

受付ID	17a3
分野	宇宙

宇宙流体シミュレーションによる初期天体形成の研究

Structure Formation in the Early Universe using Hydrodynamic Simulation

代表者氏名 梅村雅之

所属 筑波大学計算科学研究センター

1. 研究目的

宇宙晴れ上がり期から宇宙で最初の恒星・銀河が形成されるまでの宇宙暗黒時代は、宇宙再電離が起きるなど宇宙における天体形成を理解するうえで重要な時期であるが、そのほとんどは未だに観測が及ばないこともあり理論的にも観測的にも不明な点が多い。

近年、この宇宙暗黒時代の宇宙の様子を観測する手段として中性水素の21cm線を大規模な電波干渉計を用いて観測する Square Kilometer Array (SKA) などの観測計画が提案されており、これらの観測計画におけるサイエンスの開拓が期待されている。更に、宇宙暗黒時代の終盤にかりうじて観測できる宇宙最遠方の Lyman- α 銀河の大規模なサーベイ観測が行われており、宇宙暗黒時代の天体形成についての観測的研究が端緒についたところである。本プロジェクトの目的は、宇宙流体シミュレーションによって、宇宙暗黒時代から初代天体形成期にかけての初期宇宙での天体形成について探究することである。

2. 研究成果の内容

2017年度の学際共同利用では、メッシュ法に基づく輻射流体シミュレーションコードを用いてガス雲の重力収縮による初代星を数値シミュレーションした。この計算は、これまで考慮されていなかった電離領域での水素の基底状態への再結合に伴う放射（再結合放射）を整合的に考慮した輻射流体シミュレーションである。この計算では、初代星の中で POPIII.1 からの輻射の影響下にある POPIII.2 の星形成をシミュレーションした。POPIII.1 からの輻射を ARGOT (Accelerated Radiative transfer on Grids using Oct-Tree) 法、再結合光子からの輻射の計算を ART (Authentic Radiative Transfer) 法を用い計算し、流体と結合した3次元の輻射流体計算をすることによって、再結合光子を考慮した場合 (case A) は考慮しない場合 (case B) に比べて、水素分子形成が電子を触媒として効率よく進行することで冷却が早く起こり、重力収縮が加速して POPIII.2 の形成が促進されることを明らかにした。初代星の中で第1世代に形成された POPIII.1 からの輻射の影響下で、第2世代の POPIII.2 がどのように形成されるかは、その後の銀河形成史に大きな影響を与える重要な問題であり、これまでは、光電離の際の再結合光子は、その場で吸収されるという近似 (On-the-spot 近似) を仮定した計算が行われてきたが、本研究は、再結合光子の輻射輸送を正確に扱い、On-the-spot 近似に比べて POPIII.2 の形成がより促進されること

を明らかにしたものであり、その意義は大きい。

また、Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) 法に基づく Lyman- α 輝線輻射輸送コード SEURAT (SPH scheme extended with ultraviolet line radiative transfer) を開発した。これを用いて、静的な一様球からの放射スペクトル計算、膨張するガス球からの放射スペクトル計算、ダストを含んだガス平板からの Lyman- α 光子の脱出確立、の計算を行い、Lyman- α 輝線輻射輸送が高い精度で計算できることを確認した。SEURAT は、非一様性が高い媒質中でも Lyman- α 輻射輸送を正確に計算することができ、Lyman- α 輝線からのスペクトルを正確に予想し、観測と突き合わせることで、内部の物理状態を解析することが可能にする。

3. 学際共同利用として実施した意義

宇宙初期天体形成において、紫外線連続光の輻射輸送による水素ガスの電離ならびに Lyman- α 光子の輻射輸送は、キーとなる物理過程であるが、学際共同利用によって、これらを正確に扱うコード開発を行うことができ、物理過程をこれまでの計算よりも正確に扱うことが可能となった。大規模計算のためのコード開発は、学際共同利用プログラムでなくては実現しないものであり、これを実施した意義は大きい。

4. 今後の展望

今後は、原始銀河での再結合放射を取り入れた数値シミュレーションを行い、銀河からの電離光子脱出率が再結合放射によって受ける影響が明らかになり、原始銀河の宇宙再電離に対する寄与をより正確に見積もることが可能になると期待される。また、Lyman- α 輝線の輻射輸送シミュレーションコード SEURAT を用いることで、以下のような科学的成果が期待される：

- (1) 原始銀河中での Ly α 光子の起源、銀河から放射される Ly α 輝線の観測的特性（輝線のプロファイル、光度）、Ly α 輝線と銀河間ガスの電離度との関連性の解明
- (2) Ly α 輝線が始原ガスの化学進化、冷却過程に与える影響の解明

5. 成果発表

添付資料の通り。

使用計算機	使用計算機 に○	配分リソース※	
		当初配分	追加配分
HA-PACS/TCA			
COMA	○	100800 ノード時間	20000 ノード時間
Oakforest-PACS			
※配分リソースについてはノード時間積をご記入ください。			