

石膏衝突クレーターのフラッシュX線による可視化実験 In-situ flash X-ray observation of impact crater formation in porous gypsum

保井 みなみ^{1*}, 荒川 政彦², 長谷川 直³, 藤田 幸浩⁴, 門野 敏彦⁵

YASUI, Minami^{1*}, ARAKAWA, Masahiko², HASEGAWA, Sunao³, FUJITA, Yukihiro⁴, KADONO, Toshihiko⁵

¹ 神戸大学自然科学系先端融合研究環, ² 神戸大学大学院理学研究科, ³ 宇宙航空研究開発機構, ⁴ 名古屋大学大学院環境学
研究科, ⁵ 大阪大学レーザーエネルギー学研究センター

¹Organization of Advanced Science and Technology, Kobe University, ²Graduate School of Science, Kobe University, ³Japan
Aerospace Exploration Agency, ⁴Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, ⁵Institute of Laser Engineering,
Osaka University

はじめに: 小惑星表面に見られる衝突クレーターを研究することは、小惑星の形成過程に関わる衝突史を理解する上で重要である。その上で、衝突クレーターの形成メカニズムを理解し、そのメカニズムに基づいた理論を構築することが必要となる。近年の惑星探査により、多くの小惑星はその密度が低く、多孔質であることがわかってきた [例, 1]。空隙はクレーター形成に重要な影響をもたらす、例えば衝撃圧により容易に空隙が潰され、クレーター表面に圧密層を伴った巨大クレーターになると言われている [2]。従って、多孔質物質上に形成される衝突クレーター形成の物理素過程を理解することが、小惑星の衝突史を解明する上で重要となる。クレーター形成過程における標的内部の構造変化に関する詳細な研究は、室内実験では行われていない。なぜなら、岩石内部の変化を可視光で観察することが困難なためである。これまでは、標的内部を可視化するため、低密度で透明なエアロジェルを用いた衝突実験が行われてきた [3]。しかし、エアロジェルの密度は小惑星と比べて極端に低く、形成されるクレーター孔は小惑星表面のクレーターとは全く異なる。そこで本研究では、多孔質物質のクレーター形成の素過程を明らかにするため、フラッシュX線を用いた高速度衝突現象の可視化を行い、クレーター形成時の弾丸貫入とクレーター孔の拡大を観察した。

実験方法: 標的は空隙率 50% の石膏を用いた。標的サイズは直径 34mm、高さ 65mm の円筒形と、直径 64mm、高さ 70mm の円筒形である。実験は宇宙科学研究所の二段式水素ガス銃を用いて行った。衝突速度は 1.9-2.4km/s (低速度) と 5.4-6.1km/s (高速度) の二種類とした。弾丸は SUS 球 (直径 3.2mm、1.6mm) と Al 球 (直径 3.2mm) の三種類用いた。フラッシュX線 (300kV) 装置は二台設置し、撮影タイミングを変えることによって時間変化を IP プレートに撮像した。また、衝突実験を同一条件で複数回を行い、撮影タイミングをずらすことで、衝突後 0.250 マイクロ秒間で複数枚の画像を取得した。フラッシュX線のトリガーにはピエゾゲージを用いた。さらにエジェクタの放出を観察するため、ストロボ光源を用いた影写真法による高速撮影を毎秒 25 万コマで行った。

実験結果: フラッシュX線を用いて、石膏を貫入する弾丸とそれに伴って成長するクレーター孔の観察を行うことに成功した。画像解析の結果、衝突速度や弾丸の種類が異なると、標的に形成されるクレーターの形状が変化することが分かった。低速度の場合、弾丸の種類でクレーター形状が異なった。弾丸が SUS 球の場合、石膏を弾丸が破壊することなく貫通し、貫通孔を形成した。弾丸が Al 球の場合、衝突面に半球状の空孔を形成し、弾丸は円盤形に変形した。高速度の場合 (SUS 球) 弾丸サイズでクレーター形状が異なった。弾丸が大きい場合、弾丸が変形・分裂して標的内に空孔を形成し、空孔の先端にはピット状の細い貫入孔が形成された。一方、弾丸が小さい場合、標的内に半球状の空孔を形成したのみであった。X線画像から、弾丸の貫入距離および空孔の入口および最大直径の時間変化を計測した。クレーター形状が貫通の場合、空孔直径はほぼ弾丸サイズであったが、貫入距離は時間と共に増加した。そこで、弾丸減速モデルの式 [3] を用いて抵抗係数 C_d を調べた。その結果、貫入の場合は約 0.9 となり、他の多孔質標的とはほぼ一致した [3]。クレーター形状が半球空孔の場合、20 マイクロ秒までは貫入距離・空孔直径ともに増加するが、20 マイクロ秒以降は空孔の入口直径のみが増加した。60 マイクロ秒以降になると弾丸サイズ (SUS 球) で振舞いが異なった。弾丸が小さい場合、最終的には入口直径が最大になり、スポーリングが起こった。一方、弾丸が大きい場合、分裂した弾丸が標的内に更に進行することによる貫入距離の増加が見られた。最終的には標的の破壊とその破片の飛散により、全てのサイズパラメータが増加した。弾丸減速モデルを用いてこれらの場合の抵抗係数 C_d を調べた結果、約 2-3 となった。弾丸の変形・分裂によりその形状が変化したが、この大きな C_d の原因であると思われる [4]。

参考文献 [1] Veverka *et al.* (1999), *Icarus* 140, 3-16. [2] Housen and Holsapple (2003), *Icarus* 163, 102-119. [3] Niimi *et al.* (2011), *Icarus* 211, 986-992. [4] 玉木・難田 (1966), *生産研究* 18, 219-221.

キーワード: 衝突クレーター, 貫通, ピット, 抵抗係数, フラッシュX線, 水素ガス銃

Keywords: impact crater, penetration, pit, drag coefficient, flash X-ray, H-gas gun