

応募者は、宇宙物理学の中で、特に“宇宙誕生から現在までの宇宙の歴史と重力・物質理論との関係”を解明することを目標として研究を行っている。

これまでの研究成果のまとめ

[1] **Bigravity 理論の宇宙背景放射観測との整合性...** 少なくとも約 50 億年前から現在まで宇宙は加速膨張してきたことが観測的にわかっているが、一般相対性理論の範囲でその起源を解釈することは困難であり、未解決の問題である。その解決策の候補として、“観測による制限が緩い太陽系より大きなスケールで一般相対論とは異なる振る舞いをする重力理論の導入”がある。近年、重力波の分散関係が一般相対論と異なる理論で現在の宇宙の加速膨張が実現されるという提案があり、我々はその bigravity と呼ばれる新たな理論が、観測が進んでいる宇宙マイクロ波背景放射の観測結果と整合的であるかを研究した。宇宙背景放射は、宇宙誕生後 1 秒に満たない時に実現されていた高温高圧の宇宙(ビッグバン)の名残であり、その性質を予言するにはビッグバン以前の情報が必要である。実はビッグバン以前にも、“初期インフレーション”と呼ばれる宇宙の加速膨張期があったことが知られており、それを引き起こした場は“インフラトン”と呼ばれている。

我々はまず、bigravity を採用した時にビッグバン以前の宇宙初期の時空(初期インフレーション時空)が安定であることを確認し、その時期に宇宙が十分に等方化することを示した[論文 PTEP (2013) 033E02]。更に、宇宙背景放射に影響を与える初期宇宙由来の重力波(宇宙初期に生成される重力波)を計算し、重力波のスペクトルの特徴を明らかにした[論文 JCAP 09 (2015) 015]。論文 JCAP 09 (2016) 033 では、宇宙背景放射のゆらぎの主要な起源である宇宙初期のインフラトンの密度ゆらぎを計算し、前の論文の結果と合わせて、bigravity が宇宙背景放射観測と無矛盾であることを示した。また、今後の宇宙背景放射観測の精度向上や初期宇宙由来の重力波の初観測により、bigravity 理論の検証が可能であることが明らかになった。

[2] **ボソンとフェルミオンの微分相互作用の構築...** 宇宙初期に空間の加速膨張を引き起こした場“インフラトン”が物質との相互作用を通じて崩壊し、我々や星などを構成する物質(標準模型粒子)が形成されてきたと考えられている。しかし、超高エネルギー状態であった宇宙初期に“インフラトンと物質がいかなる相互作用をしていたのか”を地上実験によって検証することは困難であり、宇宙初期の物質形成過程は未解明である。一方で、宇宙初期の情報を持っている宇宙背景放射や初期宇宙由来の重力波の観測を通して、高エネルギー理論や物質形成過程を検証できる可能性がある。我々は、“インフラトンと物質の間の原理的に可能な相互作用を明らかにし、その拡張された相互作用を宇宙背景放射観測を利用して検証する”ことを考えた。これまで、拡張された相互作用、特に微分相互作用の構成は、取り扱いが容易なボソン(統計性が偶の粒子)については議論されてきたが、フェルミオン(統計性が奇の粒子)についてはあまり議論されてこなかった。

我々は、ボソンであるインフラトンと標準模型に含まれるフェルミオンとの新たな相互作用として、ボソンとフェルミオンの微分相互作用の構築に取り組んだ。この分野が未開拓であったため、空間依存性を無視し時間依存性だけに注目した系で、“ボソン-フェルミオン相互作用が理論の不安定性を回避するために原理的に満たすべき条件”を導き、拡張された相互作用の具体例を示した[PRD 96 (2017) 044015]。その中で、ボソンのみの系では理論の縮退条件さえ満たしていれば場の時間発展の唯一性は自明であったが、フェルミオンを含む系ではフェルミオンの反可換な性質を反映して保証されず、縮退条件の他に時間発展の唯一性を保証する条件も必要であることが明らかになった。更に PRD 98 (2018) 044043 では、場の空間依存性も含めた背景時空を平坦時空とするローレンツ共変な理論において上記の条件を満たす相互作用を構成した。新たに見つかった相互作用のうち、注目しているインフラトンとフェルミオン以外の場が存在しない理想的な状況においても、場の再定義によって除去できない真に新しい相互作用があることも明らかにした。