

岩石からの 1 km/s 以上の高速度衝突エジェクタ： 二次クレーターピットから探るエジェクタ形状

○山口祐香理、中村昭子（神戸大学大学院理学研究科）

背景と目的

天体衝突は普遍的な現象であり、それに伴う物質輸送も活発に起こっている。特に、脱出速度の大きな惑星間、惑星衛星間の物質輸送では天体衝突による高速度エジェクタが重要な役割を果たす。例えば、火星衛星表面には、火星での衝突によって放出された火星物質が存在すると考えられており、MMX ミッションによる火星衛星フォボスからの回収サンプル中の火星エジェクタ量が数値計算により推定されている[1]。しかし、高速度エジェクタのサイズと放出速度と放出角度の関係に関するデータは不足している。そこで、我々は二次標的を用いた実験手法[2]を用いて、高速度エジェクタのサイズと放出速度と放出角度の関係を調べてきた。その結果、エジェクタの放出速度と放出角度の関係および、同じエジェクタ速度での最大エジェクタサイズについて、岩石間で大きな差は見られなかった。一方、最大サイズとエジェクタ速度の関係の傾きは、従来の破片生成モデル[3]の傾きよりも緩やかであった。この原因として、我々がエジェクタを球と仮定してサイズを算出していたことが挙げられる。高速度では破片が破砕されるためにエジェクタの厚さとサイズが同程度で、低速度ではエジェクタがあまり破砕されないためにエジェクタの厚さに比べてサイズを大きく見積もっている可能性がある。そこで、本研究ではエジェクタ形状に着目する。

実験手法

実験1 高速度エジェクタ生成実験

宇宙科学研究所の二段式軽ガス銃を用いて直径 3 mm のアルミニウム球弾丸を、衝突速度 7 km/s で、一次標的に垂直衝突させた。エジェクタが通過する位置に二次標的を配置し、弾丸の一次標的への衝突とエジェクタの二次標的への衝突を高速度カメラで撮影した。一次標的として、蛇紋岩、パイロフィライトを、二次標的としてポリカーボネート板（以下、ポリカ板）を使用した。

実験2 ポリカ板校正実験

実験1で二次標的にクレーターを形成したエジェクタの形状に関する情報を得るため、ポリカ板のクレーター・クレーターピットが衝突体の形状をどれほど反映するかを調べる校正実験を行った。直径 $13 \pm 1 \mu\text{m}$ 、長さ $113 \pm 61 \mu\text{m}$ のガラスファイバーを、衝突速度 3, 5, 7 km/s で、ポリカ板に散弾衝突させた。また、加速によるファイバーの破壊程度を調べるため、厚さ $3 \mu\text{m}$ の Al 箔にも同様に衝突させた。

解析手法

実験1

エジェクタ速度は、エジェクタの飛行時間と飛行距離から算出した。また、エジェクタの形状の手がかりとして、二次クレーター・クレーターピットについて、光学顕微鏡画像から ImageJ を用いて楕円体近似したときの軸比(短軸/長軸)を測定した。

実験2

ポリカ板上に形成されたクレーター・クレーターピットについては、光学顕微鏡画像から、アルミ箔に形成された穴については、電子顕微鏡画像から、実験1と同様に軸比を測定した。

結果と議論

先行研究の経験則[4,5]に基づき、実験2で形成されたアルミ箔の穴から衝突体(ファイバー)の二次元投影サイズを推定した結果、ファイバーは加速中に長軸が壊れて短くなることが分かった。同程度の破壊を経験したファイバーがポリカ板に衝突したとすると、ポリカ板に形成されたクレーターピットの軸比は、クレーターの軸比に比べてファイバーの軸比に近いことが分かった。そこで、クレーターピットはクレーターに比べて衝突体の形状をよく反映するとして、実験1の蛇紋岩とパイロフィライトからのエジェクタについて、エジェクタ速度とクレーターピット軸比の関係を調べた。パイロフィライトからの放出速度 ~ 9 km/s と ~ 6 km/s のエジェクタによるクレーターピットの軸比の最大値を比較すると、前者の方が0.1大きく、より丸い形状である可能性がある。また、パイロフィライトからの放出速度 ~ 9 km/s のエジェクタと蛇紋岩からの放出速度 ~ 8 km/s のエジェクタによるクレーターピットの軸比、およびイトカワ粒子の二次元投影軸比[5]の中央値は、それぞれ0.68、0.57、0.62であり、蛇紋岩からのエジェクタが細長い可能性があるものの、エジェクタ形状が放出速度に依存する度合いは小さいことが明らかとなった。そのため、これまでの我々のエジェクタを球と仮定してきたサイズの見積もりに形状の補正を加味したとしても、本実験の最大サイズとエジェクタ速度の関係の傾きはモデルと一致せず、緩やかであることが確認された。

参考文献

- [1] Hyodo et al. (2019) *Sci. Rep.* **9**, 19833. [2] Nakamura et al., submitted. [3] Melosh (1984) *Icarus* **59**, 234-260. [4] Hörz (2012) *Meteorit. Planet. Sci.* **47**, 763-797. [5] Matsubara et al., submitted.

謝辞

本研究は、JAXA 宇宙科学研究所の超高速衝突実験施設の共同利用実験として行い、JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム JPMJSP2148 の支援を受けたものです。