

# クレーター形成実験をもとにした DART クレーターサイズの検討

○木内真人<sup>1</sup>, 岡本尚也<sup>2</sup>, 長足友哉<sup>3</sup>, 山口祐香理<sup>4</sup>, 長谷川直<sup>5</sup>, 中村昭子<sup>4</sup>

<sup>1</sup>立命館大学理工学部, <sup>2</sup>千葉工業大学惑星探査研究センター,

<sup>3</sup>東北大学大学院理学研究科, <sup>4</sup>神戸大学大学院理学研究科,

<sup>5</sup>宇宙航空研究開発機構

NASA 主導の DART ミッションでは、地球近傍二重小惑星の衛星 Dimorphos へ探査機を衝突させることによる軌道偏向実験が行われた。衝突後の Dimorphos の公転周期は予想を大幅に上回る 30 分以上の短縮をしたことから、非常に大きいサイズのクレーターが形成されたと考えられる。衝突による軌道偏向量にはエジェクタの運動量が大きく影響するが、エジェクタ運動量の推定には小天体上でのクレータリングの理解が必要である。我々はこれまで表面重力や小天体表層の物性がクレーターサイズに与える影響を実験的に調べてきたが(Kiuchi et al., 2023)、本研究では我々の過去の実験結果をもとに Dimorphos 上に形成されたクレーター直径を見積もった。

Kiuchi et al. (2023)では、標的物質として砂、ガラスビーズ、微小ガラスビーズ、微小アルミナ粒子を用いて高速度衝突実験を行った結果（衝突速度 1.2~6.0 km/s）、標的の内部摩擦角もしくは空隙率が大きいほどクレーター直径が小さくなるという結果を得た。Dimorphos の天体サイズ（平均直径 170 m）に対して非常に大きいクレーターが出来たと仮定し、標的空隙率として Dimorphos のバルク空隙率をここでは考える。粒子密度を LL コンドライト密度 (3220 kg m<sup>3</sup>; Consolmagno et al., 2008) と仮定するとバルク空隙率は約 0.4 となり、実験で用いた砂やガラスビーズの空隙率に近い。一方内部摩擦角は、DART が撮影した表面画像の粒子形状より砂やアルミナの値 (0.35~0.40) に近いと考えられる。以上より Dimorphos の物性が砂標的に最も近いと仮定し、砂を用いた実験で得られたスケーリング則を DART 衝突条件まで外挿すると、形成されたクレーター直径は約 120 m と推定される。ただしこれは重力支配域でクレーターが形成された場合の推定値である。

次に、Dimorphos の強度の影響を含めた場合を考える。Kiuchi et al. (2023)では、微小粒子標的を用いた低重力衝突実験より、クレーターサイズが重力支配域から強度支配域に遷移する領域を観察し、境界条件として  $Y_{\text{EFF}}/\rho ga \sim 33$  を得た。ここで、 $Y_{\text{EFF}}$  は標的の実効強度、 $\rho$  は標的密度、 $g$  は重力加速度、 $a$  は弾丸半径である。

Dimorphos の強度は不明であるが、小惑星 Ryugu での SCI 実験結果より、最表層では 1.3 Pa 以下、表面下では 140–670 Pa の実効強度を持つことが推定されていることから(Arakawa et al., 2020)、ここでは 1–1000 Pa の範囲でクレーターサイズの見積もりを行った。結果、Dimorphos の実効強度が 1-1000 Pa の範囲でのクレーター直径は約 40 - 120 m の幅をとり、標的強度がクレーター直径に大きく影響を与えることがわかった。ただし、上記の見積もりにおいて境界条件への衝突速度の影響は考慮していないため、今後実験的に確かめる必要がある。また、衝突角度やアーマリング、天体曲率などの影響も考慮していない単純な見積もりであることにも注意が必要である。今後は、上記の諸条件を含めた検討および数値シミュレーション結果との比較・検討を行う。