

# 論文審査の結果の要旨

氏名 岡村 圭祐

超弦理論は、重力を含む統一理論の最有力候補として精力的に研究されてきたが、1997年 Maldacena によってゲージ場の理論との新しい深い対応が示唆され、新たな発展段階に入った。これは「AdS/CFT 対応」と呼ばれ、曲がった反ドジッター (Anti de Sitter) 空間をその一部として含む 10 次元時空中の重力 (弦) 理論がより低い次元の超共形不変理論 (CFT=conformal field theory) と等価であることを主張する。その典型的な例は、 $U(N)$  をゲージ群とする 4 次元の  $\mathcal{N} = 4$  超対称ヤン・ミルズゲージ理論が、 $N$  が大きなある極限で 5 次元反ドジッター空間  $AdS_5$  と 5 次元球  $S^5$  の直積からなる 10 次元時空中の閉じた超弦の理論の情報をすべて内包しているというものである。AdS/CFT 対応では、重力 (弦) 理論側の弱結合領域とゲージ理論側の強結合領域 (あるいはその逆) が対応しているため、弦理論の非摂動的性質をゲージ理論側から考察したり、またゲージ理論の強結合相を弱い重力場を用いて理解するという画期的な可能性を内包している。このことは、逆に言えば、両側共に弱結合である領域が一般にはないため、AdS/CFT 対応の本質的な解明が非常に困難であることを意味する。しかしながら、近年、双方の理論の可積分性 (一部は仮定) を利用して、詳細な比較が可能になってきた。本論文はこの可積分性の概念を軸として最新の研究の状況を総括すると共に、AdS/CFT 対応の正しさを証拠立てる幾つかの新しい結果を得ている。

本学位論文は、5つの部からなり、その各々がさらに幾つかの章に分けられ、全体として 11 章から構成されている。

第 1 部 (1,2 章) は序論であり、背景となる AdS/CFT のレビューが展開され、特に本論文の主題となるゲージ理論側と重力側の対応するスペクトルの比較の方法が述べられている。

第 2 部 (3,4 章) ではゲージ理論側の可積分性の構造について解説している。ゲージ不変な複合オペレーターの異常次元行列が可積分スピソ鎖系のハミルトニアンに写像され、そのスペクトルを支配するベテ方程式が熱力学的 (連続) 極限では解けて、対角化された異常次元が求まることが述べられている。

第 3 部 (5,6 章) は弦理論側の可積分性についての考察からなり、 $AdS_5 \times S^5$  中の古典弦の可解性、典型的な例として知られている回転弦についてレビューした後、著者達が可解

モデルへの写像を利用して構成した helical string と呼ばれる新しい一群の解について述べている。これらの解は  $AdS_5 \times S^5$  の 4 次元部分空間である  $R \times S^3$  上の最も一般的な楕円古典解になっており、可積分性の強力さを示すとともに、これまで知られている解を内挿している意味でも非常に興味深い結果である。

第 4 部 (7 ~ 11 章) はゲージ理論側と弦理論側の可積分性を統一的に理解しようとするものであり、本論文の中核をなしている。まず、 $AdS_5 \times S^5$  中の弦理論を complex Sine-Gordon 模型と呼ばれる可解モデルに写像することにより、Hofman と Maldacena によって構成された giant magnon 解を一般化した dyonic giant magnon 解を構成し、そのエネルギー・運動量の分散関係を導出した。次に、これに対応するゲージ理論側の magnon の束縛状態を調べ、その分散関係を厳密に求めることにより、弦理論側の結果と完全に一致することを示した。これらの結果は AdS/CFT 対応に関する新たな非自明な証拠となっている。さらに、magnon 束縛状態に対する散乱行列を初めて導出し、その極の構造が正しく物理的な散乱のプロセスに対応するものであることを明らかにした。

最終第 5 部は、本論文の成果の簡潔なまとめとこれからの展望に充てられている。

以上見てきたように、本学位論文において学位申請者は、進展が早く世界的に競争の激しい重要な研究分野において、その全貌を把握しつつ幾つもの新しい寄与をしており、高く評価される。記述は詳細かつ明快、またレビュー部分も充実しており、高レベルの博士論文である。なお、本論文第 6 章の結果は、H.Hayashi, R.Suzuki および B.Vicedo 氏との共同研究に、また第 7 ~ 11 章の結果は、H.Y. Chen および N. Dorey 氏との共同研究に基づくが、論文提出者が主体となって解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。したがって、博士 (理学) の学位を授与できると認める。