

立教大学学術推進特別重点資金 (立教 S F R)

大学院学生研究

2020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 (2021年3月現在 のものを記入)	在籍課程・学年・学生番号		氏名		
	<input type="checkbox"/> 博士前期課程 年 <input checked="" type="checkbox"/> 博士後期課程 2年 (学生番号: 19RA002F)		富川慶太郎 印		
指導教員	所属部局・職		氏名		
	理学部・教授		小林努 印		
自然・人文・社会の別	<input type="checkbox"/> 自然	・ 人文	・ 社会	個人・共同の別 <input type="checkbox"/> 個人	・ 共同 名
研究課題	重力波を用いた宇宙磁場の探索と重力理論の制限に向けた理論的研究				
研究組織 (研究代表者 ・ 共同研究者) ※2021年3月現在 のものを記入	在籍研究科・専攻・課程・学年		氏名		
	立教大学大学院 理学研究科物理学専攻 博士課程後期課程2年		富川慶太郎		
研究期間	2020 年度				
研究経費 (1円単位)	(支出金額) 250,000円 / (採択金額) 250,000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。)

我々は、時間の線形に依存したスカラー場の毛を持つ球対称ブラックホールの奇パリティ摂動を、シフト対称性をもつ高階微分スカラー・テンソル理論を用いて解析した。この結果、高階微分理論に縮退条件を課さずともマスター変数の従う運動方程式が2階微分方程式になることを示し、一般化した Regge-Wheeler 方程式をソース項を含む形で導いた。また、マスター変数の従う有効計量の構造を調べ、安定性条件を改良した。最後に現象論への応用として、この理論に含まれる非自明なブラックホール解の準固有振動モードを計算した。

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。)

{ 重力理論 } { ブラックホール } { 重力波 }

研究成果の概要 (図・グラフ等は使用しないこと。)

今日、一般相対論は重力の古典論として確固たる地位を築いている。しかし、一般相対論ではうまく説明のできない現象も確認され始めている。特に重要なのは宇宙論における観測技術の発達によって宇宙の加速膨張が発見されたことである。これは一般相対論では不自然な物質を導入しない限り説明不可能な現象である。このような理由から一般相対論を拡張した重力理論の構築やその現象論的な検証を目的とした研究が盛んに行われている。我々は拡張重力理論の中でも特に近年発展がめざましい高階微分スカラー・テンソル理論を用いてブラックホール摂動を計算し、この理論に特有の現象を見出すことを目標に研究をはじめた。

ブラックホールは重力理論における厳密な真空解であり相対論的特徴が最も顕著に現れるため、理論的にも観測的にも非常に興味深い研究対象である。一般相対論においては定常軸対称時空における最も一般的なブラックホール解は質量、電荷、角運動量の三つのパラメータ(これを“毛”と表現する)のみで特徴付けられるというブラックホールの無毛定理が証明されている。一方で重力理論を一般相対論からスカラー・テンソル理論に変更した場合には、上記の三つのパラメータに加えて非自明なスカラー場の分布があらたな“毛”として追加される。とくにシフト対象性を持つスカラー・テンソル理論においては時間に線形に比例する項と球対称な項を同時にもつスカラー場がブラックホール解として許されている。我々は先行研究よりもさらに広いクラスの高階微分スカラー・テンソル理論を用いてこのようなスカラー場の“毛”をもつブラックホール摂動の奇パリティモードを計算しブラックホールの準固有振動を求めるために計算を進めた。

我々はラグランジアンにスカラー場の2階微分の3次の項を含む縮退した高階微分スカラー・テンソル理論(cubic-DHOST 理論)を用いて物質場を含む形でブラックホール摂動を計算した。この結果、縮退条件を課すことなく先行研究で導出されている摂動ラグランジアンが得られた。また、cubic-DHOST に含まれていないようなさらに高階の微分項を含むような理論でも同様のラグランジアンに帰着した。これは、すでに先行研究で求められている摂動ラグランジアンがこれまでよりも広いクラスの高階微分理論でも利用できることを表している。さらに、我々は物質場を含む摂動ラグランジアンを得たので、広いクラスの高階微分理論でのブラックホール周りで発生する重力波の計算に応用することができる。また、摂動ラグランジアンを変分することで重力波の運動方程式を導出した。この運動方程式から重力波の従う有効計量を定義して、この計量を基にして因果構造を調べた。その結果、重力波に対するホライズンと重力と最小結合した物質(電磁場など)に対するホライズンは一般に異なることを示した。また、現象論への応用としてブラックホールの準固有振動を求め、2つのホライズンの不一致がリングダウン重力波の観測で検証可能なことを示した。

この結果を基に、論文を執筆しプレプリントとして arXiv に公開しアメリカの国際物理学誌 Physical Review D へ投稿した。さらに重力理論に関する国際学会 JGRG で口頭発表を行い、3月には日本物理学会でも口頭発表を行った。

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)

① 雑誌論文 (著者名、論文標題、雑誌名、巻号、発行年、ページ)

なし。

(Physical Review D へ投稿中の論文1本)

② 図書 (著者名、出版社、書名、発行年、総ページ数)

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)

なし。

④ その他 (学会発表、研究報告書の印刷等)

(1) 国際会議における発表

富川慶太郎、小林努

“Hairy black hole perturbations in shift-symmetric higher-order scalar-tensor theories”

ONLINE JGRG WORKSHOP 2020, 2020年11月、オンライン開催 (口頭発表・査読あり)

(2) 国内学会における発表

富川慶太郎、小林努

“Hairy black hole perturbations in shift-symmetric higher-order scalar-tensor theories”

日本物理学会 第76回年次大会, 2021年3月、オンライン開催 (口頭発表・査読あり)