

5. 雨天時における路面排水負荷対策に関する調査

下水道研究室 室長 藤生 和也
主任研究官 吉田 敏章
研究官 田本 典秀

1. はじめに

下水道整備をはじめとする点源対策の進展に伴い、面源負荷が公共用水域の水質に与える影響は次第に大きくなってきているが、特に閉鎖性水域の水質を考える際には面源負荷の影響を無視することができない。湖沼の水質問題に関しては、改正「湖沼水質保全特別措置法」が平成 18 年 4 月に施行され、この法律では市街地や農地などから流出する汚濁負荷への対策が必要な地区を「流出水対策地区」に指定し、同地区内で重点的に面源負荷対策を講じられるようになった。市街地において下水道が汚濁負荷の削減に大きな役割を担っていることは論を俟たないが、下水道事業の中で有効な面源負荷削減策を事業化し、かつ有効な成果を挙げるためには、最も基礎的な情報である発生・流出負荷量と、対策の実施により見込まれる削減効果を的確に把握する必要がある。

本調査では、雨天時における市街地からの流出負荷量について、実測調査と文献調査の両面から実態把握・情報を整理し、面源負荷対策に必要な流出負荷量の推定につき知見を得ることを目的に調査を行う。平成 17 年度は、従来用いられてきた面源負荷量の原単位について文献調査を実施し、また、平成 16 年度から引き続いて市街地面源負荷の実測調査を行い、流出負荷量の予測手法につき検討を行った。

2. 面源負荷量の原単位に関する文献調査

一般に、流域別下水道整備総合計画（流総計画）等の計画における面源負荷量の推定には、原単位法が用いられている。特に流総計画において算出される面源負荷量は市街地における面源負荷対策の基礎となるので、できる限り正確な値を用いることが望ましいが、実際には調査の困難さなどから、他地域で調査された原単位を準用している事例が多い。しかし、汚濁負荷量原単位は、実測された場所・期間における原単位であるから、特に他地域の原単位を適用する場合には十分に留意して用いる必要がある。そこで、文献を収集して、既往調査における面源負荷量原単位の情報を整理した。本調査の主眼は市街地であるが、比較のため、降雨、農地（水田、畑）、山林由来の汚濁負荷量原単位に関しても文献調査の対象に含めた。調査水質項目は COD、TN、TP とした。

本調査で収集した資料は、湖沼水質保全計画、流域別下水道整備総合計画調査指針と解説（平成 11 年度版）（流総指針）のほか、次の 2 つの条件を満たす資料とした。

表-1 面源負荷量原単位（単位：kg/ha/年）

(a) 市街地							(b) 水田（純排出負荷量）						
	調査件数	平均値	中央値	最小値	最大値	標準偏差		調査件数	平均値	中央値	最小値	最大値	標準偏差
COD	31	92.3	55.8	13.6	378.0	77.7	COD	12	92.5	46.4	-71.1	352.0	122.9
TN	31	14.8	12.2	3.1	378.0	9.38	TN	14	13.1	10.6	-10.4	37.3	12.5
TP	31	1.69	0.93	0.24	6.50	1.49	TP	12	1.45	0.62	-0.92	5.05	1.85
(c) 畑							(d) 山林						
	調査件数	平均値	中央値	最小値	最大値	標準偏差		調査件数	平均値	中央値	最小値	最大値	標準偏差
COD	16	28.2	22.3	4.0	84.0	23.0	COD	28	22.3	16.2	2.4	154.0	29.2
TN	38	69.7	52.3	2.4	238.0	58.4	TN	45	4.5	3.3	0.3	22.1	4.23
TP	31	0.68	0.50	0.00	2.43	0.550	TP	38	0.24	0.14	0.01	1.31	0.285

注 水田の「純排出負荷量」は、水田からの総排出負荷量から用水に含まれる負荷量を差し引いた値を意味する。

- 1997 年以降に発表された資料（1996 年までの資料は、流総指針の中で整理されているため）
- 一般に公開されている資料

収集した資料を整理した結果が表-1 及び図-1 である。図-1 中の箱形は、上下 25% の間の値を示している。COD、TP に対しては、市街地と水田の原単位が、TN では畑の原単位が大きい傾向にあった。面源の中で市街地は、特に COD、TP に対して高い値となる可能性があることが改めて浮き彫りとなった。

3. 市街地（分流地区）における面源負荷の実測調査

3.1 調査方法

(1) 調査対象地区・降雨

実測調査の対象地域として選んだのは、分流式下水道が整備された市街地で、それぞれに異なる土地利用を有する 3 つの雨水排水区（A～C 排水区）である。表-2 に調査対象地域の概要を示す。不浸透面積率の算出にあたっては、土地利用ごとに設定された屋根、道路、浸透域の割合を、国土地理院発行の土地利用データ（10m メッシュ）を基に集計した各土地利用の面積に乗じて算出した。今年度の調査対象とした降雨は、表-3 に示す 2 降雨（第 3、4 回目調査）である。なお、先行無降雨日数は 0.5mm/day 以下の小雨を除いて求めた。雨量の観測は、採水地点近傍の公共施設の屋上または空地に設置し、5 分間隔にて常時観測を行った。また、採水地点における流量は、採水地点直近の上流側に水位計を設置して得られた 5 分間隔の水位データと、予め求めておいた水位-流量の関係式から流量を算出した。

(2) 採水及び水質分析方法

採水は作業員の手による直接採水とし、一降雨あたり 14～20 本の試料を採取した。採水の間隔は、流出の初期は約 5 分とし、その後適宜 30 分～1 時間程度に間隔を広げた。分析の対象とした水質項目は、SS、VSS、BOD、COD_{Mn}、TN、TP であるが、一部の調査では、重金属（銅、亜鉛、鉛、カドミウム）、ベンゾ(a)ピレン（B(a)P）、ビスフェノール A（BPA）も併せて分析した。水質分析にあたっては、いずれの水質項目も下水試験方法に従った。また、採水と同時にポータブルの水質センサーを用いて濁度と電気伝導度（EC）を計測した。

3.2 調査結果

(1) 流出負荷量と流出の特性

表-4～6 は、調査対象地区における一降雨あたり流出負荷量

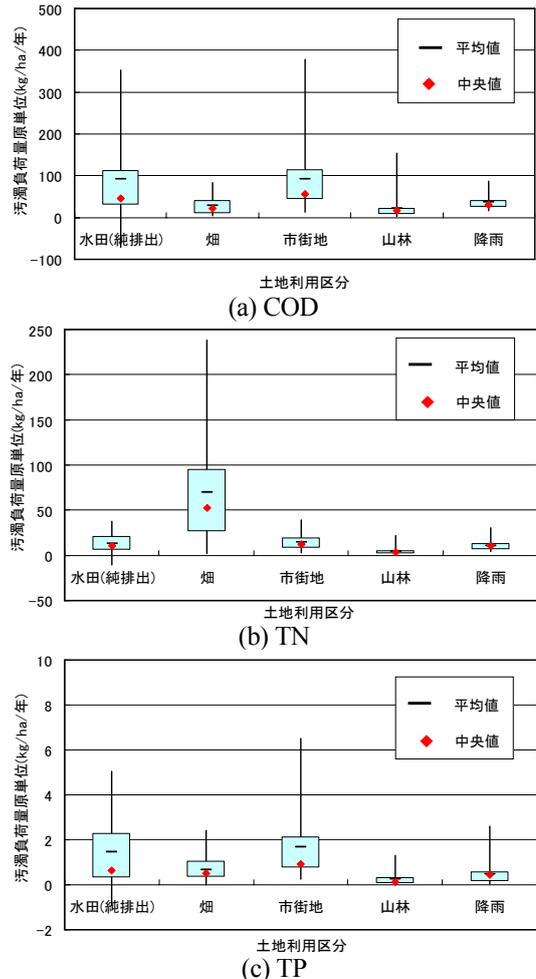


図-1 土地利用別面源負荷原単位の比較

表-2 実測調査の対象排水区の概要

	A排水区	B排水区	C排水区
面積 (ha)	95	18	67
不浸透面積率 (%)	69	67	61
土地利用	中高層住宅 商業地	住宅地	住宅地
国道等の幹線道路	含む	含む	含まず

表-3 実測調査の対象降雨

		A排水区	B排水区	C排水区
第1回調査	先行無降雨日数 (日)	7		
	総降雨量 (mm)	14.0	15.0	14.5
	時間最大降雨量 (mm/hr)	2.5	3.5	3.0
第2回調査	先行無降雨日数 (日)	10		
	総降雨量 (mm)	6.0	9.5	8.0
	時間最大降雨量 (mm/hr)	2.5	2.5	2.5
第3回調査	先行無降雨日数 (日)	63		
	総降雨量 (mm)	37.5	42.5	34.0
	時間最大降雨量 (mm/hr)	11.0	10.5	9.5
第4回調査	先行無降雨日数 (日)	3		
	総降雨量 (mm)	16.5	-	13.5
	時間最大降雨量 (mm/hr)	6.0	-	5.5

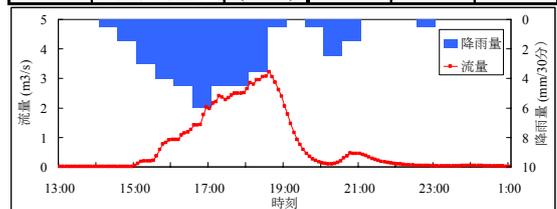


図-2 降雨量と流量の関係の例
(A 排水区、第 3 回調査)

表-4 一降雨あたり流出負荷量 (A 排水区)

	総降雨量 mm	SS (kg/ha)	BOD (kg/ha)	COD (kg/ha)	TN (kg/ha)	D-TN (kg/ha)	TP (kg/ha)	D-TP (kg/ha)	Cu (kg/ha)	Zn (kg/ha)	BPA (mg/ha)	B(a)P (mg/ha)
第1回調査	14.0	3.83	0.75	0.91	0.17	0.12	0.017	0.0047	-	0.0044	12.0	0.42
第2回調査	6.0	2.25	0.52	0.77	0.10	0.07	0.013	0.0041	0.0016	0.0091	6.05	0.65
第3回調査	37.5	22.95	3.57	7.48	0.76	0.48	0.085	0.0236	0.0846	0.3492	24.8	3.65
第4回調査	16.5	4.44	0.38	0.85	0.14	0.10	0.016	0.0073	0.0018	0.0178	-	-
平均	18.5	8.37	1.30	2.50	0.30	0.19	0.033	0.0099	0.0293	0.0951	14.3	1.58

表-5 一降雨あたり流出負荷量 (B 排水区)

	総降雨量 mm	SS (kg/ha)	BOD (kg/ha)	COD (kg/ha)	TN (kg/ha)	D-TN (kg/ha)	TP (kg/ha)	D-TP (kg/ha)	Cu (kg/ha)	Zn (kg/ha)	BPA (mg/ha)	B(a)P (mg/ha)
第1回調査	15.0	0.17	0.03	0.04	0.013	0.010	0.001	0.0002	0.0000	0.0002	0.73	0.12
第2回調査	9.5	0.47	0.12	0.17	0.019	-	0.001	-	0.0002	0.0022	3.84	0.23
第3回調査	42.5	1.34	0.10	0.17	0.033	0.025	0.004	0.0007	0.0032	0.0060	-	-
平均	22.3	0.66	0.08	0.13	0.022	0.018	0.002	0.0004	0.0011	0.0028	2.2846	0.1762

表-6 一降雨あたり流出負荷量 (C 排水区)

	総降雨量 mm	SS (kg/ha)	BOD (kg/ha)	COD (kg/ha)	TN (kg/ha)	D-TN (kg/ha)	TP (kg/ha)	D-TP (kg/ha)	Cu (kg/ha)	Zn (kg/ha)	BPA (mg/ha)	B(a)P (mg/ha)
第1回調査	14.5	0.14	0.02	0.04	0.009	-	0.001	-	0.0001	0.0004	0.35	0.06
第2回調査	8.0	0.27	0.06	0.10	0.012	-	0.001	-	0.0003	0.0007	0.84	0.17
第3回調査	34.0	2.21	0.23	0.37	0.051	-	0.006	-	-	-	-	-
第4回調査	13.5	0.32	0.03	0.07	0.019	0.016	0.001	0.0002	0.0013	0.0007	-	-
平均	17.5	0.73	0.09	0.15	0.023	0.016	0.002	0.0002	0.0006	0.0006	0.5945	0.1133

注：D-TN、D-TPはそれぞれ溶存態（ここでは、孔径1 μ mのろ紙を通過するろ液に含まれる成分）TN、TPを示す。

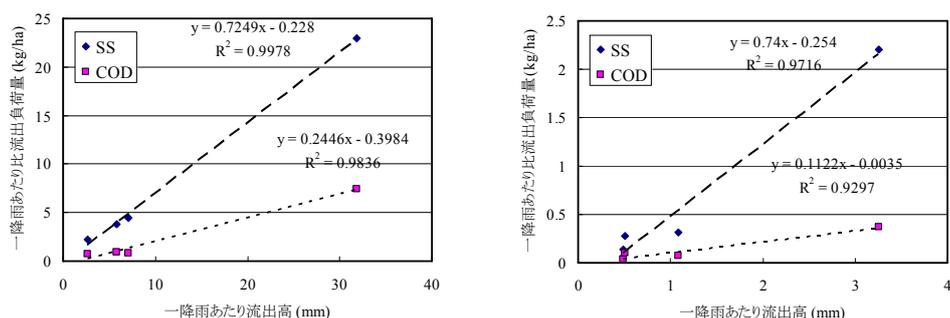


図-3 流出高と一降雨あたり比流出負荷量 (SS、COD) の関係 (左：A 排水区、右：C 排水区)

を整理したものである。A 排水区の流出負荷量が他の排水区に比べて突出しており、幹線道路や高度な土地利用などによる影響を示唆している。第3回目の調査で大きな流出負荷が観測されたのは、先行無降雨日数が60日程度と非常に長く、かつまとまった降雨量であったことが原因と考えられる。流出雨水量と流出負荷量との関係を調べるために、図-3に、流出高（単位面積あたりの雨水流出量）と一降雨あたりの比流出負荷量の関係を示す。第3回目調査の影響が大きい、良好な直線関係を表している。図-3におけるそれぞれのプロット原点を結ぶ直線の傾きは、一降雨あたり平均水質（EMC: Event Mean Concentration）を意味するが、調査ごとの降雨の規模や流出負荷量に関わらず、EMCの変動は小さく、概ね一定であった。紙数の関係上省略するが、図-3のSS、CODに比べて重金属の方が調査ごとのEMCの変動が大きい傾向にあった。

(2) 水質センサーによる計測結果

本調査では、採水時に水質センサーによる濁度とECの計測を行った。濁度とSSは高い相関関係が認められており、ECは溶解性成分と相関関係が知られている。A排水区の第1~3回調査のデータを用いて、濁度とBOD、COD、TN、TPそれぞれの直線相関を調べたところ、いずれも決定係数が0.75以上であった。また、ECと溶存態TNの間にも、ファーストフラッシュ前に高い相関性が見られた。これら濁度とECは、現場用の自動モニタリング手段として活用できる可能性がある。

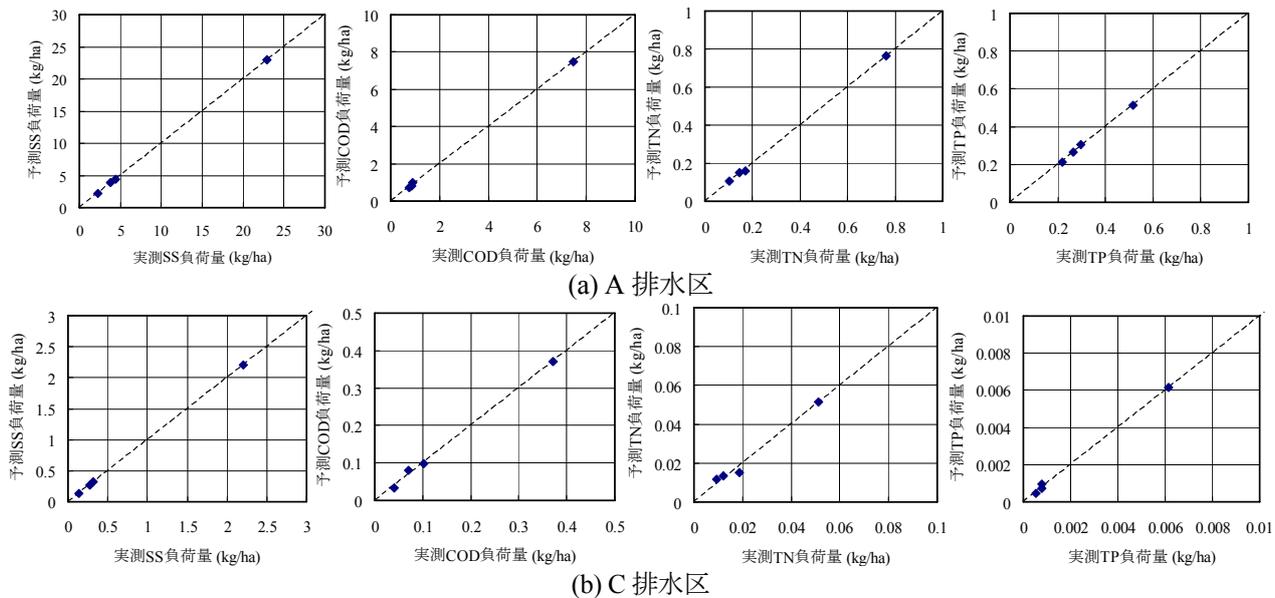


図-4 重回帰式による一降雨あたり流出負荷量の予測結果

3. 3 重回帰式による流出負荷量予測手法

流出負荷量は、地表面に堆積する汚濁物が雨水により洗い流されたものである。このような汚濁物は、大気降下物、タイヤかす、落ち葉などのゴミ等から構成されており、また、雨量や降雨強度によって掃流される際の摩擦速度が異なる。したがって、先行無降雨日数や降雨量といった気象条件が、流出負荷量を規定する大きな要因になっているものと考えられる。

そこで、それぞれの降雨イベントにおける総雨量と先行無降雨日数を説明変数として重回帰分析を行い、流出負荷量を予測することを試みる。重回帰式は次式で表される。

$$L = a \cdot \sum r + b \cdot \text{NFD} + c \quad (\text{式 1})$$

(L : 一降雨あたり流出負荷量 (kg/ha)、 $\sum r$: 総降雨量 (mm)、NFD : 先行無降雨日数 (day)、 a, b, c : 定数)

式1により予測した一降雨あたり流出負荷量と実測値を比較した例が図-4である。ここでは、A、C排水区における結果を示したが、どちらの排水区においても重回帰式の決定係数は0.9以上であり、流出負荷量は総降雨量と先行無降雨日数でほぼ説明されていることが分かった。このことに一般性があるか否かについては、今後、実測場所数や実測降雨数を増やして確認する必要がある。

4. おわりに

面源負荷定量の困難さは、削減対策実施に向けての大きな障害となっており、土地利用との関係性や、時間的・空間的な精度の検討など解決すべき課題は多い。特に表-1で示したように、面源負荷の原単位は調査によって1オーダーも異なる可能性があり、その扱い方や考え方は難しいが、本調査で示した流出負荷量の予測手法を適用すれば、比較的少ないデータからでも流出負荷量を予測できるようになる可能性がある。今後は、発生負荷・流出負荷の予測とともに、効率的な面源負荷削減策につき検討する必要がある。

謝辞

本調査に対して調査フィールドをご提供いただいている自治体関係者各位に、感謝の意を表します。

また、土地利用データは、国土地理院作成の数値地図10mメッシュ(土地利用)―首都圏(2000年)―のデータを使用したものである。併せて、データを提供いただいた国土地理院の関係各位に感謝の意を表します。