

三塚氏の学位論文は弦理論における双対性の代表例である AdS/CFT 対応のある種の検証を行ったものである。三塚氏の論文は 6 章よりなり、第 1 章は一般的な導入と本論文の概説、第 2 章、第 3 章が関連する先行研究のレビュー、第 4 章、第 5 章がオリジナルな仕事の説明、第 6 章が結論となっている。

AdS/CFT 対応とは 10 次元時空  $AdS_5 \times S^5$  中で定義された重力理論と  $AdS_5$  空間の境界に存在している 4 次元空間上のゲージ理論が同等であるという予想であり、強結合で解析が難しいゲージ理論における相関関数などの物理量が弱結合の重力理論により解析可能となる。この予想は弦理論においては最も基礎的なものであり、これまで様々な検証や応用が研究されてきた。この内容は論文では第 2 章でレビューされている。

この学位論文では非常にスピンの大きな演算子間の相関関数についての AdS/CFT 対応を考察している。一般にゲージ理論の相関関数は演算子の挿入により定義されるが、対応する重力的背景はその影響を受けて変形する。通常は演算子の次元やスピンの大きくない場合を考えるが、その場合は対応する重力的背景の変形は微少にとどまる。三塚氏が考察した演算子はスピンの非常に大きなものであり、対応する重力的背景の変形も大きい。この論文の 3 章でレビューされているように、このような研究は 1/2 BPS 演算子に対して Lin-Lunin-Maldacena(LLM)により開発され、対応する重力背景が一つの未知関数とその 2 次元面上の境界値により決定できることが示された。ゲージ理論側の相関関数も行列模型などの計算を通じて得られ、その両者が一致していることが示されている。

より一般的な 1/8 BPS 演算子に対して LLM と同じような解析を行おうという試みが Gava-Milanesi-Narain-O'Loughlin(GMNO)によりなされた。重力背景を決定づける条件は Killing spinor の条件、背景場の自己双対条件、Bianchi 恒等式などであるが、この一般化された状況に対しては独立な自由度をあらわす関数は 4 個に増えそれらの間に 4 個の偏微分方程式を要請しなくてはならないことが示された。GMNO の論文ではこれらの関係式を漸近的に解くことにより重力とゲージの対応が議論されている。

三塚氏の論文の第 4 章ではまず GMNO の論文について詳しく解説し、さらに上で述べた条件の間の無矛盾性をより慎重に調べた結果、彼らが見逃していた独立な条件が必要であることが導いた。この新たな拘束条件は一般化された Liouville 方程式の形をしている。

さらに第 5 章ではある特定の条件の下で、新たに導いた拘束条件が Liouville 方程式そのものになることを示し、その具体的な解を構成している。この場合対応する背景重力場は  $AdS_3 \times S^3 \times R^4$  になることを示した。これはもともと考えていた  $AdS_5 \times S^5$  とは大きく異なる空間であり、なぜこのような空間が現れるべきかは AdS/CFT 対応の上では完全に明らかで

はないが、将来より詳細に調べる価値がある一つの新しい知見であると考えられる。

以上のように三塚氏の学位論文では大変複雑な GMNO の議論に不足している部分があることを見だし、ある種の特別な極限でその拘束条件を解き具体的な重力背景を導いた。この意味で AdS/CFT 対応の理解を進展させる十分な意義が認められる。またこの計算は三塚氏本人の独力でなされた仕事であり、既に研究者としての実力を十分持っていることも明らかである。したがって、本審査委員会は博士（学術）の学位を授与するのにふさわしいものと認定する。