

河川の浄化に関する研究 (そのⅦ)

—堰における汚濁物質の浄化効果について (Ⅱ)—

安藤 晴夫 曾田 京三

1 はじめに

近年、都内の主要河川の多くは、排水規制、排水処理改善指導等の施策の効果により水質が改善されてきた。多摩川においても、下流部では鮎の遡上が確認され、また河川敷の緑化等の水辺環境の整備が進むとともに、鮭稚魚の放流等、住民の多摩川の水域環境に対する関心の高まりを見せている。しかし、中流部では、流入支川、排水路の水質は依然悪く、流水の富栄養化と相まって、本川の水質は悪化から横ばいの傾向を見せている。昭和56年度の水質測定結果によっても、BODで見ると、環境基準の達成率は50%に満たない状態である。

本研究では、水質改善に自然の浄化作用を利用することを検討する基礎資料を得ることを目的として、前報¹⁾に述べたとおり、流程に点在する堰の浄化効果について報告する。

研究対象水域である上河原堰は、多摩川々口より26 Km上流に位置し、左岸は東京都調布市、右岸は神奈川県川崎市である。堰の延長約400 m、湛水域の長さ約1.3 Km、貯水量約22万 m^3 である。表流水の流達時間は、1975年10月の調査によれば、流量約8.9 m^3 /秒のとき、多摩川原橋(st.1の下流約200 m)から堰下までの2 Kmを2時間49分であった。

2 調査・分析手法

第一報¹⁾では、通年調査、沈降実験結果から堰による水質浄化効果をBOD、COD、SSについてとり上げ報告した。昭和56年度は、河川水質に対する流下藻類等内性汚濁要因の寄与率の把握、各種水質項目の堰通過に伴う変化と浄化機構の解明を目的として一部測定項目を追加し、多摩川上河原堰付近3地点での通年調査を前報と同様な方法で継続した。

また、追加項目と水質測定分析は、次のとおりである。

- ① 溶存性有機態炭素(DOC) ジャスコ製 TOC 分析計 524 C 型で測定
- ② 全有機態炭素(TOC) POC + DOC として算出
- ③ アンモニウム態窒素(NH_4-N) インドフェノール法で測定
- ④ 硝酸態窒素(NO_3-N) Mullin, Riley法で測定
- ⑤ その他の項目第二報と同じ方法で測定

1980年5月から1982年3月までの調査日とその前の降水量とを表1に示した。

3 結果と考察

(1) 各地点間の水質の差

調査した3地点の水質を平均値と変動幅で表わし、表2に示した。この表によれば、3地点とも各水質項目の経時変動幅がかなり大きく(pHを除きCV% > 20)、とくに NH_4-N の変動幅がCV% = 99~114と著しく大きい。これらは降雨および河川固有流量の変化に起因するものと考えられる。次に、3地点間の各測定値における水質の相互関係を観るために、st.2の値を基準(=1)としてst.1、3の水質相対値を求め、図1に示した。これによれば、

- ① 各項目とも地点間の関係に季節的な変動傾向は見られない。
- ② st.1とst.2の間では各項目とも顕著な差がない。
- ③ 溶存性成分のうち Cl^- 、D-COD、DOCは、経時的に3地点で差が見られないが、懸濁性成分の多く(SS、P-COD、POC、PON、Chl a)とTOCで

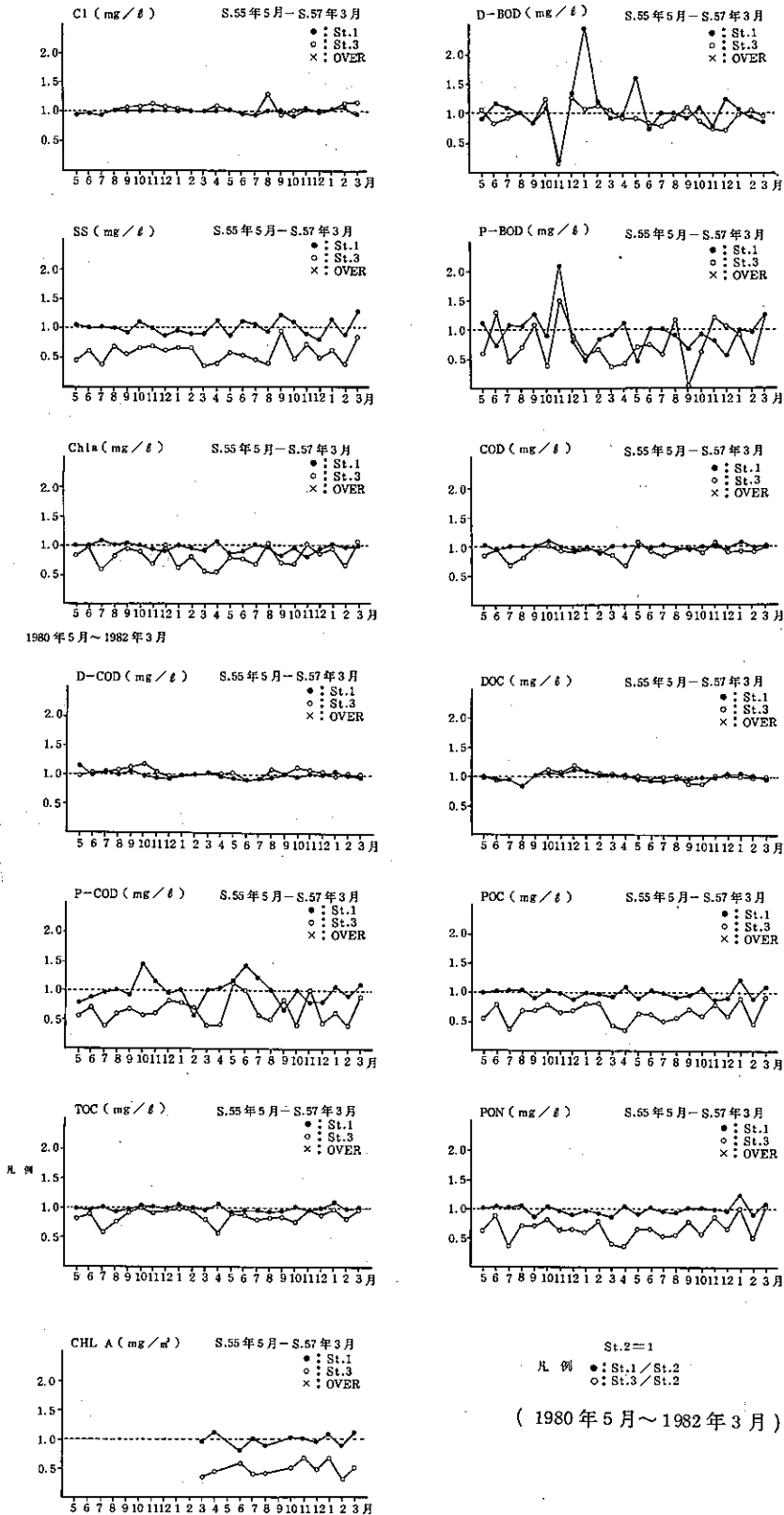


図1. st. 1, 3のst. 2に対する水質相互値の経年変動

表1 調査日及びそれ以前の降水量

(東京気象月報調布飛行場)

記号	調査年月日	調査日前1週間の降水量 (mm)							
		当日	1	2	3	4	5	6	7
a	1980.5.23		0.5	17.5	0.5		3.5		23.0
b	6.12				9.0	8.5			
c	7.10		38.0	24.5	5.0				4.0
d	8.5		12.5	58.0	6.5	3.0	2.0	29.0	
e	9.6					3.5	0.5	2.0	
f	10.1					58.5	8.0	5.5	1.5
g	11.12								
h	12.3	4.5	4.5			31.5	2.5		
i	1981.1.7						2.5		
j	2.19			32.0	3.5				
k	3.12			2.5					
l	4.21		71.0	7.0		0.5	13.0		
m	5.25	1.0	15.5						4.5
n	6.17			9.0	26.0	15.0	5.5		
o	7.8					2.5	29.0	11.0	1.0
p	8.20	1.5	1.0						
q	9.3						0.5	21.5	
r	10.14						32.5	17.0	
s	11.26	12.0							
t	12.9								
u	1982.1.7			6.5	4.5				
v	2.17	10.5							
w	3.18		1.5	1.0	1.0		9.5	3.5	

は、st.3の値が常に低くなっている。

④ BOD, P-BOD, CODでも, St.3の値は, St.1, 2の値よりも低くなる傾向がある。などの特徴が見られる。表2の各水質項目平均値に, 同様にSt.2による規準化を行い図2に示す。この図からもやはり図1と同様な特徴が見られ, 懸濁性成分はSt.3で30~55%減少し, BOD, COD, TOCはそれぞれ約20, 10, 15%減少している他に, DOが約30%減少し, NH₄-Nが約35%増加している。これらのことは, 前報でも述べたように, 堰には水質浄化効果があり, それは懸濁性成分の沈降作用によるものであることを示しており, またSt.1, 2とSt.3とでは水深のちがい

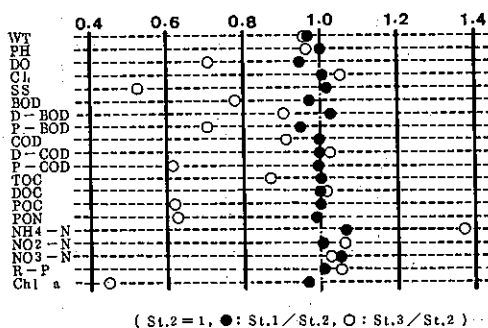


図2 水質項目の地点間変動

により河床面での付着藻類の内部生産活動に大きな差があることを示唆している。表3は, 各水質項目に正規分布を仮定して, 地点間の平均値の差をt検定した結果である。これによっても, St.1, 2とSt.3の懸濁性成分に統計的な有意差が認められる。

(2) 水質項目間の関係

表4に地点ごとの水質項目相関行列を示す。この表から, 水質項目間の関係等について考察する。

① 水温と負の相関をもつ項目が多いが, これは冬期に河川固有流量が減少して水質が悪化するため, 直接水温と水質の相互関係を示すものではないと考えられる。

② D-BOD, D-COD, DOC, NH₄-N, R-Pは互いに0.7~0.9の高い相関をもち, またCl⁻とも同様に高い相関をもっていることから, Cl⁻と同じく人為的な汚染起源をもつ項目と考えられる。

③ NO₂-N, NO₃-Nは, D-BOD等上記の溶解性成分と異なり, 他の項目との相関が低い。

④ BODは懸濁性寄与成分と, COD, TOCは溶解性寄与成分とより高い相関をもっており, 各々の組成形態の差を示している。

⑤ SSとPOC, PON, Chl aとの間に顕著に高い相関が見られないが, これは降雨の影響と考えられる。すなわち, St.2におけるSSとPOCとの散布図を代表例として図3に示したが, この図中, 各プロットの右肩の数字は前日の降水量を示しており, 黒丸でプロットした降雨量の多かった場合(表1のl, c, h, d)と他の場合とで異なった系列が見られ, 降水量の多かったときには鉱物質等無機成分がSS中に多くなる

表2 上河原堰付近の水質

(1980年5月~1982年3月)

水質項目	st. 1		st. 2		st. 3	
	平均値 (CV%)	最大値 (最小値)	平均値 (CV%)	最大値 (最小値)	平均値 (CV%)	最大値 (最小値)
WT	16.4 (35.4)	24.0 (6.0)	17.1 (36.7)	26.7 (6.4)	16.2 (36.1)	24.0 (6.0)
pH	7.4 (4.2)	8.6 (7.0)	7.5 (5.1)	9.0 (7.0)	7.2 (1.7)	7.4 (7.0)
DO	9.7 (15.3)	13.1 (7.2)	10.4 (18.9)	15.5 (7.4)	7.2 (20.6)	9.5 (4.4)
Cl ⁻	25 (48.4)	53 (9)	25 (46.6)	50 (9)	26 (50.5)	56 (9)
SS	17.1 (74.7)	58.2 (5.0)	17.1 (70.9)	52.4 (5.6)	8.8 (57.2)	20.7 (3.6)
BOD	5.9 (52.1)	12.9 (1.3)	6.1 (52.8)	14.2 (1.6)	4.7 (46.7)	9.4 (1.1)
D-BOD	2.5 (52.4)	4.9 (0.8)	2.4 (47.1)	4.6 (1.0)	2.2 (54.7)	4.8 (0.6)
P-BOD	3.4 (70.3)	9.3 (0.4)	3.7 (67.5)	10.2 (0.6)	2.5 (52.7)	5.2 (0.0)
COD	6.4 (34.0)	11.7 (2.6)	6.5 (34.3)	11.7 (2.8)	5.9 (35.4)	10.2 (2.7)
D-COD	4.6 (42.2)	8.6 (1.7)	4.7 (41.6)	8.6 (1.7)	4.8 (40.6)	8.7 (1.8)
P-COD	1.8 (44.7)	4.3 (0.4)	1.8 (43.5)	4.2 (0.6)	1.1 (37.0)	2.1 (0.5)
TOC	5.4 (38.7)	9.9 (2.0)	5.5 (38.1)	10.2 (2.1)	4.7 (41.5)	8.6 (1.8)
DOC	3.4 (44.5)	6.3 (1.5)	3.4 (43.4)	6.4 (1.6)	3.5 (44.9)	6.5 (1.5)
POC	2.0 (48.4)	4.7 (0.4)	2.1 (46.5)	4.4 (0.4)	1.2 (41.3)	2.6 (0.3)
PON	0.31 (43.5)	0.62 (0.08)	0.31 (45.4)	0.66 (0.08)	0.19 (39.8)	0.39 (0.06)
NH ₄ -N	2.44 (113.9)	9.37 (0.16)	2.31 (107.1)	8.04 (0.13)	3.14 (98.6)	9.82 (0.29)
NO ₂ -N	0.243 (35.9)	0.455 (0.087)	0.245 (34.3)	0.450 (0.097)	0.257 (40.1)	0.506 (0.089)
NO ₃ -N	3.25 (26.8)	4.91 (1.80)	3.14 (28.9)	5.04 (1.70)	3.18 (29.8)	5.19 (1.56)
R-P	0.594 (58.4)	1.236 (0.126)	0.597 (53.9)	1.221 (0.134)	0.620 (56.2)	1.302 (0.115)
Chl a	22.3 (69.4)	57.7 (8.2)	23.5 (75.1)	65.4 (8.1)	10.2 (62.5)	26.5 (3.2)

注1) 単位: WT(°C), Chl a (mg/m³), その他 (mg/l)

注2) サンプル数: NO₃-N (22), Chl a (11), その他 (23)

表3 地点間の水質平均値の差の検定結果

項目	t ₀ 値		
	st.1 - 2	st.2 - 3	st.1 - 3
WT	0.437	0.529	0.099
PH	1.102	4.333 ***	3.567 ***
DO	1.385	6.142 ***	5.582 ***
Cl ⁻	0.049	0.270	0.313
SS	0.012	3.034 ***	2.911 ***
BOD	0.280	1.761 *	1.497
D-BOD	0.085	0.776	0.814
P-BOD	0.342	1.916 *	1.529
COD	0.172	1.052	0.888
D-COD	0.135	0.098	0.235
P-COD	0.146	3.878 ***	3.668 ***
TOC	0.096	1.329	1.226
DOC	0.074	0.017	0.090
POC	0.086	3.540 ***	3.358 ***
PON	0.184	3.558 ***	3.507 ***
NH ₄ -N	0.162	1.004	0.813
NO ₂ -N	0.088	0.441	0.513
NO ₃ -N	0.396	0.156	0.228
R-P	0.036	0.235	0.261
Chl a	0.158	2.335 **	2.390 **

(有意水準 99% : ***, 95% : **, 90% : *)

ため相対的に POC, Chl a の含量が少なくなり、これらが併さったので、このように相関係数が低下したものである。したがって、降雨のない日が継続している場合には、これらの項目との相関は高い。

⑥ st.1, 2の pH, DO, Chl aでは相互に0.5~0.7の相関が見られた。ここでの pH, DO 変動は河床面に付着する藻類の生産活動に起因し、一方 Chl a は、その上流で剝離し流下してきた藻類に含まれていたものである。ところで、st.1, 2からその上流数kmにわたっては平瀬、早瀬をくりかえし、付着藻類の現存量も多く、同じような河況が続いている。そこで、st.1, 2を流れる流下藻類が付着していた上流域でも、st.1, 2に呼応した pH, DO 変動が起っていたと仮定すれば、この上流区間で流水中に剝離した藻類量は、河床面での生産活動が旺盛な時ほど多くなっていた、とい

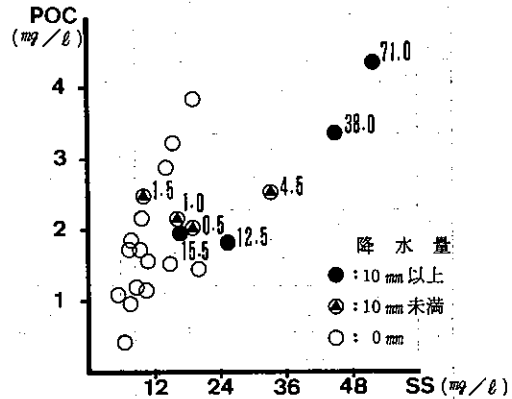


図3 POCとSSの相関 (st.2 23サンプル)

注) 図中の数字は前日の降水量を示す。

うことがこれら項目間の相関から推測される。

(3) 堰における COD 負荷量の沈殿量

次に、堰における COD の沈殿量を以下の方法で推定した。Cl⁻は河川水中で保存性が高く、主に生活排水に由来するものである。図4は、昭和52~55年度水質測定計画多摩川原橋の測定結果 2)~5)(48 サンプル)に基づいて Cl⁻濃度と流量との関係を示したもので、横軸は Cl⁻濃度の逆数で表示してある。図から明らかなように <流量> と <1/Cl⁻> の間には、流量の極端に多い D, S の 2 点を除けば、かなりよい直線関係が見られ、実際、残り 46 サンプルを開いて相関係数を計算すると 0.93 という高い値が得られた。したがって、この間に多摩川原橋を通過した単位時間当りの Cl⁻負荷量 (= Cl⁻濃度 × 流量) は、年間を通じてほぼ一定であると見なすことができ、計算によればその量は約 22 tons/日となった。本報の通年調査結果によると、st.1では、表4に示したように D-CODは Cl⁻と 0.91 の高い相関が見られる。そこで D-CODも Cl⁻と同じく、年間を通じて一日当りの通過負荷量はほぼ一定であると仮定し、表2から両者の平均濃度比を求め、これを計算で得られた Cl⁻負荷量に乗じて D-CODの負荷量を推定すると約 4 tons/日となった。次に、st.1での COD 中の D-CODの割合を表2の平均値からほぼ70%と見なすと、CODの通過負荷量は約 6 tons/日となった。図2から、st.1, 2とst.3との区間で

表5 SS中の付着微生物群集由来の有機炭素量

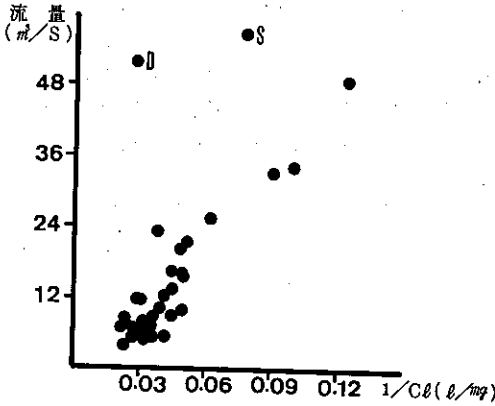


図4 流量と塩素イオンの相関
(多摩川原橋 48サンプル)

注) 昭和52~55年度水質測定結果より

のCODの減少率を10%とすれば、堰において、約0.6 tons/日のCODが除去され、それは、P-CODの沈降によるものと考えられる。

(4) 流水中の懸濁物の組成

流水中のSSには、河床面で増殖した付着微生物膜が剝離、流下してきたものが含まれており、多摩川のような富栄養化した河川では、その量が多いものと考えられる。一般に、河床の付着微生物膜は、付着藻類が優先し、そのほか細菌類や原生動物等から構成されているので、①その組成やChl a含量は一定しており、②剝離、流下する過程でも急激には変化しない、と仮定すれば、流水中のChl a量から付着微生物膜由来のSS量を推定することができる。ところで、相崎の調査によると、河床の付着微生物膜中の炭素量に対するChl a量の比(%)は、多摩川中流では2.2~2.5%であった⁵⁾そこで、換算係数を43(≐100/2.2~2.5)として、流水中のChl a量にこの値を乗じて、付着微生物膜由来のSS中の炭素量を推定し、そのPOCにしめる割合を計算した。その結果を表5に示したが、これによると、流水のSSの中で河床の付着微生物膜由来のもの占める割合は、若干の例外を除くと、有機炭素量にして、st.1, 2ではほぼ23~60%で、st.3ではほぼ20~40%であった。この割合は、st.3では、st.1, 2に比較して小さく、付着微生物膜由来のSSは比較的沈降しやすいものと考えられる。また、流入支川の多くは下水化しており、それら支川では従属炭

調査年月日	調査地点		
	st.1	st.2	st.3
1981. 3. 12	1.51 (43)	1.57 (41)	0.55 (34)
4. 21	0.73 (15)	0.65 (15)	0.28 (19)
6. 17	0.48 (30)	0.60 (39)	0.35 (36)
7. 8	0.36 (24)	0.36 (24)	0.14 (18)
8. 20	2.48 (125)	2.81 (130)	1.14 (94)
10. 14	0.35 (23)	0.35 (24)	0.17 (20)
11. 26	0.55 (57)	0.55 (50)	0.36 (41)
12. 9	0.58 (37)	0.62 (36)	0.29 (29)
1982. 1. 7	0.69 (31)	0.65 (35)	0.44 (26)
2. 17	1.48 (58)	1.70 (59)	0.50 (40)
3. 18	1.36 (49)	1.24 (50)	0.62 (27)

注 上段：有機炭素量(=A), (mg/l)
下段：A/POC × 100, (%)

素微生物を主とする付着微生物が多量に増殖していることを考慮すれば、支川を含めた多摩川中流部では付着微生物膜由来のSS(つまり河川内で内部生産された汚濁物質)の全SS中に占める割合は更に大きいものと考えられる。

4 ま と め

多摩川中流の上河原堰における水質の浄化効果について調査研究した結果は、次のとおりである。

① 堰における河川水の滞留により、SSに伴って懸濁性の有機汚濁寄与成分が沈殿して、BOD, CODおよびTOCは、それぞれ、約20%、10%および15%減少する。しかし、溶解性の寄与成分はほとんど減少

しない。

- ② 堰の滞流域において除去される汚濁物質量は、CODrにして、ほぼ 0.6 tons/日と見積られる。
- ③ 多摩川原橋附近の流水中の SS 中は、河川面で増殖した付着微生物群集由来のものが有機炭素量にして約20～60%は含まれている。

参 考 文 献

- 1) 安藤晴夫, 曾田京三: 河川の浄化に関する研究—そのⅢ—, 堰における汚濁物質の浄化効果について—Ⅰ—, 東京都公害研究所年報, 1982, (1983).
- 2) ~ 5) 昭和52年度~昭和55年度 都内河川・内湾の水質測定結果(資料編), 東京都, (1977)~(1980).
- 6) 相崎守弘: 富栄養河川における付着微生物群集の発達にともなう現有量および光合成量の変化, 陸水学雑誌, 41, 225, (1980).