

5) 熊本県の酸性雨長期モニタリング調査結果 (2009 年度)

- 県内 4 地点における降水試料調査結果 -

上野 一憲 松本 依子* 北岡 宏道

はじめに

熊本県では、1988 年 10 月から県下における酸性雨の状況を把握するため、長期モニタリング調査を行っている¹⁻³¹⁾。図 1 に調査地点を示した。調査開始以来、既報²⁹⁾のとおり採取装置の変更が行われた。人吉市での調査は 2007 年度で終了し、宇土市(保健環境科学研究所)に採取装置を移設して 2008 年度から新たに調査を開始した。本報では 2009 年度の調査結果について報告する。

調査方法及び分析方法

1 調査地点及び降水採取方法

苓北町(苓北町立志岐小学校)、八代市(八代市役所)、阿蘇市(熊本県阿蘇保健所)及び宇土市(熊本県保健環境科学研究所)で小笠原計器製降水採取器 US-300D を用い、1 週間ごとに降水の回収を行った。

2 分析方法

pH 測定は東亜ディーケーケー製 HM-30R を用い、複合電極は GST-5741C を使用した。電気伝導度(以下「EC」という。)測定には東亜ディーケーケー製の CM-30R を用い、電導度セルには CT-57101B を使用し

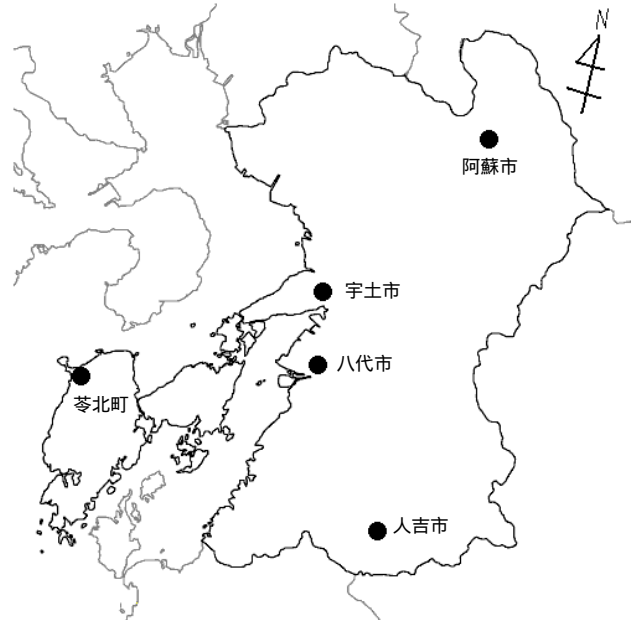


図 1 調査地点

た。なお、pH 及び EC は恒温水槽を使用して 25 で測定した。

イオン成分分析はダイオネクス製 DX500 を用い、イ

表 1 苓北町・八代市・阿蘇市・宇土市におけるイオン成分総括表

調査地点		pH	EC μS/cm	Cl ⁻ μg/m	NO ₃ ⁻ μg/m	SO ₄ ²⁻ μg/m	H ⁺ μg/m	Na ⁺ μg/m	NH ₄ ⁺ μg/m	K ⁺ μg/m	Mg ²⁺ μg/m	Ca ²⁺ μg/m	年間降水量 mm
苓北町 n=45	平均	4.52 (4.48)	25 (21)	2.7 (1.9)	0.97 (0.81)	1.9 (1.7)	0.030 (0.033)	1.5 (1.0)	0.25 (0.22)	0.14 (0.075)	0.19 (0.13)	0.19 (0.15)	1700.2
	最高	5.96	165	25	8.2	15	0.31	14	2.3	1.8	1.7	2.1	(2089.4)
	最低	3.51	5.5	0.53	0.13	0.28	0.0011	0.25	0.031	0.019	0.033	0.025	
八代市* n=44	平均	4.61 (4.56)	17 (16)	0.99 (0.73)	1.0 (0.73)	1.7 (1.6)	0.024 (0.028)	0.56 (0.41)	0.38 (0.28)	0.053 (0.045)	0.071 (0.046)	0.21 (0.11)	1715.7
	最高	6.85	119	11	12	15	0.17	7.7	3.8	0.58	1.1	3.3	(2631.3)
	最低	3.76	3.6	0.17	0.12	0.19	0.00014	0.090	0.076	0.013	0.015	0.044	
阿蘇市 n=41	平均	4.52 (4.50)	16 (15)	0.73 (0.55)	0.76 (0.60)	1.6 (1.5)	0.030 (0.032)	0.27 (0.20)	0.32 (0.28)	0.092 (0.070)	0.047 (0.033)	0.15 (0.11)	2655.3
	最高	5.65	96	7.3	6.6	9.6	0.13	4.4	3.3	0.99	0.63	1.9	(2424.6)
	最低	3.90	4.2	0.15	0.000	0.32	0.0022	0.038	0.000	0.015	0.0091	0.023	
宇土市* n=40**	平均	4.44 (4.55)	19 (16)	0.88 (0.57)	1.0 (0.65)	1.7 (1.5)	0.037 (0.029)	0.47 (0.28)	0.36 (0.26)	0.043 (0.046)	0.065 (0.040)	0.15 (0.11)	1446.2
	最高	4.93	118	7.2	6.8	12	0.19	4.3	3.2	0.35	0.59	2.0	(2389.6)
	最低	3.71	6.4	0.12	0.26	0.42	0.012	0.024	0.098	0.000	0.0053	0.023	

注) n : 検体数。平均は加重平均。() 内 : 2008 年度の成分平均濃度及び降水量。

* : オーバーフローした試料があった地点。

** : 2月2週～3月2週が欠測。

オンクロマトグラフ法で行った。この分析条件は既報¹³⁾のとおりである。

調査結果及び考察

1 前年度との比較

表1に2009年度の調査4地点におけるイオン成分総括表を示した。降水量は貯水量から算出したが、オーバーフローした試料については雨量計による降水量を使用し、pH、EC及びイオン成分濃度については全量捕集できた試料に等しいと仮定した。平均pH、EC及び平均イオン成分濃度は加重平均により計算した。

2009年度の年間降水量は、苓北町及び八代市において前年度より389.2mm及び915.6mm減少した。阿蘇市においては、欠測期間があった前年度と比べ増加したが、過去19年間の平均降水量(2669.5mm)とほぼ

同程度であった。宇土市においては、2月2週から3月2週まで延べ5週間、降水採取器の故障により欠測とした。その期間に降った降水量(254.5mm:保健環境科学研究所の雨量計による観測結果)を加えると1700.7mmとなり、苓北町及び八代市の降水量と同程度であった。これより、全試料の15%が欠測となったため、イオン成分濃度に降水量を乗じた沈着量については過小評価となった。

pHの年平均値は、苓北町で4.52、八代市で4.61、阿蘇市で4.52と継続3地点で前年度より0.4~1.1%とわずかに増加した。調査開始後2年目の宇土市については、前年度は八代市とほぼ同程度であったが、今年度は2.5%減少し、4地点では最も低いpHを示した。

ECの年間平均値は、苓北町で25µS/cmと前年度より4µS/cm増加し、4地点では最も高かった。一方、

表2 苓北町・八代市・阿蘇市・宇土市における月平均(加重平均)pH及びECと月別イオン成分沈着量

調査地点	月	試料数	降水量 mm	pH	EC µS/cm	Cl ⁻ meq/m ²	NO ₃ ⁻ meq/m ²	SO ₄ ²⁻ meq/m ²	H ⁺ meq/m ²	Na ⁺ meq/m ²	NH ₄ ⁺ meq/m ²	K ⁺ meq/m ²	Mg ²⁺ meq/m ²	Ca ²⁺ meq/m ²	月間沈着量 meq/m ²
苓北町	4月	3	74.4	4.53	14	2.8	0.51	2.0	2.2	2.0	0.45	0.25	0.52	0.51	11
	5月	3	61.1	4.25	25	1.9	0.92	3.5	3.4	1.5	1.3	0.10	0.42	0.86	14
	6月	6	356.2	4.43	20	16	5.3	13	13	13	5.0	0.81	3.3	3.2	73
	7月	4	361.7	4.64	14	11	3.7	7.3	8.3	9.6	3.1	0.34	2.2	0.88	47
	8月	4	43.9	4.08	45	4.2	1.1	3.7	3.6	3.6	0.83	0.12	0.84	0.36	18
	9月	1	29.2	4.46	26	2.5	0.38	1.2	1.0	2.2	0.34	0.064	0.50	0.19	8.3
	10月	4	212.0	4.83	12	8.0	0.95	3.7	3.1	7.0	0.60	0.52	1.4	0.66	26
	11月	4	124.4	4.67	23	12	1.1	3.3	2.6	10	0.72	0.27	2.4	0.72	34
	12月	5	128.1	4.32	59	29	4.4	10.4	6.1	25	2.5	0.70	6.0	2.0	86
	1月	4	84.3	4.40	50	14	2.8	6.9	3.3	13	2.1	0.57	3.0	1.6	47
	2月	3	96.4	4.56	26	4.7	2.0	4.7	2.6	4.2	2.4	0.26	0.97	0.84	23
	3月	4	128.5	4.99	39	20	3.7	8.5	1.3	18	4.4	2.2	4.6	4.2	68
	合計	45	1700.2			130	27	68	51	110	24	6.3	26	16	460
	八代市	4月	3	77.7	4.49	16	1.5	1.0	2.9	2.5	1.4	1.2	0.085	0.37	0.93
5月		3	53.2	4.61	17	0.89	1.2	2.5	1.3	0.88	1.8	0.072	0.25	1.1	10
6月		6	301.5	4.37	19	9.5	5.8	11	13	8.0	6.6	0.43	1.9	2.6	59
7月		4	445.5	4.86	11	13	4.4	8.5	6.1	11	6.0	0.48	2.28	2.1	53
8月		3	53.0	4.82	14	1.7	0.79	1.5	0.79	1.7	0.81	0.085	0.36	0.5	8.2
9月		2	46.8	4.33	26	1.4	1.1	2.9	2.1	1.2	1.4	0.088	0.36	1.0	12
10月		3	159.7	4.61	13	2.2	1.3	4.8	3.9	1.7	2.1	0.072	0.39	0.83	17
11月		4	104.2	4.77	11	1.4	1.1	2.7	1.7	1.3	1.6	0.072	0.32	0.75	11
12月		6	75.6	4.46	34	4.3	3.0	5.4	2.6	4.0	3.1	0.14	0.93	1.2	25
1月		4	83.6	4.55	29	4.3	2.3	5.1	2.3	4.0	2.6	0.15	0.96	1.5	23
2月		2	138.7	4.73	19	3.4	2.6	5.6	2.5	3.1	4.0	0.29	0.65	1.1	23
3月		4	176.3	4.82	19	4.7	4.1	8.0	2.7	4.1	5.4	0.37	1.2	4.0	34
合計		44	1715.7			48	29	61	41	42	37	2.3	10.0	18	290
阿蘇市		4月	3	85.7	4.50	14	2.0	0.37	2.3	2.7	0.42	0.85	0.94	0.41	0.98
	5月	3	132.4	4.22	26	3.2	2.4	7.2	8.0	1.1	3.8	0.81	0.57	1.3	28
	6月	5	674.9	4.44	13	9.9	5.6	16	24	5.8	7.3	0.74	1.6	2.3	74
	7月	4	489.8	4.80	8.8	13	6.7	15	7.7	10	10	0.62	2.5	2.4	70
	8月	3	273.2	4.67	8.4	1.6	1.3	5.1	5.8	0.89	2.5	0.17	0.27	0.65	18
	9月	1	27.0	4.12	34	0.53	0.80	2.3	2.0	0.43	1.1	0.073	0.17	0.29	7.7
	10月	3	172.4	4.49	15	1.9	1.2	5.6	5.6	0.65	2.2	0.24	0.27	0.70	18
	11月	3	127.5	5.36	7.6	1.9	0.70	1.9	0.55	0.52	1.1	1.5	0.69	2.1	11
	12月	6	82.2	4.30	36	3.3	2.6	5.7	4.1	2.5	2.4	0.15	0.67	1.2	23
	1月	4	153.0	4.49	25	5.5	2.6	7.8	5.0	4.2	3.3	0.24	1.1	1.4	31
	2月	3	166.4	4.48	22	4.7	1.8	6.0	5.4	1.9	3.0	0.19	0.50	0.71	24
	3月	3	271.0	4.49	26	7.2	6.4	16	8.7	3.3	9.8	0.61	1.5	5.4	59
	合計	41	2655.3			55	33	90	80	32	48	6.3	10	19	370
	宇土市	4月	3	67.0	4.46	12	0.58	0.56	1.6	2.3	0.31	0.73	0.064	0.14	0.35
5月		3	53.4	4.26	28	1.5	1.2	3.1	2.9	1.2	2.0	0.095	0.32	0.43	13
6月		5	343.5	4.38	19	8.3	6.1	12	14	6.6	7.7	0.35	1.7	1.7	58
7月		4	317.1	4.47	14	8.3	3.9	7.3	11	6.9	4.8	0.28	1.6	1.1	45
8月		3	56.1	4.53	17	2.3	0.82	1.4	1.7	1.9	0.86	0.093	0.46	0.28	9.8
9月		2	30.4	4.15	32	1.0	0.65	2.0	2.1	0.81	0.93	0.053	0.21	0.21	8.0
10月		3	168.9	4.47	14	1.4	1.1	4.9	5.7	0.66	1.9	0.042	0.17	0.24	16
11月		4	131.8	4.64	11	1.0	1.1	2.7	3.0	0.78	1.2	0.015	0.22	0.38	10
12月		6	91.3	4.30	38	4.9	3.1	6.3	4.5	4.3	2.5	0.18	1.1	1.2	28
1月		4	90.7	4.46	28	3.7	2.2	4.9	3.1	3.3	2.2	0.15	0.84	1.3	22
**2月		1	1.8	4.17	39	0.027	0.035	0.16	0.12	0.018	0.048	0.0034	0.0049	0.013	0.43
***3月		2	94.5	4.62	27	2.9	2.9	5.8	2.2	2.5	3.9	0.27	0.96	3.4	25
合計		40	1446.2			36	23	52	53	29	29	1.6	7.7	11	240

* : オーバーフローした試料を含む月 ** : 2~4週欠測 *** : 1~2週欠測

八代市で $17 \mu\text{S}/\text{cm}$ 、阿蘇市で $16 \mu\text{S}/\text{cm}$ と前年度より $1 \mu\text{S}/\text{cm}$ とわずかに増加した。また、宇土市は $19 \mu\text{S}/\text{cm}$ で $3 \mu\text{S}/\text{cm}$ 増加し、苓北町に次いで高かった。

イオン成分のうち、主に海塩由来成分である Cl^- 、 Na^+ 及び Mg^{2+} の年平均濃度は苓北町が最も高く、前年度値よりそれぞれ 42、50、46% の増加であった。また、他の 3 地点については、八代市が 35、36、54%、阿蘇市が 32、35、42%、宇土市が 54、67、62% の増加であった。

降水の酸性化物質である Cl^- 、 NO_3^- 及び SO_4^{2-} の年平均濃度は、前年度値よりいずれも 32～54%、19～53% 及び 6～21% の増加であった。

2 経月変化

表 2 に調査 4 地点における月平均 pH 及び EC と月別イオン成分沈着量を、図 2 に月間沈着量に対する各イオン成分沈着量の占める割合を示した。

月別平均 pH のうち、苓北町の 8 月が 4.08 と最も低い値であった。この月は 4 週のうち 2 週の pH が 3.95 と 3.51 と、pH4 以下の降雨が観測されており、これが平均 pH を引き下げた。

2009 年度は 6 月と 7 月に梅雨前線の影響で大雨の日が多く、特に阿蘇市の降水量は 200mm を超えた週が 2 回観測された。イオン成分濃度に降水量を乗じるイオン成分沈着量はこの影響で 4 地点とも 6 月と 7 月が多かった。4 地点の年間沈着量を比較すると苓北町が $460 \text{meq}/\text{m}^2$ と最も多く、次いで、阿蘇市 $370 \text{meq}/\text{m}^2$ 、八代市 $290 \text{meq}/\text{m}^2$ 、宇土市 $240 \text{meq}/\text{m}^2$ の順であった。

苓北町の調査地点は北方向 200m と南西方向 1.2km に海岸を有している。このため海水の影響を受けやすく、 Cl^- 及び Na^+ の沈着量が他の地点に比べて非常に多い。またこれら 2 成分の沈着量だけで年間総沈着量の約 1/2 を占めた。特に冬季の季節風の影響が大きく、苓北町のみ 12 月の沈着量が多かった理由として、表 2 に示すとおり 1 桁多い海塩由来成分の沈着量による。冬季の強風で海塩が飛散し、降水に取り込まれたことにより、濃度及び沈着量ともに増加したと推測された。

3 経年変化

表 3 に苓北町、八代市、阿蘇市、人吉市及び宇土市における調査開始年度から 2009 年度までの平均 pH、EC 及びイオン成分年間沈着量の推移を、また図 3 に年間降水量及び平均 pH の推移を示した。

2009 年度の平均 pH は、苓北町を除く 3 地点において前年度より約 0.02～0.05 高く、微増又は横ばいであった。苓北町と八代市は 2000 年度までは上昇傾向にあ

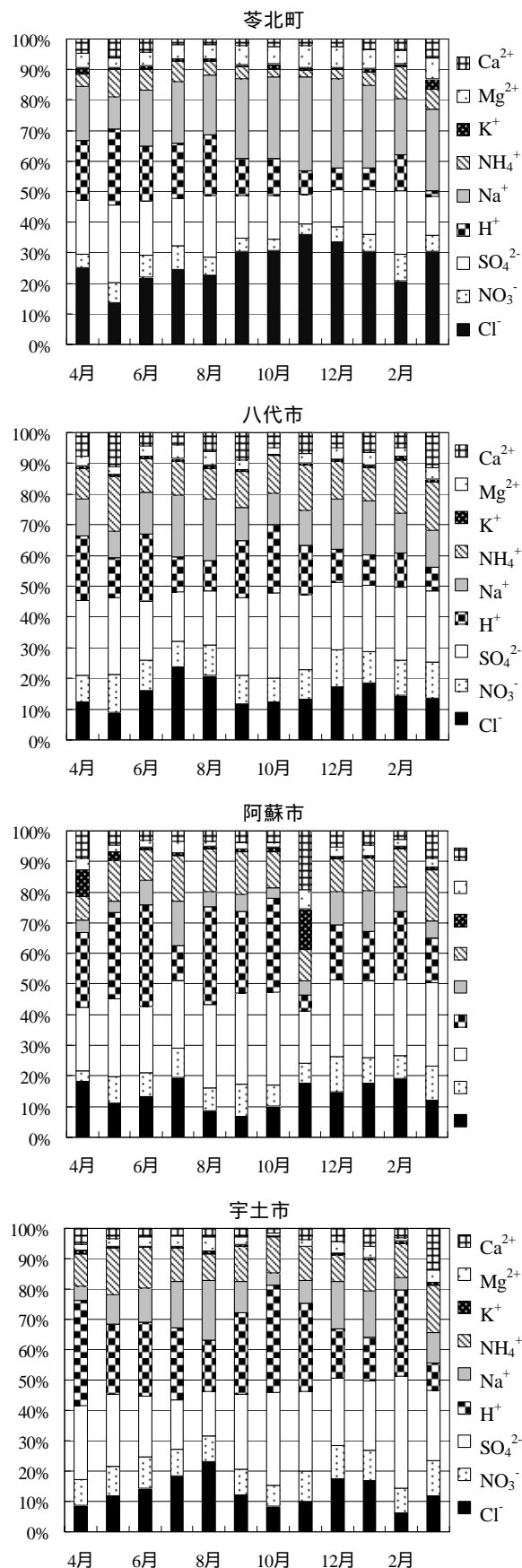


図 2 苓北町・八代市・阿蘇市・宇土市における月間沈着量に対する各イオン成分沈着量の割合

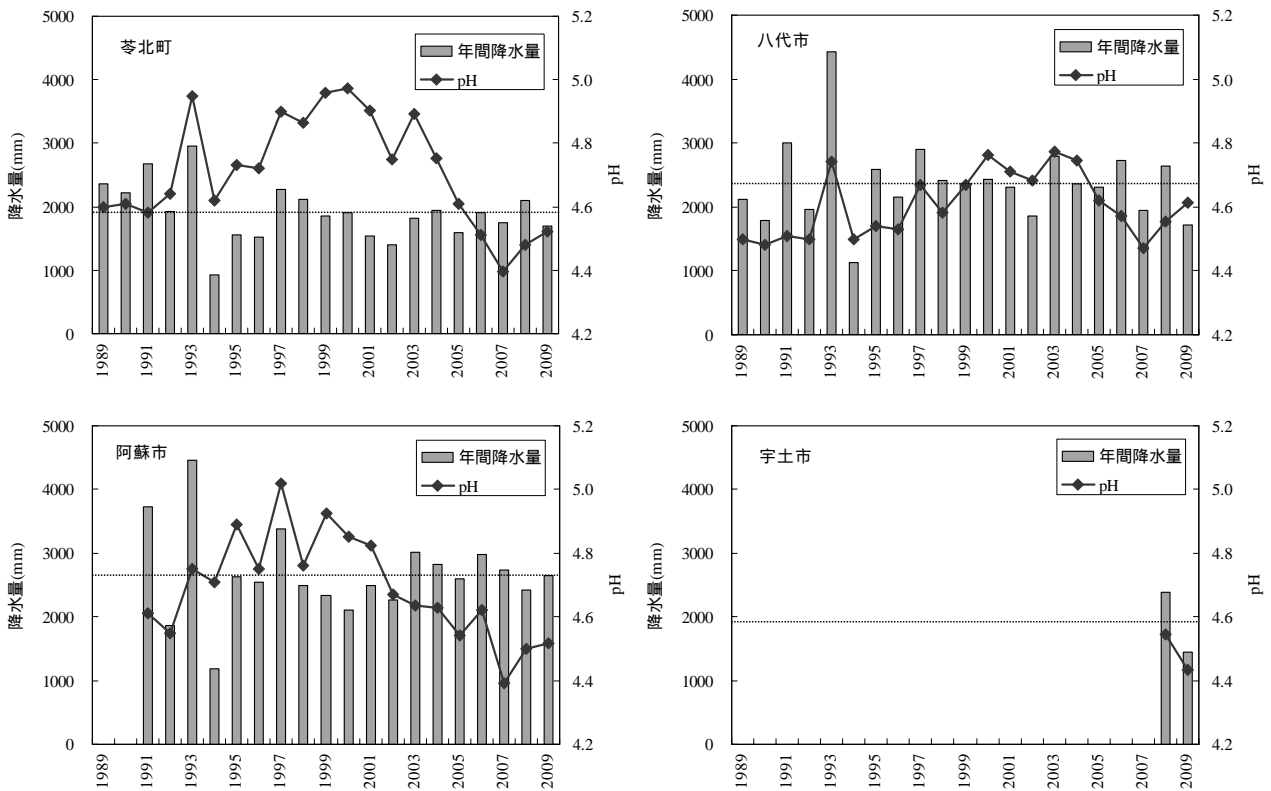


図3 苓北町・八代市・阿蘇市・宇土市における年間降水量及び年平均 pH の推移
 点線：調査開始年度から 2009 年度までの平均降水量

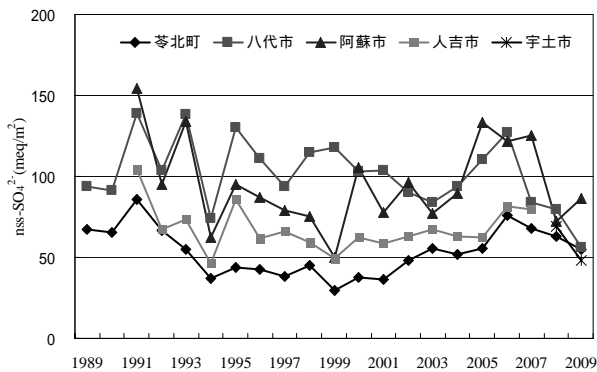


図4 nss-SO₄²⁻沈着量の経年推移

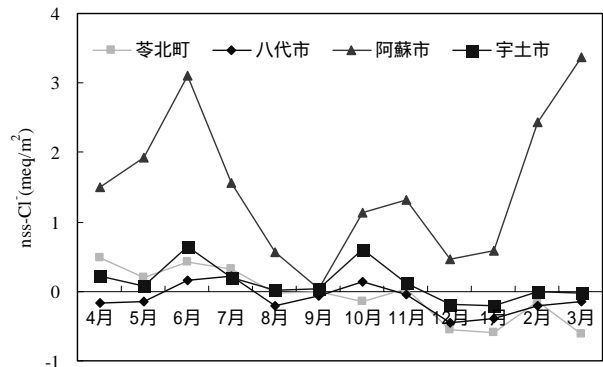


図5 nss-Cl沈着量の経月推移

ったが、2000 年度以降は下降傾向を示した。しかし、2007 年度を境に再び 2008 年度以降上昇に転じた。今後も継続して pH の動向を監視していく必要がある。

酸性化成分の SO₄²⁻ について、海塩由来の ss-SO₄²⁻ を除いた非海塩性成分の nss-SO₄²⁻ の推移を図 4 に示した。苓北町と人吉市については低めに推移していたが、八代市と阿蘇市については高めに推移していた。八代市は工場群等からの影響によると思われるが、2007 年度

以降他の 2 地点と差がなくなっている。一方、阿蘇市については年度間の変動が大きく、また特に人為的発生源がないため、阿蘇山の火山活動が影響したものと考えられた。

また、同様に Cl についても非海塩性成分 nss-Cl を求め、図 5 に月毎の推移を示した。阿蘇市は他の 3 地点に比べ正の沈着量を示した。このことは、nss-SO₄²⁻ と同様に火山性ガスの影響が示唆された³²⁾。

謝辞

本調査において、多大な御協力をいただいた苓北町企画政策課，八代市市民環境部環境課，熊本県阿蘇保健所及び同環境生活部環境保全課の関係各位に謝意を表します。

文献

- 1) 今村 修, 久保 清: 熊本県衛生公害研究所報, 19, 53 (1989).
- 2) 今村 修, 久保 清: 熊本県衛生公害研究所報, 20, 57 (1990).
- 3) 今村 修, 矢澤吉邦: 熊本県衛生公害研究所報, 21, 59 (1991).
- 4) 今村 修, 植木 肇: 熊本県衛生公害研究所報, 22, 41 (1992).
- 5) 今村 修, 植木 肇: 熊本県衛生公害研究所報, 23, 43 (1993).
- 6) 木庭亮一, 今村 修, 植木 肇: 熊本県保健環境科学研究所報, 24, 50 (1994).
- 7) 木庭亮一, 今村 修, 植木 肇: 熊本県保健環境科学研究所報, 25, 65 (1995).
- 8) 木庭亮一, 今村 修, 上野一憲, 植木 肇: 熊本県保健環境科学研究所報, 26, 76 (1996).
- 9) 上野一憲, 木庭亮一, 植木 肇: 熊本県保健環境科学研究所報, 27, 91 (1997).
- 10) 上野一憲, 木庭亮一, 植木 肇: 熊本県保健環境科学研究所報, 28, 82 (1998).
- 11) 上野一憲, 北岡宏道, 木庭亮一, 植木 肇: 熊本県保健環境科学研究所報, 29, 74 (1999).
- 12) 上野一憲, 木庭亮一, 植木 肇: 熊本県保健環境科学研究所報, 30, 56 (2000).
- 13) 矢野弘道, 上野一憲, 木庭亮一, 植木 肇: 熊本県保健環境科学研究所報, 31, 78 (2001).
- 14) 今村 修, 植木 肇: 熊本県衛生公害研究所報, 22, 46 (1992).
- 15) 今村 修, 植木 肇: 熊本県衛生公害研究所報, 23, 48 (1993).
- 16) 木庭亮一, 今村 修, 植木 肇: 熊本県保健環境科学研究所報, 24, 54 (1994).
- 17) 木庭亮一, 今村 修, 植木 肇: 熊本県保健環境科学研究所報, 25, 69 (1995).
- 18) 木庭亮一, 今村 修, 上野一憲, 植木 肇: 熊本県保健環境科学研究所報, 26, 80 (1996).
- 19) 上野一憲, 木庭亮一, 植木 肇: 熊本県保健環境科学研究所報, 27, 95 (1997).
- 20) 上野一憲, 木庭亮一, 植木 肇: 熊本県保健環境科学研究所報, 28, 87 (1998).
- 21) 上野一憲, 北岡宏道, 木庭亮一, 植木 肇: 熊本県保健環境科学研究所報, 29, 79 (1999).
- 22) 上野一憲, 木庭亮一, 植木 肇: 熊本県保健環境科学研究所報, 30, 61 (2000).
- 23) 矢野弘道, 上野一憲, 木庭亮一, 植木 肇: 熊本県保健環境科学研究所報, 31, 85 (2001).
- 24) 矢野弘道, 上野一憲: 熊本県保健環境科学研究所報, 32, 59 (2002).
- 25) 矢野弘道, 木山雅文, 上野一憲: 熊本県保健環境科学研究所報, 33, 73 (2003).
- 26) 緒方和博, 矢野弘道, 上野一憲: 熊本県保健環境科学研究所報, 34, 71 (2004).
- 27) 緒方和博, 矢野弘道, 上野一憲: 熊本県保健環境科学研究所報, 35, 91 (2005).
- 28) 松本依子, 緒方和博, 上野一憲: 熊本県保健環境科学研究所報, 36, 53 (2006).
- 29) 松本依子, 緒方和博, 上野一憲, 今村 修: 熊本県保健環境科学研究所報, 37, 100 (2007).
- 30) 松本依子, 今村修: 熊本県保健環境研究所報, 38, 77 (2008).
- 31) 上野一憲, 松本依子: 熊本県保健環境科学研究所報, 39, 97 (2009).
- 32) 九州衛生環境技術協議会大気分科会: 九州・沖縄・山口地方酸性雨共同調査研究第 期調査報告書 (平成 21 年 3 月), 10.