

マントル物質の熱拡散率・熱伝導率の圧力効果と上部マントル内での推定値

Pressure dependence on thermal conductivity and thermal diffusivity of mantle materials and their values in the upper mantle

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>

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压下で測定し、地球内部でのその値を確定することは、地球熱学の基本的テーマの一つであろう。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について行った。それに基づき上部マントル内の熱伝導の値を推定した。

2. 測定

試料から切り出した直径 4.3mm の厚さの等しい円盤を 3 枚重ねて全厚 1mm 内外になるようにし、これを試験片とする。その合わせ面の一つに薄い発熱体を置きこれを瞬時加熱し、もう一方の合わせ面の熱電対で温度変化を検出して、熱拡散率と熱伝導率を同時に求める。試料とパルス加熱用発熱体、熱電対、それに昇温用ヒーターを一边が 18mm の MgO 圧媒体に仕込み、切り落とし 11mm のアンビルを用いて固地研の USSA-1000 型高压発生装置により加圧し測定した。この方法では少ない試料で測定できマントル物質を対象とするには都合が良いこに加え、異方性物質の測定にも使えることが大きな利点である。

カンラン石試料はパキスタン産の自形を示す単結晶で、組成は Fo が約 94% である。また、ザクロ石はブラジル産の 73 % 前後のアルマンディンと約 25 % のパイローブを含む組成のものである。

3. 結果と考察

8.3 GPa まで加圧し、熱伝導率と熱拡散率の圧力依存性を求め、さらにこの最大圧力のところで温度を 1100 K まで上げて温度依存性を見た。上部マントルの主要構成物質の一つカンラン石は熱伝導について最大約 1.5 倍の異方性を示すことが知られている。この異方性が圧力の増加と共にどのように変化するかを調べるのがこの実験の目的の一つである。カンラン石については結晶軸 3 方向について測定した。実験の圧力・温度の範囲においては常圧下の異方性を保持し、さらに安定な温度圧力領域の上限までこれが保たれているらしいことが明らかになった。

カンラン石の熱拡散率と熱伝導率とに及ぼす圧力の効果は小さく、1 GPa につき約 5 % で、圧力だけを考えるなら上部マントルの最下部においても地表付近での値に比べて 1.7 倍になるに過ぎない。温度の上昇による減少が加わるのでマントル内での増加はこれより小さくなる。ザクロ石では圧力効果はさらに小さく、5 GPa 付近で熱拡散率が 1 GPa につき 2 %、熱伝導率では 5 GPa 付近で 3 % である。カンラン石と異なり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減少する傾向にある。また、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し、マントル内での値の変化はカンラン石よりも小さいと考えられる。

これらカンラン石とザクロ石の測定結果から、カンラン石・ザクロ石・輝石で構成した上部マントルにおける熱伝導率と熱拡散率の値を推定してみた。輝石についてはデータが不十分であるが、Kobayashi (1974) の結果を援用し、また圧力効果はカンラン石と同様の性質があると見なした。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、本実験で使用した鉄の多いザクロ石を Mg を主とするマントルのザクロ石と同等のものとした。マントルの温度分布には Ito & Sato (1992) を用いた。

異方性を考えた上限と下限を求めてみると、深さ 200 km では熱拡散率が $0.7 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (下限) と $1.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (上限)、熱伝導率が 2.3 W/m K (下限) と 3.7 W/m K (上限) となり、一般にマントル内の代表値とされている値が上限のものに近い。これらの値は深くなるに従い緩やかに増加し、上部マントルの最下部 (深さ 380km 付近) で熱拡散率が $0.9 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (下限) と $1.2 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (上限)、熱伝導率が 2.8 W/m K (下限) と 4.3 W/m K (上限) になる。

今のところ輝石のデータが不足なのでこれを補うこと、さらに、温度の上限を 1400 K 以上にもっていくこと、圧力範囲を 15 GPa まで広げること、が今後行うべき課題である。これにより、主要鉱物組成、深さ、温度に対し異方性まで考慮した上部マントル内での熱伝導の大きさについて基礎的データを提供できるであろう。