

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 23 日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25400286

研究課題名(和文) 中間子原子核を用いて探るストレンジネス及びチャームの物理

研究課題名(英文) Strangeness and charm physics investigated with mesic nuclei

研究代表者

土手 昭伸 (DOTE, Akinobu)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・研究機関講師

研究者番号：90450361

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：ストレンジやチャームといった第2世代クォークをもつ中間子が束縛した原子核には、第1世代クォーク(アップ、ダウン)のみの普通の原子核にはない新奇な性質が期待される。中でも、ストレンジクォークをもつ反K中間子は陽子との間に強い引力が働くため、反K中間子原子核は通常原子核の数倍も高密度状態を作る可能性がある。本課題では最も基本的な系“K-pp”(K-中間子と2つの陽子)を丁寧に調べた。共鳴状態・結合チャネル・波動関数といった重要な要素を全て同時に扱う、近似や仮定を極力排除した理論計算によって、この系の性質を解明した。その結果、確かに反K中間子原子核が高密度状態を形成し得ることを示した。

研究成果の概要(英文)：Mesic nuclei (nuclear systems with mesons) involving strange and charm of the second-generation quarks are expected to have so exotic nature that has not been seen in ordinary nuclei which are composed of the first-generation quarks (up and down). Among them, especially in the strange-quark sector, the most interesting system is so-called “kaonic nucleus” which means a nucleus with antikaons (K-, K0bar mesons). Since antikaon causes a strong attraction in a nucleus, kaonic nuclei might be a highly dense object. Those density could amount to several times higher than normal nuclear density. In this project, we have investigated the most essential kaonic nucleus “K-pp” (composing of a K-meson and two protons) precisely, using a novel theoretical method which overcomes all difficulties in the treatment of resonance state, coupled-channel problem and wave function. As a result, we have revealed the detailed nature of “K-pp” and confirmed that kaonic nuclei could form a dense state.

研究分野：ハドロン・原子核物理

キーワード：K中間子原子核 ストレンジクォーク ハドロン少数多体系 共鳴状態 結合チャネル チャームクォーク

1. 研究開始当初の背景

(1) ストレンジネスクォークを持つ反K中間子 ($K^{\text{bar}} = K^-, K^0\text{bar}$) と核子 ($N = p, n$) の間には強い引力が働くことが知られている。その引力により反K中間子は原子核に深く束縛され、崩壊チャンネルが閉じ準安定な状態として存在する可能性が指摘されていた¹⁾。こういったK中間子原子核、中でも軽い系では K^{bar} の周囲に核子が引き寄せられ、高密度状態の形成や珍奇な構造の発現など、様々な興味深い性質を持つエキゾチックな系である期待されている²⁾。K中間子原子核の性質を解明するため、最も基本的な系である“ K^-pp ” (K中間子と陽子二つからなる三体系) に関し、理論・実験両サイドにおいて精力的な研究が進行中であった。

日本のJ-PARC (大強度陽子加速器施設、茨城県東海村) では、 K^-pp 探索実験が進行中であり、新しいデータが出てくると期待されている時期であった。E27グループからプレリミナリーであるが、 K^-pp 束縛状態を示唆するデータが報告された。またE15グループは東北大震災により中断していた実験を再開した。彼らの実験は反応に参与する全ての粒子を押さえる完全実験であり、長年の K^-pp の存在に関する問題について、決着をつける実験として期待されていた。

(2) 同時期ハドロン原子核分野では、チャームクォークをもつハドロンに関する研究への機運が高まりつつあった。チャームクォーク(cクォーク)はストレンジクォーク(sクォーク)と同じ第二世代に属するが、sからcに移ると途端に質量が重くなる。そのためsとcを境に支配する力学が変わり、ハドロン(及びその多体系)の性質も大きく変化すると思われる。事実我々の研究でも、中間子原子核においてその傾向は示唆されていた³⁾。前述の反K中間子のsクォークをcクォークに置き換えたものがD中間子であり、 K^-pp のチャーム版がDNN (D中間子と核子二つからなる三体系) である。当時私たちの計算では、 K^-pp 同様DNNも束縛状態を形成するが、その構造は K^-pp とかなり違っていた。このようにチャームクォークを含むハドロン多体系は、ストレンジクォークの場合とは違った性質を示すと思われる。ストレンジネス・チャーム、両セクターを比較することで、ハドロン物理の統一的理解に繋がると期待された。

1) Y. Akaishi and T. Yamazaki, Phys. Rev. C 65, 044005 (2002).

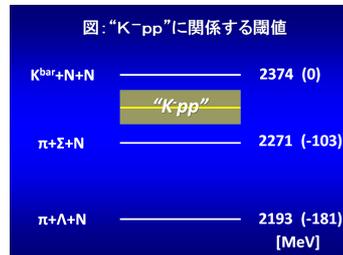
2) A. Doté, H. Horiuchi, Y. Akaishi and T. Yamazaki, Phys. Rev. C 70, 044313 (2004).

3) M. Bayar, et al., Phys. Rev. C 86 (2012) 044004.

2. 研究の目的

(1) 先述のように、K中間子原子核の性質の詳細を明らかにするため、まずは中でも最も基本的な系“ K^-pp ”に関する研究が精力的に行われていた。理論研究では“ K^-pp ”は三体系であるため、様々な手法で調べられてきたが、どのアプローチにも一長一短があり完全な計算とは言えない。そこで本課題では、理論的に極力完全な方法で“ K^-pp ”を調べ、その性質の解明を目指す。

ここまで単に K^-pp と呼んできたが、理論的には、 K^- 中間子と二つの陽子に加え、 $K^0\text{bar}$ 中間子+陽子+中性子、更には中間子+ハイペロン ($Y = \Sigma, \Lambda$) +核子が混合した状態である。そして全角運動量0、パリティ負、全アイソスピン1/2の状態がエネルギー的に最も得をする。つまり「 $K^{\text{bar}}NN - N - N (J = 0^-, T = 1/2)$ 」という結合チャンネル状態が本課題の主要研究対象であり、これを象徴的に“ K^-pp ”と記す。



これまでの理論計算⁴⁾によると、“ K^-pp ”は確かに最も高い閾値 $K^{\text{bar}}NN$ より下に束縛する。

しかし次に低い閾値 $\pi+N$ より下には束縛していない。つまり“ K^-pp ”は完全な束縛状態ではなく、 $\pi+N$ や $\Sigma+N$ へ崩壊する共鳴状態である。

故に最も基本的なK中間子原子核“ K^-pp ”を理論的に正しく取り扱うためには、「1. 結合チャンネル」と「2. 共鳴状態」を同時に適切に扱うことが必要である。またこの系の性質を詳細に解析するには「3. 系の波動関数」が得られないといけない。これら3つの要請を満足する手法を開発し、理論的に“ K^-pp ”の性質を明らかにする。

(2) “ K^-pp ”のチャーム版であるDNNも同様に詳しく調べ、両者を比較する。最も基本的な三体系の中間子原子核の研究を通じ、ストレンジクォーク以下の軽いクォークセクターと、チャームから始まる重いクォークセクターの共通点・相違点が、ハドロン多体系においてどう現れるかを考察する。

4) 当時の理論計算状況のまとめ: A. Gal, Prog. Theor. Phys. Suppl. 186 (2010) 270.

3. 研究の方法

「2. 研究の目的」で述べたように“ K^-pp ”は三体系であるため、様々な手法で理論計算されてきた。代表的なアプローチとして、

「変分法」と「Faddeev-AGS 法」がある⁴⁾。変分法は少数多体系の束縛状態を精密に解く強力な方法である。“ $K^{-}pp$ ”におけるNN間斥力芯による強い短距離相関も適切に扱える。しかしこの方法では“ $K^{-}pp$ ”を近似的に束縛状態として取り扱う。また私の先行研究⁵⁾も含め、全ての変分計算では、Yチャンネルを繰り込んだ $K^{\text{bar}}N$ 有効ポテンシャルを作り、それを用いることで“ $K^{-}pp$ ”を $K^{\text{bar}}NN$ シングルチャンネル問題として処理している。つまり前述の重要な2点「結合チャンネル」「共鳴状態」の取扱いが損なわれている。他方Faddeev-AGS法では、これら2点は適切に扱っているが、得られるのは“ $K^{-}pp$ ”のポール位置(エネルギー及び崩壊幅)だけである。「波動関数」が求まらないため、系の性質の解明に踏込むことが出来ない。ちなみに変分法では波動関数が得られるため、そのような解析は可能である。

このように過去の理論計算は“ $K^{-}pp$ ”の取扱いにおいて完全であるとは言えない。そこで本課題では、先に述べた3つの要請を満たす手法として、「**結合チャンネル複素スケーリング法**」(**ccCSM; coupled-channel Complex Scaling Method**)を採用する。複素スケーリング法(CSM)では共鳴状態の境界条件を正しく取扱い、共鳴状態をガモフ状態として求める。そのエネルギーは複素エネルギー平面上でのポールとして求まる。これまでに安定核及び不安定核の共鳴状態の研究で多くの成功を収めてきた強力な手法である⁶⁾。変分法による私の先行研究⁵⁾では、ガウス基底展開法(GEM; Gaussian Expansion Method)を用いてきたが、CSMはGEMとの相性が大変良い。GEMのプログラムを少し変更するだけで済む。また共鳴状態の波動関数も得られる。このCSMを拡張し、結合チャンネル問題を取り扱えるようにしたccCSMでは、明らかに「1. 共鳴状態」と「2. 結合チャンネル問題」を同時に取り扱え、更に「3. 波動関数」を得ることが出来る。“ $K^{-}pp$ ”を研究する上で理想的な手法である。

K中間子原子核の研究において $K^{\text{bar}}N$ ポテンシャルは重要である。長年、**現象論的に構築されたポテンシャル**¹⁾と、カイラルSU(3)理論に基づき導出されたポテンシャル(**カイラル型ポテンシャル**)⁷⁾の間で論争が続いている。本課題では両方を試す。

5) A. Doté, T. Hyodo, and W. Weise, Phys. Rev. C 79, 014003 (2009).
6) T. Myo, Y. Kikuchi, H. Masui, and K. Kato, Prog. Part. Nucl. Phys. 79, 1 (2014).
7) 例えば T. Hyodo, and W. Weise, Phys. Rev. C 77 (2008) 035204.

4. 研究成果

以下に結合チャンネル複素スケーリング法(ccCSM)を用いた“ $K^{-}pp$ ”に関する研究成果を記す。

(1) ccCSMを用いた二体系 $K^{\text{bar}}N - Y$ 系及び(1405)の研究

ccCSMをK中間子原子核に適用するのは初めてであるため、まずは結合チャンネル2体系“ $K^{\text{bar}}N - Y$ ”へ適用した。

励起ハイペロン(1405)は単純なクォーク模型での記述が難しく、3クォーク状態というよりは K^{bar} 中間子と核子の準束縛状態(メソン・バリオン分子的状態)であると認識されている⁸⁾。現象論的 $K^{\text{bar}}N(-Y)$ ポテンシャルであるAYポテンシャル¹⁾を用い、アイソスピン0・軌道角運動量0の $K^{\text{bar}}N - Y$ 結合チャンネル系をccCSMで解いた。その結果文献1)に示されている(1405)のポール位置を正しく再現できた。【5. 主な発表論文等〔雑誌論文〕】

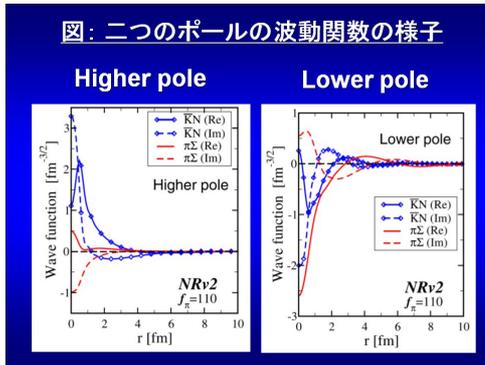
次にカイラル型ポテンシャルを用いた研究を行った。まずは構造計算で使用しやすいポテンシャル(空間座標表示・ガウス型局所ポテンシャル)を、カイラルSU(3)理論に基づき独自に構築した。ポテンシャルパラメータを $K^{\text{bar}}N$ 散乱長で決定した。その際散乱長、即ちエネルギー0での散乱振幅が必要となるが、散乱振幅の計算もCSMを巧みに用いることで行った。こうして構築したポテンシャルを用い、 $K^{\text{bar}}N - Y$ 系の散乱振幅、及び(1405)のポールの解析を行った。その結果、カイラル理論に基づく多くの先行研究⁸⁾が報告しているように、(1405)の共鳴位置は1405 MeVではなく1420 MeVであることを確認した。

更にカイラル型ポテンシャルはエネルギー依存性を持つため、(1405)のチャンネルには前述の共鳴ポール(higher pole)以外に、エネルギーの低いところの幅の広い共鳴ポール(lower pole)が存在する。((1405)のダブルポール構造⁸⁾)複素レンジガウス基底を用いた、より詳細なccCSM計算により、この第二のポールを見つけることが出来た：

<ul style="list-style-type: none"> • Higher pole (M, $\Gamma/2$) ~ (1420, 10) • Lower pole (M, $\Gamma/2$) ~ (1380, 100) <p>M: 質量、 Γ: 崩壊幅、単位はMeV</p>
--

各ポールの波動関数を調べたところ、Higher poleは $K^{\text{bar}}N$ 成分が主要であり、波動関数は空間的にコンパクトであった。他方、Lower poleでは Λ 成分が主要であり、波動関数は空間的に広がっていた。(次ページ左上図) 両ポールの性質は大

大きく異なり、特にHigher poleは明らかに $K^{\text{bar}}N$ の準束縛状態的である。【5. 主な発表論文等〔雑誌論文〕】



なお、ポテンシャルの構築から散乱状態及び共鳴状態までをccCSMという一つの枠組みで首尾一貫して研究した点も、本研究の特色の一つであることを付記しておく。

8) T. Hyodo and D. Jido, Prog. Part. Nucl. Phys. 67, 55 (2012).

(2) ccCSM+Feshbach法の開発、及びそれを用いた“ $K^{\text{bar}}pp$ ”の研究

2体系においてccCSMが上手くワークすることが確認でき、またカイラル理論に基づくポテンシャルも独自に構築したので、3体系“ $K^{\text{bar}}pp$ ”の研究へと進んだ。しかし“ $K^{\text{bar}}pp$ ”は3体系とは言え、複雑な結合チャンネル系であり計算コストも大きい。(次の(3)を参照)いきなりそのような大規模計算を行うのは危険である。そこでccCSMにフェッシュバッハ法を組み合わせることで、“ $K^{\text{bar}}pp$ ”= $K^{\text{bar}}NN$ - N - N という結合チャンネル問題を $K^{\text{bar}}NN$ シングルチャンネル問題に還元し、計算規模を下げて調べた。(ccCSM+Feshbach法)【5. 主な発表論文等〔雑誌論文〕】

二体系 $K^{\text{bar}}N$ - Y の段階で、いわゆるフェッシュバッハ法によって Y チャンネルを消去し、その効果を繰り込んだ $K^{\text{bar}}N$ シングルチャンネル有効ポテンシャルを作る。この有効ポテンシャルを使用することで、“ $K^{\text{bar}}pp$ ”を $K^{\text{bar}}NN$ シングルチャンネル問題として取り扱うことができる。特筆すべきこととして、私はフェッシュバッハ法がCSMの枠組み上で上手く実現できることに気が付いた。フェッシュバッハ法で有効ポテンシャルを作る際には、消去するチャンネル(今の場合 Y)に対するグリーン関数 G_0 が必要となる。CSM上で成り立つユニークな性質「拡張された完全性(ERC; Extended Closure Relation)⁹⁾」を使用することで、この G_0 をガウス基底関数で表現でき、 $K^{\text{bar}}N$ シングルチャンネル有効ポテンシャルを作ることが出来た。一つ注意しておく、有効ポテンシャルを作り、問題を $K^{\text{bar}}NN$ シングルチ

ヤネル化する点は、過去の研究と同じである。しかし本計算はCSMに立脚しているため、共鳴状態の境界条件は守られており、 $K^{\text{bar}}NN$ は共鳴状態として取り扱われている。(過去の研究では束縛状態近似をして束縛状態として扱っている。)

ccCSM+Feshbach法による“ $K^{\text{bar}}pp$ ”の主な研究成果は以下の通りである：

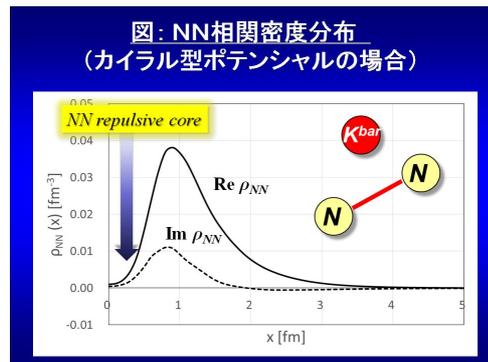
『“ $K^{\text{bar}}pp$ ”(J=0, T=1/2)の性質はポテンシャルの種類に強く依存、現象論的ポテンシャルでは高密度状態を示唆』

【5. 主な発表論文等〔雑誌論文〕】

有効 $K^{\text{bar}}N$ ポテンシャルを作る際の、 $K^{\text{bar}}N$ エネルギー見積り方法の不定性(Field picture, Particle picture) またカイラル型ポテンシャルでのパラメータの不定性を考慮し計算した。各ポテンシャルを使用した“ $K^{\text{bar}}pp$ ”の束縛エネルギー $B_{K^{\text{bar}}pp}$ 及び中間子を伴う崩壊幅 Γ_M は以下の通り：

- ・現象論的ポテンシャル
($B_{K^{\text{bar}}pp}, \Gamma_M/2$)
= (49, 17) MeV... “Field”
= (46, 27) MeV... “Particle”
- ・カイラル型ポテンシャル
($B_{K^{\text{bar}}pp}, \Gamma_M/2$)
= (21-32, 9-32) MeV

得られた波動関数から“ $K^{\text{bar}}pp$ ”中の二核子間平均距離を求めると、前者では1.9 fm、後者では2.2 fm。(下図はNN相関密度。短距離部分ではNN斥力芯により相関密度が抑制されている。)



現象論的ポテンシャルはカイラル型ポテンシャルに比べて引力が強く、“ $K^{\text{bar}}pp$ ”は深く束縛し、それに伴いサイズはコンパクトになっている。カイラル型ポテンシャルの場合の二核子間距離は、まさに通常原子核中のそれに等しく、通常核密度相当である。その意味では、**現象論的ポテンシャルで得られた“ $K^{\text{bar}}pp$ ”は高密度核物質に対応している。**(密度に換算すると通常原子核密度 ρ_0 の1.7倍に対応。 $\rho_0 = 0.17 \text{ fm}^{-3}$)

『“ $K^{\text{bar}}pp$ ”(J=1, T=1/2)は $K^{\text{bar}}NN$ 閾値以下に共鳴ポールを持たない

J - P A R C E 2 7 グループの $d(\pi^+, K^+)$ 反応による K^+pp 探索実験では、 $K^+ \bar{p} NN$ の下 9.5 MeV 辺りにシグナルが観測された¹¹⁾。彼らの実験では重陽子 (d) がターゲットである。重陽子はスピン 1 を持つため、生成された K^+pp もスピン 1 の状態である可能性が高い。これまでスピン $J = 0$ の状態を考えてきたが、 $J = 1$ 状態を計算してみた。しかし引力の強い現象論的 $K^+ \bar{p} NN$ ポテンシャルですら、 $K^+ \bar{p} NN$ 閾値以下に共鳴ポールは見つからなかった。このスピン・アイソスピン状態では、引力の強いアイソスピン 0 の $K^+ \bar{p} NN$ 成分が少ないため、簡単には共鳴状態は出来ない。E 2 7 実験で観測されたシグナルは K^+pp の $J = 1$ 状態ではないと考えられる。

『 K^+pp ($J = 0^-, T = 1/2$) におけるダブルポール構造の可能性』

【5. 主な発表論文等 (雑誌論文)】

計算過程において、カイヤル型ポテンシャルでは示した解以外に、もう一つ解の候補が見つかった：

$$B_{K^+pp} = 67 - 89 \text{ MeV}$$

$$M/2 = 122 - 160 \text{ MeV}$$

(1) で述べたように $K^+ \bar{p} NN$ - 二体系である (1405) はカイヤル型ポテンシャルではダブルポール構造になる。同様に三体系 " K^+pp " でも二つのポールが得られると考えられる。

この時点での実験結果 (J - P A R C E 1 5¹²⁾ と E 2 7¹¹⁾) との比較・考察を行った。仮に二つの実験で観測されたシグナルが共に K^+pp 束縛状態であるならば、前者は $K^+ \bar{p} NN$ 閾値から測って束縛エネルギーは約 1.5 MeV 、後者は約 9.5 MeV である。つまり E 1 5 では浅い束縛状態、E 2 7 は深い束縛状態を示唆している。これらの実験結果を、率直にカイヤル型ポテンシャルを用いた計算結果と比較すると、" K^+pp " **ダブルポールのうち、浅いポールが E 1 5、深いポールが E 2 7 に対応しているように思われる。** 但しこの結論付けるには時期尚早であろう。詳細は略すが、深いポールの計算はまだ完全に解の条件 (セルフコンシステンシー) を満たしていない。また実験結果もエラーバーが大きく、観測されたシグナルが本当に " K^+pp " 束縛状態なのか確立されておらず、より詳細な解析が必要である。

9) T. Myo, A. Ohnishi, and K. Kato, Prog. Theor. Phys. 99, 801 (1998). R. Suzuki, T. Myo, and K. Kato, Prog. Theor. Phys. 113, 1273 (2005).

10) A. Doté, T. Inoue, and T. Myo, Hyperfine Interactions 234, 1-7 (2015).

11) Y. Ichikawa et al. (J-PARC E27 collaboration), Prog. Theor. Exp. Phys.

2015, 021D01 (2015).

12) Y. Sada et al. (J-PARC E15 collaboration), Prog. Theor. Exp. Phys. 2016, 051D01 (2016).

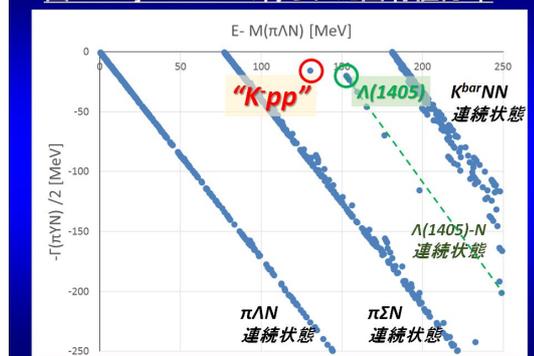
(3) Fully ccCSM枠組みの確立、現象論的ポテンシャルを用いた " K^+pp " の研究

(2) で述べたように、ccCSM + Feshbach法で " K^+pp " の計算を無事完遂した。そこでは Σ チャンネルの効果は $K^+ \bar{p} NN$ 有効ポテンシャルに繰り込まれ、暗に扱われていた。次のステップとして全チャンネルを陽に扱った計算を行う。つまり " K^+pp " をまさに $K^+ \bar{p} NN - N - N$ 結合チャンネル系として取り扱う。

完全な ccCSM 計算 "Fully ccCSM" において、" K^+pp " ($J = 0^-, T = 1/2$) 状態に結合しうるチャンネルは合計 8 つある。

各チャンネルにおいて全てのヤコビ座標の組み方を考慮し、十分安定した解を得るには各相対座標について 20 個のガウス基底で展開を行う。すると対角化すべきハミルトニアン行列のサイズは **6400 次元** となる。この大きな行列を対角化することで共鳴ポールを求める。

図: Fully ccCSM で得られた固有値分布



エネルギー非依存の現象論的ポテンシャルで計算を行った。上図は複素エネルギー平面上で得られた固有値の分布である。 N , N , $K^+ \bar{p} NN$ 各閾値からの線状に分布している固有値は、各々の連続状態に対応する。また緑印を付けた固有値は、この現象論的ポテンシャルで得られる (1405) のポールに対応し、そこから走る固有値は (1405) + N 連続状態を意味する。そして赤印の固有値が " K^+pp " 三体共鳴ポールである。そのポール位置から束縛エネルギー及び崩壊幅は $B_{K^+pp} = 5.1 \text{ MeV}$, $\Gamma = 3.0 \text{ MeV}$ と求まった。

この計算には何ら近似がない。従って得られたポールは、この現象論的 $K^+ \bar{p} NN$ ポテンシャルに対する " K^+pp " の真のポールである。また Fully ccCSM の結果と先の ccCSM + Feshbach 法の結果を比較することで、有効ポテンシャルの構築

法のガイドラインとなる知見が得られた。これらの成果をまとめた論文¹³⁾を雑誌に投稿し、先日(5/19)アクセプトされた。レフェリーからは“the most complete model ever used to study $K^{\bar{p}}p$ nucleus”とのコメントを頂いた。今後、カイラル型ポテンシャルでもこの方法で調べる。全チャンネルを陽に扱うことで、“ $K^{\bar{p}}p$ ”のダブルポール構造について、詳細が解明できるであろう。

13) A. Doté, T. Inoue, and T. Myo, arXiv:1702.08002 [nucl-th]. (accepted in Phys. Rev. C rapid communication)

(4) チャームセクターの研究について

“ $K^{\bar{p}}p$ ”のチャーム版であるDNNに関する研究であるが、DN間ポテンシャルを作る際の仮定に無理があると判断し、研究を保留することにした。チャームセクターで、ストレンジセクターの(1405)に対応する励起バリオンは $c(2595)$ である。この $c(2595)$ は (1405) と異なり、単純なクォーク模型で記述できるため、DNの準束縛状態(分子的状态)とは考え難い。従って(1405)が $K^{\bar{b}}N$ の分子的状态であることを利用して $K^{\bar{b}}N$ ポテンシャルを構築したのと同様の戦略を取ることが出来なかった。DNポテンシャルをどう合理的に導出するかは今後の課題である。

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 11件)

土手昭伸, 井上貴史, 明孝之; “Double-pole structure on a prototype of kaonic nuclei “ $K^{\bar{p}}p$ ””, JPS Conf. Proc. 17, 082006/1-4 (2017), 査読有, 【掲載決定】 DOI 未定

土手昭伸, “The “ $K^{\bar{p}}p$ ” System Investigated with a Coupled-Channel Complex Scaling Method”, JPS Conf. Proc. 13, 020001/1-8 (2017), 査読有, <https://doi.org/10.7566/JPSCP.13.020001>

土手昭伸, 井上貴史, 明孝之; “Application of a coupled-channel complex scaling method with Feshbach projection to the $K^{\bar{p}}p$ system”, Prog. Theor. Exp. Phys. 2015, 043D02/1-25 (2015), 査読有, DOI: 10.1093/ptep/ptv039

土手昭伸, 明孝之; “Double-pole nature of (1405) studied with coupled-channel complex scaling method using complex-range Gaussian basis”, Nucl. Phys. A 930, 86-103 (2014), 査読有,

DOI: 10.1016/j.nuclphysa.2014.08.041

土手昭伸, 井上貴史, 明孝之, “Comprehensive application of a coupled-channel complex scaling method to the $K^{\bar{b}}N$ - Λ system”, Nucl. Phys. A 912, 66-101 (2013), 査読有, DOI: 10.1016/j.nuclphysa.2013.05.003

[学会発表](計 40件)

土手昭伸, “K中間子クラスターが紡ぐハドロン物理・原子核物理”, 日本物理学会第72回年次大会(シンポジウム「K中間子クラスターと密度物質への展開」), 2017/3/20, 大阪大学(豊中キャンパス), 大阪府豊中市

土手昭伸, “Kaonic nuclei”, KEK theory center workshop on Hadron and Nuclear Physics in 2017 (KEK-HN-2017), 2017/1/10, Kobayashi Hall, KEK, Tsukuba, Ibaraki, Japan

土手昭伸, “The “ $K^{\bar{p}}p$ ” system investigated with a coupled-channel Complex Scaling Method”, The 14th International Conference on Meson-Nucleon Physics and the Structure of the Nucleon (MENU2016), 2016/7/26, Kyoto University Clock Tower Centennial Hall, Kyoto, Japan

土手昭伸, “Theoretical study of “ $K^{\bar{p}}p$ ””, The 31st Reimei Workshop on Hadron Physics in Extreme Conditions at J-PARC, 2016/1/18, Advanced Science Research Center, JAEA, Tokai, Ibaraki, Japan

土手昭伸, 井上貴史, 明孝之; “Application of coupled-channel Complex Scaling Method to the $K^{\bar{b}}N$ - Λ system”, IAS-ISF conference on “Inelastic Reactions in Light Nuclei”, 2013/10/9, The Israel Institute for Advanced Studies (IAS) and the Israel Science Foundation (ISF), Jerusalem, Israel

6. 研究組織

(1) 研究代表者

土手昭伸 (DOTE, Akinobu)
大学共同利用機関高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所 K E K 理論センター・研究機関講師
研究者番号: 90450361

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし

(4) 研究協力者 なし