

K7-77

## 月面衝突閃光の地上観測データの解析および超高速衝突実験

## Analysis of a Ground-based Observation of Lunar Impact Flash and Hypervelocity Impact Experiments

○深澤稜太<sup>1</sup>, ○遠藤耀<sup>1</sup>, 布施綾太<sup>2</sup> 阿部新助<sup>3</sup>\*Ryota Fukazawa<sup>1</sup>, \*Hikaru Endo<sup>1</sup>, Ryota Fuse<sup>2</sup>, Shinsuke Abe<sup>3</sup>

Abstract: Lunar impact flash (LIF) can be recognized by the optical brief flash emitted when a meteoroid impacts in the lunar surface. Its duration is typically 0.01~0.1 second. LIF is mostly observed around maximum activity period of meteor showers. The research objective is derivation the luminous efficiency so that we can acquire physical parameters such as mass of impactor. On 22 December 2017, we carried out a excellent LIF at 17:33:39 (JST). We tried to estimate details of the impactor, and to establish a method of analysis photographed LIFs. Furthermore, we performed the hypervelocity impact experiment in July 2018, and captured light emitting process in period of impact into powdery regolith.

## 1. 概要

月面にメテオロイド(流星物質)が衝突すると、可視~近赤外線領域で観測される非常に短時間の発光が生じる。この現象を月面衝突閃光(Lunar Impact Flash; 以下 LIF)という。その明るさ(発光エネルギー)は衝突の運動エネルギーにより変化する。したがって、LIFを観測することで衝突体のサイズなどの物理情報が推定でき、流星体と彗星・小惑星を繋ぐ cm~m サイズのメテオロイドの空間分布を調査することができる<sup>[1]</sup>。また、月面へのメテオロイドの衝突頻度を調査することで、将来の月有人ミッションの際の危険性の評価に貢献できる。さらに、実験室での再現が困難な超高速衝突物理学に関する情報を得ることも期待できる。

本稿ではFigure 1に示す、日本大学理工学部船橋キャンパスで観測されたこぐま座流星群に属するメテオロイドのLIFについて解析を行い、衝突天体の物理量の導出を試みた。また、発光効率を導出するべく、JAXA 宇宙科学研究所の超高速衝突実験施設で行った衝突実験についても言及する。

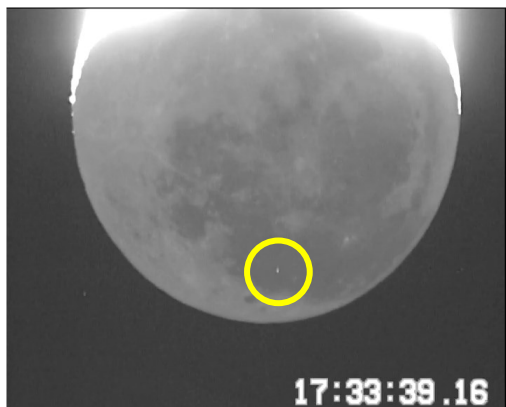


Figure 1. Ursa Minor impact flash on 22 December 2017 at 17:33:39 JST. The duration is 8 frames.

## 2. 観測・測光

観測にはセレストロン EdgeHD1100(口径 280mm, 焦点距離 2800mm, F10)に HyperStar 3 Lens-11(口径 280mm, 焦点距離 560mm, F2)を装着して行った。カメラは Watec-910HX モノクロ CCD カメラを使用した。データの取得は動画(.ts)で撮影し続ける。

解析手順は、閃光を測光し、等級を求めて発光エネルギーを導き、発光効率から衝突体の運動エネルギーを求める。発光効率とは運動エネルギー $KE$ が発光エネルギー $E_{lum}$ に変換される割合である。測光は「すばる画像処理ソフト Makali'i」で開口(アパーチャー)測光を行う。まず LIF については、閃光が写っている画像から背景画像を減算し、地球照などの影響を取り除いてから開口測光を行い、フラックスのカウント値を求める。次に比較星の測光を行う。この時、大気ゆらぎなどによってフレーム毎にフラックスに差が生じるため、30 枚の加算平均画像から測光を行う。比較星は閃光と同フレーム内に写っているものを用いることが望ましいが、そうでない場合、高度差によるエアマスの影響を考慮してフラックスを補正する。比較星の同定には「ステラナビゲータ」を用い、等級とフラックスの関係を導く(Figure 2)。この式に LIF のフラックスを代入し、等級を求める。なお、恒星データは GSC-ACT による。

## 3. 解析結果

Figure 2 より得られた式から、閃光の等級を求め、発光エネルギーを計算する。流星群に属するメテオロイドは衝突速度が知られているので、ピーク時の発光エネルギーと発光効率から衝突体の情報を推定できる

(Table 1). 発光効率 は Suggs et al.(2014)<sup>[2]</sup>の値を用いた.

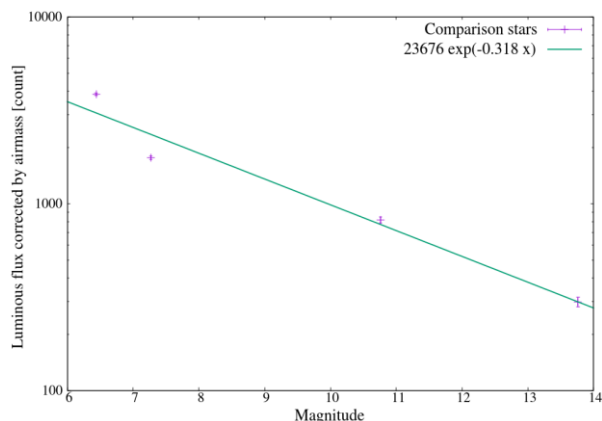


Figure 2. Fitting of magnitude for luminous flux from comparison stars.

Table 1. Physical quantities of the impactor of Ursa Minor shown in Figure 1. The luminous efficiency formula in right is derived by Swift et al(2011)<sup>[3]</sup>.

Name	Ursa Minor impact flash(2017)	
Magnitude	8.66	
Velocity [km/s]	33.54	
Luminous energy [J]	$1.87 \times 10^5$	
Luminous efficiency [-]	$1.39 \times 10^{-3}$	$1.5 \times 10^{-3} \exp(-9.3^2/v^2)$
Kinetic energy [J]	$1.34 \times 10^7$	$1.24 \times 10^7$
Mass [g]	23.9	22.1
Impactor diameter [cm]	3.57	3.48

Table 2. The experiment conditions in July 2018.

No.	Shot 1	Shot 2	Shot 3
Projectile	Poly-carbonate	Poly-carbonate	Poly-carbonate
Mass [g]	0.068	0.068	0.068
Velocity [km/s]	4.33	6.40	6.23
Vacuum [Pa]	0.07	0.07	1.5
Kinetic energy [J]	638	1392	1320
Target	Quartz	Quartz	Quartz
No.	Shot 4	Shot 5	Shot 6
Projectile	Quartz	Quartz	Quartz
Mass [g]	0.0093	0.0093	0.0093
Velocity [km/s]	5.77	6.07	6.05
Vacuum [Pa]	50	10	0.3
Kinetic energy [J]	155	171	170
Target	Basalt	Basalt	Basalt

#### 4. 衝突実験

既に述べたように、衝突体の情報を得るには発光効率が要となる。しかし、前節で用いた値は不確かなことも多い。そこで、発光の詳細なメカニズムを知るべく、2018年7月にJAXA宇宙科学研究所の縦型衝突銃を用いた衝突実験を行った。Shotは全部で6発撃ち、物質の発光の撮像データが得られた。Shot 1~Shot 3は装置システムの確立のために発光特性がよく知られている物質を用い、Shot 4~Shot 6では月面の環境を模擬した物質を用いた。各Shotの詳細をTable 2.に示す。ターゲットは何れも粉体、インパクトは球形である。Figure 3に衝突の様子を示す。画像はわかりやすさのため、GoProで撮影されたカラー映像であるが、実際にはWatec 902-H2 Ultimateによるモノクロ画像を解析に用いる。画像から発光エネルギーを求め、各Shotの発光効率を求める。

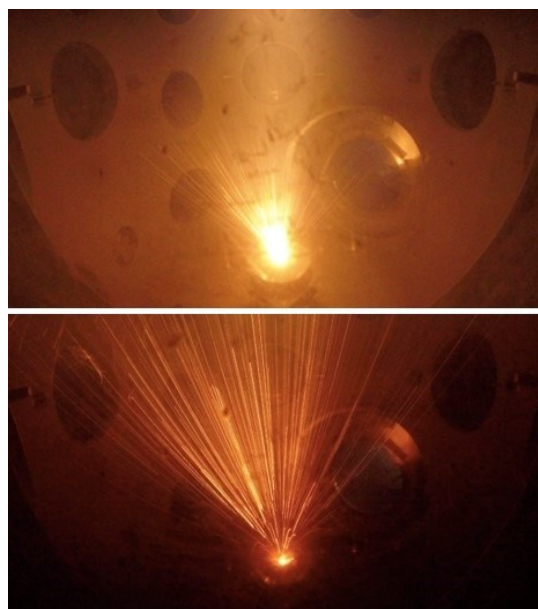


Figure 3. Light emitting in impact period (Shot 6). The bottom image is 33 ms after the top image.

#### 5. 参考文献

- [1] 佐藤匠, 中村祥吾:「月面衝突閃光の地上同時観測」, 卒業研究, 2017
- [2] R. M. Suggs et al., The flux of kilogram-sized meteoroids from lunar impact monitoring, Icarus, pp23-36, 2014
- [3] W. R. Swift et al., An Exponential Luminous Efficiency Model for Hypervelocity Impact into Regolith, Meteoroids: The Smallest Solar System Bodies, Proceedings of the Meteoroids Conference held in Breckenridge, pp.125-141, 2011