

関東・中部地方の森林流域における溪流水中のNO₃-濃度の分布

誌名	日本林學會誌 = Journal of the Japanese Forestry Society
ISSN	0021485X
著者名	伊藤,優子 三浦,覚 加藤,正樹 吉永,秀一郎
発行元	日本林學會
巻/号	86巻3号
巻号補足	
掲載ページ	p. 275-278
発行年月	2004年8月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



関東・中部地方の森林流域における渓流水中の NO_3^- 濃度の分布伊藤 優子^{*1}・三浦 覚²・加藤 正樹¹・吉永秀一郎¹

伊藤優子・三浦 覚・加藤正樹・吉永秀一郎：関東・中部地方の森林流域における渓流水中の NO_3^- 濃度の分布 日林誌 86: 275~278, 2004 関東（一部東北を含む）・中部地方の1都12県において80地域、270地点の森林流域における渓流水中の NO_3^- 濃度を測定した。これらの調査地点における NO_3^- 濃度は $0.00 \sim 8.45 \text{ mg L}^{-1}$ の範囲で、中央値は 1.06 mg L^{-1} であった。渓流水中の NO_3^- 濃度は、関東平野周辺部において濃度の高い地点が分布する地理的な偏りが認められた。このような分布傾向は、従来から関東地方のいくつかの小流域で NO_3^- 濃度が高いことが指摘されていることと調和的である。また、関東平野周辺部以外の愛知県でも局所的に NO_3^- 濃度の高い地点が認められた。これらの地点は幹線道路や都市域周辺近傍に位置する。これらの結果から気候要因、地形的要因などの非人為的要因に加えて、大都市圏から排出される汚染大気の影響による森林流域への窒素の高負荷という人為的要因により、森林からの NO_3^- 流出が増大していると考えられる。

キーワード： NO_3^- 濃度、関東・中部地方、渓流水、地理的分布

Itoh, Y., Miura, S., Kato, M., and Yoshinaga, S.: Regional Distribution of Nitrate Concentrations in the Stream Water of Forested Watersheds in the Kanto and Chubu Districts. J. Jpn. For. Soc. 86: 275~278, 2004 The concentration of NO_3^- in stream water at 270 points in 80 locations in the Kanto (as well as part of the Tohoku district) and Chubu districts were investigated to determine the effects of anthropogenic influence on stream-water chemistry. NO_3^- concentrations ranged from 0.00 to 8.45 mg L^{-1} , and the median was 1.06 mg L^{-1} . Most of the watersheds with high NO_3^- concentrations in the stream water were on the periphery of the Kanto plain. This distribution agrees with that of some previous reports that showed high NO_3^- concentrations in some watersheds in the Kanto district. High NO_3^- concentrations in stream waters were found in other areas as well. These results indicate that the impact of anthropogenically high N transported via polluted air from metropolitan areas probably induces an increase in NO_3^- output to above natural levels in forests.

Key words: Kanto and Chubu districts, NO_3^- concentration, regional distribution, stream water

I. はじめに

窒素は森林生態系において、生産性に関与する最も重要な物質であると同時に、酸性雨や地下水汚染、河川や湖沼の富栄養化の原因となる物質でもある。このため、森林から流出する渓流水中に含まれる窒素に関心が集まってきた。1960年代以降、森林流域の渓流水質について北米を中心に多くの流域で生物地球化学的なアプローチによる観測が実施されてきた (Johnson and Swank, 1973; Borrmann and Likens, 1979 など)。日本においても同時期から森林小流域を対象にした水質研究が行われてきた (岩坪・堤, 1968 など)。これまでの研究によって、日本では欧米と比べて森林から流出する渓流水中の NO_3^- 濃度変動の季節パターンが異なることが明らかにされている (大類, 1997)。また、関東地方の流域において特異的に高い NO_3^- 濃度が検出された (平田・村岡, 1991; Ohrui and Mitchell, 1997 など)。

近年、地球規模で化石燃料や化学肥料の大量消費により大気への窒素排出量が増加傾向にある。日本でも都市域において自動車等の移動発生源からの窒素排出量の増加が問題となっている (環境庁, 2000)。関東地方の一部の森林

流域において渓流水中の NO_3^- 濃度が高い原因については、都市域からの汚染大気の影響が指摘されている (Ohrui and Mitchell, 1997)。しかしながら、実際に高濃度の NO_3^- 濃度が観測された流域は少数に過ぎず、また、隣接する流域では低い濃度を示すことも指摘されている (Ohrui and Mitchell, 1998)。このため渓流水中の NO_3^- 濃度の高い現象が特異的な現象なのか、広域的に起こっている現象なのかを特定するためには、森林流域における窒素流出の広域的な傾向を明らかにする必要がある。

本研究では、関東（一部東北地方を含む）・中部地方の森林から流出する渓流水中の NO_3^- 濃度の地理的な分布を明らかにし、森林流域への都市域からの人為的な影響について検討する。

II. 調査地および試験方法

関東（一部東北地方を含む）・中部地方の1都12県（関東地方：茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、東京都、神奈川県、福島県、中部地方：静岡県、山梨県、長野県、岐阜県、愛知県、新潟県）において、関東地方30地域、中部地方50地域の計80地域を抽出した。また、それぞれの地域について2~4地点、計270地点で採水を行った。なお、

* 連絡・別刷請求先 (Corresponding author) E-mail: yuko.106@ffpri.affrc.go.jp

¹ (独) 森林総合研究所 (305-8687 つくば市松の里1)

Forestry and Forest Products Research Institute, 1 Matsunosato, Tsukuba 305-8687, Japan.

² (独) 森林総合研究所東北支所 (020-0123 盛岡市下厨川字鍋屋敷92-25)

Tohoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute, 92-25 Nabeyashiki, Shimokuriyagawa, Morioka 020-0123, Japan. (2004年4月13日受付; 2004年6月17日受理)

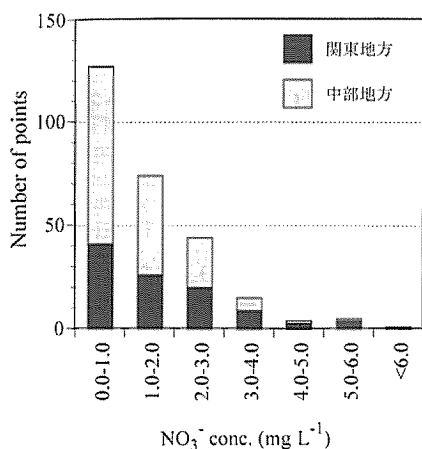


図-1. 関東・中部地方における渓流水中の NO₃⁻ 濃度の頻度分布

Frequency of nitrate concentration in stream water in the Kanto and Chubu districts.

表-1. 各地方別の NO₃⁻ 濃度

Maximum, minimum and median nitrate concentration in the study area.

地 方	地域数	地点数	NO ₃ ⁻ 濃度 (mg L ⁻¹)		
			中央値	最小値	最大値
関 東 (一部東北を含む)	30	103	1.46	0.00	5.90
中 部	50	167	0.90	0.00	8.45
全 体	80	270	1.06	0.00	8.45

各地域内は、ほぼ同一の地質からなり、各採水地点より上流部には人家、大規模な農地、牧草地、大規模なダムなどがなく、各地点を流域の下端として集水面積がおおむね 100 ha 以上になるように選定した。採水地点の平均標高は 653 m (最低標高 35 m, 最高標高 1,680 m) であった。なお、本研究では各森林流域の樹種や林齢は採水地点の選定に加味しなかった。

日本の渓流水中の NO₃⁻ 濃度は 1 年を通じて安定している、あるいは夏季前後に高くなる傾向がみられる (大類, 1997; 加藤ら, 1999)。本研究では、平水時において高 NO₃⁻ 濃度が検出される可能性が高い時期に採水を実施し、試料は 2000 年の夏から秋を対象として 1 回だけ採水した。採水にあたっては降雨直後や増水時をさけ、平水時に採水した。採水した試料はメンブレンフィルター (0.45 μm) で濾過後、イオンクロマト法で NO₃⁻ 濃度を測定した。

III. 結 果

1. 渓流水中の NO₃⁻ 濃度の頻度分布

全 270 地点の渓流水中の NO₃⁻ 濃度は 0.00~8.45 mg L⁻¹ の範囲にあり、中央値は 1.06 mg L⁻¹ であった。今回調査した全 270 地点のほぼ半数の地点において渓流水中の

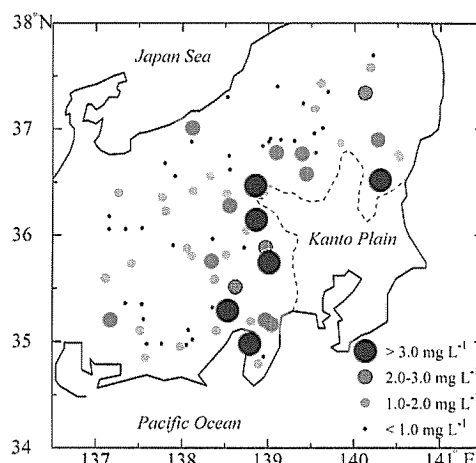


図-2. 関東・中部地方における渓流水中の NO₃⁻ 濃度の分布

Regional distribution of nitrate concentrations in stream water in the Kanto and Chubu districts.

円の大きさは各地域の平均 NO₃⁻ 濃度の高低を表す。
Size of circle shows the nitrate average concentration of each area.

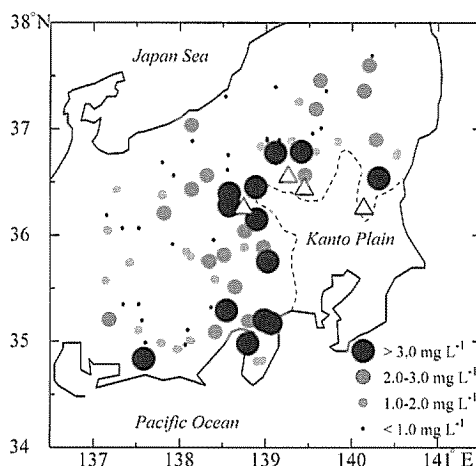


図-3. 関東・中部地方の 80 地域における渓流水中の NO₃⁻ 濃度の最大値の分布

Regional distribution of maximum nitrate concentration in stream water of 80 areas in the Kanto and Chubu districts.

円は本研究の各調査地域における最大 NO₃⁻ 濃度の高低を示す。三角は平田・村岡 (1991), 大類ら (1995), 楊 (1998), 戸田ら (2000) により高濃度 NO₃⁻ が報告された流域を示す。

Circle shows the nitrate maximum concentration of each area in this report. Open triangles show the watersheds of high nitrate concentration in previous studies. Reference: Hirata and Muraoka (1991), Ohnri *et al.* (1995), Yoh (1998), Toda *et al.* (2000).

NO₃⁻ 濃度が 1.0 mg L⁻¹ 以下と低濃度であり、関東・中部地方の森林流域では渓流水中の NO₃⁻ 濃度の濃度範囲は大きい、多くの地点は低濃度に偏った傾向を示した (図-1)。

地方別にみると、関東地方の地点の NO₃⁻ 濃度は 0.00~5.90 mg L⁻¹ の範囲にあり、中央値は 1.46 mg L⁻¹、中部

地方の地点の NO_3^- 濃度は $0.00 \sim 8.45 \text{ mg L}^{-1}$ の範囲にあり、中央値は 0.90 mg L^{-1} であった (表-1)。本研究において最大値を示したのは、静岡県東部に位置する地点であったが、全体としてみれば関東地方が中部地方より NO_3^- 濃度が高い地点が多い傾向が認められた。

2. 渓流水中の NO_3^- 濃度の地理的分布

各地域内における複数地点の NO_3^- 濃度の平均値をその地域の代表値として図-2 に示した。渓流水中の NO_3^- 濃度が高い地域は伊豆半島から茨城県にかけて関東平野をとり囲むように広範囲に分布する傾向を示していた。

各地域の NO_3^- 濃度の最大値は、岐阜県北東部の地域で 0.12 mg L^{-1} と最も低く、静岡県東部の地域で 8.45 mg L^{-1} と最も高かった。最大値が 3.0 mg L^{-1} 以上の NO_3^- 濃度を示したのは 80 地域中、関東地方で 16 地域、中部地方で 9 地域の計 25 地域であった。それらの地域は愛知県東部の 1 地域を除き、関東平野の周辺に分布する傾向を示した (図-3)。

IV. 考 察

1. 渓流水中の NO_3^- 濃度

これまでに森林流域における広域的な水質を比較した研究として、1980 年代に全国の 34 地点の森林流域で行われた調査 (広瀬ら, 1988), 1990 年代に全国の 45 地点の森林流域で行われた調査 (戸田ら, 2000) などがあげられる。これらの研究の結果を NO_3^- 濃度で評価したとき、広瀬ら (1988) では、渓流水中の NO_3^- 濃度は $0.04 \sim 10.54 \text{ mg L}^{-1}$ と濃度の範囲が非常に大きかったが中央値は 0.53 mg L^{-1} で、瀬戸内地方の 4 流域以外は低濃度であった。また、戸田ら (2000) では、 NO_3^- 濃度は $0.0 \sim 9.4 \text{ mg L}^{-1}$ の範囲を示し、群馬県と長野県南東部の流域で高い値を示したが、それ以外の流域では NO_3^- 濃度は低濃度 (平均 0.6 mg L^{-1}) であった。本研究で得られた NO_3^- 濃度分布はこれらの研究結果と大きな違いはなく、関東・中部地方は全国的にみて NO_3^- 濃度が高い傾向を示した。

2. 渓流水中の NO_3^- 濃度の地理的分布

本研究における NO_3^- 濃度の高い地域は関東平野周辺部に連続して分布している。また、これまでに関東地方の特定の小流域で渓流水中の NO_3^- 濃度が高い現象が報告されている。例えば、茨城県の筑波山の小流域では、年間平均 NO_3^- 濃度が 8.59 mg L^{-1} であった (平田・村岡, 1991)。群馬県の渡良瀬川流域の小流域では年間平均 NO_3^- 濃度が 7.07 mg L^{-1} (大類ら, 1995)、近隣の小流域でも複数回の採水による平均値が 9.36 mg L^{-1} (戸田ら, 2000) と高い値を示している。また、群馬県と長野県の県境にある小流域においても、1 回のみの採水であるが NO_3^- 濃度が 4.5 mg L^{-1} を超える濃度が報告されている (楊, 1998)。図-3 内の Δ 印が示すように、これらの報告でとりあげられた小流域は、本研究における NO_3^- 濃度が高い分布域内に位置する。このことから、 NO_3^- 濃度の

高い地点が特異的、局所的に出現するのではなく関東平野周辺部に帯状に分布すると考えられる。

3. 渓流水中の NO_3^- 濃度上昇の要因

森林流域において渓流水中の NO_3^- 濃度は、流域の降水量や気温などの気候要因、植生による窒素の吸収量や流域内での脱窒などさまざまな要因に影響を受ける。それぞれの森林生態系における窒素の物質循環特性の違いが渓流水中の NO_3^- 濃度に反映される。これまでに渓流水中に高い NO_3^- 濃度が報告された流域では、降水による年間の窒素流入量が 10 kg ha^{-1} を超える高い値が報告されている。このような流域では、1 年を通じて渓流水中の NO_3^- 濃度が高く、窒素の流出量が流入量と等しいあるいは上回る流域も認められている (Ohnishi and Mitchell, 1997)。従来、森林生態系において窒素は生物にとって通常不足がちな元素であると考えられてきた (河田, 1989)。しかしながら、これらの流域では流域内の生物の必要量を超えた流域への窒素の高負荷が、森林流域から高濃度の窒素流出を生じさせる重要な要因の一つと考えられている。

1960 年代以降、我が国では大気への窒素酸化物の排出量が激増し、現時点でも微増傾向にある (外岡, 1997)。全国で行われている一般環境大気測定局の測定結果においても、窒素の高負荷が都市域を主として生じており、その原因として大都市圏での自動車からの排出があげられている (大気汚染法令研究会, 2000)。大都市圏で排出された窒素化合物は気流によって大都市の周辺域へ運ばれ、周辺域での降水による窒素負荷量にも影響を及ぼしている (慶応義塾大学理工学部環境化学研究室, 2003; 伊藤・加藤, 2003)。また、関東西北部および内陸部では汚染大気の輸送ルート上 (若松, 2001) に渓流水中の NO_3^- 濃度の高い地域が分布しており、都市域から周辺域へ高濃度の窒素化合物の流入による影響が考えられている (楊, 1998)。関東平野周辺部の森林流域の渓流水中の NO_3^- 濃度が高かった要因は、大都市圏から排出される汚染大気の移流により森林流域への窒素の高負荷が生じ、森林からの窒素流出に影響が及んだためであると考えられる。また、関東平野周辺部以外で NO_3^- 濃度の高い地点が認められた愛知県東部の地域でも、関東平野周辺部と同様に太平洋側の都市、工業地域の集中する地域からの大気汚染物質の移流が指摘されている (吉角・魚崎, 2000)。

これらのことから、関東・中部地方の人為的影響の強い地域において渓流水中の NO_3^- 濃度の上昇が起きていると考えられる。なお、近接した地点において NO_3^- 濃度の差が大きい地点があるのは、気候要因、地形的要因などの非人為的要因と共に生物的要因が影響しているためであろう。林齢の違いや脱窒域の大小などの生物的要因については、今後詳細に検討する必要がある。

V. ま と め

1) 関東・中部地域における森林から流出する渓流水中の NO_3^- 濃度は $0.00 \sim 8.45 \text{ mg L}^{-1}$ の範囲で、中央値は

1.06 mg L⁻¹であった。今回調査を行った270地点の約半数の地点はNO₃⁻濃度が1.0 mg L⁻¹以下の低濃度であったが、非常に高い濃度を示す地点も認められた。

2) 関東・中部地方の森林流域における渓流水中のNO₃⁻濃度は、関東平野周辺部の森林流域において濃度の高い地点が集中して分布する地理的な偏りが認められた。このことは、渓流水中のNO₃⁻濃度の高い現象が、関東地方の特定の小流域のみならず関東平野周辺部において広域的に生じていることを示している。

3) このような高NO₃⁻濃度の渓流水が関東平野周辺部で広域的に認められるのは、大都市圏からの窒素化合物を含む汚染大気の流れによる森林流域への高窒素負荷という人為的要因によるものと考えられる。

本研究の資料採取に際し、森林総合研究所立地環境研究領域の今矢明宏氏、志知幸治氏、釣田竜也氏、野口享太郎氏にご協力いただきました。記して謝意を表します。本研究は、農林水産省委託プロジェクト研究「流域圏における水環境・農林水産生態系の自然共生型管理技術の開発」および「農林水産業における内分泌かく乱物質の動態解明と作用機構に関する総合研究」によって行った。

引用文献

- Bormann, F.H. and Likens, G.E. (1979) Pattern and process in a forested ecosystem. 253 pp, Springer-Verlag, New York.
- 平田建正・村岡浩爾 (1991) 筑波森林試験地における土壌水質および渓流水質の季節変化について. 水工学論文集 35: 105-110.
- 広瀬 顕・岩坪五郎・堤 利夫 (1988) 森林流出水の水質についての広域的考察 (1). 京大演報 60: 162-173.
- 伊藤優子・加藤正樹 (2003) 関東地方の都市近郊平地林における降水中の成分濃度と負荷量—森林総合研究所構内における降水の観測結果—. 森林総研研報 2(3): 149-155.
- 岩坪五郎・堤 利夫 (1968) 森林内外の降水中の養分量について (第3報) 流亡水中の養分量について. 京大演報 40: 140-156.
- Johnson, P.L. and Swank, W.T. (1973) Studies of cation budgets in the Southern Appalachians on four experimental watersheds with contrasting vegetation. Ecology 54: 70-80.
- 環境庁 (2000) 環境白書平成12年版総説. 306 pp, ぎょうせい, 東京. 228-238.
- 加藤正樹・池田重人・伊藤優子・金子真司・吉永秀一郎・生沢均・佐々木重行 (1999) 森林と渓流水質—その形成メカニズムと実態—. 98 pp, 林業科学技術振興所, 東京.
- 河田 弘 (1989) 森林土壌学概論. 399 pp, 博友社, 東京. 223-242.
- 慶應義塾大学理工学部環境化学研究室 (2003) 首都圏の酸性雨—ネットワーク観測による環境モニタリング—. 253 pp, 慶應義塾大学出版会, 東京. 45-52.
- 大類清和 (1997) 森林生態系での“Nitrogen Saturation”—日本での現状—. 森林立地 39: 1-9.
- 大類清和・相場芳憲・生原喜久雄 (1995) 森林小集水域での水質変化の過程. 水文・水資源学会 8: 367-381.
- Ohrui, K. and Mitchell, M.J. (1997) Nitrogen saturation in Japanese forested watersheds. Ecol. Appl. 7: 391-401.
- Ohrui, K. and Mitchell, M.J. (1998) Stream water chemistry in Japanese forested watersheds and variability on a small scale. Water Resour. Res. 34: 1553-1561.
- 大気汚染法令研究会 (2000) 日本の大気汚染状況平成12年版. 861 pp, ぎょうせい, 東京. 31.
- 戸田浩人・笹賀一郎・佐藤冬樹・柴田英昭・野村 睦・市川 一・藤戸永志・鷹西俊和・清和研二・塚原初男・飯田俊彰・谷口憲男・中田 誠・桑原 繁・内田武次・春田泰次・井上 淳・八木久義・塚越剛史・蔵治光一郎・二田美穂・小野 裕・鈴木道代・今泉保二・山口法雄・竹中千里・万木 豊・川那辺三郎・安藤 信・中西麻美・西村和雄・山崎理正・長山泰秀・土肥奈都子・片桐成夫・小藤隆一・新村義昭・井上章二・江崎次夫・河野修一・藤久正文・岩松 功・今安清光・中村誠司・塚本次郎・野上寛五郎・榎木 勉 (2000) 全国大学演習林における渓流水質. 日林誌 82: 308-312.
- 外岡 豊 (1997) 酸性雨原因物質の排出量および降下量の状況と予測“酸性雨”. 252 pp, 中央法規, 東京. 33.
- 若松伸司 (2001) 都市・広域大気汚染の生成機構解明に関する研究. 大気環境学会誌 36: 125-136.
- 楊 宗興 (1998) 森林渓流水の硝酸態窒素濃度にみられる地理的勾配—生態学的メカニズムの立証. 平成8年度～平成9年度科学研究費補助金基盤研究 (C) (2) 研究報告書: 1-32.
- 吉角 洋・魚崎耕平 (2000) 濃尾平野の初冬季高濃度大気汚染—気象学的構造における関東との差異—. 大気環境学会誌 35: 63-75.