

# 山岳部の酸性雨成分の動態

古明地 哲人 早福 正孝 門井 守夫\*

(\*日本大学理工学部)

## 要 旨

都市の対照地として多摩川の源流域である山梨県塩山市一之瀬で酸性雨調査を実施した。都市部の発生源が遠隔地山岳部の全沈着物化学成分に、最も大きな影響を与えている可能性を示す成分として先ず挙げられるのはNO<sub>3</sub><sup>-</sup>であり、つぎにSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、最も小さいのはCl<sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>であった。

トレンドをみるとpHは上昇傾向であり、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>は減少傾向、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>は横ばいであった。

遠隔地2地点では国道沿いの一之瀬落合の全沈着物中化学成分濃度がローカルな人為の発生源によると考えられる影響のため森林中の一之瀬山上の地点より高い傾向を示した。このことはバックグラウンド調査ではローカルな人為の発生源の影響をできるだけ避ける必要があることを示している。

キーワード：酸性雨、遠隔地、pH、トレンド、化学成分

## 1 はじめに

酸性雨現象は現象の範囲が広く、ヨーロッパ、北アメリカ等大陸規模、さらに地球規模の現象とみることができる<sup>1)</sup>。ヨーロッパ、北アメリカでは1970年代より酸性雨の削減対策に積極的に取り組んできた<sup>2)</sup>。東アジアでは1992年の地球サミットを契機に酸性雨測定網の構築に向けて日本の環境庁の主導により、準備がなされてきた。この東アジア酸性雨モニタリングネットワークが2000年より、東アジア10カ国により正式稼働を開始した。

このように現在では世界の主要三地域で酸性雨調査研究のモニタリングネットワークが稼働し、世界的に酸性雨の削減対策のための調査が実施されるようになってきた。

しかし、酸性雨は依然として影響を含め、環境に重大な被害を与えているのが現状である。また、特に調査データの少ない山岳部等都市から遠隔地の酸性雨の状況は不明な部分が多い。そこで、ここでは多摩川の源流域で東京都の水源林でもある一之瀬のこれまでの調査結果から遠隔地の酸性雨の現状を報告し、今後の課題の資料とする。

## 2 調査方法

調査地点 遠隔地①一之瀬山上：山梨県塩山市一之瀬高橋萩原山（山林） ②一之瀬落合：山梨県塩山市一之瀬高橋東京都水源林事務所落合出張所（国道411号脇） ③都市部：東京都千代田区有楽町（旧公害研4階屋上）および日比谷公園（図書館）（4階屋上）

調査期間 1982年5月から1999年3月まで

採取法：ろ過式採取法<sup>3)</sup>による全沈着物を1ヶ月ごとに採取

分析法：pH：ガラス電極法、電気伝導度（以下ECとする）：電導度計、イオン分析：イオンクロマトグラフ

## 3 結果と考察

(1)pH 3地点の年平均pHの変化を図1に示す。一之瀬山上、千代田とも82年から98年までほぼ横ばいであった。また、地点間の差異は不明確であった。図2に94年から98年までの3地点の月平均pH変化を示した。

表1 5年間の各成分の平均値（1994-1998）

	pH	導電率 μs/cm	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	Na <sup>+</sup> mg/l
一之瀬山上	5.00	9.21	0.74	0.93	0.30	0.28	0.17
一之瀬落合	4.96	9.96	0.83	1.16	0.33	0.40	0.22
千代田	4.89	23.90	2.75	2.18	1.71	1.04	0.87
一之瀬/千代田		0.38	0.27	0.43	0.17	0.27	0.19

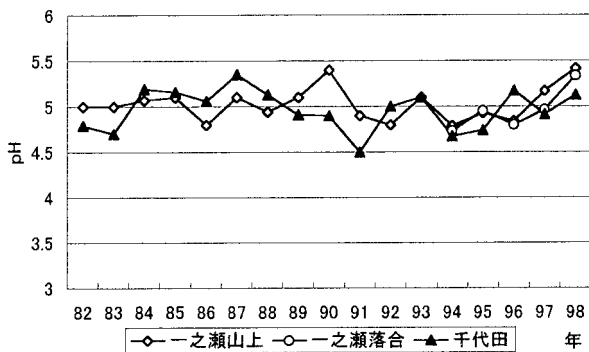


図1 pH年平均値のトレンド

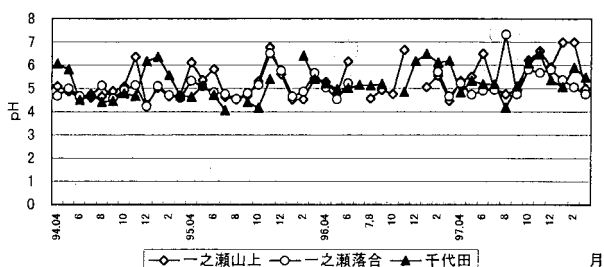


図2 pHの月変化

最近5カ年のみであるが全体的に見ると傾向としては94年度から98年度までやや上昇した。季節別にpH変化を見ると夏期に各年度とも低下傾向を示した。地点別に見ると千代田が他の2地点よりも低い傾向であった。5年間のpH平均値を他の項目と共に表1に示す。表1から5年間の平均値では千代田が最も低く次に一之瀬落合、もっとも高いのが一之瀬山上であった。

このpH値は82,83年とほぼ同程度であった。世界各地のバックグラウンドのpHは5.12~5.32程度であり、一之瀬はやや低い値であった<sup>4)</sup>。

(2) 電気伝導度 (EC) 図3にECの年平均値のトレンドを示す。5年間の傾向はやや低下傾向であった。地点間の差は明確で千代田が最も高く、次に一之瀬落合、一之瀬山上であった。トレンドは3地点とも類似していた。表1から一之瀬山上と千代田を全期間平均値の比で比較すると一之瀬は千代田の0.38であった。また、

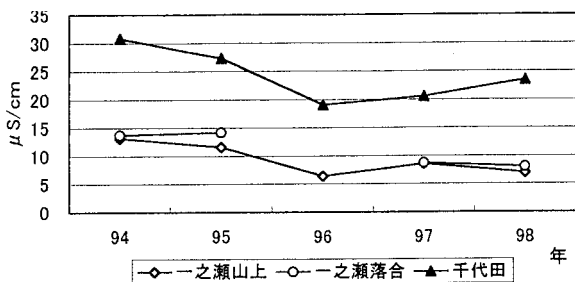


図3 電気伝導度年平均値のトレンド

一之瀬の2地点では国道脇の一之瀬落合が山林中の一之瀬山上よりも高い値を示した。

(3) 硫酸イオン (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) 図4に3地点の年平均SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度の変化を示す。一之瀬山上、千代田とも82年から98年まで全体的にみるとやや減少傾向であった。また、地点間の差異はかなり明確であり、ECの場合と同様の比較をすると一之瀬山上は千代田の約0.27を示した。また、一之瀬の2地点では国道脇の一之瀬落合が山林中の一之瀬山上よりも高い値を示した。世界各地のバックグラウンドのSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度は0.14~1.74 μg/mL程度であり、一之瀬はこの中間の値であった<sup>4)</sup>。わが国では97年7月には軽油中のS%を0.2から0.05%に削減した。この効果の推移を今後観察していく必要がある。

(4) 硝酸イオン (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) 図5に3地点の年平均NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃

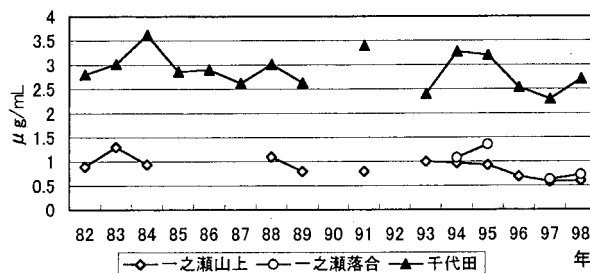


図4 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>年平均濃度のトレンド

度の変化を示す。一之瀬山上、千代田とも82年から95年までやや増加傾向であった。また、ECの場合と同様の比較をすると地点間の差異はかなり明確であり、一之瀬山上は千代田の約0.43を示した。また、一之瀬の2地点では国道脇の一之瀬落合が山林中の一之瀬山上よりもかなり高い値を示した。SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度と比較し、一之瀬のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度は千代田に比較しかなり高い値を示した。このことから見るとNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度の上昇はSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度よりも山岳部まで多く及んでいると見られる。世界各地のバックグラウンドのNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度は0.11~0.31 μg/mL程度であり、一之瀬はこの3倍以上の値であった<sup>4)</sup>。

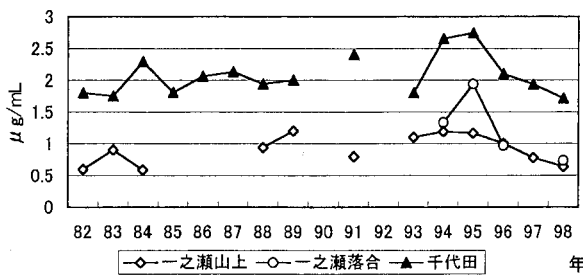


図5 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>年平均濃度のトレンド

このことから一之瀬のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度は人為的な影響を受け、かなり上昇していることが認められる。

(5) 塩化物イオン (Cl<sup>-</sup>) 図6に3地点の年平均Cl<sup>-</sup>濃度の変化を示す。一之瀬山上、千代田とも94年から98年までやや減少傾向であり、かつ類似したトレンドのパターンを示した。地点間の差異はかなり明確であり、ECの場合と同様の比較をすると一之瀬山上は千代田の約0.17を示した。また、一之瀬の2地点では国道脇の一之瀬落合と山林中の一之瀬山上とでほとんど差異がなくSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度に比較しかなり低い値を示した。このことから見るとCl<sup>-</sup>の発生源は山岳部からかなり遠隔地にあると考えられる。世界各地のバックグラウンドのCl<sup>-</sup>濃度は0.1 μg/mL程度であり、これと比較すると一之瀬の2地点は約3倍の値を示した<sup>4)</sup>。これは世界の内陸部の地点と比較し、一之瀬は海洋に近いためであると考えられる。後述のNa<sup>+</sup>と比較し、海水比のCl<sup>-</sup>濃度よりかなり高く、陸上起源のCl<sup>-</sup>がかなり多く沈着物中に含まれていると考えられる。

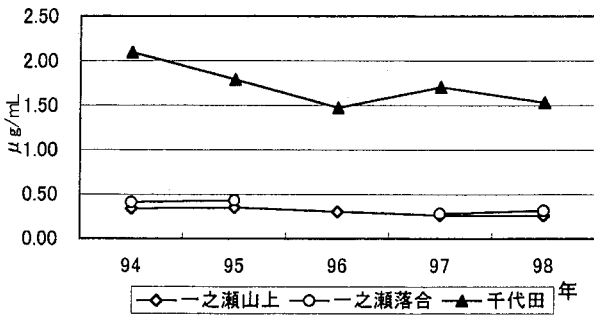


図6 全沈着物中のCl<sup>-</sup>濃度のトレンド

(6) アンモニウムイオン (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) 図7に3地点の年平均NH<sub>4</sub><sup>+</sup>濃度の変化を示す。一之瀬山上、千代田とも94年から98年までほとんど横ばいの傾向であり、かつ類似したトレンドのパターンを示した。地点間の差異はかなり明確であり、ECの場合と同様の比較をすると一之瀬山上は千代田の約0.27を示した。また、一之瀬の2地点では国道脇の一之瀬落合と山林中の一之瀬山上とでほとんど差異がなくSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度に比較しかなり低い値を示した。このことから見るとNH<sub>4</sub><sup>+</sup>の大きな発生源は山岳部調査地点付近のローカルな地域からでなく、Cl<sup>-</sup>と同様にかなり遠隔地にあると考えられる。世界各地のバックグラウンドのNH<sub>4</sub><sup>+</sup>濃度は0.02~0.07 μg/mL程度であり、これと比較すると一之瀬の2地点は約5~10倍の値を示した<sup>4)</sup>。

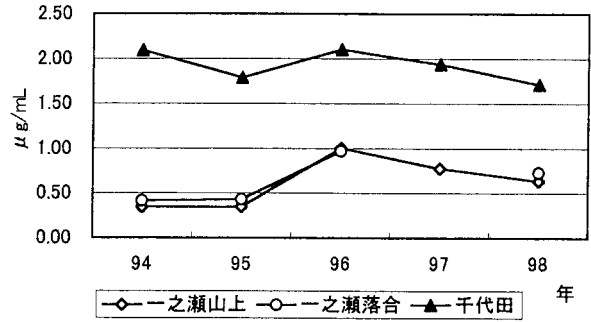


図7 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>の月変化

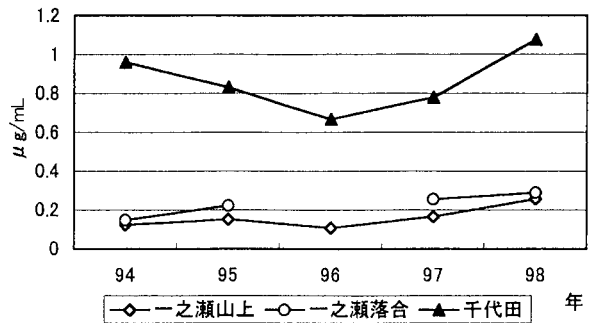


図8 Na<sup>+</sup>の年変化

(7) ナトリウムイオン (Na<sup>+</sup>) 図8に3地点の年平均Na<sup>+</sup>濃度の変化を示す。一之瀬山上、一之瀬落合とも94年から98年までやや増加傾向であり、かつ類似したトレンドのパターンを示した。千代田は96年に最低値を示した。地点間の差異はかなり明確であり、ECの場合と同様の比較をすると一之瀬山上は千代田の約0.19を示した。この値はほとんどCl<sup>-</sup>と同程度であり、Na<sup>+</sup>はCl<sup>-</sup>と類似した挙動を示した。また、一之瀬の2地点では国道脇の一之瀬落合と山林中の一之瀬山上とでは一之瀬落合がやや高い値を示した。

(8) NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 図9に3地点の年平均NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の変化を示す。一之瀬山上、千代田は82年から96年までほぼ直線的に増加し、その増加率は一之瀬が千代田より高い値を示した。しかし、97,98年度と3地点とも

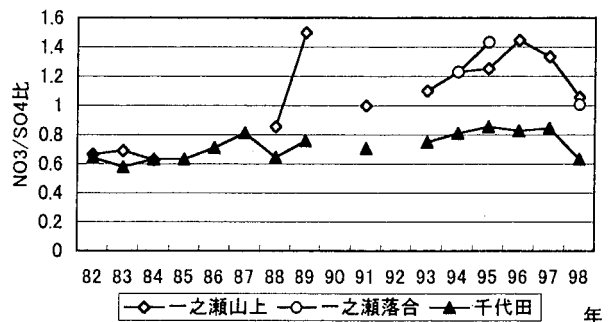


図9 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の経年変化

逆に低下した。一之瀬の最高値約1.5は全国的に見てもかなり高く<sup>5)</sup>、このことは大都市からのNO<sub>3</sub><sup>-</sup>の山岳部への移流がかなり大きいことを示している。

(9) 都市部と山岳部の比較 表1から都市部の濃度と比較すると、濃度比の高い成分(相対的に濃度差が小さい成分)はNO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>であり、低い成分(相対的に濃度差が大きい成分)はCl<sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>であった。NH<sub>4</sub><sup>+</sup>は両者の中間であった。NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>はCl<sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>に比較し、大きな発生源が内陸部まで存在していることを示唆していると考えられる。また、都市から山岳地への移流拡散を検討する場合、その過程で起こる変質、沈着によるシンクが上述の化学成分の分布に大きく関係するものと考えられる。

#### 4 まとめ

都市から遠隔地である一之瀬の全沈着物中の化学成分濃度を世界のバックグラウンドと比較すると一之瀬の方が高い成分はNH<sub>4</sub><sup>+</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>であり、同程度であったのはSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>であった。

都市部の発生源が遠隔地山岳部の全沈着物沈着量に、最も大きな影響を与えている可能性を示すのはNO<sub>3</sub><sup>-</sup>であり、つぎにSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、最も小さいのはCl<sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>であった。

トレンドを全体的にみるとpHは上昇傾向であり、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>は減少傾向、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>は横ばいであった。NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>は

増加傾向であり、全国的にみても高い傾向であった。

遠隔地2地点では国道沿いの一之瀬落合の全沈着物中化学成分濃度がローカルな人為の発生源によると考えられる影響のため森林中の一之瀬山上の地点より高い傾向を示した。このことは、バックグラウンド調査では調査地点付近のローカルな人為の発生源の影響をできるだけ避ける必要があることを示している。

#### 参考文献

- 1) S.Oden:The Acidity Problem—An Outline of Concepts,Water Air Soil Pollut., **6**,137-166(1976).
- 2) Swedish Government:Sweden's Case Study for The United Nations Conference on the Human Environment.(1972) Air Pollution Across National Boundaries The Impact on the Environment of Sulfer in Air and Precipitation(1972).
- 3) 古明地哲人:ろ過式採取法の開発、第25回大気汚染学会講演要旨集(1984).
- 4) 古明地哲人:酸性雨、空気調和・衛生工学,**60**,p483 (1986).
- 5) 全国公害研協議会酸性雨調査研究部会:酸性雨調査研究会報告書(平成3年度から平成5年度)、全公研会誌、**20**,p 2-52(1995).