

石英岩への流体浸透実験：浸透流に伴う元素移動と岩石組織形成への応用

Aqueous fluid infiltration into quartzite: implications for element redistribution and rock texture development by porous flow

中村 美千彦 [1], E. Bruce Watson [2]

Michihiko Nakamura [1], E. Bruce Watson [2]

[1] 東工大・理・地球惑星, [2] E&ES, RPI

[1] Earth Planet. Sci., Tokyo Inst. Tech., [2] E&ES, RPI

<http://www.geo.titech.ac.jp/takahashilab>

地殻・上部マントルでの水性流体の移動機構を調べるため、界面エネルギー勾配を駆動力とする流体の浸透実験を、事前に合成した石英岩を用いて下部地殻条件下で行った。石英に飽和した純水は、800度Cで無水の石英岩中に約120micron/hr浸透し、純水より濡れ角の小さい食塩水の浸透速度はそれより速く、大きいCOH系流体のそれは小さい。流体の浸透した部分では石英粒子の顕著な粗粒化が認められる。浸透と粗粒化は石英の溶解・再結晶機構により進行する。平衡空隙率は1%前後で、それより大きな含水量を持った石英岩からは水の吐出しと逆方向の粗粒化が起こることがわかる。

＜意義と目的＞水を主成分とする流体は地殻・上部マントルに広く存在し、岩石の物性や化学進化に本質的な役割を果たしている。しかし流体が岩石中を移動する仕組みや速度、その際に起こる化学反応は十分に理解されていない。はじめから連結した空隙を持たない岩石では、もし濡れ角が小さければ流体は、界面エネルギーを小さくするため岩石を構成する鉱物粒界に浸透してゆく。その際に形成された岩石の微細組織は、空隙率・浸透率を決定し、連結した空隙が形成された後のダルシー流を直接支配することになる。本研究では石英岩への流体の浸透速度とそれに伴う組織発達・物質移動の機構を調べるために、ピストンシリンダーを用いた高温高圧実験を行った。石英は中上部地殻の主要構成物質であり、また水への溶解度等の値が良く求まっているため、実験における素過程の考察に適している。本実験の結果は地殻における流体の移動に直接的に応用可能であると同時に、素過程を抽出することで他の系での浸透流、例えばより地表近くにおける化学物質の運搬やマントルメタソマティズムなどの理解にも役立つと期待できる。

＜実験方法＞まず緻密で組織平衡に近い石英岩を合成し、次に水を浸透させるという2段階の手続きを踏んだ。石英岩の合成は、出発物質（石英と非晶質シリカの細粒混合粉末）を、白金で内張した円筒形ニッケルカプセルに詰め、無水～含水量数wt%、温度900-1100度C、圧力約1GPa、時間5-6日の条件で行った。内部ピストンとして作用するWCを白金底部に用いることで、カプセル全体の変形を最小限に保ちつつ十分に緻密な無水石英岩を得ることができた。合成した石英岩円筒を水溜と合せて浸透対を作成し、600-900度Cで1-96時間加熱することで、水を石英岩中に浸透させた。濡れ角の効果を調べるため、3種類の流体組成（純水、6M食塩水、COH混合流体）を用いた。石英の水への溶解度勾配が浸透の駆動力の一部として働くのを避けるため、石英岩部分は水溜底部より10度C前後低温となるようにし、また多くの実験では水溜に細粒の石英粉末を少量入れ、実験開始早々に流体を石英に強制飽和させた。実験産物は浸透方向と平行に切断し、反射電子像・カソードルミネッセンスで観察した。流体の浸透は粒間における空隙の生成で確認した。

＜結果＞無水（空隙率ほぼ0）の石英岩への流体の浸透においては、実質的な浸透前線は明瞭に識別され、見かけの浸透距離はほぼ時間に比例する。浸透速度は純水・600度Cで9micron/hr、900度Cでは400micron/hrである。流体のシリカへの強制飽和が浸透速度に与える影響は小さい。一方6規定食塩水の浸透速度は純水のそれに比べて速く、CHO系流体では浸透は非常に遅い。これは、基本的に流体と鉱物の間の濡れ角の大きさが浸透速度に大きな効果を及ぼすことを示している（食塩水の濡れ角は純水よりも小さく、CHO系流体の場合は大きい）。

空隙率は浸透に伴い、浸透前線の後方で一旦上昇するが、その後岩石組織の成熟と共に、濡れ角によって決まる平衡空隙率（1%程度）まで低下する。流体が浸透した部分では、石英粒子の粗粒化が起こる。BSE輝度の結晶方位による異方性と、CLによる観察とから、粗粒化は、粒子の合体（後からの水の吐き出し）と再結晶機構によって進行することがわかる。合体は主に浸透後の早い段階に卓越し、合体した粒子内部、元の粒子の頂部にはしばしば流体包有物が形成される。溶解―再結晶は流体の浸透後継続して起こり、浸透後一定時間が経過すると、元の石英の大部分はほぼ完全に再結晶化してしまう。一粒子単位で見ても、浸透前線側での溶解と、後方側での再結晶とが起こり、各粒子は定方向配列した魚鱗型の形状を示すようになる。

＜応用・発展＞実験によって得られた流体の浸透速度と空隙率は変成作用に伴う流体の流束に制約を与える。また浸透に伴い石英が速やかに再結晶作用を起こす場合は、流体と岩石の化学平衡が鉱物表面での元素分配＋粒子内部への体拡散という過程よりも速く達成される。浸透に伴う再結晶により粒子形状が定方向配列を形成することは、天然の岩石組織から流体の移動方向を知る手がかりが得られる可能性があることを示す。さらに、初期

空隙が平衡空隙率よりも高い場合は、浸透ではなく水の分離が起こり、水溜とは反対側に向かって空隙率の低下と粒子の粗粒化が起こることが確認されている。これは圧密などの機械的な作用がなくても化学的な作用（溶解・拡散・再結晶）のみで速やかな流体の分離が起り得ることを示す。