

Early-Stage Ejecta Velocity Distribution for Vertical Hypervelocity Impacts into Sand

Brendan Hermalyn and Peter H. Schultz

神戸大学 M2 高部彩奈

Introduction

- 衝突現象のエジェクタ速度分布は天体上にある物質の放出位置を知る手がかりとなる。
- 放出された物体の大部分はmain-stageの掘削流から成る。
- 次元解析ではmain-stageの掘削におけるエジェクタ速度と時間の間にはべき乗の関係があると予想している。(Housen et al., 1983)

power-law and coupling parameter

coupling parameter
(Holsapple and Schmidt, 1987)

$$C = aV_i^\mu \delta_p^\nu f\left(\frac{c}{V_i}, \Pi_m\right)$$

点源近似 ($a \rightarrow 0, V_i \rightarrow \infty$) ...

$$C = aV_i^\mu \delta_p^\nu$$

点源近似したcoupling parameter
↓
Housenのべき乗の式

$$\frac{V_e}{\sqrt{gR}} \propto \left(\frac{t}{T_c}\right)^{\frac{\alpha-3}{\alpha+3}}$$

Introduction

- 点源近似を用いた式は衝突点近くでは適用できない。
(プロジェクトイルのエネルギーや運動量がターゲットへ移動しているため。)



early-stageではべき乗の関係が適用できない。

エジェクタ速度を調べている実験研究では
early-stageのことはあまり調べられていない。

Strategy

今実験の目的

early-stageのエジェクタ速度分布を調べることにより、クレーター形成過程の早い段階は標準クレータリング則とどのくらい異なるかを調べる。

- NASAのAmes Vertical Gun Range (AVGR)で実験を行った。
- 実験は全て垂直衝突
- ターゲットは #20-30 Ottawa sand

Strategy

- early-stageにおける衝突変数の影響を調べた。

①衝突速度を変える。

1.6 km/s, 2.5 km/s, 5.6 km/s

②プロジェクトイル密度を変える。

アルミニウム ($\rho = 2.8 \text{ g/cm}^3$),
ポリエチレン ($\rho = 0.93 \text{ g/cm}^3$),
チタニウム ($\rho = 4.4 \text{ g/cm}^3$)

③プロジェクトイル直径を変える。

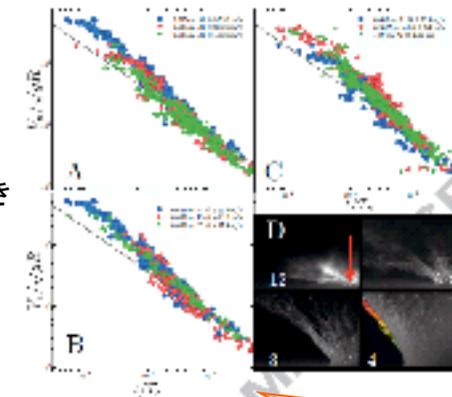
6.35 mm, 9.525mm, 12.7mm

Measurement Technique

- エジェクタ速度を求めるためにparticle tracking velocimetry (PTV)を用いた。
PTV…複数のカメラを使って撮影した画像から固体粒子の動きを追い、速度を求める。
- カメラ撮影…8000~15000 fps
- 面外方向のエラーは浅い被写界深度(DOF)を用いることによって軽減する。ピントが合っている面に存在する粒子の速度のみ求める。
DOF…ピントが合っている領域の広さのこと。

Results

- 破線は(Housen et al., 1983)によるべき乗の式をプロットしたもの。
- early-stageでは、Housenが予想した式(破線)より明らかにエジェクタ速度が大きい。



A: 異なる衝突速度
B: 異なるプロジェクトイル密度
C: 異なるプロジェクトイル直径
D: PTV画像(時間は順に衝突から0.06, 0.13, 0.20, 20msec)

Housen et al., 1983

重力支配領域の場合
エジェクタ速度と時間の関係

$$\frac{V_e}{\sqrt{gR}} \propto \left(\frac{t}{T_c}\right)^{\frac{\alpha-3}{\alpha+3}}$$

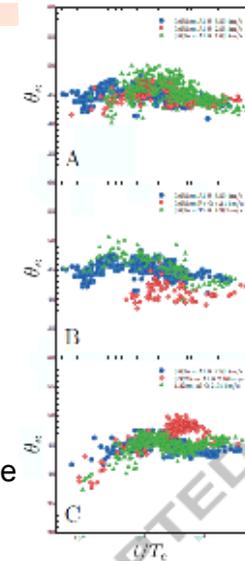
Ottawa Sandへの衝突では $\alpha=0.51$

今実験でプロットしたべき乗の式

$$\frac{V_e}{\sqrt{gR}} = 0.28 \times \left(\frac{t}{T_c}\right)^{-0.709}$$

Results

- 砂への衝突では、main-stageの掘削流のエジェクタ角度は $\sim 45^\circ$ であると予想されている。
- どの実験も、初めは予想よりもエジェクタ角度は低くなっている。
- 角度はすぐに大きくなり、最大となって、その後予想される角度 $\sim 45^\circ$ となる。
- どの実験でも、エジェクタ速度・角度共におよそ同じ時にmain-stageの値に達する。



Discussion

- 衝突速度を変えると、エジェクタ速度に小さな変化が見られる。
→ 低速度衝突になるほど早くmain-stageに到達する。
- プロジェクタイルの密度とサイズはエジェクタ速度と角度に差を引き起こす。
- 低密度…エジェクタ角度小
→ プロジェクタイルのエネルギーと運動量のcouplingが表面のとても近くで起こり、高密度プロジェクタイルよりもターゲットに侵入する深さが浅くなるため。
- サイズ大…エジェクタ角度大 (特に9.525mmの実験)
→ プロジェクタイルのエネルギーと運動量のcouplingがターゲットの深い場所で遅くに起こっているため。

Discussion

main-stageとlate-stageは先行研究による予想と一致する。

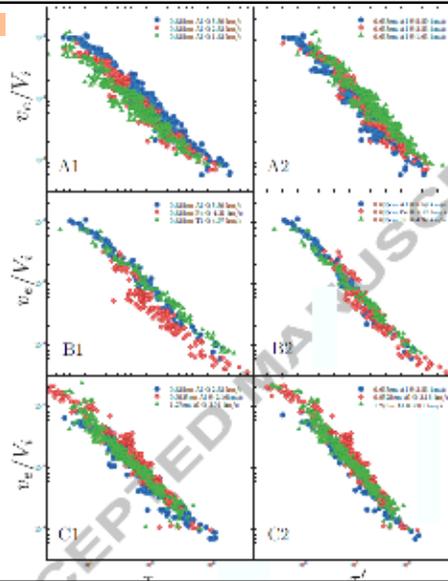
early-stageに関しては一致しないので、異なる無次元のスケールリング基準が必要。

$$\tau = \frac{t}{(a/V_i)}$$

$$\tau' = \frac{t}{(a'/V_i)} = \frac{t}{(a/V_i)} \left(\frac{\delta_i^v c^\mu}{\delta_p^v V_i^\mu} \right)$$

Discussion

- 左(横軸 τ)
→このスケールリングではearly-timeの成分は説明できない。
(特にAとBの場合)
- 右(横軸 τ')
→ $\mu=2/3$ $\nu=1/3$ の時最もearly-timeの成分を説明できる。



Conclusions

- PTVによってエジェクタの時間分解測定を行った。
- 粒状物質のearly-stageにおけるスケールリング関係を明らかにした。
- プロジェクタイトルのサイズや密度が大きくなる。
→クレーター形成時間に対してearly-time持続時間が増す。
→early-timeがより重要となる。
- クレーター形成におけるearly-stageを理解することは惑星表面に堆積しているエジェクタを説明するために不可欠。
- 衝突ミッションから得られたデータのよりよい解析を行うためにも必要。