

トリチウムを用いた地下水年代の推定

1. トリチウムの特徴

トリチウム($^3\text{H}=\text{T}$)は、水分子を構成する半減期12.43年の水素の放射性同位体である。天然におけるトリチウムは、トリチウム水(HTO)の形で存在し、上空から降水によってもたらされる。一旦地中へ浸透した後は他の物質と反応せず、水とともに移動し、半減期にしたがってその濃度を一方的に減少させる特徴をもつため、地下水の涵養年代を推定する上で理想的なトレーサーとなっている。

天然におけるトリチウム(T)は、大気上層部で宇宙線と窒素原子との衝突破砕反応によって生成され、すぐに酸化されて HTO となり、降水とともに地上にフールアウトする。そうして作られた天然トリチウムの降水中の濃度は、日本付近では5 TU前後である。水文学で使用されるトリチウム濃度の単位はTU(Tritium unit)で、天然レベルの5 TUは水素原子(H) 10^{18} 個にトリチウム原子(T)が5個含まれていることを意味する。

一方、1952年以降に開始された大気内水爆実験によって大量の人工トリチウムが大気圏内に放出された。その結果、降水中のトリチウム濃度は著しく上昇し、1963年のピーク時には、日本国内でも約1000 TU(天然レベルの約200倍)に達した(図 1)。その後、降水中の濃度は指数関数的に減少し、1990年代後半以降ではほぼ天然レベルまで回復してきている。

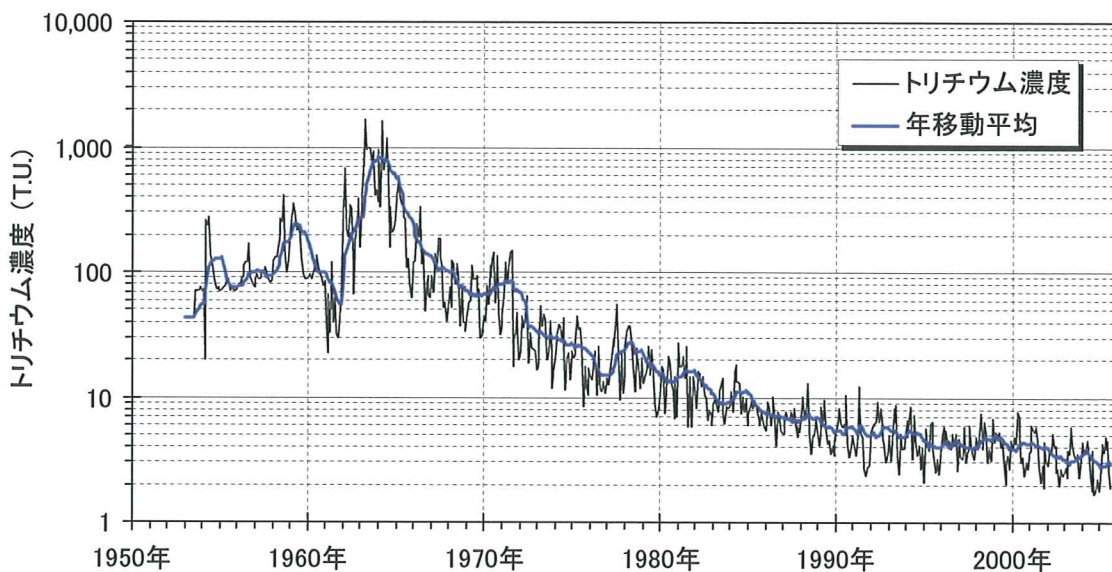


図 1. 東京の降水のトリチウム濃度の時間変動

2. 地下水涵養年代の推定方法

トリチウムによる涵養年代の推定は、トリチウムの半減期(12.4年)と図 1に示した水爆実験に由来する降水のトリチウム濃度の変動特性に基づいている。

水爆実験が開始される以前の天然レベルの降水のトリチウム濃度は約5 TUである。ここで水爆実験の始まる直前の1952年の降水を5.0TUとすると、その濃度は12.4年の半減期にしたがって1960年には2.5 TU、1970年には1.8TU、1980年には1.1TU、1990年には0.6TU、2000年には0.3TU、そして2007年には0.2 TUに減衰する(計算式は(1)式を参照)。したがって、2007年時点で0.2 TUより高い濃度が測定されれば、その水には1952年の核実験開始以降の新しい年代の降水が含まれていることになる。また逆に、0.2 TUより低ければ、その水は核実験開始以前の降水によって涵養されている明確な証拠になる。現在のトリチウム分析法(電解濃縮-低バックグラウンドシンチレーションカウンタ法)の一般的な検出限界は0.2~0.3 TU程度であるので、トリチウムが検出されるかどうかでその水が核実験以前の降水によって涵養された循環性の低い地下水であるか、それとも核実験開始以降の比較的近年の降水によって涵養された循環性の高い地下水であるか判断することができる。

このように、トリチウムが検出できるか否かで地下水の主な涵養年代が核実験以前(Pre-bomb)か核実験以降(Post-bomb)であるか判断できる所が、トリチウムによる地下水涵養年代推定手法の最大の長所である。

$$\frac{C}{C_0} = \exp(-\lambda \cdot t) = \exp\left(-t \cdot \frac{\ln 2}{T_{1/2}}\right) \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 C_0 :初期濃度、 C :試料(現在)の濃度
 λ :崩変定数、 t :経過時間
 $\ln 2$:約0.693、 $T_{1/2}$:半減期(約12.4年)

トリチウムが検出されて、核実験開始以降(1952年)以降に涵養されたと判断された地下水については、含まれているトリチウム濃度の大小をみることによって、大まかな涵養年代の推定が可能である。図 1から読み取られるように、核実験のピーク以降(1963年~2007年)の降水のトリチウム濃度は概ね年代が古いほど高くなっている。したがって、トリチウム濃度が高い地下水ほど相対的に古い年代の降水が多く含まれており、滞留時間が長いと解釈される。

トリチウム濃度から地下水年代値を算出するためには、地層中における水の流動経路と混合過程について何らかのモデル化が必要である。モデルには様々な種類があるが、閉鎖系での未混合を前提としたピストン流モデルや系内での瞬間混合を仮定した完全混合モデル(指数関数モデル)などのシンプルなモデルが良く使用される。