

原始月円盤におけるダストの沈降

Sedimentation of Dust Grains in Proto-lunar Disk

町田 亮介[1], 阿部 豊[1]

Ryosuke Machida[1], Yutaka Abe[2]

[1] 東大・理・地球惑星科学

[1] Earth and Planetary Sci., Tokyo Univ., [2] Earth Planetary Sci., Univ. Tokyo

月の起源として、ジャイアントインパクト説がある。巨大天体の衝突で形成された原始月円盤の重力不安定により角運動量が輸送され、物質がロッシュ半径の外側に運ばれ、月を形成する。重力不安定には、ダスト・ガス混合物の重力不安定と、赤道面に沈降したダスト層の重力不安定の2つの可能性がある。前者はダスト・ガス混合物が十分冷却して円盤全体が薄くならないと発生しないし、後者はダストが赤道面に沈殿しないと発生しない。どちらのモードになるかによって月形成のタイムスケール・月材料物質とも大きく異なる。本研究では、ダストの沈降と月円盤の冷却のタイムスケールを比較し、ダスト層の重力不安定により月が形成されることを示す。

月の起源を説明する現在最も有力な説はジャイアントインパクト説である。この説によれば、原始地球に火星サイズの天体が衝突することにより、原始地球の周りに原始月円盤が形成される。その後、原始月円盤内での重力不安定により角運動量が輸送され、それに伴い、物質がロッシュ半径の外側に運ばれ、そこで月を形成する。原始月円盤内で起こりうる重力不安定には以下の2つのモードがある。

(1) ダスト・ガス混合物の重力不安定

原始月円盤の冷却がダストの沈降より速いとき、円盤の冷却に伴い凝縮物(ダスト)の量が増えてくると音速が下がり、円盤全体が薄くなって、原始月円盤を構成するダスト・ガス混合物の重力不安定が生じる。

(2) ダスト層の重力不安定

ダストの沈降が原始月円盤の冷却より速いとき、赤道面にダスト層が形成され、ダスト層の重力不安定が発生する。

いずれの重力不安定が発生した場合でも、重力不安定による角運動量輸送で円盤が広がり、ダストがロッシュ半径の外側まで運ばれ、そこで月を形成する。(1)の重力不安定が生じた場合は円盤の冷却に伴い凝縮物による腕状構造ができたとしても、円盤の進化による加熱により再び蒸発してしまい腕状構造が保たれず、冷却のタイムスケールでしか角運動量が輸送されないと考えられる。逆に(2)の重力不安定が生じたとき、ガスの収縮やダスト同士の衝突による加熱で、ダストの一部は再び蒸発する可能性があるが、ダスト層の重力不安定は解消されず、1ヶ月程度の比較的短いタイムスケールで角運動量が輸送される。

以上に示したように、2つのモードでは重力不安定発生メカニズム、時期が全く違い、月形成のタイムスケール、月材料物質とも大きく異なる。どちらの重力不安定が起こるのかということは、月の形成過程を考えるにあたって本質的に重要な問題である。

本研究では、どちらの重力不安定が起こるのかを調べるために、ダストの赤道面への沈降のタイムスケールと月円盤の冷却のタイムスケールの比較をおこなった。ダストは赤道面に沈降する過程で互いに衝突することによって合体成長する可能性があるが、この効果を見逃したシミュレーションをおこなった。その結果、一様なサイズ1mmのダストについて、わずか数年で全ダスト質量の90%以上が赤道面から50km以内の範囲まで沈降することが分かった。一方、原始月円盤の冷却の典型的なタイムスケールは100年程度である。(Thompson & Stevenson 1988)これらのタイムスケールを比較することにより、ダスト層の重力不安定により月が形成されるという結論が得られた。