

普通コンドライト母天体を形成した微惑星の低速度衝突実験

○河本 泰成¹, 荒川 政彦¹, 保井 みなみ²

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

はじめに：天体の衝突破壊は、微惑星の衝突集積による天体成長において重要な物理過程である。そこでこれまで様々な惑星形成物質に対して衝突破壊強度 (Q^*) が計測されてきたが、多くの場合、弾丸質量が標的質量に比べて遙かに小さかった。一方、微惑星の初期衝突進化においてはその相互衝突速度は小さく 100m/s 以下と言われているが、このような低速度で衝突破壊が起こるかどうかを知るためには、衝突破壊強度よりも衝突破壊が起こる最低速度を知る必要がある。衝突破壊が起こる最低速度は、同サイズ衝突により実現されると考えられる。したがって、これまでほとんど行われていなかった弾丸と標的の質量比が1となる衝突実験を行う必要がある。そこで我々は岩石微惑星や氷微惑星を模擬した石膏や氷の同サイズ試料を用いた衝突実験を行ってきた。そして、それぞれの試料の最低破壊速度やその衝突角度依存性を調べてきた。

本研究では、より現実的な微惑星の強度を調べるために、普通コンドライト隕石母天体の模擬物質を用いた実験を行った。普通コンドライト隕石母天体には、コンドリュールと呼ばれるサブミリメートルサイズの球状粒子が含まれていたと考えられる。そこで本研究ではコンドリュールを含む普通コンドライト隕石母天体を模擬するために、石膏・ガラスビーズ混合試料を用いて、この試料の同サイズ試料の衝突実験を行った。

実験方法：衝突実験は一段式軽ガス銃とばね銃を用いて行った。弾丸・標的試料は直径 25mm、もしくは 30mm の球で、コンドリュールを模擬した直径 1mm のガラスビーズを混ぜた石膏試料（空隙率 20%）と比較のための石膏だけの試料（空隙率 55%）を用意した。ビーズ入り石膏試料中のビーズの体積比率は約 60% である。衝突速度 (v_i) は 4~160m/s、衝突角度 (θ) は 0~75° と変化させた。衝突の様子は高速度ビデオカメラで毎秒 3000~10000 コマの速度で撮影した。

実験結果：高速度カメラで撮影した映像から、石膏が正面衝突する場合、 v_i が 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、数個の破片ができる様子が観測された。さらに v_i が 140m/s を超えると出来た破片が絡み合うように両球が潰れていった。ビーズ入り石膏の場合、 $v_i=13\sim 17\text{m/s}$ を境に両球破壊が始まる。衝突直後に衝突点付近が細かく破壊され、その後両球が潰れながら破壊されていく。衝突破壊が起こる最低速度は、ビーズ入り石膏試料が石膏試料の 1/3 以下であることがわかった。

正面衝突の場合、石膏試料では $Q^*=390\text{J/kg}$ となり、1mm ビーズ入り石膏試料では $Q^*=13.6\text{J/kg}$ となった。Yasui & Arakawa, 2011 は、石膏試料では弾丸・標的質量比 0.027~0.56 で $Q^*=446\text{J/kg}$ を、1mm ビーズ入り石膏試料では弾丸・標的質量比 0.014~0.1 で $Q^*=116\text{J/kg}$ を得ており、ビーズ入り試料では同サイズ試料の場合、 Q^* がかなり小さくなることがわかった。ビーズ入り石膏でこの様なはっきりとした差が生じた理由は、今後さらに研究する必要がある。一方、斜め衝突の場合、衝突角度の増加に伴い最大破片は大きくなった。最大破片と標的の質量比 m_i/M は、正面衝突時の m_i/M が約 0.5 の時、石膏では $m_i/M=0.44(\cos\theta)^{-0.62}$ 、ビーズ入り石膏では $m_i/M=0.48(\cos\theta)^{-1.43}$ となった。この結果、ビーズ入り石膏では、衝突角度が 50° より大きくなると、ほとんど破壊されなくなることがわかった。

高速度カメラの映像から個々の破片が特定できたものはその飛翔速度を計測し、それぞれの運動エネルギーを求めた。特定できなかった破片も同じ様な速度分布を持つとして、破片全体の運動エネルギーに換算した。そして、衝突後に標的破片に移行したエネルギー割合の下限值 K を求めた。斜め衝突の場合、衝突時に重なる部分のみが破壊され、それ以外の部分はそのままの速度ですれ違うという単純な仮定でモデル化した。その結果、 $K = \beta / 2 (1 - U(\theta)/V)$ 、 $\beta = 0.8$ という式で標的破片に移行するエネルギーを表すことができた。
 (U：重なる部分の体積、V：元の標的体積、 β ：破碎効率)

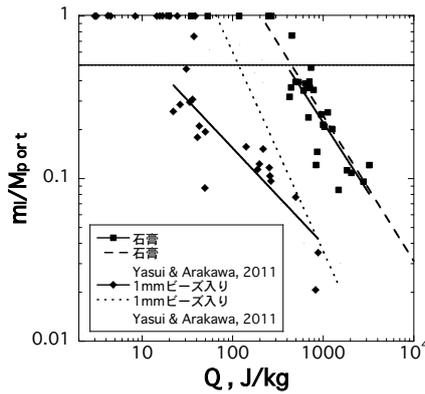


図1：エネルギー密度 Q と規格化最大破片質量の関係

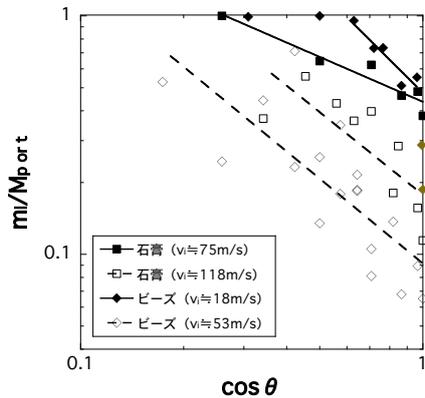


図2：衝突角度 θ と規格化最大破片質量の関係

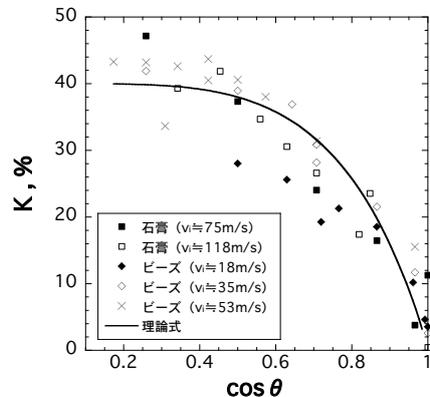


図3：衝突角度 θ と標的破片に移行したエネルギー割合の下限值 K の関係