

ダスト層の永年不安定

道越秀吾 (同志社大学)

利用カテゴリ GRAPE-A

現在の惑星形成の標準理論では、キロメートルサイズの微惑星が合体成長し、地球型惑星やガス惑星のコアになったとされている。しかし、およそキロメートル程度の天体である微惑星の形成過程は、惑星形成理論の未解決問題の1つである。

微惑星形成の1つの説は重力不安定モデルである。ダストが中心星の重力によって赤道面に沈殿すると、薄く高密度なダスト層ができる。密度が十分に高まると重力不安定となり、ダスト層は分裂し、キロメートルの微惑星が直接形成される。しかし、様々な流体不安定によって円盤ガスは乱流状態となる可能性が指摘されている。乱流によって、ダストは十分に薄くなることができないため、重力不安定が起きない可能性が指摘されている。

そこで、確率モデルを用いて、乱流中のダストの動きを調べて、ダスト面密度の進化を調べた。強結合近似を用いて、移流拡散方程式を導いた。この方程式と重力のポアソン方程式を線形近似を用いて解いた。結果として、乱流の強度にかかわらずダスト層は常に永年不安定となっていることが分かった。この不安定の結果、ダストの面密度は単調に増加していく。

この永年重力不安定のメカニズムは以下のようにして理解される。まず、ダスト面密度に揺らぎがあったと仮定する。すると、この面密度揺らぎに対応する重力ポテンシャルが形成される。その結果、重力ポテンシャル勾配によって、物質は、密度の極大点に向かって終端速度で移動しようとする。従って、ダスト面密度は単調に増加する。

この不安定は常に発生するが、そのタイムスケールは典型的には非常に長い。もし、ガス摩擦によるダストの中心星への落下の方が永年重力不安定よりも早い場合、永年重力不安定は効かないと考えられる。よって、永年重力不安定と半径方向の落下のタイムスケールを比較する。まず、 f_g を林モデルを基準としたガスの量とする。ダストの量は標準的なガスダスト比から決める。図1は、不安定がおこる臨界的な f_g 値であり、太陽からの距離の関数として示してある。また J_c は臨界リチャードソン数である。ここで、乱流モデルは、準平衡シア乱流モデルを用いた。もし、 f_g が臨界値よりも大きければ、永年重力不安定は、半径方向の落下よりも早いことを意味する。この図より、 $f_g > 3$ かつ $J_c = 0.1$ のときは、永年重力不安定は円盤の全ての場所で半径方向の落下よりも早くなる。もしこの条件を満たすとき、軸対称の密度パターンが形成されると予想される。シミュレーションによって理論の予測と一致するタイムスケールで軸対称揺らぎが発生することが分かった(図2)。今後は、このシミュレーションによる微惑星形成のメカニズムについて詳細に検討する予定である。

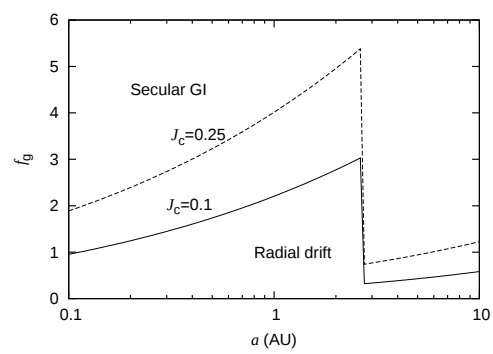


図 1: 中心星からの距離 a の関数であらわした臨界 f_g 値。

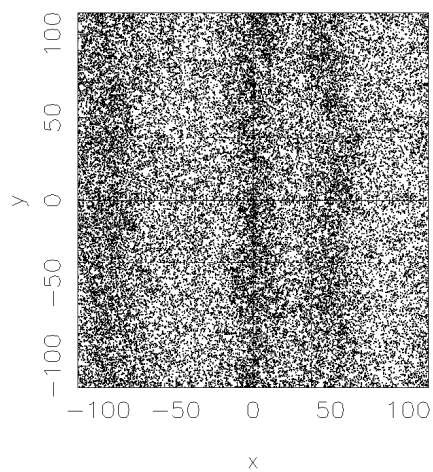


図 2: シミュレーションによる不安定の計算例