

4) 熊本県の酸性雨長期モニタリング調査結果 (2017 年度)

— 県内 2 地点における降水試料調査結果 —

上野一憲 北岡宏道

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(非降水時における降下物)の結果については、既報³⁾を参照されたい。本報では 2017 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。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(八代市役所)は 2016 年 4 月 14、16 日に発生した熊本地震により降水採取器を設置している庁舎が立入禁止となった。また、苓北町(苓北町立志岐小学校)は 2016 年 3 月 7 日から降水採取器の故障により 2016 年度は欠測とし、以後両地点の調査を終了した。

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-42X を用い、複合電極は 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-42X を用い、電導度セルは 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 のカラムと、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 のカラムと、溶離液として 4.5mM Na₂CO₃、0.5mM NaHCO₃ 混合溶液を用い、流速 1.0mL/min で分析を行った。

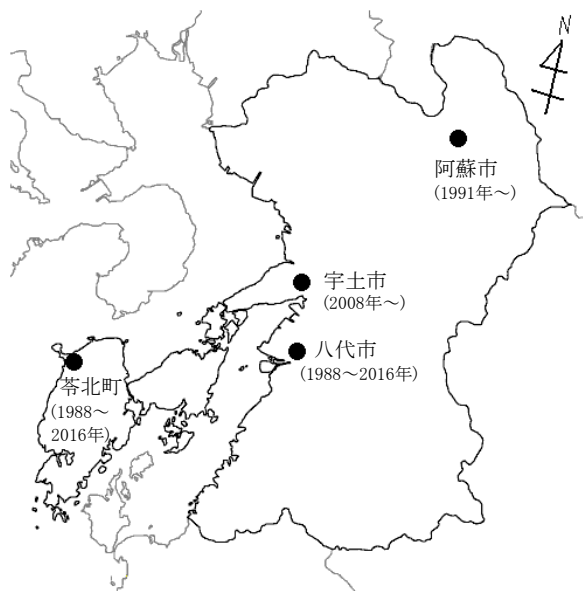


図 1 調査地点

調査結果及び考察

1 2016 年度⁵⁾との比較

表 1 に 2017 年度の調査 2 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。なお、宇土市の降水量について、2 月第 4 週から 3 月第 4 週までの期間は感雨器の故障により同地点に設置してある雨量計の降水量を用いて算出した。平均 pH、平均 EC 及び平均イオン成分濃度は降水量との加重平均により算出した。

年間降水量は 2016 年度と比べ、阿蘇市で 73.0mm、宇土市で 209.4mm、それぞれ減少した。宇土市については、11、12、1 月の少雨が年間降水量の減少に寄与した。

pH の年平均値は 2016 年度と比べ、阿蘇市は 0.14 の増加、宇土市は 0.06 の減少であったが、両地点の差はなかった。

EC の年平均値は、2016 年度と比べ、阿蘇市は 6 μ S/cm、宇土市は 1 μ S/cm 減少した。両地点とも 12 μ S/cm で、pH と同様に両地点の差はなかった。

イオン成分のうち、主に海塩由来成分である Cl⁻、Na⁺ 及び Mg²⁺ の年平均濃度は、宇土市がいずれも高く、海岸からの距離が影響した。NO₃⁻を除く他のイオン成分は 2016 年度と比べ、同程度または減少した。なかでも、阿

表1 阿蘇市及び宇土市におけるイオン成分総括表^{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	
阿蘇市 n=50	平均	4.74 (4.60)	12 (18)	0.45 (0.81)	0.57 (0.52)	1.2 (1.5)	0.018 (0.025)	0.22 (0.22)	0.22 (0.26)	0.030 (0.063)	0.032 (0.050)	0.090 (0.15)	2655.3 (2728.3)
	最高	5.02	30	3.2	1.8	2.8	0.035	1.7	0.53	0.11	0.22	0.48	
	最低	4.46	7.5	0.13	0.33	0.61	0.010	0.021	0.065	0.011	0.0046	0.023	
宇土市 n=47	平均	4.75 (4.81)	12 (13)	0.58 (0.68)	0.55 (0.54)	1.0 (1.1)	0.018 (0.016)	0.30 (0.39)	0.16 (0.20)	0.032 (0.040)	0.040 (0.053)	0.075 (0.088)	2203.5 (2412.9)
	最高	5.10	57	3.0	5.0	5.0	0.073	1.4	1.3	0.18	0.20	0.68	
	最低	4.14	6.3	0.15	0.34	0.40	0.0080	0.030	0.035	0.013	0.0065	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: 2016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)。

阿蘇市の Cl⁻ と SO₄²⁻ の年平均濃度は宇土市と比べて大きく減少した。

2 経月変化

表2に2017年度の各調査地点における月平均 pH 及び

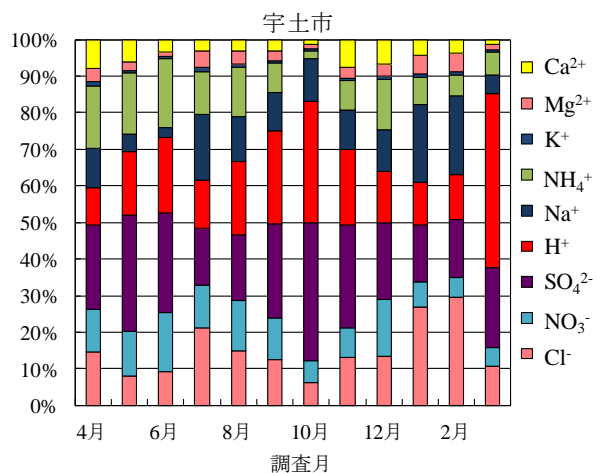
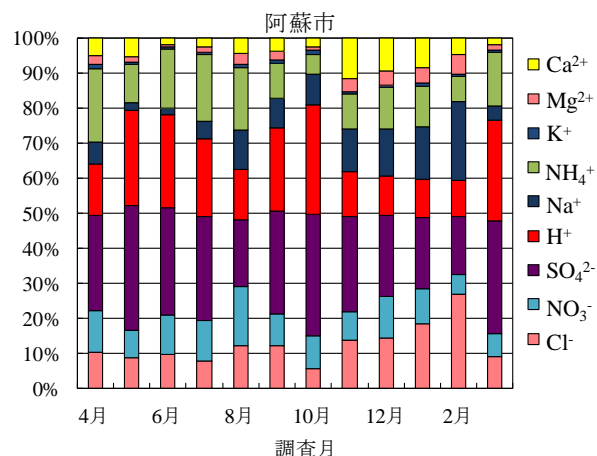


図2 月間沈着量に対する各イオン成分沈着量の割合

EC と月別イオン成分沈着量を、図2に2017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、宇土市(12月)の4.14が最も低く、次いで宇土市(3月)の4.28、宇土市(2月)と阿蘇市(2月)の4.46の順であった。

月平均 EC については、総じて pH が低い月に EC が高くなっていた。宇土市(12月)の57 μS/cm が最も高く、次いで宇土市(2月)の32 μS/cm、阿蘇市(2月)の30 μS/cm の順であった。

イオン成分沈着量は、2地点の年間沈着量を比較すると、阿蘇市の250 meq/m² (2016年度: 430 meq/m²)、宇土市の210 meq/m² (2016年度: 250 meq/m²) の順であった。このうち、海塩由来の影響が大きい Cl⁻ と Na⁺ について、阿蘇市は宇土市と比べて Na⁺ に対する Cl⁻ のイオン成分沈着量の割合が大きい。本県では火山性ガスが阿蘇地域の

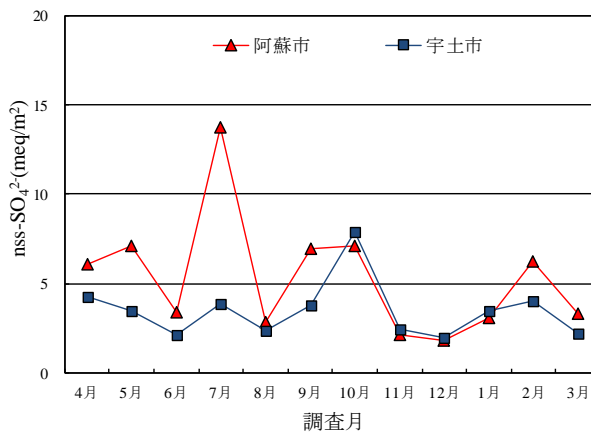


図3 nss-SO₄²⁻ 月間沈着量の推移

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)} 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
阿蘇市	4月	3	284.4	4.92	10	2.4	2.7	6.2	3.4	1.4	4.8	0.31	0.53	1.2	23
	5月	3	199.9	4.56	16	1.8	1.6	7.1	5.5	0.42	2.2	0.12	0.28	1.1	20
	6月	2	202.7	4.83	8.4	1.1	1.2	3.4	2.9	0.18	1.9	0.057	0.077	0.23	11
	7月	6	592.8	4.75	11	3.8	5.3	14	10	2.3	9.0	0.29	0.74	1.3	47
	8月	3	240.9	5.02	7.5	1.9	2.7	3.1	2.3	1.8	2.8	0.13	0.50	0.74	16
	9月	4	355.1	4.78	10	3.0	2.3	7.2	5.9	2.1	2.5	0.21	0.63	0.93	25
	10月	4	322.4	4.68	10	1.2	2.0	7.3	6.6	1.9	1.2	0.28	0.22	0.54	21
	11月	3	52.1	4.69	16	1.2	0.67	2.3	1.0	1.0	0.84	0.047	0.32	0.96	8.3
	12月	3	33.1	4.54	25	1.2	1.0	1.9	0.95	1.1	0.98	0.060	0.34	0.78	8.3
	1月	6	112.8	4.79	14	3.1	1.7	3.4	1.8	2.5	2.0	0.12	0.74	1.5	17
	2月	4	133.6	4.46	30	12	2.4	7.4	4.6	9.9	3.2	0.36	2.5	2.1	45
	3月	3	125.5	4.62	12	0.95	0.68	3.3	3.0	0.42	1.6	0.061	0.15	0.22	10
	年間合計	44	2655.3			34	24	70	48	25	33	2.0	7.0	12	250
宇土市	4月	4	253.1	5.10	8.2	2.8	2.3	4.5	2.0	2.1	3.3	0.24	0.70	1.5	20
	5月	3	170.9	4.95	8.6	0.88	1.3	3.5	1.9	0.50	1.8	0.10	0.23	0.68	11
	6月	3	173.1	5.03	6.3	0.73	1.3	2.1	1.6	0.22	1.5	0.061	0.092	0.26	7.8
	7月	5	457.7	5.07	7.3	6.2	3.4	4.5	3.8	5.3	3.3	0.41	1.3	0.88	29
	8月	4	310.6	5.02	6.4	2.2	2.0	2.6	2.9	1.8	2.0	0.13	0.50	0.46	15
	9月	4	236.0	4.77	10	2.0	1.8	4.0	4.0	1.6	1.3	0.078	0.46	0.46	16
	10月	4	224.9	4.49	17	1.4	1.3	8.2	7.3	2.6	0.44	0.17	0.27	0.26	22
	11月	3	60.0	4.50	19	1.2	0.73	2.5	1.9	1.0	0.72	0.045	0.29	0.68	9.0
	12月	4	19.8	4.14	57	1.3	1.6	2.1	1.4	1.1	1.4	0.091	0.33	0.67	10
	1月	6	96.5	4.48	27	7.2	1.9	4.2	3.1	5.7	2.0	0.18	1.4	1.1	27
	2月	4	105.4	4.46	32	8.8	1.6	4.8	3.6	6.4	1.7	0.23	1.6	1.1	30
	3月	3	95.5	4.28	26	1.1	0.53	2.3	5.0	0.53	0.66	0.054	0.16	0.14	10
	年間合計	47	2203.5			36	20	45	38	29	20	1.8	7.3	8.0	210

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)。

Cl⁻濃度に影響を与えていることが報告されている⁶⁾。この点からも、pHと同様に、これらのイオン種については今後とも火山活動との関係を注視していく必要がある。

また、降水の酸性化成分となるSO₄²⁻について、海塩由来のss-SO₄²⁻を除いた非海塩性成分nss-SO₄²⁻年間沈着量の経年推移を図3に示した。宇土市のnss-SO₄²⁻年間沈着量は、季節変動は比較的少ない。一方、阿蘇市では、7月に降水量が多かったことで沈着量が高くなったが、宇土市との差は少なかった。

3 経年変化

調査開始年度から2017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2017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⁷⁾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、その後は上昇・下降を繰り返しながら推移している。このうち、阿蘇市については2011年度から下降に転じ、2014年度は急激に低下した。

次に、nss-SO₄²⁻年間沈着量の経年推移を図5に示した。調査開始から苓北町は八代市及び阿蘇市より低い値で推

移した。八代市は阿蘇市とともに高い値で推移していたが、2007年度以降減少傾向に転じ、八代市、苓北町及び宇土市の3地点の差は小さくなった。一方、阿蘇市は、2008年度以降減少に転じ、他の地点との差が減少したが、2013年度から2016年度まで再び差が広がりを見せた。2017年度は宇土市との差が小さくなっている。

まとめ

nss-SO₄²⁻年間沈着量について、阿蘇市と宇土市の比較では、2012年度を除く調査年度で阿蘇市が高い傾向にあった。これは阿蘇山から排出される火山性ガス中に含まれる二酸化硫黄の排出量⁸⁾が影響していると考えられた。2017年度は火山噴火レベルがレベル1まで引き下げられ、年間沈着量も減少し、宇土市との差が少なくなった。

文献

- 1) 今村 修, 久保 清; 熊本県衛生公害研究所報, 19, 53 (1989).
- 2) 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).
- 3) 松本依子, 上野一憲, 今村 修; 全国環境研会誌, 33(4), 219 (2008).
- 4) 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29年度), (2017).

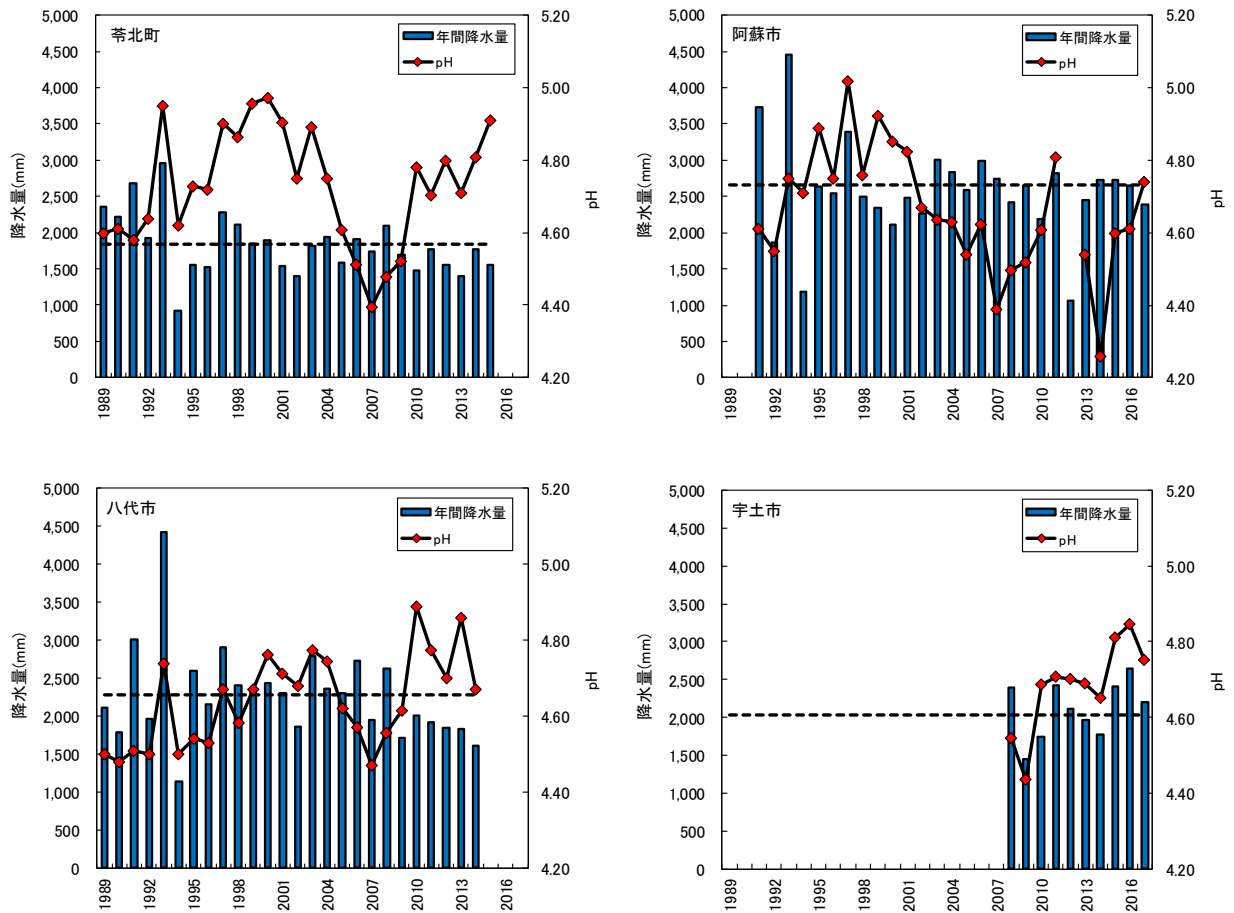


図4 年間降水量及び年平均 pH の推移

※) 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)。

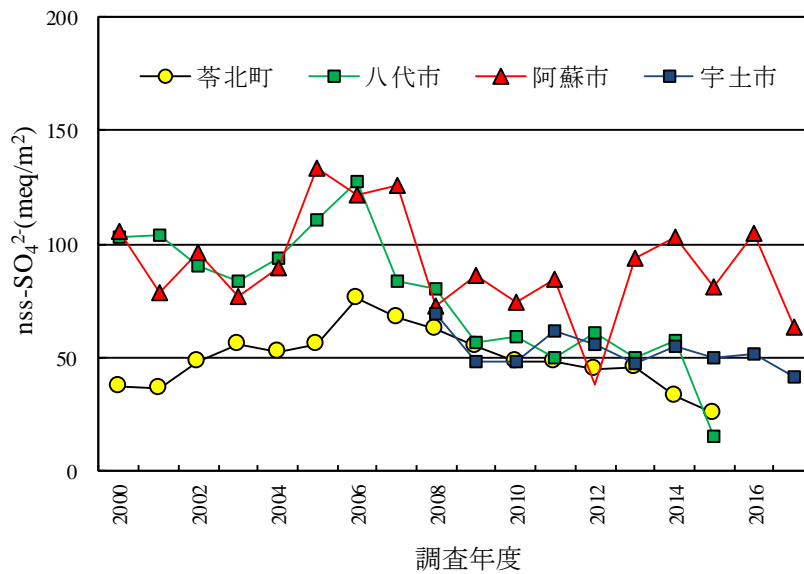


図5 nss-SO₄²⁻年間沈着量の推移

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 ^{注11)}	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
	2016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2017	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
八代市 ^{注11)}	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
	2016 ^{注10)}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2017	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
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
	2016	3802.0	4.61	16	55	38	110	88	32	58	3.2	9.0	13	400
2017	2655.3	4.74	12	34	24	70	48	25	33	2.0	7.0	12	250	
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	4.81	13	41	19	47	33	36	24	2.3	9.5	10	220
	2016	2649.4	4.85	11	27	21	41	28	21	25	1.7	5.7	8.0	180
2017	2203.5	4.75	12	36	20	45	38	29	20	1.8	7.3	8.0	210	

注1) 試料未回収を含む。 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日以降2016年度は採取器の故障により欠測。
 注5) 2015年6月1日から2016年3月14日まで欠測。欠測期間が長期に及ぶため、年間値は参考値扱い。 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。
 注10) 熊本地震により八代市役所庁舎へ立入禁止となったため欠測。
 注11) 2016年度で調査を終了。

- 5) 上野一憲, 宮本 俊; 熊本県保健環境科学研究所報, 46, 66 (2016).
 6) 今村 修, 矢澤 吉邦; 熊本県衛生公害研究所報, 21, 63 (1991).
 7) 宮本 俊, 古澤尚英; 熊本県保健環境科学研究所報, 44, 96 (2014).
 8) 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.htm>