

同サイズ微惑星の衝突破壊における破片速度分布

○河本 泰成¹, 保井 みなみ², 寫生 有理³, 荒川 政彦¹

¹神戸大学大学院理学研究科,²神戸大学自然科学系先端融合研究環,³名古屋大学大学院環境学研究科

太陽系の惑星は多孔質の微惑星同士が衝突破壊、再集積を繰り返すことで原始惑星へと成長したと考えられている。林モデルによると、太陽系の成長過程において、ダストの重力不安定により太陽からの距離に応じて同質量の微惑星が多くできる。また、衝突速度は天体の脱出速度(数 m/s-数 10m/s)以上になり、正面衝突に限らず様々な角度での衝突が起きたと考えられる。本研究では、岩石微惑星と氷微惑星を模擬した試料を用いて、低速度での同サイズ球試料同士の正面衝突および斜め衝突実験を行った。そして、衝突破壊強度と破片の飛翔速度を測定し、同サイズ衝突における衝突破壊の特徴を明らかにすることを試みた。

実験は一段式軽ガス銃を用いて行った。試料は氷と空隙率 55% の石膏を用い、氷微惑星と岩石微惑星をそれぞれ模擬した。試料は全て直径 30mm の球であり、これを弾丸と標的に用いた。石膏試料を用いた実験は神戸大学で行い、氷試料を用いた実験は北海道大学・低温科学研究所の大型低温室(-10°C)で行った。衝突速度(v_i)は正面衝突では 12.5-90m/s と変化させた。一方、斜め衝突では 70(±5)m/s で一定とした。斜め衝突の衝突角度(θ)は 0-75°で、15°刻みとした。衝突の様子は高速度ビデオカメラを用いて毎秒 3000-8000 コマの速度で撮影した。

正面衝突を撮影した高速度カメラの画像から、氷球でカタストロフィック破壊が起こった場合、衝突直後に球全体が細かく破壊され、2つの氷球が合体して1つの球となる様子が観察された。その後潰れて薄い円盤となり、衝突方向と直角の方向に広がっていった。氷球が潰れる速度は衝突速度によらず約 10m/s であり、潰れた円盤が広がる最大速度は衝突速度程度であった。カタストロフィック破壊が起きない場合、ほとんどの破片の速度は重心速度程度となったが、衝突点付近からは衝突速度と同程度の細粒破片の放出が見られた。

石膏球の場合、衝突速度が 30m/s 以下では、破壊が起こらず衝突後に 1m/s 程度で跳ね返りが起こった。衝突速度が増加して 40m/s を超えると石膏球の片方のみが破壊され、壊れなかった球の速度は重心速度程度となった。さらに衝突速度が増加し、60m/s を超えると、両球が破壊された。衝突直後に衝突点付近が圧縮され、引き続き衝突方向に亀裂が生じて、数個の破片ができた。破片は、衝突方向と直角に飛び出し、その速度は 10m/s 程度であった。

衝突破壊強度 Q^* は、正面衝突の場合、氷では Arakawa et al.(1995b) と Arakawa(1999) から、弾丸・標的質量比 0.003-0.13 で $Q^*=89\text{J/kg}$ が、石膏では Yasui and Arakawa(2011) より、弾丸・標的質量比 0.027-0.56 で $Q^*=446\text{J/kg}$ が得られている。今回の実験の結果、同サイズ球の衝突でも氷・石膏共にこれらの先行研究と同じような衝突破壊強度を示した。斜め衝突の場合、氷・石膏共に衝突角度に比例して規格化最大破片も大きくなり、氷の場合 $m/M=0.044(\cos\theta)^{-1.4}$ 、石膏の場合 $m/M=0.44(\cos\theta)^{-0.62}$ が実験結果から得られた。また、石膏標的破片に移行した運動エネルギー割合の下限値は、破壊が起こると v_i によらず 1-2% となり、斜め衝突では θ の増加とともに増加した。

この様に <100m/s の衝突速度では石膏より氷の方が破壊されやすく、それらの破片が衝突方向に直角に広がる速度も氷の方が数倍から 10 倍速いことがわかった。