

低重力下でのクレーター形成過程の 断面的な観察

○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⁵, 中村昭子⁴

¹立命館大学理工学部, ²千葉工業大学惑星探査研究センター,

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,

⁵宇宙航空研究開発機構

背景と目的

小天体表面では微隕石の衝突が継続的に起こっており, 衝突現象は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. 過去の低重力下での高速度衝突実験 (Gault and Wedekind, 1977; Cintala et al., 1989; Kiuchi et al., 2023 他) 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ジ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. また, 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, 2 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有用である.

実験方法

本研究では, クォータースペース法 (Piekutowski, 1980 他) 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 (Kiuchi et al., 2023). 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, 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。標的粒子には硅砂(粒径:~425 μm)，微小アルミナ粒子(粒径:~40 μm)，ガラスビーズ(粒径:~220 μm)，微小ガラスビーズ(粒径:~44 μm)の4種類を用いた。弾丸にはガラス球(直径1 mm, 2 mm)と円柱形のポリカーボネート(直径4.8 mm, 高さ5 mm)を用い，速度1.2 km/sで衝突させた。

結果と今後の課題

1 G 下でハーフスペース法とクォータースペース法それぞれで実験を行った結果，それぞれの手法でクレーター直径に違いは見られなかった。このことから，着弾点が仕切り板近傍の場合，クレーターサイズの成長の観察に影響を少ないと考えられる。クレーター形成過程の断面的な観察例を図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ていることがわかる。各標的の最終クレーター深さと直径の比を比較したところ，ほとんどの実験条件で0.2前後であったが，微小アルミナ標的と微小ガラスビーズ標的の0.04 G 下の結果では0.35~0.40という大きい比が得られた。大きい深さ直径比が得られた条件は粒子層の固着力がクレーターサイズに影響を与える領域にあり(Kiuchi et al., 2023)，標的強度がクレーター形状に影響している可能性がある。

一方，標的容器落下時に試料表面が上方方向に浮き上がる傾向が見られるが，このときの粒子層表面の密度や空隙率の変化が実験結果に影響を与えている可能性がある。今後の課題として，粒子層の浮き上がりが結果に与える影響を評価するとともに，浮き上がりの軽減する手法を確立することが挙げられる。

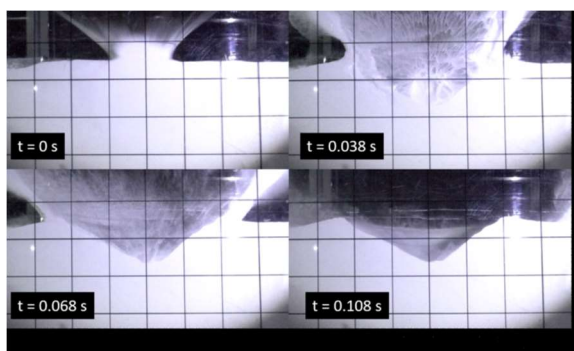


図1：アルミナ標的 (1 G)

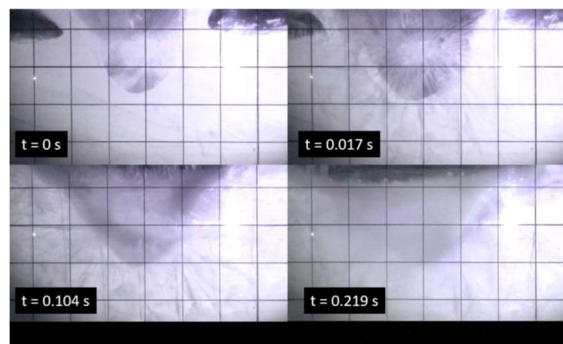


図2：アルミナ標的 (0.04 G)