

自己評価報告書

平成23年 5月 11日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008－2011

課題番号：20740125

研究課題名（和文）弦理論に基づく宇宙論

研究課題名（英文）String Cosmology

研究代表者

向山信治（MUKOHYAMA SHINJI）

東京大学・数物連携宇宙研究機構・特任准教授

研究者番号：40396809

研究分野：

科研費の分科・細目：

キーワード：宇宙論、初期宇宙、インフレーション理論、超弦理論、高次元理論、統一理論

1. 研究計画の概要

宇宙では、様々なスケールの物理現象が互いに影響を及ぼしながら絶えず起こっている。その中でも、最も壮大なスケールの物理を対象とするのが宇宙論であり、最も基本的な最小スケールの物理が素粒子物理そして超弦理論であると言えよう。重要なことは、ノーベル賞受賞の理論物理学者 Sheldon Glashow が著書で述べているように、この両極端の物理は繋がっている、繋がらなければならない、ということである。生まれたばかりの宇宙は超高エネルギーの極限の状態にあるため、ミクロの物理が本質的になるからである。弦理論的宇宙論は、最小スケールの物理を記述する超弦理論を用いて宇宙論の謎に迫る試みであり、近年急速に発展している分野である。本研究の目的は、超弦理論によって宇宙より深い理解を得ることである。

宇宙の創世と進化について理解を深めるには、基礎理論から出発して観測との比較や新しい予言を行うトップダウン方式と、観測データから背後にある普遍的法則を導き出すボトムアップ方式の両方が必要である。また、揺らぎない予言をするには、（少なくとも）2つの立場がある。1つは、低エネルギー有効理論における対称性または対称性の破れのパターンを用いて、量子論的に安定な議論を展開することである。もう1つの立場は、超高エネルギーの基礎理論に立ち返って、そこから帰結される予言を引き出すことである。私は、これらを相補的に用いて研究を推進していきたい。

具体的には、（1）弦理論的インフレーション宇宙モデルの構築、（2）Multi-throat 宇宙における再加熱の問題、（3）ブレーン宇宙における重力、（4）弦理論と重力のヒ

ッグス相、の4課題を並行して行う。

2. 研究の進捗状況

20年度は、(i)インフラトンが時空曲率と共形結合する模型の予言と観測データとの比較、(ii)宇宙論的摂動の非線形発展方程式の定式化、(iii)崩壊するDブレーン上の開弦の自由度を記述する場の理論の研究、(iv)QGP実験の状況に双対なブラックホール時空の構成、等をおこなった。それぞれの研究は、以下の意義・重要性を持つ。(i)共形結合をもつブレーンインフレーションの理論を、観測から制限することを可能にする。(ii)DBIインフレーション等の生じる、揺らぎの非ガウス性の発展を解析するのに有効である。(iii)ブレーンインフレーションはDブレーン・反Dブレーン対の崩壊・消滅によって終わるが、非一様に崩壊が進む状況を理解するのに役立つと期待される。(iv)ビッグバン直後を再現すると言われるRHICやLHCでのQGP実験を、AdS/CFT対応を用いて研究するのに役立つ。

21年度は、(i)Rapid-rollインフレーション模型への観測からの制限、(ii)弦理論に基づくCurvaton模型の提唱、(iii)フラックスコンパクト化の安定性の解析、(iv)新しい量子重力理論（Horava-Lifshitz理論）に基づく宇宙論についての研究、等をおこなった。それぞれの研究は、以下の意義・重要性を持つ。(i)インフラトンが比較的大きな質量を持つ模型を、観測から制限することを可能にする。(ii)CMB等で観測されている揺らぎを生成する新しいシナリオを与える。(iii)コンパクト化の理論的整合性を解析できる。(iv)新しい理論による新しい宇宙像が得られる。

22年度は、(i)インフレーション中の軽い場

の効果の解析、(ii)Gradient expansion を用いた宇宙論的非線形摂動の解析、(iii)ブラックホールに関する余剰次元の効果、(iv)新しい量子重力理論 (Horava-Lifshitz 理論) に基づく宇宙論、(v)ゴースト凝縮に基づく宇宙論、等についての研究をおこなった。それぞれの研究は、以下の意義・重要性を持つ。(i)インフラトン以外の場が揺らぎを生成することで、観測によるモデルの制限が変更を受ける可能性がある。(ii)揺らぎの非ガウス性を解析する既存の方法 (δN formalism) の適用限界を超えて計算可能になる。(iii)ブラックホールの情報消失問題に関する新しい知見が得られる可能性がある。(iv)新しい理論による新しい宇宙像が得られる。(v)自発的ローレンツ対称性の破れについての新しい知見が得られる。

3. 現在までの達成度

ほぼ予定通りに進んでいるが、一部、研究内容を拡張した部分がある。それは、2009年に Horava によって提唱された量子重力理論に基づく、新しい宇宙論の研究である。これを考慮に入れば、予定以上に進んでいるとも言える。

4. 今後の研究の推進方策

基礎理論から出発して観測との比較や新しい予言を行うトップダウン方式と、観測データから背後にある普遍的法則を導き出すボトムアップ方式を、相補的に用いて研究を推進する。具体的には、以下の三課題を並行して行う。

課題1「弦理論的インフレーション宇宙モデルの構築」インフレーションは宇宙初期の高エネルギー状態で起こったと考えられるだけでなく、宇宙背景放射の観測と直接結びつく為、そのモデル構築は高エネルギー物理に有益な知見をもたらすと期待される。本課題では、観測と矛盾のないインフレーションモデルの構築を目指す。特に、近い将来観測精度の向上が期待される、non-Gaussianity や B-モードが観測可能なモデルが構築できるかを、十分考察したい。

課題2「Multi-throat 宇宙における再加熱の問題」プランクスケール、インフレーションスケール、電弱スケールという3つの質量スケール間の階層性は、ワープした余剰次元の領域 (throat) が2つ以上あれば説明することができる。この場合、1つの throat にインフレーションを起こす自由度 (インフラトン) が置かれ、もう1つの throat に素粒子の標準模型が置かれる。すると、プランクスケールは余剰次元全体の体積で決まり、インフレーションスケールと電弱スケールはそれぞれの throat のワープ (歪曲) の度合いによって自然に決められるのである。しか

し、この設定には、インフレーション終了後に、宇宙を再加熱する方法が明らかでないという問題と、素粒子標準模型が載ったブレーン上で弦の高振動モード等が励起され、密度揺らぎの分布がガウス分布から大きくずれて観測結果と矛盾する可能性があるという問題がある。申請者は最近、素粒子標準模型が載っているブレーンの位置を場とみなすことで、これらの問題を同時に解決するシナリオを提唱した。ブレーンの位置の振動からブレーン上の粒子への崩壊率を計算し、再加熱の詳細を調べたい。

課題3「新しい量子重力理論に基づく宇宙論」最近、Horava によって新しい量子重力理論の候補が提唱された。この理論に基づく新しい宇宙像を構築したい。

5. 代表的な研究成果

(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 26 件)

1. D. A. Easson, S. Mukohyama and B. A. Powell, "Observational Signatures of Gravitational Couplings in DBI Inflation", *Physical Review*, D81 (2010) 023512-1~13, 査読有
 2. T. Kobayashi and S. Mukohyama, "Curvatons in Warped Throats", *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, 0907(2009) 032-1~20, 査読有
 3. Shunichiro Kinoshita, Shinji Mukohyama, Shin Nakamura and Kin-ya Oda, "Consistent Anti-de Sitter-Space / Conformal-Field-Theory Dual for a Time-Dependent Finite Temperature System", *Physical Review Letters*, 102(2009)031601-1~4, 査読有
- 他 23 件

[学会発表] (計 34 件)

1. 向山信治, "CMB と超高エネルギー物理" (招待講演), CMB ワークショップ 2010, 2010.06.08, 国立天文台 (三鷹)
 2. Shinji Mukohyama, "What is cosmology telling us about fundamental physics?" (招待講演), 16th ICEPP Symposium, 2010.02.14 - 15, 白馬 (長野)
 3. Shinji Mukohyama, "Brane inflation in string cosmology" (招待講演), Quarks 2008, 2008年5月24日, Sergiev Posad, Russia
- 他 31 件