

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 1 年	道脇 元紀	
指導教員	所属部局・職名	氏 名	
	理学部・教授	小林 努	
自然・人文・社会の別	☒ 自然 ・ 人文 ・ 社会	個人・共同の別	☒ 個人 ・ 共同 名
研究課題	3 階微分項を含むスカラー・テンソル理論の一般的な枠組みの構築と検証		
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) 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。 一般相対論を拡張する試みは、重力の理解を深めるだけではなく、高精度の宇宙論的観測や重力波観測が進展したことにより、重力理論を検証する観点からも重要性を増している。特に、スカラー・テンソル理論は、スカラー場を重力の新たな自由度として導入する有力な拡張理論として盛んに研究されている。 本研究は、スカラー・テンソル理論の新しい領域を開拓することを目指すものである。具体的には、スカラー場の 3 階微分項まで含むゴーストのないスカラー・テンソル理論を系統的な手法で構築し、その重力実験・宇宙論的観測に対する整合性と予言を明らかにすることを目的とする。
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。)
[スカラー・テンソル理論] [3 階微分項] [系統的構築]

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。

申請時に設定した研究目的は、(i) スカラー場の 3 階微分項までを含むゴーストのないスカラー・テンソル理論を系統的に構築すること、(ii) その理論の重力実験・宇宙論的観測に対する整合性と予言を明らかにすることであった。本研究では、主として(i)を達成し、(ii)については現時点では未達成である。

本研究で明らかにしたこと：

本研究により、スカラー場の 3 階微分項を含むゴーストのないスカラー・テンソル理論の一般的な枠組みを構築した。また、その枠組みが既存の理論[1]を拡張するものであることを明らかにした[2]。

既存の理論を拡張できた理由は、我々が理論を系統的に構築したためである。既存の理論[1]はスカラー場の 3 階微分項を含むが、ホルンデスキ理論[3]に対して場の再定義を施すことによって発見的に構築されたものである。したがって、ホルンデスキ理論に場の再定義を施しても到達できない、スカラー場の 3 階微分項を含むクラスが存在するかどうかは不明であった。本研究では、スカラー場の 3 階微分項までを含むラグランジアンを構成要素をすべて書き下すという系統的な手法を採用した。このため、ホルンデスキ理論に場の再定義を施しても到達できないクラスを含む、より一般的な理論を構築することができた。なお、本研究では、高階微分項に起因するオストログラツキー・ゴーストと呼ばれる不安定性を取り除くための条件をハミルトニアン解析[4]によって導出した。したがって、構築した理論はゴースト不安定性を持たない健全なスカラー・テンソル理論である。

現時点で未達成なこと：

本研究で構築した理論における重力実験・宇宙論的観測に対する整合性と予言については、未達成である。この点については、次年度以降の研究で明らかにしていく。具体的には、宇宙論的摂動論による宇宙論解の安定性および重力波の伝播速度の観測との整合性の検証、物質場が結合した状況での不安定性の解析、太陽系スケールでの遮蔽機構の解明を進める。

文献：

- [1] K. Takahashi, M. Minamitsuji and H. Motohashi, *Generalized disformal Horndeski theories: Cosmological perturbations and consistent matter coupling*, PTEP **2023** (2023) 013E01 [2209.02176].
- [2] M. Michiwaki and T. Kobayashi, *Healthy scalar-tensor theories with third-order derivatives: Generalized disformal Horndeski and beyond*, [2601.09164].
- [3] G. W. Horndeski, *Second-order scalar-tensor field equations in a four-dimensional space*, Int. J. Theor. Phys. **10** (1974).
- [4] X. Gao and Z.-B. Yao, *Spatially covariant gravity with velocity of the lapse function: the Hamiltonian analysis*, JCAP **05** (2019) 024 [1806.02811].

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

該当なし。

② 図書

該当なし。

③ シンポジウム・公開講演会等の開催

該当なし。

④ その他

プレプリント：

- (1) M. Michiwaki and T. Kobayashi, *Healthy scalar-tensor theories with third-order derivatives: Generalized disformal Horndeski and beyond*, [2601.09164] (現在, JCAP に投稿中)。

口頭発表：

- (2) 道脇元紀, 小林努,
「3 階微分項を含む縮退高階スカラー・テンソル理論の系統的な構築」,
日本物理学会第 80 回年次大会, 広島大学, 2025 年 9 月。
- (3) Masaki Michiwaki,
“Systematic Construction of Ghost-Free Scalar-Tensor Theories with Third-Order Derivatives,”
28th International Conference on Particle Physics & Cosmology (COSMO-25),
Carnegie Mellon University, 2025 年 10 月。
- (4) Masaki Michiwaki,
“Ghost-Free Scalar-Tensor Theories with Third Derivatives,”
The 34th Workshop on General Relativity and Cosmology (JGRG34), 京都大学,
2026 年 1 月。