

10 km/s 超高速度衝突による微小クレーター形成実験

○野村啓太¹, 中村昭子¹, 長谷川直²

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

背景と目的: 月の岩石には、惑星間塵の衝突によって形成されたと考えられるマイクロクレーターが存在し、月サンプルの解析からこれらクレーターの深さ直径比は 0.5~0.8 のものが多いことが分かっている。月以外でも、例えばイトカワ粒子表面にも数 10 nm~1 μ m サイズの微小なクレーターが見つかっている。また最近だと、小惑星リュウグウからも持ち帰られ、さらに今後の探査を通してより多くのサンプルが得られると期待されている。今後の探査で持ち帰られる宇宙空間に曝された天体表層物質には、月サンプルやイトカワ粒子と同様に、惑星間塵が衝突したであろう微小クレーターが存在すると考えられる。もし、クレーターの形状からインパクトの情報が読み取れるのであれば、サンプル解析を通して微小クレーターを持つ物質、つまり探査対象の天体が経験した過去の衝突環境（惑星間塵の情報等）を推定できる可能性がある。Vedder and Mandeville (1974)では、月サンプルを想定したガラス標的に対して、静電加速器を用いて速度 0.5~15 km/s の超高速度衝突実験が行われている。本研究では太陽系小天体を想定した多孔質標的への高速度衝突実験を行い、10 km/s を越える高速度衝突で形成されるクレーター形状からインパクト情報が得られるかについて検討した。

実験方法: 本研究では 10 km/s を越える高速の衝突を再現するため、宇宙科学研究所の二段式軽ガス銃を用いて衝突実験を行った。先行研究(野村他, 2020 年度衝突研究会)より、3 mm アルミニウム弾丸を 7 km/s で玄武岩標的へ 45° の斜め衝突させた際に、衝突速度の約 2 倍の速度をもつ破片が放出されることが分かっており、放出角度と放出速度の関係が得られている。今回はそのデータをもとに高速で破片が放出される領域に二次標的を設置することで、7~14 km/s の玄武岩破片の衝突を再現した。二次標的には、石膏(空隙率: 56%)にフォボス模擬試料(45%)とカンラン石を埋めこんだ標的を使用した(本発表ではカンラン石の解析結果は報告していない)。衝突角度がクレーター形状に与える影響を検討するため、二次標的への衝突角度は 45° と 90° の 2 パターン行った。その他に、衝突速度・ダメージ・スケールの効果を検討するため、それぞれ 200 μ m 玄武岩破片・300 μ m アルミ球・3 mm アルミ球を 5 km/s で衝突させる実験も行った。実験前後に標的表面の深さデータをレーザープロファイラで取得し、形成されたクレーターの直径と深さを計測した。

Vedder and Mandeville (1974)より、クレーター深さ直径比は弾丸密度に依存することが知られている。本研究で弾丸に用いたアルミニウムと一次標的に用いた玄武岩の密度差はほとんどないので、どちらの物質が二次標的に衝突したかは考慮せずに解析を行った。

実験結果： 弾丸の衝突に伴い高速度で放出される玄武岩破片によって、二次標的表面に多くの微小クレーターが形成された。クレーター形状の解析から垂直衝突の場合、衝突速度の増加に伴ってクレーターの深さ直径比は大きくなることが分かった。また、標的空隙率が高い場合、より深いクレーターが形成される傾向が見られた。さらに衝突角度を変えて行った実験から、衝突速度やクレーターサイズに依らず、斜め衝突のクレーターは垂直衝突のものより浅くなることが分かった。ただし、今回行った多孔質標的への45°衝突の場合、衝突速度による深さ直径比の違いは見られなかった。その原因として、破片の強度の影響が考えられる。本研究で衝突させた高速な破片は放出過程の初期段階で形成され、高い衝撃圧力を経験することでその内部にダメージが生じ、強度を失う。強度を失った破片が斜め衝突することで、クレーターの深さ方向に力が加わりにくくなるため、垂直衝突で見られた衝突速度依存性は斜め衝突では見られなかった可能性がある。本研究では45°衝突によるクレーター形状に関してダメージの効果を厳密に評価できていないので、宇宙空間で起こる衝突現象の典型的な衝突角度が45°であることを考慮すると、本結果を利用した微小クレーターからの衝突環境の推定は難しいと考えられる。

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。

[謝辞] 東京大学の宮本英昭氏と新原隆史氏に提供をしていただいたフォボス模擬試料(UTPS-TB)を用いました。白井慶氏には、実験前後の標的の表面深さプロファイルの合成プログラムを作成していただきました。