

鳥取県における降水成分調査について（第8報）

【大気騒音科】

木村 義明・若林 健二*・田中 長義**
 洞崎 和徳・田中 卓実・坂田 裕子

要 旨

鳥取県内4地点の降水中の酸の中和傾向について解析を行った。倉吉市、米子市は、鳥取市、若桜町に比べ中和が進行している傾向が見られた。都市部の3地点では、3～4月に中和が進み、9月、12～1月はあまり中和の進行が見られなかった。また、pHが5.6よりも高い降水も、 H^+ の90%以上がアルカリによって中和された結果によると推測された。

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。これら影響を的確に把握し、汚染対策を施す基礎資料を得るため、全国的に降水のモニタリング調査が実施されている。

当所においては、昭和62年度から継続して県内4地点で調査を実施しているが、平成6年度からは新たに山岳部においてバックグラウンド的な調査を開始している。今回、各地点における降水中の酸の中和について考察したので報告する。

2 調査地点及び調査方法

調査地点を図1に示す。このうち⑤の郡家町については、平成6年度から、都市型大気汚染の直接的影響が少ないと判断される②若桜町米ノ山スキー場に調査地点を変更し調査している。

若桜町では平成7年度より、その他の地点では平成8年度より、試料の採取は、降雪採取用ヒーター付きの環境庁仕様酸性雨ろ過式採取装置を用いて、それ以前は環境庁仕様酸性雨ろ過式採取装



図1 調査地点

置並びに降雪採取装置を併用して実施しており、調査方法は酸性雨等調査マニュアル（環境庁）に準拠して試料の分析を行った。

なお、水溶性成分については、鳥取市で1週間、若桜町で2週間、倉吉市、米子市で半月単位で、不溶性成分については、4地点とも1ヶ月単位で試料の採取を行っている。試料データは、すべて1ヶ月の平均値として取り扱っている。調査項目及び測定方法を表1に示す。

* 現西部健康福祉センター

** 現東部健康福祉センター

表1 調査項目及び測定法

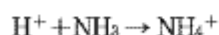
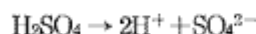
区分	調査項目	測定方法
水溶性成分	pH	ガラス電極法
	EC	導電率法
	SO ₄ ²⁻	イオンクロマトグラフ法
	NO ₃ ⁻	"
	Cl ⁻	"
	NH ₄ ⁺	"
	Ca ²⁺	"
	Mg ²⁺	"
	K ⁺	"
Na ⁺	"	
不溶性成分	降下物量	重量法
	Ca ²⁺	原子吸光度法
	Mg ²⁺	"
	K ⁺	"
	Na ⁺	"

3 調査結果及び考察

(1) pH と pAi

上記の方法により得られた水溶性成分のデータをバックデータとする。なお、鳥取市・倉吉市・米子市については昭和63～平成9年度のデータ、若桜町については平成6～9年度のデータである。また、イオン濃度はすべて当量濃度（ μ eq/L）を用いて解析を行った。

大気中の硫酸（H₂SO₄）や硝酸（HNO₃）が降水中に溶解すると、H⁺とSO₄²⁻、NO₃⁻に解離する。ここにアンモニアガス（NH₃）等のアルカリ物質が溶解すると、H⁺と中和反応を起し降水中のH⁺が減少する。



よってSO₄²⁻とNO₃⁻の量は中和を受ける前の酸の量と解釈でき、[SO₄²⁻]を非海塩由来に補正した濃度：[nss-SO₄²⁻]と[NO₃⁻]の和は入力酸性度（input acidity：Ai）とされ、その指標となる値：pAiが²以下の通り定義されている。

$$\text{pAi} = -\log([\text{nss-SO}_4^{2-}] + [\text{NO}_3^-])$$

pH と pAi を比較することで中和の進行具合を

調べることができる。

各地点における月単位でのpHとpAiの相関図を図2～5に示した。

図中の斜線よりも右にいくほど中和が進行していることを表している。各図を比較してみると、pAiは3.7～4.6辺りのほぼ同じ範囲内に収まっているが、倉吉市、米子市のグラフは鳥取市、若桜町のグラフに比べ、pHが右側にややばらついて傾向が見られる。このことから、各地点における降水中の元の酸の量はほぼ等しい範囲内に

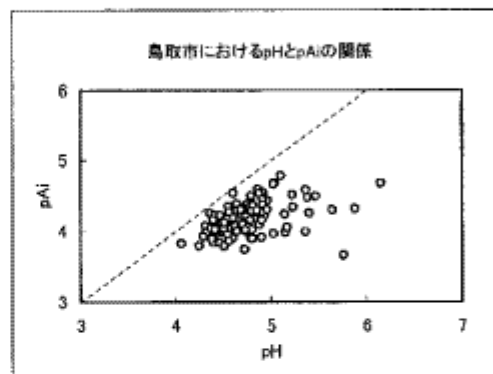


図2 鳥取市におけるpHとpAiの関係

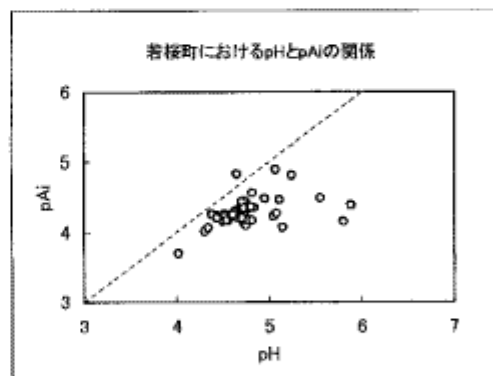


図3 若桜町におけるpHとpAiの関係

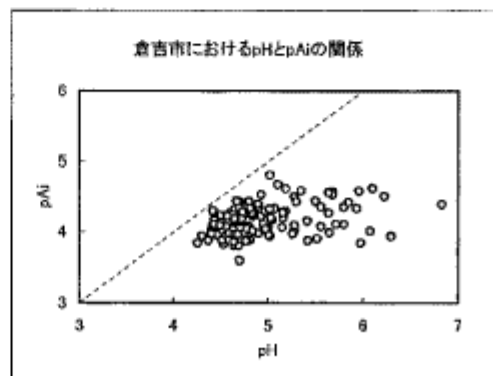


図4 倉吉市におけるpHとpAiの関係

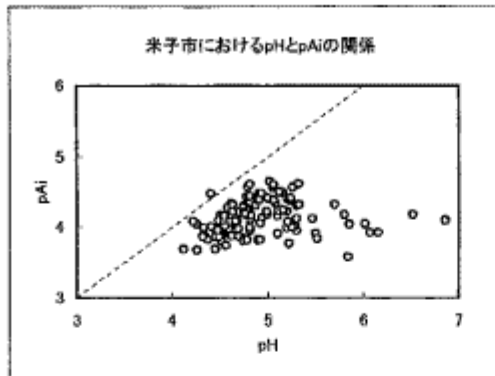


図5 米子市におけるpHとpAiの関係

あったのだが、倉吉市、米子市では、中和によって $[H^+]$ が減少しpHが高くなる傾向があるといえる。

(2) 分率酸性度の経年変化と経月変化

次に、以下の通りに定義される分率酸性度 (Fractional Acidity) から中和の程度を考察してみる。

$$\text{Fractional Acidity} = \frac{[H^+]}{([nss-SO_4^{2-}] + [NO_3^-])} \\ = [H^+] / Ai$$

各地点ごとの分率酸性度の経年変化を図6に表す。各地点とも年度によって変動があり、明確な増減傾向は見られないが、10年間を通じて倉吉市と米子市は鳥取市よりも値が小さく、ここからもこの2地点の中和の進行度の高さが見られる。若桜町は最近4年間のデータであるが、都市部の3地点よりも値が大きく中和の進行はあまりみられない。

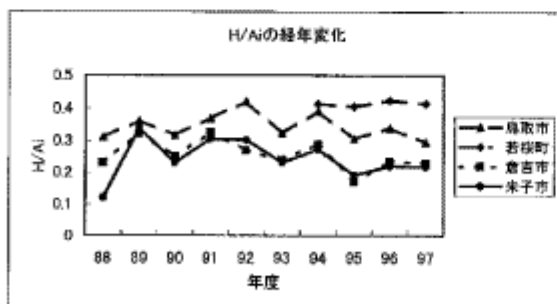


図6 分率酸性度の経年変化

分率酸性度の経月変化を図7に表す。この図から都市部の3地点では総じて3~4月の春季に最も中和が進んでおり、9月、12月~1月が中和のあまりない期間であるのがわかる。その原因とし

て、春季は黄砂現象による $[nss-Ca^{2+}]$ の増加、冬季は季節風によるAiの増加が考えられる。また、若桜町では、5月と7月に他の3地点の傾向と大きく異なる値となっているが、その原因については不明である。

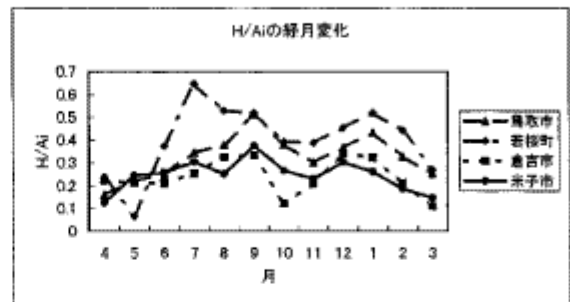


図7 分率酸性度の経月変化

(3) pHと分率酸性度

各地点におけるサンプルのpHに対する分率酸性度の値を示した図を図8~11に表す。

鳥取市ではpH4.2~5.0、 $[H^+] / Ai$ 0.2~0.5の辺りにプロットが集中している。若桜町はサンプルが少ないがpH4.5~4.9、 $[H^+] / Ai$ 0.2~0.5

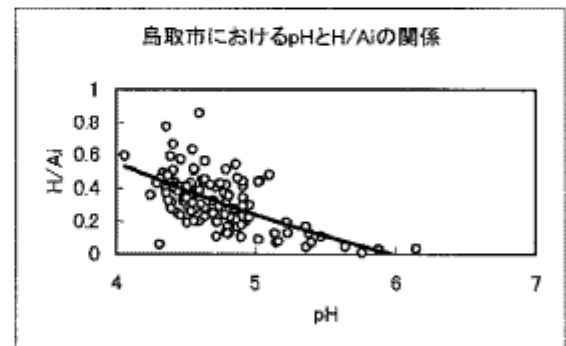


図8 鳥取市におけるpHと分率酸性度の関係

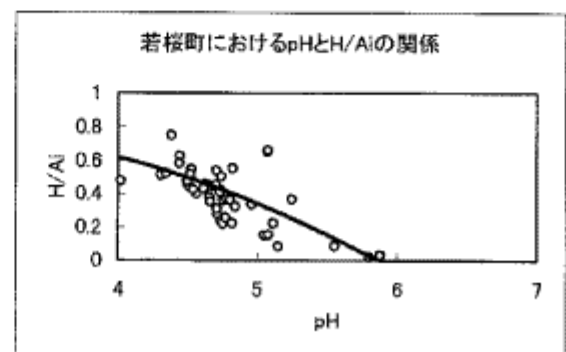


図9 若桜町におけるpHと分率酸性度の関係

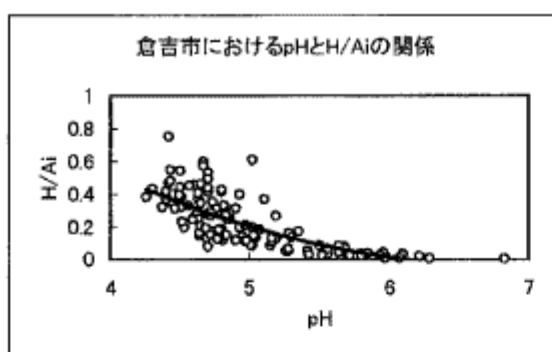


図10 倉吉市における pH と分率酸性度の関係

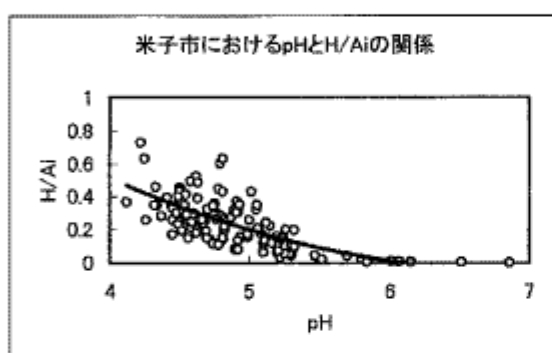


図11 米子市における pH と分率酸性度の関係

辺りに集中している。鳥取市よりも中和が進行していると見られる倉吉市、米子市では、右下に向かってばらけたグラフとなっており、一般的に酸性雨と定義されない pH が 5.6 よりも高いサンプルのすべてにおいて、 $[H^+]/A_i$ の値は 0.1 以下となっている。つまり、pH の高い降水は、元あった H^+ の 90% 以上がアルカリによって中和されて減少した結果によると推測することができる。こ

のことは図 2～5 で pH の高いサンプルが斜線よりも大きく右側にプロットされていることからわかる。

なお、表 2・3 に平成 9 年度の水溶性成分と不溶性成分の測定結果を示す。

4 ま と め

今回、各調査地点における降水中の酸の中和の進行具合を解析した結果、以下の結論を得た。

- (1) 倉吉市、米子市は、鳥取市、若桜町に比べ中和の進行度が高い傾向がある。
- (2) 総じて、3～4 月は中和が進行し、9 月、12～1 月はあまり進行がみられない。
- (3) pH が 5.6 より高い降水も、 H^+ の 90% 以上がアルカリによって中和された結果によると推測される。

参 考 文 献

- 1) 原 宏：酸性雨とは？：定義とその生成機構，*天気*，Vol.42, No.5, p.4～11 (1995)
- 2) 原 宏：入門講座 酸性雨，*大気汚染学会誌*，Vol.26, p.A1～A8, A33～A40, A51～A59 (1991)
- 3) 若林健二，田中長義，太田垣初恵，田中卓実，坂田裕子：鳥取県における降水成分調査について，*鳥取県衛生研究所報*，37, p.70～75 (1997)

表2 平成9年度の水溶性成分の分析結果

鳥取市(衛生研究所地点)																
期間	降水量 (mm)	pH	EC (μ S/cm)	SO ₄ ²⁻ (ng/l)	NO ₃ ⁻ (ng/l)	Cl ⁻ (ng/l)	NH ₄ ⁺ (ng/l)	Ca (ng/l)	Mg (ng/l)	K (ng/l)	Na (ng/l)	nssSO ₄ ²⁻ (ng/l)	nssCl ⁻ (ng/l)	nssCa (ng/l)	nssMg (ng/l)	nssK (ng/l)
97-4	76.4	4.51	25.9	2.59	1.93	1.22	0.41	0.38	0.11	0.12	0.77	2.39	-0.15	0.35	0.02	0.10
97-5	170.2	4.90	23.6	2.60	1.42	2.25	0.70	0.47	0.18	0.14	1.30	2.27	-0.08	0.42	0.03	0.10
97-6	137.6	4.96	37.8	2.54	1.07	7.00	0.45	0.35	0.49	0.22	4.00	1.54	-0.19	0.20	0.01	0.07
97-7	483.8	5.04	7.7	0.66	0.49	0.40	0.18	0.03	0.02	0.02	0.18	0.61	0.07	0.02	-0.01	0.01
97-8	135.7	5.02	7.8	0.76	0.39	0.21	0.15	0.06	0.00	0.00	0.09	0.74	0.05	0.06	-0.01	0.00
97-9	217.3	4.87	20.5	1.29	0.72	3.11	0.24	0.13	0.21	0.06	1.77	0.85	-0.07	0.06	0.00	0.00
97-10	87.5	4.80	68.4	5.29	3.13	11.62	1.36	0.79	0.83	0.44	6.71	3.61	-0.43	0.53	0.03	0.20
97-11	112.2	4.85	37.2	2.35	1.24	6.15	0.29	0.34	0.44	0.17	3.58	1.45	-0.28	0.20	0.01	0.04
97-12	148.7	4.51	80.3	5.03	1.89	14.67	0.49	0.67	1.02	0.36	8.46	2.91	-0.54	0.35	0.01	0.06
98-1	209.6	4.51	69.2	4.17	1.66	12.49	0.41	0.61	0.87	0.32	7.22	2.35	-0.49	0.33	0.01	0.06
98-2	83.7	4.56	94.7	6.44	3.25	16.93	0.95	0.91	1.23	0.49	9.78	3.99	-0.64	0.54	0.06	0.14
98-3	55.4	5.16	70.1	4.77	1.99	14.56	0.53	1.11	1.07	0.42	8.35	2.67	-0.44	0.79	0.07	0.12
最大	483.8	5.16	94.7	6.44	3.25	16.93	1.36	1.11	1.23	0.49	9.78	3.99	0.07	0.79	0.07	0.20
最小	55.4	4.51	7.7	0.66	0.39	0.21	0.15	0.03	0.00	0.00	0.09	0.61	-0.64	0.02	-0.01	0.00
平均	159.8	4.81	45.3	3.21	1.60	7.55	0.51	0.49	0.54	0.23	4.35	3.12	-0.27	0.32	0.02	0.07
加重平均		4.79	35.9	2.53	1.26	5.77	0.41	0.36	0.41	0.17	3.32	1.69	-0.19	0.23	0.01	0.05
若桜町(氷ノ山スキー場地点)																
97-4	89.6	4.77	17.7	1.90	1.83	0.61	0.34	0.45	0.11	0.17	0.44	1.79	-0.18	0.43	0.06	0.16
97-5	235.8	5.88	12.8	1.42	0.79	0.39	1.17	0.16	0.06	0.20	0.23	1.36	-0.02	0.15	0.03	0.19
97-6	222.9	5.11	9.1	1.11	0.76	0.32	0.35	0.18	0.04	0.07	0.17	1.07	0.02	0.17	0.02	0.07
97-7	528.6	4.65	12.9	0.41	0.42	0.78	0.10	0.02	0.00	0.03	0.07	0.40	0.64	0.02	0.00	0.02
97-8	148.0	5.25	4.9	0.47	0.39	0.13	0.17	0.01	0.00	0.03	0.08	0.45	0.00	0.01	-0.01	0.03
97-9	274.9	5.07	7.2	0.44	0.35	0.68	0.07	0.01	0.03	0.00	0.36	0.35	0.02	0.00	-0.01	-0.01
97-10	72.3	5.15	46.1	3.59	1.87	6.46	2.06	0.47	0.45	0.27	3.57	2.70	0.05	0.34	0.02	0.14
97-11	79.4	4.80	18.3	1.53	1.02	1.49	0.14	0.24	0.13	0.06	0.90	1.31	-0.13	0.21	0.02	0.03
97-12	310.3	4.70	23.2	1.71	0.61	2.84	0.10	0.17	0.22	0.09	1.64	1.30	-0.11	0.11	0.02	0.03
98-1	209.3	4.73	29.5	1.94	1.08	3.99	0.17	0.28	0.31	0.11	2.35	1.35	-0.22	0.19	0.03	0.03
98-2	163.4	4.71	31.5	2.68	1.13	3.69	0.39	0.34	0.27	0.16	2.06	2.16	-0.02	0.16	0.02	0.06
98-3	93.7	4.82	27.4	2.45	1.85	3.14	0.40	0.51	0.28	0.16	1.81	2.00	-0.11	0.44	0.06	0.10
最大	528.6	5.88	46.1	3.59	1.87	6.46	2.06	0.51	0.45	0.27	3.57	2.70	0.64	0.44	0.06	0.19
最小	72.3	4.65	4.9	0.41	0.35	0.13	0.07	0.01	0.00	0.00	0.07	0.35	-0.22	0.00	-0.01	-0.01
平均	202.4	4.97	20.0	1.64	0.99	2.04	0.46	0.23	0.16	0.11	1.14	1.35	-0.01	0.19	0.02	0.07
加重平均		4.84	17.3	1.30	0.77	1.66	0.33	0.16	0.12	0.09	0.87	1.08	0.09	0.13	0.01	0.06
倉吉市(倉吉保健所地点)																
97-4	119.8	4.98	22.3	3.13	1.85	1.28	1.00	0.47	0.11	0.15	0.75	2.95	-0.07	0.44	0.02	0.12
97-5	163.0	4.73	18.7	1.78	1.20	1.42	0.46	0.19	0.10	0.07	0.75	1.60	0.08	0.16	0.01	0.04
97-6	127.6	5.02	18.1	1.80	1.01	1.95	0.51	0.22	0.13	0.09	1.06	1.53	0.05	0.18	0.00	0.05
97-7	273.8	5.11	8.3	0.62	0.61	0.53	0.28	0.05	0.04	0.01	0.29	0.55	0.01	0.04	0.00	0.00
97-8	123.6	5.93	10.8	1.70	0.77	0.56	1.00	0.13	0.05	0.15	0.32	1.62	-0.02	0.12	0.01	0.14
97-9	208.7	5.64	21.8	1.39	0.63	3.86	0.67	0.18	0.26	0.14	2.16	0.85	-0.03	0.10	0.00	0.06
97-10	4.2	5.05	44.7	3.71	1.54	11.84	0.63	0.66	0.81	0.19	6.72	2.03	-0.24	0.40	0.00	-0.05
97-11	146.5	4.83	29.9	2.18	1.32	4.05	0.43	0.23	0.29	0.12	2.42	1.57	-0.29	0.14	0.00	0.03
97-12	103.1	4.40	74.4	5.26	2.18	12.11	0.85	0.57	0.85	0.34	7.00	3.50	-0.48	0.30	0.01	0.09
98-1	218.3	4.81	37.6	2.37	1.02	6.45	0.33	0.29	0.44	0.16	3.74	1.43	-0.27	0.15	0.00	0.03
98-2	118.4	4.68	69.5	4.99	2.51	11.62	0.76	0.74	0.89	0.33	6.90	3.26	-0.76	0.47	0.06	0.09
98-3	93.6	5.03	42.1	3.21	1.61	7.69	0.70	0.61	0.58	0.22	5.67	1.79	-2.49	0.39	-0.10	0.01
最大	273.8	5.93	74.4	5.26	2.51	12.11	1.00	0.74	0.89	0.34	7.00	3.50	0.08	0.47	0.06	0.14
最小	4.2	4.40	8.3	0.62	0.61	0.53	0.28	0.05	0.04	0.01	0.29	0.55	-2.49	0.04	-0.10	-0.05
平均	146.7	5.02	33.2	2.68	1.36	5.28	0.63	0.36	0.38	0.16	3.15	1.89	-0.38	0.24	0.00	0.05
加重平均		4.92	28.5	2.24	1.18	4.14	0.58	0.28	0.30	0.14	2.45	1.62	-0.27	0.19	0.00	0.05
米子市(米子保健所地点)																
97-4	115.7	5.47	19.8	2.63	1.63	1.76	0.71	0.66	0.13	0.29	1.04	2.37	-0.11	0.62	0.01	0.25
97-5	159.2	4.82	19.2	2.31	1.46	1.04	0.63	0.36	0.11	0.21	0.57	2.16	0.01	0.34	0.04	0.19
97-6	132.9	5.32	52.3	3.10	0.97	10.97	0.63	0.50	0.75	0.35	6.23	1.54	-0.23	0.26	0.01	0.13
97-7	425.1	5.02	13.3	0.86	0.57	1.66	0.23	0.08	0.11	0.03	0.92	0.63	0.01	0.03	0.00	0.00
97-8	147.8	4.81	9.5	0.82	0.51	0.31	0.16	0.05	0.03	0.00	0.14	0.78	0.06	0.04	0.01	-0.01
97-9	331.6	5.06	20.7	1.22	0.65	3.67	0.25	0.16	0.24	0.08	2.11	0.70	-0.12	0.08	-0.02	0.00
97-10	66.9	4.74	69.5	6.08	3.59	10.00	1.68	1.09	0.72	0.60	5.76	4.64	-0.35	0.87	0.03	0.39
97-11	132.5	4.99	27.3	2.23	1.54	3.45	0.66	0.28	0.27	0.18	2.09	1.70	-0.31	0.20	0.02	0.10
97-12	110.4	4.48	75.6	5.20	2.55	12.91	0.89	0.66	0.92	0.34	7.50	3.32	-0.57	0.38	0.02	0.07
98-1	161.5	4.76	60.2	3.60	1.54	11.43	0.43	0.53	0.80	0.27	6.50	1.94	-0.42	0.28	0.01	0.04
98-2	85.1	4.78	93.0	7.10	3.48	17.17	0.95	1.44	1.28	0.58	10.00	4.59	-0.81	1.06	0.08	0.22
98-3	94.1	5.21	41.5	3.49	2.06	7.17	0.82	0.75	0.57	0.28	4.19	2.44	-0.36	0.59	0.07	0.13
最大	425.1	5.47	93.0	7.10	3.59	17.17	1.68	1.44	1.28	0.60	10.00	4.64	0.06	1.06	0.08	0.39
最小	66.9	4.48	9.5	0.82	0.51	0.31	0.16	0.05	0.03	0.00	0.14	0.63	-0.81	0.03	-0.02	-0.01
平均	163.6	4.95	41.8	3.22	1.71	6.79	0.67	0.54	0.49	0.27	3.93	2.23	-0.27	0.40	0.02	0.13
加重平均		4.92	32.8	2.43	1.30	5.28	0.51	0.38	0.38	0.19	3.03	1.67	-0.19	0.27	0.01	0.08

(注) 1 nssSO₄²⁻:非海洋由来硫酸イオン, nssCa²⁺:非海洋由来カルシウムイオン

2 鳥取市については1週間分のデータ、若桜町については2週間分の降水成分データ、倉吉市・米子市については半月分の降水成分データを加重平均により1ヶ月データとしている。

表3 平成9年度の不溶性成分の分析結果

鳥取市(衛生研究所地点)						
期間	採取 日数	dust (ng/月)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)
97-4	28	27.09	0.95	4.84	4.75	0.83
97-5	35	35.47	1.44	7.12	5.00	0.71
97-6	28	25.15	1.10	5.28	3.87	0.61
97-7	35	12.64	1.94	2.87	2.75	0.79
97-8	28	15.07	2.30	2.40	1.59	0.22
97-9	29	12.54	1.38	2.73	2.87	3.48
97-10	35	36.20	2.08	1.63	5.14	2.90
97-11	27	48.21	9.50	1.46	3.67	1.32
97-12	35	26.39	1.03	7.09	4.05	0.41
98-1	28	29.71	0.78	1.30	6.70	1.75
98-2	28	35.81	0.90	12.12	5.92	0.93
98-3	28	40.24	1.56	9.32	5.30	1.62
最大		48.21	9.50	12.12	6.70	3.48
最小		12.54	0.78	1.30	1.59	0.22
平均		29.38	2.08	4.85	4.30	1.30
合計		352.52	24.98	58.16	51.91	15.57

石見町(水ノ山スキー場地点)						
期間	採取 日数	dust (ng/月)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)
97-4	28	7.66	0.72	1.53	1.99	1.20
97-5	28	20.94	0.70	4.03	5.05	0.40
97-6	42	18.10	0.99	3.40	3.56	0.48
97-7	28	6.52	0.33	0.64	0.80	0.36
97-8	28	4.03	0.33	0.52	0.65	0.58
97-9	29	6.21	0.34	0.98	1.25	0.79
97-10	28	13.07	0.98	3.73	2.00	0.93
97-11	24	8.64	0.57	1.34	1.69	0.23
97-12	45	17.62	2.51	3.46	3.42	0.27
98-1	28	26.64	0.60	7.66	5.66	0.69
98-2	28	13.90	0.34	4.66	4.36	0.35
98-3	28	14.79	0.56	3.73	3.43	0.58
最大		26.64	2.51	7.66	5.66	1.20
最小		4.03	0.33	0.52	0.65	0.27
平均		13.18	0.75	2.97	2.83	0.58
合計		158.14	9.00	35.70	33.96	6.92

倉吉市(倉吉保健所地点)						
期間	採取 日数	dust (ng/月)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)
97-4	35	34.01	1.02	7.56	2.86	1.07
97-5	27	18.25	0.80	3.68	3.00	0.37
97-6	29	12.02	0.62	3.12	3.95	0.41
97-7	31	8.31	0.46	0.79	0.63	0.38
97-8	31	8.43	1.03	1.21	0.66	0.19
97-9	30	11.27	0.62	1.89	1.29	0.62
97-10	34	0.43	0.08	0.15	0.54	1.20
97-11	27	13.00	0.85	3.11	1.69	0.09
97-12	35	18.35	0.95	5.01	2.74	0.30
98-1	28	20.11	0.96	7.21	4.29	1.12
98-2	28	29.31	0.84	12.43	3.11	0.87
98-3	32	23.02	0.84	8.39	3.74	0.87
最大		34.01	1.03	12.43	4.29	1.20
最小		0.43	0.08	0.15	0.54	0.09
平均		16.37	0.76	4.55	2.37	0.62
合計		196.49	9.09	54.56	28.49	7.48

米子市(米子保健所地点)						
期間	採取 日数	dust (ng/月)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)
97-4	35	17.02	2.23	3.42	3.92	2.20
97-5	27	15.94	1.00	3.57	7.08	0.60
97-6	29	20.38	0.92	4.88	2.85	0.72
97-7	31	9.49	0.72	1.63	0.54	0.40
97-8	31	6.18	0.75	1.24	0.66	0.70
97-9	30	20.32	1.44	5.11	2.14	0.59
97-10	34	32.57	1.80	1.50	4.47	0.82
97-11	27	19.07	1.20	3.48	1.35	0.10
97-12	35	25.16	1.31	1.77	3.74	0.24
98-1	28	38.88	1.77	0.77	4.98	0.72
98-2	28	44.80	1.24	21.45	5.61	1.28
98-3	30	35.40	1.58	11.19	6.54	1.62
最大		44.80	2.23	21.45	7.06	2.20
最小		6.18	0.72	0.77	0.54	0.10
平均		24.02	1.33	5.00	3.65	0.83
合計		288.21	15.95	60.01	43.86	9.98