The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Galaxy Evolution and Radiative Properties in the Epoch of Reionization: multi-wavelength analysis in cosmological hydrodynamic simulations
Author(s)	荒田, 翔平
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/76405
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　荒田　翔平　）	
論文題名	Galaxy Evolution and Radiative Properties in the Epoch of Reionization: multi-wavelength analysis in cosmological hydrodynamic simulations （宇宙再電離期における銀河進化と輻射特性：宇宙論的流体シミュレーションを用いた多波長解析）

論文内容の要旨

ビッグバンからおよそ10億年（赤方偏移6）以内の銀河「初代銀河」は、銀河間ガスを電離して宇宙の熱史を遷移させた重要天体と考えられている。標準的な宇宙論モデルでは、初代銀河は合体成長を繰り返して現在の巨大銀河となる。すなわち、初代銀河は銀河進化における初期段階であり、その形成過程の理解は天文学の最重要課題のひとつである。初代銀河は紫外線（UV）連続光・ダスト連続光・金属輝線（[O_{III}]88μmや[C_{II}]158μm）など多波長で検出され始めている。これらの観測により、初代銀河の輻射特性には多様性があることが明らかとなった。本研究の目的は、どのようにして観測的多様性が生まれたのか、また銀河進化とどのように関係するのかを明らかにすることである。

我々は宇宙論的流体計算と多波長輻射輸送計算を組み合わせ、赤方偏移6-15における銀河進化と輻射特性を調べた。初代銀河では超新星爆発の影響により星形成が間欠的に進む。ダスト分布が間欠的星形成とともに変化することで、UV光子の脱出率が20-80%の間で変動することが分かった。ダストが効率的にUVを吸収したとき、再放射によって銀河は赤外線で明るくなる。我々は多数の銀河サンプルを用いてALMA望遠鏡による検出確率を予測した。その結果、検出限界0.01mJyの次世代サーベイによって宇宙再電離期におけるサブミリ銀河の数密度は現在のUV観測と同程度に達することが分かった。

[O_{III}]輝線は大質量星周りのH_{II}領域から放射されるため、星形成のフェーズでのみ明るくなる。一方、[C_{II}]輝線はアウトフローのフェーズでもH_{I}領域から放射され続ける。我々は高感度の[C_{II}]観測により20 physical kpcに広がった中性ガスをトレースできることを示した。また、[O_{III}]/[C_{II}]の光度比が銀河進化とともに減少することが分かった。これは、初期にはII型超新星爆発で支配されていた元素組成比O/Cが、AGB星による炭素汚染によって減少するためである。さらに、多数の銀河サンプルから平均的な[C_{II}]表面輝度分布を調べた。その結果、中心から5 physical kpc以内の非常にピーキーな成分と、外側の広がった成分から成ることが分かった。一方、観測結果(Fujimoto et al. 2019)は約10kpcスケールに渡ってなだらかに広がった分布を示しており、現在のシミュレーションのフィードバックモデルに改良の余地があることを示唆している。

我々の高分解能計算は重元素とダストの３次元構造を捉えることで、超新星爆発の影響による輻射特性の変動を、輝線を含む多波長において初めて定量的に示した。また、初代銀河の観測的多様性の起源を間欠的星形成によって統一的に説明することに成功した。我々の計算は観測との直接比較が可能であり、次世代の観測計画に応用される。逆に深いサーベイ観測によって宇宙初期のサブミリ銀河の数密度や[O_{III}]/[C_{II}]の光度比がより正確になれば、星形成やフィードバックの理論モデルを制限できる。最後に理論計算と観測との整合性から、冷たい暗黒物質に支配された標準宇宙モデルの妥当性が示唆された。

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（荒田　翔平）			
論文審査担当者	（職）	氏　名	
	主査	教　授	長峯　健太郎
	副査	教　授	寺田　健太郎
	副査	教　授	住　貴宏
	副査	准教授	藤田　裕
	副査	教　授	大内　正己
			（国立天文台/東京大学宇宙線研究所）

論文審査の結果の要旨

宇宙の銀河間空間に広く分布するガスは、ビッグバンからおよそ 10 億年（赤方偏移 z～6）頃までに中性から電離状態に遷移したことが、宇宙背景放射やクエーサーなどの観測から知られている。この「宇宙再電離」を起こした電離光子は、主に初代銀河とよばれるこの時代の銀河から放出されたと考えられており、その形成と進化を理解することは、現代宇宙論研究の最重要課題の一つとなっている。近年の観測によって、初代銀河は紫外線（UV）連続光と赤外線のダスト連続光・金属輝線（[O_{III}]88μm や[C_{II}]158μm）など多波長で検出され始めており、その輻射特性には多様性があることが明らかになってきた。申請者の博士論文研究の目的は、どのようにして初代銀河の観測的多様性が生まれたのか、またそれが銀河進化とどのように関係するのかを明らかにすることである。

申請者は宇宙論的流体シミュレーションと多波長輻射輸送計算を組み合わせ、z=6-15 における銀河進化と輻射特性を調べた。その結果、超新星爆発の影響により星形成が間欠的に進み、ダスト分布が共に変化することで、波長 2000Å程度の UV 光子の脱出率が 20-80%の間で変動することを見出した。また、ダストが効率的に UV 光を吸収すると、その再放射によって銀河は赤外線や電波で明るくなるため、検出限界 0.01mJy の次世代 ALMA 探査で検出される宇宙再電離期におけるサブミリ銀河の数密度は、UV 観測で見つかっている銀河の数密度と同程度であることも予言した。

申請者は、[O_{III}]と[C_{II}] 輝線に関する非平衡計算を行うコードを独自に開発し、初代銀河からの輝線放射について計算した。[O_{III}]輝線は大質量星周りの H_{II} 領域から放射されるため、星形成が活発な時期でのみ明るくなる一方、[C_{II}]輝線はアウトフローが起こる時期でも H_{I} 領域から放射され続ける。申請者はシミュレーション内の多数の銀河から平均的な[C_{II}]表面輝度分布を計算し、中心から 5 physical kpc 以内の銀河からの放射を含む中心集中した成分と、外側の数十 physical kpc にまで広がった成分から成ることを見出した。この結果は、よりなだらかに広がった観測結果(Fujimoto et al. 2019)と比べて対照的であり、現在のシミュレーションのフィードバックモデルに改良の余地があるかもしれない事を示唆している。また、[O_{III}]/[C_{II}]の光度比が銀河進化とともに減少することも見出し、初期には II 型超新星爆発で支配されていた元素組成比 O/C が、AGB 星による炭素汚染によって減少するためであることを解明した。

まとめると、申請者は超新星爆発の影響による輻射特性の変動を、輝線を含む多波長において定量的に示し、また、初代銀河の観測的多様性の起源を間欠的星形成によって統一的に説明することに成功した。申請者の研究結果は、初代銀河の形成過程について重要な知見を与えるものである。従って申請者の研究は高い価値を有し、博士（理学）の学位を授与するにふさわしいと判断する。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。