

流域土地利用を考慮した雨天時水質の挙動について

On the characteristics of water quality on a rainy day in consideration of land use

建設省土木研究所	正員	浅野 富夫
建設省土木研究所	正員	馬場 洋二
建設省土木研究所	学生員	伊藤 雄二
建設省土木研究所		綿貫 克彦

1. はじめに

近年、雨天時における河川あるいは下水を対象とした水質観測が数多く行われ、雨天時水質の挙動がかなり明らかにされてきた。たとえば、中村¹⁾、市川・志村・高野²⁾らは下水を対象として水質変動に関するモデルを作成し、とくに最大値の推定が可能となり、下水処理施設の規模決定に大きな貢献をしている。一方、河川については、停滞性水域を対象とした総量規制などの関連より、一降雨による総流出負荷量の検討が重要となり、たとえば海老瀬・村岡・相崎・大坪^{3)~5)}らにより検討が加えられてきた。著者らもこのような立場に立ち、本報告では河川流域の土地利用を考慮した汚濁流出の原単位について考察し、一出水による総流出負荷量の推定を試みるとともに、河川に設けられた堰・ダム等による汚濁物質の貯留について検討を加えている。

2. 河川における雨天時水質の観測

流域の土地利用を考慮した総流出負荷量を検討する場合、水質及び流量の観測が容易であるとともに、対象とした河川流域の土地利用に偏りが無いことが望ましい。このような条件を満足する地域として、著者らは図-1に示されるような多摩川上流域を選定し、昭和54年より雨天時水質の多点同時観測を実施してきた。台風7916号出水を対象とした観測については既報⁶⁾で詳述しているため、ここでは新たに実施した台風8020号出水(昭和55年10月14日~16日)について簡単に説明してみよう。

本観測では、前回の観測地点(多摩川本川昭和橋、同調布橋、同拝島橋、平井川多西橋、秋川沢戸橋、同東秋川橋、青梅・羽村・福生都市下水路下流端及び下の川下流端)に多摩川本川羽村を加え、合計9箇所において採水を実施した。採水、流量観測及び水質分析方法としてはいずれの地点においても前回と同様の方法を採用し、新たに追加した羽村地点における多摩川本川流量は水位・流量曲線より算定した。



図-1

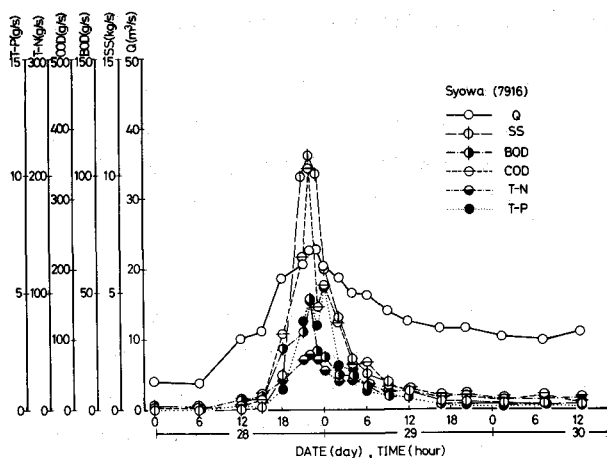


図-2(a)

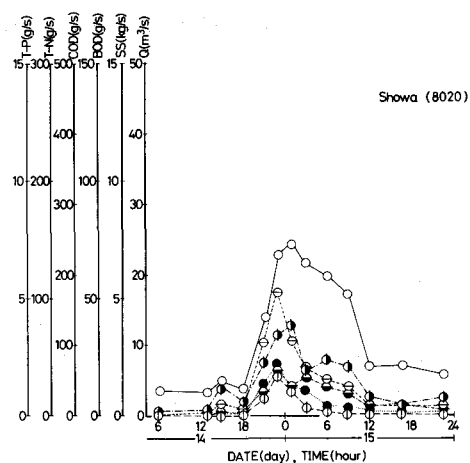


図-2(b)

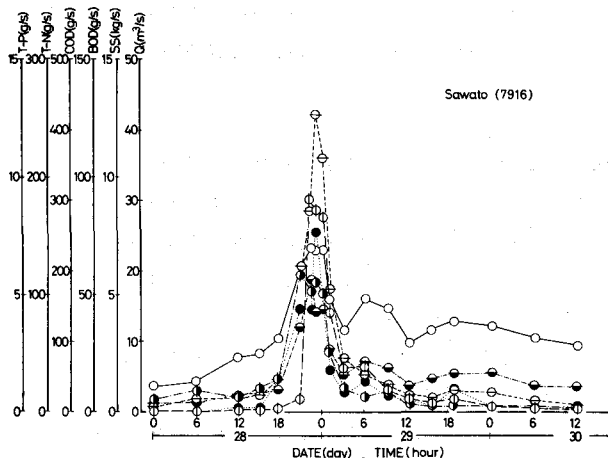


図-3(a)

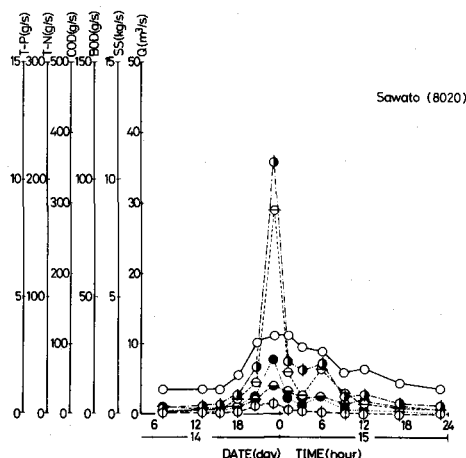


図-3(b)

出水の規模は、昭和橋地点における図-2及び沢戸橋地点における図-3にも示されるように、ほぼ同程度であったが、両者の流出特性は大きく異なっており、その主な相違点を示すと次のようである。

まず、台風7916号出水においては、小河内貯水池の貯水量が少なく同ダムからはまったく放流されず、また降雨継続時間は長く、降雨強度も比較的小さかったようである。なお、このときの先行無降雨日数は3日であった。

これに対し、台風8020号出水時には、小河内貯水池の水位が高く同ダムからは放流が行われ、図-2(b)に示されるように、多摩川本川の流量はダムからの放流量に大きく支配される結果となった。また、降雨継続時間は短く、降雨強度は比較的大きかったものの、先行無降雨日数が長かった(17日)ため、山地あるいは田畑を主な土地利用とする流域では、図-3(b)に示されるように、流量の最大値は前回より小さく、図-2及び図-3にみられるように、とくに今回はSSの流出が少ないという特徴をもっている。なお、流域の都市化が進んでいる青梅・羽村・福生都市下水路あるいは下の川では、前回に比べ、流量の最大値は大きく、またいずれの水質項目についても大きな流出量を呈している。

したがって、総降雨量はほぼ同程度であっても、両者の汚濁負荷流出特性には大きな相違があるものとした方が適切であろう。

3. 流出汚濁負荷量と土地利用との関係

(1) 土地利用の分類

流域の土地利用の分類法としては従来より種々の方法が提案されているが、ここでは国土地理院発行の地形図(縮尺1/25000)に基づき簡単に次のような方法を採用した。すなわち、通常よく用いられている山林、田畑、宅地の他に、多摩川のような一級河川を対象とした場合、流域面積に占める河川面積も大きく、また汚濁物質の河川への蓄積あるいは河川からの流出も重要となるため、本研究では河川を一種の土地利用と考え、流域を以上の4種に分類した。ここに、山林及び田畑は、地形図上でそれぞれの記号が付記された地域とし、また河川としては水面の有無にかかわらず高水敷をも含めた河川敷(堤外地)すべてとし、また宅地は地形図上で斜線が施された地域(建物密集地、高層建築街等)及び建物を表す記号が点在している地域としている。なお、本調査で対象とした宅地はすべて下水道未敷設地区であるため、下水道敷設の有無による影響を把握するための土地利用分類は行っていない。

このような方法により対象とした多摩川上流域の土地利用を分類すると、表-1のようになる。ここに、各地点における面積は、その地点を下流端とする流域すべてを含むものであるが、表中()内の数字は小河内ダム上流域を除いた面積である。

(2) 流出汚濁負荷量の原単位

河川内のある断面を通過する汚濁負荷量と流域内の土地利用との関係を検討する場合、本来流達率あるいは流出率などの概念を導入する必要がある。しかしながら、現在のところ雨天時におけるこれら諸量については不明の点も多い。したがって、本報告ではこれらの概念をまず河川面積に集約させることを試みた。

いま、ある流域における山林、田畑、河川、宅地面積を、それぞれ、 A, B, C, D (km^2)とし、対象とした流域の下流端における一降雨出水の累積負荷量及び累積流量(総流出量)を、それぞれ、 ΣL (kg)及び ΣQ (m^3)とすると、流出負荷量と土地利用との関係は、山林、田畑、河川、宅地における単位面積・単位流量当りの流出汚濁負荷量 a, b, c, d ($\text{kg}/\text{km}^2 \cdot \text{m}^3$)により、次のように表示される。

$$\Sigma L = aAq_A + bBq_B + cCq_C + dDq_D \quad \text{.....(1)}$$

ここに、 q_A, q_B, q_C, q_D は、それぞれ、山林、田畑、河川、宅地からの流出累積流量であって、ここでは簡単のため次のように表すこととする。すなわち、対象とした流域の面積を S ($=A+B+C+D$) とした場合、

$$q_A = \frac{A}{S} \Sigma Q, \quad q_B = \frac{B}{S} \Sigma Q, \quad q_C = \frac{C}{S} \Sigma Q, \quad q_D = \frac{D}{S} \Sigma Q \quad \text{.....(2)}$$

とする。

表-1

(単位: km^2)

河 川	地 点	流域全体	山 林	田 畑	河 川	宅 地
多 摩 川	昭 和 橋	(116.23)	(114.59)	(0.50)	(0.70)	(0.44)
		370.78	359.16	2.38	8.39	0.85
	調 布 橋	(201.07)	(188.86)	(4.92)	(2.42)	(4.87)
		455.62	433.43	6.80	10.11	5.28
	羽 村	468.24	439.48	8.74	11.45	8.57
平 井 川	多 西 橋	38.41	28.23	4.57	0.57	5.04
秋 川	沢 戸 橋	127.14	122.10	2.25	0.73	2.06
	東秋川橋	164.42	147.70	7.36	2.57	6.79
青梅羽村福生都市下水	下 流 端	10.63	0.66	0.44	0.19	9.34
下 の 川	下 流 端	7.28	0.08	0.23	0.89	6.08

表-2 (a)

(単位: kg/km^2)

土地利用	SS	BOD	COD	T-N	T-P
山 林	8.4×10^{-4}	9.0×10^{-6}	3.8×10^{-5}	1.8×10^{-5}	6.6×10^{-7}
田 畑	1.3×10^{-2}	-1.6×10^{-5}	3.2×10^{-3}	7.8×10^{-3}	7.7×10^{-5}
河 川	1.0×10^{-1}	-6.9×10^{-2}	-6.0×10^{-2}	-7.2×10^{-2}	-2.6×10^{-3}
宅 地	6.9×10^{-3}	2.3×10^{-3}	2.0×10^{-3}	2.0×10^{-3}	7.4×10^{-5}

表-2 (b)

(単位: kg/km^2)

土地利用	SS	BOD	COD	T-N	T-P
山 林	1.0×10^{-4}	2.1×10^{-5}	4.8×10^{-5}	1.2×10^{-5}	6.2×10^{-7}
田 畑	3.1×10^{-2}	1.0×10^{-3}	5.6×10^{-3}	3.8×10^{-3}	1.1×10^{-4}
河 川	-3.2×10^{-1}	-5.6×10^{-2}	-3.7×10^{-2}	-1.9×10^{-2}	-5.8×10^{-3}
宅 地	2.3×10^{-2}	3.3×10^{-3}	3.2×10^{-3}	7.5×10^{-4}	1.9×10^{-4}

表-2 (c)

(単位: kg/km^2)

土地利用	SS	BOD	COD	T-N	T-P
山 林	8.1×10^{-4}	9.5×10^{-6}	3.8×10^{-5}	1.6×10^{-5}	7.6×10^{-7}
田 畑	2.0×10^{-3}	-1.0×10^{-3}	2.1×10^{-3}	8.3×10^{-3}	4.3×10^{-6}
河 川	-2.6×10^{-1}	-6.8×10^{-2}	-5.3×10^{-2}	-2.8×10^{-2}	-5.5×10^{-3}
宅 地	2.0×10^{-2}	3.2×10^{-3}	3.0×10^{-3}	9.7×10^{-4}	1.7×10^{-4}

以上のような考え方にに基づき、式(1)を表-1に示された小流域に適用し、最小二乗法により a 、 b 、 c 、 d を決定すると次のようになる。ただし、台風8020号出水時における昭和橋では小河内ダム、調布橋においては白丸ダム、羽村では小作堰、東秋川橋においては高月堰を初めとするいくつかの堰により、それぞれ汚濁物質の流下が抑制されているものと推定されるため、流出汚濁負荷量の原単位決定に当たっては、以上の地点を除いた地点の観測値のみを用いることにする。

表-2 (a)は台風7916号出水の観測値(昭和橋、多西橋、沢戸橋、青梅・羽村・福生都市下水路下流端、下の川下流端)のみに基づき評価した原単位、表-2 (b)は台風8020号出水の観測値(多西橋、沢戸橋、青梅・羽村・福生都市下水路下流端、下の川下流端)のみに基づく値であって、河川からのSSの流出量及び田畑からのBODの流出量を除き、両者の値の正負は一致しており、少なくとも定性的な傾向が示されている。すなわち、出水規模が年数回生起する程度のものまでは、汚濁物質は排水路、小河川等を経て大河川に流出するものの、大河川に流入した汚濁物質は下流側に移送されるが相対的には河川内に蓄積されることが知られる。大河川では小出水により蓄積した汚濁物質が晴天時に溶出し、また大出水時に一挙に流出するものと考えられる。なお、表-2 (a)における河川からのSSの流出原単位が正ということは、図-2 (a)にみられるように、とくに宅地が少ない上流域においてSSの流出量が大きかったことに基づくものであり、また田畑のBODが負ということは、その絶対値が小さいことから判断して、いずれかの地点における観測値に含まれた誤差に基づくものと推定される。

前章において述べたように、台風7916号出水と8020号出水とはその特性を異にするものであるが、いまこれら両者の観測結果を併せて負荷量の流出原単位を推定すると、表-2 (c)のようになる。表-2 (a), (b), (c)の比較より、河川からのSSの流出及び田畑からのBODの流出を除き、これら三者の値は比較的に近い値を示しているため、以後においては表-3 (c)の値によりその妥当性について検討を進めていくことにする。

(3) 石神井川、谷沢川及び山王川への適用

前節において得られた流出汚濁負荷量の原単位を他の河川に適用し、その妥当性について検討すると次のようになる。

石神井川及び谷沢川は、それぞれ、隅田川右支川及び多摩川左支川の都内河川であって、土木研究所都市河川研究室では従来より弥生橋（石神井川）及び等々力溪谷公園（谷沢川）において水質観測を行ってきた。弥生橋より上流の石神井川流域（流域面積 16.48 km²）は、最上流部（小平市）を除き下水道未敷設地域であって、青梅・羽村・福生都市下水路及び下の川流域と同様の特性を有している。また、谷沢川流域（流域面積 5.16 km²）は分流式下水道の敷設地域であって、上記流域とは若干異なる様相を呈している。

石神井川及び谷沢川流域についても、多摩川上流域と同様に、1/25000 の地形図に基づき流域を山林、田畑、河川、宅地の 4 種に分類し、昭和 50 年から 53 年にかけて観測された雨天時の汚濁流出量と式(1)から推定された流出量とを比較すると表-3 のようになる。谷沢川の結果にみられるように、実測値と推定値との一致性は流出の規模及び先行無降雨日数等により大きく異なるようであるが、石神井川あるいは谷沢川のいずれにおいても実測値と推定値とは同程度とみなすことができ、比較的良好な推定結果といえるようである。したがって、概略的には多摩川上流域を対象として得られた原単位により、都内河川における雨天時汚濁負荷流出量の見積りがある程度可能となろう。

つぎに、霞ヶ浦（西浦）に流入する山王川（石岡市、流域面積 12.8 km²）を対象とした海老瀬ら^{3), 5)} の観測結果に前節で得られた原単位を適用し、観測値と推定値とを比較すると表-3 に併示されたようになる。SS 及び T-P については実測値の方が数倍大きく、また T-N については推定値の方が一桁大きな値を示している。このような結果になった原因としては、多摩川上流域と山王川流域との汚濁負荷流出特性の本質

表-3

(単位: ton)

河 川	年 月 日	種 類	SS	BOD	COD	T-N	T-P
石神井川	53, 8, 1	実測値	47.5	9.17	5.2	1.4	0.37
		推定値	15.4	2.34	2.5	1.4	0.13
谷 沢 川	50, 10, 24	実測値	2.0	0.81	—	—	—
		推定値	2.9	0.47	—	—	—
	51, 7, 19	実測値	22.4	2.66	—	—	—
		推定値	9.6	1.54	—	—	—
	51, 8, 2	実測値	17.0	4.76	—	—	—
		推定値	4.9	0.79	—	—	—
	51, 10, 16	実測値	4.7	0.83	—	—	—
		推定値	3.5	0.56	—	—	—
	51, 10, 20	実測値	14.0	1.49	—	—	—
		推定値	5.0	0.80	—	—	—
	51, 10, 24	実測値	3.5	0.65	—	—	—
		推定値	3.9	0.63	—	—	—
	52, 9, 30	実測値	2.8	0.57	—	—	—
		推定値	2.8	0.45	—	—	—
	52, 10, 3	実測値	12.8	1.06	—	—	—
		推定値	11.9	1.91	—	—	—
山 王 川	54, 11, 10	実測値	22.2	—	—	0.80	0.15
		推定値	5.9	—	—	7.01	0.04

表-4

地 点	ダム・堰	年	実測値	推定値	貯留率
昭 和 橋	小河内ダム	5 5	3 1 ^{ton}	3 3 6 ^{ton}	9 1 %
調 布 橋	小河内ダム, 白丸ダム	5 4	1 4 8	4 9 9	7 0
		5 5	4 1	6 6 3	9 4
羽 村	小河内ダム, 白丸ダム, 小作堰	5 5	3 7	5 9 8	9 4
東秋川橋	高月堰など	5 4	1 7 5	3 2 7	4 6
		5 5	1 3	1 0 9	8 5

的な相異, 前節で得られた原単位の不適切さ, あるいは土地利用区分の定義の相違等があげられるが, 本研究のように概略的な立場に立った場合, 数倍程度の推定誤差はやむを得ないであろう。

(4) 堰・ダムによる汚濁物質の貯留

浮遊砂を初めとするSSは流速が著しく小さくなった場合河床に沈積し, また水面上に浮遊したSSはunder flowの流出部において水面上に蓄積されるものと予測されるため, 堰あるいはダムによるSSの貯留効果について検討すると次のようになる。

表-4は, 上流域に堰あるいはダムが存在する地点において, 式(1)及び3.(2)で得られた原単位に基づいて推定したSSの流出量と実測値とを比較したものであって, いずれにおいても実測値は推定値よりもかなり小さく, 流出量の数十%以上が堰・ダムにより貯留されていることが知られる。しかしながら, このような定量的検討を行うためには, 原単位そのものの精度を高くする必要があり, 堰・ダムによる雨天時水質の改善効果についてはさらに検討しなければならない。

4. おわりに

本研究においては, マクロ的な立場に立ち, 雨天時における汚濁負荷の総流出量を概略的に推定するための原単位について検討を行ってきたが, 観測事例が少なく, 定性的な検討に止まることが多く, 定量的な検討を進めるためにも, 今後さらに多くの観測を行い, その結果に基づき原単位について調査していくことが必要であろう。

最後に, 本調査を進めるに当たり, 東京都交通局電気部発電課, 同水道局給水部浄水課及び関東地方建設局京浜工事々務所の御協力を得たことを付記し, 感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 中村栄一: 合流式下水道対策の検討(第II報)——汚濁負荷流出シミュレーション——, 第16回衛生工学研究討論会講演論文集, pp. 154-160, 1980.
- 2) 市川 新, 志村近史, 高野匡裕: 雨天時負荷流出シミュレーションと非特定汚染源負荷, 第8回環境問題シンポジウム講演論文集, pp. 130-135, 1980.
- 3) 海老瀬潜一, 村岡浩爾, 大坪国順: 小河川における総流出負荷量の観測と評価, 第24回水理講演会論文集, pp. 161-166, 1980.
- 4) 海老瀬潜一: 小河川の降雨時流出負荷量の算定と評価, 環境技術, vol. 9, no. 4, pp. 277-285, 1980.
- 5) 海老瀬潜一, 村岡浩爾, 相崎守弘, 大坪国順: 中小河川における期間総流出負荷量の変化とその評価, 第8回環境問題シンポジウム講演論文集, pp. 118-123, 1980.
- 6) 浅野富夫, 馬場洋二, 伊藤雄二, 綿貫克彦: 河川における雨天時水質の挙動について, 第24回水理講演会論文集, pp. 173-178, 1980.