

立教大学学術推進特別重点資金(立教SFR)  
大学院学生研究  
2024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 (2025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 <input checked="" type="checkbox"/> 博士後期課程 1年	勝又 彰仁	
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 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	ブラックホールの同定に向けた星と光の軌道に関する理論的研究		
研究組織 (研究代表者 ・共同研究者) ※2025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・1年	勝又彰仁	
研究期間	2024 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。)
当該研究の研究目的を含むこと。
近年、ブラックホール(BH)の候補天体として特に注目されているのが、我々の住む銀河の中心にある超大質量コンパクト天体 Sagittarius A*(Sgr A*)である。Sgr A*はBHの有力な候補と考えられているが、その正体がBHではない可能性も議論されている。Sgr A*の正体に迫る試みの一つとして、そのまわりを周る星の軌道に関する研究が盛んに行われている。特に注目されている現象の一つが、「近点移動」である。近点移動の表式としては post-Newtonian(PN)展開によるものがよく知られているが、これらは弱重力場近似のもとで導出された式であるため、軌道が中心天体に近い場合などの強重力場においてはその精度が悪くなる。そこで本研究では、そのような強重力場領域でも有効な近点移動の表式を求めるための新しい手法を構築する。
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。)
[ 一般相対性理論 ] [ 近点移動 ] [ ブラックホール ]

**研究成果の概要** (図・グラフ等は使用しないこと。)

以下の視点を含めて記載のこと。

- ・当該研究は何をどこまで明らかにできたのか(できなかったのか)。
- ・何をもって研究成果(経過)を達成できた(できなかった)と考えられるのか。  
自身が設定した研究目的・目標に照らして、その根拠がわかるよう記載のこと。

近年、Walters によって Schwarzschild 時空中における近点移動の新しい級数表現が導出された[Walters(2018)]。Walters によるこの表式は、楕円積分などの特殊関数を介さず、近点移動をシンプルな級数で表したものである。弱重力場近似のもとで導出される PN 展開との大きな違いは、Walters の表式は、軌道が中心天体に近いような強重力場領域においても、軌道の離心率が十分小さければ PN 展開よりも高い精度をもつことである。

本研究では、Walters の論文をもとに、Schwarzschild 時空に限らない様々な時空に適用可能な近点移動の新しい級数展開の手法を提案した。今回提案した新しい級数展開では、展開パラメータは Walters の表式のアナロジーから大まかに離心率を最内安定円軌道でゼロになる無次元量で割ったものにより定義される。すなわち、展開パラメータは軌道がどれくらい円に近いのか、また軌道がどれくらい最内安定円軌道から離れているかを表す量である。新しい級数展開の手法を用いて、具体的に回転 BH 解(定常軸対称)として知られる Kerr 時空と、静的軸対称な Chazy-Curzon 時空に適用し、それぞれの時空中における近点移動の新しい級数表現を導出した。また、それぞれの級数表現および PN 展開による表式について、数値積分との相対誤差を調べ、それらの精度を比較した。その結果、Walters の表式と同様、これらの表式は軌道が中心天体に近いような強重力場領域においても、軌道の離心率が十分小さければ PN 展開よりもはるかに高い精度をもつことが確かめられた。さらに、新しい表式は、離心率が 1 に近いような場合でも、軌道が十分に遠ければ PN 展開と同等かそれ以上の精度をもつことを確かめた。

本研究で提案した新しい級数展開は、Walters の表式と同様、楕円積分などの特殊関数を用いずに近点移動を級数で表す。したがって、この新しい級数展開を用いれば、簡単で高精度な近点移動の表式を手に入れることができる。それらは PN 展開の収束性が悪くなるような強重力場領域においても PN 展開より良い精度をもつため、このような領域における近点移動を簡単に計算することができる。さらには、数値積分による計算のチェックにも有効である。本研究の成果をまとめた論文は、査読付き国際学術論文誌に掲載された[Katsumata+(2025)]。また、様々な国際会議・国内研究会において研究成果の発表を行った。以上により、「強重力場領域においても有効な近点移動の表式を求めるための新しい手法を構築する」という本研究の研究目標は達成されたと考えられる。

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**

[1-1] A. Katsumata, T. Harada, K. Ogasawara, H. Iizuka “New series expansion for the periapsis shift”, *Classical and Quantum Gravity* 42(2025) 035004

**② 図書**

該当なし。

**③ シンポジウム・公開講演等の開催**

該当なし。

**④ その他**

**【国際会議における発表】**

(口頭発表・査読なし)

[4-1] ○A. Katsumata, “New series expansion method for the periapsis shift”, JGRG33 (The 33rd Workshop on General Relativity and Gravitation in Japan), Kindai University, 2024年12月

[4-2] ○A. Katsumata, “New series expansion method for the periapsis shift”, *Gravity 2025: New Horizon of Black Hole Physics*, Kyoto University, 2025年1月

**【国内学会における発表】**

(口頭発表・査読なし)

[4-3] ○勝又彰仁、「近点移動の新しい級数展開」、第25回「特異点と時空、および関連する物理」研究会、明治大学、2024年9月

[4-4] ○勝又彰仁、「近点移動の新しい級数表現」、第79回年次大会(2024年)、北海道大学、2024年9月

[4-5] ○勝又彰仁、「Zipoy-Voorhees時空における近点移動」、ブラックホール磁気圏研究会2025、御坊商工会議所、2025年3月

(ポスター発表・査読なし)

[4-6] ○勝又彰仁、「New series expansion method for the periapsis shift」、第37回理論懇シンポジウム、国立天文台、2024年12月

[4-7] ○A. Katsumata, 「New series expansion for the periapsis shift」, Joint Workshop on General Relativity and Cosmology 2025, 秩父 西谷津温泉 宮本の湯, 2025年3月

**【招待講演】**

[4-8] ○勝又彰仁「近点移動の表式を求めるための新しい手法について」、豊田工業大学数理物理セミナー、2024年4月

[4-9] ○A. Katsumata “New series representation for the periapsis shift”, Joint Seminar, Rikkyo University, 2024年5月

[4-10] ○勝又彰仁「自由研究から最先端の研究へ」、立教新座中学校・高等学校 出前授業、2024年7月