

(53) 森林河川水質と集水域内地質・植生との関係の評価

Relationship between Water Quality in Forest-Rivers
and Geographical and Botanical Properties of Watershed

永礼英明¹⁾, 藤井滋穂¹⁾, 宗宮 功²⁾, 芹澤佐和子³⁾

Hideaki NAGARE¹⁾, Shigeo FUJII¹⁾, Isao SOMIYA²⁾ and Sawako SERIZAWA³⁾

ABSTRACT; This paper focuses on the relationship between water quality in forest-rivers and properties of their watershed in geology and/or botany to find out the mechanism which determines water quality in forest-rivers in mountainous area. Water quality in 26 forest-rivers was investigated at upper streams of rivers in the Lake Biwa watershed, and their properties were determined from geological or vegetation map to explore the relation between them. Those 26 rivers were separated into 6 groups based on their watershed properties, while nutrient concentration in such groups were different each other, suggesting certain geological or botanical property, or a pair of geology and vegetation determines nutrient concentration in river.

KEYWORDS; Forest-river, watershed property, nutrient concentration.

1. はじめに

水源となる湖沼、河川の水質を維持することは非常に重要な課題であり、それら水域への汚濁物質負荷流入量の削減が必要である。1,400万人に各種用水を供給する琵琶湖においては、集水域のほとんどを森林が占め(73.4%, 市木ら, 1996)、森林河川の水質が他の負荷発生源からのそれに比べ良好であるものの、負荷流出としては無視し得ない量となり、何らかの対策が必要と考えられる。

森林河川の水質は地質、地形、土壌、植生、気候など多くの要素の影響を受けていると言われている(國松・須戸, 1997)。従来、これら影響因子と水質との関係の評価した研究がなされてきた。例えば、ラヒムら(1997)は広葉樹林面積割合とTOC、COD濃度の間に比較的高い正の相関がある一方、針葉樹林面積割合は負の相関を示したと報告している。福島・松重(1995)は崩壊地面積率が高いとアンモニア態、硝酸態窒素濃度が高くなることを示した。國松・須戸(1997)は比較的近い琵琶湖集水域内の5つの森林を比較し、同じ花崗岩地質でありながら水質が異なることを示し、花崗岩の性質、植生、気候などの影響を指摘している。さらに、流量、降水量、林齢などとの関係についても研究がなされている(例えば、ラヒムら, 1997; 福島・松重, 1995)。このように流域の特性と河川水質との関係について研究がなされてきた。しかし、それらの結果は矛盾するものも存在し、真実は明らかとはならない。

本研究では、琵琶湖集水域を対象に、森林河川の水質を流域特性、すなわち地質と植生との関係において把握することを目的とする。ただし、事前の評価において、本研究の対象流域では地質と植生が独立な関係ではなく、ある種の地質には固有の植生が優占する場合があることがわかっていたため、地質-植生という組み合わせを念頭に置き、水質との関係の評価する。

1) 京都大学環境質制御研究センター (Research Center for Environmental Quality Control, Kyoto University)

2) 龍谷大学理工学部 (Faculty of Science and Technology, Ryukoku University)

3) 日本上下水道設計(株) (Nippon Jogesuidou Sekkei Co., LTD.)

2. 方法

2.1 水質調査

琵琶湖集水域の森林河川を対象に、Fig. 1に示す地点において1998年に2度、水質調査を実施した。1度目の調査は、1日に3から8地点を対象にしたサンプリングを6月から8月にかけて計6回実施し、最終的に26地点の水質を得た。2度目の調査では26地点の調査を連続する2日間（10月5、6日）に実施した。各調査の前3日間に降雨は観測されなかった。調査地点は住居や耕作地など人為活動がない河川上流部の森林域に設定した。

2.2 流域特性の整備

各調査地点の集水域は国土地理院1/50,000地形図で判読し、土地利用、植生は各々1/100,000地質図（滋賀県自然保護財団，1979）、1/50,000植生図（環境庁，1987）から読みとった。地質は火山岩、深成岩、火山砕屑岩、砕屑岩、生物岩、その他の6種に、植生はブナクラス代償植生、ブナクラス自然植生、ヤブツバキクラス代償植生、植林地・耕作地植

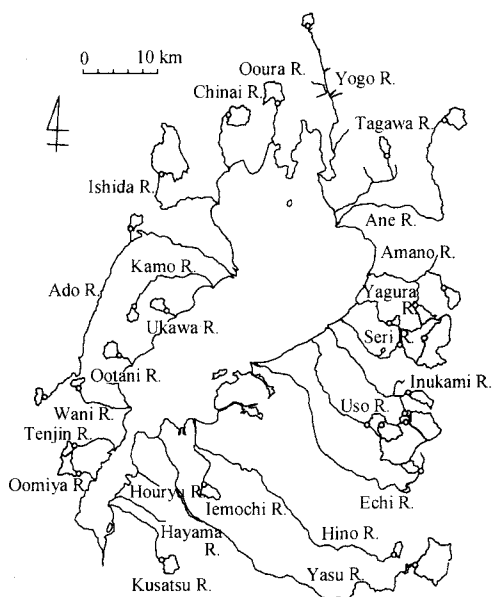


Fig. 1 採水地点とその流域.

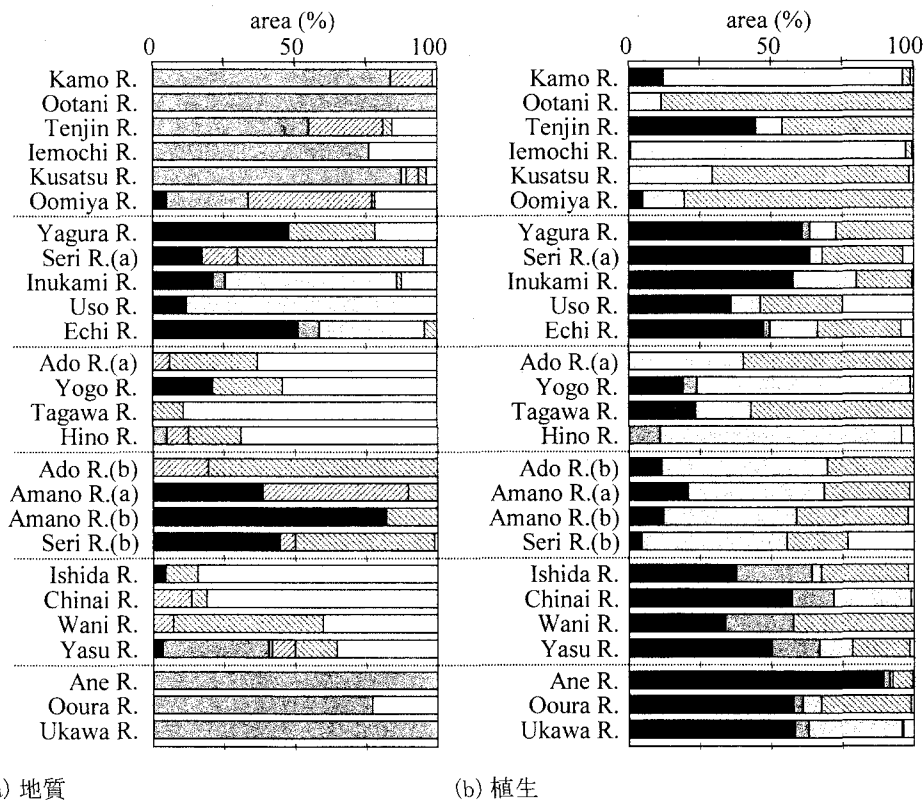


Fig. 2 調査対象流域の地質、植生

生、その他の5種に分類した。各調査対象流域の地質、植生をFig. 2に示す。

2.3 統計解析

流域特性をもとに因子分析およびクラスター分析を実施し、流域を流域特性の類似するグループに分類した。因子分析とは変数間の相関構造を類推する統計手法であり、本研究ではクラスター分析の前処理として、流域特性から冗長性を排除し独立な変数を抽出することを目的としている。本分析においては、2.2に記載の地質6種、植生5種を入力し、固有値が1.0より大きい因子を抽出、得られた因子をもとに各流域の因子得点を計算した。さらにこれら得点をもとにクラスター分析を実施することで、流域を流域特性の類似するグループに分類した。

3. 結果および考察

3.1 森林河川の水質

水質の累積頻度分布をFig. 3に示す。なお、同図の作成においては全ての調査結果を用いた。図中には琵琶湖の平均濃度、および全窒素、全リンに関しては雨水中の平均濃度（滋賀県南部の森林域で測定；藤井ら、未発表）を併せて示した。

全窒素濃度は0.3～1.2 mg/Lの範囲にあり、全リン濃度は0.005から0.03 mg/Lにあった。窒素に関

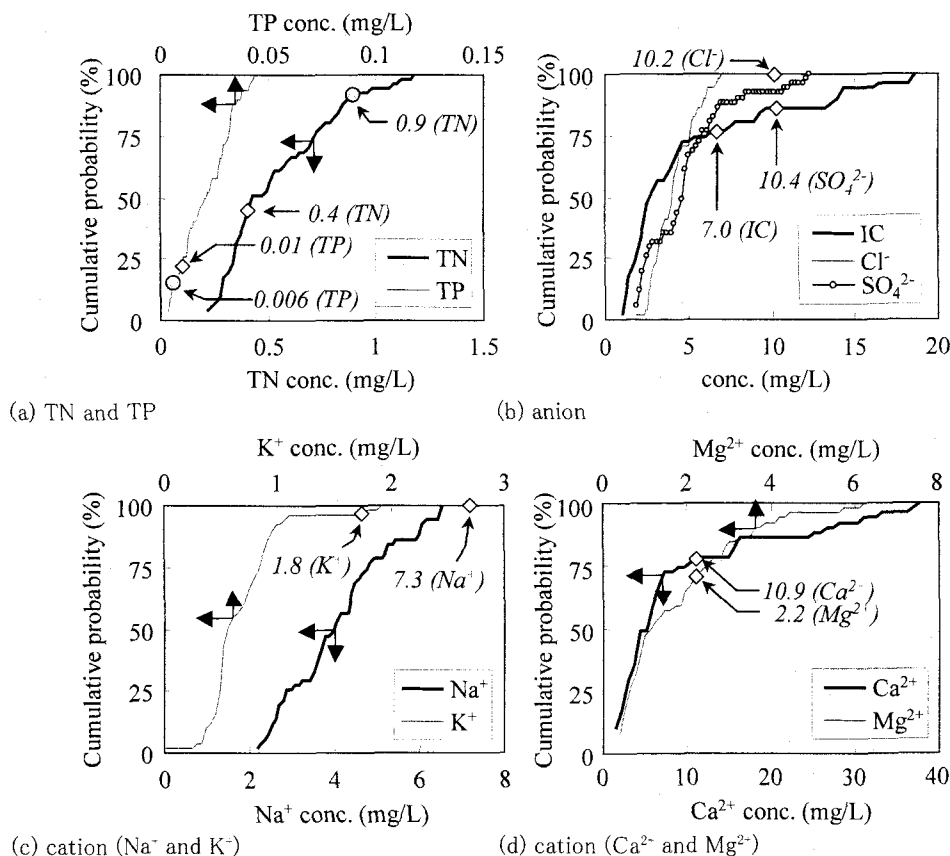


Fig. 3 森林河川の水質頻度分布

琵琶湖の平均水質を併せて示した（図中◇）。また、TN、TPについては降雨の平均値も同時に表した（図中●）。なお、図中の矢印（↖↘）は参照する軸を表す。

しては琵琶湖と同程度であるが、リン濃度は琵琶湖に比べ高い。雨水中濃度との比較においては、全窒素では低く、全リンでは高い。すなわち、窒素に関しては雨水を浄化し、リンに関しては負荷を発生していることになる。

ラヒムら(1997)が報告している全国の水道水源として用いられている森林流出水の濃度は全窒素 0.32 ± 0.29 mg/L、全リン 0.023 ± 0.023 mg/L であり、これに比較すると本調査で得た結果は全窒素では高め、全リンでは同程度かやや高めの結果であった。

対照的に、Ca、Mg 以外のイオン類では琵琶湖の方が濃度が高い。Fujii and Somiya(1999)は琵琶湖へ流入する 40 河川の河口での Ca、Mg を含め Fig. 3 に示した無機イオン濃度が琵琶湖のそれとほぼ同程度であったと報告している。このような差は Ca、Mg イオン濃度は主に流域の特性によって決まり、その他イオンの濃度は土地利用、生活排水、その他人為活動に大きく影響されていることを示している。

3.2 流域特性と水質との関係

地質、植生といった流域特性と水質との間の相関関係を評価したが、明らかな相関関係は見いだせなかった。そこで、流域特性をもとに因子分析およびクラスター分析を実施し、流域を流域特性の類似する複数グループに分類した。最終的に流域は Table 1 に示す 6 つのグループに分類された。

Fig. 4 には各グループの平均流域特性を示す（グループ内の特性のばらつきに関しては Fig. 2 を参照されたい）。各グループは特徴的な特性を示しており、今回適用した分類方法により、流域はその特性に応じよく分類されていたといえよう。

各グループの全窒素、全リン濃度の範囲を Fig. 5 に示す。なお、図中の分布は全ての調査の結果を用い作成した。流域はその地質、植生に基づき分類されたものであるにもかかわらず、各グループの全窒素、全リン濃度はグループ間で大きく異なる。このことは全窒素、全リン濃度が地質あるいは植生に影響を受けている可能性を示している。

例えば、グループ 6、すなわち深成岩およびブナクラス代償植生が多くを占める流域では、全窒素濃度が他のグループに比較し低く、平均濃度は 0.32 mg/L である（中央値は 0.46 mg/L）。一方、同グループの全リン濃度は濃度が高い範囲に分布し、平均では 0.025 mg/L である（同 0.031 mg/L）。このグループにおける面積割合は、深成岩が 77 ~ 100%、ブナクラス代償植生が 58 ~ 89% と分布に偏りがあり、これらの地質、植生が全窒素、全リン濃度に影響を及ぼしている可能性を示唆している。

Table 1 流域の分類結果

Gr. Rivers	Gr. Rivers
1 Kamo R.	4 Ado R.(b)
Ootani R.	Amano R.(a)
Tenjin R.	Amano R.(b)
Iemochi R.	Seri R.(b)
Kusatsu R.	5 Ishida R.
Oomiya R.	Chinai R.
2 Yagura R.	Wani R.
Seri R.(a)	Yasu R.
Inukami R.	6 Ane R.
Uso R.	Ooura R.
Echi R.	Ukawa R.
3 Ado R.(a)	
Yogo R.	
Tagawa R.	
Hino R.	

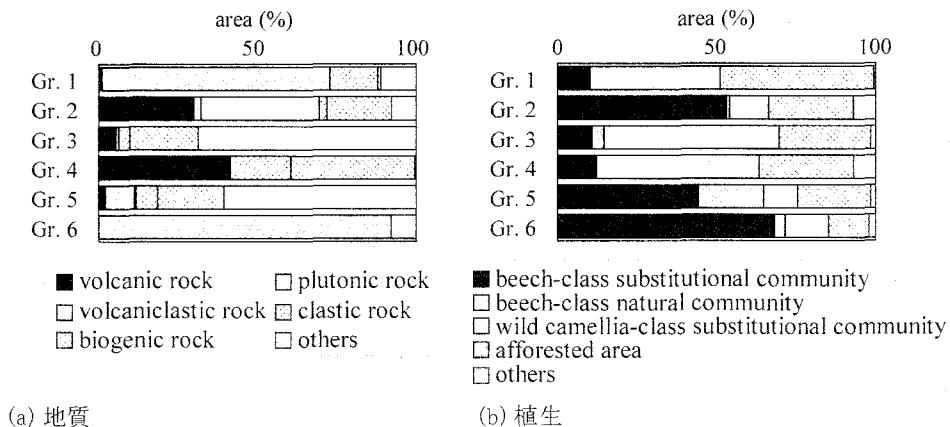


Fig. 4 分類されたグループの平均地質、植生

ところで、グループ1は地質においてグループ6と同様に深成岩が多くを占める。さらに、グループ1では、全窒素濃度は深成岩面積に比例して低下し($R = -0.83$)、砕石岩面積に比例し上昇する($R = 0.85$)傾向が見られた(Fig. 6)。この結果は、深成岩あるいは砕屑岩が全窒素濃度に影響を及ぼしている可能性を示している。國松と川地(2000)は堆積岩、すなわち本論文での火山砕屑岩、砕屑岩、生物岩の地域において硝酸態窒素濃度が高いと報告し、Fujii *et al.* (2001b)

もまた同様な結果を示している。本論文での結果もこれらの報告と矛盾するものではない。ただし、グループ1では深成岩と砕石岩の面積に強い相関関係($R = -0.93$)があったことから、どちらがより強く影響を及ぼしているかは断定できない。むしろ、後述するグループ1と6の比較から、深成岩の影響がより強いのではないかと考えている。

グループ6とグループ1の水質を比較すると、グループ6は上述のように全窒素濃度が低く、全リン濃度が高いという特徴を示した。一方、グループ1は窒素、リンともに今回の結果では平均的な値であった。この違いに関し考察してみる。

Fig. 6(a)におけるグループ1の相関関係において、深成岩面積77~100%のとき(すなわち、グループ6の深成岩面積割合)の全窒素濃度は約0.3~0.5 mg/Lとなっている。この値はグループ6において実際に観測された窒素濃度(0.2~0.4 mg/L程度)と近い。また、グループ6の地域においては、砕屑岩は見られなかった。このことから、これらのグループにおいては深成岩面積が全窒素濃度に影響を及ぼしていると考えられる。

グループ1では、全窒素濃度と同様に、深成岩、砕屑岩面積と全リン濃度との間に相関関係が見いだされた(Fig. 7、相関係数は0.88、0.77)。しかし、濃度は窒素と逆に、グループ6において高い結果となり、グループ6は今回の調査結果の中では比較的高い濃度を示し、グループ1との比較においても、グループ1の平均値が0.019 mg/Lであるのに対し、グループ6では0.025 mg/Lと高かった(中央値では、グループ1: 0.018 mg/L、グループ6: 0.031 mg/L)。林地の河川水質は多くの因子の影響を受けていること(國松・須戸, 1997)、今回のサンプル数が少ないことから、単純に結論づけることは出来ないが、グループ1と6の植生の違いに注目しても間違いではないと思われる。

グループ6ではブナクラス代償植生が58~89%を占め、優占している。グループ2、5においても同植生は多くを占めているが、リン濃度の分布は平均的である。このことから、深成

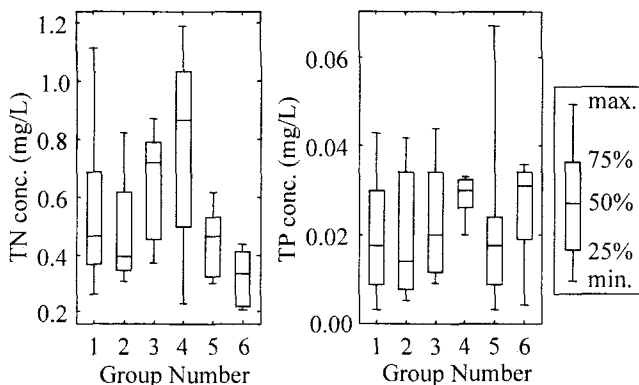
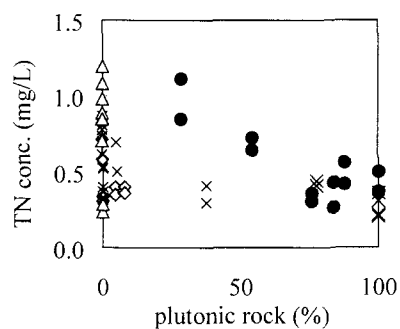
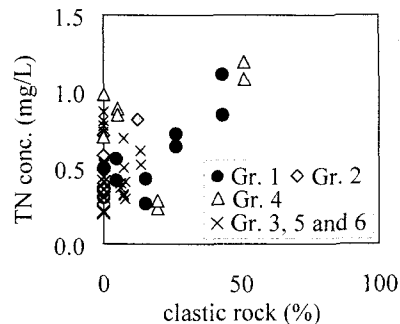


Fig. 5 分類されたグループの全窒素、全リン濃度分布



(a) TN-深成岩



(b) TN-砕屑岩

Fig. 6 全窒素濃度と深成岩、砕屑岩との関係

岩-ブナクラス代償植生という組合せにおいて、リン濃度を上昇させる機構が作用するのではないかと考えられる。

また、グループ4でもリン濃度が高い範囲に分布した (Fig. 5)。グループ4の植生はグループ1、3のそれに類似するものであることから、濃度の差は主に地質に起因するものと考えられる。グループ4の地質の特性は火山岩、生物岩、およびその他（主に粘板岩）が多いことであり、これらのいずれか、あるいはこれらの地質とヤブツバキクラス代償植生との組み合わせが影響を及ぼしているものと推測される。

結論

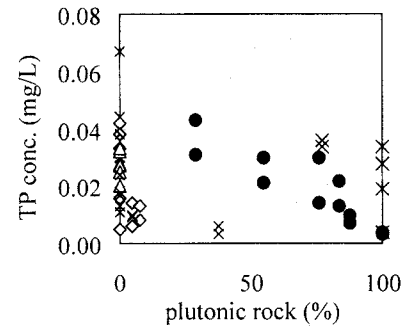
本論文では、琵琶湖集水域に存在する森林河川の水質と流域特性との関連性について議論した。結論を以下に示す。

- 1) 森林河川の全窒素、全リン濃度は琵琶湖内よりも高く、本集水域においては多くの森林が栄養塩供給源となっている。
- 2) 本研究で対象とした26河川は、地質および植生の違いから6つのグループに分類することが出来た。また、地質・植生に基づき分類されたこれらグループは、異なる栄養塩濃度分布を示し、地質あるいは植生、または地質-植生の組み合わせが栄養塩濃度に影響を及ぼしている可能性が考えられた。本研究で見られた関係を以下にまとめる。

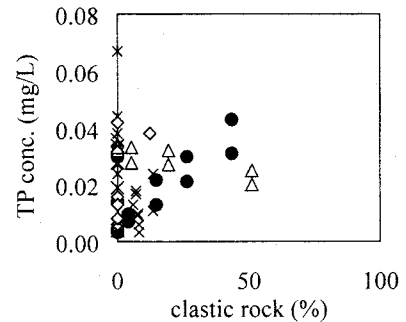
- 深成岩面積が多いと全窒素濃度は低い。
- 深成岩-ブナクラス代償植生が多いとリン濃度は高い。
- 火山岩、生物岩、粘板岩を含む地質とヤブツバキクラス代償植生との組合せではリン濃度が高い。

参考文献

- 環境庁 (1987) 現存植生図。
- 滋賀県自然保護財団 (1979) 滋賀県地質図。
- Fujii, S. and Somiya, I. (1999) Effects of Precipitation and River Loads on Water Quality Formation in Lake Biwa. *ASIAN WATERQUAL Conference Preprint*, 1363-1368, Taipei, October.
- Fujii, S., Somiya, I., Nagare, H. and Serizawa, S. (2001a) Water Quality Characteristics of Forest Rivers around Lake Biwa. *Water Science and Technology*, 43(5), 183-192.
- Fujii, S., Tanaka, H. and Somiya, I. (2001b) Quantitative comparison of forests and other areas on dry weather input loading in the Lake Biwa catchment area. *5th Internat. Conf. Diffuse/Nonpoint Pollution and Watershed Management*, Milwaukee, USA, July.
- 市木敦之, 大西敏之, 山田 淳 (1996) 集水域における下水道整備進捗にともなう琵琶湖流入汚濁負荷量の変化. 日本水環境学会誌, 19, 109-120.
- イリシャット・ラヒム, 柿本大典, 今井 剛, 浮田正夫 (1998) 森林流出水の水質特性と森林植生の水源涵養機能に関する研究. 土木学会論文集, 594/VII-7, 73-83.
- 國松孝男, 川地 武 (2000) 高濃度硝酸態窒素流出林地の分布と地層. 日本水環境学会シンポジウム講演集, 3, 104-105.
- 國松孝男, 須戸 幹 (1997) 林地からの汚濁負荷とその評価. 水環境学会誌, 20(12), 810-815.
- 福島武彦, 松重一夫 (1995) 山林河川における流域特性と水質との関係について. 水環境学会誌, 18(11), 909-916.



(a) TP- 深成岩



(b) TP- 碎屑岩

Fig. 7 全リン濃度と深成岩、
碎屑岩との関係