

# 氷微惑星を模擬した氷球の斜め衝突実験

○中村誠人, 荒川政彦, 保井みなみ  
神戸大学理学研究科

**背景:** 氷は太陽系の雪線以遠において普遍的な物質である。また、惑星形成過程では微惑星同士の衝突破壊・再集積により原始惑星が形成されたとされており、氷微惑星の衝突は氷衛星、彗星、リング等の氷天体の形成を考えるうえで非常に重要である。また、天体同士の衝突はほとんどが斜め衝突であるとされており衝突角度 45 度の確率が最大であるとされている。よって本研究では氷球・雪玉に対する斜め衝突実験を行い、衝突角度を考慮したエネルギー密度 $Q$ と規格化最大破片質量  $m_1/M_t$  の関係を求めた。

**実験方法:** 実験は神戸大学の横型二段式軽ガス銃を用いた。標的には氷球(斜め衝突: 60 mm, 75 mm, 80 mm)、雪玉(60 mm, 空隙率 50%)を用いた。斜め衝突は、氷球に対してはポリカーボネート球弾丸(4.7 mm)・衝突速度 890 m/s、雪玉に対してはガラス球弾丸(2.0 mm)・衝突速度 2.4 km/s と条件を固定し、衝突角度のみを変化させて実験をおこなった。また、衝突破壊強度測定用に衝突速度を 0.8-4.2 km/s と変化させた。実験は-15°Cの低温室内で行い、破壊の様子を高速度カメラで撮影した。衝突角度は正面衝突を 90 度として高速カメラの画像から決定した。

**実験結果:** 氷は  $m_1/M_t = 12Q^{-1.1}$  より衝突破壊強度  $Q^* = 17 \text{ J/kg}$  と求めた。同様に雪は  $m_1/M_t = 80Q^{-0.83}$  より  $Q^* = 440 \text{ J/kg}$  と求めた(図 1)。エネルギー密度 $Q$ を一定にして衝突角度を変化させ、衝突角度と  $m_1/M_t$  の関係をみると氷では 25 度以下で  $m_1/M_t$  の急増が、雪では 65 度以下で  $m_1/M_t$  の増加が見られた(図 2)。この角度を境界角度とし、Yasui et al. (2020)よりガラス球は 55 度、石膏球は 30 度と物質により違いが見られた。衝突角度が小さい場合の累積個数分布はエネルギー密度が小さい場合と似た形となり、規格化破片質量では  $m/M_t$  が  $10^{-3}$  以下の領域では傾きが氷・雪それぞれで一定となった。

**議論:** 斜め衝突において破壊に寄与するのは弾丸の中心方向へ向かう速度成分であると考え、有効エネルギー密度  $Q_{\text{eff}} = m_p(v_i \sin \theta)^2 / 2M_t$  を考えた。  $Q_{\text{eff}}$  と  $m_1/M_t$  の関係は衝突角度によらず一つの関数でフィッティングでき、氷では  $m_1/M_t = 7.3Q_{\text{eff}}^{-1.1}$  より衝突破壊強度  $Q_{\text{eff}}^* = 12 \text{ J/kg}$ 、雪では  $m_1/M_t = 22Q_{\text{eff}}^{-0.64}$  より  $Q_{\text{eff}}^* = 360 \text{ J/kg}$  と衝突角度によらない衝突破壊強度が得られた(図 3)。衝突点と標的中心を挟んで反対側の破片速度である反対点速度に関しても、有効エネルギー密度でフィッティングできた。反対点速度から無次元衝突応力を求め、  $m_1/M_t$  との関係プロットすると氷・雪、衝突角度によらず  $m_1/M_t = 0.24P_1^{-1.5}$  で良い近似が得られた(図 4)。

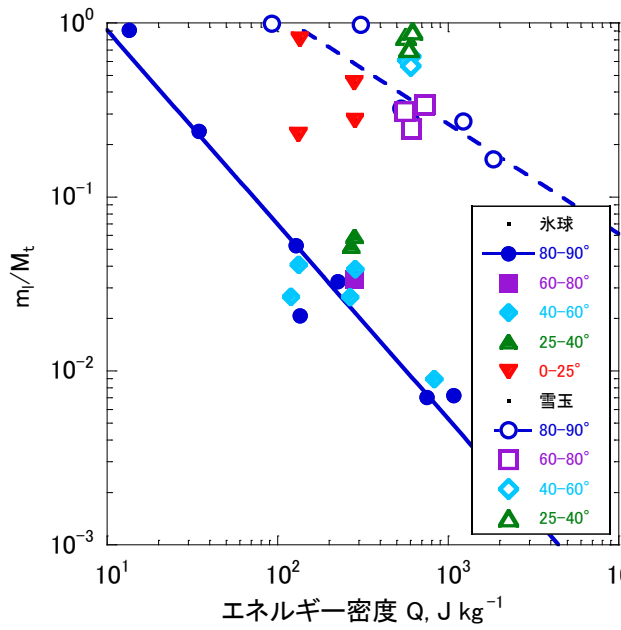


図 1

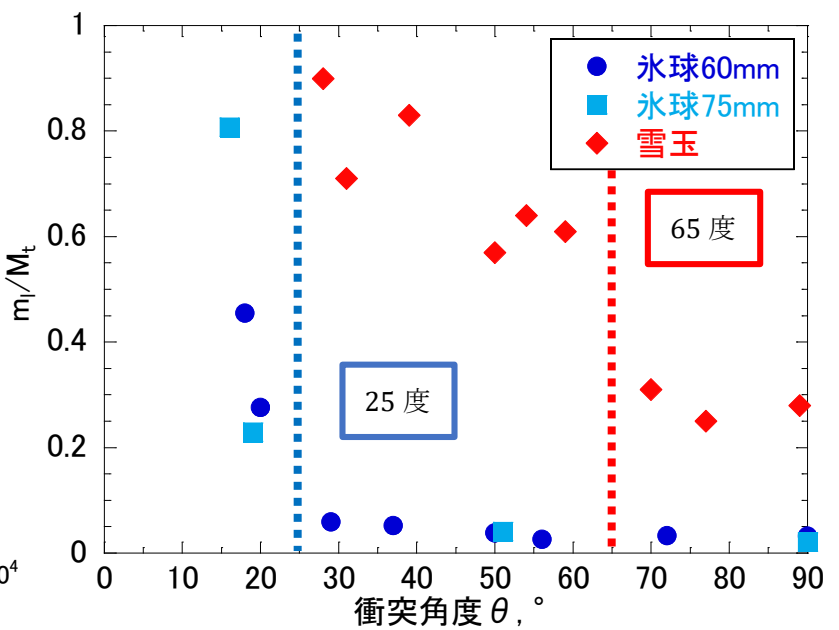


図 2

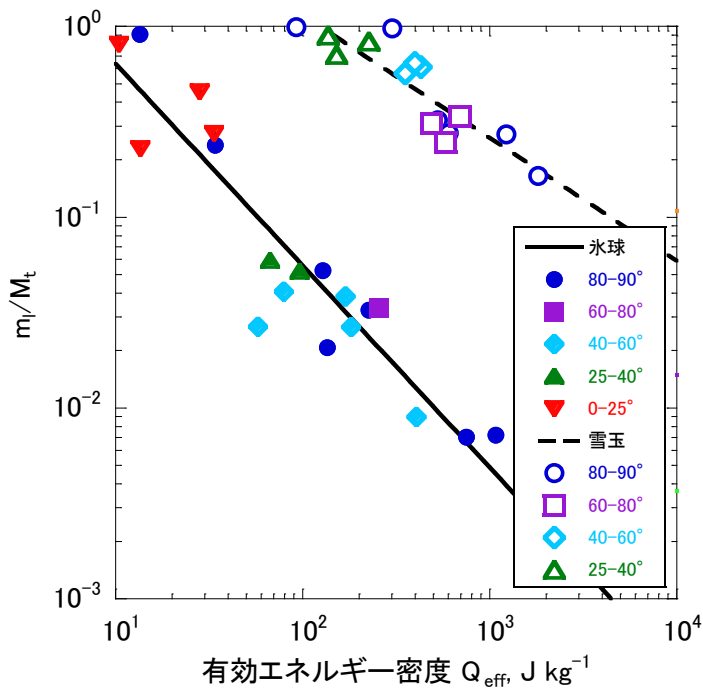


図 3

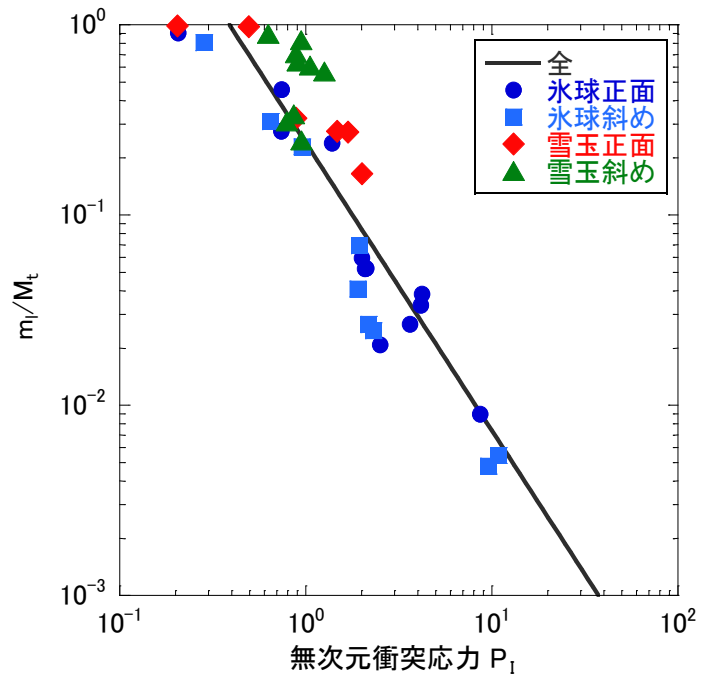


図 4