

## レゴリスに覆われた基盤岩へのクレーター形成実験 ：衝突励起振動による物質移動との関連

○柿木玲亜<sup>1</sup>、荒川政彦<sup>1</sup>、保井みなみ<sup>1</sup>、山本裕也<sup>1</sup>

<sup>1</sup>神戸大学大学院理学研究科

レゴリス層で覆われた小惑星のクレーター形成は重力により支配されている。層構造をもつ小惑星に形成されるクレーターの形態は上部のレゴリス層・粒子層の厚みにより変化する。これまで均質標的に対するクレーター形成実験は多く行われてきたが、実際の天体のように層構造を持つ標的に対する実験は少なく、レゴリスで覆われた層構造標的に対する重力支配域のクレータースケール則は未解明である。衝突励起振動は天体上の高速度衝突により発生し、この振動が天体内部や表面を伝播することによりレゴリスを流動化させ、天体表面の地形を緩和させる。これは小惑星上で地形を変化させる最も重要な効果の一つであるが、リュウグウ表面での衝突励起振動による地形緩和の程度はイトカワやエロスと比較して小さい。Richardson Jr. et al. (2005)では、層構造をもつ小惑星内を伝播する加速度波形のモデリングを行った。その結果、層構造をもつ天体では衝突地点より遠いところでも加速度波形が観測されており、小惑星の地形緩和の程度の差は表層構造の違いが原因となっている可能性がある。室内実験での衝突励起振動の研究では、Yasui et al. (2015)では粒径  $200\ \mu\text{m}$  のガラスビーズ、Matsue et al. (2020)では粒径  $500\ \mu\text{m}$  の石英砂を用いて加速度の計測を行った。しかしレゴリスで覆われた層構造をもつ標的での衝突励起振動は未解明である。

本研究ではレゴリスで覆われた基盤を持つ小惑星のクレーター形成過程と衝突励起振動による地形緩和を調べることを目的として層構造表層を模擬した標的へのクレーター形成実験を行い、基盤がクレーター形成過程に与える影響を調べた。また標的表面や基盤を伝播する加速度波形を計測し、振動波形や距離減衰過程に対する基盤の影響を調べた。衝突実験は自由落下による低速度衝突から、縦型一段式軽ガス銃を用いた高速度衝突まで広い速度範囲で行った。高速実験(衝突速度  $12.1\sim 171.2\text{m/s}$ )では弾丸に直径  $3\text{mm}$  の鉄球、層構造標的の基盤に閃緑岩の岩盤を使用し、低速実験(衝突速度  $3.3\text{m/s}$ )では弾丸に直径  $5\text{mm}$  の鉄球、基盤に砂と石膏の混合物の板を使用した。この基盤の上に粒子層(粒径  $500$  または  $100\ \mu\text{m}$  の石英砂、粒径  $100\ \mu\text{m}$  のガラスビーズ)を  $0\sim 30\text{mm}$  の厚さで敷いた。衝突励起振動の計測のために標的表面や基盤に加速度計を設置し、低速度領域での実験では加速度の計測と同時にレーザー変位計による粒子層表面及び基盤表面の変位の観測を行った。

結果、クレーター半径と粒子層の厚さに関して以下のことがわかった。クレーター半径は、平底クレーターでは均質標的に形成されるクレーター半径より小さくなり、平底型とお椀型の境界付近では均質標的に形成されるクレーター半径より大きくなった。これは基盤の振動によるクレーターの崩れが原因である可能性が考えられる。そして粒子層の厚みがクレーター深さより十分に大きいと、均質標的に形成されるクレーター半径と一致した(図1)。

衝突励起振動に関しては、以下のことがわかった。低速度衝突では、基盤の上の粒子層が厚くなるにつれ加速度の減衰までの時間が短くなった。また粒子層の有無で加速度波形を比較すると、粒子層がある場合加速度波形の位相がずれていた(図2)。最大加速度と規格化距離の関係を見ると、先行研究と比較して最大加速度が大きくなっている傾向がみられたものの、粒子層が弾丸直径の2倍程度までの厚みの範囲においては、粒子層の厚みや距離により変化が見られなかった(図3)。またレーザー変位計を用いることで粒子が鉛直方向に振動する様子を観測することができた。衝突直後に基盤や粒子層は下向きに変位した。その後粒子層は基盤の振動より高い周波数で振動しており、その最大変位は $50\mu\text{m}$ 程度であった。また基盤の加速度波形は $10\text{ms}$ ほどでほぼ減衰するのに対し、粒子層の変位波形は $200\text{ms}$ 以上振動を継続していることがわかった。これは基盤のパルス的な振動が表面の砂層の振動を励起し、その振動が比較的長時間継続していることを意味すると考えられる(図4)。

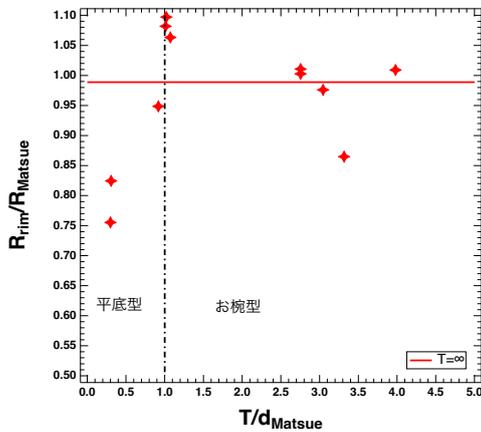


図1 Matsue et al. (2020)より推定された均質砂標的(粒径 $500\mu\text{m}$ )のクレーター半径及び深さでそれぞれ規格化した、粒子層の厚みとクレーター半径の関係。この実験では粒子層に粒径 $500\mu\text{m}$ の石英砂、基盤に閃緑岩を用いた。

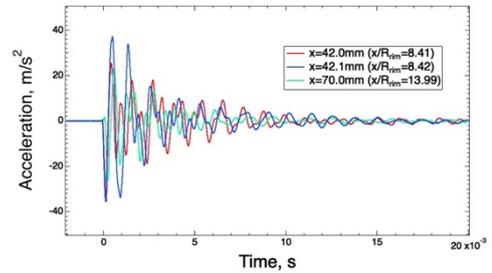


図2 基盤を伝播する加速度波形の例(粒子層:1mm)

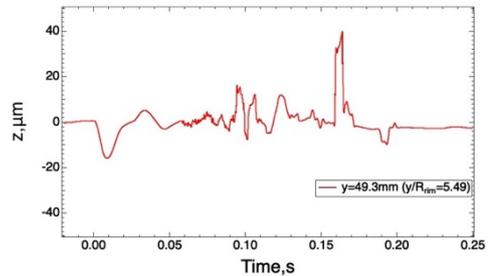


図4 粒子層の変位波形の例(粒子層:1mm)

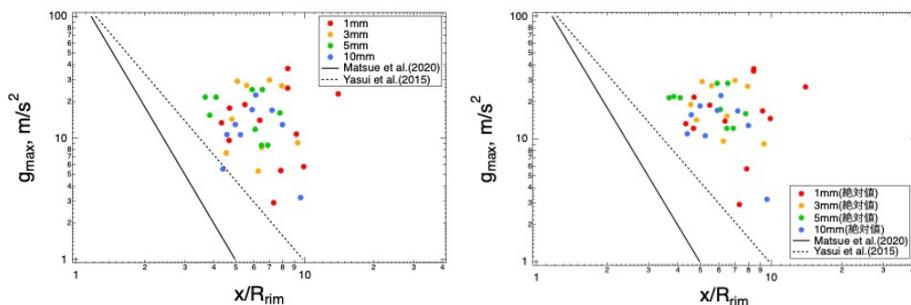


図3 最大加速度と規格化距離の関係(左:正方向、右:絶対値)

【参考文献】 Yasui et al. (2015) *Icarus*, 260, 320–331; Matsue et al. (2020) *Icarus*, 338, 113520.; Richardson Jr. et al. (2005) *Icarus*, 179, 325–349