

低空隙多孔質氷標的を用いた高速度衝突実験：運動量輸送およびクレーター形成過程に関する実験的研究

High-velocity impact experiments on porous ice with a porosity less than 30%: Momentum transport and crater formation processes

*江口 裕樹¹、荒川 政彦¹、保井 みなみ¹、笹井 遥¹

*Yuki Eguchi¹, Masahiko Arakawa¹, Minami Yasui¹, Haruka Sasai¹

1. 神戸大学理学部

1. kobe university faculty of science

氷衛星の内部は多くの空隙を保持しているものもあると考えられており、そのバルク空隙率を調べるためには構成物である氷、ケイ酸塩鉱物、有機物の質量比が重要である。この比によって、氷衛星の空隙率は10%程度の低空隙率から50%以上の高空隙率まで広範囲に及ぶと予想される。太陽系の天体は微惑星同士の衝突と再集積の繰り返しによって形成、成長したと考えられている。それゆえに、衝突の結果で起こる衝突クレーターや天体間での運動量輸送は、表面進化や天体の軌道進化など、天体の進化過程を考える重要な手掛かりになる。衝突時における天体間の運動量輸送については、AIDA計画により行われる小惑星への人工衝突実験と小惑星の軌道偏向が注目されており、その軌道偏向を予測するために天体同士の衝突による運動量輸送の研究が進んでいる。その際に用いられるのが、衝突前後の母天体の運動量と衝突体の運動量の比 (β) であり、室内実験においても衝突条件と運動量輸送効率 $\beta-1$ の関係を調べる必要がある。

これまでに、強度支配域のクレーター形成や運動量輸送を調べた衝突実験は様々行われてきたが、そのほとんどが岩石や空隙率0%の氷の標的を用いたものであった。また、雪標的を用いた実験は空隙率が40%以上の比較的高空隙の場合がほとんどであり、30%以下の低空隙率の雪標的を用いた実験はこれまで行われていない。そこで本研究では、空隙率30%以下の雪標的に対して高速度衝突実験を行い、クレーター形状やサイズに対する空隙率依存性を調べた。さらに、運動量輸送効率 $\beta-1$ に対する強度依存性を調べた。

標的には、粒径が710 μm 以下の雪を圧縮して作成した高さ7cm、直径7cmの円柱試料を用いた。空隙率は10、20、30%とした。作成した試料は2~6日間、-20℃の冷凍庫で応力緩和させた。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。この装置は低温室内にあるチャンバーと連結しており、実験を行う際はチャンバー内の温度を-15℃、真空度を51~170Paにした。衝突速度は1~5km/sとした。弾丸は直径1mmと2mmのアルミ球を用いた。

まず、クレーター形成条件と衝突破壊条件の境界条件を調べた。その結果、空隙率が小さいほど破壊に必要なエネルギー密度は小さく、衝突破壊とクレーター形成の境界となるエネルギー密度は空隙率10%では30J/kg、20%では130J/kg、30%で260J/kgとなった。

本研究で得られたクレーター形態は、中心にピットをもち、標的表面は不規則に剥がれたスポール領域を持つ、ピット型クレーターが見られた。これは強度支配域で観察されるクレーター形態と一致する。スポールおよびピットそれぞれの直径 (D_p と D_s) とクレーター深さ(H)を計測した結果、運動エネルギーが一定の場合、 D_s は空隙率が小さいほど大きくなった。例えば、衝突速度が1km/s付近では空隙率10%で約34mm、空隙率30%で約14mmとなった。しかし、空隙率10%の D_s は、空隙率0%の氷 (Shrine et al., 2001) よりも約1.4倍大きくなった。一方、 D_p や H は空隙率による変化は小さく、衝突速度1km/s付近では空隙率10%、20%、30%でそれぞれ $D_p=2.2$ 、1.6、3.0mm、 $H=4.3$ 、3.9、5.3mmとなった。また、 D_p は強度支配

域のクレータースケーリング則を用いて、空隙率依存性を考慮した雪の圧縮強度で説明できた。

運動量輸送効率 $\beta-1$ を調べた結果、空隙率が小さいほど、全エネルギー密度の範囲で $\beta-1$ は大きくなった。エネルギー密度依存性を調べた結果、全空隙率でエネルギー密度が大きくなるほど $\beta-1$ は小さくなった。クレータ形成時間におけるエジェクタカーテンの開口角が小さいほど運動量輸送効率が大きくなる傾向が確認されたことから、運動量輸送効率とエジェクタカーテンの開口角は負の相関があることが示唆された。

キーワード：クレーター、運動量輸送、衝突実験

Keywords: crater, momentum transfer, collision experiment