

論文審査の結果の要旨

氏名 中島 正裕

本論文は全部で8章からなる。第1章は序で、今回の論文で主たる観測データとして用いられる宇宙マイクロ波背景輻射 (Cosmic Microwave Background ; 以下、CMB と省略する) の非等方性に関して簡単に紹介している。

第2章と第3章はレビューに相当する。第2章では標準宇宙論とインフレーション理論に関して、特に密度揺らぎの生成とその性質という観点から理論的枠組みを説明している。第3章は、密度揺らぎと CMB 非等方性の進化を取り扱う理論的な一般論を詳しくまとめるとともに、観測データから宇宙論パラメータを推定する方法と現時点での結果を要約している。

第4章から第7章は、オリジナルな研究成果の部分である。第4章から第6章までは、論文提出者を筆頭著者としてすでに3本の査読論文としてそれぞれ出版済みである。第7章は、論文提出者を主たる著者の一人として2本の論文にまとめ、間もなく投稿する予定となっている。

第4章では、CMB によって物理定数の時間変化を制限できること、さらに高エネルギー物理理論に基づく特定のモデルに対しては特に厳しい制限が与えられること、の2点を指摘した。本章では、バリオン密度の依存性を通じて CMB スペクトルが陽子質量にも大きく依存することを指摘した。特に、 α 、電子質量、陽子質量の三つの定数の時間変化がディラトンと呼ばれるスカラー場のみで統一的に記述される特定のモデルにおいては、現時点の観測データを用いた解析によって、従来知られていた CMB 観測からの α の制限に比べて一桁厳しい結果を得ることに成功した。

第5章では、CMB 非等方性においてパリティが奇の成分として定義される B モード偏光成分が将来観測された場合に、基礎物理理論に与える意義を考察した。通常のシナリオにおいては、B モードはインフレーション起源の原始重力波 (テンソルモード) によってのみ生成される。一方、仮に宇宙初期にテンソルモードと同じ振幅のベクトルモードが生成されていれば、そのベクトルモードはテンソルモードより効率よく、より大きな振幅の B モード偏光を生成する。本章ではダイナミカルなベクトルモード (エーテル) を含むような修正重力理論 (アインシュタイン=エーテル理論) に着目し、B モード偏光の生成を議論した。本章では、まず数値計算より、アインシュタイン=エーテル理論においては既存の観測的制限を克服しつつテンソルモード起源のものを超えた振幅の

B モードが生成されうることを示し、さらに近似的な解析理論を構築することでその物理的理解を与えることに成功した。

第6章と第7章では、インフレーションを引き起こす場（インフラトン場）が複雑な関数形もしくは他の場との結合を保有することで、音速が時間とともに変化するモデルがどのような帰結を生むかを考察した。特に、第6章では音速が急激に変化する極限を考え、揺らぎパワースペクトルに振動やうなりが発生することを解析的に示した。さらに、このような振動の存在が現在および将来の観測データにおいて検証される可能性を定量的に評価した。第7章では、現在観測されている揺らぎスペクトルに存在することが指摘されている「局在化したずれ」を、音速が振動的に変化するモデルで説明できることを提案した。さらにこのモデルが、近年注目を集めているモノドロミーインフレーションと呼ばれるブレンインフレーションモデルにおいて自然に組み込まれており、許容されるパラメータ範囲で有意な「ずれ」を説明できる可能性があることを指摘した。このモデルは、インフレーションのスケールより高いエネルギースケールをCMB観測で検証できる点を明らかにした点でも非常に興味深い。

最後の第8章は、本論文全体のまとめと結論にあてられている。

本論文は、現在および将来のCMB観測データにもとづいて、既存の基礎物理理論を超えた新たな理論の痕跡を探ることを試みた優れた研究である。なお、本論文の一部は、指導教官である横山順一、及び横山研の博士研究員・大学院生等との共同研究にもとづいているが、論文提出者が主体となって解析・議論を行ったもので、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）を授与できると認める。