

長崎県における酸性雨調査 (2019 年度)

田添 裕子, 前田 卓磨

Acid rain Survey in Nagasaki Prefecture (2019)

Yuko TAZOE, Takuma MAEDA

キーワード: 酸性雨, pH, 非海塩性硫酸イオン
Key words: acid rain, pH, non sea salt sulfate

はじめに

酸性雨は、化石燃料の燃焼により大気中に排出された硫黄酸化物や窒素酸化物の一部が、大気中で硫酸および硝酸等の二次生成物質に酸化され、これらの二次生成物質が雨滴生成過程で核として捕捉され、降水に取り込まれることによって起こる。また、酸性雨の原因となる物質は、国内からの発生に加え、大陸からの移流も指摘されている¹⁾。

このような酸性雨問題に対処するため、長崎県は1983年から長崎市式見及び旧大村保健所(大村市西三城町12番地)で酸性雨調査を開始した^{2~11)}。2005年度からは、長崎市式見及び県央保健所での機器保守管理、酸性雨分析は民間委託されており、2008年度からは長崎市式見における調査を終了し、県央保健所1箇所での調査を継続していた。県央保健所での調査は、2019年度をもって終了した。

また、長崎県内には2箇所の国設酸性雨局があり、環境省の委託を受けて、国設対馬酸性雨測定所では酸性雨調査を継続している。国設五島酸性雨測定所においては、2008年度をもって酸性雨調査を終了し、現在は大気関係の測定を継続している。

本報告では、県央保健所における2019年度の酸性雨調査結果について報告する。

調査地点の概要

県内の酸性雨測定地点及び国設局(五島酸性雨測定所を含む)を図1に示す。本調査結果に関わる測定地点の概要は、次に示すとおりである。

県央保健所においては、1998年1月から測定を開始した。諫早市中心部の北方に位置し、調査地点の西側は住宅地が広がっている。東側は交通量が多い旧国道34号線を経て田園地帯となっている。

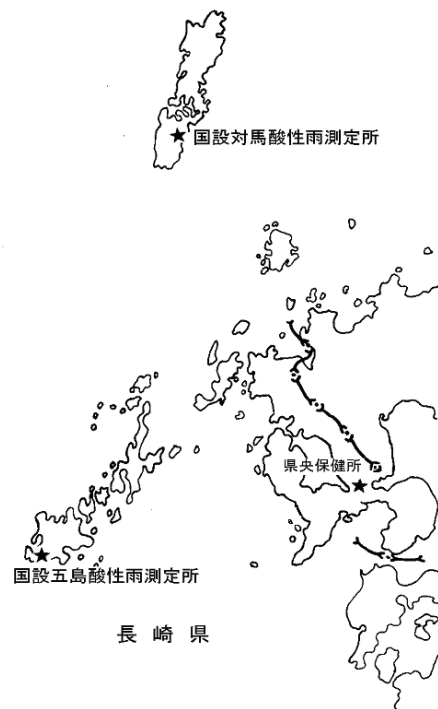


図1 酸性雨測定地点

調査方法

降水の採取は、小笠原計器(株)製US-400をベースとして、10検体の一降雨試料が、連続して採取できるように改造した雨水採取装置により実施した。なお、2018年12月から2019年9月までの期間では、雨水採取装置の不良により正常な試料採取ができなかったため、一部採取できた試料についてのみ報告した。

降水の採取及び分析は民間委託されている(ただし、2020年3月分の試料については、当センターで分析を行った)。測定項目は、貯水量、pH、電気伝導率(EC)、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- 、 NH_4^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ の11項目である。測定方法は、湿性沈着モニタリング手引き書(第2版)¹²⁾に準じた。また、降水量については、採取量から算出した。

表 1 pH の階級別の出現頻度及び酸性雨出現率

pH 階級	県央保健所	
	2018 年度	2019 年度
2.61～2.99	0	0
3.00～3.59	0	1
3.60～3.99	6	1
4.00～4.59	33	23
4.60～4.99	16	12
5.00～5.60	6	6
5.61～5.99	3	1
6.00～6.59	0	1
6.60～6.99	0	0
7.00～	0	0
サンプル数	64	45
酸性雨出現率 (%)	95.3	95.6
pH<4.00 (%)	9.4	4.4
最低 pH	3.74	3.47
最高 pH	5.85	6.18
加重平均 pH	4.49	4.45

表 2 黄砂観測日

	2018 年度	2019 年度
黄砂観測日	4 月 6 日 4 月 7 日 4 月 15 日 4 月 16 日 4 月 17 日	5 月 2 日
合計	5 日間	1 日間

※気象庁 HP より

調査結果

1 pH 及び酸性雨出現頻度

pH の階級別の出現頻度及び酸性雨の定義を pH5.6 以下とした場合の酸性雨出現率を表 1 に示す。県央保健所における 2019 年度の酸性雨出現率は 95.6%であり、2018 年度と比較してほとんど変化はなかった。降水の pH は 3.47～6.18、年平均値は 4.45 であり、2018 年度と同程度であった。

降水を中和する要因やイオン濃度などに影響を与える黄砂について、2018、2019 年度における観測日を表 2 に示す。気象庁 HP によれば、2019 年度に長崎県で黄砂が観測された日数は 1 日間であり、5 日間であった 2018 年度と比較して少なかった。

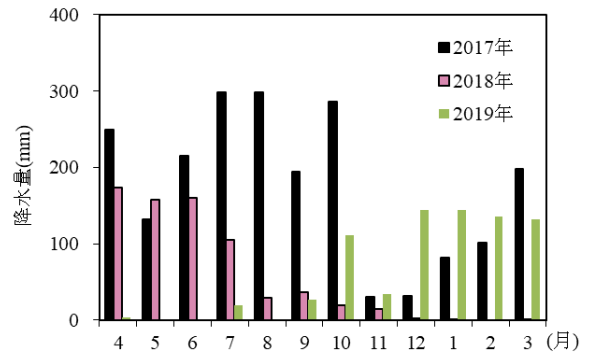


図2 降水量の経月変化

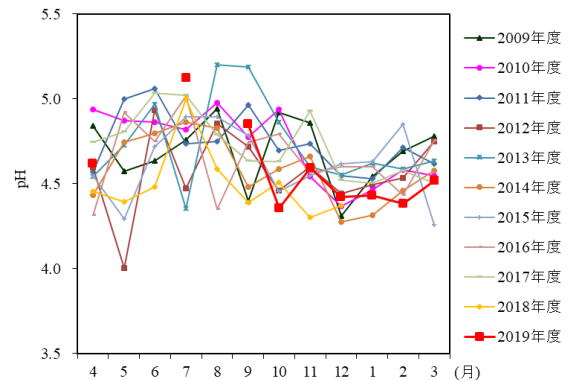


図3 pH月別平均値

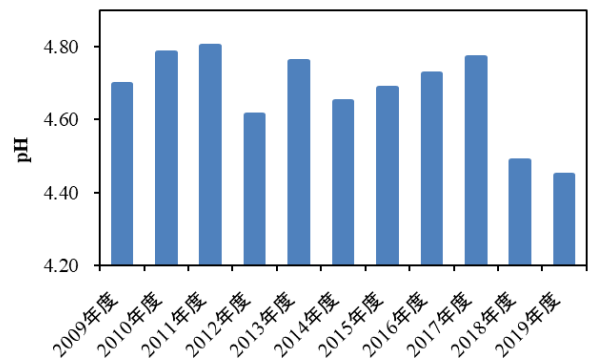


図4 pH加重平均値の推移

2 pH の経月変化

2017-2019 年度の降水量の経月変化を図 2 に示す。降水量は降水の採取量から算出しているため、2019 年度の月別降水量は、上半期の試料数が少ないことが影響し、12 月に最も多い結果となった。

2009-2019 年度の pH 月別平均値の経月変化を図 3 に示す。例年の pH の加重平均値は、雨の多い夏季に高く、雨の少ない冬季に低い傾向を示し、2019 年度においてもおおむねそのような傾向を示した。

また、図 4 は 2009-2019 年度の pH 加重平均値の推移を示しており、2018、2019 年度は、他の年度より低い結果となった。

表3 イオン成分濃度年平均値

単位:mg/L

調査地点	年度	SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻	b/a*100	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	nss-Ca ²⁺	d/c*100	Na ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	H ⁺	NO ₃ ⁻ /nss-SO ₄ ²⁻
		(a)	(b)	(%)				(c)	(d)	(%)					(%)
県央保健所	2009	1.54	1.38	90	0.92	1.08	0.30	0.17	0.14	85	0.64	0.09	0.04	0.02	66.80
	2010	1.62	1.44	89	0.98	1.27	0.33	0.16	0.13	83	0.72	0.11	0.05	0.02	68.34
	2011	1.22	1.13	92	0.61	0.68	0.18	0.07	0.06	81	0.37	0.10	0.03	0.02	54.06
	2012	1.66	1.51	91	0.85	1.04	0.31	0.15	0.13	85	0.58	0.10	0.03	0.02	56.44
	2013	1.51	1.32	87	0.70	1.40	0.20	0.12	0.09	76	0.77	0.10	0.05	0.02	53.51
	2014	1.50	1.36	90	0.74	1.12	0.22	0.11	0.08	79	0.59	0.09	0.05	0.02	54.70
	2015	1.31	1.17	90	0.64	0.99	0.24	0.11	0.09	82	0.54	0.08	0.03	0.02	54.91
	2016	1.26	1.07	85	0.86	1.36	0.28	0.12	0.09	77	0.75	0.12	0.04	0.02	80.19
	2017	1.19	1.03	86	0.70	1.24	0.22	0.15	0.12	83	0.66	0.12	0.04	0.02	68.55
	2018	1.93	1.69	88	0.97	1.83	0.30	0.18	0.14	80	0.96	0.14	0.06	0.03	57.40
2019	2.11	1.83	86	0.87	2.18	0.33	0.14	0.10	69	1.15	0.15	0.06	0.04	47.85	

表4 イオン成分濃度月平均値

単位:mg/L

調査地点	年度	項目	月												イオン成分 年平均値 及び年降水量
			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
県央保健所	2018	SO ₄ ²⁻	2.26	2.50	1.46	0.85	1.98	1.90	3.18	2.51	5.74	3.47	*	2.28	1.93
		nss-SO ₄ ²⁻	2.06	2.39	1.36	0.40	1.59	1.59	1.84	2.29	5.52	2.94	*	2.09	1.69
		NO ₃ ⁻	0.70	1.75	0.65	0.19	1.31	1.93	0.93	1.43	2.26	3.94	*	3.31	0.97
		Cl ⁻	1.51	0.88	0.77	3.20	3.00	2.41	11.01	1.78	2.06	3.84	*	1.16	1.83
		NH ₄ ⁺	0.24	0.57	0.18	0.07	0.46	0.45	0.16	0.29	0.43	0.84	*	1.03	0.30
		Ca ²⁺	0.28	0.20	0.07	0.12	0.17	0.16	0.37	0.20	0.60	0.63	*	1.27	0.18
		nss-Ca ²⁺	0.25	0.18	0.05	0.05	0.11	0.11	0.17	0.17	0.57	0.54	*	1.24	0.14
		Na ⁺	0.81	0.42	0.39	1.80	1.55	1.23	5.35	0.90	0.89	2.13	*	0.75	0.96
		Mg ²⁺	0.13	0.07	0.05	0.24	0.22	0.17	0.79	0.12	0.16	0.32	*	0.20	0.14
		K ⁺	0.06	0.04	0.03	0.07	0.09	0.07	0.21	0.06	0.07	0.15	*	0.12	0.06
		H ⁺	0.035	0.040	0.033	0.010	0.026	0.041	0.031	0.050	0.043	*	*	*	0.032
降水量mm		173	158	160	104	29	36	19	14	2	0	*	1	698	
県央保健所	2019	SO ₄ ²⁻	3.65	8.11	2.56	0.99	*	2.58	1.58	1.66	1.95	2.21	2.34	2.53	2.11
		nss-SO ₄ ²⁻	3.46	7.34	2.42	0.82	*	1.30	1.45	1.44	1.80	1.85	1.95	2.30	1.83
		NO ₃ ⁻	3.95	2.52	2.28	0.57	*	1.09	0.63	1.20	0.78	0.78	0.85	1.13	0.87
		Cl ⁻	1.62	5.80	1.15	1.10	*	9.64	1.29	1.51	1.17	2.55	2.95	1.69	2.18
		NH ₄ ⁺	1.20	1.18	0.93	0.24	*	0.49	0.16	0.27	0.23	0.31	0.43	0.48	0.33
		Ca ²⁺	1.02	0.94	0.42	0.10	*	0.33	0.07	0.16	0.11	0.13	0.17	0.15	0.14
		nss-Ca ²⁺	0.99	0.83	0.40	0.07	*	0.13	0.05	0.12	0.09	0.08	0.11	0.12	0.10
		Na ⁺	0.77	3.05	0.56	0.69	*	5.09	0.52	0.86	0.61	1.43	1.55	0.89	1.15
		Mg ²⁺	0.19	0.46	0.11	0.09	*	0.57	0.07	0.12	0.09	0.19	0.21	0.11	0.15
		K ⁺	0.15	0.28	0.12	0.04	*	0.17	0.03	0.05	0.04	0.08	0.09	0.06	0.06
		H ⁺	0.011	*	*	0.008	*	0.014	0.043	0.025	0.038	0.036	0.041	0.030	0.035
降水量mm		3	0	1	20	*	27	111	34	145	144	136	132	753	

*: 欠測(月間に測定データが1つもない)を表す。

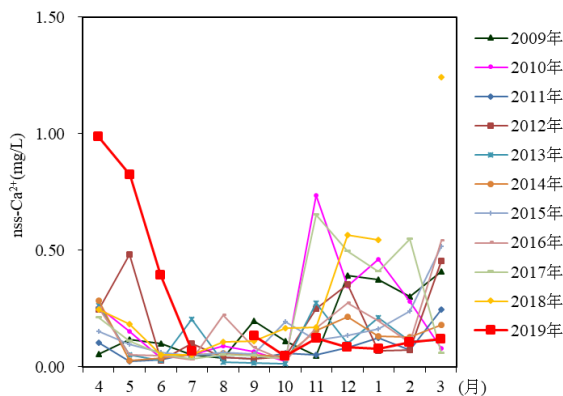


図5 nss-Ca²⁺濃度の経月変化

3 イオン成分濃度

2009-2019 年度におけるイオン成分濃度年平均値を表3に、2018、2019年度のイオン成分濃度月平均値を表4に示す。“nss-”は「非海塩性 (nss: non sea salt)」を表し、海塩性イオン (Na⁺をすべて海塩由来として海塩組成比から算出) を差し引いた残りであることを示している。

降水中の非海塩性硫酸イオン (nss-SO₄²⁻) 成分及び非海塩性カルシウムイオン (nss-Ca²⁺) 成分の割合を求めると、2019年度の年平均値はそれぞれ86%、69%であり、2018年度の年平均値と比較すると、いずれも割合は低くなった。

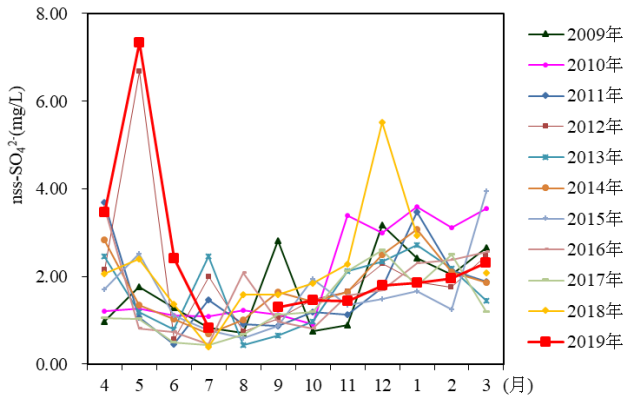


図6 nss-SO₄²⁻濃度の経月変化

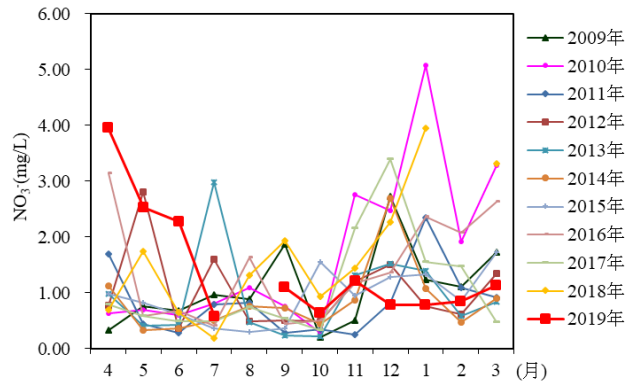


図7 NO₃⁻濃度の経月変化

表5 イオン成分年沈着量

単位:mg/m²/年

調査地点	年度	年降水量 (mm)	SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	nss-Ca ²⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	H ⁺
県央保健所	2009	2142.6	3304.1	2960.6	1977.7	2315.3	633.6	356.4	304.4	1368.2	190.2	87.8	42.7
	2010	2075.3	3364.7	2991.7	2044.4	2642.3	680.2	336.6	280.1	1486.0	231.4	102.3	34.2
	2011	2815.7	3445.0	3182.5	1720.5	1917.0	499.6	205.5	165.8	1045.7	278.2	98.5	43.6
	2012	2489.5	4128.7	3765.2	2125.1	2578.2	781.4	369.1	314.1	1448.2	243.7	72.5	60.7
	2013	2003.3	3025.6	2635.7	1410.3	2804.8	407.3	244.4	185.4	1553.2	202.3	97.3	34.2
	2014	2199.7	3312.1	2985.0	1632.9	2461.8	488.0	235.7	186.1	1303.2	198.4	119.8	48.9
	2015	2462.9	3222.2	2886.3	1584.9	2427.5	600.1	280.1	229.3	1338.1	208.9	70.5	51.1
	2016	1907.3	2408.0	2048.4	1642.6	2587.6	525.6	235.5	181.1	1432.3	224.6	83.9	36.2
	2017	2121.5	2533.2	2179.0	1493.7	2623.2	466.9	315.7	262.1	1411.2	256.4	83.8	40.3
	2018	698.1	1349.3	1181.9	678.5	1275.1	207.3	126.2	100.9	667.0	97.6	38.7	22.4
2019	752.7	1590.9	1374.3	657.6	1641.4	249.6	104.7	71.9	862.8	112.9	48.6	26.5	

2009-2019 年度における nss-Ca²⁺濃度、nss-SO₄²⁻濃度及び NO₃⁻濃度の経月変化を図 5、6、7 に示す。一般的にイオン成分濃度は、雨の多い夏季に低く、雨の少ない冬季に高い傾向を示すが、2019 年度は、8 月までの試料数が少ないため、傾向は判断できなかった。

2019 年度に長崎県で黄砂が観測されたのは 5 月 2 日の 1 度であるが、nss-Ca²⁺濃度が黄砂観測日の前後で特徴的である事例はなかった。

また、9 月以降に、nss-SO₄²⁻濃度は緩やかに増加したが、NO₃⁻濃度は低い水準を示した。一般的に SO₂は火山活動や越境汚染の影響を受けやすく、NO_x は国内発生源の影響を受けやすいと言われてきた。鶴野¹³⁾らによれば、「寒候季には域外に水平輸送される」ことが示されていることから、nss-SO₄²⁻濃度の秋頃からの緩やかな増加は、越境汚染の影響を受けている可能性がある。

4 イオン成分沈着量

表 5 に 2009-2019 年度におけるイオン成分年沈着量を、表 6 に 2018、2019 年度イオン成分月別沈着量を示す。2019 年度の年沈着量は Cl⁻ が最も多く、次い

で SO₄²⁻、Na⁺、NO₃⁻という結果であり、2018 年度と比べ大きな変化はなかった。

一般的に降水量が多ければ沈着量も増加する。2019 年度においてもほぼそのような傾向を示していたが、一部の期間で正常な試料採取ができなかったため、詳細な季節変化についてはわからなかった。

まとめ

県央保健所における 2019 年度の酸性雨の出現率は、2018 年度と大きな差はなく、例年並みであった。2019 年度の降水の pH は 3.47 ~ 6.18、加重平均値は 4.45 であった。2018 年度の全国の pH の地点別年平均値は 4.63 ~ 5.17、全地点の年平均値は 4.93 であったので¹⁴⁾、県央保健所における 2019 年度の降水の pH は、全国の降水の pH よりも低い傾向があった。

イオン成分濃度については、9 月以降に、nss-SO₄²⁻濃度は緩やかに増加したが、NO₃⁻濃度は低い水準を示した。イオン沈着量については、降水量の多い時期に高い傾向を示した。

表6 イオン成分月別沈着量

単位:mg/m²/月

調査地点	年度	項目	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	イオン成分 年沈着量及 び年降水量
県央保健所	2018	SO ₄ ²⁻	392.3	395.6	233.1	88.5	57.8	69.0	60.6	35.2	13.6	1.7	*	2.1	1349.3
		nss-SO ₄ ²⁻	356.8	378.8	217.4	41.4	46.4	57.8	35.0	32.0	13.1	1.4	*	1.9	1181.9
		NO ₃ ⁻	121.2	276.8	104.0	20.2	38.3	70.0	17.7	20.0	5.4	1.9	*	3.0	678.5
		Cl ⁻	261.3	138.8	122.4	334.9	87.8	87.6	209.5	25.0	4.9	1.9	*	1.0	1275.1
		NH ₄ ⁺	42.2	89.9	28.8	7.2	13.5	16.2	3.1	4.1	1.0	0.4	*	0.9	207.3
		Ca ²⁺	47.9	31.4	10.8	12.7	4.9	5.8	7.0	2.8	1.4	0.3	*	1.1	126.2
		nss-Ca ²⁺	42.5	28.9	8.4	5.6	3.1	4.1	3.2	2.4	1.3	0.3	*	1.1	100.9
		Na ⁺	141.4	66.9	62.6	187.7	45.4	44.8	101.8	12.6	2.1	1.0	*	0.7	667.0
		Mg ²⁺	22.4	11.2	8.4	25.5	6.5	6.3	14.9	1.7	0.4	0.2	*	0.2	97.6
		K ⁺	9.7	7.1	4.5	7.3	2.5	2.5	4.0	0.8	0.2	0.1	*	0.1	38.7
		H ⁺	6.1	6.4	5.3	1.0	0.8	1.5	0.6	0.7	0.1	*	*	*	22.4
		降水量mm	173	158	160	104	29	36	19	14	2	0	*	*	1
	2019	SO ₄ ²⁻	11.1	3.4	3.0	19.6	*	68.6	176.0	56.9	282.8	317.4	318.6	333.5	1590.9
		nss-SO ₄ ²⁻	10.5	3.1	2.8	16.2	*	34.7	161.4	49.5	260.5	265.9	265.8	303.9	1374.3
		NO ₃ ⁻	12.0	1.1	2.7	11.2	*	29.0	70.5	41.3	112.9	112.6	115.7	148.7	657.6
		Cl ⁻	4.9	2.4	1.3	21.8	*	256.2	142.8	51.7	169.7	366.3	401.7	222.5	1641.4
		NH ₄ ⁺	3.7	0.5	1.1	4.7	*	13.1	18.1	9.2	32.6	44.1	58.8	63.6	249.6
		Ca ²⁺	3.1	0.4	0.5	1.9	*	8.7	7.3	5.4	15.8	19.0	22.5	20.1	104.7
		nss-Ca ²⁺	3.0	0.3	0.5	1.4	*	3.6	5.1	4.2	12.5	11.2	14.5	15.7	71.9
Na ⁺		2.4	1.3	0.7	13.7	*	135.2	58.2	29.6	88.7	205.1	210.5	117.7	862.8	
Mg ²⁺	0.6	0.2	0.1	1.8	*	15.2	7.6	4.1	12.5	26.9	28.7	15.1	112.9		
K ⁺	0.5	0.1	0.1	0.8	*	4.6	2.9	1.8	5.7	12.1	12.6	7.4	48.6		
H ⁺	0.03	*	*	0.1	*	0.4	4.8	0.9	5.5	5.2	5.6	4.0	26.5		
降水量mm	3	0	1	20	*	27	111	34	145	144	136	132	753		

*: 欠測(月間に測定データが1つも無い)を表す。

参 考 文 献

- 1) 環境省:酸性雨長期モニタリング報告書(平成15~19年度),101-128(2009).
- 2) 吉村 賢一郎,他:酸性雨調査(第1報),長崎県衛生公害研究所報, **25**, 91-96(1983).
- 3) 吉村 賢一郎,他:酸性雨調査(第2報),長崎県衛生公害研究所報, **26**, 130-134(1984).
- 4) 吉村 賢一郎,他:酸性雨調査(第3報),長崎県衛生公害研究所報, **27**, 29-36(1985).
- 5) 吉村 賢一郎,他:酸性雨調査(第4報),長崎県衛生公害研究所報, **28**, 15-24(1986).
- 6) 釜谷 剛,他:長崎県における酸性雨調査(1999年度),長崎県衛生公害研究所報, **45**, 37-39(1999).
- 7) 釜谷 剛,他:長崎県における酸性雨調査(2000年度),長崎県衛生公害研究所報, **46**, 32-36(2000).
- 8) 山口 顕徳,他:長崎県における酸性雨調査(2001年度),長崎県衛生公害研究所報, **47**, 41-46(2001).
- 9) 山口 顕徳,他:長崎県における酸性雨調査(2002年度),長崎県衛生公害研究所報, **48**, 66-70(2002).
- 10) 山口 顕徳,他:長崎県における酸性雨調査(2003年度),長崎県衛生公害研究所報, **49**, 52-57(2003).
- 11) 横瀬 健,他:長崎県における酸性雨調査(2004年度),長崎県衛生公害研究所報, **50**, 38-43(2004).
- 12) 環境省地球環境局環境保全対策課酸性雨研究センター:第2章 各論,湿性沈着モニタリング手引き書(第2版), 28-53(2001).
- 13) 鶴野 伊津志:東アジア域のNOx排出量と窒素化合物の挙動のモデル解析,大気環境学会誌, **48**, 223-233(2013).
- 14) 環境省:平成30年度酸性雨調査結果(湿性沈着モニタリング結果).