

# 強度を変えた焼結雪標的への衝突における エジェクタ速度

○鈴木絢子<sup>1,2</sup>, 荒川政彦<sup>2</sup>, 保井みなみ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>惑星科学研究センター, <sup>2</sup>神戸大学

氷小天体上での衝突クレーター形成に伴うエジェクタの速度分布を理解することは、氷小天体のレゴリス形成や表層構造の進化、さらに惑星系のデブリディスクの進化を考える上で重要である。そこで強度を変化させた雪試料へ氷弾丸を衝突させ、エジェクタカーテンの形状や飛び出すエジェクタ粒子の速度に対する強度の影響を調べた。

実験は北海道大学低温科学研究所の低温室にて行い、室内気温は $-10^{\circ}\text{C}$ であった。標的雪試料は、直径 $250\sim 710\ \mu\text{m}$ の氷粒子を直径 $14\ \text{cm}$ 、高さ $10\ \text{cm}$ の容器に詰めて作成した。試料容器中の雪試料の質量を測定して求めたバルク密度と空隙率はそれぞれ $0.508\ \text{g}/\text{cm}^3$ 、 $44.6\%$ であった。 $-10^{\circ}\text{C}$ の環境下では、氷粒子は急速に焼結して強度を持つようになるため、氷粒子を容器に詰めてから弾丸衝突までの時間を $15\ \text{分}\sim 15\ \text{時間}$ に変化させた。強度と焼結時間の関係は、衝突実験とは別に計測して得た経験式を用いた： $Y = (4.0 \pm 0.2) t_s$ 。ただし、 $Y$ は $\text{kPa}$ で表した木下式強度、 $t_s$ は分で表した焼結時間である。木下式強度とは、金属円柱をある高さから試料表面に垂直に落下させたときのくぼみの深さを計測し、金属円柱の運動エネルギーが、その深さのくぼみを作るのにした仕事に等しいとして求めるものである[木下, 1960]。弾丸は直径 $1\ \text{cm}$ 、高さ $0.7\ \text{cm}$ 、質量 $0.52\ \text{g}$ の氷円柱で、軽ガス銃を用いて $43\sim 111\ \text{m}/\text{s}$ に加速した。遅い速度のエジェクタ粒子まで計測するため、弾丸は水平に発射し、鉛直にした標的表面に衝突させた。衝突の様子は高速度ビデオカメラを用いて、 $3000\text{fps}$ で記録した。

エジェクタカーテンは、始めは砂など重力支配域でのクレーター形成で典型的に見られるコーン状に発達し、数～数 $10\ \text{ms}$ 後にピラー状へと時間的に変化することがわかった。スポール破片はエジェクタカーテンがコーン状からピラー状に変化する時刻を中心に、クレーター外縁部で観測された。エジェクタ放出速度と位置の関係は、高速度ビデオでのエジェクタ粒子の軌跡から求めた。ただしカメラの視線方向に速度成分を持たないエジェクタカーテンの端部の粒子のみに着目した。放出位置 $y$ と放出速度の関係は、 $v_{\text{放出}}/v_{\text{衝突}} = k\{y/r_{\text{弾丸}}(\rho_{\text{標的}}/\rho_{\text{弾丸}})^{-1/\mu}\}$ と近似することができる ( $v, \mu$ はカップリングパラメータのべき、 $k$ は係数)[Housen & Holsapple, 2011]。実験結果より、雪試料において、木下式で測定した標的強度が $11\sim 59\ \text{kPa}$ 、衝突速度が $43\sim 111\ \text{m}/\text{s}$ のとき、 $k = 0.18 \pm 0.03$ 、 $-1/\mu = -2.0 \pm 0.2$ となることがわかった (ただし $v=0.4$ )。また、クレーター外縁近傍ではこの関係にオフセットが生じて放出速度が遅くなるが、速度一定( $v_{\text{衝突}} \sim 105\text{m}/\text{s}$ )で強度を変化させたとき、オフセ

ットが効き始める点での放出速度は強度と共に増加し、 $v_{\text{放出}} = (0.21 \pm 0.03) \sqrt{Y/\rho_{\text{標的}}}$  となることがわかった（図1）。この関係は  $Y \propto \rho_{\text{標的}} v_{\text{放出}}^2$  と表すことができ、クレーター外縁においてエジェクタ粒子は雪の強度を振り切ることができずに飛び出せなくなるという、強度支配域のクレーター形成モデルとよく一致している。一方で、 $\pi$  スケーリングから求めた  $\mu$  の値は、 $0.62 \pm 0.01$  となり、エジェクタ速度分布から求めた値とは異なることがわかった。

