多孔質氷を用いた高速度衝突実験: 衝突残留温度および溶融量の測定

○笹井遥,保井みなみ,荒川政彦,白井慶 神戸大学大学院理学研究科

背景:近年の探査機探査や地上観測により,彗星核は密度が低く,空隙率の高い天体 (40~90%)であることが明らかになってきた.このような多孔質氷状体に小天体が高速で衝 突すると,衝撃圧力の急速な減衰に伴う衝撃エネルギーの散逸により,クレーター孔周辺に 大量の熱が蓄積されると考えられる[1].この熱は衝撃残留熱と呼ばれ,内部熱源(Al²⁶)の少 ない多孔質氷体において重要な熱源である.これにより,クレーター下に一時的な溶融池が 形成されたと考えられる.また,これまでの観測により彗星核上には様々な有機物が見つか ってきたが(e.g.[2]),その生成環境は明らかになっておらず,衝突溶融池での化学反応が生 成環境の一つとして期待される.過去に氷天体の衝突残留熱や溶融量に関連した数値シミ ュレーションの例あるものの(e.g.[3]),実験的研究はこれまで行われていない.本研究では, 彗星核を模擬した多孔質氷を用いて高速衝突実験を行い,衝突後のクレーター周辺の温度 のその場測定を行った.

実験手法:氷粒子(< 710 mm)を圧縮して,空隙率 40,50,60%の円筒状の多孔質氷標的を作 製し,冷凍庫(-20 ℃)で焼結させた.焼結期間は空隙率 50%のみ焼結期間を 2 時間~4 ヶ月 とし,空隙率 40%・60%は 2 日間で一定とした.また,標的作成の際,衝突点からの距離を 変えて 3~5 個の熱電対をターゲットに埋め込んだ.衝突実験は,-15℃の低温室に設置し た神戸大の 2 段式軽ガス銃を用いて,アルミ球 (φ=2 mm)を多孔質氷標的に衝突させた.

衝突速度は空隙率 40%・60%で 4.2 km/s, 空隙率 50%で 3.0~5.8 km/s とした. 温度測定は衝突後 5 分間行い, データロガーで記録した. また, 一軸 圧縮試験により, 各空隙率・焼結期間の標的の圧 縮強度を測定した.

クレーターサイズ:形成されたピットの最大径 R_{pitmax} は標的空隙率の増加に伴い,増加した.強度 支配域におけるクレーター半径の π スケーリン グ則[4]を R_{pitmax} に適用し,強度と R_{pitmax} の関係を 表す実験式を得た.その結果,規格化クレーター サイズ $\pi_{Rpitmax}$ は空隙のない結晶氷よりも小さくな ることがわかった(図 1).



規格化強度πγの関係

衝突残留温度:ピット中心からの距離 x が小さいほど,最大温度上昇 ΔT_{max} は大きくなり, クレーター壁付近では 0°Cを超えて上昇した(図 2). これは,クレーター壁付近の氷粒子の 溶融を意味する.また, ΔT_{max} はターゲットの空隙率と衝突速度に依存し,ピット中心から の距離 x が同じとき,特に空隙率が大きいほど ΔT_{max} は大きくなることがわかった.しかし, この ΔT_{max} の系統的な変化は, x を R_{pitmax} で規格化することで整理された(図 3). これによ り x > 1.2 で, $\Delta T_{max} = 4.7(x/R_{pitmax})^{-2.6}$ の実験式が得られた.



エネルギー変換効率:

ΔT_{max}の分布は,熱伝導モデルを用いて再現可能であると考えられる.クレーター壁に位置 する薄い溶融層に蓄積された衝突残留熱が,標的内部へ伝導すると仮定し,Matlab を用い て数値計算を行った.これにより標的内部の衝突残留温度を求め,実験結果を最も再現する 溶融層の厚み・温度のときの溶融層に蓄積された衝撃残留熱を弾丸運動エネルギーで割る ことで,エネルギー変換効率を得た.エネルギー変換効率はターゲット空隙率に依存してお り,空隙率 40%では 0.09,空隙率 50%では 0.32,空隙率 60%では 0.51 となった.

参考文献

- [1] Housen et al. (2018), *Icarus 300*, 72-96.
- [2] Altwegg et al. (2016), Sci. Adv. 2, e1600285
- [3] Krause et al. (2011), Icarus 214, 724-738
- [4] Housen & Holsapple (2011), Icarus 300, 72-96