

**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**

<b>研究科名</b>	立教大学大学院		理学研究科	物理専攻			
<b>研究代表者</b> (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 3年 (学生番号: 18ra005b )		中司 桂輔 印				
<b>指導教員</b>	所属部局・職		氏名				
	理学部・教授		原田 知広 印				
<b>自然・人文・社会の別</b>	<input checked="" type="checkbox"/> 自然	<input type="checkbox"/> 人文	<input type="checkbox"/> 社会	<b>個人・共同の別</b>	<input checked="" type="checkbox"/> 個人	<input type="checkbox"/> 共同	名
<b>研究課題</b>	強重力場中における重力的ファラデー効果						
<b>研究組織</b> (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				
	理学研究科・物理学専攻・博士課程後期課程・3年		中司 桂輔				
<b>研究期間</b>	2020 年度						
<b>研究経費</b> (1円単位)	(支出金額) 247,587 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。)

EHTによるブラックホールシャドウの観測からは質量に関して精度良く決定されたが、角運動量に対しては大きい不定性が残った。この不定性を取り除くためには、ブラックホールの角運動量に起因した現象を観測する必要がある。そのような現象の1つに重力的ファラデー効果が挙げられる。これは回転ブラックホール近傍を偏波が通過する際にその偏光ベクトルが回転する現象である。重力的ファラデー効果を応用し、ブラックホールシャドウの電磁波偏光分布を予言することで、ブラックホールの角運動量に関する情報を獲得できる。強重力場中の電磁波軌道に対し重力的ファラデー効果を定式化し、それを応用してブラックホールシャドウの電磁波偏光分布を予言することを目指した。

**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。)

[ 一般相対論 ] [ ブラックホール ] [ ファラデー回転 ]

**研究成果の概要** (図・グラフ等は使用しないこと。)

ブラックホールは一般相対論が予言する非常にコンパクトで強重力場を伴う天体である。近年では、連星ブラックホール合体由来の重力波検出や Event Horizon Telescope (EHT) によるブラックホールシャドウの撮像など、ブラックホールに関する観測的発展が著しく、ブラックホールは理論と観測の各観点から盛んに議論されている。EHT によるブラックホールシャドウの観測からは質量に関して精度良く決定されたが、角運動量に対しては大きい不定性が残った。この不定性を取り除くためには、ブラックホールの角運動量に起因した現象を観測する必要がある。そのような現象の 1 つに重力的ファラデー効果が挙げられる。これは回転ブラックホール近傍を偏波が通過する際にその偏光ベクトルが回転する現象である。重力的ファラデー効果を応用し、ブラックホールシャドウの電磁波偏光分布を予言することで、ブラックホールの角運動量に関する情報を獲得できる。これにより、事象の地平面スケールでの電磁波観測を用いたより詳細な一般相対論効果の検証が可能となる。

重力的ファラデー効果は、重力が弱い領域を通過する軌道に対する定式化が行われている。しかし、これではブラックホール周辺にぐるぐる巻きつくような強重力場中の軌道に対しては先行研究の結果を適用することができないため、ブラックホールシャドウの偏光分布を予言することはできなかつた。これまでブラックホール周辺の強重力場中の光子軌道に関する研究を行ってきた経験と上記の研究背景や問題点を踏まえて、研究代表者は、強重力場中の電磁波軌道に対し重力的ファラデー効果を定式化し、それを応用してブラックホールシャドウの電磁波偏光分布を予言することを目指した。

先行研究では、静的球対称なブラックホール時空中では重力が弱い領域を通過する電磁波に対して、重力的ファラデー効果は起こらないことが示されていた。研究代表者はまず strong deflection limit 法に基づいて解析を行い、これが重力の強い領域を通過する電磁波に対してもそうであるということを確認した。静的球対称時空中では全ての電磁波の軌道を赤道面上に制限して考えることできる。これにより重力的ファラデー効果が起こらないということを確認した。

次に研究代表者はブラックホールの回転が摂動的に扱えるほど遅い場合について解析をおこなった。静的球対称ブラックホール時空中での重力的ファラデー効果の結果から、重力的ファラデー効果を受ける電磁波の軌道は赤道面から外れた軌道であるということがわかった。ブラックホールの回転を考慮した場合の結果についてはまだ最終的な結果は出ていないが、静的球対称ブラックホール時空中での解析に用いた方法と同じ方法で解析が可能であるという見通しはたっており、回転の 1 次まででは静的球対称時空中の場合と同様に電磁波の軌道が赤道面上に制限され、重力的ファラデー効果を受けない可能性があることを示唆した。

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

1. K. Nakashi and M. Kimura,  
“Towards rotating noncircular black holes in string-inspired gravity,”  
Phys. Rev. D **102** (2020) no.8, 084021.
2. Y. Koga, T. Igata and K. Nakashi,  
“Photon surfaces in less symmetric spacetimes,”  
Phys. Rev. D **103** (2021) no.4, 044003.

② 図書  
なし

③ シンポジウム・公開講演会等の開催  
なし

④ その他  
-学会発表  
“修正重力理論における non-circular 計量の探究”  
日本物理学会 2020 秋季大会, オンライン, 2020 年 9 月.