

微惑星の形状進化：弾性体 SPH 法を用いた微惑星の衝突破壊・重力再集積の数値計算

○杉浦圭祐、犬塚修一郎、小林浩
名古屋大学大学院理学研究科

地球のような固体惑星は、微惑星と呼ばれる km から数百 km サイズの天体の衝突合体の繰り返しによって形成されたと考えられている。微惑星のような比較的小さい天体の場合物質強度が効いてくるため、衝突破壊・合体によって球から離れたいびつな形状を作ることができる。従って、衝突条件とその結果できる天体の形状の関係性を明らかにすることで、その天体を作った衝突の詳細を明らかにすることができる。さらに、微惑星の生き残りであると考えられている小惑星の形状と比較することで、過去の太陽系の姿に迫ることができると期待される。

我々は衝突による小惑星形状の形成条件を明らかにするために、弾性体力学に拡張された Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) 法による数値計算コードを開発した。さらに、岩石が破壊される効果を表すひびモデル (Benz and Asphaug 1995)、岩石が粉々になってできた粉粒体間に働く摩擦の効果を表す摩擦モデル (Jutzi 2015) などを導入した。このようなモデルを導入することにより、衝突破壊による形状形成だけではなく、衝突で粉々になった岩石が自己重力で集積してできたラブルパイル天体の形状形成も再現することができる。

この数値計算コードを用いて、半径 50km 程度の微惑星の衝突破壊とその後の重力再集積を再現した。衝突させる微惑星の形状は球を仮定し、初期に空隙もひび割れもない玄武岩でできた一枚岩天体を仮定した。半径 50km の球同士を 2 体脱出速度の 5 倍の速度 (約 300m/s) で衝突させ、衝突から 4.0×10^4 秒後での最大天体の軸比を測定した。図 1 はこの最大天体の軸比の、衝突

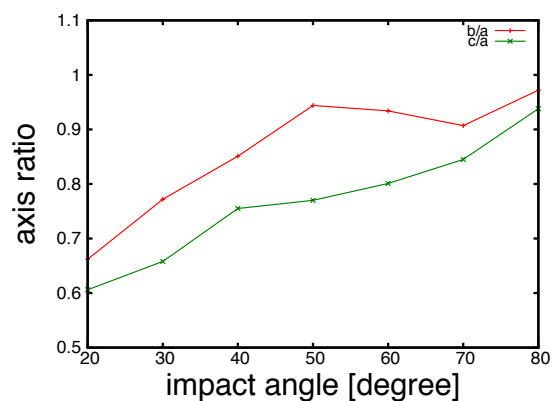


図 1：最大天体の軸比の衝突角度依存性。

角度依存性を示している。ただし、衝突角度は 0° を正面衝突とする。また軸比の測定は Fujiwara (1978) に倣い、平板で挟んだ時最も短い軸を c 軸とし、それに垂直で最も長い軸を a 軸、2 つの軸に垂直な軸を b 軸と

した。計算の結果、衝突角度が小さいほど細長い形状をしていること、また角度が 40° から 60° では扁平な形状になることが分かった。また、衝突速度を 2.4km/s まで上げた場合にも、衝突角度が大きければ扁平な形状になること、衝突天体の質量比を $8:1$ にした場合（半径 50km と 25km の玄武岩の球の衝突の場合）でも同様の傾向が見られることが分かった。

様々な衝突の結果を調べると、いくつかの衝突条件では衝突後に天体の自転が止まってしまい逆回転を始める場合があった。この原因を調べてみると、従来の SPH 法の数値勾配の計算方法では自由表面の近くで速度勾配の見積もりを誤るため、本来生じてはいけない歪みが表面付近で発生してしまうためであることが分かった。この問題を解決するため、我々は Bonet and Lok (1999) に記載されている剛体回転の場合に速度勾配を正しく評価できる方法を採用した。この方法は、剛体回転の場合の速度勾配を正しく表現できるように correction matrix をカーネル関数の勾配にかけるという方法である。この方法を導入し、2次元における弾性体円盤の剛体回転の初期条件を用意し、円盤の回転を計算したところ、剛体回転が正しく扱えることを確かめた。一方で correction matrix を導入しない場合、回転が $1/4$ 周もしないうちにすぐ止まってしまった。この方法を実際の微惑星の衝突の計算に応用したところ、衝突後の天体の剛体回転を正しく扱えることも確認した。