

厚い風化層を持つ森林小流域における基底流出水の平均滞留時間の推定

Mean residence time estimation of baseflow in a small forested catchment with a thick weathered layer

壁谷 直記[1]; 清水 晃[1]; 坪山 良夫[2]; 久保田 多余子[1]; 延廣 竜彦[1]

Naoki Kabeya[1]; Akira Shimizu[1]; Yoshio Tsuboyama[2]; Tayoko Kubota[1]; Tatsuhiko Nobuhiro[1]

[1] 森林総研・水保全; [2] 森林総研・水資源

[1] Forest Hydrology Lab., FFPRI; [2] Water Resources T., FFPRI

近年、基岩内に浸透した地下水が、湧水や渓流水の水質形成に大きな影響を与えていることが指摘されている。斜面に侵入した雨水の一部は基岩内に深部浸透し、山体内部の地下水を涵養する。一般的に、この地下水は徐々に溪流に流出し、ハイドログラフの基底流出成分を形成していると考えられている。しかし、地下水がどのような経路を通過して湧水点や溪流まで到達しているのか、またそれらのどのくらいの滞留時間をもっているのかということは、未だ十分に理解されているとは言えない。水の平均滞留時間は、岩と水との接触時間など、化学反応が進むための条件に影響を与えることから、流域内部での風化過程を明らかにするためにも重要な指標となる。また、渓流水の平均滞留時間は、汚染物質の混入、土地利用の変化などに対する流域スケールの応答が、どの程度の時間差をおいて顕在化するを予測するために必要不可欠な情報である。本研究では、風化基岩内部の地下水の動態を明らかにするために、厚い風化層を持つ森林小流域において、降水から地下水、湧水、基底流出水までの一連の水文過程に沿った水の安定同位体比の季節変動を調べた。

調査は、茨城県筑波山系南部に位置する筑波森林水文試験地（36°20'N、140°18'E）で行った。流域面積は3.786ha、斜面方位はN、標高は量水堰堤設置地点で290m、流域最高点で390m、平均傾斜は25°である。流路は流域内の3箇所の湧水点に発し、利根川水系恋瀬川の支流となる。流域地質は、筑波変成岩類の黒雲母片麻岩が大部分を占め、花崗岩質の岩脈が局所的に認められる。基岩の風化物は砂質であり、粘土画分に乏しい。当流域の地盤構造に関してボーリング調査および表面波探査の結果によると、地表面から表土・ローム層の底面までの深さは平均で2m前後である。この下に強風化、弱風化、更に未風化と風化強度の異なる基岩が厚く堆積している。地下水は6地点のボーリング孔内から採取した。降水は1地点で、直径21cmのロートを付けた10Lのポリボトルを採取日のつど交換して採取した。流出水は1地点、湧水は3地点で、それぞれ気密性の高い20ccねじ口ガラス瓶に直接汲み取った。なお、溪流流出水のサンプリングは、いずれも無降雨日でハイドログラフの基底流出時に行ったために、より明確な定義を与えるために基底流出水とした。

雨水をインプット、基底流出水をアウトプットとし、これらのd値の変動をもとに、3つの応答関数を用いて平均滞留時間(T)を推定した。応答関数とは、ある時点のアウトプットが、それ以前のインプットがどのような重み付けで混ざり合っているのかを表す関数で、今回は、exponential model(EM)、exponential piston model(EPM)、dispersion model(DM)を用いた。各応答関数の特徴を、簡便に述べると以下のようである。EM:完全混合モデルと呼ばれ、系内に流入した水が直ちに全帯水層中の水と混合することを示す。パラメータは、Tのみである。EPM:系内に流入してしばらくは、混合せずにある時点から完全混合することを示す。パラメータはTと θ の2つである。 θ が1の時は、EMと同じ。DM:ある長さの系を水が流下する際の拡散能力(Dp)を考慮したモデル。パラメータはTとDpの2つ。その結果、EPMおよびDMでは、ともにT=476日となり、基底流出水のd値を良好に再現することができた。一方、EMでは、基底流出水のd値の季節変動とピークの位相がずれてしまいうまく表現できなかった。このことから、本流域ではただちに雨水が全帯水層中の水と混合するモデルでは、うまく表現することができず、しばらく浸透した後混合するモデルかもしくは、拡散しながら浸透するモデルを考える必要があることが分かった。このことは、基岩風化層が厚く堆積しているために地表面から地下水面に到達するまでの鉛直浸透距離が長いという流域の地盤構造が反映されているものと考えられた。