

別紙 4

報告番 -	※ 甲 第 号
----------	---------

主 論 文 の 要 旨

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
標準宇宙論モデルを超えた要素への感度向上)
氏 名 村上 広椰

論 文 内 容 の 要 旨

宇宙の性質を記述するモデルとして、 Λ CDM モデルが標準宇宙論モデルとして広く受け入れられている。 Λ CDM モデルは二つの要素、宇宙の加速膨張を起こす宇宙定数 Λ と、生成時点で非相対論的物質であるという仮定のおかれた暗黒物質モデルの cold dark matter から成る。しかし、これら二つの要素については未知の部分も多い。

標準宇宙論モデルの拡張として、 Λ 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、CDM と異なるモデル、すなわち生成時に相対論的物質であるような non-cold dark matter (NCDM) が考えられている。これらの仮定の違いは宇宙の物質分布の特徴に表れ、本研究ではこれを調べる手法として機械学習に着目した。

まず修正重力の検証に関連して、重力による物質分布の進化を記述するパラメータである線形成長率の推定を考える。既存手法ではその測定の際、銀河分布などの観測によって得られる物質分布の二点統計量と、理論的に予測される二点統計量を比較する。しかし二点統計量を理論予測には、重力の非線形成長が影響するスケールの二点統計量を記述する際に現象論的なモデル化が必要となる。そこで、このモデル化を行わない手法として、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。この手法では画像から直接推定値を得ることができる。本研究では N 体シミュレーションデータから得られた物質分布のデータを用いて CNN の

学習と評価を行なった。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、従来手法と同程度のオーダーの誤差で推定を行えることを示した。

また本研究では、CNN による NCDM の質量制限について検証を行なった。NCDM はその自由流によって物質分布に影響を及ぼし、また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 NCDM の質量について情報を得られる。従来これを調べる際には物質分布の二点統計量がよく用いられるが、NCDM の未だ制限されていない質量帯の探索のためには非線形効果が表れる空間スケールを調べる必要があり、二点統計量はそこに含まれる情報全てを取り出すことはできない。そこで新たな解析手法として CNN に着目した。本研究では、電波観測によってその分布が観測できる中性水素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て CNN の学習と評価を行なった。シミュレーションデータに対する NCDM の質量制限について CNN と二点統計でその結果を比較したところ、CNN が優位な結果を示した。加えて、天体现象由来の影響や観測機器のノイズについての議論を行なった。

本研究では、宇宙の物質分布の成長率、および NCDM の質量の制限について、シミュレーションデータを使って機械学習の手法の検証、従来手法との比較を行なった。結果として、機械学習はモデル化無しでの推定や、従来手法よりも強力な制限能力を示し得ることが分かった。