

## 焼結した雪球の衝突実験：熱進化する氷微惑星の衝突破壊に関する研究

## Impact experiments of sintered snow sphere : implication for the collisional disruption of icy planetesimals in thermal evolution

# 鳥生 有理 [1]; 荒川 政彦 [2]; 保井 みなみ [2]

# Yuri Shimaki[1]; Masahiko Arakawa[2]; Minami Yasui[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：太陽系の木星以遠には主に氷から構成される氷天体が多数存在している。その大きさは様々で、彗星のような km サイズのものから、数 10~1000km を超える氷衛星や太陽系外縁天体 (TNO) までである。こうした氷天体のうち、数 100km を超えるものは km サイズの氷微惑星が衝突集積して形成されたと考えられている。一方、氷天体はその成長に伴い、熱進化によって内部構造が変化すると考えられる。km サイズの氷微惑星は、天体内部の圧力や温度が低いままのため構成粒子は圧縮することができず、太陽放射による平衡温度の下でゆっくりと焼結し、静的強度が増加する。この焼結により氷微惑星は破壊されにくくなり、集積成長しやすくなった可能性がある。そこで本研究では氷微惑星の熱進化による焼結が衝突破壊に与える影響を実験的に調べた。

我々の行った以前の研究では、空隙率 40%、焼結温度 -15℃、氷粒子径 700 μm の雪試料が、引張強度 ( $Y_t$ )、衝突破壊強度 ( $Q^*$ )、焼結時間 ( $t$ ) の間に  $Y_t=7.2*t^{0.23}$ 、 $Q^*=5.7*t^{0.20}$  という関係を持つことを明らかにした。引張強度と衝突破壊強度は以下のような式で表される。

$$Q^*=0.91*Y_t^{0.90}$$

また、反対点速度は焼結度に依存しないことも明らかになった。しかし、km サイズの彗星や氷小衛星の密度はおよそ 0.5~0.6g/cm<sup>3</sup> と推定されており、その空隙率は 50% 以上にも達すると考えられる。そこで本研究ではこのような小氷天体が持つ 50% 以上の空隙率と焼結状態を再現した衝突破壊実験を行うことにした。

実験方法：本研究は北海道大学低温科学研究所の低温室において (i) 変形試験機を用いた強度試験 (ii) 一段式軽ガス銃を用いた衝突実験を行った (i) では試料として直径 30mm、高さ 10 - 50mm、空隙率 50 - 60% の雪円柱を用い、この試料は焼結温度を -10、-15、-20℃ で焼結時間を 1 時間から 1 ヶ月変化させて作成した。試料は 700 μm の破碎氷粒子と 100 μm の凍結氷球という 2 種類の氷粒子を用いて作成した。ブラジリアン試験により引張強度を、一軸圧縮試験により圧縮強度および圧縮曲線を測定した (ii) では試料として直径 60mm、空隙率 50 - 60% の雪球を用い (i) と同様に焼結温度、焼結時間、氷粒子径を変化させて作成した。衝突速度は 30 - 270m/s とした。弾丸は衝突速度 200m/s 以下では雪球と雪円柱 (空隙率 30%、質量 0.4-1.1g、直径 10-15mm、焼結 1 日) を、それ以外では氷円柱 (1.6g、直径 15mm) を用いた。衝突破壊の様子は高速度ビデオカメラ (104 コマ/秒、シャッタースピード 10 μs) 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。

結果：静的強度試験から各試料の引張強度および圧縮強度を測定した。その結果、空隙率 50%、焼結温度 -10℃ の条件では引張強度と焼結時間が  $Y_t=7.9*t^{0.15}$  という関係にあることがわかった。40% の試料と比較するとベキが小さくなっており、これは空隙率の増加により十分に焼結した時の強度が小さくなったためと考えられる。

衝突実験における高速度撮影画像の解析からは破片速度分布が得られた。その結果、破片の反対点速度は引張強度に依存しないことがわかった。一方、空隙率 50% の反対点速度は 40% のものより一割ほど大きくなった。これは空隙率の増加により弾丸の潜り込みが深くなったためだと考えられる。また、回収された破片からその質量分布を調べた結果、最大破片質量と引張強度がほぼ同じでも、空隙率が小さいほど細かい破片が多くなることがわかった。さらに、試料の質量で規格化した最大破片質量と試料の単位質量に与えられるエネルギー ( $Q$ ) の関係から、衝突破壊強度を求めた。その結果、空隙率 50% では  $Q^*=0.25*Y_t^{1.1}$  という関係式が得られた。40% 試料との比較から、50% の衝突破壊強度は引張強度が 50-200kPa の領域では 40% 試料と同じ直線上に乗ることがわかった。これは空隙率の増加によって、弾丸の潜り込みが深くなる一方、衝突点圧力が減少し、さらに衝撃波の減衰率が増加するという 3 つの効果がバランスしたためだと考えられる。