

京都大学工学部 正会員 工博 末石 富太郎

労働省東京労働基準局 正会員 ○ 南 本 禎 亮

1. 緒 論

周知のように、水質汚濁防止に関し、合理的な水質基準の設定が急務となっているが、このような問題に対する研究の方法は次のようにまとめることができよう。すなわち、1) 下水道をも含めた排除系における水系汚濁物質の挙動の究明、2) 水質基準に応ずる下水道および処理の設計法の研究がまず挙げられる。これら両方向から技術的な水質基準を決定できるが、さらに水質公害として汚濁のレベルが高まっていることは、3) 水系環境計画手法の研究と地域計画への連関の強化が、1)、2)を基礎として取扱われる必要があり、またその結果の評価も逐次可能になってきている。3)の研究を組織論的にすすめることにより、ふたたび1)、2)における資料蓄積の方向を与えるはずである。著者はすでに、上記2)の考え方として、水質汚濁防止と下水道計画を一括したシステム解析の理念を示し、特に河川水質基準の変動にともなう汚濁源と処理放流点の関係を論じ、計画区域内の排出汚水の質・量の分布を把握すべきことを明らかにした¹⁾。本論文では、さらに広域的に考えたとき、排出負荷の地域的分布すなわち河川の汚濁負荷受容量の配分をどのように取扱うべきかに焦点をしぼり、かつ3)の方向の基礎として、都市開発および下水道整備との関係についても言及したい。

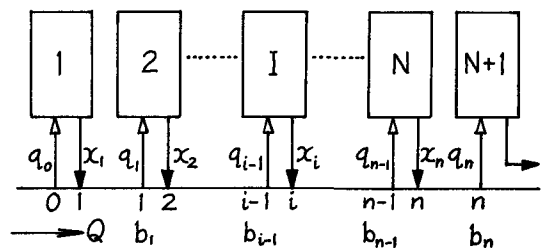
2. 河川と排除系のモデル化および汚濁負荷配分の目標

河川の水量・水質を利水と污水放流という二面から定量的に取扱おうとすると、対象とする河川および流域のモデル化は当然必要となる。しかし治水から利水へそして水質保全へという現実の流れは、意図するモデル化を必ずしも容易にしない。特に、利水点は明確でも、下水汚水放流点はきわめて多様であり、またその数も多い。しかし下水道の完備や終末処理場の建設などは、これら放流点の整理²⁾をも促進することになるので、流域を適当なブロックに分けて考えることは可能である。各ブ

ロックからの放流点を1地点とし、取水点は放流点直上流であって、そのブロックの需要水量を完全に満たすものとする。実際には、取水点は上流側へ、放流点は下流側へと偏る傾向にあるが、水質基準または汚濁量配分の立場からも、この現象の意味づけを可能にするため、上記のような配置を基準にとる。

さて図-1のように、大規模かつ流量がほぼ一定値 Q に操作された水系に、 $n+1$ 個のブロックがあり、それぞれ取水点と放流点をもっている。ただ最下流の第 $N+1$ ブロックでは第 n 取水点をもつのみで、この河川への放流を必要としない。簡単のため、

図-1 河川と排除系のモデル化



I : 流域ブロック番号 $1 \sim 1$: 取水点番号

1 : 放流点番号 x_1 : 水質負荷配分値

q_{1-1} : 取水量 b_{1-1} : 取水点 $1-1$ の水質基準

取水後の利用において水量損失がないものとする、 Q が取水量 q_1 の最大値より大きければ、 q_1 に対する直接の制限は不要である。水利用が過度になると放流汚濁負荷が増し、かえって下流での利用を妨げるので、水質規制が現在行なわれている河川では、最下流の第 n 取水点を目標として水質基準が設定されている。同様に $1 = n$ を含む適当な m 個の取水点に、 b_1 なる水質基準があるものとする。

いま第 I ブロックの人口を P_1 、都市（産業を含む）用水量を $C_{1-1}/人$ 、河川へ放流される汚濁当量を $D_1/人$ とすると、放流汚濁物質量は $P_1 D_1 = q_{1-1} D_1 / C_{1-1}$ となり、これが次の取水点までに完全に河水に希釈混合されると、河川水質が相対的に x_1 だけ悪化することになる。すなわち、

$$x_1 = q_{1-1} D_1 / (C_{1-1} Q) \text{ または } q_{1-1} = Q (C_{1-1} / D_1) x_1 \dots\dots\dots (1)$$

となる。この x_1 を第 I ブロックの水質負荷（配分）値とよぶことにする。

一方このような汚濁物質は、流下の間に自浄作用や沈降などによって減少するので、第 J の放流点から第 $I+1$ ブロックの 1 取水点間の水質負荷係数を a_{ij} と定義する。 a_{ij} の性質は一般に、

$$\begin{aligned} 0 \leq a_{ij} < 1, \quad a_{ij} = 0 \quad (1 < j), \quad a_{ij} \neq 0 \quad (1 \geq j), \\ a_{ij} > a_{i+r,j} \quad (r = 1, 2, \dots, n-1), \quad a_{ij} < a_{i,j+r} \quad (r = 1, 2, \dots, 1-j) \end{aligned} \dots\dots\dots (2)$$

である。最初の取水点（第 0 番）における水質を無視し、取水後の浄水処理による汚濁物除去をも考慮すると、放流点 $1, 2, \dots, 1$ からの放流の影響を受けている取水点 1 における水質は、

$$a_{ii} \left\{ \sum_{j=1}^{i-1} x_j \frac{q_j}{Q} a_{rr} (1 - q_r/Q) + x_1 \right\} \dots\dots\dots (3)$$

とあらわせる。 a_{jj} が 1 に近いと、 $\frac{q_j}{Q} a_{jj} \approx a_{ij} \quad (1 > j)$ と近似でき、また $q_1/Q \ll 1$ と仮定して、 q_1/Q の 2 次以上の項を省略する。この水質が 1 取水点での水質基準 b_1 を満たすべきものとすると、 $\sum_{j=1}^{i-1} a_{ij} \left(1 - \frac{q_r}{Q} \right) x_j + a_{ii} x_1 \leq b_i, \quad 1 = 1, 2, \dots, n$ のうち m 個 $\dots\dots\dots (4)$

が成立する。（ 4 ）式左辺の水質は、上流の放流水が取水の直前まで混合されないで流下する場合にほぼ相当するが、 Q に比較して取水量が増し、 $\sum_{r=j}^{i-1} q_r > Q$ となれば使用できず、（ 3 ）式によらねばならない。（ 4 ）式に（ 1 ）式を代入すると、次式が得られ、これがモデルの制約条件となる。

$$\sum_{j=1}^{i-1} a_{ij} \left\{ 1 - \frac{q_r}{Q} (C_r / D_{r+1}) x_{r+1} \right\} x_j + a_{ii} x_1 \leq b_i, \quad 1 = 1, 2, \dots, n \text{ のうち } m \text{ 個 } \dots\dots\dots (5)$$

水質負荷値 $x_1, x_2, \dots, x_n$ の配分量を決定する目標は、上下流を通じ河川を最も有効に利用することであり、取水量の和を最大にするとか、放流汚濁物質量を水質基準の範囲で最大にすることなどである。質的には問題があるが、利用後の量的な完全還元を考えているこのモデルでは、これら目標は流域全体の収容人口ないしは産業規模を最大にすることによって、ほぼ満たされるものと考えられる。 $P_1 = Q x_1 / D_1$ であるが、 P_{n+1} に関する x_{n+1} は常数として扱えるので、これを除外して

$$\sum_{i=1}^n P_i = Q \sum_{i=1}^n x_i / D_i \rightarrow \max. \dots\dots\dots (6)$$

を目標関数とする。（ 6 ）式中の D_i は最も決定の困難な因子であって、水利用の目的、下水道、終末

処理場，処理法によって異なる。緒論で述べた負荷の地域的分布は，実は D_1 に関する地域格差がその重点を占めている。しかし，与えられた D_1 のもとに， x_1 したがって P_1 を決定するのは，本来の計画ではなく，このモデルの次の課題は，後述のように D_1 自身の計画値の決定であるべきであり，研究の第一段としては，まず各ブロックで同ていどに処理設備が整っていないとして，流域を D_1 に関してホモジニアスと仮定する。すなわち，汚濁負荷排出源の量的分布に注目することになる。 $D_1 = D$ とすれば，

$$R = D \sum_{i=1}^n P_i / Q = \sum_{i=1}^n x_i \rightarrow \max. \dots\dots\dots (7)$$

となり，これによって得られる $R_{\max}$ は，河川の許容最大汚濁負荷値である。

以上のような考え方は，結局， D が大きいため b_1 も厳しく定められ， x_1 を大きくとることができず，また Q が大規模でなければならないという，現在の水質保全策にそうもので，想定モデルおよび(5)式の誘導の仮定とも同じである。したがって，(5)式をさらに簡易化し， $\sum q_i / Q$ を1に比して無視することができ，水質基準に対してもより安全側に移る。かくして問題は線型化され，

$$A x \leq B, \quad x \geq 0, \dots\dots\dots (8)$$

$$R = C x \rightarrow \max. \dots\dots\dots (9)$$

を満たす x を求めればよいことになる。ただし $A = [a_{ij}]$ (m 行 $\times$ n 列), $B = [b_i]$ ($m \times 1$) , $x = [x_i]$ ($n \times 1$) , $O = [0]$ ($n \times 1$) , $O = [1]$ ($1 \times n$) , $n \geq m$ である。 $m = n$ で $b_1 \leq b_{i+1}$ ならば， C の要素がすべて1であることおよび(2)式に示した a_{ij} の特性によって， $x = B / A$ となる。

3. 限界水質負荷値と単位影響行列

本研究の目的は， D_1 の計画と同時に，流域開発に即応した合理的な b_1 について有効な示唆を与えることでもある。ゆえに，(8),(9)式の解は，常に各 b_1 を変化させてその影響を吟味する必要がある。各取水点での b_1 の1水準の変化 Δb が $R_{\max}$ に及ぼす変動量

$$U_1 = (\partial R_{\max} / \partial b_1) \Delta b \dots\dots\dots (10)$$

を1の限界水質負荷値と定義する。当然 U_1 の大きい地点では水質基準設定の意義が大きく，対応する第 I ブロックの開発は全体への影響が大きい。また水質基準の変更についても，全体の開発を促進する立場では，基準を厳しくするときは U_1 の小さい点から，緩和は逆に U_1 の大きい点からがよいという指標にもなる。この意味は，最終的にはすべての点で U_1 がほぼ一樣になる水質基準の設定が好ましいことで，実際問題としてはかなり複雑であるが，想定モデルのように，取水量には制約がなく，単に各放流点の放流水質負荷のみが競合しているものと解釈することにより妥当性が裏付けられる。

線型問題の一般理論により，(8),(9)式の双対問題

$$A^x U \geq O^x, \quad U \geq 0, \dots\dots\dots (11)$$

$$S = B^x U \rightarrow \min. \dots\dots\dots (12)$$

を解けば， U_1 を容易に求めることができる。ただし， $U = [U_i]$ (m 行 $\times$ 1 列) , A^x, B^x, O^x はそれ

ぞれ A , B , C の転置行列である。なお $R_{\max} = S_{\min}$ となる。また $m = n$ で $b_i = \text{一定}$ なら, $U = O^x / A^x$ である。 U_i を求めておけば, すべての b_i の任意の変動 Δb_i による $R_{\max}$ の変化を (Δb_i があまり大きくない範囲で) 同時に評価できる。一般に $I + 1$ ブロックの取水点で b_i を緩和すると, 下流側では全般に水質負荷配分値が減じられ, 逆に上流側では増加できるが, このとき線型問題の一般性質によって, 1 取水点に最も近い x_1 のみの増加が最適となることが推論できる。しかしながら R の最大化をはかる最適解ではなくても, 局部的あるいは平均的などの意図した開発をはかるためには, Δb_i による個々の x_i の変化を定量的にあらわすことが必要で, 変化させた b_i を用いて, ふたたび (8), (9) 式を解かない限り, U_i のみでは不十分である。

いま第 $J + 1$ ブロックの取水点 J で水質基準を 1 単位緩和 (b_i を増加) したとき第 I ブロックの水質負荷値 x_1 の増分 v_{ij} が求まったものとする, 任意の Δb_j に対して各 x_i の変化 Δx_i は,

$$\Delta x = V \Delta B \dots\dots\dots (13)$$

によって計算できる。 $V = [v_{ij}]$ (n 行 $\times m$ 列), $\Delta x = [\Delta x_i]$ ($n \times 1$), $\Delta B = [\Delta b_j]$ ($m \times 1$) である。なお v_{ij} は上述のように, 次の条件を満たす。

$$v_{ij} = 0 \ (1 \leq j), \quad v_{ij} \neq 0 \ (1 \geq j), \quad \sum_{i=1}^n v_{ij} = U_j \ (j = 1, 2, \dots, n \text{ のうち } m \text{ 個}), \dots\dots\dots (14)$$

ΔB に対し, Δx と許容最大汚濁負荷値の変化量 $\Delta R_{\max}$ を同時に与える式が (13), (14) 式から

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta R_{\max} \end{bmatrix} = W \Delta B, \quad \text{ただし } W = \begin{bmatrix} V \\ U^x \end{bmatrix} \dots\dots\dots (15)$$

と与えられる。 W を単位影響行列と定義する。 U^x は U の転置行列である。

ある放流点の x_1 は, 次の下流側に位する取水点の b_i に最も強く影響されるので, 各ブロックで等質な汚水放流をはかるには, すべての b_i を一様に近くすることが必要である。もし $n > m$ ならば, 水質基準のない 1 点についても a_{ij} を求めて A を n 行 n 列とし, x_1 の配分値によって求めた 1 点の水質を仮の b_i としておけば, (8), (9) 式の解について述べた理由によって, x_1 の最適値は (8) 式のかわりに, $Ax = B$ を満たしていることが証明できる。この式の両辺の微量量をとると,

$$A \Delta x = \Delta B \dots\dots\dots (16)$$

を得る。ある J について $\Delta b_j = 1$, $\Delta b_r = 0$ ($r \neq j$) とすると, $\Delta x_i = v_{ij}$ となつて, (16) 式は $v_{1j}, v_{2j}, \dots, v_{nj}$ に関する n 元連立 1 次方程式となる。 $1 < r$ で $a_{ir} = 0$ のゆえ, これは容易に解くことができ, $j = 1 \sim n$ のうち必要な m 個について同様に計算すると, V が求められる。 $Ax = B$ が成立しなくても x_1 の他にスラック変数が入るだけで, V を求める原理は同じである。

なお以上と類似の方法で, 実測にもとづく a_{ij} の精度の影響をも論じうるが, ここでは省略する。³⁾

4. 下水道整備総合指標

前章までの方法によって, 流域人口 (産業) または許容最大汚濁負荷値のブロック別配分およびそ

れらに対する水質基準の影響などを求めることができるが、実際の計画においては、負荷配分値にもとづいて各ブロックの開発計画をいかに行なうか、または逆に将来人口に対して下水道や終末処理場計画をどのように実施するかという問題がある。いずれの方法をとるべきかについては、さらに多くの議論があろうが、水質基準の設定のみで全体の方向を律することはかなり困難であろうと思われる。したがって、人口や汚濁量の動態と負荷配分値、水質基準とを関連させて、新たな計画指標の導入が必要であると考えられる。第2章においては、流域ブロックからの排出負荷当量 D_1 を一定と取扱ったが、 D_1 の地域的な計画値の設定に重点をおくべきことはすでに述べた。より合理的な動的計画としては、 D_1 を時間 t の関数として、(5)、(6)式を解き、 x_1 または x_1/D_1 を求めるべきであろう。しかし本論文では、まず第一段階として、 D_1 を一様としたときの x_1 の定常解を基礎として、将来人口または下水道の計画を策定することを考える。

いま第Iブロックの将来人口が、過去の資料の統計ないしは計画値として $p_1(t)$ とあらわせるものとする。一方汚濁当量 D_1 のうち、生活ていどの向上などによる原単位の増加を $d_1(t)$ とすると、 t 年後の排出汚濁量は $p_1(t) \cdot d_1(t)$ となる。下水道施設によってこの一部が除去され、 $\alpha_1 \cdot p_1(t) \cdot d_1(t)$ だけが河川に負荷されるが、汚濁被害を水質基準によって防止している立場からは、将来被害を割引けること、および下水道、終末処理場の整備、さらに処理技術の進歩などを総合すると、 α_1 の将来値はある割引率 γ_1 をもって割引くことが可能である⁴⁾。すなわち現在と将来を含めると、 D_1 の分布を把握できるわけである。以上より、すでに求めた x_1 を用いて、

$$\alpha_1 \cdot p_1(t) \cdot d_1(t) / (1 + \gamma_1)^t \leq Q x_1 \dots\dots\dots (17)$$

が満たされねばならない。ここでは γ_1 を下水道整備総合指標となづけるが、(17)式によって、 γ_1 、 $d_1(t)$ を与えて $p_1(t)$ を計画するか、逆に $p_1(t)$ を与えて γ_1 を決定すればよい。 γ_1 の絶対値を実際計画に反映するにはなお研究が必要であるが、各ブロック相互間の相対的な評価は可能であろう。

5. 適用例

第2章で述べたモデルは、大河流域の人口密集地域を想定したもので、また Q がほぼ一定に近いという点で、淀川本流部への適用が可能である。最近10年間の淀川月平均流量は約 $300 \text{ m}^3/\text{s}$ であるが、昭和50年の淀川依存需要水量予想は $128 \text{ m}^3/\text{s}$ ていどであるので、(8)、(9)式が適用可能である。

淀川をモデル化する場合、下流部に大きな影響を及ぼしているとみられる京都市・宇治市を含める意味で、木津川・宇治川・桂川三支川を一本化して考え、下流端を柴島取水点にとれば、大阪市および阪神地区が図-1の第 $N+1$ ブロックに対応することになる。柴島より上流の流域を排除系として、行政区分を参考にして5個のブロックに分け、上流より京都・宇治ブロック、乙訓・三島郡ブロック、枚方ブロック、高槻ブロック、北大阪ブロックと名づける。新都市開発を考えるときは、三川合流点附近から南方にのびる京阪奈丘陵⁵⁾のみが候補開発余地である。図-2はこのようにして淀川系をモデル表示したものである。たとえば大阪の取水がかなり上流でも行なわれているので、現実の姿は厳密には図-2であらわせないが、解析の基礎とした取水量の影響を無視した(8)式を用いる意味では、このようなモデルでまず十分であろう。現在淀川への放流水質は、柴島地点の $\text{BOD}_4 \text{ ppm}$ を

目標として基準が定められているが、上中流部の流水基準は不明確である。以下においてもBODを水質指標とし、まず、柴島を含めたすべての取水点において、平等な放流を期する意味で、 $b_1 \equiv 4\text{ppm}$ として計算をすすめることにする。

放流点Jから取水点1までのBODのてい減係数 a_{ij} は、この区間の流下時間を t_{ij} とすると、 $a_{ij} = \exp(-kt_{ij})$ によって求められる。淀川における減衰係数 k の値は 0.75 (1/日)でいとされているが、安全をみて $k = 0.60$ (1/日)とし、区間平均流速を $0.9 \sim 1.0 \text{ m/s}$ として a_{ij} を求めた。

$$A = \begin{pmatrix} 0.96 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.93 & 0.96 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.88 & 0.91 & 0.95 & 0 & 0 & 0 \\ 0.85 & 0.88 & 0.91 & 0.96 & 0 & 0 \\ 0.82 & 0.85 & 0.88 & 0.93 & 0.96 & 0 \\ 0.76 & 0.79 & 0.82 & 0.87 & 0.90 & 0.96 \end{pmatrix} \dots (18)$$

もし京阪奈丘陵を開発しない場合には、 A は(18)式の要素の第1行と第2列を除いたものとなる。

以上の数値を用い、(8)、(9)式によって x_1 を求めた。表-1は京阪奈丘陵を開発しない場合、表-2は開発を計画する場合を示し、対応人口の算定には、流域内BOD原単位を $60\text{gr/人}\cdot\text{日}$ 、流量は安全をみて $Q = 250\text{m}^3/\text{s}$ とした。表-1または表-2からわかるように、最上流のブロックの規模を最も大きくすればよい。 $60\text{gr/人}\cdot\text{日}$ を無処理放流すると、収容可能人口は約185万人で現在すでに飽和しているといえる。ところが現実の人口配分が x_1 に比例せず、やや中下流部に偏しているの、水質汚濁問題の遠因をなしていると考えられる。しかし処理区域を広げてゆけば、放流負荷量が減り、各ブロックにはまだかなり収容余力がある。表-2を表-1と比較すれば、新都市を開発しても $R_{\max}$ すなわち最大人口はほとんど変っていない。開発の影響は最上流の京都・宇治ブロックに最も強くあらわれているが、下流ブロックにはほとんど影響なく、かえってわずかながら配分値の増しているブロックもある。したがってこの開発は京都・宇治ブロックの余裕分の転換とみなされ、意義が大きい。しかし表-1、2を通じて、水質負荷配分値が上流側に偏重していることは否定できないので、上流側水質基準を厳しくすれば、いま少し均衡のとれた発展が期待できよう。これを限界水質負荷値や単位影響行列によって検討してみよう。

表-3は(11)、(12)式によって求めた U_1 を掲げたもので、新都市の有無にかかわらずほとんど同じになっている。明らかに、全体に与える影響の最大になる水質基準は、柴島取水点のそれであり、

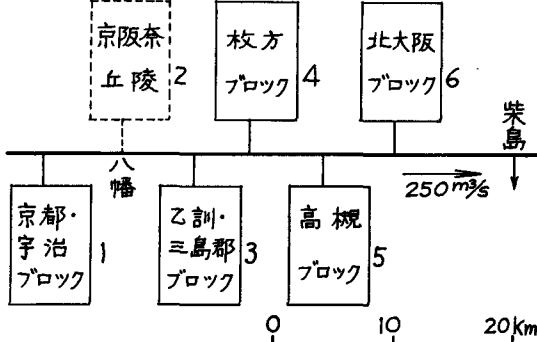
表-1 新都市を開発しない場合の最適解

I	1	3	4	5	6	計
ブ ロ ッ ク 名	京都・宇治	乙訓・三島	枚 方	高 槻	北大阪	
現 人 口 (万人)	145.6	19.2	13.5	10.0	4.1	1924
x_1 (ppm)	4.30	0.23	0.15	0.15	0.30	5.13
Qx_1 (t/日)	92.5	5.0	3.2	3.2	6.6	110.5
配分(万人人口)	無処理	154	8	6	11	185
	$\frac{1}{2}$ 除去	308	17	11	22	369
	$\frac{2}{3}$ 除去	463	25	16	33	553

表-2 新都市を開発する場合の最適解

I	1	2	3	4	5	6	計
ブ ロ ッ ク 名	京都宇治	京阪奈	乙訓三島	枚 方	高 槻	北大阪	
x_1 (ppm)	4.16	0.13	0.24	0.18	0.14	0.29	5.14
x_1 の表-1との差	-0.14	+0.13	+0.01	+0.03	-0.01	-0.01	+0.01
Qx_1 (t/日)	899	28	52	39	3.0	62	1110
配分(万人人口)	無処理	150	5	9	7	5	186
	$\frac{1}{2}$ 除去	300	9	17	13	10	370
	$\frac{2}{3}$ 除去	449	14	26	20	15	555

図-2 淀川排除系のモデル化



現在柴島に水質基準の目標が定められていることの意義

表－3 限界水質負荷値 U_i

が大きい。他の地点では、流域全体からだけみたときには、それぞれの水質基準の意義はかなり小さいが、もし $b_6 = 4.0\text{ppm}$ 以外を定めないと、最適な水質負荷は、常に

取水点番号	1	2	3	4	5	6
新都市なし	—	0.07	0.07	0.03	0.06	1.04
新都市あり	0.06	0.05	0.07	0.03	0.06	1.04

京都・宇治ブロックへのみ $b_6/a_{61} = 5.26\text{ppm}$ が集中的に配分されてしまう。水質基準が緩和できるならば、柴島での緩和が最も効果的で、 $b_6 = 5.0\text{ppm}$ とすると、中下流部に重点的に、 $U_6/R_{\max} \cong 20\%$ の収容人口の増加が期待される。しかし緩和が好ましくないとすると、 x_i の均衡化をはかるには、どうしても上流部の基準を厳しくする必要がある。ただしこの場合には、上流部の U_i が小さいので、 $R_{\max}$ の減少はごくわずかにとどめる。

$\Delta b_j = +1_{\text{ppm}}$ として (16) 式から v_{ij} を求め、これらと U_i によって、単位影響行列 W を作ると、

$$\begin{aligned}
 \text{新都市なし: } W &= \begin{bmatrix} 1.08 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.01 & 1.05 & 0 & 0 & 0 \\ -0.07 & -1.01 & 1.04 & 0 & 0 \\ 0.06 & 0.02 & -1.02 & 1.04 & 0 \\ 0.01 & 0.01 & 0.01 & -0.98 & 1.04 \\ 0.07 & 0.07 & 0.03 & 0.06 & 1.04 \end{bmatrix} \\
 \text{新都市あり: } W &= \begin{bmatrix} 1.04 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.97 & 1.04 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.04 & -0.95 & 1.05 & 0 & 0 & 0 \\ 0.01 & -0.06 & -0.96 & 1.04 & 0 & 0 \\ 0.01 & -0.01 & -0.04 & -0.97 & 1.04 & 0 \\ 0.01 & 0.03 & 0.02 & -0.04 & -0.98 & 1.04 \\ 0.06 & 0.05 & 0.07 & 0.03 & 0.06 & 1.04 \end{bmatrix} \dots\dots (19)
 \end{aligned}$$

となる。表－4 は、上流側の水質基準を逐次厳しくしていったとき、 x_i および配分人口を (15) 式によって求めた結果を示すもので、下流から上流に向けて基準値を一様に低くすると、かなり現状に近じたほぼ均等な都市の発展が可能となるようである。なお現在、京阪奈丘陵の開発構想では、計画人口を50万人でいどとされており、この妥当性もほぼ裏付けられている。

いま対象にしているのは $m = n$ の場合であり、かつ A 、 B 、 C の特性によって、 x は常に B を限度一ぱいに利用するように配分され、また水質基準を変えても表－3 の U は変化しない。しかしながら、(6) 式の目標関数で D_i に地域格差があるとき、あるいはより根本的には目標関数を収容人口以外の要素で評価しようとするときに、当然 $C \neq [1]$ となるはずである。 C の各要素の比が a_{ij} の相対比を越えると、たとえば $m = n$ であつても、水質基準に局部的な余裕を生ずる最適解となつたり、また水質基準の変化に応じて、 U は多様に変化する。現段階では $C \neq [1]$ とするモデルの設定には資料が不十

表－4 水質基準の変化による水質負荷値および人口配分の変化 ($D = 20\text{gT/人}\cdot\text{日}$)

新 都 市 開 発	な し						あ り						
取 水 点 番 号	2	3	4	5	6	合 計	1	2	3	4	5	6	合 計
水 質 基 準 (ppm)	3.00	4.00	4.00	4.00	4.00		3.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
水 質 負 荷 値 (ppm)	3.22	1.24	0.22	0.09	0.29	5.06	3.12	1.10	0.28	0.17	0.13	0.28	5.08
人 口 (万人)	348	134	24	10	31	547	337	119	30	18	14	30	548
水 質 基 準 (ppm)	2.00	3.00	4.00	4.00	4.00		2.00	3.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
水 質 負 荷 値 (ppm)	2.14	1.20	1.30	0.01	0.27	4.92	2.08	1.03	1.27	0.22	0.13	0.24	4.97
人 口 (万人)	231	130	140	1	29	531	225	111	137	24	14	26	537
水 質 基 準 (ppm)	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00		2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.00	
水 質 負 荷 値 (ppm)	2.14	0.67	0.77	0.50	0.75	4.83	2.08	0.51	0.70	0.69	0.66	0.22	4.86
人 口 (万人)	231	72	83	54	81	521	225	55	76	74	71	24	525
ブ ロ ッ ク 名	京都・宇治	乙訓・三島	枚 方	高 槻	北 大 阪	合 計	京都・宇治	京 阪 奈	乙訓・三島	枚 方	高 槻	北 大 阪	合 計

分であり、まず D_1 の計画値の推定と、それによる x_1 の最適値へのフィードバックを考えるべきである。

表－５は、昭和４０年を基準とした各ブロックの人口推計値および表－４の負荷配分値（新都市あり、 $B = \{2.0 \ 2.5 \ 3.0 \ 3.5 \ 4.0 \ 4.0\}$ ）と（１７）式によって、下水道整備総合指標 γ_1 を求めたものである。将来の汚濁負荷原単位は、１０年後 ６５ｇ／人・日、１５年後 ７０ｇ／人・日とし、また現在の放流負荷率 α_1 は、除去率を各ブロックの処理施設による処理可能人口の現在収容人口との比として求めてある。上流部の水質基準を厳しくした当然の結果として、上流部の指標が高くなっている。したがって（９）式の U の要素は将来上流部ほど大きくなり、 x_1 の最適値も修正され、下流部の γ_1 も相対的に高くなる。また γ_1 が年次的にも異なった値を指示しており、これと現実に可能な指標値との差によって、地域的動的な放流汚水濃度が把握できるものと考えられる。特に経済性を導入すると、 U の要素は上流部ほど小さくなり、 U が表－３の値とは異なった種々の分布を示すはずである。

表－５ 下水道整備総合指標

ブロック名		京都宇治	京阪奈	乙訓三島	枚方	高槻	北大阪
α_1 (%)		80	100	100	90	90	90
x_1 (ppm)		2.08	0.51	0.70	0.69	0.66	0.22
昭和50年	D_1 (万人)	155.8	33.0	30.8	24.3	15.1	8.8
	γ_1 (%)	5.2	6.0	2.0	-	-	-
昭和55年	D_1 (万人)	163.0	49.8	37.1	29.7	17.2	11.3
	γ_1 (%)	3.8	6.9	2.6	0.2	-	1.7

6. 結 語

本論文では、大規模な水系を中心とした、水質基準設定と下水道計画の基礎的研究として、モデル化と最適化の方法を示すとともに、限界水質負荷値、単位影響行列、下水道整備指標などを導入して、水質基準、計画目標および実際現象間の関連を究明することにつとめた。モデル化にもまだかなり不十分なところがあり、特に、河川水の横方向混合と上下水道の広域化に関連して、取排水点の両岸および上下流配置の問題など今後の研究にまところが多いが、淀川への適用例において、あるていど現状を説明できたので、必要資料の精度の影響を分析して、逐次モデルの改良を行なうとともに、より一般的な水量水質管理モデルに近づけられるものとする。

本研究の結論を簡単に述べるとおよそ次のようである。

- 1) すべての取水点に水質基準を設けると、流域収容人口（産業）は水質基準による制約条件のみによって固定されることが多い。
- 2) この場合水質負荷配分値は、上流部に偏重となる。
- 3) 限界水質負荷値は下流端で最大で、上流ほど水質基準を厳しくすると、収容人口をほとんど減少させずに、比較的均衡のとれた都市開発が可能である。
- 4) 目標関数が増加すると、限界水質負荷値と水質基準の関連に一そう意義が生じ、またこれに応じて、水質のてい減係数の相対的な精度が要求される。

参考文献： 1) 末石，水質汚濁防止と下水道計画の最適化に関する研究，第2回衛生工学研究討論会講演論文集，昭和40年11月 2) 久保，河川水質管理と下水道，土木学会誌52巻6号，昭和42年6月 3) 合田，末石，住友，工業用水計画における水量・水質配分について，土木学会論文集第134号，昭和41年10月 4) 合田，末石，中西，藤野，平城地区の汚水処理問題に関する研究，日本住宅公団，昭和41年8月 5) 西山ほか，京阪奈丘陵住宅地開発構想に関する調査報告書，昭和41年3月