

## 鹿児島県における酸性降下物

藪 平 一 郎      大 西 正 巳      谷 元 エ リ  
今 村 和 彦      松 留 道 雄      伊 東 祐 治

### 1 はじめに

鹿児島県では、県内の酸性雨の実態を把握するため、鹿児島市及び喜入町に降雨自動測定採取装置を設置し、酸性雨モニタリング調査を実施している。一方国は、国内の発生源の影響を受けることが少ない離島に設置した国設奄美酸性雨測定所において、酸性雨モニタリング調査を行った。本報では、2000年度から2002年度に鹿児島市及び喜入町、奄美大島の降雨自動採取装置で、採取した降水試料及びガスとエアロゾルをサンプリングした4段フィルターのイオン成分分析を行い、その特徴について検討したので報告する。

### 2 調査方法

#### 2.1 調査地点

調査地点は、鹿児島県環境保健センター（以下「鹿児島」という。）、喜入大気測定局（以下「喜入」という。）及び国設奄美酸性雨測定所（以下「奄美」という。）の3地点である。

調査地点を図1に示す。

#### 2.2 調査期間

調査期間は2000年度～2002年度である。

#### 2.3 採取方法及び分析方法等

##### 2.3.1 降雨成分調査

採取装置：（鹿児島）電気化学計器㈱ DRM-200E型

（喜入）紀本電子工業㈱ AR-107SNA型

（奄美）電気化学計器㈱ DRS-200型

鹿児島、喜入の装置は0.5mm毎の降雨は2分割され、半量は自動測定に、他の半量は降水試料タンクに冷蔵保存した。奄美の装置は、全量降水試料タンクに冷蔵保存した。

保存降水試料は2週間毎（一部1週間毎）に回収した。

回収した保存降水試料は、メンブランフィルター（47mm, 0.45 $\mu$ m）でろ過した後、分析に供した。

分析項目及び方法は以下のとおりである。

pH：ガラス電極法

電気伝導率：導電率計法

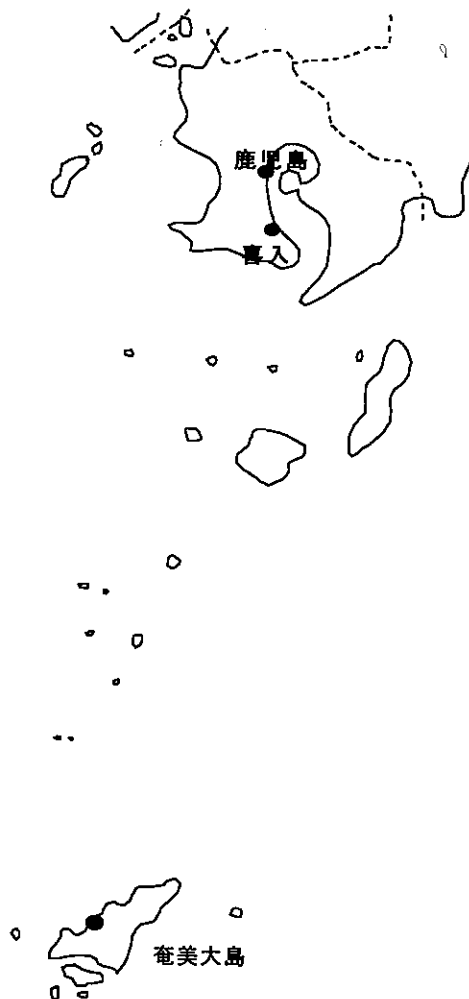


図1 調査地点

イオン成分 (Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>) : イオンクロマトグラフ法

2. 3. 2 ガス, エアロゾル成分調査

試料は, 4段フィルター法を用いて, 大気中ガス成分濃度 (SO<sub>2</sub>, HNO<sub>3</sub>, HCl, NH<sub>3</sub>) 及び粒子状物質 (Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>) のイオン成分濃度を測定した。

粒子状物質の捕集には, 4段フィルターの1段目にテフロン製のろ紙 (ADVANTEC社製 47mm, 0.8μm) を用いた。また, 大気中ガス成分捕集には, 4段フィルターの2段目にポリアミドろ紙 (PALL社製 47mm, 0.45μm), 3段目に炭酸カリウムとグリセリン水溶液を含浸させたセルロースろ紙 (ADVANTEC社製 47mm), 4段目にリン酸とグリセリン水溶液を含浸させたセルロースろ紙 (ADVANTEC社製 47mm) を用いた。

サンプリングはろ紙ホルダーをシェルター内に下向きに設置し, 毎分約1Lの吸引速度で連続採取を行った。採気量は乾式積算流量計で読みとった。

2週間毎 (一部1週間毎) に回収し, 1段目, 2段目, 4段目のろ紙は蒸留水で, 3段目のろ紙は過酸化水素水溶液で, 20分間超音波抽出を行った。これらの抽出液を孔径0.45μmのメンブランフィルターでろ過した後, イオンクロマトグラフ法で分析した。

3 結果及び考察

3. 1 降雨成分調査

3. 1. 1 降水量

降雨成分調査結果を表1に示す。年間の降水量は, 2000年度が2253.0~2794.5mmと多かったけれども, 2001年及び2002年度は2000mm前後と少なかった。また, 地点

別では, 奄美が喜入, 鹿児島よりも降水量が多かった。季節別では, 春, 夏に比べて冬に降水量が少ない傾向がみられた。

3. 1. 2 pH

pHの経月変化を図2に示す。

各測定地点のpHについては, 春, 夏期 (4月~9月) に高く, 秋, 冬にかけて低くなった。地点別では, 島しょにある奄美が高く, 都市部である鹿児島が低かった。畑作台地にある喜入は, 両者の中間の値を示した。

3. 1. 3 電気伝導率 (EC)

電気伝導率の経月変化を図3に示す。

電気伝導率は, 春期 (4月~6月) が低く, 秋, 冬が高かった。また, 1年間で最も雨量の多い6月に電気伝導率は最も低くなった。地点別では, 奄美については, 2000年度の年平均は2.38mS/mであった。喜入, 鹿児島では, 2000~2001年度が1.79~2.58mS/mであったのに, 2002年度の年平均は3.05~3.23mS/mと高く, 年度による差を認めた。また, 2002年度の夏期 (7月~9月) に電気伝導率が高くなっており, この時期に相次いで接近した台風の影響が考えられた。

3. 1. 4 イオン成分濃度

各地点のイオン成分濃度を図4に示す。

陽イオン成分 (H<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) 濃度の合計と, 陰イオン成分 (Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) 濃度の合計を比較したイオンバランスはよく取れていた。

2000年度では喜入, 鹿児島の各イオン成分の合計量に比べて, 奄美のイオン成分合計量が高かった。特に海塩の主成分であるNa<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, Mg<sup>2+</sup>が組成の半分以上を占め

表1 降雨成分調査結果

(単位 ; 降水量 : mm, EC : mS/m, イオン濃度 : μmol/L)

	年度	降水量	pH	EC	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>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	nss-Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	H <sup>+</sup>
鹿児島	2000	2602.0	4.72	2.09	20.7	19.1	8.1	60.2	26.2	25.4	3.1	8.6	8.0	3.4	18.9
	2001	1794.0	4.57	2.58	20.9	18.4	9.9	61.3	17.9	37.8	2.3	8.3	7.4	5.4	26.9
	2002	1894.5	4.80	3.23	22.8	16.2	11.9	135.3	22.0	100.9	3.3	9.6	7.3	2.1	16.0
	平均	2096.8	4.69	2.57	21.4	18.0	9.7	83.1	22.6	51.7	2.9	8.8	7.6	6.6	20.3
喜入	2000	2253.0	4.85	1.97	16.4	11.5	9.9	69.9	13.4	58.0	3.0	6.1	3.9	7.5	14.2
	2001	2010.0	4.86	1.79	15.9	13.2	8.0	47.0	11.0	41.5	4.8	4.1	3.2	5.6	13.8
	2002	1814.5	4.85	3.05	21.8	14.7	11.5	130.4	14.5	109.6	7.5	6.8	4.3	2.4	14.0
	平均	2025.8	4.85	2.23	17.9	13.0	9.7	80.4	12.9	67.9	4.9	5.7	3.8	8.4	14.0

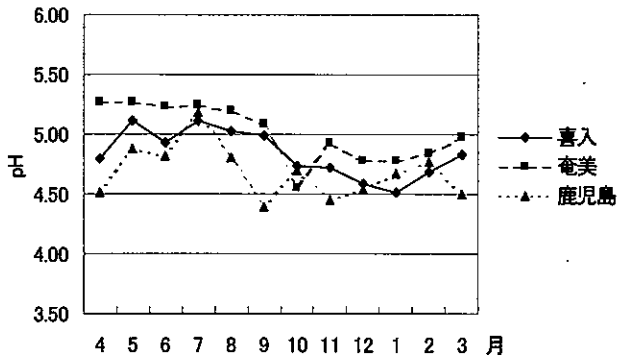


図2 pHの経月変化

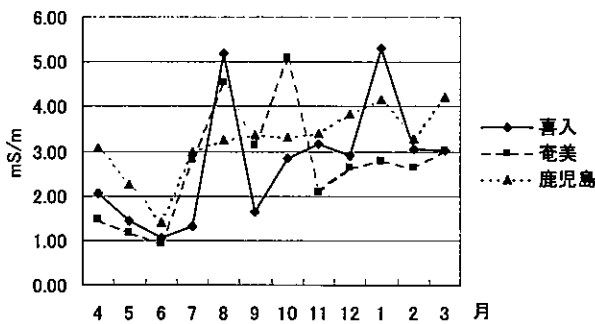


図3 電気伝導率の経月変化

ていた。台風の影響を受けた降水は、海塩成分濃度が高くなる<sup>1)</sup>ことから、奄美は台風の影響を大きく受けていると考えられた。

Na<sup>+</sup>のすべてが海塩由来として海塩成分組成より海塩由来の部分を探し、その部分を全体から差し引いた濃度をnon-sea salt, nss-として成分濃度を見てみると、nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の値は、鹿児島が高く奄美の約2倍の値であった。喜入は、両者の中間の値であった。また、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>の値は地域差がみられなかった。

降水の酸性化を抑制する成分濃度を見てみると、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>の値は、鹿児島が高く、喜入、奄美の順に低かった。

nss-Ca<sup>2+</sup>の値も鹿児島が高く、奄美の3倍の値を示した。喜入は両者の中間の値を示しており3地点の地域差を認めた。

### 3. 1. 5 湿性沈着降下量

降水は、各イオン成分を溶かした状態で地表へ導くけれども、輸送量は、イオン成分濃度と降水量の積である、湿性沈着降下量で評価される。

湿性沈着降下量を表2に示す。湿性沈着降下量の地域間を比較してみると、鹿児島、喜入に比べて奄美のNa<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, Mg<sup>2+</sup>の降下量が多い。これは、奄美では、海塩由来であるイオン成分濃度も高く、降水量も多いことに原因があると考えられた。ただし、2002年度の鹿児島、喜入のNa<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, Mg<sup>2+</sup>の降下量は雨量が少なかったにもか

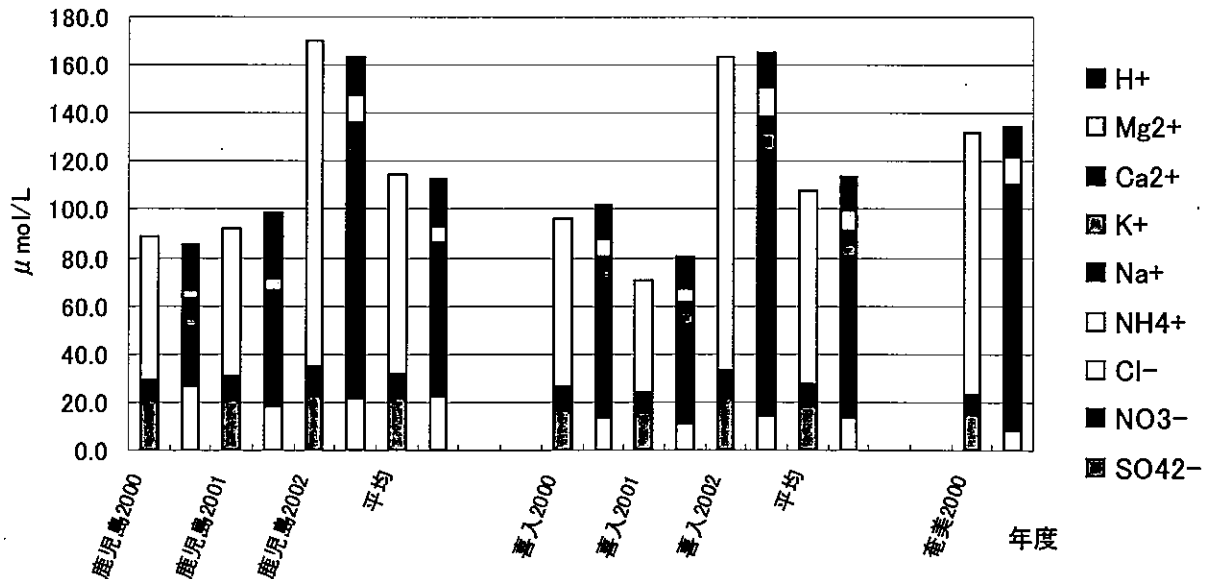


図4 イオン成分濃度

表2 湿性沈着降下量

(単位 ; mmol/m<sup>2</sup>年)

		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>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	nss-Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	H <sup>+</sup>
鹿兒島	2000年度	53.9	49.6	21.1	156.6	68.2	66.0	8.0	22.3	20.9	9.0	49.2
	2001年度	37.4	33.0	17.8	110.0	32.1	67.9	4.2	14.8	13.4	9.6	48.2
	2002年度	43.3	30.8	22.5	256.7	41.7	191.4	6.3	18.1	13.9	22.9	30.3
	平均	44.9	37.8	20.4	174.4	47.3	108.4	6.2	18.4	16.0	13.8	42.5
喜入	2000年度	34.2	26.4	20.5	145.6	28.0	120.9	6.2	12.8	10.1	15.7	29.6
	2001年度	32.0	26.6	16.1	94.4	22.0	83.4	9.6	8.3	6.5	11.3	27.7
	2002年度	39.6	26.7	20.9	236.6	26.3	198.8	13.7	12.3	7.9	22.5	25.4
	平均	35.3	26.6	19.2	158.9	25.4	134.4	9.8	11.1	8.2	16.5	27.6
奄美	2000年度	42.2	24.8	21.9	303.7	23.6	267.5	4.7	12.4	6.5	31.5	37.0

ならず、前の年の倍以上の値を示している。これは、2002年度に鹿兒島、喜入に接近した台風の影響が考えられた。

nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の降下量の値は、鹿兒島が高く喜入、奄美の順に低くなった。また、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>の降下量の値は3地点での地域差はみられなかった。

nss-Ca<sup>2+</sup>の降下量の値は、鹿兒島が高く、奄美の3倍の値を示した。喜入は、両地点の中間の値を示した。同じく降水の酸性化を抑制する成分であるNH<sub>4</sub><sup>+</sup>の降下量は、鹿兒島が高く、喜入と奄美の地点差はみられなかった。

K<sup>+</sup>については、2002年度の喜入の降下量の値が高かった。喜入では、この年の春から夏に高い値を示していた。

H<sup>+</sup>の降下量は、鹿兒島が高く、奄美、喜入の順であった。

### 3. 2 ガス、エアロゾル成分調査

#### 3. 2. 1 ガス成分濃度

4段フィルター法から求めたガス成分濃度を表3に示す。

ガス成分濃度を見ると、HClガスを除いたいずれのガス成分も鹿兒島が高く、喜入、奄美の順であった。特に、酸性ガスであるSO<sub>2</sub>、HNO<sub>3</sub>は、鹿兒島が奄美の3倍以上の値を示した。県内のSO<sub>2</sub>ガス及びHNO<sub>3</sub>ガスの主な発生源は、それぞれ活火山である桜島及び自動車など人為的発生源によるもので、鹿兒島はこれらの影響を反映したものと考えられた。HClガスについては、地点間の差はみられなかった。

NH<sub>3</sub>ガスについても鹿兒島が高い値を示したけれども、喜入もそれと同じくらいの値を示した。また、奄美は、両者に比べると五分の一ほどの低い値であった。畑作台地にある喜入では肥料等の影響があると考えられた。

#### 3. 2. 2 エアロゾル (粒子状物質) 成分濃度

4段フィルター法から求めたエアロゾル成分濃度を表4に示す。

粒子状物質 (Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>) のイオン成分濃度をみると、海塩成分由来

表3 ガス成分濃度

(単位 ; nmol/m<sup>3</sup>)

		SO <sub>2</sub>	HNO <sub>3</sub>	HCl	NH <sub>3</sub>
鹿兒島	2000年度	145.8	35.9	43.8	193.1
	2001年度	141.9	30.6	35.8	151.1
	2002年度	108.8	27.0	37.3	130.2
	平均	132.2	31.2	39.0	158.1
喜入	2000年度	51.6	25.7	35.6	129.0
	2001年度	54.4	22.6	20.5	145.0
	2002年度	96.6	38.1	39.1	173.1
	平均	67.5	28.8	31.7	149.0
奄美	2000年度	18.4	9.9	37.1	28.3
	2001年度	21.8	7.7	28.0	31.5
	2002年度	22.6	10.3	37.9	32.6
	平均	20.9	9.3	34.3	30.8

のCl<sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>の値は、奄美が高かった。また、鹿兒島でもこの3成分濃度は高く、喜入が低かった。K<sup>+</sup>についても同様の結果であった。

NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>濃度は、鹿兒島が他の2地点に比べて2倍近く高かった。nss-Ca<sup>2+</sup>の値も鹿兒島が高かったけれども、喜入と奄美ではさほど差はなかった。

nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度については、鹿兒島と奄美が高く、両者の差はみられなかった。

表 4 エアロゾル成分濃度

(単位: nmol/m<sup>3</sup>)

		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>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>
鹿児島	2000年度	61.3	57.3	35.0	27.8	57.8	21.6	20.1	10.0	6.2	65.7
	2001年度	36.6	34.4	15.3	14.7	31.5	9.3	8.5	5.1	3.1	35.9
	2002年度	35.5	32.4	22.4	27.6	38.1	8.9	7.8	6.2	3.9	49.7
	平均	44.4	41.4	24.3	23.3	42.5	13.3	12.2	7.1	4.4	50.4
喜入	2000年度	49.0	47.8	13.3	6.9	37.0	9.8	9.4	5.1	1.8	19.6
	2001年度	12.1	11.0	6.0	3.3	18.1	6.6	6.2	3.3	2.1	19.4
	2002年度	16.8	15.1	8.6	21.6	22.0	2.9	2.3	3.3	2.1	27.7
	平均	26.0	24.6	9.3	10.6	25.7	6.4	6.0	3.9	2.0	22.2
奄美	2000年度	47.8	42.8	13.8	42.7	23.8	11.1	9.2	10.9	6.7	83.1
	2001年度	47.2	43.3	12.7	32.6	23.2	8.3	6.9	8.6	5.3	65.1
	2002年度	41.6	37.7	9.8	27.2	21.1	7.0	5.6	7.9	4.9	63.8
	平均	45.6	41.3	12.1	34.1	22.7	8.8	7.2	9.1	5.7	70.7

## 4 まとめ

鹿児島県内3地点(鹿児島, 喜入及び奄美)において, 降雨成分調査とガス, エアロゾル成分調査を行い, 成分を比較した。

- 1) 降雨のイオン成分濃度は, 奄美で海塩の影響を認めた。
- 2) 降雨の酸性成分濃度では, nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の値は鹿児島が高く, 奄美の2倍であった。喜入は, 両者の中間の値を示した。
- 3) 降雨の酸性化を抑制する成分濃度では, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>の値は鹿児島が高く, 喜入, 奄美の順であった。  
また, nss-Ca<sup>2+</sup>の値は鹿児島が奄美の3倍の値を示し, 喜入は両者の中間の値を示した。
- 4) 湿性沈着降下量は, 奄美において海塩由来の成分が多かった。また, 鹿児島と喜入でも, 台風が相次いで近づいた2002年度は海塩由来の成分の降下量が多かった。
- 5) ガス成分濃度は, HClガスを除いたいずれの成分も鹿児島が高く, 喜入, 奄美の順であった。HClガスについては, 地域間の差はみられなかった。
- 6) エアロゾル成分濃度は, 海塩由来の成分が奄美で高かった。また, 鹿児島でNO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>及びnss-Ca<sup>2+</sup>の値が高いなど地域差がみられた。

## 参考文献

- 1) 金城義勝, 友寄喜貴, 他; 台風の影響を受けた降水・降下物のイオン組成成分, 大気環境学会誌, 40, 492(1999)
- 2) 遠矢倫子, 赤塚正明, 他; 鹿児島県における酸性降下物と金属曝露試験結果, 鹿児島県環境センター所報, 15, 37~41(1999)
- 3) 宗森新; わが国における酸性雨の分析データの解析, 環境技術, 22, 590~598(1993)
- 4) 平木隆年, 藍川昌秀; 全国酸性雨調査(35)ー2000年度調査結果の概要ー, 大気環境学会誌, 43, 321, (2002)
- 5) 第3次酸性雨全国調査報告書, 全国環境研会誌, 27, 68~126, (2002)
- 6) 環境省, 第4次酸性雨対策調査取りまとめ, 酸性雨対策検討会, 平成14年9月