

論文内容の要旨

氏 名 (奥 裕 理)

論文題名

Physically-motivated feedback models and the IGM metal enrichment in cosmological hydrodynamic simulations
(宇宙論的流体シミュレーションにおける物理的フィードバックモデルの構築と銀河間空間の金属汚染)

論文内容の要旨

宇宙の構造形成史の解明は宇宙物理学と宇宙論の両方における一大目標であり、宇宙大規模構造の構成単位である銀河の形成過程を理解することはその中核を成す課題である。この課題に対して、宇宙論的流体シミュレーションは直接的な理論予言を与える道具として広く使われている。宇宙論の標準モデルとされる Λ CDM宇宙での銀河形成においては、観測と理論の両側から、超新星爆発や活動銀河核などの天体活動によるフィードバックが重要であると示唆されている。しかし、計算領域がMpcを超える宇宙論的シミュレーションの中でpcスケールの天体物理の効果を直接扱うことは計算コスト的に困難であり、フィードバック効果を粗視化したモデルを導入する必要がある。

フィードバックのモデルは宇宙論的流体シミュレーションにおける最大の不定性要素であり、多くの先行研究では銀河観測を再現するようにファインチューニングされた現象論的モデルが使われている。しかし近年、銀河観測を再現するモデルであっても銀河周辺物質の観測を再現できないことが指摘されている。銀河形成を包括的に理解し、将来の高感度観測に向けた理論予言をするためには、pcスケールの物理に基づいたモデルが必要である。

本研究では、pcスケールを分解する高分解能シミュレーションに基づいた物理的な超新星フィードバックモデルを構築した。超新星フィードバックによる物理的な影響と数値計算上の制約を考慮して、フィードバックが星間ガスに与える力学的効果と銀河周辺ガスに与える銀河風の効果を両方取り込んだモデルを開発し、このモデルを宇宙論的流体シミュレーションコードGADGET4-Osakaに実装した。また、超巨大ブラックホールの形成、進化および活動銀河核としてのフィードバック効果のモデルと、星の初期質量関数の金属量依存性を考慮した化学進化モデルも実装した。

GADGET4-Osakaコードを使用して、共同体積 $(50 \text{ Mpc}/h)^3$ の計算領域で赤方偏移39の初期宇宙から現在までの構造形成と銀河形成をシミュレーションし、シミュレーションデータセット CROCODILE (Cosmological hydrodynamical simulation of strUcture fOrmation and feeDback physIcs in galaxy Evolution) を構築した。CROCODILE シミュレーションは銀河の質量関数などの観測的統計量を概ね良く再現する。CROCODILE データセットを解析し、超新星と活動銀河核フィードバックが銀河間空間の金属汚染に与える影響を調べた。その結果、超新星フィードバックが金属汚染において主要な役割を果たしていることがわかった。一方で活動銀河核フィードバックは赤方偏移2以下で金属の分布に影響を与え、活動銀河核アウトフローによって数Mpcスケールの非等方な金属汚染領域を作ることがわかった。