

## 原始惑星系円盤のダスト面密度分布の進化: ダストの成長および破壊の効果

## Evolution of dust surface density distribution in protoplanetary disks: Effect of grain growth and fragmentation

# 福井 隆 [1]; 田中 秀和 [2]; 倉本 圭 [1]

# Takashi Fukui[1]; Hidekazu Tanaka[2]; Kiyoshi Kuramoto[1]

[1] 北大・理・宇宙; [2] 北大低温研

[1] Cosmosci., Hokkaido Univ.; [2] ILTS, Hokkaido Univ.

若い恒星を取り巻くガス円盤中のダストの空間分布は、惑星形成の初期条件として極めて重要である。近年、こうした円盤の高分解能電波観測により、その外縁部(中心星から 100 AU 以遠)についてはダストの分布に制約が与えられるようになってきた。それによれば、典型的な円盤のダスト面密度は中心星からの距離  $r$  におよそ反比例した分布となっている(Williams and Andrews 2007)。こうした円盤ではガスは粘性によって角運動量を失い、中心星へ降着している。このとき外縁部のガス面密度は  $r$  に反比例した分布になることが知られている(Hartmann et al. 1998)。よって、ダストがガスと完全に連動していると考えれば  $r$  に反比例したダスト面密度が再現される、というのが従来からの標準的解釈である。しかし、このモデルを円盤の内側領域まで適用すると、惑星形成が困難なほどダスト面密度が小さくなってしまふ。

実際の円盤中では、ダストはガス乱流中で互いに衝突合体を繰り返し、少なくとも mm サイズ程度までは速やかに成長することが理論・観測の両面から示唆されている(Dullemond and Dominik 2005; D'Alessio 2006)。ダストがこの程度の大きさまで成長すると、ガス抵抗による中心星方向への落下が顕著となる。このため、ダストはガスと完全には連動せず、ダスト面密度分布はガスのそれとは異なる進化を遂げると考えられる。本研究では、衝突合体によるダスト成長がダスト面密度分布の時間進化に与える影響について検討する。付着成長方程式を直接解くのではなく、ダスト総質量の大部分を占める各位置・時刻における最大ダストのサイズ進化にのみ着目することで解析的なモデル化を行った。また、ガス乱流により励起されるダスト間の衝突速度はサイズと共に増加するが、これがある閾値を超えると跳ね返りや破壊が生じ、それ以上成長出来なくなる効果も考慮した(Blum and Wurm 2008)。これにより、円盤外縁部の観測結果( $r$  におよそ反比例した分布, mm サイズのダストの存在)が再現されるかを検証し、さらに現状では観測的制約が困難な円盤内側領域におけるダスト面密度分布に示唆を与えることを目的とする。

シミュレーションの結果、得られたダスト進化の典型的振舞いは以下のようなものである: 初期にはダストは非常に小さくガスと完全に連動するため、ガス・ダスト面密度は共に円盤全域で  $r$  におよそ反比例した分布となる。ダスト成長は局所的な軌道周期に比例して外側ほどゆっくり進行するが、100 AU 以遠の領域でも最初の数十万年程度でダストは mm サイズに達する。すると中心星方向への移動が顕著となり始め、ダストはその場に留まったまま成長を続けることが出来なくなる。その結果、外縁部のダストサイズは、ダストの成長時間と中心星方向への落下時間がほぼ等しくなる mm サイズに固定される。このとき実現されるダスト面密度分布はおよそ  $r^{-3/4}$  に比例し、実際の円盤外縁部の観測結果に近い。これに対して、高密な内側領域ではダストの成長時間が非常に短く、むしろ衝突破壊によってダスト成長が cm サイズで抑制されることになる。このときのダストの内向きフラックスは外側ほど大きくなり、ダストの“渋滞”が生じる。その結果、内側領域のダスト面密度は著しく増加し、適当な初期条件下では惑星形成に必要な値にまで達し得ることが分かった。また、この過程により実現されるダスト面密度分布は  $r^{-3/2}$  に比例するが、これは現在の太陽系の質量分布から推定される原始太陽系星雲のダスト面密度分布(Hayashi 1981)と整合的である。他方、ガス面密度は円盤全域で常に  $r$  におよそ反比例した分布となる。このため、ダスト/ガス比は円盤内側領域では太陽組成の数倍程度、逆に外縁部では数分の 1 程度となる。このことは内側領域での微惑星形成、およびダスト熱放射の電波観測に基づく従来からのガス面密度の推定値について示唆を与える。