

衝突クレーター形成に伴うイジェクタ速度分布に関する実験的研究 Ejecta velocity distribution for impact crater formed on quartz sand: Effect of projectile density on crater scaling law

辻堂 さやか¹; 荒川 政彦^{1*}; 鈴木 絢子²; 保井 みなみ¹; 松榮 一真¹; 高野 翔太¹; 長谷川 直²
TSUJIDO, Sayaka¹; ARAKAWA, Masahiko^{1*}; SUZUKI, Ayako²; YASUI, Minami¹; MATSUE, Kazuma¹;
TAKANO, Shota¹; HASEGAWA, Sunao²

¹ 神戸大学大学院理学研究科, ² 宇宙航空研究開発機構 / 宇宙科学研究所

¹Graduate School of Science, Kobe University, ²Japan Aerospace Exploration Agency, Institute of Space and Astronautical Science

衝突クレーターの形成は、太陽系の形成、進化過程において普遍的な現象である。天体衝突による表層進化の研究を行う上で、衝突クレーターに関するスケール則が必要となる。スケール則を用いることで、実験室規模の実験結果を実際の天体規模のクレーター形成過程に適用することが可能となる。本研究では、スケール則に対する弾丸密度の影響を調べるため、 $1.1 - 11 \text{ g cm}^{-3}$ の異なる密度をもつ 8 種類の弾丸を用いて、衝突速度 $100 - 200 \text{ m s}^{-1}$ の低速度域における衝突クレーター形成実験と、衝突速度の影響を調べるためのポリカーボネイト弾丸を用いた $1.5 - 7 \text{ km s}^{-1}$ の高速度域における衝突クレーター形成実験を行った。

各弾丸、各衝突速度において得られたエジェクタ速度分布は、 π スケール則による式、 $v_0/\sqrt{gR} = k_2(x_0/R)^{-1/\mu}$ により整理できた。 v_0, g, R, x_0 はそれぞれ放出速度、重力加速度、クレーター半径、放出位置を表し、 k_2 および μ は主にターゲットによる定数である。 μ は弾丸密度に依存し、低密度弾丸における $0.31 - 0.43$ から高密度弾丸における $0.6 - 0.7$ まで、弾丸密度とともに大きくなることがわかった。また、高速度域において得られた速度分布から、衝突点近傍の $x_0 < 4a$ (a は弾丸半径) の範囲では点源近似が成り立たず、速度分布がベキ乗則に従わないことがわかった。

一方、クレーターサイズに関する π スケール則から、低速度域では μ が 0.55 と求まったが、この値は、同じ速度域において各弾丸に対してエジェクタ速度分布から求めた μ の平均値と近い。また、高速度域ではクレーターサイズの π スケール則から求まった μ は 0.44 であり、 μ には衝突速度依存性があると考えられる。

エジェクタ粒子の放出角度 (θ) は、衝突点付近では $30 - 48^\circ$ の間で大きくばらつくが、衝突点から離れるとばらつきは小さくなり、さらにその値は小さくなる。衝突速度が低速度では $x_0 > 0.6 R$ において、放出角度は $30 - 40^\circ$ と放出位置によらずほぼ一定となった。一方、衝突速度が高速度では $x_0 = 0.7 R$ を越えると放出角度が大きくなることがわかった。

エジェクタカーテンの角度は、エジェクタ速度分布と放出角度の両者によって決まる。今回の実験では、弾丸密度の増加とともに 43° から 63° まで大きくなることがわかった。

この実験で得られた結果を、クレーター形成時の掘削流を表した Z モデル (Maxwell, 1977) と比較すると、実験により得られた μ と θ との関係は Z モデルでは説明できないことがわかった。そこで点源が、ある深さ d を持つ場合のクレーター形成過程にも適用できる拡張 Z モデル (Croft, 1980) を用いて比較した所、すべての実験結果に対する μ 及び θ は適切な Z と d によって説明可能であることがわかった。さらに、点源深さを確認するために Quarter-space 実験により、クレーター形成時における実際の地下の掘削流を調べた。その結果、拡張 Z モデルから得られた流線と実験から調べた掘削流を比べると、流線の始点は必ずしも一点であるとは限らず、線滴に分布している可能性があることがわかった。

キーワード: 衝突過程, レゴリス, クレーター形成, 小惑星表面, イジェクタカーテン, スケール則
Keywords: Impact processes, Regoliths, Cratering, Asteroid surfaces, Ejecta curtain, Scaling Law