

氏 名	平野 進一
学位の種類	博士（理学）
報告番号	甲第533号
学位授与年月日	2020年3月31日
学位授与の要件	学位規則(昭和28年4月1日文部省令第9号) 第4条第1項該当
学位論文題目	Toward Tests of Degenerate Higher-Order Scalar-Tensor Theories on Small and Large Scales（小スケール・大ス ケールにおける縮退重力理論の検証に向けて）
審査委員	（主査） 原田 知広（立教大学大学院教授） 小林 努（立教大学大学院教授） 亀田 真吾（立教大学大学院教授）

I. 論文の内容の要旨

(1) 論文の構成

本論文の第一章は導入にあてられている。第二章ではまず標準宇宙論が述べられている。次いでこの論文の主要なテーマである非標準的な宇宙論の基礎となる、一般相対論とは異なる重力理論の概要が述べられている。第三章では本論文で特に重要な役割を果たす修正重力理論として縮退高階スカラーテンソル理論 (DHOST 理論) に関する一般的な事項が述べられている。第四章・第五章・第六章は DHOST 理論による宇宙論的現象論にかかわる申請者自身の独自研究の成果をまとめたものである。第四章は、重力波の観測から得られた制限を満たす DHOST 理論における遮蔽効果に関する研究である。第五章は密度揺らぎの線形成長に関する観測に基づいて DHOST 理論を制限する研究である。第六章は DHOST 理論における物質の揺らぎのバイスペクトルを調べた研究である。第七章は結論にあてられている。

(2) 論文の内容要旨

本論文では、申請者は共同研究者らとともに、DHOST 理論をダークエネルギー仮説に替わる理論として検証するため、その小スケールと大スケールでの非自明な性質を調べた。

第四章では、重力波の伝播速度が光速と同じでありかつ重力子がスカラー場に崩壊しないという二つの性質を満たす DHOST 理論における遮蔽機構を研究した。球対称静的な星の解を見ることによって、このような理論の遮蔽機構は一般的な DHOST 理論でのそれとはまったく異なることを見つけた。さらに星の内部では計量に現れる二つのポテンシャルが一致せず、しかも星の内部の重力定数が星の外部のそれとは異なることも示した。そして、重力波に対する重力定数がニュートン重力におけるそれと異なることに着目し、Hulse-Taylor パルサーの観測から、この種の DHOST 理論に対し現状最も厳しい制限を与えた。

第五章では、物質の密度揺らぎの線形摂動に関する情報を用いて DHOST 理論を制限する可能性に注目した。DHOST 理論における物質の密度揺らぎの線形摂動の発展方程式では、有効的な重力定数が変化し、摩擦項に新たな寄与がある。申請者らは、DHOST 理論に対していくつかの現象論的な仮定を付け加

えた後で、物質優勢期とダークエネルギー優勢期初期の宇宙モデルを構築し、特に密度揺らぎの線形成長の成長指数の表式を得て、DHOST 理論のパラメーターを観測的データから制限することができることを示した。

第六章では、DHOST理論に注目し、計量摂動とスカラー自由度の微分結合の非線形性に焦点を絞り、物質密度揺らぎの二次摂動の解を導出し、物質のバイスペクトルを調べた。その結果一般相対論でもHorndeski理論でも現れない特徴を見出した。このような特徴はHorndeski理論を超える理論では一般にバイスペクトルにその痕跡が見いだせることを示唆した。

II. 論文審査の結果の要旨

(1) 論文の特徴

本論文の特徴は、スカラーテンソル理論の中でも Horndeski 理論という大きな枠組みを超える DHOST 理論という非常に複雑な修正重力理論を宇宙論に適用して現象論的に調べ、球対称静的な星、密度揺らぎの線形成長、密度揺らぎのバイスペクトル、という三つの状況において観測と比較しうる物理量を理論的に計算できる枠組みを与え、実際の理論に対してこれらの物理量の理論的な算出を行って観測的制限を行う可能性を議論している点である。

(2) 論文の評価

観測的に確実視されている宇宙の現在の加速膨張を一般相対論に宇宙項あるいは同様の性質をもつダークエネルギーという物質場を導入することによって実現するという現代宇宙論の標準的な見方から一旦離れて、重力理論を一般相対論から変更することによって同様の現象を実現するという枠組みを採用し、その場合の一般相対論からの観測可能なずれを理論的に指摘し一般相対論からの変更制限をつけるという研究が最近大変盛んにおこなわれている。そうした中で、本論文で DHOST 理論に的を絞って、相当深いところまで現象論的な研究が行われており、その点で独創的であるといえる。本論文のもととなっている三編の論文は、申請者を筆頭著者としていずれも評価の高い国際的な学術論文誌に掲載されており、すでに多数回引用されるなどしてこの分野の研究者に評価されているといえる。これらのことから、本論文は博士学位論文が満たすべき水準に十分に達していると評価する。