

石英岩中の塩水の三次元分布形状：高分解能X線CT法による faceting 効果の評価

Three-dimensional microstructure of brine-bearing quartzite: Evaluation of faceting effect using high-resolution X-ray CT

中村 美千彦[1], 土山 明[2], 中野 司[3], 上杉 健太郎[4]

Michihiko Nakamura[1], Akira Tsuchiyama[2], Tsukasa Nakano[3], Kentaro Uesugi[4]

[1] 東北大・理・地球物質科学, [2] 阪大・院理・宇宙地球, [3] 産総研 地球科学情報研究部門, [4] JASRI

[1] Inst. Mineral. Petrol. Econ. Geol., Tohoku Univ., [2] Earth and Space Sci., Osaka Univ., [3] Geological Survey of Japan/AIST, [4] JASRI

<http://www.ganko.tohoku.ac.jp/touko/myhomej.html>

<背景> 岩石中における水やメルトの粒子スケールでの分布形態を知ることは、岩石の物性、流体移動の様式や速度、流体-岩石間の化学的相互作用を知る上で基本的に重要である。理想的で最も単純な多結晶体(完全に等方的な界面エネルギーを持ち粒子サイズの均一な単一鉱物からなる岩石)での流体形状は二面角から計算できるが、現実の岩石の状態を理解するためにはより複雑な条件での流体分布について知る必要がある。ところが少しでも系が複雑になると、流体形状を計算で求めるのは困難になるため、代表的な系を選んで実験を行い、半ば経験的に複雑さの効果を調べる方法がとられることが多い。

流体形状が理想形をとるという制約をはずすと、二次元断面から三次元形状を一意に決定することが困難になる。流体の三次元形状を知る方法として、1) 二次元研磨面を連続的に作成・観察して合成する方法(e.g. Bruhn et al., 2000)と、2) X線CTとがある。連続研磨法はスライス面内での分解能が高く組成情報が得られるなどの長所があるが、X線CTは、スライス方向の解像度・精度、非破壊性において非常に大きな利点を持つ。特にシンクロトロンを用いたX線CTは近年その分解能が急速に向上し、特に大型放射光施設 SPring-8 のBL47XUにおいては高圧実験産物中の数ミクロンサイズの空隙を解像できるようになって来ているので(e.g. Uesugi et al., 2001; 土山ほか, 2001) 今後岩石中における流体の三次元分布形状解析の非常に有効な手段となる可能性がある。今回我々は、高分解能X線CT法をこのような目的に用いる時の有効性や問題点を探るため、BL47XUにおいて石英岩-食塩水系の組織平衡実験産物のX線CT撮影を行った。石英岩-食塩水系では、1) 流体部分が回収した実験産物でほぼ空隙となるためX線吸収係数の十分なコントラストが得られる 2) 実験条件での二面角が60度より明確に小さいので、理想的には三次元の空隙ネットワークが観察されるべきである 3) しかし事前のSEM観察によれば石英-流体界面において結晶面の発達が見られる(faceting)ことがわかっており、流体の形状や連結度に対するfacetingの効果を見られる可能性がある などの点で本研究の目的に適している。

<実験方法> 石英岩の実験は昨年合同大会で報告した浸透法(0.8GPa, 900℃, 2時間; Nakamura & Watson, 2001)による。最初から流体と結晶粉末を混在させる方法に比べて流体が粒成長(固-固界面移動)の妨げにならないため、非常に短時間で界面エネルギー極小の流体形状を作ることができる。また過剰な流体のブルも形成されにくいいため、X線CT撮影のための試料として適している。X線CT像は線吸収係数の2次元分布(スライス像)であり、それを連続的に積み重ねることにより、物体の三次元像が得られる。本実験では10・15keVの単色X線を用い、透過像の取得には可視光変換型の高分解能2次元検出器を用いた(有効画素サイズ0.5μm×0.5μm、視野500μm×500μm)。透過像からの画像再構成には、Convolution Back Projection法を用いた。

<実験結果>

得られたCT像では、直径50μm程度の石英岩粒子の間隙に存在する10μm以下の空隙が明瞭に結像された。流体(空隙)の分率と形状はCT像を二値化することで得られる。物理的な二次元断面では、不可避的に生ずる研磨による粒子の抜け落ち(plucking)と、真の空隙とを完全に識別することは不可能であるが、CT像では適切な閾値を選べばpluckingの影響の無い空隙率が得られるはずである。閾値は完全に恣意性を排除して理論的に決定できることが理想であるが、現時点ではCT像と同一試料の研磨面の電子顕微鏡像とを比較して最も適当な値を選ぶに留まっている。このような閾値の不確定性を考慮してもなお、以下のような結論が得られた。1) 大部分の流体が、理想形状から逸脱して平面で取り囲まれた多面体状を呈する。ただしFaul et al. (1994)がカンラン石-玄武岩質メルトの系で推定しているような平板楕円体状の空隙は見られない 2) Waff & Faul (1992)が指摘したように、facetingの影響によって各流体ポケットの最小断面積は理想形状に比べて大きくなっている一方で、各ポケットは孤立しているか、または連結していても非常に細い(<1μm)ため、流体分率に対する連結度・浸透率は大きく低下することが予想される。