

○ 建設省土木研究所 正 員 三好 逸二
建設省土木研究所 正 員 岩松 幸雄
建設省土木研究所 正 員 関 正和

1. まえがき

本研究の目的は、個々の流域において利用可能な水資源が設定された場合に、流域内の各地区および各種水利用者に対してその水資源をどのように配分・利用するのが、各種観点（経済・環境・財政・社会・技術・その他）からみて合理的であるか、を分析するための手法を開発することである。

このためにつぎの3つのステップにおける解析手法の検討を行なった。

- (1) 水資源の利用・配分現況の把握方法
- (2) 水資源利用・配分形態の変化にともなう効果・影響の把握方法
- (3) 水資源の最適利用・配分手法

2. 流域における水資源の利用・配分現況の把握方法

流域における水資源は、河川、地下水、上水道、下水道、家庭、工業、農業等において利用され、輸送され、降水を受け、蒸発散しており、またそれぞれの間において再利用、循環利用が行なわれている。一方流域は、上下流、行政区画、支派川等によりいくつかの地区分けが行なわれる。

このように水資源の利用・配分現況は、各地区間および各水利用者間の水のやりとりを把握することにより明確にされる。本研究では水利用、水輸送、流下等の水の流れを表示する方法として図-1に示す「地域間水資源連関表」を作成した。

流出 流入		地 区 1								地 区 2								系外流出				
		河川	地下水	上水道	家庭	業務	工業	農業	下水道	流域	河川	地下水	上水道	家庭	業務	工業	農業	下水道	流域	地域外流出	蒸発散	計
地区 1	河川			x_{13}^{11}				x_{16}^{11}	x_{17}^{11}			x_{12}^{11}								q_1^1	f_1^1	x_1^1
	地下水	x_{21}^{11}		x_{23}^{11}	x_{24}^{11}	x_{25}^{11}	x_{26}^{11}	x_{27}^{11}				x_{22}^{12}								q_2^1	f_2^1	x_2^1
	上水道		x_{32}^{11}			x_{34}^{11}	x_{35}^{11}	x_{36}^{11}					x_{33}^{12}							q_3^1	f_3^1	x_3^1
	家庭				x_{44}^{11}				x_{48}^{11}	x_{49}^{11}											f_4^1	x_4^1
	業務					x_{55}^{11}			x_{58}^{11}	x_{59}^{11}											f_5^1	x_5^1
	工業						x_{66}^{11}		x_{68}^{11}	x_{69}^{11}											f_6^1	x_6^1
	農業	x_{71}^{11}	x_{72}^{11}															x_{77}^{11}		q_7^1	f_7^1	x_7^1
地区 2	地下水	x_{81}^{11}		x_{83}^{11}	x_{84}^{11}	x_{85}^{11}	x_{86}^{11}	x_{87}^{11}											x_{88}^{11}	q_8^1	f_8^1	x_8^1
	上水道	x_{91}^{11}	x_{92}^{11}																		f_9^1	x_9^1
	家庭																				f_{10}^1	x_{10}^1
	業務																				f_{11}^1	x_{11}^1
	工業																				f_{12}^1	x_{12}^1
	農業																				f_{13}^1	x_{13}^1
	下水道																				f_{14}^1	x_{14}^1
地区 2	河川	x_{11}^{22}							x_{18}^{22}				x_{22}^{22}	x_{23}^{22}	x_{24}^{22}	x_{25}^{22}	x_{26}^{22}	x_{27}^{22}		q_1^2	f_1^2	x_1^2
	地下水		x_{22}^{22}								x_{21}^{23}		x_{22}^{23}							q_2^2	f_2^2	x_2^2
	上水道			x_{33}^{22}								x_{32}^{23}		x_{33}^{23}						q_3^2	f_3^2	x_3^2
	家庭												x_{34}^{23}	x_{35}^{23}	x_{36}^{23}					f_4^2	x_4^2	
	業務													x_{44}^{23}				x_{48}^{23}	x_{49}^{23}		f_5^2	x_5^2
	工業														x_{55}^{23}			x_{58}^{23}	x_{59}^{23}		f_6^2	x_6^2
	農業							x_{67}^{22}			x_{71}^{22}	x_{72}^{22}			x_{77}^{22}	x_{78}^{22}	x_{79}^{22}		q_7^2	f_7^2	x_7^2	
地区 2	地下水							x_{87}^{22}	x_{88}^{22}		x_{81}^{23}	x_{82}^{23}		x_{83}^{23}	x_{84}^{23}	x_{85}^{23}	x_{86}^{23}	x_{87}^{23}		q_8^2	f_8^2	x_8^2
	上水道											x_{92}^{23}									f_9^2	x_9^2
	家庭																				f_{10}^2	x_{10}^2
	業務																				f_{11}^2	x_{11}^2
	工業																				f_{12}^2	x_{12}^2
	農業																				f_{13}^2	x_{13}^2
	下水道																				f_{14}^2	x_{14}^2
系外流出	地域外流入	v_1^1	v_2^1	v_3^1				v_7^1	v_8^1		v_1^2	v_2^2	v_3^2				v_7^2	v_8^2				V
	降水	u_1^1						u_7^1			u_1^2						u_7^2					U
	計	x_1^1	x_2^1	x_3^1	x_4^1	x_5^1	x_6^1	x_7^1	x_8^1	x_9^1	x_1^2	x_2^2	x_3^2	x_4^2	x_5^2	x_6^2	x_7^2	x_8^2	x_9^2			X

図-1 地域間水資源連関表 (各変数は各利用者、各地区間の水の流量を示す)

この地域間水資源連関表から、各地区への総流入量・総流出量・水利用量・水利効率率・河川取水率等を読みとることができる。

ところで、分析対象期間を一年間以上の長期にとれば、地域間水資源連関表の各変数にはつぎのような形で、水量に対する連続条件式と運動条件式が成り立つ。

$$(\text{連続条件式}) \quad \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij}^t + g_i^t + f_i^t = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m x_{ji}^t + v_i^t + u_i^t \quad (t=1, \dots, m) \quad (1)$$

$$(\text{運動条件式}) \quad \text{一例として農業の蒸発散の場合} \quad f_i^t = \alpha_{f,i}^t \cdot x_{f,i}^t \quad (\alpha_{f,i}^t = \text{蒸発率}) \quad (2)$$

3. 水資源利用・配分形態の変化にともなう効果・影響の把握方法

水資源関連施設の設置や水利用機構の変更にとまない、流域内の各地区および各水利用者に対する水資源の利用・配分形態が変化し、その結果各地区および各水利用者に種々の効果・影響を及ぼす。すなわち、地域間水資源連関表の各値が変化した場合、流域の各構成要素の水質が変化し、水資源施設の建設・運営費用が増加し、流域における人口収容力や産業生産力に変化が生じる。これらの変化はつぎのように求めることができる。

(水質の変化) ト地区i要素における汚濁負荷量の収支は次式で表わされる。

$$P_i^t v_i^t + \sum_{j=1}^n P_{ij}^t e_{ij}^t x_{ij}^t + g_i^t X_i^t = P_i^t e_i^t g_i^t + P_i^t e_i^t (\sum_{j=1}^n x_{ji}^t) + P_i^t (1 - e_i^t) (\sum_{j=1}^n x_{ij}^t + g_i^t) \quad (3)$$

ここで P_i^t は水利用後の水質、 P_i^t は外からの流入水質、 g_i^t は発生活汚濁負荷濃度、 e_i^t は汚濁負荷流達率

水質 P_i^t は各地区各要素の収支式の連立方程式の解として求まる。これを行列表示すると、

$$P = (X - ff - X e)^{-1} (v f + X g) \quad (4)$$

$$(\text{建設費}) \quad C = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^s C_{ijk}^t \delta x_{ij}^t + \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^s C_{ik}^t g_i^t + \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^s C_{ik}^t v_i^t \quad (5)$$

ここで、 δx_{ij}^t 、 δg_i^t 、 δv_i^t ：水資源施設建設による地域間水資源連関表の増加分、減少した場合は0とおく。

$$(\text{運営費}) \quad M = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^s m_{ijk}^t x_{ij}^t + \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^s m_{ik}^t g_i^t + \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^s m_{ik}^t v_i^t \quad (6)$$

ここで m_{ijk}^t は一単位の水を輸送し(送水、浄化)するのに必要な費用

$$(\text{収容可能人口}) \quad P_i^t = X_i^t / d_i^t \quad (7) \quad \text{ここで } d_i^t \text{ は一人当りの使用水量}$$

$$(\text{可能産出高}) \quad O_i^t = \sum_{j=1}^n (X_{ji}^t / d_{ji}^t) \quad (8) \quad \text{ここで } d_{ji}^t \text{ は産業において一単位の産出量を得るに要する水量}$$

4. 水資源の最適利用、配分手法

各種の観点からみて合目的な水資源の利用、配分方法、水利ネットワークのあり方を検討するための手法であり、ここでは線形計画法(分解原理)による水資源配分モデルの定式化を行なう。

(制約条件) 物理的な制約条件としては、先に示した水量に対する連続条件式と運動条件式があり、社会的な制約条件として、河川の水質規制、建設費、運営費の制約、対象地域の収容可能人口および可能産出高等が考えられる。

(目的関数) 目的関数としてつぎのものが考えられ、目的に応じて選択を行なう。

$$(1) \text{建設費・運営費を最少にする。} \quad \min (C + M) \quad (9)$$

$$(2) \text{対象地域の収容可能人口を最大化する。} \quad \max \sum_{i=1}^m P_i^t \quad (10)$$

$$(3) \text{対象地域における産業産出高を最大化する。} \quad \max \sum_{i=1}^m O_i^t \quad (11)$$

$$(4) \text{ウェイトづけた目的を最大化する。} \quad \max \{w_1 (\sum_{i=1}^m P_i^t) + w_2 (\sum_{i=1}^m O_i^t) - w_3 (C + M)\} \quad (12)$$

上記線形計画問題は x_{ij}^t 、 g_i^t 、 f_i^t を未知数とするきわめて大型の問題となることから、単なるソンプレックス法として解くことは困難であり、ここでは分解原理の適用をほかった。すなわち、問題を流域を形成する各々の地区の内部的問題(m 個)と、流域全体にまたがる問題(1個)とに分解して相互の調整をほかりつつ解く方法であり、その調整プロセスは、流域を形成する複数の自治体間の合理的な調整・決定過程を示唆するものといえよう。