

小惑星衝突シミュレーションへのMaterial Point Methodの導入と検証

○福田 温¹ 石山 智明² (1.千葉大学 融合理工学府 2.千葉大学 情報戦略機構)

イトカワやリュウグウのような不規則形状小惑星の形成過程や、壊滅的破壊を伴う衝突における破片のサイズ分布を定量的・統計的に調べることは、小惑星帯及び地球近傍小惑星等におけるサイズ分布の衝突進化を理解する上で重要である。従来、この分野のシミュレーションには Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) およびN体シミュレーションが広く用いられてきたが、大変形・破砕を伴う衝突過程での精度や計算効率に課題が残る。

我々はこれらの課題を克服する新たな手法として、粒子・格子ハイブリッド法である Material Point Method (MPM) に着目した。MPMは弾塑性体の大変形を扱う有限要素法と高い数式的互換性を持ち、工学分野において粉体・衝撃波・爆発の解析に実績を持つ。加えて、Graphics Processing Unit (GPU) 並列計算との親和性が高く、高解像度化および広域パラメータ探索への展開が期待できる。本研究では、GPU加速されたMPMに基づく小惑星衝突シミュレーションコードを独自に開発した。そして等質量岩石小惑星を対象として相対速度50~400m/s、衝突角度を5~45°の範囲でグリッド状に衝突実験を行った。

主な結果として、イトカワに見られるような細長い形状 (中間軸/長軸比<0.7、短軸/長軸比<0.7)、および低速度等質量衝突時に特徴的な円盤形状 (中間軸/長軸比>0.7、短軸/長軸比<0.7) の最大残留天体が、SPHを用いた先行研究と同様の初期条件のもとで再現された。また、最大残留天体質量が母天体の4割以下となる壊滅的破壊が生じる比エネルギー閾値についても、先行研究との整合性が確認された。本研究結果は、小惑星衝突シミュレーションにおいて、MPMが新しい解析アプローチとして有効であることを示唆している。