

平成元年度九州・沖縄地方酸性雨共同調査結果^{*1}

森 崎 澄 江^{*2} 宇 都 宮 彬^{*3} 高 柳 幹 男^{*4}
 森 淳 子^{*5} 今 村 修^{*6} 川井田 哲 郎^{*7}
 宝 来 峻 一^{*8} 金 城 義 勝^{*9} 大 和 康 博^{*10}
 中 熊 秀 光^{*11}

1. はじめに

酸性雨は今や国境を越えた汚染物質の移流に伴う、地球規模の環境問題として考えられている。

酸性雨の発生は、人為的、自然的に排出される SO_x 及び NO_x 等の大気汚染を反映した複雑な現象であり、発生メカニズムや地域特性は様々であると思われる。殊に、九州の雨は、人為発生源のほかに、自然発生源として、活発な動きをしている桜島や阿蘇火山があり、その噴出物の影響が考えられる。

酸性雨に関する研究は各分野で実施されているが、特に、地方自治体の研究所では、関東甲信越地方をはじめとして、各地域で広域的調査が行われるようになった。九州・沖縄ブロックでは九州衛生公害技術協議会・大気分科会において「九州・沖縄地方の酸性雨の実態を把握し、発生機構の解明を行う」ことを目的に、平成元年度から酸性雨共同調査を始めた。

各研究機関の酸性雨調査の実情は種々様々であったが、平成元年度は、10機関が参加して6月5日から7月3日までの梅雨期4週間の統一調査を行い、おもに雨水の性状、降水量及び地域特性について考察した。

2. 調査方法

調査期間は平成元年6月5日～7月3日の4週間とした。

試料採取方法は、ろ過式採雨器を用いて1週間単位で、計4回採取し、図1に示した16地点で調査を行った。また、5地点で任意に1mm降雨ごとの採取を行った。

分析方法は、各機関の実状に従い、pH、EC、SO₄²⁻、NO₃⁻、Cl⁻、NH₄⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺、Na⁺の10項目を分析した。

3. 調査地域(九州・沖縄地方)の特徴

3・1 気候的・地理的特徴¹⁾

九州は、東経125°～132°、北緯27°～34°の日本の南西部に位置し、本島と散在する大小の島々からなる。黒潮暖流のため温暖で、特に、南部海岸地方では熱帯性植物が自生している。降水量は多く、最も雨の少ない北部沿岸でも年間1500mm、最も多い宮崎の一部では3000mmに達する。本島は地質が複雑で、

*1 Field Study of Acid Precipitation in the Kyushu and Okinawa District

*2 Sumie MORISAKI (大分県公害衛生センター・代表幹事) Oita Prefectural Institute of Health and Environment

*3 Akira UTUNOMIYA (福岡県公害衛生センター・幹事) Fukuoka Environmental Research Center

*4 Mikio TAKAYANAGI (佐賀県公害センター) Environmental Research Center of Saga Prefecture

*5 Atuko MORI (長崎県衛生公害研究所・幹事) Nagasaki Prefectural Institute of Public Health and Environment

*6 Osamu IMAMURA (熊本県衛生公害研究所) Kumamoto Prefectural Institute of Public Health

*7 Teturo KAWAIDA (宮崎県衛生環境研究所) Miyazaki Prefectural Institute for Public Health and Environment

*8 Shun-ichi HORAI (鹿児島県環境センター・幹事) Kagoshima Prefectural Institute of Environmental Science

*9 Yoshikatu KINJYOU (沖縄県公害衛生研究所) Okinawa Prefectural Institute of Public Health

*10 Hiroyasu YAMATO (北九州市環境衛生研究所) Kitakyushu Municipal Institute of Environmental Health Science

*11 Mituhide NAKAKUMA (熊本市保健衛生研究所) Kumamoto Municipal Institute of Environmental Health Science

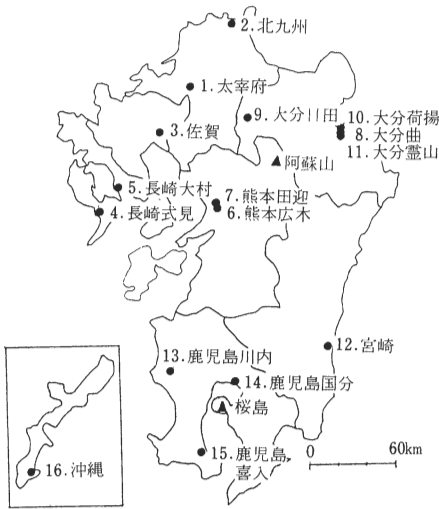


図1 調査地点位置図

変化に富み、阿蘇や桜島を代表とする火山が多い。地形は筑紫山地、阿蘇を中心とした火山帯等を含む北九州と、九州の尾根を形成している九州山地から、次第に台地性の地形となって霧島や桜島を含む南九州とに分けられる。

3・2 環境の状況

酸性雨は大気汚染を2次的に反映しているものであり、大気汚染状況とのかかわりが大きい。九州の燃料使用量からみたSO₂排出量は、61年度環境庁の調査結果²⁾によると、86191 t/年であった。また、自然発生源である桜島からはSO₂が1000～2000 t/日が排出されている³⁾と報告されている。

62年度の大気環境におけるSO₂年平均値は、184測定局で2～29 ppbの範囲にあり、環境基準非達成局が5局あった。また、NO₂の年平均値は、153測定で8.6～26.4 ppbであった⁴⁾。

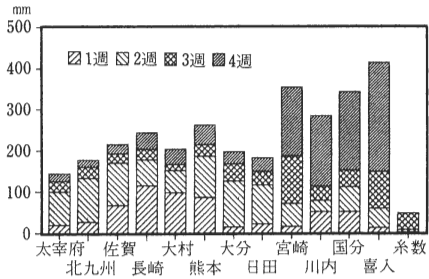


図2 アメダスデータによる週別降水量

3・3 調査期間中の気象と降水状況⁵⁾

調査期間中の月平均気温は平年並み、降水量は並みかやや少な目であった。図2に気象観測地点のアメダスによる降水量を示した。気象の概況は6月4日までは各地とも高気圧に覆われたが、5日から低気圧が日本海に入り、南西に延びる前線の通過で雨が降り、九州地方の梅雨入りとなった。13日から18日にかけては梅雨前線が九州南部に停滞し、低気圧の通過に伴いまとまった雨となった。23日には台風6号が発生し、24日鹿児島県南部に上陸した。月末には再び梅雨前線が南岸に停滞し、南部を中心に大量の雨が降った。沖縄は梅雨前線が活発化した中旬から下旬にかけて所々で強い雨が降ったが、その他は高気圧に覆われて晴天の日が続き、24日には梅雨明けとなった。

4. 調査結果及び考察

4・1 ろ過式採水調査の結果

4・1・1 成分濃度について

表1に降水量で重み付けした平均濃度を示した。成分濃度は地域の汚染源の影響及び、気象条件によっては遠隔地の汚染源による影響を受けると考えられ、種々の特徴がみられた。

表1 降水量で重みづけした地点別平均濃度(1989.6.5～7.3)

地点番号	調査地点	降水量 mm	EC μs/cm	pH	H mg/l	SO4 mg/l	nssSO4 mg/l	NO3 mg/l	Cl mg/l	nss-Cl mg/l	NH4 mg/l	Ca mg/l	nss-Ca mg/l	Mg mg/l	K mg/l	Na mg/l
1	太宰府	139	18.6	5.05	0.01	2.71	2.61	1.36	1.21	0.51	0.67	1.00	0.99	0.08	0.44	0.39
2	北九州	98	36.8	4.72	0.02	4.30	4.12	2.04	1.53	0.25	1.07	0.93	0.91	0.16	0.04	0.72
3	佐賀	218	16.1	4.52	0.03	2.10	2.03	0.79	0.63	0.13	0.26	0.16	0.15	0.04	0.06	0.28
4	長崎式見	266	23.7	4.59	0.03	3.08	2.87	0.57	1.82	0.27	0.18	0.18	0.15	0.11	0.05	0.87
5	長崎大村	288	16.5	4.63	0.02	1.86	1.75	0.47	1.04	0.28	0.35	0.16	0.14	0.05	0.03	0.42
6	熊本広木	291	10.9	4.84	0.01	1.42	1.31	0.66	0.34		0.27	0.09	0.07	0.03	0.08	0.43
7	熊本田迎	251	11.3	4.86	0.01	1.95	1.90	0.57	0.38	0.04	0.64	0.14	0.13	0.03	0.10	0.19
8	大分曲	198	29.9	4.33	0.05	2.57	2.54	0.92	0.50	0.23	0.25	0.25	0.24	0.03	0.08	0.15
9	日田	95	23.7	4.48	0.03	2.40	2.37	0.32	0.68	0.50	0.14	0.41	0.40	0.03	0.06	0.10
10	大分荷場	202	31.6	4.52	0.03	3.62	3.56	1.19	0.89	0.47	0.49	0.94	0.93	0.10	0.11	0.24
11	大分霊山	242	30.5	4.35	0.05	2.55	2.50	0.79	0.48	0.14	0.26	0.19	0.18	0.02	0.07	0.19
12	宮崎	372	36.5	4.38	0.04	2.03	1.96	0.51	1.57	1.06	0.43	0.14	0.13	0.07	0.02	0.28
13	川内	321	42.9	4.36	0.04	1.68	1.54	0.49	1.42	0.45	0.33	0.16	0.14	0.03	0.18	0.54
14	国分	449	65.1	3.90	0.13	2.45	2.34	0.47	3.56	2.75	0.40	0.19	0.17	0.03	0.31	0.45
15	喜入	381	25.0	4.62	0.02	1.26	1.05	0.36	1.16		0.18	0.07	0.04	0.07	0.24	0.85
	全九州平均値	254	27.9	4.40	0.04	2.23	2.12	0.67	1.22	0.45	0.34	0.25	0.24	0.05	0.13	0.43

表2 pH4以下の降水の成分濃度

地点	調査期間	降水量	pH	EC	nss-SO ₄	NO ₃	nss-Cl	NH ₄	nss-Ca	Na	H+
国分	第2週	47.5	3.54	110	84.4	14.2	184.3	47.2	13.8	27.4	288.4
川内	第3週	36.3	3.64	86	37.0	5.3	158.3	10.0	18.2	28.7	229.1
国分	第1週	20.7	3.67	104	90.4	18.9	142.3	25.0	31.7	87.0	213.8
川内	第2週	29.3	3.96	59	92.3	24.2	17.0	62.8	20.7	64.3	109.6
宮崎	第1週	15.3	4.00	64	96.9	24.2	60.4	52.2	24.1	8.7	100.0
大分霊山	第4週	58.7	4.00	56	106.9	32.3	14.2	35.0	14.5	12.2	100.0

単位：pH, EC(μS/cm)以外neq/ml

全測定地点のpHの平均値は、4.4で環境庁の調査⁶⁾による全国の年平均値4.4~5.5と比較して低く、地点別では国分、川内、宮崎、大分が低かった。これらの地点のpH 4.0以下の降水成分をみると、表2に示すように国分及び川内(第3週)はnss-Cl⁻が高く川内(第2週)及び大分霊山はnss-SO₄²⁻が高かった。また、宮崎ではその両者が高かった。このように、降水の酸性化にnss-Cl⁻及びnss-SO₄²⁻が大きく関与していると考えられた。

このようにpHを低下させると考えられる陰イオンについてみると、平均濃度は図3に示すように、nss-Cl⁻は国分、川内、宮崎で高く、これは桜島火山から約180~360 t/日噴出⁹⁾されるHClガスの影響と考えられた。火山性HClガスの降水への影響は、後述するmm降雨ごとの結果からも分かるように、火山から近距離に強く現れていた。

nss-SO₄²⁻は北九州、大分荷揚のように都市部工業地域で高い傾向を示したが、他の地点でも全国の6月の平均値1.2 μg/ml⁹⁾を上回っていた。また、NO₃⁻も北九州、太宰府、大分荷揚のように都市部で高かった。

これは工業地域や都市部でSO₂やNO_xの排出量が多く、nss-SO₄²⁻やNO₃⁻はこれらの二次生成物として降水に取り込まれることや、桜島火山からはHCl

のほかにSO₂ガスも約1000~2000 t/日が噴出しており、SO₂はHClより反応速度が遅いため、比較的遠距離まで移送され雨水中に取り込まれること等が原因していると考えられた。

一般に、都市部ではNO_xの排出量が多いため、NO₃⁻/nss-SO₄²⁻の比が大きいとされているが、本調査では太宰府、北九州、熊本広木で0.35以上を示したものの、全地点の平均は0.26で、関東地方の0.2~0.7に比較すると小さく、九州においては酸性化に及ぼすNO₃⁻の寄与は小さいと考えられる。

また、酸性化を緩和する成分としてNH₄⁺やnss-Ca²⁺があるが、これらの成分のpHへの寄与率を現わす「nss-SO₄²⁺+NO₃⁻に対するNH₄⁺やnss-Ca²⁺の比」は、太宰府、北九州、大分荷揚ではNH₄⁺、nss-Ca²⁺ともに大きくpHは高かった。熊本田迎をはじめとする南部ではNH₄⁺比が大きい傾向を示し、佐賀、大分霊山、日田では両者の比が小さくpHは低かった。

4.1.2 主成分分析による各地点の汚染特性

主成分分析により、互いに相関のある多成分の持つ情報を互いに無相関な少数個の総合特性値に要約し、雨水の持つ性質を明確にすると共に、総合特性値により各地点の汚染度を評価した。解析にはnss-SO₄²⁻、

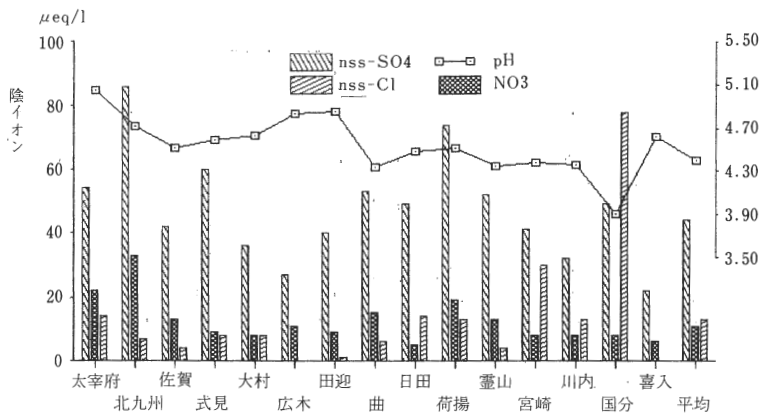


図3 pHと陰イオン当量濃度

表3 成分因子負荷量

	第1主成分	第2主成分	第3主成分
pH	-0.16	-0.76	0.37
nss-SO ₄	0.84	0.04	-0.42
NO ₃	0.87	-0.25	-0.25
nss-Cl	0.32	0.83	0.06
NH ₄	0.81	-0.16	-0.20
nss-Ca	0.73	-0.34	-0.17
Na	-0.54	-0.02	0.74
Mg	0.82	-0.34	0.19
K	0.50	0.28	0.68
H+	0.34	0.93	-0.01
固有値	4.10	2.51	1.50
累積寄与率(%)	41.0	66.1	81.1

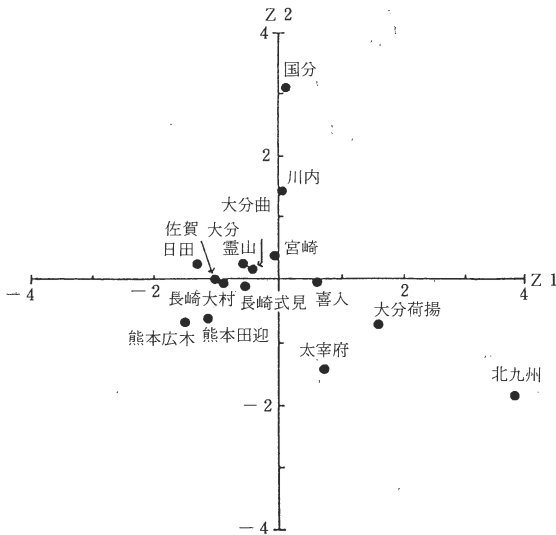


図4 地点別主成分スコア

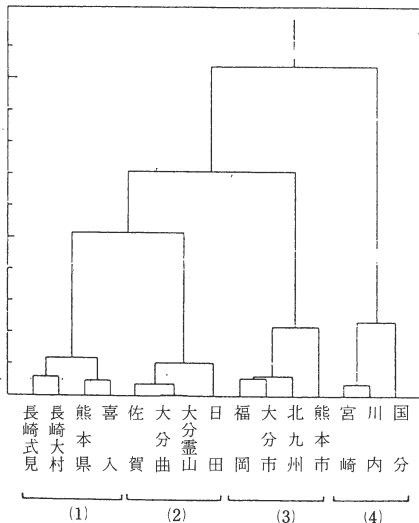


図5 クラスタ分析によるデンドログラム

NO₃⁻, nss-Cl⁻, NH₄⁺, Na⁺, K⁺, nss-Ca²⁺, Mg²⁺, H⁺の9成分の濃度を用い因子負荷量, 固有値及び累積寄与率を求め, 表3に示した。

第1主成分の寄与率は41.0%で, 第3主成分までに81.1%の累積寄与率が得られ, 9成分による情報の多くが, この3主成分の指標で説明された。第1主成分(Z1)はいずれの成分も正の値で総合的な汚染を示す指標と考えられ, Z1のスコアが大きいほど雨水の汚染度が高いと考えられた。第2主成分(Z2)はH⁺が正の大きな値となり, 酸性度を示す指標と考えられ, nss-Cl⁻も正の値でnss-Ca²⁺, NH₄⁺, Mg²⁺が負の値となっていた。第3主成分はNa⁺, K⁺が大きな正の値を示し, 海塩の影響を示す指標と考えられた。

次に, このZ1, Z2の地点別の平均スコアを図4に示した。

総合的汚染度を示すZ1スコアは北九州, 大分荷揚, 太宰府の都市部で大きく, 酸性度を示すZ2スコアは国分, 川内, 宮崎で大きくなっていった。他の地点については大きく違わないが, 日田, 熊本で汚染度が低く, 酸性度は熊本で低かった。

4・1・3 クラスタ分析による各地点の分類

成分組成の類似性により各地点を分類するためにクラスタ分析を行った。成分濃度は降水量に影響されるため, 陰イオンに占めるnss-Cl⁻, NO₃⁻, nss-SO₄²⁻の割合, また, 陽イオンに占めるNH₄⁺, Na⁺, K⁺, nss-Ca²⁺, Mg²⁺, H⁺の割合を算出し, これを用いて地点の類似性をウォード法により求めた。図5に示すように長崎式見, 長崎大村, 熊本広木, 喜入の①グループ, 佐賀, 大分曲, 大分霊山, 日田の②グループ, 太宰府, 大分荷揚, 北九州, 熊本田迎の③グループ, 宮崎, 川内, 国分の④グループに分けることができた。

これらをグループ別にみると, ①グループは西部海岸部でnss-SO₄²⁻の割合が高く, また, 海塩の影響が大きい, ②グループはnss-SO₄²⁻に対して中和成分のnss-Ca²⁺, NH₄⁺の割合が小さく, pHが低い, ③グループは都市部の地点で, NO₃⁻の割合が比較的高いが, nss-Ca²⁺, NH₄⁺の割合が大きいためpHは高い, ④グループはnss-Cl⁻で酸性化している等の特徴がみられた。このうちで, 熊本広木と熊本田迎については, 汚染濃度は類似しているが, Na⁺及びNH₄⁺の組成に違いがありそれぞれ1, 3グループに分けられた。

4・1・4 気象と成分降下量の関係³⁾

調査期間中の気象と週ごとの成分降下量の関係について, 図6に第1週及び第2週の各イオンの当量降下量(以後, 降下量と記す。)を示し考察した。なお, 図

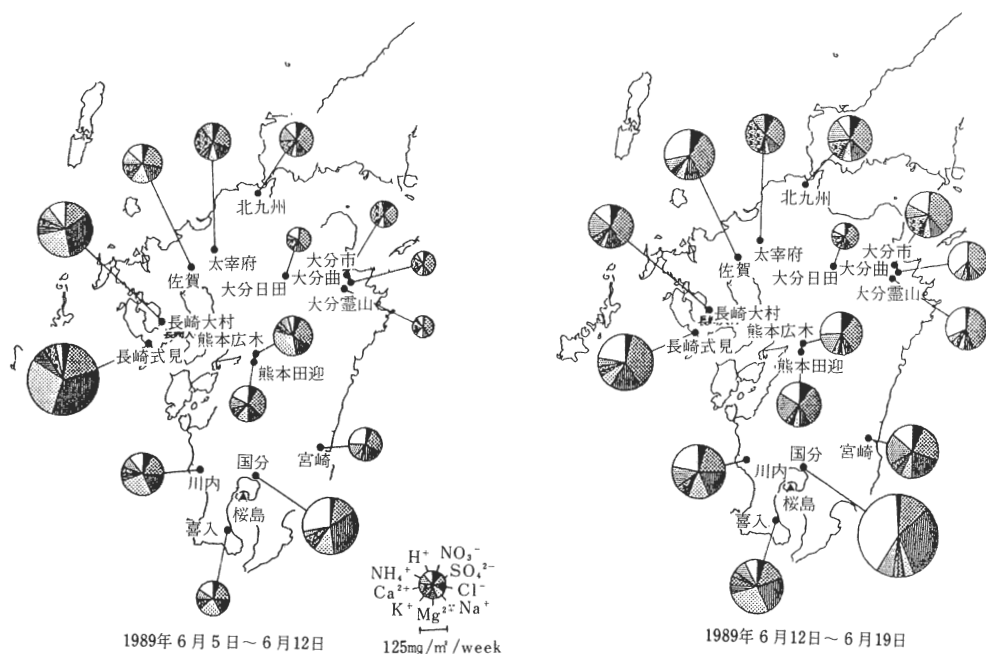


図6 雨水成分の当量降水量

における扇形の面積は、各イオンの降水量に比例し、円の面積は全降水量に比例している。

1) 第1週(6月5日～6月12日)

図6で降水量を比較すると、九州の西部で多く東部で少なく、また、東西の差ほどではないが南部で多く、北部で少ないという傾向がみられた。これを成分ごとにみると、この期間、最も降水量の多かった長崎県の2地点では、 Na^+ と Cl^- がいずれも30eq%程度を占めており、海塩としての降下が多かった。一方、国分及び宮崎においては、 Na^+ に比べ Cl^- の降下量が数倍多く、 H^+ はいずれも25eq%以上を占めていることから、 HCl としての降下が考えられた。また、大分県において SO_4^{2-} が、4地点とも35eq%を超えていた。

九州では、この週は5日及び8、9日に降雨があり、5日の降雨は東シナ海から東進した低気圧によるもので、降下物量の西高東低型は、この影響を受けたものと思われる。また、8、9日の降雨は、大陸東岸から延びた前線によるものであるが、8日にはオホーツク海に冷たい高気圧、太平洋上に暖かい高気圧が現れ、梅雨らしい気圧配置が整っていた。9日、九州は温暖前線の後面にかかり鹿児島管区気象台の高層850mb面ではSW系の風が観測された。このため、桜島からみて北東方向の地点で火山ガスの影響がみられ、国分及び宮崎には HCl として現れ、大分県には H_2SO_4 としての影響が現れたと考えられた。

2) 第2週(6月12日～6月19日)

この週の降水量は、九州南部で多く北部で少ない傾向を示した。最も降水量が多い国分では、 H^+ の降水量が40eq%、 H^+ が30eq%を占め、 HCl としての多量の降下があった。また、宮崎で Cl^- の降下量が Na^+ の約3倍であったのははじめ、川内と喜入を除き、全体的に Na^+ に比べ Cl^- が過剰気味であった。 SO_4^{2-} については、各地で比較的多い降水量を示した。

この週は、13日から18日まで連続して降雨があり、典型的な梅雨期の気象状況を示したが、九州南部付近に停滞した前線を東進した低気圧の移動に伴い、鹿児島管区気象台における高層850mbにおける風系は、SE系(13、14日)からSW系(15、16日)に変化した。このため、1週間を通してみると九州全般に火山の影響が現れたと考えられた。なお、mm降雨ごとの測定結果をみると、13、14日には長崎県、熊本県で、15、16日には宮崎県でpH4.00未満の低pH雨が出現した。

以上のように、成分降水量は気象と関連付けられたが、酸性雨生成の気象モデルとしては関によって、温暖前線に伴う生成モデル⁷⁾が提唱されている。このモデルを参考に、今回の調査結果について図7を考案した。

九州南部に停滞する梅雨前線上に発生した低気圧に伴う温暖前線が出現する際、桜島火山のガス成分のうち、溶解性の高い HCl はただちに雲に取り込まれ、比較的近傍の地点に塩酸雨としての影響を与えると考

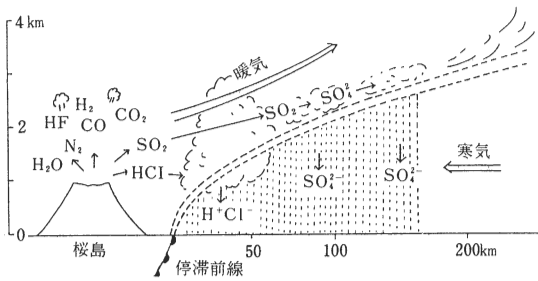


図7 酸性雨の火山影響モデル

の風向及び阿蘇、桜島の火山活動の状況をも示した。なお、桜島については調査期間中噴火の記録はないが、火山性ガスと火山灰の放出を伴う連続的な噴煙活動が認められた。ろ過式の試料のうち pH 4 以下については表 2 に示した。

pH 4 未満の降水が観測されたのは、ろ過式の結果では鹿児島県の 2 地点（川内、国分）のみであったが、1 降雨ごとの測定結果では 5 県（7 地点）全部であった。低 pH の降水が観測されたときのしるしは、S 方向寄りを示し、また、低 pH の出現頻度は宮崎で最も高かったことから、桜島からの火山噴出物の影響を強く受けていると考えられた。

られる。

また、HCl 共存下で溶解性が低下するといわれている SO₂ ガスは温暖前線に伴う上昇気流に乗って移流し、その後なんらかの過程を経て、SO₄²⁻ に変換され、九州各地に硫酸雨として出現すると考えられる。

4・2 火山の降水に与える影響

九州地域では、桜島、阿蘇など本邦第一級の火山が活動中であり、これらの火山噴出物の降水に及ぼす影響は、雨水の成分濃度の特性や成分降水量に現れている。ここでは、実際の調査結果において火山の影響を受けたと思われる降水について、おもに 1 降雨ごとに調査結果を用いて考察した。

4・2・1 低 pH の降水の出現状況

火山噴出物の降水に及ぼす影響について、まず、低 pH 降水の出現との関連を調べた。

1 降雨ごとに調査を実施した福岡、長崎（2 地点）、熊本（2 地点）、大分及び宮崎の結果を表 4 に示した。表には高層気象指定気圧面 850 mb（高度約 1500 m）

4・2・2 火山噴出物の影響を受けた降水成分の特徴

低 pH の降水の出現と高層風との関係のみで火山噴出物の影響を考察することはできないが、それらの降水成分から興味深い結果が得られた。

図 8 は、mm 降雨について Na⁺ と Cl⁻ との関係を示したものである。Cl⁻ は通常海塩粒子由来の傾向が強く、両者は直線関係を示す場合が多いが、今回の調査では、特に、九州南部から中部にかけて Cl⁻ 過剰の試料が多く、それらの大部分は pH 3 台を記録した。

これは鹿児島県の調査結果でも報告^{8,9)}されているように、火山性ガス成分の HCl が降水に取り込まれたためと考えられるが、その現象は図 9 に示す宮崎の例のように 1 降雨を通してみられるのではなく、急性的な現象として出現する傾向にあった。このため、1 週間ごとに採取するろ過式ではその傾向が希薄化する

表 4 pH 4 未満の降水の出現状況 (mm降雨)

地点 月日	福岡県衛生 公害センター	長崎県式見 ダム	長崎県大村 保健所	熊本県八代 市役所	熊本県若北町 コミュニティ センター	大分県公署 衛生センター	宮崎県公署 センター	1500m上空の風向				*1		*2		*3
								鹿児島		福岡		桜島		阿蘇		阿蘇
								09h	21h	09h	21h	有・無	有・無	有・無	有・無	
6. 5	5mm	35	27	15	14	3 △	3 ○△	S SW	W SW	SW	W SW	○	×			
6. 6								NNW	NW	NNW	NNW	○	×			
6. 7	17 ○△	113 △	90 △	62	0.6 ○△	30	13 ○△	E NE	E NE	E NE	S SE	○	×			
6. 8								S	W SW	S	W SW	○	×			
6. 9								W	W	N NE	N NE	○	×			
6. 10								W	W	N NE	N NE	○	×			
6. 11								E NE	E NE	E NE	S SE	○	×			
6. 12								E SE	S SE	S SE	S SE	○	×			
6. 13								SE	SW	S	SW	○	×			
6. 14								W	W	W	W SW	○	×			
6. 15								W SW	W NW	W SW	NW	○	×			
6. 16								W NW	W NNW	N	W SW	○	×			
6. 17	9	46 △	42 △	20	14	47 △	7.5 ○△	W NW	W NW	W SW	NW	○	×			
6. 18								W NW	W NNW	N	W SW	○	×			
6. 19								W NW	W NW	W SW	NNW	○	×			
6. 20								NW	N	N	N NE	○	×			
6. 21								W	W	N	NNW	○	×			
6. 22								E SE	E NE	N	NW	○	×			
6. 23								E SE	E NE	S SE	E SE	○	×			
6. 24								S E	W	S SE	S SE	○	×			
6. 25								W SW	W NW	W SW	W SW	○	×			
6. 26								W NW	W NW	NW	W	○	×			
6. 27	25 ○△	32 ○△	17 ○△	41	25	114	11 ○△	W	W SW	W SW	W SW	○	×			
6. 28								W	W	N	NW	○	×			
6. 29								W SW	W NW	W SW	NNW	○	×			
6. 30								E NE	S SW	E NE	S	○	×			
7. 1								S SW	W SW	E	E	○	×			
7. 2								W SW	W SW	E NE	S	○	×			
7. 3								W	W	-	-	○	×			

注 1) ○: pH 4 未満 △: EC50 μS/cm 以上
 注 2) 阿蘇の降灰の有無は、出典に降灰が記述されている日に○をつけた。
 出典: *1 高層気象指定気圧面報告 (福岡管区気象台、鹿児島地方気象台)
 *2 火山遠望観測 (鹿児島地方気象台) 及び桜島降灰観測調査 (鹿児島県消防防災課)
 *3 阿蘇山定期火山情報 (第 7 号) (阿蘇山簡候所)

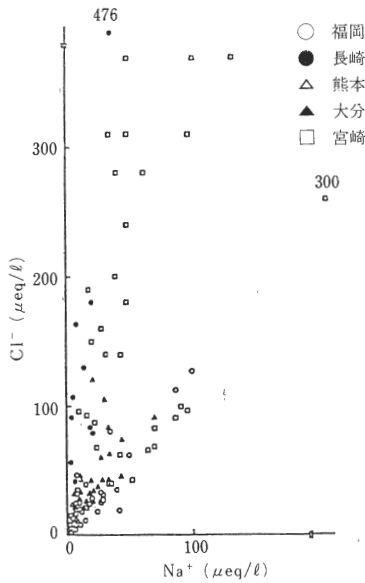


図8 Na⁺とCl⁻との関係 (mm降雨)

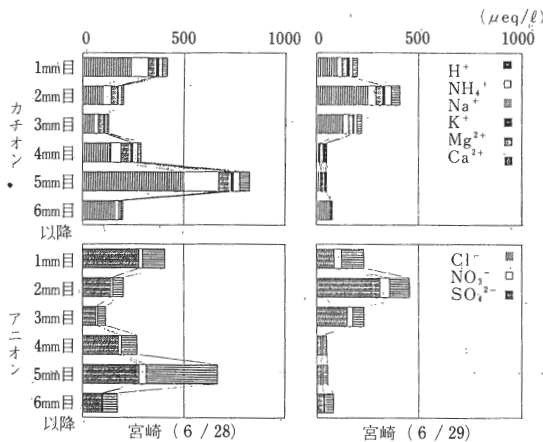


図9 pH 4 未満の降水が出現したときのイオン組成 (mm降雨)

ことになり、実際、宮崎のろ過式の結果では火山噴出物の影響はそれほど明確ではなかった。

一方、福岡、長崎式見、長崎大村、大分、熊本八代及び熊本苓北ではCl⁻よりSO₄²⁻がpH低下の原因となる例も観測された。また、大分ではNO₃⁻が原因したものも観測されており、これは明らかに火山起源の物質によるものではないと考えられる。

なお、火山性ガス中には量的にはSO₂がHClより多く含まれ、HClよりは少ないがHFが含まれていると報告されている^{3,10)}。また、九州南部においてCl⁻の寄与が大きいのは、火山起源のガス成分の雨滴への溶解度に依存していると考えられており¹¹⁾、今後SO₂が降水へ取り込まれる過程の解明や溶解性の高いF⁻の

測定が新たな検討課題である。

4・2・3 火山起源のnss-Cl⁻とnss-SO₄²⁻

pH低下の原因として大都市ではNO₃⁻、nss-SO₄²⁻に注目して調査されているが、九州ではこれらに加えて火山起源の酸性物質の寄与があることが判明した。火山起源のHClは鹿児島、宮崎など火山に比較的近い地点ほど降水への取り込みが顕著で、Cl⁻/Na⁺が海塩の組成比より高い地点が全般的に多かった。

一方、火山起源のSO₂の寄与は、火山近傍あるいは低pHの観測された長崎、福岡においてもCl⁻ほど明瞭ではなかったが、nss-SO₄²⁻は九州南部に比較して九州北部が高い傾向にあった。

pHが4未満の試料についてのH⁺と[nss-Cl⁻+nss-SO₄²⁻]との関係は図10に示すとおり、高い相関があり、九州地域においては、降水の酸性化に対するCl⁻とSO₄²⁻の寄与は極めて大きいと考えられる。

以上のことから、火山から噴出したHClはレインアウト、ウオッシュアウトによりSO₂より比較的速く降水へ取り込まれ、九州南部地域における雨水の酸性化をもたらしていると考えられた。また、SO₂については、航空機を利用した調査^{13,14)}で桜島から九州北部への移流が確認されていることや、nss-SO₄²⁻が北部においてかなり高い傾向を示していることから、長距離輸送されて降水の酸性化をもたらしていると考えられるが、今回の調査だけではそのプロセスは明らかでなかった。

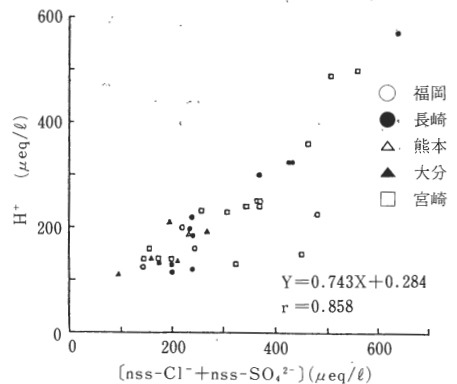


図10 pH 4 未満の降水の各イオン成分とH⁺との関係 (mm降雨)

5. まとめ

九州衛生公害技術協議会大気分科会のもとに10機関が参加し、平成元年6月5日～7月3日の4週間に16調査地点で酸性雨共同調査を行った。この結果、以下のことが明らかとなった。

1. 全降雨の pH 平均値は4.4であり、国分、川内、宮崎、大分の地点で低く、この要因となる成分は主として nss-Cl^- 、 nss-SO_4^{2-} であった。

2. 主成分分析により各地の特性を評価した結果、総合的汚染度は北九州、大分、太宰府で大きく、日田、熊本の各地点で小さかった。酸性度は国分、川内、宮崎で大きかった。

3. クラスタ分析により地点間の成分組成の類似性を検討した結果、長崎式見、長崎大村、熊本広木、喜入のグループ、佐賀、大分曲、大分霊山、日田のグループ、太宰府、大分荷揚、北九州、熊本田迎のグループ及び宮崎、川内、国分のグループの4つに分類できた。

4. 週別の成分降下量の組成は、低気圧の東進、台風、梅雨前線の位置とこれに伴う高層の風向等、気象要因と関連していた。

5. 桜島火山噴出物の影響を強く受け、低 pH を示した降水は、鹿児島や宮崎では nss-Cl^- 、中部から北部では nss-SO_4^{2-} が多く、両者の酸性化への寄与は大きかった。これは、火山性ガスのうち HCl は速やかに降水中に取り込まれて、比較的近距离に降下し、 SO_2 は反応速度が遅いため、HCl に比べて遠距離まで輸送され降水に取り込まれるためと考えられた。

本調査により降水の質に火山噴出物の影響が認められ、その程度は調査地点により異なることが明らかになった。また、九州・沖縄地方は大陸の東方に位置し、春期には黄砂現象も見られ、海洋、火山、大陸等の影響が気象条件により降雨に現れ、降雨の動態を調査する地域として適した環境であると考えられる。この条

件を生かして今後さらに共同研究を行うことにより、地球規模での酸性雨問題解明への一助となり得ると考える。

終わりに、本調査を実施するにあたり、気象データの提供及び気象解析についてご教示いただいた、(財)日本気象協会福岡本部の皆様、調査へのご指導をいただいた、国立環境研究所村野健太郎、若松伸司両主任研究員、九州大学応用力学研究所植田洋匡教授、資料の作成にご協力いただいた各県の行政担当の皆様方に深く感謝します。

参 考 文 献

- 1) 福岡管区気象台；九州の気候，1964年3月
- 2) 環境庁；大気汚染物質排出量総合調査結果，昭和61年度版
- 3) 鎌田政明 他；地熱流体の化学，東京大学出版協会
- 4) 環境庁大気保全局；一般環境大気測定局測定結果報告，昭和63年12月
- 5) 日本気象協会；気象，1989年8月及び各県気象月報
- 6) 環境庁，酸性雨対策検討会大気分科会；酸性雨対策調査中間報告書（1987）
- 7) 関 清宣；酸性雨被害のモデルと予報気象，19，No. 9，22（1975）
- 8) 宝来俊一，大原真由美，早田寿文 他；第30回大気汚染学会講演要旨集，330（1989）
- 9) 宝来俊一，大津睦雄，柳川民夫；鹿児島県環境センター所報，4，52～58（1988）
- 10) 国土庁；火山ガス等に関する調査報告書（1982）
- 11) 大津睦雄，宝来俊一，柳川民夫；鹿児島県環境センター所報，4，59～67（1988）
- 12) 若染伸司，鶴野伊津志 他；第28回大気汚染学会講演要旨集，174（1987）
- 13) 若松伸司，植田洋匡，鶴野伊津志；第30回大気汚染学会講演要旨集，215（1989）