

# 論文審査の結果の要旨

氏名 田原 弘章

本論文は7章からなる。第1章はイントロダクションである。本論文の研究の背景と動機の説明がなされている。近年盛んに研究されている拡張重力理論を、宇宙の等方性と余剰次元のコンパクト化と結びつけようという、本論文の主要テーマに関する問題意識の説明がなされている。

第2章では、拡張重力理論である、Lovelock 理論、Generalized Galileon 理論、Horndeski 理論についてのレビューがなされている。4次元時空の Generalized Galileon 理論は、Horndeski 理論と等価であることが説明されている。2.3節では、Horndeski 理論を ADM 変数で書き直すことで現れる、Horndeski 理論のもとでは独立ではない係数について、独立であると仮定すると、beyond-Horndeski 理論と呼ばれる拡張重力理論であると解釈出来ることが説明されている。

第3章では4次元の beyond-Horndeski 理論での一様な膨張宇宙における、非等方性の成長について議論されている。運動方程式の解析により、等方アトラクターと非等方アトラクターの両方が存在することや、非等方アトラクターでは、時空が軸対称となることが示されている。

第4章では、Horndeski 理論における、4次元の軸対称 Bianchi Type-I 宇宙モデルの摂動が議論されている。重力波の伝搬で複屈折が起きることが示される。また、非等方アトラクター近傍では、偶パリティ摂動にゴースト不安定性が存在し、奇パリティ摂動は伝搬速度が上昇するという性質があり、我々の現在の宇宙の記述には適さないことが示されている。

第5章では、Horndeski 理論における、4次元球対称静的時空の摂動が議論されている。4章同様に複屈折が起きることや、重力波の伝搬速度が光速と異なることが示されている。

第6章では、3章の結果が動機となり、高次元時空において、余剰次元を凍結して、我々の観測する一様等方な4次元のフリードマン宇宙を作ることが可能であるかについて解析が行われている。考えるのは  $D+1$  次元 Generalized Galileon 理論で、平坦な空間曲率をもつ一様非等方時空の発展が調べられている。簡単のため、一様スカラー場の運動が時空の発展に影響しないクラスの理論に限り解析されている。その結果、4次元同様に非等方アトラクターが存在し、パラメータを選べば、余剰次元方向の膨張率と我々の宇宙の方向の膨張率の比を非常に小さく出来、余剰次元の凍結が可能であることが示されている。これを我々の宇宙に適用する場合には、放射優勢期において、放射の状態方程式が余剰次元とそれ以外の方向で非等方性を持つために、非等方アトラクターが存在しないことが問題になる。しかし、解析によって、放射優勢期において余剰次元空間の膨張率が減衰することが示され、その結果、一様性の仮定の下では、宇宙史の全期間において余剰次元が凍結し、我々の存在する一様等方宇宙が実現出来ることが示された。

最後に第7章はまとめにあてられている。

本論文の3, 4, 5, 6章の内容は、これまでになされていない新しい知見であり、特に第3章が動機となって研究された第6章は、高次元拡張重力理論の枠組みと一様性の

改定のもとで、余剰次元の凍結と等方な 4 次元宇宙が実現出来ることを新たに示したものであり、高く評価出来る。

なお、本論文第 3 章は、西咲音・小林努・横山順一との共同研究であるが、論文提出者の寄与が十分であると判断する。また第 4, 5, 6 章は、小林努・横山順一との共同研究であるが、論文提出者が主体となって分析及び検証を行ったもので、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）の学位を授与できると認める。