

# 学 位 審 査 報 告 書

|                                                                                                      |                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| (ふりがな)                                                                                               | たなべ けんたろう                              |
| 氏 名                                                                                                  | 田邊 健太郎                                 |
| 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 24年 3月 23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                     |
| (学位論文題目)<br><br>Black Holes and Asymptotics in Higher Dimensional Spacetimes<br>(高次元ブラックホールと時空の漸近構造) |                                        |
| 論 文 調 査 委 員                                                                                          | (主査) 佐々木 節 教授<br>白水 徹也 准教授<br>青山 秀明 教授 |

( 続紙 1 )

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                      |    |        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----|--------|
| 京都大学                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 博士（理 学）                                                                              | 氏名 | 田邊 健太郎 |
| 論文題目                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Black Holes and Asymptotics in Higher Dimensional Spacetimes<br>（高次元ブラックホールと時空の漸近構造） |    |        |
| <p>（論文内容の要旨）</p> <p>統一理論としての超弦理論は理論の無矛盾性として時空が高次元時空であること要求する。このことに動機づけられ近年高次元時空における重力理論は盛んに研究されており、それを通して高次元時空における重力理論は豊富な構造を持つことが認識されてきた。またブレーンワールド模型に代表される Large Extra Dimension をもつモデルでは LHC 等の粒子加速器により高次元ブラックホールが生成される可能性も指摘されており、これらから高次元時空における重力理論はその基礎研究が必要に迫られている。本博士論文では高次元時空における重力理論の理解を深めるべく 2 つのテーマを扱っている。1 つは高次元時空における漸近構造であり、もう 1 つは高次元ブラックホール解の摂動的構成法である。</p> <p>漸近構造は時空の大局的な情報を持っており、漸近的に平坦な時空においては漸近構造が定義される無限遠が 2 つ存在する。1 つは空間的無限遠であり、そこでは時空のエネルギーや角運動量が保存量として定義される。空間的無限遠における漸近構造はブラックホール解の分類問題を考えるときに大きな役割を果たす。もう一つの無限遠は光的無限遠である。光的無限遠は重力波が到達するため、時空の動力学を記述する無限遠となっている。本博士論文では Bondi 座標を用いることで一般の高次元時空における光的無限遠の漸近構造を調べており、重力波によるエネルギー放射、角運動量放射の公式を導出している。また光的無限遠における漸近的対称性も調べており、高次元時空では漸近的対称性がポアンカレ群となることが示されている。光的無限遠で定義されたエネルギーや角運動量の妥当性はこのポアンカレ群に対する共変性により根拠づけられる。高次元時空において漸近的対称性がポアンカレ群となることは 4 次元時空と大きく異なることで高次元時空特有の性質である。これらの解析は動的な一般高次元時空に応用できるため、加速器で生成される高次元ブラックホールの解析にも適用でき重要な結果である。</p> <p>近年 Emparan 等によって提案された blackfold 手法は高次元ブラックホール解の摂動的構成法として注目されている。6 次元以上の高次元時空ではブラックホール解の系統的な構成法が知られておらず、高次元ブラックホールの物理は謎に包まれている。blackfold 手法ではブラックブレーン解をもとに高次元ブラックホール解が摂動的に構成され、相図などの高次元ブラックホールの性質を探ることができる。本博士論文ではこの blackfold 手法を高次の摂動解にまで拡張することで高次元ブラックホールのより詳しい性質を調べている。Emparan 等が用いた Matched Asymptotic Expansion により高次の摂動解を求めることで、高次元 black ring 解の相図をより正確に求めることに成功している。高次の摂動解には自己重力効果が含まれており、相図において面積への上限の示唆などその効果が見て取れる。また blackfold 手法に重力場の有効理論を応用することで高次の摂動解を求めることについて議論しており、より高次の解を求めるときには便利な手法となるであろう。blackfold 手法は応用範囲が広く、これらの blackfold 手法の高次摂動解への拡張を他の理論、例えば AdS 時空や超重力理論におけるブラックホール解の構成に応用することもでき、今後の発展が期待できる。</p> |                                                                                      |    |        |

(論文審査の結果の要旨)

本論文では高次元時空における重力理論の理解を深めるという目的の下に高次元時空における漸近構造と高次元ブラックホール解の構成法について議論している。

漸近構造に関しては光的無限遠を扱っており、Bondi 座標を具体的に導入し Einstein 方程式を具体的に解いていくことで重力波が存在する高次元時空を定義することに成功しており、重力波により時空のエネルギーや角運動量がどのように放射されるかを表す放射公式を Einstein 方程式より導出している。光的無限遠における Bondi 座標が持つ対称性がポアンカレ群となることも具体的な計算により明確に示されている。定義されたエネルギーや角運動量がポアンカレ群に関して共変的であることを示すことによりそれらの定義が妥当であるとの結論は納得のいく議論である。これらの解析により、初めて高次元時空における光的無限遠が厳密に定義されたことになる。光的無限遠はブラックホールの厳密な定義には必要不可欠な概念であり、光的無限遠の解析は相対論における基礎的な研究である。本博士論文の結果により高次元時空においてその基礎づけが成されている。また博士論文において議論されているように光的無限遠における解析は 4 次元時空のように Peeling theorem などへの応用も期待され、高次元時空の一般的な分類問題への 1 つのアプローチとなるであろう。

高次元ブラックホールの摂動的構成法については本論文では blackfold 手法を拡張することで高次の摂動解を構成することに成功している。高次摂動解では線形解にはない自己重力の効果が含まれており、本論文において高次摂動解から得られた性質は高次元ブラックホール解特有の性質であることが期待される。また重力場の有効理論を blackfold 手法に適用する試みは興味深くさらなる発展が望まれる。今後 blackfold 手法をこのように拡張していくことでより高次元ブラックホールの性質が明らかにされるであろう。

以上のように本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認められる。また平成 24 年 1 月 12 日に論文内容とそれに関連した口頭試問を行い、その結果合格と認めた。