

氏 名	みやざき しゅん じ 宮 崎 俊 治
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 1802 号
学位授与の日付	平 成 9 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	理 学 研 究 科 物 理 学 第 二 専 攻
学 位 論 文 題 目	Wess-Zumino Term by Vacuum Overlap Formula (真空オーヴァーラップ形式によるヴェスズミノ項)

論文調査委員	(主 査) 教 授 益 川 敏 英	教 授 九 後 太 一	教 授 笹 尾 登
--------	----------------------	-------------	-----------

論 文 内 容 の 要 旨

電磁相互作用と弱い相互作用の統一理論である弱電理論はパリティ非保存の問題とも関係しているが、フェルミオンは左手系成分と右手系成分が区別して取り扱われる。これをカイラルフェルミオンとよぶが、これを格子に乗せるに当たっては、正則化したために現れるダブラーの問題が20年前から知られている。しかし、今日に至も解決を見ていない。申請者はこの問題を取り上げている。

過去に幾つかこのダブラーの問題を避けるための提案があったが、満足のいくものは無かった。Kaplan の付加的次元を用いた処方を使い、それを時間軸と考え先に連続極限を取るにより得られる Hamiltonian の真空を考えて、カイラルフェルミオンの質量の符号が違う二つの真空のオーヴァーラップにより、カイラルフェルミオンを経路積分したときに現れるカイラル行列式が得られる、との予測を Narayanan と Neuberger がおこなった。これが真空オーヴァーラップ形式である。しかし、この形式でもダブラーが寄与するような局面があることは直ぐに何人かの人により指摘された。申請者は多少の考察により結合常数のある範囲ではこの真空オーヴァーラップ形式が有効に使える可能性があると推測して、これを確かめるべく理論的、また数値実験的に考察をおこなった。

申請者はカイラルゲージ理論の非摂動的定式化の試みとして、カイラルフェルミオン行列式を真空オーヴァーラップ形式により格子上で正則化することを行った。このケースで特に純粋ゲージの場合有効作用が Wess-Zumino 項になることが知られているので、このことを基準点に置いて議論を進めている。申請者が行った格子上の正則化が、摂動論のレベルでは連続形式と格子形式で正しく Wess-Zumino 項を与えることを確認している。

一般的にランダムなゲージ場の配位が寄与する局面では、ダブラーの寄与が無視できないので、滑らかな配位が主要配位となると考えられる chiral principal model を考え、そこに現れる Wess-Zumino 項について分析を加えた。 β と呼ばれる結合常数に対応した量が大きいときには滑らかな配位が主要な部分となりダブラーの寄与は無視できると推測でき、非摂動的効果がこの数値実験で評価できると期待される。

実際に申請者は数値実験において $\beta \sim 0.8$ まではランダムな配位が無視できないが、これを越えると滑らかな配位が支配的になることを数値的に確認している。

次にこの $\beta \geq 1.0$ の領域では Wess-Zumino 項を真空オーバーラップ形式が正しく表現しており、シュミレーションで Wess-Zumino 項の非摂動的効果が評価できると期待できるので、この領域で実際に observable を数値的に測定することを申請者は試みている。この時間問題になるのは Wess-Zumino 項が複素量であることに伴う困難である。複素量では確率解釈ができないので Monte Carlo 法に乘せることができないので、申請者は Wess-Zumino 項のスペクトラム関数を数値的に求め、これを解析的関数で評価して、期待値はこの分布関数を用いる方法を案出した。

Wess-Zumino 項は考えているフェルミオンの個数 n に依存する形をしていて、IR fixed point は $\beta_c = n/4\pi$ となることが解析的に求まっている。この方法を用いた数値的結果の分析の結果に依ると、連続極限を取るときに必要となる IR fixed point がこの方法の適用できる β の範囲にあるためには、 n に上限があるものの、解があることが分った。

しかし予備の数値実験の研究によれば意味のある observable の数値的測定には申請者が行った格子サイズ $L=16$ ではまだ有限体積効果が大きく残っており有効シュミレーションにならないと結論している。ここで格子サイズを大きくする（メモリーの大きな早い計算機を使う）ことと同時に、一般の格子模型で Symanzik が議論したように、この真空オーバーラップ形式での improvement action 法の開発が重要になる。申請者はこの方法に対する予備的研究も行っている。

論文審査の結果の要旨

素粒子を支配している法則は全てゲージ理論の枠組みで記述されることが70年代から80年代にかけての理論的実験的研究により明らかとなってきたが、非可換ゲージ理論では非線形性が高く、結合常数が大きな領域では計算は困難を極めている。強い相互作用を記述している量子色力学 QCD に於ては大きな運動量領域を切断する格子正則化法が、計算機シュミレーションに乘せやすいこともあって、大きな成功をおさめた。

一方電磁相互作用と弱い相互作用の統一理論である弱電理論はパリティ非保存の問題とも関係しているが、フェルミオンは左手系成分と右手系成分が区別して取り扱われる。これをカイラルフェルミオンとよぶが、これを格子に乘せるに当たっては、正則化したために現れるダブラーの問題が20年前から知られている。しかし、今日に至も解決を見ていない。申請者はこの問題を取り上げている。今我々が加速器で観測できるエネルギー領域での弱電相互作用の現象においては、摂動計算が十分に有効であるが、宇宙論で問題になっているバリオン数の生成問題が問題になるような高エネルギー現象に対しては非摂動的計算が必要になり、この問題は避けて通れない重要な課題である。

過去に幾つかこのダブラーの問題を避けるための提案があったが、満足のいくものは無かった。Kaplan の付加的次元を用いた処方を使い、それを時間軸と考え先に連続極限を取るにより得られる Hamiltonian の真空を考えて、カイラルフェルミオンの質量の符号が違う二つの真空のオーバーラップにより、カイラルフェルミオンを経路積分したときに現れるカイラル行列式が得られる、との予測を

Narayanan と Neuberger がおこなった。これが真空オーヴァーラップ形式である。しかし、この形式でもダブラーが寄与するような局面があることは直ぐに何人かの人により指摘された。申請者は多少の考察により結合常数のある範囲ではこの真空オーヴァーラップ形式が有効に使える可能性があると推測して、これを確かめるべく理論的、また数値実験的に考察をおこなった。

申請者はカイラルゲージ理論の非摂動的定式化の試みとして、カイラルフェルミオン行列式を真空オーヴァーラップ形式により格子上で正則化することを行った。このケースで特に純粋ゲージの場合有効作用が Wess-Zumino 項になることが知られているので、このことを基準点に置いて議論を進めている。申請者が行った格子上の正則化が、摂動論のレベルでは連続形式と格子形式で正しく Wess-Zumino 項を与えることを確認している。

一般的にランダムなゲージ場の配位が寄与する局面では、ダブラーの寄与が無視できないので、滑らかな配位が主要配位となると考えられる chiral principal model を考え、そこに現れる Wess-Zumino 項について分析を加えた。 β と呼ばれる結合常数に対応した量が大きいたときには滑らかな配位が主要な部分となりダブラーの寄与は無視できると推測でき、非摂動的効果がこの数値実験で評価できると期待される。実際に申請者は数値実験において $\beta \sim 0.8$ まではランダムな配位が無視できないが、これを越えると滑らかな配位が支配的になることを数値的に確認している。

次にこの $\beta \geq 1.0$ の領域では Wess-Zumino 項を真空オーヴァーラップ形式が正しく表現しており、シュミレーションで Wess-Zumino 項の非摂動的効果が評価できると期待できるので、この領域で実際に observable を数値的に測定することを申請者は試みている。この時間問題になるのは Wess-Zumino 項が複素量であることに伴う困難である。複素量では確率解釈ができないので Monte Carlo 法に乘せることができないので、申請者は Wess-Zumino 項のスペクトラム関数を数値的に求め、これを解析的関数で評価して、期待値はこの分布関数を用いる方法を案出した。

Wess-Zumino 項は考えているフェルミオンの個数 n に依存する形をしていて、IR fixed point は $\beta_c = n/4\pi$ となることが解析的に求まっている。この方法を用いた数値的結果の分析の結果に依ると、連続極限を取るときに必要な IR fixed point がこの方法の適用できる β の範囲にあるためには、 n に上限があるものの、解があることが分った。

しかし予備の数値実験の研究によれば意味のある observable の数値的測定には申請者が行ったサイズ $L=16$ ではまだ有限体積効果が大きく残っており有効なシュミレーションにならないと結論している。ここで格子サイズを大きくする（メモリーの大きな早い計算機を使う）ことと同時に、一般の格子模型で Symanzik が議論したように、この真空オーヴァーラップ形式での improvement action 法の開発が重要になる。申請者はこの方法に対する予備的研究も行っている。

カイラルフェルミオンのダブラーの困難を解決する方法として提案されている真空オーヴァーラップ形式の有効性についての理論的考察と数値実験的分析を申請者は行っている。カイラルフェルミオンに固有の Wess-Zumino 項に付いては連続模型での解析が進んでいるので、これを検証点として採用し、格子正則化での真空オーヴァーラップ形式による定式化を行い、これが摂動計算の範囲で正しいことを調べたうえで、非摂動的効果に付いて分析を行っている。これはカイラルフェルミオンのダブラー問題の研究に新

しい視点と次の発展への基礎を与える仕事で高く評価できる。よって、本申請論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。なお、主論文および参考論文に報告されている研究業績を中心として、これに関連した研究分野について口頭試問した結果、合格と認めた。