

II-41

連続採水による森林小河川の水質
特性解析 (II) < 融雪期 (1988年4月~5月) >

北海道大学工学部

正員 橋 治国

学生員 大森博之、安藤正治

1. はじめに

森林は陸水における栄養塩の動態に対しても重要な役目を果たしている。雨や塵として運ばれてきた栄養塩は豊富な樹木や下草によって固定され、森林域内で生物系と土壌系とをうまく循環して効率的に保存される。窒素などは大気中から直接摂取することもある。しかし一部の栄養塩は水と共に域外に流出する。流出する栄養塩は森林内の現存量に比較すると微量であるが、流出水中の濃度はかなり高く富栄養化レベルに近い場合もある。栄養塩濃度は、季節変化や森林の管理状態にも影響される。筆者らは、小さな森林域内小河川を対象に、栄養塩の濃度変動や流出負荷量の特徴を解析し、森林の持つ栄養塩負荷発生や流出の特性について、下流域の富栄養化制御という立場から研究を開始した。これらの機構を整理し、効果的な森林管理や水管理についても検討を加えたい。

今回は、融雪期における栄養塩を中心とした水質成分の濃度変動や流出特性から負荷発生機構について検討した結果を報告する。融雪期は冬期間に蓄積された栄養塩が融雪水と共に一挙に流出するため、環境への影響が大きい時期であり、森林域内での負荷発生機構や発生量を調べるには絶好の機会である。

2. 調査対象森林集水域の概況

(I) 報と同様、豊平川水系薄別川上流の小川集水域を対象とした。(図1) 小川は、無意根山(1461m)と長尾山(1205m)を水源とし、急峻な上流域にはエゾマツ・シラカバ・ハンノキ等の樹木が繁茂する。集水域面積は11km²で、すべて山地として区分され平地は存在しない。流路延長は7kmである。集水域の地質は、新第三紀の火山岩・堆積岩を基盤に、第四紀の安山岩質溶岩が覆ったものである。岩石は崩壊しやすく、荒廃河川の様相を呈している。集水域内の山々は春遅くまで雪に覆われている。なお本川は石狩川水系に属する1級河川である。

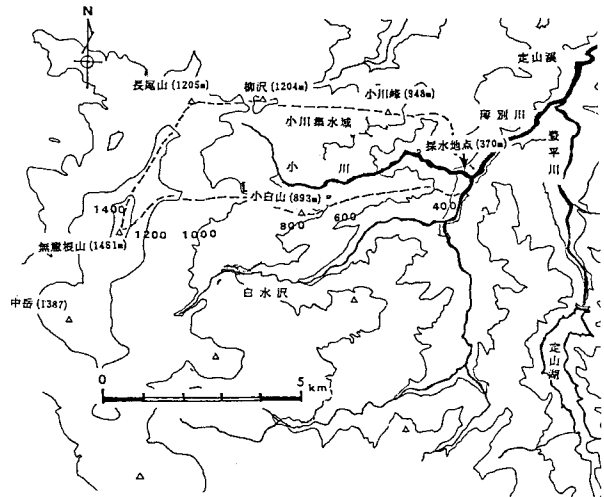


図1 小川集水域の概況

3. 調査方法

3.1 採水方法

小川の下流末端を採水地点(370m)とし、1986年4月より調査を開始した。通年的には週1度現地にてかけて採水したが、春から秋にかけては自動採水器 (ISCO-1680) を設置し、流量変動と対応させて1日1~12回採水できる体制をとった。融雪期を対象とした今回(調査は1988年2月~6月)は、自動採水器による連続採水(6時間間隔をベース)を4月8日から開始した。気象条件との対応を観察するため、積雪および融雪期

Characteristics of water quality of streams in the forerst watershed.(II) -During the spring snow melting period-

by Harukuni TACHIBANA, Hiroyuki OHMORI, Masaharu ANDO

間中に6回の集中採水（1～2日間、2時間間隔）を行った。河川水のほか、小川集水域内の降雪、降水、融雪水（平地部と山林内）、湧水も採取した。

3. 2 水文・気象データ

調査地点の流量と降水量については、現地で観測を行ったほか、同じ地点で測定されている北海道開発局薄別観測所のデータを用いた。気温・水温は、地中温度計を現場に設置し連続観測した。積雪深については薄別観測所のデータしかなく、森林内の様子を把握することはできなかった。図2に積雪深の経時変化の一部を示した。平均気温がマイナス10.2度の3月は1m50cm程度であった積雪深は、連続採水を開始した4月8日に84cmとなり、以後気温の上昇と共に急激に減少し、中旬の19日には認められなくなった。なお本調査地点の1987年度の平水量、豊水量、渇水量はそれぞれ 0.24、0.54、0.08 m^3/s である。

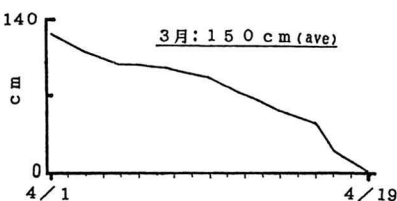


図2 積雪深の経時変化

4. 結果および考察

4. 1 融雪期の水文環境について

（図3、上段－気温・水温、中段－降水量、下段－流量）

気温の上昇（上段、破線）と降雨による融雪によって、期間中に番号で示した5回の増水を観察した。4月上旬のⅠ、Ⅱ回目とⅣ回目（5月12日～15日）は気温の上昇と降雨が、Ⅲ回目（4月26日～5月6日）とⅤ回目（5月17日～5月22日）は気温の上昇がのみが流量増加の原因である。気温の日変化のパターンは水温にも影響し、Ⅲ、Ⅴ回目の流量変化にも明確に認められる。期間中の最大流量は、Ⅲ回目の5月1日に10.6 m^3/s であった。5月末には、流量は2 m^3/s で安定して流れるようになる。なおⅡ回目の増水においては、水温が0℃近くで、融雪水流出分の割合の高いことがわかる。写真1は4月上旬、写真2は5月上旬の流況を示している。

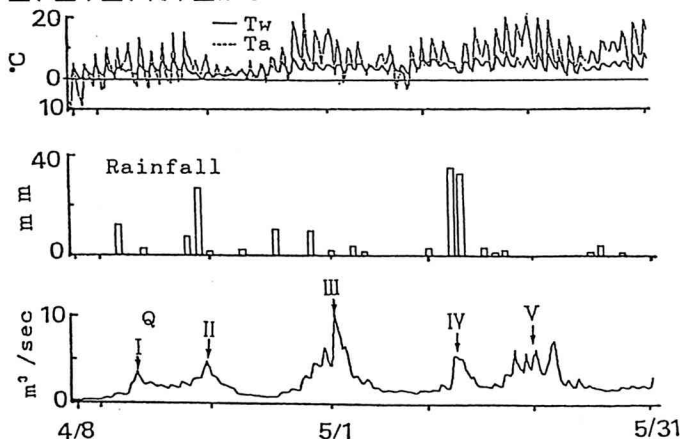


図3 気温・水温、降水量の経時変化

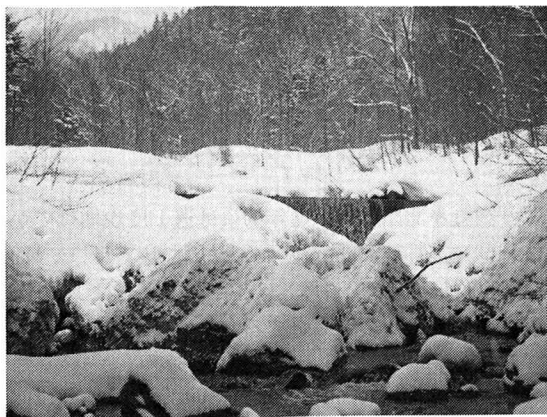


写真1 調査地点（4月上旬）

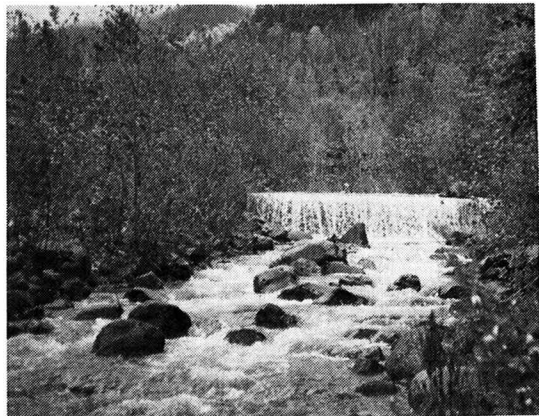


写真2 調査地点（5月上旬）

4. 2 電気伝導度と主要無機成分について (図4、上段-電気伝導度、中段-陰イオン、下段-陽イオン)

溶存成分量の目安である電気伝導度(λ)は、融雪初期の90μmho/cmから漸次低下し、融雪後期には50μmho/cmとなった。増水期間中には、一時的な電気伝導度の低下も観察される。融雪期が終了すると徐々に上昇し、8月末には80~100μmho/cmに回復した。

期間中実施した集中採水時の流量(Q)と電気伝導度(λ)の関係を図5(1)~(4)に示したが、流量の増加に伴う電気伝導度の低下が明らかである。最大流量時のデータを含む(2)図からは、流量に対する電気伝導度の変化はヒステリシスの傾向を示し、地下水に対し融雪水の割合が徐々に増す様子を理解できる。

主要一般無機成分濃度の経時変化からは、硫酸イオン(SO₄²⁻) (中段)とカルシウムイオン(Ca²⁺) (下段)が電気伝導度と対応して変化することがわかる。塩化物イオンやナトリウムイオンなどの他の成分の濃度変化はこれら2成分に比較すると小さい。これは豊羽鉱山鉱床付近(新第三期中新世熱水性鉱脈)からの湧水(地下水)の影響といえる。融雪とともに、濃度が低下してその影響は小さくなる。図6の陰イオンの構成比に示したように、融雪とともにSO₄²⁻の割合が低下し平均的な河川水質に移行する。

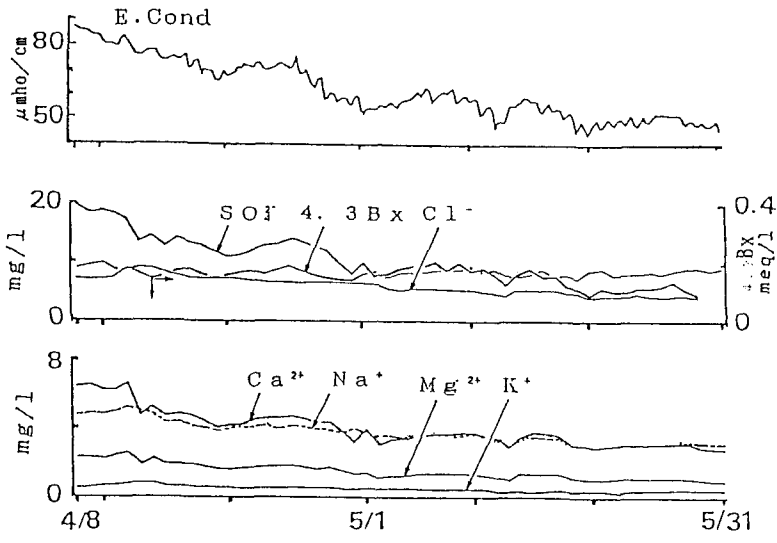


図4 電気伝導度と主要無機成分濃度の経時変化

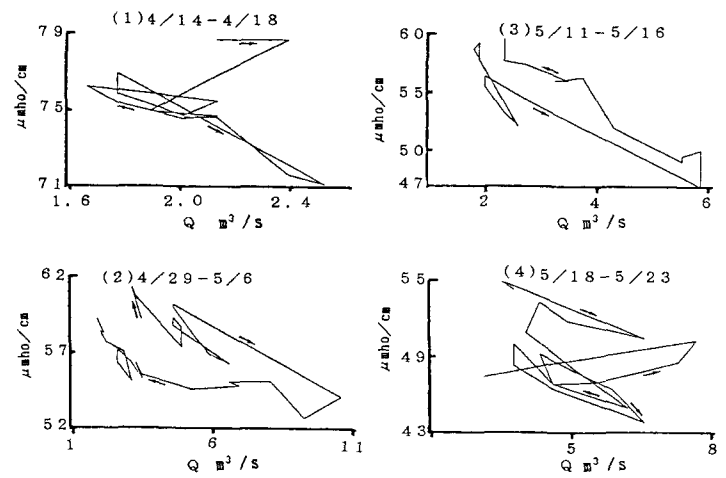


図5 流量と電気伝導度の関係

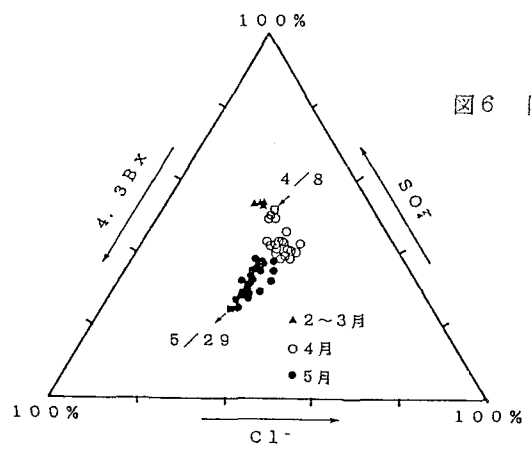


図6 陰イオンの構成比

4. 3 窒素・リン化合物について (図7、上段-窒素、下段-リン)

窒素・リン化合物は、電気伝導度とは異なり、濃度の経時的な減少は顕著でない。全窒素 (TN) ・リン (TP) 濃度でみると、融雪初期の増水時に増加が認められ、地表蓄積物の洗い出し効果が認められる。地表を流れる融雪水がその掃流力で剥離・運搬し

てくるわけである。これは懸濁態、特にリン (PP = TP - DP) で顕著である。溶存態としては、窒素では硝酸態 (NO_3^-) の割合が高くまた初期の濃度が高い。土壌で酸化蓄積した分が流出してくるものといえる。II、III回目の増水期に有機態 (DN - TIN) 濃度が増し、有機層からの流出を確認した。主たる供給源が、土壌や林床物層にあることがわかる。リンについては、溶存態リン (DP) としての変化は小さいが、流量増加時の反応性リン (DRP) 濃度がI・III回目には減少、II回目には増加するな

ど複雑である。前者は溶存態有機リン (DOP) が増しているため土壌蓄積と関連していると推測される。融雪後期の増水時における栄養塩濃度の増加はあまり明確でない。地表が植物に覆われた山岳域からの融雪出水といえる。図8にN/Pを示したが、未ろ過試料とろ過試料はともに変動幅が小さく、栄養塩は比較的安定した形態で流出してくる。ろ過試料の平均値は未ろ過試料で2.6、ろ過試料で1.2となった。これは懸濁成分としてリンが流出してくることによる。

4. 4 栄養塩の流出負荷量について

表1には、1987年秋期 (9~11月、78日間)、1988年融雪期 (4~5月、54日間)、1988年夏期 (6~8月、91日

表1 栄養塩流出負荷量 (12時採水、():mg/l)

(kg/km ² /day)	1987年 9~11月 (78日)	1988年 4~5月 (54日)	1988年 6~8月 (77日)
TOC	8.3 (1.5)	68.2 (1.7)	8.5 (1.9)
DOC	5.5 (1.2)	27.8 (0.7)	5.1 (1.1)
NH ₄ ⁺ -N	0.09 (0.029)	0.17 (0.009)	0.04 (0.021)
NO ₂ ⁻ -N	0.01 (0.002)	0.04 (0.002)	0.001 (0.0004)
NO ₃ ⁻ -N	0.35 (0.084)	3.34 (0.149)	0.70 (0.137)
TIN	0.45 (0.115)	3.55 (0.160)	0.74 (0.156)
DN	0.55 (0.135)	3.66 (0.188)	0.75 (0.157)
PN	0.12 (0.014)	1.21 (0.053)	0.30 (0.060)
TN	0.67 (0.149)	4.87 (0.241)	1.05 (0.217)
DRP	0.012 (0.003)	0.104 (0.005)	0.010 (0.002)
DP	0.016 (0.005)	0.126 (0.007)	0.026 (0.011)
PP	0.023 (0.003)	0.310 (0.014)	0.052 (0.010)
TP	0.039 (0.008)	0.436 (0.021)	0.078 (0.021)
Q (m ³ /km ² /day)	3370	18910	4364

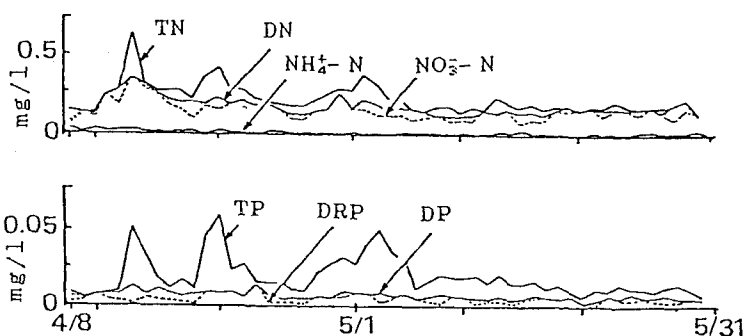


図7 栄養塩濃度の経時変化

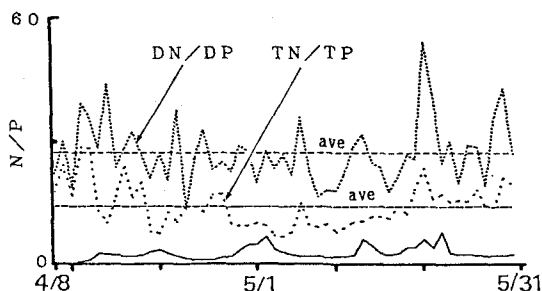


図8 N/Pの経時変化

間)の比流出負荷量と平均濃度を示した。融雪期の特徴は、流量が多いにもかかわらず溶存栄養塩濃度が高いことで、この傾向は硝酸イオンで著しい。このため比流出負荷量は莫大で、秋期、夏期の5~10倍となった。なお融雪期のTN濃度は中栄養湖(0.1~0.7mg/l)、TPは富栄養湖(0.01~0.09mg/l)の栄養塩レベル²⁾にあり、下流水域の生態系への影響は大きい。

4. 5 融雪期栄養塩の流出パターン

栄養塩の流出特性を $L(C \cdot Q) = m \cdot Q^n$ で整理し、表2に示した。指数nは、 NH_4^+-N を除き1以上である。 NH_4^+-N は希釈型であり、相関係数も0.74と小さいことか生産速度(有機物分解速度が支配的。)あるいは冬期蓄積量に限界があるものと推測される。他の成分は濃度増加型で、その傾向は懸濁態窒素(PN)、懸濁態リン(PP)に著しく、これがTN、TPの流出に影響している。注目されるのは NO_3^--N で、相関係数が0.93と大きく、森林内で大量に生産蓄積されることがわかる。

5. 結論

森林小河川からの水質成分特に栄養塩の流出特性を富栄養化制御という立場から調査を継続している。今回は、融雪増水時における調査例について報告した。漸次、全体像を把握すべく調査結果を纏めてゆきたい。水質に関連した結果についての要約は以下のとおりである。

- 融雪出水量は、気温と降雨量に対応して変動しながら減少した。調査河川では3月末~5月末の期間に観察した。
- 流量に対し、栄養塩と無機一般成分は異なった変動パターンを示した。栄養塩は表面流出型、一般成分は地下水から融雪水への変遷型といえる。
- 融雪期間中は、窒素は溶存態、リンは懸濁態が優占的な形態として流出した。溶存態窒素としては、硝酸態が優占した。溶存態有機栄養塩は初期の増水時に高濃度で観察されたが、土壌蓄積分の流出と推測される。N/Pからは、栄養塩構成物質は比較的安定した構造を持つことがわかった。
- 融雪期の(比)流出栄養塩量は秋期や夏期の5~10倍で、莫大な量となる。平均濃度も中~富栄養化レベルにあり、下流水域生態系への影響は無視できない。
- 融雪期の栄養塩の流出パターンは、アンモニアを除き、流量に対し濃度増加型を示す。この傾向は懸濁態で著しい。窒素の中で優占的な硝酸態窒素は、森林内で大量に生産・蓄積されるされることがわかった。

現在の本研究は現象を整理する段階にある。しかしこの時点でも水質管理について様々な問題点を指摘できる。例えばダム管理についていうと、融雪期の水質は夏期の富栄養化と藻類発生と密接に関連すること、これを防止するためには、ダム湛水において融雪初期流出水の排除が効果的であることなどがわかる。今後は定量的な把握、メカニズムのモデル化へ発展させたい。

本研究を遂行する上で、水質工学研究室の飯田真也、梅本延彦、中川佳久各氏はじめ学生諸氏、河川工

表2 栄養塩の流出パターン

L	相関係数	C	n ($L = C Q^n$)
SS	0.87	18000	1.78
TOC	0.90	1180	1.23
DOC	0.92	551	1.17
TOC _{ss}	0.62	983	1.29
NH_4^+-N	0.74	9.35	0.80
NO_2^--N	0.88	1.39	1.18
NO_3^--N	0.93	130	1.11
TIN	0.93	143	1.09
DN	0.96	174	1.07
PN	0.67	30	1.41
TN	0.95	201	1.18
DRP	0.87	4.16	1.13
DP	0.94	6.90	1.02
PP	0.86	5.34	1.73
TP	0.90	13.70	1.35

学研究室の森 明巨、黒木幹男両先生、北海道開発局石狩川開発建設部計画課、維持管理課の皆様の協力を得た。記して謝意を表します。

《参考文献》

- (1)橘 治国、安藤正治、大森博之「連続採水による森林小河川の水質特性解析」(9～11月<1986、1987年>)、土木学会北海道支部論文報告集、45巻、p401、1989
- (2)坂本充「淡水域の富栄養化、水圏の富栄養化と水産増殖」、p9、1975、恒星社厚生閣