収集雨水水質に影響する沈積じんの検討

雨水の水質性状と有効利用に関する研究 その2

THE FALLING DUST AS THE QUALITY FACTOR OF COLLECTED RAINWATER

A study on the beneficial use of rainwater in connection with water quality Part II

越川 康夫*, 村川 三郎**

Yasuo KOSHIKAWA and Saburo MURAKAWA

The quality of the collected rainwater and the falling dust as the quality factor were examined in the rainwater usage system.

The relation between the weather elements and the collected rainwater quality was analyzed. Moreover it was shown that a source of pollution could be estimated from the velocity and direction of the wind. The falling dust that it accumulates during the rainless time shows it with the importance in the pollution of the rainwater.

The falling dust was collected with the device that presumed a glass slide. The falling dust diameters were measured with a microscope. The falling dust almost increased during rainless time and it decreased by rain. The degree of falling dust showed the amount of decrease when it rains. The falling dust has positive correlation in turbidity, COD and rainless time.

The rainwater-collected experiment was carried out with three cases in the initial rainwater exclusion quantity. Each stored rainwater quality was almost the same. However, the difference in the settling impurities was large, and the effect on a removal of the polluted things by the initial rainwater exclusion was admitted the settling impurities. The large falling dust of the easy grain way of the precipitation could be considered with the settling impurities.

Keywords: : Rainwater usage system, Water quality, Falling dust, Weather element, Rainless time, Bacteria

雨水利用システム, 水質, 沈積じん, 気象要素, 無降雨時間, 細菌

1. 序

前報¹⁾において, 筆者らは, 東広島市における雨水収集実験から, 雨水の汚濁状態を明らかにするとともに, 雨水の水質変化過程を, これまで示されている雨滴生成過程および雨滴降下過程に雨滴着地・収集過程を加えた3過程として, これらの過程の影響を考慮した収集雨水の汚濁物量の推定式を提示し, それに基づく初期収集雨水の排除量を「水道水水質基準」を指標として検討した。

本論文では, 雨水水質の決定要因を気象要素と水質分析値より検討後, 「水道水水質基準」を満足しない水質項目の濁度とCODの主要因と考えられる降雨前に雨水収集面に堆積する沈積じんと雨水水質の関連を検討した結果を記述する。なお, 本論文は, 既口頭発表論文「参考文献2)~8)」を基に, 加筆・再編している。

2. 収集雨水水質とその水質変動要因

利用を目的として貯留槽に収集される雨水(以後, 収集雨水と記す)は, 前報で示した収集前の水質変化3過程の定義からは, 以下のような機構で水質が変化すると考えられる。

(1) 雨滴生成過程 (rainout)

雲の中で雨滴が生成し, 大気中の汚濁物が雨滴中に取り込まれる過程。最初の雨水水質を決定する雨滴生成時の凝結核となるエアロ

ゾルは, 発生源により海塩粒子, 土壌粒子, 燃焼生成物, 気体成分の固化の4種に分類され⁹⁾, その量には, 周囲の状況も関連するが, 風向, 風速が大きな影響を与えるものと考えられ, 雨滴の生成には気温, 湿度が関与するといえる。しかし, 凝結核となるエアロゾルの径は $0.1\mu\text{m}$ 以下¹⁰⁾と微小なため, この過程における汚濁物濃度への影響はきわめて少ないと考えられる。

(2) 雨滴降下過程 (washout)

雨滴が大気中を降下し, 大気中に存在するエアロゾル, 気体を取り込みながら汚濁物濃度を上昇させていく過程。雨滴降下空間の湿度が低い場合, 雨滴水分の蒸発があり, 雨水中の汚濁物濃度は増加する。降雨が継続する場合, 降下空間のエアロゾルおよび汚濁物濃度は減少するため, 雨滴中の汚濁物濃度も減少する。しかし, 新たにこの過程に乾燥空気が流入した場合には一時的に雨滴中の汚濁物濃度は増加することもある。そのため, この過程の取り込み量は, 風向, 風速, 気温, 気圧, 湿度が影響するといえる。

(3) 雨滴着地・収集過程 (flushout)

雨滴が大気中を降下後に, 雨水収集面と接触し, 面上の汚濁物を取り込み後, 貯留槽等に収集される過程。これは, 筆者らが新たに定義したものである。雨水収集面の材質によっては, 雨水吸収による雨水量減少, 蓄熱された収集面での水分蒸発による化学成分濃度

* 広島大学工学部 助手
** 広島大学工学部 教授・工博

Research Assoc., Faculty of Engineering, Hiroshima Univ.
Prof., Faculty of Engineering, Hiroshima Univ., Dr. Eng.

表-1 水質分析項目

測定項目	使用機器	定量下限
濁度	積分球式濁度計	0.01(度)
電導度	電気伝導度計	0.1(μ S/cm)
pH	pHガラス電極計	-
COD	「JISK-0102 1981 17」に準拠	0.1(mg/l)
NO_3^-	イオン電極用電位差計	0.1(mg/l)
Cl^-	イオン電極用電位差計	0.1(mg/l)

表-2 気象観測項目(常時)

観測項目	センサー	測定範囲	感度	精度
風向・風速	矢羽根型サーボシンクロ	540°	-	3°
日射量	差温式	-	0.1cal/cm ² ・分	0.5%
気温	サーミスタ式	-20~80℃	-	-
相対湿度	毛髪差動変圧式	0~100%	0~100%	5%
雨量	転倒ます型雨量計	-	0.5mm	2%

表-3 収集雨水分析値の相関行列

	濁度	電導度	H^+	COD	NO_3^-
電導度	0.161	-	-	-	-
H^+	-0.190	0.598*	-	-	-
COD	0.793**	0.512	0.120	-	-
NO_3^-	0.738**	0.349	0.113	0.691**	-
Cl^-	0.097	0.792**	0.064	0.358	0.172

(**:1%有意, *:5%有意)

表-4 初期1mm 収集雨水分析値と気象要素の相関係数

気象要素	濁度	COD	NO_3^-	Cl^-
無降雨時	0.673*	0.752**	0.353	-0.268
南風積算風速 (無降雨時夜間)	0.472	0.556	0.445	-0.050
西風積算風速 (無降雨時)	0.297	0.588	0.218	0.230
南風平均風速 (無降雨時夜間)	0.693*	0.432	0.735**	-0.158
西風平均風速 (無降雨時)	0.041	0.507	0.107	0.800**

(**:1%有意, *:5%有意)

の上昇が考えられる。また、雨水収集面上堆積物の雨水への混入・溶解があり、雨水の汚濁物濃度が上昇する。この濃度上昇速度は、雨滴降下過程と同様、時間の経過に伴う堆積物の減少により低下する。この過程における雨水吸収・蒸発および堆積物質量は前記2過程と同様に、風向、風速、気温、湿度の影響を受けるが、降雨時までのそれらの履歴によっても変動すると考えられる。さらに日射量、降水量、降雨強度の影響もあるといえる。

以上述べたように、雨水水質が変化する3過程では、汚濁物の発生源と気象要素が関与すると考えられる。以降、これらの事項を考慮しながら、収集雨水の汚濁要因を検討する。

3. 雨水収集実験による水質変動要因の検討

前報で述べた1982-83年の雨水収集実験の雨水分析値と同時に測定した気象要素の値を用いて雨水汚濁要因の基礎的検討を行う。

3.1 検討対象

(1) 雨水サンプル

前報の水質分析表に示した1982年11月5日から12月11日および1983年7月5日から9月1日の降雨量1mmごとに最高5mmまで採取した雨水77本を対象とした。

(2) 水質分析項目

水質分析項目は、濁度、電導度、COD、pH、 NO_3^- 、 Cl^- の前報と同じ6項目である。各項目の使用機器、定量下限を表-1に示す。

(3) 気象観測項目

上述した事項により気象観測項目は、風向、風速、日射量、気温、湿度、降雨量、気圧の7項目とし、雨水水質に影響が大きいと判断される前者6項目は常時観測項目に、気圧は随時観測項目とした。表-2に常時観測項目の測定装置の種類と仕様を示す。これらは広島大学工学部建築環境学実験棟の屋上で測定した。

3.2 水質分析項目間の関連分析

雨水の水質分析項目間の関連を検討した。表-3に各分析値間の相関行列を示す。前報と同様に電導度は、その測定値を溶解性物質の尺度として使用するため、pHより H^+ 濃度を算定し、 H^+ を Na^+ に置換した値(mg/l)を用いて修正した。pHは他の項目と同様の次元にするため、水素イオン濃度(H^+ , mg/l)に変換している。表より、濁度とCODにおいて0.793、電気伝導度と Cl^- において0.792と強い相関が認められるが、濁度とCODは主に有機性の汚濁物指標、電気伝導度は塩量の指標¹¹⁾であることを考えれば、雨水は水道水のような一般の水と同様の性状があるといえる。

3.3 水質分析項目と気象観測項目

各化学成分濃度が高い1mmの初期雨水水質と気象要素との関連について相関分析を用いて検討した。水質項目は、前述の6分析項目であり、気象要素には、降雨のない一雨間の5時間以上の積算時間(無

降雨時間と略記)、8方位積算風速、相対湿度、気温、日射量、降雨時の風速、相対湿度、気温等の気象要素から算定項目として計24項目を選択した。

表-4上段に水質項目と気象要素の相関が高い組み合わせを示す。無降雨時間と濁度、CODにおいて0.673、0.752と強い正の相関がみられる。これは、濁度とCODが、主に、雨水収集面上に堆積する汚濁物に由来し、その汚濁物量は無降雨中に増大するためと考えられる。CODでは、南風・西風積算風速との関連も認められる。ここで、積算無降雨時間の影響を除いた収集雨水汚濁物の単位時間あたり増分への気象要素の関連検討を目的に、平均した気象要素と水質項目を無降雨時間で除した値の相関係数を算定した。相関係数の高い組み合わせを表-4下段に示す。濁度と夜間南風の相関係数が0.693、 NO_3^- と夜間南風の相関係数が0.735、 Cl^- と無降雨時西風の相関係数が0.800と高い値を示した。関連の強さから、南風は測定点の南側に所在するごみ焼却場の排煙が、西風は測定地点の西部に位置する広島市方面からの風に含まれる海塩粒子または工場を発生源とする燃焼生成物が、それぞれこれらの水質項目に関与しているものと示唆される。以上のように、収集雨水水質にはその機構を説明可能な気象要素を関連させることができる。

水質面から雨水の利用を考慮した場合、問題となるのは、前報で「水道法」に基づく「水質基準に関する省令」の基準を超えた初期収集雨水の中のCODおよび濁度であるが、この2項目は無降雨時間と強い関連を持ち、通常の一般気象要素の風向、風速、温度、湿度とは関連が弱い。これら雨水の汚濁は、主に、無降雨時間中に雨水収集面に増加する物質、すなわち、降雨と降雨の間に雨水収集面に堆積する沈積じん起因すると考えられる。よって、前述の3過程の中で「雨滴着地・収集過程」が最も雨水利用の際に問題とすべき過程であり、水質面から雨水利用システムを検討する上で、この過程での沈積じん挙動を解明することが重要となる。なお、本論文で述べる沈積じんは、沈積じん測定法¹²⁾で測定対象となる物質で、落下じんと降下ばいじんの総称とする。

4. 沈積じんの測定と挙動

本章においては、沈積じんの測定結果に基づき、沈積じんの挙動を示し、収集雨水水質への沈積じんの関与を明らかにする。

4.1 沈積じんと収集雨水水質に関連する既往の研究

沈積じんと雨水水質の関連について検討した事例は見あたらないが、道路上や側溝(雨水流出面)に貯まった汚濁物が降雨時に流出し、下水道負荷上昇や水系汚染を発生させる非特定汚染源¹³⁾の機構は沈積じんによる雨水汚濁機構と類似していると考えられる。しかし、これらの研究では、雨水流出面での汚濁物の量に関しては検討されているが、汚濁物の性状も含めた汚濁機構については明らかにされていない。

地表面に落下する前の沈積じんは大気中の浮遊粉じんの一部を構成しており、沈積じんと浮遊粉じんは密接な関係にある。環境庁大気保全局が集計した降下ばいじんと浮遊粉じんの各測定結果¹⁴⁾から、両方の項目が測定されている地点を抽出し、それら相互の関連を検討した結果を図-1に示す。図から、両項目の関連(相関係数: -0.160)はほとんどみられないことがわかる。そのため、浮遊粉じんは、前述のように「雨滴生成過程」および「雨滴降下過程」における雨水水質に影響しているが、浮遊粉じんに関する多くの研究成果を沈積じんの検討には適用できない。

大気中の浮遊粉じんは濃度が上昇すると粉じんの凝集・沈降が発生し、その濃度は一定以上にはならない現象が報告¹⁵⁾されている。このことは、浮遊粉じんは一定濃度に保たれているが、沈積じんは浮遊粉じんの凝集・沈降により、無降雨中に増加することを意味する。これら研究の考察からも、収集雨水水質に関しては「雨滴着地・収集過程」の沈積じんが重要といえる。

4.2 沈積じんの測定

沈積じんの採取・測定は、スライドガラス上の粒子を顕微鏡で実測するガラススライド法¹⁶⁾を基本手法として用い、この手法の有効性および測定結果の実用性を確認し、詳細な測定条件等は沈積じんの測定結果を考慮して決定した。沈積じんの採取は、前報の雨水収集実験と同じ広島大学工学部建築環境学実験棟屋上で実施した。

(1) 沈積じんの測定期間

沈積じんの測定期間は、無降雨時を対象とした連続測定と、降雨時も含めた定時測定に分かれる。定時測定は、降雨直後の大気が清浄で晴天が継続すると予想される日を開始日とした。

- ・ 連続測定 : 1984年06月19日08時10分~18時20分
- ・ 定時測定1 : 1984年09月29日~10月20日
- ・ 定時測定2 : 1984年11月24日~12月24日

(2) 沈積じん採取方法

1) 連続測定

連続測定は、無降雨時の沈積じんの堆積状況把握を目的に、1時間暴露した後に採取した物質をサンプルとして計測を行った。この測定は、長期間行う定時測定の際の条件検討も目的としている。

ガラススライド法でのサンプル固定には、簡便性に優れるセロハンテープ(以後、テープと記す)を用いた。暴露時のサンプル採取には、スライドガラス上に捕捉性に優れていると考えられるテープの粘着面と、スライドガラスのガラス面を用いた。

サンプル採取は次の手順で行った。各時間ごとに、テープ処理および未処理のアルコール洗浄乾燥済スライドガラス各1枚を作成し

た。ガラスはデシケータに収めたシャーレに入れ運搬し、実験棟屋上に水平に置いた直径30cmのガラス円板上で1時間暴露後回収した。回収時、テープ処理スライドガラスは、別の洗浄済スライドガラスを重ね、そのガラスにサンプルを採取したテープを固定した。テープ

未処理スライドガラスは、中心部分をテープで固定した。それらのスライドガラスは、前述した方法で、測定箇所まで運搬した。

2) 定時測定

連続測定の後に行った毎日1回定時の測定では、図-2に示すように、傾斜したスライドガラスを雨水収集面に想定した沈積じん採取装置を用いた。図-3に採取装置のスライドガラスを固定した沈積じん採取部分の詳細を示す。スライドガラスは沈積じん採取を目的に40枚設置し、1日以上暴露後毎日定時に2枚ずつ回収し、2枚を新たに設置した。新たに設置したガラスは、設置済みの40枚の後に回収した。沈積じんの測定は、連続測定とほぼ同じ手順である。ただし、降雨によりスライドガラス表面が濡れている場合には、表面が乾燥するのを待って回収した。なお、前述のテープ処理スライドガラスによる測定は、長時間の日射により一部テープが変形し、継続した沈積じん計測は不可能となった。そのため、定時測定におけるこの方法によるデータは検討していない。

(3) 沈積じん計数法

沈積じんの個数は、光学顕微鏡に接眼測微計を用い、直径 $2.5\mu\text{m}$ 以上のものについて、その粒径別に明視野にて計数した。接眼測微計は、対物レンズごとに対物測微計にて補正した。粒径ごとに計測

図-1 降下ばいじんと浮遊粉じん

図-2 沈積じん採取装置

図-3 沈積じん採取部分

数は30個以上とした。スライドガラス1枚で計測数が30個以下の場合には2枚用いた。なお、スライドガラス1枚の測定可能面積は、中心部分の約 1 cm^2 であり、測定面積は、十字移動装置(メカニカルステージ)により縦方向の移動距離を求め、接眼測微計の測定幅を乗じて算出した。用いた対物レンズと測定粒径の設定範囲を表-5に示す。沈積じんの粒径は、連続測定では全範囲を図-4に示す定方向径(水平方向最大径)を、本測定では $75\text{ }\mu\text{m}$ 未満は定方向径のみ、 $75\text{ }\mu\text{m}$ 以上では図-5に示す長軸径と短軸径を測定し、球体として投影面積と体積を算出した。

(4) その他の測定項目

連続測定では、沈積じん採取中の気象要素を測定、定時測定では、気象要素に加え、収集雨水水質も測定している。水質項目および気象要素はともに前述同様の項目である。採水方法は、前報と同様の分取装置のほかに、図-6に示す雨水貯留実験の初期雨水分取装置も用いた。なお、一部の雨水については、メンブレンフィルターでろ過・乾燥・セダー油処理後、前述の沈積じん計数法と同様の測定を行い、ろ過量と雨水収集面断面積より、単位面積あたり個数を求めている。

4.3 沈積じんの挙動

(1) 連続測定

連続測定における、気象要素の変化を図-7に、ガラス面とテープ面の沈積じんの経時変化を図-8に示す。単位面積あたり個数は、測定個数を測定面積で除した後、測定に使用する前のテープを用い測定したブランク値を減じた。図-8に示した「 $2.5\text{ }\mu\text{m}\sim$ 」は粒径 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以上と $40\text{ }\mu\text{m}$ 以上の沈積じんを、「 $10\text{ }\mu\text{m}\sim$ 」は $40\text{ }\mu\text{m}$ 以上の沈積じんをそれぞれ含んでいる。ガラス面とテープ面の値の比較では、 $2.5\text{ }\mu\text{m}$ 以上では11時の例を除いてガラス面の値が低く、ガラス面では沈積じんの再浮遊があると考えられる。 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以上においては10例中3例が、 $40\text{ }\mu\text{m}$ 以上では10例中4例においてガラス面の値が沈積じん捕捉能力がより高いと考えられるテープ面の値を上回っている。これは、粒径 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以上の場合、全面積を測定しても30個以上の計測ができないケースがあり、測定個数の不足により値にばらつきが生じたものと考えられる。サンプル数が十分と考えられる $2.5\text{ }\mu\text{m}$ 以上のガラス面とテープ面の値の差と各気象要素の変化を比較すると、11時前後の時間帯において、風速との間に対応関係が若干みられる。これは、その時間帯の風速がほかより低く、沈積じんの再浮遊が少なかったためと考えられる。

粒径別の全測定個数の値を用い、沈積じんが全て収集雨水中に取り込まれた場合の影響度を検討した。図-9に測定個数、測定粒径より算出した断面積、体積を示す。粒径は測定範囲の最小値とし、形状は完全球体とした。水質項目中、透過光を用いて測定する濁度は水中で粒子が分散しない限り、図-9(b)の断面積の影響を、ほかの水質項目は微粒子の総量に関連して、図-9(c)の体積の影響を受けると考えられる。そのため、図-9(a)の個数では、きわめて少ない $10\text{ }\mu\text{m}$ 以上の沈積じんも、体積ではかなりの割合を占め、濃度を測定する水質項目では、大きく影響するといえる。

以上の結果から、沈積じんの測定が可能であることを示せた。しかし、沈積じんと気象要素の関連について、本測定では明確な対応は見出すことはできなかった。また、沈積じんによる収集雨水汚濁機構の検討において、1時間の暴露条件では、水質に対し大きな影響

を与えられられる大粒径の沈積じんの捕捉量が不十分であり、長時間の暴露が必要といえる。そこで、次に沈積じんの採取を1日間隔で行った結果より検討する。

表-5 測定粒径の設定範囲

対物レンズ倍率	x 40	x 10	x 4
粒径 (μm 以上)	2.5	10 20 30 40 50	75 100 125 150 175 200

図-4 定方向径

図-5 長軸径と短軸径

単位: mm

図-6 初期雨水分取装置

図-7 気象要素の経時変化 (6月19日)

図-8 沈積じん個数の経時変化 (6月19日)

図-9 沈積じんの粒径別の個数・断面積・体積

図-10 沈積じんの個数・断面積・体積の経時変化

(2) 定時測定

図-10 に日単位で測定した沈積じんの個数・断面積・体積別の経時変化を示す。3項目とも、無降雨時間中にほぼ増加し、降雨により減少する傾向が認められる。しかし、無降雨時間中に減少する例もあり、風向・風速が要因とも考えられるが、明確な関連は認められい。また、降雨によりスライドガラス上の沈積

じんは流出し雨水に取り込まれるが、全ては流出せず、後述の図-11 に示すように、微小な沈積じんほど残留する傾向が認められる。1mm初期収集雨水水質、無降雨時間、降雨による減少個数・面積・体積の各値を表-6に、値の相関行列を表-7に示す。表-7から濁度、pH、COD、無降雨時間は、減少沈積じん量と正の相関がある。このことは、前章で述べた沈積じんの水質面での雨水利用システムへの関与を示している。また、減少沈積じん量とpH、電導度の相関関係は沈積じん中の塩基性物質によるpHの上昇、pH上昇によるモルあたり電導度が大きいH⁺の減少が原因といえる。

図-11 に降雨前後の沈積じんとその降雨における1mm初期収集雨水中の微粒子の粒径別累積個数分布を示す。分布からは、降雨前沈積じんと雨水中微粒子の分布が良く一致しており、降雨により沈積じんは形態が大きく変わることなく収集雨水に取り込まれていると判断される。また、降雨後に径の大きな粒子が計測されないスライドガラスがあることから、降雨後に沈積じんの一部は残留するものの、粒径が大きなものほど流出する傾向にあることが読み取れる。

表-6 1mm初期収集雨水水質と沈積じん

採水日	濁度 (度)	電導度 (μS/cm)	pH	COD (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	無降雨時間 (h)	降雨量 (mm)	減少個数 (個/mm ²)	減少面積 (mm ² /mm ²)	減少体積 (mm ³ /mm ²)
10. 2	2.31	32.1	4.36	3.8	1.9	1.3	56.0	32.5	2.50	4.05 x10 ⁻³	2.24 x10 ⁻⁵
10.16	22.4	36.7	5.93	13.6	2.4	5.5	311.5	15.0	16.6	44.7 x10 ⁻³	16.7 x10 ⁻⁵
12. 1	36.3	51.2	5.53	12.5	5.2	4.2	184.5	1*	8.44	12.6 x10 ⁻³	5.82 x10 ⁻⁵
12. 2	8.43	68.2	5.38	3.9	2.0	16.7	25.0	1*	1.94	0.88 x10 ⁻³	0.40 x10 ⁻⁵
12.10	18.1	27.2	5.35	7.1	2.7	3.0	193.0	13*	16.4	19.4 x10 ⁻³	14.3 x10 ⁻⁵
12.14	9.2	43.1	4.49	3.5	1.6	5.7	71.5	6*	0.08	0.46 x10 ⁻³	0.30 x10 ⁻⁵
12.16	6.5	26.7	4.49	2.5	1.0	4.5	40.0	28*	5.29	0.75 x10 ⁻³	0.20 x10 ⁻⁵
12.18	15.5	84.6	3.74	3.9	3.4	6.8	33.0	4.0	0.30	0.12 x10 ⁻³	0.04 x10 ⁻⁵

(* は雨量計不良のため、測器常設地点より北西2.5 kmに所在する広島県農業試験場データ使用)

表-7 収集雨水水質関連項目間の相関

	濁度	電導度	pH	COD	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	無降雨時間
無降雨時間	0.679	-0.378	0.766*	0.917**	0.361	-0.320	---
減少個数	0.527	-0.521	0.747*	0.736*	0.209	-0.316	0.896**
減少面積	0.513	-0.345	0.737*	0.844**	0.189	-0.218	0.959**
減少体積	0.511	-0.434	0.727*	0.770*	0.224	-0.302	0.939**

(** : 1%有意, * : 5%有意)

図-11 降雨前後の沈積じんと初期収集雨水中微粒子の粒径別累積個数

5. 初期雨水排除による雨水収集実験

これまで述べてきた事項から、収集雨水水質で問題となるCODおよび濁度は、無降雨期間中に堆積する沈積じんに起因すると判断される。そのため、初期雨水分取による排除量を3段階に設定した雨水収集実験により、排除量による水質・沈殿物の違い、および沈積じんによる汚濁防止効果を検討する。

5.1 実験概要

(1) 測定期間

初期雨水排除による雨水収集実験の期間は、以下のとおりである。沈積じん測定期間とほぼ同時期に実施している。

1) 実験1： 1984年08月20日～10月17日

2) 実験2： 1984年11月12日～12月26日

(2) 雨水収集実験装置

雨水収集実験に用いた装置を図-12に示す。上部は、雨水収集部（断面積0.6m²；透明塩化ビニル製）と初期雨水分取部（500mL三角フラスコ）からなる、図-6に示した初期雨水分取装置と同様な機構の初期雨水排除装置である。初期雨水排除量は三角フラスコの本数を変えて0, 1, 3mmの3条件としている。図中左上の〈5mm収集〉の雨水は下部では貯留していない。下部は、収集雨水の貯留槽（0.1m³）とそこから分配する小型槽（20L）からなる雨水貯留部である。貯留槽は、光合成による藻類の増殖、材質による水質変化を防止するため黒色の塩化ビニル製である。小型槽は白色塩化ビニル製で、貯留槽の雨水を静置状態でマイクロチュービングポンプにより汲み上げて貯留し、利用される雨水を想定して、随時水質分析に用いた。ポンプによる汲み上げ量は、貯留槽満水時の越流防止も目的とした。ただし、降水量が少なかった実験2の期間中は汲み上げをしていない。

(3) 貯留雨水水質

実験1の貯留雨水水質は小型槽雨水を、実験2の貯留雨水水質は貯留槽の上澄み液をそれぞれ分析している。また、実験終了時に、貯留槽の沈殿物も含め十分に攪拌し、貯留槽雨水の懸濁物質の総量を、懸濁物質測定法（JISK0101-1979）により測定した。水質測定項目は、収集雨水と同様の6項目である。また、実験1の貯留槽雨水の一部については簡易型培地を用いて細菌試験を実施した。

(4) 気象要素

沈積じんの定時測定と同様の気象項目を実験期間中、降水量を降雨ごとに、それぞれ測定している。

5.2 実験結果

実験1における、8月20日より貯留し、9月23日より継続してポンプを用いて採取した小型槽12サンプルの分析値の平均・最大・最小値を表-8に示す。実験2における、最終日の上澄み液の分析値を表-9に示す。両表からは、電導度およびNO³⁻のように全雨水収集の値が大きい項目、濁度のように3mm分取が大きい項目も認められるが、全体的には、3条件とも同程度の水質といえ、初期雨水排除による汚濁物低減の顕著な効果は認められない。この原因としては、降雨開始時に貯留槽へ流入する汚濁した収集雨水は、流入時に貯留槽の雨水と混合し希釈されたり、降雨の継続により清浄な収集雨水により希釈されることも一因と考えられるが、表-10に示す各貯留槽内の懸濁物質質量により、表-8、9の良好な水質は、懸濁物質の沈殿によることがわかる。この懸濁物質質量は、初期収集雨水排除により低減され、その効果は大きく、初期雨水排除量1mmで懸濁物質の

図-12 初期雨水排除による雨水収集実験装置

表-8 降貯留雨水水質（実験1）

測定項目		全雨水収集	1mm分取	3mm分取
濁度 (度)	平均	0.51	0.47	0.91
	最大	0.75	0.85	1.33
	最小	0.11	0.05	0.36
電導度 (μS/cm)	平均	18.0	14.3	15.8
	最大	21.0	15.1	17.2
	最小	15.5	11.2	13.6
pH	平均	4.64	4.72	4.75
	最大	4.75	4.89	4.86
	最小	4.55	4.61	4.69
COD (mg/L)	平均	1.2	1.1	1.6
	最大	2.0	2.1	2.5
	最小	0.7	0.7	1.1
NO ³⁻ (mg/L)	平均	0.8	0.2	0.3
	最大	1.1	0.4	0.6
	最小	0.6	0.1	0.1
Cl ⁻ (mg/L)	平均	1.2	1.2	1.5
	最大	1.5	1.5	1.4
	最小	1.0	0.7	1.0

表-9 貯留雨水水質（実験2）

測定項目		全雨水収集	1mm分取	3mm分取
濁度 (度)		0.42	0.27	0.74
電導度 (μS/cm)		18.9	12.9	12.5
pH	-	4.51	4.40	4.22
COD (mg/L)		1.2	0.9	0.9
NO ³⁻ (mg/L)		1.1	0.7	0.7
Cl ⁻ (mg/L)		1.5	0.6	0.4

表-10 雨水貯留槽内懸濁物質質量

測定項目	全雨水収集	1mm分取	3mm分取
実験1 懸濁物質 (mg)	672.5	214.5	190.0
実験1 収集雨水量 (L)	124.0	97.0	88.0
実験2 懸濁物質 (mg)	300.8	77.1	33.8
実験2 収集雨水量 (L)	34.0	29.0	23.0

表-11 収集雨水細菌試験

貯留日数*	測定項目	全雨水収集	1mm分取	3mm分取
40日	一般細菌数(個/mL)	5600以上	8000以上	8000以上
	大腸菌群		検出されず	
50日	一般細菌数(個/mL)	50000	18000	54000
	大腸菌群		検出されず	

(*実験1において雨水貯留開始からの日数)

2/3が排除されていることを示している。また、前述の3条件の同程度の水質は、これらの懸濁物質の良好な沈降性に原因があり、この良好な沈降性の物質は、前章で収集雨水への流出が確認されている粒径の大きい沈積じんが主体と判断され、表-6の初期雨水の汚濁状況を改善しているものと考えられる。

表-11に貯留雨水の細菌試験の結果を示す。表より、大腸菌群は検出されていないが、「水道水水質基準」の一般細菌数100個/mLを大幅に超える値を示している。表の値は、雨水の収集方法および貯

留日数から考えれば当然といえ、雨水利用の基本である、貯めてから使うということから考えれば、人の肌に接触する可能性がある場合は、塩素滅菌などの殺菌処理が必要といえる。

6. 結語

雨水利用システムにおける、収集雨水の水質性状とその水質変動要因の検討を目的に、1982年から1984年にかけて広島県東広島市に所在する広島大学工学部にて、気象要素、収集雨水水質、沈積じんの測定、分析を行い、収集雨水の汚濁には沈積じんが関与することを示した。主な内容は以下のとおりである。

最初に、前報で示した雨水水質変化3過程から検討すべき要因として気象要素等を選択後、収集雨水水質との関連を検討、風向・風速から汚濁源を推定できることを示し、水質で問題となる濁度、CODは無降雨時間との関連が強いことから、雨水の汚濁には無降雨期間に堆積する沈積じんが重要であることを示した。

次に、ガラススライドを雨水収集面と想定した装置で沈積じんを採取し、顕微鏡で粒径別に継続して測定した。その結果、沈積じんは、無降雨時間中にほぼ増加、降雨により減少し、降雨時の収集雨水の濁度、pH、COD、無降雨時間は、減少沈積じん量と正の相関があること、降雨により沈積じんの形態が大きく変わることなく収集雨水に取り込まれていることを示した。

最後に、初期雨水排除量3条件の雨水収集実験を行い、収集雨水水質の改善効果を検討した。3条件の貯留雨水水質はほぼ同程度であったが、沈殿物の差異は大きいことを明らかにした。また、初期雨水排除による汚濁物の除去効果は明瞭で、沈殿物の沈降性は良好であり、これらの沈殿物は、沈殿の容易な粒流の大きい沈積じんが主体と考えられる。

以上の結果は、収集雨水水質には沈積じんが関与しているが、沈降性は良好であり、前報で最大3mmと算定した初期雨水の排除なしに、一般細菌数を除けば、静置により良好な水質が得られることを示している。しかし、良好な水質の保持および簡便なメンテナンスを考えると、汚濁物の蓄積は防止されるべきであり、雨水を全量収集した場合の2/3程度の沈殿物を防止することが実験により確認された初期雨水の1mm排除は、排除量に比べてその効果は大きく、推奨される方法といえよう。

なお、東広島市という限定された地域で15年以上前に測定されたデータに基づいた研究ではあるが、雨水汚濁機構の基本的メカニズムを解明するに際し得られた知見の有用性は変わらないものと筆者らは考えている。

謝辞

本研究を遂行するに際し、広島大学文部技官 田辺邦昭氏、当時広島大学卒論生 中田文夫氏(現:東芝(株))、森本 毅氏(現:(株)エルコ・トートー)、空田英明氏(現:広島市役所)の労を得た、記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 越川康夫, 村川三郎: 収集雨水汚濁防止を目的とした初期雨水排除量の検討 - 雨水の水質性状と有効利用に関する研究 その1 -, 日本建築学会計画系論文報告集, No. 350, pp. 8-17, 1985
- 2) 村川三郎, 越川康夫, 田辺邦昭, 中田文夫: 雨水水質性状と有効利用に関する研究その2-雨水回収実験その2-, 日本建築学会中国支部研究報告集 Vol. 10, No. 2, pp. 203-206, 1983. 3
- 3) 村川三郎, 越川康夫, 田辺邦昭: 雨水水質性状と有効利用に関する研究その3-回収雨水水質の要因-, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), 計画系, pp. 211-212, 1983. 10
- 4) 越川康夫, 村川三郎, 田辺邦昭: 雨水水質性状と有効利用に関する研究その4-回収雨水貯留について -, 日本建築学会中国支部研究報告集, Vol. 11, pp. 177-180, No. 1, 1983. 3
- 5) 越川康夫, 村川三郎: 雨水水質性状と有効利用に関する研究その7-沈積じんと収集雨水水質-, 日本建築学会中国支部研究報告集, Vol. 12, pp. 169-172, 1985. 3
- 6) 越川康夫, 村川三郎: 雨水水質性状と有効利用に関する研究その8-沈積じりと収集雨水水質-, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), 環境工学, pp. 451-452, 1985. 10
- 7) 越川康夫, 村川三郎: 沈積じんによる収集雨水汚濁機構の研究-その1-, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(広島), pp. 73-76, 1984. 10
- 8) 越川康夫, 村川三郎: 沈積じんによる収集雨水汚濁機構の研究-その2-, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(宇都宮), pp. 117-120, 1987
- 9) 角皆静男: 雨水の分析, 講談社, pp. 13-22, 1972
- 10) 三崎方朗: エアロゾルの挙動, 6. 3. 2 レインアウト, 気象研究ノート, No. 142, pp. 59-62, 1981
- 11) 日本水道協会編: 上水試験法 1970 年版, 導電率, p. 213, 日本水道協会, 昭和 52 年 1 月
- 12) 日本建築学会環境工学委員会換気分科会・粉じん測定法小委員会編: 建築の分野における浮遊粉じん測定法(2), 2. 11 沈積じん測定法(入江建久担当), pp. 863-864, 建築雑誌, Vol. 90, No. 1098, 昭和 50 年 9 号
- 13) 例えば, 和田安彦: 路面堆積負荷と流出に関する研究(2), 用水と廃水, Vol. 2 / 3 No. 7, pp. 54-61, 1981
- 14) 環境庁大気保全局大気規制課編: 昭和 56 年度版日本の大気汚染状況, 大蔵省印刷局, pp. 467-567, 昭和 56 年
- 15) 三崎方朗: エアロゾルの挙動, 6. 4 粒径分布の自己保存説, 気象研究ノート, No. 142, pp. 63-65, 1981
- 16) 12) に同じ

(1999年11月10日原稿受理, 2000年6月9日採用決定)