

氷・石英砂混合標的に対する高速度クレーター形成実験 Hypervelocity cratering experiments on ice-silicate mixture targets

高野 翔太^{1*}; 荒川 政彦¹; 保井 みなみ¹; 長谷川 直²
TAKANO, Shota^{1*}; ARAKAWA, Masahiko¹; YASUI, Minami¹; HASEGAWA, Sunao²

¹ 神戸大学大学院理学研究科, ² 宇宙航空研究開発機構

¹ Graduate School of Science, Kobe University, ² Japan Aerospace Exploration Agency

はじめに: 氷衛星や小惑星ケレスの地殻は氷・岩石混合物からなると言われている。特に小惑星ケレスは、2015年3月にNASAの小惑星探査機Dawnにより初めて近接撮像が行われる予定である。ケレスは、小惑星帯のメインベルトにあるので、その氷地殻には、様々なタイプの小惑星が衝突してクレーターを作る。衝突クレーターのサイズや形状は、衝突物質や地殻の種類、さらに衝突速度や地殻の表層構造により大きく変化する。そこで、ケレス表面のクレーターを調査することにより、衝突した小惑星の種類やその頻度、または、ケレス地殻の岩石含有率や表層構造などに関する情報を得ることができる。このような調査を実現するには室内実験によって、氷・岩石粒子混合物表面に形成されるクレーターの特徴やその衝突体物質の影響を明らかにする必要がある。これまで純氷に対しては、広い速度範囲で数種類の弾丸を用いてクレーター形成実験が行われているが、氷・岩石混合物に対しては限られた条件でしか実験が行われてきていない。特にケレスは小惑星帯に位置するので、数km/sの高速度で衝突実験を行う必要がある。また、氷に対する岩石の割合も質量比0~50wt.%の範囲でしか実験されておらず、ケレスのような氷・岩石混合物からなる天体を模擬した実験としては不十分である。そこで本研究では、1km/sを超える速度領域で、密度とサイズの異なる数種類の弾丸を用いて、岩石含有率を系統的に変化させた氷・岩石混合試料へのクレーター形成実験を行ったので、以下に報告する。

実験方法: 実験は神戸大学の二段式水素ガス銃を用いて行った。ケレス氷地殻を模擬した氷・岩石混合試料は、粒径100 μ m、もしくは、500 μ mの石英砂と水を混ぜて円筒金属容器に入れた後、冷凍庫で凍らせて作製した。水分量は、20wt.%から2.5wt.%まで変化させており、20wt.%は砂粒子間をすべて水で満たしているが、それ以外は、石英粒子間に空隙を多く残したままになっている。従って、水分量が、20から2.5wt.%と減るにつれて、粒子間の空隙量は多くなり、氷により石英粒子間の結合力を維持している標的自体の強度もそれにつれて小さくなっている。弾丸には、直径2mm(アルミ、ジルコニア、チタン、銅、ステンレス)と直径1mm(アルミ、チタン、ステンレス)の8種類の金属球を用いた。これらの弾丸を速度1.5~7.0km/sで発射した。実験では、標的中の氷を融かさないうちに、標的をチャンバー内に設置した後、直ぐに断熱のため150~230Paまで減圧した。実験中の標的温度は、約-15℃であったと推定される。衝突時のイジェクタ放出の様子は、高速ビデオカメラで撮影した。また、回収した標的上に作られたクレーター形状は、ノギスとレーザー変位計で計測した。

実験結果: 形成されたクレーターは、水分率20wt.% (空隙率0%)の標的では衝突点付近にPitと呼ばれる円錐型の衝突痕領域を持ち、その周りにSpallと呼ばれる表面がはがれた様な領域を持っていた。一方、水分率12.5wt.%以下(空隙率12%以上)の標的ではSpall領域を持たなかった。高速ビデオカメラの動画から、PitとSpallの両領域から放出される破片の特徴を特定することができた。Pit領域からのイジェクタは、クレーター形成の初期に放出され、その形状は砂上に形成される逆円錐形のイジェクタカーテンと同様のものであった。また、Spall領域からのイジェクタは、クレーター形成の中期に塊となって不連続に放出された。さらに、Pit領域からは、クレーター形成の後期にピラー状の放出物が弾丸の衝突方向に連続的に放出される様子が観察できた。

Hiraokaらは、Spall直径の岩石含有率依存性を調べ、その結果、含有率50wt.%までは岩石含有率大きくなるにつれてSpall直径が小さくなることを報告している。一方、今回の実験では、岩石含有率80wt.% (水分量20wt.%)の実験を行ったが、そのSpall直径は、彼らの含有率50wt.%のSpall直径とほぼ一致し、50wt.%までの直径減少傾向が、80wt.%までは続かないことがわかった。今回の実験のPit直径は水分量20% (空隙率0%)から2.5wt.% (空隙率42%)の間で直線的な増加傾向が見られる。これは水分量20%から2.5wt.%の間で石英粒子間の空隙を埋める氷の量が減り、その結果、標的の力学的強度が連続的に小さくなるからだと考えられる。Pit深さHとPit直径dの比(H/d)は、水分量が20wt.% (空隙率0%)から2.5wt.% (空隙率42%)へと減少すると伴に小さくなった(空隙率は増加)。この比は、Burchellの純氷に対する実験結果やHiraokaたちの水分量100から50wt.%までの氷・岩石混合物(空隙率0%)に対する実験結果と比較すると明らかに小さな値となり、水分量の減少と伴にH/dも単純減少する傾向にあることがわかった。

キーワード: 氷天体, 衝突, 実験, 含水率, 強度支配域, クレーター形成

Keywords: icy body, impacts, experiment, water content, strength regime, cratering