

# 高速度衝突における先端エジェクタ速度の研究

高部彩奈<sup>1</sup> 中村昭子<sup>1</sup> 瀬藤真人<sup>1</sup> 桂武邦<sup>1</sup> 長谷川直<sup>2</sup>

<sup>1</sup>神戸大学大学院理学研究科 <sup>2</sup>宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所

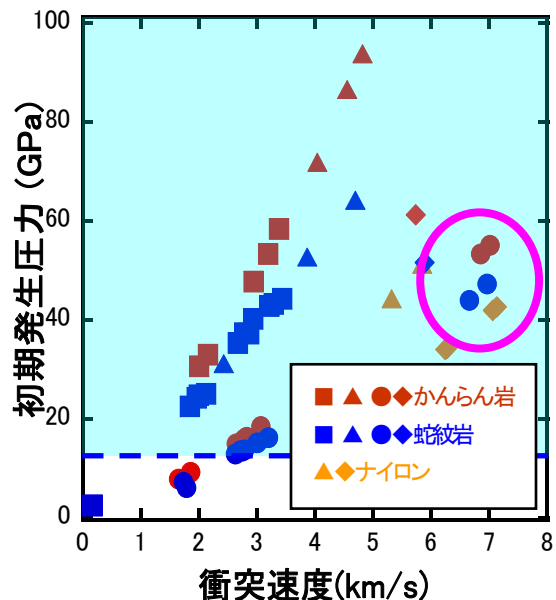
## 1. はじめに

衝突により天体から放出される塵（エジェクタ）の放出過程は衝突条件や天体の組成・構造を反映していると考えられる。このことからエジェクタ放出過程について詳しくわかれば、それを観察することによって天体の組成や構造について情報が得られると考えられる。実際に衝突起源と思われるエジェクタが小惑星帯の天体に観測されている<sup>[1,2]</sup>。また、Deep ImpactやLCROSSのように天体にインパクターを衝突させエジェクタを調べるミッションも行われており、エジェクタ放出についての知識はこのようなミッションの計画に必要であると考えられる。これらのことから、エジェクタ放出過程を知ることは重要であると考えられる。

先行研究では主に衝突点から遠いところから放出した 100m/s 以下の遅いエジェクタについて調べられている<sup>[3]</sup>。また、それらについてのスケーリング則も作られている。しかし、衝突点付近から速い速度で放出するエジェクタについてはほとんど調べられていない。そこで、本研究の目的を、先行研究では調べられておらず最近の高速度カメラにより調べることが可能となった最大速度となる先端エジェクタ速度が衝突条件によってどのように変化するか調べることとした。また、先端エジェクタ速度は衝突による脱水や気化の影響を受ける可能性があると考え、先端エジェクタ速度の脱水や気化の影響の有無についても調べることとした。

## 2. 実験装置および実験条件

衝突実験は宇宙科学研究所の二段式軽ガス銃を用いて行った。ターゲットには一辺 2.5 から 8cm の立方体と 4×4×2cm の直方体の含水鉱物から成る蛇紋岩と無水鉱物から成る橄欖岩、直径 5cm 高さ 5cm の円柱状のナイロンを用いた。プロジェクトイルは直径約 4mm、厚さ 1mm または直径約 2.5mm、厚さ 2.5mm または直径約 3mm、厚さ 2mm の円盤形の鉄または鉄隕石、直径 7mm のナイロン球、直径 1mm と直径 3.2mm のガラス球を用



弾丸種類  
■ 鉄隕石・鉄 (ポリカ付) ● ナイロン  
▲ 鉄隕石 (ポリカ無) ◆ ガラス

図1 衝突速度と初期発生圧力の関係

いた。ナイロンは揮発しやすい物質、鉄または鉄隕石は気化しにくい物質、ガラス球は岩石質の物質を模擬して用いた。

衝突速度は1.7から7.2km/sであった。ランキン・ユゴニオの方程式を用いて初期発生圧力を求めた。先行研究<sup>[4]</sup>から蛇紋岩の脱水開始衝突圧力が約11GPaであることがわかっている。このことから図1の青色で囲まれた部分の蛇紋岩は脱水していると考えた。また、他の先行研究<sup>[5]</sup>よりナイロンが岩石に衝突する場合衝突速度が4 km/s以上であると完全気化すると考えられるので、図1のピンクの丸で囲まれたナイロンは完全気化しており、また衝突速度が他の場合もナイロンは部分気化していると考えられる。

先端エジェクタ速度を求めるために2台の高速度カメラで衝突の瞬間を撮影した。カメラ1はエジェクタ速度を求めるためにライトをエジェクタの後ろから当て影絵で撮影した。カメラ2にはライトの光が直接には入らないようにし、ナイロンの自発光を見るために撮影に用いた。高速度カメラのコマ間隔、露光時間はどちらも数 $\mu$ sである。

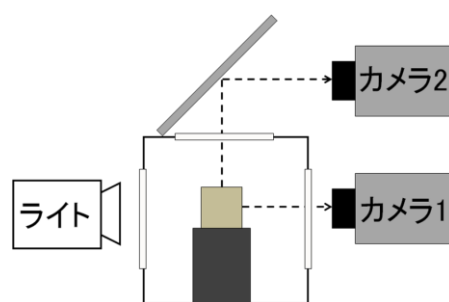


図2 銃身から見た高速度カメラの位置関係

### 3. 結果と考察

高速度カメラ1、2で撮影された画像の例を図3と図4に示す。どちらもターゲットは橄欖岩、プロジェクトイルはナイロン、衝突速度2.7 km/sの実験の画像である。

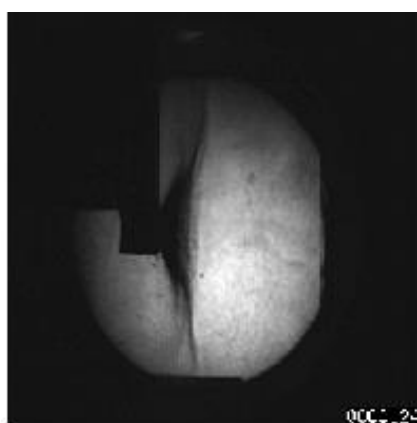


図3 カメラ1で撮影した画像

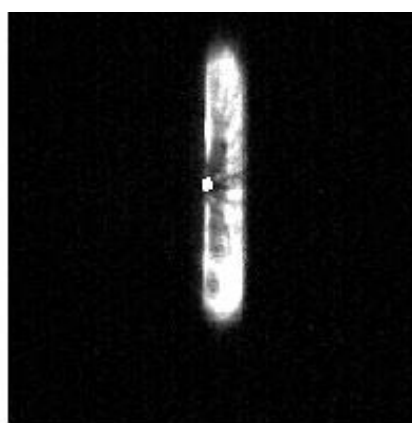


図4 カメラ2で撮影した画像

撮影した画像からエジェクタの速度を求める。まず、弾丸方向のエジェクタ速度  $V_1$  を求め、(図5 参照)次に放出角度  $\theta$  を求める。 $V_1$  と  $\theta$  よりエジェクタの最大速度  $V$  を次式より求める。

$$V = \frac{V_1}{\cos\theta}$$

高速度ビデオカメラで撮った画像をエジェクタの先端を決めるために画像処理を行った。衝突後の画像(輝度値  $I$ )を衝突前の画像の平均画像( $I_0$ )で割った画像を作成した(図 6 参照)。処理した画像の中で平均画像から変化していない部分の輝度比は1となる。1より小さくなる部分というのは、衝突前は何も存在しなかった領域に衝突後物質が存在する部分であることから、この部分がエジェクタの存在領域であると考える。

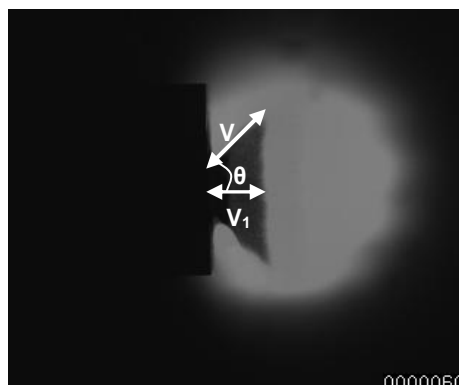


図 5 エジェクタ速度の位置関係

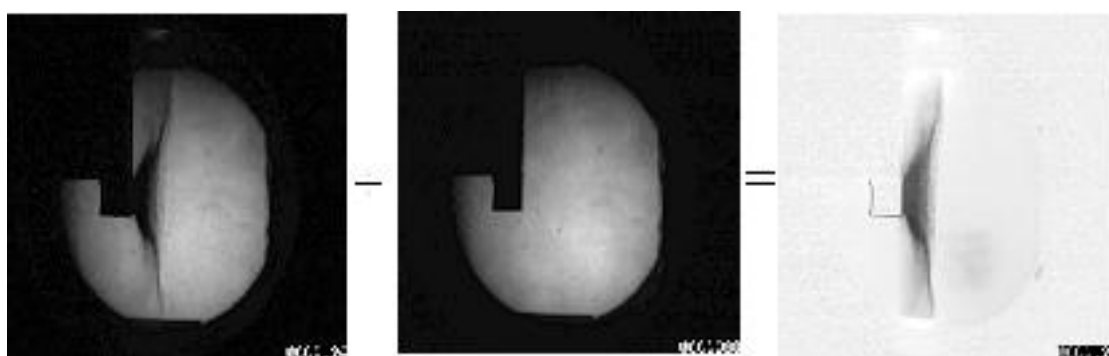


図 6 画像処理方法

エジェクタの先端を次のように決めた。加工済画像の衝突点を通る幅 1 pixel のライン(図 7 の赤い直線部分)に関して、横軸を水平位置(列)、縦軸を輝度比( $I/I_0$ )としてグラフで表した(図 8)。そのグラフの中で明らかにエジェクタの存在しない領域(図 8 の青色の楕円で囲まれている部分)における輝度比の平均と標準偏差を衝突後の画像それぞれについて求めた。そして、その平均 $-3 \times$ 標準偏差を計算し求めた値をエジェクタの存在の有無の境目とし、この値以下となる部分をエジェクタの存在する領域とした。

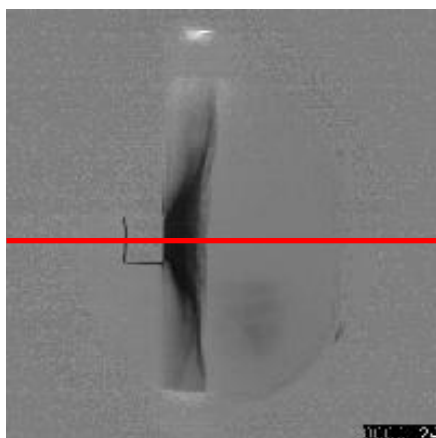


図 7 処理済画像

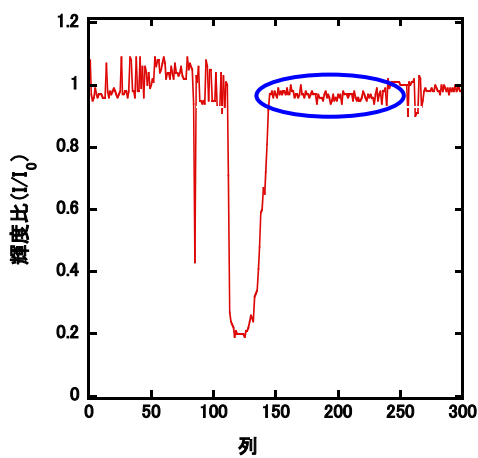


図 8 画像の列と輝度比の関係

初期発生圧力と先端エジェクタ速度の関係を示した図が図 9 である。初期発生圧力が増すとエジェクタ速度も増すことがわかる。弾丸が異なるとエジェクタ速度も異なる。蛇紋岩と橄欖岩のエジェクタ速度には差が見られなかったことから脱水による加速はエジェクタの加速は確認されなかった。

理論的に固体エジェクタの最大速度は  $2u_t$  (粒子速度) である。岩石ターゲットの場合、プロジェクトイルにナイロン球を用いたエジェクタ速度は  $2u_t$  より大きい。これより、エジェクタは加速していると考えられる。ここで、先行研究より完全気化したナイロンの膨脹速度は  $2C_s$  である<sup>[5]</sup>。ナイロン球を用いたエジェクタ速度は  $2C_s$  より小さいことから、エジェクタの加速はナイロンの気化による影響であると考えられる。

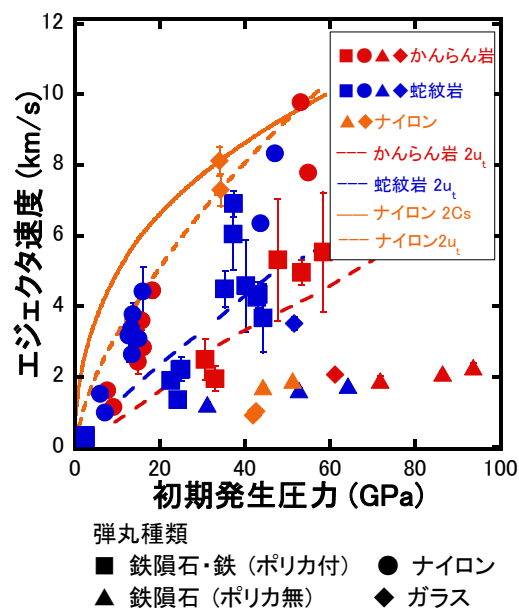


図 9 初期発生圧力とエジェクタ速度

#### 4. まとめ

最大速度となる先端エジェクタ速度が衝突条件によってどのように変化するか調べた。高速度衝突実験を行い、高速度カメラを用いてエジェクタの最大速度を求め、初期発生圧力との関係を調べた。初期発生圧力が増すとエジェクタ速度が増すこと、プロジェクトイルによりエジェクタ速度が異なることがわかった。ナイロンプロジェクトイルの気化によるエジェクタの加速が確認されたことから、揮発性の天体の衝突ではエジェクタが加速すると考えられる。

#### 参考文献

- [1] Jewitt, D., et al., 2010. Nature 417, 817-819.
- [2] Snodgrass, C., et al., 2010. Nature 417, 814-816.
- [3] Housen, K. And Holsapple, K. 2011, Icarus, in press.
- [4] Tyburczy, J. A., et al., 1990. Earth and Planetary Science Letters 98, 245-260.
- [5] Kadono, T., and Fujiwara, A., 1996. J. Geophys. Res. 101, 26097-26109.