

課題名(タイトル): 再電離期におけるミニハローの光蒸発: 金属量依存性

利用者氏名: ○仲谷峻平(1)

理研における所属研究室名: (1) 開拓研究本部 坂井星・惑星形成研究室

## 1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

宇宙誕生後、最初に形成する光源は周囲にある中性物質を電離、加熱しはじめる。電離領域は銀河間を伝搬し、やがて近傍の矮小銀河ミニハローにまで到達する。ハローにあるガスは加熱され散逸する。これが光蒸発である。このように初期宇宙の光源は宇宙論的な密度の非一様構造(ミニハロー)に影響を与える。また逆にミニハローの存在は宇宙初期の電離や再結合に影響を与える。これらの効果によりいわゆる再電離期の宇宙の進化が決まる。したがって、これらの詳細を明らかにすることは、宇宙の物質が誕生からいかに進化したかを明らかにするために必要である。

先行研究では、大質量星などの電離光源がハローに与える影響が調べられているが、その金属量依存性は未だ明らかになっていない。金属量はガスの熱化学に強く影響するため、それによりハローの光蒸発量に変化すると期待される。本研究では、金属量に依存する詳細な化学反応を取り入れた多次元輻射流体シミュレーションを遂行することで、宇宙再電離期におけるミニハロー光蒸発の金属量依存性を系統的に明らかにする。本研究結果は、より現実的な銀河形成モデルの構築や初期宇宙の 21cm 線観測の指針提供に応用できるため、派生研究を多く生むと期待される。本研究はこれらの文脈で意義深い。

## 2. 具体的な利用内容、計算方法

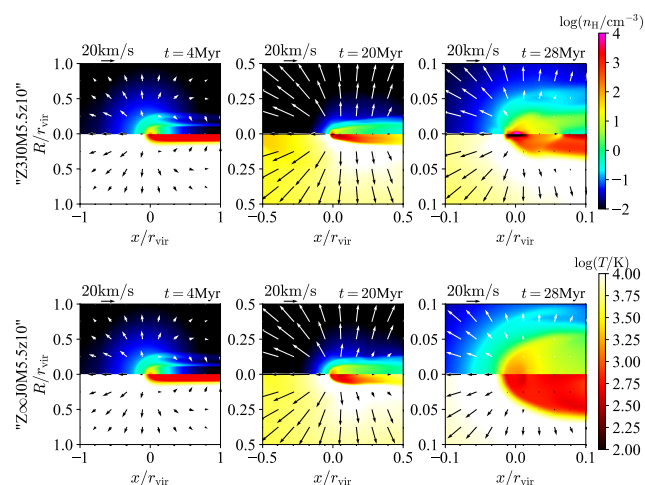
**利用内容** 本年度、当計算機の利用は極端に少なかった。(6参照)

**計算方法** 本研究では多次元磁気流体コード PLUTO に輻射輸送と化学反応を実装したコードを用いる(Nakatani et al. 2018a,b)。初期条件として、静的なミニハローを置き、計算開始とともに電離輻射場に晒し、その後の進化を流体計算により追う。流体と輻射輸送、化学反応の計算は同時に解かれており、この点が本研究の新しいところのひとつである。これらを同時に解くことで、系の進化を自己無撞着に解くことができる。

シミュレーションは、ミニハローの進化を特徴付けるパラメーター(金属量、輻射場強度、ハロー質量、赤方偏移)の組み合わせを変えて計 135 例行う。

## 3. 結果

以下の図は、135 例のうち、2 例をピックアップしてそのスナップショットを示したものである。各パネルの縦軸横軸は物理的距離で、1 がおよそ 1kpc ( $\sim 10^{18}$  cm) に対応する。各パネルの上側はガス密度構造、下側は温度構造、矢印は速度場を示し、その大きさは矢印の長さでスケールしている。上列は高金属量のハローの時間進化を表しており、左パネルから右パネルにかけて時間発展を表している。下パネルは同様に低金属量ハローの時間発展である。(明確にするために、時間が進むにつれてハロー中心部をズームアップするようにプロットしている。) 輻射場は各パネルの左側境界から入射している。



図で示されるように定金属量ハローの方が幾何学的に広がった構造を持ち、一方で高金属量ハローは中心部に凝縮した構造を持つ。高金属量ハローは金属によるガス冷却が強いため、ガスを低温にし、その結果として外部の高温ガスにより圧縮され、またハロー自身の重力により収縮する。一方で、低金属ハローは金属冷却が効かず、内部圧力がハロー自身の重力と釣り合ったまま進化するため、相対的に幾何学的に大きい構造を持つ。

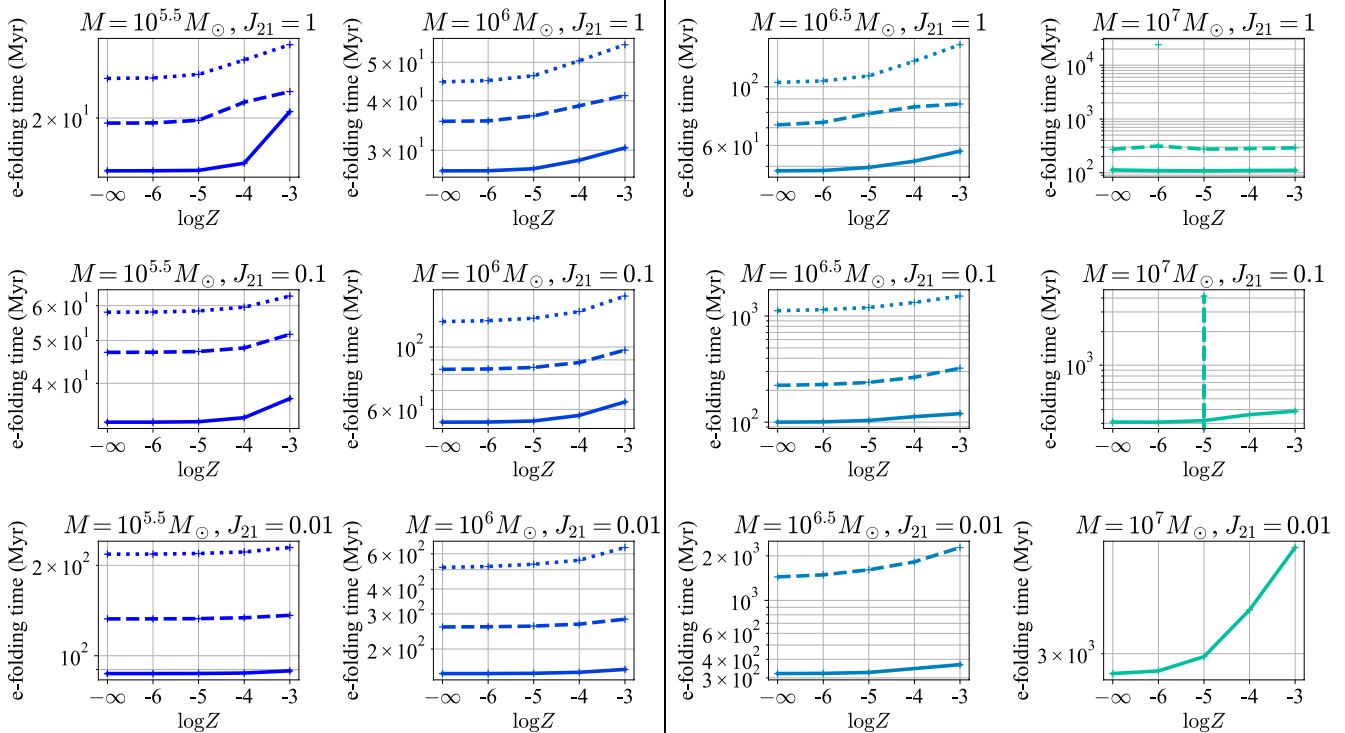
幾何構造が大きいことにより、外部輻射場に対する断面積も大きくなり、結果的に光蒸発率も低金属量ハローで大きくなる。

## 4. まとめ

上で述べたハロー金属量に対する光蒸発率の傾向は他の

パラメーターでのシミュレーションでも同様に成り立つ。一般に、低金属量ほどハロー寿命が短く、ハロー質量が大きいほど寿命が長くなることが明らかになった。また、輻射強度を強くした場合に、寿命が短くなることも明らかとなった。本研究は、これまでの先行研究で考慮されていなかった金属量が、ハロー蒸発とその進化に強く影響を与えることを初めて定量的に明らかにした。(下図は各パラメーターセットのシミュレーションで得られたハロー寿命をプロットし、その金属量依存性を示しているものの一部である。)

も成功したため、国立天文台クラスター計算機(アテルイ)で資源量が間に合った。しかし、本年度は考慮したパラメーター範囲が比較的狭かったことが当計算機の利用が極端に少なかった要因としてあるため、次年度の数倍広いパラメーター範囲を考慮する計算では当計算機が資源のひとつとして必要となる。



## 5. 今後の計画・展望

今回の研究により、高金属量ハローは寿命が比較的長いことが明らかとなった。これは暗に、先行研究ですぐに蒸発してしまうと結論づけられていた低質量ハローが、金属量が高い場合に生き残ることができることを示唆している。低質量・高金属量ハローの進化を議論した研究はこれまで全くないため、次の研究では低質量ハローもカバーしたパラメーター範囲で計算を行い、より一般的な状況設定でのハロー蒸発を明らかにする。そのような低質量ハローも実際に少なからず存在すると考えられているため、宇宙再電離期の進化全体を解明する上で必要不可欠な研究となる。

## 6. 利用がなかった場合の理由

計算資源が不足することが見込まれていたため、当計算機の利用申請をしたが、計算コードの処理高速化に図らず