

衝突によって放出される粉体のパターンとクレーターレイ

門野敏彦¹, 鈴木絢子², 中惇太¹, 松村倫太郎¹, 末次竜¹, 黒澤耕介³, 長谷川直²

¹産業医科大学, ²宇宙科学研究所, ³惑星探査研究センター

1. はじめに

月の表面で最も目をひくものの一つに、隕石衝突クレーターの周辺に非一様にそして放射状に伸びる明るい模様「光条」(レイ)がある。レイの特徴については100年以上前から望遠鏡によって観察されていたが、近年、月面探査機によって撮影された詳細な画像の解析から、レイはクレーターから飛び出し降り積もった物質でできていること、物質の違いや表面に露出してからの時間の違い(新鮮さの違い)で明るく見えることがわかってきた。しかし、一番大きな問題、「なぜ隕石衝突クレーターから飛び出した物質は一様には降り積もらず、非一様に放射状にまき散らされるのか」についての研究はこれまでほとんどなされていない。数少ない例として、超高速衝突によって発生する蒸気が乱流状態になり、それにエジェクタが巻き込まれて模様(非一様な状態)ができるという説(Andrews, 1977)、既存のクレーターによって衝撃波や掘削流が乱され、飛び出すエジェクタの分布が非一様になるという説(Shuvalov, 2012)、があるが、まだ非一様さの原因の解明には至っていないようである。

最近、粉体に対する低速度(~100 m/s)での衝突実験から、飛び出す粉体が一様でない網目状の構造を持っていることがわかった(Kadono et al., 2015)。これは、隕石の衝突によって表層にあった粉体または衝突により破壊されてきた破片が放出される過程でパターンを形成し、それが月のクレーターレイとして観測されていることを示唆している。

この研究を基に、本研究では(1)粉体の物性および衝突条件とパターンがどのような関係を持つかを調べ、パターンがどのように形成されるか、その機構を解明すること、(2)月のレイおよび「はやぶさ2」探査で行われる予定の小型衝突体を使った衝突実験(Arakawa et al., 2017)における放出物のパターンから月面および小惑星 Ryugu の表面状態を推定すること、を目指している。

Kadono et al. (2015)では衝突速度はおよそ100 m/sであった。月面のクレーターを生成する衝突では衝突速度は数 km/s を越えており、また「はやぶさ2」における Ryugu への衝突実験での衝突速度はおよそ2 km/s である。そこで今年度は、衝突速度が数 km/s でも放出された粉体に非一様な模様が形成されるのかを確認することを第一の目的とした。更に、粉体のサイズ・形状を変えた場合の実験も行った。

2. 実験

JAXA 宇宙科学研究所の縦型二段式水素銃を用いて、直径 4.8 mm のポリカーボネイト球をプロジェクタイルとし、速度およそ 2 km/s および 6 km/s で様々なサイズのガラスビーズおよびケイ砂（ともに組成は SiO_2 、前者は形が均一な球体をしているのに対し、後者は不定形である）に衝突させた。エジェクタが放出される様子をハイスピードカメラ（SHIMADZU HPV-X）によって撮影した。衝突条件は表 1 である。

表 1：実験条件。ターゲット欄の G はガラスビーズ，S はケイ砂を表し，その後の数字は中心サイズ（直径：ミクロン）を示している。

	#348	#349	#350	#351	#352	#353	#354	#355
ターゲット	G100	S70	G50	G300	S300	S500	S70	G100
衝突速度 (km/s)	2.25	2.31	2.30	2.33	3.44	2.35	2.26	5.90
真空度 (Pa)	2.5	2.5	2.5	0.5	2.5	2.0	1.5	1.5

3. 結果

エジェクタの飛ぶ様子をとらえた画像（たとえば図 1：#348）を解析した。

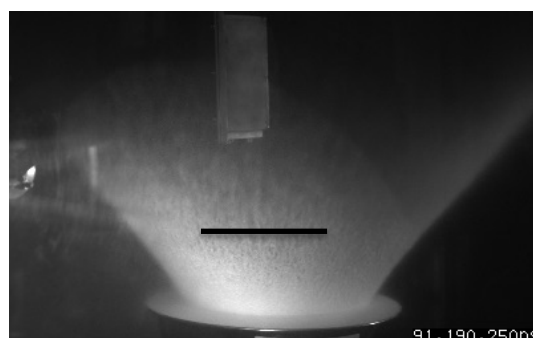


図 1 エジェクタの様子。弾丸は上方から垂直に衝突

図 1 に示したような水平線上の明るさの空間分布（図 2：赤（#348）ガラスビーズ 100 μm ，緑（#350）ガラスビーズ 50 μm ，青（#354）ケイ砂 70 μm ）を求め、フーリエ解析によりその空間分布のスペクトルを算出した（図 3）。図 2 の横軸はピクセル単位，縦軸は明るさの強度，図 3 の横軸は波数，縦軸は振幅である。

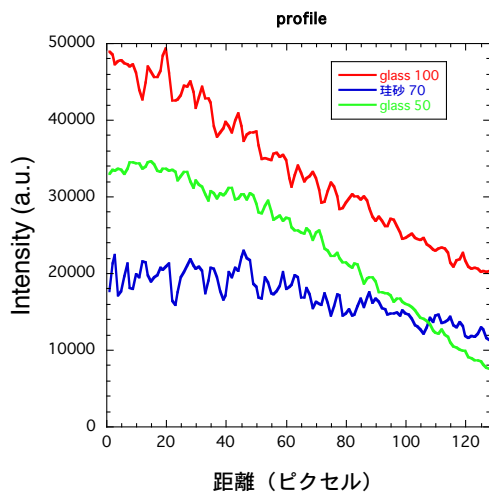


図2 エジェクタの空間分布

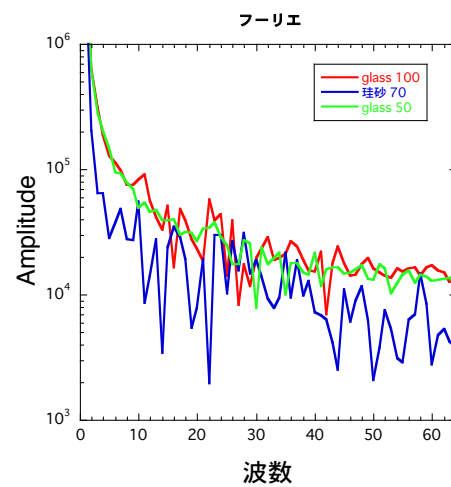


図3 フーリエスペクトル

図3から、ガラス 100 ミクロンとガラス 50 ミクロンのスペクトルがほぼ同じであり、同じ構造を持っていることがわかる。これに対し、ケイ砂 70 ミクロンのスペクトルはガラスビーズに比べて小さい波数でいくつかの顕著なピークを示している。つまり大きな波長の構造を持っているようである。

4. まとめと今後

今年度の実験により月・小惑星などの天体で予想される数 km/s の高速度衝突でも、サイズが $\sim 100 \mu\text{m}$ 以下の粉体は衝突による加速・放出によってパターンを形成することがわかった。また、粉体が $100 \mu\text{m}$ ガラスビーズのとき、衝突速度を変えても (100 m/s から 6 km/s) パターンに顕著な違いは見られなかった。今後は今年度得られたデータのより定量的な解析を進め、また次年度以降にもサイズ・形状・組成の違う粉体に対する実験を引き続き行い、それぞれに対してパターンを定量的に求め、結果を比較し、パターン形成機構の解明を目指す。

(参考文献)

- R. J. Andrews, *Impact and Explosion Cratering*. Pergamon Press (New York), 1089-1100, Roddy, D. J., Pepin, R. O., and Merrill, R. B. (eds.) (1977).
- M. Arakawa et al., *Space Sci. Rev.*, 208, 187-212, doi:10.1007/s11214-016-0290-z (2017).
- T. Kadono, et al., *Icarus*, 250, 215-221, doi: 10.1016/j.icarus.2014.11.030, (2015).
- V. Shuvalov, *Meteo. Planet. Sci.* 47, 262-267, 10.1111/j.1945-5100.2011.01324.x. (2012).