

山地源流域における地中水の質的平均化機構に関する研究

Homogenization mechanism of subsurface water quality in the headwater basin

代表研究者 辻村 真貴 (愛知教育大学総合科学課程地球環境科学領域助手)

Maki TSUJIMURA (Lecturer, Department of Environmental Earth Sciences, Aichi University of Education)

Abstract

An intensive hydrometric observation, sampling and chemical analysis of throughfall, soil water and discharge water were performed to investigate homogenization process of subsurface water quality in the two small headwater basins. One basin, called K basin is underlain by sedimentary rock in Mesozoic and the other, called Y basin is underlain by granite. A vertical component of percolation of soil water was predominant in the K basin, and a parallel component with the surface of soil water flow was predominant in the Y basin during a rainfall event. A stable isotopic homogenization process of soil water was observed between the soil surface and the depth of 1 m in the K basin. On the other hand, isotopic composition of soil water was varied temporally and spatially in the Y basin. Also, specific conductance of soil water did not vary much in the K basin, on the contrary, it varied much in the Y basin. The pH value of soil water increased from 6.5 to 7.2 with depth in the both basins. Accordingly, the homogenization process of isotopic composition and quality of soil water was interpreted in relation to the behavior of soil water in the K basin, however more data is required for a reasonable explanation in the Y basin.

研究目的

我国は国土の約 6 割が山地森林地域からなり、さらにそのかなりの部分が勾配 30°以上の急峻な斜面によって構成されている。したがって、山地源流域における水循環および物質循環機構を解明することは、水文学の基本的課題であるのみならず、人間の生存条件に直接関わる実際問題でもある。

山地源流域において、降水の水質が一雨毎に顕著な変動を示すのに対し、河川水のそれは比較的安定しているという現象は、従来から認識されてきた。こうした現象は、流域内部において水の均質化が生じていることを示唆している。しかしながら従来、山地源流域内部の水の質的平均化プロセスを実証的に明らかにした研究は少ない。流域における水の均質化機構を解明するためには、降水→地中水→河川水という水循環プロセスに伴う水の質的な変化を明らかにし、さらにこの質的な変化を地中における水の物理的な挙動の面から説明する必要がある。すなわち流域内部、主として土壌中における水の動きおよび質的变化という 2 つの面からの、総合的なアプローチが必要であると思われる。

また一般に、水循環プロセスとそれに伴う水質の変化は、対象とする地域の場の条件、特に基盤地質とそれを反映した土層構造に強く影響されるため、ある流域における観測結果がそのまま他の流域に適用できることは少ない。したがって、この問題に対処していくためには、種々の場の条件下における事例研究を蓄積していく必要がある。

以上の観点から本研究では、基盤地質の異なる複数の山地源流域を対象とし、流域内部における水の均質化プロセスとして水素・酸素安定同位体、および一般水質に注目し、水循環プロセスに伴うこれら各成分の変化を明らかにする。さらに併せて、降雨流出過程に伴う土壌中の水の流動プロセスを観測する。そして最終的には、土壌中の水の物理的挙動および水の質的な変化の両面から、山地源流域における水の均質化プロセスを明らかにすることを目的とする。

研究経過

研究対象流域

本研究では、長野県伊那谷の天竜川源流にある小渋川流域(中生層基盤)、および与田切川流域(花崗岩基盤)を主たる対象とした(図 1)。両流域とも、35~45°のきわめて急峻な斜面からなっている。さらに斜面土層は、両流域とも 1 m 未満と比較的薄く、飽和透水係数は共に 10^2 cm/s オーダーで顕著な違いはみられない。

研究方法

小渋川および与田切川の両流域の下端部に水位計を設置し、河川水位の自記観測を行った。また両流域それぞれに試験斜面を設定し、水文観測および採水を行った(図 2)。小渋川流域では斜面の上・下部に、また与田切川流域では斜面の上・中・下部に各々圧力センサー式自記テンシオメータを設置し、地中水の圧力水頭を 10 分間隔で観測した。さらに、両試験斜面の上・中・下部にサ

クッション型土壌水採水装置を設置し、ほぼ月に1回の割合で土壌水の採水を実施した。また、林内雨は径21 cmのロートを通じてポリタンクに貯留し、適宜回収した。河川流出水は水位計設置地点において、降雨時は自動採水器を用い1時間間隔で、また通常は月に1回ずつ採水を行った。

観測および採水は1995年7月～11月にかけて行った。

結果

降雨時における地中水の挙動について

降雨に対する河川の流出特性(図3)について、小渋川・与田切川流域において次のような特徴がみられた。小渋川流域(中古生層)では、降雨に対する流出の応答は遅く、流出量も比較的少ない。これに対して、与田切川流域(花崗岩)では降雨に対する流出の応答は速く、流出量も多かった。また、地中水の挙動に関しては(図3)、小渋斜面では降雨ピークおよびピーク後において、地中水の鉛直方向の動水勾配が斜面方向のそれに比較して大きくなり、結果として鉛直下方方向への地中水の降下浸透成分が卓越する傾向がみられた。また無降雨時には蒸発散の影響で、地中水の上向きの動きが頻繁に観測された。これに対して与田切川流域においては降雨時に、斜面方向の動水勾配が相対的に大きくなり、斜面下方方向への地中水の浸透成分が卓越した。ただし降雨量の少ない場合は、鉛直下方の降下浸透成分が卓越した。以上の結果から、降雨に対する地中水の挙動と流出特性の関係を考察すると、次のようになる。小渋川流域では降雨時に地中水の鉛直浸透成分が卓越し、地中水のかなりの部分が基盤へ浸透するため、降雨に対する流出の応答が遅くなるものと思われる。与田切川流域では降雨時に地中水の斜面方向への浸透成分が卓越するため、降雨に対して流出が速やかに応答するものと考えられる。

地中水の安定同位体比および水質の変化

図4に1995年9月～10月における土壌水の酸素安定同位体比($\delta^{18}\text{O}$; ‰)、電気伝導度(E.C.; $\mu\text{S}/\text{cm}$)、および水素イオン濃度(pH)の深度方向への変化を、小渋川流域・与田切川流域各々について鉛直プロファイルとして示した。図中には、土層へのインプットである林内雨とアウトプットである流出水の最大・最小値および平均値を併せて示してある。小渋流域における土壌水の $\delta^{18}\text{O}$ プロファイルを見ると、深度20 cmでは-19.2 ‰～-7.9 ‰とかなり大きな変動を示すのに対し、深度110 cmでは林内雨の加重平均値である-12.2 ‰付近に $\delta^{18}\text{O}$ が収斂するという傾向が認められる。すなわち、地表面から土層深度1 mまでの間に酸素同位体比の均質化が生じている。この均質化は、

降雨時の鉛直降下浸透と、無降雨時の上向きの流れが深度1 m以浅で繰り返されることにより生じるものと思われる。従来の知見を考慮すると、土層深度1 m以浅における水の安定同位体比の均質化傾向は、小渋川流域のように地中水の鉛直降下浸透成分が卓越する流域で一般的にみられる現象のように思われる。一方与田切流域では、土層中で $\delta^{18}\text{O}$ の均質化は全く認められない。次にE.C.のプロファイルを見ると、小渋流域では採水時期による値の変動がきわめて小さく、深度とともに若干上昇傾向にある。また流出水の値は、土壌水のその5倍～6倍の値をとる。E.C.は水に含まれる溶存イオンの総量を示すことから、小渋流域の流出水の高E.C.値は、水が基盤中をかなり長い時間をかけて流動した結果形成されるものと考えられる。与田切流域の土壌水E.C.は、林内雨および流出水のその2倍～3倍を示し、かつ時期による変動が大きい。このことは、与田切流域の降雨時における地中水の挙動パターン(図3)とは、不調和である。無降雨時における地中水の挙動と、E.C.の形成プロセスの関係については、今後検討する必要がある。pHに関しては、小渋・与田切とも採水時期による値の変動は小さく、深度と共に若干の上昇傾向が認められた。

研究成果と今後の課題

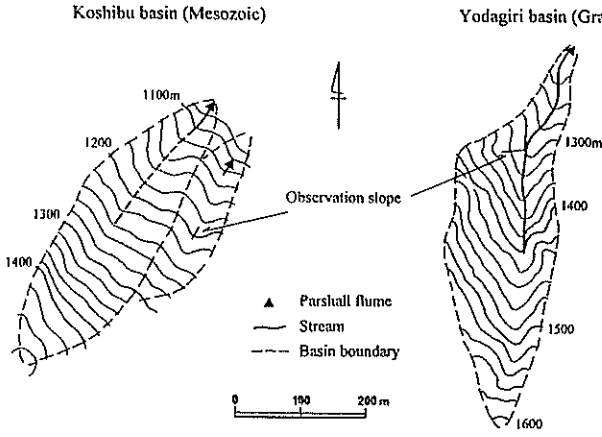
本研究では、中古生層基盤である小渋川流域と花崗岩基盤である与田切川流域とにおいて、地中水の挙動と安定同位体比および水質の変化プロセスに関する観測・採水・分析等を行い、両流域できわめて対照的な結果を得た。小渋川流域では、降雨時の地中水の鉛直下方への降下浸透と無降雨時の上向きの流れの繰り返しによって、深度1 m以浅における水の安定同位体比の均質化が生ずる。また小渋流域では基盤浸透が卓越するため、流出水のE.C.が土層中の地中水のそれに比べかなり大きな値を示す。これに対して与田切川流域では、降雨時において斜面方向への地中水の浸透成分が卓越するが、地中水の安定同位体比の均質化傾向は認められない。また、地中水のE.C.は林内雨・流出水のそれと比べかなり大きな値を示す。

小渋川流域における結果は、地中水の流動に関するデータと水質変化に関するデータが比較的調和的であり、また筆者がこれまで得た知見とも矛盾しない。これに対して、与田切川流域における結果は、従来の知見からは予想されなかった傾向がみられ、水循環プロセスが場の条件に強く影響されることを示す例となった。ただし自然現象を、単年度の観測結果からのみ一般化することは危険であるため、本年度(96年度)も昨年の結果および問題点を踏まえて、観測等を継続して行って

いる。したがって本報告書は、中間報告的な性格をもっているが、現在蓄積しつつあるデータも併せ、本年度末には山地源流域における水循環と水の質的平均化プロセスの関係について、より普遍性のある結論を導き出せるものと考えている。

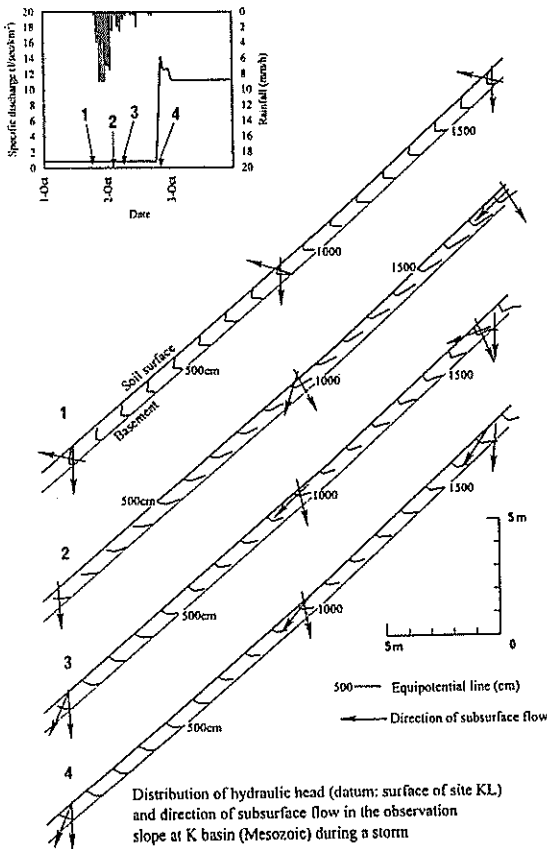
発表論文リスト

1) 辻村真貴・恩田裕一・藤原淳一・竹田泰雄(1996)：異なる基盤地質からなる2つの小流域の地中水の挙動と流出特性について。日本水文科学会学術大会講演予稿集, No. 10, 26-27.



Topographic map of the experimental basins

図 1. 研究対象流域の概要.



Distribution of hydraulic head (datum: surface of site KL) and direction of subsurface flow in the observation slope at K basin (Mesozoic) during a storm

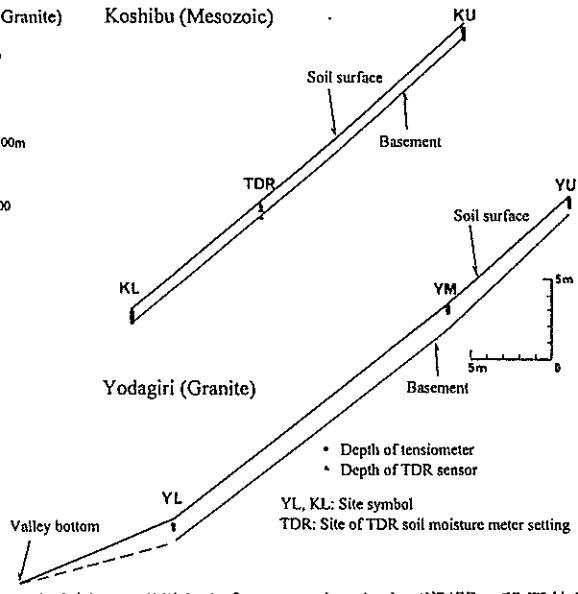
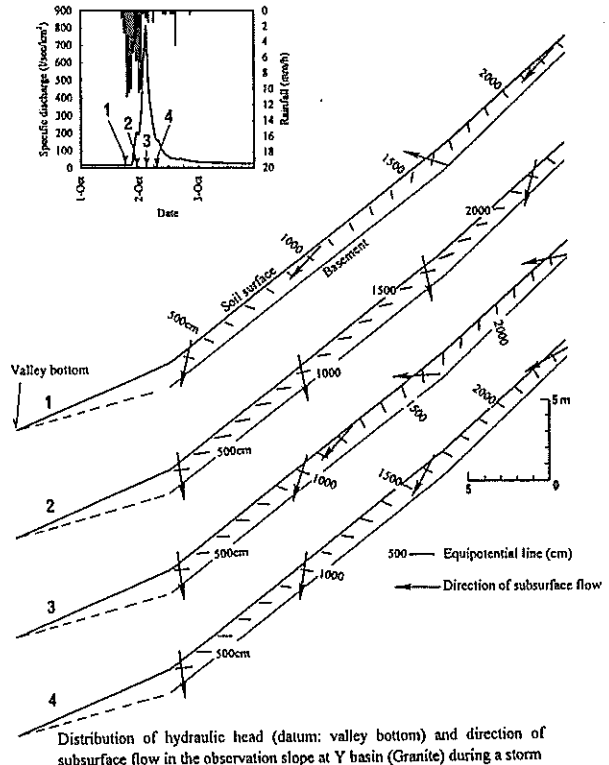


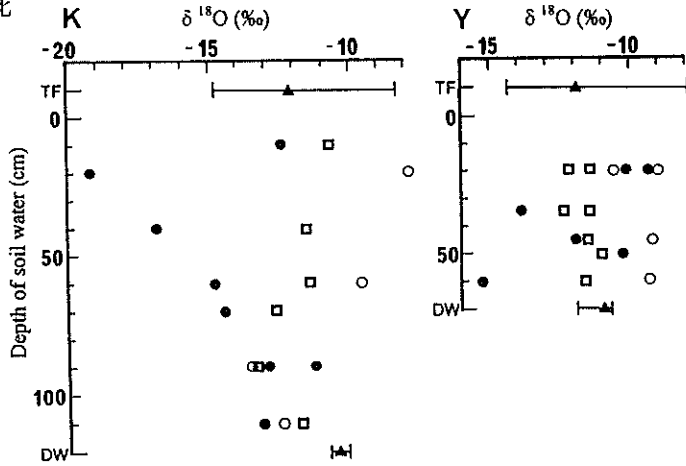
図 2. 試験斜面の縦断面プロフィールおよび測器の設置位置.



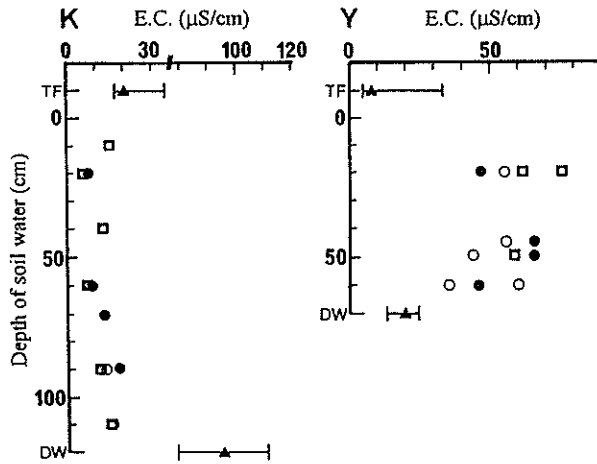
Distribution of hydraulic head (datum: valley bottom) and direction of subsurface flow in the observation slope at Y basin (Granite) during a storm

図 3. 小渋川流域 (左) および与田切川流域 (右) の試験斜面における、降雨流出プロセスの各段階 (降り始め・降雨ピーク・流量ピーク・流量減衰) における地中水の挙動。斜面プロフィール内に描かれた等値線は等水理水頭線、矢印は地中水の流動方向を示す。両流域の図中で左上に描かれたグラフは、比流量・時間雨量変化グラフで、グラフ中の 1~4 の番号が斜面プロフィール左下の番号に対応している。

(1) 酸素安定同位体比



(2) 電気伝導度



(3) 水素イオン濃度

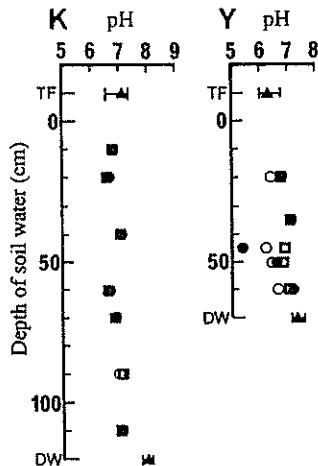


図4. 小渋川流域 (図中 K で示す) および与田切川流域 (図中 Y で示す) における, 土壌水の(1) 酸素安定同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$; ‰), (2) 電気伝導度 (E.C.; $\mu\text{S}/\text{cm}$), (3) 水素イオン濃度 (pH) の深度プロファイル (●: 1995年9月20日~22日採水, □: 10月8日~10日採水, ○: 10月28日~30日採水). 斜面の部位は区別せずにプロットしてある. TF は林内雨を, DW は流出水を示す. 林内雨と流出水については, 観測期間中の最大・最小値と平均値 (▲: 林内雨は加重平均値) を示してある.