

焼結した雪球の衝突実験：氷小天体の衝突破壊・再集積条件の推定

Impact experiments of sintered snow and the implication for re-accumulation condition of icy bodies

鳶生 有理 [1]; 保井 みなみ [2]; 荒川 政彦 [2]
Yuri Shimaki[1]; Minami Yasui[2]; Masahiko Arakawa[2]

[1] 名大・環境; [2] 名大・環境

[1] Earth and Environmental Sciences, Nagoya Univ.; [2] Grad. School Env. Studies, Nagoya Univ.

はじめに：太陽系内には主に氷から構成される氷天体が数多く存在している。彗星は「汚れた雪だるま」と呼ばれ、氷と岩石および少量の有機物から成る高空隙率小天体である。土星には直径が100kmを超えるような氷衛星がいくつもあり、その密度は多様であることが知られている。また海王星以遠には太陽系外縁天体（TNO）が多数発見されており、これらの天体の材料物質としても氷は重要である。

氷天体が持つ多様性の原因として衝突破壊と再集積過程が注目されている。天体重力が効くような大きなスケールでは、2つの天体が衝突し、その破片が重力により再捕獲することで成長が起こる。そこで、破壊がどのように起こるかが重要になる。衝突破壊現象を記述するパラメーターとして衝突破壊強度と破片速度がよく使われる。そこで本研究ではこの2つのパラメーターを実験により求め、雪の焼結時間が及ぼす衝突破壊への影響を調べた。ここで焼結とは、固体粒子が融点よりわずかに低い温度で合体融合する現象であり、衝突破壊現象に影響を及ぼすと考えられている。

実験方法：本研究では北大低温研に設置された垂直一段式軽ガス銃を用いて衝突破壊実験を行った。衝突速度は30 - 450m/sで行った。ターゲットは直径60mm、空隙率40%の雪球で焼結時間を1時間から1ヶ月とした。弾丸は衝突速度が200m/s以下では雪球（直径15mm、空隙率30%、焼結1日）を、それ以上では氷円柱（直径15mm、高さ10mm）を用いた。衝突破壊の様子は高速度ビデオカメラ（ 10^4 コマ/秒、シャッター速度10 microseconds）で撮影した。衝突実験後、破片を回収し0.1g以上の破片の質量を測定した。また一軸変形試験機を用いて変形試験を行い、各焼結時間での圧縮強度、引張強度を測定した。

結果：衝突映像の解析から破片速度分布が得られた。その結果、破片の反対点速度は焼結時間に依存しないことが明らかになった。反対点速度（ V_a ）と加えたエネルギー密度（弾丸の運動エネルギー/ターゲット質量、 Q ）の関係は以下の実験式で表された。

$$V_a(\text{m/s})=0.074 Q(\text{J/kg})^{0.7} \quad (1)$$

回収された破片の質量から破片質量分布を作成した。規格化最大破片質量（ ml/Mt ）とエネルギー密度の関係から、衝突破壊強度（ Q^* ）を求めた。その結果、焼結時間と衝突破壊強度の関係は以下の実験式で表された。

$$Q^*(\text{J/kg})=5.7 t(\text{s})^{0.2} \quad (2)$$

また、一軸変形試験の結果から焼結時間と引張強度（ t_{ens} ）の関係は以下の実験式で表されることがわかった。

$$t_{ens}(\text{kPa})=7.2 t(\text{s})^{0.23} \quad (3)$$

今回の実験で得られた式(1),(2),(3)から直径80km、空隙率40%の氷天体に質量1/100の氷小天体が衝突したときの衝突破壊条件および再集積条件を見積もり、衝突破壊ダイアグラムを作成した。このダイアグラムによって衝突時に引き起こされる現象は4つの様式に分類されることがわかった：カタストロフィック破壊、ラブルパイル形成、クレーター形成、レゴリス形成である。この結果、焼結が進む、すなわち熱進化が進むにつれてラブルパイル天体は形成されにくくなり、天体は破壊せずにその表層にレゴリス層が形成されることがわかった。