

小惑星の起伏表面に適用可能なクレータースケール則とクレーターの崩壊に関する実験的研究

Experimental Studies on Crater Scaling Law Applicable to Undulating Surfaces and Crater Collapse.

*横田 優作¹、荒川 政彦¹、保井 みなみ¹、山本 裕也¹、長谷川 直²、大川 初音¹

*Yusaku Yokota¹, Masahiko Arakawa¹, Minami Yasui¹, Yuya Yamamoto¹, Sunao Hasegawa², Hatsune Okawa¹

1. 神戸大学大学院理学研究科、2. 宇宙航空研究開発機構

1. Graduate School of Science, Kobe University, 2. Japan Aerospace Exploration Agency

衝突クレーターは、小惑星や人工衛星などの固体天体において主要な地形の1つである。クレーターの形態は天体表面の影響を受ける。例えば、ラブルパイル小惑星の表面はボルダーに覆われているため、アーミング効果によって小クレーターが欠如する。また、表層粒子の凝集力はクレーター形成効率に影響を及ぼす。さらに、近年のはやぶさ2やOSIRIS-RExによる探査で、小惑星リュウグウやベンヌは赤道域に巨大なバルジ地形を持つことがわかっている。リュウグウのバルジには大クレーターが集中しており、他の領域とは異なる表面特性や表面年代を示している可能性がある。しかし、このような起伏表面でのクレーター形成過程はまだ分かっていない。そこで本研究では、小惑星表面の起伏地形を模擬した粉粒体標的に対してクレーター形成実験を行い、起伏地形上のクレーターに適用可能なスケール則を構築する。これにより、天体表層の力学的特性や表面年代の推定精度の向上を目指す。

小惑星の起伏地形を模擬するために、山脈状の粉粒体標的を用意した。この標的は直径100 μm 、安息角約31°の石英砂で構成されている。標的の傾斜角 θ は20°と30°に設定した。また、平面($\theta = 0^\circ$)も用意した。また、衝突点から山頂までの水平距離 d を1 mmから22 mmの範囲で変化させた。神戸大学の縦型一段式軽ガス銃を用いて衝突実験を行った。標的は真空チャンバーにセットし、1000 Pa以下に排気した。弾丸には直径3 mmのアルミナ球を使用し、衝突速度 v_i は $\theta = 30^\circ$ で63~202 m/s、 $\theta = 20^\circ$ で3.8~89 m/s、 $\theta = 0^\circ$ で76~187 m/sの範囲であった。クレーターの形状を解析するために、Metashapeというソフトを用いて3次元形状モデルを作成した。この形状モデルを用いて、稜線方向の楕円の長さ D_{ma} 、斜面方向の楕円の長さ D_{mi} 、深さ、クレーター体積を測定した。また、高速度カメラを用いて衝突現象の観測を行った。

クレーター形状は楕円形であり、アスペクト比(稜線方向の長さ D_{ma} と斜面方向の長さ D_{mi} の比)は d に依存していた。また、クレーター体積は d/D_{ma} に依存することが分かった。 $d/D_{ma} > 0.3$ では、遷移クレーターが山頂を越えず、斜面方向の崩壊によってクレーターが埋まるため、体積は著しく小さくなった。 $d/D_{ma} < 0.3$ では、遷移クレーターが山頂を越えて成長し、稜線方向のクレーター壁がクレーターの底に向かって崩壊した。しかし、斜面方向のクレーター壁はクレーターの外側に崩壊した。この2つのメカニズムにより、クレーターの埋没が制限された。さらに、アスペクト比(D_{ma}/D_{mi})と深さ直径比(h/D_{ma})も d/D_{ma} によって制御されていた。なお、リュウグウのウラシマクレーターは深さ直径比が0.07であり、傾斜角30°のバルジを模擬した実験では、 $h/D_{ma} = 0.07$ のとき d/D_{ma} はおおよそ0.2であった。この d/D_{ma} は0.3以下であることから、 $h/D_{ma} = 0.07$ の浅いクレーターは主に稜線方向のクレーター壁の崩壊に起因するものと考えられる。さらに、 $\theta = 30^\circ$ における D_{ma} は d/D_{ma} に依存していた。そこで、 d/D_{ma} で規格化することによって得られた山脈状標的のスケール則を平面に対するスケール則と比較すると、バルジ上に形成されるクレーターは、常に平面に形成されるクレーターより大きいことが分かった。したがって、この結果は、リュウグウのバルジの表面年代を再考する必要があることを示唆している。

キーワード：クレーター、小惑星、リュウグウ

Keywords: crater, asteroid, Ryugu