

長野県松本市における酸性雨実態調査

星川和俊・環境科学ゼミナール酸性雨調査班

・信州大学教養部

Observations of Acid Rain at Matsumoto City, Nagano Prefecture

Kazutoshi HOSHIKAWA and Acid Rain Monitoring Group of Environmental Science Seminar

Faculty of Liberal Arts, Shinshu University

Key words : Acid rain, Observation, Meteorological factor, Matsumoto city

酸性雨、観測、気象要因、松本市

1. まえがき

欧米では、酸性雨が深刻な被害を与えており、大陸規模での監視網と対策が実施されてきたが、より根本的な対策や法的規制等の検討が必要と言われている⁽¹⁾。わが国においても、全国規模や局地的な酸性雨調査が進行しており、そこでは降水の酸性化が観測され、大都市や工業地帯に近接する一部地域で酸性雨の影響が懸念されるとの報告^(2,3,4)も出現しつつある。

本報告は、信州大学教養部屋上（長野県松本市）において、1990年から1992年まで観測した酸性雨調査結果をとりまとめたものである。本調査は、降水等の湿性沈着によるpH測定と気象要因との関係に限定したもので、いわゆる狭義の酸性雨だけを対象とする。しかし、松本市のように内陸部に位置し、周囲に工業地域等の大きな汚染源がなく、しかも日本海側と太平洋側の両気候区の影響を受ける地域での比較的長期間にわたる調査は少なく、今後の酸性雨実態分析への基礎となると考え、調査結果を報告する。

本調査のきっかけは、1990年度の環境科学ゼミナールであった。当時、ゼミに参加した学生諸君の中で、酸性雨問題への関心が最も高く、ゼミ活動の一端として本調査を開始した。その後、1991年度および1992年度のゼミナールで本調査が継続され、現在に至っている。各年度の調査参加者は以下のとおりである。1990年度：秋山淳、藤森俊雄、井上雅博、寺尾幸一、志田真貴子、渡部朋子、塚田淳一、中川健司、1991年度：三村康之、近藤慎也、近松由紀子、92年度：中間精、新屋みのり、藤田和人、平田和之、高村秀紀の諸君で

あり、一部の諸君は複数年度にわたって参加した。各年度の調査結果は、報告書⁽⁵⁾としてまとめられており、ここではこれらの主要な部分と年度間での変化を中心に取りまとめる。

2. 調査方法

1) 調査地点

調査地点は長野県松本市（標高620m）の信州大学教養部北棟屋上（4階建、地上約15m）を中心に行った。なお、92年6月以降からは、教養部自転車置場の屋根上（地上約2.5m）でも試料サンプリングを併用した。

2) 調査期間

本調査は1990年6月末から1992年12月までであるが、夏季、冬季休暇の一部、ならびに学年度の移行期にあたる2月から5月にかけて、欠測となっている。しかし、全調査期間中の約70%以上の降水についての調査が行われたと考えられる。

3) 測定法

調査試料は教養部北棟屋上に、ポリエチレン製の採水容器（直径53cm、深さ30cm）を周囲の壁やフェンス等の影響が少ない地点に設置し、採水を行った。採取試料は、pHメータ（YOKOGAWA pH81）でpH値ならびに水温を測定した。また、測定時ごとに降水量（屋上に設置した空き缶利用の雨量計）、吹き流しによって風向、風力を目視観測すると共に、降水状況（降水開始、降水終了時間等）を記録した。以上の測定は、91年度まで降水ごとに任意間隔で行われた。

したがって、一降水に対して、数回の測定を行った場合、あるいは1回限りの測定しか行えなかった場合

もある。なお、91年度冬期の一部データは、降雪による試料であり、この場合は常温で融雪後に測定した。

92年度からは、市販の酸性雨測定用の降水サンプラー(レインゴーランド、堀場製)を教養部屋上に設置し、採水した。このサンプラーの場合、約1mmの降水ごとに採水が可能であるが、pHセンサーの都合から、連続した2サンプルを1つの試料(つまり、ほぼ2mmの降水に相当する)として、測定を行った。

さらに、92年度より土曜閉庁に伴い校舎への入構が、週末にできなくなったので、教養部自転車置場の屋根上での採水も平行して実施した。この場合は、ビニール袋(50×50cm)をスタンドに固定し、試料の採取を行い、その後の測定は他の方法に準じた。

各測定の実施後は、採水容器を水道水で洗浄し、屋上に再設置した。なお、長期間にわたり降水がない場合には、可能な限り降水が予想される前日に容器を洗浄し、乾性沈着等の影響を受けないように配慮した。

4) 気象資料

前述したように、降水量、風向、風速等の気象要因については、調査地点で簡便法による測定を行った。

しかし、後述する酸性雨と気象要因との相互関係の考察に当たって、降水量、風向、風力等については、松本測候所(調査地点より直線距離で約700m)の気象資料を一部利用し、分析に一般性をもたせるように配慮した。松本測候所の気象資料による場合には、その都度記述する。

3. 調査結果

1) 測定結果

各降水の測定は、調査方法で述べたように、一降水に対して1回から数回のものもある。よって、これらの各測定結果にもとづき、一降水ごとの平均pH値を算定した。以後の考察に当たっては、とくに断らない限り、一降水ごとの平均pH値を対象とする。また、pH7を越える値も僅かではあるが、測定結果に表れた。これは、容器洗浄の際に残った水道水による影響、あるいは大気中からの他の降下物等による影響と考えられ、これらの測定結果は考察対象から除外した。

各年度ごとに、降水量とpH値の経時的変化をプロットすると、Fig.1のとおりとなる。なお、降水量は松本

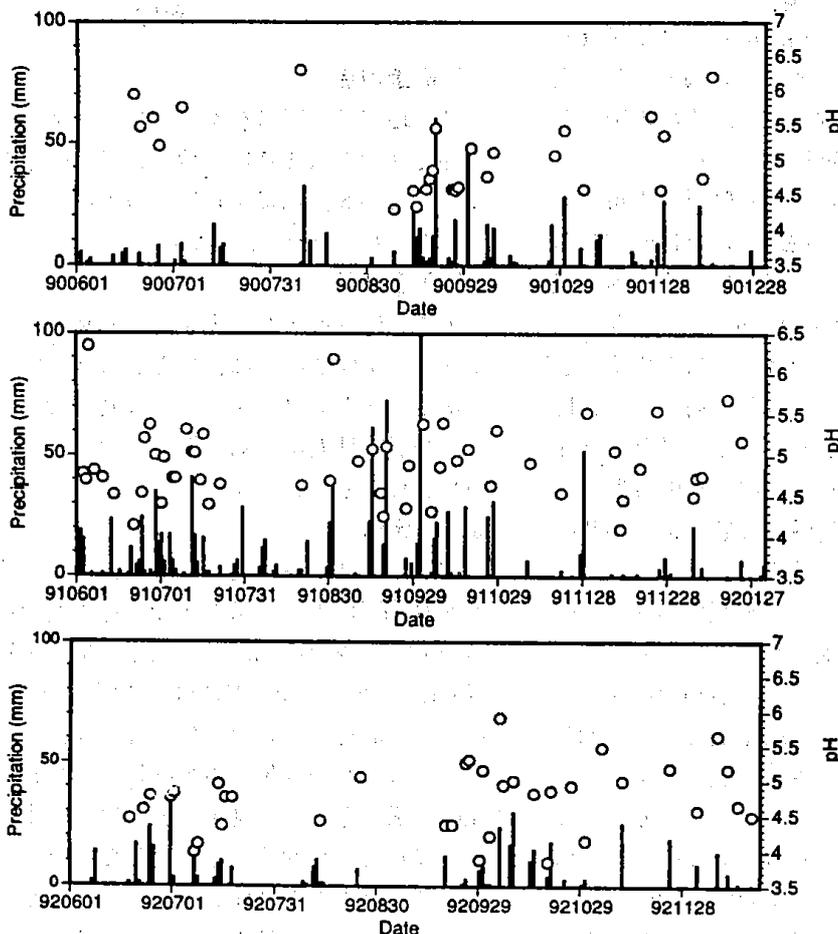


Fig. 1(a) Case of 1990's observation

Fig. 1(b) Case of 1991's observation

Fig. 1(c) Case of 1992's observation

Fig. 1 Observation results of acid rain at Matsumoto city (1990-1992).

長野県松本市における酸性雨実態調査

測候所での日雨量を用いた。

各年度の降水量を見ると、90年の夏季、92年の初夏から初秋にかけてが少なく、両年とも平年に比べると寡雨の傾向であった。逆に、91年は晩夏から秋にかけて、4つの台風が日本列島に上陸、あるいは接近し、豪雨被害に見舞われた。松本においても、その状況は同様で、かなり降水量が多い年であった。

測定期間中の年度ごとの平均pH値を算定すると、90年度から順に、各々pH5.1、pH4.9、pH4.7となった。上述のように年度による降水量、降水パターン等が異なり、しかも調査期間、調査法がやや異なり、単純には比較できないが、年度が新しくなるにつれ、降水の酸性化が進行している傾向が見られる。

2) pH値の分布

測定されたpH値の分布状況を年度ごとに示すと、Fig.2のとおりである。90年度の場合はpH4.2~pH7、91年度はpH4~pH6.4、92年はpH3.4~pH6.0の測定範囲に分布した。この結果からすれば、近年になるにつれ、酸性化の程度の高い降水の出現が見られることは、明らかである。

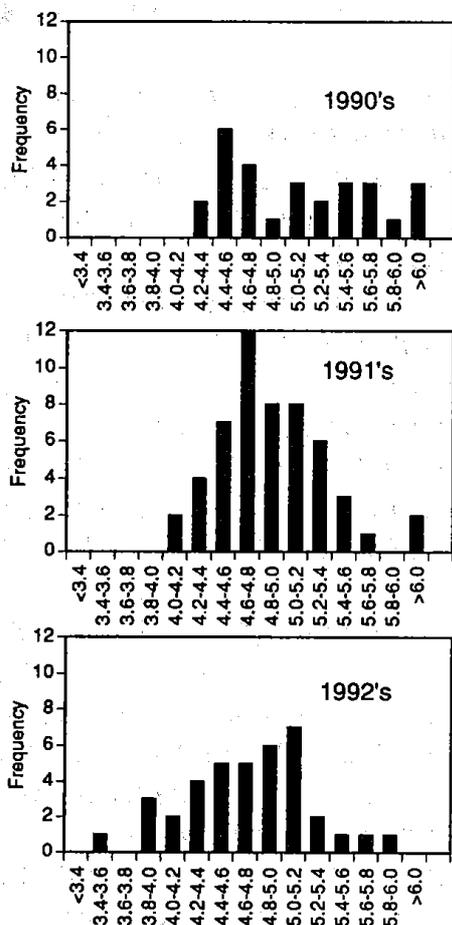


Fig. 2 Distribution of pH value in annual observation (1990-1992)

各年度の測定値分布は、90年度から順に、pH4の後半からpH5の後半、pH4の後半からpH5の前半、ならびにpH4からpH5前後にほぼ集中しており、ほとんどの雨がかなりの酸性状態であることを示した結果となった。

測定結果は、酸性雨の便宜的な指標とされるpH5.5以下の値となることが多く、全測定結果からすると、90年度は70%、91年度は90%ならびに92年度は92%の降水がpH5.5以下の酸性雨となる状況であった。

3) 考察

これまでに述べてきた降水のpH値測定結果は、環境庁等で観測された値とも一致する⁽²⁾。つまり、太平洋側の関東や中部地方での降水の平均値、ならびに日本海側の北陸地方のそれは、pH4.5~pH5付近に分布しており、ほぼ松本市の降水の平均値もこの範囲に含まれる。

ところで、環境庁を中心とする酸性雨観測網は、そのほとんどが太平洋沿岸および日本海沿岸部の調査地点であった。しかし、本調査結果からすれば、松本のような内陸部でも降水の酸性化が、沿岸部と同様に進行しているものと想定される。

4) 水質分析結果

降水中に含まれる降下物を調査するため、1991年に採水した一部の試料について分析を行った。参考のために、その結果をまとめるとTable1のとおりである。なお、本試料の分析は理学部林秀剛先生、同大学院生李建華氏によって測定されたものであり、記して深謝申します。

Table 1 Measurements of wet deposition (ppm)

項目	10/11	10/18	11/8	11/20	11/28
Cl	0.0889	0.131	0.391	0.724	0.750
N	-	-	-	0.0032	-
NO3	0.0282	0.0477	0.0817	0.490	0.0422
PO4	0.0083	0.0046	-	-	0.108
SO4	0.443	0.413	0.822	2.645	0.780
Total	0.568	0.596	1.294	3.862	1.681

備考

10/11 10:30-17:00 秋雨前線+台風21号による雨 pH4.81
 10/18 10/17 10:40-10/18 12:20 秋雨前線による雨 pH5.21
 11/8 12:00-16:00 気圧の谷(低気圧)の雨 pH4.71
 11/20 11/19 夜-10:30 寒冷前線(低気圧)の南 pH4.55
 11/28 9:00-12:30 気圧の谷の南 pH4.73

4. 酸性雨と気象要因の相互関係

1) 降水量

一降水の総降水量とpH値の関係を各年ごとにまとめた結果が、Fig.3である。なお、ここでの降水量については松本測候所の資料を用いた。

各年度とも降水量が少ない場合には、pH値が比較的大きなばらつきを示し、pH値で1.5~2程度の中を有する変動が見られた。しかし、ばらつきがあるにしても、pH値は年度が新しくなるにつれ、相対的に酸性化の方向に集中、推移していく状況であった。

降水量が多い場合には、データが少なくその変動は不明であるが、90年度ではpH 5以上の値に、91年度はpH 5を中心とした巾広い値に、さらに92年度ではほぼpH 5以下の値になった。

2) 降水の時間経過

降水の時間経過につれ、汚染物質が多様に挙動することは、よく知られている。そこで、91、92年度の測定値から、いくつかの降水の時間経過（ここでは、調査地点で得た雨量計の測定値を用い、降り始めからの累積雨量を用いた。）とその経過途上で測定された各pH値の関係を、Fig.4に示す。

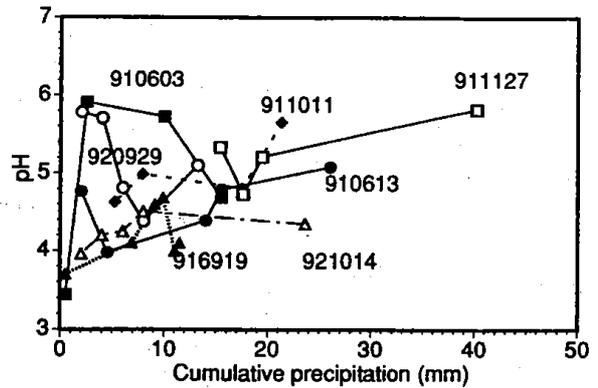


Fig. 4 Variation of pH values during some continuous precipitations

示された結果は、複雑な変化を呈するが、大きく2つのパターンに分類できる。一つのパターンは、降水量が多い場合で、雨が降り続くにつれpH値が高くなり、ほぼ一定値に近付くと考えられるものである。他のパターンは、降水の継続時間が長いにもかかわらず、雨量が少ない場合で、pH値が降水途上で、急に低下することもあり、降水経過途上でのpH値の変動が大きいものである。

いずれのパターンにしろ、多くの測定事例からすると、降水直後でしかも雨量が少ない時点でのpH値が最も酸性化の程度が強い。とくに、霧雨のような雨滴が小さいときに、その傾向が著しいと推察された。

3) 先行無降水日数

酸性雨は、大気汚染状況とも密接に関連する。たとえば、大気汚染の一要因として、降水生起時点での大気汚染の状況が考えられる。そこで、降水生起時点での大気状況との関連を検討するため、先行無降水日数とpH値の関係を示すと、Fig.5のとおりとなる。なお、ここで言う先行無降水日数とは、ある降水が生起する以前の無降水日数を示しており、91年度の調査記録にもとづき推定した。

一般的に、先行無降水日数が多い場合、汚染物質の大気中での停滞量も多くなると考えられ、酸性化の程度も強いであろう。Fig.5の結果によれば、先行無降水日数が多い場合には、ほとんどpH 5以下の値となる傾向が見られた。しかし、先行無降水日数が短い場合、すなわちほぼ連日のように降水があるときには、各々の降水のpH値の変動が大きく、かなりの低pH値の出現もあった。たとえば、91年度の観測の中で、最も酸性化の程度が強い雨の測定がなされたのも、先行無降水日数が極端に短い場合であった。

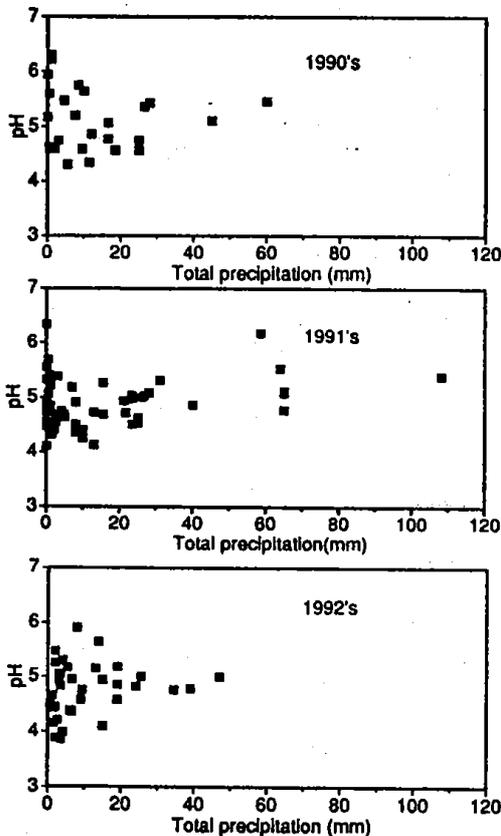


Fig. 3 Relationship between pH value and total precipitation in annual observation (1990-1992)

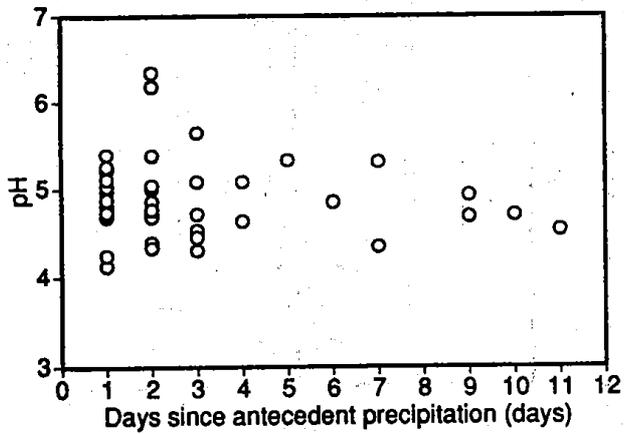


Fig. 5 Relationship between pH value and no precipitation days since antecedent's in 1991's observations

以上の結果からすれば、降水のpH値は少なくとも、前項で述べた降水量、降水の時間経過ならびに降水生起時点での大気状況とも関連していることが、予想される。よって、91年度のデータを用いて、一降水ごとの総降水量、先行無降水日数ならびにpH値の3つの要因間の関係を、Fig.6のようにまとめた。

この分析では、各々の降水の時間経過の特徴が十分に説明されたとは言えないが、いくつかの一般的な特徴を定性的に読み取ることが可能である。すなわち、

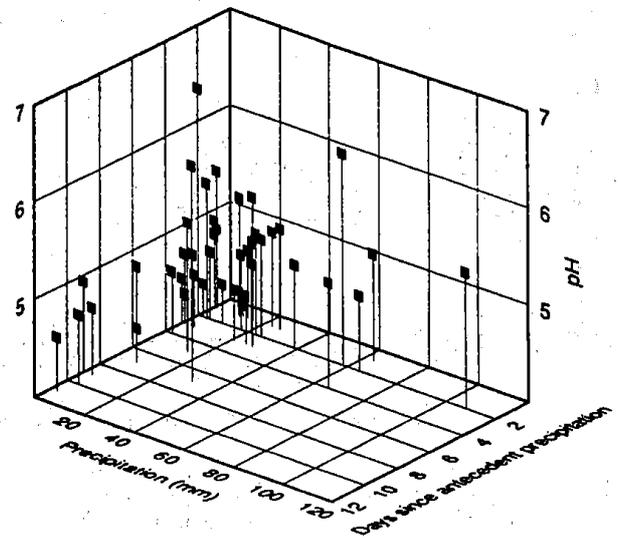


Fig. 6 Scattergram among pH value, total precipitation and no precipitation days since antecedent's in each observation (1991's)

先行無降水日数が長く、しかも降水量が少ない場合には酸性化の程度が強い。逆に、先行無降水日数が短く、相当の降水量がある場合には、酸性化の程度が比較的弱い。また、2～5日の数日間隔で降る小雨は、多様なpH値となるものと考えられる。

4) 風向・風速

大気汚染状態は、降水をもたらす気団の通過経路にも関係する。つまり、汚染源の物質輸送に、大気の大きな流れが、関わっていると考えられるからである。そこで、試料採集時の風向とpH値との関係を示すと、Fig.7のとおりとなる。なお、ここで用いた風向・風速データは、松本測候所の1時間ごとの値であり、当該

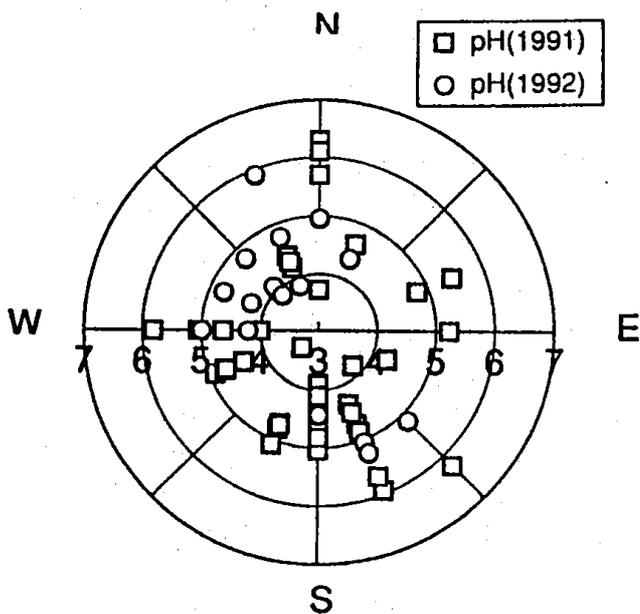


Fig. 7 Relationship between pH value and wind direction (1991's and 1992's observations)

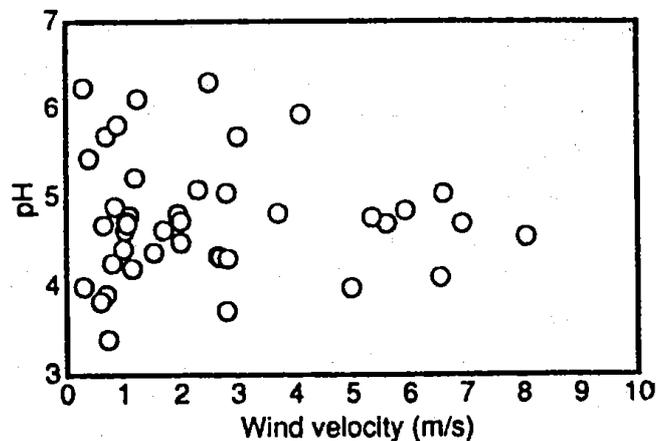


Fig. 8 Relationship between pH value and wind velocity (1991's observations)

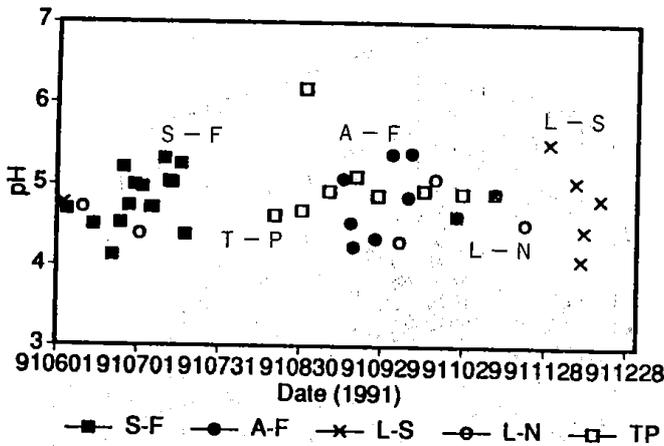


Fig. 9 Seasonal variation of pH values and occurrence reasons of precipitation in 1991

降水時点での最多頻度の風向と平均風速を用いた。

測定年度によるばらつきが大きいですが、91年度のデータでは南から西南西にかけての風が多く、それらはほぼpH 5以下の比較的低い値に集中した。また、92年度のデータでは、逆に北西を中心とした風が多く、91年度と同様に比較的低pH値に集中した。

同様に、降水時の風速とpHの関係を示した結果が、Fig.8である。風速が小さい場合には、データ数も多くpHの変動が大きい。他方、風速が大きい場合、試料数が少ないが、ほぼpH 4～5の付近に集中する傾向が見られた。

降水時の風向・風速とpH値の関係をより厳密に検討するには、大気現象としての風向・風速の意義付けの問題、ならびに利用した松本測候所の観測データの代表性の問題等の詳細な分析が必要である。とくに、松本盆地特有の気候的な特徴との関係を検討することが重要であろう。さらに、本調査では、冬季の卓越風(北風)時点での実態が明確でなく、今後の調査観測の蓄積が不可欠となる。

5) 降水原因

降水を発生させる原因には、多くの要因が関係する。ここでは、次に述べるような降水原因を考え、調査期間中の天気図を参考として、各降水を5つのパターンに分類した。つまり、梅雨前線による雨(S-F)、秋雨前線による雨(A-F)、台風による雨(TP)、太平洋側での低気圧通過による雨(L-S)、日本海側での低気圧通過(L-N)による雨の5つのパターンに分類した。なお、これから述べる図においては、各降水原因のパターンを上述の括弧内の記号で略した。

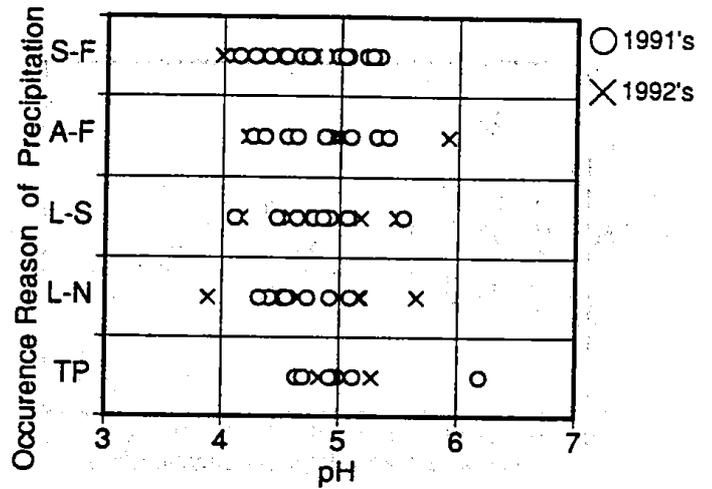


Fig. 10 Variation of pH values according to occurrence reasons of precipitation (1991's and 1992's observations)

91年度の試料について、降水原因別パターンとそのpH値の経時的変化を示すと、Fig.9のとおりとなる。降水の発生原因の季節的特徴とそれらのpH値の変化に、定性的な傾向が見られる。

Fig.10は、91、92年度の降水原因別パターンとpH値の関係を示した散布図である。僅かの例外もあるが、降水の原因別パターンとpH値の変動にいくつかの定性的傾向も存在するようである。梅雨前線、秋雨前線によるものは、pH5.5以下にほぼ集中しており、台風によるものはpH 5前後に集中する傾向があった。逆に、日本海側を通過する低気圧による降水の場合には、pH値が比較的大きく変動する状況となった。

5. あとがき

本報告は、環境科学ゼミナールの一端として、測定した酸性雨の調査結果をまとめたものである。教養部生が中心となって行った調査であり、調査法が年度により一部相違したり、調査項目等が限定されている等、環境測定上の厳密さを欠く点もあった。さらに、測定・分析機器上の制約と調査技能上の制約もあった。しかし、これらの諸制約を越えて、3年間にわたる酸性雨観測を継続した結果、ほんの一部ではあるが松本での酸性雨実態を明らかにすることができた。本調査で収集された資料は、今後の重要な基礎資料となるであろう。

最後に、本調査を通して、酸性雨問題(環境問題)を身近な問題としてとらえ、問題の難解さに接しながらも、観測を投げ出さず、ひたむきな努力を続けた学生諸君に敬意を表するものである。

長野県松本市における酸性雨実態調査

参考文献

1. 石弘之：酸性雨、岩波書店、P242、1992
2. 環境庁水質保全局：酸性雨 土壌・植生への影響、公害研究対策センター、P198、1990
3. 飯田俊彰、上木勝司：日本海沿岸地域における酸性雨・雪の特徴、農業土木学会誌、60 (12)、P1103-1106、1992
4. 植田洋匡：酸性雨 (大来佐武郎監修 地球規模の環境問題 (I) 所収)、中央法規、P185-244、1990
5. 信州大学教養部環境科学ゼミナール：環境科学ゼミナール報告 1990年度、第1編 松本市における酸性雨の実態調査 (酸性雨班)、P1-37.1991.2
同 上、1991年度、第1編 酸性雨の実態調査 (酸性雨班)、P1-33.1992.2
同 上、1992年度、第1編 松本市にける酸性雨の実態調査 (酸性雨班)、P1-24, 1993.2