

# 論文審査の結果の要旨

氏名 鎌田 歩 樹

近年、宇宙マイクロ波背景放射と宇宙の大規模構造に関する観測データが急激に蓄積され、それによって宇宙進化の標準理論が確立しつつある。すなわち、われわれの宇宙は、エネルギー組成としては、ダークエネルギー約 7 割、ダークマター 2 割強、残り 4% のバリオンからなり、空間的には平坦で、ほぼスケール不変な断熱揺らぎをもとに構造形成が行われた、という  $\Lambda$ CDM モデルによって、大スケールを対象とする上記の観測データが整合的に説明されてきている。その反面、より小さなスケールに目を転じると、数値シミュレーションによると、 $\Lambda$ CDM モデルは銀河ハローの中に多数のサテライトと呼ばれる小構造を予言するが、観測的にはごくわずかしかが発見されていない、という問題が指摘されている。このような小スケールの問題は、ダークマターの素粒子論的な性質を再検討することによって解決される可能性がある。

本学位論文はそのような観点から、通常のコールドダークマターとは異なる性質を持つ粒子を宇宙に導入し、数値シミュレーションと解析的研究を併用することによって、小スケールの宇宙構造の問題とダークマターの素粒子的性質の双方に対して新知見を得たものである。

本論文は 7 章と付録からなり、各章の構成は以下の通りである。

第 1 章はイントロダクションであり、上述のような本研究の背景が論じられている。第 2 章は一様等方背景宇宙における揺らぎの成長機構に関するレビューに当てられている。

第 3 章以降が著者のオリジナルな研究の記述である。まず、この章ではウォームダークマターモデル及び長寿命荷電重粒子を持つモデルにおける構造形成について数値解析を行った。ウォームダークマターモデルは上記の小スケール構造問題を解決する可能性があるが、従来は熱的に作られたダークマターのみ焦点が当てられており、その結果を他の生成機構に適用する方法が明確でなかった。本論文では、ウォームダークマターモデルでの構造形成を特徴付けるパラメタとして、放射と物質が等密度になる時刻でのジーンズスケールを用いることを提案し、物質密度揺らぎの線形及び非線形進化を実際に数値解析することによって、このパラメタがウォームダークマターモデル並びに長寿命荷電粒子を持つモデルにおける構造形成をよく特徴づけていることを確認した。

さらに、長寿命荷電粒子が存在するモデルの構造形成が温かい暗黒物質モデルの構造形成と極めて似たものになることを示した。

第 4 章では、非熱的に生成したウィーノ粒子がダークマターの一部を担うモデルを考察し、この粒子が小スケールの宇宙構造に残す痕跡を調べた。ここでは、ウィーノが最軽量超対称粒子であり、その一部はグラビティーノの崩壊によって非熱的に生成する場合を考えた。そして、この非熱的成分の運動量分布の発展を、ボルツマン方程式を数値解析することによって調べた。その結果、ウィーノダークマターの相当部分が非熱的な運動量分布を保ち、キロパーセク程度以下の構造形成を抑制することを見いだした。またこれは、将来の 21cm 線の観測で小スケールの密度揺らぎの振幅を測定することによって、検証可能であることを示した。

第 5 章では、第 4 章と同様のモデルにおいて、ビーノが最軽量超対称粒子になる場合に、小スケール密度揺らぎへのその痕跡がどのように現れるかを調べた。その結果、前章の場合よりも非熱的な運動量分布を保っている割合が多く、構造形成が抑制されるスケールがさらに大きくなることを見いだした。

第 6 章では、超対称性の破れがゲージ相互作用によって伝達される場合の特徴である軽いグラビティーノを含んだモデルについて、弱重力レンズ効果の将来に亘る観測によって、グラビティーノの質量がどの程度制限可能であるかを考察した。その結果、Hyper Supreme-Cam (HSC)を用いた観測では、もしグラビティーノの質量が 4 電子ボルトであった場合、 $\pm 1$  電子ボルトの誤差を以てこれを決定できることを示した。そして、LHC を併用することによってゲージ伝達型超対称性モデルに対する決定的な情報が得られることを議論した。

第 7 章は以上の研究の纏めと結論である。

なお、本論文の内容はいくつかの共同研究として刊行されているが、その多くは論文提出者が中心となって行ったものであり、本委員会は同人の貢献を十分と認めた。

さらに、本学博士に相応しい学識を持っているかを口頭にて試問したが、その結果審査員全員一致にて合格と認定した。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。