

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。

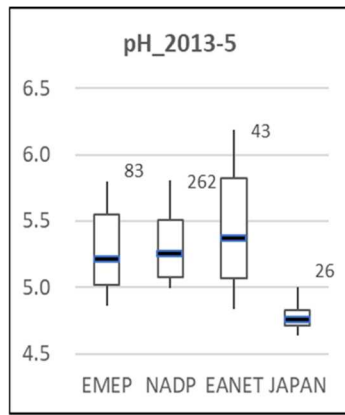


図 2-1 日本の降水 pH の国際ネットワーク (EMEP¹: 欧州、NADP²: 北米、EANET: 日本以外の東アジア) との比較

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。

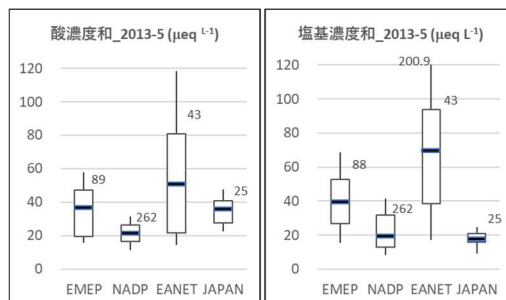


図 2-2 各ネットワークにおける酸（左）及び塩基（右）濃度和の比較

酸濃度和は $\text{nss-SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-$ 、塩基濃度和は $\text{NH}_4^+ + \text{nss-Ca}^{2+}$ (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。

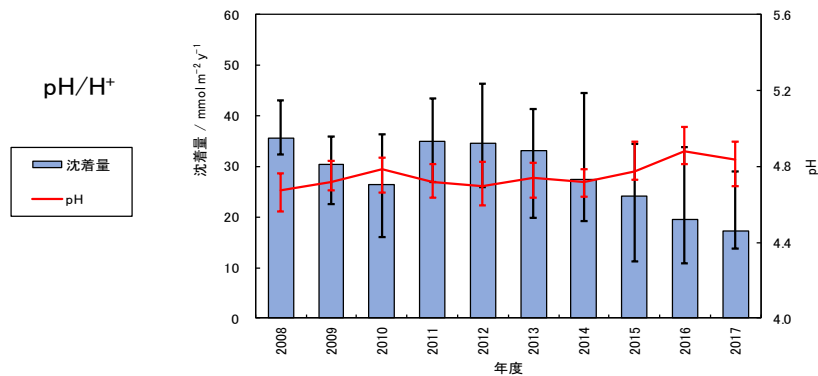


図 3 pH 及び水素イオン濃度・湿性沈着量(中央値)の経年変化(最近 10 年間)

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)。

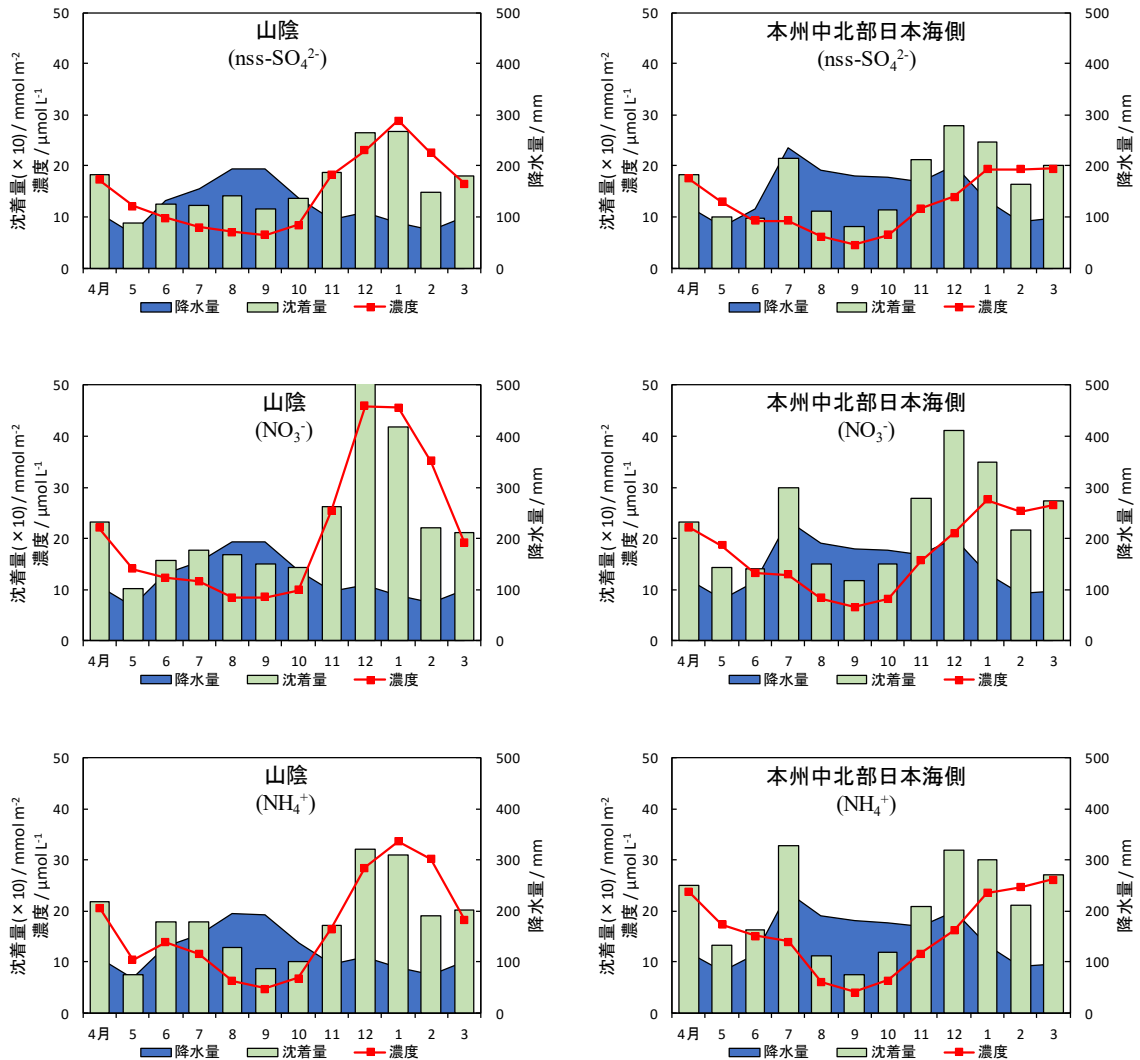


図 4 山陰及び本州中北部日本海側における降水中の非海塩硫酸イオン(nss-SO_4^{2-})、硝酸イオン(NO_3^-)及びアンモニウムイオン(NH_4^+)の濃度、沈着量及び降水量の季節変動(2013~2017年度平均値)

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。

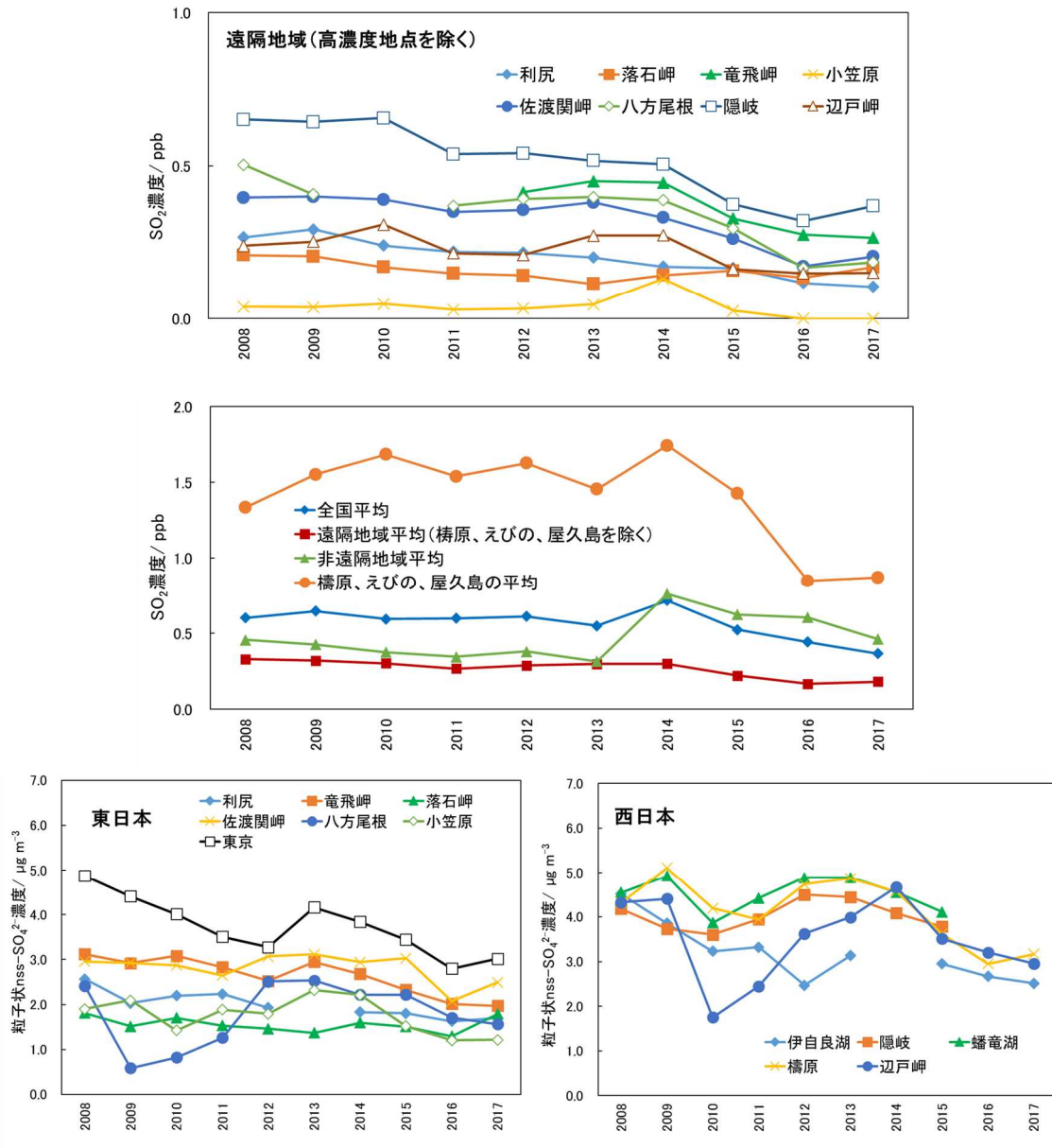


図5 二酸化硫黄 (SO₂) 濃度(上・中段)及び粒子状非海塩性硫酸イオン (nss-SO₄²⁻) 濃度(下段)の経年変化(最近10か年)

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。

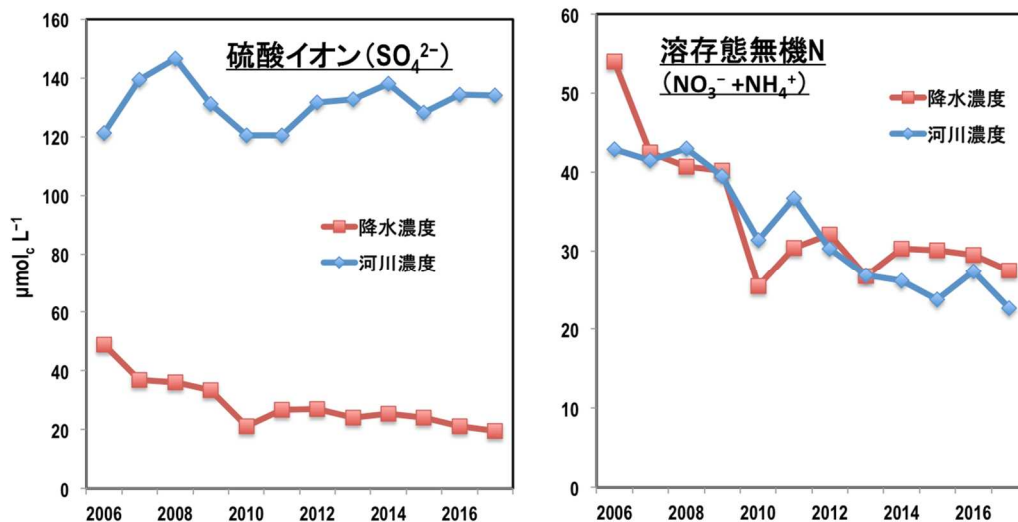


図 6 伊自良湖集水域における硫酸イオン (SO_4^{2-}) 及び溶存態無機窒素 (N) の加重平均濃度の経年変化

(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黄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黄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。

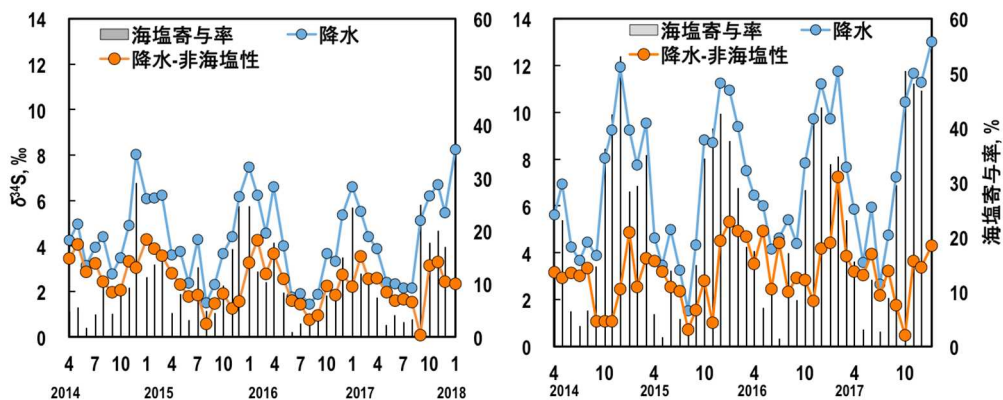


図7 伊自良湖集水域(左)と加治川集水域(右)における降水の硫黄同位体比($\delta^{34}\text{S}$)

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： $\delta^2\text{H} - 8 \times \delta^{18}\text{O}$

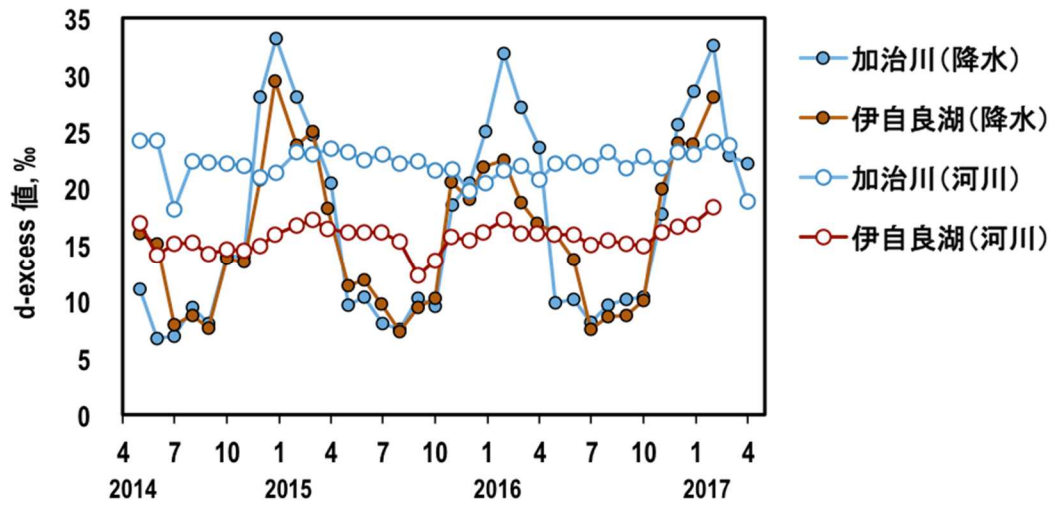


図8 伊自良湖集水域と加治川集水域における降水及び河川水の酸素・水素同位体比
(d-excess 値 : $\delta^2\text{H} - 8 \times \delta^{18}\text{O}$)

＜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。

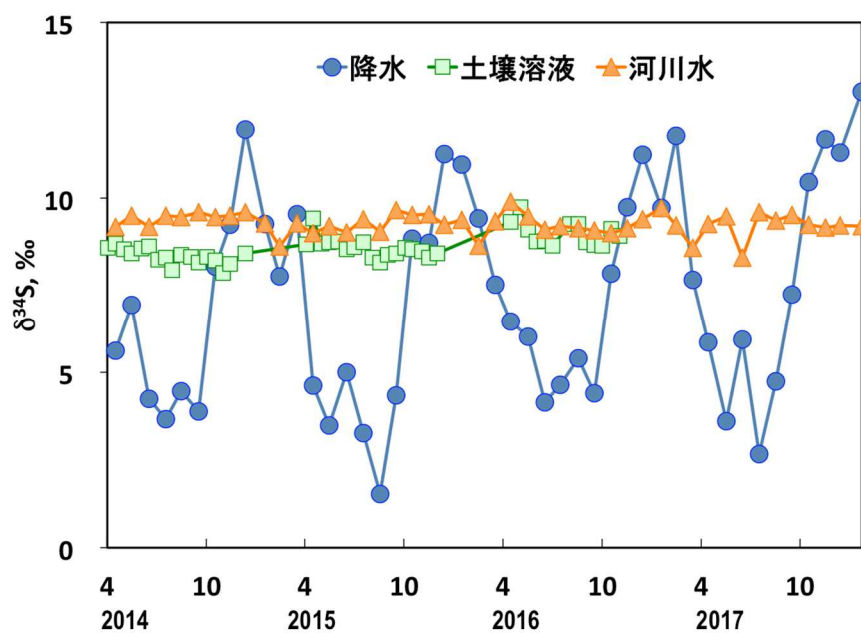


図 9 加治川集水域における降水、土壌溶液、河川水中の硫黄同位体比 ($\delta^{34}\text{S}$)

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。