



Title	Exotics in meson-baryon dynamics with chiral symmetry
Author(s)	兵藤, 哲雄
Citation	大阪大学, 2006, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/46466
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、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏 名	ひょう どう てつ お 兵 藤 哲 雄
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	第 20010 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 18 年 3 月 24 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	Exotics in meson-baryon dynamics with chiral symmetry (カイラル対称性を考慮したメソン・バリオン動力学におけるエキゾチックスの研究)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 土 岐 博 (副査) 教 授 東 島 清 教 授 中 野 貴 志 助 教 授 佐 藤 透 助 教 授 保 坂 淳

論 文 内 容 の 要 旨

クォークとグルーオンの間の強い相互作用は量子色力学 (QCD) によって記述され、非摂動的な真空中でハドロンを構成する。ハドロンは QCD 真空の基礎的な励起であるので、その性質を調べることは QCD の動力学を理解する上で重要である。近年の実験事実により、これまでにない状態の証拠や励起状態の性質を引き出せる様々な観測量が明らかになり、ハドロン分光は現在精力的に研究がなされている。

本論文では、メソン・バリオン動力学にあらわれるエキゾチックスを研究する。ここではペンタクォークのようなあからさまにエキゾチックな状態や、通常の 3 クォーク状態に加えてクォーク・反クォーク対の成分を多く含んでいると考えられている状態をハドロンの自由度を用いた有効模型で研究する。これらの模型は QCD の持つカイラル対称性やフレーバー対称性に基づいて構築され、得られた結果は実験データとの比較を通じて検証される。本論文では大きく二つの課題に取り組む。一つはカイラルユニタリー法を用いたバリオン共鳴状態の研究であり、もう一つはペンタクォークの研究である。両者に共通の論点は、バリオン中の多クォーク成分の解明である。

メソン・バリオンの相互作用をカイラル摂動論に基づいて導きユニタリー条件を課すと、バリオンの共鳴状態はメソンとバリオンの準束縛状態として記述される。このようにして得られた共鳴状態は構成的クォーク模型の 3 クォーク状態と異なり、5 クォーク状態と考えられる。この方法はカイラルユニタリー法と呼ばれる。この方法において相互作用のフレーバー SU(3) 対称性の破れの効果を明らかにする。また、 $\Lambda(1405)$ が極を二つもつという性質を、生成反応の研究を通じて実験で検証する方法を提案する。カイラルユニタリー法の散乱振幅を用いると、生成された共鳴状態の結合定数を計算することができる。この方法で、N (1535) の磁気能率と $\Lambda(1520)$ の K^* メソンとの結合定数を研究する。

Θ^+ はストレンジネス $S=+1$ を持つので、最小の構成クォークの数が 5 であり、あからさまにエキゾチックな状態である。 Θ^+ の量子数を実験で調べるために K 入射反応を研究する。 πKN 束縛状態という描像に基づき、フレーバー SU(3) 対称性に基づいた現象論的相互作用ラグランジアンを用いて 2 メソン雲のバリオン反 10 重項における効果を調べる。8 重項・反 10 重項の表現混合の枠組みでフレーバー対称性を利用して、既知のバリオン励起状態の質量スペクトルや崩壊幅を解析し、 Θ^+ のスピンの可能性を調べる。この枠組みを拡張して Θ^+ の 2 メソン結合

を決定し、メソン入射 Θ^+ 生成反応に応用する。

論文審査の結果の要旨

阪大核物理研究センターのLEPSグループを中心とするペンタクォーク粒子観測の報告以来、エキゾチックハドロンは重要な研究課題として多くの研究者の関心の対象となっている。QCDに基づいてハドロンを記述する際に、エキゾチックハドロン、すなわちマルチクォーク状態の性質を理解することは非常に重要である。

兵藤君は博士論文で、あからさまに5つのクォークを含むバリオンの他に、3つのクォークで出来たバリオンに中間子的な成分を多く含み、クォーク・反クォーク対を加えてできる5つのクォーク状態を広い意味でのエキゾチック粒子と捉え、ペンタクォーク粒子 Θ 、ハイペロン共鳴 $\Lambda(1405)$ 等について、その構造から反応にわたり幅広い研究を行なった。とくに、これらの粒子のまわりに存在する中間子の雲に着目し、その果たす役割について理論的に研究した。

(1) ハイペロンの励起状態 $\Lambda(1405)$ の構造には、核子のまわりのK中間子の雲が重要であると考えられている。しかし、その性質は十分に理解されていない。兵藤君は光子ベクトル中間子生成に伴う $\Lambda(1405)$ 粒子生成の質量分布から、この粒子が2つ状態の重ね合わせとなるかどうかを判定する方法を提案した。荷電 $K\text{-}\Sigma$ 粒子の測定は中性粒子と比べ容易なため、実験研究の発展にもつながる重要な提案となった。

(2) $\Lambda(1405)$ とスピン対をなす $\Lambda(1520)$ について、そのベクトル中間子 K^* との結合をカイラルユニタリーモデルで計算し、クォーク模型と比較してそれらのモデルの違いを明らかにした。

(3) K粒子によるペンタクォーク粒子 Θ の生成反応を調べ、偏極量の測定によって Θ の量子数を特定する方法を提案した。

(4) ペンタクォーク粒子に対する量子補正として、2中間子の雲(2-loop)による効果を調べた。 Θ のスピンは $1/2$ と仮定し、反10重項で予想される質量分離の大きさについてその2割程度の寄与をすることが示された。クォーク模型でおよそ8割程度の質量分離が期待できていたので、それらをあわせて、ほぼ全体の質量分離を説明するシナリオを提案した。

(5) これまでに知られている励起バリオンの質量と崩壊幅を対称性によって分析し、既知の状態に含まれるペンタクォーク成分を引き出すとともに、そこで決定されたハミルトニアンを用いて Θ の崩壊幅を予測した。それによって、スピンパリティが $3/2^-$ の場合に実験で期待される程度に幅の狭い結果が実現できることを示した。

(6) 2中間子がペンタクォークに結合する強さを、対称性をもとに既知のバリオン共鳴の性質を使って引き出した。Spin $1/2, 3/2$ の場合についてこの強さを求め、それによって、 $\pi\text{-}K$ 反応による Θ 生成率を計算した。その結果、 $\pi\text{-}K, K\text{-}\pi$ 反応とで大きな非対称が生じることを示した。

博士論文の研究ではハイペロン、ペンタクォークなどのエキゾチック粒子の性質を理解する上での重要な情報を提供している。また、理論に留まらず、実験との関連にも言及し実験研究に対して大きな示唆を与えている。これらの研究成果はすべてが学術雑誌に掲載済み、もしくは掲載決定となっている。研究の内容はこの分野の最先端を切り開くものであり高く評価される。

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。