



Title	Non-linear Cosmological Perturbation Theory(Abstract_要旨)
Author(s)	Naruko, Atsushi
Citation	Kyoto University (京都大学)
Issue Date	2012-03-26
URL	http://hdl.handle.net/2433/157769
Right	
Type	Thesis or Dissertation
Textversion	none

学 位 審 査 報 告 書

(ふりがな)	なるこ あつし
氏 名	成子 篤
学位(専攻分野)	博 士 (理学)
学位記番号	理博第 号
学位授与の日付	平成 年 月 日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	理学研究科 物理学・宇宙物理学 専攻

(学位論文題目)

Non-linear Cosmological Perturbation Theory

(非線形宇宙論的摂動論)

論文調査委員	(主査) 佐々木 節 教授 早田 次郎 准教授 青山 秀明 教授
--------	--

理 学 研 究 科

(続紙 1)

京都大学	博士 (理 学)	氏名	成子 篤
論文題目	Non-linear Cosmological Perturbation Theory		

(論文内容の要旨)

宇宙マイクロ波背景輻射(CMB)の精密測定により、CMBの温度の非等方性、CMBの温度揺らぎの性質が明らかにされつつある。現在までに、CMBの温度揺らぎはスケールに依らず10万分の1という微小な振幅を持ち、その統計性はガウシアン統計を用いてほぼ記述される事が分かっている。このような温度揺らぎは、インフレーション宇宙論により自然に説明されるが、これまでの観測と無矛盾なインフレーションモデルは現在までに数百以上提案されている。そこで近年CMBの温度揺らぎの統計性のガウス統計からのずれ、非ガウス性が注目を浴びている。理論的に非ガウス性を予言するには、スカラー場や重力場の理論の非線形性まで含めて議論する必要があり、既存の宇宙論的摂動論を非線形領域まで適用可能な理論に発展させる必要がある。

宇宙が加速膨張するインフレーション期には、インフレーションを引き起こすスカラー場のミクロスケールの量子揺らぎが、マクロスケールに引き延ばされる。それゆえ、インフレーションによって生成される始原曲率(密度)揺らぎを議論するには、短波長領域での量子揺らぎの発展と共に、長波長領域での古典揺らぎの発展を解く必要がある。申請者は特に後者に注目し、非線形曲率揺らぎの発展に関する研究を行った。長波長領域での曲率揺らぎの発展には、通常の摂動論的アプローチとは異なる、空間勾配展開法が有効である事が期待される。

本博士論文においては、まず宇宙論的揺らぎの線形理論と、線形摂動論の範疇において空間勾配展開を用いる事によって見える物理についてレビューを行った。次に空間勾配法の最低次に注目し、インフレーションが単一のスカラー場によって引き起こされた場合の非線形な曲率揺らぎの保存則を見い出した。また、複数場の場合の曲率揺らぎの発展を記述する「 δN フォーマリズム」を紹介した後、それを具体的なモデルに適用し生成される非ガウス性の解析を行った。最後に、空間勾配展開における高次の効果について、単一スカラー場の場合の既存の結果をまとめた後に、複数場の場合の曲率揺らぎを評価する為の手法として、「ビヨンド δN フォーマリズム」の提案を行った。

空間勾配展開の最低次の結果として、宇宙を支配する流体の圧力がエネルギー密度の関数として与えられる場合には、曲率揺らぎが重力理論に依らず保存する事が知られている。この結果をインフレーション宇宙に適用しようとすると、スカラー場の圧力とエネルギー密度はスカラー場と時空の計量の複雑な関数として与えられる為に、保存の条件がいつ成り立つか不明瞭である。そこで申請者は、インフレーション宇宙に特化し、一般的なインフレーションモデルに適用可能な保存則とその条件、またそれらと重力理論との関係を明らかにした。

上記の保存の条件が満たされないような場合、特に複数場によってインフレーションが引き起こされるような場合においては、曲率揺らぎは長波長領域においても発展し、それらは「 δN フォーマリズム」を用いて評価する事が出来る。申請者は「マルチブリッジインフレーション」モデルに注目し、生成される非ガウス性と共に生成される重力波についても解析を行い、非ガウス性が大きくなる極限で観測可能な重力波が得られる可能性を示した。

インフレーション中にスローロール条件が破れる場合には、空間勾配の高次の効果が曲率揺らぎの最終的な評価に重要な寄与を与える事が知られている。宇宙を单一の物質場が支配する場合については既に研究が行われているが、複数場の場合については全く調べられておらず、高次の項を評価する為の手法「ビヨンド δN フォーマリズム」の開発を行った。

(論文審査の結果の要旨)

本博士論文は、インフレーション中に生成された始原曲率揺らぎについて、その長波長領域での非線形な発展について、空間勾配展開法を用いて調べたものである。

インフレーションとは、宇宙誕生後すぐに起きたとされる宇宙の加速膨張期の事で、宇宙マイクロ波背景輻射の温度揺らぎや、銀河や銀河団の元となる始原密度揺らぎの起源を自然に説明し、今や標準的宇宙論の一部を担っている。しかしながら、インフレーションを引き起こす場の詳細は未だ不明であり、CMBの温度揺らぎの非ガウス性など、揺らぎの線形理論を超えた非線形理論を展開する事によって初めて正確に予言される観測量が、インフレーションの正体を明らかにするものとして注目を集めている。したがって、個々のインフレーションモデルにおいて生成される揺らぎの非線形性を明らかにする事はもちろん、幅広いインフレーションモデルに適用可能な解析手法を確立する、理論的研究が必要とされている。

インフレーション中に生成される始原曲率揺らぎは、スカラー場の量子揺らぎが種となって生成され、宇宙の加速膨張によって引き延ばされ長波長になって発展し、二つのステージに大別する事が出来る。申請者は後者に注目し、長波長領域での揺らぎの発展に空間勾配展開法を適用し、その発展を完全に非線形に取り扱った研究を行っている。

申請者は、勾配展開の最低次の結果として広く知られた、曲率揺らぎの保存とその条件について、インフレーション宇宙の場合に適用し対応関係を明らかにした。この研究により、これまで明確にされていなかったスカラー場が支配する宇宙における曲率揺らぎの振る舞いが初めて明らかになった。また、近年提案された新しいクラスのスカラー場であるガリレオ場の場合には、重力場の方程式を用いる事が保存則を導出する上で本質的である事を指摘し、多くの研究者が見落としていた点を明らかにした。

次に「マルチブリッドインフレーション」モデルにおいて生成される非ガウス性と重力波の解析を行った。このモデルにおいては非ガウス性が大きくなる極限で観測可能な重力波が得られる可能性が示され、観測可能な非ガウス性を生成する興味深いモデルの提唱と共に、複数の観測量を用いた観測可能性についての議論は非常に独創的である。

最後に、インフレーション中にスローロール条件が破れる場合などに重要となる、空間勾配の高次の効果について、インフレーションが複数のスカラー場によって引き起こされた場合にも適用可能な、十分一般的な解の構成法を編み出した。単一場と同様の手法が複数場の場合には適用出来ず、その指摘を行うとともに、一般相対論的摂動論において本質的なゲージ自由度をうまく用いた新たな手法の提案を行っている。今後この手法を用いて系統的な解析がなされ、その中から普遍的な知見が得られる事が期待される。

以上のように、申請者が行った研究は十分先駆的なものであり、高い学術的意義を持つ。また、博士論文においては、宇宙論的摂動論に関する初等的事項から始まり、当該分野について包括的に詳細に解説がなされている。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成24年1月13日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った。その結果合格と認めた。