

ラブルパイル小惑星でのクレーター形成と緩和過程

巽 瑛理、杉田 精司（東大）

【はじめに】

現在、はやぶさ2やOSIRIS-RExといったミッションが太陽系の始原的物質のサンプルリターンを目的として小惑星へ向けて航行中である。サンプルの持つ意味を読み解くためにはリモセンデータによる小惑星の詳細なマッピングやタッチダウン地点の地質学的な意味付けを行うことが非常に重要である。クレーターは太陽系の普遍的な衝突現象を反映し、探査画像から得られる重要な地形情報の一つである。はやぶさのイトカワの探査によりラブルパイル天体表層の詳細な画像が得られた。本研究ではラブルパイル天体表面にどのようにクレーターが形成され、また緩和していくかということ明らかにし、はやぶさ2やOSIRIS-RExといった探査でクレーター年代学やスペクトル情報の理解に役立てることを目的としている。本研究では形成過程をクレーター形成実験から、緩和過程をスペクトル情報から明らかにしたいと考えている。

【イジェクタ計測実験】

Tatsumi and Sugita (2018)で粒子径が大きいターゲットでのクレーター形成が議論され、これまでの π スケーリングを拡張した新たなクレータースケーリング則（衝突条件とクレーターサイズの関係）が提起された。ここでは、クレーター形成実験の観察から、弾丸のサイズがターゲットよりも小さくても、運動エネルギーがターゲット粒子破壊エネルギーよりも十分に大きい場合には、衝突破壊後の掘削は重力スケーリング的になるということが示唆された。明らかにするため、ターゲットとしてシリカ砂（粒子径0.6-1.2mm）の中心にバサルト石（ $\sim 30 \times 30 \times 30 \text{mm}^3$ ）を配置したものに石の破壊エネルギーと同等もしくは大きな運動エネルギーで弾丸を衝突させ、クレーター掘削の流線をレーザーシート法（e.g., Cintala et al., 1999）により観測した（図1）。

【実験結果】

図2は石の有無によるイジェクタ放出の違いを示している。砂だけの場合にはイジェクタは外側にいくほど遅くなるという一般的な分布をとっており、先行研究Cintala et al. (1999)とも整合的である。一方で、中心に石を配したものでは、クレーター中心

から放出されるZモデルに従ったようなイジェクタの他にクレーターリム付近に比較的速度の速いイジェクタが見られた。これは中心に配した石が応力場を変化させた結果である

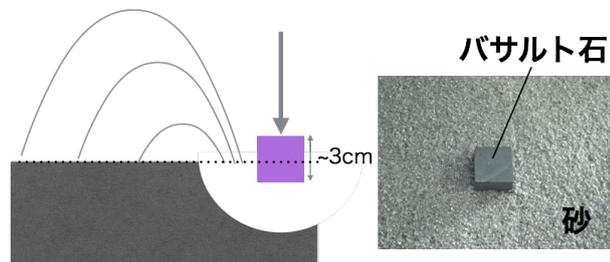


図1 実験模式図。中央の矢印の通り弾丸が中央に配した石に衝突する。衝突後のイジェクタをレーザーシートにより可視化した。

と考えられる。応力場がどのようになっているかは今後数値シミュレーションなどで確認する必要がある。さらに、クレーターの最終形状を比較すると、衝突エネルギーが粒子破壊エネルギーと同程度の場合にはクレーターは浅くいびつな形状となり、衝突エネルギーが粒子破壊エネルギーの15倍程度になると重力則と同程度のクレーターが形成された。

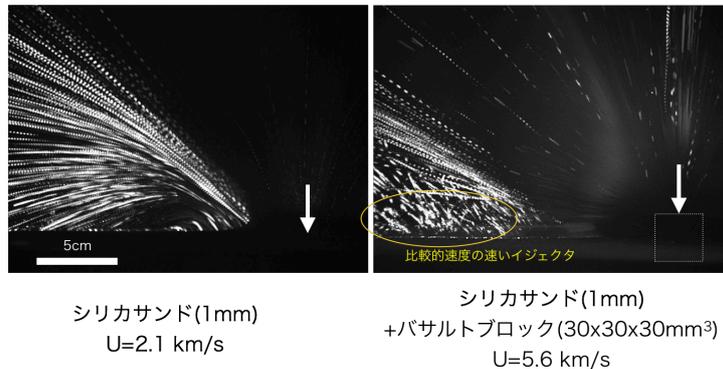


図2 ブロックの有無によるイジェクタ飛散の比較。レーザーシート光により可視化した。中心に石を配したターゲットでは、リム付近に高放出角の比較的速度の早いイジェクタが存在することがわかる。

【宇宙風化から見たクレーター緩和過程】

AMICA のマルチバンド画像を用いて、表面の宇宙風化度を定量、可視化することができる (Koga et al., 2018)。宇宙風化度は表層の露出時間を反映していると考えられる。イトカワに存在する円形窪地 (以下、CC) の宇宙風化度を見ると、100m 以上の大きな CC リム付近が新しく、底面が古いという特徴があることが分かった。これは小さな CC にも共通する特徴であり、Eros でも同様のクレーターが観測された。このことから、CC が形成したのちに継続的に緩和していることが示唆される。CC 底面の宇宙風化度は CC によって異なり、形成からの時間を反映していると考えられた。実際、宇宙風化度の異なる 2 つの CC の断面形状を形状モデルから比較すると、宇宙風化度が高いものほどクレーター形状が緩和しており、宇宙風化の進行と緩和過程が整合的であることが分かった。

【まとめ】

ラブルパイル小惑星の可能性のあるリュグウや Bennu でもイトカワと類似した特徴を持つクレーターの発見が期待される。表面ポルダのサイズ分布はクレーターサイズ分布を変化させる可能性があるが、クレーター形成実験からは大きいサイズのクレーターは重力則と同程度のサイズ、アスペクト比を持つことが示唆される。一方で、クレーターの形状はその後の緩和過程の影響を大きく受けている可能性が高いことがスペクトル変化を定量し明らかにした。このことから、クレーターは元々重力則で支配されるような形状をもち、その後緩和したために現在のような非常に浅いクレーター形状をしていると考えられる。また、今後の研究として、クレーター緩和のタイムスケールは宇宙風化年代から推定したいと考えている。