

酸性雨に関する最近の話題*

大喜多 敏 一**

1. はじめに

気象研究ノート第158号にも記載されたように、酸性雨の発生機構等は少なくとも定性的には把握できている。他方わが国でも酸性雨の問題がマスコミ等でも盛んにとりあげられるようになった。このような機会にわが国における酸性雨の研究・観測はいかにあるべきかについて解説的に問題を投げかけたい。

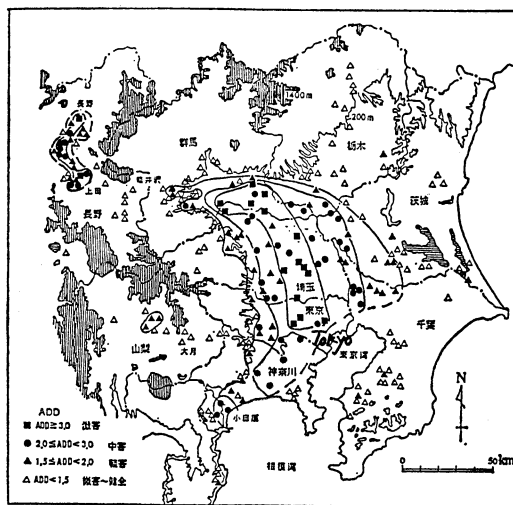
現在わが国で酸性雨関連で話題となっているのは、

(1) 森林の被害, (2) 環境庁の5カ年の酸性雨調査結果の発表, (3) 東アジア地域での酸性物質の長距離輸送と沈着であろうか。著者は1989年11月に、文部省科研費国際研究「酸性雨」班の一員として、欧州の酸性雨による被害状況を調査してきたので、これらの話題も報告したい。

2. 森林被害

関口ら(1985)は埼玉県を中心としたスギの先枯れを調べ、その分布が酸性雨の分布に似ていると発表した。しかしこのスギの先枯れの分布は既に山家が1978年に発表しており、果してスギの被害が酸性雨によるかどうかが問題となろう。

関口の調査後、スギの被害の分布につき、林野庁(酸性雨対策調査中間報告書; 1987)や高橋教授(1987)による調査が相次いで行われた。第1図は高橋によるスギ

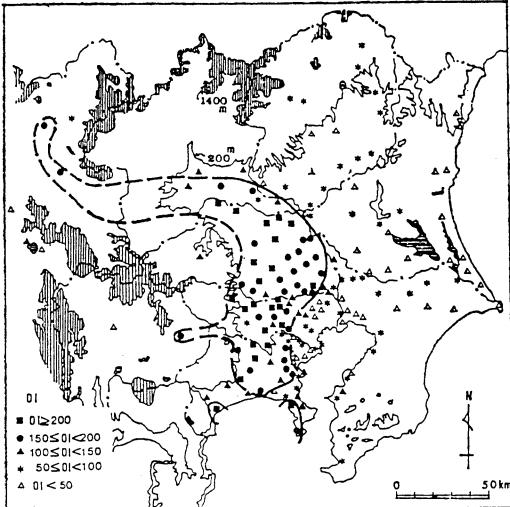


第1図 スギ林の被害度 (ADD) の分布。太線は ADD の等値線を示す (高橋ら, 1987)。ADD 1: 健全, 2: 梢の着葉量が70%以下に減少, 3: 梢の枯枝顕著, 4: 梢の枯死

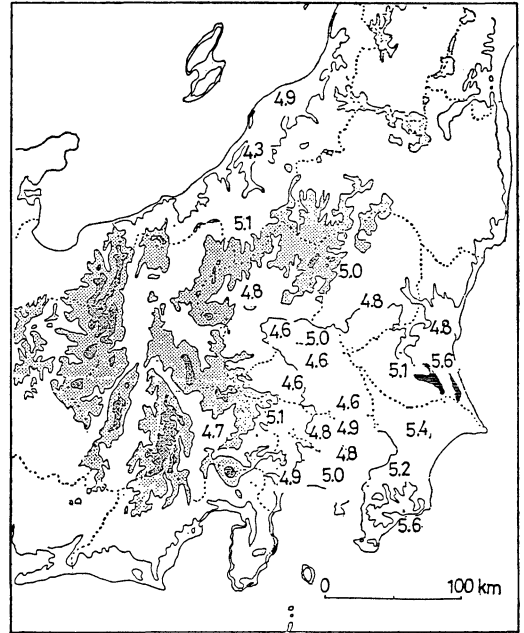
の被害の分布図である。高橋は更にスギの被害分布をオゾン濃度の分布(第2図)や降水量の分布(第3図)と比較している。これらを見るとオゾンの分布と被害の分布が最もよく一致している。第1図で気がつくことは、被害が遠く長野市付近に迄及んでいること、他方碓氷峠付近で被害がみられぬことである。高橋はその原因として、降水が地表付近の汚染物を洗浄除去してしまうためとしたが、オゾン、 SO_2 、 SO_4^{2-} のウォッシュアウト効果は小さいので、この説明には無理がある。むしろ農業環

* Current topics of acid rain in Japan.

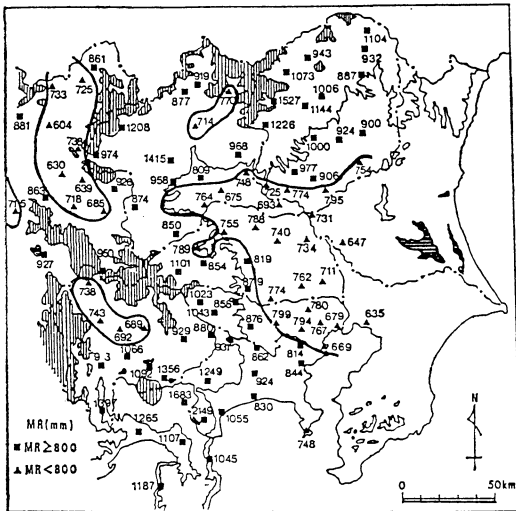
** Okita Toshiichi, 桜美林大学国際学部.



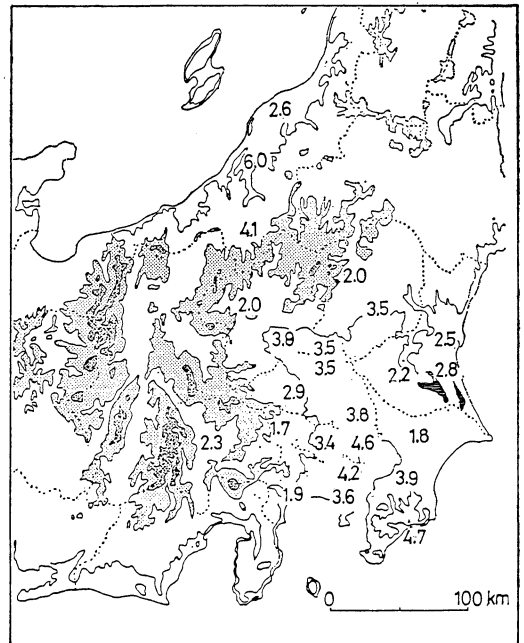
第2図 オキソダント指数(OI)の分布(高橋ら, 1987).
太線内はOIが150以上の分布範囲を示す。
OI: O₃濃度が0.06 ppmをこえる時間の和。



第4図 関東地方における降水のpH分布。



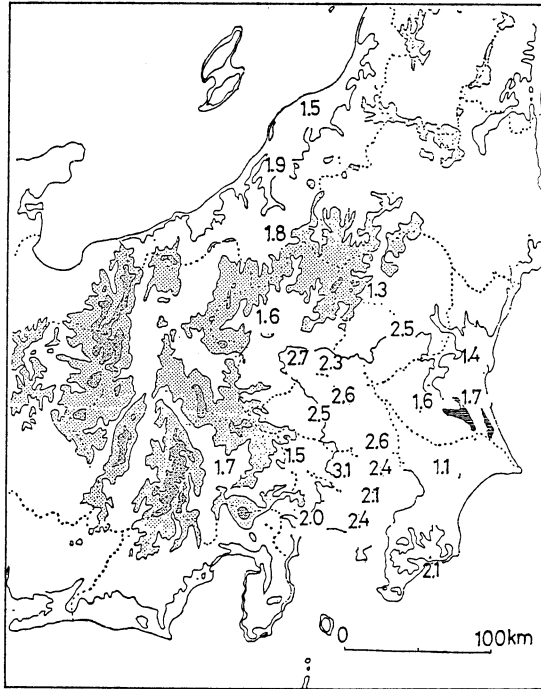
第3図 年間降水量(MR)の分布(高橋ら, 1987).



第5図 関東地方における nss SO₄²⁻沈着量(g/m²・年)の分布。
nss: 非海塩成分

境研究所の藤井が述べたように、スギは水を好むので、降水の多い碓氷峠付近では被害がみられないが、関東内陸部の地下水位低下を含めた乾燥化によりスギの衰退を早めたものと思われる。

第4図, 第5図, 第6図は環境庁酸性雨対策検討班



第6図 関東地方における NO_3^- 沈着量 ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$) の分布。

(1987) により測定された、関東地方の降水の pH の分布と、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 沈着量の分布である。スギの被害域では他地域と比較して pH は確かに低いが、その差は大きくはない。また SO_4^{2-} 、 NO_3^- の沈着量の差も大きくない。土壌もこの地域は比較的酸性雨に対して耐性のある堆積土ではなかろうか。

従って以上の結果を総合すると、スギの被害はオゾン濃度との相関が最も明瞭で、ついで降水や地下水のような水との関連があるものと思われる。しかしスギの下の土壌が特に酸性化しているとの報告もある。関東地方を始め諸地方でスギ以外にもブナやマツ等の被害が報ぜられ、その原因として酸性雨以外にも酸性霧、オゾン、二酸化硫黄 (SO_2)、地下水位の低下等各種の原因を総合的に考えねばならないだろう。

以上のわが国の森林被害問題の調査の誘因として、やはり西独を中心とする中欧における急速な森林被害があげられる。例えば西独での被害面積の調査結果では、1982年8、1983年34、1984年52 (%)と急激な増加を示している。可視症状としては、黄色化、針葉の早期の損失、幼生や根の変形、先枯れが表われ、枯死につながる。西独ではとくに黒い森といわれるババリアやバーデ

ングェルテンブルグでの被害が顕著である。症状は木の年令を問わず現われ、トウヒ、モミ、マツのような針葉樹で顕著であるが、ブナ、カシのような広葉樹にも被害がみられる。

チェコスロバキアでは森林被害面積は約50万 ha で、北西部のエルトツ山城の4万 ha の樹木が枯死した。ポーランドでは南部の国立公園や、クラカウ地区の約50万 ha のトウヒ、モミ等の森林が被害を受けており、1990年頃までにポーランドでは約300万 ha の森林が失われるのではなかろうかとみられている。オーストリアでは約40万 ha の森林が影響を受けていると推定され、オランダでもマツ、モミの早期落葉がみられる。東独では約12%の森林が被害を受けていると信じられており、ルーマニアでも5.6万 ha の林が工場からの煙で被害を受けている。スイスではモミの25%、トウヒの10%が枯死寸前である。ソ連のブラウダ紙によると、モスクワより1,300 km 東の自動車工場のあるトグリアッチ市周辺の広大な森林が枯死しつつあるとのことである。

最近西独を訪問した戸塚教授の視察談では、西独東南部のチェコスロバキア国境沿いのエルトツ山等の森林被害は SO_2 が原因で、黒い森の被害はオゾンと酸性雨とに

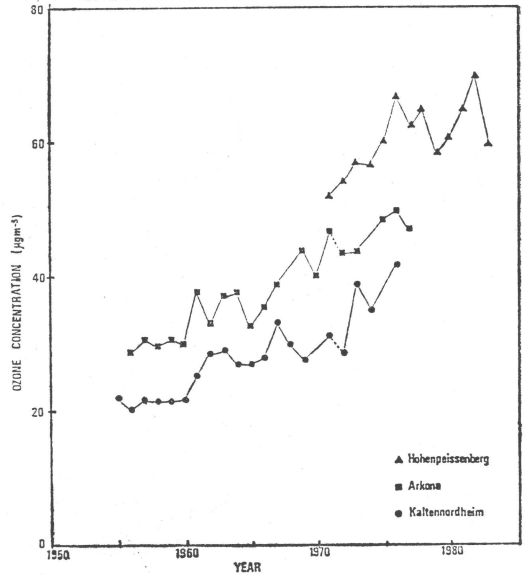


写真1 チェコスロバキアのトウヒ林被害。



写真2 Gårdsjön 湖。

よるとのことである。著者も同時期チェコを訪問し、森林被害のすさまじさ(写真1)にびっくりしたが、後で戸塚教授のとられた西独での写真と瓜二つなのにも驚いた。チェコの北西部には硫黄分が3~14%も含まれる褐炭の露天掘炭鉱があり、炭鉱の周辺にある火力発電所でそのまま除害装置もなく燃やされている。案内して下さい



第7図 西独の清浄域におけるオゾン濃度の経年変化。

った Paces 博士も「このために森林だけでなく人体影響も心配され、チェコ人の平均寿命が伸びないのは大気汚染によるものではないか」と話していた。

第7図は西独の清浄域におけるオゾン濃度の経年変化であって、年々濃度が増加していることが分かる。欧州では SO₂ だけでなく、NO_x を含めた光化学オゾン対策も遅れていたといえるが、現在各国共同でオゾンの研究が行われており、それと共に NO_x 等の規制も行おうとしている。

欧州における森林被害の原因は、上記以外に、アンモニアや NO_x 等の窒素化合物の負荷量の増加、土壌からのマグネシウム等の栄養塩の脱離、夏季の高温によるオゾンの濃度上昇、菌類の繁殖等色々あげられており、またそれも地域によっても異なるようである。

中欧に比し、スウェーデンにおけるトウヒ林の被害はやや軽微といえようが、ちょうどつくばにある我家の裏の林木と同程度の被害であった。他方ノルウェーでは森林被害はみられぬとの事であった。しかしスウェーデン、ノルウェーでは一万をこえる湖が酸性化の脅威にさらされており、ヘリコプターやボートを用いた石灰投与が活発に行われている。

3. 1983~1988年の環境庁酸性雨対策検討会による酸性雨調査

1973~1975年の梅雨時に、関東地方でみられた霧雨による眼や皮膚の刺激、植物被害が社会問題となり、事件時には3程度の霧雨のpHが報告された。環境庁においても調査がなされたが、本調査はあくまでも人体被害の原因を追究するものであった。

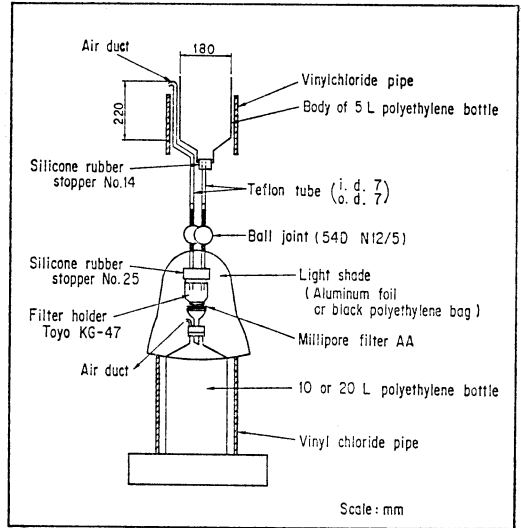
他方わが国の各地で非公式ながら行われていた雨水調査によれば、雨の酸性化がみられた (Okita, 1983)。また欧米における酸性雨による被害も多く寄せられるようになった。特に酸性雨が土壌に対して蓄積汚染の性格をもっており、その被害が顕在化した時には手後れになるため、わが国で被害が顕在化していないが、環境庁が調査に着手したのは時諍を得たものといえよう。しかしこの調査中にスギの被害騒ぎがおきたのも何かの因縁であろうか。

本調査はそれでもまだ予備調査的であり、決して理想的な調査法、また調査地で行われたとはいえないし、また測定も主として測定の容易な湿性沈着について行われ、乾性沈着の測定が十分行われなかったのは残念だが、それでもわが国の酸性降水物の分布につき大略の把握が可能となった。

3.1 降水サンプラー

現在欧米や中国では降水の採集は24時間毎あるいは一降雨毎に行われている所が多い。それには自動式降水サンプラーや、あるいは中国のように気象局等の組織に頼っている。しかしそのような組織をもたぬわが国の環境庁では、自動降水サンプラー (更に理想的に言えば自動降水成分記録計) か、あるいは1~2週毎の採雨でも、自動記録計の測定値で校正可能なサンプリング系を樹立する必要がある。

後者の目的のために第8図に示すような「沝過式採雨器」が考案された。この採雨器では野外で保存中の雨水の微生物による変質を防ぐため、採水ルートと採水ピンの間に沝紙が置かれている。この沝紙は微生物と共に重力沈降等によりルート中に捕集されたカルシウム等を含んだ非水溶性粒子を除去する役割をもっている。従って自動式採雨器の場合と比較して、pHが一般に0.1~0.2高い程度である。この差が何時も一定になれば問題はないが、必ずしも一定でない点、またSO₄²⁻、NO₃⁻の降水量測定値は自動式の場合とほぼ同じであるが、カルシウム降水量は大きくなる等の問題点がある。しかし自動式についても風向により捕集率が変化する等の問題があ



第8図 沝過式採雨器。

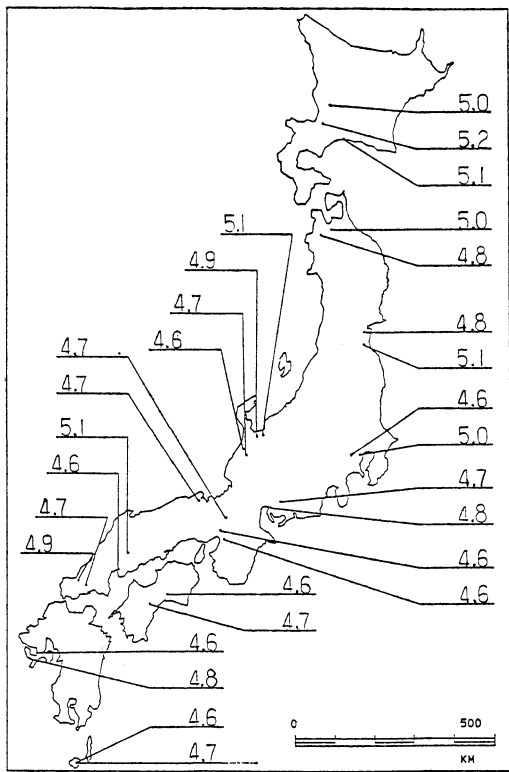
り、世界中でもまだ基準となる採雨器が定まっていないのが現状である。雪サンプラーについては更に開発が遅れている。

3.2 降水のpH, SO₄²⁻, NO₃⁻の湿性降水量分布

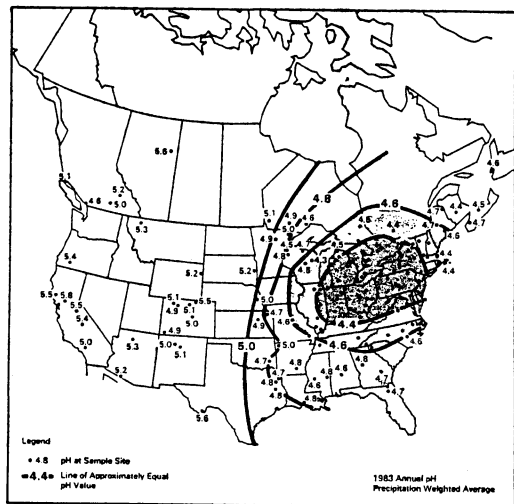
第9図は降水のpH分布図である。これを見れば全国的にpH値には大差がないように思われる。第10図、第11図には欧州、北米におけるpHの分布を示した。欧米でのpHの最低値は約4.3で、第9図での最低値は4.6であるが、先にも述べたようにサンプリング法の差に基づいて0.2程度の差があるので、実際には最低値には余り差がないようである。

第12図、第13図は各々nss SO₄²⁻、NO₃⁻の年間降水量の分布図である。nss SO₄²⁻は海塩粒子の寄与を除外したSO₄²⁻を示す。nss SO₄²⁻、NO₃⁻の降水量は屋久島や石川、富山を中心とした日本海岸で大きい。これは降水量が大きいこともその一因であろう。また非常に雑な計算であるが、0.3 μg/m³程度の濃度のSO₄²⁻の移流が絶えず日本海上を通して行われれば、日本海岸でみられるnss SO₄²⁻の降水量程度は説明がつく。しかしこれらの地域におけるS/N比より、S、Nの多くは近傍の汚染源より来ているのではなからうかと思われる。また東京域ではNO₃⁻の降水量が大きい。これは自動車等からのNO_xによるものであろう。

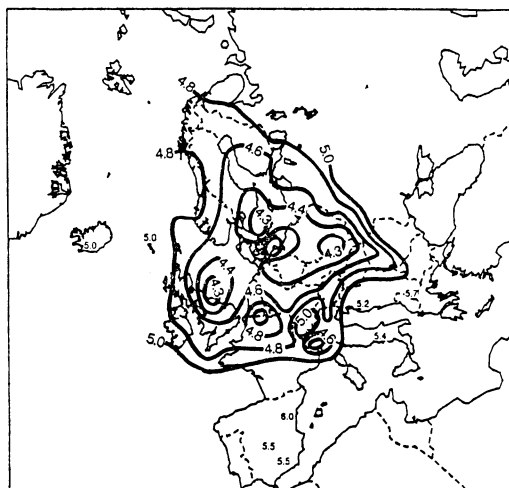
第14図、第15図には北米におけるSO₄²⁻、NO₃⁻の降水量分布を、第16図、第17図には欧州におけるnss SO₄²⁻、



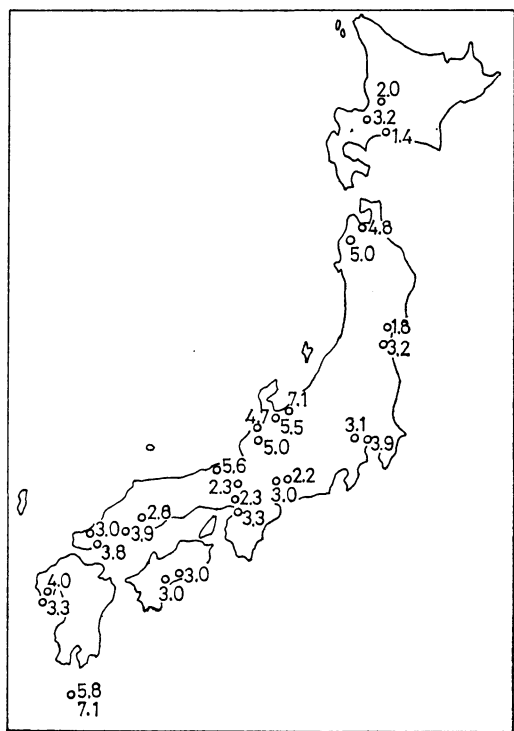
第9図 降水の pH 分布.



第11図 北米における降水の pH 分布.



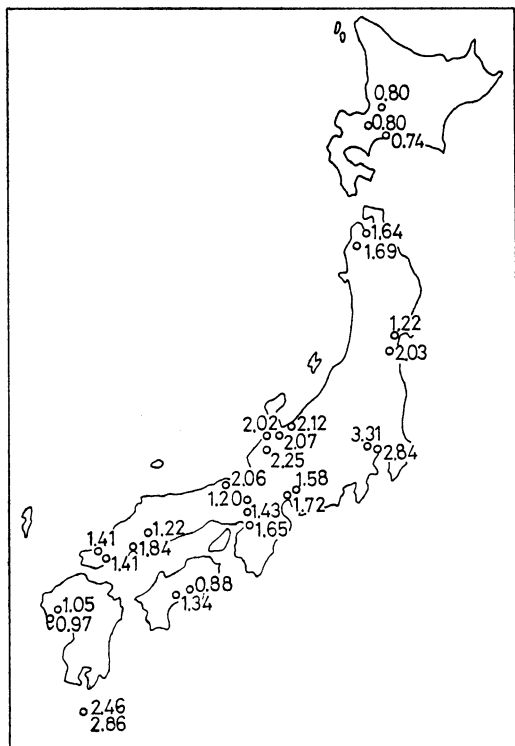
第10図 欧州における降水の pH 分布.



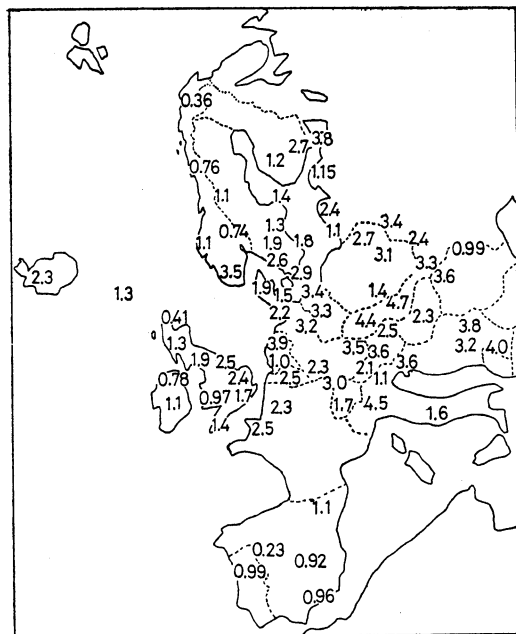
第12図 $nss\ SO_4^{2-}$ 沈着量 ($g/m^2 \cdot 年$) の分布

NO_3^- の降下量分布を示した. $nss\ SO_4^{2-}$ と SO_4^{2-} の差はあるが、北米ではオハイオ州を中心とした地域で $3\ g/m^2 \cdot y$ の地域がみられるし、欧州ではチェコスロバキア

での降下量が特に高く、 $4\ g/m^2 \cdot y$ 以上であり、その周辺の東西両ドイツ、ユーゴスラビア、オーストリア、ポーランドで $3\ g/m^2 \cdot y$ 以上の地点がある。ソ連のレニング



第13図 NO_3^- 沈着量 ($\text{g/m}^2 \cdot \text{年}$) の分布.

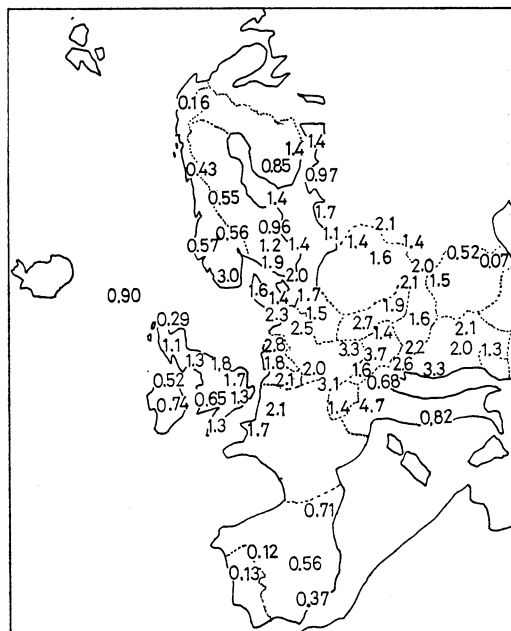


第14図 欧州における nssSO_4^{2-} 沈着量 ($\text{g/m}^2 \cdot \text{年}$) の分布.

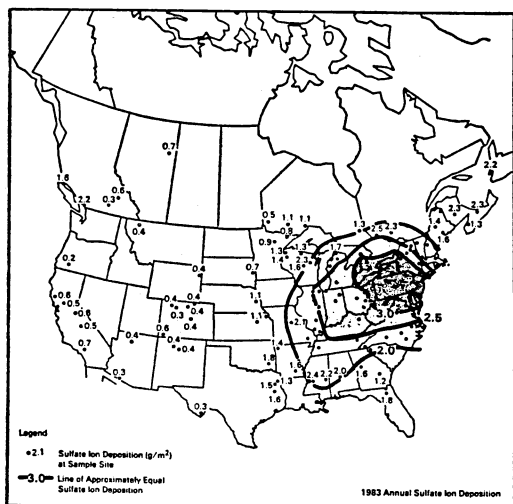
ラードの付近でも降下量が大いのは局地的汚染源によるものだろう。ノルウェーの南端で $3.5 \text{ g/m}^2 \cdot \text{y}$ の降下量を示すのは、比較的汚染された空気中の SO_x が降水量の多いこの地域で降下したものでなかろうか。

第12図と SO_4^{2-} の欧米での降下量を比較すると、わが国でも $3 \text{ g/m}^2 \cdot \text{y}$ 以上の降下量を示す地点が多く、先にも述べたように屋久島や日本海岸で大きい。欧州での測点は比較的清浄な地域に配置されているとはいえ、わが国での nssSO_4^{2-} 降下量が欧米と比較して決して低いことは今後注目に値する。

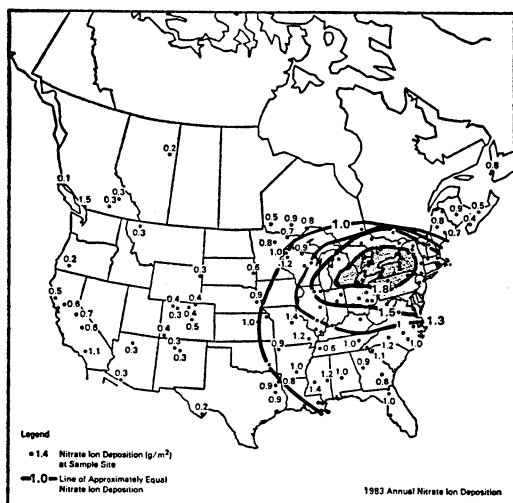
北米においては、 NO_3^- の降下量域の最大（降下量が $1.8 \text{ g/m}^2 \cdot \text{y}$ 以上の地域）はエリー・オンタリオ両湖を中心とした地域である。他方欧州では最大降下量 $3.3 \text{ g/m}^2 \cdot \text{y}$ 以上の地点のみられ、 $1.8 \text{ g/m}^2 \cdot \text{y}$ 以上の地域は、西独、ベネルックスを中心とし、ユーゴスラビア西部、チェコ、フランス・イタリア北部、スウェーデン・ノルウェー南部に広がっている。わが国でこれに対応する地域は、武蔵野の $3.3 \text{ g/m}^2 \cdot \text{y}$ を最高に、関東、屋久島、富山、石川、京都の日本海側を中心としている。



第15図 欧州における NO_3^- 沈着量 ($\text{g/m}^2 \cdot \text{年}$) の分布.



第16図 北米における SO_4^{2-} 沈着量 ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$) の分布。



第17図 北米における NO_3^- 沈着量 ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$) の分布。

以上を比較すると、わが国の SO_4^{2-} 、 NO_3^- の降下量は欧米に比較してかなり高い地点も存在し、降水量が多いこともその一因であろうが、その原因につき、長距離輸送を含め今後の研究に俟つ所が大きい。それに対して pH が高いのは、わが国の測定点は都市域におかれたものが多く、都市域では自動車等により Ca や NH_4^+ の濃度が高いのも一因である。

4. 乾性沈着と流域研究

SO_2 、 SO_4^{2-} 、 HNO_3 、 NO_3^- 等の酸性物質は、降水によって洗浄（湿性沈着）されるだけでなく、直接樹林等の物体に付着し、沈着する。これを乾性沈着というが、わが国では湿性沈着に比較して乾性沈着の測定は非常におくれている。これは湿性沈着量の測定には採雨器が一台あれば間に合うのに対して、乾性沈着量の測定には各物質濃度と乾性沈着速度の両者を求めねばならない不便さがあるためだろう。

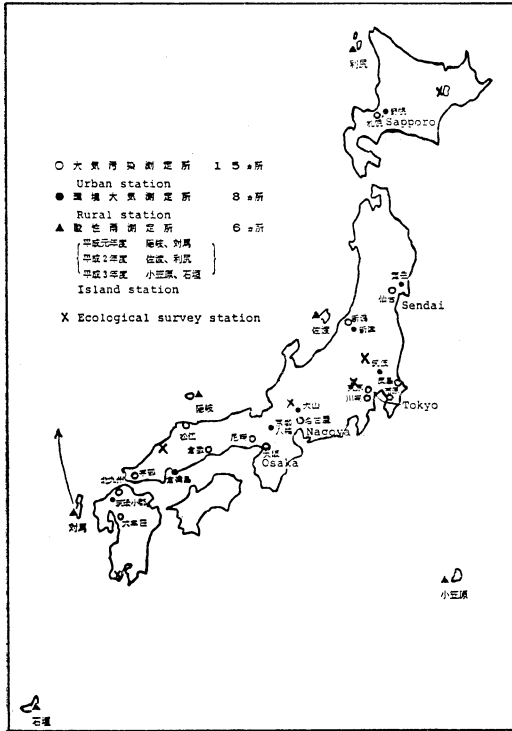
乾性沈着についての詳細は気象研究ノート（大喜多，北田，1987）にゆずることとし、文部省班の研究で著者が求めたスギ林に対する S の乾性沈着量の測定結果を以下に述べる。なおこれらの結果はまもなく報告書として出版される予定である。スギ林は現在南九州，千葉県，北陸，東北地方に多い。これらの地域の特に空気清浄な山間における SO_2 、 SO_4^{2-} 濃度の観測値は少ないが、 SO_2 の平均濃度につき、溝口（1985）は岩手県三陸町で 1.4，茨城県小川町で 4.2，黒部ダムで 3.0，八木沢ダムで 3.6，広島県高野で 2.1（単位 ppb）を得ているので、その平均値 2.8 ppb をとった。 SO_4^{2-} 濃度として国設大気測定網の宮城県の大館岳での値 $2.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ をとった。なお国立公害研究所奥日光観測所で著者等が得た平均値は $2.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ である。

スギ林への SO_2 の乾性沈着速度については、著者等の求めた $0.86 \text{ cm}/\text{s}$ （大喜多，村野；重点領域研究報告書，1990）を採用すると、 SO_2 の年間フラックスは $30.9 \text{ kg SO}_4/\text{ha} \cdot \text{y}$ となる。但し 15°C とした。スギ林に対する SO_4^{2-} の乾性沈着速度を $1.56 \text{ cm}/\text{s}$ と求めたので、 SO_4^{2-} フラックスは $14.2 \text{ kg SO}_4/\text{ha} \cdot \text{y}$ となる。従って全乾性沈着量は $45.1 \text{ kg SO}_4/\text{ha} \cdot \text{y}$ となる。

以上の値は高い方の見積り値であろう。若し SO_2 濃度として三陸町での値を採用すると、 SO_2 フラックスは $1/2$ となる。 SO_2 の沈着速度は夏期に測定したので、年間平均値はもう少し小さいものと思われる。以上を総合すると、低い見積りは 45.1 の半分の $22.6 \text{ kg SO}_4/\text{ha} \cdot \text{y}$ 程度であろう。

最近環境庁の調査（1990）で明らかになった S の湿性降下量は清浄域で $14 \sim 30 \text{ kg SO}_4/\text{ha} \cdot \text{y}$ で、特に降水量の多い日本海海岸，千葉県南部，屋久島では $47 \sim 71 \text{ kg SO}_4/\text{ha} \cdot \text{y}$ である。従ってスギ林における全降下量推定値は、通常地域では $37 \sim 75 \text{ kg SO}_4/\text{ha} \cdot \text{y}$ で、多降水域では $70 \sim 116 \text{ kg SO}_4/\text{ha} \cdot \text{y}$ である。

尚参考のため、研究資料集（1989）より各国の森林内



第18図 国設大気測定所配置図。

沈着量測定値の例を以下に示す。測定値の単位は $\text{kg SO}_4/\text{ha}\cdot\text{y}$ である。北ノルウェー：10.1，南ノルウェー：59.5，Solling 森（トウヒ）：391，ルール：417，米国 Hubbard Brook 森：120，米国ニューハンプシャー：38.4。

流域 (catchment area) 研究とは、主として湖沼を含んだ一流域における N, S 等の収支を調べ、それより流域における酸性化の予測をする研究である。最初スウェーデンの Gårdsjön 湖（写真 2 参照）で開始せられた。小生もこの湖流域を視察する機会を得たが、湿性沈着、樹間雨、リター（落葉）、流水、地下水等の N, S 等の成分を調べていた。この研究はその後チェコ等に拡大し、チェコでは約 20 カ所の研究が行われているとの事である。最近米国のワシントン大学の教授に聞いた所、方々で行われつつあり、米国でも第二期の研究はこれに主眼点がおかれるようである。

わが国の環境庁においても、次期の研究では、酸性雨に対して感受性の強いと思われる 6 湖沼を選んで研究するとのことである（第18図参照）が、その内容では乾性

沈着も測定されないようだし、上記領域研究と比較して見劣りする。世界各国と比肩できるデータを出してもらいたいものである。

5. 酸性霧についての見解

最近酸性霧が樹林に対して被害を与えるということで新聞種となっている。著者等も過去にそのような霧を観測した (Okita : 1968, Ohta *et al.*, 1981) 者として関心を持っている。しかし戸塚教授等によれば、酸性物質の被害はその水の pH が 3 以下にならないと現われないということである。もっとも著者等が筑波山で測定した最低 pH は 2.8 であったが、その発生頻度がどの程度かも考慮しなければならない。

最近霧を経由した物質沈着について幾つかのモデルが作製されている (例えば Lovett, 1984 ; Hicks *et al.*, 1987)。ここにはモデルの詳細は示さないが、これらのモデルを用いて霧による酸性物質の降下量 (Occult deposition とも呼んでいる) を求め、一般的な湿性沈着量、乾性沈着量と比較する必要がある。しかしモデルが使用できるためには、単に霧水中の物質濃度だけでなく、霧水量、霧粒、風速、霧の発生頻度、更に樹林の表面積指数等も求める必要がある。

6. 酸性雨モデルの開発

大気汚染物の長距離輸送、変換、乾性・湿性沈着を含めた酸性雨モデルは最初に酸性雨が問題となった欧州を舞台に開発せられ、次に酸性雨が米加二国間の問題となった北米地域について開発された。モデルにはラグランジュ型流跡線モデル (例えば Eliassen, Saltbones, 1975) 及びオイラー型モデル (例えば Chang *et al.*, 1987) に大別される。欧州の EMEP (European Monitoring and Evaluation Program) では現在 Eliassen 等のモデルを改良しながら、欧州内各国間の化合物のやりとりを計算するのに用いられている。

わが国においてもまとまった酸性雨測定値が発表されるにつれ、酸性雨モデルの研究が開始された (池田有光ら : 1988, 神成陽容ら : 1988, 北田敏廣ら : 1989)。また Carmichael ら (1988) も東アジア域の汚染物の移流・変換についてのモデル開発を開始している。著者等 (大喜多, 小林, 1990) も Eliassen 等のモデルにつき感度解析をし、乾性沈着速度や変換速度はそれ程計算結果に影響を与えないが、洗浄係数は大きく影響することを見出し、またバックグランド濃度の設定も重要なことが

分った。また EMEP モデルでも最近北米等の他の発生源の影響を入れねばならないことを示唆している。東アジア地域は欧米よりみて、モデル作製上地形的に不利な点が多いが、今後のモデル開発の発展を希望して筆をおきたい。

引用文献

- Chang, J.S., R.A. Brost, I.S.A. Isaksen, S. Madronich, P. Middleton, W.R. Stockwell and C.J. Walcek, 1987: A three-dimensional Eulerian acid deposition model: Physical concepts and formulation, *Journ. Geophys. Res.*, 92, 14, 681-14, 700.
- Eliassen, A. and J.S. Saltbones, 1975: Decay and transformation rates of SO_2 as estimated from emission data, trajectories and measured air concentrations, *Atmos. Environ.*, 9, 425-429.
- Hicks, B.B., D.D. Bladocchi, T.P. Meyers, R.P. Hosker and D.R. Matt: 1987: A preliminary multiple resistance routine for deriving dry deposition velocities from measured quantities, *Water, Air and Soil Pollut.*, 36, 311-330.
- 池田有光, 尾本和夫, 平岡正勝, 1988: 層状雲, 化学反応モデルによる雨水中の SO_4 濃度の推定, 第29回大気汚染学会講演要旨集, p. 302.
- 環境庁酸性雨対策検討会大気分科会, 1987: 酸性雨対策調査中間報告書.
- , 1990: 酸性雨対策調査報告書.
- 神成陽容, 大原利美, 1988: ボックスモデルによる酸性雨シミュレーション, 第29回大気汚染学会講演要旨集 p. 507.
- 北田敏廣, 北川恵一, P.C.-S. Lee, 植田洋匡, 1989: 酸性雨研究のための diagnostic な雲物理モデルの LOD-FEB コードによる実行, 第30回大気汚染学会講演要旨集 p. 342.
- Lovett, G.M.: 1984: Rates and mechanisms of cloud water deposition to a subalpine balsam fir forest, *Atmos. Environ.*, 18, 361-372.
- Mizoguti, T., M. Kunugi and M. Nishikawa 1985: Background air pollutants measurements and selection of background sites in Japan, *Res. Rep. Natl. Inst. Environ. Stud.*, 79, 9-19.
- 文部省, 1990: 人間環境系重点領域研究「酸性雨が陸域生態系におよぼす影響の事前評価とそれに基づく対策の検討」研究報告書.
- 人間環境系研究資料集 G 010-N11-01「酸性雨が陸域生態系におよぼす影響の事前評価とそれに基づく対策の検討」研究資料集, 1989: 文部省人間環境系重点領域研究 N11-01 酸性雨研究班.
- Ohta, S., T. Okita and C. Kato, 1981: A numerical model of acidification of cloud water, *Journ. Met. Soc. Japan*, 59, 892-901.
- Okita, T., 1968: Concentration of sulfate and other inorganic materials in fog and cloud water and in aerosol, *Journ. Met. Soc. Japan*, 46, 120-127.
- , 1983: Acid precipitation and related phenomena in Japan, *Water Quality Bulletin*, 8, 101-108.
- 大喜多敏一, 北田敏廣, 1987: 汚染物の沈着機構・乾性沈着, *気象研究ノート*, 158, 119-138.
- , 小林喬郎, 1990: 酸性降下物予測モデルの開発, 人間環境系重点領域研究「酸性雨が陸域生態系におよぼす影響の事前評価とそれに基づく対策の検討」研究報告書.
- Schaug, J., J.E. Skjelmoen, S.E. Walker, U. Pedersen and A. Hartad, 1989: EMEP Data Report 1987, Part 1: Annual Summaries, Norwegian Inst. Air Res.
- 関口恭一, 原善彦, 氏家淳雄, 1985: 関東地方における酸性降下物とスギ枯れについて, 第26回大気汚染学会講演要旨集, p. 349.
- 高橋啓二, 沖津 進, 植田洋匡, 1987: 関東甲信地方におけるスギの衰退と大気, 水, 汚染物質の分布, 第98回日本林学会論文集, 180-187.
- USEPA, 1985: Acid Precipitation in North America: 1983 Annual Data Summary from Acid Deposition System Data Base EPA/600/4-85/061.
- 山家義人, 1978: 都市域における環境悪化の指標としての樹木衰退と微生物相の変動, *林試研報* 301, 119-129.