

雨をよごしたのは誰？

－埼玉県における酸性雨の歴史－

大気環境担当 松本 利恵

1 はじめに

工場や自動車などから大気中に排出された二酸化硫黄、窒素酸化物などの汚染物質は、大気中で硫酸や硝酸などに変化し、再び地上に戻ります（沈着）。このとき、大気中で生成した硫酸や硝酸などが雲を作っている水滴や雨などに溶け込んで地上に戻る経路（湿性沈着）と、水をとまわずにガスや粒子の形で地上に戻る経路（乾性沈着）があります（図1）。以前は、湿性沈着した酸性度の強い(pHの低い)降水を酸性雨と定義していました。しかし、生態系への影響を考える場合には、負荷されるもの全てについて考える必要があることから、現在はより幅広く、湿性沈着したものと乾性沈着したものをあわせて酸性雨と定義しています。

酸性雨は、原因物質の発生源から数千 km も離れた地域にも影響を及ぼすこともある国境を越えた広域的な現象です。日本では、いまのところ、酸性雨による植生の衰退や土壌の酸性化などの被害はあらわれていません¹⁾。しかし、酸性雨による湖沼や河川の酸性化や魚類などへの影響、土壌の酸性化や森林への影響、建造物や文化財への影響などが心配されています。

酸性雨の原因となる大気汚染物質は、人々の社会活動にともない排出されます。そして汚染物質の排出量の増減は、それらの物質の大気濃度や沈着量の推移に反映すると考えられます。これらの関係は、気象条件も大きく影響するため、長期間のモニタリングを継続しないとあきらかにできないところがあります。しかし、乾性沈着については長期的なデータの蓄積がまだ十分ではありません。そこで、これまで蓄積してきた主に湿性沈着に関する調査の結果を用いて、原因物質の発生源やこれまでの対策を考慮しながら、汚染物質の大気濃度と沈着物の関係について検討しました。

2 埼玉県の酸性雨調査

2.1 これまでの経緯

日本の酸性雨調査は、1973年～1975年に関東地方を中心にあきらかに酸性度の強い雨が降ったときに目の痛みや皮膚の刺激などの人的被害が発生したことから本格化しました。

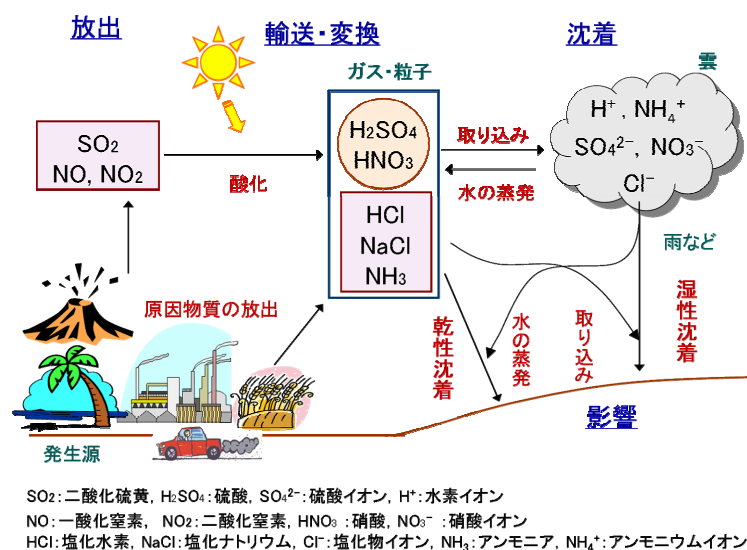


図1 酸性雨（酸性沈着）の生成機構

1974年7月3日に、熊谷市、東松山市など埼玉県の北部や栃木県、群馬県の南部の広範囲にわたって酸性度の強い雨が降り、約32,000人に目の痛みなどの健康被害が発生しました。埼玉県では、この事件に対処するため、1974年9月に酸性降雨の測定体制や被害の情報の伝達方法などを「埼玉県酸性降雨等対策暫定実施要領」で決めました。そして、この要領に基づき、10市の協力を得て、当所の前身である埼玉県公害センター（当時浦和市）を加えた11地点で降水のpHなどの測定を開始しました。そして、この調査は約30年経った現在も継続しています。

また、1986年からはさいたま（浦和）、熊谷、堂平山（東秩父）の3地点で沈着量の測定を行っています。埼玉県の主な調査地点の位置を図2に示します。

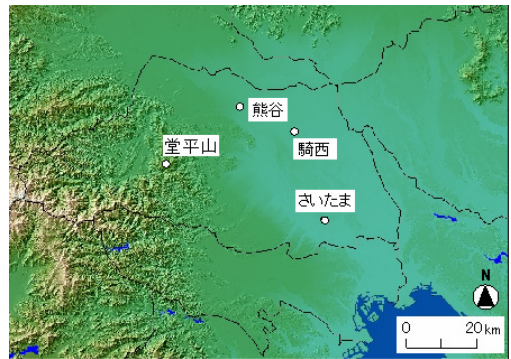


図2 主な調査地点

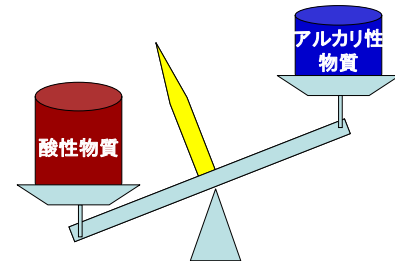


図3 酸とアルカリのバランス

2.2 降水中の主な酸性成分

降水が酸性を示す主な原因物質は、硫酸イオン(SO_4^{2-})、塩化物イオン(Cl^-)、硝酸イオン(NO_3^-)です。これらの酸性物質は、環境中のカルシウムイオン(Ca^{2+})やアンモニウムイオン(NH_4^+)などのアルカリ性物質で中和されます。このとき中和するアルカリ性物質が足りずに、中和されていない酸性物質が増えると酸性化（pHの低下）が起こります（図3）。なお、pHは両物質の量的な差に依存しますので、降水が中性であっても、降水中に溶けているこれらの物質の濃度が高ければ、降水汚染は進んでいることになります。

2.3 降り始めの降水濃度

一般的に、降り始めの降水ほど酸性度、汚染度が大きくなる傾向があります。そのため、1974年からさいたま（浦和）で、2000年から騎西で降り始めの降水濃度について調査をしています（図4）。さいたまにおける最初の0-1mmの年度平均値の推移をみると、おおむね、pHは変動しながら横ばいであり、硫酸イオンは1985年ごろから、塩化物イオンは1995年ごろから濃度が低下する傾向となっています。硝酸イオン濃度は1990年ごろから増加傾向になっています。

次に、図4に示した各イオンについて、原

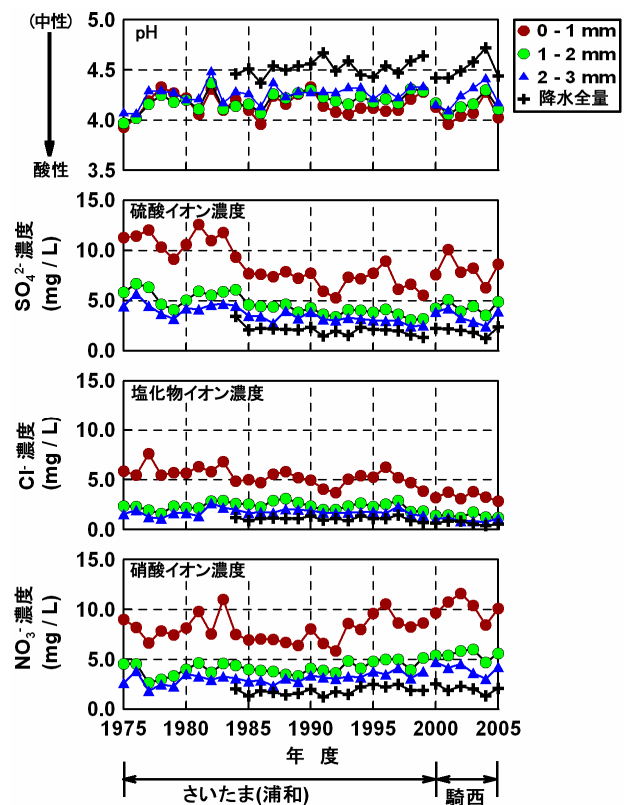


図4 降り始めの降水の年度平均濃度（湿性沈着）

因となる大気汚染物質との関係を汚染物質の発生源の観点から検討しました。

2. 4 大気汚染物質と酸性物質の沈着量の経年度推移

湿性沈着量（以後、沈着量という）とは、降水中の汚染物質の濃度と降水量の積であり、地上単位面積当たりに降下した汚染物質の総量を示すものです。埼玉県は海に面していませんが、特に台風のときなどは海塩（NaCl など）の影響を強く受けています。そこで、人為的な発生源の影響を検討するために、硫酸イオンや塩化物イオンは海塩由来の沈着量を推計して差し引き、非海塩由来の沈着量を求めて検討を行いました。

（1）硫黄酸化物と硫酸イオン沈着量

酸性雨の原因物質である硫黄酸化物は、日本では主に石油系燃料、特に重油中の硫黄分の燃焼により生成するため、主要な発生源は、重油を使用するボイラー、加熱炉等を持つ工場などでした。したがって、硫黄酸化物の排出規制は、工場などを対象として行われてきました²⁾。また、ディーゼルの燃料である軽油に含まれている硫黄分の規制が、1992年（0.5 → 0.2%）と1997年（0.2 → 0.05%）に行われました。これらの対策の結果、埼玉県内の二酸化硫黄（SO₂）濃度および1990年代の硫酸イオン沈着量は減少傾向を示しました（図5）。

しかし、2000年に三宅島が噴火し、世界でも例のないほど大量な二酸化硫黄が放出されました。三宅島からの噴煙は関東地方に対しても大きな影響を与え、著しい硫酸イオン沈着量の増加及びそれにとまなう沈着物の酸性化をもたらしました。

（2）塩化水素と塩化物イオン沈着量

酸性雨の原因物質である人為起源の塩化水素（HCl）のほとんどは塩素を含む物質の燃焼により発生します。したがって、廃棄物焼却施設は主要な塩化水素の発生源であり、埼玉県においては海塩に由来する塩化物イオンが沈着物に占める割合が大きいものの、清掃工場や産業廃棄物焼却施設から排出される塩化水素の寄与も大きいと考えられています。

廃棄物焼却施設については、1990年代後半、ダイオキシン類の排出が大きな社会問題となりました。そして、ダイオキシン類対策のための法整備、県条例の改正等による規制強化により多くの焼却施設が廃止になりました。これらの規制などにより1990年代は塩化物イオン沈着量が低減したと考えられます（図6）。

2000年以降の沈着量の増加は、硫酸イオンと同様に三宅島火山からの噴煙の影響と思われます。

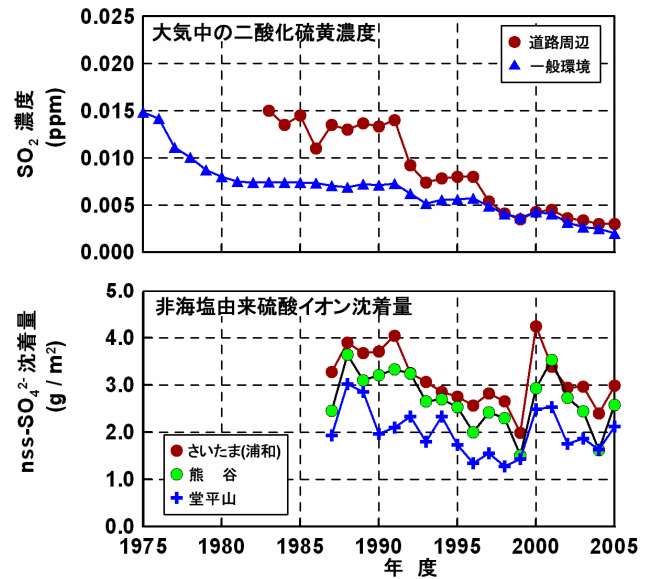


図5 大気中の二酸化硫黄濃度と非海塩由来の硫酸イオン沈着量の推移

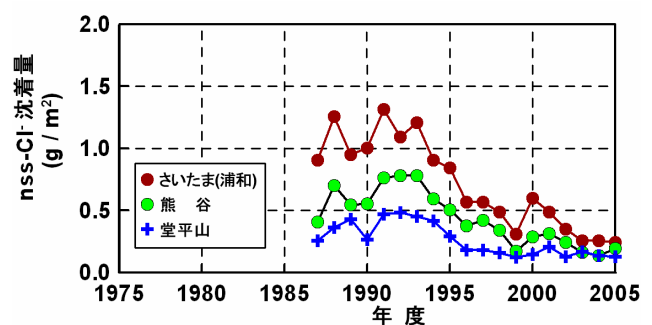


図6 非海塩由来の塩化物イオン沈着量の推移

(3) 窒素酸化物と硝酸イオン沈着量

窒素酸化物は、主に物の燃焼にともなって生成します。空気の約 80%が窒素であることから、空気中で物を燃やすと、燃料中に含まれる窒素からだけでなく、周りの空気からも窒素酸化物が生成します。したがって、硫黄酸化物などとは異なり、燃料の窒素の含有量を減らすことで排出量を著しく減らすことができません。

窒素酸化物の主な発生源は、工場などの固定発生源と自動車などの移動発生源です。工場などに対する排出基準は、施設ごとに燃焼条件が異なることから、施設の種類ごとに定められています。また、自動車からの排出量も多く、自動車からの排出総量の削減を図るために、1992年に自動車 NO_x法が制定され、2001年に自動車 NO_x・PM法に改正されています。

埼玉県内の観測結果(図7)では、大気中の二酸化窒素濃度は、近年はやや減少傾向にあります。さいたまや熊谷の硝酸イオン沈着量は、二酸化窒素濃度の推移と似ており、降り始めの降水濃度とちがって、沈着量は近年わずかに減少傾向にあります。しかし、硫酸イオンや非海塩由来の塩化物イオンのようなあきらかな減少傾向はみられていません。

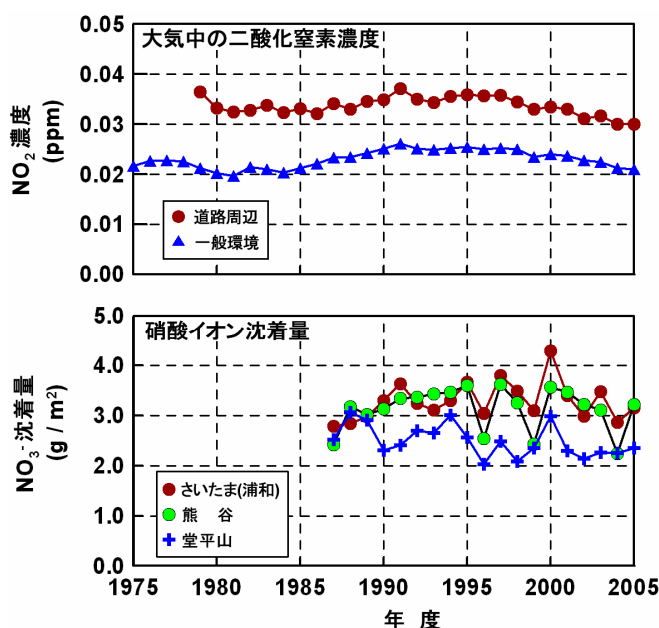


図7 大気中の二酸化窒素濃度と硝酸イオン沈着量の推移

3 おわりに

埼玉県の酸性雨調査は、1974年の健康被害の発生を契機に本格化し、これまで約30年間継続してきました。現在は、人的被害の報告はありませんが、酸性化した雨は降り続けています。

これまで燃料に含まれる硫黄の量を減らしたり、焼却施設への規制を厳しくしたりしたことにより硫黄酸化物、塩化水素の大気中への放出量が減り、その結果、硫酸イオン、塩化物イオンの沈着量は減少しました。また、硝酸イオン沈着量もわずかに減少傾向にあります。しかし、めざましい経済成長を遂げている東アジア地域から運ばれてくる大気汚染物質の影響も心配されており、降水汚染改善のためにも、今後も、窒素酸化物をはじめとして硫黄酸化物や塩化水素の排出量を減らしていく努力が重要です。

酸性雨(酸性沈着)は大気汚染物質の排出の結果生じるものであり、経済活動、環境対策、自然災害などによる環境の変化を反映しています。幸いなことに、いまのところ日本では酸性雨による生態系への被害などはあらわれていません。しかし、永遠に生態系に影響しないと保障されているわけではありません。また、乾性沈着についてもさらに調査を進めなければなりません。これからも、酸性雨の研究を長く続け、環境の変化を監視していく必要があると考えています。

文 献

- 1) 環境省 (2006)、平成 18 年度環境白書 (<http://www.env.go.jp/>) .
- 2) 公害防止の技術と法規編集委員会編 (2002)、公害防止の技術と法規大気編、56-68.