

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 号
------	---------

氏 名 末延 博

論 文 題 目 量子宇宙論における境界条件の確率評価

論文審査担当者

主査 名古屋大学大学院理学研究科 准教授 理学博士 南部 保貞

委員 名古屋大学大学院理学研究科 准教授 博士 (理学) 市來 淨與

委員 名古屋大学大学院多元数理科学研究科 教授

博士 (理学) 白水 徹也

委員 名古屋大学大学院理学研究科 教授 博士 (理学) 棚橋 誠治

委員 名古屋大学大学院理学研究科 教授 理学博士 野尻 伸一

論文審査の結果の要旨

宇宙の最初期を理論的に調べる場合には宇宙全体に対する量子論が必要となり、量子宇宙論と呼ばれる枠組みが用いられる。量子宇宙論は、重力の理論である一般相対性理論とインフレーションを引き起こすインフラトン場等を量子化することで構成され、宇宙の量子状態を表す宇宙の波動関数がすべての情報を担っている。量子宇宙論における主要な課題は、観測と整合する宇宙を導く宇宙の波動関数の境界条件を決定する境界条件問題である。宇宙の波動関数を求めるために必要な Wheeler-DeWitt 方程式に対する境界条件の違いによって、古典宇宙に対する予測が変化しうる。Vilenkin らによるトンネル型境界条件仮説、Hartle と Hawking による無境界境界条件仮説といった境界条件が提案されているが、どの境界条件が望ましいかについて確固たる結論は得られていない。

申請者は、インフラトン場として最小結合有質量スカラー場を含む閉じた一様等方宇宙から構成される mini-superspace モデルを用いて、Wheeler-DeWitt 方程式の数値解から宇宙の波動関数の境界条件に対する確率的な評価を行う枠組みを構築した。宇宙の波動関数の境界条件候補として、インフラトン場のポテンシャルを定数とみなした場合の一般解を考え、この解の重ね合わせをパラメータ化することによって、異なる境界条件を扱えるように問題を定式化した。この境界条件のパラメータに対して、Bayes の定理に基づき、観測と整合しうる十分なインフレーションを導くための境界条件に対する確率を導入した。本評価方法は、無境界境界条件仮説およびトンネル型境界条件仮説の双方を包含した枠組みを提供する。以上の手続きに基づいて、申請者は境界条件に対する確率の振る舞いを数値的に評価した。その結果、境界条件の確率には、宇宙論モデルのパラメータの値に応じて大別して 2 つの相が、詳細には 4 つの相が現れることを見出した。1 つは大きな宇宙定数のモデルにおいて現れる相であり、無境界境界条件仮説に対しトンネル型境界条件が優越するなどの従来より認知されている振る舞いを示す相である。もう 1 つの相は小さな宇宙定数の値を持つモデルにおいて現れ、無境界境界条件およびトンネル型境界条件のいずれでもない境界条件に確率が集中する。この相では、宇宙定数とインフラトン質量の値が共に小さいほど境界条件のパラメータ空間上における確率分布が鋭くなり、特定の 1 つの境界条件により一層確率が集中する傾向を持つ。

申請者はさらに得られた境界条件の確率分布を用いて、インフレーションのモデルパラメータに対する確率を導入することで、宇宙定数およびインフラトン質量のとりうる値を評価した。その結果、宇宙定数の値はエネルギー密度換算でプランク質量の 1/4 程度の大きな値を、インフラトン質量はプランク質量の 1/100 程度の小さな値を支持するという結果を得たが、これは宇宙定数およびインフラトン質量ともに小さな値を要請する観測結果とは整合しない。しかしながら、インフレーションモデルとして、より鋭い境界条件の確率分布を持つものが選択されるという前提の下では、小さい値の宇宙定数とインフラトン質量を持つ現実に近い宇宙が実現可能であることを示した。

申請者の研究は、現在の宇宙の観測量から逆に量子宇宙の境界条件を推定する新しい枠組みを構築した点で高く評価でき、宇宙モデルのパラメータを制限する 1 つの手法として今後の応用が期待出来る。以上の理由により、申請者は博士（理学）の学位を与えられるに相応しいと認められる。