

## 原始太陽系星雲内における非平衡凝縮：難揮発性金属塊の形成

### Non-equilibrium condensation in the primordial solar nebula: formation of refractory metal nuggets

# 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

始源的隕石内の難揮発性金属塊の起源に関連し、原始太陽系星雲内における、非平衡凝縮計算を行った。核生成のモデルとしては、核生成実験を良く再現する半現象論的モデルを用いた。その際、従来、用いられていたガスの第2ピリアル係数の代わりに、2原子分子の化学ポテンシャルを計算し、難揮発性金属元素に適用可能にした。その結果、原始太陽系星雲において、非常に長い冷却時間（約十万年）の場合でも、注目する全ての金属元素に対し、凝縮温度が平衡値から数百度下がること、又、形成される粒子サイズの比較から、難揮発性金属塊は原始太陽系星雲において形成可能であることが分かった。

#### 1、背景、及び研究目的

凝縮過程の理解は惑星物質の起源を知る上で重要である。その注目すべき例として、始源的隕石に普遍に含まれる難揮発性の金属元素から成る粒子（以下、難揮発性金属塊という）がある。難揮発性金属塊は、その起源説として、原始太陽系星雲内における初期の凝縮物であると推測されている。

本研究では、難揮発性金属塊の起源に関連し、原始太陽系星雲内における非平衡凝縮を調べる。非平衡凝縮において、最も重要な過程はガスからの凝縮核生成である。これまで、天体周りにおける非平衡凝縮計算のほとんどが、古典的核生成論に基づいて調べられてきた。しかし、古典的核生成論から得られる核生成率は実験値と比較すると何桁も一致しないことが指摘されている。一方、実験値と唯一良く一致する精度の高い核生成のモデルとして、半現象論的核生成モデルが挙げられる。しかし、この半現象論的核生成モデルはガスの第2ピリアル係数のデータが必要となり、データが存在していない難揮発性元素の凝縮には適用できないという問題点がある。

そこで本研究では、(1) 半現象論的核生成モデルを難揮発性元素の凝縮に適用可能にすること、及び、(2) 我々が得た方法を難揮発性金属元素の凝縮に適用し、難揮発性金属塊が原始太陽系星雲内において形成可能かどうか調べることを、を目的とする。

#### 2、半現象論的核生成モデルの新しい表現法

古典的核生成論と半現象論的核生成モデルの違いは、核生成率を左右するダスト粒子の化学ポテンシャルの算出法が異なることにある。半現象論的核生成モデルでは、ガスの第2ピリアル係数を用いて、ダスト粒子の化学ポテンシャルを求めている。本研究では、第2ピリアル係数が2原子分子の化学ポテンシャルと関係していることに注目し、いままで用いられていた第2ピリアル係数の代わりに、2原子分子の化学ポテンシャルを用いて、これまでと等価な核生成率の表式を導き出した。2原子分子の化学ポテンシャルは、2原子分子の解離エネルギーなどのデータから計算される。これらの2原子分子のデータは比較的簡単に得られるため、我々の得た方法は難揮発性金属元素に適用することが可能となる。本研究では新しく得られた核生成率をの表式を用いて、ダスト粒子の成長を記述する方程式系を数値シミュレーションした。

#### 3、金属元素の非平衡凝縮計算

非平衡凝縮過程を数値シミュレーションした結果、金属元素の凝縮温度と、形成されるダスト粒子のサイズが得られた。得られた結果から、凝縮温度は平衡値から大きく下がること分かった。即ち原始太陽系星雲の特徴的な全圧力( $10^{-5}$  乗気圧)において、非常に長い冷却時間（約十万年）の場合でも、鉄、ニッケルなどの量の多い金属元素に関しては170Kから300K、またタングステン、オスmiumなどの量の少ない難揮発性金属元素に関しては220Kから420Kと、凝縮温度が平衡値から大幅に下がること分かった。この驚くべき凝縮温度の減少は、原始太陽系星雲のような非常に圧力の低い系ではガス内の原子同士の衝突時間が長くなるために生じる。また、凝縮により形成されたダスト粒子のサイズは系の冷却時間に大きく依存する。得られた結果と難揮発性金属塊のサイズとの比較から、原始太陽系星雲の特徴的な圧力では、冷却時間が1万年より長いときにのみ難揮発性金属塊が形成可能であることが明らかになった。この冷却時間の臨界値は全圧力が1桁高くなると約1桁小さくなる。以上より、原始太陽系星雲においては、冷却時間が長い環境のもとで、難揮発性金属塊が形成可能であると結論される。