

衝突閃光現象における標的の透過率と熱伝導率の関連性

Relationship between target transmission and thermal conductivity in impact flash phenomena

○堺優太¹, 奥山純吾¹, 布施綾太², 阿部新助²*Yuta Sakai¹, Jungo Okuyama¹, Ryota Fuse², Shinsuke Abe²

Abstract: When an object impacts over several kilometers per second, we can observe impact flash. That is blackbody radiation which caused by high pressure and temperature at the impact point. We used a two-stage light gas gun to observe impact flashes under vacuum. It was found that the time and temperature histories were different by target objects. In this study, we measure the transmission and thermal conductivity and discuss the relationship between these physical properties and impact flashes.

1. 研究背景

衝突閃光現象とは、物体が数 km/s 以上の超高速で衝突することにより衝突点付近が高温・高圧となり発光する現象である。衝突閃光現象の一つとして、月面衝突閃光 (Lunar Impact Flash; LIF) が挙げられる。LIF とは、cm サイズの流星体 (meteoroid) が 12-71km/s の超高速で月面に衝突した際の運動エネルギーの一部が発光エネルギーに変換されることにより観測される発光現象である。LIF を調査することにより、調査の進んでいない cm サイズの流星体の観測が可能となる。LIF の発光メカニズムはまだ明らかになってはいないが、いくつかの発光モデルが提案されている。Swift et al.(2011) は超高速衝突実験により LIF の発光効率に関する研究を行い、衝突速度と発光効率の関係を表すモデルを作成した^[1]。しかし、真空度の情報がないことやモデルの形に無理があること、観測機器に関しても多くの課題がある。また、本研究室で行われた過去の衝突実験で複数の標的を用いた際に、標的によって閃光の継続時間や明るさが異なることがわかった。この結果より、閃光の明るさは衝突面内部からの閃光が影響を与え標的の透過率が影響していると考えられる。また、衝突閃光は黒体放射であることがわかっているため標的の熱伝導率が影響することが考えられる。

2. 研究目的

本研究の目的は「衝突閃光現象における標的の熱伝導率、透過率の関連性の調査すること」である。そのため、複数の標的の熱伝導率、透過率を調査し、調査を行った標的を用いて超高速衝突実験を行う。

3. 実験方法

3. 1. 超高速衝突実験

超高速衝突実験は宇宙科学研究所(ISAS)が所有する縦型二段式軽ガス銃を用いて行う。なお、気圧を調節できるチャンバーがついており、真空下での衝突を模擬できる。

3. 2. 熱伝導率計測実験

熱線法により、衝突実験で用いた標的 (玄武岩, 石英砂) の熱伝導率を測定する。今回用いたチャンバーは恒温槽の中に真空槽がある二層構造となっており、真空状態で一定の温度に保つことができる。今回はアルミケースに標的を入れ、ケースに付属したニクロム線に電圧を負荷することで標的を加熱し、その温度変化を熱電対で測定することにより熱伝導率を測定する^[2]。Figure 1 に用いたチャンバーとアルミケースを表す。

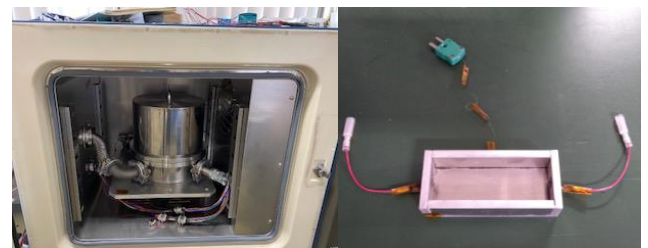


Figure 1. Chamber and Aluminium case

3. 3. 透過率計測実験

熱伝導率計測実験で測定した標的を自作したアクリルケースに入れ、光源をケースに当てることで透過した光を分光器により測定する。同様に空のアクリルケースを透過した光も測定し、標的入りの計測結果と比較することにより標的の透過率を算出する。

4. 実験結果

4. 1. 熱伝導率計測実験

熱伝導率測定実験により測定された熱電対の応答、

1 : 日大理工・学部 航空宇宙工学科・航空宇宙工学専攻 2 : 日大理工・教員 航空宇宙工学科・航空宇宙工学専攻

Skakatani et al.(2017)より熱伝導率 k [W/mK]は

$$k = \frac{q}{4\pi s} = \frac{RI^2}{4\pi s} \quad (1)$$

であることを用いて熱伝導率を算出した。ここで、 $q = RI^2$ はニクロム線の単位長さあたりの発熱量であり、電流 $I = 0.02$ [A]、ニクロム線の抵抗 $R(T) = [1 + \beta(T - T_0)]$ 、 $R_0 = 42.35$ [Ωm^{-1}]、 $T_0 = 289$ [K]、 $\beta = 9 \times 10^{-5}$ [K^{-1}]である。また、定数 s は温度 T [K]、加熱時間 t [s]を次のようになる^[2]。

$$T = s \ln t + C \quad (2)$$

なお、真空条件下での熱伝導率 k は伝導による伝熱 k_{solid} と放射による伝熱 k_{rad} により次のようになる^[2]。

$$k = k_{solid} + k_{rad} = Ak_m(T) + BT^3 \quad (3)$$

ここで、 A, B は定数であり、 k_m は物質の温度による熱伝導率である。しかし、標的の k_m が不明であったため、ここでは定数 A としてまとめている。算出結果を Figure 2 に表す。

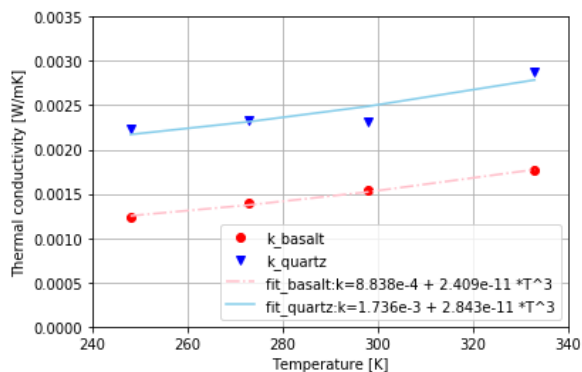


Figure 2. Thermal Conductivity per Target

4. 2. 透過率計測実験

透過率測定実験では Halogen ランプ(波長域:350nm ~1100nm)と Deuterium ランプ(波長域:200~400nm)の二つの光源、アクリルケースの厚みは 0.5mm で測定を行い、透過率[%]は次の方法で求めた。

$$(\text{透過率}) = \frac{(\text{標的入りの測定データ})}{(\text{アクリルケースのみの測定データ})} \times 100(4)$$

測定結果を Figure 3 に表す。また、Table 1 に各波長域で平均した透過率を表す。

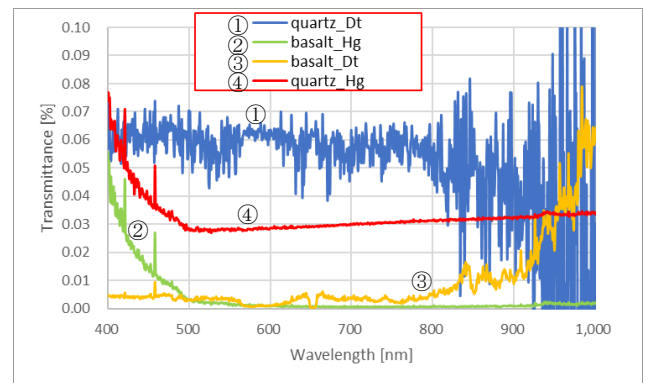


Figure 3. Transmission by light source and target

Table 1. Average transmission in each wavelength range

	Halogen lamp	Deuterium lamp
Target	Transmission in the 400~780nm [%]	
Basalt	5.733×10^{-3}	3.155×10^{-3}
Quartz	3.277×10^{-2}	5.912×10^{-2}
	Transmission in the 780~1000nm [%]	
Basalt	1.247×10^{-3}	1.995×10^{-2}
Quartz	3.245×10^{-2}	3.037×10^{-2}

5. 考察

Figure 2 より玄武岩と石英砂で熱伝導率が二倍ほど違うことがわかる。また、fittig の式より高温になるほど、伝導による伝熱よりも放射による伝熱が大きく作用するため、衝突閃光後の温度履歴の違いには放射による伝熱が大きく関与していると考えられる。このことから、fittig の式を用いて高温での熱伝導率を算出し、衝突実験の結果と比較したいと考えている。また、透過率に関しては Table 1 より玄武岩と石英砂で透過率が大きく異なることから、衝突面下部からの閃光が影響し、衝突閃光の明るさが影響してくると思われる。しかし、超高速実験でとれたデータとの比較がまだできていないため、今後取り組みたいと考えている。

6. 参考文献

- [1]W. R.Swift et al., "An exponential luminous efficiency model for hypervelocity impact into regolith," In: Proceedings of the Meteoroids 2010 Conference, NASA CP-2011- 216469, pp. 125-141, 2011.
- [2].Sakatani et al., "Thermal conductivity model for powdered materials under vacuum based on experimental studies", AIP Advances 7- 015310-2017, 2017.