

フラッシュ X 線を用いた衝突破壊現象の観測: 空隙の効果

○中村誠人¹, 荒川政彦¹, 保井みなみ¹

¹神戸大学大学院理学研究科

はじめに

惑星形成過程では微惑星同士の衝突破壊・再集積により原始惑星が形成したとされており、衝突破壊現象の理解が重要となっている。衝突破壊において重要なパラメーターとして衝突破壊強度 Q^* がある。衝突破壊強度 Q^* は天体の壊れやすさを表す指標であり、衝突後の最大破片の質量が元の天体質量の $1/2$ となるエネルギー密度 $Q (= m_p v_i^2 / 2M_t)$ である。衝突破壊強度は天体半径が 100 m 以上の領域では重力による再集積の影響が大きくなるが、実験での再現は難しく、数値計算に頼っている。また、Jutzi (2015) では重力支配域においても衝突破壊強度 Q_D^* の物性依存性がみられた。よって本研究では重力支配域における衝突破壊強度 Q_D^* の数値計算の検証・改良を目的として、特に Q_D^* の空隙依存性について調べた。

実験手法

衝突破壊実験には宇宙科学研究所の横型二段式軽ガス銃を用いて行った。弾丸には直径 7 mm のポリカーボネート球、標的には直径 60 mm の石膏球(空隙率 50%)を用いて衝突速度 $2, 3, 5 \text{ km/s}$ でカタストロフィック破壊させた。石膏球には直径 3 mm の鉄球をトレーサー粒子として同一平面上に配置し、衝突から一定時間後に 3 方向から X 線を照射し、透過像を撮影した。透過像から鉄球の 3 次元位置を測定し、衝突前の鉄球の位置からの変位と衝突からの X 線照射までの時間から鉄球の速度を計測した。また、衝突の様子を高速カメラを用いて撮影し、反対点速度を決定した。衝突後の破片は 90% 以上回収し、サイズ頻度分布を求めた。また、衝突後の最大破片から衝突破壊強度 Q_s^* を求めた。

実験結果

鉄球速度は衝突点と標的の中心を通る線に対してほぼ対称に分布しており、衝突点近傍で最も速く、標的の内部が最も遅い。また、衝突点より下側にある鉄球は下向きの速度ベクトルを持つなど yz 平面での対称性も推定される(図 2)。

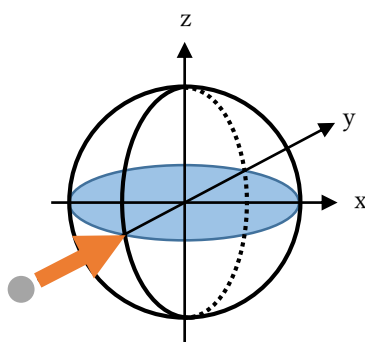


図1 xyz 軸の定義

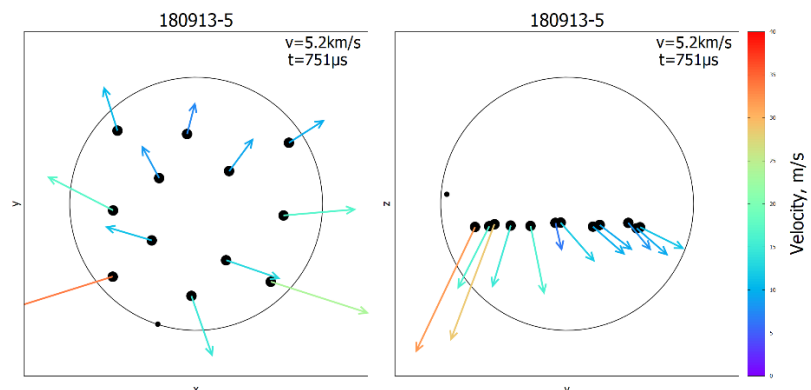


図2 鉄球の速度分布(重心系)

黒丸が鉄球、黒点が衝突点

議論

鉄球近くの破片は鉄球と同じ速度で飛散し、速度分布は y 軸対称であるという仮定のもと、標的を分割し最も近い鉄球に割り当てた。実際、鉄球を含んだ石膏破片が多く見られたため、この仮定は低速度領域では妥当と思われる。粒子速度と標的体積の積算割合の関係において、積算割合が 0.5 となる粒子速度(重心系)を中間速度 V^* と定義した(図 4)。すなわち、標的の半分は V^* より遅い速度で飛散する。 V^* と天体からの脱出速度が等しくなる時、再集積後の最大破片質量は元の天体質量の 1/2 になるので、エネルギー密度 Q と V^* の関係(図 5)から、標的半径と Q_D^* の関係(図 6)が求められる。

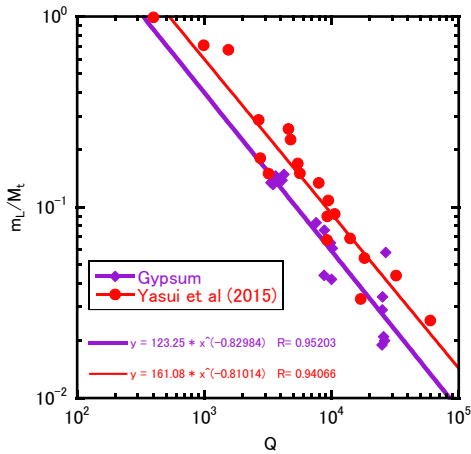


図 3 衝突破壊強度 Q_s^*

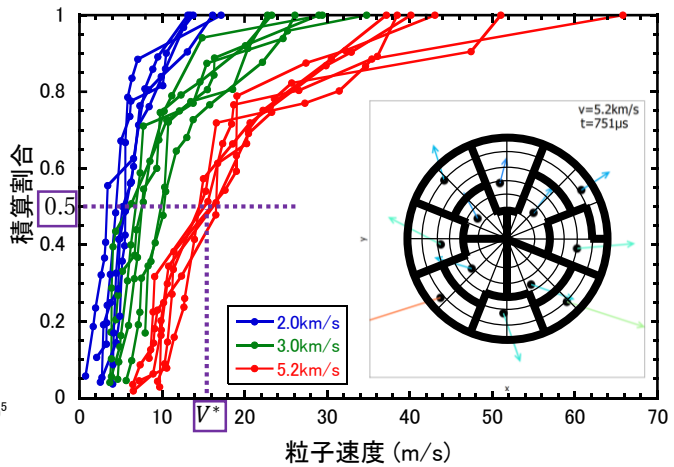


図 4 鉄球速度と積算割合

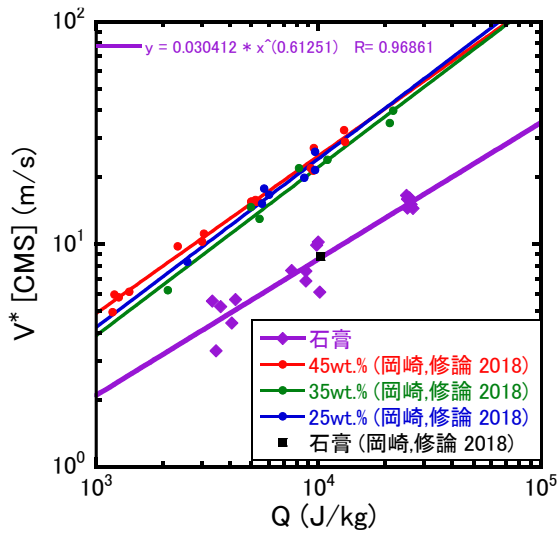


図 5 エネルギー密度と中間速度

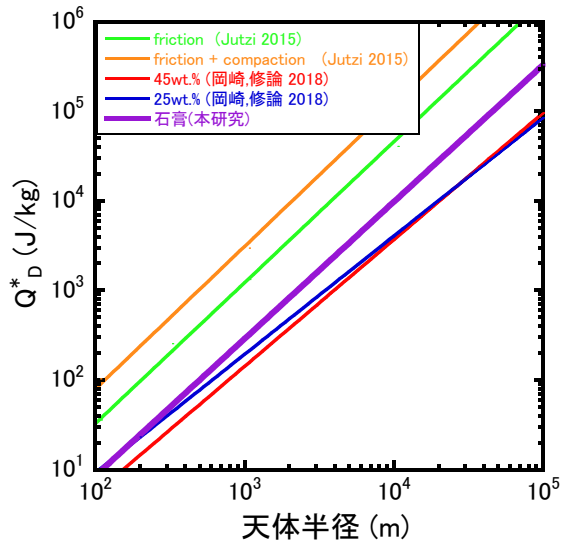


図 6 天体半径と衝突破壊強度

本研究と同様の方法で、標的に凍結粘土球(空隙率 10%未満)を用いた岡崎, 修論 (2018)との比較により空隙がある場合は Q_D^* が大きくなることが分かった。これは Jutzi (2015)の結果と整合的である。