

多孔質氷への高速度クレーター形成実験： クレーターサイズスケール則に対する衝突溶融の影響

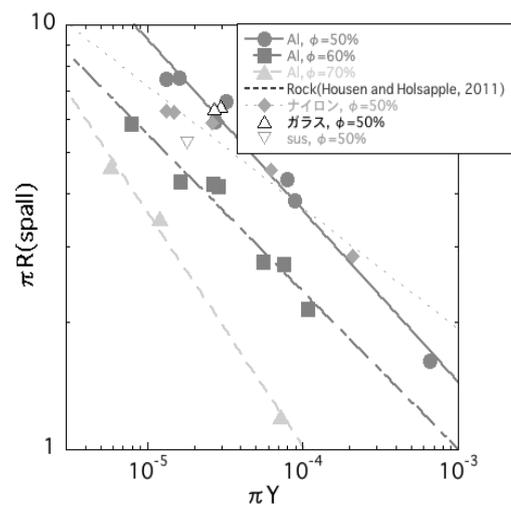
○宮野加菜¹, 荒川政彦¹, 保井みなみ¹

¹神戸大学大学院理学研究科惑星学専攻

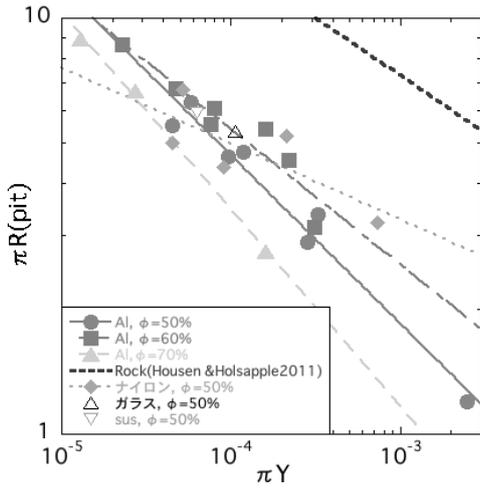
はじめに: 太陽系外惑星領域では、H₂O 氷を主構成物質とする氷衛星や彗星核、そして太陽系外縁天体等の氷天体が、広い速度範囲で衝突している。特に巨大ガス惑星の近傍を公転する氷衛星では 1km/s を超える高速度で衝突が起こるため、衝突点及びその周囲が圧縮・加熱され、クレーター底部では衝突溶融層が形成される。一方、その衝突溶融層の広がり、衝突速度や天体表面の物性(構成物質の種類や空隙率)によって変化する。特に小中氷衛星を構成する多孔質氷は、緻密な岩石と比較して容易に衝突溶融が起こるので、より広範囲の衝突溶融層が形成される可能性が高い。そこで本研究では、多孔質氷天体上で起こる衝突クレーター形成過程において、衝突溶融層の有無がクレーターサイズやその形状に与える影響を明らかにすることを目的に実験を行った。

実験方法: 多孔質氷天体の表層を模擬した雪標的は、粒径数 10 μm 以下の氷粒子を容器に詰めて作成した。この氷粒子は液体窒素に水を噴霧・急冷して作成した。空隙率は容器に詰める雪の質量を変化させることで調整した。この実験での雪の空隙率は 50%, 60%, 70% である。雪試料は、実験前に -25°C の冷凍庫で十分焼結させている(最大 6 日)。引張強度と圧縮強度は空隙率毎に一定である。弾丸には、アルミニウム球・ナイロン球・ガラス球・sus 球(直径 2mm)と、ポリカーボネイト球(直径 4.7mm)を用いた。衝突実験は、神戸大学の横型二段式軽ガス銃を用いて行った。衝突速度は 1.0~5.8km/s であり、試料を設置したチャンバーの真空度は 120Pa 以下で、温度は -15°C である。衝突の様子は、高速カメラで撮影した(撮影速度 10⁵~3.1 × 10⁵fps、露出時間 380ns)。衝突実験後は、雪試料を切断してその断面を観察し、クレーターの形状(直径・深さ)や衝突溶融の様子、さらに弾丸の変形や破壊の程度を観察した。

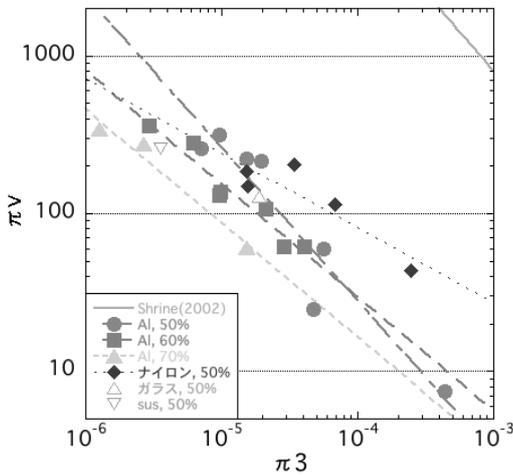
実験結果: クレーターの形状は空隙率・衝突速度により異なった。空隙率 50% ではスポール領域を伴うピット型クレーターであった。このスポール領域の直径は衝突速度と共に大きくなった。空隙率 60% ではスポール直径が 50% よりも小さくなり、最大 pit 径が pit 入り口径よりも大きくなった。空隙率 70% ではスポール領域がほとんど見られなくなった。また、空隙率によらず衝突速度 1km/s 前後では最も深い貫入孔型のクレーターが形成され、2km/s 以上では衝突速度とクレーター直径・深さは比例して大きくなった。Housen and Holsapple(2011)のクレータースケール則を用いて岩石と雪の結果を比較すると、同じ規格化強度に対して規格化半径 π_R が小さくなった。スポール直径で規格化した半径では空隙率が低いほど規格化半径は小さくなっ



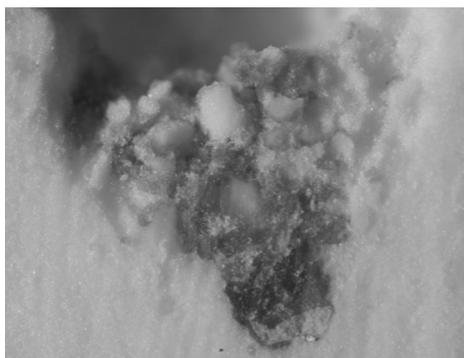
規格化強度 π_Y と
規格化半径(spall 径) π_R の関係



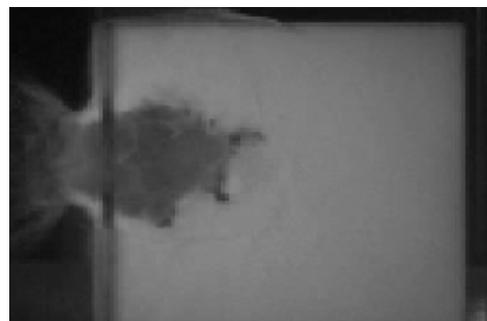
規格化強度 π_Y と規格化半径(pit 最大径) π_R の関係



規格化強度 π_3 と規格化体積 π_V の関係



溶融している部分の試料



クォータースペース実験の様子

た。けれども、最大 pit 径で規格化した半径では空隙率に比例しなかった。また、氷の結果(Shrine, 2002)とクレーター体積を比較すると、本研究の方が同じ規格化強度に対して規格化体積が 3 桁小さくなった。さらに、高速カメラの観測から、空隙率によらず衝突直後に逆円錐型のエジェクタカーテンが現れた。その後、空隙率 50%ではピラーが見られ、スポール破片が放出された。空隙率 60%では明確にはピラーが見られず、スポール破片はまばらに放出された。空隙率 70%は初期の円錐型が保たれた。衝突溶融層に関しては、空隙率によらず衝突速度 2km/s 以下では溶融が見られなかった。溶融している部分は、アルミ弾丸を用いたときには黒くなった。溶融した部分を顕微鏡で観察すると、破碎したアルミ弾丸が氷の中に溶け込んでいることが確認できた。また、溶融している部分はクレーター底部であることが多かったが、クレーター壁面にまばらに存在していたり、クレーターの壁面全体であったりと様々であった。しかし、空隙率が大きくなると同じ衝突速度に対しても溶融量は少なくなった。また、クレーターの形成メカニズムについて理解するために空隙率 50%、衝突速度 4km/s の実験条件でクォータースペース実験を行った。衝突の様子を見ると、まず①弾丸が標的に衝突し、キャビティを形成する、②弾丸が破碎し、破片がそれぞれ貫入する、③キャビティの中身が噴出する、④スポール破壊が起きる、といった順でクレーターが形成されていることがわかった。③の段階でキャビティの黒くなった部分もクレーターの外に噴出していることが分かったので、実際の衝突溶融量は実験終了後にクレーター内部に残っているものよりもさらに多い可能性が高い。