

氏名(本籍) ^{いそ}磯 ^{ひろし}博 (栃木県)

学位の種類 理学博士

学位記番号 博乙第412号

学位授与年月日 昭和62年10月31日

学位授与の要件 学位規則第5条第2項該当

審査研究科 物理学研究科

学位論文題目 A Perturbative Study of Lattice Gauge Theory
(格子ゲージ理論の摂動論的研究)

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 淵 迪

副査 筑波大学教授 理学博士 原 康 夫

副査 筑波大学教授 理学博士 宇 川 彰

論 文 の 要 旨

素粒子のうち強い相互作用をする陽子、中性子、パイ中間子などハドロンと総称される粒子は、更に基本的な粒子クォークとグルーオンから構成されている。このクォークとグルーオンの基本法則と考えられているのが格子ゲージ理論である。格子ゲージ理論はユークリッド化された4次元の超立方格子上に定義される。格子間隔の逆数が運動量の紫外切断に対応する。連続極限は、格子の大きさを無限大、格子間隔をゼロに近づける極限として得られる。この時、物理量が一定値に留まるように、結合定数 g を臨界値に近づけていく。この格子ゲージ理論から、ハドロンに関する全ての物理量が第一原理から導出されるはずである。しかし、その理論の強い非線型性の為に、解析的な方法によって物理量を計算することは困難であり、モンテカルロ法などの数値的方法によって計算は行われる。実際近来、陽子、パイ中間子などの質量に関して有望な結果がでていいる。しかし、現在のコンピューター的能力からくる制限によって格子のサイズ L^4 はそれ程大きくはとれず、格子間隔も非常に細かくは取れない。その為に、数値計算の結果は格子の大きさが有限であることによる格子サイズ効果、格子間隔が有限であることによる格子間隔効果を、系統的誤差として一般には含む。これ等の系統的誤差を小さくすることが数値計算上は非常に重要である。

このうち格子間隔効果を減少させる為に、ゲージ作用を改善する試みが行われている。標準的なゲージ作用 S_{PL} はプラケット(格子上的最小正方形)の周辺にそってゲージ変数の積をとったものの和から構成されている。これが一番簡単な形をしている。しかし、ゲージ作用はこれが唯一の選択でなく、無限個の選択の可能性がある。原理的には、どの作用をとっても同一の物理量を導出す

ると考えられている。しかし、有限の格子上で計算する際にはこのゲージ作用の選択が重要となってくる。標準的なゲージ作用 S_{PL} に対する改善された作用が Wilson, 岩崎, Symanzik-Weisz によって提唱された。各々を S_{WI} , S_{IW} , S_{SW} と記することにする。このうち特に S_{IW} に関してはハドロンの質量の計算が精力的に行われ、現実の値とよく一致することが示された。また格子サイズ効果, 格子間隔効果も調べられ, それ等からくる誤差は大きくないことが示されている。しかし計算機の能力の制約から, それ等の効果を系統的に調べるまでには至っていない。一方, 摂動論的計算は物理量を計算するには適さないが, 連続理論で厳密に計算することが可能であり, 連続理論と有限格子上の結果を比較する事で上に述べた二つの効果を組織的に研究できる。これがこの論文の主な目的である。

この論文では, 4つの作用 S_{PL} , S_{SW} , S_{IW} , S_{WL} に対して, クォーク間の静的ポテンシャルと密接に関係する Creutz ratio を有限格子上で弱結合展開の摂動の4次まで計算し連続理論の結果と比較し, その格子サイズ効果, 格子間隔の効果, 有限格子上のユニバーサリティーの問題を調べた。結論は以下の通りである。i) 摂動論的 Creutz ratio のサイズ依存性は作用の選択及び摂動の次数によらず一様である。ii) 摂動論的 Creutz ratio の格子間隔による誤差が10%になる物理的長さの最小値を S_{PL} , S_{SW} , S_{IW} に対して求めた。結果は S_{IW} が一番よく, 次に S_{SW} がよく S_{PL} が一番悪い。iii) 格子サイズ $L=16$ 上で摂動論的 Creutz ratio に関して, S_{PL} , S_{SW} , S_{IW} の間のユニバーサリティーはよく成立している。しかし, 連続理論とのユニバーサリティーはかなり破れている。この事は格子上でのユニバーサリティーは連続理論との一致を意味しないことを示している。

審 査 の 要 旨

格子ゲージ理論はクォーク・グルーオンの基本法則と目される理論である。この理論が正しい理論であることを確立することは素粒子物理に於ける最も重要な問題の一つである。摂動論が用いられないことにより, 格子の質量の計算など具体的な計算は数値計算に依らざるを得ない。この際, 格子の大きさが有限であることによる格子サイズ効果, 格子間隔が有限であることによる格子間隔効果等による系統的誤差が小さく抑さえ, それを評価することが重要である。ある程度その評価は行われているが, コンピューターの能力の為に, 組織的に調べるまでには至っていない。そこで, この論文では摂動論を用いて, その評価を行っている。摂動論で結合定数の4次の計算は膨大なものであるが, 4次の次数まで Creutz ratio と呼ばれるクォーク間ポテンシャルと密接に関係したものを計算している。この結果は, この方面で研究を行っているものに有用な知見を与える。

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。