

学位申請論文公開講演会

日時：2026年2月4日(水) 10:00~

申請者：林 慎太郎 (C研)

場所：物理会議室 (C207)

題目：Observational Constraints on Dark Energy Model Induced by Non-Singular Black Holes

(特異点をもたないブラックホールによって生じる暗黒エネルギーモデルへの観測的制限)

主論文の要旨

宇宙が加速膨張をしているという観測結果は、現代宇宙論における最重要課題の一つである。一般相対性理論に基づく標準的な宇宙論の枠組みにおいては、宇宙が膨張するにつれて密度が薄まるため、通常物質や放射のみでは加速膨張を実現できない。この加速膨張を説明するためには、負の圧力をもつエネルギー、すなわち真空のエネルギーのような暗黒エネルギーを導入する必要がある。一方で、加速膨張は必ずしも未知のエネルギー成分を仮定せずとも、時空の基本的性質そのものを修正することで記述することも可能である。アインシュタイン方程式に宇宙項を加える操作は、密度一定の暗黒エネルギーを仮定した場合と同じ加速膨張を記述するという点で、現象論的な修正重力の一形態とみなせる。

宇宙項の導入は宇宙観測に基づく現象論的な要請としての一般相対性理論の修正であるが、一般相対性理論が破綻する特異点領域においては重力の量子化など重力理論の修正が必然的に要求される。現在の宇宙における特異点を持つ天体としてブラックホールが挙げられる。申請者の研究目的はブラックホール内部における特異点を回避する重力の修正が、ブラックホール周りの時空にも変化を及ぼし、宇宙の加速膨張を引き起こすモデルが、観測された宇宙の膨張を実現できるかを検証することであった。

本研究においては、特異点を持たないブラックホール解を外部領域において正の宇宙項を持つ真空解、すなわちド・ジッター時空に接続させることができるという先行研究の結果を踏まえ、個々のブラックホールがその周囲の時空を局所的にド・ジッター化するというシナリオを検討した。この局所的なド・ジッター領域が宇宙全体に分布することで、暗黒エネルギーに相当する成分となり、加速膨張を引き起こされるという描像である。

このモデルにおいて実際の宇宙膨張の膨張率はブラックホールの数密度に依存するため、宇宙論的なブラックホール形成シミュレーションで得られたブラックホールの数密度を用いて暗黒エネルギーのエネルギー密度の時間変化をモデル化し、Planck 衛星による宇宙マイクロ波背景放射のデータと地上の Mayall 4m 望遠鏡に搭載された分光観測装置 Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI) による銀河分光サーベイから得られたバリオン音響振動 (BAO) 測定データ、複数の Ia 型超新星の観測データを統合したデータセット「Unions3」を用いて検証した。ここで BAO は、宇宙が高温の時代においてバリオンが光子と結合し、光子の圧力によって音響振動をする現象であり、銀河分布の二点相関関数に典型的なピークとして現れる。

解析の結果、本研究で検討したモデルは観測データとの整合性において統計的に有意な不一致を示した。特に BAO のデータに対しては、そのデータ点の数に対し大きくカイ二乗が悪化しており、BAO データで示唆される宇宙の膨張率を再現できていないことがわかった。本研究では、ブラックホールのミクロな性質と宇宙論的加速膨張を統一的に接続する試みに対し、宇宙論的観測データを用いた検証が有効であることを示した。