

Title	Lattice Formulation of The Chern-Simons Theory
Author(s)	鳥居, 元展
Citation	大阪大学, 2001, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/42490
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	とりのぶ 鳥居元展
博士の専攻分野の名称	博士(理学)
学位記番号	第 15958 号
学位授与年月日	平成13年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 理学研究科物理学専攻
学位論文名	Lattice Formulation of The Chern-Simons Theory (チャーンサイモン理論の格子論的定式化)
論文審査委員	(主査) 教授 東島 清 (副査) 教授 細谷 裕 教授 高杉 英一 助教授 窪田 高弘 助教授 太田 信義

論文内容の要旨

3次元 U(1)チャーンサイモン (CS) 理論の非摂動的理解を目指し、格子論における定式化を行った。Polyakov は以前 3次元 QED において、モノポールの配位をプラズマ状態で近似し、その有効理論を研究した。二つの電荷間のポテンシャルが互いの距離に比例し、電荷の閉じ込めが示された。チャーンサイモン理論において、その状況は劇的な変更を受ける。1個のモノポールはもはや有効な配位ではなく、モノポール-反モノポールが束縛状態を形成し、各々はプラズマではなく分子として空間に分布する。ウィルソンループは面積則に従わず、電荷の閉じ込めの機構はもはや成立しない。このことは CS 理論ではゲージ場が質量を獲得し、ゲージ場の相関距離が有限という性質からも予想出来る。ゲージ場の質量は CS 項の係数 k に比例している。よって上述の大まかな CS 理論の性質は k が大きい領域では正しいと考えられる。しかし k の値を減少させた場合、ゲージ場が軽くなり、相転移が起こるかも知れない。我々は k の値が小さい場合に対しても非摂動的な解析が可能な模型を研究した。この論文では格子上のコンパクト U(1) CS 理論をハミルトニアン形式で構成する。格子理論ではゲージ場は角度変数となり、配位空間はコンパクト化される。また渦糸演算子を導入し、ヒルベルト空間に対し渦糸演算子が不変な作用を与えるという要請で U(1)ゲージ群を拡大する。渦糸演算子の局所性から CS 係数 k の量子化が誘導される。この拡大した U(1)群の下で電場、磁場は共に角度変数として扱わねばならない。これにより力学変数が全て角度変数になり、各点ごとに相空間がコンパクト化される。強結合極限において、ヒルベルト空間は有限次元の量子力学と同等になり、エネルギー固有方程式は一次元周期差分方程式、Harpar 方程式で決定される。各エネルギー固有状態は k 次元で、磁気変換演算子 (magnetic translation operator) が $sl(2)$ 量子群の表現として作用する。Harpar 方程式は量子的効果が支配的と思われる k が小さい場合においても定義できる。この事は我々の模型の非摂動的理解に対し強結合展開が有効であることを示唆している。

論文審査の結果の要旨

3次元のコンパクト U(1)ゲージ理論は、ゲージ場を周期的な角度変数として取り扱いインスタントンの効果を取り入れると、二つの電荷間のポテンシャルエネルギーが距離に比例し、電荷を閉じ込めることが知られている。一方、

3次元ゲージ理論ではチャーンサイモン (CS) 項と呼ばれるトポロジカルな項を導入してもゲージ不変性が保たれる。CS 項の係数 k が大きいときには、ゲージ場が質量を獲得するため長距離力は消失し電荷の閉じ込めは起きないが、 k が小さい領域ではゲージ場が軽くなり相転移が起きることが予想され、非摂動的な解析方法が待ち望まれている。

この論文では、 k の値が小さい場合に対しても非摂動的な解析が可能となるように、3次元 $U(1)$ チャーンサイモン理論を格子上のハミルトニアン形式を用いて定式化し、強結合理論の解析を行った。特異ゲージ変換である渦糸演算子の作用に対し、ヒルベルト空間が不変であることを要請してゲージ群を拡大すると、CS 項の係数 k が量子化される。この拡大した $U(1)$ 群の下で電場、磁場は共に角度変数になり、各点ごとの相空間がコンパクト化される。強結合極限において、ヒルベルト空間は有限次元の量子力学と同等になり、エネルギー固有値は一次元の周期差分方程式 (Harper 方程式) で決定される。各エネルギー固有状態は k 重に縮退しており、magnetic translation operator のつくる $sl(2)$ 量子群の表現で与えられる。Harper 方程式は量子効果が支配的な小さい k の場合にも定義され、この模型の非摂動的な理解に対し強結合展開が有効であることを示唆している。

本論文は博士 (理学) の学位論文として十分価値あるものと認められる。