

ガラスビーズ焼結体の熱伝導率測定実験と微惑星熱進化への応用 Thermal conductivity measurements of sintered glass beads and application to planetesimal thermal evolution

津田 彰子¹; 坂谷 尚哉^{2*}; 小川 和律³; 田中 智³; 荒川 政彦⁴; 本田 理恵⁵
TSUDA, Shoko¹; SAKATANI, Naoya^{2*}; OGAWA, Kazunori³; TANAKA, Satoshi³; ARAKAWA, Masahiko⁴; HONDA, Rie⁵

¹ 東京大学, ² 総合研究大学院大学, ³ 宇宙科学研究所, ⁴ 神戸大学, ⁵ 高知大学

¹University of Tokyo, ²The Graduate University for Advanced Studies, ³Institute of Space and Astronautical Science, ⁴Kobe University, ⁵Kochi University

微惑星は原始太陽系円盤内においてダストが集積した天体であり、太陽系天体の多様性を生む分岐点となる天体である。その形成過程や内部構造進化などの描像を制約することは惑星形成論における重要な課題である。特に微惑星の熱進化を知ることは微惑星の描像を理解する上で重要であり、その熱進化を解明する上で最も重要なパラメータの一つは微惑星構成物質の熱伝導率である。

微惑星をダストの集積物とした場合、熱進化過程を経て温度が上昇すると焼結と呼ばれる現象が起こり、粒子同士が接着する。焼結が起こる前の粉体の熱伝導率に関しては近年研究が進んでいる。しかし、焼結体の熱伝導率を真空下で測定した例はない。ダストが焼結すると、ダスト間にネックと呼ばれる結合部が形成される。焼結が進むことにより、ネックの成長や空隙率の減少が起こる。これらの変化により、全体の熱伝導率は上昇することが予想される。

粉体の熱伝導率と圧力の関係を測定した先行研究から、空隙率が一定であっても、粒子間の接触サイズにより熱伝導率が大きく変化することが知られている。すなわち、空隙率のみでなく、焼結によるネックサイズの変化にともなう熱伝導率の変化を知ることが重要である。

そこで、本研究では焼結による熱伝導率の変化を微惑星の熱進化計算に取り入れるため、粉体焼結体の熱伝導率を測定し、粉体熱伝導率に対する焼結の効果を定量的に明らかにすることを目的とした。特に、真空化における焼結体の熱伝導率のネックサイズ依存性に着目した。

用いたサンプルは粒径約 250、500、1000 μm の 3 種類のガラスビーズである。各サンプルは一定の加熱温度の下で加熱時間を変えることにより、3 種類の焼結度を持つ焼結体を作成した。焼結ビーズを一粒ずつ分離し、ネックの割れ跡の面積を測定することによって、ネックサイズを推定した。一方、熱伝導率測定には、焼結体内部に埋め込まれたニクロム線加熱時の温度上昇率から熱伝導率を推定する方法である line heat source 法を用いた。測定は常温において行い、熱伝導率測定時の真空度は約 0.01 Pa であった。

ネックの観察によって、平均ネック比(粒子半径に対するネック半径の比)が 0.075 から 0.30 の異なる焼結度を持つサンプルを作成できたことを確認した。これらの熱伝導率は 0.036 から 0.25 W/mK であった。これらの値は、同種の未焼結粉体の真空中での熱伝導率よりも 10 倍以上高い値である。焼結体試料の空隙率は約 40% で一定であり、熱伝導率とネック比の間には比例関係が見られた。すなわち、ネック比 0.3 未満の焼結初期段階では、焼結体の熱伝導率は空隙率の減少ではなくネックの成長による熱伝導率の増加を考慮する方が本質的であることが分かった。

最後に、本実験で得られた熱伝導率とネック比の関係をを用いて、微惑星の熱進化計算を行った。主なパラメータとして、微惑星半径を 1 から 1000 m、形成年代を CAI 形成後 1 から 3 Myr、ダストの粒径を 1 から 1000 μm の範囲で与えた。その結果、焼結による熱伝導率の上昇を考慮したことにより、この効果を考慮しない場合の結果よりも微惑星の内部温度は 1000 K 以上下がるということが分かった。加えて、微惑星内部の温度構造やネックサイズの分布(言い換えると、強度分布)は微惑星のサイズや形成年代、構成する粒子の粒径などに依存し、変化に富むことが分かった。