

低強度レゴリスにおける衝突エジェクタ速度スケール則に関する実験的研究

山本裕也^{*1}, 荒川政彦¹, 保井みなみ¹, 長谷川直², 横田優作¹, 大川初音¹, 杉村瞭¹

1 神戸大学大学院理学研究科, 2 宇宙科学研究所

はじめに：固体天体への衝突クレーター形成は、太陽系における最も重要な地質学的プロセスの一つである。クレーター形成過程における天体物質の掘削と放出過程は、レゴリスの形成や母天体からの脱出過程を理解する鍵となる。そのため、天体表層の衝突進化について議論する上で、エジェクタ速度分布を理解することは不可欠である。これまでの研究で、重力支配域におけるエジェクタ速度スケール則に関し

て、 π スケール則により $\frac{v_0}{\sqrt{gR}} = C_1 \left(\frac{x_0}{R}\right)^{-\frac{1}{\mu}}$ と表されることが知られている[1]。しかし、標的粒子の破壊強度や弾丸と標的粒子のサイズ比の両方が最終クレーターの大きさに影響することがわかってきており[2,3,4]、この2つの要素がエジェクタ速度分布にも影響すると考えられる。そこで、本研究では、標的粒子の強度と弾丸/標的粒子のサイズ比がエジェクタ速度分布に及ぼす影響を調べるために、粒径の異なる2種類の低強度粗粒標的に対して衝突実験を行った。

実験手法：標的には直径1~4 mm(細粒)と1~4 cm(大玉)の2種類の風化凝灰岩を用いた。この凝灰岩粒子の圧壊強度を計測したところ、細粒で約60 kPa、大玉で約13 kPaであった。衝突実験は、神戸大学と宇宙科学研究所に設置された縦型ガス銃を用いて行った。弾丸は、神戸大学では直径3mmの球(SUS, ジルコニア, アルミナ, ガラス, ナイロン)を、宇宙科学研究所では直径2 mmの球(WC, 銅, SUS, ジルコニア, チタン, アルミニウム, ナイロン)を用いた。これらをそれぞれ40~200 m/sと1.2~4.5 km/sの衝突速度(U)で正面衝突させた。衝突の様子は高速度カメラで 10^3 ~ 10^5 fpsで観測し、画像中の個々の粒子の位置を追跡することで、粒子の初期位置、初速度、放出角度を計算した。

結果：高速度画像を解析した結果、衝突点付近の標的粒子が破壊され、衝突直後に細かいエジェクタとして速い速度で放出し、その後、無傷の粒子がゆっくりと放出することがわかった。このことから、標的粒子の強度が小さい場合、エジェクタ放出過程には、粒子破壊による高速度の飛び出しと、破壊のない低速度の飛び出しの2つのプロセスがあると考えられ、破壊された粒子の速度は粒子強度でスケーリングされた速度で整理できると推測できる。また、粒子の初速度(v_0)は初期位置(x)の増加とともに減少することがわかり、これらの結果に従来のエジェクタ速度スケール則[1]を

適用した。すると、細粒では弾丸密度が大きくなると μ が小さくなる傾向、大玉では弾丸密度の増加とともに μ が大きくなる傾向があり、標的粒径による違いが見られた。さらに、クレーター壁での規格化エジェクタ速度 $\frac{v_0}{\sqrt{gR}}$ は、細粒は ~ 0.8 で先行研究の強度

を持つ等粒状標的と同程度、大玉は $0.8\sim 1.8$ と大きくなることがわかった。これは、大玉標的は粒子が大きいので、隣の粒子を超えて放出するためには、より大きな速度を必要とするためではないかと考えられる。次に、放出角度に関して、衝突点近傍はばらつきが大きかったため規格化距離($x_0/R > 0.4$)の範囲で平均値をとり、標的粒径と弾丸密度の影響を調べた。細粒は、 $\theta_{ave} = 40\sim 55^\circ$ で弾丸密度依存性は見られず、先行研究の値と整合的であった、大玉は、弾丸密度の増加とともに θ_{ave} が大きくなったが、上限値は 55° であった。弾丸密度の影響が見られた理由として、本研究の衝突規模では大玉粒子のラフネスがクレーター形成過程に効いており、弾丸の潜り込みの効果が大きいからではないかと考えられる。今回の結果は、非常に大きな μ の値を示している。これは高速度カメラ1台による2次元的な粒子追跡法で解析しているため、追跡の際、カメラ視線方向成分を除去できていないためだと考えられる。そのため、今後は放出粒子を3次元で追跡することにより、精度を高めてエジェクタ速度スケール則に対する標的粒子の強度とサイズの影響を調べることを目指す。

参考文献 [1]Housen and Holsapple(2011), Icarus 211, 856-875, [2]Tatsumi and Sugita(2018), Icarus 300, 227-248, [3]Güttler et al.(2012), Icarus220, 1040-1049, [4]Barnouin et al.(2019), Icarus 325, 67-83

図は左から、規格化エジェクタ速度と規格化距離の関係(細粒標的)、規格化エジェクタ速度と規格化距離の関係(大玉標的)

