

長崎県における酸性雨調査(2004 年度)

横瀬 健・森 淳子

Acidity and Ion Concentrations in Rain Water (2004)

Takeshi Yokose and Atsuko MORI

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

ている。東側は 12 時間交通量が約 13, 000 台である
 国道 34 号線を経て田園地帯となっている。

はじめに

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は直接大気汚染の原因となるばかりでなく、それらの一部は大気中で硫酸および硝酸等の二次生成物質に酸化される。これらの二次生成物質(ガス, エアロゾル)は雨滴生成過程で核として捕捉された後、レインアウトやウォッシュアウト等により降水に取り込まれ、酸性雨の原因となっている。

このような酸性雨問題に対処するため、長崎県においては昭和 58 年から長崎市式見及び旧大村保健所で酸性雨調査を開始した^{1)~9)}。

平成 9 年度からは旧大村保健所の測定点は、諫早市の県央保健所に移動して調査を継続している。

また、環境省の委託を受けて離島の国設対馬酸性雨測定所及び国設五島酸性雨測定所においても酸性雨調査を実施している。

本報告では、長崎県が実施した長崎市式見及び県央保健所における平成 16 年度の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を図 1 に示す。各測定地点の概要は以下に示すとおりである。

1,長崎市式見

長崎市の中心部から北西の郊外に位置し、周囲は山林及び田園地帯であり、測定地点の北東3km及び南東約 4 kmには住宅地が存在する。Na⁺や Cl⁻等の海塩粒子濃度の大きな要因となる海岸までの距離は西方約 1 kmである。

2,県央保健所

平成10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

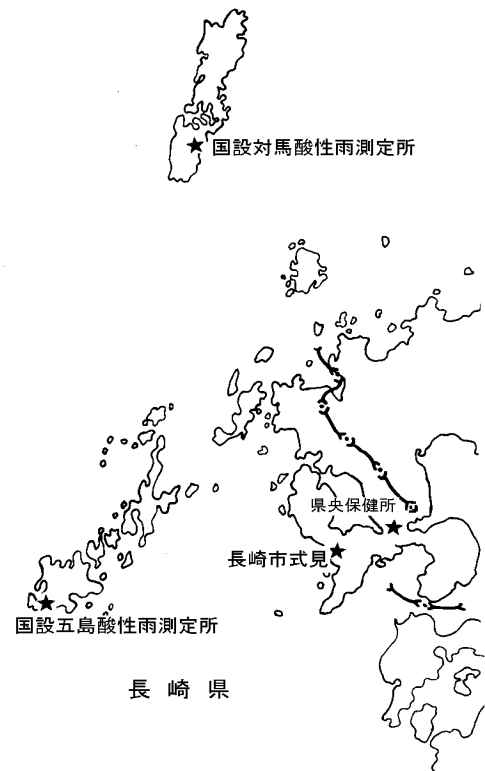


図1 酸性雨測定地点

調査方法

雨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器により実施した。

測定項目は貯水量, pH, 電気伝導率(EC), SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻, NH₄⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺の 11 項目であり、測定方法及び定量下限値等は表 1 に示すとおりである。なお、降水量については、貯水量から計算した。

調査結果

pH及び各イオン濃度の平均値は、貯水量により重み付けを行って計算した(加重平均値)。

また沈着量は、加重平均値に貯水量を乗じて求めた。

式見においては、雨水捕集装置の作動が一時的に異常な状態が見られた。その特記事項を以下に示す。

・9/6 23:59～9/7 18:47 までの雨でOFがあり、全量補修できなかった。また、降水量はアメダス(長崎)より求めた。

・9/16 17:52～9/17 00:07 までの雨と 9/23 15:00～9/24 13:00 までの雨が混合し捕集された。全量捕集はしているので、月ごとの計算には支障ない。降雨時間はアメダス(長崎)より求めた。

・10/18 15:30～10/21 00:32 までの雨で機器の不良のためOFあり。降水量はアメダス(長崎)より求めた。

(1)pH及び酸性雨出現頻度

pHの出現頻度及び便宜上、酸性雨の定義をpH5.6以下とした酸性雨出現率を表2に示す。式見における平成16年度の酸性雨出現率は97.8%、県央保健所では100%であった。なお、15年度は式見で95.9%、県央保健所で98.6%であった。

平成16年度pHの年平均値は式見4.69、県央保健所4.80であり、15年度とほぼ同様の値であった。

また、降水を中和する要因となる黄砂について、平成15,16年度における黄砂観測日を表3に示す。平成16年度は5日間、15年度は7日間観測された。

(2)pHの経月変化

平成16年度の降水量の経月変化を図2に、pHの月別平均値の経月変化を図3に示す。例年、pHの平均値は雨の多い夏季に高く、雨の少ない冬季には低い傾向を示すが、平成16年度も式見、県央ともに降水量の多い月はpHが高く、少ない月はpHが低い傾向がみられた。

(3)イオン成分濃度

表4にイオン成分年平均値を示す。平成16年度の年降水量は式見1,528mmで県央保健所2,059mmであった。

イオン成分濃度をみると、海岸に近い式見においてはCl⁻及びNa⁺, SO₄²⁻, Ca²⁺が県央保健所に比べ高い結果となっている。また、NO₃⁻, Mg²⁺, K⁺についても同様に式見の値が高く、NH₄⁺については式見と県央保健所における結果はあまり変わらなかった。

15年度と16年度の値を比較すると、式見、県央保健

所ともに16年度はNa⁺, Cl⁻の濃度が15年度に比べ高く、海塩由来成分の影響が示唆された。また、式見においてNO₃⁻の値が16年度は増加しており、県央保健所においては、NH₄⁺の値が16年度は減少していた。

次に、Na⁺のすべてが海塩由来であると仮定し、海水中の濃度比を用いてnss-SO₄²⁻及びnss-Ca²⁺を計算してSO₄²⁻及びCa²⁺に占める非海塩性成分の割合を求めると各々、16年度は式見73%、66%、県央保健所76%、64%であり、15年度に比べ低くなっていた。

表1 測定方法及び検出下限値

項目	測定方法	検出下限値	定量下限値
pH	ガラス電極法	0.01(測定限界)	
EC	導電率計による方法	0.01 μs/cm	
SO ₄ ²⁻	イオンクロマトグラフ法	0.017 μg/ml	0.055 μg/ml
NO ₃ ⁻	"	0.010 μg/ml	0.034 μg/ml
Cl ⁻	"	0.003 μg/ml	0.008 μg/ml
NH ₄ ⁺	"	0.015 μg/ml	0.05 μg/ml
Na ⁺	"	0.009 μg/ml	0.03 μg/ml
K ⁺	"	0.006 μg/ml	0.02 μg/ml
Ca ²⁺	"	0.023 μg/ml	0.08 μg/ml
Mg ²⁺	"	0.002 μg/ml	0.005 μg/ml

表2 pHの出現頻度及び酸性雨出現率

pH階級	式見		県央保健所	
	H15	H16	H15	H16
2.61～2.99	0	0	0	0
3.00～3.59	0	0	0	0
3.60～3.99	6	9	1	4
4.00～4.59	38	38	26	16
4.60～4.99	31	23	26	26
5.00～5.60	19	19	16	17
5.61～5.99	2	2	1	0
6.00～6.59	2	0	0	0
6.60～6.99	0	0	0	0
7.00～	0	0	0	0
サンプル数	98	91	70	63
酸性雨出現率(%)	95.9	97.8	98.6	100
pH<4.00(%)	6.1	9.9	1.4	6.3
最低pH	3.64	3.69	3.97	3.72
最高pH	6.25	5.70	5.96	5.44
加重平均pH	4.73	4.69	4.78	4.80

表3 平成15,16年度の黄砂観測日

年度	平成15年度	平成16年度
黄砂発生日	4月13日	4月2日
	3月11日	4月3日
	3月12日	4月21日
	3月15日	4月22日
	3月16日	4月23日
	3月30日	
	3月31日	
合計	7日間	5日間

※長崎海洋気象台調べ

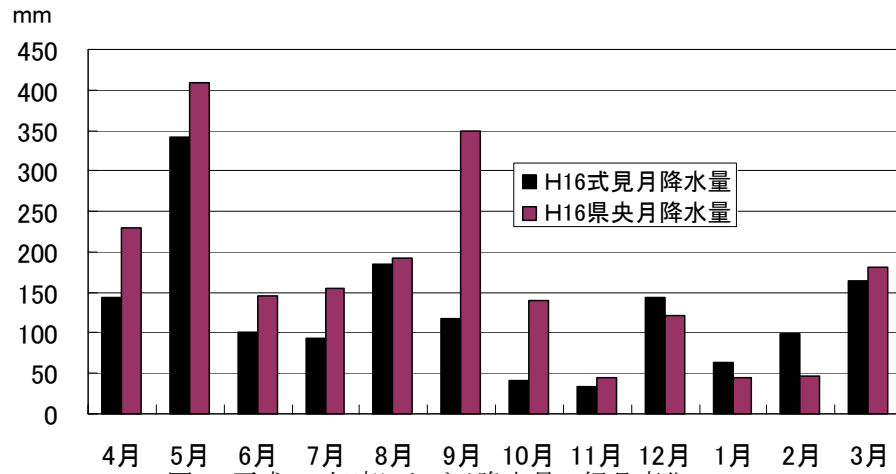


図2 平成16年度における降水量の経月変化

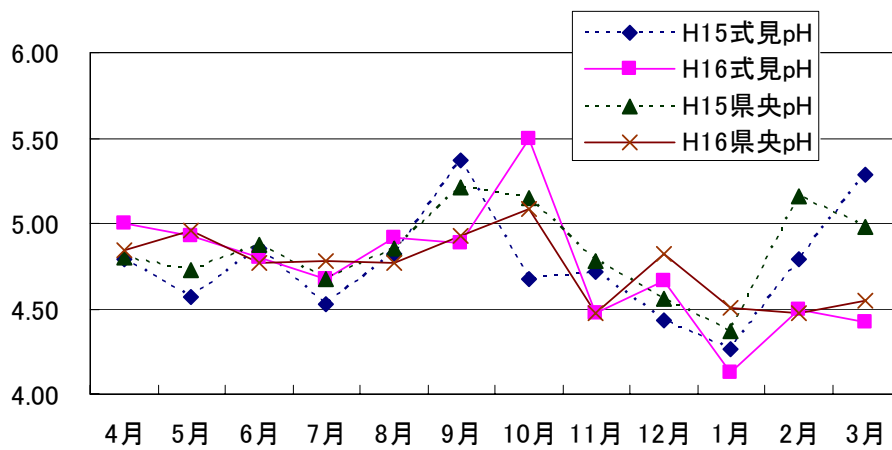


図3 平成15, 16年度におけるpHの経月変化

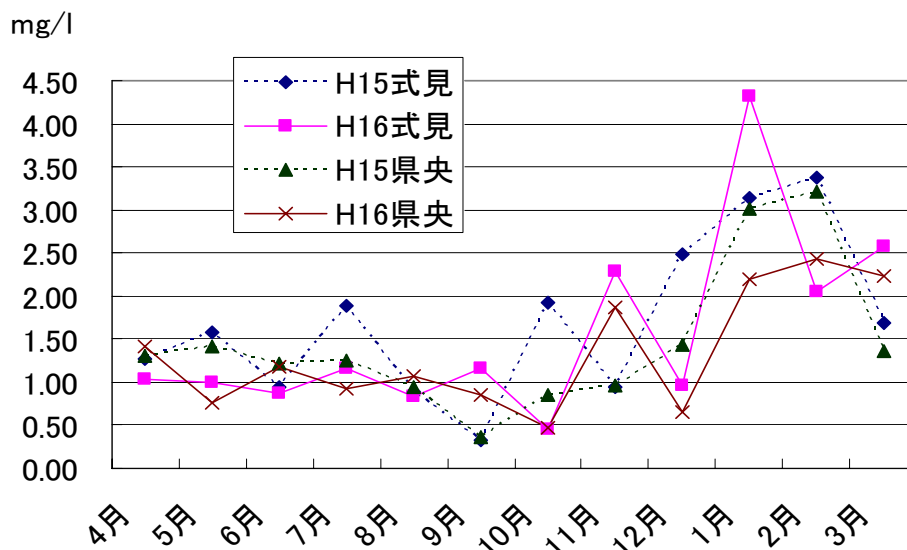


図4 平成15, 16年度におけるnss-SO₄²⁻濃度の経月変化

表 5 にイオン成分月平均値を示す。また図4には、表 5 において、人為的汚染の指標とされる nss-SO_4^{2-} の月変化を示す。 nss-SO_4^{2-} 濃度は夏季に低く、冬季に高い傾向がみられ、15 年度においては県央、式見ともに大きな差はみられなかったが、16 年度は式見において、県央よりも高い値となった。

(4)イオン成分沈着量

表 6 にイオン成分年沈着量を示す。式見では海塩粒子の影響を受け Cl^- が最も多く、次いで Na^+ 、 SO_4^{2-} の順であった。県央保健所では、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ の順であった。表 7 に月別のイオン成分沈着量を示す。

まとめ

(1)平成 16 年度における酸性雨の出現頻度は 95% 以上であり、12 年度のような黄砂の影響は認められなかった。

(2)pH の平均値は式見で 4.69、県央保健所で 4.80 であり、両測定地点で近い値が得られた。全国の降水の pH は 4.4 と 5.0 の間に集中している⁹⁾ことと照らし合わせると、いずれも全国の降水 pH の範囲内であった。

(3)pH4.00 以下の強酸性雨の出現頻度は、式見における結果が県央保健所に比べ高くなっていた。

(4)トータル SO_4^{2-} 及びトータル Ca^{2+} 濃度に占める海塩以外の発生源に起因するものの割合は、式見、県央とも 15 年度と比べ大きな差はみられなかった。

参考文献

- 1) 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)
- 2) 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)
- 3) 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)
- 4) 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)
- 5) 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)
- 6) 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)
- 7) 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)
- 8) 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)
- 9) 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)
- 10) 酸性雨対策検討会:総合とりまとめ結果の評価と残された課題, 酸性雨対策調査総合とりまとめ, 202~215(2004 年 6 月)

表 4 平成 15,16 年度におけるイオン成分年平均値

調査地点	年度	年降水量 (mm)	pH	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 ⁺
				(a)	(b)	(%)	(c)	(d)	(%)							
式見	H15	1755	4.73	1.80	1.38	77	0.86	2.92	0.27	0.23	0.16	72	1.68	0.21	0.14	0.019
	H16	1528	4.69	1.89	1.38	73	1.01	3.56	0.22	0.22	0.15	66	2.04	0.25	0.13	0.021
県央保健所	H15	2024	4.78	1.50	1.28	85	0.80	1.48	0.34	0.16	0.12	79	0.87	0.11	0.08	0.017
	H16	2059	4.80	1.47	1.12	76	0.71	2.45	0.21	0.15	0.09	64	1.41	0.18	0.09	0.016

表 5 平成 15,16 年度におけるイオン成分月平均値

単位:mg/l

調査地点	年度	項目	イオン成分 年平均値及 7月年降水量												
			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
式見	H15	SO ₄ ²⁻	1.43	1.67	1.38	2.24	1.03	0.96	2.50	1.06	4.65	4.80	4.54	2.35	1.80
		nss-SO ₄ ²⁻	1.27	1.58	0.93	1.89	0.89	0.32	1.93	0.94	2.49	3.14	3.37	1.68	1.38
		NO ₃ ⁻	0.67	0.80	0.63	1.40	0.64	0.15	1.49	0.54	1.61	1.89	1.92	0.86	0.86
		Cl ⁻	1.02	0.67	2.96	2.03	0.94	5.07	3.94	0.81	16.61	12.04	7.90	4.99	2.92
		NH ₄ ⁺	0.23	0.27	0.25	0.48	0.22	0.11	0.36	0.09	0.28	0.39	0.63	0.21	0.27
		Ca ²⁺	0.16	0.12	0.13	0.14	0.06	0.14	0.44	0.09	0.56	0.50	1.08	0.73	0.23
		nss-Ca ²⁺	0.13	0.11	0.06	0.09	0.04	0.05	0.35	0.07	0.23	0.25	0.90	0.63	0.16
		Na ⁺	0.64	0.39	1.78	1.38	0.56	2.54	2.28	0.48	8.63	6.61	4.67	2.66	1.68
		Mg ²⁺	0.10	0.06	0.21	0.15	0.07	0.29	0.31	0.07	1.06	0.83	0.63	0.36	0.21
		K ⁺	0.11	0.09	0.12	0.13	0.07	0.13	0.23	0.06	0.40	0.40	0.38	0.19	0.14
	H ⁺	0.016	0.027	0.014	0.030	0.015	0.004	0.021	0.019	0.037	0.054	0.016	0.005	0.019	
	降水量mm	238	103	288	229	303	93	19	196	46	41	89	109	1755	
	H16	SO ₄ ²⁻	1.45	1.13	1.09	1.62	2.13	1.35	0.52	2.56	1.13	7.52	2.27	3.10	1.89
		nss-SO ₄ ²⁻	1.03	1.00	0.88	1.16	0.83	1.17	0.44	2.29	0.97	4.32	2.04	2.58	1.38
		NO ₃ ⁻	0.58	0.70	1.08	0.95	0.62	0.57	0.47	1.16	1.08	3.30	1.05	1.95	1.01
		Cl ⁻	2.79	0.92	1.34	2.98	9.07	1.37	0.61	1.99	1.16	22.11	1.55	3.97	3.56
		NH ₄ ⁺	0.16	0.19	0.25	0.23	0.18	0.12	0.06	0.19	0.11	0.55	0.22	0.43	0.22
		Ca ²⁺	0.22	0.15	0.15	0.18	0.26	0.13	0.08	0.23	0.15	0.78	0.23	0.37	0.22
		nss-Ca ²⁺	0.16	0.13	0.12	0.11	0.07	0.11	0.07	0.19	0.13	0.29	0.19	0.29	0.15
		Na ⁺	1.70	0.54	0.84	1.83	5.18	0.71	0.30	1.08	0.62	12.78	0.91	2.09	2.04
Mg ²⁺		0.21	0.09	0.13	0.24	0.56	0.13	0.05	0.17	0.09	1.43	0.14	0.25	0.25	
K ⁺		0.13	0.09	0.10	0.12	0.18	0.22	0.06	0.09	0.04	0.50	0.07	0.09	0.13	
H ⁺	0.010	0.012	0.016	0.021	0.012	0.013	0.003	0.034	0.022	0.074	0.032	0.038	0.021		
降水量mm	144	343	101	94	185	118	40	33	144	64	98	164	1528		
県央保健所	H15	SO ₄ ²⁻	1.41	1.47	1.43	1.45	1.01	1.15	0.94	1.03	1.54	3.79	4.12	1.68	1.50
		nss-SO ₄ ²⁻	1.30	1.41	1.21	1.26	0.94	0.37	0.85	0.96	1.43	3.01	3.22	1.36	1.28
		NO ₃ ⁻	0.93	0.74	0.77	0.97	0.51	0.23	0.77	0.49	0.84	1.67	1.87	0.71	0.80
		Cl ⁻	0.66	0.53	1.40	1.26	0.44	5.97	0.70	0.54	0.86	5.19	5.92	2.12	1.48
		NH ₄ ⁺	0.44	0.45	0.50	0.30	0.25	0.10	0.32	0.20	0.23	0.59	0.59	0.21	0.34
		Ca ²⁺	0.15	0.08	0.09	0.07	0.07	0.17	0.15	0.10	0.11	0.34	1.04	0.39	0.16
		nss-Ca ²⁺	0.13	0.07	0.05	0.04	0.06	0.05	0.14	0.08	0.09	0.22	0.91	0.34	0.12
		Na ⁺	0.44	0.22	0.86	0.76	0.25	3.13	0.37	0.30	0.46	3.11	3.61	1.28	0.87
		Mg ²⁺	0.06	0.03	0.10	0.09	0.04	0.38	0.07	0.05	0.06	0.39	0.51	0.19	0.11
		K ⁺	0.07	0.06	0.08	0.05	0.05	0.15	0.07	0.06	0.12	0.26	0.28	0.13	0.08
	H ⁺	0.016	0.019	0.014	0.021	0.014	0.006	0.007	0.017	0.027	0.043	0.007	0.010	0.017	
	降水量mm	145	132	314	495	346	68	13	211	33	47	91	128	2024	
	H16	SO ₄ ²⁻	1.56	0.84	1.27	1.13	1.66	1.71	0.48	2.11	0.73	5.13	2.73	2.47	1.47
		nss-SO ₄ ²⁻	1.42	0.77	1.17	0.93	1.08	0.85	0.46	1.87	0.66	2.20	2.43	2.23	1.12
		NO ₃ ⁻	0.59	0.68	0.64	0.89	0.66	0.39	0.26	1.05	0.72	1.85	1.70	1.19	0.71
		Cl ⁻	1.05	0.42	0.66	1.38	4.03	6.08	0.30	1.76	0.55	19.05	1.98	1.69	2.45
		NH ₄ ⁺	0.24	0.17	0.22	0.17	0.26	0.16	0.09	0.24	0.11	0.36	0.53	0.36	0.21
		Ca ²⁺	0.21	0.10	0.10	0.10	0.12	0.16	0.06	0.15	0.10	0.60	0.23	0.23	0.15
		nss-Ca ²⁺	0.19	0.09	0.09	0.07	0.03	0.03	0.05	0.11	0.09	0.15	0.18	0.19	0.09
		Na ⁺	0.56	0.27	0.38	0.81	2.32	3.44	0.07	0.99	0.29	11.68	1.22	0.97	1.41
Mg ²⁺		0.09	0.06	0.06	0.11	0.28	0.41	0.03	0.13	0.05	1.30	0.16	0.14	0.18	
K ⁺		0.09	0.07	0.08	0.10	0.09	0.12	0.01	0.04	0.02	0.47	0.12	0.08	0.09	
H ⁺	0.014	0.011	0.017	0.017	0.017	0.012	0.008	0.034	0.015	0.031	0.034	0.028	0.016		
降水量mm	229	409	146	156	192	349	140	45	122	44	47	180	2059		

表6 平成 15,16 年度における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 ⁺
式見	H15	1755	3155	2417	1504	5131	474	401	289	2944	369	238	32.6
	H16	1528	2895	2113	1551	5447	333	344	225	3117	383	198	31.5
県央保健所	H15	2024	3043	2600	1629	2998	686	319	252	1766	232	168	33.5
	H16	2059	3031	2303	1458	5041	432	304	193	2900	375	185	32.9

表7 平成 15,16 年度における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
式見	H15	SO ₄ ²⁻	340	173	398	514	312	89	49	207	214	198	406	255	3155
		nss-SO ₄ ²⁻	302	163	269	435	269	30	37	184	114	130	301	183	2417
		NO ₃ ⁻	158	82	182	322	194	14	29	106	74	78	172	94	1504
		Cl ⁻	243	69	854	465	283	474	76	159	762	496	707	542	5131
		NH ₄ ⁺	54	28	71	111	67	11	7	18	13	16	57	23	474
		Ca ²⁺	37	12	37	33	19	14	8	18	26	21	96	79	401
		nss-Ca ²⁺	31	11	17	21	13	4	7	14	11	10	81	68	289
		Na ⁺	152	40	512	316	171	238	44	95	396	272	418	289	2944
		Mg ²⁺	23	6	61	34	20	27	6	14	49	34	57	39	369
		K ⁺	27	10	35	29	21	12	4	11	18	16	34	21	238
		H ⁺	3.83	2.80	4.02	6.78	4.60	0.40	0.42	3.79	1.70	2.24	1.47	0.57	32.6
		降水量mm	238	103	288	229	303	93	19	196	46	41	89	109	1755
	H16	SO ₄ ²⁻	210	389	110	151	393	158	21	85	163	482	223	509	2895
		nss-SO ₄ ²⁻	148	342	89	108	153	137	18	76	140	276	201	423	2113
		NO ₃ ⁻	83	240	109	88	115	67	19	39	157	212	103	320	1551
		Cl ⁻	402	315	136	279	1675	161	24	66	168	1415	152	651	5447
		NH ₄ ⁺	22	64	26	22	32	14	2	6	16	35	22	71	333
		Ca ²⁺	32	50	15	17	49	16	3	8	22	50	23	60	344
nss-Ca ²⁺		22	43	12	10	12	12	3	6	19	19	19	47	225	
Na ⁺		246	186	85	172	957	84	12	36	90	818	89	343	3117	
Mg ²⁺		30	30	13	22	104	15	2	6	14	92	14	41	383	
K ⁺		19	31	10	11	33	26	2	3	6	32	7	16	198	
H ⁺		1.43	4.09	1.60	2.00	2.25	1.55	0.13	1.13	3.12	4.77	3.18	6.28	31.5	
降水量mm		144	343	101	94	185	118	40	33	144	64	98	164	1528	
県央保健所	H15	SO ₄ ²⁻	204	194	449	717	349	79	13	218	51	179	376	215	3043
		nss-SO ₄ ²⁻	188	187	381	623	327	25	11	202	47	143	293	174	2600
		NO ₃ ⁻	135	97	243	478	178	16	10	104	27	79	170	90	1629
		Cl ⁻	96	69	439	625	153	409	9	113	28	246	540	271	2998
		NH ₄ ⁺	64	60	156	150	87	7	4	42	8	28	54	27	686
		Ca ²⁺	21	10	27	36	26	11	2	20	4	16	95	50	319
		nss-Ca ²⁺	19	9	17	22	22	3	2	18	3	10	83	44	252
		Na ⁺	64	29	271	377	86	215	5	63	15	147	330	164	1766
		Mg ²⁺	9	4	31	45	13	26	1	12	2	19	47	24	232
		K ⁺	10	8	24	24	19	10	1	13	4	12	26	16	168
		H ⁺	2.27	2.50	4.25	10.53	4.92	0.42	0.09	3.55	0.90	2.04	0.637	1.33	33.5
		降水量mm	145	132	314	495	346	68	13	211	33	47	91	128	2024
	H16	SO ₄ ²⁻	358	343	185	176	319	597	67	96	89	225	129	447	3031
		nss-SO ₄ ²⁻	326	316	171	144	207	296	65	84	80	96	115	403	2303
		NO ₃ ⁻	134	278	93	139	128	137	37	47	89	81	80	215	1458
		Cl ⁻	240	170	97	214	775	2121	42	79	67	837	94	304	5041
		NH ₄ ⁺	56	71	33	26	50	54	13	11	13	16	25	65	432
		Ca ²⁺	48	40	15	16	23	56	8	7	13	26	11	41	304
nss-Ca ²⁺		43	36	12	11	6	10	8	5	11	7	8	35	193	
Na ⁺		129	109	56	126	446	1199	9	45	36	513	58	174	2900	
Mg ²⁺		20	25	9	17	54	145	4	6	6	57	8	26	375	
K ⁺		21	30	12	16	18	42	1	2	3	21	6	14	185	
H ⁺		3.30	4.50	2.50	2.58	3.30	4.15	1.15	1.53	1.85	1.38	1.599	5.09	32.9	
降水量mm		229	409	146	156	192	349	140	45	122	44	47	180	2059	

