

公益信託エスペック地球環境研究・技術資金  
平成 13 年度 助成金研究報告書

森林流域のスケールの違いに着目した水質形成機構に関する研究

平成 14 年 9 月

京都大学農学研究科

勝山 正則

## 1.はじめに

世界規模での地球環境問題が顕在化して以来，水質浄化機能，地球温暖化ガス固定機能など，森林の公益的機能の解明に対する社会的要請が高まっている．欧米では1960年代から水質・水文観測が行われており，特に1980年代の酸性雨問題の顕在化以降生物地球化学・水文化学研究が大きく進展し，例えばアメリカジョージア州アトランタ近郊に位置するPanola Mountain流域では斜面プロットスケール(例えばBurns et al., 1998)から流域全体スケール(41ha，例えばHooper et al., 1990)まで約15年にわたり様々な観測が行われてきている．それらの結果，多くの影響予測モデルが構築されるなどの成果が得られている．

これに対し日本では森林の持つ清浄なイメージとは裏腹に，各地でマツ枯れに代表される攪乱や手入れ不足による荒廃が進んでおり，このような状況下での森林の働きを科学的に解明することは急務である．しかし日本では個々の流域から得られた知見は蓄積されているが，環境変動に対する流域の応答を流域の空間スケールや，現象の時間スケールの違いに着目するという研究例は皆無に等しい．わが国ではこの分野の研究は大きく立ち遅れており，森林流域における水質形成機構について統一的な見解は得られていない．

本研究では森林流域規模において空間スケールの異なる観測網を設定し，各空間スケールにおける地下水・渓流水の水質を決定付ける要因を明らかにすることを目的とする．

## 2.方法

観測は滋賀県南部に位置する桐生水文試験地で行った．図1に桐生試験地の位置を示す．桐生水文試験地の属する田上山系一帯は千数百年前には一大美林であったとされるが，乱伐や兵火によって荒廃し，江戸時代より砂防工事が行われ始めた．桐生試験地周辺も百数十年前まで基岩が露出する荒廃斜面であったが，山腹植栽工や人工林施業の結果，ヒノキ，マツ，広葉樹を中心とした植生が回復している．本流域では過去約30年にわたり水文観測が，また過去約10年にわたり水質観測が継続されている．桐生流域の年平均気温は13.8(1997年)，1972～2001年の年平均降水量および流出量はそれぞれ1645.0mm，888.5mmである．

森林流域スケール(桐生水文試験地全体，流域面積5.99ha)，源頭部小流域スケール(0.68ha)および源頭部小流域の構成要素である斜面プロットスケール(0.024ha)の観測網を設定した．各流域の下端からの流出水量を観測するとともに，約2週間に一度の間隔で水質分析用サンプルを採取し，溶存主要無機イオン濃度およびSiO<sub>2</sub>濃度を測定した．観測は2000年6月以降，現在も継続している．なお，ここでは水移動経路のトレーサーとしてのSiO<sub>2</sub>濃度と，流域からの高濃度での流出が問題視されているNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度について考察を行う．また，観測流域の概要および観測項目については

Katsuyama(2002)に詳しい。

### 3.結果と考察

斜面プロットからの流出水量を観測したところ、流出の発生は降雨中および降雨直後に土層-基岩境界面上に発生する飽和側方流の発生に限られた。斜面プロットでの総降雨量に対する流出率を図2に示した。流出率は降雨量の5%以下程度であり、年間の水収支を考えると降水量の約50%が基岩面以下に浸透していることが明らかになった。

図3に各地点での $\text{SiO}_2$ 濃度、 $\text{NO}_3^-$ 濃度を示した。斜面プロットからの流出水と源頭部小流域の渓流水の水質を比較すると $\text{SiO}_2$ 濃度、 $\text{NO}_3^-$ 濃度ともに大きく異なり、源頭部小流域では $\text{SiO}_2$ 濃度は高く、 $\text{NO}_3^-$ 濃度は低くなっていた。また源頭部小流域と森林流域とを比較すると $\text{SiO}_2$ 濃度はさらに高く、 $\text{NO}_3^-$ 濃度はさらに低くなっていた。 $\text{SiO}_2$ は降水中には含まれず、鉱物の化学的風化によって供給される。また、土層中に存在する地下水と比較して、基岩内に浸透した地下水の $\text{SiO}_2$ 濃度は高くなることが知られている。表1に桐生水文試験地における過去10年間の雨量および源頭部小流域、森林流域それぞれの流出流量を示した。森林流域の年間流出水量は常に源頭部小流域の年間流出水量を上回っている。このことは源頭部小流域下端では表流水として流出せず量水堰の地下を通過する成分が存在するが、その成分は森林流域下端に達するまでには再び地表付近に現れ、量水堰を通過することを意味している。つまり、斜面プロットで基岩面以下に浸透した地下水が流下の過程で表流水として現れることを意味しており、 $\text{SiO}_2$ 濃度が森林流域の渓流水でより高濃度であったことから、源頭部小流域と比較して森林流域ではその寄与が相対的に大きいことが示唆される。

また、一般に $\text{NO}_3^-$ 濃度の低下の要因として、より低濃度の水と混合すること、植物体による吸収、および脱窒によるものなどが考えられるが、 $\text{SiO}_2$ 濃度の変動から示されたように、流下過程で根圏の進入が不可能な基岩内を通過する地下水の影響が大きいことから植物体による吸収の影響は小さいものと考えられる。また、流域内での地下水濃度の観測から、基岩内の地下水の $\text{NO}_3^-$ 濃度は低いことが明らかになっており、現時点で脱窒による $\text{NO}_3^-$ 濃度の低下を定量的に評価することはできないものの、流下過程での $\text{NO}_3^-$ 濃度の低下は主に低濃度の基岩地下水の混合によるものと考えられる。

以上のことから、森林流域における渓流水質形成プロセスに対して基岩内部に浸透し、基岩内を流れる地下水の影響が大きいことが明らかになった。また、流域スケールの拡張とともにその影響が大きくなることが示された。ここで取り上げた $\text{NO}_3^-$ の挙動は交換性カチオン( $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 等)(Hobara et al., 2001)や $\text{SO}_4^{2-}$ (金ら,2002)の挙動とも深くかかわっていることが指摘されている。従って、酸性降下物に対する流域の応答などの流域内部での物質循環機構あるいは流域からの物質の流出機構を考える上で、基岩浸透地下水の影響を明らかにする意義が非常に大きいことが示唆された。

#### 4.終わりに

基岩面以下への浸透水の存在は従来から指摘されてはいたが、定量的に評価されることは少なく、水文現象に与える影響は小さいとされてきた。しかし、本研究の観測結果から斜面部では大量の水が基岩面以下に浸透しており、その基岩浸透地下水が地下水・渓流水の水質形成に大きな影響を与えていることが示唆された。

森林流域からの高濃度での流出が問題視されている  $\text{NO}_3^-$  の流出に対し、流域スケールの拡張とともに基岩浸透地下水の寄与により低濃度化するというメカニズムが存在することが明らかになった。このことは森林の持つ水質浄化機能の一端を表しているといえる。しかし、現時点では基岩浸透地下水の渓流水への寄与を定量的に評価することはできていない。表1に示したとおり、桐生水文試験地を含む琵琶湖流域では近年(1999年以降)渇水傾向が続いている。このことは斜面プロットで見られた降雨時に発生する飽和側方流によって涵養される土層中の水分量が減少し、流出水量に占める基岩地下水の割合が相対的に増加することを意味している。今後、同様の観測を継続していくことで流域スケールの拡大に伴う基岩浸透地下水の役割をより明らかにすることが可能になると考えられる。これらの結果を踏まえ、より面積の広い流域への拡張を視野に入れた応答・予測モデルの構築を進めていく予定である。

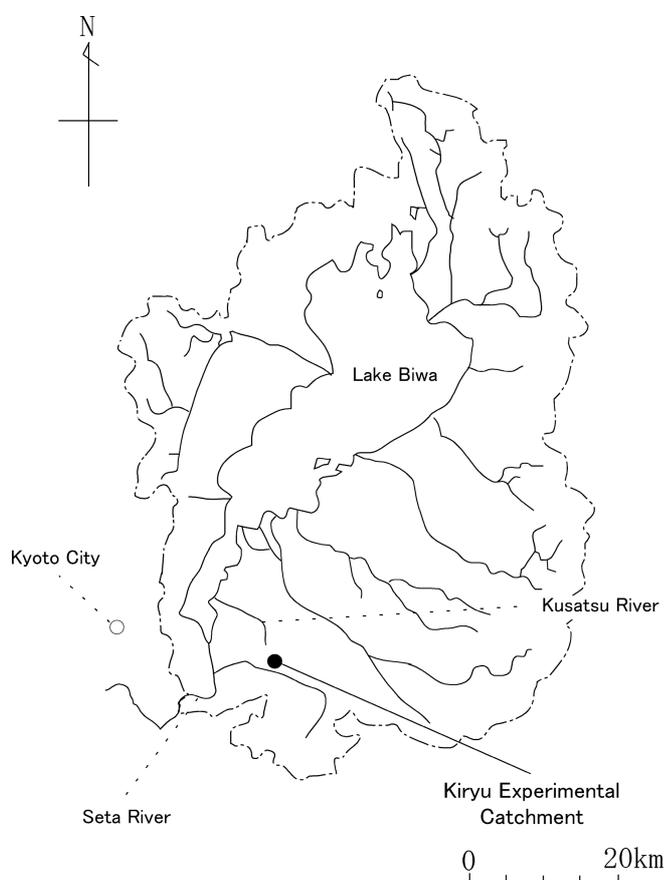


図1 桐生試験地の位置

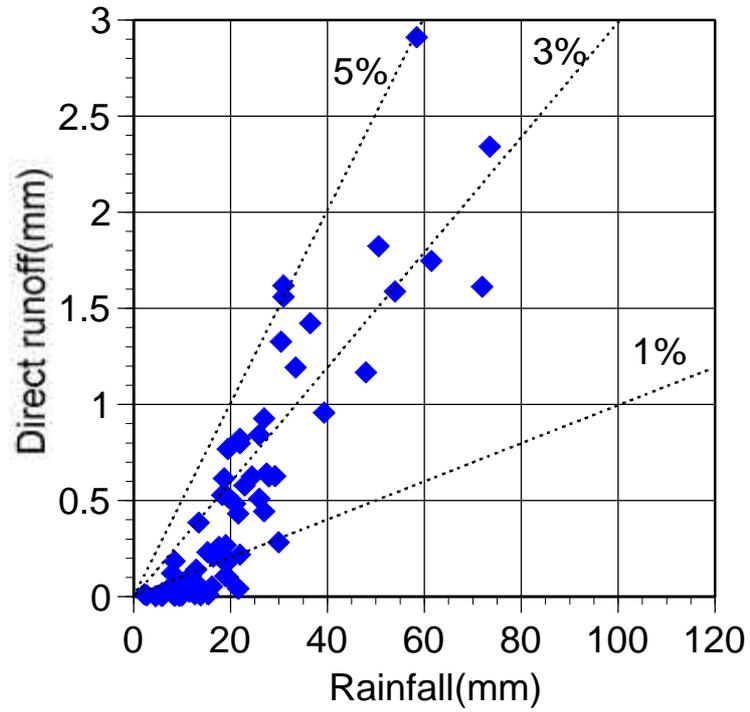


図 2 雨量-流出量関係

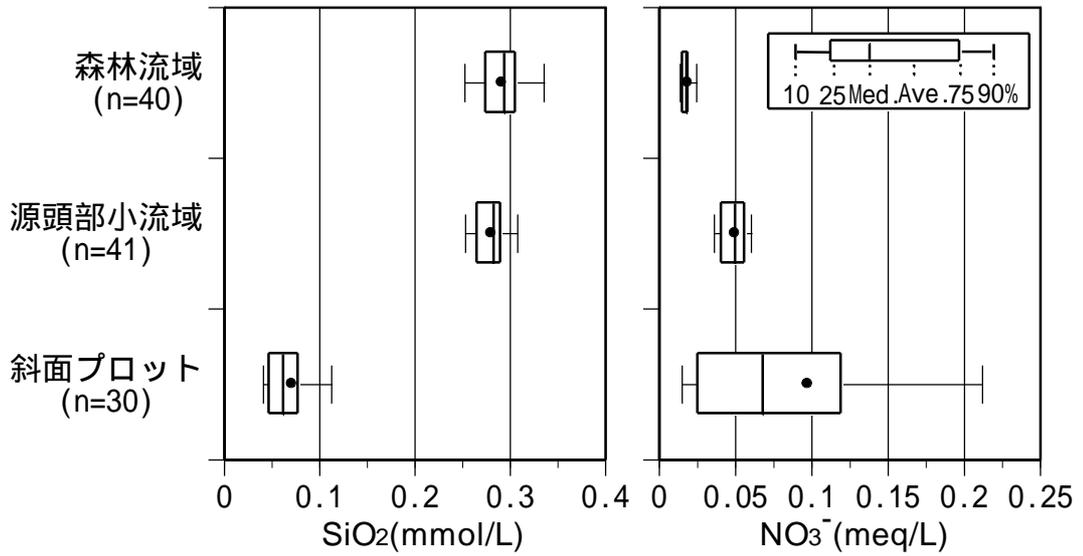


図 3. 各地点での  $\text{SiO}_2, \text{NO}_3^-$  濃度

表 1 桐生水文試験地における過去 10 年間の水収支

year		1992	1993	1994	1995	1996
雨量	(mm)	1645.11	2033.69	1029.50	1776.50	1500.87
源頭部小流域流量	(mm)				997.91	553.80
森林流域流量	(mm)	853.74	1314.49	410.62	978.08	697.16

year		1997	1998	1999	2000	2001
雨量	(mm)	1703.94	2032.12	1590.96	1402.60	1437.59
源頭部小流域流量	(mm)	830.38	1084.23	526.70	335.25	359.58
森林流域流量	(mm)	872.23	1300.12	831.54	551.14	698.19

#### 引用文献

Burns, D. A., McDonnell, J. J., Hooper, R. P., Peters, N. E., Freer, J. E., Kendall, C. and Beven, K. (2001) Quantifying contributions to storm runoff through end-member mixing analysis and hydrologic measurements at the Panola Mountain Research Watershed (Georgia, USA), *Hydrol. Process.*, 15, pp. 1903-1924.

Hobara, S., Tokuchi, N., Ohte, N., Nakanishi, A., Katsuyama, M., and Koba, K. (2001) Mechanism of nitrate loss from a forested catchment following a small-scale, natural disturbance, *Canadian Journal of Forest Research*, 31, pp. 1326-1335.

Hooper, R. P., Christophersen, N. and Peters, N. E. (1990) Modelling streamwater chemistry as a mixture of soilwater end-members - an application to the Panola Mountain catchment, Georgia, U.S.A, *J. Hydrol.*, 116, pp. 321-343.

Katsuyama, M. (2002) Study on hydrochemical dynamics of groundwater and streamwater in forested headwater catchments, PhD Thesis of Kyoto University, 119pp.

金秀珍, 大手信人, 勝山正則, 川崎雅俊, 徳地直子, 保原達 (2002) マツ枯れが土壌液および渓流水中の硫黄動態に及ぼす影響, 第 6 回水資源に関するシンポジウム論文集, pp.443-448.