

エジェクタ速度スケール則に対する粒子サイズ依存性と 微小小惑星形成への関連

○大川初音¹ 荒川政彦¹ 保井みなみ¹ 長谷川直³ 戸田瑞乃² 白井慶¹ 山本裕也³

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

1. はじめに

近年の小惑星探査プロジェクトにより、小惑星表面は幅広いサイズ分布を持つボルダーに覆われていることが明らかにされた[1]。小惑星探査機「はやぶさ2」は、小型搭載型衝突装置（SCI：Small Carry-on Impactor）[2]によって、小惑星リュウグウ上にクレーターを形成する衝突実験を実施し、クレーター形成によって小惑星表面の大小様々なボルダーが飛翔・移動の様子を撮影することに成功した[3][4]。例えばクレーター形成によって放出されたボルダーの速度が小惑星の脱出速度を超えた場合、新たに小さな一枚岩小惑星となる。つまり、小惑星上での衝突現象は、小惑星の表面を更新するだけでなく、小惑星の数密度分布が更新される可能性がある。

そこで本研究では、小惑星表面におけるクレーター形成時のボルダー放出過程を調べるため、細粒標的の表面にボルダーを模擬した大粒子を配置して衝突実験を行った。得られた結果から、粒子サイズの影響を考慮したエジェクタ速度分布を構築し、クレーター掘削によってリュウグウから脱出した可能性のあるボルダーの最大サイズを推定した。

2. 実験方法

本研究では、直径3-17mm のガラスビーズ（以後、トレーサービーズと呼ぶ）を、中央粒径0.1mmのガラスビーズで構成された細粒標的の表面に配置し、クレーター形成実験を行った。実験の様子は2台の同期した高速ビデオカメラで撮影した。この動画の各フレームにおけるトレーサービーズの位置座標を取得し、三次元位置座標に変換して二次関数でフィッティングすることで、トレーサービーズの三次元放出軌道を決定した。この放出軌道から、各粒子の三次元放出ベクトルを解析し、放出位置に対する放出角度、方位角、放出速度を求めた。

3. 結果

トレーサービーズの放出速度分布・角度分布は、いずれもエジェクタの粒径の効果が確認された。放出速度分布については、先行研究[5]によって示される通り、放出位置が弾丸衝突点から遠くなるにしたがって放出速度が遅くなる、というべき乗則の関係があることに加え、同じ放出位置である場合、粒径が大きいほど放出速度が遅くなること

明らかになった。本研究の結果から、エジェクタ速度分布におけるエジェクタの初期位置を「衝突点から粒子中心までの距離+粒子半径」とすることで、放出速度分布・角度分布に粒径の影響を加えた新たなスケール則を構築することができた。また、放出角度については、放出位置が弾丸衝突点から遠くなるしたがっておよそ線形で小さくなることに加え、粒径が大きいほど放出角度が小さくなることが明らかになった。

4. 考察

エジェクタ粒径の効果を考慮し改良したエジェクタ速度分布・角度分布スケール則を用いて、ラブルパイル天体上でのクレーター形成による表面ボルダーの移動について考察した。ボルダーの大きさと放出位置を変数として、放出速度・放出角度を求め、ボルダー落下地点を算出すると、クレーター径の0.35倍以上の大きさを持つボルダーはクレーターの半径より大きな距離を移動できない、つまりクレーター外に放出されないということがわかった。また、同様にボルダーの大きさと放出位置を変数として放出速度を算出し、小惑星リュウグウ上の脱出速度と比較すると、ウラシマクレーターが形成された際には、最大で約64mのボルダーがリュウグウの脱出速度を超える放出速度を獲得し、新たな一枚岩小惑星となった可能性があることがわかった。

参考文献

- [1] Michikami et al. (2019) *Icarus* 331, 179–191. [2] Arakawa et al. (2017) *Space Sci. Rev.* 208, 187–212. [3] Arakawa et al. (2022) *Science* 368, 67–71. [4] Honda et al. (2018) *Icarus* 366, 14530. [5] Housen & Holsapple (2011) *Icarus* 211, 856–875.