

## 香川県における酸性雨調査 (第15報)

— 平成8年度調査 —

Acid Precipitation Survey in Kagawa Prefecture (XV)

— Survey of Heisei 8 Fiscal Year —

石川 英樹            勝間 孝            西原 幸一            合田 順一  
Hideki ISHIKAWA    Takashi KATSUMA    Kouichi NISHIARA    Junichi GOUDA

Rainwater has been taken by auto-water sampler (one rain at a time) and filter-equipped water sampler (filtered rain water in certain period of time, not one rain) for April, 1996 to March, 1997 at each four locations. The four locations were Matsushima-cho, Takamatsu (Takamatsu), Ikushima-cho, Takamatsu (Goshikidai), Mannou-cho, Nakatado-gun (Mannou) and Ouchi-cho, Okawa-gun (Ouchi). For filter-equipped water sampler, the value of pH was 4.30-5.10 and the annual average pH value (based on volume-weighted  $[H^+]$ -calculation  $(-\log(\sum 10^{-pH_i} \times Q_i) / \sum Q_i, Q_i: \text{rainfall amount})$  was 4.59 at Takamatsu, pH 4.34-5.38 and 4.71 average at Mannou, pH 4.35-5.35 and 4.58 average at Goshikidai, and pH 4.57-6.27 and 5.03 average at Ouchi. For auto-water sampler, the value of pH was 3.95-5.55 and the annual average pH value was 4.58 at Takamatsu.

### はじめに

引き続き平成8年度において実施した、香川県における酸性雨の調査結果を取りまとめたので報告する。

### 調査方法

#### 1. 調査期間

平成8年4月～平成9年3月

#### 2. 調査地点

図1に示す高松市で2地点、満濃町及び大内町の各1地点の計4地点で調査を実施した。

高松：香川県高松合同庁舎屋上（高松市松島町1丁目17番28号，海岸線より2.0km）

五色台：五色台少年自然の家事務所棟屋上（高松市生島町423，海岸線より2.1km）

満濃：香川県農業試験場満濃分場用水槽上（仲多度郡満濃町大字炭所西2253-1，海岸線より15.3km）

大内：香川県大内保健所庁舎屋上（大川郡大内町町田638-4，海岸線より2.2km）

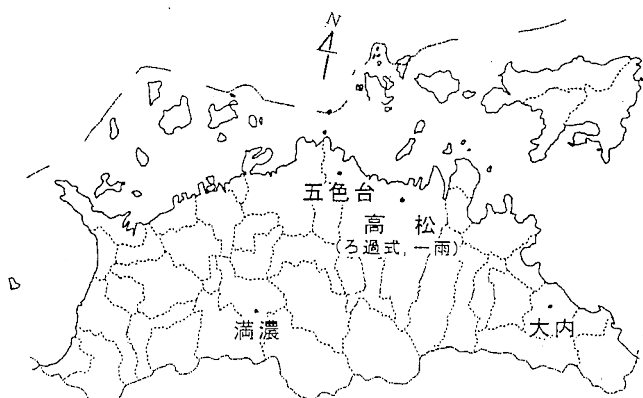


図1 酸性雨調査地点

#### 3. 採取方法

- 1) 高松，五色台，満濃及び大内においてろ過式採取装置（環境庁方式）を用い高松，五色台及び満濃は1週間ごとに，大内は1ヶ月ごとに採取した（以下ろ過式という。）ただし，高松では1月13日～2月24日の間庁舎の工事につき試料の採取を中止した。
- 2) 高松で自動採取装置（株式会社小笠原計器製作所製US-300）を用いて一雨ごとに採取した（以下一雨という。）ただし，台風の影響で採取装置が破損したので8月14日～11月12日の間試料の採取を中止した。また，1)に述べた理由で1月13日～2月24日の間試料の採取を中止した。

#### 4. 測定項目及び測定方法

採取した試料はpH、電気伝導度（EC）を測定後、0.22 μmのミリポアフィルターでろ過し、陰イオン及び陽イオンの測定に供するまで冷蔵庫内（庫内温度約4℃）で保存した。

pH：ガラス電極法（岩城硝子㈱製M-135）

EC：導電率計（電気化学計器㈱製A O-6）

陰イオン〔硫酸イオン（SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>）、硝酸イオン（NO<sub>3</sub><sup>-</sup>）、塩素イオン（Cl<sup>-</sup>）〕及び陽イオン〔アンモニウムイオン（NH<sub>4</sub><sup>+</sup>）、カルシウムイオン（Ca<sup>2+</sup>）、マグネシウムイオン（Mg<sup>2+</sup>）、カリウムイオン（K<sup>+</sup>）、ナトリウムイオン（Na<sup>+</sup>）〕：イオンクロマトグラフ法（Dionex社製DX-AQ）

イオンクロマトグラフの測定条件

- ・分離カラム

陰イオン：Ionpac AS4A-SC, 250mm×4mmID

陽イオン：Ionpac CS12, 250mm×4mmID

- ・ガードカラム

陰イオン：Ionpac AG4A-SC, 50mm×4mmID

陽イオン：Ionpac CG12, 50mm×4mmID

- ・溶離液

陰イオン：1.8mmol Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>+1.7mmol NaHCO<sub>3</sub>

1.5ml/min

陽イオン：20mmol メタンスルホン酸

1.0ml/min

- ・サプレッサー（リサイクルモード）

陰イオン：ASRS-I, 4mm

陽イオン：CSRS-I, 4mm

- ・試料注入法：オートインジェクター（安部商事㈱

ATS-50）

- ・試料注入量：15μl

- ・検出器：電気伝導度計

### 調査結果及び考察

#### 1. 降水量

表1に各調査地点ごとの降水量の経月変化を示した。

高松のろ過式と一雨の平成8年度の降水量はそれぞれ898.5mmと695.9mmであった。両者間の降水量の差が約200mmあるが夏場の降雨期に一雨の採取装置が故障し、欠測になったのが大きく原因していた。満濃や五色台の山間部ではそれぞれ1,171.2mmと1,195.6mmであったが、

これは両者とも昨年度<sup>1)</sup>よりも約70mm少ない値であった。各調査地点とも6月～7月、9月～10月及び3月に降水量が多く、さらに、満濃では8月にも降水量が多かった。一方、降水量の少ない月は、各地点とも1月～2月であった。

表1 降水量の経月変化

(単位：mm)

	高松(ろ過)	高松(一雨)	満濃	五色台	大内
4	58.9	65.3	78.6	62.2	66.4
5	71.3	79.1	75.8	72.9	43.4
6	242.6	265.7	252.2	315.0	145.2
7	65.5	71.7	129.2	157.8	80.4
8	61.9	30.2 <sup>1)</sup>	152.4	68.5	59.5
9	103.2	欠測	87.9	135.5	139.5
10	87.7	欠測	102.8	114.7	93.5
11	47.7	17.6 <sup>2)</sup>	61.1	51.9	39.8
12	49.6	41.4	68.7	67.4	62.8
1	18.3 <sup>3)</sup>	20.6 <sup>3)</sup>	32.3	30.6	22.9
2	欠測	3.3 <sup>4)</sup>	19.9	20.9	14.6
3	91.8	101.1	110.4	98.2	90.8
合計	898.5	695.9	1171.2	1195.6	858.7

欠測：1)8/14～8/31；2)11/1～11/12；3)1/13～1/31；4)2/1～2/24

#### 2. 降水中のpH

表2に各調査地点ごとの期間中のpHの各月の加重平均値（降水量で重みづけをした平均値、以下平均値という）を示した。

pHの8年度の平均値は、高松のろ過式、高松の一雨及び五色台ではそれぞれ4.59、4.58及び4.58で、昨年度<sup>1)</sup>の高松の一雨の4.56とほぼ同様の値であった。一方、満濃と大内はこれらの値より若干高くそれぞれ4.71と5.03であり、この傾向は昨年度<sup>1)</sup>と同様であった。

月別の変化では高松のろ過式では、最高は5.10（1月）で最低は4.30（3月）、高松の一雨では、最高は5.55（8月）で最低値は3.95（2月）であった。8月のpH値は、高松の一雨以外の地区では4.4～4.8の範囲にあり、よく似かよっているが、一雨は5.55と大きく異なっていた。これは一雨を除く他の採取地点では、8月分の降水をすべて採取できたにもかかわらず、一雨については採取装置が故障したため一部の降水（8月13日と8月14日の30.5mm）しか採取できず、8月分の全降水のpH値を示していないのが原因している。

満濃と五色台は共に最高が2月で、それぞれ5.38と5.35、最低が10月であり、最低がそれぞれ4.34と4.35であった。満濃では4～6月と2月に高い傾向がみられた。

大内では、最高が6.27（10月）で最低が4.57（3月）であった。大内は他の調査地点と比較して月間の変動が大きく、この傾向は昨年度<sup>1)</sup>と同様であった。

表2 pHの経月変化

月	高松(ろ過)	高松(一雨)	満濃	五色台	大内
4	4.61	4.60	5.25	4.61	5.26
5	4.77	4.62	5.24	4.69	6.20
6	4.78	4.70	5.20	4.78	5.92
7	4.74	4.74	4.89	4.42	5.17
8	4.49	5.55 <sup>1)</sup>	4.52	4.79	4.80
9	4.49	欠測	4.62	4.48	4.83
10	4.39	欠測	4.34	4.35	6.27
11	4.53	4.24 <sup>2)</sup>	4.86	4.40	5.25
12	5.06	4.90	4.81	4.91	4.97
1	5.10 <sup>3)</sup>	4.88 <sup>3)</sup>	5.00	4.65	4.91
2	欠測	3.95 <sup>4)</sup>	5.38	5.35	4.75
3	4.30	4.23	4.35	4.57	4.57
年度	4.59	4.58	4.71	4.58	5.03

欠測: 1)8/14~8/31; 2)11/1~11/12; 3)1/13~1/31; 4)2/1~2/24

### 3. 降水中のEC

表3に各調査地点ごとの期間中のECの各月の平均値を示した。ECの8年度の平均値は、高松のろ過式、高松の一雨、満濃、五色台および大内ではそれぞれ24.0 $\mu$ S/cm, 18.2 $\mu$ S/cm, 17.6 $\mu$ S/cm, 20.0 $\mu$ S/cm及び22.8 $\mu$ S/cmで、昨年度<sup>1)</sup>とほぼ同様の値を示していた。

月別の変化では、最高値を示した月は、高松のろ過式では5月(50.4 $\mu$ S/cm)で、その他の採取地点はいずれも2月で、一雨、満濃、五色台、大内ではそれぞれ71.1 $\mu$ S/cm, 38.2 $\mu$ S/cm, 33.6 $\mu$ S/cm, 65.6 $\mu$ S/cmであった。最低値はいずれの採取地点でも6月で、高松のろ過式、一雨、満濃、五色台、大内ではそれぞれ10.8 $\mu$ S/cm, 10.3 $\mu$ S/cm, 7.8 $\mu$ S/cm, 10.9 $\mu$ S/cm, 8.9 $\mu$ S/cmであった。EC値は降雨量が最も多い6月に低く、降雨量の最も少ない2月に高いことが認められた。

表3 ECの経月変化

(単位:  $\mu$ S/cm)

月	高松(ろ過)	高松(一雨)	満濃	五色台	大内
4	24.0	20.5	13.7	23.1	18.4
5	50.4	16.5	17.9	16.3	34.6
6	10.8	10.3	7.8	10.9	8.9
7	13.9	12.7	10.2	23.5	11.9
8	26.3	11.2 <sup>1)</sup>	19.5	14.2	21.6
9	21.6	欠測	14.7	16.7	26.4
10	30.4	欠測	31.7	29.1	25.9
11	27.9	43.4 <sup>2)</sup>	20.2	28.0	23.7
12	27.8	21.8	22.1	24.9	27.8
1	26.4 <sup>3)</sup>	17.9 <sup>3)</sup>	20.7	33.5	40.0
2	欠測	71.1 <sup>4)</sup>	38.2	33.6	65.6
3	36.2	37.3	29.5	27.1	29.2
年度	24.1	18.2	17.6	20.0	22.8

欠測: 1)8/14~8/31; 2)11/1~11/12; 3)1/13~1/31; 4)2/1~2/24

### 4. 降水中のイオン成分の年間平均濃度

各調査地点ごとの陰イオンと陽イオンの年間平均濃度( $\mu$ g/ml)を表4に示した。陰イオンの濃度順は、 $SO_4^{2-}$

$>NO_3^- >Cl^-$ であり、陽イオンの濃度順は $NH_4^+ >Na^+ >Ca^{2+} >K^+ >Mg^{2+}$ であった。これら陰イオン及び陽イオンの濃度の順序は昨年度<sup>1)</sup>と同様の傾向であった。

各調査地点の陰イオン( $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ 及び $Cl^-$ )の総濃度を比較すると、高松の一雨が最も低く3.91 $\mu$ g/mlで、大内が最も高く6.22 $\mu$ g/mlであった。高松のろ過式は5.33 $\mu$ g/ml, 満濃は4.17 $\mu$ g/ml, 五色台は4.56 $\mu$ g/mlであった。陽イオン( $NH_4^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ 及び $Na^+$ )についても陰イオンの場合と同様、高松の一雨が最も低く1.45 $\mu$ g/mlで、最も高いのは大内の3.30 $\mu$ g/mlであった。陰イオン及び陽イオンともそれらの濃度が、昨年度<sup>1)</sup>と同様に大内が他の地点より高い傾向を示し、高松の一雨が低い傾向を示していた。サンプリング方法が大内が1月間ろ過式で、高松の一雨が降水時のみ開口するサンプリング方式であるため、非降水時の乾性降下物のロート等の捕集器への付着量の差が原因していると思われる。

表4 イオン成分の年間平均濃度

(単位:  $\mu$ g/ml)

		高松(ろ過)	高松(一雨)	満濃	五色台	大内
陰イオン	$SO_4^{2-}$	2.41	1.88	1.83	2.25	2.68
	$NO_3^-$	2.05	1.47	1.75	1.67	2.32
	$Cl^-$	0.86	0.56	0.59	0.64	1.22
合計		5.33	3.91	4.17	4.56	6.22
陽イオン	$NH_4^+$	0.87	0.66	1.03	0.82	1.82
	$Ca^{2+}$	0.50	0.35	0.26	0.39	0.43
	$Mg^{2+}$	0.08	0.06	0.06	0.06	0.12
	$K^+$	0.10	0.06	0.17	0.08	0.18
	$Na^+$	0.57	0.32	0.37	0.40	0.75
合計		2.02	1.45	1.89	1.75	3.30

### 5. 降水中のイオン成分の年間降下量

各調査地点ごとの陰イオンと陽イオンの年間降下量(1平方メートルあたりの等量降下量: meq/m<sup>2</sup>)を表5に示した。また各イオンの比率を表6に示した。

調査地点別の陰イオンと陽イオンの降下量はいずれも高松の一雨が最も少なかったが、これは長期の欠測が原因している。イオン降下量が最も多いのは大内で、陰イオンで109.7meq/m<sup>2</sup>, 陽イオンで153.0meq/m<sup>2</sup>であった。次に降下量の多い調査地点は五色台で、以下満濃、高松のろ過式の順であった。

陰イオンの年間降下量は、 $SO_4^{2-}$ が最も多く、 $NO_3^-$ ,  $Cl^-$ の順に少なくなっていた。高松の一雨と五色台は $SO_4^{2-} : NO_3^- : Cl^-$ の比率がほぼ5 : 3 : 2であり、高松のろ過式と満濃はほぼ4 : 3 : 2であった。大内では

4 : 3 : 3 の比率でNO<sub>3</sub><sup>-</sup>とCl<sup>-</sup>の比率の差がほとんどなかった。陽イオンの年間降下量は、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>の比率は最も高く30数%~50数%を占めており、大内ではもっと高く56.6%であった。Ca<sup>2+</sup>とNa<sup>+</sup>はいずれの調査地点でも比率が11~18%の範囲にあった。Mg<sup>2+</sup>は4~5%と各地点ともよく似ていた。K<sup>+</sup>は満濃が3.8%と高かったが、その他の地点は2%前後であった。H<sup>+</sup>は各地点間で変動が大きく、大内では5.2%と非常に低く、その他の調査地点では10数%~20数%の範囲であった。

表5 年間のイオン降下量 (単位: meq/m<sup>2</sup>)

		高松(ろ過)	高松(一雨)	満濃	五色台	大内
陰イオン	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	40.1	27.3	44.5	56.0	47.9
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	29.6	16.5	33.0	32.2	32.2
	Cl <sup>-</sup>	21.8	11.1	19.6	21.4	29.6
	合計	91.5	54.9	97.1	109.6	109.7
陽イオン	H <sup>+</sup>	23.2	18.2	22.7	31.0	8.0
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	43.3	25.6	67.0	54.7	86.6
	Ca <sup>2+</sup>	22.5	12.1	15.0	23.3	18.3
	Mg <sup>2+</sup>	5.8	3.5	5.5	6.1	7.9
	K <sup>+</sup>	2.3	1.1	5.1	2.5	4.0
	Na <sup>+</sup>	22.5	9.6	18.8	20.6	28.2
	合計	119.6	70.1	134.1	138.2	153.0

表6 年間のイオン降下量 (単位: %)

		高松(ろ過)	高松(一雨)	満濃	五色台	大内
陰イオン	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	43.8	49.7	45.8	51.1	43.7
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	32.3	30.1	34.0	29.4	29.4
	Cl <sup>-</sup>	23.8	20.2	20.2	19.5	27.0
陽イオン	H <sup>+</sup>	19.4	26.0	16.9	22.4	5.2
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	36.2	36.5	50.0	39.6	56.6
	Ca <sup>2+</sup>	18.8	17.3	11.2	16.9	12.2
	Mg <sup>2+</sup>	4.8	5.0	4.1	4.4	5.2
	K <sup>+</sup>	1.9	1.6	3.8	1.8	2.6
	Na <sup>+</sup>	18.8	13.7	14.0	14.9	18.4

## 6. 降水中の非海塩性イオンの年間降下量

海塩粒子の寄与を把握するため、Na<sup>+</sup>を基準とする方法<sup>2)</sup>でSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>とCa<sup>2+</sup>について値を算出した。表7に年間の非海塩性(nssと略す)イオン降下量と総イオン降下量に占める非海塩性イオン降下量の比率を示した。非海塩性イオンの各調査地点間の割合は、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>で85.4~90.8%、Ca<sup>2+</sup>で94.0~97.5%であった。各調査地点間でSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>では約5%の開きが合ったが、Ca<sup>2+</sup>はその開きは3%で、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の場合よりも調査地点間の開きが若干少なかった。これらの傾向は昨年度とほぼ同様であった。

表7 非海塩性イオンの降下量

	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (A) (meq/m <sup>2</sup> )	nss-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (B) (meq/m <sup>2</sup> )	nss比 (B/A) (%)	nss比 昨年度 <sup>1)</sup> (%)	Ca <sup>2+</sup> (C) (meq/m <sup>2</sup> )	nss-Ca <sup>2+</sup> (D) (meq/m <sup>2</sup> )	nss比 (D/C) (%)	nss比 昨年度 <sup>1)</sup> (%)
高松(ろ過)	45.1	39.4	87.4	90.3	22.5	21.6	96.0	96.6
高松(一雨)	27.3	24.8	90.8	92.5	12.1	11.8	97.5	96.7
満濃	44.5	39.7	89.2	87.5	15.0	14.3	95.3	97.0
五色台	56.2	50.8	90.4	91.1	23.3	22.6	97.0	95.9
大内	47.9	40.9	85.4	89.4	18.3	17.2	94.0	96.0

## ま と め

平成8年度の結果は次のとおりであったが、その結果は平成7年度と引き続き特異な変化もみられず、同じ傾向であった。

- 高松のろ過式のpHは4.30~5.10で年間の平均値は4.59、一雨では3.95~5.55で年間の平均値は4.58、満濃は4.34~5.38で年間の平均値は4.71、五色台は4.35~5.35で年間の平均値は4.58、大内は4.57~6.27で年間の平均値は5.03であった。
- イオン成分の年間平均濃度を比較すると、高松の一雨は最も低く、大内が最も高いことが認められた。こ

れは降水の採取方法が異なるためロートに付着した乾性降下物の付着量の差が原因していると思われる。

- 総イオン降下量に占める非海塩性イオンの比率は、各調査地点間でSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>は85.4~90.8%、Ca<sup>2+</sup>は94.0~97.5%で、各地点間の差異は小さかった。

## 引 用 文 献

- 石川英樹他、香川県環境研究センター所報、20、39-44 (1995)。
- 酸性雨調査法研究会：酸性雨調査法、(株)ぎょうせい、267 (1993)。