

別紙 4

報告番 -	※ -	第
----------	--------	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目 量子宇宙論における境界条件の確率評価
氏 名 末 延 博

論 文 内 容 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、観測と整合する古典的宇宙の進化を導く宇宙の波動関数を決定することであるが、宇宙の波動関数を求めるために必要な Wheeler-De Witt 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言が変化しうる。Vilenkin らによるトンネル型境界条件仮説、Hartle, Hawking ら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。

本研究では、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-De Witt 方程式の数値解から宇宙の波動関数の境界条件およびインフレーションのモデルパラメータの値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 の定理に基づいて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、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、境界条件の確率分布の振る舞いには、インフレーションのモデルパラ

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明らかにした。ひとつは大きな宇宙定数の値を持つ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。もう一つの相は、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の分布が鋭くなり、特定の一つの境界条件に一層確率が集中する傾向を持つ。

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取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密度の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事実とは整合しない。しかしながら、より鋭い境界条件の確率分布を持つインフレーションモデル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が示された。