

第 5 章 酸性雨調査結果

第5章 酸性雨調査結果

化石燃料などの燃焼で大気中に排出された硫黄酸化物や窒素酸化物などが、雲粒に取り込まれ、そこで反応して硫酸イオンや硝酸イオンなどに変化して、pHの低い雨や雪などの形態で沈着するものを酸性雨と呼んでおり、状況が深刻化すれば、森林消失や湖沼生物など生態系へ影響を与える。

このため、本県では、降水の性状を明らかにし、併せて酸性雨発生機構解明の基礎資料を得て酸性雨対策に資するため、昭和58年度から石川県における降水の化学組成の調査を実施してきた。

なお、酸性雨現象は広域的かつ局地的な大気汚染でもあるため全国環境研協議会の全国共同調査に参画し、県の行政区域を超えた地域の評価も実施している。

1 調査目的

降水中に存在する各種イオン成分の測定を行うことによって、雨の化学成分組成、イオンバランス等を明らかにし、酸性雨発生機構解明の基礎資料を得ることを目的とする。

2 調査地点及び調査期間

調査地点及び調査期間は表5-1のとおりである。平成21年度は太陽が丘測定点（金沢市）1地点で通年調査を実施した。

表5-1 調査地点

| 調査地点 | 所在地 | 設置場所 | 区分 | 調査期間 |
|------|--------------------|-------------------|-------|---------------------------|
| 太陽が丘 | 金沢市太陽が丘 1丁目11番地 | 石川県保健環境センター 屋上 | 1週間降水 | 平成21年3月30日～ 平成22年3月29日 |

3 調査方法

(1) 1週間降水の採取方法

自動降水採水器を用いて、原則月曜日毎に1週間分の降水を採取した。

(2) 測定項目及び測定方法

表5-2のとおり10項目を測定した。

表5-2 測定項目及び測定方法

| 区 分 | 測 定 項 目 | 測 定 方 法 | |
|----------------------------|--|-------------|-------------|
| 1週間降水 | 水溶性成分 | pH | ガラス電極法 |
| | | EC (電気伝導率) | 電気伝導率計による方法 |
| | SO ₄ ²⁻ (硫酸イオン) | イオンクロマトグラフ法 | |
| | NO ₃ ⁻ (硝酸イオン) | 〃 | |
| | Cl ⁻ (塩化物イオン) | 〃 | |
| | NH ₄ ⁺ (アンモニウムイオン) | イオンクロマトグラフ法 | |
| | Ca ²⁺ (カルシウムイオン) | 〃 | |
| | Mg ²⁺ (マグネシウムイオン) | 〃 | |
| K ⁺ (カリウムイオン) | 〃 | | |
| Na ⁺ (ナトリウムイオン) | 〃 | | |

4 調査結果

1 週間降水の pH、EC 及び降水成分分析結果は、表 5-3 のとおりであった。

pH の範囲は 3.83~7.27、平均値 4.58 であり、これまでの最低値が観測された平成 19 年度平均値 4.31 から、ここ 2 年間酸性度が弱まる傾向であった。また、平成 15~19 年度における全国平均値^{注)} 4.68 に比べて、やや低い値であったが、植物に対する急性被害が懸念される pH 3 未満の降水は観測されなかった。

また、降水酸性化の指標となる非海塩由来硫酸イオン (nss-SO₄²⁻) 濃度の平均値は 16.7 μmol/L、硝酸イオン (NO₃⁻) 濃度の平均値は 17.5 μmol/L であり、前者は平成 15~19 年度における全国平均値^{注)} 13.8 μmol/L の 1.21 倍で、後者は平成 15~19 年度における全国平均値^{注)} 14.2 μmol/L の 1.23 倍であったが、いずれも前年度よりも濃度が低下していた。

なお、本調査の実施に際しては、全国環境研協議会酸性雨広域大気汚染調査研究部会が実施する精度管理調査に参加し、測定データの信頼性確保を図っている。また、測定値はイオンバランスの検定、電気伝導率の計算値と実測値の比較を経て有効であることを確認している。

表 5-3 pH、EC 及び降水成分濃度の概要

| 項目 | 平成 21 年度調査結果 | | |
|--|-------------------|--------|-------------------|
| | 平均値 ²⁾ | 最高値 | 最低値 ³⁾ |
| 降水量 ¹⁾ (mm) | 2,552.5 | 174.0 | 0.0 |
| pH | 4.58 | 7.27 | 3.83 |
| 電気伝導率 (EC) (μS/cm) | 35.3 | 255.0 | 5.6 |
| 硫酸イオン (SO ₄ ²⁻) (μmol/L) | 22.9 | 138.9 | 3.2 |
| 硝酸イオン (NO ₃ ⁻) (μmol/L) | 17.5 | 130.0 | 4.4 |
| 塩化物イオン (Cl ⁻) (μmol/L) | 112.2 | 1342.5 | 1.9 |
| アンモニウムイオン (NH ₄ ⁺) (μmol/L) | 16.0 | 104.2 | 2.2 |
| カルシウムイオン (Ca ²⁺) (μmol/L) | 8.7 | 96.3 | 0.0 |
| マグネシウムイオン (Mg ²⁺) (μmol/L) | 11.6 | 143.2 | 0.0 |
| カリウムイオン (K ⁺) (μmol/L) | 3.2 | 41.7 | 0.0 |
| ナトリウムイオン (Na ⁺) (μmol/L) | 102.9 | 1214.8 | 2.5 |
| 水素イオン (H ⁺) (μmol/L) | 26.2 | 147.9 | 0.1 |
| 非海塩由来硫酸イオン (nss-SO ₄ ²⁻) (μmol/L) | 16.7 | 69.0 | 2.9 |
| 非海塩由来カルシウムイオン (nss-Ca ²⁺) (μmol/L) | 6.5 | 91.8 | 0.0 |

- (注) 1 降水量は、降水採取器の貯水量から換算した値であり、平均値欄の数値は年間値である。
 2 平均値については、pH は、水素イオン濃度に換算した上で降水量 (貯水量換算値) 重み付き算術平均値、その他の項目は降水量 (同) 重み付き算術平均値である。
 3 降水量以外の項目の最低値については、降水量 0mm の時を除いた値である。
 4 非海塩由来硫酸イオン (nss-(non sea salt)SO₄²⁻) とは、海塩由来の SO₄²⁻ を除いた SO₄²⁻ 濃度を示す。
 $[nss-SO_4^{2-}] = [SO_4^{2-}] - 0.060 [Na^+]$ (海塩中の SO₄²⁻/Na⁺=0.060) (単位はモル濃度)
 5 非海塩由来カルシウムイオン (nss-(non sea salt)Ca²⁺) とは、海塩由来の Ca²⁺ を除いた Ca²⁺ 濃度を示す。
 $[nss-Ca^{2+}] = [Ca^{2+}] - 0.0216 [Na^+]$ (海塩中の Ca²⁺/Na⁺=0.0216) (単位はモル濃度)

注) 「酸性雨長期モニタリング報告書(平成 15~19 年度)」環境省(平成 21 年 3 月)より引用した。

5 経年変化

(1) pHの変化の状況

pHについて、1週間降水の年平均値、最低値及び最高値の経年変化を表5-4に、年平均値の推移を図5-1に示した。

図5-1からは、観測を開始した昭和58年度から平成12年度に比べ、平成13年度から平成19年度はpHが低下している傾向がうかがえたが、平成20年度からはpHが高くなりつつある。

また、日本海側における他の測定点(新潟、新潟巻)と比較すると変動傾向は似ているが、近年はこれらの地点より、pHがやや低めに推移する傾向であった。

本県においては、現在のところ酸性雨による深刻な被害を受ける状況には至っていないが、大陸方面からの大気汚染物質の長距離輸送の影響も懸念され、気象要因による変動等も考慮し、今後とも推移を注意深く観察する必要がある。

表5-4 一週間降水のpH(年平均値、最低値及び最高値)の経年変化

| 年 度 | 金 沢 | | | | 測定点 |
|-------|--------------------|------|------|-----------------------|------|
| | 年平均値 ¹⁾ | 最低値 | 最高値 | 降水量(mm) ²⁾ | |
| 昭和 58 | 4.73 | 4.4 | 6.7 | 2,936 | 三 馬 |
| 59 | 4.71 | 4.0 | 6.1 | 2,198 | 〃 |
| 60 | 4.65 | 4.1 | 6.3 | 3,380 | 〃 |
| 61 | 4.54 | 4.2 | 6.5 | 2,047 | 〃 |
| 62 | 4.63 | 3.7 | 5.7 | 1,982 | 〃 |
| 63 | 4.74 | 4.2 | 6.5 | 2,758 | 〃 |
| 平成 元 | 4.62 | 4.1 | 5.6 | 2,754.8 | 〃 |
| 2 | 4.72 | 4.1 | 5.2 | 3,092.2 | 〃 |
| 3 | 4.53 | 4.03 | 6.11 | 1,821.8 | 〃 |
| 4 | 4.54 | 3.94 | 5.99 | 2,015.0 | 〃 |
| 5 | 4.68 | 3.87 | 7.02 | 2,790.4 | 太陽が丘 |
| 6 | 4.58 | 4.18 | 6.67 | 1,891.1 | 〃 |
| 7 | 4.62 | 4.00 | 6.52 | 2,676.6 | 〃 |
| 8 | 4.61 | 3.86 | 6.61 | 2,215.1 | 〃 |
| 9 | 4.63 | 3.94 | 7.39 | 2,659.8 | 〃 |
| 10 | 4.71 | 4.24 | 6.37 | 3,068.5 | 〃 |
| 11 | 4.62 | 4.13 | 6.26 | 2,785.7 | 〃 |
| 12 | 4.60 | 4.04 | 7.33 | 2,336.5 | 〃 |
| 13 | 4.50 | 3.93 | 7.54 | 2,761.1 | 〃 |
| 14 | 4.52 | 3.84 | 5.30 | 2,827.1 | 〃 |
| 15 | 4.47 | 4.01 | 5.20 | 2,685.6 | 〃 |
| 16 | 4.51 | 4.08 | 5.21 | 2,867.8 | 〃 |
| 17 | 4.39 | 3.71 | 6.63 | 2,733.8 | 〃 |
| 18 | 4.51 | 3.63 | 5.66 | 2,715.4 | 〃 |
| 19 | 4.31 | 3.73 | 5.18 | 2,364.7 | 〃 |
| 20 | 4.48 | 4.00 | 4.98 | 2,431.9 | 〃 |
| 21 | 4.58 | 3.83 | 7.27 | 2,552.5 | 〃 |

(注) 1 年平均値は、水素イオン濃度換算後の貯水量重み付き算術平均値である。

2 降水量は、降水採取器の貯水量から換算した値であるが、昭和58～61年については、最寄の気象官署及びアメダスに基づく降水量である。(石川県衛生公害研究所年報第26号 p.89-108 参照)

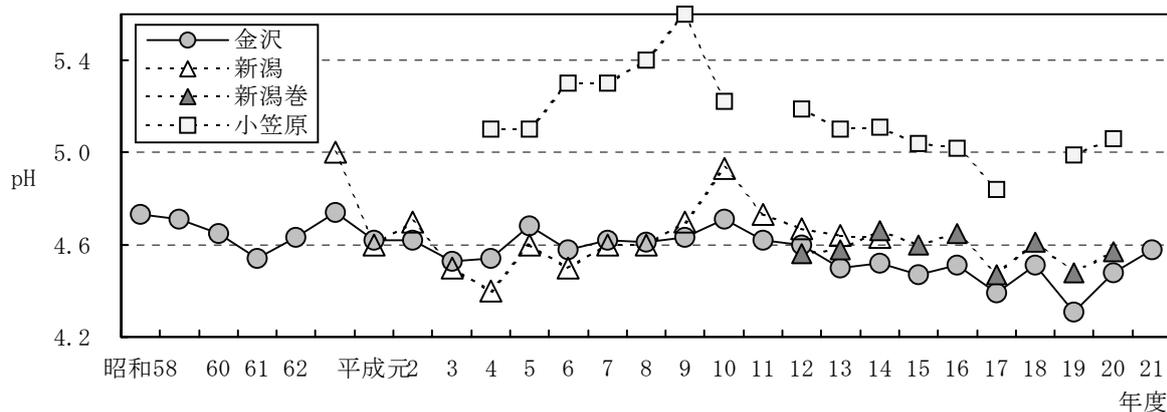


図5-1 1週間降水のpH(年平均値)の推移

- (注) 1 新潟、小笠原(H4-H14)のデータは「酸性雨対策調査総合とりまとめ報告書」酸性雨対策協議会(平成16年6月)から引用した。
 2 新潟巻、小笠原(H15-H19)のデータは「酸性雨長期モニタリング報告書」環境省(平成21年3月)から引用した。
 3 新潟巻、小笠原(H20)のデータは、平成21年度第2回越境大気汚染・酸性雨対策検討会(平成22年3月26日、環境省)配布資料「平成20年度国内モニタリングデータ(湿性・乾性沈着、土壌・植生、陸水)の概要」から引用した。

(2) 降水成分の変化の状況

平成17～21年度の降水成分濃度は、表5-5のとおりであった。

平成21年度においては、湿性沈着の酸性化に寄与する指標である非海塩由来硫酸イオン(nss-SO_4^{2-})及び硝酸イオン(NO_3^-)濃度がここ5年間で最も小さく、また、酸性化を抑制する指標とされているアンモニウムイオン(NH_4^+)濃度は前年度より減少していたが、非海塩由来カルシウムイオン(nss-Ca^{2+})濃度はここ5年間ほぼ同様であった。

表5-5 降水成分濃度(年平均値)の経年変化

| 項目 | H17 | H18 | H19 | H20 | H21 |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| 降水量 (mm) | 2733.8 | 2715.1 | 2364.7 | 2431.9 | 2552.5 |
| pH | 4.39 | 4.51 | 4.31 | 4.48 | 4.58 |
| SO_4^{2-} ($\mu\text{mol/L}$) | 33.8 | 27.9 | 31.4 | 26.5 | 22.9 |
| NO_3^- ($\mu\text{mol/L}$) | 25.6 | 21.8 | 27.7 | 20.8 | 17.5 |
| Cl^- ($\mu\text{mol/L}$) | 150.0 | 130.4 | 131.1 | 149.3 | 112.2 |
| NH_4^+ ($\mu\text{mol/L}$) | 24.2 | 19.9 | 24.9 | 18.9 | 16.0 |
| Ca^{2+} ($\mu\text{mol/L}$) | 9.4 | 8.5 | 9.0 | 6.9 | 8.7 |
| Mg^{2+} ($\mu\text{mol/L}$) | 15.8 | 13.6 | 13.7 | 14.5 | 11.6 |
| K^+ ($\mu\text{mol/L}$) | 4.0 | 4.0 | 3.8 | 3.5 | 3.2 |
| Na^+ ($\mu\text{mol/L}$) | 132.4 | 117.3 | 118.2 | 129.2 | 102.9 |
| H^+ ($\mu\text{mol/L}$) | 40.3 | 30.8 | 49.3 | 33.5 | 26.2 |
| nss-SO_4^{2-} ($\mu\text{mol/L}$) | 25.8 | 20.8 | 24.3 | 18.8 | 16.7 |
| nss-Ca^{2+} ($\mu\text{mol/L}$) | 6.5 | 6.0 | 6.4 | 4.1 | 6.5 |

平成 17～21 年度における月別の非海塩由来硫酸イオン(nss-SO_4^{2-})、硝酸イオン(NO_3^-)、非海塩由来カルシウムイオン(nss-Ca^{2+})及びアンモニウムイオン(NH_4^+)の濃度の変化は、図 5-2 から図 5-5 のとおりである。

いずれの成分も夏季に濃度が低く、冬季を迎える 11 月頃から上昇し、2 月から 5 月にかけて最も濃度が高くなる傾向である。

平成 21 年度については、これまでの傾向と同様、夏季に濃度が低く、冬季に濃度が高い傾向を示した。非海塩由来硫酸イオン(nss-SO_4^{2-})及び硝酸イオン(NO_3^-)濃度とも過去 4 年間よりも低い傾向であった。一方、非海塩由来カルシウムイオン(nss-Ca^{2+})濃度は 3 月を除いては、全体的に低い傾向であった。3 月に非海塩由来カルシウムイオン濃度が高くなった原因は、3 月 21 日に飛来した黄砂による影響と推測された。

酸性化の指標となる成分の変動要因としては広域的な気象状況もあることから、今後とも継続して調査を続けていくこととしている。

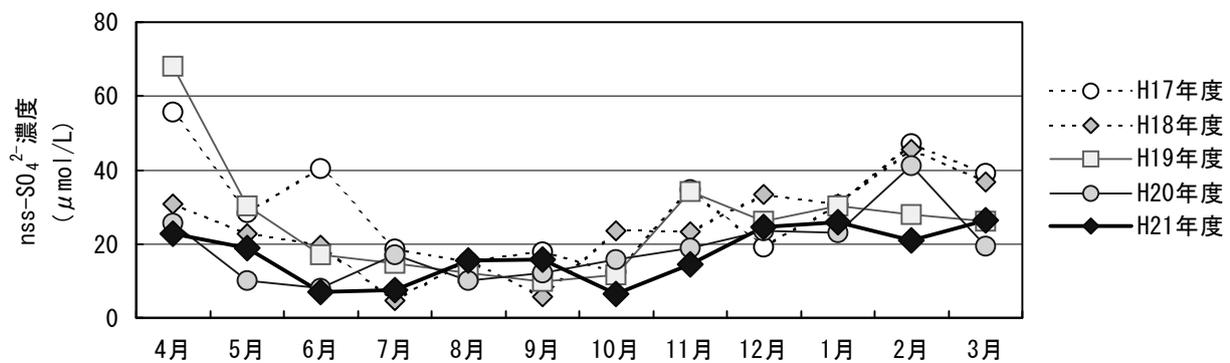


図 5-2 月別 nss-SO_4^{2-} 濃度

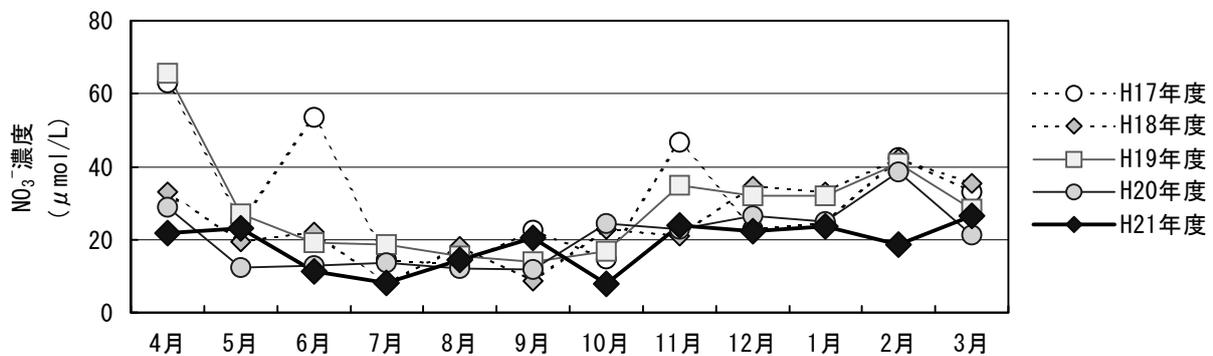


図 5-3 月別 NO_3^- 濃度

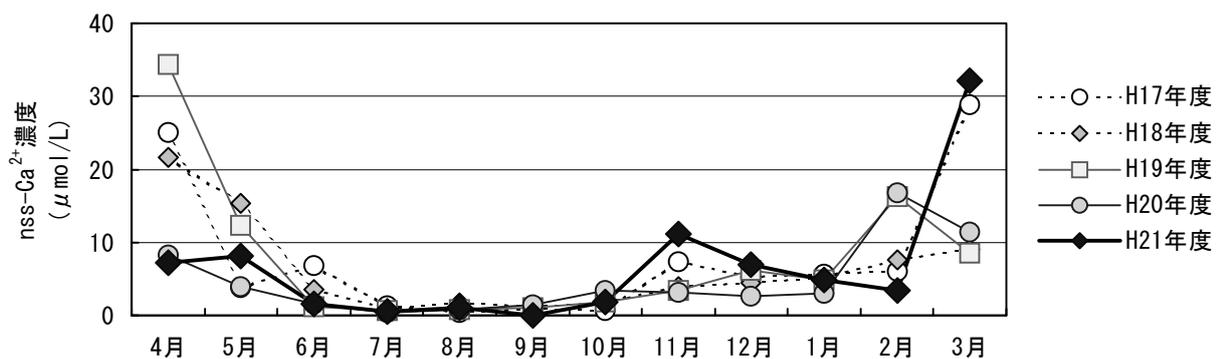


図 5-4 月別 nss-Ca^{2+} 濃度

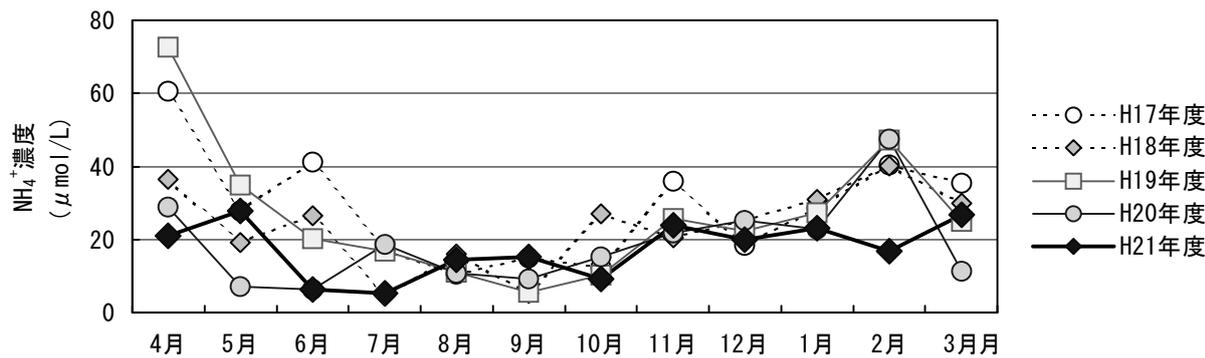


図5-5 月別NH₄⁺濃度

6 その他の酸性雨影響調査

環境省の実施している土壌・植生モニタリング調査は、白山国立公園（白山市）、石動山（中能登町）及び宝立山（輪島市）の3地点において、平成元年度から（白山国立公園は平成15年から）概ね5年に1回の頻度で継続的に実施されている。直近の平成17年度の調査においては、「石動山、宝立山で土壌中のpH（KCl）の低下がみられ、土壌中の酸度の上昇が示唆されたが、酸性沈着や土壌酸性化が主要因と断定される衰退木など明確な影響は確認されていない。」とされている。

また、環境省の陸水モニタリング調査は、平成15年度から大島池（倉ヶ岳大池：金沢市、白山市）で毎年、継続的に実施されている。これまでの調査結果では、酸性沈着の明確な影響は確認されなかったとされている。

引き続き、これら環境省の実施する調査に協力していく。

表5-6 大島池の水質

（単位：pH及びECを除きμmol/L）

| 年度 | pH | EC (μS/cm) | アルカリ 度 | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | NH ₄ ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | Na ⁺ |
|-------------|------|---------------|-----------|-------------------------------|------------------------------|-----------------|------------------------------|------------------|------------------|----------------|-----------------|
| H15～ H19 | 6.53 | 42.9 | 134 | 33.5 | 8.6 | 186.5 | 2.5 | 65.0 | 70.1 | 25.8 | 197.1 |
| H20 | 6.73 | 44.6 | 140 | 39.1 | 8.9 | 194.6 | 3.3 | 56.4 | 84.7 | 27.1 | 197.9 |

注) 1 H15～H19のデータは「酸性雨長期モニタリング報告書(平成15～19年度)」環境省(平成21年3月)より引用した。

2 H20のデータは、平成21年度第2回越境大気汚染・酸性雨対策検討会(平成22年3月26日、環境省)配布資料「平成20年度国内モニタリングデータ(湿性・乾性沈着、土壌・植生、陸水)の概要」から引用し、単位換算を行った。