

機関番号：17201

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2010

課題番号：19740145

研究課題名（和文）

精密宇宙論的観測データに基づく宇宙の進化と素粒子物理

研究課題名（英文）

Particle cosmology in the era of precision cosmology

研究代表者 高橋 智

(TAKAHASHI, TOMO)

佐賀大学・工学系研究科・准教授

研究者番号：60432960

研究成果の概要（和文）：

近年の精密な宇宙観測により、宇宙の進化の様子、現在の姿が分かるようになってきた。本研究では、主に宇宙密度揺らぎの性質を調べることにより、初期宇宙、また、暗黒物質、暗黒エネルギーなどの正体の解明を目指し研究を行ってきた。特に、原始密度揺らぎの非ガウス性に関して、様々な初期宇宙のモデルを検討し、それらが将来の観測でどのように峻別できるか、またどのような観測量を用いると、それらのモデルが検証できるかについて詳細な研究を行った。そこで得られた知見は、初期宇宙の進化の理解、及び、その背景にある素粒子物理のモデルに対して大きな示唆を与えるであろう。

研究成果の概要（英文）：

Current cosmological observations are so precise that they give us a lot of information and profound insight on the evolution of the Universe from the very early epoch to the present, as well as the nature of dark components such as dark matter and dark energy. In this research project, we have investigated various aspects of cosmological density fluctuations, in particular, non-Gaussianity of primordial fluctuations. We have studied various models of the early Universe, focusing on its observational signatures for non-Gaussianity, which would give many implications for understanding of the evolution of the Universe and particle physics models.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
19年度	800,000	0	800,000
20年度	800,000	240,000	1,040,000
21年度	800,000	240,000	1,040,000
22年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
総計	3,200,000	720,000	3,920,000

研究分野：素粒子論・宇宙論

科研費の分科・細目：素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：初期宇宙、初期揺らぎ、非ガウス性

## 1. 研究開始当初の背景

近年の精密な宇宙観測により、宇宙の進化の様子、現在の姿が分かるようになってきた。宇宙初期の現象や、また現在の宇宙を支配し

ている暗黒成分（暗黒物質、暗黒エネルギー）についても、近年、および近未来の精密宇宙観測により、様々なことが明らかにされると期待され、宇宙論分野のみならず、素粒子物

理などの研究者が宇宙進化や暗黒成分の研究を盛んに行ってきた。

## 2. 研究の目的

本研究では、主に宇宙密度揺らぎの性質を調べることにより、初期宇宙、また、暗黒物質、暗黒エネルギーなどの正体の解明を目指すことを目的とする。

## 3. 研究の方法

近年の WMAP 衛星などによる宇宙背景放射の揺らぎなどの精密観測データを念頭におき、それらのデータを説明できる（もしくは矛盾しない）初期宇宙のモデルはどのようなものか、また、暗黒物質、暗黒エネルギーの性質はどのようなものかを調べてきた。特に原始宇宙密度揺らぎの性質に関しては、その非ガウス性、また等曲率揺らぎなどに着目し、それらの観測から、初期宇宙のシナリオ、また、そのシナリオから示唆される素粒子物理のモデルなどについて研究を行った。

## 4. 研究成果

本研究においては、いくつかのテーマについて様々な研究成果が得られた。以下、それらについて、代表的な研究成果を述べていく。

### ・ 原始密度揺らぎの非ガウス性と宇宙初期のモデル

近年の WMAP 衛星による宇宙背景放射の揺らぎの「非ガウス性」の解析結果によると(95%弱程度の信頼度ではあるが)宇宙初期に生成された原始密度揺らぎは「非ガウスの」揺らぎであることが示唆されている。通常のインフラトン場の量子揺らぎから生成される原始揺らぎは、ほぼガウスのであることが知られているため、もし将来の観測で揺らぎが「非ガウスの」なものであることが確かめられた場合、インフラトン場から揺らぎを生成するモデルは排除され、初期宇宙の進化モデルを考える際に考慮しなければならない大変重要なポイントになる。

大きな「非ガウス性」を生成するモデルとして「カーバトンモデル」がある。例えば、素粒子標準モデルを超える理論として考えられている超対称モデルなどでは、様々な新しい粒子が導入されるため、それらが宇宙の進化、発展に大きな影響を与える可能性がある。もしこのような場が原始揺らぎを持てば、現在の宇宙背景放射の揺らぎなどは、従来考えられてきたインフレーションをおこすインフラトン場の揺らぎではなく、それらのスカラー場の揺らぎで説明できる。このようなモデルを

カーバトンモデルと呼ぶ。本研究では、このカーバトンモデルについて様々な角度から詳細な研究を行った。

例えば、カーバトン場の自己相互作用が揺らぎの非ガウス性に与える影響を調べた。その結果分かったことは、カーバトン場の自己相互作用がある程度小さくても、生成する揺らぎの非ガウス性に大きな影響を与える、ということである。特に、非ガウス性を調べる際、3点関数だけでなく、4点関数の情報も非常に有用になりうることを指摘した。さらには、このようなモデルでは、3点関数のスケール依存性にも特徴的なものが現れることも示した。これらの研究は将来の観測でどのようなシグナルを見ればよいか、について大きな示唆を与えた。

・ グラビティーノと宇宙密度揺らぎ  
gauge-mediated SUSY breaking 模型では、グラビティーノの質量は非常に軽くなりうるが、そのようなグラビティーノが宇宙背景放射の揺らぎに対して、どのような影響を与えるか、について行った研究もある。軽い質量のグラビティーノが宇宙の物質の一部を担うような場合、それらは warm dark matter の性質を持ち、密度揺らぎに影響を与える。我々の研究において、宇宙背景放射における重力レンズ効果が軽いグラビティーノの質量に感度があることを指摘した。そして、Planck 衛星、また計画されている CMBpol, PolarBeaR などの宇宙背景放射の観測を用いると  $m_{3/2} < 3.2 \text{ eV}$  (95% C.L.) までの制限が得られることを示した。

### ・ 宇宙論的観測からのニュートリノ質量に対する制限

近年の宇宙観測の発展に伴い、宇宙論的な議論からニュートリノ質量に対して厳しい制限が得られるようになってきた。特に、宇宙の大規模構造や宇宙背景放射の揺らぎに関しては、実際の観測データを用いてこれまで様々な研究がなされている。

本研究において、我々は WMAP による宇宙背景放射の観測、Canada-France-Hawaii Telescope Legacy Survey (CFHTLS) による weak lensing の観測を用いてニュートリノの質量の制限を求め、他のデータ(宇宙背景放射、Ia 型超新星爆発、バリオン振動)と合わせることでニュートリノ質量(の和)に対して、 $0.54 \text{ eV}$  (95% C.L.) 以下、という制限を得た。現在の weaklensing のデータのみでは他の宇宙論的な方法に比べて、それほど厳しい制限が得られないが、今後さらに精密な weak lensing の観測が計画されており、この

方法は将来的には厳しい制限を与えることができるかと期待される。

また、ニュートリノ質量に対する制限を宇宙背景放射の観測などから求める際、他の宇宙論的パラメータと縮退することが知られている。その例として、ハッブル定数が挙げられるが、将来(もしくは進行中)の宇宙観測(宇宙背景放射(Planck)、バリオン振動(BOSS)、ハッブル定数(HoME)の観測)などをあわせると、その縮退がある程度取り除かれ、もしニュートリノの質量が $=0.1\text{eV}$ であれば、これらの将来データを用いて $5\sigma$ で検出できることを指摘した。また、ニュートリノの世代数についても研究を行っており、WMAPやACBAR, CBI, BOOMERANGなどの宇宙背景放射の観測からの制限を調べ、またPlanck衛星の観測で将来期待される制限についても解析を行った。

その他、暗黒エネルギーの性質を探る研究や暗黒物質の正体の解明へ向けての研究などでも様々な研究成果が得られた。

#### 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 24 件) (すべて査読あり)]

1. David Langlois, and Tomo Takahashi,  
“Primordial Trispectrum from Isocurvature Fluctuations,”  
JCAP 1102, 020 (2011)

2. Teruaki Suyama, Tomo Takahashi,  
Masahide Yamaguchi, Shuichiro  
Yokoyama,  
“On Classification of Models of Large  
Local-Type Non-Gaussianity”  
JCAP 1012, 030 (2010)

3. Christian T. Byrnes, Kari Enqvist, Tomo  
Takahashi,  
“Scale-dependence of Non-Gaussianity in  
the Curvaton Model”  
JCAP 1009, 026 (2010)

4. Christophe Ringeval, Teruaki Suyama,  
Tomo Takahashi, Masahide Yamaguchi,

Shuichiro Yokoyama,  
“Dark energy from primordial inflationary  
quantum fluctuations,”  
Phys.Rev.Lett. 105, 121301 (2010)

5. Kari Enqvist, Sami Nurmi, Olli Taanila  
and Tomo Takahashi,  
“Non-Gaussian Fingerprints of  
Self-Interacting Curvaton,”  
JCAP 1004, 009 (2010)

6. Toyokazu Sekiguchi, Kazuhide Ichikawa,  
Tomo Takahashi and Lincoln Greenhill,  
“Neutrino mass from cosmology: Impact of  
high-accuracy measurement  
of the Hubble constant,”  
JCAP 1003, 015 (2010)

7. Kazunori Kohri and Tomo Takahashi,  
“Cosmology with Long-Lived Charged  
Massive Particles,”  
Phys. Lett. B 682, 337 (2010)

8. Masahiro Kawasaki, Tomo Takahashi  
and Shuichiro Yokoyama,  
“Density Fluctuations in Thermal Inflation  
and Non-Gaussianity,”  
JCAP 0912, 012 (2009)

9. Kari Enqvist and Tomo Takahashi,  
“Effect of Background Evolution on the  
Curvaton Non-Gaussianity,”  
JCAP 0912, 001 (2009)

10. Tomo Takahashi, Masahide Yamaguchi  
and Shuichiro Yokoyama,  
“Primordial Non-Gaussianity in Models  
with Dark Matter Isocurvature  
Fluctuations,”  
Phys. Rev. D 80, 063524 (2009)

11. Kari Enqvist, Sami Nurmi, Gerasimos Rigopoulos, Olli Taanila and Tomo Takahashi,  
“The Subdominant Curvaton,”  
JCAP 0911, 003 (2009)
12. Kazuhide Ichikawa, Masahiro Kawasaki, Kazunori Nakayama, Toyokazu Sekiguchi and Tomo Takahashi,  
“Constraining Light Gravitino Mass from Cosmic Microwave Background,”  
JCAP 0908, 013 (2009)
13. Tomo Takahashi, Masahide Yamaguchi, Jun-ichi Yokoyama and Shuichiro Yokoyama,  
“Gravitino Dark Matter and Non-Gaussianity,”  
Phys. Lett. B 678, 15 (2009)
14. Chiaki Hikage, Kazuya Koyama, Takahiko Matsubara, Tomo Takahashi and Masahide Yamaguchi,  
“Limits on Isocurvature Perturbations from Non-Gaussianity in WMAP Temperature Anisotropy,”  
Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 398, 2188 (2009)
15. Kiyotomo Ichiki, Masahiro Takada and Tomo Takahashi,  
“Constraints on Neutrino Masses from Weak Lensing,”  
Phys. Rev. D 79, 023520 (2009)
16. Takeo Moroi and Tomo Takahashi,  
“Non-Gaussianity and Baryonic Isocurvature Fluctuations in the Curvaton Scenario,”  
Phys. Lett. B 671, 339 (2009)
17. Robert H. Brandenberger, Tomo Takahashi and Masahide Yamaguchi,  
“Adiabatic fluctuations from cosmic strings in a contracting universe,”  
JCAP 0907, 015 (2009)
18. Kazuhide Ichikawa, Teruaki Suyama, Tomo Takahashi and Masahide Yamaguchi,  
“Primordial Curvature Fluctuation and Its Non-Gaussianity in Models with Modulated Re-heating,”  
Phys. Rev. D 78, 063545 (2008)
19. Kari Enqvist and Tomo Takahashi,  
“Signatures of Non-Gaussianity in the Curvaton Model,”  
JCAP 0809, 012 (2008).
20. Kazuhide Ichikawa, Toyokazu Sekiguchi and Tomo Takahashi,  
“Probing the Effective Number of Neutrino Species with Cosmic Microwave Background,”  
Phys. Rev. D 78, 083526 (2008)
21. Kazuhide Ichikawa, Teruaki Suyama, Tomo Takahashi and Masahide Yamaguchi,  
“Non-Gaussianity, Spectral Index and Tensor Modes in Mixed Inflation and Curvaton Models,”  
Phys. Rev. D 78, 023513 (2008).
22. Kazuhide Ichikawa, Toyokazu Sekiguchi and Tomo Takahashi,  
“Primordial Helium Abundance from CMB: a constraint from recent observations and a forecast,”  
Phys. Rev. D 78, 043509 (2008).
23. Kazuhide Ichikawa and Tomo Takahashi,

“The Hubble Constant and Dark Energy from Cosmological Distance Measures,”  
JCAP 0804, 027 (2008).

24. Kiyotomo Ichiki and Tomo Takahashi,  
“Constraints on Generalized Dark Energy from Recent Observations,”  
Phys. Rev. D 75, 123002 (2007).

[学会等発表] (計 14 件)

1. Tomo Takahashi,  
“Scale-dependence of Non-Gaussianity”  
Molecule-type Workshop "Cosmological Perturbation and Cosmic Microwave Background," YITP, Kyoto University (March 23, 2011)

2. Tomo Takahashi,  
“Scale-dependence of non-Gaussianity as a probe of the early Universe”  
Extra-Dimension Probe by Cosmophysics, KEK, Tsukuba (November 8, 2010)

3. Tomo Takahashi,  
“Classifying models of large (local-type) non-Gaussianity,”  
Cosmo 2010, University of Tokyo (September 28, 2010)

4. Tomo Takahashi  
“Cosmological Aspects of Long-Lived Charged Massive Particles,”  
Planck 2010, CERN (June 2, 2010)

5. Tomo Takahashi,  
“Bispectrum and Trispectrum in models with large Non-Gaussianity”  
Workshop “The non-Gaussian Universe,” YITP, Kyoto University, Japan (March 25, 2010)

6. Tomo Takahashi,  
“Non-Gaussianity and Baryogenesis”  
Workshop “Particle Cosmology Institute” CERN, Geneva, Switzerland (September 18, 2009)

7. Tomo Takahashi,  
“Gravitino Dark Matter and Non-Gaussianity”  
Cosmo-2009, CERN, Geneva, Switzerland (September, 2009)

8. Tomo Takahashi,  
“Nonlinear cosmological perturbations in models with quintessence”  
IPMU, Dark Energy conference (June, 2009)

9. Tomo Takahashi,  
“Non-Gaussianity in Model with Isocurvature Fluctuations and Current Limit”  
“Non-linear cosmological perturbations,” YITP, Kyoto University, Japan (April 23, 2009)

10. Tomo Takahashi,  
“Non-Gaussianity in the Curvaton Scenario”  
Focus week on non-Gaussianity in the sky, IPMU, University of Tokyo, Kashiwa, Japan (April 9, 2009)

11. Tomo Takahashi,  
“Non-Gaussianity in the Curvaton Scenario”  
The 18th workshop on General Relativity and Gravitation in Japan, Hiroshima University, Higashi-Hiroshima, Japan (November 18, 2008)

12. Tomo Takahashi,  
“Free streaming and non-thermally produced dark matter”  
International Conference on Particle Physics and Cosmology (COSMO-07), Sussex University, UK (August 22, 2007)

13. 高橋智  
“Dark Side of the Universe”  
基研研究会「弦理論と場の理論 — 量子と時空の最前線」近畿大学 (2007年8月8日)

14. 高橋智  
“The Nature of Dark Energy and its Implications for Particle Physics and Cosmology”  
研究会「宇宙初期における時空と物質の進化」東京大学 (2007年5月30日)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 智 (TAKAHASHI, TOMO)

佐賀大学・工学系研究科・准教授

研究者番号：60432960