

# 論文審査の結果の要旨

氏名 関口豊和

近年宇宙論的観測データは爆発的な量的増大と精密化が進み、宇宙進化の標準理論が確立しつつある。すなわち、我々の宇宙は、エネルギー組成としては、ダークエネルギー7割強、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、さまざまな観測データが整合的に説明されてきている。その反面、ダークエネルギーやダークマターの正体については全くわかっておらず、さまざまな研究が進められている。これら未解決の問題やさらに $\Lambda$ CDMモデルを超える物理を探るための観測データとして、宇宙マイクロ波背景放射(CMB)の温度・偏光揺らぎが広く用いられている。さらに今後も観測データのいっそうの精細化が実現するものと期待されている。

本学位論文は、そのような背景の下で、宇宙論的・素粒子論的に興味深い新しい物理に対する、現在および将来にわたるCMB観測による探査可能性をさまざまな観点から議論し、新しい結果を報告したものである。

本論文は10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章は一様等方宇宙のレビューであり、 $\Lambda$ CDMモデルが導入されている。第3章は揺らぎの生成・発展機構に関するレビューに当てられている。第4章は、宇宙が温度の低下と共に高温高密度のプラズマ状態から中性化し、バリオンと光子が脱結合する過程のレビューである。第5章ではその結果現在観測されるCMBの非等方性がどのようにして求められるかを概観している。以上が本研究で用いる物理過程の紹介である。

第6章では本論文で用いる統計解析の手法が述べられている。これで準備がすべて整ったことになる。

第7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、初期宇宙の軽元素合成で生成したヘリウム4の量をCMBのみを用いて推定するという研究の報告である。結果としてはWMAPとより小角度の観測を両用すると有意義な制限が得られること、さらに現在進行中のPlanckの精度で観測が得られると、他の宇宙論パラメータ決定においてヘリウム量の不定性の影響が無視できないことを示した。

続く第8章では、軽い粒子の存在量に対するCMBからの制限を解析している。この章は二つのセクションに分かれるが、まず、軽いニュートリノの世代数に

関する制限を解析した。**CMB** の非等方性生成時の宇宙膨張則からくる制限と、軽元素合成時の宇宙膨張則に起因する制限をあわせて考慮することにより、意味のある制限を得た。次に、一部の超重力理論で予言される、極めて軽いグラビティーノの質量と残存量に対する制限について研究を行った。**Planck** の観測で将来得られる重力レンズポテンシャルを仮定すると、グラビティーノの情報を観測的に引き出せることを示した。さらに理論的な下限質量と併せて、**CMB** 観測による軽いグラビティーノの検出可能性をベイズモデル選択と呼ばれる統計学手法に基づき考察し、ニュートリノ質量が無視できるという仮定の下では、将来観測計画により軽いグラビティーノが探査可能であることを示した。

第9章は初期揺らぎを生成するインフレーションのモデルに対する制限を**CMB** に基づいて考察したものである。ベイズモデル選択を行った結果では、現在のところどのインフレーションモデルが正しいか判断できないものの、**Planck** の結果次第では、いくつかのモデルが判別可能になることを示した。

第10章は以上の総まとめである。観測の精密化時代を迎え、さまざまな新しい物理に対して宇宙論が強い制限を与えることを具体的な数値を以て示したところに本論文の意義があるといえる。

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、いずれも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大と認めた。

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。