

資料

鹿児島県における酸性降下物 (2003～2005年度)

上大菌 智 徳 藪 平一郎 山 田 正 人
川 畑 正 和 宮 田 義 彦

1 はじめに

鹿児島県内の酸性雨の実態を把握するために、1990年度から鹿児島県環境保健センター、及び、1988年度から喜入総合運動公園（旧喜入町）において、降雨自動採取装置を用いて酸性雨モニタリング調査を行っている。また、国は酸性雨原因物質の長距離輸送の機構解明のため、1994年度から屋久島の国設酸性雨測定所において、酸性雨モニタリング調査を行っている。なお、喜入総合運動公園の測定については、市町村合併に伴い、降雨自動測定採取装置を鹿児島市に移管したため、2004年度末で県によるモニタリング調査を終了した。

本報では、2003年度から2005年度に鹿児島市城南町、鹿児島市喜入において降雨自動採取装置で採取した降水試料について分析した結果について報告する。また、国が実施している屋久島の2004年度のデータと比較検討した結果についても併せて報告する。

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。）、喜入一般環境大気測定局（以下「喜入」という。）及び国設屋久島酸性雨測定所（以下「屋久島」という。）の3地点である。

2.2 調査期間

鹿児島：2003～2005年度

喜入：2003～2004年度

屋久島：2004年度¹⁾

なお、停電又は機器不調などのため、一部採取できない期間があった。

2.3 採取方法及び分析方法

採取装置：

(鹿児島) 電気化学計器(株) DRM-200E型
(2004年12月まで)
紀本電子工業株 AR-108型
(2005年1月から)

(喜入) 紀本電子工業(株) AR-107SNA型
(屋久島) (株)小笠原計器製作所 US-420型

鹿児島、喜入の装置では0.5mm毎の降雨は2分割され、半量は自動測定に用いられ、他の半量は降水試料タンクに冷蔵保存される。屋久島の装置では、全量降水試料タンクに冷蔵保存される。

保存降水試料は、2週間毎（一部1週間毎）に回収した。

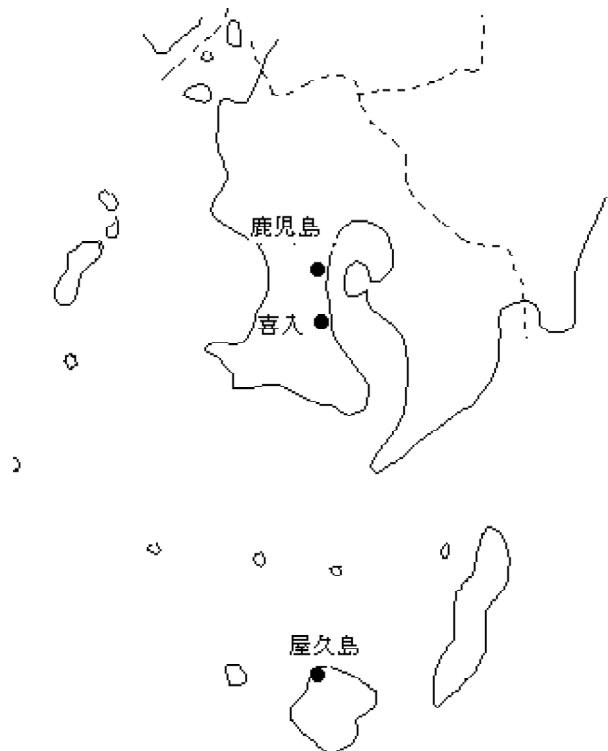


図1 調査地点

回収した降水試料は、メンブランフィルター（47 mm, 0.45 μm）でろ過した後、分析に供した。

分析項目及び分析方法は以下のとおりである。

pH：ガラス電極法

EC：導電率計法

イオン成分 (Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, NH₄⁺, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺)：イオンクロマトグラフ法

3 結果及び考察

3.1 年間降水量

採取装置で雨量計で測定された降水量を表1に示す。

鹿児島島の3ヶ年の平均は1780mm、喜入の2ヶ年の平均は1684mmであった。

屋久島は5123mmであり、2004年度は国設酸性雨測定局の中では最も雨量が多かった。

3.2 pH

pHの経月変化（鹿児島島は3ヶ年の平均、喜入は2ヶ年の平均）を図2に示す。

鹿児島島は夏場にかけて高くなり、11月以降は低くなる傾向があった。喜入と屋久島は11月～3月に低くなる傾向があった。

鹿児島島と喜入を比較すると、8月～10月にかけて同等か鹿児島島の方が若干高く、その他の月は鹿児島島の方が低かった。

鹿児島島が8～10月に高かったのは、2004年度に多くの台風が接近し、海塩成分が多量に含まれた影響が考えられる。

3.3 電気伝導率 (EC)

電気伝導率の経月変化（鹿児島島は3ヶ年の平均、喜入は2ヶ年の平均）を図3に示す。

鹿児島島は8月～10月、喜入は9月に高い値を示した。これは、pH同様2004年度に台風の接近のため、海塩成分が多量に含まれた影響と考えられる。

その他の期間は3地点とも秋から冬にかけてやや高くなる傾向がみられた。

鹿児島島、喜入の年平均値はそれぞれ2.04～9.86 mS/m, 2.26～4.01mS/mであり、両地点とも2004年度が高かった。これは、2004年度の8～10月の台風接近による海塩成分の影響と考えられる。屋久島の2004年度の年平均値は3.89mS/mであった。

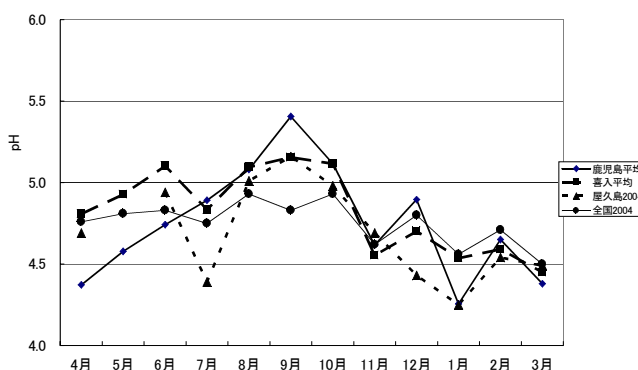


図2 pHの経月変化

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 ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	nss-Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺
鹿児島島	2003	1691	4.52	2.87	17.0	14.3	12.7	74.9	19.0	44.0	1.8	7.7	6.7	7.5	30.2
	2004	2161	4.96	9.86	51.0	16.1	9.5	735	22.0	579	13.3	29.6	17.1	65.7	11.0
	2005	1488.5	4.60	2.04	19.1	17.3	12.7	41.8	15.1	29.9	0.7	6.8	6.2	4.2	25.0
	平均	1780.2	4.68	5.47	31.3	15.9	11.4	333	19.1	257	6.1	16.3	10.8	30.1	21.0
喜入	2003	1815.5	4.92	2.26	12.5	8.4	10.6	85.4	12.5	68.7	3.8	6.5	5.0	9.1	12.0
	2004	1552.5	4.71	4.01	27.6	17.8	13.5	204	12.7	163	7.2	10.6	7.1	20.7	19.4
	平均	1684	4.81	3.07	19.5	12.7	11.9	140	12.6	112	5.4	8.4	6.0	14.4	15.4
*屋久島	2004	5123	4.78	3.89	21.1	9.7	9.9	229	9.2	190	4.6	5.6	1.6	22.1	16.7
*全国平均	2004	2043	4.75	2.93	19.2	11.9	12.6	141	12.9	122	3.6	5.3	2.7	14	18.2

*出典：平成16年度酸性雨国内モニタリングデータ取りまとめ結果

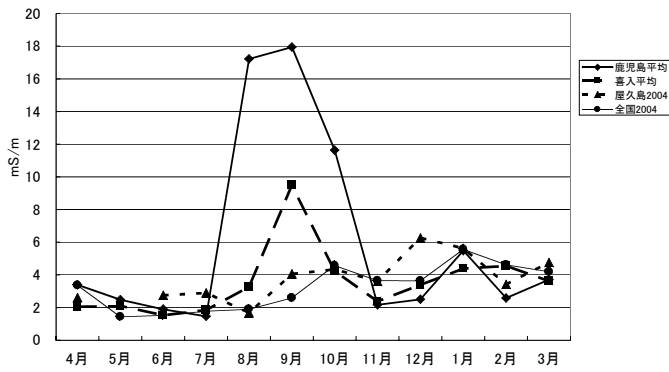


図3 ECの経月変化

3. 4 イオン成分濃度

pHは酸と塩基のバランスで決定されるため、pHは降水の酸性化を示す一つの指標ではあっても、汚染の程度を一義的に表すものではない。このため、降水の汚染度を評価する場合には、pHだけでなく各種イオン成分を総合的に考慮する必要がある。

一般的に、湿性沈着の酸としては硫酸及び硝酸が、塩基成分としてはアンモニアガス及び塩基性カルシウム化合物の寄与が大きいと考えられている。これ

らの化学種は、溶解や中和などにより、降水中においてそのほとんどが SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ 及び Ca^{2+} のイオンとして保存されると考えられている。

また、降水中の SO_4^{2-} 及び Ca^{2+} には、海塩由来と非海塩由来の成分が含まれており、降水の酸性化に関する酸や塩基は非海塩由来の濃度で評価する必要がある。海塩由来成分はss(sea salt)、非海塩由来成分はnss(non-sea salt)と表示される。一般に $nss-SO_4^{2-}$ 及び NO_3^- は湿性沈着の酸性化に寄与する指標、 NH_4^+ 及び $nss-Ca^{2+}$ は酸性化を抑制する指標としてみなされる²⁾。

表1に示した各イオン成分濃度から、各地点の陽イオン成分(Na^+ 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 $ss-Ca^{2+}$ 、 $nss-Ca^{2+}$ 、 NH_4^+ 、 H^+)と陰イオン成分(Cl^- 、 $ss-SO_4^{2-}$ 、 $nss-SO_4^{2-}$ 、 NO_3^-)の当量濃度の合計を算出し図4に示す。各地点ともイオンバランスはよく取れていた。

各イオン成分の合計量は、2004年度は鹿児島、喜入両地点とも他の年度より高く、特に鹿児島は他の年度と比較して8倍程度と非常に高かった。海塩成分である Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Cl^- の割合が、2004年度に特に高かったことから、この年に多くの台風が接近した影響と考えられる。

酸性化に寄与する因子である $nss-SO_4^{2-}$ 濃度の平均

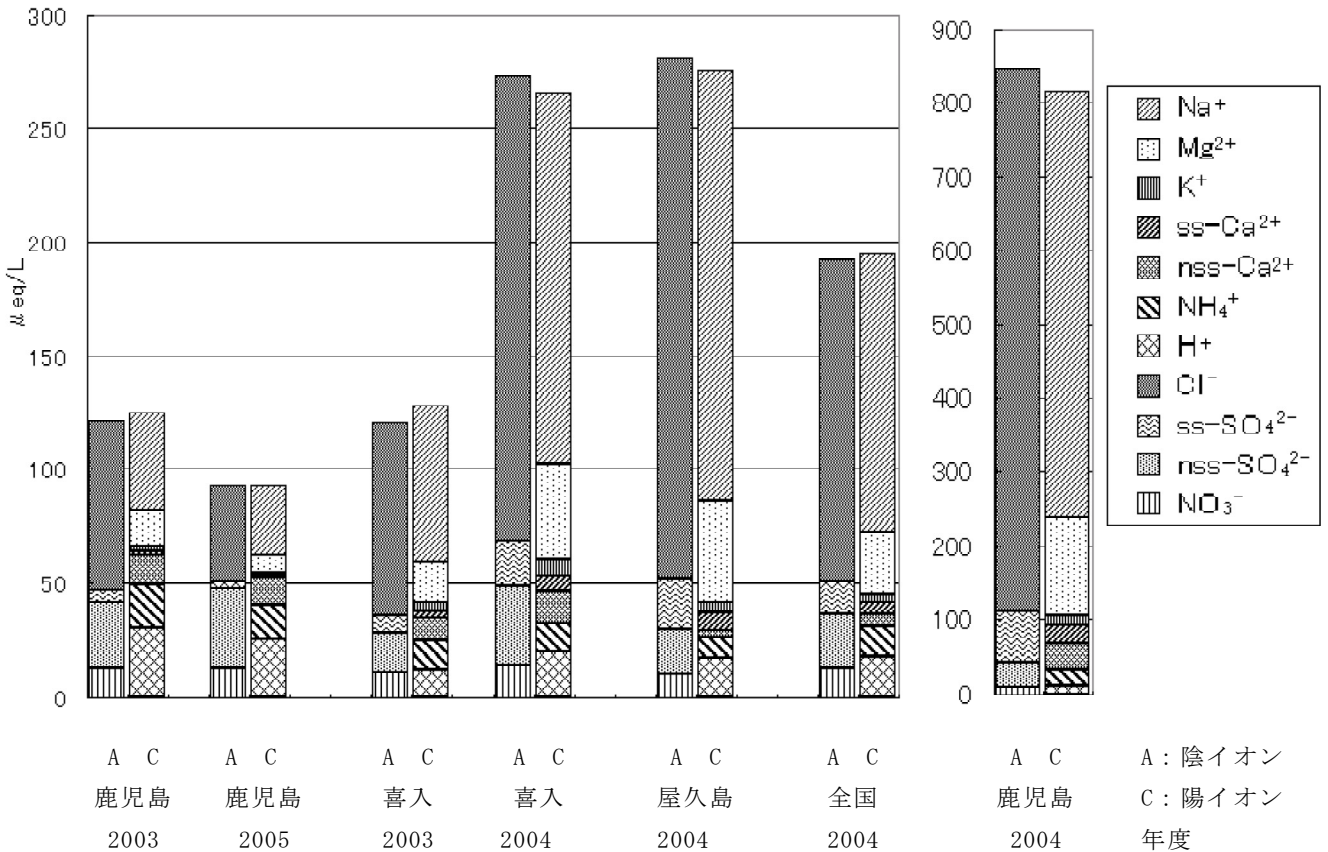


図4 イオン成分濃度

値を比較すると、鹿児島が $15.9 \mu\text{mol/L}$ ($14.3 \sim 17.3 \mu\text{mol/L}$)、喜入が $12.7 \mu\text{mol/L}$ ($8.4 \sim 17.8$)、屋久島が $9.7 \mu\text{mol/L}$ であり、鹿児島、喜入、屋久島の順に高かった。 NO_3^- 濃度は、鹿児島が $11.4 \mu\text{mol/L}$ ($9.5 \sim 12.7$)、喜入が $11.9 \mu\text{mol/L}$ ($10.6 \sim 13.5$)、屋久島が $9.9 \mu\text{mol/L}$ であり、鹿児島と喜入は大きな差はみられなかった。

一方、酸性化を抑制する因子である NH_4^+ 濃度は鹿児島が $19.1 \mu\text{mol/L}$ ($15.1 \sim 22.0$)、喜入が $12.6 \mu\text{mol/L}$ ($12.5 \sim 12.7$)、屋久島が $9.2 \mu\text{mol/L}$ であり、鹿児島、喜入、屋久島の順に高かった。 nss-Ca^{2+} 濃度は、鹿児島が $10.8 \mu\text{mol/L}$ ($6.2 \sim 17.1$)、喜入が $6.0 \mu\text{mol/L}$ ($5.0 \sim 7.1$)、屋久島が $1.6 \mu\text{mol/L}$ であった。鹿児島は2004年度に $17.1 \mu\text{mol/L}$ と高かったが、その他の年度は喜入と大きな差はみられなかった。 nss-Ca^{2+} 濃度は黄砂の飛来時期に高くなることがあるが、2004年度に鹿児島に黄砂が飛来した時期と、 nss-Ca^{2+} 濃度が高い時期は異なっており、 nss-Ca^{2+} 濃度が高かった原因は不明である。

$\text{nss-SO}_4^{2-} / (\text{nss-SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-)$ 当量濃度比で酸性雨に対する寄与をみると、鹿児島は 0.74 ($0.69 \sim 0.77$)、喜入は 0.68 ($0.61 \sim 0.73$)、屋久島は 0.66 (2004年度)であった。環境省による全国調査では第1次、2次では 0.73 、第3次、4次では 0.66 と、硝酸の寄与が増加する傾向にある²⁾が、鹿児島は全国平均 0.65 (2004年度)と比較して高く、3地点の中で鹿児島は nss-SO_4^{2-} の寄与がもっとも大きかった。

3.5 湿性沈着降水量

イオンの湿性沈着量は、イオン濃度と降水量の積で算出され、生態系などに対する長期的な影響を把握するのに有効な情報である。

湿性沈着降水量を表2に示す。

鹿児島、喜入、及び屋久島の3地点を比較すると、屋久島は、すべてのイオン成分について最も高い値を示し、また、全国平均に比べても高い値となった。これは、屋久島の雨量が鹿児島、喜入の約3倍、全国平均の約2.5倍あったことが影響している。

鹿児島と喜入を比較すると、 nss-SO_4^{2-} の降水量は鹿児島が喜入より高かったが、 NO_3^- の降水量はほぼ同程度であった。一方、 NH_4^+ の降水量は、鹿児島が喜入の約1.5倍の値を示した。 nss-Ca^{2+} の降水量は鹿児島は2004年度に nss-Ca^{2+} 濃度の高かった影響で $37.0 \text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{年}^{-1}$ と高い値を示したが、そのほかの年度は喜入と大きな差はみられなかった。

3.6 全無機態窒素、潜在水素イオン等の湿性沈着量

全無機態窒素 ($\Sigma \text{N} = \text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) は湖沼の富栄養化の、潜在水素イオン ($\text{Heff} = \text{H}^+ + 2 \text{NH}_4^+$) は土壤の酸性化の、初期酸度 ($\text{Ai} = \text{nss-SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-$) は中和を受ける前の酸性物質の指標として用いられる。

これら3種類の沈着量を算出し、表3に示す。

3種類の沈着量すべてにおいて屋久島が鹿児島、喜入と比較して約2～3倍程度高い値を示し、以下、鹿児島、喜入の順であった。屋久島が高かった理由

表2 湿性沈着降水量

(単位: $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{年}^{-1}$)

	年度	SO_4^{2-}	nss-SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	NH_4^+	Na^+	K^+	Ca^{2+}	nss-Ca^{2+}	Mg^{2+}	H^+
鹿児島	2003	28.7	24.2	21.5	127	32.1	74.4	3.0	13.0	11.3	12.7	51.1
	2004	110	34.8	20.5	1587	47.5	1251	28.7	64.0	37.0	142.0	23.8
	2005	28.4	25.8	18.9	62.2	22.5	44.5	1.0	10.1	9.2	6.3	37.2
	平均	55.8	28.2	20.3	592	34.0	457	10.9	29.0	19.2	53.6	37.4
喜入	2003	22.7	15.3	19.2	155	22.7	125	6.9	11.8	9.1	16.5	21.8
	2004	42.8	27.6	21.0	317	19.7	254	11.2	16.5	11.0	32.1	30.1
	平均	32.8	21.4	20.1	236	21.2	189	9.0	14.1	10.1	24.3	26.0
*屋久島	2004	108	49.5	51.0	1170	46.9	975	23.8	28.9	8.2	113	85.3
*全国平均	2004	37.1	23.6	24.8	264	24.9	226	6.8	9.9	5.1	25.9	36.7

* 出典：平成16年度酸性雨国内モニタリングデータ取りまとめ結果

としては、屋久島の降水量が鹿児島、喜入の約3倍あったことが考えられる。

ΣN は、鹿児島の平均が $54.4 \text{ meq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{年}^{-1}$ 、喜入の平均が $41.3 \text{ meq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{年}^{-1}$ であり、全国平均(49.7)と比べて鹿児島は高く、喜入は低かった。

Heff は、全国平均値と比べて鹿児島は高く、喜入は低かった。

Ai が大きい程、中和前の本来の酸の負荷が高いと考えられるが、全国平均と比べて鹿児島は同程度、喜入は低かった。

表3 全無機態窒素，潜在水素イオン，初期酸度の経年変化

(単位： $\text{meq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{年}^{-1}$)

	年度	ΣN	Heff	Ai
鹿児島	2003	53.6	115.3	69.8
	2004	68.1	118.9	90.1
	2005	41.4	82.2	70.4
	平均	54.4	105.4	76.8
喜入	2003	41.9	67.2	49.7
	2004	40.7	69.6	76.2
	平均	41.3	68.4	63.0
屋久島	2004	97.9	179.1	150.0
全国	2004	49.7	86.5	72.0

4 まとめ

鹿児島県内3地点(鹿児島、喜入及び屋久島)において、降雨成分調査を行い、成分を比較した。

- 2004年度は台風接近による海塩成分の影響を大きく受けていた。
- 酸性化に寄与する因子である nss-SO_4^{2-} 濃度は、鹿児島、喜入、屋久島の順に高かった。 NO_3^- 濃度は鹿児島と喜入では大きな差は見られなかった。
- 酸性化を抑制する成分である NH_4^+ 濃度は鹿児島、喜入、屋久島の順に高かった。
- $\text{nss-SO}_4^{2-} / (\text{nss-SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-)$ 当量濃度比は鹿児島が全国平均に比べて高く、喜入、屋久島よりも nss-SO_4^{2-} の寄与が大きかった。
- 湿性沈着降水量は、屋久島が全国と比べて高かったが、これは降水量が全国平均の約2.5倍であったことが影響していると考えられる。

nss-SO_4^{2-} の降水量は鹿児島が喜入より高く、 NO_3^- の降水量は鹿児島と喜入はほぼ同程度であった。

- 全無機態窒素，潜在水素イオン，初期酸度はいずれも屋久島，鹿児島，喜入の順に高かった。屋久島はどの指標においても全国平均の2倍程度高い値を示した。

参考文献

- 酸性雨研究センター；平成16年度酸性雨国内モニタリングデータ取りまとめ結果(平成18年3月)
- 環境省；酸性雨対策調査総合とりまとめ報告書(平成16年6月)