

自然教育園の酸性雨

(I) 酸性雨の特性について

菅原 十一 *

Acid Rain in the Institute for Nature Study
(I) Characteristics of Acid Rain

Touichi Sugawara *

は じ め に

近年問題になっている酸性雨は、工場や自動車から放出された硫黄酸化物・窒素酸化物などを大気中に取り込み、酸性化した雨水となって地表に降ってきたものである。大気汚染のひどい大都市周辺で降りやすいが、ときには、風の向きなどにより汚染源から遠く離れた山地などに降ることもある。

欧米などの例では、長い間に自然生態系の中で、湖沼・土壌・森林などに影響をあたえ、また、建造物や作物などに著しい被害を与えていることが知られている。

幸にして我が国では、まだ大きな酸性雨被害はみられていないようである。

ただし、被害は皆無ではなく、1973年～1975年には我が国初の酸性雨による人体被害が発生しているのである。これを機会に、国や自治体では酸性雨の連続測定を開始している。

1983年～1987年に環境庁が実施した全国酸性雨調査結果によると、大都市を中心にpH 4 台の酸性雨となりやすいことが知られている。

自然教育園は、マンモス都市「東京」の都心部に残された自然緑地であり、酸性雨の影響が大いに気になるところとなっている。

今回の報告は、1993年より実施している雨水のpH測定結果をもとに、自然教育園における酸性雨の特性についてまとめたものである。

酸性雨は、雨水のpH値であらわした。ただし、通常雨でも大気中の二酸化炭素を取り込むためpH 5.6 の弱酸性を示すことから、これより低いpH値を示す雨水を酸性雨とした。

なお、自然教育園における酸性雨と導電率や塩分濃度との関係、自然生態系の中の動植物・土壌・池沼への影響などについては、資料の蓄積をまって報告することとする。

1. 調査方法

1993年6月より開始された酸性雨の本調査に先立ち、同年1月より行った予備調査では、粉塵の付着

* 国立科学博物館附属自然教育園, The Institute for Nature Study, National Science Museum

している容器を使用すると雨水 pH に影響しやすいこと、一降雨期間では、降り始めは酸性雨となりやすく、降雨量 20mm 以上で次第に pH 5.6 の通常雨に近づくこと、合計雨水の pH 値だけでは通常雨に近い値になるため降り始めのころの pH が測れないことなど、雨水 pH 測定に当たって幾つかの問題点が見られた。これらを参考として本調査を実施した。

(1) 期間

今回は、1993年6月～12月及び1994年1月～12月の期間とした。

ただし、雨水 pH 測定は、現在も続行中である。

(2) 酸性雨観測地点

図1は、雨水の採取地点及び調査に使用した気象観測地点を示した。

雨水採取地点は、自然教育園南部にある管理棟前の芝生上地点である。

降雨量及び降雨時間は、同じ場所に設置されている自記雨量計の記録を使用した。

(3) 降雨回数

1降雨期間を1回として数え、降雨日数とは異にした。

(4) 雨水採取方法

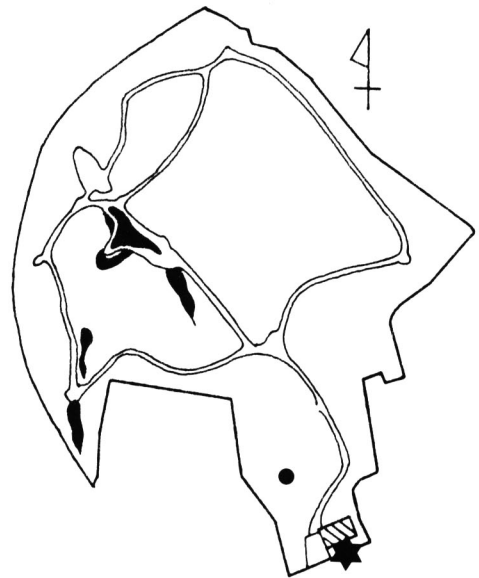
地上高 1 m の木製架台上で、2 個の 500 cc ビーカーにより雨水を受け止めた。ビーカーは途中採取用と全降雨量の採取用に区別した。また、ビーカーの設置、回収は手動で行い、特に毎日清潔なビーカーと交換し、さらに降水直前にも洗浄を心がけた。

(5) 雨水の pH 測定方法

雨水の pH 測定には、電位差測定法式による堀場製作所製 COMPACT-pH メーター (B-112) を使用し、適宜 2 回校正をしながら測定を行った。

通常の測定には、1 降雨期間ごとに降り始めの雨水の pH を測定することとし、このとき、降り始めの雨水は降雨量 15mm 以内で採取した。ただし、3 mm 未満は全量について測定した。

この他、1 降雨期間における雨水の pH 変化をみる場合には、代表的な降雨量に限り 1 mm ～ 5 mm ごとに雨水を採取し pH を測定した。



★ 降雨量、雨水 pH 測定地点

● 気温、湿度、風向、風速観測地点

図1. 酸性雨観測地点

2. 結果と考察

(1) 酸性雨の季節変化

図2・3・4は、調査年にあたる1993年及び1994年の自然教育園における気象概況を示したものである。

1993年は、年平均気温14.7℃で東京の平年値に比べ0.9℃低く、年降水量は1,571.5mmで166.0mm多

くなった。特に夏季を中心に記録的な低温、多雨年となった。

1994年は、年平均気温15.9℃で東京の平年値に比べ0.3℃高く、年降水量は1047.5mmで358.0mm少なくなった。特に夏季を中心に記録的な高温、少雨年となった。両年は非常に対象的であった。

雨水のpH値は、大気汚染濃度はもとより、気象条件の影響も大きく受け変化する。今回の調査年における気象条件も大いに影響していると考えられる。

表1・2は、1993年6月～12月及び1994年1月～12月の降り始めの雨水のpH測定結果を示したものである。

なお、調査期間中の雨水pH値は、最低pH3.7～最高pH6.7の範囲を記録していた。

酸性雨となってpH5.6未満を示した降雨回数は、1993年には、全降雨回数62回の中の89%、1994年には年間降雨回数83回の中の75%を占め、気象条件が対照的な兩年にもかかわらず共通して酸性雨のあらわれやすい傾向がみられた。

図5は、月別に酸性雨のあらわれ方を示したものである。

図中の太線は、低pH5.0未満の酸性雨を示すが、月別では暖候期を中心にした4月～11月に多く、寒候期を中心にした1月～3月及び12月に少ない傾向がみられていた。

そこで、1994年を例に季節による酸性雨のあらわれ方を細かくみた。

図6・7は、1994年の季節別酸性雨の出現率を示したものである。

暖候期には、低pH5.0未満の酸性雨は同期の全降雨回数63回の中の40回(63%)と過半数を占めるが、逆に寒候期には同期の全降雨回数20回の中の8回(40%)に減少し、異なる2期の季節パターンをよく示していた。

図4で示した自然教育園の月別風向分布からみると、暖候期を中心に風が弱く風向が定まりにくくなって

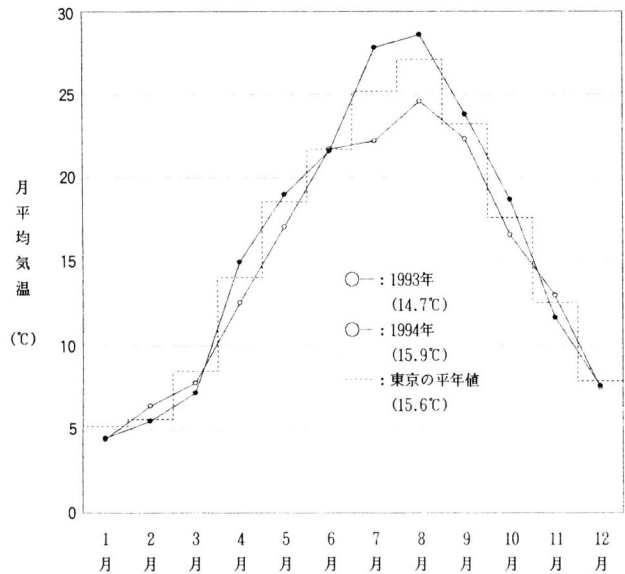


図2. 自然教育園の気温

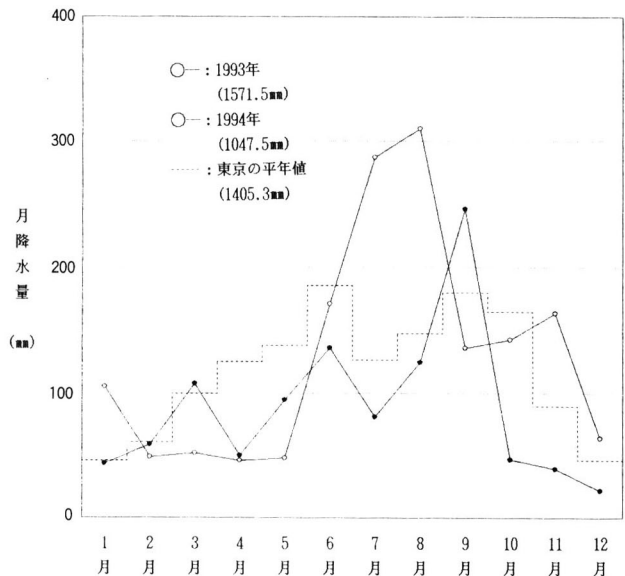
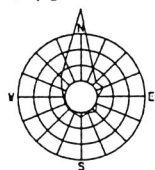


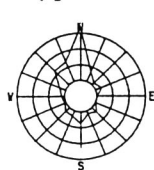
図3. 自然教育園の降雨量

1993年

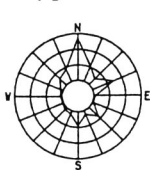
1月



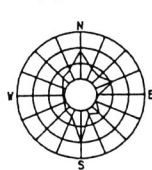
2月



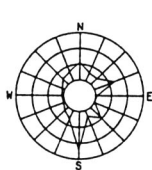
3月



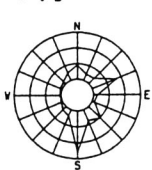
4月



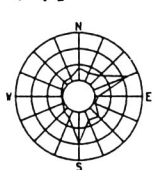
5月



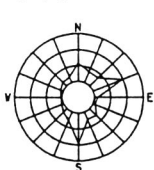
6月



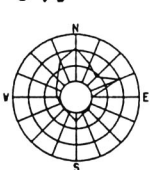
7月



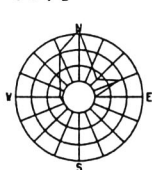
8月



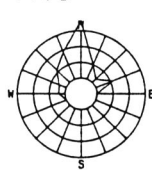
9月



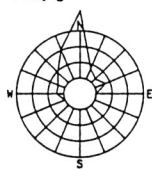
10月



11月

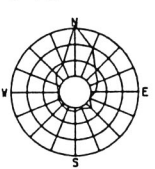


12月

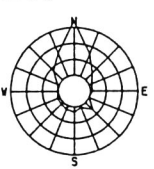


1994年

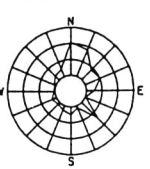
1月



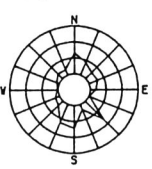
2月



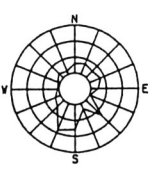
3月



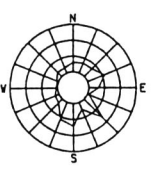
4月



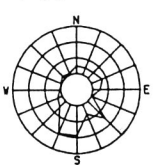
5月



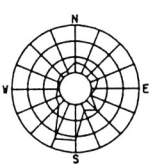
6月



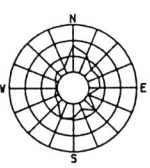
7月



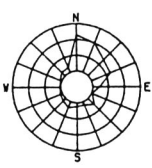
8月



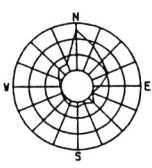
9月



10月



11月



12月

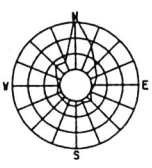


図4. 自然教育園の風向分布

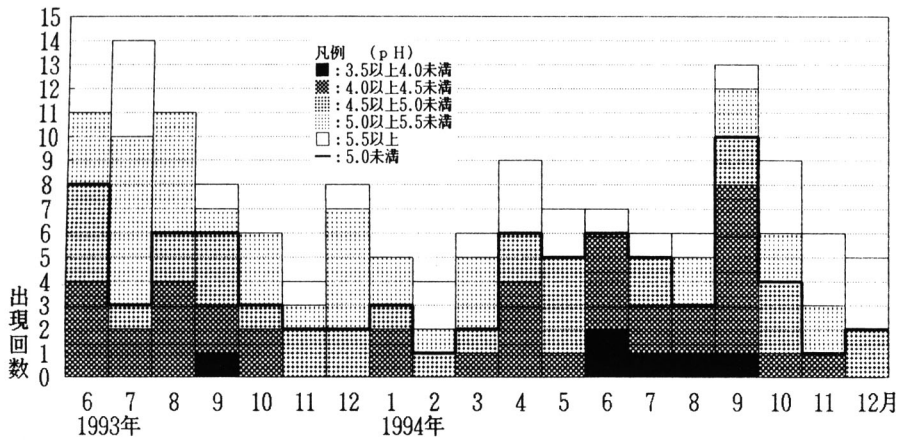


図5. 自然教育園の月別酸性雨出現頻度（降り始めの雨水）

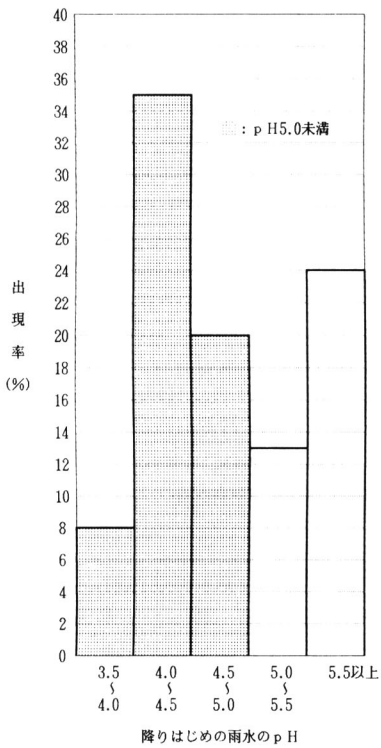


図6. 暖侯期の酸性雨出現率（4月～11月）

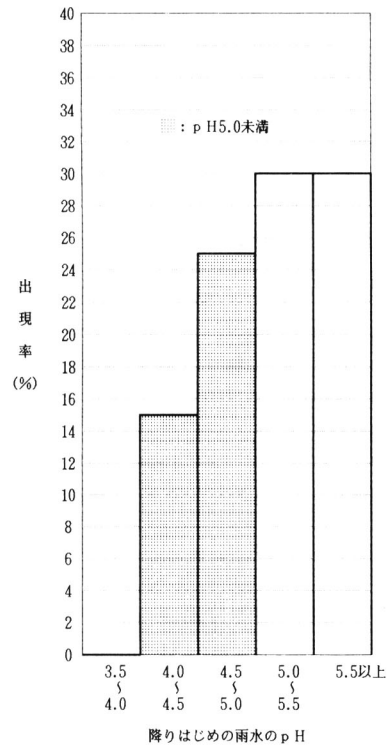


図7. 寒侯期の酸性雨出現率（1月～3月・12月）

いる。これに高い湿度も加わるため大気汚染は進み、この影響で酸性雨が降りやすくなるものと考えられる。

これとは対照的に、寒侯期には乾燥した強い北西風が多くなるため、大気中の汚染物質は吹きはらわれ酸性雨が減少しやすくなると考えられる。寒侯期に東京の空がきれいになりやすいことは、大気汚染と密接に関係する「東京から富士山の見える日数調べ」の最近30年間にわたる調査結果（宮下，1994）でも明らかにされている。

表1 1993年・自然教育園の雨水pH測定結果（降り始めの雨水）

月	降雨量 mm	雨量 階級別回数				pH 階級別回数				
		合計	1 mm 以下	1.5 ～ 19.5mm	20mm 以上	3.5 ～ 4.0未満	4.0 ～ 4.5未満	4.5 ～ 5.0未満	5.0 ～ 5.5未満	5.5 以上
1	105.0									
2	48.5									
3	51.5									
4	45.5									
5	47.5									
6	177.5	11	0	7	4	0	4	4	3	0
7	280.5	14	3	5	6	0	2	1	7	4
8	310.0	11	5	2	4	0	4	2	5	0
9	137.0	8	4	1	3	1	2	3	1	1
10	141.5	6	0	3	3	0	2	1	3	0
11	163.5	4	0	2	2	0	0	2	1	1
12	63.5	8	0	7	1	0	0	2	5	1
総計	1,571.5	62 100%	12 19%	27 44%	23 37%	1 2%	14 23%	15 24%	25 40%	7 11%

表2 1994・自然教育園の雨水pH測定結果（降り始めの雨水）

月	降雨量 mm	雨量 階級別回数				pH 階級別回数				
		合計	1 mm 以下	1.5 ～ 19.5mm	20mm 以上	3.5 ～ 4.0未満	4.0 ～ 4.5未満	4.5 ～ 5.0未満	5.0 ～ 5.5未満	5.5 以上
1	43.0	5	0	5	0	0	2	1	2	0
2	58.5	4	0	3	1	0	0	1	1	2
3	107.5	6	3	1	2	0	1	1	3	1
4	49.5	9	1	8	0	0	4	2	0	3
5	94.5	7	2	2	3	0	1	4	0	2
6	136.0	7	2	3	2	2	4	0	0	1
7	81.0	6	0	5	1	1	2	2	0	1
8	124.5	6	1	3	2	1	2	0	2	1
9	246.0	13	1	7	5	1	7	2	2	1
10	46.5	9	5	3	1	0	1	3	2	3
11	39.0	6	2	4	0	0	1	0	2	3
12	21.5	5	1	4	0	0	0	2	0	3
総計	1,047.5	83 100%	18 22%	48 58%	17 20%	5 6%	25 30%	18 22%	14 17%	21 25%

(2) 強酸性雨

表3は、pH4.0未満を最も強い酸性雨とし、その記録日を示したものである。

1993年は降雨回数の多い割には1回の記録と少なかった。反対に1994年には降雨回数の少ない割りに5回記録されていた。

自記雨量計の記録によると、降り始めてから10分間の雨量は、3mm～6mm以上の急雨となっている傾向が共通してみられた。急雨時の初期には、雨滴が大気中の汚染酸化物を急激にとりこむため強酸性雨となりやすくなると考えられるのである。一般的に急雨は、雷雨や寒冷前線の通過時などにみられやすくなっていることから事前予想も不可能ではないと考えられる。

なお、例外として1993年9月2日や1994年6月28日のような微少雨でも強酸性雨がみられていたが、連日光化学スモッグに覆われたような悪条件の下での記録であった。この日の場合は、雨量とは対応せず大気汚染の悪化が直接関係したものと考えられる。

図8・9は、降り始めてからの雨量とpH値の変化を示したものである。

これらの酸性雨は、総じて雨量20mm以上で弱まり、次第にpH5.6に近い通常雨に戻る傾向がみられた。逆に、雨量20mm以下では通常雨にもどりにくいことを意味するものである。

表3 強酸性雨(pH 4.0 未満) 出現記録

記 録 日	pH 値	全 雨 量 mm	10分後雨量mm	備 考
1993年9月 2日	3.7	記録(0.5mm) 以下		
1994年9月 2日	3.9	30.5	3.0	
6月28日	3.7	2.5	1.0	
7月 6日	3.9	6.0	2.0	雷雨
8月20日	3.8	63.0	6.0	雷雨
9月 2日	3.8	48.5	4.0	雷雨

(3) 「都市の中和霧」

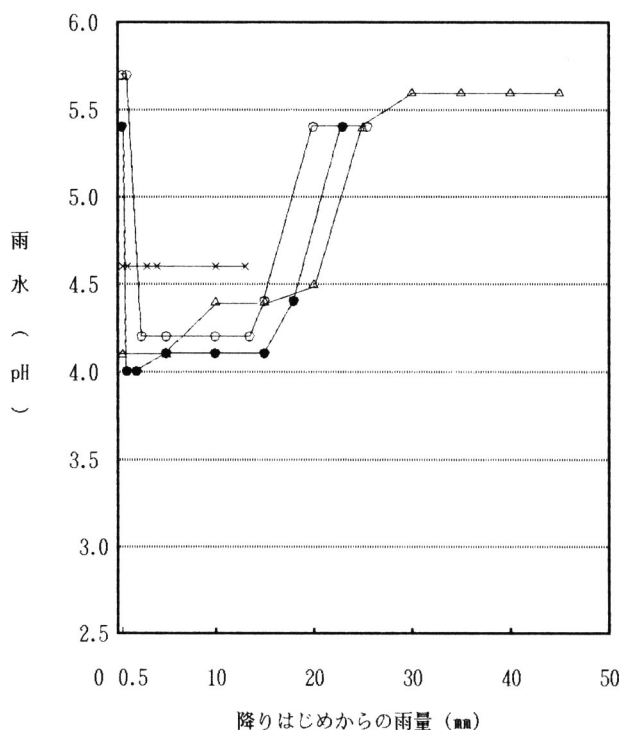
表4・5は、調査期間中にみられた降雨量1mm以下の霧雨や小雨などの微少雨となったときの雨水pH値を全て示したものである。

一部の例外を除けば、pH5.0以上となり、霧雨や小雨のときは、酸性雨となりにくい傾向がみられていた。この他、図8にみられるように途中から酸性雨となった場合でも、降り始めの微少雨の間だけ酸性雨となりにくくなっている例が多くみられていた。

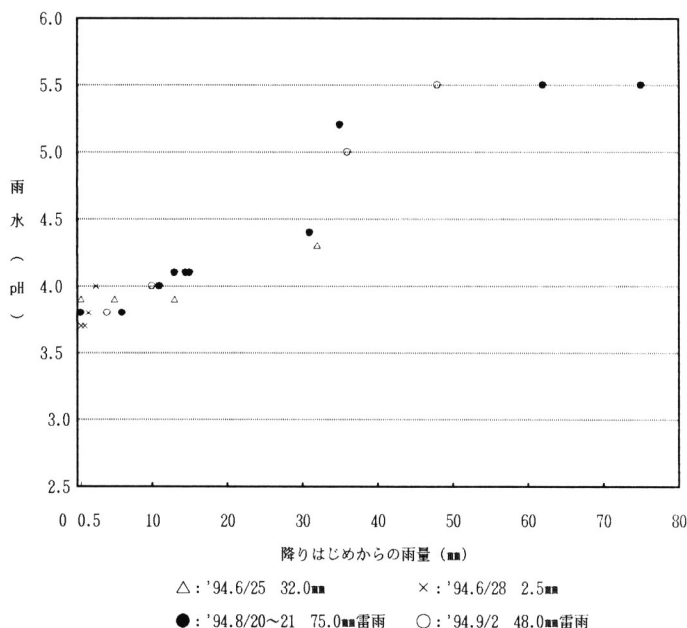
東京都が実施している酸性雨調査でも同様傾向が記録されている(東京都公害研究所、1979～1983)。降雨1mmごとにサンプルを採取したpH測定結果によると、都内においては第一サンプル(最初の降雨1mm)に限りpH値が高くあらわれやすくなっていた。これに対して、郊外の青梅市や水源山地の矢木沢では、この傾向がみられていないのである。

都心の地表付近では、おもに自動車走行により発生したコンクリートやアスファルトなどのアルカリ性粉塵が多量に飛散している。これらは、低層大気から降る滞留時間の長い霧雨や微少雨にとり込まれ中和剤の働きをしていることが考えられる。

そこで、多量の粉塵が降下・付着している屋根を流れ出た雨水や、粉塵が葉面に付着している林内を通過した雨水についてpHを測定してみたところ、直接地面に降る雨より、常にpH値が高く



△: '93.6/23~24 45.0mm ●: '93.6/29 23.0mm
○: '94.3/9 25.5mm ×: '94.9/4 13.0mm
図8. 酸性雨のpH変化(低pH5.0未満)



△: '94.6/25 32.0mm ×: '94.6/28 2.5mm
●: '94.8/20~21 75.0mm雷雨 ○: '94.9/2 48.0mm雷雨
図9. 強酸性雨のpH変化(pH4.0未満)

なっていた。さらに、自動車道路付近で3日間2個のピーカーで空気中の粉塵をあつめたあと、人工的に作ったpH5.6の通常雨と、pH4.0の酸性雨を加えながらそれぞれの雨水のpH変化を測定してみた。

pH5.6の通常雨1mmに相当する量を加えた後、かきまわしてからpHを測定するとpH6.7まで上がっていた。さらに2mm以上加えると次第にもとの通常雨にもどりはじめた。同様にしてpH4.0の酸性雨1mmを加えた場合は、pH5.2まで上がり、2mm以上では次第にもとの酸性雨にもどりはじめるなど、地表付近に飛散しているばいじんは、雨量1mm以下の少雨では中和剂的効果をしている傾向を実感することができた。

このような「都心の中和霧」は、郊外や山地などで取り上げられる「酸性霧」とは性質が異なる現象として大変興味深いことであり、詳しく調査をしたいと考えている。

4. 自然教育園の酸性雨の特性

今回の調査結果の内、主に1994年の通年資料をもとに、概略ではあるが自然教育園における酸性雨の特性を検討してみた。

図10に示した年間の降雨階級別出現率によると、降雨量1.5~19.5mmの並雨は、年間降雨回数の58%と過半数を占めている。また、雨量1mm以下の霧雨や小雨などの微少雨は22%、20mm以上の強雨は20%と、それぞれ全体の5分の1程度となっている。

この降雨階級別出現率に酸性

雨のあらわれ方を対応させてみると(表6)、酸性雨となりにくい1mm以下の微少雨は、年間降雨回数の22%となり、同様にして、酸性雨になってからpH5.6の通常雨に回復しにくい1.5～19.5mmの並雨は58%、酸性雨がpH5.6の通常雨に回復可能な20mm以上の強雨は20%を占めていることになる。

自然教育園においては、年間降雨回数の内、実に78%が酸性雨となりやすく、特に、58%は一旦酸性雨となると通常雨に回復しにくい雨で占められていることが考えられるのである。

このような酸性雨は、自然教育園の自然生態系の中の動植物や土壌、池沼などにどのような影響をおよぼしていくのか今後詳しく調査を続けていきたいと考えている。

表4 1993年の微少雨(1mm以下)のpH値

記録日	pH値	全雨量
7月13日	5.1	0.5 (霧雨)
7月14日	5.0	1.0 (霧雨)
7月20日	5.1	0.5 (霧雨)
8月14日	5.0	1.0 (小雨)
8月16日	5.0	0.5 (小雨)
8月17日	5.0	0.5 (小雨)
8月18日	5.3	0.5 (小雨)
9月2日	3.7	記録以下 (霧雨)
9月12日	4.3	0.5 (急雨)
9月14日	5.3	1.0 (小雨)

5. 要約

自然教育園は、マンモス都市「東京」の都心部にある自然緑地であるところから、酸性雨の影響が大いに気になるところとなっている。

今回は、1993年6月～12月及び1994年1月～12月の雨水pH測定結果をもとに、自然教育園における酸性雨の特性について検討を行った。

- (1) 雨水pH値は、最低pH3.7～最高pH6.7の範囲にあるが、季節や雨量・雨の強弱によりさまざまに変化し、概略次にあげる傾向が指摘された。

表5 1994年の微少雨(1mm以下)のpH値

記録日	pH値	全雨量
3月4日	5.0	記録以下 (小雨)
3月5日	5.0	0.5 (小雨)
3月7日	6.1	0.5 (小雨)
4月7日	5.6	1.0 (小雨)
5月2日	5.7	0.5 (小雨)
5月28日	5.6	1.0 (小雨)
6月24日	6.2	0.5 (小雨)
6月26日	4.0	1.0 (小雨)
8月2日	5.5	0.5 (小雨)
9月27日	5.4	0.5 (霧雨)
10月2日	6.2	記録以下 (霧雨)
10月9日	6.4	記録以下 (霧雨)
10月20日	5.8	0.5 (小雨)
10月27日	6.4	0.5 (小雨)
11月13日	6.1	記録以下 (霧雨)
11月23日	6.1	0.5 (小雨)
12月2日	6.3	0.5 (小雨)

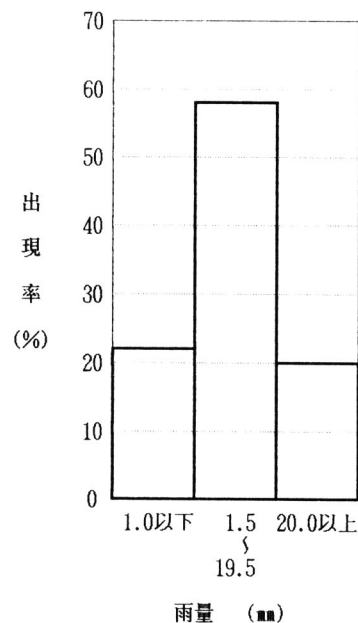


図10. 1994年の降雨量階級別出現率
自然教育園の雨量別内訳 (1994)

表 6 1994年・降雨量階級別出現率と酸性雨の関係

降雨量階級	出現回数	出現率	酸性雨のあらわれ方	備 考
1.0mm 以下	18	22%	酸性雨となりにくい	霧雨・小雨
1.5 ～ 19.5mm	48	58%	一旦酸性雨になると 通常雨にもとりにくい	並雨
20.0mm以上	17	20%	酸性雨が [※] 通常雨にもどりやすい	強雨

- (2) 低 p H5.0 未満の酸性雨は、異なる 2 期の季節パターンを示していた。暖侯期を中心とした 4 月～11 月には全体の 68% と過半数を占めるが、寒侯期を中心とした 1 月～3 月・12 月には強い北西風が空を吹き払い 40% に減少する傾向にある。
- (3) p H4.0 未満の強酸性雨は、降り始め 10 分間に 3 mm～6 mm 以上の急雨になったときみられやすい傾向にある。
- (4) 酸性雨は、降り始めにみられやすいが、雨量 20mm 以上では次第に p H5.6 の通常雨にもどっていた。逆に、雨量 20mm 以下では、通常雨にもとりにくいことが考えられた。
- (5) 雨量 1 mm 以下の霧雨や小雨及び降り始めの微少雨の間は、中和されやすく酸性雨となりにくい傾向にある。
- (6) このような「都心の中和霧」には、主に自動車走行により発生したコンクリートやアスファルトのアルカリ性粉塵が微細雨滴にとりこまれ中和剤の働きをしていると考えられた。
- (7) 自然教育園においては、年間降雨回数の内の 78% が酸性雨となりやすく、特に、58% は一旦酸性雨となると通常雨に回復しにくい雨で占められる傾向にある。

謝辞

今回の報告にあたり、財団法人・野外自然博物館後援会の吉井三恵子氏には、資料作成に多大なご指導・協力をいただいた。ここに記して、感謝の意を表する。

参考文献

- 環境庁編. 1993. 酸性雨調査法. ぎょうせい.
- 菅原十一・三寺光雄. 1980. 自然教育園の微気象 (5). 自然教育園報告, (11): 111-120.
- 高橋啓二. 1990. 酸性降下物と森林被害. 環境庁報告, 「酸性雨—土壌・植生への影響」: 61-71
- 東京都公害研究所編. 1978～1983. 酸性雨に関する調査結果. 東京都公害研究所資料.
- 林賢太郎. 1993. 酸性雨と酸性霧. 裳華房.
- 宮下 敦. 1994. 成蹊気象観測所における視程観測について. 日本気象学会, (41-10): 55-60