

輻射流体シミュレーションによる天体形成の研究

Structure Formation in the Universe using Radiation Hydrodynamic Simulations

大須賀 健

筑波大学計算科学研究センター

1. 研究目的

初期宇宙における天体は、密度ゆらぎが成長して形成されたと考えられるが、未解明な点が多い。宇宙の晴れ上がり後から最初の天体形成までの期間が未解明であり、初期宇宙に現れる超巨大ブラックホールの形成過程も謎に包まれている。紫外線輻射場中で進むはずのその後の天体形成もまだよくわかっていない。天体形成が進んだ結果、現在の宇宙のバリオンは、希薄な銀河間ガスとして存在しているはずであるが、その検証は不十分である。こうした問題では、輻射とガスの相互作用が重要であり、輻射流体力学計算および輻射輸送計算を用いた調査が必須である。そこで本プロジェクトでは、輻射流体・輻射輸送シミュレーションを実施することで天体の形成過程を解明することを目的とする。同時に、数値シミュレーションの高速化についても研究する。

2. 研究成果の内容

(1) AGN からの紫外線輻射を考慮した高赤方偏移銀河の輻射流体力学計算

本研究では、SPH 法による流体計算と紫外線輻射輸送を同時に解く輻射流体力学計算コード **START** を用いて、高赤方偏移銀河形成に関する宇宙論的ズームイン計算を実行した。特に、銀河中の大質量ブラックホールに着目し、星に加えて AGN からの電離光子によって形成される星間ガスの電離構造を詳細に解くことで、AGN が銀河の進化過程に与える影響について調べた。その結果、AGN からの輻射によって星形成が抑制されることや、またそれに伴う星からのフィードバックの抑制によってむしろその後の星形成が活発になることが明らかとなった。銀河からの電離光子の脱出率を評価したところ、光源として星のみを考慮した場合の脱出率が 1%程度であるのに対し、AGN も考慮した場合は最大で 40%程度まで上昇することがわかった。

(2) 重元素の超微細構造線による銀河間ガスの検出可能性

現在の宇宙のバリオンの大半は、希薄で温度が $10^5 \sim 10^7$ K 程度の銀河間ガスの状態で存在していることが知られている。しかし、観測手段が極めて限られており、現在

のところ X 線で明るく輝く天体と我々の間にある銀河間ガスをその影として検出することしかできていない。本研究では、銀河間ガスの新たな観測手段として銀河間ガスに含まれる重元素(窒素)の超微細構造線を用いることを提案し、宇宙論的構造形成シミュレーションによってこの手法による銀河間ガスの観測可能性を輻射輸送方程式を解くことで調査した。前年度に引き続いて、X 線スペクトルで吸収線が検出されている銀河間ガスに対する検出可能性、最新の宇宙大規模構造形成の数値シミュレーションデータを用いて観測可能性や宇宙大規模構造における重元素分布の推定方法を調査した。

(3)HI 21cm 吸収線系の模擬観測

宇宙の晴れ上がりから最初の天体が形成されてガスが電離される宇宙再電離期までの天体形成史を調べる手段として、ミニハローと呼ばれるビリアル温度が 10^4K 以下の小さいダークマターハローに含まれる中性水素を 21cm 線の吸収線として観測する手段がある。本研究では宇宙初期の宇宙大規模構造形成シミュレーションデータを用いて、遠方宇宙の電波領域で明るい天体と我々の視線上にあるミニハローが天体のスペクトル中に HI 21cm 線の吸収線をつくる様子を模擬観測し、その観測可能性や宇宙初期の密度揺らぎに関する宇宙論パラメータを評価する手法を開発した。

(4)超高光度 X 線源の一般相対論的輻射磁気流体力学計算

本研究では、一般相対論的輻射磁気流体力学計算コード、UWABAMI、を用いて中性子星周囲の超臨界降着流を調べた。その結果、円盤ガスは最終的に中性子星の磁極に降着することで、降着柱が形成されることがわかった。また、円盤および降着柱からは大量のガスが噴出し、光球面は数百か数千キロメートルになることがわかった。そこでの温度は約千万度であり、観測と無矛盾であることがわかった。

3. 学際共同利用が果たした役割と意義

本プロジェクトで実施した Lyman-alpha 輻射輸送、重元素(窒素)の超微細構造線の輻射輸送、HI 21cm 線の模擬観測、一般相対論的輻射磁気流体力学シミュレーションは、必要メモリにおいても計算時間においても小規模クラスタでは実行不可能であり、本プログラムによる大規模計算が不可欠であった。

4. 今後の展望

今後は、パラメータ範囲を広げてシミュレーションを実施し、観測データと直接比較をすることで高赤方偏移天体の形成・進化過程、高エネルギー天体現象の解明を目指す。効率的な計算の実施のため、引き続きコードの最適化も行う。

5. 成果発表

筑波大学計算科学研究センター学際共同利用報告書（様式2-1）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
Cygnus	○	4,480	
Oakforest-PACS	○	45,600	

※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。