

論文審査の結果の要旨

氏名 小林 洸

宇宙の起源を探る上で、ミクロのスケールとマクロのスケールでの物理の間のつながりは重要な役割を果たす。本博士論文は、超弦理論に基づいたインフレーション宇宙論の諸問題を解析し、特に D ブレーン・インフレーションモデルにおいて整合的な宇宙論を展開できるモデルを構築したものである。具体的には、10次元の IIB 型超弦理論がワープしたスロート状の領域を持った多様体にコンパクト化されている場合に着目し、その様なワープした内部空間に沿って移動する D ブレーンが宇宙のインフレーションを引き起こした可能性を研究した。

本論文は本文 8 章と付録 4 項からなり、1 章は全体のイントロダクション、2 章と 3 章においてインフレーション宇宙論と超弦理論のコンパクト化の基礎についてのレビューが述べられている。4 章では、 D ブレーンの内部空間における位置が 4 次元の有効理論においてインフラトン場の役割を果たすことが述べられ、とくにコンパクト化におけるモジュライの安定化に関わる効果によって、インフラトン場がハッブルパラメタ程度の質量を獲得することが議論されている。そのような大きな質量はスロート内での D ブレーンを加速するため、スローロール・インフレーションを起こすことができないという問題がある。

5 章以降が著者によるオリジナルな研究結果の記述であるが、まず第 5 章では相対論的な速度で移動する D ブレーンについての解析結果が報告されている。相対論的速度を持つ D ブレーンによるインフレーション (DBI インフレーションと呼ばれる) においては、生成される宇宙密度揺らぎに特徴的な痕跡が残り得るが、その密度揺らぎが現在得られている観測データからの制限と両立するためには、 D ブレーンは内部空間を超えた領域にわたって移動しなくてはならないことが示された。言い換えると、相対論的速度で移動する D ブレーンによって十分なインフレーションを引き起こすには、コンパクト化された内部空間の大きさが足りないのである。この結果は $D3$ ブレーンだけでなく、スロートに巻き付いた高次元の D ブレーンにおいても成り立つことが明らかにされた。特に、内部空間の限られた体積や、背景時空のチャージに関して現在知られている上限が DBI インフレーションに対する制限となることが論じられ、このモデルがうまくいかないことが結論された。

第 6 章においては、

D ブレーン・インフレーションの新たな可能性として、ラピッドロールする

D ブレーンによるインフレーションについて研究されている。これは D ブレーンが非相対論的な範囲内で、大きな加速度・減速度を持って移動しているという点で、スローロールと DBI インフレーションの中間的な領域に対応する。ラピッドロール解がインフレーションの安定なアトラクター解であることを示すと同時に、ラピッドロール・インフレーションが起きるための条件が調べられ、特にワープした空間における D ブレーンは、ラピッドロール・インフレーションが起きるための適切な条件を備えており、またスローロールや DBI インフレーションが抱えていた問題が解決されることが示された。さらにラピッドロール・インフレーションは、密度揺らぎスペクトルの傾きのランニングといった、観測上の特徴を生むことも示している。そこで、ラピッドロール・インフレーションに対する宇宙マイクロ波背景放射や宇宙大規模構造からの観測的制限を課す。ラピッドロール・インフレーションにおいては十分に長いインフレーションの期間は得られるが、しかしインフラトン場自体からは観測によって示唆されているような、ほぼスケール不変な密度揺らぎは得られない。これを解決する方法として、第 7 章においては、密度揺らぎを生成するもう 1 つのシナリオとして、近似的なアイソメトリーを持つワープしたスロートの先端に位置する D ブレーンによるカーバトン機構を提唱した。ここでは D ブレーンのアイソメトリー方向への移動自由度がカーバトン場の役割を果たし、インフレーション後に密度揺らぎを生成し、そしてやがて D ブレーンの振動によって D ブレーン上の他の開弦モードが励起されるとともに崩壊するのである。

以上によって、IIB 型超弦理論におけるインフレーションモデルの諸問題が明らかにされたと共に、無矛盾なシナリオを構築することに成功した。

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。