

河川の自浄作用および汚濁負荷の流出率について（オ1報）

建設省土木研究所 村上 健

1. はじめに

個々の工場や家庭などで水の利用に伴って発生した汚濁物質は排水中に含まれて放出され、色々な経路を経て河川に流入して河川を汚染し、最終的には海へ運ばれて行くのであるが、その間に汚濁負荷のあるものは人為的に処理され、また、あるものは酸化、沈澱、吸着などの作用を受けて自然に浄化されて行く。これら自然の浄化作用——自浄作用——は、これを無視しても汚濁の面からはおおむね安全側であること、および自浄作用に關係する諸因子に妥当な数値を与えることが困難なことなどの理由により、汚濁予測において自浄作用を無視した形で議論が進められることも少なくなかった。しかし、現在既にいくつかの河川でみられるように、河川水の水資源としての利用が水質の面から制限を受けるようになったり、あるいは将来の確保流量を定める要素が環境保全のための水質の維持という要素のみになると、こゝろの場合のように非常にcriticalな所で水質の検討をする場合には、自浄作用を無視した議論では水質汚濁防止対策の計画立案にあたり、大きな誤りを含み得る可能性がある。更に、水質管理の大きな目標の一つとして、溶存酸素がある許容濃度以下に下がらないようにすることがあげられるが、一般には自浄作用を考慮せずに溶存酸素の予測を行なうことは困難である。

以上のように、自浄作用を実用的な計算に取り入れることができるような形で表現することが望まれているわけであるが、この報告はそのオ1歩として、自浄作用を、汚濁負荷が発生してから河川に流入する迄の自浄作用と、河川内に入ってから自浄作用とに分け、前者については汚濁負荷の流出率といった形でとらえてそれと關係する因子を明らかにし、後者については実際河川で自浄作用を実測することによって、実際河川ではどのような値をとるものか、また、どのような形の自浄作用が支配的になるかについて検討した結果である。

なお、ここで対象としている汚濁物質は有機性のもののみを考慮し、BODで代表されるとする。

2. BOD負荷の流出率

ある河川の負荷流入地点（例えば支川の出口）において、そのBOD負荷を実測し、これとその流域内の人口および工業出荷額から推定したBOD負荷とを比較してみると、人為的に処理される量を考慮しても実測のBOD負荷の方がかなり小さいのが通例である。将来の汚濁予測を行なう場合には将来の人口および工業出荷額の予測を行ない、これを基にしてBOD負荷量と求めて行なうという方法しか現在の所ないので、推定したBOD負荷と支川等を通して実際に河川に流入してくるBOD負荷とが一致するように推定方法を向上させて行かなければならぬ。このためには汚濁負荷の原単位を実際に合ったものにして行くという努力の他に、負荷が発生した地点から河川に流入するまでの間に受ける自浄作用について充分調査し、把握しておかなければならぬ。

人口および工業出荷額によって推定したBOD負荷が正しいものとし、人為的な処理が全く行なわれていないとすれば、実際に河川に流出してきたBOD負荷とBOD負荷発生量の推定値との差は、負荷の発生地点（個々の工場および家庭など）からBOD負荷を実測した地点までBOD負荷が流下

して行く間の自浄作用によるものである。この自浄作用も本質的には河川内における自浄作用と同じ現象であり、同じ解析方法が用いられる筈であるが、河川に較べて水理条件が4差万別であり、河川と同じようなモデルを考えて解析することは困難である。そこで始めにマクロな取り扱いをするとし、この自浄作用を次に示すようなBOD負荷の流出率としたものにあきかえて流域の特性との関係も調べてみる。

$$\text{BOD負荷流出率} = \text{BOD負荷実測値} / \text{BOD負荷推定値}$$

ここで、BOD負荷実測値とは対象とする流域の末端で実測したBOD負荷量であり、BOD負荷推定値とは流域内の個々の負荷発生源で発生した負荷量から人為的に処理され除去される量を差引いたものである。

建設省では43年度よりBOD負荷流出率の調査を開始しており、現在まで14の流域での調査が続¹⁾っている。この結果を表-1にまとめて示すが、これらの流出率の計算は概略以下に示すような方法で行なった。

BOD負荷の推定

BOD負荷の推定は工場廃水によるものと家庭下水によるものとをわけて行ない、それぞれの原単位に工業出荷額および人口を乗じてBOD負荷発生量を求め、これから下水処理場、し尿処理場、浄化槽による処理量を差引いてBOD負荷の推定値とした。

家庭下水のBOD負荷原単位は都市化の進んだ地域では大きく、農村部では小さいといわれており一律には定めにくいものであるが、簡単化のため一応下水処理区域では35 gr/人/日、その他の地域では30 gr/人/日とした。このうち、し尿の負荷は13 gr/人/日とし、残りの23 gr/人/日(下水処理区域)、または17 gr/人/日(その他の地域)は雑排水による負荷とした。

工場廃水のBOD負荷原単位も各々の流域の実情に応じてかなり異なるものであるが、個々の流域についてBOD負荷原単位の調査はできなかった。そこで、経済企画庁が昭和39年に全国1,000工場について調査し産業中分類別に求めた原単位を用いた。工業出荷額は42年の資料が利用できる流域では42年のものを利用し、その他の流域では41年のものを利用した。なお、工業出荷額は原単位も調査した時点(昭和39年)からの物価上昇を補正して用いている。

これらのBOD負荷を処理する処理施設としては、公共下水道の下水処理場、し尿処理場、浄化槽のみを考へ、表-1に示した流域では工場内で工場廃水処理を行なっている工場は存とした。下水処理区域を含む流域は、岐阜市内の一部とそれ以外流域の一部としている伊自良川、荒田川、堀川、および川越市の一部を流域に含む入田川の4流域であるが、これらの下水処理場でのBOD除去率は高級処理を行な、という処理場では85%、その他の処理場では60%とした。し尿処理場については、し尿処理場が同一流域内に放流している場合にはし尿によるBOD負荷13 gr/人/日のうち11 gr/人/日が除去されるものとし、他流域に搬出されている場合にはし尿による負荷は0とした。また、し尿浄化槽による処理が行なわれている場合にはし尿の負荷13 gr/人/日のうち5.5 gr/人/日が除去されるものとした。

BOD負荷の実測

調査流域の最下流地帯では毎月1回程度の水質調査を行な、その中で工業出荷額および人口の積

算年度において41年または42年の各回毎の調査結果より、各回毎のBODに流量を乗じて負荷量を求めこれを単純平均して実測値とした。

表-1 各種の流域でのBOD負荷流出率

番号	流 域 名	流域面積 (km ²)	人口密度 (人/km ²)	BOD負荷流出率 (%)	備 考
1	阿武隈川 白河上流流域	172.4	68	28.4	主な汚濁源はハルノ製紙工場排水
2	広瀬川 右瀬橋上流流域	310.3	266	0.29	仙台市内の下水処理場の負荷は除く
3	広瀬川 落合上流流域	277.9	61	0.08	
4	鳴瀬川 三本木上流流域	197.2	91	0.18	
5	吉田川 落合上流流域	550.8	67	0.18	
6	江戸川支川 坂川流域	51.3	2,200	18.3	主な汚濁源は松戸市の排水
7	荒川支川 入間川流域	227.4	637	12.8	
8	長良川支川 境川流域	61.7	2,480	33.3	岐阜市中部下水処理場が放流
9	長良川支川 荒田川流域	13.9	5,773	42.4	
10	長良川支川 伊自良川流域	163.9	616	4.74	岐阜市北部下水処理場が放流
11	猪名川支川 神田内川排水路流域	9.0	7,690	95.2	主な汚濁源は川西市の排水
12	猪名川支川 最明寺川流域	3.7	11,040	156	主な汚濁源は池田市の排水
13	淀川支川 山科川流域	53.8	934	19.1	
14	大角川支川 富田川流域	1.0	8,700	66.6	主な汚濁源は武雄市の排水

表-1によると、BOD負荷流出率は広瀬川の0.08%から最明寺川の156%までかなり範囲にわたっている。流出率が100%を越えている流域は最明寺川のみであるが、流出率の概念からいって100%を越えることはあり得ないで、原単位の不適あるいは流域内の工業出荷額を正確に把握できなかったことによるものであろう。

BOD負荷流出率で表わされるようなBOD負荷の減少量が自浄作用によるものとするが、流出率は次のような因子に関連しているものと考えられる。流域の南流の程度； BOD負荷発生源から流域の末端までの距離； 流域の勾配； 流域内でのBOD負荷発生源の分散の程度； BOD負荷発生量の大きさ； BODの分解し易さの程度； 地下浸透の程度； 流域の末端での流量； 水温等これらの諸因子のうち特に大きな影響を持つ因子として、流域の南流の程度、汚濁負荷発生源から流域末端までの距離が考えられるが、流域の南流程度については、南流が進んで排水路が整備されたり、水田等が減るとき滞流時間が短くなることで流出が早くなることで流出率が大きくなる。また、負荷発生源から流域末端までの距離については、距離が短ければ減少量が小さく、流出率は大きいと考えられる。今、流域の南流程度を人口密度 P で表わし、負荷発生源から流域末端までの距離を流域面積の平方根 $\sqrt{A}$ で代表すれば、他の要素を一応無視して、流出率 R は P と $\sqrt{A}$ の関数として次のようになる。

$$R = f(P, \sqrt{A})$$

(1)

流出率を百分率で表わすと0と100の範囲にあることを考慮すると、最も簡単な関数形として次のような関数が考えられる。

$$R = 100 \exp\left(-C \frac{\sqrt{A}}{P}\right) \quad (2)$$

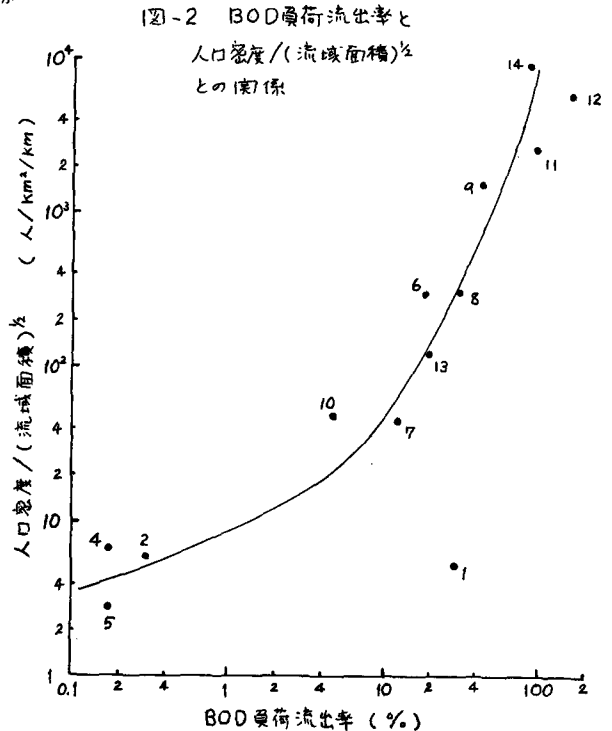
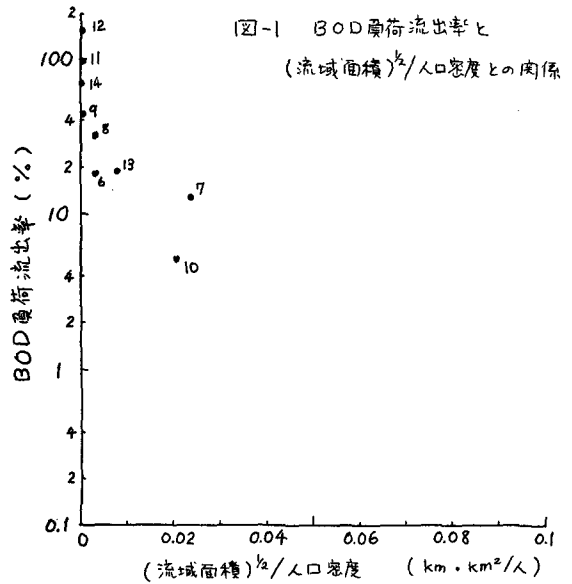
ここでCは定数。

もし、BOD負荷流出率が式(2)のよう表わされるとき、Cが一定とすれば、Rを対数軸にとり、 $\sqrt{A}/P$ に対してプロットすると直線が得られる筈である。表-1の結果のうち流域面積が非常に大きいものを除いて片対数グラフにプロットすると図-1のようになり、点があばらついているのは、やはり云々云々云々、直線ではなく、やや下に凸の傾向がある。この原因としてはAとPが

同じ次数ではない可能性があること、または、流出率に關係する支配的な因子が人口密度と流域面積の平方根だけでなく、他の因子もこれらの因子と同等に影響を及ぼしている可能性もあることがあげられる。(勿論、その他にBOD負荷の原単位が適当でなかった場合もある。)これらの点についてはデータ数が少ないので充分検討することができず、式(2)のような形が成り立つかどうかは確かめることができなかった。しかし、関数形はともかく、BOD負荷流出率に關係する因子(支配的な因子)が人口密度と流域面積の平方根であるかどうかを調べるために、Rと $P/\sqrt{A}$ を両対数でプロットしてみると図-2に示すようになり、明らかに密接な関連があることがわかる。

但し、図中の数字は表-1に示した流域の流域番号である。

図-2中の実線は便宜的に引いた曲線であるが、いくつかの点を除くと各点はこの曲線を中心として±50%の範囲内にあり、原単位の不確かさや実測値のばらつきを考慮すると非常に良い相関があるといえる。したがって、BOD負荷流出率に關係する支配的な因子は流域の開発の程度(人口密度)



と負荷発生源から流域末端までの距離(流域面積の平方根)であると思われ、実用的には図-2のような関係を用いることにより、2がかなりその傾向を把握できるものと思われる。

このようにBOD負荷流出率の性質もある程度明らかになることができたが、次に述べるような問題が残っているのが今後更に検討する必要がある。

(1) BOD負荷の原単位と流域の実情に合致するようにして行くこと。

(2) BOD負荷流出率と式(2)のような形で表わすとすれば、 $\sqrt{A}/P$ の関数ではなく、 $(\sqrt{A})^m/P^m$ の関数とした方がより適切と考えられるので、この点について検討する必要がある。

(3) 自浄作用の中には沈澱によるもの、地下への浸透によるものもあるので、地表面の状態、土壌の性質、地表の勾配等も関係している。これらの1部分は人口密度によっても表わされることがあるが、大部分は人口密度では表現できていない。これから地表の状態は雨水の流出係数によっても表わすことができるので、雨水の流出係数をも含んだ形で整理することも考えられる。

(4) 図-2において点1は阿武陽川の白河より上流の流域に属している点であるが、この点は特に他の点の傾向から離れている。この原因は、この流域のBOD負荷の約99%がハルマ・製紙工場(1社)からの負荷であり、流域の末端に近い場所で放流されているためと考えられる。従って、負荷発生源から流域末端までの距離を表わすものとしては流域面積の平方根のみでは不充分で、負荷源の位置を補正する係数を導入する必要がある。

(5) BOD負荷実測値の計算において、河川水固有のBODを含めたまゝで計算したが、固有の負荷を差引くことができず、差引いて議論する方が適切であろう。

BOD負荷流出率という概念は下水の処理が行なわれている流域のみで用いるべきであろうが、以上のような問題を検討して行くことによって様々な形態の流域のBOD負荷流出率に妥当な値を与えることができるようになり、将来の水質予測をする際に、流域の土地利用形態、汚濁負荷発生の状態が現状とは非常に異なることが予想されても、かなり精度良く予測することができるようになると考えられる。

3. 河川における自浄作用

非感潮河川の自浄作用については、その機構は概念的にはかなり明らかになっており、今迄にもいくつかの実測例もあるが、その大きさは河川の水理条件、流入する廃水の性質等によって異なるので個々の河川について具体的に自浄作用をどの程度に評価するかにはまだまだ不明確な点が多い。そこで実際河川で自浄作用を測定することによって、実験室内で測定したBODの減少係数と実際河川での減少係数との比較、生物酸化による減少とその他の原因による減少との分離を試み、また、溶存酸素の供給についても再曝気係数を測定して既存の公式との比較を行なった。

調査した河川は荒川および江戸川の2河川である。

3.1 荒川および江戸川の概況

荒川の調査区画は図-3の概念図に示すように荒川の中流部の荒川大橋～太郎右衛門橋の区画および支川の入間川、小幡川である。荒川中流部の主な支川には市野川、越辺川、小幡川、入間川などがある。また、糠田橋の上流で武蔵水路が合流しており、利根川の余剰水が東京都・埼玉県の水道用

水および隅田川の浄化用水として導入されてい
る。調査区画より更に下流の秋・瀬取水堰では
東京都の水道用水が取水されているが、現在の
所ではまだ汚染は進んでおらず水道用水として
取水可能な水質が保たれている。主な汚濁源は
本川左岸の熊谷市の都市下水（八町樋管、砂利
樋管より流入）、鴻巣市の都市下水（鴻巣下水
樋管、行人樋管より流入）、右支川の入間川の
流域で南発をよつとある（宅地、工場団地など）
からの排水があるが、量的にはとて大きくない。
しかし、この流域は今後増々南発をよつと行き、
よつとに及び荒川に流入する汚濁負荷も増大
して行くことが予想される。

江戸川の調査区画は図-4の概念図に示すよ
うに、上流端の利根川からの合流点（南宿）か
ら感潮限界（松戸市附近）までの約35 km の
区画である。江戸川もまた首都圏の最も重要な
水源の1つで、東京都・千葉県の上水道を始め、農業用水、
工業用水、水産用水として、またリクリエーションの場とし
て広く利用されているが、下流の感潮域の水質は主として工
場廃水の流入で、汚染されており、昭和37年には全国に
さきだけ水質基準が設けられた。しかし、上流部では毎年
平均のBODは2 ppm以下で未だかなり清浄である。調査区画
に流入する主な汚濁源は野田市の醤油工場廃水や家庭下水
（座生沼樋管、中野台樋管、浅間下樋管から流入）、流山市
の都市下水（今上落樋管、水内樋管から流入）がある。

3.2 調査方法

調査方法は基本的には河川水が流下して行く間の水質変化
の追跡を行ない、Streeter-Phelpsの式の修正式を利用して
諸係数の値を求めるという方法である。

1) 採水時刻および採水時間間隔

採水は上流側の地点より順次下流側の地点へ、各地点間の
流下時間つつ採水時刻をずらしで行なう。但し、各地点で
の採水は流下時間から定めた1時刻だけでなく、その時刻
を中心として前後1時間、30分間隔で計5回採水した。

図-3

荒川調査区画 概念図

() 内の数字は
河口からの距離
km

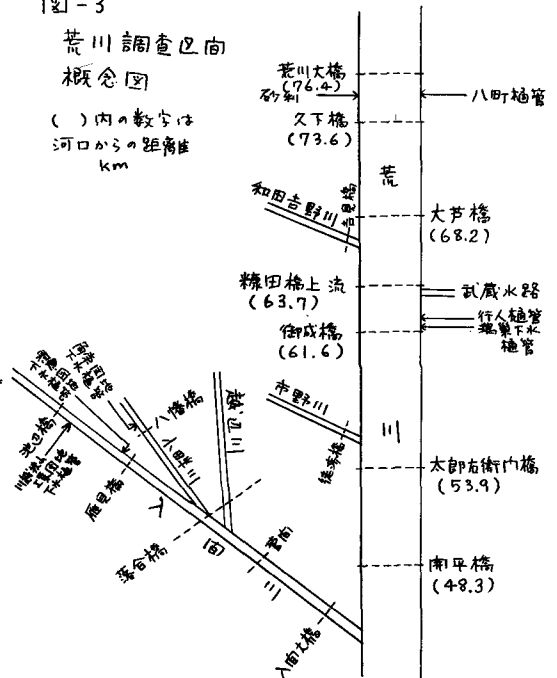
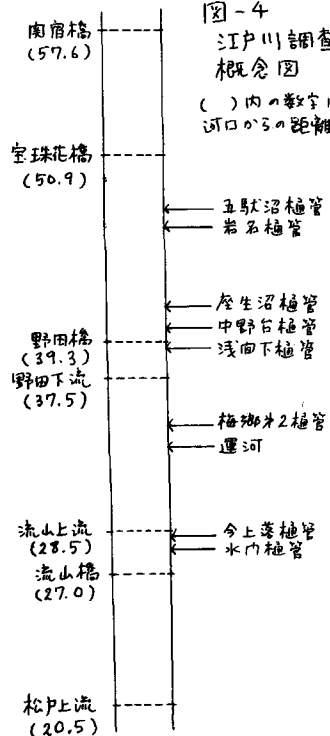


図-4

江戸川調査区画 概念図

() 内の数字は
河口からの距離, km



2) 採水位置

採水位置は左右岸で水質にあまり差がない所では流心で水深の2割の位置とした。但し、江戸川の野田橋、流山橋では左右岸で水質に差があるので、野田橋では5測線、流山橋では3測線とした。

3) 調査・分析項目

調査・分析項目は 流量、水温、DO、BOD、溶解性物質によるBOD、脱酸素係数(静置して測定したものと、攪拌しながら測定したもの)、COD、SS、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素、クロロフィルの12項目である。

3.3 調査結果および解析

荒川の調査は43年7月24,25日の2日間に、江戸川の調査は43年8月26,27日の2日間にそれぞれ行った。荒川の調査において夕刻雷雨があり、流量が調査期間中に15 m³/s程度から60 m³/s程度へと増加した。荒川本川の御成橋より下流の区間は採水時刻が流量増加時にあたっていたので、この区間の解析を行なうことはできなかった。荒川本川のBODおよびDOの距離的变化を図-5に示す。図-5からわかるように、流量が増加する前の御成橋より上流の地点ではBODは2 ppm以下で、溶存酸素は各地点とも過飽和になり、ている。これは藻類の光合成による酸素供給が行なわれていたことを示している。御成橋より下流ではBODは急激に増加し、溶存酸素は飽和値以下に下、ている。これは雷雨によって地表面が洗われ、平常の河川水より汚れた水が河川に流入してきたためと考えられる。

また、江戸川のBODおよびDOの距離的变化を図-6に示す。江戸川の流量は調査期間を通じて100 m³/s程度であったが、流量が500 m³/sにも達した後のこの減期である、ため藻類は殆んど

図-5 荒川のBODおよびDOの距離的变化

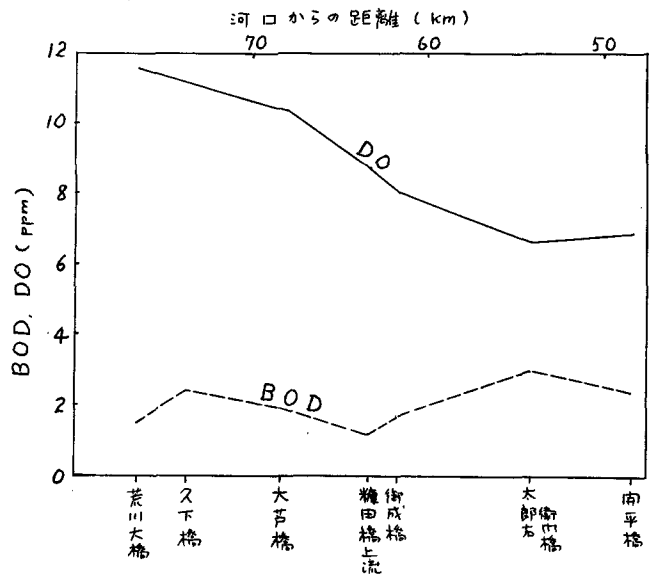
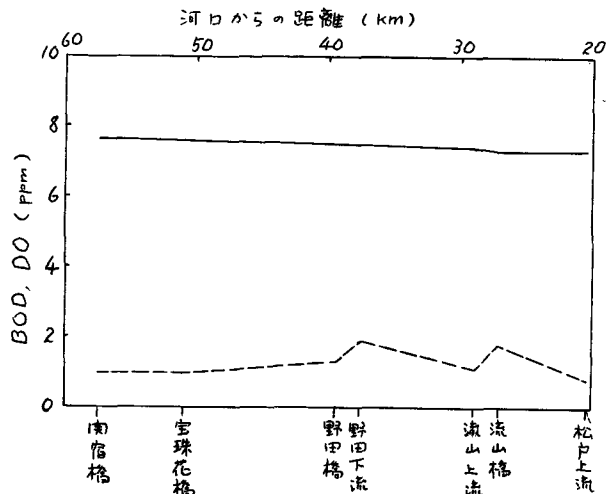


図-6 江戸川のBOD, DOの距離的变化



存在しては無く、溶存酸素は飽和に達してはいない。BODは野田上流で1 ppm 程度であり、たものが、野田市の都市下水の流入により2 1.9 ppm になり、更に流下して流山上流に到ると自浄作用により減少して1 ppm 程度に下がる。流山市内を通過すると都市下水の流入により再びBODは増加し、1.8 ppm になっている。

断面の都合によりデータを全て記載することからできないが、一例として、江戸川の各地点での調査結果を表-2に示す。

表-2 江戸川調査結果

①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
本川 地点名	負荷流入 地点名	河口からの 距離 km	流量 m ³ /s	水温 °C	BOD ₅ ppm	k_{1L} 1/d	BOD ₅ 負荷量 g/s	DO ppm	DO不足量 負荷量 g/s
南宿橋		57.7	105.1	21.5	0.98	0.176 (0.185)	103.0	7.65	100.9
宝珠花橋		51.0	98.6*	21.7	1.00	0.176*	98.6	7.64	92.7
	五ヶ所橋管	44.9	0.012	19.8	13.0	0.045	0.2	3.71	0.1
	若名橋管	43.4	0.006	23.0	1.3	0.05*	0.0	6.20	0.0
	産生橋管	41.0	3.0	21.6	21.3	0.126	53.0	0.0	21.7
	中野台橋管	39.4	0.011	24.2	101.7	0.185*	10.2	7.32	0.0
野田橋		39.3	98.6	22.0	1.70	0.139 (0.185)	167.6	7.34	117.3
	浅南下橋管	39.0	0.083	24.1	241.7	0.185	20.1	2.30	0.5
野田下流		37.5		22.0	1.90	0.120			
	梅郷2橋管	34.7	0.141	23.0	7.96	0.134	1.1	1.82	0.9
	運 河	34.6	0.573	19.8	1.40	0.115	0.8	4.21	2.5
流山上流		29.0	100.9	21.6	1.10	0.120*	111.0	7.44	116.0
	今上落橋管	28.5	0.178	22.0	2.40	0.120*	0.5	6.41	0.4
	水内橋管	27.9	0.062	23.0	107	0.214	6.6	4.09	0.2
流山橋		27.0	100.9*	21.9	1.80	0.090 (0.172)	181.6	7.12	148.3
松戸上流		20.5	100.9*	21.6	1.30	0.090*	131.2	7.26	134.2

注1: *印は推定値

表-2の⑦欄は脱酸素係数であるが、これは20°Cで静置した値であり、5日間BODから最終BODへの換算にはこの値を用いた。また、⑦欄の()内の値は攪拌しながら測定した脱酸素係数である。荒川については、御成橋および雁見橋の試料について攪拌しながら測定した脱酸素係数を求めたが、静置して測定した値と比較して有意な差はなかった。

1) BOD収支の解析

表-1のような結果を用いて江戸川については南宿橋～宝珠花橋、宝珠花橋～野田橋、野田下流～流山上流、流山橋～松戸上流の4区間、荒川本川については荒川大橋～大芦橋、大芦橋～糠田橋上流の2区間、入南川については池田橋～雁見橋、雁見橋～落合橋、入南・越谷合流点下流～菅南の3区間、小幡川については人幡橋～落合橋の1区間、合計10区間に

についてBOD減少係数を計算した。計算式はStreeter-Phelpsの式の修正式で、次のような形である。

$$L_b = L_a 10^{-\frac{(k_1+k_2)t}{2.3(k_1+k_2)}} + \frac{p}{2.3(k_1+k_2)} \{1 - 10^{-\frac{(k_1+k_2)t}{2.3(k_1+k_2)}}\} \quad (3)$$

ここで、 L_b ；下流地点での最終BOD (ppm)， L_a ；上流地点での最終BOD (ppm)， k_1 ；生物酸化によるBODの減少係数 (1/d)， k_2 ；その他の原因によるBODの減少係数， p ；河床等から所加せらるBOD (ppm/d)， t ；流下時間 (d)，

式(3)には未知数が (k_1+k_2) と p と2個あるので、次のような便宜的な解法を用いた。²⁾ 即ち、式(3)の (k_1+k_2) の代りに、表-2の⑦欄に示してある検拌して測定した脱酸素係数を用い、 p を0として式(3)によって下流地点での最終BOD (L_b)を計算する。但し、⑦欄の脱酸素係数は水温20°Cにおける値なので、 $k_{1,T} = k_{1,20^\circ\text{C}} (1.047)^{T-20}$ で実際の水温の値に補正する。このようにして計算した L_b と下流地点での実際の最終BODとを比較して、実測値の方が小さければ $p=0$ として (k_1+k_2) を求めた。また、逆に実測値の方が大きければ (k_1+k_2) を表-2の脱酸素係数(温度補正したもの)に等しいとして p を求めた。

なお、区間の途中に負荷の流入点がある場合には、区間上流端～負荷流入地、負荷流入地～区間下流端のように小区間に分割し、各小区間毎に式(3)のような関係式を立て、これから全て満足するような (k_1+k_2) または p をtrial and errorによって求めた。この計算は実際には非常に複雑なので、電子計算機を利用した。

このようにして求めた (k_1+k_2) または p を表-3に示す。表-3には実験室内で測定した脱酸素係数(検拌しなから測定したものを温度補正した値が k_{1L} としてあわせて示しており、また、 $(k_1+k_2)-k_{1L}$ が k_2' として示してある。

表-3 BODの減少係数

区 間	南高橋 ～宝珠花橋	宝珠花橋 ～野田橋	野田下流 ～流山上流	流山橋 ～松戸上流	荒川伏橋 ～大芦橋	大芦橋 ～耕田橋上流	池田橋 ～雁見橋	雁見橋 ～落合橋	入船橋 ～合流下流	八幡橋 ～落合橋
(k_1+k_2) 1/d	0.20	0.20	1.98	1.97	1.60	0.76	3.05	0.55	0.29	2.61
k_{1L} 1/d	0.20	0.20	0.20	0.19	0.16	0.16	0.17	0.17	0.11	0.13
k_2' 1/d	0	0	1.78	1.78	1.44	0.60	2.88	0.38	0.18	2.48
p ppm/d	1.00	0.69								

表-3の k_2' ——河川内でのBOD減少係数と実験室内で測定したBOD減少係数の差——によると、 k_2' の大きい区間は八幡橋～落合橋の区間を除けば、各区間とも区間の途中、しかも区間の上流端附近で大きな負荷の流入があることがわかる。また、逆に k_2' の小さい区間では宝珠花橋～野田橋の区間を除けば区間の途中では大きな負荷の流入はない。宝珠花橋～野田橋の区間には大きな負荷の流入点はあるが、その位置が野田橋に非常に近いため大きな負荷の影響が少なりそうと思われる。

以上より、大きな負荷の流入点の下流では、河川内でのBOD減少係数は実験室内で測定した減少係数よりもはるかに大きいが、大きな負荷源がその区間または通上流にない場合にはその差はあまりないといえる。この原因として次の2点が考えられる。(1)大きな負荷の流入点の下流では沈澱による

BODの減少が大きくなる。(ii) 腐屑が流入してBODが高くなると実験室内での測定ではつかまえていく形での生物酸化が治癒に及ぶ。後者の形でのBODの減少があると考えれば、河床に附着している微生物による吸着・酸化がBODの増加に応じて相乗的に大きくなるケースが考えられるが、この点についての検討は行なうことができなかった。前者の沈澱による減少について検討するに、各調査区間の大きな汚濁源のBODのうち浮遊物質によるBODの占める割合を調べてみると、少なくとも35%、大きいものでは70%を占めている。河川水の場合には溶解性物質によるBODがほぼ全BODに等しくなっていることを考慮すると、河川内でのBOD減少係数と実験室内で測定した値との差は大部分沈澱によるBODの減少と考えても良いと思われ、次のように結論することになる。(i) 河川内でのBODの減少のうち酸素の消費を伴う減少は、実験室内で攪拌しながら測定した脱酸素係数、あるいは曝気攪拌しながら測定したBOD減少係数で表わしてほぼ等しくなる。(ii) 沈澱によるBODの減少係数は、河況によっても異なるが、流入するBOD腐屑のうち浮遊物質によるものが多ければかなり大きくなり、時には2.5(1/d)にも達することがある。

2) DO収支の解析

DO収支の解析に用いた式もBODと同様 Streeter-Phelps の式の修正式で、次のような形である。

$$D_b = \frac{R_1}{R_2 - (R_1 + R_3)} \left\{ L_a - \frac{P}{2.3(R_1 + R_3)} \right\} \left\{ 10^{-(R_1 + R_3)t} - 10^{-R_2 t} \right\} + \frac{1}{2.3 R_2} \left(\frac{R_1 P}{R_1 + R_3} - \alpha \right) (1 - 10^{-R_2 t}) + D_a 10^{-R_2 t} \quad \dots (4)$$

ここで、 D_b ：流地点でのDO不足量(ppm)、 D_a ：上流地点でのDO不足量、 R_2 ：再曝気係数(1/d)、 α ：光合成による酸素供給速度(ppm/d)。式(4)では R_3 なる形でのBODの減少は酸素の消費を伴わないと考えている。式(4)を用いて計算するに当り、 R_1 、 R_3 には表-3の R_L 、 R_3' をそれぞれ用いた。また、光合成による酸素供給速度 α は、江戸川については流量の遮滅期に当てたので藻類は殆ど存在してゐず、また曇天で太陽光線の直射もなかったのと $\alpha=0$ とした。荒川本川については、クロロフィル濃度と実測した水中照度と平均値より、荒川大橋～大芦橋間では $\alpha=2.04$ 、大芦橋～糠田橋上流間は $\alpha=0.36$ ppm/dとした。荒川の支川、入間川、小幡川の区間では水中照度の実測ができなかったのと計算を行ななかつた。これらの値を用いて再曝気係数と計算すると表-4のようになる。区間の途中

表-4 再曝気係数

に腐屑の流入点がある場合の計算はBODの場合と同様で、小区間に分画して各小区間毎の式を連立して解いてある。尚、荒川の区間

区間	南宮橋 ～ 宝珠花橋	宝珠花橋 ～ 里田橋	野田橋 ～ 流山上流	流山橋 ～ 松上流	荒川大橋 ～ 大芦橋	大芦橋 ～ 糠田橋上流
R_2 1/d	0.39	0.33	0.24	0.58	2.3	2.9
O'Connor-Dobbins の式による 計算値 1/d	0.67				5.4	2.3

では溶存酸素が過飽和なので、水中から空气中に酸素が放出されていくという形の計算を行なつた。表-4にはO'Connor-Dobbinsの式(等活性の場合)を用いて計算した値があらわして示してあるが、荒川本川の大芦橋～糠田上流の区間を除くと、実測値は計算値のほぼ $1/2$ になっている。 R_3 で表わされるBODの減少分の中にも酸素の消費を伴う減少が含まれていく可能性を考慮すると、計算値と実測値は比較的良好一致するといえる。

参考文献 1) 第22回建設省技術研究発表会

2) W.E. Dobbins, "BOD and Oxygen Relationships in Streams", Proc. ASCE, Vol. 90, SA 3, 1964.