

## 真空下における粉体物質の熱伝導率の圧縮応力依存性

## Effect of compressional stress on thermal conductivity of powdered materials under vacuum

坂谷 尚哉<sup>1\*</sup>, 小川 和律<sup>1</sup>, 飯島 祐一<sup>1</sup>, 津田 彰子<sup>1</sup>, 本田 理恵<sup>2</sup>, 田中 智<sup>1</sup>Naoya Sakatani<sup>1\*</sup>, Kazunori Ogawa<sup>1</sup>, Yu-ichi Iijima<sup>1</sup>, Shoko Tsuda<sup>1</sup>, Rie Honda<sup>2</sup>, Satoshi Tanaka<sup>1</sup><sup>1</sup> 宇宙科学研究所, <sup>2</sup> 高知大学<sup>1</sup>Institute of Space and Astronautical Science, <sup>2</sup>Kochi University

月や小惑星の表層は粉体で覆われている。また、太陽系形成初期の微惑星は粉体で構成されていると考えられる。このような天体の熱的な状態や熱進化を探る上で、粉体物質の熱伝導率は欠かすことの出来ない情報の一つである。特に真空環境では、粉体は 0.001 W/mK のオーダーの低熱伝導率を持つことが知られているため、粉体であることの上記問題に対する影響度は大きい。例えば、月の地殻熱流量観測を行うためには、表層レゴリスに熱流量プローブを挿入する必要があるが、挿入時のレゴリスの圧密(密度と応力場の変化)による熱伝導率の変化は避けられない問題である(Grot et al. 2010)。本来の熱伝導率と測定された熱伝導率の違いは、直接、熱流量の推定誤差に影響するため、正確な熱流量計測のためには圧密度の予測とそれによる熱伝導率の補正が重要である。また、微惑星の熱進化を計算する上での粉体の熱伝導率を考えることの重要性は小川(2013)によって示されている。彼女の結果によれば、粉体の断熱性のために 10 km 程度の小さな微惑星であっても、その中心部は熔融、分化を経験する温度に達する可能性がある。

粉体の熱伝導率の予測を難しくしている要因の一つが、真空下での熱伝導率が粒径や密度、応力などの多くのパラメータに依存しており、これらのパラメータを取り入れたモデル化が行われていないことである。我々はこれまでに熱伝導率に影響を与えるパラメータについて、それらの依存性を調査してきた。本発表では、応力依存性を調査した結果について報告する。この応力依存性は、これまでの先行研究では実験的に調査されておらず、熱流量観測値の補正や、微惑星サイズ(重力)による熱伝導率の違い、またはその深さ方向の分布を考える上で、本質的なパラメータであると思われる。

熱伝導率の応力依存性を測定するにあたり、新規の装置の設計・製作を行った。我々が目指す応力範囲は比較的低下の数十 kPa である。これを達成するために、6 つのおもりをサンプルに順々に載せていき、サンプルにかかる荷重をコントロールする手法を採用した。それぞれのおもりは糸を通して 2 cm 間隔で吊るされており、超音波モーターにより上下運動が可能である。おもりの合計質量は 7.5 kg、最大応力は 18 kPa 程度である。このような加圧システムの下に低容量のダイヤフラム式応力センサを取り付けたサンプル容器を置くことにより、比較的低下でサンプル中の応力をコントロールすることを可能にした。なお、サンプル容器には線加熱法による熱伝導率測定システムも取り付けられている。サンプルは粒径約 0.1 mm の球形ガラスビーズを用いた。これは加圧による粒子の配置構造の変化を最小にし、応力のみの影響を捉えるためである。上記のような装置を真空槽に入れ、無荷重状態と各おもりを載せた際の熱伝導率を測定した。

測定の結果、熱伝導率の値は 0.003 から 0.008 W/mK の範囲で、応力が大きいほど熱伝導率が高くなるという明確な傾向が見られた。この傾向は加圧により粒子が弾性変形し、接触面積が増加することにより、粒子間の熱伝達率が増加したためだと考えられる。

真空下での実効的な熱伝導率は固体粒子を通った熱伝導の寄与(固体伝導率)と粒子表面間の輻射の寄与(輻射伝導率)の和で与えられる。応力による熱伝導率増加は固体伝導率の増加によるものと考えられるため、同じサンプルに対して別途実験で決定した輻射伝導率の値(Sakatani et al., 2013)を取り除くことにより、固体伝導率の応力依存性を導出した。これらのデータを適切な関数でフィッティングした結果、固体伝導率は応力の 0.32-0.4 乗に比例することが明らかとなった。これは接触半径が応力の 1/3 乗に比例するという、Hertz の球の接触理論の予測値と近い値となっており、粒子の弾性変形が原因であること、更に固体伝導率が接触半径に比例することを強く裏付けている。

キーワード: 熱伝導率, 粉体, 圧縮応力, 真空

Keywords: thermal conductivity, powdered materials, compressional stress, vacuum