

# 酸性雨の陸水影響に関する研究 (その5)

## —都内河川の水質の現状—

安藤晴夫 山崎正夫 曾田京三\*  
(\*現多摩環境保全事務所)

### 要 旨

1990～1994年度に、都内及びその周辺地域の河川に及ぼす酸性雨の影響について調査研究を行った。その結果以下のことが明らかになった。

- ① 水質調査結果や既存のデータによれば、大部分の河川のpHは7.0以上、アルカリ度は $200 \mu\text{eq}/\ell$ でありこの地域では、今のところ酸性化した河川は認められない。
- ② 水道水源である4河川の1959年から約30年間のデータからは、pHやアルカリ度の長期的な低下傾向は認められない。
- ③ 河川水質と地質との間には関連が認められ、花崗岩地域の河川水は、アルカリ度(酸中和能)が低く、酸性化し易いことが判明した。
- ④ 最も酸性化し易いと考えられる地域の河川でも、降雨時に水質がほとんど変化しないことが観察された。これと関連して、降水は、地表面を流出するとすぐにアルカリ度が高くなることが認められた。

Effects of Acid Rain on River and Lake Water Quality (VI)  
—Present Condition of Stream Water Chemistry around Tokyo—

Haruo Ando, Masao Yamazaki  
and Kyozo Soda\*

\* Tama Environmental Protection Office

### Summary

From F.Y.1990 to 94, a research has been conducted to define the effects of acidic deposition on stream waters around Tokyo.

The following results were obtained:

- ① Results of this research and published data show that most streams have  $\text{pH} \geq 7.0$  and alkalinity  $\geq 200 \mu\text{eq}/\ell$ . And no acidic streams have been found so far in this region.
- ② Data from four streams(drinking water source) indicate no decreasing trend in pH and alkalinity between 1959 and mid-1980s.
- ③ Chemical characteristics of stream water correspond to the geology of the region; most low alkalinity waters are found in areas with granitic bedrock.
- ④ No decline of pH, alkalinity and major ion concentrations were observed during intense rainstorms and the alkalinity of precipitation increased as it flowed over the land surface.

1 はじめに

東京都環境科学研究所では、1973年度に酸性降下物量測定等の酸性雨に関する調査研究を開始し、1990年度からは、新たに、酸性雨の環境影響を解明するための総合的な研究を進めてきた。

筆者らは、1990年度からこの総合研究の一環として、酸性雨の河川水質への影響の有無を解明するために、人為汚染が少なく、酸性雨の影響が現れ易い、多摩川水系上流域において、水質調査を行うとともに、既存の水質測定データの解析を行い、その結果の一部については、既に報告したところである<sup>1-4)</sup>。

本報では、研究の終了に当たり、これまでに報告した結果に、その後の研究成果を加えて、東京都における酸性雨の陸水影響について取りまとめた結果を報告する。

2 水域の酸性化と水生生物への影響

水域の酸性度がどの程度の値であったら、環境影響上問題が有ると判定するかは、対策を考える上で重要である。この点に関しては、公共用水域の環境基準と、水生生物に対する影響の2つの側面から考慮する必要がある。

表1 pHの環境基準値(日間平均値)

類型	AA	A	B	C	D	E
河川	6.5				6.0	
湖沼	6.5			6.0		

注) 上記の数値は、基準の下限値(酸性側の値)である。

環境基準では、酸性雨の影響が表れやすいと考えられる汚染の少ない水域(AA, A類型)に対するpHの下限値を6.5と定めている(表1)。

水産用水基準では、河川・湖沼に対するpHの下限値を6.7とし、更に生息する生物に悪影響を及ぼすほど急激な変化がないことと規定している。

pHの低下が水生生物に与える影響については多くの報告があり、生物種により感受性に大きな差があることが知られている。例えば、プランクトンの場合には、pHが5.0~6.0に低下した時に、種の多様性が30~70%減少したことが報告されている<sup>5)</sup>。糸状藻類については、

酸性化によって増殖が促進され、pHが6.1の時、湖底に点在していた糸状藻類が、pHが5.1~5.2に酸性化した時点では、湖底を覆いつくしたことが観察されている<sup>5)</sup>。

魚類では、コイ科(cyprinid)、ヤウオ科(darter)の魚が酸性化に敏感で、pHが5.5~6.0程度で影響を受ける。これに対して、淡水スズキ(yellow perch)は、pHが4.5以下でも耐性があることが知られている。また、マスなど、スポーツ釣に重要な魚種では、pHが5.0~5.5程度になると、個体数の減少が起これると考えられている<sup>5)</sup>。

これらの文献から、水生生物については、水域のpHが概ね6.0以上であれば、個体数の減少や絶滅などの被害は、ほぼ発生しないと考えられる。

以上に述べた各種基準や水生生物に関する報告を考慮すると、水域のpHに関しては、前述の水産用水基準が、酸性化の判定の目安になると考えられる。

3 都内及び周辺地域の降水の酸性度

東京都環境科学研究所による降水成分の測定結果<sup>6)</sup>によれば、最近10年間(1984~1993年度)の降水のpH(年平均値)は4.4~5.6の範囲で推移している(図1)。海外では、ノルウェー(1980~1984年)で4.3~4.9<sup>7)</sup>米国の北カリフォルニア(1978~1979年)で4.4~5.3<sup>8)</sup>、カナダのオンタリオ州(1976~1977年)で3.95~4.38<sup>9)</sup>などの値が報告されている。

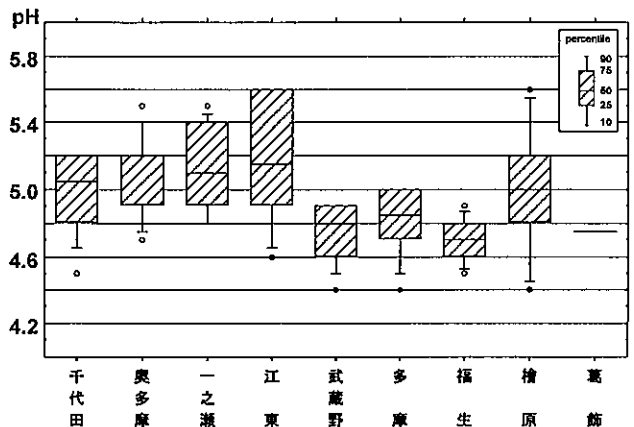


図1 都内及び周辺地域の降水のpH(年平均値) 1984~93年度(ただし、福生:1986~93年度、葛飾:1993年度)

したがって、都内及び周辺地域の降水のpHは、陸水の酸性化が問題になった欧米地域と、ほぼ同程度か、や

や高めであると言える。

#### 4 河川水質の現状

都内及び周辺地域の河川水質の酸性化の有無について、現地での水質測定と既存のデータの解析により検討した。

1990年度に多摩川上流域の約30地点で実測した結果によれば、すべての調査地点でpHは7.0以上であり、大部分の地点はpHが7.5以上であった<sup>1)</sup>。図2は、1991~92年度に、多摩川上流域の比較的酸性雨の影響が現れ易いと考えられる5河川で、水質の年間変動を調査した結果であり、一之瀬川を除く4河川では、年間を通じてpH値が7.5以上であった。また、河川水の酸中和能を示すアルカリ度は、最も低い一之瀬川で約250 $\mu\text{eq}/\ell$ 以上であった。

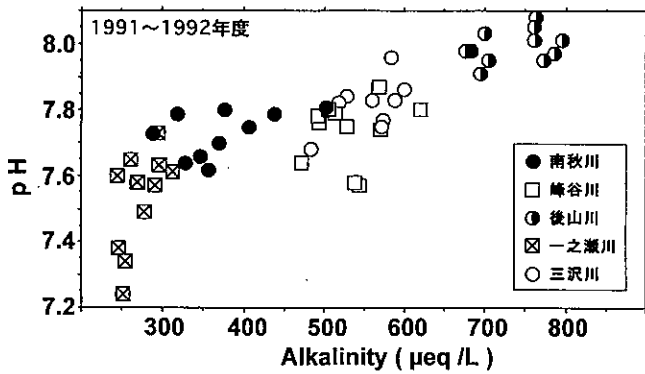


図2 多摩川上流域等5河川のpHとアルカリ度

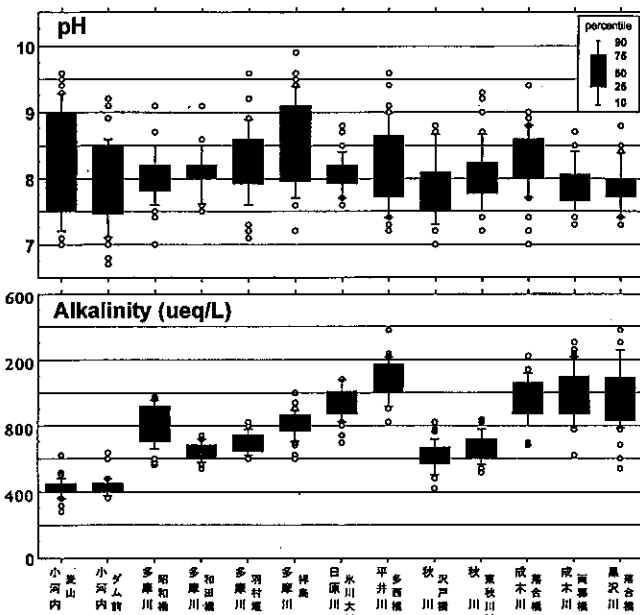


図3 多摩地区の河川、小河内貯水池のpHとアルカリ度 (1991~1993年度 月1回 36データ/地点)

東京都環境保全局では、1991~1993年度に酸性雨の影響を調べるため、多摩地区の6河川と小河内貯水池の計13地点で月1回水質測定を実施した<sup>10)</sup>。図3は、この測定結果について、各地点毎にpHとアルカリ度の測定値をボックスプロット図にまとめたものであり、各地点とも測定値の約75%以上は、pHが7.5以上、アルカリ度は400 $\mu\text{eq}/\ell$  (20 $\text{mg}/\ell$ )以上である。

東京都水道局は、水道水源河川で水質調査を行い、その結果を公表している<sup>11)</sup>。このデータを用いて、多摩川水系以外の河川についても検討した。図4は、1993年度の水道水源河川における、pH (年最低値) 及びアルカリ度 (年平均値) の値を示したものであり、吾妻川下流にpHが4.8、アルカリ度が3 $\text{mg}/\ell$ の酸性化した地点 (\*印: 金井発電所) が認められる。しかし、この地点は、上流で火山性酸性河川が流入することにより酸性化していることが報告されており、酸性雨とは無関係である。その他の地点は、すべてpH6.7以上、アルカリ度15 $\text{mg}/\ell$ 以上であり、欧米諸国で報告されているよう

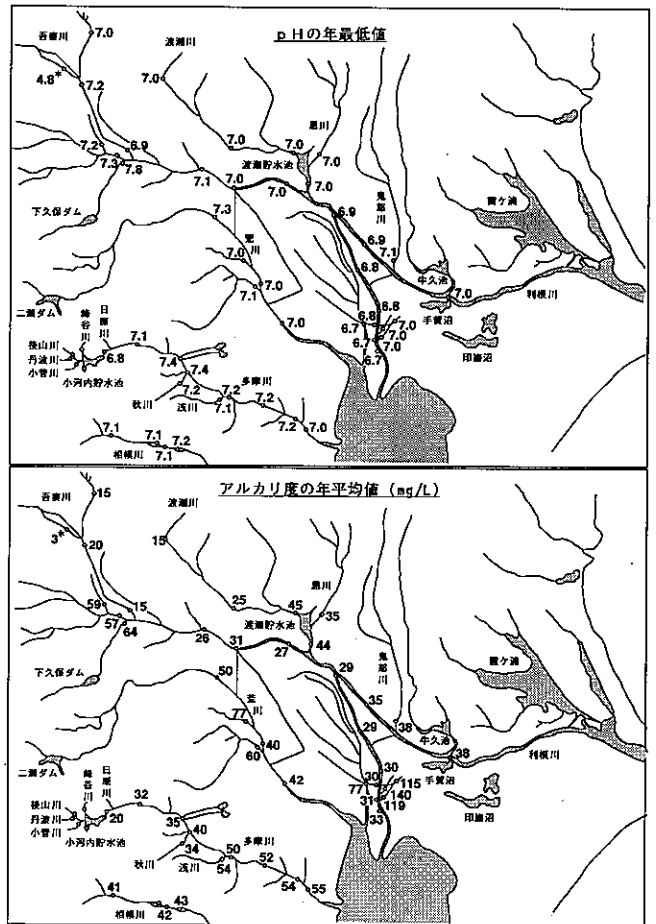


図4 水道水源河川におけるpHとアルカリ度 (1993年度) 東京都水道局「平成5年度水質年報」より作成

なpHが5.0以下、アルカリ度が5 mg/ℓ (100 μeq/ℓ) 以下の酸性化した河川は認められない。

以上に述べたように、都内及び周辺地域において、現時点では酸性化した河川は認められない。

### 5 河川水質の長期変動傾向

北欧などでは、酸性化は長期間で徐々に進行したことが報告されている。したがって、現時点で、河川水質が酸性化していなくても、長期的に見て酸性化の傾向が認められれば、対策が必要となる。

小河内貯水池へ流入する小菅川、峰谷川、後山川、丹波川では、東京都水道局が昭和30年代から月1回、pHやアルカリ度等の水質を測定し、その結果を公表している<sup>12)</sup>。このデータを用いて、河川水質の長期的な変動傾向を検討した。

図5は、過去33年間(1959~1992年)のpHの変動を示したものである。図5によれば、峰谷川では、この期間の前半の値が、後半に比べてやや変動が大きく、特にアルカリ側に値がばらついているが、全般的には、4河川とも、ほぼ一定の値で推移している。この期間の変動傾向を調べるために、pH値の回帰式を図5の右下に示す。この式のtは、1959年1月を基点とした月数であるが、どの河川でも回帰係数はほぼゼロに近く、pHの低下傾向はないと考えてよい。

同様に、図6は、過去27年間(1959~1986年)のアルカリ度の変動を示したものであり、回帰分析の結果によれば、アルカリ度についても、長期の低下傾向は認められない。

以上のように、人為的影響が少なく、酸性雨の影響が現れ易いと予想される多摩川上流域の河川でも、酸性化の兆候が認められないことから、都内の他の河川についても、酸性化の懸念はないと考えられる。

### 6 降雨時の水質変化

水域の酸性化は、一降雨毎の変化の繰り返しで顕在化すると考えられる。そのため、現地でも水質測定を行い、降雨による河川水質の変化を観察した。

調査は、多摩川上流域で最もアルカリ度が低く、酸性雨の影響を受け易いと考えられる一之瀬川で行ったが、前報<sup>4)</sup>で報告したように、河川水のアルカリ度やイオン濃度は、激しい降雨の前後でもほとんど変化しなかった。

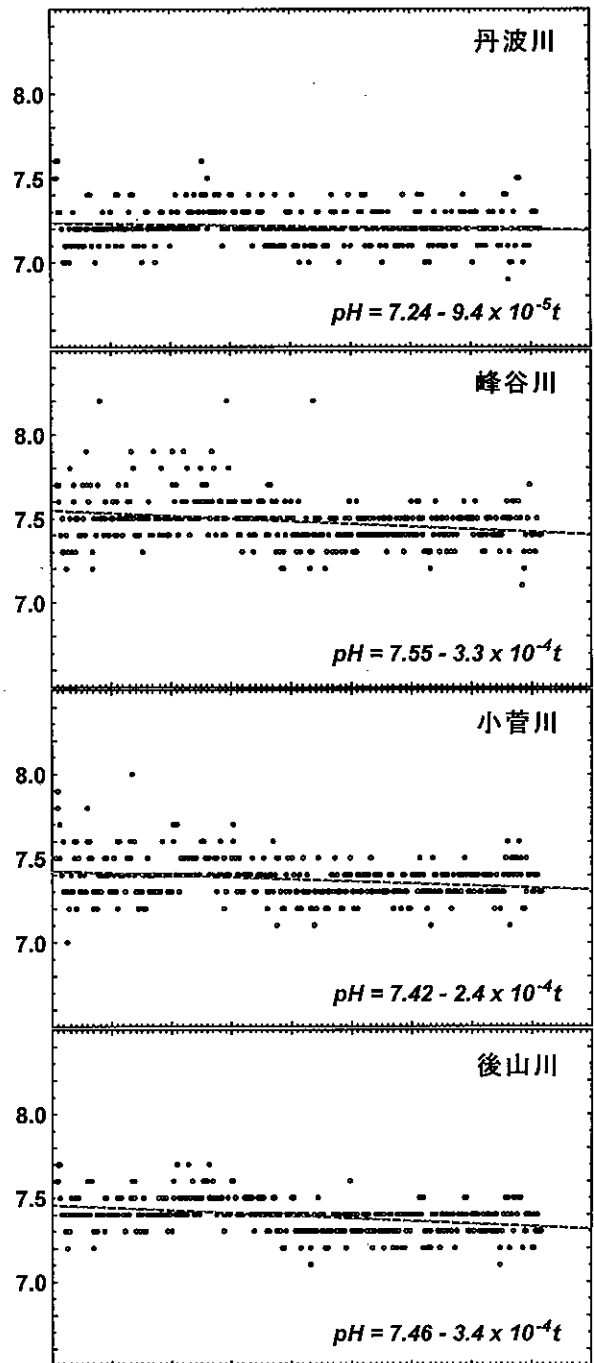


図5 pHの長期変動傾向 (1959~92年)  
東京都水道局「小河内貯水池管理年報」により作成

図7は、この時の降水、地表流出水、湧水、河川水のアルカリ度の値を示したものであり、降雨直後に採取した地表流出水のアルカリ度の値が、河川水よりも高いことからみて、降水は土壌との接触で急速に中和され、その結果、河川水質は安定化している、と推測される。この時の調査<sup>4)</sup>では、降雨時の溶存態微量元素濃度の変化についても検討したが、図8に示すように、降雨により

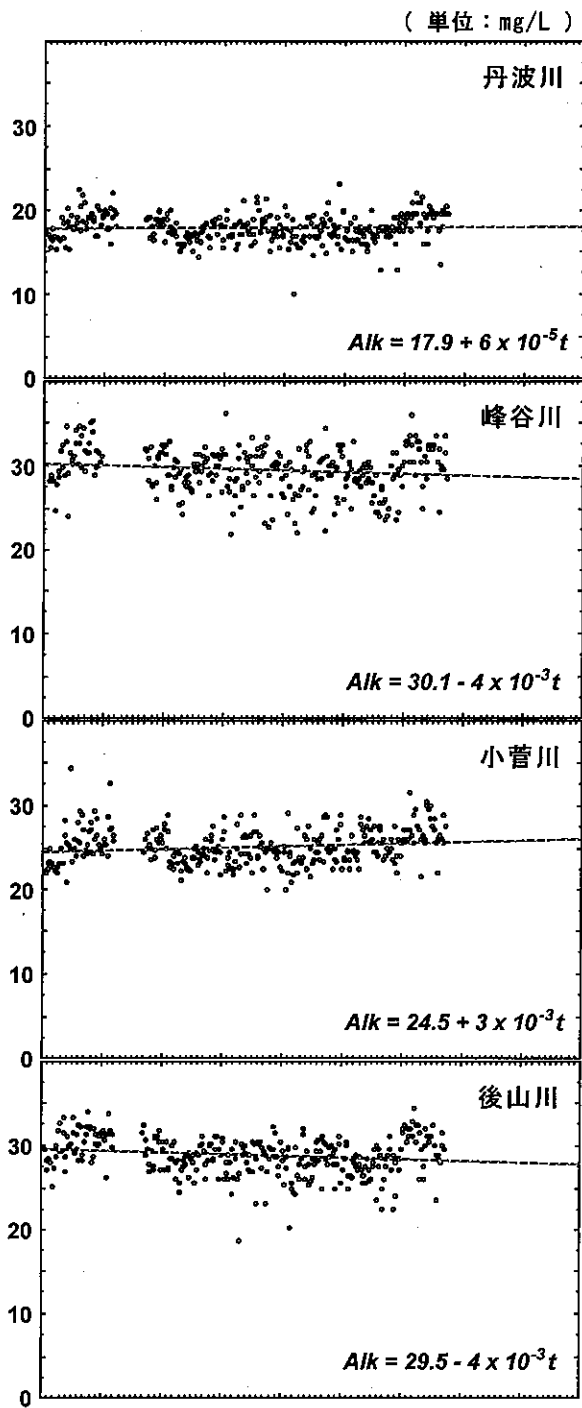


図6 アルカリ度の長期変動傾向 (1959~86年)  
東京都水道局「小河内貯水池管理年報」により作成

Mn, Co, Sm, Al, As, Fe, Scの濃度は増加し、Zn, Ni, Crの濃度は減少した。

また、既存のデータにより、降雨時の河川水質の変化についても検討した。図9は、前述<sup>12)</sup>の小河内貯水池に流入する4河川の流量とアルカリ度の関係を散布図に表したものであり、どの河川も、流量の増加(降雨)に伴いアルカリ度が低下する傾向が認められる。したがって、

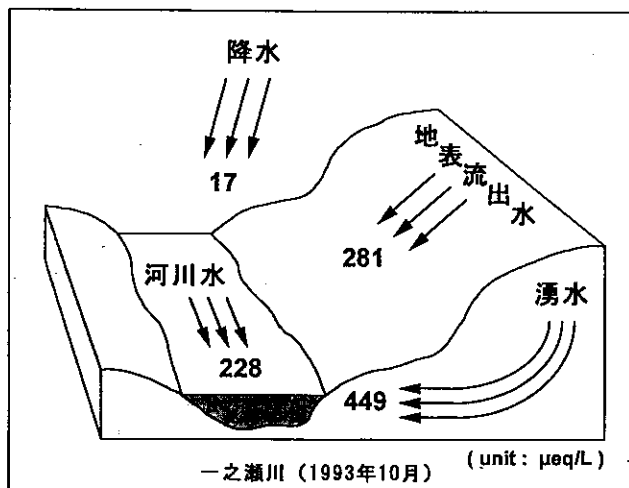


図7 降雨時のアルカリ度の比較

長期間観測すれば、河川水のアルカリ度は、降雨に伴い低下を繰り返すと考えられるが、図9から分かるように、アルカリ度の変化は、土壌の中和作用により、単純に希釈された場合に比べて小さく(流量が2倍に増加しても、アルカリ度の値は1/2まで低下しない)なる。

### 7 河川水質の地域特性と地質

一般に、流域の地質特性(土壌の酸中和能)は、酸性降下物の負荷量と共に、陸水が酸性化されるか否かを決定する要因であると考えられている。これまでに述べたように多摩川上流域でも、地域により、河川水質が異なり、酸性雨の影響の受け易さ地域的な差があることが分かった。そこで、多摩川上流域の地質と水質の関係を検討した。

#### (1) 河川水質の地域特性

図10は、1993年度に多摩川上流域の約40地点で水質調査を行った結果で、酸中和能を表わすアルカリ度と、酸性化の原因物質と考えられる塩素イオン、硝酸イオン、硫酸イオン濃度を地質図<sup>13)</sup>上に示したものである。なお、水質分析は、前報<sup>9)</sup>に述べた方法で行った。

図10によれば、アルカリ度は、一之瀬川や丹波川、南秋川の最上流部など花崗岩質の地域で低く、日原川や北秋川など石灰岩を含む地域(氷川層、御前山層、小河内層群)で高い傾向が認められる。Glassら(1982)<sup>14)</sup>は、岩石を酸中和能によって4種類のタイプに分類している。この分類によれば、花崗岩や石英砂岩等は、最も酸中和能の低いタイプに属し、化石を多く含む堆積岩やその変成岩、石灰岩や苦灰岩等は、酸中和能が非常に大きいタ

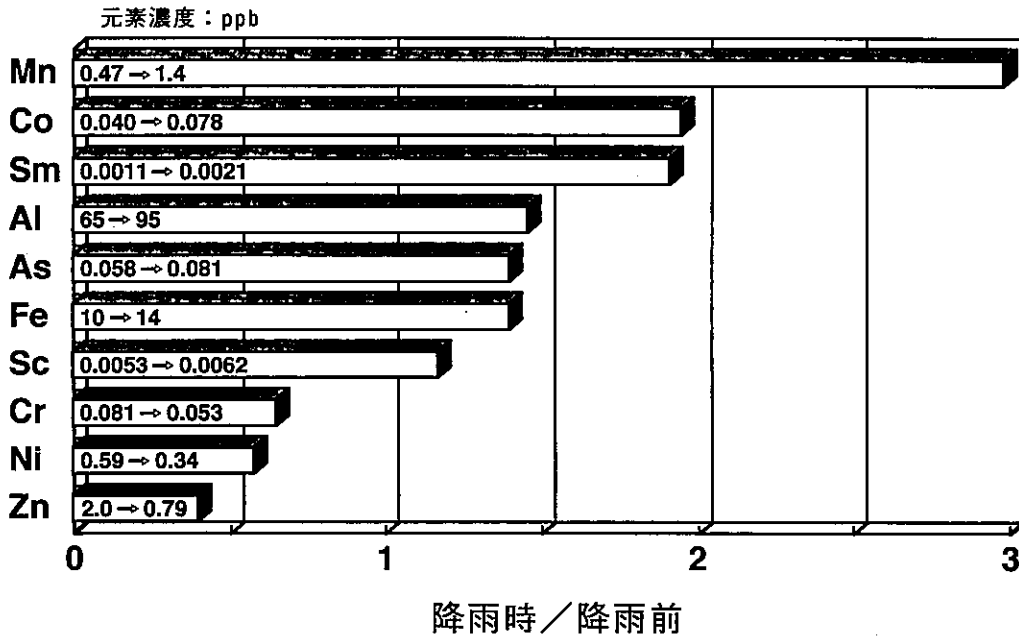


図8 降雨前後で溶存態濃度に有意差が認められた元素  
一之瀬川 (1993年10月)

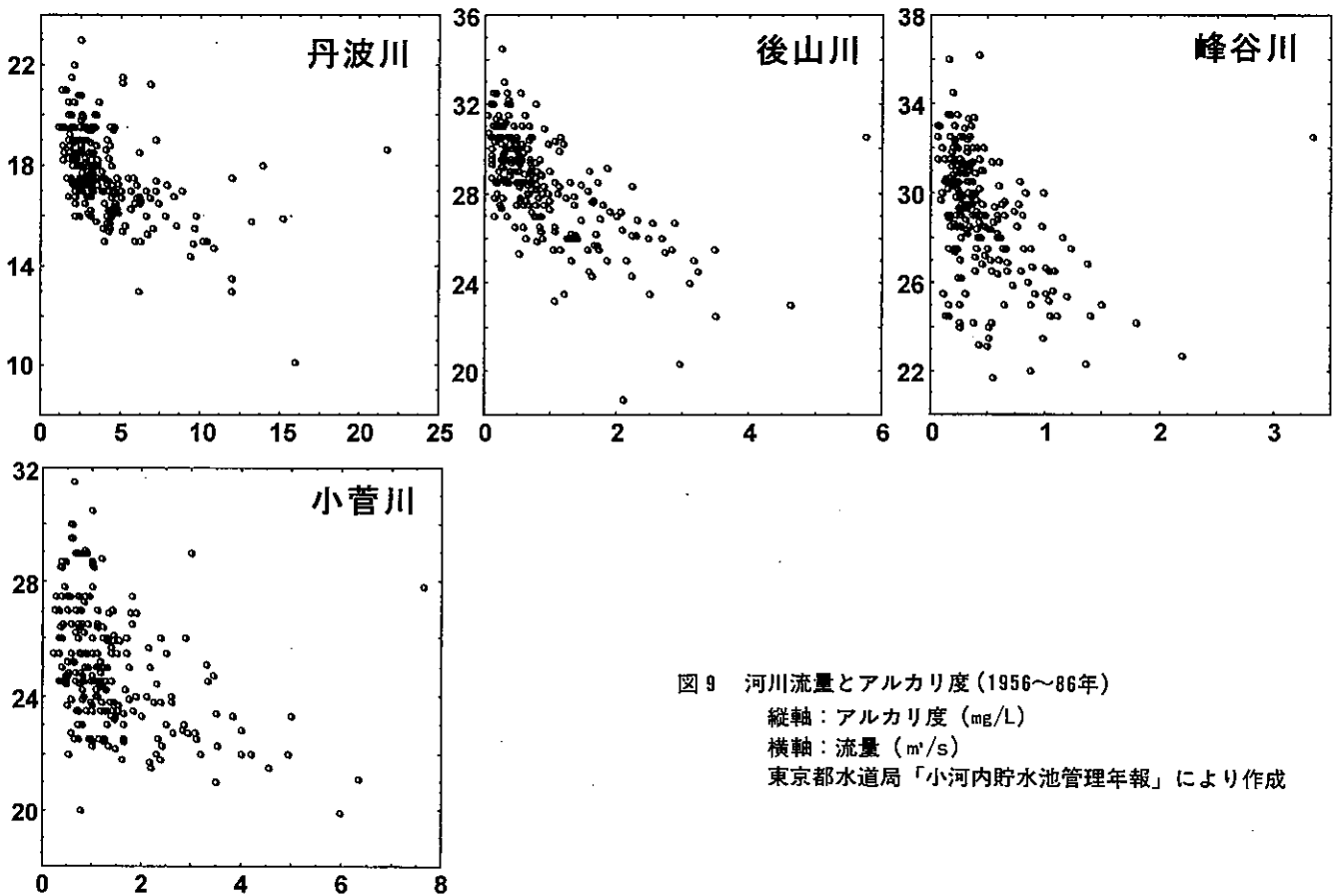


図9 河川流量とアルカリ度 (1956～86年)  
縦軸：アルカリ度 (mg/L)  
横軸：流量 (m³/s)  
東京都水道局「小河内貯水池管理年報」により作成

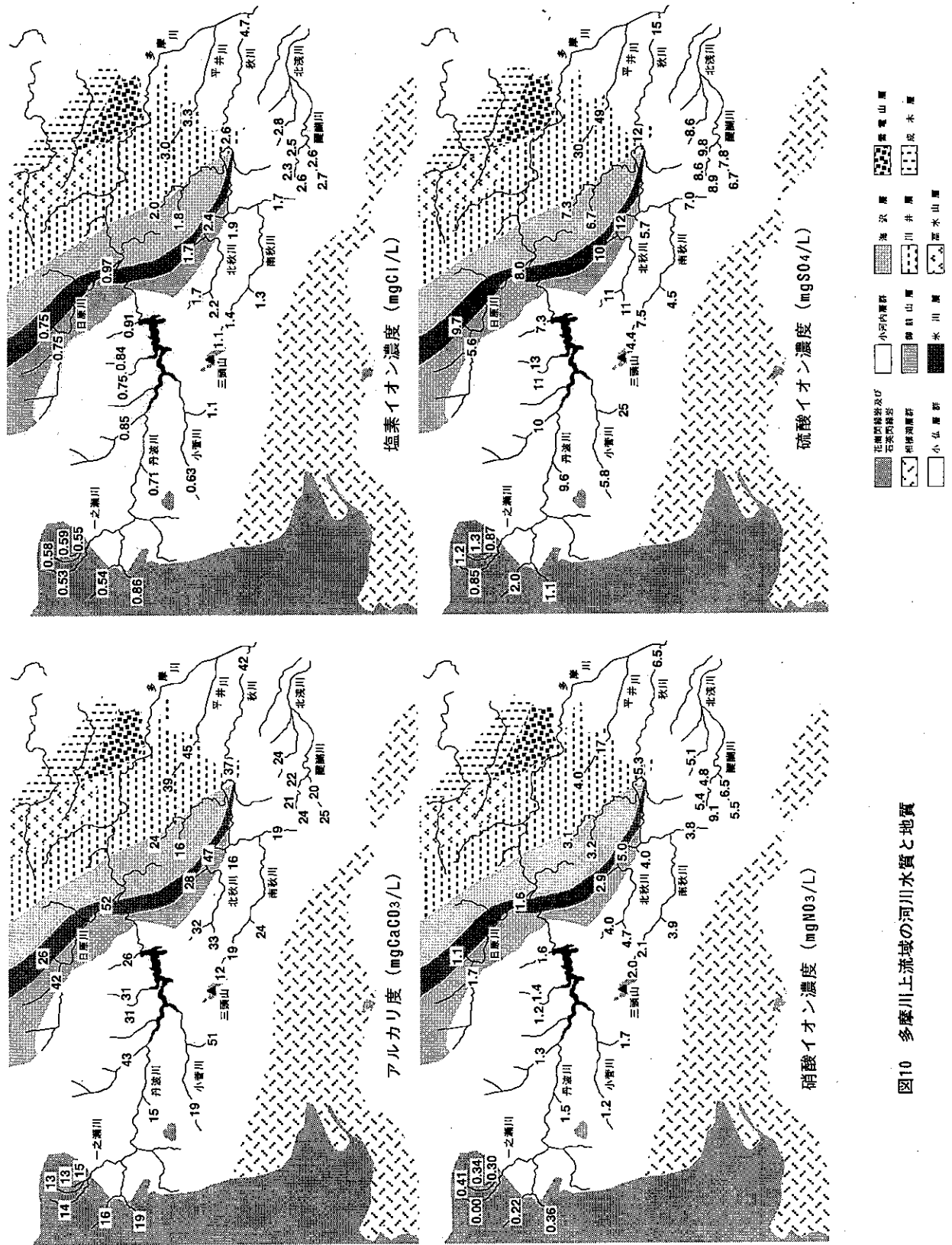


図10 多摩川上流域の河川水質と地質

イブに属している。多摩川上流域についても、地質と河川水質の関係が、こうした分類によく当てはまっている。

硫酸イオンも比較的地質区分と良く対応し、北秋川や小河内貯水池へ流入する河川（小河内層群）で濃度が高い傾向が認められた。

塩素イオンと硝酸イオンの濃度分布は、互いに良く似た傾向が認められる(n=37:r=0.8)。すなわち、地質的な区分とは対応せず、都心寄りの秋川から西部の一之瀬川にかけて濃度が減少する傾向が認められる。こうした両イオンの濃度傾向については、約15年前に江角らも報告<sup>15)</sup>している。表2<sup>16)</sup>は、都内の地点別年間イオン降下量を示したもので、奥多摩地域のイオン降下量は、都心部に比べて約1/2に減少している。したがって、奥多摩から更に西に向かって、降下量が同様な傾向で減少していると仮定すれば、河川水中のイオン濃度の分布傾向は、降下量と一致する。

表2 1991年度：地点別イオン降下量(mg/m<sup>2</sup>)<sup>17)</sup>

地点	nss-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
千代田	4198	2478	2559
江東	2855	2975	1942
多摩	2361	2228	2022
檜原	1697	1027	843
奥多摩	1364	864	1030

注) nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>：非海塩由来の硫酸イオン

(2) 河川水と河川堆積物中の元素濃度

河川堆積物は、採取地点よりも上流の集水域に分布する岩石・土壌の複合試料と考えられ、その地域の平均元素濃度を推定するために最も良い試料であると言われている。こうした理由から、河川流域の平均的な地質を推定するために、河川堆積物の元素濃度を測定した。また、河川水についても、元素濃度を測定し、各河川の元素濃度特性について比較検討した。

ア 調査分析方法

1993年度に、多摩川上流域の5河川(峰谷川、日原川、後山川、南秋川、一之瀬川)で河川堆積物と河川水を採取した。元素分析は、以下に述べる方法で試料を調整し、中性子放射化分析法で行った。

採取した河川堆積物は、落葉等を除いた後、ナイロン

製篩でメッシュサイズ0.16mm以下の粒分を集めて蒸留水で洗浄し、凍結乾燥して粉末試料を調製した。河川水は、前報<sup>7)</sup>で述べた方法により、粉末試料を調製した(図11)。

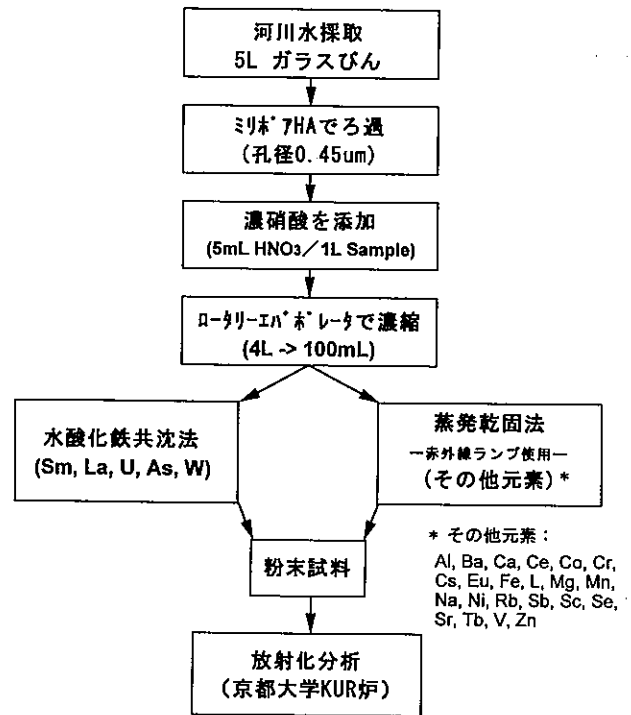


図11 河川水中の微量元素濃度の測定手順

この粉末試料を、堆積物試料の場合は約20~30mg、河川水試料の場合は約100mg、ポリ袋に取って精秤後、封入し、さらにそれをポリ袋に封入して、放射化分析用の試料を作成した。

中性子照射とγ線スペクトル測定は、京都大学原子炉実験所KUR炉(原子炉共同利用)と立教大学TRIGA-II型炉で行った。なお、長半減期核種のγ線スペクトル測定は、後日、都立アイソトープ研究所において実施した。

イ 結果と考察

河川水と河川堆積物の分析結果を表3に示す。表3によれば、各河川の元素濃度について以下の特徴が認められた。

① 一之瀬川の河川水は、他の河川に比べ、As, Ca, Mg, Na, Sb, Se, Sr濃度が低く、Co, K, Rb, Sc, V, W濃度が高かった。一方、堆積物は、河川水とは逆に、K, Rb濃度が低く、Ca, Na濃度が高かった。V濃度は、河川水、堆積物のどちらでも高かった。

② 南秋川の河川水は、他の河川に比べ、As, Sb, Zn濃度が高かった。堆積物は、As濃度が高かった。



表3 河川水と河川堆積物中の元素濃度

	河川水 (ug/L)					河川堆積物 (mg/kg乾重)					標準岩石文献値	
	一之瀬川	峰谷川	日原川	南秋川	後山川	一之瀬川	峰谷川	日原川	南秋川	後山川	JG-1	JB-1
Al	65	65	61	95	55	66049	67710	51525	85137	68598	75150	76897
As	0.06	0.61	0.68	1.93	0.37	3.5	11	8.9	20.7	8.9	0.4	2.5
Ba	1.52	4.74	4.55	1.69	3.94	294	596	490	483	519	462	490
Ca	3282	13128	10864	8263	15673	33754	7627	12007	8787	13843	15580	66395
Ce	0.011					69	79	63	66	80	47	67
Co	0.040	0.009	0.009	0.012	0.006	15	15	15	17	18	4	39
Cr	0.081	0.081	0.056	0.097	0.052	24	57	61	39	60	65	469
Cs	0.008	0.016	0.008	0.010	0.010	2.4	14	6.7	11.5	13	10.2	1.2
Eu	0.001			0.001		1.5	1.6	1.3	1.5	1.5	0.8	1.5
Fe	9.97	0.93	0.88	4.85		46451	32232	23361	37916	33381		
K	414	299	255	288	307	5358	10457	7596	8113	10388	32957	11871
La	0.007			0.028		33	40	37	31	37	23	38
Lu				0.004		0.59	0.46	0.22	0.66	0.37	0.46	0.31
Mg	546	1358	1354	1062	1126	34722	17825	16539	60561	21594	4463	46618
Mn	0.47		0.54	0.34	0.46	1135	1071	814	886	1157	488	1239
Mo		0.57	0.36		0.35			6.3			1.46	34.00
Na	1511	3357	3049	3428	2496	19492	11705	7999	15773	9645	25149	20698
Ni	0.59						33	33	17	35	6	139
Rb	0.87	0.38	0.43	0.64	0.42	43	124	94	109	125	181	41
Sb	0.03	0.30	0.15	0.76	0.23	0.37	2.0	1.4	5.3	1.9	0.08	0.35
Sc	0.0053	0.0005	0.0006	0.0042	0.0005	349	122	81	15	117	7	27
Se	0.022	0.147	0.059	0.086	0.046	4.6	4.3	4.0	3.0	4.2	0.003	0.026
Sm	0.0011	0.0013		0.0026		6.0	6.7	5.5	5.4	5.8	5.1	5.0
Sr	10	117	99	46	108	232		145	487	110	184	435
Tb	0.0005					0.96	0.93	0.74	0.75	0.78	0.84	0.76
Tm	0.0014			0.0041		0.50	0.57	0.31		0.47	0.50	0.35
V	2.00	0.27	0.23	0.91	0.28	163	78	72	110	97	25	2
W	0.022	0.007	0.003	0.012	0.009						1.70	20.00
Yb						4.9	3.8	2.9	3.9	3.4	2.7	2.1
Zn	1.99	0.54	0.51	3.98	0.50	186	319	221	173	260	108	83

C	1042	49544	106731		70180
N	342	4206	7175		4802
C/N	3.0	11.8	14.9		14.6

注) JG-1: 花崗岩  
JB-1: 玄武岩

③ 峰谷川、日原川、後山川の河川水中の元素濃度は、比較的類似していたが、峰谷川では、Se濃度が高かった。また、堆積物に関しても、この3河川の元素濃度は類似していた。

④ 堆積物と標準岩石(JG-1: 花崗岩、JB-1: 玄武

岩)の組成の比較では、一之瀬川の堆積物(流域が花崗岩地域)とJG-1との間にも特別な類似性は認められなかった。

なお、堆積物試料間で有機物含有率の差が大きかったが、こうした試料間での元素濃度の比較方法については、

今後の課題として残った。

## 8 おわりに

これまでの研究から都内及び周辺地域の河川について、次の点が明らかになった。

① 現時点で、pHが恒常的に6.0以下の酸性化した河川は認められない。

② 約30年間のデータによれば、小河内貯水池に流入する河川では、pH及びアルカリ度の値に長期的な低下の傾向は認められない。

③ 一之瀬川における調査では、河川水のアルカリ度やイオン濃度は、降雨時にほとんど変化しなかった。これと関連して、降水が、地表面に到達し、土壌と接触すると短時間でアルカリ度が上昇することが測定結果から確認された。

④ 他の河川の長期観測データでは、流量の増加に伴い、アルカリ度が低下する傾向が認められる。しかし、その変化は、希釈による濃度低下と比べても小さく、酸性雨の影響は認められない。

⑤ 多摩川上流域の河川水のアルカリ度、硫酸イオン濃度と地質との間に関連性が認められ、一之瀬川周辺など花崗岩地域を流域とする河川はアルカリ度が低く、酸性雨の影響を受け易いと考えられる。また、塩素イオン濃度および硝酸イオン濃度は、都心からの距離が遠いほど低い傾向が認められた。

⑥ 河川水や堆積物の元素濃度を測定したが、地質との関係ははっきりしなかった。

本研究の結論として、現時点では酸性雨の陸水影響が認められないことが明らかになったが、はじめに述べたように、酸性物質の流域への負荷は続いている。したがって、より長期的な影響を解明するためには、

① 河川流域の土壌による酸中和能の定量的な把握。

② 河川や湖沼の水生生物相の変遷。

③ 酸性化しやすいと考えられる河川や湖沼の水質の定期的（数年間隔）なモニタリング

などの調査研究が、今後の課題として残されている。

## 参考文献

1) 安藤晴夫ら：酸性雨の陸水影響に関する研究（その

- 1), 東京都環境科学研究所年報1991-2
- 2) 安藤晴夫ら：酸性雨の陸水影響に関する研究（その2), 東京都環境科学研究所年報1992.
- 3) 安藤晴夫ら：酸性雨の陸水影響に関する研究（その3), 東京都環境科学研究所年報1993.
- 4) 安藤晴夫ら：酸性雨の陸水影響に関する研究（その4), 東京都環境科学研究所年報1994.
- 5) Baker, J.P ら：Effects of Acidification on Biological Communities in Aquatic Ecosystems, Acidic Deposition and Aquatic Ecosystems, Regional Case Studies, p.83-106, Charles, D.F. (ed.), Springer-Verlag, 1991.
- 6) 東京都環境科学研究所：94年版 数字でみる環境
- 7) Henriksen, A. ら：AMBIO, vol.17, No.4, 1988.
- 8) Spaite, P.：ACID RAIN：The Impact of Local Sources, DOE/METC-14787/103, Nov.24, 1980 [文献17より引用].
- 9) Dillon ら：J. Fish. RES. BOARD, CAN., 35, 809-815, 1978 [文献17より引用].
- 10) 東京都環境保全局：酸性雨の影響による多摩地区上流部河川の水質調査の結果について（平成3～5年度）.
- 11) 東京都水道局：平成5年度 水質年報.
- 12) 東京都水道局：昭和34～平成4年度 小河内貯水池管理年報.
- 13) 酒井彰：関東山地中、南部の地質略図、五日市地域の地質、地質調査所, p.4、1987.
- 14) Glass ら：Environ. Sci. Technol., 16, 162A-169A, 1982.
- 15) 江角ら；環境科学特別研究「環境科学」研究報告集 1981, B74-R12-4, p.227-234, 1981.
- 16) 関東地方公害対策推進本部大気汚染部会 一都三県公害防止協議会：平成5年度 湿性大気汚染調査報告書, 1994.
- 17) (社)日本水質汚濁研究協会：陸水の酸性化による影響及び機構解明調査, 昭和58年度環境庁委託業務結果報告書.