

福岡市における平成3年度の酸性雨の調査状況

古川 滝雄¹・古賀 公泰¹

Weekly Survey on Acid Precipitation in Fukuoka City from April, 1991 to March, 1992

Takio FURUKAWA and Kimiyasu KOGA

平成3年4月1日から平成4年3月31日までの間、毎週約1週間ごとにろ過式法による雨水調査を平成2年度に続き行った。海塩の影響が大きいデータを除いた単純平均値では、pHは前年度とほとんどかわらず、その他のpHに関係する成分のうち $nss-SO_4^{2-}$ 、 NO_3^- と NH_4^+ はほぼ同じであり、 $nss-Ca^{2+}$ は少なくなっていた。さらに、 H^+ 濃度との重回帰分析の結果、pHと関係する成分のほとんど($nss-SO_4^{2-}$ 、 NO_3^- 、 $nss-Cl^-$ 、 NH_4^+ 、 $nss-Ca^{2+}$)が選択された。太宰府市の福岡県衛生公害センター(現保健環境研究所)における濃度の単純平均値の比較では、ほとんど値はかわらず、降水量平均値では $nss-SO_4^{2-}$ と $nss-Ca^{2+}$ で太宰府市でのほうがやや高かった。単純相関係数について、濃度では H^+ 、 $nss-SO_4^{2-}$ 、 NO_3^- および $nss-Ca^{2+}$ の4物質とも強い関係がみられたが、降水量ではあまり関連がみられなかった。

Key Words: 酸性雨 Acid Precipitation 福岡市 Fukuoka City
太宰府市 Dazaifu City ろ過式採取装置 Filtering Bulk Sampler

I はじめに

福岡市においては、平成2年5月7日から酸性雨の調査を開始し、平成2年度の調査結果についてはすでに報告した¹⁾。今回、平成3年4月1日から平成4年3月31日までの間、毎週約1週間分を採取した雨水の分析結果について若干の解析を行った。また、前回と同様、福岡県衛生公害センターの分析結果との比較を行ったので併せて報告する。

II 調査方法等

調査地点は福岡市内の東部で博多湾から約2kmの住宅地域である。雨水の採取は環境庁が実施しているろ過式採取装置により、ほぼ一週間ごと採取した。採取前に

300 mlの蒸留水でロートを洗浄し、その洗浄水と雨水を合わせたものについて分析を行った。分析方法については、pHはガラス電極法、導電率(EC)は導電率計、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- はイオンクロマト法、 NH_4^+ はインドフェノール法、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ は原子吸光度法で行った。なお、 $nss-$ は非海塩性を表す。

III 結果および考察

1. イオン成分の特徴

個々の分析結果は表1に示しており、平成2年度と平成3年度の全データについての単純平均値と加重平均値を表2に示している。

単純平均値では、 $nss-SO_4^{2-}$ が $57.9 \mu eq$ と $41.2 \mu eq$ (以下単位はすべて μeq)、 $nss-Ca^{2+}$ が 55.3 と 24.4 で平成2年度が高く、 $nss-Cl^-$ は 14.1 と 25.0 で平成3年度が逆に高かった。

1. 福岡市衛生試験所 理化学課

表1 分 析 結 果

(単位: $\mu\text{eq/l}$ ただし、雨量はmm ECは $\mu\text{s/cm}$)

採取開始日	雨量	H	EC	SO	NO	Cl	NH	Ca	Mg	K	Na	C/A	σ/c (EC)
4. 01	51.1	34.7	21	43	12.6	35	13.3	23	7	2.0	21	1.13	0.90
4. 08	25.3	31.6	21	54	14.2	24	17.2	17	7	2.6	20	1.03	0.97
4. 15	32.4	2.7	10	27	10.3	20	13.9	19	7	4.3	20	1.18	1.11
4. 22	31.7	41.7	28	74	16.6	27	21.1	24	11	2.8	23	1.04	0.99
4. 30	10.5	2.2	14	33	11.9	56	13.3	29	13	5.4	47	1.09	0.97
5. 07	30.8	6.5	15	52	17.6	16	13.9	45	8	3.1	12	1.04	1.05
5. 13	47.4	8.3	12	32	13.2	13	17.2	22	5	3.6	12	1.15	1.07
5. 20	97.1	14.8	13	30	10.3	12	18.3	15	3	1.5	11	1.24	1.02
5. 27	19.0	47.9	40	86	35.0	40	39.4	33	12	6.4	34	1.07	1.08
6. 03	175.0	1.2	4	7	2.9	3	4.4	3	1	1.5	2	0.99	1.83
6. 10	59.3	22.4	14	22	8.5	9	7.2	3	4	2.0	9	1.19	1.08
6. 17	29.8	70.8	39	64	39.7	18	15.0	19	6	6.1	20	1.12	1.03
6. 24	51.6	21.4	14	23	14.2	10	7.2	12	3	2.3	10	1.19	1.04
7. 01	210.0	16.6	11	19	8.7	7	8.9	6	2	1.3	6	1.15	1.06
7. 08	21.4	28.2	21	27	54.0	16	23.3	21	8	6.4	18	1.09	0.98
7. 15	71.1	47.9	19	14	29.8	8	2.2	4	1	0.5	4	1.16	0.87
7. 22	49.5	10.2	9	17	6.1	16	6.7	9	3	0.8	8	0.96	1.03
7. 29	127.0	17.8	12	24	4.2	29	6.1	9	4	1.8	14	0.93	0.92
8. 05	96.2	18.6	12	31	7.4	24	4.4	5	2	4.1	33	1.07	0.89
8. 12	0.1	3.7	6	8	13.9	17	9.4	6	2	0.3	14	0.89	1.03
8. 26	1.8	3.6	13	17	19.2	39	6.7	22	7	5.6	45	1.19	1.06
9. 02	8.9	8.9	17	44	20.5	32	11.1	44	9	3.1	26	1.05	1.04
9. 09	61.6	8.5	78	67	8.1	550	55.4	41	87	9.2	355	0.89	0.96
9. 17	0.4	11.2	50	56	29.0	304	5.0	40	54	9.2	196	0.81	1.00
9. 24	31.5	3.2	68	66	15.3	500	10.0	49	68	13.3	387	0.91	0.93
9. 30	51.3	15.9	10	22	5.8	12	3.3	6	3	1.5	8	0.96	1.04
10. 07	1.5	5.3	184	161	15.8	1171	5.0	134	216	20.5	783	0.86	1.11
10. 14	3.4	14.1	73	107	26.1	477	9.4	75	100	10.0	325	0.87	0.92
10. 21	2.0	10.7	40	76	31.1	181	11.6	64	38	4.9	143	0.95	0.99
10. 28	0.1	2.9	10	21	11.0	40	6.1	21	9	2.6	21	0.88	1.03
11. 05	6.8	9.3	32	55	21.5	91	9.4	42	20	4.1	81	0.99	1.28
11. 11	0.1	3.2	10	19	12.1	25	7.8	22	7	1.8	14	0.97	1.18
11. 18	10.5	10.2	22	53	27.3	72	13.9	42	18	3.6	75	1.07	0.91
11. 25	58.8	47.9	27	22	13.1	47	9.4	10	8	1.0	22	1.21	1.02
12. 02	8.4	19.1	20	65	15.3	32	26.1	31	8	3.1	23	0.98	0.96
12. 09	3.2	18.2	40	80	23.1	206	25.5	45	40	7.4	133	0.87	0.91
12. 17	11.6	39.8	51	100	34.2	192	31.0	51	35	6.1	120	0.87	0.97
12. 24	21.6	39.8	62	101	21.5	339	30.5	28	54	10.0	217	0.82	0.91
12. 31	30.6	30.9	27	47	7.3	63	9.4	12	14	5.4	54	1.06	1.07
1. 06	6.0	40.7	51	92	31.5	171	33.8	34	30	6.1	96	0.82	1.05
1. 13	17.3	37.2	75	116	18.5	528	34.4	31	81	17.9	354	0.84	0.82
1. 20	0.0	5.5	28	44	15.5	152	15.0	30	28	7.4	99	0.87	0.98
1. 27	54.7	28.8	63	91	19.4	336	28.3	32	62	5.9	200	0.80	1.01
2. 04	0.5	8.5	14	32	11.8	46	6.7	22	11	2.0	33	0.91	0.96
2. 10	4.5	21.4	31	98	33.2	54	47.7	44	15	3.6	38	0.92	1.00
2. 17	13.1	2.3	35	87	26.3	155	37.7	64	30	3.8	84	0.83	1.03
2. 24	50.0	10.5	10	25	5.8	21	5.0	17	5	1.0	17	1.05	1.01
3. 02	41.5	27.5	40	60	8.9	170	5.5	22	30	5.1	122	0.88	1.05
3. 09	20.9	8.5	14	36	12.6	21	8.9	26	8	4.1	21	1.10	1.11
3. 16	78.3	44.7	23	40	11.0	21	8.9	9	3	1.5	10	1.08	1.00
3. 23	54.6	47.9	26	47	17.9	16	10.0	12	3	2.8	8	1.05	1.03

注: 採取終了日は次の週の採取開始日と同じ

加重平均値についても同様に、 $nss-SO_4^{2-}$ (52.5 と 32.7) と $nss-Ca^{2+}$ (40.6 と 15.7) は平成2年度が高く、 $nss-Cl^-$ (10.1 と 16.1) は平成3年度が逆に高かった。

次に、海塩の影響が異常に大きいと考えられる Na^+ 濃度が 100 μeq 以上のデータを除いたものについての単純平均値を表3に示している。

平成3年度はpHの平均値が4.69 (全データでも4.69) と平成2年度の4.80と比較してわずかに低くなっていたが、 H^+ のt分布検定の結果、有意差は見られなかった。pH以外の成分の平均値の平成2年度との比較では、海塩の影響が強い Na^+ を除くと $nss-Ca^{2+}$ だけが30.6 から18.4 (t値=3.54 $\cdot\cdot$) と低く、有意差が見られたが、その他はほぼ同じであった。

表2 全データの平成2年度と3年度の平均値

項目	単純平均		加重平均	
	2年度	3年度	2年度	3年度
H^+ (pH)	13.6 (4.87)	20.3 (4.69)	16.9 (4.77)	21.6 (4.67)
$nss-SO_4^{2-}$	57.9	41.2	52.5	32.7
NO_3^-	20.0	17.7	17.5	13.5
$nss-Cl^-$	14.1	25.0	10.1	16.1
NH_4^+	17.0	15.5	16.8	13.1
$nss-Ca^{2+}$	55.3	24.4	40.6	15.7
$nss-Mg^{2+}$	1.7	3.8	2.2	2.0
$nss-K^+$	2.9	2.9	2.6	2.3
Na^+	105.4	87.2	89.5	55.8
雨量 (mm)	22.1	37.1		

2. イオン成分の特徴と H^+ 濃度との関係

H^+ 濃度とイオン成分との単純相関係数 (表4) では $nss-SO_4^{2-}$ (0.442 $\cdot\cdot$) と NO_3^- (0.437 $\cdot\cdot$) が、前年度の0.655 $\cdot\cdot$ と0.393 $\cdot\cdot$ と同様に有意であった (以下、 $\cdot\cdot$ は有意水準0.01, \cdot は有意水準0.05で有意を表わす)。

そこで、変数増減法によって H^+ 濃度に対する他のイオン成分の影響を調べた結果、下記のような回帰式となった。

$$H^+ = 1.00 \times (nss-SO_4^{2-}) + 1.11 \times (NO_3^-) + 0.61 \times (nss-Cl^-) - 1.21 \times (NH_4^+) - 1.20 \times (nss-Ca^{2+}) + 4.78$$

$nss-Ca^{2+}$ であった。単純相関係数では有意でなかった $nss-Cl^-$, NH_4^+ と $nss-Ca^{2+}$ が選択された。なお、 NH_4^+ は H^+ との単純相関係数で正の関連 (0.235) がみられ、理論と逆の結果となっていたが、重回帰分析の結果、理論通り H^+ と負の関係が現われた。

回帰式の重相関係数は0.936と高い値であり、偏相関係数はそれぞれ0.877 $\cdot\cdot$ ($nss-SO_4^{2-}$), 0.835 $\cdot\cdot$ (NO_3^-), 0.575 $\cdot\cdot$ (Cl^-), -0.705 $\cdot\cdot$ (NH_4^+) と -0.875 $\cdot\cdot$ ($nss-Ca^{2+}$) であった。選択された変数について、偏相関係数はすべて0.01で有意であった。

$nss-SO_4^{2-}$, NO_3^- , NH_4^+ , $nss-Ca^{2+}$ は降水のpHに影響すると指摘され²⁾、かつ、平成元年度の6月の九州・沖縄酸性雨共同調査ではそれらの成分が選択されている。

表3 平成2年度と3年度の単純平均値

(単位: $\mu eq/l$)

項目	2年度	3年度	t 値	分散比
H^+ (pH)	15.7 (4.80)	20.6 (4.69)	1.22	1.36
$nss-SO_4^{2-}$	39.7	34.1	1.18	1.35
NO_3^-	17.1	16.0	0.45	1.98*
$nss-Cl^-$	-1.6	1.6	1.54	1.52
NH_4^+	12.9	12.6	0.16	2.12*
$nss-Ca^{2+}$	30.6	18.4	3.54**	1.66
$nss-Mg^{2+}$	2.4	1.9	0.94	1.03
$nss-K^+$	1.9	2.5	1.47	1.53
Na^+	38.3	23.2	2.89**	1.81

注1: $\cdot\cdot$ は有意水準0.01, \cdot は有意水準0.05で有意

選択された成分は $nss-SO_4^{2-}$, NO_3^- , $nss-Cl^-$, NH_4^+ と³⁾が、そのうち、平成2年度の福岡市では $nss-SO_4^{2-}$ (0.667 $\cdot\cdot$), NO_3^- (0.461 $\cdot\cdot$) と $nss-Ca^{2+}$ (-0.641 $\cdot\cdot$) が選択され、 NH_4^+ だけが選択されない結果となっていた。しかし、平成3年度は NH_4^+ とさらに $nss-Cl^-$ も選択され、pHに影響するとされる成分はすべて選択される結果となった。

3. 太宰府市 (福岡県衛生公害センター) との比較

福岡市から内陸に約10 kmに位置する太宰府市 (福岡県衛生公害センター) との比較を行った。両地点ともデータなしの週が1回ずつあったので、それぞれ51週分のデータがあり、そのうち、採取期間が1~2日違うのが13週あった。なお、福岡県衛生公害センターは採取前に通常は蒸留水による洗浄はしていないが、降雨はないときだけ100 mlの蒸留水で洗浄している。

表4 福岡市の各成分の単純相関係数表

項目	n = 36							
	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
H ⁺	.442**	.437**	.155	.235	-.191	.077	.179	-.136
SO ₄ ²⁻		.462**	-.003	.812**	.629**	.522**	.411*	.327
NO ₃ ⁻			-.258	.566**	.434**	.277*	.561**	.239
Cl ⁻				.023	-.106	.475**	-.460**	-.365*
NH ₄ ⁺					.558**	.539**	.438**	.201
Ca ²⁺						.560**	.359*	.552**
Mg ²⁺							.147	-.013
K ⁺								.338*

注1 : **は有意水準 0.01、*は有意水準 0.05、で有意

注2 : SO₄²⁻、Cl⁻、Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺については海塩 (nss-) の除いたもの

表5 福岡市と太宰府市の単純平均値と降水量平均

項目	n = 29			
	単純平均 (μeq/l)		降水量平均 (eq/m ²)	
	福岡市	太宰府市	福岡市	太宰府市
H ⁺	23.6	22.8		
(pH)	(4.63)	(4.64)		
nss-SO ₄ ²⁻	51.5	58.6	1.80	2.52
NO ₃ ⁻	23.5	20.0	0.79	0.83
nss-Ca ²⁺	28.4	25.6	0.78	1.02

Na⁺が100 μeq以上であったものは福岡市で13週、太宰府市が14週あり、同時に超えていた週は9週あった。採取方法がやや異なっているが、このことは海塩の影響が福岡市と同様に太宰府市まで及んでいることを示し、平成2年度と同じ結果となった。

福岡市のH⁺濃度との重回帰分析でとくに関連 (偏相関係数が0.8以上) があつたnss-SO₄²⁻、NO₃⁻とnss-Ca²⁺について、福岡県と比較検討をした。両市いずれかのNa⁺が100 μeq以上であったものを除くと29週あり、そのうち採取期間が1~2日違うものが9週、一致して

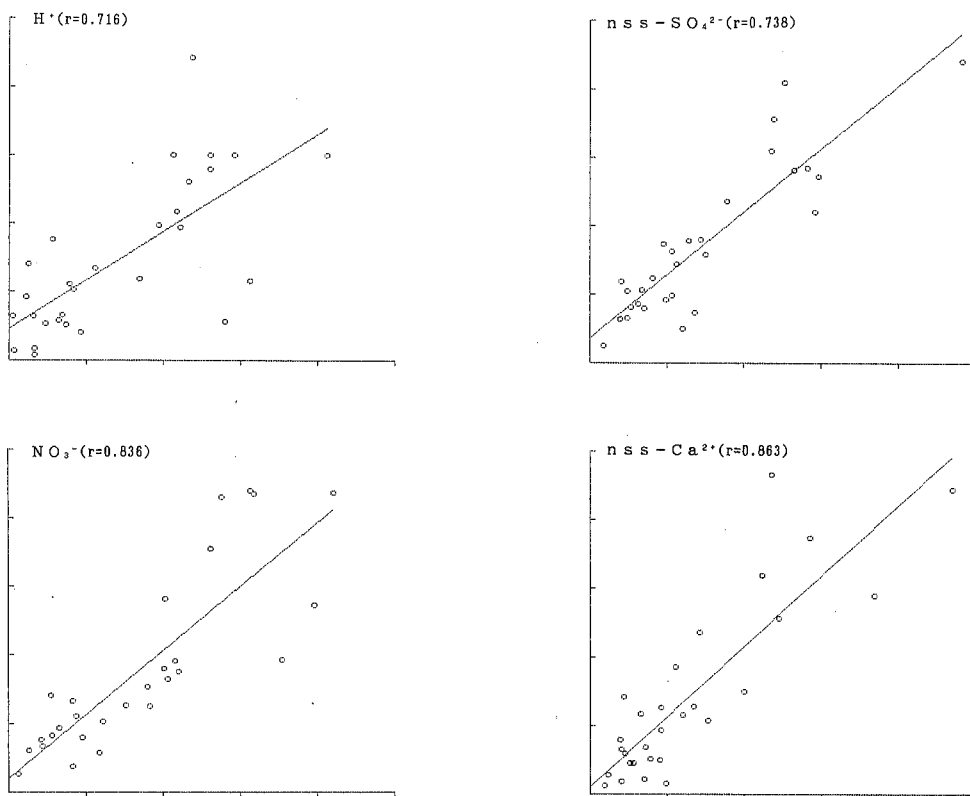


図1 福岡市 (縦軸) と太宰府市 (横軸) の降水濃度の相関図

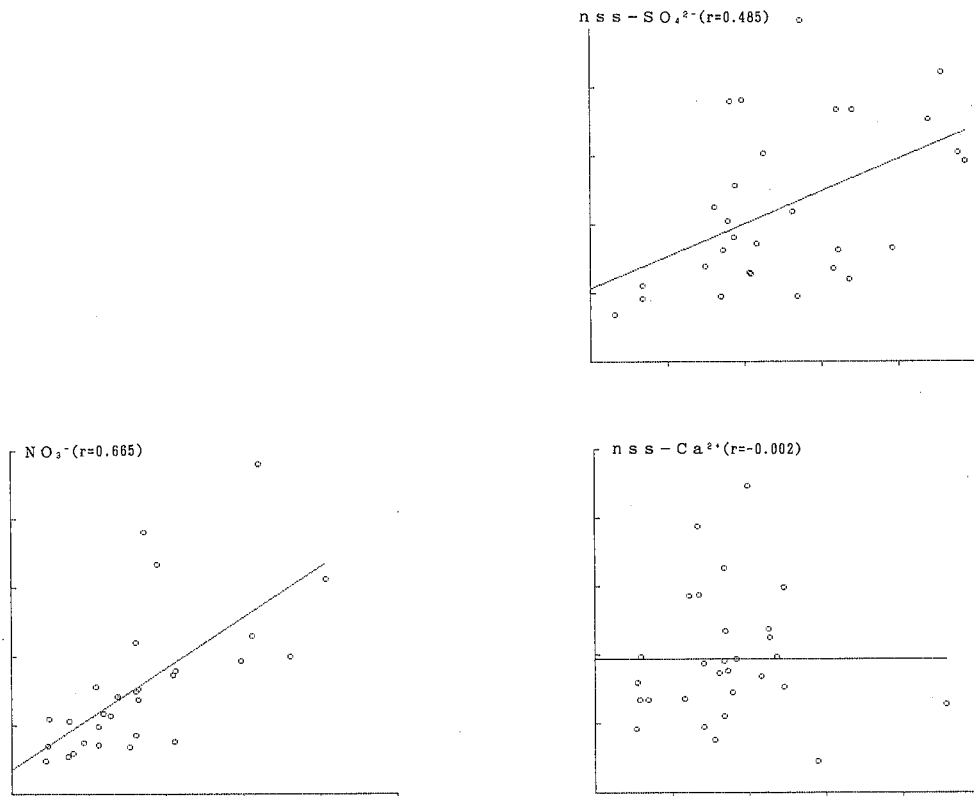


図2 福岡市（縦軸）と太宰府市（横軸）の降下量の相関図

いたものが20週あった。なお、ここでは、福岡市のデータは H^+ 濃度以外について洗浄水を除いたときの濃度に換算して解析に使用した。

平均値について、濃度の単純平均値では両市間ともほとんど値はかわらず、とくに、 $nss-Ca^{2+}$ は平成2年度（福岡市が42.1、太宰府市が28.6）より一致（福岡市が28.4、太宰府市が25.6）していた。降下量平均値では $nss-SO_4^{2-}$ （1.80と2.52）と $nss-Ca^{2+}$ （0.78と1.02）で太宰府市がやや高かった。

両市間の単純相関係数について、濃度では H^+ （0.716 $\cdot\cdot$ ）、 $nss-SO_4^{2-}$ （0.738 $\cdot\cdot$ ）、 NO_3^- （0.836 $\cdot\cdot^*$ ）と $nss-Ca^{2+}$ （0.863 $\cdot\cdot$ ）すべて1%有意でかなり強い関係がみられた（図1）。降下量では $nss-SO_4^{2-}$ （0.485 $\cdot\cdot$ ）と NO_3^- （0.665 $\cdot\cdot$ ）が関係がみられたが、 $nss-Ca^{2+}$

（-0.002）はまったく関係がみられなかった（図2）。

平成2年度も濃度で4物質とも単純相関係数が0.6前後と関係がみられており、福岡市と太宰府市の降水濃度には少なくともこの4物質について関連があることがわかり、平成3年度のほうがやや強い関係が見られた。

謝 辞

この解析に、太宰府市におけるデータを提供していただいた福岡県保健環境部環境整備局公害課に深謝致します。

文 献

- 1) 古川滝雄、他：福岡市における平成2年度の酸性雨の調査状況、福岡市衛試報、16, 52～56, 1991
- 2) 九州衛生公害技術協議会大気分科会：平成元年度九州・沖縄地方酸性雨共同調査報告書（1990）
- 3) 九州衛生公害技術協議会大気分科会：平成2年度九州・沖縄地方酸性雨共同調査報告書