

P301a ダスト集合体の非線形応力を考慮した始原的惑星衝突過程のモデル化

山田理央奈, 小林浩 (名古屋大学)

惑星形成初期における微惑星衝突は、天体の成長を左右する基本過程である。しかし従来の衝突シミュレーションでは、微惑星を脆性破壊と摩擦で記述される岩石的な弾性体として扱うことが多かった。一方、形成初期に存在した始原的惑星は、熱変性を受けていないダスト微粒子の集合体から構成されていた可能性が高く、その力学応答は岩石とは大きく異なる。

本研究では、Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) 法にダスト集合体固有の圧縮・引張応答を組み込むため、静的圧縮試験および引張試験 (Tatsuuma et al. 2019, 2023) に基づく非線形応力-密度関係を状態方程式として実装した。さらに、引張試験および自己重力平衡テストによりモデルの再現性と堅牢性を検証した。これにより、SPH 粒子をダスト集合体からなる体積要素として扱い、ミクロな粒子間相互作用を解像することなく、集合体としての非線形応力応答を効率的に再現できる枠組みを構築した。

本手法を用いて半径 30 km の始原的惑星同士の系統的な衝突シミュレーションを実施した。その結果、ダスト集合体は衝突時に大きな圧縮変形を受けることで衝突エネルギーを内部に散逸し、衝突結果を支配する主要因となることが明らかになった。さらに、引張応力による凝集効果が支配的となる衝突条件では、圧縮散逸で衝撃が緩和され、引張強度が衝突後の構造保持を助けるため、相互脱出速度の 10 倍を超える高速度衝突においても合体が成立することが判明した。これは、ダストの凝集力が破壊エネルギー閾値を大幅に押し上げるという理論的予想を裏付ける結果であり、始原的惑星の急速な成長を可能にする重要な物理過程であることを示す。本研究は、ダスト集合体から惑星が成長していく初期過程の理解に新たな知見を提供するものである。