



Title	Study of Holography for Three Dimensional Spin-3 Gravity Coupled to a Scalar Field [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	鈴木, 智貴
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第13563号
Issue Date	2019-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/74288
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Tomotaka_Suzuki_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（理 学） 氏 名 鈴木 智貴

学 位 論 文 題 名

Study of Holography for Three Dimensional Spin-3 Gravity Coupled to a Scalar Field
(スカラー場と結合した3次元スピン3重力に対するホログラフィーに関する研究)

2012年のヒッグス粒子の発見により、これまで観測されていたほぼ全ての高エネルギー物理現象を説明できる素粒子標準模型が確立された。素粒子標準模型で記述される強い相互作用、弱い相互作用および電磁相互作用の3つの相互作用にはそれらを媒介する粒子が存在する。その一方で、重力は模型に含まれていない。重力は時空を歪める相互作用であり、エネルギーを持つすべてのものに働くが、重力定数が負の質量次元をもっているため、アインシュタイン重力理論は繰り込み可能ではなく、予言能力がない。このため、重力理論は超弦理論のようなより大きな枠組みの中でのみ定式化されると考えられている。

超弦理論では、重力理論はゲージ理論と双対であることが示唆されている。これをゲージ重力対応と呼ぶ。この対応によると、強結合の領域のd次元ゲージ理論は、1次元高い次元の時空を記述する重力理論と等価である。重力がはたらく機構をゲージ理論の枠組みで理解することができると期待されており、盛んに研究が行われている。ゲージ重力対応の完全な証明は未だ与えられていないが、その正当性を示唆する数々の証拠が報告されている。その一つが、本研究が対象とするテーマであるAdS/CFT対応である。これは宇宙項が負の時空の重力理論と無限遠にある境界上の場の理論が等価であるという仮説である。異なる理論の双対性の具体例を研究することによってゲージ重力対応が適用可能な範囲を調べることは、ゲージ理論および重力理論の双方の理解を深める意味で非常に有益である。本学位論文ではスカラー場と結合した3次元スピン3重力とゲージ理論との双対性に関する研究を行った。

3次元スピン3重力理論はチャー・サイモンズ理論との等価性に基づいて研究されている。しかし、これは重力のみの理論であり、物質場と結合した高スピン重力理論の研究は進んでいない。困難の理由の一つはスピン3ゲージ場と結合した物質場の作用積分がどう書かれるのか明らかでないことである。AdS/CFT対応はここに新たな見方を与える。3次元スピン3重力理論は W_3 代数をもつ拡張された共形場理論と等価であることが知られている。AdS₃時空に置かれた物質場を共形場理論の枠組みで捉えなおすことにより、上記の問題が解決され、理論自体の理解がさらに深まることが期待される。

本学位論文では、スカラー場と結合した3次元スピン3重力理論を、 W_3 代数によって拡張された共形場理論との双対性を利用して、作用積分を用いて定式化した。 W_3 代数を用いてスカラー場のバルクでの状態を構成し、さらにこの状態が満たす固有値方程式を導く作用積分を求めた。 W_3 変換不変な理論を定式化するためには、超対称理論の超空間のように3次元時空に5つの補助的な座標を加える必要がある。また、 W_3 代数では W 生成子の交換関係 $[W_m, W_n]$ がピラソロ代数の生成子 L_{n-m} と一致するため、 W_3 変換の元で補助的な座標は本来の時空座標と混ざり合う。そのため、補助的な座標は内部空間の自由度ではなく時空の座標とみなさなければならない。よって、理論を8次元時空上で定式化する必要がある。AdS₃時空にスカラー場をおくと元々あった共形対称性のうちの半分が破れる。残された対称性はスカラー場の状態を決める方程式で表わされ、これを解くことでスカラー場の状態が構成される。また、 W_3 変換の代数の2次のカシミール演算子をス

カラー状態に作用させると固有値方程式が得られる。それは3次元時空の方程式としては表すことができないが、カシミール演算子の固有値をスカラー場の質量と解釈すると8次元時空における自由スカラー場の運動方程式とみなすことができる。これにより、8次元時空における自由スカラー場の作用によって3次元スピンの3重力理論のスカラー場を記述できることを示した。また、スピン3ゲージ理論のAdS/CFT対応のdictionaryが成り立つことを示した。

加えて、スピン3重力の作用の定式化に関する研究を行った。偶数次元ではチャーレン・サイモンズ作用は存在しないため、新しい作用が必要である。 W_3 変換には2次と3次のカシミール演算子が存在し、これら演算子の微分演算子表現は時空の計量とスピン3場を与える。これにより、多脚場とスピン接続が一意的に定まり、これらから得られるゲージ接続は8次元における平坦性条件をみたしていることが分かった。この平坦性条件を多脚場とスピン接続の運動方程式と考えることにより、これを導く作用を導出した。以上により、スカラー場と相互作用する3次元スピンの3重力でもホログラフィックな対応が成り立っていることが示された。さらに、上記の高次元のゲージ接続の平坦条件を解くことにより、3次元スピンの3重力理論の新しいブラックホール解を得た。

3次元時空は8次元時空において補助的な座標が一定の超曲面を考え、 W 生成子に伴うdescendant演算子を考えるために厚みをもたせたものである。本来の3次元時空は補助的な座標を0とした超曲面であり、一方、補助的な座標が0でない他の超曲面上では、3次元時空は漸近的AdS時空となる。AdS時空の半径座標はエネルギースケールを表す。半径座標を高エネルギー領域に近づけると、補助的な座標は無限大までフローし、境界上の場の理論は共形不変な場の理論から、共形不変でない場の理論を経て、最後に再び共形不変な理論に達することを示した。場の演算子の共形次元はこのフローを通じて最終的に初めの値の半分に変化する。