

(27) 社会経済的な因子を考慮した水質汚濁の予測について

PREDICTION OF POLLUTION IN RIVERS WITH SOCIO-ECONOMIC FACTORS

李 奉 熙* 玉井信行**

LEE, Bong Hee* TAMAI, Nobuyuki**

ABSTRACT; Behaviour of pollutant materials in basin is influenced by the socio-economic as well as hydrological conditions. In predicting the arrival pollutant loads at a point, the proper estimate of pollutant run-off ratio is very important. The multiple regression analysis with various influencing factors on pollutant run-off ratio shows that it is more desirable to consider the effects of environmental cognition of residents in evaluating environmental state. As the degree of its cognition, water supply per capita is here chosen among some indices presenting inhabitants' living standard, which can be thought to be proportional to their cognition of environmental pollution. This paper shows we can also predict the temporal variation in pollutant run-off ratio or arrival pollutant loads, with utilizing the factor of living standard with population, discharge and precipitation.

This result gives better agreement with measured value than other existing methods do, in which only population or discharge is considered.

KEY WORDS; Pollutant run-off ratio, Inhabitants' cognition of environment.

1. はじめに

汚濁物質はその周辺に住んでいる人間の活動によって生じるものであるから、河川の水質もその流域における人間の様々な活動の直接的、間接的な影響を受け、流域の各種の人為的あるいは自然的な変化は水質の変化をもたらすことになる。本研究は水質汚濁の支配因子として、人間の諸活動である流域内の社会、経済的な因子を自然状況と同時に考察し、水質汚濁の変化を明らかにする。ある地点の到達負荷量を推定するにはまず地域内の発生または排出負荷量を予測して、それに調査あるいは推定された汚濁流達率を乗ずるのが普通である。しかし、到達負荷量の算定に大きな役割を果たしている汚濁流達率も、流域の地形的また水文的な状況だけでなく流域の社会的な状況にも影響を受けると思われる。

この汚濁流達率の経年的な変化の様子が社会経済的な説明因子で表現できれば、排出負荷量は原単位法の適用でその時の社会的な状況に従って比較的簡単に求められるから、この二つの過程を合わせて同種の説明因子で到達負荷量の変化が推定できることになる。

本研究はこのような目的で、鶴見川の上流流域を対象として1972年から87年の期間にわたって、水質汚濁の指標としてのBODの変化と流域の社会経済的な変化との関係を考察した。そして流域の状況の変化から到達負荷量の変化が予測できる方法を求めた。

2. 対象地域の概要

本研究の対象地域として神奈川県鶴見川の亀の子橋地点の上流流域を選定した。この地域は面積が133.

* 東京大学土木工学科 * 修士課程 ** 教授 Department of civil engineering, University of Tokyo

6 k m²で、行政区域としては横浜市緑区、東京都町田市、そして川崎市麻生区に含まれている。下流の臨海地域は早くから工業化されていたが、60年代中頃から始まった高度成長期に入って工業化が上流の方に広がり、また、首都圏のベッドタウンとして市街地化の速度が著しかった地域である。その都市化・工業化の進展とともに鶴見川の水質環境も悪化していった。今のところ、公害対策基準法による本川の水質基準がD等級であることから水質の状況が分かる。

2. 1 社会経済活動の状況

本地域は上記の行政区域とは一致せず、一部の町は除かれている。しかし、色々な統計資料が市、区の行政区域単位で調査されている事情もあり、人口以外のデータは年次変化の状況という面では変わりがないと見なして公表されたそのままを利用した。表-1はこの地域の重要で代表的な社会経済のデータの一部を示す。表からみるように地

表-1 社会・経済活動の状況

域内の人口は72年から87年まで約2倍に増え87年現在63万人、人口密度4800人/k m²の状態であり、年平均5%の増加率である。人口増加率の時間的な様子から見ると70年初めにやや高かったのが、だんだん低くなって80年代に入っては3~4%で安定している。産業別人口構成は3次産業が64%を占めているし、その増加率も2次産業より著しい。それで、土地利用の状況も自然地と言える農地とか山林は期間中半分以上に減っている反面宅地は2倍増えて87年には全面積の50%を越

年	人口	自然地 割合(%)	下水道 普及率	工業出荷額 (百万円)	商業売上額 (百万円)	家計消費 支出(円)	使用水量 (l/日・人)
72	345741	67.28		310928	206807	169731	113.31
73	370554	65.62		339984		181189	115.44
74	392753	64.69		336051	274048	178166	115.13
75	410158	62.38		311596		180670	120.83
76	431447	59.59		339558	322757	187224	119.31
77	449798	58.10	4.55	358030		179184	124.20
78	469027	56.59	6.82	390151		188783	126.40
79	488387	55.69	10.57	404317	447062	196682	122.63
80	504697	54.55	17.36	433661		191903	118.87
81	519520	53.57	23.35	490179		191135	122.42
82	534436	51.78	27.97	531693	534392	190768	124.95
83	552670	51.19	37.28	588903		194993	129.68
84	569957	50.07	44.73	616727		200203	133.03
85	591601	48.85	49.58	656213	600060	209228	130.72
86	613438	47.96	53.81	676280		200607	133.07
87	634171	47.06	57.39	689737		208966	132.68

えている。

*各市の統計年報及び内部資料から(金額は75年度価額)

一方、経済活動の状況を表現するには、いわゆる全ての経済主体の生産活動を含める国民経済計算が一般的に利用されるが、本稿のように小規模な地域では比較的単純な指標として工業、商業そして家計の活動に限っても差し支えない。期間中、工業の出荷額と商業の売り上げ額は各各2.5倍、4.1倍の伸びに達している。両方とも73~75年、79~80年のオイルショックのためと見られる鈍化現象が見えるが、工業の場合がよりはっきり現れている。地域的な分布は工業は緑区、商業は町田市に偏っている。このような事実から、本地域は下流地域の緑区の工業化が進むこととともに、全体的には生産より消費活動が目立っているのがわかり、ベッドタウン化して都市が急に発展した地域と言えるであろう。

2. 2 水文的な状況

鶴見川の流量は亀の子橋で測定され、その年平均日流量は3~9 m³/secであり、時期的には70年代より80年代の方が流量が多い。一方、降雨量は隣の3ヶ所の降雨観測所からの資料を用いて推定した。降雨

と流量との関係を見ると、その変化のパターンは似ているのに両者間の明確な関係は認定できなかった。このことは本地域の場合、降雨からの流出に加えて他の流域から供給される用水量が社会、経済の発展に従って大幅に増加していることを示唆している。

3. 水質の特性

本地域の水質汚濁の主な原因は人間生活によるものと思われるから、有機物性の水質指標であるBODを選定した。そのBODは亀の子橋地点で71年5月から毎月1回のある日の朝、昼、夜そして夜明けの4時点にわたって測定されている。

3. 1 BODの日変動

日中の水質の変動の様子を把握しようとして、全期間の189個の日測定値を一応7つのタイプに分類した。その結果、鶴見川ではBOD濃度が朝から段々高くなる単調増加型、朝から夜までは上がって夜の時点で最高値を記録し、その後急に下がる夜山型そして、一日中の時点間の差が見えない無変動型が大部分を占めている。そして、単調増加型と無変動型の2つは7つのタイプの中で水質の日平均値が一番良好であったが、夜山型の場合は日平均値も一番悪かったし、日中の変動幅も一番大きかった。一方、それらのタイプの季節的な分布は春と秋には単調増加型が、冬には夜山型、そして夏には無変動型がよく現れている。

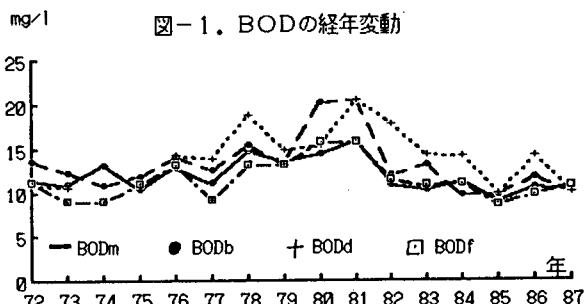
3. 2 BODの経年変動

本川の月別のBODの分布は冬季に高いし、夏には低い一般的な傾向が見える。しかし、その特徴は70年代には顕著であったが、段々弱くなって80年代には一年中の月間の差が見られなくて年中安定した傾向を示している。そして、時間的な変動の様子を1年間単位の移動平均で見ると、BODは概略3年の周期を示しながら全体的には80年までやや上がってから、その後また下がる状態である。

しかし、これは見かけのBOD値であり、流量の影響を除こうとして、期間中同じ流量条件として低水流量 $2 \sim 4 \text{ m}^3/\text{s}$ の時の水質(BODb)、また流量が安定したと見られる無降雨期間(測定前5日以上)の水質(BODd)、流量頻度加重法¹⁾(Discharge

-Frequency-Weighting Technique)を用いたBODfなどの年代表値を求めたのが図-1

である。そこで、BODmと言うのは年測定値の単なる算術平均値である。この図を流量の状況と対比して見ると、流量が平年より非常に小さかった73、74年には流量の影響が著しかったにも拘らず、全般的には流量の影響は明瞭に表れず、BODmとの差が認められない。従って、以後はBODmを年代表値として用いるとともに、流量の効果を組み込んでBOD負荷量の利用することにした。



4 既存の推定式からの到達負荷量の算定

地域の汚濁物質の排出負荷量を汚濁負荷発生原単位法で求めた。発生源としては本地域の性格上、自然、農業(畜産)などは実際計算してみても後述の全推定発生負荷量の5%にすぎないので除外し、人間の生活と、そして産業活動のうちの製造業に限定した。原単位としては生活の場合、下水処理場に流入する下水中の負荷量と下水処理人口から一人当りの排出原単位を町田市 $59 \text{ g}/\text{人} \cdot \text{日}$ 、緑区 $82 \text{ g}/\text{人} \cdot \text{日}$ と推定した。ここで、生活負荷量と言うのは家庭生活以外にも業務活動、商業活動によるすべてを含んでいる。製造業の原単位としては通産省によって調査²⁾された出荷額単位での全業種平均 $8 \text{ ton}/\text{百万円}$ を用いた。

このように算定された地域内の排出負荷量から、既存の汚濁流達率の推定法を利用して亀の子橋の到達負

荷量の推定した。村上(1968)³⁾と建設省土木研究所の研究⁴⁾においては汚濁流達率を人口と流域面積との関数で表し、次のように各々発表している。

$$R=100 \cdot \exp(-C \cdot (A^{1/2}/P)) \quad (1)$$

$$\log(R)=2.0-0.6896+0.7688 \log(Y) \quad (2)$$

ここで、R；汚濁流達率、A；流域面積(ha)
P；人口密度(人/ha)、Y； $P/A^{1/2}$
である。

一方、和田⁵⁾らによると、汚濁流達率は
その時の流量条件にも大きく影響を受け、
一般的に流量の2乗に比例するとともに排出
負荷量にも比例するとされている。それで、
人口の指数型に比例すると言える上記の式に
流量の因子を加えて次のように修正した。

$$Rr=\exp(-1/Pr) \cdot Qr^2 \quad (3)$$

ここで、Pは人口、Qは流量そして、添字r
は基準年度72年にに対する相対比である。

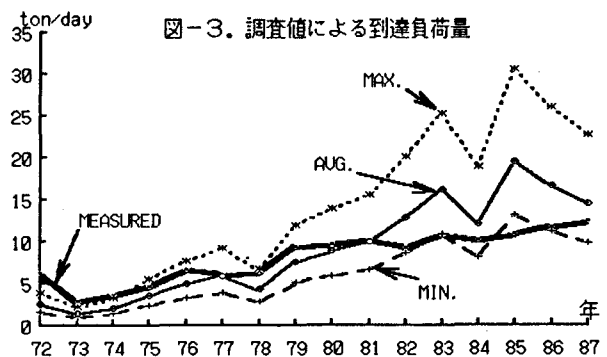
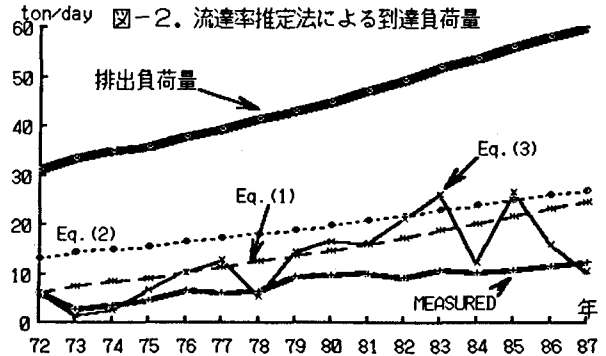
これらによって推定された汚濁流達率を用
いて亀の子橋の地点の到達負荷量を計算した
のが図-2である。ここでの到達負荷量は、
実際、亀の子橋地点で測定されたBOD負荷
量に人為的な処理による影響を除いた元来の負
荷量である。即ち、上流で排出された汚濁物質の人為的な処理がなかったとき、亀の子橋に到達する
と思われる負荷量である。このために地域内の各下水処理場の年間BOD処理量を求め、それらが各下水処
理場から亀の子橋までの河川の流れの距離を考えた流下率で到達するはずの量を計算した。ここで、流下率
の減少係数は0.2⁷⁾と見なした。

図-2から見ると、人口だけの因子を考慮した式(1)と(2)の場合は当然のことで汚濁流達率は経年
的に増加している。流量の因子も同時に考えた式(3)は変動パターンに関しては少し改善されているが、
やはりどちらも、実測とのずれがおおきすぎると考えられる。

次は、汚濁流達率をそのまま利用しないで、汚濁流出率Crと汚濁流下率αとわけてから、本地域に適用
した。稲場ら⁶⁾の調査によると、1971年の横浜市住宅市街地における汚濁流出率は40.8～62.6%
(平均49.4%)である。また、流下率に関しては鶴見川で調査された例がなく、浮田⁷⁾による宇部
周辺の中小河川での流下過程のBOD減少係数0.18～0.22を利用した。そして、上記の両係数で求
められた汚濁流達率は1972年のものとして、その汚濁流達率は経年的に変化し、その支配因子として、
人口、流量そして排出負荷量を取り、それぞれの因子に関して線形に変化すると仮定した。それで、本地域
をふたつのブロック、町田市と緑区、で分けて亀の子橋の到達負荷量を計算したのが図-3である。汚濁流
下率が宇部周辺の河川のもので、その地域が本地域に比べ河川の改修程度が多少遅れている事情を勘案する
とαが小さく推定されたかも知れないが、本結果を図-2とくらべるとより実際に近い推定が可能であるこ
とが分かる。このような事実から、汚濁流達率は関連する幾つかの因子の積で表せると考えられる。

5. 回帰モデルを用いた汚濁流達率の経年変化の推定

汚濁流達率の経年的な変化を、それに影響を及ぼす幾つかの因子の年次間相対比を用いて、次のように表
す。



$$Rr = k * (X1r)^\alpha (X2r)^\beta (X3r)^\gamma \cdots (Xir)^l \quad \cdots \cdots \cdots (4)$$

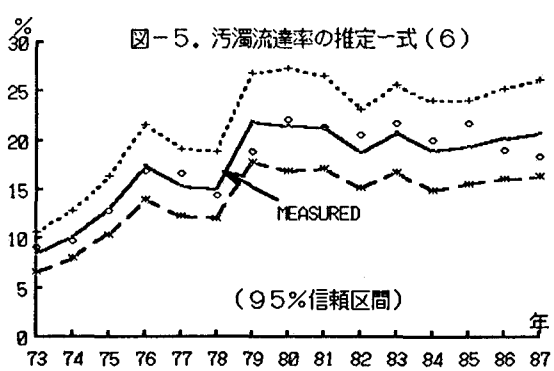
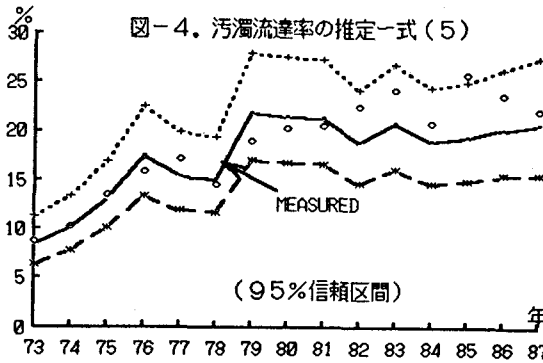
ここで、 Xir はある支配因子の変化の状況を表す説明変量、 k 、 α 、 β 、 γ 、 l は常数である。一般的に汚濁流達率は流域内の人口、流量、発生負荷量、流路長、流域の勾配、河川の改修程度などの影響を受けている、と知られている。それを、同じ地域の中での汚濁流達率の経年的な変化という面でみれば、汚濁流達率は水文的な状況の変化、流域中の人間の社会、経済活動の状況によって影響を受けるし、それに加えて、人間の環境に対する認識の程度は人間の生活パターンとか慣習にも影響を及ぼし、ひいては人間の汚濁物質の放棄行動に変化を与え、それにより汚濁物質の発生量にさえ変えろと考えられる。また、その認識の程度は住民の生活水準に比例すると仮定した。それで、式(4)の説明変量として人口(POP)、工業年出荷額、家計の総収入、消費支出、一人当りのゴミ発生量、一人当りの使用水量(WWA)、そして、流量(DIS)、降雨量(RAIN)の8つを選択した。他にも色々なものが考えられるが、上記の因子らと相関関係が高く、これで十分だと思われる。例えば、流域の開発程度とか地被状況を表す宅地比率(また農地とか山林地比率)は確かに汚濁流達率に大きな影響を及ぼす重要な因子であるが、人口との相関係数が0.98(-0.99)であり、また排出負荷量の場合も0.99であるので、それらは人口の因子でその状況を十分表現できるし、後の重回帰分析の中の多重共線性の効果も除かれる。

式(4)の対数をとって、各因子の72年を基準とした相対値に対して重回帰分析を行った。分析は全対象期間中、72年から82年までの10年間の期間に対して行い、その後5年間は分析の結果の検定期間として扱うことにした。説明変量が2、3また4個の場合の全体を考え、154組の場合について分析の結果、その当てはまりの良さを1)重回帰の寄与率が0.9以上、2)分散分析の分散比をF分布に従うとして、求められた重回帰式が目的変数の予測に役に立たない有意水準が0.5%以内のもの、3)そして、各各の説明変数のパラメタが重回帰式に寄与しない確率が0.2以下のもの、を選んだ。この基準に合う組合せとして7つの組が選択された。しかし、本分析の対象期間が10年と短いので、まったく意味のない数字だけの組合せが含まれている恐れがある。これを除くために、結果を検定期間に適用し、この期間での残差がより大きくなる組は除外した。除外された因子の組合せは常識的にも納得しにくいものであり、この措置は妥当なものだと判断された。その結果、確定されたのが次の式である。

$$Rt = 0.58 * (POP_r)^{1.3136} * (DIS_r)^{0.4774} * R0 \quad \cdots \cdots \cdots (5)$$

$$Rt = 0.69 * (POP_r)^{1.2788} * (DIS_r)^{0.7356} * (RAIN_r)^{-0.4915} * (WWA_r)^{-2.9504} * R0 \quad \cdots \cdots \cdots (6)$$

この式からみると、汚濁流達率には流量より人口の影響が大きいと言える。式(6)の場合、降雨量の項の指数が負で現れているが、これは流量の影響を考慮せず流量が一定と言う条件下で得られているものである。実際には降雨量の増加と共に流量も増えるはずで、流量の指数が大きいので全体的には水文因子は正の影響をもたらすことになるだろう。そうすると、この両方を一つの水文因子でまとめるのが望ましいと考えられるが、本流域の場合は先に述べたように両方の相関係数が0.39しかないので、両者を関係付けるこ



とは無理である。図-4と図-5は式(5)、(6)から推定された汚濁流達率を用いて、95%の信頼区間と共に亀の子橋の到達負荷量を予測したものである。それを見ると、両方とも前節の既存の推定式による結果に比べて実測された結果に近付いているが、汚濁流達率に及ぼす支配因子として人口、流量のみでなく、降雨量と住民の生活水準を表す因子を加えた式(6)の場合がもっと良好な結果をもたらしている。

6. 到達負荷量の推定

到達負荷量と言うのは排出負荷量に汚濁流達率を掛けることによって算定できる。そこで、排出負荷量を汚濁負荷発生原単位法によって決められるとすれば、それは人間の生活と経済活動によるものが大部分を占めている。人口がその排出負荷量に果たしている寄与率が0.75~0.80程度であるし、また、本地域の場合は人口と経済活動の状況との相関係数が高い事実を勘案すると、排出負荷量は人口の因子だけでも算定できるだろう。

このような観点から到達負荷量の変化の場合も、汚濁流達率の変化の支配因子で十分表現できると思われる。これは、目的変量として到達負荷量(LD)を取って前節と同じように重回帰分析をしても、式(7)と(8)のように同じ因子の組合せで結果が出ることからも立証できる。

$$LDt = 0.546 * (POPr)^{2.4844} * (DISr)^{0.4774} * LD0 \quad \dots \dots \dots (7)$$

$$LDt = 0.645 * (POPr)^{2.5044} * (DISr)^{0.6671} * (RAINr)^{-0.4499} * (WWAr)^{-2.9404} * LD0 \quad \dots (8)$$

この式らは式(5)、(6)と比べると人口の指数だけが大きくなったこと以外には、他の指数の変化はそんなに認められない。

7. まとめ

ある地域の環境評価に必要な資料として、到達負荷量の予測は欠かせないものである。その到達負荷量とそれに大きな影響を及ぼす汚濁流達率の支配因子として、一般的に用いられる人口と流量の因子に加えて、流量と降雨量を同時に考慮して水文状況を表すともに、住民の生活水準—これは住民の環境に対する認識の高低の表れと言える—の因子を含めるのがもっとも妥当であると結論された。ここでは、生活水準の指標として一人当りの使用水量に決められたが、その汚濁流達率に対する負の影響は本研究の結果、人口の影響力と同じくらいで、水文の指標に比べて卓越している。したがって、環境の悪化を防ぐためには環境に対する住民の認識を高めることがもっとも大切であることが分かった。

しかし、本分析の結果はその対象期間も短いし、また、一つの地域に限って得られたもので、今後、もっと長い期間にわたる検討と、同様な概念での他の地域への適用が必要であると思われる。

*参考文献

- 1) D.A. Harned ;Methods of discharge compensation as an aid to the evaluation of water quality Trends, Water Resources Research , 1981.10
- 2) 河野；排水に関する汚濁負荷原単位調査結果について、工業用水、76年10月
- 3) 村上；河川の自浄作用及び汚濁負荷の流出について、土木学会、68年1月
- 4) 市川；都市河川の環境科学、培風館、80年、pp. 153-154
- 5) 和田；下水排除施設未整備地域の汚濁流出率の研究、下水道協会誌、75年10月
- 6) 稲場、堂々；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、72年5月
- 7) 浮田、中西；河川の汚濁負荷流出率に関する研究、土木学会論文集、85年5月