

メッシュ法による汚濁分析と水質物質の流出率に関する検討 ——京都市内河川を例として——

京都大学工学部 正会員 末石富太郎, 0住友恒, 松尾直規

§1. はじめに

近年、わが国では公害防止計画の立案などにも関連し、地域を格子状に分割して汚濁の原因、対策を探るいわゆるメッシュ法による計画の試みがなされつつある。このメッシュ法自体の特徴は対象地域の平均化を極力避け、各細分地域独自の特性をできるだけ線密に取り上げんとする点にある。また各細分地域間にわたる汚染物質の流動など地域相互間における物質収支の定量精度を極力高揚せんとする基本姿勢にも特徴がある。したがって、環境容量の定量化など多岐の目的に対し、以下に示すメッシュ法による分析はコンピューターの発達した今日、特に有効である。ただ、この方法を採用する場合、最大の問題はメッシュ区分に対応して当然必要とされるデータの数および精度に種々の制約が伴う点にある。したがって、理念上、この方法の有効性を認め得ても、具体的にはいかに対象地域を区分すれば良いかを始め、多くの問題を残している。そこで本文では、一つの試みとして実施した京都市における市内河川の汚濁分析を以下簡単に例示してみる。特に後述のごとく、現時点におけるこの種の分析で、いかに取り扱えば良いか未だ明確でない水質物質の流出率について、いくつかの角度から検討を加えてみたので、この点に焦点を絞り報告しておく。

§2. メッシュ法による汚濁分析

2-1. 京都市内河川の分析例

京都市公害対策室では水質汚濁、大気汚染、騒音など多岐にわたる公害問題を総合的に分析するため、市域を図-1に示すように500m間隔に区分して各メッシュごとに徹底した調査をとる方針をとっている。区分間隔として500mを取ること自体には確たる必然性はなく、具体的な調査が可能な範囲内であつ市内を極力細分せんとした結果による一つの試みとしての値ともいえる。各メッシュ別人口、産業活動量(出荷額)は住民台帳その他から比較的詳細に定量化できる。ところで筆者らは上記メッシュ区分を活用して京都の市内河川における汚濁の分析を試みた。この場合、排水汚水量、BOD負荷量に関する原単位を活用すれば各メッシュでの汚濁物質の発生量は図-2に示すように容易に推定できる。なおここでは表-1に示すような原単位を用いているので、各メッシュ別人口、出荷額としては図-1に示される土地利用率を用いて各行政区別実値を各メッシュに比例配分した値を採用している。図-2のごとく発生した汚濁物質は図-3に示す各河川に流入するが、その流入ルートは分水嶺の調査から、図-4のごとく流入していることがわかる。図-2のごとく発生する汚濁物が図-4に示すルートを経て徐々に流下するプロセスを詳細に追跡さえすれば、各市内河川の汚濁状況を定量化できる。ただ問題は上記追跡過程で各ステップの流下に伴う水質の変化をいかに考慮すればよいかわからない。河川形態で流下する場合、側溝などで流下する場合、あるいは市街化地域の場合と山ろく部の場合など、それらの差違を各メッシュに対応して、水質の流出率あるいは

表-1

人口		産業	
汚水量 (%人口)	BOD (%人口)	汚水量 (%人口)	BOD (%人口)
0.263	39.5	0.897	275

図-2 現状の総発生BOD負荷量
($\times 10^4 \text{gr/day}$)

SCAL= 0.1000000E+03

1500 (T.T)

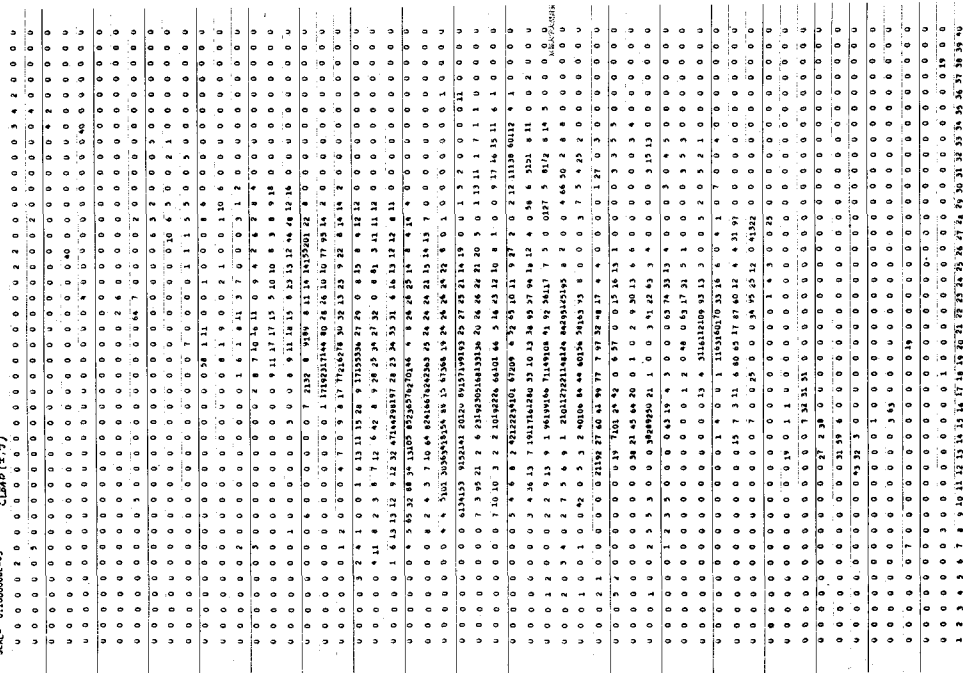
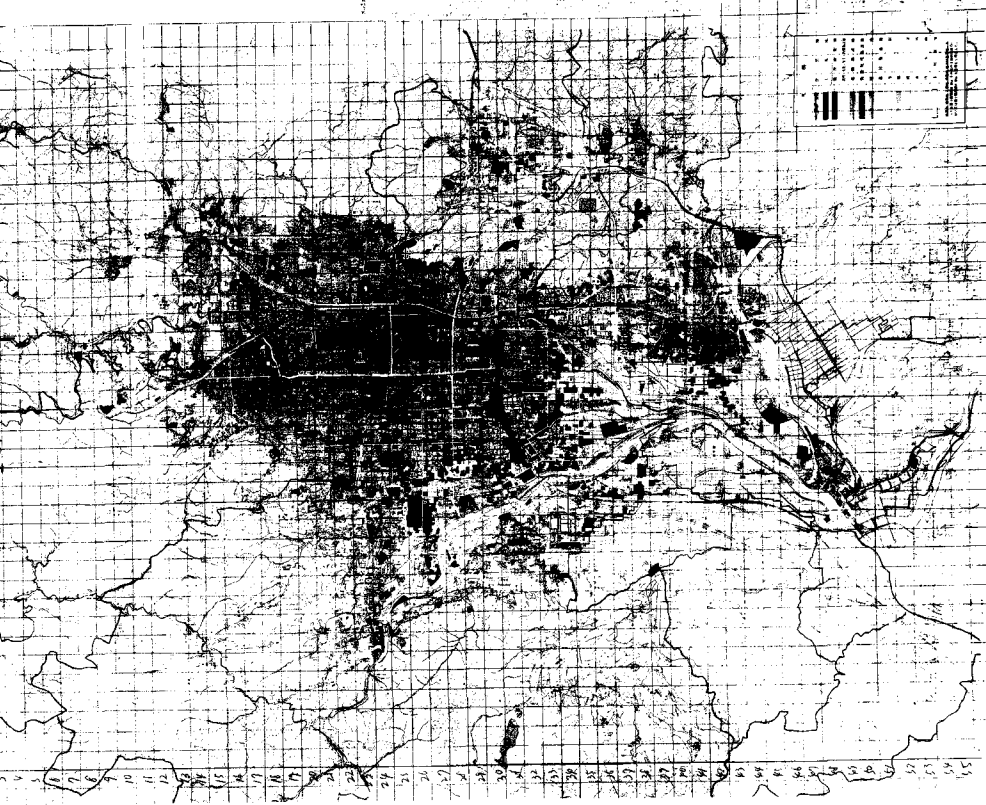
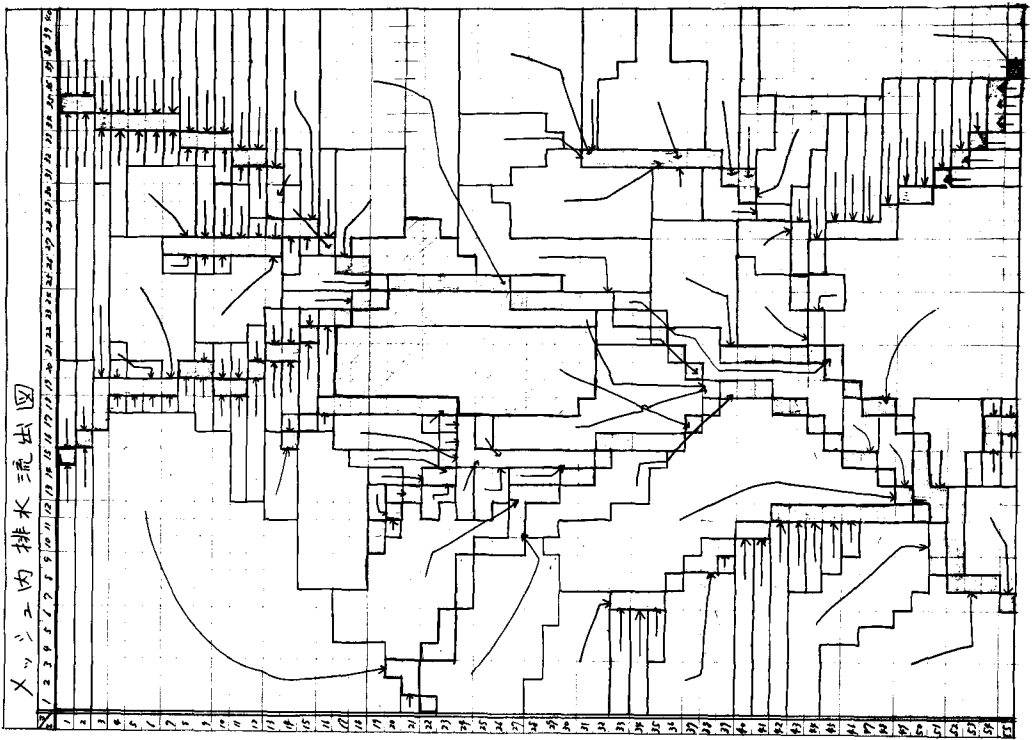
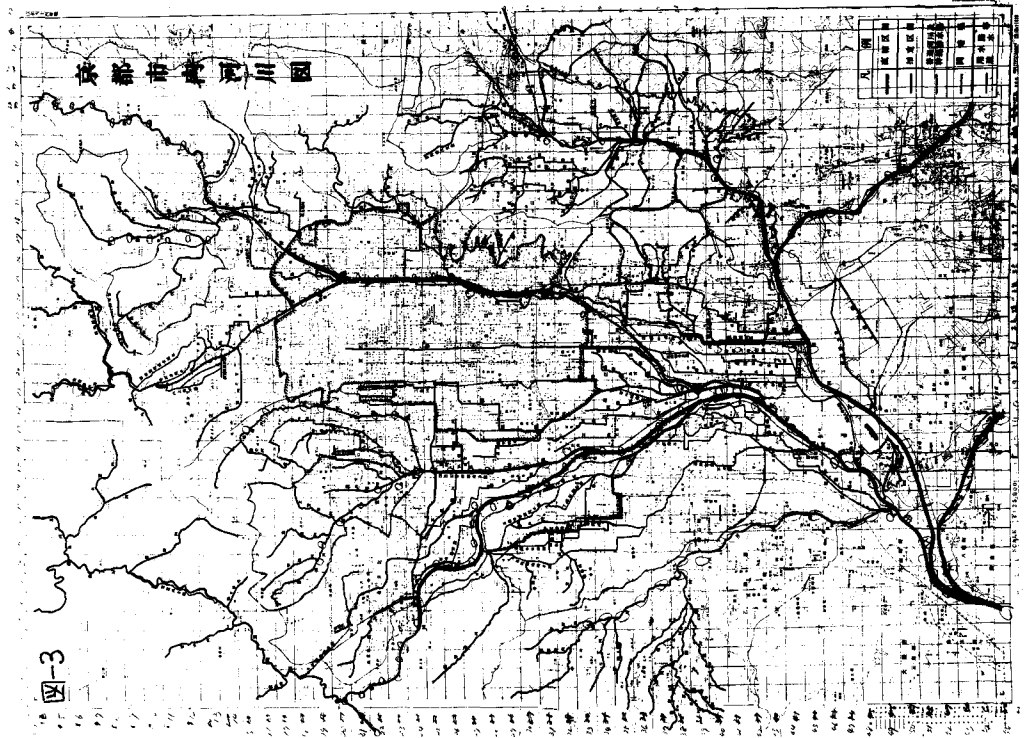


圖-1 土地利用現象圖





自浄率として適確に決定することはさきわめて困難である。いま、これらの水質変化を考慮せず、発生汚濁物がすべて河川汚濁に寄与するものとして、河川水質値(BOD)を算定し、マップ表示したのが図-5である。(ただし下水道普及地区での処理率は考慮してある。)部分的には現状水質を再現しえても、全般的には現状値よりも算定値が高く、流出率の存在を認めうる。特に、桂川、鴨川など本川の水質値から判断する限り、下流へゆくに従いその傾向は強い。そこで、汚濁負荷量の発生地点に集約して、各メッシュ一律に流出率を考慮した場合の算定水質値を試算し、これを例示したのが図-6図-7である。これらの結果を表-2にまとめてみると、京都市の場合、ほぼつぎのようなことがわかる。

表-2

地点	実測 BOD ₅ (ppm)	流出率を考慮した算定BOD ₅ (ppm)				備考
		1.0	0.6	0.4	基準値	
桂川上流	8.0	14.0	9.0	6.5	8.7	三軒川合流前
天神川	80.0	174.0	104.0	70.4	131.4	
鴨川上流	14.1	18.0	11.0	7.8	18.0	桂川合流前
東高瀬川	79.0	19.0	11.0	8.1	65.8	
山科川	12.5	87.0	82.0	35.2	46.3	
桂川下流	34.0	59.0	36.0	24.1	45.2	三軒川合流前 土樋川合流前
宇治川	3.5	2.0	2.0	1.7	3.6	三軒川合流前
桂川最下流	14.9	52.0	31.0	21.0	11.3	三軒川合流前

- 1). 全般的には一律60%程度の流出率を考慮するのが妥当。
- 2). 最下流点からみれば、流出率はさらに小さい。
- 3). 市内の各小河川の汚濁を論ずるためには一律流出率を採用することはできず、さらに流域別あるいはメッシュ別流出率の定量化が不可欠である。

いかえれば、このメッシュ別流出率の定量化が不十分な段階では、メッシュ法を採用してもその特徴を發揮しえない。まして500m間隔のメッシュは細分しすぎともいえよう。ただ、一連の検討にひきつづき、京都市における将来の汚濁対策を探るために、図-8に示す環境基準を満たすための条件を試算し、一例として表示したのが図-9である。いかなる地区に、いかに対策を必要としているかは一目にしてわかる。なお、ここでは昭和60年時点での各メッシュ別人口、出荷の予測、および下水道の普及、さらには二次処理の採用がすべて考慮されている。また、流出率は一律70%を採用している。シアン、クロムなど有害物質の流出、畜産排水の影響など同様に検討しているが、ここではこれらを省略する。

3. 水質の流出率に関する検討

水質の流出率についてはわが国ではすでに村上による調査報告がある。^{21, 22)} また、概念が異なるが雨天時の水質の流出については稲葉らの研究もある。²³⁾ 前者は水質実測値を中心とするマクロな定量例が中心で、後者は対象が雨天時であるだけに、さらに理論的考察を加えたものである。筆者らは水質物質の流出については晴天時のそれについても稲葉の研究にみられるような論理性の考察が重要と考え、若干の基礎的研究を開始している。^{24, 25)} いかにいへば、上記両者の研究の歩みより大きな関心を持つ者である。とこうで、本文では、前章において示した一連の検討過程で、幸か不幸か、一律流出率の採用では小河川における汚濁を再現しえないことが明らかになった。そこで、以下これを再現しうる流出率の逆算によって地区別流出率を求めるとともに、結果の論理性をいくつかの角度から検討してみる。

3-1. フィードバック方式による水質流出率の算定について

建設省によれば、水質の流出率は次式で算定されている。²⁾

$$\text{流出率} = \frac{\text{実測負荷量}}{\text{原単位方式による推定負荷量}}$$

ここでの問題は、原単位量として対象地区独自の値をいかに採用するかという問題と、実測量として

図-6 現状 河川水質 (BOD) (PPM)
SCAL= 0.100000E 01

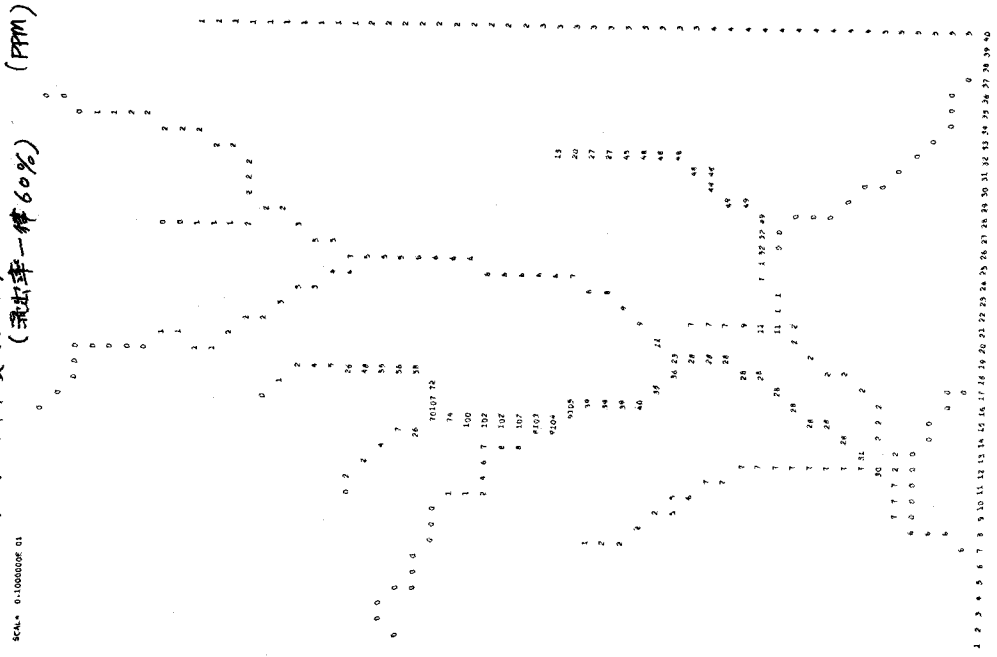
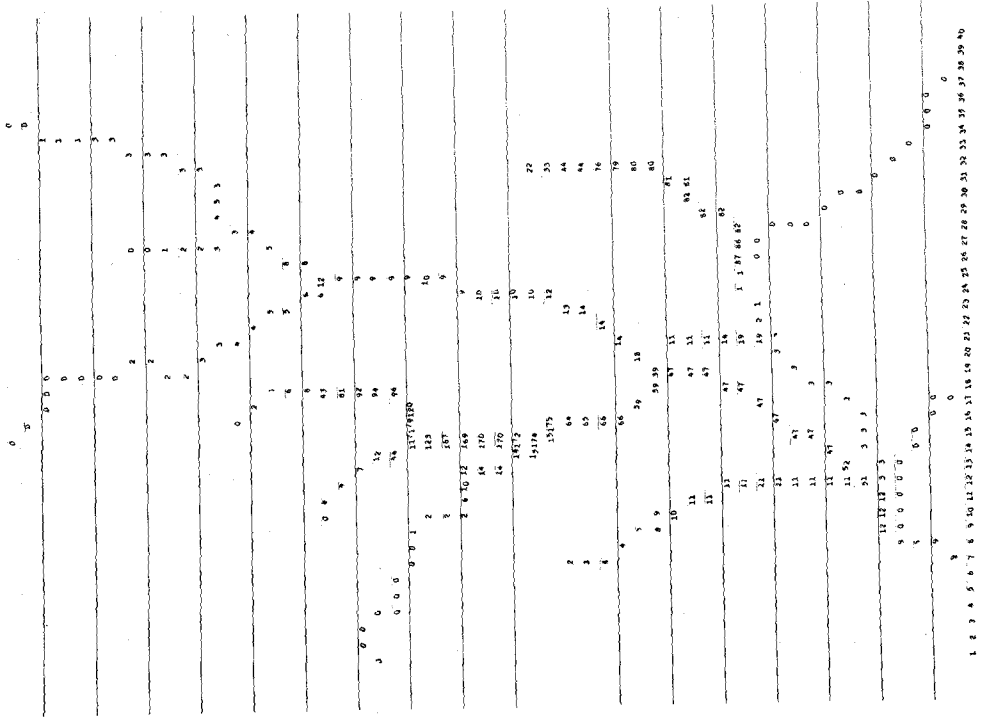
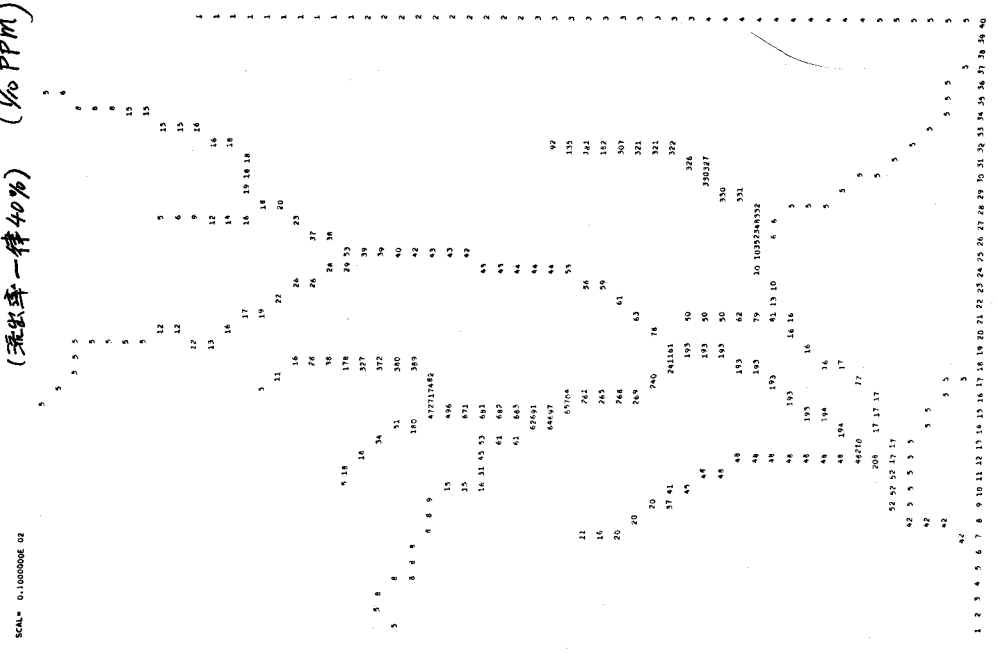


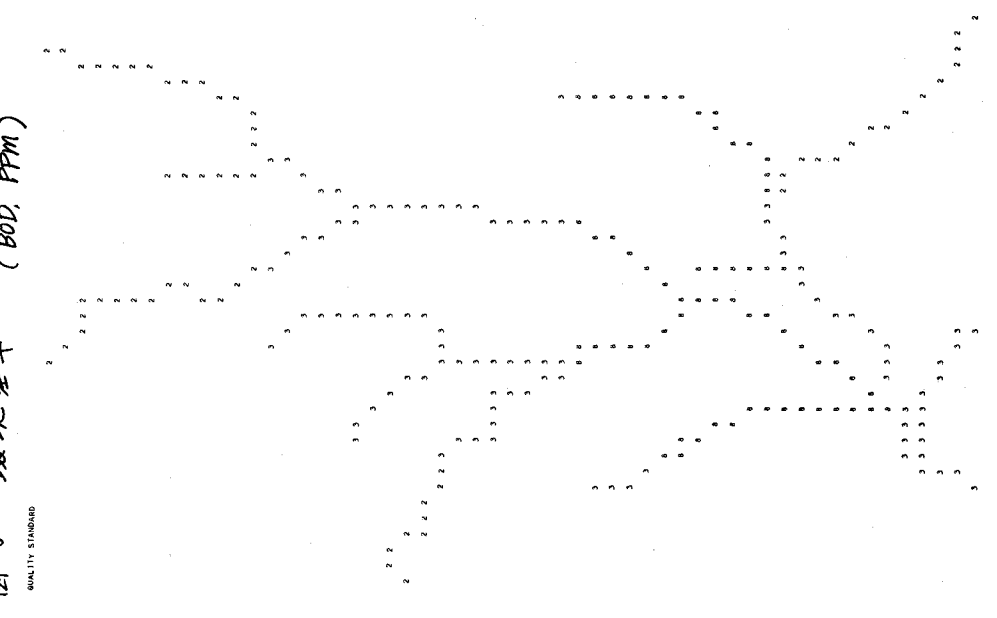
図-5 現状の 総合河川水質 (BOD)
SCAL= 0.100000E 01 (流出率一律 100%) (PPM)



四-7 现状 河川水质 (BOD)
 (流出率一律40%) (1/10 PPM)



四-8 環境基準
 (BOD, PPM)

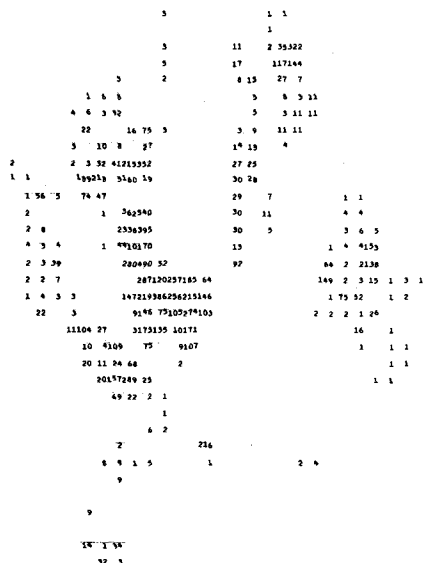


いかなる精度の値を必要とするかの問題がある。一般に後者については既知量としてとかく過大な信頼度を置きがらであるが、現実には、1, 2 回の水質実測値を直接利用することも多く、この値が現状水質を代表しうるか否か問題を残す。特に、本文で対象とするように多数かつ小流域からの複合流出の場合、図-10に概念的に示すように地区1を対象としたA地点の水質に比べ、地区2, 3, 4を対象としたA, B, C地点に要求される水質精度は高い。たとえば、B地点の水質値が実情の平均的な水質を上まわれれば、地区2, 3の流出率に対し、やや過少な値を与える半面、下流側の地区4に対しては過大な値を与えることになる。このような観点から現段階で、本文に取り上げるような流出系を対象とする場合、本川（あるいは主流）各点における実測水質値さえも必ずしも既知量と断定しえない要因を残す。そこで、原単位置、水質実測値ともに固定的に取り扱わずに、全地区の流出率が同時に妥当な値を示すようになるまで、個々の原単位置、水質実測値を修正するフィードバック方式をと、てみることにした。すなわち、既知量の減少を評価基準の導入により補ない、最も妥当性の高い流出率の算定を採る方式である。算定の手順は図-11に示すように、まず、1)、人口、出荷量を既知量として与えた上で、極力精度の高い水質実測値および各地区一律原単位を与える。2)、各地区の流出率を算定後、すべての算出流出率を個々に評価し、不合理な値があれば、対象地区における工場排水のBOD原単位置を微量量づつ増減してゆく。3)、上記をく

SCALE D:10000000-03

図-9

昭和60年必要削減負荷量(BOD)
($\times 10^8 \text{ g/day}$)



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40

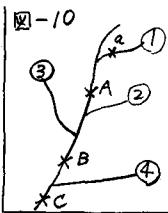
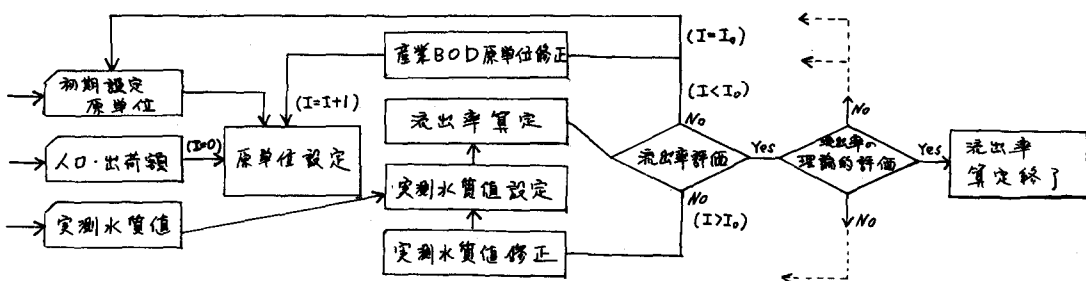


図-10

図-11



り返しても、不合理な流出率値が残る場合、原単位量を元の一律値に戻した上で、対象となる実測水質値を微少量づつ増減した上で、さらに2)の手順をくり返す。4)、上記3)をくり返した上で、最も合理性の高い場合の流出率算定値を選定する。なお、対象流域が単一の場合とかきわめて少ない場合は上述フィードバック方式は不用で、その採用は評価基準に支配された不自然な流出率を算定することになり、かえって不都合である。

3-2. フィードバック方式による水質流出率の算定例

2章にも記したようにメッシュ別流出率の算定は現段階ではほとんど不可能である。そこで、発生負荷量が無視しうる地域を除き、残る地域を流出過程ごとにメッシュを統合したのが図-12である。

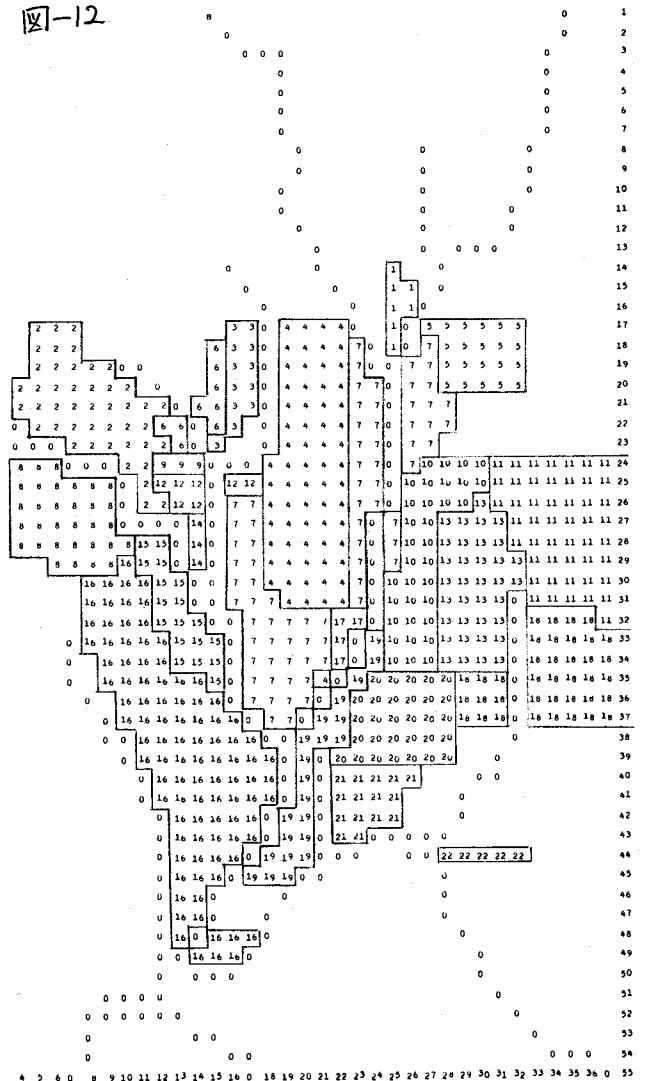
すなわち、京都市における主な流出系は

図-12

図-12中に示す1から22のブロックに大別される。(ここでブロックNo4, No7,

は下水道普及地区) 前節に記した評価基準として、ここでは2段階に分割し、まず、1から22のブロックの全算定流出率が1を越えないこと、マイナス値にならないこととする。ついで、算定流出値の大小関係が、各ブロックでの単位面積当り発生負荷量の大小に対応することとする。

1) 算定の結果、1段階の評価基準を満たすこととさえきわめて容易でないことがわかり、最も妥当性の高いものとして表-3に示すような結果を得た。これらの結果を図示したのが図-13、図-14でいずれも一定の相関を認めがたい。特に図-14では各ブロック流出過程の物理的条件がいかに水質の流出率に影響を及ぼしているかを調べたものである。地表面工種を表わすものとして雨水の流出率を採り、地面勾配さらに流下長を指標として、これらの総合的な影響を求めてみたが、予期に反し特別の関係を見出し難い。村上の結果¹⁾および後に示す別の検討結果から判断して、本算定法には今後さらに検討を要する点が多く残されているようである。特に、図-10でのa点のように直接流出河川の水質値でなく、A, B, C点のように流出先河川(本川)の実測水質値を利用する場合、流量とともにさらに精度の高い実測値を用いる必要があることを指摘しうろ。



3-3. 下流端における水質流出率の算定について

3-1の冒頭に記した建設省による流出率の算定法では、算定地点を流域の最下流端に限定している。すなわち、図-10の例でいえば地区1を対象としたa点、あるいは地区1,2,3,4/全域を対象としたc点を指す。この場合前節に示したようなフィードバック方式は必要でなく、実測水量、水質値、および設定原単位量を用いて直接算定しうる。この算定法で京都市内における水質の流出率を算定したのが表-4で、これを図示したのが図-15である。3-2節の結果と同様、各ブロックの物理的な条件を流域特性とし、種々の角度から水質流出率に及ぼす影響を調べたが、ここでも特に明確な相関を見出すには至っていない。ただ図-15に示す単位面積当たり発生負荷量と水質流出率の関係で流域特性(=雨水流出率×地面勾配/流路長)がある程度、類似した条件で対比するのが好都合であることを指摘した。

表-4

流域名	水質 実測値 (ppm)	水量 実測値 (m^3/s)	実測 負荷量 ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{s}$)	算定 負荷量 ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{s}$)	流出率
天神川流域	84.8	28	22.7	30.3	0.78
桂川流域(中流)	34.4	124	42.7	53.0	0.81
西高瀬川流域	30.5	25	8.6	37.7	0.22
桂川流域(下流)	10.9	153	16.6	28.9	0.67
桂川流域(河口)	13.5	296	40.0	117.6	0.34
賀茂川流域	2.3	77.8	1.8	3.9	0.46
高野川流域	9.2	53	4.9	5.9	0.83
東高瀬川流域	79.0	35	27.6	27.8	0.99
山科川流域	12.5	17	2.1	15.0	0.14
宇治川流域	56.3	8	4.5	5.3	0.85
東高瀬川流域	3.5	2.94	0.008	0.4	0.26
御堂川流域	15.6	3.0	0.47	1.6	0.29
新川流域	21.5	10.2	2.2	3.1	0.71
青洲川流域	8.0	0.43	0.038	0.1	0.34
白川流域	32.2	10.4	3.35	4.7	0.71

4. おわりに

本文は、メッシュ法による汚濁分析例の報告を中心に、そこで問題となった水質物質の流出率について2,3の検討を加えたものである。メッシュ法に関する最大の成果として、現時点で水質汚濁を対象とする限り、500m間隔のメッシュ区分がやや細分にすぎること指摘した。その原因はメッシュ別データの不足にあり、現時点でメッシュ法を採用する場合、kmオーダーの区分、あるいは図-12に示すような区分以上に細分してもあまり有意な結果が得られないようである。この意味から、各種データの整備が急がれる。つぎに水質の流出率については、複合流出系で本川水質値を用いて、同時に各流出地区の流出率を算定すべく、フィードバック算定方式を提案し、その検討を行った。結果的に、現段階であまり十分なものとはいえず、今後さらに改善を要することが明らかとなった。これも本川の水

表-3

区画番号	面積 (km^2)	流域長 (km)	雨水 流出率	人口 (人)	産業 排水 削減率 (%)	産業排水 削減率 (%)	地面 勾配 (%)	算定 流出率
1	1.8	1.8	0.61	17,461	—	—	3.1	-3.04
2	11.2	5.5	0.30	53,575	9.641	330	12.7	0.74
3	3.0	3.0	0.35	34,161	6,119	98.5	18.3	0.91
4	17.0	8.4	0.62	285,245	2,055	570	7.4	0.91
5	5.3	2.6	0.31	28,267	2,925	475	13.5	0.96
6	2.3	2.3	0.28	20,085	2,065	157	20.0	0.24
7	19.0	7.5	0.53	267,167	192,321	38.5	8.4	0.87
8	12.5	3.2	0.22	16,577	—	76.7	5.3	-0.71
9	0.8	1.5	0.47	10,365	5,132	27.5	9.0	0.42
10	8.5	3.2	0.40	76,448	7,526	821	16.7	-0.32
11	17.2	4.9	0.26	34,764	10,718	27.5	10.2	0.17
12	1.8	1.8	0.47	13,857	22,235	27.5	2.8	0.37
13	8.8	4.8	0.33	48,044	14,324	27.5	15.7	0.15
14	4.8	1.5	0.43	9,840	20,166	27.5	5.3	0.47
15	4.5	2.0	0.37	25,258	7,637	570	1.3	0.87
16	24.5	12.3	0.35	65,085	51,381	27.5	1.1	0.31
17	1.0	2.0	0.53	12,249	20,335	821	2.0	0.93
18	10.8	4.8	0.27	26,226	7,655	27.5	9.2	0.13
19	5.5	5.5	0.36	24,557	25,322	27.5	3.6	0.28
20	7.5	3.0	0.39	48,704	7,521	821	15.0	0.73
21	3.8	1.5	0.51	44,843	20,255	27.5	6.0	0.55
22	1.3	2.5	0.38	5,288	12,511	111	2.8	2.21

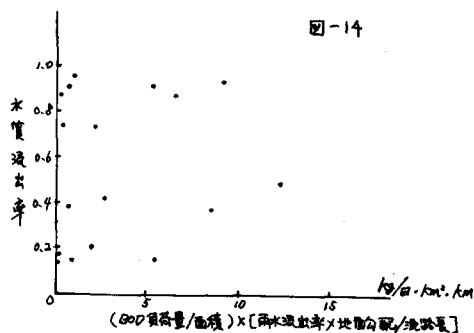
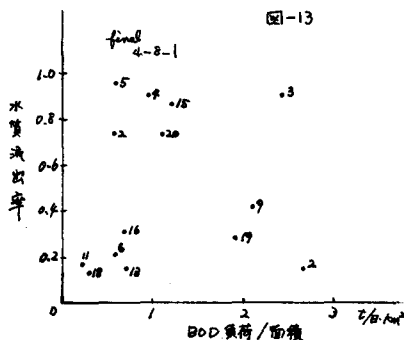
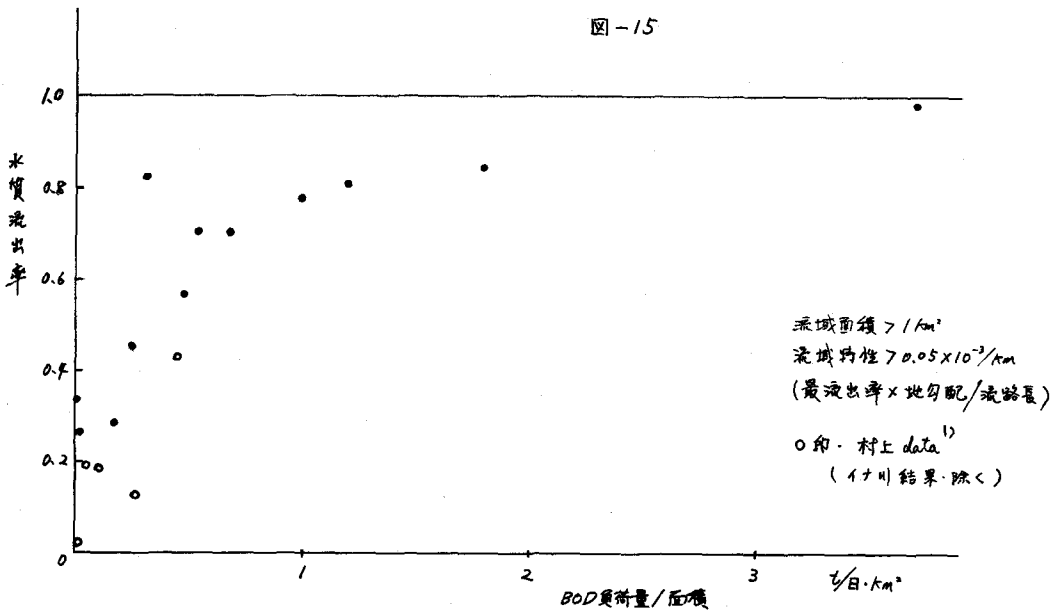


図-15



量、水質データの精度が予想以上に低いことに主たる原因があるようである。今後データ精度の高揚は不可欠であるが、算定法自体は容易に改善されるはずであるから、不完全ながら今後の一つの方向を示すものとしてここに報告した。

最下流点に限定して流出率を算定する建設省提示の方法では図-15に示すように、一つの関係を見出しえた。しかしこの場合、図-10中の○点に相当する流入支川の水量、水質実測が追加されたことはいくまでもなく、多くの追加実測を必要とした。また、本文では、水質の流出率は各流域の物理的な条件にある程度支配されるはずとの観点で、いくつかの検討を加えたが、BOD物質を対象とする限り、明確な相関を見出しえなかった。筆者らの室内実験の結果、あるいは他物質の場合と異なった複雑な流出機構が想定される。^{4), 5)} 今後さらに検討を求めてゆきたい。

最後に、本検討に当り京都市公害対策室および下水道局から全面的協力、助言をえたことを記し、ここに謝辭の意を表わす。

参考文献

- ① 村上健、河川の自浄作用および汚濁負荷の流出率について
土木学会第5回衛生工学研究討論会講演集 1969. 1
- ② 建設省下水道部、汚濁負荷量予測のための基礎数値に関する調査報告書 昭46年3月
- ③ 船場紀久、横尾将位、雨天時下水排除の合理化へのアプローチ
土木学会第5回衛生工学研究討論会講演集 1961. 1
- ④ 末石富太郎、住友恒、弘元晋一、大久保徹 水質物質の掃流に関する実験研究
第27回土木学会年次学術講演会 昭47. 10.
- ⑤ 末石富太郎、住友恒、鈴木俊郎 山間部からの水質物質の流出について
同上、昭47. 10.