

氏 名 大川 瞭

学 位 の 種 類 博士 (理学)

学 位 授 与 年 月 日 令和5年9月23日

学 位 論 文 名 Cosmological Collider Signals of Non-Gaussianity from Higgs boson in GUT  
(大統一理論におけるヒッグスボソンによる非ガウス性の宇宙論的兆候)

論文審査委員 主査 教授 丸 信人

副査 教授 中尾 憲一

副査 准教授 吉野 裕高

### 論文内容の要旨

素粒子の標準模型は様々な観測事実を説明することができ、その正しさはもはや疑いようのない事実となっている。一方で、標準模型では説明できない観測事実が存在することもまた事実である。このことは、標準模型よりもさらに基本的な理論がその背後に存在することを表している。その候補の一つに、強い相互作用、電磁相互作用、弱い相互作用の3つの基本的な相互作用を統一した大統一理論がある。くりこみ群の予言により、大統一理論のエネルギースケールは  $10^{15-16}$  GeV 程度であるとされている。現在、最大の加速器である LHC のエネルギースケールは  $10^4$  GeV 程度であるから、このような高エネルギーの理論を加速器で検証するのは困難である。

一方で、 $10^{14}$  GeV 程度のエネルギースケールを持つ自然現象として、宇宙のインフレーションがある。インフレーションは初期宇宙における宇宙の指数関数的膨張である。近年の宇宙の精密観測の成功により、インフレーションの存在は確かなものとなっている。そこで、インフレーションと大統一理論のエネルギースケールが非常に近いことに注目し、その相互作用を観測することで、大統一理論の証拠を探る。

本論文では、大統一理論から標準模型へのゲージ対称性の破れを司る Higgs 粒子および、インフレーションを引き起こすスカラー粒子であるインフラトンに注目する。モデルとして、重力の作用、スローロールポテンシャルを持つインフラトンの有効作用、Higgs 粒子の作用、GUT のゲージ粒子およびフェルミオンの作用を考える。このモデルの最大の特徴は、3つのインフラトンの間を Higgs 粒子が媒介するグラフを考えると、Higgs 粒子が真空期待値を獲得し対称性の自発的破れが起こり、tree グラフが3点関数へ主要な寄与をもたらすことである。このような3点関数を計算することにより、インフレーションにおける重要な観測量である非 Gauss 性を評価する。得られた非 Gauss 性を観測値と比較し、大統一理論の検証可能性を議論する。

### 論文審査結果の要旨

素粒子標準模型は、現在まで高い精度で検証されているが未解決問題も存在し、それらを解決する拡張理論を構成することが要求され、その拡張の1つに大統一理論がある。大統一理論は、自然界に存在する4つの相互作用

用のうち、重力を除く3つの相互作用を統一的に記述する理論であるが、現在の加速器では到達できない $10^{15}\text{GeV}$ という高エネルギーで実現されることが知られており、直接検証が困難である。また、大統一理論の予言である陽子崩壊探索実験が継続されているが、未だ発見に至っていない。近年、宇宙背景放射観測が精密になり、高エネルギーの物理に関する情報が得られるようになってきた。特に、初期宇宙にて指数関数的に膨張するインフレーション期( $10^{14}\text{GeV}$ )に、大統一理論の場が存在すると、インフラトンを誘発するインフラトン場の3点相関関数(非ガウス性)にその効果が現れる。

本博士論文では、大統一理論の対称性を標準模型の対称性に自発的に破るヒッグス場による非ガウス性の効果を場の量子論の枠組みで計算し、検証可能性を検討した。具体的には、SU(5)大統一理論の24次元ヒッグス場とインフラトン場の相互作用を導出し、インフラトンの3点相関関数を計算した結果、最新の観測データからの制限を満たしており、モデルのパラメータに依存して検出可能な観測実験にバラエティがあることがわかった。この研究アプローチは、他の大統一理論にも適用可能であることから、陽子崩壊探索や加速器実験とは一線を画す大統一理論の新たな検証方法を提示したことになり、今後の発展が期待される。

よって、本論文は博士(理学)の学位を授与するに値するものと審査した。