

Title	Black Hole Collision in Higher Dimensions(Abstract_要旨)
Author(s)	Okawa, Hirotada
Citation	Kyoto University (京都大学)
Issue Date	2012-03-26
URL	http://hdl.handle.net/2433/157755
Right	
Type	Thesis or Dissertation
Textversion	none

学 位 審 査 報 告 書

(ふりがな)	おおかわ ひろただ
氏 名	大川 博督
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

(学位論文題目)

Black Hole Collision in Higher Dimensions
(高次元ブラックホール衝突)

論 文 調 査 委 員	(主査) 柴田 大 教授
	青山 秀明 教授
	田中 貴浩 教授

理 学 研 究 科

(続紙 1)

京都大学	博士 (理 学)	氏名	大川 博督
論文題目	Black Hole Collision in Higher Dimensions		

(論文内容の要旨)

我々の世界には4つの異なる相互作用が存在するが、それに付随するエネルギー・スケールはそれぞれ大きく異なる。特に相互作用の最も弱い重力のエネルギー・スケールと、次に相互作用の弱い、弱い相互作用のエネルギー・スケールの間には 10^{17} 桁ものスケールの違いが存在し、不自然であると考えられている。この問題は、階層性問題と呼ばれているが、これを解決するために様々なアイデアが提案されている。近年特に注目を集めているアイデアとして、我々の時空が4次元でなく高次元であるとするものがある。事実いくつかの高次元重力理論では、仮に真のプランクスケールを 10 TeV と仮定し4次元の場合のそれに比べて 10^{15} 桁小さくしても、これまでのあらゆる実験・観測事実と矛盾しない。そのため、階層性問題の解決の有力な解として注目されている。さらに重要な点は、プランクエネルギーが本当に約 10 TeV であれば、現在稼働中の陽子衝突加速器LHCにおいて極小ブラックホールが生成される可能性がある点である。これが検出されれば、高次元時空の存在が検証されることになる。

極小ブラックホールが加速器で生成されれば、生成直後ごく短時間でホーキング輻射により蒸発する。この輻射を捉えることでブラックホール生成が検証されるのだが、ホーキング輻射のスペクトルは生成されるブラックホールの質量と角運動量に大きく依存する。したがって、高次元時空における高エネルギー粒子衝突による極小ブラックホールの形成過程を明らかにすること、および生成されるブラックホールの特徴を明らかにすることは、加速器実験による高次元の存在および高次元重力理論の検証において不可欠である。

ブラックホール生成においては、一般相対論的重力効果が本質的な役割を果たす。したがって、高エネルギー粒子衝突におけるブラックホール形成過程を解明するには、一般相対論的解析が不可欠である。ここで、一般相対論の基礎方程式は高度に非線形なアインシュタイン方程式であり、解析的に解くことは不可能である。そのため、数値シミュレーションによりアインシュタイン方程式の解を求める研究である数値相対論が唯一の研究手段になる。本博士論文において大川氏は、高速運動する2体ブラックホールの衝突によるブラックホール形成過程を数値相対論的に調べた先駆的な研究成果を発表した。

論文は以下のような構成からなる。第1章において上述したような研究の動機が簡潔に述べられた後に、第2章では高次元時空における数値相対論の定式化、および一般相対論的数値シミュレーションを行なう上で必要となる初期条件の設定法について説明がなされている。第3章では、数値計算法、コード構築法、並列化手法が述べられている。特に、計算コストを抑えるために計算機を効率的に使用する並列化法が詳細に説明され、さらにその方法を用いた数値計算コードで計算コストが十分に抑えられることが示されている。第4章は、自らが開発した数値コードの正当性を示すことに費やされている。具体的には、高次元時空中を伝播する重力波が正しく追えること、また波動帯において重力波のエネルギー流速が正しく計算できることが示されている。重力波のエネルギー流速を抽出する方法としては、ランダウ・リフシツの擬テンソルを用いた方法が採用されているがこれは独自性の高い手法である。これらのテストの結果、数値コードの信頼性が高いことが明らかにな

っている。

以上の準備の後に、第5章では、高次元ブラックホール衝突のシミュレーション結果が示されている。まず、5次元および6次元時空に対して、十分遠方で静止しているという初期条件のもとで行われたブラックホールの正面衝突において放射される重力波の放射量が評価され、4次元の場合よりも2倍程度エネルギー放射効率が高いことが示されている。また、形成されたブラックホールが準固有振動後に新たなブラックホールに落ち着くこと、またそれを正確に計算できることが示されている。次に、5次元時空中において高速度で正面衝突する2体ブラックホールから放射されるエネルギーについて調べた結果が記載されている。特に、光速度極限で正面衝突するブラックホールにより放射される重力波の全エネルギーは、系の合計エネルギーの14%にも及ぶ、という事実は初めて得られた注目すべき結果である。最終節では、インパクトパラメータが存在する場合のブラックホール衝突のシミュレーション結果が報告されている。特に注目すべき点は、プランクスケール程度の質量の5次元高速ブラックホールの散乱においては、質量中心において超プランクスケールとなる領域が事象の地平線に覆われず形成されることが示されている点である。これは、4次元時空中においては起こらない現象であり、高次元時空では4次元時空とは異なる非線形現象が起こることが初めて明らかにされている。

(論文審査の結果の要旨)

本博士論文で記述されている物理的内容は、一般相対論、高次元重力理論、高エネルギー物理学、数値相対論に対して十分なインパクトがあり、当該分野に大きな貢献をもたらすものと評価できる。高速度で運動するブラックホールの衝突は、4次元時空に対してはこれまでに詳しく調べられてきたが、高次元時空に対する研究はごく最近始まったばかりであり、大川氏の研究の先駆性は高い。特に、2体ブラックホールの散乱において、極度に大きな曲率を持つ領域が事象の地平線に覆われずに現れる高次元時空特有の現象は大川氏が初めて発見した現象であり、高く評価できる。これに関する論文が発表主論文であり、この論文は既にPhysical Review Dに掲載されている。

本論文に関する審査会は平成24年1月13日に行われた。そこでは本論文に基づいて当該分野のレビュー及び手法の解説、新たに得られた知見の解説が行われた。プレゼンテーションも簡潔にして要領を得たものであり、質疑応答についても現在明らかになっている事実とまだ解明されていないことを明確に回答した。全体として審査会は円滑に行われ、質疑応答を含めて予定通りの時間内に完了した。

以上をまとめると、本博士論文で得られた成果は一般相対論、高エネルギー物理学、数値相対論などにおいて博士（理学）の学位を与えるに質・量ともに十分なものであり、論文の体裁やプレゼンテーションについてもこれまでの学位に遜色の無いものである。以上の審査結果より、本博士論文を博士（理学）の学位を与えるに相応しいものであると認める。