

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2015

課題番号：24740135

研究課題名(和文)プランク衛星とLHC実験結果に基づく初期宇宙進化

研究課題名(英文)Evolution of the early Universe based on the results of Planck and LHC

研究代表者

高橋 史宜(Takahashi, Fuminobu)

東北大学・理学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：60503878

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究期間の間にLHC実験およびPlanck衛星による宇宙背景輻射の観測結果が発表された。前者によってヒッグス粒子が見つかり、後者によって宇宙論パラメーターが更に精密に決定された。以前から期待されていた標準理論を超える物理(例えば超対称性粒子)や、密度揺らぎの非ガウス性、原始重力波、暗黒輻射、密度揺らぎのスペクトル指数のスケール依存性、等は発見には至らなかった。これらの実験および観測結果を踏まえ、ヒッグス粒子を用いた種々のインフレーションモデル構築、ダークマター候補であるアクシオンの初期宇宙進化、モジュライ崩壊に伴う暗黒輻射生成に関して65本の論文を執筆し国内外の会議において発表した。

研究成果の概要(英文)：During the period of this grant, a standard-model like Higgs boson was discovered at the LHC, and various cosmological parameters were pinned down by the Planck results on the cosmic microwave background radiation anisotropies. However, so far, there is no hint for any physics beyond the standard model, primordial non-Gaussianity of density perturbations, primordial gravitational waves, dark radiation, the running of the scalar spectral index, and so on. Based on these experimental and observational results, I wrote 65 papers on various topics about the early Universe ranging from inflation model building based on the Higgs boson, right-handed sneutrinos, etc., evolution of the QCD axion and its isocurvature fluctuations, to production of axionic dark radiation by the modulus decay. I gave talks at various domestic and international conferences, including many plenary talks. I also gave series of intense lectures on inflation, lectures at summer and winter schools.

研究分野：素粒子論的宇宙論

キーワード：宇宙物理 インフレーション ダークマター 密度揺らぎ ヒッグス粒子 超対称性理論

1. 研究開始当初の背景

インフレーションは、標準ビッグバン宇宙モデルの理論的困難を解決するだけでなく、密度揺らぎの起源として WMAP 衛星等による CMB 観測から強く支持され、新しい宇宙論のパラダイムとして確立した。国内外を問わず、天文、宇宙論、素粒子論から超弦理論まで多くの分野の研究者が、インフレーションおよびそれに密接に関連するトピックに関して活発に研究を行っている。一方、現状のインフレーションの理論的な理解は不十分と言わざるを得ない。特に重要な問題を以下にあげる。

(1)どのようにインフレーションが生じたのか [インフレーション模型、宇宙の始まり]

(2)インフレーションを記述する物理理論は何か [標準理論を超える物理]

(3)どのように熱い宇宙が生まれたのか [再加熱過程、宇宙の熱史]

(4)どのようにバリオン数非対称性や暗黒物質が生成されたのか [物質・暗黒物質の起源]

本研究において、新たな実験結果を取り入れつつ、インフレーション宇宙に関する研究を更に押し進めることで初期宇宙進化史を解き明かしたい。

2. 研究の目的

本研究において私は、Planck 衛星観測結果と LHC 実験結果を用いてインフレーション宇宙とその後の進化史を明らかにする事を目標とする。特に以下の事項について研究期間内に明らかにする。

・インフレーション模型構築:大きな CMB 偏光 B モードを生成する現実的な高エネルギーインフレーション模型を超重力理論・超弦理論に基づき構築する。また、CMB 偏光 B モードが検出されなかった場合に備え、低エネルギーインフレーション模型構築と、そのテラスケール物理への予言を導き、加速器実験による検証を探求する。

・暗黒物質と暗黒輻射: LHC 実験及び暗黒物質の直接・間接検出実験結果を基に、暗黒物質の正体を絞り込む。更にその生成過程及びテラスケール物理と無矛盾かつ首尾一貫した宇宙の熱史を構築する。また、現在 CMB 観測において暗黒輻射 (dark radiation) の存在が示唆されつつあり、Planck で発見される可能性がある。その為、暗黒輻射の理論的模型、加速器実験での検証可能性、宇宙初期における生成過程について研究を進める。更に、インフレーション後の宇宙進化に関する新たな知見を基に、宇宙のバリオン非対称性の起源に迫りたい。

・超対称性宇宙論の諸問題: 超対称性の破

れが与える宇宙論への影響は、宇宙論と素粒子現象論を結びつける上で非常に重要である。具体的には、inflation dynamics への超対称性の破れの影響の評価、モジュライ問題およびグラビティーノ問題の解決について様々な観点から研究を行い、そこから導かれる宇宙進化およびテラスケール物理への知見について 実験・観測結果から検証を行う。

3. 研究の方法

初年度に予定されている Planck 衛星による CMB 観測結果の発表に備えるため、CMB 偏光 B モードについて既存のインフレーション模型の再検証、および超重力理論・超弦理論に基づく新たな模型の研究を速やかに行う。更に、現在示唆されている暗黒輻射についての理論模型を構築し、LHC 実験や他の観測実験での検証可能性を明らかにする。Planck 衛星による観測結果と LHC 実験による標準理論を超える物理の情報と合わせ、直ちにインフレーション模型とその後の首尾一貫した宇宙進化像を描き出す。また暗黒物質や暗黒輻射のシグナルが受かった場合、天文・構造形成への波及効果及び新たな検証可能性について追求する。

本研究は Planck 衛星による CMB 観測結果と LHC 実験結果を基に、インフレーション以来我々の宇宙がどのように進化してきたかを明らかにすることを目的とする。特に本研究期間の初年度および次年度において、Planck 衛星および LHC 実験の新たな実験結果の発表が予定されており、それに備える為、想定される様々な結果に対して万全の準備で望む。更にそれ以降の研究期間においては、得られた実験結果から首尾一貫した宇宙進化史を構築する事に全力を注ぎ、速やかに成果をあげ発信する事で、世界の厳しい競争に勝つ。2013 年に 2 度にわけて Planck 衛星の結果が発表される予定であり、インフレーションスケール決定の要諦である B モード偏光や非ガウス性の検出が期待されている。その発表に備えるため、前述の (A) に従って、平成 24 年度の前半は超重力理論・超弦理論における既存のインフレーション模型を理論的側面および観測との整合性の観点から徹底的に検証し、その改善すべき点を洗い出し、新しいインフレーション模型構築を探求する。更に、インフレーション後の宇宙進化を明らかにするには CMB 観測では十分だけではなく、LHC 実験で得られるテラスケール物理に関する情報が重要な糸口となる。例えば超対称性粒子が LHC 実験で発見された場合、超対称性宇宙論におけるグラビティーノ・モジュライ問題の研究がインフレーション後の宇宙進化を明らかにするうえで決定的に重要となる。その為、研究テーマ (C) にあげた様に、超対称性宇宙論における諸問題について、

Planck および LHC 実験結果がでる以前に徹底的に研究し、様々な解決方法を基に多角的に宇宙進化像について検討をすすめて、実験結果が発表された暁には速やかに成果をあげ発信する。

平成 25 年度以降の研究計画は以下のとおりである。Planck 衛星による観測結果を用いて、初年度に検証した既存のインフレーション模型の改善すべき点を基に、統合的な宇宙熱史を実現するインフレーション模型の構築を狙う。特に生成される密度揺らぎの計算、およびインフレーションのダイナミクスに関して数値計算を行い検証し、テーマ (A) について完成させる。そして研究テーマ (B) にあげた様に、テラスケール物理に対する LHC 実験結果を用いて、暗黒物質の正体や生成過程、バリオン非対称性の起源について明らかにする。そして (A)(B)(C) で得られた成果を総合する事で初期宇宙進化史を完成させる。更に、暗黒物質の直接実験、CMB や大規模構造などの他の観測実験結果が報告された場合は速やかに初期宇宙シナリオ構築に活用する。

4. 研究成果

本研究期間の間に LHC 実験および Planck 衛星による宇宙背景輻射の観測結果が発表された。前者によってヒッグス粒子が見つかり、後者によって宇宙論パラメータが更に精密に決定された。以前から期待されていた標準理論を超える物理(例えば超対称性粒子)や、密度揺らぎの非ガウス性、原始重力波、暗黒輻射、密度揺らぎのスペクトル指数のスケール依存性、等は発見には至らなかった。これらの実験および観測結果を踏まえ、ヒッグス粒子を用いた種々のインフレーション模型構築、ダークマター候補であるアクシオンの初期宇宙進化、モジュライ崩壊に伴う暗黒輻射生成に関して 65 本の論文を執筆し国内外の会議において発表した。

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 7 件)

[1] T. Higaki, K. S. Jeong, N. Kitajima and F. Takahashi,
`The QCD Axion from Aligned Axions and Diphoton Excess,'
Phys. Lett. B { bf 755}, 13 (2016)
doi:10.1016/j.physletb.2016.01.055, 査読有り

[2] T. Higaki, K. S. Jeong and F. Takahashi,
`The 7 keV axion dark matter and the X-ray line signal,'
Phys. Lett. B { bf 733}, 25 (2014)
doi:10.1016/j.physletb.2014.04.007

[3] K. Nakayama and F. Takahashi,
`Higgs Chaotic Inflation and the Primordial B-mode Polarization Discovered by BICEP2,'
Phys. Lett. B { bf 734}, 96 (2014)
doi:10.1016/j.physletb.2014.05.034
査読有り

[4] H. Ishida, K. S. Jeong and F. Takahashi,
`7 keV sterile neutrino dark matter from split flavor mechanism,'
Phys. Lett. B { bf 732}, 196 (2014)
doi:10.1016/j.physletb.2014.03.044
査読有り

[5] K. Nakayama, F. Takahashi and T. T. Yanagida,
`Polynomial Chaotic Inflation in the Planck Era,'
Phys. Lett. B { bf 725}, 111 (2013)
doi:10.1016/j.physletb.2013.06.050
査読有り

[6] K. Nakayama, F. Takahashi and T. T. Yanagida,
`Polynomial Chaotic Inflation in Supergravity,'
JCAP { bf 1308}, 038 (2013)
doi:10.1088/1475-7516/2013/08/038
査読有り

[7] T. Higaki and F. Takahashi,
`Dark Radiation and Dark Matter in Large Volume Compactifications,'
JHEP { bf 1211}, 125 (2012)
doi:10.1007/JHEP11(2012)125
査読有り

[学会発表](計 3 件)

[1] F. Takahashi, "Axion and Higgs domain walls", at String phenomenology 2015, Madrid, Spain, June 9, 2015.

[2] F. Takahashi "Searching high and low for trances of inflation" at String phenomenology 2014, ICTP, Trieste, Italy, July 8, 2014.

[3] F. Takahashi, "Planck implications for high-energy physics" at String phenomenology 2013, DESY, Hamburg, Germany, July 18, 2013.

[図書](計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.tuhep.phys.tohoku.ac.jp/~fumi/styled-4/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 史宜 (Fuminobu TAKAHASHI)

東北大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：60503878

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：