

降雨時河川水の水質変動 と懸濁成分の粒度特性

立命館大学理工学部 山田 淳 西本 安範

立命館大学大学院 ○施 萍 市木 敦之 中出 裕嗣

1. はじめに

陸域・水域の堆積物に含まれる汚濁成分は、堆積物の粒度特性に依存性を持ち、降雨時には、この粒度特性と降雨特性に応じて流出することから、下水道整備途上域の中小都市河川を対象として粒度構成に着目した降雨時流出解析を行ってきた^{1)~8)}。本報告では、さらに、閉鎖性水域に流入する中小河川で実施した調査結果をもとに、汚濁成分の流出変動特性と粒度依存特性に検討を加えた。

2. 調査と分析の概要

対象とした河川は、草津市南西部に位置し、流域面積0.683km²、流域人口約2800人、上流部が山地、中下流部が住宅群と田畑が混在する流域を流下し、琵琶湖に流入する1級河川十禅寺川である。また、雨水滞水池が数ヶ所存在していることや、下水道が未整備で住宅群に対しては合併処理浄化槽が設置されている点で、合流式下水道域からの越流水が混入する中小都市河川流域とは異なっている。調査は、晴天時と複数降雨を含む連続期間で行い、降雨時には流量観測と採水を30分～1時間間隔で行い、その後粒度分析（島津製 SAL D-1000）とSS、SS₅₀₀（500μm以下のSS）、COD、T-N、T-Pの総物質と溶解性物質の水質分析を行った。加えて、降雨時の流量上昇期、ピーク期、下降期の試料についてコンボジットし、フルイ（500、74、25μm）とメンブレンフィルター（8μm）で分画して水質分析を行った。

3. 調査結果の概要

表-1に調査結果の概要を示した。調査は晴天時と降雨時を含む26日間にわたって実施した。降雨は4回あり、第1回目（J1）と第4回目（J4）の降雨が大きく、中間の2降雨は小規模で水質変動が小さいこととサンプル数が少ないため、J1とJ4を解析対象とした。降雨規模ではJ1が大きい、J4には集中性の高い降雨があるため、水質値ではJ4が高い結果となった。懸濁性物質（P）の総物質（T）に占める割合はJ4の方が3水質項目とも高く、またD₅₀（50%加積粒径）等の結果よりJ4の方が細かい粒子が流出していることに特徴が見られる。

4. 調査結果の解析

1) 経時変動特性 図-1に両降雨の経時変動を示した。J1は連続性のある降雨、J4は間欠的な降雨で、この降雨特性を反映して、流量はJ1ではゆるやかで大きなひと山変動を、J4では上昇と下降の変動が大きいふた山変動を示している。SS₅₀₀の変動もこの降雨と流量の特性を反映して、J1では変動が小さく、J4では最初の流量ピークに対応して高濃度の水質ピークが見られる。D₅₀は、両降雨とも流量の増加期に小さく、下降期には大きくなり、降雨の影響が弱まる頃には小さくなる変動をしている。懸濁成分とSSの比率で求め

表-1 調査結果の概要

降雨 番号	調 査 期 間 (1992年)	サン プル 数	総降 雨量 mm	降雨 継続 時間 hrs	平均 降雨 強度 mm/h	平均 流量 m ³ /s	平 均 水 質 濃 度 (mg/l)								平均加積粒径 (μm)		
							SS		COD		T-N		T-P		D ₂₅	D ₅₀	D ₇₅
							SS(T)	SS ₅₀₀	COD(T)	COD(P)	T-N(T)	T-N(P)	T-P(T)	T-P(P)			
J1	06/07 16:50~06/08 10:00	28	50.0	13.3	3.8	0.258	66.8	60.5	10.73	5.54	4.43	1.70	0.90	0.64	25.0	46.7	82.0
J2	06/15 02:00~06/15 07:00	6	5.5	3.7	1.5	0.033	11.5	9.6	6.95	1.24	3.70	0.57	0.56	0.10	34.7	80.5	221.0
J3	06/18 16:00~06/18 20:00	5	6.0	1.0	6.0	0.063	12.9	8.0	9.55	2.36	5.76	0.81	0.64	0.15	19.9	35.1	59.8
J4	06/23 09:00~06/25 07:30	30	28.5	19.8	1.4	0.292	232.5	223.5	24.39	18.38	7.46	3.79	2.31	1.94	19.5	38.1	66.2

全調査期間:05/31 11:00~06/26 10:00、採水総サンプル数:167、(T):総物質、(P):懸濁性物質 ((P)=(T)-(S)),(S):溶解性物質)、SS₅₀₀:500μm以下のSS

た含有率の変動は、COD では、J1が 5~20%前後の変動を示しているのに対し、J4は流量の第2ピークまでの変動幅が小さく、その後は流量に対応して小さくなる結果で、両降雨に共通するような変動は見られない。T-N は、0~15%程度の鋸型の変動を示しているが、流量変動に対応したものではなく別な要因による変動と思われる。T-P は 1%前後の小さい変動値を示した。

2) SS_{500} —流量と SS_{500} — D_{50} の関係 図-2に SS_{500} と流量との経時変化、 SS_{500} と D_{50} との経時変化を示した。 SS_{500} と流量との関係は、J1では複雑な変動をしているが大略では右回りのループを、J4ではS字のループを描き流量上昇期から下降期にかけては右回りの変動を示している。 SS_{500} と D_{50} との変動関係は、J1とJ4を合わせて評価すると、200mg/l以下では D_{50} の変動がばらつき特徴的な傾向を見ることはできないが、高濃度に変化する場合に明瞭な右回りのループを示している。これは、流量が急激に増加する場合には微細粒子が流出し、減少期には粗い粒子が流出することを意味しており、下水道整備途上域の中小都市河川で指摘してきたことと逆の結果となり、当流域の降雨時流出の特徴のようにも見受けられる。

3) 粒度分布測定結果より算出した SS_{500} の分画SSと懸濁成分との相関関係 表-2に粒度分布測定結果より算出した SS_{500} の分画SSと全懸濁成分(P)との相関係数を分画毎の平均SS値とともに示した。一降雨全体を示しているTでは、J1とJ2で評価が異なる所もあるが総合的に見れば、相関性はCOD(P)が高く、次いでT-P(P)、T-N(P)と言える。粒径の点では、COD(P)では両降雨とも細かい粒子(1~8 μ m)から中間の粒子(25~74 μ m)へと粒子が大きくなるに従って相関性が高くなるが、粗い粒子(74~500 μ m)では幾分低くなる。T-N(P)、T-P(P)では、T-P(P)がJ4のCOD(P)と似

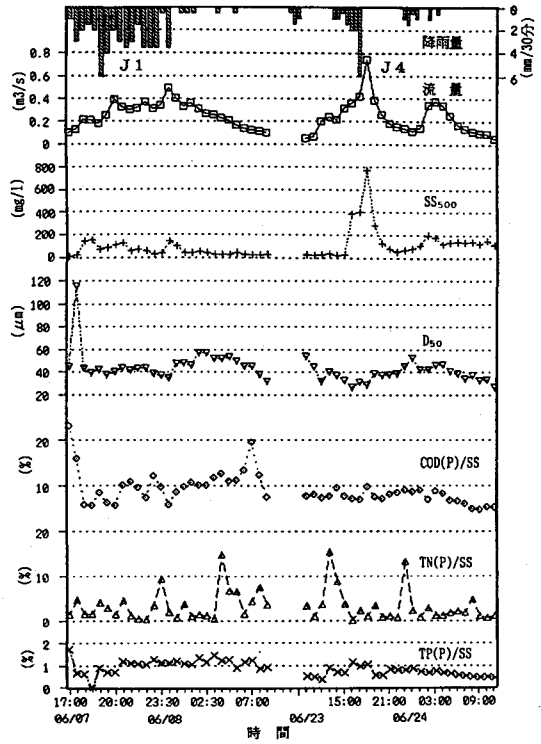


図-1 降雨時流出変動

ている点を除けば、細かい粒子から粗い粒子に亘つての変化は無い。流量変動では、水質項目と粒径区分により評価が異なるが、全体的には上昇期(U)とピーク期(P)の相関が高く、下降期(D)は低い。さらに下降期の相関を粒径区分

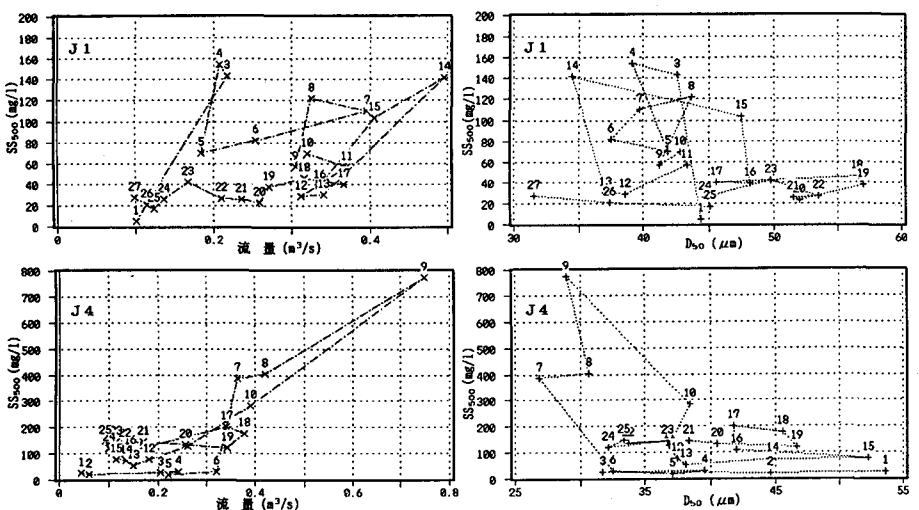


図-2 SS_{500} —流量と SS_{500} — D_{50} の経時変化

で見ると、COD(P)、T-P(P)では細かい粒子（1～25 μm ）では低い、中間から粗い粒子になるにつれて高くなっている。

4) 分画試料の含有率特性 図

ー3に分画試料の水質値とSS₅₀₀を粒度分布の測定結果で分画して求めた分画SSとの比率で算出した含有率を示した。分画範囲は分画試料の測定精度も勘案して分画S（1～25 μm ）、M（25～74 μm ）、L（74～500 μm ）の3段階とした。またT-N(P)は分画値間に矛盾するものが見られたため除外した。COD(P)では、一降雨期間の含有率は

粒径区分 (μm)	解析 期間	J1				J4			
		平均SS ₅₀₀ (mg/l)	COD(P)	T-N(P)	T-P(P)	平均SS ₅₀₀ (mg/l)	COD(P)	T-N(P)	T-P(P)
1～8	U	4.98	0.962	0.689	0.382	3.33	0.977	0.110	0.912
	P	4.57	0.648	0.457	0.864	25.45	0.972	0.387	0.993
	D	1.77	0.076	0.076	0.002	18.59	0.046	0.208	0.086
	T	3.73	0.802	0.450	0.659	15.53	0.914	0.365	0.923
8～25	U	17.42	0.968	0.710	0.323	8.69	0.988	0.078	0.912
	P	14.85	0.719	0.500	0.885	77.11	0.957	0.394	0.994
	D	5.03	0.030	0.089	0.054	25.92	0.557	0.286	0.504
	T	12.15	0.834	0.473	0.627	38.30	0.969	0.414	0.992
25～74	U	36.71	0.980	0.739	0.339	20.18	0.990	0.144	0.935
	P	34.16	0.842	0.506	0.947	34.72	0.981	0.459	0.984
	D	12.57	0.704	0.247	0.793	59.37	0.651	0.051	0.663
	T	27.53	0.906	0.484	0.683	72.77	0.980	0.460	0.980
74～500	U	19.31	0.939	0.603	0.356	11.80	0.928	0.122	0.957
	P	16.63	0.912	0.387	0.922	41.61	0.617	0.818	0.486
	D	7.91	0.728	0.189	0.914	24.48	0.776	0.246	0.840
	T	14.32	0.901	0.401	0.637	25.28	0.753	0.622	0.681

解析期間：U-流量上昇期、P-流量ピーク期（0.30 m^3/sec 以上）
D-流量下降期、T-全体（U+P+D）

J1、J2とも分画L、M、Sの順序で、細かい粒子より粗い粒子での含有率が高い。流量の上昇期(U)、ピーク期(P)、下降期(D)での変動はJ1とJ4では異なる所もあるが、J4の分画M、Lは流動変動とよく対応しているといえる。T-P(P)は、一降雨期間では、J4の分画Lの含有率が他の分画に比べて幾分大きく算出されているが、分画間の差はCOD(P)に比べれば小さい。流量変動に対しては、COD(P)と同様にJ4の分画M、Lで対応が見られる。このように、COD(P)では粒子が大きくなるにつれて含有率が高くなること、T-P(P)では細かい粒子から粗い粒子の含有率に差が余り無いこと、流量変動との応答がある程度はあること、を述べたが、定量的な解析をするには資料の蓄積が必要と考える。

5. まとめ

本報告では、閉鎖性水域に流入する小河川で実施した連続調査の内、降雨時流出特性が明瞭な2降雨の調査資料を用いて、流出変動特性や懸濁成分の粒度依存特性に検討を加えた。その結果、懸濁成分の粒度依存特性を流動変動との関わりで一定程度明らかにすることができたが、連続調査調査結果を用いた結果と分画試料の資料を用いた結果とは相違する点もあり、さらに資料を蓄積して、懸濁成分の粒度依存特性の定量化と一般化をはかりたいと考えている。

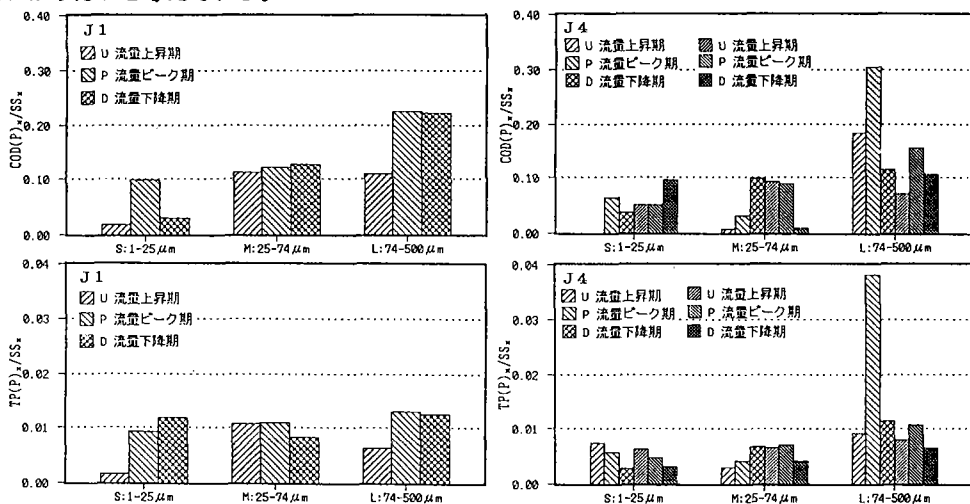


図-3 分画試料の含有率

参考文献

1)西本他：第23回水質講、2)市木他：第24回水質講、3)市木他：第25回水質講、4)施他：第26回水質講、5)吉富他：第26回水質講、6)市木他：第44回土木学会年講、7)市木他：第45回土木学会年講、8)吉富他：46回土木学会年講