

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：82401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05481

研究課題名(和文) N崩壊測定によるS=-1ダイバリオン探索へ向けた、薄型中性子検出器の開発

研究課題名(英文) development of a thin neutron detector for a S=-1 dibaryon search with $\pi\Sigma$ decay mode

研究代表者

佐久間 史典 (Sakum, Fuminori)

国立研究開発法人理化学研究所・開拓研究本部・専任研究員

研究者番号：10455347

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、K-pp束縛状態--反K中間子と陽子2個の強い束縛状態--の測定を通じて、量子色力学の予言する豊かな原子核の存在形態の理解を進めることである。本研究ではその主要な崩壊先であると予想される $\pi\Sigma$ 崩壊を、 n 崩壊検出を利用して調査するべく、銅とシンチレーターから構成される薄型中性子検出器のR&Dを行った。また、既存のJ-PARC E15実験データより、K-pp束縛状態の $\pi\Sigma$ 崩壊は位相空間の制限のために抑制されていることを見出した。さらに、K-pp束縛状態生成メカニズム解明のヒントとなる $\Lambda(1405)p$ の生成断面積が、K-pp生成に比べて10倍以上大きいことを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

K中間子原子核は、中性子星内部などで実現されているような、高密度でコンパクトな状態であると示唆されている。そのK中間子原子核の内部構造等に関する知見を得る上では、本研究のような崩壊モード別の詳細な測定が非常に重要となる。本研究は、そのような研究の先駆けとなった。さらに、そのようなエキゾチックな状態の生成メカニズムを知るうえで重要な、K-p束縛状態であると考えられている $\Lambda(1405)$ 粒子生成との関係を初めて明らかにした本研究の成果は、クォーク間の相互作用である強い力の理論(量子色力学)に基づく研究を推進させるものとなると考えられる。

研究成果の概要(英文)：The aim of the research is to investigate the kaonic nuclei -- bound states of anti-kaon and nucleons -- to obtain a further understanding of many aspects of existing form of nuclei predicted by quantum chromodynamics. We performed R&D study of a thin neutron counter composed of copper absorbers and plastic scintillators to measure the expected $\pi\Sigma$ decays from the $K\text{-}pp$ state using detection of the $\pi\Sigma$ decays. We also investigated the $\pi\Sigma$ decays of the $K\text{-}pp$ with the existing data of the J-PARC E15 experiment. We found the $\pi\Sigma$ decay mode is suppressed due to limitation of the decay phase space of the $K\text{-}pp$. In the analysis, we revealed the production cross section of the $\Lambda(1405)p$ is ~ 10 times larger than that of the $K\text{-}pp$. The result will provide an important key to understand the production mechanism of the $K\text{-}pp$ state.

研究分野：ハドロン物理学実験

キーワード：K中間子原子核 K-pp $\pi\Sigma$ 崩壊 $\Lambda(1405)$ 中性子検出

1. 研究開始当初の背景

K 中間子原子核は反 K 中間子と原子核の強い束縛状態であり、強い引力であると知られる $K\bar{N}$ 相互作用の帰結としてその存在が理論的に予想されている[1]。このような K 中間子原子核が存在すると、原子核密度の数倍にも及ぶ非常に密度の高い状態になっているとの理論予想もあり、カイラル対称性回復現象等を実験室レベルで検証出来る可能性がある。K 中間子原子核探索実験は世界各国で行われており、FINUDA/DISTO/J-PARC E27 実験では非常に深く束縛した $K\bar{N}N$ 束縛状態の存在を示すような結果が $p(\ ^0p)$ 崩壊モード測定により報告されている[2-4]。しかしながら、その存在を否定する実験結果の報告もあり[5-7]、未だその存否は実験的には謎である。

我々は J-PARC において、 $K+^3\text{He}\rightarrow\Lambda p n$ 反応を用いて K 中間子原子核 $K\text{-}pp$ を探索する実験を行った(E15 実験)。1 GeV/c の K-ビームと比較的単純な標的粒子である ^3He を用いることにより、これまでの実験で問題となっていた 2 核子吸収反応やハイペロン崩壊からのバックグラウンドを運動学的に落とすことが出来ることが本実験の強みである。また、K-中間子を ^3He 標的に当てて中性子をたたき出し($^3\text{He}(K^-, n)$ 反応)、反跳した仮想 K-中間子を残り 2 つの陽子に吸収させて直接 $K\text{-}pp$ 束縛状態を作り出すという、反応から生ずる不定性の少ない全く新しい実験である。

2015 年に行われた E15 実験のデータを用いて pn 終状態を排他的に調べた結果、 p 不変質量分布において $K\text{-}pp$ 束縛状態が存在する確固たる証拠を得た(本研究申請時ではプレリミナリーな結果であったが、後に文献[8]として発表した)。すなわち、 p 不変質量分布において、次の構造があることを見いだした：

- 閾値より小さなところにある構造 = $K\text{-}pp$ 束縛状態
- 閾値より大きなところにある構造 = 非共鳴 2 核子吸収反応 (quasi-free = QF)
- 幅広い構造を持つバックグラウンド

閾値以下の構造のピーク位置が“運動量移行に依存しない”ことから、その構造は束縛状態が作り出していることが分かった。また、閾値以上で“運動量移行に依存する”QF 反応が見えていることから、この束縛状態は K-中間子と 2 つの陽子が束縛した $K\text{-}pp$ 束縛状態であると考えるのが自然であるとの結論に達した[8]。図 1 は得られた Λp 不変質量分布のうち、 $^3\text{He}(K^-, n)$ 反応の運動量移行量が $0.35\text{-}0.65\text{GeV}/c$ のイベントを選んだものを示す。得られた $K\text{-}pp$ 束縛状態は束縛エネルギー $\sim 50\text{MeV}$ 、崩壊幅 $\sim 100\text{MeV}$ を持つ。この実験的に得た不変質量スペクトラムは、 $K\text{-}pp$ 束縛状態を取り入れたカイラル SU(3) モデルにより良く再現され、測定した構造が $K\text{-}pp$ 束縛状態であることが理論的に支持されている[9]。また、運動量移行を考慮した S 波の PWIA 解析と合わせると、この $K\text{-}pp$ 束縛状態は、これまでの常識を打ち破る非常にコンパクトで高密度な状態である可能性が高いことが明らかになった。

しかしながら、その全容は未だ実験的に明らかにされたとは言い難く、スピン・パリティの決定、 Λp 崩壊以外の崩壊モードの調査、アイソスピン・パートナー状態の確立、原子核サイズ依存性の解明、等々明らかにすべき事柄は多い。今後の研究では、このような課題をひとつずつ明らかにしていき、「K 中間子原子核は本当に通常原子核密度を超えるような密度になっているのか?」「そのような高密度下では中間子の性質(質量・相互作用)がどのように変化しているのか?」などの基本的な問いに答える必要がある。このような研究は、原子核物理に留まらず、「ハドロン質量の起源」「中性子星内部級の超々高密度状態」等、自然現象の理解に残る根源的な問いの解明に挑むものである。

2. 研究の目的

本研究では、上述の課題のうち、 $K\text{-}pp$ 束縛状態の $\pi\Sigma N$ 崩壊モード測定を行うことを目標とした。 $K\bar{N}N$ 束縛状態は、理論的には $K\bar{N}N\text{-}\pi\Sigma N\text{-}\pi\Lambda N$ チャンネルと結合する量子状態で、特に $\pi\Sigma N$ チャンネルとの結合が強いと予想されている。それ故、 $\pi\Sigma N$ への崩壊比は Λp 崩壊モードの 10 倍以上になるとの理論予想もあり[10]、真に $K\bar{N}N$ 系の理解を得るためには Λp 崩壊モードのみならず $\pi\Sigma N$ 崩壊モードの測定も実験的に求められる。このように $\pi\Sigma N$ 崩壊モードは $K\bar{N}N$ 束縛状態の存否を議論する際の基礎的な情報となるが、実験的な情報は未だ得られていない。 $K\bar{N}N$ 系の $\pi\Sigma N$ 崩壊モード測定が可能となると、これまでに得られた Λp 崩壊モードにおける結果と比較することにより、 $K\bar{N}N$ 束縛状態のさらなる理解が得られると期待される。

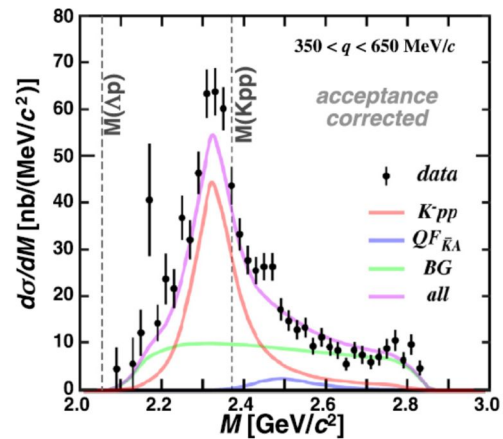


図 1：検出効率を補正した Λp 不変質量分布。

$K\text{-}pp$ が K 中間子原子核のシグナル。 QF_{KA} は K-中間子の非共鳴 2 核子吸収(QF 反応)、BG はその他のバックグラウンドを表す。M(Kpp)は K 中間子が束縛状態を作る際の質量閾値(構成要素の質量和)で、低い側が束縛領域を表す。

従って、K-pp 束縛状態からの $\pi^\pm \Sigma \mp p \rightarrow \pi^\pm \pi \mp n p$ 崩壊を全て測定するために必要となる検出器の基礎研究、及び、既存の E15 実験データを用いた実験可能性の検討を行った。 $\pi^\pm \Sigma \mp p$ 崩壊測定には、これまで困難であった広いアクセプタンスでの中性子測定がなによりも重要となるため、効率の良い中性子測定の技術開発が求められる。そこで本研究では「薄型サンプリングカロリメーターによる中性子測定」の基礎技術開発を行い、既存のシンチレーター(~1%/cm) よりも高い中性子測定効率を有した検出器建設の可能性を明らかにすることを目指した。また、既存の E15 実験データを用いて、 $\pi^\pm \Sigma \mp p$ 崩壊測定の可能性を探ることも同時に進めた。ただし、E15 実験データ解析では、厚み 3 cm のプラスチック・シンチレーターである Cylindrical Detector Hodoscope (CDH)を用いて中性子検出を試みるため、その検出効率は~3%程度であることが予想され、中性子以外からのバックグラウンドをどのように減らすかが肝となる。

3. 研究の方法

E15 実験で用いた中心検出器群(CDS)は、荷電粒子の運動量を 0.7T のソレノイド磁場を用いて再構築する円筒形ドリフト・チェンバー(CDC)と、荷電粒子数トリガー/TOF 検出器として用いる 36 セグメント分割型円筒形ホドスコープ検出器(CDH、2 本の高磁場体制 PMT で読み出す $700 \times 100 \times 30 \text{ mm}^3$ のプラスチック・シンチレーター)から主に構成される(図 2) [11]。薄型中性子検出器の開発は、既存のホドスコープ検出器(CDH)と置き換えることを念頭に、厚み 30mm 程度の検出器で可能な限り中性子検出効率を上げることを目指した。運動量が $100 \text{ MeV}/c$ を超えるような中性子検出に対しては、シンチレーターと重金属のサンプリング型が有効なことが知られているため、本研究では銅とプラスチック・シンチレーターを用いたサンプリングカロリメーターを作成し、R&D を行った。

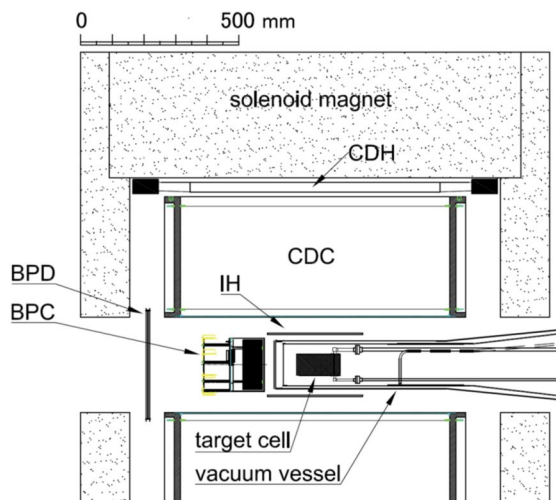


図 2 : Cylindrical Detector System (CDS)

また、 $K+3\text{He} \rightarrow \pi^\pm \Sigma \mp p n$ 反応から飛来する $\pi^\pm \Sigma \mp p$ 全てを CDS で捉え、K-pp 束縛状態からの $\pi^\pm \Sigma \mp p$ 崩壊が測定可能かどうかを検証すべく、2015 年に取得した E15 実験のデータを用いて実際に調べた。CDH に入ってくる中性子は、 $\pi^\pm \pi \mp p$ の 3 つの荷電粒子、及び、これら 3 飛跡とは独立な CDH のヒットを要求し、飛行時間測定法(TOF)によりその候補を見積もった。さらに、質量欠損方を用いて、測定から漏れた中性子を識別し、 $K+3\text{He} \rightarrow \pi^\pm \pi \mp p n n$ 終状態を特定可能なことを示した。最後に、得られた $\pi^\pm n$ の不変質量が Σ^\pm 粒子と一致することを要求して、 $K+3\text{He} \rightarrow \pi^\pm \Sigma \mp p n$ 反応の特定に成功した。これら CDS で中性子を識別する解析コード、及び、モンテカルロ・シミュレーション等も本研究で整備した。ここで、 $K+3\text{He} \rightarrow \pi^\pm \Sigma \mp p n$ 終状態においては $\Lambda(1405) \rightarrow \pi^\pm \Sigma \mp p$ 崩壊から来るイベントも含まれるため、K-pp 束縛状態の $\pi^\pm \Sigma \mp p$ 崩壊のみならず $\Lambda(1405)$ 生成に関しても調べることができ、K-pp 束縛状態生成と $\Lambda(1405)p$ 生成の断面積の比較が可能となる。 $\Lambda(1405)$ は今日では $K^{\text{bar}}N$ 束縛状態であると考えられているため、K-pp 束縛状態は $K^{\text{bar}}N$ 束縛状態にさらに一つの陽子を加える $\Lambda(1405)+p$ 反応から生成されると理論的に考えられている。したがって、K-pp 束縛状態と $\Lambda(1405)p$ の生成断面積の比較は、K-pp 束縛状態の生成メカニズム解明のために非常に重要な情報を与える。

4. 研究成果

(1) 薄型中性子検出器の開発

図 3 にカロリメーターの構成図、その写真、及び、後に述べる性能評価の様子を示す。E15 実験セットアップでは CDH を用いた TOF によって荷電粒子の識別を行う必要があるため、荷電

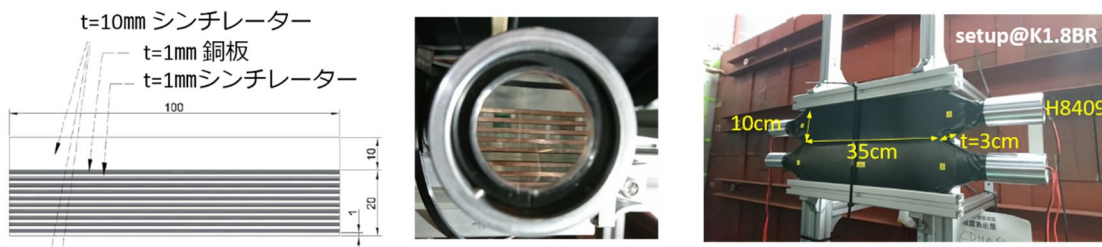


図 3 : (左)作成したカロリメーターの断面図。長さは 35 cm。(中)カロリメーターを PMT 装着面からのぞいた写真。銅板とシンチレーターの層が見える。(右)実際の性能評価の様子。比較対象として同様の形状をしたプラスチック・シンチレーター単体の検出器を置いた。

粒子に対する時間分解能を確保する目的で、初めに粒子が入る第1レイヤーは1cmのシンチレーターとした。残り2cmを、銅板1mmとシンチレーター1mmのサンプリング型とした。今回開発する薄型中性子検出器は、既存のCDHと同様な形状にする必要があるため、シグナルはアクリルライトガイドと2インチ高磁場耐性型PMT(H8409)を用いて両端から読み出した。

性能評価は、2018年1-2月にかけて、J-PARC K1.8BR ビームラインにおいて行った。標的から15m離れた前方中性子検出器の後ろで0.2~1.2GeV/c程度の中性子を測定し、検出効率及び時間分解能を調べた。ここでは、厚みが同じ3cmで同様な形状をしたプラスチック・シンチレーターを同列に置き、比較対象として用いた。図4に結果を示すように、プラスチック・シンチレーター単体に比べて、カロリメーターの中性子検出効率はおよそ1.8倍程度良くなることが分かった。時間分解能に関しても、プラスチック・シンチレーター単体の検出器とおおよそ同程度の結果を得た。

以上より、今回試作した薄型中性子検出器は、限られたスペースにおける中性子検出の効率を上げることが可能なことが分かった。また、時間分解能も通常用いるプラスチック・シンチレーターと同程度であることが確認できた。ただし、このようなカロリメーターは自身が非常に重いため、多数のセグメントを狭い空間で使用する場合には、強度の高いサポート構造の設計に気を付けなければならない。

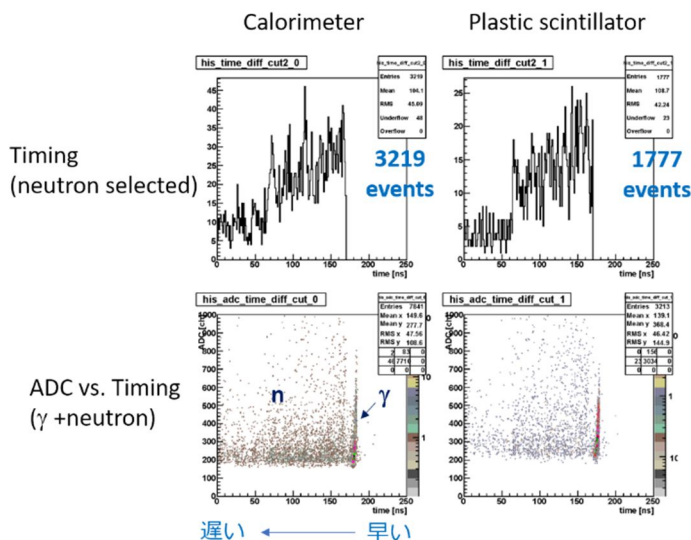


図4: 性能評価で得られた中性子分布図。右側がカロリメーター試作機、左側がプラスチック・シンチレーター単体の結果を表す。上図が中性子を選んだ時間分布、下図がADCと時間分布の散布図を示す。(注)時間分布に見える周期構造は、解析で除き切れていないビーム・パイルアップによる。

(2) E15 実験データを用いた、 $K+3He \rightarrow \pi \pm \Sigma \mp pn$ 終状態解析

図5(左)に $K+3He \rightarrow \pi \pm \Sigma \mp pn$ 終状態において得られた $\pi \pm \Sigma \mp$ 不変質量分布を示す。図から明らかのように、 $\Lambda(1405)$ がきれいに見て取れる。ここでは、統計上の問題で $\pi^+ \Sigma^- / \pi^- \Sigma^+$ は足し合わせてフィットを行い、各々のレゾナンスにはブライト・ウィグナー関数を用いている。 $\Sigma(1385)0$ は $\pi 0 \Lambda$ を再構成してその断面積を求めるのが定石であるが、我々の検出器では $\pi 0 \rightarrow \gamma \gamma$ 崩壊を検出できない。したがって、本解析では、 $\Sigma(1385) \pm \rightarrow \pi \pm \Lambda$ 崩壊をそれぞれ $K+3He \rightarrow \pi \pm \Lambda nn / \pi^- \Lambda pp$ 終状態を用いて測定し、得た $\Sigma(1385) \pm$ の断面積から $\Sigma(1385)0$ の断面積を推定した。得られた $K+3He \rightarrow \Lambda(1405)pn$ 終状態の断面積は $\sim 200 \mu\text{b}$ であり、“ $K-p\bar{p}$ ” $n \rightarrow \Lambda pn$ 終状態 ($\sim 10 \mu\text{b}$) の断面積より10倍以上も大きいことを明らかにした。

次に、この $\Lambda(1405)pn$ 終状態がどのような反応から生じているかを調べた。本解析においては、得た $\pi \pm \Sigma \mp$ 不変質量分布において $\Lambda(1520)$ 領域より小さい領域 (1.48 GeV/c² 以下) を選ぶことにより、 $K+3He \rightarrow \Lambda(1405)pn$ 反応を特定している。 $\Lambda(1405)$ 領域における $\pi \pm \Sigma \mp p$ 不変質量、及び、それらの運動量移行量依存性を示すのが図5(右)である。図5(右下)には、QF反応 ($K+N \rightarrow K^{\text{bar}}n$) の後に仮想 K^{bar} 中間子が2つの核子に吸収されて $\Lambda(1405)p$ となる反応 ($K^{\text{bar}}+NN \rightarrow \Lambda(1405)p$) の運動学曲線を M_{QF} として示している。 $\Lambda(1405)pn$ 終状態は、主にこの M_{QF} 曲線の周りに分布しているため、QF反応からの寄与が大部分であることが分かった。

また、図5(右上)を見て分かるように、 Λp 不変質量分布において見られた $K-p\bar{p}$ 質量閾値以下の構造が、 $\pi \pm \Sigma \mp p$ 不変質量では見られないことが分かった。本研究で得た結果は、閾値以下の検出器アクセプタンスが限られていて統計量も少ないのであるが、理論的に考えられている「 $K-p\bar{p}$ 束縛状態の主な崩壊モードは $\pi \Sigma N$ 」という考えに相反する結果である。このことは、 $K-p\bar{p}$ 束縛状態の $\pi \Sigma N$ 崩壊においてはその崩壊位相空間が限られてしまうために $\pi \Sigma N$ への崩壊が抑制され、 π を含まない Λp 崩壊が大幅に増えていると考えるとつじつまが合う。事実、我々の観測した $K-p\bar{p}$ 束縛状態の幅は、主に $\pi \Sigma N$ 崩壊のみを考えている理論予想幅のおよそ2倍程度大きいので、そのように考えるのが自然である。

従って、 (K, n) 反応の初段である QF 反応 ($K+N \rightarrow K^{\text{bar}}n$) における仮想 K^{bar} 中間子のエネルギーを考えると、 $K+3He$ 反応における $K-p\bar{p}$ 束縛状態及び $\Lambda(1405)$ 生成は、以下のように理解することが出来る：

- 仮想 K^{bar} 中間子のエネルギーが本来の K^{bar} 中間子質量より大きい場合、

$K^{\text{bar}}+NN \rightarrow \Lambda(1405)p$ が主要な反応となる。ここでは、エネルギー・運動量のミスマッチは陽子に受け渡す。すなわち、このような場合は K - p 束縛状態(= $\Lambda(1405)$)の生成が主となる。

- 反対に、仮想 K^{bar} 中間子のエネルギーが本来の K^{bar} 中間子質量より小さい場合、 K - pp 束縛状態が直接生成する。すなわち、エネルギー・運動量のミスマッチが無く、 $K^{\text{bar}}+NN \rightarrow K$ - pp 束縛状態生成が主となる。

これらの結果は、本研究により世界で初めて得られたものであり、まもなく投稿論文として発表する。

以上のように、本研究を含む J-PARC E15 実験は、 K 中間子原子核に関する新たな知見をもたらした。今後は、E15 実験によって開かれた足掛かりを基に、 K 中間子原子核に関する系統的な研究の展開を進める。具体的には、J-PARC でのみ実現されている大強度 K 中間子を引き続き用いて、 $K^{\text{bar}}N$ 束縛状態である $\Lambda(1405)$ から、 K - pp 束縛状態よりさらにコンパクトで高密度な状態と考えられている $K^{\text{bar}}NNNN$ 束縛状態までの軽い K 中間子原子核 (核子数 1~4) を、新しく建設する大アクセラトランス CDS を用いて調査を行う。さらには 2 つの K 中間子を含む $K^{\text{bar}}K^{\text{bar}}NN$ 束縛状態探索に向けた考察も進める。このように、今後も K 中間子原子核の研究を通して、「ハドロン質量の起源」「中性子星内部級の超々高密度状態」等の解明に挑んでいく。

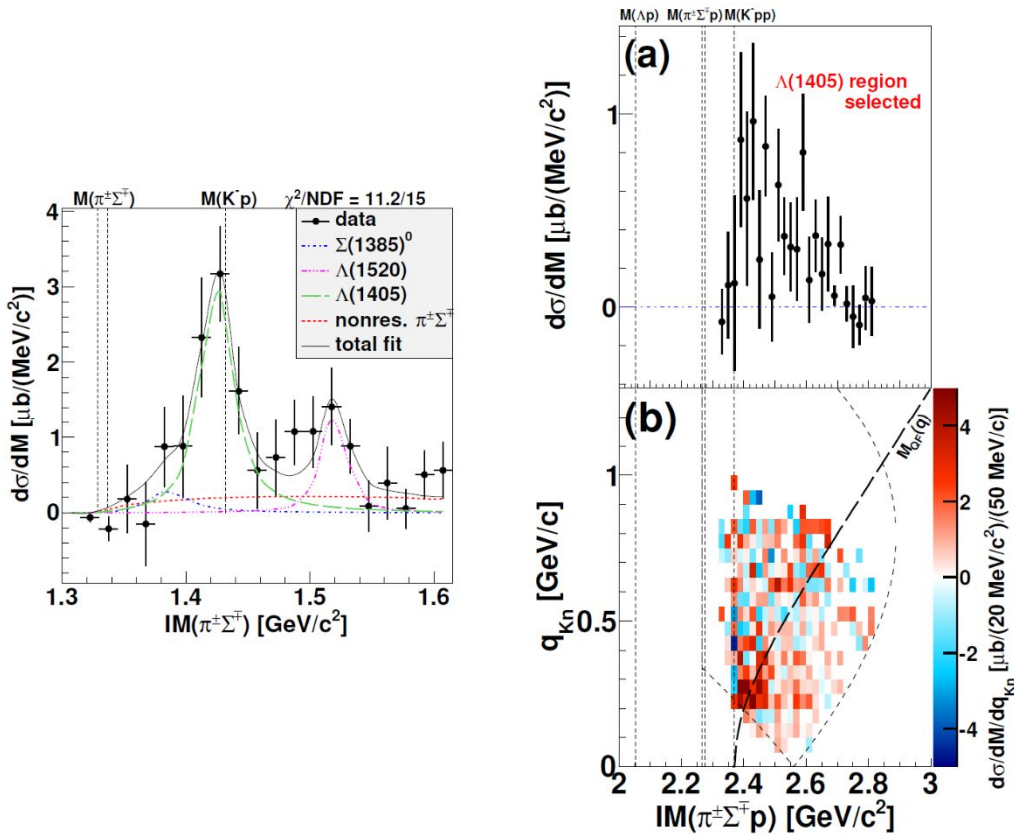


図 5：(左)検出効率を補正した $\pi^{\pm}\Sigma^{\mp}$ 不変質量。レゾナンスはブライト・ウィグナー関数、バックグラウンドは位相空間を用いてフィットした結果がプロットされている。 K - p 質量閾値 ($\sim 1.43\text{GeV}/c^2$)の下にあるピークが $\Lambda(1405)$ である。(右) $\pi^{\pm}\Sigma^{\mp}$ 不変質量において $\Lambda(1405)$ 領域を選んだ時の、(上) $\pi^{\pm}\Sigma^{\mp}p$ 不変質量、及び、(下)運動量移行との関係。

<引用文献>

Y. Akaishi and T. Yamazaki Phys. Rev. C65 (2002) 044005.等
M. Agnello et al. Phys. Rev. Lett. 94 (2005) 212303.
T. Yamazaki et al. Phys. Rev. Lett. 104 (2010) 132502.
Y. Ichikawa et al. Prog. Theor. Exp. Phys. 2015 (2015) 021D01.
G. Agakishiev et al. Phys. Lett. B742 (2015) 242.
A. O. Tokiyasu et al. Phys. Lett. B728 (2014) 616.
R. Del Grande et al. Eur. Phys. J. C79 (2019) 190.
S. Ajimura et al. Phys. Lett. B789 (2019) 620.
T. Sekihara, E. Oset, and A. Ramos Prog. Theor. Exp. Phys. 2016 (2016) 123D03.
S. Ohnishi, Y. Ikeda, H. Kamano, and T. Sato Phys. Rev. C88 (2013) 025204.
K. Agari et al. Prog. Theor. Exp. Phys. 2012 (2012) 02B011.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Ajimura S. et. al	4. 巻 789
2. 論文標題 "K-pp", a K-meson nuclear bound state, observed in $3\text{He}(K^-, p)n$ reactions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 620 ~ 625
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.physletb.2018.12.058	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Fuminori Sakuma	4. 巻 13
2. 論文標題 KbarNN bound state search at J-PARC	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 JPS ConferenceProceedings	6. 最初と最後の頁 10002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.7566/JPSCP.13.010002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Ohnishi H., Sakuma F., Takahashi T.	4. 巻 113
2. 論文標題 Hadron Physics at J-PARC	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Progress in Particle and Nuclear Physics	6. 最初と最後の頁 103773 ~ 103773
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pnpnp.2020.103773	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 8件/うち国際学会 7件）

1. 発表者名 佐久間史典
2. 発表標題 New Results on the "K-pp" bound state from J-PARC
3. 学会等名 原子核中におけるハドロンの性質とカイラル対称性の役割 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐久間史典
2. 発表標題 Search for the Kaonic Bound State $K\bar{b}nN$ at J-PARC
3. 学会等名 15th International Workshop on Meson Physics (MESON2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐久間史典
2. 発表標題 Search for the Kaonic Bound State $K\bar{b}nN$ via ${}^3\text{He}(K^-, p/p) n$ Reactions
3. 学会等名 YKIS2018b Symposium "Recent Developments in Quark-Hadron Sciences" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐久間史典
2. 発表標題 $K\bar{b}n$ -Nuclear Bound State at J-PARC
3. 学会等名 13th International Conference on Nucleus-Nucleus Collisions (NN2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Fuminori Sakuma
2. 発表標題 Recent results from J-PARC E15/E31
3. 学会等名 Symposium Strange and non-strange mesons induced processes studies at DAFNE, J-PARC and RIKEN: present and future, 10-11 July 2017, Laboratori Nazionali di Frascati INFN, Italy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Fuminori Sakuma
2. 発表標題 KbarNN bound state search at J-PARC E15
3. 学会等名 ASTRA: Advances and open problems in low-energy nuclear and hadronic STRAngeeness physics, ECT*, Trento, Italy, 23-27 October 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐久間史典
2. 発表標題 J-PARC E15実験における N崩壊チャンネルを用いたKbarNN束縛 状態の研究
3. 学会等名 2018.3.第73回年次大会(東京理科大学(野田キャンパス))
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Fuminori Sakuma
2. 発表標題 K-pp bound system at J-PARC
3. 学会等名 The 15th International Conference on Meson-Nucleon Physics and the Structure of the Nucleon (MENU-2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Fuminori Sakuma
2. 発表標題 (1405)pn Final State in the K- + 3He reaction
3. 学会等名 STRANEX: Recent progress and perspectives in STRANge EXotic atoms studies and related topics ECT* (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 岩崎雅彦、佐久間史典、山我拓巳	4. 発行年 2020年
2. 出版社 日本物理学会	5. 総ページ数 6
3. 書名 日本物理学会誌	

〔産業財産権〕

〔その他〕

Fuminori Sakuma's home page http://ag.riken.jp/J-PARC/sakuma/ J-PARC E15 home page http://ag.riken.jp/J-PARC/

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----