

論文審査の結果の要旨

氏名 吉口寛之

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。この理論は時空が 10 次元であることを予言する。その中でわれわれの住む 4 次元世界がどのように実現したかは、重要な問題であるが、最近われわれの 4 次元宇宙は 10 次元時空の中に埋め込まれたブレーン（膜）である、というブレーンワールドシナリオが提唱され、活発に研究されている。

高次元時空に埋め込まれたわれわれの宇宙において 4 次元重力をはじめとする既知の物理法則が成り立つためには、余剰次元の自由度（モジュライ）が固定されている必要がある。超弦理論の枠内でこれを実現する方法として、フラックスコンパクト化という機構が提唱されている。また、歪曲（ワープ）した高次元時空の中にわれわれのブレーン世界を埋め込むことによって、素粒子の階層性問題が解決される可能性があることが指摘されている。

本論文は 6 次元という単純化した状況設定ではあるものの、このような最新理論の本質的な特徴を含んだモデルにおいて厳密解を見出し、既知の 4 次元宇宙の実現可能性を論じたものである。

本論文は本文 6 章と付録 8 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 章は高次元理論のレビューに当てられ、特に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、ならびにフラックスコンパクト化を用いたカチュルらの研究が紹介されている。

第 3 章は著者らが考察した 6 次元理論の定義と定式化に当てられている。このモデルは宇宙項を含んだ 6 次元アインシュタイン重力において $U(1)$ ゲージ場を含んだだけの単純なモデルであるが、このゲージ場の持つ「磁場」のフラックスによって余剰次元は安定化されており、さらに余剰次元が歪曲（ワープ）した構造を持ち得るという特徴を備えている。著者はまず、このモデルにどのようなモジュライがあるかを調べ、それがフラックスによって安定化されていることを確認した。そして、ウィックローテーションを巧みに用いることにより、既知の解と関係づけることに成功し、厳密解を得た。さらにこの高次元解にわれわれの宇宙に対応するブレーンともう一つのブレーンを埋め込むことができることを示した。そして、ブレーンの張力と余剰次元の座標との関係を明らかにした。本章の内容は、向山信治、仙洞田雄一、木下俊一郎との共著論文に基づくものである。厳密解を導く過程は向山信治の発案によるものの、この

モデルのモジュライの性質を明らかにすること、並びに4次元宇宙たるブレーンと余剰次元の関係を明らかにすること等は著者の研究成果である。

第4章は4次元ブレーンに一様・等方性を要請した際に得られるフリードマン方程式が、通常の4次元理論において現れ、なおかつわれわれの宇宙の進化をよく記述する既知のフリードマン方程式と、ニュートン重力定数の値まで含めて一致することを示したものである。これは、この理論において4次元重力が正しく再現されることを示す第一歩として重要なものである。本章の内容も、第3章と同じ共著論文に発表されているものであるが、ここで行われた数値計算は著者の手によるものであり、十分な寄与があったと判断される。

以上によって一様・等方時空においてはニュートン重力が再現されることがわかったので、著者は第5章においてこのモデルの動的安定性、すなわち摂動に対する振る舞いを解析した。著者はこの摂動を、4次元時空を表すブレーン上の変換性によって分類し、スカラー、ベクトル、テンソル型調和関数で展開することによって、個別に解析した。それぞれのしたがう運動方程式を導出し、各モードの固有値を計算した。その結果、すべてのタイプの摂動において不安定モードは存在しないこと、またテンソル型の場合のみゼロモードが存在することを示した。これは4次元グラビトンに他ならない。これ以外の固有値はすべて、6次元の宇宙項によって決まるこの理論のエネルギースケール程度以上の値を持ち、これ以下の低エネルギーではこれらの高次元モードは励起されないこと、すなわち4次元重力が正しく再現されることを示した。本章の内容も、向山信治、仙洞田雄一、木下俊一郎との共著論文に基づくものであるが、著者は定式化、数値解の導出等、主要な役割を果たしたと認められる。

歪曲（ワープ）したフラックスコンパクト化は、超弦理論に基づいた宇宙論の構築に向け、今後重要な役割を果たすことが期待される。本論文は単純化したモデルであるとはいえ、その本質をすべて含んだモデルにおいて4次元重力の再現を検証した研究であり、今後の発展の期待される研究成果であるといえる。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。