

# 玄武岩標的を用いたクレーター形成実験

(衝突クレーター形成に関する強度スケーリング則の再検証)

高木 靖彦 (愛知東邦大学)、長谷川 直、黒澤 耕介 (ISAS/JAXA)

## はじめに

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。その理由の一つとして、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考えられる。

今回我々は、クレーター形成実験に適切な大きさのクラックの非常に少ないウクライナ産の玄武岩を入手することができた。そこで、この資料を用いて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

### (1) 実験条件

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。計 16 回の実験を行い、実験条件は以下の通りである。

|      |                                          |
|------|------------------------------------------|
| 弾丸物質 | ステンレス鋼、アルミニウム、ナイロン                       |
| 弾丸形状 | 球                                        |
| 弾丸直径 | 3.2 mm (1/8 inch) および 7.1 mm (9/32 inch) |
| 弾丸質量 | 47 ~ 218 mg                              |
| 衝突速度 | 2400 ~ 5300 m/sec                        |
| 衝突角度 | 90 °                                     |

### (2) 標的

今回の実験に使用した 16 個の標的は、2 本の柱状摂理玄武岩 (ウクライナ産) より切り出したものである。衝突の方向が柱状摂理の軸の向きに平行になるような向きで直方体を切り出している。

大きさは 200 × 200 × 90 mm で、質量は 10.55 ~ 10.73 kg で、密度は  $2913 \pm 10 \text{ kg/m}^3$  であった。



図 1. 使用した玄武岩。赤いビニールテープの長さが約 20 cm。

### (3) 測定

形成されたクレーターの一例を図2に示す。柱状摂理の軸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た。これは、玄武岩が固まった時の影響と思われる。形状が中心軸対象でないため、クレーター直径を一義的に測定することが困難であった。そこで、図2に示したように、8方向での衝突点からリムまでの径を測定し、その平均の2倍を直径とした。図5中のエラーバーは、この測定値の標準偏差( $1\sigma$ )を示している。



図2. クレーター直径測定方法

結成されたクレーターの深さと容積は、Keyence®のデジタル3次元顕微鏡VHX-1000を用いて測定された。図3に3次元形状と断面の測定の様子を示す。測定されたクレーター断面の例を図4に示す。

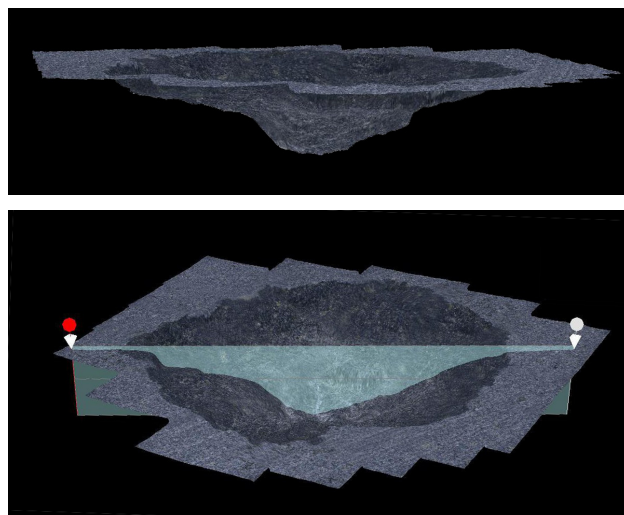


図3. 測定された3次元形状と断面の例

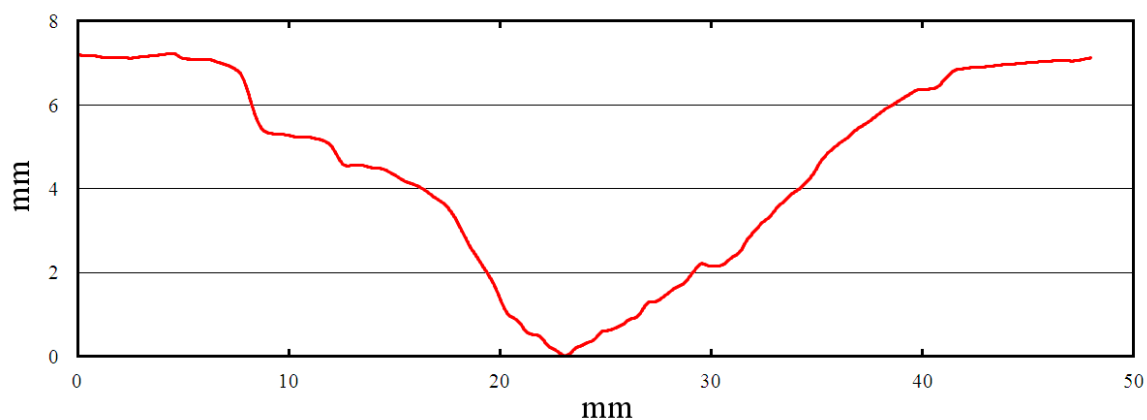


図4. 三次元形状計測器で計測されたクレータープロフィールの一例。高さが約2倍強調されている。

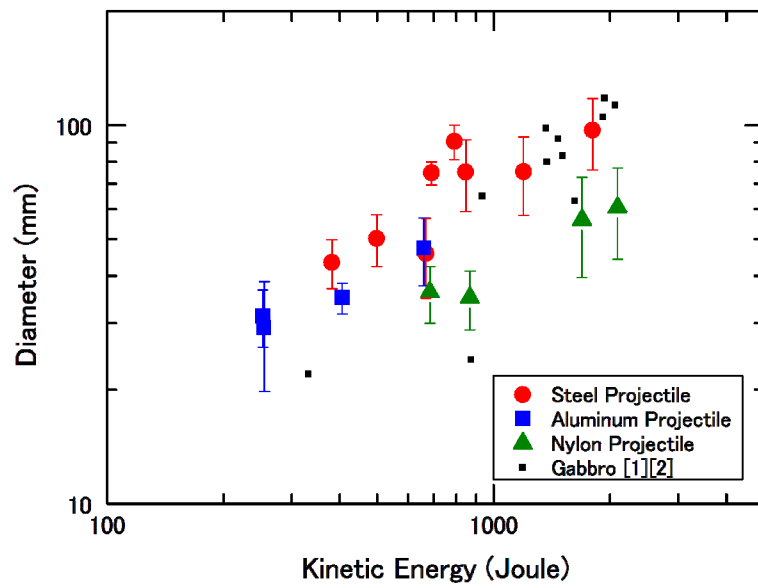


図 5. 形成たれたクレーター直径と衝突エネルギーの関係

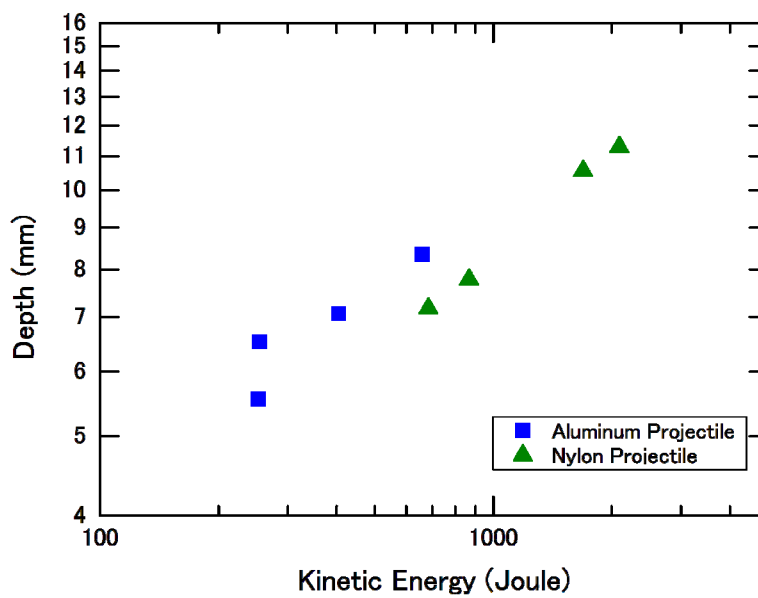


図 6. 形成たれたクレーター深さと衝突エネルギーの関係

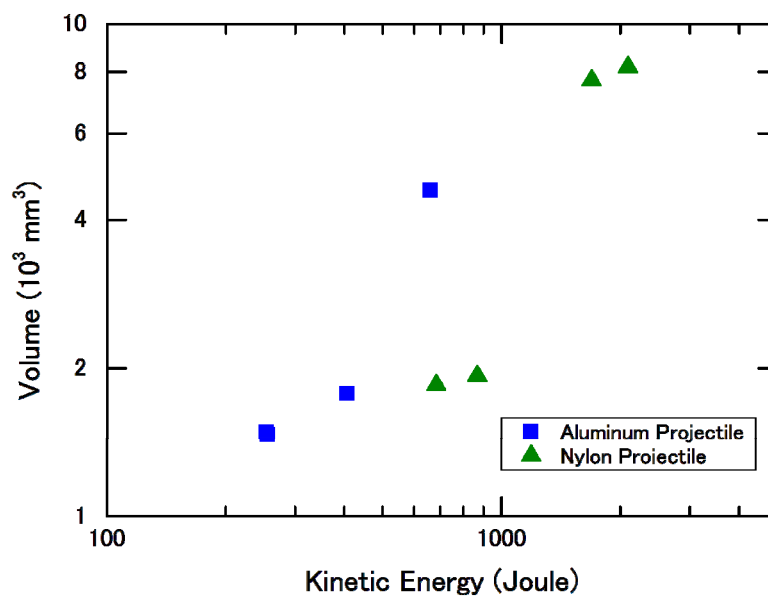


図 7. 形成たれたクレーター容積と衝突エネルギーの関係

## 実験結果

計測された直径  $D$ 、深さ  $d$ 、および容積  $V$  と衝突エネルギー  $E$  との関係を図 5～7 に示す。図 5 に示された小さな黒点は、30 年近く前に Caltech で行われた斑糲岩を用いた実験 [1], [2] の結果である。

いずれの図においても弾丸（密度）への依存性が明確に見てとれる。そこで、弾丸の材質別に最小二乗フィッティングを行うと、直径  $D$ 、深さ  $d$ 、および容積  $V$  と衝突エネルギー  $E$  との関係は

ステンレス鋼球

$$D \propto E^{0.52 \pm 0.15}$$

アルミニウム球

$$D \propto E^{0.45 \pm 0.07}$$

$$d \propto E^{0.34 \pm 0.10}$$

$$V \propto E^{1.12 \pm 0.28}$$

ナイロン球

$$D \propto E^{0.53 \pm 0.09}$$

$$d \propto E^{0.42 \pm 0.02}$$

$$V \propto E^{1.52 \pm 0.23}$$

のように求められた。ステンレス鋼球を用いた実験のクレーター容積などの測定は進行中である。

アルミニウム球およびナイロン球を用いた実験の結果は、誤差が大きいが、クレーター容積が衝突エネルギーに比例するという純粋な強度則よりも大きな指数を示している。直径と深さに関する指数も、容積の指数と調和的であり、純粋な強度則で予測される 1/3 よりも大きくなっている。

## まとめと次年度の計画

- 玄武岩を標的としたクレーター形成実験を 16 回  
行い、形成されたクレーターの直径、深さ、容積の  
データを取得した。
- それらのデータの最小二乗フィッティングから直径、  
深さ、容積と衝突エネルギーの関係を、弾丸の種  
類別に求めた。
- 次年度も 8 回の実験を行いデータ増やすとともに、

直径、深さ、容積の弾丸密度依存性を明らかにす  
ることを目指す。

## 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] Polanskey, C. A. and T. J. Ahrens (1990), Impact  
spallation experiments: Fracture patterns and spall  
velocities, *Icarus* **87**, 140-155

## 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。