

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 号
------	---------

氏 名 村上 広椰

論 文 題 目 A Study on Enhancing Sensitivity to the Elements
beyond the Standard Cosmological Model Using Machine Learning

(機械学習を用いた解析による標準宇宙モデルを超えた要素への感度向上)

論文審査担当者

主 査	名古屋大学大学院理学研究科	教 授	博士(理学)	市來	淨與
委 員	統計数理研究所	教 授	博士(工学)	池田	思朗
委 員	名古屋大学大学院理学研究科	教 授	理学博士	川村	静児
委 員	名古屋大学大学院理学研究科	教 授	博士(理学)	田村	陽一
委 員	名古屋大学素粒子宇宙起源研究所	准教授	博士(理学)	宮武	広直

論文審査の結果の要旨

別紙 1 - 2

近年の天文学における様々な観測事実により、膨張宇宙を記述する標準宇宙論モデルとして、宇宙の加速膨張を引き起こす宇宙項 Λ 、大規模構造形成を引き起こす冷たい暗黒物質 (CDM) を含んだ Λ CDM モデルが広く受け入れられている。しかしながら、モデルに含まれる宇宙項 Λ および CDM についてはその正体・性質ともに未だ分からないことが多く、天文学・物理学にまたがった問題である。

標準宇宙論モデルの拡張として、宇宙項の導入ではなく重力理論の修正によって宇宙の加速膨張の説明を試みる修正重力理論や、冷たい暗黒物質とは異なる暗黒物質モデル(NCDM)が考えられており、その検証が進められている。これらの性質の違いは宇宙の物質密度揺らぎの特徴に現れるが、その情報が多く含まれる比較的小さな空間スケールでは、重力の非線形効果や、天体からのフィードバックによる天体物理学的な効果により、観測との比較に用いられる統計量を理論から解析的にモデル化することが困難であるという問題があった。

そこで、この問題を回避する手法として、機械学習の画像解析手法である畳み込みニューラルネットワーク(CNN)に着目した。まず修正重力の検証に関連し、重力による物質密度揺らぎの成長速度を記述するパラメータである線形成長率の推定を取り上げた。既存の手法では、銀河分布などの観測から得られる密度揺らぎの二点統計量と、理論的に予測される二点統計量を比較することにより成長率を推定するが、本手法では観測画像から直接、成長率の推定値を得ることができる。本論文では、重力多体シミュレーションデータから得られた物質密度揺らぎのデータを用いて CNN の学習と精度評価を行なった。その結果、CNN はシミュレーションデータの解析について、非線形成長のモデル化なしに、モデル化したパワースペクトルを用いた解析と比較して、同程度の精度で成長率の推定を行えることを示した。

次に、NCDM モデルの粒子質量について CNN を用いた検証を行なった。NCDM はその大きな速度分散による自由流によって密度揺らぎに影響を及ぼすが、自由流の大きさがその粒子質量に依存するため、物質分布から粒子質量についての情報が得られる。従来の二点統計量を用いる方法では、NCDM の未だ制限されていない質量帯の探索のために非線形効果が現れる空間スケールを調べる必要があり、二点統計量ではそこに含まれる情報全てを取り出すことができない。そこで本研究では、近い将来に大規模な観測が予定されている中性水素ガス分布の解析を想定し、宇宙論的流体シミュレーションデータを用いた CNN の学習と評価を行なった。シミュレーションデータを用いた NCDM の質量制限について CNN と二点統計量でその結果を比較し、CNN の方がより厳しい制限を与えることを示した。加えて、天体現象由来の影響や観測機器のノイズについての議論を行った。

本論文では、物質密度揺らぎの成長率、および NCDM の質量への宇宙論からの制限について、機械学習に基づいた新しい手法の開発に成功した。機械学習による方法は解析的に困難であったモデル化の問題を回避し、従来の二点統計に基づく手法と比較してより強力な制限能力をもつことを示したものであり高く評価できる。以上の理由により、申請者は博士(理学)の学位を授与される十分な資格があるものと認められる。