

【28】

氏 名 (本 籍)	伊 藤 智 (山梨県)
学 位 の 種 類	理 学 博 士
学 位 記 番 号	博 甲 第 4 3 1 号
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 62 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当
審 査 研 究 科	物 理 学 研 究 科
学 位 論 文 題 目	弦の強さ, ハドロン・スペクトロスコーピー及び格子上のU(1)問題 The String Tension, the Hadron Spectrum and the U (1) Problem on a Lattice
主 査	筑波大学教授 理学博士 岩 崎 洋 一
副 査	筑波大学教授 理学博士 亀 渕 迪
副 査	筑波大学教授 理学博士 原 康 夫
副 査	筑波大学助教授 理学博士 宇 川 彰

論 文 の 要 旨

ハドロンは、クォークから構成される複合粒子であり、グルーオンはそのクォークを結びつけるゲージボゾンである。1972年にクォークとグルーオンの基本法則として、量子色力学 (QCD) が提唱された。量子電磁力学 (QED) が電子と光子に関して、実験ときわめてよい精度で一致したように、QCD もまたクォークとグルーオンの相互作用に関する全ての物理を記述することが期待される。ハドロンの質量やクォーク間ポテンシャルのような物理量が QCD から定量的に正しく導かれるならば、それは QCD のよい検証となるであろう。

QED において、定量的検証は摂動近似によって精密に行うことができた。しかしながら QCD の場合、ハドロンの質量やクォーク間ポテンシャル等は非摂動論的な物理量なので、摂動論では正しく計算され得ない。

ウィルソンによって提唱された格子 QCD は、非摂動的効果を扱うことのできる理論である。格子が有限であれば場の自由度も有限なので、原理的には格子 QCD から数学的な意味で厳密に物理量を計算することができる。しかしながら、10万重もの積分を解析的に実行することはできないので、モンテ・カルロ (MC) シミュレーションのような数値的な方法に依らざるを得ない。

MC シミュレーションは、上にあげたような物理量を計算するのに大変有効な方法である。しかも、現在までのところ、第一原理から非摂動論的物理量を計算することのできる唯一の方法である。クロイツは1980年に、SU(2)非可換ゲージ理論に対してMCシミュレーションを行い、漸近自由性とクォーク閉じ込めの共存性を初めて示した。その後、string tension やハドロンのスペクトルに対して、多くのMC計算が行われてきた。しかしながら、それらの結果は、数値計算では避けることのむずかしい様々な系統的誤差のために、QCDの十分な定量的検証となるほどには確定的ではなかった。

より確定的な結果を得るためには、それらの計算を実行する際に、そこに含まれる様々な系統的誤差を軽減する必要がある。そこで著者は、格子間隔が有限であることによる系統的誤差を軽減することが急務であると考え、標準的作用 (standard action) のかわりにくり込み群の考え方をういて改良された作用 (RG improved action) を用いている。この作用の形は、ブロックスピンのよるくり込み群の研究と、格子上のインスタントンの解析とによって決定されたものである。MC計算によって物理量の連続極限を得る場合、この作用を用いることが有利であることは、すでに著者等によって様々な場合に対して調べられてきた。

この論文では、RG improved action を用いて、string tension 及びハドロンのスペクトルを計算した結果が報告されている。この論文の主要部分は、三つに別れている。第一にstring tension のスケージングの振舞いについて調べている。現在までに多くの研究グループがstandard action を用いて、string tension を計算して、 $\beta = 6.0$ ($\beta = 6/g^2$; g はゲージ結合定数) の付近から漸近的スケージングがはじまると結論を下してきた。しかしながら、著者は、standard action を用いて、さらに β の大きい領域で計算を行うことによって、 $\beta = 6.0$ の近傍はもとより $\beta = 6.8$ (相関距離 $\xi = 8.7$) に至るまで漸近的スケージングは満たされていないことを明らかにした。一方で、RG improved action を用いてstring tension を計算した場合には、 $\beta = 2.6$ ($\xi = 5.0$) から漸近的スケージングを満たすことを示し、string tension とスケール・パラメータの関係を導いた。

第二に、flavour non-singlet のハドロンの質量を計算している。RG improved action とウィルソンのクォーク作用を用い、クエンチ (ヴァレンス) 近似の下で計算を行った。その際、 $16^3 \times 48$ という大きい格子サイズをとることによって、格子のサイズが有限であることからくる系統的誤差を押さえ、さらに励起状態からの寄与を排除して、ハドロンの基底状態の質量を、いくつかのクォーク質量の値に対して、得ることができた。 π 中間子と ρ 中間子の質量が現実の値をとるように、それらの結果を外挿して、陽子及び Δ 粒子の質量を10~15%の誤差で導くことができた。このことは、ヴァレンス・クォーク模型がハドロンの静的な性質を記述するのに成功したと合致する。

最後に、“U(1)問題”について調べている。 η' 中間子の質量が π 中間子の質量に比べて非常に大きいという事実に対して、定性的な解決はトホーフトによってすでに得られているが、定量的

側面では、いくつかのアプローチが試みられているにもかかわらず、まだ確定的な結論には至っていない。著者は、クォークの伝播関数のスペクトル分解からはじめて、そのスペクトルとゲージ配位のトポロジカルチャージの関係を調べた。その結果、 η' 中間子が π 中間子よりも非常に重くなるのは、位相的に非自明なゲージ配位が存在すること、及び、クォークの裸の質量が非常に軽いという事実、によることを示した。

審 査 の 要 旨

格子 QCD はクォーク、グルーオンの基本法則と目される理論であり、ハドロンの質量クォーク間ポテンシャル等の物理量が正しく導けることが期待されている。しかし、ハドロンの質量等是非摂動的な物理量なので、解析的に解くことは不可能であり、唯一可能と考えられているのが、モンテカルロ法等による数値的方法である。多くの人の努力により数多くの数値的解析が行われてきたが、数値計算で避けることの難しい系統的誤差の為、最終的な検証となるほどには確定的でなく、ハドロンの質量に関しては、実験値と大きくずれた結果を出していた。

そこで、著者はくり込み群によって改善されたゲージ作用を用い、格子の大きさを世界で一番大きなサイズを用いる等により、モンテカルロ法における系統的誤差を非常に小さく押さえることにより、クォーク間のポテンシャル、ハドロン・スペクトロスコーピーに関してクウエンチ近似の中で精度のよい解析を行うことができ、クウエンチ近似で期待される精度で実験値と一致することを示した。このことにより格子 QCD がクォーク、グルーオンの正しい基本法則である可能性が非常に高まった。また、U(1)問題とよばれている、なぜ η' 中間子の質量が π 中間子の質量に比べて非常に重いのかという問題に対しても、解析的方法と数値的方法を組み合わせることにより、位相的励起子の存在と、 u クォークと d クォークの裸の質量が非常に小さいこと、この二点によって η' 中間子の質量が非常に重くなることを世界で初めて具体的に示した。まとめると、これらの仕事は格子 QCD の研究で世界のトップレベルの研究で、この方面に寄与するところが多いと思われる。

よって、著者は理学博士の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。