

K7-83

アーク加熱風洞を用いた流星アブレーションの計測 Measurement of Meteor ablation using Arc-Heated Wind Tunnel

○大木 紘介¹, 鴻巣 雄貴², 松山 誉², 戸田 和博², 阿部 新助³
*Kousuke Ohki¹, Yuki Konosu², Homare Matsuyama²,
Kazuhiro Toen², Shinsuke Abe³

Abstract: A meteor is a meteoroid that particle broken off a comet or asteroid. These meteoroids can be observed as meteor light by aerodynamic heating during Earth's atmosphere entry. Observation of these meteors using camera and spectroscope can know their parent body information. But it is difficult for us to obtain date of meteor because we cannot prediction the appearance position and time of meteors. Therefore meteor is not clear. So we made meteor model that know material and other physical property. And we simulated meteor using JAXA/ISAS Arc-heated Wind Tunnel to obtain date of meteor light emission by spectroscopic measurement.

1. 諸言

流星(meteor)とは、彗星や小惑星を起源としたメテオロイド(meteoroid)と呼ばれる惑星間塵が、秒速 12-72km という超高速で地球大気に突入し^[1],メテオロイドの構成物質と大気中の原子・分子の双方がプラズマ発光する現象である^[2].流星を撮像および分光観測することで、その母天体の間接的な探査が可能となる。しかし、流星は自然現象であるため出現時刻・位置が未知であり、観測や良質なデータの取得は難しい。

つまり構成物質・形状・突入速度・突入角などが既知のメテオロイドを作製し、大気突入させることで精度の高い観測を行うことが可能となる。ここではその基礎実験について記す。基礎実験としてそれらの物理量が既知の流星模擬体を作製し、JAXA/ISAS アーク加熱風洞を用いて流星発光過程の分光観測を行った。

2. 目的

同程度の組成をもつ流星模擬体が発熱率(Heat flux)の違いで流星発光にどのような変化が現れるのか分光観測を行い、それによって得られたデータから検証する。

3. 実験装置および実験方法

本実験では JAXA/ISAS 所有の惑星大気突入環境模擬装置(アーク加熱風洞)を使用しメテオロイドの大気突入を模擬した。アーク加熱風洞は空気などの作動ガスを加熱し高エンタルピー化するアークヒータ、高エンタルピーガスを加速するノズル、真空チャンバーとなる測定室、供試体射出装置および排気装置から成り立っており、大気圏突入を必須とする宇宙往還機の耐熱材料開発などに用いられる。

本実験では、円柱形状(高さ 10mm,直径 10mm)の流星模擬体(以下,供試体)を使用し,供試体からノズル出口までの距離(以下,ノズル距離と表記)を 30mm もしくは 60mm と調整することで加熱率を変化させ,加熱率の測定にはスラグ式カロリメータを用いた。

Table1. Operating condition of Arc-heated Wind Tunnel

電流 [A]	550
	450
流速 [km/s]	4~6
温度 [K]	1.0×10^4
主流総エンタルピー [MJ/kg]	14~16

※電流 550A はノズル距離 30mm 時,
電流 450A はノズル距離 60mm 時。

流星発光を観測する分光器には、OceanOptics 社製の QEPro(波長域 200-1100nm,波長分解能 0.75nm,時間分解能 1/30s)を用いた。

供試体の発光強度は OceanOptics 社製の校正光源 DH-3 plus-CAL でキャリブレーションし,波長校正には水銀,アルゴン輝線を使用した。

Table2. List of sample

供試体	加熱率[MW/m ²]	空隙率 [%]
Fe+SiO ₂ +MgO+C	21.2	30.5
		28.4
	11.6	31.8
		29.8

(以下, Fe+SiO₂+MgO+C を SiCMOF と表記.)

1 : 日大理工・学部・航宇, 2 : 日大理工・院(前)・航宇, 3 : 日大理工・教員・航宇

またプランクの法則から黒体輻射温度を求める。プランクの式は(1)式で与えられる^[3]。この式をスペクトルに近似し、黒体輻射温度を求める。波長範囲 450-900nm で近似を行った。

$$I(\lambda, T) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{\exp(hc/\lambda kT) - 1} \quad (1)$$

I : 発光強度, T: 黒体輻射温度 [K], h: プランク定数 = 6.62606896 × 10⁻³⁴ [m²kg/s], c: 光速 = 299792458 [m/s], λ: 波長, k: ボルツマン定数 = 1.3806504 × 10⁻²³ [m²kg/s²K]

4. 実験結果および考察

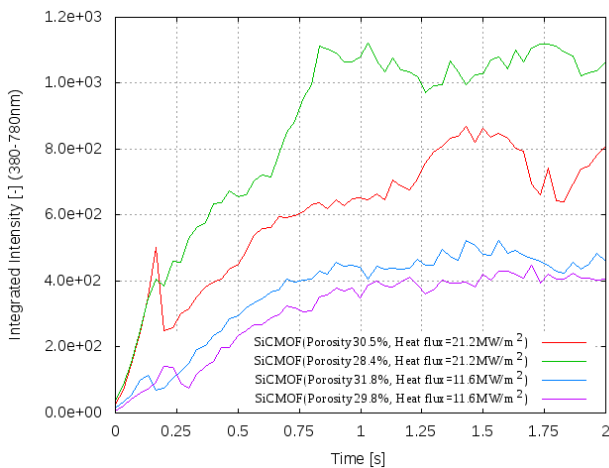


Figure1. Light curve of artificial meteor SiCMOF

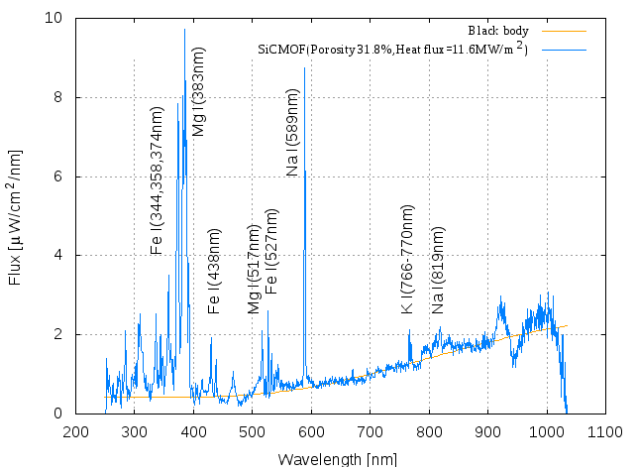


Figure2. Spectrum of SiCMOF (Porosity 31.8%, Heat flux = 11.6 MW/m²)

Table3. Black body radiation temperature of samples

供試体	加熱率 [MW/m ²]	黒体輻射温度 [K]
SiCMOF(30.5%)	21.2	2411±65
SiCMOF(28.4%)		2536±35
SiCMOF(31.8%)	11.6	2158±31
SiCMOF(29.8%)		2215±46

Figure 1 は波長積分範囲 380-780nm における供試体のライトカーブで、積分発光強度の時間変化を示す。供試体すべてに共通することは、ライトカーブの傾きは発光開始直後がもっとも大きく、その後緩やかになっていくということである。また加熱率が大きいほど発光開始直後の傾きが大きい傾向にある。これは、Figure2でも確認された揮発性物質で反応性に富んでいる Na, K が急激に増光するためである^[4]。この現象は加熱率の低い場合にも生じるが、加熱率で発光直後の立ち上がりが異なることが今回の実験で明らかになった。

Figure2 は空隙率 31.8%の供試体におけるスペクトルと(1)式を用いた近似曲線である。Fe I(344,358,438,527nm), Mg I(383,517nm), Na I(589,819nm), K I(767nm)の輝線を同定した。Na や K は供試体製作上使用していないがその他の材料の純度が 99.9%程度であるためにこれらの物質が含まれていたと考えられる。Table2 から加熱率が高いほど黒体輻射温度は高くなる。黒体輻射温度が高いほどスペクトルは山なりになり発光強度は増加するため、これがライトカーブに影響してくると推測できる。また、近似式の誤差にばらつきが生じているため今後吟味する必要がある。

5. 結論

- ・加熱率が低い場合でも揮発性物質 Na, K の輝線が生じる。
- ・加熱率が高いものの方が積分発光強度は急激な立ち上がりを示し、その値も大きくなる。
- ・黒体輻射温度は加熱率が高いほど増加し、結果的にライトカーブへ差異が生じる。

6. 謝辞

本研究に際して多大なるご協力を頂いた首都大学東京の佐原宏典教授およびその学生の皆様、(株)ALE の岡島礼奈氏に感謝の意を表する。

参考文献

- [1]S.Abe, Meteoroids and Meteor-Observations and Connection to Parent Bodies, Lecture Notes in Physics, 758, pp129-166, 2009
- [2]長沢工, 流星と流星群, 株式会社地人書館, pp32-33, 1997
- [3]David W. Ball, ボール物理学<上>, 化学同人, p290, 2004
- [4]荒木健吾, アーク加熱風洞を用いた流星発光効率の研究, 日本大学大学院修士論文, 2017