

令和 4 年 6 月 3 日現在

機関番号：12608
研究種目：基盤研究(C) (一般)
研究期間：2017～2021
課題番号：17K05449
研究課題名(和文)核媒質中のハドロン性質におけるカイラル対称性の役割とカイラル対称性の部分的回復

研究課題名(英文) Role of chiral symmetry in In-medium properties of hadrons and partial restoration of chiral symmetry

研究代表者
慈道 大介 (JIDO, Daisuke)
東京工業大学・理学院・教授

研究者番号：30402811
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題は、核媒質中のハドロンに対するカイラル対称性の役割を調べ、部分的回復を系統的に研究することを目的とし、核媒質中の中間子に対するカイラル有効理論を確立させることを目指した。特に、核媒質中のカイラル有効模型をアイソスピン非対称核物質に拡張し、核媒質中のクォーク凝縮や中間子質量、崩壊定数、波動関数くりこみの計算を行った。また、K中間子核子弾性散乱のデータを用いてK中間子に対する核媒質効果の見積もりや、中間子原子核の構造など、中間子以外の中間子の核媒質効果を調べた。さらに、重いハドロンの性質から軽いダイクォークの存在可能性の検討を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は物質の質量の起源の謎に迫る研究の一端を担っており、物質の成り立ちを明らかにする。本研究において、強い相互作用の真空構造を複雑にしているクォーク凝縮が原子核中でその大きさが減少していることを計算で示し、原子核中で真空構造が変化している可能性を確認した。また、クォーク二つから構成されるダイクォークが重いハドロンの中で重要な構成要素となり得ることを見いだした。

研究成果の概要(英文)：This study discusses the role of the chiral symmetry in in-medium hadron properties in order to understand partial restoration of chiral symmetry in nuclear medium systematically and also to establish chiral effective theories for mesons in nuclear matter. The in-medium chiral effective theory for pion is extended to isospin asymmetric nuclear matter and the in-medium quark condensate, pion masses, pion decay constant and wavefunction renormalization are calculated. The estimation of the in-medium modification of kaon by using experimental data for the kaon-nucleon elastic scattering and the investigation of the structure of the eta' mesonic nuclei are performed. In addition, the existence of diquark is discussed by the properties of the heavy hadrons.

研究分野：原子核ハドロン物理

キーワード：ハドロン物理 カイラル対称性 カイラル対称性の部分的回復 ダイクォーク カイラル有効理論

1. 研究開始当初の背景

量子色力学 (QCD) の持つカイラル対称性は、低エネルギーでは物理状態によって自発的に破れており、破れた対称性は高温・高密度の環境下では回復すると考えられている。このような真空の相転移現象の機構や意義を理論的に明らかにすること、また、実験的検証を得ることは、現代ハドロン物理にとって重要な課題である。その一つの方法は、対称性を回復させ相転移現象を直接観測することあるが、対称性を完全に回復させるような極限的な状況に至らずとも、カイラル対称性の破れの秩序変数の一つであるクォーク凝縮の大きさが真空中より有意に小さくなるような系で、対称性の回復や破れのメカニズムを十分に研究することができる。このようなカイラル対称性が部分的 (不完全) に回復した状況は核媒質程度の有限密度で実現しており、原子核そのものを実験場として捉えて、原子核中におけるハドロン性質の変化を観測することで、QCDの相構造に対する知見が得られる。

2. 研究の目的

深く束縛された π 中間子原子のスペクトラムや低エネルギー π 中間子原子核弾性散乱などの実験的観測に基づいた理論解析によって、核物質中におけるカイラル対称性の部分的回復は線形密度近似の範囲内で示されていると言って良い。今後の課題は、線形密度近似を超えた議論を行い、クォーク凝縮の密度依存性を理論的・実験的により精密に求め、核密度でのクォーク凝縮の値をより定量的に決定していくこと、及び、 π 中間子-原子核系で示されたカイラル対称性の部分的回復が他の系でも普遍的に起こる現象であることの確認である。このような状況をふまえて、以下の2点を中心課題として研究を行った。

- (1) 原子核中におけるカイラル対称性の部分的な回復がどれくらい起こっているかを、理論的、現象論的に、定量的に明らかにする (**部分的回復の定量的精密化**)。
- (2) 核物質中でカイラル対称性の部分的回復が起こっていることを前提に、核媒質中のハドロンの性質にどのような影響があるかを理論的に予測し、実験的検証方法を提案する (**部分的回復の系統的検証**)。上記の目的を達成するために、(1) に関しては、有限密度のカイラル有効理論の整備と応用、(2) に関しては、 η' 中間子や K 中間子の核媒質中における性質を中心に研究を行った。

量子色力学はハドロン動力学の基礎理論であるので、ハドロンはクォーク・グルーオンの自由度で記述されるべきである。一方で、低エネルギーでクォークはハドロンの中に閉じ込められており直接観測にかからないので、ハドロン反応はすべてハドロン自由度だけでも記述され得る。つまり、カイラル対称性の部分的回復のようなQCDに根ざした現象でも、ハドロン性質の核媒質中での変化としてのみ観測される。したがって、ハドロンレベルの物理量とQCDにおける核媒質中のクォーク凝縮を結び付ける信頼できる理論 (関係式) が必要となる。逆に、ハドロンが本質的にクォーク・グルーオンで記述されている以上、クォーク凝縮の変化等のQCDレベルでの論理的帰結は、必ずハドロン動力学に影響を与え観測される。従って、どのような物理量が適切にQCDの情報を担うかを理論的に精査することが求められる。このように、強い相互作用の二重性により、本研究の目指す物理は実験 (現象論) と理論の両面から進める必要があった。

3. 研究の方法

基礎理論と実験をつなぐためにはいくつかの理論的考察を経る必要があり、基礎理論を実際の系へ応用するトップダウンと、実験事実の現象論的理解から基礎理論へのフィードバックの双方向の研究が必要である。その際に、一番重要となるのが基礎理論と現象論をつなぐ、ハドロンの有効理論である。本研究では、QCDの対称性に基礎をおいた有効理論の構築し、有効理論を用いて定性的な予言を行い、理論的な理解を進めるとともに、実験観測量から有効理論のパラメーターの詳細を決定し、定量的記述を行い、現象の理解を進めた。部分的回復の定量的精密化にあたっては、核媒質中のカイラル有効理論 (カイラル摂動論) の整備を行った。特に、重い原子核において、深く束縛された π 中間子原子状態が観測されているので、核媒質中のカイラル有効理論をアイソスピン非対称核物質に拡張を行った。このような理論的枠組みから、クォーク凝縮の密度依存性、核媒質中での π 中間子の性質を理論的に決定することを行った。また、カイラル対称性の線形表現に基づくカイラル有効理論を用いて、カイラル対称性の自発的破れにおけるカイラル $U(1)_A$ アノマリーの役割を調べた。また、部分的回復の系統的理解のために、 η' 中間子、K 中間子、 η 中間子なども対象に多角的に議論を進めた。

軽いクォークに対するカイラル対称性とその自発的破れを研究するにあたって、比較対象のために、重いクォークを含むハドロンの構造についても研究を行った。重いハドロンの中では、軽いクォークの複合系がカラーを持ったままハドロン構造に反映しているので、軽いハドロンだけでは調べられないクォーク相関を調べることができる。特に、軽いクォークによるダイクォークはバリオンの構成要素となり得て、重いバリオンのスペクトルからダイクォークの性質を調べることができる。また、構成子クォークのようにダイクォークがハドロンの構成要素となり得るならば、構成子ダイクォークにおけるカイラル対称性の自発的破れの役割も興味深い研究

対象である。

4. 研究成果

本研究では、主に以下の研究成果を得た。

(1) アイソスピン非対称核物質におけるクォーク凝縮の密度依存性

核物質中でのカイラル摂動論の確立は、本研究の主要な課題の一つである。核媒質中でのカイラル摂動論では核子のフェルミ運動量 k_f の展開で物理量が表現され、初項は密度の 1 次になる k_f^3 である。本研究では、密度 2 次以上で寄与する核子相関を含まない k_f^5 までの計算を行った。アイソスピン非対称核物質への拡張を行い、クォーク凝縮の密度依存性を計算し核密度程度では線形密度近似がよく成り立っていることを確かめることができた。また、非対称核物質でのクォーク凝縮アイソスピン非対称性を求め、非対称性が小さい理由が低エネルギー定数にあることが分かった。さらに、アイソスピン非対称物質中の π 中間子の質量や崩壊定数の変化と波動関数くりこみの計算を行った。非対称核物質中で π 中間子の性質変化を調べたので、 π 中間子の荷電状態による変化の違いを調べることができた。これらの結果を、深く束縛された π 中間子原子の実験データから得られた π 中間子の性質と比べ、観測値を再現していることが確かめられた。より現象論的な方法として、 π 中間子核子散乱からカイラル摂動論を用いて π 中間子光学ポテンシャルの導出を行った。今まで考えられてなかった P 波相互作用に対する波動関数くりこみの影響を考慮し、P 波に対する波動関数くりこみの影響は予想以上に大きいことがわかった。今後、パウリ効果やフェルミ運動を考慮しより詳細に検討する必要がある。

(2) 2重 π 中間子原子の構造

二つの π 中間子が原子軌道に束縛された原子を 2重 π 中間子原子と呼ぶ。このような系は未だに観測されていないが、ボース粒子が二つ原子軌道に束縛された状態として、原子物理としても興味を持たれている。ハドロン物理としては、 π 中間子を二つ原子核に束縛させることにより、 π 中間子間の相互作用における核媒質効果を見ることができるとして興味を持たれる。特に、低エネルギーでの π 中間子散乱の大きさは π 中間子崩壊定数で表すことができるので、 π 中間子崩壊定数への媒質効果を観測できる可能性があると期待される。しかしながら、通常深く束縛された π 中間子原子から得られた光学ポテンシャルを用いて、2重 π 中間子原子のエネルギースペクトルを計算した結果、 π 中間子崩壊定数の核媒質効果は観測されるほど大きくないことが分かった。これは、 π 中間子同士の相互作用が局所的であるのに対して、 π 中間子と原子核が斥力であるため、 π 中間子原子が近づくことができず π 中間子の散乱の影響が原子のスペクトルにあまり強く及ぼさないからである。

(3) K 中間子原子のエネルギースペクトルと K 中間子光学ポテンシャル

K 中間子原子のエネルギースペクトルから K 中間子光学ポテンシャルの強さを求め、強い相互作用による斥力的エネルギーシフトの起源を解明した。強い引力を示す光学ポテンシャルの大きな実部により K 中間子原子核状態が形成され、その準位反発により斥力シフトになると考えられたが、実際は、K 中間子光学ポテンシャルは虚部が大きいため吸収が大きく、これが斥力シフトの起源になっていることを突き止めた。

(4) K 中間子核子弾性散乱と核媒質中の K 中間子波動関数くりこみ

カイラル摂動論を用いて、K 中間子(S=+1)と核子の弾性散乱の散乱振幅を記述し、低エネルギー定数を非弾性散乱の寄与が小さい $k_{lab} < 800 \text{ MeV}/c$ の実験データから決定した。この KN 散乱振幅を元に、核媒質中での K 中間子(S=+1)の波動関数くりこみを核物質のフェルミガス近似で計算を行った結果、波動関数くりこみの効果は標準核密度で 5%程度あることがわかった。これは、従来より知られている K 中間子に対する核媒質効果である 10%を十分に説明するには至らなかった。一方で、KN 散乱振幅をユニタリー化したカイラル摂動論を用いて記述した場合、その散乱振幅には、1620MeV 近傍に I=0, S=+1 の 300MeV 程度の広い幅を持つ共鳴状態が存在することが分かった。このようなエキゾチックハドロンの存在は軽いハドロンの構造を理解する上で重要であるだけでなく、核媒質中の K 中間子の性質を正しく引き出す上で考慮する必要がある。共鳴状態の詳細な性質を理解する必要がある。

(5) 相対論的平均場近似を用いた η' 中間子原子核の構造

相対論的平均場理論を用いて、 η' 中間子原子核の質量スペクトルと原子核の構造について調べた。相対論的平均場理論は原子核を核子と中間子場で表現し、飽和性など核物質の基本的性質を表現できる。 η' 中間子が原子核中に入ったことによる原子核構造の変化も取り込むことができる。 η' の深い束縛状態では原子核の中心密度が高くなることが示された。今後、 η' の吸収効果も考慮した計算により、束縛状態の幅の計算を行う。

(6) $K^-d \rightarrow \pi \Lambda N$ 反応を用いた Λp と Λn 相互作用における荷電対称性の破れの観測

Λp と Λn の相互作用の違いは ΛN 系における荷電対称性の破れから生じる。 K^-d 反応の終状態では $\pi^- \Lambda p$ と $\pi^0 \Lambda n$ が可能であり、この反応の断面積から ΛN 間の終状態相互作用を引き出すことによって、 ΛN の荷電対称性が測れることを示した。特に、しきい値近傍の $\pi^- \Lambda p$ 終状態と $\pi^0 \Lambda n$ 終状態の断面積の比は Λp と Λn の散乱長の比に敏感であることがわかり、 ΛN の荷電対称性の破れの大きさを引き出すのに有効であることがわかった。

(7) カイラル有効理論における $U_A(1)$ を破る項の役割

カイラル有効理論(線形 σ 模型と NJL 模型)を用いて、強い相互作用の真空における $U_A(1)$ 量子異

常の役割を調べた。通常、カイラル有効模型ではメソンに対する2次の項の係数が負となった時にカイラル対称性は自発的に破れると理解されている。しかしながら、 $U_A(1)$ 量子異常の影響が大きい場合、この係数が正であってもカイラル対称性が自発的に破れる可能性があることがわかった。さらに、その場合は π 中間子のカイラルパートナーである σ 中間子の質量が比較的小さくなる必要があることがわかった。従って、軽い σ 中間子質量を説明するには、 $U_A(1)$ 量子異常項によるカイラル対称性の自発的破れが必要となる。

(8) フレーバー対称性を破るアノマリー項を用いた軽いスカラー中間子の質量スペクトル
軽いスカラー中間子は単純なクォーク反クォークの束縛状態であるとする、ストレンジネスを持たない $a_0(980)$ とストレンジネスを持つ $K_0^*(700)$ の質量関係が説明つかない。これはスカラー中間子質量逆階層問題と呼ばれている。通常、質量逆階層問題を解決するために軽いスカラー中間子は二つのクォーク反クォーク対(テトラクォーク)でできているとして、この問題を回避する。本研究では、線形 σ 模型とNJL模型を用いて、軽いスカラー中間子がクォークと反クォークでできていたとしても、クォーク質量に比例したフレーバー対称性を破るアノマリー項を導入することで、質量逆階層問題を解決することができることを示した。

(9) ダイクォーク模型を用いた重いバリオンの構造
ダイクォーク・クォーク模型を用いて、重いバリオンの質量スペクトルとダイクォークの質量を調べた。重いハドロンではダイクォークが顕在化し、ダイクォークの性質を調べるのに適している。本研究では、チャームクォークを含むバリオンの励起スペクトルから、ダイクォーク質量やクォークとの相互作用を議論した。結果、ダイクォークとクォークの相互作用は従来考えられているよりも半分の弱さである可能性があることがわかった。また、ダイクォークのサイズを考慮してもこの矛盾は解決されず、ダイクォークとクォーク間の閉じ込めポテンシャルの強さを本質的に理解する必要が出てきた。

(10) 反ストレンジクォークと ud ダイクォークの対称性に基づく新しいハドロンの分類法
ハドロンの構成子としての反 s クォークと ud ダイクォークは同じカラーを持ち質量もおおよそ同じくらいである。従って、強い相互作用においては、反 s クォークと ud ダイクォーク間に対称性を仮定することができる。この対称性は、フェルミ粒子とボース粒子間の対称性になるので興味深い。このように、本研究では、反 s クォークと ud ダイクォーク間の超対称性を考えることでダイクォークの存在にせまる。この対称性の下、バリオンのボソンを同じ既約表現に含む分類法でハドロンスペクトルを再考した。本研究では、これらの既約表現でハドロン質量スペクトルを系統的に表現し、対称性の破れに伴う質量公式を導いた。また、この対称性をフレーバー $SU(3)$ に拡張することで、チャームクォークを含むバリオンとテトラクォークの間に質量関係式を導き、チャームクォークを含むテトラクォークの質量を予想した。さらに、反ストレンジクォークと ud ダイクォークの対称性を用いて Λ_b と B_s の弱崩壊の間に簡単な和則が成り立つことを発見し、様々な崩壊モードに対して、実験値が和則を満たすことが分かった。このことによって、ハドロン質量間だけでなくハドロン内部の波動関数に対しても、この対称性の妥当性が検証された。また、 Λ_c と D_s の弱崩壊に対しては実験値があまり和則を満たさず、ストレンジクォークを含む軽いハドロンではダイクォーク描像がそんなによくない可能性があることがわかった。

(11) Schottky anomaly を用いたハドロン励起エネルギーの可視化
物性論で知られている比熱に対する Schottky anomaly を用いてハドロンの励起エネルギーを可視化する方法を提案した。閉じ込めポテンシャルから来る励起エネルギーのフレーバー依存性からハドロン構造を議論し、メソン系では典型的な励起エネルギーが400 MeV程度でフレーバー依存性が見られない一方で、バリオン系では重いクォークを含む系で励起エネルギーが小さくなる傾向が見られた。この結果から、バリオン系のフレーバー依存性は、調和振動子ポテンシャルで束縛する軽いダイクォークと構成子クォークの系で説明され、模型に依存する形ではあるが、バリオンにおけるダイクォーク描像をサポートする結果となった。また、励起エネルギーの系統性からはずれたハドロンもありそれらがエキゾチックハドロンの候補になり得ることや、正パリティと負パリティの励起エネルギーに系統的な違いがあることをわかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 17件 / うち国際共著 5件 / うちオープンアクセス 11件）

1. 著者名 Amano Taiju, Jido Daisuke, Leupold Stefan	4. 巻 105
2. 論文標題 Sum rule for the partial decay rates of bottom hadrons based on the dynamical supersymmetry of the sbar quark and the ud diquark	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.105.L051504	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 Akiyama Harunobu, Jido Daisuke	4. 巻 104
2. 論文標題 Systematic study of hadronic excitation energy using the Schottky anomaly	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.104.114014	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 Huebsch Stephan, Jido Daisuke	4. 巻 104
2. 論文標題 Density dependence of the quark condensate in isospin-asymmetric nuclear matter	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.104.015202	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 Iwasaki Sachio, Jido Daisuke, Oka Makoto, Suzuki Kei	4. 巻 820
2. 論文標題 Survival probabilities of charmonia as a clue to measure transient magnetic fields	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 136498 ~ 136498
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2021.136498	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 Kono Shinnosuke, Jido Daisuke, Kuroda Yoshiki, Harada Masayasu	4. 巻 2021
2. 論文標題 The role of the UA(1) breaking term in dynamical chiral symmetry breaking of chiral effective theories	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptab084	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 Kuroda Yoshiki, Harada Masayasu, Matsuzaki Shinya, Jido Daisuke	4. 巻 2020
2. 論文標題 Inverse mass hierarchy of light scalar mesons driven by anomaly-induced flavor breaking	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 053D02
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptaa040	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 Tani Akari, Ikeno Natsumi, Jido Daisuke, Nagahiro Hideko, Fujioka Hiroyuki, Itahashi Kenta, Hirenzaki Satoru	4. 巻 2021
2. 論文標題 Structure of double pionic atoms	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 033D02
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptab023	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 Amano Taiju, Jido Daisuke	4. 巻 2019
2. 論文標題 Dynamical supersymmetry for the strange quark and ud antiquark in the hadron mass spectrum	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 093D02
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptz090	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 Jido Daisuke, Masutani Hanayo, Hirenzaki Satoru	4. 巻 2019
2. 論文標題 Structure of eta' mesonic nuclei in a relativistic mean field theory	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 053D02
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptz031	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 Kenji Aoki, Daisuke Jido	4. 巻 2019
2. 論文標題 KN scattering amplitude revisited in chiral unitary approach and a possible broad resonance in S=+1 channel	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 013D01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/pty130	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 Kim Hungchong, Kim K.S., Cheoun Myung-Ki, Jido Daisuke, Oka Makoto	4. 巻 99
2. 論文標題 Further signatures to support the tetraquark mixing framework for the two light-meson nonets	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 14005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.99.014005	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 Kumakawa Kento, Jido Daisuke	4. 巻 2017
2. 論文標題 Excitation energy spectra of the c and b baryons in a finite-size diquark model	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 123D01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptx155	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 Kenji, Jido Daisuke	4. 巻 2017
2. 論文標題 K+nucleus elastic scattering revisited from the perspective of partial restoration of chiral symmetry	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 103D01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptx133	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 Tanaka Y. K. et al. (54人中20番目)	4. 巻 97
2. 論文標題 Missing-mass spectroscopy of the C12(p,d) reaction near the ρ -meson production threshold	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 15202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.97.015202	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 Ikeno N., Nagahiro H., Jido D., Hirenzaki S.	4. 巻 53
2. 論文標題 ρ -nucleus interaction from the d + d reaction around the ρ production threshold	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The European Physical Journal A	6. 最初と最後の頁 194
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epja/i2017-12381-7	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 Kim Sang-Ho, Nam Seung-il, Jido Daisuke, Kim Hyun-Chul	4. 巻 96
2. 論文標題 Photoproduction of $\rho^+(1405)$ with the N^* and the t-channel Regge contributions	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 14003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.96.014003	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 Cho Sungtae, Hyodo Tetsuo, Jido Daisuke, Ko Che Ming, Lee Su Houng, Maeda Saori, Miyahara Kenta, Morita Kenji, Nielsen Marina, Ohnishi Akira, Sekihara Takayasu, Song Taesoo, Yasui Shigehiro, Yazaki Koichi	4. 巻 95
2. 論文標題 Exotic hadrons from heavy ion collisions	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Progress in Particle and Nuclear Physics	6. 最初と最後の頁 279 ~ 322
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pnnp.2017.02.002	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

〔学会発表〕 計64件 (うち招待講演 10件 / うち国際学会 18件)

1. 発表者名 Daisuke Jido
2. 発表標題 K+N scattering and in-medium strange quark condensate
3. 学会等名 The Reimei Workshop "Hadrons in dense matter at J-PARC" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Daisuke Jido
2. 発表標題 Diquark perspective on hadron structure
3. 学会等名 Second International Workshop on the Extension Project for the J-PARC Hadron Experimental Facility (2nd J-PARC HEF-ex WS) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Daisuke Jido
2. 発表標題 Mesons in nuclei and partial restoration of chiral symmetry
3. 学会等名 APCTP Focus Program in Nuclear Physics 2021 Part I: Hadron properties in a nuclear medium from the quark and gluon degrees of freedom (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西園寺貴公
2. 発表標題 Nambu-Jona-Lasinioモデルにおける軽いスカラーメソンの質量
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 秋山晴信
2. 発表標題 Weak decay of heavy hadrons based on the dynamical supersymmetry of the s quark and the ud diquark
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 飯澤優太郎
2. 発表標題 K+ N散乱から推定する核媒質中のストレンジクォーク凝縮
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 飯澤優太郎
2. 発表標題 K-d N過程で調べる 核子散乱長
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 秋山晴信
2. 発表標題 Schottky anomalyによるハドロン励起エネルギーのフレーバー依存性
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西園寺貴公
2. 発表標題 Inverse mass hierarchy of light scalar mesons in the Nambu-Jona-Lasinio model
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zanpeng Yin
2. 発表標題 Revisit of Deuteron Compositeness from the Aspect of Hadron Physics
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Stephan Huebsch
2. 発表標題 Density Dependence of Pion Properties in Isospin-Asymmetric Nuclear Matter
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 飯澤優太郎
2. 発表標題 In-medium strange quark condensate estimated from the K+ N elastic scatterings
3. 学会等名 J-PARCハドロン研究会 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 秋山晴信
2. 発表標題 Weak decay of heavy hadrons based on the dynamical supersymmetry of the s quark and the ud diquark
3. 学会等名 J-PARCハドロン研究会 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Zanpeng Yin
2. 発表標題 A Phenomenological Revisit of Compositeness of Deuteron
3. 学会等名 J-PARCハドロン研究会 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 慈道大介
2. 発表標題 ハドロンスペクトルにおけるダイクォーク
3. 学会等名 第9回「物質階層を横断する会」(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 秋山晴信
2. 発表標題 Schottky anomalyを用いたハドロン構造
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 飯澤優太郎
2. 発表標題 K-d N過程における N相互作用の電荷対称性の破れ
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 神保賢成
2. 発表標題 チャームバリオンから予想するテトラクォークの質量
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 天野大樹
2. 発表標題 重いハドロンの弱崩壊におけるsクォークud反ダイクォーク間の対称性
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Daisuke Jido
2. 発表標題 Mesons in nuclei and partial restoration of chiral symmetry
3. 学会等名 Hadron in Nucleus 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Stephan Huebsch
2. 発表標題 In-Medium Pion Properties in Isospin-Asymmetric Nuclear Matter
3. 学会等名 Hadron in Nucleus 2020 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Daisuke Jido
2. 発表標題 Diquark perspective on hadron structure
3. 学会等名 The 7th Tokyo Tech - Uppsala University Joint Symposium (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Stephan Huebsch
2. 発表標題 Density Dependence of Quark Condensate in Isospin-Asymmetric Nuclear Matter
3. 学会等名 The 7th Tokyo Tech - Uppsala University Joint Symposium, (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Daisuke Jido
2. 発表標題 Diquark perspective on hadron structure
3. 学会等名 APCTP-KPS-JPS Meeting on New Prospects on Strong QCD and Hadrons (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 神保賢成
2. 発表標題 クォーク反ダイクォーク間の対称性によるバリオンテトラクォーク間の質量関係
3. 学会等名 ELPH 研究会「様々なフレーバー領域で探るクォーク・ハドロン多体系の分光と構造」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 神保賢成
2. 発表標題 クォーク反ダイクォーク間の対称性から予想されるエキゾチックハドロン
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Stephan Huebsch
2. 発表標題 Density Dependence of the Quark Condensate in Isospin-Asymmetric Nuclear Matter
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森田雄大
2. 発表標題 Cloudy Bag ModelにおけるSU(3)フレーバー対称性の破れの起源
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Daisuke Jido
2. 発表標題 Mesons in nuclei and partial restoration of chiral symmetry
3. 学会等名 TokyoTech and IIT Guwahati Joint Workshop on Condensed Matter and High-Energy Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Stephan Huebsch
2. 発表標題 Pion Self-Energy in Isospin-Asymmetric Nuclear Matter
3. 学会等名 Tokyo Institute of Technology and Stony Brook University Joint Science and Technology Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yudai Morita
2. 発表標題 Flavor SU(3) Breaking in Cloudy Bag Model
3. 学会等名 Tokyo Institute of Technology and Stony Brook University Joint Science and Technology Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Dquark perspective on baryon structure
2. 発表標題 Daisuke Jido
3. 学会等名 Tokyo Institute of Technology and Stony Brook University Joint Science and Technology Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Stephan Huebsch
2. 発表標題 Pion Properties in Isospin-Asymmetric Nuclear Matter
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会 (現地開催中止)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 慈道大介
2. 発表標題 Role of UA(1) breaking term in dynamical chiral symmetry breaking of chiral effective theories
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会 (現地開催中止)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 神保賢成
2. 発表標題 ハドロン質量におけるsクォークとud反ダイクォーク間の対称性およびそのフレーバーSU(3)への拡張
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会 (現地開催中止)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 天野大樹
2. 発表標題 sクォークと反ダイクォーク間対称性を用いたDs, cの弱崩壊
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会（現地開催中止）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 天野大樹
2. 発表標題 sクォークと反ダイクォーク間の対称性におけるハドロンの既約表現
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森田雄大
2. 発表標題 Bag Model におけるSU(3)フレーバー対称性の破れの起源
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 飯澤優太郎
2. 発表標題 K中間子原子における斥カシフトと非線形光学ポテンシャル
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 慈道大介
2. 発表標題 相対論的平均場原子核理論による Λ 中間子原子核の質量スペクトル
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Stephan Huebsch
2. 発表標題 Pion Self-Energy in Isospin-Asymmetric Nuclear Matter
3. 学会等名 ELPH 研究会「ハドロン構造における多粒子相関」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森田雄大
2. 発表標題 Bag Model における SU(3) フレーバー対称性の破れの起源
3. 学会等名 ELPH 研究会「ハドロン構造における多粒子相関」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 飯澤優太郎
2. 発表標題 K中間子原子における斥カシフトの起源とK中間子原子核相互作用
3. 学会等名 ELPH 研究会「ハドロン構造における多粒子相関」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 天野大樹
2. 発表標題 sクォークud反ダイクォーク間対称性におけるハドロンの既約表現
3. 学会等名 ELPH 研究会「ハドロン構造における多粒子相関」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森田雄大
2. 発表標題 Bag Model を用いたバリオン質量におけるフレーバーSU(3)対称性の破れの起源
3. 学会等名 小規模研究会「ハドロン構造と原子核中におけるハドロンの性質」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 慈道大介
2. 発表標題 核媒質中のカイラル対称性の部分的回復
3. 学会等名 小規模研究会「ハドロン構造と原子核中におけるハドロンの性質」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 天野大樹
2. 発表標題 sクォークud反ダイクォーク間の対称性を用いたDs, cの弱崩壊
3. 学会等名 小規模研究会「ハドロン構造と原子核中におけるハドロンの性質」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 神保賢成
2. 発表標題 ハドロン質量におけるsクォークとud反ダイクォーク間の対称性およびそのフレーバーSU(3)への拡張
3. 学会等名 小規模研究会「ハドロン構造と原子核中におけるハドロンの性質」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 飯澤優太郎
2. 発表標題 K中間子原子から調べるK中間子-原子核間相互作用の大域的性質
3. 学会等名 小規模研究会「ハドロン構造と原子核中におけるハドロンの性質」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Daisuke Jido
2. 発表標題 Mesons in nuclei and partial restoration of chiral symmetry
3. 学会等名 Satellite Workshop of QNP2018 on Hadron structure and interaction in dense matter, (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yutaro Iizawa
2. 発表標題 Spectrum of kaonic atom and kaon-nucleus interaction revisited
3. 学会等名 Satellite Workshop of QNP2018 on Hadron structure and interaction in dense matter (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Daisuke Jido
2. 発表標題 Mesons in nuclei and partial restoration of chiral symmetry
3. 学会等名 Nagoya Workshop on Dense Matter from Chiral Effective Theories 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Daisuke Jido
2. 発表標題 Mesons in nuclei and partial restoration of chiral symmetry
3. 学会等名 Tokyo Tech - Uppsala University 5th Joint Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yutaro Iizawa
2. 発表標題 Spectrum of kaonic atom and kaon-nucleus interaction revisited
3. 学会等名 Tokyo Tech - Uppsala University 5th Joint Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Taiju Amano
2. 発表標題 Dynamical supersymmetry for strange quark and ud diquark in hadron mass spectrum
3. 学会等名 Tokyo Tech - Uppsala University 5th Joint Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 天野大樹
2. 発表標題 ハドロン質量スペクトルにおけるダイナミカル超対称性
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河野晋之介
2. 発表標題 カイラル有効模型における真空構造でのUA(1)量子異常の役割
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 飯澤優太郎
2. 発表標題 K中間子原子エネルギースペクトルにおける斥カシフトの起源
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 青木健児
2. 発表標題 カイラルユニタリー模型を用いた核媒質中におけるK+中間子に対する波動関数くりこみ
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 隈川健斗
2. 発表標題 2つのダイクォーク模型による重いクォークを含むバリオン
3. 学会等名 ELPH 研究会「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」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 飯澤優太郎
2. 発表標題 Spectrum of kaonic atom and kaon-nucleus interaction revisited
3. 学会等名 ELPH 研究会「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」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 青木健児
2. 発表標題 カイラル摂動論を用いた 中間子-原子核相互作用のP波成分に対する波動関数くりこみの影響
3. 学会等名 ELPH 研究会「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」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 河野晋之介
2. 発表標題 カイラル有効模型における真空構造でのUA(1)量子異常の役割
3. 学会等名 ELPH 研究会「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」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 慈道大介
2. 発表標題 クォーク・ダイクォーク模型による重いバリオンの質量スペクトル
3. 学会等名 日本物理学会2017秋季大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔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
研究協力者	青木 健児 (Aoki Kenji)		
研究協力者	隈川 健斗 (Kumakawa Kento)		
研究協力者	河野 晋之介 (Kono Shinnosuke)		
研究協力者	榊谷 花世 (Masutani Hanayo)		
研究協力者	飯澤 優太郎 (Iizawa Yutaro)		

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	天野 大樹 (Amano Taiju)		
研究協力者	ヒブシュ ステファン (Huebsch Stephan)		
研究協力者	森田 雄大 (Morita Yudai)		
研究協力者	神保 賢成 (Jimbo Masanari)		
研究協力者	西園寺 貴公 (Saionji Takahiro)		
研究協力者	秋山 晴信 (Akiyama Harunobu)		

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
---------	---------

スウェーデン	ウプサラ大学			
韓国	Korea Aerospace University	Korea University	Soongsil University	