

我が国における酸性雨の状況及び長期モニタリング計画の改訂について

平成 31 年 3 月 19 日 (火)

環境省では、「越境大気汚染・酸性雨長期モニタリング計画」を策定し、それに基づいて、酸性雨等のモニタリングを実施しています。今般、平成 25～29 年度 (2013～2017 年度) の 5 年間のモニタリング結果を報告書として取りまとめましたので公表します。

また、これまでのモニタリング結果等を踏まえて、越境大気汚染・酸性雨長期モニタリング計画の一部改訂を行いましたので併せて公表します。

1. 経緯

環境省では昭和58年度 (1983年度) (当時環境庁) から酸性雨モニタリングを開始し、これまで大気、土壌・植生、陸水の各項目について、我が国の酸性雨の実態及びその影響の評価等を行ってきました。また、国際的にも、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、東アジア酸性雨モニタリングネットワーク (EANET) を我が国から提唱し、平成 13 年 (2001 年) から本格稼働 (EANETには現在13カ国 (カンボジア、中国、インドネシア、日本、ラオス、マレーシア、モンゴル、ミャンマー、フィリピン、韓国、ロシア、タイ、ベトナム) が参加) しています。

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、中・長期的な方向性を示すものとして、平成 14 年 (2002 年) に「酸性雨長期モニタリング計画」を策定し、その後、平成 21 年 (2009 年) には、越境大気汚染問題への関心の高まりを受け、酸性沈着のみならず、オゾンや PM_{2.5} 等の粒子状物質も対象に加え、計画の名称を「越境大気汚染・酸性雨長期モニタリング計画」に改めました。平成 26 年 (2014 年) には、PM_{2.5} モニタリングの拡充等を行い、現在までモニタリングを継続しています。

2. 報告書の概要

報告書の概要については別紙 1 のとおりです。

酸性雨の状況については、日本の降水は引き続き酸性化した状態であり、欧米及び東南アジア各国の平均値と比べて pH は低いものの、近年の中国における大気汚染物質排出量の減少とともに、日本の降水 pH の上昇 (酸の低下) の兆候がみられます。モニタリング対象湖沼の水質をみても硫酸イオン濃度及び硝酸イオン濃度は低下傾向となっています。また、森林生態系については、大気汚染が原因とみられる森林の衰退などは、現状では確認されていません。

3. 長期モニタリング計画の改訂

我が国の国内発生源及び越境大気汚染・酸性雨の実態と影響について精度を維持するとともに合理化を図りつつ継続して把握するため、今回、モニタリング地点の見直し、PM_{2.5} の成分分析の実施等を含めて「越境大気汚染・酸性雨長期モニタリング計画」の一部改訂を行いました (別紙 2 参照)。

4. 今後の対応

引き続き、改訂した長期モニタリング計画に基づいて、酸性雨原因物質、オゾン、PM_{2.5} 等の大気汚染物質について、国内発生源のみならず、長距離越境輸送や長期トレンド、特に降水酸性度の推移を注視しながら、モニタリングを継続していきます。また、越境大気汚染や酸性沈着の影響の早期把握や将来の影響を予測するため、EANET と密接に連携しつつ、大気及び生態影響モニタリングを実施していきます。

別紙1 越境大気汚染・酸性雨長期モニタリング報告書(平成25～29年度)の概要

別紙2 越境大気汚染・酸性雨長期モニタリング計画(平成31年3月改訂)

* 添付資料については、環境省報道発表資料 (<http://www.env.go.jp/press/106617.html>)
からご確認ください。

環境省水・大気環境局大気環境課			
直通	03-5521-9021		
代表	03-3581-3351		
課長	高澤 哲也	(6530)	
課長補佐	上尾 一之	(6556)	

越境大気汚染・酸性雨長期モニタリング報告書(平成 25～29 年度)の概要

1. この報告書について

環境省(庁)では昭和 58 年度(1983 年度)から酸性雨モニタリングを実施している。オゾンやエアロゾルも対象に越境大気汚染を監視することを明確にする観点から、現在は「越境大気汚染・酸性雨長期モニタリング計画(平成 26 年 3 月改訂)」に基づき、湿性沈着(降水)、大気汚染物質(ガス、エアロゾル)、土壌・植生、陸水及び集水域の各分野についてモニタリングを行っている。この報告書は、平成 25～29 年度(2013～2017 年度)の 5 年間のモニタリング結果を中心に取りまとめたものである。

2. 越境大気汚染・酸性雨長期モニタリングの目的

酸性雨原因物質、オゾン、PM_{2.5} 等の大気汚染物質の長距離越境輸送や長期トレンド等を把握すること、また、越境大気汚染や酸性沈着の影響の早期把握や将来の影響を予測することを目的として、東アジア酸性雨モニタリングネットワーク(EANET)と密接に連携しつつ、大気及び生態影響モニタリングを長期間実施する。

3. モニタリングの内容

酸性沈着の状況を把握するための大気モニタリングとして、湿性沈着モニタリング及び大気汚染物質モニタリングを、また、酸性沈着による生態系への影響を把握するための生態影響モニタリングとして、土壌・植生モニタリング、陸水モニタリング及び集水域モニタリングをそれぞれ実施した(表 1)。

表 1 越境大気汚染・酸性雨長期モニタリングの内容(2013～2017 年度)

	種類	内容	地点数
大気モニタリング	(1)湿性沈着モニタリング	降水(雨や雪)の pH や溶存するイオン成分の濃度等のモニタリング。降水量との積により各成分の地表面への沈着量を計算することを含む。	24 地点(2013 年度のみ 27 地点)
	(2)大気汚染物質モニタリング	大気中のガス状物質の濃度、粒子状物質の重量濃度やその中に含まれる成分の濃度等のモニタリング。風速等の気象条件からそれらの物質の地表面への沈着量を計算することを含む。	
生態影響モニタリング	(3)土壌・植生モニタリング	土壌の pH 等の状態やそれに含まれるイオン成分の濃度、樹木の衰退度や下層植生等のモニタリング。	25 地点
	(4)陸水モニタリング	河川、湖沼等の pH やそれに含まれるイオン成分の濃度等のモニタリング。	11 地点
	(5)集水域モニタリング	一定の流域(集水域)に着目して、大気や流出入する河川を通じた酸性物質等の物質収支とそれに伴う生態系への影響との関連を評価するためのモニタリング。	1 地点

4. モニタリング結果

(1) 大気モニタリングの結果

＜ポイント①＞ 降水の酸性度(pH) [本編 3.1.1] [本編 3.1.3]

日本の降水は引き続き酸性化した状態にあり、日本の降水 pH は、欧米及び EANET 各国と比べて低い。近年、中国の大気汚染物質排出量の減少とともに pH の上昇（酸の低下）の兆候がみられる。

- 国内の各地点における降水 pH の 5 年間(2013～2017 年度)の加重平均値(降水量を考慮した平均値)は、pH4.58～5.16 の範囲にあり、小笠原(5.16)、落石岬(5.10)、辺戸岬(5.07)で比較的高く、大分久住(4.58)、屋久島(4.65)、越前岬(4.67)で比較的低かった。全地点の 5 年間の加重平均値は 4.77 であり、降水は引き続き酸性化した状態にあるといえる(図 1)。
- 日本の降水 pH は、欧米及び日本を除く EANET 各国（カンボジア、中国、インドネシア、ラオス、マレーシア、モンゴル、ミャンマー、フィリピン、韓国、ロシア、タイ、ベトナム）の平均値と比べて低い(図 2-1)。降水を酸性化する酸の寄与と中和する塩基の寄与を各ネットワークの中央値を用いて地域間で比較してみると、欧米では両者がほぼ等しく、EANET 各国では塩基の寄与が酸より大きいのに対し、日本では酸と比べて塩基の寄与が小さく、酸の半分程度であることが一因と考えられる(図 2-2)。
- 近年、中国における硫黄や窒素の酸化物の排出量(本編 p.76～77 参照)の減少がみられることから、日本の降水への酸の寄与も低下傾向にあると考えられ、日本の降水 pH も近年は上昇の兆候がみられる(図 3)。



図1 pH分布図

2013年度/2014年度/2015年度/2016年度/2017年度 (5年間平均値)

--: 測定なし,**: 当該年平均値が有効判定基準に適合せず、棄却されたことを示す。
 平均値は降水量加重平均により求めた。八幡平、京都八幡、潮岬は2013年度末で測定を休止。
 五島では湿性沈着モニタリングは実施されていない。

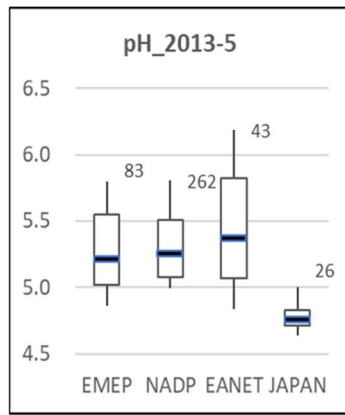


図 2-1 日本の降水 pH の国際ネットワーク (EMEP¹: 欧州、NADP²: 北米、EANET: 日本以外の東アジア) との比較

構成地点の 2013～2015 年(日本は年度)の降水量加重平均値の分布。図中の数値は地点数、箱ひげ図は各ネットワークデータの 10, 25, 50, 75, 90 パーセンタイル値³をそれぞれ示す。

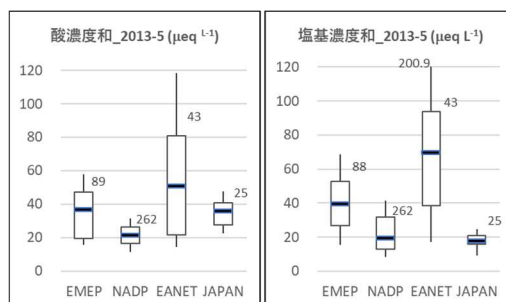


図 2-2 各ネットワークにおける酸（左）及び塩基（右）濃度和の比較

酸濃度和は $nss\text{-SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-$ 、塩基濃度和は $\text{NH}_4^+ + nss\text{-Ca}^{2+}$ (いずれも当量濃度)。

図中の数値及び箱ひげ図の説明は図 2-1 に同じ。

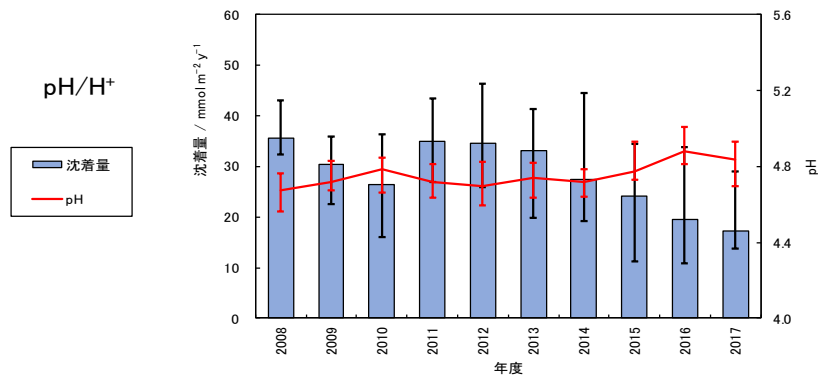


図 3 pH 及び水素イオン濃度・湿性沈着量(中央値)の経年変化(最近 10 年間)

エラーバーは、pH と水素イオン沈着量について、各年度の 25~75 パーセンタイル値の範囲

¹ EMEP: 長距離移動大気汚染物質モニタリング・欧州共同プログラム (Co-operative Program for Monitoring and Evaluation of the Long-Range Transmission of Air Pollutants in Europe)

² NADP: 米国国家大気降下物測定プログラム (National Atmospheric Deposition Program)

³ パーセンタイル値とは、対象とするデータ群を小さい方から並べたときに、指定された個数番目にある値を代表値とするもの。例えば、データが 100 個あったとすると、50 パーセンタイル値とは小さい方から数えて 50 番目の値であるということ。

を示す。データの完全度⁴が基準を満足しない年間値は含めずに計算した。

＜ポイント②＞ 降水に含まれる物質の季節変動 [本編 3.1.1]

酸性化した降水に含まれる非海塩性硫酸イオン等の濃度は、大陸に近い山陰等で冬季に顕著な上昇がみられることから、国内発生源に加えて大陸からの影響が示唆された。

- 降水中の非海塩性硫酸イオン(nss-SO_4^{2-})、硝酸イオン(NO_3^-)及びアンモニウムイオン(NH_4^+)の濃度を全国の地域別でみたところ、ほぼ同じ季節変動を示し、全体的に夏季に低く冬季に高くなる傾向がみられた(本編 p.37~42)。山陰及び本州中北部日本海側は大陸に近く影響を受けやすいが、他の地域に比べて冬季に顕著な上昇がみられることから、国内発生源に加えて大陸からの影響が示唆された(図 4)。

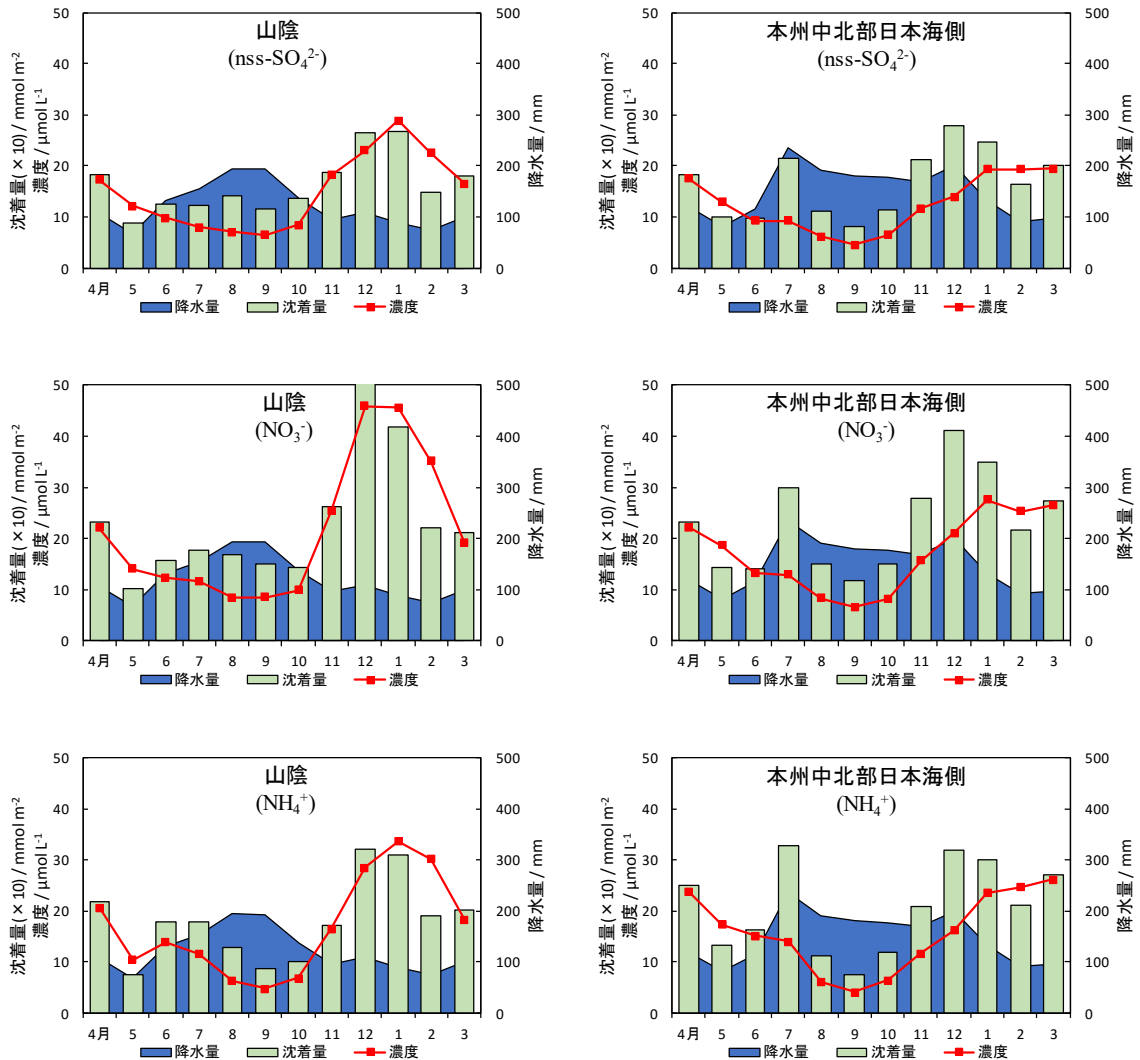


図 4 山陰及び本州中北部日本海側における降水中の非海塩硫酸イオン(nss-SO_4^{2-})、硝酸イオン(NO_3^-)及びアンモニウムイオン(NH_4^+)の濃度、沈着量及び降水量の季節変動(2013~2017 年度平均値)

⁴ 完全度とは、一定のモニタリング期間における有効なデータの比率をいう。

＜ポイント③＞ 大気汚染物質の季節変動 [本編 3. 1. 2]

大気汚染物質(ガス、エアロゾル)の季節変動の傾向は物質によって異なり、二酸化硫黄は冬季に高く北西季節風による大陸からの移流の影響が示唆された。オゾン及び粒子状物質は春季に高く、オゾンは大陸からの移流及び成層圏からの降下等、粒子状物質は黄砂飛来の影響が示唆された。

- 2013 年度～2017 年度 5 年間の月平均濃度を対象として、大気汚染物質(ガス、エアロゾル)の季節変動をみると、物質によって異なり、次のような傾向がみられた(本編 p. 47~50)。

二酸化硫黄(SO₂) : 全体的に夏季に低く、冬季に高い傾向がみられた。要因として、冬季に北西季節風が卓越する大陸からの移流の影響が示唆された。

窒素酸化物(NO_x*) : 全体的に一定の傾向はみられなかったが、例えば、伊自良湖で中京地域からの輸送で夏季に高い一方、橿原では冬季に高くなるなど、測定地点ごとに異なっていた。

オゾン(O₃) : 全体的に春季に最大となり、夏季には低い傾向がみられた。要因として、春季における大陸からのオゾンの移流及び成層圏からのオゾンの降下等が考えられ、夏季においては海洋性大気の流れによる低下等が指摘されている。大気モデルを用いた発生源寄与解析等の結果からも、春季にはオゾン移流の寄与が大きくなるとの報告がある。

粒子状物質(PM₁₀)及び微小粒子状物質(PM_{2.5})

: 全体的に春季に高い傾向がみられることから、黄砂飛来が影響していることが示唆された。

＜ポイント④＞ 大気汚染物質の長期的傾向等（オゾン及び粒子状物質以外） [本編 3. 1. 2]

大気中の二酸化硫黄(SO₂)及び粒子状非海塩性硫酸イオン(nss-SO₄²⁻)濃度は、大陸に近い西日本の測定地点で長期継続的に年平均濃度が高い傾向がみられ、それらの地点では大陸からの移流の寄与がより大きいことが示唆された。

- SO₂濃度については、日本海側の遠隔地域(国内発生源から十分な距離にある地域)では、大陸により近い西側の^{おき}隠岐が^{さく}佐渡^せ関^み岬と比べて長期継続的に濃度が高い傾向がみられたこと、粒子状非海塩性硫酸イオン(nss-SO₄²⁻)濃度については、西日本の測定地点が東日本の地点より高い傾向がみられたことから、西日本では大陸からの移流の寄与がより大きいことが示唆された(図 5)。
- SO₂濃度及び nss-SO₄²⁻濃度は、最近 5 年程度では低下の兆候がみられ、大陸における SO₂排出量の減少傾向を反映しているものと考えられた。
- なお、遠隔地域のうち、橿原、えびの及び屋久島については、SO₂濃度が比較的高いが、これは火山活動の影響が考えられた。

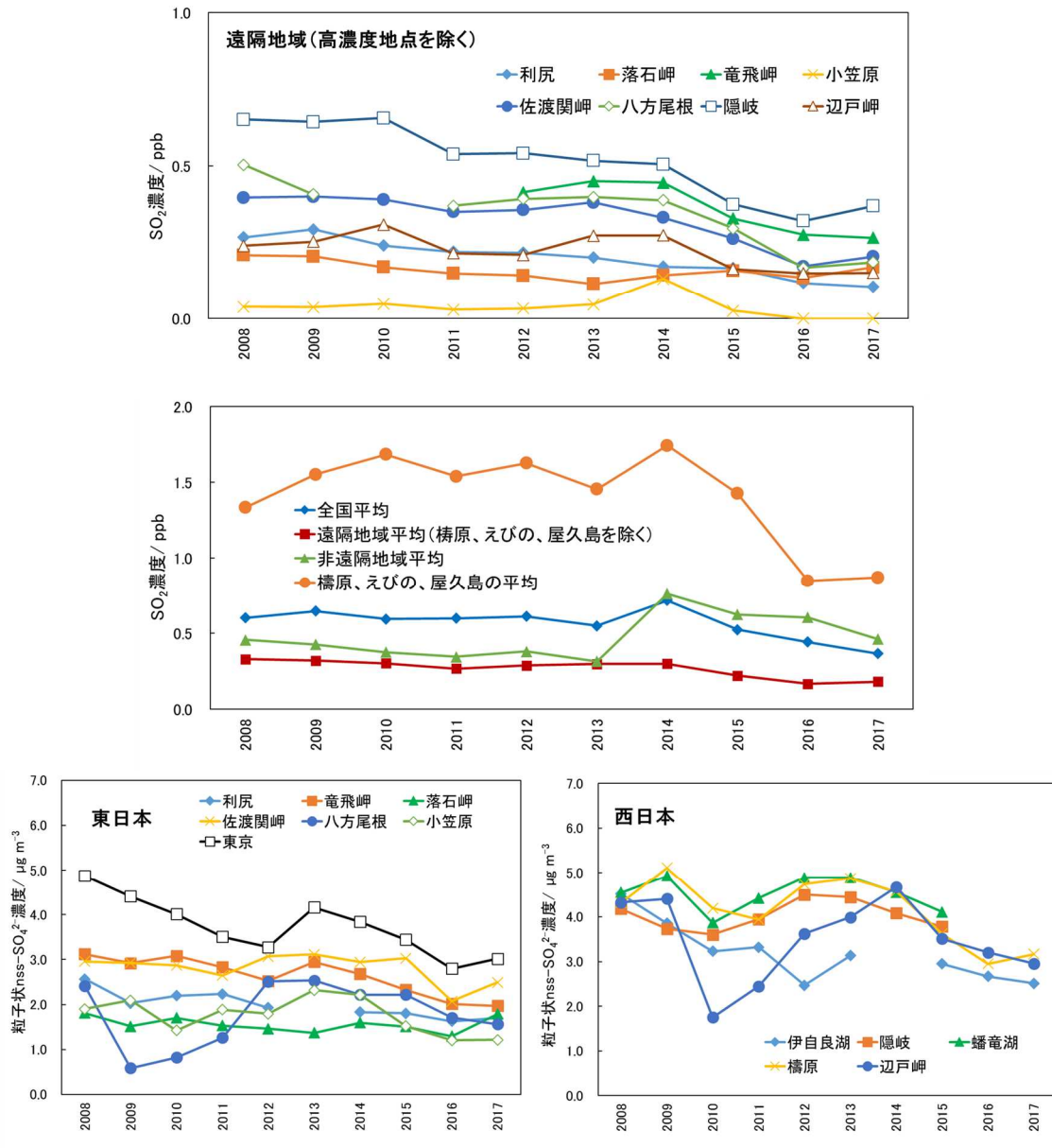


図5 二酸化硫黄 (SO₂) 濃度(上・中段)及び粒子状非海塩性硫酸イオン (nss-SO₄²⁻) 濃度(下段)の経年変化(最近10か年)

完全度が70%未満の年間値は表示しない。また、二酸化硫黄の非遠隔地域平均には、2013年度までの伊自良湖、蟠竜湖に、2014年度から札幌、箕岳、新潟巻、尼崎が加わっている。

(2) 土壌・植生モニタリングの結果

＜ポイント⑤＞ 森林生態系における土壌の化学的特性値の経年変化 [本編 3.2.1]
5年周期で地点ごとに実施している土壌モニタリングにおいて、多くの地点では土壌pHの長期的な上昇あるいは低下といった傾向は認められなかった。

- 土壌pH(H₂O)は、一部の地点を除きおおむね4.0～5.5の間に分布した。多くの地点では、一貫した上昇あるいは低下のような経年変化は認められなかった。(本編 p. 82-86)
- 現時点では、土壌酸性化が顕著に進んでいる地点はみられなかったが、長期的な傾向を把握するため、土壌モニタリングを継続していく必要がある。

＜ポイント⑥＞ 森林生態系の現状 [本編 3.2.1]

ほとんどの地点で樹木の衰退は確認されなかった。一部、樹木の衰退が確認された地点があったが、気象害や病虫害などの自然要因によるものと考えられ、大気汚染等の人為影響が原因とみられる森林の衰退は確認されていない。

- 土壌・植生モニタリング調査は、森林地域を対象として主に樹木影響に着目した 13 地域と土壌影響に着目した 6 地域の計 19 地域（25 調査地点）で、5 年に一度のローリング方式で行っている。
- 毎木調査に基づく胸高断面積合計は、一部のモニタリング地点を除いて増加傾向であり、樹木成長の観点からは森林衰退は確認されていない。（本編 p.93）
- 樹木衰退度調査では、大山隠岐、十和田八幡平、吉野熊野および磐梯朝日で、衰退度が高く、継続的に衰退度の上昇がみられる地点もあった。多くは気象害、病虫害、及び獣害によるものと考えられ、大気汚染等の人為的影響が原因とみられる森林の衰退は確認されていない。（本編 p.91~93）
- 土壌・植生モニタリングの調査地には国立・国定公園地域が多く含まれ、遷移後期にある天然林も対象としている。わが国の貴重な自然の現状を把握し、その保護・保全に役立てていく上で、本調査で得られるデータは貴重である。
- 現時点では、大気汚染・酸性沈着による森林生態系への影響は十分把握できていない。今後も変動する東アジアの大気環境下において、我が国の森林生態系がどのように応答していくのかを把握するために、土壌・植生モニタリングを継続することが必要である。

(3) 陸水モニタリングの結果

＜ポイント⑦＞ 酸性化からの回復の兆候 [本編 3.2.2]

ほとんどのモニタリング対象湖沼で、硫酸イオン濃度や硝酸イオン濃度の低下がみられた。

- 2006年以降の解析結果では、pHの有意な低下を示す地点がなくなる等、酸性化からの回復傾向がみられた。アルカリ度や陽イオン濃度の経年変化は地点によって差があるものの、ほとんどのモニタリング湖沼で硫酸イオン、硝酸イオン濃度は低下傾向にあった(表2)。
- 前回の報告書(平成20～24年度)では、2000年から2012年までの評価でpHやアルカリ度が有意に低下し酸性化が進行中であると示唆された夜叉ヶ池(福井県)においても、2006年以降2017年までの評価では、pHやアルカリ度の有意な低下傾向はみられなくなり、硫酸イオン濃度も低下していた(表2)。近年の東アジア地域の酸性物質の排出量の減少傾向を反映した、大気沈着量の減少に伴う陸水の酸性化からの回復の兆候と考えられる。
- 陸水の水質は大気沈着と森林生態系内での物質循環の結果を反映したものであることから、今後さらに変動する東アジアの大気環境下において、我が国の森林生態系がどのように応答し、回復していくかを見る上で、モニタリングを継続することが必要である。

表2 陸水モニタリング地点における水質の経年変化

湖沼名	解析開始年	試料数	Z-スコア ^{*2}										
			pH	電気伝導率	アルカリ度	硫酸イオン	硝酸イオン	塩化物イオン	アンモニウムイオン	ナトリウムイオン	カリウムイオン	カルシウムイオン	マグネシウムイオン
今神御池	2001	66	1.46	0.02	0.64	-0.11	-0.07	0.60	0.83	1.99	2.90	2.27	3.48
	2006	48	1.61	-0.24	-0.17	-2.57	-0.66	0.24	-1.27	-1.03	1.82	3.60	3.16
刈込湖	2003	60	1.66	3.19	5.07	1.81	-3.06	2.23	-0.11	3.39	4.61	3.81	4.24
	2006	48	2.09	2.26	3.67	3.12	-3.86	2.40	-1.07	3.81	4.40	3.33	3.44
大島池	2003	59	4.23	2.53	2.74	-3.98	-0.08	-2.08	-0.11	0.30	4.23	1.57	1.87
	2006	47	2.75	0.21	2.75	-5.01	-2.31	-1.98	-0.60	0.32	3.11	1.80	0.21
夜叉ヶ池	2000	69	-2.34	-2.88	-2.97	-3.85	1.55	-3.24	-2.27	-3.10	-2.99	-5.57	-4.61
	2006	46	0.69	-1.82	0.81	-2.95	1.64	-1.13	-0.98	-1.13	-3.14	-4.70	-3.01
雄池	1998	60	2.60	2.66	5.44	0.54	-3.07	-3.66	-1.66	4.94	0.45	3.10	1.49
	2006	35	0.21	2.27	5.47	-6.54	-5.93	-1.48	0.14	1.96	-0.16	0.51	-2.01
雌池	1998	60	0.75	-5.26	-0.77	-2.77	-5.80	-3.58	-3.13	0.38	-3.57	-4.94	-6.30
	2006	35	1.03	-5.84	-0.05	-7.33	-5.65	-2.90	0.07	-3.93	-4.20	-6.99	-7.07
伊自良湖	1989	112	-0.61	1.09	4.89	-0.99	0.30	-4.71	-4.15	-3.11	-5.38	-1.07	-2.27
	2006	44	0.69	-3.79	-3.22	-1.15	-2.83	-4.98	-2.97	-3.22	-2.49	-4.36	-3.18
釜ヶ谷川	1989	116	-2.23	-0.64	2.13	-1.78	0.10	-4.01	-4.21	-2.16	-3.80	-3.37	-3.46
	2006	48	0.93	-3.74	-2.09	-2.16	-5.79	-5.69	1.12	-4.08	-1.96	-3.67	-3.74
孝洞川	1989	92	4.62	2.14	2.93	2.22	-0.69	-4.41	-4.35	-0.34	-0.58	-2.61	-1.79
	2006	41	4.07	-2.02	-0.55	-0.76	-3.40	-4.87	*1	-2.48	0.17	-2.81	-2.31
沢の池	2003	60	3.34	-3.76	2.97	-2.82	-0.50	-4.92	1.91	1.71	-0.30	-1.76	0.00
	2006	48	2.57	-3.16	1.47	-3.02	1.41	-4.77	1.63	1.47	-1.85	-5.38	-1.06
蟠竜湖	1989	116	1.22	5.43	5.30	-2.60	-1.53	6.87	3.91	6.43	0.61	3.58	6.32
	2006	48	-1.47	-1.72	-1.37	-1.99	-2.94	0.75	0.46	-1.20	-2.78	1.54	0.62

-	+	5%未満の危険率で有意
-	+	1%未満の危険率で有意
-	+	0.1%未満の危険率で有意

*1. 定量限界未満。

*2. 単調な上昇又は低下傾向の程度を示す統計量。正の値は上昇傾向、負の値は減少傾向を示し、0から離れるほどより単調に上昇又は低下する傾向にあることを示す。

(4) 集水域モニタリングの結果

<ポイント⑧> 伊自良湖集水域モニタリング [本編 3.2.3]

酸性沈着による影響を継続監視している伊自良湖集水域では、降水や河川水において溶存態無機窒素濃度の低下や pH の上昇傾向がみられており、窒素飽和や酸性化からの回復が示唆された。

- 伊自良湖集水域（岐阜県）では、降水由来の硫黄や窒素の流入量が低下傾向にあり、特に溶存態無機窒素濃度についてはそれに応答し流出量も低下傾向にあることが示された。また降水濃度や河川水濃度も同様の傾向であった(図 6)。河川水の年加重平均 pH も 2006 年から 2017 年までに 6.8 から 7.0 まで上昇して 1990 年代前半のレベルに戻りつつあることから、伊自良湖集水域は、大気からの汚染物質の流入量の低下により、窒素飽和、酸性化から回復しつつあることが示唆された（本編 p.108～109 参照）。
- 引き続き、伊自良湖集水域の窒素飽和、酸性化の傾向を把握するため、現状のモニタリングを継続する必要がある。

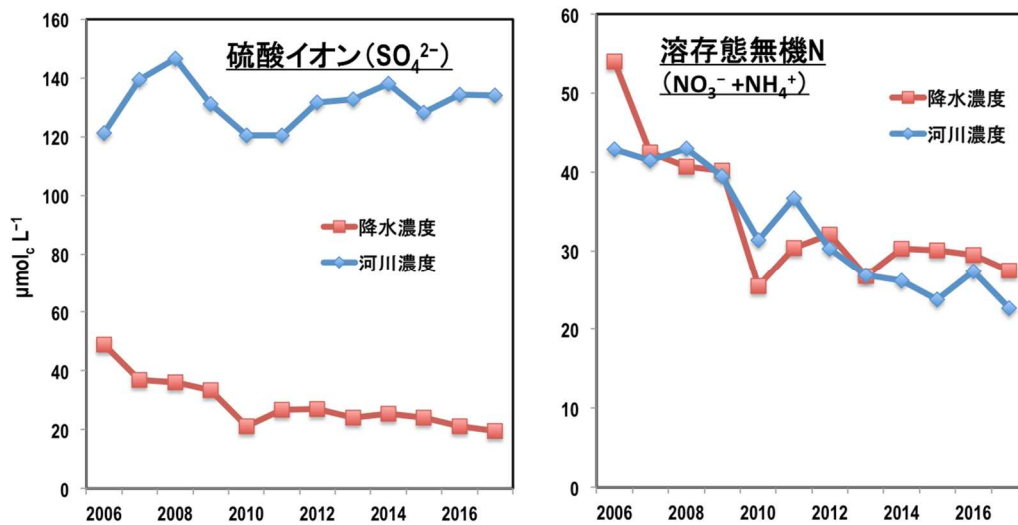


図 6 伊自良湖集水域における硫酸イオン(SO₄²⁻)及び溶存態無機窒素(N)の加重平均濃度の経年変化

(5) その他

＜ポイント⑨＞ オゾンによる植物影響の可能性 [本編 3. 2. 4]

これまで明らかになっていなかった森林・山岳地域の植物成長時期におけるオゾン濃度の調査により、八海山や英彦山での現状のオゾン濃度は、樹木の成長量低下を引き起こす可能性があるレベルであることが示唆された。

- 山岳地域においては、都市部と比べて日内変動があまり大きくないことから、一旦高濃度になった場合には、その曝露時間や曝露量が大きくなることによって、植物への影響がより顕著になることが懸念される。
- 八海山（新潟県）や英彦山（福岡県）^{ひこきん}では、現時点において、オゾンによる樹木への影響は確認されていない。一方で、樹木成長への影響指標である「40 ppb を超えたオゾン濃度の積算値(AOT40⁵)」をみると、これまでの苗木を用いた2年程度の曝露実験データに基づくと、一成長期（6ヶ月）におけるブナの成長量を10%低下させるとの報告があるレベル（8～15ppm・h）にあった(表3)。
- 今後も、これらの地域において、オゾン濃度のモニタリングや樹木の状況について観測していくことは必要である。

⁵ AOT40（Accumulated exposure Over a Threshold of 40ppb）は40 ppb を超えたオゾン濃度の積算値。ここでは5～10月の樹木成長期に合わせて6時から18時まで積算した。

表3 摩周湖外輪山(上段)、八海山(中段)、及び英彦山(下段)における樹木成長期(5~10月)のオゾン濃度の概況と影響指標

摩周湖外輪山					
年	2013	2014	2015* ¹	2016* ²	2017* ³
95パーセンタイル値	40	35	32	30	54
中央値	22	20	20	18	30
5パーセンタイル値	9.3	11	10	7.7	14
AOT40(ppm・h)	0.39	0.23	0.01	-	2.4
八海山					
年	2013* ⁴	2014	2015	2016	2017* ⁵
95パーセンタイル値	52	78	77	69	80
中央値	35	46	46	43	47
5パーセンタイル値	12	27	25	24	26
AOT40(ppm・h)	2.3	<u>19.5</u>	<u>19.4</u>	<u>13.8</u>	<u>15.9</u>
英彦山					
年	2013	2014	2015	2016* ⁶	2017* ⁶
95パーセンタイル値	73	72	69	69	74
中央値	42	41	42	38	40
5パーセンタイル値	17.5	13	13	13	15
AOT40(ppm・h)	<u>16.8</u>	<u>15.7</u>	<u>15.4</u>	<u>11.8</u>	<u>15.4</u>

*1. 測定期間：6~10月。*2.測定期間：7~10月。*3. 測定期間：5~8月。*4. 測定期間：5月下旬から。*5. 測定期間：5~9月。*6. 測定期間：5月初旬欠測。

＜ポイント⑩＞ 生態系に流入する越境大気汚染由来の物質 [本編 4.2]

硫黄同位体比分析の結果から、冬季の北西季節風により、アジア大陸由来の硫酸化物も飛来していることが示唆された。日本海側でより顕著であるが、太平洋側においても、国内発生源の影響に加えての越境大気汚染の影響が示唆された。

- 太平洋側内陸に位置する伊自良湖集水域は、従来、中京工業地域で汚染物質が移流される国内発生源の影響が大きいとされ、降水による硫酸イオン(SO_4^{2-})沈着量は、夏季(7-9月)に沈着量が多いことが知られてきた。しかしながら、降水中の非海塩性硫黄(nss-S)の同位体比は、日本海側にある加治川集水域と同様、冬季に上昇し、アジア大陸から吹き付ける北西季節風により、国内発生源からの影響に加えての硫酸化物も飛来していることが示唆された(図7)。
- 降水の水素・酸素同位体比(d-excess 値)⁶は、伊自良湖集水域と加治川集水域で同様に、冬季に高くなる明瞭な季節性を示した(図8)。冬季にアジア大陸から吹き出す冷たい乾いた大気に日本海から急激に水蒸気が供給される際、水蒸気の同位体分別が生じるからであり、太平洋側内陸に位置する伊自良湖集水域も冬季には大陸から日本海を輸送される気団の影響を受けていることが示唆された。
- いずれの結果も日本海側の加治川集水域だけでなく太平洋側の伊自良湖集水域においても、越境大気汚染の影響を受けていることが示唆された。

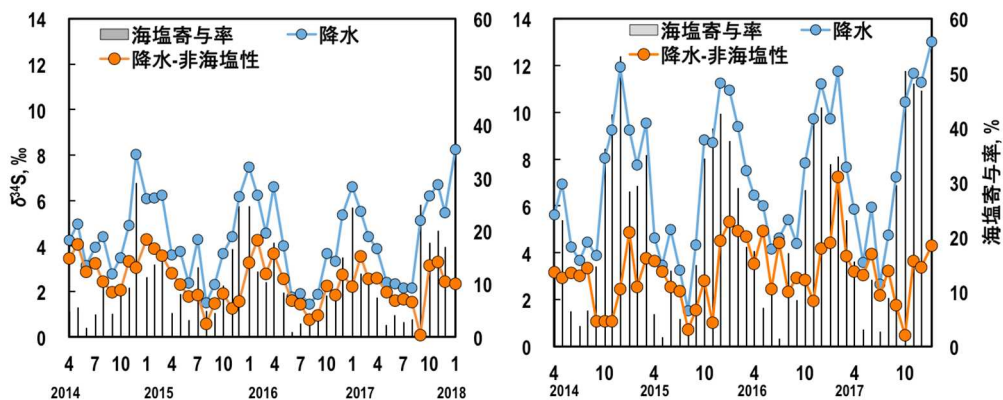


図7 伊自良湖集水域(左)と加治川集水域(右)における降水の硫黄同位体比($\delta^{34}\text{S}$)

⁶ 水の水素及び酸素の同位体比から計算される指標値で、水蒸気の起源を反映する： $\delta^2\text{H} - 8 \times \delta^{18}\text{O}$

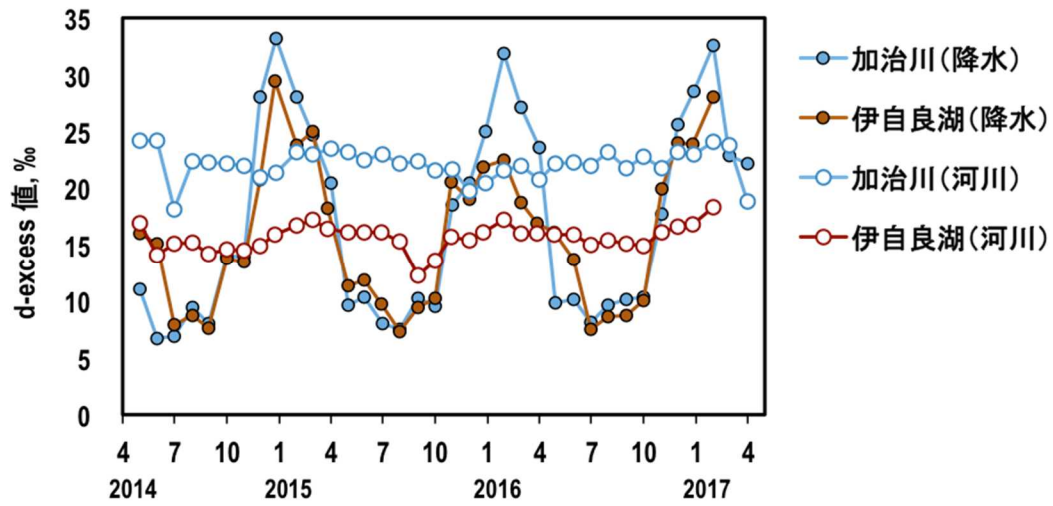


図8 伊自良湖集水域と加治川集水域における降水及び河川水の酸素・水素同位体比
(d-excess 値 : $\delta^2\text{H} - 8 \times \delta^{18}\text{O}$)

<ポイント⑪> 森林集水域における大気由来物質の動態 [本編 4.3]

降水中の硫黄は土壌における吸着や植物による吸収等、生態系内で保持・循環されてから、河川に流出していることが同位体比分析で示唆された。

- 降水中の硫黄同位体比が明確な季節性を示すのに対し、土壌溶液及び河川水の硫黄同位体比は年間を通じて安定していた(図 9)。降水の硫黄同位体比の年間の加重平均値は河川水のそれに近い値をとることから、降水に含まれる大気由来の硫黄がそのまま河川に流出するのではなく、土壌における吸着や植物による吸収等、生態系内で保持・循環し均質化されてから、河川流出していることを示唆していた。
- 河川水の水素・酸素同位体比(d-excess 値)は、降水のそれとは異なり年間を通じてほぼ一定であった(図 8)。森林集水域に流入した降水は、循環・滞留、均質化されてから陸水に流出していることが示唆される。

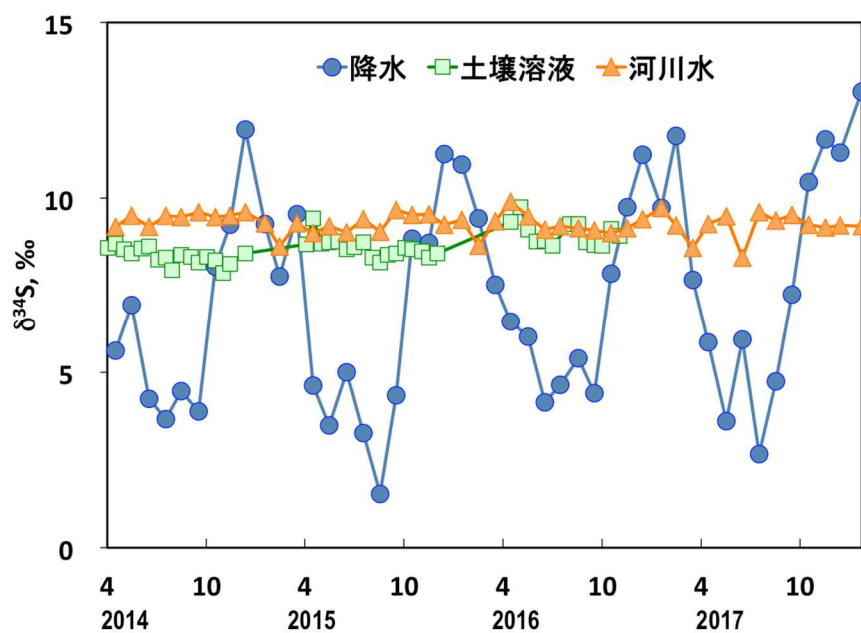


図 9 加治川集水域における降水、土壌溶液、河川水中の硫黄同位体比 ($\delta^{34}\text{S}$)

土壌溶液は全地点の平均

＜ポイント⑫＞ オゾンの長期的傾向 [本編 5. 1]

オゾン濃度の日最高 8 時間平均値の年間 99 パーセンタイル値⁷の 3 年移動平均値の推移を調べたところ、国内 23 地点中 9 地点で有意な低下傾向がみられた。

- 長期的傾向をみるため、2005 年度から 2017 年度における国内 23 地点でのオゾン濃度の日最高 8 時間平均値の年間 99 パーセンタイル値の 3 年移動平均値を用いて解析したところ、利尻(-1.3 ppb y⁻¹)、竜飛岬(-2.4 ppb y⁻¹)、佐渡関岬(-0.8 ppb y⁻¹)、八方尾根(-2.1 ppb y⁻¹)、辺戸岬(-0.8 ppb y⁻¹)、赤城(-3.1 ppb y⁻¹)、新潟巻(-1.3 ppb y⁻¹)、えびの(-3.3 ppb y⁻¹)、屋久島(-1.1 ppb y⁻¹)の以上 9 地点で有意な減少傾向($p < 0.05$)がみられた。一方、対馬(+1.1 ppb y⁻¹)では有意な増加傾向($p < 0.05$)がみられた。その他 13 地点では、有意な増減傾向はみられなかった。(本編 p.145 参照)

⁷ 光化学オキシダントの大部分を占めるオゾンについて、自動連続測定されている 1 時間値から日最高 8 時間平均値を算出し、それらの 1 年分を小さい方から順に並べたときに 99% (362 番目) の位置にある値。高濃度イベントを反映しつつ、気象状況や年々変動の影響を受けにくく、オゾンの生態影響に関する研究成果とも整合性のある評価指標であり、主に長期変動の評価に利用されている。

5. 越境大気汚染・酸性雨長期モニタリングに関する今後の主な課題

(1) 国内における取組の推進

- 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蓄積により急激に酸性化による影響が発現する可能性があることから、今後も長期モニタリングを着実に実施していく必要がある。
- PM_{2.5} や対流圏オゾン等による健康影響についての国民の関心が高く、モニタリングに比重をおくべき項目も変化していることから、このことにも対応しつつ総合的、長期継続的なモニタリングを実施していく必要がある。また、測定現場の技術水準を維持するためには、モニタリングに関わっている地方公共団体と環境省の一層緊密な連携・協力が重要である。
- 一方で、今後も機器更新を含む測定所の維持管理を限られた予算で適切に行いつつ、高品質のモニタリングデータの取得を継続していくためには、これまでのモニタリング結果等を踏まえて、測定所の集約化を念頭に置いたモニタリング計画の見直しが必要である。
- 酸性沈着やオゾン等による越境大気汚染の状況を総合的かつ正確に解析評価するためには、分析機関間比較調査等の分析向上に向けた取り組みを充実させるなどして、さらにモニタリングを進める必要がある。土壌や地質の酸緩衝能が小さく硫黄酸化物や窒素酸化物による酸性沈着量の多い地域等、酸性化のリスクが高い可能性がある地域を優先して大気由来の物質の生態影響の解明を進めていくため、集水域モニタリングのような大気沈着の影響を含めた総合的な判断を継続していく必要がある。さらに、大気由来の物質の生態系内での挙動・動態を明らかにしていくために、同位体モニタリングを必要に応じて実施する。
- オゾンの植物影響に関するパイロット・モニタリングを継続し、高濃度オゾンが観測される山岳・森林地域における汚染の実態とオゾンによる影響の兆候を監視するとともに、大気汚染とそれ以外の要因(病虫害等)による複合影響の実態に関する情報収集に努める必要がある。さらに、粒子状物質とオゾンが森林樹木に及ぼす複合影響を解明するための取組も必要である。
- 長期モニタリングデータを解析・評価し、現状を正確に把握することによって、PM_{2.5} 排出抑制策や光化学オキシダント濃度の改善等につなげていくため、排出インベントリや数値モデル、衛星観測等との取組の連携を積極的に進める必要がある。また、長期モニタリングデータは、越境大気汚染の移流・拡散を計算する数値モデルの検証データとして大変重要であり、将来予測に重要なモデルの精緻化にも大きく貢献することが期待される。

(2) 国際的な取組の推進

- 東アジア全体の汚染状況を把握するために、今後も東アジア酸性雨モニタリングネットワーク(EANET)参加国へ働きかけ、従来の狭義の酸性雨の枠に捉われず、PM_{2.5}やオゾン等の今日的な大気汚染について、最新の科学的知見をこれらの国々とも共有することにより、モニタリングを充実させていく必要がある。
- 我が国の経験と技術を活用し、アジア各国が清浄な大気を共有できるよう、地域協力の強化に取り組むことが必要である。日中韓三ヵ国環境大臣会合(TEMM)に基づく日中韓による取り組み、中国や韓国との二国間連携の強化、アジア太平洋クリーン・エア・パートナーシップ(APCAP)等の大気汚染に関する既存の国際的な組織等との連携により、我が国への越境大気汚染の緩和に繋がる国際協力を推進していくことが必要である。
- 酸性雨とその影響に関する科学者会合である第10回酸性雨国際会議が、2020年に新潟市で開催される予定である。従来の狭義の酸性雨の枠に捉われず、PM_{2.5}やオゾン等の今日的な大気汚染とその影響を含む会合として開催されることが有意義と考えられるところであり、最新の科学的知見をアジア諸国とも共有するとともに、我が国が主導したEANETの20年間の成果を広くアピールすることが望まれる。また、これにより、今後、EANETの発展の方向性について議論が深まる契機となることも期待される。

(別紙2)

越境大気汚染・酸性雨 長期モニタリング計画

平成14年3月

平成21年3月改訂

平成26年3月改訂

平成31年3月改訂

環 境 省

目 次

1. はじめに	1
2. 越境大気汚染・酸性雨長期モニタリングの目的.....	2
3. 越境大気汚染・酸性雨長期モニタリングの実施体制.....	3
3.1 モニタリングの構成.....	3
3.2 実施機関	3
3.3 関係機関	3
4. 大気モニタリングの実施内容.....	4
4.1 大気モニタリングの目的.....	4
4.2 モニタリングの項目、頻度及び方法.....	4
4.2.1 湿性沈着（降水）	4
4.2.2 大気汚染物質（ガス、エアロゾル）	5
4.3 大気モニタリング地点.....	6
5. 生態影響モニタリングの実施内容.....	9
5.1 土壌・植生モニタリング.....	9
5.1.1 土壌・植生モニタリングの目的.....	9
5.1.2 モニタリングの項目、頻度及び方法.....	9
5.1.2.1 森林植生モニタリング.....	9
5.1.2.2 土壌モニタリング.....	10
5.1.3 モニタリング地点.....	11
5.1.4 モニタリング設計.....	12
5.2 陸水モニタリング.....	12
5.2.1 陸水モニタリングの目的.....	12
5.2.2 陸水モニタリングの項目、頻度及び方法.....	12
5.2.3 陸水モニタリング地点.....	14
5.3 集水域モニタリング.....	15
5.3.1 集水域モニタリングの目的.....	15
5.3.2 集水域モニタリングの項目、頻度及び方法.....	16
5.3.3 集水域モニタリング地点.....	16
5.4 その他の生態影響モニタリング.....	17
5.4.1 要監視地域における同位体モニタリング.....	17
5.4.2 オゾンによる植物影響モニタリング.....	17
6. 越境大気汚染・酸性雨長期モニタリングの結果の集計、評価及び公表.....	17
7. 越境大気汚染・酸性雨長期モニタリング計画の実施及び見直し.....	17

1. はじめに

東アジア地域では、大気汚染等の深刻な環境問題を抱えつつ経済が急速に発展しており、酸性雨を含む越境大気汚染とそれに伴う人、生態系等への影響が懸念されている。

環境省（庁）は、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、昭和 58 年度に酸性雨対策調査を開始し、これまで大気、土壌・植生、陸水の各分野で酸性雨モニタリングを実施してきた。札幌局における湿性沈着モニタリングは 35 年以上、伊自良湖及び蟠竜湖における陸水モニタリングは 30 年以上の長期継続的なモニタリングデータが蓄積しているなど、我が国の酸性雨の実態及びその影響の評価等に対して大きな役割を果たしてきた。また、国際的にも、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、東アジア酸性雨モニタリングネットワーク（EANET）を我が国から提唱し、2 年余りの試行稼働を経て、平成 13 年 1 月から本格稼働を開始しているところである（EANET には現在 13 カ国（カンボジア、中国、インドネシア、日本、ラオス、マレーシア、モンゴル、ミャンマー、フィリピン、韓国、ロシア、タイ、ベトナム）が参加）。

我が国における酸性雨による生態系等への影響は、現段階で必ずしも明確となっていないが、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、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。そのため、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、中・長期的な方向性を示すものとして、平成 14 年 3 月に「酸性雨長期モニタリング計画」を策定し、平成 15 年度よりこの計画に基づくモニタリングを実施してきた。

その後、平成 21 年 3 月には、平成 15～19 年度のモニタリング結果を踏まえ、集水域調査の追加、湿性沈着モニタリング地点の見直し等を行うとともに、越境大気汚染問題への関心の高まりを受け、酸性沈着のみならず、オゾンや PM_{2.5} 等の粒子状物質も対象に越境大気汚染を監視することを明確にするとの観点から、内容を一部改訂するとともに計画の名称を「越境大気汚染・酸性雨長期モニタリング計画」に改めて、モニタリングを実施してきた。また、平成 20～24 年度のモニタリング結果及び微小粒子状物質（PM_{2.5}）等の大気汚染物質に対する国民の関心の高まりを受け、平成 26 年 3 月には、モニタリング地点の見直し、PM_{2.5} モニタリングの拡充、要監視地域における重点モニタリングの開始等の一部改訂を行った。

本モニタリングでは、PM_{2.5} 等の大気汚染物質の越境汚染による状況を把握するため、これまで標準法と等価性の確保された PM_{2.5} 測定機を多数の測定所に配備し、越境輸送による濃度上昇の把握に大きな役割を担ってきたところである。一方で、中国を始めとする東アジア地域においては大気汚染物質排出量の削減による大気質の改善が期待され、平成 25～29 年度のモニタリング結果によれば、我が国の降水酸性度は欧米諸国に比べて高い傾向にはあるものの、低下の兆候がみられるとともに、PM_{2.5} 濃度についても近年低下傾向がみられており、今後もこの傾向が継続されるか否かを注視しながら観測を継続する必要がある。こ

これらの状況を踏まえ、我が国の国内発生源及び越境大気汚染・酸性雨の実態と影響について精度を維持するとともに合理化を図りつつ継続して把握するため、今回、モニタリング地点の見直し等による「越境大気汚染・酸性雨長期大気汚染物質長期モニタリング計画」の一部改訂を行うものである。

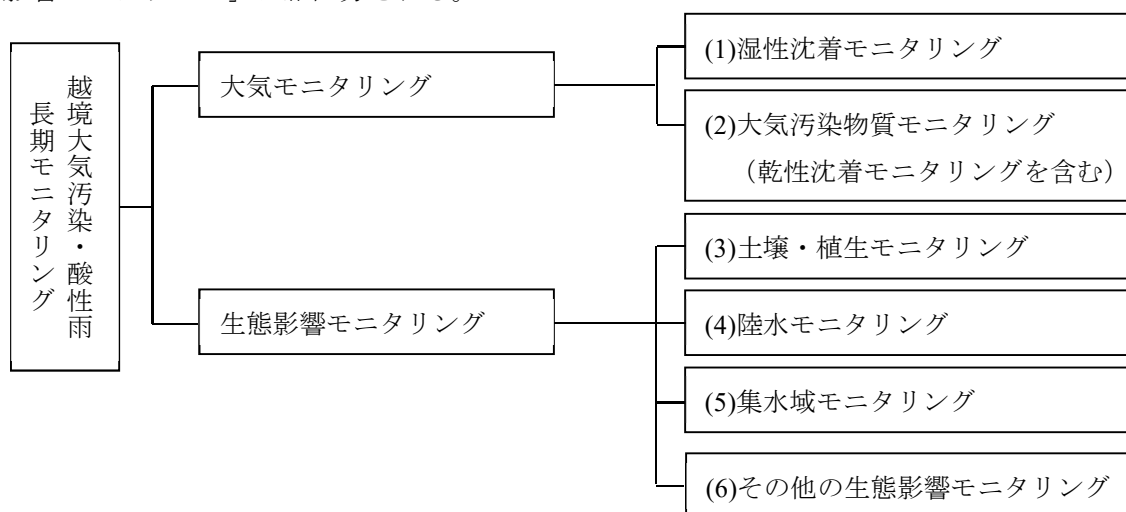
2. 越境大気汚染・酸性雨長期モニタリングの目的

酸性雨原因物質、オゾン、PM_{2.5}等の大気汚染物質について、国内発生源のみならず、長距離越境輸送や長期トレンド、特に降水酸性度の推移を注視しながらモニタリングを継続する。また、越境大気汚染や酸性沈着の影響の早期把握や将来の影響を予測するため、EANET と密接に連携しつつ、大気及び生態影響モニタリングを長期間実施する。

3. 越境大気汚染・酸性雨長期モニタリングの実施体制

3.1 モニタリングの構成

越境大気汚染・酸性雨長期モニタリングは、「大気モニタリング」及び「生態影響モニタリング」から構成される。大気モニタリングは、降水成分を測定する「湿性沈着モニタリング」及びエアロゾル成分とガス成分を測定する「大気汚染物質モニタリング」に細区分され、後者は酸性物質の「乾性沈着モニタリング」を含む。また、生態影響モニタリングは、「土壌・植生モニタリング」、「陸水モニタリング」、「集水域モニタリング」及び「その他の生態影響モニタリング」に細区分される。



3.2 実施機関

越境大気汚染・酸性雨長期モニタリングに関する業務は、次の機関が実施する。

項目	機関
①企画、調整	環境省 一般財団法人日本環境衛生センターアジア大気汚染研究センター*
②サンプリング	受託地方公共団体 その他受託機関
③分析	受託地方公共団体 一般財団法人日本環境衛生センターアジア大気汚染研究センター その他受託機関
④精度保証/精度管理(QA/QC)	受託地方公共団体 一般財団法人日本環境衛生センターアジア大気汚染研究センター
⑤データ集計・解析・評価	環境省 一般財団法人日本環境衛生センターアジア大気汚染研究センター

* EANETのネットワークセンターであり、我が国の国内センターに指定されている。

3.3 関係機関

越境大気汚染・酸性雨長期モニタリングを実施するに当たり、環境省は、一般財団法人日本環境衛生センターアジア大気汚染研究センターを始めとする次の機関と緊密な連絡調整

を図る。

- ・一般財団法人日本環境衛生センターアジア大気汚染研究センター
- ・東アジア酸性雨モニタリングネットワーク事務局（国連環境計画アジア太平洋地域事務所）
- ・関係省庁
- ・関係地方公共団体

4. 大気モニタリングの実施内容

4.1 大気モニタリングの目的

大気モニタリングは、国内発生源及び越境大気汚染の影響を検討し、近年の降水酸性度の低下傾向の継続等を確認しながら、日本国内における酸性物質、オゾン、PM_{2.5}等の大気汚染物質の濃度及び沈着実態を評価することを目的として実施する。モニタリング地点を分類すると①遠隔地域、②田園地域、③都市地域に大きく3つに分けられる。

4.2 モニタリングの項目、頻度及び方法

湿性沈着モニタリングについては下記 4.2.1、大気汚染物質モニタリングについては下記 4.2.2 のとおりとする。なお、降水量等の気象項目についても適宜観測するものとする。

4.2.1 湿性沈着（降水）

ア) 項目

電気伝導率（EC）、pH、イオン成分濃度（SO₄²⁻、NO₃⁻、Cl⁻、NH₄⁺、Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺）

イ) 頻度（分析単位）

試料の分析は、EANET 局**においては原則として日ごとに行い、生態影響の監視を主目的とする測定局及びその他の局は週ごとに行う。

ウ) 方法

降水時開放型捕集装置で捕集し、下表の方法で測定を行う。

項 目	測 定 装 置 ・ 方 法
電気伝導率（EC）	電気伝導率計（電気伝導率セル法）
pH	pH メーター（ガラス電極法）
SO ₄ ²⁻ 、NO ₃ ⁻ 、Cl ⁻	イオンクロマトグラフ法
NH ₄ ⁺	イオンクロマトグラフ法又は分光光度法（インドフェノール法）
Na ⁺ 、K ⁺ 、Ca ²⁺ 、Mg ²⁺	イオンクロマトグラフ法又は原子吸光光度法

4.2.2 大気汚染物質（ガス、エアロゾル）

（1）自動測定

ア）項目

SO₂、O₃、NO_x、PM₁₀、PM_{2.5}

測定局ごとの測定項目は、下記 4.3 のとおりとする。

イ）頻度

連続測定とし、1時間値をとりまとめる。

ウ）方法

自動測定装置を用いて行う。

項目	測定方法
SO ₂	紫外線蛍光法（高感度型）
O ₃	紫外線吸光法
NO _x	化学発光法（高感度型）
PM ₁₀ /PM _{2.5}	β線吸収法、TEOM法

PM_{2.5}計は標準法との等価性が得られた機種を用いる。また、PM_{2.5}成分自動測定機（水溶性成分、金属成分等）を設置し、PM_{2.5}重量濃度データの評価等に活用する。

（2）手動測定（EANET局のみ）

ア）項目

ガス成分濃度（SO₂、HNO₃、HCl、NH₃）

エアロゾル(全粒径)成分濃度（SO₄²⁻、NO₃⁻、Cl⁻、NH₄⁺、Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺）

イ）頻度

原則として2週間吸引した値を測定する。ただし、ガス成分及びエアロゾル成分の濃度が高い地点では1週間吸引するものとする。

ウ）方法

フィルターパック法により行う。

（3）乾性沈着量（EANET局のみ）

EANETの標準法である"Technical Manual on Dry Deposition Flux Estimation in East Asia"(EANET, 2010)に基づき、乾性沈着量を算出する。算出にあたっては、必要な気象要素（風向風速、降水量、温湿度及び日射量）の測定も実施する。

**** EANET局**：東アジアの13か国が参加する、東アジア酸性雨モニタリングネットワーク（EANET）が推奨する統一された手法により、湿性沈着及び乾性沈着のモニタリングが実施されている測定局。東アジア全域で62局、日本国内には12局が登録されている（2016年時点）。取得されたモニタリングデータはネットワークセンターにより集計され、毎年公開されるとともに、5年ごとに解析報告書が出版されている。

4.3 大気モニタリング地点

酸性雨原因物質、オゾン、PM_{2.5}等の大気汚染物質について、国内発生源のみならず長距離越境輸送による影響の把握を行うために必要な大気モニタリングを継続していく一方で、予算の制約等が厳しい状況の中で、これまでのモニタリング状況及び近傍の測定所との代替可能性等を総合的に勘案してモニタリングの合理化を図るための地点の見直しについて検討した。

その結果は、次表に示すとおりであり、平成30年度末を目途にモニタリングを終了する測定所は、竜飛岬、越前岬、蟠竜湖及び大分久住、の4地点である。なお、EANET局数を維持する観点から、竜飛岬については新潟巻を、蟠竜湖については対馬を代替のEANET局として選定する。

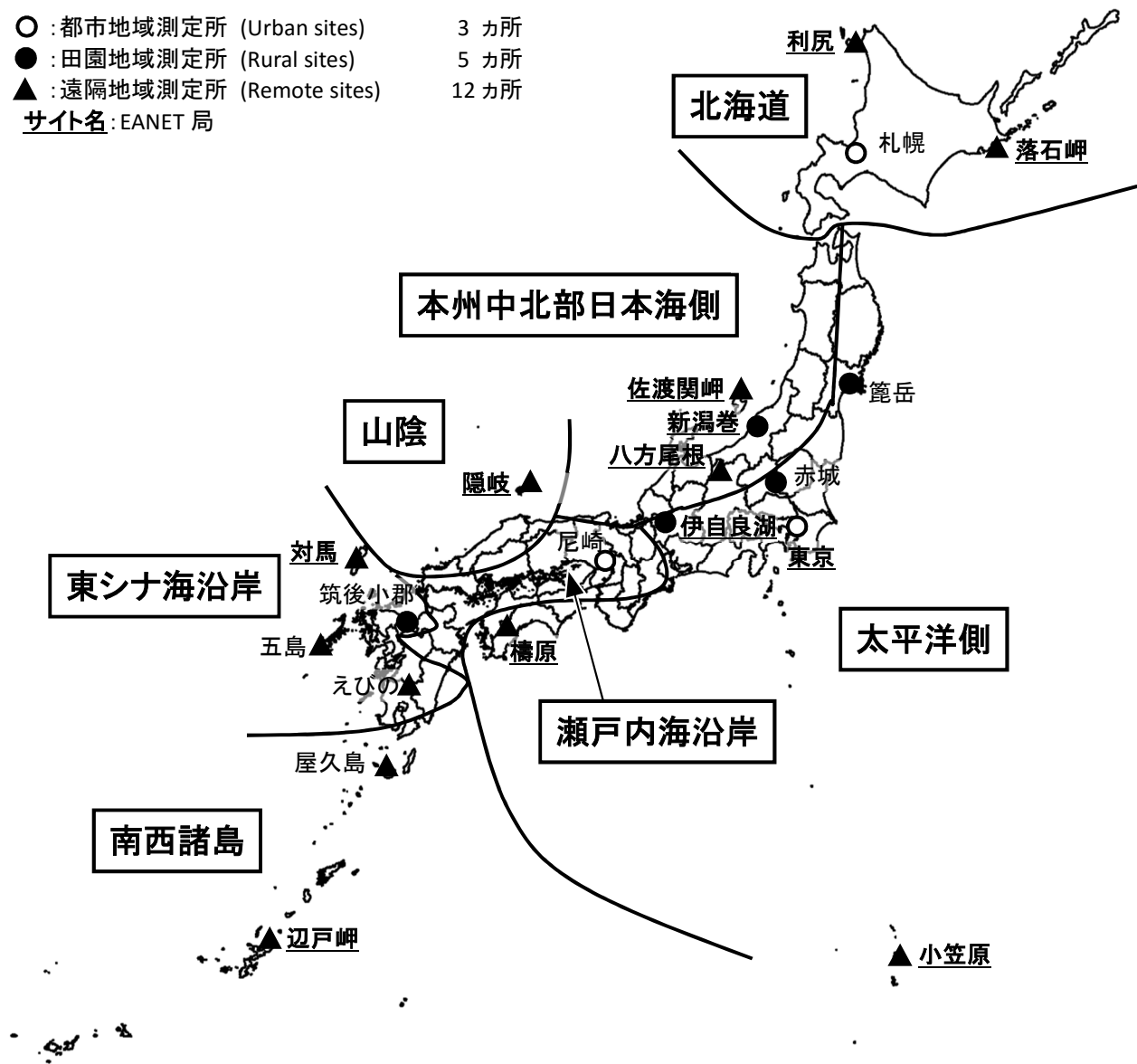
これにより、モニタリング地点数は、酸性雨測定に関するものについては4地点の減少となるが、PM_{2.5}成分自動測定機を設置することによって、得られる測定データを活用してより詳細な汚染機構の解明につなげるように努める。また、測定機器の故障等が万一生じた際には、代替機器や消耗部品等の速やかな供給及びメンテナンスの充実を図る等により、欠測期間の長期化が生じないように注意を払い、有効なデータの確保に努める。

	測定所	都道府県	地域区分	気候区分*1)	分類	湿性沈着	分析単位	フィルターパック*2)	自動測定項目										備考		
									SO ₂	NO _x	O ₃	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM _{2.5} *3) 水溶性成分	PM _{2.5} *3) 金属成分	風向風速	雨量	温湿度		日射	
1	利尻	北海道	北海道	③	遠隔	○	日毎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	EANET*4)
2	札幌	北海道	北海道	③	都市	○	週毎		●	●	○		●			○	○	●	●		長期継続
3	落石岬	北海道	北海道	②	遠隔	○	日毎	○	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	EANET
4	麓岳	宮城県	太平洋側	⑤	田園	○	週毎		●	●	○		●	○		○	○	●	●		
5	赤城	群馬県	太平洋側	⑦	田園	○	週毎				○					○	○				首都圏影響
6	東京	東京都	太平洋側	⑦	都市	○	日毎	○	□	□	□	□	□	○		□	○	□	□	□	EANET
7	小笠原	東京都	太平洋側		遠隔	○	日毎	○	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	EANET
8	佐渡関岬	新潟県	本州中北部日本海側	⑧	遠隔	○	日毎	○	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	EANET
9	新潟巻	新潟県	本州中北部日本海側	⑧	田園	○	日毎	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	EANET
10	八方尾根	長野県	本州中北部日本海側	⑨	遠隔	○	日毎	○	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	EANET
11	伊自良湖	岐阜県	太平洋側	⑨	田園	○	週毎	○	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	EANET/生態影響
12	尼崎	兵庫県	瀬戸内海沿岸	⑫	都市	○	週毎		●	●	○		●			○	○	●	●		
13	隠岐	島根県	山陰	⑭	遠隔	○	日毎	○	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	EANET
14	禰原	高知県	太平洋側	⑬	遠隔*5)	○	日毎	○	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	EANET
15	筑後小郡	福岡県	東シナ海沿岸	⑮	田園	○	週毎		●	●	○		●			○	○	○*6)	○*6)		
16	対馬	長崎県	東シナ海沿岸	⑮	遠隔	○	日毎	○	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	EANET/越境汚染
17	五島	長崎県	東シナ海沿岸	⑮	遠隔						○		○	○		○	○*6)				越境汚染
18	えびの	宮崎県	東シナ海沿岸	⑯	遠隔*5)	○	週毎		○		○					○	○	○*6)			火山
19	屋久島	鹿児島県	南西諸島	⑯	遠隔*5)	○	週毎		○		○					○	○				世界自然遺産/火山
20	辺戸岬	沖縄県	南西諸島	⑯	遠隔	○	日毎	○	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	EANET

(凡例) ○：モニタリングを実施，□：モニタリングを未実施（将来的に開始予定），●：国設大気環境測定所としてのモニタリング

*1) ②北海道南東部，③北海道北西部，⑤東北地方北部，⑥東北地方西部，⑦関東地方，⑧北陸地方，⑨東山地方，⑩東海地方，⑪近畿地方，⑫瀬戸内地方，⑬南海地方，⑭山陰地方，⑮山陰地方西部・北九州地方北西部，⑯九州地方南部，*2) ガス・エアロゾル（全粒径）成分の手動測定法，*3) 上記の他、以下の5地点でPM_{2.5}成分の自動測定を実施。東京都環境研（金属）、国設名古屋大気測定所（水溶性）、国設大阪大気測定所（水溶性）、赤穂市役所（水溶性）及び福岡大学（水溶性、金属、炭素），*4) EANETに登録されている局，*5) 遠隔地域に属するが新燃岳・桜島等の火山活動の影響に留意が必要，*6) 現有機器限りで測定を終了

- : 都市地域測定所 (Urban sites) 3 カ所
 - : 田園地域測定所 (Rural sites) 5 カ所
 - ▲ : 遠隔地域測定所 (Remote sites) 12 カ所
- サイト名: EANET 局



大気モニタリング地点と地域区分

5. 生態影響モニタリングの実施内容

5.1 土壌・植生モニタリング

5.1.1 土壌・植生モニタリングの目的

土壌・植生モニタリングは、日本の代表的な森林における土壌及び森林のベースラインデータの確立並びに酸性雨による影響の早期把握を目的として実施する。特に近年の降水酸性度の低下傾向に応答した土壌・植生を含む森林生態系の回復・改善状況に着目する。

5.1.2 モニタリングの項目、頻度及び方法

森林植生モニタリングについては 5.1.2.1、土壌モニタリングについては 5.1.2.2 のとおりとする。

5.1.2.1 森林植生モニタリング

(1) 項目

ア) 必須項目

森林総合調査（毎木調査（樹種名、胸高直径、樹高）、下層植生調査）、樹木衰退度調査（衰退度観察）

イ) 選択項目

樹木衰退度調査（写真による記録、衰退原因の推定）

(2) 頻度

森林総合調査は5年に1回、樹木衰退度調査は1年に1回。

(3) 方法

ア) 主に樹木への影響に着目した地域（樹木への影響を評価するため）

当該林分において、森林総合調査及び樹木衰退度調査のプロット1ヶ所を設定する。

イ) 主に土壌への影響に着目した地域（土壌種と樹木生育に関するベースラインデータ蓄積のため）

下記 5.1.2.2 の土壌モニタリングの考え方に従って選定された2種類の土壌について、土壌・植生モニタリング手引書及び EANET 技術マニュアルに準じて、1プロットずつ設定する（計2プロット）。

ウ) 陸水及び土壌への影響に着目した地域（EANET モニタリング地点）

イ) に準じて設定する（計2プロット）。

5.1.2.2 土壌モニタリング

(1) 項目及び方法

ア) 必須項目

水分含量、pH(H₂O)、pH(KCl)、交換性塩基 (Ca、Mg、K、Na)、交換酸度、交換性 Al 及び H、有効陽イオン交換能 (ECEC)、炭酸塩含量 (石灰岩土壌のみ)

イ) 選択項目

全窒素含量、全炭素含量、有効態リン酸、硫酸、土壌物理特性 (密度、硬度)

ウ) 方法

項 目	測 定 装 置・方 法
水分含量	オープン加熱後、秤量
pH(H ₂ O)、pH(KCl)	pH メーター (ガラス電極法)
交換性塩基 (Ca、Mg、K、Na)	酢酸アンモニウム抽出後、原子吸光光度法、ICP 発光分光法/質量分析法等
交換酸度	KCl 抽出後、滴定法 交換性 Al 及び H の分析操作から算出
交換性 Al 及び H	KCl 抽出後、滴定法
有効陽イオン交換能 (ECEC)	交換性陽イオンの和として算出
炭素塩含量 (石灰岩土壌のみ)	容積カルシメーター

(2) 頻度

5年に1回

(3) プロットの設定方法

プロットの設定方法は、地域区分ごとに次のとおりとする。

ア) 主に樹木への影響に着目した地域 (樹木への影響を評価するため)

当該林分の土壌 (1種類) において、2プロット設定する (計2プロット)。

イ) 主に土壌への影響に着目した地域 (土壌種と樹木生育に関するベースラインデータ蓄積のため)

ベースラインデータの蓄積の意味も含め、土壌・植生モニタリング手引書及び EANET 技術マニュアルに準じ、地域内で酸性雨に対する感受性が異なる2種類の土壌を選定し、土壌理化学性の分析を実施する。各土壌種について2プロット設定する (計4プロット)。

ウ) 陸水及び土壌への影響に着目した地域 (EANET モニタリング地点)

イ) に準じて設定する (計4プロット)。

5.1.3 モニタリング地点

土壌・植生モニタリングは、以下に示す主に樹木への影響に着目した地域、主に土壌への影響に着目した地域並びに陸水及び土壌への影響に着目した EANET モニタリング地点において実施する。

土壌・植生モニタリングについては、現在の調査地点においてできる限りモニタリングを行うことを基本とするが、連携してモニタリングを実施してきた酸性雨測定所（越前岬、大分久住、蟠竜湖）の終了に伴い、白山国立公園（石川県）、阿蘇くじゅう国立公園（大分県）、霜降岳・十種ヶ峰（山口県）、蟠竜湖周辺（島根県）は平成 30 年度末を目途に終了とする。また、EANET 局であった蟠竜湖の代替として、長期データが蓄積されている石動山・宝立山（石川県）を選定する。

区分	地域特性等	着目する樹種(*)、土壌種、または陸水・集水域	近隣の酸性雨測定所(**)
主に樹木への影響に着目（天然林に着目）	知床国立公園（北海道）	トドマツ	落石岬
	支笏洞爺国立公園（北海道）	ダケカンバ	札幌
	十和田八幡平国立公園（岩手県）	オオシラビソ	篔岳
	磐梯朝日国立公園（新潟県）	ブナ	新潟巻
	日光国立公園（栃木県）	ブナ	赤城
	中部山岳国立公園（富山県）	ブナ	八方尾根
	吉野熊野国立公園（奈良県）	ブナ	尼崎
	大山隠岐国立公園（鳥取県）	ブナ	隠岐
	石鎚国立公園（高知県）	ブナ	禰原
主に土壌への影響に着目	屋久島国立公園（鹿児島県）	スギ／照葉樹林	屋久島
	石動山・宝立山（石川県）	褐色森林土・赤色土、EANET 地点	八方尾根
	法道寺・天野山（大阪府）	黄色土・黄色系褐色森林土	尼崎
陸水・集水域への影響に着目（EANET モニタリング地点）	香椎宮・古処山（福岡県）	赤色系褐色森林土・褐色森林土	筑後小郡
	伊自良湖周辺（伊自良・大和）（岐阜県）		伊自良湖

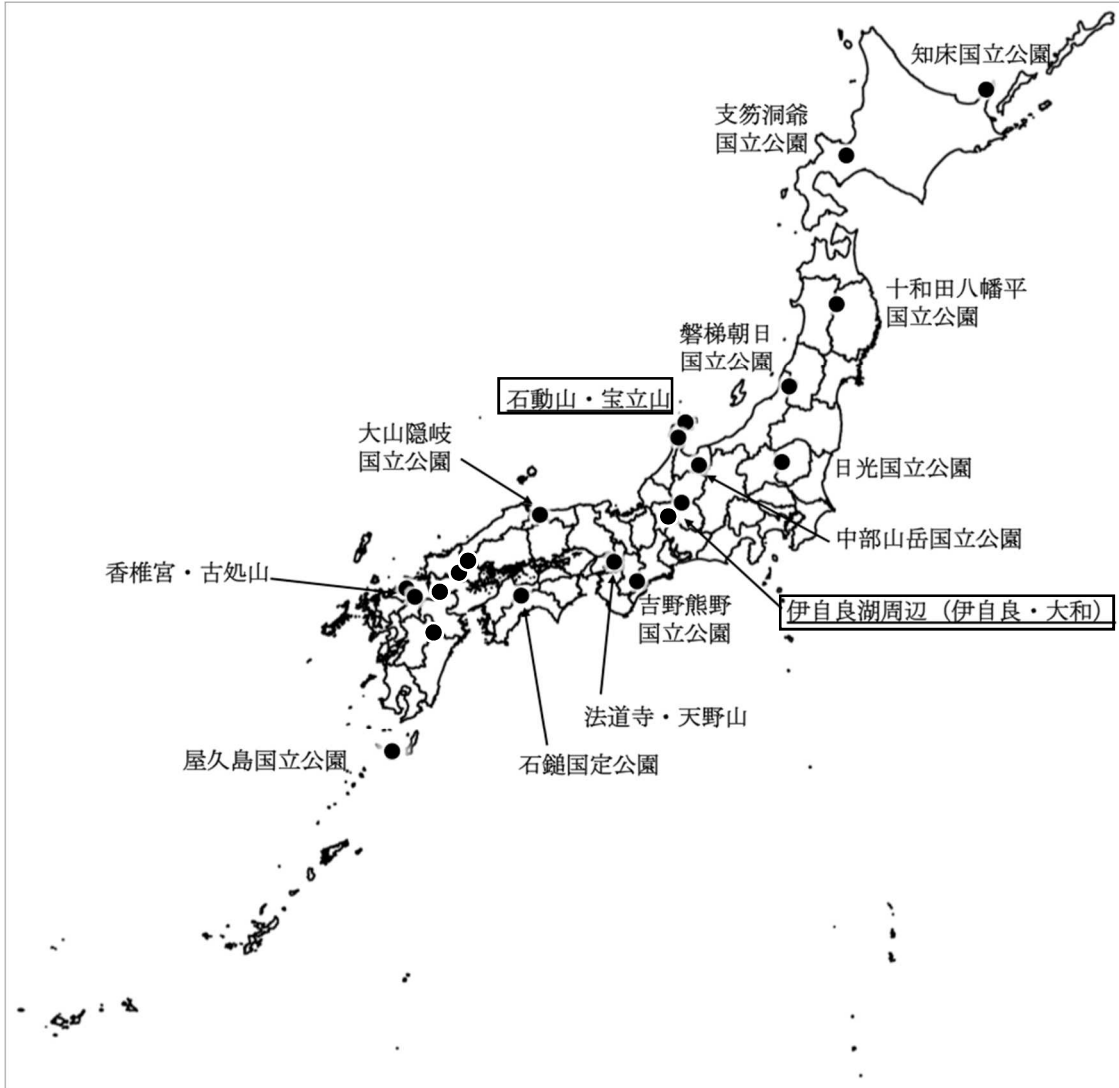
(*) 着目する樹種について、2種類以上対象樹種が選定されている場合は、各樹種個別にプロットを設定する。

(**) 近隣酸性沈着測定所の位置は、「4.3 大気モニタリング地点」を参照。

5.1.4 モニタリング設計

モニタリングは、上記項目、頻度を考慮して、以下のような設計で実施する。

- (1) 森林植生モニタリング（森林総合調査）及び土壌モニタリング：モニタリング地点を5つのグループに分け、5年周期で繰り返し実施する方法により行う。
- (2) 森林植生モニタリング（樹木衰退度調査）：対象地域において毎年実施する。



土壌・植生モニタリング地点（□囲みは EANET 地点）

5.2 陸水モニタリング

5.2.1 陸水モニタリングの目的

陸水モニタリングは、湖沼等への酸性沈着による影響の早期把握を目的として実施する。なお、近年の降水酸性度の低下傾向に应答した湖沼等の酸性化からの回復にも着目する。

5.2.2 陸水モニタリングの項目、頻度及び方法

(1) 項目

- ア) 水質：(a) 水温、pH、電気伝導率 (EC)、アルカリ度 (pH4.8)、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- 、 NH_4^+ 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、クロロフィル a、DO (溶存酸素)

選択項目；プランクトン

(b) 透明度、水色、DOC、NO₂⁻、PO₄³⁻

選択項目；溶存態全 Al、COD

イ) 底質：間隙水中の NO₃⁻、NH₄⁺、SO₄²⁻

選択項目；プランクトン以外の生物、底質 (Pb、Pb-210、安定同位体-S)

(2) 頻度

ア) 水質：上記(a)の項目については年4回 (春4～5月、夏7～8月、秋10～11月、冬1～2月)、上記(b)の項目については年1回以上4回まで (原則として、春の循環期 (4～5月) に実施)

イ) 底質：5年に1回 (実施については陸水モニタリング地点をグループに分け、ローリング方式で行う。)

(3) 方法

ア) 水質

項 目	測 定 装 置・方 法
電気伝導率 (EC)	電気伝導率計 (電気伝導率セル法)
pH	pH メーター (ガラス電極法)
アルカリ度	ビュレット又は pH メーター付きデジタル・ビュレットによる滴定法
SO ₄ ²⁻ 、NO ₃ ⁻ 、NO ₂ ⁻	イオンクロマトグラフ法 (サプレッサー付きが望ましい。) 又は分光光度法
PO ₄ ³⁻	分光光度法 (モリブデン青法)
Cl ⁻	イオンクロマトグラフ法又は滴定法
NH ₄ ⁺	イオンクロマトグラフ法又は分光光度法 (インドフェノール法)
Na ⁺ 、K ⁺ 、Ca ²⁺ 、Mg ²⁺	イオンクロマトグラフ法、原子吸光光度法/発光分光法 又は ICP 発光分析法/質量分析法
クロロフィル a	SCOR/UNESCO 法
DO	ウィンクラー-アジ化ナトリウム変法又は隔膜電極法
透明度	セッキ円板法
水色	目視 (色見本と比較することが望ましい。)
DOC	燃焼酸化-赤外線法又は湿式酸化法
プランクトン	採水法 (植物プランクトン)、ネット法 (動物プランクトン)
溶存態全 Al	原子吸光光度法又は ICP 発光分析法/質量分析法
COD	100℃における過マンガン酸カリウムによる酸素消費量

イ) 底質

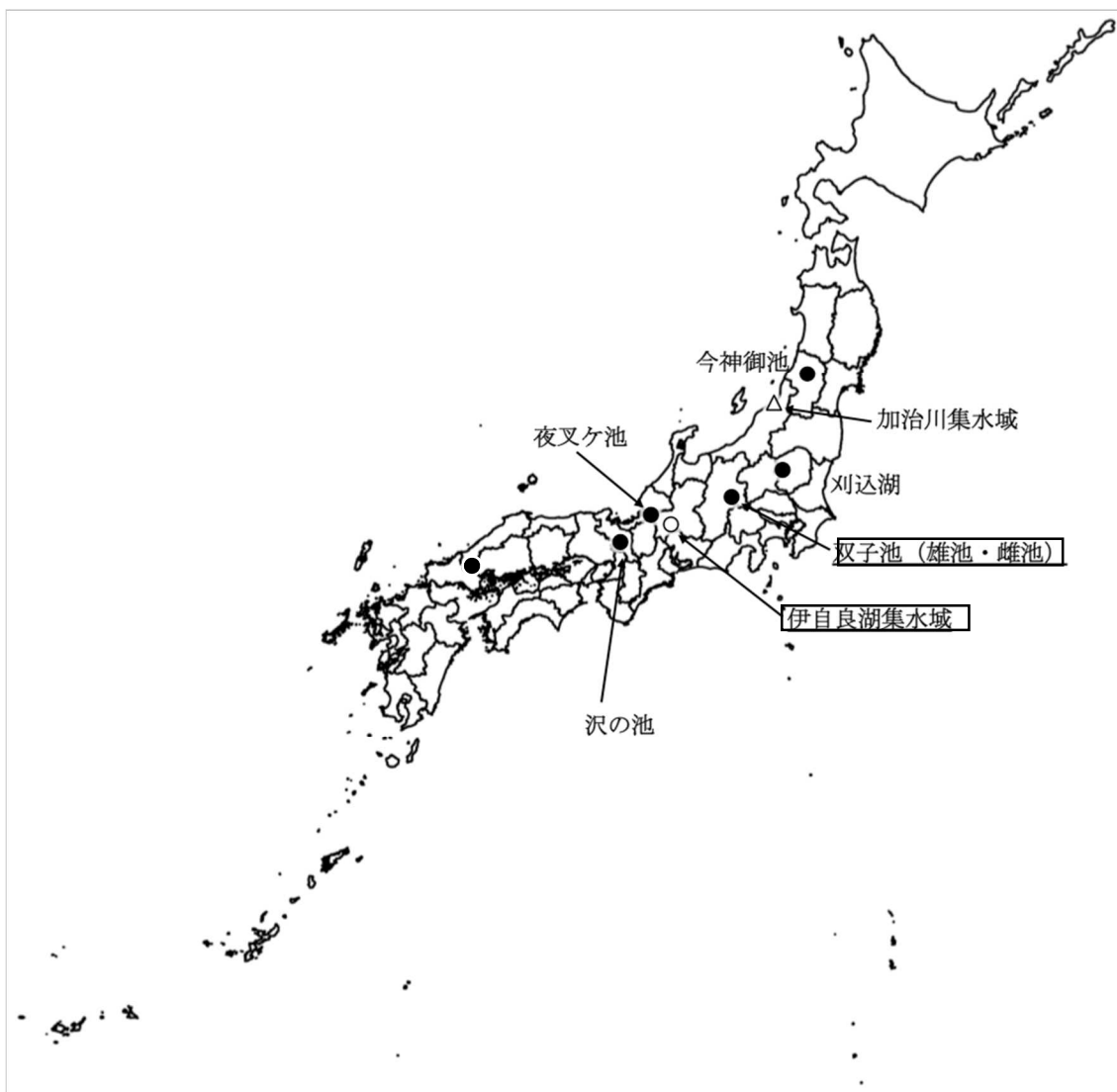
項 目	測 定 装 置・方 法
SO ₄ ²⁻	イオンクロマトグラフ法
NO ₃ ⁻	イオンクロマトグラフ法又は分光光度法
NH ₄ ⁺	イオンクロマトグラフ法又は分光光度法 (インドフェノール法)
Pb	酸抽出後に黒鉛付き原子吸光光度法、ICP 発光分析法/質量分析法
堆積年代測定	Pb-210 法
S (硫黄安定同位体比)	イオン化による同位体質量分析法

5.2.3 陸水モニタリング地点

陸水モニタリング地点については、酸性化の進行あるいは回復状況を把握するため、できる限り継続してモニタリングを実施していくことを基本とするが、連携してモニタリングを実施してきた酸性雨測定所の終了等に伴い、大島池（石川県）及び蟠竜湖（島根県）については、平成30年度末を目途に終了とする。また、EANET地点であった蟠竜湖の代替として、双子池を選定する。

	湖 沼	所 在 地	備 考	近隣酸性沈着測定所 (*)
1	今神御池 <small>いまがみおひけ</small>	山形県（最上郡戸沢村）		新潟巻
2	刈込湖 <small>かりこみこ</small>	栃木県（日光市）		赤城
3	双子池（雄池・雌池） <small>ふたごいけ おひけ めいけ</small>	長野県 （南佐久郡佐久穂町）	EANET モニタリング地点	八方尾根
4	夜叉ヶ池 <small>やしやがいけ</small>	福井県（南条郡南越前町）		伊自良湖
5	伊自良湖 <small>いじらこ</small>	岐阜県（山口市）	EANET モニタリング地点	伊自良湖
6	沢の池 <small>さわのいけ</small>	京都府（京都市）		尼崎

(*) 近隣酸性沈着測定所の位置は、「4.3 大気モニタリング地点」を参照。



陸水・集水域・要監視モニタリング地点

(黒丸は陸水モニタリング地点、白抜きは要監視地域における同位体モニタリング (5.4 参照) を実施する集水域モニタリング地点・試験地、□囲みは EANET 地点)

5.3 集水域モニタリング

5.3.1 集水域モニタリングの目的

集水域モニタリングは、流域・集水域という単位面積 (区域) において、大気から流入する物質及び河川を介して流出するそれらの濃度、量、季節性等の関係から、大気由来の物質の挙動・動態を含め、当該生態系への酸性物質の負荷を検討、評価することを目的として実施する。

5.3.2 集水域モニタリングの項目、頻度及び方法

集水域モニタリングの調査項目、頻度は以下のとおり。湿性沈着、乾性沈着、河川水質等の現地観測・分析方法は、前述の各モニタリング項目に準ずる。

調査項目		頻度・方法
流入量(総沈着量)の推定	湿性沈着量	近隣酸性雨測定所における湿性沈着モニタリングデータを基に湿性沈着量を推計する。集水域内の降水量分布が把握される場合は、それも考慮して推計する。
	乾性沈着量	近隣酸性雨測定所における大気汚染物質モニタリングデータを基に、インファレンシャル法を用いて乾性沈着量を推計する。
	総沈着量	総沈着量は上記の湿性沈着量及び乾性沈着量の和とする。集水域内における林内雨・樹幹流法による観測データが活用可能な場合はそれも参照する。
流出量の推定	流量	量水堰を用いた観測、または水位を連続監視し、観測から水位・流量曲線に基づき流量を推計する。
	河川水質	月2回、河川水を採取し、次の測定を行う。測定項目：水温、pH、電気伝導率(EC)、アルカリ度(pH4.8、グランプロット法)、SO ₄ ²⁻ 、NO ₃ ⁻ 、Cl ⁻ 、NH ₄ ⁺ 、Na ⁺ 、K ⁺ 、Ca ²⁺ 、Mg ²⁺ 、TOC(またはDOC)、溶存態全Al、SiO ₂
	流出量	上記の流量と河川水質を基に流出量を推計する。

生態系内での物質動態を解析するために、必要に応じて同一地域内における土壌や植生の情報を収集する。長期モニタリング計画に基づく土壌・植生モニタリングや関連研究が実施されている場合はそれらのデータも参照する。

5.3.3 集水域モニタリング地点

伊自良湖集水域の酸性化・窒素飽和からの回復傾向に着目して、現状のモニタリングを継続する。

	集水域	所在地	備考	近隣酸性沈着測定所(*)
1	伊自良湖	岐阜県(山県市)	流入河川(釜ヶ谷川・孝洞川)を中心に実施、EANET地点	伊自良湖

(*) 近隣酸性沈着測定所の位置は、「4.3 大気モニタリング地点」を参照。

5.4 その他の生態影響モニタリング

5.4.1 要監視地域におけるモニタリング

土壌や地質の酸緩衝能が小さく硫黄酸化物や窒素酸化物による酸性沈着量の多い地域では、酸性化等のリスクが高いことから、重点的に監視していく必要がある（要監視地域）。これら要監視地域内に位置する既設モニタリング地点や研究試験地を活用し、土壌、陸水、集水域等、我が国の陸域生態系への越境大気汚染の負荷や今後降水酸性度の低下傾向に伴い期待される回復過程をより確度を持って議論するため、従来のイオン成分分析に加え、必要に応じて安定同位体分析手法を用いたモニタリングを実施することにより、大気から沈着・流入する物質への越境大気汚染の設定について検討する寄与やその季節特性、大気沈着に由来する物質の陸域生態系内での挙動・動態の解析を進める。

5.4.2 オゾンによる植物影響モニタリング

オゾンによる森林生態系への影響を監視するため、将来的な定期観測に向けたパイロットモニタリングを、関係自治体・研究機関の協力を得て、北海道摩周湖外輪山、新潟県八海山及び福岡県英彦山の3地点で実施する。

当面は、森林・山岳地域におけるオゾン濃度の実測及び周辺樹木の状況に関する情報収集を実施し、オゾンによる植物影響について実態を把握するとともに評価手法について検討する。また、大気汚染とそれ以外の要因（病虫害等）による複合的な影響の評価を目的として、そのような影響の可能性のある地域における被害状況の把握に努める。

6. 越境大気汚染・酸性雨長期モニタリングの結果の集計、評価及び公表

毎年度のモニタリングデータは、翌年度の越境大気汚染・酸性雨対策検討会の審議を経て、原則として翌年度内に確定・公表する。

5年ごとにモニタリングデータを総合的に取りまとめ、越境大気汚染・酸性雨対策検討会の審議を経て、確定公表する。

7. 越境大気汚染・酸性雨長期モニタリング計画の実施及び体制見直し

この計画は、将来の科学技術の進展、関連状況の変化等に応じ、越境大気汚染・酸性雨対策検討会の審議を経て、適宜必要な見直しを行うものとする。