

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	強結合領域におけるN=2超対称量子色力学の量子周期
Title(English)	Quantum periods for N=2 Supersymmetric QCD at strong coupling
著者(和文)	大久保隆史
Author(English)	Takafumi Okubo
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11039号, 授与年月日:2019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,陣内 修
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11039号, Conferred date:2019/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	物理学 物理学	系 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	（ 理学 ）
学生氏名： Student's Name	大久保 隆史		指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	伊藤 克司	
			指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)	今村 洋介	

要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

4 次元 $N=2$ 超対称ゲージ理論の真空構造は Seiberg-Witten (SW) 曲線によって特徴づけられる。SW 曲線上の周期積分は弱結合と強結合のそれぞれの領域において低エネルギー有効作用を記述するプレポテンシャルを非摂動効果を含めて厳密に決定できる。また SW 曲線の退化によって発見された IR 固定点上の理論である Argyres-Douglas (AD) 理論は互いに非局所な BPS 粒子が同時に存在し通常のラグランジアン描像がないため、その性質を理解することは非常に興味深く多くの研究者によって研究されている。

2002 年、Nekrasov によってオメガ背景時空上に定義された $N=2$ 超対称ゲージ理論の弱結合領域において、プレポテンシャルをインスタントン効果を含めて完全に決定する Nekrasov の分配関数が計算された。オメガ背景時空とは二つの変形パラメータをもったトラス作用によって 4 次元時空が変形された時空である。変形パラメータが両方ゼロとなる極限で Nekrasov の分配関数は SW 理論で得られたプレポテンシャルを再現する。また Nekrasov の分配関数を通して $N=2$ 超対称ゲージ理論は様々な数理論理との関連が示唆され物理的・数学的に多様性があるため、オメガ背景時空上の理論を理解することは非常に興味深い。

ところがオメガ背景時空上の $N=2$ 超対称ゲージ理論の強結合領域においては、プレポテンシャルを決定するような分配関数は知られていない。強結合領域におけるオメガ変形による効果を調べるため、本博士論文では Nekrasov-Shatashvili (NS) 極限と呼ばれる 2 つの変形パラメータのうち一方をゼロにする極限をとったオメガ背景時空上の $N=2$ 超対称ゲージ理論に着目した。

NS 極限をとったオメガ背景時空上の $N=2$ 超対称ゲージ理論において SW 曲線は量子化され微分方程式となる。その WKB 解から SW 周期の弱結合領域のみならず強結合領域におけるオメガ変形の効果が得られると期待される。実際、弱結合領域においては量子 SW 周期から得られたプレポテンシャルは NS 極限をとった Nekrasov の分配関数から得られたものと一致する。

本博士論文では、NS 極限をとったオメガ背景時空上の 4 次元 $N=2$ 超対称量子色力学 (SQCD) において量子 SW 曲線から強結合領域における量子 SW 周期の解析し、その物理的性質を議論した。 $N=2$ $SU(2)$ SQCD において SW 周期とその量子補正の間の関係式を導出した。さらに真空のモジュライ空間上の特異点であるモノポールの質量がゼロとなる点(無質量モノポール点)周りでの量子 SW 周期を解析し、量子補正による無質量モノポール点のシフトを説明した。また AD 理論においても SW 周期とその量子補正との間の関係式を導出した。

第 1 章では、導入として研究の背景や $N=2$ 超対称ゲージ理論と他の理論との関連について触れながら上述のような事柄を説明し、以下の章の概要を述べた。

第 2 章では、本博士論文の解析の前段階として、その解析の基礎となる Seiberg-Witten 理論について基本的な考えを説明した。まず物質場のない $SU(2)$ ゲージ理論を例に SW 曲線と SW 微分を導入し、弱結合領域でのプレポテンシャルの解析結果をまとめた。また無質量モノポール点の周りでの解析結果をまとめた。さらに $N=2$ $SU(N)$ SQCD に拡張し、SW 曲線と SW 微分を定義した。

第 3 章では、Argyres-Douglas 理論の SW 曲線と SW 周期について説明した。AD 理論は $N=2$ 超対称ゲージ理論の真空のモジュライ空間上において、互いに非局所な BPS 粒子が無質量となる特別な特異点(超共形点)上に現れる。AD 理論の SW 曲線は $N=2$ 理論の SW 曲線の超共形点周りでのスケーリング極限をとることによって得られる。同様に SW 微分も対応した $N=2$ 理論の SW 微分をスケーリング極限をとることによって得られるが、その形式はフレーバー対称性によって異なっている。この章では $N=2$ $SU(2)$ SQCD から実現される AD 理論において SW 曲線と SW 微分を導出し、超共形点周りでの SW 周期を解析しその結果をまとめた。また $N=2$ $SU(N)$ SQCD に関連する AD 理論においても SW 曲線と SW 微分を導出した。

第 4 章では、オメガ背景時空上の 4 次元 $N=2$ 超対称ゲージ理論についてまとめた。まずオメガ背景時空の定義や $N=2$ $SU(2)$ SQCD における Nekrasov の分配関数を示した。また Nekrasov-Shatashvili 極限をとることによって、SW 周期が Bohr-Sommerfeld (BS) の量子化条件を満たすことを説明した。

第 5 章では、 $N=2$ $SU(2)$ SQCD において量子 SW 曲線とその周期について調べた。量子 SW 曲線における WKB 解から SW 周期の量子補正を変形パラメータの 4 次のオーダーまで計算し、SW 周期とその量子補正の関係式を導出した。その関係式を用いて、弱結合領域におけるプレポテンシャルを解析し、Nekrasov の分配関数から得られた結果と一致することを確認した。さらに無質量モノポール点周りにおける量子 SW 周期を解析し、量子補正によって無質量モノポール点がシフトするという興味深い現象があることを説明した。

第 6 章では、 $N=2$ $SU(N)$ SQCD に関連した AD 理論における量子 SW 曲線とその周期について調べた。AD 理論の SW 微分がフレーバー対称性によって分類されるため、フレーバー対称性によって異なる量子化条件を課す必要がある。まず $N=2$ $SU(2)$ SQCD に対応した AD 理論において量子 SW 曲線を与え、その WKB 解から SW 周期とその量子補正との間の関係式を導出した。その関係式から、超共形点周りにおける量子 SW 周期を変形パラメータの 4 次のオーダーまで解析した。さらに上記の方法を $N=2$ $SU(N)$ SQCD に関連した AD 理論に一般化し、2 次と 4 次の量子補正における関係式をそれぞれ導出した。

第 7 章では、本博士論文で得られた結果をまとめ、その応用が期待されるいくつかの問題について議論した。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース：	物理学	系
Department of, Graduate major in	物理学	コース
学生氏名：	大久保 隆史	
Student's Name		

申請学位 (専攻分野)：	博士	(理学)
Academic Degree Requested	Doctor of	
指導教員 (主)：	伊藤 克司	
Academic Supervisor(main)		
指導教員 (副)：	今村 洋介	
Academic Supervisor(sub)		

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

The purpose of this thesis is to study quantum periods in four-dimensional $N=2$ supersymmetric gauge theories with hypermultiplets defined in the Nekrasov-Shatashvili (NS) limit of the Omega background.

We first review the Seiberg-Witten theory. In $N=2$ supersymmetric gauge theories, their dynamics in the Coulomb moduli space is described by the Seiberg-Witten (SW) curve. The periods of the SW curve enable us to analyze the low-energy effective theory, including non-perturbative effects, at both weak and strong coupling. In the weak coupling region, one can investigate the non-perturbative instanton effects through the prepotential. At strong coupling, one obtains the periods around singularities in the Coulomb moduli space, where BPS particles become massless. The dual prepotentials around the massless monopole/dyon point are also determined from the SW curve and its periods. At a superconformal point, where mutually non-local BPS particles become massless, the curve degenerate and the theory becomes an interacting $N=2$ superconformal field theory, called the Argyres-Douglas (AD) theory. The AD theory has fractional scaling dimensional operators and no microscopic Lagrangian. The BPS spectrum of the AD theory is determined from the degenerated SW curve.

We next study the quantization of Seiberg-Witten curve for $N=2$ supersymmetric quantum chromodynamics (SQCD). The SW curve is quantized with help of the canonical quantization of the symplectic structure derived by the SW differential. The Planck constant corresponds to the deformation parameter of the NS limit of the Omega background. The quantum correction to the SW periods, obtained from the WKB solution, is given from the SW periods by acting some differential operator. In the weak coupling region, the quantum periods agree with those obtained from the NS limit of the Nekrasov partition function, where the gauge theory is defined in the Omega background. We compute the quantum SW periods around the massless monopole point and the superconformal point up to the fourth order in the parameter of the Omega background. We then find the general formulas for the second and fourth order corrections to the SW periods in the $SU(N)$ SQCD and related Argyres-Douglas theory.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).