

論文審査の結果の要旨

氏名 金澤 敏幸

本論文は、5章からなり、第1章は序、第2章がインフレーション理論と超重重力理論のレビュー、第3章が超重重力理論におけるダブルインフレーションモデルについて述べられている。第4章が本論文の中心であり、ダブルインフレーションモデルを宇宙の大構造の観測データと比較することで、モデルパラメータを制限するとともに、従来のモデルでは説明できないマイクロ波背景放射のピークが説明できるようになることを示す。結論は第5章でまとめられ、宇宙論的摂動論を付録に要約してある。

標準ビッグ・バン模型は、宇宙膨張・宇宙背景放射の存在・軽元素合成等を見事に説明する成功した理論であるが、その初期条件に関しては、平坦性・地平線・原始密度揺らぎの起源等の諸問題を抱えている。これらは、宇宙が初期の段階で指数関数的な膨張を起こしたとするインフレーションモデルで解決されるものと広く考えられている。

一方で、素粒子物理の標準模型も、現在までの全ての実験事実を説明できる非常に優れた理論であるが、理論に内在するスカラー粒子の質量への放射補正が2次発散を起こし、電弱スケールを安定に保てないこと（階層性問題）、単純な標準模型の粒子達では、繰り込み群によって理論の結合定数を走らせたときに大統一を実現しないこと、また理論にそもそも重力を含んでいないこと、等の問題点を抱えている。これらは、超対称性と呼ばれる対称性を持つ理論、さらにはその局所版である超重重力理論において解決されると期待される。

以上からわかるように、超重重力理論の枠組みでインフレーション宇宙モデルを考えることは極めて重要である。これに関しては、インフレーション開始時には初期条件の微調整が必要でないハイブリッド・インフレーションが起こり、その後再加熱温度が低く重力微子の過剰生産を引き起こ

さないニュー・インフレーションが続く、というダブル・インフレーションモデルが、超重力理論の枠組みで有効に働くことが示されている。

本研究は、この超重力理論におけるダブル・インフレーションモデルの観測的示唆を考察した。このモデルでは、通常のインフレーションモデルが予言するスケール不変な密度揺らぎのスペクトルを変化させ、ハイブリッド・インフレーション期に生成されたスケール不変な揺らぎと、それに比べて傾きがやや緩やかなニュー・インフレーションのつくる揺らぎが異なる振幅で接続される結果となる。両者の接続が宇宙論的なスケールであるとすれば、宇宙論的な観測に大きな影響をおよぼしうる。これが、本論文の中心である第4章の内容である。

まず、宇宙の銀河分布の観測結果は、いわゆる冷たい暗黒物質の標準模型ではうまく説明できないことが分かっている。これは宇宙の密度を臨界密度とし、ハッブル定数を50キロメートル毎秒毎メガパーセクとするものである。この値を取るとき、COBE規格化された密度揺らぎが、小スケールで過剰なパワーを持つという欠点が知られている。しかるに、今回のモデルでは密度揺らぎのスペクトルが非自明な特徴を持つため、この欠点を克服する可能性がある。ところで、最近のIa型超新星の観測から、現在の宇宙に宇宙定数が残存している可能性が示唆されており、他の多くの観測からも宇宙定数の存在は支持されている。そこで今回は、上記の冷たい暗黒物質の標準模型に加えて、宇宙定数を含むようなモデルも合わせて考察した。

また、大規模構造の観測としては他に銀河団の数密度観測がある。重力的に束縛された系の数密度の発展に関しては、Press-Schechter理論を応用し、今回の揺らぎスペクトルに対する銀河団数密度を予言する。これを観測された銀河団個数分布と比較することで、ダブル・インフレーションモデルでの許容変数領域(ハイブリッド・インフレーションのポテンシャルを特徴づける結合定数 λ と、ニュー・インフレーションのポテンシャルを特徴づける結合定数 κ)を求めた。

さらに、このような密度揺らぎは、宇宙背景放射の非等方性にも通常と

は異なる特徴を産み出す可能性がある。これは特に1度程度以下の小角度スケールにおいて顕著であると予想されるが、COBE衛星の分解能は7度であり、詳細な比較は困難であった。ところが最近、ブーメランと呼ばれる気球実験による宇宙背景輻射観測結果が報告され、第1番目のピーク的位置より、宇宙はほぼ平坦に近くインフレーションの予言を支持することが示された。しかしながら、第2番目のピークの振幅が予想以上に低いことが分かり、大きな問題を投げかけている。これを説明する方法は宇宙のバリオンの量を増やすことであるが、標準的な元素合成の制限と大きく矛盾する。本論文では、元素合成理論の予言を満たすバリオン量のもとで、冷たい暗黒物質の標準モデルではブーメランの結果を再現することはできなかったが、宇宙定数の存在を許すことで、これら全ての観測を同時に説明可能なダブル・インフレーションモデルでの変数領域を発見した。

2番目のピークを下げるためにバリオンを増やした場合には、3番目のピークが相対的に大きくなることが示される。一方、今回提唱されたダブル・インフレーションモデルの予言では、3番目以降のピークも下がっていくことになる。21世紀初頭に計画されている衛星実験によって、3番目のピークを含むさらに小スケールの観測が行われれば、この予言が検証可能である。

以上のように、超重力理論におけるダブル・インフレーションモデルが、銀河分布・銀河団数密度・宇宙背景輻射非等方性を同時に説明しうることを示したことが本論文の成果である。

なお、本論文は、柳田勉、川崎雅裕、杉山直との共同研究に基づくものではあるが、数値計算およびその結果の解析は提出者が中心となって行ったものであり、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。