

氏名	鈴木 滉平
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	第 7 3 2 号
認定課程名	防衛大学校理工学研究科後期課程
学位授与年月日	令和 5 年 8 月 2 5 日
論文題目	Vortex loops in N=2 supersymmetric gauge theories on three-manifold (3次元多様体上の N=2 超対称ゲージ理論の渦ループ)
審査担当専門委員	(主査) 東京工業大学 教授 伊藤 克司 東京大学 教授 酒見 泰寛 東京大学 教授 深津 晋

審査の結果の要旨

場の理論を経路積分により量子化する際、場の無限自由度に起因する困難が生じる。しかし、理論にボソンとフェルミオンを関係づける超対称性があると無限次元の経路積分においてその寄与が相殺するため簡単化する。さらにある種の超対称性理論では経路積分の配位が鞍点に局所化し、経路積分が有限次元の積分に帰着するという著しい結果が得られる。この局所化の手法により場の理論の経路積分が厳密に定義され、様々な物理量の計算が可能になる。

本論文において著者は、ellipsoid と呼ばれる球面を変形した 3 次元多様体上で定義された 2 種類の超対称性をもつゲージ理論における渦ループの期待値を局所化の手法により厳密に評価し、これまで考えられていた渦ループの定義に修正が必要なことを指摘し、その新しい定義を提案した。

著者はまず通常の局所化の手法により渦ループの期待値をゲージ場の漸近的振る舞いから決定される渦度の関数として厳密に計算し、その結果をゲージ場の Wilson ループの期待値と比較した。この二つの物理量は、超対称性を持たない 3 次元 Chern-Simons ゲージ理論においてその等価性が示されているものであるが、超対称性のある場合に違いがあることを見出した。著者はこの違いが生じる原因を探求し、渦ループの定義に修正点が必要なことを指摘した。

まず、渦ループの期待値を計算する際にループを含むチューブ型領域をくり抜いた境界付きの多様体を考える必要があるが、著者はゲージ理論の作用の超対称性不変性を要求する際に必要な境界項に加え、ゲージ場の境界条件を満たすための修正項が必要であることを

を発見した。その結果、渦ループは 3 次元理論とそれと相互作用する境界上の超対称量子力学で記述されることがわかった。次に著者は境界上に生じる超対称性の量子化においてこれまで見過ごされてきたグローバルアノマリが存在することを示し、そのアノマリを打ち消すために特別な電荷を持った Wilson ラインを挿入することが必要であることを指摘した。これにより渦ループと Wilson ループの期待値が一致するという結果が超対称性のある場合も成り立つことを示した。著者は quiver 型超対称量子力学の場合にこの現象を具体的に確認し、また $N=2$ 超対称性が $N=4$ に拡張する場合でもこの記述が有効であることを示した。このように本論文は局所化の手法の有効性を示したものであり学術的に高く評価される。以上より博士(理学)の価値が認められると判定した。