

平成 21 年 2 月 16 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2009 年

課題番号：18540305

研究課題名（和文） 格子ゲージ理論の新しい可能性

研究課題名（英文） New possibilities in lattice gauge theory

研究代表者

鈴木 博（SUZUKI HIROSHI）

独立行政法人理化学研究所・川合理論物理学研究室・専任研究員

研究者番号：90250977

研究分野：素粒子論、場の理論

科研費の分科・細目：物理学・（素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理）

キーワード：場の量子論、非摂動論

### 1. 研究計画の概要

格子定式化は、現在までのところほぼ唯一の場の量子論の非摂動論的定式化である。特に格子ゲージ理論の量子色力学への応用は、低エネルギーでの非摂動論的現象の研究に目覚ましい成果をあげてきた。一方、重力理論、カイラルなゲージ理論、超対称性理論など、高い関心を持たれながら、格子による定式化が極めて難しく、第一原理からの非摂動論的研究が困難な理論が存在する。当研究は、理論的・数値的研究を通して、格子ゲージ理論による非摂動論的研究の可能性を拡げることがを目的にしている。

### 2. 研究の進捗状況

上記の研究目的のもと、これまで、重力場中のフェルミオンに対する overlap-Dirac 演算子を使った格子定式化、ゲージ異常項が存在するカイラルゲージ理論の Ginsparg-Wilson 関係式に基づく格子定式化、低次元の超対称性ゲージ理論の格子定式化などに関する研究を行ってきた。特に、超対称性ゲージ理論の格子定式化に対しては、最近以下の特筆すべき成果を得た。近年、超対称性ゲージ理論の格子定式化に対する理論的理解が進み、少なくとも時空次元が低い場合には、連続極限で超対称性が回復する、という形で理論の定式化ができるのではという指摘がなされた。より具体的には、全ての超対称性変換のうち、冪零な部分代数の部分だけを厳密に保つ格子定式化を使うことで、残りの超対称性が連続極限で自動的に回復するというシナリオである。我々は、この摂動論に基づいたシナリオが、はたして非摂動論的レベルで実際に実現しているのか？という問題に対して、こ

こ 2 年間ほど精力的に研究を進めてきた。さまざまな試行錯誤の後、2次元の  $N=(2,2)$  超対称 Yang-Mills 理論の杉野による格子定式化を取り上げ、この定式化における超対称 Ward-高橋恒等式を数値的に測定した。その結果、有限の格子間隔では壊れていた超対称性が、連続極限では確かに全て回復している強い証左を得た。これは、格子ゲージ理論において、格子正則化が壊している超対称性の連続極限での回復を確認した世界で初めての例である。これにより、低い時空次元の超対称ゲージ理論に対しては、確かに格子定式化による非摂動論的研究が可能になることが期待される。実際、この結果に基づき、我々は、上の理論における大局的対称性に付随した Noether カレント間の相関関数、基本表現の電荷間のポテンシャルエネルギーなどの物理量の数値計算による測定も行い、従来なされていた理論的予想との比較を行った。

### 3. 現在までの達成度

当初の計画以上に進展している。

(理由)

超対称性ゲージ理論の格子による非摂動論的定式化は素粒子理論物理学における長年の未解決問題である。我々は、2次元という低い時空次元ではあるが、超対称ゲージ理論の格子定式化が確かに可能であることを非自明な例で世界で初めて検証した。これは研究計画当初予期していた以上の成果である。また、超対称性理論において最も注目すべき非摂動論的現象である「超対称性の自発的破れ」を格子定式化を用いて測定する独自の方法を提案することができたことも大きな成果であると自負している。

#### 4. 今後の研究の推進方策

これまでの研究成果に基づき、現在、N個の基本表現多重項を含む2次元の $N=(2,2)$ 超対称性U(k)ゲージ理論の新しい格子定式化を構築中である。この定式化のねらいは、従来の定式化に比べて構造が比較的単純であることである。この研究が完了した後は、この定式化を計算機上に実装し、まず超対称性Ward-高橋恒等式の連続極限での回復を数値的に確認する。さらに、この理論は、離散的なカイラル対称性の破れやmass gapの生成などの豊富な物理的内容を持っていると考えられており、これらを数値計算で検証することを計画している。この他にも行列模型による超対称性ゲージ理論の定式化の進展などにも注意を払いつつ研究を進めたい。

#### 5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

##### [雑誌論文](計8件)

金森逸作、鈴木博、Some physics of the two-dimensional  $N=(2,2)$  supersymmetric Yang-Mills theory: Lattice Monte-Carlo study, Physics Letters B, 672, pp. 307-311 (2009)、査読有

金森逸作、鈴木博、Restoration of supersymmetry on the lattice: Two-dimensional  $N=(2,2)$  supersymmetric Yang-Mills theory, Nuclear Physics B, 811, pp. 420-437 (2009)、査読有

金森逸作、杉野文彦、鈴木博、Observing dynamical supersymmetry breaking with Euclidean lattice simulations, Progress of Theoretical Physics, 119, pp. 797-827 (2008)、査読有

金森逸作、杉野文彦、鈴木博、Euclidean lattice simulation for dynamical supersymmetry breaking, Physical Review D, 77, 091502 (2008)、査読有

菊川芳夫、鈴木博、Four-dimensional lattice chiral gauge theories with anomalous fermion content, Journal of High Energy Physics, 0710, 018 (2007)、査読有

鈴木博、Two-dimensional  $N=(2,2)$  super Yang-Mills theory on computer, Journal of High Energy Physics, 0709, 052 (2007)、査読有

深谷英則、金森逸作、鈴木博、早川雅司、瀧見知久、Note on massless bosonic Overlap lattice fermion in a gravitational field, Progress of

Theoretical Physics, 116, pp. 1117-1129 (2006)、査読有

早川雅司、宗博人、鈴木博、Overlap lattice fermion in a gravitational field, Progress of Theoretical Physics, 116, pp. 1117-1129 (2006)、査読有

##### [学会発表](計3件)

鈴木博、計算機上の2d  $N=(2,2)$  SYM、理研シンポジウム「場と弦の理論の新展開に向けて」、2008年12月20日、理化学研究所(和光)

鈴木博、2d  $N=(2,2)$  SYM in the machine, Lattice Supersymmetry and Beyond, 27 November 2008, Niels Bohr Institute (Copenhagen)

鈴木博、Tomboulisの閉じ込めの証明について、基研研究会「量子場の理論と弦理論の発展」、2008年7月28日、京都大学基礎物理学研究所(京都)

##### [図書](計1件)

鈴木博、サイエンス社、数理科学7月号・特集・物理的思考法のすすめ・諸分野におけるキーポイント「場の量子論の考え方」、(2008)、6頁から11頁

##### [その他]

新聞掲載:「超対称性の自発的破れ」科学新聞、平成20年5月16日号、他