



Title	Detailed Analysis of the Static Three-Quark Potential in SU(3) Lattice QCD
Author(s)	高橋, 徹
Citation	大阪大学, 2003, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/44063
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	たか 高 はし 橋 とおる 徹
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	第 1 7 5 1 1 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 15 年 3 月 25 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	Detailed Analysis of the Static Three-Quark Potential in SU(3) Lattice QCD (SU(3) 格子 QCD を用いたクォーク 3 体系における静的ポテンシャルの詳細な研究)
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 若松 正志 助教授 保坂 淳

論 文 内 容 の 要 旨

核子、ハドロンの系における強い相互作用を記述する基礎理論は量子色力学 (QCD) と呼ばれる SU(3) 非可換ゲージ理論であり、この理論は未知の部分が多く含んでいる。とりわけ QCD の非摂動的な性質を求めることは素粒子物理学の分野において困難な理論的課題として残されており、QCD における解析的手法としては摂動的計算、強結合展開による計算という 2 つの極限においてのみ成功している。しかしながら、核子やハドロンの系の詳細な理解のためには、これらのダイナミクスを直接 QCD から理解することが必要不可欠である。そこで、強力な非摂動手法である格子 QCD 計算を用いてこれらの系を直接 QCD から理解することを目指す。

強い相互作用を担うメソンの性質に直接関与するクォーク・反クォーク間ポテンシャルについての格子 QCD による研究は数多く行われてきたが、バリオンの性質に直接関与するクォーク 3 体系におけるポテンシャルについての研究はほとんど行われていなかった。そこで本論文では、格子 QCD 計算を用いて、クォーク 3 体間の基底状態のポテンシャル、励起状態のポテンシャルを詳細に調べた。励起状態のポテンシャルはクォーク 3 体系のグルーオンの励起モードであり、クォーク間を結ぶフラックスチューブの振動モードと考えられる。また、このモードはバレンス描像での $qqqG$ などのハイブリッドハドロンの状態に対応し、実験的にも興味深い対象である。

基底状態のポテンシャルについては、 $\beta = 5.7$ における $12^3 \times 24$ の格子、 $\beta = 5.8, 6.0$ における $16^3 \times 32$ の格子を用いて、総計 300 種類以上のクォーク 3 体の配位について詳細な計算を行った。また、このとき、適切に基底状態の情報を引き出すために **smearing** の手法を用いた。その結果、基底状態のクォーク 3 体間ポテンシャルは、近距離での摂動論的なクーロン型相互作用による 2 体力と遠距離での Y 字型フラックスチューブの長さに比例する線型閉じ込め 3 体力の和で数%の誤差で再現されることがわかった。また、クォーク・反クォーク間ポテンシャルの場合と比較した結果、フラックスチューブの張力が同じであるということ (**universality of the string tension**)、近距離でのクーロン型相互作用の強さの比が、摂動計算による結果と一致するというところを見出した。

さらに、基底状態の 3 体ポテンシャルの解析を行った。Y 字型フラックスチューブの振動の様子は大変複雑であると考えられ、理論的予想は困難である。そこで、 $\beta = 5.8$ における $16^3 \times 32$ の格子で格子 QCD 計算を行うことによ

り、クォーク 3 体系におけるグルーオンの励起状態のポテンシャルを直接 QCD から計算した。その結果、クォーク 3 体系における、基底状態とグルーオンの第一励起状態のエネルギー差は（典型的なハドロンのスケールにおいて）およそ 1 GeV であることを示した。1 GeV はクォークの運動による励起状態のエネルギーと比較して大きな値であり、この結果は、なぜハドロンの質量スペクトルに質量ゼロのグルーオンの励起の自由度が現われないのか？ という疑問に回答を与えることとなった。低励起状態のハドロンの質量スペクトルは、（特にバリオンにおいて）グルーオンの励起を持たないクォーク模型によつてよく記述される。しかしながら、これは、質量ゼロのグルーオンの自由度が見えないことを意味する。この自由度が押さえられる先見の理由は無かったが、これは、グルーオンの励起状態のエネルギーがクォークの運動エネルギーに比較して大幅に高くなるという結果により説明された。また、この結果はハイブリッドバリオンが存在するとすれば、その質量はおよそ 2 GeV 以上の質量を持つという実験的にも有用な示唆をした。

論文審査の結果の要旨

核子などのバリオンはクォーク 3 個から出来ている複合粒子である。クォークはバリオン内に閉じ込められているが、その際のポテンシャルがどのような関数で与えられるかは解明されていない。

申請者はクォークのダイナミクスを与える量子色力学を使って、膨大な数値計算を行うことでその正確なポテンシャルの関数を導出することを提案した。格子上にクォークを 3 個適当な位置にランダムに置き 3 体のウィルソンループを経路積分した。その際にポテンシャルがもっとも鮮明に導出できるように初期条件を工夫し、計算回数も充分に行い、結論がきっちりと得られる所まで数値計算を行った。

結果として、3 体の閉じ込め力は 3 個のクォークを最短の距離で結ぶ Y 型の関数で与えられ、通常良く使われる 2 体の積み重ねである Δ 型ではないことを結論した。さらに、バリオン内でのグルーオンの励起には 10 億電子ボルト位のエネルギーを必要とすることも同時に導出した。

申請者の研究結果はバリオンのクォーク構造を研究する際のもっとも重要な情報を量子色力学から導出したもので、今後のバリオンの構造の研究の方向を確立したものとして高く評価できる。

博士（理学）の学位論文として充分価値あるものと認める。