

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 30 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25287046

研究課題名(和文)格子QCDによる核力ポテンシャルの方法の理論的拡張とその応用

研究課題名(英文) A theoretical extension of the method for nuclear potentials in lattice QCD and its applications

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) 14,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の研究成果は格子QCDによる核力ポテンシャルの方法の拡張とその応用であり、以下のような成果を得た。

(1) QCDで、N体の南部・ベータ・サルペータ波動関数が散乱S行列の情報を持つことを示し、その具体形を明らかにした。(2) 非弾性散乱の場合に、エネルギーに依存しない非局所ポテンシャルが存在することを示した。(3) 上記(1),(2)で正当性が確立された方法を実際の格子QCDの計算に応用して、新粒子の候補であるH粒子の性質を明らかにし、方法の有効性を示した。(4) 同様な格子QCD計算でテトラクォークの候補であるZc(3900)を研究し、実験のシグナルが非弾性散乱の閾値効果であることを示した。

研究成果の概要(英文)：The aim of this research project is to theoretically extend the method for nuclear potentials in lattice QCD to more general situations and to practically apply it to lattice QCD calculations. Results during this research projects are as follows.

(1) It is explicitly shown in QCD that N-body Nambu-Bethe-Salpeter wave functions have information of the scattering S-matrix of the N-body system. (2) It is shown that there exists energy-independent non-local potentials for general inelastic scatterings. (3) Based on these theoretical frame work, we have investigated properties of an exotic particle, named H-dibaryon, in lattice QCD, in order to show the effectiveness of the method. (4) Using the same theoretical framework, we have investigated the tetra-quark candidate Zc(3900) in lattice QCD and have shown that the signal of Zc(3900) obtained in experiments is a cusp effect of the inelastic threshold, so that Zc(3900) is not a tetra-quark state.

研究分野：素粒子理論

キーワード：核力ポテンシャル 格子QCD 南部・ベータ・サルペータ波動関数 S行列 非弾性散乱 H粒子 N体散乱の位相差 テトラクォーク

1. 研究開始当初の背景

研究代表者らを含むグループは「格子 QCD による核力ポテンシャルの計算」という画期的な研究成果を打ち出した。格子 QCD により計算されたポテンシャルは散乱実験から期待される定性的な性質をよく再現しており、この成果を載せた論文がネイチャーの 2007 年ハイライト研究 21 件の 1 つに選ばれるなどその重要性が認識されている。

この研究はさらに発展し、核力だけでなく、様々なハドロン間のポテンシャルの決定に応用されつつある。例えば、通常の核子を構成しているアップクォークやダウンクォークだけでなく、ストレンジクォークを含んだ核子の仲間はハイペロンと呼ばれているが、ハイペロン間のポテンシャルの一部は核力ポテンシャルとは違った振る舞いを示すことなどもわかって来ている。例えば、核力の場合に存在した近距離での強い斥力(斥力芯)が存在せず、全領域で引力になっているポテンシャルもあり、そのようなポテンシャルは、2 つのハイペロンの特定の組み合わせである H ダイバリオンと呼ばれる新奇な束縛状態を産み出すこともわかって来た。

しかしながら、このような発展の中で、研究の理論的枠組みで未整備の点やこの方法の適用限界の拡張など、理論的に考察を進めていく必要が認識されて来た。それらの問題を解決し、この方法をさらに発展させる必要が出て来たことが、本研究を考えた背景である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、QCD を用いて核力ポテンシャルを計算するために最近提案され成功をおさめている方法を理論的考察により拡張し、さらにその応用の可能性を探ることである。まず、今までの方法は 2 粒子の弾性散乱に限定されていたが、それを非弾性散乱にも適用できるような拡張を考える。さらに、2 粒子散乱だけでなく多粒子散乱を含む場合にも拡張する。最後に、強い相互作用以外の相互作用、例えば、電磁相互作用や弱い相互作用など、を含む場合にも適用できるような理論的可能性を探求する。これらの理論的拡張性の考察と並行して、拡張された方法と格子 QCD の数値シミュレーションを組み合わせ、今まで取り扱えなかった物理過程を QCD により探求することも研究目的である。これらの拡張により、QCD という第一原理によりハドロン相互作用の理解を進めていく枠組みを確立していくことが本研究の大きな目的である。

3. 研究の方法

以下に研究の方法を項目別にまとめる。

- (1) 場の理論の性質を用いて、n 体系の南部・ベータ・サロペータ(NBS)波動関数の漸近形を決定していく。そのために、S 行列のユニタリ性から T 行列の形を決めて、

その結果とリップマン・シュウィンガー方程式を組み合わせ、NBS 波動関数の漸近形を導く。

- (2) ポテンシャルを求める方法を非弾性散乱の場合にも拡張する。そのために、非弾性散乱の場合にもエネルギーに依存しない非局所ポテンシャルが存在することを証明していく。これには弾性散乱の場合に使われた方法を非弾性散乱の場合に拡張して用いる。

- (3) (1) \ (2) で理論的な根拠を得た方法を実際の格子 QCD の数値シミュレーションに適用して、非弾性散乱を含むハドロン間ポテンシャルの計算を行う。目標の 1 つはフレーバー SU(3) 対称性が破れた場合の H 粒子の性質を調べることである。そのために、3x3 の結合チャネルポテンシャルを計算し、その相互作用の性質を調べる。

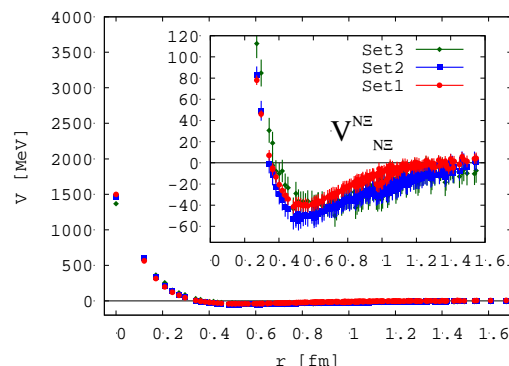
4. 研究成果

本研究の主な成果は以下である。

- (1) n 体(n は 3 以上)の NBS 波動関数の漸近形を導いた。そもそも、ユニタリ性から n 体系の S 行列の形を決めることが行われていなかったのでその決定を行った。この場合、一般化された球面調和関数を使い、2 体散乱の場合と同様に、一般化された位相差を使って S 行列の一般形を書き表した。次に、その表示を用いて、NBS 波動関数の漸近形を導き、その漸近形から散乱 S 行列の情報が読み取れることを任意の n に対して示した。

- (2) 2 体の弾性散乱に対して定式化されたポテンシャルの方法を、上記(1)で示された性質を用いて、n 体で非弾性散乱を含む場合に拡張し、エネルギーに依存しない非局所的なポテンシャルが定義できることを示した。

- (3) 上記(2)で非弾性散乱に拡張されたポテンシャルの方法を格子 QCD 計算に応用した。具体的には、H 粒子と呼ばれる新奇な束縛状態を含む可能性のあるストレンジネス S が -2 のバリオン 2 体系の相互作用を格子 QCD の数値シミュレーションで計算した。この系では粒子の種類が変わる散乱が起こり、一般には非弾性散乱になるため、拡張された定

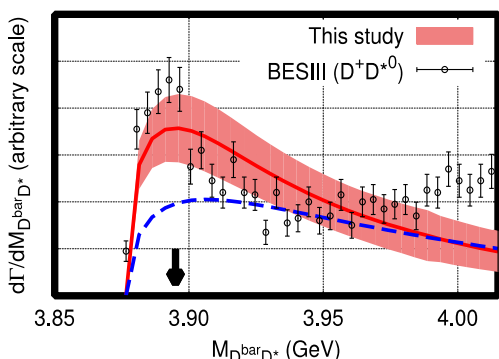


式化が必要になる。計算コストの関係で、

中間子の質量が実験値より重い場合で計算を行った。

図は、アイソスピン I が 0 の場合の N 間のポテンシャルである (論文 (12) より引用)。縦軸がポテンシャルエネルギー (単位は MeV) で、横軸は粒子 N と粒子間の距離 (単位は fm) である。 $I=0, S=-2$ の系には、 N より全質量が小さい \bar{D}^* が存在するので、非弾性散乱が起こる系になるが、この図は拡張された定式化を使うえば、ポテンシャルが計算できることを示している。この図には 3 つの違った色のポテンシャルがあるが、中間子の質量が 875 MeV (Set 1), 749 MeV (Set 2), 660 MeV (Set 3) に対応している。

- (4) チャームクォークを含むテトラクォーク状態の 1 つとして注目を集めている $Z_c(3900)$ に対して、我々が開発した拡張されたポテンシャルの方法を適用して解析を行った。この系は 3 つの異なったチャネルが結合しており、非弾性散乱が起こる系である。我々は 3 行 3 列の結合ポテンシャル行列を格子 QCD の数値シミュレーションで計算し、その相互作用を解析した。その結果、実験で見



つかっている $Z_c(3900)$ のシグナルは、テトラクォーク状態でなく、非弾性散乱の閾値のカスプ効果であることを明らかにした。

図は、我々が計算で得た結合ポテンシャルを用いて予言した崩壊の微分断面積とその実験値を比較したものである (論文 (21) より引用)。赤い実線が我々の予言で赤いバンドがその誤差を表現しており、黒丸のデータが実験値とその誤差である。図からわかるように我々の計算結果は実験データのピーク構造をよく説明している。青い点線は遷移ポテンシャルをゼロとして断面積を計算したものであり、ピーク構造が消失している。このことから、ピーク構造が、遷移ポテンシャルのため閾値を越える急激に断面積が増大するカスプ効果であることが分かる。この研究成果はプレスリリースも行なっている。(5. [その他] を参照。)

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 27 件)

- (1) Sinya Aoki, Noriyoshi Ishii, Takumi Doi, Yoichi Ikeda, Takashi Inoue, "Asymptotic behavior of Nambu-Bethe-Salpeter wave functions for multi-particles in quantum field theories", Phys. Rev. D88 (2013) 014036, 1-11. %DOI:10.1103/PhysRevD.88.014036
- (2) T. Kurth, N. Ishii, T. Doi, S. Aoki and T. Hatsuda, "Phase shifts in $I=2$ scattering from two lattice approaches", JHEP 1312(2013)015, 1-20. DOI:10.1007/JHEP12(2013)015
- (3) Takashi Inoue, Sinya Aoki, Takumi Doi, Tetsuo Hatsuda, Yoichi Ikeda, Noriyoshi Ishii, Keiko Murano, Hidekatsu Nemura, Kenji Sasaki (HAL QCD collaboration), "Equation of State for Nucleonic Matter and its Quark Mass Dependence from the Nuclear Force in Lattice QCD", Phys. Rev. Lett. 111 (2013) 112503, 1-5. DOI:10.1103/PhysRevLett.111.112503
- (4) Sinya Aoki, "Nucleon-nucleon interactions via Lattice QCD: Methodology: HAL QCD approach to extract hadronic interactions in lattice QCD", Eur. Phys. J. A49 (2013) 81, 1-12. DOI: 10.1140/epja/i2013-13081-0
- (5) Yoichi Ikeda, Bruno Charron, Sinya Aoki, Takumi Doi, Tetsuo Hatsuda, Takashi Inoue, Noriyoshi Ishii, Keiko Murano, Hidekatsu Nemura, Kenji Sasaki (HAL QCD Collaboration), "Charmed Tetraquarks T_{cc} and T_{cs} from Dynamical Lattice QCD Simulations", Phys. Lett. B729 (2014) 85-90. DOI:10.1016/j.physletb.2014.01.002
- (6) Sinya Aoki, Michael Creutz, "Pion masses in 2-flavor QCD with condensation", Phys. Rev. Lett. 112 (2014) 141603, 1-5. DOI:10.1103/PhysRevLett.112.141603
- (7) Sinya Aoki, "Extension of the HAL QCD approach to inelastic and multi-particle scatterings in lattice QCD", PoS(LATTICE 2013)222, 1-7
- (8) Sinya Aoki, "Lattice Studies for hadron spectroscopy and interactions", PoS(Hadron 2013)020
- (9) Faisal Etminan, Hidekatsu Nemura, Sinya Aoki, Takumi Doi, Tetsuo Hatsuda, Yoichi Ikeda, Takashi Inoue, Noriyoshi

- Ishii, Keiko Murano, Kenji Sasaki (HAL QCD Collaboration), "Spin-2 N Dibaryon from Lattice QCD", Nucl. Phys. A928 (2014) 89-98. DOI:10.1016/j.nuclphysa.2014.05.014
- (1 0) Takashi Inoue, Sinya Aoki, Bruno Charron, Takumi Doi, Tetsuo Hatsuda, Yoichi Ikeda, Noriyoshi Ishii, Keiko Murano, Hidekatsu Nemura, Kenji Sasaki (HAL QCD Collaboration), "Medium-Heavy Nuclei from Nucleon-Nucleon Interactions in Lattice QCD", Phys. Rev. C91 (2015) 0110001(R). DOI:http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevC.91.011001
- (1 1) Masanori Yamada, Kenji Sasaki, Sinya Aoki, Takumi Doi, Tetsuo Hatsuda, Yoichi Ikeda, Takashi Inoue, Noriyoshi Ishii, Keiko Murano, Hidekatsu Nemura (HAL QCD Collaboration), " interaction from 2+1 flavor lattice QCD", PTEP**2015(7)**(2015): 017B01. DOI:10.1093/ptep/ptv091
- (1 2) Kenji Sasaki, Sinya Aoki, Takumi Doi, Tetsuo Hatsuda, Yoichi Ikeda, Takashi Inoue, Noriyoshi Ishii, Keiko Murano, (HAL QCD Collaboration), "Coupled channel approach to strangeness $S = -2$ baryon-baryon interactions in Lattice QCD", Progress of Theoretical and Experimental Physics (2015)11, 113B01. DOI:doi: 10.1093/ptep/ptv144
- (1 3) Xu Feng, Sinya Aoki, Shoji Hashimoto, Takashi Kaneko, "Time-like pion form factor in lattice QCD", Phys. Rev. D91 (2015) 054504. DOI:10.1103/PhysRevD.91.054504
- (1 4) Sinya Aoki, Kengo Kikuchi, Tetsuya Onogi, "Gradient Flow of $O(N)$ nonlinear sigma model at large N ", JHEP 1504(2015)156. DOI:10.1007/JHEP04(2015)156
- (1 5) Sinya Aoki, Takumi Iritani, Masahiro Nozaki, Tokiro Numasawa, Noburo Shiba, Hal Tasaki, "On the definition of entanglement entropy in lattice gauge theories ", JHEP 1506(2015) 187. DOI:http://dx.doi.org/10.1007/JHEP06(2015)187
- (1 6) Sinya Aoki, Masanori Hanada, Norihiro Iizuka, "Quantum Black Hole Formation in the BFSS Matrix Model", JHEP 1505(2015)029. DOI:10.1007/JHEP07(2015)029
- (1 7) Sinya Aoki, Masanori Hanada, Atsushi Nakamura, "Taming the pion condensation in QCD at finite baryon density ", JHEP 1505 (2015) 071, 0-23. DOI:10.1007/JHEP05(2015)071
- (1 8) Sinya Aoki, Kengo Kikuchi, Tetsuya Onogi, "Geometries from field theories", Progress of Theoretical and Experimental Physics (2015)10, 101B01. DOI:doi: 10.1093/ptep/ptv131
- (1 9) H. Fukaya, S. Aoki, G. Cossu, S. Hashimoto, T. Kaneko, J. Noaki (JLQCD Collaboration), " ' meson mass from topological charge density correlator in QCD,' ', Phys. Rev. D92 (2015) 11, 111501. DOI:10.1103/PhysRevD.92.111501
- (2 0) S. Aoki, G. Cossu, X. Feng, S. Hashimoto, T. Kaneko, J. Noaki, T. Onogi (JLQCD Collaboration), "Light meson electromagnetic form factors from three-flavor lattice QCD with exact chiral symmetry", Phys. Rev.D93 (2016)2,034504. DOI:10.1103/PhysRevD.93.034504
- (2 1) Yoichi Ikeda, Sinya Aoki, Takumi Doi, Shinya Gongyo, Tetsuo Hatsuda, Takashi Inoue, Takumi Iritani, Noriyoshi Ishii, Keiko Murano, Kenji Sasaki (HAL QCD Collaboration), "Fate of the Tetraquark Candidate $Z_c(3900)$ in Lattice QCD ", Phys.Rev Lett.117 (2016) no.24, 242001. DOI:10.1103/PhysRevLett.117.242001
- (2 2) Sinya Aoki, Janos Balog, Tetsuya Onogi, Peter Weisz, " Flow equation for the large N scalar model and induced geometries", Progress of Theoretical and Experimental Physics (2016)8, 083B04. DOI:10.1093/ptep/ptw106
- (2 3) S. Aoki, Y. Aoki, D. Becirevic, C. Bernard, T. Blum, G. Colangelo, M. Della Morte, P. Dimopoulos, S. Durr, H. Fukaya, M. Golterman, Steven Gottlieb, S. Hashimoto, U. M. Heller, R. Horsley, A. Jüttner, T. Kaneko, L. Lellouch, H. Leutwyler, C.-J. D. Lin, V. Lubicz, E. Lunghi, R. Mawhinney, T. Onogi, C. Pena, C. T. Sachrajda, S. R. Sharpe, S. Simula, R. Sommer, A. Vladikas, U. Wenger, H. Wittig, "Review of lattice results concerning low-energy particle physics ", Eur. Phys. J. C77 (2017) no.2, 112. DOI:10.1140/epjc/s10052-016-4509-7
- (2 4) Takumi Iritani, Takumi Doi, Sinya Aoki, Shinya Gongyo, Tetsuo Hatsuda, Yoichi Ikeda, Takashi Inoue, Noriyoshi Ishii, Keiko Murano, Hidekatsu Nemura, Kenji Sasaki, "Mirage in Temporal Correlation functions for Baryon-Baryon Interactions in Lattice QCD " , JHEP 1610 (2016) 101. DOI:10.1007/JHEP10(2016)101
- (2 5) Sinya Aoki, Etsuko Itou, Keitaro Nagata, " Entanglement entropy for pure

- gauge theories in 1+1 dimensions using the lattice regularization ", IJMPA 31 (2016) No. 35, 1650192. DOI:10.1142/S0217751X1650192X
- (2 6) Kenji Sasaki, Sinya Aoki, Takumi Doi, Shinya Gongyo, Tetsuo Hatsuda, Yoichi Ikeda, Takashi Inoue, Takumi Iritani, Noriyoshi Ishii, Takaya Miyamoto, Keiko Murano, "First results of baryon interactions from lattice QCD with physical masses (3) -- Strangeness $S=-2$ two-baryon system", PoS (Lattice 2015) (2016) 088.
- (2 7) Sinya AOKI "Nuclear Forces from Quarks and Gluons, AAPPs Bull. 23 (2013) 5, 6-9.

[学会発表](計 3 2 件)

- (1) Sinya Aoki, "Nuclear Force from Quarks and Gluons", ASIAA/CCMS/IAMS/NTU-Physics Joint Colloquia, June 4, 2013, Taipei, Taiwan.
- (2) Sinya Aoki, "Hadron Interactions from lattice QCD", Mini-workshop on Lattice QCD and Hadron Physics, June 5-7, 2013, CCMS/Physics Building, Taipei, Taiwan.
- (3) Sinya Aoki, "Extension of the HAL QCD approach to inelastic and multi-particle scatterings in lattice QCD", The 31st International Symposium on Lattice Field Theory, July 29-August 3, 2013, Mainz, Germany.
- (4) Sinya Aoki, "Nuclear Force from Quarks and Gluons", YITP Colloquium, August 29, 2013, YITP, Kyoto University, Kyoto, Japan.
- (5) Sinya Aoki, "Nuclear Potentials in QCD and their Extensions", Miniworkshop on Lattice QCD, October 18-19, 2013, National Taiwan University, Taipei, Taiwan.
- (6) Sinya AOKI, "Lattice Studies for Hadron Spectroscopy and Interactions", XV International Conference on Hadron Spectroscopy "HADRON 2013 in Nara", November 4-8, 2013, Nara Prefectural New Public Hall, Nara, Japan.
- (7) 青木 慎也, "Hadron interactions from lattice QCD", 基研研究会「素粒子物理学の進展 2013」2013年8月5-8月9日、京都大学 基礎物理学研究所
- (8) 青木 慎也, 「クォーク、グルーオンから核力へ」第 4 1 回京都大学 基研研究所・センター品川セミナー、2013年10月4日、京都大学東京オフィス、品

川、東京

- (9) Sinya AOKI, "Finite-volume methods for hadrons and their interactions in lattice QCD", "CERN Theory Workshop Conceptual advances in lattice gauge theory (LGT14)", July 21 - August 1, 2014, CERN, Geneva, Switzerland
- (1 0) Sinya AOKI, "Hadron interactions from lattice QCD", KITPC program "Present Status of the Nuclear Interaction Theory", August 25-September 19, 2014, KITPC/ITP-CAS, Beijing, China
- (1 1) Sinya Aoki, "Hadron interaction in lattice QCD", Long-term workshop on "Hadrons and Hadron Interactions in QCD 2015 (HHIQCD2015)", February 12-March 21, 2015, YITP, Kyoto, Japan
- (1 2) Sinya Aoki, "Hadron Interactions from lattice QCD", 21th International Conference on Few-Body Problems in Physics, May 18-22, 2015, Chicago, USA
- (1 3) Sinya Aoki, "Axial U(1) symmetry in the chiral symmetric phase of 2-flavor QCD at finite temperature", 8th International Workshop on Chiral Dynamics, June 29- July 3, 2015, Pisa, Italy.
- (1 4) Sinya Aoki, "Nuclear forces from lattice QCD", ECT* Workshop on "Lattice Nuclei Nuclear Physics and QCD - Bridging the gap", July 6-10, 2015, Trento, Italy
- (1 5) Sinya Aoki, "Encoding field theories into gravities", The 33rd International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2015), July 14-July 18, 2015, Kobe, Japan
- (1 6) Sinya Aoki, "Chiral and U(1)_A symmetries at finite temperature with overlap fermions", High-precision QCD at low energy, August 2-22, 2015, Benasque, Spain
- (1 7) Sinya Aoki, "Comparative studies for baryon interactions with HAL QCD method and Luscher's method", Long-term and Nishinomiya-Yukawa Memorial International Workshop on "Computational Advances in Nuclear and Hadron Physics", September 21-October 30, 2015, YITP, Kyoto, Japan
- (1 8) Sinya Aoki, "Recent developments and challenges in lattice QCD", International Symposium "RIKKYO MathPhys 2016", January 9-11, 2016, Rikkyo University, Tokyo, Japan
- (1 9) Sinya Aoki, "New strategies with

- HAL QCD potential method", Joint HAL QCD-Callat mini-workshop on lattice QCD for NP, January 27-29, 2016, LBL, Berkeley, USA
- (2 0) Sinya Aoki, "Hadron interactions at heavier quark masses in lattice QCD --Are deuteron and di-neutron bound? --", YITP and IOPP Joint workshop on Heavy Ion Physics, February 20, 2016, CCNU, Wuhan, China
- (2 1) 青木 慎也, 「Encoding field theories into gravities」, 日本物理学会 2 0 1 5 年秋季大会、2 0 1 5 年 9 月 2 5 日、大阪市立大学杉本キャンパス、大阪
- (2 2) 青木 慎也, 「U(1) axial symmetry at high temperature」, 研究会「有限温度系の物理と格子 QCD シミュレーション」, 2 0 1 5 年 9 月 5 日、筑波大学、つくば
- (2 3) 青木 慎也, 「格子 QCD におけるカイラル対称性と軸性 U(1)アノマリー」日本物理学会第 7 1 回年次大会 合同シンポジウム、自発的対称性の破れ：南部陽一郎先生が拓いた物理と素粒子・原子核・物性の進展、2 0 1 6 年 3 月 2 1 日、東北学院大学泉キャンパス、仙台
- (2 4) Sinya Aoki, "Overview of the HAL QCD potential method and recent results", INT Program INT 16-1 "Nuclear Physics from Lattice QCD", March 21 - May 27, 2016, INT, University of Washington, Seattle, USA
- (2 5) Sinya Aoki, "Flow equation for the large N scalar model and induced geometries", 4 Day Conference "Holography and quantum information", May 31-June 3, 2016, in YITP long term workshop 2016 "Quantum Information in String Theory and Many-body Systems", May 23-june 24, 2016, YITP, Kyoto, Japan
- (2 6) Sinya Aoki, "Luescher's finite volume test for two-baryon systems with attractive interactions", The 34rd International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2016), July 24-July 30, 2016, Southampton, UK
- (2 7) Sinya Aoki, "Axial U(1) symmetry in 2-flavor QCD at finite temperature", YITP workshop MIN16 - Meson in Nucleus 2016 -, July 31 - Aug. 2, 2016, YITP, Kyoto University, Kyoto, Japan
- (2 8) Sinya Aoki, "Current status for two baryon systems in lattice QCD", KITP program "Frontiers in Nuclear Physics", Aug. 22, 2016 - Nov 4, 2016,

Kavli Institute for Theoretical Physics, University of California, Santa Barbara, USA

- (2 9) Sinya Aoki, "Lattice QCD approach to baryon interactions", The conference "Compact stars and gravitational waves", Oct. 31 - November 4, 2016, Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto University, Japan
- (3 0) Sinya Aoki, "Current status for two baryon systems in lattice QCD I. Difficulties in the direct method", First Tsukuba-CCS-RIKEN joint workshop on microscopic theories of nuclear structure and dynamics, Dec. 12-16, 2016, Riken Nishina Center/CCS, University of Tsukuba, Japan
- (3 1) Sinya Aoki, "Flow equation for the scalar model in the large N expansion and its applications", Workshop "Holography, Quantum Entanglement and Higher Spin Gravity", Feb. 6 - 7, 2017, YITP, Kyoto University, Kyoto, Japan.
- (3 2) 青木 慎也, "Current status for two baryon systems in lattice QCD I. Difficulties in the direct method", JPS Annual meeting, Osaka University, March 19, 2017.

〔その他〕

ホームページ等

京都大学基礎物理学研究所 研究分野 素粒子分野

<http://www.yukawa.kyoto-u.ac.jp/content/s/labs/highenergy.html>

プレスリリース

「新粒子候補テトラクォーク Zc(3900)の正体 -大規模数値シミュレーションで解明-」
2 0 1 6 年 1 2 月 1 4 日 理化学研究所 / 京都大学

http://www.riken.jp/pr/press/2016/20161214_1/

6 . 研究組織

(1)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：3 0 1 9 2 4 5 4