

分化天体の衝突破壊条件および鉄隕石放出の解明

岡本千里¹, 荒川政彦², 長谷川直¹

¹宇宙航空研究開発機構, ²神戸大学大学院理学研究科

はじめに

小惑星は反射スペクトルのタイプによって、様々な種類に分類されている。分光学的特徴から、V-type小惑星やM-type小惑星は分化天体（金属コア-岩石マントル天体）の衝突の結果、形成された可能性が考えられており、これらの組成に類似した隕石も発見されている。現在まで、均質な内部構造を持つ岩石質天体の衝突破壊現象について、ガラスや石膏、岩石などの均質試料を用いた衝突実験・数値シミュレーションが数多く行われてきた[1,2]。一方、分化天体の衝突破壊条件や、そのコア破壊により形成された鉄隕石の放出条件は、あまり知られていない。そこで本研究では、分化天体模擬試料への高速衝突実験を行い、その破片サイズ分布や破片速度などを調べ、衝突破壊における天体の内部構造依存性を調べた。

実験方法

分化天体模擬試料として、金属コア-岩石マントル構造を持つ球形試料を作成した。ここで、金属コアの素材は高炭素クロム鋼鉄であり、常温下でも脆性的に振る舞う。この金属球単体の動的な衝突破壊強度は、先行研究により得られた低温下での鉄隕石の動的衝突破壊強度とよい一致を示す[3]。また、マントル模擬物質として用いたモルタルは、玄武岩に近い強度を示す。試料はコア質量比(R_{CM})を変えることで、その内部構造を系統的に変化させた。層構造試料および、金属球単体および岩石球（モルタル）単体にも同様に実験を行い、その破片サイズ分布や破片速度分布などを調べた。以上の実験は、名古屋大学および JAXA に設置された二段式軽ガス銃を用いて、それぞれ、質量 $\sim 0.2g$ のナイロン弾丸を速度 $\sim 2km/s$ および $4-7 km/s$ に加速して行った。実験は真空チャンバー内($\sim 10Pa$ 程度)で行われ、衝突破片の放出速度を計測するために、高速度カメラを用いて、撮影速度 $1 \text{コマ} 8\mu s - 200\mu s$ でその場観察を行った。

結果および考察

エネルギー密度一定の場合、金属コア-岩石マントル試料の R_{CM} が小さくなるにつれて、金属コアの破壊度合いは減少した。これは、層構造試料では、岩石マントルの破壊のため、衝突エネルギーがマントル部で吸収されるため、層構造試料中の金属球（コア）に分配される衝突エネルギーが減少することによると考えられる。そこで、コアの最大破片質量および金属球の最大破片質量とエネルギー密度の実験式からコアに分配された衝突エネルギーのコアへの分配率（＝コアに分配される運動エネルギー/衝突エネルギー）を見積もったところ、コア質量比の約2乗に比例することが分かった。

次に内部構造に対する破片速度の影響を調べるため、均質（金属鉄、モルタル）試料、層構造試料の反対点破片速度を調べた。この速度は、試料全体に加えらるエネルギー密度が大きくなるに従って上昇した。金属鉄の反対点速度は、同程度のエネルギー密度において、モルタルの破片速度よりもおよそ10倍程度遅かった。一方、エネルギー密度一定において、層構造試料の反対点速度は、コア質量比が小さい場合はほとんど変化せず、コア質量比が ~ 0.3 を超えたところで、破片速度が上昇に転じた。コア質量比が小さい場合、破片速度は、ほとんどマントル物質の速度を反映する。一方、コア質量比が大きい場合、反対点速度は、

試料内部構造に大きく依存する。これは、コア質量比が増加することで、マントル質量が減少し、より多くのエネルギーがマントルの単位質量あたりに加わることによると考えられる。そこで、マントルに分配される運動エネルギーを調べ、マントルのエネルギー密度 (Q_m) を見積もったところ、 Q_m が増加するとともに、層構造試料の反対点速度が上昇することが分かった。そこで、この見積もり結果および、マントル物質であるモルタルの均質試料の反対点速度とエネルギー密度の実験結果を用いることで、コア質量比と反対点速度の関係を見積もった。この見積もりの結果、実験により得られた各コア質量比における反対点速度と近い値を示すことが分かった。

以上より、エネルギー分配率というパラメーターを用いることで、様々な内部構造を持つ層構造体の衝突結果を予想できると考えられる。また、コアへのエネルギー分配率に基づき、金属コアに加えらるる衝突エネルギーとコア衝突破片である鉄隕石の破片速度の関係をj知ることが期待でき、鉄隕石がどのような条件で母天体から放出されるのか、見積もることが可能になると考えられる。今後、cmサイズの試料からkmサイズの天体へのスケーリングなどについても考慮する必要があるが、様々なコア-マントル天体の衝突破壊・再集積条件は、それらの内部構造から推定できる可能性がある。

[1] Fujiwara and Tsukamoto (1980) *Icarus*,44, 142–153. [2] Asphaug et al., (1998) *Nature*, 393, 437–440. [3] Holsapple et al. (2002) in *Asteroids III* (Univ. of Arizona Press, Tucson), pp. 443–462.