

中小河川における汚濁流出率の諸特性

CHARACTERISTICS OF RUNOFF COEFFICIENTS OF POLLUTANTS FROM SMALL AND MEDIUM RIVERS

和田安彦*・三浦浩之**

By Yasuhiko WADA and Hiroyuki MIURA

The amounts of pollutant loads, which flow into receiving water, are varied by runoff process. For this reason, it becomes important to grasp the conditions of the runoff process of pollutant loads.

Runoff coefficient of pollutants is the index which represents the change of pollutant loads from certain areas where pollutant loads are produced to certain points of river. And runoff coefficients of pollutants represents the system of reaction which are taken in runoff process into receiving water.

So, we make clear the characteristics of runoff coefficient on the basis of the results of case studies with many small and medium rivers. And the major controlling factors of the runoff coefficient of pollutants and their constituent elements were discussed.

1. 緒 言

公共用水域に流出する汚濁負荷は、その流出過程によって大きく変化する。現在、閉鎖性水域等で行われている総量規制は、汚濁負荷の総量をあらかじめ設定して、その枠内に負荷量を制御する考え方であり、発生した汚濁負荷の流出過程状態の把握が、重要な位置を占めてくる。

水質保全のための各種計画では、発生する汚濁負荷量を計量し、発生した負荷量が公共用水域にどれだけ流達するのかを算定するが、この中で、汚濁流出率は汚濁負荷の発生、排出、流下から河川のある地点まで到達するという流出系における重要な指標になっている。これは、いわば、流出過程で生じる反応系をこの数値によって記述しているといえる。したがって、汚濁流出率を明らかにするためには、重要な汚濁流出率の支配因子とその特性を調べることが大切である。

ここでは、これまで著者らが行ってきた河川の汚濁流出率に関する研究結果^{1)~9)}を踏まえて、さらに著者らが実施した開発系の都市中小河川での汚濁流出率の研究結

果に基づき、汚濁流出率の諸特性について検討した。著者らが長期間にわたって調査研究してきた汚濁流出率の特性について、その地域特性や汚濁流出率との関連を検討するとともに、汚濁流出率の定式化を図り、影響する諸要因について考察した。

2. 汚濁流出率の定義と従来の研究

(1) 汚濁流出率

一般にある地域から排出される汚濁負荷量に比べて、実際の河川水質から求めた汚濁負荷量はかなり低い。これは汚濁負荷が流下過程で生物学的分解作用や酸化、あるいは河床への沈殿、吸着作用、地下への浸透等の作用を受けるからである。

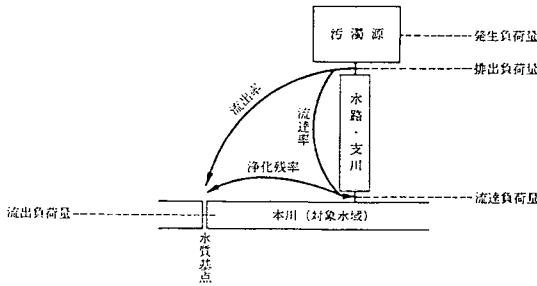
対象水域へ実際に到達する汚濁負荷量の排出汚濁負荷量に対する割合を流達率とよぶ。この流達率は地域内の側溝や排水路の整備状況により異なるものである。

河川に汚濁負荷が流入した後、流下過程で総合的な自浄作用を受け、河川下流のある地点でどの程度の負荷量に減衰しているのかを、発生負荷量との比で表わしたものを汚濁流出率とよび、次のように定義されている¹⁰⁾(図-1)。

$$\text{汚濁流出率} = \frac{\text{水質基点において流下する汚濁負荷量}}{\text{当該基点までの流域内の総排出負荷量}}$$

* 正会員 工博 関西大学助教授 工学部土木工学科
(〒564 吹田市山手町 3-3-35)

** 正会員 関西大学助手 工学部土木工学科 (同上)



図一 負荷流出の概念図¹⁰⁾

ある基点より上流の汚濁源で発生し、排出された人為負荷量を $\bar{L}(t)$ 、基点での流出負荷量を $L(t)$ とすると、汚濁流出率 R は

$$R = \int L(t) \cdot dt / \int \bar{L}(t) \cdot dt \dots\dots\dots (1)$$

で求められ、対象河川へ流達した負荷量を $L'(t)$ とすると

$$L'(t) = \bar{L}(t) \cdot C_r \dots\dots\dots (2)$$

の関係がある。ここで、 C_r は汚濁流達率である。基点までの汚濁負荷の浄化残率を α とすると汚濁負荷の収支式は、

$$L(t) = L'(t) \cdot \alpha + L_0(t) \\ = \bar{L}(t) \cdot C_r \cdot \alpha + L_0(t) \dots\dots\dots (3)$$

で求められ、式(2)、(3)を式(1)に代入すると、ある時間 $t_1 \sim t_2$ での汚濁流出率 R は

$$R = C_r \cdot \alpha + \int_{t_1}^{t_2} L_0(t) \cdot dt / \int_{t_1}^{t_2} \bar{L}(t) \cdot dt \dots\dots\dots (4)$$

となる。

ここで、 $L_0(t)$ は、対象汚濁負荷量が流入する地点より上流からの流下負荷量である。

汚濁排出負荷量 $\bar{L}(t)$ に対して河川上流からの流下負荷量 $L_0(t)$ が無視できる程度に少ない場合には

$$\int_{t_1}^{t_2} L_0(t) \cdot dt / \int_{t_1}^{t_2} \bar{L}(t) \cdot dt \approx 0$$

とみなし得る。この場合については、汚濁流出率は

$$R = C_r \cdot \alpha \dots\dots\dots (5)$$

と表わし得る。すなわち、中小河川の汚濁流出率は、汚濁流達率と河川の浄化残率の積によって表わされる。

C_r は地域特性に影響され、雨水流出係数、水路の整備状況、水路の配置状況、排水路等の汚濁負荷の堆積量等にも強く支配される。

α は河川の自浄能力の特性によって変わるものであり、汚濁負荷の生物等による分解作用や沈殿、堆積、浸透等の物理作用、吸着、化学反応等による化学作用を総合的に表わしたものである。

(2) 汚濁流達率

一般に、あるブロック(流域)の全負荷量が水域に流

入している地点において実測した汚濁負荷量は、対応するブロック内の排出負荷量に比べてかなり小さいのが通常である。このため、汚濁負荷の流達率を次のように定義して、各ブロック内で排出される負荷量と、水域へ実際に流入する負荷の関連づけを行っている¹⁰⁾。

$$\text{流達率} = \frac{\text{ブロックから対象水域へ流入する汚濁負荷量}}{\text{ブロック内での排出負荷量}}$$

流達率には、対象水域に流入する河川等の支流における浄化作用の効果も含まれる。

(3) 汚濁流出率に関する従来の研究

従来からの汚濁流出率に関する研究は、その目的と用途の上から次の4つに分類できる。

- ① 計画因子の究明
- ② メッシュ解析への適用
- ③ 河川の汚濁解析
- ④ 河川と汚濁流出特性の解明

① 計画因子の究明

ここで計画因子とは河川や、周辺の諸条件等の各種の計画値を変化させたときの、河川への汚濁流出の状況を明らかにするために検討するものである。汚濁流出率を各種の水質汚濁防止計画に用いるための研究は、基礎汚濁流出率を調査し、これを合成してある地域の汚濁流出率を求めてゆくものと、浄化残率を含み土地利用を総合的に考慮した総合的汚濁流出率との2つに分けられる。前者には稲場らの研究¹¹⁾が、後者には著者らの研究^{2), 3)}がある。

② メッシュ解析への適用

メッシュデータによる研究は、各種の水質保全計画に用いられるものと、河川に流出する汚濁の流出現象を解明するためのものとに大別される。前者には、住友¹²⁾や松本ら¹³⁾の研究がある。松本らは阿武隈川の流域 5420 km²、流路長 1400 km を 68×36 のメッシュに分け、メッシュごとの発生負荷量を算定し、各メッシュごとに流出率を設定して、8か所の地点で実測汚濁負荷量と比較している。また住友らは、京都市内を 500 m メッシュに分割し、汚濁流出率を各メッシュごとに設定し、下流点での実測負荷量と比較して、値に合致するように汚濁流出率を各メッシュごとに修正している。その中で、500 m メッシュにとっても現況ではメッシュ数に対応するデータのとり得ないことを指摘している。

③ 河川の汚濁解析

水質指標としては、BOD、SS などの有機物を指標にしたものが一般的であるが、塩素イオンなどによる無機イオンによって中小河川の汚濁流出率を求め、河川の流出特性を表わそうとするものに岩井ら¹⁴⁾の研究がある。

村上¹⁵⁾は、わが国の 14 の都市河川を対象に BOD を中心として、汚濁流出率と人口密度、流域面積との関係

を考察し、汚濁流出率は $(\sqrt{\text{流域面積}}/\text{人口密度})$ との関係が大きく、片対数紙上では、汚濁流出率はほぼ直線的に減少することを示した。その関係は式(6)で表わされる。

$$R = 100 \cdot \exp(-C \cdot \sqrt{A}/P) \dots \dots \dots (6)$$

ここで、A：流域面積 (ha), P：人口密度 (人/ha),

C：比例定数

稲場ら¹¹⁾は大都市5市を取り上げ、排水路、人口のほぼ似た地区を選定して、ユニット排水区を設け、それらの汚濁流達率を求めた。汚濁流達率はBODでは0.17~0.63, CODでは0.32~1.09となっている。汚濁流達率は自然部分の多い地域と、人工的な部分の多い地域では異なり、二面コンクリート張りの排水路整備地域では、BOD, SSの汚濁流達率はともに0.5~0.7にある。

中西らは、N, Pについて降雨時を主体として、その流出を1年間調査し、流出率について考察している^{16), 17)}。これより、流出率は季節や降雨量により変動することを明らかにしている。

3. 田園のある開発系河川の汚濁流出率

著者らが田園のある開発系河川(開発の進行している河川)(伊川)について、その水質特性の把握と河川水質管理を目的として汚濁流出率を調査・検討した。

(1) 調査地域の概要

調査地域とその周辺を図-2に示す。伊川水系は六甲山の西斜面から始まる流域で、今後、神戸市の人口は北神や西神の方に伸びていく傾向にあり、新規住宅開発計画も数多いところである。

当河川の特徴を挙げると次のようになる。

- 1) 上流は開発による人口、下流は都市とその水源、中間は田園、緑地の多い流域。
- 2) 開発による人口増加の多い流域。
- 3) 堰が多い流域。

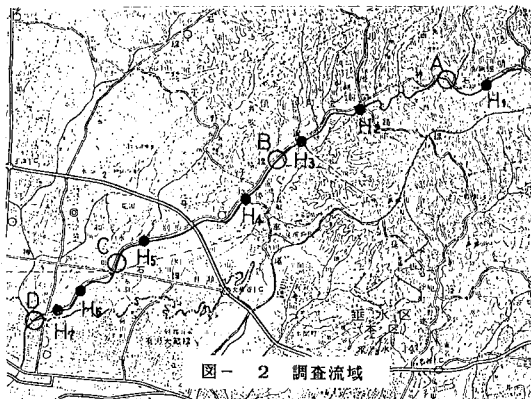


図-2 調査流域

図-2 調査流域

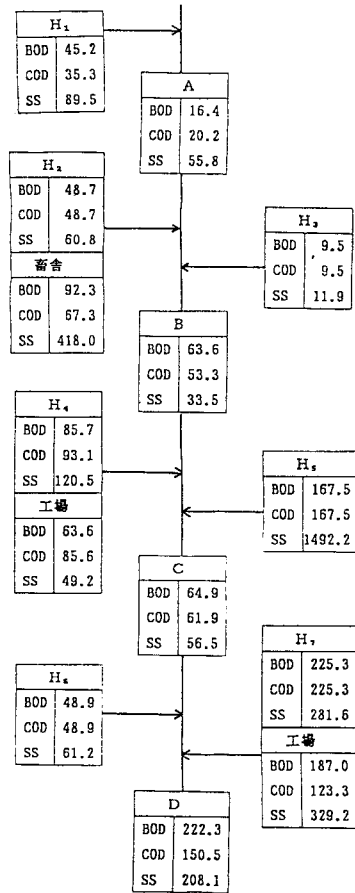


図-3 地点別排出負荷量

表-1 平均負荷量 (kg/時)

	A		B		C	
	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均
BOD	0.52-0.98	0.69	1.27-7.36	2.65	1.76-4.40	2.71
COD	0.59-1.07	0.84	1.47-3.33	2.22	1.79-3.17	2.58
SS	0.75-4.29	2.33	1.09-1.88	1.40	1.31-4.33	2.36
Cl ⁻	2.00-4.36	3.17	6.28-9.80	7.91	8.89-19.3	10.68
NH ₄ -N	0.039-0.105	0.071	0.110-0.211	0.176	0.031-0.250	0.086
PO ₄ ³⁻ -N	0.014-0.029	0.044	0.023-0.046	0.034	0.004-0.101	0.020
流量(m ³ /秒)	0.018-0.033	0.024	0.056-0.085	0.072	0.080-0.101	0.087
流速(m/秒)	0.072-0.153	0.111	0.273-0.420	0.350	0.271-0.336	0.289

伊川の代表的な調査地点として図-2に示すA, B, C, D (AB間4290m, BC間4160m, CD間1700m)を選んだ。横から負荷量の流入する地点はH₁~H₇である。流速は0.23~0.32m/秒で、下流になるほどやや速くなっている。

(2) 伊川水系発生汚濁負荷量と河川流出負荷量

A, B, C, D地点の流出負荷量および横流入地点H₁~H₇より流入する家庭排水、工場排水などによる汚濁負荷量を図化したものが図-3である。なお、汚濁負荷量の算定にあたっては、原単位として次のものを用いた。

- 人 BOD 44g/人・日
- 人 COD 44g/人・日

SS	55 g/人・日		
牛	BOD 0.6 kg/頭・日	豚	BOD 0.2 kg/頭・日
	COD 0.5 kg/頭・日		COD 0.1 kg/頭・日
	SS 3.0 kg/頭・日		SS 0.7 kg/頭・日

また、各調査地点の時間平均流下負荷量を表一1に示す。

(3) 汚濁流出率の検討

汚濁流出率の算定結果を表わしたものが表一2であり、水質項目別に汚濁流出率を検討すると次のようになる。

① BOD

最上流地点 A での汚濁流出率は 0.36 であり、中流部の B 点での汚濁流出率もほぼ同じ 0.32 である。C 点での汚濁流出率は BC 間で比較的多くの汚濁負荷が排出されているにもかかわらず、汚濁流出率は 0.13 と低い値となっている。下流の D 点での汚濁流出率は CD 間の流下距離が短いこともあって、0.23 とやや C 点より高い値となっている。

② COD

COD の汚濁流出率は、上流部では BOD の汚濁流出率よりやや高く (A 点 0.57, B 点 0.33)、下流部では逆にやや低い値 (C 点 0.12, D 点 0.17) となっている。

③ SS

SS の汚濁流出率は、上流部の A 点では 0.62 と高い値を示しているが、中流部から下流部にかけて急激に低下している。特に C 点での汚濁流出率は比較的多くの汚濁負荷が排出されているにもかかわらず、0.03 と小さい。したがって、SS は流下過程における沈殿等による浄化効果大きい。

以上のことから、汚濁流出率を河川に適用する場合には、有機系汚濁物と SS 系汚濁物に分けて評価を行っていく必要がある。また、評価は安全側の評価を行い、有機系の汚濁流出率を重視し、SS 系汚濁流出率は沈殿効果の大きさを評価する場合に有効である。

この調査より明らかとなったことは、次のものである。

(1) 中小河川における汚濁流出率は、一般に下流へいくほど小さくなる。

(2) 横からの汚濁負荷の流入量によって、その地域での汚濁流出率は変化する。

(3) 汚濁流出率は汚濁負荷の流入経路、流入過程によって変化する。

(4) SS の汚濁流出率は、他の有機系負荷のものとは異なり、距離に比例した沈殿作用による汚濁流出率の減衰は非常に大きい。ここでは晴天時の挙動を対象とした。

(5) 有機系汚濁負荷である BOD, COD の汚濁流出率はさほど大きな差はない。

(6) 有機系汚濁流出率は河川管理計画の流出率として評価し、SS 系汚濁流出率は河川の沈殿効果をみるのに有効である。降雨時においては、SS の流出負荷が大きくなるため、この限りではない。

4. 汚濁流出率の特性

著者らは下水道未整備地域の汚濁流出率を明らかにするため、中小河川を対象に汚濁負荷の時間的な発生と汚濁流出率の時間的な変化を調査研究した。ここでは、汚濁流出率の支配因子について検討する。

(1) 汚濁流出率

著者らによる過去 10 年以上の流出率調査結果^{11)~4)}をまとめたものが表一3 である。中小河川を対象に、開発がほとんどなく、自然の残っている地域や比較的市街化の進行した地域等を調査した。中小河川を対象としたのは、日本では都市周辺に中小河川が多く、これらの周辺に新しい市街地の開発が進められることが多いためである。現状においては、自然が多いものの、しだいに減少する傾向を示している。BOD の流出率についてみると、比較的田園等の残存している地域 (小畑川 (京都)、明石川中流、六甲北部河川、伊川など) では、汚濁流出率は 0.1~0.4 にあり、市街地や開発進行地域 (明石川上流、北神河川、神戸市街地河川、六甲南部河川など) での汚濁流出率は 0.4~0.9 と高くなっている。また、農地面積の大きい地域では、灌漑期は汚濁流出率は小さく (0.02~0.4)、非灌漑期には大きく (0.2~0.6) なっている。このように汚濁流出率は、バックグラウンドである地域の土地利用や自然の状態に影響を受けている。

(2) 比負荷量と汚濁流出率

汚濁流出率は河川のもつ自浄能力や地域内発生負荷量等に影響されて決まるものであり、これは地域の地形、地質、土地利用状態などを反映するものである。そこで、汚濁流出率と地域特性との関連を明らかにするため、流域規模の違いを考慮して、流域面積当たりの発生負荷量である比負荷量を用いて、地域特性と汚濁流出率の関係

表一2 伊川における汚濁流出率 (晴天時)

地点	項目	BOD	COD	S S
A	流出負荷量	16.4	20.2	55.5
	排出負荷量	45.2	35.3	89.5
	流出率	0.36	0.57	0.62
B	流出負荷量	63.6	53.3	33.5
	排出負荷量	150.5	125.5	490.7
	追加負荷量	195.7	160.8	580.2
	流出率	0.32	0.33	0.06
C	流出負荷量	64.9	61.9	56.5
	排出負荷量	316.8	346.2	1661.9
	追加負荷量	512.5	507.0	2242.1
	流出率	0.13	0.12	0.03
D	流出負荷量	222.3	150.5	208.1
	排出負荷量	461.2	397.5	672.0
	追加負荷量	973.7	904.5	2914.1
	流出率	0.23	0.17	0.07

(kg/日)

表-3 著者らによる汚濁流出率調査結果一覧表

調査区域	地域特性				汚濁流出率				
	面積 (ha)	人口	人口密度	特徴	B O D	S S	T-N(NH ₄ -N)	PO ₄ -P	
京都市、長岡京市 小畑川	2,170	54,000	25人/ha	田園近郊都市 集中地区大半は住宅地、住宅と田畑が混在 114人/ha工場排水量少	0.22	0.33	0.80	0.81	
明石川	—	8,559	—	新規住宅開発進行の丘陵地域	0.064-0.18	0.68	0.050*	0.444	
		10,229 (18,788)	—	平野部は、田畑地域	0.027	0.022	0.026*	0.254	
	下流	12,298 (5,156)	(31,086)	住宅地開発進行	0.022	0.010	0.020**	0.112	
神戸市 郊外	有馬川	1,200	3,319	2.8人/ha	森林緑地多い山間丘陵	0.12/0.29	0.05/0.06	0.33α/0.61α	
	有野川	2,870	24,477	8.5	志染川上流、有野川流域では団地	0.19/0.17	0.03/0.02	0.16α/0.26α	
	八多川	1,310	2,654	2.0	開発が進行、大半は田園地帯	0.41/0.16	0.59/0.13	0.24α/0.33α	
	長尾川	1,460	2,127	1.5		0.04/0.12	0.33/0.33	0.04α/0.19α	
	大沢川	1,610	1,744	1.1		0.11/0.16	0.25/0.39	0.12α/0.26α	
	淡河川	4,740	4,171	0.88		0.02/0.58	0.28/0.21	0.05α/0.36α	
	志染川上流	2,820	34,273	12.2		0.62/0.37 -0.40	0.27/0.18	0.51α/0.54α **	
志染川下流 伊川	2,000 3,460	1,900 —	0.95 —	農業用水取水大 中流域田畑で汚濁源点在 ため池多く、丘陵地域	0.02/0.25 0.09-0.43 **	0.13/0.32 0.02-0.77 **			
市街地河川									
①都市域源流河川				河川上流まで開発 新興住宅開発地域					
妙法寺川	960	—	—	比較的ゆるやかな河川	0.67				
塩屋谷川	540	—	—		0.53				
福田川	1,560	—	—		0.80				
山田川	760	—	—		0.93				
②六甲山源流河川				下流に市街地発達 工場多い、下水道も整備					
新湊川上流	1,300	—	—		0.08				
下流	1,720	—	—	新興住宅少	0.75				
③特殊河川				市街地通行、汚濁していない 地下水の取水による河川流量多い					
住吉川	1,080	—	—		0.69				

* NH₄-Nによるもの
** かんがい期/非かんがい期

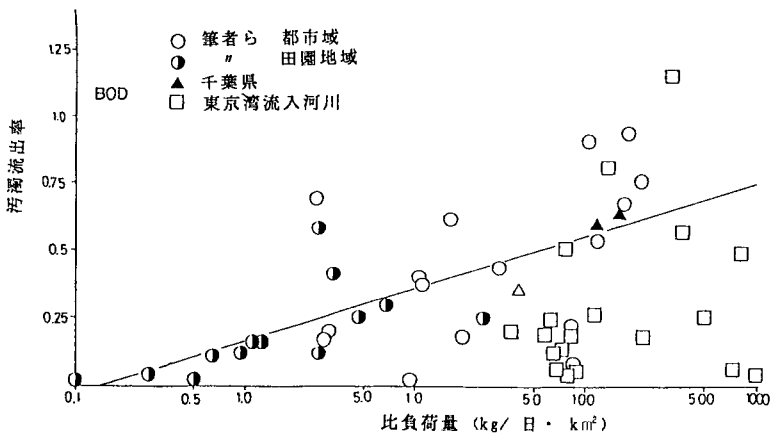


図-4 比負荷量と汚濁流出率の関係

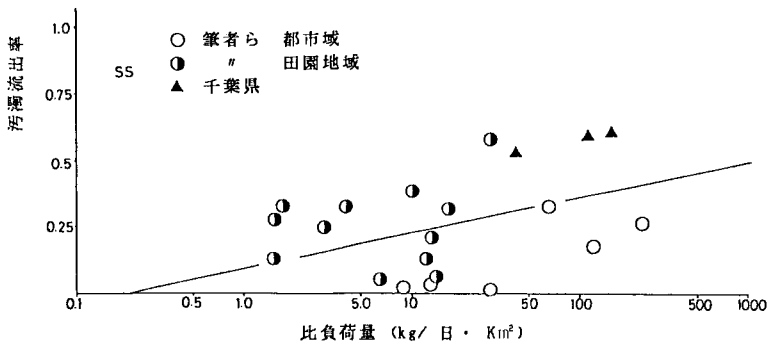
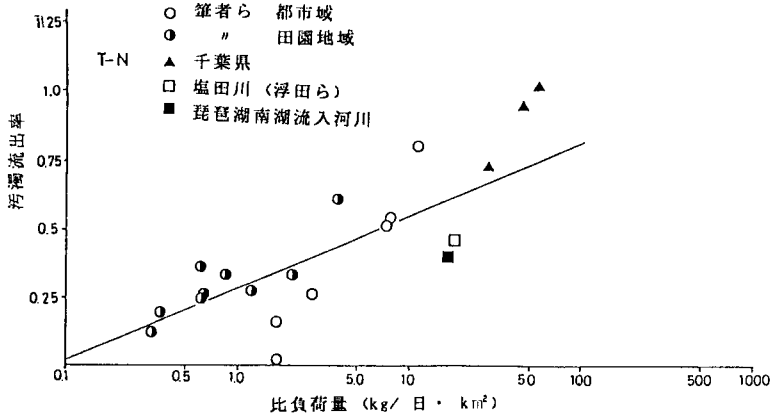


図-5 比負荷量と汚濁流出率の関係



図一六 比負荷量と汚濁流出率の関係

について検討した。

両者の関係を表わしたものが、図一四～六であり、これには著者らの調査結果とともに他の事例^{16)～20)}も図中に記してある。

これより、次の事項が明らかとなった。

- (1) 汚濁流出率は比負荷量が多くなるほど高くなり、両者間には正の相関関係がみられる。
- (2) 汚濁流出率 (y) と比負荷量 (x) の関係は対数回帰モデルにより近似でき、著者らの調査結果をもとに回帰分析を行った結果は次のようになる。

$$\text{BOD} : y = 0.165 + 0.0834 \cdot \ln x \dots\dots\dots (7)$$

$$(r = 0.648)$$

$$\text{SS} : y = 0.0942 + 0.0588 \cdot \ln x \dots\dots\dots (8)$$

$$(r = 0.467)$$

$$\text{T-N} : y = 0.286 + 0.115 \cdot \ln x \dots\dots\dots (9)$$

$$(r = 0.787)$$

(なお、ここで、得られた回帰式は汚濁流出率が1.0未満の範囲で適用できるものである。)

(3) 水質項目ごとの特性を比較すると、SSの汚濁流出率は比負荷量が多くとともに大きな値とはならず、比負荷量1000 (kg/日・km²) で、汚濁流出率は0.50前後になる。一方、T-Nは発生負荷の絶対量が少ないこともあり、比負荷量が10 (kg/日・km²) で流出率0.50、100 (kg/日・km²) では0.80前後になる。BODは両者の中間的な値を示している。

(4) 地域特性による汚濁流出率と比負荷量の関係の差異は明確ではなく、都市内河川と農村河川の差はあまりみられない。農村地域は比負荷量、汚濁流出率とも相対的に低く、都市域では両者とも高くなっている。

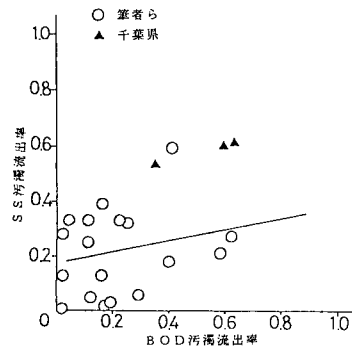
(5) 著者らの結果を他の調査結果と比較すると、千葉県¹⁸⁾および浮田、中西らの調査^{19)、17)}やその他の調査結果は著者らのものと同様になっている。また、東京湾流入河川の汚濁流出率¹⁹⁾は相対的に低くなっている

が、これは他調査地域と比べて流域面積が広く、流下距離も長いので、河川の自浄作用の影響が現われているものと考えられる。

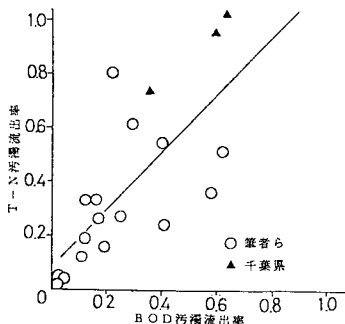
以上のように、地域特性として比負荷量を用いた場合、汚濁流出率と比負荷量との関係は明らかとなり、これより、ある流域の比負荷量がわかれば、ほぼ汚濁流出率が推定できる。

(3) 水質項目間の汚濁流出率の関係

各水質項目の汚濁流出率相互間について検討し



図一七 BOD 汚濁流出率と SS 汚濁流出率の関係



図一八 BOD 汚濁流出率と T-N 汚濁流出率の関係

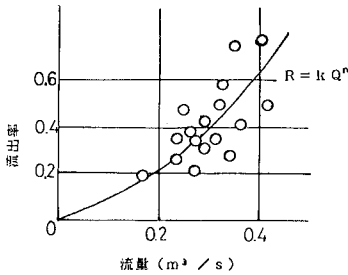


図-9 BOD 流出率と流量

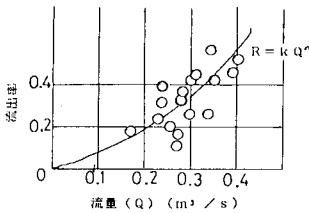


図-10 SS 流出率と流量

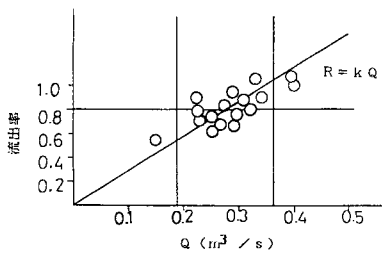


図-11 N 流出率と流量

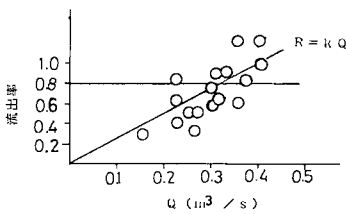


図-12 PO₄-P 流出率と流量

た。BOD 汚濁流出率と SS および T-N 汚濁流出率との関係を図示したのが図-7, 8 である。どちらもデータのばらつきはみられるが、ほぼ正の相関関係にあるといえる。SS 汚濁流出率は BOD 汚濁流出率と比較してやや低い値をとり、T-N の汚濁流出率は BOD のものと同様になっている。これは SS が河川の自浄作用中の沈降、堆積作用を受けやすいためである。

BOD と T-N の汚濁流出率間の関係は、次の回帰式で表わされる (ただし、汚濁流出率 < 1.0)。

$$(T-N \text{ 汚濁流出率}) = 1.057 \times (\text{BOD 汚濁流出率}) + 0.094 \dots\dots\dots (10)$$

$$(r = 0.737)$$

両者の相関性は高く、どちらかの汚濁流出率が既知であれば、他方の汚濁流出率がおおむね推定できる。

(4) 汚濁流出率と河川流量

著者らは、下水排除施設未整備地域の河川において、汚濁流出率と流量、地形勾配の関係を図-9~12 のように表わした。

いずれも河川流量 Q が增大するに従って、汚濁流出率 R は増大している。降雨時においても同様である。この関係はグラフから一般に次のように表わせる。

$$R = K \cdot Q^n$$

ただし、 K 、 n は定数

BOD, SS については、グラフから $n > 1$ の関係が見出される。PO₄-P, T-N については $n \leq 1$ の関係が見出される。以上のことから、排水の占める割合が比較的多い中小河川においては、使用水量が増大することによって汚濁流出率が増大し、下流に到達する負荷の増加することが明らかになる。さらに水使用量の増大は汚濁の発生割合を高め、単位人口当たりの負荷量が増大し、その結果、水使用は流出の量的増大にとどまらず、汚濁負荷流出を高める。

一方、地形勾配は、流出してくる負荷を運ぶ水量に直接影響する因子であり、これらの関係は図-13, 14 に示される。これより、地形勾配が小さい平野部においては、汚濁流出率 R は勾配と一次関係にあるとみなし得る。

地形は一般に、河川の上流に行くに従って勾配が増大することから、下流部になるほど汚濁物の流出率は低下していくことがわかる。

(5) 汚濁流出特性の解明

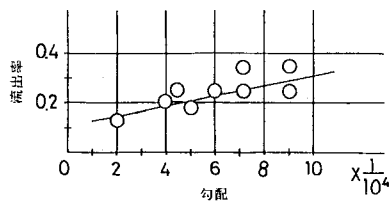


図-13 勾配と BOD 流出率

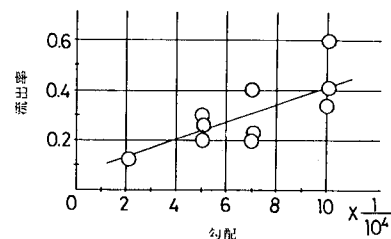


図-14 勾配と SS 流出率

汚濁流出率の特性を解明するため、著者らは長期間にわたり数多くの調査研究を行った。その研究結果はすでに9編の論文^{1)~9)}で発表している。その成果の主なものを抜き出すと次のようになる。

(1) 汚濁流出率は時間的に変動し、一般に1以下のものが多く、堆積作用や地域内の汚濁抑制力が大きく働いている。

(2) 単位面積当たりのBODの発生負荷量が大きくなると汚濁流出率は増大し、人口の集積が進むほどその大きさは増大する。

(3) 汚濁流出率に季節的変動がみられ、河川と汚濁発生位置、流下距離とも関係し、流下距離が小さいほど流出率は大きい。

(4) 汚濁流出率は流出系が自然のままか人工的かによって差があり、自然系の方が小さくなる。

(5) 汚濁流出率は水系への汚濁流出パターンにより異なり、水系に入るまでの流出率の影響も大きい。

(6) 汚濁流出率は農地面積に反比例し、自然の残っている地域においては、農地の抑制効果が大きい。

以上の研究結果から、汚濁流出率の支配要因として次のものが挙げられる。

- ① 単位面積当たりの汚濁発生量(汚濁ポテンシャル強度)
- ② 人口密度
- ③ 汚濁発生と河川との位置関係
- ④ 河川の流下距離
- ⑤ 流域面積
- ⑥ 流出系の状態(自然系, 人工系)
- ⑦ 河川流量
- ⑧ 河川の自浄能(堆積, 沈殿等)
- ⑨ 河川のエネルギー勾配
- ⑩ 土地利用や農地面積
- ⑪ 河川取水量

さらに著者らは、中小河川で開発がほとんどなく、自然の多く残っている流域において、数多くの調査研究を行った⁴⁾。その結果、以下の事項が明らかとなった。

(1) 汚濁流出率は地域特性、汚濁物の堆積状況に関連する。

(2) 汚濁流出率は水系への汚濁流出のパターンにより異なり、圃場整備、河川改修も含めて地域の流出パターンが影響を与えている。

(3) 河川の浄化残率は河床のせん断力を考慮すると河川勾配の関数として表わし得る。

(4) 比流量と単位面積当たりの支川延長は一次関係にあり、支川延長は流出解析の評価尺度になり得る。

(5) 比流量と流域緑地率は比例関係にあり、緑地が増えると河川流量は増加の傾向にある。

(6) 発生負荷量の中で生活系の占める割合が高くなるほど、公共用水域への流出負荷量は増大している。

5. 結 言

ここでは、河川水質予測や河海域の水質管理計画、および水系の水質汚濁防止に最も重要で、かつその基本となる汚濁流出率について、著者らが長期間にわたって調査研究してきた結果を考察した。さらに汚濁流出率の特性についてその地域特性や汚濁流出率の支配要因についても検討した。その結果、次の事項が明らかとなった。

(1) 中小河川においては汚濁流出率は汚濁流達率と河川自浄作用等による浄化残率との積で表わされる。

(2) 一般に河川の流下に伴って汚濁流出率は小さくなり、流入負荷量の大小も影響するため、流入経路等からの考察も重要である。

(3) 特にSSの汚濁流出率は流下過程の距離に大きく支配され、流量支配も大きく受ける。

(4) 汚濁流出率は比負荷量とほぼ対応し、これら両者の関係式を明らかにした。多少のばらつきはあるものの、汚濁流出率を比負荷量から推定することもできる。

(5) 水質項目間の汚濁流出率についても検討し、これらの間の関係を定式化した。

(6) その他、汚濁負荷の流出系での支配要因について検討し、4. 以下の成果を得た。

謝 辞：当研究調査に数多くご協力を賜った多くの方々には深く感謝いたします。また、当研究に適切な助言をしていただいた大阪大学教授 末石富太郎先生、京都大学教授 住友 恒先生に深く感謝いたします。また、山口大学教授 中西 弘先生をはじめ、多くの先生方にご指導頂き、苦勞の多い調査研究が遂行できた。また、調査に協力していただいた神戸市の方々に改めて、深く、厚く感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 和田安彦：河川管理における汚濁流達率の研究 (I), (II), 用水と廃水, Vol.18, No.2, 3, 1976年2月, 3月.
- 2) 和田安彦：下水排除施設未整備地域の汚濁流達率の研究, 下水道協会誌, Vol.13, No.144, pp.2~10, 1976年5月.
- 3) 和田安彦ほか：下水排除施設整備地域の汚濁流達率の研究, 下水道協会誌, Vol.13, No.145, pp.2~12, 1976年6月.
- 4) 和田安彦, ほか1名：自然容量をもつ地域の汚濁負荷収支と汚濁流達率の考察 (I), (II), (III), (IV), 公害と対策, Vol.12, No.6, 7, 10, Vol.13, No.4, pp.47~50, pp.34~40, pp.99~104, pp.83~86, 1976年6月, 7月, 10月, 1977年4月.
- 5) 和田安彦：河川管理計画における汚濁流達率の研究, 衛生工学研究論文集, Vol.13, 土木学会, pp.40~45,

- 1977年1月.
- 6) 和田安彦：Characteristics of the Run-off Rate of Pollution Load in Unseweraged Area, Tech. Rep. Kansai Univ., No. 18, pp. 111~120, 1977年3月.
 - 7) 和田安彦：中小河川における汚濁流達特性, 日本水質汚濁研究会年次学術講演論文集, pp. 73~78, 1979年2月.
 - 8) 和田安彦：都市河川の水質, 負荷流出特性とその考察 (I), (II), 公害と対策, Vol. 17, No. 2, 4, pp. 21~28, pp. 27~32, 1981年2月, 4月.
 - 9) 和田安彦：中小河川における汚濁流出特性, 水質汚濁研究, Vol. 4, No. 1, pp. 9~17, 1981年3月.
 - 10) 流域別下水道整備総合計画調査—指針と解説—, 日本下水道協会, 1983年.
 - 11) 稲場紀久雄, ほか：汚濁負荷流出率の実態調査, 第9回下水道研究発表会講演集, pp. 221~224, 1972年5月.
 - 12) 住友 恒, ほか：メッシュ法による汚濁分析と水質流出率に関する検討, 衛生工学研究討論会論文集, Vol. 9, pp. 38~47, 1973年1月.
 - 13) 松本・市川：阿武隈川の自浄作用, 下水道協会誌, Vol. 10, No. 107, 108, pp. 33~41, pp. 12~23, 1973年4, 5月.
 - 14) 岩井重久, ほか：汚濁物質の流達に関する一考察, 第29回年次学術講演会講演概要集 (II), 土木学会, pp. 637~638, 1974年10月.
 - 15) 村上：河川の自浄作用および汚濁負荷の流出率について, 衛生工学研究論文集, Vol. 5, 1968年1月.
 - 16) 中西 弘・浮田正夫：小河川における N, P 流達率に関する研究, 衛生工学研究論文集, Vol. 12, pp. 114~119, 1976年1月.
 - 17) 浮田正夫, ほか：河川の汚濁負荷流達率に関する研究 (その5), 第39回土木学会年次学術講演会講演概要集 (II), 1984年10月.
 - 18) 小林・鎗田・小倉・中島・三好：生活排水による水域の汚濁—印旛沼流入河川桑納川の汚濁負荷解析—, 公害と対策, Vol. 14, No. 1, 2, pp. 46~54, pp. 79~91, 1978年1月, 2月.
 - 19) 東京湾環境保全調査報告書.
 - 20) 宗宮 功, ほか：小河川における汚濁物質の流達特性について, 第14回下水道研究発表会講演集, pp. 506~508, 1977年.

(1984. 12. 24・受付)