

2024 年度 若手・女性研究者奨励金 レポート

研究課題	ハッブルテンションと S_8 テンションの同時解決可能性の検証
キーワード	①ハッブルテンション、② S_8 テンション、③宇宙論

研究者の所属・氏名等

フリガナ 氏 名	ヤシキ マイ 家舗 真衣
配付時の所属先・職位等 (令和6年4月1日現在)	日本文理大学 工学部 助教
現在の所属先・職位等	日本文理大学 工学部 助教
プロフィール	令和元年博士(理学)を取得。博士課程では、修正重力理論の枠組みにおいて、初期宇宙のインフレーションと現在の加速膨張を統一的に説明可能なモデルの実現可能性の検証を行った。博士課程終了後は、特別研究員(PD)や研究科特別研究員として研究を継続し、現在は宇宙論の立場から宇宙の未解決問題の解明に取り組んでいる。

1. 研究の概要

現在、宇宙論で大きな問題となっているハッブルテンションと S_8 テンションについて、標準的な宇宙モデルである Λ CDM を超えたモデルにより、2つのテンションを同時に解決できる可能性を検証した。本研究では、ハッブルテンションの解決案の一つである早期加速膨張(EDE)の課題を補うため、暗黒エネルギーと暗黒物質が相互作用するモデルを組み合わせた。この複合モデルの最新の観測結果との整合性を確認するため、MCMC 解析によりパラメータ推定を行った。その結果、複合モデルは両テンションを緩和できることが、完全な解消には至らなかった。

2. 研究の動機、目的

近年の観測機器の技術向上により、宇宙が誕生から現在に至るまでどのように発展してきたかが、より高い精度で明らかになってきている。現代宇宙論において標準的な宇宙モデルである Λ CDM モデルは、宇宙最古の光である宇宙マイクロ波背景放射(CMB)の精密な観測データを非常によく説明できる。しかし、 Λ CDM モデルによって推定される6つの基本パラメータのひとつであるハッブル定数 H_0 について、CMB 観測からの推定値と、後期宇宙における直接観測から得られた値との間に、観測誤差を超えるズレ(ハッブルテンション)が存在することが明らかになっている。さらに、物質密度ゆらぎ(非一様性)の振幅を表す S_8 についても、CMB からの推定値と宇宙の大規模構造の観測値との間に数%の食い違いがあり、「 S_8 テンション」として知られている。これらの問題は、 Λ CDM モデルを超えた新たな物理の存在を示唆しており、国内外でさまざまな解決案が提案されている。

しかし、一方のテンションを解決するために宇宙モデルを修正すると、もう一方のテンションが悪化してしまうことが多く、両方のテンションを同時に解決するモデルは未だ見つかっていない。そこで本研究では、宇宙論における大きな問題であるハッブルテンションと S_8 テンションを同時に解決できる可能性のあるモデルを構築し、その実現可能性について検証することを目的とした。具体的には、宇宙の晴れ上がり付近で一時的な加速膨張を導入する早期

加速膨張(EDE)モデルと、暗黒エネルギー(DE)と暗黒物質(DM)が相互作用するモデル(iDEDM)の組み合わせた複合モデルを考案し、これが2つのテンションを同時に解決できるかどうか評価を行った。

3. 研究の結果

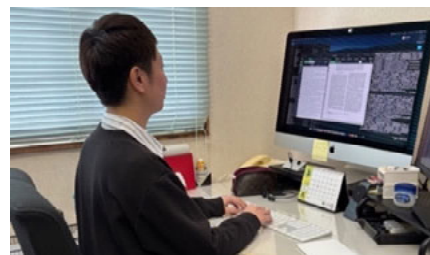
EDEモデルは、宇宙の晴れ上がり付近における膨張則を変更することで、ハッブル定数(H_0)を大きくする効果があるが、同時に他の宇宙論パラメータの値も変化させる必要がある。特に、物質が宇宙を占める割合である物質密度パラメータが Λ CDMモデルよりも大きくなり、その結果として S_8 テンションが悪化する。本研究では、この悪化を抑制する方法として、物質密度ゆらぎの振幅そのものを抑制するアプローチに着目した。その抑制に効果的であり、かつハッブルテンションを悪化させない特徴を持つiDEDMモデルをEDEモデルと組み合わせ、2つのテンションを同時に解決できる可能性を検証した。

この複合モデルと、Planck衛星によるCMB観測データやDESIによる最新のバリオン音響振動の観測データなど、さまざまな宇宙観測データとの整合性を評価した。その際、モデルパラメータがどのような値をとれば観測結果を最もよく説明できるのかを統計的に推定するために、MCMC(マルコフ連鎖モンテカルロ)法を用いた(MCMC法:パラメータ空間をランダムにサンプリングしながら、観測データとよく一致する領域を重点的に調べる手法)。この解析により、EDEやiDEDMを特徴づける各種パラメータのほか、ハッブル定数 H_0 や物質密度ゆらぎの振幅 S_8 などの宇宙論パラメータについて、最も整合的な推定値とその不確かさ(信頼区間)を求めた。

その結果、EDE+iDEDMモデルは Λ CDMモデルと比較して、 H_0 と S_8 の両方を顕著に緩和できることが確認された。特に、 S_8 の値がiDEDM単体とほぼ同程度であったことから、物質密度ゆらぎの振幅の抑制による S_8 テンションの緩和には成功した。一方で、 H_0 の上昇値はEDE単体よりも小さいことが判明した。これは、EDEとiDEDMのいずれも現在の物質密度を増加させる傾向があるため、CMB観測との整合性を維持するには、早期宇宙の膨張則を大きく変えることが難しくなったことが一因と考えられる。

以上より、EDE+iDEDMの複合モデルは $H_0 \cdot S_8$ 両テンションを同時に緩和する有力な候補であるものの、決定的な解消には至っておらず、さらなる理論的拡張やメカニズムの導入が求められる。

本研究の結果は、現在論文化に向けて執筆中であり、今後、国際学術誌への投稿を行う予定である。



4. 研究者としてのこれからの展望

本研究では、ハッブルテンションおよび S_8 テンションの完全な同時解決には至らなかったものの、これらの問題はいずれも未だ決定的な解決策が見つかっておらず、現在も国内外の多くの研究者によって精力的に研究が進められている。さらに、宇宙には依然として多くの未解明な現象が存在しており、観測技術の進展に伴い、これまでの標準的な理解が再考を迫られる可能性もある。今後も一研究者として、こうした宇宙論における根本的課題の解明に向けて研究を継続していく所存である。

5. 支援者(寄付企業等や社会一般)等へのメッセージ

今回のご支援により、自身の研究を一步前に進める貴重な機会を得ることができ、心より感謝申し上げます。

本研究は、直接的に一般社会に還元される成果を目的としたものではありませんが、宇宙の根本的な理解を目指す基礎研究として、その学術的価値と意義は極めて大きく、人類の知的探究心を支える重要な役割を果たすものと考えております。

こうした基礎的な研究課題に継続して取り組むことは、将来的な学術的・技術的飛躍のための土台を築く上で必要不可欠です。今後も、基礎科学の重要性が広く認識され、宇宙論のよう

な挑戦的な研究分野や基礎研究にも引き続き光が当たることを願っております。また、こうした研究への継続的なご支援を賜れますよう、心よりお願い申し上げます。