

論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)	氏名	村上 祐子
学位授与の要件	学位規則第 4 条第①・2 項該当		
論文題目			
Study of the Schrödinger functional scheme for the Möbius domain wall fermion (メビウスドメインウォールフェルミオンを用いたシュレーディンガー汎関数法の研究)			
論文審査担当者			
主 査	准教授	石川 健一	
審査委員	教 授	稲垣 知宏	
審査委員	教 授	小 嶋 康史	
審査委員	教 授	関口 宗男 (国士舘大学)	
〔論文審査の要旨〕			
<p>本論文は格子量子色力学の繰り込み処方についての理論的定式化について述べた論文である。量子色力学は陽子や中性子の性質をクォークとグルーオンという素粒子レベルの自由度から説明できるとされている理論である。量子色力学を解析する手法としては、高エネルギー領域に置いては解析的に摂動論を用いて調べることができるが、低エネルギーの現象である陽子や中性子の構造や性質は摂動論を用いて調べることは出来ない。格子量子色力学は、量子色力学を摂動論に依らずに第一原理から計算できる手法として、量子色力学の妥当性の検証や素粒子物理学の探索のために高性能計算機の登場とともに発展してきた理論である。</p> <p>本論文では近年盛んに行われるようになってきたカイラル対称性をもつフェルミオンを用いた格子量子色力学計算に対する繰り込み処方について、シュレーディンガー汎関数法という処方の定式化を進展させている。具体的にはカイラル対称性をもつフェルミオンとしてメビウスドメインウォールフェルミオンに対してのシュレーディンガー汎関数法の構成法を提案しその妥当性を摂動論の 1 ループレベルまで具体的に検証している。</p> <p>本論文の構成は以下の通りである。第 1 章では原子核から陽子・中性子、そして量子色力学に至るまでの素粒子原子核物理学の歴史的発展について概観し、そののちに格子量子色力学の発展と、繰り込み処方、格子上のフェルミオン作用についての発展を述べている。カイラル対称性とその自発的破れは量子色力学の特徴的な性質である。その帰結として格子上のカイラル対称性とそれを考慮した非摂動的繰り込み処方の必要性を説いている。シュレーディンガー汎関数法は 1990 年代にリュッシャーらにより定式化され、カイラル対称性を持たない格子フェルミオンに対してその有効性が 2005 年までには概ね示されている。一方、格子上のカイラル対称性を持つフェルミオンは 1995-2000 年代に発展してきた比較的新しい理論であるのでシュレーディンガー汎関数法の定式化が遅れている。著者はここでメビウスドメインウォールフェルミオンに対するシュレーディンガー汎関数法の構築の必要性について述べている。</p> <p>第 2 章ではシュレーディンガー汎関数法の概略を述べている。第 3 章でメビウスドメインウォールフェルミオンを説明している。メビウスドメインウォールフェルミオンに対す</p>			

る格子上のカイラル対称性の現れ方についても説明している。第4章では格子上のカイラル対称性とシュレーディンガー汎関数法との関係を述べ、理論の定式化に必要な条件である2006年にリュッシュャーが提案した条件を説明している。また、本論文の第6章で必要となる格子間隔誤差を取り除く際に用いる、軸性カレントの部分的保存関係式を再現する手法について説明している。

第5章でメビウスドメインウォールフェルミオンに対するシュレーディンガー汎関数法の定式化法を提案している。具体的にはメビウスドメインウォールフェルミオンに対する作用にシュレーディンガー汎関数法の境界項を付加している。この境界付加項の形は第4章で述べた条件である程度形が決まるが、この付加境界項の手法は先行研究である武田(2013年)による通常ドメインウォールフェルミオンに対する定式化をより一般化したものとなっており新しいものである。

第6章では、第5章で定義した作用が第4章で述べた条件を満たしていることを摂動のツリーレベルと1ループレベルで網羅的に調べている。メビウスドメインウォールフェルミオンはドメインウォールフェルミオンを一般化した理論であるが、これを網羅的に調べることにより幅広く理論空間を調査したことになる。著者の提案する理論が正しいものであるならば、量子色力学の持つ理論的関数である1ループベータ関数を再現しているはずである。この章で具体的な数値計算の結果を示し、1ループベータ関数を正しく再現していると著者は結論している。先行研究の結果も含め本論文で調べたパラメーターで1ループベータ関数を再現していると認められる。

最終章では、著者の提案する手法が1ループの摂動で正しい定式化となっていると結論している。今後の発展の方向として、著者の提案する手法の非摂動計算での検証の必要性を述べ、さらに将来的には格子量子色力学による低エネルギー物理の計算に対してメビウスドメインウォールフェルミオンを用い、加えてシュレーディンガー汎関数法による繰り込みを考慮することで高精度に物理量を計算できるという展望を述べている。

著者は本論文でカイラルフェルミオンに対する新たな非摂動的繰り込み処方法の計算手法を定式化し、また、それを論理立てて検証している。検証方法は妥当なものであり、提案された手法はカイラルフェルミオンを含む系の計算精度の向上につながる等、該当分野の発展に寄与するものと判断する。

以上、審査の結果、本論文の著者は博士(理学)の学位を授与される十分な資格があるものと認める。

公表論文

“Construction of lattice Möbius domain wall fermions in the Schrödinger functional scheme”, Yuko Murakami and Ken-Ichi Ishikawa, International Journal of Modern Physics A, Vol. 33 (2018) 1850012.

参考論文

- (a) “A construction of the Schrödinger Functional for Möbius Domain Wall Fermions”, Yuko Murakami and Ken-Ichi Ishikawa, Proceedings of Science (LATTICE2014), 331.
- (b) “The one-loop analysis of the beta-function in the Schroedinger Functional for Moebius Domain Wall Fermions”, Yuko Murakami and Ken-Ichi Ishikawa, Proceedings of Science (LATTICE 2015), 308.
- (c) “Non-perturbative determination of the Λ -parameter in the pure SU(3) gauge theory from the twisted gradient flow coupling”, Ken-Ichi Ishikawa, Issaku Kanamori, Yuko Murakami, Ayaka Nakamura, Masanori Okawa, and Ryoichiro Ueno, Journal of High Energy Physics 12 (2017) 067.