

別紙 4

報告番号	※ 甲 第 号
------	---------

主 論 文 の 要 旨

論文題目 Framework for testing the fundamental principles in gravitation and cosmology

(重力および宇宙論の基礎原理を検証する枠組み)

氏 名 新居 舜

論 文 内 容 の 要 旨

ビッグバン宇宙論は、宇宙膨張、宇宙マイクロ波背景放射、軽元素存在比、および宇宙の大規模構造を統合的に記述する理論として確立した。ビッグバン宇宙論は量子力学と一般相対性理論に立脚し、宇宙論的物理学の主要な要素である。しかし、遠方超新星の観測による宇宙の加速膨張の発見は、宇宙定数問題という、現代物理学最大の難問の1つを提示した。また、宇宙マイクロ波背景放射(CMB)の温度や偏光揺らぎの測定に代表される精密天文観測の結果として、宇宙膨張率の独立した測定実験の間で不一致があることが報告されている。こうして、宇宙論的物理学の根幹をなす基礎原理が見直され始めている。

基礎原理を超える理論は、様々なエネルギーで未知の現象を予言する。修正重力理論は、一般相対性理論を拡張することによって時空そのものの物理法則を変更するものである。修正重力理論の予言は、あらゆる重力現象の観測結果と整合的であるべきであるため、実験や観測を通して重力と時空の物理的性質が新たに制限できると期待される。本博士論文では、将来の精密宇宙論観測に向けて、修正重力理論から得られる重力と宇宙論の基礎原理の変更を観測から制限するために必要な枠組みを構築した。

まず、新種のスカラー場が重力を媒介する理論として、ホルンデスキ理論やその数学的拡張を考えた。現象論的には、スカラー場は宇宙の加速膨張を引き起こすことができるが、等価原理の破れを予言する。そこで、現在の宇宙膨張のスケールで、モデル非依存な予言を具体的に計算する数値シミュレーションを作成した。シミュレーションの結果から、将来計画されている弱重力レンズ効果の測定や重力波実験を用いると、理論空間の大部分は制限され、等価原理はこれまで以上の精度で検証できると示した。

次に、宇宙誕生初期を考え、重力理論が局所ローレンツ性に破る Horava-Lifshitz 重力理

論と統合的なインフレーションを起こすモデルを作成した。曲率ゆらぎは超ハッブルスケールで断熱的に保存することを示し、これは現在の宇宙マイクロ波背景放射の温度揺らぎの観測と統合的である。一方で、原始重力波のスペクトラムを将来の原始重力波実験で検出できれば、重力の局所ローレンツ不変性は検証可能であることを示唆した。

最後に、構造形成の履歴から重力法則の探索をするために、物質優勢宇宙において電波銀河と CMB 重力レンズの間の角度相関を測定する方法論を構築した。NVSS と SUMSS で作る電波銀河の全天カタログと、Planck2015 の重力レンズマップから、誤差の少ない角度相関を検出したものの、銀河バイアスと赤方偏移空間の数密度の天体物理学的不定性は、高赤方偏移で宇宙論的制限を行うにはまだ大きいと結論した。

本論文で構築した枠組みを用いることで、2020 年以降の宇宙観測プロジェクト (Subaru-PFS, DESI, SKA, LSST, Euclid など)、あるいは重力波観測による新規的な知見により、物理学の基礎原理がどこまで解明できるかより明確となった。