

II-37

連続採水による森林小河川の水質特性 (9~11月<1986、1987年>)

北海道大学工学部 正会員 橘 治国、安藤正治、大森博之

1. はじめに

山地からの栄養塩の流出が、閉鎖性水域における富栄養化の原因となることは一般に指摘されている。しかし森林における物質循環には、地球化学的・生物化学的・生物地球化学的な循環が地質・気象・植生条件と複雑に関連しながら重なり合うため、栄養塩の流出特性を把握することは容易でない。本研究では山岳小河川を対象として、自動採水器を用いた連続採水によって栄養塩を中心とした水質成分の流出の特徴および負荷量を把握し、さらに総合的な流出特性の解析を試みた。調査は 1986年9月 に開始したが、本報告では降雨による増水および気温の変化の影響を受ける秋期(1986、1987年 9月~11月)を対象とした調査結果についてのべる。

2. 調査対象流域の概況

図 1に、調査対象とした豊平川水系薄別川上流の小川集水域を示した。小川は無意根山(1461m)と長尾山(1205m)を源とする流域面積 11Km²、流路延長 7Km の小河川である。森林は主としてエゾマツ、シラカバ、ハンノキから構成され、川岸にはハンノキ、カンバ、マツ、ヤナギ、ヤチダモなどが茂る。地質は新第三期の火山岩、堆積岩に第四期の安山岩質溶岩が覆っている。地形は 900~1500m のほぼ定高性のある山稜を河川が侵食している。岩盤が崩壊しやすいため、下流域には数10m おきに砂防堰堤が設置されている。下流部の河床は礫と砂からなるが、ところどころに大きな岩が存在する。

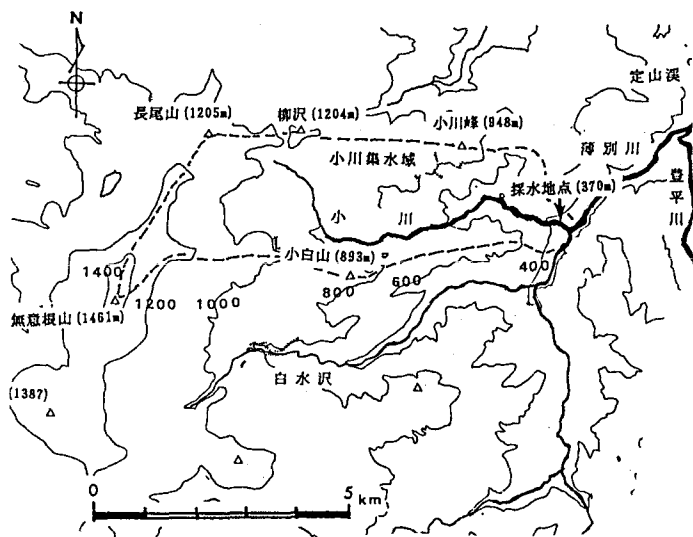


図. 1 小川集水域の概況

3. 調査方法

小川の下流末端を調査地点とした。調査は 1986年9月から開始した。試料は自動採水器 (ISCO-1680) によって1日1~2回採水したものを基本としたが、さらに週 1 回現地に出かけ採水した(定期採水と呼ぶ)。また降雨時には 1日1~12回の連続採水し、雨水も採取した。自動採水器には市販の寒剤を入れて試料を低温に保ち、可能な限り短時間で実験室に持ち帰り、分析まで冷凍または冷蔵して保存した。

4. 結果および考察

4. 1 降水量と流量について

図 2 (1986年) と図 3 (1987年) の、それぞれ (a)、(b) に調査期間の流量と降水量を示した。時間雨量、流量の最大値は、1986年では 8.5mm/h、13.46m³/sec、1987年では 9.0mm/h、5.87m³/secである。調査期間の流況曲線から低水流量と平水流量をもとめると、それぞれ 0.21、0.15m³/sec、0.60、0.38m³/sec となった。両調査期間の流出率は 74.1%と86.7% となり、本流域では降水が短時間で流出していることがわかった。

月別にみると、11月に流出率が低くなる傾向があった。(降水量及び流量のデータは、北海道開発局の資料を利用した。)

4. 2 秋季における小川の水質特性について

図2と図3の(c)から(g)に調査期間中の水質成分の経時変化を示した(1986年は12時間間隔で採水したが、兩年ともに24時間間隔12時のデータをプロットした)。水質成分濃度は増水時において大きく変化するが、この時期に①濃度が増加するものを《TYPE-A》②濃度が減少するものを《TYPE-B》と分類し、特徴を表現することとする。(TYPE-Cとして濃度一定型が考えられる。今後統計的な解析を待って統一したい。)

表1には平常時(低水流量から平水流量)における水質成分濃度の月別平均値を示した。表2にはその変動係数を示した。これらの図表をもとに一般的な水質の特性について以下に述べる。数値は1986年度(1987年度)の形で表す。

◎主要成分について：図2と

図3の(c)に Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 SiO_2 、4.3Bxの、(d)にTOC、DOCの経時変化を示した。全有機炭素TOC、溶存態全有機炭素DOC、塩化物イオン Cl^- にTYPE-Aの、硫酸イオン SO_4^{2-} 、珪酸イオン SiO_2 、アルカリ度4.3BxにTYPE-Bの、それぞれ傾向が認められる。変動係数を比較すると、一般無機成分で小さく Cl^- ：0.110(0.114)、 SO_4^{2-} ：0.164(0.115)、 SiO_2 ：0.135(0.107)、4.3Bx：0.106(0.068)、供給は単位水量に等しい負荷となるようである。その理由は成分によって異なるであろうが、TYPE-Bはその供給能力が地質的な要因に左右されるものと推測される。有機成分であるTOCとDOCでは変動が大きくそれぞれ0.743(0.650)、0.584(0.493)となった。その流出が、流況や生物活動に支配されることがわかる。TOCは、87年10月8日のような小さな流量増加に対して1.06から5.31mg/lまで約5倍濃度に変化する例も認められた。月別平均値をみると、9月～11月にかけて Cl^- に濃度が幾分増加する傾向がみら

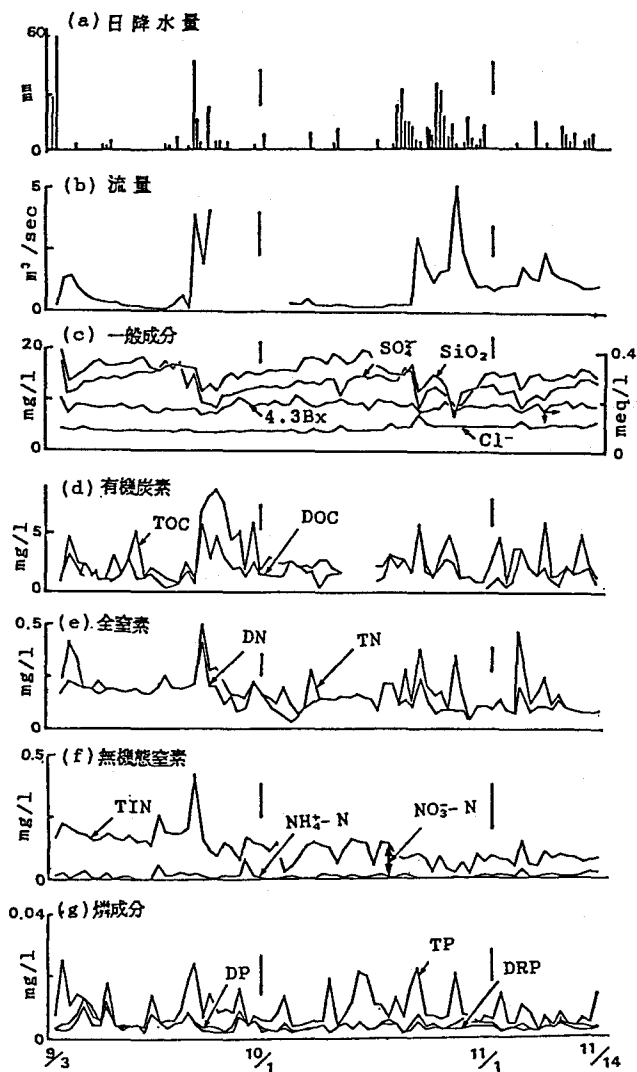


図. 2 水質成分の経時変化(1986年)

れるが、他の成分については明確な変化はみられない。

◎窒素成分について：図 2 と図 3 の (e) に全窒素 TN と溶存態全窒素 DN 濃度の、(f) に硝酸態窒素 NO_3^- -N、アンモニア態窒素 NH_4^+ -N、全無機態窒素 TIN 濃度の、それぞれ経時変化を示した。TN、DN および 87 年の NO_3^- -N と TIN に TYPE-A 型の傾向が認められた。 NH_4^+ -N については TYPE-A 型の挙動を示すこともある。

懸濁態窒素成分と硝酸イオンは地表にかなりの量が蓄積されている。表 2 の算術平均値からは NH_4^+ -N/TIN および NO_3^- -N/TIN の割合は、それぞれ 11.3%(25.2%)、86.1%(73.0%) で、 NO_3^- -N が TIN のほとんどを占めている。森林域において無機態窒素成分の供給源は酸化的な条件下にあると考えられる。また、TIN/DN、DN/TN の割合は 86.5%(85.2%)、74.7%(90.6%) と高く、有機態の窒素はあまり流出してこない。有機態窒素は分解されやすく、酸化的条件下のもとで河川に供給されることがわかる。月別水質変化をみると、

1986 年においては 9 月～11 月にかけての気温・水温の低下 (18.2°C 、 11.3°C) にともなって、窒素成分には濃度が減少する傾向が認められた。温度変化にともなう生物活動の影響を受けたものと考えられる。1987 年では、はっきりしない。今後は通年的な解析から温度の影響を解析したい。

◎磷成分について：図 2 と図 3 の (g) に磷成分の経時変化を示す。全磷 TP、溶存態全磷 DP、溶存態反応性磷 DRP は、TYPE-A 型の変化を示す。TP の濃度増加が顕著であるが、これは窒素と同様に降雨時の懸濁態成分の流出が原因である。算術平均値の DRP/DP、DP/TP は 83.3%(60.0%)、42.8%(62.5%) で、DP のほとんどを DRP が占め溶存態成分は生物に利用され易い形態であること、全磷としては懸濁態成分として 50% 近く流出してくることがわかる。月別水質変化からは、窒素同様に 1986 年の 9 月～11 月にかけて濃度が減少する傾向がみられた。

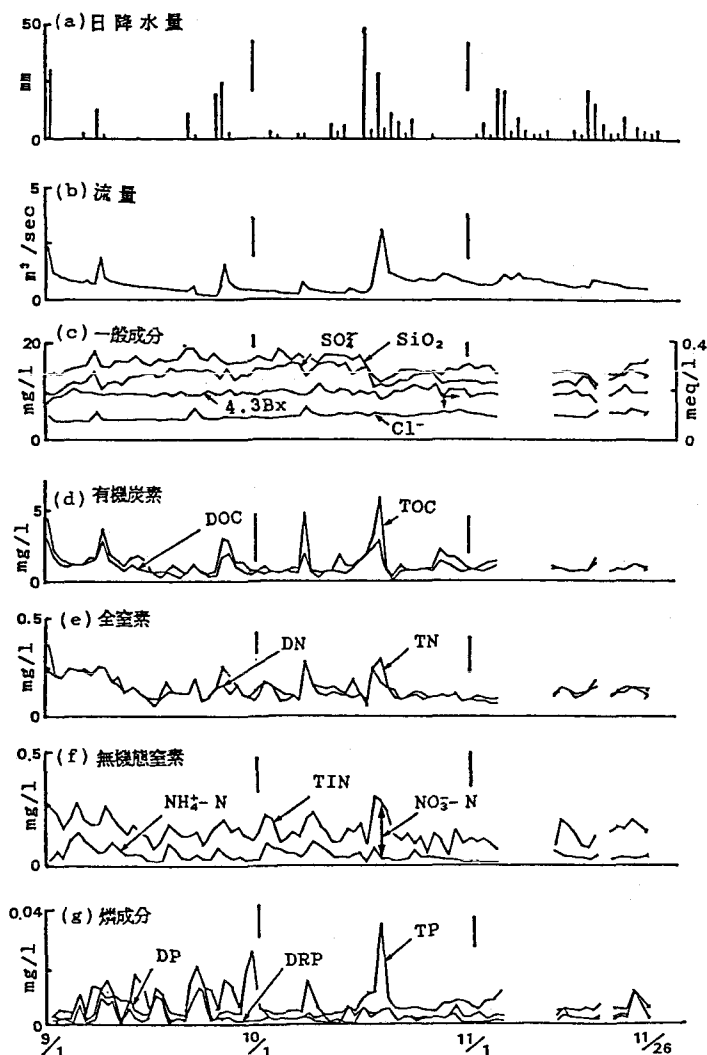


図. 3 水質成分の経時変化(1987年)

表. 1 平常時における、月別平均値・期間中の平均値

mg/l	1986年				1987年			
	9月	10月	11月	期間中	9月	10月	11月	期間中
気温	17.9	9.4	-0.3		19.1	12.3	3.6	
水温	14.0	6.9	2.7		13.5	7.6	2.6	
Cl ⁻	4.2	4.7	5.2	4.7	4.5	5.0	5.1	4.9
SO ₄ ²⁻	15.0	14.0	13.0	13.7	13.4	14.8	12.6	13.6
SiO ₂	16.8	16.7	14.9	16.1	16.6	16.6	14.3	15.8
4.3Bx	0.171	0.193	0.177	0.177	0.188	0.194	0.194	0.192
TOC	2.0	2.1	2.4	2.2	1.2	1.5	1.2	1.3
DOC	1.2	1.8	1.5	1.5	0.7	1.0	1.1	1.0
NH ₄ ⁺ -N	0.016	0.012	0.014	0.014 (11.8%)	0.031	0.035	0.015	0.027 (25.0%)
NO ₂ ⁻ -N	0.003	0.005	0.003	0.004 (3.3%)	0.002	0.002	0.002	0.002 (1.9%)
NO ₃ ⁻ -N	0.136	0.096	0.070	0.101 (84.9%)	0.073	0.076	0.087	0.079 (73.1%)
TIN	0.155	0.113	0.087	0.119 [96.0%]	0.107	0.113	0.104	0.118 [96.7%]
DM	0.164	0.122	0.087	0.124 <81.6%>	0.118	0.131	0.118	0.122 <91.0%>
TN	0.185	0.174	0.096	0.152	0.129	0.146	0.126	0.134
DRP	0.007	0.006	0.003	0.005 (71.4%)	0.005	0.002	0.002	0.003 (60.0%)
DP	0.009	0.007	0.004	0.007 <53.8%>	0.009	0.003	0.003	0.005 <62.5%>
TP	0.013	0.015	0.011	0.013	0.013	0.005	0.005	0.008

※ * 低水流量～平水流量 ※ 気温、水温:℃, 4.3Bx:mg/l ※ ()はTIN、DP、[]はDM、< >はTN、TPに占める割合

4. 3 降雨増水時における

水質成分の流出について

1986年は 10月21日～27日(図3)、1987年は10月17日～21日(図4)の降雨増水時に集中採水を行った。採水間隔は2～6時間である。

図中には降水中の濃度も併せて示した。

◎主要成分について: TYPE-Aの Cl⁻は、流出初期にその濃度が増加し、流量ピーク後すぐにもとにもどる。また降水中の濃度より高く、したがって Cl⁻濃度の変動要因として地質・地形の影響や堆積したドライホールアウト流出の影響が考えられる。TOC、DOC については、前述のように流量ピーク時にほぼ最大値が観察されている。TYPE-B の成分については、SO₄²⁻、SiO₂の濃度が、流量の増加とともに減少し、流量が安定し始めると降雨前の80%近くまで回復する。4.3Bxもほぼ同様の変化をするが、その応答はシャープである。濃度最小値は、降雨前に対して SO₄²⁻、SiO₂は 50% 前後、4.3Bxは30% 前後となった。

表. 2 算術平均値および変動係数

	1986年		1987年	
	算術平均値*(mg/l)	変動係数	算術平均値**(mg/l)	変動係数
Cl ⁻	4.9	0.114	4.25	0.114
SO ₄ ²⁻	13.0	0.164	13.0	0.115
SiO ₂	15.4	0.135	15.3	0.107
4.3Bx	0.181	0.106	0.192	0.068
TOC	2.5	0.670	1.52	0.650
DOC	1.8	0.584	1.15	0.493
NH ₄ ⁺ -N	0.013 (11.3%)	0.842	0.029 (25.2%)	0.757
NO ₂ ⁻ -N	0.003 (2.6%)	0.638	0.002 (1.8%)	0.413
NO ₃ ⁻ -N	0.099 (86.1%)	0.538	0.084 (73.0%)	0.404
TIN	0.115 [86.5%]	0.489	0.115 [85.2%]	0.369
DM	0.133 <74.7%>	0.434	0.135 <90.6%>	0.371
TN	0.178	0.539	0.149	0.378
DRP	0.005 (83.3%)	0.743	0.003 (60.0%)	0.897
DP	0.006 <42.8%>	0.693	0.005 <62.5%>	0.971
TP	0.014	0.744	0.008	0.692

※ * 12時間 n=116～147、** 24時間 n=77～78

※ 4.3Bx:mg/l

※ ()はTIN、DP、[]はDM、< >はTN、TPに占める割合

◎窒素成分について：TYPE-Aの傾向がみられた87年の NO_3^- -Nの濃度は増水の初期において、若干減少するものの、その後、流量とともに増加し、降雨前の値を上回る。森林域特有のものか、今後検討したい。 NH_4^+ -Nは、今回調査した降雨期間に限るとTYPE-B的な傾向があり、流量のピーク時に濃度の増加がみられる場合もある。その原因は NO_3^- -Nと同じと考えられる。1987年10月18日12時に流量とは無関係に NH_4^+ -N は高濃度を示しているが、その原因を検討中である。TNは懸濁物質の影響が大きく、増水時の濃度の増加は著しい。

◎磷成分について：DRP, DPはTYPE-A型としたが、1987年の降雨時の調査では、流量増加初期に濃度が減少しピーク近くで上昇した。降雨時期や降雨量と磷の蓄積量とのバランスを、短期的な濃度予測の場合には考慮しなければならない。懸濁物質の割合の高いTPはTYPE-A型の変化をしている。

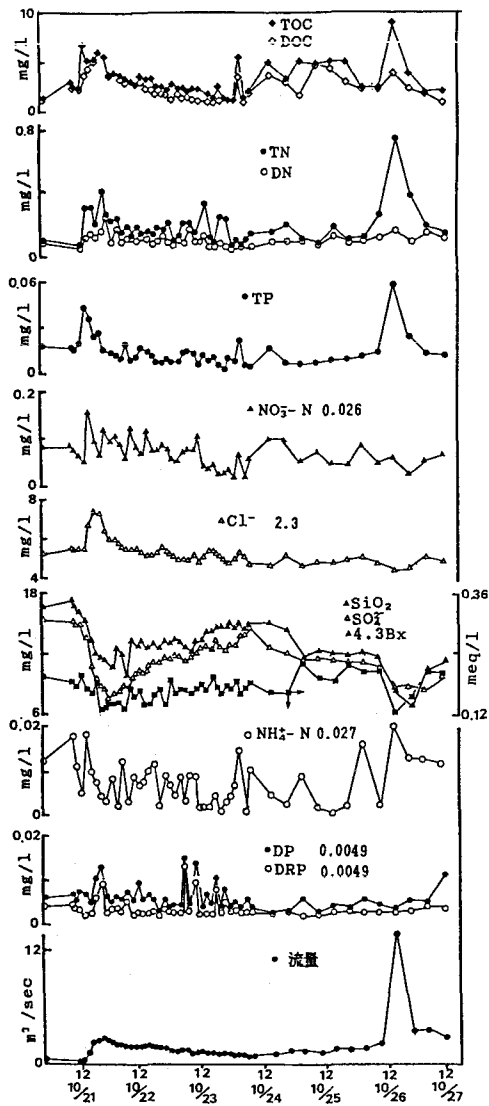


図. 4 降雨増水時の水質成分の変動(1986年)

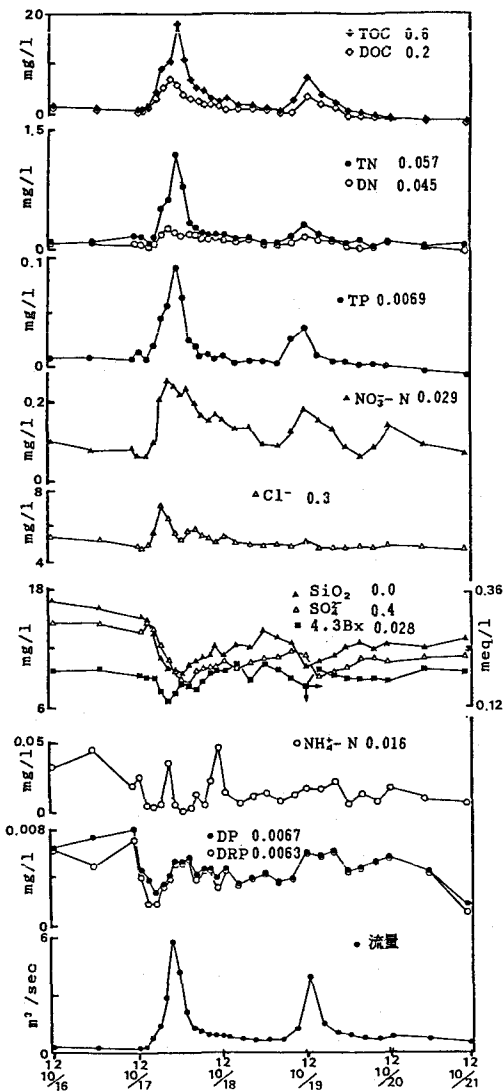


図. 5 降雨増水時の水質成分の変動(1987年)

4. 4 秋季における水質成分の流出負荷量について

表 3 に調査期間中における水質成分の比流出負荷量と降水からの負荷量を示した。降水については、降雨終了から採水までの時間が短くまた多量に採水できた1986年10月23日、87年10月18日に分析したものである。1986年の比流出負荷量が1987年に比べて大きくなっているが、これは1986年の比流出量がおおきいためである。DRP、DPおよび1986年の $\text{NH}_4^{3+}\text{-N}$ と $\text{NO}_2^{--}\text{-N}$ については降水からの負荷が流出負荷を上回っている。DRP、DPは、土壌への吸着また植物体への吸収、 $\text{NH}_4^{+}\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^{--}\text{-N}$ は森林内の硝化作用によって減少したものと考えられる。 $\text{NO}_3^{--}\text{-N}$ は両調査期

表. 3 降水負荷および比流出負荷

	1986年			1987年		
	(kg/km ² /day)	降水 [*] 負荷	比流出負荷	降水 ^{**} 負荷	比流出負荷	収支
Cl ⁻	2.3	33.1		1.30	17.3	-16.0
SO ₄ ²⁻	---	78.4		1.8	41.3	-39.5
SiO ₂	---	93.8		0.0	49.6	-49.6
TOC	---	25.4		2.6	8.3	-5.7
DOC	---	19.0		0.8	5.5	-4.7
NH ₄ ⁺ -N	0.25	0.08	(10.5%)	0.06	0.09	(20.0%)
NO ₂ ⁻ -N	0.05	0.03	(4.0%)	0.001	0.01	(0.2%)
NO ₃ ⁻ -N	0.24	0.65	(85.5%)	0.12	0.35	(77.8%)
TIN	0.53	0.76	[76.0%]	0.18	0.45	[81.8%]
DN	---	1.00	<56.2%>	0.18	0.55	<82.1%>
PN	---	0.78	<43.8%>	0.15	0.12	<17.9%>
TN	---	1.78		0.23	0.67	
DRP	0.045	0.030	(69.8%)	0.026	0.012	(75.0%)
DP	0.045	0.043	<34.4%>	0.028	0.016	<41.0%>
PP	---	0.081	<65.6%>	0.001	0.023	<59.0%>
TP	---	0.125		0.029	0.039	

※ * 10月23日, ** 10月18日

※()はTIN, DP, []はDN, < >はTN, TPに占める割合

間ともに流出負荷が降水負荷を上回っており森林域での硝化作用の進行とその蓄積量の大きいことがわかる。TNでみると、1987年では約3倍で森林域での生物体合成の寄与の大きくなることがわかる。これには窒素固定など大気からの栄養塩直接摂取の可能性もあるだろう。TOCも流出負荷量が大きくなり、森林域における炭酸同化作用などの寄与の無視できないことが推察される。SO₄²⁻、SiO₂、Cl⁻は森林域からの流出量が多く、これらが地質的要因が関与して流出して来ることがわかる。表中に各態窒素および磷の割合を示したが、 $\text{NO}_3^{--}\text{-N}$ / TIN (85.5%(77.8%))、DRP/DP (69.8%(75.0%))となり、濃度比よりは低くなるが負荷量からも無機成分のうち硝酸態、反応性磷態の割合が高いことがわかる。

5. 結論

著者らは山岳森林集水域において2年間にわたる連続サンプリングを行った。本報告では秋季における水質成分の流出機構について解析した。得られた知見を以下に述べる。

- 窒素、磷の溶存態においては、それぞれ硝酸態と反応性磷酸態の存在割合が高い。これは濃度比と負荷量比の両者から認められた。
- 気温の低下にともなう窒素と磷濃度の減少がみられ、生物活動の影響を認めることができた。
- 降水時の集中採水の結果、有機炭素や有機窒素ならびに全磷などは増水時濃度が上昇する表面流出型 (TYPE-A) の、一般成分 (硫酸イオン、珪酸イオン、アルカリ度など) は減少する点源型あるいは均質溶出型 (TYPE-B) のパターンに分類することができた。塩化物イオンはTYPE-Aに近く、その流出機構が特異であった。

今後は、対象期間を拡大し、また水の流出解析と関連させて解析する。なお流出負荷についての解析は、その一部を既に報告した。(土木学会年次講演会、1987、1988)

本研究を実施するにあたり、北海道大学工学部河川工学科森明巨、黒木幹男先生ならびに北海道開発局のご援助を頂いた。ここに記して謝意を表します。