

微小重力における粉体層への衝突の実験的研究：弾丸貫入の抵抗則 Laboratory Experiment on Impact Process of Granular Target under Microgravity: Drag Equation of Projectile Penetration

岡本 尚也^{1*}, ギュットラー カーステン¹, 中村 昭子¹, ハーゲマン ヤンヘンドリック², 和田 浩二³, プリュム ユーリアン²
Takaya Okamoto^{1*}, Carsten Guettler¹, Akiko Nakamura¹, Jan-Hendrik Hagemann², Koji Wada³, Jurgen Blum²

¹ 神戸大学大学院理学研究科, ² ブラウンシュヴァイク工科大学, ³ 千葉工業大学 惑星探査研究センター

¹Graduate School of Science, Kobe University, ²Braunschweig University of Technology, ³Planetary Exploration Research Center, Chiba Institute of Technology

小惑星はレゴリスやボルダーを表面に持つ。これらは衝突・再集積の進化の過程を経て表面に存在すると考えられる。例えば小惑星イトカワ上には破砕デブリから成っている smooth terrain とたくさんのボルダーが見られる rough terrain が観測されている。一方、イトカワの脱出速度は毎秒 10-20cm である。すなわち、脱出速度以下で再集積が起こると考えるならば、イトカワサイズの小惑星の再集積過程は cm s^{-1} - m s^{-1} オーダーの低速度衝突で起こったと考えられる。またイトカワ表面での重力、すなわち 0.1mm s^{-2} 、といった微小重力におけるクレーター形成過程やイジェクタ放出過程の理解の確立は行われていない。本研究では、小惑星表層で起こったであろう再集積衝突過程を理解するために、小惑星レゴリスを模擬した粉体への低速度衝突実験を微小重力下で行った。本発表は天体表層のボルダーがどのようにレゴリスに貫入したかを理解するために、弾丸に働く抵抗則に焦点を絞る。

ターゲットには球形のガラスビーズと不規則形状の砂を使用した。ガラスビーズは $90\text{-}106\ \mu\text{m}$ と $355\text{-}500\ \mu\text{m}$, 砂は $100\text{-}180\ \mu\text{m}$ と $300\text{-}600\ \mu\text{m}$ の粒子サイズを持つものを用意した。弾丸は直径 5mm, 長さ 15mm のアルミニウム円柱を加工して先端を半球形にしたものを用いた。実験はブラウンシュヴァイク工科大学 (ドイツ) のドロップタワーを使用した。この装置では弾丸とターゲット、高速度カメラを異なる時刻に自由落下させることで微小重力下 ($< 3.4 \times 10^{-4}\ \text{m s}^{-2}$) で衝突実験を行うことができる (Beitz et al., 2011)。衝突速度は $\sim 5\text{cm s}^{-1}$, 23cm s^{-1} , $\sim 50\text{cm s}^{-1}$ の 3 通り、またチャンバー内圧力は $\sim 20\ \text{Pa}$ と $500\ \text{Pa}$ の 2 通りで行った。

砂への衝突ではイジェクタははっきりとしたコーン形状にはならなかったが、ガラスビーズへの衝突ではきれいなコーン形状のイジェクタが放出された。高速度カメラ画像から弾丸の後端とターゲット表面からの距離を測定して、弾丸の減速過程を解析した。その結果ガラスビーズよりも砂の方が減速されやすいことが分かった。初期解析として弾丸の受ける抵抗が 速度の 2 乗に比例する場合、速度に比例する場合、速度に依らない定数の場合の 3 通りで弾丸減速の解析を行ったところ、速度に比例する抵抗を仮定した場合に最も良いフィッティング結果を得た。弾丸速度に比例する抵抗は、ガラスビーズ層へプラスチック球を初速度 $70\ \text{m s}^{-1}$ で打ち込んだ場合の実験および数値シミュレーションの解析結果にも見られる (Nakamura et al. 2013)。本発表では抵抗則がターゲット物質や粒径、衝突速度の違いをどのように反映するかについて議論する。