

B-28 都市域中小河川における流域の社会変化 と降雨時汚濁物流出特性に関する研究 —年間連続調査にもとづく10年間の比較—

○南 哲治^{1*}・市木 敦之²・井戸 文雄³

¹立命館大学大学院理工学研究科環境社会工学専攻（〒525-8577滋賀県草津市野路東1-1-1）

²立命館大学理工学部環境システム工学科（〒525-8577滋賀県草津市野路東1-1-1）

³中日本建設コンサルタント株式会社（〒460-0003愛知県名古屋市中区錦1-8-6）

* E-mail: rv008006@se.ritsumei.ac.jp, a-ichiki@se.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

近年、下水道の整備進捗によりポイント負荷が削減される一方で、ノンポイント負荷の割合が相対的に増加してきている。さらに、都市活動の活発化にともない絶対的な汚濁負荷発生量も増加してきている。本研究は、都市域中小河川を対象として、下水道の整備進捗や土地利用の変化といった流域の社会変化にともなう汚濁物流出特性の変化を定量的に評価することを目的としている。筆者らは、1994～1995年および2005～2006年のそれぞれ1年間の全降雨を対象とした連続調査を実施し、降雨を介して流出する汚濁負荷量に関する実測データを得た。本報告は、これら約10年を隔てた2つの調査結果をもとに、流域の社会変化によって大きく変化する降雨時汚濁物流出特性および年間流出汚濁負荷量について比較・考察したものである。

2. 対象流域の概要

調査の対象とした河川は、滋賀県草津市の市街地を流下し琵琶湖に流入する中小河川で、近年流域の都市化が著しい伊佐々川である。本対象流域（図1）は集水面積約3.929km²で、流域中間部を横断する金勝川（天井川）を境に、上流部に農地、下流部に市街地を有している。また、対象流域南縁に沿って流れる日本有数の天井川である草津川の河川改修工事が2002年6月に完了し、それまで浸水被害に悩まされていた流域上流部では、降雨時に洪水が一部草津川へ放流されるようになった。さらに、金勝川において草津川改修にともない河床掘り下げが行われ、伊佐々川は一部サイフォン式水路で金勝川

と交差するようになった。筆者らが開発した汚濁物流出管理支援システム²⁾により求めた流域の概要を表1に示す。この間、対象流域において上流部の農地では宅地化が進み、下水道普及率が増加しているため、晴天時を主とした河川水質の改善が期待される。

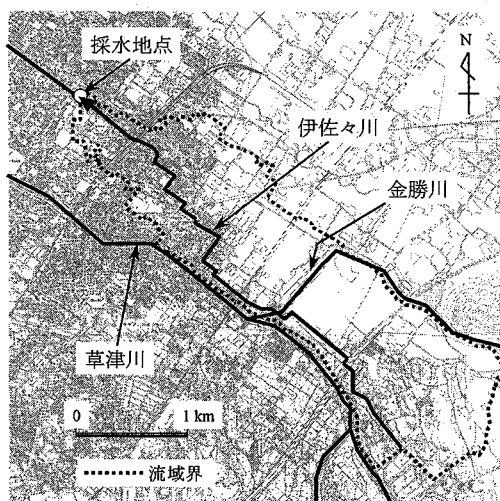


図1 対象流域

表1 対象流域の概要

項 目		1995年	2004年
集水面積 (km ²)		3.929	
流域人口 (人)		13299	14321
(別 人 口 処 理 形 態)	下水道	11048	13392
	合併浄化槽	735	383
	単独浄化槽	837	7
	し尿処理	680	192
下水道普及率 (%)		83.1	93.5

3. 年間連続調査の概要

(1) 調査・分析の概要

調査では、対象流域末端の採水地点において降雨量および水位のモニタリングを行い、流量をH-Q式により算出した。加えて、降雨初期の損失降雨量を考慮し降雨強度が1.0mm/h（解析対象降雨）に達した時点から、30分～1時間間隔で自動採水装置（ISCO3700）により試料の採水を開始した。また、流量に降雨時流出の影響が現れ始めた時点から降雨終了後、平時の流量に戻るまでの間の直接流出量を降雨時流出量（gross）と考え、流量比例でコンボジットした採水試料の水質を分析するとともに、バックグラウンド値（base）として降雨前後の平水時試料の水質分析も行った。さらに、降雨による流出分としてnet値（=gross—base）を算出し解析を行った。表2に調査の概要を示す。調査は、1994年11月1日～1995年11月1日および2005年8月1日～2006年8月1日のそれぞれ全降雨を対象として連続して行い、その間に1994～1995年で132降雨（1431mm）、2005～2006年で153降雨（1545mm）が観測された。表2には、このうち解析対象降雨（1.0mm/h以上）の頻度・降雨量および年平均の降雨時水質（実測gross値より算出）を示している。水質の分析は、粒径区分別のSSおよび懸濁性（P）・溶解性（D）別のTN、TP、TOCや重金属について行った。降雨頻度および年間総降雨量ともに2005～2006年調査の方が1994～1995年調査より多く、水質に関しては項目によって違いがみられる。

(2) 調査・分析結果

調査・分析結果の一部を年間経時変動図にして図2に示す。両調査とも降雨にともなう流量変動に応じて汚濁物の断続的な流出が繰り返されていることが確認できる。1994～1995年調査では一降雨で100mmを超える降雨が3回あったのに対し（うち200mmを超える降雨が1回）、2005～2006年調査では100mmを超える降雨は1回であった。1994～1995年調査に比べると2005～2006年調査では流量が大きく低下しており、それにともない各水質項目の負荷量も低下している。これは、対象流域上流部における下水道整備進捗の影響と、大きな降雨時において洪水が草津川への放流されるようになったことによる流出率の低下によるものと考えられる。両調査における流出率を降雨規模別に比較すると、小降雨ではさほど大きな差はないものの、10mmを超えるような大降雨では、降雨規模が大きくなればなるほど差が大きくなった。なお、1994～1995年調査では1994年夏渇水の影響により、調査前半部分における基底流出分（base）が、流量・負荷量ともに調査後半部分に比べて小さくなっている。

表2 調査の概要

調査期間		94/11/01 -95/11/01	05/08/01 -06/08/01
降雨頻度（回）		71	109
降雨量（mm）		1400.5	1523.0
(m g / L)	SS	94.55	106.44
	TN (T)	2.50	2.65
	TN (D)	1.64	1.23
	TP (T)	1.09	0.43
	TP (D)	0.26	0.14
	TOC (T)	8.24	7.61
	TOC (D)	4.72	3.53

(T):懸濁性+溶解性

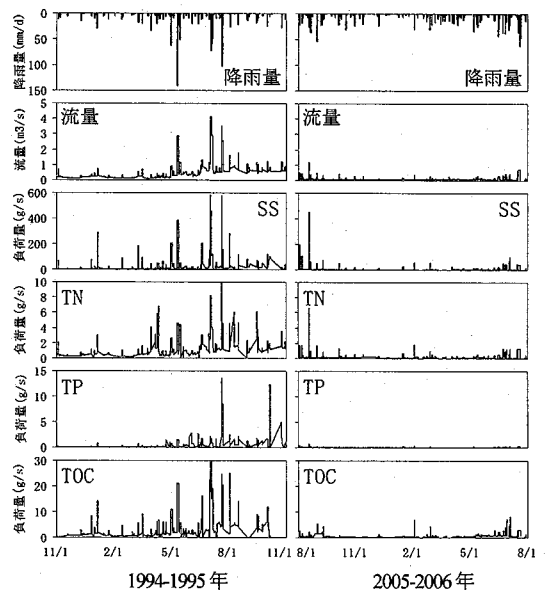


図2 調査・分析結果

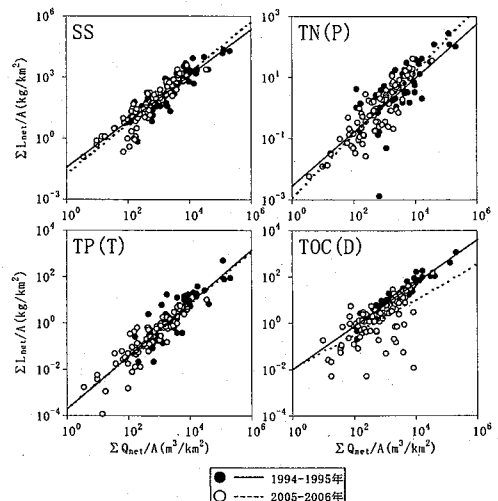


図3 積算流出比負荷量と比流量の関係

4. 降雨時汚濁物流出特性の比較

晴天時流出分を差し引いた一降雨の直接流出分による積算流出負荷量 (ΣL_{net}) が、積算流出流量 (ΣQ_{net}) に対して流出末期に一定値に漸近し、両対数紙上で直線回帰できることから、調査データを以下の式のように定式化 (I) 式) し、回帰分析によって係数を定めた。その際、負荷量・流量とも流域面積 (A) で除した比負荷量・比流量 (有効降雨量) として整理した。

$$\Sigma L_{net}/A = a \cdot (\Sigma Q_{net}/A)^n \quad (I)$$

ここに、 $\Sigma L_{net}/A$: 積算流出比負荷量 (kg/km^2) ,
 $\Sigma Q_{net}/A$: 積算流出比流量 (m^3/km^2) ,
a: 係数, n: 指数

積算流出比負荷量と比流量の関係を図3に、回帰分析の結果を表3に示す。1994～1995年調査から2005～2006年調査にかけて、汚濁物の降雨に対する流出応答の鋭敏性を示す指数nの値が、懸濁性の強い項目で概ね大きくなっている。雨水排水システムの整備により、徐々にこうした物質の降雨時流出分が顕在化しつつあることが懸念される。汚濁ポテンシャルを表すと考えられる係数aの値は、TOC(T)で特に大きな値へと変化した。

5. 年間流出汚濁負荷量の変化

降雨時・晴天時別に年間流出負荷量を整理し、降雨規模別にまとめたものを表4に示す。なお、一部ある欠測データについては、降雨時データは降雨量で、晴天時データは観測時間で、それぞれ月別に補正することにより推定した。表4より、降雨頻度および降雨量は両調査で多少異なるものの、この約10年間で流出負荷量が大きく減少している。晴天時に関しては下水道整備進捗の影響が、降雨時に関しては草津川への洪水放流の影響が大きいものと考えられる。また両調査とも、1回の降雨量が

30mm以上となる大降雨において、生起確率が低いにも関わらず年流出負荷量の47.7～64.7%が流出しており、汚濁物流出の集中性が示される。さらに、年間流出負荷量に対する降雨時流出負荷量の比率を比較すると、2005～2006年調査の晴天日数が約10日短いにも関わらず、どの項目についてもこの約10年間で降雨時流出の比率が大きくなってきており、ノンポイント負荷が相対的に顕在化していることがわかる。

6. おわりに

本報告では、都市中小河川における約10年間の汚濁物流出特性の変化について、それぞれ1年間に及ぶ実測調査をもとに比較・検討した。都市域中小河川における流出原単位を検討するうえで満足のいくデータが得られた。

なお、調査を行うにあたり、同研究グループメンバーの協力を得たことを記し、謝意を表する。

参考文献

- 1) Ichiki, et al. : Urban Drainage Modeling, ASCE, 2001.5
- 2) 市木他: 土木学会関西支部構, 1996.5
- 3) 辰巳・市木他: 土木学会第51回年構, 1996.9
- 4) Ichiki, et al. : 8th ICUSD, 1999.8

表3 積算流出比負荷量と比流量の回帰分析結果

	1994-1995年			2005-2006年		
	a	n	R ²	a	n	R ²
SS	0.0338	1.128	0.789	0.0145	1.260	0.851
TN	(T) 0.0034	0.983	0.763	0.0053	0.916	0.816
	(D) 0.0037	0.931	0.777	0.0035	0.869	0.720
	(P) 0.0026	0.888	0.519	0.0012	1.027	0.789
TP	(T) 0.0002	1.137	0.715	0.0002	1.145	0.829
	(D) 0.0001	1.040	0.549	0.0003	0.889	0.697
	(P) 0.0002	1.133	0.676	0.0001	1.097	0.666
TOC	(T) 0.0149	0.963	0.835	0.1067	0.936	0.755
	(D) 0.0096	0.934	0.909	0.0102	0.753	0.388
	(P) 0.0038	1.060	0.764	0.0044	0.962	0.602

R²: 決定係数

表4 降雨規模別の降雨頻度と流出負荷量

降雨量区分 (mm)	降雨頻度 (回)	年降雨量 (mm/年)	1994-1995年				2005-2006年					
			流出比負荷量(t/km ² /年)				降雨頻度 (回)	年降雨量 (mm/年)	流出比負荷量(t/km ² /年)			
			SS	TN	TP	TOC			SS	TN	TP	TOC
1 - 10	38 (53.5)	178.0 (12.7)	8.21 (6.6)	0.44 (13.3)	0.26 (18.6)	1.23 (11.6)	62 (56.9)	229.5 (15.1)	2.12 (7.3)	0.12 (14.9)	0.02 (13.6)	0.33 (14.8)
10 - 30	23 (32.4)	374.5 (26.7)	36.03 (29.1)	0.86 (26.2)	0.24 (16.7)	3.10 (29.1)	32 (29.4)	588.0 (38.6)	9.97 (34.5)	0.24 (30.4)	0.04 (33.2)	0.83 (37.5)
30 - 100	7 (9.9)	304.0 (21.7)	19.20 (15.5)	0.91 (27.7)	0.18 (12.4)	1.93 (18.1)	14 (12.8)	569.5 (37.4)	14.49 (50.2)	0.34 (44.0)	0.05 (44.6)	0.87 (39.4)
100 -	3 (4.2)	544.0 (38.8)	60.22 (48.7)	1.08 (32.8)	0.74 (52.3)	4.40 (41.3)	1 (0.9)	136.0 (8.9)	2.31 (8.0)	0.08 (10.7)	0.01 (8.6)	0.18 (8.3)
降雨時小計 ^a	71 (100.0)	1400.5 (100.0)	123.65 (100.0)	3.29 (100.0)	1.42 (100.0)	10.67 (100.0)	109 (100.0)	1523.0 (100.0)	28.88 (100.0)	0.78 (100.0)	0.12 (100.0)	2.20 (100.0)
晴天時小計 ^b	(日数 300.3日)		73.51	5.71	1.86	18.36	(日数 290.7日)		2.86	0.54	0.06	1.97
年間合計 ^{a+b}	-		197.16	9.00	3.29	29.03	-		31.75	1.32	0.18	4.18
a/(a+b)×100(%)	-		62.7	36.5	43.3	36.8	-		91.0	59.0	67.5	52.8

下段()内は小計に対する構成比率(%)