報 文

都市部の後背地における雨水中のイオン組成

The Ionic Composition of the Rain Water in the
Rural Area close to Urban Area

玉 置 元 則*・平 木 隆 年*

Rain water was collected in the rural area close to Kobe area (Moshi, Sanda-city, mountainous area, about 40 km to the north of Kobe area), and main ions in the water were determined and compared with that in Kobe area.

The concentrations of the ions in the rain water in Moshi were almost lower than those in Kobe, i. e. NO_3^- , Cl^- , H^+ and NH_4^+ : slightly lower, SO_4^{2-} and Na^+ : considerably lower, and NO_2^- : very markedly lower (Fig. 10). The molar concentrations of the cations in Moshi were found in the order: $\text{H}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+$, similar to that in Kobe, and those of the anions in the order: $\text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ in summer ($\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$ in Kobe, Fig. 6, 7). The $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ molar ratio was identical with the ratio calculated as NH_4NO_3 (Fig. 4), and the Cl^-/Na^+ molar ratio was higher than that of sea water (Na^+ loss, Fig. 5).

These results suggest that, in the transport process of air pollutants from urban to rural area, the coarse particles (containing NaCl and NaNO_3 etc.) and reactive gases (such as NO_2) are partially excluded from air, whereas the fine particles (containing NH_4NO_3 etc.), the less reactive gases (such as HCl) and the gases emitted also from natural sources (such as NH_3) are scarcely reduced, and that these behaviors are reflected to the ionic composition of the rain water in the rural area (Fig. 11).

摘 要

神戸地域の後背地（北方約40 kmの山間部，三田市母子地区）で夏～秋期，雨水を採取し，雨水中の各イオン濃度，pH，電導度を測定し，その値と同時期の都市部（神戸地域）の値と比較した。

都市部に近い値として出現するのは， NO_3^- ， Cl^- ， H^+ ， NH_4^+ ，かなり低い値として出現するのは， SO_4^{2-} ， Na^+ および電導度，きわめて低い値を示すものは NO_2^- であった。カチオンのモル濃度は $\text{H}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+$ の順になり，都市部とはほぼ同じ傾向を示すが，アニオンのモル濃度は夏期に， $\text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ の順になり（都市部では， $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$ ），アニオンに占める NO_3^- の割合が大きい。また， $([\text{H}^+] + [\text{NH}_4^+] + [\text{Na}^+])/([\text{NO}_3^-] + 2 \times [\text{SO}_4^{2-}] + [\text{Cl}^-])$ の当量比は1/1を示し，都市部の値より大きい。さらに $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ モル比は見かけ上 NH_4NO_3 の組成に相当する値を示し， Cl^-/Na^+ モル比は海水組成にくらべて， Na^+ lossの傾向を示した。

これらのことより， NaCl や NaNO_3 などを含む粒径の大きい粒子や NO_2 のような反応性の大きい気体状物質の一部分は輸送途中で大気から除去されるが， NH_4NO_3 などを含む粒径の小さい粒子や HCl のような反応性がやや小さい気体状物質， NH_3 のような自然的発生が考えられる気体状物質は，都市部の後背地でもあまり濃度減少せず，雨水中のイオン組成にそれが反映されると考えた。

* 兵庫県公害研究所

Motonori Tamaki, Takatoshi Hiraki

The Environmental Science Institute of Hyogo Prefecture
Yukihira-cho, Suma-ku, Kobe-shi 654 Japan

1 緒 言

近年、雨水の酸性化を含む汚染が指摘されている¹⁾。大気中の汚染物質の一部分は降雨により除去されるが、同時に雨水自体の汚染と水圏など大気圏以外の環境への汚染をもたらす。雨水の汚染は、わが国において関東地方を中心に“酸性雨”としてその被害が報告され²⁾、水圏などの汚染は北欧諸国にとって深刻な問題となっている³⁾。

雨水中の汚染物質と pH との関係を含む、雨水中のイオン組成ならびにこれらと大気汚染物質との関係を明らかにすることは、降雨による大気の浄化作用と雨水の汚染機構を解明するために、きわめて重要であるにもかかわらず、現在まで必らずしも系統的には行なわれていない⁴⁾。

著者らはすでに神戸地域において雨水を時間的に分取し、雨水汚染物質の時間変化などから、雨水の汚染機構の一端を明らかにした⁵⁾。また、雨水を容量別に分取し、雨水中の NO_3^- と NO_2^- の挙動ならびに大気中窒素系汚染物質の雨水への取りこみ過程を明らかにするとともに⁶⁾、その過程の一部分を室内実験により裏づけた⁷⁾。さらに、神戸地域における雨水中のカチオンとアニオンとの関係ならびに各イオンの挙動と大気中粒子状物質濃度などとの関係について明らかにした⁸⁾。

本報では、神戸地域の後背地で雨水を採取し、そのなかに含まれるイオンの組成と神戸地域でのその値とを比較することにより、降雨による大気の浄化と雨水の汚染の機構について検討した。

2 測 定

2.1 雨水の採取地点

Fig. 1 Sampling sites

St. 1: Moshi (Sanda city)
St. 2: Environmental science Institute of S
Hyogo Prefecture
Industrial area

神戸地域の北方、約 40 km にあたる三田市母子地区（図-1）において、1976 年 8 月～11 月の期間、雨水を採取した。母子地区は標高約 500 m の山間部にあり、戸数約 70 戸、人口約 300 人で、家庭燃料使用以外の固有の大気汚染物質の発生源はほとんど見あたらない。神戸地域と標高 1000 m 近い六甲山地でさえぎられており、それより北方の母子との間もほとんど山間部である。唯一の人口密集地、三田市街部からは約 20 km へだたっている。母子地区の北方は標高 700 m 近い山地で小規模人口密集地篠山町とさえぎられており、その後さらに北方の日本海まで約 70 km 間も山間部が多い。

2.2 雨水の採取方法

雨水の採取は口径 29.8 cm のロートを備えた雨水採取器を用いて行なった。この採取器を用いると、降雨 1 mm に対し、約 70 ml の雨水が採取される。採取器は降雨時以外は塩化ビニル製カバーをかぶせ、降塵などから保護するとともに、ロートならびに受器は使用前後に蒸留水により洗浄した。採取した雨水はただちに冷暗所に入れ、分析時まで保存した。

2.3 雨水の分析

既報と同様にして⁶⁾、採取した雨水中に含まれる NO_3^- 、 NO_2^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 NH_4^+ 、 Na^+ の各イオンを分析するとともに、pH および電導度を測定した。

3 結 果

3.1 雨水中の各イオン濃度

表 1 に雨水の採取条件を示す。このうち、No. 1～6 の降雨を夏期の試料、No. 7～14 の降雨を秋期の試料として分類した。夏期に得た試料は対流性降雨（雷雨など）に基づくものが多く、秋期に得た試料は前線、低気圧の接近、通過に基づく降雨によるものが多かった。

表 2 に雨水中の各イオン濃度ならびに pH と電導度の平均値を季節別に示す。夏期の pH は 4.43 とかなり低く、都市部（神戸地域）で測定された同時期の初期雨水（降雨 2.5 mm 以内）中の値：4.02 より高いものの、後続雨水（降雨 2.5 mm 以降）の値：4.52 よりも低いのが特徴的である。また、夏期の方が秋期よりも低く、都市部と同様の傾向を示した。

雨水の電導度は夏期：22.78 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、秋期：11.10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ と都市部（後続雨水中、夏期：30.89 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、秋期：28.06 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ）にくらべて低いが、秋期の方がより低い傾向は都市部と同じである。

SO_4^{2-} 濃度はほとんど夏期の雨水中の値であるが、都市部の後続雨水中の濃度（夏期：3.22 $\mu\text{g}/\text{ml}$ ）の $\frac{1}{2}$

Table 2 Sampling conditions (Aug. ~Nov./1976)

No	Sampling period		Rainfall amount (mm)
	Date	Time	
1	9 Aug.	9.00~	1.6
2	10 Aug.	9.00~	8.0
3	10 Aug.	11.15~	4.0
4	16 Aug.	11.20~	7.5
5	16 Aug.	12.00~	4.3
6	26 Aug.	8.40~	3.9
7	8 Sept.	11.40~	3.9
8	8 Sept.	12.00~	30.1
9	4 Oct.	16.15~	7.3
10	4 Oct.	16.40~	3.9
11	8 Oct.	11.00~	4.0
12	14 Oct.	9.30~	4.2
13	20 Oct.	9.30~	3.4
14	12 Nov.	10.00~	3.2

以下の値を示すことが多い。これに対し、 NH_4^+ 濃度は夏期: $0.40 \mu\text{g}/\text{ml}$ ，秋期: $0.13 \mu\text{g}/\text{ml}$ で都市部なみの値（後続雨水中，夏期: $0.31 \mu\text{g}/\text{ml}$ ，秋期: $0.19 \mu\text{g}/\text{ml}$ ）として出現し，夏期に高く秋期に低い傾向も都市部のデータと類似している。

Na^+ 濃度は夏期: $0.18 \mu\text{g}/\text{ml}$ ，秋期: $0.22 \mu\text{g}/\text{ml}$ で，都市部（後続雨水中，夏期 $0.41 \mu\text{g}/\text{ml}$ ，秋期: $0.25 \mu\text{g}/\text{ml}$ ）より低く，季節の変動がほとんどない。それに対し， Cl^- 濃度は夏期，秋期とも $0.54 \mu\text{g}/\text{ml}$ で，夏期に都市部（後続雨水中，夏期: $0.74 \mu\text{g}/\text{ml}$ ，秋期: $0.36 \mu\text{g}/\text{ml}$ ）よりやや低いが，秋期には都市部とほぼ同程度の濃度として出現する。

NO_3^- 濃度は夏期: $1.34 \mu\text{g}/\text{ml}$ ，秋期: $0.42 \mu\text{g}/\text{ml}$

（ $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 濃度として， $0.304 \mu\text{g}/\text{ml}$ ならびに $0.095 \mu\text{g}/\text{ml}$ ）の値で，都市部の後続雨水（ $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 濃度として，夏期: $0.162 \mu\text{g}/\text{ml}$ ，秋期: $0.097 \mu\text{g}/\text{ml}$ ）とくらべてもかなり高い値として得られている。また夏期の方が秋期よりも高い濃度で出現する傾向は都市部と同じである。一方， NO_2^- 濃度は $0.001 \mu\text{g}/\text{ml}$ 以下（ $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 濃度として $0.0003 \mu\text{g}/\text{ml}$ 以下）で，都市部の値（ $\text{NO}_2^- - \text{N}$ として約 $0.01 \mu\text{g}/\text{ml}$ ）の約 $1/30$ 以下というきわめて低い値を示した。

3.2 雨水中の電導度と H^+ 濃度との関係

図-2に雨水中の電導度と H^+ 濃度との関係を示す。これから，この両者は非常によい相関関係にあることが認められる。夏期と秋期で出現する範囲は異なるが， H^+ 濃度が高いほど電導度は高くなる。神戸で採取した試料において，冬期の第1フラクション（降雨 0.5 mm 以内）では H^+ 濃度が低いにもかかわらず，高い電導度を示す例が多いが，それ以外の試料では H^+ 濃度が高いほど電導度は高い値を示した⁸⁾。このことは自然的発生

Fig. 2 Relationship between electric conductivity and H^+ concentration in the rain water

Table 1 Average concentrations of main ions in the rain water

	Summer (No 1 ~ 6)	Autumn (No 7 ~ 14)	Total
SO_4^{2-} ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	1.73 (6)	0.78 (2)	1.49 (8)
NH_4^+ ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	0.40 (6)	0.13 (8)	0.25 (14)
NO_3^- ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	1.34 (6)	0.42 (8)	0.82 (14)
NO_2^- ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	<0.001 (6)	<0.001 (8)	<0.001 (14)
Cl^- ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	0.54 (6)	0.54 (8)	0.54 (14)
Na^+ ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	0.18 (6)	0.22 (7)	0.20 (13)
pH	4.43 (6)	5.07 (8)	4.80 (14)
E.C. *) ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	22.78 (6)	11.10 (8)	16.10 (14)

The numbers of samples are in parentheses.
*) Electric conductivity

Fig. 3 Relationship between NO_3^- - and H^+ - concentration in the rain water

による海塩粒子や土壤に由来する粒子が大気中に少ない時は、雨水中の H^+ 濃度は溶存イオン量に比例していることを示していると考えた。したがって、母子の夏～秋期の雨水でも、降雨初期に気体状、粒子状の酸性物質が washout されるとともに、その後の後続雨水でも人為的発生物質を多く雨水に取りこんでいると考えられる。また夏期には酸生成能力の大きい気体状、粒子状物質が大気中に多く、それが雨水に取り込まれると考えられる。

3.3 雨水中の NO_3^- 濃度と H^+ 濃度ならびに NH_4^+ 濃度との関係

図-3に雨水中の NO_3^- 濃度と H^+ 濃度との関係を示す。これから、 H^+ 濃度が高いほど NO_3^- 濃度が高いことが認められる。神戸で採取した雨水において、 H^+ 濃度の変動はおもにアニオン中の NO_3^- 濃度に支配されることが見いだされている⁸⁾。また Okita らは気体状 HNO_3 濃度は夏期に高いと報告している⁹⁾。図-3に認められる NO_3^- 濃度と H^+ 濃度との関係は、母子においてもこれらのことをある程度反映しているように思われる。

図-4に雨水中の NO_3^- 濃度と NH_4^+ 濃度との関係を示す。図中の線は NH_4NO_3 組成を示したもので、母子の雨水中の $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ 濃度比はこの組成に非常に近い値であった。

一方、夏期の雨水中の $\text{SO}_4^{2-}/\text{NH}_4^+$ モル比の平均値は1.01で、都市部で得られた値（初期雨水:5.48, 後続雨水:3.90）にくらべてかなり小さな値を示した。

3.4 雨水中の Cl^- 濃度と Na^+ 濃度との関係

図-5に雨水中の Cl^- 濃度と Na^+ 濃度との関係を

Fig. 4 Relationship between NO_3^- - and NH_4^+ - concentration in the rain water

Fig. 5 Relationship between Cl^- - and Na^+ - concentration in the rain water

す。図中の線は海水中の $\text{Cl}^-:\text{Na}^+$ の比率を示す。これから、雨水中の Cl^-/Na^+ モル比は海水組成の値、1.17に近いが、やや Cl^- 過剰の傾向が認められる。

3.5 雨水中のカチオンとアニオンとの関係

図-6に雨水のイオン組成を示す。また図-7にカチオンとアニオン中に占めるそれぞれのイオンの割合を、神戸の雨水のデータと比較して示す。これから、夏期の母子の雨水においては、神戸の雨水と同様に、 H^+ 濃度の変動はアニオン中の NO_3^- 濃度におもに支配さ

れていると考えられる。

図-8に各降雨ごとの total anion (測定されたアニオンのモル濃度の和, $[\text{NO}_3^-] + [\text{SO}_4^{2-}] + [\text{Cl}^-]$) と total cation (測定されたカチオンのモル濃度の和, $[\text{H}^+] + [\text{NH}_4^+] + [\text{Na}^+]$) との関係を示す^{*)}。この両者は1:1の関係に近いが、ややアニオン側が少ない傾向を示している。神戸の夏～秋期の後続雨水において、この両者はきわめてよい相関関係にあるが、カチオン側が少ない傾向を示した⁸⁾。これは、都市部では Ca^{2+} や K^+ のような測定されていないカチオンがかなり存在しているためと考えた。一方、母子での total anion と total cation との当量関係を図-9に示す。この場合、 SO_4^{2-} 濃度は他のイオンの濃度の2倍に相当するため、図-8にくらべて total anion の値が増加する。図-9に認められるように、母子の total anion と total cation はほぼ1:1の当量関係にある。したがっ

Fig. 6 Ionic composition of the rain water

Fig. 7 Molar fraction in the rain water

* アニオンのうち、量的にきわめて少ない NO_2^- は図に表示しなかった。

て、母子では、ここで示された6種類のイオンにより、ほとんど雨水の性状が規定されていると考えられる。

4 考 察

図-10に母子の雨水中のイオンの濃度を神戸の雨水中の値との比の形で示す。母子において、4～5mm (約300 ml) の降雨を分取せずに採取したため、その雨水の性状は神戸で採取した後続雨水 (第6フラクション～, 降雨2.5mm以降) により近いものと考え、母子の夏期、秋期の試料の平均値と神戸の同時期の後続雨水の平均値との比を示した。同時に神戸の全分取試料

Fig. 8 Relationship between anion- and cation-molar concentration^{*)} in the rain water

Fig. 9 Relationship between anion- and cation-equivalent concentration^{*)} in the rain water

の平均値との比も図中に示した。

これから、都市部で採取した雨水に近い値として出現するのは、 NO_3^- 、 Cl^- 、 H^+ 、 NH_4^+ 、都市部よりかなり低い値として出現するのは、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、および電導度、都市部よりきわめて低い値を示すものは NO_2^- であることが認められる。とくに、母子の NO_3^- 濃度は都市部の値に近く、夏期には後続雨水中の濃度の2倍近い値として得られている。また、夏期の NH_4^+ 濃度は、同期の都市部の後続雨水中の濃度よりかなり高い。さらに、秋期の Cl^- 濃度は同期の都市部の後続雨水中の濃度の1.5倍に相当する高い値を示す。 H^+ 濃度は、前述のように、夏期に都市部なみの値として出現するが、秋期には都市部の約1/4という低い値を示し、変動が大きい。

一方、神戸の雨水のアニオン中のモル濃度はいずれの季節においても、 $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$ の順になるのに対し、カチオン中では、夏～秋期には $\text{H}^+ > \text{NH}_4^+ \approx \text{Na}^+$ 、冬期には $\text{Na}^+ > \text{H}^+ > \text{NH}_4^+$ と順序が変動する⁸⁾。これに対し、母子では図-7に見られるように、カチオン中で夏～秋期には $\text{H}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+$ の順になり、神戸とほぼ同じ傾向を示すが、アニオン中では夏期に、 $\text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ の順となり、アニオン中に占める NO_3^- 濃度は相対的に大きくなる。

雨水中のこの NO_3^- 濃度は、 H^+ 濃度とかなりよい相関関係にあるが(図-3)、それよりも NH_4^+ 濃度との方がよりよい相関関係にあり(図-4)、それぞれの試料中では NH_4NO_3 に相当するモル比を示したKadowa-

*1) Electric conductivity

*2) A: Concentration in the rain water in Moshi water
B: Concentration in the rain water in Kobe
(B₁: 6th fraction, B₂: all fraction)
○: A/B₁, ●: A/B₂ (Summer)
●: A/B₁, ○: A/B₂ (Autumn)

Fig.10 Average ratios of the ionic concentrations in the rain water in Moshi to those in Kobe

ki は名古屋で大気中の粒子状 NO_3^- の粒径分布を測定した結果、夏期に大きい粒径に属するものが、冬期には小さい粒径に属するものが多く、それぞれの化学組成はおもに NaNO_3 および NH_4NO_3 であるとしている^{10) 11)}。これから考えると粒子状物質の挙動だけでは、母子の雨水中で秋期のみならず夏期においても $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ 濃度比が NH_4NO_3 の化学組成に近い値を示したことを説明できないように思われる。

しかしながら、Okitaらは大気中の粒子状 NO_3^- と気体状 HNO_3 を分別定量した結果、大都市でも山間部(筑波山)でも夏期に気体状 HNO_3 濃度が高いことを示している⁹⁾。したがって、後背地の山間部では都市ならびに輸送途中で生成された細かい粒子中に含まれる、粒子状 NH_4NO_3 がwashoutされる以外に、同様に輸送、生成された気体状 HNO_3 がwashoutされる時、同時に気体状 NH_3 を雨水に取りこみ、中和され、雨水中で NH_4NO_3 組成を示すものが加算されと考えられる。たしかに、雨水のpHは低いが、雨水中の NO_3^- 濃度から考えて、すべてが HNO_3 として取りこまれたとするほど低い値ではない。

Okitaらは前述の測定データから、山間部で夏期の NO_2 濃度は低く、 HNO_3 濃度は NO_2 濃度よりも高いと報告している⁹⁾。また母子の雨水中の NO_2 濃度はきわめて低く、都市部での値の1/30以下であった。雨水中の NO_2^- はおもに大気中の NO_2 がwashoutされて生成されと考えられる⁶⁾。母子の大気汚染物質濃度はほとんど測定されていないが^{*}、これから考えると大気中の NO_2 濃度はきわめて低いと考えられる。

すでに雨水中の NO_3^- はおもにつきの5つの過程よりもたらされと考えた⁶⁾。a) 雲粒中に含まれる NO_3^- 、b) 粒子状 NO_3^- の取りこみ、c) 気体状 NO_2 の取りこみ、d) 気体状 HNO_3 の取りこみ、e) 雨水中で $\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$ への酸化。したがって、母子の雨水中の NO_3^- は雲粒中に含まれる NO_3^- を別にすればおもに細かい粒子状 NO_3^- (NH_4NO_3)と気体状 HNO_3 からもたらされていると考えて妥当である。

大気中の粒子状 Na^+ と Cl^- はおもに海水の飛散による海塩粒子に基づくと考えられている¹²⁾。しかしながら、粒子状物質中の Cl^-/Na^+ モル比は海水組成、

* 三田市が同時期に母子で測定したアルカリろ紙法による NO_2 濃度はきわめて低い、1976年8月:0.001>, 9月:0.001>, 10月:0.001, 11月:0.001(単位: $\text{NO}_2\text{mg/day}/100\text{cm}^2$)の値で、検出限界以下が多く、同市内の他地域の1/10~1/20に相当。

1.17より小さい値を示し、とくにその傾向は夏期に顕著である⁸⁾。

これは、(1)、(2)式により NO_2 、 H_2O と海塩粒子（おもに NaCl ）が反応し、粒子状物質中で Cl^- loss が生じたためと考えられる^{13) - 16)}。しかしながら、神戸で採取した雨水では Cl^-/Na^+ モル比は海水組成に近い値を示した⁸⁾。これは海塩粒子中に含まれる粒子状 Cl^- の一部分は(2)式により気体状 HCl となり、 Cl^- loss を生じるが、降雨によりこの HCl も NaCl ならびに NaNO_3 と同様に washout されることに基づくと考えた⁸⁾。

図-5に見られるように、母子の雨水中でも Cl^-/Na^+ モル比は海水組成に近い値となるが、特徴的なことは、海水組成にくらべて Na^+ loss が生じている点である。これは気体状物質である HCl は濃度減少せず遠くまで輸送されるが、 NaCl 、 NaNO_3 は粒径の大きな粒子に含まれるため、輸送途中で大気中から一部分除去されることに基づくと考えられる。

これらのことより、都市部（とくに臨海工業地帯）の後背地における雨水中成分と大気汚染物質との関係をつぎのように考えた。

図-11に窒素系大気汚染物質の輸送モデルを示す。都市部で排出された NO_2 は輸送途中で拡散、吸着ならびに化学反応などによってその濃度が減少し、数十 km 離れた山間部ではきわめて低い値になる。 HNO_3 は都市部ならびに輸送途中で NO_2 から光化学的あるいは熱化学的に生成され、濃度減少をある程度補いつつ、かなり遠方まで運ばれるとともに、 NaCl と反応し気体状 HCl と粒径の大きい NaNO_3 とを、 NH_3 と反応

Fig. 11 Proposed pathways for transport of N-compounds from urban to rural area

し粒径の小さい NH_4NO_3 を生成する。その際、 NH_3 は都市部での排出とともに、後背地でも自然的に発生されるため、初期の濃度の減少分がある程度補なわれるものと考えられる。

粒径の大きい NaCl ならびに NaNO_3 を多く含む粒子の輸送距離は短かいが、 NH_4NO_3 を多く含む粒径の小さな粒子、ならびに HCl などの気体状物質はかなり遠方まで輸送されると考えられる。一方、 SO_4^{2-} はおもに小さい粒径の粒子に含まれると考えられているが¹⁷⁾、気体状 H_2SO_4 などの寄与が小さいため、夏期の後背地では相対的に NO_3^- より量的に少なくなると考えられる。

これらのことを反映し、都市の後背地で採取された雨水では、都市部にくらべて NO_2^- 濃度が極端に低い値として出現し、 NO_3^- 、 Cl^- 、 H^+ 、 NH_4^+ 濃度は都市部に近い値として出現するものと考えられる。

参考文献

- 1) A.R.W.Marsh; *Atmos. Environ.*, **12**,401(1978).
- 2) たとえば;"湿性大気汚染(酸性降雨)について"環境庁大気保全局湿性大気汚染(酸性降雨)検討委員会(1975).
- 3) C.Brosset, *Ambio.*, **2**, (1973)
- 4) C.E.Junge,R.T.Werby, *J. Meteorol.*, **15**, 417(1958).
- 5) 玉置元則, 平木隆年, 渡辺弘; 兵庫県公害研究所研究報告 **11**,1(1979).
- 6) 玉置元則, 平木隆年; 日化 **1980**, 1169.
- 7) 玉置元則, 平木隆年; 日化, 投稿中(1980年 No.2 掲載予定).
- 8) 玉置元則, 平木隆年; 日化, 投稿中(1980年 No.2 掲載予定).
- 9) T.Okita,S.Morimoto,M.Izawa,S.Konno, *Atmos. Environ.*, **10**, 1085 (1976).
- 10) S.Kadowaki, *ibid.*, **10**, 39 (1976).
- 11) S.Kadowaki, *ibid.*, **11**, 671 (1977).
- 12) C.E. Junge, "Air Chemistry and Radioactivity", Academic Press, New York (1963) p157.
- 13) R.C.Robbins,R.D.Cadle,D.L.Eckhardt; *J. Meteorol.*, **16**,53 (1959).
- 14) 玉置元則, 平木隆年, 梅田弘志; 日本化学会第37春季年会予稿集 **1**, p304 (1978).
- 15) 角脇裕; 日化, **1980**, 141.
- 16) 小林裕樹, 池沢正, 渡辺弘; 大気汚染学会誌; **14**, 401 (1979).
- 17) A.E.Orel,J.H.Seinfeld, *Environ. Sci. Technol.*, **11**, 1000 (1977).