

立教大学学術推進特別重点資金（立教SFR）
大学院学生研究
2021年度研究成果報告書

研究科名	立教大学大学院		理学研究科	物理学専攻
研究代表者 (2022年3月現在のものを記入)	在籍課程・学年		氏名	
	<input type="checkbox"/> 博士前期課程 年		片桐 拓弥	
	<input checked="" type="checkbox"/> 博士後期課程 3年			
指導教員	所属部局・職名		氏名	
	理学部教授		原田 知広	
自然・人文・社会の別	<input checked="" type="radio"/> 自然	<input type="radio"/> 人文	<input type="radio"/> 社会	個人・共同の別 <input checked="" type="radio"/> 個人 <input type="radio"/> 共同 名
研究課題	重力理論の検証に向けた回転ブラックホール準固有振動の研究:近地平面の幾何学から			
研究組織 (研究代表者・共同研究者) ※2022年3月現在のものを記入	在籍研究科・専攻・課程・学年		氏名	
	理学研究科物理学専攻 博士課程後期課程3年		片桐 拓弥	
研究期間	2021年度			
研究経費 (1円単位)	(支出金額) 398,755円 / (採択金額) 400,000円			

研究の概要 (200~300字で記入、図・グラフ等は使用しないこと。)

高速回転ブラックホールの準固有振動の理解に向けた第一歩として、任意の静的球対称極限ブラックホールの地平面近傍におけるスカラー場の振る舞いを調べた。地平面近傍に現れる near-horizon geometry と呼ばれる特別な構造に注目することで、解析を比較的単純な2次元の問題に還元した。まず、時空とスカラー場が特別な関係式を満足するとき、地平面に沿った保存量が存在することを示した。また、保存量の有無に関わらず、場の長時間発展後の振る舞いは power-law tail と呼ばれる、時間のべき乗則で記述されることを解析的に示した。この振る舞いに起因して、地平面上における場の高階微分は十分未来において発散する。さらに、保存量と、power-law tail に起因する特異な振る舞いの幾何学的意味をそれぞれ考察した。

キーワード (研究内容をよく表しているものを3項目以内で記入。)

{ 極限ブラックホール } { 波動現象 } { 対称性 }

研究成果の概要 (図・グラフ等は使用しないこと。)

時空を伝播する波動の解析は、ブラックホール(BH)の基本的な性質を理解する有効な手段のひとつである。特に、波動は時空に対する摂動とみなされ、その時間発展の解明は、安定性などの時空の基本的性質の理解につながる。

本研究では、極限BHと呼ばれるクラスのBHの周りを伝播するスカラー場に着目した。これは、次に動機づけられる:宇宙には近極限BHが多く存在することが、観測から示唆されている。したがって、摂動を用いた極限BHの解析は、宇宙物理学的BHの動的性質の理解につながる。また、その地平面近傍におけるスカラー場の伝播を調べることは、BHに特有の観測可能な物理現象の理論予言に繋がらう。

極限BHの地平面近傍の時空構造を一般的に記述する形式を用いることで、極限BH近傍を伝播するスカラー場の長時間発展後における普遍的な性質の理解を試みた。解析では、極限BHの地平面近傍の時空構造を抽出したnear-horizon geometryに着目することで、問題を比較的単純な2次元の問題に還元した。

結果**1. 地平面に沿った保存量**

時空と場が特別な関係式を満足するとき、地平面に沿った保存量が存在することを示した。一般相対論においては、いくつかの仮定の元で、BHは3つの大域的保存量(質量、電荷、スピン)のみで特徴づけられることが知られている。本研究の結果は、極限BHは地平面に沿った局所的保存量も持ちうることを示す。また、極限BHの地平面近傍の対称性と保存量の関係も議論した。

2. 長時間発展後の場の振る舞い: Power-law tails

保存量の有無に関わらず、場の長時間発展後の振る舞いは、時間のべき乗則で記述されることを解析的に厳密に示した。この振る舞いはpower-law tailと呼ばれ、指数関数的減衰である準固有振動モードの後に支配的となる性質であると考えられている。Power-law tailの指数には、BHと場の情報が反映されている。これは、場の波形から、BHと場の情報を読み取ることができることを意味する。また、power-law tailの振幅には、地平面に沿った保存量が反映されている。これは、BHから離れた場の振る舞いから、地平面上の情報である保存量が測定可能であることを示唆する。

3. 地平面上における不安定性

Power-law tailに起因して、地平面上における場の高階微分が十分未来において発散する。この特異な振る舞いは、数学的には不安定性と解釈される。その物理的意味の理解を目指して、power-law tailに起因する特異な振る舞いの幾何学的意味を考察した。

以上の知見の宇宙物理学への応用として、近極限ブラックホールにおける“準”局所的保存量の存在と、その測定可能性に関する議論が残されている。

これらの研究成果を、日本物理学会2021年秋季大会、早稲田大学宇宙論研究室セミナー、30th Workshop on General Relativity and Gravitation in Japan、第34回理論懇シンポジウム、第22回特異点研究会で発表した。以上に関する論文は、国際論文誌Physical review Dから出版された。

研究成果の概要 (つづき)

※この(様式2)に記入の成果の公表を見合わせる必要がある場合は、その理由及び差控え期間等を記入した調書(A4縦型横書き1枚・自由様式)を添付すること。

研究発表 (研究によって得られた研究成果を発表した①～④について、該当するものを記入してください。該当するものが多い場合は主要なものを抜粋してください。なお、成果発表を確認できる資料を合わせて研究成果報告書提出フォームより提出してください(紙媒体等、研究成果報告書提出フォームから提出できない場合は、別途リサーチ・イニシアティブセンターへ提出してください)。

- ① 雑誌論文 (著者名、論文標題、雑誌名、巻号、発行年、ページ)
- ② 図書 (著者名、出版社、書名、発行年、総ページ数)
- ③ シンポジウム・公開講演会等の開催 (会名、開催日、開催場所)
- ④ その他 (学会発表、研究報告書の印刷等)

※修士論文・博士論文は含みません。

① 雑誌論文 (著者名、論文標題、雑誌名、巻号、発行年、ページ)

Takuya Katagiri, Masashi Kimura; “Aretakis constants and instability in general spherically symmetric extremal black hole spacetimes: Higher multipole modes, late-time tails, and geometrical meanings”
Phys. Rev. D 105, 064062 (2022)

② 図書 (著者名、出版社、書名、発行年、総ページ数)

該当なし

③ シンポジウム・公開講演会等の開催 (会名、開催日、開催場所)

早稲田大学宇宙論研究室セミナー、2021年10月29日、オンライン

④ その他 (学会発表、研究報告書の印刷等)

- [1] 2021年日本物理学会秋季大会 (2021年9月)
- [2] The 30th Workshop on General Relativity and Gravitation in Japan (2021年12月)
- [3] 第34回理論懇シンポジウム (2021年12月)
- [4] 第22回特異点研究会 (2021年12月)