下水道整備計画に関するシステム論的研究 III
ーとくに国の調整機能の計量化と各都市のフィードバック情報についてー

(株) 日本水道コンサルタント　正員　○萩原良巳
上智大学大学院経済学研究科　　萩原清子 (大州)

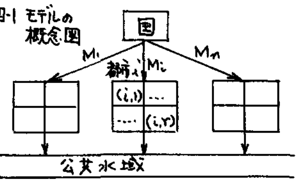
1. はじめに

下水道施設は公共水域の水質保全のための1つの操作変数と認識でき、時空間投資計画を、河川水質を状態変数として採用して、2点境界値問題として定式化できることを明らかにした。[1] しかし、ここで採用した操作変数はきわめて画一的であり、大規模システムのマクロ的合目的性追求にある程度有効である[2]ことを示しえたものの、あくまで全体システムの計画主体の立場に立ち、さらに予算の制約を考慮外とした。しかしながら、現実の国・都道府県・市町村は財政的にハイアラーキ構造を有している。しかも、このハイアラーキは同じような性質のシステムの間に、"力の差"があるために生ずるハイアラーキである。したがって、下水道整備計画モデルをハイアラーキ構造を有するシステムとして記述することがより現実的と思われる。換言すれば、下水道計画が広域化し、大規模化してきた今日、各行政体相互の統一調整を記述しうる計画システムモデルの開発が必要になってきたものと思われる。以上のことから下記に本研究の問題の設定を行なう。

問題の設定：考察の対象となる都市群は各々独自に人口に関する下水道の普及率の目標値を有しているものとし、さらに各都市の下水道事業費の上限値を既知とする。また、国から都市群への下水道事業の補助金(M)が決まっているものとする。このとき、上記の制約のもとで、公共水域をできるかぎり美しくするためには、国は一体どのようにMを各都市に配分し、かつ各々の都市は、自らの土地利用の特性を考慮した下水道整備計画をなすべきか。さらに、この決定のプロセスにおける国と各都市の情報交換はいかにあるべきか。

上記の設定では、何ら水質環境基準に触れていない。環境基準を制約におくことは、各都市の独自に望みたいこと、われわれの場合、普及率の目標値に制約を加えることになり、さらに基準を設定された都市(地域)に、モデル上、補助金が集中するため、環境基準が"合目的のみ"の結果である今日では、補助金配分の適正化を欠き、また、負荷密度の高い土地利用地区への投資が集中すると思われる。以上のことから、われわれの問題の解は必らずしも基準を満たす保証はない。この場合、高密度地区への上のせカットあるいはインプラント制御などの指導がなされるべきと考えられる。

図-1 モデルの概念図



記号のまとめ
i；都市番号，j；用途地域番号
M_i；都市iの国からの補助金(億円)
I_i；都市iの下水道投資上限値(億円)
a_i；下水道整備単価(億円/ha)
S_{ij}；面積(ha)，ε_{ij}；人口密度(人/ha)
P_i；人口(人)，e；プラントの放流水質(ton/m³)
γ_i；計画目標普及率、f_{ij}；流達率
l_{ij}；汚濁負荷量(ton/ha・日)，q_{ij}；排水量(m³/ha・日)

2. 土地利用区分を考慮した下水道整備計画モデルとその双対問題の考察

1.の問題の設定より制約条件は、①補助金に関する制約、②下水道整備の制約、そして、③普及率の制約であり、これらはそれぞれつぎのようになる。

すなわち、

$$\sum_{i=1}^{n} M_i = \sum_{i=1}^{n} I_i \cdot x_{i0} \leqq M \tag{1}$$

$$\sum_{j=1}^{r} a_i \cdot S_{ij} \cdot x_{ij} \leqq (1 + x_{i0}) I_i, \quad (i=1,2,\ldots,n) \tag{2}$$

$$\sum_{j=1}^{r} \varepsilon_{ij} \cdot S_{ij} \cdot x_{ij} \geqq P_i \gamma_i, \quad (i=1,2,\ldots,n) \tag{3}$$

であり、目的関数は都市群の総カット負荷量[1]を最大にすればよいから、

$$L' = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{r} \left\{ (1-f_{ij}) l_{ij} S_{ij} (1-x_{ij}) + (l_{ij} - e\, q_{ij}) S_{ij} x_{ij} \right\} \rightarrow \max.$$

となる。あるいは、$d_{ij}=(f_{ij}l_{ij}-eq_{ij})s_{ij}$ とおいて、L' の定数項を省くと、

$$L=\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{r} d_{ij}x_{ij} \longrightarrow max. \tag{4}$$

が目的関数となる。ここで、決定変数は、x_{i0}、x_{ij} $(i=1,2,\dots,n,\ j=1,2,\dots,r)$ で、前者は都市 i の下水道投資額に対する国の補助金率であり、後者は、都市 i の j 用途地域の下水道整備率である。

つぎに(1)〜(4)式をベクトル表示し、その双対問題も書けば、(5)、(6)式を得る。

(主問題)
$$\left.\begin{array}{l}
\mathbb{A}_1\mathbb{x}_1+\mathbb{A}_2\mathbb{x}_2+\cdots\cdots+\mathbb{A}_n\mathbb{x}_n \leqq \mathbb{b}_0\\
\mathbb{B}_1\mathbb{x}_1 \leqq \mathbb{b}_1\\
\mathbb{B}_2\mathbb{x}_2 \leqq \mathbb{b}_2\\
\cdots\cdots\\
\mathbb{B}_n\mathbb{x}_n \leqq \mathbb{b}_n\\
\mathbb{x}_1,\ \mathbb{x}_2,\dots,\mathbb{x}_n \geqq \mathbb{0}\\
\mathbb{C}_1\mathbb{x}_1+\mathbb{C}_2\mathbb{x}_2+\cdots\cdots+\mathbb{C}_n\mathbb{x}_n \to max.
\end{array}\right\} (5)$$

(双対問題)
$$\left.\begin{array}{l}
\mathbb{A}_1^T\mathbb{y}_0+\mathbb{B}_1^T\mathbb{y}_1 \geqq \mathbb{C}_1^T\\
\mathbb{A}_2^T\mathbb{y}_0+\mathbb{B}_2^T\mathbb{y}_2 \geqq \mathbb{C}_2^T\\
\cdots\cdots\\
\mathbb{A}_n^T\mathbb{y}_0+\mathbb{B}_n^T\mathbb{y}_n \geqq \mathbb{C}_n^T\\
\mathbb{y}_0,\ \mathbb{y}_1,\dots,\ \mathbb{y}_n \geqq \mathbb{0}\\
\mathbb{b}_0^T\mathbb{y}_0+\mathbb{b}_1^T\mathbb{y}_1+\mathbb{b}_2^T\mathbb{y}_2+\cdots+\mathbb{b}_n^T\mathbb{y}_n \to min.
\end{array}\right\} (6)$$

ただし、
$$\mathbb{A}_i=[I_i\ \underbrace{0\cdots\cdots0}_{r}],\quad \mathbb{b}_0={}^T[M\ \underbrace{0\cdots\cdots0}_{r}],\quad \mathbb{B}_i=\begin{bmatrix}\frac{I_i}{a_i} & s_{i1} & s_{i2} & \cdots & s_{ir}\\ 0 & -\varepsilon_{i1}s_{i1} & -\varepsilon_{i2}s_{i2} & \cdots & -\varepsilon_{ir}s_{ir}\end{bmatrix}$$
$$\mathbb{b}_i={}^T\left[\frac{I_i}{a_i}\ \ -P_i\gamma_i\right],\quad \mathbb{C}_i=[0\ d_{i1}\ d_{i2}\cdots d_{ir}],\quad \mathbb{x}_i={}^T[x_{i0}\ x_{i1}\ x_{i2}\ \cdots\ x_{ir}]$$

である。さて、国と各都市の情報交換シミュレーションは、3.で述べるとして、ここでは(6)式の双対問題の考察を行なう。ただし、同じことだが、以下(5)の制約式を等式化して考える。

(5)の解を $\mathbb{x}^*={}^T[\mathbb{x}_1^*\ \mathbb{x}_2^*\cdots\ \mathbb{x}_n^*]$ とし、(6)の解を $\mathbb{y}^*={}^T[\mathbb{y}_0^*\ \mathbb{y}_1^*\cdots\ \mathbb{y}_n^*]$ とおく。そして(5)の目的関数の最大値を L^* とおけば、L^*は(5)の制約 $\mathbb{b}={}^T[\mathbb{b}_0\ \mathbb{b}_1\cdots\ \mathbb{b}_n]$ の関数で、

$$L^*(\mathbb{b})=max\,L=max\left\{\mathbb{C}\cdot\mathbb{x}=\sum_{i=1}^{n}\mathbb{C}_i\ \mathbb{x}_i \,\middle|\, \mathbb{A}\mathbb{x}=\mathbb{b},\ \mathbb{x}\geqq\mathbb{0}\right\}$$

である。ただし、$\mathbb{A}$は(5)の制約式の係数マトリックスである。このとき、一般に

$$\left(\frac{\partial L^*(\mathbb{b})}{\partial \mathbb{b}_i}\right)_- \leqq \mathbb{y}_i^* \leqq \left(\frac{\partial L^*(\mathbb{b})}{\partial \mathbb{b}_i}\right)_+ \quad あるいは \quad \mathbb{y}_i^*=\frac{\partial L^*(\mathbb{b})}{\partial \mathbb{b}_i} \tag{7}$$

が成立する。ただし、±は右側微分と左側微分を示す。こうして、われわれの双対問題の制約式と目的関数は、

$$\left.\begin{array}{l}
I_iy_0-\left(\frac{I_i}{a_i}\right)y_{i1}\geqq 0,\quad s_{ij}y_{i1}-\varepsilon_{ij}s_{ij}y_{i2}\geqq d_{ij} \quad (i=1,2,\dots,n,\ j=1,2,\dots,r)\\
My_0+\sum_{i=1}^{n}\left\{\left(\frac{I_i}{a_i}\right)y_{i1}-P_i\gamma_iy_{i2}\right\} \longrightarrow min.
\end{array}\right\} \tag{8}$$

であるから、最適解近傍で、(7)式より、双対変数は

$$y_0\approx\frac{\partial L(\mathbb{b})}{\partial M},\quad y_{i1}\approx\frac{\partial L(\mathbb{b})}{\partial\left(\frac{I_i}{a_i}\right)},\quad y_{i2}\approx\frac{\partial L(\mathbb{b})}{\partial(-P_i\gamma_i)},\quad (i=1,2,\dots,n) \tag{9}$$

となる。これらは、M、I_i/a_iそして$P_i\gamma_i$を投入物として、$L(\mathbb{b})$を産出物としたときの各々の限界生産性を示している。すなわち、これらは投入物の帰属価値に相当するもので、shadow priceとよばれる。

今、(8)式を(9)式を用いて書き直せば、

$$\frac{\partial L}{\partial M}-\frac{1}{a_i}\frac{\partial L}{\partial\left(\frac{I_i}{a_i}\right)}\geqq 0,\quad \frac{\partial L}{\partial\left(\frac{I_i}{a_i}\right)}+\varepsilon_{ij}\frac{\partial L}{\partial(P_i\gamma_i)}\geqq d_{ij},\quad M\frac{\partial L}{\partial M}+\sum_{i=1}^{n}\left\{\left(\frac{I_i}{a_i}\right)\frac{\partial L}{\partial\left(\frac{I_i}{a_i}\right)}+P_i\gamma_i\frac{\partial L}{\partial(P_i\gamma_i)}\right\}\to min. \tag{10}$$

となる。

(10)式の第1式は、a_iを固定すれば、整備可能面積が増えるのに伴なう補助金の増額は、整備単価より小さくはないという条件を表わしている。補助金の増額が整備単価より小さいときには、Mを増やしたり、I_i/a_iを増やすことは諸手段(M, I_i/a_i, $P_i\gamma_i$)の帰属価値が主問題において正当に評価されていないことの表われである。また、$\partial M/\partial I_i\leqq 1$とも書けるから、補助金の増加は、すべての都市の事業費の増加より小さい、もしくは、補助金

の増加によるカットの増加は、すべての都市の事業費の増加によるそれより大きいことを要請する。　つぎに第2式は、I_i/a_i、$P_i x_i$によるカット負荷量は、主問題のｉ都市ｊ用途地域の単位面積あたりのカット負荷量より多くなければならないという条件を表わしている。　I_i/a_i、$P_i x_i$によるカット負荷量が主問題のｉ都市ｊ用途地域の単位面積あたりのカット負荷量より小さいときには、第１式と同様に、諸手段の帰属価値が主問題において正当に評価されていないということになる。　最後に目的関数は、各手段による総カット量を最小にせよ、ということを表わしているが、このことは、最小手段の利用によって、(主問題における)最大の効果をあげるということを意味している。　ところで、われわれの主問題は、補助金をどのように配分するか、普及人口や整備面積をどの用途地域に配分するかという諸手段の配分問題であった。　これに対して、双対問題は、国や都市とは異なる立場の意志決定者が存在して、当問題の実行に際し、ＭやI_i/a_i、$P_i x_i$が諸手段として正当な評価を受けているかどうかを判断する。　さて、主問題の最大値と双対問題の最小値は、最適計画のときには等しくなり、

$$\frac{M}{L^*}\frac{\partial L^*}{\partial M}+\sum_{i=1}^{n}\left\{\frac{\left(\frac{I_i}{a_i}\right)}{L^*}\frac{\partial L^*}{\partial\left(\frac{I_i}{a_i}\right)}+\frac{P_i x_i}{L^*}\frac{\partial L^*}{\partial(P_i x_i)}\right\}=1 \qquad (11)$$

を満足する。　左辺の各項は、それぞれ、カット負荷量の補助金弾力性、整備面積弾力性、普及人口弾力性を表わしており、最適計画においては、カット負荷量の各手段弾力性の和は１となる。　この関係から、最小手段の利用によって最大の効果をあげるという主問題と双対問題の関係が明らかとなる。

以上のモデルの考察から、われわれは、主問題、双対問題のどちらを解いてもいいわけであるが、ここでは、国と各都市の情報交換シミュレーションが大きな目的となっているから、以下、主問題のみに議論をしぼる。

3. 分解原理[3)4)]によるモデルの解法と意志決定プロセス

(5)の主問題は、ごく普通のＬＰ問題であり、そのまま解ける。　しかしながら、国と各都市がどのような情報交換を行なっているかはわからない。　このような交換を記述するために、ここでは分解原理を用いる。　分解原理によって、国と都市群の情報交換がきわめて巧妙にシュミレートされる。　この解法のプロセスは図-2に示すとおりで、このプロセスそのものが、つぎの３つの機能を有する意志決定プロセスになっている。　すなわち、

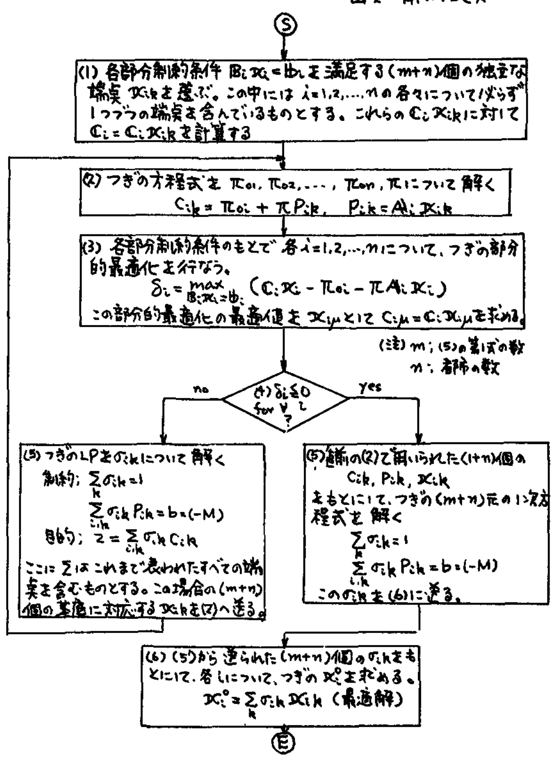
① 国が各都市へ補助金を配分する機能

② 各都市が土地利用区分を考慮しながら分権的に下水道整備計画を作成する機能

③ 上記２つの機能を合目的に調整する機能

である。

図-2　解のプロセス



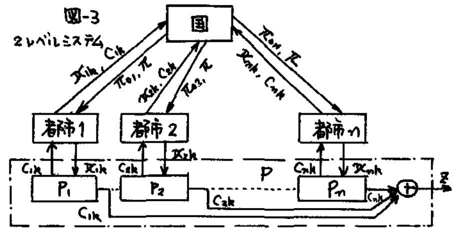
以下、図-3の模式図に沿って、意志決定のプロセスを説明する。　図-3は、国と都市群からなる２レベルシステムを示している。　ただし、Ｐはこのシステムのプロセスを示しており、われわれの場合、公共水域を想定している。　また、この図は、国と各都市の情報交換を数量的にシミュレートしている。　すなわち、都市iはx_{ik}（要請する補助金と下水道整備計画）ならびに、この計画の結果としての都市iのカット負荷量C_{ik}を国へフィードバックする。　国は、各都市からの情報（

x_{ik}, C_{ik}, $i=1,2,\dots,n$)を受け補助金Mを意識して、統合変数π、π_{0i}を各都市に提示する。 π、π_{0i}は、後にみるように、国から各都市へ指示する目標カット量(補助金の関数)を構成する。 各都市は、π、π_{0i}という情報を考慮し、カット量を目標値、

$$\pi_{0i} + \pi A_i x_i$$

に近づけるよう、分権的に部分最適化をはかり、新たな下水道整備計画と補助金率 $x_{i,k+1}$ と計画カット量 $C_{i,k+1}$を求める。 そして、この情報を国へフィードバックし、最適性条件($\delta_i \leq 0$, for $\forall i$)を満たすまで、上記のことを繰返す。 こうして、最適性条件を満たせば、それまでのすべての代替案を考慮して意志決定は終ることになる。 つぎに数値例を示すことにより、この決定プロセスをより明らかにする。

図-3 2レベルシステム



4. 数値例とその考察[5)6)]

(1) 数値モデル

ここでは、(1)~(3)式にスラック変数を導入して等式化し、$n=3$、$r=4$の場合を考える。 なお、計算のための入力データは表-1に示す。

表-1 入力データ

i	1					2					3					単位
j	1	2	3	4	T	1	2	3	4	T	1	2	3	4	T	
S_{ij}	100	20	1000	500	1620	668	20	200	250	1137	1334	80	200	1000	2613	ha
P_{ij}	15	5	50	10	80	100	5	10	5	120	200	20	10	20	250	万人
f_{ij}	0.8	0.9	0.95	1.0		同左					同左					
l_{ij}	0.01	0.02	0.03	0.04		〃					〃					ton/ha 日
g_{ij}	40	120	90	150		〃					〃					m³/ha 日
I_i					10					20					40	億円
γ_i					0.6					0.8					0.7	
E_{ij}	150	250	50	20		同左					同左					人/ha

$e=5\times10^{-6}$, $M=40$(億円), $a=0.04$(億円/ha)

(注) このデータは参考文献7)を参考にして作成した

整備率の記法

(i,1)	(i,2)
(i,3)	(i,4)

j=1;住居地区
j=2;商業地区
j=3;準工業地区
j=4;工業地区

表-1より明らかなように、都市1では準工場地域、都市2と都市3では住居地域の整備対象面積が卓越している。 また、都市3が、3市の商業の中心である。 表-1の入力データをもとにした、われわれのLPはつぎのようになる。

	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{20}	x_{21}	x_{22}	x_{23}	x_{24}	x_{25}	x_{30}	x_{31}	x_{32}	x_{33}	x_{34}	x_{35}	x_{40}	制限定数
	-250	160	20	1000	500	1														250
		15000	5000	50000	10000															48000
							-500	667	20	200	250	1								500
								100000	5000	10000	5000									96000
													-1000	1333	80	200	1000	1		1000
														200000	20000	10000	20000			175000
	10						20						40						1	70
L =		0.792	0.352	28.32	19.85			5.28	30.352	5.664	9.925			10.56	1.421	5.664	39.7			→ max

(12)

(注) (3)式を等号条件で考えている。

ここで、$x_{ij} \geq 0$ で、x_{15}, x_{25}, x_{35}, x_{40}はスラック変数である。 (12)式より明らかなように、3つの都市は国からの補助金で結合されており、このLPシステムは2レベルになっている。

(2) 予備的考察

ここでは、各都市の計画目標下水道整備率(γ_1, γ_2, γ_3)=(0.6, 0.8, 0.7)を達成するための補助金の上下限とそのときの下水道整備計画を求める。 下限は人口密度の高い所から、上限は負荷密度の高い所から整備していけば求まり、このときの各都市への補助金と整備率は、$x_i' = {}^T(x_{i1}\ x_{i2}\ x_{i3}\ x_{i4})$を整備率ベクトルとして、つぎのようになる。 ただし $\mathbb{M}=(M, M_1\ M_2\ M_3)$とする。

下限;$\mathbb{M}=(26.83\ \ 17.2\ \ 5.1\ \ 4.53)$, $x_1' = {}^T[1\ \ 1\ \ 0.56\ \ 0]$, $x_2' = {}^T[0.91\ \ 1\ \ 0\ \ 0]$, $x_3' = {}^T[0.775\ \ 1\ \ 0\ \ 0]$

上限;$\mathbb{M}=(104\ \ 40.4\ \ 19.07\ \ 44.53)$, $x_1' = {}^T[0\ \ 0\ \ 0.76\ \ 1]$, $x_2' = {}^T[0.76\ \ 1\ \ 1\ \ 1]$, $x_3' = {}^T[0.625\ \ 1\ \ 1\ \ 1]$

これより明らかなように、γ_1, γ_2, γ_3を満足するためには、国は $26.83 \leq M \leq 104$ のMを考えればよい。 ただ

し、われわれのモデルに従うかぎり、補助金の増加は、整備のウェイトを商→住→準→工へと移す。したがって、補助金の増加は、x₀を固定して考えることは好ましくない。以下、M=40として考察する。

(3) 国と各都市の情報交換シミュレーション

1) 初期実行可能計画

これは(10)式の制約の第しグループ($B_i x_i = b_i$) ($i=1,2,3$)に人工変数を用いたLPを解くこと[8]によって、各グループごとに3つの独立した端点と、これらと独立な1つの端点を求めることによって得られる。われわれの場合、4つの端点から、図-4と図-5のような2つの初期実行可能計画を得る。これら2つの計画は、各々41.5、85.96 t/日 のカットをするため、39.6、78.52億円の補助金を要請する。今、M=40であるから、この2つの計画を調整しなければならない。

2) 第1回修正案

初期実行可能計画の修正は、統合変数を求めることからはじまる(図-2(2))。この場合、

$$\pi = 1.17,\quad \pi_{01} = -5.92,\quad \pi_{02} = -1.46,\quad \pi_{03} = 1.47$$

を得る。この結果、統合変数により、各都市の目標カット負荷量が国から指示され、それぞれ、

$$-5.92 + 11.7x_{10},\quad -1.46 + 23.32x_{20},\quad 1.47 + 46.64x_{30}$$

となる。明らかに、各都市は、国から補助金を受ければ受けるほど、カット負荷量の増加を義務づけられる。こうして、図-2の(3)の部分的最適化、すなわち、つぎの3つのLP問題

$$\delta_1 = \max_{B_1 x_1 = b_1} \left\{ (0.792\ \ 0.352\ \ 28.320\ \ 19.85) \begin{pmatrix} x_{11} \\ x_{12} \\ x_{13} \\ x_{14} \end{pmatrix} + 5.92 - 11.7x_{10} \right\}$$

$$\delta_2 = \max_{B_2 x_2 = b_2} \left\{ (5.28\ \ 30.352\ \ 5.664\ \ 9.925) \begin{pmatrix} x_{21} \\ x_{22} \\ x_{23} \\ x_{24} \end{pmatrix} + 1.46 - 23.32x_{20} \right\}$$

$$\delta_3 = \max_{B_3 x_3 = b_3} \left\{ (10.56\ \ 1.421\ \ 5.664\ \ 39.7) \begin{pmatrix} x_{31} \\ x_{32} \\ x_{33} \\ x_{34} \end{pmatrix} - 1.47 - 46.64x_{30} \right\}$$

を解くことによって、図-6の第1回修正案を得る。このとき最適性基準は $\delta_i \leq 0$ (for $\forall i$)であり、各都市のカット負荷量が、国から指示された目標カット量を下回るように下水道計画を作成することが要請されている(図-2(4))

図-6ではMがきわめて小さくなっていることに注意されたい。しかし、図-6の計画では $\delta_i > 0$ で各都市の計画カット量が、国のそれより大きく、再び計画を修正する必要がある。

3) 第2回修正案

国は、いままで提出された、各都市のすべての計画案を検討し(図-2(5))、新たに、つぎの各都市の目標カット負荷量をつぎのように指示する。すなわち、

$$-1.96 + 11.0x_{10},\quad -0.42 + 21.9x_{20},\quad 4.60 + 44.1x_{30}$$

である。今回の x_{10}, x_{20}, x_{30} の係数は、第1回修正案の場合より小さくなっている。これは第1回修正案で、各都市ができるだけ補助金を受け入れないでおこうという行為をとったため、今回では、国が、各都市に対して、補助金をもう少し余計に使用してよいことを表明している。こうして、2)と同様に、第2回修正案が、図-7のように得られる。この場合、最適性基準を満たしている。

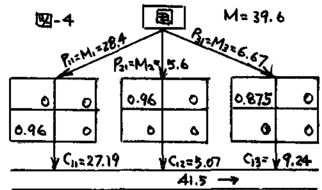
図-4


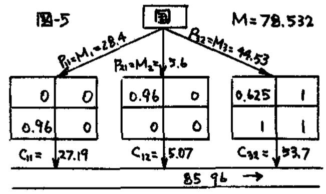
図-5


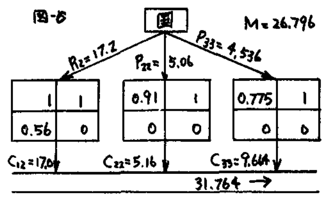
図-6


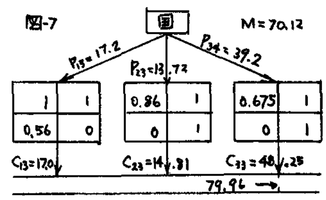
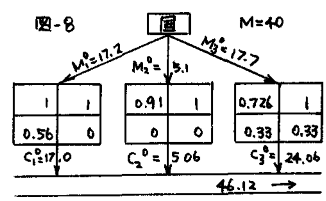
図-7


図-8


4) 最適解

第2回修正案が $\delta_j \leq 0$ (for $\forall j$) を満たしているので、図-2の(5)'(6)により、今までの計画のすべてを調整して、図-8の最適解を得る。 こうして、補助金の最適配分は、都市1へ17.2億円、都市2へ5.1億円、都市3へ17.7億円となる。 また、このときの各都市の整備によるカット負荷量は、それぞれ 17 ton/日、5.06 ton/日、24.06 ton/日 である。 なお詳しい諸元は参考文献9)を参照されたい。

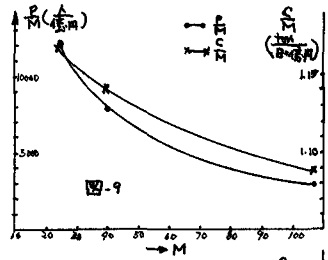
(4) 補助金についての考察

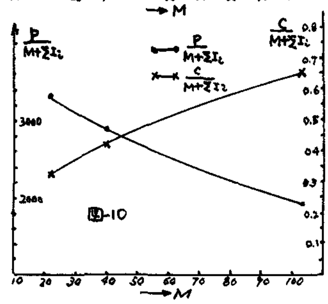
いま、(γ_1, γ_2, γ_3)=(0.6 0.8 0.7) と固定したときのMの下水道取入れ人口(P)とカット負荷量(B)に関する効用を図示すれば、図-9、図-10を得る。

図-9は、補助金のみの効用を示し、図-10は、都市群の財政に対する追加的なものとしての補助金の効用を示している。

図-9より明らかなように補助金のみの効用は、取入れ人口に対しても、カット負荷量に対しても額が大きくなればなるほど減少する。 それに比して、都市群の財政に対する追加的なものと認識すれば、取入れ人口に関する効用は減少するが、カット負荷量の効用は、われわれの数値例において増加する。 これは、補助金が増加すれば、整備が、商→住→準→工へウェイトが移り、それとともに、カット負荷量が増加することから説明がつく。

以上のことから、われわれのモデルに立脚するかぎりにおいて、補助金のみでの効用もしくは効果は議論されるべきではなく、都市群の財政力の追加としての効用が議論されるべきことが明白である。





5. おわりに

以上のことを総括すれば、以下のようになる。 すなわち、

(1) モデルの定式化は、カット負荷量を最大にすることを目的として、各都市が、独自の普及率の目標値を有し、これを拘束条件とし、しかも各都市の財政規模とそれに対する補助金率を制約とした。

(2) モデルの双対問題は、手段としての補助金、整備可能面積、普及人口に帰属価値を与えることにより、カット負荷量を最大とする主問題が、諸手段の評価の点からも、最適計画であることを示している。 すなわち、この双対モデルの解が、最小の手段を利用して最大の効果をあげることを表わしている。

(3) 主問題は2レベルシステムで、フィードバック情報を各都市の下水道整備計画、それに必要な補助金ならびに、各都市の計画カット負荷量の3種類とし、国が、カット負荷量の目標値を補助金の関数として指示する機能を明らかにするため、分解原理で解いた。 この結果、各都市が分権的に試行錯誤しながら下水道整備計画を作成し、国がその調整・統合にかかわっている様が明確にシミュレートされている。

(4) 補助金のみでの効用・効果は議論されるべきでなく、都市群の財政能力に対する追加的なものとして認識すべきであることが、われわれのモデルに立つかぎり、明らかとなった。

最後に、本研究の遂行にあたり、(株)日本水道コンサルタント取締役下水部長 堤武氏の御助言に謝意を表す。

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，第9回衛生工学研究討論会(1973)，2) 堤武・萩原良巳・高橋邦夫；河川汚濁制御のための下水道整備計画に関する事例研究(下水道協会誌投稿中)，3) Dantzig, G. B., Linear Programming and Extensions, Princeton (1963)，4) 関根泰次；数理計画法II，岩波基礎工学(1968)，5) 萩原良巳・萩原清子；土木学会第29回年講(1974)，6) 萩原良巳・萩原清子；NSC研究年報 Vol.2 (1974)，7) 和田安彦；下水道整備計画のシステム分析的研究調査報告書，下水道協会(1973)，8) 小山昭雄；線型計画入門，日経文庫(1966)，9) 堤武・萩原良巳；下水道整備計画システムに関する方法論的研究(1974)