

近年、スウェーデン、ノルウェーやドイツ、チェコ、ポーランド等のヨーロッパ諸国、及びカナダ、アメリカ合衆国北東部等において、降水の酸性化及び酸性物質の降下のために、湖沼の酸性化、土壌の酸性化、さらには森林の立ち枯れ、枯死などの被害が顕在化している。このため日本においても、これまで環境庁及び大学、研究機関等において、酸性雨の調査が行われてきた。ここでは、環境庁及び北

コメント

## 日本における酸性雨の現状と 森林への影響



太田幸雄(おおた さちお)

1947年、山形県に生る。東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻修士課程卒。現在、北海道大学工学部衛生工学科助教授。専門は、大気保全工学及び環境気象学。最近は特に、酸性雨の生成機構とその環境影響、及び大気中の浮遊微粒子(大気エアロゾル)の気候影響について研究中。

海道大学工学部の当研究室において行われてきた調査結果について簡単に紹介する。

環境庁では我が国の酸性雨状況を把握するために、一九八四年度から一九八七年度まで全国一四地点で、さらに一九八六年度から一九八七年度は一五地点を加え、計全国二九地点で降水のpH、降水中の主要イオン成分の濃度及びそれらの降水量を測定してきた。図一に各地点で測定された降水のpHの平均値を示す。この図より日本の降水のpHの平均値は四・六～五・一の範囲にあることが分かる。大気中には二酸化炭素が存在するため、大気汚染の影響を全く受けていない場合でも雨のpHは炭酸飽和により二〇℃で五・六であり、pH五・六以下の雨を酸性雨と言う。この意味では、図一の結果を見ると日本全国で酸性雨が降っていることになる。また、西日本で降水のpHがやや低い傾向がある。

ところで、植物、土壌への影響を考慮すると、雨のpHの他に、各種イオン、特に硫酸イオン( $\text{SO}_4^{2-}$ )

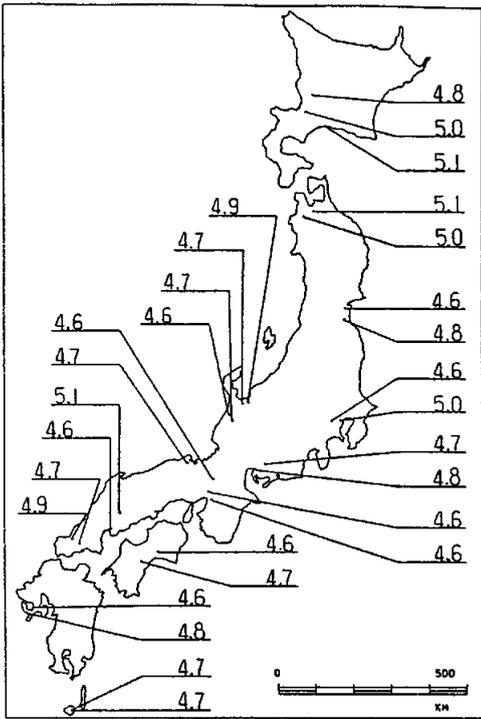


図1 環境庁によって1984～1987年度に行われた日本各地の降水のpHの平均値。(環境庁酸性雨対策検討会大気分科会、酸性雨対策調査報告書より)

と、北米での硫酸イオンの年降水量の最大値は $3.0 \sim 4.7 \text{ gm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ であるが、我が国の日本海側や屋久島は $6.0 \text{ gm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 以上の降水量を示しており、また、硝酸イオンの降水量についても、北米での年降水量の最大値が $2.0 \sim 3.4 \text{ gm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ であるのに対し、我が国の東京や屋久島等でこれに匹敵する値が測定されている。以上のよう、硫酸イオンや硝酸イオンの降水量が北米等と同程度の値となっているのに、我が国の降水の

及び硝酸イオン( $\text{NO}_3^-$ )の地表面への総降水量が重要となる。なお、硫酸イオンのなかには海塩由来のものも含まれているので、この海塩由来のものを差し引いた硫酸イオン(ほぼ人間活動のみ由来)と考えられる硫酸イオンを考へ、これを非海塩硫酸イオンと呼ぶ。図一に示された二九地点での非海塩硫酸イオンの年間降水量は、例えば一九八四～一九八七年度の札幌で $2.69 \sim 3.80 \text{ gm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 、東京の江東区で $3.06 \sim 4.35 \text{ gm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 、一九八六～一九八七年度の全国二九ヶ所での年降水量の平均値は $3.8 \text{ gm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ であった。一方、硝酸イオンの年間降水量は、一九八四～一九八七年度の札幌で $0.81 \sim 0.94 \text{ gm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 、東京の江東区では $1.54 \sim 2.97 \text{ gm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ であり、一九八六～一九八七年度の全国二九ヶ所での年降水量の平均値は $1.7 \text{ gm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ であった。北米での測定値と比較してみると、北米での硫酸イオンの年降水量の最大値は $3.0 \sim 4.7 \text{ gm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ であるが、我が国の日本海側や屋久島は $6.0 \text{ gm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 以上の降水量を示しており、また、硝酸イオンの降水量についても、北米での年降水量の最大値が $2.0 \sim 3.4 \text{ gm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ であるのに対し、我が国の東京や屋久島等でこれに匹敵する値が測定されている。以上のよう、硫酸イオンや硝酸イオンの降水量が北米等と同程度の値となっているのに、我が国の降水の

年平均のpHの最低値は四・四であり、北米での最低値四・〇よりも高いが、これはアンモニウムやカルシウムなどの塩基性物質による中和のためと思われる。なお、イオンの降水量は濃度と降水量の積であり、我が国の降水量は北米の二倍以上あることを考慮する必要がある。

一方、最近、酸性の霧が山頂付近に発生し、長時間滞留することにより、特に山頂付近の樹木に大きな負荷を与え、枯死に到らしめているのではないかと、ということが言われ始めている。我々の研究室では、一九七五～一九七九年にかけて、初夏に茨城県筑波山の山頂付近に発生する霧を採取し、そのpH及び各成分濃度を測定した。図二にその結果を示す。酸性度の強い順にA、B、C、Dの4グループに分類してある。測定された霧のpHの最低値は二・八〇であった。pHが三・三以下の特に酸性の強いA型の霧では硫酸イオンの他に硝酸イオンの濃度が特に高い。この霧のpHについてモデル計算を行ったところ、霧のpHを低下させるものは硫酸の微粒子(硫酸ミスト)と硝酸ガスであり、筑波山及び関東地方上空の大気中において測定された濃度の硫酸ミストと硝酸ガスが雲粒に溶け込むことにより、pHが二・八〇以下という強い酸性の霧が生成されることが分かった。

これらの酸性降水、酸性霧、及び酸性の微粒子やガスは、前述したように、湖沼、土壌及び植物生態系に悪影響を及ぼす可能性がある。そこで環境庁ではこれらの影響を把握するため、土壌のpH調査、土壌影響のモデル調査及び植物影響モデル調査を行った。その結果、一九八三～一九八七年度の全国四道県一二地点の土壌調査では、五年間に土壌のpHの低下傾向は見受けられなかった。一方、先の一二地点の土壌を充填したカラムに硫酸でpHを調節した人工

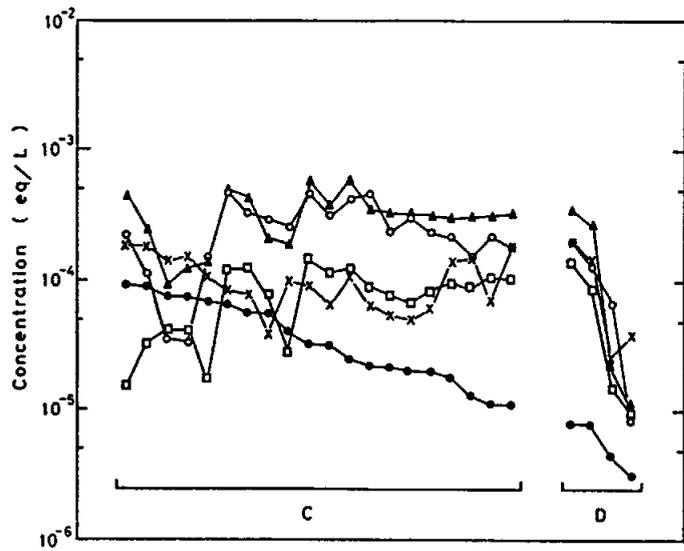
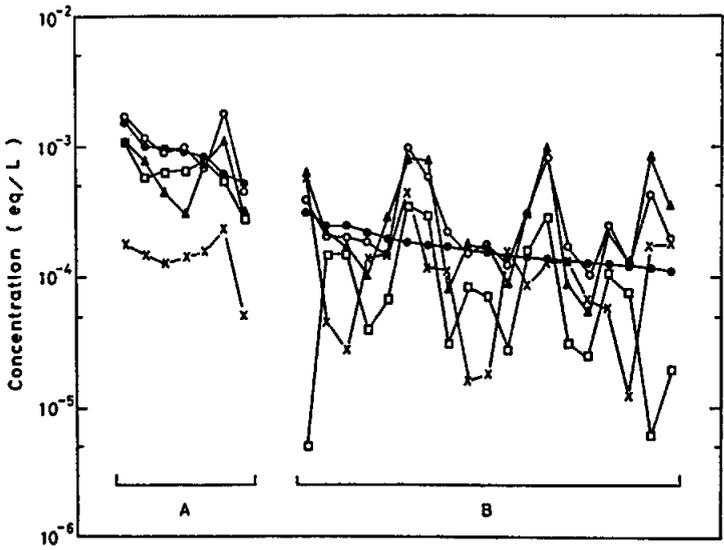


図2 1975～1979年の初夏に、茨城県筑波山の山頂付近において採取、測定された霧水中の各成分濃度。pHの低い順に4つのグループに分類されている。  
 ●  $H^+$  ○  $SO_4^{2-}$  □  $NO_3^-$  ▲  $NH_4^+$  ×  $C1^-$   
 A :  $pH \leq 3.3$       B :  $3.3 < pH \leq 4.0$   
 C :  $4.0 < pH \leq 5.0$       D :  $5.0 < pH$   
 (Ohta et al., 1981 より)

酸性雨を四年間継続して流下させたところ、pH四では蒸留水を流下させた場合との大きな違いは認められなかったが、pH三の人工酸性雨では陽イオンの溶出量が二倍に増加し、また、土壌の流出液のpHが五以下に下がると流出液中のアルミニウム濃度が急激に増加した。

さらに、先の一二地点の土壌を各々ポットに詰め、pH三とpH四の人工酸性雨及び蒸留水を各々流下させた土壌試料にソバを栽培し、酸性雨の影響を調査した。その結果、ソバの発芽には酸性雨の影響は見受

けられなかったが、ソバの成育については明らかかな影響があり、蒸留水処理の土壌に比べ、pH四酸性雨処理の土壌ではソバの草丈は一〜二割減少し、一方、pH三酸性雨処理の場合には、多くの土壌でソバの草丈が三〜五割も低くなった。この酸性雨によるソバの成育阻害には二つの理由が考えられる。一つは、酸性雨による土壌中のマグネシウム等の栄養塩の流出による栄養分欠乏のための成育阻害であり、もう一つは土壌中のカルシウム/アルミニウム成育阻害増加に起因するカルシウム/アルミニウム成育阻害

である。

我が国では、現在のところ、酸性雨のみによると思われる森林生態系への被害は明確には現れていない。しかし、現在のような濃度の酸性雨が今後も降り続けば、将来、酸性雨による森林被害が現れる可能性があり、今後の酸性雨の監視と、土壌、森林及び水域生態系への酸性雨の長期的影響についての、より一層の調査研究が必要である。