

高速度衝突によって形成されるクレーターの形状と分光特性の観察

松原光佑¹, 山口祐香理², 中村昭子², 長谷川直³, 和田武彦³

¹神戸大学理学部, ²神戸大学理学研究科, ³宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所

研究背景

太陽系内では、天体同士の衝突を通じて様々な物質が輸送されている。例えば、分化している小惑星 Vesta の表面には、衝突によってもたらされたと考えられる物質が存在していることが、探査機 Dawn による分光観測から示されている [1]。衝突によってターゲットにプロジェクティル物質が付着する研究は行われているが(e.g.[2,3])、その付着量の定量化は進んでいないのが現状である。

本研究ではクレーター内に残存するプロジェクティルの量を制約するため、高速度衝突実験によって形成したクレーターの表面形状と断面をレーザープロファイラと走査型電子顕微鏡を用いて観察した。また、クレーターの分光測定や2次標的の観察を通して、プロジェクティル及びターゲット物質の状態を観察した。

実験手法

JAXA 宇宙科学研究所の二段式水素ガス銃を用いて衝突実験を行った。プロジェクティルには蛇紋岩及びカンラン岩の円柱(直径 3 mm, 高さ 2.3 mm)を使用し、衝突速度を約 5 km/s, または 7 km/s として鉄鋼キューブに衝突させた。また、ターゲット前方 100 mm の位置に2次標的としてアルミ板を設置し、噴出するエジェクタを捕集した。

形成したクレーターについて、レーザープロファイラ(測定ピッチ 50 μm , 測定精度 0.1 μm)を使用して表面形状を調べ、断面の形状を3次関数で近似した。その後、カンラン岩を約 5 km/s で衝突させたクレーターを切断し、プロジェクティル物質が付着する様子を走査型電子顕微鏡で観察した。

また、フーリエ分光装置を用いて、クレーターを近赤外領域で分光した。装置中を 150 Pa 以下に排気し、試料面法線方向に対して 30° の角度で光を入射させ、試料面法線方向の反射スペクトルを測定した。

クレーター内に残存するプロジェクティルの総量の推定

クレーター形状を近似した3次関数からクレーターを回転体と見なして表面積を求め、ここにプロジェクティル物質が厚さ 10 μm で一様に付着したと仮定すると、プロジェクティルの 5%程度がクレーター内に残存すると推定された。しかし、クレーター断面を走査型電子顕微鏡で観察したところ、実際にプロジェクティル物質が付着する厚さは一様ではなく、クレーター底で特に薄く数 μm 程度しか付着しない一方、リム付近では比較的厚

く付着する傾向にあった。また、ターゲットが破砕している箇所は特に厚く、数十 μm 程度の厚さで付着しており、数百 μm の長さの亀裂にはプロジェクトイル物質が奥まで貫入している様子も観察された。

クレーターの分光特性

FTIR による分光結果を比較すると、蛇紋岩を約 5 km/s で衝突させたクレーターのみ 2.7 μm 付近に吸収が見られた。これは蛇紋岩内の水酸基がクレーター内に保持されていることを示している。先行研究[4]によると、蛇紋岩をターゲットとして弾丸を衝突させた場合、衝突による発生圧力が 30 GPa を超えると蛇紋岩は完全に脱水される。インピーダンスマッチング法を用いると(パラメーターは[5]を参照)、本実験において発生した圧力は約 90 GPa と推定された。また、銅ターゲットに対して蛇紋岩を斜め衝突させた先行研究[2]においても、蛇紋岩内の水酸基を示す 1.4 μm の吸収が分光によって確認されている一方で、発生圧力は 79 GPa と推定されている。ここから、大きな圧力が発生する衝突においても、蛇紋岩プロジェクトイル内の水酸基は脱水されにくいという可能性が示された。

捕集したエジェクタの観察

2次標的には多数の丸い液滴物質(~数十 μm)が付着しており、内部には細かい金属片(~数 μm)が含まれていた。これは、溶融したプロジェクトイルとターゲットの破片が混合して噴出したことを示している。先行研究[6]の観察結果と比較すると、形成された液滴物質は今回の方が大きく、内部には網目のような構造が確認された。一部の金属片はこの網目構造に沿って分布している様子が見られた。

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により行いました。

参考文献

- [1] M. C. De Sanctis et al. (2013) *Meteoritics & Planetary Science*, 48, 2166-2184.
- [2] R. T. Daly and P. H. Schultz (2018) *Meteoritics & Planetary Science*, 53, 1364-1390.
- [3] G. Libourel et al. (2019) *Science Advances*, 5, eaav3971.
- [4] J. A. Tyburczy et al. (1986) *EPSL*, 80, 201-207.
- [5] T. Katsura et al. (2014) *Icarus*, 241, 1-12.
- [6] C. Ganino et al. (2019) *Planet. Space Sci.*, 177, 104684.