

受付 ID	15a-42
分野	宇宙

## GPU を利用した輻射流体計算による銀河形成シミュレーション GPU-Accelerated Radiation Hydrodynamic Simulation of Galaxy Formation

吉川耕司  
筑波大学 計算科学研究センター

### 1. 研究目的

宇宙初期における天体形成過程の研究では、中性ガスの中で天体形成が進むため天体からの輻射輸送が重要な役割を果たし、天体形成の数値シミュレーションについても輻射輸送を考慮する必要がある。輻射輸送計算は計算コストが非常に大きいためこれまでの研究の多くでは整合的には考慮されず、ようやく近年になって天体からの輻射輸送とガスの流体力学的効果を同時に解く輻射流体シミュレーションによる天体形成の数値シミュレーションが行われるようになった。

前年度までの HA-PACS の学際共同利用において、上記の目的を達成するための土台となる GPU を利用した高速な輻射輸送・輻射流体シミュレーションコードを開発した。このコードは、非常に多数の点光源からの輻射輸送を効率的に解く ARGOT (Accelerated Radiative transfer on Grids using Oct-Tree)法と、再結合光子の輻射輸送を解く ART(Authentic Radiation Transfer)法を GPU で高速化したものである。本プロジェクトでは、このコードを用いて大質量星からの輻射性フィードバックを考慮した宇宙初期の原始銀河形成シミュレーションを行い、原始銀河形成が宇宙再電離を引き起こす過程を明らかにするとともに、再結合光子が原始銀河周囲の電離構造や電離光子脱出率にどのような影響を与えるかを調べる。

### 2. 研究成果の内容

今年度は、天体からの電離光子で電離した水素からの再結合放射が天体周囲のガスに及ぼす影響を調べる為、様々な初期条件で再結合放射を考慮した輻射流体シミュレーションを実施した。再結合放射を考慮しないシミュレーション結果と比較することで、(1) D-type と呼ばれる電離波面からの大量の再電離光子が電離波面を加速させていること、(2) 再電離光子による光加熱によってガスの温度が上昇しガスの運動状態も変化すること、を示すことができた。

また、ガスの自己重力を取り入れた数値シミュレーションにおいて、ガスの流体力学

への重力相互作用の組み込み方を、重力のなす仕事をメッシュ境界で評価する手法に変更することによってより良い精度で計算できるようになった。

### 3. 学際共同利用として実施した意義

我々の数値シミュレーションコードは、輻射輸送計算を GPU を用いて高速化することで、通常の CPU を用いた数値シミュレーションよりも 5 倍程度の高速化を実現している。特に、再結合放射などの空間的に広がった光源からの輻射輸送を計算するための ART 法の計算は GPU を用いた計算に適しており、ART 法のみでの計算時間では CPU を用いた計算の 10 倍程度の高速化を達成している。従って、HA-PACS を用いた我々の数値シミュレーションは他のスーパーコンピュータを用いては実施が困難なものであり、HA-PACS を利用した意義は非常に大きい。

### 4. 今後の展望

今後は、実際の天体形成の状況についての輻射輸送・輻射流体シミュレーションを実施することによって、引き続き再結合放射の役割を調べる。また、再結合放射と同様の空間的に広がった光源からの輻射として、星間物質中のダスト粒子からの赤外線放射の輻射輸送を統合的に取り入れた数値シミュレーションを行っていく予定である。

### 5. 成果発表

#### (1) 学術論文

Tanaka, S., Yoshikawa, K., Okamoto, T., Hasegawa, K., 2015, PASJ, 67, 62

#### (2) 学会発表

#### (3) その他

使用計算機	使用計算機に○	配分リソース*
HA-PACS	○	2400 時間
HA-PACS/TCA	○	160 時間
COMA		

※配分リソースについては 32node 換算時間をご記入ください。