

## 新しい凝縮核生成率を用いた天体中でのグレイン形成、及びグレイン形成のモデル依存性について

Grain formation solved by using new nucleation rate in astrophysical environment.

# 田中 今日子 [1], 田中 秀和 [2], 中澤 清 [2]

# Kyoko Tanaka [1], Hidekazu Tanaka [1], Kiyoshi Nakazawa [2]

[1] 東工大・理工・地球惑星, [2] 東工大・理・地球惑星

[1] Earth and Planetary Sci., Tokyo Inst. of Tech., [2] Earth and Planetary Sci., Tokyo Inst. Tech

Dillman and Meier (1991)によって提案された新しい核生成率を天体中のグレイン形成に応用し、従来の古典的核生成率を用いた結果との比較を行なった。数値計算の結果、同じ圧力、温度のとき新しい核生成率は古典的核生成率より数10桁も小さくなるが、結果的にできるグレインのサイズにはあまり差がないことが分かった。一方凝縮温度は従来より数度から数百度下がること明らかになった。また解析的な見積りにより、粒子のグレインへの付着率が数桁変化しても形成されるグレインのサイズにはほとんど影響がないことが分かった。

### 背景と研究目的

ガスが凝縮しグレインが形成される現象は超新星爆発、AGB星、原始惑星系円盤など、様々な天体で起こると考えられている。凝縮過程を明らかにすることは隕石中の始源的物質の起源を考える上でも大変重要である。

天体内のグレイン形成の研究は主に凝縮核生成理論に基づいて行なわれてきた。この理論によりガスが凝縮するときの核の生成率が与えられる。この核生成率に対して従来の研究では Zel'dovich (1943)等により求められた古典的核生成率を用いてきた。しかし一方でこの古典的核生成率は実験値と比較すると桁で大きく異なることが報告されており、天体内のグレイン形成には応用できないのではないかという強い批判がなされている (Donn and Nuth 1985)。

核生成率は1980年代まで理論的な改良が試みられ様々なモデルが提唱されてきた。しかしどのモデルも実験とは合わず、結局古典的核生成率以上のものを得ることができないのが現状であった。これに対し1990年代に入り Dillman & Meier(1991)らにより半現象論的なモデルが提案された。このモデルの新しい点はグレインの表面張力にグレインの構成粒子数に対する依存性を考慮したことにある。その結果このモデルは従来のもとは異なり実験値と驚くべき良い一致を示している。

本研究ではこの新しい核生成率を天体中のグレイン形成に応用し、古典的核生成率を用いた結果との違いについて調べた。さらにグレイン形成に際して何が効くのかを明らかにするため、解析的な手法を用いてグレイン形成のモデル依存性について調べた。

### 新しい核生成率を用いたグレイン形成

天体内でのグレイン形成を調べる為、凝縮するガスの数密度の進化式と、生成された核の成長方程式の2式を解いた。この方程式系は(1)ガスの冷却速度、(2)凝縮する物質の表面張力、(3)表面張力の構成粒子数に対する依存性、を表す3つの無次元パラメータで記述することができる。(3)は、新しい核生成率を用いたことにより導入された無次元量である。本研究では3つのパラメータを大きく振り、方程式系を数値的に解いた。そして核生成率がピークになる時間、形成されるグレインの数密度などについて求め、従来の結果、つまり古典的核生成率を用いた結果との比較を行なった。比較の結果は以下にまとめられる。

- 1、同じ圧力、温度のとき、新しい核生成率は古典的核生成率より数10桁も小さくなる。
- 2、核生成率がピークに達する時間は従来より遅れる。このことは凝縮温度が従来より低くなることを示す。凝縮温度は従来より約数度から数百度下がる。
- 3、表面張力が比較的小さいとき、形成されるグレインの数密度は少なくなり、逆に表面張力が大きいときは、グレインの数密度は多くなる。
- 4、パラメータを大きく振ってもグレインの数密度の違いは1、2桁程度であり、サイズで考えるとファクター程度に抑えられる。つまり、結果的に出来るグレインのサイズにはあまり差はない。

2から4の結果は以下のように解釈できる。古典的核生成率がピークに達しても、1で示したように新しい核生成率は非常に小さくその時点ではまだ核生成は起こらない。しかし核生成が起こらず温度が減少すると過飽和度はどんどん上昇していく。核生成率は過飽和度に大変敏感であるため過飽和度の上昇に伴い急増し、その結果

かなりの核生成を起こす。つまり、凝縮する温度を低くして核生成することで結果的に出来るグレインの数密度はそれほど変わらなくなるのである。

### グレイン形成のモデル依存性

上で述べた傾向は、解析的な手法を用いることにより大まかに理解することができる。解析的な取り扱いを行なう際、Yamamoto & Hasegawa (1977)と同じ近似を用いた。この近似解はDillman and Meierのモデルのみならず、より一般的なモデルに対する依存性について知ることが可能である。例えば核生成率は粒子のグレインへの付着率にもよるが、付着率が数桁変化しても形成されるグレインのサイズにはほとんど影響がないことが分かった。また天体内では凝縮する際、核となる固体物質がすでに存在している場合がある。このような核が存在するときのグレイン形成の振舞についても述べる予定である。