



Title	森林河川の水質と森林の保全
Author(s)	筒井, 誠二; 岡下, 淳; 橘, 治国 他
Description	第1回衛生工学シンポジウム (平成5年11月17日 (水) -18日 (木) 北海道大学学術交流会館) . 9 都市・水・室内等の環境 . 9-4
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 1, 347-352
Issue Date	1993-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7479
Type	departmental bulletin paper
File Information	1-9-4_p347-352.pdf



森林河川の水質と森林の保全

筒井誠二、岡下 淳、橋 治国、丹保憲仁（北海道大学工学部）、藤原滉一郎（北海道大学農学部演習林）、小林大二（北海道大学低温科学研究所）、美口博子（パシフィックコンサルタンツ）、大森博之（熊本大学医学部）、遠藤 浩、久保貴司（北海道）、久保 毅（国際航業）

1.はじめに

集水域が森林である貯水池や湖沼において、しばしばプランクトンの異常増殖や、濁水現象がみられることがある。この原因は主に、湖内の物質循環に関連した現象としてとらえられることが多いが、流入河川水質が関連する事例も多いものと思われる。

ところが森林河川水質に関する研究例は少なく、一般的に「きれいな水」として扱われている。しかし筆者らは、下流域の濁水現象や、生態系への影響を考えると「はたしてそれでよいのであろうか」という素朴な疑問を抱いた。これが、我々の森林河川に関する研究^{1) 2) 3)}の端緒である。

今回は、これまでの調査から森林の利用状態と森林河川水質の関連について述べる。主な対象水域は、地質的に土壌が流亡しやすくSS濃度の高い豊平川支流薄別川流域の小川集水域と、植生のしっかりした豊平川支流簾舞川流域の北海道大学農学部簾舞試験地内の小河川（以下試験地河川とする）とした。（表1）

表1 調査対象森林河川の比較

河川名	小川 (実名)	試験地小河川 (仮名)
集水域名	小川集水域	北海道大学演習林簾舞試験地
流域	豊平川薄別川流域	豊平川簾舞川流域
集水域面積	11km ²	0.191 km ²
河川流路延長	7.0 km	0.3~0.4 km
平水景	0.2~0.3 m ³ ·sec ⁻¹	0.001~0.002 m ³ ·sec ⁻¹
最高峰	無意根山 (1,461m)	焼山 (562m)
森林	エゾマツ・シラカバ・ハンノキ営林署による生産・造林事業。林道あり。	ミズナラ・シナノキ・イタヤカエデ、ハルニレ、一部カラマツ人工林。調査地点より上流は自然林に近い二次林。
岸辺の植生地質	ヤナギ・ヤチダモ 新第三紀火山岩・堆積岩に新第四紀安山岩質溶岩で脆弱で崩壊し易い。	クマイザサ・下草安定豊富 新第三紀~第四紀の堅半な安山岩質
河川の特徴	荒廃河川 (土砂が流出し易い。)	清澄で濁りが少ない。
居住地	砂防ダム8ヵ所 なし	なし

2.森林集水域からの流出負荷

さまざまな森林集水域からの栄養塩流出負荷量を比較することは、森林の機能を知るうえで意味があり、また現実的な水質管理と関連して大切である。表2に、わが国における全窒素と全リンの流出負荷量を、筆者らの調査を含め既存資料によって整理したものである。年間の流出発生負荷量は、全窒素で最小183 kg/km²、最大720 kg/km²で平均的には300~500 kg/km²、全リンとしては最小9.5 kg/km²、最大55 kg/km²で、平均的には10~30 kg/km²である。いずれの成分もも最大値と

表2 森林からの負荷発生量の比較

TN kg·km ⁻² ·yr ⁻¹	TP kg·km ⁻² ·yr ⁻¹	出典
694	18.4	土木学会 (1970)
258	13.5	〃 (1975)
405	13.5	〃 (1978)
245	21.5	中西 他 (1973)
340	32.5	〃
720	—	和田 (1978)
360	12.0	渡辺 他 (1979)
445	9.5	国松 他 (1986)
358	11.3	〃
183-420	13.0-55.0	堤 (1987)
390	32.3	本報告(小川集水域)
520	11.5	〃 (試験地河川)

表3 季節別平均水質

小川 (1987.9~1989.8)

(単位: mg/l⁻¹)

試料数*	秋季(9-11月)		冬季(12-3月)		融雪期(4,5月)		夏季(6-8月)		年平均値 (算術平均)		降雨	積雪
	78	18	56	90	240	5~8	11~14					
NH ₄ ⁺ -N	0.03 (27.2)**	0.01 (22.1)	0.01 (6.9)	0.02 (17.4)	0.02 (21.0)	0.16	0.19					
NO ₃ ⁻ -N	0.08 (72.8)	0.08 (87.9)	0.15 (93.1)	0.14 (83.6)	0.11 (89.0)	0.16	0.15					
TIN	0.11 [84.6]**	0.09 [90.0]	0.16 [84.6]	0.16 [100.0]	0.13 [91.0]	0.32	0.35					
DN	0.14 <99.6>**	0.10 <88.9>	0.19 <79.2>	0.16 <73.5>	0.14 <81.9>							
PN	0.01 <0.4>	0.01 <11.1>	0.05 <20.8>	0.06 <26.5>	0.03 <18.1>							
TN	0.15	0.11	0.24	0.22	0.17	0.34	0.37					
DRP	0.003 (60.0)	0.004 (57.1)	0.005 (71.4)	0.002 (18.2)	0.003 (45.6)	0.006	0.004					
DP	0.005 <62.5>	0.007 <77.8>	0.007 <35.0>	0.011 <52.4>	0.008 <55.2>	0.011	0.005					
PP	0.003 <37.5>	0.002 <22.2>	0.013 <65.0>	0.010 <47.6>	0.006 <44.8>							
TP	0.008	0.009	0.020	0.021	0.014	0.015	0.013					
DOC	1.1	0.9	0.7	1.1	1.0	0.6	1.0					
POC	0.4	0.1	0.9	0.8	0.5	0.5	0.7					
TOC	1.5	1.0	1.6	1.9	1.5	1.1	1.7					
Cl ⁻	4.9	5.2	6.2	3.6	4.9	1.8	4.6					
SO ₄ ²⁻	13.0	16.8	10.5	14.2	14.2	2.3	2.3					
Na ⁺	4.3	4.4	3.9	3.6	4.1	1.6	2.4					
K ⁺	0.7	0.6	0.6	0.7	0.7	0.2	0.2					
Ca ²⁺	4.6	5.3	4.1	5.3	4.9	0.5	1.3					
Mg ²⁺	1.7	1.9	1.6	1.3	1.7	0.4	0.4					
SiO ₂	15.3	19.4	11.4	14.7	15.9	0.7	0.4					
SS	21.6	19.8	22.5	18.1	26.0	1.1	16.7					

* : 項目によっては若干少ない。

** : ()はTIN, DPに, []はDNに, <>はTN, TPに占める割合

試験地河川 (1990.9~1991.8)

(単位: mg/l⁻¹)

試料数*	秋季(9-11月)		冬季(12-3月)		融雪期(4,5月)		夏季(6-8月)		年平均値 (算術平均)	
	12	7	9	13	41					
Q	2.20	2.48	10.99	0.5						
NH ₄ ⁺ -N	0.01 (2.0)**	0.01 (1.3)	0.01 (1.4)	0.01 (2.1)	0.01 (1.6)					
NO ₃ ⁻ -N	0.48 (98.0)	0.74 (97.4)	0.71 (97.6)	0.47 (97.9)	0.60 (96.8)					
TIN	0.49 [98.0]**	0.76 [97.4]	0.73 [97.3]	0.48 [98.0]	0.62 [85.1]					
DN	0.66 <84.6>**	0.86 <100.0>	0.84 <85.7>	0.59 <95.2>	0.74 <93.6>					
PN	0.12 <15.4>	0.00 <0.0>	0.13 <14.3>	0.03 <4.8>	0.06 <6.4>					
TN	0.78	0.86	0.98	0.62	0.80					
DRP	0.021 (87.5)	0.021 (96.1)	0.017 (71.4)	0.029 (18.2)	0.022 (88.0)					
DP	0.024 <85.7>	0.022 <95.7>	0.020 <90.9>	0.032 <91.4>	0.025 <89.3>					
PP	0.004 <14.3>	0.001 <4.3>	0.002 <9.1>	0.003 <8.6>	0.003 <10.7>					
TP	0.028	0.023	0.022	0.035	0.028					
DOC	1.2	1.2	1.0	1.0	1.2					
POC	0.4	0.0	0.1	0.5	0.2					
TOC	1.6	1.2	1.1	1.5	1.4					
Cl ⁻	6.2	7.2	7.1	6.6	6.3					
SO ₄ ²⁻	3.3	4.0	4.6	4.3	4.0					
Na ⁺	5.9	6.2	6.2	6.7	6.2					
K ⁺	0.9	0.6	0.6	0.7	0.7					
Ca ²⁺	3.4	4.9	4.7	5.1	4.6					
Mg ²⁺	1.9	1.6	1.5	1.6	1.7					
SiO ₂	24.6	21.9	20.2	25.6	23.2					
SS	1.9	3.0	4.7	2.4	2.8					

* : 項目によっては若干少ない。

** : ()はTIN, DPに, []はDNに, <>はTN, TPに占める割合

最小値にオーダーが変化する程の差はない。表2に示した値の基礎資料について分析方法や精度さらに試料水採取方法に問題があったり採水時期や間隔が不統一ではあるが、筆者らの北国のデータを含め大きな差異の無いことは注目に値する。このことは森林への栄養塩負荷が、降水やフォールアウトに限られているためと思われる。

3. 対象森林河川の平均水質と流出負荷

調査対象とした2河川の季節別および年平均水質を表3に示した。年平均値から、小川で全窒素(TN) 0.17、全リン(TP) 0.014、試験地河川でTN 0.80、TP 0.022と、両河川とも富栄養化レベル(TN 0.5~1.3、TP 0.01~0.09)⁵⁾にあることが注目される。試験地河川で栄養塩濃度が数倍高いが、植生が豊かな森林からは栄養塩を豊かに含んだ水が流れでてくることがわかる。また栄養塩を懸濁態と溶解態の割合から比較すると、小川では懸濁態、特に懸濁態リン(PP)の割合が高く特徴的である。これは小川で懸濁物質(SS)の年平均濃度26.0mg/lと高いように、リンを吸着した土壌の流出が原因といえる。試験地河川ではほとんどが溶解態で占められており、SS濃度が2.8mg/lと低いように土壌の水域への流出量が極めて少ないことと対応している。

栄養塩の形態を化学的にみると、溶解態窒素(DN)では両河川ともそのほとんど(73~98%)が硝酸態窒素(NO₃⁻-N)であり、溶解態リン(DP)では反応性リン(DRP、リン酸態リン)の割合が高く、特に試験地河川で高い傾向が認められる。

これらの形態が優占することは、様々な形態で森林に供

表4 水質成分の年流出負荷量
小川(1987.9~1989.8)
試験地河川(1990.9~1991.8)

単位	小川 kg·km ⁻² ·yr ⁻¹	試験地河川 (* : ×10 ³ m ² ·km ⁻² ·yr ⁻¹)
Q	1,740*	526.0*
NH ₄ ⁺ -N	23.5	5.2
NO ₃ ⁻ -N	241	375.2
TIN	267	384.7
DN	301	456.8
PON	88.9	62.8
TN	390	519.6
DRP	7.5	9.3
DP	11.0	10.3
PP	21.3	1.1
TP	32.3	11.5
DOC	1,710	556.7
POC	1,560	44.4
TOC	3,270	600.3
SS	8,067	1,949

年降水量：小川 1,223mm, 試験地河川 1,220mm

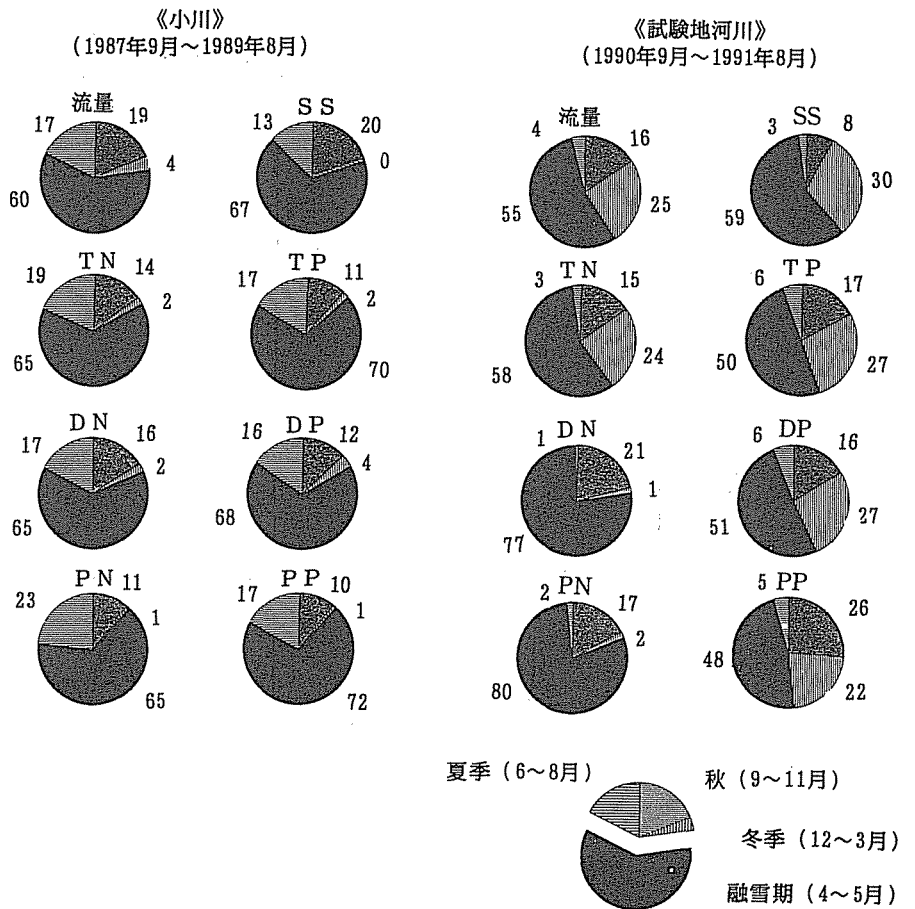


図1 季節別栄養塩流出負荷量の割合(%)

給された栄養塩が、森林内集水域内で生物化学的に安定化するためといえよう。全有機炭素（TOC）や一般的な無機イオンに大きな差は認められなかった。小川のCa²⁺とSO₄²⁻濃度が幾分高いが、これは集水域内に湧泉があるためである。

表4に、小川と試験地河川について形態別に分画した栄養塩の年間流出負荷量を示した。栄養塩の流出負荷量を形態別にみると、小川では懸濁態リン（PP）の試験地河川では硝酸態窒素（NO₃⁻-N）の流出量が多いのが特徴的である。生産物としての有機炭素の流出負荷量は、小川は試験地河川の4～5倍で、この差は栄養塩に比較するとかなり大きい。栄養塩は、自然の森林では豊富に蓄積・貯蔵されていることになる。SSは荒廃河川の小川で4倍程度の負荷流出量となった。栄養塩を中心に季節別の流出負荷量と割合を示したのが図1である。いずれの成分の流出負荷量も、融雪期の割合が圧倒的に高い。融雪期は、冬に蓄積された物質がその2ヶ月という短期間に大量に流出し、下流域の環境に大きな影響を及ぼすことは確実である。小川では融雪期の懸濁態リン（PP）が72%に、試験地河川では硝酸態窒素を主体とする溶存態窒素（DN）が77%に達している。また小川では冬の割合が低く特徴である。

4. 増水時の水質と森林の保全

<降雨時>図2に、降雨増水時の短期的水質変化を示した。このように、土壌が流亡しやすい小川集水域では流量の増加にともないSSやPPの濃度の上昇が認められる。一方の試験地河川では溶存態栄養塩の増加がみられ、降水による蓄積栄養塩の流出のため濃度を高くなる。このような現象は、平田ら⁶⁾により筑波森林試験地でも観測されている。また、ここでは小川同様土壌の流亡しやすい地質である上磯町下町沢の例も示した。ここではPNで小川の2倍、SS、PPではオーダーが違うほどの高濃度で懸濁物質の流出が起こっている。

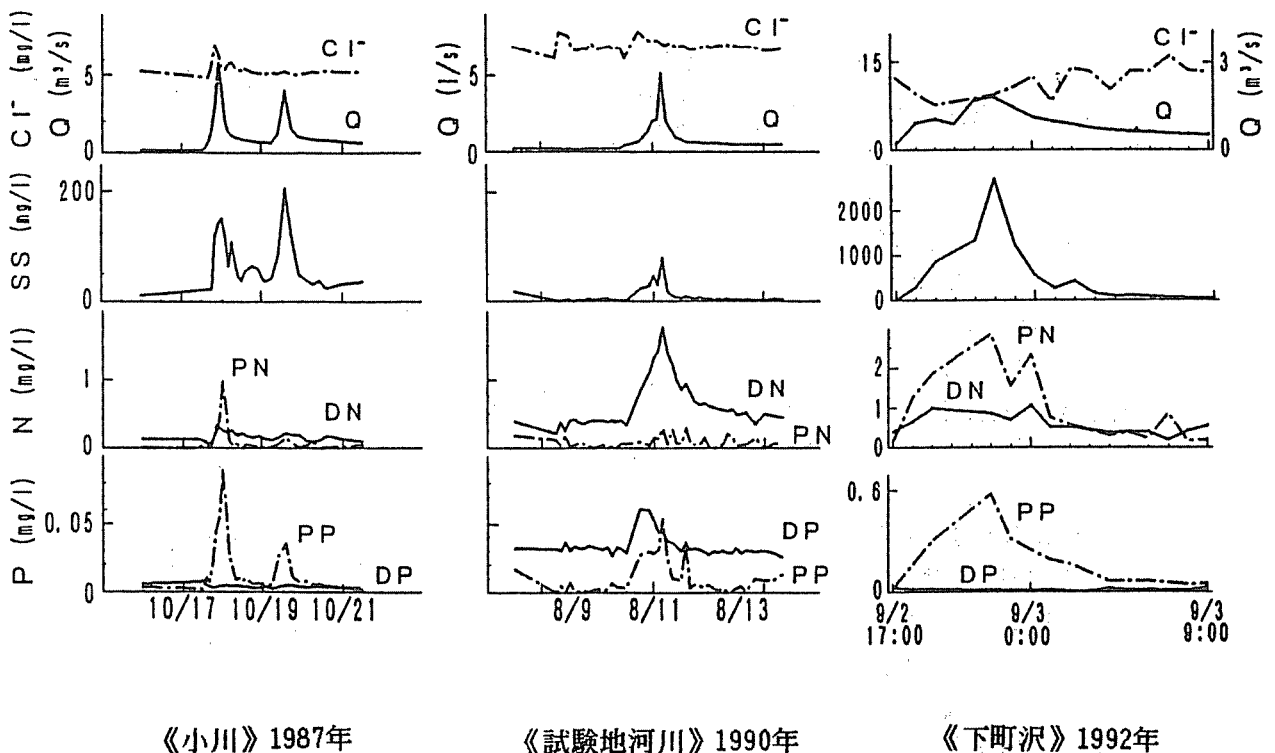


図2 降雨増水時の水質変化

<融雪期> 図3は融雪期の小川集水域における水質成分濃度の変化である。SSの濃度が、初期の3回の増水時に濃度が増加しているのに対し、4、5回目の増水時に濃度の増加がみられないのが特異的である。これは後半の流量増加がおもに山間部の融雪によるものと考え、流量増加による水質成分の洗い出しは河川内よりも河川への流出過程で起こることを示している。窒素、リンおよび有機炭素成分の流出でも懸濁態が優越しているため、流域の状態が森林河川水質に大きな影響を及ぼしていることがここでも理解できる。

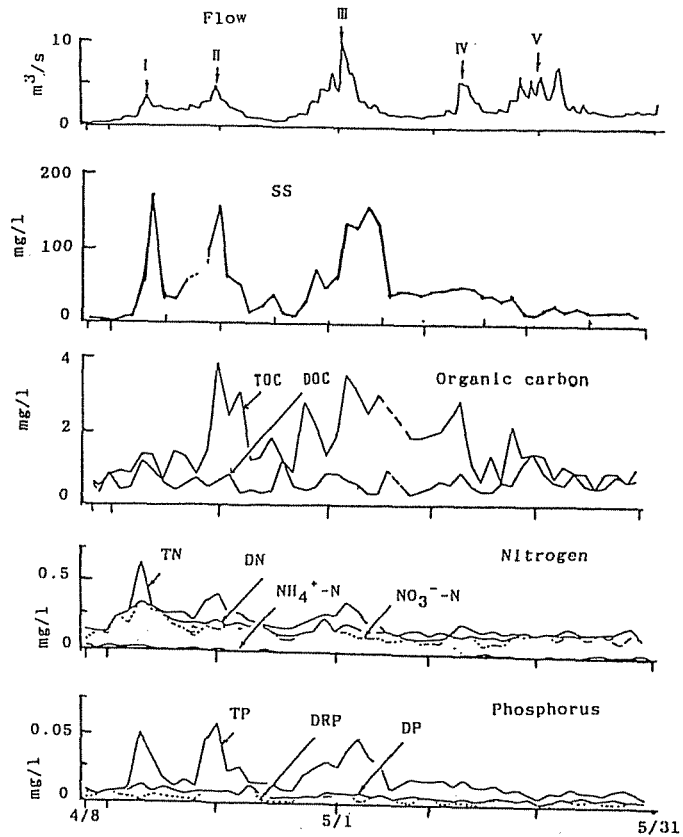


図3 融雪期の水質変化(小川)

5. 水質成分流出特性

栄養塩の流出パターンを、比流量(流量(Q)/流域面積(A): X)と比成分流出量(L(濃度×流量、C・Q)/流域面積(A): Y)との関係、すなわち $Y = C \cdot X^n$ 型で整理すると、表5のようになる。n値が1より大きいと流量とともに濃度が増加する「洗い出し」型、n値が1より小さいと希釈型、n = 1で濃度一定型ということになる。SSやPPのn値は1より大きく、流量増加の影響の大きいことが分かった。この傾向は小川で大きい、短期増水時³⁾や他水系(石狩川⁷⁾、恋瀬川・海老瀬⁸⁾のように2以上にはなることはなかった。

溶存態も含め他の成分のn値はほぼ1に近く、このことは栄養塩を豊富に蓄積しているものの供給量に限度がある森林の特徴といえよう。

表5 水質成分流出特性

	小川 (1986年9月~1989年8月、試料数234~440)			試験地河川 (1990年9月~1991年8月、試料数19~41)		
	c	n	相関係数	c	n	相関係数
NH ₄ ⁺ -N	0.011	0.89	0.83	0.0089	1.00	0.88
NO ₃ ⁻ -N	0.11	1.03	0.93	0.34	1.15	0.95
TIN	0.14	1.02	0.95	0.35	1.20	0.97
DN	0.19	1.08	0.97	0.46	1.19	0.98
TN	0.26	1.11	0.96	0.49	1.20	0.98
PN	0.037	1.07	0.67	0.045	1.17	0.46
DRP	0.0029	1.06	0.87	0.032	0.82	0.99
DP	0.0046	0.99	0.87	0.035	0.83	0.98
TP	0.015	1.09	0.88	0.039	0.83	0.97
PP	0.0092	1.16	0.79	0.0023	0.92	0.65
DOC	0.89	0.97	0.91	0.26	0.90	0.87
TOC	1.69	1.05	0.93	0.30	0.90	0.88
POC	0.58	1.10	0.77	0.0025	0.94	0.17
SS	68.2	1.45	0.89	68.2	1.15	0.86

6. 森林河川水質と森林の状態

森林河川は、かなり高濃度の栄養塩を含み、下流の水系生態系と深く関わっているようである。しかし流出する栄養塩の形態や流出量は、森林の植生や土壌管理の状態と密接に関連し、環境への影響は一様ではない(図4)。特に土壌が不安定な森林から流出する河川では、栄養塩は懸濁物質とともに生物に利用し難い形で一時に流出し、そのまま川や湖沼に底泥として沈積してしまう可能性がある。

まして他の用途のために森

林が破壊され、土壌が流亡しやすい状態になったときは危険である。森林内の物質収支も壊れ、長い間に形成された森林の定常状態は回復することはないであろう。また、下流域に対しての栄養塩の安定供給能が失われるため、下流域の生態系に対しても大きな影響を与える。

森林河川の水質の特徴は、森林の樹種や降水の流出率との関係で調査されることが多くなっているが、筆者は森林そのものの管理、保全状態が直接関与することを強調しておきたい。

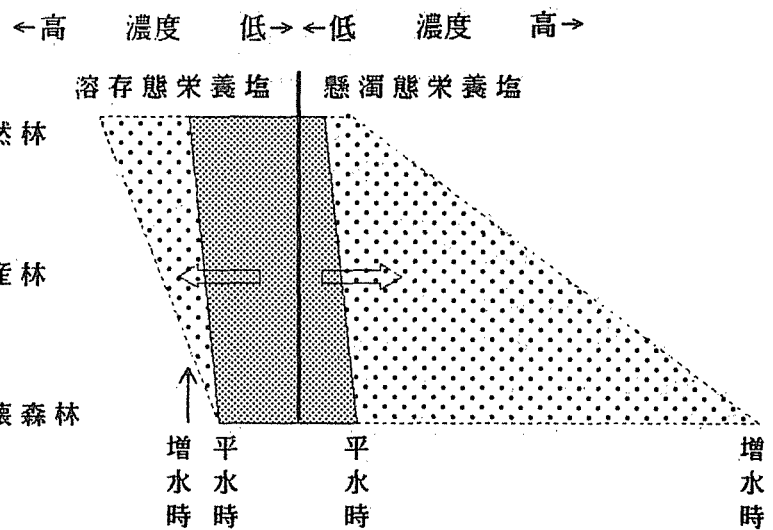


図4 森林の状態と栄養塩の流出形態

<参考文献>

- (1) 橋 治国、安藤正治、大森博之、飯田真也、梅本延彦 融雪期における山地森林域河川からの栄養塩流出、衛生工学研究論文集、Vol.27、p33-43、1991
- (2) 橋 治国、遠藤 浩、久保貴司、藤原滉一郎 森林集水域からの栄養塩の流出-夏季の北海道大学付属演習林簾舞試験地を対象として-、土木学会北海道支部論文報告集、Vol.48、p631-636、1992
- (3) 橋 治国、筒井誠二、遠藤 浩、久保貴司 森林河川水質の季節変化、1992年水文・水資源学会研究発表会要旨集、p122-125、1992
- (4) 橋 治国、久保貴司、遠藤 浩、筒井 誠二 森林集水域からの栄養塩発生負荷、寒地技術シンポジウム'92講演論文集、8巻、p345-350、1992
- (5) 坂本 充 淡水域の富栄養化、水圏の富栄養化と水産増殖(日本水産学会編)、p9-28、恒星社厚生閣、1973
- (6) 平田健正、村岡浩爾 森林域における物質循環特性の渓流水質に及ぼす影響、土木学会論文集、第399号/II-10、p131-140、1988
- (7) Harukuni Tachibana, Akihiko Moriguchi, Takayuki Imaoka and Masato Yamada Run-Off of Particulate Phosphorus and its Effect on Algal Growth, Proceeding of the 4th International Conference on the Conservation and Management of Lakes, p82-94, 1992
- (8) Senichi Ebise Storm Runoff Loading of Nutrients and Pollutants in Upper River, Jpn. J. Limnol. Vol.52, p241-253, 1991