

鳥取県における降水成分調査について (第10報)

【大気騒音科】

木村 義明 ・ 佐々木 順一
西尾 直子 ・ 尾田 喜夫

Research on the components found in Tottori Prefecture's Precipitation (the 10th report)

Yoshiaki KIMURA, Junichi SASAKI
Naoko NISHIO and Yoshio ODA

Abstract

We analyzed the precipitation in Tottori city as urban site and Wakasa town as remote site. It was found to be the difference originated from influence of $ss-SO_4^{2-}$ that the concentration ratio of $nss-SO_4^{2-}$ to total- SO_4^{2-} between both sites. It appeared that influence of $ss-SO_4^{2-}$ by the seasonal wind in winter at both sites. It was higher in Tottori that the NO_3^- concentration and the ratio of nitrate to sulfate. The difference of monthly average concentration of each components was large in order of $ss-SO_4^{2-}$, $nss-SO_4^{2-}$ and NO_3^- . And the one in Wakasa town was less than in Tottori city except $ss-SO_4^{2-}$, so it was confirmed that the seasonal change of acidification of the precipitation at this remote site was less than at the urban site.

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。これらの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、設置後6年経過したバックグラウンド地点の降水成分の傾向について、都市部地点との比較を交えて考察したので報告する。



Fig. 1 Sampling points.

2 調査地点及び調査方法

調査地点をFig. 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若桜町氷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Table 1に示す。

Table 1 Parameters and methods of measurement.

	parameters	methods of measurement
dissolving	pH	glass electrode
	EC	electric conductivity
	SO ₄ ²⁻	ion chromatography
	NO ₃ ⁻	
	Cl ⁻	
	NH ₄ ⁺	
	Ca ²⁺	
	Mg ²⁺	
	K ⁺	
	Na ⁺	
non-dissolving	amount of fallen	
	Ca ²⁺	atomic absorption spectrometry
	Mg ²⁺	
	K ⁺	
	Na ⁺	

3 調査結果及び考察

上記5地点のうち、アーバンサイトとして鳥取市を、リモートサイトとして若桜町を選択し、その平成6～平成11年度における水溶性成分の月別データを今回の解析に使用した。年度平均濃度、及び月別平均濃度はすべて加重平均濃度とした。また、イオン濃度はすべて当量濃度（ $\mu\text{eq/L}$ ）を用いて解析を行った。

1) nss-SO₄²⁻濃度とtotal-SO₄²⁻濃度に対する割合

鳥取市と若桜町における降水中のnss-SO₄²⁻濃度、及びtotal-SO₄²⁻濃度に対するnss-SO₄²⁻濃度の比率の経年変化をFig. 2に表す。総じて、nss-SO₄²⁻濃度は若桜町が低いにもかかわらず、そのtotal-SO₄²⁻濃度に対する比率は鳥取市のほうが低くなっている。これは鳥取市が海洋の近くに位置しており、ss-SO₄²⁻の影響を強く受けているためと考えられる。

同様に月別の平均濃度をFig. 3に表す。両地点とも、夏季にはSO₄²⁻のほとんどが非海塩由来性であったものが、冬季には、その濃度が上昇しているにもかかわらず、比率が低下する傾向がみられる。このことは、鳥取市だけでなく、海岸から約30km離れた山岳地域である若桜町にも、冬季の季節風による日本海由来のss-SO₄²⁻の影響が強く現れることを示している。

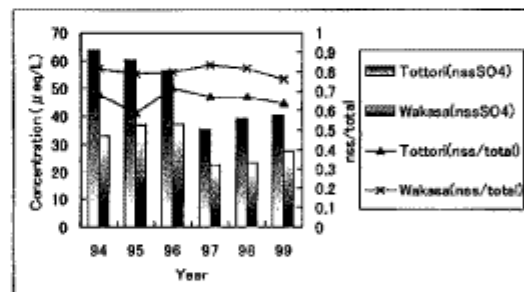


Fig. 2 Yearly change of nss-SO₄²⁻ concentration and ratio of nss-SO₄²⁻ to total-SO₄²⁻.

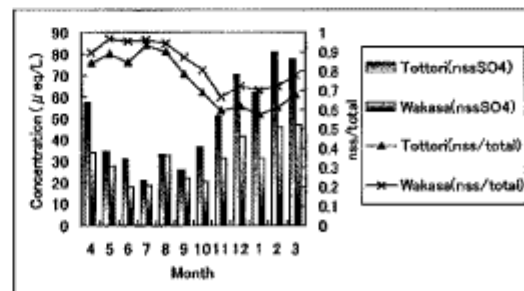


Fig. 3 Monthly average of nss-SO₄²⁻ concentration and ratio of nss-SO₄²⁻ to total-SO₄²⁻.

2) NO₃⁻濃度とN/S比

両地点における降水中のNO₃⁻濃度、及びnss-SO₄²⁻濃度に対するNO₃⁻濃度の比率（N/S比）の経年変化をFig. 4に表す。nss-SO₄²⁻同様、NO₃⁻濃度においても鳥取市が高く、また、N/S比でも若桜町を若干上回っている。このことは、NO₃⁻の前駆体であるNO_xが、主に自動車排ガス等の都市型産業からの排出物質であることによると考えられる。

月別平均濃度及びN/S比をFig. 5に示す。冬季におけるN/S比について若桜町で低下が見られるが、これはFig. 3に見られるとおり、NO₃⁻に比べnss-SO₄²⁻濃度に若干の増加があることに起因していると考えられる。また、同季の鳥取市についてはnss-SO₄²⁻同様にNO₃⁻濃度の増加が見られることから、顕著なN/S比の低下は見られない。

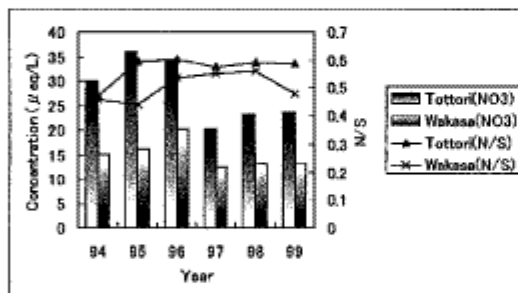


Fig. 4 Yearly change of NO₃⁻ concentration and ratio of nitrate to sulfate.

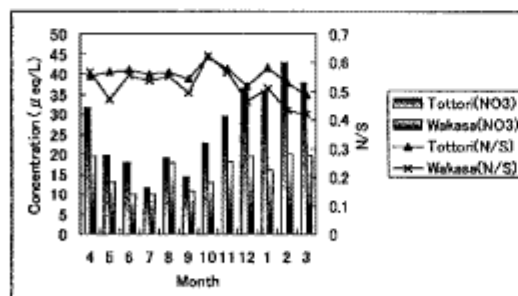


Fig. 5 Monthly average of NO₃⁻ concentration and ratio of nitrate to sulfate.

3) 各成分の月別濃度差

両地点における降水中の各成分の冬季における濃度上昇を検討するため、ss-SO₄²⁻、nss-SO₄²⁻、NO₃⁻の各月別平均濃度に変動係数：cvを用い

て、その散布度を比較した。その結果をTable 2に表す。項目別ではss-SO₄²⁻の散布度が最も大きく、冬季の季節風による海洋成分の輸送の影響の大きさを示している。nss-SO₄²⁻も季節風による大陸からの影響が示唆される。NO₃⁻の散布度が他に比べ小さいのは、前駆体の排出源が、自動車排ガス、焼却炉等の地域的要因が主であるためと考えられるが、nss-SO₄²⁻同様に冬季に濃度上昇が起こる事実は、越境汚染の可能性も示唆するものである。地点別では、ss-SO₄²⁻がほぼ同値であるのを除いて若桜町が鳥取市を下回っており、こうしたことから、若桜町は酸性物質の大陸越境や地域的汚染の、季節的な影響が比較的小さいサイトであることが確認された。

なお、平成11年度の水溶性成分と不溶性成分の測定結果をTable 3, and 4に示す。

Table 2 Coefficient of variation of monthly average concentration of each components.

sampling site	coefficient of variation (cv)		
	ss-SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻
Tottori	0.875	0.431	0.391
Wakasa	0.879	0.325	0.253

4 ま と め

鳥取県内の鳥取市と若桜町の降水成分について解析を行い、以下のとおりまとめた。

- 1) nss-SO₄²⁻濃度のtotal-SO₄²⁻濃度に対する比率は若桜町より鳥取市が低く、これはss-SO₄²⁻の影響を強く受けているためと考えられる。
- 2) 山岳地域である若桜町にも、冬季の季節風による日本海由来のss-SO₄²⁻の影響が強く現れる。
- 3) NO₃⁻濃度、N/S比とも若桜町より鳥取市が高い。
- 4) 各成分の月別平均濃度差は、ss-SO₄²⁻、nss-SO₄²⁻、NO₃⁻の順で大きい。
- 5) 同濃度差の地点比較では、ss-SO₄²⁻を除いて鳥取市より若桜町が小さく、酸性物質濃度の季節的な変動が小さい。

Table 3 The result of measurement of dissolving components at a period from April 1999 to March 2000.

Month	Amount of precipitation	pH	EC ($\mu\text{S/cm}$)	SO ₄ (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 (ng/l)	nssCl (ng/l)	nssCa (ng/l)	nssMg (ng/l)	nssK (ng/l)
Tottori																
99-4	72.3	5.59	32.1	2.97	1.65	4.85	0.59	1.07	0.44	0.19	2.91	2.24	-0.39	0.96	0.09	0.08
99-5	104.2	5.48	13.3	1.77	0.98	1.06	0.48	0.48	0.12	0.12	0.62	1.61	-0.07	0.45	0.04	0.09
99-6	263.7	4.94	9.6	0.89	0.65	0.49	0.27	0.11	0.04	0.05	0.25	0.82	0.03	0.10	0.01	0.05
99-7	51.0	5.45	11.6	1.49	0.95	0.86	0.39	0.32	0.10	0.07	0.66	1.32	-0.32	0.30	0.02	0.04
99-8	58.9	4.98	14.6	1.42	1.10	1.29	0.28	0.27	0.13	0.08	0.84	1.21	-0.22	0.24	0.02	0.05
99-9	264.2	4.76	16.7	1.17	0.83	1.84	0.16	0.15	0.13	0.08	1.01	0.91	0.01	0.12	0.00	0.04
99-10	55.4	5.98	42.5	3.03	1.76	8.23	1.43	0.79	0.57	0.39	1.72	1.85	-0.25	0.61	0.00	0.22
99-11	161.0	4.79	51.0	2.79	1.19	10.21	0.29	0.48	0.72	0.24	5.65	1.37	0.06	0.27	0.04	0.04
99-12	251.2	4.52	67.6	4.19	1.99	12.34	0.47	0.57	0.85	0.25	6.93	2.45	-0.12	0.30	0.01	0.10
00-1	148.5	4.51	57.3	3.64	1.34	10.18	0.31	0.45	0.74	0.24	5.51	2.18	-0.26	0.23	0.04	0.03
00-2	206.2	4.43	101.2	6.15	2.36	20.01	0.67	0.83	1.39	0.51	11.42	3.29	-0.52	0.39	0.02	0.10
00-3	154.9	5.10	75.7	5.60	2.72	13.73	0.96	3.64	0.95	0.51	6.80	3.89	-0.49	3.38	0.14	0.26
Max	264.2	5.98	101.2	6.15	2.72	20.01	1.43	3.64	1.39	0.51	11.42	3.89	0.06	3.38	0.14	0.26
Min	51.0	4.43	9.6	0.89	0.65	0.49	0.16	0.11	0.04	0.05	0.25	0.82	-0.52	0.10	0.00	0.03
Average		4.74	45.1	3.04	1.46	7.73	0.46	0.72	0.56	0.24	4.40	1.94	-0.17	0.56	0.03	0.09
Wakasa																
99-4	115.4	5.22	16.8	1.82	1.09	1.63	0.33	0.67	0.18	0.10	0.90	1.60	0.02	0.63	0.07	0.06
99-5	165.6	5.71	9.9	1.38	0.71	0.31	0.89	0.24	0.05	0.19	0.14	1.35	0.06	0.23	0.04	0.18
99-6	351.0	4.96	6.5	0.60	0.39	0.15	0.13	0.05	0.01	0.05	0.10	0.57	-0.03	0.05	0.00	0.05
99-7	76.4	5.43	7.0	0.76	0.45	0.52	0.27	0.13	0.04	0.06	0.26	0.69	0.06	0.12	0.01	0.05
99-8	56.0	5.73	11.0	1.34	1.02	0.76	0.88	0.12	0.07	0.19	0.41	1.23	0.02	0.10	0.02	0.17
99-9	324.1	4.98	8.1	0.64	0.45	0.50	0.15	0.04	0.04	0.07	0.26	0.57	0.02	0.03	0.01	0.06
99-10	138.9	4.96	12.6	0.85	0.70	1.67	0.11	0.19	0.14	0.06	0.96	0.61	-0.05	0.15	0.02	0.03
99-11	127.3	4.79	23.7	1.37	0.74	3.51	0.15	0.14	0.26	0.11	1.96	0.88	-0.05	0.07	0.02	0.04
99-12	162.6	4.58	42.1	2.95	1.52	6.36	0.32	0.39	0.34	0.22	3.83	1.99	-0.53	0.24	-0.12	0.08
00-1	173.8	4.64	21.3	1.63	0.53	2.25	0.09	0.13	0.17	0.07	1.25	1.32	0.01	0.09	0.02	0.03
00-2	155.7	4.56	63.3	4.72	1.29	11.87	0.35	0.60	0.97	0.41	6.68	3.04	-0.13	0.35	0.17	0.17
00-3	251.6	4.89	38.6	3.38	1.46	6.17	0.37	0.86	0.48	0.24	3.45	2.51	-0.04	0.73	0.07	0.11
Max	351.0	5.73	63.3	4.72	1.52	11.87	0.89	0.86	0.97	0.41	6.68	3.04	0.06	0.73	0.17	0.18
Min	56.0	4.56	6.5	0.60	0.39	0.15	0.09	0.04	0.01	0.05	0.10	0.57	-0.53	0.03	-0.12	0.03
Average		4.87	21.2	1.73	0.82	2.88	0.29	0.29	0.22	0.14	1.63	1.32	-0.06	0.23	0.02	0.08
Kurayoshi																
99-4	96.2	5.38	24.7	2.29	1.49	3.32	0.55	0.80	0.29	0.14	1.92	1.81	-0.12	0.73	0.06	0.08
99-5	103.7	5.18	13.1	1.38	0.94	0.87	0.39	0.36	0.11	0.10	0.51	1.26	-0.04	0.34	0.04	0.08
99-6	243.4	5.89	12.0	0.98	0.62	0.50	1.36	0.07	0.03	0.18	0.19	0.94	0.17	0.07	0.01	0.17
99-7	82.4	5.08	19.1	1.57	0.86	0.68	1.69	0.11	0.04	0.20	0.42	1.47	-0.08	0.10	-0.01	0.19
99-8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
99-9	224.6	5.22	11.0	0.80	0.65	1.27	0.41	0.14	0.14	0.08	0.68	0.63	0.04	0.11	0.06	0.06
99-10	147.7	5.08	43.2	2.34	1.05	9.18	0.25	0.50	0.63	0.21	5.05	1.07	0.10	0.31	0.02	0.02
99-11	115.3	4.76	51.8	3.10	1.49	9.30	0.72	1.32	0.62	0.32	5.30	1.77	-0.23	0.12	-0.01	0.13
99-12	157.6	4.49	62.4	4.44	2.60	11.28	0.79	0.85	0.77	0.35	6.11	2.91	0.31	0.42	0.03	0.13
00-1	185.0	4.66	43.9	2.92	0.86	7.61	0.27	0.23	0.54	0.20	4.39	1.81	-0.28	0.06	0.01	0.04
00-2	149.4	4.34	83.3	5.91	2.67	13.81	0.78	0.83	1.01	0.40	7.92	3.92	-0.43	0.52	0.06	0.12
00-3	102.1	5.60	72.3	5.89	3.45	12.54	0.99	2.65	0.97	0.47	7.40	4.03	-0.77	2.37	0.08	0.21
Max	243.4	5.89	83.3	5.91	3.45	13.81	1.69	2.65	1.01	0.47	7.92	4.03	0.31	2.37	0.08	0.21
Min	82.4	4.34	11.0	0.80	0.62	0.50	0.25	0.07	0.03	0.06	0.19	0.63	-0.77	0.06	-0.01	0.02
Average		4.85	37.9	2.70	1.40	6.12	0.73	0.51	0.45	0.23	3.45	1.83	-0.08	0.38	0.03	0.11
Yonago																
99-4	75.4	5.49	20.4	2.42	1.31	1.88	0.70	0.75	0.21	0.15	1.14	2.13	-0.16	0.71	0.07	0.11
99-5	23.0	4.59	38.2	4.80	2.91	2.17	1.22	1.18	0.24	0.26	1.26	4.49	-0.10	1.13	0.09	0.32
99-6	282.3	5.21	9.5	0.86	0.51	0.78	0.30	0.17	0.06	0.07	0.42	0.75	0.02	0.15	0.03	0.06
99-7	149.8	4.86	10.1	0.88	0.55	0.46	0.11	0.15	0.04	0.06	0.28	0.81	-0.05	0.14	0.01	0.05
99-8	94.1	4.64	17.8	1.45	1.14	1.01	0.27	0.36	0.10	0.12	0.56	1.32	0.00	0.34	0.04	0.10
99-9	133.9	4.98	19.4	1.29	0.89	3.52	0.19	0.42	0.22	0.09	1.69	0.87	0.48	0.36	0.01	0.03
99-10	107.2	5.23	41.3	2.54	1.26	8.18	0.61	0.66	0.59	0.29	4.63	1.38	-0.14	0.49	0.03	0.13
99-11	77.7	5.02	60.2	3.86	2.04	11.63	0.72	0.77	0.83	0.38	6.70	2.18	-0.40	0.52	0.03	0.14
99-12	135.9	4.37	70.7	4.59	3.16	12.80	0.83	0.77	0.91	0.38	6.97	2.84	0.28	0.50	0.08	0.13
00-1	170.9	4.60	54.8	3.73	1.19	9.83	0.42	0.41	0.70	0.33	5.45	2.36	0.04	0.20	0.05	0.13
00-2	85.5	4.30	118.9	8.18	4.42	21.07	1.13	1.33	1.59	0.61	12.22	5.12	-0.90	0.86	0.12	0.17
00-3	87.6	5.58	126.6	5.89	2.45	8.22	8.29	7.99	0.65	1.20	5.08	4.62	-0.90	7.80	0.04	1.02
Max	282.3	5.58	126.6	8.18	4.42	21.07	8.29	7.99	1.59	1.20	12.22	5.12	0.48	7.80	0.12	1.02
Min	23.0	4.30	9.5	0.86	0.51	0.46	0.11	0.15	0.04	0.06	0.28	0.75	-0.90	0.14	0.01	0.03
Average		4.77	42.3	2.83	1.50	6.16	0.96	0.96	0.46	0.28	3.47	1.96	-0.08	0.82	0.04	0.15

Table 4 The result of measurement of non-dissolving components at a period from April 1999 to March 2000.

Month	Days for sampling	dust (ng/month)	Ca (ng/l)	Mg (ng/l)	K (ng/l)	Na (ng/l)
Tottori						
99- 4	32	27.08	0.85	5.72	5.82	0.69
99- 5	31	30.54	0.95	4.18	6.82	0.53
99- 6	35	18.94	1.31	3.43	5.34	1.59
99- 7	28	8.37	1.88	3.34	2.39	0.99
99- 8	28	12.85	1.16	1.67	2.10	0.95
99- 9	35	21.24	5.30	3.67	2.39	1.22
99-10	28	12.44	1.58	2.69	1.97	0.47
99-11	28	15.81	1.95	3.76	5.06	1.69
99-12	36	31.46	0.81	8.38	9.67	1.32
00- 1	27	19.60	1.42	5.46	7.47	1.35
00- 2	28	25.34	1.21	7.68	10.15	6.77
00- 3	32	491.54	6.98	305.66	340.21	17.49
Max		491.54	6.98	305.66	340.21	17.49
Min		8.37	0.81	1.67	1.97	0.47
Average		59.60	2.12	29.64	33.37	2.92
Total		715.21	25.41	355.63	400.40	35.08
Wakasa						
99- 4	28	18.74	0.36	7.42	8.74	0.90
99- 5	42	22.98	1.08	3.48	5.47	0.41
99- 6	28	10.04	0.75	1.36	2.28	0.78
99- 7	28	5.59	0.26	0.62	1.24	0.54
99- 8	28	7.71	0.49	0.75	1.21	0.46
99- 9	35	8.92	0.60	1.06	1.31	0.26
99-10	28	5.62	0.24	0.95	0.94	0.11
99-11	28	3.76	0.30	0.68	0.91	0.74
99-12	37	32.68	0.75	7.51	8.51	1.16
00- 1	28	13.79	0.73	3.55	5.15	0.42
00- 2	26	20.12	0.59	5.22	8.27	5.69
00- 3	36	109.64	1.40	50.62	50.59	11.09
Max		109.64	1.40	50.62	50.59	11.09
Min		3.76	0.24	0.62	0.91	0.11
Average		21.63	0.63	6.93	7.88	1.88
Total		259.59	7.54	83.22	94.62	22.57
Kurayoshi						
99- 4	29	15.94	0.49	5.47	8.50	1.11
99- 5	32	11.34	0.39	2.25	2.16	0.58
99- 6	30	7.42	0.39	0.97	1.83	0.40
99- 7	32	4.27	0.39	0.51	1.02	0.68
99- 8	30	—	—	—	—	—
99- 9	30	10.94	0.81	0.79	0.74	0.27
99-10	32	22.63	0.73	4.41	5.13	0.69
99-11	29	7.21	0.64	1.65	1.68	1.90
99-12	34	39.82	1.67	11.48	10.24	3.71
00- 1	28	47.85	1.03	8.52	9.88	1.55
00- 2	30	40.51	0.69	8.04	10.09	6.15
00- 3	32	209.65	2.69	116.74	151.48	5.90
Max		209.65	2.69	116.74	151.48	6.15
Min		4.27	0.39	0.51	0.74	0.27
Average		37.96	0.90	14.62	18.43	2.09
Total		417.58	9.90	160.82	202.73	22.94
Yonago						
99- 4	35	18.49	0.85	7.29	7.52	0.83
99- 5	26	14.85	1.18	3.19	2.00	0.44
99- 6	30	17.66	0.82	3.28	4.40	1.28
99- 7	32	11.26	0.75	1.67	2.02	0.78
99- 8	30	23.76	1.39	4.02	4.07	1.18
99- 9	29	13.67	1.18	2.36	1.39	0.51
99-10	33	10.43	0.81	2.81	2.13	0.76
99-11	29	10.07	1.46	2.91	2.54	5.91
99-12	34	61.30	1.54	15.27	11.65	4.08
00- 1	28	30.29	1.28	8.68	9.13	1.51
00- 2	29	26.00	0.80	8.37	13.75	14.14
00- 3	30	39.06	13.16	14.18	11.45	4.07
Max		61.30	13.16	15.27	13.75	14.14
Min		10.07	0.75	1.67	1.39	0.44
Average		23.07	2.10	6.17	6.00	2.96
Total		276.84	25.21	74.04	72.04	35.47

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) 朝倉 学，田中卓実，中村仁志，田中長義：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，35, p.70～75 (1995)