

K7-20

メテオロイドの強度と空隙率が流星アブレーションに与える影響

Effect of Meteoroids' Strength and Porosity on Meteor Ablation

○岩崎太陽¹, 荒木健吾¹, 戸田和博¹, 鴻巣雄貴², 松山誉², 阿部新助³*Taiyo Iwasaki¹, Kengo Araki¹, Toen Kazuhiro¹,Yuki Konos², Homare Matsuyama², Shinsuke Abe³

Abstract: Physical quantities such as mechanical strength of the meteorite has been measured currently, but the mechanical strength of meteoroid before fragmentation by meteor ablation is not clear. We manufacture an artificial meteor mimics whose porosity and mechanical strength is known. And we simulate meteor light emission using JAXA / ISAS arc heating wind tunnel, obtain a relationship between light emission and mechanical strength. As a result, the maximum emission of compressive strength of lower porosity is high and the rising of the emission is late. Because the compressive strength of lower porosity is higher and the internal structure is dense.

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おり, 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].

今日まで, 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きた. 天然流星を二点観測することで速度や軌道が推定でき, 分光観測することで組成や発光過程(黒体輻射温度, プラズマ温度)を調査することが可能である.

現在, 流星を光学観測することでメテオロイドが受ける大気動圧を算出し, その破壊強度を推定するという研究が行われている^[3]. メテオロイドの大気突入時の質量減少に対する強度変化を調査することで, それが断片の集合体なのか, 一枚岩であるのかを推測できる. しかし, メテオロイドは地上に落下することなくアブレーションして消失するため, それらの機械的強度や内部構造は正確に求められていない.

本研究では, 流星の発光と機械的強度・内部構造の関係性を理解し, 流星の観測からそれらの物理量を求めることを目的としている. 私達は, 組成・空隙率をパラメータとする人工流星模擬体を作製し, アーク加熱風洞を用いた流星アブレーション実験における分光観測, 人工流星模擬体の圧縮試験および顕微鏡観測を行い, 結果を考察した.

2. 実験方法及び実験装置

2-1. 流星アブレーション実験

アーク加熱風洞(JAXA 相模原キャンパス)は, アーク放電によって作動ガスを高エンタルピー化して, ノズルにより高温(約 10^4 [K])高速(4-6[km/s])で試験室に噴流し, 供試体の耐熱試験を行う再突入飛行環境模擬装置である. 宇宙往還機の熱防護材の研究開発などに活用されている^[4]. 分光器の諸元を Table 1 に示す.

Table 1. Specifications of Spectroscope (Ocean Optics)

分光器	HR4000CG-VIS-NIR	QEPro
波長域[nm]	200~1100	500~1100
波長分解能[nm]	0.75	0.75
時間分解能[s]	1/30	1/30

2-2. 圧縮強度試験

流星模擬体の圧縮強度を測定には, インストロン社製の引張圧縮試験機を使用した. JIS 規格より試験速度は, 1[mm/min], 試験回数は各 5 回以上とする^[5].

2-3. 内部構造顕微鏡観測

島津製作所製の走査型電子顕微鏡(SEM)を用いて, 各空隙率の人工流星模擬体の内部構造の観測を行った. 供試体を面方向に切断した面を観測に用いた.

2-4. 供試体(人工流星模擬体)

Table 2. Artificial meteor mimic

供試体	形状	空隙率 ^[6] [%]	備考
Fe+Mg+Al+C	Φ10	17.7	質量比 9:9:1:1
		29.2	
Chelyabinsk meteorite	円柱	-	融解皮膜を剥がし, 整形

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. 実験結果及び考察

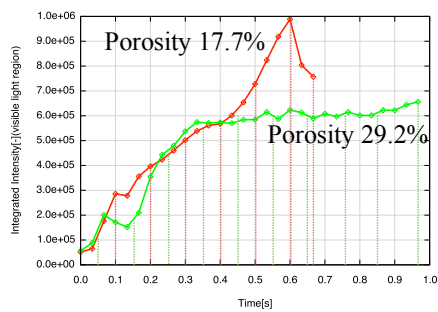


Figure 1. Light curve(visible light region:380~780[nm])

Figure 1 は流星アブレーション実験で計測したデータを解析して得られるライトカーブであり，発光強度の時間変化を表すグラフである。

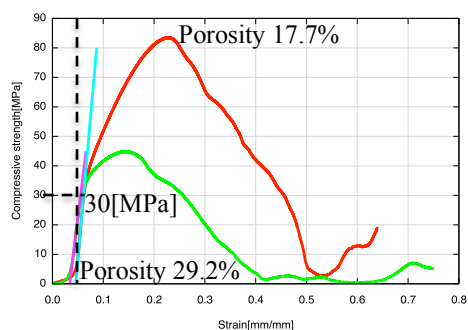


Figure 2. Stress-strain curve

Figure 2 は圧縮試験によって得られた空隙率 17.7%，空隙率 29.2%の応力ひずみ線図である．その結果，塑性域最大応力を迎え破壊が始まり，亀裂が発生・進展して圧縮応力が低下し，最大圧縮応力は空隙率 17.7%で約 82[MPa]，空隙率 29.2%で約 45[MPa]となった．

Figure 1, Figure 2 より，機械的強度が高い方が発光強度が高くなることが言える．これは機械的強度が高いほど，フラグメントが十分に加熱されるため，発光量がより多くなったためだと考えられる．

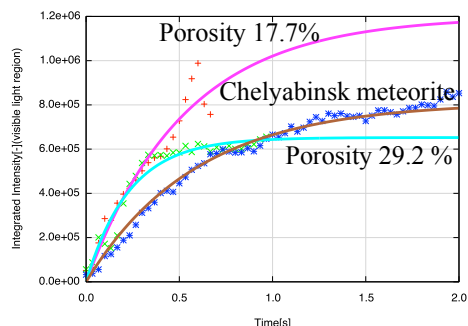


Figure 3. Primary response of emission intensity

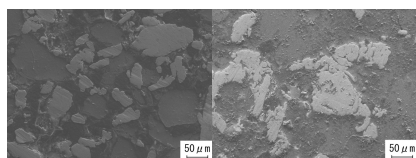


Figure 4. Internal structure(Left:29.2%, Right:17.7%)

Figure 3 は発光の立ち上がりを比較するために，ライトカーブを一次応答として(1)式で近似した図である．

$$y=a(1-\exp(-t/T)) \quad (1)$$

a : 最大発光強度, t : 時間, T : 時定数である．比較のために Chelyabinsk meteorite のライトカーブを示す．その結果，空隙率の低い方が発光の立ち上がりが遅く，それぞれ空隙率 17.7%で 0.99[s]，29.2%で 0.23[s]となった．Figure 4 は SEM を用いて得られた流星模擬体内部の二次電子像である．Figure 3, Figure 4 より空隙率が大きい供試体は，フラグメントが小さいために比較的早く加熱され立ち上がりが早くなったと推測できる．

4. 今後の展望

内部構造の違いから，流星アブレーション時の熱の伝達に差異が生じると考えられる．

$$\kappa = \alpha c \rho \quad (2)$$

κ : 熱伝達率, α : 熱拡散率, c : 比熱容量, ρ : 供試体密度である．(2)式の関係を求めることで，空隙-強度-熱伝達-発光を定量的に調査する．

また，圧縮試験によって破壊した供試体のフラグメントの体積に違いが見られ，空隙率が小さく強度が高い模擬体ではフラグメントの体積は大きく，これが発光強度の立ち上がりに影響していると考えられるので，調査する．

5. 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先生，帝京大学の渡部武夫先生，(株)ALE の岡島礼奈氏に感謝の意を表す．

6. 参考文献

- [1]阿部新助：「Meteoroids and Meteors - Observations and Connection to Parent Bodies」, Lecture Notes in Physics, Springer Berlin Heidelberg, 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]Olga POPOVA：「Very low strengths of interplanetary meteoroids and small asteroids」, Meteoritics & Planetary Science 46, pp1537, 2011
- [4]山田哲哉，安部隆士：「「はやぶさ」カプセルの地球大気再突入時におけるプラズマ現象とその周辺」, J. Plasma Fusion Res, Vol.82, No.6, pp368-374, 2006
- [5] 日本工業規格：「JIS H 7902」, 2008
- [6] 渡嘉敷直彦：「多孔質琉球石灰岩の空隙評価と変形・強度特性」, 土木学会論文集, pp817, 2010