

## 論文審査の結果の要旨

氏名 齋藤 俊

本論文は7章からなる。第1章はイントロダクションであり、宇宙初期の密度揺らぎから成長した（暗黒）物質の質量分布を理論的に計算し、データと比較することによりニュートリノの質量に制限を加えていくプログラムについて解説している。特に、理論的な予言の不定性を押さえることが鍵であることが示されている。第2章では現在のニュートリノの質量の制限をレビューしている。第3章では今までこの分野で用いられて来た宇宙の密度揺らぎの線形理論に基づくニュートリノの質量の制限の付け方を批判的にレビューしている。

本論文のオリジナルな研究は第4章以降にある。密度揺らぎについて非線形な効果も取り入れた摂動論による理論計算を議論し、それにニュートリノの質量の効果を含める定式化を打ち立てている。暗黒物質とバリオンについては流体近似が使えるが、ニュートリノについては非衝突ボルツマン方程式を使わないといけないため、両方を同時に扱うのは難しい。齋藤氏はこの問題を解くため、ほとんどの場合にはニュートリノの効果は一次までで充分であることを示し、技術的な解決を与えている。しかし小さいスケールになると非線形な効果が（ニュートリノの効果を含めなくても）重要になることが知られており、摂動論は信頼できなくなる。そこで氏はN体数値シミュレーションとの比較により、どのスケールまで摂動論が信頼できるかを定め、信頼できる範囲内でもニュートリノの効果を引き出せることを示している。こうして理論的に信頼性の高い予言が可能になった。第5章では Sloan Digital Sky Survey で観測された銀河分布の現存のデータを用い、氏の理論予言との比較によりニュートリノの質量に新しい制限を与えている。三種のニュートリノの質量の合計が  $0.67 \text{ eV}/c^2$  (95%CL)以下という厳しい上限を出しており、以前の WMAP5 のみよる  $1.5 \text{ eV}/c^2$  という上限を 2.3 倍改善している。そして第6章では今後の世界の様々な観測計画でどこまで上限を更に改善できるかを予測し、 $0.05 \text{ eV}/c^2$  まで迫れることを示している。スーパーカミオカンデの大気ニュートリノの振動の発見によりニュートリノの質量和は少なくとも  $0.05 \text{ eV}/c^2$  はあることが分かっており、銀河分布から充分この値に迫れる可能性があることを示した。しかし銀河バイアス等理論的に不確定な部分は残っており、この点は第7章のまとめで議論されている。Appendix では理論計算の詳細がまとめられている。

なお、本論文の研究は樽家篤史、高田昌広氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって計算を完成したもので、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。