

## 三瓶演習林およびその周辺における森林溪流水質の空間的变化

藤巻玲路・西本侑未・葛西絵里香・山下多聞

### Spatial variation in streamwater chemistry in forested watershed around the Sambe Forest, Shimane University

Reiji FUJIMAKI, Yuhmi NISHIMOTO, Erika KASAI and Tamon YAMASHITA

**Abstract** Streamwater chemistry was investigated at 24 collection points in three catchments (one broadleaf forest and two coniferous plantations) around the Sambe Forest.  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  concentrations were relatively uniform among the streams and higher than Japan's average, probably due to the influence of sea salt. Mean  $\text{Ca}^{2+}$  and Si concentrations were higher in the coniferous plantations than the broadleaf forest, suggesting that ion exchange and weathering rate in soils were greater in the coniferous plantations. Relatively high concentration of  $\text{NO}_3^-$  was observed in the streamwater in the coniferous plantations. Maximum  $\text{NO}_3^-$  concentration from one coniferous plantation was comparable to that from urban forests where anthropogenic disturbance in N cycling was concerned. Contrary,  $\text{NO}_3^-$  concentration from the broadleaf forest was much lower than Japan's average, and higher retention capacity of atmospheric N deposition can be expected in this broadleaf forest. Concentrations of  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{HCO}_3^-$  decreased downstream in the coniferous plantations, while those in upstream water varied among the streams.

**Keywords:** conifer plantation, deciduous broadleaf forest, ion concentration, nitrogen leaching, streamwater chemistry

#### はじめに

河川の最上流部は森林に覆われており、森林を流れる溪流水は下流域の河川や沿岸部生態系の重要なバックグラウンドである。森林に流入する降水は、林冠や樹幹を通過して土壌に到達し、地表流あるいは土壌に浸透して中間流出・地下水流出として溪流に流出する。この過程の中で水の化学性は様々な変成作用を受け、溪流の水質が形成される。通常、集水域に直接的な人為攪乱がなければ、森林を流れる溪流は良好な水質を保っている。しかし近年、窒素をはじめとする大気沈着物が森林生態系の健全性や溪流水質に及ぼす影響について注目されてきている。

窒素は植物の成長に不可欠の元素であるが、温帯の森林生態系では植物が利用できる形態の窒素は少なく、しばしば成長の制限要因となる (Vitousek and Howarth 1991)。したがって、森林生態系では流入する窒素の保持能力が高く系外への窒素流出は大きくはないと考えられてきた。しかし、窒素の流入量に対して同等かそれを上回る流出量となる窒素飽和現象が欧米を中心に報告されてきている (Aber et al. 1998)。わが国でも都市近郊に位置する森林で溪流への窒素流出が認められ (伊藤ら 2004, 木平ら 2006)、森林の劣化や下流域への窒素負荷の増大が懸念されている。

島根大学三瓶演習林においても森林の機能を把握する上で水質調査が重要な意味を持ち、大気由来沈着物の森林への影響について、林外雨や林内雨、樹幹流の長期モ

ニタリングが行われ(片桐ら 2002), 河川溪流の定点観測が始まっている(島根大学演習林 私信). しかし, 演習林内を流れる複数の溪流水質について網羅的には調べられていない. 溪流水質は集水域内の樹種構成や土壌, 地形の影響を受けるので, 急峻な地形に富んだ日本の山地源流域では近傍の溪流でもその性質が変わりうる(例えば Fujimaki et al. 2008).

本研究では, 三瓶演習林近辺での森林溪流水質の空間的变化を把握する事を目的とし, 三瓶演習林獅子谷団地および隣接する藤木谷林道の森林公社造林地の集水域において小渓流を踏査し, 水質の調査を行ったのでその結果を報告する.

## 材料と方法

### 1. 調査地

調査地は島根大学三瓶演習林獅子谷団地の3林班, 8林班, および大田市山口町山口の森林公社造林地250号の各集水域とした(図1). 林相は, 3林班がおよそ50年前に皆伐をうけた後に再生したコナラを優占種とする広葉樹二次林, 8林班が36~38年生のスギ・ヒノキ人工林, 公社造林地は42年生のスギ人工林である. 土壌は3林班および8林班は褐色森林土が, 公社造林地では黒色土が大半を占めている(神尾, 2010). 公社造林地では, 林業公社により1970年と1972年に約3600本/haの植栽密度でスギ・ヒノキが植栽され, 部分的に30%強度の間伐

表1. 採水地位置の省略記号と概況

集水域	省略記号	緯度	経度	溪流概況
3林班(広葉樹)	広①	35° 9.496'	132° 39.606'	対象集水域出口
	広②	35° 9.507'	132° 39.621'	支流①出合
	広③	35° 9.509'	132° 39.648'	支流①、伏流湧水
	広④	35° 9.520'	132° 39.659'	支流①、伏流前
	広⑤	35° 9.535'	132° 39.684'	支流①、伏流湧水
	広⑥	35° 9.537'	132° 39.705'	支流①
	広⑦	35° 9.547'	132° 39.714'	支流①、源頭湧水
	広⑧	35° 9.533'	132° 39.615'	支流②、伏流湧水
	広⑨	35° 9.551'	132° 39.649'	支流②、源頭湧水
8林班(人工林)	針①	35° 9.341'	132° 39.504'	対象集水域出口
	針②	35° 9.349'	132° 39.407'	本流
	針③	35° 9.329'	132° 39.379'	本流
	針④	35° 9.275'	132° 39.368'	本流(支流①出合)
	針⑤	35° 9.235'	132° 39.353'	支流①源頭湧水
	針⑥	35° 9.261'	132° 39.326'	本流
	針⑦	35° 9.233'	132° 39.293'	支流②源頭湧水
	針⑧	35° 9.246'	132° 39.306'	本流(支流②出合)
公社造林地	公①	35° 9.591'	132° 39.070'	対象集水域出口
	公②	35° 9.518'	132° 39.012'	本流
	公③	35° 9.423'	132° 39.931'	本流
	公④	35° 9.558'	132° 39.045'	支流①出口
	公⑤	35° 9.488'	132° 39.025'	支流②出口付近
	公⑥	35° 9.341'	132° 38.988'	支流③源頭湧水
	公⑦	35° 9.330'	132° 38.977'	支流④源頭湧水

を経ている.

採水は2012年8月27日および8月29日に, 3林班では9地点, 8林班では8地点, 公社造林地では7地点でそれぞれ行った(図1, 表1). 3林班では2つの1次谷からなる2次谷の小渓流を対象とし, それぞれの1次谷の源頭部まで踏査した. 8林班では3つの1次谷からなる2次谷の小渓流を対象とし, そのうち2箇所の1次谷

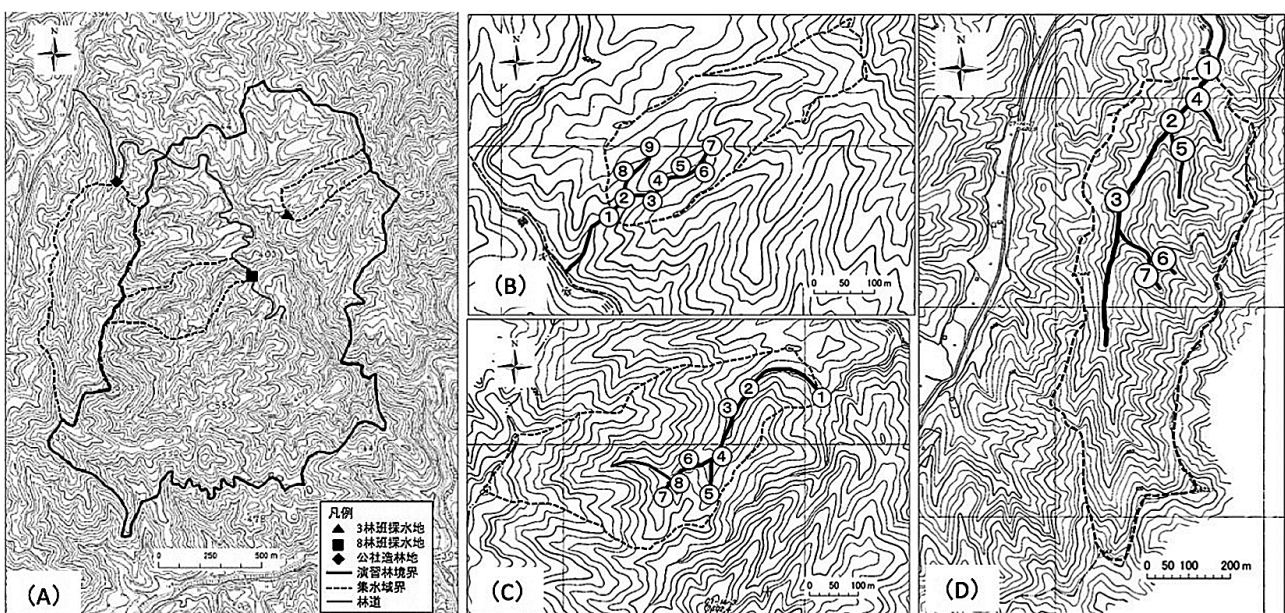


図1. 三瓶演習林獅子谷団地近辺(A)の対象集水域と, 3林班(B), 8林班(C)および公社造林地(D)における溪流水採水地点. (B)~(D)では実線は溪流の流路を示す.

源頭部まで踏査した。公社造林地の溪流はいくつかの1次谷からなる2次谷溪流で、そのうち4箇所の1次谷支流と3箇所の2次谷本流にて採水した。試料はシリンジを用いて直接溪流から採水し、変質を防ぐためにその場で孔径0.45  $\mu\text{m}$ メンブレンフィルターで濾過し、ポリプロピレン瓶に保存した。試料は分析まで冷蔵庫で保存した。

## 2. 試料水の分析

試料は、微量全窒素分析装置 (TN-05, 三菱化学) を用いて全窒素濃度 (TN) を、ICP分析装置 (ICPE-9000, 島津製作所) を用いてSi濃度とAl濃度の分析をそれぞれ行った。また、試料をさらに孔径0.20  $\mu\text{m}$ メンブレンフィルターでろ過し、イオンクロマトグラフィー (ICS-1600, ダイオネクス) を用いて陽イオン類 ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) および陰イオン類 ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) の濃度を分析した。また、陽イオン類5種の当量和と陰イオン類3種の当量和の差を、 $\text{HCO}_3^-$  の当量とした。全窒素濃度から無機態窒素濃度を差し引いて、溶存有機態窒素濃度 (DON) を求めた。

## 結果と考察

### 集水域間の水質比較

3林班、8林班および公社造林地の溪流水における溶存態物質の平均濃度を表2に示す。また表2には、2003

年に木平ら (2006) によって行われた全国1278箇所の溪流水質調査の結果の平均値も示した。

本研究での $\text{Na}^+$ および $\text{Cl}^-$ の濃度は3集水域間では同等の値を示した。一般に溪流水中の $\text{Na}^+$ と $\text{Cl}^-$ は主に降水由来であるとされ、降水として森林に流入してから溪流に流出するまでの過程で生物的な影響がほとんど無く、蒸発散による濃縮や降水イベントによる希釈によって濃度変動すると考えられている。このことから、蒸発散による濃縮や降水の希釈効果には3集水域間で大きな違いはなかったと考えられる。また、 $\text{Na}^+$ と $\text{Cl}^-$ はいずれも全国平均値よりも高い値を示した。三瓶演習林は比較的日本海に近い場所に位置するため、大気降水物は海塩の影響を強く受けており、溪流への流出が大きいのではないかと考えられる。

大気降水物として流入した酸や土壌中で生成された酸は土壌中の陽イオン交換や鉱物の風化によって中和されるため、溪流水は一般に中性に保たれる。この酸緩衝能には、 $\text{Ca}^{2+}$  や  $\text{Mg}^{2+}$  は主に土壌のイオン交換反応として関係し、鉱物の風化にはSiが関わっている。さらに土壌の酸緩衝能の臨界値を超えた酸の負荷がかかるとAlが溶出する。しかし本研究ではいずれの溪流からもAlは検出されず (データは省略)、現在のところ土壌の酸緩衝能が臨界値を超えている状況にはない。

3つの集水域の溪流水を比較すると、3林班よりも針葉樹人工林が主体となる8林班や公社造林地において、 $\text{Ca}^{2+}$ やSiの濃度が高い。後述するように、8林班では特

表2. 溪流水の平均物質濃度 (平均値 $\pm$ 標準偏差)

	3林班 落葉広葉樹林	8林班 針葉樹人工林	公社造林地 針葉樹人工林	全国平均*
$\text{Na}^+$ (meq/L)	0.314 $\pm$ 0.023	0.341 $\pm$ 0.031	0.325 $\pm$ 0.020	0.216 $\pm$ 0.128
$\text{NH}_4^+$ (meq/L)	not detected	not detected	not detected	0.006 $\pm$ 0.004
$\text{K}^+$ (meq/L)	0.025 $\pm$ 0.001	0.033 $\pm$ 0.031	0.015 $\pm$ 0.002	0.016 $\pm$ 0.009
$\text{Mg}^{2+}$ (meq/L)	0.060 $\pm$ 0.004	0.033 $\pm$ 0.031	0.131 $\pm$ 0.034	0.107 $\pm$ 0.073
$\text{Ca}^{2+}$ (meq/L)	0.076 $\pm$ 0.007	0.160 $\pm$ 0.036	0.122 $\pm$ 0.033	0.266 $\pm$ 0.210
$\text{Cl}^-$ (meq/L)	0.261 $\pm$ 0.015	0.261 $\pm$ 0.009	0.291 $\pm$ 0.031	0.120 $\pm$ 0.089
$\text{NO}_3^-$ (meq/L)	0.005 $\pm$ 0.005	0.046 $\pm$ 0.015	0.029 $\pm$ 0.013	0.026 $\pm$ 0.026
$\text{SO}_4^{2-}$ (meq/L)	0.055 $\pm$ 0.002	0.121 $\pm$ 0.031	0.185 $\pm$ 0.062	0.120 $\pm$ 0.106
$\text{HCO}_3^-$ (meq/L)	0.154 $\pm$ 0.018	0.277 $\pm$ 0.030	0.089 $\pm$ 0.030	0.341 $\pm$ 0.229
DON (mgN/L)	0.08 $\pm$ 0.07	0.03 $\pm$ 0.06	0.21 $\pm$ 0.33	—
Si (mg/L)	6.57 $\pm$ 0.70	10.75 $\pm$ 6.20	7.63 $\pm$ 0.75	—

\*木平ら (2006) から引用

異的にSi濃度が高い異質な水質を持つ支流があるために平均値が大きな値となっているが、この渓流水を外しても平均Si濃度が8.58mg/Lと、3林班より大きな値であった。このことは、8林班や公社造林地において土壌のイオン交換反応や鉱物の風化反応の速度が3林班よりも速いことを示しており、酸緩衝反応が盛んであることを示唆している。

本研究の採水地は互いにおよそ1kmの範囲内にあるので、降水や大気降水物の量や組成が調査地間で大きくことなっていることは考えにくい。しかし降水が樹冠面を通過して土壌に到達するまでの間の化学的性質の変化は、森林を構成する樹木の種組成によって大きく異なる。広葉樹では林内雨や樹幹流のpHが林外雨に比べて高くなるのに対し、スギ・ヒノキなどの針葉樹では樹幹流のpHが低くなることが報告されている(片桐ら 2002)。さらに、スギ人工林の土壌は硝化活性が高くなる傾向にあることが知られている(平井ら 2006)。このことは、本研究においても8林班と公社造林地のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度が比較的高いことから支持される。硝化はアンモニウムイオンが酸化されて硝酸イオンに変化するプロセスであるが、この過程でプロトンが放出され酸として働く。この様に、スギ人工林の土壌では落葉広葉樹に比べ酸の負荷が大きくなる。8林班や公社造林地では、3林班に比べイオン交換反応や風化による中和作用が速く進み、その結果として渓流水中のCa<sup>2+</sup>やSi濃度が増加していると考えられる。

Mg<sup>2+</sup>やCa<sup>2+</sup>の主なカウンターアニオンであるSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>やHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>の濃度も、3林班よりも8林班で大きな値を示した。ただし、公社造林地ではHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度は低く、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が主要なアニオンであった。3林班および8林班の土壌は褐色森林土が主であるのに対し、公社造林地の土壌は三瓶火山噴出物由来の黒色土が優占しており、このような土壌の性質の違いがアニオンの組成に影響したのかもしれない。

8林班・公社造林地の渓流水は、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度においても3林班より大きい値を示した。特に8林班のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度は全国平均値と比べても大きな値であった。前述のように、スギ林土壌では硝化活性が活発であることが関係していると考えられるが、この結果はまた、8林班では森林生態系がもつ窒素保持能力が脆弱である可能性を示唆している。本研究で記録されたNO<sub>3</sub><sup>-</sup>の最高値は、例えば関東近郊の人為由来の大気降水物の影響を比較的強く受けると見られる森林の渓流水で報告される硝酸態窒素濃度の値(伊藤ら 2004, Fujimaki et al. 2008)

に匹敵する。また、人為由来の大気降水物の影響が少ない森林では溪流への窒素流出は主にDONとして生じるのに対し、都市近郊林ではNO<sub>3</sub><sup>-</sup>として起こる(Perakis & Hedin 2002)。8林班の渓流水はDONに対するNO<sub>3</sub><sup>-</sup>の比率が大きく、窒素の流出はほとんどNO<sub>3</sub><sup>-</sup>の形態で生じている。8林班では窒素の流出が起こりやすい傾向にあり、窒素飽和現象にどれほど近い状態にあるのかを確認するため、流出水のモニタリングや窒素動態に関してさらなる研究が必要である。

一方で、3林班ではNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度は全国平均値と比べても低い値である。このNO<sub>3</sub><sup>-</sup>の平均値は窒素濃度に換算すると0.07mg-N/Lであり、DONと同程度である。大気からの窒素沈着の影響を強く受けている森林溪流に見られるような兆候は認められず、3林班は窒素沈着に対してある程度高い窒素の保持能力が期待できる。しかし、落葉広葉樹を主体とする3林班では樹木が休眠する冬季においては高い窒素保持能は期待できないかもしれない。さらに、三瓶演習林ではナラ枯れが観察され始めており(演習林技術職員 私信)、主要な構成樹であるコナラの枯損により森林の窒素保持能が低下し窒素流出がおきる可能性も懸念されることから、渓流水質の季節的変化・年変動についても注視する必要があるだろう。

#### 集水域内の変動

各地点の水質測定結果を附表1に示す。3林班は2つの1次谷(広③~⑦と広⑧~⑨)とそれらが合流した2次谷(広①, 広②)からなるが、各1次谷の内部での水質変化は小さい。1次谷間では若干水質に違いがあり、それらが合流した2次谷ではその中間的な物質濃度となり、下流の水質は混合効果によって説明できる。

1次谷間の渓流水質の違いは、3林班よりも8林班および公社造林地において顕著であった。8林班の針⑤の試料水は、8林班内の他の試料水に比べ特異的に高いK<sup>+</sup>、Si濃度と低いMg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度で特徴付けられる。Siは岩石の風化によって土壌水に溶出し、土壌水のSi濃度は深層の地下水ほど高くなり、渓流水中のSi濃度は表層と深層の土壌水・地下水の寄与を反映している(Asano et al. 2003)。このことを考えると、針⑤の支流源頭部湧水は土壌中の中間流出の寄与は小さく、土壌中の滞留時間が長い深層の地下水の寄与が大きいと考えられる。

各集水域内の物質濃度の変動係数を表3に示す。ただし、前述のように8林班では特異的な水質を持つ試料水があるため、この試料水のデータを除いて算出している。

表3. 溪流水水質の変動係数 (%)

	3 林班	8 林班*	公社造林地
Na <sup>+</sup>	7.20	2.66	6.22
K <sup>+</sup>	5.74	16.96	12.87
Mg <sup>2+</sup>	6.22	4.50	25.81
Ca <sup>2+</sup>	8.74	4.61	26.65
Cl <sup>-</sup>	5.77	1.96	10.51
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	110.01	10.74	44.84
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	4.27	6.43	33.45
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	11.81	5.37	33.52
DON	89.95	264.58	158.13
Si	10.68	11.85	9.86

\*針⑤の水質データを除いた計算値

3 集水域のDON濃度および3 林班のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度において集水域内の変動係数が大きな値となった。これらはしかし、濃度が極めて低く、DONまたはNO<sub>3</sub><sup>-</sup>が検出されない溪流水があることが影響している。

3つの集水域で変動係数を比較すると、公社造林地においてMg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>で大きな変動を示している。これは、1次谷の支流ごとの溪流水質の変化が大きいためである。また、公社造林地の2次谷本流においては、多くの物質について上流部から下流出口に向かって濃度の低下が見られた。これは、最下流に位置する1次谷支流（公④）の溪流水の各種物質濃度が比較的低く、ここからの溪流水が付加されることにより希釈されたためだと考えられる。

上流から下流にそっての物質濃度低下は、公社造林地に比べて濃度低下の程度は小さいものの、3 林班の1次谷支流（広③～⑦）のCa<sup>2+</sup>とHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、および8 林班の②次谷本流のMg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>においても認められた。おそらく、下流側の谷壁からの中間流出による希釈効果によるものと考えられる。しかし1次谷での中間流出と2次谷下流での中間流出が異なる水質形成過程をもつのか、なぜ公社造林地では1次谷支流ごとに水質の変化が大きいかを解明することは今後の課題である。

## 謝 辞

全窒素の分析では本庄農場の松本真悟准教授および春日純子氏に、ICP分析では佐藤邦明助教に便宜を図っていただいた。森林環境学講座の大内謙輔氏および矢野可

奈子氏には現地調査でご助力いただいた。記して深く感謝申し上げます。

## 引用文献

- Aber, J., McDowell, W., Nadelhoffer, K. Magill, A., Berntson, G., Kamakea, M., McNulty, S., Currie, W., Rustad, L. and Fernandez, I. (1998) Nitrogen saturation in temperate forest ecosystems: hypotheses revisited. *BioScience* 48: 921-934.
- Asano, Y., Uchida, T. and Ohte, N. (2003) Hydrologic and geochemical influences on the dissolved silica concentration in natural water in a steep headwater catchment. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 67: 1973-1989.
- 伊藤優子・三浦覚・加藤正樹・吉永秀一郎 (2004) 関東・中部地方における溪流水中のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度の分布. *日本林学会誌*, 86: 275-278.
- Fujimaki, R., Kawasaki, A., Fujii, Y. and Kaneko, N. (2008) The influence of topography on the stream N concentration in the Tanzawa Mountains, Southern Kanto district, Japan. *Journal of Forest Research*, 13: 380-385.
- 片桐成夫・山下多聞・葛西絵里香・尾崎嘉信・寺田和雄・長山泰秀・金子信博・新村義昭 (2002) 三瓶演習林における酸性雨長期モニタリング観測によるスギ人工林および落葉広葉樹林の林外雨, 林内雨, 樹幹流の化学的組成の変化. *島根大学生物資源科学部研究報告*, 7: 15-25.
- 神尾尚 (2010) 森林小集水域の水質に与える土壌および林相の影響. *島根大学生物資源科学研究科修士論文 (森林環境学)* : 1-45.
- 木平英一・新藤純子・吉岡崇仁・戸田任重 (2006) わが国の溪流水質の広域調査. *日本水文学会誌*, 36: 145-149.
- 平井敬三・阪田匡司・森下智陽・高橋正通 (2006) スギ林土壌の窒素無機化特性とそれに及ぼす環境変動や施業の影響. *日本森林学会誌*, 88: 302-311.
- Perakis, S. S. and Hedin, L. O. (2002) Nitrogen loss from unpolluted South American forests mainly via dissolved organic compounds. *Nature* 415: 416-419.
- Vitousek, P. M. and Howarth, R. W. (1991) Nitrogen limitation on land and in the sea: How can it occur? *Biogeochemistry* 13: 87-115.

附表 1. 各採水地点の渓流水のカチオン, アニオン, DON, Si濃度

採水地	Na <sup>+</sup> (meq/L)	K <sup>+</sup> (meq/L)	Mg <sup>2+</sup> (meq/L)	Ca <sup>2+</sup> (meq/L)	Cl <sup>-</sup> (meq/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq/L)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (meq/L)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq/L)	DON(mg/L)	Si(mg/L)
広①	0.321	0.023	0.064	0.070	0.249	0.003	0.058	0.167	0.213	7.11
広②	0.298	0.024	0.060	0.069	0.254	0.008	0.054	0.135	0.113	6.25
広③	0.318	0.025	0.058	0.073	0.266	0.002	0.054	0.152	0.069	6.17
広④	0.312	0.025	0.055	0.082	0.259	0.003	0.051	0.161	0.027	6.86
広⑤	0.330	0.025	0.058	0.081	0.274	n. d.	0.054	0.167	0.072	7.12
広⑥	0.344	0.026	0.058	0.085	0.283	n. d.	0.057	0.174	0.149	7.33
広⑦	0.337	0.027	0.056	0.084	0.277	n. d.	0.054	0.173	0.022	7.15
広⑧	0.284	0.023	0.062	0.071	0.243	0.011	0.053	0.133	n. d.	5.74
広⑨	0.280	0.023	0.067	0.070	0.242	0.014	0.058	0.127	0.031	5.39
針①	0.340	0.022	0.175	0.165	0.262	0.044	0.142	0.254	0.126	9.14
針②	0.340	0.025	0.176	0.165	0.261	0.046	0.137	0.262	n. d.	9.66
針③	0.337	0.027	0.176	0.165	0.257	0.048	0.126	0.274	n. d.	9.96
針④	0.328	0.021	0.187	0.176	0.257	0.057	0.132	0.266	n. d.	8.29
針⑤	0.416	0.109	0.080	0.073	0.280	0.009	0.046	0.344	0.142	25.90
針⑥	0.330	0.020	0.196	0.185	0.254	0.054	0.130	0.292	n. d.	8.06
針⑦	0.317	0.017	0.190	0.179	0.265	0.048	0.116	0.274	n. d.	7.58
針⑧	0.322	0.019	0.182	0.171	0.250	0.058	0.137	0.249	n. d.	7.37
公①	0.309	0.016	0.135	0.126	0.273	0.026	0.188	0.098	0.049	8.09
公②	0.320	0.016	0.143	0.134	0.272	0.030	0.199	0.114	0.057	8.19
公③	0.330	0.017	0.160	0.151	0.279	0.033	0.233	0.113	0.206	8.50
公④	0.311	0.013	0.071	0.065	0.290	0.012	0.080	0.078	0.119	6.39
公⑤	0.316	0.014	0.109	0.101	0.269	0.045	0.124	0.103	n. d.	7.37
公⑥	0.323	0.016	0.172	0.162	0.295	0.042	0.250	0.086	0.090	7.90
公⑦	0.368	0.012	0.125	0.117	0.356	0.013	0.224	0.028	0.948	6.97

n. d. : not detected.; NH<sub>4</sub><sup>+</sup> and Al were not detected in all streamwater samples.