

研究種目：基盤研究 (c)

研究期間：2207年 ~ 2009年

課題番号：19540297

研究課題名 (和文) エキゾチックハドロンの生成反応と構造に関する研究

研究課題名 (英文) Production reactions and structure of exotic hadrons

研究代表者 保坂 淳 (Atsushi Hosaka)

大阪大学・核物理研究センター・准教授

研究者番号：10259872

研究成果の概要 (和文)：

エキゾチックな構造をもったハドロンの構造を調べるとともに、その構造に特徴的な生成反応に関する研究を行った。構造に関する研究として、ハドロンの分子構造、テトラクォーク構造、カイラル対称性にに基づいた構造の探索を行なった。ハドロンの分子構造に関する研究では、ユニタリ化された摂動論に基づいて散乱振幅を構成する際に自然な繰り込みの概念を導入することで、構造の理解をより一層進めることができた。QCD 和則によりテトラクォーク構造をもった中間子の性質を調べ、スカラー中間子がテトラクォークであることが強く支持された。カイラル対称性にに基づいた研究では3クォークバリオンのカイラル表現を分類し、マルチクォーク構造との関連を議論した。反応の研究ではスピン偏極量を含むいろいろな観測量を用い、ハドロンの量子数を決定するいくつかの方法を示唆すると同時に、QCD 異常に基づいた高次項の効果の重要性を指摘し、反応機構を解明することでハドロンの構造を探る提案をした。

研究成果の概要 (英文) : We studied exotic structure of hadrons and its features in production reactions. Our study covers the topics of molecular structure of hadrons, tetraquark structure and chiral properties of baryons. We introduced the concept of the natural renormalization in the unitized chiral perturbation theory, and made a great progress in understanding the molecular structure of hadrons. In the QCD sum rule, we introduced a complete set of 4-quark currents, which enabled us to conclude that the light scalar mesons are dominated by tetraquark components. For chiral properties of baryons, we classify the chiral multiplets of three-quark baryons and discussed the relation to multi-quark structure. In hadron reactions, we used various observables including spin observables, we proposed how to measure some quantum numbers of an unknown particle, and estimated higher order contributions associated with QCD anomaly. This helped a lot in understanding the relevant reaction mechanism from which we can extract hadron structure.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
19年度	800,000	240,000	1,040,000
20年度	700,000	210,000	910,000
21年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	2,200,000	660,000	2,860,000

研究分野：物理学

科研費の分科・細目：素核宇

キーワード：①エキゾチック粒子, ②シータ生成・崩壊, ③マルチクォーク, ④反応機構

1. 研究開始当初の背景

(1) 昨年 LEPS チーム (RCNP-SPring-8) によってなされたエキゾチック 5 クォーク粒子の発見は、ハドロン物理の分野に急速に大きなインパクトを与えてきた。この粒子はストレンジネス+1 を持ち、少なくともクォーク 5 個を有する真にエキゾチックな粒子である。同時期に KEK-Belle からやはり、 qq^* では説明しにくい状態として X(3872) 等の発見が相次いだ。これらの粒子は従来のハドロン物理による理解を超えた構造をもっていると考えられ、その構造を生成反応を通して理解する研究が強く望まれた。

(2) 一方理論研究では、散乱理論に基づいた共鳴状態の研究、QCD に基づいたマルチクォーク状態の研究が精力的に行われ、マルチクォーク相関の特徴を明らかにしそれが実験でどのように示されうるかを明らかにすることが急務であった。

2. 研究の目的

本研究では Θ と、それに関連する 5 クォークバリオンと考えられる粒子、特に $\bar{K}N$ 束縛状態と考えられる負ストレンジネスの粒子 ($\Lambda(1405)$ 等) についてその構造、生成機構を明らかにし、それを支配する非摂動 QCD のダイナミクスを探る。エキゾチック粒子の研究を通して新しいクォーク・ハドロン物質の存在形態を探る新展開に結びつける。

3. 研究の方法

(1) ユニタリ化されたカイラル摂動論でハドロン共鳴状態を記述する。特にそこで生じる分子共鳴状態の性質を明らかにする。特に

繰り込み条件を利用し分子構造の特徴を明らかにすることを目指した。

(2) エキゾチック状態の生成機構を明らかにするため、構造が反応にどのように反映されるかを調べる。有効ラグランジアンを用い、パラメータが直接構造の性質を反映するようにし、データから構造の情報を引き出せることを目指した。

(3) カイラル対称性の代数的な側面を利用し、ハドロン構造の理解に結びつける。ハドロンカレントをクォークから構成し、その結果得られるカイラル表現を求める。データと比較することで、どのような表現が可能か、それによりハドロンに関する知見を得ることを目指した。

(4) QCD 和則の方法を用いてマルチクォークハドロン の性質解明に結びつける。マルチクォークカレントを一般的に書き下し、その線形結合を用いて、これまでの研究ではなかった大きな模型空間を用いた解析を目指した。

4. 研究成果

(1-1) カイラル摂動論の S 波相互作用、ワインバーガー友沢項を一般のカラー数に拡張することで、S 波共鳴が生じる条件を解析した。その結果、エキゾチックと定義されるチャンネルではハドロン状態が存在しないことを示した。エキゾチック粒子が存在しにくい理由の一端を与えた。

(1-2) ハドロン の分子共鳴状態を判定するための条件として、自然な繰り込み条件を導入した。これにより、従来現象論的に扱われてきた繰り込み定数の物理的な意味を、固有のポール項として解釈できるようになり、その結果分子共鳴状態の理解が飛躍的に進んだ。

(2-1) 生成されるハドロン の構造を知る

ため、スピン観測量も含めてどのような反応機構が働いているかいくつかの場合に調べた。まず、K 中間子の生成において QCD 異常の効果が顕著に見えることを明らかにした。これにより従来現象論的に扱われた反応機構に対しミクロな理論を適用できることが示された。

(2-2) スピン偏極料を利用し、スピン選択則が未知ハドロンの量子数を特定するのに有効であることを示した。

(2-3) ファイ中間子の光生成においてポメロン交換の重要性の他に、核子共鳴が見えている可能性を指摘した。

(3-1) クォークから構成されたハドロンのカレントをカイラル群の表現で完全に分類した。その結果異なるカイラル表現の混合を利用し軸性結合定数を再現し、混合率から核子の構造を議論した。

(3-1) カイラル分類の方法をフレーバー SU(3) に拡張した。

(4-1) クォークを用いてあからさまに構成されるマルチクォークハドロンのカレントを厳密に分類し、局所近似のもとで可能な模型空間を定義した。

(4-2) それを軽い σ 中間子に適用し、マルチクォーク構造を強く示唆する結果を得た。

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 30 件)

1. V. Dmitrasinovic, A. Hosaka and K. Nagata, Nucleon axial couplings and $[(1/2,0) + (0,1/2)] - [(1,1/2) + (1/2,1)]$ chiral multiplet mixing, Mod. Phys. Lett., 査読有, A25, 2010, 233-242
2. V. Dmitrasinovic, A. Hosaka, K. Nagata, A Lagrangian for the Chiral $(1/2,0) + (0,1/2)$ Quartet Nucleon Resonances, Int. J. Mod. Phys. E, 査読有, 19, 2010, 91-112
3. Hua-Xing Chen, V. Dmitrasinovic, Atsushi Hosaka, Baryon Fields with $SU_L(3) \times U_R(3)$ Chiral Symmetry II: Axial Currents of Nucleons and Hyperons, Phys. Rev. D, 査読有, 81, 2010, 054002
4. S. Ozaki, A. Hosaka, H. Nagahiro and O. Scholten, A Coupled-channel analysis for ϕ -photoproduction with $\Lambda(1520)$, Phys. Rev. C 査読有, 80, 2009, 035201
5. R. Molina, H. Nagahiro, A. Hosaka and E. Oset, Scalar, axial-vector and tensor resonances from the ρ D^* , ω D^* interaction in the hidden gauge formalism, Phys. Rev., 査読有, 80, 2009,

014025

6. Kanabu Nawa, Atsushi Hosaka, Hideo Suganuma, Skyrmions with holography and hidden local symmetry, Phys. Rev. D, 査読有, 79, 2009, 126005

7. Ki-Seok Choi, Seung-il Nam, Atsushi Hosaka, Hyun-Chul Kim, et al. Photoproduction and N^* resonances, J. Phys. G, 査読有, 36, 2009, 015008

8. Jinniu Hu, Yoko Ogawa, Hiroshi Toki, Atsushi Hosaka and Hong Shen, Extended relativistic chiral mean field model for nuclear matter, Phys. Rev. C, 査読有, 79, 024305

9. H. Nagahiro, L. Roca, A. Hosaka and E. Oset, Hidden gauge formalism for the radiative decays of axial-vector mesons, Phys. Rev. D, 査読有, 79, 2009, 014015

10. Keitaro Nagata, Atsushi Hosaka, V. Dmitrasinovic, Chiral properties of baryon interpolating fields, Eur.Phys.J., 査読有, C57, 2008, 557-567

11. H. Nagahiro, L. Roca, A. Hosaka, E. Oset, Hidden gauge formalism for the radiative decays of axial-vector mesons, Phys.Rev., 査読有, D79, 2009, 014015

12. Hua-Xing Chen, Atsushi Hosaka, Shi-Lin Zhu, The $I^{*G} J^{*PC} = 0^+ 1^+ \text{ Tetraquark State}$, Phys.Rev., 査読有, D78, 2008, 117502

13. Hua-Xing Chen, Atsushi Hosaka, Shi-Lin Zhu, The $I^{*G} J^{*PC} = 1^- 1^+ \text{ Tetraquark States}$, Phys.Rev., 査読有, D78, 2008, 054017

14. Hua-Xing Chen, V. Dmitrasinovic, Atsushi Hosaka, Keitaro Nagata, Shi-Lin Zhu, Chiral Properties of Baryon Fields with Flavor SU(3) Symmetry, Phys.Rev., 査読有, D78, 2008, 054021

15. K. Nagata, A. Hosaka, V. Dmitrasinovic, πN and $\pi \pi N$ Couplings of the $\Delta(1232)$ and its Chiral Partners, Phys.Rev.Lett., 査読有, 101, 2008, 092001

16. Tetsuo Hyodo, Daisuke Jido, Atsushi Hosaka, Origin of the resonances in the chiral unitary approach, Phys.Rev., 査読有, C78, 2008, 025203

17. Hua-Xing Chen, Xiang Liu, Atsushi Hosaka, Shi-Lin Zhu, The $Y(2175)$ State in the QCD Sum Rule, Phys.Rev., 査読有, D78, 2008, 034012

18. S. Ozaki, H. Nagahiro, A. Hosaka, Magnetic interaction induced by the anomaly in kaon-photoproductions, Phys.Lett., 査読有, B665, 2008, 178-181

19. Xiang Liu, Hua-Xing Chen, Yan-Rui Liu, Atsushi Hosaka, Shi-Lin Zhu, Bottom

baryons, Phys.Rev.D, 査読有, 77, 2008, 014031

20. Ki-Seok Choi, Seung-il Nam, Atsushi Hosaka, Hyun-Chul Kim, eta Photoproduction and N^* resonances, J.Phys.G, 査読有, 36, 2009, 015008

21. Hua-Xing Chen, Atsushi Hosaka, Shi-Lin Zhu, Scalar Tetraquark Currents With Application to the QCD Sum Rule, Mod.Phys.Lett.A, 査読有, 23, 2008, 2234-2237

22. Daisuke Jido, Tetsuo Hyodo, Atsushi Hosaka, The Structure of $N(1535)$ in the aspect of chiral symmetry, Mod.Phys.Lett.A, 査読有, 23, 2008, 2389-2392

23. K. Nagata, A. Hosaka, Structure of the Nucleon and Roper Resonance with Diquark Correlations, Mod.Phys.Lett.A, 査読有, 23, 2008, 2397-2400

24. K. Hicks et al. (15 番目), Measurement of the polarized $\gamma \rightarrow p \rightarrow K + \Lambda$ reaction at backward angles, Physical Review C, 査読有, 76, 2007, 042201

25. Xiang Liu, Hua-Xing Chen, Yan-Rui Liu, Atsushi Hosaka and Shi-Lin Zhu, Bottom baryons, Physical Review D, 査読有, 77, 2007, 014031

26. Hua-Xing Chen, Atsushi Hosaka and Shi-Lin Zhu, Light Scalar Tetraquark Mesons in the QCD Sum Rule, Physical Review D, 査読有, 76, 2007, 094025

27. S.I. Nam, K.S. Choi, A. Hosaka and H.C. Kim, Test of the reaction mechanism for $\gamma N \rightarrow K \Lambda(1520)$ using the polarized photon, Physical Review D, 査読有, 75, 2007, 014027

28. L. Roca, A. Hosaka, E. Oset, Quantum loops in radiative decays of the $a(1)$ and $b(1)$ axial-vector mesons, Physics Letters B, 査読有, 658, 2007, 17-26

29. T. Hyodo, D. Jido and A. Hosaka, Study of exotic hadrons in s -wave scatterings induced by chiral interaction in the flavor symmetric limit, Physical Review D, 査読有, 75, 034002

30. Hua-Xing Chen, Atsushi Hosaka, Shi-Lin Zhu, QCD sum rule study of the masses of light tetraquark scalar mesons, Physics Letters B, 査読有, 650, 2007, 369-372

31. Hiroshi Toki, Carmen Garcia-Recio and Juan Nieves, Photon induced $L(1520)$ production and the role of the K^* exchange, Physical Review D, 査読有, 77, 2007, 034001

[学会発表] (計 27 件)

1. 保坂 淳, V. Dmitrasinovic, H-X. Chen, Nucleon axial couplings and chiral multiplet mixing, 日本物理学会, 3月23日、2010年, 岡山大学

2. Atsushi Hosaka, Hadron Physics from Strangeness, 特定領域「ストレンジネス」から新学術「新ハドロン」へ, 12月12日, 2009年, 大阪大学

3. Atsushi Hosaka, Hadron Physics -- Overview, 「多彩なフレーバーで探る新しいハドロン存在形態の包括的研究」キックオフ会議, 11月27日、2009年, 名古屋大学

4. Atsushi Hosaka, Photoproductions for the study of baryon resonances, 日米合同物理学会 (原子核分科会), Oct. 13, 2009年, 日米合同物理学会分科会、ハワイ

5. Atsushi Hosaka, Hadron Physics at LEPS2, LEPS2, kickoff meeting, 9月11日、2009年, 核物理研究センター, 大阪大学

6. Atsushi Hosaka, Hadron Physics -- What we can/should learn, Hadron Structure and Interactions 2009, 8月24日、2009年, 東京家政大学

7. Atsushi Hosaka, Reaction dynamics in the effective Lagrangian method, Narrow Nucleon Resonance, June 10, 2009年, Edinburg, Great Britain

8. Atsushi Hosaka, Reaction dynamics for photoproductions of baryon resonances, NSTAR2009, April 19, 2009年, 中国科学院高能物理研究所, 北京

9. Atsushi Hosaka, Dynamical generation of baryon resonances and their productions, Workshop on Nucleon Structure, April 27, 2009年, 国立台湾大学, 台湾

10. Atsushi Hosaka, Reaction dynamics for photoproductions of baryon resonances, NSTAR2009, April 20, 2009年, 中国科学院高能物理研究所, 北京

11. Atsushi Hosaka, Production of exotic hadrons, 日本物理学会春の年会, Symposium: Multiquark hadrons probed by various flavors, 2009年3月30日, 立教大学

12. 保坂 淳, エキゾチックス, 研究会 ストレンジネスで探るクォーク多体系 (理論班), 2009年2月27日, 熱海

13. Atsushi Hosaka, Nature of S -wave baryon resonances, PANIC08, 2008年11月10日 Ailat, Israel

14. 保坂 淳, ハドロンのカイラルパートナーとカイラル対称性の回復, 研究会 ストレンジネスで探るクォーク多体系, 2008年10月29日, 金沢

15. 保坂 淳, ハドロン物理, J-PARCハドロンワークショップ, 2008年9月1日, 理研

16. Atsushi Hosaka, Study of exotic baryons through photoproduction, HADRON'08 2008年9月28日, Almunecar, Spain

17. Atsushi Hosaka, Photoproductions of hyperons and resonances, KEK研究会「J-PARCの物理：ハドロン・原子核研究の新しい局面」, 2008年8月7日, KEK

18. Atsushi Hosaka, On the origin of S-wave baryon resonances, International workshop HNP08, 2008年6月23日, 蘭州、中国

19. 土岐 博, Photon induced Lambda(1520) production and the role of the K^* exchange, 日本物理学会, 2007年3月24日, 近畿大学

20. 保坂 淳, Chiral structure of three-quark baryons and their effective lagrangians, 日本物理学会 2007年3月25日, 近畿大学

21. Atsushi Hosaka, Role of symmetries in Photoproductions of hadrons kaons and hyperons, APCTP workshop on Hadron Physics at RHIC, 2007年12月3日, ポハン、韓国

22. 保坂 淳, Anomalous contributions to kaon photoproduction, 研究会 ストレレンジネスで探るクォーク多体系, 2007年11月26日, 仙台秋保

23. 保坂 淳, ハドロン反応, KEKスクール(講師), 2007年9月11日, 高エネルギー加速器研究機構

24. Atsushi Hosaka, Test of flavor symmetry in Photoproductions of hyperons, International workshop on chiral dynamics and light flavor physics 2007年9月29日, 北京大学

25. Atsushi Hosaka, Photoproductions of hyperons and resonances, RCNP 研究会 Heavy quark dynamics, 2007年7月7日, 大阪大学

26. Atsushi Hosaka, Reaction mechanism for Photoproductions of kaons, hyperons and resonances, International conference INPC07, 2007年6月4日, 東京フォーラム

27. Atsushi Hosaka, Reaction mechanism for Photoproductions of hyperons and resonances, International conference Baryons07, 2007年6月11日, ソウル大学 韓国

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況(計◇件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

保坂 淳 (Atsushi Hosaka)

大阪大学・核物理研究センター・准教授

研究者番号: 10259872

(2) 研究分担者

土岐 博 (Hiroshi Toki)

大阪大学・核物理研究センター・教授

研究者番号: 70163962

中野 貴志 (Takashi Nakano)

大阪大学・核物理研究センター・教授

研究者番号: 80212091

(3) 連携研究者

研究者番号:

