

論文審査の結果の要旨

氏名 秋津一之

本論文は6章の本編と4章の付録からなる。

第1章は、イントロダクションである。過去30年以上にわたる観測及び理論の進展によって、冷たいダークマター(CDM)と宇宙定数(Λ)を主成分とする標準宇宙モデル(Λ CDM)が確立してきた。それを牽引してきた重要な観測データは、宇宙マイクロ波背景放射の全天温度地図と、銀河の3次元分布である。この後者の3次元分布から得られる密度ゆらぎが、その観測領域を超えるスケールにおけるゆらぎと結合することを用いて、直接観測できない超長波長スケールのゆらぎの影響を推定し、その宇宙論的帰結を考察することを目的としていることが本論文の目的である。

第2章は宇宙論的密度ゆらぎの重力的成長モデルのレビューである。特に本論文では解析的な摂動論を駆使するため、それに必要な線形摂動論及び更に高次項まで取り入れた非線形摂動論が記述されている。

第2章で理論的にとりあつかった密度ゆらぎは、宇宙の質量の主要成分であるダークマターのゆらぎに対応する。しかしながらこれを直接観測することは困難である。このため実際には、観測可能な銀河分布をダークマター分布に対応させる必要がある。そのマッピングに必要となる観測的効果として重要な、銀河バイアス、赤方偏移歪み、アルコック・パチンスキー効果が第3章でレビューされる。

引き続き第4章と第5章が、本論文のオリジナルな研究成果に対応する。観測される銀河分布は有限体積に限られる。しかしながら、その有限体積内の銀河のゆらぎは、その領域外にまで広がる超長波長モードのゆらぎと重力的に結合している。これは直接観測できず、またその効果は標準宇宙モデルにおいては小さいことが予想されるため、従来は無視されてきた。しかしながら、観測データの精密化にともないその効果が実際に検出可能となりつつある。さらに、逆に有限

体積内でのデータに及ぼす効果の上限をつけることで、それよりも大きなスケールにおける宇宙の一様等方性といったより本質的な宇宙論テストが可能となるかもしれない。

第4章では、その超長波長モードの潮汐効果が、有限体積内の銀河分布の短波長モードの非等方性に与える影響を摂動論的に定式化することに初めて成功し、標準宇宙モデルにおけるその効果の大きさを推定している。その結果として、銀河の2点相関関数に新たに付け加わる非等方シグナルを定量的に評価することができた。標準宇宙モデル (Λ CDM) を仮定する限り、このシグナルは、従来の宇宙論パラメータの推定に変更を与えることはないことが示された。一方で、この新たな非等方シグナルを観測的に制限することで、観測できる体積を超えたスケールにおける宇宙の等方性を検証できることを指摘した。

第5章では、周期的境界条件を課して計算される数値シミュレーションにその有限体積を超えた密度ゆらぎの効果を取り込む計算法を開発し、検証を行っている。この方法論は、摂動論の信頼性が劣化する非線形領域における潮汐力場の影響を調べる上で重要である。具体的には、シミュレーション体積を超える長波長潮汐力場の影響が、非等方な宇宙膨張として取り入れることを示した。初期成果として、大スケールの潮汐力場による非等方な痕跡は強非線形領域においてはビリアル平衡のために小さくなってゆくことを数値的に確認した。今後は、この計算を更に発展させて、標準宇宙モデルを超えたモデルにおける定量予言を行う予定である。

最後の第6章で、本論文全体の結論と展望がまとめられている。

なお、本論文第4章は、高田昌広、Li Yin との共著論文、および高田昌広との共著論文、第6章は、杉山尚徳、白石希典との共著論文に基づいたものであるが、論文提出者が主体となって分析及び検証を行ったものであり、その寄与が十分であると判断した。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。