



# 目 次

調査結果の総括 .....	1
<b>1. 酸性雨調査の経緯 .....</b>	<b>5</b>
<b>2. 調査の目的及び内容 .....</b>	<b>7</b>
2.1 目的 .....	7
2.2 調査内容 .....	7
<b>3. モニタリングの結果 .....</b>	<b>15</b>
3.1 酸性沈着モニタリングの結果 .....	15
3.1.1 湿性沈着モニタリングの結果 .....	15
3.1.2 乾性沈着モニタリングの結果 .....	23
3.1.3 酸性沈着に対する総合的考察 .....	34
3.2 生態影響モニタリングの結果 .....	49
3.2.1 土壌・植生モニタリングの結果 .....	49
3.2.2 陸水モニタリングの結果 .....	59
3.2.3 酸性沈着の生態影響に対する総合的考察 .....	63
3.3 伊自良湖重点調査の結果 .....	70
3.3.1 伊自良湖集水域における酸性化徴候 .....	70
3.3.2 重点調査の内容 .....	73
3.3.3 調査結果の概要 .....	75
3.3.4 集水域酸性化の現状と今後の集水域解析の方向性 .....	87
3.4 諸外国との比較 .....	90
3.4.1 大気系 .....	90
3.4.2 生態系 .....	97
<b>4. 越境大気汚染の問題 .....</b>	<b>101</b>
4.1 世界からみた越境大気汚染と東アジアの状況 .....	101
4.2 東アジアにおける大気汚染物質排出量の増大 .....	102
4.3 越境大気汚染の我が国への状況 .....	105
4.3.1 我が国における越境大気汚染の状況 .....	105
4.3.2 我が国への影響の将来予測 .....	116
4.4 大陸間輸送と半球汚染 .....	119

4.4.1	半球輸送タスクフォース (CLRTAP/TF-HTAP)	119
4.4.2	大陸間輸送モデルによる解析	121
5.	今後の酸性雨対策の課題	129
5.1	国内における酸性雨対策の推進	129
5.2	国際的な酸性雨対策の推進	134
	<b>参考資料</b>	137
1.	酸性雨のメカニズムと影響	138
2.	モニタリング地点の情報	140
3.	モニタリング結果の参考データ	144
4.	東アジア酸性雨モニタリングネットワーク (EANET) の概要	182
5.	欧米における越境大気汚染対策の経緯	184
	略語等一覧	187

## 調査結果の総括

### 1. 調査の概要

- ・ 環境省では、我が国の酸性沈着の状況やその影響を把握するため、昭和58年度から酸性雨対策調査を実施しており、平成15年度からは、酸性雨長期モニタリング計画（14年3月策定）に基づき、国内の湿性・乾性沈着モニタリング（31地点）、湖沼等を対象とした陸水モニタリング（11地点）、土壌・植生モニタリング（25地点）を実施している。
- ・ 本報告書は、平成15年度から19年度に実施した酸性雨長期モニタリングの結果、及び周辺土壌等の酸性化が認められる岐阜県伊自良湖集水域において17年度から19年度に実施した重点調査の結果をとりまとめたほか、我が国への越境大気汚染の状況を検討したものである。

### 2. 酸性沈着と越境大気汚染の状況

#### (1) 酸性沈着モニタリングの結果

- ・ 降水pHの5年間の地点別平均値はpH4.51（伊自良湖）～pH4.95（小笠原）の範囲（全平均値はpH4.68）にあり、依然として酸性雨が観測されている。植物に対して急性被害が懸念されるpH3.0未満の降水は観測されなかったものの、降水の日捕集を行っている14地点の調査結果を解析したところ、pH4.0未満の強い酸性の降水が全体の4.5%を占めていた。
- ・ 10年以上調査が実施されている地点において、降水pHは年により増減し、近年やや低い地点もあるが、全体として横ばいの状況にあった。また、非海塩性硫酸イオン沈着量は期間を通して変動があるもののほぼ横ばい、硝酸イオン沈着量は1990年代半ば以降横ばいであった。
- ・ 我が国における年間の酸性成分沈着量を計算したところ、非海塩性の硫黄が16～54mmol m<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup>、窒素が22～130mmol m<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup>であった。
- ・ 晩秋から春季にかけて、降水による酸性成分沈着量は本州中北部日本海側及び山陰で増加し、また、大気中の二酸化硫黄濃度が日本海側や西日本で顕著に増加する傾向がみられた。これらの地域では、硫黄や窒素の酸化物の大気中への供給量が晩秋から春季にかけて増加していると考えられ、大陸に由来した汚染物質の流入が示唆された。
- ・ 我が国は降水により沈着する非海塩性硫酸イオンや硝酸イオンの量が欧米より2～3倍多く、これは降水量が多いためである。また、水素イオンの沈着量も欧米より数倍多く、東アジアの中でも最も多い地域であり、これは、降水量が多いことと、大気中あるいは降水中で塩基性物質により中和される酸の割合が低いためである。
- ・ 非海塩性カルシウムイオンの湿性沈着量、PM10濃度及びエアロゾル中のカルシウム

イオン濃度が全国的に春季に最大になり、黄砂の影響が示唆された。

- ・ 全国的に春季のオゾン濃度の上昇がみられ、越境汚染の影響が示唆された。また、オゾン濃度の年平均値の経年変化は全国的に漸増傾向であった。

#### (2) 越境大気汚染に関する調査研究のレビュー

- ・ 我が国における酸性沈着量に対する越境汚染による寄与率は、研究結果によって異なるものの、最近のシミュレーションモデルの計算によれば、年間で非海塩性硫酸イオンが約30～65%、硝酸イオンが約35～60%と推計されている。
- ・ 我が国のオゾン濃度への越境汚染の影響は、地域、季節、また日によって大きく変動するが、モデル計算によると、本州付近の春季の月平均オゾン濃度に対して概ね10～20数%程度が東アジア起源であると考えられ、また、欧米からも春季に数ppb程度の影響があることが推定された。
- ・ また、モデル計算によれば、中国において現状以上の大気汚染対策がとられず、汚染物質排出量が現状と同様に増加する場合、2020年には、我が国のオゾン濃度の年平均値が2000年に比べて2～6 ppb増加すると予測されている。

### 3. 生態系への影響

#### (1) 土壌・植生モニタリングの結果

- ・ 平成19年度には、全25調査地点のうち17地点で何らかの樹木衰退の徴候がみられたが、酸性沈着や土壌酸性化が主要因として断定される衰退木は確認されなかった。
- ・ 伊自良湖では、平成2年度から16年度の間土壌の表層及び次層においてpH(H<sub>2</sub>O)が低下傾向を示しており、16年度の表層は平均pH3.9と、植物の生長に影響を与えるアルミニウムイオンが土壌水中に溶出し得る酸性度であったことから、継続したモニタリングが必要である。
- ・ その他の土壌調査地点では、一部調査項目において経年的な変化が認められたが、各調査項目を総合的にみると土壌の明確な酸性化傾向はみられなかった。

#### (2) 陸水モニタリングの結果

- ・ 湖沼表層水のpHは5.36～7.34、アルカリ度は0.017～0.512mmol/Lの範囲にあった。双子池・雌池（長野県）、夜叉ヶ池（福井県）及び沢の池（京都府）は、pHが5.8以下、アルカリ度が0.030mmol/L以下で、特に酸感受性の高い湖沼であると言えるが、全ての湖沼で酸性沈着の明確な影響は確認されなかった。
- ・ 伊自良湖集水域では、流入河川である釜ヶ谷川において、平成8年以降15年までpHは低下傾向にあったが、16年以降についてはpH7付近を推移している。また、伊自良湖表層水及び2つの流入河川水において、硝酸イオン濃度の有意な上昇がみられた。

#### 4. 伊自良湖集水域重点調査の結果

- ・ 昭和63年度から平成14年度までの調査により、伊自良湖集水域の流入河川や周辺土壌において、pHの低下等酸性沈着の影響が疑われる変化が認められたことから、酸性化徴候やそのプロセスを定量的に明らかにするため、17年度から19年度にかけて集水域への流入量・流出量調査及び増水時河川集中観測等を重点的に実施したものである。
- ・ 以下の i ~ iii の知見を基に、伊自良湖集水域では、酸性雨など大気からの酸性沈着により土壌に蓄積した硫黄 (S) や窒素 (N) が溪流に流出し、集水域の酸性化が継続していると考えられた。
  - i 伊自良湖集水域におけるNの総沈着量は、欧米における渓流水への硝酸イオン流出の指標である  $10 \text{ kg-N ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  を超える  $18.2 \sim 28.7 \text{ kg-N ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  と推計され、90年代半ば以降は硝酸イオンの流出も高濃度で維持されている。この多量のN沈着に伴う硝酸イオンの流出が河川の酸性化に寄与していると考えられた。
  - ii 集水域の物質収支を推計した結果、Sの流出量が流入量の約2倍であり、過去に土壌に蓄積されたSによる河川の酸性化への寄与が考えられた。
  - iii 増水時における硫酸イオン及び硝酸イオンの濃度上昇の傾向から、集水域内の地表面付近に蓄積しているSとNの流出が示唆された。
- ・ 一方、伊自良湖集水域の酸性化のメカニズムは複雑であり、科学的に解明すべき余地が残されていることから、将来の酸性化の進行を定量的に示すことは現時点では困難である。
- ・ 現時点で、直ちに人の健康及び生態系に何らかの影響を及ぼす状況にはないものの、将来的な影響の発現や、伊自良湖集水域と同様な条件の他の地域の酸性化が懸念されることから、酸性化のリスクの高いホットスポットにおける調査が必要である。

#### 5. 今後の酸性雨対策の課題

##### (1) 長期モニタリングの実施

- ・ 酸性雨による影響は長期継続的なモニタリング結果によらなければ把握しにくく、また、湖沼や土壌の緩衝能力が低い場合には一定量以上の酸性物質の負荷の集積により急激に影響が発現する可能性があること等から、今後とも長期モニタリングを着実に実施していく必要がある。

##### (2) 国際的な取組の推進

- ・ 東アジア酸性雨モニタリングネットワーク (EANET) の活動スコープを、従来の酸性沈着モニタリングから東アジア地域における大気環境管理へ拡大することを目指すなど、大気汚染を防止するため国際的な協力関係を構築し、地域協力を推進する必要がある。

##### (3) 越境大気汚染問題への取組

- ・ 光化学オキシダント注意報発令地域の広域化やその濃度の漸増傾向の一因として東

アジア大陸からの越境汚染が指摘され、また、黄砂の飛来頻度が増加傾向にあることなどから、酸性沈着のみならず、オゾン及びエアロゾル等を統合した越境大気汚染モニタリングを実施していくことが必要である。

#### (4) 調査研究の推進

- ・ 今後、長距離越境大気汚染の状況やその影響を把握するため、大気シミュレーションモデルの精緻化及び排出インベントリの高精度化、土壌・植生及び陸水の感受性指標の検討、酸性化リスクの高いホットスポットの抽出等の調査研究の推進が必要である。

## 1. 酸性雨調査の経緯

酸性雨は、原因物質が長距離にわたって輸送され、その影響が、発生原因国内にとどまらず国境を越えて広がる恐れがあることから、地球環境問題のひとつと位置付けられている。我が国では、昭和 49～51 年の梅雨期に北関東を中心に霧や霧雨による目や皮膚への刺激、タバコなどの農作物への影響が問題となり、酸性雨への社会的な関心が高まった。

ヨーロッパにおいては、1950 年代から北欧の湖沼の酸性化等酸性雨の被害が顕在化し、昭和 54 年（1979 年）に長距離越境大気汚染に関する条約が締結された。同条約に基づき、酸性雨の共同モニタリング、汚染物質の排出削減対策等が進められ成果を上げている。

一方、東アジア地域においては、急速な経済発展に伴い大気汚染物質の排出量が増加しており、将来、酸性雨を含む越境大気汚染が深刻になることが懸念されている。東アジア地域において国際協調に基づく酸性雨対策を推進していくため、我が国のイニシアティブにより、平成 10 年（1998 年）4 月から「東アジア酸性雨モニタリングネットワーク (EANET)」の試行稼働が開始され、13 年（2001 年）1 月から本格稼働しているところである（現在、東アジア地域 13 カ国が参加）。

環境庁（当時）においては、昭和 58 年度から、我が国の酸性雨の実態及びその影響を明らかにするため、大気汚染、土壌・植生、陸水等の専門家等から成る「酸性雨対策検討会」を設置するとともに、酸性雨対策調査を実施してきた。

その結果、平成 16 年 6 月には、酸性雨対策検討会において、昭和 58 年度から平成 14 年度までの計 20 年間の調査結果が「酸性雨対策調査総合とりまとめ報告書」としてとりまとめられ、次のような結果が得られている。

- ① 全国的に欧米並みの酸性雨が観測されており（全平均値 pH4.77）、また、日本海側の地域では大陸に由来した汚染物質の流入が示唆された。
- ② 現時点では、酸性雨による植生衰退等の生態系被害や土壌の酸性化は認められなかった。
- ③ 酸性雨に対し生態系が脆弱であると考えられる岐阜県伊自良湖等への流入河川や周辺土壌において、pH の低下等酸性雨の影響が疑われる理化学性の変化が認められた。ただし、これらの変化はいずれも直ちに人の健康並びに流域の植物及び水生生物等の生態に何らかの影響を及ぼすレベルにはない。

このように、我が国における酸性雨による生態系等への影響は現時点では明らかになっていないが、一般に酸性雨による土壌・植生、陸水等に対する影響は長い期間を経て現れると考えられているため、現在のような酸性雨が今後も降り続けるとすれば、将来、酸性雨による影響が顕在化する可能性がある。このため、環境省は、広域的かつ長期的な酸性

雨モニタリングを継続的に実施していくため、平成14年3月に「酸性雨長期モニタリング計画」を策定し、15年度より、この計画に基づき、国内の湿性・乾性沈着モニタリング、湖沼等を対象とした陸水モニタリング、土壌・植生モニタリングを実施している。

表 1-1 調査地点の推移

	第1次調査	第2次調査	第3次調査	第4次調査	—	長期モニタリング
年度	昭和58～ 62年度	昭和63～ 平成4年度	平成5～ 9年度	平成10～ 12年度	平成13～ 14年度	平成15～ 19年度
大気	14～34地点	29地点	48地点	55地点	48地点	31地点
土壌・植生	12地点	43地点	88地点	20地点	18地点	25地点
陸水	133地点 (スクリーニング調査)	5地点	33地点	17地点	12地点	11地点
その他		酸性雪2地域				

### 酸性雨と測定物質との関係

工場や自動車から排出された二酸化硫黄、窒素酸化物等の大気汚染物質は、大気中で硫酸や硝酸に酸化され、再び地上に戻ってくる（沈着）。その形態には2種類あり、雨や雪に溶け込んで沈着する場合（湿性沈着）と、そのままガスや粒子（エアロゾル）の形で沈着する場合（乾性沈着）がある。このため、「酸性雨」という環境問題は、湿性沈着及び乾性沈着を併せたものとして捉えられており、より科学的には「酸性沈着」という。

酸性雨による影響としては、土壌の酸性化による森林の衰退、湖沼の酸性化による陸水生態系の被害、銅像等の文化財や建造物の損傷等が指摘されている。この影響は、酸性沈着の量によって決まるため、例えば雨の場合、酸性度を示す pH だけではなく、そのときの降水量も考慮した沈着量に着目する必要がある。

オゾン層は、人の健康や植物への悪影響が知られる大気汚染物質であるが、二酸化硫黄や窒素酸化物を酸化する反応性の高い酸化性物質でもあり、酸性雨の生成メカニズムは、オゾン層の生成とも密接なつながりがある。

また、大気中にはアンモニアなどの塩基性物質もあり、硫酸や硝酸と反応すると硫酸アンモニウムや硝酸アンモニウムを生成する。これらの物質はエアロゾルとして乾性沈着するか、雨に取り込まれて湿性沈着する。

このように、「酸性雨」は種々の物質が関わる総合的な大気汚染として捉えることが大切であり、降水だけではなく、二酸化硫黄、窒素酸化物、オゾン、アンモニアなどのガス及び関連するエアロゾル等を観測する必要がある。

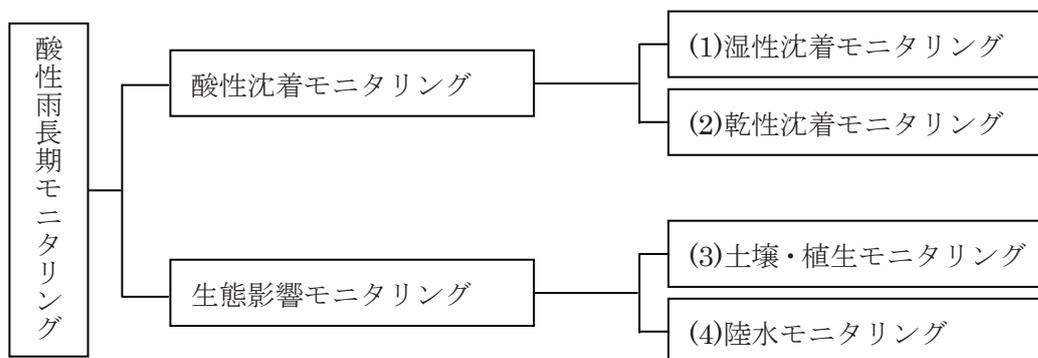
## 2. 調査の目的及び内容

### 2.1 目的

酸性雨長期モニタリングは、酸性沈着による影響の早期把握、酸性雨原因物質の長距離越境輸送、長期トレンド等を把握し、また、将来の酸性雨の影響を予測するために、EANET と密接に連携しつつ、酸性沈着モニタリング及び生態影響モニタリングを長期間実施することにより、酸性沈着量の時間的空間的变化とその影響を把握することを目的としている。

### 2.2 調査内容

環境省では、酸性雨長期モニタリング計画に基づき、平成 15～19 年度において、酸性沈着の状況を把握するため湿性沈着モニタリング及び乾性沈着モニタリングを、また、酸性沈着による生態系への影響を把握するため土壌・植生モニタリング及び陸水モニタリングをそれぞれ実施した。



#### (1) 湿性沈着モニタリング

湿性沈着モニタリングは、気候区分や測定局の特性、地域的なバランス等を考慮し、モニタリングを効果的・効率的に実施できるよう、酸性沈着モニタリング地点として選定された 31 地点において実施された。なお、測定地点は、EANET 湿性沈着モニタリング技術マニュアルに従い、遠隔地域、田園地域及び都市地域モニタリング地点に分類される (図 2-1 参照)。

降水試料 (降雪を含む。以下同じ。) の捕集には降水時開放型捕集装置 (降水時のみ蓋が開き、降水を捕集する装置) を使用し、試料は、「湿性沈着モニタリング手引き書 (第 2 版) (平成 13 年 3 月)」に従って、水素イオン指数 (pH)<sup>1</sup>、電気伝導率 (EC)、イオン濃度 (硫酸イオン (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)、硝酸イオン (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)、塩化物イオン (Cl<sup>-</sup>)、アンモニウムイオン (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)、カルシウムイオン (Ca<sup>2+</sup>)、カリウムイオン (K<sup>+</sup>)、マグネシウムイオン (Mg<sup>2+</sup>)、ナトリウムイオン (Na<sup>+</sup>) の 10 項目について測定・分析を実施した<sup>2</sup>。

<sup>1</sup> 水素イオン (H<sup>+</sup>) 濃度の逆数の常用対数が水素イオン指数 (pH)

<sup>2</sup> 硫酸イオン及びカルシウムイオンは海水中にも含まれ、海塩として大気中に放出され、一部が降水に取り込まれる。降水中に含まれるこれら海塩由来の成分割合は、ナトリウムイオンを基準として海水中のナトリウムイオンに対する比率から算出し、全体から海塩由来を差し引くことにより、海塩粒子に由来しない (non-sea-salt : nss-) 非海塩性硫酸イオン (nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) 及び非海塩性カルシウムイオン (nss-Ca<sup>2+</sup>) を求めた。本調査では、これらの nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 及び nss-Ca<sup>2+</sup> を考察の対象としている。



## (2) 乾性沈着モニタリング（大気濃度測定）

乾性沈着モニタリングは、本来、乾性沈着量を把握するためのものであるが、乾性沈着の過程が極めて複雑であり、沈着量の測定法が標準化されていないことから、乾性沈着量の推定に資するよう、大気濃度の測定を実施した。

(1) で述べた酸性沈着モニタリング地点のうち、EANETに登録されている EANET 局（東京局を除いた 11 地点）においては、自動測定機による二酸化硫黄（SO<sub>2</sub>）、一酸化窒素（NO）、窒素酸化物（NO<sub>x</sub>\*<sup>3</sup>）、オゾン（O<sub>3</sub>）及び粒径 10 μm 以下の粒子状物質（PM10）<sup>4</sup>の各濃度の連続測定を実施した（利尻、落石岬及び隠岐では PM2.5<sup>5</sup>も測定）。また、落石岬を除く EANET 局では、フィルターパック法<sup>6</sup>により、大気試料を 1 ないし 2 週間吸引した試料を分析し、二酸化硫黄（SO<sub>2</sub>）、硝酸（HNO<sub>3</sub>）、塩化水素（HCl）、アンモニア（NH<sub>3</sub>）、粒子成分濃度を測定した。

さらに、EANET 局以外の一部測定局においても、大気濃度（主に O<sub>3</sub>、えびの局は SO<sub>2</sub> も測定）のモニタリングを実施した。

酸性沈着のモニタリング地点ごとの測定項目を表 2-1 に示す。

## (3) 土壌・植生モニタリング

土壌・植生モニタリングは、外部負荷の影響を受けやすいと考えられる山岳地域の天然林を中心に選定された「主に樹木への影響に着目した地点」、酸性沈着に対する感受性の高い土壌を中心に選定された「主に土壌への影響に着目した地点」、陸水への影響をみる上で重要となる「陸水への影響に着目した地点」の計 19 地域 25 地点（地点一覧は表 2-2、地点分布は図 2-2 参照）において、「土壌・植生モニタリング手引書（平成 15 年 3 月）」及び「EANET 土壌・植生モニタリング技術マニュアル」に基づき、以下のとおり実施した。

### ① 森林モニタリング

森林総合調査（毎木調査（樹種名、胸高直径、樹高）及び下層植生調査）を 5 年に 1 回、樹木衰退度調査（衰退度観察、写真による記録及び衰退原因の推定）を 1 年に 1 回実施した。

### ② 土壌モニタリング

表層（0-10cm）及び次層（10-20cm）の土壌を採取し、以下の項目を分析した。なお、頻度は 5 年に 1 回である。

- 必須項目：水分含量、pH(H<sub>2</sub>O)、pH(KCl)、交換性塩基（Ca、Mg、Na、K）、交換酸度\*、有効陽イオン交換容量（ECEC）\*\*、交換性 Al 及び H、炭酸塩含有量（石灰岩土壌のみ）
  - \* 交換酸度は、交換性 Al 及び H の分析操作から算出
  - \*\* 有効陽イオン交換容量（ECEC）は、交換性陽イオンの和として算出
- 選択項目：全窒素含有量、全炭素含有量、有効態リン酸イオン、硫酸イオン、土壌密度、土壌硬度

<sup>3</sup> 分析上、NO<sub>x</sub>（NO 及び NO<sub>2</sub>）以外のペルオキシアセチルナイトレート（PAN）及び一部の硝酸（HNO<sub>3</sub>）も測定することになるため、「NO<sub>x</sub>\*」と表記する。なお、都市地域測定所での NO<sub>x</sub> の主要成分は、NO 及び NO<sub>2</sub> と考えられるため、NO<sub>x</sub> の測定値と NO の測定値の差を、NO<sub>2</sub> として集計している。

<sup>4</sup> より正確には、粒径（空気力学径）10 μm に対する捕集効率が 50% の分粒器を用いて捕集した粒子状物質。

<sup>5</sup> 粒径（空気力学径）2.5 μm に対する捕集効率が 50% の分粒器を用いて捕集した粒子状物質。

<sup>6</sup> 乾性沈着を評価するための測定方法のひとつ。大気中のガス、エアロゾル状成分の測定に用いられている。取扱いが簡便であるため長期間の測定に適しており、EANET 参加国において採用されている。

表 2-1 酸性沈着モニタリング地点ごとの測定項目一覧

測定所名	都道府県	分類	湿性沈着	分析単位	NOx	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	PM10	PM2.5	フィルタパック	風向風速	雨量	温湿度	日射	EANET 局
1 利尻	北海道	遠隔	○	日毎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2 札幌		都市	○	週毎							○	○	○		
3 落石岬*1		遠隔	○	日毎	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○
4 竜飛岬	青森県	遠隔	○	日毎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5 八幡平	岩手県	田園	○	日毎							○	○			
6 箕岳	宮城県	田園	○	日毎			○				○	○	○	○	
7 尾花沢	山形県	田園	○	週毎							○	○			
8 筑波	茨城県	田園	○	日毎			○				○	○	○	○	
9 赤城	群馬県	田園	○	日毎			○				○	○			
10 小笠原	東京都	遠隔	○	日毎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
11 東京*2		都市	○	日毎							○	○			○
12 佐渡関岬	新潟県	遠隔	○	日毎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
13 新潟巻		田園	○	日毎							○	○	○	○	○
14 越前岬	福井県	遠隔	○	日毎							○	○			
15 八方尾根	長野県	遠隔	○	日毎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
16 伊自良湖	岐阜県	田園	○	週毎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
17 犬山	愛知県	田園	○	日毎			○				○	○	○	○	
18 京都八幡	京都府	都市	○	日毎			○				○	○	○	○	
19 尼崎	兵庫県	都市	○	日毎							○	○	○	○	
20 潮岬	和歌山県	遠隔	○	日毎							○	○			
21 隠岐	島根県	遠隔	○	日毎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
22 蟠竜湖		都市	○	週毎	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○
23 倉橋島	広島県	田園	○	日毎			○				○	○	○	○	
24 櫛原	高知県	遠隔	○	日毎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
25 筑後小郡	福岡県	田園	○	日毎			○				○	○	○	○	
26 対馬	長崎県	遠隔	○	日毎			○				○	○			
27 五島		遠隔	○	日毎								○	○		
28 大分久住	大分県	田園	○	週毎							○	○			
29 えびの	宮崎県	遠隔	○	日毎			○				○	○	○	○	
30 屋久島	鹿児島県	遠隔	○	週毎							○	○			
31 辺戸岬	沖縄県	遠隔	○	日毎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

\*1：落石岬の自動測定機による大気濃度及び気象項目は独立行政法人国立環境研究所地球環境研究センターによる測定

\*2：東京は平成 19 年度から測定

表 2-2 土壌・植生モニタリング地点一覧

	地域特性等	区分	調査実施 年度*2	選定の際考慮した 樹種、土壌種、集 水域	調査プロット数		
					林分 の数	土壌 プロット数	植生 プロット数
1	知床国立公園 (北海道)	樹木	平成17年度	トドマツ	1	2	1
2	支笏洞爺国立公園 (北海道)	樹木	平成15年度	ダケカンバ	1	2	1
3	十和田八幡平国立公園 (岩手県)	樹木	平成16年度	オオシラビソ	1	2	1
4	磐梯朝日国立公園 (新潟県)	樹木	平成19年度	ブナ	1	2	1
5	日光国立公園 (栃木県)	樹木	平成15年度	ブナ	1	2	1
6	中部山岳国立公園 (富山県)	樹木	平成17年度	ブナ	1	2	1
7	白山国立公園 (石川県)	樹木	平成18年度	ブナ	1	2	1
8	吉野熊野国立公園 (奈良県)	樹木	平成16年度	ブナ	1	2	1
9	大山隠岐国立公園 (鳥取県)	樹木	平成15年度	ブナ	1	2	1
10	石鎚国定公園 (高知県)	樹木	平成16年度	ブナ	1	2	1
11	阿蘇くじゅう国立公園 (大分県)	樹木	平成17年度	ミズナラ	1	2	1
12	霧島屋久国立公園・	樹木	平成16年度	スギ	1	2	1
13	屋久島 (鹿児島県)	樹木	平成16年度	照葉樹林	1	2	1
14	石動山・宝立山 (石川県)	土壌	平成17年度	赤色土/ 褐色森林土	2	2×2	2×1
15	法道寺・天野山 (大阪府)	土壌	平成19年度	黄色土/黄色系褐 色森林土	2	2×2	2×1
16	霜降岳・十種ヶ峰 (山口県)	土壌	平成15年度	黄色土/黒ぼく土	2	2×2	2×1
17	香椎宮・古処山 (福岡県)	土壌	平成19年度	赤色系褐色森林土 /褐色森林土	2	2×2	2×1
18	伊自良湖周辺 (岐阜県) (伊自良・大和) *1	陸水	平成18年度	伊自良湖集水域 褐色森林土/黒ぼ く土	2	2×2	2×1
19	蟠竜湖周辺 (島根県) (蟠竜湖・石見臨空ファク トリーパーク (FP)) *1	陸水	平成18年度	蟠竜湖集水域 黄色系褐色森林土 /赤色土	2	2×2	2×1

注) \*1 : EANET モニタリング地点。

\*2 : 森林総合調査及び土壌モニタリング実施年度。

凡 例

●: 土壌・植生モニタリング地点

(下線は土壌に着目した地点、太字は  
EANET モニタリング地点を示す。)



図 2-2 土壌・植生モニタリング地点

#### (4) 陸水モニタリング

陸水モニタリングは、酸性沈着に対する応答が敏感なこと、人為的汚染が少ないこと、及び地域的バランス等を考慮して選定した 11 地点において、「陸水モニタリング手引き書（平成 17 年 2 月）」に基づき実施した（地点一覧は表 2-3、調査地点の分布は図 2-3 参照）。測定項目は以下のとおりである。

##### ① 水質調査の測定項目

年 4 回測定：水温、pH、電気伝導率、アルカリ度、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、Chl-a、DO（溶存酸素）

年 1 回以上測定： $\text{NO}_2^-$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$ 、DOC、透明度、水色

##### ② 底質調査の測定項目（5年に1回測定）： $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NH}_4^+$

表 2-3 陸水モニタリング対象湖沼一覧

	湖沼名	都道府県	底質調査実施年度 (5年に1回)	EANET モニタリング地点
1	今神御池	山形県	平成 17 年度	
2	刈込湖	栃木県	平成 18 年度	
3	山居池	新潟県	平成 15 年度	
4	大畠池	石川県	平成 19 年度	
5	夜叉ヶ池	福井県	平成 18 年度	
6	双子池	長野県	平成 16 年度	
7	伊自良湖	岐阜県	平成 17 年度	○
8	沢の池	京都府	平成 15 年度	
9	蟠竜湖	島根県	平成 19 年度	○
10	山の口ダム	山口県	平成 16 年度	
11	永富池	香川県	平成 19 年度	

なお、調査に当たっては、試料の捕集及び分析は原則として関係地方公共団体がを行い、その結果を酸性雨研究センターで集約（同センター及び外部の専門家によるデータチェックを含む。）後、酸性雨対策検討会（大気分科会及び生態影響分科会）の検討を経てデータを確定した。

また、モニタリングの精度保証・精度管理（QA/QC）活動の一環として、各分析機関に降水、フィルターパックのろ紙及び陸水の模擬試料、並びに土壌試料を送付し、その分析結果を比較する調査（分析機関間比較調査）を行うとともに、周辺環境の状況、機器の管理の状況等について現地調査を行った。

モニタリングの結果（QA/QC 活動を含む。）は次章に示す。

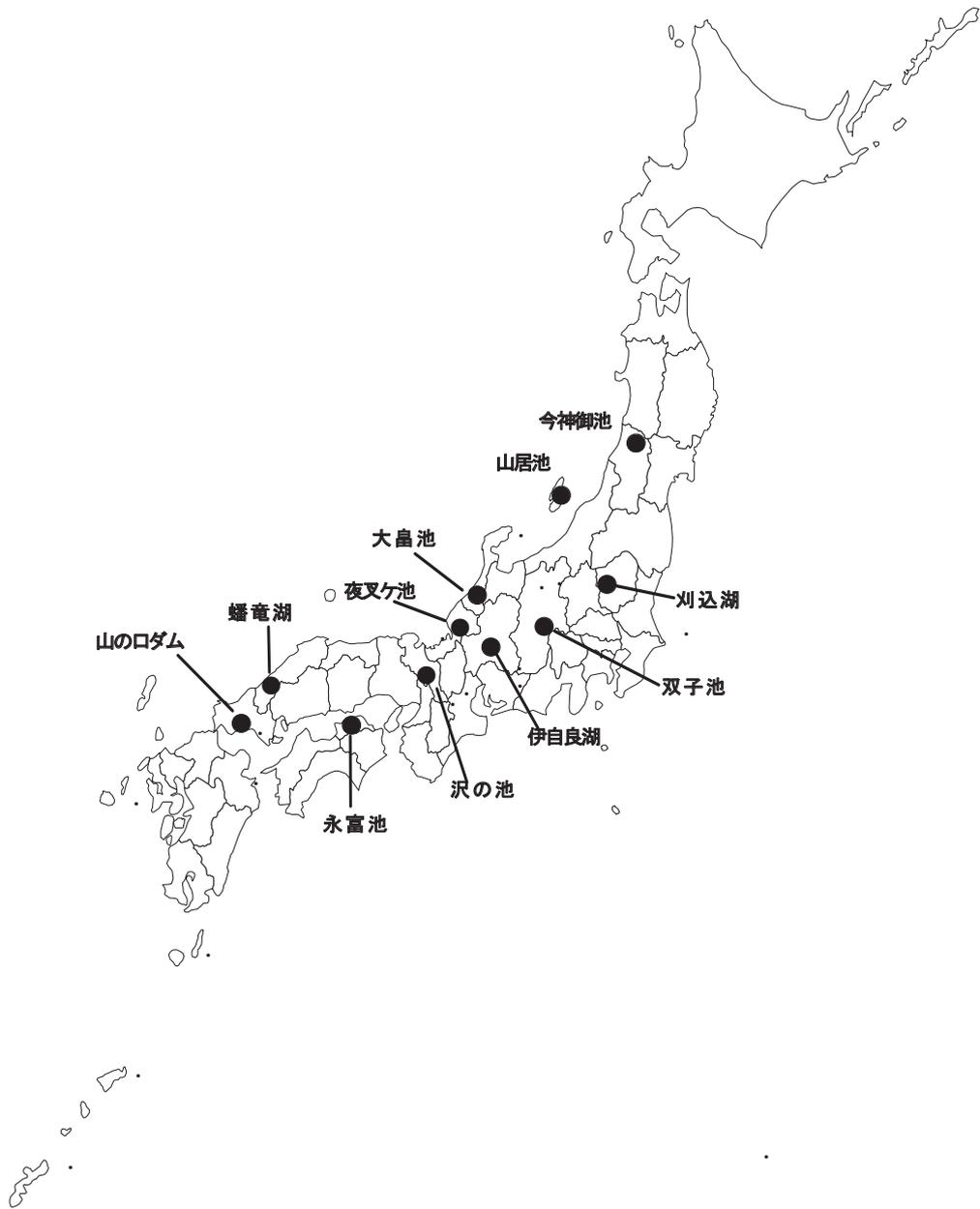


図 2-3 陸水モニタリング地点

### 3. モニタリングの結果

#### 3.1 酸性沈着モニタリングの結果

##### 3.1.1 湿性沈着モニタリングの結果

###### (1) 湿性沈着の年平均値の傾向

有効判定基準<sup>1</sup>を満たした結果（有効地点の割合：平成 15 年度 90%（27/30）、16 年度 67%（20/30）、17 年度 70%（21/30）、18 年度 80%（24/30）、19 年度 90%（28/31））をまとめ、地点間の比較等を行った。なお、19 年度からは東京でモニタリングを開始したため、地点数が 31 地点となった。

###### ① 降水量

年間降水量の範囲は 626mm y<sup>-1</sup>（平成 16 年度・落石岬）～5123mm y<sup>-1</sup>（16 年度・屋久島）であった。また、各地点について 5 年間の平均値では、屋久島（3831mm y<sup>-1</sup>）、えびの（3117mm y<sup>-1</sup>）、橿原（2949mm y<sup>-1</sup>）で多く、落石岬（830mm y<sup>-1</sup>）、利尻（961mm y<sup>-1</sup>）、札幌（1018mm y<sup>-1</sup>）で少ないことから、四国や九州の太平洋側で多く、北海道の地点で少ない傾向が認められた。また、5 年間の変動ではいずれの地点も目立った増加、または減少の傾向は認められなかった（詳細なデータは参考資料参照）。

###### ② pH

pH の各年度の平均値及び 5 年間の平均値を地点別に図 3-1-1 に示す。pH の地点別年平均値の範囲は pH 4.40（平成 15 年度・伊自良湖）～pH 5.04（15 年度・小笠原）であり、近年利尻、札幌及び五島などで低めであった。また、5 年間の平均値は pH 4.51（伊自良湖）～pH 4.95（小笠原）の範囲にあり、全地点の平均は pH 4.68 で、降水は引き続き酸性化していることが認められた。各地点の 5 年間の平均値をみると、小笠原（4.95）、辺戸岬（4.92）、八方尾根（4.85）で高く、伊自良湖（4.51）、越前岬（4.52）、新潟巻（4.56）で低い傾向があった。

###### ③ 主なイオン成分濃度と沈着量

pH は酸と塩基のバランスで決定され、湿性沈着の酸としては硫酸及び硝酸が、塩基性成分としてはアンモニア及び塩基性カルシウム化合物が考えられている。このため、降水中の nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>及び NO<sub>3</sub><sup>-</sup>は湿性沈着の酸性化に寄与する指標、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>及び nss-Ca<sup>2+</sup>は酸性化を抑制する指標とみなすことができる。また、イオン成分の湿性沈着量は、生態系等に対する長期的な影響の把握に有効な情報である。これらの 4 種類のイオン成分と H<sup>+</sup>の濃度及び沈着量の概要を表 3-1-1 に示す。

<sup>1</sup> ①月間・年間値については、対象期間中における有効試料の割合が 80%以上であること、かつ降水量の測定日数が対象日数の 80%以上であること、②nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>と nss-Ca<sup>2+</sup>については、海塩粒子の寄与率が 75%以下であること。