

地下環境学への誘い

自然に学ぶ知恵と技

地層処分において、地下環境は長期に渡って私たちの生活環境から隔離する重要なバリアの役割を果たしています。その役割を「cocoon」(繭のような)という表現で前回は紹介しました。第五回では、この「繭」の中に隔離されている放射性廃棄物から、放射性元素が漏れ出る可能性について解説したいと思います。

地下環境は、岩石と地下水から構成されることを前回までに述べてきました。この地下環境中に埋設された処分場から、放射性廃棄物が漏れ出てくるには、なんらかの原因で地下水に溶け込み、その地下水が周辺の岩石中に移動しなければなりません。したがって、地下水が動くためには、動かすエネルギー

地層処分と地下水

― 水みちを知る (地下研究所の役割) ―

ギーと地下水の移動する「水みち(隙間)」を知ることが重要です。つまり、地下水の動きと、岩石中のどこを地下水が流れるのかを理解することが必要になります。

〈導水勾配・地下水を動かすエネルギー〉

地表の水は、傾きがあれば必ず低い方に流れていきます。川の水が流れるのは、傾きがあるからです。湖のように傾きのない場所では、水は留まったままとなり、流れはなくなります。この仕組みは、基本的に地下水でも同じです。雨として山地に降った雨の一部は、地下の岩石中に浸透していきます。浸透した雨水は地下水となり、標高のある山地から

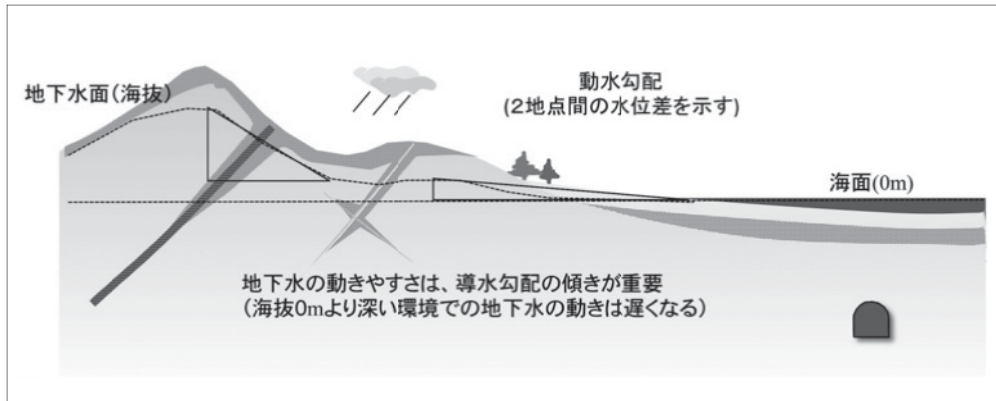
第5回

◎名古屋大学博物館教授(環境地質学)
同大学院環境学研究科教授兼任

吉田 英一 氏

1986年名古屋大学大学院理学研究科博士課程(前期課程)地球科学専攻修了。核燃料サイクル開発機構(現日本原子力研究開発機構)主任研究員を経て、2000年名古屋大学博物館助教授、2010年～2014年同博物館館長。2013年より総合資源エネルギー調査会地層処分技術ワーキンググループ委員を務める。

図 1



●地下における地下水の流れの位置エネルギー（導水勾配）の概念図

ます。
導水勾配による位置エネルギーを有

した地下深部の地下水は、岩石の中を流れようとします。しかし、緻密な岩石の中を流れるためには「隙間」が必要となります。地下岩盤を構成する岩石（火成岩、堆積岩、変成岩など…第四回参照）は、一般的に非常に緻密で、隙間も小さく、水が流れるのは容易ではありません。

しかし、これらの硬い岩石中には、岩石の形成過程などで生じた大小の割れ目が少なからず存在します。多くの場合、この割れ目が「水みち」となります。その長さは数メートルから、長いものでは数十メートルに達する場合もあります。それらが交差しあつて、より長い水みちを作ることになります。また、水みちとなる割れ目の密集するものが断層周辺です。断層は、岩石の破壊によって生じる地層や岩盤中のズレです。その動きによって、岩石中には多くの割れ目が形成されます。

これらの水みちとして機能する割れ目や断層は、地下環境の「繭」としてのバリア機能を乱す要素と考えられるものです。したがって、これらの「割

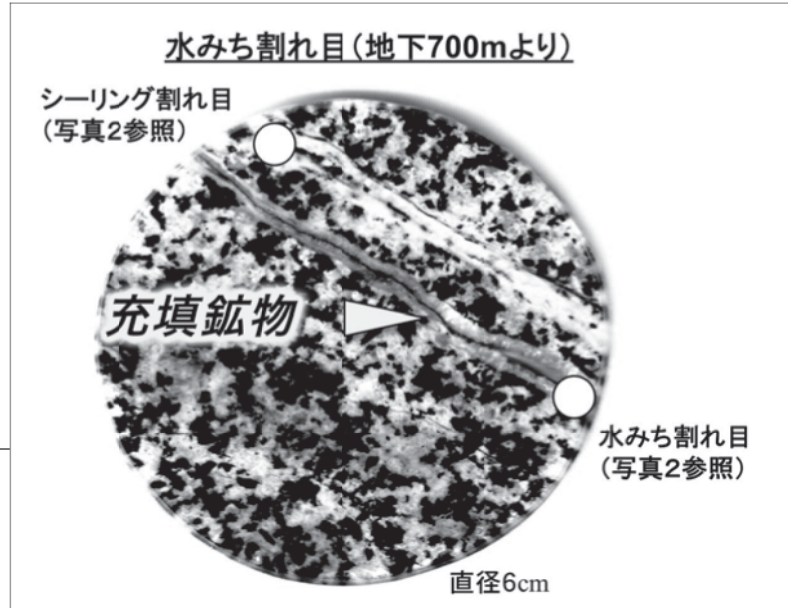
れ目」や「断層」が、放射性元素を溶かし込んだ地下水の「水みち」として、地下でどのような状態にあるのかを正確に理解することが重要です。

〈水みちを知る…地下研究所の役割〉

地下の水みちを調べるにはどうしたらいいのでしょうか。岩石は地表にも露出しています。そこにも割れ目や断層を見ることが出来ます。地表の状態を調べることで、地下の状態を推測することは出来ますが、一般に地表は風化による影響を受けており、地下の水みちの姿を正しく知ることには困難を伴います。地下での様子を調べるには、やはり地下に直接入ってつぶさに観察し、調査することが一番です。

この目的で設けられた研究施設が地下研究所です。日本では、現在、北海道幌延町と岐阜県瑞浪市の二か所にあります（希望により見学可能）。ここでは、この場所を処分場にするための研究ではなく、地下環境中の地下水や水みちに関する基礎研究が行なわれています。また、それ以外にも、岩手県

写真1



●地下700mより採取した火成岩中の水みち割れ目

釜石市の鉄鉱石鉱山跡の地下坑道を用いて調査を行なったこともあります。いずれの場合でも、地下で直接、割れ目や断層を調査し、水みちとしての特徴を把握し、その調査手法を準備するなど、将来に向けた技術開発と技術の継承を目的とした地下研究です。

し露出する際に受けた力でできたものです。割れ目ができる、必ずそこには隙間が生じ、地下水が浸透します。そうすると、地下水と割れ目周辺の鉱物との反応で、割れ目の隙間には充填鉱物が成長していきます。その充填鉱物は、時間とともに成長していき、隙

その研究成果の一つとして、火成岩中の水みち（割れ目）を紹介したいと思います。写真1で示すのは、地下約七〇〇メートルの花崗岩中から採取した水みちとして機能していた割れ目部分です。花崗岩は、地下深部でマグマが冷えてできた岩石で、結晶質の鉱物の集合体で非常に緻密な岩石です。この割れ目は、マグマが冷えて岩石になった後、地表に隆起

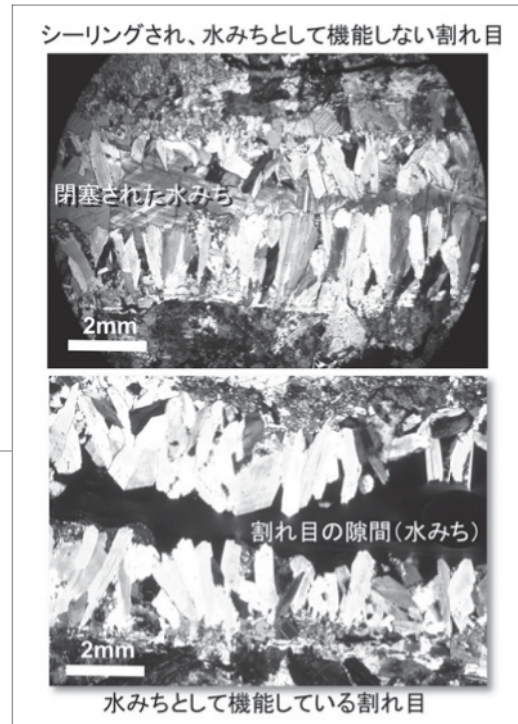
間が閉塞（シーリング）されるものも出てきます。このシーリングする鉱物の中でも、とくに普遍的に水みちの隙間を閉塞する天然鉱物として、方解石（ CaCO_3 ）が重要であることが分かっています（写真2）。

水みちのシーリング現象

このような、自然のメカニズムによるシーリングプロセスは、地層処分という長期的な方法を考える上では非常に重要であり、「罅」としての働きを維持させるためにも積極的に応用すべき現象だと言えます。

水みちのシーリング現象は、地下で観察される割れ目のほとんどで確認することができます。また、地下で直接行なった研究から、花崗岩中の割れ目の約九割が、充填鉱物によってシーリングされているという報告もあります。つまり、地下内部では、割れ目の全てが水みちとして機能しているわけではないことを示しています。また、充填鉱物は、この割れ目がどのように

写真2



●水みち割れ目を充填する鉱物のシーリング状態

生じ、そして、どのようにシーリングされてきたのかといった変遷を知ることにも役立ちます。地表に露出した岩石の割れ目では、これらの充填鉱物が風化で溶けてしまい、詳細な水みちと充填鉱物の関係を推し量ることに困難を伴いますが、地下であれば水みちの状態を正確に知ることができるのです。

断層の水みちの性状を理解することは、割れ目より難しい課題です。断層では、岩石のズレによって細かく砕かれた鉱物で充填されている割れ目や、

そうでない
大小の割れ
目が複雑に
交差し、水
みちを形成
します。こ
の複雑さに
よって、断
層は水みち
になる場合
もあれば、
細かく砕か
れた充填物によるシーリングで、地下
水の動きを堰き止めるバリアとしての
働きをなす場合もあります。

例えば、ベトナムの世界有数の規模を誇る油田（バクホー油田）の油は、地下深い花崗岩中の断層周辺の割れ目帯の割れ目（隙間）に溜まっていることが確認されています。このような自然の事例は、断層は水みちとして機能する場合もあれば、バリアとして機能する場合もあることを示しています。今後、さらに断層の水みちの知見を蓄積していかなければなりません。

●

将来の地層処分場では、これらの水みちとなる割れ目や断層の分布、性状を地表から段階的かつ慎重に調査することになります。そのときに、闇雲に調査をするのではなく、地下研究所などで培った技術と知見を応用することが重要です。

地下環境に、いくら「繭」としての機能が備わっていても、人間が入り、地下深部に数十キロ以上に及ぶトンネルやボーリングなどを行なって、穴を開ける以上、「繭」としての機能が乱されることは必須です。ですが、その度合いを最小限に留め、基本的な「繭」の働きを維持させたままで、最終的に処分場を埋め戻し、閉鎖させることが重要です。そのためにも、事前の練習と技術の整備、そしてそれらを理解できる人材の育成を含めて、地下研究所での経験は不可欠だと言えます。

次回は、連載の最終回として、地下環境に関する技術の現状と「自然に学ぶ」シーリングプロセスなど、その可能性について紹介したいと思います。