

(論文内容の要旨)

インフレーション由来の宇宙背景輻射(CMBR)の非等方的ゆらぎの非ガウス性の検出の可能性に着目して、申請者はインフレーション中での曲率ゆらぎに対して非線形摂動の定式化を Gradient expansion の手法を用いて行い、1つのインフレーションモデルに対して応用して、曲率ゆらぎの非ガウス性を計算した。

観測されている非等方的ゆらぎは現在の所、0.1%の精度でガウス統計に従っていることが分かっている。しかし、近年提唱されているインフレーションモデルが予測する非ガウス性は今年打ち上げ予定の PLANCK 衛星の観測精度では検出可能な大きさであることと、標準的なインフレーションモデルの予測する非ガウス性では検出が不可能なことから、非ガウス性の観測によってインフレーションモデルを制限することに近年世界的に注目されている。申請者は、この非ガウス性に注目し、非線形摂動の定式化を Gradient expansion の手法によって試みた。この手法は、曲率ゆらぎの典型的なスケール(すなわち、波長)が、因果関係が保てるスケールより大きなもののみを考えることで、方程式上で空間微分の項が時間微分の項よりも小さいとみなし、空間微分の次数毎で逐次的に運動方程式を解いていくものである。この時、通常摂動展開は一切行っておらず、そのため完全に非線形に物理量を扱っていることになっている。申請者は、空間微分を2階まで取り入れて、曲率ゆらぎも含めて全ての物理量に対する一般解を完全流体形のエネルギー・運動量テンソルの時とスカラー場の時の2つの場合で得た。

空間微分の2階まで取り入れた理由は、スローロールを破るインフレーションモデルを扱う上で2階微分が重要であるからである。そして、スローロールを破るモデルとしてスタロビンスキーモデルを取り上げた。このモデルは、1つの最小結合のスカラー場を仮定し、スカラー場のポテンシャルの傾きが、あるスカラー場の場の値の時に突然変化するとしたモデルであり、その傾きの変化の前まではスカラー場はスローロールし、変化後にスローロールを破ることになる。このモデルにおける曲率ゆらぎの非ガウス性を、Gradient expansion によって1つのスカラー場において得た一般解を用いて、曲率ゆらぎの三点相関関数をフーリエ変換したものである Bispectrum を計算することで評価した。その結果、スローロール近似の破れが大きいほど、またポテンシャルが変化する時刻に近い時刻にホライズンを超えたゆらぎほど、非ガウス性が大きくなるということが分かった。

(論文審査の結果の要旨)

申請者の学位申請論文を審査した結果の要旨は以下の通りである。

まず論文の冒頭部分において、申請者の研究の基礎の部分がコンパクトにレビューされており、申請者の研究分野の動向と自身の研究の位置づけをよく理解していることが分かった。

申請者自身が行った研究は、宇宙背景輻射の非等方的ゆらぎの非ガウス性の観測によってインフレーションモデルを特定あるいは制限しようという、近年世界的に盛んに行われている研究に関するものである。具体的には、非ガウス性を理論的に予測するために Gradient expansion の手法をさらに発展させ、空間の 2 階微分までを取り入れた一般的定式化を行うという極めて独創的なものである。これまで行われてきた研究においては Gradient expansion の最低次、すなわち方程式中の空間微分をすべて無視する近似が使われており、空間微分の効果を取り入れていなかった。

申請者の行った定式化によって、非局所的な効果から来る非線形性を取り入れた非線形摂動の曲率ゆらぎの評価が可能になった。この成果は今後の非ガウス性の理論的研究にとって極めて重要な学術的意義を持つものである。

さらに、申請者はその定式化を利用して、これまでの空間微分をすべて無視した Gradient expansion の定式化では扱うことができなかった、スローロール近似を破るインフレーションモデルでの曲率ゆらぎの非ガウス性を評価した。申請者の研究によって構築された定式化を用いた、スローロールを破るインフレーションモデルでの非ガウス性の評価は、これまでやられて来なかった全く新しい成果であり、非局所的な効果から来る曲率ゆらぎの非ガウス性の評価に対する将来の研究に関する先駆的なものである。

以上で述べたように申請者の研究は、独創的かつ学術的価値があるものであり、インフレーション宇宙から由来する宇宙背景輻射の非等方的ゆらぎの非ガウス性に対する曲率ゆらぎの非線形性の将来の研究に対して大変有意義なものである。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、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。