

クォータースペース法を用いた低重力下での 高速度クレーター形成実験

○木内真人¹, 岡本尚也², 長足友哉³, 山口祐香理⁴, 長谷川直¹, 中村昭子⁴
¹宇宙航空研究開発機構, ²千葉工業大学惑星探査センター, ³東北大学大学院理学研究科, ⁴神戸大学大学院理学研究科

背景と目的

小天体表面では微隕石の衝突が過去から現在まで継続的に起こっており, 衝突クレーターの形成や放出物の表面への再集積, 衝突励起振動による地形の緩和などの表面の地形変化を及ぼす. 小天体表面での衝突現象を理解することは, 小天体の表層物性や地質年代, 表面進化の過程を読み解くことにつながる. これまで我々が行ってきた高速度域(~ 1.2 km/s)での低重力下でのクレーター形成実験(Kiuchi et al., 2021, JpGU)や, 過去の低重力下での衝突実験(Gault and Wedekind, 1977; Cintala et al., 1989; Takagi et al., 2007)では, クレーター直径以外のデータはほぼ得られておらず, クレーター深さ方向に対して重力がどのような効果を及ぼすか調べられていない. クレーターサイズのスケールリング則を確立するうえで, 計測する情報がクレーター直径だけでは不十分である. クレーター内部の粒子の流れを観察することは, 低重力下でのクレーター形成過程の理解において重要である. 過去に 1 G 下でクレーター形成過程を断面的に調べた実験例はあるが(Piekutowski, 1980; Schultz, 2003; Yamamoto et al., 2006 他), 低重力下ではこれまで行われていない. また, 二次元 iSALE などの衝突数値シミュレーションではクレーターの断面的な計算が行えることから, 実験による観察は数値計算との比較において非常に有用である.

実験方法

本研究では, クォータースペース法を用いて, 低重力下でのクレーター形成過程の「断面的な観察」を行う計測システムの開発を行った. 宇宙航空研究開発機構(JAXA)施設内にある縦型式二段銃の真空チャンバー内に簡易な落下装置を構築することで, 秒速数キロメートルの衝突速度での低重力衝突実験を行うことができる(木内他, 2020, 惑星科学会). 実現できる模擬的な重力は 0.04 ± 0.03 G であり, 低重力継続時間は約 0.4 s である. 縦横 30×30 cm, 高さ 15 cm のステンレス製容器の内部に厚さ 5 mm のアクリル板を用いて鉛直方向に仕切り, 仕切られた片方の空間に標的粒子を充填する. もう片方の空間にはデジタルカメ

ラおよび光源を設置することで、標的粒子層をアクリル板越しに水平方向から撮影する。弾丸をアクリル板近傍に衝突させることで、クレーターキャビティの成長過程の断面的な観察を行った。弾丸は円柱形のポリカーボネート(直径 4.8 mm, 高さ 5 mm)を用い、珪砂(粒径 $\sim 450 \mu\text{m}$)および微小アルミナ粒子(粒径 $\sim 40 \mu\text{m}$)に速度 1.2 km/s で衝突させた。

結果と今後の課題

まず 1 G 下で実験を行った結果、ハーフスペース法(通常のクレーター形成実験)とクォータースペース法において、クレーター直径に違いは見られなかった。過去の実験では、ハーフスペース法と比べてクレーター直径が 1~2 割程度小さくなった実験例もあり(Piekutowski, 1980)、仕切り用の板が掘削流に与える影響が無視できない可能性があるが、本実験条件ではクレーター直径に関して影響は見られなかった。クレーター形成過程の断面的な観察結果の一例を図 1, 2 に示す。1 G 下, 0.04 G 下ともにクレーターキャビティの成長過程が良く観察できることがわかったが、カメラの画角や照明の調整, 粒子の流れを可視化するための工夫(例えば色を付けた試料を用いる)等, 改良すべき点はある。今後, 実験手法の改良を行うことで, 低重力下でのクレーターキャビティの詳細な成長過程や掘削粒子の挙動に関するデータの取得を目指す。

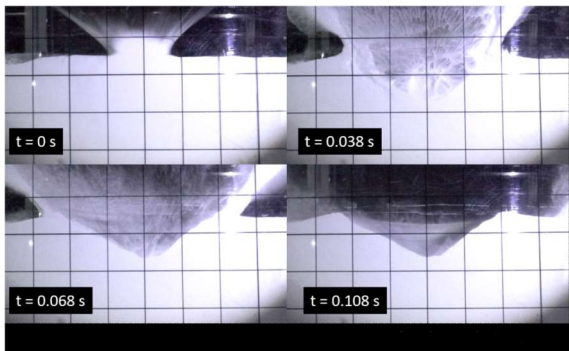


図 1: 観察例 (アルミナ標的, 1 G)

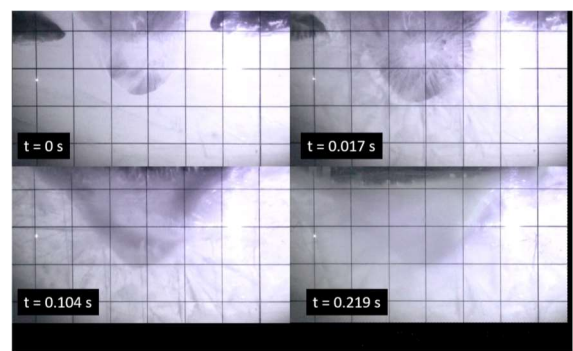


図 2: 観察例 (アルミナ標的, 0.04 G)