

論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)	氏名	JI YINGBO
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 Numerical Stochastic Perturbation Theory toward the high-order perturbation of matrix models (行列模型の高次摂動計算のための数値確率過程摂動理論の研究)			
論文審査担当者			
主 査	准教授	石川 健一	
審査委員	教 授	野中 千穂	
審査委員	教 授	深澤 泰司	
審査委員	教 授	志垣 賢太	
審査委員	教 授	黒木 伸一郎	
〔論文審査の要旨〕			
<p>本論文は数値確率過程摂動理論 (NSPT) を用いた高次摂動計算を通じて行列模型の非摂動的振る舞いの存在を検証した研究である。素粒子物理学における数理論的課題として量子色力学 (SU(3) Yang-Mills 模型) のクォークの閉じ込め現象や質量ギャップの生成に対する解明問題が残っている。これらの問題は摂動級数近似では捉えられない効果 (非摂動効果) であるとみなされてきた。一方, 数学の解析学の分野では再生関数論という分野が起り, 発散する摂動級数 (漸近級数) と非摂動効果の関係が理解されるようになった。この再生関数論を場の量子論の摂動級数の解析に用いて, 場の量子論の非摂動的振る舞いの起源の解明を目指す研究が行われて来ている。本論文では, 2次元の場の量子論であるプリンシパルカイラル模型(PCM)の非摂動的効果が, この模型の摂動級数展開 (漸近級数) の発散の振る舞いに含まれていることをNSPTを用いた具体的な高次摂動計算を通じて検証したものとなっている。</p> <p>著者は, 摂動級数の高次項を数値的に具体的に求めるために NSPT 手法を用いている。NSPT の格子量子色力学への応用にて高次の摂動級数の計算に成功しているが, クォークの閉じ込め機構の解明には至っていない。そこで著者は 't Hooft や Witten によって提唱された量子色力学のゲージ群 SU(3)の群の大きさ 3 を N に一般化し N を無限大に取るラージ N 極限と摂動級数を組み合わせて解析する道筋を提案している。これはラージ N 極限では非摂動的性質を保持しつつ摂動級数や時空構造が簡略化されるということに基づく提案である。著者は, SU(N) Yang-Mills 模型と同じような非摂動的性質を持つ SU(N) PCM のラージ N 極限の高次摂動展開係数の計算を行い, 級数展開の発散の振る舞いと本模型に対する非摂動的解析手法から予想される振る舞いが矛盾しないことを確認した。</p> <p>本論文は以下のように構成されている。第 1 章で研究背景を述べた後, 第 2 章では 2次元の PCM の詳細について述べている。この模型の場の変数は SU(N)行列であるが, N を無限大に取った等価な模型としてツイスト境界条件時空縮約プリンシパルカイラル模型 (TRPCM) を導入している。これにより 2次元時空を格子 1 点に置き換えることが可能</p>			

となる。第3章では摂動級数展開を半自動的に行うことのできる NSPT について説明し、TRPCM への適用を説明している。また TRPCM に対する NSPT を用いた高次摂動計算を行うための数値計算の改良を行っている。第4章では、内部エネルギーの摂動級数の最初の3項を体積無限大の PCM に対して従来法で得られた解析値をラージ N 極限で再現することを確認している。これにより、TRPCM と PCM のラージ N 極限での一致が確認でき、数値計算の手法とラージ N 極限による理論の簡略化の妥当性が確かめられた。そのうえで、摂動級数の高次項の振る舞いを具体的に 20 次まで計算している。そこで得られた摂動級数の発散の度合が、非摂動的解析手法の繰り込み群から予想される非摂動項の存在と矛盾しないことを示している。第5章で本研究のまとめと展望を述べている。

著者は、ラージ N 極限での理論の簡略化と摂動級数の高次項の振る舞いの解析を組み合わせることで非摂動的振る舞いの起源を探索することを提案し、具体的に PCM のラージ N 極限での摂動級数展開を TRPCM を通じて 20 次まで具体的に求め、級数の発散の振る舞いが予想される非摂動効果の存在と矛盾しないことを確かめた。本手法は、量子色力学におけるクォークの閉じ込め現象の解明に向けた手法の一つを与えるものとなる期待があり、本分野における重要な貢献であると評価できる。

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られる。

備考：審査の要旨は、1,500 字以内とする。