

**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**  
**2022年度研究成果報告書**

|   |  |      |       |                |                             |      |   |
|---|--|------|-------|----------------|-----------------------------|------|---|
| <b>研究科名</b>   | 立教大学大学院  |      | 理学研究科 | 物理学専攻          |                             |      |   |
| <b>研究代表者</b><br>(2023年3月現在<br>のものを記入)                     | 在籍課程・学年  |      | 氏名    |                |                             |      |   |
|   | <input type="checkbox"/> 博士前期課程 年<br><input checked="" type="checkbox"/> 博士後期課程 4年 |      | 富川慶太郎 |                |                             |      |   |
| <b>指導教員</b>   | 所属部局・職名  |      | 氏名    |                |                             |      |   |
|   | 理学部・教授   |      | 小林努   |                |                             |      |   |
| <b>自然・人文・社会の別</b>   | <input type="checkbox"/> 自然  | ・ 人文 | ・ 社会  | <b>個人・共同の別</b> | <input type="checkbox"/> 個人 | ・ 共同 | 名 |
| <b>研究課題</b>   | 重力波観測を用いた重力理論の多角的検証  |      |       |                |                             |      |   |
| <b>研究組織</b><br>(研究代表者<br>・ 共同研究者)<br>※2023年3月現在<br>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後期課程4年   |      | 富川慶太郎 |                |                             |      |   |
| <b>研究期間</b>   | 2022 年度  |      |       |                |                             |      |   |
| <b>研究経費</b><br>(1円単位)                                     | (支出金額) 399,947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。)

静的球対称かつスカラー場の勾配が時間的なスカラー・テンソル理論におけるブラックホールの奇パリティモードの準固有振動を、有効場理論の方法を用いて求めた。本研究では、背景時空として Stealth Schwarzschild 時空と Hayward 時空を用いた。計算手法として、direct integration 法、WKB 法、Leaver の方法の 3 つの異なる手法を用いて計算し、各手法が有効なパラメータ領域、結果の妥当性を含めて議論した。

**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。)

一般相対論は標準的な重力理論として広く受け入れられている。しかし、一般相対論の検証はこれまで太陽系スケールなどの近距離、弱重力場の状況下でしか行われてこなかった。宇宙論的スケールなどの長距離、ブラックホール周りなどの強重力場では重力理論が一般相対論から修正される可能性がある。我々はこの修正重力理論の理論的、観測的な検証を目的とした研究を行っている。修正重力理論にも様々な理論が存在するが、近年最も研究が盛んなのはスカラー・テンソル理論である。スカラー・テンソル理論ではこれまでの研究の成果として、古典論として安定な多くのモデルを含む包括的な理論が知られている。この包括的な理論を用いることで個々のモデルに依らない一般的な予言を行えるのがスカラー・テンソル理論の利点である。

スカラー・テンソル理論を記述する上で有用なのは有効場理論の方法である。有効場理論では、対称性を仮定し、その対称性を満たす、計量とスカラー場によって記述されるすべての項を取り入れる手法である。はじめに仮定した対称性さえ満たしていれば、すべてのスカラー・テンソル理論を統一的に記述することが可能なため、重力理論の現象論を行う上で有用な方法である。スカラー・テンソル理論の有効場理論は、宇宙論への応用を目的として、背景時空が一様等方かつスカラー場の勾配が時間的である理論がよく研究されてきた。これに対し、近年、背景時空が非一様かつ勾配が時間的なスカラー場を持つ有効場の理論が構築された[Mukohyama and Yingcharoenrat 2022]。この理論では、背景時空が一様等方に限定されていないので、スカラー場の勾配が時間的でありさえすれば、より一般の時空に対して有効場理論を応用できる。これを受けて、静的球対称ブラックホール時空に有効場理論を応用し、奇パリティモードのブラックホール摂動の解析が行われた[Mukohyama et al. 2022]。私はこれらの論文の著者と協力し、この有効場理論における奇パリティモードの準固有振動を求める研究を行なった。まず、この有効場理論における背景解として(Stealth) Schwarzschild解と Hayward 解を考えた。それぞれの場合に対して、重力波のホライズンを求め、ホライズン近傍と無限遠にいて適切に境界条件を課すことで準固有振動を求めた。準固有振動を求める際には、direct integration 法、WKB 法、Leaver の方法の 3 つの異なる手法を用いて計算し、計算結果の妥当性も保証した。現在、これらの結果をもとに論文を執筆中であり近日中にプレプリントサーバー arXiv に公開する予定である。その後、国際誌への投稿も予定している。

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)  
なし (静的球対称背景かつ勾配が時間的なスカラー場を持つ理論におけるブラックホールの準固有振動についての論文を arXiv および国際誌に投稿予定)
- 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)  
なし