

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	量子Seiberg-Witten周期とArgyres-Douglas理論の普遍性
Title(English)	Quantum Seiberg-Witten Curves and Universality in Argyres-Douglas Theories
著者(和文)	小泉咲
Author(English)	Saki Koizumi
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11874号, 授与年月日:2021年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:伊藤 克司,今村 洋介,慈道 大介,山口 昌英,須山 輝明
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11874号, Conferred date:2021/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	小泉 咲
		氏 名	職 名	
論文審査	主査	伊藤克司	教授	須山輝明
審査員	審査員	今村洋介	准教授	
		慈道大介	教授	
		山口昌英	教授	

論文審査の要旨 (2000 字程度)

超対称性ゲージ理論において、双対性や超ポテンシャルの正則性という性質により、その低エネルギー有効作用が決定され、強結合領域の物理を厳密に調べることが可能になる。特に $N=2$ 超対称性をもつゲージ理論では、Seiberg-Witten (SW) による低エネルギー有効作用の厳密解を始め、Nekrasov による Ω 背景場中の分配関数の評価などにより、非摂動効果や強結合領域における理解が進展している。Nekrasov 分配関数は 2 次元共形場理論の共形ブロックと密接に関係しており、背景場を特徴づける 2 個のパラメータをゼロにする極限では、SW 解を特徴づけるプレポテンシャルの弱結合極限と一致することが知られている。また 1 個のみをゼロにする Nekrasov-Shatashvili (NS) 極限において、その低エネルギー有効理論は、SW 解を記述するリーマン面 (SW 曲線) を量子化し、その量子周期により Ω 変形されたプレポテンシャルが得られることが $SU(2)$ ゲージ理論の場合に Mironov-Morozov によって示されている。量子 SW 曲線は、シュレーディンガー方程式や量子可積分系における T-Q 関係式と密接に関係しており、数学的に興味深い構造を有している。さらに量子 SW 曲線は強結合領域においても有効な手法と考えられ、強結合領域における Nekrasov 関数の解明や、可積分模型との対応を理解する上で重要な研究対象となっている。本論文は、 $N=2$ 超対称ゲージ理論の量子 SW 曲線に基づいて、強結合領域の物理、特にくりこみ群の非自明な固定点として現れる $N=2$ 超対称共形場理論 (Argyres-Douglas (AD) 理論) の量子 SW 曲線と量子 SW 周期の構造を解明することを目的とし、申請者の 2 本の共著論文に基づき、申請者の寄与を中心に書かれたものである。

本論文は "Quantum Seiberg-Witten Curves and Universality in Argyres-Douglas Theories" と題し、7 つの章と 3 つの補遺から構成されている。第一章 "Introduction" では Seiberg-Witten 理論の導入から量子 SW 曲線の導入までを簡潔に説明している。第二章 " $N=2$ Supersymmetric Gauge Theory and the Prepotential" では、 $N=2$ 超対称ゲージ理論の低エネルギー有効作用の導入を行い、特に $N=2$ 超対称 QCD について説明している。第三章 "The Seiberg-Witten Theory for $N=2$ $SU(2)$ Super Yang-Mills Theory" では、特に $SU(2)$ 超対称 Yang-Mills 理論の低エネルギー有効理論の Seiberg-Witten 解についてその物理的アイデアを中心に簡潔にまとめている。第四章 "The Seiberg-Witten Theory for $N=2$ $SU(N_c)$ SQCD with N_f Matters" では、本論文で扱われる $N=2$ $SU(N_c)$ 超対称 QCD の Seiberg-Witten 曲線や $SO(2r)$ 型の超対称 Yang-Mills 理論の SW 曲線が導入されている。第五章 "Argyres-Douglas Theory" では、 $N=2$ 超対称ゲージ理論において Higgs 機構によりアーベル型群がゲージ対称性として残る真空のモジュライ空間の Coulomb branch における複数個の特異点が衝突するときを生ずる理論 (Argyres-Douglas 理論) について詳しく説明している。特に $SU(N_c)$ 超対称 QCD や $SO(2r)$ 超対称 Yang-Mills 理論の SW 曲線のスケール極限についての詳細な解析はオリジナルなものである。さらに本論文で重要な概念である、異なるゲージ理論が同じ AD 理論となる現象 (AD 理論のユニバーサリティ) について、例を用いながら詳しく記述している。第六章 " Ω Background and Quantum SW curves" では、Nekrasov の Ω 背景場を導入しその Nekrasov-Shatashvili 極限について議論した後、対応する SW 曲線の量子化を導入している。さらにその量子化の手法を $SU(N_c)$ 超対称 QCD や $SO(2r)$ 超対称 Yang-Mills 理論に適用し、量子 SW 曲線を求めている。また AD 理論を表す SW 曲線から量子 SW 曲線を求めている。その結果、このクラスの AD 理論の量子 SW 曲線は、シュレーディンガー方程式型の 2 解の微分方程式と超対称 QCD の量子 SW 曲線に現れる指数関数型の微分演算子をもつ方程式に分類されることを示している。その後、量子 SW 曲線の解を WKB 展開により求め、 Ω 背景場のパラメータの 4 次のオーダーまで展開項を厳密に求めている。また量子 SW 周期の量子補正と古典周期を結びつける微分演算子を系統的に求める手法を開発し、将来の量子周期の具体的な評価に有用な公式を導き出している。またゲージ理論の量子 SW 曲線のスケール極限について議論し、それが AD 理論の量子 SW 曲線を与えるかどうかについて考察し、フレーバー対称性のある量子 SW 曲線の場合、対応する AD 理論

の量子 SW 曲線に量子補正が必要であることを指摘している。これにより $N=2$ 超対称 QCD から得られる AD 理論の量子 SW 曲線が分類され、そのユニバーサリティがはじめて示された。第七章” Conclusion and Discussion”では、本論文の結果についてまとめ、今後の展望について述べている。また補遺 A” Supersymmetric Gauge Theories”では本論文で必要な超対称場理論の超場構成法についてまとめ、補遺 B では SW 曲線の 2 つの異なる表示の間の関係について、その変数変換を具体的に述べている。補遺 C では量子周期の具体的な計算を示している。

本論文は、超対称ゲージ理論に基づいた強結合領域のゲージ理論特に超対称共形場理論の構造について量子 Seiberg-Witten 曲線の観点から新しい結果、知見をもたらすものである。またこの論文の幅広い内容は、申請者の見識の広さと研究能力の高さを表している。

よって本論文は、博士(理学)の学位論文として十分価値のあるものと認められる。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。