

論文審査の結果の要旨

氏名 宮本 裕平

本論文は、5章からなり、第1章は序章として、宇宙論研究の意義と本論文のテーマである宇宙初期の相転移と熱的インフレーションの重要性が述べられ、本研究の物理的動機付けがなされている。

第2章では、宇宙論の基礎的事項として、インフレーション宇宙モデルとそれが生成するスカラー場と曲率の揺らぎについてまとめられ、さらに、インフレーション後の熱い宇宙において粒子が従うボルツマン方程式に基づいて、粒子の熱浴からの離脱、崩壊過程及びそれに伴うエントロピー生成が説明され、宇宙初期の相転移と相転移によって生成される位相欠陥について簡潔にまとめられている。

第3章は相転移や熱的インフレーションを研究する上での重要なツールとなる有限温度の場の理論についてのレビューと論文提出者による新たな結果が述べられている。まず、実時間形式に基づく有限温度の場の理論の基本的な定式化がなされ、有限温度有効作用の導出が行われている。さらに、有限温度有効作用からスカラー場が熱浴にある他のスカラー場と相互作用している場合に満たす運動方程式が導かれ、運動方程式に熱浴との相互作用による散逸と揺動の効果に対応する新たな項が現れ、散逸と揺動の間には散逸-揺動関係と呼ばれる関係が成り立つことが示されている。この関係はスカラー場がフェルミオン場と相互作用する場合にも成り立つことが知られているが、第3章の後半ではそれがゲージ場の場合に拡張できることが示されている。これは論文提出者の研究によって新たに得られた結果である。スカラー場が熱浴中のゲージ場と相互作用している場合に、スカラー量子電磁気学に基づき有限温度有効作用が計算さ

れ、そこからスカラー場満たす運動方程式を導かれ、その中の散逸項と揺動項の間にスカラー場との相互作用と同様の散逸-揺動関係が成り立つことが示されている。

第4章では第3章の定式化に基づいた論文提出者の研究に基づく結果が述べられている。まず、1次相転移における偽真空から真真空への遷移確率と真空泡の形成とその衝突によって生成される重力波、本章の研究対象である熱的インフレーションについてそのダイナミクス及び宇宙論的役割が説明され、その後、論文提出者の行った研究結果が詳しく述べられている。熱的インフレーションが起きるためにはインフレーションを引き起こすスカラー場（フラトンと呼ばれる）がポテンシャルの原点近くにとどまっていることが必要であるが、熱的揺動によってフラトンが大きな値を持ってしまう恐れがある。論文提出者は第3章の定式化と数値計算を用いて、フラトンが原点付近にとどまり熱的インフレーションが起こることを示している。さらに、熱的揺動の効果を考えると熱的インフレーションに伴う相転移は泡生成が起こる強い1次相転移ではなく、泡生成を伴わない弱い1次相転移であり、重力波の生成が期待できないことが明らかにされている。これは従来行われていた単純な有効ポテンシャルに基づく議論が正しくなく、有効作用に基づいて熱的揺動の効果を入れた解析が必要なことを示すものである。第5章は論文全体の結論が述べられている。

このように本論文は熱浴と相互作用するスカラー場のダイナミクスを有限温度の場の理論を用いて解析し、熱浴からの揺動と散逸の関係や相転移の性質について新たな知見を得た点でその学問的意義は高いと考えられる。なお、本論文3章の後半および4章が論文提出者の研究に基づいて書かれており、横山氏（第3、4章）、須山氏（3章）、本橋氏（3章）、平松氏（4章）との共同研究であるが、論文提出者が主体となって解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。