

佐賀県における酸性雨調査(第9報)

光武隆久 木原幸喜(*)

Mitsutake Takahisa
Kihara Kouki

要旨

佐賀県内3箇所(佐賀市、富士町、多久市)で平成4年から継続している酸性雨調査の平成8年から平成11年までの4年間のデータをまとめた。3地点の降水量(4年間の平均値、以下同じ)は、2010~2670mmで富士町>多久市>佐賀市の順になった。pHは3地点共に4.9となった。H⁺濃度は、富士町が他の2地点より約15%高く、H⁺の沈着量とNO₃⁻の沈着量も降水量と同様な地点差がみられた。非海塩由来硫酸イオン(nss-SO₄²⁻)濃度とNO₃⁻濃度は、多久市>佐賀市>富士町の順になっており、nss-SO₄²⁻沈着量も多久市で最も高かった。測定地点周辺の主な発生源は多久市より佐賀市の方が多いため、この地域の地形や気象条件の影響について更に検討が必要と考えられた。また、NO₃⁻とnss-SO₄²⁻の濃度比は、佐賀市と多久市が0.42なのに対し、富士町では0.48となった。重回帰分析の結果では、H⁺濃度の変動に対してnss-Ca²⁺とnss-SO₄²⁻は全地点で有意、NO₃⁻は富士町と多久市で有意に寄与していた。富士町では他の2地点に比べてH⁺の給源として硝酸の割合が高いことが推定された。

キーワード：酸性雨、イオンクロマトグラフィー、重回帰分析

はじめに

佐賀県では、平成4年から県内3箇所で酸性雨調査を継続している。今回平成8年から平成11年までのイオン成分データをまとめ、その経年変化、各測定地点の雨水成分の特徴等について考察したので報告する。

調査地点の概要

1、佐賀市(県環境センター敷地内、標高55m)

佐賀平野の中央部に位置する人口約17万人の県庁所在地。雨水採取場所の南約100mに国道34号線が東西に走り、南へ伸びる国道208号線と陸橋で交差している。周辺は、住宅・田

畑で、国道沿いは、事業所・レストラン等が並ぶ。耕地0.4万ha。

2、富士町(森林学習展示館、標高400m)

北山湖(満水面積200ha)畔の公園内で、北東約4kmに三瀬トンネルがあり福岡市に通じる。山林面積が多い(12万ha)地域。人口約0.6万人。

3、多久市(多久市役所東庁舎、標高75m)

佐賀県の中央部に位置し、3方位を400~1000mの山に囲まれた盆地の丘の上であり、北約50mに国道203号線、南約1.6kmに長崎自動車道が東西に走る。人口約25万人。山林0.4万ha、耕地0.2万ha。

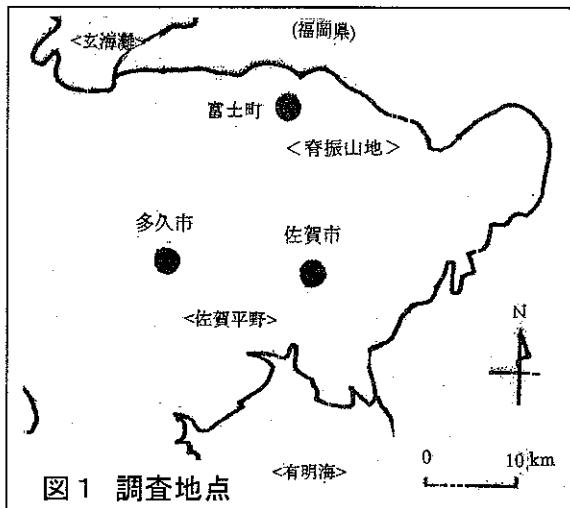


図1 調査地点

調査方法

雨水の採取は、ろ過式（ろ紙孔径 0.8μ ）で1週又は1月毎に行い貯水量、pH、電気伝導率、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} の11項目を測定した。イオン成分は、陽イオン・陰イオンを同時にイオンクロマトグラフィー（DIONEX 製 DX-AQ）で測定した。

結果と考察

1、降水量

降水量は、平成9年度に最も多かった。地点別では、富士町>多久市>佐賀市の順になった。

表1 降水量 (mm)

	H8	H9	H10	H11	平均
佐賀市	1598	2759	1488	2194	2010
富士町	2080	3592	2408	2600	2670
多久市	1779	3248	1910	2382	2330

2、pH

pHの平均は、降水量の最も多かった平成9年度に佐賀市と多久市で5.0以上となったが、4年間の平均でみると3地点共に4.9となった。

表2 pH

	H8	H9	H10	H11	平均
佐賀市	4.8	5.1	4.9	4.8	4.9
富士町	4.8	4.9	4.9	4.8	4.9
多久市	4.8	5.0	4.9	4.9	4.9

3、 H^+ 濃度及び H^+ 沈着量

H^+ 濃度は、降水量の最も多かった平成9年度に3地点平均で $10.3 \mu eq/l$ と4年間では最も低くなった。地点別では、富士町>佐賀市>多久市の順になり、富士町は他の2地点に比して H^+ 濃度が15%程度高かった（pHへの影響は0.05程度）。

表3 H^+ 濃度 ($\mu eq/l$)

	H8	H9	H10	H11	平均
佐賀市	15.2	8.4	13.5	12.9	12.5
富士町	15.2	12.2	13.6	16.2	14.3
多久市	14.7	10.4	13.0	11.7	12.4
3地点平均	15.0	10.3	13.4	13.6	13.1

また、 H^+ 沈着量（ H^+ 濃度と降水量の積から求める）は、富士町>多久市>佐賀市の順になったが、降水量の影響が大きいため、地点間の差は大きくなった。

表4 H^+ 沈着量 ($meq/m^2/年$)

	H8	H9	H10	H11	平均
佐賀市	24.4	23.2	20.1	28.3	24.0
富士町	31.5	44.0	32.8	42.0	37.6
多久市	26.1	33.6	24.9	27.9	28.1

4、 $nss-SO_4^{2-}$ 及び NO_3^- の濃度と沈着量

$nss-SO_4^{2-}$ 及び NO_3^- の濃度は、共に多久市>佐賀市>富士町の順になった。

発生源の少ない富士町が他の2地点に比べて $nss-SO_4^{2-}$ 及び NO_3^- の濃度が低いのは当然としても、多久市と佐賀市では多久市の濃度が高い。降水量は多久市が多いので、これを計算に入ると NO_3^- の濃度が約20%、 $nss-SO_4^{2-}$ の濃度が約40%佐賀市より高いことになる。両市の主要道路の交通量、大気汚染防止法のばい煙発生施設の届出数は、表に示すように佐賀市の方が多いため、この原因は、多久市の地形、気象条件を詳しく調べなければよく分からない。

表5 測定地点周辺の主な発生源データ(H9)

	2km内の国道等の日交通量(台) ^{1) 2)}			計	大気汚染防止法ばい煙発生施設届出数 ³⁾
	国道34号	国道203号	長崎道		
佐賀市	43,977			43,977	佐賀市内 137
富士町				0	佐賀郡(6町)内 69
多久市		17,553	23,197	40,750	多久市内 41

NO_3^- と $nss-SO_4^{2-}$ の濃度比は、佐賀市と多久市が0.42なのに対して、富士町は0.48となった。

これは、3地点間で nss-SO_4^{2-} の濃度差が NO_3^- の濃度差より大きいことが影響している。

表6 nss-SO_4^{2-} 濃度 ($\mu\text{eq/l}$)

	H8	H9	H10	H11	平均
佐賀市	41.7	23.0	30.1	25.9	30.2
富士町	30.7	21.5	24.4	22.6	24.8
多久市	39.0	25.5	35.5	27.4	31.8

表7 NO_3^- 濃度 ($\mu\text{eq/l}$)

	H8	H9	H10	H11	平均
佐賀市	16.5	10.8	12.5	11.1	12.7
富士町	13.8	11.3	11.9	10.4	11.9
多久市	15.5	11.7	14.2	12.0	13.3

表8 $\text{NO}_3^-/\text{nss-SO}_4^{2-}$ の推移

	H8	H9	H10	H11	平均
佐賀市	0.40	0.47	0.42	0.43	0.42
富士町	0.42	0.53	0.49	0.46	0.48
多久市	0.40	0.46	0.40	0.44	0.42

一方、 nss-SO_4^{2-} の沈着量は多久市>富士町>佐賀市、 NO_3^- 沈着量は富士町>多久市>佐賀市の順となった。

表9 nss-SO_4^{2-} 沈着量 ($\text{meq/m}^2/\text{年}$)

	H8	H9	H10	H11	平均
佐賀市	66.6	63.5	44.7	56.9	57.9
富士町	63.8	77.1	58.7	58.8	64.6
多久市	69.4	82.7	67.8	65.3	71.3

表10 NO_3^- 沈着量 ($\text{meq/m}^2/\text{年}$)

	H8	H9	H10	H11	平均
佐賀市	26.4	29.8	18.6	24.3	24.8
富士町	28.8	40.6	28.7	27.1	31.3
多久市	27.6	38.0	27.1	28.5	30.3

5、 H^+ 濃度変動に影響するイオン

上記のように、富士町では他の2地点に比べて H^+ 濃度が高く、 NO_3^- と nss-SO_4^{2-} の濃度比も大きい。各地点の H^+ 濃度の変動に寄与するイオン成分について更に詳しく知るため、 H^+ 濃度を目的変数とする重回帰分析を行った。説明変数は、 (nss-Cl^-) 、 (NO_3^-) 、 (nss-SO_4^{2-}) 、 (NH_4^+) 、 (nss-Ca^{2+}) の月平均 ($\mu\text{eq/l}$) を用いた。

その結果、 H^+ 濃度の変動に対して、カチオンは、 nss-Ca^{2+} が、アニオンは nss-SO_4^{2-} が全地点で1%の危険率で有意に寄与した。さらに、 NO_3^- は富士町で1%の危険率で有意、多久市でも5%の危険率で有意に寄与した。

回帰式の (NO_3^-) と (nss-SO_4^{2-}) の係数比から富士町では (NO_3^-) の寄与は (nss-SO_4^{2-}) の約2倍となり、他の2地点に比べて硝酸由来の H^+ が多いことが推定された。

重回帰式

目的変数 (H^+) $\mu\text{eq/l}$

説明変数 (nss-Cl^-)、 (NO_3^-) 、 (nss-SO_4^{2-}) 、 (NH_4^+) 、 (nss-Ca^{2+}) $\mu\text{eq/l}$

佐賀市 (n=48) $(\text{H}^+) = 0.24 \cdot (\text{nss-Cl}^-) + 0.43 \cdot (\text{nss-SO}_4^{2-}) - 0.48 \cdot (\text{nss-Ca}^{2+}) + 6.9$
1%有意: (nss-SO_4^{2-})、 (nss-Ca^{2+})

富士町 (n=40) $(\text{H}^+) = 0.21 \cdot (\text{nss-Cl}^-) + 0.61 \cdot (\text{NO}_3^-) + 0.29 \cdot (\text{nss-SO}_4^{2-}) - 0.38 \cdot (\text{nss-Ca}^{2+}) + 4.5$
1%有意: (NO_3^-)、 (nss-SO_4^{2-}) 、 (nss-Ca^{2+})

多久市 (n=40) $(\text{H}^+) = 0.35 \cdot (\text{NO}_3^-) + 0.29 \cdot (\text{nss-SO}_4^{2-}) - 0.49 \cdot (\text{nss-Ca}^{2+}) + 4.9$
1%有意: (nss-SO_4^{2-})、 (nss-Ca^{2+})
5%有意: (NO_3^-)

表11. イオン成分濃度詳細データ

イオン成分濃度単位: $\mu\text{eq/l}$

地点	年度	降水量 mm	pH	EC $\mu\text{s/cm}$	H ⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	非海塩(nss)				
														SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
佐賀市	H8	1598	4.8	18.2	15.2	45.4	16.5	36.4	30.6	1.7	16.4	5.7	25.8	41.7	0.8	1.1	15.1	-1.3
	H9	2759	5.1	10.0	8.4	25.1	10.8	15.7	17.1	2.8	11.2	3.7	11.2	23.0	-4.3	2.4	10.4	-0.2
	H10	1488	4.9	13.4	13.5	31.4	12.5	14.2	10.9	2.8	11.7	3.5	25.5	30.1	1.5	2.6	11.2	1.0
	H11	2194	4.8	12.7	12.9	27.9	11.1	20.2	16.3	1.9	8.8	3.5	19.6	25.9	1.3	1.5	8.1	-0.3
	平均	2010	4.9	13.6	12.5	32.4	12.7	21.6	18.7	2.3	12.0	4.1	20.5	30.2	-0.2	1.9	11.2	-0.2
富士町	H8	2080	4.8	19.2	15.2	36.8	13.8	54.6	50.8	1.8	13.9	9.0	13.1	30.7	-4.6	0.7	11.7	-2.6
	H9	3592	4.9	12.4	12.2	24.8	11.3	29.9	27.4	3.0	9.6	5.8	8.2	21.5	-2.0	2.4	8.4	-0.5
	H10	2408	4.9	16.0	13.6	28.5	11.9	40.2	34.5	2.5	10.5	8.6	17.6	24.4	0.1	1.8	9.0	0.7
	H11	2600	4.8	14.6	16.2	26.0	10.4	34.7	28.2	1.7	5.5	6.4	14.5	22.6	1.9	1.1	4.3	-0.1
	平均	2670	4.8	15.6	14.3	29.0	11.9	39.9	35.2	2.2	9.9	7.4	13.4	24.8	-1.2	1.6	8.4	-0.6
多久市	H8	1779	4.8	19.5	14.7	44.3	15.5	49.4	44.2	1.4	16.0	6.9	22.4	39.0	-2.1	0.4	14.0	-3.2
	H9	3248	5.0	11.3	10.4	27.7	11.7	21.1	18.7	3.0	10.4	4.5	15.2	25.5	-0.7	2.6	9.6	0.2
	H10	1910	4.9	15.7	13.0	37.8	14.2	23.4	19.3	2.5	10.2	5.0	32.1	35.5	0.9	2.1	9.3	0.6
	H11	2382	4.9	14.0	11.7	30.0	12.0	27.0	21.5	1.5	9.6	5.0	21.9	27.4	1.9	1.1	8.6	0.1
	平均	2330	4.9	15.1	12.4	36.0	13.3	30.2	25.9	2.1	11.5	5.3	22.9	31.8	0.0	1.6	10.4	-0.6

表12. イオン成分沈着量詳細データ

イオン成分沈着量単位: meq/m^2

地点	年度	降水量 mm	pH	EC $\mu\text{s/cm}$	H ⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	非海塩(nss)				
														SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
佐賀市	H8	1598	4.8	18.2	24.4	72.5	26.4	58.2	48.9	2.8	26.3	9.1	41.2	66.6	1.3	1.7	24.1	-2.1
	H9	2759	5.1	10.0	23.2	69.2	29.8	43.2	47.2	7.7	30.8	10.1	30.9	63.5	-11.8	6.7	28.7	-0.6
	H10	1488	4.9	13.4	20.1	46.7	18.6	21.2	16.2	4.1	17.4	5.2	38.0	44.7	2.3	3.8	16.7	1.5
	H11	2194	4.8	12.7	28.3	61.2	24.3	44.4	35.7	4.2	19.4	7.6	43.1	56.9	2.8	3.4	17.8	-0.6
	平均	2010	4.9	13.6	24.0	62.4	24.8	41.7	37.0	4.7	23.5	8.0	38.3	57.9	-1.4	3.9	21.8	-0.4
富士町	H8	2080	4.8	19.2	31.5	76.5	28.8	113.6	105.7	3.7	29.0	18.8	27.3	63.8	-9.5	1.4	24.4	-5.3
	H9	3592	4.9	12.4	44.0	88.9	40.6	107.3	98.4	10.6	34.6	20.8	29.4	77.1	-7.3	8.6	30.3	-1.7
	H10	2408	4.9	16.0	32.8	68.7	28.7	96.8	83.0	6.1	25.2	20.7	42.5	58.7	0.2	4.3	21.6	1.8
	H11	2600	4.8	14.6	42.0	67.6	27.1	90.3	73.3	4.3	14.4	16.6	37.7	58.8	4.9	2.8	11.2	-0.2
	平均	2670	4.8	15.6	37.6	75.4	31.3	102.0	90.1	6.2	25.8	19.2	34.2	64.6	-2.9	4.3	21.9	-1.3
多久市	H8	1779	4.8	19.5	26.1	78.8	27.6	87.9	78.6	2.5	28.4	12.3	39.8	69.4	-3.7	0.8	25.0	-5.7
	H9	3248	5.0	11.3	33.6	90.1	38.0	68.6	60.9	9.9	33.7	14.6	49.4	82.7	-2.3	8.6	31.1	0.7
	H10	1910	4.9	15.7	24.9	72.3	27.1	44.7	36.9	4.8	19.4	9.5	61.3	67.8	1.7	4.1	17.8	1.1
	H11	2382	4.9	14.0	27.9	71.5	28.5	64.4	51.3	3.7	22.8	11.8	52.1	65.3	4.6	2.6	20.6	0.1
	平均	2330	4.9	15.1	28.1	76.1	30.3	66.4	56.9	5.2	26.1	12.0	50.7	71.3	0.1	4.0	23.6	-0.9

謝辞

雨水のサンプリングでは、森林学習展示館、多久市役所の方々にお世話になりました。特に、21世紀県民の森総合案内センターほおのきの方には冬季閉館時の展示館での作業にも御配慮頂きました。また、佐賀県道路課及び日本道路公団佐賀管理事務所からは、交通量についての資料の提供を頂きました。記して謝意を表します。

(*):現、佐賀県衛生研究所

引用文献

- 1)佐賀県道路課資料
- 2)日本道路公団佐賀管理事務所資料
- 3)佐賀県：環境保全の現況(平成10年版)