

## 鹿児島大学農学部構内で観測された降雨の pH (1988年春～1990年夏)

寺 下 隆喜代・本 吉 宏 記\*1

(森林育種・保護学研究室)

### Rain pH, measured at a Campus Corner of Faculty of Agriculture, Kagoshima University (Apr., 1988-Aug., 1990)

Takakiyo TERASHITA and Hiroki MOTOYOSHI  
(Laboratory of Forest Genetics and Forest Protection)

#### は し が き

近年酸性雨が、植物、建築物、土壌などに与える影響について、新聞、雑誌、TV などにおいてしばしば報道されている。また、わが国の酸性雨問題についての報告も多い<sup>9)11)17)21-23)</sup>。

本報は、1988年4月はじめから1990年8月末まで、主として鹿児島大学農学部構内の1建物の最上階において、あわせて同構内の林木苗畑および構外ほぼ2 kmにある1地点において降雨の pH を記録し、酸性雨の観点からそれらの結果を論じたものである。

調査期間内のすべての降雨の pH を記録したわけではない。調査方法についてもいくつかの問題がある。しかし、2・3の興味ある結果もえられたので、ここに調査結果をまとめて報告する。

酸性雨について鹿児島環境センター宝来俊一氏からご助言と資料のご提供をたまわった。また鹿児島大学教授、農学部品川昭夫教授に原稿の校閲をお願いし、貴重なご助言を頂いた。ここに両氏に対し厚くお礼申し上げる。

#### 試料および方法

##### 1. 試料採取場所

###### A. 構内建物最上階おどり場

ほとんどの調査材料は農学部構内6号階最上階(4階)東側にある非常階段上部のおどり場において採取した。

この場所はほぼ3×3 mの広さで、北側は下り階段、東側および南側にはそれぞれ高さ1.2mの鉄柵およびセメント壁があり、西側は建物外壁(高さほぼ4 m)になっている。

降雨採取器具(採雨器)は東側鉄柵および南側セメント壁からほぼ1 mの距離の、高さほぼ1.2mの場所に置いた。

###### B. 樹冠の下

上記Aの建物から150～200mはなれた場所に農学部演習林附属の苗畑がある。この苗畑の東南部

---

\*1 : 現在・鹿児島県農林水産部

に植えられていた6種の樹木の樹冠を伝わってしたり落ちる降雨のpHを測定する目的で、樹冠下地面に採雨器をおいた。供試樹木のうち2種は常緑針葉樹、2種は常緑広葉樹、2種は落葉広葉樹であった。但し、落葉広葉樹2種は調査途中から追加したものである。

6樹種の成長状態、環境などを記すと次のようである。

a. スギ (*Cryptomeria japonica* D. Don.)

供試スギは10年生内外の樹齢の実生スギの1本で、樹高はほぼ5 m、胸高直径はほぼ6 cmであった。

b. ヒノキ [*Chamaecyparis obtusa* (Sieb. et Zucc.) Sieb. et Zucc. apud Endl.]

供試ヒノキは上記のスギの南南西ほぼ50mに位置する独立木で、樹高はほぼ5 m、胸高直径はほぼ5 cmであった。

c. オキナワウラジロガシ (*Quercus miyagii* Koidz.)

上記スギの北側ほぼ20mの位置に南北方向に列状に植えられた小集団で、それらの樹高は3~5 m、胸高直径は1~4 cmであった。列のほぼ中央の樹下に採雨器をおいた。

d. ヤマモモ (*Myrica rubra* Sieb. et Zucc.)

上記スギの北西ほぼ5~40mにわたり、東西方向に列状に植えられた総数ほぼ50本の集団であった。それらの樹高は4~6 m、胸高直径は2~10cmであった。採雨器は東端木の樹冠下においた。

e. ナカハラカエデ (*Acer serrulatum* Hay.\*)

上記ヒノキの南側5~8 mの1隅に2列に植えられた総数10本の小集団であった。それらの樹高は3~4 m、胸高直径は3~6 cmであった。西北端の林縁木の樹冠下に採雨器を置いた。

f. マルバチシャノキ (*Ehretia dicksonii* var. *japonica* Nakai)

上記ヒノキとナカハラカエデの間に植えられた総数ほぼ20本の集団木であった。樹高は6~8 m、胸高直径は4~12cmであった。西側に位置する樹木の樹冠下に採雨器をおいた。

以上6種のうち、スギ、オキナワウラジロガシおよびヤマモモは互いに10m以内の距離に、ヒノキ、ナカハラカエデおよびマルバチシャノキは互いに5 mの距離内にあった。

採雨器は幹からほぼ50cmはなれた地面においた。

なお、上記6種の学名は主として大井・北川<sup>18)</sup>により、同氏らの著書に記載のないものは初島<sup>4)</sup>によった。その他脚注参照。

### C. 構外建物の外壁近傍及びその建物南側の草地

#### a. 構外建物外壁近傍

鹿児島大学農学部から西へほぼ1.7kmの地点に鉄筋コンクリート建て、5階の住宅がある。この建物の中央3階のベランダからほぼ1 mの長さのアルミ棒を地面に平行につき出し、その先端に採雨器をつけ、降雨のpHを測定した。

#### b. 構外建物南側草地

上記aの建物の南側に底辺をほぼ50m、高さをほぼ23mとする三角形に似た形の草地がある。その中心点附近の地面に採雨器をおいた。

以上Cの調査は農学部構内の調査結果と比較する目的で行ったものである。これらの調査期間は1988年10月から1989年6月までであった。

\* この樹木の和名および学名は後記の引用文献に記載されていないので鹿児島大学教育学部寺山自然教育研究施設の細山田三郎氏のご教示によった。

## 2. 採雨器

農学部6号館最上階において材料を採取した場合、市販のポリエチレン製洗面器状容器(上部内径32cm, 高さ15cm)を用い降雨の都度、試料採取場所のAに記載した台上におき、降雨を採取した。不時の降雨を採取するため、上記採雨器の台の西側0.5mのコンクリート床面に市販のポリエチレン製バケツ(上部内径27.5cm, 高さ31cm)をおいた。

6種樹木の樹冠下、構外建物の外壁近傍およびその南側草地から採取した場合はすべて上部内径22.5cm, 高さ23cmの市販ポリエチレン製バケツを用いた。

## 3. 採取方法

天気予報、観天望気などによって降雨の予想される時または降雨中に、採雨器をそれぞれの採取場所においた。採雨器の設置時間は不定で、短い場合は30分、長い場合は3日間にわたった。

各採雨器の採雨量が500ml以下の場合は全量を、500ml以上の場合は300ml内外をポリエチレン製500ml容量の薬品びんに入れ保管した。採雨期間が雨続きであることも、雨がやんで数時間後または24時間後に採取したこともあった。降雨量の少ない雨が長時間にわたり降り続けた時はその期間中の降雨をまとめて試料としたり、短時間の雨でも降雨量が多かった場合、採取時期を2回以上に分けて採雨したこともあった。

## 4. pH測定法

採取した降雨はよく振りまぜ、50mlまたは100ml容量のポリプロピレン製ビーカーにいれ、HITACHI-HORIBA m-7型pHメータによってpHを測定した。

pHの測定は降雨採取直後に行うように努めた。しかし、場合によっては数時間以上、測定室に置かれることもあった。

pHメータは $25 \pm 3$ ℃の部屋におき、測定直前pH4.0および7.0標準液(H社製)によって指針の規正を行った。但し、同一日に2回以上、pHを測定する場合、指針の規正は最初の1回にとどめた。

スイッチをonにして後、3分間の測定をくり返し、測定値の差が0.1以下になった場合測定値が安定したものと考え、最後の2回の測定値をその試料のpHとした。

# 結 果

以下に調査結果を示す。1~3は予備実験的な結果である。

## 1. 同一測定試料の連日測定

上記のpH測定法で書いたように、採取材料のpHは採取直後に測定されたものだけではない。降雨試料自体何時間も前に降ったものと測定直前に降ったものがまざっていることもあった。

本調査では降雨のpH測定同一試料を採取直後から1週間 $25 \pm 3$ ℃の測定室におき、毎日、pHを測定した結果を示す(Table 1)。

降雨試料は100ml容量のポリプロピレン製ビーカーにいれておいた。調査は1989年6月から1990年3月までの17回の降雨採取材料について行った。

Table 1は次のことを示す。

1) 同一試料のpHが連日やや顕著に(採取直後と1週間後でpH差が0.6以上の場合)上昇してゆく場合があった(Table 1, 1-1, 1-3, 1-7, 1-8)。

2) 同じくpHがゆっくり上昇してゆく場合(最初と最後のpH差が0.5以下)があった(同上,

Table 1 Daily pH measurements of 17 fixed rain samples for one week

Year	Mark	Date	Rain pH, measured every day for one week								Difference of pH between 0-7th day
			0	1	2	3	4	5	6	7	
1989	1-1	17/V	5.1	5.3	5.5	5.6	5.7	5.7	5.7	5.7	+0.6
	1-2	17-18/V	4.4	4.5	4.6	4.6	4.5	4.5	4.5	4.6	+0.2
	1-3	16-17/VI	5.3	5.5	5.6	—	5.7	5.8	5.8	5.9	+0.6
	1-4	30/VI	5.0	4.4	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	-0.5
	1-5	2-3/VII	5.1	5.3	5.3	5.3	5.3	5.4	—	5.5	+0.4
	1-6	8/VII	5.8	—	5.0	5.1	5.1	5.1	5.2	5.3	-0.5
	1-7	8-10/VII	5.9	6.1	6.2	6.4	6.5	6.6	6.7	6.7	+0.8
	1-8	10/VII	5.3	5.5	6.2	6.6	6.7	6.9	7.0	7.0	+1.7
	1-9	1/VIII	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.1	3.1	3.1	-0.1
	1-10	2-3/VIII	7.4	7.4	7.4	7.7	7.7	7.7	7.8	7.8	+0.4
	1-11	6-7/XI	4.4	4.4	—	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	0
1990	1-12	9-10/I	5.5	—	5.5	5.6	5.5	5.5	—	5.8	+0.3
	1-13	11-12/III	6.5	6.5	—	6.3	—	—	6.6	6.6	+0.1
1989	*1-14	16-17/V	5.1	5.2	5.3	5.2	5.2	5.2	5.2	5.3	+0.2
	*1-15	17/V	4.9	5.2	5.2	5.2	5.2	5.3	5.3	5.3	+0.4
	*1-16	17-18/V	4.5	4.6	4.6	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8	+0.3
	*1-17	16/VI	5.0	5.0	5.1	5.1	5.2	5.2	5.2	5.3	+0.3

\* Measured at wall-side of a building apart from the campus of Kagoshima Univ.

1-2, 1-5, 1-10, 1-12, 1-15, 1-16, 1-17)。

3) pH がほとんど変化しないか、多少上下にゆれるが最終的には最初の pH とあまり変わらない値を示す場合があった (同上, 1-9, 1-11, 1-13, 1-14)。

4) pH が一旦低下した後、ほぼ同じ値を示す場合 (同上, 1-4) および一旦低下した後、ゆっくり上昇する場合 (同上, 1-6) もあった。

5) 多くの場合、pH は上昇していったが、低下してゆく場合もあった。(同上, 1-4)。

6) 1週間に変化が最も多かった pH 幅は1.7であった (同上, 1-8)。

7) 1週間の pH 幅の変化が0.5 (0.5を含まない) 以下の場合は17例中11例であった。

## 2. 1 続きの降雨の異なる時期に採取した試料の pH

降雨の中には降り始めの時刻に採取を始めやすく、かつある時間以上降り続く雨がある。(例えば日中に降りはじめた雨)このような雨の降り始めと終わり、または雨の前半と後半とではその pH は異なるであろうか。この点を明らかにするため、1 続きの雨のうち、農学部6号館最上階において2回以上異なる時刻に採取、測定した降雨の pH 例を示す (Table 2)。

Table 2 は次のことを示す。

1) 1 続きの降雨において、採雨時期の違いにより、pH が大幅に変化した場合 (pH の上下幅が0.6以上) が28例中に11例あった (Table 2, 2-2, 2-5, 2-7, 2-10, 2-15, 2-20, 2-21, 2-22, 2-24, 2-27, 2-28)。

2) 同じく採雨期間の違いにより pH があまり変化しなかった場合 (pH の上下幅が0.5以下) が

Table 2 Rain pH, measured at two collection times during one rain

Year	Mark	Date	First collection starting time	First recovery and 2nd collection starting time	Second recovery time	pH of 1st rain	pH of 2nd rain	Difference of pH between 1st and 2nd rains
1988	2-1	27/IV	9:00	12:00	17:30	6.9	6.7	-0.2
	2-2	11/VII	10:00	10:30	11:00	7.3	6.5	-0.8
	2-3	18/VII	10:30	11:00	12:00	5.5	5.5	0
	2-4	5/IX	9:30	13:30	17:00	4.9	4.5	-0.4
	2-5	4/X	9:30	12:30	18:00	1.4	2.2	+0.8
1989	2-6	11/I	9:30	12:30	17:00	4.7	4.5	-0.2
	2-7	5-6/V	16:00	*N11:00	17:00	2.9	1.7	-1.2
	2-8	13/V	12:30	14:45	18:00	4.5	4.8	+0.3
	2-9	22-23/V	18:00	N10:00	18:00	5.0	5.0	0
	2-10	5-6/VI	13:00	18:00	N 9:00	4.2	5.2	+1.0
	2-11	9/VI	9:00	13:00	17:00	4.5	4.4	-0.5
	2-12	14/VI	9:00	11:30	17:00	4.1	3.9	-0.2
	2-13	23-24/VI	9:00	17:30	N 9:30	4.8	4.5	-0.3
	2-14	29-30/VI	18:00	N 9:30	13:30	5.0	4.6	-0.4
	2-15	30/VI-1/VII	13:20	17:20	N 9:00	5.6	4.3	-1.3
	2-16	2-3/VII	15:30	N 9:00	19:00	5.1	5.0	-0.1
	2-17	15-16/VIII	18:00	N 9:00	17:30	4.7	4.5	-0.2
	2-18	31/VIII-1/IX	21:00	N12:00	16:00	5.3	4.8	-0.5
1990	2-19	3-4/IV	14:00	18:00	N10:00	4.3	4.8	+0.5
	2-20	10-11/IV	12:00	18:00	N 9:00	3.0	3.9	+0.9
	2-21	11-12/IV	15:00	N 9:30	16:30	4.6	5.6	+1.0
	2-22	2/V	8:00	9:00	17:00	5.9	5.0	-0.9
	2-23	13-14/V	16:00	N 9:30	17:00	3.7	4.0	+0.3
	2-24	4-5/VI	12:30	18:30	N10:00	4.8	5.4	+0.6
	2-25	8-9/VI	9:30	19:30	N 9:30	5.6	5.9	+0.3
	2-26	14-16/VI	14:00	N10:00	N 9:30	4.8	4.5	-0.3
	2-27	28-30/VI	12:00	N10:00	N 9:30	6.3	4.6	-1.7
	2-28	22-24/VIII	13:00	N12:30	N 9:30	4.2	4.8	+0.6

\* N: Next day's time

28例中17例あった。(同上, 2-1, 2-3, 2-4, 2-6, 2-8, 2-9, 2-11～2-14, 2-16～2-19, 2-23, 2-25, 2-26)。

3) ほぼ1時間にpHの幅で0.8変化した場合(同上, 2-2)も3日間で0.3しか変化しなかった場合(同上, 2-26)もあった。

4) 測定例28回のうち16回はpHが低くなった。pHが上昇したのは9回であった。

### 3. 異なる場所において採取した降雨のpH

同じ降雨でも採取場所が異なる場合、pHは異なるか否かを知る目的で、農学部6号館最上階で採取した降雨のpHと構外(西へほぼ1.7km)の地点にある鉄筋コンクリート建て住宅の外壁近傍およ

びその南側草地で採取した降雨の pH を比較した (Table 3)。

Table 2 に示すように、同じ降雨でも採雨期間の違いにより pH が異なる。したがって、Table 3 では採雨時期および期間がほぼ重なる測定例をとり上げた。

Table 3 は次のことを示す。

1) 構外建物の外壁近傍で採取した降雨の pH はほとんどの場合 (11例中 9 例)、農学部構内建物 4 階で採取した降雨の pH よりも高かった。場合によっては pH の差が 2.0 におよぶ場合もあった。(Table 3, 3-1)

Table 3 Comparison of rain pH, measured at 3 locations

Year	Mark	Date	Top of a building in the campus. Collection starting and ending time	pH	Wall-side of a building apart from the campus. Collection starting and ending time	pH	Grass ground near to the left building. Collection starting and ending time	pH
1988	3-1	5-6/X	18:00 *N 9:00	3.7	22:00 N 8:00	5.7	—	—
	3-2	25-26/XI	21:00 N 9:00	5.3	21:00 N 9:00	5.3	—	—
	3-3	7-8/II	18:00 N 9:40	4.6	20:00 N 8:00	5.4	—	—
	3-4	3-4/III	18:00 N 9:00	4.8	21:00 N 8:00	5.3	—	—
	3-5	30-31/III	17:00 N 9:30	4.3	21:00 N 8:00	4.4	—	—
	3-6	2-3/IV	18:00 N 9:30	5.0	20:00 N 8:30	5.5	—	—
1989	3-7	29-30/IV	18:00 N13:00	3.5	18:00 N13:00	3.5	—	—
	3-8	5-6/V	16:00 N11:00	2.9	15:30 N10:45	3.1	18:30 N 8:00	2.8
	3-9	19/V	9:00 17:00	5.0	7:00 10:30	6.0	7:00 19:00	5.0
	3-10	23/V	10:00 18:15	5.0	8:30 19:20	6.5	8:30 19:20	5.2
	3-11	23-24/V	18:15 N 9:30	5.1	19:00 N 7:30	6.4	19:00 N 7:30	5.2
	3-12	16-17/VI	17:00 N 9:20	5.3	—	—	19:00 N 8:00	5.0

\* N : Next day's time

2) 構外建物南側の草地地面において採取した降雨のpHと構内建物4階で採取した降雨のpHは大体同じであった。しかし、pHの差が0.3に達する場合もあった。(同上, 3-12)。

なお、Table 3に示さなかったが、一続きの雨で、採雨期間が半日内外ずれた調査例12のうち8例において構外建物外壁近傍の降雨のpHは農学部構内建物最上階で測定したpHよりも高かった。

#### 4. 調査期間中の全測定例のとりまとめ

農学部構内6号館4階において1988年4月上旬から1990年8月末までに採取し測定した降雨の測定例すべて(270例)をまとめるとFig. 1およびFig. 2のようになる。

Fig. 1は1月を3旬に分け、各旬の降雨のpHの測定値の上~下限を歴日順に棒線としたものである。

Fig. 2は調査期間におけるすべての測定pHを0.5幅ずつに分け、それらのpH別分布状態を調べたものである。

同一の降雨に対するpH測定回数が多ければ、そのpHの降雨の分布は多くなる。しかし、実際において測定回数の多かったのは、多量の雨が降った場合、長期間に雨が続けて降った場合などに限られる。すなわち降雨のpHによって測定回数が増減したわけではない。したがって測定回数の影響はすべてのpH範囲の降雨に平等にあらわれたと考える。

Fig. 1は次のことを示す。

1) 酸性雨をpH 5.6以下の雨<sup>9)16)</sup>(pH 5.6は含まれない)とすると、調査月数29カ月中、酸性雨の測定例のなかったのは1990年7月(この月は異常少雨の月であった)を除き1カ月(1988年5月)にすぎなかった。

2) 測定pHの最も低かったのは1988年10月上旬にみられたpH1.4で最も高かったのは1989年8月上旬にみられたpH7.4であった。

Fig. 2は次のことを示す。

1) 降雨のpH4.6~5.0を縦軸とする正規分布を示した。pH4.1からpH5.5までの測定例が最も多く、全測定例のほぼ64%、172例をしめた。

2) pH5.6以下(5.6を含まない)のいわゆる酸性雨の測定例は全測定例中217例(約80%)を占めた。

3) 降雨としては非常に酸性度が低いと考えられるpH 3.0以下(pH 3.0を含む)の降雨の測定例が14回あった。

#### 5. pH3.0以下の降雨

上記4の最後に記したように調査期間内、pHが3.0以下の降雨が14回も観測された。このような降雨はどのような特徴を持っていたのであろうか。この点を知るため、それらの降雨のいくつかの条件を記録した。その結果はTable 4の通りである。

測定例の中にはpHを再測定したところ、多少高い値を示す場合もあった。そのような場合でもほとんどのものは3.0以下のpHを示した。

測定例14のうち、桜島南岳の噴火にともなう火山灰の混入が+~++および++(p. 9)であったのは7回であった。

南岳の噴火と低pH降雨の相関が示唆された。

#### 6. 桜島南岳の噴火による火山灰のまざる降雨のpH

上記5の結果によれば、異常にpHの低い降雨と桜島南岳の噴火による火山灰とは関係があると

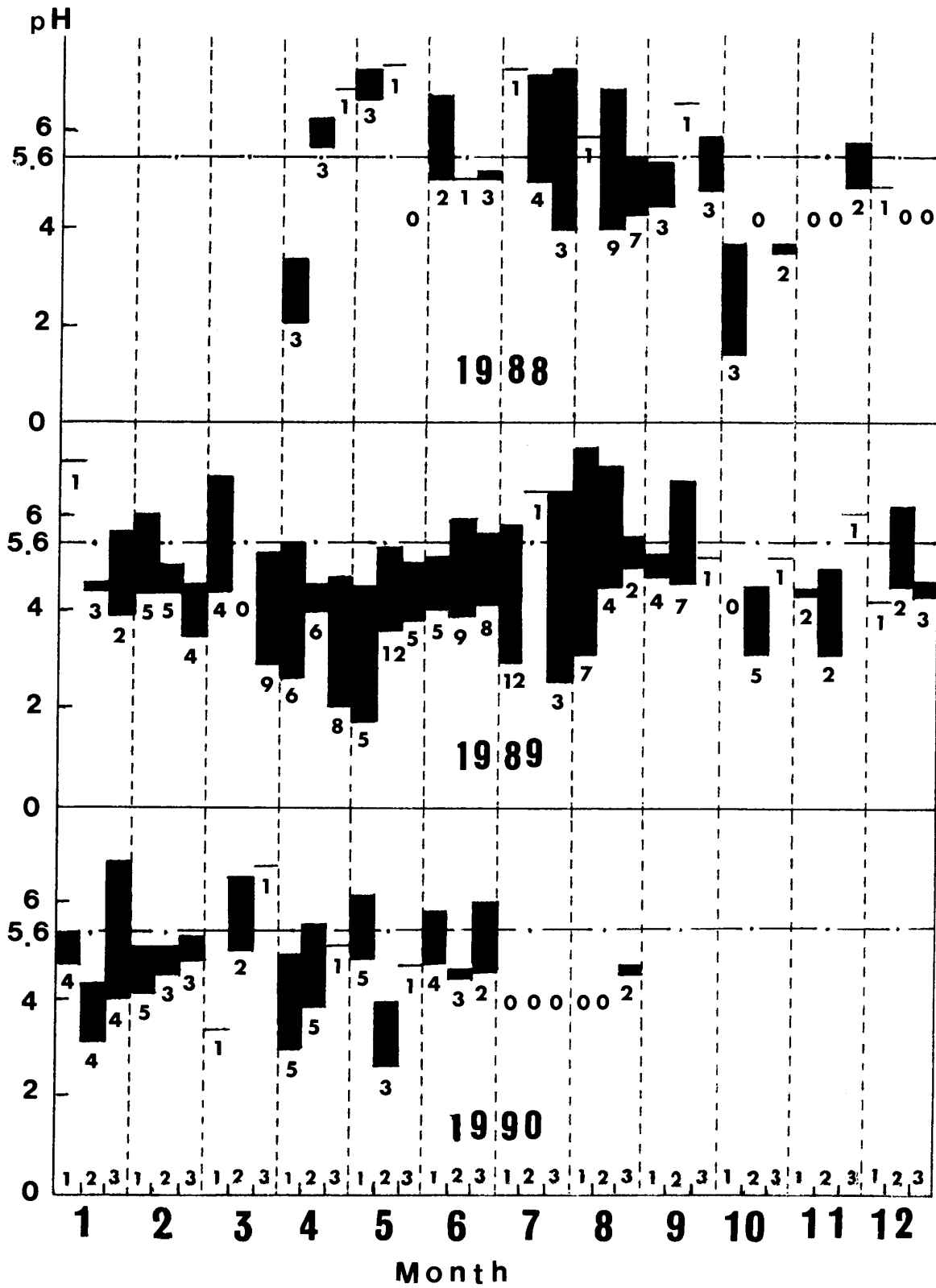


Fig. 1 Rain pH variation in 10-day periods of each month from April, 1988 to August, 1990.  
 (The number under the bar or rod indicates the measuring frequency of rain samples)



推察される。宝来ら<sup>3)</sup>は鹿児島市周辺に降った pH2.5の特異性酸性雨について報告し、桜島からの火山噴出物がその原因で、この雨によって多くの植物の可視被害があらわれたと記している。

農学部構内において採雨器中の降雨が泥水状ににごることがある。これは南岳がはげしく噴火したこと、風向が農学部方向(東風)であったことおよび降雨のあったことの3条件が重なった場合である。

調査期間内にこのような場合の測定例が17あった。それらの降雨のpHをTable 5に示す。但し、降灰量は定量した訳ではない。Table 5は採雨器中に多く降灰がまざった場合を $\#$ 、多少まざった場合を $+$ 、僅かにみられた場合を $\pm$ 、全くみられなかった場合を $-$ とし、 $\#$ および $+\sim\#$ と記録された例をまとめたものである。

なお、参考のため、鹿児島地方気象台で測定した $g/m^2$ の降灰量をTable 4のRef.に記した[同気象台発行の「定期火山情報」1988-1990(未公刊)による]。

降灰のかなりないし多くまざった雨は17回記録され、それらのpH範囲は1.4~6.7であった。Table 5にはTable 4のうち、降灰の多かった7例が含まれている。

なお、17測定例をpH別に分けるとFig. 3のようになる。

Table 5およびFig. 3は次のことを示す。

- 1) 17測定例中15例(88%)のpHが5.6以下(5.6を含まない)であった。
- 2) 降灰のまざった雨のpHは全測定例の平均的なpHよりも多少低かった。

宮内・長田<sup>15)</sup>は桜島の降灰が土壌におよぼす影響について調査し、降灰のpH( $H_2O$ )は4.1~5.6におよび、 $SO_4^{--}$ および $Cl^-$ の存在が降灰の酸性の大きな要因となり、 $SO_4^{--}$ の場合、最高0.5%から検出困難なものまで、 $Cl^-$ の場合、2300ppmから30ppmまで大きな変動があったと報告している。一方、噴火にともなう火山ガス中には $SO_2$ が極めて多く、桜島の場合、1日あたり1000~2000トンが普通で、時には3000トンに達することもあるという<sup>27)</sup>。雨の降り方と噴火の時期の組合せによって変動は大であろうが、降灰の多くまざった雨水のpHがしばしば低下することは容易に考えられる。

## 7. 台風中またはその前後の降雨のpH

1989年鹿児島市周辺に大きな影響を与えた台風として6号、11号、12号などがあり、1990年9月末までに14号、19号などがあった。台風の強さ、大きさ、進行方向などによって違いはあろうが、そのたもらす雨は特別な降雨と考えてよい。台風中またはその前後の雨の酸性度はどの程度であろうか。その点を知るため、1989年3台風および1990年の2台風について、計9回のpH測定を行った。(Table 6)。

Table 6は次のことを示す。

- 1) 台風のもたらす降雨のpHは3.2~7.4を示した。pH別の分布もまちまちで特別な傾向は認められなかった。

台風の雨にはしばしば雷(空中放電)がともなう。空中放電による化合物窒素の固定量は生物的固定量や工業的固定量に次いで大きいと報告されている<sup>8)</sup>。雷によって空中から生産される硝酸による降雨のpH低下も考えられる。しかし、雷の発生状態は一様ではない。台風前後の雨のpHに一定の傾向がないのは、化合物窒素の違いが関係しているかもしれない。同様なことは次ぎに述べる夏の俄か雨(いわゆる夕立)の場合にもあてはまる。

なお、Table 6中の6-8および6-9は今までの調査期間に含まれない測定例である。

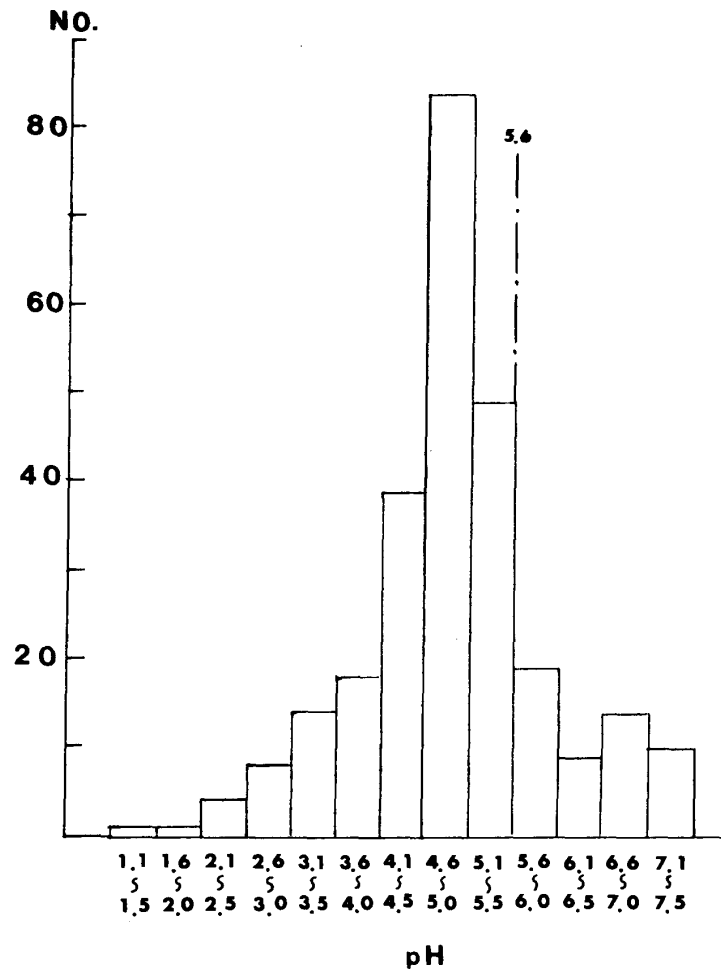


Fig. 2 Classification by the difference of pH of 270 rain samples.

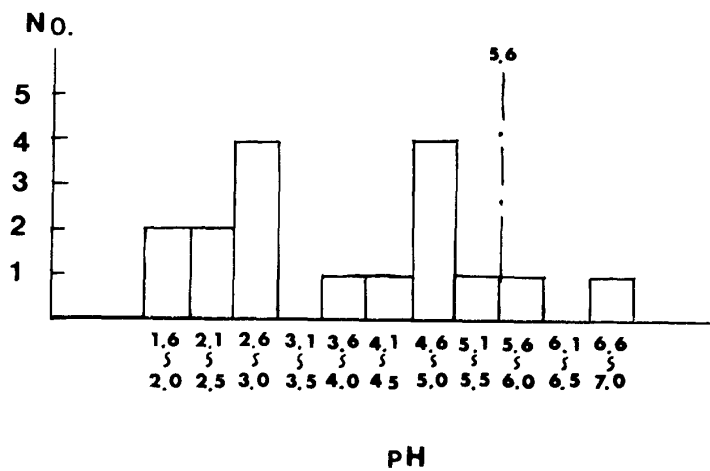


Fig. 3 Classification by the difference of pH of rain samples holding considerable or abundant volcanic ash erupted from Mt. Sakurajima.

Table 4 Records of rains which showed lower pH than 3.0

Year	Mark	Date	Collection start and end time	pH	Ash falling	Ref.	
1988	4-1	4/IV	9:00 11:00	2.1	+	40g**	
	4.2	4/V	9:30 12:30	1.4	+	6g	
	4-3	4/X	12:30 18:00	2.2	+	6g	
1989	4-4	6/IV	9:00 14:00	2.7	+	13g	
	4-5	20-21/IV	19:00 *N 9:20	2.9	+	2g (20/IV) 1g (21/IV)	
	4-6	22/IV	14:20 20:45	2.3	+	1g	
	4-7	28-29/IV	18:00 N11:00	2.0	+	6g (28/IV) 11g (29/IV)	
	4-8	5-6/V	16:00 N11:00	2.9	+~+	1g (5/V) 48g (6/V)	
	4-9	6/V	11:00 17:00	1.8	+	48g	
	4-10	5-6/VII	17:30 N11:30	3.0	±		
	4-11	30-31/VII	16:00 N 9:00	2.7	+	182g (27/VII) 6g (30/VII)	
	4-12	7-8/XII	19:00 N 6:00	2.3	±		
	1990	4-13	4/IV	12:00 18:00	3.0	+	1g (3/IV)
		4-14	13/V	8:30 15:00	2.7	+	7g

\* N: Next day's time

\*\*The quantity of volcanic ash per square meter (obtained by Kagoshim District Meteorological Observatory)

Table 5 PH of rains holding considerable or abundant volcanic ash, erupted from Mt. Sakurajima, about 8 km east of Kagoshima University.

Year	Mark	Date	Rain collection		pH	Ref.
			Starting time	Ending time		
1988	5-1	9-10/V	21:00	*N10:00	6.7	
	5-2	16/VI	13:00	18:00	5.0	
	5-3	4/X	12:30	18:00	2.2	Similar to 4-3 in Table 4
	5-4	5-6/X	18:00	N 9:00	3.7	
1989	5-5	3-4/IV	18:00	N 9:00	5.6	
	5-6	6/IV	9:00	14:00	2.7	Similar to 4-4
	5-7	22/IV	14:20	20:45	2.3	Similar to 4-6
	5-8	28-29/IV	18:00	N11:00	2.0	Similar to 4-7
	5-9	5-6/V	16:00	N11:00	2.9	Similar to 4-8
	5-10	6/V	11:00	17:00	1.8	Similar to 4-9
	5-11	30-31/VII	16:00	N 9:00	2.7	Similar to 4-10
	5-12	16-17/VIII	17:30	N 9:20	4.5	
	5-13	12-13/XI	18:00	N 9:00	5.0	
1990	5-14	10/IV	12:00	18:00	3.0	
	5-15	21-23/IV	9:30	**T10:00	5.2	
	5-16	2/V	9:00	16:50	5.0	
	5-17	22-23/VIII	13:00	N13:00	4.6	

\*N : Next day's time

\*\*T : The third day's time

### 8. 夏の俄か雨（いわゆる夕立）の pH

主として7～8月に雷をともなうなどの俄か雨（いわゆる夕立）は短時間に多量の降雨をもたらす。このような降雨の pH は特殊な価を示すであろうか、この点を知るため、測定例の中から夕立にあたるものの pH をぬき書きした。その結果は Table 7 の通りである。但し、夕立とは測定者らが主観的に「夏の夕方などに降る俄か雨」と考えたものにすぎない。

15回の測定例によれば、夕立すなわち夏の俄か雨の pH は3.7 (Table 7, 7-11) から7.3 (同上, 7-7) におよんだ。しかし一定の傾向は認められなかった。

### 9. 樹冠を滴下する降雨の pH

各種樹木の樹冠が降雨を保持したり、樹冠をとった雨水に各種の物質が含まれていることはよく知られている<sup>6)13)20)</sup>。

樹冠をしたたり落ちる雨水の pH は何かの特徴を持っているであろうか。その点を確認するため、試料および方法の 1 の B に記した樹冠を滴下する降雨の pH を測定した (Table 8)

なお、この調査の参考資料とし、各供試樹種の風乾重量10g をポリプロピレン製ビーカ中の蒸留水 500ml にひたし、25±3℃の場所に置き、翌日から1週間、この水の pH を測定した (Table 9)

Table 8 および Table 9 は次のことを示す。

1) マルバチシャノキの樹冠を滴下した雨水は常に最も高い pH を示した。この結果は各樹種の葉を蒸留水をひたした後の pH 測定結果とよく対応していた (Table 9, 9-6)。

Table 6 PH of rains relating to Typhoon

Year	Mark	Date	Collection starting and ending time	pH	Ref.
1989	6-1	23-24/VI	17:30 *N 9:30	4.6	Typhoon No. 6
	6-2	27-28/VII	18:00 N13:30	5.3	Advance rain of Typhoon No. 11
	6-3	28-29/VII	18:00 N 9:20	6.6	Posterior rain of Typhoon No. 11
	6-4	1/VIII	9:00 19:00	3.2	Advance rain of Typhoon No. 12
	6-5	2-3/VIII	19:00 N 9:00	7.4	Posterior rain of Typhoon No. 12
1990	6-6	22-23/VIII	13:00 N13:00	4.6	Advance rain of Typhoon No. 14
	6-7	23-24/VIII	13:00 N 9:00	4.8	Posterior rain of Typhoon No. 14
	6-8	16-17/IX	17:00 N 9:00	4.2	Advance rain of Typhoon No. 19
	6-9	18/IX	12:30 15:00	3.7	Middle rain of Typhoon No. 19

\*N: Next day's time

2) 降雨のpHが低い場合、それに対応するように樹冠を滴下する降雨のpHも低下した(Table 8, 8-6)。

3) ナカハラカエデの葉を蒸留水にひたした場合、その水のpHは2日後から低下し再び上昇する傾向を示し最終的には供試樹種中の最低値を示した。(Table 9, 9-5)。しかし、この傾向は本樹種の樹冠を滴下する降雨の測定値に反映しているとは認められなかった。

4) 1990年5月中旬の測定例(6樹種に関しての測定開始, Table 8, 8-6)以降、12例中、8-14を除く11例において、各樹種の樹冠を滴下する降雨のpHは構内6号館4階での測定値よりも高かった。しかし、1990年9月以降各樹種の近くの空地で採取した雨水のpHは上記建物4階で採取した雨水の測定値よりもやや高かった(未発表)。したがって、ここでは雨水そのもののpHと樹冠滴下雨水のpHとの比較結果について結論を出すことはできない。

## 考 察

予備実験的な調査(Table 1-3)において、同一降雨試料の連日のpH変化、一続きの雨の異なる時期に測定した場合のpHの違いおよび異なる場所に置けるほぼ同一時期に採取した降雨のpHの違いなどを調べた。

Table 7 Rain pH of summer showers

Year	Mark	Date	Rain collection		pH	Ref.
			starting time	ending time		
1988	7-1	2/VII	13:00	18:00	7.2	Rain following 7-4
	7-2	15/VII	10:00	10:25	6.7	
	7-3	17/VII	21:40	22:10	4.4	
	7-4	18/VII	10:00	11:00	5.5	
	7-5	18/VII	11:00	12:00	5.5	
	7-6	20/VII	18:30	18:45	5.0	
	7-7	21/VII	12:15	12:30	7.3	
	7-8	21/VII	17:00	18:00	7.2	
	7-9	13/VIII	10:00	11:30	4.3	
	7-10	17/VIII	18:00	18:30	6.9	
1989	7-11	2/VIII	17:00	19:00	3.7	
	7-12	10/VIII	12:00	15:00	5.3	
	7-13	14/VIII	8:00	9:30	7.1	
	7-14	16/VIII	15:00	17:00	4.5	

その結果同一測定試料でも常温(25℃附近)における測定時間の違いによって pH がかなり変化する(最大 pH にして1.7差)ことがあると認められた。しかし、大体(17例中11例)において、1週間後の変化は0.5以下(0.5は含まない)であった。本論文での測定はほとんどの場合、採取直後に、1部の場合は採取後満1日以内に行われた。したがってデータの比較には問題はない。しかし、一続きの雨の中には pH の変化したものが含まれている可能性がある。この点について検討した測定例(Table 2)では最大 pH 幅1.7差がある一続きの雨があった(Table 2, 2-27)。本論文ではこの点を無視したが、刻々降る雨はそれぞれ異なる pH をもつことがあると認められる。

異なる場所で採取した雨も多少異なる pH を示した。本論文における調査の場合、農学部構内の建物最上階の空間と構外草地(農学部構内からほぼ1.7km 西)におけるほぼ同時期の測定で最大0.3の pH 差を示した(Table 3, 3-8~3-12)。

上記構内建物または草地と構外建物(上記草地の近傍)の外壁近くの測定比較では、最大 pH 幅2.0の差があった(Table 3, 3-1)。

構外建物の外壁近傍で降雨を採取した場合、雨が採雨器の支持棒(アルミ製)を伝わって入ってゆくのが認められた。また、外壁(コンクリート)からのはね返り雨滴も含まれているであろう。このような場所ではかたよった降雨 pH を示すと認められるが、降雨の pH は僅かな条件の違いによっても異なることを示す一例であろう。

ある場所での気象について、微気象という概念がある。降雨の pH に関しても空間的および時間的に微小な違いおよび変化があることが再認識された。

上記したような制約はあるが、一定の場所において採取し、採取後1昼夜以内において測定したやや長い期間(29ヵ月)の多数例(270例)について、比較、検討し、マクロに集約することは可能であろう。

Table 8 PH of raindrops fallen down crowns of different tree species (1989)

Mark	Date	Rain pH measured at the top of a campus building	PH of raindrops fallen from the crowns of trees					
			C.j.	C.o.	Q.m.	M.r.	A.s.	E.d. var.j.
8-1	12/IV	5.6	5.2	5.3	5.9	5.8	—	—
8-2	12-13/IV	5.4	6.0	5.6	5.9	3.7	—	—
8-3	21-23/IV	5.2	4.9	4.8	5.6	4.9	—	—
8-4	2/V	4.9	6.1	5.9	5.7	6.2	—	—
8-5	2-3/V	5.6	6.2	6.4	6.5	6.2	—	—
8-6	13/V	2.7	2.9	3.0	2.8	3.2	2.8	4.2
8-7	21/V	4.8	5.4	5.2	5.8	4.9	6.0	7.0
8-8	4/VI	4.8	6.1	5.9	6.4	6.1	6.2	7.5
8-9	4-5/VI	5.4	6.5	6.4	6.6	6.4	6.5	7.2
8-10	8-9/VI	5.9	6.5	6.0	6.2	6.4	6.3	7.0
8-11	12-13/VI	4.5	5.7	5.6	6.0	5.8	6.0	6.4
8-12	14-15/VI	4.7	5.9	5.9	5.2	5.8	5.6	6.8
8-13	15-16/VI	4.5	5.8	5.1	4.6	5.4	5.9	7.0
8-14	28-29/VI	6.3	6.1	5.7	6.0	5.8	6.3	6.9
8-15	29-30/VI	4.6	5.5	5.4	5.7	5.5	5.3	7.2
8-16	22-23/VIII	4.6	5.4	4.7	5.2	5.2	6.0	7.4
8-17	23-24/VIII	4.8	5.6	5.2	5.8	5.2	6.3	7.3

C. j. : *Cryptomeria japonica*C. o. : *Chamaecyparis obtusa*Q. m. : *Quercus miyagii*M. r. : *Myrica rubra*A. c. : *Acer serrulatum*E. d. var. j : *Ehretia dicksonii* var. *japonica*

Table 9 PH of water in which the leaves of test tree had been immersed

Mark	Tree species	PH, measured every day for a week						
		1	2	3	4	5	6	7
9-1	<i>Cryptomeria japonica</i>	5.7	5.8	5.9	5.8	5.7	5.8	5.8
9-2	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	5.6	5.7	5.8	5.8	5.7	5.8	5.8
9-3	<i>Quercus miyagii</i>	5.8	6.1	6.2	6.3	6.0	6.2	6.1
9-4	<i>Myrica rubra</i>	5.6	5.8	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
9-5	<i>Acer serrulatum</i>	5.9	5.1	4.7	4.5	4.4	4.7	4.7
9-6	<i>Ehretia dicksonii</i> var. <i>japonica</i>	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.4
9-7	None (Ph was 5.2 on 0 day)	6.1	6.1	6.2	6.1	6.0	6.3	6.4

最初に調査期間中、酸性雨（pH5.6以下の雨、ここでは pH5.6を含まないとする）のなかった月は1カ月（1988年5月）だけであった。本調査ではこの月の上旬および下旬、合計4回の測定が行われた。

鹿児島地方気象台の気象月報によれば、1988年5月下旬には降水量20mmの雨が1回あったのみである。もしこの月に雨が多く、測定例も多かったならば、pH5.6以下の雨も記録されたかもしれない。

いずれにしても、ほとんどの月で酸性雨が観測された。

次に全測定例270例について、pH別分布を調べた。それによれば pH5.6以下（5.6を含まない）の測定例は全体のほぼ80%（217例）を占めた。

小山<sup>10)</sup>によれば東京都千代田区における1980年の初期降水（1mm）のpH範囲は3.6~8.2（平均4.9）で同じく多摩では3.6~5.9（平均4.5）である。牧野<sup>12)</sup>は神奈川県における1974~1983年の川崎、横浜および平塚での測定10年では平均がそれぞれ pH4.8, 4.3及び4.3であること、江阪・谷尾<sup>1)</sup>は京都市内2カ所における1983年10月から1年間の調査でpHが4.33から7.00（平均5.72）であったこと、松本<sup>14)</sup>奈良市内における1982年11月から1年間の調査で初期雨水と後続雨水をあわせたものの年平均値が4.75であったことなどを報告している。

中国および九州については大原<sup>19)</sup>が広島市内における1980~1982年度の調査において、268例のpHが3.4~7.5（平均4.3）であったこと、碓<sup>5)</sup>は唐津市における1975年5月から翌年7月までの調査においてpHは3.8~6.7（平均4.5）であったことなどを報告している。

なお、玉置・平木はわが国各地における雨水pHの年平均値<sup>22)23)</sup>を論じている。それによれば、100地点のpHの出現率中pH4~5のもの出現率が大部分を占めている。また、鹿児島県内の鹿児島市、隼人市および指宿市における雨水のpHの平均値はそれぞれ4.2, 4.2および4.3である。

筆者らのデータも以上の諸報告と大体一致している。

以下やや特別な降雨例えば夏の夕立、台風にともなう雨などのpHをまとめ考察した。

降雨強度が小さい程雨水のpHは低下する事例が多いとか低pH降雨の出現率が増加するとか報告されている<sup>22)</sup>。しかし低pH降雨の出現と降雨強度の関係は明確ではないともいわれている<sup>22)</sup>。一般に夏の俄か雨すなわち夕立は降雨強度が強いと言えるであろう。筆者らの夕立のpHの測定例14回ではpHは3.7から7.3におよんだ。pH3.5以下の例がなくpH6.6以上の測定例が6回（約43%）あるから、夕立の場合pHが高くなる傾向がないでもない。しかし、そうと断定はできないであろう。

台風にともなう雨も特別な雨といえる。しかし、台風の大きさ、強さ、進行方向、速度、ともなう雨の量、その強さおよび降雨時間の違いなどにより、台風の雨といっても一概にまとめられない。過去において、台風時の雨水の性状変化に関する報告例が1つあるといわれている<sup>22)</sup>。

1981年8月23日、千葉県における測定例がそれで、雨水成分は降雨強度に密接に対応し、台風の前面と後面の雨水の科学的性状は著しく異なっていたということである<sup>22)</sup>。

筆者らは1989年3回、1990年2回の台風の降雨につきそれらのpHを測定した。しかし、明瞭な傾向を認めることはできなかった。すなわち測定pHは3.2から7.4に及んだが、前期の雨のpHが高かった場合（Table 6, 6-2と6-3, 6-4と6-5, 6-6と6-7）もあったし、反対の場合（同じく6-8と6-9）もあった。採取方法、採雨時の雨の記録などがもっと精密でなければ確かな結論は出せないであろう。



筆者らの測定例中、pHが3.0以下の降雨が14回(全測定例の5%強)観測された。宝来ら<sup>2)</sup>は1987年6月鹿兒島市周辺に降ったpH2.5の雨の原因は桜島火山噴出物によるものであると報告した。筆者らの測定した上記14例中には降灰のまざった場合がかなりあった(Table 4)。一方、降灰の多くまざった雨のpH測定例ではpH3.0以下の場合が7例(全体の41%)あり、また、pH5.6以上の測定例は2回にすぎなかった。降灰の多く混った雨のpH別分布(Fig. 3)と全測定例のpH別分布(Fig. 2)とを比べると、Fig. 3の方が全体として左側にかたよっている。すなわち、降灰のまざった雨はpHが低い傾向があるといえるであろう。

最後に各種樹木の樹冠を滴下する雨のpHを測定したが、最も興味のもたれた結果は、マルバチシャノキの樹冠を滴下する雨水のpHが常に最も高かったことである。この結果は供試樹種を蒸留水にひたし、翌日からその水のpHを測定した実験結果(Table 9)とよく符合した。このことは同様な現象が他の樹種についても起こり得ることを推察させる。供試6樹種の水浸液が異なるpH変動を示したことは興味のもたれることであるが、多くの樹種の異なる生長時期にある葉が、降雨に対し、どのように反応するかの研究も必要であろう。

## 要 約

1988年4月から1990年8月まで、主として鹿兒島大学農学部構内の1建物最上階空間において採取した降雨のpHを測定した。

調査期間中pHが5.6以下の雨が観測されなかったのは1カ月にすぎなかった(Fig. 1)。

測定されたpHの中でpH4.1からpH5.5までの測定例が最も多く、全測定例(270回)のほぼ64%を占めた(Fig. 2)。

同じく5.6(5.6を含まない)以下のpHを示すいわゆる酸性雨は全測定例中のほぼ80%を占めた。

酸性度がきわめて低い(ここではpH3.0以下とする)降雨の測定例が14回(全測定例の5%強)あった。これらのうち桜島火山の噴火にともなう降灰のかなりないし多くまざっていた場合が6回あった(Table 4)。

一方、火山灰のかなりないし多くまざった降雨のpHを調べたところ、それらの雨のpHは全測定例の平均的なpHよりも多少低かった(Table 5およびFig. 3)。

針葉樹2種、常緑広葉樹2種および落葉広葉樹2種の樹冠を滴下する雨のpHを測定した。マルバチシャノキ(暖帯性落葉広葉樹)の樹冠を滴下する雨のpHは常に他の樹種のpHよりも高かった(Table 8)。

これらの樹木の葉を蒸留水にひたし、1週間連日その水のpHを測ったところ、マルバチシャノキの水浸液が常に最も高いpHを示した(Table 9)。

## 引用文献

- 1) 江阪忍・谷尾桂子：京都府における雨水調査。環境技術 14, 165-166 (1985)
- 2) 宝来俊一・奥園和光・中内孝雄・長井一文・中村宏・山田正人・柳川民夫・小磯誠・楨孝雄：桜島火山周辺地域における大気汚染物質に関する調査研究(第II報)－酸性ガス状物質の分布および挙動－。鹿兒島県環境センター所報 1, 98-109 (1984)
- 3) 宝来俊一・大津睦男・柳川民夫：鹿兒島市周辺に降ったpH2.5の特異的酸性雨について。鹿兒島県環境センター所報 4, 52-57 (1988)

- 4) 初島住彦：日本の樹木. 1-879, 講談社 (東京) (1976)
- 5) 碓宏八郎：唐津市における酸性雨調査. 環境技術 14, 174-175 (1985)
- 6) 岩坪五郎・堤利夫：森林内外の降水中の養分量について (第2報). 京大演習林報 39, 110-124, 1967
- 7) 鎌田政明・小沢竹二郎・村上悠紀雄・吉田稔 (編)：地熱流体の化学 環境科学の視点から. 122-126 (1980)
- 8) 川口桂三郎：土壌学概論. 261, 養賢堂 (東京) (1978)
- 9) 河野久吉：日本における酸性雨の植物影響に関する研究の現状. 電力中央研報 調査報告 484015 1-20 (1984)
- 10) 小山功：東京都における酸性雨調査. 環境技術 14, 155-158 (1985)
- 11) 環境庁酸性雨土壌植生影響研究会 (編)：酸性雨 土壌・植生への影響. 1-198, 公害研究対策センター (東京) (1990)
- 12) 牧野宏：神原川における酸性雨調査. 環境技術 14, 155-158 (1985)
- 13) 丸山明雄・岩坪五郎・堤利夫：森林内外の降水中の養分量について (第1報). 京大演習林報 36, 25-39, 1965
- 14) 松本光弘：奈良県における酸性雨調査. 環境技術 14, 167-168 (1985)
- 15) 宮内信文・長田智子：桜島の降灰が土壌におよぼす影響について. 鹿大農学術報., 33, 221-227 (1983)
- 16) 中内孝雄・宝来俊一・長井一文・中村宏・山田正人・奥園和光・小磯誠・横孝雄：桜島火山周辺における雨水中のイオン成分調査. 鹿児島県環境センター所報 1, 158-167 (1984)
- 17) 大喜多俊一 (他多数)：わが国各地における酸性雨実態調査. (特集) 環境技術 14, 131-176 (1985)
- 18) 大井次三郎 (著) 北川政夫 (改訂)：新日本植物誌 顕花編. 1-1716, 至文堂 (東京) (1976)
- 19) 大原真由美：広島県における酸性雨調査. 環境技術 14, 172-174 (1985)
- 20) 只木良也・吉良竜夫 (編)：ヒトと森林 森林の環境調節作用. 88-92, 123-128, 共立出版 K. K. (東京) (1982)
- 21) 玉置元則：わが国の雨水の科学的性状. 環境技術 14, 132-146 (1985)
- 22) 玉置元則・平木隆平：わが国各地における雨水 pH の平均値(1). 環境技術 1, 1-5 (別刷) (1986)
- 23) 玉置元則・平木隆平：わが国各地における雨水 pH の平均値(2). 環境技術 15, 1-15 (別刷) (1986)

### Summary

At the campus of Kagoshima University, rain pH was measured on a building-top landing-spaces from April, 1988 to August, 1990. Adding to this, the raindrops pH contained in the crowns of the 6 tree species, growing in a forestry nursery near to the building were measured during the period between April and August, 1990. Main results are as follows.

- 1) Concerning the total 270 measuring samples, it was ascertained that in the 29 observation months the so called acid rain with the pH lower than 5.6 was observed in no less than 28 months, excepting in May, 1988.
- 2) In the rain samples, about 64 percent of the total showed the pH ranges of 4.1-5.5. Acid rain occupied about 80 percent of the total samples (Fig. 2).
- 3) Extreme acid rain showing the pH lower than 3.0 was observed in the 14 samples, being about 5 percent of the total samples (Table 4).
- 4) In the extreme acid samples, 7 ones contained considerable or abundant volcanic ash, erupted out of Mt. Sakurajima, situated at about 8 km east of the university campus (Table 5).
- 5) In the pH measuring test carried out with the raindrops falling through the crowns, the raindrops from *Ehretia dicksonii* var. *japonica*, a deciduous broad-leaved tree showed constantly the highest pH (Table 8).
- 6) This result coincided with the result of the pH measuring test of water in which the leaves of 6 test trees had been immersed, separately (Table 9).