

氏 名	片桐 拓弥
学位の種類	博士（理学）
報告番号	甲第 588 号
学位授与年月日	2022 年 3 月 31 日
学位授与の要件	学位規則(昭和 2 8 年 4 月 1 日文部省令第 9 号) 第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	Linear Perturbations of Spherically Symmetric Black Holes and Their Stability 球対称ブラックホールの線形摂動と安定性
審査委員	(主査) 小林 努（立教大学大学院理学研究科教授） 原田 知広（立教大学大学院理学研究科教授） 田口 真（立教大学大学院理学研究科教授）

I. 論文の内容の要旨

(1) 論文の構成

本論文の第一章では、論文全体に対する導入として、研究背景等が簡潔に述べられる。第二章では、本論文の研究対象である一般相対論における球対称ブラックホールの基本的性質がレビューされる。第三章では、球対称ブラックホール時空中のテスト場の線形摂動論が展開され、準固有振動やブラックホール時空の安定性といった概念の解説が与えられる。以降の第四章と第五章が、申請者によるオリジナルな研究成果をまとめたものである。第四章では、帯電した AdS ブラックホール時空におけるスカラー場摂動が Robin 境界条件のもとで解析され、準固有振動と安定性に関する議論がなされる。第五章では、極限帯電ブラックホール近傍におけるスカラー場の Aretakis 不安定性と呼ばれる特異なふるまいについて、ブラックホール近傍の幾何学的構造に着目した解析がなされ、それにもとづいた考察・解釈が提示される。第六章で本論文の結論と今後の展望が述べられる。

(2) 論文の内容要旨

本論文で、申請者は、一般相対論における球対称ブラックホール解の線形摂動と安定性に関して新たな知見を得た。

第四章では、遠方において特有の構造を持つ AdS 時空と呼ばれる時空中の帯電したブラックホールについて、中性スカラー場と荷電スカラー場の摂動のふるまいを解析した。その際、Robin 境界条件と呼ばれる 1 パラメータで特徴づけられる一般的な境界条件を遠方で課した。準固有振動数から安定性の情報を読み取ることで、中性スカラー場摂動に対しては境界条件に依存して不安定性が現れること、荷電スカラー場に対しては、特定の条件のもとで境界条件に依らず超放射不安定性が現れることを明らかにした。

第五章では、極限帯電ブラックホールに付随する Aretakis 定数とそれに起因する Aretakis 不安定性について、ブラックホール近傍の幾何学的構造の観点から再考した。その結果、Aretakis 定数の存在は、ブラックホール近傍の幾何学的構造が持つ対称性の帰結として理解できること、Aretakis 不安定性は、ある物理的意味のある座標系における共変微分の成分の発散に対応していることが明らかになった。

II. 論文審査の結果の要旨

(1) 論文の特徴

本論文の特徴は、一般相対論におけるブラックホール時空の摂動に対する(不)安定性というきわめて重要かつ複雑な問題に対し、解析可能な適切なセットアップを考案し、独創的な手法に基づく徹底的な調査をおこなうことで、既知の数学的結果の物理的理解・解釈を大きく前進させた点にある。また、AdS/CFT 対応など周辺領域の研究への波及効果が大きく期待できるという点も特徴として挙げられる。

(2) 論文の評価

ブラックホールとその準固有振動・(不)安定性の研究は、重力を深く理解しようとする営みの中で数理的・物理的にきわめて重要な意義を持つ。本論文では、まず、帯電した AdS ブラックホールの中性/荷電スカラー場摂動に対する安定性を一般的な境界条件のもとで網羅的に調べ、不安定性の起源と発生条件を明らかにしている。この結果はそれ自体が興味深いだけでなく、新たなブラックホール解の存在や、双対な場の量子論における相転移を示唆しており、今後の研究の広がりを感じさせるものである。続いて、本論文では、Aretakis 定数と Aretakis 不安定性として知られる数学的結果に対し、独創的なアイデアに基づいた解析をおこなうことで、その起源について物理的な理解・解釈を与えることに成功している。本論文のもととなっている二編の論文は片桐氏を筆頭著者としており、いずれも評価の高い国際的な学術論文誌に掲載済であることから、これらの研究はこの分野の研究者に評価されていることがわかる。