

昇華・凝縮による氷ダストのサイズ進化 Evolution of the size of dust grains by evaporation and condensation

黒岩琢登¹, 城野 信一^{1*}

Takuto Kuroiwa¹, Sin-iti Sirono^{1*}

¹ 名古屋大学環境学研究科

¹ Earth & Environmental Sci. Nagoya Univ.

1. 研究背景

惑星形成初期段階では原始惑星系円盤の外側の大部分でシリケートをコアとして氷マントルで覆われているサブミクロンサイズのダストグレインから衝突合体によって高空隙率のダストアグリゲイトができたとされている。ダストグレインが初期の段階で衝突合体によってサイズ進化できるかどうかはその後の惑星形成に大きな影響を与えることが考えられる。

一方で、隕石に含まれているコンドリュールが急激な加熱と冷却によってできたと実験で示されており、円盤内ではそのような一時的な加熱イベントが起こっていたことが考えられる。コンドリュールのように千数 K まで上昇するようなイベントが存在するのならば氷が昇華するような数百 K の一時的な加熱イベントは円盤の至る所で頻繁に起こっていたとしても不思議ではない。そのような一時的な加熱イベントによってダストグレインが昇華と凝縮を経験することになる。

そこで、今回、一時的な加熱イベントの冷却過程で、昇華しなかったシリケートコアに H₂O ガス分子が凝縮するプロセスを考える。このプロセスではシリケートコアの周りを氷が覆い、そのマントルの厚さが厚くなることでダストグレインのサイズが大きくなる。このときギブス・トムソンの式からサブミクロンサイズのダストグレインでは表面張力の効果が無視できずサイズが大きいほど飽和水蒸気圧が小さく、凝縮によってサイズが大きくなる。この効果でダストグレインのサイズ個数分布に変化が生じる。

ダストグレインのサイズ進化によって付着力や衝突速度に影響が生じ (Chokshi et al. 1993)、そのあとの形成されるダストアグリゲイトの力学的性質に大きな影響を与えることが考えられる。

2. 研究目的

一時的な加熱イベントによる昇華・凝縮を経験することでダストグレインのサイズ個数分布関数の時間進化がどう変化するか数値計算によって求める。

3. 結果

円盤は標準モデルとし、計算領域は中心星から 3AU の位置で行った。一時的な加熱イベント後、凝縮が始まる時間を 0 とする。ダストグレインの初期のサイズ個数分布関数をサイズの^{-3.5}乗に比例する (Mathis et al. 1977) とし、すべてシリケートコアとした。冷却速度が 10⁻⁶ から 10² Kh⁻¹ の場合についてそれぞれ数値計算を行った。計算結果からダストグレインの成長段階が二つに分かれ、ある時間でサイズ進化が止まった。サイズ進化が止まったときのサイズ個数分布関数は多数の小さいシリケートのみのダストグレインと少数の大きい氷で覆われたダストグレインに二極化した。

成長段階を初期成長と後期成長の二つに分けた。初期成長では温度低下によってダストグレインの飽和水蒸気圧が減少し、より大きいサイズのダストグレインからサイズが大きくなり始める。一方で凝縮によって周りの水蒸気圧が低下することで飽和水蒸気圧の低下に追いつくようになり、凝縮できるダストグレインの最小サイズが決まる。次の後期成長では周りの水蒸気圧の低下が飽和水蒸気圧の低下より大きく、一度大きくなった小さいダストグレインが昇華し、大きいダストグレインに凝縮されるというダストグレイン間の H₂O 分子のやり取りによるサイズ進化も起こるようになる。すると初期成長で成長した小さいダストグレインは場合によってはもとのサイズに戻ってしまう。最終的に H₂O ガス分子がなくなることと温度低下によってサイズ進化が止まる。

このようなダストグレインの進化によってサイズ個数分布が進化し、ダストグレインのサイズは二極化する。

4. 惑星形成への影響

一時的な加熱イベントによってダストグレインの分布が二極化すると、残された多数のシリケートコアの衝突付着によってダストグレインの表面がすべてシリケートで覆われている状態になることが考えられる。表面がシリケートのときにはダストグレインの衝突合体成長は氷の場合よりも成長しにくく、もし、加熱イベントが円盤全域で起こっているとすると外側でもダストアグリゲイトの形成が困難となる。

参考文献

Chokshi et al. 1993, ApJ, 407, 806

Mathis et al., 1977, ApJ, 217, 425

キーワード: ダストグレイン, 昇華, 凝縮
Keywords: dust grain, evaporation, condensation