

平成24年度酸性雨調査結果

【大気・地球環境室】

盛山哲郎

1 はじめに

大気汚染に起因する酸性雨現象は、土壌や湖沼の酸性化を引き起こし森林の衰退や水生生物の死滅等、地球的規模で懸念される環境被害の一因となっている。

酸性雨については、当初は専ら酸性の強い雨のこののみに関心が寄せられていた。しかしながら、現在では、より幅広い捉え方がなされている。

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、硝酸等に変化し、再び地上に戻ってくる(沈着)。それには2種類あり、一つは、雲を作っている水滴に溶け込んで雨や雪などの形で沈着する湿性沈着であり、他の一つは、ガスやエアロゾル(粒子)の形で沈着する乾性沈着である(図1)。現在、酸性雨は、湿性沈着及び乾性沈着を併せたものとして捉えられている¹⁾。

酸性雨対策推進に必要な基礎データの集積を行うため、本県では、湿性沈着調査については、昭和62年から、乾性沈着調査については、平成11年から実施しており、平成24年度の結果をまとめたので報告する。

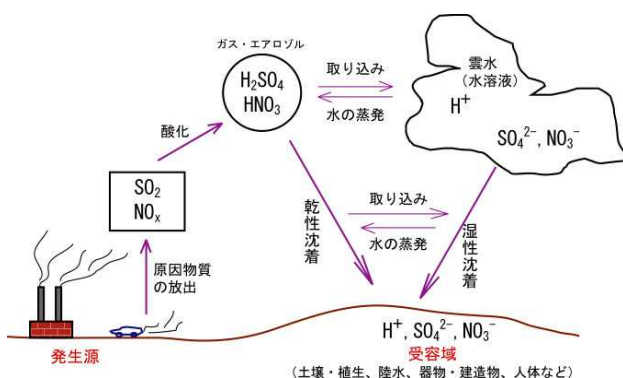


図1 酸性雨の全体像

2 調査方法

全国環境研協議会・酸性雨広域大気汚染調査研究部会酸性雨全国調査実施要領²⁾に従って、本調査を実施した。なお、乾性沈着調査は、ガス/エアロゾル濃度の測定を行うフィルターパック法、ガス濃度の測定を行うパッシブ法、自動測定機による測定の3つの手法を併用して行った。

(1)調査地点

市町村	湿性沈着調査	乾性沈着調査		
		フィルターパック法	パッシブ法	自動測定機
湯梨浜町		衛生環境研究所		—
若桜町	氷ノ山スキー場	—	氷ノ山スキー場	氷ノ山響きの森

(2)捕集期間

平成24年3月26日～平成25年3月25日

(3)試料捕集間隔

調査手法		捕集間隔
湿性沈着調査		2週間単位
乾性沈着調査	フィルターパック法	2週間単位
	パッシブ法	1ヶ月単位
	自動測定機	連続測定

(4) 捕集方法

1) 湿性沈着調査

降水時開放型捕集装置（W e t - o n l y サンプラー）（小笠原計器製作所製）を用いて降水の捕集を行った。

2) 乾性沈着調査

① フィルターパック法

フィルターパック法とは、ろ紙を4段のろ紙ホルダーに装着し、最初のろ紙でエアロゾル成分を捕集した後に、後続のろ紙で酸性ガスあるいはアルカリ性ガスを捕集する方法である（図2）。

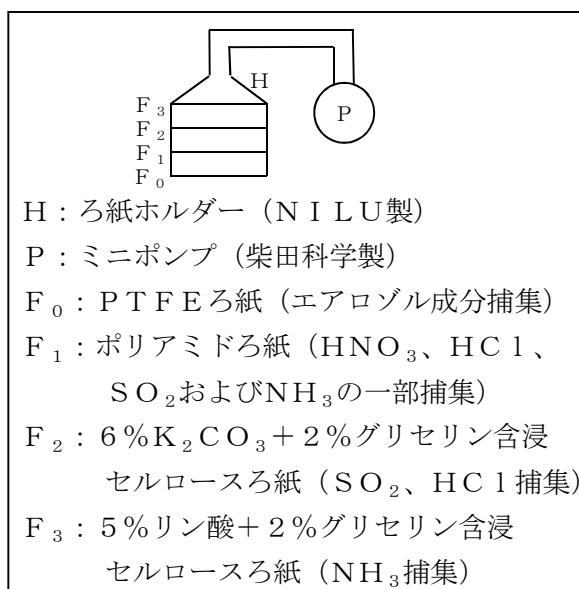


図2 フィルターパック法による捕集方法

② パッシブ法

パッシブサンプラー（小川商会製）を用いてガスの捕集を行った。

③ 自動測定機

O₃計（堀場製作所製）を用いてガスの捕集を行った。

(5) 測定項目・測定方法

1) 湿性沈着調査

測定項目	測定方法
p H	ガラス電極法
電気伝導率（E C）	導電率計による方法
SO ₄ ²⁻	イオンクロマトグラフ法
NO ₃ ⁻	
C l ⁻	
NH ₄ ⁺	
C a ²⁺	
M g ²⁺	
K ⁺	
N a ⁺	

2) 乾性沈着調査

① フィルターパック法

測定項目	測定成分	測定方法
ガス成分		
SO ₂	SO ₄ ²⁻	イオンクロマトグラフ法
HC l	C l ⁻	
HNO ₃	NO ₃ ⁻	
NH ₃	NH ₄ ⁺	
エアロゾル成分		
SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻	イオンクロマトグラフ法
NO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	
C l ⁻	C l ⁻	
NH ₄ ⁺	NH ₄ ⁺	
N a ⁺	N a ⁺	
K ⁺	K ⁺	
C a ²⁺	C a ²⁺	
M g ²⁺	M g ²⁺	

② パッシブ法

測定項目	測定成分	測定方法
O ₃	NO ₃ ⁻	イオンクロマトグラフ法
NH ₃	NH ₄ ⁺	

③ 自動測定機

測定項目	測定方法
O ₃	紫外線吸収法

3 結果及び考察

H24年度の結果は次のとおりであった。なお、若桜町の湿性沈着調査では、4月、12月、1月～3月に、機器故障により乾性沈着物が混入していたため、上記の月の結果は参考値として扱い、評価対象とはしなかった。

(1)湿性沈着調査

1)pH

湯梨浜町の経月変化の変動範囲は、4.17～5.16であり、pH4以下となる月はなかった。例年どおり秋季から冬季にかけて徐々に低下する傾向が見られたが、H24年度の最低値は5月に記録された。

経年変化は、最近10年では湯梨浜町と若桜町の両地点とも4.5～5.0の間で横ばいではほぼ一定している。

2)nss-SO₄²⁻(非海塩由来硫酸イオン)・NO₃⁻

【人為的汚染の指標】

SO₄²⁻は、海塩由来と非海塩由来(nss:non sea salt)を分けるため、Na⁺は全て海塩由来として、Na⁺濃度と海水中でのモル濃度比(SO₄²⁻/Na⁺)とを用いて、以下の式によりnss-SO₄²⁻(非海塩由来硫酸イオン)を算出した。

$$nss-SO_4^{2-} = SO_4^{2-} - 0.0607 \times Na^+$$

湯梨浜町の経月変化は、nss-SO₄²⁻、NO₃⁻は例年どおり秋季から冬季にかけて徐々に上昇する傾向が見られたが、H24年度の最高値は5月に記録された。この原因については、大陸からの越境大気汚染の影響と国内(県内も含めて)の化石燃料の使用量増加による影響と考えられる。

湯梨浜町の経年変化は、ここ最近10年でnss-SO₄²⁻、NO₃⁻のいずれの項目も変動があり、H24年度は、H23年度と比較すると濃度が高かった。これは、H24年度の濃度が、5月、2月、3月に特に高く、これらの時期の濃度上昇がH24年度の年間値に影響したものと考えられる。

また、湯梨浜町、若桜町の両地点の経年変化

を比較すると、湯梨浜町の方が濃度が高かった。

3)nss-Ca²⁺(非海塩由来カルシウムイオン)

Ca²⁺は、海塩由来と非海塩由来を分けるため、Na⁺は、全て海塩由来として、Na⁺濃度と海水中でのモル濃度比(Ca²⁺/Na⁺)とを用いて、以下の式によりnss-Ca²⁺(非海塩由来カルシウムイオン)を算出した。

$$nss-Ca^{2+} = Ca^{2+} - 0.0224 \times Na^+$$

湯梨浜町の経月変化を見ると、春季が高かった。この主な原因として下表に示すとおり、この時期に黄砂が何度か飛来しており、黄砂に多く含まれる炭酸カルシウムの影響と考えられる。

湯梨浜町の経年変化は、最近10年で、変動があり、H24年度は、H23年度と比較すると濃度が高かった。これは、H24年度の5月、3月の濃度が特に高く、H24年度の年間値に影響したものと考えられる。

また、湯梨浜町、若桜町の両地点の経年変化を比較すると、湯梨浜町の方が濃度が高かった。

平成24年度の鳥取の黄砂観測日

4月	3月
平成24年4月23日	平成25年3月8日
平成24年4月24日	平成25年3月9日
平成24年4月25日	平成25年3月19日
	平成25年3月20日

※気象庁調べ

(2)乾性沈着調査

1)SO₂(ガス)【人為的汚染の指標】

経月変化は、冬季と春季に濃度が高くなる傾向であり、これは、大陸からの北西季節風の影響と、国内(県内も含めて)の化石燃料の使用量増加による影響が大きいと考えられる。

H24年度は、H23年度とほぼ同程度の値であった。

2)HNO₃(ガス)【人為的汚染の指標】

経月変化は、春季と7月が特に高かった。

H24年度は、H23年度より若干低下した。

3) nss-SO₄²⁻(エアロゾル)【人為的汚染の指標】

nss-SO₄²⁻の算出は、湿性沈着調査と同様の方法で行った。

経月変化は、5、7、3月が特に高かった。

H24年度は、H23年度より若干上昇した。

4) NO₃⁻(エアロゾル)【人為的汚染の指標】

経月変化は、3月が特に高かった。

H24年度は、H23年度とほぼ同程度の値であった。

5) nss-Ca²⁺(エアロゾル)

nss-Ca²⁺の算出は、湿性沈着調査と同様の方法で行った。

経月変化は、4、5、3月が特に高かった。

この主な原因として、湿性沈着調査のnss-Ca²⁺の項目でも述べたように、黄砂の影響と考えられる。

H24年度は、H23年度とほぼ同程度の値であった。

6) O₃(ガス)

自動測定機とパッシブ法の経月変化は、非常に良く一致しており、いずれの地点も春季に高くなる傾向を示した。これは、成層圏O₃の降下による影響及び、大陸からの移流による影響と考えられる。

経年変化は、いずれの地点も30～45ppbの間でほぼ一定している。

4 まとめ

(1) 湯梨浜町のH24年度のpH年平均値は、これまでの結果と同程度であった。

(2) 湿性沈着調査、乾性沈着調査(フィルターパック法)から、春季にnss-Ca²⁺濃度が高かったが、黄砂が原因として考えられる。

5 参考文献

1) 環境省, 酸性雨対策検討会: 第4次酸性雨対策調査取りまとめ(2002)

2) 全国環境研協議会・酸性雨広域大気汚染調査研究部会酸性雨全国調査実施要領(2012)

湿性沈着調査の測定結果

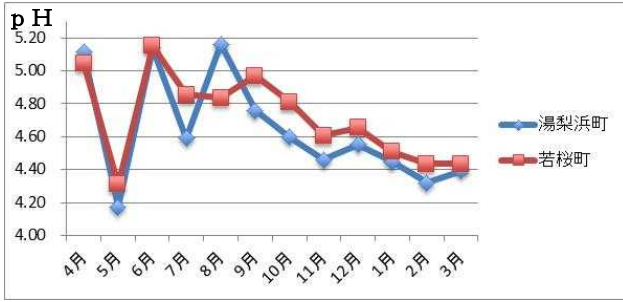


図3 pHの経月変化

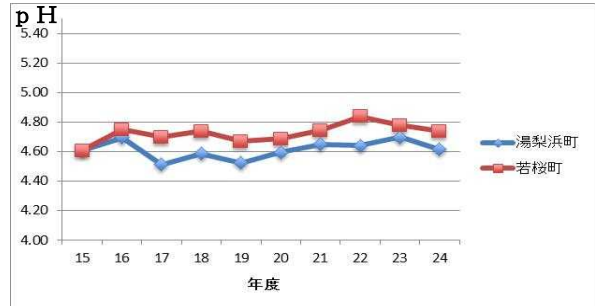


図4 pHの経年変化

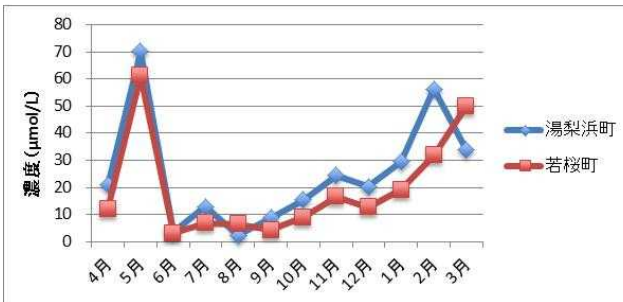


図5 nss-SO₄²⁻の経月変化

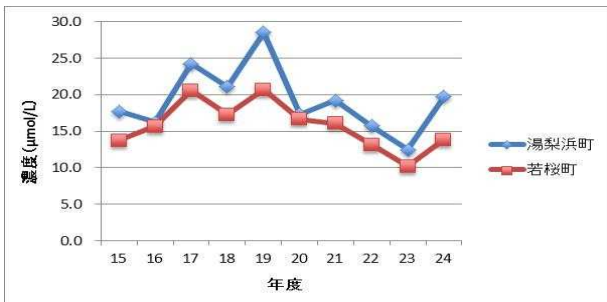


図6 nss-SO₄²⁻の経年変化

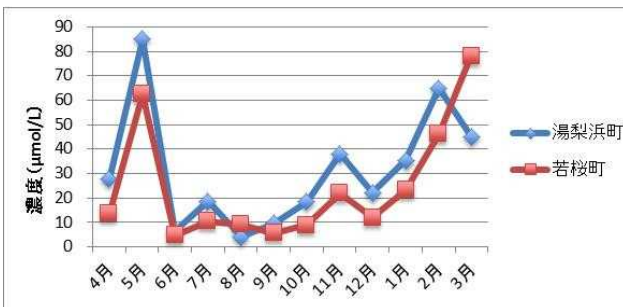


図7 NO₃⁻の経月変化

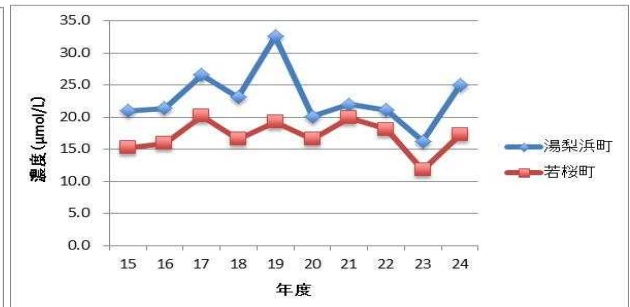


図8 NO₃⁻の経年変化

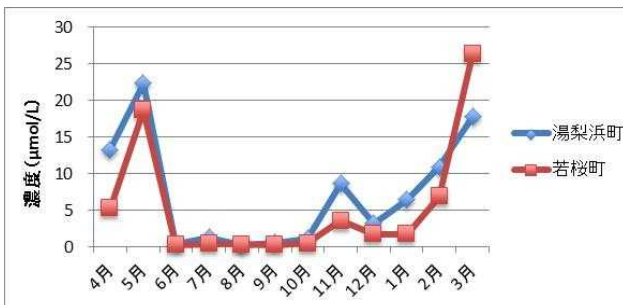


図9 nss-Ca²⁺の経月変化

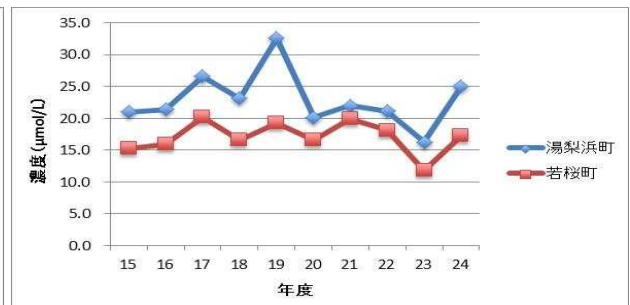


図10 nss-Ca²⁺の経年変化

(注1) 図3、図5、図7、図9には、若桜町の参考値扱いした月(4月、12月、1月~3月)についても掲載した。

(注2) 図4、図6、図8、図10には、若桜町の参考値扱いしたH24年度の平均(年間値)についても掲載した。

乾性沈着調査(フィルターパック法)の測定結果(湯梨浜町)

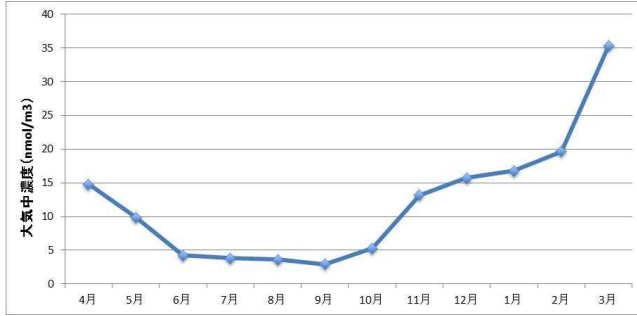


図11 SO₂(ガス)の経月変化

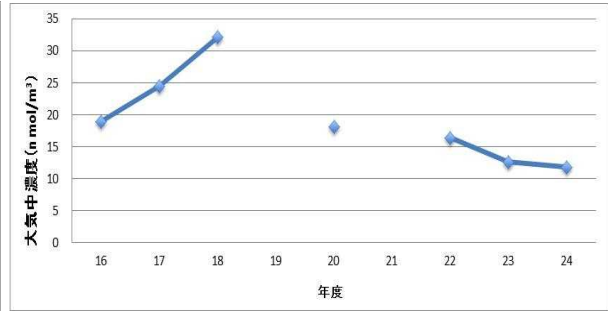


図12 SO₂(ガス)の経年変化

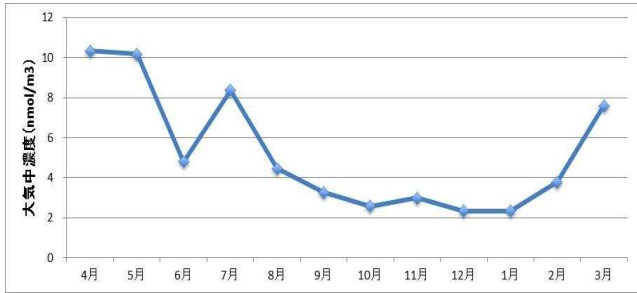


図13 HNO₃(ガス)の経月変化

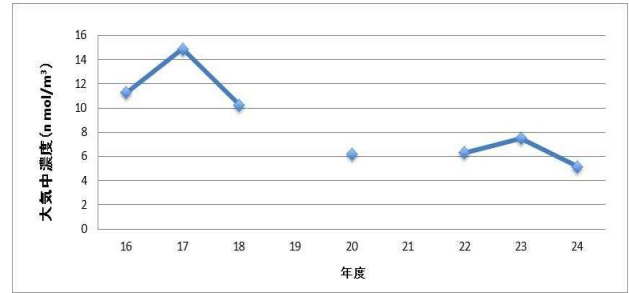


図14 HNO₃(ガス)の経年変化

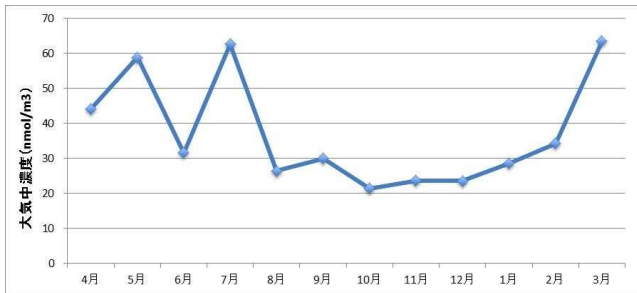


図15 nss-SO₄²⁻(エアロゾル)の経月変化

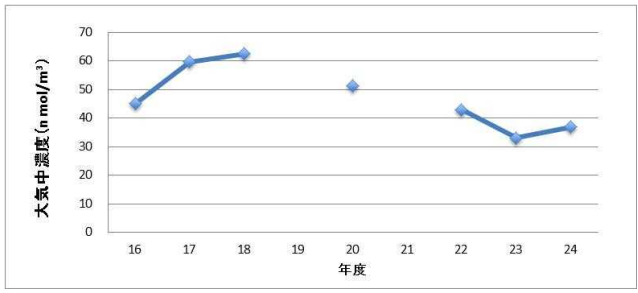


図16 nss-SO₄²⁻(エアロゾル)の経年変化

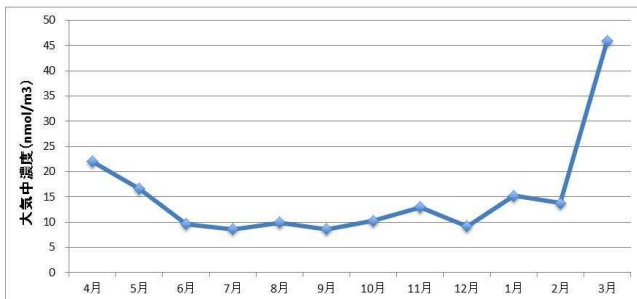


図17 NO₃⁻(エアロゾル)の経月変化

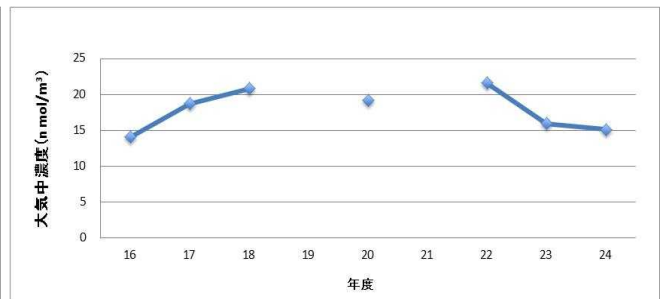


図18 NO₃⁻(エアロゾル)の経年変化

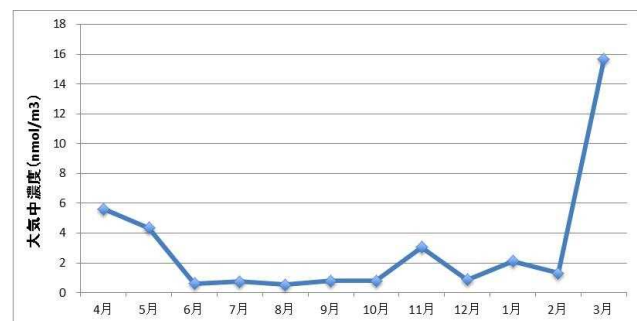


図19 nss-Ca²⁺(エアロゾル)の経月変化

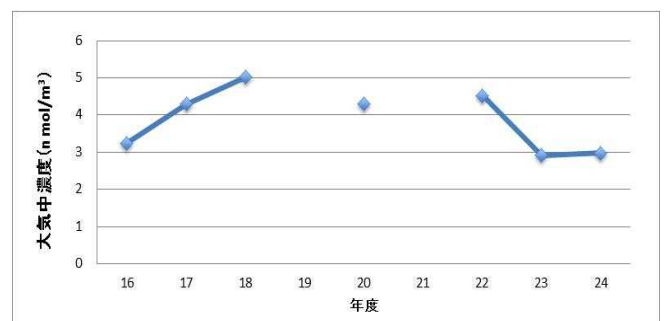


図20 nss-Ca²⁺(エアロゾル)の経年変化

(注) 図12、図14、図16、図18、図20の平成19年度、21年度のデータは、欠測月が多いため、除外した。

乾性沈着調査(パッシブ法)の測定結果

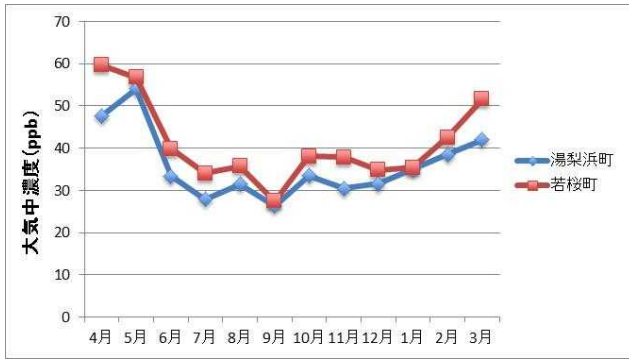


図21 O₃(ガス)の経月変化

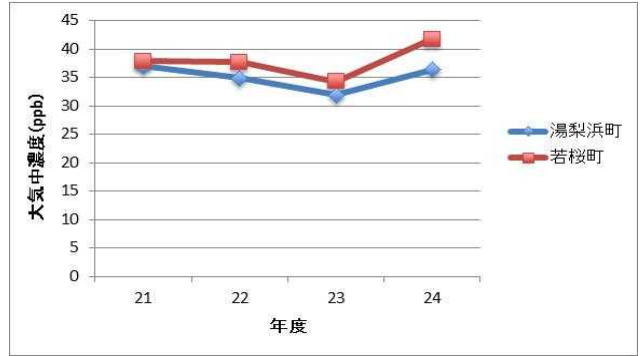


図22 O₃(ガス)の経年変化

乾性沈着調査(自動測定機)の測定結果(若桜町)

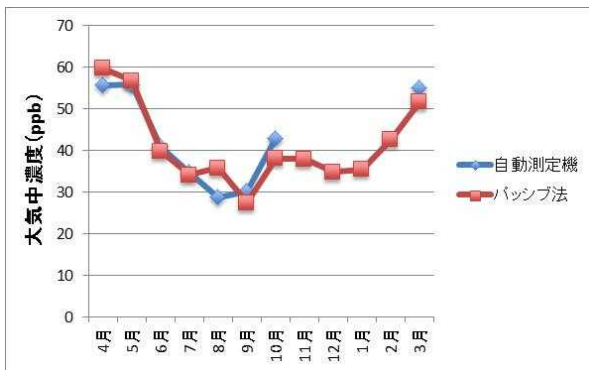


図23 O₃(ガス)の経月変化

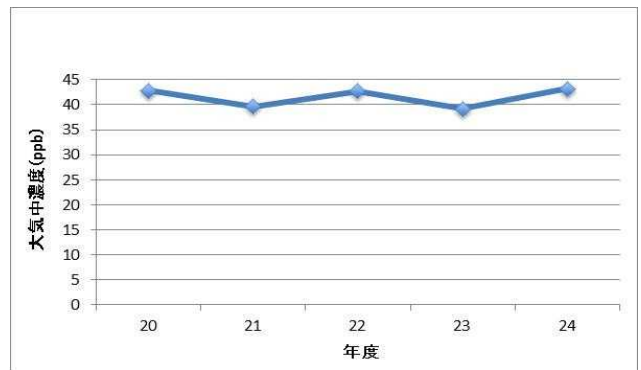


図24 O₃(ガス)の経年変化

表1 平成24年度の湿性沈着調査の測定結果

湯梨浜町 (衛生環境研究所)														
期間	降水量	pH	EC	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺	nss-SO ₄ ²⁻	nss-Ca ²⁺
	(mm)		(mS/m)	(μmol/L)										
平成24年4月	160.0	5.11	4.82	35.0	27.6	261.1	31.7	233.5	5.8	18.5	27.5	7.7	20.9	13.3
5月	35.0	4.17	5.71	72.5	85.0	43.1	100.6	37.4	3.4	23.2	6.7	66.9	70.2	22.3
6月	143.6	5.14	0.58	4.0	6.6	6.2	7.0	6.3	0.3	0.6	0.4	7.2	3.6	0.4
7月	97.3	4.59	1.82	13.4	18.6	8.6	23.6	8.8	0.5	1.5	0.7	25.7	12.9	1.3
8月	132.3	5.16	0.49	2.7	4.0	3.9	6.2	3.8	0.3	0.3	0.2	6.9	2.4	0.2
9月	133.4	4.76	1.40	10.1	9.6	22.5	13.9	20.9	0.5	1.0	1.6	17.4	8.9	0.6
10月	244.2	4.60	4.16	25.1	18.4	174.9	24.4	157.2	3.4	4.7	16.3	25.3	15.6	1.1
11月	158.6	4.46	6.30	41.5	38.1	315.2	27.0	280.9	7.1	14.9	32.3	34.7	24.5	8.6
12月	151.3	4.55	9.16	48.8	22.3	531.9	18.7	468.3	10.1	13.7	52.8	28.0	20.3	3.2
平成25年1月	140.6	4.45	7.01	46.6	35.4	310.5	27.4	281.9	6.9	12.8	33.9	35.5	29.5	6.5
2月	74.4	4.32	9.21	77.7	65.1	372.4	66.9	354.0	10.7	18.9	41.0	47.9	56.2	10.9
3月	54.9	4.39	5.76	47.8	45.0	262.8	48.1	229.6	6.3	22.9	27.3	40.4	33.8	17.8
最大	244.2	5.16	9.21	77.7	85.0	531.9	100.6	468.3	10.7	23.2	52.8	66.9	70.2	22.3
最小	35.0	4.17	0.49	2.7	4.0	3.9	6.2	3.8	0.3	0.3	0.2	6.9	2.4	0.2
平均		4.61	4.51	30.7	25.0	201.6	25.6	181.0	4.5	9.3	20.6	24.3	19.7	5.3

若桜町 (氷ノ山スキー場)														
期間	降水量	pH	EC	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺	nss-SO ₄ ²⁻	nss-Ca ²⁺
	(mm)		(mS/m)	(μmol/L)										
平成24年4月 ^(注1)	360.1	5.05	1.40	14.6	13.6	41.1	16.8	40.5	1.5	6.2	4.6	9.0	12.1	5.3
5月	52.5	4.31	4.36	62.2	62.5	18.1	87.1	18.1	3.3	19.0	4.0	49.0	61.1	18.6
6月	234.9	5.15	0.52	3.4	4.8	2.5	5.0	2.6	0.4	0.3	0.2	7.0	3.3	0.3
7月	165.6	4.86	1.02	7.2	10.4	4.1	12.9	4.1	0.5	0.5	0.3	13.9	7.0	0.4
8月	121.2	4.84	1.04	6.8	9.1	3.3	9.2	3.5	0.2	0.4	0.3	14.5	6.6	0.3
9月	273.3	4.97	0.79	4.8	5.7	8.2	4.9	7.7	0.2	0.4	0.6	10.7	4.4	0.2
10月	235.8	4.81	1.67	12.6	8.9	60.9	10.2	56.1	1.3	1.8	5.4	15.5	9.1	0.5
11月	204.6	4.61	3.37	23.5	22.0	121.4	18.0	111.7	2.7	6.1	12.0	24.7	16.7	3.6
12月 ^(注1)	198.7	4.65	2.59	17.8	12.0	92.0	11.0	82.1	1.6	3.6	8.5	22.1	12.8	1.7
平成25年1月 ^(注1)	184.5	4.51	3.60	26.1	23.3	119.7	21.0	113.6	2.7	4.2	11.8	30.9	19.2	1.7
2月 ^(注1)	146.9	4.43	5.16	40.8	46.3	159.8	43.5	145.9	5.0	10.1	16.8	36.8	32.0	6.8
3月 ^(注1)	63.0	4.43	5.55	59.1	78.1	160.1	71.4	148.3	7.7	29.6	20.3	36.8	50.1	26.3
最大	360.1	5.15	5.55	62.2	78.1	160.1	87.1	148.3	7.7	29.6	20.3	49.0	61.1	26.3
最小	52.5	4.31	0.52	3.4	4.8	2.5	4.9	2.6	0.2	0.3	0.2	7.0	3.3	0.2
平均 ^(注2)		4.74	2.11	17.2	17.2	59.1	17.6	55.0	1.7	4.5	6.0	18.3	13.8	3.2

(注1) 若桜町の4月、12月、1月～3月は、降水時開放型捕集装置の閉鎖装置の蓋が非降水時も開いたままだったため、参考値とする。

(注2) 若桜町の平均は、参考値にした4月、12月、1月～3月の結果の影響を受けているため、参考値とする。

表2 平成24年度の乾性沈着調査(フィルターパック法)の測定結果

湯梨浜町 (衛生環境研究所)				
期間	ガス成分			
	HNO ₃	SO ₂	HCl	NH ₃
	(nmol/m ³)			
平成24年4月	10.33	14.8	33.4	88.8
5月	10.2	9.88	20.8	97.2
6月	4.81	4.22	15.3	91.3
7月	8.38	3.83	24.2	213
8月	4.47	3.64	15.5	190
9月	3.27	2.95	14.1	121
10月	2.57	5.29	15.3	197
11月	2.99	13.2	14.2	51.8
12月	2.34	15.7	10.3	29.2
平成25年1月	2.35	16.8	12.8	24.2
2月	3.78	19.6	17.4	29.5
3月	7.61	35.3	34.0	78.7
最大	10.3	35.3	34.0	213
最小	2.34	2.95	10.3	24.2
平均	5.16	11.9	18.9	105

湯梨浜町 (衛生環境研究所)										
期間	エアロゾル成分									
	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	nss-SO ₄ ²⁻	nss-Ca ²⁺
	(nmol/m ³)									
平成24年4月	46.8	22.0	22.5	42.7	2.85	6.57	6.31	80.8	44.2	5.61
5月	60.8	16.6	7.25	32.2	2.46	5.08	3.93	106	58.8	4.36
6月	33.5	9.65	12.6	31.2	1.76	1.32	2.67	62.5	31.7	0.62
7月	64.6	8.58	7.33	32.9	2.04	1.50	2.94	104	62.6	0.76
8月	28.0	9.92	8.03	26.3	1.15	1.12	2.19	52.2	26.4	0.53
9月	31.4	8.62	8.58	23.5	1.47	1.33	2.08	59.4	30.0	0.80
10月	24.2	10.3	36.0	45.2	1.60	1.82	3.94	38.4	21.5	0.81
11月	26.5	13.0	32.9	46.6	1.95	4.10	4.69	49.1	23.7	3.06
12月	25.8	9.20	26.2	36.2	1.62	1.70	3.03	52.3	23.6	0.88
平成25年1月	31.0	15.2	27.7	39.1	1.91	2.99	3.93	62.5	28.6	2.12
2月	37.1	13.8	33.6	47.0	2.44	2.37	4.74	70.6	34.3	1.32
3月	68.4	45.9	51.2	83.0	5.53	17.5	11.1	105	63.4	15.66
最大	68.4	45.9	51.2	83.0	5.53	17.5	11.1	106	63.4	15.66
最小	24.2	8.58	7.25	23.5	1.15	1.12	2.08	38.4	21.5	0.53
平均	39.3	15.1	23.4	40.7	2.21	3.89	4.30	69.1	36.8	2.97

(注) 4/24~5/7までの期間は、ミニポンプによる空気の捕集において、漏れがあった可能性が高いため、欠測とする。

**表3 平成24年度の乾性沈着調査
(パッシブ法)の測定結果**

湯梨浜町 (衛生環境研究所)			若桜町 (氷ノ山スキー場)		
期間	0 ₃	NH ₃	期間	0 ₃	NH ₃
	(ppb)			(ppb)	
平成24年4月	47.7	ND	平成24年4月	59.6	0.204
5月	54.1	1.87	5月	56.7	1.73
6月	33.4	0.644	6月	39.9	ND
7月	27.9	2.25	7月	34.1	1.12
8月	31.6	4.32	8月	35.7	5.34
9月	26.4	3.40	9月	27.5	1.14
10月	33.5	5.33	10月	38.1	1.44
11月	30.5	1.78	11月	37.9	2.90
12月	31.6	1.10	12月	34.8	1.39
平成25年1月	35.0	1.65	平成25年1月	35.4	1.92
2月	38.5	1.94	2月	42.6	1.29
3月	42.0	2.90	3月	51.6	1.79
最大	54.1	5.33	最大	59.6	5.34
最小	26.4	ND	最小	27.5	ND
平均	36.4	2.30	平均	41.8	1.63

(注1) NDは、定量下限値以下を示す。

(注2) 平均は、NDを0として算出した。

**表4 平成24年度の乾性沈着調査
(自動測定機)の測定結果**

若桜町 (氷ノ山響きの森)	
期間	0 ₃
	(ppb)
平成24年4月	55.7
5月	55.8
6月	40.9
7月	34.7
8月	28.8
9月	30.2
10月	42.9
11月	-
12月	-
平成25年1月	-
2月	-
3月	55.0
最大	55.8
最小	28.8
平均	43.0

(注) 11/1 10:00~3/8 12:00

までの期間は自動測定機が故障していたため、
欠測とする。