

衝突・破壊をとりいれた N 体計算の開発とそれを用いた地球型惑星形成後期のシミュレーション

○ 磯谷和秀¹, 小林浩¹

¹ 名古屋大学大学院理学研究科

太陽系の地球型惑星は、大きく分けて3つのステージを経て形成される。まずダストから微惑星、次に微惑星から原始惑星、そして最後に原始惑星から地球型惑星が形成される。この最後の進化段階は巨大衝突ステージと呼ばれ、地球型惑星の軌道や質量などを特徴付ける重要な時期である。巨大衝突ステージを模擬し原始惑星の N 体計算を行うと、合体成長を繰り返し数億年程度で現在の太陽系の地球型惑星のようないくつかの地球質量の惑星が形成される (e.g., Chambers & Wetherill, 1998; Agnor et al., 1999; Kominami & Ida, 2002; Kokubo et al., 2006)。しかし、原始惑星同士が軌道交差を起こすほど軌道が歪んだ状態で衝突合体が起きるため、最終的に形成される地球型惑星の離心率 (~ 0.1) は、現在の太陽系の地球型惑星の離心率 (~ 0.01) を説明できない。これに関する現在の惑星形成論の理解では、地球型惑星が形成された後に残存する微惑星との力学的摩擦によって地球型惑星の離心率が下げられるという説が有力である (Morishima et al., 2010)。ところが、この力学的摩擦の反作用や地球型惑星からの摂動によって残存微惑星の離心率が上がり、微惑星同士の破壊的な衝突が起きるほど相対速度が速くなる。そのため残存微惑星円盤の中では様々なサイズの微惑星同士の衝突・破壊が次々に起こる (衝突カスケード) が、そのなかでも小さな微惑星は数が多く衝突が頻繁に起きており、破壊のタイムスケールが短い。微惑星が μm サイズまで小さくなると、中心星の輻射圧により吹き飛ばされることで系から速やかに取り除かれるため、残存微惑星円盤の総質量は減少していく。その結果、残存微惑星円盤の質量分布は形を変えないまま総質量が減少する (e.g., Tanaka et al., 1996)。このとき、微惑星の減少のタイムスケールは最大微惑星が衝突によって壊れるタイムスケールになるため、比較的簡単に解析的に表現できる (Kobayashi & Tanaka, 2010)。すなわち残存微惑星円盤の総質量減少によって力学的摩擦の効率が下がるため、本当に地球型惑星の離心率を下げるのが可能なのかという問題が残る。この問題を調べるためには、長期的軌道進化と破壊を扱うことができる計算が必要である。軌道進化を扱うには N 体計算が有効であるが、破壊によって生じる様々なサイズの微惑星は 10^{35} 個以上にもなり、 N 体計算ではこれら全ての微惑星をとっても扱うことはできない。このような多数の粒子を取り扱うには、一つ一つの粒子を取り扱うのではなく、統計力学に基づいた統計的手法が有効であるが、統計的手法では、微惑星が重力的に集積する際にサイズ分布が非軸対称になることや、原始惑星による軌道共鳴のような、重力相互作用の取り扱いができない。すなわち N 体計算と統計的手法を同時に用いると、軌道進化と破壊を同時に考慮した計算を行うことができる。そこで本研究では、 N 体計算と統計的手法を組み合わせた、衝突破壊を扱うことができるハイブリッドコードの開発を行った。そしてこのコードによる計算により、巨大衝突ステージにおける残存微惑星間の衝突・破壊現象を考慮すると、惑星-微惑星間の力学的摩擦の効率が下がることを確かめた。また、巨大衝突ステージ前期に原始惑星の合体衝突を妨げず、後期に地球型惑星の離心率を下げるには、最大微惑星半径が 100-500km サイズの残存微惑星円盤が必要であることがわかった。