

受付ID	15a-19
分野	宇宙

大規模シミュレーションで探る銀河形成ならびに進化

The Formation and Evolution of Galaxies

清水一紘

大阪大学 大学院 理学研究科 宇宙地球科学専攻

1. 研究目的

初代星、次世代星形成、初代銀河シミュレーション

宇宙初期の初代星・初代銀河は2020年代の次世代望遠鏡による観測ターゲットの1つであり、観測提案を行うためにも理論サイドにはそれらの形成・進化シナリオを確立することが求められている。宇宙の構造形成の進化を明らかにする第一歩として、初代銀河のスペクトルなどの観測的性質を決定するには、構成要素である星の質量分布・化学組成など明らかにする必要がある。初代銀河を構成する天体の形成過程を調べ、それらを統合して初代銀河形成シナリオを第一原理的に明らかにする。

銀河形成・進化シミュレーション

銀河形成・進化を理解するためには、ビッグバンから現在に至る宇宙138億年の中でどのように銀河形成・進化が進んでいくかを、銀河の形態進化、環境効果等の問題を踏まえて一つのシミュレーション内で取り扱う必要がある。この問題に向けて、超高解像度・大規模計算領域宇宙論的流体シミュレーションを行う必要がある。本研究では特に、ハッブル宇宙望遠鏡では観測が不可能で、JWSTやTMTといった将来観測機器で発見されるであろう宇宙暗黒時代の銀河の性質を理論的に予言する事を目的とする。

2. 研究成果の内容

(1) 初代星質量の宇宙論的初期条件依存

ビッグバン後の宇宙で最初に誕生する第一世代星は宇宙の初期進化において重要であり、星の一生を左右する星質量が重要なパラメータとなる。今年度は第一世代星質量の系統的調査を拡張するため、主に宇宙論的初期条件の見直しを行った。(1a) 第一世代星スケールの始原的密度ゆらぎを変化させた際に第一世代星の形成時期・星質量が大きく変化することを確認した。これは将来観測によって小規模密度ゆらぎが変更された場合、宇宙初期の天体形成シナリオに影響が波及することを示唆している。(1b) 近年その影響が示唆された宇宙論的効果 Streaming Velocity が第一世代星形成に及ぼす影響を調べた。宇宙論的シミュレーションより、Streaming Velocity の大きさによっては10以上の第一世代星からなる星団、または1万太陽質量以上の大質量星が形成されうることを確認した。

(2) 低金属量星形成ガス雲の進化と星形成

初代銀河の星質量分布を明らかにするには、第一世代星形成に続く金属欠乏星の形成を知ることが不可欠である。今年度はいくつかの低金属量ガス雲について収縮計算を行った。その結果、(2a) 金属量が $10^{-6} Z_{\text{sun}}$ (Z_{sun} は太陽金属量) 以下のとき、原始星の降着円盤の分裂が見られた一方、 $10^{-5} Z_{\text{sun}}$ 以上ではダスト冷却によりガス雲が伸長し分裂するように、分裂には二つのモードがあることがわかった。(2b) 金属量 $10^{-5} Z_{\text{sun}}$ 以上では、ほとんどのガス雲に対して水素分子形成に伴うガス加熱でガス雲の伸長が抑制された。ただし、 $10^{-4} Z_{\text{sun}}$ については、一つのガス雲に対して OH 分子冷却がガス雲の伸長を促進し、最終的に分裂が起きた。(2c) このように、重要となる冷却/加熱過程がガス雲によって異なるのは、それらの収縮時間の違いによる。ガス雲の分裂条件は、金属量だけでは決まらないという結果が得られた。

(3) JWST、TMT といった将来観測に向けた、極初期宇宙における銀河形成の解明

UV 域から optical 域の間には、CIII]1909 のほか、[OIII]3727, [OIII]4959, 5007, H α , H β といった様々な明るい輝線があることが知られており、それらは将来観測機器の良い分光観測ターゲットとなりうる。そこで本研究では、宇宙論的流体銀河形成進化モデルと Cloudy の結果を導入して、 $z = 7$ を超える高赤方偏移銀河の輝線強度を見積もり、観測可能性を調べた。結果として、WISH で観測された高赤方偏移銀河 ($z > 10$) のさまざまな輝線 (CIII]1909, [OIII]5007, H α 輝線等) は JWST や TMT の良い分光観測ターゲットとなる事が分かった。

3. 学際共同利用として実施した意義

本研究は宇宙初期の天体形成を明らかにするための複数の課題から構成されている。計算には同じコードを課題に合わせてチューニングしたものをを用いており、さらに互いの研究成果が影響し合うため、メンバー間での密な議論が重要となった。本研究で行う宇宙論的シミュレーションは宇宙の大規模構造から星形成ガス雲まで幅広いダイナミックレンジを取り扱う。必要な計算分解能を実現するためには膨大な計算コストが掛かるため、共同利用計算機のような大規模並列計算機を必要とする。

4. 今後の展望

初代星、次世代星形成、初代銀河シミュレーション

今後は、これまで個別に調べていた第一・第二世代星形成を続けて計算することで、初代銀河における多数の星形成過程を取り扱えるようにする。このとき、第一世代星の超新星による金属、ダスト汚染を考慮することが不可欠である。また銀河中心の超大質量ブラックホールの形成メカニズムと周囲の星形成過程への影響を調べ、初代銀河モデル構築を進める。

銀河形成・進化シミュレーション

今後は、シミュレーションのさらに解像度を上げることで、銀河内部の物質 (ガス、星) の循環・構造 (インフロー、アウトフロー)、そして銀河形態を議論できるようにすること。さらに他波長輻射輸送計算を行う事でより現実的な銀河内部の構造や形態を議論できるようにする事が今後の展望になる。銀河内部の物質循環を詳細に調べる事で、物質の循環が銀河形成でどの程度銀河構造に

影響を与えるかが明らかになっていくと期待している。

5. 成果発表

- (1) 学術論文 2件
- (2) 学会発表 8件(国内) 5件(国外)
- (3) その他

使用計算機	使用計算機に○	配分リソース*
HA-PACS		
HA-PACS/TCA		
COMA	○	2200 時間
※配分リソースについては 32node 換算時間をご記入ください。		