

高圧下 1000K までのカンラン石とザクロ石の熱拡散率および熱伝導率

Thermal diffusivities and thermal conductivities of garnet and olivine at temperatures to 1000 K under high pressure

大迫 正弘[1], 伊藤 英司[2], 米田 明[2]

Masahiro Osako[1], Eiji Ito[2], Akira Yoneda[3]

[1] 国立科博・理工, [2] 岡大・固地研

[1] Div.Astro.Geophys., Natl.Sci.Mus., [2] ISEI, [3] ISEI, Okayama Univ.

<http://www.kahaku.go.jp>

カンラン石とザクロ石の熱拡散率と熱伝導率を 8 GPa、1000 K まで非定常パルス加熱法により同時測定した。試料は直径 4mm 高さ 1mm の円板で、この底面に平行な平面で 3 等分し、分割面の一つを瞬時加熱してもう一方の分割面の温度の過渡的变化をとらえる。一辺が 18mm のマグネシア八面体圧力媒体を用い 6-8 分割球高圧装置 USSA-1000 により加圧した。試料の昇温は平面のニクロム箔で上下から行う。熱伝導率の圧力効果はカンラン石の b 軸方向で 5 %/GPa、ザクロ石で 3 %/GPa (5 GPa において)であった。ザクロ石では熱拡散率・熱伝導率の温度上昇に伴う減少のしかたは $1/T$ -則から外れて緩やかで、また圧力微分も圧力の増加に伴い次第に減少する傾向を示す。

1. はじめに

地球深部を構成する物質の熱伝導率または熱拡散率を高温高圧下で測定し、地球内部でのその値を推定することは、固体地球のダイナミクス研究の手段である。我々は一次元的非定常パルス加熱の方法により熱伝導率の高圧高温での測定を、マントル物質のうちカンラン石、ザクロ石のような大きな単結晶が入手できるものを先行させて行っている。今回は高圧で温度 1000 K まで上げた測定についてである。

2. 実験方法

今までと同じく、厚さの等しい薄い円板形状試料を 3 枚重ね、その合わせ面の一つを瞬時加熱し、もう一方の合わせ面の温度変化を検出するという方法を用いた。

試料の直径は 4.2 mm、全厚は 1.0 mm 内外 (3 枚の厚さの違いは 0.001 mm 以内)である。パルス加熱用の内部ヒーターはニクロム製で、一様な発熱のために切り込みを入れてある。その厚さは 0.03 mm、直径は試料よりやや小さく 3.8 mm である。温度変化の検出には直径 0.1 mm の素線を厚さ 0.03 mm 程に圧延した K 型熱電対を用いた。これは試料温度の測定も兼ねる。試料を高温にするためのもう一つのヒーターの形は薄板状とし、これで試料部分を上下から挟む。実験温度の上限を 1000 とし、その材質にはニクロムを用いた。これらを辺長 18 mm の MgO 八面体圧力媒体に納め、切り落とし長さ 11 mm のアンビルを用いて、固体地球研究センターの 6-8 分割球高圧装置 USSA-1000 で加圧した。

試料の昇温に直流電源を使用する。これを通常の高圧高温実験のように交流で行うと大きな誘導障害電圧が熱電対に現れるので、熱伝導の測定は不可能となる。

熱電対の温度記録の電圧軸上および時間軸上の読取精度と試料の長さの精度とから算定した不確かさは熱拡散率で 4 %、熱伝導率で 5 %である。

3. 実験結果

ザクロ石 (ブラジル=バイア州産、73 %前後のアルマンディンと約 25 %のパイロープを含む)とカンラン石 (パキスタン産、フォルステライト 94 %) について測定した。常温で 8.2 ~ 8.3 GPa まで順次加圧し、最高圧力のところで温度を上げた。

ザクロ石での複数回の常温高圧の測定をまとめてみた結果、測定値の再現性は熱拡散率で 7 %以内であるが、熱伝導率はそれより悪く、高圧にいくに従えばつきが大きくなり 8 GPa では 15 %位の差が生じた。一方、常圧に外挿した値の試行毎の差は誤差範囲内で一点に集まり、アルマンディンを主成分とする類似のザクロ石のものとはほぼ一致する。圧力効果は測定圧力の中間の 5 GPa 付近で熱拡散率では 1 GPa につき 2 %、熱伝導率の方は試行毎にやや差があるが平均すれば 5 GPa 付近で 3 %である。実験した 0.7 GPa ~ 8.3 GPa の圧力範囲において、ザクロ石の熱拡散率と熱伝導率の圧力微分は圧力が高くなるに従い小さくなる傾向が見られる。

以前に示したように、高圧で温度を上げたときザクロ石の場合は熱拡散率と熱伝導率ともに常温から 600 K にかけて 300 K の温度上昇でその値が 50 %減少し、さらに 600 K を超えたあたりから減少のしかたは小さくなる。このような傾向は常圧でも同様に見られる。すなわちザクロ石は熱伝導の温度効果において温度が上がるに従い通常の絶縁体結晶物質にあるような $1/T$ -則からの外れが目立つようになり、圧力効果ともあわせてやや特異な性質を示す。

これら圧力効果および温度効果を考えると、上部マントル内におけるザクロ石の熱伝導率または熱拡散率の深さによる変化は大きくないといえる。ザクロ石では Mg-Fe 置換による熱拡散率または熱伝導率の違いは小さいので、本実験で使用した試料をマントルのザクロ石と見なしてそれらの値を推定してみる。マントル最上部では熱拡散率が $0.9 \sim 1.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 、熱伝導率が $2.6 \sim 2.8 \text{ W/m K}$ 、上部マントルの最下部（深さ 400km 付近）でそれぞれ $0.8 \sim 0.9 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ と $2.8 \sim 3.5 \text{ W/m K}$ であろうかと考えられる。

カンラン石は熱伝導に対して異方性を有するが、最も熱伝導率の小さい b 軸方向を測定した。熱拡散率・熱伝導率ともに圧力効果はザクロ石よりも大きく、1 GPa につき約 5 % である。この圧力効果の値は、最近のカンラン石についてオングストローム法による測定結果（ただし多結晶体）と良い一致を示す。ザクロ石と異なり、カンラン石の場合には熱拡散率と熱伝導率の圧力による増加率は圧力が高くなっても減少しない。また、温度依存性については現時点であまり良いデータが取れていないが、ザクロ石のような特異な性質は見られないようである。