OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Holographic Description of Black Hole Space-time
Author(s)	Hotta, Kyosuke
Citation	大阪大学, 2010, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/23471
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

【26】

氏名	堀田暁介（ほったきょうすけ）
博士の専攻分野の名称	博士（理学）
学位記番号	第　23556　号
学位授与年月日	平成22年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 理学研究科物理学専攻
学位論文名	Holographic Description of Black Hole Space-time （ブラックホール時空のホログラフィックな記述について）
論文審査委員	（主査） 教授　東島　清 （副査） 教授　窪田　高弘　　教授　大野木哲也　　教授　阿久津泰弘 准教授　山口　哲

論文内容の要旨

ブラックホールの物理量の間には熱力学的なふるまいが見られ、特にブラックホールの事象の地平線の表面積はエントロピーと同定されうるということが知られている。もしそうなのだとすると、ブラックホールのエントロピーを担っている微視的な状態がその熱力学的なふるまいの背後に存在するはずであり、それこそまさに重力の量子論の謎を解き明かす鍵になるはずである。

近年、ＡｄＳと呼ばれる時空を解に持つ重力理論をコンフォーマルな場の理論（ＣＦＴ）で記述するという、いわゆるＡｄＳ/ＣＦＴ対応というものがよく調べられており、ブラックホール時空にもそれが適用できることがわかってきた。すなわち、ブラックホールの事象の地平線近傍のＡｄＳ時空のふるまいをＣＦＴという形で投影し、そちらの微視的な立場でエントロピーなどの物理量を再現できるというのである。本論文ではこのＡｄＳ/ＣＦＴ対応、或いはもっと広い意味の、ホログラフィー（理論の再解釈、別の理論への投影）という考え方を活用し、我々の宇宙にも存在しうるブラックホールを別の微視的な理論として記述し、理解することを目的とする。

まずブラックホールの巨視的なふるまいということで、事象の地平線近傍のＡｄＳ/ＣＦＴ対応とともに見られるアトラクター機構と呼ばれる現象に注目した。アトラクター機構とは、質量が最も安定なブラックホールでは理論のスカラー場の解の事象の地平線での値が一意に決まってしまうという現象である。これが超対称性などのない一般的なブラックホールについてもやはり成り立つことを、具体的に新しい解を構成し、解析解の形で確認した。

また、ＡｄＳ/ＣＦＴ対応についても、特に３次元の重力理論においては、それがどんなに高次の補正項を含んでいたとしても必ず２次元のＣＦＴとして記述できることを示し、両者で計算したエントロピーが完全に一致することを見た。

ただしブラックホールをＣＦＴとして理解することは事象の地平線近傍のみにおいて可能なことではない。アトラクター機構からもわかるように、ブラックホール時空全体の背後に何か別の理論としての解釈があると期待される。実際、重力理論の動径座標を場の理論のスケール、スカラー場を結合定数などと読み替えることで、ＣＦＴと限らなくても、より一般的な場の理論で重力理論全体を記述できることが超弦理論などでの分析からわかっている。

本論文では最後にこの手法を用いて、事象の地平線近傍に限らず任意のブラックホール時空でそうした解釈が可能であることを示し、特にアトラクター機構自体が対応する場の理論のくりこみ群の流れそのものであったことを確認した。こうして、我々の宇宙でも観測されているブラックホールを、その詳細はともかく、少なくとも別の場の理論として理解できることは確かだということが明らかにされた。

論文審査の結果の要旨

ブラックホールは事象の地平面と呼ばれる閉じた面で囲まれており、その中の情報は外側にいる人には決して届かない。外から見たブラックホールは、質量（エネルギー）、角運動量、電荷の３つの量で特徴付けられる。事象の地平面の表面積はこれら３つの量で表されるが、熱力学的考察から、地平面の表面積はブラックホールのエントロピーに比例することが知られている。熱力学を統計力学的に解釈すれば、ブラックホールのエントロピーも何らかの微視的状態の数を表していると考えられる。

一方、反ドジッター（ＡｄＳ）時空を解に持つ重力理論とその境界面における共形場理論（ＣＦＴ）が対応するという、いわゆるＡｄＳ/ＣＦＴ対応が提唱されている。この対応関係によれば、事象地平面近傍のブラックホールはＡｄＳ時空で近似することができるので、2次元面上の共形場理論を用いてブラックホール時空の性質を調べることが可能になる。この論文では、ＡｄＳ/ＣＦＴ対応、或いはもっと広い意味のホログラフィー（ブラックホール時空を２次元面上に投影すること）用いて、共形場理論の微視的状態の数を数えることにより、ブラックホール・エントロピーの計算を行った。

まず、曲率の高次補正項を含む一般的な３次元の重力理論においても、事象の地平面近傍における振る舞いは２次元ＣＦＴとして記述できることを示し、重力理論とＣＦＴで計算したエントロピーが完全に一致することを示した。

電荷を持つブラックホールでは質量の値に下限が存在するが、スカラー場を含む理論において質量がその最小値をとる場合、事象の地平線におけるスカラー場の値は一意に決まってしまう。この現象はアトラクター機構と呼ばれ、超対称性がある場合に知られていたが、超対称性のない重力理論においても、具体的に新しい解を構成し同じことが成り立つことを確認した。

また、様々な相互作用をするスカラー場を含む重力理論を考察し、重力理論の動径座標を場の理論のスケール、スカラー場を結合定数などと読み替えると、重力理論と対応する任意半径の閉局面上の場の理論が繰り込み群の流れを用いて解釈できることを確認した。特にアトラクター機構自体が対応する場の理論のくりこみ群の流れそのものであったことを示した。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものとして認める。