衝突による高空隙率粗粒標的の熱物性変化に関する実験的研究

嶌生有理（宇宙航空研究開発機構）

Experimental study on collisional evolution of thermophysical properties of porous rough targets

Yuri Shimaki (Japan Aerospace Exploration Agency)

はじめに

はやぶさ２搭載小型衝突装置 SCI は多孔質岩塊から構成される小惑星リュウグウ表層に直径 14.5 m の重力支配域クレータを形成すると同時に，副クレータを含む同心円状の地形変化を形成した[1]．この地形変化は，長軸と短軸の比が約 3 である不規則形状の SCI 前方破片によって形成されたと推定されている．副クレータは小惑星上のクレータスケール則の構築において重要であるが，弾丸形状がクレーター形状に与える影響はよくわかっていない．他方，衝突直下点では弾丸と標的の破砕が生じ，その衝突残留熱は小惑星の水質変成や脱水反応の起源と考えられている[2–4]．SCI 事後観測では人工クレータ内外の有意な熱物性変化は検出されていないが[5]，熱カメラによるその場衝突残留熱計測は衝突物性変化を検出する上で重要である．本研究では弾丸形状がクレータ形状に与える影響および衝突残留熱計測による物性変化検出を目的として，粉体標的への衝突実験を行った．本年度は、多孔質粉体標的の衝突残留熱計測について実施した．2022 年 8 月以降は異動の影響を受けて実験が実施できなかったため，予備実験の結果について報告する．

実験方法

弾丸はアルミ球弾丸を用い，直径 2 mm の Al 球を衝突速度 2.5–2.7 km/s で標的に衝突させた．弾丸加速ガスによるエジェクタ擾乱とクレータ形状変化を防止するため，チャンバー上部に風防を設置した．標的は直径 20 cm，高さ 11 cm の容器に充填した軽石粉体パーライト（粒径約<500μm），硅砂 5 号（粒径約 400 μm），ガラスビーズ FGB180（106–96 μm）を用い，縦型二段式軽ガス銃のチャンバー底面から 1 m の高さに設置した．パーライトはタッピング回数と充填質量を変化させることで，バルク密度を 80, 93, 107 kg/m^3 と変化させた．硅砂と FGB180 のバルク密度はそれぞれ 1,480 kg/m^3 と 1,680 kg/m^3 であった．真空度は 1.2–4 Pa とした．衝突時のクレーター形成過程は上方から高輝度照明，高速度カメラ Phantom v2512 (3 kfps)，近赤外高速度カメラ Fast M3k (3

This document is provided by JAXA.

kfps)，熱赤外カメラ BOL (10 fps) を用いて撮像した．実験後，レーザープロファイラを用いて 4 方向のクレータ断面形状を取得し，クレータの深さ d，平均リム直径 D_{rim}，平均直径 D を計測し，複数視点のクレータ画像と Metashape を用いて形状モデルを作成した．クレータ画像から長径 a，短径 b を計測した．

結果と議論

パーライト標的へのクレータ形成では，衝突時に圧密クレータが形成されて高温の衝突生成物がクレータ内壁に観察されたが，クレータ内壁の崩落によって埋没した．硅砂及び FGB180 標的とは異なり，パーライト標的では弾丸加速ガスによって表面粒子が吹き飛ばされて最終クレータ形状が変化したため，チャンバー上部に設置した風防だけでは不十分であることがわかった．標的バルク密度が大きいほど（タッピング回数が多いほど），圧密ピットの直径と深さは小さく，強度支配域クレータのようなピット周囲のスポールが観察された．各実験の圧密ピットの中心を鉛直に切り出して観察したところ，標的バルク密度が大きいほど衝突生成物は地表面近くに分布していた．

高速度熱カメラ M3k によって観察された圧密ピット内壁の高温衝突生成物は，クレータ内壁の崩落によって埋没した．熱赤外カメラ BOL によってその後の温度変化を調べた結果，標的バルク密度が大きいほど表面温度の上昇が早いことがわかった．これは，圧密ピットが浅く，衝突生成物が表面近くに埋没しているためと考えられる．

小天体表層は低重力環境であるため，67P/C-G のような彗星核における放出ダスト再堆積地形[7]は，焼結していない場合，多孔質粉体に近い構造である可能性がある．次世代小天体サンプルリターン探査[8]は小型衝突装置による地下物質の露出を検討している．本実験結果は，衝突地点が多孔質粉体であった場合，衝突生成物が高温を経験して変性するとともに，クレータ内壁の崩落によって地下物質が露出しない可能性を示唆している．他方，微小重力下では地球上より大きなクレータが形成されるため[1]，今後の数値的な検討も必要であると考える．

謝辞

本研究の遂行にあたり，宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所の超高速衝突実験共同利用施設を利用しました．熱赤外カメラは立教大学の装置を使用させていただきました． JAXA/ISAS の長谷川直氏と木内真人氏には実験遂行にご協力いただきました．ここに記して謝意を表します．

This document is provided by JAXA.

参考文献

[1] Arakawa, M. et al. (2020) Science, 368(6486), 67-71.
[2] Rubin, A. E. (2005) Scientific American, 292(5), 80-87.
[3] Sugita, S. et al. (2019) Science, 364(6437), eaaw0422.
[4] Yasui, M. et al. (2021) Communications Earth & Environment, 2(1), 1-8.
[5] Sakatani, N. et al. (2020) 51st Lunar and Planetary Science Conference, #1358.
[6] Kiuchi, M. (2019) PhD. Thesis.
[7] El-Maarry, M.R. et al. (2019) Space Sci Rev (2019) 215:36.
[8] Kurokawa, H. et al. (2023) 24th Symposium on Planetary Sciences

This document is provided by JAXA.