

衝突雷の検証に向けた粉体への高速度衝突

黒澤耕介¹, 村主崇行², 奥住聡³, 長谷川直⁴

¹千葉工業大学 惑星探査研究センター, ²理化学研究所 計算科学研究機構

³東京工業大学 理学院 地球惑星科学系, ³宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所

1. はじめに

火山噴火の際に噴煙中で放電が発生することは「火山雷」としてよく知られている。これは岩石微粒子が大気中に放出され、粒子同士の相互衝突によって徐々に電荷に偏りが生じることに起因する。形成される電場が大気中での絶縁破壊電場強度を超えると電流が発生し、電荷が中和する。この際に放電路内及びその周辺の大気・岩石微粒子の懸濁流体が加熱され自発光を生じる様が火山雷として観測される。天体衝突が起きた際には衝突に伴う衝撃波伝播で粉碎された岩石微粒子が上空へ放出される。したがって火山雷と同様の放電現象が起こると期待される。我々はこれを「衝突雷」と名付け、その発生可能性を示すことを目指している。

ここで我々がなぜ衝突雷に注目するのか、すなわち衝突雷の地球惑星科学における重要性を述べる。もちろん現段階では推測である。一般的に衝突放出物はその質量は衝突天体質量の10-100倍に及ぶものの、衝突熔融物など衝突点近辺から生じた試料と比較してその重要性が議論されることは少ないように思われる。これは高い衝撃圧力を経験しておらず、活性化エネルギーの障壁を超えるような化学反応や元素拡散を経験しないこと、その運動はただの弾道軌道、もしくは大気中での重力流的であることから熱的にも流体力学的にも”冷たい”状態にあると考えられていることによる。衝突雷が発生するとした場合、この描像は一変する。先述したように放電路周辺は急激な加熱を経験する。地球上の雷の観測によれば放電路の中心温度は10000 Kを超える高温にさらされる。岩石の融点はおおよそ1500 Kほどであることから、放電路周辺のそれなりの体積の岩石微粒子が熔融すると期待される。これは衝突放出物の「熱的再活性化」とみることができる。岩石微粒子を急加熱熔融させ急冷するとガラス状の球粒(スフェリユール)が形成される。実際に近年火山噴火を起こしたばかりの火山性堆積物の詳細な分析によって直径0.1 mmほどのスフェリユールが発見されている。スフェリユールを見出した研究グループは電極放電による火山雷模擬実験を実施し、火山性スフェリユールと似たガラス状組織が生成されることを示している。衝突雷が起こるとすれば同様にスフェリユールを地質に残すと推定される。ここで重要なのは放電が起こる絶縁破壊電場は惑星大気圧に依存することである。これはパッシェン曲線として知られ大気圧の1.5乗というそれなりに強い依存性を示す。従って将来的に衝突雷由来のスフェリ

ュールを堆積物中に見出すことができたとすれば、その発生量から衝突当時の惑星大気圧の情報を引き出すことができる可能性がある。また、古大気と岩石微粒子の懸濁流の急加熱・急冷を経て形成されたスフェリュールはそのガラス状組織の中に古大気を閉じ込める可能性がある。このような大気捕獲は火星隕石中の衝撃ガラスでもみられる。詳細な地球化学分析によって衝突時の大気組成情報をも引き出せるかもしれない。このように衝突雷は惑星古環境を探る新たな視点を提供するだろう。我々はこのような展望を抱き、研究を始めている。

2. 粉体層への衝突実験

2.1. 実験条件

実験室での実証を目指し、宇宙科学研究所に設置された縦型二段式水素ガス銃を用いて粉体層への衝突実験を実施した。50年以上前から無数に行われてきた過去の衝突実験との差異は、遮光条件かつ光源を用いずに自発光で衝突放出物を観測したことである。標的にはソーダライムガラスビーズ粒子を用いた。粒子同士の相互衝突が起こりやすいように中心サイズが一桁異なる2つの粒子群(50 μm , 500 μm)を質量比で1:1で混合し、直径30 cmの金属たらいに満たし粉体試料とした。弾丸には直径4.8 mmのポリカーボネイト球を用い、衝突速度は定常運転の最高速度である6 km/sに固定した。比較のため1 shotのみ2 km/sの実験も実施した。周辺気体には室内空気をそのまま使用し、真空引き度合いでチャンバ内圧力を制御した。チャンバ内空気圧は0.1–10 kPaで変化させた。

放出物カーテンはチャンバ側面と上面から高速ビデオカメラを用いて撮影した。今回は赤外線(Telops, FAST M2k)、可視光線にそれぞれ対応する高速ビデオカメラ(Shimadzu, HPV-X & Casio, EXILIM)を用いた。赤外線カメラの観測波長域は3–5.4 μm である。この波長域でソーダライムガラスビーズの放射率はほぼ1であることを確かめている。

二段式水素ガス銃の弾丸加速ガスが放出物の挙動与える影響を最小化するためチャンバ内にはプラスチック板で構成されたガスよけを設置した。

2.2. 実験結果

図1に赤外線カメラによる撮影例(Shot# 361, 6.2 km/s, 10 kPa)を示す。残念ながら大規模な放電構造を確認するには至らなかったが、200°Cを超える光点が無数に観測された。光点が背景光の役割を果たし放出物カーテンの影絵像を得ることができている。カーテン中にネットワーク構造が発達していることから粉体粒子の相互衝突自

体は起こっていること[e.g., Kadono et al. 2015]が推定できる。図2に可視光カメラで観察した同一ショットの放出物カーテンの様子を示す。赤外線カメラの観測像と同様に大規模な放電構造は観察されないかわりに自発光する光点が観察された。この光点が照明の役割を果たし遮光条件にもかかわらず、可視光線でも放出物カーテンの様子がわかる。図3には低速のショット(Shot# 359, 2.2 km/s, 10 kPa)の赤外線、可視光線像を示す。高速ショットの場合と定性的には同じである。2 km/s という低速ショットでも自発光する光点が観察された。図4は図1, 図2と同一ショット(Shot# 361)の実験後にクレータ内から回収した凝縮物の写真である。出発物質(ソーダライムガラスビーズ)の透明さは失われ、数倍大きく成長し、形状はいびつになっていることがわかる。高速カメラで観察された自発光の光点にも歪んだ形状のものが観察されたことから自発光の光源であると推定される。

3. 議論と今後の展望

今回は想像するような大規模放電構造を観測することはできなかった。これは室内実験の空間規模では大規模な電荷分離に至るまでの充電が起きないことを意味する。その代わりに自発光する光点が複数生成されることを確かめた。2 km/s という低速のショットで可視光線でも観測できる自発光が観測された。可視光線で観測可能な光量の光を出すには数 1000 K の温度が必要であると考えられることから、バルクの衝撃加熱では説明できない。何らかの局所的なエネルギーの集中が起こったと考えられる。これは小規模な放電現象に起因するかもしれない。今後は可視光、X 線の分光計でスペクトルを得て、光点が放電によるものかどうかを調べる予定である。

参考文献

- Genareau K. et al. (2015), Lightning-induced volcanic spherules, *Geology* **43**, 319-322.
- Kadono T. et al. (2015), Crater-ray formation by impact-induced ejecta particles, *Icarus* **250**, 215-221.

Shot 361, 6.2 km/s in 10 kPa air, IR images

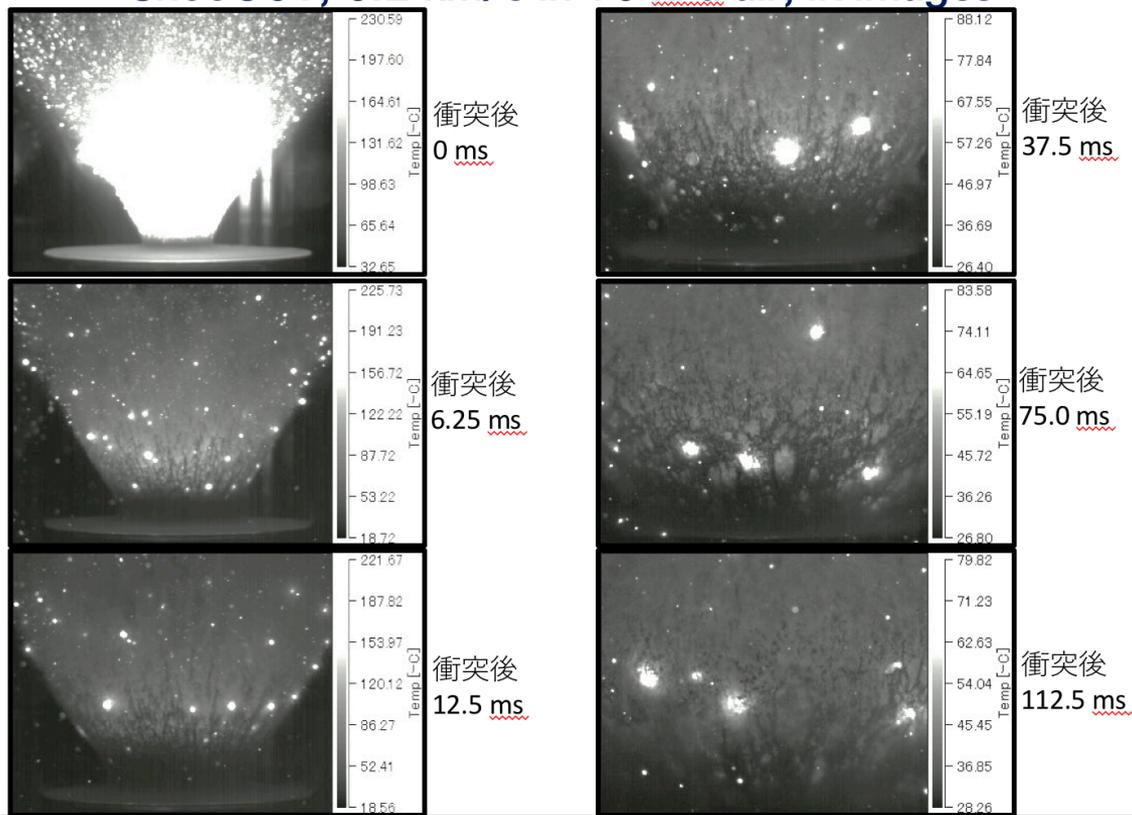


図 1. 赤外線ビデオカメラによる撮像例. 衝突直後のフレームにみえるたらいの大きさは直径 30 cm である.

Shot 361, 6.2 km/s in 10 kPa air, Visible images

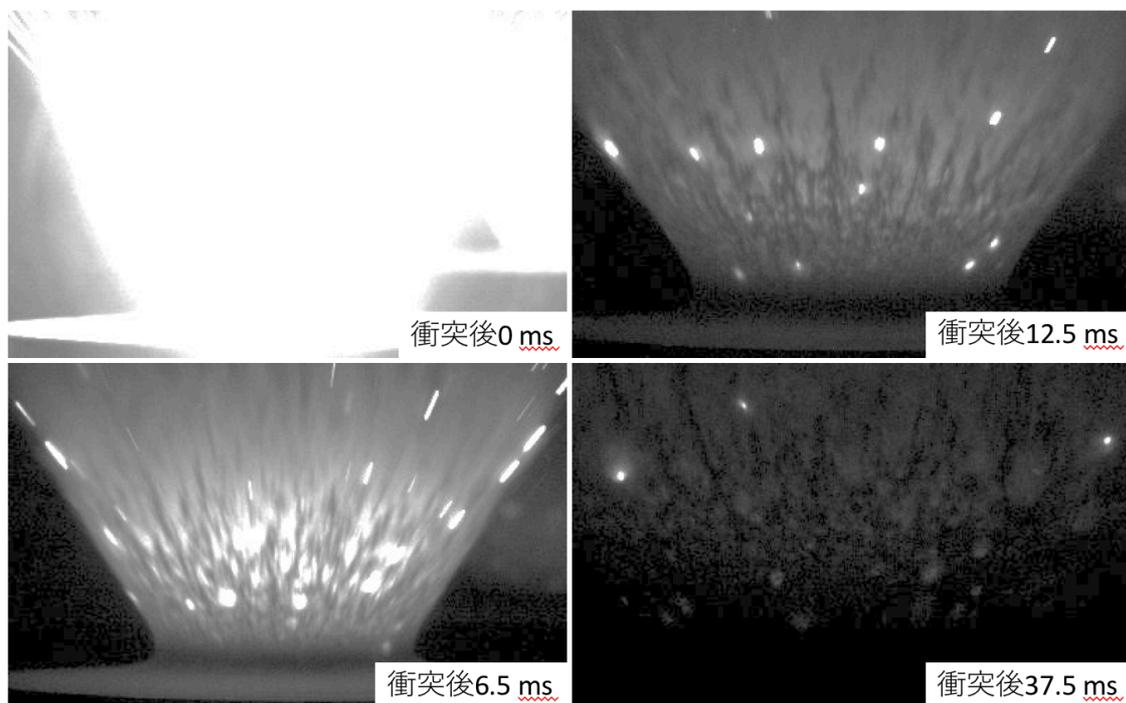


図 2. 図 1 と同一ショットの可視光線カメラによる撮像例. 独立のカメラで光軸も独立のため, 画角は完全には同じではないことに注意.

Shot 359, 2.2 km/s in 10 kPa air, Visible

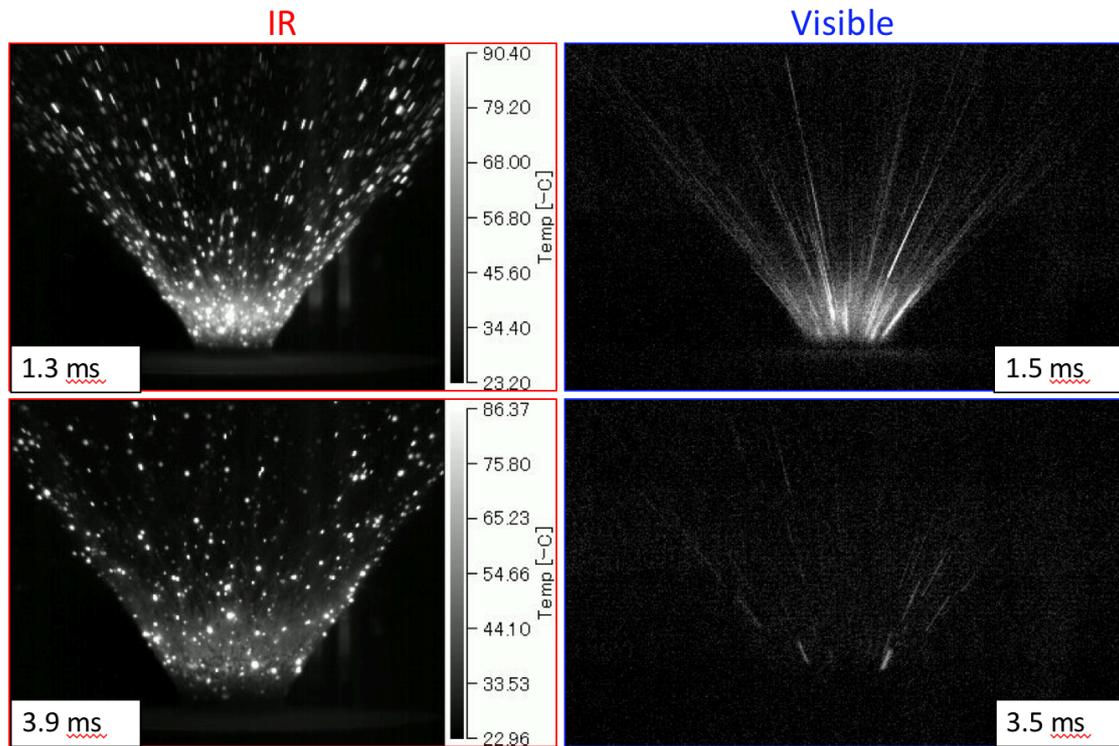


図 3. 低速ショット(2.2 km/s)での撮像例.

Shot 361の回収物

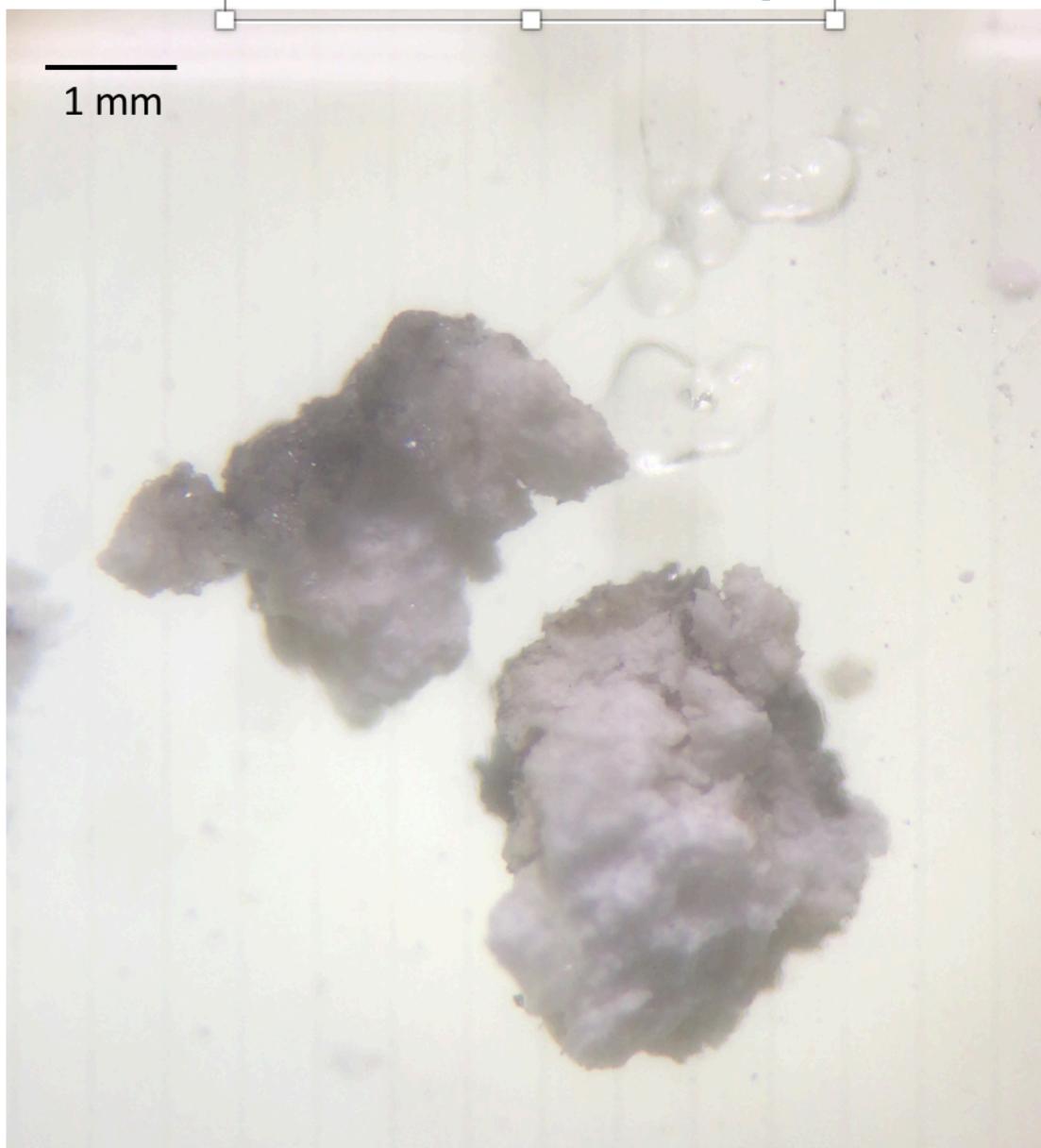


図 4. 回収物の顕微写真.