

アーク加熱風洞を用いた流星アブレーションの模擬実験

Laboratory Simulation of Meteor Ablation using Arc-Heating Wind Tunnel

○小川巧覧¹, 坂田良文¹, 宮下敦希¹, 阿部新助²*Ogawa Takumi¹, Sakata Yoshihumi¹, Miyashita Atsuki¹, S.Abe²

Abstract: Meteor is the phenomenon in which meteoroid that pieces broken a comet or an asteroid collision with Earth's atmosphere. These meteoroids can provide us abundance of the chemical elements. In order to understand the ablation process of meteoroids, artificial meteors made by us were carried out an experiment using JAXA/ISAS's arc heating wind tunnel. A spectroscope observed artificial meteors head plasma and we detected emission lines it is not detected in earlier experiments.

1. 緒言

流星(meteor)とは、彗星や小惑星起源のメテオロイド(meteoroid)と呼ばれる惑星間塵が、12-72[km/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が衝突することで、衝突励起してプラズマ発光する現象のことである^[1]。流星を撮像・分光観測することで、流星の母天体を間接探査することが可能となる。

流星観測では広い視野を監視しているため空間分解能の精度が悪くなる。また自然現象であるため出現時間や位置が不明であり、天候の影響も受ける。これらの理由からメテオロイドの発光物理現象を正確に求めることが困難である。そこで、組成・形状等が既知のメテオロイドを突入速度・突入角がわかるように大気突入させることで、高精度の科学観測が実施できる。

天然の流星・火球の発光過程を明らかにするため、人工流星模擬体(以下、供試体)を JAXA/ISAS アーク加熱風洞を用いてアブレーション実験を行い、分光計測を実施した。

天然流星の観測やこれまでの実験では流星及びウェイク領域の発光を分光観測してきたが、供試体自身の発光を分光観測することで、ウェイクの発光と供試体自身の発光を分離でき、供試体自身の発光強度 I を正確に計測できると考えられる。 I は発光効率 τ 、質量減少率 dm/dt 、突入速度 v として次のように示される^[2]。

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

実験と同様の方法で天然流星を観測すれば流星物質のより正確な質量を算出することが可能となる。

そこで本研究では、供試体だけの発光を計測する手法を確立するため。また、ウェイク領域と供試体自身の発光の差異を調査するため、ファイバ分光器の先端に集光レンズを取り付けることにより供試体先端の分

光計測を行った。

2. 目的

ウェイク領域と供試体自身の発光を分離する手法を確立し、それぞれの発光の差異を調査する。

3. 実験装置および実験方法

本実験では国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所(JAXA/ISAS)に設置されている惑星大気突入環境模擬装置(アーク加熱風洞)を用いてメテオロイドの地球大気突入を模擬した実験を行った。アーク加熱風洞はアーク放電によって空気などの作動ガスを加熱し高エンタルピ化するアークヒーター、高エンタルピガスを加速させるノズル、測定室、供試体射出装置、排気装置から成り立っている。大気圏突入をする宇宙往還機の耐熱試験などを行う装置である。

Table 1. Operating condition

電流[A]	450
電力[kW]	約 660
チャンバー内圧[Pa]	約 20
主流総エンタルピ[MJ/kg]	約 14
加熱率[MW/m ²]	9.5-14.4

本実験では、直径 10[mm]高さ 10[mm]の円柱形状の Fe の供試体を使用した。また、質量は 6.1924g、密度は 7.24g/cm³ である。

スペクトル計測用の分光器には、Ocean Optics の分光器 QEPro(波長域 250-1050nm, 波長分解能 0.75nm, 積分時間 1/30s)と HR4000(波長域 200-1100nm, 波長分解能 0.25nm, 積分時間 1/30s)を用いた。また、供試体の発光強度補正にはハロゲンランプ及び重水素ランプでキャリブレーションを行い、波長校正には水銀および

アルゴン輝線を使用した。

4. 実験結果および考察

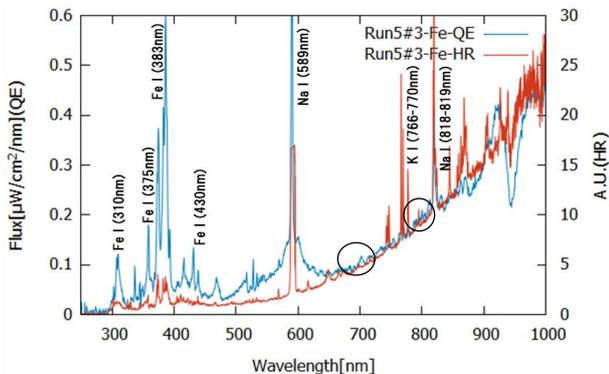


Figure 1. Spectrum of iron (t=1.33s)

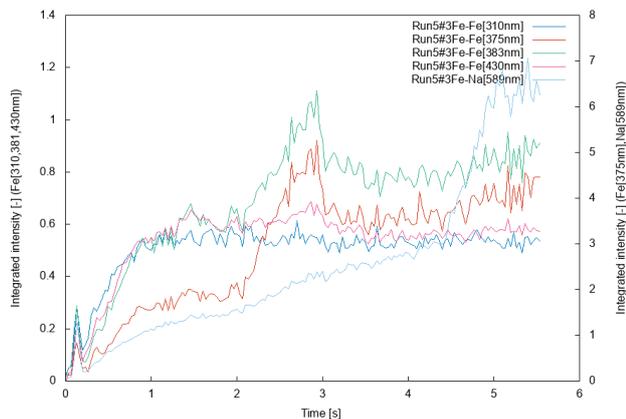


Figure 2. Atomic Lightcurve (Fe I, K I, Na I)

Figure 1 は発光開始直後(1.33 秒後)のスペクトルである。また、Fe I (310nm), Fe I (375nm), Fe I (383nm), Fe I (430nm), Na I (589nm), K I (766-770nm), Na I (818-819nm)の輝線をそれぞれ同定した。Figure 2 は供試体先端での青 : Fe I (310nm), 橙 : Fe I (375nm), 緑 : Fe I (383nm), 赤 : Fe I (430nm), 水色 : Na I (589nm)のアトミックライトカーブである。また、Figure 1 の青線が発光現象全体を分光計測したグラフ(以下、青線とする)を、赤線がレンズを取り付け、供試体先端を分光計測したグラフ(以下、赤線とする)である。

Figure 1 において 800nm 付近と 650nm 付近(Figure 1 の黒丸部)に過去の実験で計測できなかった輝線^[3]を計測することができた。これらのスペクトルは、広い波長幅を持ったバンドスペクトルであるため分子のスペクトルではないかと考えられる。

Figure 1 より赤線は青線より長波長側ではっきりとした輝線(K, Na)を確認できる。これは供試体先端で供試体と作動流体の衝突が多く起きるため、より多くの原子・分子が励起し発光したためであると考えられる。

Figure 1 から青線は赤線よりも短波長側ではっきりとした輝線(Fe)を確認できる。これは短波長側で発光している物質(Fe)は気流中などの広範囲で励起している物質であるためではないかと考えられる。

Figure 2 から Fe のライトカーブはそれぞれが似た形状となっていることが確認でき、Fe は各波長において同じように発光したと考えられる。また、Na のライトカーブは発光開始 4.4 秒後から急に発光が大きくなっていることが伺える。

5. 結論

今回の実験により、供試体先端の計測では長波長側ではっきりと輝線を確認でき、過去の実験で計測できなかった輝線を計測する手法を確立できた。これにより供試体の原子のスペクトルを多く検出でき、比較することができた。

6. 今後の方針

現在同定できていない輝線や過去の実験で確認できなかった輝線を同定することで、流星のより詳細な現象を理解することができる。今後の方針としては、過去の文献やデータベースのデータとの比較や、プラズマ発光シミュレーションの結果との比較により輝線を同定していく。その後、同定した輝線の強度の時間変化について考察する。また、天然流星と今回の実験結果との比較を行うことにより流星現象についての理解を深める。

7. 謝辞

本研究において多大なるご協力をいただいた首都大学東京の佐原宏典教授及びその学生の皆様、株式会社 ALE の岡島礼奈氏に感謝の意を表す。

8. 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 D. Koschny : “Model of the ablation of faint meteors”, A&A,418,pp.751-758,2004
- [3]沼田宗一郎:メテオロイドと人工流星の分光学的研究, 日本大学大学院修士論文, 2015