

# 長崎県における酸性雨調査(2001 年度)

山口 顕徳・釜谷 剛

## Acidity and Ion Concentrations in Rain Water (2001)

Akinori YAMAGUCHI, Takeshi KAMAYA

Key words: acid rain, pH, yellow sand

キーワード: 酸性雨, pH, 黄砂

### 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<sup>1)~5)</sup>。

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 13 年度の調査結果について報告する。

### 調査地点の概要

県内の酸性雨調査地点を図 1 に示す。各調査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<sup>+</sup>や Cl<sup>-</sup>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。



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), SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>の 11 項目であり、測定方法及び検出下限値等は表 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。

#### (1) pH 出現頻度

pH の出現頻度及び酸性雨出現率を表 2 に示す。式見における平成 13 年度の酸性雨出現率は 84.1%, 県央保健所では、82.0%であった。12 年度は式見、県央

保健所とも 80%を下回っていた。これは、黄砂が多く飛来したため、降水が中和されて酸性雨出現頻度が低くなったものと考えられる。平成 12, 13 年度における黄砂の発生日を表 3 に示す。

12 年度においては 19 日間、13 年度は 12 日間黄砂が観測されている。pH の年平均値は式見 4.79, 県央保健所 4.80 であり、12 年度に比べて低い値であった。

(2)pH の月変化

平成 13 年度の pH の月変化を図 2 に示す。例年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 13 年度は、式見では 3 月に高く、県央保健所では 2 月に高くなっていた。

(3)イオン成分濃度

表 4 にイオン成分年平均値を示す。年降水量は式見 1, 749mm で県央保健所 1, 681mm 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<sup>-</sup> 及び Na<sup>+</sup> が県央保健所に比べ高い結果となっている。また、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 及び Ca<sup>2+</sup> については式見よりも県央保健所のほうが高い値を示した。

式見における 12 年度と 13 年度の値を比較すると、12 年度は Ca<sup>2+</sup> 濃度が 13 年度の約 2.1 倍、県央保健所では 2.5 倍高く、黄砂が大きく影響していることが示唆された。

次に、Na<sup>+</sup> 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- SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 及び nss- Ca<sup>2+</sup> を計算して SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 及び Ca<sup>2+</sup> に占める非海塩性成分の割合を求めると各々、式見 85%, 83%, 県央保健所 92%, 95% であり、12 年度とほぼ同様で、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 及び Ca<sup>2+</sup> のほとんどが海塩以外に由来していることが示唆された。

表 5 にイオン成分月平均値を示す。表 5 に示した項目のうち、人為的汚染の指標とされる nss- SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> の月変化を図 3 に示す。nss- SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 濃度は夏季に低く、冬季に高い傾向がみられ、12 年、13 年度のいずれにおいても都市部である県央保健所のほうが式見よりも高い値を示した。

(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<sup>-</sup> が最も多く、次いで SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Na<sup>+</sup> の順であった。県央保健所では、12 年度同様 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> の順であった。表 7 に月別のイオン成分沈着量を示す。

表 1 分析方法および検出下限値

項目	分析方法	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 <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	イオンクロマトグラフ法	0.017 μg/ml	0.055 μg/ml
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	"	0.010 μg/ml	0.034 μg/ml
Cl <sup>-</sup>	"	0.003 μg/ml	0.008 μg/ml
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	"	0.015 μg/ml	0.05 μg/ml
Na <sup>+</sup>	"	0.009 μg/ml	0.03 μg/ml
K <sup>+</sup>	"	0.006 μg/ml	0.02 μg/ml
Ca <sup>2+</sup>	"	0.023 μg/ml	0.08 μg/ml
Mg <sup>2+</sup>	"	0.002 μg/ml	0.005 μg/ml

表 2 pH 出現頻度及び酸性雨出現率

pH 階級	式見		県央保健所	
	H12	H13	H12	H13
2.99	0	0	0	0
3.59	1	0	0	0
3.99	0	3	1	1
4.59	27	32	15	12
4.99	21	21	24	24
5.60	24	13	26	13
5.99	4	6	4	8
6.59	4	5	11	2
6.99	6	2	8	1
>7.00	5	0	4	0
サンプル計	92	82	93	61
酸性雨出現率(%)	79.3	84.1	71.0	82.0
pH<4.00(%)	1.1	3.7	1.1	1.6
最低pH	3.44	3.65	3.96	3.97
最高pH	7.51	6.89	7.16	6.82
平均pH	4.86	4.79	4.96	4.80

表 3 平成 12, 13 年度の黄砂発生日

月日	H12 年度	H13 年度
	4 月 8 日	4 月 12 日
4 月 9 日	4 月 13 日	
4 月 10 日	4 月 14 日	
4 月 11 日	4 月 15 日	
4 月 12 日	5 月 17 日	
4 月 13 日	5 月 18 日	
4 月 14 日	3 月 6 日	
4 月 22 日	3 月 18 日	
4 月 23 日	3 月 21 日	
5 月 2 日	3 月 22 日	
1 月 2 日	3 月 23 日	
1 月 3 日	3 月 31 日	
3 月 7 日		
3 月 19 日		
3 月 20 日		
3 月 21 日		
3 月 22 日		
3 月 23 日		
3 月 24 日		
合計	19 日間	12 日間

※長崎海洋気象台調べ

図 2 pH の月変化

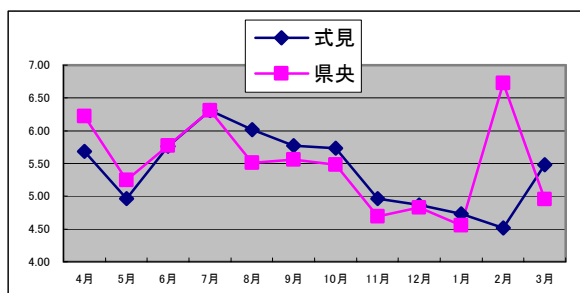
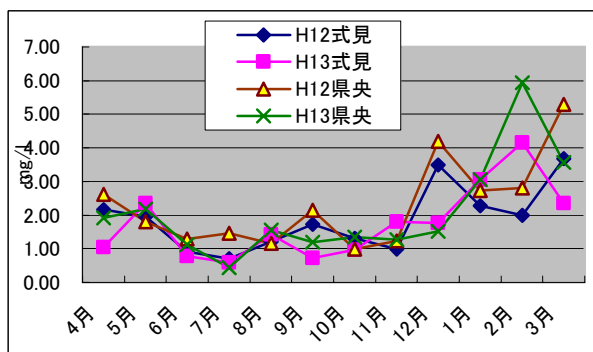


図 3 nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度の月変化



まとめ

- (1) 酸性雨の出現頻度は例年, 約 90%以上であるが, 12年, 13年度とも黄砂の影響により出現頻度が低下していた。
- (2) pH の平均値は式見で 4.79, 県央保健所で 4.80 でありほとんど差はみられなかった。
- (3) 黄砂の影響と考えられるpH の上昇が 1 月から 3 月にかけて式見, 県央保健所ともに認められた。
- (4) トータル SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>及びトータル Ca<sup>2+</sup>濃度の 80%以上が海塩以外の発生源に起因するものであり, 都市部である県央保健所のほうが式見に比べ高い値であった。

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)

表4 イオン成分年平均値

単位:mg/l

調査地点	年度	年降水量 (mm)	pH	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (a)	nss-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (b)	b/a*100 (%)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup> (c)	nss-Ca <sup>2+</sup> (d)	d/c*100 (%)	Na <sup>+</sup>	H <sup>+</sup>
式見	H12	1576	4.86	1.80	1.50	83	0.76	2.10	0.24	0.38	0.33	87	1.30	0.014
	H13	1749	4.79	1.49	1.26	85	0.69	1.61	0.17	0.18	0.15	83	0.92	0.016
県央保健所	H12	2050	4.96	2.00	1.80	90	0.94	1.50	0.38	0.50	0.46	92	0.90	0.011
	H13	1681	4.80	1.56	1.44	92	0.77	0.92	0.25	0.20	0.19	95	0.48	0.016

表5 イオン成分月平均値

単位:mg/l

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	年平均値
式見	H12	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2.33	2.06	0.99	1.15	1.59	2.24	1.42	1.24	3.67	3.30	2.22	4.91	1.79
		nss-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2.16	1.96	0.92	0.70	1.21	1.73	1.31	0.98	3.49	2.28	2.00	3.68	1.48
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1.06	1.11	0.63	0.35	1.06	0.97	0.35	0.42	1.33	0.91	0.89	1.52	0.76
		Cl <sup>-</sup>	1.14	0.58	0.51	2.90	2.46	3.38	0.59	1.70	1.35	6.99	1.40	8.55	2.09
		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.27	0.38	0.32	0.17	0.34	0.22	0.13	0.07	0.26	0.14	0.22	0.43	0.24
		Ca <sup>2+</sup>	0.84	0.90	0.11	0.12	0.14	0.20	0.05	0.15	0.79	1.12	0.99	1.28	0.38
		nss-Ca <sup>2+</sup>	0.81	0.88	0.10	0.05	0.08	0.12	0.04	0.12	0.76	0.96	0.96	1.10	0.33
		Na <sup>+</sup>	0.68	0.40	0.27	1.77	1.51	2.03	0.42	1.01	0.73	4.09	0.86	4.91	1.26
		H <sup>+</sup>	0.014	0.007	0.009	0.008	0.013	0.025	0.019	0.016	0.033	0.019	0.004	0.013	0.014
	月降水量(mm)	91	134	257	195	181	161	207	99	32	100	88	31	1576	
	H13	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1.13	2.39	0.96	0.72	1.51	0.76	1.08	2.23	2.31	4.36	4.83	2.87	1.49
		nss-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1.05	2.36	0.77	0.58	1.42	0.72	0.97	1.81	1.77	3.06	4.15	2.35	1.26
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.46	0.74	0.65	0.37	0.74	0.31	0.35	1.02	1.25	1.86	2.14	1.36	0.69
		Cl <sup>-</sup>	0.60	0.30	1.28	0.97	0.68	0.28	0.70	2.70	3.49	10.00	4.38	3.38	1.61
		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.08	0.26	0.07	0.05	0.21	0.11	0.11	0.29	0.28	0.39	0.63	0.44	0.17
		Ca <sup>2+</sup>	0.27	0.17	0.13	0.09	0.07	0.04	0.06	0.20	0.20	0.53	0.84	0.70	0.18
		nss-Ca <sup>2+</sup>	0.25	0.17	0.10	0.07	0.06	0.04	0.05	0.14	0.12	0.33	0.74	0.63	0.15
		Na <sup>+</sup>	0.32	0.10	0.75	0.57	0.36	0.14	0.45	1.65	2.15	5.18	2.72	2.04	0.92
H <sup>+</sup>		0.007	0.023	0.013	0.005	0.025	0.012	0.013	0.026	0.030	0.044	0.041	0.020	0.016	
月降水量(mm)	105	67	248	323	169	235	229	77	70	75	42	111	1749		
県央保健所	H12	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2.75	1.87	1.33	1.78	1.38	2.53	1.07	1.42	4.55	3.36	3.01	5.90	2.02
		nss-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2.61	1.81	1.29	1.46	1.15	2.15	0.98	1.24	4.20	2.74	2.80	5.29	1.81
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1.08	1.05	0.66	0.91	0.96	1.00	0.42	0.57	2.04	1.21	1.36	2.53	0.94
		Cl <sup>-</sup>	1.17	0.45	0.32	1.92	1.51	2.55	0.53	1.37	2.60	4.15	1.54	4.27	1.46
		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.49	0.45	0.34	0.29	0.36	0.36	0.16	0.22	0.78	0.49	0.51	1.08	0.38
		Ca <sup>2+</sup>	0.72	0.65	0.37	0.30	0.18	0.18	0.09	0.12	0.71	1.05	1.87	1.92	0.50
		nss-Ca <sup>2+</sup>	0.70	0.64	0.36	0.25	0.14	0.12	0.08	0.09	0.66	0.96	1.84	1.83	0.46
		Na <sup>+</sup>	0.55	0.25	0.17	1.28	0.90	1.52	0.33	0.71	1.40	2.49	0.87	2.44	0.85
		H <sup>+</sup>	0.013	0.008	0.006	0.012	0.008	0.028	0.013	0.015	0.033	0.013	0.001	0.002	0.011
	月降水量(mm)	98	156	396	107	339	165	321	102	37	137	95	98	2050	
	H13	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2.04	2.22	1.25	0.48	1.61	1.24	1.44	1.39	1.83	3.55	7.36	3.82	1.56
		nss-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1.91	2.18	1.11	0.43	1.56	1.20	1.34	1.27	1.51	3.05	5.93	3.57	1.44
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1.01	1.22	0.81	0.29	0.71	0.48	0.45	0.91	0.99	1.95	3.29	2.05	0.77
		Cl <sup>-</sup>	1.12	0.43	1.05	0.41	0.40	0.40	0.83	0.83	2.18	3.65	8.48	1.69	0.92
		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.34	0.37	0.10	0.13	0.25	0.18	0.19	0.30	0.33	0.67	0.73	0.76	0.25
		Ca <sup>2+</sup>	0.75	0.40	0.16	0.06	0.10	0.13	0.07	0.10	0.20	0.35	2.42	0.28	0.20
		nss-Ca <sup>2+</sup>	0.73	0.39	0.14	0.05	0.10	0.12	0.06	0.08	0.15	0.27	2.20	0.24	0.19
		Na <sup>+</sup>	0.55	0.16	0.54	0.19	0.18	0.15	0.39	0.46	1.29	2.00	5.73	0.97	0.48
H <sup>+</sup>		0.002	0.017	0.013	0.006	0.022	0.016	0.024	0.022	0.020	0.037	0.0002	0.032	0.016	
月降水量(mm)	90	98	240	367	227	186	236	35	43	42	26	92	1681		

表6 イオン成分年沈着量

単位:mg/m<sup>2</sup>/年

調査地点	年度	年降水量 (mm)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	nss-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	nss-Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	H <sup>+</sup>
式見	H12	1576	2828	2332	1198	3289	375	594	520	1979	21.6
	H13	1749	2611	2206	1202	2820	290	322	261	1615	28.6
県央保健所	H12	2050	4146	3708	1928	2989	789	1018	952	1748	22.4
	H13	1681	2628	2424	1297	1552	418	343	312	814	26.9

表7 イオン成分月別沈着量

単位:mg/m<sup>2</sup>/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	年沈着量
式見	H12	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	211	277	255	224	288	359	294	122	119	330	194	155	2828
		nss-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	196	263	237	137	219	278	273	97	113	227	176	116	2332
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	97	150	161	69	192	156	72	42	43	91	78	48	1198
		Cl <sup>-</sup>	104	78	130	567	445	543	121	168	44	697	123	269	3289
		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	24	51	81	33	61	35	27	7	9	14	19	13	375
		Ca <sup>2+</sup>	76	121	29	22	25	31	11	15	25	111	87	40	594
		nss-Ca <sup>2+</sup>	74	119	26	10	15	19	8	11	25	96	84	34	520
		Na <sup>+</sup>	62	54	70	346	274	326	86	100	24	408	75	154	1979
		H <sup>+</sup>	1.30	0.91	2.60	1.49	2.37	4.07	3.91	1.59	1.05	1.94	0.34	0.42	21.6
	月降水量(mm)	91	134	257	195	181	161	207	99	32	100	88	31	1576	
	H13	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	118	159	238	233	255	178	247	170	161	329	204	318	2611
		nss-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	110	158	191	187	240	170	222	139	123	231	176	261	2206
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	48	50	161	119	125	72	80	78	87	141	90	151	1202
		Cl <sup>-</sup>	63	20	317	314	115	65	161	207	244	754	185	375	2820
		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	9	18	18	15	36	25	25	22	20	30	27	48	290
		Ca <sup>2+</sup>	28	11	33	30	13	10	15	16	14	40	36	78	322
		nss-Ca <sup>2+</sup>	27	11	26	23	10	9	11	11	8	25	31	69	261
		Na <sup>+</sup>	33	7	137	183	61	33	102	126	150	390	115	226	1615
H <sup>+</sup>		0.72	1.51	3.31	1.61	4.18	2.93	3.01	1.99	2.07	3.29	1.73	2.25	28.6	
月降水量(mm)	105	67	248	323	169	235	229	77	70	75	42	111	1749		
県央保健所	H12	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	271	292	528	191	467	416	343	144	167	461	286	581	4146
		nss-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	257	282	511	157	391	354	316	126	154	375	265	521	3708
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	106	164	261	98	324	165	134	58	75	166	129	250	1928
		Cl <sup>-</sup>	115	70	127	206	510	420	170	140	95	569	146	421	2989
		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	48	70	136	31	122	59	51	22	29	68	49	106	789
		Ca <sup>2+</sup>	71	101	146	32	60	30	28	12	26	144	177	189	1018
		nss-Ca <sup>2+</sup>	69	100	144	27	49	20	24	9	24	132	174	180	952
		Na <sup>+</sup>	54	39	69	137	304	250	106	73	51	342	83	241	1748
		H <sup>+</sup>	1.29	1.17	2.28	1.30	2.88	4.66	4.10	1.56	1.21	1.72	0.08	0.17	22.4
	月降水量(mm)	98	156	396	107	339	165	321	102	37	137	95	98	2050	
	H13	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	183	218	300	176	365	231	338	49	79	149	188	353	2628
		nss-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	171	214	267	158	355	224	316	45	65	128	151	330	2424
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	91	119	195	105	161	90	106	32	43	82	84	190	1297
		Cl <sup>-</sup>	101	42	252	149	91	74	195	29	94	153	216	156	1552
		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	31	36	24	49	56	34	45	10	14	28	18	70	418
		Ca <sup>2+</sup>	67	39	37	22	24	23	17	3	9	15	62	26	343
		nss-Ca <sup>2+</sup>	65	38	32	19	22	22	13	3	7	12	56	22	312
		Na <sup>+</sup>	49	16	130	69	40	28	91	16	55	84	146	89	814
H <sup>+</sup>		0.15	1.70	3.04	2.10	4.98	2.98	5.77	0.78	0.87	1.56	0.004	2.95	26.9	
月降水量(mm)	90	98	240	367	227	186	236	35	43	42	26	92	1681		