

熱進化した小天体の衝突破壊における破片速度：エネルギー分配率との関連

Measurements of fragment velocities in catastrophic disruptions of core-mantle bodies.

岡本 千里 [1]; 荒川 政彦 [2]

Chisato Okamoto[1]; Masahiko Arakawa[2]

[1] 名大・環境・地球環境; [2] 名大・環境

[1] Earth and Environmental Sci., Nagoya Univ.; [2] Grad. School Env. Studies, Nagoya Univ.

地球のような固体天体は、岩石微惑星の衝突破壊・合体成長の結果である。微惑星はその成長とともに内部構造が進化したと考えられる。この結果、内部に圧密コア、表層に高空隙率マントルを持つ層構造を形成した (Maeno et al., 1993)。

このような層構造天体の衝突破壊の結果は、内部構造が均質な天体とは異なる事が予想される。そこで、このような層構造を持つ岩石微惑星の衝突破壊条件が調べられた (Okamoto and Arakawa, 2008)。この結果、層構造天体の衝突破壊強度は、コア・マントルに分配される衝突エネルギーの大きさ (エネルギー分配率) に依存することが明らかになった。ここで、衝突破壊・再集積による微惑星の成長過程を知るためには、破壊強度と同様に、衝突によって生じる破片速度を明らかにする必要がある。しかし、層構造体の破片速度は、その内部構造に依存することは経験的には分かっているが、物理的意味は明らかではない。そこで、層構造体の破片速度とコア・マントルへのエネルギー分配率との関係に着目し、内部構造と破片速度の関係に関してモデル化を行った。

衝突実験は、名古屋大学に設置された2段式軽ガス銃を用いて行った。衝突の物理条件として、試料質量、衝突速度を変化させた。またイメージコンバーターカメラ、高速度デジタルビデオカメラを用いて、様々な撮影条件でターゲットの衝突破壊現象を観察した。本研究でターゲットにする層構造天体として、高密度圧密コアと高空隙マントルの2層構造を持つ圧密焼結微惑星を考えた。圧密コアとして、空隙を持たないガラス球または水晶球を用い、高空隙マントルとして空隙率約50%の石膏を用いて天体模擬試料を作成した。ここで、天体内部構造を特徴付ける指標として、全質量に対するコア質量比が挙げられる。これを系統的に変化させ、高空隙率微惑星の内部構造進化を模擬し、その衝突破片速度を調べた。

衝突点に対してちょうど反対の表面位置から生じる破片の飛翔速度 (反対点速度) は、衝突破片の持つ飛翔速度の代表値として用いられる。先行研究では、平均エネルギー密度一定において、玄武岩の反対点速度は、石膏より数倍速くなるという結果が得られている (Fujiwara and Tsukamoto, 1980; Nakamura et al., 1992)。これは、石膏では高い空隙率により衝撃波が減衰しやすいのに対し、玄武岩では、衝撃波の減衰が小さいことに起因する。本研究の層構造試料の反対点速度は、平均エネルギー密度一定において、水晶球と石膏球のデータの間に広がって存在することが分かった。この広がりは試料内部構造の違いに依存するものと考えられ、コア質量比が増加するほど、速度は均質な水晶球に近づく。これは、試料に同じ平均エネルギー密度が与えられる場合でも、内部構造の違いによって、コアに与えられるエネルギー密度 (Q_c) が異なるためであると考えられる。そこで、実験結果から各試料の Q_c を見積もり、その破片速度を比較したところ、試料の反対点速度は、 Q_c の増加とともに大きくなることが分かった。

ここで、コア・マントルへの衝突エネルギーの分配率は、弾丸運動エネルギーに対するコア・マントルに分配される運動エネルギーと定義する。エネルギー分配率 (f) は Q_c から見積もることができ、コア質量比の3.3乗に比例して増加することが分かっている (Okamoto and Arakawa, 2008)。そこで、エネルギー分配率から、様々なコア質量比を持つ層構造試料の反対点速度について以下、モデル化を行い、内部構造と破片速度の関係を明らかにする。

層構造試料中のコアに与えられるエネルギー密度 (Q_c) が均質なガラス球に与えられるエネルギー密度 (Q_{gl}) と等しい場合、層構造試料の反対点速度は均質なガラスとほとんど一致するという結果が得られた。そこで、 $Q_c = Q_{gl}$ の場合、均質なガラスの反対点速度は層構造試料のそれと一致すると仮定して、 Q_c および均質なガラス球における反対点速度と Q_{gl} の実験式から、層構造試料の反対点速度を、試料全体の平均エネルギー密度とコア質量比を用いて書き表すことができ、反対点速度はコア質量比と平均エネルギー密度の関数となる。これは実験結果とよい一致を示した。以上より、層構造体の反対点速度はコア・マントルへのエネルギー分配率に従って、コア質量比に依存することが分かった。これより、微惑星の再集積条件を知るために重要である破片速度は、天体の内部構造が分かれば、エネルギー分配率から予測することが可能である。