

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2009～2014

課題番号：21244033

研究課題名(和文) 宇宙論的非線形・非摂動重力現象の研究

研究課題名(英文) research on cosmological nonlinear and non-perturbative gravitational phenomena

研究代表者

佐々木 節 (Sasaki, Misao)

京都大学・基礎物理学研究所・教授

研究者番号：70162386

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,600,000円

研究成果の概要(和文)：宇宙が誕生した直後に起こった宇宙の加速膨張，インフレーションにおいて，現在の宇宙の構造を決める様々な揺らぎが誕生したと考えられている。その揺らぎがどのように進化し，どのような非線形・非摂動的重力現象を通して現在の銀河などの宇宙の大規模構造になったか，という課題は宇宙論の最重要課題の一つである。本研究では，ミクロな量子揺らぎからマクロな宇宙の時空の揺らぎまでのあらゆる階層の揺らぎに対して，総合的かつ系統的な解析を行い，この課題に関して国際的に第一級の成果を数多く上げた。その成果は，今後の宇宙論モデルの研究の重要な指針を与えるものである。

研究成果の概要(英文)：It is believed that the universe has undergone a stage of accelerated expansion, an inflationary stage, right after the birth, and all the fluctuations that are responsible for the structure of the universe today were generated during this stage. One of the most important issues in cosmology is to understand how these fluctuations have evolved to the large scale structure of the universe such as galaxies through nonlinear and non-perturbative gravitational phenomena. In this project, we have systematically investigated various types of fluctuations, from microscopic quantum fluctuations to macroscopic fluctuations of spacetime, and obtained many world top-class results. These results form an important basis for the future direction of research in cosmology.

研究分野：相対論・宇宙論

キーワード：インフレーション宇宙 宇宙論的非線形摂動 修正重力理論 宇宙の大規模構造 宇宙背景輻射 暗黒エネルギー

### 1. 研究開始当初の背景

宇宙論的観測の進歩で、現在の宇宙が加速膨張していることが確定し、その原因をどう同定するか、が問題となっていた。一方で、宇宙のきわめて初期に宇宙が指数関数的な膨張をした、というインフレーション宇宙理論に関して、それが確かに起こったらしいという強い観測的証拠が見つかり、何がインフレーションを起こしたのか、その物理をどう検証するべきか、というより精密な議論が盛んにされるようになっていた。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、上記の研究状況にかんがみ、インフレーション宇宙や現在の加速膨張を検証する理論的枠組みを重力の非線形・非摂動現象に注目して構築することである。その主な具体的目標は、

- 1) インフレーションモデルにおける非線形ゆらぎ(非ガウス性)の生成と伝播の理解、
  - 2) 拡張された重力理論の(一般相対論のブラックホール解からのずれ等の)観測可能量の定式化、
- である。

### 3. 研究の方法

本研究は理論研究であるので、研究分担者、連携研究者各自が、それぞれの担当課題を各自の得意とする方法で推進することが最も大事である。それとともに、年に2回ほど全体で集まり、相互の課題を理解し、課題解決に必要な共同研究を進め、それによって相乗効果を生むように計画を進めた。

### 4. 研究成果

本研究では、ミクロな量子揺らぎからマクロな宇宙の時空の揺らぎまでのあらゆる階層の揺らぎに対して、総合的かつ系統的な解析を行い、この課題に関して国際的に第一級の成果を数多く上げた。その成果は、今後の宇宙論モデルの研究の重要な指針を与えるものである。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 208 件)

1. Violation of non-Gaussianity consistency relation in a single field inflationary model

Mohammad Hossein Namjoo, Hassan Firouzjahi, Misao Sasaki.  
Europhys.Lett. 101 (2013) 39001  
DOI: 10.1209/0295-5075/101/39001

2. A Single Field Inflation Model with Large Local Non-Gaussianity  
Xingang Chen, Hassan Firouzjahi, Mohammad

Hossein Namjoo, Misao Sasaki.  
Europhys.Lett. 102 (2013) 59001  
DOI: 10.1209/0295-5075/102/59001

3. Large and strong scale dependent bispectrum in single field inflation from a sharp feature in the mass

Frederico Arroja, Antonio Enea Romano, Misao Sasaki.  
Phys.Rev. D84 (2011) 123503  
DOI: 10.1103/PhysRevD.84.123503

4. Open inflation in the landscape  
Daisuke Yamauchi, Andrei Linde, Atsushi Naruko, Misao Sasaki, Takahiro Tanaka.

Phys.Rev. D84 (2011) 043513  
DOI: 10.1103/PhysRevD.84.043513

5. Curvature Perturbation Spectrum in Two-field Inflation with a Turning Trajectory

Shi Pi, Misao Sasaki.  
JCAP 1210 (2012) 051  
DOI: 10.1088/1475-7516/2012/10/051

6. Conformal invariance of curvature perturbation

Jinn-Ouk Gong, Jai-chan Hwang, Wan-Il Park, Misao Sasaki, Yong-Seon Song.  
JCAP 1109 (2011) 023  
DOI: 10.1088/1475-7516/2011/09/023

7. Non-Gaussianity of superhorizon curvature perturbations beyond N formalism

Yu-ichi Takamizu, Shinji Mukohyama, Misao Sasaki, Yoshiharu Tanaka.  
JCAP 1006 (2010) 019  
DOI: 10.1088/1475-7516/2010/06/019

8. Screening of cosmological constant in non-local cosmology

Ying-li Zhang, Misao Sasaki.  
Int.J.Mod.Phys. D21 (2012) 1250006  
DOI: 10.1142/S021827181250006X

9. Conservation of the nonlinear curvature perturbation in generic single-field inflation

Atsushi Naruko, Misao Sasaki.  
Class.Quant.Grav. 28 (2011) 072001  
DOI: 10.1088/0264-9381/28/7/072001

10. A note on the equivalence of a barotropic perfect fluid with a K-essence scalar field

Frederico Arroja, Misao Sasaki.  
Phys.Rev. D81 (2010) 107301  
DOI: 10.1103/PhysRevD.81.107301

11. Strong scale dependent bispectrum in the Starobinsky model of inflation  
Frederico Arroja, Misao Sasaki.  
JCAP 1208 (2012) 012  
DOI: 10.1088/1475-7516/2012/08/012
12. Large-scale Perturbations from the Waterfall Field in Hybrid Inflation  
Jose Fonseca, Misao Sasaki, David Wands.  
JCAP 1009 (2010) 012  
DOI: 10.1088/1475-7516/2010/09/012
13. Observable Spectra of Induced Gravitational Waves from Inflation  
Laila Alabidi, Kazunori Kohri, Misao Sasaki, Yuuiti Sendouda.  
JCAP 1209 (2012) 017  
DOI: 10.1088/1475-7516/2012/09/017
14. In-in and N calculations of the bispectrum from non-attractor single-field inflation  
Xingang Chen, Hassan Firouzjahi, Eiichiro Komatsu, Mohammad Hossein Namjoo, Misao Sasaki.  
JCAP 1312 (2013) 039  
DOI: 10.1088/1475-7516/2013/12/039
15. Curvature perturbation in multi-field inflation with non-minimal coupling  
Jonathan White, Masato Minamitsuji, Misao Sasaki.  
JCAP 1207 (2012) 039  
DOI: 10.1088/1475-7516/2012/07/039
16. A viable explanation of the CMB dipolar statistical anisotropy  
Sugumi Kanno, Misao Sasaki, Takahiro Tanaka.  
PTEP 2013 (2013) 111E01  
DOI: 10.1093/ptep/ptt093
17. Non-linear curvature perturbation in multi-field inflation models with non-minimal coupling  
Jonathan White, Masato Minamitsuji, Misao Sasaki.  
JCAP 1309 (2013) 015  
DOI: 10.1088/1475-7516/2013/09/015
18. Second-order Boltzmann equation: gauge dependence and gauge invariance  
Atsushi Naruko, Cyril Pitrou, Kazuya Koyama, Misao Sasaki.  
Class.Quant.Grav. 30 (2013) 165008  
DOI: 10.1088/0264-9381/30/16/165008
19. IR divergence does not affect the gauge-invariant curvature perturbation  
Yuko Urakawa, Takahiro Tanaka.  
Phys.Rev. D82 (2010) 121301  
DOI: 10.1103/PhysRevD.82.121301
20. Dominance of gauge artifact in the consistency relation for the primordial bispectrum  
Takahiro Tanaka, Yuko Urakawa.  
JCAP 1105 (2011) 014  
DOI: 10.1088/1475-7516/2011/05/014
21. Viable cosmology in bimetric theory  
Antonio De Felice, A. Emir Gümürkçüoğlu, Shinji Mukohyama, Norihiro Tanahashi, Takahiro Tanaka.  
JCAP 1406 (2014) 037  
DOI: 10.1088/1475-7516/2014/06/037
22. Open FRW universes and self-acceleration from nonlinear massive gravity  
A.Emir Gumrukcuoglu, Chunshan Lin, Shinji Mukohyama.  
JCAP 1111 (2011) 030  
DOI: 10.1088/1475-7516/2011/11/030
23. Massive gravity: nonlinear instability of the homogeneous and isotropic universe  
Antonio De Felice, A.Emir Gumrukcuoglu, Shinji Mukohyama.  
Phys.Rev.Lett. 109 (2012) 171101  
DOI: 10.1103/PhysRevLett.109.171101
24. Horava-Lifshitz Cosmology: A Review  
Shinji Mukohyama.  
Class.Quant.Grav. 27 (2010) 223101  
DOI: 10.1088/0264-9381/27/22/223101
25. Cosmological perturbations of self-accelerating universe in nonlinear massive gravity  
A.Emir Gumrukcuoglu, Chunshan Lin, Shinji Mukohyama.  
JCAP 1203 (2012) 006  
DOI: 10.1088/1475-7516/2012/03/006
26. The Nature of Primordial Fluctuations from Anisotropic Inflation  
Masa-aki Watanabe, Sugumi Kanno, Jiro Soda.  
Prog.Theor.Phys. 123 (2010) 1041-1068  
DOI: 10.1143/PTP.123.1041
27. Anisotropic Power-law Inflation  
Sugumi Kanno, Jiro Soda, Masa-aki Watanabe.  
JCAP 1012 (2010) 024  
DOI: 10.1088/1475-7516/2010/12/024
28. Statistical Anisotropy from

Anisotropic Inflation

Jiro Soda.

Class.Quant.Grav. 29 (2012) 083001

DOI: 10.1088/0264-9381/29/8/083001

29. Imprints of Anisotropic Inflation on the Cosmic Microwave Background

Masa-aki Watanab, Sugumi Kanno, Jiro Soda.

Mon.Not.Roy.Astron.Soc. 412 (2011)

L83-L87

DOI: 10.1111/j.1745-3933.2011.01010.x

30. Running Kinetic Inflation

Kazunori Nakayama, Fuminobu Takahashi.

JCAP 1011 (2010) 009

DOI: 10.1088/1475-7516/2010/11/009

31. Linear Inflation from Running Kinetic Term in Supergravity

Fuminobu Takahashi.

Phys.Lett. B693 (2010) 140-143

DOI: 10.1016/j.physletb.2010.08.029

32. Asymptotic flatness at null infinity in arbitrary dimensions

Kentaro Tanabe, Shunichiro Kinoshita,

Tetsuya Shiromizu.

Phys.Rev. D84 (2011) 044055

DOI: 10.1103/PhysRevD.84.044055

33. Nonlinear Perturbation Theory Integrated with Nonlocal Bias, Redshift-space Distortions, and Primordial Non-Gaussianity

Takahiko Matsubara.

Phys.Rev. D83 (2011) 083518

DOI: 10.1103/PhysRevD.83.083518

34. Dark energy: investigation and modeling

Shinji Tsujikawa.

DOI: 10.1007/978-90-481-8685-3\_8

35. Cosmology of a covariant Galileon field

Antonio De Felice, Shinji Tsujikawa.

Phys.Rev.Lett. 105 (2010) 111301

DOI: 10.1103/PhysRevLett.105.111301

36. Generalized G-inflation: Inflation with the most general second-order field equations

Tsutomu Kobayash, Masahide Yamaguchi,

Jun'ichi Yokoyama.

Prog.Theor.Phys. 126 (2011) 511-529

DOI: 10.1143/PTP.126.511

37. G-inflation: Inflation driven by the Galileon field

Tsutomu Kobayashi, Masahide Yamaguchi,

Jun'ichi Yokoyama.

Phys.Rev.Lett. 105 (2010) 231302

DOI: 10.1103/PhysRevLett.105.231302

38. The Constancy of the Constants of Nature: Updates

Takeshi Chiba.

Prog.Theor.Phys. 126 (2011) 993-1019

DOI: 10.1143/PTP.126.993

39. Kaluza-Klein vacuum multi-black holes in five-dimensions

Ken Matsuno, Hideki Ishihara, Masashi

Kimura, Takamitsu Tatsuoka.

Phys.Rev. D86 (2012) 044036

DOI: 10.1103/PhysRevD.86.044036

40. Vainshtein screening in a cosmological background in the most general second-order scalar-tensor theory

Rampey Kimura, Tsutomu Kobayashi,

Kazuhiro Yamamoto.

Phys.Rev. D85 (2012) 024023

DOI: 10.1103/PhysRevD.85.024023

[学会発表](計 70件)

松原 隆彦

Biasing: What is the consistent formulation in quasi-nonlinear regime?

The Observational Pursuit of Dark Energy after Astro2010,

2010.10.08, Pasadena, USA

佐々木 節

Inflation and Cosmological Perturbation Theory

5th Asian Winter School on Strings, Particles and Cosmology,

2011.1.10, 12, 13, Jeju, Korea

辻川 信二

Planck constraints on single-field inflation

1-st i-Link Workshop Macro-from-Micro: Quantum Gravity and Cosmology,

2013.6.27, Madrid, Spain

向山 信治

Massive gravity and cosmology

Cosmological Frontiers in Fundamental Physics

2013.7.8, Perimeter Institute, Canada

田中 貴浩

How about modified propagation of Gravitational waves?

Gravitational Wave Tests of Alternative Theories of Gravity in the Advanced

Detector Era,

2013.4.7, Bozeman, USA

〔図書〕(計 6 件)

辻川信二

サイエンス社

現代宇宙論講義, 2013, 208 頁

リサ・ランドール, 向山信治(監訳), 塩原通  
緒(翻訳)

NHK 出版

宇宙の扉をノックする,  
2013, 616 頁

松原隆彦

東京大学出版会

現代宇宙論 時空と物質の共進化, 2010,  
338 頁

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕ホームページ

<http://www2.yukawa.kyoto-u.ac.jp/~misao.sasaki/KibanA/index.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

佐々木節 (SASAKI, Misao)

京都大学基礎物理学研究所・教授

研究者番号: 70162386

### (2) 研究分担者

田中貴浩 (TANAKA, Takahiro)

京都大学基理学研究科・教授

研究者番号: 40281117

### (3) 連携研究者

白水徹也 (SHIROMIZU, Tetsuya)

名古屋大学理学研究科・教授

研究者番号: 10282716

早田次郎 (SODA, Jiro)

神戸大学理学研究科・教授

研究者番号: 00222076

向山信治 (MUKOHYAMA, Shinji)

京都大学基礎物理学研究所・教授

研究者番号: 40396809

松原隆彦 (MATSUBARA, Takahiko)

名古屋大学理学研究科・准教授

研究者番号: 00282715

高橋史宜 (TAKAHASHI, Fuminobu)

東北大学理学研究科・准教授

研究者番号: 60503878

千葉剛 (CHIBA, Takeshi)

日本大学文理学部・准教授

研究者番号: 40324602

辻川信二 (TSUJIKAWA, Shinji)

東京理科大学・准教授

研究者番号: 30318802

石原秀樹 (ISHIHARA, Hideki)

大阪市立大学理学研究科・教授

研究者番号: 80183739

山本一博 (YAMAMOTO, Kazuhiro)

広島大学理学研究科・准教授

研究者番号: 50284154

山口昌英 (YAMAGUCHI, Masahide)

東京工業大学理学研究科・教授

研究者番号: 80383511