

## 論文審査の結果の要旨

氏名 西道啓博

本論文は7つの章及び5つのAppendixからなる。まず第1章では研究の背景と動機及び研究結果の概要が述べられ、さらに論文全体の構成が提示される。次の第2章は、宇宙論の基礎及び宇宙の大規模構造の進化における標準モデルのレビューに当てられている。ここでは宇宙膨張とダークエネルギーとの関係、線形理論において等質的な背景場の下での摂動の挙動、そしてバリオン音響振動の物理的な意味が述べられ、また銀河の特異速度の影響で赤方偏移から測った見かけ上の銀河の分布が歪む赤方偏移歪みや、銀河分布と物質分布の違いによる銀河バイアスについての説明が与えられる。第3章では、標準的な宇宙モデルにおいて仮定されているガウス統計に従う原始揺らぎの下での、重力進化や赤方偏移歪み、銀河バイアスに関する申請者自身の関与した非線形理論についての説明が与えられている。第4章は、宇宙の大規模構造の重力進化を調べるためのN体シミュレーションの記述に当てられ、初期条件、重力計算の精度、体積や解像度の有限性の影響が詳しく評価されている。その中で、バリオン音響振動に特有のスケールに着目した場合、これらの効果が系統誤差1%レベルの精度にあることを確認している。続く第5章では、N体シミュレーションのシミュレートする領域が有限であることによって生ずる、フーリエモードの有限性効果の統計誤差を減らす方法を確立している。このことにより、赤方偏移歪み込みの物質のパワースペクトルを精度よく評価できるようになり、系統誤差・統計誤差ともにバリオン音響振動の特徴の現れるスケールにおける、近い将来の広視野深宇宙探査等の測定結果との比較に必要な精度を達成している。この結論に基づいて、N体シミュレーションで得られた結果と種々の解析的モデルとの比較を行い、各モデルの摂動近似が破綻するスケールを明確に決定している。結論として、線形理論や単純な摂動理論では理論的な精度が不十分であるが、一方、最近提案された改良摂動論を用いれば将来の銀河探査のデータを十分に活かせることが述べられる。第6章では、N体シミュレーションを用いて宇宙モデルにおけるガウス統計性からのずれ（局所型原始非ガウス性）が大規模構造に与える影響が調べられている。方法としては、シミュレーションから暗黒物質ハローを同定し、そのバイスペクトルにおける摂動理論の予言との整合性を吟味している。その結果、原始非ガウス性由来の新しい寄与が存在し、定性的には摂動理論の予言とよく一致することによって、銀河のバイスペクトルが原始揺らぎの非ガウス性の良い指標になりうることを明らかにしている。最後の第7章では、本論文の結論とその意義が述べられるとともに、今後の関連

研究の方向性が議論されている。また5つのAppendixでは、宇宙論的な種々のパラメータや、N体シミュレーションの精度評価等、本文に対する技術的補足がなされている。

本論文の目的は、宇宙の大規模構造の進化の研究において重要な従来の宇宙マイクロ波背景放射の温度揺らぎや銀河の空間分布に加えて、近い将来に期待されている広視野深宇宙探査等の観測結果と照合するために、十分な精度のある理論的基盤作りにある。具体的には、宇宙膨張の履歴を解明に重要なバリオン音響振動の影響や、宇宙の原始揺らぎの非ガウス性から正しい宇宙モデルの選択に有用な情報を得るための、誤差1%レベルのパワースペクトル精度が達成できるN体シミュレーションの方法論を確立したことが、第1の重要な成果である。その上で、種々の解析的モデルとの比較により、摂動近似の有効な範囲を特定し、線形理論や摂動理論の限界と改良摂動論の有用性を実証したことは、十分に意義のあることと思われる。さらにN体シミュレーションを用いた宇宙モデルのガウス統計性からのずれと大規模構造への影響の研究成果は、摂動理論との整合性の確認と同時に、従来知られていない原始非ガウス性由来の寄与の存在を通して、銀河のバイスペクトルが原始揺らぎの非ガウス性の良い指標になりうることを示唆したもので、今後の当該分野の研究に1つの新しい指針を与えるものとして高く評価できる。また、本論文で用いられたN体シミュレーションの方法やその精度評価は技術的に高度なものであり、またこれと比較した解析的理論及びその摂動理論との照合における議論は、物理的な観点から十分なレベルにあるものと判断される。

以上述べたように、本論文は将来の広視野深宇宙探査を念頭に、数値的な方法を用いて宇宙の大規模構造に関する初期宇宙論と観測結果との照合のための理論的研究を行ったもので、当該分野の研究の進展に寄与するものであり、学位論文として十分な内容を含んでいるものと判断できる。

なお、本論文の第3章以下の内容は、平松尚志、高橋龍一、樽家篤志、斎藤俊、加用一者、松原隆彦、矢幡和浩、杉山直、吉川耕司、須藤靖、白田晶人、小山和哉、吉田直紀、Yipeng Jing、Cristiano Sabiuの各氏との共同研究であるが、根幹的部分であるN体シミュレーションは論文提出者が主体となって確立したものであり、その他の部分においても論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、論文提出者に博士（理学）の学位を授与できると認める。