

土木研究所資料

第 1125 号

水資源の利用配分に関するシステム分析報告書

昭和51年 3 月

建設省土木研究所
企画部システム課

正 誤 表 (1)

ページ	位 置	誤	正
2	上から5行目	問題が内 <u>圧</u> されているのか	問題が内 <u>在</u> されているのか
7	上から3行目	<u>S</u> 地区へ送水	<u>S</u> 地区へ送水
8	下から6行目	最適化計 <u>算</u> において重要	最適化計 <u>算</u> において重要
12	式(2-2-3)	$g_i^t = g_i^t + \delta g_i^t$	$\bar{g}_i^t = g_i^t + \delta g_i^t$
"	式(2-2-4)	$f_i^t = f_i^t + \delta f_i^t$	$\bar{f}_i^t = f_i^t + \delta f_i^t$
"	式(2-2-5)	$v_i^t = v_i^t + \delta v_i^t$	$\bar{v}_i^t = v_i^t + \delta v_i^t$
"	式(2-2-6)	$u_i^t = u_i^t + \delta u_i^t$	$\bar{u}_i^t = u_i^t + \delta u_i^t$
15	表 2-2-1	$x_{10.1}^{rh} = \alpha_{10.1}^{rh} (x_{10.}^{1.} - x_{10.8}^{rh})$	$x_{10.1}^{rh} = \alpha_{10.1}^{rh} (\underline{x}_{10.}^{rh} - x_{10.8}^{rh})$
"	"	$x_{10.2}^{rh} = \alpha_{10.2}^{rh} (x_{10.}^{1.} - x_{10.8}^{rh})$	$x_{10.2}^{rh} = \alpha_{10.2}^{rh} (\underline{x}_{10.}^{rh} - x_{10.8}^{rh})$
"	"	$f_{10}^{rh} = \alpha_{10.}^{rhf} (x_{10.}^{1.} - x_{10.8}^{rh})$	$f_{10}^{rh} = \alpha_{10.}^{rhf} (\underline{x}_{10.}^{rh} - x_{10.8}^{rh})$
18	式(2-2-16)	--- + $\sum_{\substack{S \\ j}} \sum m_{0j}^{0S} \underline{V}_{0j}^S$	--- + $\sum_{\substack{S \\ j}} \sum m_{0j}^{0S} \underline{v}_{0j}^S$
23	式(2-3-4)	--- - $\underline{P}^t (x_{10.}^{rh} - f_{10.}^{rh}) \leq 0$	--- - $\underline{P}^t (\underline{x}_{10.}^{rh} - f_{10.}^{rh}) \leq 0$
25	上から7行目	るかという <u>最適配分モデル</u> を	るかという <u>最適配分モデル</u> を
33	下から6行目	1年間について、 <u>まず</u> 、	1年間について、 <u>まず</u> 、
49	上から13行目	B-8 河川 <u>維持量</u> の制約	B-8 河川 <u>維持流量</u> の制約
51	式(3-3-26)	$C_{ij} = C_j \underline{x}_{ij}$	$C_{ij} = C_j \underline{x}_{ij}$
52	上から8行目	π は <u>P成分</u> のベクトルである。	π は <u>P成分</u> のベクトルである。
55	表 3-3-6 (3) 5ゾーンの A_{14}^t	1, 755.0	1, 775.0
69	図 3-3-9	億円 年, 兆円 年	億円/年, 兆円/年
70	表 3-3-7 の(注)	図 3-3-4 ~ 図 3-3-8 <u>示した</u>	図 3-3-4 ~ 図 3-3-8 <u>に示した</u>

正 誤 表 (2)

ページ	位 置	誤	正
19	図 2-2-2 右下	地区 2 (農業)(下水道)(導水)(流域) (地域外) (系外)	地区 2 (農業)(下水道)(導水)(流域) (地域外) (系外)
26	図 3-1-1 左下		
28	表 3-2-1	新 床 町 (下欄外に右のよう 注意書きを書き加える)	新 庄 町 (注) 高取町の上水道給水率 は公表されたものでは 59.4%であるが、原単 位をもとに計算すれば 実際には10.0%位だろ うと推定される。

ま え が き

水資源をめぐる諸問題の深刻化は、新たな水資源の開発に対する関心を促すにとどまらず、水資源の利用・配分方法に対する新たな観点からの見直しを促しつつある。これは、水資源問題が、単に不足水量を補給すれば解決のつくものではなく、水質をはじめとする環境問題、給排水施設の建設・運営に関わる財政問題、水利用に依存する産業活動の経済問題、それぞれの地域社会の地理的・歴史的背景にもとづく社会問題、水管理を行なう行政体制の問題、その他、技術水準と建設能力に関する問題、エネルギー問題などの多種多様な問題をきわめて複雑な形で内包し、あるいは密接なかわりをもっていることに起因している。

したがって、水資源問題の究明においては、これら諸問題との関連に留意することが重要であるが、一方では流域における水資源の状況を、その量・質・水利用機構・自然機構にわたって明確に表現しておくことが、種々の検討を進める上での必須要件だといえよう。とりわけ水資源は、流域における河川・地下・上水道等流れ、家庭・農業・工業・業務等で利用されるというふうに関に種々の要素と関連をもっているわけであり、これを統一的に管理するためには少なくともその水量・水質等を統一的に把握・表現しておくことが要求される。

本報告書は(1)流域における水資源の利用・配分状況を統一的に表現できる方法、(2)経済・環境・社会をはじめとする各種の観点からみて、合理的な水資源の利用・配分法を探索できる方法、の2点について記している。

なお、この成果は近畿地方建設局から依頼を受けた「水資源の利用配分に関するシステム分析」に対する報告であり、資料の整理や作業は(株)長大橋設計センターが担当した。

昭和51年3月

土木研究所企画部システム課長

岩 松 幸 雄

(研究担当者)

三 好 逸 二 ・ 関 正 和

第1章 序 章——本調査の概要	1
第2章 水資源の利用・配分モデルの作成	2
2-1 水資源の利用・配分現況の把握	2
2-1-1 現況把握の目的	2
2-1-2 流域構成要素	2
2-1-3 地域間水資源連関表	4
2-1-4 地域間水資源連関表にそった把握	8
2-2 水資源の利用・配分によるシミュレーションモデルの作成	10
2-2-1 シミュレーションモデル作成の目的	10
2-2-2 水資源関連施設整備の実行可能性	11
2-2-3 水資源施設建設にともなう現象機構	16
2-2-4 水資源利用・配分シミュレーションモデルの構成	20
2-3 最適水資源利用・配分モデルの作成	21
2-3-1 最適水資源利用・配分モデル作成の目的	21
2-3-2 線形計画法による最適水資源配分モデルの定式化	22
第3章 大和川流域におけるケース・スタディー	25
3-1 本章の目的と大和川流域の特質	25
3-2 大和川流域における現況把握	27
3-2-1 流域構成要素	27
3-2-2 原データ	27
3-2-3 ゾーニング	29
3-2-4 ゾーン間水資源連関表	33
3-3 最適水資源配分	39
記号説明	39
3-3-1 基本モデル	42
3-3-2 制約条件	47
3-3-3 目的関数	49
3-3-4 数学モデル	50
3-3-5 入力データ及びパラメーター	53
3-3-6 計算結果と考察	66
第4章 結 言	76
参考文献及び参考資料	77

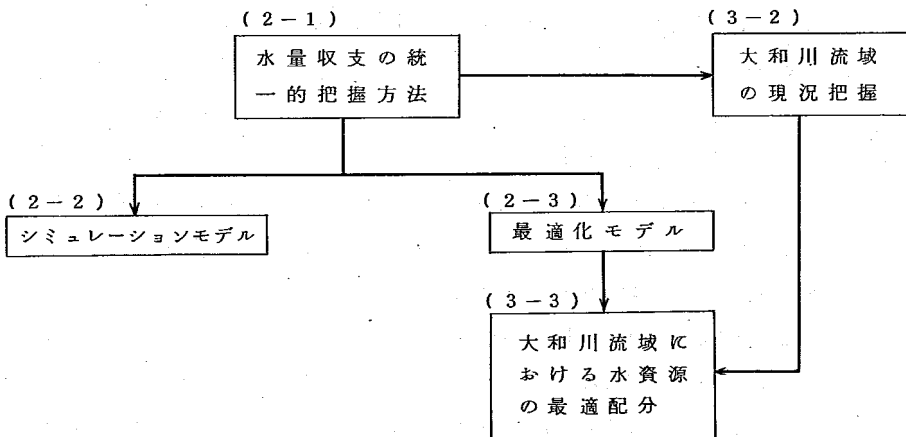
第 1 章 序章 - 本調査の概要

本報告の内容は第 2 章で水資源の利用・配分に関する理論を作成し、第 3 章ではそれを大和川流域に適用しケース・スタディーを行なった。

第 2 章ではまず、流域における水資源の利用・配分状況を統一的に把握できる方法を探索し、「地域間水資源連関表」として提示した。次いでそれにもとづいて流域内の水資源関連施設の整備と法的誘導・規制が流域に及ぼす効果・影響をとらえようとするシミュレーションモデルについて記し、さらに利用可能な水資源量をもとに、経済・環境・社会などの各種観点からみた合理的な水資源の利用・配分法として最適化モデルを提示した。

第 3 章では、はじめに大和川流域に対して「地域間水資源連関表」を適用し、昭和 47 年度の現況把握資料を作成した。最後に以上の事項にもとづいて水利用に関する流域内の総費用を最小化する、流域内の工業出荷額を最大にするという 2 つの立場からそれぞれの場合について水資源の最適配分を行なった。

以上の本報告書の構成を次図に示す。



第2章 水資源の利用・配分モデルの作成

2-1 水資源の利用・配分現況の把握

2-1-1 現況把握の目的

流域における水資源の利用・配分現況を把握しようとする背景には①流域にどのような問題が内圧されているのか、②流域にどのような行政手段の実施が必要とされているのか、③ある行政手段を実施すれば、諸状態はどのように変化するか、を把握しようとする意図がある。このうち③を例にとってみても、現況を把握すべき範囲はきわめて広範である。たとえば上水道の建設は、住宅や工場における水利用量の増加を可能とし、下水量の増加を招くとともに、上水道取水地点から下流の河川流量の減少を生じさせ、水質の変化をもたらす。さらに上水道の普及は、流域における収容可能人口の増大、可能産出高の増大を招き、同時に建設費や運営費の支払いを必要とする。このような上水道の建設にともなう諸状態の変化を前もって把握し、より望ましい上水道建設を考えようとするればつぎに述べるような広汎な現況把握が必要である。

- (1) 上水道・下水道・家庭・工業・河川等々の流域を構成するすべての水資源関連要素を含めて把握されること。
- (2) 上述の各要素の相互間にどのようなつながり（水の受けわたし、水質の関連）があるかが把握できること。
- (3) 上下流地区および支川地区相互間にどのようなつながり（水の受けわたし、水質の関連）があるかが把握できること。
- (4) 各種行政手段（水資源関連施設の建設、法規制の遂行）の実施に伴って生ずる種々の状態変化（水量・水質・収容可能人口・可能産出高・建設費・運営費）を推測するための基礎資料として諸状態が把握できること。

このような要件は③の現況把握目的のみならず①、②においても重要であることは論をまたない。すなわち、水資源の利用・配分現況は各地区の各要素ごとに把握されること、各要素間のつながりと各地区間の面的なつながりが把握されることが要望されているといえる。

2-1-2 流域構成要素

水資源の利用・配分には河川・上水道・下水道・家庭・工業等々のそれぞれ特質

を異にする要素が関連している。これらは水を輸送する機能や水を利用する機能、降水を受水する機能、蒸発散を行なう機能、水質を浄化する機能、汚濁負荷を発生させる機能等の諸機能のうちのひとつまたは複数の機能をもっている。これらの要素を「流域構成要素」とよび、ここでは河川・地下水・上水道・家庭・業務・工業・農業・下水道・導水・流域の10要素を取り上げることとした。それら概要とそれぞれの要素がどのような機能をもつと考えたかについて表2-1-1のような形でまとめた。流域内の水はこれら10要素の中のどれかに必ず含まれることになる。

表 2 - 1 - 1 流域構成要素とその特質

流域構成要素	概 要	機能をもつ要素 地区間水輸送	水利用要素	も降水受水機能をもつ要素	も蒸発散機能をもつ要素	も水質浄化機能をもつ要素	機能をもつ要素 汚濁負荷発生
河 川	湖 沼 を 含 む	○		※2 ○	※2 ○	※3 ○	
地 下 水	深層および浅層地下水帯	○				※3 ○	
上 水 道	取水・導水・浄化・配水の各施設	○				○	
家 庭	住 宅		○		○	※4 ○	○
業 務	主として第3次産業による業務地区		○		○	※4 ○	○
工 業	工 場		○		○	※4 ○	○
農 業	水田・畑地および用排水施設	○	○	○	○	○	○
下 水 道	下水道管路網と処理施設	○				○	
※1 導 水	他流域からの導水施設	○				※3 ○	
流 域	農地以外の地表面			○	○	※3 ○	

※1 「導水」要素は「上水道」要素または「農業」要素に含めて考えてもよい。

※2 全面積に比して河川・湖沼の面積が小さい場合には無視してもよい。

※3 自 浄 作 用

※4 当該要素内で循環再利用を行なう場合には処理機能が必要となる。

また地区内における水のやりとりはこれら 10 要素相互の間で行なわれ、地区間の面的な水のやりとりは、河川・地下水・上水道・農業（用排水路）・下水道・導水等の水輸送機能をもつ諸要素を介して行なわれる。降水や蒸発散等の系外との水の受けわたしは降水受水機能をもつ要素および蒸発散機能をもつ要素を介して行なわれることになる。

2-1-3 地域間水資源連関表

流域においては各要素間・各地区間にさまざまな形態の水の流れがあり、水利用・水輸送・流下等の名で呼ばれている。このような水の流れを表示する方法として、ここでは図 2-1-1 のような一覧表「地域間水資源連関表」を提案する。これは概念的に地域間産業連関分析表と似ており、左端にどの地区のどの要素から水が流入してくるのか、上端にどの地区のどの要素へ水が流れて行くのかを示している。

したがって図 2-1-1 における A の部分は地区 1 の内部における各要素間の水の受けわたし量を示している。また B の部分は地区 1 から地区 2 へ輸送される（流下する）水量を示し、C の部分は地区 1 から系外への水量、すなわち、今対象としている地域外へ流動、および空中へ蒸発散するものを示している。一方 D の部分は地区 2 から地区 1 へ輸送される（流下する）水量を示し、G の部分は系外から地区 1 への水量、すなわち、今対象としている地域外からの流動量、および降水量を示している。

ところで水の流れは地域間水資源連関表の全マス目で生じるわけではなく必ずから 0 以外の値をもつマス目は限定されているといえる。図 2-1-2 では水の流れが常に 0 と考えられるマス目を黒く塗りつぶし、値をもつ可能性のある部分のみを白く開けた。これを一見してわかるように図 2-1-1 で示した A、E、……等の対角部分は同一のパターンで塗りつぶしが行なわれ、B、D、……等の部分は水輸送機能をもつ要素の対角成分のみが値をもつ可能性がある。また C、F、……等の部分は水輸送機能をもつ要素と蒸発散機能をもつ要素のみが値をもち得るし、G、H……等の部分は水輸送機能をもつ要素と降水受水機能をもつ要素のみが値をもつ可能性がある。

後の理論展開の便宜のために、ここでつぎのように記号を定めることとする。

x_{ij}^{rs} : r 地区の i 要素から s 地区の j 要素への水輸送量

图 2-1-1 地域間水資源連関表

流出 流入		地 区 1											地 区 2											系 外(0)		当 地 区 以 外 計	計
		河川	地下水	上水道	家庭	業務	工業	農業	下水道	導水	流域	河川	地下水	上水道	家庭	業務	工業	農業	下水道	導水	流域		地域外	系 外			
地 区 1	河川																										
	地下水																										
	上水道																										
	家庭																										
	業務																										
	工業																										
	農業																										
	下水道																										
地 区 2	導水																										
	流域																										
	河川																										
	地下水																										
	上水道																										
	家庭																										
	業務																										
	工業																										
系 外 (0)	農業																										
	下水道																										
	導水																										
当 該 地 区 以 外 計	流域																										
																											
計																											
	地域外																										
計	系 外																										
	当該地区以外計																										

图2-1-2 地域間水資源運送表

流出 流入		地 区 1										地 区 2										系 外 (0)		以外 計			
		河 川	地下水	上水道	家 庭	業 務	工 業	農 業	下水道	導 水	流 域	河 川	地下水	上水道	家 庭	業 務	工 業	農 業	下水道	導 水	流 域	地域外	系 外	以外 計			
地 区 1	河 川			α_{12}^{11}			α_{16}^{11}	α_{17}^{11}				α_{11}^{12}										----	α_1^1	f_1^1	α_{11}^1	X_{11}^1	
	地下水	α_{21}^{11}		α_{22}^{11}	α_{23}^{11}	α_{24}^{11}	α_{25}^{11}					α_{32}^{12}										----	α_2^1		α_{21}^1	X_{21}^1	
	上水道		α_{32}^{11}		α_{34}^{11}	α_{35}^{11}	α_{36}^{11}						α_{33}^{12}									----	α_3^1		α_{31}^1	X_{31}^1	
	家 庭				α_{44}^{11}				α_{48}^{11}		$\alpha_{4,10}^{11}$											----	f_4^1	α_4^1	α_{41}^1	X_{41}^1	
	業 務					α_{55}^{11}			α_{58}^{11}		$\alpha_{5,10}^{11}$											----	f_5^1	α_5^1	α_{51}^1	X_{51}^1	
	工 業						α_{66}^{11}		α_{68}^{11}		$\alpha_{6,10}^{11}$											----	f_6^1	α_6^1	α_{61}^1	X_{61}^1	
	農 業	α_{71}^{11}	α_{72}^{11}															α_{77}^{12}				----	α_7^1	f_7^1	α_{71}^1	X_{71}^1	
	下水道	α_{81}^{11}		α_{82}^{11}	α_{84}^{11}	α_{85}^{11}	α_{86}^{11}	α_{87}^{11}											α_{88}^{12}			----	α_8^1		α_{81}^1	X_{81}^1	
	導 水			α_{92}^{11}			α_{96}^{11}	α_{97}^{11}												α_{99}^{12}			----	α_9^1		α_{91}^1	X_{91}^1
	流 域	$\alpha_{10,1}^{11}$	$\alpha_{10,2}^{11}$						$\alpha_{10,8}^{11}$														----	f_{10}^1	α_{10}^1	$\alpha_{10,1}^1$	$X_{10,1}^1$
地 区 2	河 川	α_{11}^{21}											α_{21}^{22}		α_{23}^{22}		α_{24}^{22}	α_{25}^{22}	α_{26}^{22}	α_{27}^{22}		----	α_1^2	f_1^2	α_{11}^2	X_{11}^2	
	地下水		α_{22}^{21}										α_{32}^{22}	α_{33}^{22}	α_{34}^{22}	α_{35}^{22}	α_{36}^{22}					----	α_2^2		α_{21}^2	X_{21}^2	
	上水道			α_{33}^{21}									α_{42}^{22}	α_{43}^{22}	α_{44}^{22}	α_{45}^{22}	α_{46}^{22}					----	α_3^2		α_{31}^2	X_{31}^2	
	家 庭												α_{52}^{22}	α_{53}^{22}	α_{54}^{22}	α_{55}^{22}	α_{56}^{22}			α_{58}^{22}	$\alpha_{5,10}^{22}$	----	f_4^2	α_4^2	α_{41}^2	X_{41}^2	
	業 務												α_{62}^{22}	α_{63}^{22}	α_{64}^{22}	α_{65}^{22}	α_{66}^{22}			α_{68}^{22}		----	f_5^2	α_5^2	α_{51}^2	X_{51}^2	
	工 業																α_{76}^{22}	α_{79}^{22}	$\alpha_{8,10}^{22}$			----	α_6^2	f_6^2	α_{61}^2	X_{61}^2	
	農 業						α_{77}^{21}					α_{71}^{22}	α_{72}^{22}									----	α_7^2	f_7^2	α_{71}^2	X_{71}^2	
	下水道							α_{87}^{21}				α_{81}^{22}	α_{82}^{22}	α_{84}^{22}	α_{85}^{22}	α_{86}^{22}	α_{89}^{22}					----	α_8^2		α_{81}^2	X_{81}^2	
	導 水								α_{99}^{21}				α_{92}^{22}	α_{93}^{22}	α_{94}^{22}	α_{95}^{22}	α_{96}^{22}	α_{97}^{22}				----	α_9^2		α_{91}^2	X_{91}^2	
	流 域										$\alpha_{10,1}^{22}$	$\alpha_{10,2}^{22}$							$\alpha_{10,8}^{22}$			----	f_{10}^2	α_{10}^2	$\alpha_{10,1}^2$	$X_{10,1}^2$	
系 外 (0)	地域外	v_1^1	v_2^1	v_3^1				v_7^1	v_8^1	v_9^1		v_1^2	v_2^2	v_3^2					v_7^2	v_8^2	v_9^2					V	
	系 外	w_1^1						w_7^1				w_1^2							w_7^2							U	
当該地区以外計		α_{-1}^{11}	α_{-2}^{11}	α_{-3}^{11}	α_{-4}^{11}	α_{-5}^{11}	α_{-6}^{11}	α_{-7}^{11}	α_{-8}^{11}	α_{-9}^{11}	α_{-10}^{11}	α_{-1}^{22}	α_{-2}^{22}	α_{-3}^{22}	α_{-4}^{22}	α_{-5}^{22}	α_{-6}^{22}	α_{-7}^{22}	α_{-8}^{22}	α_{-9}^{22}	α_{-10}^{22}						
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_{-10}^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_{-10}^2	G	F		X_{-}		

すなわち x_{ij}^{rr} は r 地区で i 要素から j 要素へ取水（排水・浸透・湧出・給水）される水量を表わし、 x_{ij}^{rs} は i なる水輸送要素を介して r 地区から s 地区へ送水（導水・輸送・流下）される水量を表わす。

g_i^r : r 地区から i なる輸送要素を介して今解析しようとしている対象地域の外へ送水（導水・輸送・流下）される水量

f_i^r : r 地区の i 要素から蒸発散する水量

$$A = \begin{pmatrix} (x_{ij}^{rs}) & (g_i^r) & (f_i^r) & (x_{i.}^{r*}) & (X_{i.}^{r*}) \\ (v_j^s) & - & - & - & V \\ (u_j^s) & - & - & - & U \\ (x_{.j}^{s*}) & - & - & - & - \\ (X_{.j}^{s*}) & G & F & - & X_{.j}^{s*} \end{pmatrix}$$

図 2-1-3 地域間水資源関連表

() 内は行列またはベクトル

$x_{i.}^{r*}$: r 地区の i 要素から他地区、対象地域の外部、空中等へ移動する水量の合計（ r 地域内への移動は除く）

$X_{i.}^{r*}$: r 地区の i 要素から流出・移動する水量の合計

v_j^s : 対象地域の外部から j なる水輸送要素を介して s 地区に送水（導水・輸送・流下）される水量

u_j^s : s 地区の j 要素に降水として流入する水量

$x_{.j}^{s*}$: 他地区、対象地域の外、天空等から s 地区の j 要素へ移動してくる水量の合計（ s 地域内からの移動は除く）

$X_{.j}^{s*}$: s 地区の j 要素に流入・移動する水量の合計

V : 対象地域外から対象地域内へ流入・移動してくる水量の合計

U : 降水として対象地域内に流入する水量の合計

G : 対象地域からその外へ流出・移動する水量の合計

F : 対象地域から蒸発散する水量の合計

したがって以下のような関係になる。

$$x_{i.}^{r*} = \sum_{s=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij}^{rs} + g_i^r + f_i^r = \sum_{s=1}^n x_{ii}^{rs} + g_i^r + f_i^r \quad (2-1-1)$$

$$X_{i.}^{r*} = \sum_{s=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij}^{rs} + g_i^r + f_i^r = \sum_{j=1}^m x_{ij}^{rr} + x_{i.}^{r*} \quad (2-1-2)$$

$$x_{.j}^{*s} = \sum_{r=1}^n \sum_{i=1}^m x_{ij}^{rs} + v_j^s + u_j^s = \sum_{r=1}^n x_{ii}^{rs} + v_j^s + u_j^s \quad (2-1-3)$$

$$X_{.j}^{*s} = \sum_{r=1}^n \sum_{i=1}^m x_{ij}^{rs} + v_j^s + u_j^s = \sum_{i=1}^m x_{ii}^{ss} + x_{.j}^{*s} \quad (2-1-4)$$

$$V = \sum_{s=1}^n \sum_{j=1}^m v_j^s \quad (2-1-5)$$

$$U = \sum_{s=1}^n \sum_{j=1}^m u_j^s \quad (2-1-6)$$

$$G = \sum_{r=1}^n \sum_{i=1}^m g_i^r \quad (2-1-7)$$

$$F = \sum_{r=1}^n \sum_{i=1}^m f_i^r \quad (2-1-8)$$

2-1-4 地域間水資源連関表にそつた現況把握

地域間水資源連関表を用いて水資源の利用・配分現況を把握しようとする場合、まず始めにつぎの2つの事項をあらかじめ決定しておく必要がある。ひとつは分析対象期間の決定であり、他は分析対象地域とその内部の地区分割の決定である。

(分析対象期間)

分析対象期間の決定は、後述するシミュレーションや最適化計最において重要な意味をもってくる。分析対象期間を長くとれば、水量に関する連続条件式と運動を表わす式が単純な形になる。たとえば水量の連続条件式は分析対象期間が長い程対象地域への流出入量に比して貯留量の変化が小さく無視できるので、流入量と流出量が等しいとおいてよい。すなわち t 地域の k 要素について

$$\sum_{s=1}^n \sum_{j=1}^m x_{kj}^{ts} + g_k^t + f_k^t = \sum_{r=1}^n \sum_{i=1}^m x_{ik}^{rt} + v_k^t + u_k^t, \text{ すなわち } X_{k.}^{t*} = X_{.k}^{*t} \quad (2-1-9)$$

なる関係があるとしてよい。また運動を表わす式は流れが分岐する点における分流比のみが与えられれば充分となる。このように分析対象期間を長くすることはすなわち長期間にわたる平均量を取り扱うことになり、分析操作が単純化することとなる。もちろんこれによりデメリットが生ずることは当然である。たとえば渇水期における水配分操作においては貯留量の変化はひとつの考察対象であり、上記のような取り扱いをするわけにはいかない。上記のような扱いはたとえば一年間といった期間をとれば可能であろう。ただし、揚水量が流入量に比して大きい地下水層を含む地域においては問題が残る。

(分析対象地域と地区分割)

分析対象地域の設定においては、その地域への流出入量が把握しやすいような境界を選ぶ必要がある。通常は水文界によって区切るのが適切であろう。

対象地域内の地区分割にあたってはいくつかの点に留意する必要がある。ひとつはデータのとりやすさである。上下水道関係資料は行政区画によって収集されているものが多く、河川関係資料は水文界によって収集されていることが多いので、都合のよい形を選ぶことが必要である。また、一地区の中に特性の異なる複数の河川が含まれると困難な問題が生ずる。地域間水資源連関表では一地区内の河川は1個のものとして取扱う(集中系として扱う)ことから、たとえば水質の異なる2本の河川が合流せずに流下するような場合にはその下流における解析は無意味となることから、図2-1-4におけるような場合には地区Eを縦に二分する必要がある。

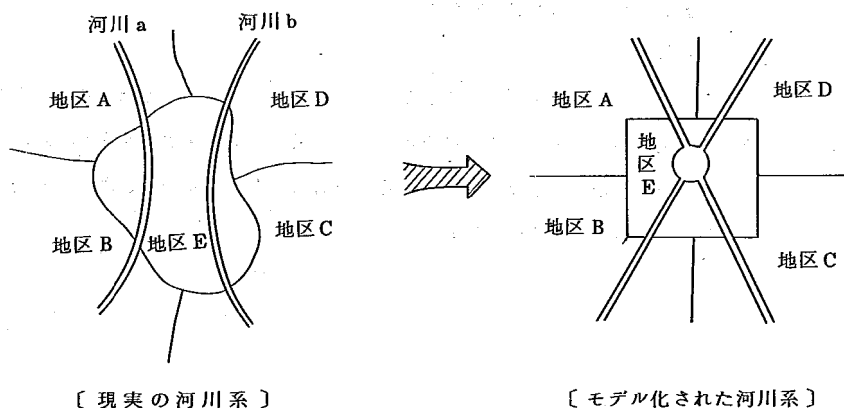


図 2 - 1 - 4

2-2 水資源の利用・配分によるシミュレーション・モデルの作成

2-2-1 シミュレーション・モデル作成の目的

河川・ダム・上水道・下水道その他の水資源関連施設の整備と法的誘導・規制は流域に対して種々様々な効果・影響を及ぼす。その項目を例示するとつぎのようである。

a) 水理・水文諸量の変化

- 河川の流量・水位変化（維持流量）、河床変動
- 地下水位の変化、蒸発散量の変化
- 上下水道の給排水量の変化

b) 水質・生態系の変化

- 河川水質・地下水質の変化・水温変化
- 流域生態系の変化

c) 水需要構造の変化

- 家庭・工場・事務所・農地等における水使用形態の変化
- 流域における人口収容力・産業生産額の変化

d) 費用がかかる

- 建設費がかかる
- 維持管理費がかかる

e) その他

- 景観・レクリエーションの変化
- 渇水その他災害に対する安全性の変化
- その他

シミュレーション・モデルを作成する目的は、これら水資源関連施設の整備と法的誘導・規制の実施によって流域にどのような効果・影響が生ずるかを明らかにし、それら施策の是非、すなわちそれが目的と合致したものか否か、思わぬ影響が生ずることはないか、を明らかにすることである。

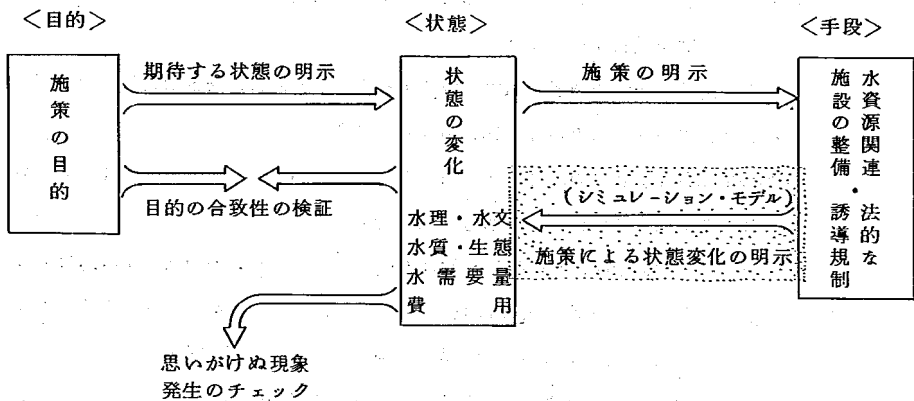


図 2 - 2 - 1

本調査においては、第1節において開発した地域間水資源連関表にもとづいたシミュレーション・モデルを提示する。シミュレーションの実施事項は上記 a) ～ e) のうちから取り敢えず下記事項に限定する。

- a) 各流域構成要素を通過する流量の変化
- b) 各流域構成要素における水の水質
- c) 水資源施設の建設・運営にともなう費用
- d) 流域における人口収容力・産業生産能力の変化

2-2-2 水資源関連施設整備の実行可能性

水資源関連施策がもたらす効果影響をシミュレーションによって把握しようとする場合、その前提としてつぎのような事項が明らかになっていなければならない。

- (1) 水資源関連施策遂行以前の現況
- (2) 各種状態変化の現象機構
- (3) 水資源関連施策案

このうち(1)は2-1に述べたとおりであり、(2)に関しては2-2-3以降に詳述する。ここでは(3)について、それが地域間水資源連関表、その他にどのような形で表現されるのか、また、水資源関連施策案はどのような条件を満たしていなければ実行

可能性が保証されないのか。といった点について説明する。

(水資源関連施設案の表現)

たとえば、上水道施設の拡張を考えてみよう。これは、現況の地域間水資源連関表(図2-1-2参照)の諸変数を種々変更させる。たとえば河川から上水道への取水量(x_{11}^r)の増加、上水道から家庭・業務・工業への給水量(x_{21}^r, x_{31}^r)の増加、地区外への送水量(x_{41}^r, g_1^r)の増加を招くであろうし、余剰なく漏水量(x_{51}^r)が増加するかも知れない。これと同時に河川流量(x_{11}^f)は減少し、下水量($x_{21}^f, x_{31}^f, x_{41}^f$)は増加することになる。このような事情は規模の相違こそあれ、下水道の建設、農業用排水路の建設、循環利用施設の建設、導水施設の建設等の水資源施設の建設は、地域間水資源連関表の諸変数の変化分によって表現されることになる。

現況の地域間水資源連関表を A 、水資源施設の建設による地域間水資源連関表の変化分を δA 、将来(施設完成時)の地域間水資源連関表を $\bar{A}$ とすると

$$\bar{A} = A + \delta A \quad (2-2-1)$$

となる。すなわち、水資源連関表の各変数は

$$\bar{x}_{ij}^{rs} = x_{ij}^{rs} + \delta x_{ij}^{rs} \left(\begin{matrix} i, j=1, \dots, m \\ r, s=1, \dots, n \end{matrix} \right) : \text{地域内取水排水} \quad (2-2-2)$$

$$g_1^r = g_1^r + \delta g_1^r \left(\begin{matrix} i=1, \dots, m \\ r=1, \dots, n \end{matrix} \right) : \text{地域間水輸送} \quad (2-2-3)$$

$$f_1^r = f_1^r + \delta f_1^r \left(\begin{matrix} \text{ } \end{matrix} \right) : \text{蒸発量の変化} \quad (2-2-4)$$

$$v_1^r = v_1^r + \delta v_1^r \left(\begin{matrix} \text{ } \end{matrix} \right) : \text{地域間水輸送} \quad (2-2-5)$$

$$u_1^r = u_1^r + \delta u_1^r \left(\begin{matrix} \text{ } \end{matrix} \right) : \text{これは降水量の変化であるから} \\ \delta u_1^r \neq 0 \text{ においてよい} \quad (2-2-6)$$

なる変更が行なわれ、結局 $x_{11}^{*r}, x_{11}^{*f}, X_{11}^{*r}, X_{11}^{*f}, V, U, G, F$ 等の変更をともなう。

このように今計画として取り上げられる水資源関連施設案は

$$\delta \mathbf{A} = \begin{pmatrix} (\delta x_{ij}^{rs}) & (\delta g_i^r) & (\delta f_i^r) & (\delta x_{ik}^{ts}) & (\delta X_{i:}^{ts}) \\ (\delta v_j^s) & - & - & - & \delta V \\ (\delta u_j^s) & - & - & - & \delta U \\ (\delta x_{:j}^{ts}) & - & - & - & - \\ (\delta X_{:j}^{ts}) & \delta G & \delta F & - & \delta X_{::}^{ts} \end{pmatrix}$$

(2-2-7)

のような形で地域間水資源連関表の変化分として表現される。

以上は水資源施設の水量変化機能の表現であるが、水質浄化機能もまた、水資源施設（上水道・下水道等）の機能の中に含まれており、これについては2-2-3で取り上げる。また法的誘導・規制は直接地域間水資源連関表の変化としては現われず、工場における水質浄化機能の向上や水使用量の減少として施設建設を通じて現われるものである。したがって本シミュレーション・モデルにおいてはこれを取り上げず、2-3における最適モデルの制約条件として取り上げることとする。

（水資源関連施設案の物理的実行可能性）

上述したように水資源施設案は地域間水資源連関表の変化分 $\delta \mathbf{A}$ によって表わされるわけであるが、この $\delta \mathbf{A}$ なる案が物理的に実行可能であるためには、 $\delta \mathbf{A}$ 内の各変数がつぎの条件をみたす必要がある。

(1) 水量の連続条件

(2) 運動条件

水量の連続条件は、2-1-4にも示したように

$$\sum_{s=1}^n \sum_{j=1}^m x_{kj}^{ts} + g_k^t + f_k^t = \sum_{r=1}^n \sum_{i=1}^m x_{ik}^{rt} + v_k^t + u_k^t \quad (k=1, \dots, m; t=1, \dots, n) \quad (2-2-8)$$

であるが、水資源関連施設による変化分 $\delta \mathbf{A}$ についても

$$\sum_{s=1}^n \sum_{j=1}^m \delta x_{kj}^{ts} + \delta g_k^t + \delta f_k^t = \sum_{r=1}^n \sum_{i=1}^m \delta x_{ik}^{rt} + \delta v_k^t + \delta u_k^t \quad (k=1, \dots, m; t=1, \dots, n) \quad (2-2-9)$$

が成り立つことが要請される。

一方、水の運動条件は、水が分流していく場合の分流比 α を与えることにより表現される。この場合、物理条件として満足しなければならない分流比は表 2-2-1 に示されるような自然法則に従うものであり、その内容は複数河川への分流比・地下浸透率・湧出率・蒸発率等である。このような α の値は地域間水資源連関表の現況値から求めることができる。水資源関連施設による変化分 δA に関しても、表 2-2-1 のような関係がみたされることが要請される。

このように、水資源関連施設の建設にともなう地域間水資源連関表の変化分 δA は、連続条件式と運動条件式をみたす必要があるが、現況の表 A もまたこれらの条件をみたしていることから、将来の地域間水資源連関表

$$\bar{A} = A + \delta A \quad (2-2-10)$$

は自動的にこれら連続条件式と運動条件式をみたすことになる。

水の運動条件式を一般的に下のよう記しておく。

$$\alpha_{ij}^{rs} = \alpha_{ij}^{rs} \cdot f_m(x_{ik}^{rt}) \quad (2-2-11)$$

表 2-2-1 水の運動条件式

始端要素	末端要素	運 動 条 件 式	α の意味
河 川 (r 地区)	他地区の 河 川 (s, s ≠ r)	$x_{11}^{rs} = \alpha_{11}^{rs} \cdot x_1^{r*}$	分 流 比
	他地域の 河 川	$g_1^r = \alpha_{11}^{rg} \cdot x_1^{r*}$	分 流 比
	蒸 発	$f_1^r = \alpha_{11}^{rf} \cdot x_1^{r*}$	河川からの 蒸 発 率
ただし、 $\sum_{s=1(s \neq r)}^n \alpha_{11}^{rs} + \alpha_{11}^{rg} + \alpha_{11}^{rf} = 1$			
地 下 水 (r 地区)	地区内 河 川	$x_{21}^{rr} = \alpha_{21}^{rr} (X_2^r - \sum_{j=3}^7 x_{2j}^{rr})$	地 下 水 湧 出 率
	他地区 地 下 水 (s, s ≠ r)	$x_{22}^{rs} = \alpha_{22}^{rs} (X_2^r - \sum_{j=3}^7 x_{2j}^{rr})$	他 地 区 浸 透 率
	他地域の 地 下 水	$g_2^r = \alpha_{22}^{rg} (X_2^r - \sum_{j=3}^7 x_{2j}^{rr})$	他 地 域 浸 透 率
ただし、 $\alpha_{21}^{rr} + \sum_{s=1(s \neq r)}^n \alpha_{22}^{rs} + \alpha_{22}^{rg} = 1$			
上 水 道 (r 地区)	地区内 地 下 水	$x_{32}^{rr} = \alpha_{32}^{rr} \cdot X_3^r$	漏 水 率
家 庭 (r 地区)	蒸 発	$f_4^r = \alpha_4^{rf} \cdot X_4^r$	家庭からの 蒸 発 率
業 務 (r 地区)	蒸 発	$f_5^r = \alpha_5^{rf} \cdot X_5^r$	業務地区から の 蒸 発 率
工 業 (r 地区)	蒸 発	$f_6^r = \alpha_6^{rf} \cdot X_6^r$	工業からの 蒸 発 率
農 業 (r 地区)	地区内 地 下 水	$x_{72}^{rr} = \alpha_7^{rr} \cdot X_7^r$	地下への 浸 透 率
	蒸 発 散	$f_7^r = \alpha_7^{rf} \cdot X_7^r$	農業からの 蒸 発 散 率
流 域 (r 地区)	地区内 河 川	$x_{10.1}^{rr} = \alpha_{10.1}^{rr} (X_{10}^r - x_{10.8}^{rr})$	直接流出率
	地区内 地 下 水	$x_{10.2}^{rr} = \alpha_{10.2}^{rr} (X_{10}^r - x_{10.8}^{rr})$	地下への 浸 透 率
	蒸 発 散	$f_{10}^r = \alpha_{10}^{rf} (X_{10}^r - x_{10.8}^{rr})$	流域の 蒸 発 散 率
ただし、 $\alpha_{10.1}^{rr} + \alpha_{10.2}^{rr} + \alpha_{10}^{rf} = 1$			

2-2-3 水資源施設建設にともなう現象機構

水資源施設の建設にともなう水量の変化は2-2-2に述べた連続条件式と運動条件式をみたす形で現われる。ここでは、水質・人口収容力・産業生産能力の変化と建設費・維持管理費の算定について提示する。

(水質)

r 地区 i 要素の水質(濃度)について考える。 r 地区 i 要素に流入し、利用が行なわれた直後の水質(濃度)を p_i^r とすると、これは対象地域外からの流入水質と、対象地域内他要素からの流入水質および発生汚濁負荷量に左右される。いま、対象地域外からの流入水質を r_i^r とすると、流入汚濁負荷量は、

<流入・発生汚濁負荷量>

<流出・除却汚濁負荷量>

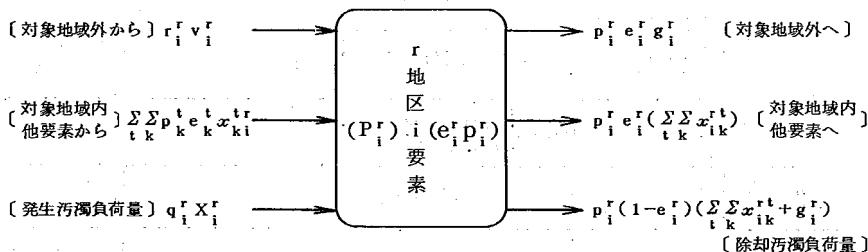


図 2-2-2

$r_i^r v_i^r$ によって表わされる。また、対象地域内の他の要素から(t 地区 k 要素)から流入してくる水質を $p_k^t e_k^t$ とすると、流入汚濁負荷量は $\sum_k \sum_l p_k^t e_k^t x_{kl}^{tr}$ によって表わされる。一方、発生汚濁負荷量は水使用量に比例するものと仮定する。水使用量は x_i^r で表わされ、発生汚濁負荷濃度を q_i^r とすると発生汚濁負荷量は $q_i^r x_i^r$ になる。

ところで、 r 地区 i 要素から流出(排水・輸送・取水)される水質は水質浄化作用によって p_i^r よりも良い水質になる。汚濁負荷流達率を e_i^r とするとこの水質は $p_i^r e_i^r$ となる。すなわち、汚濁負荷流達率は $0 \leq e_i^r \leq 1$ の値を取り、流出汚濁負荷量を流入汚濁負荷量と発生汚濁負荷量との和によって割ったものとして定義したわけである。したがって $(1 - e_i^r)$ は水質浄化作用(自浄作用・

水処理)の程度を表わす $0 \leq (1 - e_i^r) \leq 1$ の値をとり、これを汚濁負荷量カット率と定義する。

したがって対象地域外へ流出する汚濁負荷量は $p_i^r e_i^r g_i^r$ となり、対象地域内の他の要素へ流出(排水・送水)される汚濁負荷量は $p_i^r e_i^r (\sum_t \sum_k x_{ik}^{rt})$ と表わされる。また水質浄化作用によって水から除却される汚濁負荷量は $p_i^r (1 - e_i^r) (\sum_t \sum_k x_{ik}^{rt} + g_i^r)$ として表わされる。ただし、降水の水質と蒸発散の水質はともに0としてよいものとする。これから汚濁負荷量の連続式を表示するとつぎのようになる。

$$\begin{aligned} & r_i^r v_i^r + \sum_t \sum_k p_k^t e_k^t x_{ki}^{rt} + q_i^r X_i^r \\ &= p_i^r e_i^r g_i^r + p_i^r e_i^r (\sum_t \sum_k x_{ik}^{rt}) + p_i^r (1 - e_i^r) (\sum_t \sum_k x_{ik}^{rt} + g_i^r) \\ &= p_i^r (X_i^r - f_i^r) \end{aligned} \quad (2-2-12)$$

このような式は $n \times m$ で書けるわけであるが、地域間水資源連関表の各値 x_{ij}^{rs} 、 v_i^r 、 g_i^r 、 X_i^r が与えられ、対象地域外からの流入水質 r_i^r 、汚濁負荷流達率 e_i^r 、発生汚濁負荷濃度 q_i^r を与えると水質 p_i^r は連立方程式の解として求めることができる。これを行列表示しておく。

$$\begin{aligned} \mathbf{x} &= \begin{pmatrix} x_{11}^{11} & x_{12}^{11} & \dots & x_{1n}^{11} \\ x_{21}^{11} & x_{22}^{11} & \dots & x_{2n}^{11} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1}^{11} & x_{n2}^{11} & \dots & x_{nn}^{11} \end{pmatrix} & \mathbf{v} &= \begin{pmatrix} v_1^1 & & & 0 \\ & v_2^1 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & v_n^1 \end{pmatrix} & \mathbf{g} &= \begin{pmatrix} g_1^1 & & & 0 \\ & g_2^1 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & g_n^1 \end{pmatrix} \\ \mathbf{X} &= \begin{pmatrix} X_1^1 & & & 0 \\ & X_2^1 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & X_n^1 \end{pmatrix} & \mathbf{f} &= \begin{pmatrix} f_1^1 & & & 0 \\ & f_2^1 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & f_n^1 \end{pmatrix} & \mathbf{e} &= \begin{pmatrix} e_1^1 & & & 0 \\ & e_2^1 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & e_n^1 \end{pmatrix} \\ \mathbf{q} &= \begin{pmatrix} q_1^1 \\ q_2^1 \\ \vdots \\ q_n^1 \end{pmatrix} & \mathbf{r} &= \begin{pmatrix} r_1^1 \\ r_2^1 \\ \vdots \\ r_n^1 \end{pmatrix} & \mathbf{p} &= \begin{pmatrix} p_1^1 \\ p_2^1 \\ \vdots \\ p_n^1 \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (2-2-13)$$

前述のように記号を定めると、水質は次式によって表わされることになる。

$$p = (X - f - {}^t x e)^{-1} (v r + X q) \quad (2-2-14)$$

(建設費)

水資源施設の建設にともない支出されるべき建設費は、水輸送量の増加分と、水輸送量を一単位増加させるための施設建設に必要な建設コストとの積で表わされる。すなわち、総建設費用はつぎのようになる。

$$O = \sum_r \sum_s \sum_i \sum_j c_{ij}^{rs} \delta x_{ij}^{rs} + \sum_r \sum_i c_i^r \delta g_i^r + \sum_s \sum_j c_j^s \delta v_j^s \quad (2-2-15)$$

ただし、

$c_{ij}^{rs} \geq 0$: r 地区 i 要素から s 地区 j 要素への水輸送量を一単位増加させるための施設建設に必要な建設コスト

δx_{ij}^{rs} 、 δg_i^r 、 $\delta v_j^s > 0$: 水資源施設の建設による地域間水資源連関表の増加分

ここでは、水輸送量の増分と建設費用との関係を線形としてとらえているが、非線形性が強い場合には、 δx_{ij}^{rs} 、 δg_i^r 、 δv_j^s の変域を有限個の区間に区切りその間を直線で結ぶことにより上記と同様な取扱いが可能である。

ところで $c_{ij}^{rs} > 0$ なる要素は地域間水資源連関表の各要素のうち人為的に何らかの作用が必要な一部の要素に過ぎない。図 2-2-2 に $c_{ij}^{rs} > 0$ なる要素を表示しておく。

(運営費)

水資源施設の運営に要する費用は、各要素間の水輸送量（とくに送水量・浄水量等）と一単位の水を輸送（送水・浄化）するのに必要な運営コストとの積で表わされる。すなわち、総運営費用はつぎのようになる。

$$M = \sum_r \sum_s \sum_i \sum_j m_{ij}^{rs} x_{ij}^{rs} + \sum_r \sum_i m_i^r g_i^r + \sum_s \sum_j m_j^s v_j^s \quad (2-2-16)$$

ただし、

$m_{ij}^{rs} \geq 0$: r 地区 i 要素から s 地区 j 要素へ一単位の水輸送を行なうのに必要な運営費用

図 2-2-2

流出 流入	地 区 1											地 区 2											系 外 (0)		当 該 地 区 以 外 計	計
	河 川	地下水	上水道	家 庭	業 務	工 業	農 業	下水道	導 水	灌 漑		河 川	地下水	上水道	家 庭	業 務	工 業	農 業	下水道	導 水	灌 漑		地 域 外	系 外		
地 区 1	河 川		*			*	*					○											○	○		
	地下水	○		*	*	*	*					○		*									○			
	上水道		○		*	*	*							*									*			
	家 庭				*				*		*													○		
	業 務					*			*		*													○		
	工 業						*		*		*													○		
	農 業	*	○														*						*	○		
	下水道	*		*	*	*	*											*					*			
	導 水			*			*	*												*			*			
地 区 2	灌 漑	○	○					*																○		
	河 川	○												*			*	*					○	○		
	地下水		○									○		*	*	*	*	*					○			
	上水道			*								○		*	*	*							*			
	家 庭													*					*		*			○		
	業 務														*				*		*			○		
	工 業															*		*		*				○		
	農 業						*					*	○		*	*	*	*					*	○		
	下水道							*				*		*	*	*	*	*					*			
系 外 (0)	導 水								*					*			*	*					*			
	灌 漑											○	○						*					○		
当 該 地 区 以 外 計	地 域 外	□	□	□				□	□	□		□	□	□						□	□					
	系 外	□						□			□	□										□				
計																										

注 1) □: 外生的に与えられる部分

注 2) *: C_{ij}^T および m_{ij}^T が 0 でない値をもつ部分

注 3) ○: 運動条件式が与えられている部分

水輸送量と運営費用との関係に非線形性が強い場合には、建設費の項で示したのと同様な取扱いが可能である。また $m_{ij}^r > 0$ なる要素は原則的に $c_{ij}^r > 0$ なる要素と同じであり図 2-2-2 に示すとおりである。

(収容可能人口)

水資源施設の建設にともない家庭への供給水量が増加すると対象地域への収容可能人口は増加する。 r 地区への収容可能人口は、 r 地区家庭への供給水量を一人あたりの使用水量で割ることにより求められる。

$$P^r = \frac{X_4^r}{d_p^r} \quad (2-2-17)$$

ただし、

X_4^r : r 地区の家庭への総給水量

d_p^r : 一人あたりの使用水量

(可能産出高)

水資源施設の建設にともない、工業・業務・農業への供給水量が増加すると生産可能量は増大する。 r 地区における可能産出高は次式のとおりである。

$$O^r = \sum_{i=5}^7 \frac{X_i^r}{d_i^r} \quad (2-2-18)$$

ただし、

X_i^r : r 地区への各産業への供給水量 ($i=5, 6, 7$)

d_i^r : i 産業において一単位の産出を得るのに必要な水量

($i=5, 6, 7$)

2-2-4 水資源利用・配分シミュレーション・モデルの構成

水資源施設の建設にともない、対象地域にはどのような状態が現われるかをシミュレートするためには、これまでに述べてきた事柄を体系的に結合させる必要がある。ここでは、シミュレーション・モデルの構成を図 2-2-3 として表示する。

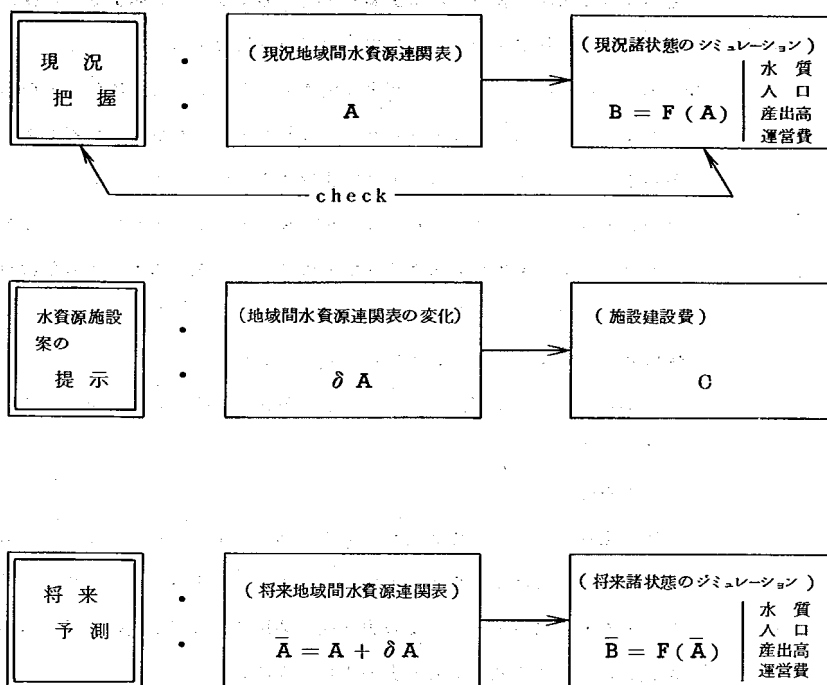


図 2 - 2 - 3

2 - 3 最適水資源利用・配分モデルの作成

2 - 3 - 1 最適水資源利用・配分モデル作成の目的

最適モデルを作成しようとする目的を列挙すると次のようである。

- (1) 水資源の利用に関連してわれわれが望む事柄は多種多様である。産業への給水を増加させて産出高を増したい、多くの人口をある地域に収容したい、流域環境を保全したい、出費は少なくしたい、等枚挙にいとまがない。これら種々の欲求に照らして最適な計画を探し出すことが、最適モデル作成の第一の目的である。
- (2) 一方、計画案の作成にあたっては物理的にそれが実行可能であること、また社会的・財政的にもそれが受け入れられる可能性があることが必須の前提条件である。最適モデルにより得られる最適解は数多い実行可能解のうちある観点からみて最適性が保証されているに過ぎない。多面的な観点から検討を行なうためには

どのような領域（範囲）の計画案が実行可能なかを把握することがきわめて重要であり、これが最適モデル作成の第二の目的である。

- (3) われわれが記述できるのは現実の世界を何らかの形で抽象化して把握したものでしかない。したがってわれわれが記述したモデルが現実の世界をよく説明できるか否かを検証することはきわめて重要であるが、同時にモデルを少し変更させた場合どのような解が得られるのかを把握しておくこともまた重要である。種々のパラメータの変更にともなう感度分析はこの一例であり、解の信頼性と安定性の把握は、最適モデル作成の第三の目的である。

2-3-2 線形計画法による最適水資源配分モデルの定式化

2-1および2-2で記してきた事柄を最適水資源配分モデルとして定式化するとつぎようになる。

（制約条件）

制約条件には大別して2種類のものがある。1つは物理的な条件であり、必ず満たされなければならないものであり、ここでは等式で表わされる。他の1つは社会的な制約条件であり、物理的な制約条件に比して融通のきくものが多い。また、ここでは不等式によって表わされるものが多い。

まず、物理的な制約条件としてモデルに不可欠なものは次の2つである。

(1) 連続条件式

$$X_{i1}^r = X_{i2}^r \quad (r=1, \dots, m; i=1, \dots, n) \quad (2-3-1)$$

(2) 運動条件式

$$x_{ij}^{ra} = f_m(x_{ik}^{rt}) \quad (r, a, t=1, \dots, m; i, j, k=1, \dots, n) \quad (2-3-2)$$

また、社会的な制約条件式としてはつぎのようなものが考えられる。モデルにはこの中から適宜選択してとりこむ必要がある。

(3) 水質規制

とくに河川水質 p_i^r が問題とされる。

$$p_i^r \leq \bar{p}_i^r \quad (r=1, \dots, m) \quad (2-3-3)$$

ただし、 $\bar{p}_i^r$ は河川水質の基準値である。ところで線形で表わしておくに

は、各水質の想定値を $\bar{p}_k^t$ で表わすことにより

$$r_i^t v_i^t + \sum_k \sum_t \bar{p}_k^t e_k^t x_k^t + q_i^t X_i^t - p_i^t (X_i^t - f_i^t) \leq 0 \quad (2-3-4)$$

となる。

(4) 建設費および運営費の制約

$$C \leq \bar{C} \text{ および } M \leq \bar{M} \quad (2-3-5)$$

または

$$C + M \leq \bar{C} + \bar{M} \quad (2-3-6)$$

(5) 対象地域への収容可能人口

$$P^r \geq \bar{P}^r \quad (r = 1, \dots, m) \quad (2-3-7)$$

または

$$\sum_{r=1}^m P^r \geq \bar{P} \quad (2-3-8)$$

(6) 対象地域内可能産出高

$$O^r \geq \bar{O}^r \quad (r = 1, \dots, m) \quad (2-3-9)$$

または

$$\sum_{r=1}^m O^r \geq \bar{O} \quad (2-3-10)$$

(7) 供給水量比

家庭・工業・業務・農業への供給水量比を定めることによりこれら相互の平衡を保つこともできる。

$$X_{\cdot i}^r = \beta_i^r \left(\sum_{k=4}^7 X_{\cdot k}^r \right) \quad (r = 1, \dots, m) \quad (2-3-11)$$

$$\text{ただし、} \sum_{i=4}^7 \beta_i^r = 1$$

これらの制約条件はいずれも線形である。

(目的関数)

目的関数としても種々の形のものが考えられる。

(1) 建設費および運営費を最小にする。

$$\min (C + M) \quad (2-3-12)$$

(2) 対象地域への収容可能人口を最大化する。

$$\max \sum_{r=1}^m P^r \quad (2-3-13)$$

(3) 対象地域における産業産出高を最大化する。

$$\max \sum_{r=1}^m O^r \quad (2-3-14)$$

以上はいずれも線形であるが、水質に関しては非線形であり、後の取り扱いが著しく困難である。

(4) 水質を最良にする。

たとえば末端地点の河川水質を最良にする。

$$\min P_1^k e_1^k \quad (2-3-15)$$

あるいは複数地点の河川水質をウェイトづけしたものを最小化する。

$$\min \sum_{r=1}^m P_1^r e_1^r \cdot r^r \quad (2-3-16)$$

(5) ウェイトづけした目的を最大化する。

$$\max \left\{ w_1 \cdot \left(\sum_{r=1}^m P^r \right) + w_2 \left(\sum_{r=1}^m O^r \right) - w_3 (C + M) \right\} \quad (2-3-17)$$

線形計画モデルの目的関数としてはこれら(1)、(2)、(3)、(5)の中から適宜一つを選べばよい。

線形計画モデルの定式化において、前記制約条件群の中から採り上げる条件が多いとその解は現実的にも実行の容易なものとなる。一方、とり上げる条件が少ないと実行は困難である反面、問題の特性を把握するのに都合がよい。

第3章 大和川流域におけるケース・スタディー

3-1 本章の目的と大和川流域の特質

本章では第2章で提案した理論を具体化するため、まず図2-1-2の水資源速関表に沿って昭和47年度における水量収支を把握した。(そのために必要なデーターも昭和47年度であるが、一部45年度のものを用いた。)次いで、利用可能な水資源量が設定された場合に、各種観点から各地区、各水利用者にどれほどの水量を配分するのが合理的であるかという。最適配分モデルを作成し、それを大和川流域に適用することによって、理論の検証を行なった。そのため最適化を行なう対象年度も上記年度に合わせ、下水道整備率などのパラメーターは仮定値としてセットした。

対象とした奈良県内の大和川流域を図3-1-1に示す。図が示すようにこの地域は25の市町村から構成されるが奈良市、天理市、御所市および吉野郡大淀町の面積のうち各々42.1%、19.08%、7.45%、76.78%は流域外にある。この地域は大和平野地域と呼ばれ、県内の都市活動、工業活動さらには農業活動の中心地である。

また、この流域は河川と地下水の水文流域がほぼ一致し、水量の流出位置も大体王寺町藤井の一区所とみることができ、水量収支の把握がされやすい地域とされている。

水利用状況は河川水取水量の大半が農業用水としてである。また、下水道施設は奈良市と橿原市の一部だけであるため、河川水質はきわめて悪く、上水や工業水はその多くを地下水に依存している。さらに、上水と農水も木津川水系や吉野川水系から多くの分水を受けている。このため、諸活動の成長速度が著しいこの地域では水資源開発計画や流域下水道整備計画が急ぎすすめられている。

3-2 大和川流域における現況把握

3-2-1 流域構成要素

2-1-2 では流域構成要素を10要素したが、ここではそのうち「導水」要素をなくし、「上水道」、「農業」が他流域から導水する場合にはそれぞれの要素を直接に介して導水が行なわれると考えた。本章で用いる要素と要素番号を次のように定める。

1. 河 川
2. 地 下 水
3. 上 水 道
4. 家 庭
5. 業 務
6. 工 業
7. 農 業
8. 下 水 道
9. 流 域

3-2-2 原データー

基本的なデーターは現況把握を行なう際に必要とし、市町村別原データーを表

3-2-1 に示した。

表 3 - 2 - 1 市 町 村 別 原 デ ー タ

項 目 市 町 村	流域内人口 (人)	上 水 道 給 水 率 (%)	下 水 道 整 備 率 (%)	流域内面積 (Km ²)	流 域 内 農 地 面 積 (Km ²)	家庭水量 原 単 位 (ℓ/人・日)	工業出荷額 (百万円/年)	工業水量 原 単 位 (m ³ /年・百万円)
奈 良 市	196,858	98.3	20.6	12,270	17,34	273.0	41,974.0	32.7
生 駒 市	40,723	88.4	0	5,258	8.60	164.0	1,693.7	56.6
生駒郡平群町	9,208	92.8	0	2,403	4.39	165.0	1,511.1	56.9
三 郷 町	11,788	99.9	0	8.62	1.00	165.0	1,151.1	177.2
斑鳩町	18,871	98.3	0	14.58	4.16	164.0	4,499.9	177.6
安堵村	5,848	85.9	0	4.88	2.39	164.0	4,193.6	124.7
大和郡山市	64,280	98.0	0	4,274	14.56	247.0	12,071.72	59.3
北葛城郡王寺町	15,689	99.0	0	6.94	0.93	164.0	4,604.5	177.7
河合町	9,732	99.6	0	8.30	2.19	164.0	1,203.5	185.3
上牧町	9,077	96.7	0	5.92	1.37	164.0	523.2	175.8
香芝町	23,384	98.0	0	24.27	5.97	164.0	9,732.3	177.5
広陵町	17,914	98.4	0	16.65	7.22	164.0	9,104.4	177.5
当麻町	8,944	96.0	0	16.26	4.71	164.0	7,632.7	68.7
新床町	14,218	93.4	0	17.53	5.91	164.0	9,352.2	68.6
大和高田市	56,046	98.4	0	16.73	7.22	247.0	21,505.2	177.5
磯城郡川西村	6,418	98.4	0	5.50	3.26	164.0	1,251.8	127.2
三 宅 村	6,665	80.2	0	4.97	2.06	137.0	1,509.8	127.2
田原本町	22,790	98.9	0	20.59	11.16	164.0	3,942.2	130.1
橿 原 市	85,074	97.7	65.8	40.43	16.79	247.0	23,988.5	126.9
天 理 市	51,766	97.3	0	69.38	14.47	246.0	9,867.6	42.5
桜 井 市	52,759	88.5	0	98.93	15.35	164.0	21,759.4	42.4
高市郡明日香村	6,459	0	0	2,404	5.13	164.0	335.5	125.2
高 取 町	9,347	[10.0] 59.4	0	25.60	3.86	164.0	2,935.7	127.1
御 所 市	34,555	65.5	0	56.30	13.55	164.0	12,167.2	90.5
吉野郡大淀町	2,412	88.7	0	8.75	1.79	148.0	3,774.4	126.9

3-2-3 ゾーニング

ゾーニングはデーターの入手の容易さからして、行政区画単位を基本とすることが望ましいが、本モデルでは一つのゾーン内に複数の河川が存在しても一本の河川として扱われるため、河川の流況、水質がよく似た地域を統合して一つのゾーンとしなければならない。すなわち、ゾーニングを行なう際には、各河川の流況、河川水質に与えるインパクトとしての都市活動、工業活動、その他水利用状況など総合的に判断して決定しなければならない。本対象流域については、以上の事項を考察しながら^{*)}模式図によって図3-2-1のようにゾーニングを行なった。

また、河川水はゾーン間を移動するが、移動方向および複数ゾーンへと移動する場合には分流比を与えなければならず、移動方向については図3-2-1から、また分流比については表3-2-4の各ゾーンに含まれる河川(支川)の固有流量から決定した。それを図3-2-2に示す。

同じく地下水についても移動方向、分流比が決められなければならないが、地下水調査資料⁸⁾⁹⁾によれば移動方向は大体大和川本川に向かっていとみることができる。また、分流方向については仮定を設けて設定した。さらに、本モデルでは、地下水のゾーン間移動と同時に、自ゾーン河川にも必らず流出するという構造をもち、その分流比も仮定した。これらを図3-2-3に示す。

なお、ゾーニングによってゾーン別の原データーを表3-2-2のように示すが、一部のゾーンは支流域で分割されたため、行政区画単位から水文流域単位へとデーター変換を行なった。^{*)}

(注) *印の事項は本報告書の別冊にその詳細を記した。

以下においても同様の扱いをする。

表 3-2-2 ゾーン別原データ

項目 ゾーン	人 口 (人)	給 水 率 (%)	下水道整備率 (%)	面 積 (Km ²)	農地面積 (Km ²)	家庭原単位 ℓ/人・日	工業出荷額 百万円/年	工業原単位 m ³ /年・百万円
1	27,477	99.4	0	15.56	1.93	164	5,755.6	178.0
2	31,527	97.6	0	25.32	7.21	164	9,058.4	159.0
3	16,007	88.5	0	12.91	6.85	153	3,606.7	127.0
4	64,280	98.0	0	42.74	14.56	247	12,071.72	59.0
5	29,570	89.8	0	55.58	9.55	164	4,466.1	57.0
6	219,807	97.4	18.5	154.14	22.23	263	45,673.0	34.0
7	101,937	92.8	0	157.90	28.37	203	28,666.7	42.0
8	40,704	98.7	0	37.24	18.38	164	13,046.6	163.0
9	41,405	97.3	0	46.45	12.05	164	17,888.2	131.0
10	141,120	98.0	4.0	57.16	24.01	247	45,493.7	151.0
11	66,991	58.2	0	132.22	30.24	162	28,565.0	92.0

表 3-2-3 ゾーンを構成する市町村

ゾーン	ゾーンを構成する市町村
1	生駒郡三郷町、北葛城郡王寺町
2	生駒郡斑鳩町、北葛城郡河合町、※生駒郡安堵村
3	磯城郡川西村、磯城郡三宅村、※生駒郡安堵村
4	大和郡山市
5	生駒郡平群町、※生駒市
6	奈良市、※生駒市、※天理市
7	桜井市、※天理市
8	北葛城郡広陵町、磯城郡田原本町
9	北葛城郡上牧町、北葛城郡香芝町、北葛城郡当麻町
10	大和高田市、橿原市
11	北葛城郡新庄町、高市郡明日香村、高市郡高取町、御所市、吉野郡大淀町

(注) ※印はゾーニングのさいに支流域で分割された市町村

表 3 - 2 - 4 河川固有流量

河 川 名	固 有 流 量 m^3/s
生 駒 川	1. 2 8
富 雄 川	0. 6 6
秋 篠 川、岩 井 川	2. 2 6
佐 保 川	2. 2 6
高 瀬 川	0. 5 0※
布 留 川	0. 5 6※
初 瀬 川	1. 4 0※
寺 川	1. 9 0
飛 鳥 川	0. 9 0
曾 我 川、葛 城 川	2. 7 9
高 田 川	0. 6 6
葛 下 川	0. 9 8

(注) ※印は推定値

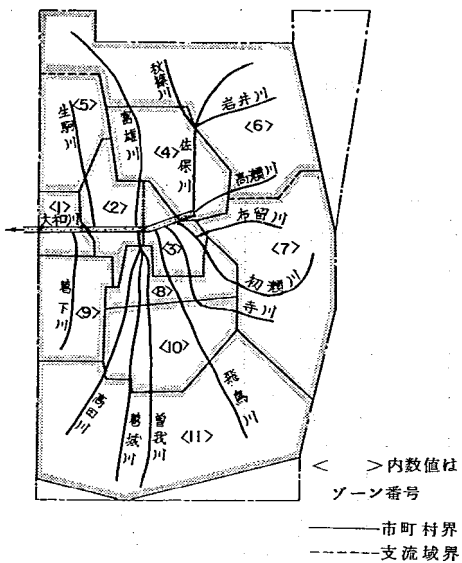


図 3-2-1 ゾーニング

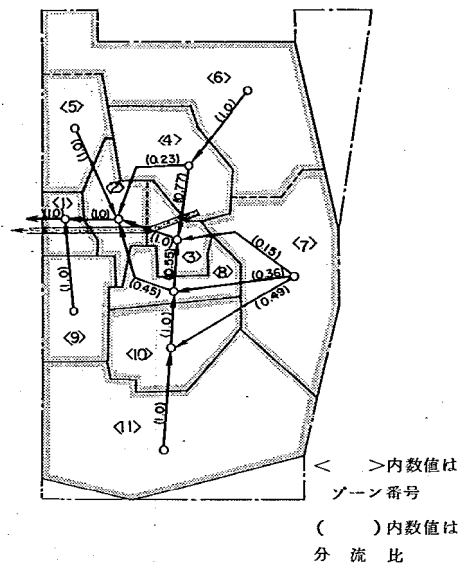


図 3-2-2 河川水移動方向と分流比

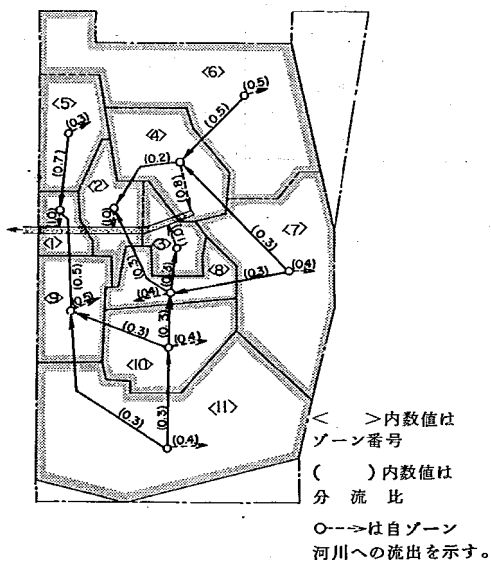


図 3-2-3 地下水移動方向と分流比

3-2-4 ゾーン間水資源連関表

2-1-3においては地域間水資源連関表作成の考え方を述べたが、ここではそれを大和川流域に適用するにあたり、降水の河川への入力(u_i^r)および河川水の蒸発(f_i)は流域要素を通じて行なわれるものと考え省略した。また、流域→上水道というルートを設けているが、これは一部の地域で上水としてため池から取水しているものがあり、それを示す。

次に、本流域の特徴として地下水も含めて水文学的にクローズされているとみることができるため前節で決定したゾーンのうち第1ゾーンを除いては河川水の流域対象外への流出はなく、さらに全てのゾーンについて対象流域外からの河川水、地下水の流入(v_1^r, v_2^r)および流域外への地下水の流出(g_2^r)はないと云える。また、農水については主として吉野川水系から分水を受けているが、流域外への分水(g_7^r)は行なっていない。下水道についても、奈良市と橿原市を除いては施設はなく、流域外に対する流出入(v_8^r, g_8^r)は勿論ない。

以上の特徴を知った上で、昭和47年度1年間についても、まず、各市町村別に水資源連関表を作成した。^{*})これをデーター変換を行ないながら^{*})、ゾーン別に作成したものを表3-2-5に示す。

なお、現況把握を行なう際には統計資料によってデーターを入手することが容易なものもあるが¹⁰⁾、特に「農業」、「流域」要素に対しては困難を伴い、種々の仮定を設けることによって^{*})現況把握を行なった。

表3-2-5 ゾーン間水資源連関表 ゾーン(1)

(単位: 千 m^3 /年)

流出 流入	1	2	3	4	5	6	7	8	9	s 地区 j 要素へ	系外 (0)	
	河川	地下水	上水道	家庭	業務	工業	農業	下水道	流域		s 地域外	f 蒸発
1 河川			—			—	2209			—	641,233	
2 地下水	31,498		2,423	10	1	821	116			0		
3 上水道		590		1639	218	141				—	—	
4 家庭				—				—	1,451			198
5 業務					—				193			26
6 工業						60		—	817			145
7 農業	1,760	1,737								—		1,737
8 下水道	—		—	—	—	—	—			—		
9 流域	9,139	28,62	165					—				9,540
r 地区 i 要素から	(2)から 558,699	(5)から 9,487										
	(9)から 42,346	(9)から 20,193										
系外 (0)	v 地域外		—				184					
	u 降水						2,725		19,245			

表3-2-5 ゾーン間水資源連関表 ゾーン(2)

(単位: 千 m^3 /年)

流出 流入	1	2	3	4	5	6	7	8	9	s 地区 j 要素へ	系外 (0)	
	河川	地下水	上水道	家庭	業務	工業	農業	下水道	流域		s 地域外	f 蒸発
1 河川			—			—	7,725			(1)へ 558,699	—	
2 地下水	27,598		3,654	46	7	1,110	406			0		
3 上水道		907		1,846	246	239				(9)へ 416	—	
4 家庭				—				—	1,664			228
5 業務					—			—	223			30
6 工業						91		—	1,146			203
7 農業	6,008	5,930								—		5,930
8 下水道	—		—	—	—	—	—			—		
9 流域	11,817	3,765	—					—				12,550
r 地区 i 要素から	(3)から 329,729	(4)から 9,666										
	(4)から 46,155	(8)から 125,53										
	(5)から 31,851											
	(8)から 113,266											
系外 (0)	v 地域外		—				434					
	u 降水						93,03		25,099			

表3-2-5 ゾーン間水資源連関表 ゾーン(3)

(単位:千 m^3 /年)

流出 流入	1	2	3	4	5	6	7	8	9	地区j要素へ	系外(0)	
	河川	地下水	上水道	家庭	業務	工業	農業	下水道	流域		地域外	蒸発
1 河川			—			—	8,226			(2)へ 32,972.9	—	
2 地下水	18,757		1,176	96	15	309	434			0		
3 上水道		159		796	114	107				—	—	
4 家庭				—				—	786			106
5 業務					—			—	114			15
6 工業						41		—	353			63
7 農業	6,814	6,724							1	—		6,724
8 下水道	—		—	—	—	—	—			—		
9 流域	4,414	1,351	—					—				4,516
r 地区 i 要素から	(4)から 15,452.0 (7)から 15,014 (8)から 138,436	(8)から 125.53	—									
系外 (0)	v 地域外		—				1,054					
	u 降水						1,054.9		9,030			

表3-2-5 ゾーン間水資源連関表 ゾーン(4)

(単位:千 m^3 /年)

流出 流入	1	2	3	4	5	6	7	8	9	地区j要素へ	系外(0)	
	河川	地下水	上水道	家庭	業務	工業	農業	下水道	流域		地域外	蒸発
1 河川			—			—	15,242			(2)へ 461.55 (3)へ 154,520	—	
2 地下水	38,664		8,898	116	10	4,467	802			(2)へ 9,666		
3 上水道		173		5,669	504	2,552				—	—	694
4 家庭				—				—	5,091			62
5 業務					—			—	452			1,053
6 工業						142		—	59,66			13,104
7 農業	13,279	13,104								—		
8 下水道	—		—	—	—	—	—			—		19,895
9 流域	25,436	5,969	—					—				
r 地区 i 要素から	(6)から 138,538	(6)から 275.12 (7)から 158.65	—									
系外 (0)	v 地域外		—				2,884					
	u 降水						20,559		39,790			

表3-2-5 ゾーン間水資源連関表 ゾーン(5)

(単位:千 m^3 /年)

流出 流入	1	2	3	4	5	6	7	8	9	s 地区 j 要素へ	系 外 (0)	
	河 川	地下水	上水道	家 庭	業 務	工 業	農 業	下水道	流 域		g 地域外	f 蒸 発
1 河 川			235			—	5487			(2)へ 31851	—	
2 地下水	4066		2031	182	24	166	288			(1)へ 9487		
3 上水道		430		1593	212	82				—	—	
4 家 庭				—				—	1562			213
5 業 務					—			—	208			29
6 工 業						5		—	210			38
7 農 業	5654	4725								—		4725
8 下水道	—		—	—	—	—	—			—		
9 流 域	27853	11089	51					—				36964
r 地 区 i 要素から	0	0	—				—	—				
系外 (0)	v 地域外		—				—					
	u 降 水						9329		73977			

表3-2-5 ゾーン間水資源連関表 ゾーン(6)

(単位:千 m^3 /年)

流出 流入	1	2	3	4	5	6	7	8	9	s 地区 j 要素へ	系 外 (0)	
	河 川	地下水	上水道	家 庭	業 務	工 業	農 業	下水道	流 域		g 地域外	f 蒸 発
1 河 川			378			—	27443			(4)へ 138538	—	
2 地下水	27513		2292	438	50	648	1444			(4)へ 27512		
3 上水道		6130		20647	2159	843				—	3223	
4 家 庭				—				3559	14995			2530
5 業 務					—			356	1587			265
6 工 業						50		232	1035			224
7 農 業	28036	23870								—		23870
8 下水道	23431		—	—	—	—	—			—		
9 流 域	87379	29897	49					19284				118940
r 地 区 i 要素から	0	0	—				—	—				
系外 (0)	v 地域外		30283				287					
	u 降 水						46602		237931			

表3-2-5 ゾーン間水資源連関表 ゾーン(7)

(単位: 千 m^3 /年)

流出 流入	1	2	3	4	5	6	7	8	9	s 地区 j 要素へ	系 外 (0)	
	河 川	地下水	上水道	家 庭	業 務	工 業	農 業	下水道	流 域		g 地域外	f 蒸 発
1 河 川			5,451			—	24,311			(3)へ 15,014 (8)へ 36,033 (9)へ 49,045	—	
2 地下水	21,153		4,960	468	57	656	1,280			(4)へ 15,865 (8)へ 15,865		
3 上水道		2,825		7,108	696	560				—	687	
4 家 庭				—				—	6,668			909
5 業 務					—			—	662			91
6 工 業						—		—	1,034			182
7 農 業	25,804	25,535								—		25,535
8 下水道	—		—	—	—	—	—			—		
9 流 域	82,897	31,944	1,465					—				106,478
r 地 区 i 要素から	0	0	—				—	—				
系外 (0)	v 地域外		—				5,619					
	u 降 水						45,664		214,418			

表3-2-5 ゾーン間水資源連関表 ゾーン(8)

(単位: 千 m^3 /年)

流出 流入	1	2	3	4	5	6	7	8	9	s 地区 j 要素へ	系 外 (0)	
	河 川	地下水	上水道	家 庭	業 務	工 業	農 業	下水道	流 域		g 地域外	f 蒸 発
1 河 川			—			77	19,241			(2)へ 113,266 (3)へ 138,436	—	
2 地下水	16,738		2,608	32	4	1,559	1,013			(2)へ 12,553 (3)へ 12,553		
3 上水道		785		2410	321	352				—	—	
4 家 庭				—				—	2,149			293
5 業 務					—			—	286			39
6 工 業						141		—	16,900			298
7 農 業	16,763	16,542								—		16,542
8 下水道	—		—	—	—	—	—			—		
9 流 域	15,931	5,060	—					—				16,867
r 地 区 i 要素から	(7)から 36,033 00から 185,555	(7)から 15,865 00から 8,808	—				—	—				
系外 (0)	v 地域外		1,260				3,640					
	u 降 水						25,953		33,733			

表3-2-5 ソーン間水資源連関表 ソーン(9)

(単位:千 m^3 /年)

流出 流入	1	2	3	4	5	6	7	8	9	s地区j要素へ	系外 (0)	
	河川	地下水	上水道	家庭	業務	工業	農業	下水道	流域		g地域外	f蒸発
1 河川			455			82	11,720			(1)へ 42,346	—	
2 地下水	20,193		977	67	9	15,47	617			(1)へ 20,193		
3 上水道		1,689		2,417	322	358				—	—	
4 家庭				—				—	2,187			297
5 業務					—			—	291			40
6 工業						356		—	1,689			298
7 農業	11,767	10,845								—		10,845
8 下水道	—		—	—	—	—	—			—		
9 流域	22,643	7919	—									26,395
r地区 i要素から	0	00から 8,808 00から 14,342	(2)から 416									
系外 (0)	v地域外		2938				2387					
	u降水						18,734		52,789			

表3-2-5 ソーン間水資源連関表 ソーン(0)

(単位:千 m^3 /年)

流出 流入	1	2	3	4	5	6	7	8	9	s地区j要素へ	系外 (0)	
	河川	地下水	上水道	家庭	業務	工業	農業	下水道	流域		g地域外	f蒸発
1 河川			—			204	25,134			(8)へ 18,555	—	
2 地下水	11,743		8,538	257	23	4,916	1,323			(8)へ 8,808 (9)へ 8,808		
3 上水道		1,773		12,444	1,106	1,239				—	—	
4 家庭				—				443	10,734			1,524
5 業務					—			39	954			136
6 工業						503		155	5,250			954
7 農業	21,897	21,609								—		21,609
8 下水道	1,735		—	—	—	—	—			—		
9 流域	32,552	6,692						1,098				23,404
r地区 i要素から	(7)から 49,045 00から 93,912	00から 14,342										
系外 (0)	v地域外		8,024				4,756					
	u降水						33,902		46,808			

表3-2-5 ゾーン間水資源連関表 ゾーン00

(単位:千 m^3 /年)

流入 流出	1	2	3	4	5	6	7	8	9	地区j要素へ	系外(0)	
	河川	地下水	上水道	家庭	業務	工業	農業	下水道	流域		地域外	蒸発
1 河川			579			—	25905			00へ 93921	—	
2 地下水	19,123		2906	1624	203	1212	1,363			(9)へ 14,342 00へ 14,342		
3 上水道		719		2339	310	379				—	921	
4 家庭				—				—	3,487			476
5 業務					—			—	451			62
6 工業						1046		—	1,352			239
7 農業	32,562	27,212								—		27,212
8 下水道	—		—	—	—	—	—			—		
9 流域	68,720	27,184	—					—				9,0616
r 地区 i 要素から	0	0	—				—	—				
系外 (0)	地域外		1,183				5,991					
降水							53,727		18,1228			

3-3 最適水資源配分

記号説明

(1) 変数

 x_{ij}^{rs} : 第 r ゾーンにおける i 要素から j 要素への配分水量(i, j の組合せは 3-3-1 の基本モデル参照) x_{11}^{rs} : 第 r ゾーンから第 s ゾーンに移動する河川水量 x_{11}^{rs} : 第 r ゾーンから流域対象外へ移動する河川水量 x_{22}^{rs} : 第 r ゾーンから第 s ゾーンに移動する地下水量 x_{33}^{rs} : " " に分水を行なう上水々量 x_{77}^{rs} : " " " 農業々量 x_{88}^{rs} : " " に移動する下水々量 f_4^r : 第 r ゾーン家庭用水の蒸発量 f_5^r : " 業務用水の " f_6^r : " 工業用水の " f_7^r : " 農業用水の "

f_9^r : 第 r ゾーン流域水量の蒸発量

(2) 入力データ及びパラメータ

v_3^r : 流域対象外から第 r ゾーンへの上水分水量

v_7^r : " " 農水 "

u_7^r : 第 r ゾーン農業への流入降水量

u_9^r : " 流域への "

g_3^r : 第 r ゾーン上水の流域対象外への分水量

a_{93}^{rr} : 第 r ゾーンにおける上水の流域（たとえばため池）からの取水量

A_4^r : 第 r ゾーンにおける家庭が受ける水量の下限值

A_6^r : " 工業 "

A_7^r : 第 r ゾーンにおける農業が河川より取水する下限値

e_r : " 業務水量と家庭水量の比率

B_3^r : " 上水の地下水取水制限量

B_6^r : " 工業 " "

B_7^r : " 農業 " "

Q_1^r : 第 r ゾーンにおける河川の必要維持流量

dR_r : 第 r ゾーンにおける家庭水量原単位

pR_r : " 工業出荷額水量原単位

k_4^r : " 家庭に対する上水道給水率

k_5^r : " 業務 " "

s_4^r : " 家庭に対する下水道整備率

s_5^r : " 業務 " "

s_6^r : " 工業 " "

s_9^r : " 流域 " "

RP_4^r : 第 r ゾーン家庭要素の内部循環再生水に対する再利用率

RP_5^r : " 業務要素の "

RP_6^r : " 工業要素の "

RU_4^r : " 家庭要素について再生水が利用される対象用途の割合

RU_5^r : " 業務要素 " "

RU_6^r : " 工業要素 " "

P_1^r : 第 r ゾーンから発する河川水の仮定水質

P_2^r : 第 r ゾーンの地下水の仮定水質

P_7^r : " 農水の "

P_8^r : " 下水の "

P_9^r : " 流域水の "

P_r : 第 r ゾーンの河川水に対する水質環境基準値

e_{21} : 地下水から河川に流出するときの汚濁負荷量流達率

e_{71} : 農業 " "

e_{81} : 下水処理場から河川に放流するときの汚濁負荷量流達率

(=放流水質レベル/混合排水水質)

e_{91} : 流域から河川に流出するときの汚濁負荷量流達率

(以上 $e_{21} \sim e_{91}$ はゾーンによらないとした)

e_{11}^{rs} : 第 r ゾーンの河川が流域対象外へ移動するときの汚濁負荷量流達率

e_{11}^{rs} : 第 r ゾーンの河川が第 s ゾーンへ移動するときの汚濁負荷量流達率

α_{11}^{rs} : 第 r ゾーンから発する河川水のうち、流域対象外へ流出する分流比

α_{11}^{rs} : 第 r ゾーンから発する河川水のうち、第 s ゾーン河川に流出する分流比

α_{22}^{rs} : 第 r ゾーンから発する地下水のうち、第 s ゾーン地下水に流出する分流比

α_{21}^{rs} : 第 r ゾーンから発する地下水のうち、自ゾーンの河川に流出する分流比

α_{32}^{rs} : 第 r ゾーン上水道の地下に流入する率(漏水率)

α_{72}^{rs} : " 農水の地下浸透率

α_{91}^{rs} : " 流域水の河川への流出率

α_{92}^{rs} : " 流域水の地下浸透率

α_4^{rf} : " 家庭用水の蒸発率

α_5^{rf} : " 業務用水の "

α_6^{rf} : " 工業用水の "

α_7^{rf} : " 農業用水の "

α_9^{rf} : " 流域水の "

CT_r : 第 r ゾーンが負担することの可能な取水、給水、配水、排水、処理等水利用に

関する年間当りの事業費および維持管理費

C_{ij} : 流域構成 i 要素から j 要素へと水量が配分されときの単位水量当り事業費及

び維持管理費（これはゾーンによらないとする）

D_{33} ：上水のゾーン間分水において、単位水量当り、単位距離当り年間事業費および維持管理費。

D_{77} ：農水の

"

"

"

D_{88} ：下水のゾーン間移動において、単位水量当り、単位距離当り年間事業費および維持管理費。

ℓw_r ：第 r ゾーンの上水道が流域対象外から分水を受けるときの費用算定距離

ℓa_r ：第 r ゾーンの農業が流域対象外から分水を受けるときの費用算定距離

ℓ_{33}^{rs} ：第 s ゾーンの上水道が第 r ゾーンの上水道から分水を受けるときの費用算定距離

ℓ_{77}^{rs} ：第 s ゾーンの農業が第 r ゾーンの農業から分水を受けるときの費用算定距離

ℓ_{88}^{rs} ：第 r ゾーンの下水を第 s ゾーンに送るときに生ずる費用を計算するための費用算定距離

3-3-1 基本モデル

最適化モデルを作成するに当り、2-1-3の地域間水資源連関表で提示された方法を大和川流域に適用し、3-2-4で示したような現況のゾーン間水資源連関表を得ることができた。ここでは、それをもとに配分ルートモデル化した。

まず、各ゾーン内部の配分ルートを表3-3-1のマトリックス表で示した。ただし、流域に対する降水量は外生的に与え、また、流域 → 上水道 (a_{33}^{rr}) というルートを設けているが、これは上水道のため池からの取水量を意味し、これも外生的に与えた。次に、流域構成9要素のうち、河川、地下水、上水道、農業、下水道の5要素は、ゾーン間を移動するルートをもち、それらの流入出関係を図3-3-1に示した。

- (1) 河川：ゾーニングの結果から得られたように流入が行なわれるゾーン間は表3-3-2に示す通りである。表中○印を付した部分が移動が行なわれるゾーン間のルートである。
- (2) 地下水：移動方向はゾーニングの際に決められた通りであり、移動が行なわれるゾーン間のルートを表3-3-3に示す。

(3) 上水道：移動（分水）が行なわれるゾーン間ルートとしては各ゾーンに隣接するゾーンを全て対象とし、それを表3-3-4に示す。また、それらとは別に流域対象外に対する流出入ルートを設け、それらを外生変数とした。

(4) 農業及び下水道：可能な移動（分水）方向として、自然流下方向をとり、それを表3-3-5に示す。農業については、流域対象外からの流入ならびに降水の流入というルートを設け外生変数とした。

以上に示した全ての変数を実変数としてとらえるのではなく、たとえば、第 r ゾーンから発する河川水の総量 $\sum_j x_{ij}^{rs}$ を一つの変数としてとらえ、 x_{ij}^{rs} は分流比 α_{ij}^{rs} を与えることによって決定される。地下水についても同様である。さらに、各ゾーン内部の変数も各種条件を与えることによって、実変数をかなり減少させることができる。これら実変数を減少させるための各種条件式を示せば以下の通りであり、①～⑫は第2章表2-2-1に示した運動条件式、⑬～⑯はゾーン間の移動ルートをもたない要素の連続条件式である。

- ① 河川水の分 流
- ② 地下水の分 流（ゾーン間移動）
- ③ " （ゾーン内部河川への流出）
- ④ 上水の漏水
- ⑤ 家庭用水の蒸発
- ⑥ 業務 " "
- ⑦ 工業 " "
- ⑧ 農水の地下浸透
- ⑨ " の蒸発
- ⑩ 流域水の河川への流出
- ⑪ " 地下への浸透
- ⑫ " 蒸発
- ⑬ 家庭用水流入出連続式
- ⑭ 業務用水 " "
- ⑮ 工業用水 " "
- ⑯ 流域水 " "

表 3-3-1 ゾーン内部変数 (第 r ゾーン)

流出 流入	1 河 川	2 地下水	3 上水道	4 家 庭	5 業 務	6 工 業	7 農 業	8 下水道	9 流 域	系 外 (蒸 発)
1. 河 川			x_{13}^{rr}			x_{16}^{rr}	x_{17}^{rr}			
2. 地 下 水	x_{21}^{rr}		x_{23}^{rr}	x_{24}^{rr}	x_{25}^{rr}	x_{26}^{rr}	x_{27}^{rr}			
3. 上 水 道		x_{32}^{rr}		x_{34}^{rr}	x_{35}^{rr}	x_{36}^{rr}				
4. 家 庭				x_{44}^{rr}				x_{48}^{rr}	x_{49}^{rr}	f_4^r
5. 業 務					x_{55}^{rr}			x_{58}^{rr}	x_{59}^{rr}	f_5^r
6. 工 業						x_{66}^{rr}		x_{68}^{rr}	x_{69}^{rr}	f_6^r
7. 農 業	x_{71}^{rr}	x_{72}^{rr}								f_7^r
8. 下 水 道	x_{81}^{rr}		x_{83}^{rr}	x_{84}^{rr}	x_{85}^{rr}	x_{86}^{rr}	x_{87}^{rr}			
9. 流 域	x_{91}^{rr}	x_{92}^{rr}	x_{93}^{rr}					x_{98}^{rr}		f_9^r
系 外 (降 水)							u_7^r		u_9^r	

(注) u_7^r , u_9^r , a_{93}^{rr} は外生変数

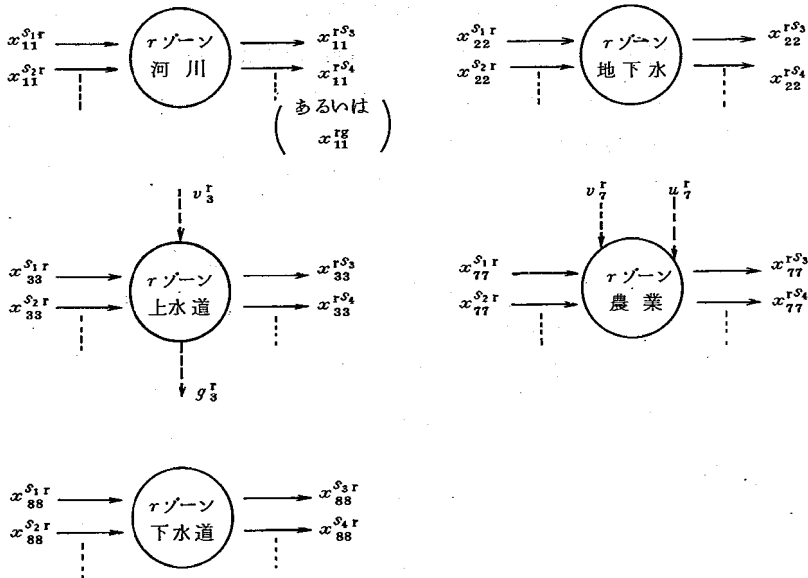


図 3-3-1 ゾーン間移動要素入出力図 (第 r ゾーン)

(-----> は外生変数としての定数)

表 3-3-2 河川水ゾーン間移動変数 α_{11}^{12}

$\begin{matrix} s \text{ 出力} \\ r \text{ 入力} \end{matrix}$ ゾーン	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	g
1												○
2	○											
3		○										
4		○	○									
5		○										
6				○								
7			○					○		○		
8		○	○									
9	○											
10								○				
11										○		

(注) g は流域対象外

表 3-3-3 地下水ゾーン間移動変数 α_{22}^{12}

$\begin{matrix} s \text{ 出力} \\ r \text{ 入力} \end{matrix}$ ゾーン	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1											
2											
3											
4		○									
5	○										
6				○							
7				○				○			
8		○	○								
9	○										
10								○	○		
11									○	○	

表 3-3-4 上水道ゾーン間移動変数 x_{ss}^{rs}

$\begin{matrix} s & \text{出力} \\ r & \text{ゾーン} \\ \text{入力ゾーン} \end{matrix}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1		○			○				○		
2	○		○	○	○			○	○		
3		○		○			○	○			
4		○	○		○	○	○				
5	○	○		○		○					
6				○	○		○				
7			○	○		○		○		○	○
8		○	○				○		○	○	
9	○	○						○		○	○
10							○	○	○		○
11							○		○	○	

表 3-3-5 農業及び下水道ゾーン間移動変数 x_{77}^{rs}, x_{88}^{rs}

$\begin{matrix} s & \text{出力} \\ r & \text{ゾーン} \\ \text{入力ゾーン} \end{matrix}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1											
2	○										
3		○									
4		○	○								
5	○	○									
6				○							
7			○	○				○		○	
8		○	○								
9	○										
10								○	○		
11									○	○	

3-3-2 制約条件

制約条件は等式で表わされる物理的な制約条件と不等式で表わされる場合が多い。社会的な制約条件がある。これらを変数の種類で類別すればゾーン内部の変数だけで表わされる制約式とゾーン間移動変数を含む制約式の2つに分けられ、本ケース・スタディーで用いた制約式を第 r ゾーンに着目して示せば以下のようになる。

A. ゾーン内部の変数だけで表わされる制約式

A-1 家庭用水の総受水量がある値以上である。

$$x_{24}^{rr} + x_{34}^{rr} + x_{44}^{rr} + x_{84}^{rr} \geq A_4^r \quad (3-3-1)$$

A-2 工業用水の総受水量がある値以上である。

$$x_{16}^{rr} + x_{26}^{rr} + x_{36}^{rr} + x_{66}^{rr} + x_{86}^{rr} \geq A_6^r \quad (3-3-2)$$

A-3 業務用水と家庭用水の比率が一定である。

$$x_{25}^{rr} + x_{35}^{rr} + x_{55}^{rr} + x_{85}^{rr} = \varepsilon_r \times (x_{24}^{rr} + x_{34}^{rr} + x_{44}^{rr} + x_{84}^{rr}) \quad (3-3-3)$$

A-4 上水道の地下取水量はある値以下である。

$$x_{23}^{rr} \leq B_3^r \quad (3-3-4)$$

A-5 工業の地下水取水量はある値以下である。

$$x_{26}^{rr} \leq B_6^r \quad (3-3-5)$$

A-6 農業の河川取水量はある値以上である。

$$x_{17}^{rr} \geq A_7^r \quad (3-3-6)$$

A-7 家庭内部循環再生利用に使用できる水量は家庭用水総量に再利用率を乗じた値以下である。

$$x_{44}^{rr} \leq RP_4^r \times (x_{24}^{rr} + x_{34}^{rr} + x_{44}^{rr} + x_{84}^{rr}) \quad (3-3-7)$$

A-8 業務内部循環再生利用に使用できる水量は業務用水総量に再利用率を乗じた値以下である。

$$x_{55}^{rr} \leq RP_5^r \times (x_{25}^{rr} + x_{35}^{rr} + x_{55}^{rr} + x_{85}^{rr}) \quad (3-3-8)$$

A-9 工業内部循環再生利用に使用できる水量は工業用水総量に再利用率を乗じた値以下である。

$$x_{66}^{rr} \leq RP_6^r \times (x_{16}^{rr} + x_{26}^{rr} + x_{36}^{rr} + x_{66}^{rr} + x_{86}^{rr}) \quad (3-3-9)$$

A-10 家庭が使用できる再生水は家庭総使用量に再利用対象用途率を乗じた値以下である。

$$x_{44}^{rr} + x_{84}^{rr} \leq RU_4^r \times (x_{24}^{rr} + x_{34}^{rr} + x_{44}^{rr} + x_{84}^{rr}) \quad (3-3-10)$$

A-11 業務が使用できる再生水は業務総使用量に再利用対象用途率を乗じた値以下である。

$$x_{55}^{rr} + x_{85}^{rr} \leq RU_5^r \times (x_{25}^{rr} + x_{35}^{rr} + x_{55}^{rr} + x_{85}^{rr}) \quad (3-3-11)$$

A-12 工業が使用できる再生水は工業総使用量に再利用対象用途率を乗じた値以下である。

$$x_{66}^{rr} + x_{86}^{rr} \leq RU_6^r \times (x_{16}^{rr} + x_{26}^{rr} + x_{36}^{rr} + x_{66}^{rr} + x_{86}^{rr}) \quad (3-3-12)$$

B. ゾーン間移動変数を含む制約式

B-1 河川連続条件式

$$\sum_s x_{11}^{sr} + x_{21}^{rr} + x_{71}^{rr} + x_{81}^{rr} + x_{91}^{rr} = x_{13}^{rr} + x_{16}^{rr} + x_{17}^{rr} + \sum_s x_{11}^{rs} \quad (3-3-13)$$

B-2 地下水連続条件式

$$\sum_s x_{22}^{sr} + x_{32}^{rr} + x_{72}^{rr} + x_{92}^{rr} = x_{21}^{rr} + x_{23}^{rr} + x_{24}^{rr} + x_{25}^{rr} + x_{26}^{rr} + x_{27}^{rr} + \sum_s x_{22}^{rs} \quad (3-3-14)$$

B-3 上水道連続条件式

$$v_3^r + \sum_s x_{33}^{sr} + x_{13}^{rr} + x_{23}^{rr} + x_{83}^{rr} + x_{93}^{rr} = x_{32}^{rr} + x_{34}^{rr} + x_{35}^{rr} + x_{36}^{rr} + \sum_s x_{33}^{rs} + g_3^r \quad (3-3-15)$$

B-4 農業連続条件式

$$u_7^r + v_7^r + \sum_s x_{77}^{sr} + x_{17}^{rr} + x_{27}^{rr} + x_{87}^{rr} = x_{71}^{rr} + x_{72}^{rr} + f_7^r + \sum_s x_{77}^{rs} \quad (3-3-16)$$

B-5 下水道連続条件式

$$\sum_s x_{88}^{sr} + x_{48}^{rr} + x_{58}^{rr} + x_{68}^{rr} + x_{98}^{rr} = x_{81}^{rr} + x_{83}^{rr} + x_{84}^{rr} + x_{85}^{rr} + x_{86}^{rr} + x_{87}^{rr} + \sum_s x_{88}^{rs} \quad (3-3-17)$$

B-6 第 r ゾーン河川水質の制約

$$\sum_s P_1^s e_{11}^{sr} x_{11}^{sr} + P_2^r e_{21} x_{21}^{rr} + P_7^r e_{71} x_{71}^{rr} + P_8^r e_{81} x_{81}^{rr} + P_9^r e_{91} x_{91}^{rr} \leq P_r (x_{13}^{rr} + x_{16}^{rr} + x_{17}^{rr} + \sum_s x_{11}^{rs}) \quad (3-3-18)$$

この制約式は第 r ゾーンの河川に流入する汚濁負荷量が、水質環境基準値によって計算される汚濁負荷量よりも小さくなければならないという制約式である。水質は水量の逆数になり非線形性を避けるため、 r ゾーンに流入する他ゾーン河川水質、 r ゾーン内部の地下水々質、農水々質、下水々質、流域水々質を仮定値として算入した。

B-7 第 r ゾーンが負担しうる事業費及び維持管理費の年間償還額には制限がある。

$$\begin{aligned} & C_{13} \cdot x_{13}^{rr} + C_{16} \cdot x_{16}^{rr} + C_{17} \cdot x_{17}^{rr} + C_{23} \cdot x_{23}^{rr} + C_{24} \cdot x_{24}^{rr} \\ & + C_{25} \cdot x_{25}^{rr} + C_{26} \cdot x_{26}^{rr} + C_{27} \cdot x_{27}^{rr} + C_{34} \cdot x_{34}^{rr} + C_{35} \cdot x_{35}^{rr} \\ & + C_{36} \cdot x_{36}^{rr} + C_{44} \cdot x_{44}^{rr} + C_{48} \cdot x_{48}^{rr} + C_{55} \cdot x_{55}^{rr} + C_{58} \cdot x_{58}^{rr} \\ & + C_{66} \cdot x_{66}^{rr} + C_{68} \cdot x_{68}^{rr} + C_{71} \cdot x_{71}^{rr} + C_{81} \cdot x_{81}^{rr} + C_{83} \cdot x_{83}^{rr} \\ & + C_{84} \cdot x_{84}^{rr} + C_{85} \cdot x_{85}^{rr} + C_{86} \cdot x_{86}^{rr} + C_{87} \cdot x_{87}^{rr} + C_{93} \cdot x_{93}^{rr} \\ & + C_{98} \cdot x_{98}^{rr} + D_{33} \cdot \ell w_r \cdot v_3^r + \sum_s D_{33} \cdot \ell_{33}^{sr} \cdot x_{33}^{sr} + D_{77} \cdot \ell a_r \cdot v_7^r \\ & + \sum_s D_{77} \cdot \ell_{77}^{sr} \cdot x_{77}^{sr} + \sum_s D_{88} \cdot \ell_{88}^{rs} \cdot x_{88}^{rs} \leq CTr \quad (3-3-19) \end{aligned}$$

ただし、上水、農水に対しては第 r ゾーンが他ゾーンから分水を受ける場合にそれは第 r ゾーンの見込みとし、逆に下水については第 r ゾーンが他ゾーンに送水する場合に第 r ゾーンの見込みと考える。

B-8 河川維持量の制約

$$\sum_s x_{11}^{rs} \geq Q_1^r \quad (3-3-20)$$

この制約は各水利用者が無制限に河川から取水することとを避け、河川にも維持流量として最低限の流量を確保させようとするものである。

3-3-3 目的関数

本ケース・スタディーで用いた目的関数は次の2項目である。

- (1) 対象流域全体において取水、給水、浄化、排水……等の水利用に関する総費用を最小化する。

$$\begin{aligned} & \sum_r (C_{13} \cdot x_{13}^{rr} + C_{16} \cdot x_{16}^{rr} + C_{17} \cdot x_{17}^{rr} + C_{23} \cdot x_{23}^{rr} + C_{24} \cdot x_{24}^{rr} + C_{25} \cdot x_{25}^{rr} \\ & + C_{26} \cdot x_{26}^{rr} + C_{27} \cdot x_{27}^{rr} + C_{34} \cdot x_{34}^{rr} + C_{35} \cdot x_{35}^{rr} + C_{36} \cdot x_{36}^{rr} + C_{44} \cdot x_{44}^{rr} \\ & + C_{48} \cdot x_{48}^{rr} + C_{55} \cdot x_{55}^{rr} + C_{58} \cdot x_{58}^{rr} + C_{66} \cdot x_{66}^{rr} + C_{68} \cdot x_{68}^{rr} + C_{71} \cdot x_{71}^{rr} \\ & + C_{81} \cdot x_{81}^{rr} + C_{83} \cdot x_{83}^{rr} + C_{84} \cdot x_{84}^{rr} + C_{85} \cdot x_{85}^{rr} + C_{86} \cdot x_{86}^{rr} + C_{87} \cdot x_{87}^{rr} \\ & + C_{98} \cdot x_{98}^{rr} + \sum_s D_{33} \cdot \ell_{33}^{sr} \cdot x_{33}^{sr} + \sum_s D_{77} \cdot \ell_{77}^{sr} \cdot x_{77}^{sr} + \sum_s D_{88} \cdot \ell_{88}^{rs} \cdot x_{88}^{rs}) \rightarrow \min \end{aligned} \quad (3-3-21)$$

- (2) 対象流域全体の工業出荷額を最大にする。

$$\sum_r \frac{1}{pR_r} (x_{16}^{rr} + x_{26}^{rr} + x_{36}^{rr} + x_{66}^{rr} + x_{86}^{rr}) \rightarrow \max \quad (3-3-22)$$

3-3-4 数学モデル

式(3-3-1)～式(3-3-20)の制約条件式は各ゾーン内部にのみ関わるものとゾーン間にまたがるものに分けることができ、このような大型の線形計画問題は主問題として各ゾーン相互間の調整により全体としての最適化を目指す一つの問題、副問題として各ゾーン内部の最適化を目指す問題に分けて考えることができ、このような問題の解法に対して分解原理(Decomposition Principle)が有効であり、以下にその内容を紹介する。^{3)*}

行列計算では、大きな行列をしばしばいくつかのブロックに分けて、その各々に演算を行なうことがある。この手段は、部分行列が特殊な構造をもつとき、たとえばそれが単位行列や0行列であるときに特に有効である。このことは、行列**A**が特殊な構造をもつ線形計画問題の場合にもあてはまる。ここで述べる分解原理はどのような行列**A**にも適用できるが、この手段の真価は、行列**A**が特別な構造をもつときにいっそう顕著に発揮される。

次の線形計画問題を考えよう。

$$\begin{aligned} \min \quad & Z = \mathbf{c}\mathbf{x} \\ \text{s.t.} \quad & \mathbf{A}\mathbf{x} = \mathbf{b}, \mathbf{x} \geq \mathbf{0} \end{aligned} \quad (3-3-23)$$

行列**A**はしばしば図3-3-2に示すような特別の構造をもつ(図で何も書いていない部分の係数は0である)。式(3-3-23)の**b**が $p+1$ 個のベクトル**b**₀, **b**₁, …, **b**_pに分解され、**c**も p 個の行ベクトル**c**₁, **c**₂, …, **c**_pに分解されていることに注意すれば式(3-3-23)を次のように書き改めることができる。

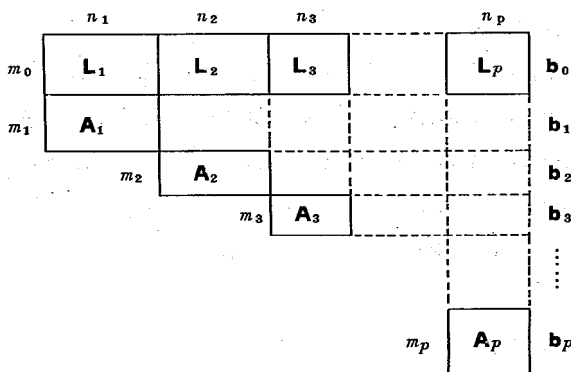


図3-3-2

$$\min Z = \sum_{j=1}^p c_j x_j$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^p L_j x_j = b_0$$

$$A_j x_j = b_j$$

$$x_j \geq 0 \quad (j=1, \dots, p) \quad (3-3-24)$$

制約条件 $A_j x_j = b_j$ 、 $x_j \geq 0$ は凸多面体 S_j を定義する。

多面体 S_j が有界で s_j 個の頂点をもち x_{ij} がそのような頂点を表わすものとする、
任意の実行可能解 x_j は

$$x_j = \sum_{i=1}^{s_j} \lambda_{ij} x_{ij}, \quad \sum_{i=1}^{s_j} \lambda_{ij} = 1, \quad \lambda_{ij} \geq 0 \quad (3-3-25)$$

と書ける。いますべての x_{ij} がわかっているものとしよう。そこで

$$l_{ij} = L_j x_{ij}, \quad c_{ij} = c_j x_j \quad (3-3-26)$$

とすると、式 (3-3-24) は、

$$\min Z = \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^{s_j} c_{ij} \lambda_{ij}$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^{s_j} \lambda_{ij} l_{ij} = b_0$$

$$\sum_{i=1}^{s_j} \lambda_{ij} = 1, \quad \lambda_{ij} \geq 0 \quad (i=1, \dots, s_j; j=1, \dots, p) \quad (3-3-27)$$

となる。もし式 (3-3-27) の未知数 λ_{ij} がわかれば、すべての x_{ij} を既知として、式 (3-3-25) から x_j が得られる。問題 (3-3-27) を示したのが図 3-3-3 である。

$c_{s11} \dots c_{s11} \quad c_{s12} \dots c_{s22} \quad c_{s13} \dots c_{s33} \quad c_{s1p} \dots c_{spp}$				
$l_{s11} \dots l_{s11}$	$l_{s12} \dots l_{s22}$	$l_{s13} \dots l_{s33}$	$l_{s1p} \dots l_{spp}$	$= b_0$
1 $\dots$ 1				$= 1$
	1 $\dots$ 1			$= 1$
		1 $\dots$ 1		$= 1$
				$\vdots$
			1 $\dots$ 1	$= 1$

図 3-3-3

式(3-3-24)から式(3-3-27)への変換によって、行の数が $m_0 + \sum_{j=1}^p m_j$ から $m_0 + p$ に減少する一方、変数の数は $\sum_{j=1}^p n_j$ から $\sum_{j=1}^p s_j$ へといちちるしく増加する。しかし、以下にみるとおり、すべての x_{ij} , c_{ij} , l_{ij} を計算する必要はない。

図3-3-3の行列は $m_0 + p$ 本の行をもつから、実行可能基底解を構成するには $m_0 + p$ 本のベクトルが必要である。出発実行可能基底解が手元にあって、改訂シンプレックス法を使うものと仮定し、現在の価格ベクトルを $(\pi, \bar{\pi})$ とする。ここで π は m_0 成分のベクトル、 $\bar{\pi}$ は p 成分のベクトルである。図3-3-3の典型的列ベクトルは $[l_{ij}, e_j]$ という形をしているが、シンプレックス法にしたがえば、非基底ベクトルはその相対費用が負のとき、すなわち、

$$\bar{c}_{ij} = c_{ij} - (\pi, \bar{\pi}) [l_{ij}, e_j] < 0$$

のときに基底に取り入れられる。ここで

$$\bar{\pi} = (\bar{\pi}_1, \bar{\pi}_2, \dots, \bar{\pi}_n)$$

とすれば

$$\bar{c}_{ij} = c_{ij} - \pi l_{ij} - \bar{\pi}_j$$

となる。基底に属さないベクトルは S_j のいずれか一つに属している。もし、各 S_j に属するベクトルの相対費用の最小値が非負であれば、すなわち、すべての j について $\min_i \bar{c}_{ij} \geq 0$ であれば、そのときの解は最適解である。そこで、各 S_j に属するベクトルで相対費用が最小のものを探すことにしよう。 S_j が与えられれば、 $\bar{\pi}_j$ はそれに属するどのベクトルに対しても同じであるから、

$$\min_i (c_{ij} - \pi l_{ij}) = \min_i \{(c_j - \pi L_j) x_{ij} \mid x_{ij} \in S_j\}$$

を解く(すなわち凸多面体 S_j の頂点で最小値を与えるものを選ぶ)。

これは実は、

$$\begin{aligned} \min (c_j - \pi L_j) x_j \\ \text{s.t. } A_j x_j = b_j, x_j \geq 0 \end{aligned} \quad (3-3-28)$$

という線形計画問題である。式(3-3-28)の目的関数は1次式であるから、その最小値は常にある頂点 x_{ij} で実現される。

式(3-3-28)の最適解 x_{ij} に関して

$$(c_j - \pi L_j) \bar{\pi}_{ij} - \bar{\pi}_j < 0$$

が成り立てば、ベクトル $[l_{ij}, e_j]$ が基底にはいることになり、ふつうのシンプ

レックス手順にしたがって基底変数と非基底変数とを入れ換える。ベクトル (I_{ij}, e_j) を基底に入れる場合、掃き出しを行なう前に現在の B^{-1} をベクトルに掛ける必要があることに注意しよう。その理由は、式 (3-3-27) から $(\pi, \bar{\pi})$ を得たときに (3-3-27) の行列には B^{-1} が掛けられており、もし (I_{ij}, e_j) が (3-3-27) の中に含まれていたとすれば、それにはとうぜん B^{-1} が左から掛けられていたはずだからである。出発タブローの列ベクトルに現在の B^{-1} を掛ける演算を更新演算 (Updating) という。

式 (3-3-27) を副問題というが、 p 個の副問題を解いたあとで

$$\min_i n(c_j - \pi L_j) x_{ij} - \bar{\pi}_j \geq 0, (j=1, \dots, p)$$

が成り立てば、そのときの解が最適解である。

3-3-5 入力データー及びパラメーター

入力データーは 3-2-4 の現況把握資料ならびに 3-2-2 の原データーから得た値を用い、できるだけ現実に合った結果を得ようと試みた。また、上水道給水率、下水道整備率などのパラメーターは今回、ある一定値にセットした。

これらは以下のように 12 種に分類でき、それらの値を表 3-3-6 に示す。

(1) 外生変数

降水量や対象流域外に対する入出量データーである。

(2) 家庭水量原単位及び工業出荷額水量原単位

現況把握から得たものである。

表 3-3-6(1) 外生変数

(千 m^3 /年)

データ ゾーン	v_3^r	v_7^r	u_7^r	u_9^r	g_3^r	a_{93}^{rr}
1	0	184.0	2,725.0	19,245.0	0	165.0
2	0	434.0	9,303.0	25,099.0	0	0
3	0	1,054.0	10,549.0	9,030.0	0	0
4	0	2,884.0	20,559.0	39,790.0	0	0
5	0	0	9,329.0	73,977.0	0	51.0
6	30,283.0	287.0	46,602.0	237,931.1	3,223.0	49.0
7	0	5,619.0	45,664.0	214,418.0	687.0	1,465.0
8	1,260.0	3,640.0	25,953.0	33,733.0	0	0
9	2,938.0	2,387.0	18,734.0	52,798.0	0	0
10	8,024.0	4,756.0	33,902.0	46,808.0	0	0
11	1,183.0	5,991.0	53,727.0	181,228.0	921.0	0

表 3-3-6(2) 水量原単位

データ ゾーン	dR_r ℓ /日・人	pR_r m^3 /年・百万円
1	164.0	178.0
2	164.0	159.0
3	153.0	127.0
4	247.0	59.0
5	164.0	57.0
6	263.0	34.0
7	203.0	42.0
8	164.0	163.0
9	164.0	131.0
10	247.0	151.0
11	252.0	92.0

(3) 各種制限値

家庭用水量、工業用水量及び農水の河川からの取水量は下限を設け、その値は現況値とし、さらに業務と家庭の水量比率も現況値を用いた。次に、上水道、工業及び農業の地下水取水量は地盤沈下を考慮して制限を設けることにし、現況値を用いた。

河川維持流量としては、低水量を考え、各ゾーンに含まれる各河川の固有流量の30%をその値とした。

表3-3-6 (3) 各種制限値

(千 m^3 /年)

データ ゾーン	A_1^*	A_2^*	A_3^*	ϵ_r (%)	B_4^*	B_5^*	B_7^*	Q_1^*
1	1,649.0	1,022.0	2,209.0	13.3	2,423.0	821.0	116.0	16.0×10^4
2	1,892.0	1,440.0	7,725.0	13.4	3,654.0	1,110.0	406.0	13.0×10^4
3	892.0	457.0	8,226.0	14.5	1,176.0	309.0	434.0	8.0×10^4
4	5,785.0	7,161.0	15,242.0	8.9	8,898.0	4,467.0	802.0	3.0×10^4
5	1,755.0	253.0	5,487.0	13.4	2,031.0	166.0	288.0	1.0×10^4
6	21,084.0	1,541.0	27,443.0	10.5	2,292.0	648.0	1,444.0	3.0×10^4
7	7,577.0	1,216.0	24,311.0	9.9	4,960.0	656.0	1,280.0	4.0×10^4
8	2,442.0	2,129.0	19,241.0	13.3	2,608.0	1,559.0	1,013.0	7.0×10^4
9	2,484.0	2,343.0	11,720.0	13.3	977.0	1,547.0	617.0	1.0×10^4
10	12,701.0	6,862.0	25,134.0	8.9	8,538.0	4,916.0	1,323.0	6.0×10^4
11	3,963.0	2,637.0	25,905.0	12.9	2,906.0	1,212.0	1,363.0	4.0×10^4

(4) 仮定水質と河川水質環境基準値

本モデルでは前記のように、河川水質の制約条件に対しては各ゾーンの河川に流入する要素の水質を仮定値として入力しなければならず、まず各ゾーンの河川水質についてはs47年度の測定資料⁶⁾をもとに、また、下水水質(処理前)は混合排水水質として200ppm⁷⁾とした。さらに流域要素の水質としては汚水によるものを200ppm⁷⁾、雨水を1ppm⁷⁾として現況把握資料による各要素か

ら流域に流入する水量を用いて仮定水質をゾーン別に割出した。

また、選境基準値は、s 50年、55年において10 ppmであるが、この基準値ではあまりにも厳しすぎるため、20 ppmとして入力した。

表 3-3-6 (4) 仮定水質と河川水質環境基準値

(ppm)

データ ゾーン	P_1^r	P_2^r	P_7^r	P_8^r	P_9^r	P_r
1	15.0	5.0	20.0	200.0	60.0	20.0
2	15.0	5.0	20.0	200.0	60.0	20.0
3	15.0	5.0	20.0	200.0	60.0	20.0
4	15.0	5.0	20.0	200.0	100.0	20.0
5	15.0	5.0	20.0	200.0	40.0	20.0
6	15.0	5.0	20.0	200.0	40.0	20.0
7	15.0	5.0	20.0	200.0	40.0	20.0
8	15.0	5.0	20.0	200.0	60.0	20.0
9	15.0	5.0	20.0	200.0	40.0	20.0
10	15.0	5.0	20.0	200.0	100.0	20.0
11	15.0	5.0	20.0	200.0	40.0	20.0

(5) 上水道給水率、下水道整備率

上水道給水率は現況把握で得た値をもとに、また、下水道整備率は家庭、業務、工業に対してそれぞれ50%、流域に対しては下水道整備地域でも大雨時には下水を通らず、直接河川に流出する量があることを考慮に入れ上記50%の値をさらに下げて25%とした。

表 3-3-6 (5) 上水道給水率、下水道整備率

(%)

データー ゾーン	k_4^I	k_5^I	s_4^I	s_5^I	s_6^I	s_7^I
1	97.0	97.0	50.0	50.0	50.0	25.0
2	97.0	97.0	50.0	50.0	50.0	25.0
3	87.0	87.0	50.0	50.0	50.0	25.0
4	97.0	97.0	50.0	50.0	50.0	25.0
5	87.0	87.0	50.0	50.0	50.0	25.0
6	97.0	97.0	50.0	50.0	50.0	25.0
7	92.0	92.0	50.0	50.0	50.0	25.0
8	97.0	97.0	50.0	50.0	50.0	25.0
9	97.0	97.0	50.0	50.0	50.0	25.0
10	97.0	97.0	50.0	50.0	50.0	25.0
11	75.0	75.0	50.0	50.0	50.0	25.0

(6) 再利用率、再利用対象用途の割合²⁾

住居地区からの発生汚水のうち、集合住宅よりの発生汚水の占める割合を31.2%、また家庭要素内において再利用水の使用用途は便所、散水、洗車のみとし、それらが家庭用水の中で占める割合は30.7%である。したがって、家庭要素独自の再生循環利用方式を考える場合、家庭用水総量のうち再生利用水として使い得る割合、即ち、再利用率は上記2者の積と考えられ、9.6%となる。

同様に、業務地区からの発生汚水のうち、オフィスビルからのものの占める割合を45.4%、再利用水の使用用途を便所、モップのみとし、その割合を64.0%とすれば再利用率は29.0%となる。

工業については、用水型工業からのものの占める割合を55.2%、回収水も考慮して再利用水の使用用途を冷却、温調、製品処理及び洗浄のみとし、その割合を82.7%とすれば再利用率は45.6%となる。

表 3-3-6 (6) 再利用率、再利用対象用途の割合

(%)

データ ゾーン	RP ₄ ⁺	RP ₅ ⁺	RP ₆ ⁺	RU ₄ ⁺	RU ₅ ⁺	RU ₆ ⁺
1	9.6	29.0	46.0	30.7	64.0	82.7
2	"	"	"	"	"	"
3	"	"	"	"	"	"
4	"	"	"	"	"	"
5	"	"	"	"	"	"
6	"	"	"	"	"	"
7	"	"	"	"	"	"
8	"	"	"	"	"	"
9	"	"	"	"	"	"
10	"	"	"	"	"	"
11	"	"	"	"	"	"

(7) 河川分流比、地下水分流比

3-2の現況把握を行なう際に用いた方針通り、河川水については各ゾーンに含まれる河川の固有流量と分流方向から、地下水については地下水系の仮定と分流比の仮定から決めた。

(8) 河川流出率、地下浸透率

上水の地下浸透率(漏水率)は現況把握資料から求め、また、地下水の自ゾーン河川への流出率、流域水の河川流出率、地下浸透率及び農水の地下浸透率は現況把握を行なう時の方針に従ってその値を用いた。*)

(9) 家庭、業務、工業、農業及び流域各水量の蒸発率

現況把握を行なう時の方針に従って決めた。*)

表 3-3-6 (7)-(i) 河川分流比 α_{11}^{rs}

(%)

r \ s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	g
1												100
2	100											
3		100										
4		23	77									
5		100										
6				100								
7			15					36		49		
8			45	55								
9	100											
10								100				
11										100		

(注) g は流域外を示す。

表 3-3-6 (7)-(ii) 地下水分流比 α_{22}^{rs}

(%)

r \ s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1											
2											
3											
4		20									
5	70										
6				50							
7				30				30			
8		30	30								
9	50										
10								30	30		
11									30	30	

表 3-3-6 (8) 河川流出率、地下浸透率

(%)

データ ゾーン	α_{21}^{rr}	α_{32}^{rr}	α_{72}^{rr}	α_{91}^{rr}	α_{92}^{rr}
1	100.0	22.8	33.2	70.0	30.0
2	100.0	24.8	33.2	70.0	30.0
3	100.0	13.5	33.2	70.0	30.0
4	80.0	1.9	33.2	70.0	30.0
5	30.0	18.6	31.3	70.0	30.0
6	50.0	18.6	31.5	70.0	30.0
7	40.0	23.8	33.2	70.0	30.0
8	40.0	20.3	33.2	70.0	30.0
9	50.0	35.3	32.4	70.0	30.0
10	40.0	10.7	33.2	70.0	30.0
11	40.0	15.4	31.3	70.0	30.0

表 3-3-6 (9) 蒸 発 率

(%)

データ ゾーン	α_{4c}^{rf}	α_{8c}^{rf}	α_{6c}^{rf}	α_{7c}^{rf}	α_{9c}^{rf}
1	12.0	12.0	15.0	33.2	50.0
2	12.0	12.0	15.0	33.2	50.0
3	12.0	12.0	15.0	33.2	50.0
4	12.0	12.0	15.0	33.2	50.0
5	12.0	12.0	15.0	31.3	50.0
6	12.0	12.0	15.0	31.5	50.0
7	12.0	12.0	15.0	33.2	50.0
8	12.0	12.0	15.0	33.2	50.0
9	12.0	12.0	15.0	32.4	50.0
10	12.0	12.0	15.0	33.2	50.0
11	12.0	12.0	15.0	31.3	50.0

DOI: 10.1002/for

河川への流出過程における汚濁負荷流達率が必要な要素はゾーン内部からとしてはず、地下水があるがこれは0とし、農業は0.2⁵⁾、流域からの流達率は流域面積と人口密度に関係し⁷⁾、ゾーンによってばらつきはあるが0.3とした。また、下水道からのものとしては下水処理後の放流水質を混合排水(200ppmと考えた)で除した値を用いることができる。ここでは、とりあえず処理後の放流水質を200ppmとした。

次に、他ゾーンからの河川が流入し、これに対しては自浄作用を考え、自浄係数を $K = 4.797 \times 10^{-6} \text{ sec}^{-1}$ 、流下速度を $v = 0.5 \text{ m/sec}$ 、流下距離 $l(\text{m})$ は河川に沿うゾーン間重心距離をとって次式を用いた。²⁾

$$k = \exp \left(-K \cdot \frac{L}{v} \right) \quad (3-3-29)$$

表 3-3-6 (10) 流 達 率

						(%)	
e ₂₁	0	e ₇₁	20	e ₈₁	10	e ₉₁	30

e ₁₁ ^{rs}												(%)
r \ s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	g
1												97
2	96											
3		97										
4		94	94									
5		92										
6				93								
7			95					92		97		
8		96	96									
9	94											
10								94				
11										92		

(註) q は流域外を示す。

(ii) 費用係数及び各ゾーンの負担可能な費用上限値

(i) 費用係数とは、まずゾーン内部のものとして各変数例えば上水道が河川から取水するときの単位水量当り費用あるいは下水が河川に放流するときの単位排水量当りの処理費用のことである。これらは維持管理費及び事業費（建設費）の均等年賦額の合計を考えている。^{1), 4)}

また、ゾーン間移動要素のうち、上水道、農業、下水道については送水に伴う単位水量当り、単位距離当りの費用を必要とする。*)

(iii) 各ゾーンの水利利用者は水利利用に伴なって取水、導水、浄水、送水、配水、排水処理等の費用を負担しなければならないが、年間で負担し得る上限値を設けた。

表 3-3-6 (ii)-(i) 費用係数

(円/㎡, 円/㎡/Km)

C ₁₃	2 0.0	C ₃₆	2 0.0	C ₈₄	6 0.0
C ₁₆	1 0.0	C ₄₄	1 5 0.0	C ₈₅	6 0.0
C ₁₇	5.0	C ₄₈	1 0.0	C ₈₆	6 0.0
C ₂₃	1 0.0	C ₅₅	1 0 0.0	C ₈₇	2 0.0
C ₂₄	1 0.0	C ₅₈	1 0.0	C ₉₃	2 0.0
C ₂₅	1 0.0	C ₆₆	5 0.0	C ₉₈	5.0
C ₂₆	1 0.0	C ₆₈	1 0.0	D ₃₃	0.4
C ₂₇	1 0.0	C ₇₁	1.0	D ₇₇	0.2
C ₃₄	2 0.0	C ₈₁	1 0.0	D ₈₈	0.1
C ₃₅	2 0.0	C ₈₃	5 0.0	—	—

表 3-3-6 (1)-(ii) 負担可能な費用上限値

(億円)

データー ゾーン	CT _r
1	1 0.0
2	1 0.0
3	1 0.0
4	1 0.0
5	1 0.0
6	2 0.0
7	1 0.0
8	1 0.0
9	1 0.0
10	1 0.0
11	1 0.0

(2) 費用算定距離

(i) 上記(1)-(i)で記したようにゾーン間移動要素のうち、上水道、農業、下水道についてゾーン間の送水(分水)費用を算出するときに送水(分水)距離が問題となり、それらを費用算定距離と名付けた。(ii) また、上水道、農業については流域対象外から分水を受けているがその際にも費用算定距離を必要とする。これについては木津川水系からのときは 1 5.0 Km、吉野川水系からのときは 2 0.0 Kmとする。

表 3-3-6 (2-(i)) 費用算定距離

a 上水道 ℓ_{33}^{rs}

(Km)

r \ s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1		4.0			8.5				5.5		
2	4.0		4.0	6.5	8.5			5.5	6.5		
3		4.0		5.5			8.5	3.0			
4		6.5	5.5		6.5	7.0	11.5				
5	8.5	8.5		6.5		8.5					
6				7.0	8.5		17.0				
7			8.5	11.5		17.0		7.0		7.0	14.5
8		5.5	3.0				7.0		7.0	5.5	
9	5.5	6.5						7.0		7.0	5.5
10							7.0	5.5	7.0		7.0
11							14.5		5.5	7.0	

b 農業 ℓ_{77}^{rs}

(Km)

r \ s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1											
2	3.5										
3		4.0									
4		5.5	5.5								
5	7.0	8.0									
6				8.0							
7			8.0	10.0				8.5		10.0	
8		5.5	5.0								
9	7.0										
10								6.5	8.5		
11									10.0	7.0	

c 下水道 ℓ_{88}^{rs}

(Km)

r \ s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1											
2	4.0										
3		4.0									
4		6.5	5.5								
5	8.5	8.5									
6				7.0							
7			8.5	11.5				7.0		7.0	
8		5.5	3.0								
9	5.5										
10								5.5	7.0		
11									5.5	7.0	

表 3-3-6 (2)-(ii) 費用算定距離

(Km)

データー ゾーン	ℓw_r	ℓa_r
1	0	2 0.0
2	0	2 0.0
3	0	2 0.0
4	0	2 0.0
5	0	0
6	1 5.0	2 0.0
7	0	2 0.0
8	2 0.0	2 0.0
9	2 0.0	2 0.0
10	2 0.0	2 0.0
11	2 0.0	2 0.0

3-3-6 計算結果と考察

目的関数として流域全体の水利利用に関する総費用を最小化する(ケースⅠ)、流域全体の工業出荷額を最大にする(ケースⅡ)という2ケースの計算を行なった。その結果をゾーン間の変数とゾーン内部の変数に分け、それぞれ図3-3-4～図3-3-8及び表3-3-7に示した。この図表から各ゾーンの各要素に流入する水量をとらえることができる。この結果から得られた主な結論は次の通りである。

- (1) 最適化の数学的手法として分解原理を用いたが、実行可能な領域の中で流域全体の最適化をゾーン間と各ゾーン内部の調整過程としてとらえることができ、解の改良を行なうステップ回数にしたがって、目的関数がいかに変化していくのかを図3-3-9に示した。この図で目的関数の変化が急激なところは、ゾーン間の変数に対して解の改良を行なう時であり、このような水利利用計画ではゾーン間の調整が全体に大きな影響をもたらすことを意味している。この他、ケースⅡの場合には、出荷額の水量原単位の小さなゾーンに着目して解の改良を行なう時(ステップ回数50～55)にも目的関数の変化が著しいが、これは次に述べる(3)によるものと云える。
- (2) コスト最小の目的関数のもとでは必要最小限の制約を満たす際に最も経費のかからないルートが選ばれる。また、この結果が現況把握で得たものに類似しているということは、従来の水利利用方式がコスト最小の方向性をもっていることを示唆している。
- (3) 工業出荷額を流域全体で最大にするという目的関数のもとでは出荷額の水量原単位の小さなゾーンにまず水を使用する権利が与えられ、負担可能な費用上限値に達するまで水を使うと、次に原単位の小さなゾーンに水使用権利が与えられるとみることができる。また、上水のゾーン間分水が活発になるが、これは各ゾーンでの制約を満たすための必要経費を最小にし、金銭的余裕を出来るだけ生産に回そうとするものであり、同じく農水、下水のゾーン間移動が活発になるのも金銭的負担を可能な限り、水量原単位の大きなゾーンに負わせ、余力を生産に回して流域全体としてより大きな利益を生み出そうとするためである。
- (4) したがって、本モデルでは各ルートの費用係数やゾーン間の費用算定距離など費用に関する諸係数が結果に及ぼす影響が大きい。
- (5) さらに、(3)の場合にむやみなゾーン間移動(分水)が行なわれる傾向にあるが、

これは制約条件によって調整が可能である。一般にこのような最適化問題においては現実的な解が得られるかどうかは制約式の設定いかんによる。

- (6) 最後に、今回の計算ケースⅠ・Ⅱいずれの場合も再生水が使われなかったが、これは設定したパラメーター値によるものであり、パラメーターの設定によっては再生水を使用するという結果が当然予想される。

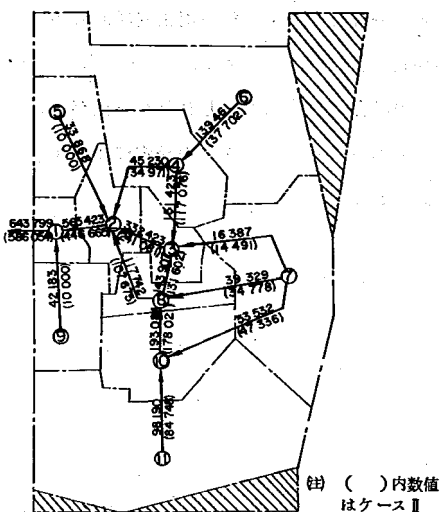


図 3-3-4 河川水配分水量・ケースⅠ
(ケースⅡ) (千 m^3 /年)

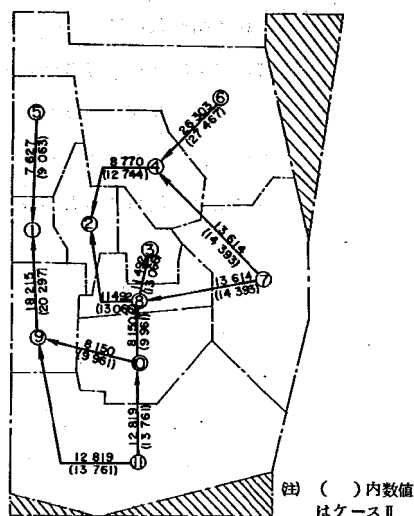


図 3-3-5 地下水配分水量・ケースⅠ
(ケースⅡ) (千 m^3 /年)

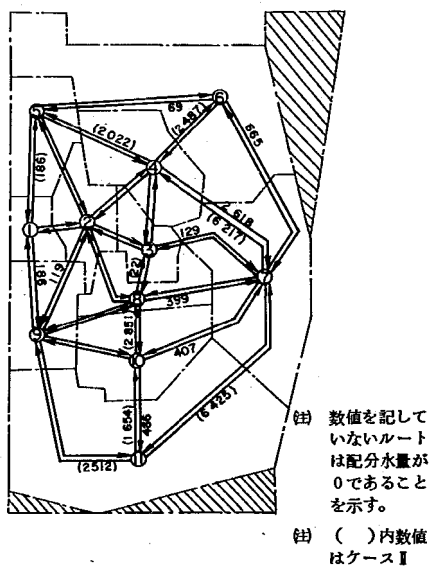


図 3-3-6 上水ゾーン間配分水量・ケースⅠ
(ケースⅡ) (千 m^3 /年)

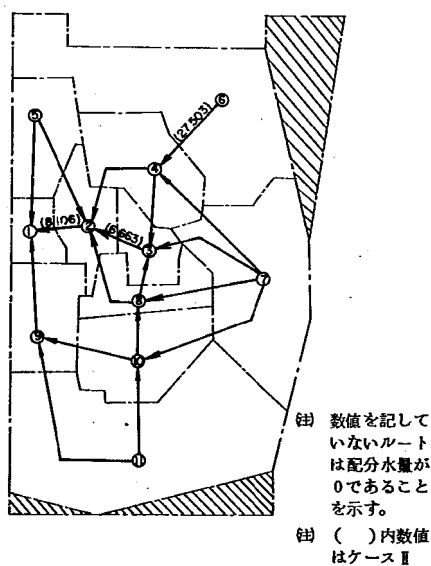
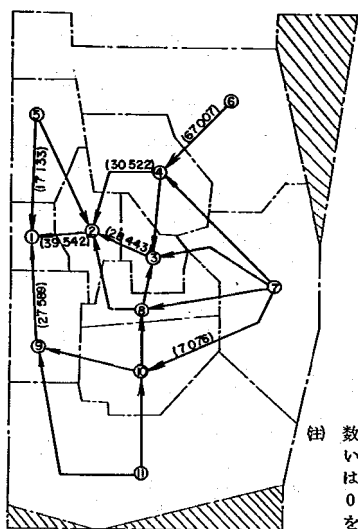


図 3-3-7 農水ゾーン間配分水量・ケースⅠ
(ケースⅡ) (千 m^3 /年)



(注) 数値を記していないルートは配分水量が0であることを示す。

(注) ()内数値はケースⅡ

図3-3-8 下水ゾーン間配分水量・ケースⅠ
(ケースⅡ) (千 m^3 /年)

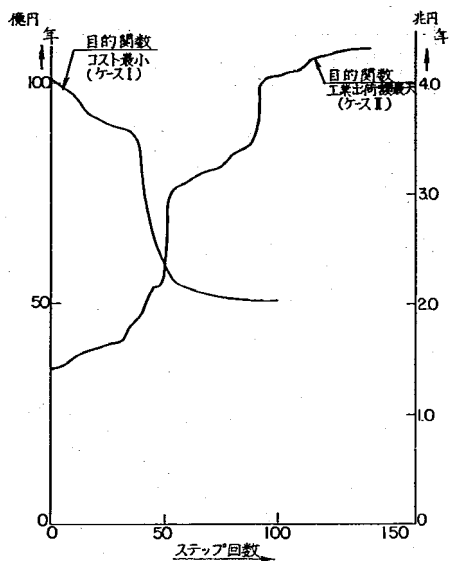


図3-3-9 目的関数の変化

表 3-3-7 ゾーン内部配分水量・ケースⅠ（ケースⅡ）（第1ゾーン）

(千m³/年)

流出 流入	1河川	2地下水	3上水道	4家庭	5業務	6工業	7農業	8下水道	9流域	他ゾーン 同要素へ	対象流 域外へ	系外 (蒸発)
1 河川			0 (0)			201 (201)	2209 (2209)			※※	※※	
2 地下水	26977 (33186)		2423 (2423)	49 (49)	7 (7)	821 (821)	0 (0)			※※		
3 上水道		590 (590)		1600 (1600)	213 (213)	0 (0)				※※	※ 0	
4 家庭				0 (0)				726 (726)	726 (726)			198 (198)
5 業務					0 (0)			97 (97)	97 (97)			26 (26)
6 工業						0 (0)		434 (434)	434 (434)			153 (153)
7 農業	1720 (4443)	1699 (4390)								※※		1699 (4390)
8 下水道	3641 (87906)		0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)			※※		
9 流域	6265 (6265)	2147 (2147)	※ 165					2385 (2385)				9540 (9540)
他ゾーン 同要素から	※※	※※	※※				※※	※※				
対象流域 外から			※ 0				※ 184					
降水流入量							※ 2725		※ 19245			

(注) ※印の値は外生変数であり、入力データ参照

※※印欄にはゾーン間移動変数が入り(0～複数個)、その値は図3-3-4～図3-3-8

示した。表中()内の値はケースⅡのものである。

表 3-3-7 ゾーン内部配分水量・ケースⅠ（ケースⅡ）（第2ゾーン）

(千m³/年)

流出 流入	1河川	2地下水	3上水道	4家庭	5業務	6工業	7農業	8下水道	9流域	他ゾーン 同要素へ	対象流 域外へ	系外 (蒸発)
1 河川			0 (0)			330 (31030)	7725 (7725)			※※	※※	
2 地下水	25509 (33057)		2925 (3206)	57 (57)	8 (8)	1110 (1110)	0 (0)			※※		
3 上水道		725 (796)		1835 (1835)	246 (246)	0 (330)				※※	※ 0	
4 家庭				0 (0)				832 (832)	832 (832)			227 (227)
5 業務					0 (0)			112 (112)	112 (112)			30 (30)
6 工業						0 (0)		612 (13800)	612 (13800)			216 (4870)
7 農業	5867 (0)	5794 (8009)								※※		5797 (8009)
8 下水道	4693 (37304)		0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)			※※		
9 流域	8145 (21332)	2824 (2824)	※ 0					3137 (3137)				12550 (12550)
他ゾーン 同要素から	※※	※※	※※				※※	※※				
対象流域 外から			※ 0				※ 434					
降水流入量							※ 9303		※ 25099			

表 3-3-7 ゾーン内部配分水量・ケースⅠ（ケースⅡ）（第3ゾーン）

（千m³/年）

流出 流入	1 河 川	2 地下水	3 上水道	4 家 庭	5 業 務	6 工 業	7 農 業	8 下水道	9 流 域	他ゾーン 同要素へ	対 象 流 域 外 へ	系 外 （蒸発）
1 河 川			0 (0)			148 (62755)	8226 (8226)			※※	※※	
2 地下水	17632 (19209)		1176 (1176)	116 (116)	17 (17)	309 (309)	0 (0)			※※		
3 上水道		159 (162)		776 (776)	113 (113)	0 (148)				※※	※ 0	
4 家 庭				0 (0)				392 (392)	392 (392)			107 (107)
5 業 務					0 (0)			57 (57)	57 (57)			16 (16)
6 工 業						0 (0)		194 (26865)	194 (26865)			69 (9482)
7 農 業	6663 (0)	6583 (6583)								※※		6583 (6583)
8 下水道	1772 (0)		0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)			※※		
9 流 域	3014 (29685)	1016 (1016)	※ 0					1129 (1129)				4515 (4515)
他ゾーン 同要素から	※※	※※	※※					※※	※※			
対 象 流 域 外 へ			0				※ 1054					
降水流入量							※ 10549		※ 9030			

表 3-3-7 ゾーン内部配分水量・ケースⅠ（ケースⅡ）（第4ゾーン）

（千m³/年）

流出 流入	1 河 川	2 地下水	3 上水道	4 家 庭	5 業 務	6 工 業	7 農 業	8 下水道	9 流 域	他ゾーン 同要素へ	対 象 流 域 外 へ	系 外 （蒸発）
1 河 川			0 (0)			2694 (7161)	15242 (15242)			※※	※※	
2 地下水	35081 (50975)		8898 (4609)	174 (174)	15 (15)	4467 (0)	0 (0)			※※		
3 上水道		169 (206)		5611 (5611)	499 (499)	0 (0)				※※	※ 0	
4 家 庭				0 (0)				2545 (2545)	2545 (2545)			694 (694)
5 業 務					0 (0)			227 (227)	227 (227)			62 (62)
6 工 業						0 (0)		3043 (3043)	3043 (3043)			1074 (1074)
7 農 業	12998 (22239)	12843 (21974)								※※		12843 (21974)
8 下水道	10789 (47275)		0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)			※※		
9 流 域	16260 (16260)	4476 (4476)	※ 0					4974 (4974)				19895 (19895)
他ゾーン 同要素から	※※	※※	※※					※※	※※			
対 象 流 域 外 へ			※ 0				※ 2884					
降水流入量							※ 20559		※ 39790			

表3-3-7 ゾーン内部配分水量・ケースⅠ（ケースⅡ）（第5ゾーン）

(千m³/年)

流出 流入	1 河 川	2 地下水	3 上水道	4 家 庭	5 業 務	6 工 業	7 農 業	8 下水道	9 流 域	他ゾーン 同要素へ	対 象 流 域 外 へ	系 外 (蒸発)
1 河 川			0 (0)			87 (49587)	5487 (5487)			※※	※※	
2 地下水	3269 (3884)		2031 (0)	231 (231)	31 (31)	166 (166)	0 (0)			※※		
3 上水道		400 (420)		1544 (1544)	207 (207)	0 (87)				※※	※ 0	
4 家 庭				0 (0)				781 (781)	781 (781)			213 (213)
5 業 務					0 (0)			105 (105)	105 (105)			29 (29)
6 工 業						0 (0)		108 (21182)	108 (21182)			38 (7476)
7 農 業	5541 (5541)	4637 (4637)								※※		4637 (4637)
8 下水道	10234 (14176)		0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)			※※		
9 流 域	20399 (41473)	8317 (8317)	※ 51					9241 (9241)				36963 (36963)
他ゾーン 同要素から	※※	※※	※※				※※	※※				
対 象 流 域 外 か ら			※ 0				※ 0					
降水流入量							※ 9329	※ 73977				

表3-3-7 ゾーン内部配分水量・ケースⅠ（ケースⅡ）（第6ゾーン）

(千m³/年)

流出 流入	1 河 川	2 地下水	3 上水道	4 家 庭	5 業 務	6 工 業	7 農 業	8 下水道	9 流 域	他ゾーン 同要素へ	対 象 流 域 外 へ	系 外 (蒸発)
1 河 川			0 (0)			893 (62038)	27443 (27443)			※※	※※	
2 地下水	26303 (27467)		2292 (0)	633 (633)	66 (66)	648 (648)	0 (0)			※※		
3 上水道		6068 (6104)		20451 (20451)	2147 (2147)	0 (893)				※※	※ 3223	
4 家 庭				0 (0)				9277 (9277)	9277 (9277)			2530 (2530)
5 業 務					0 (0)			974 (974)	974 (974)			266 (266)
6 工 業						0 (0)		655 (27021)	655 (27021)			231 (9537)
7 農 業	27503 (0)	23415 (23415)								※※		23415 (23415)
8 下水道	40641 (0)		0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)			※※		
9 流 域	73350 (99716)	26762 (26762)	※ 49					29735 (29735)				118941 (118941)
他ゾーン 同要素から	※※	※※	※※				※※	※※				
対 象 流 域 外 か ら			※ 30283				※ 287					
降水流入量							※ 46602	※ 237981				

表 3-3-7 ゾーン内部配分水量・ケースⅠ（ケースⅡ）（第7ゾーン）

（千 m^3 /年）

流出 流入	1河川	2地下水	3上水道	4家庭	5業務	6工業	7農業	8下水道	9流域	他ゾーン 同要素へ	対象流域 外へ	系外 （蒸発）
1 河川			313 (6263)			560 (1216)	24311 (24311)			※※	※※	
2 地下水	18152 (19191)		4960 (4960)	606 (606)	60 (60)	656 (0)	0 (0)			※※		
3 上水道		2607 (4549)		6971 (6971)	690 (690)	0 (0)				※※	※	687
4 家庭				0 (0)				3334 (3334)	3334 (3334)			909 (909)
5 業務					0 (0)			330 (330)	330 (330)			90 (90)
6 工業						0 (0)		517 (517)	517 (517)			182 (182)
7 農業	25400 (25400)	25097 (25097)								※※		25097 (25097)
8 下水道	30800 (23724)		0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)			※※		
9 流域	60081 (60081)	23957 (23957)	※ 1465					26619 (26619)				106477 (106477)
他ゾーン 同要素から	※※	※※	※※				※※	※※				
対象流域 外から			※ 0				※ 5619					
降水流入量							※ 45664		※ 214418			

表 3-3-7 ゾーン内部配分水量・ケースⅠ（ケースⅡ）（第8ゾーン）

（千 m^3 /年）

流出 流入	1河川	2地下水	3上水道	4家庭	5業務	6工業	7農業	8下水道	9流域	他ゾーン 同要素へ	対象流域 外へ	系外 （蒸発）
1 河川			0 (0)			570 (36178)	19241 (19241)			※※	※※	
2 地下水	15322 (17422)		2608 (0)	73 (73)	10 (10)	1559 (1559)	0 (0)			※※		
3 上水道		785 (834)		2369 (2369)	315 (315)	0 (570)				※※	※ 0	
4 家庭				0 (0)				1074 (1074)	1074 (1074)			293 (293)
5 業務					0 (0)			143 (143)	143 (143)			39 (39)
6 工業						0 (0)		905 (16280)	905 (16280)			319 (5746)
7 農業	16408 (16408)	16213 (16213)								※※		16213 (16213)
8 下水道	6339 (21714)		0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)			※※		
9 流域	10977 (26353)	3795 (3795)	※ 0					4217 (4217)				16866 (16866)
他ゾーン 同要素から	※※	※※	※※				※※	※※				
対象流域 外から			※ 1260				※ 3640					
降水流入量							※ 25953		※ 33733			

表 3-3-7 ゾーン内部配分水量・ケースⅠ（ケースⅡ）（第9ゾーン）

(千m³/年)

流出 流入	1 河 川	2 地下水	3 上水道	4 家 庭	5 業 務	6 工 業	7 農 業	8 下水道	9 流 域	他ゾーン 同要素へ	対象流域 域 外 へ	系 外 (蒸発)
1 河 川			0 (0)			796 (49810)	11720 (11720)			※※	※※	
2 地下水	18215 (20297)		977 (0)	75 (75)	10 (10)	1547 (1547)	0 (0)			※※		
3 上水道		1489 (1924)		2409 (2409)	320 (320)	0 (796)				※※	※ 0	
4 家 庭				0 (0)				1093 (1093)	1093 (1093)			298 (298)
5 業 務					0 (0)			145 (145)	145 (145)			40 (40)
6 工 業						0 (0)		996 (22165)	996 (22165)			351 (7823)
7 農 業	11560 (11560)	10640 (10640)								※※		10640 (10640)
8 下水道	8833 (2413)		0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)			※※		
9 流 域	16091 (37260)	5939 (5939)	※ 0					6599 (6599)				26395 (26395)
他ゾーン 同要素から	※※	※※	※※				※※	※※				
対象流域 域 外 へ			※ 2938				※ 2387					
降水流入量							※ 18734		※ 52789			

表 3-3-7 ゾーン内部配分水量・ケースⅠ（ケースⅡ）（第10ゾーン）

(千m³/年)

流出 流入	1 河 川	2 地下水	3 上水道	4 家 庭	5 業 務	6 工 業	7 農 業	8 下水道	9 流 域	他ゾーン 同要素へ	対象流域 域 外 へ	系 外 (蒸発)
1 河 川			0 (0)			1946 (6862)	25134 (25134)			※※	※※	
2 地下水	10867 (13281)		8538 (8538)	381 (381)	34 (34)	4916 (0)	0 (0)			※※		
3 上水道		1772 (1949)		12320 (12320)	1096 (1096)	0 (0)				※※	※ 0	
4 家 庭				0 (0)				5588 (5588)	5588 (5588)			1524 (1524)
5 業 務					0 (0)			497 (497)	497 (497)			136 (136)
6 工 業						0 (0)		2916 (2916)	2916 (2916)			1029 (1029)
7 農 業	21434 (21434)	21179 (21179)								※※		21179 (21179)
8 下水道	14853 (21929)		0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)			※※		
9 流 域	21289 (21289)	5266 (5266)	※ 0					5851 (5851)				23404 (23404)
他ゾーン 同要素から	※※	※※	※※				※※	※※				
対象流域 域 外 へ			※ 8024				※ 4756					
降水流入量							※ 33902		※ 46808			

表3-3-7 ゾーン内部配分水量・ケースⅠ（ケースⅡ）（第11ゾーン）

（千m³/年）

流出 流入	1 河 川	2 地下水	3 上水道	4 家 庭	5 業 務	6 工 業	7 農 業	8 下水道	9 流 域	他ゾーン 同要素へ	対 象 流 域 外 へ	系 外 （蒸発）
1 河 川			0 (13485)			1425 (2637)	25905 (25905)			※※	※※	
2 地下水	17092 (18348)		2906 (2906)	991 (991)	128 (128)	1212 (0)	0 (0)			※※		
3 上水道		779 (2706)		2972 (2972)	383 (383)	0 (0)				※※	※ 921	
4 家 庭				0 (0)				1744 (1744)	1744 (1744)			476 (476)
5 業 務					0 (0)			225 (225)	225 (225)			61 (61)
6 工 業						0 (0)		1121 (1121)	1121 (1121)			396 (396)
7 農 業	32023 (32023)	26800 (26800)								※※		26800 (26800)
8 下水道	25743 (25743)		0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)			※※		
9 流 域	50662 (50662)	20388 (20388)	※ 0					22654 (22654)				90614 (90614)
他ゾーン 同要素から	※※	※※	※※				※※	※※				
対 象 流 域 外 へ			※ 1183				※ 5991					
降水流入量							※ 53727		※ 181228			

第 4 章 結 言

本報告書で得た成果や課題は以下の通りである。

- (1) 水量収支の把握の方法として地域間水資源連関表を提示した。このような水量収支のとりえ方は現状ではデーターの入手の困難さから仮定を必要とするが、可能であり各地区の総流入量、総流出量、水利用量、水利用率、河川取水率などをとらえることができる。
- (2) 上記のような水量収支のとりえ方に沿った最適化アルゴリズムを作成することができ、その手法として分解原理を用い、ゾーン間と各ゾーン内部の調整を行なう中で最適化を達成することができる。
- (3) しかしながら、本報告では水量を表現するのに年間トータル量、云いかえれば年間を通じての平均水量を用いたが、このような水利用計画では水利用状況の季節的変動を考慮した任意の期間を対象にした手法の開発が望まれる。
- (4) また、本報告では変数として水量のみを用いたため水質を表わす上で非線形となり、それを避けるため水質を仮定値として算入するという方法によったが、上記のようなアルゴリズムの中に汚濁負荷量という変数を入れることが可能であり、線形手法で水質を表現することもできる。
- (5) 最後に、このようなアルゴリズムを有効に用いるためにはデーターの整備が要求され、多くの観測と研究の積重ねが必要であろう。

① 水量収支
② 地域間水資源連関表
③ 水質

参考文献及び参考資料

1. 土木研究所資料第1029号 「水配分モデル作成のための要因分析に関する調査」
昭和50年3月 建設省土木研究所企画部システム課
2. 「都市排水の質的制御システムに関する調査報告書」 昭和50年3月
建設省近畿地方建設局企画部
3. 古瀬 大六 「数理計画法Ⅰ」 情報科学講座A・3・2 昭和49年6月
共立出版株式会社
4. 黒沢 俊一 「水資源計画」 計画学講座9 昭和49年6月 朝倉書店
5. 杉木 昭典 「水質汚濁一現象と防止対策」 昭和49年4月 技報堂
6. 建設省河川局監修 社団法人日本河川協会編 「日本河川水質年鑑」 1973年 山海堂
7. 建設省編 「流域別下水道整備総合調査一指針と解説」 昭和49年
社団法人 日本下水道協会
8. 高橋 稔, 池田喜代治 「奈良県大和盆地の地下水」 地質調査月報(第16巻第7号)
9. 窪田 博 「カンガイ用水が地下水に及ぼす影響について(その1) - 大和平野における地下水の実態」 AESJ Oct 1965
10. たとえば、厚生省 「水道統計」 昭和45~47年