

## 「原著」

# 品川区内における降水中の主要成分について

柴本 陽子

## 1. 緒言

昔からめぐみの雨といわれるほど、降水は私たち人間だけではなく地球に息をする総ての生物に潤いと活力を与えてきた。日本列島にはその雨が年平均約1800mm（宮沢，1988）も降り注いでいるが、近年、大気中に存在する浮遊粒子による汚染化が進み降水は酸性雨となって国際的な環境問題を引き起こしている。

大気中の浮遊粒子は粒径が約 $2\mu\text{m}$ 以上の粗大粒子と、それ以下の微小粒子からなる。前者は海塩、土壌、機械的破碎過程などにより直接排出された粒子、後者は光化学反応、燃焼過程などのガスの反応により生成した粒子である（武藤ら，1984）。このなかで降水を酸性化させる浮遊粒子は主に産業廃棄物、あるいは自然界から放出される $\text{SO}_x$ 、 $\text{NO}_x$ の微小粒子である。これらの汚染物質は、大気中を時に数百kmも輸送されながら、気相もしくは液相内にて酸化され $\text{SO}_4^{2-}$ や $\text{NO}_3^-$ などのイオンとして降水中に含まれる。また、酸性化した降水は土壌から放出されるアルカリ性の粗大粒子や、海塩粒子の緩衝作用により地表に降り注ぐまでに中和されることもあり、降水中のpH、イオン成分の濃度や組成は地域

によって様々である。

現在、多くの研究機関で降水の分析が行われ、降水中に含まれる主要成分、濃度または地域性、汚染物質の輸送過程などが検討されている。その中で地域性については都市型、郊外型および火山の影響などを受ける特異的な地域型（森崎ら，1990）に分けられ、各降水の成分濃度に見られる特性について報告されている。

本報では都市型とみられ、なおかつ臨海部に位置する品川区における降水中の成分濃度、また地域特性を把握することを目的とし、各イオン成分の濃度、さらに気象データとの関連について得られた結果を報告する。

## 2. 方法

### 2.1 試料採取

降水の採取は1990年6月から11月までの半年間とし、東京都品川区内（図-1）の当社屋上（地上約12.8m）にて行なった。品川区は関東平野の最南端に位置し、東4kmには東京湾があり、海風（海塩粒子）の影響を受け易い場所とみられる。

採取にはポリエチレン製ロート（口径30cm）と1000mlのビーカーを用い、虫やゴミ等の混入を防ぐためロートの先端に

はナイロンメッシュ（目合 315 $\mu$ ）を取り付けた。また、風、降水の跳ね上がり等を防止するため採取器具はコンテナに入れ、高さ約1mの台の上に設置した。降水の採取は原則として一降水毎に行った。

## 2. 2 試料分析

降水は採取した後、直ちに分析室に持ち帰り、pH（日立－堀場 M-7形）、電気伝導度（東亜電波工業製 Model CM-2A）を測定した。残りの試料は定量濾紙（No.5C）にて濾過後、冷暗所（4 $^{\circ}$ C）に保存し、イオン成分の分析用とした。Cl $^{-}$ 、NO $_2^{-}$ 、NO $_3^{-}$ 、SO $_4^{2-}$ 、NH $_4^{+}$ 、Na $^{+}$ 、K $^{+}$ 、PO $_4^{3-}$ 、Br $^{-}$ 、F $^{-}$ の10項目についてはイオンクロマトグラフィ（Dionex社製 Model 2010i）、Ca $^{2+}$ 、Mg $^{2+}$ の2項目は湿式分析法（工業用水試験法 JIS 0101 49.1、

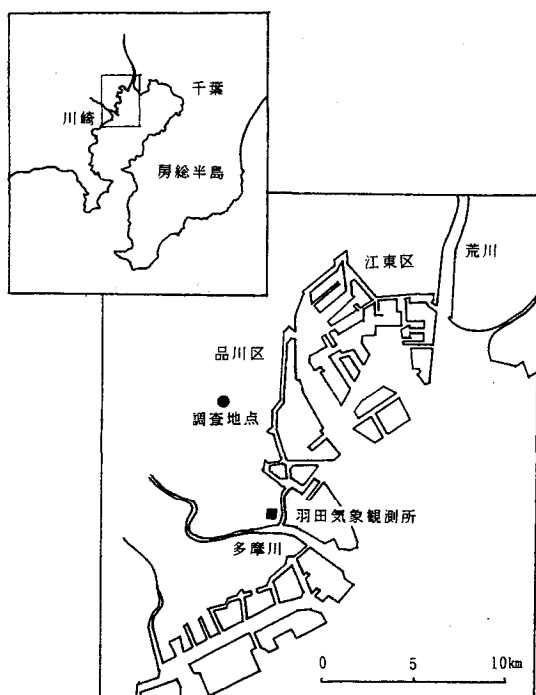


図-1 調査地点と羽田気象観測所

50.1) とした。ただし、サンプル量が約50ml以下の場合には、イオンクロマトグラフィによる10項目のみ分析を行った。

## 2. 3 気象データ

降水採取期間中の気象データは、当社から最も近い羽田気象観測所（図-1）の日間降水量、最大風向、風速等を気象月報（気象庁）より収集し、分析結果のデータ解析に用いた。

## 3. 結果及び考察

採取期間のサンプリング数は計46回であった。そのうち、サンプル量の都合上、pH、電気伝導度については41回、陽イオンは45回、2価の陽イオンについては34回、また陰イオンについては46回総て分析を行った。

### 3. 1 降水状況

図-2に6月から11月までの降水状況を示した。

6月の月間降水量（92mm）は平年と比べてかなり少なく、梅雨期間には首都圏で水不足となるなど、高温少雨の傾向がみられた。7月も12、13日と台風7号が温帯低気圧に変わってもたらした雨以後、月末までほとんど降水はなく月間降水量38mmのみとなった。

8月は6年ぶりの暑い夏となり過去最高気温が各地で記録され、平年を上回る暑さは11月まで続いた。

8月には2つの台風（10・11号）が関東地方に影響を及ぼしたが、全体的に安定した夏型の気候となり、降水量も平年並みの126mmであった。9月は秋雨前線と台風（19・20号）の影響で大雨が降り、

降水量は平年よりかなり多い 308mm となった。10月は温帯低気圧からの大雨の日もみられたが降水量は平年並みの 126mm であった。11月には上旬に東シナ海からの低気圧と、月末の台風28号がもたらした大雨で 232mm と平年よりかなり多い降水量が記録された。

### 3. 2 各成分の濃度

図-3に測定結果の濃度範囲、平均値を示した。

イオン成分12項目の中で  $\text{Cl}^-$  の平均値が 21.8mg/l と最も高く、次に  $\text{SO}_4^{2-}$  が 15.9mg/l と高い値を示した。 $\text{NO}_3^-$  と  $\text{Na}^+$  も最高値が共に 100mg/l を超え、

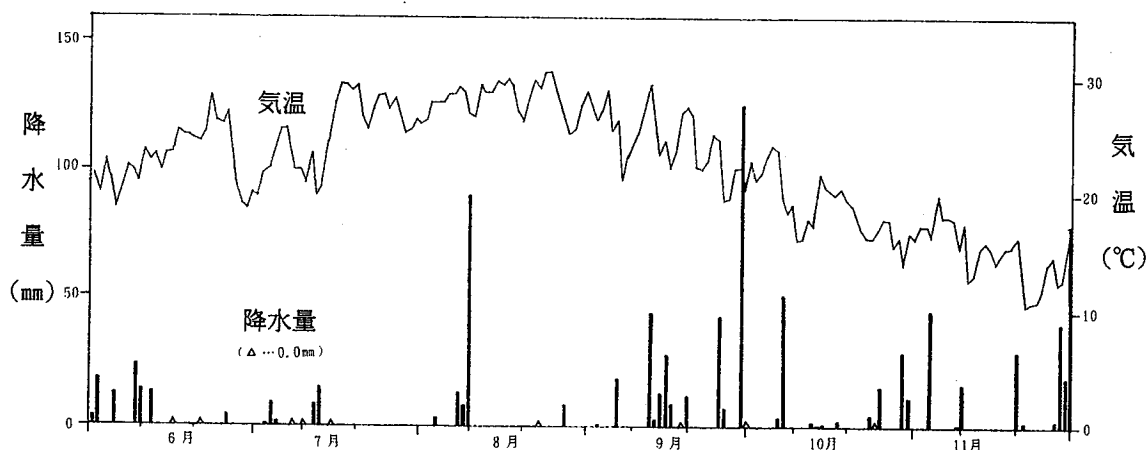


図-2 6~11月における日間降水量と日平均気温

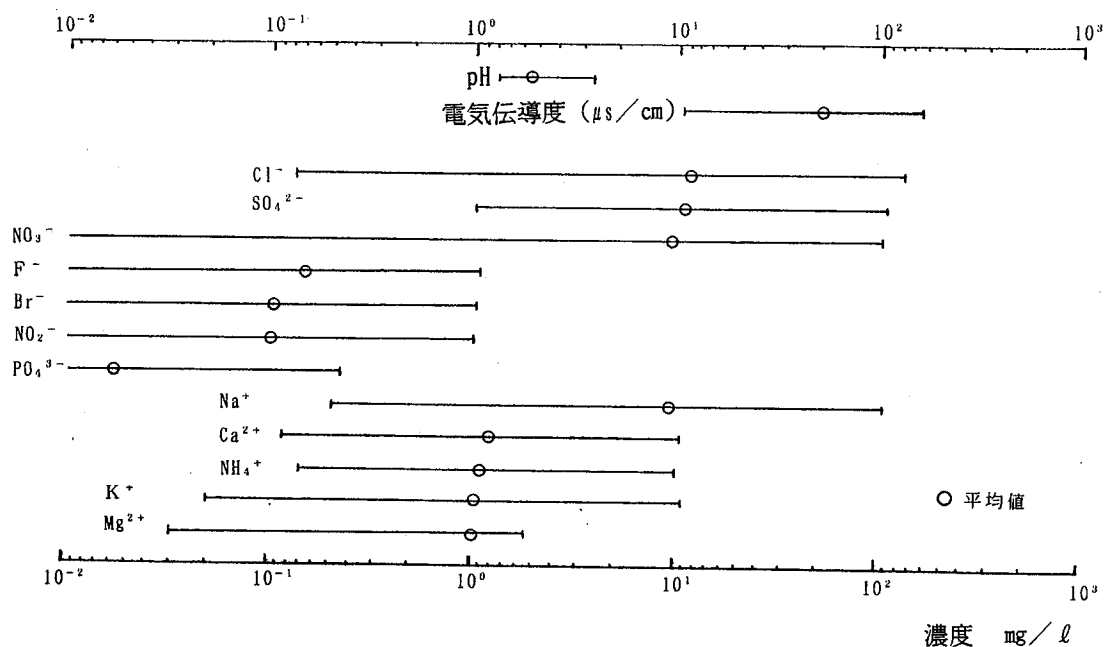


図-3 各成分の濃度範囲と平均値

平均値は共に 9.9mg/lであった。他の4種の陰イオン、 $\text{NO}_2^-$ 、 $\text{PO}_4^-$ 、 $\text{Br}^-$ 、 $\text{F}^-$ の平均値は0.5mg/l以下で特に $\text{Br}^-$ 、 $\text{F}^-$ は測定結果の半数以上が検出限界以下と、降水中では非常に低濃度であった。また、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ の陽イオンについては平均値が総て1~3mg/lの範囲と、前述した4種の陰イオンに比べ高い値を示した。海水の主要成分11項目(堀部, 1977)のなかには $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+$ の他に $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ が含まれ、 $\text{Mg}^{2+}$ 等よりも濃度が数桁小さくなるものの $\text{Br}^-$ 、 $\text{F}^-$ が含まれている。今回得られた平均値の濃度は海水の主要成分に比較的類似した値であり、 $\text{Cl}^-$ の平均値が最も高いことや、臨海部という地域性からも、採取された降水には海塩粒子の影響が大きいことが伺われる。

通常、大気中に汚染粒子が存在しない状態でも降水には二酸化炭素(約330ppm)が溶解するため、それが飽和状態となった時pHは5.6を示す。今回採取された降水のpH平均値は5.5であり正常な状態にほぼ近いものと考えられる。しかし、古明地ら(1983)による1973~80年までの8年間におよぶデータでは、東京のpHの年平均値は4.3~4.8で明確な地域間の差はないと報告されており、今回の結果より大分低い値であった。また、1983~87年に行われた環境庁の第一次酸性雨対策調査から、武蔵野市では古明地らとほぼ同値の年平均値pH 4.4~4.8が報告されているが、東京湾に面している江東区ではpH 4.8~5.5と比較的高

いデータが報告されている。海水中には炭酸イオンなどの弱塩基が含まれ、加水分解して水酸イオンを生じるとともに緩衝作用があり、一般に $[\text{H}^+] < [\text{OH}^-]$ の傾向がある。そのためpH 7.6~8.4程度の範囲で変動している表層水(岡部ら, 1980)から放出される海塩粒子の影響が、江東区や今回採取された降水のpH値に大きく反映しているものと考えられる。また、サンプリングの期間が前述の期間と比べて、半年間と短かったことも要因の一つと考えられる。

### 3. 3 降水量と各成分

表-1に降水量別の成分濃度、図-4には降水量と電気伝導度の関係を示した。 $\text{PO}_4^{3-}$ 、 $\text{Br}^-$ 、 $\text{F}^-$ の様に検出限界以下の値が多いものには明確な傾向はみられないが、他の全ての成分は降水量が少ないほど濃度が高いという傾向がみられる。松本ら(1980)は、奈良において1mm毎に降水を採取し、初期雨水(1~5mm)と後続雨水(5~20mm)とでは明らかに成分濃度が異なることを記している。これは、降水が水滴中に微粒子を取り込む過程でrainout(雲内洗浄)の他に、大気で行われるwashout(雲底下洗浄)という洗浄作用があるため(玉置, 1990)、5mmまでの降水で大気に浮遊する大部分の微粒子が取り込まれてしまうものと考えられるからである。降水の採取方法は異なるが、今回の結果からも3.0mmの降水量を境に濃度が1桁小さくなる成分が多く同様の作用があると考えられる。またpHと成分濃度についての相関はみられなかったが、降水量が20~

49mmの平均pHだけが4.9と低い値を示している。これはpH低下に寄与する $SO_4^{2-}$ の平均濃度がどの成分よりも高い値であったためと思われる。

### 3.4 pHと気象条件

図-5にpHと風向(16方位)の関係を示した。pH5.6を境に風向が南(神

奈川県側)の降水の時は比較的pHが高く、東から北東(千葉県側)にかけての時はpHが低いことが多い。また、これと逆の傾向を示す値には陽イオンが高い値を示す特性がみられた。全般的に、北東からの陸風と南からの海風による影響がpHに表れているとも考えられる。

表-1 降水量別の各成分の平均値

降水量	mm	0	0.5~3	3.5~19	20~49	50~127
採取回数		11	10	12	8	5
Cl	mg/l	51.8	27.3	9.97	2.68	3.91
NO <sub>2</sub>	mg/l	0.260	0.084	0.069	0.046	0.029
NO <sub>3</sub>	mg/l	25.6	10.0	4.60	1.84	0.79
SO <sub>4</sub>	mg/l	37.3	19.8	6.95	3.61	2.12
PO <sub>4</sub>	mg/l	0.129	0.009	0.036	0.040	0.030
F	mg/l	0.27	0.08	0.01	0.01	0.00
Br	mg/l	0.29	0.00	0.08	0.00	0.29
Na	mg/l	22.9	14.3	4.35	1.42	2.11
NH <sub>4</sub>	mg/l	4.19	2.78	1.11	0.83	0.93
K	mg/l	2.65	2.96	0.64	0.44	0.32
Ca	mg/l	5.94	5.62	3.09	0.76	0.38
Mg	mg/l	1.95	1.26	1.57	0.77	0.74
E.C.	$\mu s/cm$	194	120	65	33	23
pH		5.9	5.6	5.5	4.9	5.7

E.C.:電気伝導度

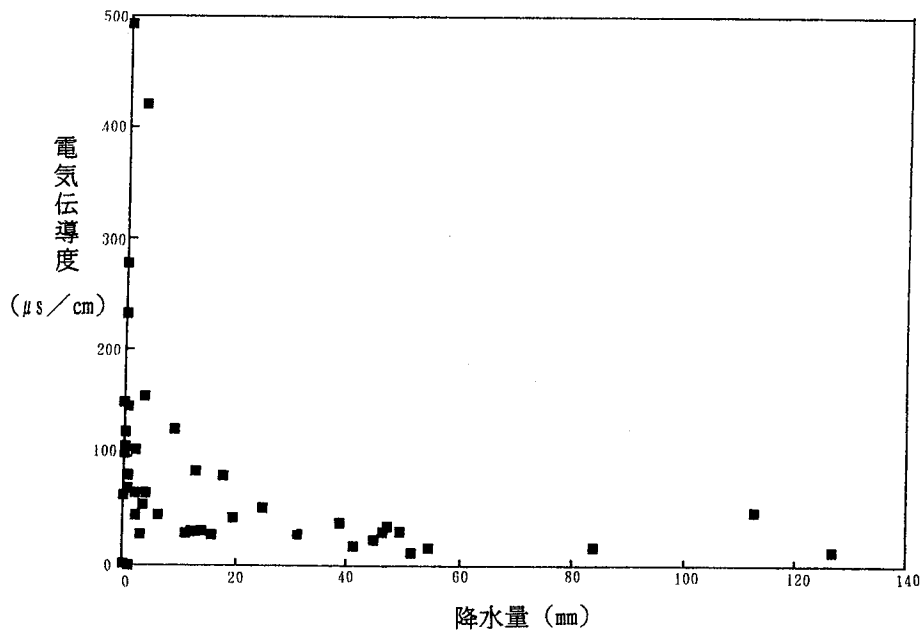


図-4 降水量と電気伝導度の関係

また、pHと降水量の関係（図-6）では、降水量20mmを境に異なる傾向がみられる。降水量が20mm以上になると、降水量の増加に伴ってpHが次第に高くなる正の相関がみられるが、20mm以下の降水量にはそれらの関係はほとんどみられ

ない。しかし20mm以下の降水には前述した風向の影響がみられpH5.6以上では、そのほとんどが南からのものであったのに対し、pH5.6以下では北東からの風が多くみられた。

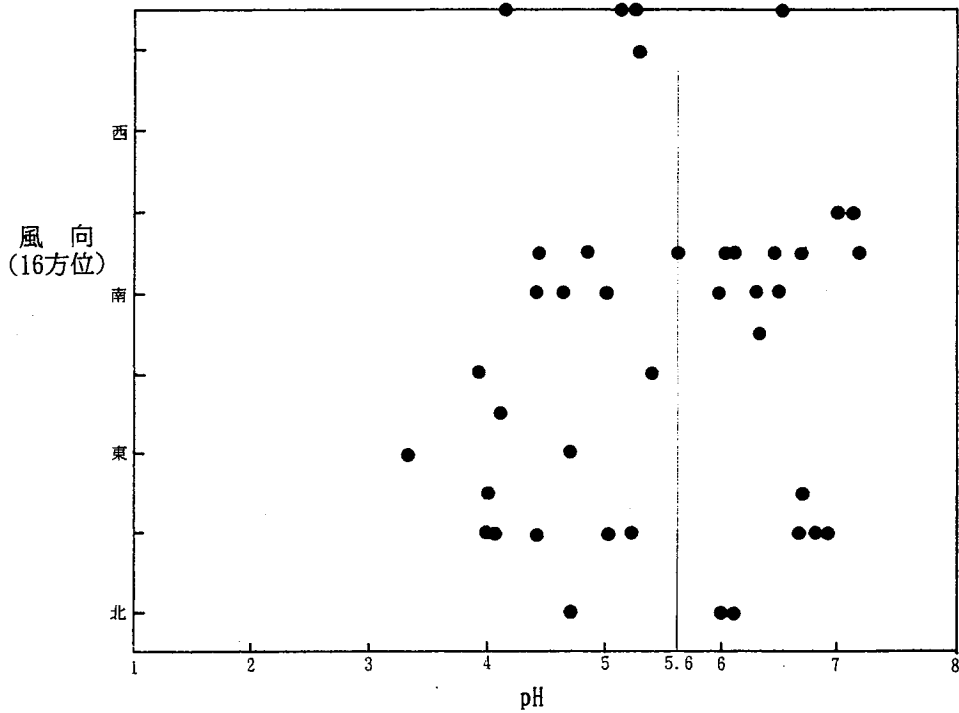


図-5 pHと風向の関係

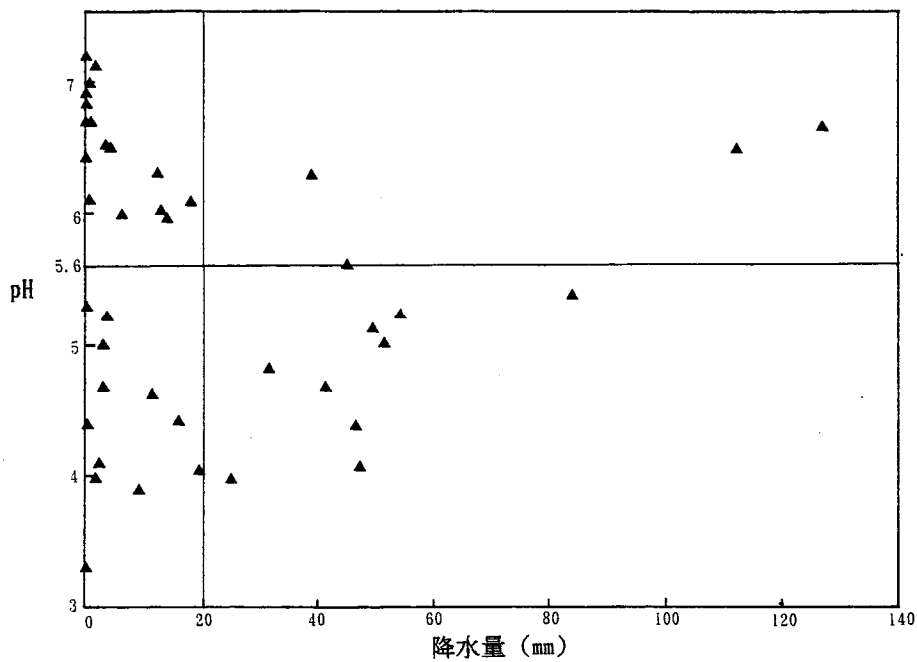


図-6 pHと降水量の関係

#### 4. まとめ

1991年6月から11月にかけて東京都品川区内にある当社屋上にて降水のサンプリングを行い、14項目の分析を行った。採取された降水中のイオン成分は $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{Na}^+$ の濃度が比較的高く、最高値はすべて100mg/lを越えていた。また、 $\text{Cl}^-$ の平均値が最も高いことなどから、海塩粒子による緩衝作用が大きいと考えられ、pHの平均値も5.5と既報に比べ比較的高い値が得られた。各イオン成分の濃度は降水量の増加に伴い減少する傾向がみられ、pH値に対しては風向等による影響が伺えた。

降水の採取は現在も継続中で、最終的には1年間のデータから降水特性を検討する。次回の報告では降水中の各イオン成分の起源、相互関係について、また酸性化した降水中の成分と共に、年間降水量、季節変動等についての結果を報告したいと思う。

文末ではありますが、降水の分析を行うに当たって御助力頂きました工業技術院公害資源研究所の鷲見栄一氏に厚く感謝の意を表します。

#### 文 献

- 浅井富雄, 武田喬男, 木村龍治, 1990, 大気科学講座2 雲や降水を伴う大気, 東京大学出版会, pp249
- 大喜多敏一, 1990, 世界の酸性雨－現状分析と対策－, シリーズ・酸性雨(1), 現代化学, 6月, 16-22
- 岡部史郎, 広田致, 清水和雄, 1980, 海洋の化学, 東海大学出版会, pp253
- 皆田静男, 1972, 雨水の分析, 講談社, pp121
- 環境庁水質保全局土壌農薬課, 1990, 酸性雨; 土壌・植生への影響, 公害研究対策センター, pp198
- 紀本岳志, 1986, 浮遊粒子状物質の科学, 環境と測定技術, vol.13, No.7
- 産業公害防止協会, 1981, 酸性雨, 産業公害防止協会, pp49
- 谷山鉄郎, 1989, 恐るべき酸性雨, 合同出版
- 玉置元則, 1985, 我が国の雨水の化学的性状, 環境技術, vol.14, No.2
- 玉置元則, 1990, 日本の酸性雨監視体制と降水酸性化の現状, シリーズ・酸性雨(2), 現代化学, 7月, 44-50
- 鶴田治雄, 1990, 酸性雨はどうして生じるか, シリーズ・酸性雨(3), 現代化学, 8月, 16-22
- 松本光弘, 市川博, 市村國俊, 上田栄次, 板野龍光, 1983, 奈良における初期雨水と後続雨水のイオン成分の挙動, 全国公害研会誌, vol.8, No.1
- 宮沢清治, 1988, 天気図と気象の本, 国際地学協会, pp127
- 武藤義一, 及川紀久雄, 1984, イオンクロマトグラフィ, 講談社, pp121
- 森崎澄江, 宇都宮彬, 高柳幹男, 森淳子, 今村修, 川井田哲郎, 宝来峻一, 金城義勝, 大和康博, 中熊秀光, 1990, 平成元年度九州・沖縄地方酸性雨共同調査結果, 全国公害研会誌, vol.15, No.4