

下水処理場放流水の汚濁負荷量と河川水質との関連分析

——多摩川流域におけるケーススタディ——

Relational Analysis between the Final Effluent Pollutant Load from
Sewage Treatment Plants and the Water Quality of the River
——A Case Study in the Tama River Basin——

小 泉 明*, ○ 山 崎 公 子**

Akira KOIZUMI* and Kimiko YAMAZAKI**

ABSTRACT : The relationship between the water quality of rivers and urban activities - social, economical, and natural - was investigated and evaluated. First, an equation was obtained which would estimate the BOD load of the urbanized Tama River basin by multiple regression analysis. Second, reported data of the Tama River, its tributaries and the effluents from sewage treatment plants, were used to simulate the changing process of water quality and self-purification of the Tama River. The self-purification coefficient was also estimated. Third, several river purification scenarios were created, and the BOD load was calculated for areas without sewage systems. Changes in the BOD were calculated by the self-purification coefficient, and the cost effectiveness of each scenario was evaluated. As a result, it was found that the combination of a 100% propagation sewage system and the purification of the final effluent by an advanced wastewater treatment composed of a rapid sand filtration is the desired method to decrease the BOD level of the lower Tama River.

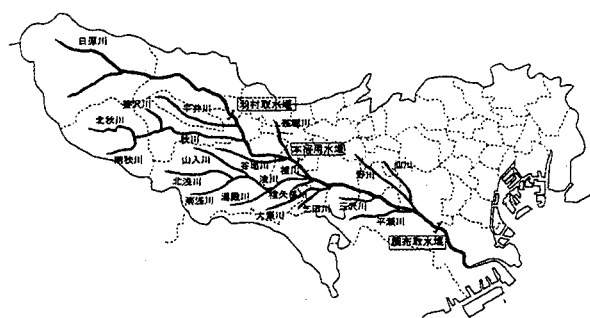
KEYWORDS ; Sewage treatment plant, BOD load, Urban activity, Self-purification,
Multiple regression analysis, Cost effectiveness

1. はじめに

河川の汚濁が問題となり、水質汚濁防止法が施行されて 30 年近い期間が経過している。この間、水質が改善された河川がある一方で、遅々として汚濁状況の改善が見られない河川もある。本来、河川には自浄作用といわれるものがあり、これは、汚濁物質を物理化学的あるいは生物的作用により、変質あるいは流水中から除去し、より安定な形態に変化させていくことにより、水質を浄化させる作用である。しかし、現在、河川の自浄能力以上に汚濁物質が流入している河川が大多数である。汚濁発生の最も大きな要因は人間の生活に伴う都市活動であり、河川の汚濁防止対策が都市活動に追いついていないことが、河川の水質悪化につながっている¹⁾。汚濁防止対策の代表として流域下水道整備があり、下水道が整備されている地域では、河川の汚濁は従前より改善の方向にある。しかし、下水道が整備されれば河川の水質汚濁が全く無くなるとはいえず、下水処理場からの放流水も河川の水質汚濁の一因となっている。そのため、従来の高級処理から一歩進んだ高度処理を取り入れている下水処理場が徐々にではあるが増えてきている。また、一部の地域では、河川を直接浄化するという方法もとられている。しかしながら、これらの方法を実施するためには多大な建設費用と長い年月を要する。

* 東京都立大学教授, Prof. of Tokyo Metropolitan Univ.

** 東京都立大学助手, Research Assoc. of Tokyo Metropolitan Univ.

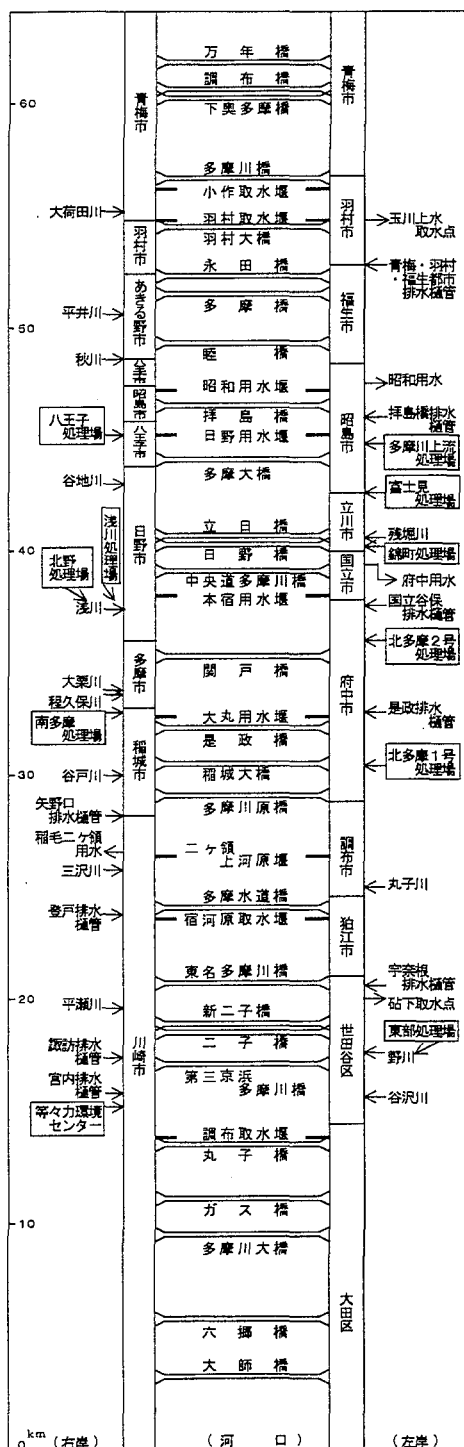


そこで、本論文では、都市活動によって発生する汚濁物質を定量化するとともに、これに伴う河川水質汚濁を解析し、河川水質改善のための各種代替案を費用効果の観点から評価することを目的とする。対象地域は東京都内の多摩川流域(図-1)とし、閉鎖性水域である東京湾の水質改善を意図した河川浄化対策について検討することとする。以下、2.では都市活動に伴って発生する汚濁負荷量を、統計的に推定するモデルを作成する。3.では下水処理場放流水等による河川の水質変化過程を、河川の自浄作用を考慮した上で推計し、実測値との整合性を検討する。4.では河川水質を改善する種々の対策を比較検討し、河川浄化に伴う費用効果分析を行う。

2. 発生汚濁負荷量の推定

本論文で対象とする多摩川流域には、下水処理場が10個所以上あり、放流水は多摩川の本・支流に流入している。また、下水道未整備地域からの排水も支流や排水樋管を通して流れ込んでいる。これら、下水道未整備地域からの汚濁物質は河川の水質を悪化させる大きな要因となっている。図-2 に多摩川本流に流入する支流、下水道放流口、排水樋管等の概略を示すが、清流といえるような流入は少なく、図に示した流入のほとんどは汚濁物質を多く含んでおり、多摩川本流に負荷を与えている。

東京都内の多摩川流域は、現在 10 以上の下水道処理区に分かれているが、下水道処理水が東京湾に直接流出している処理区を除いて、多摩川に処理水が放流されている 9 処理区域を取り上げ、それぞれの処理区について処理面積・処理水量・流入水質・放流水質等について調査し、比較検討した(表-1)。なお、一人当たり下水道流入 BOD 負荷量については、平成 7 年度版下水道統計の年間処理水量と流入水 BOD 濃度年平均値より、各処理場流入負荷量を求め、これをそれぞれの処理人口で除



图一-2 多摩川流況概略図

して算出した。その結果、処理区により「一人当たり下水道流入BOD 負荷量」の値に差があることがわかった。この差を各処理区の地域特性で表すことにより、下水道未整備地域からの発生汚濁負荷量を求めることができるのと考えるに基づき²⁾、下水処理場流入水質と都市活動量の関係について解析を行う。9 処理区のうち1 処理区は合流と分流の2 系統があり、処理も別々に行われているが、処理区域内の範囲分けが明確でないため、系統別の都市活動量を得ることが困難であることから除外する。そこで、残りの8 処理区の都市活動量を用いて各処理区で発生するBOD 汚濁負荷量を推定する重回帰式を求めることとする。

まず、都市活動量としては8 処理区に含まれる各都市の統計データから、下水の水質に影響を及ぼすと考えられる社会・経済・自然的項目を東京都統計年鑑(平成7 年度版)より得た。つぎに、各処理区内の行政区別人口の値(資料：東京都下水道局)を用いてデータの補正を行い、処理区ごとの統計値を求めた。さらに、面積に関わる項目は処理面積等の面積値、その他の項目は処理区域内人口等で除し、表-2 に示す30 項目の基準化した統計値を得た。一人当たりBOD 発生汚濁負荷量は、各処理区の一人当たり下水道流入BOD 負荷量を用いた。

こうして得られた30 項目の統計値と一人当たりBOD 発生汚濁負荷量との相関分析を行った結果、一人当たりBOD 発生汚濁負荷量との相関が高い4 要因(昼間人口比、田面積比、卸売・小売業・飲食店就業者数比、飲食店数比)が抽出された。そこで、これら4 要因を説明変数とし、一人当たりBOD 発生汚濁負荷量を目的変数とする重回帰分析を11 ケース行い、自由度調整済み重回帰係数R*による統計的有意性、並びに偏重回帰係数の符号(正負)の妥当性(物理的有意性)を評価した結果(表-3)、次式が選択された。

$$y = -20.5 - 9.35x_1 + 10.4x_2 \dots\dots\dots (1)$$

(R* : .967)

y : 一人当たり BOD 発生汚濁負荷量 (g/人/日)

x₁ : 田面積比 (%)

x₂ : 卸売・小売業・飲食店就業者数比 (-)

(1)式を用いて、東京都内の多摩川流域における発生汚濁負荷量を算定してみると、下水処理場でのBOD 除去率を95%とすると、下水処理場からは6.2 t/日、下水道未普及地域からは尿尿を除いた負荷量が16.0 t/日となり、合計22.2 t/日のBOD 汚濁負荷が多摩川の本・支流に流出しているということになる。実際

表-1 下水処理区の概要

処理区	1	2	3	4	5	6	7	8	9
多摩川上流	秋川	立川	北多摩2号	北多摩1号	三鷹	八王子	立川	北多摩2号	北多摩1号
29 日	多摩川上流	八王子	立川	北多摩2号	北多摩1号	三鷹	八王子	立川	北多摩2号
普及率 (%)	96.6	43.6	100	100	50.2	88.8	88.9	99.5	100
排水方式	分流	分流	合流	合流	分流	分合流	分流	合流	合流
処理面積 (10 ⁴ m ²)	6690	1821	1087	1536	1375	959	3441	5134	719
処理人口 (人)	426002	111695	86267	124104	93565	100805	270743	441243	100900
流入水量 (m ³ /日)	159839	27561	46394	38534	21367	77972	77495	180405	24635
流入負荷量 (kg/日)	23952.7	4799.1	12897.5	7591.2	2370.6	13788.6	15716.6	23402.5	6059.7
1人当り流入水量 (m ³ /人/日)	0.37	0.25	0.54	0.31	0.23	0.77	0.29	0.41	0.25
1人当り流入BOD (g/人/日)	69.35	42.97	150.65	61.17	25.94	136.71	59.60	53.17	60.66

出典:平成7年度版 下水道統計 行政庁 日本下水道協会 1995年

表-2 都市活動量を表わす項目一覧

No.	項目名	備考	相関係数
1	夜間人口密度 (人/㎤)	夜間人口/処理面積	-0.460
2	住宅地区夜間人口密度 (人/㎤)	夜間人口/住宅地区面積	-0.026
3	住居用地夜間人口密度 (人/㎤)	夜間人口/住居用地面積	0.541
4	昼間人口密度 (人/㎤)	昼間人口/処理面積	-0.246
5	昼間人口比 (-)	昼間人口/夜間人口	0.759
6	商業地区面積比 (%)	商業地区面積/処理面積	0.431
7	工業地区面積比 (%)	工業地区面積/処理面積	0.085
8	住宅地区面積比 (%)	住宅地区面積/処理面積	-0.456
9	田面積比 (%)	田面積/処理面積	-0.634
10	普通畑面積比 (%)	普通畑面積/処理面積	0.609
11	牧草専用畑面積比 (%)	牧草専用畑面積/処理面積	0.448
12	公共用地面積比 (-)	公共用地面積/処理面積	-0.518
13	商業用地面積比 (-)	商業用地面積/処理面積	0.029
14	住居用地面積比 (-)	住居用地面積/処理面積	-0.537
15	工業用地面積比 (-)	工業用地面積/処理面積	0.065
16	農用地面積比 (-)	農用地面積/処理面積	-0.200
17	第1次産業就業者数比 (-)	第1次産業就業者数/第1・2・3次産業就業者数	-0.495
18	第2次産業就業者数比 (-)	第2次産業就業者数/第1・2・3次産業就業者数	-0.524
19	製造業就業者数比 (-)	製造業就業者数/夜間人口	-0.240
20	第3次産業就業者数比 (-)	第3次産業就業者数/第1・2・3次産業就業者数	0.533
21	卸・小売業・飲食店就業者数比 (-)	卸・小売業・飲食店就業者数/夜間人口	0.921
22	飲食店数比 (店/人)	飲食店数/夜間人口	0.871
23	1人1日平均給水量 (kg/人・日)	使用水量/夜間人口×365日	0.488
24	1人1日平均ごみ量 (万円/人)	ごみ収集量/夜間人口×365日	0.073
25	原材料使用額比 (万円/人)	原材料使用額/製造業就業者数	-0.448
26	製造品出荷額比 (-)	製造品出荷額/夜間人口	-0.418
27	小規模工場従業員数比(1) (-)	小規模工場従業員数/夜間人口	-0.114
28	小規模工場製造品出荷額比(1) (-)	小規模工場製造品出荷額/夜間人口	-0.024
29	小規模工場従業員数比(2) (-)	小規模工場従業員数/製造業就業者数	0.196
30	小規模工場製造品出荷額比(2) (-)	小規模工場製造品出荷額/製造品出荷額	0.601

注1) 処理面積は 現在処理面積を示す。
注2) 相関係数は 各項目と1人当りBOD発生汚濁負荷量との相関を示す。

表-3 重回帰分析結果

ケース	定数	説明変数			重回帰式の詳解	
		昼間人口比	田面積比	卸売・小売業・飲食店就業者数・飲食店数比	自由度調整済み相関係数R ²	物理的有意性
A	-138	234	-15.1	7.52	-24.5	0.958
B	-6.41		-1.00	13.2	-134	0.963
C	177	-345		21.1	8.15	0.931
D	-282	480	-20.3		-213	0.961
E	-68.1	79.8	-11.0	7.94		0.959
F	-217	333	-16.3			0.961
G	178	-345		21.3		0.945
H	-80.5	-2.46			495	0.813
I	-20.5		-9.35	10.4		0.967
J	-46.0		-8.67		415	0.884
K	-52.1			11.5	23.0	0.887

には、下水道未普及地域でも合併浄化槽の設置や団地などの集中排水処理等が行われている場合もあり、この数値よりも低い汚濁負荷量が考えられるが、これら施設の設置状況を把握することは困難である。したがって、以降の分析では、下水道未普及地域の負荷量は(1)式を用いて求めた値を使用する。

3. 河川水質変化過程の分析

河川に随所から汚濁物質が流入した場合、汚濁物質が順次積算されて総汚濁負荷量となるのではなく、河川には自浄作用といわれるものがあり、流下過程において生物による分解・沈殿・吸着等の作用により汚濁物質量が減少することが知られている。また、河川の自浄能力は、地形・流量・水質・生物相等によって異なっており、(2)式に示す Streeter-Phelps の式が提案されている³⁾⁴⁾。

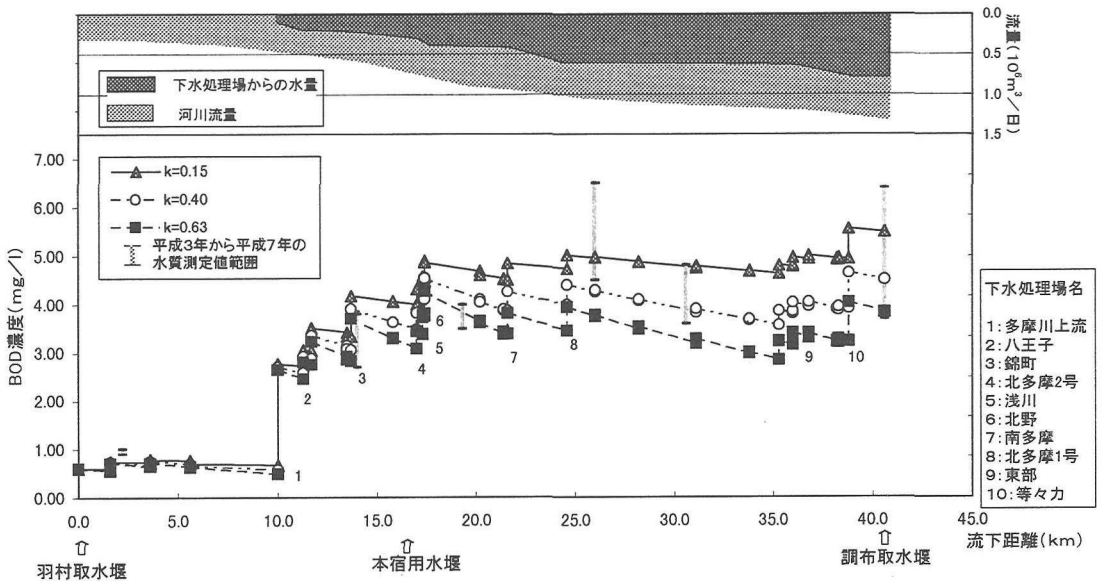
$$L_j = L_i e^{-kT_{ij}} \dots\dots\dots (2)$$

L_j : j 地点の残存 BOD 濃度 (g/m³)
 L_i : i 地点の BOD 濃度 (g/m³)
 k : 自浄係数 (1/日)
 T_{ij} : i 地点から j 地点の流下時間 (日)

そこで、河川に流入する汚濁物質量を算定し、自浄作用を考慮した河川水質の変化を(2)式によって試算し、河川水質の実測値と比較検討する⁵⁾⁶⁾。

多摩川での自浄係数は過去に実験で種々の値が求められている。ここでは多摩川の自浄係数 0.15～0.63 という土屋らの実験結果を参考に⁶⁾⁷⁾、自浄係数を 0.15、0.40、0.63 の3種類として計算を行った。また、下水処理場では BOD 除去率が 95%であると設定し、下水処理場流入水 BOD 濃度から放流水 BOD 濃度を求め計算に用いた。計算を行った区間は、羽村取水堰と調布取水堰間である。羽村取水堰では、水道原水として河川水の大部分が取水されており上流より極端に流量が減少する地点である。調布取水堰より下流は感潮域となっている。図－2に示した流入について、流入水質・水量が資料等で分かるものを使用した。計算に用いた BOD 濃度・流量は、下水処理場からの放流水以外は、東京都環境保全局により毎月1回実測された測定値の年平均値を用いた。

図－3にその結果を示す。これより、今回使用した3つの自浄係数では、0.40 が実際の水質測定地点に



図－3 河川水質(BOD濃度)変化過程の計算結果

(1995年度)

おける値と最も近いと判断することができる。なお、多摩川では、水道原水以外にも農業用水等が数多くあり、流下途中で河川水が用水路に流出している。そこで、流量の実測値を用いて2点間補正を行い、伏流水として浸透するため減少する分と合わせて、流出分を設定した。また、処理場1からの放流量は、玉川上水に放流する分を差し引いた値を用いた。

つぎに、この計算結果から、多摩川本流に与える下水処理場放流水の影響を考察する。図より各処理場（1～10）からの放流水の流入後 BOD 濃度が上昇している。特に処理場1からの流入後、BOD 濃度が急激に上昇している。処理場1からの放流水質・放流量は共に処理場8、9、10と同程度あるいは小さいものであるが、これらの処理場からの放流水は処理場1ほどの BOD 濃度上昇をもたらしていない。これは、上流であるため河川水量がまだ少なく、放流量が河川流量に対して占める割合が大きいことが原因であろう。

4. シナリオ別費用効果分析

2. で算出した平成7年における東京都内多摩川流域における BOD 発生汚濁負荷量と3. で決定した自浄係数を用い、現状での水質改善対策のシナリオを設定し、費用効果の面^aから比較検討する。

河川水質の改善を行うためには、下水道の整備、下水の高度処理化、河川の直接浄化、合併浄化槽の設置などがある。ここでは、表-4に示す18ケースを水質改善対策のシナリオとして設定した。ケース1から4は、下水道普及率を現状のままとし、下水処理場に高度処理施設を付設することを想定した。ケース5から9は下水道整備を進めるというシナリオ設定とした。ケース5は下水道普及率を100%と設定し、現在の下水処理場の処理能力を検討し不足分を増設し、下水道幹線を建設した場合を想定した。ケース6は上流の秋川処理区のみ下水道普及率を100%、ケース7は浅川処理区のみ下水道普及率を100%、ケース8は浅川・秋川の両処理区のみ下水道普及率100%、ケース9は下水道普及率を90%と設定し、現在普及率が90%に達していない処理区についてケース5と同様の想定を行った。ケース10から12までは、下水道は現状のままとし、河川直接浄化のうち礫間接触浄化法を取り上げた。ケース10では中流の3支流に、ケース11では多摩川本流に流入する地点での水質が BOD 濃度1mg/l 以上の全支流の本流流入部に河川直接浄化施設を設置することとした。ケース12は多摩川本流の中流部にある本宿取水堰に河川直接浄化施設を設置することとした。ケース13は下水道未普及地域に合併浄化槽を設置することとした。

さらに、上記のシナリオを組み合わせるケース14から18を設定した。ケース14は浅川処理区のみ下水道普及率を100%と設定し、かつ、中流3支流に河川浄化装置を設置し、ケース15はケース14の河川浄化施設を全支流に設置することとした。ケース16は秋川処理区のみ下水道未整備地域に合併浄化槽を設置し、他の処理区は下水道普及率100%と設定した。ケース17は下水道普及率を100%と設定し下水処理方法は高級処理にケース1の急速ろ過法を加えて行うものとする。ケース18はケース17の高度処理をケース4の処理法を用いることとした。なお、モデルの簡素化のため、以下の条件を設定した。

- ① 未処理地域からの排水は、各処理区の下水処理場放流口と同じ場所に別に排出されるものとする。
- ② 排水樋管からの流入はないものとする。
- ③ 各支流からの流入水量は3.と同じとし、その BOD

表-4 費用効果分析のためのシナリオ

シナリオ	種 類	条 件
ケース1	高度処理	急速ろ過法
ケース2		急速ろ過法+オゾン処理法+活性炭吸着
ケース3		凝集沈殿+急速ろ過法
ケース4		凝集沈殿法+急速ろ過法+活性炭吸着法
ケース5	下水道整備	100%普及
ケース6		秋川処理区のみ100%化
ケース7		浅川処理区のみ100%化
ケース8		浅川・秋川処理区100%化
ケース9		浅川・秋川処理区90%化
ケース10	河川浄化	礫間接触法(中流3河川-谷地川・浅川・程久保川-設置)
ケース11		礫間接触法(全支流設置)
ケース12		礫間接触法(本宿取水堰設置)
ケース13	合併浄化槽	嫌気ろ床接触曝気方式
ケース14	組合せ	下水道浅川100%整備+中流3河川浄化
ケース15		下水道浅川100%整備+全支流河川浄化
ケース16		秋川処理区のみ合併浄化槽・他の処理区は100%整備
ケース17		下水道100%整備+高度処理化(ケース1)
ケース18		下水道100%整備+高度処理化(ケース4)

濃度は各河川の水質環境基準水域類型に見合う値とする。

- ④ 合併浄化槽使用以外の未普及地域の発生負荷量計算では、尿尿分として 13 g/人・日を差し引いて計算を行う。
- ⑤ 下水道未整備地域における排水量は、水洗化を想定する場合、下水道統計にある 1 人 1 日平均汚水量を用い、それ以外の場合は 50ℓ/人・日を差し引いた値を水量計算に用いる。
- ⑥ 未普及地域からの流達率は 0.5 とする。ただし、秋川処理区は未処理人口に対して未処理地域の面積が大きいので流達率を 0.3 とする。
- ⑦ 多摩川本流の自浄係数は 0.40 を用いる。

つぎに、表－５に示す費用関数及び BOD 除去率を用い、調布取水堰での河川水質と費用の関係を求めた。なお、下水処理は標準活性汚泥法を用いることとし、汚泥処理施設建設費用を含むものとする。各施設の減価償却年数は 30 年とし、年利 3 % と設定した。分析結果を調布取水堰での BOD 濃度と建設費との関係にまとめたものを、図－４に示す。この結果から分かったことを要約して、以下に述べる。

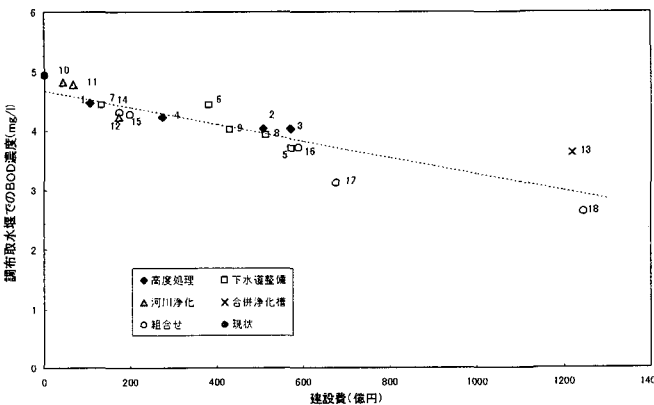
- 1) 高度処理は、下水処理後の二次処理水を対象としているので、高度処理前の BOD 濃度が低くなっている。したがって、BOD 除去率が大きい場合でも、除去 BOD 量は小さく、建設費用が高いにもかかわらず費用効果は小さいといえる。高度処理の中の比較でも、建設費用が大きいと除去 BOD 量は増えているが、その差は小さく、建設費用の差ほどの効果は期待できない。
- 2) 下水道普及は、建設費用のうち管渠敷設にかかる費用が占める割合が大きいため、人口密度の低い地域では建設単価が大きくなる。したがって、今回計算に用いた秋川処理区と浅川処理区を比較した場合、同じような除去 BOD 負荷量であることから、費用効果の面では浅川処理区の下水道普及が優先される。
- 3) 河川の直接浄化は、建設費用は安い BOD 除去量は少ない。今回は河川直接浄化施設での BOD 除去率を 55% としたが、これは流入 BOD 濃度が高い河川直接浄化施設での値である。したがって、実際は、さらに低い除去率であり BOD 濃度低下の効果は小さい。
- 4) 合併浄化槽は、負荷除去量については下水道普及 100% 化とほぼ同程度であるが、建設費用は約 2 倍となっている。浄化槽設置は下水道整備に比べ比較的容易なため、下水道計画が遅れている地域では改善の方法であろうが、下水道整備を行った方が費用効果は良い。
- 5) 組合せシナリオでは、ケース 17 の下水道普及 100% 化と高度処理（急速ろ過）の組合せは調布取水堰での BOD 濃度が約 3 mg/l となっており建設費用の割に BOD 除去効果は大きくなっている。ケース 18 は調布取水堰での BOD 濃度が最も低い値となったが、建設費用はケース 17 の約 2 倍になっている。

以上をまとめると、今回設定したシナリオの中では、下水道普及の完全実

表－５ 各浄化方法の BOD 除去率・費用関数

種 類	条 件	BOD 除去率 (%)	費用関数 (百万円)
高度処理	急速ろ過法	40	$100.8 \times Q^{0.538}$
	オゾン処理法	+15	$54.2 \times Q^{0.971}$
	凝集沈殿法	+20	$74.3 \times Q^{0.704}$
	活性炭吸着法	+15	$110.8 \times Q^{0.739}$
下水道整備	標準活性汚泥法	95	$299.2 \times Q^{0.022}$
河川浄化	隙間接触法	55	$20.6 \times Q$
合併浄化槽	嫌気床接触曝気方式	90	$984 \times Q$

注 1) Q は処理規模 (千 m³/日) を表わす。
注 2) + は BOD 除去率の向上分を示す。
注 3) BOD 除去率および費用関数は、高度処理及び下水道整備は建設省土木研究所資料第 2633 号、河川浄化については建設省関東地建資料、合併浄化槽については西原環境衛生研究所資料による。



図－４ 費用効果分析結果

施化及び下水処理の高度化の2つを組み合わせたケースが、BOD 除去・建設費用の点から河川浄化に最も適しているといえる。

5. おわりに

本論文では多摩川流域を対象地域として、都市活動量と発生 BOD 負荷量との関係を重回帰分析で求め、都市活動を表す統計値から発生 BOD 負荷量を推定する式を得た。そして、多摩川の本・支流における晴天時 BOD 実測値をもとに、多摩川本流への流入負荷を考慮しつつ、現状での自浄係数を推定した。つぎに、河川浄化のシナリオを設定し、先に得られた重回帰式を用いて下水道未整備地域の発生 BOD 負荷量を求め、推定した自浄係数によって BOD 濃度変化を求めた。この結果をもとに、多摩川において河川水質を改善するには、流域の下水道普及率 100%化とともに下水処理方法の高度処理化を行うことが最も適していることを示した。今回提案した分析方法は他の河川にも応用可能であり、各河川での最適な水質改善方法を検討する一助になると考える。

なお、今後の課題としては、雨天時の河川の水質を測定することによる汚濁負荷量の定量化、水質の浄化処理に必要となるエネルギー量の面からの評価、さらには、水質改善のために処理した水の循環利用に関する研究が残されている。

最後に、本研究は、東京都立大学特定研究「湾奥河口部生態系に及ぼす都市施設の影響」（代表：安川浩 東京都立大学教授）の一部として行ったものであり、研究に協力して下さった東京都立大学衛生工学研究室の服部智子、福田牧子の両氏に感謝します。

【参考文献】

- 1) Tchobanoglous, G. and Schroeder, E. D. : Water Quality, Addison-Wesley Public Co., pp. 305-346, 1985
- 2) 小泉明・山崎公子：上水汚泥発生量の統計的分析と将来予測，水，第 38 巻，No.5，pp.73-83，1996
- 3) Streeter, H. W. and Phelps, E. B. : A Study of the Pollution and Natural Purification of the Ohio River, III. Factors Concerned in the Phenomena of Oxidation and Reaeration, U. S. Public Health Service, Bulletin No. 146, 1925
- 4) Beck, M. B. : Modelling of Dissolved Oxygen in a Non-Tidal Stream, Mathematical Models in Water Pollution Control, edited by James, A., John Wiley & Sons Ltd., pp.137-166, 1978
- 5) 平山光衛：「陸水の水質」，山本荘毅（編），陸水，pp.39-53，1968
- 6) 国松孝男・村岡浩爾：河川汚濁のモデル解析，技報堂出版，pp.92-108，1989
- 7) 江角比出郎：自浄作用と自濁作用，「環境科学」研究報告集 B75-S504 河川の自浄作用，pp.25-30，1981
- 8) 小泉明・稲員とよの・青柳拓美：下水の高度処理を考慮した河川水質変化過程の分析，下水道協会誌，Vol.30，No.350，pp.39-47，1993

【参考資料】

- 1) 東京都統計協会：東京都統計年鑑，1995
- 2) 東京都下水道局：東京都下水道事業年報，1995
- 3) 東京都下水道局：事業概要，1995
- 4) 東京都環境保全局：公共水域用水域の水質測定結果，1995
- 5) 東京都：環境白書，1995
- 6) 建設省土木研究所：資料第 2633 号，下水道高度処理計画及び高度処理導入プログラムに関する研究報告，1989
- 7) 日本下水道協会：下水道統計，1995
- 8) 東京都環境保全局：平成 7 年度公共用水域の水質測定結果（総括編），1995
- 9) 東京都環境保全局：快適な水辺環境をめざして（水辺環境ガイドライン），1996
- 10) 東京都環境保全局：都市河川の水質・水生生物の 15 年間の変動データ集，1996
- 11) 東京都下水道局：96 東京の流域下水道，1996