

広島市における雨水成分調査(第 11 報)

築地 裕美 田中 智之 吉岡 英明 村野勢津子
 小中ゆかり 細末 次郎 國弘 節 堀川 敏勝
 加納 茂^{*1}

総降水量は、1,363.8mm(平成 20 年度), 1,689.2mm(平成 21 年度)とほぼ平年値と近似していた。年平均 pH 値は、4.42(平成 20 年度), 4.56(平成 21 年度)と平成 21 年度に pH 値の若干の上昇が見られた。

雨水の酸性化あるいは中和に寄与する成分の年平均濃度は、平成 21 年度に nss-SO_4^{2-} , NO_3^- の減少及び NH_4^+ , nss-Ca^{2+} の増加が見られた。また、年間湿性沈着量は降水量の影響が少なく、平成 21 年度に NH_4^+ , nss-Ca^{2+} の沈着量の増加が見られた。

本市における雨水の酸性化の原因は、 $\text{NO}_3^-/\text{nss-SO}_4^{2-}$ 及び $\text{NH}_4^+/\text{nss-Ca}^{2+}$ より NO_3^- と NH_4^+ の影響が大きく、自動車の排気ガスの寄与が示唆される。

キーワード： 酸性雨, 湿性沈着, 降水時開放型雨水採取装置

はじめに

酸性雨は、その原因となる大気汚染物質が国境を越えて輸送されるため、広域的な状況把握が重要である。本市では、平成 3 年度(1991 年度)より全国環境研協議会が実施する酸性雨全国調査に参加し、平成 21 年度(2009 年度)から開始された第 5 次酸性雨全国調査に引き続き参加している。

今回は、平成 11 年 10 月より導入した降水時開放型雨水採取装置を用いて、平成 20 及び 21 年度に実施した雨水成分の調査結果について報告する。

方法

1 調査地点

調査は広島市立伴小学校(安佐南区沼田町大字伴 6153)の屋上にて実施した。その位置を図 1 に示す。

2 調査期間

平成 20 年 4 月 1 日～平成 22 年 3 月 31 日

3 調査方法

雨水の採取は、降水時開放型雨水採取装置(小笠原計器製作所 US-330 型, 口径 20cm)を用い、「酸性雨等調査マニュアル」及び「湿性沈着モニタリング手引書」に準じて、2 週間から 1 か月ごとに実施した。採取した雨水の分析項目を表 1 に示す。

表 1 分析項目及び方法

| 分析項目 | 分析方法 |
|--|-------------|
| 降水量 | 採水量より算出 |
| pH 値 | ガラス電極法 |
| 電気伝導率(EC) | 導電率計 |
| Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} | イオンクロマトグラフ法 |
| SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- | イオンクロマトグラフ法 |

なお、各分析項目の平均値(降水量は除く)は降水量で重み付けをした加重平均値として算出している。



図 1 調査地点

*1: 退職

結果と考察

平成 20 及び 21 年度の結果を表 2 に示す。

1 降水量

平成 20, 21 年度の降水量及び広島市の平年値(広島平年値)¹⁾を図 2 に示す。

総降水量は、平成 20 年度 : 1,363.8mm, 平成 21 年度 : 1,689.2mm で、平年値(1,540.6mm)とほぼ近似していた。

月別に見ると、その降水量は 7 月に大きく異なり、月の後半に梅雨前線が活発となった²⁾平成 21 年度は 438.3mm と平成 20 年度の約 8.8 倍の降水量であった。

2 pH 値

平成 20 及び 21 年度の pH 値を図 3 に示す。図中の全国平均は、平成 20 年度に環境省が実施した合計 31 地点の平均値³⁾を示す。なお、全国平均値は、4.71(範囲 : 4.57~4.84)である。

年平均 pH 値は、平成 20 年度 : 4.42, 平成 21 年度 : 4.56 であった。平成 20 年度に比べ、平成 21 年度は値の変動が大きく、年平均値の若干の上昇も見られた。また、この 2 年間は全国平均よりも概ね低い値で推移していた。

3 湿性沈着

主に雨水の酸性化あるいは中和に寄与する成分(nss-SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , nss-Ca^{2+})の濃度と pH 値との関係を図 4 に示す。なお、 nss-SO_4^{2-} , nss-Ca^{2+} は海塩の影響を考慮して、 Na^+ 値で補正した非海塩性の値である。

(1) 成分濃度

各成分の年平均濃度($\mu\text{mol/L}$)は、平成 20 年度が nss-SO_4^{2-} : 16.5, NO_3^- : 25.9, NH_4^+ : 16.0, nss-Ca^{2+} : 2.7, 平成 21 年度が nss-SO_4^{2-} : 13.7, NO_3^- : 19.0, NH_4^+ : 17.5, nss-Ca^{2+} : 3.4 であった。平成 20 年度に比べ、平成 21 年度は nss-SO_4^{2-} , NO_3^- 濃度の減少及び NH_4^+ , nss-Ca^{2+} 濃度の増加が見られ、特に nss-SO_4^{2-} は平成 19 年度以降減少傾向にある。

また、これら 4 成分は平成 20 及び 21 年度ともに 11 月から 1 月にかけて増加し、平成 20 年度の nss-Ca^{2+} , 平成 21 年度の nss-SO_4^{2-} を除いて 1 月に最大値を示した。この時期は北西季節風が吹いたため、大陸からの物質の飛来の影響を受けたと考えられる⁴⁾。

この 2 年間は、各成分濃度と pH 値との間に明らかな相関を認めることができなかったが、 nss-SO_4^{2-} 及び NO_3^- が増加すると pH 値は低下し、逆に nss-SO_4^{2-} 及び NO_3^- が減少すると pH 値は上昇する

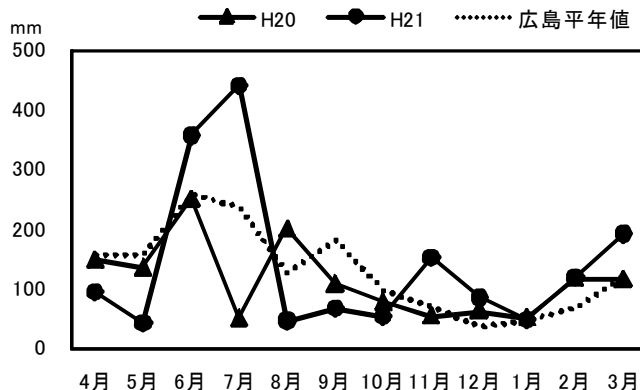


図 2 月別降水量及び平年値

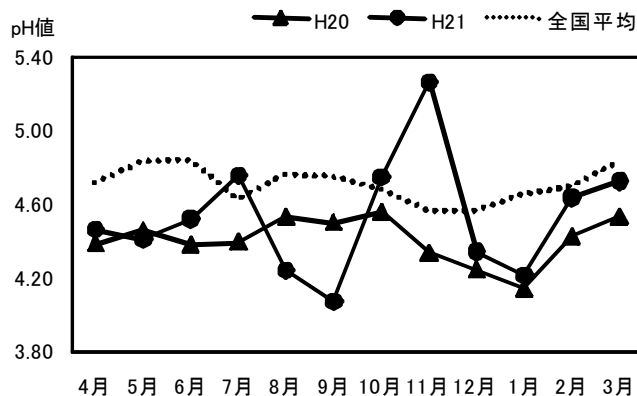


図 3 月別 pH 値及び全国平均値

傾向にあった。特に、この傾向が顕著に見られた平成 21 年度の 11, 1 月の nss-SO_4^{2-} 及び NO_3^- 濃度は、11 月が nss-SO_4^{2-} : 3.2 (年平均値の約 0.2 倍), NO_3^- : 10.3 (年平均値の約 0.5 倍), 1 月が nss-SO_4^{2-} : 20.5 (年平均値の約 1.5 倍), NO_3^- : 76.6 (年平均値の約 4.0 倍) であった。11 月は nss-SO_4^{2-} の減少が目立ち、pH 値は 5.26 と上昇していた。一方、1 月は NO_3^- の増加が目立ち、pH 値は 4.21 と低下していた。

(2) 沈着量

年間の湿性沈着量($\text{meq/m}^2/\text{year}$)は、平成 20 年度が nss-SO_4^{2-} : 45.1, NO_3^- : 35.3, NH_4^+ : 21.8, nss-Ca^{2+} : 7.3, 平成 21 年度が nss-SO_4^{2-} : 46.4, NO_3^- : 32.2, NH_4^+ : 29.5, nss-Ca^{2+} : 11.6 であった。降水量の影響は少なく、 NH_4^+ 及び nss-Ca^{2+} の沈着量が平成 20 年度に比べ、平成 21 年度に増加していた。また、これら 4 成分は平成 20 及び 21 年度ともに総沈着量の約 5 割を占めており、この割合は平成 19 年度以降ほぼ横ばい傾向にある。

月別 (meq/m^2) に見ると、 nss-SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ は平成 20 及び 21 年度ともに 6 月に最大となった。この時期は降水量が多く、このことが沈着量増大

の一因となったと考えられる。nss-Ca²⁺は平成 20 年度が 2 月、平成 21 年度が 3 月に最大となった。この時期は黄砂が中国四国地方で多く観測されており⁵⁾、大陸からの黄砂の影響が示唆された。

(3) 雨水の酸性化及び中和に寄与する成分

本市における雨水の酸性化あるいは中和に寄与する成分を推定するため、それぞれの当量濃度比を求める⁵⁾。なお、この 2 年間は各当量濃度比と pH 値との間に明らかな傾向を認めることができなかった。

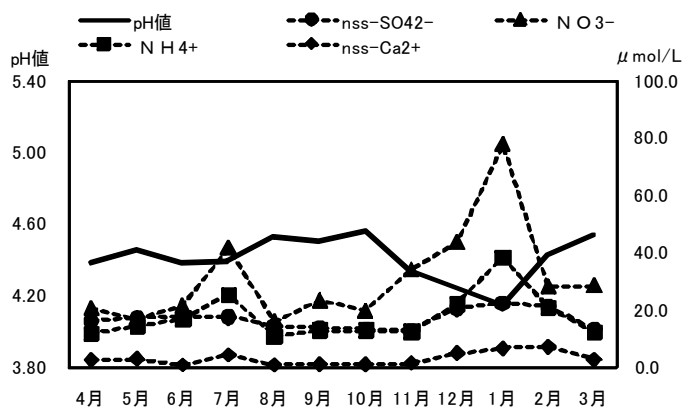


図 4-1 pH 値及び成分濃度(平成 20 年度)

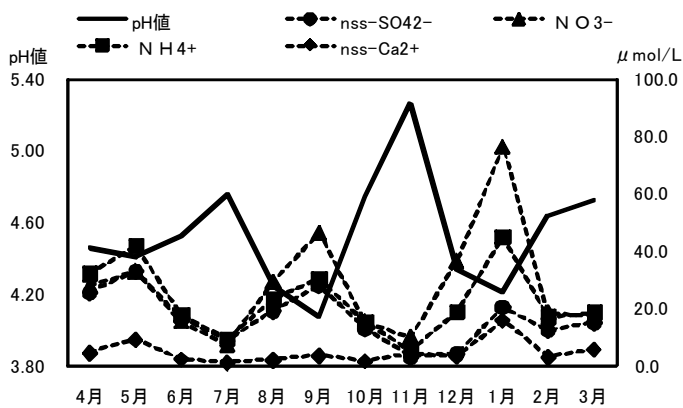


図 4-2 pH 値及び成分濃度(平成 21 年度)

NO₃⁻/nss-SO₄²⁻の年平均値は、平成 20 年度:1.56、平成 21 年度:1.39 であった。平成 21 年度の 6、7 月を除いて nss-SO₄²⁻よりも NO₃⁻の影響が大きかった。

NH₄⁺/nss-Ca²⁺の年平均値は、平成 20 年度:5.97、平成 21 年度:5.07 であった。この 2 年間を通して、全般的に nss-Ca²⁺よりも NH₄⁺の影響が大きかった。

雨水の酸性化の原因は、調査地点周辺に発生源となる工場などがないことから、自動車の排気ガスの寄与が示唆される。なお、この傾向は平成 12 年度から継続している。

文 献

- 1) 気象庁：気象統計情報，過去の気象データ，年・月ごとの平年値
- 2) 気象庁：報道発表資料，2009 年(平成 21 年)の日本の天候
- 3) 環境省：国内における酸性雨対策，平成 20 年度酸性雨調査結果について
- 4) 尾関 徹 他：降水中の汚染物質の越境汚染に関する日本海側広域調査(2000～2001)と主成分分析によるイオン種の分類，分析化学，53(12)，1427～1434 (2004)
- 5) 気象庁：気象統計情報，地球環境・気候，[地球環境のデータバンク]黄砂
- 6) 恵花孝昭 他：札幌市における湿性沈着量の動向について，札幌市衛生研究所年報，30，73～78 (2003)

表 2-1 測定結果(平成 20 年度)

| | 降水量 (mm) | pH | EC (mS/m) | nss-SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | nss-Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|-----------|-------------|------|--------------|---|------------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------|----------------|----------------------|------------------|
| 4 月 | 147.6 | 4.39 | 1.80 | 16.1 [†] (4.8) [‡] | 20.9 (3.1) | 3.9 (0.58) | 12.1 (1.8) | 4.3 (0.63) | 0.4 (0.05) | 2.7 (0.80) | 0.6 (0.17) |
| 5 月 | 135.4 | 4.46 | 1.69 | 17.4 (4.7) | 17.4 (2.4) | 6.7 (0.91) | 14.3 (1.9) | 7.6 (1.0) | 1.1 (0.16) | 3.1 (0.83) | 0.5 (0.15) |
| 6 月 | 250.3 | 4.38 | 2.08 | 18.0 (9.0) | 21.7 (5.4) | 6.1 (1.5) | 17.2 (4.3) | 8.1 (2.0) | 1.2 (0.29) | 1.0 (0.49) | 0.3 (0.13) |
| 7 月 | 49.9 | 4.40 | 2.58 | 17.6 (1.8) | 41.8 (2.1) | 7.6 (0.38) | 25.5 (1.3) | 14.3 (0.72) | 0.8 (0.04) | 4.5 (0.45) | 0.8 (0.08) |
| 8 月 | 199.7 | 4.53 | 1.70 | 14.3 (5.7) | 16.2 (3.2) | 5.7 (1.1) | 11.1 (2.2) | 8.0 (1.6) | 0.9 (0.18) | 1.0 (0.39) | 0.4 (0.16) |
| 9 月 | 107.2 | 4.50 | 1.79 | 13.8 (3.0) | 23.6 (2.5) | 3.4 (0.36) | 13.2 (1.4) | 3.4 (0.36) | 0.7 (0.08) | 1.3 (0.27) | 0.1 (0.02) |
| 10 月 | 76.9 | 4.56 | 1.66 | 13.3 (2.0) | 20.0 (1.5) | 4.5 (0.35) | 13.3 (1.0) | 5.7 (0.43) | 0.5 (0.04) | 1.1 (0.16) | 0.4 (0.06) |
| 11 月 | 53.2 | 4.34 | 2.59 | 12.8 (1.4) | 34.2 (1.8) | 49.9 (2.7) | 12.7 (0.68) | 34.3 (1.8) | 1.3 (0.07) | 1.6 (0.17) | 4.1 (0.44) |
| 12 月 | 62.0 | 4.24 | 4.07 | 20.6 (2.6) | 43.7 (2.7) | 79.6 (4.9) | 22.3 (1.4) | 56.5 (3.5) | 2.3 (0.14) | 5.2 (0.64) | 6.9 (0.86) |
| 1 月 | 50.1 | 4.14 | 5.86 | 22.4 (2.2) | 77.7 (3.9) | 103.0 (5.2) | 38.2 (1.9) | 71.7 (3.6) | 3.6 (0.18) | 6.9 (0.69) | 9.5 (0.95) |
| 2 月 | 116.6 | 4.43 | 3.97 | 21.3 (5.0) | 28.4 (3.3) | 97.3 (11.3) | 21.1 (2.5) | 73.9 (8.6) | 3.1 (0.36) | 7.5 (1.8) | 9.9 (2.3) |
| 3 月 | 115.0 | 4.54 | 1.65 | 13.2 (3.0) | 28.8 (3.3) | 13.8 (1.6) | 12.5 (1.4) | 12.0 (1.4) | 1.2 (0.13) | 2.9 (0.66) | 1.7 (0.39) |
| 年平均値* | 145.6 | 4.42 | 2.30 | 16.5 (4.8) | 25.9 (3.3) | 22.7 (2.3) | 16.0 (2.2) | 18.9 (2.1) | 1.3 (0.17) | 2.7 (0.63) | 2.1 (0.41) |
| 年間湿性沈着量** | | | | 45.1 | 35.3 | 30.9 | 21.8 | 25.7 | 1.7 | 7.3 | 5.7 |

*:加重平均値, **: 単位は meq/m²/year, †: 湿性沈着濃度 (μ mol/L), ‡: () 内は月間湿性沈着量 (meq/m²)

表 2-2 測定結果(平成 21 年度)

| | 降水量 (mm) | pH | EC (mS/m) | nss-SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | nss-Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|-----------|-------------|------|--------------|---|------------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------|----------------|----------------------|------------------|
| 4 月 | 93.6 | 4.46 | 2.68 | 25.6 [†] (4.8) [‡] | 27.9 (2.6) | 22.8 (2.1) | 32.2 (3.0) | 20.9 (2.0) | 2.0 (0.19) | 4.6 (0.85) | 1.6 (0.31) |
| 5 月 | 42.5 | 4.41 | 3.38 | 32.8 (2.8) | 33.1 (1.4) | 34.1 (1.4) | 42.1 (1.8) | 32.2 (1.4) | 2.3 (0.10) | 9.2 (0.78) | 3.7 (0.31) |
| 6 月 | 355.6 | 4.52 | 1.73 | 16.7 (11.9) | 15.8 (5.6) | 10.6 (3.8) | 18.0 (6.4) | 9.8 (3.5) | 1.3 (0.46) | 2.4 (1.7) | 1.2 (0.87) |
| 7 月 | 438.3 | 4.76 | 0.96 | 8.8 (7.7) | 7.6 (3.4) | 6.5 (2.9) | 9.6 (4.2) | 5.6 (2.5) | 0.8 (0.34) | 1.2 (1.1) | 0.5 (0.45) |
| 8 月 | 46.0 | 4.24 | 2.28 | 19.3 (1.8) | 29.5 (1.4) | 13.3 (0.61) | 23.3 (1.1) | 13.0 (0.60) | 1.3 (0.06) | 2.1 (0.19) | 1.2 (0.11) |
| 9 月 | 66.7 | 4.08 | 3.58 | 28.0 (3.7) | 46.5 (3.1) | 15.9 (1.1) | 30.5 (2.0) | 15.2 (1.0) | 2.7 (0.18) | 3.6 (0.48) | 1.7 (0.23) |
| 10 月 | 53.5 | 4.75 | 1.35 | 13.2 (1.4) | 15.6 (0.84) | 7.1 (0.38) | 15.5 (0.83) | 6.5 (0.35) | 1.0 (0.05) | 1.8 (0.19) | 0.8 (0.09) |
| 11 月 | 151.3 | 5.26 | 0.66 | 3.2 (1.0) | 10.3 (1.6) | 9.9 (1.5) | 5.5 (0.84) | 10.4 (1.6) | 0.8 (0.12) | 4.4 (1.3) | 0.8 (0.25) |
| 12 月 | 84.8 | 4.34 | 3.73 | 4.4 (0.74) | 36.7 (3.1) | 99.8 (8.5) | 19.1 (1.6) | 85.7 (7.3) | 3.0 (0.26) | 3.5 (0.59) | 9.7 (1.7) |
| 1 月 | 47.3 | 4.21 | 5.80 | 20.5 (1.9) | 76.6 (3.6) | 128.3 (6.1) | 44.9 (2.1) | 112.2 (5.3) | 4.3 (0.21) | 15.8 (1.5) | 14.4 (1.4) |
| 2 月 | 118.9 | 4.64 | 1.44 | 12.5 (3.0) | 18.9 (2.2) | 11.6 (1.4) | 17.2 (2.0) | 12.2 (1.4) | 1.5 (0.18) | 3.1 (0.74) | 2.1 (0.49) |
| 3 月 | 190.7 | 4.73 | 1.57 | 15.1 (5.8) | 17.6 (3.3) | 16.2 (3.1) | 18.7 (3.6) | 14.8 (2.8) | 1.9 (0.36) | 5.8 (2.2) | 2.6 (1.0) |
| 年平均値* | 249.5 | 4.56 | 1.78 | 13.7 (6.1) | 19.0 (3.4) | 19.4 (2.9) | 17.5 (3.6) | 17.6 (2.7) | 1.5 (0.29) | 3.4 (1.2) | 2.1 (0.63) |
| 年間湿性沈着量** | | | | 46.4 | 32.2 | 32.8 | 29.5 | 29.6 | 2.5 | 11.6 | 7.1 |

*:加重平均値, **: 単位は meq/m²/year, †: 湿性沈着濃度 (μ mol/L), ‡: () 内は月間湿性沈着量 (meq/m²)