

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

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 (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 1年 (学生番号: 20RA001W)		三嶋 洋介 印		
指導教員	所属部局・職		氏名		
	理学部・教授		小林 努 印		
自然・人文 ・社会の別	自然		個人・共同の別	個人	
研究課題	拡張された重力理論による宇宙の加速膨張機構の探求				
研究組織 (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1年		三嶋 洋介		
研究期間	2020 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。)

インフレーション理論は宇宙初期の加速膨張を説明できる有力なシナリオであり、理論上実現可能なモデルが数多く提唱されてきた。これまでの偉大な観測結果から、中でもスローロール・インフレーションモデルが確からしいことは判明したが、それらのモデルが生成する原始重力波のスペクトル指数に対しては情報を得られていない。通例はそのスペクトル指数は負となると考えられていたが、申請者の先行研究によって、一般的な枠組みの下でスローロール・インフレーションモデルを考える場合、原始重力波のスペクトル指数が正にもなり得ることが示された。この特徴を持つインフレーションモデルはまだ解明されていないことが多いため、インフレーション終了後に続く再加熱期を実現できるかという観点からモデルの妥当性を検証する。

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。)

[インフレーション] [初期宇宙] [再加熱]

研究成果の概要 (図・グラフ等は使用しないこと。)**研究背景: 原始重力波のスペクトル指数が正となるインフレーションモデルの存在**

宇宙が初期に指数関数的な膨張をしていたと考えるインフレーションは、現代宇宙論の標準的なシナリオとして広く受け入れられている。これは、標準ビッグバン理論の抱える初期条件の微調整に関する問題を解決するだけでなく、宇宙の大規模構造の種となる原始密度ゆらぎの生成も自然に説明できるからである。そして現在では、インフレーションが予言する原始密度ゆらぎのパワースペクトルが宇宙マイクロ波背景放射(CMB)の温度ゆらぎの観測と整合する、ということも判明している。インフレーションが起きた証拠となる原始重力波はまだ検出されておらず、そのパワースペクトルがインフレーションモデルごとにどのような特徴を持つのかは興味深い対象となっている。

インフレーションを起こすモデルは多く存在する。インフラトン場の正準運動項とポテンシャル項で記述される単純なモデルでは、原始重力波のパワースペクトルのスペクトル指数は負になる。一方、重力場にインフラトン場を加えた理論(スカラー・テンソル理論)の下でインフレーションを考えると、原始重力波のスペクトル指数が正になるモデルも存在することは指摘されていた。ところが、現代のCMBの観測に整合するものはスローロール・インフレーションモデル(ポテンシャル項優勢モデル)であり、最も一般的なスカラー・テンソル理論の下でポテンシャル項が優勢となるインフレーションを考えると、どのモデルも原始重力波のスペクトル指数は負となる[1]ことが主張されていた。

スカラー・テンソル理論でインフレーションを考える例として、インフラトン場がガウス・ボンネ項との相互作用で記述されるモデル(ガウス・ボンネインフレーション)が存在する。ガウス・ボンネインフレーションでポテンシャル項が優勢となる状況を検討すると、原始重力波のスペクトル指数が正となる場合でも観測できることが確認されており[2]、またそうしたモデルはスカラー・テンソル理論の不安定性条件も回避できることが分かっていた[3]。さらに、最も一般的なスカラー・テンソル理論はガウス・ボンネインフレーションを記述する枠組みであることが知られている[4]。これは、一般的な解析を行った先行研究[1]の結果が、具体的なモデルで解析が行われていた先行研究[2]の結果を含んでいないことを意味する。このことから先行研究[1]の解析に不十分な点があると考えて一般的な解析を再考した結果、最も一般的なスカラー・テンソル理論の枠組みに原始重力波のスペクトル指数が正となるインフレーションモデルを多く存在していることを明らかにした[5]。

研究目的: 原始重力波のスペクトル指数が正となるインフレーションモデルの妥当性の検証

最も確からしいとされるスローロール・インフレーションモデルが生成する重力波のスペクトル指数が正であることは、重力波干渉計を用いた将来観測でもインフレーションモデルを検証できる可能性を示唆する。これは初期宇宙の物理を解明する一助を担うという点で非常に重要である。しかし、研究[5]で構築されたスローロール・インフレーションを起こす新たなモデル空間は発見されて間もないため、検証すべき課題は多くある。そこで研究代表者は新たなモデル空間内のインフレーションモデルにおいて再加熱過程を記述できるかを焦点にあてることで、妥当なモデルが存在しているのか明らかにすることを試みた。

研究内容

最も一般的なスカラー・テンソル理論は、ラグランジアンの中にインフラトン場の非線形相互作用項を含む。先行研究[6]では、この非線形相互作用項が不適切な形で含まれていると、インフラトン場の運動が振動しなくなることが指摘されていた。この解は物質場へエネルギーを移すことができないため、インフレーションモデルとして不適切である。この観点から、研究[6]を参考にし、研究[5]で示した新たなモデル空間において妥当なインフレーションモデルがどの程度存在するか確認することを試みることにした。

研究成果の概要 (つづき)

研究成果

ここでは、研究[5]で示した新たなモデル空間のうち、2つのケースで調べることにした。1つ目のケースにあたるガウス・ボンネインフレーションモデルでは、ガウス・ボンネ項との結合関数を選ぶことで、適切に振動期を迎えることができることを確認した。2つ目のケースでは(インフレーション中に)正準運動項の係数が負となる場合を考察した。このケースではインフレーション中にインフラトンがポテンシャルの坂を登りつつ、底に到達する必要がある。そこで研究[7]を参考にし、坂を登るときにも摂動量における勾配・ゴースト不安定性が生じないようなポテンシャルと相互作用項の組が存在することを突き止めることができた。このポテンシャルと相互作用項の組がどの程度自然なものであるかが気になったため、複数場のスカラー・テンソルモデルの枠組に検討範囲を広げることで背景場のダイナミクスを解析した。その結果、かなりの調整を要することも突き止めた。これらを確認する際に複数場のスカラー・テンソルモデルにおけるインフレーションに関する先行研究[8, 9]を参考にした。

参考文献リスト

- [1] K. Kamada, *et al.*, *Phys. Rev.* **D86** (2012) 023504.
- [2] S. Koh, *et al.*, *Phys. Rev.* **D90** (2014) 063527.
- [3] M. Satoh and J. Soda, *JCAP* **0809** (2008) 019.
- [4] T. Kobayashi, *et al.*, *Prog. Theor. Phys.* **126** (2011) 511.
- [5] Y. Mishima and T. Kobayashi, *Phys. Rev.* **D101** (2020) 043536.
- [6] J. Ohashi and S. Tsujikawa, *JCAP* **10** (2012) 035.
- [7] H. W. H. Tahara and T. Kobayashi, *Phys. Rev.* **D102** (2020) 123533.
- [8] C. Gordon, *et al.*, *Phys. Rev.* **D63** (2000) 023506.
- [9] T. Kobayashi, *et al.*, *Phys. Rev.* **D88** (2013) 8, 083504.

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、論文タイトル、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 なし

② 図書 なし

③ シンポジウム・公開講演会等の開催 なし

④ 国内学会・研究会・シンポジウム等における発表

[1] 三嶋洋介「原始重力波のスペクトル指数が正となるスローロール・インフレーションモデルにおける再加熱機構」、第50回 天文・天体物理若手夏の学校、2020年8月 (口頭発表・査読なし)