

岡山における酸性雨について

(2) 降雨強度と降雨成分の関係

山下 栄次・森谷 武宣・畑 新司・中川 正人
坂野 泰介・猶原 順・石井 猛・繁 吉次

岡山理科大学環境資源研究センター

(1992年9月30日 受理)

1. はじめに

酸性雨の調査方法は、一雨毎または1～2週間連続して採取して平均値として評価する方法と、降雨中の変動に注目した方法が用いられている。前者による代表的な調査は、環境庁^{1,2)}によって行われ我が国での酸性雨の概況は把握された。この時用いられた採取法は、環境庁調査マニュアル³⁾として公表され、現在全国の自治体で用いられている。

後者による調査・研究は、大気中の汚染物質のウェットな除去機構 (rainout, washout) に注目し行われている。雲中や雲底での rainout についての研究は、大喜多⁴⁾や藤田等⁵⁾によって行われ、雲中での汚染物質の挙動や雲中での上昇気流の速度が化学成分濃度に影響があることが明らかになってきている。一方、washout の研究は、降雨中の降雨強度と降雨成分の関係について観測し解析した研究例がある。竹内⁶⁾は降水の化学成分が、降雨をもたらした気塊の流跡と降雨強度によって大きく変動することを報告し、谷尾等⁷⁾は連続降水における pH 及び導電率が降雨強度によって影響を受けることを報告している。

岡山における酸性雨の研究は、木村等^{8,9,10,11)}によって行われ、酸性雨の植物影響等について考察している。環境の評価は一雨毎の降雨を採取した値を用いている。また、豊沢等^{12,13,14,15,16)}は初期降雨 (1～5 mm) は 1 mm 毎採取、その後の降雨は一括採取する方法を用いて県内の観測を行い、岡山県での酸性雨の実態を明らかにし、降雨の化学成分と降雨型にも言及しているが降雨強度の関係には言及していない。

そこで、著者等は岡山での降雨強度と降雨の化学成分濃度との関係について検討するため、自動酸性雨測定機での観測を行い、降雨強度を降雨 1 mm 毎に算出し、観測値を解析した。その結果、pH は降雨強度が大きくなるに従い徐々に中性に近付き、導電率と NO_3^- は降雨強度が大きくなるに従い濃度が低くなることが明らかになった。

2. 実験方法

- 1) 観測期間：1990年6月～1991年5月の12ヶ月、降雨数は71回、延べ883回の観測値
- 2) 観測場所：岡山理科大学12号館

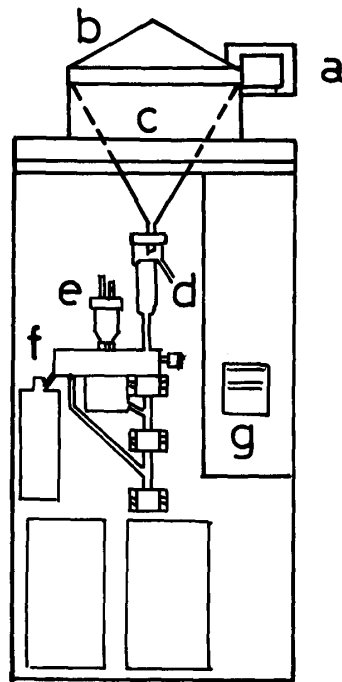


Fig. 1 Schematic diagram of automatic acid rain measuring instrument.
 (a) rain sensor (b) dust cover (c) funnel
 (d) rain amount scale cup (e) pH and EC measuring cup (f) NO₃⁻ and SO₄²⁻ measuring block (g) printer

3) 観測装置：K社製，雨水自動測定装置 AR-102-SN¹⁷⁾（以下 AUAR と略す）。

AUAR は降雨の降り始め時刻，降り終わり時刻及び測定時刻と 1 mm 毎の pH，EC (Electric Conductivity, 導電率, $\mu\text{S}/\text{cm}$)，NO₃⁻ (mg/l) 及び SO₄²⁻ が自動記録できる装置である。SO₄²⁻ は調整不良により有効測定数が少ないため，今回の解析から除いた。装置の概念図を Fig. 1 に示した。

4) 一雨毎降雨強度と 1 mm 毎降雨強度は次式によって算出した。

一雨毎降雨強度 (mm/h)

$$= \{ \text{一雨の降雨量 (mm)} \} / \{ \text{一雨にかかった時間 (min.)} \} \times 60$$

1 mm 毎降雨強度 (mm/h)

$$= \{ 1 \text{ 回測定}の降雨量 (mm) \} / \{ 1 \text{ mm 降雨にかかった時間 (min.)} \} \times 60$$

5) 各降雨強度での pH，EC 及び NO₃⁻ の平均値は次式によって荷重平均値を算出した。

なお，pH は H⁺ 濃度に換算した値を用いた後，次式で算出した。

$$X = \Sigma (X_i \times R_i) / \Sigma R_i$$

X : 各降雨強度での平均値，X_i : 各降雨強度での一回毎の測定値

R_i : 各降雨強度での X_i に対応した降雨量

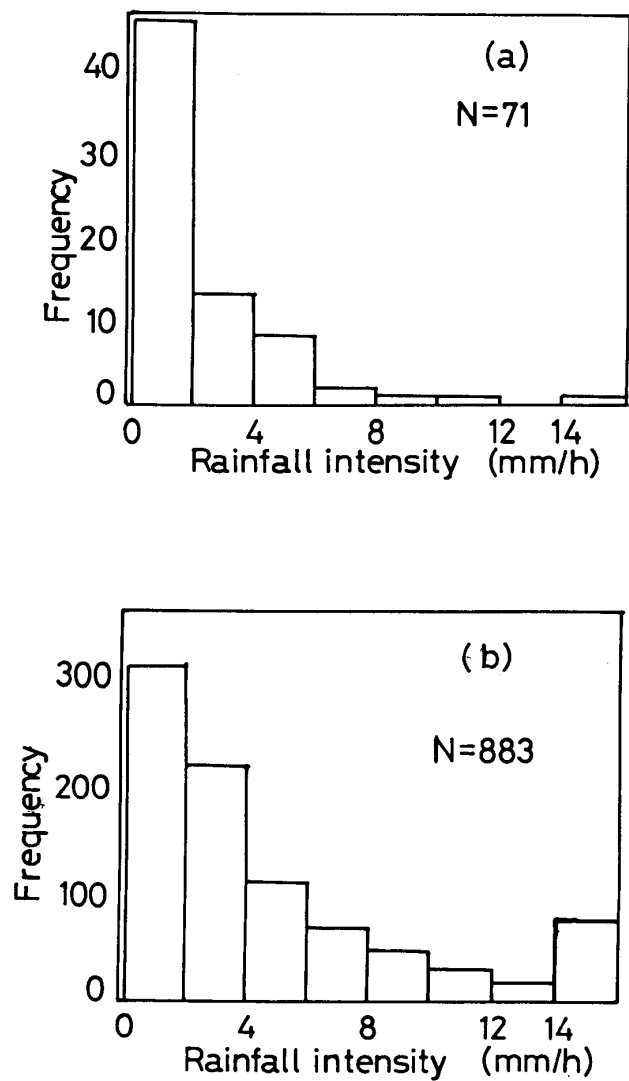
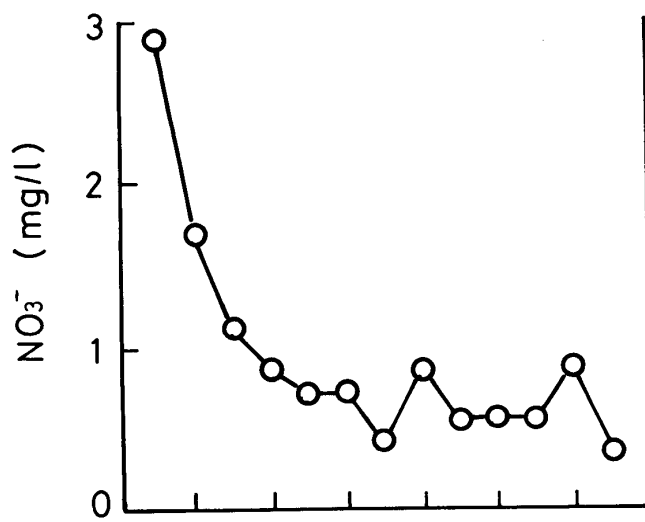


Fig. 2 Frequency histograms of rainfall intensity
 (a) rainfall intensity in a event
 (b) rainfall intensity in a 1mm rainfall amount



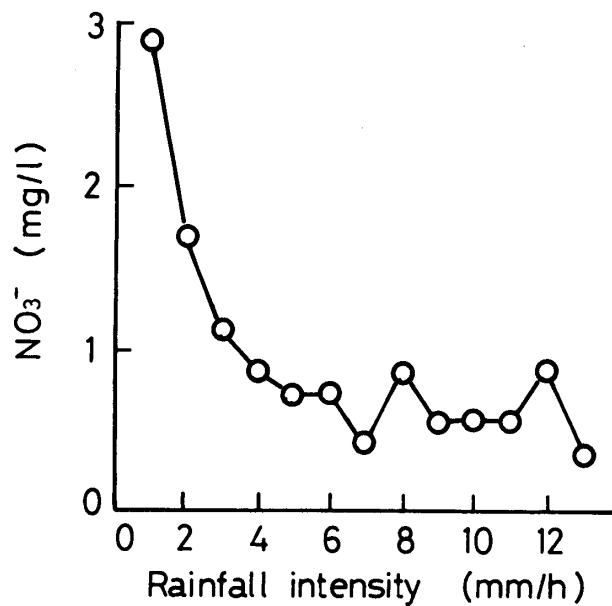


Fig. 4 Relationship between rainfall intensity and concentration of NO₃⁻

降は上下を繰り返した。13mm/h 以降ではさらに少ない値を示した。

pH, EC 及び NO₃⁻ の 3 要素について共通に見られる傾向は, 降雨強度 1 ~ 4 mm/h の間での変化量が他の降雨強度の時と比較して大きいことである。この間で pH は 0.7 程度中性側になり, EC は約 1/2 となり, NO₃⁻ は約 1/4 となっていた。5 ~ 12mm/h での変化量は 1 ~ 4 mm/h の間での変化量に比べ少ない。しかし, pH は 9 ~ 12mm/h の間, EC は 8 ~ 12mm/h の間, NO₃⁻ は 7 ~ 12mm/h の間で上下を繰り返していた。この現象は観測例が少ないために起きている現象と考えられる。今後観測を継続し例数を増して検討したい。

13.1mm/h 以上の場合は, 13mm/h 未満と比較して, pH はより中性側に値をとり, EC と NO₃⁻ は最低値を示した。この現象は, 13.1mm/h 以上の降雨がある時は, 風が強い場合が多く大気汚染物質は拡散されている場合が多く, 雨粒の粒径も大きいため, 大気汚染物質の取り込み効率が悪くなるためであろうと考える。

筆者等の述べた降雨強度が弱い時は強い時に比べ化学成分が多くなるという傾向は, 竹内⁶⁾や谷尾等⁷⁾の報告と一致した。また近年, 乗鞍岳の(高度2,770m)での霧水の化学成分に注目した研究が鶴田等^{18,19)}によって行われ, 雨水に比べ, 霧水の pH が 3.6 と低く SO₄²⁻ 濃度も高いことが報告されている。このことは, 霧(雲)を降雨強度が小さい降雨と考えれば, 降雨強度が弱い降雨ほど化学成分が多くなる筆者等の結果と同じ傾向を示しているものと考えられる。

謝 辞

本報告を作成に当り貴重な助言を頂いた岡山理科大学松岡隆先生に深謝します。

文 献

- 1) 酸性雨対策検討会大気分科会：酸性雨対策調査中間報告書 (1987).
- 2) 酸性雨対策検討会大気分科会：酸性雨対策調査報告書 (1990).
- 3) 環境庁大気保全局：酸性雨等調査マニュアル (1988).
- 4) 大喜多敏一：湿性沈着・雲物理過程と降水への物質の取り込み機構，気象研究ノート，**158**，107~118 (1987).
- 5) 藤田慎一，寺田信之，千秋鋭夫：降雨による大気汚染物の洗浄作用 (I) 前線性線上に伴う雨水の変動について，大気汚染学会誌，**15**，9，359~366 (1980).
- 6) 竹内丑雄：降水中の化学物質濃度の変動について，地球化学，**5**，1~12 (1972).
- 7) 谷尾桂子，江坂忍：連続降水における pH 及び導電率の経時変化，第31回大気汚染学会講演集，392 (1990).
- 8) 木村和義：雨と植物，農業気象，**34**，23~30 (1978).
- 9) 木村和義，田中丸重美：雨と植物反応に関する研究 (1) 乾物生産に対する降雨の影響，同誌，**36**，189~195 (1980).
- 10) 木村和義，則武赴夫，高須謙一：倉敷における雨水の pH，電気伝導度およびアサガオ花卉の脱色反応，農業研究，**60**，39~52 (1982).
- 11) 木村和義，田中丸重美，則武赴夫：降雨経過に伴う pH と電気伝導度の変化，農業研究，**61**，47~55 (1986).
- 12) 市川省吾，豊沢澄治，石井邦彦：酸性雨に関する調査結果について，岡山県環境保健センター年報，**8**，237~238 (1984).
- 13) 市川省吾，豊沢澄治，石井邦彦，森田啓次郎：湿性大気汚染に関する調査研究，第1報降雨自動採取装置の機種間差と県南におけふる実態調査結果について，同誌，**9**，90~98 (1985).
- 14) 豊沢澄治，市川省吾，石井邦彦：湿性大気汚染に関する調査研究，第2報県南及び県北地域における雨水成分の比較，同誌，**10**，63~69 (1986).
- 15) 豊沢澄治，市川省吾，石井邦彦：湿性大気汚染に関する調査研究，第3報県南及び県西地域における雨水成分の比較，同誌，**11**，55~59 (1987).
- 16) 豊沢澄治，市川省吾，石井邦彦：田園地域と水島臨海工業地域における雨水成分の比較，同誌，**13**，31~43 (1989).
- 17) 紀本電気工業：雨水測定装置 AR-102N 使用説明書.
- 18) 鶴田治雄，太田正雄，渡辺善徳等：乗鞍岳 (高度2,770m) における夏期の霧水，雲水及び雨水中のイオンと過酸化水素の測定 (第1報)，第31回大気汚染学会講演要旨集，408 (1990).
- 19) 鶴田治雄，太田正雄，渡辺善徳等：乗鞍岳における夏期の霧水，雲水及び雨水中のイオンと過酸化水素の測定 (第2報)，第32回大気汚染学会講演要旨集，382 (1991).

であった。この降雨により岡山県南東部（備前，長船）では川の氾濫や浸水の被害が出た。この降雨の間に，雨水自動測定装置は136回の測定をしていた。

1 mm 毎降雨強度での最高値，最低値，平均値，標準偏差は405.0, 0.1, 20.0, 7.22mm/hであった。最高値は台風19号中に観測され90年 9 月12時43分から 2 分間で13.5mm の降雨が観測された。最低値の0.1~0.2mm/hは25例あり季節的な出現の特徴はなかった。0~1.9 mm/h の占める率は34.9%で一雨毎降雨強度よりすくなかった。0~13.9mm/h の占める率は91.2%であった。14.9mm/h 以上の例が77例あったため平均値は一雨毎降雨強度の約 8 倍の20.0mm/h で一雨降雨強度の最大値より大きかった。一雨降雨強度のヒストグラムと比較すると出現頻度は，強い方へ移動していた。これは，降雨中の 1 mm 毎降雨強度は一定ではなく大きく変動していることを示している。

降雨強度と降雨成分の関係についての検討をするためには，一雨降雨強度で評価するよりは 1 mm 毎降雨強度を用いる方がより細かい挙動を知ることができると考えられる。

2) 降雨強度と降雨成分の関係

Fig. 3, 4 に降雨強度を， 0~1.0, 1.1~2.0のように， 1 mm/h階級別に区分し， pH, EC 及び NO_3^- の平均値を示した。ただし， 13.1mm/h 以上は 1 つの階級として処理した。

pH は 1 mm/h の4.56から 9 mm/h の5.46となっていた。1~4 mm/h では急激に変化して5.6（酸性雨であるかの目安の pH 値）に近付いていた。5~12mm/h では5.1~5.2 付近であった。13mm/h ではさらに中性に近づいていた。

EC は 1 mm/h の55.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ から 7 mm/h の29.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ まで減少していた。8 mm/h 以降は上下を繰り返した。13.1mm/h 以降ではさらに少ない値を示した。

NO_3^- は 1 mm/h の2.90mg/l から 7 mm/h の0.45mg/l まで減少していた。8 mm/h 以

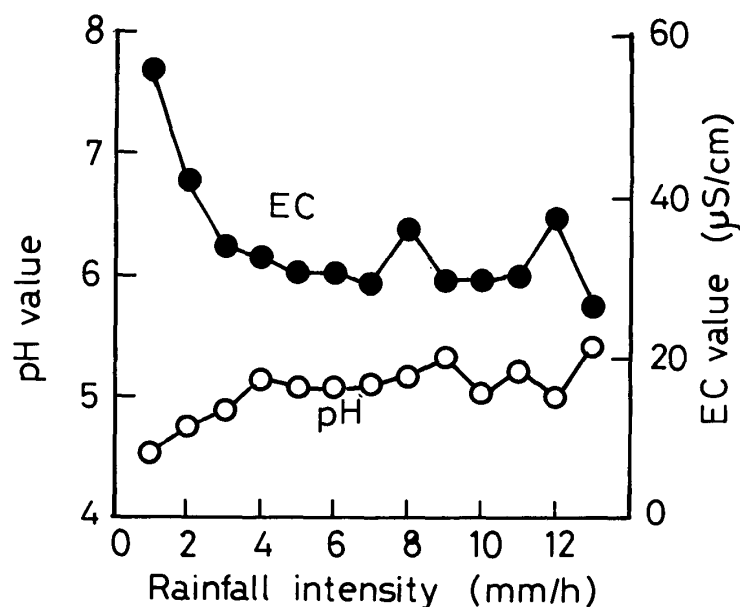


Fig. 3 Relationship between rainfall intensity and pH value and EC value

Acid rain in Okayama

(2) Relationship between rainfall intensity and chemical composition in rain water

Eiji YAMASHITA, Takenori MORIYA, Shinji HATA, Masato NAKAGAWA,
Taisuke SAKANO, Jun NAOHARA, Takeshi ISHII and Yoshitsugu SHIGE

Environmental Resources Research Center,

Okayama University of Science,

Ridai-cho 1-1, Okayama 700, Japan

(Received September 30, 1992)

The relationship between rainfall intensity and chemical composition in rain water in Okayama was investigated for twelve months from Jun. 1990 to May 1991 by automatic acid rain measuring instrument.

The more rainfall intensity was high, pH in rain water slowly closed to neutral, and the more EC and NO_3^- in rain water were to low value.