

令和 4 年 6 月 22 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H03978

研究課題名(和文) 格子QCDによるハドロン間ポテンシャルの研究の発展

研究課題名(英文) Developments of researches for potentials between hadrons in Lattice QCD

研究代表者

青木 慎也 (Aoki, Sinya)

京都大学・基礎物理学研究所・教授

研究者番号：30192454

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：クォークと反クォークの対生成消滅を含む散乱過程に対応するHALQCDポテンシャルを計算するための方法を開発した。計算に必要なall-to-all伝搬関数を精度良く評価するために、one-end trick, sequential伝搬関数、共変近似平均法の3つの手法を組み合わせた。この方法を使って、 $l=1$ のポテンシャルを微分展開ので2次まで計算し、それを用いて散乱位相差のエネルギー依存性を決めた。その結果から、共鳴状態が存在することが分かり、共鳴状態のパラメータを決定することが出来た。本研究の成果により、どのような組み合わせのハドロン間ポテンシャルでも計算可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

クォークと反クォークの対生成消滅を含む場合のポテンシャルが計算可能になったことで、バリオン間だけでなく、メソン間やメソン-バリオン間など全ての組み合わせの相互作用が格子QCDで調べることができるようになった。このことは、クォークモデルでは記述できないエキゾチックなハドロンの存在やその性質を格子QCDで調べることが可能であることを意味しており、(1405)などのその正体がよくわからなかった謎のハドロン達の正体が解明されることになる。「ハドロンとはなんであるか」という究極の問いに対して、近い将来、QCDという第一原理からの解答が得られるかもしれない。

研究成果の概要(英文)：We have developed a new method for all-to-all propagators which enables us to calculate HAL QCD potentials between hadrons including quark and antiquark pair creations and annihilations. The method is a combination of three techniques, the one-end trick, the sequential propagator and the covariant approximation averaging. Using the method, we have calculated the non-local $l=1$ two pion potential at the next-to-next-to-leading order (NLL0) of the derivative expansion in lattice QCD, with which the $l=1$ two pion scattering phase shift is calculated as a function of the center of mass energy. While the phase shift from the NNLO potential reproduces the previous results at discrete energy points, our result continuously covers a much wider energy range, so that we can extract resonance parameters of the rho meson without any assumptions. Potentials between an arbitrary combination of two hadrons can be extracted in lattice QCD by the new method.

研究分野：素粒子理論

キーワード：格子QCD ポテンシャル HAL QCD法 クォークの対生成消滅 中間子共鳴状態 散乱位相差 微分展開 非重心系でのポテンシャル

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 研究代表者らは「格子 QCD による核力ポテンシャルの計算」という研究を行い、斥力芯を含む核力の複雑な構造を第一原理計算で導き出すという画期的な研究成果を出してきた。さらにこの方法をハイペロンなど他のバリオンを含むポテンシャルに拡張し、2つのバリオンの新しい束縛状態の予言をするなど成功を収めていた。

(2) 一方で、クォーク模型では予言されていないエキゾチックハドロンと呼ばれる粒子を格子 QCD で研究するには、バリオンとメソン、あるいはメソンとメソンなど一般的なハドロン間のポテンシャルを計算する必要があった。しかしながら、バリオン間の場合と異なり、メソン-バリオン間やメソン間には、クォークと反クォークが対生成消滅する過程が存在するため、今までの計算方法を直接適用することができず、ハドロン間の一般的なポテンシャルを計算することが出来ていなかった。

2. 研究の目的

(1) 本研究の目的は、クォークと反クォークの対生成消滅が存在する場合のハドロン間ポテンシャルの計算方法を確立することである。クォーク対生成消滅が存在する場合の格子 QCD は計算コストが掛かるため、適切な近似方法を用いて計算が行われてきているが、対生成消滅がある場合のポテンシャルの計算を可能にする方法は知られていない。本研究では、さまざまな方法を組み合わせて、ポテンシャルの計算に最適な方法を見つけることを第1の目標とする。

(2) 計算方法に目処が立ったら、それを用いて、クォーク対生成消滅が存在する場合のポテンシャルを計算する。具体的には、 π 系のメソン間ポテンシャルを計算し、その共鳴状態として現れる中間子の性質を格子 QCD で導くことを第2の目標とする。また、研究が順調に進んだ場合は、メソン-バリオン系を考え、そこに現れる共鳴状態である粒子や束縛状態である粒子などをポテンシャルという観点からどのように見えるのかなども研究する。

3. 研究の方法

(1) クォーク対生成消滅の計算にコストが掛かるのは、全ての点から全ての点への (All-to-all) 伝搬関数が必要なためである。本研究では、All-to-all 伝搬関数の近似計算方法である、LapH smearing 法、ハイブリッド法、one-end trick などのさまざまな手法を試して、最適な組み合わせを探る。そのために、まずはクォーク対生成消滅が無い簡単な π 系のポテンシャルを All-to-all 伝搬関数を用いて計算し、既存の計算結果と比較し、その有効性を検討する。

(2) All-to-all 伝搬関数の有効な計算法を用いて、 $I=1$ (I はアイソスピン) の π 系のポテンシャルを計算する。まずは、相対的に計算コストの低い重いパイ中間子で計算を行い、ポテンシャルから束縛状態である中間子を導く。うまくいった場合はパイ中間子を軽くして計算を行い、共鳴状態の中間子をポテンシャルにより導くことを目指す。

4. 研究成果

(1) All-to-all 法の1つである LapH smearing 法のテストとしてクォーク対生成消滅がない $I=2$ の π 系のポテンシャルを計算した。LapH smearing 法の非局所性のため、得られたポテンシャルは通常の (smearing されていない) ポテンシャルとは形状が大きく異なるが、散乱位相差などの物理量は低エネルギーではほぼ一致する結果を与えた。LapH smearing 法によるポテンシャルに微分展開の高次の項を取り入れるとより高いエネルギーでも一致が良くなった。この結果は、HAL QCD 法のポテンシャルの予想された性質を再現するものであり重要な結果であった。一方で、LapH smearing 法はその非局所性のため、クォーク対生成消滅を含む系のポテンシャルの計算には適さないこともわかった。(引用文献)

(2) All-to-all 法の1つでありハドロン演算子の局所性を保てるハイブリッド法を用いて $I=2$ の π ポテンシャルを計算した。ハイブリッド法は、ディラック演算子の小さな固有値に対応する固有関数をいくつか求め、それを用いて、ディラック演算子の逆演算子 (これが伝搬関数) を近似し、残りの部分をノイズ法を使って、統計的に評価する方法である。ハイブリッド法により求められたポテンシャルは、ノイズを導入したために、従来の方法に比べて統計誤差が大きくなってしまいが、さまざまな工夫をすることで統計誤差を抑え、十分な精度を持ったポテンシャルを得ることができた。(引用論文)

(3) ハイブリッド法を用いて、クォーク対生成消滅がある $I=1$ の π 散乱に対するポテンシャルを計算した。対生成消滅が無い $I=2$ に比べて統計誤差が大幅に増えたため、ノイズ平均の方法を工夫することで統計誤差を抑え、十分な精度を得ることが出来た。この計算で用いた中間子の質量では、中間子が束縛状態になるはずであるが、実際、計算されたポテンシャルには束縛状態が存在し、それが中間子であることが分かった。(引用論文)

(4) ハイブリッド法は計算コストがかかりすぎるために大きな体積の計算には使えない。そこでクォーク対生成消滅が起こる場合のハドロン散乱過程のポテンシャルを格子 QCD で計算する新しい方法を開発した。これは、one-end trick という方法でノイズの数を減らし、そこに共変近似平均などを組み合わせた方法である。これを $I=1$ の散乱に適用し、相互作用ポテンシャルを微分展開の 2 時まで計算した。そのポテンシャルを用いて、位相差のエネルギー依存性を計算したところ、先行研究と一致し、さらにより広い領域でのエネルギー依存性を得ることが出来た(図 1)。位相差のエネルギー依存性から、この系に共鳴状態である中間子が存在することを示した。先行研究では位相差を計算したエネルギー点が少なかったため、位相差の振る舞いを仮定する必要があったが、本研究では広範囲のエネルギーでの位相差の振る舞いを得ることが出来たので、そのような仮定なしに共鳴状態のエネルギーや崩壊幅を決定することが出来た。従って、この結果は、格子 QCD による真の第一原理計算と言える。(引用論文)

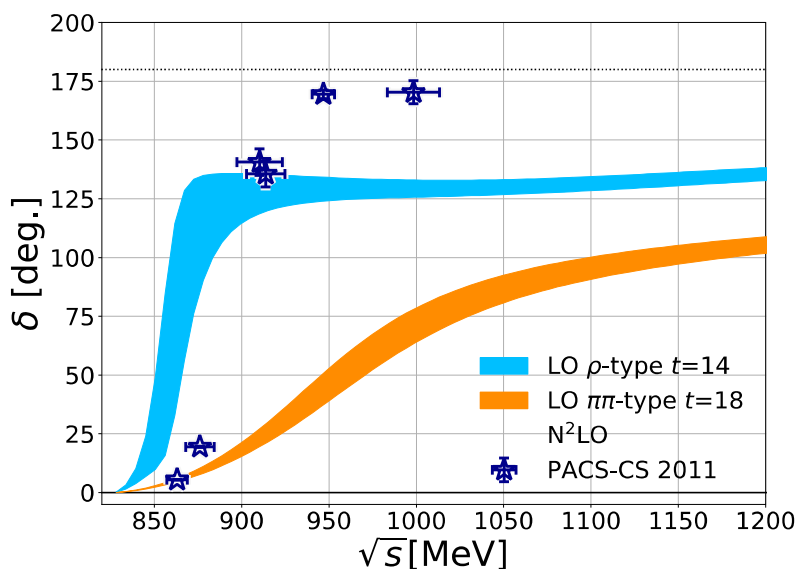


図 1 : $I=1$ の散乱の位相差(縦軸)の重心系のエネルギー(横軸)に対する依存性。微分展開の最低次のポテンシャルを使った結果(青、とオレンジ)と微分展開の 2 次までのポテンシャルを使った結果(赤)の比較。青い三角は別の方法を使った先行研究の結果。2 次までを使うと先行研究の結果と一致し、890MeV 付近で位相差が 90 度になり、共鳴状態の中間子が現れていることが分かる。

(5) 重心系での計算というポテンシャルの制限を外すために、ポテンシャルの計算を非重心系で可能にする定式化を提案し、格子 QCD による計算方法を開発した。この方法を計算が比較的容易な $I=2$ の散乱に適用し、相互作用ポテンシャルが計算可能であることを示した。また、得られた散乱位相差が重心系での結果と一致することを確認し、この方法が機能していることを示した。これらの結果をまとめた論文を準備中である。

(6) 散乱以外にも、メソン-バリオン系のポテンシャルの計算を行い、クォーク対生成消滅があっても計算可能であることを示した。

< 引用文献 >

- D. Kawai, S. Aoki, T. Doi, Y. Ikeda, T. Inoue, T. Iritani, N. Ishii, T. Miyamoto, H. Nemura, K. Sasaki, “ $I=2$ scattering phase shift from the HAL QCD method with the LapH smearing ”, Progress of Theoretical and Experimental Physics, 2018 巻、2018, 043B04.
- Y. Akahoshi, S. Aoki, T. Aoyama, T. Doi, T. Miyamoto, K. Sasaki, “ $I=2$ potential in the HAL QCD method with all-to-all propagators ”, Progress of Theoretical and Experimental Physics, 2019 巻、2019, 083B02.
- Y. Akahoshi, S. Aoki, T. Aoyama, T. Doi, T. Miyamoto, K. Sasaki, “ The HAL QCD potential in the $I=1$ system with the meson bound state ”, Progress of Theoretical and Experimental Physics, 2020 巻、2020, 073B07.
- Y. Akahoshi, S. Aoki, T. Doi, “ Emergence of the resonance from the HAL QCD potential in lattice QCD ”, Physical Review D 104 巻、2021, 54510.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計22件（うち査読付論文 21件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Iritani Takumi, Aoki Sinya, Doi Takumi, Hatsuda Tetsuo, Ikeda Yoichi, Inoue Takashi, Ishii Noriyoshi, Nemura Hidekatsu, Sasaki Kenji	4. 巻 2019
2. 論文標題 Consistency between Luescher's finite volume method and HAL QCD method for two-baryon systems in lattice QCD	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP03(2019)007	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 -
1. 著者名 Akahoshi Yutaro, Aoki Sinya, Aoyama Tatsumi, Doi Takumi, Miyamoto Takaya, Sasaki Kenji	4. 巻 2019
2. 論文標題 $l=2$ potential in the HAL QCD method with all-to-all propagators	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 083B02
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptz078	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 -
1. 著者名 Miyamoto Takaya, Akahoshi Yutaro, Aoki Sinya, Aoyama Tatsumi, Doi Takumi, Gongyo Shinya, Sasaki Kenji	4. 巻 101
2. 論文標題 Partial wave decomposition on the lattice and its applications to the HAL QCD method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 74514
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.101.074514	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 -
1. 著者名 Aoki Sinya, Iritani Takumi, Yazaki Koichi	4. 巻 2020
2. 論文標題 Hermitizing the HAL QCD potential in the derivative expansion	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 023B03
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptz166	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 -

1. 著者名 Sasaki Kenji, Aoki Sinya, Doi Takumi, Gongyo Shinya, Hatsuda Tetsuo, Ikeda Yoichi, Inoue Takashi, Iritani Takumi, Ishii Noriyoshi, Murano Keiko, Miyamoto Takaya	4. 巻 998
2. 論文標題 and N interactions from lattice QCD near the physical point	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Physics A	6. 最初と最後の頁 121737 ~ 121737
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nuclphysa.2020.121737	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 -

1. 著者名 Aoki Sinya, Doi Takumi, Hatsuda Tetsuo, Ishii Noriyoshi	4. 巻 98
2. 論文標題 Comment on "Relation between scattering amplitude and Bethe-Salpeter wave function in quantum field theory"	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 38501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.98.038501	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 -

1. 著者名 Iritani Takumi, Aoki Sinya, Doi Takumi, Gongyo Shinya, Hatsuda Tetsuo, Ikeda Yoichi, Inoue Takashi, Ishii Noriyoshi, Nemura Hidekatsu, Sasaki Kenji, HAL QCD Collaboration	4. 巻 99
2. 論文標題 Systematics of the HAL QCD potential at low energies in lattice QCD	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 14514
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.99.014514	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 -

1. 著者名 Gongyo Shinya, Aoki Sinya	4. 巻 2018
2. 論文標題 Asymptotic behavior of Nambu-Bethe-Salpeter wave functions for scalar systems with a bound state	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 093B03
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/pty097	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 -

1. 著者名 Iritani Takumi, Aoki Sinya, Doi Takumi, Etmnan Faisal, Gongyo Shinya, Hatsuda Tetsuo, Ikeda Yoichi, Inoue Takashi, Ishii Noriyoshi, Miyamoto Takaya, Sasaki Kenji	4. 巻 792
2. 論文標題 N dibaryon from lattice QCD near the physical point	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 284 ~ 289
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2019.03.050	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 該当する

1. 著者名 Iritani T., The HAL QCD collaboration, Doi T., Aoki S., Gongyo S., Hatsuda T., Ikeda Y., Inoue T., Ishii N., Murano K., Nemura H., Sasaki K.	4. 巻 2016
2. 論文標題 Mirage in temporal correlation functions for baryon-baryon interactions in lattice QCD	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP10(2016)101	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 -

1. 著者名 Iritani Takumi, Aoki Sinya, Doi Takumi, Hatsuda Tetsuo, Ikeda Yoichi, Inoue Takashi, Ishii Noriyoshi, Nemura Hidekatsu, Sasaki Kenji, HAL QCD Collaboration	4. 巻 96
2. 論文標題 Are two nucleons bound in lattice QCD for heavy quark masses? Consistency check with Lüscher's finite volume formula	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 34521
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.96.034521	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 -

1. 著者名 Gongyo Shinya, Sasaki Kenji, Aoki Sinya, Doi Takumi, Hatsuda Tetsuo, Ikeda Yoichi, Inoue Takashi, Iritani Takumi, Ishii Noriyoshi, Miyamoto Takaya, Nemura Hidekatsu, HAL QCD Collaboration	4. 巻 120
2. 論文標題 Most Strange Dibaryon from Lattice QCD	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 212001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.120.212001	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 -

1. 著者名 Miyamoto Takaya, Aoki Sinya, Doi Takumi, Gongyo Shinya, Hatsuda Tetsuo, Ikeda Yoichi, Inoue Takashi, Iritani Takumi, Ishii Noriyoshi, Kawai Daisuke, Murano Keiko, Nemura Hidekatsu, Sasaki Kenji	4. 巻 971
2. 論文標題 c N interaction from lattice QCD and its application to c hypernuclei	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nuclear Physics A	6. 最初と最後の頁 113 ~ 129
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nuclphysa.2018.01.015	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 -

1. 著者名 HAL QCD Collaboration, Kawai Daisuke, Aoki Sinya, Doi Takumi, Ikeda Yoichi, Inoue Takashi, Iritani Takumi, Ishii Noriyoshi, Miyamoto Takaya, Nemura Hidekatsu, Sasaki Kenji	4. 巻 2018
2. 論文標題 l = 2 scattering phase shift from the HAL QCD method with the LapH smearing	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 043B04
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/pty032	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 -

1. 著者名 Ikeda Yoichi, Aoki Sinya, Doi Takumi, Gongyo Shinya, Hatsuda Tetsuo, Inoue Takashi, Iritani Takumi, Ishii Noriyoshi, Murano Keiko, Sasaki Kenji, HAL QCD Collaboration	4. 巻 117
2. 論文標題 Fate of the Tetraquark Candidate Zc(3900) from Lattice QCD	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 242001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.117.242001	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 -

1. 著者名 Akahoshi Yutaro, Aoki Sinya, Aoyama Tatsumi, Doi Takumi, Miyamoto Takaya, Sasaki Kenji	4. 巻 2020
2. 論文標題 The HAL QCD potential in the l = 1 system with the meson bound state	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 073B07
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptaa087	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 -

1. 著者名 Aoki Sinya, Doi Takumi	4. 巻 8
2. 論文標題 Lattice QCD and Baryon-Baryon Interactions: HAL QCD Method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Physics	6. 最初と最後の頁 307
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fphy.2020.00307	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 -

1. 著者名 Gongyo Shinya, Sasaki Kenji, Miyamoto Takaya, Aoki Sinya, Doi Takumi, Hatsuda Tetsuo, Ikeda Yoichi, Inoue Takashi, Ishii Noriyoshi	4. 巻 811
2. 論文標題 d*(2380) dibaryon from lattice QCD	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 135935 ~ 135935
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2020.135935	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 -

1. 著者名 Murakami Kotaro, HAL QCD Collaboration, Akahoshi Yutaro, Aoki Sinya	4. 巻 2020
2. 論文標題 S-wave kaon-nucleon potentials with all-to-all propagators in the HAL QCD method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 093B03
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptaa118	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 -

1. 著者名 Lyu Yan, Tong Hui, Sugiura Takuya, Aoki Sinya, Doi Takumi, Hatsuda Tetsuo, Meng Jie, Miyamoto Takaya	4. 巻 127
2. 論文標題 Dibaryon with Highest Charm Number near Unitarity from Lattice QCD	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 72003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.127.072003	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 該当する

1. 著者名 Akahoshi Yutaro, Aoki Sinya, Doi Takumi	4. 巻 104
2. 論文標題 Emergence of the resonance from the HAL QCD potential in lattice QCD	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 54510
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.104.054510	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 -

1. 著者名 Aoki Sinya, Yazaki Koichi	4. 巻 2022
2. 論文標題 Derivative expansion in the HAL QCD method for a separable potential	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 033B04
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptab168	査読の有無 無
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23件 (うち招待講演 18件 / うち国際学会 20件)

1. 発表者名 Sinya Aoki
2. 発表標題 Recent progress on theoretical and practical issues in HAL QCD method
3. 学会等名 MOST/RIKEN workshop on ab initio theory in nuclear physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sinya Aoki
2. 発表標題 Some theoretical issues in HAL QCD method
3. 学会等名 International Molecule-type Worksop "Frontier in Lattice QCD and related topics" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sinya Aoki
2. 発表標題 Theoretical and practical progresses in the HAL QCD method
3. 学会等名 The 37th International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sinya Aoki
2. 発表標題 Nuclear force from the potential method in lattice QCD
3. 学会等名 INT program INT-19-2a "Nuclear Structure at the Crossroads" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sinya Aoki
2. 発表標題 Lattice results on dibaryons and baryon-baryon interactions
3. 学会等名 XVIII International Conference on Hadron Spectroscopy and Structure" (Hadron 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sinya Aoki
2. 発表標題 Hadron interactions from Lattice QCD
3. 学会等名 International School of Nuclear Physics 40th course ``The Strong Interaction: From Quarks and Gluons to Nuclei and Stars" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sinya Aoki
2. 発表標題 Two Baryon Systems in Lattice QCD
3. 学会等名 Interface of Effective Field Theories and Lattice Gauge Theories (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sinya Aoki
2. 発表標題 Hadron interactions in Lattice QCD
3. 学会等名 Second International Workshop ``Particles, Gravitation and the Universe" (PGU2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 青木 慎也
2. 発表標題 素粒子と宇宙
3. 学会等名 Kyoto Forum 2018 "Circle of Emptiness and Wholeness「無と全体の輪廻」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 青木 慎也
2. 発表標題 HAL QCD法の理論的課題の検討
3. 学会等名 日本物理学会大74回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 青木 慎也
2. 発表標題 計算素粒子物理学の挑戦
3. 学会等名 日本物理学会大74回年会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sinya Aoki
2. 発表標題 Overview of the HAL QCD potential method and recent results
3. 学会等名 INT Program INT 16-1 "Nuclear Physics from Lattice QCD" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Sinya Aoki
2. 発表標題 Luescher's finite volume test for two-baryon systems with attractive interactions
3. 学会等名 The 34rd International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Sinya Aoki
2. 発表標題 Current status for two baryon systems in lattice QCD
3. 学会等名 KITP program "Frontiers in Nuclear Physics" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Sinya Aoki
2. 発表標題 Lattice QCD approach to baryon interactions
3. 学会等名 The conference ``Compact stars and gravitational waves" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Sinya Aoki
2. 発表標題 Sanity check for NN bound states in lattice QCD with Luscher's finite volume formula
3. 学会等名 The 35rd International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Sinya Aoki
2. 発表標題 HAL QCD method --approach and results --
3. 学会等名 Santa Fe Workshop on ``Lattice QCD" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Sinya Aoki
2. 発表標題 Hadron interactions in lattice QCD --HAL QCD potential method --
3. 学会等名 NCTS Annual Theory Meeting 2017: Particles, Cosmology and Strings (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Sinya Aoki
2. 発表標題 The fake plateau problem and normality checks in the direct method for two baryon systems
3. 学会等名 INT workshop on ``Multi-Hadron Systems from Lattice QCD" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sinya Aoki
2. 発表標題 Hadron interactions in lattice QCD --HAL QCD potential method --
3. 学会等名 Workshop of the Doktoratskolleg ``Hadrons in Vacuum, Nuclei and Stars" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sinya Aoki
2. 発表標題 HAL QCD potentials with non-zero total momentum and application to the $l=2$ scattering
3. 学会等名 The 38th International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sinya Aoki
2. 発表標題 Recent progresses in the HAL QCD method for hadron interactions
3. 学会等名 YITP workshop "QCD phase diagram and lattice QCD" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sinya Aoki
2. 発表標題 Recent results for hadron interactions in the HAL QCD method
3. 学会等名 BNL-HET & RBC Joint workshop "DWQCD@25" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 青木 慎也	4. 発行年 2017年
2. 出版社 共立出版	5. 総ページ数 148
3. 書名 格子QCDによるハドロン物理	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関