研究論文

簡易測定法による小牧市での降水 pH の挙動

Behavior of Precipitation pH in Komaki, Aichi by Simple Methods

吉田 秀敏*・玉置 元則**

ABSTRACT

The precipitation was collected using a simple sequential sampling apparatus, each 5 ml per every 1 mm precipitation in Komaki area, Aichi during the period from January, 1993 to December, 1997. And pH and electric conductivity of the precipitation were measured by simple apparatuses. The range of annual average pH value was 4.2 ~ 4.8, and that of H^+ depositions was $16 \sim 80 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$. It was found that the outline of chemical properties of precipitation for some areas could be analyzed by long-term monitoring with the simple method.

Key Words: precipitation, simple method, pH

要 旨

日本の中央部の中核都市である愛知県小牧市で、1993年1月から5年間、簡易的な雨水採取装置を用いて降水のみの採取法で1 mmごとに8 mmまで降水試料を分割採取した。432回の降水について、2,267試料を採取し、簡易的な装置でpHと導電率を測定した。pHの年平均値は4.2~4.8であったが、月別の変動は3.6~5.6の範囲にあった。また、1 mmごとの分割採取試料のpHは3.4~7.7の範囲にあった。 H^+ 沈着量は $16 \sim 80 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{年}$ の範囲にあり、夏期に大きい傾向がみられた。簡易的な手法でも労力をかけて長期的に調査すれば、降水の性状の概要を的確に把握できることがわかった。

キーワード: 酸性雨, 簡易測定, pH

1. はじめに

酸性雨現象は二酸化炭素等による地球温暖化やフロンガス等による成層圏オゾン層破壊とならんで、典型的な地球規模の環境問題といわれている¹⁾。しかし、降水の酸性化の原因の半分程度は大陸間規模の大気汚染物質の中距離移流にもとづいているが、残りの部分は測定している地域の汚染を反映するとされている²⁾。ここに都市部を含めた各地域での酸性雨測定の意義がある。

一方、降水のみの採取(wet only法)は主に感雨器を使用した蓋の自動開閉による自動採取装置を用いて行われているが、労力さえいとわなければ、バ

ケツ等を用いた手動による採取も可能である。そういう意味では酸性雨調査は市民が手軽に参加しうるものであり、絶好の環境教育の手段ともいえる。ここでは愛知県小牧市で簡易的な採取装置と簡易的なpH測定(ならびに導電率測定)を組み合わせ、5年間にわたり毎日空を眺めながら、雨と雪を採取し、そのデータを蓄積した1つの成果を発表する。この間、432回の降水に対して2,267試料を容量別に分割採取し、それぞれの試料のpH等を測定した。

2. 測定方法

2.1 採取場所

愛知県小牧市の民家の敷地内で降水試料を採取し

* 吉田薬局 Hidetoshi YOSHIDA

** 兵庫県立公害研究所 Motonori TAMAKI

1998年7月30日受付

1998年8月21日受理

図ー1 降水採取地点の概要

た(図ー1)。小牧市は愛知県北西部(名古屋市の北部)に位置し、人口約14万人の古い歴史と豊かな文化を有する中部地方の中核都市である。市内には名古屋空港があり、名神、東名と中央の3つの高速道路の結節点となっている。年間の平均気温は15.1℃、年間降水量は1,200 mm程度である。

採取地点の民家の宅地(著者:吉田自宅)の近辺には、東側に県道名古屋犬山線が、南側に国道155線があるが、いずれの道路からも約70m程度離れている。住居を東西に囲うブロック塀の西端に高さ1.7mの位置に採取装置を設置した。周辺には採取を妨げるような樹木等は存在しない。

2.2 採取期間

1993年1月1日から1997年12月31日までの期間、連続して降水を採取した。なお、この採取は1998年12月現在も続けて行われている。

2.3 採取装置と測定装置

降水の採取は簡易降水採取装置・レインゴーランド(堀場製作所製、口径80 mm、図ー2)³⁾を用い、降水開始とともに、採取装置の覆いをはずして試料を採取した。本装置では降水1 mmごとに7 mm目まで約5 mlごとに分割採取することができる。8番目の容器には8 mm目以降の降水がさらに20 mm分(約100 ml)採取される。降水終了後に試料を室内に取り込み、直ちにpHと導電率を測定した。夜半に降水が終了した場合は早朝に試料を回収した。

図ー2 簡易降水採取装置「レインゴーランド」の動作原理³⁾

カップに雨水がたまってゆくと、反対側にある重りとのバランスがくずれ、回転板が反時計方向にバランスを保ちながら徐々に回転する

また、レインゴーランドと同程度の高さで、口径80 mmのポリエチレン製ビーカーをレインゴーランド設置場所から70 cm離して設置した。このビーカーは容量300 ml強であり、さらに大雨の場合には同ビーカーを複数個準備し順次新しいビーカーに取り換え降水を採取した。降水量の算出は、小雨の場合はレインゴーランドでの採取量から、さらに大量の降水の場合はこのビーカーで採取した試料量(メスシリンダーで計量)から降水量を算出した。

pHの測定には簡易型pH計(堀場製作所製、Twin pH B-112型)を、導電率測定には簡易型導電率計(堀場製作所製、Twin Cond B-173型)を使用した。各測定に先だって、pH計はpH 4とpH 7の標準液を用いて2点校正し、導電率計は114 $\mu\text{S}/\text{cm}$ の標準液を用いて1点校正した。

2.4 データの平均値の求め方

レインゴーランドおよびビーカーはその口径を正確に計測し、この値を用いて降水量を計算して求めた。1降水、月平均値および年平均値の算出はいずれも降水量で重み付けした加重平均で算出した²⁾。

3. 結果と考察

3.1 降水データの概要

表1に5年間の降水データの概要を示す。年降水量は1,031~1,688 mmで1993年は多く、94年は少なく、全国的な傾向とほぼ同じであった⁴⁾。年間降水回数は78~103回で、分割採取試料数は年間366~560試料であった。1降水あたりの平均分割試料数は5本

表1 小牧市における5年間の酸性雨データ

項 目	93年	94年	95年	96年	97年	平均値
年間降水量(mm)	1688	1031	1426	1320	1463	1386
参考：名古屋(小牧)空港	1704	1042	1381	1192	1350	1334
一宮	—	1038	1494	>1483	1713	
降水回数(n)	103	78	83	81	87	86
分割採取試料数(n)	560	366	449	416	476	453
一降水の平均試料数(n)	5.4	4.7	5.4	5.1	5.5	5.2
pH 年平均値	4.6	4.8	4.6	4.2	4.5	4.5
最低 pH(1 降水)	3.4	3.6	3.9	3.5	3.4	
最多 pH(1 降水)	4.6	4.9	4.7	4.5	4.6	
				4.9		
導電率年平均値($\mu\text{S}/\text{cm}$)	—	23	12	16	14	

名古屋空港:愛知県西春日井郡豊山町、一宮:一宮市高田郷廻り

程度であった。pH の全平均値は4.5で、最低の pH 値は3.4であった。

なお、参考として、表中に周辺の名古屋(小牧)空港の降水量を示す。この地点は調査地点の南側であるが、西側の一宮の降水量とはかなり大きな差がある。これから考えると、本調査での降水量測定はきわめて精度よく行われていると考えられる。

3.2 pH の年平均値の変動

図-3 にこの5年間の pH と導電率の年平均値の変動を年降水量とともに示す。

小牧市での降水は冬期の一時期を除き、ほとんど降雨によるものである。pH の平均値は4.2~4.8間の変動であり、96年に特徴的に低い値を示したが、ほかの年は pH の年平均値で0.3の範囲にあり、大きな変動はみられなかった。この値は環境庁調査等と同じ傾向である⁵⁾。

図-3 pH, 導電率の年平均値と年降水量の変動

—○—: pH, —●—: 導電率, □: 降水量

降水のみでなく非降水時の沈着物も同時に採取する方法 (bulk 法) であるろ過式採取法による、名古屋市での長期的な降水 pH は4.6~5.1である⁶⁾。採取法が異なるが、やや本調査の方が低い値であった。これは wet only 法に比べて、bulk 法は降下ばいじん等による中和作用を受けるためと考えられる²⁾。

一方、導電率は94年からの4年間について測定しているが、13~26 $\mu\text{S}/\text{cm}$ の範囲にあり、pH とやや逆相関的な傾向を示していた。

3.3 pH の階級別出現率

図-4 に1降水ごとに平均値を求めた全432降水について、pH の出現率を示した。ここでは pH0.2ごとのきざみで表示した。もっとも出現率の高い階級は pH4.2~4.4であったが、pH4.2~5.0の4つの階級で全体の50%以上を占めており、2回に1回の降

図-4 1降水についての pH 階級別出現率

1つの階級の幅は0.2、4.0の表示は4.0~<4.2の範囲を示す

図一五 降水 pH の月平均値の変動

○—: 93年, ●—: 94年, □—: 95年,
△—: 96年, ▲—: 97年

〔降水量〕 A: 80.4mm, B: 189.3mm, C: 6.8mm

水はこの狭い範囲に pH が出現した。また、この 4 つの階級では出現率は 12～13% とほぼ一定であった。通常の降水では狭い範囲にピークが現れることが多いのに対し、本調査では高原状に同等の出現率を示した。特に pH4.2～4.3 の階級の出現率の高いことが、このことに対するより強い印象を与えている。

3.4 月別の pH の変動

図一五に 5 年間の降水についての、各年ごとの pH 月平均値の変動を示す。各月の平均値は、主に pH4.2～4.9 の範囲に出現しており、大きな季節変動はみられない。ただ、一部の例外を除くと、全般的な傾向としては 10～11 月の秋期に pH が高く、5～8 月の夏期(暖候期)に pH が低くなっているようにも見える。12～翌 3 月の冬期はどちらかという pH が低い方に分類される。なお、0.5 mm ごとに分割採取した名古屋市での測定データでも、pH 4 以下の低 pH 降水は 6～9 月にかけて多く出現している⁵⁾。

94 年 5 月に pH は 5.5 ときわめて高い値になっている。この月は合計 6 回降水があり、そのうち 5 月 11 日は 68 mm の降水量で pH5.6, 5 月 26～27 日は 37 mm で pH5.3 等、降水量の多少にかかわらず全体的に pH は高い値であった。96 年 8 月に pH は 3.6 ときわめて低い値になっているが、これは 27～29 日にかけて 168 mm もの大雨が断続的にあり、この pH が平均値 3.5～3.6 ときわめて低かったことによっている。

表 2 H⁺沈着量の変動(mg/m²・年)

月	93年	94年	95年	96年	97年
1	3.2	0.3	1.3	0.3	0.2
2	4.4	0.6	0.3	1.1	0.4
3	2.8	0.7	2.1	3.6	6.3
4	2.7	1.5	2.1	0.4	3.8
5	1.6	0.4	9.9	8.1	3.0
6	9.6	1.6	4.2	4.3	1.1
7	5.8	1.7	4.3	4.6	17.8
8	4.5	3.6	2.0	47.3	2.6
9	3.6	3.0	1.9	3.7	3.4
10	0.3	1.0	0.3	1.1	0.4
11	1.2	0.9	1.4	3.5	3.9
12	1.7	0.7	0.2	2.2	0.7
年	41.4	16.0	30.0	80.2	43.6

97 年 10 月に pH4.2 と例年に比べて低い値となっているが、この年の 10 月は降水量がきわめて少なく、10 月 4 日に 5 mm 足らずの降水があり、その pH の平均値が 4.0 であったことによっている。

3.5 水素イオンの沈着量

pH 値から換算して水素イオン濃度(H⁺)を求め、これに降水量を掛けて H⁺沈着量を求めた(表 2)。年間沈着量は 16.0～80.2 mg/m²・年とかなり大きな変動があった。この沈着量は環境庁第 1 次調査での値と同程度のオーダーの値である⁵⁾。pH 値が低く、降水量も比較的多いため、季節的には夏期に沈着量が大きくなる傾向がある。

愛知県下で県民が参加し、簡易測定法で降水を採取した例では H⁺沈着量は尾張北部から西三河の内陸部で多いという傾向もみられており⁷⁾、このことを考慮すると、本調査での沈着量は愛知県でも大きい方の値と考えられる。

3.6 pH とイオン性成分総量との関係

導電率は降水に溶存しているイオン性成分総量を示す便利な指標である。本調査では降水水中の各イオン性成分濃度を測定していないため、pH と導電率の関係求めた。図一六に各年別に各月の pH と導電率それぞれの平均値の関係を示す。基本的には導電率の値が大きくなれば、pH が低くなる傾向がみられる。これはひとつには pH が主に 5.0 より低い側に出現していることによっているが²⁾、概ねイオン性成分量が増加すると、[H⁺]が増加する関係を示している。

3.7 特徴的な降水の例

本調査は降雨 1 mm ごとに試料を分割採取してい

図－6 降水の導電率と pH との関係 (月平均値)

○：93年，●：94年，□：95年，
△：96年，▲：97年

る。そのため、特徴ある経時的变化もみることができる。表3に低いpHを示した降水の例を示す。

もっとも低いpH3.4を示したのはNo.6, No.315とNo.351の降水である。93年1月27日のNo.6の降水は前回の降水から4日ぶりで、降水量0.5mm程度の小雨であった。一方97年2月11日のNo.351の降水は前回の降水から9日ぶりで、昼間に2.0mm程度の小雨であった。この後、夜には雪になりpH4.0となっている。

94年8月25日のNo.151の降水は夕立で周辺の一宮市では40mmも降っている。No.155, 177, 406はいずれも1mm未満の小雨で、分割試料も1試料のみであった。

96年の8月後半の降雨はすべて低いpHの降水であった。この月の中旬には降水量7.0mm, pH6.1の降水があったが、その半月後のNo.315の降水は前述のようにきわめてpHが低く、その傾向はNo.315～318まで数日間続いている。

この8月末は、秋雨前線が本州中部から西日本に停滞した。前線通過に伴う上昇気流により、下層大気中の汚染物質が効率よく雲の中に運びこまれ、そ

表3 低pH降水の例 (上段：pH、下段：導電率(μS/cm))

No	年月日	降水量 (mm)	分割試料 (No)								気象条件等
			1	2	3	4	5	6	7	8	
6	93、1/27	0.5	3.4								4日ぶり
19	93、4/4	2.9	3.5	3.6	3.6						周辺大雨
151	94、8/25	3.1	3.6 66	3.8 40	3.7 40	3.4 67					未明に小雨
155	94、9/8	0.5	3.6 118								降ったり止んだり
177	94、12/11	0.9	3.6 134								夜半から小雨
221	95、6/9	2.2	3.8 44	4.0 29	3.9 28						夜中に小雨
315	96、8/27	168	3.4 50	3.6 30	3.7 25	3.9 15	3.9 15	3.7 23	3.4 29	3.5 29	13日ぶり
316	96、8/29	3.9	3.5 30	3.6 29	3.7 25	3.7 23					昼～夜小雨
317	96、8/31	3.6	4.1 21	4.3 15	4.0 19	3.6 33					にわか雨
318	96、9/1	1.8	4.1 41	3.5 35							夕方小雨
351	97、2/11	2.0	3.4 33	3.4 28							9日ぶり 小雨→雨
406	97、8/7	0.6	3.6 37								昼頃小雨

の結果、降水の強い酸性化がもたらされたと考えられる⁸⁾。このことから、小牧市での降水のpHの変動は長距離輸送された汚染物質によるよりは、近傍の道路や工場等から排出された汚染物質に支配されているようにみえる。

4. ま と め

愛知県小牧市で、1993年1月から5年間、簡易的な雨水採取装置を用いて降水のみ(wet only)の採取法で1mmごとに8mmまで降水試料を分割採取した。この間、432回の降水について、2,267試料を採取し、簡易的な装置でpHと導電率を測定した。また、採取試料量から各降水について降水量も求めた。pHの年平均値は4.2~4.8であったが、月別の変動は3.6~5.6の範囲にあった。また、1mmごとの分割採取試料のpHは3.4~7.7の範囲にあった。1雨ごとのpHは4.2~5.0の範囲に50%以上が出現した。H⁺沈着量は16~80 mg/m²・年の範囲にあり、夏期に大きい傾向がみられた。低いpH値は化学的には降水中のイオン成分が多い(導電率が高い)場合に出現する傾向があり、気象的には小雨時によく出現する傾向があった。

本調査は簡易的な装置を使用して行ったが、このような手法でも労力をかけて長期的に調査すれば、降水の性状の概要を的確に把握できることがわかった。

謝辞：周辺の降水量データ収集に際し、名古屋市環境科学研究所・酒井哲男氏にご協力いただきました。謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 環境庁地球環境部編：地球環境キーワード事典, p56, 中央法規出版(1993)。
- 2) 酸性雨調査研究会：酸性雨調査法, ぎょうせい(1993)。
- 3) 永井 博：酸性雨分取器の開発, 環境技術, 23(1), 661~665(1994)。
- 4) 国立天文台編：理科年表, 平成10年, 1998, 丸善(1997)。
- 5) 環境庁・酸性雨対策検討会：第3次酸性雨対策調査中間取りまとめ(1997)。
- 6) 酒井哲男, 北瀬 勝, 大場和生, 山神真紀子, 大野隆史：低pH降水と気象, 大気汚染物質の動態について, 名古屋市環境科学研究所報, No.26, 69~74(1996)。
- 7) 大塚治子, 吉田恭司, 早川清子：県民参加型酸性雨調査における降水のpHと導電率の分布, 愛知県環境調査センター報, No.24, 97~106(1996)。
- 8) 平木隆年, 玉置元則, 堀口光章, 光田 寧：雨水の酸性度を決定する要素について, 京都大学防災研究所年報, No.32, B-1, 311~319(1989)。

日本学術会議「広報協力学術団体」

—本協会は、日本学術会議の広報協力学術団体として指定されました—

日本学術会議は科学が文化国家の基礎であるという確信に立ち、我が国の科学者の内外に対する代表機関として、科学の向上発達を図り、行政、産業および国民生活に科学を反映、浸透させることを目的として、昭和24年(1949年)1月に設立されました。本協会は、平成10年5月12日付けをもって、同会議から「広報協力学術団体」として指定されました。

広報協力学術団体とは、学術研究の向上発達を図ることを目的とする団体であって、かつその目的とする分野における学術研究団体として活動しており、さらに、個人会員である構成員の数が原則として100名以上であるという基準を満たすことによって指定されるものであります。

広報協力学術団体に指定されることは、同時に「全国学術研究団体総覧」に掲載されるということでもありまして、団体が発行する機関誌など、本協会では、本誌「環境技術」に掲載される「研究論文」(査読付論文)は高い評価を受けることになります。本誌は、環境のはば広い分野に関わり、第一線で研究活動が続ける多くの研究者を編集委員として擁しています。「研究論文」の他にも、「技術報告」「総説」「解説」など環境問題に関わる論文を、「環境技術」へご投稿下さるようお願いいたします。