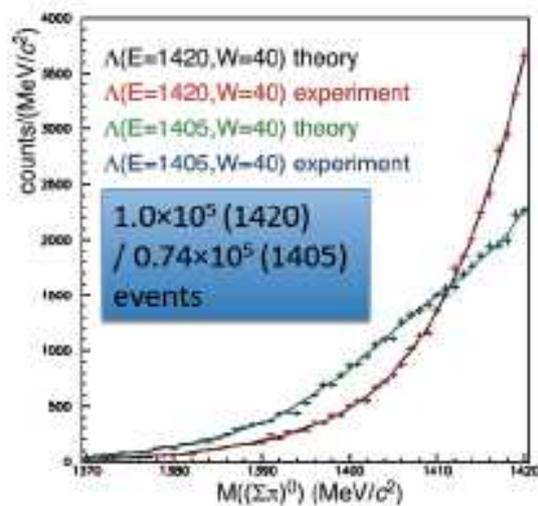
E17 実験と本研究の相違点は標的容器内部に設置された X 線検出器の有無のみであるためにはまず E17 の準備を完遂するべく準備を進め、X 線検出器の撤去を行い、さらに本研究に向けたデータ取得を目指した。

#### 4. 研究成果

理論的研究の進展と実験装置の適性という二つの観点より、標的を交付申請時の液体  ${}^3\text{He}$  より液体重陽子に変更した。この場合、反応は



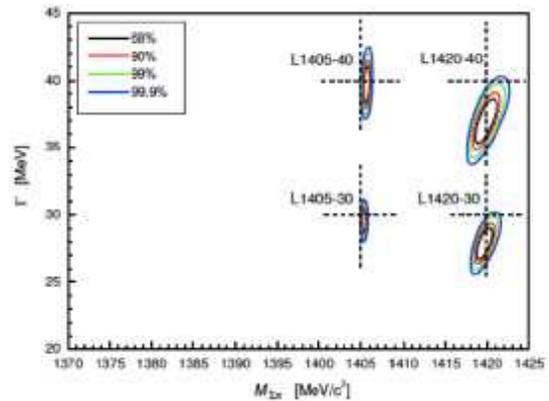
となり、強い相互作用で生ずる  $n$  を測定する事で運動学的に等価な  $(\Sigma^+\pi^+)^0$  系の質量の測定を実行することが出来る。また、この方法、実験施設、実験装置で実験を遂行した場合の期待される  $(\Sigma^+\pi^+)^0$  質量スペクトル及び  $\Lambda(1405)$  状態の質量及び自然幅に対する感度を下に示す。



この案を持って平成 21 年 7 月の J-PARC PAC に実験提案書を提出した (J-PARC P30)。

平成 21 年度から 22 年度にかけては、先行して実行される E17 実験の準備を進行したが、特に平成 21 年度においては申請者及び本研究計画の担当分として E17 及び本研究で利用する静止 K 反応向けに K1.8BR ビームラインの K ビーム調整を進行し、22 年度には

調整をさらに進める事に加えて主たる検出器系である CDS の校正を K ビームを利用して実施してビームライン及び実験装置全体の健全性/適性を確認した。



#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① T. Suzuki, J. Esmaili, Y. Akaishi, "The investigation of  $\Lambda(1405)$  state in the stopped  $K^-$  reaction on deuterium", EPJ Web of Conferences, 07014 (2010), 査読無
- ② T. Suzuki, J. Esmaili, Y. Akaishi, "The investigation of  $\Lambda(1405)$  state in the stopped  $K^-$  reaction on deuterium", Mini-Proceedings, ECT\* Workshop, Hadronic Atoms and Kaonic Nuclei, 30 (2010), 査読無

[学会発表] (計 2 件)

- ① T. Suzuki, "The investigation of  $\Lambda(1405)$  state in the stopped  $K^-$  reaction on deuterium", Hadronic Atoms and Kaonic Nuclei - Solved Puzzles, Open Problems and Future Challenges in Theory and Experiment, Oct. 2009, ECT\*, Trento, Italy
- ② T. Suzuki, "The investigation of  $\Lambda(1405)$  state in the stopped  $K^-$  reaction on deuterium", 19<sup>th</sup> International IUPAP Conference on Few-Body Problems in Physics, Sep. 2009, University of Bonn, Bonn, Germany

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

鈴木 隆敏 (SUZUKI TAKATOSHI)  
 東京大学・大学院理学系研究科・助教  
 研究者番号：50415197

##### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3)連携研究者 ( )

研究者番号：