

模擬天体内部構造と衝突圧力減衰率の関係に関する実験的研究

Impact experimental study about the relation between internal structure of small bodies and the attenuation rate of stress wave

瀬藤 真人 [1]; 中村 昭子 [2]; 山下 靖幸 [2]; 桂 武邦 [3]; 高沢 晋 [4]; 高部 彩奈 [3]; Michel Patrick[5]; 三軒 一義 [6]
Masato Setoh[1]; Akiko Nakamura[2]; Yasuyuki Yamashita[2]; Takekuni Katura[3]; Susumu Takasawa[4]; Ayana Takabe[3]; Patrick Michel[5]; Kazuyoshi Sangen[6]

[1] 神大・理; [2] 神戸大・理; [3] 神大・理・地惑; [4] 神大・理・地惑; [5] コートダジュール天文台; [6] 神戸大・理・地球惑星
[1] Science, Kobe Univ.; [2] Grad. Sch. of Sci., Kobe Univ.; [3] Earth and Planet., Kobe Univ.; [4] Earth&Planet., Kobe Univ.;
[5] Observatoire de la Côte d'Azur; [6] Earth and Planetary Sci., Kobe Univ

太陽系内の小天体には空隙率の高いものが多いとされている。それら小天体の進化の過程を知る上で重要な衝突現象を実験室で模擬的に再現し、天体間衝突における基礎的な物理現象の解明を目的としている。

これまで、多孔質の模擬天体を用意し、数十 m/s ~ 数 km/s の速度領域で衝突実験を行い、衝突後の最大破片が実験条件からどのように規格化できるかを求めてきた。これら室内実験の結果は、天体の起源と進化を調べるための数値シミュレーションにとって有効なデータとなる。

SiO₂ を含むソーダ石灰ガラスビーズ (粒径 ~ 50 μm、密度 2.5g/cm³、軟化点 734 度) を軟化点以下の温度で過熱して焼結させ、空隙を内部に含みながら圧縮強度の高い焼結体を作成し、それらを用いて、神戸大学の 2 種類のヘリウム軽ガス銃による低速度衝突破壊実験と、宇宙科学研究本部の二段式軽ガス銃による高速度衝突破壊実験を行った。実験後の最大破片質量を求め、それが元のターゲット質量に占める割合と、プロジェクタイトルの運動エネルギーとターゲット質量からなる「衝突のエネルギー密度」を求めて、ターゲットの半分の質量を破壊するのに必要な衝突破壊強度 Q^* を求めた。その結果、衝突破壊強度は模擬天体の静的圧縮強度に大きく依存し、衝突速度やエネルギー等の条件からだけでは最大破片を求めることはできないことが分かった。

そこで我々は、衝突で発生する圧力がターゲット内部を伝わり、ターゲット全体に伝わっていく様子に着目し、衝突の反対側に伝わる圧力が破壊の程度を支配しているのではないかと考えた。衝突圧力が距離とともに減衰していく割合と模擬天体の内部構造の関係を求めるために、厚みの異なる円盤型ターゲットを 3 種類用意し、高速度カメラ画像から衝突の反対側での粒子速度減衰率を求める実験を行った。空隙率 39% のターゲットに対する高速度と低速度での衝突実験、ならびに空隙率 32% のターゲットに対する高速度衝突実験を行い、衝突点の反対側から飛び出す破片速度を測定した。ターゲットの厚み (衝突点からの距離) をプロジェクタイトル直径で規格化したものと、反対側での破片速度を衝突速度で規格化したものとを比較し、反対側粒子速度が距離に対してどの程度のべきで減衰していくのかを求めた。その結果、実験速度が異なる場合も、ターゲットの空隙率が異なる場合も、圧力減衰率はおよそ $\propto r^{-2}$ となった。さらにそれを用いて衝突点の反対側に伝播する圧力とターゲットの圧縮強度から求まる PI という無次元衝突圧力を計算し、衝突後の最大破片と比較する PI スケーリング (Mizutani et al.1990、Takagi et al.1984) を行ったところ、それぞれの実験の最大破片の割合は良いスケール結果を示した (瀬藤他、合同大会 2008)。

さらに小天体内部を伝わる圧力波の減衰率を、さまざまな内部構造を持つ模擬天体に関して調べるために、未焼結のガラスビーズ粉体に対する衝突反対側粒子速度測定実験を行い、それぞれの圧力減衰率がどのようになるかを求める。焼結体を構成しているものと同じ、粒径 50 μm のガラスビーズ粉体をアクリル容器に封入し、薬包紙とアルミホイルで蓋をしたターゲットを作成し、弾丸に薬包紙を貫通させた。衝突で発生した圧力が反対側に伝わり、摩擦力でこぼれない程度の小さな穴を開けたアルミホイルから粒子が噴出してくる仕組みであり、その放出速度を高速度カメラの画像から解析した。焼結体の時と同様に、反対側粒子速度を衝突速度で規格化したものと、衝突点からの距離を弾丸半径で規格化したものを比較し、その減衰率を調べた結果、高速衝突であっても低速衝突であっても、減衰率のべきは焼結体と同様の -2 という値を得た。

今回我々は、模擬天体の内部構造と圧力減衰率の関係をより詳細に調べるために、粒径の異なるガラスビーズを用意した実験や、重力による粉体圧縮の効果の有無を調べるために、航空機を用いた微小重力下での同様の実験を行い、それらの結果を比較したものを発表する。