

氏 名 藤塚 理史

学位(専攻分野) 博士(理学)

学位記番号 総研大甲第 1754 号

学位授与の日付 平成27年3月 24 日

学位授与の要件 高エネルギー加速器科学研究科 素粒子原子核専攻
学位規則第6条第1項該当

学位論文題目 Higgs branch localization of
three-dimensional supersymmetric gauge theories

論文審査委員 主 査 教授 磯 暁
講師 溝口 俊弥
教授 小玉 英雄
准教授 西村 淳
准教授 今村 洋介 東京工業大学大学院

(別紙様式 2)
(Separate Form 2)

論文内容の要旨
Summary of thesis contents

In the thesis, the author studied $N=2$ supersymmetric gauge theories on a squashed 3 sphere and S^1 times S^2 . In general, it is difficult to perform the path integral calculation exactly in quantum field theories. However, if the theory has special symmetry such as supersymmetry, it becomes possible to reduce the field theory path integral to a finite dimensional integration. Such a technique is called localization. The localization enables us to compute various BPS quantum quantities in supersymmetric gauge theories exactly and check various nontrivial dualities between different quantum field theories.

In the procedure, the path integrals of BPS quantities usually reduce to finite dimensional integrals of matrix models characterized by constant value of vector multiplet scalar field. Since the localized configuration is described by the value, it is called the Coulomb branch localization. In particular, it has recently been shown by evaluating the matrix model integrals that the partition functions on a 3 ellipsoid in some class of theories factorize into a product of the 3 dimensional vortex and anti-vortex partition functions. However, the origin of such a vortex structure had been mysterious. In the thesis, the author gave a natural interpretation using the Higgs branch localization.

The organization of the paper is as follows.

In chapter 1, the author gives an overview of the developments of the supersymmetric gauge theories and discusses technical problems and motivations of the research. In chapter 2, some introduction and backgrounds of the calculation are reviewed. Vortex solutions and the moduli space of the supersymmetric gauge theories are also discussed. In chapter 3, localization technique is reviewed. In chapter 4, an explicit calculation of the partition function on 3 ellipsoid is given. In chapter 5, the vortex partition function is obtained. In chapter 6, Higgs branch localization is introduced and a natural interpretation of the factorization is proposed. Finally in chapter 7, the author summarized the thesis.

(別紙様式 3)
(Separate Form 3)

博士論文の審査結果の要旨

Summary of the results of the doctoral thesis screening

超対称ゲージ理論では、「局所化」の手法を使うことで、様々な物理量が厳密に計算できる場合がある。本博士論文では、この「局所化」の手法を用いて、3次元超対称ゲージ理論の分配関数を厳密に計算し、それによってこの分配関数に現れるボルテックス的な構造の由来を明らかにした。

非自明な積分計算が、離散的な有限個の点の近傍からの寄与の足し上げによってなされる例は古くから知られている。これを場の量子論に適用したのが「局所化」の手法とよばれる技法である。2乗して0になるような冪零超対称演算子 Q をもつ超対称ゲージ理論の分配関数（および超対称不変なオブザーバブルの期待値）は、作用に Q -完全な項を付け加える変形で不変である。その性質を使うと、経路積分は Q -変形項の係数が無限大の理論と等価になり、 Q -変形項が消える場の理論の配位（これをモジュライ空間とよぶ）の総和で評価できる。これにより分配関数等を厳密に評価する手法が「局所化」である。

本論文の主題である3次元楕円体上の $N=2$ ゲージ理論の分配関数は、Pasquetti によりボーテックス・反ボーテックス分配関数の積を含む形になることが知られていた。しかし、その導出における局所化の配位（これをクーロンブランチとよぶ）には、そもそもボーテックスはなく、その由来は謎であった。出願者は、これまでとは異なる新たな Q -完全項を発見し、それに付随するモジュライ空間（ヒッグスブランチ）では自然にボルテックス構造が現れ、場の理論の分配関数が自動的にボルテックス分配関数の積に因子化されることを示した。またこの計算をより一般の3次元超対称理論へ拡張して、これまでボルテックス分配関数への因子化が知られていなかった理論でも、同様のボルテックス構造をもつことを明らかにした。

本論文の独自性は、ボルテックス構造の起源を明らかにしたこと、その構造を明らかにするために必要な新しい Q -完全な項を発見したこと、さらに、より一般の3次元超対称場の理論におけるボルテックス構造の存在を明らかにしたこと、である。本博士論文では、局所化の手法に関するレビューからはじまり、3次元超対称の場の理論への応用が丁寧に記述され、局所化の計算手法が成立するための変形の正值性の確認とボーテックス配位を許す補助場の複素化の関係等、綿密な議論が展開されている。本論文のもととなった論文は3人の著者による共著論文だが、上記のアイデア・議論を含む大筋において本論文出願者である藤塚君が主導的な役割を果たしている。

藤塚氏は総研大の先端コースに在籍しており、昨年ドイツ・ポツダムのマックスプランク重力研究所におけるインターンシップを経験した。また CERN のスクールでのポスター発表やドイツ国内の大学におけるセミナーなどを英語で行ったことから、十分な英語力が備わっていると認められる。

本論文のもととなった原論文は査読付きの英文雑誌に投稿され掲載済みであり、一定の引用もあり、すでに国内外から評価されている。

以上のことを鑑みて、本審査委員会は、全会一致で藤塚理史君の博士論文審査を合格と判断した。