

氏名	かつ 勝	やま 山	まさ 正	のり 則
学位(専攻分野)	博 士 (農 学)			
学位記番号	農 博 第 1281 号			
学位授与の日付	平成 14 年 3 月 25 日			
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当			
研究科・専攻	農学研究科地域環境科学専攻			
学位論文題目	Study on Hydrochemical Dynamics of Groundwater and Streamwater in Forested Headwater Catchments (山地源頭部森林流域における地下水・渓流水の動態に関する水化学的研究)			
論文調査委員	(主査) 教授 谷	誠	教授 三野	徹 教授 水山高久

### 論 文 内 容 の 要 旨

山地源頭部の森林流域は下流域に対する水および各種の物質の供給源であり、例えば酸性降水物等が将来的に渓流水質に及ぼす影響が懸念されている。このような影響予測にも適用可能な水化学モデルの構築には、流域内部の水文過程、すなわち流出発生機構を十分に考慮する必要がある。そこで本研究では山地源流域の地下水・渓流水質形成機構を、降雨から流出に至る水移動経路と、流出を構成する水の起源とに着目して考察した。観測は滋賀県南部に位置する桐生水文試験地内の 2 流域（マツ沢流域 0.68ha および赤壁流域 0.086ha）、近接する若女裸地谷流域（0.18ha）および京都大学芦生演習林内のトヒノ谷流域（0.64ha）で行なった。いずれの流域も源頭部の 0 次谷流域である。各流域で雨量・流量・地下水位等の水文観測および降水・地下水・湧水・渓流水などの水質観測を行なった。桐生水文試験地内の 2 流域では約 2 週間間隔の無降雨時の観測と、降雨時の集中的な観測とを並行した。若女裸地谷流域と芦生トヒノ谷流域では降雨時の観測を行なった。

マツ沢流域および赤壁流域における観測から、流域面積の大部分を占める土層の薄い斜面部では、降雨の鉛直浸透によって土壌-基岩境界面上で地下水が形成され、飽和側方流として流下する成分と、透水性を持つ基岩に浸透する成分とに配分されること、斜面部の水収支を考えると年間降水量の約 50% は基岩に浸透していることが明らかになった。また、飽和側方流の発生は降雨中および降雨直後に限られるのに対し、基岩浸透水はほぼ年間を通じて存在した。マツ沢流域において、基岩面上を流下した飽和側方流は、流域末端部の土層が厚い部分に存在する恒常的地下水帯の表層を涵養した。一方基岩浸透水は恒常的地下水帯の深層を涵養した。流出解析のトレーサーとして用いる  $\text{SiO}_2$  濃度に着目すると、飽和側方流の  $\text{SiO}_2$  濃度は基岩浸透水の  $\text{SiO}_2$  濃度よりも低い。そのため恒常的地下水帯では表層で濃度が低く、下層で高い鉛直分布が生じた。無降雨時の渓流水の  $\text{SiO}_2$  濃度は恒常的地下水帯の濃度分布の範囲内で変動した。そこで無降雨時の渓流水質は恒常的地下水帯の表層と深層の 2 層からの流出で形成されると仮定し、2 成分の混合モデルを用いて解析を行なったところ、渓流水質の季節変化は表層からの流出水量とその化学性が季節変化することによって生じることが明らかにされた。赤壁流域では渓流水の  $\text{SiO}_2$  濃度が恒常的地下水の濃度と比べて高く、渓流水に対する基岩浸透水の直接的な寄与の大きさが示唆された。

EMMA (End-Members Mixing Analysis) を用いた解析から、マツ沢流域では降雨時に恒常的地下水に加え、河道降雨および恒常的飽和帯の辺縁に発生する一時的地下水が流出に寄与した。一時的地下水は降雨時に斜面部の土壌-基岩境界面で発生した飽和側方流に由来し、特に大規模降雨時にはその流出により渓流水質が大きく変動した。他流域での比較観測の結果、芦生トヒノ谷流域では流域下端の斜面土層内に存在する土中パイプからの流出に伴い渓流水質が大きく変動した。また、マツ沢流域と比べて恒常的飽和帯が小さい若女裸地谷流域では比較的容易に恒常的地下水の水質が変化し、その影響が渓流水質に現れたことから、恒常的地下水帯の規模が大きいほど水質の安定した地下水の供給が可能となる緩衝作用が大きいことが示唆された。このように流域間の降雨流出特性の違いは降雨時の渓流水質形成に大きく影響することが明らかになった。また、マツ沢流域において、表層土壌中を通過して流出する一時的地下水の寄与をより明確に検出可能な溶存有機物の蛍光特性をトレーサーに用いたところ、流域面積に占める一時的地下水の流出寄与域は 1% に満たず、流域末端のわずか

な面積から大量の水および溶存物質が供給され、降雨時の渓流水質を規定することが示された。

従来、渓流水質形成を規定する要因として流域末端の河道近傍部での地下水動態の影響が大きく、流域面積の大部分を占める斜面部の影響は不明な点が多く残されていた。本研究の結果、両者をつなぐ経路として基岩中を通過する地下水の役割の大きさが示されるとともに、この地下水は無降雨時の渓流水質を規定する重要な要素であることが明らかにされた。一方、降雨時には一時的に発生する地下水の流出経路および流出寄与域の変動を考慮する必要があることが示された。これらのことから、流域内部の水文過程を十分に考慮した水文化学モデル構築の基礎となる情報が得られた。

### 論文審査の結果の要旨

山地における森林や植生の変化が河川流出水の水質に及ぼす影響を明らかにすることは、森林水文学に与えられた重要な責務である、しかしながら、主に斜面における地中の水移動経路の複雑さ、不均質さゆえにその影響を評価することはたいへんむずかしく、綿密な観測によって経路を丹念に把握することが不可欠である。本研究は、風化花崗岩山地小流域において、詳細な地中の水流出に関する観測を実施し、地下水や渓流水の量と質の長期変動データから水流出経路を推定して水質形成過程を考察したものである。その評価できる点は下記にまとめられる。

- 1) 急勾配で土層の薄い斜面域では、土壌 - 基岩境界面上で地下水が形成され、飽和側方流として流下するが、これより深い透水性基岩に浸透する成分が約50%に達すること、飽和側方流の発生は降雨中および降雨直後に限られるのに対し、基岩浸透水はほぼ年間を通じて存在することが明らかになった。このことは基岩浸透水の役割の重要性を明確にしている点で新しい成果である。
- 2) 流域末端部の勾配が緩く土層が厚い部分では、急勾配斜面部からの流下水によって涵養される恒常的地下水帯が存在するが、表層で  $\text{SiO}_2$  濃度が低く深層で高い観測結果からみて、斜面部の飽和側方流が地下水帯の表層を、基岩浸透水が深層をそれぞれ涵養することがわかった。また、2成分混合モデルを用いた解析により、恒常的地下水帯の水質鉛直分布が無降雨時における渓流水質の季節変化を左右すること、個々の流域における基岩地形の差に基づく地下水の存在形態の相違が渓流水の水質特性に影響を及ぼすことが明らかになった。
- 3) 3成分混合解析手法の適用により、降雨時には、河道上への直達降雨、および、斜面部の土壌 - 基岩境界面からの飽和側方流に由来し、恒常的地下水帯が拡大して発生する一時的地下水が渓流水質の変動に影響を及ぼすことがわかった。また、降雨時における水質変動の大小は、地下水帯の空間規模や土中パイプのかかわりなど、流域の流出経路の特性によって説明されることが明らかにされた。
- 4) これまで用いられることのほとんどなかった溶存有機物の蛍光特性をトレーサーとして適用したところ、一時的地下水の発生域はきわめて小さいにもかかわらず、降雨時の流出形成・渓流水質形成に対して一時的地下水の寄与が大きいことが明確になり、大量の溶存物質の供給がこれによってもたらされることがわかった。
- 5) 渓流水質形成を規定する要因として流域末端の河道近傍部での地下水動態の影響が大きいことは従来から述べられていたが、それに対して、流域面積の大部分を占める斜面部での流出過程の影響を評価することができなかった。そのため、例えば斜面部のマツ枯れや伐採などの森林植生変化の水質への影響評価が不明であった。本研究はこれに対し、河道近傍と斜面部をつなぐ経路として基岩中を通過する地下水の役割が大きいこと、この地下水は無降雨時の渓流水質を規定する重要な要素であるという新しい知見を与えたものである。また降雨時には、これに加えて、一時的に発生する地下水の役割を評価しなければならないことも明らかにした。

以上のように、本論文は、森林植生の河川水質への影響を評価するための水文化学モデル構築という研究課題に対して、現地観測から重要な新しい知見と情報を与えたものであり、森林水文学の重要な成果であるのみならず、生物地球化学、水文地形学、陸水学に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。なお、平成14年2月14日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。