

地質媒体におけるナノポアでのイオンの拡散の遅延効果

Delay effect of ionic diffusivity in nanopores of geomaterials

広野 哲朗[1], 中嶋 悟[2]

Tetsuro Hirono[1], Satoru Nakashima[2]

[1] 東工大・理工・理学流動機構, [2] 東工大・理工・流動機構(地惑)

[1] Interactive Research Center for Sci., TIT, [2] Interactive Research Center, Tokyo Inst. Technol.

岩石圏を中心とした地球における物質大循環を定量的に評価する上で、地質媒体における物質移動特性の多様性や異方性を評価することが不可欠である。堆積岩や変成岩の間隙の幾何学的特徴や断層などの存在は、岩石内部の流体や元素の移動速度に大きく影響を与えると考えられる。日本のような変動帯地質岩体での物質移動は、未変形な岩石中と断層等が発達した変形した岩石中での移動に大きく区分することができ、未変形な岩石では、岩種のもつ間隙の幾何学的特徴による物質移動特性の差が大きい。よって、未変形な岩石では、移動特性と間隙の幾何学的特徴の関係を調べるのが本質的と言える。そこで、間隙の特徴をより直接的に反映していると考えられる拡散係数の測定を行い、間隙孔径分布等との比較検討を行った。

多孔質媒体における非吸着性のイオンの拡散係数と間隙の特徴との関係は以下の式で表される。

$$De = P \times Df / T^2$$

Pは間隙率、Tは間隙の屈曲度、Dfは自由水中のイオンの拡散係数である。数種の岩種(火山灰を含む粘土、遠洋性粘土、チャート、石灰岩、玄武岩、砂岩)の未変形な試料において、透過拡散法によるヨウ素イオンの実効拡散係数の実測を行った結果、未変形な試料での実効拡散係数は間隙率が低いほど小さい値を示す。これは拡散経路の屈曲の度合いが間隙率の減少に伴い増加することに一次的に起因し、それらの関係は以下の式で示される。

$$= 1.1 / P^{0.9}$$

さらにこの関係式に基づき、実効拡散係数は間隙率のべき乗則によって以下のように大まかに示される。

$$De = 0.83 \times P^{2.8} \times Df$$

しかし、約100nm径以下の間隙(ナノポア)を多く持つ試料では実効拡散係数が相対的に低く、このべき乗則から外れる。ナノポア中の水の分子構造が自由水中のそれとは異なるという赤外分光測定による最新の知見を考慮すると、ナノポア中のDfが自由水中の拡散係数の値と異なることに起因すると予想される。そこで、先述の間隙率と屈曲度の関係式をナノポアを含まない試料だけで構築させ、その関係式をナノポアをもつ試料にも成り立つと仮定し、ナノポア中でのDfの値を求めた結果、 $1.38 \times 10^{-10} \sim 2.78 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ となり、自由水中のそれより1桁低い値を示す。これは、鉱物壁に制約された空間(薄膜)では、水分子の水素結合距離が自由水中のそれより短く、より密な分子構造を持ち、そこにおけるイオンの拡散は阻害され、相対的に低い実効拡散係数を示すと考えられる。