

K-44

## 二段式軽ガス銃を用いた分裂を伴う流星体の発光実験

## Luminous Experiment of Meteoroid with Fragmentation Using Two-Stage Light Gas Gun

○宇田天音<sup>1</sup>, 小川巧覧<sup>2</sup>, 宮下敦希<sup>2</sup>, 阿部新助<sup>3</sup>, 布施綾太<sup>3</sup>\*Amane Uda<sup>1</sup>, Takumi Ogawa<sup>2</sup>, Atsuki Miyashita<sup>2</sup>, Shinsuke Abe<sup>3</sup>, Ryota Fuse<sup>3</sup>

Abstract: When a meteoroid enters the atmosphere from interplanetary space, that separates by several fragments by heating. That forms a meteor wake, the luminous intensity of the meteor is equal to total of that of the main meteoroid body and separated fragments. In this study, we reproduced a meteor phenomenon with a fragmentation in a chamber by using a two-stage light gas gun and investigated the physical processes of the fragmentation from high-speed imaging and spectroscopy.

## 1. 研究背景

流星とは、彗星や小惑星起源のメテオロイドと呼ばれる流星物質が、12-72km/s という超高速で地球大気に突入した際、メテオロイドと上層大気中と衝突することで、衝突励起してプラズマ発光する現象のことである<sup>[1]</sup>。また、メテオロイドが惑星大気に突入した際に、大気との衝突励起によって加熱され、構成している物質が溶融点に達することでガス化し、複数の粒子片に分裂する(フラグメンテーション)という一連の過程のことをアブレーションという。

流星を完全に予測することは不可能であり瞬間的な現象であるため、時間分解能、空間分解能の高いデータを得ることは難しい。

また、メテオロイドのアブレーションによる質量損失過程はモデル化されており、発光強度  $I$  は以下の式で表される<sup>[2]</sup>。

$$I = \tau \frac{dm}{dt} \frac{v^2}{2} \quad (1)$$

$\tau$ : 発光効率,  $m$ : メテオロイドの質量,  $t$ : 時間,

$v$ : メテオロイドの速度,

この式から発光強度が  $dm/dt$  つまり、フラグメンテーションに依存していることが分かる。しかし、フラグメンテーションの詳細はまだ十分に理解されていない。

## 2. 目的

高速度カメラを用いたフラグメンテーションによる流星ヘッドの発光強度の変化を調査し、フラグメント(分裂片)の力学的特性を明らかにすること。

## 3. 実験装置及び実験方法

実験では、宇宙科学研究所(ISAS)に設置されている縦型二段式軽ガス銃を用いてメテオロイドの発光模擬実験を行った。この実験では、チャンバー内を大気に見立ててそこへ約 6km/s でメテオロイドを模擬したポリカーボネート球(以下、プロジェクトイル)を射出することで流星発光を模擬している。その際のある 1shot でプロジェクトイルがフラグメンテーションする様子が撮影することができた。本稿ではフラグメンテーションが起きたの shot1, これの比較対象として顕著なフラグメンテーションが起きていない shot2 のデータを使用する。撮影は高速度カメラに回折格子を取り付けて行った。以下にカメラと回折格子のスペック、各 shot の実験条件を示す。

Table 1. Specifications of High Speed Camera and Objective Spectrograph

Grating	300 gr/mm
Lens	50 mm / F1.2
FOV	14.6° (H) × 9.15° (V)
Wavelength	400-800 nm
Frame rate	2000000 fps (2μs)

Table 2. Experiment conditions

	Velocity[km/s]	Vacuum[Pa]
shot1	6.150	584
shot2	5.814	557

また、波長較正には水銀アルゴンランプ、発光強度補正にはハロゲンランプを使用した。

#### 4. 実験結果及び考察

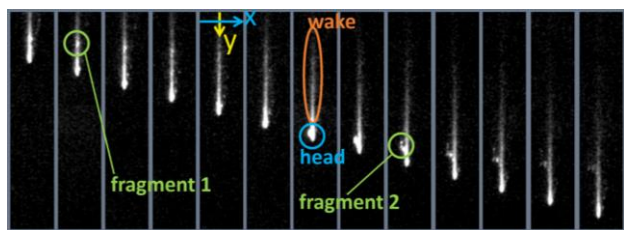


Figure 1. Fragmentation of Projectile (shot1)

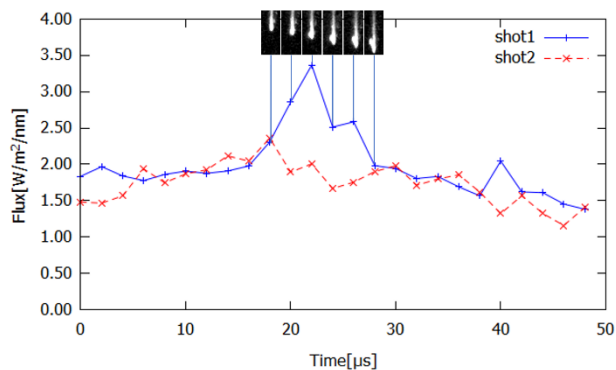


Figure 2. Luminous Intensity of meteor head

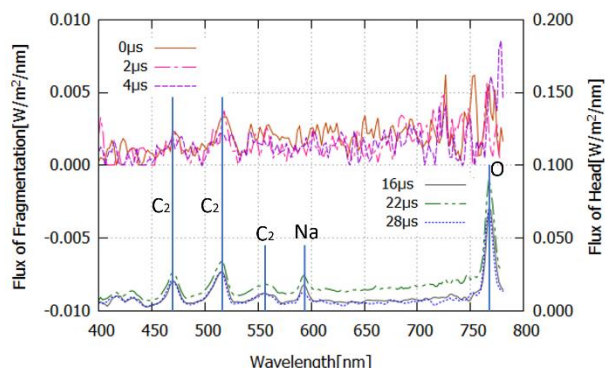


Figure 3. Spectroscopy of meteoroid

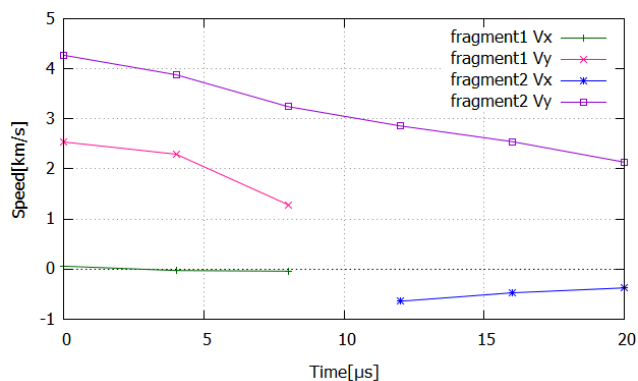


Figure 4. Speed of fragment

Figure 1 はフラグメンテーションが起きた shot1 の画像である。以下、左側 3 枚で確認できるものをフラグ

メント 1, 左から 7 枚目以降で確認できるものをフラグメント 2 とする。

Figure 2 は実際にフラグメンテーションが生じた shot1 と顕著なフラグメンテーションは起きていない shot2 の流星ヘッドの発光強度の変化を表したグラフである。ただし、本稿ではキャリブレーションランプの 0 次光が飽和してしまっていたため、1 次光の 400nm 以降の発光強度を全て足し合わせた発光強度を流星ヘッドの発光強度とした。

Figure 3 はフラグメント 1 のみの発光強度、流星ヘッドの発光強度のグラフである。フラグメントが存在している部分のカウント値から 3pixel 空けたウェイクのカウント値を減算したものをフラグメントのカウント値として扱った。また、減算を行った際にカウント値が負の値をとった場合は、0 として扱った。

Figure 4 は流星ヘッドを基準に右向きに x 軸、流星の進行方向に y 軸をとり (Figure 1 参照) フラグメントの位置から速度を求めた。

Figure 2 より、shot1 と shot2 では発光強度の時間変化に大きな違いが生じていることが分かる。Shot1 の 20-30s では発光強度が瞬間的に上昇しており、その間の画像でフラグメントが確認できるので、20s 前後でフラグメンテーションが起きたと考えられる。つまり、フラグメンテーションによって発光強度が上昇したと言える。

Figure 3 より、フラグメントの分光からは黒体放射が見えていると考えられる。また、ノイズが多いが、470,520nm 付近ではどの時間においても発光が見ることができ、プロジェクトイルがポリカーボネートであることから C2 バンドが見えていると考えられる。

Figure 4 よりフラグメントは減速していることが分かる。

#### 5. 結論

モデルと同様にフラグメンテーションによって発光強度が上昇するということが分かった。また、ヘッドから分裂したフラグメントが減速していることから、減速も発光強度に影響を与えていると考えられる。

#### 6. 参考文献

- [1]長沢工:「流星と流星群」,株式会社地人書館, pp.19-41, 1997
- [2] M. D. Campbell-Brown et al. “High-resolution modelling of meteoroid ablation”, Astronomy & Astrophysics, A41, ppl-13, 2013