

6) 熊本県の酸性雨長期モニタリング調査結果 (2011, 2012 年度)

一県内4地点における降水試料調査結果一

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⁾。図1に調査地点を示した。2004年4月から採取装置を湿性沈着と乾性沈着を分けて採取する降水時開放型採取装置に変更した²⁾。人吉市での調査は2007年度で終了し、宇土市(熊本県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2011, 2012年度の調査結果について報告する。なお、人吉市の結果は一部の図表にのみ掲載し、解析には用いていない。

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。調査月の区切りは酸性雨全国調査実施要領(2011年度及び2012年度)の別表月割り表³⁾に従った。

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」

古澤 尚英 上野 一憲 北岡 宏道

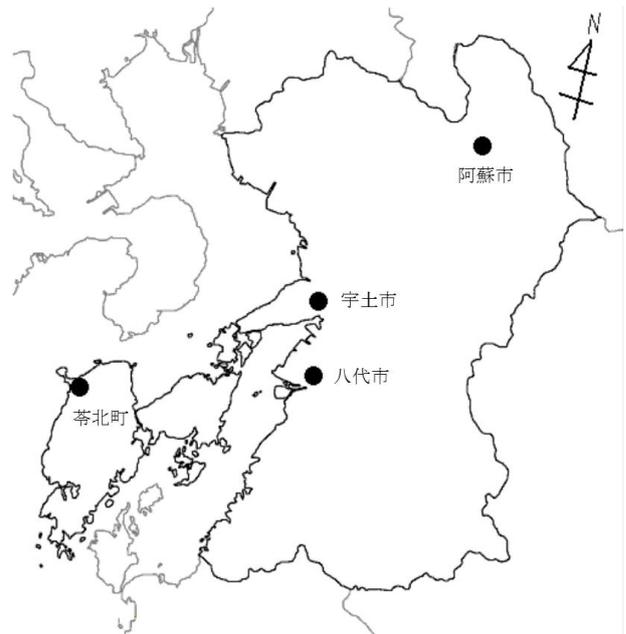


図1 調査地点

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、イオンクロマトグラフ法で行った。この分析条件は既報⁴⁾のとおりである。

表1 イオン成分総括表(2011)

調査地点	pH	EC μS/cm	Cl ⁻ μg/ml	NO ₃ ⁻ μg/ml	SO ₄ ²⁻ μg/ml	H ⁺ μg/ml	Na ⁺ μg/ml	NH ₄ ⁺ μg/ml	K ⁺ μg/ml	Mg ²⁺ μg/ml	Ca ²⁺ μg/ml	年間降水量 mm	
苓北町 n=46	平均	4.70 (4.78)	21 (25)	1.8 (2.9)	0.88 (1.10)	1.7 (2.0)	0.020 (0.030)	1.1 (1.7)	0.24 (0.30)	0.14 (0.18)	0.13 (0.21)	1771.9 (1474.6)	
	最高	6.88	605	90	45	43	0.50	49	6.4	12	6.7	14	
	最低	3.30	5.2	0.37	0.22	0.49	0.00013	0.24	0.070	0.030	0.020	0.030	
八代市 n=46	平均	4.77 (4.89)	15 (15)	0.57 (1.0)	0.83 (1.1)	1.4 (1.6)	0.017 (0.013)	0.30 (0.60)	0.33 (0.41)	0.038 (0.049)	0.040 (0.077)	1912.4 (2004.0)	
	最高	6.50	436	12	86	36	0.42	7.7	17	1.3	1.6	14	
	最低	3.38	3.7	0.11	0.20	0.34	0.00032	0.070	0.10	0.010	0.010	0.030	
阿蘇市 n=44	平均	4.81 (4.61)	14 (19)	0.52 (0.98)	0.74 (0.95)	1.5 (1.7)	0.015 (0.025)	0.23 (0.35)	0.31 (0.41)	0.11 (0.072)	0.040 (0.053)	0.17 (0.20)	2823.3 (2190.9)
	最高	6.00	168	8.8	13	24	0.19	6.4	4.6	1.7	1.0	4.3	
	最低	3.71	2.4	0.090	0.10	0.12	0.0010	0.020	0.060	0.020	0.010	0.030	
宇土市 n=47	平均	4.71 (4.69)	14 (16)	0.48 (0.64)	0.64 (0.79)	1.3 (1.4)	0.019 (0.021)	0.24 (0.33)	0.25 (0.33)	0.038 (0.035)	0.030 (0.046)	0.082 (0.13)	2427.2 (1744.1)
	最高	5.87	193	15	34	18	0.28	8.3	4.6	1.6	1.2	6.2	
	最低	3.55	2.9	0.080	0.080	0.23	0.00135	0.030	0.080	0.010	0.0	0.010	

注) n: 検体数。平均は加重平均。 () 内: 2010年度の成分平均濃度及び降水量。

表2 イオン成分総括表(2012)

調査地点	pH	EC μS/cm	Cl ⁻ μg/ml	NO ₃ ⁻ μg/ml	SO ₄ ²⁻ μg/ml	H ⁺ μg/ml	Na ⁺ μg/ml	NH ₄ ⁺ μg/ml	K ⁺ μg/ml	Mg ²⁺ μg/ml	Ca ²⁺ μg/ml	年間降水量 mm
荅北町 n=47	平均	4.75 (4.70)	23 (21)	2.3 (1.8)	0.86 (0.88)	1.7 (1.7)	0.018 (0.020)	1.3 (1.1)	0.27 (0.24)	0.19 (0.14)	0.17 (0.13)	1555.8
	最高	6.06	260	52	8.6	15	0.19	30	3.2	2.7	3.9	(1771.9)
	最低	3.71	5.8	0.34	0.13	0.41	0.00087	0.18	0.040	0.010	0.020	0.030
八代市 n=46	平均	4.72 (4.77)	17 (15)	0.88 (0.57)	0.86 (0.83)	1.7 (1.4)	0.019 (0.017)	0.48 (0.30)	0.34 (0.33)	0.043 (0.038)	0.065 (0.040)	1848.0
	最高	5.83	132	21	7.9	11	0.20	12	2.3	0.59	1.6	2.8
	最低	3.70	4.1	0.10	0.17	0.28	0.0015	0.060	0.080	0.010	0.010	0.020
阿蘇市* n=18	平均	4.60 (4.81)	21 (14)	0.92 (0.52)	0.79 (0.74)	1.8 (1.5)	0.025 (0.015)	0.34 (0.23)	0.37 (0.31)	0.22 (0.11)	0.065 (0.040)	1056.2
	最高	6.44	126	6.5	14	15	0.17	3.8	3.8	4.5	0.92	5.9
	最低	3.78	5.3	0.29	0.12	0.34	0.00036	0.040	0.060	0.040	0.010	0.070
宇土市 n=47	平均	4.70 (4.71)	16 (14)	0.74 (0.48)	0.68 (0.6)	1.4 (1.3)	0.020 (0.019)	0.39 (0.24)	0.29 (0.25)	0.048 (0.038)	0.051 (0.030)	2106.8
	最高	5.82	98	8.7	6.6	11	0.20	5.3	3.5	0.65	0.84	1.7
	最低	3.69	4.2	0.10	0.14	0.23	0.0015	0.040	0.090	0.010	0.010	0.010

注) n: 検体数。平均は加重平均。() 内: 2011年度の成分平均濃度及び降水量。

*: 九州北部豪雨の影響で欠測(2012年7月2日~2013年2月25日)

調査結果及び考察

表1に2011年度、表2に2012年度の調査4地点におけるイオン成分総括表を示した。なお、降水量は貯水量から算出し、平均pH、平均EC及び平均イオン成分濃度は加重平均により計算した。

1 前年度との比較

2011年度は2010年度の結果と比較を行い、2012年度は2011年度の結果と比較を行った。

1.1 2011年度と2010年度の比較

年間降水量は、調査4地点において2010年度より荅北町297.3mm、八代市196.7mm、阿蘇市632.4mm、宇土市683.1mmそれぞれ増加した。

過去3年間(2008年度~2010年度)の平均降水量(荅北町1754.7、八代市2117.0mm、阿蘇市2423.6mm、宇土市1860.0mm)よりも、八代市、阿蘇市、宇土市は多く、荅北町はほぼ変わらない結果となった。

pHの年平均値は、荅北町4.70、八代市4.77、阿蘇市4.81、宇土市4.71と、前年度比-0.12~0.20のpHを示した。

ECの年平均値は、荅北町21μS/cm、八代市15μS/cm、阿蘇市14μS/cm、宇土市14μS/cmであった。

イオン成分のうち、主に海塩由来成分であるCl⁻、Na⁺及びMg²⁺の年平均濃度は荅北町が最も高いが、前年度値よりそれぞれ38、35、38%の減少であった。また、他の3地点については、八代市が40、50、48%、阿蘇市が47、34、25%、宇土市が22、39、35%の減少であった。

降水の酸性化物質であるCl⁻、NO₃⁻及びSO₄²⁻の年平均濃

度は、全測定地点で前年度より減少し、それぞれ荅北町が38、18、15%、八代市が40、27、13%、阿蘇市が47、22、12%、宇土市が22、25、7.1%の減少であった。

1.2 2012年度と2011年度の比較

年間降水量は、2011年度より荅北町216.1mm、八代市64.4mm、宇土市320.4mmそれぞれ減少した。阿蘇市は2012年7月に起きた九州北部豪雨の影響で降水採取器が7月~翌年2月の期間中使用不可になったため、測定値は4月~6月、及び3月の4ヶ月間のデータより算出した値となっている。

過去3年間(2009年度~2011年度)の平均降水量(荅北町1576.9、八代市1877.4mm、阿蘇市2556.5mm、宇土市1872.5mm)より宇土市は多い傾向にあった。また、荅北町、八代市においてはほぼ変わらない結果となった。

pHの年平均値は、荅北町4.75、八代市4.72、阿蘇市4.60、宇土市4.70と、前年度比-0.21~0.05のpHを示した。

ECの年平均値は、荅北町23μS/cm、八代市17μS/cm、阿蘇市21μS/cm、宇土市16μS/cmであった。

イオン成分のうち、主に海塩由来成分であるCl⁻、Na⁺及びMg²⁺の年平均濃度は前年度値よりも荅北町が27、25、29%、八代市が53、59、63%、阿蘇市が75、48、64%、宇土市が53、67、69%の増加であった。

降水の酸性化物質であるCl⁻及びSO₄²⁻の年平均濃度は、前年度値よりそれぞれ荅北町が27、0.8%、八代市が53、20%、阿蘇市が75、21%、宇土市が53、7.8%の増加であった。また、NO₃⁻の年平均濃度は荅北町が-2.3%減少したが、八代市が3.4、阿蘇市が6.6%、宇土市が4.9%の増加であった。

表3 月平均（加重平均）pH及びECと月別イオン成分沈着量（2011）

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
荅北町	4月	6	58.4	4.94	41.9	8.50	2.20	4.95	0.58	8.13	1.13	1.45	2.35	3.32	32.6
	5月	4	151.7	4.64	26.8	4.06	1.71	4.26	3.01	3.56	1.77	0.54	1.37	2.88	23.2
	6月	4	540.9	5.11	9.1	12.36	3.05	7.55	5.37	10.82	2.40	1.11	2.22	2.16	50.0
	7月	4	160.2	4.78	14.0	0.59	0.26	0.97	3.18	0.49	0.44	0.04	0.13	0.08	6.2
	8月	4	246.7	4.60	21.3	10.92	4.26	8.01	7.34	9.66	3.97	0.50	2.03	0.86	47.6
	9月	4	31.7	5.15	17.3	2.04	0.27	0.90	0.31	1.90	0.62	0.19	0.39	0.22	10.0
	10月	6	169.3	4.64	18.3	6.26	1.42	5.92	3.36	5.08	1.78	0.52	1.11	0.93	26.4
	11月	4	80.2	4.49	38.3	11.08	1.50	4.69	2.39	9.38	1.42	0.31	2.18	0.96	33.9
	12月	4	21.6	4.20	76.7	4.59	2.05	2.95	1.29	4.75	1.41	0.17	1.15	0.57	18.9
	1月	3	31.0	4.21	50.1	2.93	1.21	2.72	1.85	2.72	0.96	0.09	0.66	0.34	13.5
	2月	4	102.7	4.42	33.7	7.88	2.52	6.22	4.08	6.83	2.11	0.37	1.77	1.49	33.3
	3月	4	177.5	4.64	30.3	16.42	3.15	8.02	3.52	15.06	3.54	0.95	3.65	2.75	57.1
	合計	51	1771.9				90	24	57	36	100	22	6.2	19	17
八代市	4月	6	49.9	4.37	44.7	2.87	4.04	4.69	1.98	2.39	3.68	0.18	0.78	2.29	22.9
	5月	4	193.0	4.68	20.2	2.12	2.09	6.07	3.83	1.60	3.42	0.20	0.64	2.79	22.7
	6月	4	454.4	5.27	6.2	5.25	2.49	4.64	4.51	4.35	3.02	0.23	0.75	0.68	25.9
	7月	3	211.2	5.06	9.2	0.18	0.24	1.01	2.10	0.18	0.59	0.00	0.00	0.11	4.4
	8月	4	344.4	4.70	14.7	5.44	5.11	9.25	6.83	4.64	5.54	0.18	0.85	1.03	38.9
	9月	4	100.7	5.84	4.6	0.65	0.42	0.86	0.00	0.66	1.23	0.08	0.17	0.45	4.5
	10月	6	129.9	4.78	12.7	1.69	1.05	3.79	2.58	1.36	2.02	0.03	0.21	0.52	13.2
	11月	4	74.4	4.58	20.8	2.52	0.88	3.30	2.21	1.97	1.40	0.08	0.43	0.48	13.3
	12月	4	21.6	4.52	28.7	0.68	1.03	1.37	0.64	0.69	0.87	0.04	0.20	0.50	6.0
	1月	3	30.6	4.33	34.9	1.07	0.73	1.92	1.52	0.68	1.14	0.03	0.15	0.40	7.6
	2月	4	149.1	4.53	23.3	3.49	3.10	8.26	4.44	2.79	4.63	0.34	0.74	1.56	29.3
	3月	4	153.2	4.57	22.5	3.07	3.01	7.24	4.56	2.60	4.67	0.39	0.76	2.06	28.4
	合計	50	1912.4				29	24	52	35	24	32	1.8	6	13
阿蘇市	4月	3	73.5	4.64	25.6	2.01	2.36	5.05	1.46	1.47	3.99	0.47	0.54	1.72	19.1
	5月	6	350.7	4.76	21.0	10.88	6.62	18.25	6.96	7.17	8.55	2.15	3.46	10.50	74.5
	6月	4	696.6	4.94	9.7	5.89	6.63	14.65	6.91	3.64	8.88	0.89	1.15	2.09	50.7
	7月	4	251.4	5.02	9.3	2.27	1.99	5.65	2.49	1.64	4.32	0.51	0.41	0.88	20.2
	8月	4	381.1	4.82	13.1	5.48	5.65	10.47	3.78	4.31	6.97	0.88	0.94	2.09	40.6
	9月	2	171.7	5.69	3.4	1.26	0.36	0.71	0.00	0.90	0.95	0.31	0.14	0.43	5.1
	10月	6	195.9	4.94	10.0	3.15	1.23	4.16	1.94	2.05	1.85	0.90	0.48	0.88	16.6
	11月	3	164.8	4.52	20.8	3.90	1.75	8.17	4.90	2.51	2.38	0.72	0.81	1.48	26.6
	12月	2	26.2	4.46	29.5	1.09	0.98	1.55	0.78	0.93	0.89	0.07	0.28	0.37	6.9
	1月	2	23.9	4.32	28.8	0.75	0.40	1.16	1.19	0.18	0.57	0.02	0.06	0.13	4.5
	2月	4	204.7	4.57	18.9	2.48	2.58	10.02	6.09	2.14	4.20	0.31	0.67	1.63	30.1
	3月	4	282.8	4.76	13.6	2.71	3.06	7.95	5.61	1.48	5.33	0.43	0.70	2.12	29.4
	合計	44	2823.3				42	34	90	40	28	49	7.7	9.7	24
宇土市	4月	4	53.1	4.42	28.5	1.54	1.75	2.81	2.11	1.13	1.56	0.10	0.35	0.90	12.2
	5月	6	191.8	4.56	21.4	2.81	3.06	10.18	5.71	1.75	5.32	0.20	0.63	2.68	32.3
	6月	4	842.4	5.10	6.7	7.13	4.21	8.42	8.36	5.50	5.14	0.65	0.69	0.84	40.9
	7月	4	253.9	4.86	11.3	2.29	2.21	6.08	2.52	1.88	4.50	0.13	0.42	0.38	20.4
	8月	4	368.8	4.54	18.8	6.97	6.07	11.13	10.98	5.61	6.34	0.28	1.21	0.74	49.3
	9月	4	74.7	5.48	4.2	0.57	0.18	0.51	0.00	0.42	0.62	0.04	0.12	0.11	2.6
	10月	6	167.4	4.68	14.5	2.31	1.21	5.44	3.32	1.82	1.76	0.26	0.41	0.75	17.3
	11月	4	76.4	4.59	18.8	2.63	0.60	2.83	2.27	2.03	0.80	0.16	0.50	0.34	12.2
	12月	4	21.9	4.28	36.9	0.70	0.56	1.55	1.09	0.57	0.91	0.06	0.16	0.22	5.8
	1月	3	29.7	4.34	25.2	0.49	0.29	1.39	1.47	0.17	0.36	0.02	0.05	0.12	4.4
	2月	4	153.0	4.48	21.5	2.85	2.00	6.79	4.55	2.06	2.54	0.20	0.63	1.07	22.7
	3月	4	194.1	4.50	21.2	2.57	3.07	7.19	5.78	2.03	4.30	0.35	0.80	1.84	27.9
	合計	51	2427.2				33	25	64	48	25	34	2.4	6.0	10

2 経月変化

表3に2011年度、表4に2012年度の調査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示した。また、図2に2011年度、図3に2012年度の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。

2.1 2011年度

月別平均pHについて、調査4地点において12月若しくは1月が年間で最低であった。中でも荅北町の12月が4.20と最も低く、降水量は阿蘇市を除く3地点で12月が最も少なかった。

本県では6月と7月に梅雨前線の影響を受け、例年であるならこの月に降水量が1年の4~5割を占める。しかし、2011年度は6月と8月の合計降水量が多く、荅北町で787.6mm、八代市で798.8mm、阿蘇市で1077.7mm、宇土市で1211.2mmであった。そのため、イオン成分濃度に降水量を乗じるイオン成分沈着量は、4地点とも6月と8月が多かった。

4地点の年間沈着量を比較すると、荅北町が350meq/m²と最も多く、次いで阿蘇市320meq/m²、宇土市250meq/m²、八代市220meq/m²の順であった。

表4 月平均（加重平均）pH及びECと月別イオン成分沈着量（2012）

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
荅北町	4月	6	139.2	4.99	27.1	13.05	2.06	5.73	1.42	12.00	2.66	3.35	3.06	2.84	46.2
	5月	4	19.7	3.89	71.5	0.87	0.66	2.65	2.54	0.51	0.69	0.07	0.18	0.35	8.5
	6月	4	426.2	4.99	11.3	9.94	3.72	7.66	4.36	8.87	5.41	0.55	2.00	1.43	40.0
	7月	3	174.2	4.69	23.0	4.78	2.94	6.04	3.54	4.54	4.22	0.26	1.01	0.74	28.1
	8月	4	41.7	4.51	30.8	3.48	0.82	2.21	1.29	2.92	0.58	0.16	0.67	0.56	12.7
	9月	4	128.9	4.85	21.1	11.46	0.91	3.52	1.82	9.87	0.97	0.26	2.21	0.76	30.0
	10月	4	202.9	4.83	13.6	6.35	1.35	4.92	2.97	5.41	1.22	0.22	1.26	0.94	24.6
	11月	4	82.7	4.68	44.6	16.12	2.64	4.96	1.73	14.39	1.74	0.39	3.60	2.28	47.8
	12月	4	60.5	4.54	60.8	16.08	2.37	5.36	1.73	14.38	1.40	0.44	3.73	2.40	47.9
	1月	3	47.6	4.38	55.8	6.95	0.58	1.88	1.99	6.01	0.39	0.15	1.39	0.51	19.8
	2月	4	112.3	4.65	19.8	5.44	1.52	4.46	2.48	4.72	1.56	0.30	1.20	0.88	22.6
	3月	3	119.7	4.89	22.1	7.34	2.08	5.90	1.53	6.24	2.19	1.33	1.82	2.34	30.8
	合計	47	1555.8			100	22	55	27	100	23	7.5	22	16	360.0
八代市	4月	6	167.0	4.84	17.8	5.25	2.15	6.77	2.38	5.30	3.45	0.26	1.51	3.35	30.4
	5月	4	25.4	3.94	72.9	1.00	1.24	4.19	2.88	0.54	2.06	0.09	0.19	0.95	13.1
	6月	4	521.4	5.17	7.1	5.54	3.14	6.30	3.52	4.36	6.00	0.32	0.94	1.05	31.2
	7月	3	300.6	4.75	14.7	3.92	4.30	8.31	5.32	3.61	5.68	0.24	0.72	1.03	33.1
	8月	4	48.4	4.69	18.2	1.03	0.78	2.06	0.98	0.88	1.06	0.04	0.18	0.40	7.4
	9月	4	190.8	4.76	13.0	3.26	1.38	5.15	3.27	2.41	2.00	0.09	0.53	0.89	19.0
	10月	4	155.5	4.63	18.1	3.24	1.80	5.66	3.58	2.61	2.46	0.14	0.58	0.64	20.7
	11月	4	73.2	4.85	31.0	7.52	2.35	4.20	1.02	6.91	2.10	0.21	1.76	2.21	28.3
	12月	4	50.9	4.56	44.5	7.09	2.21	4.25	1.40	6.36	1.91	0.21	1.64	2.05	27.1
	1月	4	72.7	4.62	21.1	0.89	0.57	1.72	1.74	0.75	0.79	0.04	0.17	0.26	6.9
	2月	4	133.2	4.64	16.2	1.84	1.64	5.07	3.06	1.51	2.43	0.11	0.37	0.70	16.7
	3月	3	108.9	4.26	44.2	5.04	3.96	11.85	5.94	3.50	4.81	0.28	1.29	3.76	40.4
	合計	48	1848.0			46	26	66	35	39	35	2.0	10	17	270.0
阿蘇市	4月	6	251.1	4.49	28.7	11.68	3.85	13.20	7.98	10.69	5.29	1.96	3.19	5.45	63.3
	5月	4	32.1	4.15	56.5	1.36	1.27	3.76	2.28	0.29	1.81	1.57	0.54	1.46	14.3
	6月	4	614.7	4.64	16.0	11.72	5.51	14.04	14.01	2.57	9.89	2.08	1.08	3.75	64.6
	*7月	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	*8月	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	*9月	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	*10月	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	*11月	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	*12月	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	*1月	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	*2月	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3月	4	158.3	4.85	19.2	2.65	2.78	8.59	2.20	2.17	4.76	0.38	0.86	2.70	27.1
	合計	18	1056.2			27	13	40	30	16	22	6.0	5.7	13	170.0
宇土市	4月	6	191.3	4.68	15.4	3.15	1.64	5.41	3.95	2.88	2.73	0.27	0.82	1.40	22.3
	5月	4	20.7	3.87	67.8	0.66	0.60	2.39	2.75	0.16	0.77	0.03	0.06	0.20	7.6
	6月	4	616.5	5.01	7.6	4.98	3.18	7.39	5.98	3.21	6.58	0.37	0.71	0.96	33.4
	7月	4	402.5	4.68	17.8	7.62	6.89	12.56	8.35	7.20	11.07	0.43	1.37	1.20	56.7
	8月	3	84.0	4.85	12.9	1.18	0.67	1.53	1.18	0.85	1.50	0.44	0.41	0.60	8.4
	9月	4	140.2	4.73	13.1	1.99	0.96	3.57	2.60	1.44	1.80	0.10	0.30	0.28	13.0
	10月	4	182.7	4.50	21.9	4.55	1.91	7.43	5.77	3.40	2.12	0.17	0.78	0.71	26.8
	11月	4	78.1	4.58	33.3	8.51	2.31	4.12	2.03	7.65	1.76	0.23	1.89	1.69	30.2
	12月	4	72.4	4.63	28.8	5.29	1.64	4.10	1.67	4.58	1.37	0.16	1.24	1.97	22.0
	1月	3	50.1	4.68	16.3	1.44	0.52	1.41	1.04	1.25	0.43	0.05	0.31	0.24	6.7
	2月	4	156.0	4.61	16.0	2.03	1.19	5.58	3.82	1.60	2.02	0.15	0.39	0.52	17.3
	3月	3	112.3	4.66	17.7	2.37	1.42	4.76	2.44	1.77	2.02	0.19	0.53	1.11	16.6
	合計	47	2106.8			44	23	60	42	36	34	2.6	8.8	11	260.0

*九州北部豪雨の影響で2012年7月2日～2013年2月25日まで欠測

2. 2 2012年度

月別平均pHは、調査4地点とも5月が年間で最低の値を示し、中でも宇土市が最も低く3.87であった。pHが低かった月のイオン成分を見ると、4地点とも5月は降水量が少なく、SO₄²⁻沈着量が他のイオン成分に比べて高い値を示していた。このような結果となった原因として、5月は煙霧が多く観測されており⁵⁾、大陸からの越境移流の影響が示唆される。しかしながら、原因ははっきりしていない為、今後検討していく必要がある。

合計降水量は6月と7月に降水量が増え、荅北町で

600.4mm、八代市で822.0mm、阿蘇市で614.7mm（6月のみ）、宇土市で1019.0mmであった。イオン成分濃度に降水量を乗じるイオン成分沈着量は、6月と7月が多かった。阿蘇市を除く3地点の年間沈着量を比較すると、荅北町が360meq/m²と最も多く、次いで八代市270meq/m²、宇土市260meq/m²の順であった。

2. 3 荅北町海塩由来成分沈着量について

荅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⁻

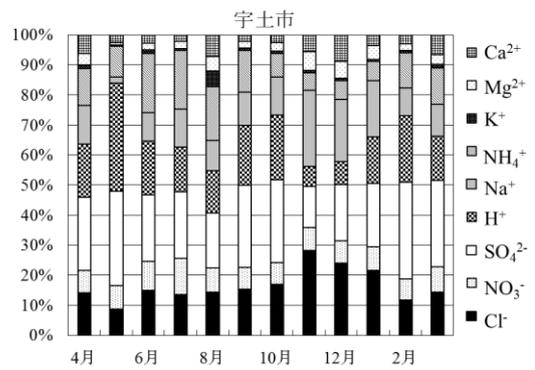
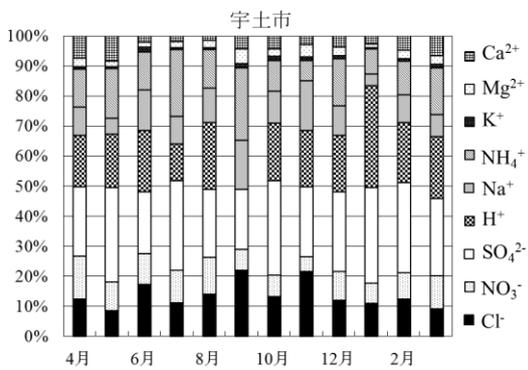
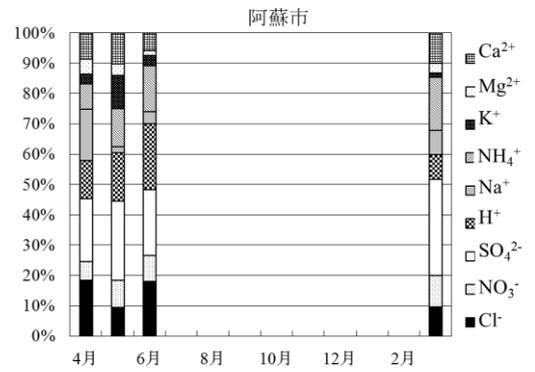
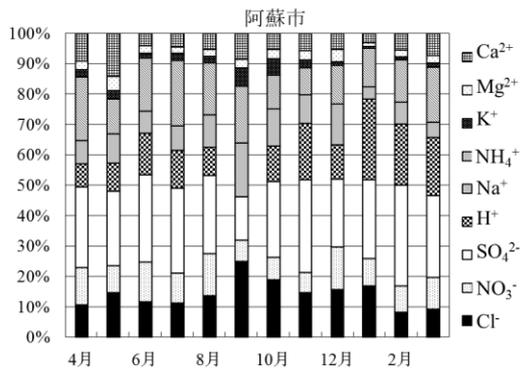
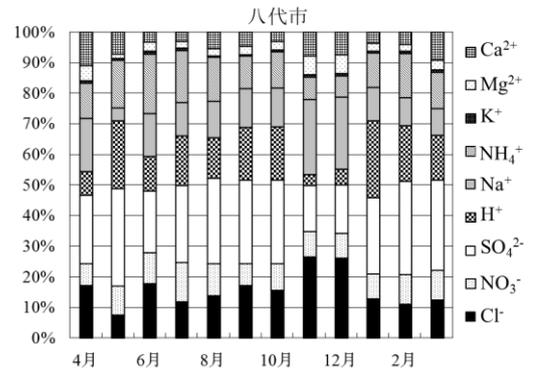
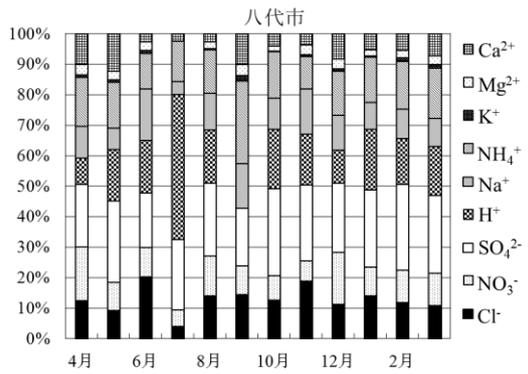
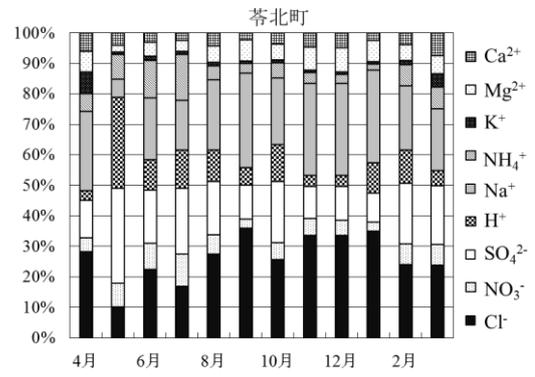
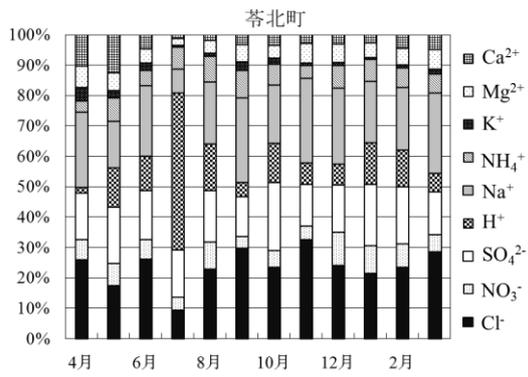


図2 月間沈着量に対する各イオン成分沈着量の割合 (2011)

図3 月間沈着量に対する各イオン成分沈着量の割合 (2012)

及び Na^+ の沈着量が他の地点に比べて非常に多い。更に、これら 2 成分の沈着量の合計は年間総沈着量の約 1/2 を占めた。特に冬季に季節風の影響を受けやすい荅北町は、図 2 及び図 3 に示すとおり他の地点に比べ高い海塩由来成分の沈着量を示し、年間沈着量も同様であった。冬季の強い季節風で海水が飛沫化、飛散し、降水時に取り込まれたことで、海塩由来成分の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 5 に荅北町、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 2012 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 4 に年間降水量及び平均 pH の推移を示した。2011 年度の平均 pH は、荅北町、八代市で前年度よりそれぞれ 0.08、0.12 低い値を示し、阿蘇市、宇土市で前年度よりそれぞれ 0.20、0.02 高い値を示した。2012 年度の平均 pH は、荅北町で前年度より 0.10 高い値を示し、八代市、阿蘇市、宇土市で前年度よりそれぞれ 0.07、0.21、0.01 低い値を示した。2000 年度以降、荅

北町、八代市及び阿蘇市は下降傾向にあったが、2007 年度を境に再び上昇傾向に転じ、2010 年度から八代市は下降に転じた。

降水の酸性化成分である SO_4^{2-} について、海塩由来の ss-SO_4^{2-} を除いた非海塩性成分の nss-SO_4^{2-} 年間沈着量の経年推移を図 5 に示した。調査開始から 2005～2007 年度までは、荅北町及び人吉市は八代市及び阿蘇市より低めに推移した。2007 年度以降八代市は減少傾向に転じ、3 地点の差が少なくなってきた。

次に、 nss-SO_4^{2-} 年間沈着量の経月推移を図 6、図 7 に示した。2011 年度は、阿蘇市を除く 3 地点の沈着量はほぼ同様な季節変動を示し、8 月がピークとなった。一方、阿蘇市は 5～6 月の沈着量が多く、他の 3 地点と異なる傾向を示した。このことは、九州・沖縄・山口地方酸性雨共同研究の中で、 nss-SO_4^{2-} 年間沈着量の 5 年間平均値が阿蘇市は他の共同研究の調査地点に比べて極端に多く、火山性ガスの影響と降水量が多いためと考えられている⁶⁾。一方、2012 年度は 2011 年度とほぼ同様の挙動を示しているが、荅北町は 6 月、八代市は 3 月、宇土市は 7 月に最も多い沈

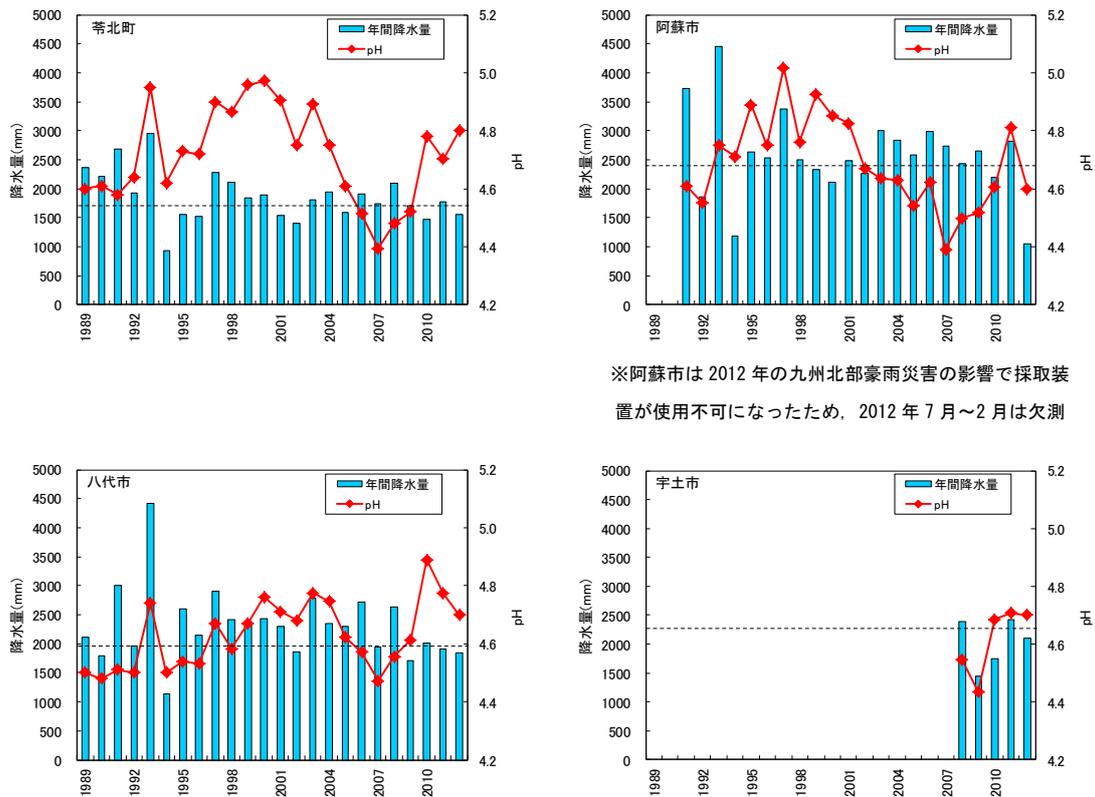


図 4 年間降水量及び年平均 pH の推移

各図の点線は調査開始年度から 2012 年度までの平均降水量（阿蘇市は 2011 年度までの平均）

表5 イオン成分年間沈着量の推移

調査地点	年度	年間降水量 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	年間沈着量 meq/m ²	
峇北町	1989	2358.7	4.60	22	130	21	80	59	100	26	3.1	26	21	470	
	1990	2215.1	4.61	28	230	21	87	54	180	23	4.9	48	22	670	
	*1991	2678.1	4.58	55	820	29	170	70	700	34	17	180	49	2100	
	*1992	1928.4	4.64	34	310	23	96	44	240	34	6.6	63	34	850	
	*1993	2961.8	4.95	20	270	19	80	33	210	23	8.2	59	32	740	
	1994	928.8	4.62	24	58	14	42	22	44	17	2.8	12	18	230	
	1995	1557.6	4.73	20	100	18	53	29	79	22	3.1	19	14	340	
	1996	1520.0	4.72	28	190	17	62	29	160	22	8.5	36	20	540	
	1997	2276.3	4.90	18	180	16	56	29	150	22	6.5	36	14	510	
	1998	2108.6	4.86	17	120	18	57	29	100	27	7.2	24	17	400	
	1999	1848.3	4.96	16	110	13	42	20	99	16	3.9	23	12	340	
	2000	1899.8	4.97	14	75	16	45	20	65	19	3.9	15	22	280	
	2001	1532.8	4.90	16	72	14	44	19	63	17	4.5	15	13	260	
	2002	1394.9	4.75	26	130	22	62	25	110	25	5.7	27	16	420	
	2003	1814.0	4.89	26	180	29	76	23	150	27	8.5	39	40	570	
	*2004	1938.0	4.75	78	900	28	150	34	780	24	31	180	50	2200	
	*2005	1591.7	4.61	48	320	26	92	39	300	22	12	65	24	900	
	*2006	1912.5	4.51	32	210	31	98	58	180	32	5.7	41	20	670	
	2007	1741.0	4.39	25	110	26	79	70	95	27	3.8	22	17	450	
	2008	2089.4	4.48	21	110	27	74	64	91	25	4.0	22	15	430	
2009	1700.2	4.52	25	130	27	68	51	110	24	6.3	26	16	460		
****2010	1474.6	4.78	25	120	26	61	24	110	25	6.9	26	21	420		
2011	1771.9	4.70	21	90	24	57	36	100	22	6.2	19	17	371		
2012	1555.8	4.80	23	102	22	55	27	90	23	7.5	22	16	365		
八代市	1989	2112.2	4.50	22	60	22	98	67	33	52	2.3	12	24	370	
	1990	1789.4	4.48	25	72	20	96	59	44	48	3.1	12	19	370	
	*1991	3004.9	4.51	24	140	34	150	93	90	72	0.51	2.5	28	610	
	1992	1960.6	4.50	25	80	26	110	62	53	58	3.6	14	24	430	
	*1993	4424.5	4.74	19	250	42	160	81	180	77	12	51	44	900	
	1994	1136.1	4.50	28	55	25	78	36	35	47	2.0	10	24	310	
	1995	2594.6	4.54	24	120	42	140	75	79	77	4.9	23	34	590	
	1996	2148.6	4.53	25	100	40	120	63	74	82	3.8	20	34	540	
	1997	2907.3	4.67	17	74	35	100	62	54	62	3.3	14	20	420	
	1998	2411.5	4.58	20	61	36	120	63	41	73	3.1	12	33	440	
	*1999	2360.4	4.67	25	130	46	130	50	100	77	4.8	25	43	610	
	2000	2438.5	4.76	19	80	41	110	42	58	69	3.1	17	48	470	
	2001	2302.4	4.71	19	70	37	110	44	54	69	3.4	14	30	430	
	2002	1863.3	4.68	21	59	38	96	39	46	68	2.8	12	24	380	
	2003	2788.9	4.77	18	85	47	110	46	67	82	5.1	16	23	480	
	2004	2356.4	4.75	22	120	44	110	42	99	62	5.2	24	35	540	
	2005	2305.2	4.62	19	110	45	120	53	83	65	6.6	21	31	530	
	2006	2722.5	4.57	20	98	62	140	72	78	83	4.2	20	33	590	
	2007	1946.0	4.47	20	67	31	91	65	59	42	2.4	13	25	390	
	2008	2631.3	4.56	16	54	31	85	71	46	41	3.0	10	14	360	
2009	1715.7	4.61	17	48	29	61	41	42	37	2.3	10	18	290		
2010	2004.0	4.89	15	58	34	66	26	52	45	2.5	13	21	320		
2011	1912.4	4.77	15	29	24	52	35	24	32	1.8	5.7	13	217		
2012	1848.0	4.70	17	46	26	66	35	39	35	2.0	10	17	274		
阿蘇市	1991	3729.9	4.61	18	77	34	160	92	47	70	8.6	11	31	530	
	1992	1861.2	4.55	24	73	22	100	52	39	41	5.4	14	58	400	
	1993	4452.6	4.75	14	93	32	140	79	50	45	5.8	15	48	510	
	1994	1190.8	4.71	19	33	17	65	23	22	27	5.4	7.9	31	230	
	1995	2637.2	4.89	14	57	30	100	34	40	69	7.3	14	38	390	
	1996	2540.6	4.75	15	53	28	92	45	39	53	4.6	12	30	360	
	1997	3383.9	5.02	10	52	31	84	32	41	50	8.5	18	37	350	
	1998	2494.8	4.76	13	31	26	78	43	26	40	4.0	9.1	29	290	
	1999	2337.0	4.92	10	25	19	53	28	23	27	2.4	6.7	11	190	
	2000	2114.3	4.85	28	44	31	110	30	38	76	7.0	15	57	410	
	2001	2483.4	4.83	14	38	23	82	37	31	57	6.8	10	18	300	
	2002	2268.1	4.67	18	48	29	100	48	32	60	7.8	8.1	16	350	
	2003	3007.4	4.64	19	80	30	87	62	42	60	7.0	10	20	400	
	2004	2829.9	4.63	20	100	31	96	65	57	56	9.5	14	23	450	
	2005	2590.9	4.54	23	74	38	140	74	56	61	8.3	17	29	500	
	2006	2982.5	4.62	17	43	39	130	71	32	67	4.2	11	29	420	
	2007	2736.7	4.39	19	51	41	130	110	38	67	3.7	11	29	480	
	**2008	2424.6	4.50	15	37	23	75	74	21	37	4.3	6.6	13	290	
	2009	2655.3	4.52	16	55	33	90	80	32	48	6.3	10	19	370	
	2010	2190.9	4.61	19	60	33	80	50	33	49	4.0	9	22	350	
2011	2823.3	4.81	14	42	34	90	40	28	49	7.7	10	24	324		
*****2012	1056.2	4.60	21	27	13	40	30	16	22	6.0	6	13	173		
人吉市	1991	2968.0	4.59	19	83	22	110	76	47	42	5.6	11	33	430	
	1992	1791.1	4.75	17	51	16	72	32	37	31	6.3	10	32	290	
	1993	4076.3	5.15	8.5	75	23	80	29	57	39	5.3	15	40	360	
	1994	1337.5	4.94	15	45	15	51	15	37	23	5.0	10	22	220	
	1995	2842.4	4.92	14	77	25	93	34	61	51	6.1	13	42	400	
	1996	2233.3	5.01	14	77	24	70	22	68	50	9.4	13	30	360	
	1997	2889.7	4.87	11	51	24	71	39	44	33	4.3	14	28	310	
	1998	2374.8	4.85	11	30	18	62	33	23	29	3.1	8.7	26	230	
	1999	2290.8	4.95	11	44	18	54	26	39	25	3.6	13	21	240	
	2000	1925.0	4.79	17	58	20	68	31	45	32	2.5	12	28	300	
	2001	1888.9	4.73	15	37	19	62	35	28	38	2.9	7.4	10	240	
	2002	2171.8	4.75	14	48	22	67	39	35	34	2.8	8.0	8.7	260	
	2003	2435.8	4.90	13	53	21	66	28	44	41	4.1	9.1	13	280	
	2004	2815.7	4.90	12	66	23	69	35	54	36	4.3	13	14	310	
	2005	2232.4	4.83	14	60	23	69	33	51	36	4.0	11	12	300	
	2006	2572.4	4.75	15	57	31	87	45	47	57	3.3	11	15	350	
	2007	1921.8	4.48	17	36	30	83	63	29	44	2.2	8.1	21	320	
	宇土市	2008	2389.6	4.55	16	38	25	72	65	29	35	2.8	8.0	13	290
		***2009	1446.2	4.44	19	36	23	52	53	29	29	1.6	7.7	11	240
		2010	1744.1	4.69	16	31	22	51	36	25	32	1.6	6.6	11	220
2011		2427.2	4.71	14	33	25	64	48	25	34	2.4	6.0	10	247	
2012		2106.8	4.70	16	44	23	60	42	36	34	2.6	8.8	11	261	

*台風が影響したと考えられる降水試料を含めて計算した結果 **欠測月（9月、10月）を含む ***欠測月（2月、3月）を含む
 ****試料未回収を含む *****九州北部豪雨の影響による欠測月（2012年7月～2013年2月）を含む

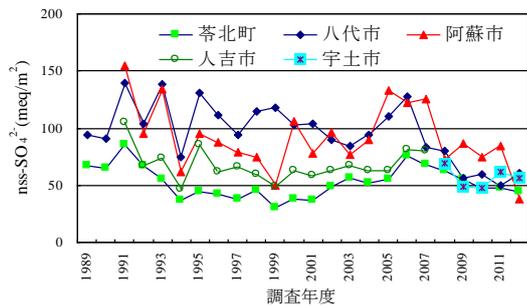


図5 nss-SO₄²⁻沈着量の推移

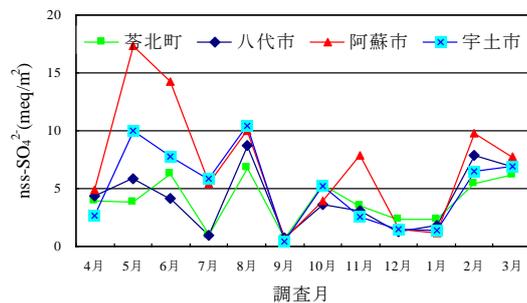


図6 nss-SO₄²⁻月間沈着量の推移(2011)

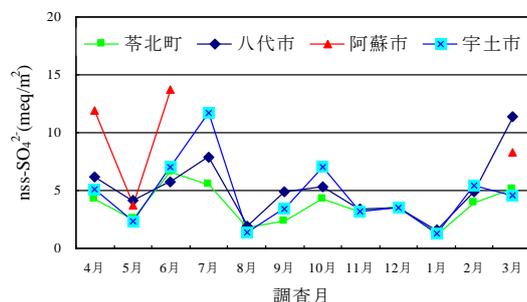


図7 nss-SO₄²⁻月間沈着量の推移(2012)

着量となった。

同共同研究によると、九州全域での降水中のイオン成分濃度が冬期には上昇する傾向にあり、九州北部は特に濃度が高くなる。このことから、冬季には季節風の影響を強く受けて大陸からの移流の影響を受けていると考えられ、光化学オキシダントとの関係を含めた解析を進める必要がある⁷⁾。併せて、本県では阿蘇山の火山活動に伴う火山性ガスの影響も認められることから、継続してpHやイオン成分等の動向を監視していく必要がある。

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) 上野一憲, 松本依子, 北岡宏道; 熊本県保健環境科学研究所報, 41, 92 (2011) .
- 2) 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) .
- 3) 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 (平成 23, 24 年度)
- 4) 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) .
- 5) 熊本県気象月報: 熊本地方気象台
(<http://www.jma-net.go.jp/kumamoto/>)
- 6) 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1期調査報告書 (平成 21 年 3 月), 12.
- 7) 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1期調査報告書 (平成 21 年 3 月), 17.