

多摩川中～上流涵養域の渓流水中 無機態窒素濃度の地理的分布と窒素循環

1996年

楊 宗 興

東京農工大学農学部助手

目 次

1. はじめに	1
2. 方 法	2
(1) 渓流水調査	2
(2) 林内雨の採取	2
(3) 水質測定	2
(4) 窒素安定同位体比の測定	2
3. 結果と考察	4
(1) 地理的分布	4
(2) 大気降水物の影響	11
(3) 各溪流における水質の季節変化	15
(4) 標高との関係	23
(5) NO ₃ ⁻ 濃度の変動メカニズム	24
(6) 本研究の意義と今後の課題	25
4. 参考文献	27
付 記	27

1. はじめに

森林内を流れる清澄な渓流水にもわずかながら硝酸態窒素 (NO_3^-) が含まれている。無機態窒素は水域生産性の主要な支配因子であるため、この NO_3^- は下流の湖沼や河口域に対するバックグラウンド的な栄養供給という重要性をもつ。一方、渓流水中の NO_3^- は森林からの窒素流亡を意味するため、森林生態学の立場からみても重要な意味を持っている。

渓流水の水質測定は、ひとつにはこのような森林の窒素循環への興味から行われている。この種の研究では物質輸送量を正確に把握する必要から、特定の集水域をモデル地域とし集中的に調査を行う方法がとられる。これまでに行われているこうした調査の結果を比較すると、測定されている溪流 NO_3^- 濃度レベルが研究グループによって一桁以上も異なるという興味深い現象がある。たとえば、琵琶湖周辺の実験地における研究結果では NO_3^- 濃度が多くの場合 0.1mgNl^{-1} 以下であるのに対して、茨城県筑波山麓の調査では 1mgNl^{-1} 以上の濃度が大部分である (平田・村岡 1989; 国松ら 1992; 国松・須戸 1993)。この違いは森林からの窒素の流亡や下流生態系への養分供給が大きく異なることを意味するため、森林生態学および陸水学の両方の観点から注目すべき現象である。このような違いが存在するらしいことについては興味向けられてはいるものの (堤 1987)、現象としてはっきり認識されているわけではない。同一の研究者が複数の溪流を系統的に調査した事例はこれまでほとんどなく、濃度の違いが自然現象であるのかどうかにも曖昧さが残っている。

渓流水調査は、一方で、大気からの酸性物質の負荷という観点から行われている。鶴見・一國 (1989) は多摩川上流の多数の沢水水質を調査し、沢水中の NO_3^- 濃度が Cl^- 濃度とともに増大する傾向をもつことを明らかにした。この結果から彼らは、沢水の NO_3^- が大気を通じて運ばれた NO_3^- に由来している可能性を指摘している。

鶴見・一國 (1989) と同様、本研究でも多摩川流域の渓流水を対象とした調査を、とくに NO_3^- 濃度の違いに注目しながら、広域にわたってさらに詳しく実施した。本調査の目的は、渓流水中の NO_3^- 濃度の違いが本当に存在するのか、存在するとすれば何によっているのかを明らかにすることである。渓流水中の NO_3^- レベルを変動させる要因としては、とくに、鶴見らによってすでに示唆されているように大気からの降下物の影響を作業仮説の一つとして立て、それを明らかにするべく濃度の水平的な変動特性に注目することにした。溪流ごとの濃度レベルを特定し、 NO_3^- 濃度の系統的な違いを明らかにすることをめざして、人為的流入減のない森林を涵養域とする渓流水の NO_3^- 濃度を通年にわたり調査した。また、渓流水中の NO_3^- の起源を解析するために窒素安定同位体比の測定も行った。以上の調査・研究結果に基づき、河川源流域の窒素供給源としての役割とその変動原因について議論する。

2. 方法

(1) 渓流水調査

渓流水のサンプリングは、定点における定期的調査と比較的単発的な調査の二通りからなる。定点は多摩川水系の中流部である八王子市から最上流部の山梨県一ノ瀬高原までの範囲に15カ所設定し、それらについて1～2カ月の間隔で一年間調査を継続した。このほかにも、それ以下の頻度で多摩川水系の渓流の調査をおこなった他、山梨県側の日川水系、筑波山周辺、赤城山周辺、および尾瀬湿原周辺の渓流水も比較のため調査した。調査した渓流の総計は37カ所である。本研究では、上流に人為的流入源がないと特定できる渓流のみを対象としており、これらはいずれも森林を集水域としている。それ以外の、流域植生や地質などの条件はさまざまであり、渓流の規模も小さな沢から本流レベルまでを含んでいる。

(2) 林内雨の採取

最上流部の一ノ瀬高原、奥多摩町、および八王子市の3カ所において林内雨を採取した。各地点について3つのサンプラーを設置し、それを合わせて一つのサンプルとした。サンプラーには、粗大粒子の混入のみを防ぐネット付容器または細粒も除去するため上部に濾紙（Advantec、定性用濾紙No.2を純水洗浄）をとりつけた容器を使用した。試水は実験室に持ち帰ってから Whatman GF/C フィルターにより濾過し、測定時まで -27°C で凍結保存した。

(3) 水質測定

現地では採水の他、水温（棒状温度計）、pH（Horiba, Compact pH meter B-212またはYOKOGAWA, Model pH81を毎回校正して使用）、電気伝導度（Horiba, Conductivity meter B-173）の測定を行った。水質変化を避けるため、試水はその場で孔径 $0.45\mu\text{m}$ のディスポーザブルフィルター（Advantec, DISMIC-25cs）により濾過して冷蔵しながら持ち帰り、測定時まで -27°C で凍結保存するという注意を払った。試水中の NO_3^- 、 SO_4^{2-} およびCl濃度をイオンクロマトグラフ（DIONEX QIC Analyzer）により測定した。

(4) 窒素安定同位体比の測定

渓流水中の NO_3^- の起源を解析するため、その窒素安定同位体比を測定した。試料は1994年1月9～10日に9カ所の渓流で採取し、 0°C で保存しながらただちに以下に述べる処理1)を行った。測定の手順を図1に図示している。

1) 同位体比測定に必要な2mg窒素に相当する量（1.2～36L）の渓流水をWhatman GF/Cフィルターにより濾過し、ロータリーエバポレーターにより10ml程度にまで濃縮した。2) つぎにこの濃縮液にデバルダ合金2gと10NのKOHを10ml加えて NO_3^- を NH_4^+ に還元し、水蒸気蒸留を行って0.25Nの希硫酸10mlにこの NH_4^+ を回収した。最終的に2mlになるまで再び濃縮し、密閉できる試験管中に冷蔵保存した。3) この試料にKOBとKOHを加え、 NH_4^+ の酸化により生成した N_2 をCuO 炉、Cu 炉により精製した後ガラス管中に熔封した。4) 以上の操作により調整した窒素について、同位体比測定用質量分析計

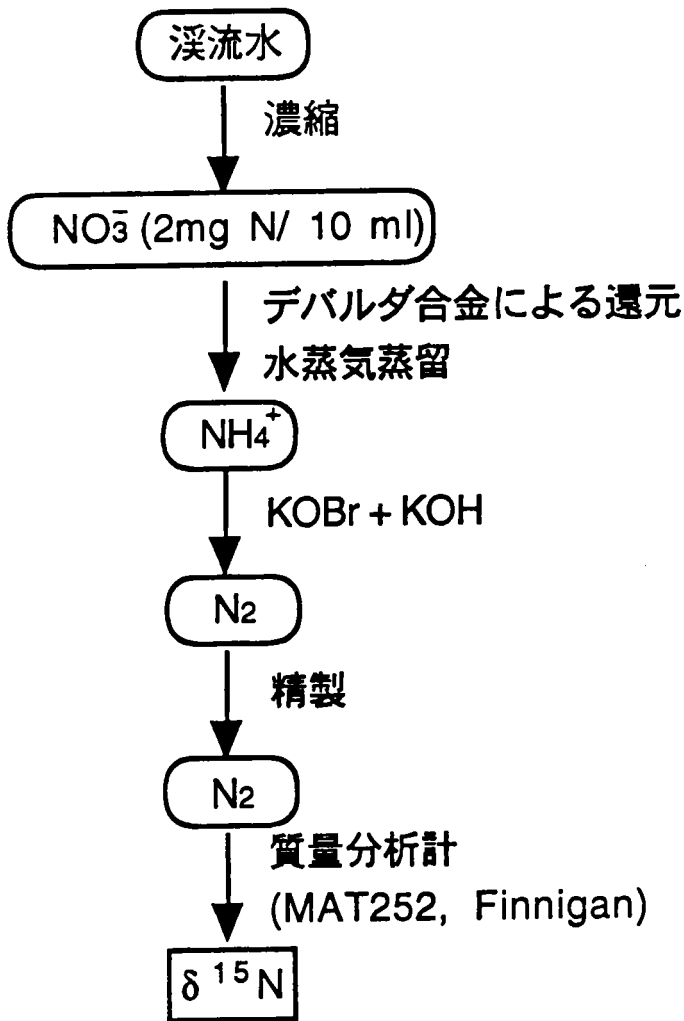


図1 渓流水中NO₃⁻の窒素安定同位体比の測定手順

(Finnigan, MAT 252) に導入して安定同位体比を測定した。結果は大気N₂の¹⁵N/¹⁴N比に対する試料の¹⁵N/¹⁴N比の偏差δ¹⁵N_{AIR}として表した。

$$\delta^{15}N = \left[\left(R_{\text{sample}} - R_{\text{AIR}} \right) - 1 \right] \times 10^3$$

$$R = ({}^{15}\text{N} / {}^{14}\text{N})$$

表1 窒素安定同位体比の測定精度の検定

測定日	ワーキングスタンダード(N ₂)* ($\delta = -4.3\%$)	KNO ₃ 特級試薬 (和光純薬)	外気 N ₂
5月26日		0.35±0.11 (n=2)	-0.60±0.06 (n=2)
7月26日	-4.41±0.03 (n=4)	0.41±0.12 (n=3)	-1.21±0.05 (n=2)
8月15日	-4.43±0.17 (n=4)		

*サンプルとして測定

校正には $\delta^{15}\text{N} = -4.3\%$ の値を持つ窒素ガスボンベをワーキングスタンダードとして用いた。各操作による同位体比の安定性を確かめるため、硝酸カリウム(KNO₃)試薬も標準試料として適宜使用し、さらに、大気中に含まれるN₂を標準試料として直接使うことも試みた(外気を注入して真空ライン内で精製し、その窒素安定同位体比を測定した)。これらの検討により、安定同位体比測定の繰り返し精度は±0.1%であり、測定された値がほぼ満足できる正確さを有していることを確認した(表1)。

3. 結果と考察

(1) 地理的分布

多摩川水系で行った渓流水のサンプリング地点とそれらの平均NO₃⁻濃度を図2に示す。一回の調査データであっても各渓流の年間水質をよく代表することがわかったため(後述)、単発的な調査結果も合わせてプロットしている。

NO₃⁻濃度は全体で2.3-151μM、通年観測をした地点でも4.2-151μMの変動範囲を示し、渓流により36倍もの大きな差をもつことがわかった。また、濃度レベルは各涵養域の位置にきわめてよく対応した地理的勾配を示した。すなわち、A)源流部、A-B)源流～上流、B)上流、C)中流部(本研究では最下流)においてNO₃⁻濃度はそれぞれA) < 20μM、A-B) 20 - 30μM、B) 30 - 70μM、C) > 70μMの範囲にはいり、地域により明確に区分されることがわかった。

ここで調査した渓流は前述のように本流規模のものから小沢までさまざまであるが、NO₃⁻濃度が地理的勾配を持つことは渓流の規模がほとんど影響していないことを暗示する。具体的なデータを図3と図4に示す。これらは、異なる規模の渓流を含む日原川流域および小菅川流域における水質調査結果をそれぞれ比較したものである。日原川流域(図5)において、“日原奥”(写真1)と“日原養魚場”は日原川本流の上流側と下流側であり、“カジ小屋窪”(写真2)はそれへ流れ込む小沢に相当している。また、小菅川流域(図6)においては、“白糸ノ滝”(写真3)と“中グロモ沢”(写真4)が“小菅川本流”(写真5)へ流れ込む小沢である。

各流域においてNO₃⁻、Cl⁻、SO₄²⁻濃度は類似しており、季節変化のパターンもよく一致している。

この2つの具体例にも見られるように、人為的汚染源のない渓流水の水質はその規模になんら左右されず、単純な加成的関係で説明できそうである。森林からの NO_3^- の流出という現象には樹種、林齢、施肥、伐採など林業活動や森林生態学的要因も影響を与えうる要因として挙げられる。しかし、以上のような地域レベルの水質の系統性は、それを支配する要因が沢レベルの単位のコまかなものではなく、よりマクロなスケールを持ったパラメーターにあることを示している。

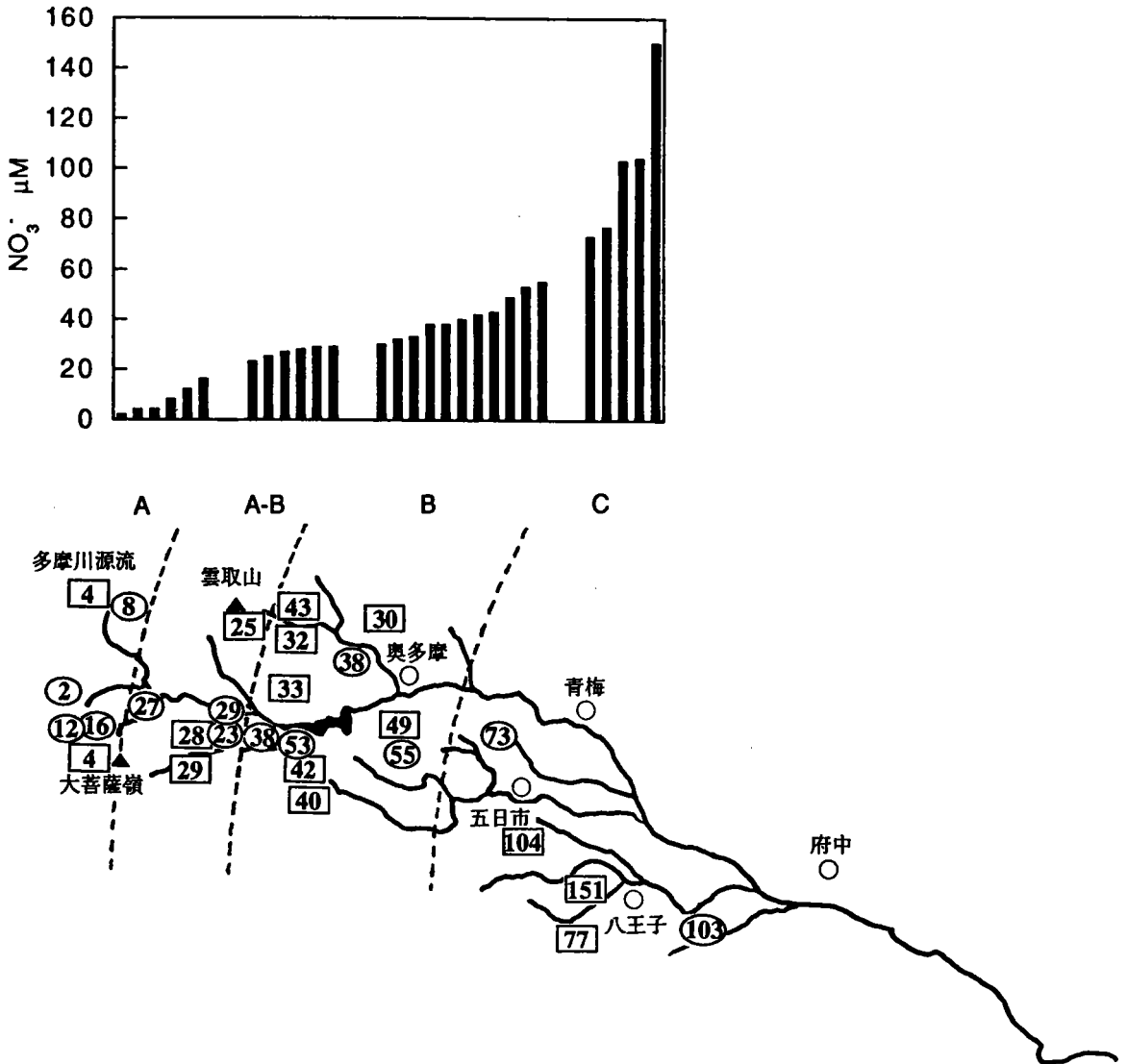


図2 多摩川水系における渓流水サンプリング地点とその平均 NO_3^- 濃度 (μM)

□：通年観測の地点、○：それ以下の頻度の地点

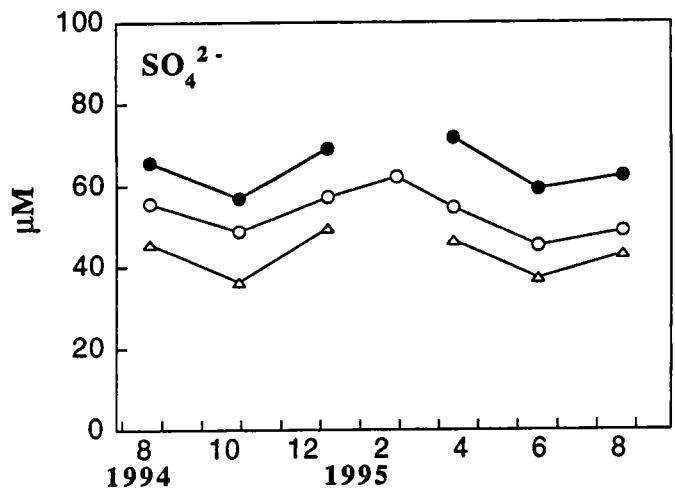
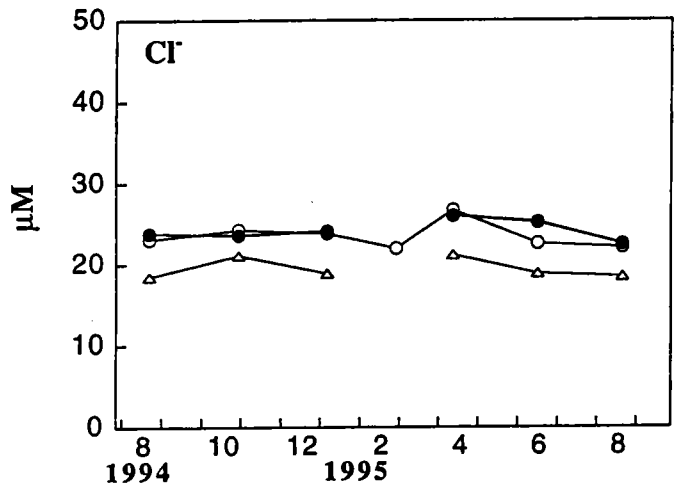
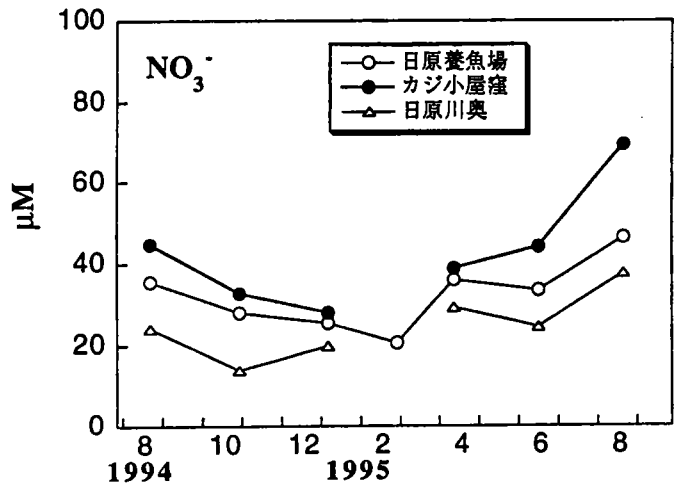


図3 日原川流域における各渓流水質の季節変化

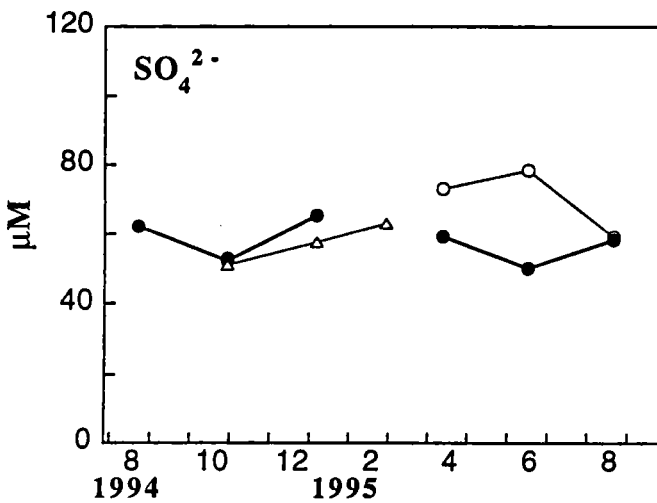
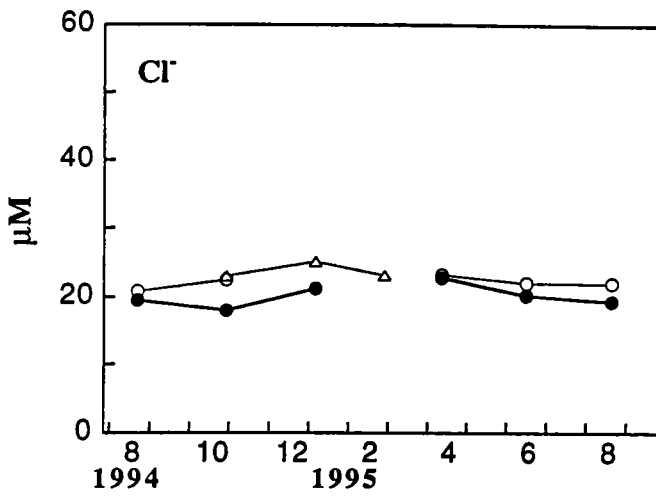
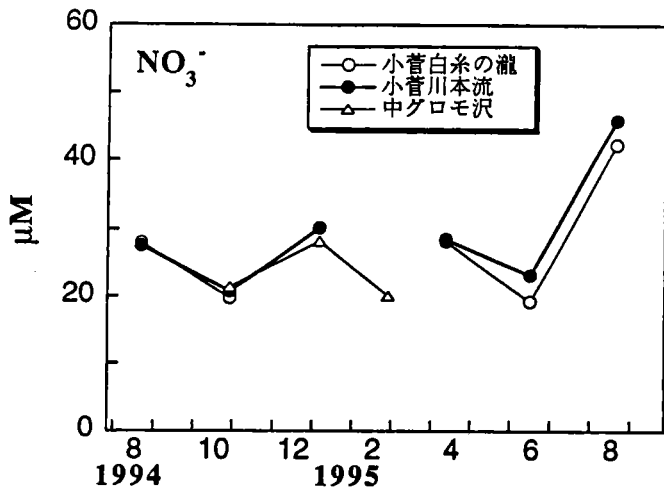


図4 小菅川流域における各渓流水質の季節変化

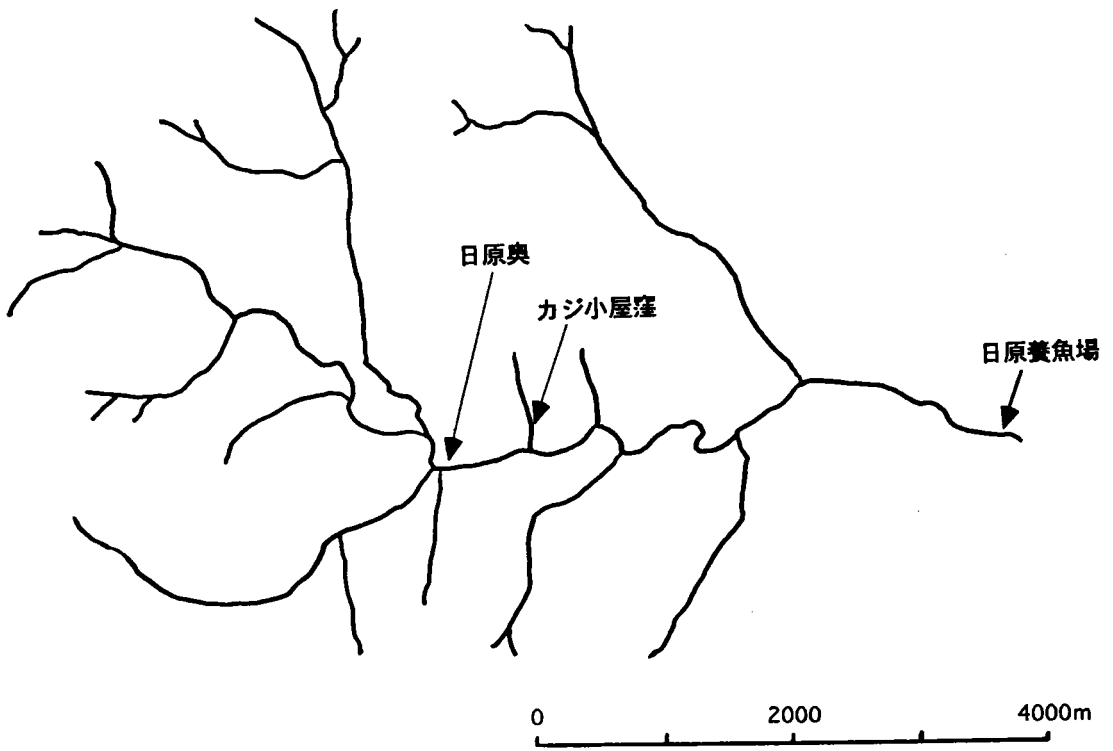


図5 日原川流域と渓流水採取地点

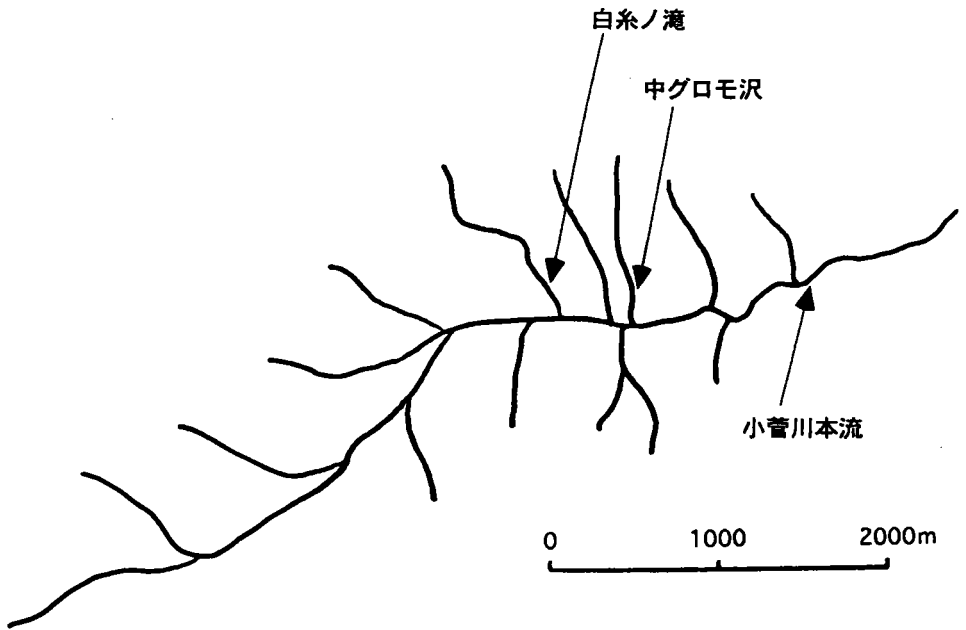


図6 小菅川流域と渓流水採取地点



写真1

”日原奥”

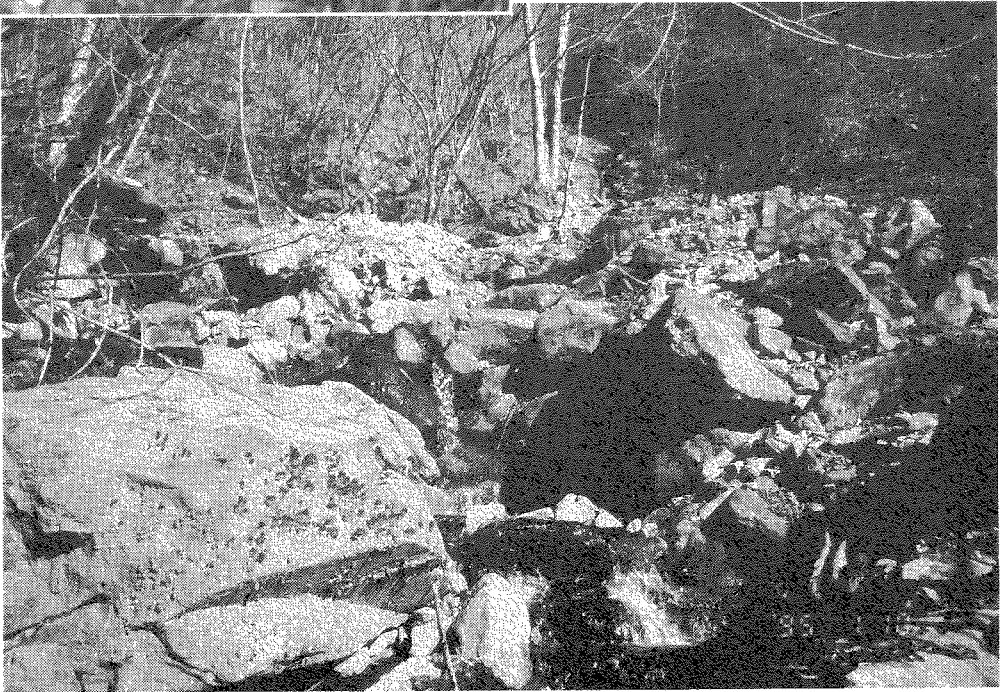


写真2 ”カジ小屋窪”



写真3
”白糸ノ滝”

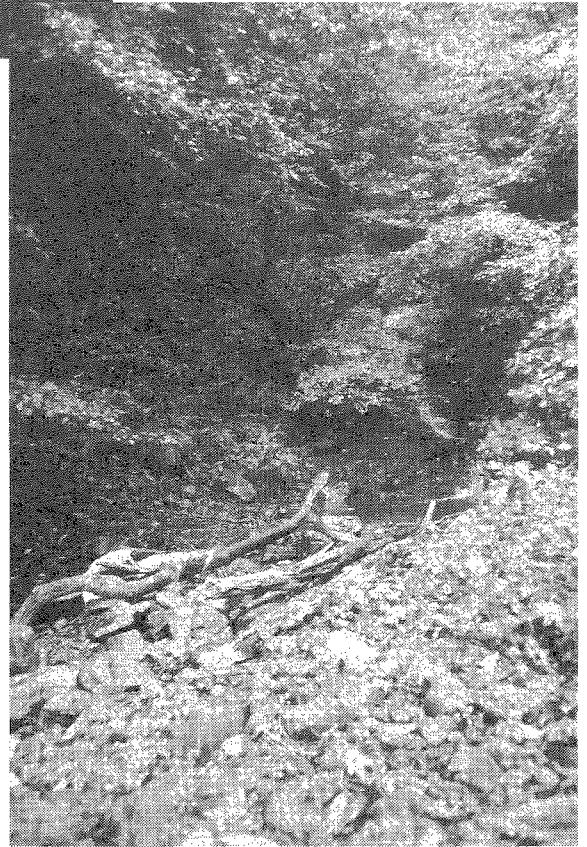


写真4
”中グロモ沢”

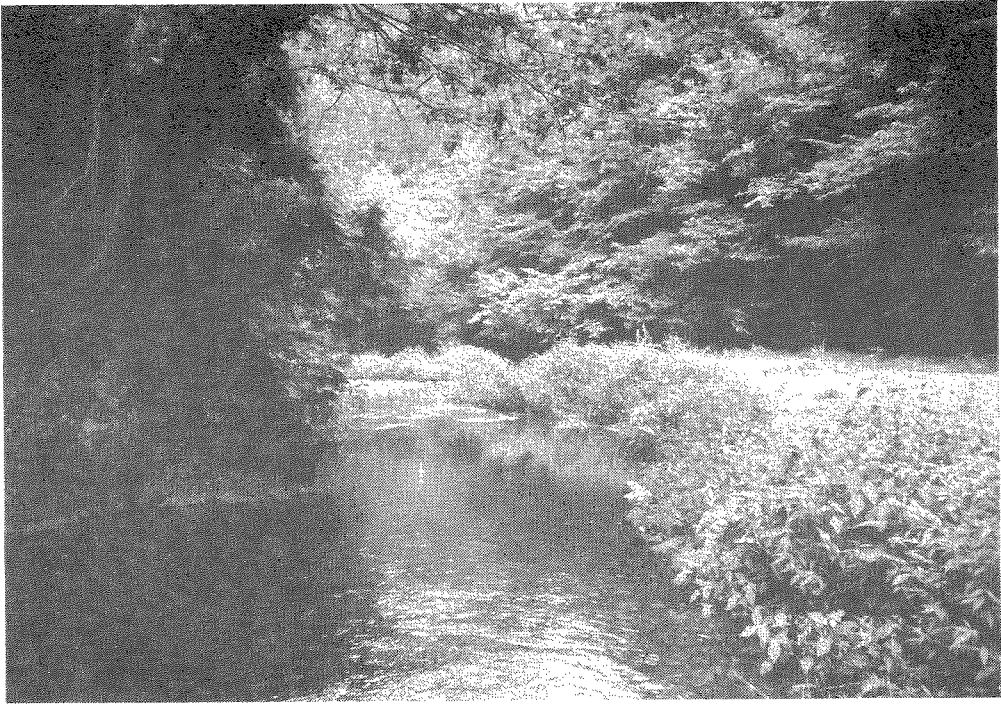


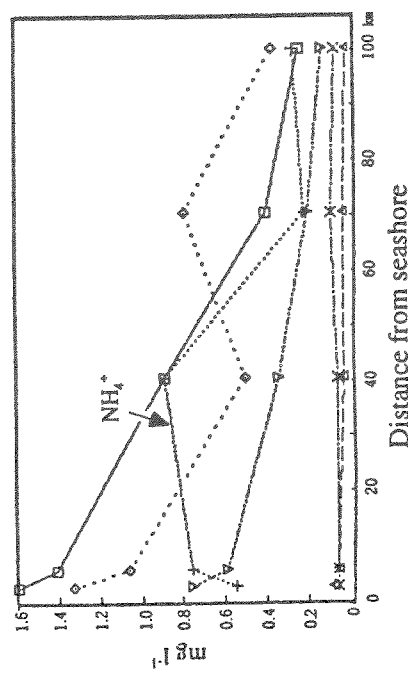
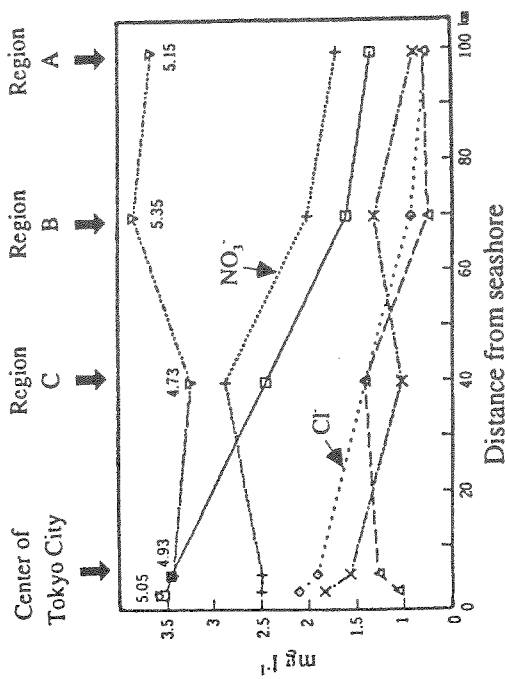
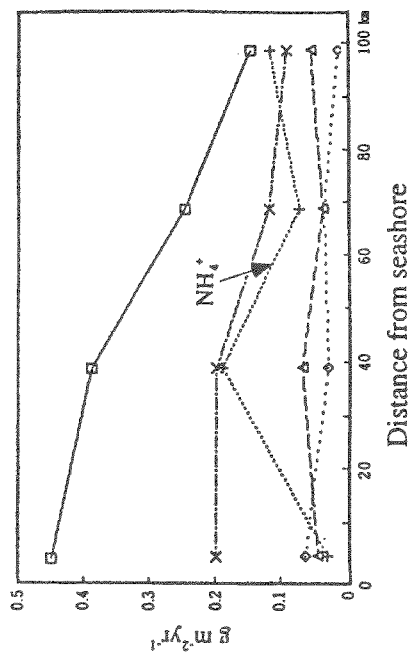
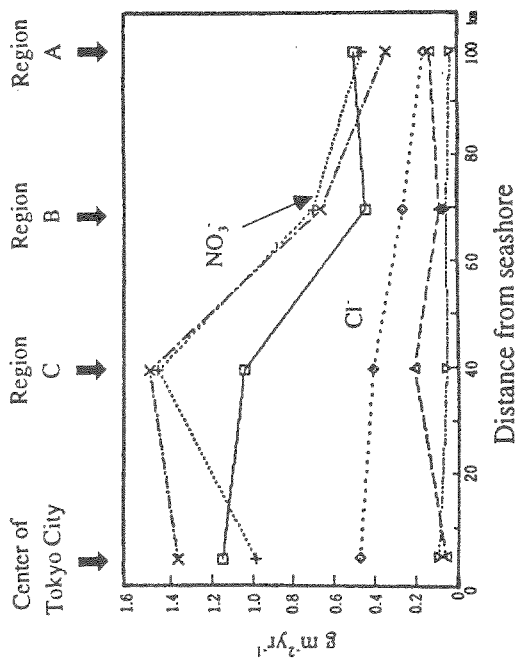
写真5 “小菅本流”

(2) 大気降下物の影響

鶴見・一國(1989)の提唱するように、マクロなパラメーターとして可能性があるのは大気降下物の影響である。森林には降雨やドライフォールアウトによってかなりの窒素が供給されている。これは、このような大気からの降下物によって渓流水中の NO_3^- 濃度の高低が決定されているとする考え方である(大気降下物説)。大気経由の窒素降下物の主な起源は東方の都心部にあり、それに近いほど多量の窒素がもたらされていると予想できる。渓流水中の NO_3^- 濃度の東高西低型の地理分布は、想定される大気降下物の分布に一致しており、この大気降下物説を支持するように見える。

しかしながら、窒素降下物の地域による量的差違はそれほど大きなものではない。多摩川流域に沿って乾性、湿性降下物中の化学成分と降水量を2年にわたり調査した古明地(1991)の結果によると、本研究に対応した地域における湿性、乾性の窒素(NO_3^- 、 NH_4^+)降下物の地理的勾配はせいぜい1/3程度である(図7)。渓流 NO_3^- 濃度には30倍以上もの差異がみられる。大気経由の窒素負荷量の相違はこの大きな違いを量的には十分説明できない。

大気降下物の渓流水 NO_3^- 濃度への影響を NO_3^- の窒素安定同位体比の測定によって判定することを試みた。降水中窒素の同位体比は、和田(1994)のまとめによれば NO_3^- で $-6.6 \pm 3.9\%$ 、 NH_4^+ で $-1.4 \pm 3.5\%$ の範囲と一般に低い(図8)。もし、渓流水 NO_3^- 濃度の変動が大気起源物質に由来するならば渓流水 NO_3^- の窒素同位体比にもそれが反映し、 NO_3^- 濃度が高い場合ほど同位体比は低く、 NO_3^- 濃度が低い場合ほど同位体比は高いという逆相関関係を示すはずである。



Chemical composition in rain (Annual average) Annual deposition from dry fallout

図7 乾性、湿性降下物量の地点特性
 古明地 (1991) による。一ノ瀬 (Aに相当)、奥多摩 (Bに相当)、福生 (Cに相当)、
 都心部 (千代田区) における測定結果

ゾーンAからCまでを含む9つの渓流水についてNO₃⁻の窒素安定同位体比を測定した結果を表2および図9に示す。渓流水に含まれるNO₃⁻の窒素安定同位体比は、すべてプラスの範囲にあり、また地域とNO₃⁻濃度が大きく異なるにも関わらず0~1.5‰とほぼ一定であった。多摩川で現在進められている熊沢らのグループによる渓流水中のNO₃⁻同位体比の測定結果(朴ら、1995)も、この狭い範囲内にある。

以上の同位体組成の結果からも、渓流水中のNO₃⁻濃度にみられた大きな地理的変動は大気降水量の違いだけに由来したものではおそらくない。それとは別のメカニズムが濃度レベルを左右している可能性を考える必要がある。

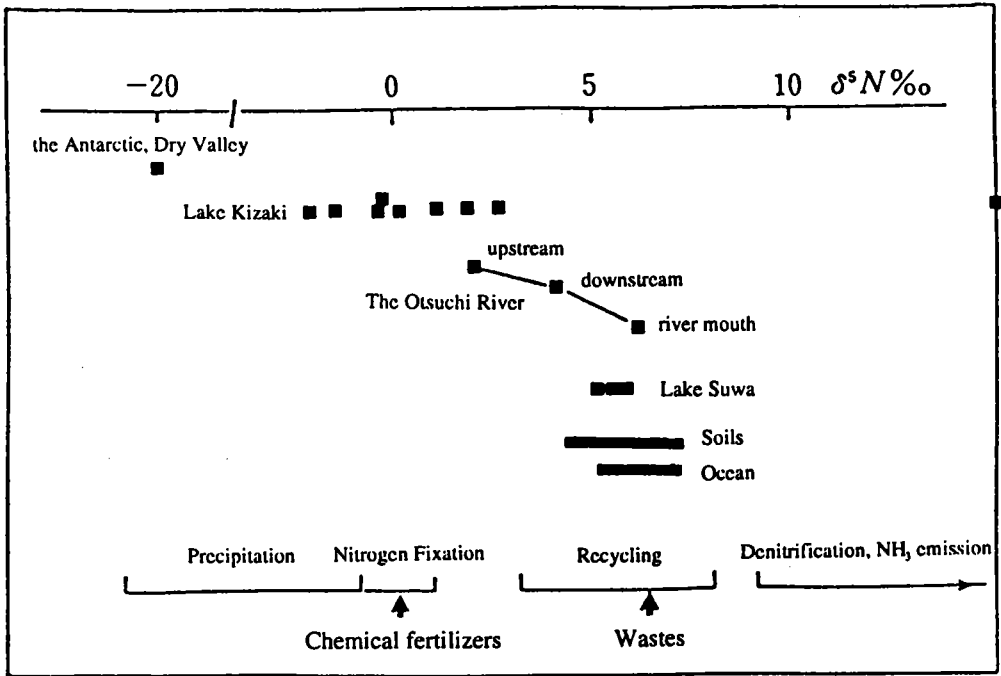


図8 さまざまな環境におけるNO₃⁻の窒素安定同位体比
和田(1994)より

表2 渓流水中の NO_3^- の窒素安定同位体比

() は図2のゾーンに対応

		窒素安定同位体比 (‰)
梅の木平	(C)	0.15
川口川	(C)	0.15
川苔川	(B)	-0.03
鋸山	(B)	1.20
日原川奥	(A-B)	0.68
中グロモ沢	(A-B)	0.21
小菅川本流	(A-B)	0.12
一ノ瀬	(A)	1.45
大菩薩	(A)	0.55
平均		0.50 ± 0.52

Relationship between stream NO_3^- concentration and its nitrogen isotope abundance

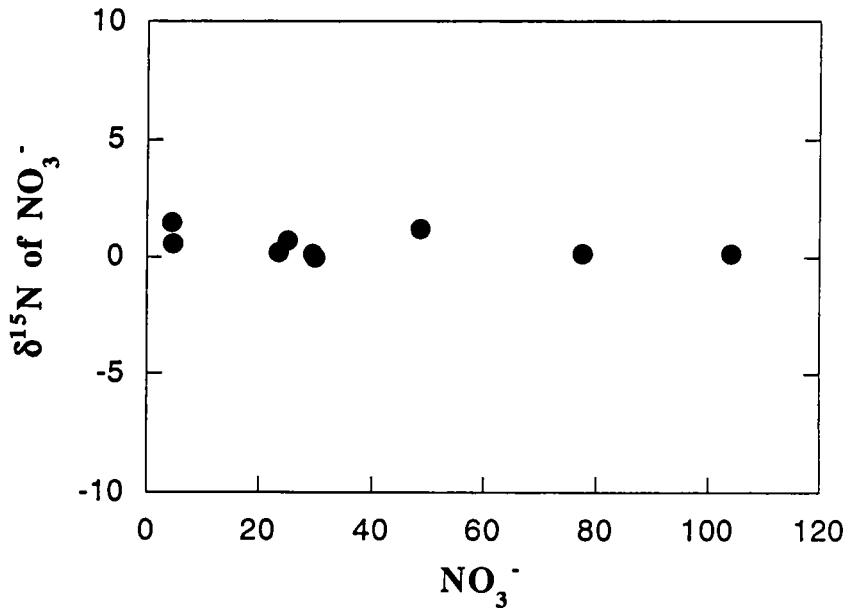


図9 渓流水中 NO_3^- の濃度と窒素安定同位体比の関係

(3) 各溪流における水質の季節変化

鶴見・一國(1989)はNO₃⁻濃度がCl⁻濃度とともに増大する傾向を持つことから、渓流水中のNO₃⁻がCl⁻と同様に大気に起源を持つと考えた。本研究でも確かに溪流のCl⁻濃度は西方ほど低下する傾向を示し、NO₃⁻濃度とCl⁻濃度は正の相関性を持つ(図10)。しかしながら以下に示す通年調査の結果からみると、NO₃⁻とCl⁻とは必ずしも行動をともにしているとは限らないようである。

溪流のCl⁻濃度は年間ほとんど変動せず、各溪流ごとにほぼ一定値を示した。すべての溪流の年間調査データの変動係数(CV)は1.9-11.9%の範囲にすぎない。しかし、NO₃⁻濃度変動係数は14.0-50.0%の範囲、平均26.7%であった(表3)。これだけみれば、NO₃⁻濃度の変動は比較的小さく、一回のデータでもかなり高い時間代表性をもつともいえる。しかし、Cl⁻との比較で見れば変動ははるかに大きく、Cl⁻の変動特性とは明らかな違いがある。

図11はNO₃⁻濃度の季節変化を各溪流における相対値で示したものである。NO₃⁻濃度の変動は大部分100±50%の範囲に収まる。季節別にみると、全体として冬期(11、1、3月)に低く、夏期(8月)に高い傾向がみとれる。当然のことながらNO₃⁻濃度の変化は水温とよく対応しており、年平均を下回る値は低水温時に、上回る値は高水温時に出現する(図12)。そしてNO₃⁻/Cl⁻比にも温度に依存した変化がみられる(図13)。このようにNO₃⁻濃度の変動は見かけ上温度との対応関係によって説明できる。

各渓流水質の個別の季節変化を図14に示す。通年観測を行った15の渓流水のうち約半数(八王子城址、梅の木平、鋸山、峰谷川、川苔川、日原養魚場、カジ小屋窪)において、冬低く、夏に高いという季節変化が顕著に認められた。

Cl⁻と異なりこのような季節変化がNO₃⁻に存在すること、そしてそれが温度依存性を持っていることから考えて、渓流水中のNO₃⁻濃度の決定にはおそらく生物作用が関与している。濃度の温度依存性が生物活動の温度依存性の範囲にあることもこの可能性を支持するものである(図15)。

表3 多摩川流域の通年調査結果におけるNO₃⁻濃度とCl⁻濃度の変動係数(CV)の範囲

	Range	average (15stations)
NO ₃ ⁻	14.0 - 50.0	26.7
Cl ⁻	1.9 - 11.9	5.8

$$CV = 100 s / \bar{x} (\%)$$

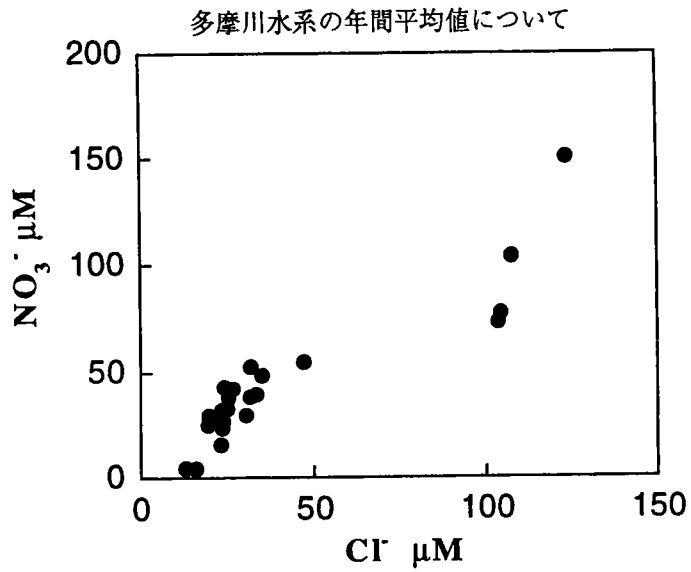


図 1 0 多摩川流域渓流水中の平均NO₃⁻濃度と平均Cl⁻濃度の関係

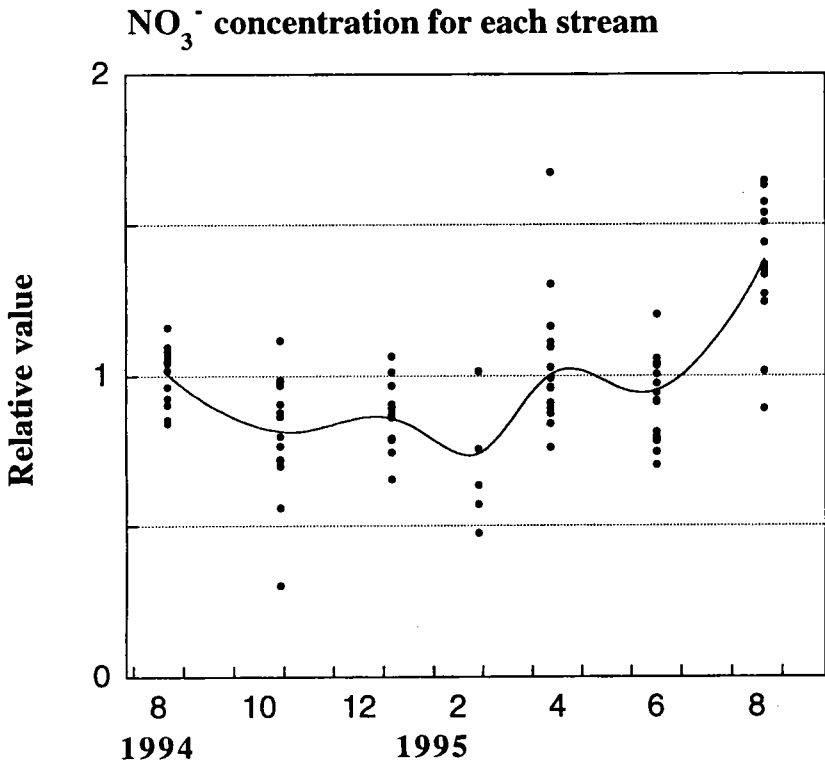


図 1 1 多摩川流域の渓流水中NO₃⁻の季節変化
(各渓流の平均濃度に対する相対値で示す)

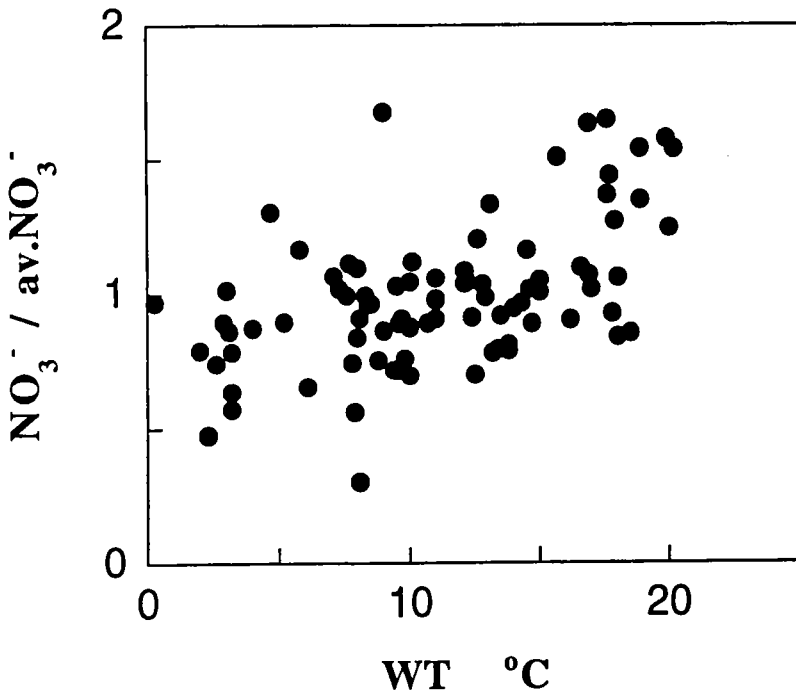


図 1 2 相対的 NO_3^- 濃度と温度の関係

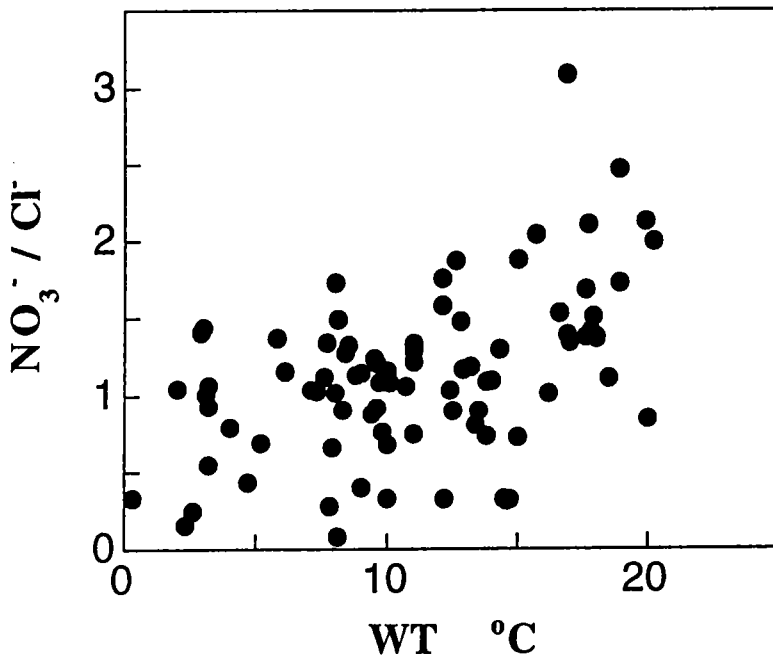


図 1 3 $\text{NO}_3^- / \text{Cl}^-$ 比と温度の関係

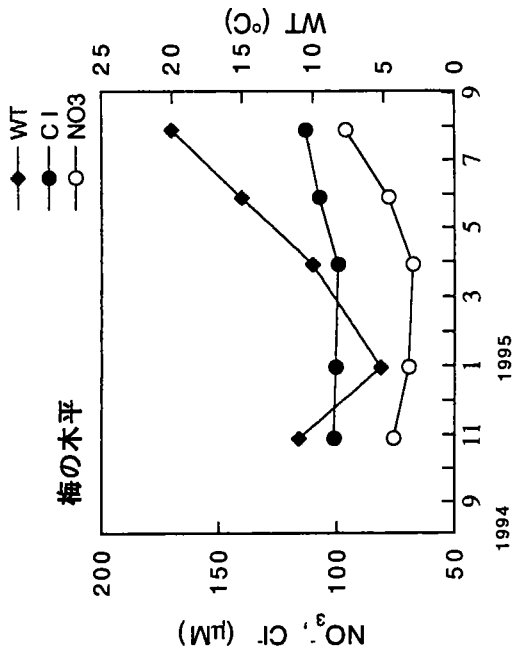
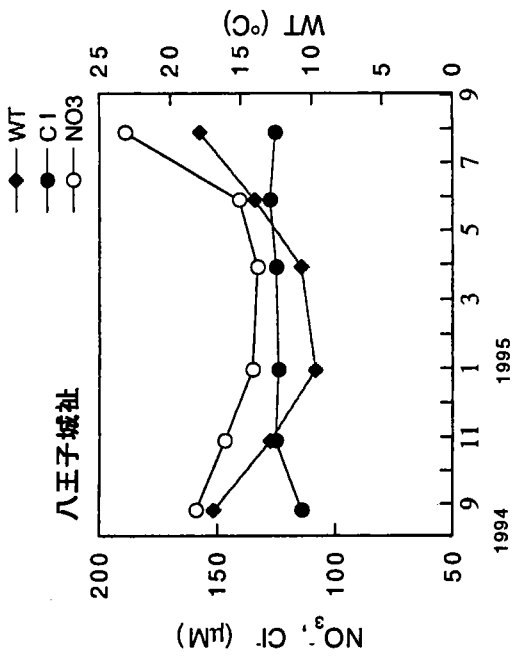
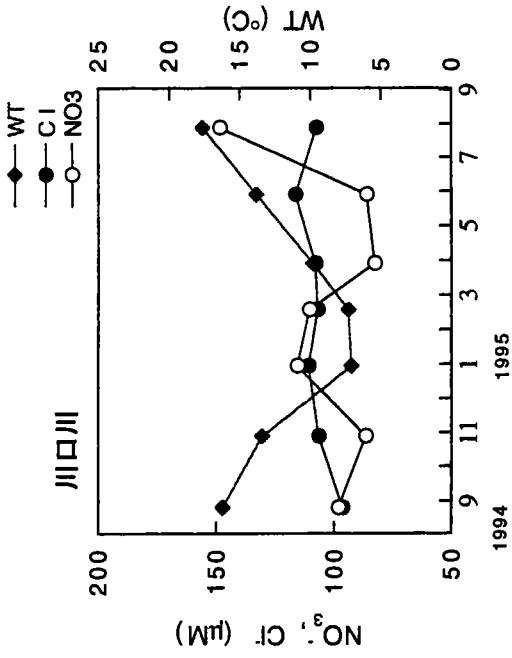


図14(1) 多摩川流域の溪流水水質と水温の季節変化

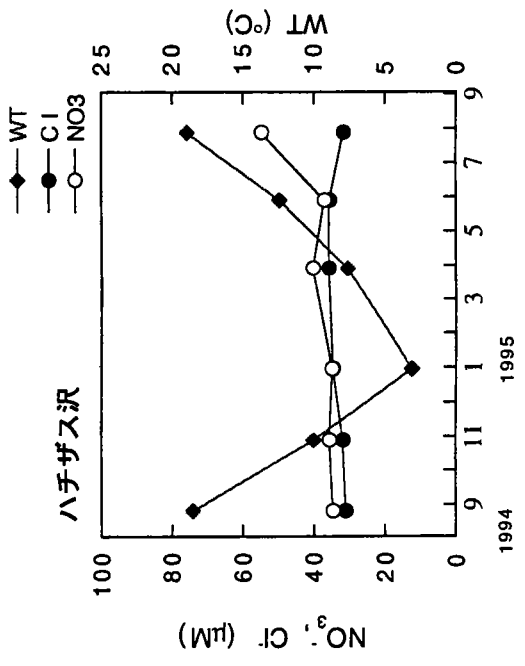
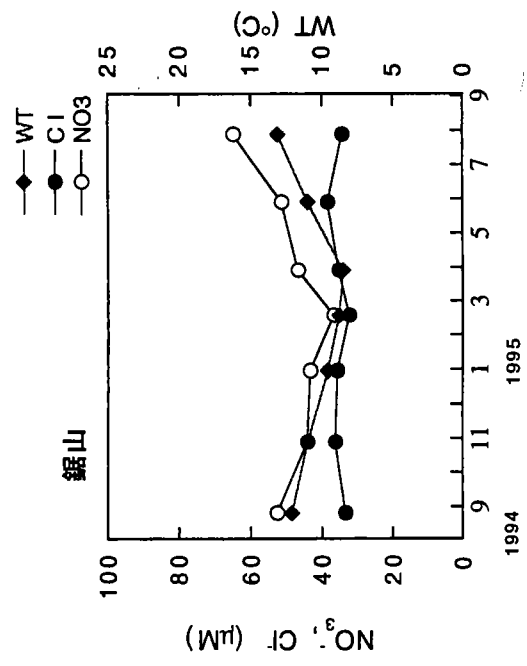
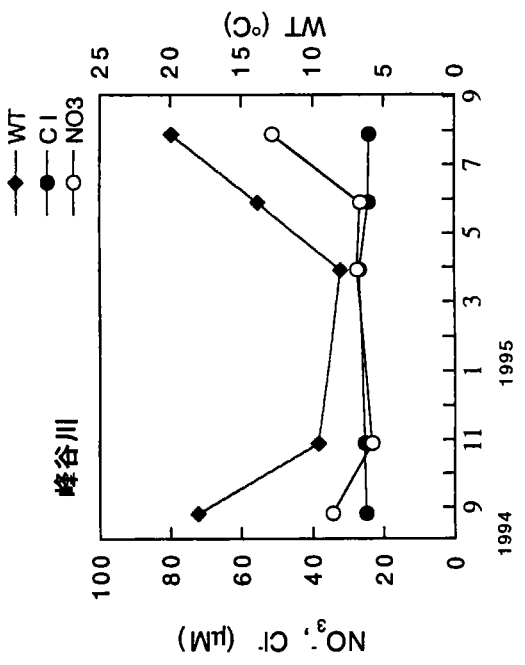
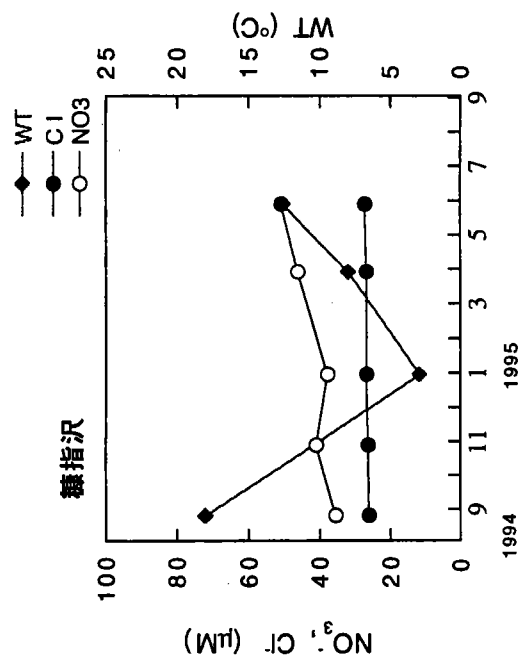


図 1 4 (2) 多摩川流域の渓流水質と水温の季節変化

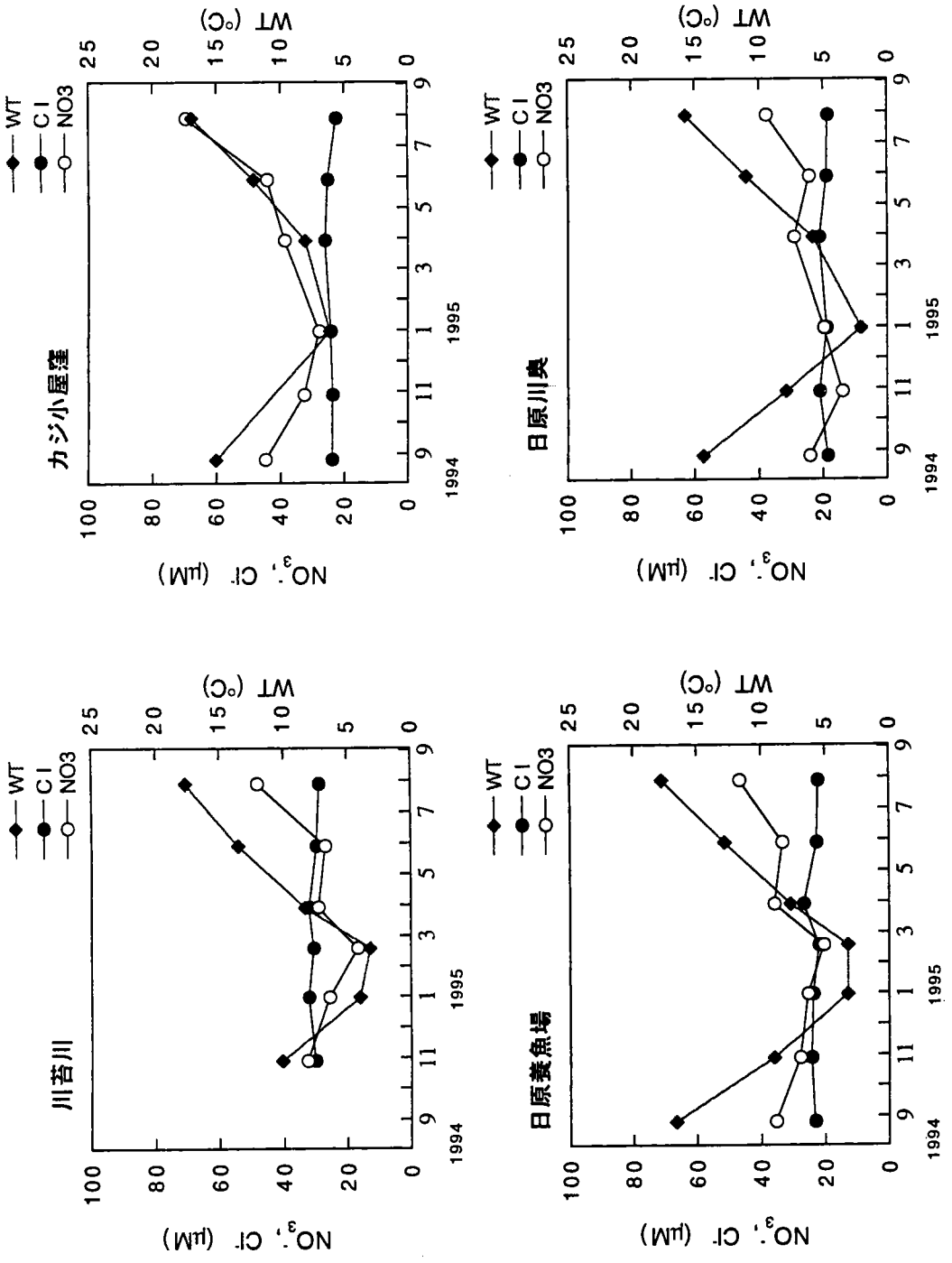


図 1 4 (3) 多摩川流域の溪流水質と水温の季節変化

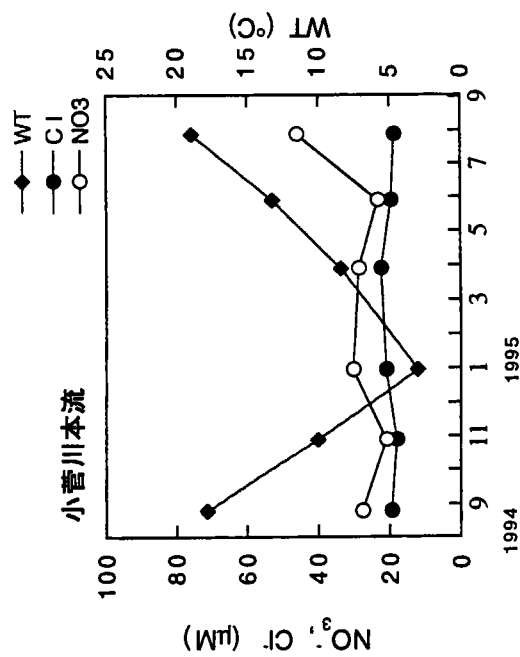
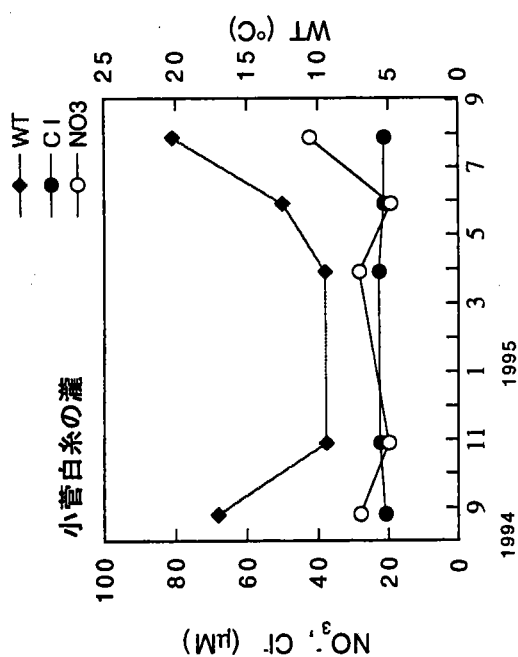
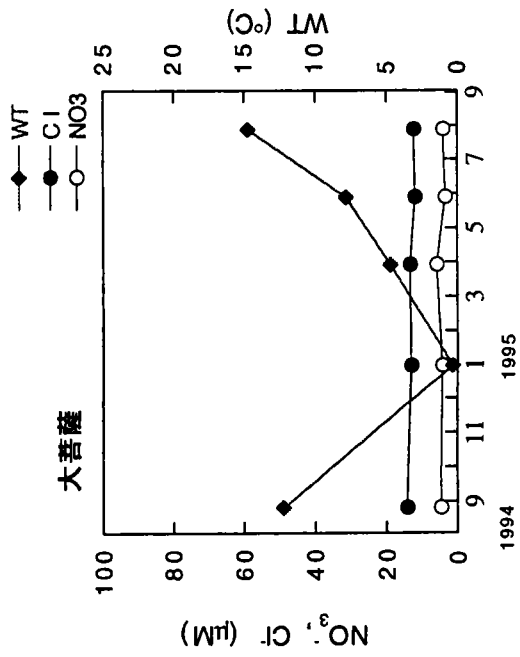
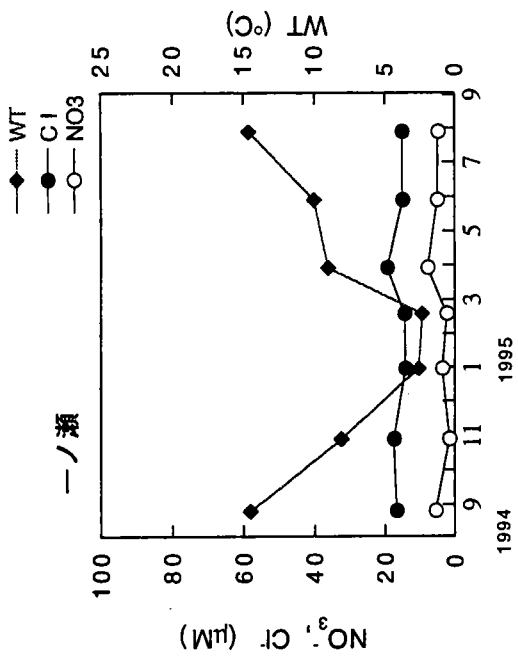


図 1 4 (4) 多摩川流域の渓流水質と水温の季節変化

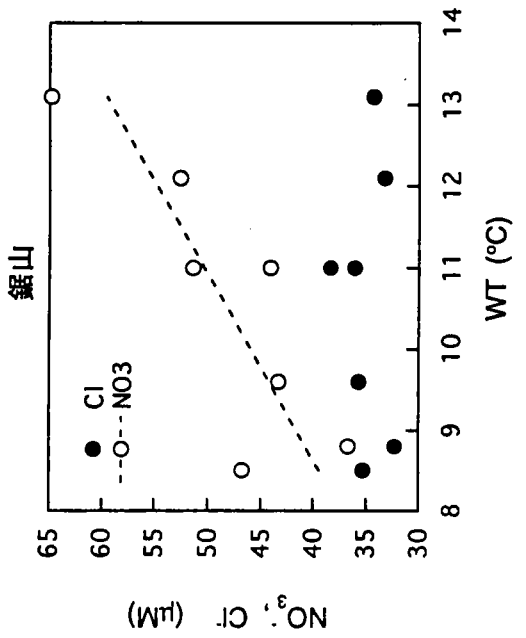
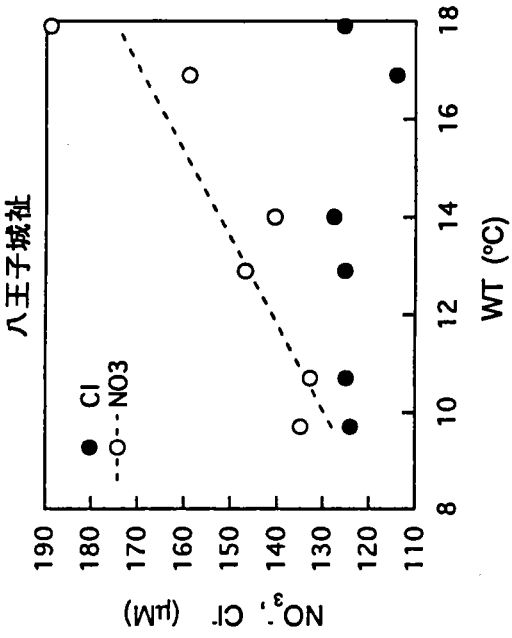
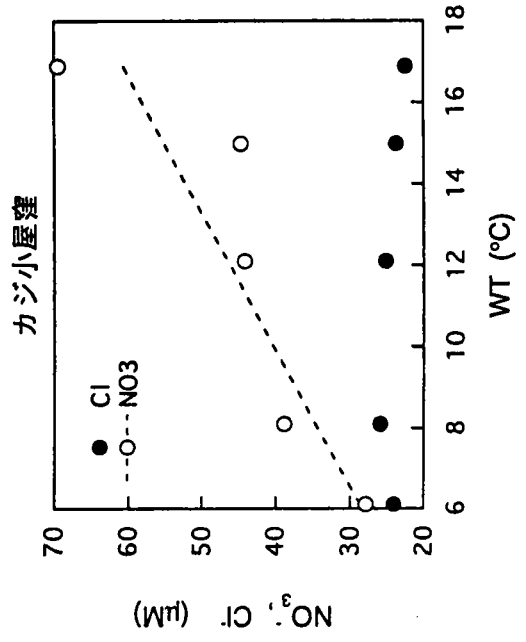
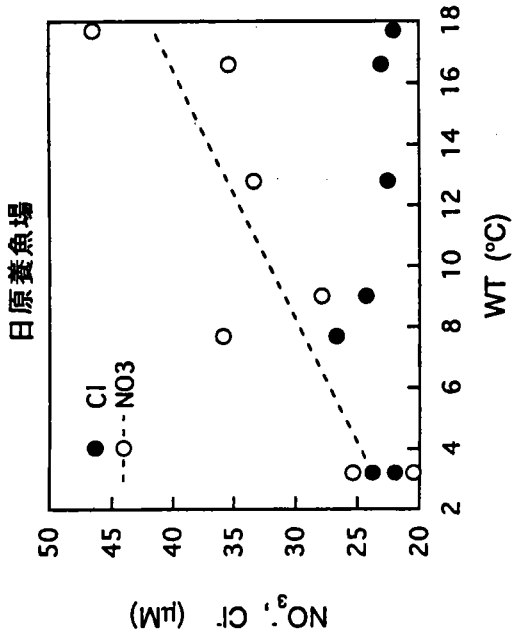


図 15 渓流水中NO₃⁻濃度、Cl⁻濃度と温度の関係

(4) 標高との関係

多摩川水系において東西方向は都市や海からの距離に対応するだけでなく、当然のことながら高度の変化にも対応している。そこで採取点と分水界の高度の平均として標高を計算し、 NO_3^- 濃度に対してプロットした。 NO_3^- 濃度は標高に従って変化し、低高度ほど濃度が高く、高高度ほど濃度が低下するという逆相関関係を示すことがわかった(図16)。参考のために行った多摩川以外の水系(日川水系、筑波山麓、赤城山麓、尾瀬。別のマークでプロット)の調査データもこの関係に符合する。すなわち本研究で調査した全ての NO_3^- 濃度のデータは標高という単一のパラメーターで説明可能であった。

図2の地理分布においてもっとも NO_3^- 濃度が低かったゾーンAは、それより下流とは異なり花崗岩帯に入る。多摩川水系分水界を越えた先にあり、流域がすべて花崗岩からなる日川水系を調査することによりこうした地質変化の NO_3^- 濃度への影響を検討した。図17に示すように(図16からこの水系のデータのみを取りだしている)、全て花崗岩質であっても標高の低下とともに濃度が急増しており、この結果から、地質は NO_3^- 濃度変化の重要な要因ではないことが確認できる。

これらの日川水系の調査地点は分水界から水平的にあまり離れていないため地図上のゾーンA(図2)に包含される。にもかかわらずこれらの NO_3^- 濃度は比較的高く、ゾーンAの濃度範囲(<20 μM)から明らかに逸脱するものである。つまり NO_3^- 濃度の変化は、大気降水物の影響を示唆する先述の西低東高型の地理分布で全て説明できるわけではない。水平的よりもむしろ垂直的な要因が重要な働きを演じているようである。

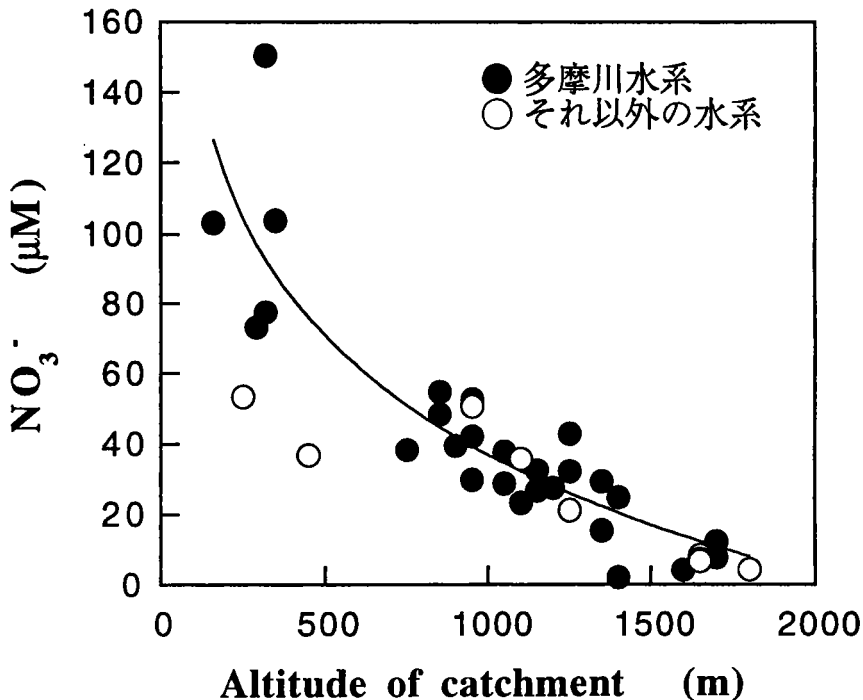


図16 標高と平均 NO_3^- 濃度の関係

全データ。多摩川水系とそれ以外の水系のデータを別々のマークで示す

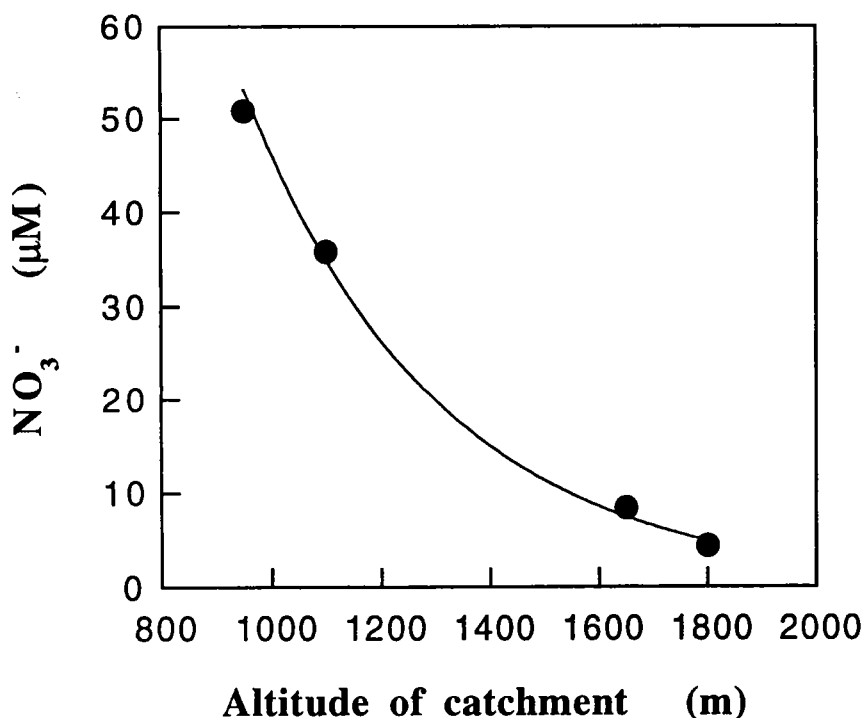


図17 標高とNO₃⁻濃度の関係 (山梨県日川水系)

(5) NO₃⁻濃度の変動メカニズム (温度説の提唱)

森林土壌には森林の窒素集積の90%にも相当する大きな窒素のプールがあり、その量はふつう数トン/haに達する。これに対して降水やドライフォールアウトによって大気から供給される窒素は年間数kgから数十kg/haのレベルである。土壌窒素の全てが生態系の窒素循環に参加しているわけではないので単純には比較できないが、土壌窒素量に対する大気降水物量の比率は少なくともかなり小さく、このことから、生態系内の窒素循環に対する大気降水物の量的寄与はそれほど大きくはない可能性が高い。

上記(2)節で議論したように大気から供給される窒素が渓流水のNO₃⁻濃度を直接左右していることはなさそうである。たとえそれが影響しているとしてもおそらく森林物質循環系にいったん組み込まれてから一つまり、いったん生物学的に利用されてから一のものとして推測できる。従って、大気から負荷された窒素の影響のあるなしに関わらず、渓流水のNO₃⁻濃度を決定する上で重要なのは、生態系内の物質循環メカニズムであろう。森林の皆伐などの人為的攪乱により渓流水中のNO₃⁻濃度が著しく増大するという現象(Vitousek, 1979)からも、森林土壌に窒素の大きなプールが存在すること、森林からのNO₃⁻流出のレベルがこのプールを介した物質循環によってコントロールされていることは明らかである。森林土壌から渓流水へと流出するNO₃⁻レベルを決めているのがこの物質循環メカニズムということになる。

以上のことから、渓流水にみられた NO_3^- 濃度の大きな地理的変動は温度が関係した生態学的問題に起因している可能性が高い。 NO_3^- 濃度のコントロールに生物学的な物質循環が関係していることはいくつかの合理的根拠からかなり確かであり、物質循環が関係しているのであれば NO_3^- 流出の温度依存性は十分考えられるからである。すなわち、生態系の一次生産活動と土壤中の従属栄養微生物による有機物の無機化とは温度依存性が異なり、低温ほど前者が卓越することが知られている。そこで、(1)低温地域ほど植物による吸収が無機窒素の供給を上回り、土壌の無機窒素プールが小さくなる。(2)一次生産の卓越によって、低温地域ほど高いC/N比環境が形成され、分解由来の NH_4^+ に対する硝化菌の相対的競争力が低下することにより NO_3^- の生成も抑えられる、という2つのメカニズムが想定できるのである。これらのメカニズムは現在まだ仮説にすぎないが、渓流水の NO_3^- 濃度が気温に依存した生態系の物質循環の違いによって変化しうることを説明するものである。

(6) 本研究の意義と今後の課題

大気中に放出された NO_x が NO_3^- に変換されるまでには時間的遅れがあり、実際に NO_3^- 降下量は町田市付近にピークをもつ(鶴見ら1991)。降水中に NO_3^- が高濃度含まれる現象が日本各地で観測されていることからわかるように大気中の NO_3^- はかなり高い移動性があり、 NO_3^- 降下量の分布はそれほど局地的なものにはならない。このことからすれば古明地(1991)の実測が示すゾーンA、C間の1/3程度の降下物量勾配はごく妥当なものであろう。したがって、渓流水に見られた30倍以上もの NO_3^- の濃度差とのギャップを説明することは、大気降下物以外のメカニズムを考えることなしにはかなり難しい。

もっとも下流側にあたるゾーンCでみられた $70\mu\text{M}$ 以上という濃度は、湖沼で一般に見られる NO_3^- 濃度よりはるかに高い。このことは、相当高い一次生産活動をひきおこしうる窒素栄養が森林から提供されており、かりにその水がせき止められればなんら汚濁源がなくとも十分富栄養な水体が作り出されうることを意味する。

この濃度レベルが全くの自然の物質循環メカニズムだけによって作り出されたものかどうかは、流域への栄養供給という点でたいへん興味ある問題である。もし自然の物質循環だけで説明できれば、どの流域にも当てはまる現象であることを論証できることになり、湖沼の生産性を左右するこれまで知られていない因子として挙げられることになる。また、陸上から海洋への窒素輸送が気候レベルによって左右されているという興味深いシナリオが登場することにもなる。

しかし、この点についてはまだあいまいであり、大気からの窒素負荷がどのような影響をおよぼしているかを検討する必要がある。上述の議論から、少なくとも大気降下物が渓流水中の NO_3^- 濃度を直接的に左右していることはなさそうであるが、大気からの窒素が徐々に生態系内の物質循環系につけ加わって、間接的に渓流水中の NO_3^- 濃度を上昇させる原因となった可能性がある。とくに森林地帯は葉面が付着媒体となるため林外の測定値をはるかに上回る量の窒素が大気から供給されているはずである。

本研究では大気降下物による流域への窒素負荷量の見積もりも実際試みた。ゾーンAおよびBに当たる地域の森林内にサンプラーを約2カ月間放置し、回収された雨水の化学組成を測定したが(表4)、信頼できる結果が得られなかったため今回の議論の対象からは外している。この測定で問

題となったのは回収期間中の水質変化である。表4に示すように、温暖な時期になると NO_3^- がほとんど検出されなくなり、自然では考えにくい結果であった。この現象は、サンプルが非常に濾過しにくい、生臭い臭いがするなどの徴候からみて、おそらく微生物の増殖によって雨水組成が変化したためである。採取容器上部に濾過フィルター（Advantec No.2 保留粒子径 $5\mu\text{M}$ ）をとりつけるなどの工夫をしてもこの水質変化は防止できなかった（表4）。現在この問題について、水質変化を避けられるサンプラーの開発を含め、方法上の検討を進めている。これにより大気から林内への窒素負荷量を正確に見積もる必要がある。

さらに、 NO_3^- 濃度のコントロールに生物学的な物質循環が介在していることが本当であれば、 NO_3^- 濃度が森林の窒素循環を代表する流域単位のパラメータとして使える可能性がでてくる。これは今後の学術研究の発展につながるものとして興味深い。たとえば陸上生態系は温室効果ガスである大気 N_2O の最大の発生源であるが、著しく不均一性が高いため、これを正確に推定するのはたいへん難しい問題となっている。陸上生態系からの N_2O 放出量を正確に見積もることは、大気 N_2O 循環を知る上できわめて重要な課題である。土壌中で NO_3^- の生成と N_2O の生成とはおそらく平行しているため、 NO_3^- の起源が大気から直接由来したものでないなら、 N_2O フラックスが NO_3^- の高低に連動している可能性が高い。したがって、地球環境の面から重要な N_2O フラックスを推定する上で、流域単位という広域の情報をもつ渓流水の NO_3^- 濃度はかなり有用なパラメータになる可能性がある。このことを検証することも次の研究段階として興味ある課題である。

表4 林内雨中化学成分の測定結果

川苔（ゾーンB）と一ノ瀬（ゾーンA）において各期間の林内雨を回収

期間	Cl^- μM		NO_3^- μM		SO_4^{2-} μM		
	川苔	一ノ瀬	川苔	一ノ瀬	川苔	一ノ瀬	
(1995年)							
1/9 - 3/3	95.9	30.4	138.7	53.0	46.5	16.5	
3/3 - 4/17	-	-	22.0	-	27.0	-	
4/17 - 6/21	32.7	19.6	22.5	0.6	14.5	11.9	
6/21 - 8/24	13.2	14.0	44.9	4.3	17.7	8.7	
6/21 - 8/24	14.4	15.4	32.1	0.0	16.7	5.4	

* 上部に濾紙をとりつけたサンプラーにより採取

4. 参考文献

- 平田健正・村岡浩爾(1989) 国松孝男・村岡浩爾(編著)、河川汚濁のモデル解析 技報堂出版.
- 古明地哲人(1991) 乾性、湿性降水物中化学成分と降水量の地点特性 東京都環境科学研究所年報 1991 78-83.
- 古明地哲人・鈴木光春・栗本哲男・川瀬祐司・門井守夫(1990) 大気降水物と土壤中化学成分の挙動 (1) 東京都環境科学研究所年報1990 18-24.
- 国松孝男・須戸幹(1993) 山地河川の窒素・リン・CODの濃度とその変動特性 - 森林(油日岳実験流域)からの汚濁負荷流出気機構(1) - 農業土木学会論文集 166 35-44.
- 国松孝男・須戸幹・島田佳津比古・海老沢秀夫(1992) 朽木「朝日の森」落葉広葉樹二次林における水質形成機構に関する研究(1) 隣接する2試験流域から流出する渓流水の水質特性の比較 森林文化研究 13 81-94.
- 朴光来・山本洋司・加藤茂・熊沢喜久雄(1995) 窒素安定同位体比($\delta^{15}\text{N}$)法を用いた多摩川の窒素汚染に関する研究 第32回理工学における同位元素研究発表会要旨.
- 鶴見実・一國雅巳(1989) 多摩川上流域の沢水に含まれる無機成分の化学的特徴 環境科学会誌 29-16.
- 鶴見実・新島啓司・一國雅巳(1991) 東京西部で捕集した大気降水物中の可溶性化学成分 - 沈着量の地域的分布 日本化学会誌 1991 No.6 936-943.
- 堤利夫(1987) 森林の物質循環 東京大学出版会.
- Vitousek P M, J R Gosz, C C Grier, J M Melillo, W A Reiners and R L Todd (1979) Nitrate losses from disturbed ecosystems Science 204 469-474.
- 和田英太郎(1994) 安定同位体比を利用した物質循環の解明. 森野浩・宮崎信之(編)、バイカル湖 227-246 東京大学出版会.

付記

本研究は、農水省農業環境技術研究所の八木一行の協力のもとに、東京農工大学連合農学研究科大学院生、木平英一と共同して行った。

「たまがわちゅう多摩川中～じょうりゅうかん上流涵養域のけいりゅうすい渓流水中むきないちつ無機態窒素濃度
ちりてきぶんの地理的分布とちつそじゅんかん窒素循環（研究助成・A類 NO.174）」

著者 楊 宗 興

発行日 1997年3月31日

発行 財団法人 とうきゅう環境浄化財団
〒150 渋谷区渋谷1-16-14
(渋谷地下鉄ビル内)

TEL (03) 3400-9142

FAX (03) 3400-9141
