アーク加熱風洞を用いた流星アブレーションの分裂過程の研究

Fragmentation process of artificial meteoroids using arc-heated wind tunnel

○荒木健吾¹, 岩崎太陽¹, 鴻巣雄貴², 松山誉², 戸円和博¹, 阿部新助³ *Kengo Araki¹, Taiyo Iwasaki¹, Yuki Kounosu², Homare Matsuyama², Kazuhiro Toen¹, Shinsuke Abe³

Abstract: Study of the fragmentation process of meteoroids that entry Earth's atmosphere at a very high speed has not been much done. Because, until now is the mainstream observation by 1/30 seconds of the video frame, we have been received a significant limitations in time resolution and spatial resolution. The purpose of this study is to establish a theoretical model for meteor ablation with fragmentation. An artificial meteor test was carried out using JAXA/ISAS's arc heated wind tunnel with artificial meteoroids made by us. And, we were observing the state of fragmentation in the high speed camera and near ultraviolet and visible spectra.

1. 概要

流星とは、小惑星や彗星が起源だと考えられる直 径数ミリから数センチのメテオロイドと呼ばれる惑 星間塵が、12-72k で地球大気に突入する際に高度 100km付近で地球大気との衝突が激しくなることに よって、空力加熱による物質の昇華が始まり、その 昇華物質と大気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 発光する現象である.

人工流星を用いた研究は 1960 年代に NASA のラ ングレー研究所で複数回行われている.この研究で は、金属等の供試体をロケットに搭載して地球大気 に再突入させ、流星発光を再現する実験を行った. ほぼ全てが既知な条件のもとで行った実験結果より、 流星の発光効率の理論の誤りが指摘されたが実験回 数の少なさや検出器の分光感度の悪さが指摘された ため解明には至っていない。

今まで,流星の分光観測や放射点分布,軌道についての研究は,数多く報告されているかが,地球大気に超高速で突入する流星体の分裂過程(フラグメンテーション)についての研究は,これまで1/30秒のビデオフレームによる観測が主流であり,時間分解能と空間分解能に大きな制限を受けてきたため,あまり報告されていない.そこで,本研究では,フラグメンテーションを伴う流星アブレーションについての理論モデルを確立する目的で,JAXA/ISAS

「惑星大気突入環境模擬装置(アーク加熱風洞)」を 用いて,組成と空隙率を変化させた人工流星模擬体 と隕石で流星アブレーション実験を行った.

2. 実験装置及び計測装置

本実験では、JAXA/ISAS に設置されているアーク 加熱風洞を用いて組成と空隙率を変化させて製作し た人工流星模擬体と隕石を用いて流星アブレーショ ン実験を行った.アーク加熱風洞は,アーク放電に よって作動ガスの空気を高エンタルピ化して,気流 をノズルにより膨張加速することで,高温(約 10000K)で高速(4-6km/s)の気流を得ることができる 装置である.本実験では流星アブレーションを再現 するために加熱率 30MW/m²で実験を行った.

Table 1. List of test samples

	-		
供試体名	形状	空隙率	質量
Fe+Mg+Al+C ①	<i>ф</i> 10 円柱	29.2%	1.87g
Fe+Mg+Al+C ②	<i>ф</i> 10 円柱	17.7%	2.19g
普通コンドライト ①	<i>ф</i> 10 円柱	6.0%	3.84g
普通コンドライト ②	<i>ф</i> 10 円柱	6.0%	3.95g

分光計測には、分光器 QEPro を用いた. 波長域を 250-1100[nm]に広げるために、MgF2窓へ交換した. 発 光強度をキャリフブレーションするために、ファイバ 一分光器の先にコサインコレクターを装着した.また、 感度補正には絶対較正用重水素タングステンハロゲン ランプ,波長較正には水銀アルゴンランプを使用した. 分裂過程の計測には高速度カメラ Phantom V711 を用 いてフレームレート 1000fps で撮像を行った.



Figure 1. Plant layout drawing

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

3. 実験結果

Figure.1 は各種供試体の可視光域での積分発光強度の時間変化を表している。



Figure 2. Light curve of meteor

空隙率の大きな供試体では、構造的に脆いためフレ アを伴いながら発光開始直後に急激な増光をしている.



Figure 3. Mass loss of meteor

Figure.3 は,各供試体の流星本体部分の質量減少の時 間変化を示したものである. Fe+Mg+Al+C では空隙率 が大きいためにフラグメンテーションが激しく,急激 な質量減少が起こっている.また,空隙率の違いによ って質量減少の早さに違いがみられた.それに対して 普通コンドライトでは,若干のフラグメンテーション を伴うが多くは溶融して流星本体から分裂しないため, 急激な質量減少は起こらなかった.

Figure.4 は、各供試体の発光効率を示したものである. 発光効率とは運動エネルギーがどれくらい発光エネル ギーに変換されたかを表す値である.発光エネルギー と発光効率の関係は式(1)で示す.

$$I = \tau \frac{dm V^2}{dt 2} \tag{1}$$

ここで、I は発光強度、 τ は発光効率、 $\frac{dm}{dt}$ は質量減 少率、V は流速を表す.



Figure 4. Luminous efficiency of meteor

今回の実験では発光効率以外のパラメータが既知な ので、それらを代入して発光効率を求めた.今回の実 験では溶融する供試体のほうがフラグメンテーション をする供試体より、質量減少が遅いために発光効率が 良いことが分かった.また、先行研究では発光効率は 理論値より一桁大きいことが示唆されていたが、今回 の実験で理論値とほぼ同様の結果となった.このこと によって oppik 理論の正当性を証明することができた.

4. 謝辞

本実験の実施に際しては,首都大学東京・宇宙システ ム研究室の佐原宏典教授と学生の皆様及び,株式会社 ALEの岡島礼奈様にご協力を頂きました.ご協力して いただいた皆様へ心から感謝の気持ちと御礼を申し上 げたく,謝辞にかえさせていただきます.

5. 参考文献

[1] 長沢工:流星と流星群,株式会社地人書館, pp19-46, 1997

[2] Wendell G. Ayers : LUMINOUS EFFICIENCY OF AN ARTIFICIAL METEOR AT 11.9 KILOMETERS PER SECOND, NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION, pp1-36, 1965