

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

2 0 2 5 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 (2026 年 3 月現在 のものを記入)	在籍課程・学年	氏 名	
	☐ 博士前期課程 年 ☒ 博士後期課程 2 年	飯塚 颯 見	
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	自 然	個人・共同の別	個 人
研究課題	非断熱流体による原始ブラックホール形成の数値シミュレーション		
研究組織 (共同研究者が いる場合のみ、 2026 年 3 月現在 のものを記入)	在籍研究科・専攻・課程・学年	氏 名	
研究期間	2 0 2 5 年度		
研究経費 (1 円単位)	(支出金額) 244,799 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。 現代の宇宙論における重要な問題の一つに、暗黒物質の正体は何か、という問題がある。この暗黒物質の候補として、素粒子標準模型を超えた新粒子の存在を仮定する場合が標準的なものと考えられている。一方で、標準模型を拡張することなく暗黒物質を説明できる可能性が残っており、それが宇宙初期に形成されたとされる原始ブラックホールの存在である。この原始ブラックホールが、宇宙の多成分系で生成されるシナリオについて、詳細に検討するために、数値シミュレーションを行って解析する必要がある。そこで、本研究では、そのシミュレーションに必須な初期条件の構築を、宇宙論的非線形長波長解を構築し、その解の性質を解明することを目的とした。
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。)
[宇宙論] [原始ブラックホール] [数値相対論]

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。

本研究では、原始ブラックホール形成の数値相対論的シミュレーションを行うために、その初期条件を構築した。初期条件構築に際して、勾配展開と呼ばれる手法を用いて重力場の基礎方程式であるアインシュタイン方程式を展開し、その主要次に注目し、解を構築した。念頭に置いた物理系は、一様等方時空を背景時空とした、 N 種の流体系である。解を構築するにあたって、物質場の自由度が N 個現れる。この自由度は、断熱部分と非断熱部分に分解することができることを明らかにし、その断熱自由度の選び方によって等曲率ゆらぎの定義が変更を受けることを示した。特に、輻射・塵状流体からなる 2 流体系を例にとり、具体的なモデルとして、初期に等曲率揺らぎが支配的な条件をおき、解の時間発展を示した。これにより、物理的な状況が明確な非線形解を数値シミュレーションの初期条件として用いることができる。

研究成果の概要 (つづき)

※この(様式2)に記入の成果の公開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)

arXiv:2512.22531, Hayami Iizuka, Tomohiro Harada, Cosmological long-wavelength solutions in non-adiabatic multi-fluid systems, Journal of Cosmology and Astroparticle Physics にて accept 済み。掲載準備中

④その他(学会発表、研究報告書の印刷等)

・日本物理学会大 80 回年次大会、二流体系の宇宙論的長波長解、広島大学、9 月 17 日

・第 14 回観測的宇宙論ワークショップ、二流体系の宇宙論的長波長解と等曲率揺らぎ、岡山コンベンションセンター、10 月 8 日

・JGRG34、Cosmological long-wavelength solutions for multi-fluid systems、京都大学基礎物理学研究所、1 月 20 日

にて口頭発表