

(16) 有害化学物質の市街地への晴天時堆積とその雨天時流出

Dry Deposition of Toxic Chemical Substances on Urban Area and Their Runoff

尾崎 則篤*、平位 直也**、鴈田 孝広***、山口登志子*、福島 武彦*

Noriatsu OZAKI, Naoya HIRAI, Takahiro GANDA, Toshiko YAMAGUCHI, Takehiko

FUKUSHIMA

Abstract: Dry deposition of particulate matter, organic carbon and toxic chemical substances e. g. heavy metals, PAHs (polycyclic aromatic hydrocarbons) on urban area and their runoff were measured and compared. The measured deposition rates differed according to the shape of the sampling plate, the setting height and the sampling duration. In order to compare with the amount of runoff, we used the deposition rate obtained by the plate with very low edge placed on the ground during no precipitation period. The runoff amounts of toxic chemical substances varied with the discharge and suspended solids (SS) concentration, whereas their contents in particulate matter were inversely proportional to SS concentrations. In the case of heavy rain, the ratios of runoff amount to dry and wet deposition rates were largely greater than unity for SS and heavy metals mainly originated from soil (Fe, Mn), and were around unity for air-originated ones (Zn, Pb). In contrast, the ratios of all substances (heavy metals, Benzo(a)pyrene, organic carbon) nearly equaled to unity in case of weak rain.

Keywords: Dry Deposition, Runoff, Heavy Metals, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons(PAHs)

1. はじめに

現在、都市域においては下水道をはじめとする排水処理施設の整備が進んでいるにも関わらず、湖沼・内湾などの閉鎖性水域や河川の汚濁負荷は減少していない。これは、降雨に含まれる汚濁物質や、屋根・道路などに堆積した汚濁物質など、面的に散在した汚染源(ノンポイントソース)に対する対策が不十分であるためである。したがってノンポイントソースからの公共用水域への汚濁負荷に対する解析が、今後の公共用水域の水質改善のために重要なこととなってくるが、その汚染源は面的に散在しており、その把握は困難である。また、公共水域への流出は主に降雨によって生じるが、その調査自体の困難さ、現象の複雑さから流出現象の把握も困難である。

現在、これら懸濁物、有害化学物質の晴天時堆積、降雨時流出に関して多くの研究がなされているが^{1)~6)}、その動態の詳細に関しては、なお明らかでない点も多い。

そこで、本研究では、鉛、亜鉛や多環芳香族炭化水素類といった有害化学物質を主に対象に、晴天時にどの程度堆積し、雨天時にどの程度流出するかの動態を把握することを目的として、晴天時堆積及び雨天時流出の両方を測定し解析をおこなった。晴天時堆積量としては、晴天時に屋外に容器を設置し、そこへの粉塵、粉塵中含有物の堆積量を測定した。サンプリング期間、サンプリング地点、サンプリング高さを変えて測定をおこない、堆積量に影響を与える因子に関して考察し、また、雨天時流出と比較すべき測定方法に関して検討をおこなった。雨天時流出は、雨水及び排水溝からの初期流出水を採水し、SS濃度、化学物質濃度を測定する。晴天時堆積量と比較し、流出率(後述、(1)式参照)を算定するとともに、懸濁物中の化学物質含量からその起源を論じる。測定対象物質はSS及び重金属(本研究ではFe、Mn、Zn、Pb)、多環芳香族炭化水素類(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs)(本研究ではBenzo(a)Pyrene[B(a)P])、溶存有機炭素量(DOC)、強熱減量である。

2. 分析方法

2.1 多環芳香族炭化水素類(PAHs)の分析方法

本研究では、サンプルを重金属測定では定量ろ紙5B(孔径 $1.0\mu\text{m}$ 、ADVANTEC社製)、PAHs、強熱減量測定ではガラス繊維ろ紙GF/C(孔径 $1.2\mu\text{m}$ 、Whatman社製)でろ過し、懸濁態と溶存態に分離しそれぞれについて

*広島大学工学部土木工学教室 (Dept of Civil and Environ. Eng., Faculty of Eng., Hiroshima Univ.)

** (株)日水コン (Nissuikon Ltd.)

***広島大学大学院 (Graduate School, Hiroshima Univ.)

測定した。

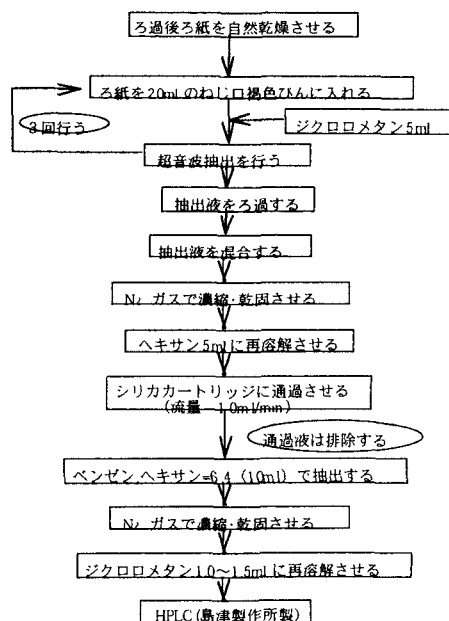
懸濁態のB(a)Pについては、浅田ら³⁾、余⁷⁾の方法をもとにし、実験を行い、分析方法の検討を行った。

B(a)P標準原液は粉末B(a)P (SUPELCO社製) をベンゼンに溶解し、1000mg/l原液を適時ジクロロメタンで希釈して使用した。抽出効率(抽出溶媒の検討、ソックスレー抽出と超音波抽出の比較)、クリーンアップ手法(固相抽出カートリッジの選択とそのコンディショニング方法)、標準添加法により添加量に対する応答の直線性を調べた結果、図-1に示した手順で分析を行うことに決定した。また、この方法で、シリカカートリッジからのB(a)Pの回収率は95%であった。

また、溶存態のB(a)Pの分析は以下の手順で行うこととした。

1. サンプルをGF/Cでろ過し、懸濁物を除去する。
2. ろ液をSep-Pak tC18カートリッジに流量1.0ml/minで通過させる。
3. 流量1.0ml/minでジクロロメタン10mlにより抽出する。
4. N_2 ガスで1.0~1.5mlに濃縮する。
5. 重量を測定後、HPLCに注入し測定する。

この結果、溶存態のB(a)Pの回収率は45%と低い値であった。余⁷⁾はBenzo(ghi)Pyreneの回収率が他の、より低分子のPAHsに比べて回収率が低下したと報告しているが、この理由としてPAHsの分子量の増加によって測定感度が低下したためと考察している。本研究でも同様のことが生じているものと考え、この回収率からサンプル濃度を推定した。



移動相: アセトニトリル: 水 = 9 : 1
流量: 1.0ml/min
カラム: Inertsil ODS-80A
(4.6mm×150mm, GL Sciences 社製)

図-1 懸濁物中のB(a)Pの測定方法

2.2 重金属の分析方法

本研究では懸濁態、溶存態の重金属ともに、分析方法には黒川らの方法⁹⁾を用いた。測定機器は原子吸光度計AA-6200 (島津製作所製) である。測定項目はFe、Mn、Zn、Pbとした。

2.3 溶存態有機炭素量(DOC)の分析方法

DOCはサンプル水をガラス繊維ろ紙GF/Cでろ過後、濾過水をTOC-5000(島津製作所製)で測定した。

2.4 強熱減量(IL)の分析方法

サンプルをGF/Cでろ過後、ろ紙を100℃、45分で乾燥、更に450℃で3時間加熱しその前後の重量差をILとした。また、相崎らの報告¹⁰⁾に基づき、強熱減量からPOCを推定した。相崎らにより霞ヶ浦中の様々な地域の低泥が調査され、その結果POC/IL比は $31 \pm 4.8\%$ 程度となり値は比較的安定していた。そこでPOC/IL比の平均値31%に基づきPOCを推定し、DOCと合わせて、TOCを算出した。

3. 調査方法

3.1 晴天時堆積量の調査方法

晴天時に表面が滑らかな縁の低いアルミトレイ(35cm×35cm、縁高さ2cm、表面処理無し)を設置し堆積量を測定した。容器に堆積した粉塵をmilli-Q水250mlで洗い流した後、ろ過し、懸濁物とろ液に分離し、それぞれに含まれる化学物質を測定した。測定は広島大学工学部A-2棟(8階建)屋上で行った。

設置条件が測定値に与える影響を調べることを目的とし、設置期間、設置高さを変え、各々の堆積量を測定した。アルミトレイは、幅及び奥行きがアルミトレイよりも小さいブロックを架台として屋上に設置し、設置高さは床からアルミトレイ底面下部までの距離とした。また、「床面からの高さ0cm」とは、ブロックを用い

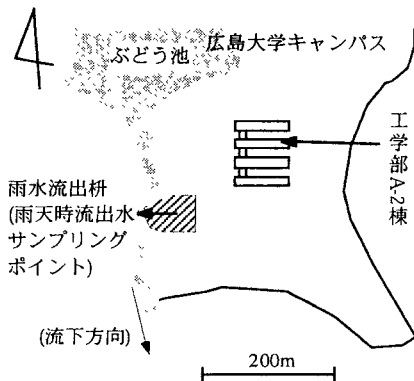
ず床面にアルミトレイの底面下部を接触し設置したことを意味する。異なる設置高さでの測定によって、地面付近の空気力学的な差によって生じる結果の違いを見ることが出来る。

また、周辺環境（特に交通量）の違いによる堆積量への影響を検討するために、3つの地点で堆積粉塵、化学物質の堆積量を測定した。サンプリング地点は、広島大学工学部A-2棟屋上、東広島市内西条バイパス、広島大学農場とした。東広島市内西条バイパスは交通量の多い道路のごく近傍であった。

3.2 雨天時流出量の調査方法

1997年7月から11月までのうち4回の降雨(1997年7月26日、9月16日、11月12日、11月25日)について降雨及び流出水のサンプリングを行った。サンプリング期間は、全流出が終了するまでとした。本研究におけるサンプリングにおいては、いずれも3時間内にはば流出が終了した(後述、図-6参照)。流出水については2時間までは15分ごと、それ以降の1時間は30分ごとにサンプリングした。降雨については、11月25日のみサンプリングを

行った。雨水に関しては3時間中の総量をサンプルとした。そのサンプルをろ過し、懸濁物とろ液に分離し、それぞれに含まれる化学物質を測定した。サンプリング地点は広島大学キャンパス内の小河川に流入する雨水枡とした。図-2にサンプリング地点及びその集水域を示した。集水域面積は $2.4 \times 10^3 \text{ m}^2$ 、うち不浸透域面積は $4.6 \times 10^2 \text{ m}^2$ である(不浸透域面積率19%)。集水域は現地観測による傾斜の方向及び雨天時の現地観測に基づいて定めた。集水域は芝生と舗装道路が占めており舗装道路面を不浸透域とした。



*斜線部内がサンプリングポイントに対する可能最大集水域(集水域面積 $2.4 \times 10^3 \text{ m}^2$ 、うち不浸透域面積 $4.6 \times 10^2 \text{ m}^2$)

図-2 雨天時流出水サンプリングポイント

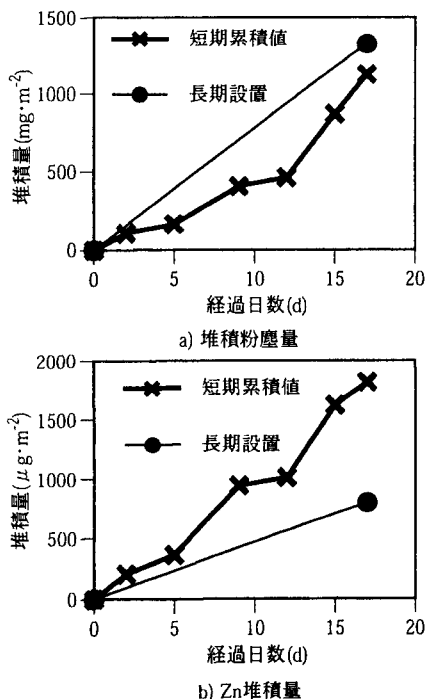


図-3

捕集トレーの短期間設置と長期間設置による粉塵、化学物質量堆積量の比較 (1997年10/16より17日間)

4. 晴天時堆積量の調査結果

4.1 容器の設置期間の違いによる堆積量の違い

アルミトレイを短期間設置したときの堆積量の累積値と、長期間設置した場合の堆積量を同期間で比較した(アルミトレイ設置高さ:0cm)。堆積粉塵量及び化学物質の例としてZnの堆積量を図-3に示す。長期設置の測定時点である設置後17日目同士で比較すると、堆積粉塵においては短期累積値/長期設置値は0.85と近い値であったがZn堆積量においては2.3と値に大きな開きがあった。これは他の成分に関しても同様の傾向であった。

これは、一旦堆積した粒子の再飛散の影響であると考えられる。容器への堆積量は、容器に入ってくる量と容器から再飛散する量によって決まる。容器へ入ってくる量は短期間設置、長期間設置ともに同程度であろう。しかし、再飛散量は、短期間設置では細かい頻度でアルミトレイを取り込む分、値が小さくなると考えられる。一般に化学物質は微粒子により多く含まれていると考えられ¹⁰⁾、より再飛散しやすいと考えられる微粒子は多く再飛散し、そしてそこに多く含まれると考えられるZnに関しては短期累積値と長期設置の値との差が生じたものと考えられる。一方より大きな粒子の再飛散はそれ程多くはなくそのため堆積粉塵に関しては差が生じなかったものと考えられる。

4.2 容器の設置高さの違いによる堆積量の違い

アルミトレイの床からの設置高さを0、50、100cmと変え、それぞれの堆積量について比較した。各設置高さでの堆積粉塵

量、Znの堆積量を図-4示す。堆積粉塵では、高さが上がるにつれて堆積量が急激に減少している。しかし、Znではその違いは少ないといえる。設置高さの違いは堆積粉塵量には大きな影響を与えているが、Znに関してはその影響は比較的少ない。設置高さが低い方が堆積粉塵量が多いのは周囲の地面からの土粒子の影響であると考えられる。一方、Znなど化学物質に関しては土粒子よりも降下してくる粉塵の寄与が主要であるため、設置高さが低い場合でも比較的值が変わらないと考えられる。

4.3 周辺環境による堆積量の違い

周辺環境の違いによる堆積粉塵、重金属の堆積量への影響を検討した。図-5に堆積粉塵およびZnの結果を示す。西条バイパスでの堆積量だけが突出している。これは本サンプリング地点のみが交通量の多い道路(平均平日交通量:14000台/日、うち大型車8000台/日、平成6年度建設省調べ)のごく近傍であり、特にその交通量の違いが堆積量の違いとしてあらわれたものと考えられる。一方、A-2棟と広島大学農場とでは、殆どの項目でその堆積量は近い値であった。

4.4 雨天時流出と比較するべき晴天時堆積量の測定方法

以上の結果から、設置期間、設置高さ、周辺環境のいずれもが堆積量に大きな影響を与えることがわかる。このことからまず雨天時流出と比較するためには雨天時のサンプリング地点と同じか、なるべく近い地点、環境でおこなうことが必要であることが分かる。また、より自然の環境に近くするため設置期間、設置高さを決めねばならないことがわかる。本研究では以上のことを考慮して、雨天時流出と比較する晴天時堆積としては、アルミトレ設置高さ0cmとし、対象とする降雨に先行する晴天期間中継続して設置して得られた結果を用いることとした。またサンプリングポイントは広島大学A-2棟屋上とした。サンプリングポイントは雨水の集水域で行うことが最も望ましいが、キャンパス内で人通りもあり設置が困難である。そこで集水域の近傍であり周辺の交通量の状況も近似しているA-2棟屋上で晴天時堆積量を測定することとした。

5. 雨天時流出量の調査結果

サンプリングを行った各降雨の特性を表-1に示した。降雨特性は、広島大学理学部植物園内で連続的に観測され公開されている1時間値に基づき算出した。また降雨時における調査結果を、1997年11月12日、同11月25日の降雨での雨水枡からの流出流量、SS濃度、Zn濃度、B(a)P濃度の経時変化を例として図-6に示す。11月12日は、最初に強く、徐々に弱くなるという降雨であり、逆に11月25日は最初は弱く、途中から急激に強くなる(数10分間程度)という特徴の違いが見られ

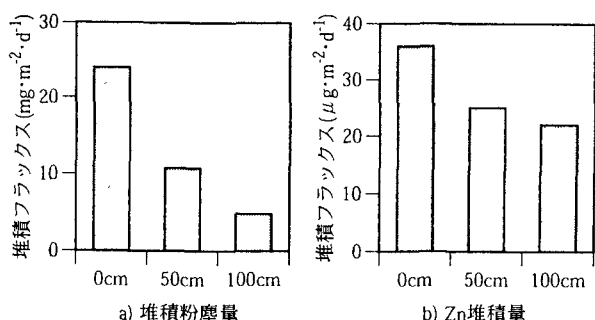


図-4

設置高さの違いによる粉塵、化学物質の堆積値の違いの比較 (1997年12/3・5, 12/13・15の2回の測定の平均値)

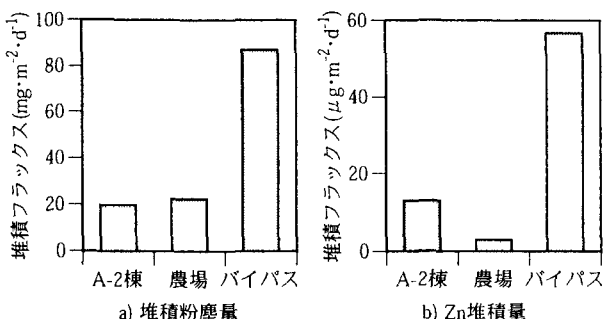


図-5

周辺環境の違いによる粉塵、化学物質の堆積値の違いの比較 (1997年12/3・5, 12/13・15の2回の測定の平均値)

表-1 サンプリングした各降雨の特徴

測定年月日	先行晴天日数(日)	サンプリング時間内総降雨量(mm)	雨水枡よりの総流出量(m³)	流出率(%)	最大1時間当降雨強度(mm/hr)
1997/07/26	8	4.0	1.9	20	7.0
1997/09/16	0	9.8	3.0	13	7.0
1997/11/12	27	6.1	1.3	9	7.5
1997/11/25	2	6.8	16	100	4.5

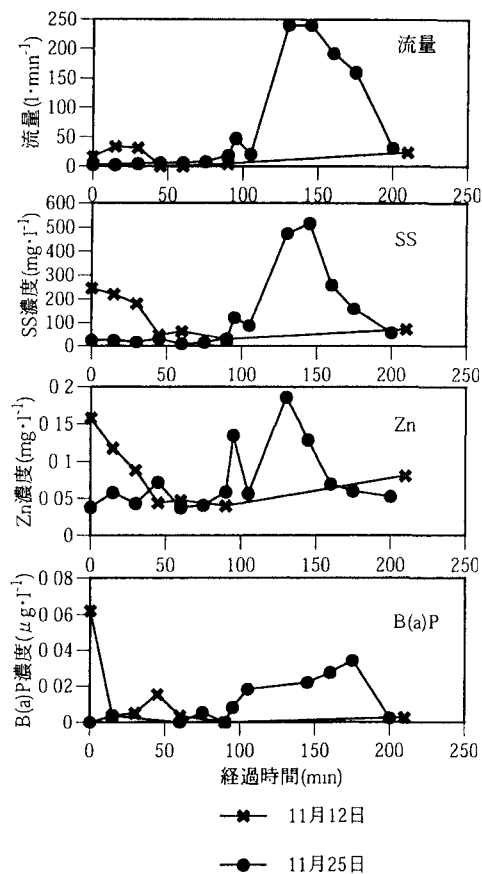


図-6 流量、SS、Zn、B(a)Pの流出量の経時変化

化学物質の起源

調査対象集水域内の土壌中含量を測定し、雨天時流出水中の単位SS量中含量と、堆積粉塵および土壌中の含量とを比較した。

各降雨の雨天時流出水中の単位SS量中含量の最大値と最小値、また堆積粉塵中の含量の中央値と土壌中の含量の平均値を太横線で、それらの変動幅を網掛けで図-8に示す。Fe、Zn、及びPOCとB(a)Pの測定結果を示した。なおB(a)Pは土壌中には検出されなかった。

ばらつきはあるものの、概ね、雨天時流出水中の単位SS中含量の最大値は堆積粉塵中の含量の範囲であり、またその最小値は土壌中の含量の範囲である。雨天時に流出してくる化学物質が大気からの堆積粉塵と土壌に含まれているものとの混合物であることがこのことから推測される。図-7の結果と合わせて考察すると流出する懸濁物は堆積粉塵と土粒子の混合物であり、SS濃度が高いときは土壌からの流出が多いと考えられる。しかしFe、Mnは土壌にも多く含有されていると考えられるため土粒子が混合しても含量の低下が少ないと考えられる。

6.2 晴天時堆積量と雨天時流出量の比較(補正1)

流出水中の化学物質の起源について検討するために、雨天時に流出する懸濁物の化学物質含量と堆積粉塵、土壌のそれぞれの含量を比較する。

た。流量が増加すると、SS濃度、Zn濃度、B(a)P濃度も増加している。

11月25日の降雨に関しては、サンプリング期間に雨水を採取し、雨水中濃度を測定した。サンプリングは約3時間であり、その全量を用いて濃度を測定した。結果、Mn、B(a)Pは不検出、SSは1.4mg/l、Feは0.5mg/l、Znは0.04mg/l、Pbは0.1mg/l、TOCは1.8mg/lであった。

SS濃度が増加すると重金属濃度も増加するという傾向が見られたが、重金属の変化はSS濃度と比較すると少ないようである。そこで単位SS量あたりに含まれる重金属量(単位SS量中含量)について検討した。各降雨ごとにSS濃度と単位SS量中含量との相関をとった結果をFe、Znを例として図-7に示す。また各降雨毎の回帰直線も記した。全体としては、SS濃度が増加すると単位SS量中含量は減少している。その傾きはFeが最も緩やかでMn、Zn、Pbの順で傾きが急になっていた。

また各降雨毎の回帰直線を見るとその傾きは降雨毎にかなり大きく異なっており、降雨毎に傾向が異なっているのが分かる。流出する懸濁物は堆積粉塵と土粒子の混合物であり、先行晴天日数、降雨強度などが混合比率に影響を与えていると考えられる。したがって、流出水中の重金属含量はSS濃度だけでは推定が不十分であり、降雨毎にその流出量を見ていく必要があることが分かる。

6. 晴天時堆積量と雨天時流出量の比較

6.1 流出水中の

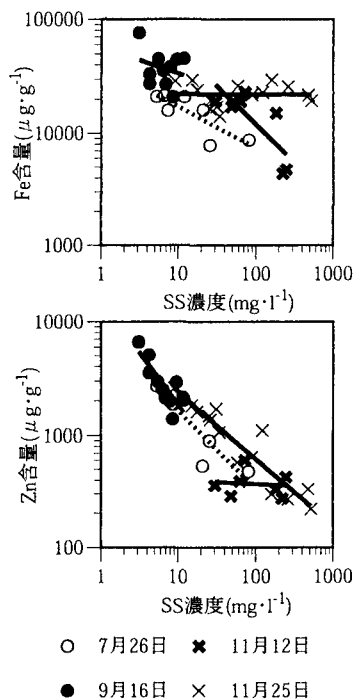


図-7

SS濃度と重金属の単位SS量中含量との関係

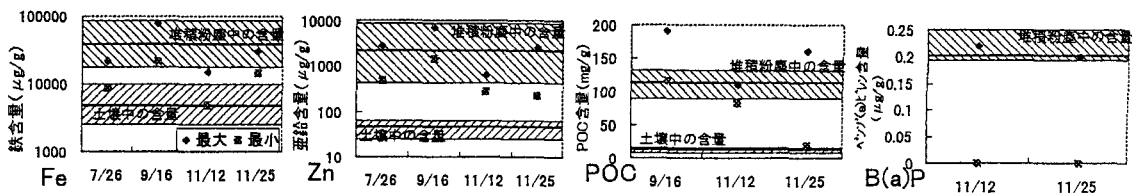


図-8 流出水中の懸濁物中の有害化学物質の含量

集水域 $S(m^2)$ に堆積する単位 m^2 あたりの晴天時堆積量を $A(g/m^2)$ 、降水中濃度を $C(g/m^3)$ 、総降水量 $P(m)$ の降雨での雨天時流出量を $D(g)$ とすると、全降下物量 $AS+CPS(g)$ の流出率 R は(1)式で表される。

$$R = \frac{D}{A \cdot S + C \cdot P \cdot S} \quad (1)$$

降雨ごとに各化学物質の R を調べることで、堆積量と流出量との関係を調べた。なお、11月25日以外の降雨に関しては11月25日の降雨中濃度 C を推定値として用いた。

まず、雨水の流出は不浸透域のみから生じると考え S を定め、全降下物量 $AS+CPS$ と雨天時流出量 D を比較したが、11月25日の降雨では全項目について R が20~100程度であった。他の降雨については全項目に関して R は0.2~10の範囲に収まった。11月25日の降雨の際には、短時間ながら非常に降雨強度の強い時間帯があり、その時間帯に不浸透域以外の流域からの流出があったと考えられた。

そこで降雨によって表面流出の生じる面積は異なると考え、真の流出面積 S' を降雨量と流出水量との比較から推定することを考えた(補正1)。雨水総流出量 $Q(m^3)$ とすると降雨時に流出してくる真の流域面積 S' は(2)式で表される。

$$S' = \frac{Q}{P} \quad (2)$$

これにより算出された S' は7月26日の降雨については $4.7 \times 10^2 m^2$ 、9月16日は $3.1 \times 10^2 m^2$ 、11月12日は $2.2 \times 10^2 m^2$ 、11月25日は $2.4 \times 10^3 m^2$ であった。11月25日以外の降雨における S' は不浸透域の面積に概ね近く(図-1)雨水流出は主に不浸透域から生じたと考えられる。一方11月25日の S' は全集水域面積に近く、浸透域も含む集水域全域から流出が生じたと考えられる。11月25日の降雨時には、比較的短時間であるが非常に強度の強い降雨が瞬間的に生じた。その他の点では降雨の降雨の特徴には他3回の降雨と比較して際だった違いはなく(表-1)、他と異なる流出は、その短時間の強い降雨のために生じたものと考えられた。

水の流出率で補正後の物質の R は(3)式で表される。

$$R' = \frac{D}{A \cdot S' + C \cdot P \cdot S'} \quad (3)$$

7月26日、11月12日、11月25日の降雨についてこの R' について検討した結果を図-9に示す。なお、9月16日の降雨に関しては、その前日にも降雨があったため、晴天時堆積との比較は困難であると考え、ここでは省いた。

全体としては R' は1を中心として分布しており、晴天時に堆積した堆積粉塵や化学物質が、概ね全量雨天時に流出水として流出しており、本研究方法によってその総体を捉え得ていることが分かる。また、全降下物 $(A \cdot S' + C \cdot P \cdot S')$ のうち、晴天時堆積 $(A \cdot S')$ の占める割合は、SS: 75~97%、B(a)P、Fe、Mn: 100%、Zn: 38~80%、Pb: 9~59%、TOC: 73~99%と計算された。項目間、或いは項目内ではばつきはあるものの本研究においては晴天時堆積の占める割合は全体的に高い傾向にあった。

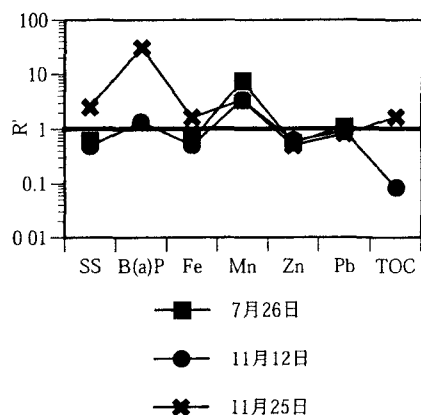


図-9 各測定物質の R'

懸濁物（SS）の流出率をみると、11月25日は依然流出のほうが多い。これは排水溝周辺の芝地から土壌が侵食されて流出してきたためと考えられる。これに対し、7月26日、11月12日の降雨ではR'が1に近く、流出水中の懸濁物の大部分は堆積粉塵であったと考えられる。

TOCは11月12日の降雨では流出量が非常に少ない。この降雨の先行晴天日数は27日と極めて長く、その期間に分解した可能性も考えられるが、その場合9割程度が分解されたことになる。しかし堆積物がそれほど分解されるとは考えにくく、原因は不明である。また、Mnの流出率は3回とも共通して高かったが、晴天時堆積量、雨天時流出量共に測定は個別に行ったものであり、データ処理の段階で共通の偏りを生じている可能性は少ない。流出率が高かった原因については不明であった。

6.3 雨天時流出量と晴天時堆積量の比較（補正2）

11月25日の降雨は流量が大きく、また最大SS濃度も他の降雨と比較して2~50 倍程度高かった。これは、不浸透域からの土壌の流出のためではないかと推測された。また、 $R' > 1$ の成分は、B(a)P、Fe、Mnであり、 $R' < 1$ の成分はZn、Pbである。B(a)Pを例外として、土壌中により多く含まれる成分において $R' > 1$ となっており、これらのことから不浸透域からの土壌流出が推測できる。そこで11月25日の降雨において過剰に流出したSS成分は土壌粒子であると仮定しその分をDから差し引いた値を用いて流出率 R'' を計算した。

雨天時流出SS量D(SS) (g)、晴天時堆積粉塵量A(SS) (g/m²)、降水中SS濃度C(SS) (g/m³)、対象物質の土壌中含量B (g/g)とすると、 R'' は以下のように表される。

$$R'' = \frac{D - \{D(SS) - (A(SS) \cdot S + C(SS) \cdot P \cdot S)\} \cdot B}{A \cdot S + C \cdot P \cdot S} \quad (4)$$

このようにして計算した R'' を R' (図-9)の値と共に図-10に示す。

Fe、Mn、TOCでは、 R' よりも R'' のほうが、1に近くなった。一方、B(a)Pには補正効果がない。

B(a)Pの流出が大きく計算された理由を考察する。11/12の R' を見ると(図-9)、その値は比較的1に近い。そこで11/12と11/25の降雨

状況の差を考えると、主な違いとして不浸透域からの流出の有無が挙げられる。11/25日の降雨において過剰流出として計算された部分は、不浸透域からの流出であったと考えられる。その不浸透域への晴天時堆積が適切に推測されなかった理由としては、次の2つが考えられた。(1)通常の降雨では流されない長期堆積物が流出する場合、及び(2)アルミトレーを用いた晴天時堆積の模擬結果を土壌面の堆積へ適用することが適切でなかった場合である。

(1)であれば、Zn、Pbなども同様に $R' > 1$ になるのではないかと考えられるが、今回これらの成分は比較的1に近い値が得られており、可能性としては考えにくい。一方B(a)Pは光分解をしようという点でZn、Pbとは異なる挙動をする可能性がある。アルミトレー面での光分解は、不浸透面であるアスファルト面には近かったが、土壌面での光分解は、それらの値よりも小さく、そのため不浸透面への堆積を過小に見積もってしまったのではないだろうか。PAHsはその周囲の状態によってかなり反応性が異なると言われており¹⁾、アスファルト面と芝生で値が大きく異なる可能性がある。

これらから、通常の降雨では化学物質は主に不浸透面から流出し、降雨強度が強いときには、不浸透面に堆積した分の流出が加わってくると考えられる。降雨による流出を考えるには、降雨強度によってどのような領域から流出してくるのかを考慮することが重要であることが分かる。

7. まとめ

粉塵、重金属(Fe、Mn、Zn、Pb)、B(a)P、TOCの市街地への晴天時堆積およびその雨天時流出について解析を行った。それにより以下の知見を得ることが出来た。

(1) アルミトレーを用い設置期間及び設置高さを変え晴天時堆積を測定した結果、設置期間、設置高さ、いず

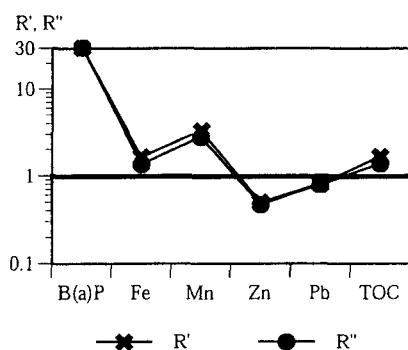


図-10
11月25日の測定における R' (補正1)
と R'' (補正2)との比較

れもが堆積量に影響を与えることが確認できた。アルミトレイからの再飛散が設置期間による堆積量の違いに影響を与え、周囲の土粒子の混入が設置高さの違いに影響を与えと考えられた。

(2) 晴天時堆積量は周辺環境にも影響を受ける。影響を与える主要な因子は周辺交通量であると考えられた。

(3) 晴天時堆積を雨天時流出現象と比較するにはサンプリング容器を地表面に置き、先行晴天期間を通じて容器を置き続けることが望ましいと考えられた。

(4) 雨天時流出においては、懸濁物、化学物質の流出は流出流量に依存性があった。流出水中のSS濃度が増加すると単位SS重量あたりの重金属含量は減少することが確認された。これは、土壌成分がSSとして排水溝へ流入することにより、重金属濃度が希釈されるためと考えられた。

(5) 晴天時堆積量と雨天時流出量とを比較することによって、通常の降雨であれば先行晴天期間の晴天時堆積のほぼ総量が、1回降雨によって流出することが分かった。通常の降雨ではその流出率は各成分でおおむね1に近い値であったが、降雨強度の強いときは、成分により1より大きな値を得た。これは、浸透面に堆積し通常の降雨では流出しない物質が流出したためであると考えられた。

(6) 本研究でサンプリングを行った降雨強度(7mm/hr程度)では、主に不浸透面のみ(舗装道路)から直接流出した。しかし、極く短期間(1時間以下)の非常に強い降雨によって、浸透面(芝生)からも流出しうることが分かった。化学物質なども含んだ流出現象を把握しようとする場合、より短いタイムスパンの降雨現象を把握することが重要であると考えられた。

各降雨の特徴により、それぞれの流出形態、流出率が異なる。よって、1降雨で晴天時堆積量と雨天時流出量を比較することも重要であるが、より長期に渡り晴天時堆積量と雨天時流出量を比較するという観点も必要になってこよう。その場合、堆積量は場所による変動、日による変動が大きいため、いくつかの場所での堆積量の累積値を出すことが必要になってくると考えられる。

本研究は財団法人住友財団の環境研究助成を受けたこと、記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 和田安彦、三浦浩之：都市域ノンポイント汚染源負荷の堆積・流出挙動モデルと流出制御に関する研究、土木学会論文集、No. 559/VII-2, pp. 61-71, 1997
- 2) 山田義行：降雨時における高速道路路面からの排水に関する調査・研究、土木学会第52回年次学術講演会、pp. 14-15, 1997
- 3) 浅田素之他：都市域における降雨初期雨水排水中のベンゾ(a)ピレンの挙動、水環境学会誌、Vol. 19, No. 11, pp. 904-909, 1996
- 4) 高島英二郎他：手賀沼流入河川における汚濁負荷量の流出特性および年間負荷量の把握、水環境学会誌、Vol. 18, No. 4, pp. 297-306, 1995
- 5) 市木敦之他：集水域における下水道整備進捗に伴う琵琶湖流入汚濁負荷量の変化、水環境学会誌、Vol. 19, No. 2, pp. 109-120, 1996
- 6) Sharma, M. et al. : Dry deposition of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in ambient air, J. Environ. Eng., Vol. 41, pp. 325-336, 1994
- 7) 余順：多摩川および東京内湾部における表層堆積物中の多環芳香族炭化水素、水処理技術、Vol. 28, No. 6, pp. 379-385, 1987
- 8) 黒川岳司：廃棄物埋立埋地層内における重金属固定メカニズムの解明、広島大学工学研究科修士論文、1997
- 9) 相崎守弘他：霞ヶ浦底泥の物性と栄養塩の分布特性(2)炭素、窒素、及びリンの分布、国立環境研究所報告、No. 51, pp. 175-189, 1984
- 10) 鈴木静夫：大気的环境科学、内田老鶴圃、1993, pp. 78-79
- 11) Baek, S. O. et al. : A review of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: sources, fate and behavior, Water, Air, and Soil Pollution Vol. 60, pp. 279-300, 1991