

基盤岩を覆うレゴリス層のクレーター形成実験： 基盤岩がクレーター成長・崩壊に及ぼす影響

○柿木玲亜¹，荒川政彦¹，保井みなみ¹，長谷川直²

¹神戸大学大学院理学研究科惑星学専攻，²宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所

1. 研究背景

小惑星の表層や内部構造の推定は、その小惑星の物性および化学組成を推定する上で重要な情報となる。その推定のために注目されている特徴として、クレーターの形態がある。例えば、2019年、はやぶさ2探査機が小惑星リュウグウ上にSCIクレーターを形成した。SCIクレーターの底にはピットと呼ばれる小さな孔の存在が確認された[Arakawa et al. (2020)]。このピットの存在から、リュウグウには結合強度を持たないレゴリス層の下に、強度が数百 Pa 程度のレゴリス層および基盤岩が存在すると考えられている。また、火星の Badger crater にも中央ピットが確認されている。このクレーターの存在する地域は、レーダー探査によってレゴリス層の下に氷の層が存在することがわかっている。このように、クレーター形態は内部構造を推定するための有効な手がかりとなり得る。

以上より、本研究ではクレーター形態の特徴から小惑星の内部構造を推定する手法の開発を最終目標と定める。しかしながら、これまでに室内実験で層構造標的におけるクレーター形成過程を調べた研究は少なく、特にクレーターサイズに対する各層の強度と層厚の影響は未解明である。そこで、本研究では、レゴリスに覆われた基盤岩を持つ小惑星のクレーター形成過程を調べることを目的として、層構造を持つ小惑星を模擬した標的へのクレーター形成実験を行い、レゴリス層の厚みと基盤岩強度がクレーター形成過程に与える影響を調べた。

2. 実験方法

実験は宇宙科学研究所の縦型二段式軽ガス銃を用いて行った。標的には基盤岩として砂と石膏の混合物を用い、砂と石膏の混合比を変えることにより基盤岩の引張強度を変化させた(20.4-364 kPa)。この上に粒子層として粒径 100 μ m の石英砂を 0-100 mm の厚みで敷いた。衝突弾丸には直径 1 mm および 2 mm のアルミ球を用い、衝突速度は 2km/s とした。クレーター形成の様子は標的の真横および真上から可視光カメラで撮影した。さらに、赤外線カメラを用いてクレーター形成時の標的の温度変化の様子を標的の真上から観測した。

3. 結果と議論

実験の結果、クレーター形態は粒子層の厚みが減少するにつれてお椀型から平底型、同心円型クレーターへと変化した。また、基盤層の強度が大きくなると、平底型と同心円型クレーターの境界となるような粒子層の厚みが減少した。クレーターサイズに関しては、平底とピット半径は粒子層の厚みが減少するにつれて増加し、粒子層に形成されるクレーターリム半径は、同心円型クレーターが形成される場合と同じ衝突条件で均質砂標的に形成されるクレーターリム半径より小さくなった。

標的の真上方向から撮影した可視光カメラにより、平底半径の時間変化を観測した。平底型クレーターができるような粒子層の厚み領域では、平底部分が時間の経過とともに成長したのち、クレーター壁面が崩れることにより縮小する様子が見られた。また、赤外線カメラでは、衝突点近傍で圧縮加熱された石英砂の粒子移動の様子が確認できた。お椀型クレーターが形成される場合、この加熱された石英砂はクレーター中心付近に残った。トランジェントクレーターが平底型となるような場合、加熱された石英砂は平底部分の外縁部となってクレーターの底面に環状に広がっていた。同心円型クレーターの場合、加熱された石英砂がクレーター外部に放出されたと同時に、基盤層のイジェクタが高温プルームとして鉛直上向き方向に放出される様子が確認された。またトランジェント平底半径は粒子層の厚さにあまり依存しなかった。

この結果より、粒子層と基盤層からなる層構造標的における、粒子層のクレーター形成過程について考察した。例えば、平底クレーターが形成されるような粒子層の厚み領域では、トランジェントクレーターの平底半径とクレーター半径の幾何学的関係を考えると、トランジェントクレーターは均質砂標的の場合と比較して深さ方向により大きく成長していると考えられる。これは、基盤層表面付近において、圧縮された砂が圧力解放時に真上に放出されることにより起こっている可能性がある。

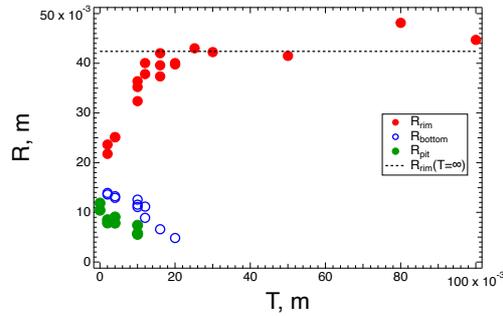


図1. 粒子層厚さ(T)とクレーターリム半径(R_{rim})、平底半径(R_{bottom})、ピット半径(R_{pit})の関係。図中の点線は、均質砂標的に形成されるクレーターリム半径を表す。

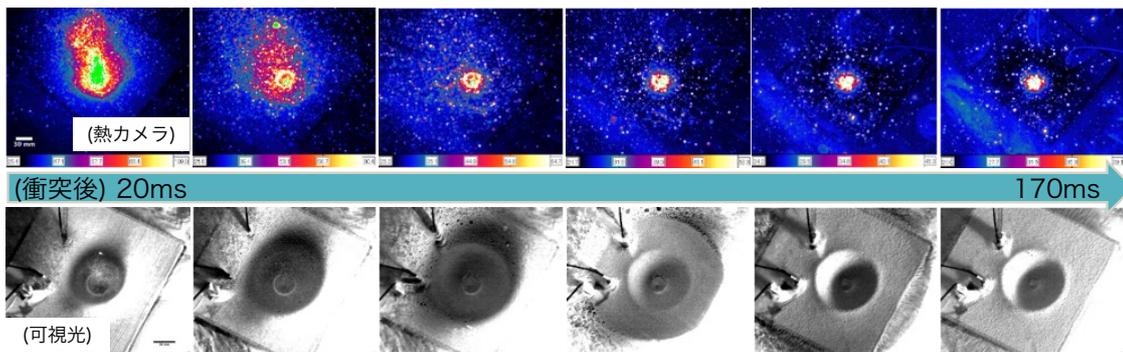


図2. 衝突後 20ms~170ms の間における、クレーター形成過程を真上から観察したスナップショット。上が赤外線高速カメラ、下が可視光カメラの結果を表す。スナップショットは 30ms 刻みで記録されている。