

5) 熊本県の酸性雨長期モニタリング調査結果 (2016年度)

— 県内4地点における降水試料調査結果 —

上野一憲 宮本 俊*

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2016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八代市役所庁舎が立入禁止となったため2016年度は欠測とした。また、苓北町は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で分析を行った。

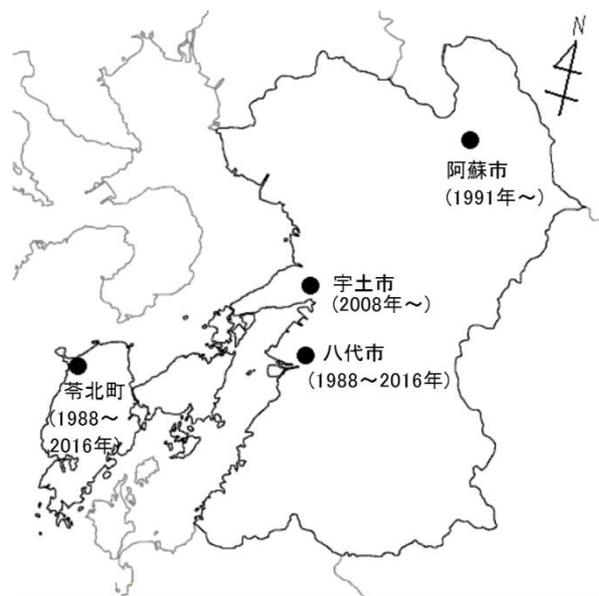


図1 調査地点

調査結果及び考察

1 前年度⁵⁾との比較

表1に2016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、苓北町と八代市は年間を通じて欠測となったため、前年度の数値のみを記載した。降水量は貯水量から算出した。オーバーフローした週の降水量は代替雨量計の降水量を用いた。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2015年度と比べ、阿蘇市1073.7mm、宇土市236.5mmと、それぞれ増加した。特に阿蘇市の年間降水量は、6、7、9月が年間降水量の増加量を押し上げた。

pHの年平均値は、阿蘇市4.61、宇土市4.85であり、2015年度とほぼ同程度であった。

ECの年平均値は、阿蘇市16μS/cm、宇土市11μS/cmであり、2015年度と比べ、阿蘇市、宇土市とも2μS/cm減少した。

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、台風15号が上陸した2015年と比べ減少した。一方、NO₃⁻とNH₄⁺の年平均濃度は増加し、SO₄²⁻は横ばいであった。

* 現環境生活部環境保全課

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)	(60)	(13)	(0.38)	(2.6)	(0.012)	(7.3)	(0.10)	(0.37)	(0.94)	(0.41)	-
	n=0 最高	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(1553.1)
	最低	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
八代市 ^{注4)}	平均	(4.61)	(22)	(0.77)	(1.2)	(2.3)	(0.024)	(0.21)	(0.46)	(0.061)	(0.038)	(0.21)	-
	n=0 最高	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(312.8)
	最低	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
阿蘇市	平均	4.61 (4.60)	16 (18)	0.55 (0.81)	0.66 (0.52)	1.5 (1.5)	0.025 (0.025)	0.20 (0.22)	0.29 (0.26)	0.035 (0.063)	0.032 (0.050)	0.080 (0.15)	3802.0 (2728.3)
	n=50 最高	4.97	40	2.1	1.8	2.8	0.061	0.95	0.79	0.11	0.13	0.32	(2728.3)
	最低	4.21	9.0	0.19	0.29	0.81	0.011	0.042	0.14	0.018	0.010	0.020	-
宇土市	平均	4.85 (4.81)	11 (13)	0.53 (0.68)	0.64 (0.54)	1.0 (1.1)	0.014 (0.016)	0.28 (0.39)	0.23 (0.20)	0.034 (0.040)	0.039 (0.053)	0.090 (0.088)	2649.4 (2412.9)
	n=47 最高	5.14	31	2.2	2.0	3.0	0.046	1.2	0.80	0.12	0.17	0.37	(2412.9)
	最低	4.33	6.0	0.20	0.28	0.47	0.0072	0.083	0.080	0.016	0.016	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: 2015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日以降、雨水採取装置の故障により欠測。
 注4) 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。

2 経月変化

表2に2016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2016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(12月)の4.21が最も低く、次いで阿蘇町(11月)の4.24、宇土市(8月)の4.33の順であった。いずれも降水量が少ない調査月に見られた。

また、月平均ECについては、総じてpHが低い月にECが高くなっている。阿蘇市(12月)の37μS/cmが最も高く、次いで宇土市(2月)の31μS/cm、阿蘇市(11月、2月)の30μS/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、阿蘇町が430 meq/m²、宇土市の250 meq/m²順であった。

さらに、Cl⁻とNa⁺については海塩由来が占める割合の多い荅北町と比較して、山間部である阿蘇市はNa⁺に対してCl⁻のイオン成分沈着量が非常に多く、バランスが取れていない¹⁾。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の影響について注視して行く必要がある。

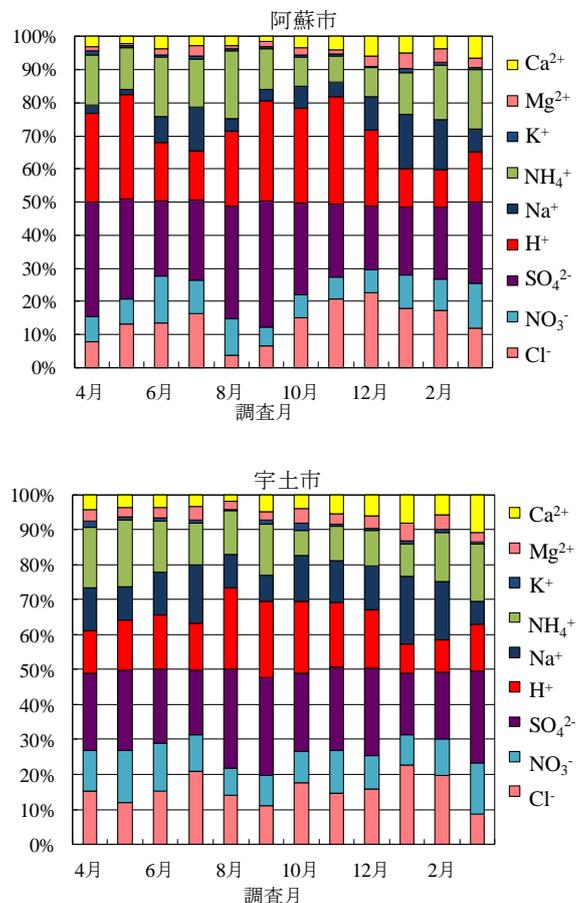


図2 月間沈着量に対する各イオン成分沈着量の割合

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	月間沈着量 meq/m ²
阿蘇市	4月	4	308.3	4.34	24	4.0	4.0	18	14	1.4	7.9	0.61	0.60	1.6	52
	5月	4	298.5	4.41	20	4.8	2.7	11	11	0.55	4.6	0.22	0.25	0.70	36
	6月	4	745.2	4.88	10	7.6	8.1	13	10	4.5	10	0.38	1.2	2.0	57
	7月	4	848.0	4.97	9.0	10	6.1	15	9.0	8.0	8.7	0.59	1.9	1.7	61
	8月	6	161.9	4.45	23	1.0	2.9	9.0	6.0	1.0	5.5	0.10	0.30	0.70	27
	9月	4	471.6	4.61	13	2.5	2.2	15	12	1.4	4.6	0.22	0.70	0.50	38
	10月	4	256.6	4.58	15	3.5	1.6	6.5	6.7	1.5	2.0	0.15	0.52	0.79	23
	11月	4	180.0	4.24	30	6.5	2.1	6.9	10	1.4	2.5	0.13	0.40	1.3	31
	12月	3	68.5	4.21	37	4.1	1.3	3.5	4.2	1.8	1.6	0.090	0.55	1.1	18
	1月	5	227.8	4.79	15	5.7	3.2	6.6	3.7	5.3	4.0	0.38	1.5	1.6	32
	2月	4	118.8	4.50	30	5.6	3.0	7.0	3.7	4.9	5.2	0.34	1.3	1.2	32
	3月	4	116.8	4.48	24	2.9	3.4	6.0	3.8	1.7	4.4	0.18	0.68	1.6	25
	年間合計	50	3802.0				58	41	120	94	33	61	3.4	10	15
宇土市	4月	4	187.9	4.73	16	4.4	3.3	6.4	3.5	3.5	5.0	0.52	0.97	1.2	29
	5月	4	290.0	5.04	7.0	2.2	2.7	4.2	2.6	1.7	3.5	0.17	0.48	0.68	18
	6月	4	482.7	4.92	9.7	5.7	5.1	7.9	5.8	4.5	5.5	0.24	1.1	1.4	37
	7月	3	599.6	5.14	6.0	6.7	3.3	5.9	4.3	5.4	3.8	0.25	1.3	1.1	32
	8月	5	109.0	4.33	28	3.0	1.7	6.1	5.0	2.0	2.7	0.10	0.50	0.40	22
	9月	4	319.3	4.94	7.0	1.8	1.4	4.6	3.6	1.2	2.4	0.17	0.42	0.79	16
	10月	4	231.8	4.89	8.0	2.5	1.3	3.1	3.0	1.9	1.0	0.27	0.61	0.56	14
	11月	4	110.7	4.60	17	2.2	1.8	3.6	2.8	1.8	1.5	0.089	0.48	0.81	15
	12月	2	41.6	4.43	26	1.4	0.84	2.2	1.5	1.1	0.90	0.054	0.30	0.54	8.8
	1月	5	131.5	4.80	18	5.5	2.1	4.3	2.1	4.7	2.3	0.20	1.2	2.0	24
	2月	4	60.9	4.54	31	3.9	2.0	3.8	1.8	3.3	2.7	0.19	0.85	1.1	20
	3月	4	84.4	4.70	17	1.1	1.9	3.4	1.7	0.86	2.1	0.080	0.36	1.4	13
	年間合計	47	2649.4				40	27	56	38	32	33	2.3	8.6	12

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)。

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。宇土市のnss-SO₄²⁻月間沈着量は、大きな季節変動は示さなかった。一方、阿蘇市は宇土市に比べて多い傾向にあり、特に4月、7月及び9月の沈着量が多く、年間変動も大きかった。阿蘇市については人為的な発生源も少ないことから、阿蘇中岳の火山灰からのSO₄²⁻の溶出について報告しており⁶⁾、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⁷⁾、本県でも春先

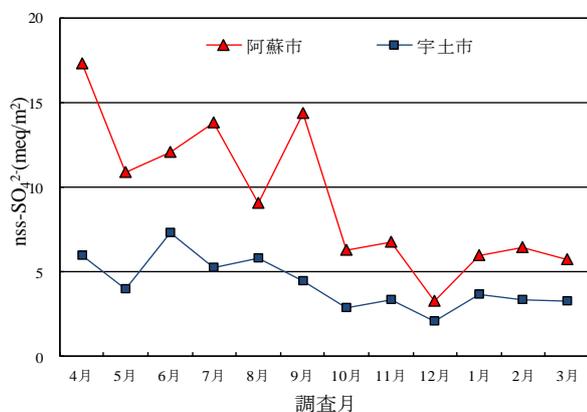


図3 nss-SO₄²⁻月間沈着量の推移

に季節風の影響があったと推測される。なお、nss-SO₄²⁻は中国の排出量と相関関係にあることが報告⁸⁾されている。

3 経年変化

調査開始年度から2016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2016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⁹⁾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が、2015年度以降は再び上昇している。これは、2014年度が火山活動によるSO₄²⁻やCl⁻沈着量の増加が影響したものと考えられる。

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2006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、2015年度は、八代市、苓北町及び宇土市の3地点の差は小さくなってきている。一方、阿蘇市は、2008年度以降、濃度が減少してきたが、2013年度から増加傾向に転じている。

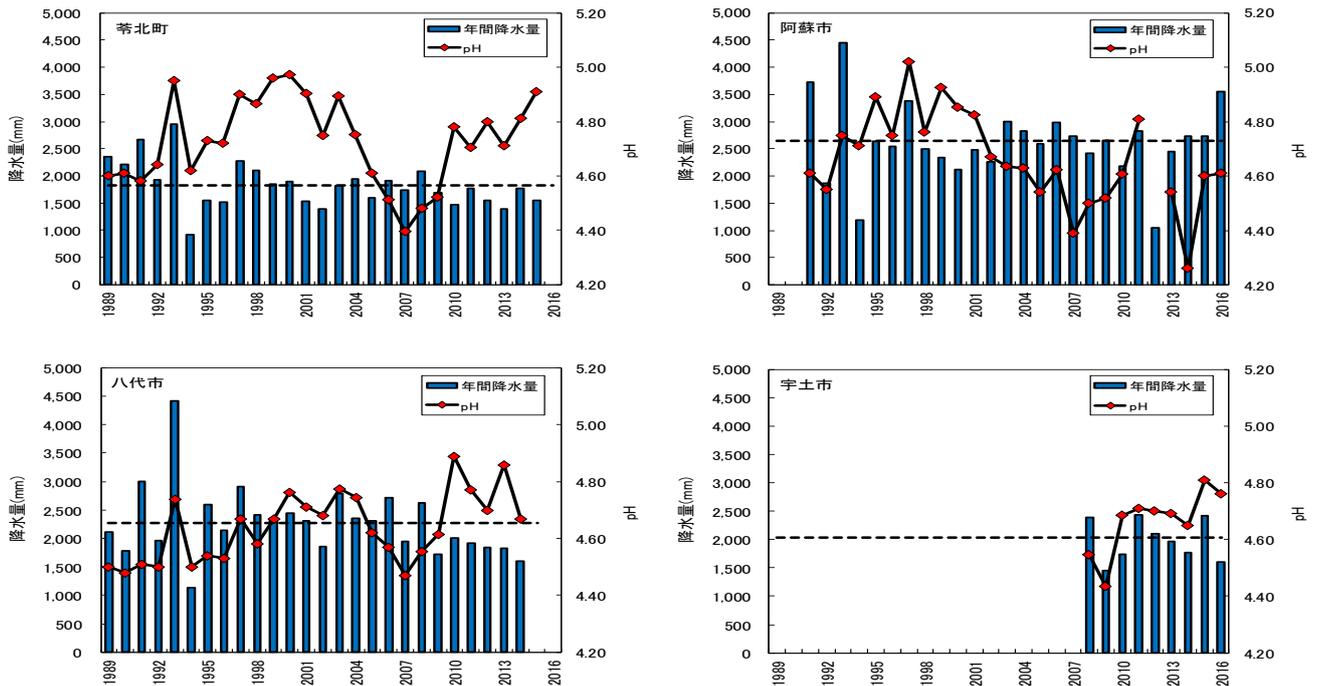


図4 年間降水量及び年平均 pH の推移

※) 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。

阿蘇市と宇土市を比較すると、宇土市が調査を開始して以後、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¹⁰⁾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。

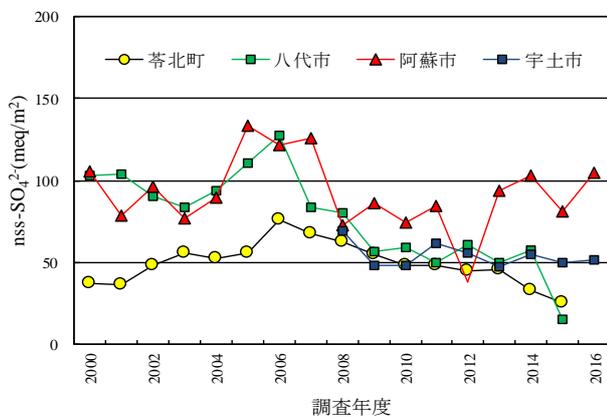


図5 nss-SO₄²⁻年間沈着量の推移

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28年度), (2016).
- 5) 宮本 俊, 古澤尚英; 熊本県保健環境科学研究所報, 45, 75 (2015).
- 6) 今村 修, 矢澤吉邦; 熊本県衛生公害研究所報, 21, 63 (1991).
- 7) 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).
- 8) 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).
- 9) 宮本 俊, 古澤尚英; 熊本県保健環境科学研究所報, 44, 96 (2014).
- 10) 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>

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
荅北町	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
2016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
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
2016 ^{注10)}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
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	
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	

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日から欠測。
 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。