



Title	Physically-motivated feedback models and the IGM metal enrichment in cosmological hydrodynamic simulations
Author(s)	奥, 裕理
Citation	大阪大学, 2024, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/96417">https://doi.org/10.18910/96417</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

## 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	
<p>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 <math>\Lambda</math>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>GADGET4-Osaka コードを使用して、共同体積 <math>(50 \text{ Mpc}/h)^3</math> 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。</p>	

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 奥 裕 理 )		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教授 長峯健太郎
	副 査	教授 松本 浩典
	副 査	准教授 井上 芳幸
	副 査	准教授 坂和 洋一
	副 査	准教授 増田 賢人

## 論文審査の結果の要旨

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要素の一つ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有用であり広く使われている。宇宙論の標準モデルとされる  $\Lambda$  cold dark matter (CDM) 宇宙における銀河形成では、観測・理論の両方から超新星爆発や活動銀河核 (AGN) などによるフィードバック効果が重要であると示唆されている。しかし、計算領域がメガパーセク (Mpc) を超える宇宙論的シミュレーションの中でパーセク (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、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の両方を取り込んだモデルを開発し、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 AGN フィードバックモデル、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、共同体的積  $(50 \text{ Mpc/h})^3$  の計算領域で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、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 データセットを解析したところ、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ことがわかった。さらに超新星と AGN フィードバックが銀河間空間の金属汚染に与える影響も調べた。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、AGN フィードバックは赤方偏移 2 以下の宇宙で金属の分布に強い影響を与え、AGN 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。

上記の結果は、宇宙論的な構造形成研究において重要な知見を与えるものである。

よって、本論文は博士 (理学) の学位論文として十分価値あるものと認める。