

岩石の微細構造から見た流体の貯蔵と移動

Storage and transportation of volatile fluids studied by the microstructure of rocks

平賀 岳彦 [1], 秋月 瑞彦 [1], 西川 治 [2]

Takehiko Hiraga [1], Mizuhiko Akizuki [2], Osamu Nishikawa [3]

[1] 東北大・理・地学, [2] 東北大・理・地質

[1] Inst Mineral Petrology & Economic Geol Fac Sci, Tohoku Univ., [2] Inst. Mineral. Petrology & Economic Geol. Fac. Sci., Tohoku Univ., [3] Inst. Geol. and Pal., Tohoku Univ.

地殻深部において、流体は岩石中のどこに存在し、どこを伝ってどのように移動するのか、電子顕微鏡を用いた泥質片岩の微細構造の観察結果から考察した。粒間には、電顕下において空隙（ポイド）と認識されるナノメートルオーダーの流体包有物が存在し、その形態は流体が連結できるかにおいて重要となる。形態を特徴付ける二面角を測定したところ、それらは、これまでの室内実験結果に沿って解釈が可能である。また、鉱物種の分布にも影響されることを示すデータも得られた。

地殻深部において、流体は岩石中のどこに存在し、どこを伝ってどのように移動するのか、電子顕微鏡を用いた岩石の微細構造の観察結果から考察する。特に、本研究では粒間における流体包有物の形態に注目した。主に観察を行ったのは、四国三波川帯汗見川ルート中の緑泥石帯に属する泥質片岩であり、他にメタチャート、マイロナイトなども観察した。

これまでに、演者は、地殻を構成する主要鉱物間の粒界は構造的に非常に狭く、流体の入る余地は全く無いことを明らかにしてきた。しかし、粒間には、電顕下において空隙（ポイド）と認識されるナノメートルオーダーの流体包有物が存在する。粒間における流体包有物の形態（二面角）は、固-液間に働く界面エネルギーと固-固間に働く粒界エネルギーの大きさの比によって決定され、その濡れ角は粒子のエッジを流体が連結できるかを決定する。これまでに、二面角の値は、鉱物種、流体の組成、温度圧力条件に大きく影響されることが室内実験により分かっている。しかし、天然のサンプルの二面角が測定された研究例はない。特に、粒界エネルギーは、様々な形をとりうる粒界構造に大きく影響されるので、実際の岩石の二面角の値を知る必要がある。

観察を行った泥質片岩は、主に石英、アルバイト、緑泥石、白雲母からなり、それにカルサイトが入ってくるものも用いた。一試料で数多くの粒界の観察を行えるよう、平均粒径30ミクロンの細粒の結晶粒からなるものを電顕試料にした。試料は、イオンミリング法により作製し、JEM-2010の透過型電子顕微鏡を用いて観察を行った。鉱物の識別は電顕に装備されたEDXを用いた。また、サンプルに流体が存在しているかをフーリエ変換型顕微赤外分光法により解析し、3400cm⁻¹付近に見られる幅広い吸収帯が存在することから、主に分子状の水がポイドに存在していることが分かる。観察結果は以下のとおりである。

ポイドは、粒界・粒内の双方に観察され、粒界のポイドについては、二結晶粒の粒界面にあるもの（粒界面ポイド）、三つ以上の粒子挟まれた所に存在するもの（重点ポイド）が存在する。粒界面ポイドおよび重点ポイドは、試料内で密接に伴って分布すること、ポイド周辺で転位が濃集する傾向があること、ポイドを含む粒界が連結する傾向があることから、粒界にあるポイドはクラックのヒーリングによって形成されたと考えられる。重点ポイドは、粒界面ポイドよりも大きく観察に適しているので、二面角の測定は、重点ポイドのみに行った。まず、カルサイトを含まない泥質片岩では、石英-石英で30度から45度内に分布のピークがあり、アルバイト-アルバイトでは60度から75度内に分布のピークを持つ。それに対し、カルサイトを含むサンプル中の石英-石英では、60度から75度内にピークを持つ。これらの事実は、石英-石英はアルバイト-アルバイトに対して濡れが良く、カルサイトを含まないものは、組織の中で流体のネットワークの形成の可能性を示している。Holness (1983)の結果によると、400度から600度までは温度上昇と共に水に対する石英-石英の二面角が大きくなり、低温側（緑泥石帯の変成温度300度周辺、もしくはそれ以下の温度）では、二面角が臨界角60度を大きく切ることが予想される。Watson and Brenan (1987)は長石-長石は、石英-石英より著しく濡れが悪いことを報告している。また、Holness (1992)は、CO₂が流体に入ってくると濡れが著しく悪くなることを示しており、炭酸塩鉱物であるカルサイトが岩石に含まれると二面角が増大するのは、CO₂の影響と考えられる。このように、本観察結果は、これまでの室内実験結果に沿って解釈が可能である。また、興味深いことに、石英-アルバイトの二面角も30度から45度内に分布のピークを持つ。これは、異相粒子間の粒界エネルギーが相対的に大きいことによるものと考えられ、岩石中の長石の存在は、鉱物種の分布次第では、必ずしも濡れを悪くする方向に行かないことを示している。

観察されたポイドは、クラック起原と考えられるので、クラックを伴わない溶解沈澱による流体の岩石中への浸透は、高温側、即ち地殻深部において支配的になるのであろう。また、変成作用期をとおして粒界移動が起きているので、これが粒界に存在した流体が粒内へ取り込まれる要因になるのだらう。岩石中へ流体の侵入→粒界ポイドの形成→粒界移動→粒内ポイドの形成という過程が地質時間をとおして繰り返され、岩石中での流体の移動と貯蔵が行われていることが推測される。そして、そのプロセスは、岩石を構成する鉱物の種類、分布、

流体の組成、そして地質条件に大きく左右される。