

ふりがな	はたけやま もりお
氏名	畠山 森魚
学位	博士(理学)
学位記番号	新大院博(理)第283号
学位授与の日付	平成20年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
博士論文名	Rotational Symmetry and a Light Mode in Staggered Fermions (スタaggerドフェルミオンの回転対称性と軽いモード)

論文審査委員	主査	教授	谷本 盛光
	副査	教授	田村 詔生
	副査	教授	松尾 正之
	副査	教授	五十嵐 尤二
	副査	准教授	西 亮一
	副査	准教授	中野 博章
	副査	准教授	浅賀 岳彦
	副査	准教授	伊藤 克美

博士論文の要旨

背景

素粒子論における基本的な相互作用はすべてゲージ原理に基づく場の理論で書かれている。ゲージ場の理論は、様々な状況でいくつかの異なった相を見せる。それらの相は、必ずしも摂動論的に理解できるわけではなく、非摂動論的な方法が重要になる。格子ゲージ理論は、これまで最も良く研究されてきた場の理論の非摂動論的な手法である。

ところが、格子ゲージ理論で扱い切れていない重要な問題が残されている。一つはフェルミオンの扱いであり、もう一つは格子上の超対称性理論の定式化である。

本論文は、前者の問題についての研究成果をまとめたものである。格子上にフェルミオンを定義しようとするとダブリング問題が生じる。時空を有限の格子間隔の格子で表現したことの必然的な結果として、分散関係が連続のものと異なってしまい、結果として、望まない自由度が生じてしまう。これがダブリング問題の本質であるので容易には避けられない。

フェルミオンをナイーブに定義すると、2の次元ベキ乗だけのダブラーが生じる。これを緩和するために格子点に置いたグラスマン変数の自由度を減らす工夫をしたのがスタaggerド・フェルミオンである。しかし、まだダブラーが残るので通常それらはフレーバーの自由度と理解する(最近はフレーバーの代わりにテイストと呼ぶ習慣が定着している)。

現在の格子ゲージ理論では、スタaggerド・フェルミオンを利用し1自由度のフェルミオンを実現する数値的手法として、fourth-root trick が用いられている。しかし、この手法は理論的な意味付けが十分できないものであり、他の方法の開発が待たれている。

本論文ではスタaggerド・フェルミオンの作用を修正して、テイストの自由度の間に質量差を生み出す可能性を検討したものである。この試みは、格子上でのフェルミオンの定義としてばかりでなく、格子上に超対称性を実現する目的のためにも重要な情報をもたらし得るものである。

問題設定

本論文では、(ゲージ自由度のない)スタaggerド・フェルミオンの自由場を検討している。次元は2、4次元である。これらの次元ではそれぞれ2、4個のダブラーが存在している。この研究では、通常のスタaggerド・フェルミオンの作用に、回転対称不変な項を加えることによって、これらのダブラー間の質量に差を生み出すことができるか、という問題を考察している。(もちろん、格子上では連続的な回転対称性はないので、ここでは90度分の離散回転対称性を考えている)さらには、パラメータを適当に選ぶことによってフェルミオンの自由度を減らす可能性を追究している。

本論文の結果とその意義

先行研究から、回転対称不変な項の選択肢は次元に依らず4個に限られている。これらの項を加えることによって作用を変更し、質量行列の性質を調べることになる。

2次元では、1-テイスト Dirac モードが実現し、パラメータをうまく選ぶと、massless モードと質量無限大のモードを同時に実現することもできる。一方、4次元では、2-テイスト Dirac モードが実現し、やはり、massless モードと質量無限大のモードを同時に実現することも可能である。4次元では1-テイスト Dirac モードが実現しない。以上のように分離されたモードについて、空間回転のもとでの変換性、つまり連続極限でスピナーとして変換することと無矛盾であるのかの検討もなされている。

本研究は、D次元格子上のスタaggerド・フェルミオンに内在する $S_0(2D)$ クリフォード代数に基づいた解析をしており、理論の構造が良く見える形で結果が導かれている。4次元で1-テイストが実現しないのは残念だが、この範囲のスタaggerド・フェルミオンの扱いとして、設定した問題について簡潔で明快な答えを与えたものと理解される。格子上の超対称性の実現に関しても、2次元、4次元においてどのような問題設定をすべきなのかを考える上で示唆に富む結果である。

審査結果の要旨

本論文では、格子上のフェルミオンに関わる諸問題について簡潔な要約がなされており、その様な背景の中での本研究の位置づけも明確に提示されている。その上で本論文の問題設定・手法についての記述も明快である。申請者の熟慮・熟考が読み取れる。

スタaggerド・フェルミオンに内在する $S_0(2D)$ クリフォード代数という構造をうまく利用して、フェルミオン自由度を制御するという目標設定は、重要なポイントであり、また、今後の研究に対して示唆に富む結果をもたらしたと考えられる。とりわけ、超対称ゲージ論を格子上に実現しようという試みにおいて、フェルミオン・セクターをどのように用意すべきかという決定的に重要な方針設定の際に、基本となる結果であると理解される。

以上によって、本論文は、博士論文に十分値するものであると判断される

なお、本研究は、格子ゲージ理論の基礎研究であるので、博士(理学)が適当であると判断した。