



|              |   |
|--------------|---|
| Title        | AdS/CFT Correspondence and Three-Dimensional Black Holes  |
| Author(s)    | 横井, 直人  |
| Citation     | 大阪大学, 2000, 博士論文  |
| Version Type |   |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/41943">https://hdl.handle.net/11094/41943</a>   |
| 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">＜a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"&gt;https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> >大阪大学の博士論文について <a>&lt;/a&gt;</a> をご参照ください。 |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

|               |  |
|---------------|--|
| 氏 名           | 横 井 直 人  |
| 博士の専攻分野の名称    | 博 士 (理 学)  |
| 学 位 記 番 号     | 第 1 5 1 5 4 号  |
| 学 位 授 与 年 月 日 | 平成12年 3 月 24 日   |
| 学 位 授 与 の 要 件 | 学位規則第4条第1項該当<br>理学研究科物理学専攻   |
| 学 位 論 文 名     | AdS/CFT Correspondence and Three-Dimensional Black Holes<br>(AdS /CFT 対応と3次元ブラックホール) |
| 論 文 審 査 委 員   | (主査)<br>教 授 高杉 英一<br><br>(副査)<br>教 授 大坪 久夫    教 授 東島 清    助教授 窪田 高弘<br>助教授 糸山 浩      |

### 論 文 内 容 の 要 旨

この論文において、私は  $AdS_{d+1}/CFT_d$  対応の量子論的側面について議論した。 $AdS_{d+1}/CFT_d$  対応とは、 $d+1$ 次元の Anti-de-Sitter 時空を背景時空とする重力理論 ( $AdS_{d+1}$ ) と、その  $d$ 次元の境界上で定義された共形場理論 ( $CFT_d$ ) との対応のことである。この対応について、 $d=1$  の場合と  $d=2$  の場合について詳しく議論した。

まず最初に  $d=1$  の場合について、ハミルトニアン形式 (正準形式) を用いてその量子論的側面を議論した。その際、2次元 Anti-de-Sitter 時空の上のスカラー場の理論 ( $AdS_2$ ) とその境界上の共形場理論、すなわち共形量子力学 ( $CFT_1$ ) の量子化を、その二つの理論が持つ対称性である  $SU(1, 1)$  対称性のユニタリー表現論を用いて実行した。その結果、その二つの理論で定義されるヒルベルト空間の間の同型対応、及び、二つの理論のヒルベルト空間に作用する場の演算子の間の1対1対応を見出した。また、これらの理論をユークリッド化したものについても議論し、二つの理論の真空が完全に同一視出来ることを見出した。

次に、 $AdS_3/CFT_2$  対応についても同様の観点から議論した。まず、負の宇宙定数を持った3次元重力理論 ( $AdS_3$ ) を幾何学的量子化法を用いて行った。この理論の漸近的対称性である Virasoro 群の解析を通じて、3次元の幾何学において Virasoro 変形なる概念を導入した。これを基に3次元重力理論の物理的位相空間が Virasoro 群の coadjoint orbit の集合としてみなせることを見出し、その coadjoint orbit を幾何学的量子化することによって3次元重力理論の量子化を実行した。この量子化を行った結果、以下のことを見出した。

- この重力理論のヒルベルト空間が上の Virasoro 代数のユニタリー表現によって構成されること。
- この重力理論の古典解であるブラックホールはその表現におけるプライマリー状態になっていること。
- その表現におけるセカンダリー状態は、その古典解を背景時空とする massive graviton の自由度に対応すること。

上記の量子化だけではトポロジカルなホロノミーの自由度を忘れていたため重力の量子化としては完全となっていないので、その自由度についても Chern-Simons 形式を通じて量子化を行った。

また、 $AdS_3/CFT_2$  対応の観点から、上の量子化によって得られたヒルベルト空間をその境界上で定義されたある2次元共形場理論 ( $CFT_2$ ) を用いて再構築できることを示した。その結果、以下のことを見出した。

- この共形場理論はある Liouville 場理論で記述されること。
- この共形場理論においては、プライマリー状態のスペクトラムが連続であること。
- この共形場理論において、ブラックホールの状態は適当な vertex 演算子を真空にかけた状態として記述できること。

最後に、この2つの理論をIIB超弦理論に埋め込んで $\text{AdS}_3/\text{CFT}_2$ 対応を議論した。この対応によると境界上の共形場理論はK3多様体の対称積を標的空間とする2次元の $N=(4, 4)$ 超対称非線形シグマ模型となることが知られている。このことと上の解析の結果を用いると、IIB超弦理論のソリトンの古典解として得られる3次元の極限ブラックホールをこの超対称シグマ模型に現れるプライマリー状態と同一視することが出来る。また、これらのプライマリー状態のスペクトラムは離散的であり、それらの状態の縮重度を数えることが出来る。私はそれらの状態の縮重度を、その模型が持つ楕円種数と呼ばれる量と2次元の $N=4$ 超対称共形代数の表現論を用いることによって実際に数え上げた。その結果、その極限ブラックホールの統計学的エントロピー、すなわち、その縮重度の対数は、半古典的な重力理論の解析から期待される熱力学的エントロピーと半古典極限において一致することを見出した。

### 論文審査の結果の要旨

本論文では、 $(d+1)$ 次元で定義されたAnti-de-Sitter時空を背景とする重力理論とその境界の $(d)$ 次元で定義された共形場理論との対応を量子側面から議論し、さまざまな重要な知見をえた。特に、この理論で現れるブラックホールに関して、縮重度を計算しエントロピーを求め、これが半古典的な重力理論の解析から期待される熱力学エントロピーと一致することを示した。この仕事は、博士(理学)の学位論文として十分価値のあるものと認める。