

論文審査結果の要旨

氏名 松浦俊司

現在の弦理論の中心的な課題の一つとして AdS/CFT 対応と呼ばれるゲージ理論と重力の間の双対性がある。これは4次元の超対称ゲージ理論と10次元の AdS₅×S⁵ 時空で定義された重力理論の間の対応関係であり、ここ10年に様々な検証と応用がなされてきた。強結合領域のゲージ理論の非摂動的な性質について古典的な重力理論の解析により知見が得られるため、これまで格子理論による数値計算しか解析手段がなかった強結合理論に対する新たな解析手段として大きな注目を集めている。

ゲージ理論における相関関数の重力理論を用いた導出は、AdS/CFT 対応の検証の最も典型的な例であり、これまで様々な局所演算子に対しゲージ理論と重力理論の両方の方法で計算され、その結果が一致することが様々なレベルで確かめられてきた。松浦氏の学位論文ではこれまで局所演算子で検証してきた双対性を非局所演算子に拡張したものである。これらの演算子の相関関数をそれぞれゲージ理論と重力理論で計算し、それらが厳密に一致していることを示している。このことは AdS/CFT 対応の適用範囲を拡大するという重要な意義を持つ。

松浦氏の論文は5章よりなり、第1章は物理的な背景の説明、第2章はこの論文で重力理論から相関関数を読み取る際に必要となるホログラフィックな繰り込み群の方法と **Bubbling** 幾何学の解説がなされている。以上の準備を経た上で第3章では1次元的に広がった演算子である **Wilson** ラインの解析、第4章では2次元的に広がった **Surface** 演算子の解析の説明がなされている。この2章が本論文でなされた主要な結果である。第5章は結論と今後の研究課題などが述べられている。

この論文では相関関数を3種類の異なる手法で計算している。第1の方法はゲージ理論を用いた解析であり結合定数が小さい場合に有効な手段である。第2の方法はDブレーンを用いた解析で結合定数が大きくかつブレーンの枚数が少ない場合に有効なものである。また第3の方法は古典的な超重力を用いたものであり、結合定数が大きくかつブレーンの枚数が大きい場合に対応する。このように以上の3種類の手法はそれぞれ近似が良い領域が全く異なっているがこの論文でなされた相関関数は全ての手法で一致した結果を与えており双対性が成立していることへの強い証拠を与えている。

まず第3章では **Wilson** ラインの相関関数の計算がなされている。共形対称性を要請すると相関関数に対してある程度の制約が得られ、この論文で主に考察している局所演算子（エネルギー運動量テンソルあるいはカイラルプライマリー場）と **Wilson** ラインの2点相関関数はいくつかのパラメータを除いて決定される。この残された数個のパラメータを様々な手法で計算していく。まずゲージ理論ではこれらの数因子は超対称性を用いると、ファイ

ンマンガラフに対する組み合わせ論的手法で決定できるものであり、0次元に還元したユニタリー行列模型を用いて計算することができる。行列模型は自由フェルミオン場に帰着することが知られており Wilson ラインの効果はフェルミオンの状態スペクトルに適切な制約を置くことにより計算することが可能である。一方重力理論側における相関関数の計算は、Wilson ラインの情報を反対称テンソル場の真空期待値であるフラックスに反映した超重力の解 (Bubbling 幾何学と呼ばれる) に対しホログラフィックな繰り込み群の概念を適用し、超重力解の漸近領域における振る舞いから読み取ることができる。このようにして全く異なる手法で得られた数因子は一致することが示される。

次に第4章で調べられている Surface 演算子とはゲージ理論が定義されている4次元空間に2次的に広がっている演算子であり、空間自由度は一次元すなわち渦的な配位を持つ新しい演算子である。この演算子はゲージ理論の側からは渦の位置に特異点を持ち、さらに固定されたモノドロミーを持つ配位を考えることにより実現する。従ってゲージ理論の立場から見ると以上の振る舞いをするゲージ場の配位空間における局所演算子の期待値が、非局所演算子との相関関数となる。Wilson ラインの場合と同様に共形対称性があるため相関関数は数個のパラメータのみに依存しており、これらのパラメータが以上のような計算によりゲージ理論側では得られる。一方 Surface 演算子はプローブのDブレーンとしてとらえることも可能でありブレーン上の Dirac-Born-Infeld 理論を用いて相関関数を決めることも可能で、この論文では4.2章で議論されている。さらに Wilson ラインの場合と同じように、これらの defect はフラックスとして超重力解に取り入れることが可能であり、上のものとは異なる種類の Bubbling 幾何学解として構成され、その漸近領域における振る舞いから相関関数を読み取ることが可能である。以上の異なる手法でなされた解析は再び同じ結果を再現する。また Surface 演算子については S-duality の検証もあからさまに示すことが可能である。

以上のようにこの論文ではこれまでなされていなかった非局所演算子の相関関数を通して AdS/CFT 対応の非自明な検証がなされている。計算内容は膨大で、様々な新しいアイデアを取り入れており学術的価値が大変高い。またこの論文は J.Gomis らとの共同研究に基づいたものであるが、松浦氏は主に超重力を用いた解析を担当し重要な寄与を行っており、十分な寄与を行っていることが判断できる。

したがって、博士 (理学) の学位を授与できると認める。