

**超高速衝突実験施設を用いた撮像と分光による衝突発光効率の算出**  
**Calculation of Impact Luminous Efficiency by Monochromatic and Spectroscopic measurement**  
**Using Hypervelocity Impact Facility**

○黒田哲<sup>1</sup>, ○高橋良太郎<sup>1</sup>, 布施綾太<sup>2</sup> 阿部新助<sup>2</sup>

\*Satoru Kuroda<sup>1</sup>, \*Ryotaro Takahashi<sup>1</sup>, Ryota Fuse<sup>2</sup>, Shinsuke Abe<sup>2</sup>

Abstract: Lunar impact flash (LIF) can be recognized when meteoroids impact lunar surface. Its duration is typically 0.01~0.1 second. Examining the LIF reveals the spatial distribution of centimeter sized small celestial body, and contribute to risk assessment by manned lunar exploration. For LIF research we performed the hypervelocity impact experiment in March and May 2019. The experimental objective is derivation the luminous efficiency when the conditions or parameter is changed.

1. 概要

月面衝突閃光(Lunar Impact Flash ; 以下 LIF)とは、月面に流星体(メテオロイド)が衝突する際の運動エネルギーの一部が可視-近赤外線領域の電磁波(発光エネルギー)に変換され、観測される短時間の発光現象である。LIF の観測ではメテオロイドのサイズの推定が可能であり、mm サイズ以下のダストと m サイズ以上の小天体を繋ぐ 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、メテオロイドの衝突頻度を調査することにより、将来の有人による月探査ミッションの際の危険性の評価に貢献することができる。Figure1 に示したものは実際に日本大学理工学部船橋キャンパスで撮影された LIF である。

過去には超高速衝突実験による LIF の研究が行われた。この研究では発光効率と呼ばれる衝突する物体の運動エネルギーが光エネルギーに変換される割合について議論され、そのモデルを確立した。しかしその実験の条件の中でチャンバー内の真空度の記述が明確にされていない<sup>[2]</sup>。本稿では、真空度と発光効率の依存性、先行研究で扱われていない分光による発光効率を調べるため超高速衝突実験施設で行った実験についてまとめた。

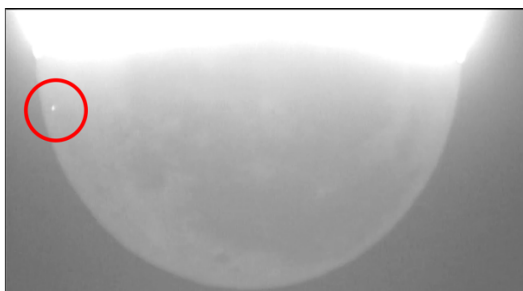


Figure1. Lunar impact flash taken at Nihon University on January 23 2018 at 20:52:31 JST.

2. 実験装置, 方法

2019年3月と5月にJAXA 宇宙科学研究所の縦型衝突銃を用いた超高速衝突実験を行った。

実験で用いた測定装置は wat-902h (モノクロ CCD カメラ), QEPro (分光器), MAYA2000 (分光器) である。なお3月, 5月の実験共に wat-902h は2台使用しており, それぞれ観測時に ND フィルター (光量を減らすためのフィルター) を装着した。また発光特性の比較の為, 衝突点に対して上から(Upper)と横から(Side)の撮像を行った。インパクトとターゲットは, ポリカーボネート球(質量 0.0679g), 石英砂を使用した。以下に3月と5月に行った実験の各 shot ごとの条件を示す。

Table 1. The experiment conditions in March and May 2019

	2019/3/11		2019/5/21	
	Velocity [km/s]	Vacuum [Pa]	Velocity [km/s]	Vacuum [Pa]
shot1	6.649	1.0	6.494	19.5
shot2	6.443	0.01	6.711	5.04
shot3	6.614	1.0	6.305	2.12
shot4	6.657	0.01	6.596	25.6
shot5	6.502	100	6.468	42.5
shot6	6.536	500	6.281	199
shot7	6.553	100	6.485	3.6
shot8	6.553	0.6	6.394	309
shot9	6.51	500	6.408	1013
shot10	6.553	0.6	6.494	1031
shot11	6.502	500	6.46	502

Table 2. ND filter value and exposure time of each device

ND filter	Exposure time [s]				
	3/11/2019	5/21/2019	3/11/2019	5/21/2019	
			watec	1/60	1/60
upper	16	16 × 4 × 8	QEpro	1/60	1/125
side	16	16	MAYA2000	1/60	1/125

但し, ND フィルターの値は光量を何分の一にするかという数値である。

1 : 日大理工・学部・航宇 2 : 日大理工・教員・航宇

実験は真空チャンバー内の圧力が目標値に達してから衝突銃を放ち、その発光の様子を観測した。実験の終わりに、得られた観測データの較正の為、放射照度が既知である較正光源（ハロゲンランプ）を撮影した。

### 3. 結果

Figure2 では撮像(watec)を Upper と Side から観測を行い、発光効率を算出したもので、Figure3 は撮像と分光で得たデータから発光効率を算出し、Swift の発光効率モデル<sup>[2]</sup>との照らし合わせを行ったものである。

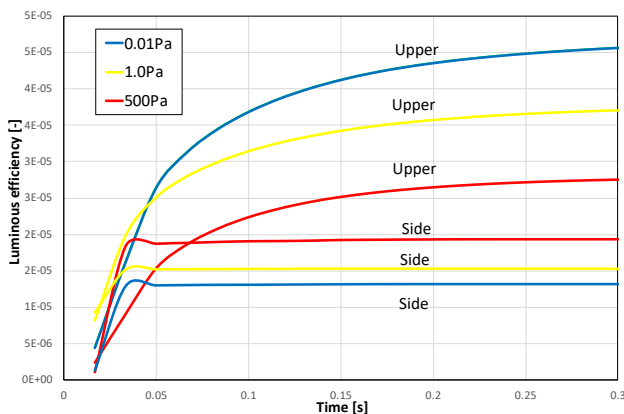


Figure2. Time vs Luminous efficiency by watec

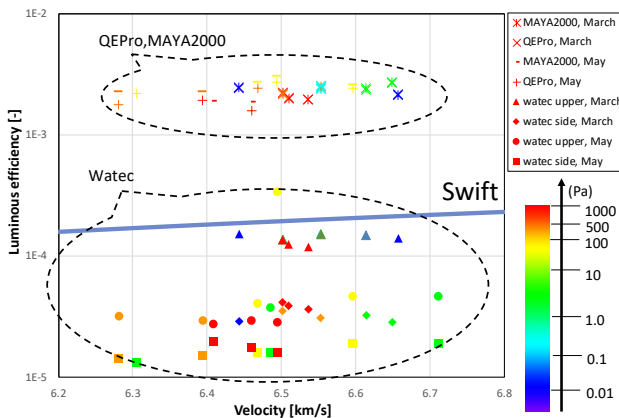


Figure3. Velocity vs Luminous efficiency

### 4. 考察

圧力が高いと残存大気との相互作用により発生する蒸気雲と呼ばれるプラズマの発光が卓越する。Figure2 より Upper は圧力が低いと発光効率が高くなるのに対して、Side は圧力が高いと発光効率が高くなっている。これは Side から撮像を行う場合、衝突点の上部に蒸気雲が発生し、撮像を行うと発光している面積が多くなる。Upper の場合にも蒸気雲による発光は入っているが、全体的な発光の面積は増えない。よって圧力が高いときに Side で撮像したときに発光効率が上がったのでは

ないかと考えられる<sup>[3]</sup>。Upper のグラフは 0.3 秒ほど時間をかけてある値に収束しているが、Side のグラフは 0.05 秒で収束してしまっている。Upper の発光が確認できるフレーム数は約 20-25 枚なのに対して、Side は約 3-4 枚ほどしか無かったため、収束するまでの時間差が生じたと考えられる。2019 年 3 月と 2019 年 5 月で ND フィルターの値を変えているが、2019 年 3 月のプロット (▲, ND=16)を見ると Swift の発光効率とほぼ同じような値を示していることがわかる。だが、減光を強くしたプロット(ND=512)は発光効率のオーダーが 1 桁ほど下がっている。このことから ND フィルターの値を今回の場合は ND=16 にすることにより、光が減光されすぎず、飽和せず発光効率を求めることができると推測される。

Figure3 より QEPro と MAYA2000 の二つの分光による発光効率はほぼ等しくなっているが、Swift の発光効率モデルからおよそ 1 桁のオーダーでズレが生じている。これは発光効率を算出する際の波長積分範囲に原因があると考えられる。本解析では波長範囲を 400~1000[nm]で積分しているが、黒体放射が卓越する衝突閃光では長波長側(1000nm 付近)の積分波長領域を短く(例えば 400-800nm)設定することで、積分から求まる発光エネルギーが小さくなると考えられる。従って、波長積分範囲を変えた際の発光エネルギーの値を調査することが今後の方針となる。

### 5. 結論

真空度と発光効率には撮像も分光も依存性は無い結果となった。また、分光による観測を行い発光効率を算出したが、撮像の結果よりも一桁大きい値になった。これは、積分波長範囲を変えることで撮像の発光効率の結果と近い値が得られると期待され、今後の解析で積分波長範囲を確認する。

### 6. 謝辞

本研究は宇宙科学研究所の超高速衝突実験施設での共同利用プログラムによる助成を受けて行われました。

### 7. 参考文献

[1] R. M. Suggs et al. "The flux of kilogram-sized meteoroids from lunar impact monitoring," 2014  
 [2] W.R.Swift et al. "An Exponential Luminous Efficiency Model for Hypervelocity Impact into Regolith", 2011  
 [3] 布施綾太"超高速衝突実験施設を用いた月面衝突閃光に関する実験的研究", 修士論文, 日本大学, 2018 年