

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Cosmology in Palatini and Metric-affine Formalism
著者(和文)	嶋田圭吾
Author(English)	Keigo Shimada
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11689号, 授与年月日:2022年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:山口 昌英,伊藤 克司,慈道 大介,今村 洋介,須山 輝明
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11689号, Conferred date:2022/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	嶋田 圭吾		
論文審査 審査員		氏 名	職 名		氏 名	職 名
	主査	山口 昌英	教授	審査員	須山 輝明	准教授
	審査員	伊藤 克司	教授			
		慈道 大介	教授			
		今村 洋介	准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

現代宇宙論は一般相対性理論と素粒子標準模型によって構成されており、多くの現象を説明してきた。しかし、近年の技術発展により、既存の枠組みでは説明できない現象が観測され、より宇宙を正しく表現できる理論を発見することが重要な課題となっている。これらのアプローチのうち、特に一般相対性理論を見直し拡張する手法が「修正重力理論」という分野である。多くの修正重力理論のアプローチは主に Riemann 幾何学という時間と空間の微分幾何学を用いて解析されるが、この幾何学をさらに拡張した計量アフィン幾何学という微分幾何学の枠組みで議論する方がゲージ理論と整合的であることが知られている。これは計量アフィン幾何学においては、ゲージ理論と同様に、接続が独立と仮定するためである。本論文は、この計量アフィン幾何学に基づいて宇宙論を論じ、特に修正重力理論の代表格であるスカラーテンソル理論に計量アフィン幾何学の枠組みを適用し、不安定性がない理論の構築方法と観測による検証可能性を考案した著者の貢献をまとめたものである。

第一章「Introduction」では、現在にいたるまでの宇宙論の推移と問題点を挙げ、現代宇宙論の枠組みを拡張する動機を述べている。

第二章「Cosmology in Modified Gravity」では、宇宙論の標準模型、その問題点と修正重力理論のアプローチに関してまとめている。まず一般相対性理論における宇宙の進化について紹介し、さらに物質のふるまいについて述べた。次に現代宇宙論で説明できない宇宙初期の加速膨張であるインフレーションと宇宙後期の加速膨張であるダークエネルギーを紹介し、理論と観測の非整合性について説明した。次に修正重力理論のアプローチについて紹介したあと、幾何学の拡張を重力理論に適用する手法である Palatini 形式と計量アフィン形式、および、自由度の拡張であるスカラーテンソル理論の二つの手法について詳しくまとめた。

第三章「Metric-affine Gravity and Inflation」では、計量アフィン幾何学のインフレーション理論への応用と、観測可能性について論じた。まず最小限のスカラー場の曲がった時空への“共変”化が計量アフィン幾何学では一意ではないことを指摘した。次に、このスカラー場がインフレーションを引き起こすインフラトンであるとみなした場合の観測量を導出し、Planck 衛星による最新の観測データと比較した。この結果、Riemann 幾何学と計量アフィン幾何学では異なる観測量が予測され、それらの差異を将来の観測によって判別できることを示した。またスカラーテンソル理論への拡張可能性を論じ、それらの観測量も算出した。

第四章「Galileon and generalized Galileon with projective invariance in a metric-affine formalism」では、前章をさらに拡張し、不安定性が生じないようなスカラーテンソル理論を、接続が特殊な対称性をもつ計量アフィン幾何学の枠組みで構築した。まず Galileon という理論の“共変”化を計量アフィン幾何学において行い、Riemann 幾何学と理論の構造が異なることを示した。さらに“共変”化をした Galileon の一般化も行い、不安定性が生じないようなスカラーテンソル理論の構築に成功した。またこれらの理論における重力波の速度が光速と同じことを示し、観測と矛盾せずにダークエネルギーの候補になることを示した。

第五章「Scalar-metric-affine theories: Can we get ghost-free theories from symmetry?」では、計量アフィン幾何学の対称性とスカラーテンソル理論の不安定性の関係性について論じた。まず、重力相互作用をしないスカラー場の高階微分が含まれるような理論では、ユニタリーゲージにおいて不安定性が生じないことを定性的に指摘した。次に重力相互作用がある場合でも、広いクラスのスカラーテンソル理論に不安定性が存在していないことを示した。最後に以上の議論の妥当性を、Hamilton 解析を用いて、確かに不安定性がないことを定量的に示した。

第六章「Cosmological Perturbations in Palatini Formalism」では、計量アフィン幾何学の枠組みにおける摂動論の定量的手法について考案した。まずスカラーと重力が非最小結合しているような計量アフィン幾何学の理論において、3種類の同値な変数変換が存在し、それぞれの等価な理論での摂動論および観測量を解析した。算出した結果が一致したため、正しい摂動方法を考案できたとと言える。次に Galileon を足した理論においても同様に摂動論を行い、そのような理論は一般的に不安定であることを示した。さらにそのような不安定性を除くような調整を行うと、重力波の速度が光速になり、ダークエネルギーの候補となり得ることを示した。

以上をまとめると、本論文は、計量アフィン幾何学におけるスカラーテンソル理論の構築方法と現象論を論じた。これらのアプローチにより、将来の観測技術の発展により宇宙の幾何学の判別が期待できる。公表されている論文のインパクトおよび著者の研究の分野への貢献をふまえ、博士(理学)を与えるのに十分であると判断できる。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。