

多孔質岩石媒体における超臨界熱流動特性の時空間変化

Temporal and spatial dependency of permeability on super-critical fluid flow in porous rock media

磯部 博志 [1]; 竹内 晋吾 [2]

Hiroshi Isobe[1]; Shingo Takeuchi[2]

[1] 熊大院・自然科学・地球環境科学; [2] 産総研

[1] Dept. Earth. Sci., Fac. Sci., Kumamoto Univ.; [2] Geological Survey of Japan, AIST.

はじめに - 熱水流動場としての多孔質岩石組織

地殻内部に存在する流体は、多孔質媒体としての岩石組織に依存した流動特性を示す。熱水活動や火山活動に関連する流体は、多くの場合極めて高い反応性をもつ超臨界条件の熱水であり、活動的な火山体内部に普遍的に存在している。静穏な火山活動が継続している期間においては、定常的な高温噴気活動としてその存在が現れる。また、地下深部の高温岩体内部に存在する熱水は、地熱資源として利用される場合がある。

一方、爆発的な火山噴火においては、上昇するマグマからの脱ガス、減圧による揮発成分の急激な膨張が本質的な役割を持つ。さらに、外来水などが加熱されて生じる高温高压流体は、水蒸気爆発の原因となり、時に大規模な山体崩壊をも引き起こす。超臨界条件にある熱水が、多孔質媒体としての火山体構成物質との間に起こす相互作用によって、流体自身の流動特性が変化し、過剰圧が保持されるか、散逸して爆発のエネルギーが失われるかが決まる。すなわち、溶解による流路の拡大は流体の散逸が促進されることにつながり、変質生成物の析出による流路の「目詰まり」は、流動の阻害、ひいては圧力保持能力の拡大をもたらすことになる。

本報告では、特定領域研究「火山爆発のダイナミクス」の一環として整備した熱水流動反応装置を用いた実験により得られた、熱水の流動による多孔質岩石媒体としての岩石粉末組織の変化と、それによる流動特性の時空間変化について報告する。

超臨界熱水流動反応実験

実験は、流紋岩質火山ガラス粉末または雲仙火山デイサイト粉末を、全長 570mm、内径 9.7mm の SUS316 製試料パイプに充填して、出発物質としての多孔質媒体を作成した。反応温度は 400~450℃、圧力 50MPa、流量 0.1ml/min で 3 ないし 8 日間蒸留水を流通させ、熱水との反応を行なった。実験生成物は、試料パイプを切断して回収し、顕微鏡観察、XRD 解析、透気測定等を行なった。

試料パイプに粉末を充填した初期状態の空隙率は約 40% であり、50MPa での蒸留水の流動によって試料パイプ両端に発生する差圧の測定から得られる加熱前の浸透率は約 10^{12} m^2 であった。実験後の試料では、火山ガラス、デイサイトとも、試料パイプ内での位置、実験時間に対応して空隙の増加や充填物による組織変化が見られ、それに応じて流動特性に変化が現れていることが観察された。

流紋岩質火山ガラス粉末を用いた実験では、蒸留水が熱水として流入する上流部で、実験時間の進行に応じて溶脱による空隙の増加が進んでいた。試料パイプ中央部から下流部では、試料粒子が固結し、粒間に析出物が観察される。最も低温となる試料パイプ出口付近では、XRD 解析により、クリストバライト及び斜長石の存在が確認され、粘土鉱物であるカオリナイト及びイライトの存在も認められる。

雲仙デイサイト試料は、原岩が斑晶質であるため、石基部分にガラス質のマトリックス物質が存在している。実験生成物では、マトリックス物質に流紋岩質ガラス同様の水和、膨張による組織変化が認められる。しかし、斑晶鉱物に溶解の痕跡は見られず、析出物による充填も明瞭ではない。

試料パイプの上流、中流、下流部からそれぞれ高さ約 1cm の部分を切りだし、ガス流による精密透気測定を行った。反応実験後の試料はすべて良く固結しており、実験前に粉末試料を試料パイプに充填した状態よりもおよそ 3 桁以上小さな浸透率を示す。試料上流部では実験期間が伸びるに連れ、透気性が上昇していく。一方、試料下流部では、上流部に比べ一桁またはそれ以上透気性が低下する。この結果は、試料組織の変化と対応して、熱水流動の上流部での反応初期における浸透率の上昇と、下流部での低下が起きていることを示している。当初含水率の小さな火山ガラスは、超臨界条件の高圧水と接触することにより容易に水和する。実験で用いた流体は蒸留水であり、初期状態では溶存成分を含まない。試料パイプ上流部で蒸留水は火山ガラスを溶解し、溶存成分濃度が高くなった流体は、水和したガラス粒子の粒間に析出物をもたらす、浸透率を非常に低下させる。

火山体内部においても、短時間での流動特性変化にはガラス質物質の存在が大きな役割を果たしている可能性がある。ガラス質物質の存在量が大きければ、超臨界熱水中の溶存成分濃度が短時間で上昇し、流動の進行に伴う析出部により下流部では浸透率が低下する。その結果として、一定体積の熱水が蓄積される領域が形成される可能性があることが考えられる。