



Title	Baryons in a Quark-Diquark Model with Chiral Symmetry
Author(s)	永田, 桂太郎
Citation	大阪大学, 2007, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/47682
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	なが 永 田 桂 太郎
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	第 20845 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 19 年 3 月 23 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 理学研究科物理学専攻
学 位 論 文 名	Baryons in a Quark-Diquark Model with Chiral Symmetry (カイラル対称性を持つクォーク-ダイクォーク模型を用いた重粒子の研究)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 土 岐 博 (副査) 教 授 岸 本 忠 史 教 授 浅 川 正 之 助 教 授 若 松 正 志 助 教 授 保 坂 淳

論 文 内 容 の 要 旨

量子色力学 (QCD) の大域的対称性に注目して、重粒子の性質及び相互作用を研究する。特に以下の 4 つの課題、(i) 核子の性質及び相互作用、(ii) ローパー共鳴の性質及び相互作用、(iii) 重粒子の $SU(2)_L \times SU(2)_R$ 及び $U(1)_A$ 変換性、(iv) 重粒子分光学における $SU(2)_L \times SU(2)_R$ 及び $U(1)_A$ の役割、を研究する。

初めに、核子の性質及び核力の構造をカイラルクォークダイクォーク模型を用いて考察する。核子を 2 種類のクォークとダイクォークの束縛状態 (スカラーダイクォークとクォーク及び軸性ベクトルダイクォークとクォークの束縛状態) を用いて記述する。また、ここではカイラル対称性の非線形表現を用いる。経路積分における場の変数の変換法である補助場の方法を用いて、カイラルクォークダイクォーク模型から中間子と重粒子に対するカイラル有効ラグランジアンを導出する。その有効ラグランジアンはカイラルクォークダイクォーク模型と同様の対称性を保持し、さらにここでは中間子と重粒子は複合粒子として記述される。その有効ラグランジアンは核力の遠距離部を担うパイオン交換力から、近距離部を担うクォークダイクォークループ相互作用を含んでいる。メソン交換力と比較を行いながら、クォークダイクォークループ相互作用の有効距離、結合定数等の性質を考察する。

2 番目に、カイラルクォークダイクォーク模型を核子とローパー共鳴に拡張する。既に述べたように、核子は 2 種類のクォークダイクォーク束縛状態の線形結合として記述される。ローパー共鳴は (核子に直交する) もう 1 つの線形結合として記述される。ローパー共鳴の励起エネルギーの生成機構を考察する。また核子とローパー共鳴の電磁気的性質を調べる。核子とローパー共鳴の質量や電荷半径におけるダイクォーク相関の果たす役割を詳細に調べる。

3 番目に、3 クォークによって構成される重粒子に対する局所場の演算子の $SU(2)_L \times SU(2)_R$ 及び $U(1)_A$ 群の変換の下での変換性を考察する。まず 3 つのクォーク場を用いて重粒子に対する局所場の演算子を構成する。こうして構成した重粒子演算子の $SU(2)_L \times SU(2)_R$ 及び $U(1)_A$ 変換性を調べる。特に異なる演算子がそれらの変換性の下で混ざりあう事を示す。

最後に、3 番目の項で構成した重粒子演算子のうちのある 2 つを用いて、バリオンに対する $SU(2)_L \times SU(2)_R$ 及び $U(1)_A$ の役割を考察する。この 2 つの重粒子演算子に加えて、カイラル群のミラー表現に属する 2 つの演算子を導入する。これは重粒子間のパイオン放出に伴う遷移を可能にするために必要となる。このようなミラー表現に属する重

粒子場は3クォーク演算子に微分演算子を挿入する事で得られる。これら4種類の重粒子演算子に対する $SU(2)_L \times SU(2)_R \times U(1)_A$ 対称なラグランジアンを構成する。それらの重粒子演算子を核子と核子の共鳴状態に割り振ることで、それらの質量を調べる。

論文審査の結果の要旨

陽子や中性子（バリオン）の構造を QCD に基づいて説明することが近年のハドロン物理学の主要な課題である。クォークが閉じ込められ、有限の大きさや質量を持ったハドロン構造の記述において、カイラル対称性とその自発的な破れの役割が重要であると考えられている。一方自発的な破れを引き起こすような強い引力がクォークと反クォークの間に働くと、同時に強い引力がクォークとクォークの間にも働く。このような強い引力を受け束縛状態のようにふるまうクォーク対はダイクォークとよばれ、ハドロン構造で重要な役割を果たすと考えられている。

永田君は博士課程の研究でダイクォーク相関を考慮にいれ、バリオンをクォークとダイクォークの束縛状態と仮定して、その構造を研究した。カイラル対称性の物理を明白にするために、経路積分による補助場の方法を採用し、クォークの理論からハドロン有効理論を導き、基底状態としての核子と励起状態であるローパー共鳴の性質を調べた。さらにこの研究の発展として、クォーク3つからなるバリオンのカイラル表現を調べた。永田君の主要な研究成果は以下の通りである。

- (1) 有効ラグランジアンを1核子空間から2核子空間まで拡張し、核力の性質を議論した。クォークダイクォークの構造に起因した中間距離の引力と、近距離の斥力の構造を再現した。
- (2) クォークダイクォークから成る核子には2つの独立な成分があることを示し、それらの線形結合を核子とローパー共鳴とみなした。ここではローパー共鳴は核子の内部スピンパートナーと解釈され、その軽い質量を説明する有力な候補となり得ることを提案した。
- (3) 核子とローパー共鳴の電磁気的な性質を計算し、2種類のダイクォークの役割を明らかにした。
- (4) 核子とローパー共鳴をカイラル群の表現で分類し、それらとパリティ対と考えられる状態を用いて有効ラグランジアンを構成した。
- (5) $U(1)_A$ 対称性をバリオンの有効ラグランジアンに導入し、バリオンのパリティ対の性質を議論した。

以上の研究のうち(2)でローパー共鳴を核子のスピンパートナーとみなすアイデアはこの研究で初めて提案されたものであり、核子の構造を理解する上で新たな観点をもたらしてくれる可能性がある。(4)(5)の研究では、バリオンのカイラル対称性という、これまで一部の研究者によってしか議論されてこなかった分野に挑戦し、そこで永田君は独自に変換性を確立し有効ラグランジアンを構成する道を切り開いた。 $U(1)_A$ 対称性の観点からのバリオンの研究もこれまでではほぼ皆無であり、QCDの重要な対称性の一つを調べるきっかけを作ることが出来た。

以上の研究はバリオン物理を理解する上で新しい観点をもたらしてくれるものと思われる。現時点での研究成果は理論的な面が多いが、今後理論の定式化が進むに連れて、実験研究にも新しい視点をもたらしてくれることが期待される。これらの研究成果のうち(1)(2)は学術雑誌に掲載済み、(3)は準備中、(4)(5)は投稿中である。

以上のことから、博士（理学）の学位論文として十分価値のあるものと認める。