

資料

鹿兒島県における酸性降下物について

—2008年度から2012年度の調査結果—

四元 聡 美 平原 律 雄 上村 忠 司¹
 茶屋 典 仁² 満留 裕 己

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、1990年度から鹿兒島県環境保健センター（鹿兒島市城南町）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。また、国において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。

本報では、2008～2012年度に実施した環境保健センターにおける湿性沈着調査及び乾性沈着調査について、結果とその傾向について検討したので報告する。

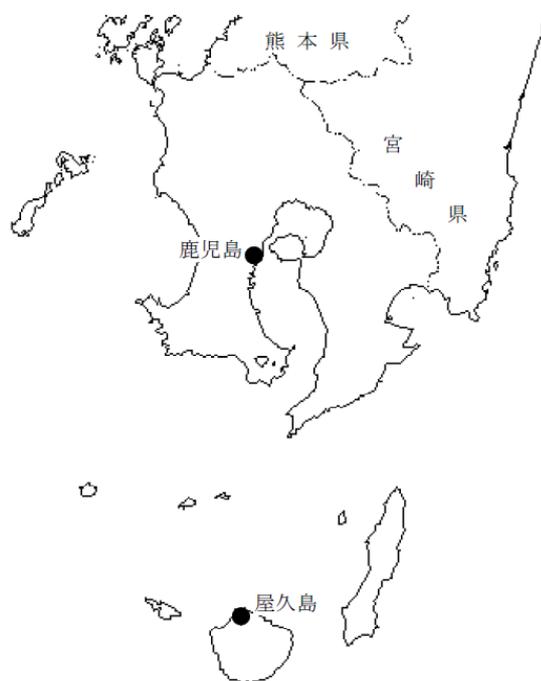


図1 調査地点

また、国の委託事業で実施した2008～2011年度の屋久島の湿性沈着調査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、鹿兒島県環境保健センター（以下「鹿兒島」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2地点である。

2.2 調査期間

調査期間は、鹿兒島の湿性沈着は2008～2012年度の5年間、乾性沈着は2009～2012年度の4年間であり、屋久島の湿性沈着は2008～2011年度の4年間である。なお、停電又は機器不調などのため、一部欠測となっている期間があった。

2.3 採取方法及び分析方法

2.3.1 湿性沈着調査

以下の装置を用いて試料を採取した。

採取装置：（鹿兒島）紀本電子工業(株)
 AR-108型
 （屋久島）(株)小笠原計器製作所
 US-420型

鹿兒島の装置では0.5mm毎の降雨は2分割され、半量は自動測定に用いられ、残りの半量は降水試料容器に保存される。屋久島の装置では、全量降水試料容器に保存される。降水試料容器は鹿兒島、屋久島ともに1週間毎に交換した。

回収した試料は、湿性沈着モニタリング手引き書¹⁾に従って、水素イオン指数 (pH)、電気伝導率 (EC)、イ

1 鹿兒島県熊毛支庁屋久島事務所保健福祉環境課
 2 鹿兒島県保健福祉部薬務課

〒891-4311 鹿兒島県熊毛郡屋久島町安房650
 〒890-8577 鹿兒島県鹿兒島市鴨池新町10-1

オン成分（硫酸イオン（ SO_4^{2-} ）、硝酸イオン（ NO_3^- ）、塩化物イオン（ Cl^- ）、アンモニウムイオン（ NH_4^+ ）、ナトリウムイオン（ Na^+ ）、カリウムイオン（ K^+ ）、カルシウムイオン（ Ca^{2+} ）及びマグネシウムイオン（ Mg^{2+} ）の濃度の計10項目について測定・分析を実施した。

測定・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：イオンクロマトグラフ法

2. 3. 2 乾性沈着調査

乾性沈着調査は、表1のフィルターを用いた4段ろ紙フィルターパック法²⁾で行った。

フィルターは原則1週間毎に回収し、F0、F1及びF3は純水で、F2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0.45 μm 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大気中ガス状成分濃度（ SO_2 、 HNO_3 、 HCl 、 NH_3 ）及び粒子状物質のイオン成分濃度（ SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- 、 NH_4^+ 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} ）を測定した。

表1 フィルターの種類

捕集対象	フィルター	
粒子状物質	1段目 (F0)	テフロン製ろ紙 (ADVANTEC社製：孔径0.8 μm)
	2段目 (F1)	ポリアミドろ紙 (PALL社製：孔径0.45 μm)
大気中	3段目 (F2)	炭酸カリウム含浸セルロースろ紙 (ADVANTEC社製)
	4段目 (F3)	リン酸含浸セルロースろ紙 (ADVANTEC社製)

(注) フィルターの直径はすべて47mm

3 結果及び考察

3. 1 湿性沈着調査

鹿児島と屋久島における降雨成分等調査結果を表2に示す。鹿児島の年度別季節変動のグラフを図2に、屋久島の年度別季節変動のグラフを図3に示す。

なお、“nss-”は「非海塩性（nss：non sea salt）」を表し、海塩性イオン（ Na^+ をすべて海塩由来として海塩組成比から算出）を差し引いた残りであることを示している。

表2 降雨成分等調査結果

(単位；降水量：mm，EC：mS/m，イオン濃度： $\mu\text{mol/L}$)

	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	2008	2546	4.51	2.45	21.1	18.9	9.9	55.7	14.9	36.9	1.3	4.0	3.2	4.8	30.8
	2009	934 ^{*1}	4.60	2.49	28.4	26.1	10.2	56.7	15.3	39.0	1.4	13.3	12.5	5.0	25.2
	2010	2109	4.71	1.83	16.6	14.7	8.5	42.8	12.7	31.1	0.9	5.0	4.4	3.9	19.4
	2011	1798	4.52	2.80	39.0	37.0	10.0	53.5	16.4	32.6	2.0	22.5	21.8	4.3	30.0
	2012	2187	4.33	3.38	34.1	31.1	8.2	85.5	12.1	51.0	2.5	16.3	15.2	6.3	46.5
	平均 ^{*2}	2160	4.52	2.61	27.7	25.4	9.2	59.4	14.1	37.9	1.7	12.0	11.1	4.8	31.7
全国平均 ^{*3}	1801	4.70	2.30	18.3	14.1	16.7	78.9	18.5	68.2	2.4	5.5	4.0	8.1	18.8	
屋久島	2008	3501	4.65	2.54	17.3	13.1	10.1	95.2	9.8	71.1	1.9	2.7	1.2	8.9	22.4
	2009	2957	4.50	3.89	22.6	14.5	14.4	159	11.4	135	3.1	4.6	1.7	15.8	31.7
	2010	3570	4.66	2.42	16.2	12.0	11.2	84.6	10.4	69.9	1.6	3.2	1.7	8.1	21.7
	2011	4489	4.56	2.77	17.5	12.1	10.3	105	9.5	89.9	2.6	3.5	1.6	10.1	27.3
	平均 ^{*4}	3628	4.59	2.91	18.4	12.9	11.5	111	10.3	91.5	2.3	3.5	1.6	10.7	25.8
全国平均 ^{*5}	1913	4.80	2.60	17.6	12.0	13.7	107	13.8	93.0	2.8	5.0	3.0	11.0	18.3	

(注) 鹿児島及び屋久島の年平均値は降水量で重み付けをして算出したもの
網掛けの数値は参考値（完全度が80%未満で棄却されたもの）を表す

*1 鹿児島地方気象台統計データ

*2 2009年度を除いた2008年度から2012年度の4年間の算術平均

*3 全環研酸性雨調査の2008年度から2011年度の4年間の年加重平均濃度の算術平均^{3), 4)}

*4 2008年度から2011年度の4年間の算術平均

*5 国設酸性雨調査の2008年度から2011年度の4年間の算術平均

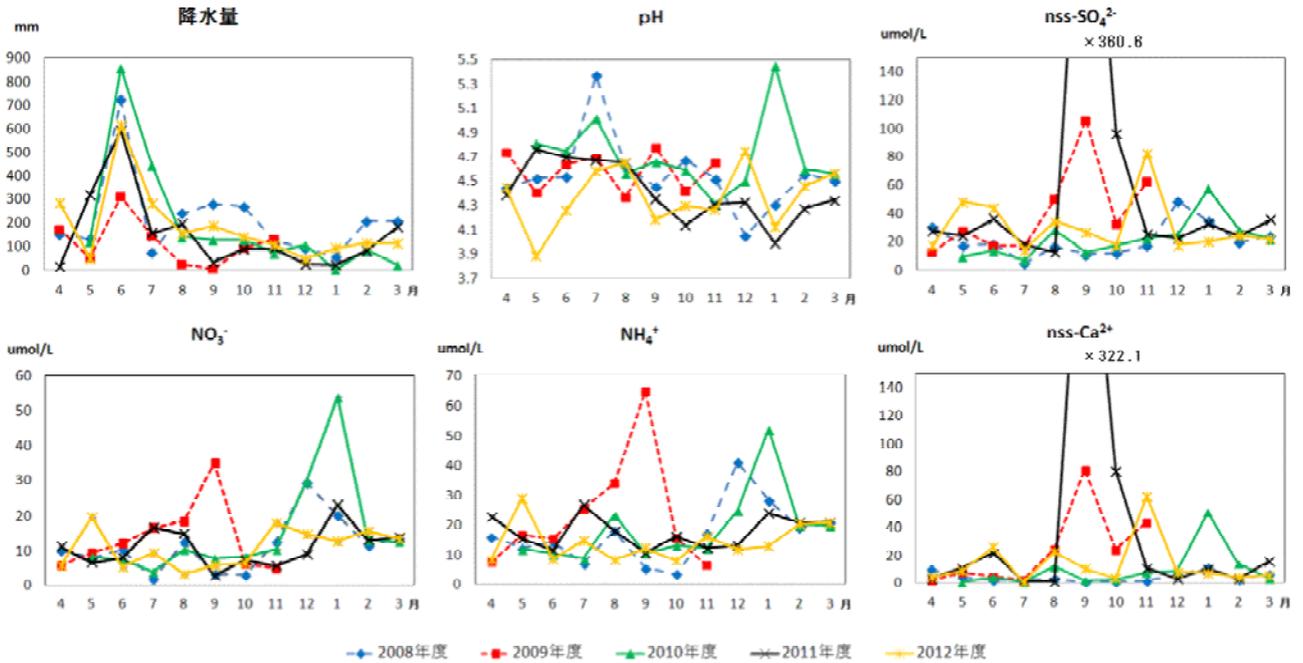


図2 年度別季節変動（鹿児島）

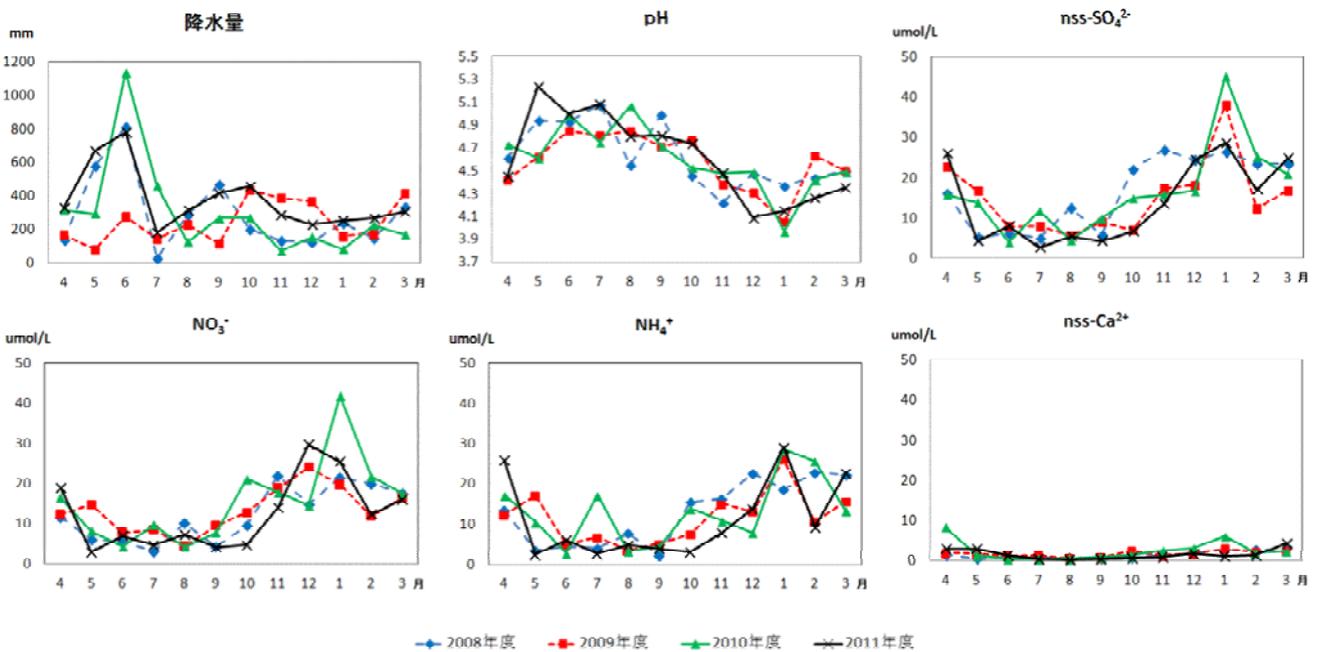


図3 年度別季節変動（屋久島）

3. 1. 1 降水量，pH，EC及びイオン成分濃度の年間平均値

鹿児島島の降水量は、機器不良による欠測期間の影響が大きかった2009年度を除いた4年間の平均年間降水量は2160mm（1798～2546）で、全国環境協議会第4，5次酸性雨全国調査（以下「全環研調査」という。）の2008～2011年度の4年間の平均年間降水量1801mmより多かった。

屋久島の2008～2011年度の4年間の平均降水量は

3628mm（2957～4489）で国設酸性雨測定所国内モニタリング（以下「国設調査」という。）の4年間平均値1913mmの約2倍であった。

pHについては、鹿児島島の4年間（2009年度を除く。）の平均値は4.52（4.33～4.71）で、全環研調査の4年間の平均値4.70より低かった。屋久島の4年間の平均値は4.59（4.50～4.66）で国設調査の4年間の平均値4.80より低かった。

ECについては、鹿児島県の4年間の平均値は2.61mS/m (1.83~3.38) で、全環研調査の4年間の平均値2.30より高かった。屋久島の4年間の平均値は2.91mS/m (2.42~3.89) で国設調査の4年間の平均値2.60mS/mより高かった。

次に湿性沈着の汚染状況を把握するのに重要なイオン成分 (nss-SO₄²⁻, NO₃⁻, NH₄⁺及びnss-Ca²⁺) について記す。

降水の酸性化の原因となる酸性成分については、次のとおりであった。

nss-SO₄²⁻濃度については、鹿児島県の年間平均値は25.4μmol/L (14.7~37.0) であり、全環研調査の年間全国平均値14.1μmol/Lより高かった。屋久島の年間平均値は12.9μmol/L (12.0~14.5) であり、国設調査の年間全国平均値12.0μmol/Lよりわずかに高かった。

NO₃⁻濃度については、鹿児島県の年間平均値は9.2μmol/L (8.2~10.2) であり、全環研調査の年間全国平均値16.7μmol/Lより低かった。屋久島の年間平均値は11.5μmol/L (10.1~14.4) であり、国設調査の年間全国平均値13.7μmol/Lより低かった。

降雨中の塩基性成分については、次のとおりであった。

NH₄⁺濃度については、鹿児島県の年間平均値は14.1μmol/L (12.1~16.4) であり、全環研調査の年間全国平均値18.5μmol/Lより低かった。屋久島の年間平均値は10.3μmol/L (9.5~11.4) で国設調査の全国平均値13.8μmol/Lより低かった。

nss-Ca²⁺濃度については、鹿児島県の年間平均値は11.1μmol/L (3.2~21.8) であり、全環研調査の年間全

国平均値4.0μmol/Lより高かった。屋久島の年間平均値は1.6μmol/L (1.2~1.7) で国設調査の年間全国平均値3.0μmol/Lより低かった。

3. 1. 2 降水量, pH, EC及びイオン成分濃度の季節変動

降水量については、鹿児島及び屋久島は、夏期に多く、冬季に少なかった。全環研調査でも鹿児島及び屋久島が区分される西日本と同様の傾向であった^{3),4)}。

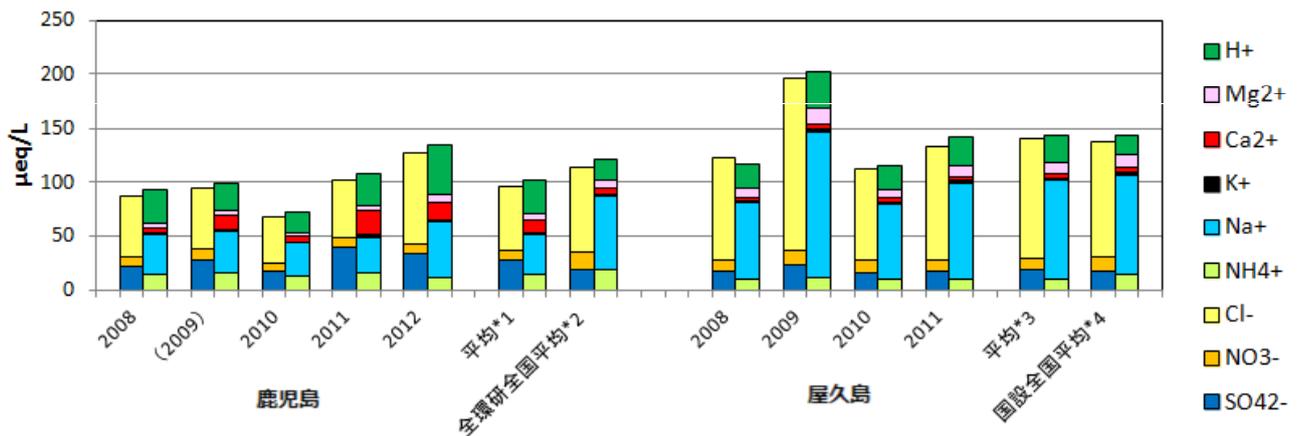
pHについては、鹿児島の季節変動は年度でばらつきがあった。屋久島は冬季に低く、全環研調査でも全国的に冬季に低くなる傾向であった^{3),4)}。

nss-SO₄²⁻濃度については、鹿児島は2011年9月に350.6μmol/Lを記録し、高濃度となる月が多かった。屋久島は冬季に高い傾向がみられ西日本と同様の傾向であった^{3),4)}。

NO₃⁻濃度については、鹿児島及び屋久島は、冬季に高い傾向がみられ西日本と同様の傾向であった^{3),4)}。

NH₄⁺濃度については、鹿児島は大きな季節変動がみられず、屋久島は冬季に高い傾向がみられ西日本と同様の傾向であった^{3),4)}。

nss-Ca²⁺濃度については、鹿児島はnss-SO₄²⁻濃度と同じく、2011年9月に322.1μmol/Lを記録し、2009年度以降変動が見られた。屋久島は、他のイオン成分に比較して、年間を通し、低い値で推移していた。



* 1 2009年度を除いた2008年度から2012年度の4年間の算術平均
 * 2 全環研酸性雨調査の2008年度から2011年度の4年間の年加重平均濃度の算術平均^{3),4)}
 * 3 2008年度から2011年度の4年間の算術平均
 * 4 国設酸性雨調査の2008年度から2011年度の4年間の算術平均

図4 合計当量濃度の経年変化

3. 1. 3 イオン成分濃度合計

各地点の降雨試料の合計当量濃度の経年変化を図4に示す。右が陽イオン成分(NH₄⁺, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, H⁺)の当量濃度の合計で、左が陰イオン成分(Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻)の当量濃度の合計である。

鹿児島及び屋久島とも毎年度のイオンバランスはよくとれていた。

各イオン成分の濃度を合計したイオン当量濃度の年間平均は、鹿児島は全国平均と比べて低かったが、Ca²⁺, H⁺及びSO₄²⁻は全国と比較して多かった。屋久島は全国平均と比べて比較的類似した傾向を示した。

3. 1. 4 イオン成分湿性沈着量

降水は、各イオン成分を溶かした状態で地表へ導かれ、輸送量は、イオン成分濃度と降水量の積で求められ、湿性沈着量で評価される。

イオン成分湿性沈着量を表3に示す。

鹿児島については、全環研調査の平均値と比較してとnss-SO₄²⁻沈着量は約2.3倍、nss-Ca²⁺沈着量は約3.4倍、H⁺沈着量は約2.2倍で高く、NO₃沈着量は約0.7倍と低く、NH₄⁺沈着量は約1.0倍と変わらなかった。

屋久島については、平均降水量は国設調査の全国平均値と比較してと約1.9倍で、降水量に比例して各イオンとも1.1~2.6倍と全国平均より高かった。

表3 イオン成分の年間沈着量

(単位: mmol・m⁻²・year⁻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	2008	53.8	48.1	25.3	142	37.8	93.9	3.3	10.2	8.1	12.1	78.3
	2009	26.5	24.4	9.5	52.9	14.3	36.4	1.3	12.4	11.6	4.7	23.5
	2010	35.0	31.1	17.9	90.5	26.4	65.8	1.8	10.6	9.2	8.2	41.0
	2011	70.1	66.5	17.9	96.1	29.4	58.5	3.7	40.5	39.2	7.7	54.0
	2012	74.7	68.0	18.0	187	26.4	112	5.5	35.6	33.2	13.7	102
	平均*1	58.4	53.4	19.8	129	30.1	82.5	3.6	24.2	22.4	10.4	68.7
全国平均*2			23.4	27.7		30.8				6.5		31.5
屋久島	2008	60.7	45.7	35.2	333	34.2	249	6.5	9.6	4.2	31.2	78.4
	2009	66.8	42.8	42.5	470	33.7	398	9.2	13.5	4.9	46.8	93.7
	2010	57.8	42.8	39.8	302	37.2	249	5.8	15.8	6.2	28.8	77.5
	2011	78.6	54.3	46.4	472	42.5	403	11.6	15.7	7.0	45.2	123
	平均*3	66.0	46.4	41.0	394	36.9	325	8.3	13.6	5.6	38.0	93.0
全国平均*4		31.7	22.3	24.5	181	24.6	156	4.6	8.6	5.3	18.4	35.1

(注) 網掛けの数値は参考値(完全度が80%未満で棄却されたもの)を表す

*1 2009年度を除いた2008年度から2012年度の4年間の算術平均

*2 全環研酸性雨調査の2008年度から2011年度の4年間において、一部公表されているイオン成分の中央値について算術平均したもの^{3), 4)}

*3 2008年度から2011年度4年間の算術平均

*4 国設調査の2008年度から2011年度の4年間の算術平均濃度を算術平均したもの⁵⁾

3. 2 乾性沈着調査

3. 2. 1 ガス状及び粒子状成分の年平均濃度

4段フィルターパック法から求めたガス状成分の年平均濃度を表4に、粒子状成分の年平均濃度を表5に示す。

ガス状成分の年平均濃度は、各ガス状成分濃度の4年間の平均値を全国平均と比較すると、HNO₃濃度以外は高かった。酸性ガスであるSO₂濃度は、全国平均より約4.7倍、HCl濃度は約1.9倍高く、火山性ガスの影響を受けて高くなった可能性がある。特に、2012年度のSO₂及びHCl濃度は高かった。

粒子状成分の年平均濃度は、各粒子状成分のイオン成分濃度の4年間の平均値を全国平均と比較すると、各イオンとも高かった。海塩性成分由来のCl⁻, Na⁺, Mg²⁺は、鹿児島の4年間の平均値と全国平均を比較して約2.1~2.5倍で、海塩性成分が多くみられた。鹿児島の採取場所は海岸から直線で約100mと近く、海からの影響を受

けていると考えられた。

nss-SO₄²⁻及びNO₃濃度については、全国平均と比較して約1.7倍、nss-Ca²⁺濃度については、約2.5倍、NH₄⁺濃度については、約1.6倍と多かった。

乾性沈着の中で、ガス状成分のSO₂濃度は全国平均と比較して特に高かった。

表4 ガス状成分の年平均濃度

(単位: nmol・m⁻³)

	年度	SO ₂	HNO ₃	HCl	NH ₃
鹿児島	2009	114	14.7	38.5	144
	2010	134	14.5	43.4	117
	2011	116	12.3	33.0	148
	2012	186	13.1	59.8	135
	平均	138	13.6	43.7	136
全国平均*		29.3	14.0	23.1	95.0

* 全環研調査の2008~2011年度の各年度の算術平均値を算術平均したもの

表5 粒子状成分の年平均濃度

		(単位: nmol・m ⁻³)									
	年度	SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	nss-Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺
鹿児島	2009	80.4	76.2	43.8	47.5	69.6	7.1	22.6	21.0	8.4	108
	2010	65.7	61.7	42.5	47.1	67.0	6.8	20.6	19.1	9.5	95.1
	2011	65.5	61.5	41.8	47.2	67.7	6.5	15.6	14.1	8.9	104
	2012	74.4	69.2	44.1	62.7	86.1	5.6	17.0	15.1	10.5	114
	平均	71.5	67.1	43.0	51.1	72.6	6.5	18.9	17.3	9.3	105
全国平均*		41.9	39.7	25.7	20.2	34.7	3.9	7.6	6.8	4.4	67.6

* 全環研調査の2009～2012年度の各年度の全国中央値の算術平均

3. 2. 2 ガス状及び粒子状成分濃度の季節変動

主なガス状成分(SO₂, HCl), 粒子状成分(nss-SO₄²⁻, Cl⁻)及び全硝酸(HNO₃+NO₃⁻), 全アンモニア(NH₃+NH₄⁺)の季節変動のグラフを図5に示す。

SO₂濃度は、2012年8月に615.7nmol・m⁻³で高濃度となり、年間を通して全国平均^{3),4)}と比べ高く、顕著な季節変動は見られなかった。

HCl濃度は、2012年7月に147.1nmol・m⁻³で高濃度となり、顕著な季節変動は見られなかった。

nss-SO₄²⁻濃度は、年間を通して全国平均より高く、顕著な季節変動は見られなかった。

Cl⁻濃度は、夏季に高くなる年があった。これらは海塩の寄与が大きいことが示唆され、台風の上陸で海塩粒子の影響を受けたことが考えられる⁴⁾。

全硝酸(HNO₃+NO₃⁻)は、夏季に低く、冬季に高くなる傾向が見られた。

全アンモニア(NH₃+NH₄⁺)は、顕著な季節変動は見られなかった。

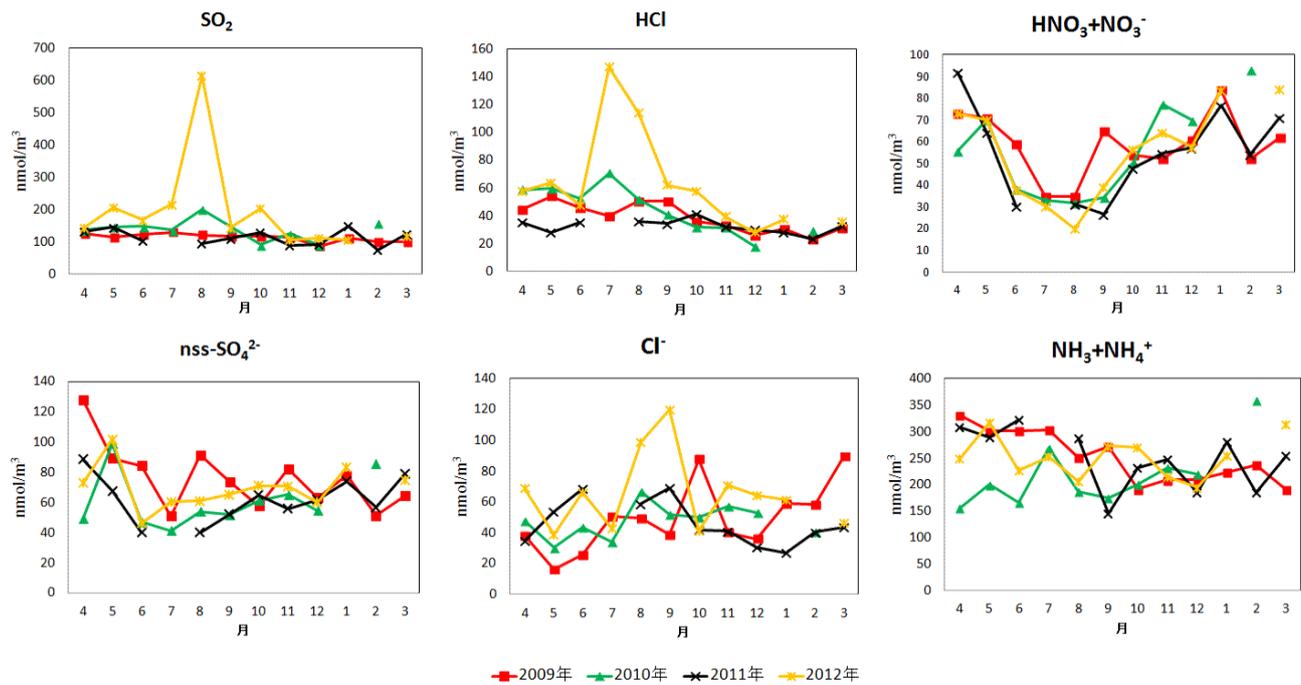


図5 ガス状成分及び粒子状成分濃度の季節変動

3. 3 火山の影響

鹿児島は2009年以降、桜島の噴火回数が観測史上最多を記録する等活動が活発になっている⁶⁾。火山噴出物の影響について検討する必要がある。桜島火山灰から溶出する成分の量は、アニオンではSO₄²⁻, Cl⁻が多く、カチオンではCa²⁺が多いことが知られている^{7),8)}。2011年度9月は桜島が噴火した際に降った雨が火山灰の成分を多く含

む雨になり、nss-SO₄²⁻, nss-Ca²⁺濃度の上昇が見られたと考えられる。

火山性ガスにおいては、SO₂, HClの上昇が考えられ、火山活動の状況と気象条件から、2012年7月及び8月に高濃度となったと考えられる。

4 まとめ

今回の調査結果より、以下のことが分かった。

- 1) 鹿兒島の湿性沈着調査において、桜島の噴火活動の活発化に伴いnss-SO₄²⁻、nss-Ca²⁺濃度の上昇が見られた。
- 2) 屋久島の湿性沈着調査においてnss-SO₄²⁻、NO₃⁻及びNH₄⁺濃度の変動は大陸からの影響が大きいとされる西日本と同様に冬季に上昇が見られた。
- 3) 鹿兒島の乾性沈着調査において、ガス状成分はSO₂及びHCl濃度が高く、火山ガスの影響がみられた。また、粒子状成分は海塩性由来成分のCl⁻、Na⁺、Mg²⁺濃度が高かった。

参考文献

- 1) 環境省；湿性沈着モニタリング手引き書（第2版），平成12年6月
- 2) 全国環境研協議会酸性雨調査研究部会；第3次酸性雨共同調査実施要領(1999)
- 3) 全国環境研協議会酸性雨調査研究部会；第4次酸性雨全国調査報告書（平成20年度），全国環境研会誌（2010）
- 4) 全国環境研協議会酸性雨調査研究部会；第5次酸性雨全国調査報告書（平成21，22，23年度），全国環境研会誌（2011～2013）
- 5) 環境省；酸性雨測定結果について（平成15～23年度），<http://www.env.go.jp/air/acidrain/index.html>
- 6) 鹿兒島地方气象台；桜島の月別の噴火回数，http://www.jma-net.go.jp/kagoshima/vol/data/skr_erp_num.html
- 7) 宝来俊一，大津陸雄，他；鹿兒島市に降ったpH2.5の特異的酸性雨について，鹿兒島県環境センター所報，4，52～57（1988）
- 8) 大津陸雄，宝来俊一，他；桜島火山灰の元素組成と水溶性イオン，鹿兒島県環境センター所報，4，59～67（1988）