

(28) 下水道整備計画に関するシステム論的研究 VII —とくに下水道整備率をパラメータとしたときの支流域水配分について—

株日本水道コンサルタント 萩原良巳
中川芳一
○辻本善博

1. はじめに

公共用水域の水質保全を1つの目的とする下水道整備計画は、必然的に計画入力、すなわち水配分量などを操作変数とすることを要請する。従来の水配分は主として経済的評価が中心であった。もちろん経済的評価の重要性を否定するものではないが、もっと単純に美しく水を使用することのできる地域に、より豊富な水を配分するというような考え方を先行させることにより、配分された水資源を制約として地域活動の最適化をはかっていくということも考えられる。このような観点から本研究では、海域への汚濁インパクトを評価した水配分を下水道整備率をパラメータとして考察する。

以上のことから、2.では河川におけるBOD負荷量と流量を地域への水配分量や下水道整備レベルの関数として表わすとともに状態方程式を作成し、制約条件・評価関数を明らかにする。そしてわれわれの提示するモデルが制御プロセスになっていることを指摘する。ついで3.ではこのモデルを最大原理で解くことを前提として、この原理による解法について言及する。そして4.では具体的な流域を対象として、このモデルを適用し水資源配分を行なうことによりモデルの有効性を実証することとする。

2. 制御プロセスとしてのモデルの定式化¹⁾

(1)システム方程式：本川上の任意の地点_jにおいて、流下する負荷量は、その地点より上流に存在する各地区的自然的流達負荷量²⁾³⁾と上流に存在する下水処理場より放流される負荷量の総和である。ここでは計画の安全側から河川の自浄作用は無視することとする。また、地点_jでの流量は、その地点より上流に存在する地区的自然流出量および、その地区に応する支川の固有流量と、処理場よりの放流量の総和として表わされる。ここで1つの地区_iに注目すると、この地区より流出する負荷量は、市街地からの自然流出負荷量と市街地外からの自然流出負荷量より成り、次式で表わされるものとする。

$$\ell_i(t) = (1 - u_i^a(t)) w_i(t) A_i(t) (1 - u_i^a(t)) + g_i(t) \quad (1)$$

また、地区_iよりの流出流量は、その地区に応する支川の固有流量を q_i^u として

$$q_i(t) = q_i^u + \lambda_i \{ (1 - u_i^a(t)) A_i(t) \} \quad (2)$$

である。ただし、 $\ell_i(t)$ ：自然的流達負荷量、 $1 - u_i^a(t)$ ：流達率、 $A_i(t)$ ：水配分量、 $u_i^a(t)$ ：下水道整備レベル、 $g_i(t)$ ：市街地外からの自然的流達負荷量、 $q_i(t)$ ：流出流量、 λ_i ：流出率とする。

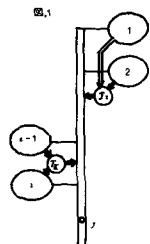
つぎに、処理場_kよりの放流負荷量 $\ell_p^k(t)$ と放流水量 $q_p^k(t)$ は、 $e_k(t)$ を放流水質(ppm)として

$$\ell_p^k(t) = e_k(t) \sum_{i \in F_k} A_i(t) u_i^a(t) \quad q_p^k(t) = \sum_{i \in F_k} A_i(t) u_i^a(t) \quad (3)$$

となる。なお F_k は処理場_kに取り入れられる地区_iの集合とする。以上のことから、_j点における負荷量、水量の式は、

$$x_j(t) = \sum_{i \in G_j} \ell_i(t) + \sum_{k \in K_j} \ell_p^k(t), \quad y_j(t) = \sum_{i \in G_j} q_i(t) + \sum_{k \in K_j} q_p^k(t) \quad (4)$$

となる。ただし、 G_j, K_j は_j点よりも上流に位置する地区_i、処理場_kの集合を集わるものとする。なお、以下においては_Jは水質環境基準点の数で_J = 1, 2, ..., _Jとする。本川上に_J個の基準点があるから、負荷



量、水量の年次変化を記述する $2J$ 個のシステム方程式を次式のように得る。すなわち、

$$\frac{dx_j(t)}{dt} = \sum_{i \in G_j} \left\{ d_i(t) \frac{dA_i(t)}{dt} + A_i(t) \frac{db_i(t)}{dt} + \frac{dg_i(t)}{dt} + \sum_{k \in K_j} e_k(t) \sum_{k \in F_k} \left\{ u_i^a(t) \frac{dA_i(t)}{dt} + A_i(t) \frac{du_i^a(t)}{dt} \right\} + \sum_{k \in K_j} \frac{de_k(t)}{dt} \sum_{k \in F_k} A_i(t) u_i^a(t) \right\} \quad (5)$$

$$\frac{dy_j(t)}{dt} = \sum_{i \in G_j} \left\{ c_i(t) \frac{dA_i(t)}{dt} + A_i(t) \frac{dG_i(t)}{dt} + \frac{dq_i^u}{dt} \right\} + \sum_{k \in K_j} \sum_{i \in F_k} \left\{ u_i^a(t) \frac{dA_i(t)}{dt} + A_i(t) \frac{du_i^a(t)}{dt} \right\} \quad (6)$$

となる。ただし、 $b_i(t) = (1 - u_i^a(t)) w_i(t) (1 - u_i^a(t))$, $c_i(t) = \lambda_i (1 - u_i^a(t))$ とする。

(2) 操作変数、制約条件、評価関数：本研究における操作変数は各地区への水配分量 $A_i(t)$ の年次変化である。すなわち、 $\theta_i = dA_i(t)/dt$ ($i = 1, 2, \dots, N$) が操作変数である。ところで(5)(6)両式には操作変数の積分形式が入っているので、新たな状態変数 $v_i = A_i(t)$ を導入する。こうして、状態変数の初期値

$$x_j(o) = L_j(o), \quad y_j(o) = Q_j(o), \quad u_i(o) = A_i(o) \quad (i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, J) \quad (7)$$

は、河川の水質水量調査、水使用実態調査より求められる。

つぎに制約条件であるが、これは種々考えられる。しかし、ここでは解空間を広くとることとする。このため、つぎの2つの制約を考える。すなわち、各 t 年ごとに非負の $\theta_i(t)$ に對して

$$\sum_i \theta_i(t) \leq Q(t) - \sum_i A_i(t-1), \quad \theta_i(t) \leq (Q(t) - \sum_i A_i(t-1))((\alpha_1 S_i / \sum_i S_i) + (\alpha_2 P_i(t) / \sum_i P_i(t))) \quad (8)$$

とする。ただし、 Q は考えている流域での他水系からの取水可能量を示し、 S_i, P_i は第 i 地区の平地面積ならびに人口を示すものとする。したがって、(8)式の第1式は t 年度における流域全体の水配分量が他水系からの取水可能量から $(t-1)$ 年度の水配分量の実績値を差引いたものより小であることを示している。また第2式は α_1, α_2 を重みとして全流域における平地面積の割合が大きい地域ならびに現実に人口が増加すると想定されている地域に優先的に多くの水資源を配分しようと意図している。

評価関数としては、河川の最下流の通過負荷量、つまり海域へ放出される負荷量を最小にするとともに各地区の水配分量の増加量を人口の増加で割った値の総和を最大にするようなものを考える。前者の評価は一般にうけ入れられやすい評価で問題はないが、後者の評価は、人口増が少ない地区に水を配分し、急激な人口増が見込まれている地域への水配分を抑制しようという立場をとっている。このように考えることは、人口が増加するから水が必要となり、水があるから人口が増加（ここでは、とくに社会増をさす）するという悪循環を避けるためである。こうして評価関数は

$$E = \int_0^T \left\{ \beta_1 \left(\frac{1}{x_j(t)} \right) + \beta_2 \left(\sum_{i=1}^N \frac{\theta_i(t)}{\Delta P_i(t)} \right) \right\} dt \rightarrow \max.$$

となる。ただし、 $\Delta P_i(t)$ は人口増加量で与え、 β_1, β_2 はパラメータとする。いま $\beta_1 \gg \beta_2$ のとき、制約式と評価式より $\theta_i \rightarrow 0$ ($i = 1, 2, \dots, N$) となることが予想される。

3. 最大原理による解法⁴⁾

状態ベクトルを $x(t)$ 、操作ベクトルを $\Theta(t)$ とすれば、

$$x(t) = (x_1 \cdots x_J \ y_1 \cdots y_J \ v_1 \cdots v_N \ u_{N+1})^\top = (x_1 \cdots x_J \ x_{J+1} \cdots x_{2J+1} \cdots x_{2J+N} \ x_{2J+N+1})^\top, \Theta = (\theta_1 \cdots \theta_N)^\top$$

となる。ただし \top は転置を示し u_{N+1} は(9)式の積分領域を (o, t) としたものである。こうして、(5)(6)両式を状態変数と操作変数についてまとめ、さらに他の状態方程式をも記述すれば、つぎの微分方程式系をうる。

$$\frac{dx_j}{dt} = f_j(x(t), \Theta(t)) = \sum_i a_{j,i}^L(t) \cdot x_{2J+i}(t) + \sum_i b_{j,i}^L(t) \theta_i(t) + \sum_i \frac{dg_i(t)}{dt}, \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (10)$$

$$\frac{dx_{J+j}}{dt} = \frac{dy_j}{dt} = f_{J+j}(x(t), \Theta(t)) = \sum_i a_{j,i}^Q(t) x_{2J+i}(t) + \sum_i b_{j,i}^Q(t) \theta_i(t) + \sum_i \frac{dg_i^u}{dt}, \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (11)$$

$$\frac{dx_{2J+i}}{dt} = \frac{dv_i}{dt} = f_{2J+i}(x(t), \Theta(t)) = \theta_i(t), \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (12)$$

$$\frac{dx_{2J+N+1}}{dt} = \frac{dv_{N+1}}{dt} = f_{2J+N+1}(x(t), \theta(t)) = \beta_1 \left(\frac{1}{x_j(t)} \right) + \beta_2 \sum_i \frac{\theta_i(t)}{\Delta p_i(t)} \quad (13)$$

ただし、 $x_{2J+i} = v_i$ ($i = 1, 2, \dots, N$) とする。 G_i, K_i の定義により基準点 j よりも上流に位置する地区 i 、処理場 k が存在する i に対してのみ $a_{ji}^L, b_{ji}^L, a_{ji}^Q, b_{ji}^Q$ は非ゼロの値をとる。以下、解法について述べる。

(13)式に対応する状態変数は

$$v_{N+1}(t) = \int_0^t \left\{ \beta_1 \left(\frac{1}{x_j(t)} \right) + \beta_2 \left(\sum_{i=1}^N \frac{\theta_i(t)}{\Delta p_i(t)} \right) \right\} dt \quad (14)$$

で、評価関数は

$$S = \sum_{j=1}^J c_j x_j(t) + \sum_{j=1}^J c_{J+j} y_j(t) + \sum_{i=1}^{N+1} c_{2J+i} v_i(t) = 1 \cdot v_{N+1}(T) \rightarrow \max. \quad (15)$$

となる。したがって、 $c_j = 0$ ($j = 1, 2, \dots, 2J+N$)、 $c_{2J+N+1} = 1$ である。またハミルトニアン関数は

$$H(x(t), \dot{x}(t), \theta(t)) = \sum_{j=1}^{2J+N+1} z_j f_j(x(t), \theta(t)) \quad (16)$$

であるから随伴方程式系は

$$\frac{dz_j}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial x_j} = -\sum_{s=1}^{2J+N+1} z_s \frac{\partial f_s}{\partial x_j}, \quad j = 1, 2, \dots, 2J+N+1 \quad (17)$$

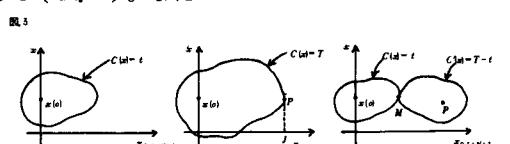
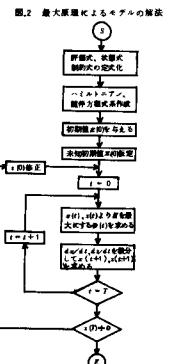
と記述でき、 $z_j(T) = c_j$ であるから、 $z_j(T) = 0$ ($j = 1, 2, \dots, 2J+N$)、 $z_{2J+N+1}(T) = 1$ となる。なお、ここで $x(T)$ を自由端とすれば(17)式は(10)～(13)式ならびに(16)式より

$$\begin{aligned} \frac{dz_j}{dt} &= \left\{ -\sum_{j=1}^J z_j \cdot 0 + \sum_{j=1}^J z_{J+j} \cdot 0 + \sum_{i=1}^N z_{2J+i} \cdot 0 + z_{2J+N+1} \cdot 0 \right\} = 0, \quad j = 1, 2, \dots, J-1 \\ \frac{dz_J}{dt} &= z_{2J+N+1} \cdot \beta_1 \frac{1}{(x_j(t))^2}, \quad \frac{dz_{J+j}}{dt} = 0, \quad j = 1, 2, \dots, J \\ \frac{dz_{2J+i}}{dt} &= -\left\{ \sum_{j=1}^J z_j a_{ji}^L(t) + \sum_{j=1}^J z_{J+j} a_{ji}^Q(t) \right\}, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad \frac{dz_{2J+N+1}}{dt} = 0 \end{aligned} \quad (18)$$

となる。これらの随伴方程式系と $\dot{x}(t)$ の値よりハミルトニアン関数は

$$\begin{aligned} H &= z_J f_J + \sum_{i=1}^N z_{2J+i} f_{2J+i} + z_{2J+N+1} f_{2J+N+1} \\ &= \sum_{i=1}^N \left\{ z_j(t) b_{ji}^L(t) + z_{2J+i}(t) + \beta_2 \sum_{i=1}^N \frac{1}{\Delta p_i(t)} \right\} \theta_i(t) + z_J(t) \sum_{i=1}^N a_{ji}^L(t) x_{2J+i}(t) + z_J(t) \sum_{i \in G_j} \frac{dg_i}{dt} + \frac{\beta_1}{x_j(t)} \end{aligned} \quad (19)$$

となる。こうして(19)式を最大にするアルゴリズムを図.2に示す。図.2において $\mathbf{z}(0)$ の値を仮定したが、ここでは補助変数ベクトル $\mathbf{z}(t)$ の意味を考察する。⁵⁾ 一般に本モデルのような制御問題において、初期状態 $\mathbf{x}(0)$ に許容な制御を t 時間作用させると、時刻 t において状態点は 1 つの集合を形成する。その集合の表面は時刻 t をパラメータとして $c(\mathbf{x}) = t$ と書け、 $t = T$ とすると $c(\mathbf{x}) = T$ が決まる。そして、この面の中で評価積分値が最大の点 p が求める最適軌道の終端であり、そのときの x_{2J+N+1} の値 E が最大積分値である。いま終端 p が決まつたとして $c(\mathbf{x}) = t$ を考えると、そのとき $T - t$ 時間の間に終端 p に到達可能な集合もまた決まるはずであり、その表面を $c(\mathbf{x}) = T - t$ とする。一般にこの 2 つの面は 1 点 M で接し、この M の時間的変化が最適軌道である(図.3)。またこの面 $c(\mathbf{x}) = t$ の M 点における法線ベクトルが補助変数ベクトルの定数倍であることもわかっている。つきに M における法線ベクトルの意味は $\partial c / \partial x_i$ を例にとってみるとつぎのようにになる。すなわち、最適水配分途上上の t 年度において、



x_i 以外の他の状態量を固定したとき、水質環境基準点での負荷量を1単位増加させるのに最低必要な年数である。同様にして他の成分も意味づけられる。そしてそれぞれの成分の $\partial c / \partial x_{2J+N+1}$ に対する比のベクトル、すなわち

$$\left(\frac{\partial c}{\partial x_i} / \frac{\partial c}{\partial x_{2J+N+1}}, \dots, \frac{\partial c}{\partial x_{j+1}} / \frac{\partial c}{\partial x_{2J+N+1}}, \dots, \frac{\partial c}{\partial x_{2J+1}} / \frac{\partial c}{\partial x_{2J+N+1}}, \dots, \frac{\partial c}{\partial x_{2J+N}} / \frac{\partial c}{\partial x_{2J+N+1}} \right) \quad 1)$$

が補助ベクトル $z(t)$ である。

4. 水資源分配モデルの河川流域への適用⁶⁾⁷⁾

ここでは図4に示したように流域が15の地区に分割され本川には13本の支流が流入し、1本の支川には、1ないし2地区が対応している。処理場は6ヶ所設置されている。さて、本流域の場合、図2の解法を用いることとすると、 $N=15$ であるから計16個の補助変数の初期値を仮定し、 $t=20$ でこのすべての補助変数が0となることが必要である。しかし、このような問題を厳密に解くことは殆んど不可能である。ところで、 $1 - u_i^n(t)$, $w_i(t)$, $u_i^a(t)$, $g_i(t)$, $g_i^u(t)$, $e_k(t)$ を定数もしくは区別的に連続な定数と仮定すれば、状態方程式は θ_i だけの関数となる。現実的に、これらの仮定は厳しいものではないから、これらが成立するものとすれば、解法は、1つの補助変数に対して $T=20$ 回の LP 計算となる。なお、状態方程式は図4の $j = 1, 2, 3$ に対して作成され、本節における補助変数は1つで、

$$z_s(t) = \int_0^t \frac{\beta_1}{x_s^2(t)} dt + z_s(0) \quad (20)$$

となり、 $z_s(t) \rightarrow 0$ となるよう $z_s(0)$ を仮定する。

さて、演算のための入力データを示すこととする。

1) 状態方程式に関するデータ

① $1 - u_i^n(t) = 0.8$, $\lambda_i = 0.504$, $e_k = 20 \text{ or } 5 \text{ ppm}$

(実測値と設計値) ② $w_i(t)$, $g_i(t)$ は表1と表2 (推定値) ③ $q^u = (0.137 \ 0.135 \ 0.367 \ 0.295 \ 0.164$

0.122 0.355 0.083 0.148 0.577 0.071 0.080

0.0 0.0 0.0) (実測値) ④ 状態変数の初期値

$$x(0) = (13.160 \ 296.41 \ 431.93 \ 352 \ 7.70 \ 12.78) \quad (\text{g}/\text{秒}) \quad (\text{m}^3/\text{秒})$$

2) 制約条件に関するデータ

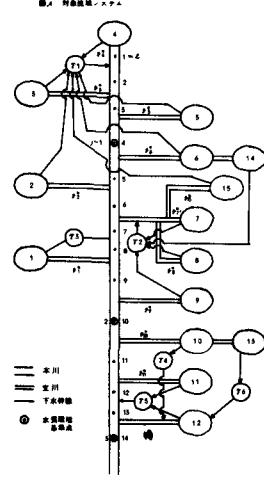


表1 負荷量 c_j (kg/day)

表2 支川負荷量 P_j (kg/day)

時間	昭和 5 年			昭和 5 年			昭和 5 年			昭和 5 年					
	初期	内減量	負荷量	初期	内減量	負荷量	初期	内減量	負荷量	初期	内減量	負荷量			
1	874.62	126.23	144.08	161.70	23.080	127.1	32.744	43.948	16.0	46.644	42.247	53.14	41.535	8.083	13.01
2	512.89	15.927	71.4	23.22	19.184	9.42	27.237	10.32	14.477	37.013	10.24	40.572	4.5661	10.26	
3	884.67	84.459	107.4	5.329	12.083	12.65	12.5811	15.881	12.39	14.053	19.367	12.44	18.571	23.52	12.55
4	147.39	3.4463	215.4	22.884	1.957	19.5	16.558	16.594	18.45	41.081	23.608	17.74	40.807	8.4234	17.60
5	147.53	23.970	192.4	24.164	3.2993	12.60	13.840	4.4588	12.24	45.34	6.4234	12.02	8.5901	44.380	11.93
6	124.97	24.144	183.2	25.594	1.567	14.56	12.222	4.6112	14.14	42.349	5.5242	14.88	5.6235	27.793	14.10
7	161.23	3.1027	128.1	19.414	3.9647	2.045	25.110	1.9647	19.37	10.44	23.342	18.27	5.5415	9.8915	17.85
8	146.83	3.0415	15.1	23.844	1.8003	14.62	20.285	4.9107	14.65	23.554	3.9245	15.78	4.4403	20.933	15.87
9	125.89	22.231	128.1	23.839	1.5134	1.81	40.921	27.529	14.64	43.79	6.9293	14.15	8.0880	14.148	14.10
10	302.83	5.6311	15.1	73.031	3.82413	11.28	9.1212	1.1094	11.43	12.958	14.2641	11.81	15.843	17.703	11.51
11	76.244	9.5249	12.03	11.524	13.5214	11.51	13.6402	16.6851	11.80	13.7209	13.935	14.53	16.5549	21.2341	12.52
12	83.728	8.4569	10.68	9.3234	9.4830	10.12	11.0429	12.852	10.17	13.8957	14.4465	9.42	17.1922	15.7473	9.80
13	45.12	1.0349	19.81	12.87	4.5454	1.87	14.645	3.3230	1.37	20.185	2.9441	14.15	24.4872	8.5550	13.12
14	1.19	21.39	17.84	15.46	3.078	1.981	2.385	4.68	1.875	1.193	5.787	18.12	3.731	20.73	18.05
15	24.579	8.8112	14.42	8.2819	4.2819	15.08	46.440	5.2533	12.94	4.612	4.5442	12.85	8.6810	23.610	13.87

表2 支川負荷量 P_j (kg/day)

表3 支川負荷量 P_j (kg/day)

時間	昭和 5 年			昭和 5 年			昭和 5 年			昭和 5 年							
	初期	内減量	負荷量	初期	内減量	負荷量	初期	内減量	負荷量	初期	内減量	負荷量					
1	34.745	9.3260	41.70	41.70	5.0000	41.70	44.761	7.00	44.761	5.0000	19.400	18.0000	11.025	11.400	14.800	19.202	13.75
2	44.659	9.7120	50.300	50.300	6.7000	50.300	52.025	7.800	52.025	7.800	41.400	38.500	18.571	19.000	21.200	22.300	13.32
3	35.534	10.0000	29.000	29.000	3.0000	29.000	31.000	4.0000	31.000	4.0000	23.000	21.000	10.000	10.000	14.000	20.000	14.025
4	54.899	9.7000	50.000	50.000	6.1000	50.000	52.000	7.1000	52.000	7.1000	41.400	38.500	18.571	19.000	21.200	22.300	13.32
5	53.846	8.6500	39.000	39.000	4.1000	39.000	41.000	5.1000	41.000	5.1000	27.000	25.000	12.000	12.000	14.000	20.000	13.25
6	36.000	8.2000	41.000	41.000	5.0000	41.000	44.000	6.0000	44.000	6.0000	27.000	25.000	12.000	12.000	14.000	20.000	13.25
7	44.705	4.4700	42.000	42.000	4.0000	42.000	45.000	5.0000	45.000	5.0000	27.000	25.000	12.000	12.000	14.000	20.000	13.25
8	41.200	9.5000	50.000	50.000	5.1000	50.000	52.000	5.7000	52.000	5.7000	31.000	29.000	13.000	13.000	14.000	20.000	13.25
9	14.200	14.200	16.000	16.000	20.000	16.000	18.000	18.000	18.000	18.000	31.000	31.000	13.000	13.000	14.000	20.000	13.25
10	19.100	19.100	11.000	11.000	12.000	11.000	14.000	14.000	14.000	14.000	15.000	15.000	14.000	14.000	15.000	20.000	13.25
11	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
12	10.500	10.500	10.500	10.500	10.500	10.500	10.500	10.500	10.500	10.500	10.500	10.500	10.500	10.500	10.500	10.500	10.500
13	15.400	15.400	15.400	15.400	15.400	15.400	15.400	15.400	15.400	15.400	15.400	15.400	15.400	15.400	15.400	15.400	15.400
14	4.475	4.475	4.475	4.475	4.475	4.475	4.475	4.475	4.475	4.475	4.475	4.475	4.475	4.475	4.475	4.475	4.475
15	38.700	38.700	41.000	41.000	42.000	42.000	45.000	45.000	45.000	45.000	46.000	46.000	47.000	47.000	48.000	48.000	48.000

① 流域全体への総供給量 Q ($m^3/\text{秒}$)

t	0	5	10	15	20
s_w	2.7	9.4	11.2	15.3	17.7

(注) 途中年次は線形近似とする。

② 各地区の平地面積 S_i (km^2) と初期利水量 $A_i(0)$ ($m^3/\text{秒}$)

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
S_i	44	6.6	68.3	44.4	24.6	183	11.6	9.2	24.0	19.6	15.5	309	228	136	250
$A_i(0)$	0.0719	0.1273	0.6114	0.0908	0.0920	0.1081	0.0476	0.1202	0.0735	0.2332	0.3668	0.6511	0.0441	0.0054	0.0944

③ 支流域別将来人口の推定は表 3 に示す。

つぎに下水道整備率を主成分分析（基準バリマックス法による軸の回転を含む）結果を用いて決定する。主成分分析の結果、支流域は都市活動を示すファクターによりほぼ 3 つのグループに分類でき、ここでは表 4 に示すような下水道整備レベルを想定する。

ただし、昭和 45 年にすでにいくらかの整備が行なわれている支流域 2, 3, 15 については表 5 のように修正した。これらの整備パターンを用いて、 $e_k = 20 ppm$, $\beta_1 : \beta_2 = 1 : 1$ ならびに $1 : 5$ の場合の計算結果を示したものが表 6 と表 7 である。

表 4 地域分類をもとにした下水道整備パターン

パターンの種類	S 46 ~ 50	S 51 ~ 55	S 56 ~ 60	S 61 ~ 65	支流域番号
パターン I	0.10	0.90	0.98	1.00	5, 8, 11, 12
パターン II	0.10	0.75	0.90	1.00	2, 5, 6, 7, 9, 14, 15
パターン III	0.10	0.40	0.70	1.00	1, 4, 10, 13

表 5 練正した下水道整備パターン

支流域番号	S 46 ~ 50	S 51 ~ 55	S 56 ~ 60	S 61 ~ 65
2	0.83	0.92	0.96	1.00
3	0.63	0.81	0.91	1.00
15	0.63	0.82	0.91	1.00

表 6 演算ケース(I) ($E_K = 20 ppm$, $\beta_1 : \beta_2 = 1 : 1$)

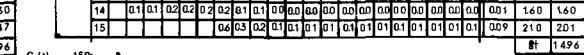
i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000


表 6 より明らかのように第 3 支流域や第 10, 11 支流域は急激な人口増が予想されているところであり、水資源の配分は殆んど行なわれていない。この 3 支流域の人口は流域人口の約 40% を占め、高密度な都市活動が想定されている。したがって、このような地域では局所的下水処理水の再利用などの検討が必要となる。

また、表 6 と表 7 より明らかのように、海域への汚濁インパクトを最小にしたいという目的が強い。つまり β_1 / β_2 が 1 より大きくなればなるほど、新規水資源の配分が遅れる傾向にある。これは下水道整備レベルがはじめの年度では低いから当然のことであろう。

なお、表中における C , L , Q の単位は、それぞれ ppm , $g/\text{秒}$, $m^3/\text{秒}$ である。

また、下水道整備パターンの変化が全流域一定とし、 β_1 / β_2 の比率をパラメトリックに 1 以下から 1 に動かしたとき、水分配量が減少する地域と増加する地域が現われた。前者は、計画目標年度でも自然的流達負荷量が残存している地域で、後者は直接本川とは結びついていない支流域で $q_i = 0$ となっている。このことから、自然的流達負荷量の大小が水分配に影響を与えるため、このメカニズム充実あるいは処理が重要である。

る。また固有流量の算定も慎重性を要する。

つぎに e_k を 20 から 5 と変更したとき、水配分の増加した地域は、水質環境基準点の直上流になっているグループで、2, 5, 9 の地域である。

以上のことから、水資源配分問題を、従来のような地域経済活動計画の結果として行なうのでなく、水環境計画の一環として認識し、とくに、目的意識と下水道整備レベルをパラメータとして行なうことを定量的かつダイナミックに示しうることを明らかにした。実際的な問題としては制約条件が他にもいくつか考えられるし、評価関数も種々考えられる。⁸⁾しかし、本研究では、あえて、これらを単純化し、従来の地域活動計画→水環境汚染防止計画の流れから地域活動計画→水環境汚染防止計画という相互的流れに変革する具体的なモデルを提案し、事例を提示した。

5. おわりに

本研究で提案したモデルを利用すれば、従来の経済的評価を中心とした水配分策定後の公共用水域に対する BOD 負荷量に関する汚濁インパクトアセスメントを行なう必要がない。また、本モデルを用いた事例研究の結果、いつ、どの地域に、どれだけの水配分を行なえばよいかが明らかとなり、水環境からみた地域計画における水の適正配分量が把握できた。こうして、従来のような利水から水環境保全という計画の流れとは逆の水環境保全から利水へという計画の 1 つのアプローチを試みることができた。

最後に、本研究の遂行にあたり、京都大学工学部土木工学教室教授吉川和広先生の御指導をうけたことを断わるとともに、この種の研究の重要性を理解し、きびしく批判し、御指導を賜わった当社専務取締役 工博 海潤養之助先生に謝意を表します。

参考文献

- 1)堤武・大門良巳・中村正久：下水道整備計画に関するシステム論的研究Ⅰ，土木学会第9回衛生工学研究討論会，1973
- 2)萩原良巳・小泉明・中川芳一・高橋邦夫：下水道整備計画に関するシステム論的研究Ⅳ，土木学会第12回衛生工学研究討論会，1976
- 3)萩原良巳・中川芳一：地域における水環境計画のための流達負荷量の構造分析法に関する研究，土木学会第4回環境問題シンポジウム，1976
- 4)萩原良巳・中川芳一・辻本善博：海域への汚濁インパクトを評価した水資源の支流域配分計画に関する研究，NSC 研究年報 Vol. 4 , No. 1 , 日水C , 1976
- 5)萩原良巳・中川芳一・辻本善博：海域への汚濁インパクトを考慮した水資源支流域配分モデルに関する理論的考察，土木学会第31回年次学術講演会，第Ⅺ部，1976
- 6)萩原良巳・中川芳一・辻本善博：水質環境からみた水資源の支流域配分モデルについて，土木学会第30回年次学術講演会，1975
- 7)萩原良巳：地域における水環境計画に関するシステム論的研究，未発表
- 8)*Hagihara, K. and Hagihara, Y. : Water Resource Allocation Considering With The Impact On The Coastal Sea, Proc. 13th Conf. The Japan Section of the Regional Science Association, 1976*
- 9)建設省近畿地方建設局企画部：都市排水の質的制御システムに関する調査報告書，1975