

論文審査の結果の要旨

氏名 平松 尚志

近年、素粒子の統一理論の候補として超弦理論が活発に研究されているが、この理論は時空が10次元であることを予言する。高次元時空の中でわれわれの住む4次元世界がどのように実現しているかを明らかにするのは重要な問題である。従来は、余剰次元がきわめて小さいため、その影響はわれわれの住む4次元世界には現れないのだ、という考え方がとられていた。しかし、近年ランドールとサンドラムは、たとえ余剰次元の差し渡しが無数の座標距離を持っていても、十分曲がっていれば実験・観測事実と矛盾することはない、という新しい考え方を提唱した。彼らのモデルに依れば、われわれの暮らす4次元宇宙は5次元空間の中に埋め込まれた膜状の存在であるということになる。このような考え方はブレーンワールドシナリオと呼ばれ、近年きわめて活発に研究されている。

このシナリオによると、標準模型をはじめとする通常の物質とそれらを結ぶ3つの相互作用はブレーン上にのみ存在する一方、重力は5次元時空に普遍的に伝播することになっている。したがって、重力波や曲率揺らぎ等の幾何学的な自由度がブレーンワールドシナリオにおいてどのように進化するか、ということは、自明でない、重要な問題である。

とくに、ブレーンワールドシナリオにおいて宇宙論を考える場合、観測されている4次元宇宙の大域的・等方・平坦性ととともに密度揺らぎの起源を説明する機構として不可欠な、初期宇宙のインフレーションがどのように起こり、またどのような観測的帰結をもたらすかを調べるのが本質的に重要である。

本論文はこのような観点から、ブレーンワールドシナリオにおけるインフレーション宇宙論のもとで発生する時空曲率のテンソル揺らぎとスカラー揺らぎの発展を、数値計算によって解析した論文提出者の研究の総合報告である。

本論文は7章と付録4項からなり、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章は通常の4次元時空におけるインフレーション宇宙論の動機付けと揺らぎの生成・発展機構に関するレビューに当てられている。第3章は、本論文が依拠するブレーンワールドシナリオの原論文である、ランドールとサンドラムの研究、ならびにそれに基づいたインフレーション宇宙論の研究として、ホーキング・リジーのモデルが紹介されている。

第4章ではブレーンワールドシナリオにおける宇宙論適摂動論が詳説され、

以下に続く著者自身の数値解析研究の準備となっている。

第5章はブレーンワールドシナリオにおけるテンソル揺らぎの発展を数値計算によって解析したものである。ブレーンワールドシナリオにおいては、宇宙のスケールファクターの進化を記述するフリードマン方程式に、エネルギー密度に比例した項だけでなく、その自乗に比例した項が現れる。また生成したテンソル揺らぎは重力の自由度を表すため、ブレーン上のみならず5次元時空に伝播していくため、4次元ブレーンから見るとエネルギーが抜けるように見える。以上2つの特徴は最終的なテンソル揺らぎのスペクトルの大きさに対しては、互いに逆方向の働きをするため、最終結果がどうなるか、正しく知られておらず、論争が続いていた。この問題を解決するためには多変数の偏微分方程式を正確に解く必要があるため、著者はそのための数値計算コードを完成し、さまざまな場合について解析を行った。その結果、最も興味を持たれる放射優勢宇宙の場合は上記の2つの特徴の寄与がほぼ打ち消しあい、通常の4次元宇宙の場合とほぼ同じ結果が得られることを示した。一方、状態方程式が放射と異なる場合は宇宙膨張則の変化に伴って非自明な特徴が現れることを示した。これらの結果はブレーンワールドシナリオの特徴を如実に示すものとして、重要な意義をもっているものである。本章の内容は著者の単著論文として、既にフィジカルレビュー誌に掲載されている。

第6章はこのシナリオにおけるスカラー揺らぎの進化を数値解析したものである。テンソル揺らぎの場合は純粋に重力の効果だけで決まるので解析は直截であったが、スカラー揺らぎはインフレーションを起こすスカラー場の自由度と曲率の自由度が結合しているため、直截な形で解くことはできない。著者はこの点を工夫して、ある種のパラメタを導入することによって解き、スカラー揺らぎの進化を数値的に与えることに成功した。本研究は小山和哉氏との共同研究として刊行されているが、定式化、数値解析ともに論文提出者が中心となっていたものであり、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。