

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：32689

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2014～2015

課題番号：26887042

研究課題名(和文) インフレーション期の原始密度揺らぎ生成シナリオにおける超弦理論的效果の検証

研究課題名(英文) Verification of the effects inspired by superstring theory on the generation of primordial perturbations during inflation

研究代表者

水野 俊太郎 (MIZUNO, Shuntaro)

早稲田大学・高等研究所・助教

研究者番号：60386620

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、超弦理論特有の効果として主にDブレーンと重いスカラー場がインフレーション期の原始密度揺らぎ生成シナリオに与える影響を調べた。Dブレーンを含むモデルに対しては、その予言する原始非ガウス性に対する宇宙背景輻射、構造形成からの制限を明らかにした。重い場を含むモデルについては、運動項の非線形性が大きくなれば共鳴効果によって生じるスペクトルの微細構造が将来的に検知可能であることを示した。その他に、ガリレオンを拡張したスカラー・テンソル重力理論、重力的微分結合項が宇宙進化に興味深い痕跡を残すことを指摘した。

研究成果の概要(英文)：In this research, I investigate the influence of D-brane and heavy fields that can be obtained out of string theory on the generation of primordial perturbations during inflation. I clarified the constraints on the primordial non-Gaussianity generated by DBI inflation and DBI galileon inflation with the observations of cosmic microwave background radiation and large scale structure. I also showed that the effect of heavy fields becomes so large that the features in primordial spectra that are generated by the resonance effect can be detected by future observation if the fields have non-canonical kinetic terms. I also pointed out interesting cosmological possibilities with a class of scalar-tensor theory of gravity that is obtained by generalizing galileon models and a gravitational derivative coupling term.

研究分野：素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：宇宙物理(理論)

1. 研究開始当初の背景

インフレーションがどのような機構で引き起こされたのかは現代宇宙論における大きな謎である。私は以前、複数の場 DBI インフレーション、DBI ガリレオンインフレーションにおいて、原始密度揺らぎの3点相関関数からくる非ガウス性を初めて計算した。上記のインフレーションモデルはいずれも超弦理論特有の物体であるDブレーンが重要な役割を果たす興味深いモデルであり、生成された原始密度揺らぎは特徴的な非ガウス性を持っている。また、私はインフレーション期の原始揺らぎの生成に重いスカラー場は寄与し、原始密度揺らぎのパワースペクトルに特徴的な振動的微細構造を与えることを示している。このような重いスカラー場は10次元の超弦理論を4次元の宇宙を実現するためにコンパクト化したときに自然に現れることが期待される。今後新しい観測結果が出てくることを考慮すると、上記の研究をさらに進展させ、現実的に上記のような超弦理論的效果が宇宙論的な観測によって検知できるのかをより多方面から調べることは非常に重要であると思われた。

2. 研究の目的

インフレーションがどのような機構で引き起こされたのかは現代宇宙論における大きな謎である。本研究では、超弦理論特有の効果としてDブレーンと重いスカラー場がインフレーション期の原始密度揺らぎ生成シナリオに与える影響を調べる。具体的に、研究期間内に以下のことを明らかにすることを目的とした。(A - 1) 偏光成分の情報を含んだ宇宙背景輻射の観測結果からのDBI インフレーション、DBI ガリレオンインフレーションへの制限、(A - 2) 構造形成からのDBI インフレーション、DBI ガリレオンインフレーションへの制限、(B - 1) 重い場を含むインフレーションモデルにおける共鳴効果の定量的評価、(B - 2) 偏光成分の情報を

含んだ宇宙背景輻射の観測結果からの重い場を含むインフレーションへの制限

3. 研究の方法

(1) 以前に得ている理論予想を宇宙背景輻射の観測結果と比較するためには、equilateral 型の非ガウス性をもつ原始密度揺らぎを初期条件として輻射のボルツマン方程式を解き、宇宙の晴れ上がり時の宇宙背景輻射の温度揺らぎを偏光成分の情報も含めて計算を行なう(A - 1)。

(2) 将来的に様々な観測計画が予定されており、原始非ガウス性に対して宇宙背景輻射よりも厳しい制限が課されることが期待される構造形成の情報からDブレーンを含むインフレーションモデルの制限を行なう。equilateral 型の非ガウス性の情報を初期条件に反映させるため、最近提案された改良Lagrange 摂動論[Matsubara, '11]を適用する(A - 2)。

(3) インフレーション時の重い場の原始密度揺らぎに対する影響には重い場の揺らぎによって与えられる結合の効果と共鳴の効果の2つがある。この両方の効果を検知できれば、それは重い場を含むインフレーションモデルの有力な証拠となるので、それが可能な現象論的モデルを模索する(B - 1)。

(4) (3) で重い場を含むインフレーションにおいて共鳴効果がどれだけの影響を与えるのかについて明らかにした後、観測と比較して興味深い結果が得られそうであれば、(1)で行なったのと同様にそれまでに求めた原始密度揺らぎを初期条件として輻射のボルツマン方程式を解き、宇宙の晴れ上がり時の宇宙背景輻射の温度揺らぎを計算する(B - 2)。

4. 研究成果

(1) Dブレインを含むインフレーションモデルが予言する原始非ガウス性に対する宇宙背景輻射からの制限について、私が以前所属していた英国のポーツマス大学の研究者と共同で、彼等の開発した数値コード Second-Order Non-Gaussianity (SONG) を改良して計算し、偏光成分を含めることで許されるパラメータ領域が約半分になることを示した。また、CoRE, PRISM といった次世代の宇宙閉経輻射の観測計画に対する制限の予報も得た (A - 1)。

(2) Dブレインの運動によるインフレーションで生じるような equilateral 型の非ガウス性の影響は、ハロー・銀河のパワースペクトルに現れないため、構造形成の情報から制限を課すことは難しいと考えられていたのであるが、我々はより高次の情報であるハロー・銀河のバイスペクトルには大スケールでその効果が現れることを示した。これは、HSC, DES, LSST といった将来の観測計画から宇宙背景輻射による制限よりも厳しいものが得られる可能性もあり、興味深い結果である (A - 2)。

(3) インフレーション期の重い場の寄与として重い場の振動によって生じる共鳴効果が検知されるための条件を現象論的に調べ、スペクトルにその痕跡が有意に現れるためには重い場の運動項のかたちを非線形性が非常に強くなるように微調整しなければならないことを示した (B - 1)。しかし、期間中に明らかになった Planck 衛星による宇宙背景輻射の観測結果により、揺らぎのスペクトルに現れる微細構造の大きさに対して非常に厳しい制限が得られた。それにより、(B - 2) で計画していた内容をそのまま実行する意義は薄まった。その一方で、超弦理論から重い場の揺らぎの結合の効果の現れ

るモデルをどのように実現するかは興味深い今後の課題である。

その一方で、当初計画していなかったものの、期間内に得られた知見をもとにした成果として以下の2点がある。

(4) DBI ガリレオンモデルは重力理論の構造として、非線形項を含むものの運動方程式は2階に保たれるという興味深い性質を持っている。それをさらに拡張することで、ほとんどの領域でアインシュタインの一般相対性理論と整合的であるものの、密度が変化している天体内などで違いが生じるという、興味深い性質をもつスカラー・テンソル重力理論が得られた。この性質がどの程度一般的なものなのか、この理論を初期宇宙のインフレーションに応用できるのか等を更に調べることは、非常に興味深いものと思われる。

(5) 重力的微分結合項は、超弦理論によって現れることが示唆されているものの、あまり宇宙進化のシナリオには影響を与えないものと考えられていたのであるが、我々はこの項がインフレーション後の再加熱に及ぼす影響を調べた。その結果、インフレーション期にわずかでも非等方性が生成されていれば、物質の機嫌となっているバリオン数の生成も、非等方性が無かった場合に比べてより効果的に起こることが示された。

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 5 件)

1 Mitsuhiro Fukushima, Shuntaro Mizuno, Kei-ichi Maeda, Gravitational Baryogenesis after Anisotropic Inflation, Physical Review D, 査読有、93 巻、2016, 103513-1-15, DOI:10.1103/PhysRevD.93.103513

2 Shuntaro Mizuno, Shuichiro Yokoyama, Halo/galaxy bispectrum with

equilateral-type primordial trispectrum, Physical Review D, 査読有、91 巻、2015,103521-1-13,
DOI:10.1103/PhysRevD.91.123521

3 Ryo Saito, Daisuke Yamauchi, Shuntaro Mizuno, Jerome Gleyzes, David Langlois, Modified gravity inside astrophysical bodies, Journal of Cosmology and Astroparticle Physics, 査読有、2015-6 巻、2015,008-1-13
DOI:10.1088/1475-7516/2015/06/008

4 Shuntaro Mizuno, Ryo Saito, David Langlois, Combined features in the primordial spectra induced by a sudden turn in two-field DBI inflation, Journal of Cosmology and Astroparticle Physics, 査読有、2014-11 巻、2014,032-1-20
DOI:10.1088/1475-7516/2014/11/032

5 Kazuya Koyama, Guido Walter Pettinari, Shuntaro Mizuno, Christian Fidler, Orthogonal non-Gaussianity in DBI galileon:prospect for Planck polarization and post Planck experiments, Classical and Quantum Gravity, 査読有、31-12 巻、2014,125003-1-13
DOI:10.1088/0264-9381/31/12/125003

〔学会発表〕(計 6 件)

1 水野俊太郎、横山修一郎、Halo/galaxy bispectrum with equilateral-type primordial trispectrum, 観測的宇宙論ワークショップ、2015 年 11 月 18 日~20 日、京都大学(京都府・京都市)

2 水野俊太郎、横山修一郎、Halo/galaxy bispectrum with equilateral-type primordial trispectrum, 日本物理学会、2015 年 9 月 25 日~28 日、大阪市立大学(大阪府・大阪市)

3 水野俊太郎、横山修一郎、Halo/galaxy bispectrum with equilateral-type primordial trispectrum, COSM02015、2015 年 9 月 7 日~11 日、ワルシャワ(ポーランド)

4 水野俊太郎、横山修一郎、Influence of equilateral-type non-Gaussianity in large scale structure, 日本物理学会、2015 年 3 月 21 日~24 日、早稲田大学(東京都・新宿区)

5 水野俊太郎、齊藤遼、David Langlois, Combined features in the primordial spectra induced by a sudden turn in two-field DBI inflation, JGRG24、2014 年

11 月 10 日~14 日、Kavli-IPMU(千葉県・柏市)

6 水野俊太郎、齊藤遼、David Langlois, Influence of heavy modes on perturbations in multiple-field DBI inflation, 日本物理学会、2014 年 9 月 18 日~21 日、佐賀大学(佐賀県・佐賀市)

〔その他〕
ホームページ等
<https://researchers.waseda.jp/profile/ja.756066e4f1240e480a7355ee43c7ede9.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

水野 俊太郎 (MIZUNO, Shuntaro)
早稲田大学・高等研究所・助教
研究者番号：60386620