

氏	名	鎌田 翔
学 位 の 種 類		博士 (理学)
報 告 番 号		甲第368号
学 位 授 与 年 月 日		2014年 3月31日
学 位 授 与 の 要 件		学位規則 (昭和28年4月1日文部省令第9号) 第4条第1項該当
学 位 論 文 題 目		Research for γ_5-hermiticity in the minimal doubling fermion (ミニマルダブリングフェルミオンにおける γ_5 エルミート性の研究)
審 査 委 員	(主査)	原田 知広 村田 次郎 田中 秀和

I. 論文の内容要旨

格子ゲージ理論は強結合の物理学を調べる上で有用な手法である。この定式化では、時空は離散化され、物理的な自由度はサイト上やリンク上に定義される。格子間隔をカットオフの正則化パラメータとみなせば、紫外発散を自然に正則化し、強結合展開・Monte-Carlo シミュレーションなどの技術によって観測量を計算することが可能になる。

鎌田氏は格子理論におけるフェルミオンについて調べた。フェルミオンは場の理論において最も重要な対象の一つであるにも関わらず、格子理論に導入すると一般に意図しない非物理的な自由度が現れてしまうという重複問題が起こる。鎌田氏は、本論文において、フェルミオンの重複問題を調べるため、作用の γ_5 エルミート性とよばれるある種のエルミート性に注目した。

本論文の構成は以下のとおりである。まず第一章は導入であり、格子フェルミオンにおける重複問題に取り組む動機が述べられている。第二章では、格子フェルミオンの基本的な概説が述べられ、格子理論の基本原則、フェルミオン重複問題とNielsen・二宮の定理、最小重複フェルミオンが説明されている。第三章では、格子フェルミオンの作用がもたらう性質として、 γ_5 エルミート性・Rエルミート性・PT対称性が定義される。

第4章は鎌田氏自身が行った独自研究の成果をまとめたものである。ここで鎌田氏は、格子フェルミオン作用の γ_5 エルミート性が果たす役割について調べるため、 γ_5 エルミート性をもたない作用を数種類構築し、その固有値の分布および極の所在と個数について調べた。さらに、量子色力学(QCD)の玩具模型であるGross-Neveu模型のフェルミオンを γ_5 エルミート性のない作用によって格子化し、数値計算によってその相関を書くことに成功した。その結果、 γ_5 エルミート性をもたないある作用については、 γ_5 エルミート性をもつナイーブ=フェルミオンと呼ばれる作用で得られるものと、定性的に同じ相関が得られた。さらに、有限密度系への応用を念頭に、虚数化学ポテンシャルを含めたGross-Neveu模型についても同様に相関を求め、 γ_5 エルミート性をもたないある作用については、 γ_5 エルミート性をもつナイーブ=フェルミオンと呼ばれる作用で得られるものと、定性的に同じ相関が得られた。これらの作用では γ_5 エルミート性が破れているので、固有値は複素数になるのだが、そこから得られる結合定数が実数になることを示した。第5章では結論が述べられている。

II. 審査結果の要旨

素粒子物理学は量子色力学 (QCD) と電弱統一理論からなる標準模型に到達したが、強い相互作用の理解は現実世界を記述することを目指す素粒子現象論において重要な課題であり続けている。強い相互作用による素粒子現象の理解のためには観測量の強結合領域での非摂動的な計算が不可欠であるが、これは極めて困難である。この困難の根本的な解決策として提案されたのが格子理論に基づく数値計算である。格子 QCD 理論は、QCD という第一原理によって現実の素粒子現象の観測量を予言する最も強力な手段として、我が国をはじめ世界的に精力的に研究が進められている。

提出論文で鎌田氏は、このような文脈で格子 QCD 理論に不可欠な格子フェルミオンの問題を取り上げた。格子フェルミオン作用として、基本的な対称性をもつものを考えると、非物理的な力学的自由度の重複が不可避免的に現れることが、Nielsen・二宮の定理として証明されている。多くの格子 QCD 計算では Wilson フェルミオン作用を用いてこの問題を回避しているが、この作用はカイラル対称性を持っていないため、カイラル対称性に関わる現象に対して信頼できる結果を与えない。本論文において申請者は、カイラル対称性は保ちつつ γ_5 エルミート性を破っている格子フェルミオンの重複問題について詳しく調べて有用な結果を与えており、今後の格子ゲージ理論の発展におけるフェルミオンの取り扱いに関して重要な視座を与えている。

この様に、申請者である鎌田氏は理論的なアプローチによって素粒子物理学分野に対して重要な貢献を行った。これは、申請者の素粒子物理学の知識のみならず、幅広い物理学の知識の蓄積、他の研究者と協力して研究を進めていくためのコミュニケーション能力、問題を処理する技術的な能力および優れた分析力と洞察力によるところが大きい。提出論文は、申請者を主著者とする二編の論文の内容に基づいて新たに書き下されたものである。これら二編の論文はいずれも査読を経て国際的な学術誌に既に掲載されている。提出論文では、現在の研究の状況を正確に把握し、その上に自ら独自の考えを展開してそれに基づく計算結果を提示した。しかもそれら全てを申請者が主導的に行っている。こうした点は申請者が研究者として十分な研究能力を備えていることを示している。

2014年1月9日午後5時より、本論文に関する公聴会が開かれた。申請者は論文内容を明解に説明し、その後の質疑に対する応答も満足すべきものであった。