

主論文の要約

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

COORAY Nawalage Suchetha Manakal

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。本研究では、様々なデータ科学的方法を駆使することで広い範囲のスケール(マルチスケール)の銀河物理学の解明を試みた。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。これらの物理過程は、1011m から 1024m までの広い範囲のスケールに及ぶ。したがって、銀河の物理を理解するには、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、銀河の理解に近づくための新しいデータ科学的手法の開発と関連する物理現象の解析法を導入する。

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。この不完全性を解決することが不可欠であるが、データの不完全性を扱う問題はしばしば不良設定問題(ill-posed)となっている。即ち、観測を再現する解は一意には定まらない。申請者は次に上げる3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、不良ピクセルの混入の悪影響を受けている。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することに成功した。(2) 磁場は銀河形成理論にとって重要な要素である。しかしこの観測に用いるファラデーモグラフィという手法の限界のため、観測データは情報が劣化した状態でしか得られない。申請者は、ファラデーモグラフィで劣化した情報を再構築する2つの手法(CRAFT および CRAFT+WS と名づけている)を開発した。実データを模した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格段に向上したことを確認した。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。

一方、巨大化する天文データは完全すぎる(over-complete)、即ち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状況にある。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に集中しており、ほとんどのデータは低次元の構造(部分多様体)を形作ることが知られている(多様体原理)。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、次元削減は機械学習が高次元データを低次元表現に変換することによって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、公開されている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データ科学的手法を与えた