

論文審査の結果の要旨

氏名 猪又敬介

アインシュタインの一般相対性理論の予言する重力波は、2016年に連星ブラックホール合体からの信号の初の直接検出がなされて以来、それに続く連星中性子星合体からの信号など、天体现象を観測する新たな手段として極めて有用であることが示されているが、電磁波では直接見ることのできない初期宇宙を探索する手段としても有用である。宇宙論的重力波源として、これまでインフレーション中に量子的に生成する原始重力波、宇宙の一次相転移に伴って生成するもの、宇宙ひもの振動によって発生するものなど、さまざまな波源が提案されてきたが、本研究で注目したのは、初期宇宙に生成した密度ゆらぎ・曲率ゆらぎのようなスカラーゆらぎから生成する重力波である。とくに、将来の重力波観測によって宇宙マイクロ波背景放射では観測できない小スケールの密度ゆらぎの振幅にどの程度制限を課すことができるか、また初期宇宙の熱史とくに宇宙の状態方程式の変化が重力波の時間発展にどのように影響するかを詳細に明らかにした。

本論文は本文7章と付録2章からなり、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と重力波観測の意義が述べられている。第2章から第4章までは必要となる学術的背景のレビューである。第2章は一般相対性理論における一様等方背景宇宙の進化のレビュー、第3章は線形摂動論、第4章はスカラー摂動の2次項によって生成する重力波の定式化のレビューに宛てられている。

第5章と第6章が著者のオリジナルな研究成果の報告である。

まず第5章では重力波を用いた小スケール密度ゆらぎへの制限について述べられている。密度ゆらぎの高次相互作用からテンソルゆらぎすなわち重力波が生成するが、重力波はいったん生成してしまえば、拡散減衰で均されてしまうスカラー揺らぎと異なり、現在まで生き残るので重力波背景放射の観測によって対応するスケールの初期密度ゆらぎの振幅を制限することができるのである。本章では、先行研究で使われていた間違っただ関係式を正し、さらに、将来観測の感度曲線および密度ゆらぎのパワースペクトルの形を精細に見当することによって、広汎な波数域に亘って有用な制限を得ることに成功した。

続く第6章では初期宇宙の状態方程式の変化が、曲率ゆらぎのスペクトルについては二次的に生成する重力波のスペクトルに与える影響を、解析した。ここではとくに初期宇宙のインフレーション後のインフラトンの振動優勢期を念頭

に、宇宙膨脹則が物質優勢期と同等の場合から、インフラトンの崩壊によって放射優勢期に遷移する場合について考察した。本章ではこの遷移が宇宙膨脹に比べてゆっくり起こる場合と早く起こる場合のそれぞれについて解析し、前者の場合は密度ゆらぎが遷移中に減衰するため、生成する重力波の振幅もこれまで考えられていたより小さくなること、一方遷移が瞬間的に起こる場合には遷移後曲率ゆらぎが激しく振動するため、大きな重力波が生成することを明らかにした。

第7章は以上の研究の纏めと結論である。また、付録 A はインフレーション後のインフラトン振動期を突然終わらせ、放射優勢期に瞬間的に繋ぐモデルの提唱、付録 B は本文中では数値的に求めた重力波のスペクトルを解析的に表す近似式を導出したものである。

なお、本論文の内容はいくつかの共同研究として刊行されているが、これらは論文提出者が中心となって行ったものであり、本委員会は同人の貢献を十分と認めた。

さらに、論文提出者が本専攻大学院に在学中に発表した全15編の学術論文の内容をはじめ、物理学全般に亘って本学博士に相応しい学識を持っているかを口頭にて試問したが、その結果審査員全員一致にて合格と認定した。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。