

■ 地下水流動調査手法

農村総合研究部 地球温暖化対策研究チーム 主任研究員 土原健雄

地下水の流れを支配する要素が学問的に定義されたのは 1940 年頃で、地下水の流れの研究に放射性同位体が利用されるようになったのは 1960 年以降です。放射性同位体を利用した地下水流動調査手法は、微量分析技術の著しい進歩とともに発展してきました。今では、数万～数十万年前までの地下水の年代を測定することも可能です。

ただし、我が国のように国土が急峻で流域が小さく、降水量が多く、地下水流動が早い場合には、滞留時間の短い地下水の解析が重要です。このため、農工研では、寿命の短いラドン 222 に注目し、水循環解析への応用を独自に進めてきました。前掲の農工研ニュースにおいて、ラドン 222 の活用事例を示したので、ここでは、その他の地下水トレーサーを使用した私たちの研究調査事例をご紹介します。

<用語説明>

【放射性同位体】

同じ元素で中性子の数が違う核種の間を同位体と呼ぶ。同位体は安定なものや不安定なものがあり、不安定なものは時間とともに放射性崩壊して放射線を発する。これが放射性同位体である。（出典：ウィキペディアフリー百科事典）

<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E6%94%BE%E5%B0%84%E6%80%A7%E5%90%8C%E4%BD%8D%E4%BD%93>

【半減期】

放射性核種は、自然に放射線を出して壊れていく（放射性崩壊と言う）。この現象で放射性核種の量（放射能の強さ）が元の半分になるまでの時間を半減期と言う。

たとえば、天然に存在するカリウム-40 は、放射能が半分になるまでの時間は 12 億 8 千万年、また人工放射能のコバルト-60 は、5.27 年というように、放射性核種には、固有の長さがある。半減期の 1 倍、2 倍、・・・10 倍の時間が経過すると放射能の強さは、それぞれ最初の量の $1/2$, $1/4$, $1/8$, $1/16$, $1/32$, $1/64$, ... $1/1024$ と指数関数的に減少する。

（出典：webl.io 辞書、<http://www.webl.io.jp/content/%E5%8D%8A%E6%B8%9B%E6%9C%9F>）



釧路湿原をゆっくりと
流れるチルワツナイ川

● 河川水基底流の安定同位体比を用いた湿原湧水の影響圏調査法
～釧路湿原の水はどこからくるのか～

釧路湿原は北海道東部にあり（図 1）、後背地に広大な農業・農村地域を抱える日本最大の湿原です。湿原内には多くの河床・河畔湧水（図 2）が分布し、豊かな生態系が形成されています。しかしながら、これら湧水を形成する地下水がどの位置で、どの時期に涵養されたのかについては不明でした。

そこで私たちは、先ず、酸素・水素安定同位体比に注目しました。酸素・水素安定同位体は大気中に水分子として存在し、降水のプロセスにおいて、重い同位体から順次分離されて地上に落下します。そのため、雨雲が湿原から背後の山に向かって移動すると、酸素・水素安定同位体比は標高に強い相関をもって分布することになります。これら安定同位体比は、大気中では大きく変化しますが、地下水中では変化しにくく保存されるという特性をもっているため、水循環・地下水流動のトレーサーとして使用されています。

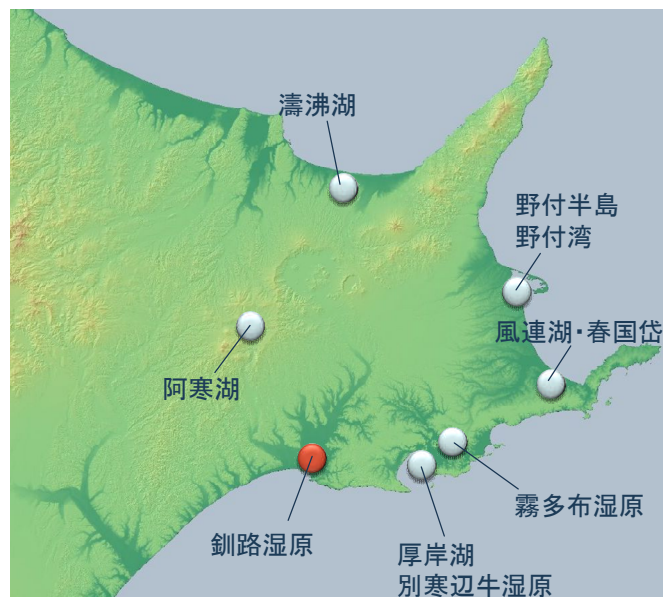


図 1：釧路湿原位置図



噴砂丘型湧水

噴火口型湧水

地山湧水

図 2：河床・河畔湧水および地山湧水（白い輪は湧水の範囲を表す）

湿原の中央を流れるチルワツナイ川（図 3）は同位体的に重い水（同位体比が大）であるのに対し、河床・河畔湧水は軽い水（同位体比が小）でした。これは、山に降った同位体的に軽い水が地下水となって湿原で湧出していることを意味しています。そのため、同位体比と標高の相関式から、湧水の涵養域は標高約 300m 付近と断定しました（図 4、6）。

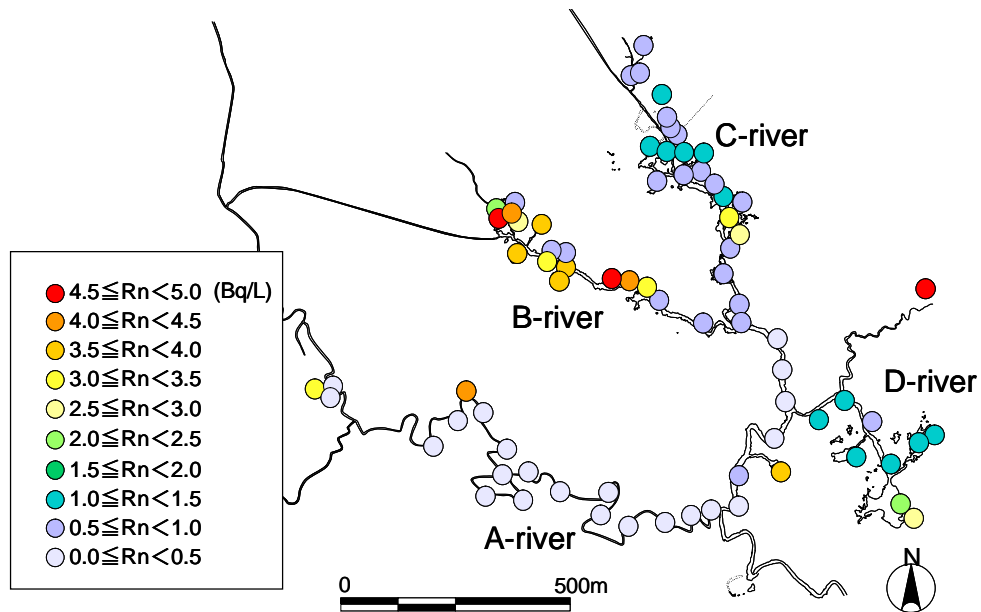


図 3：チルワツナイ川のラドン濃度分布

（地下水ラドン濃度は地層粒子から生成されるラドンの供給により上昇し、3 週間でほぼ平衡状態に達するが、地上に表出してラドンの供給が絶たれると、ラドン濃度は半減期約 3.8 日の速度で低下していく。すなわち、ラドンの高濃度測定地点が地下水湧出場所と見なせる。）

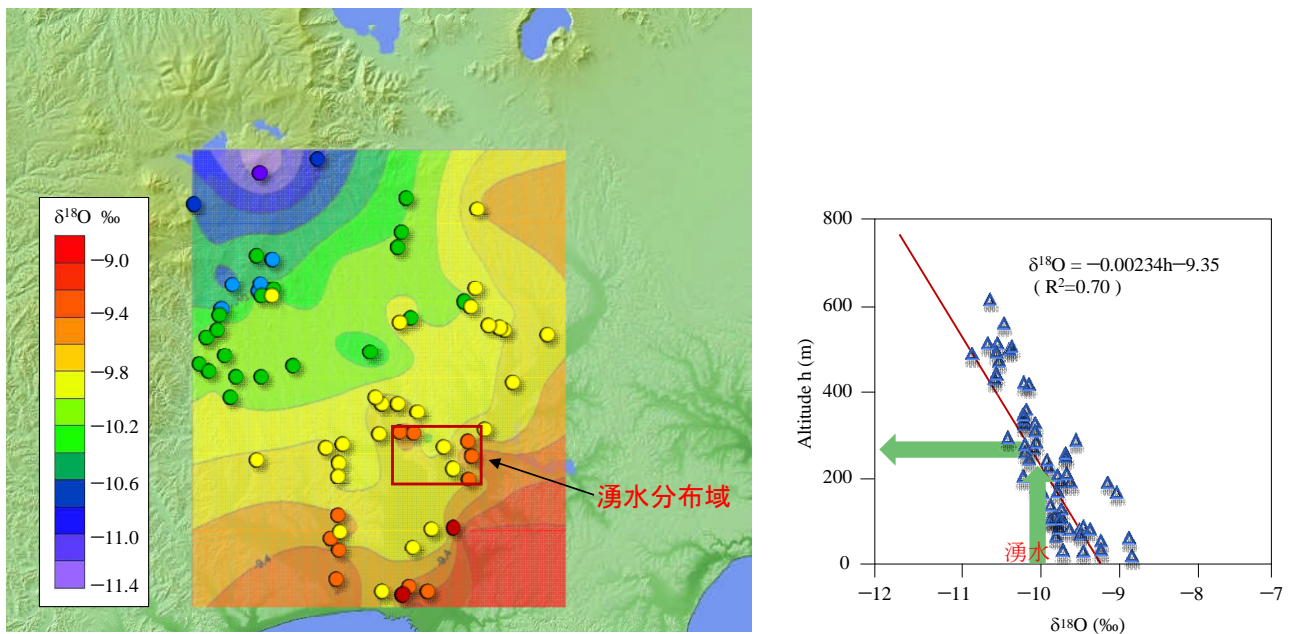


図 4：流域内の河川基底流の酸素安定同位体比分布と標高との関係

次に私たちは、この湧水の年齢測定に挑みました。トレーサーには、時間とともに崩壊する（時間とともに濃度が変化する）放射性同位体が向いています。ただし、ラドン-222の半減期 3.8 日では短すぎ、炭素 14 では半減期が 5730 年と長すぎるので、半減期が約 12 年のトリチウムを利用することにしました。

トリチウムは大気中で宇宙線などによって生成され、天然にごく微量しか存在しません。しかしながら、米ソが行った核実験の影響で、1950 年代後半から 1960 年代の大気トリチウム濃度が高くなりました。その後は、核実験の減少でトリチウム濃度も減少を続け、今ではそれ以前の状態に戻りつつあります（図 5）。

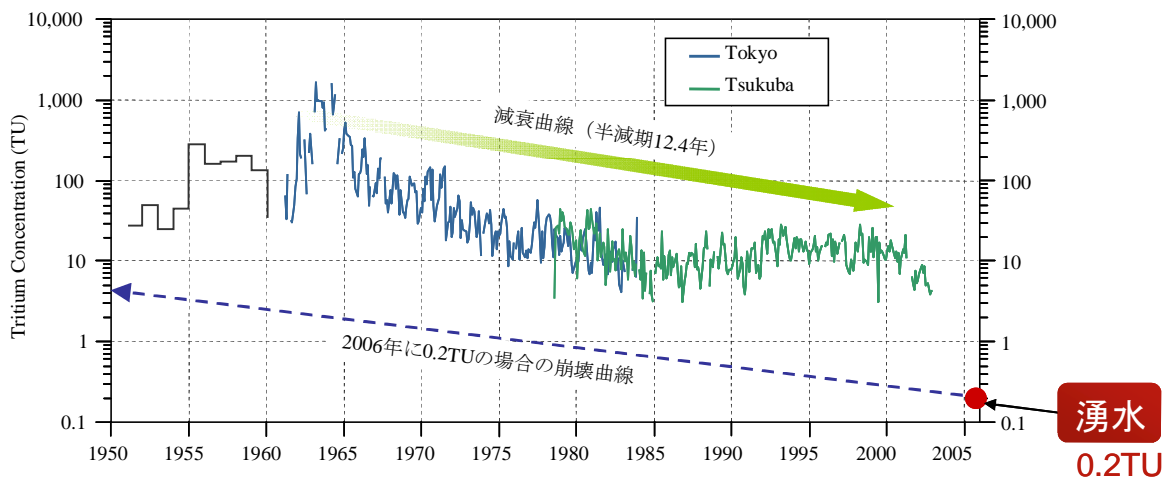


図 5：降水中のトリチウム濃度の変化と湧水の崩壊曲線

(地下水のトリチウム濃度は、約 12 年後で 50%、約 24 年後で 25%、約 36 年後で 12.5%等々と崩壊していく)

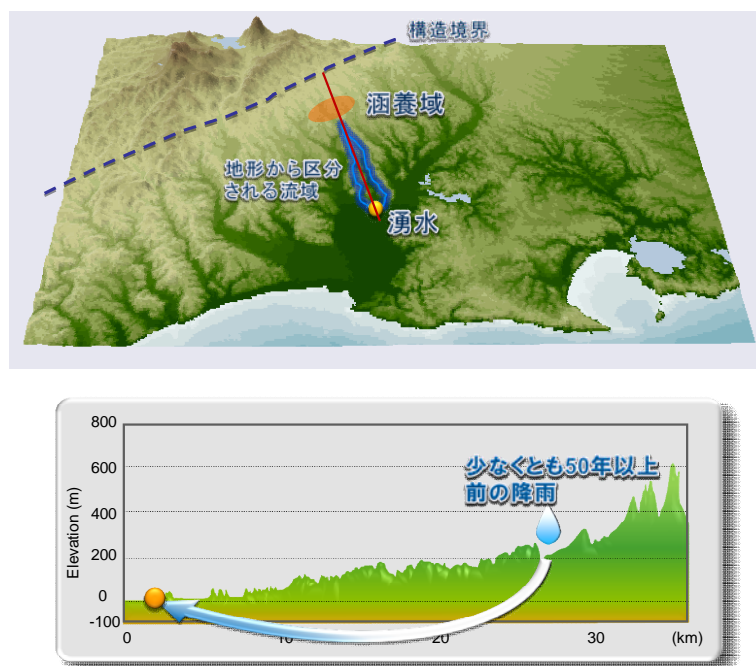


図 6：50 年以上前の降水が起源と推定された湧水の涵養域と広域地下水流動系

トリチウムは水素の同位体であるため、酸素と結合して水分子となり、雨水として地上に落下し、地下に浸透して地下水になります。地下水中では、大気中からトリチウムの供給が無くなるので、地下水に取り込まれたトリチウムは徐々に崩壊し、その量（濃度）は時間とともに減少していきます。湧水が示す極低濃度のトリチウムの崩壊曲線は、1960年代の降水中の濃度ピークとは交差しないことから（図5）、湧水を形成する地下水は1960年代よりも前に涵養された水、つまり50年以上前の降水が地下に浸透して湧出していると推定しました（図6）。

以上のような調査結果から、釧路湿原内に分布する湧水は、局所的な流動を越えた広域的な地下水の流れの中で形成されており、これら湧水を保全していくためには、上流の農業・農村地域までを考慮に入れた統合的な流域管理を行う必要があるとまとめました。

★地下トレーサーを利用した地下水流動調査手法の概要をご理解いただけただけでしょうか。今回紹介した事例以外にも、この調査手法には様々な活用・応用場面があります。さらに詳細を知りたい方や本調査手法を現場で試してみたい使ってみたいと思われた方は、お気軽にご相談下さい。

【参考文献】

(1) 土原健雄、井伊博行、石田 聡、今泉眞之 (2006) : 水素・酸素安定同位体比及びトリチウム濃度を指標とした釧路湿原内湧水の涵養域推定、農業土木学会論文集、245、 pp. 73- 83.

(2) 石田 聡、原 郁男、土原建雄、今泉眞之 (2004) : 排水トンネル施工による地すべり地の地下水の挙動、農工研技報 202、pp. 91- 100.

<http://nkk.naro.affrc.go.jp/library/publication/seika/giho/202/202-8.pdf>

(3) 濱田浩正、今泉眞之、小前隆美 (1997) : ラドン濃度を指標とした地下水調査・解析法、農工研所報 36、pp. 17- 50.

<http://rms1.agsearch.agropedia.affrc.go.jp/contents/JASI/pdf/JASI/56-0182.pdf>



地下水湧水域を一望



地下水が湧出する河川と釧路湿原