

# 玄武岩を用いたクレーター形成実験

高木 靖彦 (愛知東邦大学)、長谷川 直 (ISAS/JAXA)

衝突クレーター形成のスケーリング則が強度項と重力項により成り立っていることは良く知られている。この内、重力項に関しては、石英砂やガラスビーズを標的に用いた多くの実験により検証が行われている。一方、強度項の検証のための実験は意外に少なく、岩石標的を用いた系統的实验はほとんど行われてこなかった。クラックの無い均質な岩石資料を一定量入手することが難しいことが、その理由の一つと考えられる。

今回、クラックが無い良質の玄武岩を入手することができたので、系統的なクレーター形成実験を行い、強度スケーリング則の検証を目指した。実験に用いた標的は、柱状摂理の玄武岩より切り出した  $200 \times 200 \times 90$  mm の大きさの直方体である。切り出した方向は、柱の軸に垂直な方向に長辺が向いており、衝突の方向は、短辺の向き、すなわち柱状摂理に平行な方向である。質量は  $10.55 \sim 10.73$  kg で、密度は  $2920 \pm 10$  kg/m<sup>3</sup> であった。

実験は、JAXA 相模原キャンパスにある二段式軽ガス (水素) 銃を用いて行った。弾丸には、直径 3.2mm のアルミニウム球 (47 mg)、ステンレス鋼球 (135 mg)、および、直径 7.1 mm のナイロン球 (218 mg) を用い、衝突速度は  $2400 \sim 5300$  m/sec、衝突角度は  $90^\circ$  であった。

形成されたクレーターには中心から放射方向へ延びる破断面が多くのクレーターで顕著に見られ、形状が中心軸対称から大きく外れていた。そこで、真上から撮影した写真上で衝突点から 8 方向での径を測定し、その平均の 2 倍を直径とした。深さと容積に関しては、三次元形状の測定が可能なデジタル顕微鏡 Keyence® VHX-1000 を用いて測定した。ただし、いくつかのクレーターは測定可能範囲を超えてしまったため、直径とノギスで測った深さから補正係数を用いて求めた。

測定された直径と衝突エネルギーの関係を図 1 に示す。

これらの結果を今までの研究結果と比較するため、よく使われている無次元  $\pi$  パラメータ [3] を用いて整理してみる。使用した  $\pi$  パラメータは以下の 5 つである：

$$\pi_D = \left( \frac{\rho_t}{m} \right)^{1/3} D, \quad \pi_d = \left( \frac{\rho_t}{m} \right)^{1/3} d, \quad \pi_V = \frac{\rho_t V}{m},$$
$$\pi_3 = \frac{Y}{\rho_p v_i^2}, \quad \pi_4 = \frac{\rho_t}{\rho_p}$$

ここで、 $D$ 、 $d$ 、 $V$  が形成されたクレーターの直径、深さ、容積、 $m$  が弾丸質量、 $v_i$  が衝突速度、 $\rho_p$  と  $\rho_t$  が弾丸と標的の密度、 $Y$  が標的強度である。ただし、標的強度の測定ができていないので 20 MPa と仮定して計算した。

図 2 に無次元化された直径  $\pi_D$  および容積  $\pi_V$  と強度スケーリングのパラメータ  $\pi_3$  の関係を示す。ここでは示していない無次元化された深さ  $\pi_d$  と  $\pi_3$  の関係を含め、いずれの図においても弾丸 (密度) への依存性が顕著にみられる。

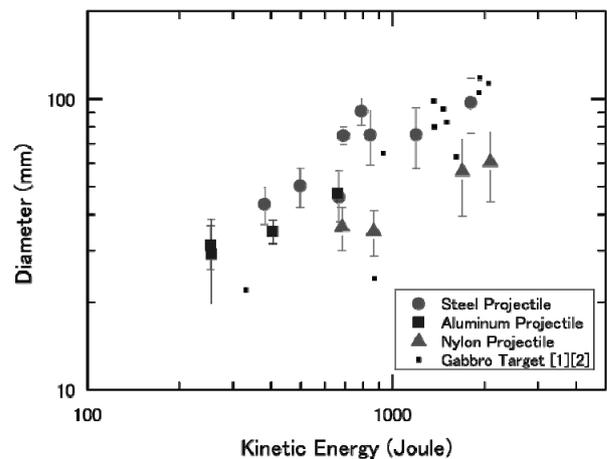


図 1. クレーター直径、体積と衝突エネルギーの関係。小さな四角は 20 年以上前に Caltech で斑レイ岩を標的にして行われた実験の結果 [1], [2] である。

そこで、 $\pi_3$ と密度のパラメータ $\pi_4$ を独立変数とした多重回帰分析を行い、 $\pi_D$ 、 $\pi_d$ および $\pi_V$ への $\pi_3$ と $\pi_4$ の依存指数を求めた。結果は、深成岩と堆積岩を用いた他の研究の結果 [4, 5] と合わせて表1にまとめた。

今回の結果は、Gault (1973) の"dense crystalline rock" を用いた実験結果に近く Suzuki et al. (2012) の堆積岩を用いた実験結果とは明確な違いを示している。堆積岩中の衝撃波の減衰が大きい事が原因ではないかと考えられるが、最終的な結論を得るためには減衰率の測定や異なった岩石を用いたクレーター形成実験が必要である。

### 引用文献

- [1] Lange, M. A., T. J. Ahrens, and M. B. Boslough (1984), Impact cratering and spall failure of gabbro, *Icarus* **58**, 383-395
- [2] Polansky, C. A. and T. J. Ahrens (1990), Impact spallation experiments: Fracture patterns and spall velocities, *Icarus* **87**, 140-155
- [3] Holsapple, K. (1993), The scaling of impact processes in planetary sciences, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* **21**, 333-373
- [4] Suzuki, A. et al. (2011), Laboratory experiments on crater scaling-law for sedimentary rocks in the strength regime, *J. Geophys. Res.* **117**, E08012
- [5] Gault, D. E. (1973), Displaced mass, depth, diameter, and effects of oblique trajectories for impact craters formed in dense crystalline rocks, *Moon* **6**, 32-44

表 1.

	標的	$\pi_D \propto \pi_3^a \pi_4^b$		$\pi_d \propto \pi_3^c \pi_4^d$		$\pi_V \propto \pi_3^e \pi_4^f$	
		a	b	c	d	e	f
今回	玄武岩	-0.47±0.09	0.19±0.10	-0.32±0.03	0.13±0.03	-1.40±0.19	0.69±0.21
Gault (1973)	深成岩	-0.370	0.203	-0.357	0.190	-1.133	0.633
Suzuki et al. (2012)	堆積岩	-0.22±0.02	0.11±0.07	-0.25±0.02	0.01±0.05	-0.71±0.05	0.23±0.17

### 謝辞

実験は、宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所スペースプラズマ共同利用設備を利用して行いました。玄武岩資料は愛知県岡崎市のファニチャーストーン株式会社 (<http://www.f-stone.com/>) より購入しました。

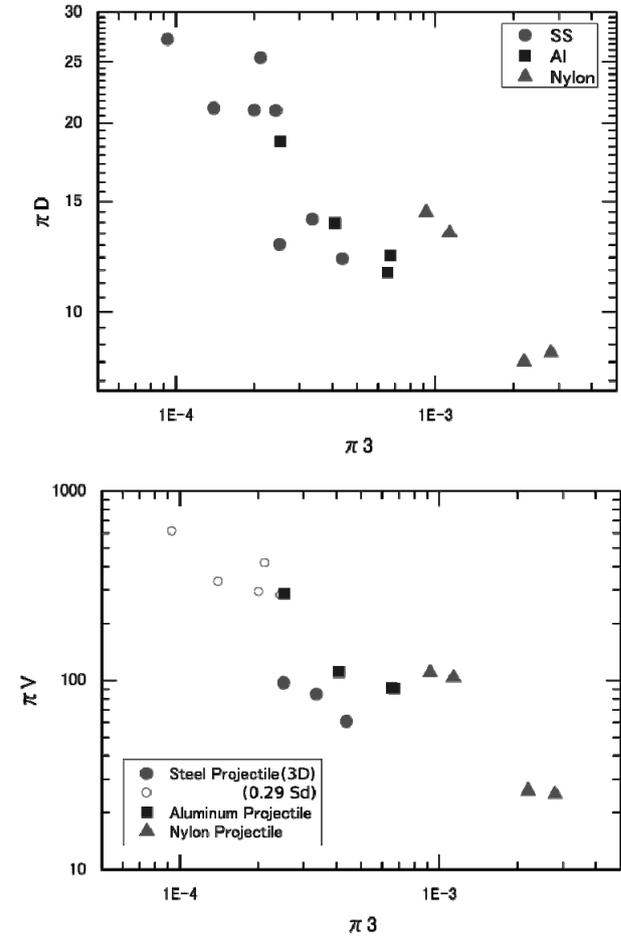


図 2.  $\pi_D$  および  $\pi_V$  と  $\pi_3$  の関係。中抜きの記号は、デジタル顕微鏡による三次元形状測定ができなかったため、クレーターの面積  $S$  と深さ  $d$  の積に測定できたデータから求めた補正係数 0.29 を掛け合わせて求めた値。