

令和 6 年 10 月 7 日現在

機関番号：32652

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19H01899

研究課題名（和文）ヒッグス・インフレーションで探る重力形式の違い

研究課題名（英文）Exploring Differences in Gravitational Formalisms through Higgs Inflation

研究代表者

尾田 欣也（Oda, Kin-ya）

東京女子大学・現代教養学部・教授

研究者番号：60442943

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,700,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では量子重力、ヒッグスインフレーション、暗黒物質、および宇宙論的摂動に関連する一連のモデルを提案・詳細に分析した。特に、量子相転移点での結合定数の自動調整がヒッグス階層問題の解決策として提案され、量子場理論の基本的再構成の可能性を示した。再加熱時代のヒッグス場の非熱的分布の解析や、多臨界点原理を用いた重力波の特性調査を行い、新たな宇宙の進化の洞察を提供するとともに、将来の宇宙基盤観測装置による検証の可能性を提示した。これにより、量子場理論、宇宙論、重力理論の理解が深まり、新しい研究課題が明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では量子重力、ヒッグスインフレーション、暗黒物質、宇宙論的摂動に関連する一連のモデルを提案し、詳細に分析した。学術的には、量子相転移点での結合定数の自動調整機構がヒッグス階層問題の解決策を示唆するとともに、量子場理論の基本的な再構成が可能であることを示した。これは理論物理学の基本問題への新しいアプローチを提供する重要な成果である。社会的には、この研究成果は将来の宇宙観測計画の設計に直接的な影響を与え、新たな観測技術の開発を促進することが期待される。また、一般公衆の科学への関心を高め、科学教育や普及活動にも寄与することができるだろう。

研究成果の概要（英文）：This research proposed and conducted a detailed analysis of a series of models related to quantum gravity, Higgs inflation, dark matter, and cosmological perturbations. Particularly, the automatic adjustment of coupling constants at quantum phase transition points was proposed as a solution to the Higgs hierarchy problem, demonstrating the possibility of a fundamental reconstruction of quantum field theory. The analysis of the non-thermal distribution of the Higgs field during the reheating era and the investigation of gravitational wave characteristics using the multicritical point principle were conducted. These studies provided new insights into the evolution of the universe and suggested the possibility of verification by future cosmic infrastructure observation equipment. This deepened the understanding of quantum field theory, cosmology, and gravitational theory, revealing new research challenges.

研究分野：素粒子論・宇宙論

キーワード：インフレーション ヒッグス 量子重力 暗黒物質

1. 研究開始当初の背景

量子重力の理論は未だ確立されておらず、その力学変数が何であるかの探求は重要な課題である。ヒッグス粒子の発見とインフレーション理論の進展にも関わらず、これらの理論が重力とどのように結びつくかは明確ではなかった。このような背景から、量子重力の完成に向けた意味のある貢献を目指すことが必要とされていた。この研究は、現代物理学の根幹に触れるものであり、理論物理学の最前線での議論に新たな光を投げかける可能性を持っている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ヒッグス・インフレーションの予言が重力理論の定式化の違いによってどのように変更を受けるのかを詳細かつ網羅的に調べ、宇宙背景マイクロ波および重力波輻射の予言がミニマルモデルからどのようにずれていくのかを分析し、実際の観測結果と照合することである。これにより、量子重力の理論の進展に寄与することを目指す。この研究は、未解明の物理現象に対する理解を深めると同時に、将来の宇宙観測技術の発展にも寄与することが期待される。

3 . 研究の方法

本研究では、異なる重力理論の定式化を用いたモデル比較と数値シミュレーションを主軸とした。具体的には、ヒッグス・インフレーションモデルを異なる重力理論の下で再構築し、それによる予言の違いを計算し、宇宙観測データとの一致を評価した。このアプローチにより、理論の予測と実際の宇宙の観測結果とを結びつける架橋が可能となり、理論物理学における重要な問題への解答を模索することができた。

4 . 研究成果

本研究では、量子重力と局所ローレンツ対称性を統合する新しい理論枠組みを提案し、このアプローチに基づいて局所ローレンツ対称性と一般座標変換の詳細な変換則を解析した。この理論ではスピノールが唯一の動的場となる作用を定義し、従来の理論に依存する重力背景場を導入せずに自己整合的な理論構築を実現した。さらに、相転移点での結合定数の自動調整が実現され、これが量子場理論の一般化に寄与することを示し、ヒッグス階層問題やその他の微調整問題への新たな解決策を提供した。再加熱時代のヒッグス場の非熱的相空間分布を解析することで、宇宙の大規模構造に与える影響を詳細に調査し、原始凝縮と

確率的な変動の間の相互作用を明らかにし、それが宇宙の初期状態にどのように寄与するかを示した。これらの成果は理論物理学および宇宙論の分野における新たな理論的洞察を提供し、未来の観測データとの比較による検証へとつながる基盤を築いた。この研究は、量子重力の理論を進化させるとともに、宇宙の謎を解明する手がかりを提供することで、科学界における重要な進歩となった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計24件（うち査読付論文 22件 / うち国際共著 16件 / うちオープンアクセス 23件）

1. 著者名 Matsuzaki Shinya, Miyawaki Shota, Oda Kin-ya, Yamada Masatoshi	4. 巻 813
2. 論文標題 Dynamically emergent gravity from hidden local Lorentz symmetry	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 135975 ~ 135975
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2020.135975	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Ishikawa Kenzo, Nishiwaki Kenji, Oda Kin-ya	4. 巻 2020
2. 論文標題 Scalar scattering amplitude in the Gaussian wave-packet formalism	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 103B04
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptaa127	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Modak Tanmoy, Oda Kin-ya	4. 巻 80
2. 論文標題 Echoes of 2HDM inflation at the collider experiments	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The European Physical Journal C	6. 最初と最後の頁 863
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjc/s10052-020-08450-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Modak Tanmoy, Oda Kin-ya	4. 巻 81
2. 論文標題 Erratum to: Echoes of 2HDM inflation at the collider experiments	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The European Physical Journal C	6. 最初と最後の頁 518
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjc/s10052-021-09295-2	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Hamada Yuta, Kawai Hikaru, Oda Kin-ya, Yagyu Kei	4. 巻 2021
2. 論文標題 Dark matter in minimal dimensional transmutation with multicritical-point principle	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 87
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP01(2021)087	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Kubota Mio, Oda Kin-ya, Shimada Keigo, Yamaguchi Masahide	4. 巻 2021
2. 論文標題 Cosmological perturbations in Palatini formalism	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 006 ~ 006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2021/03/006	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Lee Sung Mook, Oda Kin-ya, Park Seong Chan	4. 巻 2021
2. 論文標題 Spontaneous leptogenesis in Higgs inflation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 83
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP03(2021)083	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Ishikawa Kenzo, Nishiwaki Kenji, Oda Kin-ya	4. 巻 108
2. 論文標題 New effect in wave-packet scattering of quantum fields	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 96013
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.108.096013	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Oda Kin-ya, Wada Juntaro	4. 巻 83
2. 論文標題 Erratum to: A complete set of Lorentz-invariant wave packets and modified uncertainty relation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The European Physical Journal C	6. 最初と最後の頁 135
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjc/s10052-023-11290-8	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kaneta Kunio, Lee Sung Mook, Oda Kin-ya	4. 巻 2022
2. 論文標題 Boltzmann or Bogoliubov? Approaches compared in gravitational particle production	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 018 ~ 018
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2022/09/018	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Lee Sung Mook, Modak Tanmoy, Oda Kin-ya, Takahashi Tomo	4. 巻 2023
2. 論文標題 Ultraviolet sensitivity in Higgs-Starobinsky inflation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 045 ~ 045
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2023/08/045	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Kikuchi Kengo, Nishiwaki Kenji, Oda Kin-ya	4. 巻 83
2. 論文標題 Gradient-flowed order parameter for spontaneous gauge symmetry breaking	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The European Physical Journal C	6. 最初と最後の頁 462
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjc/s10052-023-11553-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Kaneta Kunio, Oda Kin-ya, Yoshimura Motohiko	4. 巻 2023
2. 論文標題 Constraints on extended Jordan-Brans-Dicke gravity	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 040 ~ 040
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2023/10/040	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kaneta Kunio, Oda Kin-ya	4. 巻 2023
2. 論文標題 Non-thermal Higgs spectrum in reheating epoch: primordial condensate vs. stochastic fluctuation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 048 ~ 048
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2023/10/048	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kawai Hikaru, Kawana Kiyoharu, Oda Kin-ya, Yagyu Kei	4. 巻 109
2. 論文標題 Quantum phase transition and absence of quadratic divergence in generalized quantum field theories	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 85009
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.109.085009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Mitani Haruhi, Oda Kin-ya	4. 巻 846
2. 論文標題 Decoherence in neutrino oscillation between 3D Gaussian wave packets	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 138218 ~ 138218
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2023.138218	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ishikawa Kenzo, Jinnouchi Osamu, Nishiwaki Kenji, Oda Kin-ya	4. 巻 83
2. 論文標題 Wave-packet effects: a solution for isospin anomalies in vector-meson decay	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The European Physical Journal C	6. 最初と最後の頁 978
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjc/s10052-023-12077-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Oda Kin-ya, Wada Juntaro	4. 巻 81
2. 論文標題 A complete set of Lorentz-invariant wave packets and modified uncertainty relation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The European Physical Journal C	6. 最初と最後の頁 751:1-26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjc/s10052-021-09482-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Lee Sung Mook, Modak Tanmoy, Oda Kin-ya, Takahashi Tomo	4. 巻 82
2. 論文標題 The R^2 -Higgs inflation with two Higgs doublets	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The European Physical Journal C	6. 最初と最後の頁 18:1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjc/s10052-021-09978-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Hamada Yuta, Kawai Hikaru, Kawana Kiyoharu, Oda Kin-ya, Yagyu Kei	4. 巻 82
2. 論文標題 Gravitational waves in models with multicritical-point principle	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The European Physical Journal C	6. 最初と最後の頁 481:1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjc/s10052-022-10440-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kubota Mio, Oda Kin-ya, Rusak Stanislav, Takahashi Tomo	4. 巻 2022
2. 論文標題 Double inflation via non-minimally coupled spectator	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 016:1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2022/06/016	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yuta Hamada, Hikaru Kawai, Kiyoharu Kawana, Kin-ya Oda, and Kei Yagyu	4. 巻 81
2. 論文標題 Minimal scenario of criticality for electroweak scale, neutrino masses, dark matter, and inflation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Eur. Phys. J. C	6. 最初と最後の頁 962, 1-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjc/s10052-021-09735-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 R. Jinno, M. Kubota, K. Oda, S. C. Park	4. 巻 2003
2. 論文標題 Higgs inflation in metric and Palatini formalisms: Required suppression of higher dimensional operators	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JCAP	6. 最初と最後の頁 63
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2020/03/063	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Y. Hamada, M. Ibe, Y. Muramatsu, K. Oda, N. Yokozaki	4. 巻 C80
2. 論文標題 Proton Decay and Axion Dark Matter in SO(10) Grand Unification via Minimal Left-Right Symmetry	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Eur.Phys.J.	6. 最初と最後の頁 482
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjc/s10052-020-7922-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 6件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Kin-ya Oda
2. 発表標題 Inflation basics for experimentalists
3. 学会等名 24th meeting on physics at B factories, Zoom Meeting, 3 September 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kin-ya Oda
2. 発表標題 Gravity from hidden local Lorentz symmetry
3. 学会等名 Particle Physics and Cosmology 2020 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 尾田欣也
2. 発表標題 波束効果を含めた場の理論
3. 学会等名 素粒子現象論研究会 2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kin-ya Oda
2. 発表標題 Decoherence of Wave Packets in Neutrino Oscillation
3. 学会等名 Aso Workshop on Particle Physics and Cosmology 2023 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kin-ya Oda
2. 発表標題 Emergence of Spacetime: Gravity through Hidden Local Lorentz Symmetry
3. 学会等名 Kanto-NTU Joint Workshop on String and Field Theory (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Kin-ya Oda
2. 発表標題 Higgs Spectrum Is Non-thermal after Inflation: Primordial Condensate vs Stochastic Fluctuation
3. 学会等名 17th International Workshop on the Dark Side of the Universe (DSU 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kin-ya Oda
2. 発表標題 Standard Model criticality and Higgs inflation
3. 学会等名 2022 Summer CAS-JSPS Workshop in Cosmology, Gravitation, and Particle Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
ドイツ	Universitaet Heidelberg	DESY		
その他の国・地域（台湾）	National Taiwan University	National Center for Theoretical Sciences		
米国	Harvard University			
スペイン	Universidad Complutense de Madrid			
韓国	Seoul National University	IPAP, Seoul	Yonsei University	他2機関
フランス	Universite de Paris, CNRS			
中国	Jilin University	Central China Normal University		
インド	Shiv Nadar Institution of Eminence			
スイス	CERN			