

# 鳥取県における酸性雨の状況について（平成14～23年度）

【大気・地球環境室】

小林拓史 盛山哲郎

## 1 はじめに

大気汚染に起因する降水の酸性化は酸性雨現象と呼ばれ、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。

酸性雨対策推進に必要な基礎データの集積を行うため、当所では昭和62年から継続して県内の降水のモニタリング調査（湿性沈着調査）を実施している。今回は、平成14年度から平成23年度までに実施した過去10年間分の調査結果をまとめたので報告する。

## 2 調査方法

### 1) 調査地点及び調査期間

調査地点を図1に示す。このうち、鳥取市の調査地点については、当研究所の移転に伴って平成15年に北西約800mの地点に移設（旧衛生研究所→鳥取保健所）し、平成22年度まで調査を実施し、湯梨浜町は、平成15年度から調査を開始した。

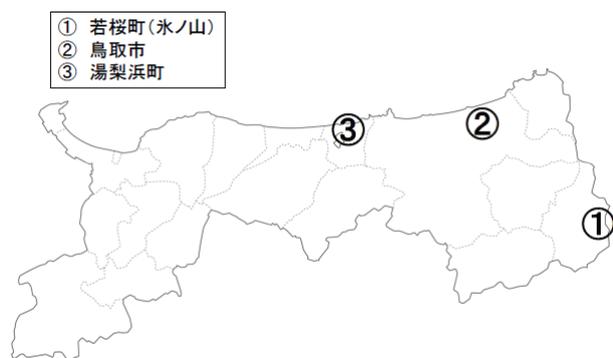


図1 調査地点

### 2) 試料捕集間隔

若桜町、鳥取市は1ヶ月単位（平成23年度以降は2週間単位）。湯梨浜町は2週間単位で捕集した。

### 3) 捕集方法

降水時開放型捕集装置（Wet-only サンプラー）を用いて降水の捕集を行った。

### 4) 分析項目・分析方法

分析項目及び分析方法を表1に示す。

調査方法は湿性沈着モニタリング手引き書（環境省）に準拠した。試料データはすべて、1ヶ月の加重平均値（月平均値）として取り扱った。

上記の方法により得られたイオン濃度はすべて等量濃度（ $\mu\text{eq/L}$ ）として解析を行った。

また、 $\text{SO}_4^{2-}$ 及び $\text{Ca}^{2+}$ は、海塩由来と非海塩由来（nss-: non sea salt）を分けるため、 $\text{Na}^+$ は全て海塩由来として海水の $\text{SO}_4^{2-}/\text{Na}^+$ 比及び $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 比から非海塩由来硫酸イオン（nss- $\text{SO}_4^{2-}$ ）及び非海塩由来カルシウムイオン（nss- $\text{Ca}^{2+}$ ）を算出した。

表1 分析項目及び分析方法

分析項目	分析方法
pH	ガラス電極法
EC（電気伝導率）	導電率計による方法
$\text{SO}_4^{2-}$	イオンクロマトグラフ法
$\text{NO}_3^-$	イオンクロマトグラフ法
$\text{Cl}^-$	イオンクロマトグラフ法
$\text{NH}_4^+$	イオンクロマトグラフ法
$\text{Ca}^{2+}$	イオンクロマトグラフ法
$\text{Mg}^{2+}$	イオンクロマトグラフ法
$\text{K}^+$	イオンクロマトグラフ法
$\text{Na}^+$	イオンクロマトグラフ法

## 3 結果及び考察

各地点における各調査年度の降水成分測定結果を表2に示す。

### 1) pHの経年変化及び経月変化

降水のpH（年加重平均値）の経年変化を図2に示す。いずれの地点においても、酸性化した状態にあり、ほぼ横ばいで推移している。

表2 各地点における成分濃度

年度	降水量 mm	pH	若桜町(氷ノ山スキー場地点)									
			電気伝導率	nss-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	nss-Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	H <sup>+</sup>
			μS/cm	μeq/L	μeq/L	μeq/L	μeq/L	μeq/L	μeq/L	μeq/L	μeq/L	μeq/L
14	1809	4.75	21.8	31.8	17.5	68.3	21.4	63.2	5.4	9.6	16.5	17.8
15	2179	4.61	21.8	27.5	15.3	65.3	14.0	58.7	2.3	7.1	15.5	24.7
16	1940	4.75	21.6	31.4	15.9	64.6	15.9	62.2	2.2	7.0	14.9	17.8
17	1834	4.70	29.5	41.3	20.2	115.5	21.1	102.3	4.0	13.5	24.2	20.1
18	2019	4.74	19.8	34.6	16.6	51.2	22.1	46.1	2.7	7.0	11.5	18.3
19	1909	4.67	21.6	41.5	19.3	50.6	24.3	47.4	2.6	6.8	9.8	21.5
20	1731	4.69	20.1	33.3	16.6	60.4	18.2	55.3	2.3	7.5	12.3	20.5
21	2150	4.74	19.6	32.1	19.9	54.9	14.9	47.6	2.3	9.7	11.8	18.1
22	2345	4.84	18.1	26.4	18.1	59.5	13.0	53.7	2.0	6.8	13.2	14.6
23	2802	4.78	16.6	20.4	11.8	46.6	12.5	43.9	1.4	3.1	9.0	16.7
鳥取市(旧衛生研究所、鳥取保健所地点)												
14	1412	4.66	50.0	50.6	29.6	236.1	40.0	199.6	7.5	21.8	56.4	21.7
15	1707	4.70	41.8	40.9	25.6	208.3	29.5	192.1	6.6	11.7	45.4	20.2
16	1563	4.65	60.5	54.1	30.9	267.0	58.5	334.0	12.3	13.7	58.8	22.4
17	1888	4.57	56.6	67.2	34.8	277.4	46.4	241.6	8.4	19.4	54.9	26.9
18	1576	4.69	35.2	42.8	23.9	147.1	32.0	133.2	5.8	8.6	29.6	20.3
19	1732	4.57	44.6	57.1	32.4	184.8	41.5	171.7	6.0	13.0	33.6	27.1
20	1618	4.53	39.7	41.0	22.4	192.6	25.9	170.3	4.1	6.2	31.0	29.3
21	1691	4.71	39.6	42.3	25.8	196.0	23.2	176.1	5.9	11.6	37.0	19.7
22	1640	4.76	36.6	41.3	27.1	184.6	24.3	164.0	4.5	12.5	38.0	17.5
湯梨浜町(衛生環境研究所地)												
15	2069	4.60	36.6	35.6	21.0	175.9	21.6	159.3	4.7	9.6	37.8	24.9
16	2424	4.69	44.0	32.7	21.4	250.7	19.3	230.1	5.3	8.1	46.9	20.3
17	1872	4.51	50.5	48.8	26.6	232.1	32.4	223.5	7.4	12.3	48.2	30.8
18	1622	4.59	34.5	42.3	23.1	134.6	22.6	122.3	4.6	8.8	26.9	25.9
19	1725	4.52	45.4	57.2	32.6	190.1	39.6	175.1	6.1	14.4	34.4	29.9
20	1689	4.60	34.4	34.8	20.1	163.3	23.2	146.1	3.7	6.6	28.1	25.4
21	1827	4.65	38.0	38.6	22.0	187.7	20.5	165.9	4.8	9.1	35.2	22.5
22	1846	4.64	35.2	31.6	21.1	174.5	17.7	152.3	3.8	6.3	34.9	22.9
23	2296	4.70	37.7	25.2	16.3	201.4	17.6	169.9	3.8	3.6	37.7	20.0

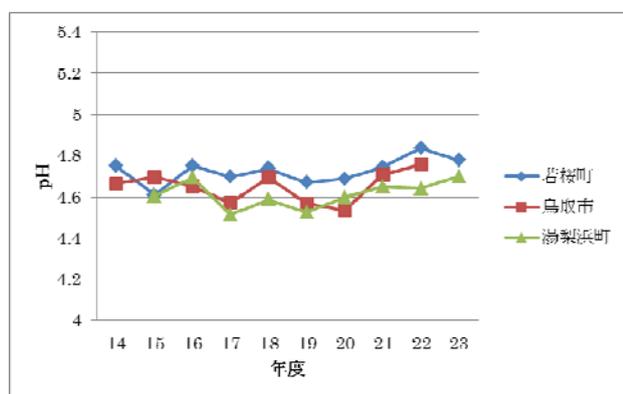


図2 pHの経年変化

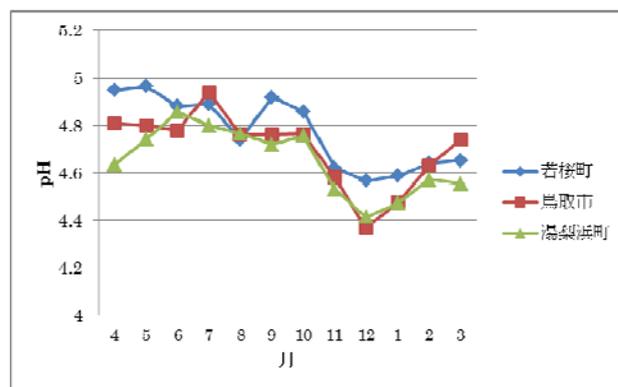


図3 pHの経月変化

降水のpH(月別pHの中央値)の経月変化を図3に示す。いずれも春季(3~5月)から夏季(6~8月)にかけて高く、冬季(12~1月)に低くなる傾向を示していた。

各地点におけるpH(月平均値)の変動範囲は、若桜町が4.10~5.86、湯梨浜町が4.06~5.37、鳥取市が4.06~6.51であり、pH4以下となる月は観測されなかった。

## 2) イオン組成図

イオン組成図の例として、平成22年度の年平均値を図4~6に示す。3地点ともに海塩由来成分(Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)の比率が高く、調査年度を通じて、その傾向は同様であった。

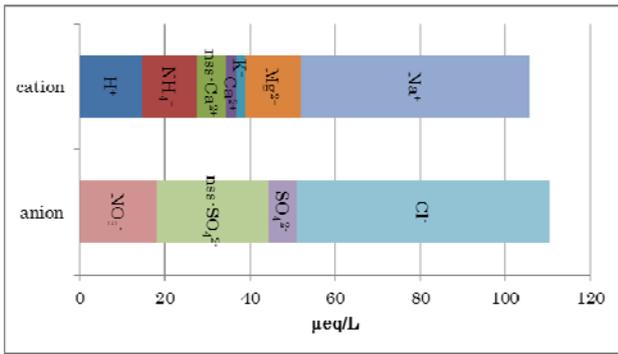


図4 イオン組成図 (H22年度若桜町)

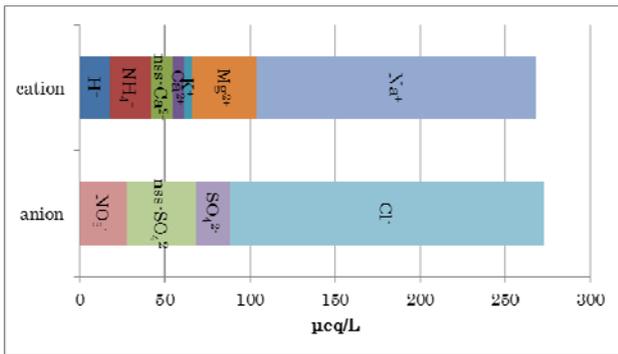


図5 イオン組成図 (H22年度鳥取市)

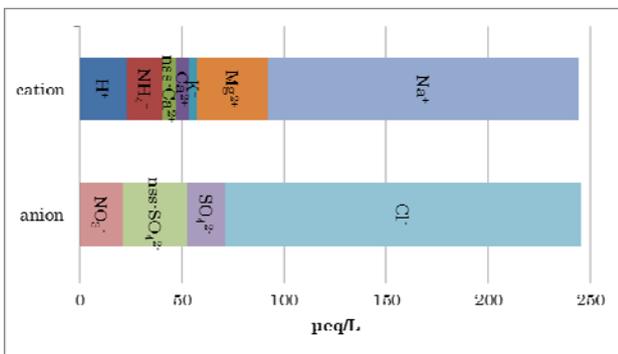


図6 イオン組成図 (H22年度湯梨浜町)

### 3) 酸性化に寄与する成分

降水のpH低下に寄与する主要な成分は、 $\text{HNO}_3$ と $\text{H}_2\text{SO}_4$ であり、 $\text{NO}_3^-/\text{nss-SO}_4^{2-}$ の当量濃度比を調べることで酸性化に寄与する成分を推定することができる。

図7より、降水の酸性化には $\text{HNO}_3$ より $\text{H}_2\text{SO}_4$ の寄与が大きいこと、また変動傾向より平成14年から19年頃にかけては、 $\text{HNO}_3$ の寄与は減少傾向にあったが、平成20年度以降増加していることが示唆された。

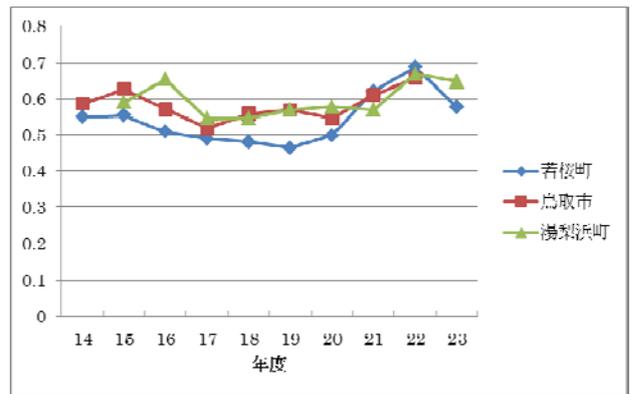


図7  $\text{NO}_3^-/\text{nss-SO}_4^{2-}$ 比 (経年)

月別での $\text{NO}_3^-/\text{nss-SO}_4^{2-}$ の当量濃度比を図8に示す。 $\text{NO}_3^-/\text{nss-SO}_4^{2-}$ 比は、秋季から冬季にかけて $\text{NO}_3^-$ の寄与が上昇し、夏季に低下していた。

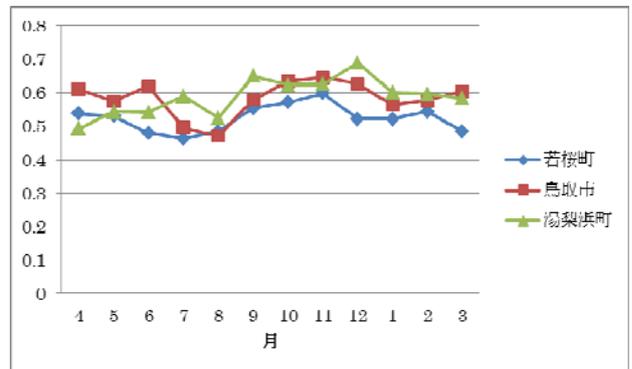


図8  $\text{NO}_3^-/\text{nss-SO}_4^{2-}$ 比 (経月)

### 4) 中和に寄与する成分

降水のpHの中和に寄与する主要な成分は、 $\text{NH}_3$ と $\text{CaCO}_3$ であり、 $\text{Ca}^{2+}$ は海塩由来成分以外の影響を把握するため $\text{nss-Ca}^{2+}$ で評価を行った。

酸性化に寄与する成分と同様に、 $\text{NH}_4^+/\text{nss-Ca}^{2+}$ 比の経年変化を図9に示す。

変動幅が大きく経年の傾向はつかみきれなかったが、降水の中和に寄与する成分としては、 $\text{NH}_3$ の関与が大きいことが示唆された。

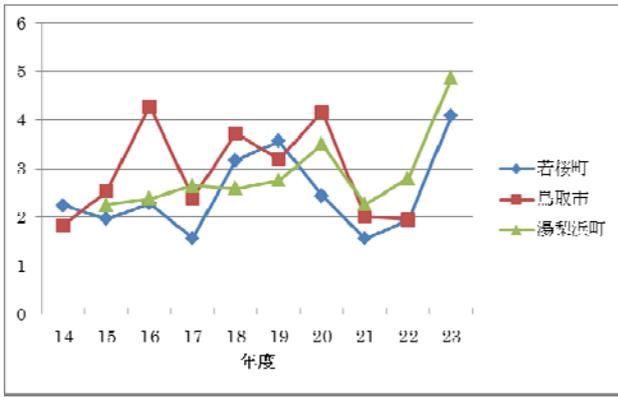


図9 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/nss-Ca<sup>2+</sup>比（経年）

NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/nss-Ca<sup>2+</sup>比の経月変化を図10に示す。春季においては、特にNH<sub>4</sub><sup>+</sup>/nss-Ca<sup>2+</sup>比が低く、NH<sub>3</sub>の中和への影響が小さくなる。これは、この時期に飛来する黄砂による影響と考えられる。

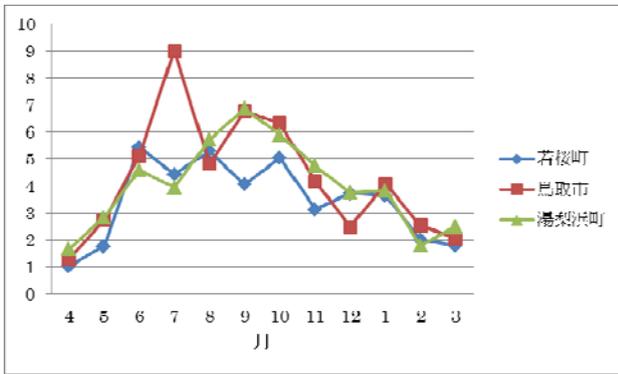


図10 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/nss-Ca<sup>2+</sup>比（経月）

### 5) 酸成分と塩基成分の経年変化

pHは酸と塩基の中和の結果を示す値であり、酸と塩基のバランスによって決まる。酸の濃度は、nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>とNO<sub>3</sub><sup>-</sup>の濃度、塩基は、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>とnss-Ca<sup>2+</sup>の濃度に対応すると考えられる。そこで、酸濃度=[nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>]+[NO<sub>3</sub><sup>-</sup>]、塩基濃度=[NH<sub>4</sub><sup>+</sup>]+[nss-Ca<sup>2+</sup>]として、各地点の経年変化を図11、12に示す。

全地点ともH17からH19年度にかけてピークを迎え、近年濃度は減少傾向にある。

鳥取市は他の2地点と比較して、変動傾向が異なっているが、他の2地点より都市域に存在することより、地域汚染による影響を受けたものと考えられる。

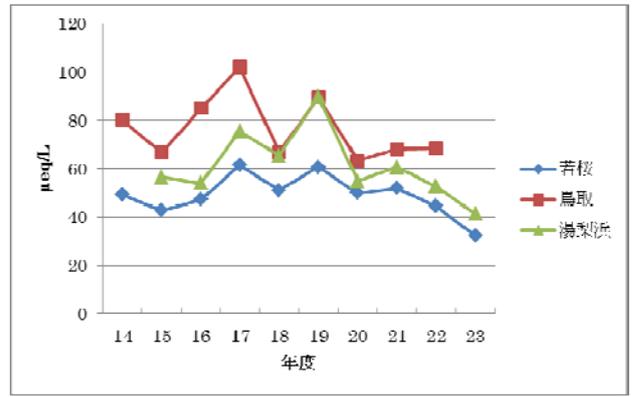


図11 酸濃度の経年変化

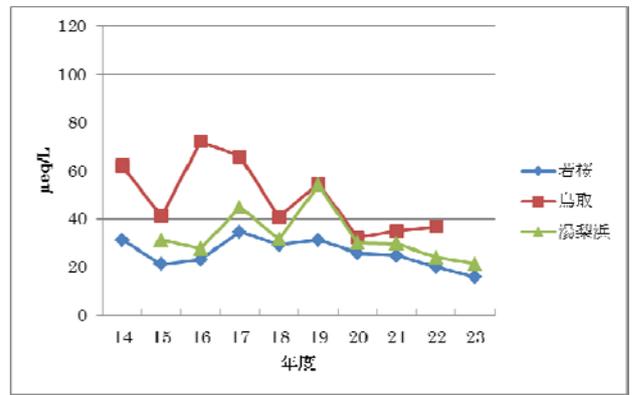


図12 塩基濃度の経年変化

### 6) イオン成分の年間沈着量について

イオン成分の年間沈着量の経年変化を図13～15に示す。年度により年間沈着量は変動しており明確な傾向はみられなかったが、若桜町は少なく、鳥取市、湯梨浜町は同程度で、若桜町より多かった。非海塩由来イオン成分の沈着量では、年によって変動はあるものの、鳥取市、都市域に近い湯梨浜町において、山岳部にある若桜町より多い傾向にあること、3地点とも近年同程度の沈着量で推移していることが確認された。

非海塩由来イオンのそれぞれの沈着量を、図16～20に示す。nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の年間沈着量は、全地点ともH17からH19年度にかけてピークを迎え、以降は減少傾向にある。中国でのSO<sub>2</sub>排出量も2007年以降(H19)に漸減しているとの報告もあり、その傾向と合致している。

その他のイオン成分については、明確な傾向はつかめなかった。

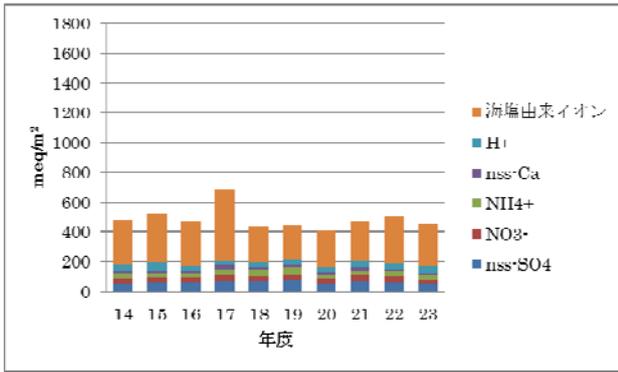


図13 年間沈着量 (若桜)

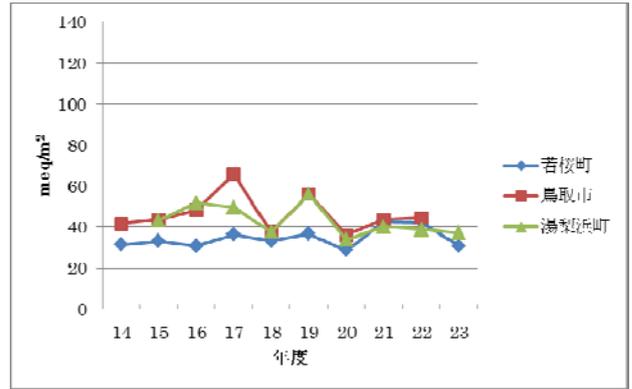


図17 年間沈着量 (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

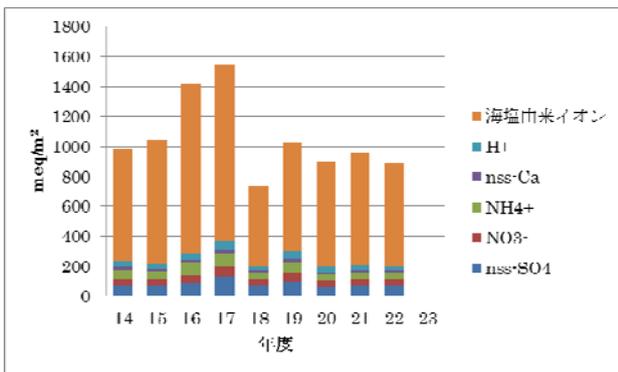


図14 年間沈着量 (鳥取)

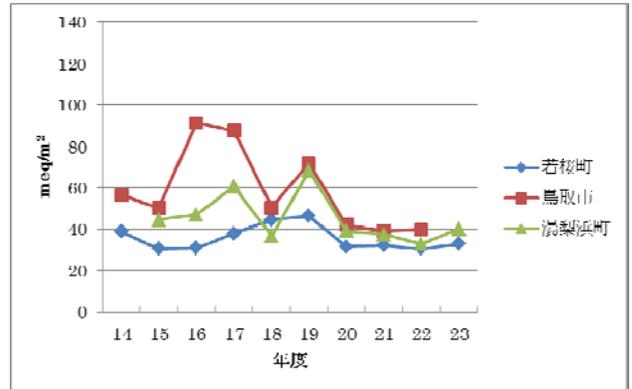


図18 年間沈着量 (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)

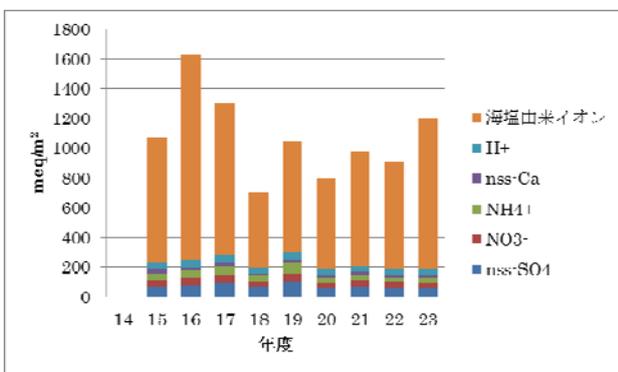


図15 年間沈着量 (湯梨浜)

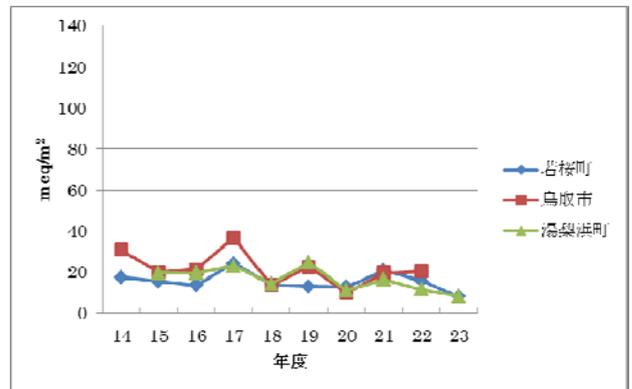


図19 年間沈着量 (nss-Ca<sup>2+</sup>)

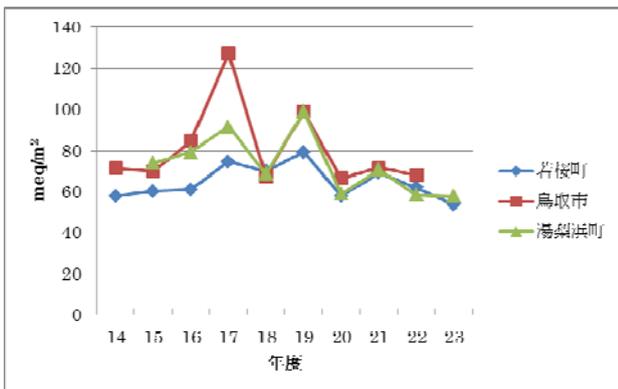


図16 年間沈着量 (nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)

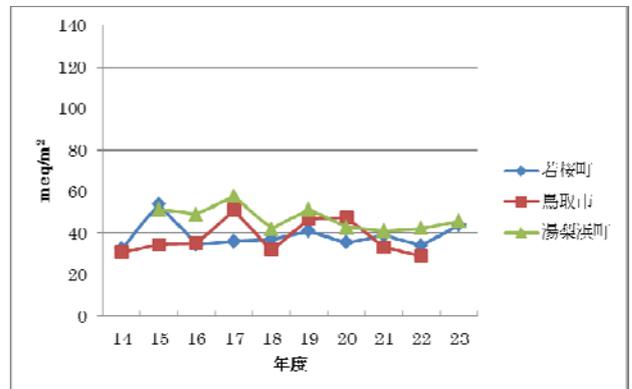


図20 年間沈着量 (H<sup>+</sup>)

## 7) 月ごとのイオン成分沈着量について

月ごとのイオン成分沈着量を図 21～23 に示す。いずれの地点においても沈着量は、11 月から 3 月にかけて多く、5 月～8 月は少なかった。

非海塩由来成分では、3 地点とも 12 月～3 月にかけて、 $\text{nss-SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NH}_4^+$  の沈着量が多くなる傾向にあった。 $\text{nss-Ca}^{2+}$  は、11 月、2 月から 5 月にかけて多く、これは、黄砂飛来時期と一致する。

イオン成分の沈着量が、11 月～4 月にかけて多くなるのは、化石燃料の使用に伴う汚染物質の排出増加に加え、北西季節風の影響による、大陸からの汚染物質の移流と海塩粒子の増加が原因と考えられる。

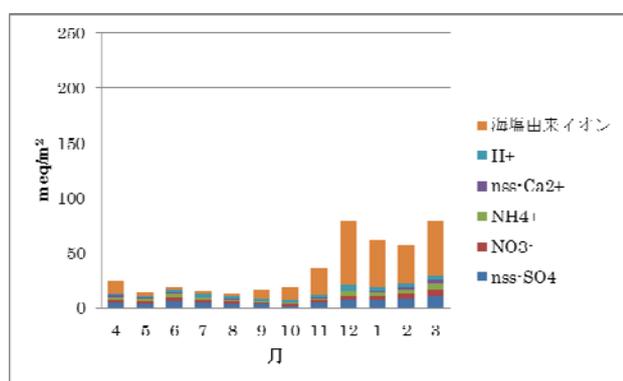


図 21 イオン成分沈着量の経月変化（若桜町）

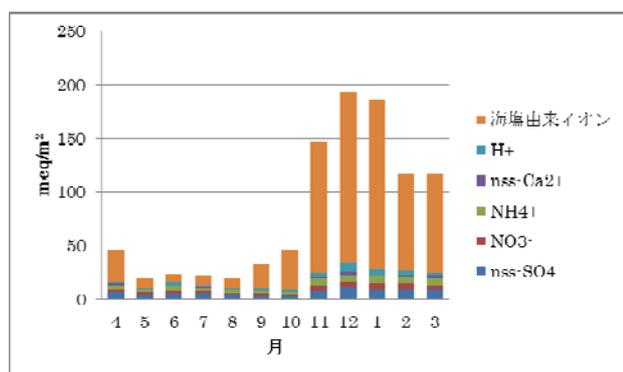


図 22 イオン成分沈着量の経月変化（鳥取市）

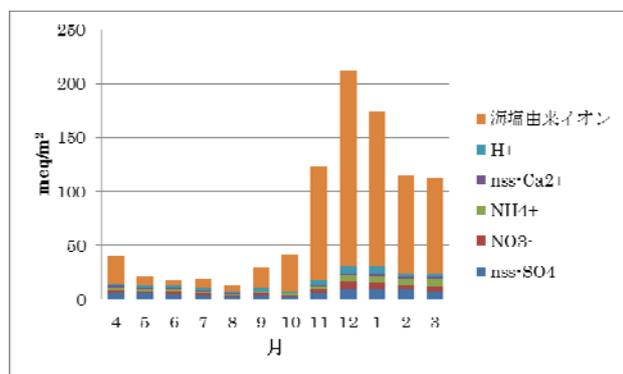


図 23 イオン成分沈着量の経月変化（湯梨浜町）

## 4 まとめ

1) 降水の pH はいずれの地点とも酸性化した状態にあり、横ばいで推移している。経月では、冬期に低く、夏季に高くなる傾向にあった。

酸濃度は近年低下傾向にあるが、その影響が pH に現れていないのは、中和に寄与する塩基濃度も減少傾向にあるためと考えられる。

2) 降水の酸性化には、 $\text{H}_2\text{SO}_4$  の寄与が大きいですが、平成 20 年度以降は、 $\text{HNO}_3$  の寄与が増加していることが示唆された。

降水の中和には  $\text{NH}_3$  の寄与が大きいですが、黄砂が飛来する春季においては、黄砂に含まれる炭酸カルシウムの寄与が大きくなると考えられる。

3) 年間のイオン成分沈着量は、若桜町が一番少なく、鳥取市と湯梨浜町は同程度であったが、非海塩由来成分イオンの沈着量は、3 地点とも近年同程度で推移していた。

今回は、酸性雨における湿性沈着について報告したが、大気環境中における酸性物質の沈着を評価するためには、乾性沈着についても同時に評価する必要があるため、今後は乾性沈着について解析を進めたい。

## 参考文献

- 1) 田中卓実他：鳥取県における酸性雨の状況について（1992～2001 年度）. 衛生環境研究所所報, 42, 46-50 (2002)
- 2) 堀江洋佑他：第 5 次酸性雨全国調査報告書（平成 22 年度）. 全国環境研会誌, 37, 110-131 (2012)
- 3) 大原利真：東アジアにおける広域大気汚染モデリングの最新動向. 水環境学会誌, 35, 6-9 (2012)