

第4回CPS衝突実習

高速度での堆積岩へのクレーター形成実験

緒方¹ 桑原² 羽山³ 武藤²

¹大阪大学 ²東京大学 ³神戸大学

2011. 12. 14 @惑星科学研究センター

◎概要

宇宙研の二段式軽ガス銃を用いて砂岩に対するクレーター形成実験を行った

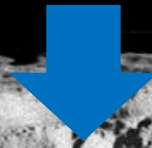
砂岩に対するスケーリング則の構築を行った

クレーター体積に対する弾丸の運動エネルギー依存性は金属と近いことを確かめた

◎クレータースケーリングとは

クレーターサイズと衝突条件とを関連づける方法

クレーターサイズ ↔ 質量,密度,物質強度,衝突速度,重力



★衝突体の**サイズ・速度**の見積り

★クレーターのサイズや形状がどのようなパラメーターに依存するか見通しを得る



★ **過去の惑星系**の情報

◎ π スケーリング則

クレーターサイズが依存しそうな物理量から次元解析により独立な無次元量の関数関係をつくる

$$V = f(a, v_i, \rho_p, \rho_t, Y, g) \quad \Rightarrow \quad \pi_V = f(\pi_2, \pi_3, \pi_4)$$

衝突条件パラメーター

V : クレーターサイズ [m³]

a : プロジェクトイルサイズ [m]

v_i : 衝突速度 [km/s]

ρ_p : プロジェクトイルの密度 [kg/m³]

ρ_t : ターゲットの密度 [kg/m³]

Y : ターゲットの強度 [N/m²]

g : 重力加速度 [kgm/s²]

$$\pi_V = \frac{\rho_t V}{m} \quad \text{クレーター効率}$$

$m = \frac{4}{3}\pi\rho_p a^3$

$$\pi_2 = \frac{ga}{v_i^2} \quad \text{重力パラメーター}$$

$$\pi_3 = \frac{Y}{\rho_p v_i^2} \quad \text{強度パラメーター}$$

$$\pi_4 = \frac{\rho_t}{\rho_p} \quad \text{密度パラメーター}$$

◎ どうスケーリングを行うか

場合分けを行い、 π_V の関数形を実験により決定

✂ **重力支配域** $\pi_2 \gg \pi_3$ の場合
大規模なクレーター (衝突体サイズ大)

$$\pi_V = f(\pi_2, \pi_4)$$

✂ **強度支配域** $\pi_2 \ll \pi_3$ の場合
小天体上のクレーター (重力項が小さい) や数m程度の小さなクレーター (衝突体サイズ小)

$$\pi_V = f(\pi_3, \pi_4)$$

◎本実習で扱うクレーター形成領域

◇ 強度支配域におけるπスケーリング則

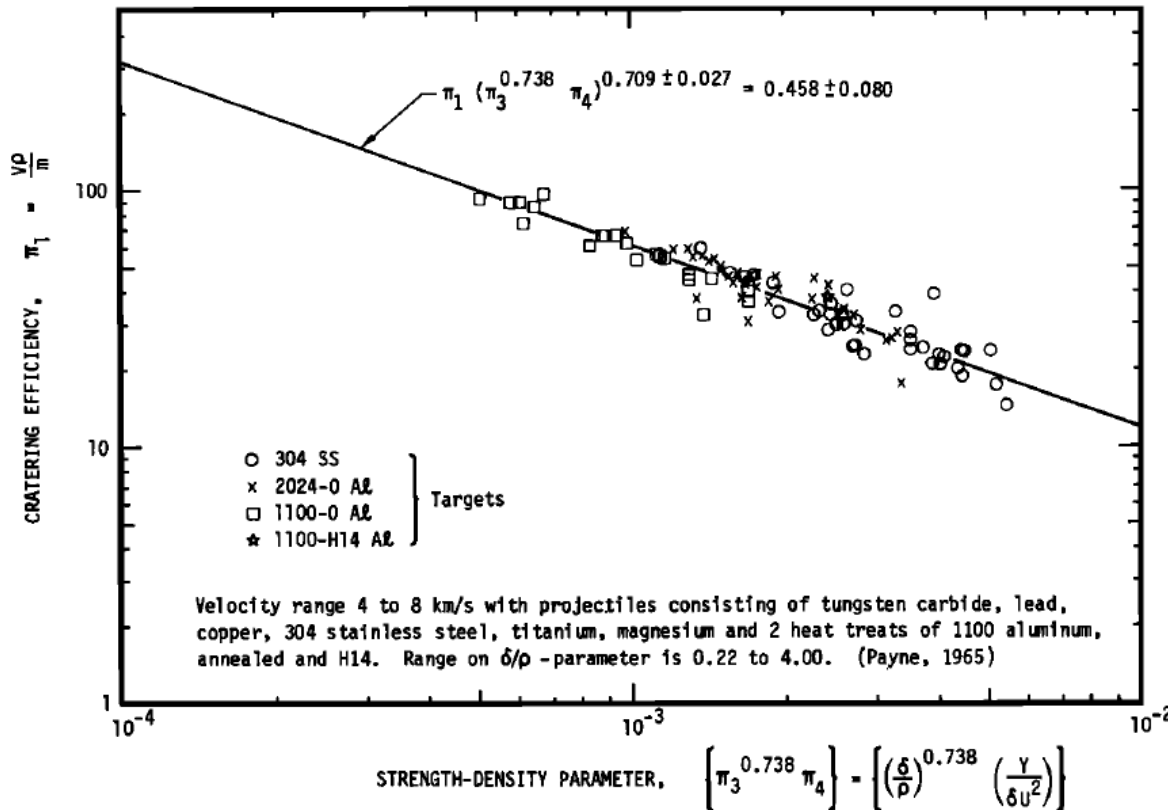
$$\pi_V = C \pi_3^\alpha \pi_4^\beta$$

先行研究ではターゲットに金属を用いたスケーリング則が構築されている

しかし、



実際の岩石惑星表層を覆う物質は様々な物性(空隙、含水など)をもつ



Holsapple and Schmidt, 1982

◎本実習の目的

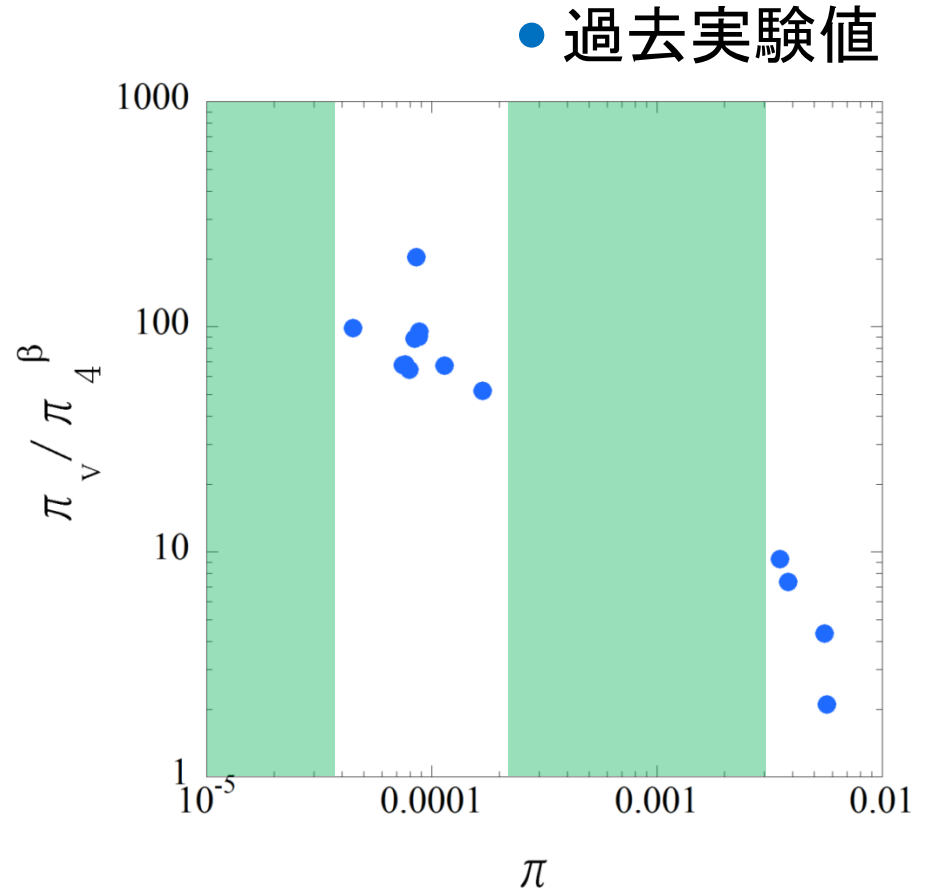
◆ 強度支配域における堆積岩に対するスケーリング則の構築

◆ 過去の実習

π_3 の領域が狭い

◆ 今回の実習

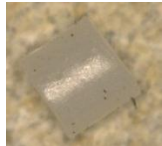
より広い π_3 領域(緑枠領域)のデータを取得した



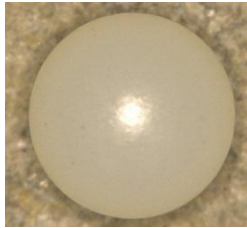
強度支配域における砂岩に対する π スケーリング

実験方法

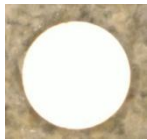
プロジェクトイル



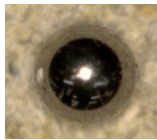
ナイロン



ナイロン
φ3

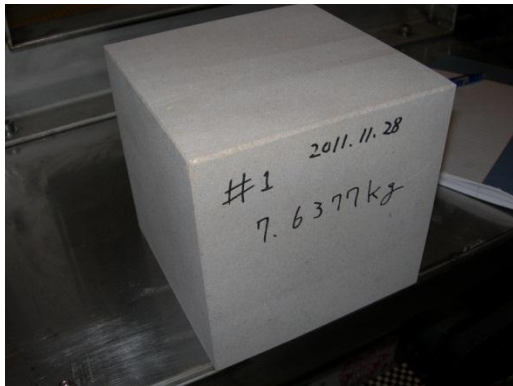


ガラス



WC

ターゲット



材質	Φ (mm)	高さ (mm)	質量 (mg)	密度 (g/cm ³)
ナイロン	1.0	0.919	0.80	1.12
ナイロン	3.1		19.0	1.12
ガラス	1.0		1.46	2.75
Cu	1.0		4.90	8.9
WC	1.0		7.77	15.18

- 標的:パキスタン砂岩
- 1辺15cm立方体
- 質量:7.8kg
- 密度:2.3g/cm³
- 引張強度:4.6MPa
- ファニチャーストーン株式会社

衝突条件

- 二段式軽ガス銃
@宇宙研衝突速度： $2\sim 7\text{km/s}$
- 合計10回shot(うち2回は当たらず)
- チャンバー内圧力： $\text{約}10\text{Pa}$



発射装置

～二段式軽ガス銃～

火薬の点火



ピストンの加速



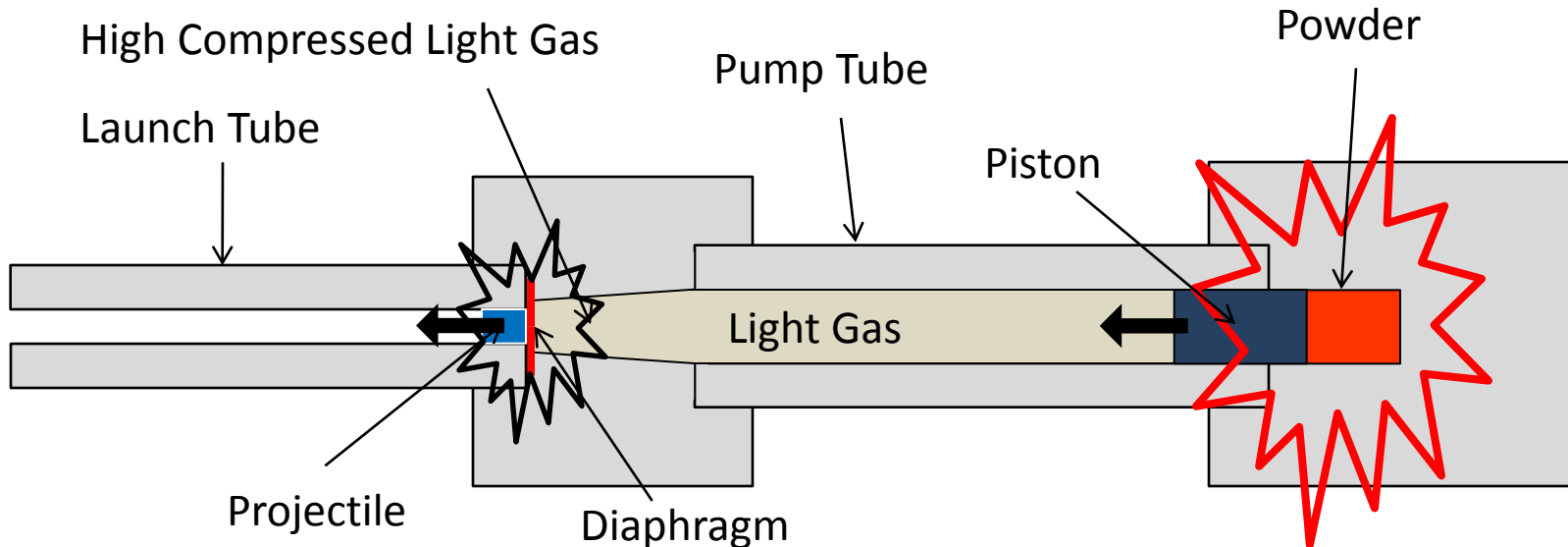
軽ガスの圧縮



ダイヤフラムの破断

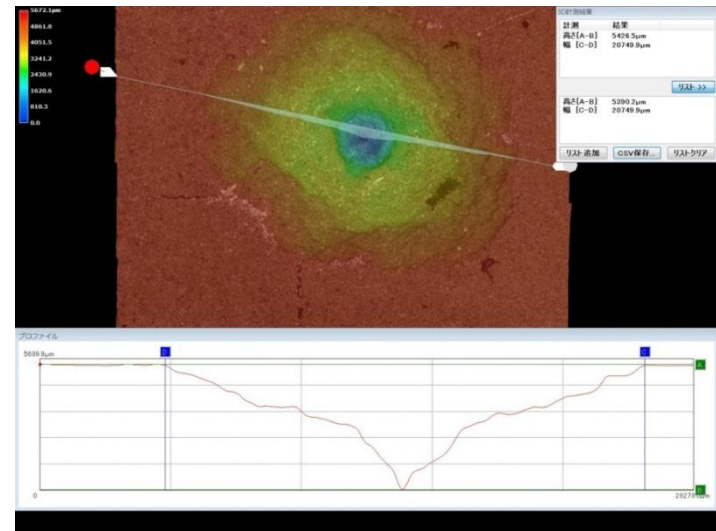


飛翔体の発射



解析方法

- 画像処理によるクレータープロファイリング
 - KEYENCE VHX-1000を用いた
- 直径・深さ・体積測定
 - π_V , π_3 , π_4 を計算
- 実験のそれぞれの値をプロットしスケール則を構築



ex. shot1495: Cu $V_i=2.63$ km/s

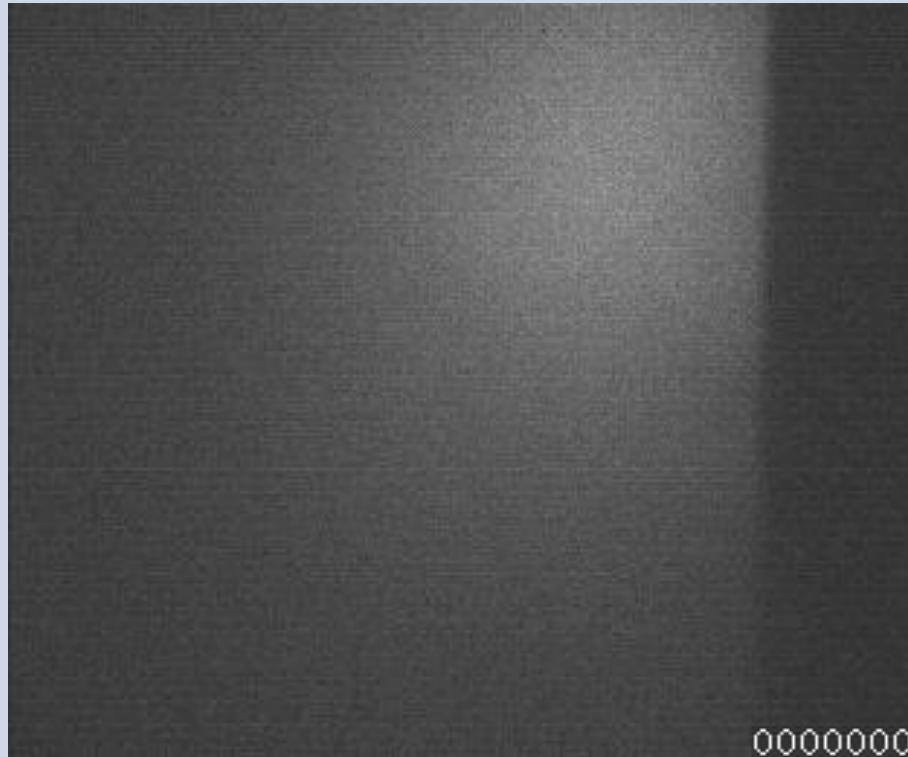
実験結果

- ・高速度カメラ映像(63kfps)

shot1493 ガラス

ϕ : 1mm, ρ : 2.5g/cm³

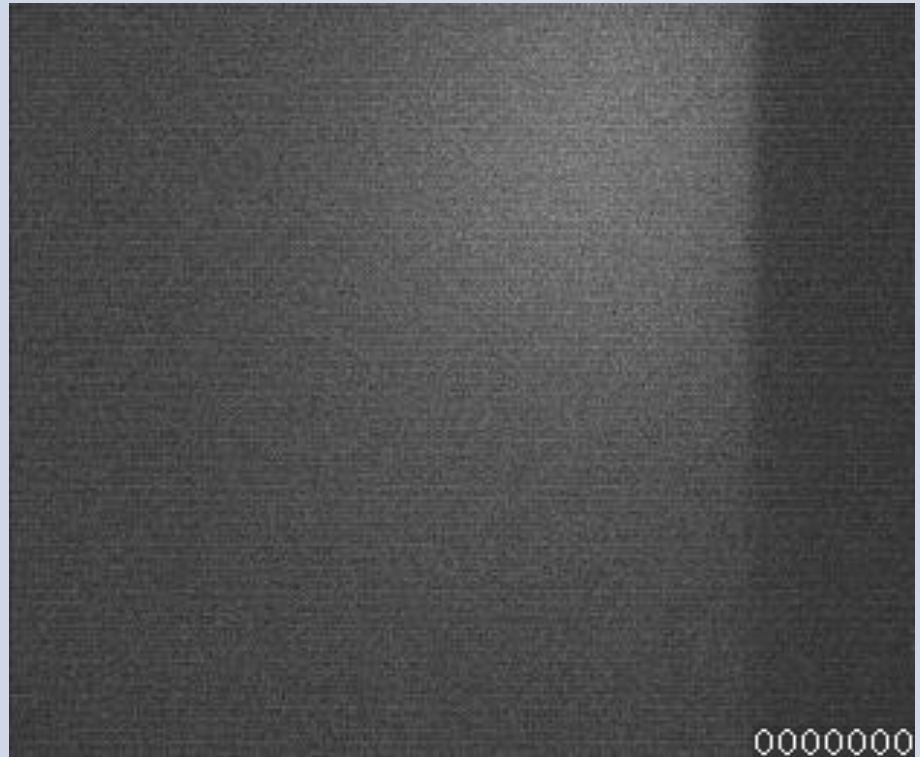
v_i =3.8km/s



shot1497 WC

ϕ : 1mm, ρ : 15g/cm³

v_i =2.0km/s

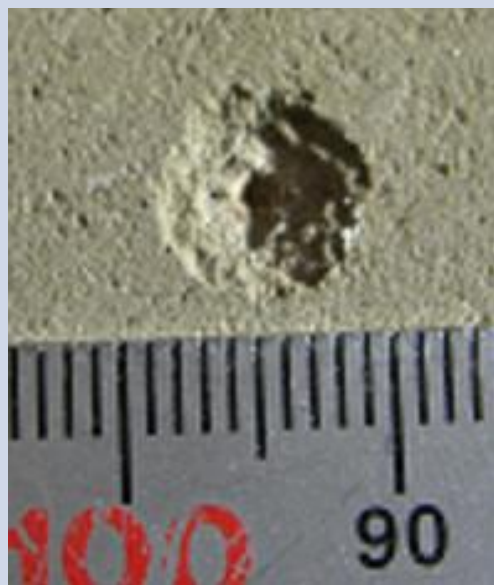


・形成したクレーターの写真

shot1493 ガラス

ϕ : 1mm, ρ : 2.5g/cm³

v_i =3.8km/s



深さ1.9mm
直径8.6mm

shot1497 WC

ϕ :1mm, ρ : 15g/cm³

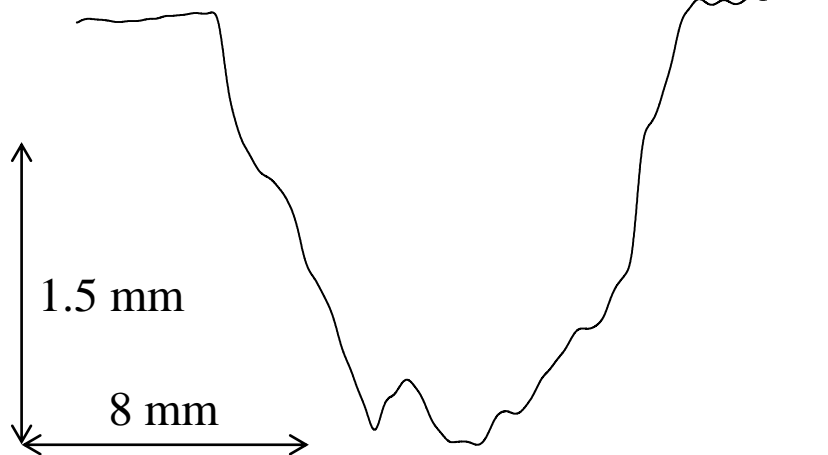
v_i =2.0km/s



深さ4.2mm
直径14mm

Nylon $\Phi=3.2\text{mm}$

2.0 km/s

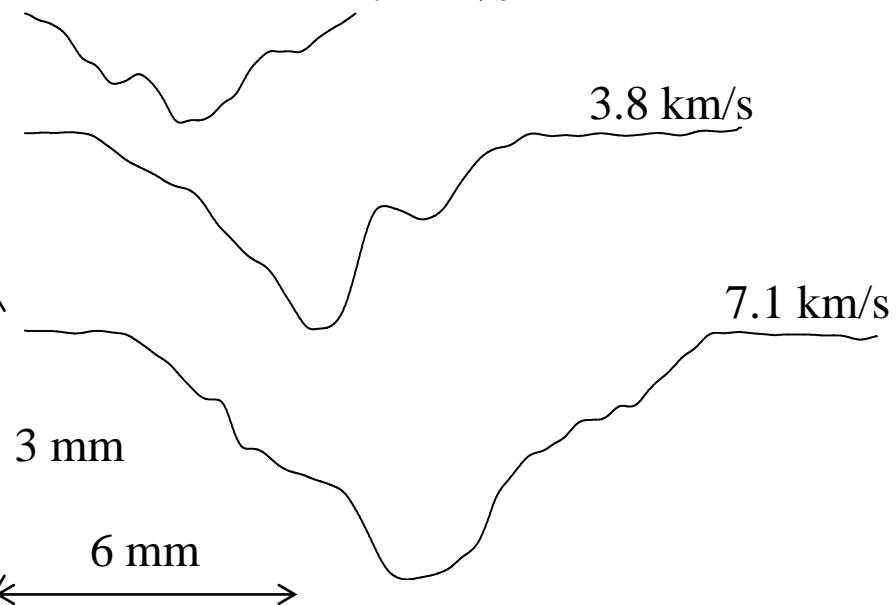


Glass $\Phi=1\text{mm}$

2.1 km/s

3.8 km/s

7.1 km/s

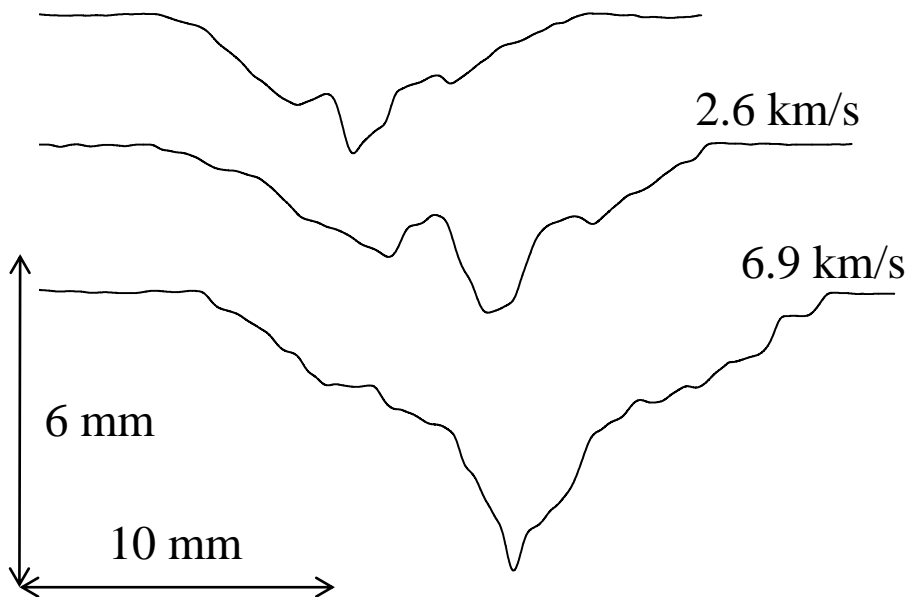


Copper $\Phi=1\text{mm}$

2.1 km/s

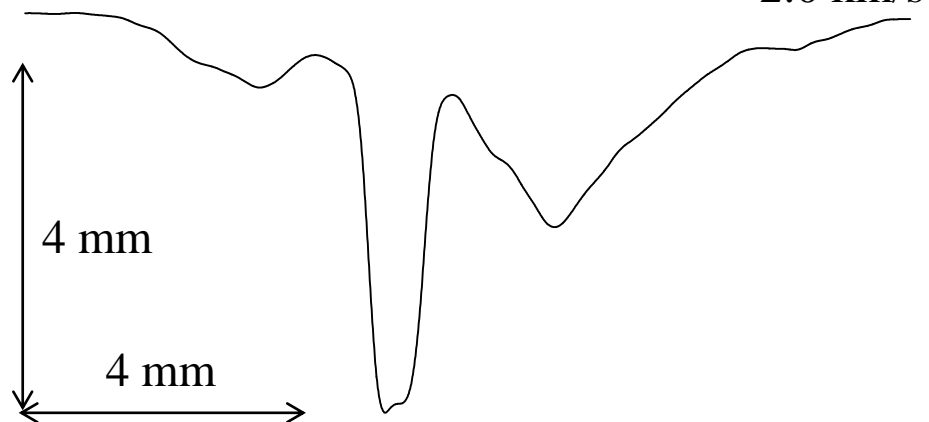
2.6 km/s

6.9 km/s



Tungsten carbide $\Phi=1\text{mm}$

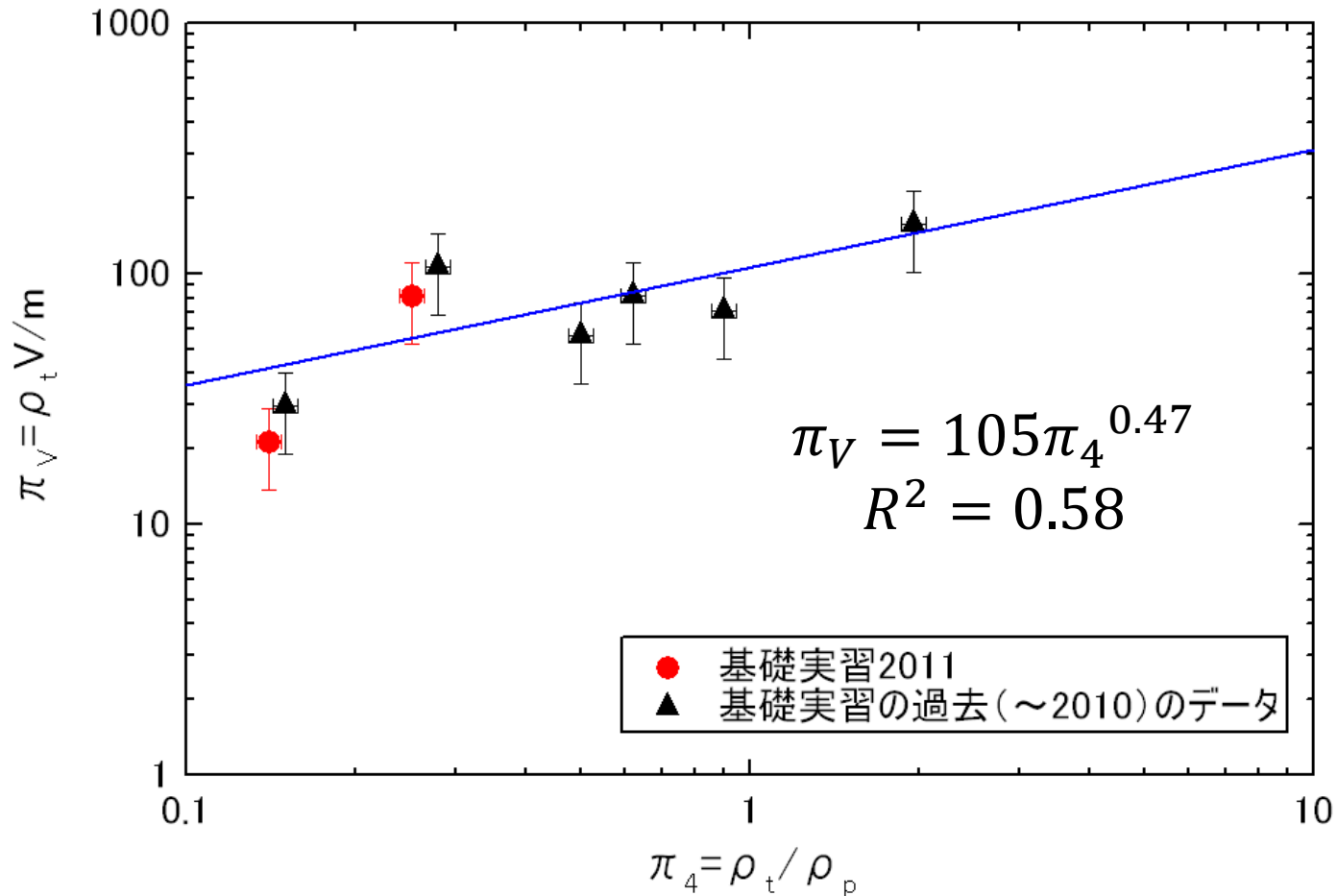
2.0 km/s



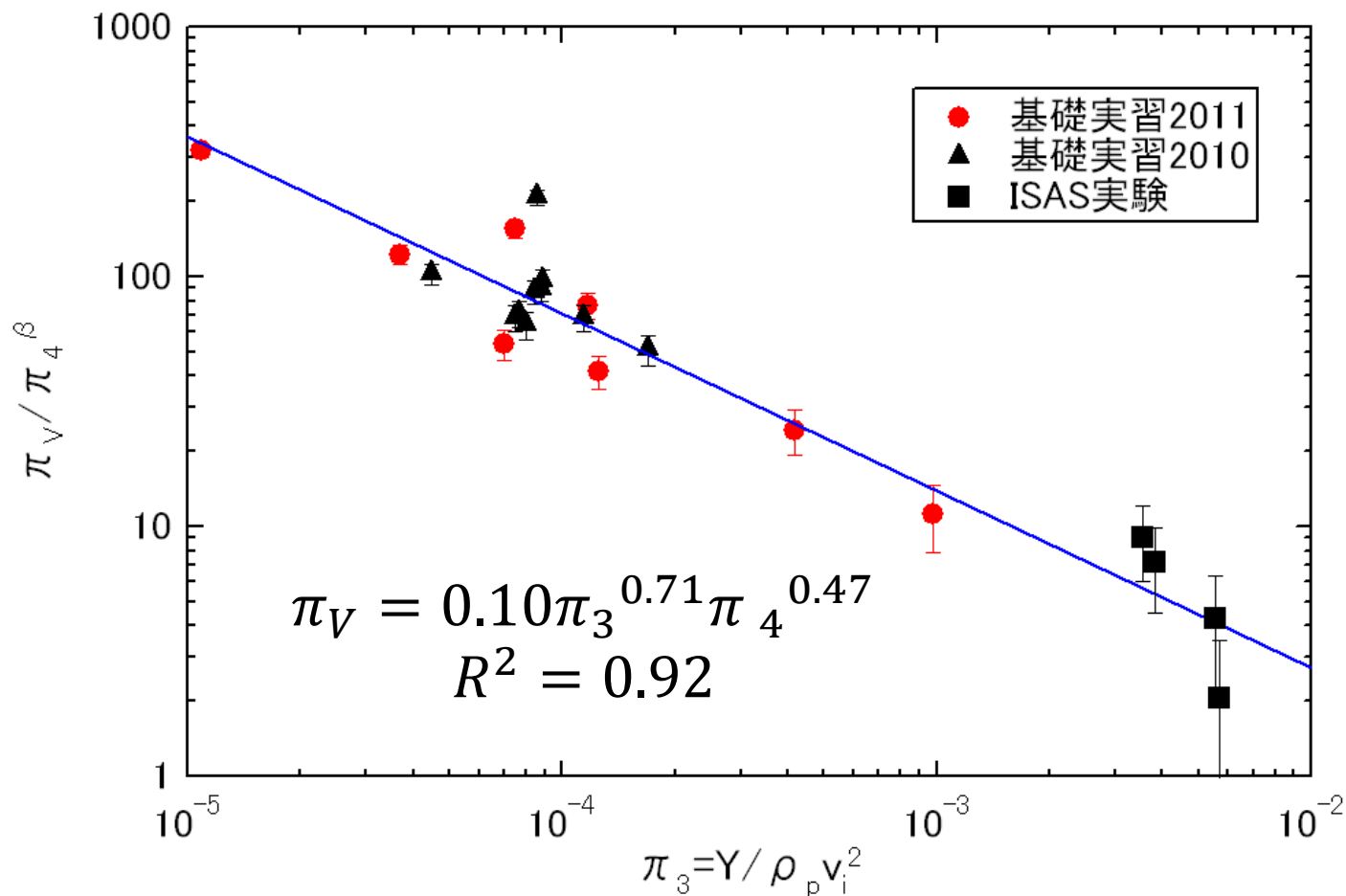
πスケーリング

π₃:一定の場合

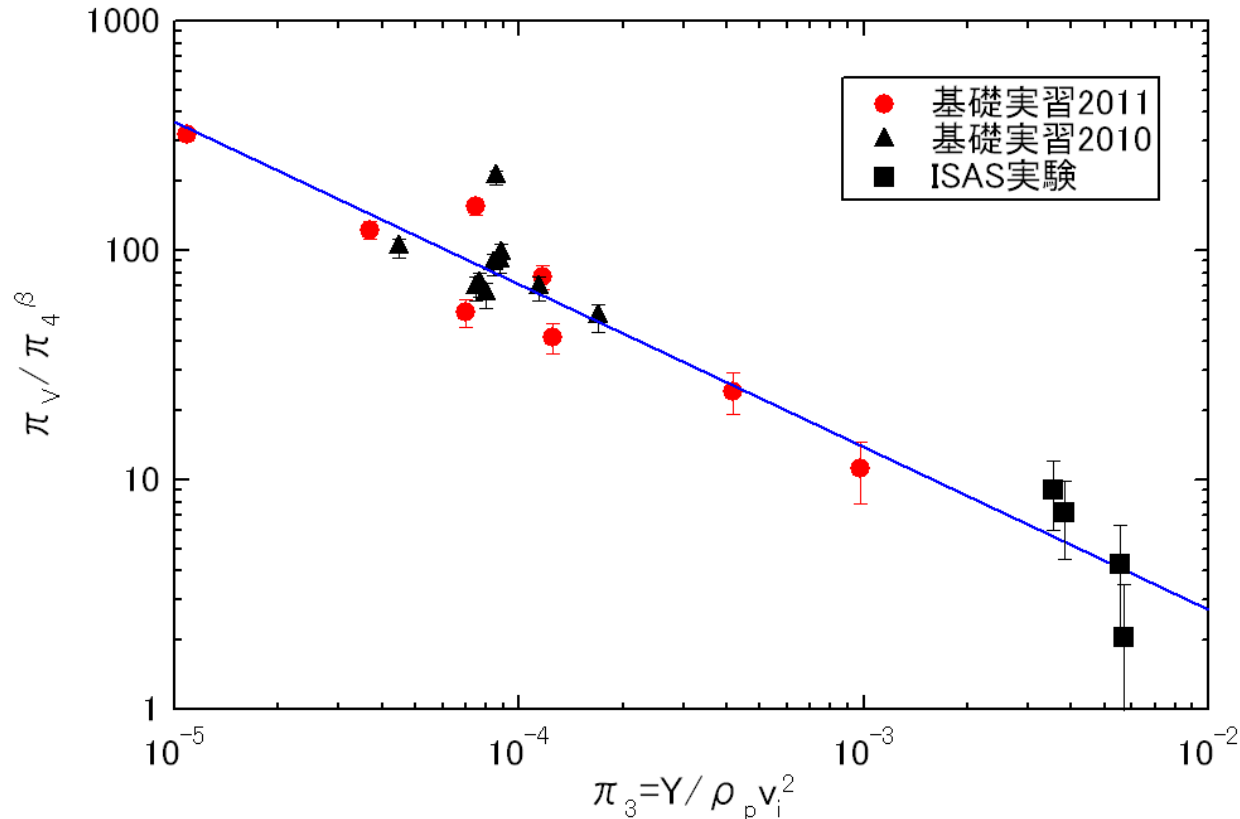
(弾丸密度がクレーター効率に与える効果)



弾丸密度の違いを考慮した π_3 と π_V の関係



考察：運動エネルギーとクレーター体積の関係

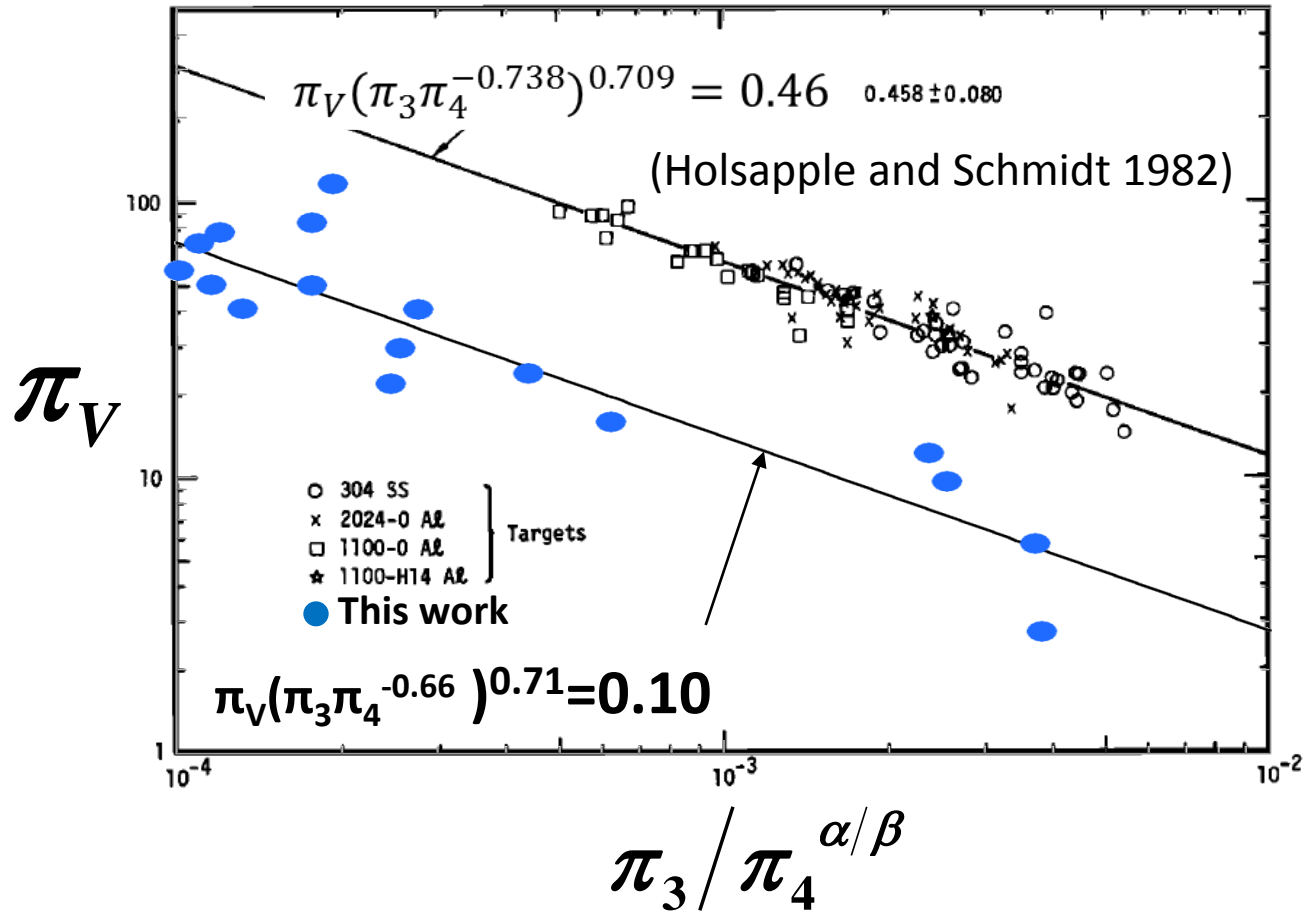


今回の実験から得られたパラメータと過去の実習でのデータを用いて、弾丸密度の違いを考慮した運動エネルギーとクレーター体積の関係スケーリング則を求めた。

➡ $\pi_V = 0.10 \pi_3^{0.71} \pi_4^{0.47}$

今回の実験でのデータと、過去の実習でのデータ ($\pi_V = k \pi_3^{0.75} \pi_4^{0.70}$) は調和的な結果となった。

考察：砂岩と金属でのスケーリング則の比較



まとめ

- 二段式軽ガス銃を用いた砂岩のクレーター形成実験を行なった
→ 10発中8発命中して砂岩にクレーターを形成した
- 形成されたクレーターの解析から、
→ 同じ種類の弾丸によるクレーターは相似に形成された
また、密度の高い弾丸の衝突では弾丸の潜りこみが顕著となった
- 砂岩に対するクレーターのスケーリング則を求めて、精度向上を行った
→ 過去の実験と調和的なスケーリング則が求められた
また、クレーター効率における弾丸密度を考慮した弾丸の運動エネルギー依存性は岩石と金属で近いことがわかった

謝辞

宇宙科学研究所・スペースプラズマ実験施設の
2段式軽ガス銃を実験に利用させていただきました。
実験でのガス銃の取り扱いにおいては、長谷川様、
黒澤様にご指導いただきました。
岩石の入手や実験の進行においては、鈴木様
にお世話になりました。
また、貴重な衝突実験実習の機会を与えていた
いた門野先生、中村先生

以上の皆様に対して、
この場を借りてお礼申し上げます。