



Title	Black Hole Entropy in Gauge/Gravity Duality(Abstract_要旨)
Author(s)	Nishioka, Tatsuma
Citation	Kyoto University (京都大学)
Issue Date	2010-03-23
URL	http://hdl.handle.net/2433/120652
Right	
Type	Thesis or Dissertation
Textversion	none

学位審査報告書

(ふりがな)	にしおか たつま
氏名	西岡 辰磨
学位(専攻分野)	博士(理学)
学位記番号	理博第 号
学位授与の日付	平成 年 月 日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻
Black Hole Entropy in Gauge/Gravity Duality (ゲージ/重力対応に於けるブラックホールエントロピーの理解)	
論文調査委員	(主査) 畑 浩之 教授 川合 光 教授 國廣 悅二 教授

理学研究科

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	西岡 辰磨
論文題目	Black Hole Entropy in Gauge/Gravity Duality		

(論文内容の要旨)

本論文は、ブラックホールが持つエントロピーの微視的起源に対し、ゲージ/重力対応の立場から研究を行ったものである。

ブラックホールは一般相対性理論に於ける解の一部であり、事象の地平線（ホライズン）を持つことで特徴付けられる。ブラックホールの存在は、重力場の曲がり方やそこに落ち込む物質が放つ X 線等を観測することによってその存在の証拠が得られている。近年は殆どの銀河の中心に超大質量ブラックホールが存在すると考えられており、宇宙の構造形成にも大きな寄与をしている。ブラックホールは種々の解析からホーキング温度と呼ばれる温度を持つことが示されている。そのため、ブラックホール自身を熱力学系と捉えることができる。ブラックホールの熱力学を考えたとき、そのエントロピーはホライズンの面積に比例することが示される。エントロピーは通常、微視的状態数の対数を取ったものとして定義されるため、この結果はブラックホールが何らかの微視的自由度を持っていることを示している。しかし、一般相対性理論を考える限りその起源は未だ明らかにはなされていない。これを明らかにするには量子重力理論を展開する必要がある。

さて、弦理論は重力と素粒子の標準模型を統一すると期待されており、また量子化された重力を記述する。ある種の超対称性を持ったブラックホールは弦理論の D ブレーンと呼ばれる物体を用いて構成できるが、このとき、ブラックホールのエントロピーは D ブレーンの間に伸びる開弦の自由度と一致する。このように弦理論を用いることである種のブラックホールを微視的に理解することが可能となつたが、超対称性の無い場合に関しては上記の方法を用いることができない。

本論文では、超対称性は無いが、零温度で残留エントロピーを持つブラックホールをゲージ/重力対応を用いて二種類の全く異なる方法で解析している。

第一には、零温度ブラックホールのホライズン近傍に表れる AdS_2 時空に注目し、 AdS/CFT 対応を用いてブラックホールのエントロピーを AdS_2 時空の二つの境界上に住む二つの独立な 1 次元共形場理論 (CFT) の間の相關エントロピーとして理解できることを示した。相關エントロピーとは一つのヒルベルト空間を人工的に二つに分け、その片側の状態空間をトレースアウトしてしまうことで得られる隠れた自由度を表すものである。

第二には、零温度ブラックホールに対して、やはりホライズンの近傍に着目し、漸近対称群と呼ばれる対称性を一般座標変換から上手く抽出することで、上記とは異なる双対 2 次元 CFT を構成した。2 次元の CFT はビラソロ代数によって特徴付けられるが、上記の漸近対称群が丁度ビラソロ代数になることが分かる。その結果ブラックホールエントロピーが双対な理論の微視的状態数として理解できることが分かった。

これら二つの新たな手法は共に一般的な零温度ブラックホールに適用可能という著しい特徴を持っている。またこれらの手法は一般相対性理論の高階微分項が入った場合にも正しくブラックホールエントロピーを再現することが示されている。

(論文審査の結果の要旨)

一般相対性理論は低エネルギーの物理を考える限り著しい成功を収めているが、ブラックホール蒸発のような非常に高いエネルギー・スケールの物理では繰りこみ不可能であり、この様な領域を記述するには一般相対性理論に代わる新たな量子重力理論が不可欠である。

弦理論は素粒子標準模型と重力を含む最も有力な統一理論である。弦理論は繰りこみ可能であるため量子重力理論としても期待されている。実際、ある種のブラックホールは弦理論の中の D ブレーンと呼ばれる、開弦が端を持つ板の様な物体で構成することができる。この場合にはブラックホールのエントロピーは D ブレーンに端を持つ質量が零の開弦の自由度として理解することができる。また非常に小さなブラックホールは閉弦が揺らいだものとして定性的に理解することができ、ブラックホール蒸発の様な一見ユニタリティーが破れるような現象も弦理論のユニタリリーな過程として解釈できる。

近年、AdS/CFT 対応を始めとするゲージ/重力対応が弦理論によって多々予想されており、確たる証拠は無いものの現在までのところ数々の状況証拠が得られており、その正しさが広く信じられている。AdS/CFT 対応は D ブレーン上の超対称ヤン・ミルズ理論と D ブレーンが作る AdS₅ 時空上の超重力理論の間の双対性である。AdS/CFT 対応は数々の拡張がなされている。例えば QCD やクォーク・グルーオン・プラズマ、凝縮系物性理論における超伝導体の様な現実的なゲージ理論を AdS 時空上の重力理論から解析する手法も提唱されており、定性的な成功を収めている。

本論文はゲージ/重力対応の立場からブラックホールのエントロピーの微視的理解を試みたものである。この様な試み自体は以前から研究されており、既にいくつか確立された手法が存在するが、それらは何れもある特殊な性質を持ったブラックホールにのみ適用可能であった。本論文は零温度で残留エントロピーを持つブラックホールに着目し、そのエントロピーの起源がどこに由来するのかを二種類の新たな手法を用いて解析している。

まず、第一の手法では、零温度ブラックホールのホライズン近傍に表れる AdS₂ 時空が二つの独立な境界を持つことに着目し、ブラックホールのエントロピーがその二つの境界上に住む独立な二つの一次元共形場理論の間の相関から生じることを AdS/CFT 対応を用いることで非常に上手く示した。二つの共形場理論の間の相関がエントロピーを生むというアイデアは既存の手法に比べて斬新であり、この分野に一石を投じた研究として高く評価できる。

また、第二の手法でもやはり零温度ブラックホールに着目するが、ここでは一般座標変換の一部から共形場理論を特徴づけるビラソロ代数を非常に上手く抽出することで、一般の零温度ブラックホールに双対な共形場理論を構成している。これによってブラックホールのエントロピーが双対な共形場理論の微視的状態数として理解できる様になったことはもちろん、ブラックホールが持つ多くの性質を共形場理論で調べることができる可能性がでてきた点は大いに評価されるべきであろう。

以上の観点から、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 22 年 1 月 14 日論文内容とそれに関連した口答試問を行った。その結果合格と認めた。