

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 クレ ナワラゲスチェータマナカル

(COORAY Nawalage Suchetha Manakal)

論 文 題 目 Machines to Learn the Multi-scale Physics of
Galaxies

(データ科学的方法によるマルチスケール銀河物理の解明)

論文審査担当者

主 査 名古屋大学大学院理学研究科 准教授 博士 (理学) 竹内努
委 員 名古屋大学大学院理学研究科 教授 博士 (理学) 渡邊智彦
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) 市來淨與

論文審査の結果の要旨

別紙 1 - 2

銀河とは、星、星間物質(ガスと星間塵)、および暗黒物質の集合体である。銀河は外的作用(銀河合体、物質の降着)および内的作用(星形成、フィードバック)を通じて進化する。これらの物理過程が関連するスケールは 10^{11} m から 10^{24} m までの広い範囲に及ぶため、その理解には宇宙論と天体物理学を組み合わせた包括的なマルチスケール理論が必要である。本論文ではマルチスケールを扱うためのデータ科学的新手法の開発と関連する物理現象の評価法構築を行った。

天文観測データは様々な理由から往々にして不完全である。不完全データでは観測を再現する解は一意に定まらない、不良設定問題が生じる。申請者は次の 2 つの重要な問題の解法を構築した。(1) 取得された「生の」天体画像は不要な前景天体、人工的アーティファクト、不良ピクセルの悪影響を受ける。申請者は不完全な信号を再構築する柔軟で効率の高い Gerchberg-Papoulis アルゴリズムを近傍銀河の一酸化炭素撮像探査プロジェクト(COMING)の電波画像に適用し、観測条件の変動で生じた画像欠損を再構築した。特にフラックス較正天体の画像復元によって、銀河の測定量の信頼性を 2 倍近く向上させた。(2) 磁場は銀河形成理論にとって重要な要素であるが、銀河磁場の観測に用いるファラデートモグラフィという手法の限界のため、観測されるデータは常に情報が劣化している。申請者は(1)のアルゴリズムを用いて劣化した情報を再構築する 2 つの手法(CRAFT および CRAFT+WS と呼ぶ)を開発した。まず CRAFT を実データを模したファラデートモグラフィシミュレーションに適用し、既存手法に比べ宇宙磁場情報の再構築能力が 3 倍程度向上したことを確認した。加えて CRAFT+WS ではウェーブレットのスパース性を利用し、微細な構造の性能をさらに向上させた。これは磁場から見た宇宙の物理情報取得と理解のための重要な手法を与えるもので、宇宙磁場研究に大きなインパクトを与える結果である。

一方、巨大化する天文データでは往々にしてデータの次元が高く冗長になっており、物理的直感で本質的性質を抽出することが難しい。しかし、現実の(超)高次元データの本質的構造は、はるかに低次元の部分空間(部分多様体)を形作ることが知られており、多様体原理とよばれている。これは、高次元データの元になった物理過程あるいは物理理論はずっと少ない物理量に由来することを意味する。従って、従って、機械学習を使って高次元データを低次元表現に変換する次元削減は、データから物理情報を抽出する自然な方法を提供する。申請者は、公開多波長銀河探査データ RCSED を用い、11 波長での銀河の光度が張るデータ空間に次元削減を適用した。この 11 次元多波長光度空間において、申請者はほとんどの銀河が 2 次元の部分多様体に集中することを示した。これが銀河多様体と呼ばれる構造である。銀河多様体は非線型な構造を持ち、主成分分析など古典的方法では適切な特徴づけが難しかったが、本結果によって定量化には 2 パラメータで十分であることが分かった。さらに、銀河へのガス流入・流出を考慮した古典的銀河進化理論との融合により、銀河が多様体上で進化する軌跡を定量化した。この軌跡の解析によって、銀河へのガス降着が銀河多様体の構造を決定している可能性が高いことが初めて示された。

これら一連の研究により、銀河進化を駆動するガス分布、磁場、ガス流入を統合的に扱い、進化の全体像を構築する画期的なデータ科学的手法を与えた。マルチスケールでの銀河物理の解明に大きく寄与する成果であり、学位論文として高く評価できる。また参考論文では COMING プロジェクトにおける近傍銀河の分子マッピング観測、長波長電波連続波による銀河の星形成率推定、高次元統計解析による銀河の分子輝線の特徴づけ、位相的データ解析を用いた銀河の空間分布の新しい解析法構築の研究に本質的に寄与した。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。