

5) 熊本県の酸性雨長期モニタリング調査結果 (2015年度)

— 県内4地点における降水試料調査結果 —

宮本 俊 古澤 尚英

はじめに

熊本県では、1988年10月から県内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¹⁾を行っている。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⁾。なお、2008年からは、湿性沈着のみ調査を行っており、乾性沈着の結果については、既報³⁾を参照されたい。本報では2015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

図1に調査地点を示した。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-300型を用い、1週間ごとに降水の回収を行った。なお、八代市は2015年6月1日から2016年3月14日まで、苓北町は2016年3月7日から2016年4月4日まで、雨水採水装置の故障により、欠測とした。よって、2015年度において、八代市は欠測期間が長期に及ぶため参考値扱いとした。

また、調査月の区切りと降水試料の回収日は、酸性雨全国調査実施要領⁴⁾の別表月割り表に従った。

2 分析方法

pH測定は東亜ディーケーケー製HM-30R(2016年3月分からHM-42Xに変更。以下同様。)を用い、複合電極はGST-5741C(GST-5841C)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CM-30R(CM-42X)を用い、電導度セルはCT-57101(CT-58101B)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ICS-1600を用い、イオンクロマトグラフ法で行った。ICS-1600の分析条件は、カチオンではDionex IonPacTM CS16のカラムを用いた。溶離液として30mMメタンスルホン酸溶液を用い、流速1.0mL/minで分析を行った。また、アニオンではDionex IonPacTM AS23のカラムを用いた。溶離液として4.5mM Na₂CO₃、0.5mM NaHCO₃混合溶液を用い、流速1.2mL/min

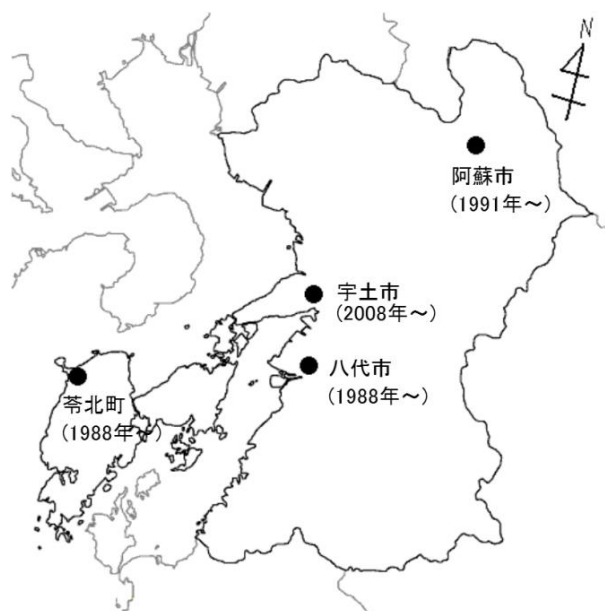


図1 調査地点

で分析を行った。

調査結果及び考察

1 前年度⁵⁾との比較

表1に2015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。平均pH、平均EC及び平均イオン成分濃度は、分析に供した降水量との加重平均により算出した。

年間降水量は2014年度と比べ、苓北町は220.9mmと減少した。阿蘇市529.1mm、宇土市637.8mmと、それぞれ増加した。なお、苓北町では、2015年度3月の欠測分を考慮に入れ比較すると、143.6mm減少した。また、阿蘇市の年間降水量の増加は、2014年度と比較し、6月が顕著であった。これは、2014年6月が少雨傾向^{5)・6)}であったことに加え、2015年6月に梅雨前線が活発化したことによる大雨⁷⁾により2015年度の増加量を押し上げた。

pHの年平均値は、苓北町4.91、阿蘇市4.60、宇土市4.81であり、特に阿蘇市が0.34上昇した。

ECの年平均値は、苓北町60µS/cm、阿蘇市18µS/cm、宇土市13µS/cmであり、2014年度と比べ、特に、苓北町は37µS/cm増加し、阿蘇市は17µS/cm減少した。

表1 イオン成分総括表^{注1)}

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 ^{注2)} mm
荅北町 ^{注3)}	平均	4.91 (4.81)	60 (23)	13 (3.0)	0.38 (0.75)	2.6 (1.7)	0.012 (0.015)	7.3 (1.7)	0.10 (0.21)	0.37 (0.19)	0.94 (0.22)	0.41 (0.24)	1553.1
	n=38 最高	5.23	200	48	4.5	7.4	0.055	27	0.92	1.3	3.4	1.3	(1774.0)
	最低	4.26	5.0	0.27	0.13	0.37	0.0059	0.16	0.019	0.017	0.022	0.040	
八代市 ^{注4)}	平均	4.61 (4.67)	22 (17)	0.77 (0.58)	1.2 (0.82)	2.3 (1.8)	0.024 (0.021)	0.21 (0.33)	0.46 (0.34)	0.061 (0.041)	0.038 (0.046)	0.21 (0.15)	312.8
	n=9 最高	4.96	24	1.3	1.6	2.8	0.030	0.47	1.0	0.12	0.056	0.32	(1606.5)
	最低	4.53	20	0.36	0.93	2.0	0.011	0.17	0.37	0.043	0.0289	0.17	
阿蘇市	平均	4.60 (4.26)	18 (35)	0.81 (1.9)	0.52 (0.78)	1.5 (2.3)	0.025 (0.054)	0.22 (0.30)	0.26 (0.34)	0.063 (0.073)	0.050 (0.085)	0.15 (0.32)	2728.3
	n=41 最高	5.09	50	3.4	1.5	4.2	0.072	0.59	0.66	0.77	0.24	0.73	(2199.2)
	最低	4.14	10	0.26	0.29	0.79	0.0082	0.065	0.18	0.018	0.015	0.045	
宇土市	平均	4.81 (4.65)	13 (16)	0.68 (0.56)	0.54 (0.75)	1.1 (1.6)	0.016 (0.023)	0.39 (0.29)	0.20 (0.26)	0.040 (0.041)	0.053 (0.044)	0.088 (0.11)	2412.9
	n=43 最高	5.16	32	3.4	1.8	2.7	0.036	2.0	0.53	0.22	0.25	0.28	(1775.1)
	最低	4.44	6.0	0.10	0.31	0.46	0.0069	0.052	0.11	0.012	0.0095	0.036	

注1) n: 検体数。平均は分析に供した雨水の降水量を基に加重平均により算出。表中の最高値及び最低値は、月平均(荷重平均)値から抽出。
()内: 2014年度の成分荷重平均濃度及び降水量。

注2) 測定地点で回収した雨水重量より計算した値(小数第2位を四捨五入し、小数第1位まで表記)。

注3) 2016年3月7日～2016年4月4日まで、欠測。

注4) 2015年6月1日～2016年3月14日まで、欠測。なお、欠測期間が長期に及ぶため、年間値は参考扱い。

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、荅北町が最も高く、2014年度より、それぞれ約 330% 増の値を示した。荅北町のイオン成分が著しく増加したのは、荅北町が天草西海に面しており、8月25日に台風15号が16年ぶりに熊本県内に上陸したため⁸⁾、ECの増加も含めて、海塩の影響を受けたものと考えられる。

2 経月変化

表2に2015年度の各調査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2015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。月平均 pH 及び EC は、月別降水量との荷重平均により算出し、イオン成分沈着量は、各イオン成分濃度に対し、分析に供した降水量を乗じて算出した。

月平均 pH では、阿蘇市(4月)の4.14が最も低く、荅北町(1月)の4.26、宇土市(10月)の4.44の順であった。なお、阿蘇市の pH の月別変化を2014年度⁵⁾と比較すると、2014年度に明らかとなった冬季の著しい低下が見られなかった。これは、2014年11月25日に阿蘇中岳が噴火して以降、その火山性ガスが、pH の低下に影響を与えてきたものの、2015年度は、火山活動の落ち着きと

ともに、その影響が小さくなったということが示唆される。

また、ECについては、pH が低い月には総じて、EC が高くなっている。ただし、荅北町では、8月に最も高くなっており台風の影響があったと考えられる。

イオン成分沈着量は、荅北町の8月の1200 meq/m²が極めて多く、前述の台風の影響によるものと考えられる。4地点の年間沈着量を比較すると、荅北町が1400 meq/m²と最も多く、以下、阿蘇市、宇土市の順であった。

さらに、図2により、荅北町における Cl⁻ と Na⁺ のイオン成分沈着量の割合が他のイオン成分沈着量と比較すると多いが、これは海塩由来と推測される。一方、山間部である阿蘇市の Na⁺ に対して Cl⁻ のイオン成分沈着量が2013年度から非常に多く、バランスが取れていなかったが¹⁾、2015年度の9月頃からは、Na⁺ と Cl⁻ のイオン成分沈着量の差が小さくなった。ここで本県では、火山性ガスが阿蘇地域の Cl⁻ 濃度に影響を与えていることを報告している⁹⁾。このことから、火山活動の落ち着きが示唆された。この点からも、pH と同様に火山活動の影響について注視して必要がある。

また、降水の酸性化成分である SO₄²⁻ について、海塩由来の ss-SO₄²⁻ を除いた非海塩性成分 nss-SO₄²⁻ 月間沈着量の経月推移を図3に示した。図3から、nss-SO₄²⁻ 月間沈

表 2 月平均（加重平均）pH 及び EC と月別イオン成分沈着量^{注1)}

調査地点	月	試料数	降水量 ^{注2)}	pH	EC	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	H ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	月間沈着量
			mm		µS/cm	meq/m ²	meq/m ²	meq/m ²	meq/m ²	meq/m ²	meq/m ²	meq/m ²	meq/m ²	meq/m ²	
荅北町 ^{注3)}	4月	3	99.6	4.65	33	11	1.5	5.0	2.2	10	1.6	0.79	2.5	1.4	36
	5月	4	86.6	4.70	15	1.9	0.57	2.1	1.7	1.7	0.41	0.16	0.52	0.37	9.4
	6月	4	435.4	5.23	5.0	3.3	1.2	3.4	2.5	3.0	1.4	0.19	0.78	0.87	17
	7月	4	216.1	4.95	13	8.4	1.2	4.0	2.4	7.8	1.3	0.35	1.9	1.0	28
	8月	4	376.1	4.91	200	510	0.77	58	4.6	440	0.41	12	110	25	1200
	9月	2	76.2	4.90	17	5.5	0.34	1.6	0.96	4.7	0.21	0.17	1.2	0.57	15
	10月	2	13.3	4.57	58	2.5	0.96	1.4	0.36	2.2	0.68	0.095	0.83	0.66	10
	11月	4	107.2	4.93	8	1.2	0.50	1.4	1.2	1.0	0.46	0.052	0.27	0.24	6.3
	12月	4	86.5	4.83	22	6.4	0.83	2.1	1.2	5.8	0.83	0.15	1.4	0.62	19
	1月	4	17.8	4.26	120	11	0.94	2.5	0.97	9.2	0.82	0.23	2.2	0.72	29
	2月	3	38.3	4.73	42	7.8	0.60	1.9	0.70	6.7	0.54	0.19	1.6	0.83	21
	3月	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	年間合計	38	1553.1	-	-	570	9.4	83	19	490	8.7	14	120	32	1400
八代市 ^{注4)}	4月	3	135.0	4.68	24	4.8	3.0	7.4	2.8	1.0	3.4	0.24	0.49	1.6	25
	5月	4	153.3	4.53	20	1.6	2.3	6.4	4.5	1.4	3.2	0.17	0.36	1.3	21
	6月	0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	7月	0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	8月	0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	9月	0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10月	0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	11月	0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	12月	0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1月	0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2月	0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3月	2	24.5	4.96	20	0.42	0.63	1.4	0.27	0.50	1.4	0.076	0.11	0.40	5
	年間合計	9	312.8	-	-	6.8	5.9	15	7.6	2.9	8.0	0.49	1.0	3.3	51
阿蘇市	4月	3	134.1	4.14	52	13	2.4	12	9.6	3.3	3.9	0.73	2.6	4.9	52
	5月	4	162.1	4.34	26	3.3	1.7	7.3	7.3	0.56	2.7	0.20	0.57	1.0	25
	6月	4	732.1	4.81	11	5.5	5.0	16	11	2.1	8.7	0.33	1.0	2.1	52
	7月	4	460.7	4.61	16	10	2.2	8.7	11	1.6	5.0	0.23	0.58	1.0	40
	8月	6	456.1	4.54	20	13	3.8	12	13	5.1	5.1	1.4	2.1	3.7	59
	9月	2	150.4	4.58	22	2.8	1.0	8.4	4.0	1.2	2.2	0.13	0.84	3.2	24
	10月	2	30.0	4.92	22	1.0	0.66	1.9	0.36	0.68	1.1	0.59	0.34	0.92	8
	11月	4	184.4	5.09	10	5.4	1.3	3.0	1.5	4.7	2.4	0.29	1.2	0.71	21
	12月	4	132.5	4.73	15	3.0	1.1	3.9	2.5	2.8	1.3	0.11	0.70	0.75	16
	1月	2	29.9	4.58	24	0.58	0.72	1.5	0.79	0.59	1.0	0.05	0.16	0.21	6
	2月	3	144.0	4.91	10	3.0	1.3	4.3	1.8	2.9	2.5	0.17	0.78	1.3	18
	3月	3	112.0	4.31	31	3.0	1.7	6.2	5.4	0.84	2.9	0.20	0.41	1.3	22
	年間合計	41	2728.3	-	-	64	23	85	68	26	39	4.4	11	21	340
宇土市	4月	3	136.8	4.51	24	3.3	2.0	6.7	4.2	2.9	2.1	0.16	0.90	1.6	24
	5月	4	158.1	4.50	19	1.1	1.7	5.7	5.0	0.66	1.8	0.10	0.22	0.43	16.7
	6月	4	713.6	5.09	6.0	2.1	3.5	6.8	5.7	1.6	4.5	0.22	0.56	1.3	26
	7月	4	346.9	4.83	12	3.6	2.9	7.5	5.1	3.5	4.7	0.19	0.88	0.84	29
	8月	5	437.4	4.61	30	18	2.5	7.1	4.6	16	3.6	1.1	3.9	2.0	59
	9月	2	119.6	5.16	12	4.0	0.77	2.0	0.82	3.7	0.86	0.11	0.87	0.39	14
	10月	2	17.5	4.44	32	0.61	0.50	0.98	0.63	0.50	0.52	0.031	0.14	0.25	4
	11月	4	135.6	5.00	7.0	1.4	0.89	1.4	1.3	1.3	0.90	0.047	0.32	0.30	7.9
	12月	4	93.5	4.89	11	1.6	0.72	1.6	1.2	1.5	0.77	0.046	0.38	0.37	8
	1月	3	39.9	4.64	18	2.1	0.93	2.0	0.90	2.0	0.91	0.084	0.48	0.42	10
	2月	4	142.2	4.86	12	2.3	1.0	2.7	1.8	2.0	1.5	0.088	0.53	0.78	13
	3月	4	71.8	4.57	20	0.84	1.3	2.9	1.9	0.71	1.6	0.091	0.30	0.87	11
	年間合計	43	2412.9	-	-	41	19	47	33	36	24	2.3	9.5	10	220

注1) イオン成分沈着量は、有効数字2桁で表記。

注2) 測定地点で回収した雨水重量より計算した値(小数第2位を四捨五入し、小数第1位まで表記)。

注3) 2016年3月7日～2016年4月4日まで、欠測。

注4) 2015年6月1日～2016年3月14日まで、欠測。欠測期間が長期に及ぶため、年間値は参考扱い。

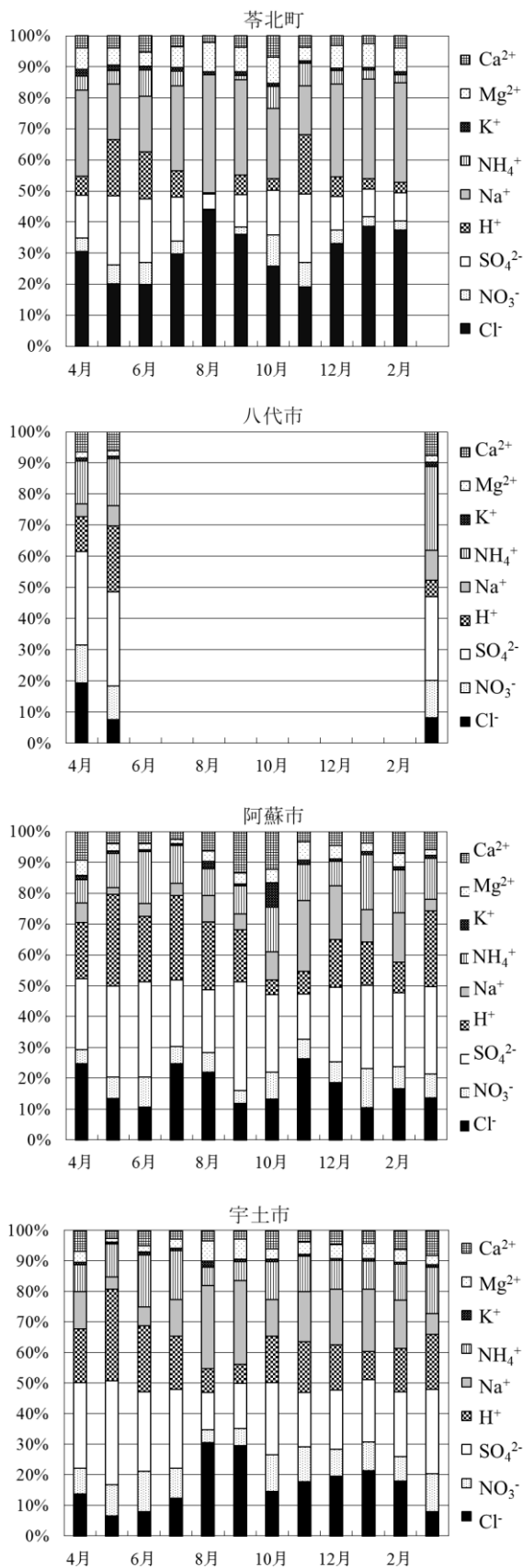


図2 月間沈着量に対する各イオン成分沈着量の割合

着量は阿蘇市以外の地点では、ほぼ同様な季節変動を示した。一方、阿蘇市は4月、6月及び3月の沈着量が他の地点に比べて多く、異なる傾向を示した。阿蘇市については、年間変動も大きく、人為的な発生源も少ないため、本県では、阿蘇中岳の火山灰からの SO_4^{2-} の溶出について報告しており⁹⁾、火山活動の影響が示唆された。

また、九州北部では、冬季には季節風の影響を強く受け、大陸からの移流の影響があると考えられ¹⁰⁾、本県でも、春先に季節風の影響があったと推測される。なお、 $nss-SO_4^{2-}$ は中国の排出量と相関関係にあることが報告¹¹⁾されている。

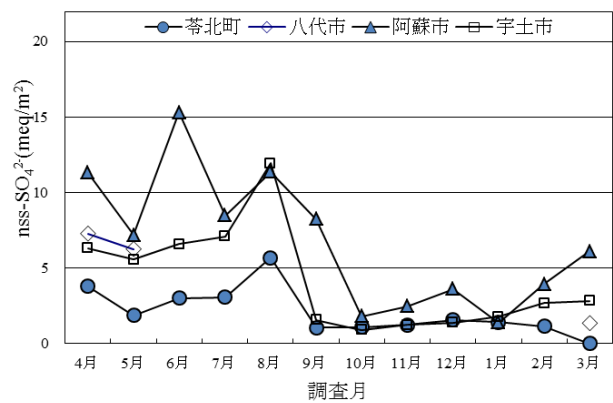


図3 $nss-SO_4^{2-}$ 月間沈着量の推移

3 経年変化

調査開始年度から2015年度までの苓北町、八代市、阿蘇市及び宇土市における年間降水量及び平均pHの推移を図4に、また、2008年度からの平均pH、EC及びイオン成分年間沈着量の推移を表3にそれぞれ示した。なお、調査開始(1989年度)からのデータは既報⁵⁾を参照されたい。

2000年度以降、苓北町、八代市及び阿蘇市はpHが低下傾向にあったが、2007年度を境に再び上昇傾向に転じた。

その後、上昇・下降を繰り返しながら推移しており、今年度は八代市を除いた3地点は上昇した。

特に、阿蘇市は2011年度から下降に転じ、2014年度は急激に低下したが、2015年度は再び上昇している。これは、前述したように火山活動が影響していると考えられる。

次に、 $nss-SO_4^{2-}$ 年間沈着量の経年推移を図5に示した。調査開始から2007年度までは、苓北町は八代市及び阿蘇市より低値で推移した。しかし、2007年度以降八代市は減少傾向に転じたため、現在では、八代市、苓北町及び宇土市の3地点は差が小さくなってきている。一方、阿蘇市

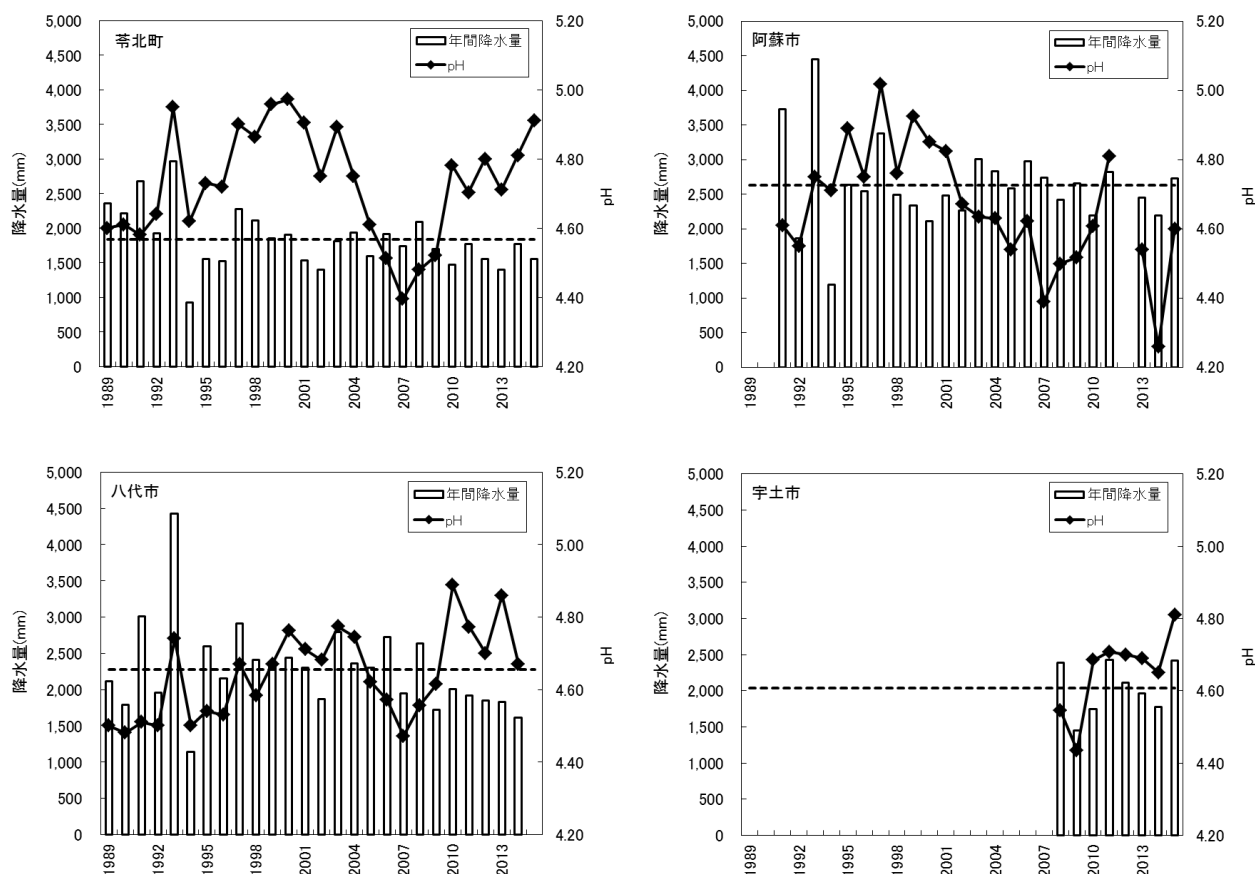


図4 年間降水量及び年平均 pH の推移

※) 阿蘇市 (2012 年度) 及び八代市 (2015 年度) は、長期間欠測のため、グラフから除外した。

※※) 破線：調査開始年度から 2015 年度までの平均降水量(阿蘇市及び八代市は長期間欠測の年度を除く)

は、2008 年度以降、濃度が減少してきたが、2011 年度から濃度が増加傾向に転じている。このうち、阿蘇市の 2014 年度の nss-SO_4^{2-} の増加の要因については、阿蘇火山の活動が活発になったことによる火山性ガス中に含まれる二酸化硫黄の排出量¹²⁾の増加が影響していると考えられる。

謝辞

本調査において、多大な御協力をいただいた荅北町企画政策課及び八代市市民環境部環境課の関係各位に謝意を表します。

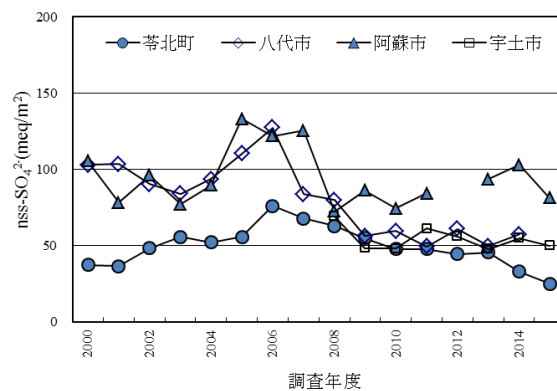


図5 nss-SO_4^{2-} 年間沈着量の推移

表3 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
苓北町	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 ^{注1)}	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	370
	2012	1555.8	4.80	23	100	22	55	27	90	23	7.5	22	16	360
	2013	1400.4	4.71	26	110	21	58	27	100	19	6.7	21	22	390
	2014 ^{注2)}	1774.0	4.81	23	110	15	44	19	93	15	5.9	22	15	330
	2015 ^{注3),注4)}	1553.1	4.91	60	570	9.4	83	19	490	8.7	14	120	32	1400
八代市	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	220
	2012	1848.0	4.70	17	46	26	66	35	39	35	2.0	9.9	17	270
	2013	1825.4	4.86	14	45	23	54	25	40	33	2.8	11	18	250
	2014 ^{注1)}	1606.5	4.67	17	27	21	60	34	23	30	1.7	6.1	12	210
	2015 ^{注5)}	312.8	4.61	22	6.8	5.9	15	7.6	2.9	8.0	0.5	1.0	3.3	51
阿蘇市	2008 ^{注6)}	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	9.5	22	350
	2011	2823.3	4.81	14	42	34	90	40	28	49	7.7	10	24	320
	2012 ^{注7)}	1056.2	4.60	21	27	13	40	30	16	22	6.0	6.0	13	170
	2013	2455.9	4.54	23	88	44	99	70	48	67	8.9	16	29	470
	2014 ^{注1)}	2199.2	4.26	35	120	28	110	120	29	42	4.1	15	35	500
	2015	2728.3	4.60	18	64	23	85	68	26	39	4.4	11	21	340
宇土市	2008	2389.6	4.55	16	38	25	72	65	29	35	2.8	8.0	13	290
	2009 ^{注8)}	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	250
	2012	2106.8	4.70	16	44	23	60	42	36	34	2.6	8.8	11	260
	2013 ^{注9)}	1968.3	4.69	15	31	22	51	36	26	27	1.7	6.7	10	220
	2014	1775.1	4.65	16	28	21	57	40	23	25	1.9	6.3	10	210
	2015	2412.9	4.44	6.0	41	19	47	33	36	24	2.3	9.5	10	220

注1) 試料未回収週を含む。
 注2) 2014年7月22日から2014年10月6日まで降水量のみ測定。
 注3) 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。
 注4) 2016年3月7日から2016年4月4日まで欠測。
 注5) 2015年6月1日から2016年3月14日まで欠測。
 注6) 欠測月(9月, 10月)を含む。
 注7) 2012年7月2日から2013年2月24日まで欠測。
 注8) 欠測月(2月, 3月)を含む。
 注9) 2013年9月2日から2013年12月2日まで降水量のみ測定分, 2014年1月24日から2月10日までの欠測を含む。

文献

- 今村 修, 久保 清; 熊本県衛生公害研究所報, 19, 53 (1989).
- 緒方和博, 矢野弘道, 上野一憲, 今村 修; 熊本県保健環境科学研究所報, 35, 91 (2005).
- 松本依子, 上野一憲, 今村 修; 全国環境研会誌, 33(4), 219 (2008).
- 全国環境研協議会・酸性雨広域大気汚染調査研究会; 酸性雨全国調査実施要領(平成27年度), (2015).
- 宮本 俊, 古澤尚英; 熊本県保健環境科学研究所報, 44, 96 (2014).
- 熊本地方气象台; 気象月報, 6月, (2014).
- 熊本地方气象台; 気象月報, 6月, (2015).
- 熊本地方气象台; 気象月報, 8月, (2015).
- 今村 修, 矢澤 吉邦; 熊本県衛生公害研究所報, 21, 63 (1991).
- 九州衛生環境技術協議会大気分科会, 山口県環境保健センター; 九州・沖縄・山口地方酸性雨共同調査研究第Ⅲ期調査報告書(平成25年7月), 11 (2013).
- 大石興弘, 濱村健吾, 藤川和浩, 村野健太郎; 大気環境学会誌, 49(4), 198 (2014).
- 阿蘇山火山防災連絡事務所ホームページ「最近のガス観測」<http://www.jma-net.go.jp/aso/gas/gas.html>