



Title	Self-similar Solutions and the Stability of Dynamically Condensing Gas Layers : Towards Understanding of the Formation of Interstellar Clouds
Author(s)	Iwasaki, Kazunari
Citation	大阪大学, 2010, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/1235">https://hdl.handle.net/11094/1235</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

【65】	
氏 名	いゆ さき かず なり 岩 崎 一 成
博士の専攻分野の名称	博 士（理 学）
学 位 記 番 号	第 2 3 5 9 5 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 22 年 3 月 23 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当 理学研究科宇宙地球科学専攻
学 位 論 文 名	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）
論 文 審 査 委 員	（主査） 教 授 高原 文郎  （副査） 教 授 芝井 広 教 授 川村 光 准教授 藤田 裕 准教授 林田 清

## 論文内容の要旨

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て、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  $\eta$  を持つ。この  $\eta$  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  $\eta$  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。凝縮する方向と垂直の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。以上のことから、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。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、衝撃波が星間分子雲を通過する際に形成される高密度層の力学と冷却過程を理論的に調べたものである。星間分子雲から星が形成される具体的過程は現在でも未解決の重要な課題である。太陽質量程度の星を形成するためには、星間雲に比べ小さな領域を、自己重力が卓越するような十分に高い密度にまで圧縮する機構が必要である。超新星爆発で発生した衝撃波が星間分子雲中に伝播すると、一次的に圧縮された平板層が形成されるが、この層は不安定であり、分裂して星の形成に至ると考えられる。本論文では、未だ自己重力は効かないが、周囲の圧力によって凝縮を始めた層の力学と不安定性を詳しく調べている。まず、輻射冷却とそれに伴う圧力のアンバランスによって生じる暴走的凝縮流の新たな自己相似解を求めている。この自己相似解は冷却時間尺度と、系を音が通過する力学的時間尺度の比を記述する一つのパラメータを含んでおり、このパラメータによって等密度的収縮から等圧的収縮までの異なる収縮の様子を記述することに成功している。次にこの自己相似解の熱的安定性を線形解析により調べている。その結果、層の厚さの方向の揺らぎに対しては、揺らぎは成長するが成長は全体の収縮よりは遅いので分裂には至らず、層内の方向の揺らぎに対しては全体の収縮より速く成長するので分裂に至ることを明らかにしている。すなわち、輻射

冷却によって暴走的に収縮している層は、分裂してより小さな凝縮雲を形成し、やがて自己重力によって星を形成していくことになる。本研究の線形解析の結果により、最大成長率がサイズにほとんど依らないことが始めて示され、これにより、凝縮雲のサイズなどは層の初期状態により様々なものが現れることになる。最後に、これらの結果を2次元の流体力学シミュレーションで確認している。本研究はこのテーマでこれまでに行われてきた一見矛盾するような研究結果を統一的に理解することに成功したもので、大きな価値を有するものである。研究方法も、解析的な方法、線形解析、数値シミュレーションとさまざまな手法を用いて、星形成に至る分裂片形成の過程を解明している。よって、本論文は博士 (理学) の学位論文として十分価値あるものと認める。