



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	森林河川の水質特性-漁川を例として-
Author(s)	杉山, 直樹; 山田, 俊郎; 橘, 治国
Description	第6回衛生工学シンポジウム (平成10年11月5日 (木) -6日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 7 調査事例 . 7-6
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 6, 264-269
Issue Date	1998-11-01
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/7361">https://hdl.handle.net/2115/7361</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	6-7-6_p264-269.pdf



7-6

森林河川の水質特性－漁川を例として－

○ 杉山直樹、山田俊郎、橘 治国 (北海道大学工学部)

1 はじめに

森林は水環境における水循環の最上部に位置していることが多く、水質成分の大きな供給源といえる。下水道や工場排水を中心とした特定汚染源対策が進んだ現在、非特定汚染源の代表である森林からの流出負荷を把握し管理することがこれからの水環境保全対策の中で必要である。<sup>1)</sup> 森林から発生する単位面積あたりの負荷量は、農地や都市域に比べると小さいが、我が国の森林の占める割合を考えれば森林からの発生負荷対策は決して軽視できるものではない。森林湖沼やダム湖の水質や生態系を保全するためには、森林集水域から発生する負荷を調査し把握する必要がある。本研究では水環境保全の上で重要な栄養塩を中心に、特に多量の負荷が発生する降雨時にも調査を行ない、その流出特性を明らかにすることを目的とした。

2 研究方法

2.1 調査対象水域の概要

調査対象としたのは、北海道恵庭市西部に位置する石狩川水系千歳川支流の漁川、ラルマナイ川、イチャンコッペ川、モイチャン川の4河川である。(図1) これらの河川は漁川ダム湖への主な流入河川となっている。4河川の諸元を表1に示す。集水域一円は原生林と人工林からなる。集水域の地質はほぼ同様であり、表層土壌は森林褐色土と黒ボク土で占められる。

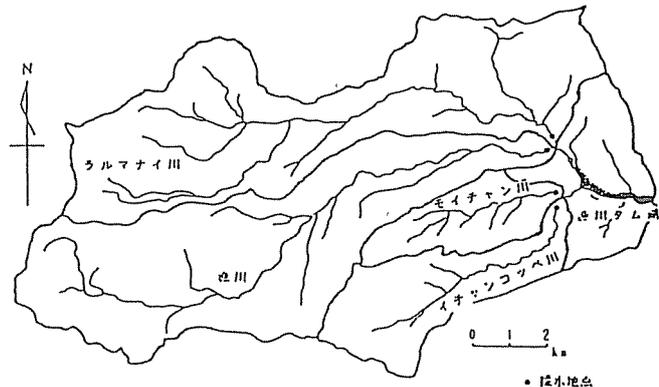


図1 調査対象地区

2.2 調査方法

水質調査は1997年5月～11月にかけて実施した。調査は目的に対応し定期採水、日採水、降雨時採水に区分して行なった。漁川、ラルマナイ川、イチャンコッペ川、モイチャン川のダム湖流入部を調査地点とした。

- (1) 定期採水：漁川、ラルマナイ川、イチャンコッペ川、モイチャン川の4河川を対象に、一般水質を把握するため多量の水を定期的にバケツにより採取した。採水は、1997年5月～11月の期間にほぼ2週間間隔で行なった。
- (2) 日採水：水質変動特性を考慮し、漁川、モイチャン川の2河川を対象に、1997年6月～10月の定時において一日一度、自動採水機 (JSCO 3700型) により採水を行なった。調査期間中、日中は林道整備などの工事の影響が出ると予想されたため午前0時を定時とした。
- (3) 降雨時採水：漁川、モイチャン川において、97年6月下旬から9月下旬の降雨時に1～2時間間隔で自動採水機による連続採水を行なった。計5回の降雨時に採水を行なうことができた。降雨時には、雨水も採取した。

### 3 結果及び考察

#### 3.1 水文および水質の観測結果

##### (1) 調査対象河川の水文

表1に調査対象河川の平水量と河況係数を示した。4河川の河況係数は、日本の一般的な都市河川に比べてかなり小さく、森林内河川の特徴を示している。ラルマナイ川が最も大きく、ついで漁川、モイチャン川、イチャンコッペ川の順である。ラルマナイ川、漁川は流量変動が大きく、モイチャン川、イチャンコッペ川は変動の小さい安定した川であるといえる。ラルマナイ川と漁川は古く鉱山があり荒廃河川の様相を呈しており、モイチャン川とイチャンコッペ川は河岸まで下草が覆い典型的な森林内河川の様相で、これら流況と対応している原因といえよう。

表1 調査対象河川の諸元

		漁川	ラルマナイ川	イチャンコッペ川	モイチャン川
集水面積	km <sup>2</sup>	40.2	39.8	14.8	8.1
流路長	km	18.6	15.1	9.5	7.5
平水量	m <sup>3</sup> /s	3.8	3.2	0.9	0.5
河況係数		15.6	20.1	4.3	10.2

\*ただし平水量と河況係数はすべて6月1日～11月15日の日平均流量を使用している

##### (2) 対象河川の一般的水質

4河川の主な水質成分濃度を13回の定期調査(融雪増水時2回を含む)によって求め、その平均値と変動係数(標準偏差を平均値で除したもの)を表2に示した。電気伝導度はいずれも100μS/cm以下で変動係数も0.05以下と小さく、SSは1~3mg/lと、森林河川水の清澄さを示している。SSの変動係数は幾分大きく、また漁川で大きく河川の流況と対応しているようである。一般無機成分のなかではアルカリ度(4.3Bx)が、4河川に共通して4.9meq/l前後の濃度レベルであり、変動係数も0.05以下で差がない。炭酸イオンは降水中には含まれず、地下土壤に接触しているうちに水に溶け込むものと考えられているので、4河川への地下水流出の寄与には大きな差がないと考えられる。塩化物イオンは4mg/l前後で4河川とも共通している。硫酸イオンはモイチャン、イチャンコッペ川では濃度が低く、低い塩化物イオン濃度を考えると雨水涵養型といえる。しかし漁川、ラルマナイ川では10mg/l以上で、カルシウムイオンマグネシウムイオンについても同様のことがいえることから、これらの河川水質には地質的要因が関連していることがわかる。ナトリウムイオンとカリウムイオンは、モイチャン、イチャンコッペ川で幾分平均濃度が高い。これら流況が安定した川では地下水が深く関わっていると判断される。栄養塩は、4河川ともに全窒素(TN)の平均値が0.2mg/l前後と、下流の閉鎖性水域の生態系に対して無視できない濃度レベルである。またTNのほとんどがDNであり、DNの半分以上が無機態であった。無機態窒素は硝酸態窒素が優先し、亜硝酸態窒素やアンモニア態窒素はほぼ存在せず、TNやDNの濃度やその変動の4河川間の差はない。硝酸態窒素について存在割合が高いのは溶存態有機窒素(DON)で、森林土壤に豊富に含まれていることがわかる。溶存態有機窒素の平均値は漁川、ラルマナイ川がほかの2河川に比べてわずかに高いが、変動係数はイチャンコッペ川、モイチャン川で大きく、これらの流域の土壤において土壤を分解する生物活動が盛んであることがうかがえる。リンについては、4河川の全リン(TP)濃度は平均値で0.01mg/l前後であり、窒素と同様に下流の閉鎖性水域に対する影響が無視できない。4河川の中ではモイチャン川で濃度が高く漁川で濃度が低い。形態別には、懸濁態リン(PP)はどの河川も同じ濃度レベルであるが、溶存態リン(DP)の濃度がモイチャン川で大きく、これがモイチャン川での全リン濃度が高くあらわれる要因となっている。溶存態リンはリン酸態リンが優先し、4河川に共通している。

ン川で小さく、リンの流出変動は懸濁態に支配されていることがわかる。モイチャン川やイチャンコッペ川のような流況が安定した森林河川では漁川のような荒廃河川に比べてリン酸態リンの保有量が多く、またリン酸態リンが容易に流出されないことがわかる。

表2 調査期間中の一般水質

		平均値				変動係数			
		漁川	ラルマナイ川	イチャンコッペ川	モイチャン川	漁川	ラルマナイ川	イチャンコッペ川	モイチャン川
流量	m <sup>3</sup> /s	3.1	3.1	0.9	0.5	0.27	0.34	0.10	0.22
比流量	m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>	0.08	0.08	0.06	0.06	0.27	0.34	0.10	0.22
水温	°C	13.1	13.4	10.7	11.0	0.30	0.32	0.22	0.24
pH		7.1	7.0	7.0	7.1	0.04	0.04	0.04	0.04
E.C.	μ S/cm	93.3	77.5	63.9	68.8	0.04	0.05	0.04	0.04
SS	mg/l	2.8	1.5	1.6	1.0	0.96	0.72	0.76	0.89
DO	mg/l	9.6	9.4	9.9	9.7	0.06	0.06	0.06	0.06
4.3Bx	meq/l	0.4	0.3	0.4	0.4	0.06	0.05	0.04	0.04
SiO <sub>2</sub>	mg/l	26.1	28.1	26.7	27.5	0.22	0.29	0.29	0.39
Cl <sup>-</sup>	mg/l	4.0	4.1	4.2	4.2	0.20	0.14	0.16	0.16
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	15.6	10.8	5.1	5.6	0.11	0.08	0.19	0.18
Na <sup>+</sup>	mg/l	0.9	0.9	1.0	1.1	0.28	0.26	0.28	0.25
K <sup>+</sup>	mg/l	5.2	5.4	5.3	6.1	0.14	0.07	0.08	0.10
Ca <sup>2+</sup>	mg/l	8.8	5.1	3.9	4.0	0.22	0.26	0.32	0.31
Mg <sup>2+</sup>	mg/l	2.0	1.8	1.4	1.4	0.24	0.14	0.21	0.32
TN	mg/l	0.13	0.19	0.18	0.17	0.54	0.42	0.49	0.38
DN	mg/l	0.12	0.12	0.13	0.13	0.64	0.53	0.48	0.49
PN	mg/l	0.01	0.07	0.05	0.04	0.91	1.20	1.11	0.98
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	mg/l	0.08	0.06	0.08	0.09	1.24	1.02	0.69	0.64
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	mg/l	0.001	0.001	0.001	0.002	0.49	0.74	0.60	0.51
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	mg/l	0.004	0.007	0.003	0.003	0.85	0.53	0.96	0.87
DON	mg/l	0.05	0.05	0.04	0.04	0.47	0.51	0.99	1.01
TP	mg/l	0.007	0.012	0.012	0.017	0.37	0.46	0.23	0.21
DP	mg/l	0.003	0.007	0.008	0.014	0.47	0.25	0.29	0.14
PP	mg/l	0.004	0.005	0.004	0.004	0.51	0.91	0.61	0.72
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	mg/l	0.005	0.008	0.008	0.014	0.49	0.31	0.29	0.19
TOC	mg/l	0.9	1.1	1.3	1.2	0.25	0.15	0.23	0.29
DOC	mg/l	0.8	0.8	0.8	0.9	0.24	0.25	0.18	0.24
POC	mg/l	0.1	0.3	0.4	0.2	0.70	0.59	0.75	0.86

### 3. 2 栄養塩の流出負荷量について

栄養塩を含めた河川水質は、融雪や降雨などによる流出条件に左右されるものが多く<sup>2)</sup>、水質成分の流出負荷量の変化、すなわち流出機構を把握するためには増水時も含めた連続した調査が必要である。4河川のうち水質の差異が大きい漁川とモイチャン川の2河川を対象とした日連続採水の結果より、栄養塩流出負荷量について検討した。河川水質の変化は主に増水時にあるので、平水時と増水時に分けて検討した。各水質項目について、濃度と日平均比流量を掛け合わせ1日あたりの量に換算したものを比水質成分流出負荷量とし、平水時と増水時のそれぞれ比水質成分流出負荷量の平均値を計算し図2、図3に示した。栄養塩は他の無機成分に比べて増水時の比水質成分流出負荷量が大きい特徴があるが、全窒素は漁川で3倍以上、モイチャンで2倍以上であり、増水時負荷発生の下流に与える影響が大きいことがわかる。その中でも特に硝酸態窒素と溶存態有機窒素の増水時の比水質成分流出負荷量は平水時に比べて大きい。懸濁態窒素の比水質成分流出負荷量も平水時に比べて増水時に増加しているが、溶存態窒素成分の比水質成分流出負荷量の増加に比べて小さい。これまでの報告では増水時に懸濁物質が大量に流出し、それに伴い懸濁態窒素の流出が多くなるといわれており<sup>3)</sup>、今回の結果はこれらの報告と異なる。アンモニア態窒素や亜硝酸態窒素はあまり大きな負荷流出は見られず、流域内に存在している量が微量であるかもしくは反応性に富んでいてすぐに別の形態に変化しているものと思われる。漁川とモイチャン川の流域間で発生する平水時の比水質成分流出負荷量は、

モイチャン川は漁川に比べて全窒素量は少ないが、硝酸態窒素は ( $0.35 \text{ kg/d/km}^2$ ) 多い。増水時の硝酸態窒素の比水質成分流出負荷量は両河川で大きくなるが、漁川で顕著である。安定した森林河川であるモイチャン川は硝酸態窒素を豊富に含み、増水時の流出負荷量は若干低くなるものの全体的には流出変動が少なく、森林土壌は窒素成分を豊富に含み下流の生態系の維持に大きな寄与をしていることがわかる。リンに関しては、全リンの比水質成分流出負荷量は平水時にはモイチャン川の方が多いが、増水時には漁川の方が多。モイチャン川は溶解態のリンを安定して流出していることがわかる。森林が荒れるとリンは懸濁物質とともに流出し、森林の栄養状態は貧困になるともいえる。

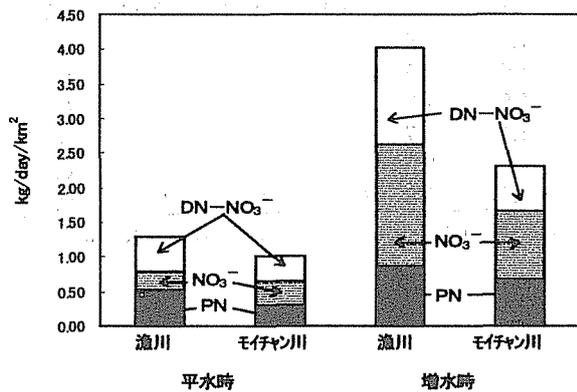


図2 日採水における窒素の流出負荷量の平均値

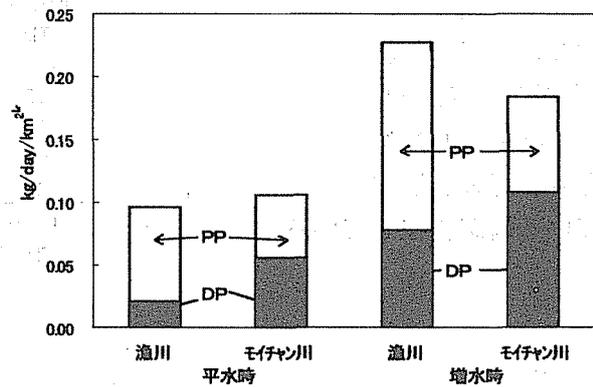


図3 日採水におけるリンの流出負荷量の平均値

### 3. 3 降雨時における栄養塩流出パターン

漁川とモイチャン川を対象に1997年の7月から9月までの降雨のうち、5回の降雨イベントについて1時間ないし2時間おきに連続採水を行った。栄養塩の流出特性を把握するため、従来用いられている比流量と比水質成分流出負荷量の経験式を用いて、森林河川からの栄養塩の流出特性について検討した。栄養塩について比流量 ( $Q$ ) と比流出負荷量 ( $L$ ) の関係を両対数グラフに示し、 $L = c \cdot Q^n$  式を用いて行った回帰結果を、表3に示す。ここで、 $Q$  は比流量 ( $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ ) で、 $L$  は比流出負荷量 ( $\text{g}/\text{s}/\text{km}^2$ )、 $c$ 、 $n$  は係数である。解析結果の相関係数  $R$  ( $\log Q$  と  $\log L$  について) より経験式の適用性がわかり、 $n$  値により各栄養塩成分の流出特性がわかる。

$n$  値によって分類される負荷流出特性は一般に以下のように考えられている<sup>4)</sup>。

- 1)  $n > 1$  : (洗い出し型)
- 2)  $n = 1$  : (濃度一定型)
- 3)  $n < 1$  : (希釈型)

懸濁態窒素の  $n$  値が漁川で1.9、モイチャン川で2.0と高く、また硝酸態窒素の  $n$  値も漁川で1.8、モイチャン川で1.5と、流量増加に伴って窒素成分が大量に洗い出されていることがわかる。モイチャン川では回帰式との相関係数が多くの窒素成分で漁川より大きく、モイチャン川流域の土壌に豊富に窒素成分があるといえる。特にモイチャン川において硝酸態窒素を中心に溶解成分の相関係数が大きい、林相が安定すると極めてコンスタントに供給できる能力が形成されることがわかる。濃度の低いアンモニア態窒素は相関が低い。懸濁態窒素

については両河川で溶存態と比べて相関係数が小さいが、相関グラフから低比流量で回帰直線によりかなり低い比流出負荷量値の点がみられる。ある流量を超えた時点で急激な流出が生じるという懸濁物の流出特性によるものと思われる。いずれにしても懸濁態窒素は土壌の優占的な構成成分であるからであろう。懸濁態リンは懸濁態窒素と同じく、 $n$  値が高く相関は0.7付近であり、溶存態リンと比べて相関グラフにおいて回帰式からのばらつきがある。溶存態リンは窒素成分と異なり、漁川、モイチャン川の両河川において $n$  値が小さい。特にモイチャン川の溶存態リンの $n$  値は0.7であり、希釈型といえる。土壌中に広く存在している窒素成分と違い、溶存態リンは負荷発生量に限界があり、森林土壌中ではリンが蓄積されている層が存在していると考えられる。

表3 回帰結果

	$n^*$		$c^*$		$R^{**}$	
	漁川	モイチャン川	漁川	モイチャン川	漁川	モイチャン川
TN	1.6	1.7	0.68	0.13	0.93	0.94
DN	1.4	1.4	0.33	0.60	0.90	0.93
PN	1.9	2.0	0.31	0.55	0.75	0.74
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	1.8	1.5	0.34	0.39	0.87	0.95
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	1.1	1.3	0.01	0.03	0.66	0.72
TIN	1.6	1.5	0.32	0.42	0.89	0.95
DON	1.0	1.5	0.04	0.22	0.56	0.68
TP	1.8	1.8	0.07	0.16	0.82	0.87
DP	1.1	0.7	0.005	0.006	0.76	0.87
PP	2.0	2.2	0.06	0.21	0.75	0.82
RP	0.8	0.8	0.002	0.004	0.55	0.44

\*  $L=c \cdot Q^n$  ( $Q$ : 比流量( $m^3/s/km^2$ )、 $L$ : 比流出負荷量( $g/s/km^2$ )、 $c, n$ : 係数)

\*\* 相関係数

#### 4. 結論

汚濁負荷発生源対策として点的なものから面的なものへとその重要性が問われるようになってきた。森林河川から流出する負荷を量的・質的にとらえることが、今後の水環境管理においての課題となっている。本研究では隣接する集水域を持つ4河川の水質成分を、栄養塩を中心としてその水質変化特性や流出特性について調査を行い、集水域環境による流出負荷量とその特性の差異について検討した。以下に本研究の結果をまとめる。

##### <調査対象河川の水文・一般的水質>

河況係数を比較すると隣接する集水域であっても河川で異なり、モイチャン川、イチャンコッペ川は漁川、ラルマナイ川に比べて流量変動が小さく安定している。調査対象とした4つの森林河川に含まれる水質成分濃度は一般河川に比べて低いが、栄養塩レベルは下流域の富栄養化に対して無視できない。河川水中における栄養塩の形態は溶存態のものが大部分を占め、窒素に関しては硝酸態成分と有機態成分が、リンに関してはリン酸態成分が多くを占める。また地理的条件の差と関連して流域間に濃度レベル差のあることがわかった。

##### <栄養塩負荷流出>

栄養塩濃度は無機成分に比べて変動し、変動の大きさも河川により異なった。すなわち森林河川からは増水時において、流況や地理的状况と対応して平水時の2倍以上の栄養塩負荷が容易に流出していることが確認された。

##### <降雨時における栄養塩流出>

栄養塩の流出パターンを $L=c \cdot Q^n$ 式でまとめた。窒素成分は全て流量に対し濃度増加型を示した。リン成分もふくめて懸濁態成分でこの傾向が大きいことが認められた。一方、溶存態リン成分は流量に対して希釈型を示しており、集水域内にリンのプールが存在するものと推測された。2河川間に降雨時の流出パターンに大きな差異は見られなかった。森林河川は、平水時に豊富な栄養塩を流出すると言える。

本研究を遂行するにあたり、北海道開発局岡下淳氏、また北海道開発局漁川ダム管理所、千

歳川建設事務所、開発土木研究所の皆様、そして水質工学研究室の学生・卒業生諸氏の皆様のご協力・ご援助をいただいた。ここに記し感謝を表します。

<参考文献>

- 1) 国松孝男・吉良竜夫：山林からの栄養塩の流出と対策、水処理技術、27 巻、10 号、p59-p68(1986)
- 2) 村岡浩爾・平田建正：溪流水質からみた森林浄化機能に関する研究（第3報）国立公害研究所研究報告、第95号、p53-p74(1988)
- 3) 橘 治国、那須義和：石狩川の水質－汚濁物質の流出機構を中心として－、衛生工学研究討論会講演論文集、第14回、p90-96(1978)
- 4) 橘 治国：集水域の環境と河川水質、北海道土壌肥料研究通信－第43回シンポジウム、p31-42(1997)