

クレーターエジェクタの速度分布に関する実験的研究： Wada's method の応用

○辻堂さやか¹， 荒川政彦¹， 和田浩二²， 鈴木絢子³

¹神戸大学大学院理学研究科， ²千葉工業大学惑星探査研究センター， ³宇宙科学研究所

1. はじめに

衝突クレーター形成に伴うエジェクタの速度分布を理解することは、小惑星表層の衝突進化、微惑星の衝突集積過程を考える上で重要である。しかし、その実験・解析方法は非常に煩雑で手間がかかるか、高価な観測装置を必要とするため研究の妨げとなっている(Overbeck and Morrison, 1976, Hermalyn and Schultz, 2011)。そこで、本研究ではエジェクタ速度分布を比較的簡便に解析できる新しい手法を提案する。そして、この手法の精度や適応範囲について調べるため、様々な衝突条件の下で撮影したエジェクタカーテンの画像を、新しい手法を含めた3つの方法で解析し、その結果から、それぞれの解析方法の長所と短所、適用可能範囲を検討する。さらに、これらの解析手法を用いてエジェクタ速度分布の弾丸物質依存性についても考察する。

2. 実験・解析方法

標的粒子には、直径 500 μm の石英砂、直径 500 μm または 100 μm のガラスビーズ球の 3 種類を用いた。それらの石英砂またはガラスビーズを用いて準備した標的試料の空隙率はそれぞれ、44.7%、41.4%、37.6%である。標的を設置する真空チャンバー内の圧力は、 $<10^3\text{Pa}$ とした。また、弾丸には密度の異なる 5 種類の弾丸（ナイロン、ガラス、アルミナ、ジルコニア、鉄）を用いた。弾丸直径はすべて 3mm であり、この弾丸を直径 10mm のサボを用いて、一段式軽ガス銃により加速した。標的への衝突速度(v_i)は、24~217m/s とした。

まず、放出された個々の標的粒子の軌跡を計測することによってエジェクタ速度分布を求めた（個別粒子計測法）。そのために高速デジタルビデオカメラを使用して、撮影速度 2000-10000 コマ/秒で粒子放出の様子を撮影した。取得したビデオから>30 個の粒子の軌跡を追ひ、それぞれの粒子の放出位置と放出

速度、そして放出角度の関係を求めた。

次に、エジェクタカーテンの形状を観測することによって、エジェクタ速度分布を求めた。まず、エジェクタカーテンの成長初期におけるネック部分の形状を計測することにより速度分布を求めた（ネック計測法）。粒子は衝突時に一斉に放出されると仮定した。

さらに、ある高さ h での水平面におけるエジェクタカーテンの成長速度 $\dot{X}$ とエジェクタカーテン角度 α を計測することによって速度分布を求めた（Wada's method）。Wada's method では式①より、放出角度 θ を求めることができる。

$$\left(1 + \frac{2h}{gt^2}\right) \frac{1}{\tan\theta} + \left(1 - \frac{2h}{gt^2}\right) \frac{1}{\tan\alpha} = \frac{2\dot{X}}{gt} \quad \text{式①}$$

解析後、ネック計測法で求めた速度分布及び Wada's method で求めた速度分布、放出角度分布を、個別粒子計測法により得られた結果と比較した。

3. 結果・考察

エジェクタ速度のスケール則(式②)において、弾丸密度が $<6\text{g/cm}^3$ の範囲では、 μ は弾丸密度に比例していることがわかった。(図 1)

$$v_0/v_i = a(x/R)^{-1/\mu} \quad \text{式②}$$

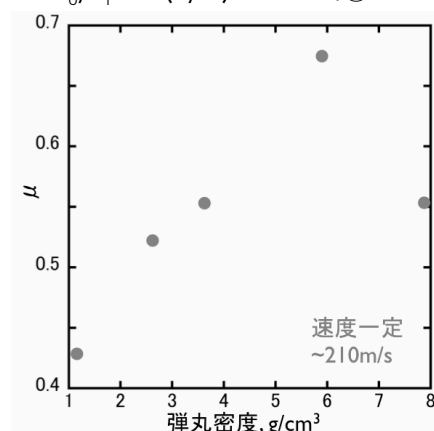


図 1 : μ の弾丸密度依存性

500 μ m 石英砂ターゲットに対して鉄弾丸を衝突速度 $v_i=204\text{m/s}$ で衝突させたショットについて、個別粒子計測法により、エジェクタ速度分布の経験式を式③のように求めることができた。個別粒子計測法に得られた速度分布については、図2、図3に、放出角度分布については図4に点線で示す。

$$v_o/v_i = 1.5 \times 10^{-3} (x/R)^{-1.8} \quad (0.3 < x/R < 0.9) \quad \text{---式③}$$

ネック計測法で得られた速度分布は、個別粒子計測法により得られた速度分布と衝突点からの距離が0.3~0.9 クレーター半径規格化距離(x/R)において良い整合性を示した。また、ネック計測法では、個別粒子計測法で求めた速度分布より、クレーターリム付近までのデータを連続的に得ることができた。(図2)

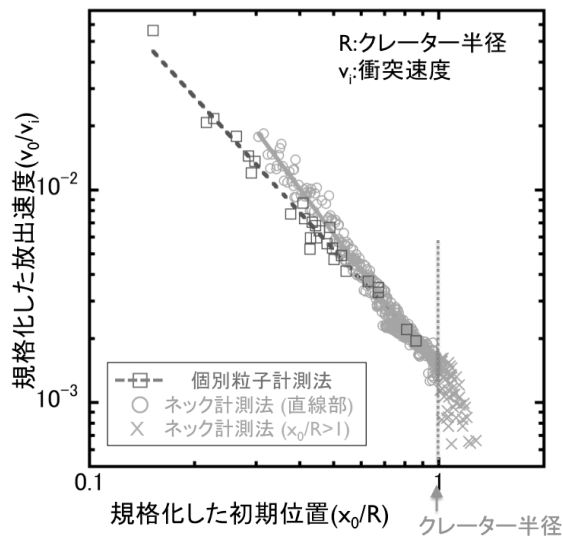


図2：個別粒子計測法、ネック計測法から得られた速度分布

一方、Wada's method で得られた速度分布は計測する水平面の高さによって求まる範囲、適用できる範囲が大きく異なることが判明した。放出角度が個別粒子計測法による結果と近い値を示すデータについては、速度分布においても個別粒子計測法による結果と良い整合性があることがわかった。図3は、放出角度において、式③から $\pm 5\%$ の範囲にあるデータのみを抜き出した速度分布である。放出角度分布は図4に示す。0.3~0.45 x/R では約30mm、0.33~0.5 x/R では約20mm、0.5~0.65 x/R では<10mm の高さにおける解析結果が、式③と一致した。それ以外の衝突点距離では、

式③とは大きくはずれる結果となった。この原因としては、エジェクタカーテン角度の計測誤差が考えられる。解析に用いたカーテン角度の計測値と、個別粒子計測法で得た結果を元に再モデル化したエジェクタカーテンから求めたカーテン角度の計算値が、部分的に大きく異なっていることがわかった。

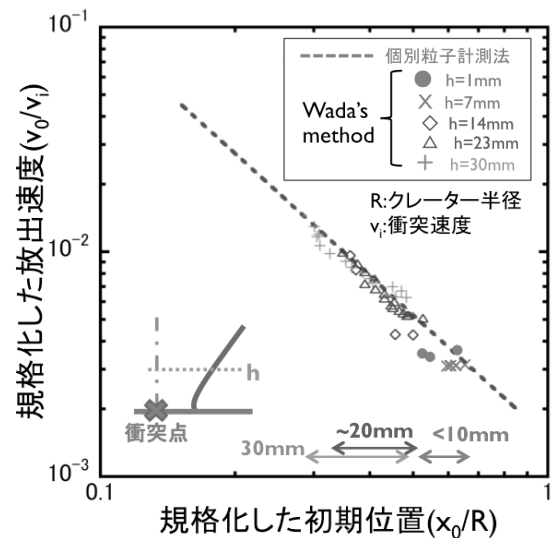


図3：個別粒子計測法、Wada's method から得られた速度分布

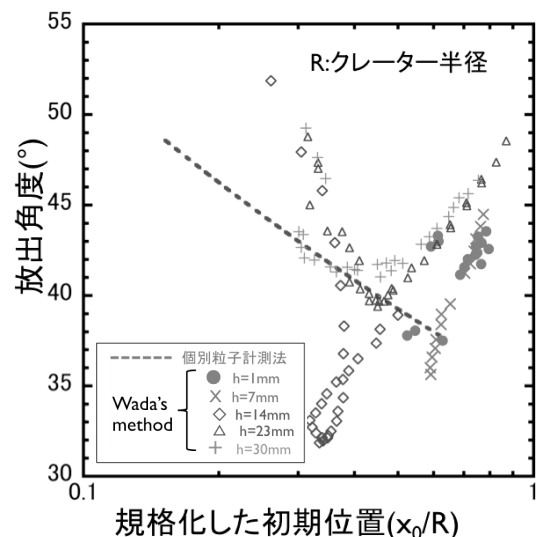


図4：個別粒子計測法、Wada's method から得られた放出角度分布