

空隙率の異なる小天体模擬標的への重複クレーター実験：

クレーターサイズへの影響

○¹横山康喜、¹中村昭子、²鈴木絢子、²長谷川直

¹神戸大学大学院理学研究科、²宇宙科学研究所

1. はじめに

探査機などによって撮影された画像から、天体の表面にはクレーターが存在することがわかる。その中には複数のクレーターが重複する重複クレーターが見られる。これまでに単一のクレーターについてはそのサイズに関するスケーリング則が調べられていたが、重複や衝突履歴による影響についてはあまり調べられていなかった。先行研究では、衝突を経験した標的は衝突強度が低下することが示唆されている。このことから、衝突を経験した天体上に形成されるクレーターは、その他の衝突条件が同じであっても、これまでのスケーリング則で求める大きさよりも大きくなると予想される。

そこで本研究では、空隙率の異なる標的を用いて重複によるクレーターサイズ(直径・深さ・体積)への影響について調べる。さらに、それらのサイズの変化について重複クレーターを形成する二つのクレーターの中心間距離への依存性についても調べる。

2. 実験手法

2.1. 実験試料

今回の実験では、宇宙科学研究所の二段式軽ガス銃を用いて、石膏と玄武岩の標的に対して衝突実験を行った。石膏は空隙率が 35-45 % のものを低空隙率石膏、55-70 % のものを高空隙率石膏と呼ぶ。

表 1 標的と弾丸のパラメータ

	弾丸			標的	
	種類	直径 mm	速度 km/s	直径 cm	高さ cm
石膏(小)	ナイロン	3.2	5.11±0.13	7.46±0.11	7.01±0.21
石膏(中)	ナイロン	3.2	5.34±0.08	11.92±0.03	4.20±0.73
石膏(大)	ナイロン	7.0	5.22±0.07	26.83±0.22	16.93±0.65
玄武岩(小)	ガラス	3.2	5.09±0.14	12.1×14.3×15.1	
玄武岩(大)	ガラス	3.2	5.10±0.05	14.7×15.9×18.5	

2.2. 解析方法

クレーターの体積は衝突前後の標的の質量変化量を標的の密度で割って求めた V_m と、形成されたクレーターのガラスビーズを充填してその質量変化量をガラスビーズの密度で割って求めた V_g の二つを求める。この二つの値は特に石膏標的では異なる値をとり、この差分 $V_g - V_m$ を衝突による圧密度 $V_{residual}$ とした。

クレーター直径は、自分で撮影した画像から5方向以上を選んで測定し、その平均値を用いた。

クレーターの深さと、二つのクレーターの中心間距離は宇宙科学研究所のレーザープロファイラと神戸大のレーザー変位計を用いて測定した。

3. 結果

3.1. クレーター直径

クレーター直径について弾丸のサイズや衝突速度のばらつきを無くすために無次元化して比較した。

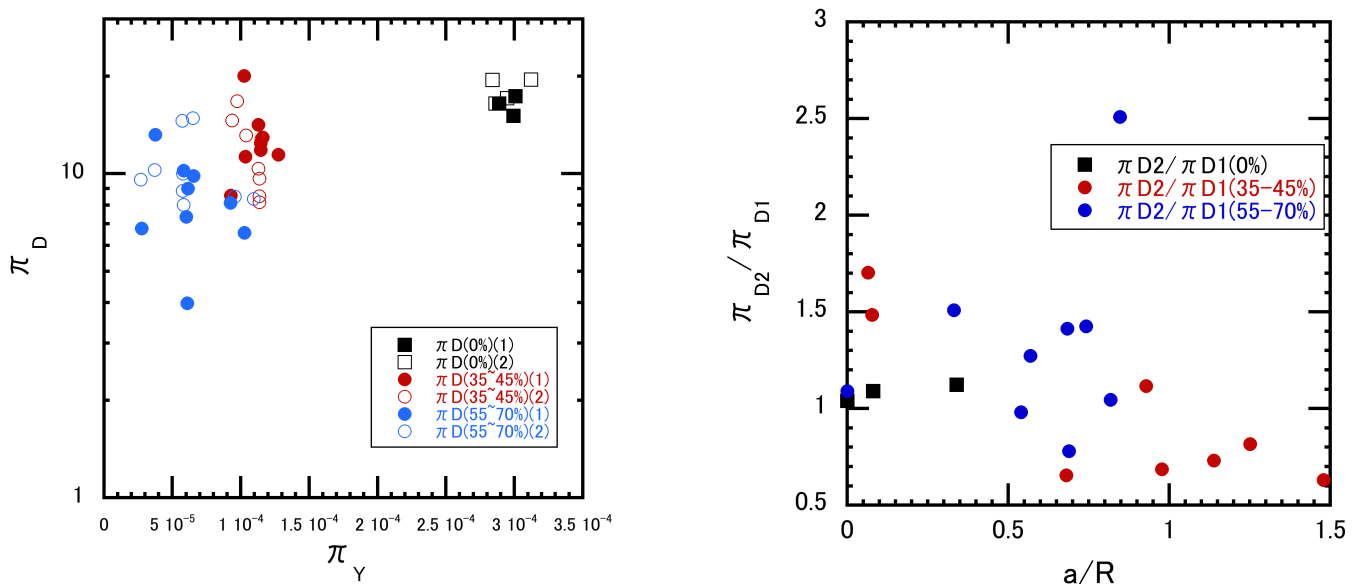


図 1 クレーター直径の比較(左)、クレーター直径の中心間距離依存性(右)

$$\pi_D = (\rho_t/m)^{1/3}D$$

$$\pi_Y = Y/(\rho_P v^2)$$

ここで、図中のシンボルは(1)が一度目の衝突の結果で、(2)は二度目の衝突の結果である。また、 ρ_t は標的密度、 m は弾丸質量、 D はクレーター直径、 Y は標的強度、 ρ_P は弾丸密度、 v は衝突速度である。一度目と二度目のクレーターの直径比(π_{D2}/π_{D1})は玄武岩では 1.09 ± 0.04 、低空隙率石膏では 0.98 ± 0.42 、高空隙率石膏では $1.34 \pm$

0.50(1.19±0.26)であった。()内の値は図 1 右のうち特に大きい値をとった一点を除いた値である。また、右図から玄武岩では距離によらず変化量が小さく、低空隙率石膏では a/R が 0.2 以下では二度目の方が大きくなり、高空隙率石膏では距離によらず二度目の方が大きくなることがわかる。これは石膏では圧密、玄武岩では内部に発生したクラックによる影響が関係していると考えられる。

3.2. 圧密度

図中で圧密度が 0 に近いものはほとんど圧密されておらず、大きい値をとるものほど大きく圧密されていると見られる。図 2 から高空隙率石膏では圧密度が大きく、低空隙率石膏ではほとんど圧密されていないことがわかる。これは直径比が低空隙率石膏と高空隙率石膏で異なる点と整合的である。

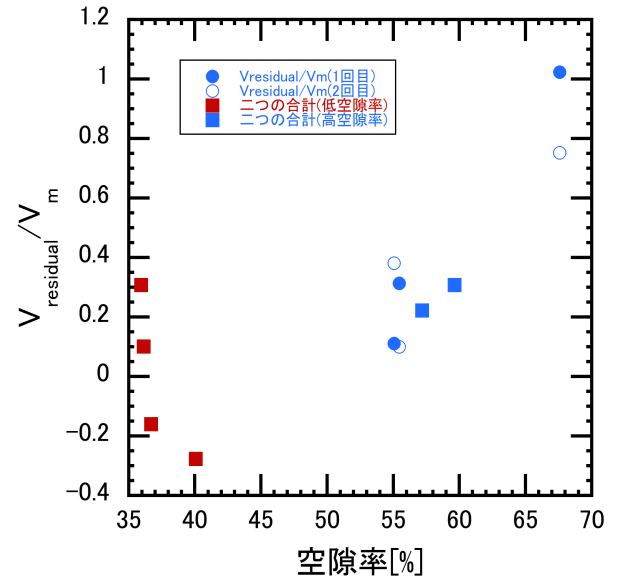


図 2 圧密度

3.3. クレーター深さ

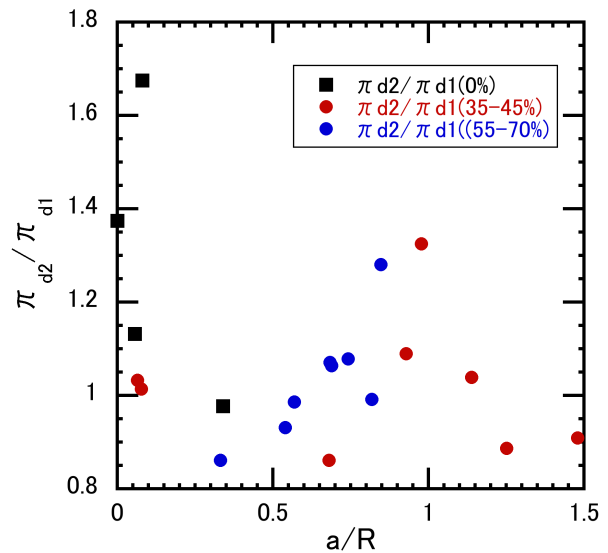
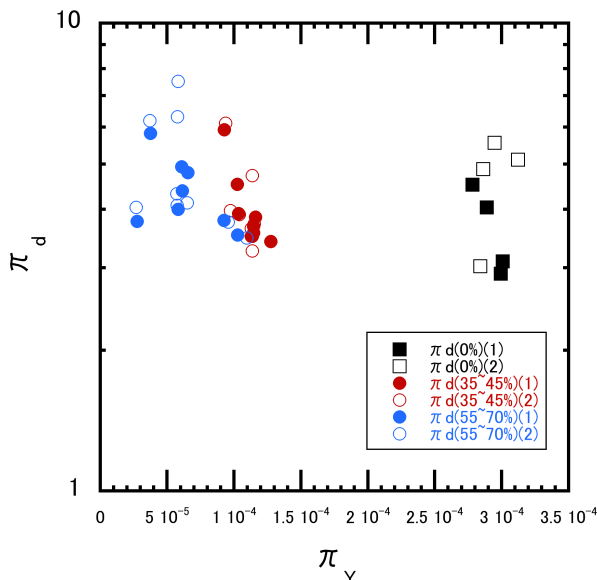


図 3 クレーター深さの比較(左)、クレーター深さの中心間距離依存性(右)

$$\pi_d = (\rho_t/m)^{1/3}d$$

ここで、d はクレーター深さである。ここで、一度目と二度目のクレーターの深さ比(π

a_2/π_{d1})は、玄武岩では 1.29 ± 0.30 、低空隙率石膏では 1.02 ± 0.15 、高空隙率石膏では 1.03 ± 0.13 であった。図 3 右より、玄武岩では距離によらず二度目の方が大きくなり、石膏標的では距離によらないことがわかる。これは、クレーターの形状に沿って圧密領域が存在するため、少し離れると深さ方向には衝突履歴の影響が出なくなるためであると考えられる。

3.4. クレーター体積

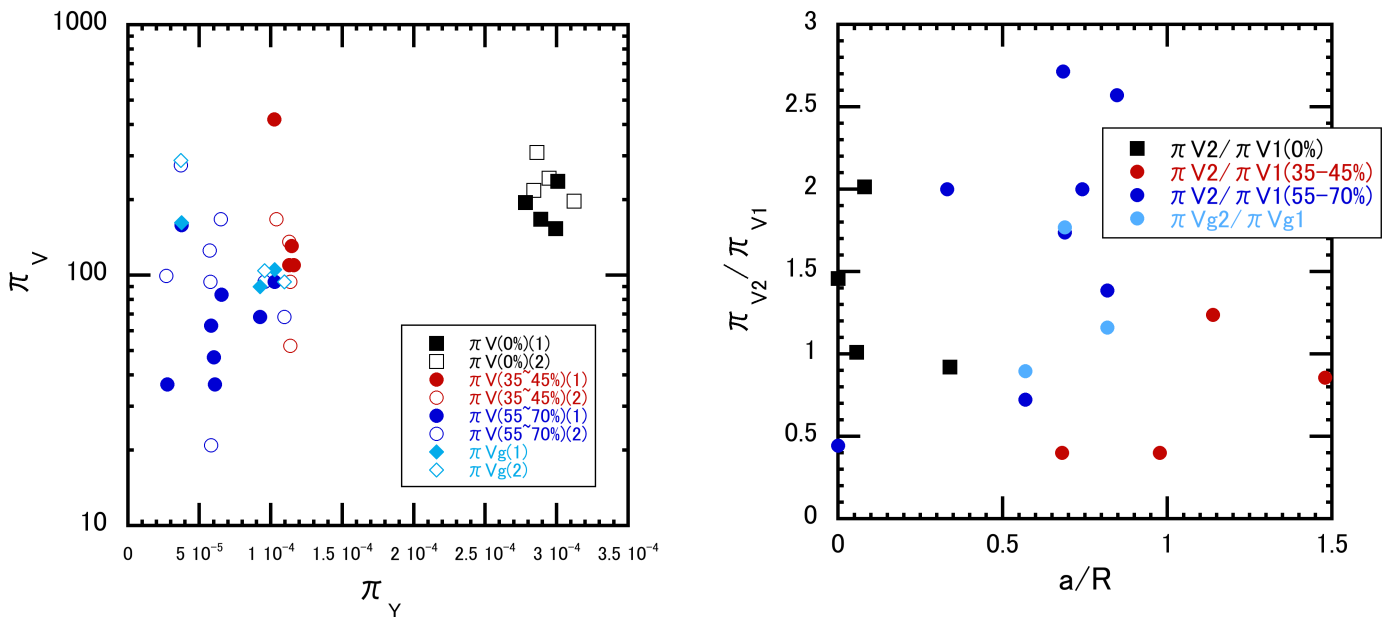


図 4 クレーター体積の比較(左)、クレーター体積の中心間距離依存性(右)

$$\pi_V = \rho_t V / m$$

ここで、 V はクレーター体積である。ここで、一度目と二度目のクレーター体積比(π_{V2}/π_{V1})は玄武岩では 1.35 ± 0.50 、低空隙率石膏では 0.72 ± 0.41 、高空隙率石膏では 1.81 ± 0.82 であった。低空隙率石膏で小さい値をとるのは、計測できなかった標的が存在するためであり、すべて計測できていれば、直径や深さと同じように 1 に近い値をとると考えられる。中心間距離による影響はすべての標的において見られない。

4. まとめ

玄武岩ではクラックの影響で二度目に形成されるクレーターの方が深さ・体積において大きい値をとる。また、高空隙率石膏では圧密の影響で二度目に形成されるクレーターの方が直径・体積において大きい値をとると考えられる。しかし、二度目のクレーターのサイズについて、クラックや圧密以外にも自由表面の影響もあるかもしれない。今後は自由表面の影響について考える必要がある。