

氷地殻を模擬した氷・砂混合物に対する高速度クレーター形成実験

○高野翔太¹, 荒川政彦¹, 保井みなみ¹

¹神戸大学大学院理学研究科

はじめに：小惑星探査機 Dawn は 2015 年に小惑星ケレスに到達し、その氷地殻に形成した衝突クレーターを観測する予定である。この観測からクレーター形成時に衝突した小天体の種類、ケレス地殻の岩石含有率、さらに内部構造などに関する情報を得ることが期待されている。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、さらには内部構造を持つ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。一方、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。一方、氷試料を用いたクレーター形成実験では、試料を氷点下で扱うことができる環境下で実験を行うことが解析には有利である。そこで神戸大では、氷試料研究のために試料用チャンバーを低温室内に設置した二段式水素ガス銃を導入した。本研究では、この装置立ち上げのために、速度キャリブレーションとサボ分離技術の開発を行った。さらにこの装置を用いて 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。実験ではクレーター形状やクレーター形成効率を明らかにし、既存の純氷データと比較した。また、エジェクタカーテンの成長速度、エジェクタ破片の速度分布の計測を行った。

実験方法：速度キャリブレーションには弾丸として直径 4.7mm のポリカ球を、標的として直径 10cm のアルミ円柱を用いた。サボ分離実験のためのサボは、ナイロン 66 製で直径 4.7mm の円柱型である。ケレス氷地殻は、氷・岩石混合物試料で模擬した。この試料は、粒径 100 μ m または 500 μ m の石英砂と水を（砂の）質量比が約 80wt% になるように混合して、その後、円筒金属容器の中に詰めて冷凍庫内で凍らせて作製した。弾丸には、直径 2mm(アルミ, ジルコニア, チタン, ステンレス)と直径 1mm(アルミ, チタン, ステンレス)の 7 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。氷・石英砂混合標的は、衝突直前にチャンバー内に設置し、チャンバー内の圧力を 150~230Pa まで真空引きして周囲と断熱する。クレーター形成過程は高速度ビデオカメラで撮影し、衝突時のエジェクタ形状の違いを観察した。実験後、試料に残されたクレーターの形状をノギスで計測し、純氷と比較した。

実験結果：速度キャリブレーションの結果、1.5-7.0km/s の速度範囲で、火薬量と速度の較正曲線を確立した。サボ分離に関しては、3km/s 以上の高速度領域で技術の確立に成功したが、3km/s 以下の低速度領域では、まだ改善が必要である。

形成されたクレーターは、衝突点付近に Pit と呼ばれる円錐型の衝突痕がみられ、その周りに Spall と呼ばれる、表面がはがれた領域がみられた。Pit 直径は、氷・石英砂混合物と純氷では、弾丸の運動エネルギーに関わらず大きな差は見られなかった(図1)。一方、Spall 直径は、氷・石英砂混合試料が、純氷試料と比べて、どの弾丸・速度においても起きにくく、衝突エネルギーが同じ場合、Spall 直径 D は約 0.7 倍(図2)となることがわかった。また、Pit 深さ H は氷・石英砂混合試料では純氷の約 0.6 倍と系統的に浅くなることもわかった。また、クレーター直径は運動エネルギー E_k のべき乗で表され、Pit 直径は E_k の 0.29 ± 0.04 乗(純氷試料では 0.19 乗)、Spall 直径は E_k の 0.35 ± 0.07 乗(純氷試料では 0.32 乗)

となった。深さ H と Pit 直径の比は、0.46 となり純氷試料の 0.55 より有意に小さくなった。一方、この深さ直径比の速度依存性・弾丸密度依存性はみられなかった。

高速ビデオカメラの撮影画像から、氷・石英砂混合試料では、エジェクタカーテンの外縁部はお椀のような形状となり、純氷の場合の逆円錐形とはかなり異なることがわかった。エジェクタ放出が始まるネック部分の広がる速度からクレーター成長速度を計測した結果、連続的なエンベロップを形成して成長する Pit 部分の成長は追うことができるが、エンベロップが不連続となる Spall 部分の成長過程は追うことができなかった。

また、エジェクタ破片の放出速度を調べることで、エジェクタの初期放出位置が深くなるにつれて破片の最大速度が小さくなることがわかった。さらに、

破片サイズとその放出速度の関係から、破片サイズは、弾丸密度によらず衝突速度の -0.70 乗で小さくなることがわかった。これらから、エジェクタ破片の放出位置分布が推定できた。(図3)

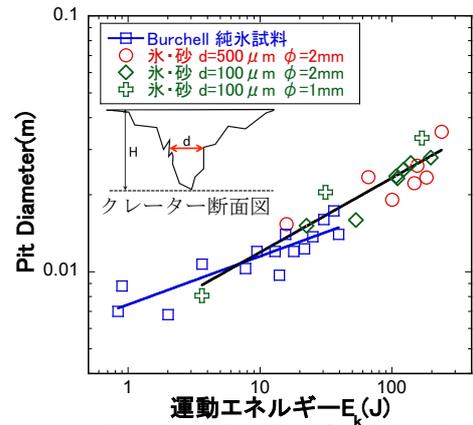


図1：Pit 直径と運動エネルギーの関係

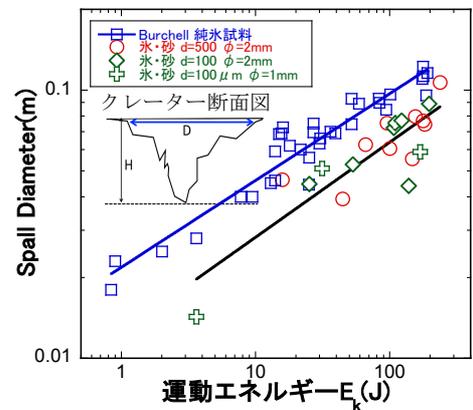


図2：Spall 直径と運動エネルギーの関係

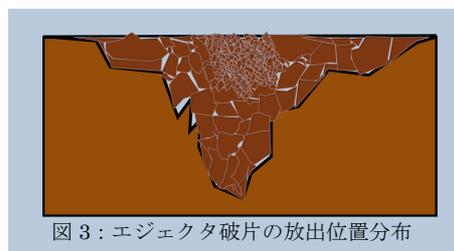


図3：エジェクタ破片の放出位置分布