

氏名(本籍)	す さき よし あき 壽 崎 義 明 (愛知県)		
学位の種類	博 士 (物 理 学)		
学位記番号	博 甲 第 3902 号		
学位授与年月日	平成 18 年 3 月 24 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
審査研究科	数理物質科学研究科		
学位論文題目	Nonperturbative studies of lattice gauge theories on non-commutative space (非可換空間上の格子ゲージ理論の非摂動的な解析)		
主査	筑波大学教授	理学博士	石橋 延 幸
副査	筑波大学教授	理学博士	青木 慎 也
副査	筑波大学教授	理学博士	金谷 和 至
副査	高エネルギー加速器研究機構助教授	理学博士	西村 淳

論 文 の 内 容 の 要 旨

重力を量子論的に取り扱う際の困難はよく知られており、素粒子論における最重要課題の一つと言える。特に微視的なスケールにおいて時空の概念そのものを変更する可能性については、1940年代より著名な物理学者の間でもしばしば議論されてきた。時空座標を非可換にする「非可換幾何」は、そのような可能性の一つである。また最近、超弦理論から非可換幾何上の場の理論が自然に現われることが示されて以来、非可換幾何上の場の理論の性質が世界的にも盛んに研究されている。

こうした研究の過程において、非可換幾何の影響がループ効果を通して遠方に及び、理論の性質を著しく変えてしまう現象 (UV/IR 混合現象) が一般に起こる事が明らかになった。また、その結果として、通常の場合の理論には現われない赤外発散が生じ、摂動論的なくりこみ可能性が一般に損なわれる、という事も知られている。従って、非可換時空上の場の理論のダイナミクスを研究するには、非摂動的な方法が極めて重要になる。本論文では、格子正則化を用いた非可換時空上のゲージ理論に関する非摂動的な研究の成果が、大きく2つの部分に分けてまとめられている。

第一部では、2次元非可換トーラスを用いることにより、ゲージ理論のトポロジカルな性質に対する非可換幾何の影響が詳細に研究された。まず通常の時空上のゲージ理論において良く知られた「インデックス定理」が非可換時空上でも成立している事が数値的に示された。これは弦理論からワインバーグ・サラム模型に現われるようなカイラル・フェルミオンを力学的に実現する機構を考える上で、重要な役割を果たすと考えられる。また、連続極限においては、トポロジカル・チャージがゼロでない配位は有限の作用を持たない事が様々な考察から示唆されている。実際トポロジカル・チャージがゼロでないセクターが経路積分に効かなくなる事は、シミュレーションを用いて示された。このような性質は、いわゆる「ストロング CP 問題」に対して自然な解決を与える可能性として興味深い。

第二部においては、4次元の非可換時空上のゲージ理論をシミュレーションにより研究した結果がまとめられている。まず、相構造が明らかにされ、特に運動量を持った(開いた)ウイソン・ループが凝縮する相が確認された。これにより摂動論的な研究から示唆されていた(自明な)真空の不安定性が裏付けられる

と同時に、非摂動的に安定な真空が同定された。又この真空において連続極限がとれる事が、物理量のスケールリングを通して確認された。一方、ウィルソン・ループが凝縮していない相において、分散関係が赤外領域に特異性を持つことが確認され、UV/IR 混合が非摂動レベルで起こっている事が直接検証された。

審査の結果の要旨

本研究の最も興味深い点は非可換空間上のゲージ理論について非摂動的な解析を行った点にある。非可換空間上の場の理論はこれまで摂動論を用いた手法によって解析されてきたが、UV/IR 混合のような局所的な相互作用項のみを含む通常場の理論では考えられないような現象が起こるのではないかと指摘されてきた。ただし、摂動論がくりこみ可能かどうかの証明がない上、紫外カットオフの計算上の扱い方が通常とは異なっているので、非可換空間上の場の理論をこの摂動論によって定義できるかどうかということは疑問であった。ただし、この理論で起こるとされている現象は従来場の理論の常識からはかけ離れており、これまで難問とされてきた宇宙項の問題等に対する有効なアプローチを与える可能性があるため、この理論を非摂動的に定義することは非常に意義のあることである。本研究によって非可換空間上の場の理論の非摂動的取り扱いが完全に確立したというわけではないが、そのような方向へ向けての第一歩を踏み出したという点が意義深い。

本研究の主要テーマのひとつは非可換空間上のゲージ理論のトポロジカルな性質についてである。これについては「ストロング CP 問題」への示唆を与える現象を発見している点が非常に評価できる。

もうひとつのテーマは4次元非可換空間上のゲージ理論の相構造の分類である。これについては、本研究で得られた結果は今後の研究につながるものとして非常に評価できる。特に、この方向の研究は reduced model や行列模型とも関係しており、その結果は他の分野でも有用である。

よって、著者は博士（物理学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。