

岩石 - 水反応における同位体交換と化学輸送機構

Isotope exchange and chemical transport mechanism of water-rock interaction

中村 美千彦[1], 坎本 尚義[2], E. Bruce Watson[3]

Michihiko Nakamura[1], Hisayoshi Yurimoto[2], E. Bruce Watson[3]

[1] 東北大・理・地球物質科学, [2] 東工大・院理工・地惑, [3] E&ES, RPI

[1] Inst. Mineral. Petrol. Econ. Geol., Tohoku Univ., [2] Earth & Planet. Sci., TiTech, [3] E&ES, RPI

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

<はじめに> 水を主成分とする流体は、地球内部において熱や化学物質を運搬し、岩石の機械的性質に大きな影響を与えるため、流体の移動と岩石との相互作用を解明することはメタソマティズム・変成作用・熱水活動・鉱化作用・地震発生などの諸現象を理解する上で中心的課題である。酸素は流体と岩石双方の主要な構成元素であり、その同位体組成は古くから流体の移動を追跡する有効な手段として用いられてきた。しかし、温度圧力履歴が比較的正確に求められた岩相境界(花崗岩-metasediment など)を挟む酸素同位体組成のプロファイルから求められた、岩石中の巨視的な拡散速度は、粒界および結晶内の拡散係数の室内実験値に基づく見積りに比べて5桁以上も大きいことが知られており(Farver & Yund, 1999, J. Metamor. Geol.), これまでに認識されている素過程だけでは天然の同位体交換を十分に説明できない。流体と岩石との主要な同位体交換機構としては、1) 構成鉱物粒子の表面平衡と鉱物内部への拡散 2) 流体への溶解とそこから析出 の二つが考えられてきた。今回我々は、下部地殻条件下で合成石英岩への 18O-水の浸透実験を行い、粒界拡散と粒界移動という第三の機構によって、石英結晶内部の酸素同位体交換が非常に効率的に進むことを見出した。

<実験> 浸透実験では、予め合成した石英岩(18O=0.2%)と水(18O=96%)のリザーバーを貼り合わせ、ピストンシリンダー型装置を用いて0.7GPaまで加圧、823℃まで昇温・8時間保持し、界面エネルギーの減少を駆動力とした浸透を起こさせた(Nakamura & Watson, 2001, Geofluids)。実験産物は切断・研磨し、カソードルミネッセンス(CL)観察を行い、さらに東工大グループが新たに開発したSCAPSを用いた同位体顕微鏡(Kunihiro et al., 2001, LPS-XXXII)により酸素同位体組成の半定量面分析および定量点分析を行った。浸透は粒子稜部の溶解による流体ネットワーク形成と、シリカの運搬・再沈殿によって進行することが空隙の形成と水溜り内の石英の成長により確認された。また流体の浸透により石英岩の粒成長が促進され、約10ミクロンの初期平均粒径はおよそ2.5倍になった。

<結果・考察> 石英岩内部の石英結晶の酸素同位体組成は、格子拡散から予想されるよりもはるかに迅速に18Oに富んでいることがわかった。粒界から片側約5ミクロン幅の酸素同位体組成は、水のリザーバーとの界面から100ミクロンの位置では37%、270ミクロンの位置では8%に達する(実験条件下での石英結晶内の特徴的な拡散距離は1ミクロンに満たない)。また、浸透部分の空隙率は高々4%であり、かつ実験条件下での二面角が60°に近いために、系の接触率(contiguity: 全界面に対する固相-固相界面の割合)は非常に高いことを考えると、粒子の稜部分における溶解・析出機構では高18O部分のごく一部しか説明できない。以下に述べるような同位体分布の特徴を考えると、このように迅速な同位体交換は、粒界拡散によって18Oに富んだ粒界が移動してゆくことによって進行すると考えられる。すなわち、1) 18O濃度は界面の凸側で高く凹側でしばしば急激に低下する 2) 大曲率界面の凸側で高18O部分が厚く、小曲率界面では薄い傾向がある 3) 高18O部分は粒成長した大きい粒子の周縁部で高い。また、出発物質に不均質に含まれていたMnをactivatorとするCLの高輝度部分の分布は、18O-richな部分の分布と非常に良い一致を示し、浸透流による微量元素の(空隙率変化を伴わない)平衡化過程にも、粒界移動が主要な役割を果たす可能性が見出された。粒成長速度は界面曲率の低下(粒子サイズの増大)とともに急速に低下するが、1mm程度の粗粒石英岩に対して粒成長則に基づき粒界移動速度を外挿してみると、実験と同じ温度圧力条件下ではなお粒界移動の方が結晶内の拡散よりも1000倍程度効果的であることがわかる。相互連結したネットワーク構造を作りやすいケイ酸塩やカーボナタイトメルトの部分溶融岩石では、融解の開始(メルトの発生)とともに粒成長が促進される可能性が大きく、それらの系における粒界移動速度は浸透流における同位体・微量元素分配を定量化する上で元素拡散と同様に基本的で重要な(且つ、ほとんどデータの存在しない)パラメーターである可能性がある。たとえば、粒成長の速い相に多く分配される元素は見かけ上拡散係数が大きいような振る舞いをするものが予測される。