

等質量氷ダスト球の衝突付着に関する実験的研究

○ 寫生 有理¹, 荒川 政彦²

¹名古屋大学 環境学研究科, ²神戸大学 理学研究科

背景: 原始惑星系円盤での微惑星形成過程ではダストアグリゲイトの衝突付着が起こったと考えられている。円盤でのガス抵抗によるダストの相対衝突速度は数 10m/s にも達するが[1], ダストアグリゲイトの成長可能衝突速度は氷で約 50m/s まで, シリケイトで約 5m/s まで成長可能であると示唆されている[2]。しかし, シリケイトダストの室内衝突実験では付着が観察されず, 破壊速度は~1m/s であると報告されている[3]。一方, 氷ダストの室内衝突実験はまだ行われていない。また, 氷ダストは熱により焼結によって氷粒子間ネックが太くなり, 弾性的になって衝突エネルギーを散逸させにくくなるため, 付着が起こりにくくなると考えられる[4]。そこで本研究では, 空隙率 44-80%の焼結した 3cm 氷ダスト球同士の衝突実験を行い, 反発係数と衝突変形量を調べて反発, 合体, 破壊が起こる衝突条件 (衝突速度, 空隙率) を調べた。

方法: 実験は北大低温研の大型低温室 (室温 -15°C) で行った。微細水滴を液体窒素内に噴霧し, 平均 20 μ m の氷微粒子を作成した。氷ダスト球は氷微粒子を球成形治具に入れ圧縮して作成し, 密封袋で -15°C のもとで焼結させた。氷ダスト球は直径 3cm, 空隙率 ϕ = 44, 52, 60, 70, 80% (質量 7.2-2.6g), 焼結時間 1 時間-4 日間とした。標的と弾丸を区別するため, 標的は赤インク

を添加した氷微粒子を用いて作成した。弾丸の加速には縦型ガス銃と自由落下を用い, 衝突速度 V_i = 0.6-63m/s でほぼ正面衝突させた。試料は回収箱内に糸で吊るし, 衝突直前に張力を無くした。破片の二次破壊を抑えるため, 回収箱底面にはエアバッグを, 側面にはスポンジを敷いた。衝突の様子は直交する 2 台の高速カメラで撮影し, 衝突・反発・破片速度とインパクトパラメータを測定した。衝突後, 破片の質量分布と衝突圧縮面の直径を測定した。

結果: 衝突実験の結果, 反発, 付着合体, 一方破壊, 双方破壊が観察された (Fig.1)。付着合体は $\phi > 70\%$, $V_i = 0.6-5\text{m/s}$ で起こり, 衝突速度と焼結時間にあまり依存しなかった。また, 一方破壊は $\phi < 50\%$, $V_i = 29-50\text{m/s}$ で起こり, 双方破壊は $\phi > 50\%$, $V_i > 50\text{m/s}$ で起こった。

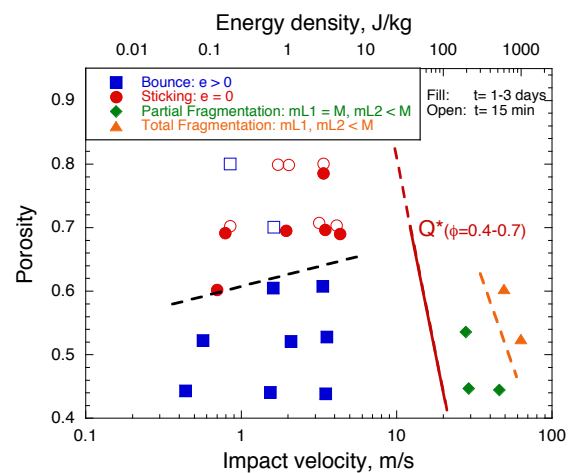


Fig.1. 衝突結果の衝突速度・空隙率依存性。

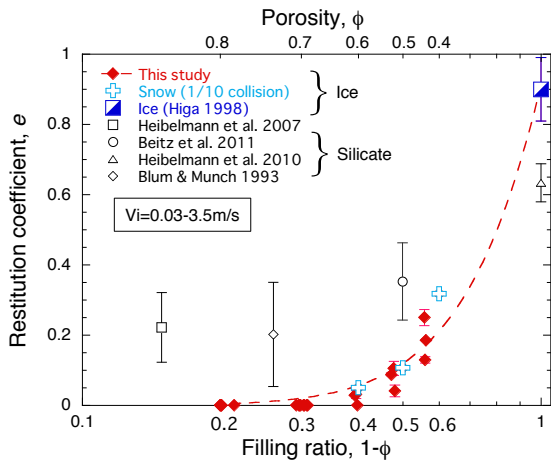


Fig.2. 反発係数の充填率依存性.

破壊が起こらなかった実験では反発係数 e を鉛直方向の相対反発速度／衝突速度として求めた．その結果， e は空隙率とともに減少し， $\phi=0.7$ でほぼゼロとなった(Fig.2)．また，以下の経験式が得られた．

$$e = \left(\frac{1-\phi}{1.03} \right)^{-\log\left(\frac{1-\phi}{415}\right)} \quad (1)$$

シリケートダストは $\phi=0.85$ でも $e>0$ であることから，氷ダストはよりエネルギーを散逸させやすいことがわかった．

衝突後の最大破片質量 $m_{1,2}/M$ は，空隙率

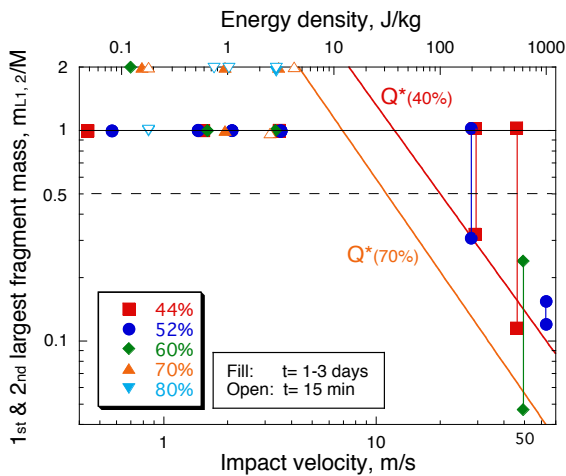


Fig. 3. 規格化最大破片と衝突速度の関係．

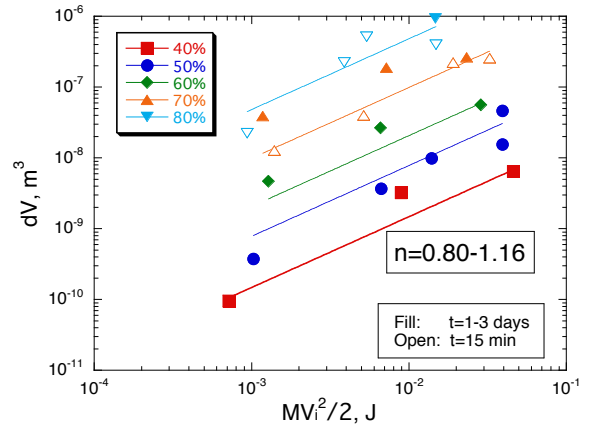


Fig.4. 変形体積 dV と衝突エネルギーの関係．

40%に関しては質量比 $\sim 1/60$ の衝突で得られた衝突破壊強度 Q^* と調和的な結果が得られた(Fig.3)．また， $\phi>0.7$ では $V_i<10\text{m/s}$ で $m_1/M=2$ (合体)であった．破壊過程の詳細については今後研究を進めていく必要がある．

エネルギー散逸を見積もるため，回収試料の衝突痕直径 W から衝突変形体積 dV を単純な幾何学から推定した．その結果， dV は衝突運動エネルギーにほぼ比例することがわかった(Fig.4)．さらに，エネルギー散逸が体積変形だけでなされたと仮定した場合，動的圧縮強度は静的圧縮強度の2-4倍であることが推察された．

[1] Weidenschilling 1977, *Mon. Not. R. astr. Soc.* 180, 57.

[2] Wada *et al.*, 2009, *Apj* 702, 1490.

[3] Beitz *et al.*, 2011, *Apj* accepted.

[4] Sirono, 1999, *A&A*, 347, 720.