

降水の低pH化とその気象条件

小山 功 古明地 哲人

1 はじめに

わが国においても北欧や北米タイプの酸性雨被害の有無が問題になり出した。¹⁾しかしまだ、酸性雨または湿性大気汚染調査としては1mm降水の分別採取が主流である。また、わが国、特に東京における降水中の汚染質成分濃度は、降水強度などの気象条件に影響されることが多いため、1mm降水の状況を調べることは十分意味がある。

降水成分間相互解析は多数行われているが、^{2~5)}気象解析は少ない上に特定事例解析しかない。^{2~4)}本研究所における酸性雨^(註)研究のうち気象との関係解析は降水量増加と風向風速等の関係⁶⁾及び降水の連続酸性現象と気象の関係⁷⁾について検討してきた。本解析は一定期間中の降水をもたらした気象パターンの全数解析である。

2 解析期間等

- (1) 解析期間 1975年3月から1981年2月まで
- (2) 使用降水成分分析データ 酸性雨調査報告(2~4)
- (3) 降水採取地点 千代田, 板橋, 大田, 調布, 多摩, 青梅, 奥多摩の7地点
- (4) 天気図 天気図集成(1971~80)及び新聞天気図によった。

3 解析方法

原則として毎日の9時の天気図と各地点の降水時間帯を比較し、降水時の気象パターンを決定した。降水時間帯の不明なものにはなるべく天気図から降水時間帯を推定し気象タイプを決定した。毎日9時の天気図で気象タイプを決定できないものについては、21時の天気図を使用した。

(1) 降水時の気象の類型化

東京地方に降水をもたらした天気を、7つの気象パターンに大別した。表1にそれらのパターンを示したが、Iは停滞前線などの前線(以下fで示す)や低気圧(以

(註) 本来なら雪や霧等も含まれるので酸性降水といわねばならないが、酸性雨という方が一般化しているのでここでは酸性雨で統一した。

下Lで示す)が湘南地方から房総半島先端までを東西に横たわるか東進した場合で関東内陸に強酸性雨をもたらしたパターンであった。IIはIの北から北緯40°までの間にLが存在したか、fの最北部がこの間にあった場合および2つ玉や3つ玉低気圧が本州中部を挟んで通り過ぎた場合ならびに気圧の谷の通過した場合であった。IIIのパターンはIの南側で北緯30°までにLがあったかfの北端がこの間にあった場合、IVのパターンはLまたはfの北端が東経140°まではIIIの南にあったか、東経140°北緯30°の点と東経150°北緯40°の点を結んだ線より東側にfがあった場合である。VのパターンはLまたはfが北緯40°より北にあった場合で、Tは台風または熱帯低気圧の影響で降水をもたらされた場合である。Uは通常の日本付近の天気図には現われないような弱いLによった場合で、天気図上の大気圧傾度が緩んだときや高気圧の後面や側面でみられた降水である。天気図の例を図1に示す。

(2) 降水の酸性雨区分

地点ごとに降水を初期から1mmごとに5mm降水までを採取しpHを測定した。pHの測定範囲で① ≤ 3.0 , ② ≤ 3.5 , ③ ≤ 4.0 , ④ ≤ 4.5 , ⑤ $4.5 < 6.5$, ⑥ ≥ 6.5 , ⑦ ≥ 7.0 , ⑧ ≥ 8.0 , ⑨ ≥ 9.0 の9区分を作り、それぞれに分類した。⑥を基準にし、それより大小の区分に属する

表1 東京に降水をもたらす気圧のタイプ

タイプ	説明	図1のNo
I	Lまたはfが関東南岸(湘南~房総半島先端)にあったとき	I
II	Lまたはfの北端がIの北から北緯40°までの間にあったか2つ玉または3つ玉または気圧の谷の通過	II
III	Iの南で北緯30°までの間にLがあるかfの北端がこの間にあった	III
IV	Lまたはfが東経140°までは北緯30°以南にあるか、30°~140°と40°~150°を結んだ線より東にあったとき	IV
V	Lまたはfが北緯40°より北にあった場合	V
T	台風または熱帯低気圧の影響	T
U	一般天気図上に現われない程度の弱いL(気圧傾度の緩みまたはHの後退のときに多い)	U

注: Lは低気圧 fは前線 Hは高気圧

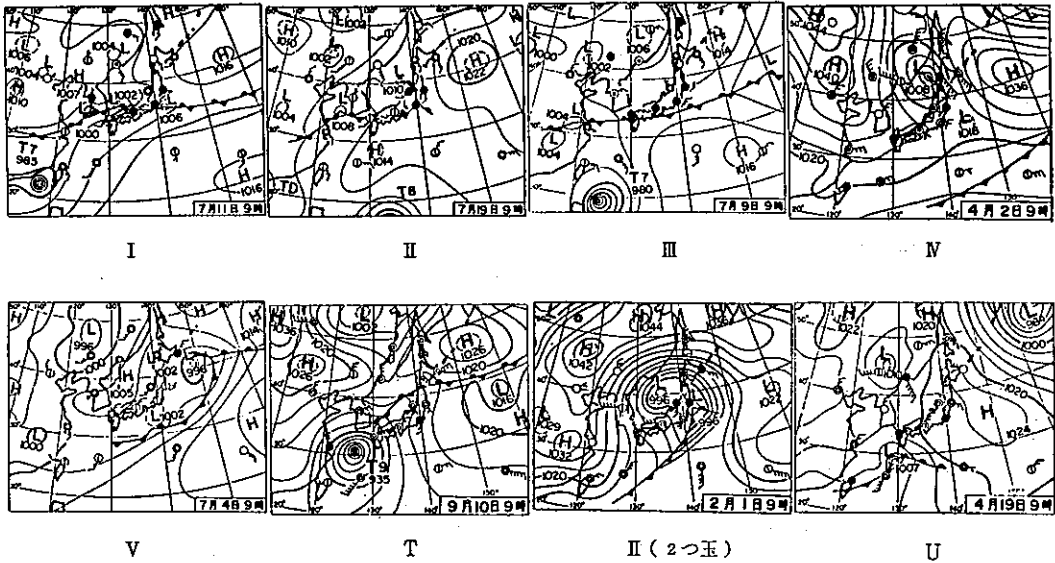


図1 気象パターンの例

ものが1検体でもあったときは、その最高、最低区分をもってその1降水の酸性雨区分とした。例えばある降水のpHの第1検体が6.5、第2検体が3.4、第3検体が3.8、第4検体が4.2、第5検体が5.0だとすると区分は⑦②③④⑤になるが、1降水としては⑦と②の2区分にした。⑥を含め大きい小さい区分だけの場合は最大か最小をその降水の値とした。

4 結果及び考察

(1) 酸性雨の出現状況

天気図からみたる気圧配置で東京の7調査地点に降った降水が1地点でも酸性雨区分が①～③になった場合は、その気象パターンでの降水を酸性雨1回とした。期間中の気象パターンと酸性雨出現状況を調べたのが表2である。東京に2469回の降水をもたらした気圧配置のうち酸性雨出現割合は21.1%であった。降水回数は夏期が最も多く864回で、しかも酸性雨出現割合も24%と最も高かった。つぎに秋期が711回と降水回数が多い上に、酸性雨出現割合は22%と夏期に続いて多かった。春期の降水回数は585回で、そのうち酸性雨出現割合は15%であった。冬期は降水回数は312回と少なかったが、酸性雨出現割合は秋期なみの22%であった。

夏期と秋期は梅雨前線や秋霖前線によって酸性雨出現割合が高くなるとみられた。冬期にはIIのパターンによ

表2 酸性雨の気象パターン別出現割合

季節 気象 パターン	春	夏	秋	冬
I	4 21	1 23	3 28	0 22
II	4 9	1 15	1 12	2 19
III	2 16	2 30	5 30	7 19
IV	0 23	0 12	2 17	0 0
V	0 19	0 41	0 3	7 21
T	0 0	0 6	3 8	0 0
U	3 11	1 35	4 24	6 6

(1) 季節別気象パターンごとの全降水回数を100としたときの酸性雨の割合

(2) 上段は② (pH ≤ 3.5) の割合 (%)

(3) 下段は③ (3.5 < pH ≤ 4.0) の割合 (%)

って降水をもたらされる割合が52%と高く梅雨前線や秋霖前線などの停滞前線だけでは冬期の酸性雨出現割合が高くなることの説明としては不十分であろう。

季節別に酸性雨の降りやすい気象パターンをみるため、表2に酸性雨出現割合を示した。強酸性雨 (pH ≤ 3.5) はIIIとVのパターンにおいて冬が最も多く7%出現していた。ただIIIのパターンの降水を年別にみると1977年のみで、他の年には強酸性雨は降っていないかった。またV

のパターンでの降水はやはり77年で1回みられただけであったが、冬期の降水回数が少ないため強酸性雨の出現割合が高くなっていった。続いてⅢのパターンの秋が5%と高かった。年別にみると76年3回、77年3回、78年5回であり、他の年には降っていない。酸性雨の降り易さを年別にみると77年と78年に集中していた。それらを表3に示す。

表3 年別酸性雨出現割合

区分	年	1975	1976	1977	1978	1979	1980
②	≤ 3.5	1.0	0.7	5.4	4.5	1.2	0.0
③	≤ 4.0	10.1	12.6	24.0	32.4	13.8	15.8

各年の降水を100としたときの割合
年の区分は3月から翌年の2月までを当年とした。

pH ≤ 4.0 の酸性雨の季節別出現割合はVのパターンで夏期に降った場合が41%と最も高く、年別内訳は75年6回、76年2回、77年8回で他の年は酸性雨はみられていなかった。つぎのUのパターンは夏期に多く、年別の内訳は75年1回、76年1回、77年9回、78年17回、79年7回、80年2回と、このパターンでの降水にも年にむらがあった。

各季節とも平均して酸性雨のよく出現するパターンはIとⅢであった。Iは21~28%で、年平均25%、Ⅲは16~30%、年平均29%であった。Vは季節にむらがあるが、年平均では26%であった。降水回数の多寡からいうとⅢのパターンで最もよく酸性雨が降り易いといえる。

逆に酸性雨の降り難いパターンはTで、各季節とも10%以下であった。つぎがⅡで年平均でも15%であった。続いてⅣが年平均16%であった。またこれらのパターンでは季節によってかなりむらがあった。

年別に比較すると、酸性雨の降り易かった年は、強酸性雨の降り易かった年と同様な傾向があり、78年が3回に1回の割合で酸性雨になっていた。続いて77年が4回に1回と高く、他の年は10~16%の割合で酸性雨が降っていた。

② 全地点合計のpH階級別気象パターン比較

各地点の降水のpHを0.5階級別気象パターン別に合計して示したのが表4で、それを図示したのが図2である。pHは3.0から9.0までの間にあり、⑤の4.5 < pH < 6.5を中心とした一山型になっていた。気象パターン別に降水出現割合をみるとⅡが36.2%で一番多く、つぎが

表4 pH階級別気象パターン別出現割合

pH階級 \ 気象パターン	I	II	III	IV	V	T	U	計
① ≤ 3.0	—	—	—	—	—	—	—	—
② ≤ 3.5	0.1	0.7	1.2	0.1	0.1	0.1	0.2	2.5
③ ≤ 4.0	1.6	4.9	8.1	1.2	0.2	0.4	2.3	18.6
④ ≤ 4.5	1.8	9.7	9.2	1.4	0.3	1.2	3.2	26.9
⑤ 4.5 < pH < 6.5	2.3	15.9	11.5	2.3	0.6	3.2	3.6	39.5
⑥ ≥ 6.5	0.5	3.7	2.4	0.6	0.2	0.6	0.8	8.9
⑦ ≥ 7.0	0.2	1.3	0.8	0.1	0.1	0.3	0.9	3.6
⑧ 9.0 > pH ≥ 8.0	—	0.0	—	—	—	—	—	0.0
計	6.4	36.2	33.3	5.7	1.6	5.8	11.0	100.0

—は出現0回、①のpH ≤ 3.0は本解析期間中1回も出現しなかった。

降水出現回数総計(2469回)を100.0%として各割合を計算した。

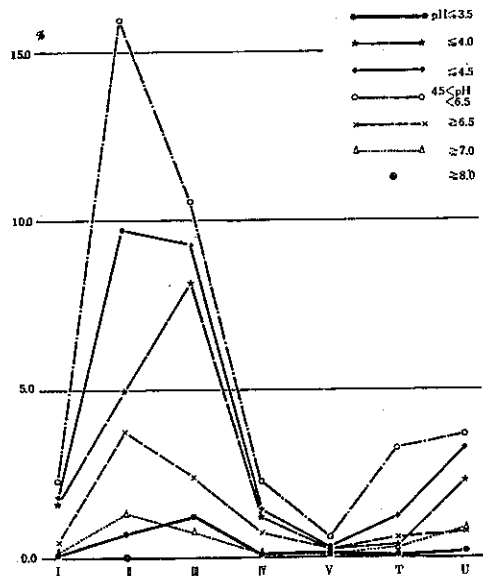


図2 pH階級と気象パターン図

全出現回数を100%として各出現頻度を算出した。凡例は図右上に示した。

Ⅲの33.3%で、3位はずっと少なくなり、Uの11.0%の順になっていた。降水の降り難いパターンはVが最低で1.6%、I、ⅣとTが5~6%であった。

各パターン別にpH区分の割合を示したのが図3である。②の強酸性雨の割合の高いのはTで7.7%で、つぎがⅢの3.4%であった。区分③の酸性雨の割合の高いの

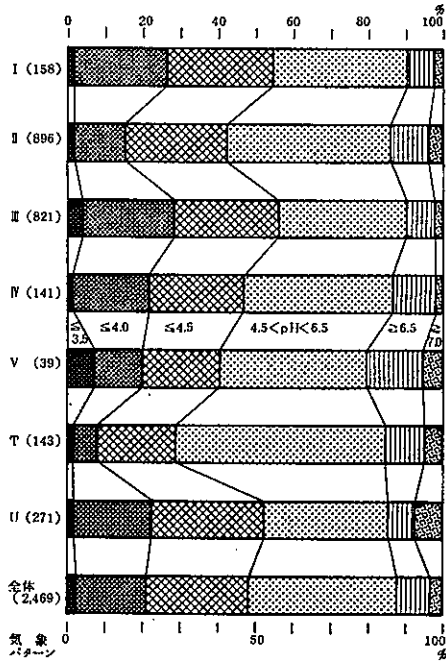


図3 各気象パターンのpH出現割合
気象パターンの()内の数字は降水出現回数を示す。

はⅢで24.6%、それからIの24.1%、U、Vとなっている。全パターンの年平均は18.6%であった。④は20.5~29.5%と各パターンとも平均していた。pH区分⑤は1mm降水ごとの分水採取では最もよく出現していたが、本解析方式でも最多出現しており、Tの55.9%からUの33.2%の範囲であった。⑤よりもアルカリ側になると出現割合はずっと少なくなり、⑥の最高がⅣの15.3%、最低がUの7.0%で平均8.8%となっていた。⑦になると2.1~5.1%の間で平均で3.5%となり、⑧になるとⅡのパターンで1回のみ出現していた。

6月下旬に行っている関東地方の共同調査³⁾ではIの気象において前橋でpH ≤ 3.0の非常に強い酸性雨が出現していた。Iのパターンでの②の区分は東京では小さ

いが今後とも注目していく必要があろう。

5 まとめ

天気図から降水を降らす気象、特に前線及び低気圧を中心に7つのパターンに分けて、降水のpH階級との比較検討をした。主なまとめを次に示す。

- ア. 東京の降水の5回に1回はどこかの地点で酸性雨(pH 4.0以下)が5mm中の1検体以上に現われていた。
- イ. 降水回数は夏期が最も多く、しかも酸性雨出現割合も25%と高かった。
- ウ. 酸性雨出現割合は、夏期、秋期、冬期、春期の順であった。
- エ. 年別にみると酸性雨出現割合の高かったのは、78年、77年、80年、79年、76年、75年の順であった。
- オ. 77年夏の気象パターンは、Ⅲで23回の降水がみられそのうち16回が酸性雨であった。この他のパターンでもよく酸性雨がみられていた。他の年季節にみると酸性雨が全パターンでよく出現するようなことはなかった。
- カ. 全地点合計のpH階級別気象パターンをみるとIとⅢが最も酸性雨が降り易く、続いてⅣとUのパターンであった。高pH降水はVのパターンで、続いてⅡ、ⅣとUの順になっていた。

本解析に当り用いた調査地点は地域代表性を厳密には考慮して、地点に片寄りがあったことが考えられるため、今後、地域代表性を検討しておく必要がある。また用いた天気図は24時間単位(場合によっては12時間ごと)のものであったため、気圧変化が激しい場合には誤差が大きくなるため、3時間ごとの天気図等を用い精度を上げる必要がある。なお、77、78年に特によく酸性雨現象が出現したかは今後の課題である。

参考文献

- 1) 平白尹彦：酸性雨問題の把握、公害と対策 20, No.1, 47~51 (1983)
- 2) 古明地哲人ほか：降水中化学成分の長期的推移とその特性、東京都公害研究所年報
- 3) 関東地方公害対策推進本部大気汚染部会「湿性大気汚染調査報告書(昭和56年度)昭和58年10月
- 4) 同上(昭和57年度)昭和58年10月
- 5) 関口恭一ほか：前橋市に降ったpH 2.86の雨について、大気汚染学会誌 18, 1~7 (1983)
- 6) 古明地哲人ほか：連続降雨の雨水成分濃度と気象との関係について、東京都公害研究所年報 69~76(1980)
- 7) 小山功ほか：降水の連続酸性現象と(高層)気象、東京都公害研究所年報 70~80 (1982)
- 8) 小山功ほか：初期降水のpH値・導電率値の経年的変化からみた地域別汚染特性、東京都公害研究所年報 111~119 (1981)