

## 粉体への衝突実験で発生する光点の特徴

黒澤耕介<sup>1</sup>, 岩澤聖徳<sup>2</sup>, 奥住聡<sup>2</sup>, 村主崇行<sup>3</sup>, 長谷川直<sup>4</sup>

<sup>1</sup>千葉工業大学 惑星探査研究センター, <sup>2</sup>東京工業大学 理学院 地球惑星科学系,

<sup>3</sup>理化学研究所 計算科学研究機構, <sup>4</sup>宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所

### 1. はじめに

「火山雷」は火山噴火の際に噴煙中で放電が起こる現象を指す。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分離が生じ、最終的に絶縁破壊電場を超えて電流が発生し、電荷が中和する過程であると考えられている。放電路内及びその周辺の大気と岩石微粒子からなる混相流体が加熱され自発光を生じる様子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。衝突雷の惑星科学的における潜在的な重要性については昨年度の集録にまとめたので、ご興味を持たれた方はそちらを参照されたい。

### 2. 昨年度までの成果

我々は衝突雷の発生の実証を目指し、2017年度より宇宙科学研究所の縦型二段式水素ガス銃を用いて粉体への衝突実験を用いた実験を開始した。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。その結果、室内実験の時空間スケールでは期待されるような大規模な放電構造が形成されないことがわかってきた。これは粒子同士の相互衝突による電荷分離で対局的な強電場を形成するのに十分な時間が稼げないことが原因ではないか？と思われる。この考えが正しければ、室内実験結果は放電に至らない条件に対して強い制約を与えることになるだろう。室内実験における電荷移動過程については検討継続中である。

衝突実験では大規模な放電が起こらなかった一方で衝突速度や周辺大気圧の条件によらず、衝突によって無数の光点が生じることがわかった。その自発光によって照らされた放出物カーテンを観察可能であること、光点は掘削流線に沿って運動し、放出物の運動と干渉していないこと、などこの光点を利用した新たな研究展開を見出すことができた。特に後者の特徴は、衝突実験で自発的に発生するラグランジアン追跡粒子としての利用可能性を示しており、新しいimpact ejectaの速度場計測法として期待できる。そこで今年度は光点の特徴づけを行うための実験を実施した。

### 3. 粉体層への衝突実験

#### 3.1 実験条件

宇宙科学研究所の超高速衝突実験施設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。標的にはソーダライムガラスビーズ粒子(中心粒径 50  $\mu\text{m}$ )を用いた。直径 30 cm の金属たらいに満たし粉体試料とした。光点が放つ自発光を特徴づけるために可視光の分光測定を行った。粉体標的の上に 2 枚の金属板を渡すことで簡易スリットを設けた。このスリットの極近傍に光ファイバをスリットの向きに対して垂直な方向に開口部を向けて配置し、放出直後の光点からの光を分光計(Ocean Optics, Maya2000)に導き記録した。スリットによって放出物を 2 次元に切り取ることで、光ファイバを破損することなく極近傍からの計測を可能にした。今回は簡単のため長時間露光計測を実施した。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 とした。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 2.5 Pa に設定した。チャンバ側面に高速ビデオカメラ(Shimadzu, HPV-X)を配置し撮影計測も実施した。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。

#### 3.2 実験結果

図 1 に可視カメラによる撮影例(Shot# 404, 6.4 km/s, 3.5 Pa)を示す。衝突点から数 cm の位置に分光器への光ファイバの覗き口があることがわかる。また自発光する光点が飛び出していることが観測できた。図 2 に標準光源(タングステン・ハロゲン・クオーツランプ)を用いて校正した発光スペクトルを示す。Na と Ca の共鳴輝線と連続スペクトルが確認された。この輝線は発光効率がよく、極微量の Na と Ca でも検出されるものである。連続スペクトルは灰色放射(定数倍の補正をかけたプランク関数)でよく表現することができ、その温度は 1800 K であった。

図 3 に光点の運動の簡易解析の例を示す。衝突後 1.1 ms から 3.1 ms の 5 枚の合成画像である。この時刻では重力の効果がまだあまり効いておらず光点の運動はほぼ等速直線運動であることがわかる。ImageJ ソフトウェアを用いて粒子 1 と 2 について座標を読み取り、速度ベクトルの大きさと地表面から測った角度を求めた。この 2 粒子については、 $\sim 60$  ms, 45 度であった。

### 4. 議論と今後の展望

今回の分光計測では大気由来の発光輝線は観測されなかった。これは大気分子を電子励起するような局所的なエネルギーの集中が起こらず、衝突による衝撃加熱で自発光を放っている可能性が高いことを示唆する。また光点はおよそ弾道飛行をしている、つまり周りの掘削流と同じ速度で運動しているらしいことがわかった。今回は放出速度が衝突速度の~1%程度の粒子を例にとったが、高速ビデオカメラのフレームレートと露光時間の調整で異なる速度領域の粒子も計測可能であろう。今後は光点の発生機構に焦点をあてる。小規模な絶縁破壊による加熱の可能性を考え、光点となっている標的粒子の凝集体の残留磁化計測を実施する。このような粒子が回収できることは昨年度までの実験でわかっている。磁気シールド中に磁性鉱物を含む粉体試料(天然の砂など)を設置し、無磁場にした状態で実験を実施し回収した粒子の磁化計測を行う。放電現象で生じた凝集体には強い残留磁化が記録されることが予想される [Wasilewski and Dickinson, 2000]ため、放電現象の有無を確かめることができると期待できる。

#### 参考文献

Wasilewski & Dickinson (2000), *Meteoritics & Planet. Sci.* **35**, 537-544.

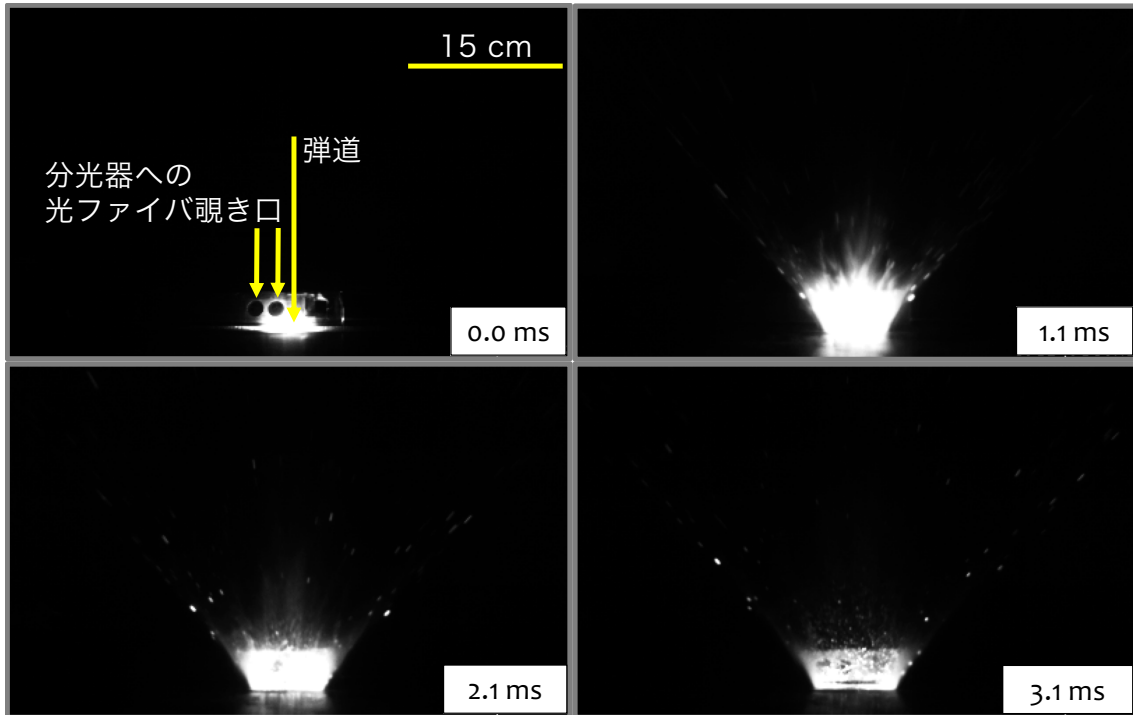


図 1. スリットを設けた粉体試料への衝突で生じた放出物カーテンの様子.

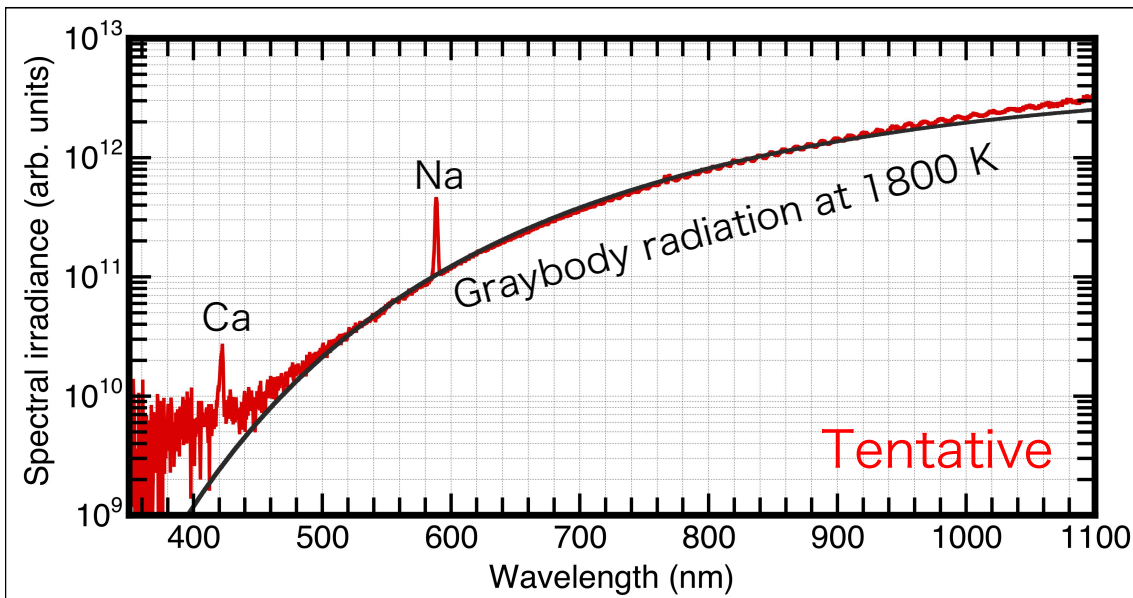


図 2. 光点が放つ自発光の可視光スペクトル. 特定できた輝線には元素名のラベルをつけた. 黒い実線は 1800 K の灰色放射のスペクトルである.

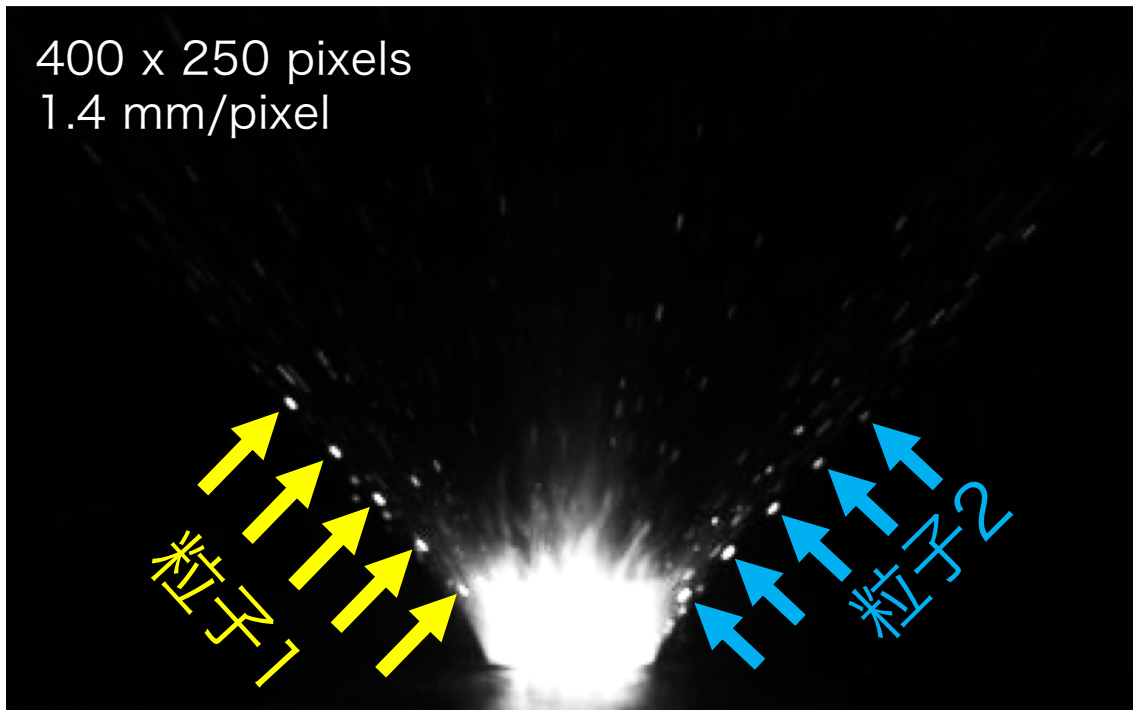


図 3. 1.1 ms から 3.1 ms までの合成画像. 粒子 1 と 2 について座標解析を実施し, 速度, 地面から測った速度ベクトルの向きはそれぞれ 62 m/s, 48 度, 62 m/s, 45 度であった.