

熱進化する氷微惑星の衝突集積過程に関する実験的研究

Experimental study on the collisional accretion process of icy planetesimals in thermal evolution

寫生 有理^{1*}, 荒川 政彦¹, 保井 みなみ¹

Yu-ri Shimaki^{1*}, Masahiko Arakawa¹, Minami Yasui¹

¹名古屋大学大学院環境学研究科

¹Grad. School Env. Studies, Nagoya Univ.

背景：太陽系には、彗星や氷衛星それに海王星以遠天体（TNO）など様々な氷天体が存在する。これらは、高い空隙率を持つkmサイズの氷微惑星が衝突破壊と再集積を繰り返して形成した。高空隙率氷微惑星は太陽放射や岩石成分中の放射性熱源などによって熱進化し、焼結や圧密によって静的強度や空隙率が変化する。その結果、強度や空隙率に多様性を持つ氷微惑星が出現し、その衝突破壊・再集積過程も熱進化段階に応じて複雑になることが予想される。一方、水谷ら（1990）が提案した衝突破壊のスケーリング則は熱進化する氷微惑星に対しても有効かもしれない。そこで本研究では、氷微惑星を模擬した高空隙率氷（雪）の衝突破壊に対して水谷らが提案した無次元衝突応力が有効かどうかを調べることにした。

実験方法：実験および試料保管は北大低温研の大型低温室内（室温-15℃）で行った。本雪試料は液体窒素中に微細な水を噴霧して凍結させた数10 μmの氷粒子を体積一定の鋳型に入れて作成し、プラスチック袋に入れて-15℃で焼結させた。音速測定では直径30mm、高さ5, 10mm、空隙率0-60%、焼結時間1時間-1ヶ月の雪円柱試料を用い、圧電素子を用いてP波およびS波の透過時間を測定した。引張試験では直径22mm、高さ50mm、空隙率30-70%、焼結時間1時間-1ヶ月の雪円柱試料を用い、一軸変形試験機を用いた引張試験によって破断点引張荷重を測定した。衝突実験では直径60mm、空隙率40-70%（質量62.4-31.1g）、焼結時間1時間-1ヶ月とした雪玉標的を用いた。弾丸には空隙率30%、直径10mmの雪円柱（質量0.35g）、直径15mmの雪玉（1.1g）および氷円柱（1.6g）を用いた。弾丸の加速には2台のHeガス銃を用い、衝突速度30-490m/sで衝突させた。衝突の様子は高速度デジタルビデオカメラを用い、撮影速度5×10³-10⁴コマ/s、露出時間10-20 μsで撮影した。衝突後、回収された破片の質量分布を測定した。

結果：雪試料のP波・S波速度は焼結時間に依らず、空隙率の増加とともに減少することがわかった。その結果、バルク音速（C0, km/s）と空隙率（φ）の経験式は以下のように得られた：C0 = 2.9 - 0.03φ。また、引張強度も焼結時間にあまり依存せず、空隙率の増加とともに劇的に減少することがわかった。衝突実験の結果、空隙率と衝突エネルギー密度（Q, J/kg）によって6種類の破壊モードが観察された：弾丸捕獲、弾丸反発、クレータリング、弓状破壊、砲弾状破壊、弾丸貫通破壊である。弾丸捕獲は空隙率60%以上、衝突速度70m/s以下で起こることが初めて明らかになった。画像解析から衝突反対点の破片速度（Va, m/s）はほぼ重心速度に等しいことがわかった。また、積算破片質量分布の傾きは空隙率の増加とともに小さくなることがわかった。

考察：バルク音速と引張強度および反対点速度の結果を用いて各衝突実験の無次元衝突応力（PI）を計算した結果、規格化最大破片質量（ml/Mt）は空隙率 > 60%ではスケーリングされず、< 50%では次のように表された：ml/Mt = 0.6 · P_I^{-0.85}。一方、ml/Mt > 0.1の場合、空隙率40-7

0%雪試料の m_i/M_i は V_a と良い相関があり、次の様な経験式が得られた： $m_i/M_i = 0.55 \cdot V_a^{-0.85}$.

キーワード:衝突破壊実験,雪,空隙率,微惑星,熱進化

Keywords: impact experiment, snow, porosity, planetesimal, thermal evolution