

Title	The Gauge/Gravity Correspondence and Random Plane Partitions
Author(s)	前田, 高志
Citation	大阪大学, 2006, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/46444
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	まえ だ たか し 前 田 高 志
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)
学位記番号	第 20012 号
学位授与年月日	平成 18 年 3 月 24 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	The Gauge/Gravity Correspondence and Random Plane Partitions (3次元 Young 図形の統計モデルで見るゲージ・重力対応)
論文審査委員	(主査) 教授 東島 清 (副査) 教授 伊達 悦朗 教授 細谷 裕 助教授 太田 信義 助教授 窪田 高弘

論 文 内 容 の 要 旨

ゲージ理論と重力理論は、物理学において中心的な役割を果たしてきた。ゲージ理論は、電磁気力、弱い力、強い力を統一的に扱う理論であり、現在の標準模型を定式化する上で欠くことのできない存在である。他方、重力理論には、Einstein の作り上げた一般相対性理論がある。一般相対性理論は、古典的な理論であるものの、巨視的な系での重力を非常に見事な形で定式化する。いくつかのモデルにおいて、ゲージ理論と重力理論の間の非自明な関係（ゲージ・重力対応）が見出されているという事実は、非常に興味深く、現在も数多くの研究が行われている。

本博士論文では、3次元 Young 図形の統計モデルを用いたゲージ・重力対応へのアプローチに関する研究を行った。ゲージ・重力対応に関する我々の理解は、まだまだ不十分であるが、簡単な統計モデルを用いたアプローチにより、ゲージ・重力対応への理解をより深めることができると期待される。

まず、3次元 Young 図形の統計モデルを導入し、それと5次元 $N=1$ 超対称ゲージ理論の関係について考察した。その結果、統計モデルの分配関数から5次元 $N=1$ 超対称ゲージ理論の厳密な分配関数が導かれることが示された。特に、ground partition と呼ばれるある Young 図形がゲージ理論における摂動計算の結果を再現していることが分かった。ゲージ理論における非摂動的効果は、統計モデルにおいて ground partition からの変形として現れる。

次に、重力理論との関係を考察した。3次元 Young 図形の統計モデルは Kähler gravity と呼ばれる重力理論との関係が指摘されている。これは、先の5次元ゲージ理論と Kähler gravity の間のゲージ重力・対応が存在し、統計モデルを使って調べることが可能であることを示唆している。この統計モデルと重力理論の関係によると、ground partition はある古典的な幾何と対応している。そこで、local $SU(N)$ geometry と呼ばれるある背景幾何の上での Kähler gravity を考察した。その結果、重力理論における計算から5次元 $N=1$ 超対称 $SU(N)$ ゲージ理論の摂動計算による結果が再現されることが示された。これは、摂動理論の範囲内でもゲージ・重力対応が成り立つことを示している。また、local $SU(N)$ geometry は、トーリック幾何学という枠組により、 \mathbb{R}^3 内の凸多面体を使って記述できるが、この凸多面体が統計モデルの基底状態として得られることも分かった。

最後に、統計モデルの熱力学的極限について考察した。3次元 Young 図形は熱力学的極限で、limit shape と呼ばれるある典型的な形を持つ。この limit shape と超対称ゲージ理論で現れる Seiberg-Witten 曲線との関係を議論した。

2つの間の具体的な対応を与えるものとして、アメーバが現れる。アメーバとは、ある写像による Seiberg-Witten 曲線の像であり、このアメーバが limit shape を与えることが示された。limit shape は重力理論の言葉で言うと、古典的な背景幾何（今の場合、local $SU(N)$ geometry）を非摂動的な補正により変形した幾何に対応している。他方、Seiberg-Witten 曲線は、ゲージ理論における非摂動効果も含めた厳密な真空の構造を表している。つまり、アメーバが導く関係は、非摂動的効果も含めた完全なゲージ・重力対応を示していると期待される。

論文審査の結果の要旨

近年、ゲージ理論と重力理論の間に興味深い関係（ゲージ・重力対応）があることが次第に分かってきた。前田君は、3次元 Young 図形により定義される統計模型を用いて、ゲージ・重力対応に関する研究を行った。

まず分配関数と3次元 Young 図形が一对一に対応する統計模型を導入し、その統計模型の分配関数が5次元 $N=1$ 超対称ゲージ理論の分配関数と一致することを示した。特に、ground partition と呼ばれるある Young 図形がゲージ理論における摂動計算の結果を再現していることが分かった。ゲージ理論における非摂動的効果は、統計模型において ground partition からの変形に対応している。

3次元 Young 図形の統計模型は Kähler gravity と呼ばれる重力理論との関係が指摘されている。このことは、統計模型を媒介として、5次元ゲージ理論と Kähler gravity の間のゲージ・重力対応が存在することを示唆している。この統計模型と重力理論の関係によると、ground partition はある古典的な幾何に対応している。前田君は、local $SU(N)$ geometry と呼ばれるある背景幾何の上での Kähler gravity を考察し、重力理論における計算から、5次元 $N=1$ 超対称 $SU(N)$ ゲージ理論の摂動計算結果を再現した。これは、摂動理論の範囲内でもゲージ・重力対応が成り立つことを示している。また、local $SU(N)$ geometry は、トーリック幾何学という枠組により、 \mathbb{R}^3 内の凸多面体を使って記述できるが、この凸多面体が統計模型の基底状態として得られることも分かった。

3次元 Young 図形は熱力学的極限で、limit shape と呼ばれるある典型的な形を持つ。前田君は、この limit shape と超対称ゲージ理論で現れる Seiberg-Witten 曲線との関係を議論した。2つの間の具体的な対応を与えるものとして、アメーバが現れる。アメーバとは、ある写像による Seiberg-Witten 曲線の像であり、前田君はこのアメーバが limit shape を与えることを示した。limit shape は重力理論の言葉で言うと、古典的な背景幾何（今の場合、local $SU(N)$ geometry）を非摂動的な補正により変形した幾何に対応している。他方、Seiberg-Witten 曲線は、ゲージ理論における非摂動効果も含めた厳密な真空の構造を表している。従って、本論文は幾何学すなわち重力理論とゲージ理論を量子論において関連づけたものとして注目に値する。

よって、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る。