

アーク加熱風洞を用いた人工流星の分光観測

Spectroscopic observation of Artificial Meteors using Arc-Heated Wind Tunnel

○荒木健吾¹, 岩崎太陽¹, 沼田宗一郎², 阿部新助³, 亀川将司², 出井裕³, 小宮良樹³*Kengo Araki¹, Taiyo Iwasaki¹, Soichiro Numata², Shinsuke Abe³, Shoji Kamegawa², Hiroshi Izui³, Yoshiki Komiya³

Spectroscopy of artificial meteors is a best opportunity to understand (i) the atmospheric influence upon meteors and meteorites because for such natural bodies the original material, mass, and shape are all unknown, (ii) the flight environment of re-entry capsules for the utilization of future sample return missions. In order to measure details of a meteor ablation process such as gray-body and plasma temperatures, composition ratios of ablated materials and their chemical reactions, an artificial meteor test was carried out using JAXA/ISAS's arc-heated wind tunnel with artificial metallic meteoroids made by us. The result of near-ultraviolet and visible spectra in range between 250-900 nm will be discussed comparing with natural meteor spectra.

1. 緒言

流星 (meteor) とは, メテオロイド (meteoroid) と呼ばれる惑星間塵が, 地球大気に突入した際に発光する現象のことである. メテオロイドは, 彗星や小惑星が起源だと考えられていて, 直径は数ミリから数センチ, 秒速 12~72km で地球大気に突入する^[1]. 高度 100km 付近で地球大気との衝突が激しくなると, 空力加熱により物質の昇華が始まり, その昇華物質と大気との衝突励起によって, 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^[2]. また, 流星群 (meteor shower) とは, 彗星の軌道の上に延びるダスト・トレイル (dust trail) と呼ばれる塵の帯が短期間に地球と交差し, 通常よりも多くの流星が発生する現象のことである.

今まで, 流星の放射点分布や軌道についての研究は数多く報告されているが, 流星の組成や発光素過程についての研究は少ない. 流星現象を分光観測することにより, 各物質の組成, 発光強度の違い, プラズマ温度などの解明につながる.

本研究において, 天然の流星の組成比や発光素過程を明らかにすため, 金属物体を流星模擬体とし, これを JAXA アーク加熱風洞を用いて人工流星模擬体のプラズマ放射分光計測を実施した.

2. 実験装置及び実験方法

アーク加熱風洞は, アーク放電によって作動ガスを高エンタルピ化して, 気流をノズルにより膨張加速し, 高速で高温の気流を得ることのできる惑星大気突入擬装置である^[3]. 本実験では JAXA 宇宙科学研究所に設

置されているアーク加熱風洞を用いて流星模擬体の地球大気突入を模擬した実験を行った.

Table 1. Operating condition

電流[A]	550
電圧[V]	1550
電力[kW]	854
主流総エンタルピ[MJ/kg]	16
ノズル出口から供試体までの距離[mm]	30

本実験では, 直径 10[mm]高さ 15[mm]の弾丸形状と, 直径 15[mm]高さ 10[mm]の円柱形状の供試体を使用した. 供試体の支持のため, 供試体に穴をあけ直径 2[mm]のタングステン棒を挿入してジルコニア接着剤スミセラム S301 で固定した. そして, タングステン棒を直径 10[mm]の SUS 棒にはめ合いで固定し, さらにその先に銅製のアタッチメントをイモネジで固定した. そのアタッチメントを熱から保護するためにベークライトで保護した^[3].

スペクトル観測用の分光器には, Ocean Optics の HR4000 を用いた. 波長域は 250nm~1100nm, 波長分解能は 0.75nm でデータを取得した. 分光器から供試体までの距離は 0.8775[mm]である. 発光強度をキャリブレーションするために, ファイバーの先にコサインコレクターを装着し得られた分光スペクトルを絶対較正用ハロゲンランプのデータをもちいて補正し, 波長較正には水銀アルゴンランプを使用した. また, 実験中のアーク加熱風洞内の様子を観察するために Panasonic DMC-GH3 を用いて動画の撮影を行った.

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

3. 実験結果および考察

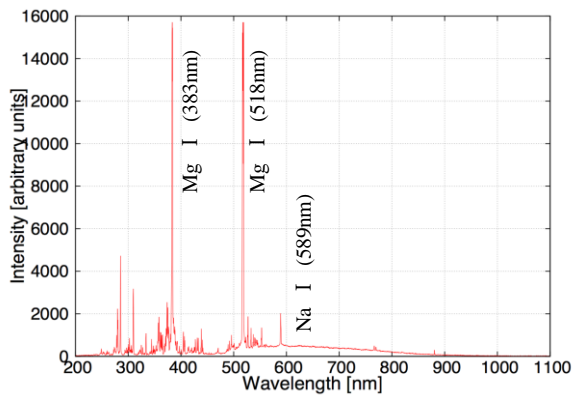


Figure 1. The raw spectrum of artificial meteor made of Fe+Mg

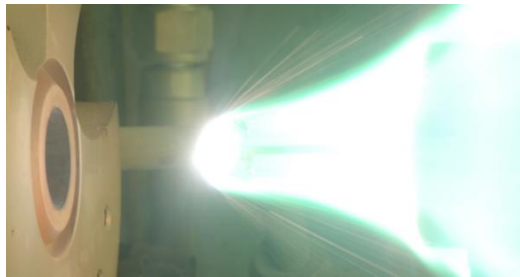


Figure 2. Ablation of artificial meteor made of Fe+Mg

Figure 1.の Fe+Mg の供試体のスペクトルより, Mg I (383nm), Mg I (518nm), および Fe I は多くの波長域において輝線が含まれている. また, 可視光域の 518nm において Mg I から強い輝線が観測されたため, 500~560nm の緑色の波長域と重なり, Figure 2.からもわかるように人工流星が緑色に発光している.

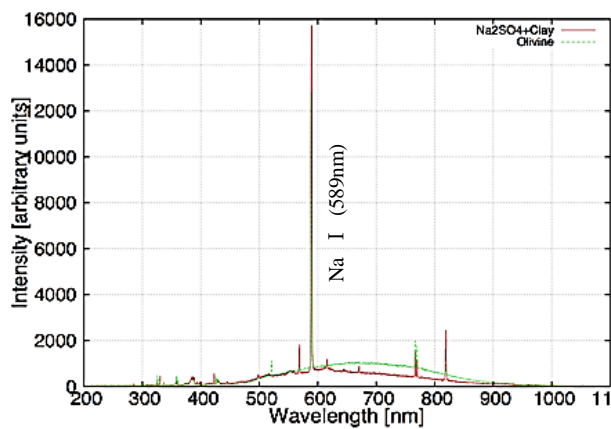


Figure 3. The raw spectrum of artificial meteor made of Na₂SO₄ +Clay and Olivine



Figure 4. Ablation of Na₂SO₄ and clay (Left)
Ablation of artificial meteor made of Na₂SO₄ +Clay and Olivine (Right)

Figure 3.の Na₂SO₄+粘度の供試体のスペクトルおよび, カンラン石の供試体のスペクトルからは, Na I (589nm)が強く観測された. そのため, 可視光域の 580~595nm のオレンジ色の波長域と重なり, Figure 4 からわかるように人工流星がオレンジ色に発光している. 現時点では以上のことが確認された.

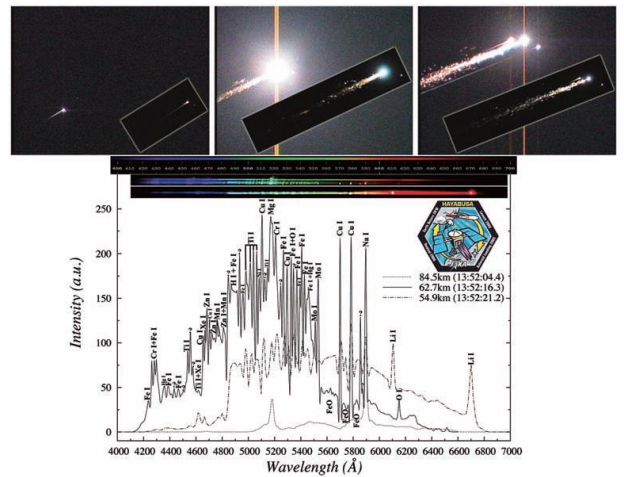


Figure 5. Visible spectre of HAYABUSA^[4]

高度 60[km]で最大空力加熱となり, Figure 5 からわかるように, 高度 62.7[km]で実視等級が最も明るくなると考えられるので, その点を考慮して今後も解析を続けていきたい.

4. 参考文献

[1] 小田稔, 宇宙・天文大辞典, 丸善株式会社, pp.499, 1987
 [2] 長沢工, 流星と流星群, 株式会社地人書館, pp.231, 1997
 [3] 渡辺正樹, 「超小型衛星搭載用マストライバの研究」とその応用, 首都大学東京卒業論文, pp49, 2013
 [4] Abe, S. et al., "Near-Ultraviolet and Visible Spectroscopy of HAYABUSA Spacecraft Re-Entry", Publications of the Astronomical Society of Japan 63/5, 1011-1021, 2011