

自動測定機による降水調査 (第VI報)

—鹿兒島県における降水成分調査—

遠矢倫子 赤塚正明 矢崎誠
野口紳一 上原満 立園直

1 はじめに

鹿兒島県では、県内の酸性雨の実態を把握するため、鹿兒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。自動測定による0.5mm毎のpH、導電率等について既報^{1)~5)}で報告した。

本報では、平成9年度から11年度に鹿兒島市及び喜入町の降雨自動採取装置で分別採取した保存降水試料について、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。また、両調査地点及び県内の国設酸性雨局(屋久島局及び奄美局)のイオン成分濃度等を第3次酸性雨対策調査結果⁶⁾に基づく全国平均値と比較検討したので併せて報告する。

2 調査概要

2.1 調査地点及び調査期間

調査地点を図1に示す。

鹿兒島県環境センター(以下鹿兒島という。)

喜入町総合運動公園(以下喜入という。)

調査期間は平成9年度～11年度である。

(屋久島及び奄美局は国設酸性雨局である。)

2.2 採取方法及び分析方法等

採取装置：(鹿兒島)電気化学計器㈱ DRM-200E型

(喜入)電気化学計器㈱ DRM-200E(S)型

いずれの装置も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保存される。保存降水試料は、鹿兒島が1降雨毎に、喜入は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 μ 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、EC：導電率計法

無機イオン成分 (Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, NH₄⁺, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺)：イオンクロマト法

2.4 分析結果の集計方法

pHは、H⁺濃度を降水量で重み付けをして求めた。EC及びイオン成分濃度の平均値も降水量で重み付けをして求めた。月毎のイオン成分平均値及び降水量は、月をまたがる採取試料については、日数の多い月の試料とみなして集計した。

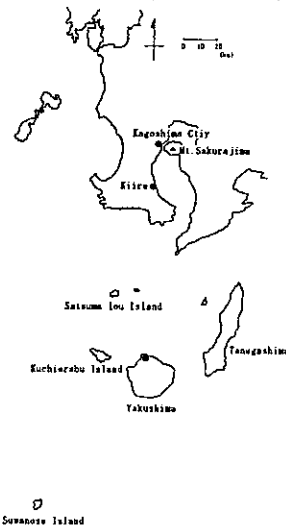


図1 調査地点

3 結果及び考察

3.1 降水の採取状況

鹿児島と喜入で捕集された保存降水試料について、自動測定機で測定されたデータと最寄りの気象観測所データの比を捕集率としてその値を求めた。結果を表1に示す。

降水量（気象観測所）の3カ年平均は、鹿児島が約2300mm、喜入が約2500mmで、喜入がやや多かった。年間捕集率は、2地点とも3カ年を通じて70%程度であった。

捕集率が低かった月は、6月、8月、9月で、台風や雷雨による停電及び採取装置の経路の詰まりでトラブルが生じたり、鹿児島の採取方法は1降雨採取で容器が1L(60mm降雨に相当)であるため、梅雨時期等は60mmを超える部分の降水が採取できなかったことが原因である。

3.2 降水のイオン成分濃度

降水の各イオン成分濃度を表2に示す。

非海塩性イオン濃度は、海塩粒子の寄与（Na⁺基準）を除いた濃度でnss-で示した。

鹿児島と喜入の各年度の各イオン成分濃度をみると、2地点とも海塩の主成分（以下海塩成分という：Na⁺、Mg²⁺、Cl⁻）は平成10年度が低く、変動が大きかった。台風の影響を受けた降水は、海塩成分が高くなることから⁷⁾、平成10年度は台風による降水の影響が小さかったものと考えられる。その他のイオン成分濃度は、3カ年ともほぼ同レベルであった。図2に両地点の3ヶ年平均値のイオン組成図を示す。降水を酸性化する指標成分（以下酸性成分という：NO₃⁻、nss-SO₄²⁻、nss-Cl⁻）であるnss-SO₄²⁻及びnss-Cl⁻濃度は鹿児島が喜入よりやや高く、NO₃⁻濃度は同レベルであった。降水の酸性化を抑制する指標成分（以

表1 月別降水量及び捕集率

地点	鹿児島									喜入								
	1997(9)			1998(10)			1998(11)			1997(9)			1998(10)			1999(11)		
	気象観測所	自動測定機	捕集率(%)	気象観測所	自動測定機	捕集率(%)	気象観測所	自動測定機	捕集率(%)	気象観測所	自動測定機	捕集率(%)	気象観測所	自動測定機	捕集率(%)	気象観測所	自動測定機	捕集率(%)
4	125.0	92.5	74.0	488.0	273.0	55.9	161.0	142.0	88.2	83.0	41.5	50.0	595.0	435.5	73.2	225.0	190.0	84.4
5	121.0	128.5	106.2	257.0	211.0	82.1	225.0	111.0	49.3	121.0	87.5	72.3	253.0	180.5	71.3	207.0	167.0	80.7
6	404.0	257.0	63.6	497.0	329.5	66.3	676.0	438.0	64.8	403.0	335.5	83.3	541.0	351.5	65.0	715.0	505.5	70.7
7	329.0	217.0	66.0	227.0	221.0	97.4	212.0	159.0	75.0	188.0	153.0	81.4	237.0	187.5	79.1	270.0	229.0	84.8
8	97.0	110.0	113.4	47.0	44.5	94.7	455.0	323.0	70.8	76.0	59.5	78.3	110.0	84.5	76.8	599.0	309.5	55.4
9	270.0	132.0	48.9	108.0	120.0	111.1	269.0	219.0	81.4	383.0	87.5	22.8	103.0	78.5	76.2	281.0	153.0	54.4
10	25.0	19.0	73.1	382.0	174.5	45.7	60.0	64.0	106.7	16.0	17.0	105.3	311.0	248.5	79.9	101.0	97.5	96.5
11	128.0	128.5	100.4	29.0	29.5	101.7	41.0	28.0	68.3	190.0	164.5	86.6	48.0	37.0	77.1	60.0	49.5	82.5
12	102.0	87.0	85.3	35.0	36.0	102.9	35.0	24.5	68.1	141.0	122.0	86.5	38.0	32.5	85.5	14.0	20.0	142.9
1	189.0	189.0	84.1	56.0	43.0	76.8	39.0	38.5	98.7	202.0	185.5	91.8	52.0	47.5	91.3	99.0	78.5	79.3
2	114.0	74.5	65.4	91.0	99.0	108.8	54.0	40.5	75.0	151.0	111.0	73.5	108.0	94.0	87.0	89.0	82.0	92.1
3	179.0	92.5	51.7	210.0	169.5	80.7	113.0	88.5	78.3	197.0	171.0	86.8	240.0	215.0	89.6	155.0	142.0	91.6
合計	2084.0	1497.5	71.9	2427.0	1750.5	72.1	2342.0	1676.0	71.6	2151.0	1535.5	71.4	2636.0	1992.5	75.6	2775.0	2023.5	72.9

表2 イオン成分濃度等

地点	年度	降水量	降水量mm、EC:µS/cm、イオン濃度µeq/L													
			pH	EC	H ⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	nss-SO ₄ ²⁻	nss-Ca ²⁺	nss-Cl ⁻
喜入	9	1536.5	4.82	26.8	15.2	36.9	12.1	104.6	80.9	3.1	11.7	20.8	17.3	27.1	8.1	9.5
	10	1992.5	4.98	17.1	10.4	29.1	8.8	65.1	49.0	3.9	9.5	12.8	19.6	23.1	7.3	7.5
	11	2023.5	4.78	24.1	16.6	28.6	7.9	102.9	84.3	3.9	8.6	19.4	15.9	18.4	4.8	3.8
	平均	1850.5	4.85	22.4	14.0	31.0	9.4	89.7	70.6	3.7	9.8	17.4	17.6	22.5	6.6	6.7
鹿児島	9	1497.5	4.97	28.2	10.8	44.0	8.4	130.8	90.2	1.9	17.6	22.6	17.3	33.1	13.6	24.7
	10	1750.5	5.02	15.8	9.6	37.2	8.0	46.3	30.3	1.2	12.7	7.7	20.3	33.5	11.4	10.6
	11	1676.0	4.89	42.3	12.8	55.2	6.2	242.2	180.8	4.6	26.3	48.5	14.3	33.3	18.2	29.6
	平均	1641.3	4.95	28.6	11.2	44.9	7.4	137.4	98.9	2.6	18.7	25.9	17.1	32.9	14.2	21.1
屋久島*		2680.0	4.69	30	20.5	38.1	10.1	133.0	105.0	2.8	9.4	25.1	12.5	25.4	4.7	9.5
奄美*		2300.0	5.18	26	6.5	33.1	8.6	138.0	113.0	2.8	10.8	27.0	20.7	19.4	5.7	5.1
全県平均*		1492.8	4.8	25	15.8	38.5	29.2	94.1	77.6	5.2	13.0	19.2	17.9	29.1	9.7	2.8

*第3次酸性雨対策調査データ集

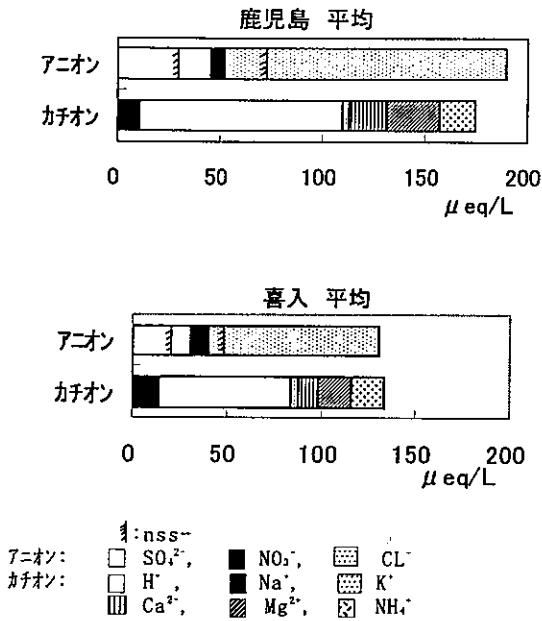


図2. イオン組成図

下塩基性成分という: NH_4^+ , nss-Ca^{2+}) 及び海塩成分濃度も喜入に比べて鹿児島が高かった。月平均濃度の各酸性成分濃度と H^+ 濃度の相関図を図3に示す。 H^+ 濃度は2地点とも大部分が $60 \mu\text{eq/L}$ 以下で、2地点とも nss-SO_4^{2-} 成分と良い相関を示した。次いで鹿児島は nss-Cl^- 成分が、喜入は NO_3^- 成分が良い相関を示した。喜入で最高の H^+ 濃度 105

$\mu\text{eq/L}$ ($\text{pH}3.98$) を示した2000年3月のイオン組成図を図4に示す。図4をみると、年平均値に比べて、アニオンに対する nss-Cl^- 濃度の寄与が約40%と大きく、火山性酸性ガスの HCl の降水への取り込みにより、 pH が低下したものと考えられる^{3,7)}。鹿児島で H^+ 濃度 $57 \mu\text{eq/L}$ ($\text{pH}4.24$) と最高を示した1999年10月の降水も同様な傾向を示した。

イオン成分濃度の鹿児島及び喜入の3カ年の平均値と屋久島、奄美及び全国平均値の結果を比較した。酸性成分濃度をみると、 NO_3^- 濃度は県内4地点ともほぼ同レベルで、全国平均値より低く、 nss-SO_4^{2-} 濃度は奄美がやや低かったが、全国平均値とほぼ同レベルであった。 nss-Cl^- 濃度は、県内4地点とも全国平均値より高く、中でも鹿児島は特に高かった。塩基性成分濃度をみると、 nss-Ca^{2+} 濃度は、鹿児島で全国平均値よりも高かったが、他の地点では低かった。 NH_4^+ 濃度は、全国平均値より屋久島がやや低かったが、他の地点は同レベルであった。海塩成分は全国平均値と比べると喜入は同レベルで、他の地点は高かった。

$\text{nss-Ca}^{2+} + \text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^- + \text{nss-SO}_4^{2-} + \text{nss-Cl}^-$ 値は、値が小さいほど酸性成分が中和されずに H^+ 成分として残り、 pH を低下させることが予想される。全国平均値 ($\text{pH}4.8$) は 0.45 で、鹿児島 ($\text{pH}4.95$)、喜入 ($\text{pH}4.85$)、屋久島 ($\text{pH}4.7$) 及び奄美 ($\text{pH}5.2$) は、それぞれ 0.51 , 0.63 , 0.38 , 0.80 と概ね pH が低いほど小さい値を示した。

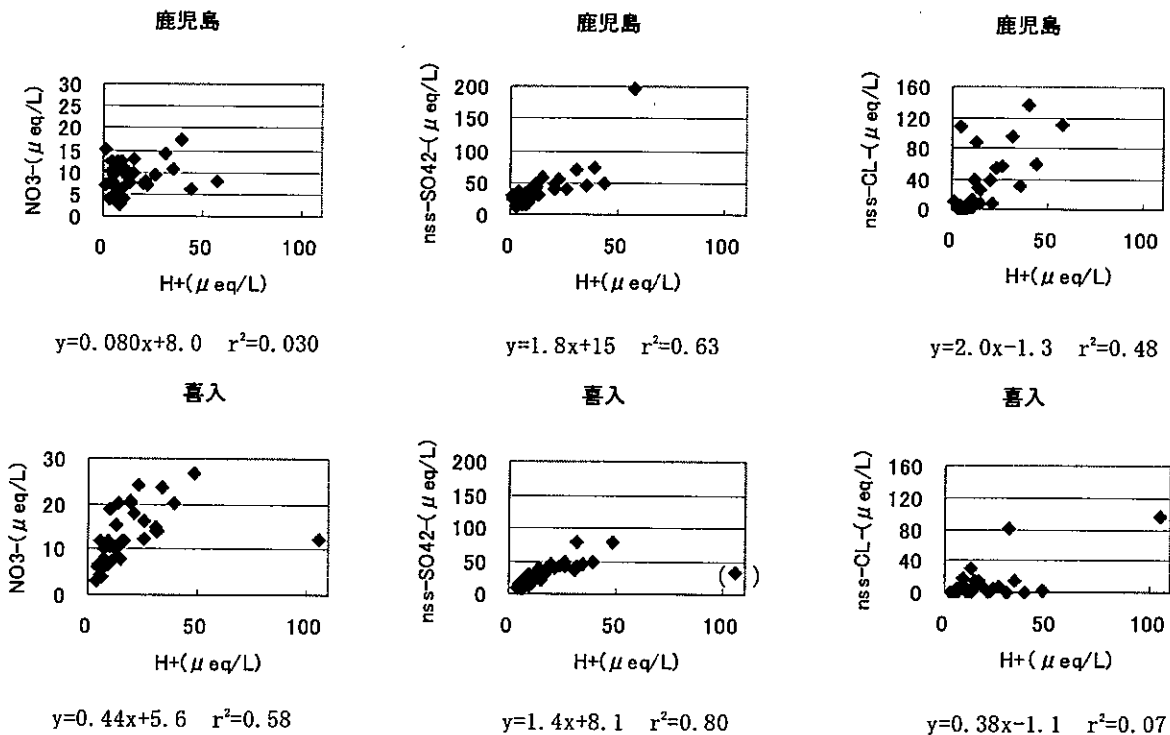


図3 H⁺と酸性成分の地点別相関図

3. 3 イオン成分沈着量

湿性沈着量は、イオン濃度と降水量の積で算出される。

鹿児島と喜入のH⁺成分と酸性成分及び塩基性成分とNa⁺成分の月別沈着量の推移を図5に示す。H⁺成分沈着量と酸性成分沈着量は、秋季が少なく、6月の梅雨時期及び9月の台風時期に多くなる傾向が見られた。Na⁺沈着量は、2地点とも6月の梅雨時期及び9月の台風の時期に多く、喜入は寒候季（10～3月）にも多くなっていた。塩基性成分の変動にはきわだつた特徴がみられなかったが、鹿児島のNH₄⁺沈着量については暖候季（4～9月）に多く、寒候季（10～3月）に少ない傾向を示した。

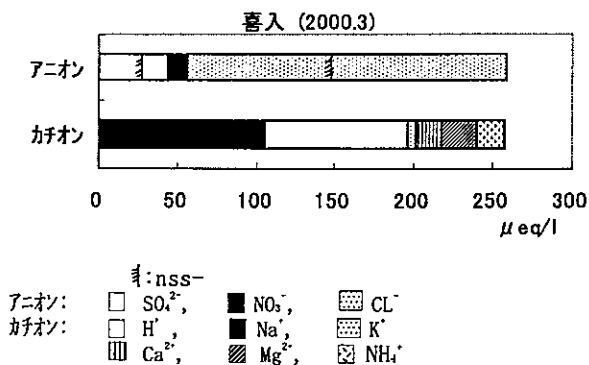


図4 低pHの降水のイオン組成

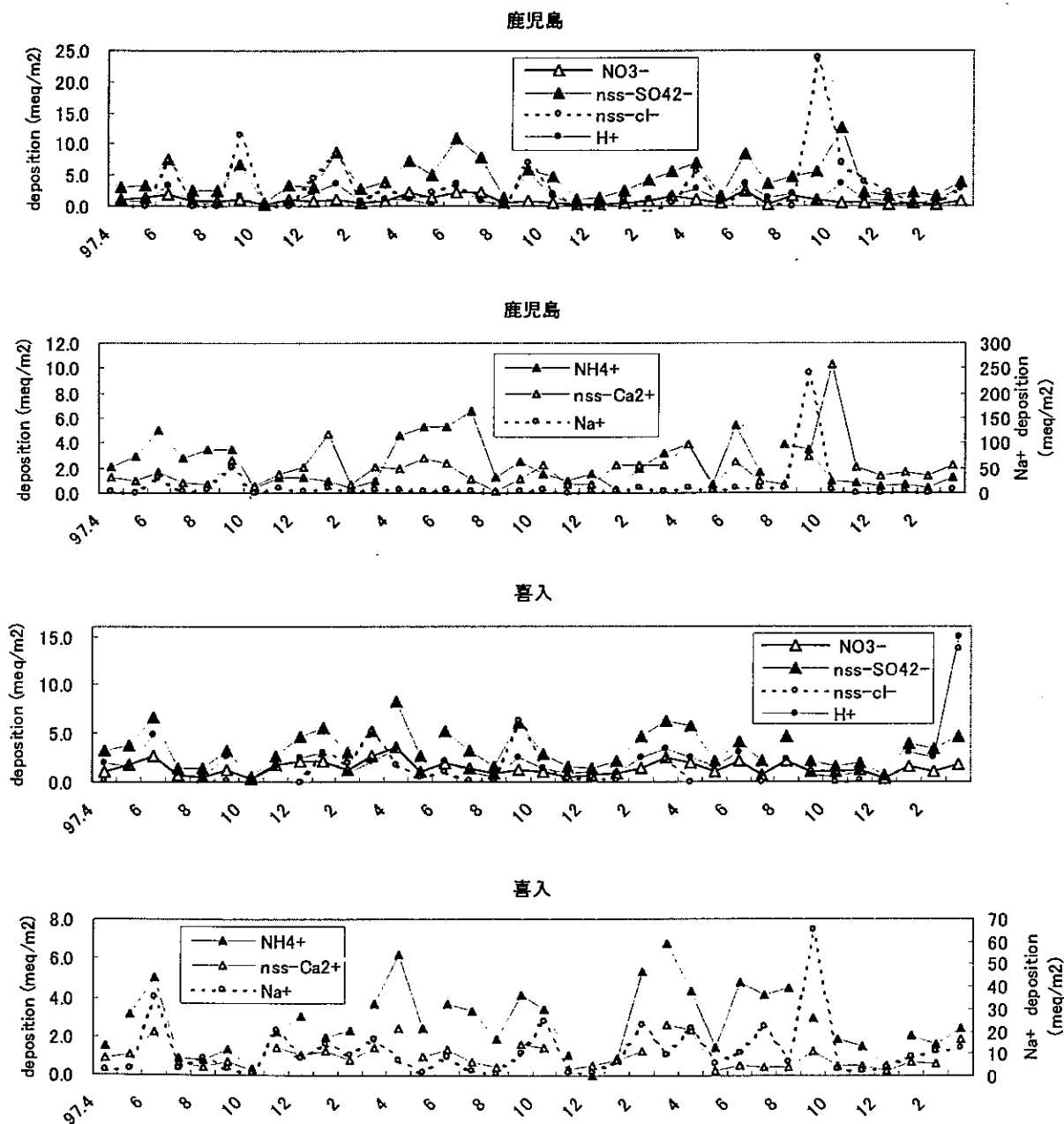


図5 イオン成分沈着量の月別変動

各イオン成分沈着量は、降水量の影響をうけ、近傍に発生源のない清浄地域であっても、酸性成分の沈着量は多くなるものと思われる。九州地方は降水量が全国平均よりも多く、離島の屋久島と奄美では特に多い。表3に各イオン成分湿性沈着量を示す。

H⁺沈着量と酸性成分沈着量を全国平均値と比較すると、H⁺沈着量は屋久島で多く、鹿児島と喜入が同程度で、奄美で少なかった。nss-SO₄²⁻沈着量は、鹿児島と屋久島で全国平均値より多かったが、他の地点は全国平均値と同程度であった。NO₃⁻沈着量は、全国平均値より鹿児島と喜入では少なく、屋久島は多かった。また、奄美は全国平均値とほぼ同程度であった。塩基性成分沈着量をみると、概ね全地点とも全国平均値とほぼ同レベルであったが、鹿児島のnss-Ca²⁺沈着量及び奄美のNH₄⁺沈着量が全国平均値より多かった。

海塩成分は、県内4地点すべてで全国平均値より多く、離島の地点で特に多かった。

4 まとめ

鹿児島と喜入に設置した自動降雨測定採取装置の保存降水試料のイオン成分分析するを行い、第3次酸性雨対策調査結果に基づく全国平均値と比較することにより県内の酸性雨の実態について検討した。また、県内国設酸性雨局(屋久島局及び奄美局)の調査結果についてもあわせて比較検討した。

- 1)鹿児島と喜入のイオン成分濃度を比較すると、酸性成分、海塩成分及び塩基性成分は概ね鹿児島が高かった。H⁺と酸性成分の相関をみると、2地点ともnss-SO₄²⁻と良い相関がみられ、鹿児島ではnss-Cl⁻との相関もみられた。
- 2)鹿児島及び喜入において観測された低pHの降水は、nss-Cl⁻の寄与が大きく、HCLの降水への取り込みがうかがえた。

表2 イオン成分沈着量

地点	年度	イオン沈着量:meq/m ²												
		H ⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	nss-SO ₄ ²⁻	nss-Ca ²⁺	nss-Cl ⁻	
喜入	9	23.3	56.6	18.5	160.2	124.0	4.8	18.0	31.9	26.5	41.5	12.4	14.5	
	10	20.7	57.9	17.6	129.6	97.5	7.7	19.0	25.4	39.1	46.1	14.6	14.9	
	11	33.6	57.9	16.0	208.2	170.6	7.9	17.4	39.3	32.2	37.2	9.8	7.6	
	平均	25.9	57.5	17.4	166.0	130.7	6.8	18.1	32.2	32.6	41.6	12.3	12.3	
鹿児島	9	16.2	64.1	12.2	190.4	131.4	2.8	25.7	32.9	25.1	48.2	19.8	36.0	
	10	16.8	64.3	13.9	80.1	52.4	2.1	22.0	13.3	35.1	58.0	19.7	18.4	
	11	21.4	92.6	10.4	406.0	303.1	7.8	44.1	81.3	24.0	55.8	30.5	49.6	
	平均	18.2	73.7	12.2	225.5	162.3	4.2	30.6	42.5	28.1	54.0	23.3	34.7	
屋久島*		54.8	102	27	356	281	7.42	25.1	67.4	33.7	68.4	12.8	25.5	
奄美*		15.4	78.1	20.4	324	268	6.62	25.4	63.7	49	45.8	13.8	8.8	
全国平均*		23.6	57.5	21.6	141	116	7.74	19.5	28.6	26.7	43.6	14.5	4.6	

*第3次酸性雨対策調査データ集

3)県内4地点(鹿児島,喜入,屋久島,奄美)のイオン成分濃度は、全国平均値と比べると、海塩成分については概ね高く、酸性成分は、NO₃⁻成分が低く、nss-SO₄²⁻成分は屋久島と鹿児島で高かったが、他地点ではほぼ同レベルであった。nss-Cl⁻成分は、鹿児島と屋久島で高かった。また、pHは全国平均値と比べると、鹿児島,喜入及び屋久島はほぼ同じであったが、奄美で高かった。

2)鹿児島と喜入の酸性成分沈着量は、降水量の少ない秋季に少なく、6月の梅雨時期及び9月の台風の時期に多かった。

4)県内4地点(鹿児島,喜入,屋久島,奄美)のイオン成分沈着量は、全国平均値と比べると、海塩成分については概ね多く、H⁺と酸性成分は降水量の多かった屋久島で多く、nss-SO₄²⁻成分は鹿児島でも多かった。塩基成分については全国平均値とほぼ同程度であったが、鹿児島のnss-Ca²⁺沈着量及び奄美のNH₄⁺沈着量が全国平均値より多かった。

参考文献

- 1) 竹山栄作,宝来俊一,他;自動測定機による降水調査(第I報),本誌,5,68~72(1989)
- 2) 實成隆志,宝来俊一,他;自動測定機による降水調査(第II報),本誌,8,37~41(1992)
- 3) 實成隆志,宝来俊一,他;自動測定機による降水調査(第III報),本誌,8,42~46(1992)
- 4) 實成隆志,遠矢倫子,他;自動測定機による降水調査(第IV報),本誌,11,69~72(1995)
- 5) 矢崎 誠,遠矢倫子,他;自動測定機による降水調査(第V報),本誌,15,42~45(1999)
- 6) 環境庁,酸性雨研究センター;第3次酸性雨対策調査データ集(大気系調査分冊),平成11年3月
- 7) 九州衛生公害技術協議会大気分科会;平成5年度九州・沖縄地方酸性雨共同調査報告書(平成9年3月)