

研究目的 一般相対論とは振る舞いの異なる重力理論を採用することにより、暗黒エネルギーや暗黒物質といった未知の宇宙の構成要素の起源に迫る可能性を探る

背景 太陽系内の実験や観測をよく説明する重力理論として、一般相対論が広く認められている。しかし現代宇宙論では、暗黒エネルギーや暗黒物質といった未知の"物質"の存在を仮定する必要がある。それら長スケールで重要となる"物質"の起源を説明する方法として、太陽系を越える長スケールでは重力が新たな重力理論に従うのではないかという提案がある。重力の媒介粒子"重力子"が、一般相対論の予言する無質量ではなく、有質量である理論がそのような候補の一つとして考えられてきた。質量を持つと長スケールで重力が弱まり、暗黒エネルギーの起源を説明しうると考えられるためである。このような背景の下、2011年に bimetric gravity (双計量重力理論) として有質量重力子を持つ理論が発見された。特徴は、一般相対論に現れる時空を表す計量に加え、もう1つ計量を含んでいることである。我々は、双計量理論を採用することでこれまでの宇宙モデルに変更が加わり、観測と矛盾することがないかを確かめるため、特に初期宇宙インフレーションに着目して以下のような研究を行った。

主要論文 1: YS, Jiro Soda, Tomohiro Takahashi, "On Cosmic No-hair in Bimetric Gravity and the Higuchi Bound", PTEP (2013) 033E02.

インフレーションは、現代宇宙論には必要不可欠な、ビッグバン以前の宇宙の加速膨張期である。インフレーションを双計量理論でも実現できるのか確かめるため、我々はまず、近似解であるド・ジッター解を構成し、線形安定な唯一の解を得た。また、観測で明らかとなっている宇宙背景放射の等方性を説明するためには、インフレーション中に宇宙が十分に等方化する必要がある。我々は、双計量理論においてもこの性質が成り立つことを確かめた。これらの結果から、双計量理論においてインフレーションを実現できることが明らかになった。

主要論文 2: YS, Jiro Soda, "Primordial Gravitational Waves in Bimetric Gravity", JCAP 09 (2015) 015.

初期重力波は、インフレーション中に重力場の量子ゆらぎを種として生成されると考えられ、重力波干渉計実験や宇宙背景放射の偏光観測による発見が期待されている。そのため、双計量理論において初期重力波のスペクトルを計算し今後の観測と比較することで、理論の検証が可能である。我々は、安定なインフレーション解を求め、初期重力波を解析的に計算した。その結果、ほぼ定数で短波長側の振幅がわずかに抑えられたスペクトルを得、初期重力波のスペクトルが一般相対論の場合と似た特徴を持つことを明らかにした。

主要論文 3: YS, Takahiro Tanaka, "Primordial fluctuations from inflation in dRGT bimetric theory of gravity", JCAP 09 (2016) 033.

インフレーション中に生成される曲率ゆらぎは、観測されている宇宙背景放射の温度ゆらぎの主要な成分である。我々は、双計量理論に基づき、曲率ゆらぎのスペクトルを求めた。曲率ゆらぎと重力波の振幅の比は、インフレーションモデルを特徴づける観測量であり、宇宙背景放射観測から制限を受けている。我々は、その比が双計量理論では一般相対論の場合に比べ大きくなるという結果を得、インフレーションモデルに対する宇宙背景放射観測による制限が一般相対論の場合より厳しくなるという普遍的な結果を得た。これまでの議論を総合して、双計量理論が現在の宇宙背景放射観測と整合的であることを確認できた。