

(続紙 1)

京都大学	博 士 (理 学)	氏名	榊 原 由 貴
論文題目	Inflation in Bimetric Gravity		
(論文内容の要旨)			
本学位論文の目的は、現在最も有力と考えられている一般相対論に代わり、重力の伝播子である重力子が質量を持つ近年提案された重力理論が、我々の宇宙を記述する理論であるかを明らかにすることである。本研究では、宇宙の最初期にあったと考えられているインフレーション期が上記の理論においても実現され、インフレーションから示唆される観測量が観測と整合的であるかどうかを議論している。 一般相対論は、太陽系内での観測結果を精度よく説明し、かつ、一般相対論に基づく標準的な宇宙の時間発展の予言が観測と整合的であるため、低エネルギーの有効重力理論として最も有力なものと考えられている。ただし、銀河や銀河団、それ以上の長さスケールの宇宙論的現象を説明するには、暗黒物質や暗黒エネルギーといった未知の物質の存在を仮定する必要がある。それらの現象を、大スケールにおいて一般相対論とは異なる振る舞いをする重力理論によって説明するという考え方がある。一般相対論では、重力の伝播子である重力子は質量を持たないと予言されるが、実験的な重力子の質量に対しては上限を与えられているに過ぎず、実際には重力子が質量を持つ可能性がある。もし、重力子が質量を持つならば、大スケールにおける重力の性質が一般相対論とは異なることが期待される。重力子が質量を持つ矛盾のない理論の構成は難しいと考えられていたが、近年、一般相対論を構成する重力を表す場に加えて、同様な性質を持つ場をもう一つ含む無矛盾な理論が提案され、bimetric gravityと呼ばれている。Bimetric gravityが我々の宇宙を記述する重力理論であるためには、観測と整合的であることが必要不可欠である。本論文では、ビッグバン宇宙モデルでは解決できない宇宙論的諸問題を解決し、観測との整合性から広く信じられるにいたったインフレーション宇宙モデルが、bimetric gravityにおいても実現可能であるかに着目した研究を行った。特定の単純化されたクラスのbimetric gravityについての具体的な解析の結果、インフレーション時空に相当する一様等方な加速膨張宇宙解がbimetric gravityにおいても得られ、さらに、真空の安定性の条件を課すことで許される解が一意に決まることを確かめられた。また、その場合にインフレーションの初期に非等方性が存在したとしても、インフレーション中に宇宙が等方化し、観測されている宇宙背景放射の等方性を自然に説明することを確認した。加えて、重力場自身の量子揺らぎからインフレーション中に生成される重力波をbimetric gravityにおいて評価した結果、将来的に検出が期待される重力波のスペクトルの基本的性質は一般相対論と共通しており、現在の観測的制限と無矛盾であることが示された。 さらに、上記の特定の単純化された場合の結果をもとに、一般のbimetric gravityに対するゆらぎの評価への拡張をおこなった。その際、重力波のみでなく、大域的構造形成の起源となるインフレーションを引き起こす場自身の量子ゆらぎも評価し、宇宙背景放射の観測と無矛盾であることを確認した。これらを総合し、重力理論としてbimetric gravityを採用したときにもインフレーションが実現可能であり、インフレーションが予言する観測量が観測と整合的であり、bimetric gravityが実際の宇宙を記述するために必要な条件を満たしていることを明らかにした。			

(論文審査の結果の要旨)

本学位論文では、近年提案されたbimetric gravityが我々の宇宙を記述する理論の候補となり得るかどうかを議論している。この理論では質量をもった重力子が現れるという点が特徴的である。歴史的には質量を持った重力子の振る舞いは病的で、負のエネルギー状態が必然的に現れるため、量子力学的に矛盾のない理論を構築することができないと考えられていた。しかし、近年、重力子が質量を持っても負のエネルギー状態が現れない無矛盾な理論を構築することが可能であることが指摘された。これを受けて、本論文では、bimetric gravityと宇宙論的観測との整合性を議論している。なお、この理論には質量を持った重力子と質量を持たない重力子のふたつの重力子が存在する。

特に、本論文で着目している点は、bimetric gravityに基づいてインフレーション宇宙モデルを構築することが可能か否かという点である。加えて、構築可能であるならば、観測量と理論予測の比較からbimetric gravityに基づくモデルがどのような制限を受けるのかを明らかにするという点である。bimetric gravityという修正重力理論に関する多くの研究が低エネルギーの現象に着目した重力理論の整合性の議論であるのに対して、インフレーション期に着目した点が、本研究に独創的な着眼点を与えている。

インフレーション宇宙モデルというパラダイムは一様性問題や平坦性問題に代表されるビッグバン宇宙モデルでは説明できない宇宙論的諸問題を宇宙に加速膨張期が存在したと考えることで解決する。宇宙論的諸問題の解決に加え、量子論的なゆらぎを起源に、宇宙の大域的構造形成の種となった初期密度ゆらぎを自然に説明する。この初期密度ゆらぎのパワースペクトルがマイクロ波宇宙背景放射として観測されており、インフレーション宇宙モデルの予言する近似的にスケール不変なスペクトルと見事に整合する。このようなインフレーション宇宙モデルの成功が、bimetric gravityへの拡張を考えた際に保たれるのかどうかは興味深い問題である。本論文では、まず解析の容易な単純化されたクラスのbimetric gravityに着目し、インフレーションを記述する一様等方背景時空解が構成できることを示した。そのようなインフレーション解は複数得られるが、そのうちで安定なものを選ぶことで、解が唯一とつに限定されることも明らかにした。さらに、インフレーションを起こす場がゆっくりと時間発展するとしたスローロール近似を用い、この背景時空上で重力波摂動に特化したゆらぎの解析をおこない、ゆらぎの時間発展を明らかにした。その結果、スローロール近似がよい場合には、質量をもった重力子のゆらぎは減衰し、最終的な観測量には寄与しないことも明らかとなった。以上の成果に加えて、このような解析をもとに、単純化されたクラスではない一般のbimetric gravityをスローロール近似のもとで解析する手法の提案もおこなっている。

本論文で示された研究成果は、bimetric gravityという近年新しく提案された重力理論の可能性についての研究であり、明白に過去の研究とは異なるものである。

また、bimetric gravityの基礎的な性質のひとつの側面を明らかにした研究であるという意味においても評価できる。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成28年1月13日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降