

衝突クレーター形成に伴う地下に埋まったボルダーの放出に関する実験的研究

佐古洸也¹, 荒川政彦¹, 保井みなみ¹, 白井慶¹, 大川初音¹, 山本裕也², 長谷川直²

1. 神戸大学大学院理学研究科 2. 宇宙科学研究所 宇宙航空研究開発機構

背景: 固体天体で衝突クレーターが形成される時, クレーターからエジェクタ粒子が放出され, 一部は天体外へ, 残りは天体表面に堆積する. 小惑星リュウグウ上で行われた SCI 衝突実験では, クレーター形成の際に 6m 程度の大きな岩塊 (ボルダー) はクレーター内に取り残され, 1m 程度の比較的小さなボルダーが放出されたのが確認された (Honda et al., 2021). 小惑星上のレゴリス表面のボルダーの放出過程について, Okawa et al. (2022) がエジェクタ速度分布のスケール則に対するボルダーサイズ依存性について調べた. その結果, エジェクタ速度分布が放出粒子の粒径に依存し, 衝突点からの放出位置と粒子の半径を足した距離を用いると, 放出速度をうまく説明できることがわかった. しかし, ボルダーの放出速度に対する深さ依存性については調べられていない. 本研究では, ボルダーの放出速度に対する深さ変化を実験的に調べた. そのために, ボルダーを模擬したガラスビーズ (トレーサー粒子と呼ぶ) を任意の深さに埋める方法を確立した.

実験方法: 任意の深さにボルダーを埋めるために, 表面ならし器具を製作した. 衝突実験は, 神戸大学の縦型一段式軽ガス銃を用いた低速度衝突実験と, 宇宙科学研究所の縦型二段式軽ガス銃を用いた高速度衝突実験を用いた. 弾丸はステンレス鋼球を用いて, 直径は低速度衝突では 3mm, 高速度衝突では 2mm である. 標的は粒径 100 μ m のガラスビーズを用いた. トレーサー粒子もガラスビーズを用いて, その直径 d_t は低速度衝突では 3mm と 5mm, 高速度衝突では 5mm と 10mm とした. トレーサー粒子の埋没深さ d はその粒径で規格化した値 d/d_t を用いて, -0.5 (標的表面), 0, 0.5, 1 とした (直径 3mm は 0.5, 1 のみ). 高速度衝突では, 0.5, 1 とした. 実験の様子は 2 台の高速度カメラを用いて撮影し, その動画からトレーサー粒子の三次元放出軌道を求めた.

結果: トレーサー粒子の三次元軌道解析から, トレーサー粒子の放出速度を求めた. その結果, 低速度衝突ではトレーサー粒子サイズの依存性は見られなかったが, 埋め込み深さが大きいほど, 同じ放出位置でも放出速度が大きくなった. 特に, トレーサー粒子を地下に完全に埋めた場合と表面に置いた場合では, 顕著に差が見られた. この深さ依存性は, トレーサー粒子があることで周囲の標的粒子の放出が妨げられ, そのためにエジェクタカーテンに見られる穴 (ギャップ) とトレーサー粒子の位置からも示唆される. 地下に完全に埋めた場合, トレーサー粒子はギャップの上側に位置するが多い. これは, 完全に埋めていないトレーサー粒子では, 必ずギャップの下側に位置する傾向とは対照的である. これは, 完全に埋めたトレーサー粒子が周囲の標的粒子より放出速度が大きいことを示している. 一方, 高速度衝突では, 5mm ビーズに関しては, 低速度と同様に, 埋め込み深さが大きいほど, 速度が大きくなる傾向が見られた. しかし, 10mm ビーズに関しては, 埋め込み深さが大きいほど, 速度が大きくなる傾向がみられたが, データのばらつきが大きくなった. これには, 2 種類の原因があると考えている. 1つ目が, 衝突により発生する掘削流による影響である. というのも, 衝突により, Z モデルによる掘削流が何本も発生する. そして, 10mm ビーズは, 5mm ビーズよりも大きくなっており, それにより, 干渉する流線の数も多く, 10mm ビーズがどの流線に乗って, 地表に出てくるかわからない. 乗る流線によって, 放出する場所が全く異なってくるので, このようなばらつきが生まれるというものである. 2つ目が, 実験時のビーズの密な配置による影響である. これは, 実験時にビーズを密に配置してしまい, 他のビーズと放出するときに衝突してしまい, 同じ放出位置でも低速度になっているというものである.