

衝撃波圧縮を受けた低金属度ガスの熱進化に対する三次元流体計算

仲内 大翼 (東北大学)

利用カテゴリ XC-B

宇宙初期から現在に至る星形成の歴史を振り返ると、典型的な星質量は大質量から低質量へ遷移したと考えられる。重元素を含まない始原ガスから形成される初代星の性質は、理論的理解が進んでおり、典型的に大質量(10-1000太陽質量)であったと考えられる(Hirano et al. 2014)。一方第二世代星は、その母体となるガス雲の形成や典型的質量に関する理論的理解はあまり進んでいない。ただ観測的に低質量星も多々形成されることが明らかとなっている(Frebel et al. 2015)。

第二世代星に対して母体となるガス雲の形成や典型的質量を理解するためには、衝撃波圧縮を受けた低金属度ガスの熱進化を調べる必要がある。なぜなら第二世代星の形成時期では、恒星進化や超新星爆発の過程で合成された重元素やダストが星間空間にまき散らかされ、ガスの冷却に寄与し始めるからである。またこの頃には、銀河合体や銀河へのガス流入・超新星爆発に伴い発生した衝撃波により圧縮を受けて、密度が高くなった領域で星形成が誘発される可能性があるためである。

衝撃波圧縮を受けた低金属度ガスの熱進化を三次元流体計算により調べた先行研究(Inoue and Omukai 2015)では、初期に密度・温度揺らぎがあると熱的不安定性が成長して非一様な密度・温度構造が生じることがわかっている。また熱的不安定性により形成されたクランプは乱流状態にあることも示されている。しかしながら、先行研究では自己重力の効果を見逃した計算を行っているため、自己重力収縮するガス分裂片の形成過程は調べていない。また考慮している冷却過程や化学反応についても一部不足が認められる。

筆者らはこれまで衝撃波圧縮を受けた低金属度ガスの熱進化をone zone modelにより調べてきた。十分に冷却が進んだガス層で自己重力的な不安定性が成長してガス分裂片が形成されるので、その質量を評価した。One zone modelの利点は詳細な冷却過程や化学過程を考慮した計算を行える点にある。その反面、one zone modelでは上述した非一様な密度・温度構造及び乱流状態を扱えないという問題がある。

本研究の目標は、第二世代星の母体となるガス雲の形成過程やその性質を明らかとすることである。そのために、衝撃波圧縮を受けた低金属度ガスの熱進化を自己重力を考慮した多次元流体計算により調べる。その際には詳細な冷却過程や化学過程を考慮する。これら二点が本研究の特色である。まず自己重力を考慮した三次元流体計算を行うため、法政大学の松本倫明氏により開発されたSFUMATOコードを用いる(Matsumoto2007)。初期状態から自己重力的に収縮するガス分裂片の形成までには3桁以上にわたる密度変化を計算する必要があるため、適合格子計算法を実装したSFUMATOコードの利用が適切である。

これまでに単純な冷却関数を用いてテスト計算を行ったので、それについて述べる。テスト計算

では初期密度及び圧力は空間一様に $n = 0.5 \text{ cm}^{-3}$, $P/k_B = 3000 \text{ K cm}^{-3}$ とした. z 軸と並行に互いに逆向きの速度を持った流れを衝突させた. 初期速度は $z > 0$, $z < 0$ それぞれにおいて空間一様で Mach 数が 4 となるように選んだ. 初期揺らぎは流れの境界面 ($z=0$) を sin 関数的に少し揺らがせることで与えた. x, y 方向には周期境界条件, z 方向には自由境界条件を課した. 計算では各辺 3.5 pc を 128 mesh で切っている. 図1に $y=0$ 平面における温度構造(単位は K)のスナップショット(計算開始より 1 Myr 程度経過時)を, 図2には密度の最大値の時間進化を示す. 熱的不安定性により非一様な温度・密度構造が現れることを確認した. また, 密度が最大となる領域はほぼ等圧的に進化することを確認した.

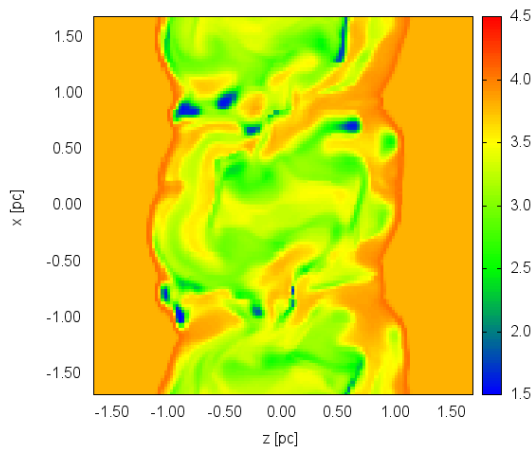


図 1: $y=0$ 平面における温度構造(単位は K)のスナップショット. 計算開始より 1 Myr 程度経過時.

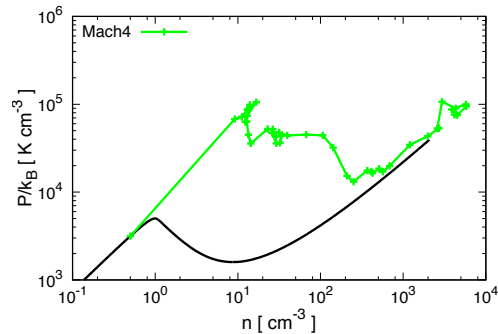


図 2: 密度が最大となる領域の時間進化(緑線). 黒線は熱平衡曲線を表す.

以上で単純な冷却関数を用いたテスト計算が行えるようになった. 今後はより現実的な冷却過程及び化学過程を考慮した計算を行う. そのためにまずは one zone model を用いて, 衝撃波圧縮を受けた低金属度ガスで主要となる冷却過程や化学反応過程を特定する. そしてこれらの過程を SFUMATO コードに実装する予定である. 第二世代星形成時には, 外部から照射される紫外線により冷却剤となる分子が解離されて, ガスの熱進化が影響を受ける. そこで外部紫外線が冷却過程や化学過程に与える影響を考慮した計算が行えるように, 計算コードの拡張を行う予定である.