

微惑星形成の局所系N体計算

台坂博 (東大天文)、古屋泉 (神戸大自然)

微惑星形成メカニズムには大きく分けて2つのモデルが提唱されている。一つは原始惑星円盤内が重力不安定を起こして一気に微惑星を形成するモデル (e. g., Safronov 1969, Goldreich&Ward 1973)。もう一つは円盤内でダスト同士が直接衝突し付着成長するモデルである。本研究では前者のモデルに着目して、微惑星形成過程をN体数値計算で調べた。

円盤の線形解析理論からは、ダストが赤道面付近に濃集しダスト層が形成されると、ダスト自身の自己重力が中心星の潮汐力を上回り重力不安定が生じて、ダスト層が臨界波長程度の間隔でリング状分裂する事が示されている。さらに経度方向にも臨界波長程度で分裂する仮定をすることによって、微惑星質量は見積もられている。しかしながら、線形論で示された微惑星形成シナリオや見積もられて微惑星質量が本当に正しいのかは明らかではない。

本研究では、円盤の一部分のみを考えその中の粒子の運動を周期境界条件を課して粒子の運動を追う、局所的なN体数値計算 (Wisdom&Tremaine 1988, Salo 1995, Daisaka&Ida 1999) を採用した。数値計算では粒子同士の直接衝突を考慮し、衝突後の粒子の相対速度は反発係数を用いて記述される。粒子間相互重力は、国立天文台のGRAPE5で計算した。初期に空間的に一様に粒子を分布させ、その系の進化を調べた。原始惑星系円盤ではガスが存在しその中で微惑星形成が進行すると考えられるため、ガス抵抗力の効果も重要であるが、簡単化のため今回の計算ではガスの効果を無視する。

数値計算の結果、微惑星形成の描像は線形解析で予想されていたものとは異なり、リング状の分裂片などが現れない事が明らかになった。典型的な粒子空間分布の時間進化を図1に示す。重力不安定を起こさないように、初期に粒子には大きいランダム速度を持たせてあるが (図1a)、粒子同士の非弾性衝突によるエネルギー散逸によって粒子のランダム速度が減少し、それに伴い粒子は円盤中心付近に集まる。粒子のランダム速度が減少し自己重力不安定の指標であるToomreのQ値パラメータが2程度になると、自己重力不安定によって非軸対称な筋状構造が形成される (図1b)。その筋状構造が分裂することによって、clumpが形成される (図1c)。さらには、形成されたclump同士が合体成長する (図1d)。初期に形成されたclumpの数は減少するが、各々のclumpは成長していく。このように、自己重力不安定によるclump形成には3段階の過程 (wake構造形成、初期clump形成、clumpの合体成長) がある事を初めて明らかにした。

さらに、粒子空間分布からclumpを見つけ出すアルゴリズムを開発し、clumpの定量的な解析を行なう事によって、形成されるclump質量を調べた。その結果、初期に形成されるclumpと最終的に形成されるclump質量は、線形解析から見積もられる質量のそれぞれ約1/10と2-5倍となり、線形解析の見積りは、数値計算結果とそう大きく矛盾しないことが分かった。

天文台GRAPE5システムを用いる事で数万体の粒子を用いた数値計算が実行でき、今まではできなかったclumpの定量的な議論が可能になった。さらには、先にも触れたガスの効果を取り入れることによって、より現実的な微惑星形成過程について明らかにしていく予定である。

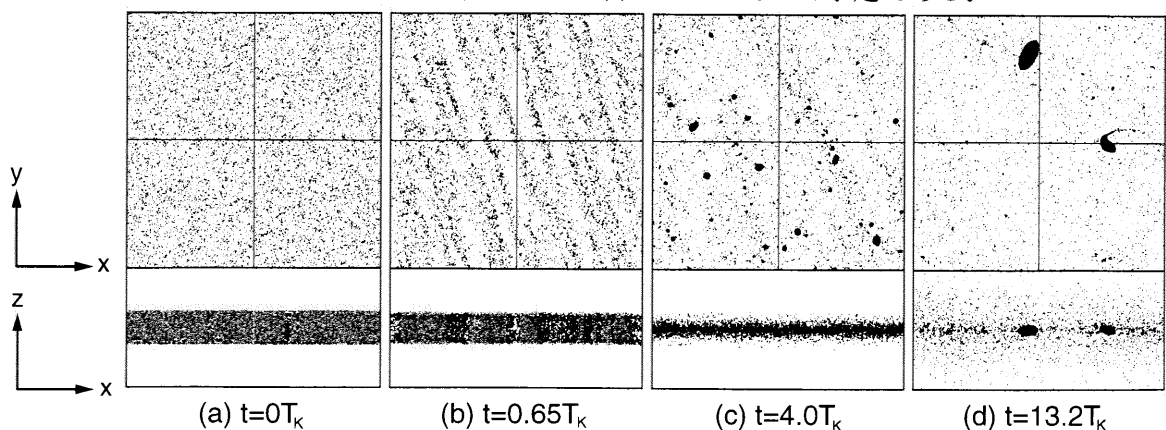


図1: 粒子分布の時間進化