

Self-similar Solutions and the Stability of Dynamically Condensing Gas Layers:
Towards Understanding of the Formation of Interstellar Clouds
(動的に凝縮するガス層を記述する自己相似解とその安定性: 星間雲形成の理解へ向けて)

岩崎 一成

観測によって、星間媒質中の低温高密度な成分である星間雲の一種の分子雲で星が生まれることがわかっている。従って、分子雲がどのように形成されるのかを理解する事は、星形成の初期条件を知る上で重要である。分子雲を形成する有力なメカニズムの一つに熱不安定性があり、超新星爆発などによって生じる衝撃波によって引き起こされる。一次元モデルでは、衝撃波圧縮領域において、熱不安定性による暴走的な冷却、凝縮が起こり、低温高密度な雲の層ができる。この雲の中で分子が形成され、成長し、分子雲となると考えられる。本研究では、最初にできる分子雲の種となる冷たい雲のサイズを明らかにする事を目的とする。そのためには、多次元的な凝縮層の進化が重要となる。過去の熱不安定性の線形解析は、冷却長より短いスケールでガス層が分裂する事を予言する。冷却長とは、冷却の間に音波が到達できる距離である。しかしながら、多次元流体計算によると、冷却長より長いスケールでも分裂し、冷たい雲に特徴的なスケールが見られず、矛盾する。これは、線形解析で採用されている非摂動状態が空間的に一様で、また、時間進化を無視しており、暴走凝縮するガス層を正しく近似できていないためであると考えられる。

本論文では、まず、より現実的な非摂動状態として、一次元モデルにおける暴走冷却するガス層の非線形進化を記述する自己相似解を求めた。この自己相似解は、星間媒質における現実的な冷却率を考慮した一次元流体計算において、ガス層の時間進化をよく記述することが分かった。この自己相似解では冷却率を密度と温度のべき関数で仮定している。この新しく発見した自己相似解は、一つのパラメタ η を持つ。この η は、冷却層の厚みと、冷却長の比に関係し、0 から 1 までの値をとる。 $\eta \sim 0$ の解では、冷却層の厚みが冷却長より十分長いため、密度が増加する前に、圧力が減少する。従って、等密度的に冷却するガス層を表す解である。一方、 $\eta \sim 1$ の解では、冷却層の厚みが冷却長に比べ十分短いため、周囲と圧力平衡を保ちながら凝縮する。従って、等圧力的に凝縮するガス層を表す。この η で特徴づけられた自己相似解は、一次元モデルにおける、あらゆるスケールの熱不安定性の非線形進化を統一的に記述する解となっている。

次に、暴走冷却するガス層の多次元進化を調べるために、求めた自己相似解の線形解析を行った。凝縮する方向に垂直方向に平面波の摂動を入れ、摂動の時間発展を調べた。その結果、摂動は、全ての平面波の波数に対して同じ成長率で成長することが分かった。この結果は、過去の線形解析と大きく異なり、特徴的なスケールを持たないことを表している。さらに摂動の成長は全体の冷却よりも速く、すぐに非線形となると予想される。以上の事から、形成される冷たい雲 (分子雲の種) の初期サイズ分布は、不安定ガスの揺らぎのスペクトルを反映したものになることが予言される。さらに我々は、平滑化粒子法を用いた二次元流体計算を用いて線形解析の結果と予言を確認した。