

玄武岩標的への斜め衝突による高速度エジェクタ：金属二次標的上のクレーター形状

○山本 大晟, 山口 祐香理, 松原 光佑, 中村 昭子

神戸大学大学院理学研究科

研究背景

天体表面への高速度衝突によってエジェクタが形成される。エジェクタの一部は天体表面に再衝突してクレーター周囲に見られるレイなどの衝突地形を形成する(e.g., [1])。また、衝突が起こった天体を脱出し、例えば火星からフォボスなど、他天体に到達するものも存在すると考えられる(e.g., [2])。しかし、エジェクタの天体表面への再衝突および他天体表面への衝突によって形成される衝突地形の実験的研究は多くない。そこで、本研究では、岩石天体から放出されるエジェクタによる他天体表面(レゴリスや岩盤)への衝突を実験で再現する試みを行う。また、それに伴い形成される衝突構造についての調査を行う。

実験手法

宇宙科学研究所の二段式軽ガス銃で加速させたアルミニウム弾丸(直径約 3.2 mm)による岩石天体表面を模した玄武岩(1 辺 10 cm 程度の直方体)への衝突を行い、さらにその衝突によって形成されたエジェクタによるレゴリスを模した砂とアルミ板への衝突実験を行った。玄武岩への衝突において、アルミニウム弾丸の衝突速度は約 7 km/s、衝突角度を弾丸の軌道と玄武岩の衝突面のなす角度として、30° から 60° に変えて行った。

結果

一次標的への弾丸の衝突(一次衝突)によって岩石から放出されたエジェクタの衝突(二次衝突)によって、砂上に溝状の衝突構造が形成された。また、アルミ板へのエジェクタの衝突によって多数のクレーターが生成され、その中でも比較的大きいものが線状に並び、溝状構造に連なっている様子を確認できた。同じ速度のエジェクタの放出角度は、一次標的への衝突角度とともに増加する傾向にあった。砂表面の溝状構造やアルミ板上のクレーター列は、一次標的の衝突地点から放射状に配列していた。アルミ板上に形成されたクレーターの大きさとエジェクタの放出速度から強度支配域での π スケーリング[3]によってエジェクタ直径を推定したところ、放出速度が大きいエジェクタは直径が小さいことが分かった。

金属二次標的上に形成されたクレーターの形状

金属標的への衝突クレーターの深さと直径の比は、衝突速度、標的強度、弾丸密度で構成される無次元数(π_3)や衝突角度に依存することが過去の実験やシミュレーションにより示されている(e.g., [3])。また、無次元数 π_3 とクレーター深さ/直径比の関係は、金属標的に金属弾丸を衝突させた場合と岩石弾丸を衝突させた場合で異なることも示されている[3]。そこで、一次標的への衝突角度が 30° と 60° の衝突において、様々な放出速度、放出角度で放出されたエジェクタが

弾丸物質由来か標的物質由来かを調べるために、二次標的上に生成されたクレーターの深さ/直径比を調べた。クレーターの深さは、レーザープロファイラによってアルミ二次標的表面の高さを計測し、クレーター周囲の高さからクレーター最深部の高さを引くことによって取得した。クレーターの直径は、アルミ板表面をスキャナーでスキャンし、ImageJ[4]によってクレーターの縁を楕円近似し、その長径と短径の平均値とした。

アルミ二次標的に形成されたクレーターの深さ/直径比を、衝突速度(U)、標的強度(Y)、弾丸密度(ρ_p)、二次標的への衝突角度(ϕ)で構成される無次元数 $\pi_3(= Y/\rho_p(U \sin \phi)^2)$ を横軸にとって比較したところ、同程度の π_3 であるにも関わらず、多様な深さ/直径比が得られた。これらの値は、金属弾丸を金属標的に衝突させた場合と岩石弾丸を金属標的に衝突させた場合のそれぞれの経験式[3]を跨ぐように分布していた。これは、弾丸由来の金属エジェクタと標的由来の岩石エジェクタが混在していたためであると考えられる。

謝辞

本研究は JAXA 宇宙科学研究所の超高速度衝突実験施設の共同利用実験として行いました。

[1] Kadono et al., 2015, Icarus 250, 215-221.

[2] Ramsley and Head, 2013, Planet. Space Sci., 87,115–129.

[3] Ogawa et al., 2021, Icarus 362, 1-14.

[4] Schneider et al., 2012, Nature Methods 9, 671-675.