

## IV 大洞沢の降雨水質

戸田浩人<sup>1)</sup>・白木克繁<sup>1)</sup>・石川芳治<sup>1)</sup>・内山佳美<sup>2)</sup>・鈴木雅一<sup>3)</sup>

### Precipitation Chemistry in Ohbora Watershed

Hiroto Toda, Katsushige Shiraki, Yoshiharu Ishikawa, Yoshimi Uchiyama & Masakazu Suzuki

#### 要約

大洞沢の降雨水質を2004年6月から2005年10月にかけて調査した。降雨水質は採取時ごとに変動し、海塩に多いNaとClを除き降雨量と負の相関がみられ、希釈効果が示唆された。加重平均濃度は、Cl, Na, SO<sub>4</sub>-S, 次いで無機態窒素で高かった。非海塩由来の年間 nss-SO<sub>4</sub>-S 量は 12.0kg / ha で全国各地の降雨と著しい違いがなく、三宅島噴火による火山ガスの影響はみられなくなっていた。年間無機態窒素量は 12.2 kg / ha と高かった。大洞沢降雨は pH 低下に NO<sub>3</sub><sup>-</sup> の影響が大きく、8, 9 月に pH5.6 以下の酸性雨が集中していた。季節風による大都市圏からの NOx 等の輸送が示唆され、高い窒素沈着による森林生態系の窒素飽和が懸念される。

#### 1. はじめに

森林生態系は外部から流入した養分を内部に取り込み、物質循環を営むことで成長・成立している。特に窒素は母材に含まれず、大気からの流入を蓄積し物質循環量を拡大していく。このように森林生態系では、降雨に含まれる窒素が循環系に入り、溪流から生態系外部への流出が抑制されるという水質浄化機能を発揮する。

しかし近年、大都市圏からの大気汚染物質の長期に渡る流入によって、本来、森林生態系に取り込まれて循環利用される窒素が飽和し、渓流水へ流出している可能性が指摘されている (Aber *et al.*, 1989; Ohrui & Mitchell, 1997; Ohte *et al.*, 2000; 戸田, 2002)。丹沢山地特有の森林流域へのインパクトである崩壊地やシカ採食圧による下層植生の消失とあわせて、大都市圏に隣接する山地として大気汚染物質の流入の影響を考慮する必要がある。

本研究では、丹沢山地東部の中津川上流域に位置する大洞沢において、渓流水質・水量 (第3章第2節 I, II) とあわせ、降雨の水質を調査し、その特性について考察した。

#### 2. 調査方法

大洞沢の降雨を2004年6月17日から2005年10月19日まで原則として1週間毎に採水し分析に供した。降雨は、直径30cmのポリエチレン製の大型ロートを高さ1.2mに設置し、これにビニール・ホースをつなぎ、大型のポリ瓶に導いて集水した。ロートには2mmメッシュの金網を置き、落葉や虫など大きな雑物が試料へ混入しないようになっているが、ロートの表面に付着する乾性沈着物質は降水で洗われるため、本調査における降水とは、湿性沈着と乾性沈着の混ざったバルク試料である。大洞沢は北西に開いた小流域で、その溪流付近の広く開空している場所に採取装置を設置した。なお降雨量は、大洞沢末端の堰堤付近での測定値を用いた。降雨量の欠測期間は、近傍の札掛における降雨量との相関関係式で補填した。

採水時に pH, EC (電気伝導度) および水温を携帯式の機器を用いて測定し、主要な溶存イオンとして、陰イオ

ン3種類 (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>) と陽イオン5種類 (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>) の測定を、イオンクロマト法によって行った。

また、四方を海に囲まれた日本では、降雨に海塩粒子の影響がある。非海塩由来成分 (nss: not sea salt) を以下のように求めた。降雨に含まれる Na はすべて海洋起源であり、かつ海塩由来の成分濃度の比率は降雨に至るまで変化しないと仮定し、Na と目的とする元素の比率から海塩由来成分を決定、全量から差し引くことで非海塩由来成分を算出した。なお、標準的な海塩のイオン量は、酸性雨調査法 (酸性雨調査法研究会編, 1993) を参照した。

#### 3. 結果と考察

降雨水質は採水ごとに変動するが、季節的に一定した傾向はみられなかった (図1)。採水期間中の降雨量と溶存物質濃度の相関をみると、Na と Cl を除き負の相関がみられ (表1)、水量による希釈効果が示唆された、Na と Cl は海塩の影響が大きいと考えられる。

降雨量を乗じて求めた加重平均濃度は、Cl, Na および SO<sub>4</sub>-S で高く、次いで無機態窒素 (Inorg. -N = NH<sub>4</sub>-N+NO<sub>3</sub>-N) となった (表1)。2004年7月から2005年6月の降雨による年間流入量も、この順に多く、無機態窒素量は 12.2kg / ha となった (表1)。1986年から1988年における全国各地の降雨の調査で無機態窒素量は、平均9kg / ha である (玉置ほか, 1991)。群馬県みどり市の山地では、1979～1988年で平均9kg / ha, 1989～2000年で平均10kg / ha (戸田, 2002)、2000年以降現在まで平均12.5kg / ha (浦川, 未発表) と増加傾向にある。このように関東山地では降雨からの高い窒素沈着が観測され窒素飽和が懸念されているが、降雨中の無機態窒素量からみて丹沢山地も例外ではないといえる。

海塩に多く含まれる物質は、Na や Cl のほかに SO<sub>4</sub>-S, Ca, Mg である。その他の物質は微量であるため、ほとんどが非海塩由来成分となる。大洞沢降雨中の nss-SO<sub>4</sub>-S, nss-Ca, nss-Mg は年間量として、それぞれ 12.0, 7.5, 0.0kg / ha であり、全国各地の降雨 (玉置ほか, 1991) における年間量それぞれ 12.5, 7.7, 0.3 kg / ha と同程度であった。2000年の三宅島噴火による火山ガスの影響で、丹沢山地において2000年度に高い SO<sub>2</sub> 濃度が観測されており、渓流水の SO<sub>4</sub>-S 濃度への影響も指摘されている (有馬・金子, 2006)。三宅島の火山ガスの放出量が減少した2004年か

1) 東京農工大学大学院共生科学技術研究院 2) 神奈川県自然環境保全センター研究部 3) 東京大学大学院農学生命科学研究科

表 1. 大洞沢降雨による溶存物質の降雨量との相関係数, 加重平均濃度および年間流入量

	Ca	Mg	Na	K	NH <sub>4</sub> -N	SO <sub>4</sub> -S	NO <sub>3</sub> -N	Cl	Inorg.-N*
降雨量との相関係数	-0.359	-0.520	ns	-0.383	-0.327	-0.547	-0.341	ns	-
加重平均濃度(mg/L)	0.24	0.11	0.40	0.06	0.17	0.41	0.18	0.75	0.34
年間**流入量(kg/ha)	7.8	3.7	13.6	1.3	5.8	12.6	6.4	26.7	12.2

\*: Inorg.-N = NH<sub>4</sub>-N + NO<sub>3</sub>-N, \*\*: 2004年7月から2005年6月.

nsは95%確率で相関なし. 相関係数が記載されているものは95%以上の確率で相関あり.

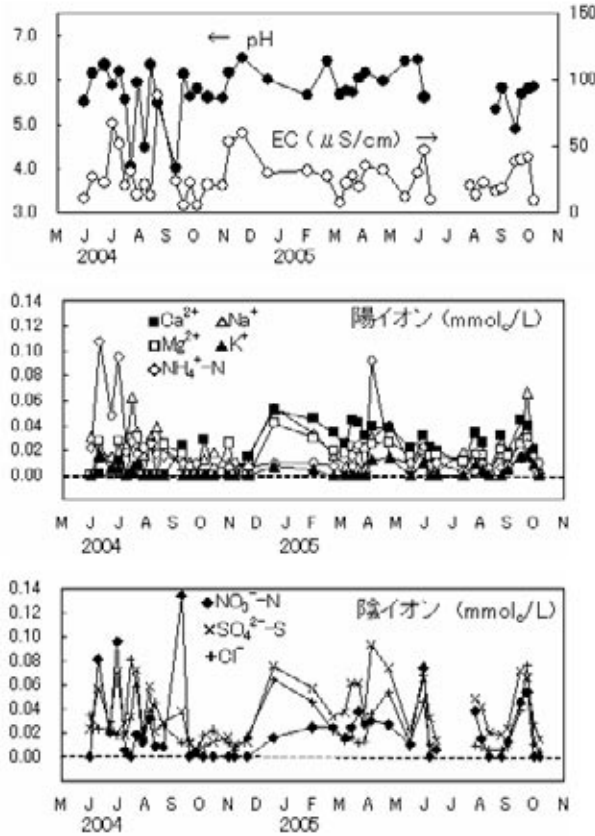


図 1. 大洞沢降雨の採水時ごとの水質変化

ら開始した本調査では, 降雨に火山ガスの影響はみられないといえる.

降雨の pH を低下させる主な陰イオンは, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>と SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>である. 一方, これらが生じる酸を中和し, pH を高くする主な陽イオンは NH<sub>4</sub><sup>+</sup>と Ca<sup>2+</sup>である. 本調査における NO<sub>3</sub><sup>-</sup> / nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 比は 0.61 であり, 東京都江東区の降雨の比に近く (図 2), 比較的 pH 低下への NO<sub>3</sub><sup>-</sup> の影響が大きかった. 採取降雨ごとに, 酸の生成と中和の比として (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> + nss-Ca<sup>2+</sup>) / (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) 比を算出し pH との関係を見ると, 対数曲線で近似される正の相関性がみられた (図 3). 大気中の二酸化炭素の溶解平衡を考慮すると降雨は pH5.6 程度になるため, この値以下が酸性化した降雨といえる. 大洞沢において pH5.6 以下の雨は 8, 9 月に集中しており, 上述の比が低いことから, 季節風による大都市圏からの NO<sub>x</sub> 等の輸送が示唆される.

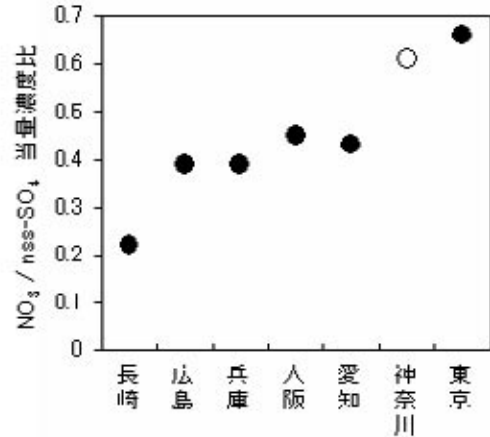


図 2. 降雨の NO<sub>3</sub><sup>-</sup> / nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 比

○: 本調査 (大洞沢), ●: 酸性雨調査法研究会 (1993) より作図. 採取地は東京都江東区, 愛知県名古屋市, 大阪府池田市, 兵庫県神戸市, 広島県庄原市, 長崎県長崎市.

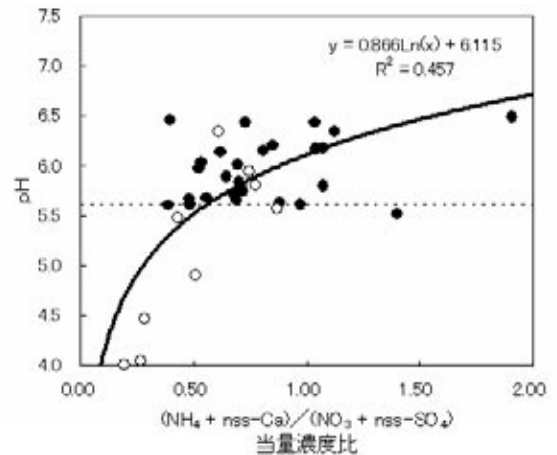


図 3. 大洞沢降雨の (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> + nss-Ca<sup>2+</sup>) / (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) 比と pH の関係

○: 8, 9 月の降雨, ●: 8, 9 月以外の降雨

#### 4. おわりに

大洞沢の降雨水質を調査することで, 丹沢山地の森林流域へのおおまかな物質流入量を把握できた. しかし, 季節風など複雑な大気の輸送による大都市圏からの物質の流入が示唆され, 標高や斜面方位 (流域の開いた方向) などを考慮し, 丹沢山地全域をカバーできるような観測体制が望まれる. 大きな流域単位で渓流水質・水量の代表的な流域をモニタリングサイトとして, 降雨水質・水量をともに観測することが効率的であると考えられる.

## 文 献

- Aber, J. D., K. J. Nadelhoffer, P. Steudler & M. Melillo, 1989. Nitrogen saturation in northern forest ecosystem. *BioScience*, **39**: 378-386.
- 有馬 眞・金子慶之, 2006. 丹沢山系の地球化学的特性と生態リスクアセスメント. 生態環境リスクマネジメントへのアプローチ - 丹沢山系から相模湾まで - 第 5 回シンポジウム講演要旨集 . pp.7-15.
- Ohri, K. & M. J. Mitchell, 1997. Nitrogen saturation in Japanese forested watersheds. *Ecological Application*, **7**: 391-401.
- Ohte, N., M. J. Mitchell, H. Shibata, N. Tokuchi, H. Toda & G. Iwatsubo, 2000. Comparative evaluation on nitrogen saturation of forest catchments in Japan and Northeastern United States. *Water Air and Soil Pollution*, **130**: 649-654.
- 酸性雨研究会編, 1993. 酸性雨調査法 . 401pp. ぎょうせい, 東京都 .
- 玉置元則・加藤拓紀・関口恭一・北村守次・田口圭介・大原真由美・森 淳子・若松伸司・村野健太郎・大喜多敏一・山中敏夫・原 宏, 1991. 日本の酸性雨の化学 . 日化誌, 1991: 667-674.
- 戸田浩人, 2002. 陸上生態系の物質循環からみた窒素飽和による汚染の構図 . 資源環境対策, **38**: 1067-1072.