

B-18 降雨時汚濁物流出特性の流域間比較

立命館大学理工学部 市木敦之 山田 淳
立命館大学大学院 ○中谷至秀 山田友博
滋賀県琵琶湖研究所 大久保卓也

1. はじめに

近年、ポイントソースから流出する汚濁負荷量は、排水基準の設定や下水道整備により減少傾向にあり、その結果、主として降雨時に流出するノンポイントソースからの汚濁負荷量の比率が年々増加している。しかし、このような汚濁物の降雨時流出には、降雨量のほかに流域の社会的特性など多くの影響要因が複雑に絡み合っており、その因果関係はこれまで十分明らかにされていない。本報告では、これまで20年間にわたって流域特性の異なる複数の流域において実施した汚濁物の流出実態調査をもとに、降雨時の汚濁物流出特性に及ぼす影響要因について検討した。対象とした流域と調査降雨の概要を表-1に示す。ただし、対象期間中に流域特性が大きく変化した天神川と十禅寺川については期間Ⅰ、Ⅱに分けて検討している。

表-1 流域および調査降雨の概要

流域	調査年 (年)	流域人口 (千人)	集水面積 (km ²)	市街化率 ¹⁾ (%)	下水道普及率 ²⁾ (%)	調査 降雨数	降雨量 (mm)
天神川	期間Ⅰ 1980-1984	156	25.75	53.6	61.9	6	3.0-30.0
	期間Ⅱ 1985-1991	153	25.75	53.6	92.0	8	1.0-23.0
山科川	1989-1993	142	32.21	34.4	81.8	21	2.0-61.5
十禅寺川	期間Ⅰ 1991-1992	2	0.68	72.0	0.0	8	1.0-68.0
	期間Ⅱ 1994-1995	2	0.94	79.6	43.9	65	1.0-185.5
伊佐々川	1992-1998	10	4.15	71.7	60.3	114	0.5-238.5
法竜川	1997-1999	7	7.06	26.0	25.5	12	2.0-72.5

1) 集水域に占める市街化区域の割合

2) 天神川は分流式・合流式併用、その他は分流式

2. 都市河川・非都市河川における降雨時流出特性の比較

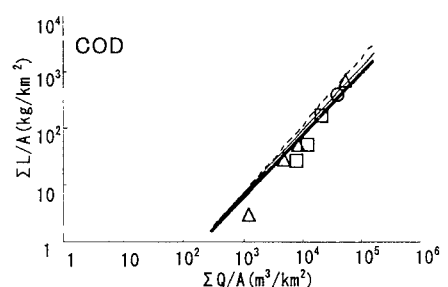
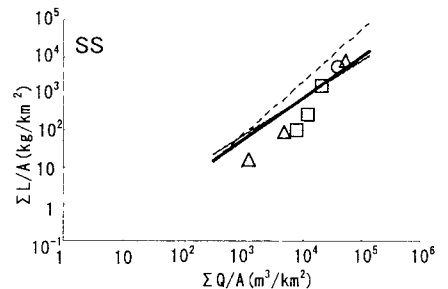
2.1 降雨時流出負荷量の比較

一降雨の直接流出期間における積算比流出負荷量と積算比流量の関係は(1)式で回帰できる¹⁾。

$$\Sigma L/A = a \cdot (\Sigma Q/A)^n \text{-----(1)}$$

ここに、 $\Sigma L/A$ 、 $\Sigma Q/A$ ：晴天時分を差し引いた積算比負荷量(kg/km²)、積算比流量(m³/km²)、a：係数、n：指数

都市河川である伊佐々川での調査降雨について、月別に(1)式による回帰分析を行い、得られた回帰線の一部を図-1に示す。いずれも、決定係数は0.856~0.956となり、高いあてはめを示している。図-1には、非都市河川である法竜川での降雨時調査結果を併せてプロットしている。どの水質項目についても伊佐々川における回帰線に月別の差はほとんどなく、年間を通じて、降雨時の比流量と比負荷量に一定の関係が保たれていることがわかる。これに対して、法竜川における調査結果は灌漑期(5月、9月)、非灌漑期(11月)で異なり、流域に一定面積を占める水田に田面水の満たされている灌漑期(5月、9月)の流出負荷量は、他の期間に比べて比較的大きくなっている。



凡例	灌漑期 5月	灌漑期 9月	非灌漑期 11月
伊佐々川	○	△	□
法竜川	○	△	□

図-1 降雨時積算比流出流量と積算比流出負荷量の関係

る。この傾向は、懸濁性の強い水質項目で特に顕著にみられたが、溶存性比率の高いT-Nなどではあまり明瞭でなかった。

2.2 降雨時流出パターンの比較

伊佐々川（都市河川）と法竜川（非都市河川）において同時に実施した降雨時の汚濁物流出調査(97/09/25)の結果を経時変動図にして図－2に示す。ただし、ここでは流出規模の違いを取り除くため、調査データから晴天時分を差し引いた降雨による純流出成分を(2)～(4)式により正規化した流出密度関数 $q(t)$ 、 $l(t)$ を用いている。

$$q(t)=Q(T)/\sum Q \cdot Tr \text{ -----(2)}$$

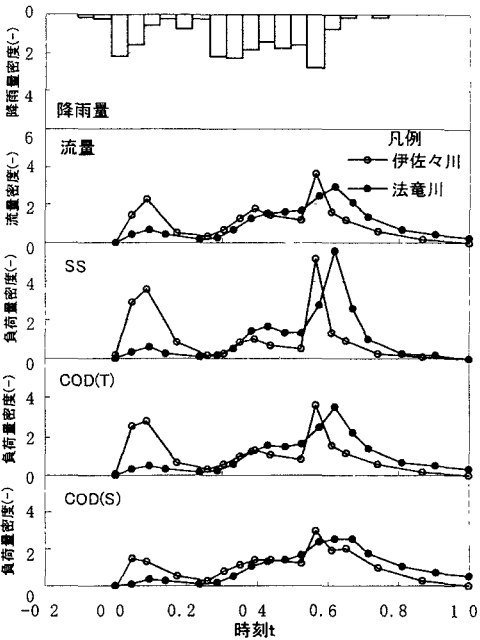
$$l(t)=L(T)/\sum L \cdot Tr \text{ -----(3)}$$

$$t=T/Tr \text{ -----(4)}$$

ここに、Tr：流量に降雨時挙動が現れてから平水流量に戻るまでの時間(s)，T：流量に降雨時挙動が現れてから当該時刻までの経過時間(s)，

Q(T)，L(T)：時間T経過後の流量(m³/s)，負荷量(g/s)，
 $\sum Q(T)$ ， $\sum L(T)$ ：時間Tの間の積算流出流量(m³)，負荷量(g)

伊佐々川（都市河川）では、降雨に対する流量流出の応答性が鋭く、流量の経時変化は、降雨量の変化によく相似している。これに対して、法竜川（非都市河川）における流量の経時変化は相対的に鈍い。流量の変化に呼応して、伊佐々川での負荷量変化には顕著なファーストフラッシュ現象がみてとれ、またこの傾向は懸濁性の水質項目ほど強く現れている。一方、法竜川では流出ピーク後の流量・負荷量の遁減が遅いことから、ここでは農地など浸透面からの中間流出成分がかなりあることがうかがえる。流出密度累積値の経時変化を河川別に、各々図－3（1）、（2）に示す。伊佐々川ではSSやCOD、T-Pが流量に対して先行して流出しているのに対して、溶存性の強いT-Nは、流量より遅れて流出している。一方、法竜川では、全ての水質項目で流量より遅れて流出している。流出挙動の開始から最初の流出ピークまでの間を、ファーストフラッシュと定義し、この間における流出密度の積算値（ファーストフラッシュ流出比率）を算定すると表－2のようになる。両河川

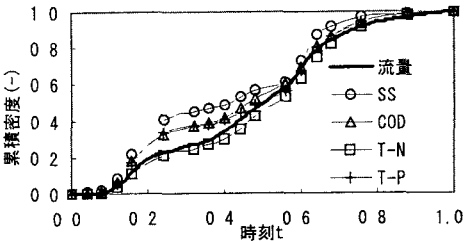


(T) 懸濁性+溶存性 (S) 溶存性
 図－2 流出密度関数による降雨時流量・負荷量変動図 (97/09/25 伊佐々川、法竜川)

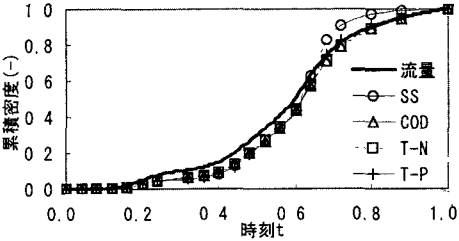
表－2 ファーストフラッシュ流出比率

流域	流量	SS	COD		T-N		T-P	
			(T) † (S)	(T) † (S)	(T) † (S)	(T) † (S)	(T) † (S)	(T) † (S)
伊佐々川	0.113	0.209	0.175	0.028	0.109	0.079	0.168	0.030
法竜川	0.035	0.029	0.025	0.015	0.026	0.025	0.026	0.012

(T) 懸濁性+溶存性 (S) 溶存性

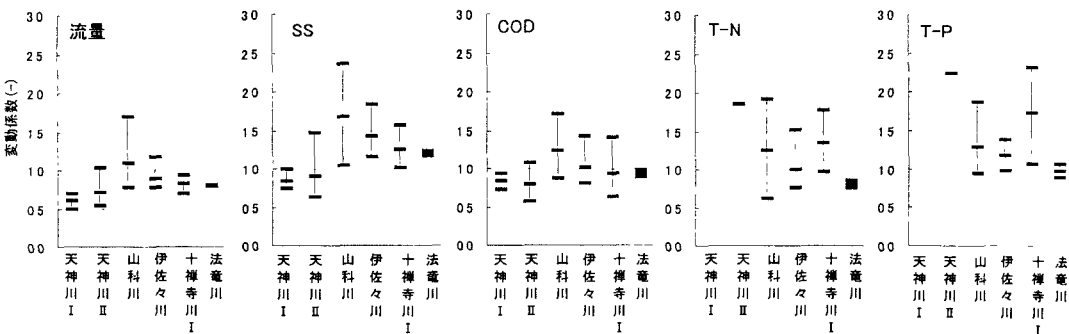


図－3（1） 累積流出密度の経時変化(伊佐々川)



図－3（2） 累積流出密度の経時変化(法竜川)

での降雨量、降雨強度は同じであるにもかかわらず、伊佐々川では流量に比べて、懸濁性の水質項目でファーストフラッシュ比率が大きくなっているのに対して、法竜川では、総じてファーストフラッシュ比率が小さい。こうしたことから、降雨時に流出する汚濁物削減のためには、都市河川では流出初期の汚濁カットが有効であり、また非都市河川では灌漑水を考慮に入れた農地からの流出水管理が重要であることが推察される。降雨に対する汚濁物の流出応答性を評価するため、各降雨における流量・負荷量の経時変動について、変動係数（＝標準偏差／平均値）を算出した。結果を流域毎にまとめて図—5に示す。市街化率が高く、下水道整備の進んだ都市河川ほど、SSやCODの変動係数は大きな値をとり、降雨に対して鋭敏な流出応答性を示す。これに対して、T-NやT-Pでは、農地や自然域からの流出の影響が強く、流出挙動の鋭敏性に明確な傾向は見出しにくい。



図—4 流域別変動係数の比較

3. 降雨時年間比流出負荷量の流域間比較

各流域における調査降雨について(1)式を用いた回帰分析により求めた係数²⁾a、nを用いて、降雨時の年間流出シミュレーションを行った。シミュレーションでは、1980～1989年に京都地方気象台で観測された日降水量の時系列データ(年平均降水量 1562.3mm/y)を、各流域で得られた雨水流出率の平均値を用いて有効降水量に変換したのち、(1)式に入力した。得られた結果を年間比流出負荷量にして表—3に示す。天神川では、期間Ⅰから期間Ⅱにかけて、流域における下水道整備が著しく進んだにもかかわらず、降雨時の年間流出負荷量の減少は僅かである。十禅寺川では、期間Ⅰから期間Ⅱにかけて、大学の建設など流域の都市化が進んだことにより、CODは減少しているものの、切り開かれた裸地等からのT-N、T-Pの流出が増加している。流域の63%が水田である法竜川では、T-N、T-Pの流出負荷量が多く、農地由来の汚濁物が大きく寄与しているものと考えられる。

表—3 降雨時の年間比流出負荷量

流域	(ton/y/km ²)			
	SS	COD	T-N	T-P
天神川	期間Ⅰ 154.18	18.22	—	—
	期間Ⅱ 125.50	17.50	—	—
山科川	45.54	6.06	2.07	0.23
十禅寺川	期間Ⅰ 23.87	4.41	1.31	0.34
	期間Ⅱ 51.26	2.28	1.99	0.48
伊佐々川	584.48	5.75	1.72	0.31
法竜川	68.23	7.50	3.53	0.41

4. おわりに

本報告では、これまで20年間にわたって蓄積した降雨時の汚濁物流出調査データを流域の社会指標とともに解析し、流域特性が降雨時流出に及ぼす影響を考察した。特に、都市系、非都市系の各流域における降雨時流出の同時調査結果を比較することにより、降雨時流出に及ぼす都市化の影響を明らかにした。今後、流域内の排水系統網の整備状況など詳細な流域情報を整理して解析を進めることにより、汚濁物流出特性のモデル化を図りたいと考えている。なお、本研究の一部は、平成10年度立命館大学学術研究助成および公益信託下水道整備振興基金による助成を得て行われた。ここに記して、関係各位に謝意を表する。

<参考文献> 1)海老瀬：国立公害研報告，第50号，1984 2)市木他：第1回水環境学会シンポジウム，1998.9