

学位論文題名

Study of Proto-clusters
by a Cosmological N-body Simulation

(重力多体数値計算を用いた原始銀河団領域に関する研究)

学位論文内容の要旨

1 背景と動機

近年の観測的宇宙論の飛躍的な発展、特に宇宙背景放射の観測衛星 WMAP の観測結果から我々の宇宙は空間的に平坦で宇宙項を持つという Λ CDM モデルであることが強く示唆されている。CDM モデルの元では宇宙の構造はスケールの小さいものから先に形成され、その小さな構造が合体、成長することでより大きな構造が形成されるという階層的構造形成によって形作られる。

一方、最近の Subaru 等の大口径望遠鏡による遠方宇宙の大規模な観測から Lyman α emitters (LAEs), Lyman break galaxies (LBGs) と呼ばれる銀河が高赤方偏移 ($z = 4-5$ 程度) において密集している領域が発見されている。特に、Shimasaku et al.(2003) の $z \sim 5$ の観測では LAEs の密集した領域の近傍に、LAEs の極端に少ない、void 状の構造も見つかっており、彼らはこれを現在の大規模構造に対応するものであると主張している。しかし、彼らは大規模構造と呼ぶには十分な領域を観測していない。また、 Λ CDM モデルの元で、このような高赤方偏移における銀河の集中(原始銀河団領域と呼ばれている)や大規模構造に対応するような、大きな構造が形成され得るかは十分調べられていない。

そこで、我々は大規模な数値計算を用いて Λ CDM 宇宙モデルで原始銀河団領域がいかなる特徴を持つか、また、高赤方偏移において LAEs による大規模構造に対応するものが形成可能であるかを調べることにした。

2 手法

本研究では Λ CDM 宇宙における構造形成を調べるため 256^3 (~ 1677 万) 体のダークマター粒子を用いて大規模な重力多体計算を行った。計算機は北大計算機センターの Onyx300 を使い、並列計算を可能にするコードを開発し、16 CPU の並列計算を行った。計算する領域は、現在までに銀河団が十分な数(数十程度)形成されるのに必要な大きさ(一辺約 200Mpc の立方体)とし、周期境界条件を課した。重力計算手法として P^3M 法を用い、宇宙初期 ($z = 35$) から現在 ($z = 0$) に至るまでのダークマター粒子の運動を解き、現在の時点で銀河団を同定する。そして、その銀河団に含まれている粒子が、過去どのように分布していたか、それらの粒子の分布している領域(原始銀河団領域)をその他の領域(field と呼ばれる)と比較して、どのような特徴を持つかを調べた。また、100Mpc スケールの大規模構造が高赤方偏移の宇宙において形成可能かどうかを調べた。さらに、ダークマターが重力的に束縛された系であるダークハローのうち、銀河のダークハローに相当するものがどのように分布しているかについても調べた。このダークハロー内で銀河が形成され、それが観測されると期待されるからである。

3 結果と結論

数値計算の結果を現在 ($z = 0$) と高赤方偏移 ($z = 5$) におけるダークマター (Fig.1,2) とダークハロー (Fig.3) の分布について示す。これらの結果について $z = 0$ における銀河団 37 個を同定し、それらが高赤方偏移で示す特徴、特に銀河スケールのダークハローの分布について調べた。

以上の結果、次のことが明らかになった。

- 原始銀河団領域において $10^{12} M_{\odot}$ 以上の質量を持つダークハローは宇宙全体の 3-5 倍 ($z = 4$)、1.3-10 倍 ($z = 5$) の密度で存在し、平均的な宇宙とは非常に異なった特徴を持つ。
- 原始銀河団領域ではダークハローの集中度はダークマターの集中度に比べて大きく、その程度は赤方偏移が大きいほど著しい。
- 質量の大きなダークハローの周囲に原始銀河団領域が存在する確率は平均的な宇宙よりも大きい
- $z = 5$ において、ダークマターの分布は大規模構造を作っていないが、 $10^{12} M_{\odot}$ 以上の質量を持つダークハローは既に大規模構造のように分布している (Fig.3)。

以上の結果は、ダークハローが原始銀河団領域で選択的に早く形成されるためであると理解できる。なぜなら、原始銀河団領域は他の領域に比べて密度が大きいいため、ダークマターが集中するよりも先に、ダークハローがその領域で形成されるためである。

また、以上の結果は $10^{12} M_{\odot}$ 以上のダークハローが LAEs に対応するとすれば、Shimasaku et al.(2003), Venemans et al.(2002) などの原始銀河団領域の観測と非常によく一致している。このことから本研究は、 $10^{12} M_{\odot}$ 以上のダークハローが LAEs に対応し、近傍宇宙で見られている、いわゆる大規模構造が、 $z = 5$ で既に LAEs 等の特異な銀河によって形成されていることを予測するという興味深い結果を与えた。

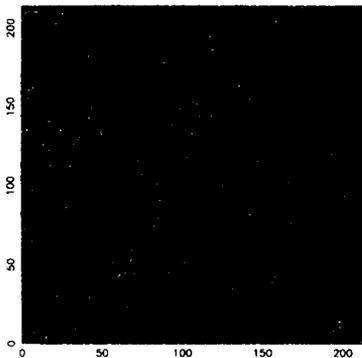


Fig.1: $z = 0$ における計算領域全体でのダークマターの分布。色は密度に対応する。

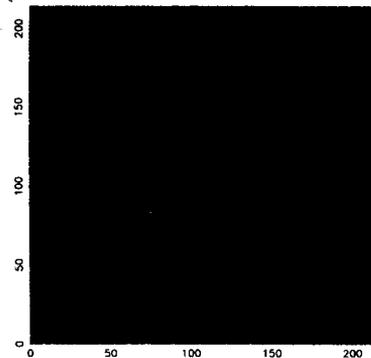


Fig.2: $z = 5$ における計算領域全体でのダークマターの分布。色は密度に対応する。

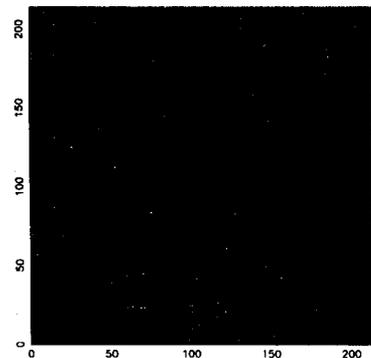


Fig.3: $z = 5$ における計算領域全体でのダークハローの分布。 $z = 0$ での大規模構造に対応する構造が見える。

学位論文審査の要旨

主査	助教授	羽部朝男
副査	教授	藤本正行
副査	教授	河本昇
副査	助教授	大西明
副査	助教授	兼古昇

学位論文題名

Study of Proto-clusters by a Cosmological N-body Simulation

(重力多体数値計算を用いた原始銀河団領域に関する研究)

最近の宇宙背景放射の観測から、宇宙年齢、宇宙の膨張速度、ダークマターとバリオンの宇宙における密度などがかなり明確になり、こうした宇宙での宇宙の密度揺らぎから、現在の銀河や銀河団そして宇宙の大構造の形成を明らかにすることが、重要な研究課題となってきている。宇宙の構造形成の初期の段階を観測するため遠方宇宙の観測がすばる望遠鏡などを用いて盛んに観測がすすめられ、 $z=5$ の宇宙で Lyman alpha emitter 銀河が、原始銀河団を形成していると示唆されている。しかし、宇宙の構造形成の理論的な研究とどのように関係しているのかは明らかにされていなかった。

そこで、申請者は、こうした発見と宇宙論的な構造形成との関連を明らかにするために、宇宙論的な構造形成に関する数値シミュレーションをダークマターに関して行い、宇宙初期における原始銀河団形成の可能性を調べた。こうしたことを行うには、計算が非常に大規模になり実行が事実上不可能になると言う困難があったが、申請者は並列計算可能な数値モデルを開発して、これを可能にした。その結果、 $z=5$ における原始銀河団の様子を明らかにした。ダークマターは原始銀河団に十分集中していても関わらず、我々の銀河のダークハローに匹敵する質量のダークハローが10個程度既に形成されていることを示した。この結果は、すばるの観測とよく対応している。さらに、これら銀河ダークハローの原始銀河団における over density の頻度分布とその宇宙膨張による進化を明らかにし、原始銀河団を手がかりにして宇宙の構造形成を調べる可能性を示した。この結果は、 $z=5$ という宇宙初期に宇宙論的に原始銀河団の

形成を具体的に明らかにした研究として評価され、宇宙の構造形成の早い段階を理論的および観測的に調べる研究に対して貢献するところ大なるものがある。

よって審査員一同は、著者が北海道大学博士(理学)の学位を授与される資格あるものと認める。