

農業用水合理化対策事業の 評価に関する研究（Ⅱ）

長 束 勇

目 次

- I 序論——農業用水合理化対策事業
- II 余剰水形成方法論
 - 1. 余剰水の形成メカニズム
 - 2. 余剰水形成への動機付け(以上, No. 138 既載)
- III 地域的便益最大化モデル
 - 1. 一般モデル
 - 2. 小貝川下流地域へのモデル適用(以下, 次号以降掲載予定)
- IV 水資源再配分における費用負担
 - 1. 費用振分けの方法
 - 2. 小貝川下流地域合理化事業における費用振分け
- V 結論および今後の課題
 - 1. 解析結果のまとめ
 - 2. 現行事業に対する評価
 - 3. 今後の課題

Ⅲ 地域的便益最大化モデル

1. 一般モデル

(1) モデルの範囲

本モデルは、用水、すなわち、農業用水、生活用水、営業・業務用水、工業用水を主に河川から取水している、あるひとまとまりの市街地、その中に散在したりその周辺に存在する市街化区域内農地、およびその上・下流に存在する市街化調整区域内農地から構成された、水収支上ほぼ完結した市町村レベル程度の範囲を対象とする。

(2) モデルの目的

上記範囲内の各用水の将来計画年における水需要を満足させるためには、河川上流における水源開発、他地域湖沼水源開発からの導水、地域内における反復利用、たとえば、中水道、工業用水回収水等の推進、農業用水合理化による余剰水の生み出し等が考えられる。このモデルでは、水収支上の上下流地域との水利用関係、たとえば、下流農地への排水義務量、河川維持用水等を考慮した上で、

- (a) 計画年における本地域内水需要を満たし、かつ、その事業費を最小とする。
- (b) 合理化の結果から受ける地域社会全体としての、費用を考慮した純便益を最大にする。

というような農業用水合理化の最適事業規模の確定を目的としている。

ただし、以下、本論文で用いる用語の定義として「合理化事業」という事業は、現行の「合理化対策事業」とは異なった内容をもつものであるとする。すなわち、現行事業が工事のみの事業であるのに対し、本論文の合理化事業は、工事完了後の水管理までも含めたものと定義する。したがって、「合理化対策事業費」とは工事費のみであるのに対し、「合理化事業費」とは、工事費と合理化するために投入された追加水管理費、水計画上の畑作化補償費の合計である。

(3) 手 法

線形計画法 (L.P.) を用いる。

(4) モデル化の手順

- (a) 地域全体の水の動きを把握し、本地域における水収支関係を樹立する。
- (b) 各用水の計画年における需要量を求める。

農業用水については、前章において示した CB 法を利用し、純用水量、管理用

水量を合理化事業規模を決定する変数(政策変数)の関数で表現する。上水道(生活用水, 営業・業務用水), 工業用水については, 計画年における需要量を地域資料により予測する。

(c) 計画年における本地域の農地面積を地域資料により予測する。

(d) 制約条件を設定する。

(a), (b), (c)の結果から, 水収支制約(地表流, 地下水流), 地域の面積制約(合理化計画上の畑作化面積, 事業化面積), 水管理労働投入量制約, 地下水汲上げ制約(物理的, 政策的), 水需給制約を設定する。

(e) 目的関数を設定する。

(d)の制約の下で, (2)の(a), (b)を意図する目的関数を設定する。ただし, 目的関数における費用とは, 計画年において, 都市側および農業側の目的を満たすために必要な, 現状から計って増となる地域全体としての費用の増分である。便益についても同様である。

(5) モデルの定式化における仮定

(a) 有効雨量は, モデルの分析対象期間を夏期連続干天期と設定し, 無視する。

(b) 減水深, 地区全体の反復利用度は, 現況における実測値を採用し, 事業前後において不変とする。

(c) 地域外からの地下水流入量と地域外への地下水流出量は等しいものとする。

(d) 水利用における水質は考慮しない。

(e) 現時点より計画年までの間の農地転用は, 市街化区域内農地の減として一括計上する。

(f) 開発コストの水需要量に与える影響は, 無視できるものとし, 計画年において不変とする¹⁾。

(g) 灌漑期間中の渇水の補強さえできれば, 年間を通じた新規取水は可能であるとする²⁾。

(h) 地域内農地は, 水供給計画, 水田のみであるとする。

(6) 一般モデルの定式化

以上の手順および仮定より, L.P. モデルを定式化する。使用変数記号の説明は, 第Ⅲ-1表に一括して示す。また, 制約条件中の水収支バランス式番号①は, 第Ⅲ-1図の位置番号に対応している。

(a) 制約条件

a 各地点における水収支バランス

$$\textcircled{1} \quad \begin{array}{l} \tilde{Q}_{01} - FI_{12} - FI_{13} - \tilde{CI}_{14} - \tilde{MI}_{15} - DV_4 - DV_5 - Q_{16} = 0 \\ Q_{16} \geq \tilde{Q}_{16} \end{array}$$

第Ⅲ－1表 変数記号表

変 数	説 明
$\tilde{Q}_{o1}$	取水点①における流量
$\tilde{Q}_{ij}$	ij 間における河川維持流量と他地区の水利権の和
Q_{ij}	ij 間の流量
FI_{ij}	i よりの j 農地の取水量
$\tilde{CI}_{14}$	取水点①における上水道の既得水利権量
$\tilde{MI}_{15}$	“ 工業用水 “
DV_4	上水道への転用水量
DV_5	工業用水 “
FN_j	j 農地の純用水量
FO_j	“ 管理用水量
$\tilde{W}_{rj}$	“ 水利権相当量
$\tilde{A}_2$	上流側市街化調整区域内農地面積
A_3	市街化区域内農地面積（水田）
$\tilde{A}_3$	“ 残存農地面積（水田＋畑）
A_3	“ 農地合理化計画上の畑作化面積
$\tilde{A}_9$	下流側市街化調整区域内農地面積
A_{pj}	j 農地におけるパイプライン化面積
L_{aj}	“ 水管理労働追加投入量
$\tilde{R}_j$	“ 全体還元率
$\tilde{R}_{oj}$	j 農地の現況管理用水率
$\tilde{S}_{ij}$	地域外から地域内，地域内から地域外への地下水量
S_{ij}	i 農地から j 方向への地下水流量
E_j	j 農地における蒸発散量
FD_{ij}	i 農地の j 地点への排水量
CD_{48}	上水道の⑧地点への “
MD_{58}	工業用水の “ “
$\tilde{D}_4$	計画年における下水道の需要量
$\tilde{D}_5$	“ 工業用水 “
$\tilde{S}_4$	上水道における現時点地下水汲上げ量
$\tilde{S}_5$	工業用水 “
S_4	計画年における上水の地下水汲上げ量
S_5	“ 工水 “
DS_{45}	“ 上水・工水の地下水汲上げ節減量
$\tilde{h}_j$	j 農地の減水深
$\tilde{e}_v$	単位蒸発散量

第Ⅲ-1表 (つづき)

変 数	説 明
$\tilde{s}_j$	j 農地における単位地下浸透量
$\tilde{r}$	地下水汲上げ可能量補正係数
$\tilde{C}_{ws}$	水源余剰度当り配水管理用水増減量
$\tilde{\varepsilon}$	パイプライン化による送水ロス減率
$\tilde{w}_l$	水管理労働時間当り配水管理用水節減量
$\tilde{I}$	単位面積当り水管理労働追加投入可能量
$\tilde{I}_s$	〃 水管理節減時間
$\tilde{C}_{Apj}$	j 農地の単位面積当りのパイプラインコスト
$\tilde{C}_{La}$	単位時間当りの水管理労働単価
$\tilde{C}_{cro}$	単位面積当りの畑作化による収穫減額
$\tilde{C}_{GW}$	単位水量当りの地下水汲上げコスト
$\tilde{e}_{inc}$	単位面積当り作物増産効果額
$\tilde{e}_{Rep}$	〃 維持管理費節減効果額
$\tilde{e}_{dv}$	単位水量当りの新規利用可能増都市用水の評価額

(注) 記号の上に～の付したものは外生変数またはパラメーター。

$$FI_{12} = FN_2 + FO_2$$

$$FN_2 = \tilde{h}_2 \cdot \tilde{A}_2(1 - \tilde{R}_2)$$

$$FO_2 = WP_2 + WL_2 + \tilde{C}_{ws}\{1 - (DV_4 + DV_5)/(\tilde{W}r_2 + \tilde{W}r_3) - (FN_2 + WP_2 + WL_2)/\tilde{W}r_2\}\tilde{A}_2$$

$$WP_2 = \tilde{\varepsilon}(\tilde{A}_2 - A_{p2})\tilde{h}_2(1 - \tilde{R}_2)/(1 - \tilde{R}_{02})$$

$$WL_2 = \tilde{W}l(\tilde{I}\tilde{A}_2 - La_2)$$

$$FI_{13} = FN_3 + FO_3$$

$$FN_3 = \tilde{h}_3 \cdot A_3(1 - \tilde{R}_3)$$

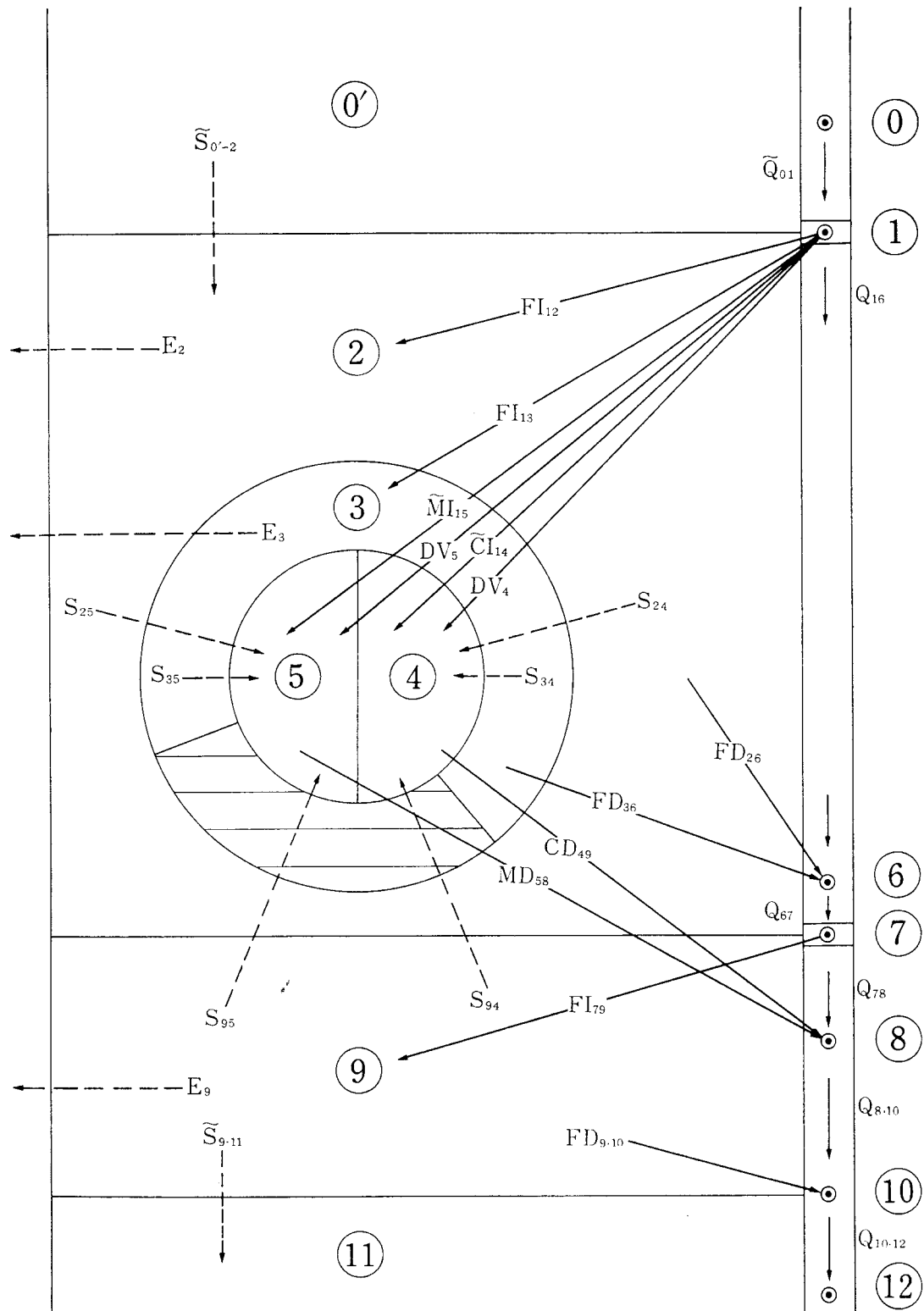
$$FO_3 = WP_3 + WL_3 + \tilde{C}_{ws}\{(1 - (DV_4 + DV_5)/(\tilde{W}r_2 + \tilde{W}r_3) - (FN_3 + WP_3 + WL_3)/\tilde{W}r_3\}\tilde{A}_3$$

$$WP_3 = \tilde{\varepsilon}(A_3 - A_{p3})\tilde{h}_3(1 - \tilde{R}_3)/(1 - \tilde{R}_{03})$$

$$WL_3 = \tilde{W}l(\tilde{I}A_3 - La_3)$$

取水地点①において、流量 $\tilde{Q}_{01}$ から、①⑥区間における他地区の水利権量と河川維持用水量の和 Q_{16} を差し引いた量が、上流側市街化調整区域内農地（以下農地②と書く）、市街化区域内農地（農地③）および上水、工水が合計として取水できる流量である。この取水量から、上水、工水の既得水利権量 $\tilde{C}I_{14}$ 、 $\tilde{M}I_{15}$ を差し引いた流量が、本来農地②、③が持つ水利権流量である。上水、工水の転用可能量 DV_4 、 DV_5 は、排水義務量制約にひっかからなければ、この水利権流量と農地②、③の取水量(粗

第Ⅲ-1図 地域全体の水の動き



用水量) FI_{12} , FI_{13} との差ということになる。粗用水量 FI は、純用水量 FN と管理用水量 FO の和であるが、外生変数および係数が決定されると、合理化事業規模の変数、農地②、③の事業化面積 Ap_2 , Ap_3 , 農地②、③に対する追加水管理労働量 La_2 , La_3 , と市街化区域内残存農地面積 A_3 , および転用水量 DV_4 , DV_5 の関数となる。

純用水量 FN は、減水深 $\tilde{h}$ と農地面積 A と地区全体の還元率 $\tilde{R}$ によって決定される。管理用水量 FO のうち、送水損失水量 WP は、パイプライン化によるロス節減率 $\tilde{\varepsilon}$ と事業化面積分に相当する粗用水量との積の量だけ、パイプラインにより現況より節減される。また、配水管理用水量 WL は、追加労働投入量 La と水管理労働時間当りの配水管理用水節減量 $\tilde{wl}$ との積の量だけ、追加労働投入により節減され、さらに、事業化後の取水可能量が事業化前の水利権量 $\tilde{Wr}$ に比して小さくなると³⁾、その比率と水源余剰度当り配水管理用水増減量 $\tilde{C}_{ws}$ および農地面積 A の積の量だけ、水源量の多寡に対する農民行動として節減される。

$$\begin{aligned} \textcircled{2} \quad & FI_{12} + \tilde{S}_{0'-2} - E_2 - S_{24} - S_{25} - FD_{26} = 0 \\ & E_2 = \tilde{A}_2 \cdot \tilde{e}_v \\ & (S_{24} + S_{25} = \tilde{A}_2 \cdot \tilde{s}_2 + \tilde{S}_{0'-2}) \end{aligned} \quad (3-3)$$

農地②においては、取水された水 FI_{12} が地区内農地に灌漑され、その際、蒸発散量として E_2 が消費されるが、地下浸透量 S_{24} , S_{25} は、地区外からの地下水流入量 $\tilde{S}_{0'-2}$ と合わさって地下水流となる。その残りは、河川⑥地点に排水される。

$$\begin{aligned} \textcircled{3} \quad & FI_{13} + E_3 - S_{34} - S_{35} - FD_{36} = 0 \\ & E_3 = A_3 \cdot \tilde{e}_v \\ & (S_{34} + S_{35} = A_3 \cdot \tilde{s}_3) \end{aligned} \quad (3-4)$$

このバランス式は、農地③の面積 A_3 の動きに対応しており、全て合理化計画上の畑作化がなされると消失する。

$$\textcircled{4} \quad \tilde{CI}_{14} + DV_4 + S_{24} + S_{34} + S_{94} - CD_{48} = 0 \quad (3-5)$$

$$\textcircled{5} \quad \tilde{MI}_{15} + DV_5 + S_{25} + S_{35} + S_{95} - MD_{58} = 0 \quad (3-6)$$

都市への用水は、地域外への持ち出しはなく、全て河川⑧地点に排水される。

$$\textcircled{6} \quad Q_{16} + FD_{2.6} + FD_{3.6} - Q_{67} = 0 \quad (3-7)$$

$$Q_{67} \geq \tilde{Q}_{67} \quad (3-8)$$

河川⑥地点における流量 Q_{67} は、⑥⑦区間における他地区の水利権量と河川維持用水量の合計 $\tilde{Q}_{67}$ 以上でなければならない。そのために、農地②および③に一定以上の排水義務量が課せられることになり、この排水義務量が転用可能水量の上限を制約する可能性がある。

$$\textcircled{7} \quad Q_{67} - FI_{79} - Q_{78} = 0 \quad (3-9)$$

$$Q_{78} \geq \tilde{Q}_{78} \quad (3-10)$$

$$FI_{79} = FN_9 + FO_9$$

$$FN_9 = \tilde{h}_9 \tilde{A}_9 (1 - \tilde{R}_9)$$

$$FO_9 = WP_9 + WL_9 + \tilde{C}_{ws} \{1 - (FN_9 + WP_9 + WL_9)/\tilde{W}r_9\} \tilde{A}_9$$

$$WP_9 = \tilde{\varepsilon}(\tilde{A}_9 - A_{p9})\tilde{h}_9 (1 - \tilde{R}_9)/(1 - \tilde{R}_{09})$$

$$WL_9 = \tilde{w}l(\tilde{l}\tilde{A}_9 - La_9)$$

下流側市街化調整区域内農地（農地⑨）で合理化事業を行なうことは、河川⑦地点における取水量 $FI_{7,9}$ を減ずることが可能となるので、これが上流取水地点①における取水可能量増に反映し、結果的に転用可能量増に結びつく。

$$\textcircled{8} \quad Q_{78} + CD_{48} + MD_{58} - Q_{8,10} = 0 \quad (3-11)$$

$$Q_{8,10} \geq \tilde{Q}_{8,10} \quad (3-12)$$

河川⑧地点に排出された都市排水 CD_{48} , MD_{58} が、これより下流地点で取水され、反復再利用されるためには、都市排水が、⑧地点に流入するまでにおいて水質処理されているか、あるいは、河川流量 $Q_{7,8}$ が再利用可能な水質まで希釈できる量である必要がある。

$$\textcircled{9} \quad FI_{7,9} - E_9 - S_{9,4} - S_{9,5} - \tilde{S}_{9,11} - FD_{9,10} = 0 \quad (3-13)$$

$$E_9 = \tilde{A}_9 \cdot \tilde{e}_v$$

$$(S_{94} + S_{95} = \tilde{A}_9 \cdot \tilde{s}_9 - \tilde{S}_{9,11})$$

農地②と同様であるが、地域内に流入してきた地下流量 $\tilde{S}_{0'-2}$ と同量の地下水量 $\tilde{S}_{9,11}$ を、地域外へ流出させる必要がある。

$$\textcircled{10} \quad Q_{8,10} + FD_{9,10} - Q_{10,12} = 0 \quad (3-14)$$

$$Q_{10,12} \geq \tilde{Q}_{10,12} \quad (3-15)$$

⑥地点におけるバランス式と同様である。

b 地下水収支バランス

$$S_{24} + S_{25} = \tilde{A}_2 \cdot \tilde{s}_2 - \tilde{S}_{0'-2} \quad (3-16)$$

$$S_{34} + S_{35} = A_3 \cdot \tilde{s}_3 \quad (3-17)$$

$$S_{94} + S_{95} = \tilde{A}_9 \cdot \tilde{s}_9 - \tilde{S}_{9,11} \quad (3-18)$$

地下水量 S_{ij} は、農地面積 A_i とその単位面積当りの地下浸透量 $\tilde{s}_i$ により決定される。

c 合理化計画上の畑作化可能面積制約

$$\tilde{A}_3 - A_3 - A_{\overline{3}} = 0 \quad (3-19)$$

計画上畑作化可能となる面積 $A_{\overline{3}}$ は、市街化区域内農地面積 $\tilde{A}_3$ 以下である。

d 事業化面積制約

$$\tilde{A}_2 - A_{p2} \geq 0 \quad (3-20)$$

$$A_3 - A_{p3} \geq 0 \quad (3-21)$$

$$\tilde{A}_9 - A_{p9} \geq 0 \quad (3-22)$$

事業化面積制約は、合理化事業目的に合わせて、政策上、等号制約にも変わる。

e 水管理労働投入制約

$$\tilde{I}A_{p2} - La_2 \geq 0 \quad (3-23)$$

$$\tilde{I}A_{p3} - La_3 \geq 0 \quad (3-24)$$

$$\tilde{I}A_{p9} - La_9 \geq 0 \quad (3-25)$$

La は、パイプライン化された農地において、農業用水の節減のために投入される追加労働量であるが、その上限は、事業化面積 A_p に比例する水管理労働追加投入可能量 $\tilde{I} \cdot A_p$ である。単位面積当り水管理労働追加投入可能量 $\tilde{I}$ は、単位面積当りの管理用水量を水管理労働時間当り配水管理用水節減量 $\tilde{wl}$ で除した値から、パイプライン化後の最低必要水管理労働量 $\tilde{I}_p$ を差し引いた値である。

f 物理的地下水汲上げ可能量制約

$$S_4 - \tilde{\gamma}(S_{24} + S_{32} + S_{94}) \leq 0 \quad (3-26)$$

$$S_5 - \tilde{\gamma}(S_{25} + S_{35} + S_{95}) \leq 0 \quad (3-27)$$

農地から地下浸透した水 S_{ij} が、地下水として汲上げ可能となる量 S_4, S_5 は、補正された地下浸透量の範囲内である。すなわち、灌漑期間に地下浸透したストック量（浸透量×灌漑期間）としての地下水は、非灌漑期を含めた1年を通じて平滑化して汲上げられるので、その灌漑期間から通年汲上げへの平滑化補正が必要であり、さらに、1年を通じて安定的に汲上げられる量としては、水文学的に季節補正（タイムラグ補正）が必要である。

g 政策的地下水汲上げ制約

$$\tilde{S}_4 + \tilde{S}_5 - S_4 - S_5 - DS_{45} = 0 \quad (3-28)$$

地盤沈下等の現象のみられる地域においては、政策上、現在の地下水汲上げ量 $\tilde{S}_4 + \tilde{S}_5$ よりも増やさないという政策を導入する。

h 水需給制約

$$-\tilde{D}_4 + \tilde{C}I_{14} + S_4 + DV_4 \geq 0 \quad (3-29)$$

$$-\tilde{D}_5 + \tilde{M}I_{15} + S_5 + DV_5 \geq 0 \quad (3-30)$$

計画年における上水、工水の水需要量 $\tilde{D}_4, \tilde{D}_5$ は、既得水利権量 $\tilde{C}I_{14}, \tilde{M}I_{15}$ 、地下水汲上げ S_4, S_5 、転用水量 DV_4, DV_5 の合計量によって満たされる。

(b) 目的関数

農業用水の合理化に伴う地域社会的便益および費用として計上すべき変数は多々あるが、本モデルにおいては、費用 C は、農業水利施設整備（パイプライン化）工事費 $\tilde{C}_{Ap} \cdot A_p$ 、合理化のための水管理労働追加投入費用 $\tilde{C}_{La} \cdot La$ 、農地水掛面積減（合理化計画上の畑作化）による収穫減額 $\tilde{C}_{cro} \cdot A_g$ 、便益 B は、パイプライン化による用水の安定供給の結果として得られる作物増産効果額 $\tilde{e}_{inc} A_p$ 、水利施設の維持管理費節減効果額 $\tilde{e}_{rep} \cdot A_p$ 、水管理労働節減効果額 $\tilde{C}_{La} \cdot \tilde{I}_s \cdot A_p$ 、地下水汲上げ費節減額 $\tilde{C}_{GW} \cdot DS_{45}$ 、新規利用可能増量に対する評価額 $\tilde{e}_{dv} \cdot (DV_4 + DV_5 - DS_{45})$ に限定する。

$$C = \tilde{C}_{Ap2} \cdot A_{p2} + \tilde{C}_{Ap3} \cdot A_{p3} + \tilde{C}_{Ap9} \cdot A_{p9} + \tilde{C}_{La}(La_2 + La_3 + La_9) + \tilde{C}_{cro} \cdot A_g \quad (3-31)$$

$$B = (\tilde{e}_{inc} + \tilde{e}_{rep} + \tilde{C}_{La} \cdot \tilde{l}_s)(A_{p2} + A_{p3} + A_{p9}) + \tilde{C}_{GW} \cdot DS_{45} + \tilde{e}_{dv}(DV_4 + DV_5 - DS_{45}) \quad (3-32)$$

- a 合理化事業費用最小化
 $C \longrightarrow \text{minimize}$
- b 合理化の結果から受ける純便益の最大化
 $B - C \longrightarrow \text{maximize}$

2. 小貝川下流地域へのモデル適用

小貝川下流地域へのモデルの適用に際して、本地域の実態に合わせ、一部以下の点についてモデルを変更する。

- (a) 本ケース・スタディでは、河川下流地点で取水する本地域と隣り合わせた農地が存在しないので、一般モデルにおける下流側市街化調整区域内農地（農地⑨）に関連する制約条件および目的関数の変数は削除する。
- (b) 本地域に存在する市街地は、取手市と藤代町のみであるが、現在の水道供給事業は、茨城県南水道企業団により4市町（取手市、藤代町、竜ヶ崎市、牛久町）一括して行なわれており、将来においてもその事業形態は存続する計画であるので⁴⁾、上水道の需要量としては、4市町一括分を採用する。また、これに合わせて、工業用水も4市町一括しての需要量とする。
- (c) 地域外からの水の持ち込み(受水)、他地域受益都市における地下水汲上げ量等を考慮する。

また、取水量関数については、第Ⅱ章第1節の(6)に述べたK用水地区の重回帰モデル式が、本地域にも適用できるものと仮定する。

(1) 解析ケースの設定

(a) 計画年の設定

前述のとおり、本地域は、現在関東農政局により事業化に向けての調査実施地区であり、調査完了予定年が昭和55年となっている。そこで、事業が開始されるとすれば、昭和56年全体実施設計ということになり、その時点で事業としての計画年が公的に確定されるものと思われる。

しかし、本ケース・スタディでは、この解析を行なうために種々の係数および外生変数を時系列データにより推定しているが、その時系列データの長さが、入手の都合上比較的短期間であるため、長期間的計画年を採用することには、解析結果の現実的整合性を確保する上に問題があると思われる。そこで、比較的近い将来である計画年

を採用することとして、

1. 昭和60年 2. 昭和65年

のケースを設定することとする。

(b) 解析制約条件の設定

合理化事業は、都市側の新規水資源開発事業としての性格をもつと同時に、都市近郊農業の健全な発展を目指すための手段としての事業でもある。

そこで、農業水利施設整備（パイプライン化）をどの程度まで行なうべきかは、

- ① 必要な量の余剰水の生み出しのための最低限の施設整備量を確保する。

という他に、農業側からみた政策的な施設整備量が考えられる。すなわち、

- ② 市街化調整区域内農地 A₂ は、都市近郊農業の健全な発展を期するために、上下流問題を起こさないために、あるいは、計画年以降の水需要増までをもできるだけ確保しておくために、といった観点から、すべてパイプライン化すべきである。

- ③ 市街化区域内農地 A₃ も合わせてパイプライン化しなければ、実際の合理化は不可能であるし、事業の実も上がらない。

といったものである。

したがって、ここでは上記のことを考慮し、それに対応した事業化面積制約の以下のケースを設定する。

- case 1 $A_{p_2} \leq A_2, A_{p_3} \leq A_3$

- case 2 $A_{p_2} = A_2, A_{p_3} \leq A_3$

- case 3 $A_{p_2} = A_2, A_{p_3} = A_3$

(c) 解析目的関数の設定

解析目的関数は、一般モデルで定式化したケース a：合理化事業費用の最小化、およびケース b：合理化の結果から受ける純便益の最大化、の 2 ケースである。ただし、ケース b については、合理化事業により利用可能量増となった分についての都市用水の単位水量当り評価額 e_{dv} が一概には決定しかねるので、目的関数のその係数に関するパラメトリック分析を行なう。

そこで、以上の各ケースを組み合わせると、第Ⅲ-2表のような解析ケースとなる。

(2) 工業用水・上水道の計画需要量

(a) 工業用水の需要予測

取手市および竜ヶ崎市の昭和46年から昭和52年までの7ヵ年のクロスデータを用いて、重回帰モデルによる工業用水の水需要予測を行なった⁵⁾。

$$\text{MAW} = 3889.24 + 6.8678 \text{ UOT} - 49.869 \text{ WMP} - 789.93 \text{ Dummy} \quad (3-33)$$

(5.764)
(3.026)
(0.563)

第Ⅲ-2表 解析ケース

目的関数	計画年	事業化面積制約	case 名
a	昭 60	$A_{p2} \leq A_2, A_{p3} \leq A$	a-60-1
		$A_{p2} = A_2, A_{p3} \leq A$	a-60-2
		$A_{p2} = A_2, A_{p3} = A$	a-60-3
	昭 65	$A_{p2} \leq A_2, A_{p3} \leq A$	a-65-1
		$A_{p2} = A_2, A_{p3} \leq A$	a-65-2
		$A_{p2} = A_2, A_{p3} = A$	a-65-3
b	昭 60	$A_{p2} \leq A_2, A_{p3} \leq A$	b-60-1
		$A_{p2} = A_2, A_{p3} \leq A$	b-60-2
		$A_{p2} = A_2, A_{p3} = A$	b-60-3
	昭 65	$A_{p2} \leq A_2, A_{p2} \leq A$	b-65-1
		$A_{p2} = A_2, A_{p3} \leq A$	b-65-2
		$A_{p2} = A_2, A_{p3} = A$	b-65-3

$$\hat{R}_2 = 0.902, \hat{S} = 1261.8, D.W. = 1.922, SMPL = 14$$

MAW: 30人以上の事業所の淡水補給水量(淡水使用量-回収水量)(m^3 /日),

UOT: 従業員1人当りの製造出荷額等(万円/人), WMP: 工業用水料金(円/ m^3), Dummy: 地域ダミー(取手市1, 竜ヶ崎市0)

上式の地域ダミーの係数が有為ではないので, 両地区には地域的差差異はないものと思われる。そこで以下の推定式を採用した。

$$MAW = 3972.70 + 6.2797 UOT - 44.035 WMP \quad (3-34)$$

(11.327) (3.549)

$$\hat{R}^2 = 0.909, \hat{S} = 1222.0, D.W. = 1.781, SMPL = 14$$

なお, 藤代町, 牛久町については, 時系列データの入手が不能であるため, 非常にラフであると思われるが, 将来的には同一地域として発展し, 取手市, 竜ヶ崎市と同様の水需要予測が可能であるものと仮定した。そこで, (3-34)式を用いて⁶⁾, 昭和60, 65年時点での水需要量を求めてみると, 第Ⅲ-3表のような結果を得た。ただし, 従業員1人当りの製造品出荷額等については, 平均成長率を6%と想定し, 工業用水料金は, 昭和52年価格据置, 年率6%の伸び, の2ケースとした。

(b) 上水道の需要予測

茨城県南水道企業団の昭和46年から昭和53年までの8ヵ年のデータを用いて, 上水道の水需要予測を試みた⁷⁾。

$$UCW = 48.3496 + 0.11025 UOP + 0.03987 WCP \quad (3-35)$$

(1.822) (1.038)

第Ⅲ－3表 工業用水（淡水補給水）需要予測

	昭 和 52 年				
	従業員数 (人)	製 造 品 出荷額等 (万円)	従業員1人 当りの製造 品出荷額等 UOT(万円/人)	工業用水 料 金 WMP (円)	淡水補給水量 (計 算 値) MAW (m³/日)
竜ヶ崎市	4,090	4,995,095	1,221.3	110	6,798
取手市	4,563	13,417,783	2,940.6	110	17,595
牛久町	1,473	2,582,646	1,753.3	110	10,139
藤代町	1,849	2,659,878	1,438.5	110	8,162
合 計					42,694

(注) UOT の平均成長率を6.0%と想定した。

第Ⅲ－4表 上水道需要予測

	年(昭和)	総 人 口 (人)	普 及 率 (%)	給水人口 (人)	1 人 1 日 需要水量 (l)
竜ヶ崎市	52	42,020	28.2	11,208	268
	60	76,500	52.9	39,800	354
	65	97,400	68.0	66,200	388
取手市	52	61,970	77.8	47,977	351
	60	100,000	83.0	82,400	501
	65	112,100	87.0	96,900	509
牛久町	52	32,407	51.9	16,644	253
	60	45,300	67.1	30,200	476
	65	63,500	74.0	47,000	513
藤代町	52	22,430	63.1	13,803	333
	60	49,300	65.9	32,200	445
	65	59,900	72.0	43,100	493
計 (県南水道)	52			89,632	322
	60			184,600	455
	65			253,200	476

(注) 「県南地域 広域的水道整備計画」(昭和53年度、茨城県)より作成。

昭 和 60 年			昭 和 65 年		
UOT (万円/人)	MAW (m³/日)		UOT (万円/人)	MAW (m³/日)	
	WMP=110	WMP=175		WMP=110	WMP=235
1,947	11,355	8,493	2,605	15,487	9,983
4,687	28,562	25,700	6,272	38,515	33,010
2,794	16,674	13,812	3,740	22,615	17,110
2,293	13,528	10,666	3,068	18,395	12,891
	70,119	58,671		95,012	72,891

1 日需要 水 量 (m³)	既 開 発 分			開 見 込 分	不 足 分
	地 下 水	受 水	そ の 他		
3,000					
14,100					
25,700					
16,840					
41,300					
49,300					
4,207					
14,300					
24,100					
4,592					
14,300					
21,300					
29,093	18,639	10,000	454	—	—
84,600	6,000	10,000	600	68,000	0
120,600	0	10,000	200	85,000	25,400

第Ⅲ－5表 農業用水合理化で開発すべき水量

(単位：m³/日)

			昭52	昭60	昭65
供給量	上水道	地下水	19,090	6,600*	200*
		受水	10,000	10,000	10,000
		合理化で開発すべき量	0	68,000	110,400
	工業用水	取手地区地表水・伏流水	11,130	11,130	11,130
		藤代地区地下水	14,620	14,620*	14,620*
		竜ヶ崎久保地区地表水・伏流水	16,940	16,940	16,940
		牛久保地区地下水			
	合理化で開発すべき量	0	15,980	30,200	
計			71,780	143,270	193,490
需要量	上水道	29,090	84,600	120,600	
	工業用水	42,690	58,670	72,890	
	計	71,780	143,270	193,490	

(注) 合理化で開発すべき量とは計画年における

 転用水量＋地下水汲上げ可能量－取手・藤代地区地下水汲上げ予定量*
 である。

$$\hat{R}^2 = 0.711, \hat{S} = 1.518, D.W. = 3.219, SMPL = 8$$

UCW: 給水人口当りの年間水使用量 (m³/人), UOP: 総人口当りの製造品出荷額等 (万円/人), WCP: 生活用水道料金 (m³/人)

$$UCW = 47.229 + 0.15956 UOP \quad (3-36)$$

(0.4231)

$$\hat{R}^2 = 0.707, \hat{S} = 1.528, D.W. = 1.528, SMPL = 8$$

上記のように(3-35)式, (3-36)式とも決定係数が低く, 水需要予測式として採用しがたい。モデルのフィットが悪かった理由は, 分析対象地域が東京大都市圏への通勤地域であるため, 生活用水に本地域の製造品出荷額が十分に反映していないことによるものであろう。

そこで, より妥当に推定していると思われる茨城県の試算による結果⁸⁾を計画年の水需要予測量として採用することとした(第Ⅲ－4表参照)。

(c) 農業用水合理化で開発すべき水量の確定

上述した計画年における工業用水需要量と上水道需要量を満足させるために, 農業用水合理化で開発すべき水量を第Ⅲ－5表のように確定した。ただし, 確定に当って, 工

業用水需要量は、従業員1人当り製造品出荷額等および工業用水料金の伸び率を年率6%と仮定し、昭和60年、5万8,671m³/日、昭和65年、7万2,891 m³/日として計算した。また、県南地域においては、地下水の汲上げの影響と思われる、地盤沈下が起こっている所が存在し、県においても今後の地下水汲上げ許可は極力出さない方針⁹⁾であるので、現状以上の需要量は全て何らかの水資源開発の必要があるものと仮定した。

ところで、ここで農業用水合理化の結果による転用水価格、つまり原水価格の変化が、供給料金、さらに需要量に与える影響について検討しておくことにする。一般に、供給料金は給水原価とほぼ同じ価格で推移する。給水原価は、原水費、浄水費、配水費、給水費、業務費、総係費で構成される運転管理費と資本費、その他により計算されるが、東京都の水道事業の会計決算書¹⁰⁾によると、原水費の占める給水原価に対する割合は1割未満である。さらに原水費の中で占める原水価格の割合は60~70%であることから、原水価格の給水原価に対する割合はさらに小さくなる。したがって、合理化事業の結果による転用価格の変化が、供給料金におよぼす影響は、それほど大きなものではないと考えられるので、L. P. 問題の中では料金の需要量に対する影響を直接的には考慮する必要はないと考え、計画年における需要量を上記のように確定しても支障がないと判断した。なお、結果的に、需要量の増減の幅広い範囲において解が安定であることが、後に示す L. P. の感度分析より明らかであるので、あらかじめ需要の価格弾力性を考慮する必要がないことが判明している。

(3) 係数および外生変数の値の算定

本地域モデルの制約式および目的関数の係数および外生変数の値は、第2章、第1節の(3)、(6)の検討結果および各種調査報告書・文献等¹¹⁾により算定した。それらの値およびその算定根拠を第Ⅲ-6、Ⅲ-7表に一括して示す。

(4) 解析モデルの定式化

前述の算定根拠による係数および外生変数の値を、一般モデル各式に代入し、整理した制約条件式および目的関数は第Ⅲ-8表のとおりである。

ここで、定式化された制約条件式が、転用可能量について意味する内容について検討しておくこととする。

(3-37)式において、河川下流への放流量 Q_{16} を零におくと、転用可能量についての次の情報を得ることができる。

- ① 従来の合理化対策事業では、パイプライン化による送水ロスの節減分および計画年に至るまでにおける農地面積の減による取水量減分が転用可能量と算定されるが、その最大値（地域内農地すべてパイプライン化による転用量） $DV_{\max①}$ を計算してみると以下ようになる。

第Ⅲ - 6表 係数の値および算定根拠

係数	説 明	値	単 位	算 定 根 拠												
$\tilde{\varepsilon}$	パイプライン化による送水ロス減率	0.1	—	「土地改良事業計画設計基準 第2部 計画 第1編 用水(案)」p.170												
$\tilde{w}l$	水管理労働時間当り配水管理用水節減量	142.7	m ³ /hr	第Ⅱ章第1節(2-26)式より $KUSP = \alpha_0 + \alpha_1 ULA + \alpha_2 RUWS$ $\alpha_0 = 0.02367, \alpha_1 = -17.378,$ $\alpha_2 = 0.01475$ $\tilde{w}l = \alpha_1 / R_{w0}$ R_{w0} : 水管理労働率 = 0.1218 (昭和52年度農産物生産費調査報告 p. 164)												
$\tilde{C}_{ws}$	水源余剰度当り配水管理用水増量	0.003515	m/day	上式より $\tilde{C}_{ws} = \alpha_2 \cdot (RUWS_{max} - RUWS_{min})$ $RUWS_{max} = 1.0$ (K用水の計算値) $RUWS_{min} = 0.7617$												
$\tilde{I}$	1日単位面積当り水管理労働追加投入可 能量	0.3796×10^{-4}	hr/m ³ ・日	$\tilde{I} = \{GFI \times 86,400 / (\tilde{A}_2 + \tilde{A}_3)\} \times \tilde{R}_{02} / \tilde{w}l - \tilde{I}_p / (1,000 \times \text{INDAYS})$ GFI : 本地域粗用水量 = 7.164 m ³ /sec (第Ⅱ章第1節) $\tilde{I}_p$: パイプライン化後の必要水管理 労働量 INDAYS: 取水日数 = 153日 (小貝川地区調査報告書)												
$\tilde{C}_{Ap2}$	農地2のパイプライ ン化コスト	100,000 (7896.4)*1	円/10a (円/10a/year)	昭和54年度圃場整備事業パイプライン化地区 (茨城県) より——深井戸を使用している地区は除く <table><tr><td>用水支線他</td><td>加圧ポンプ他</td><td>計 (昭52年単価)</td></tr><tr><td>A地区 41</td><td>99</td><td>140千円/10a</td></tr><tr><td>B " 62</td><td>49</td><td>111 "</td></tr><tr><td>C " 21</td><td>79</td><td>100 "</td></tr></table>	用水支線他	加圧ポンプ他	計 (昭52年単価)	A地区 41	99	140千円/10a	B " 62	49	111 "	C " 21	79	100 "
用水支線他	加圧ポンプ他	計 (昭52年単価)														
A地区 41	99	140千円/10a														
B " 62	49	111 "														
C " 21	79	100 "														

小貝川下流地区は昭和46年かんがい排水事業が竣功しているので、幹線水路は既存のまま使用可能とした。また比較的地理条件も良く、団地がまとまっているので、上記地区での最小単価を採用することにする。

$\tilde{C}_{Ap3}$	農地3のパイプラインコスト	120,000 (9475.7)*2	円/10a (円/10a/year)	$\tilde{C}_{Ap2} \times 1.2$
$\tilde{C}_{La}$	水管理労働時間当り単価	559 (85,527)*3	円/hr (円/year・hr)	$ROINCM = 2946.39 - 16.3479 TLA$ $\hat{R}^2 = 0.9720, \hat{S} = 60.81,$ $D.W. = 1.94, SMPL = 9$ (16.699) ROINCM: 実質農外所得(昭45年基準) 単位千円 (農家経済調査) TLA : 総労働時間 単位 hr/10 a (生産費調査) $C_{La}' = 16,348 \times R_{w0}/A_{ov} = 218 \text{円/hr} \rightarrow \text{昭52年単価(名目) } 559 \text{円/hr}$ $A_{ov} : 1 \text{戸当り経営耕地面積 (水田)}$ $= 91 \text{ a (生産費調査)}$ (参) 農村物価賃金調査 昭52, 4,441円/8.1 hr = 548円/hr 水田収穫量 $\rightarrow$ 畑収穫量 $(= \frac{1}{2} \times \text{水田収穫量})$ とする。 水田収穫量: 470 kg/10 a (岡堰土地改良区調査による) 標準米価: 290円/kg (昭52.10.15. 52構改C第435号——局長通達)
$\tilde{C}_{cro}$	単位面積当り収穫減額	68,150	円/10 a	「工業用水ハンドブック」('77) p. 578 “工業用水道事業のあり方について” (中間答申昭51.12) p. 31 } 5 円/m ³
$\tilde{C}_{GW}$	地下水汲上げコスト	5 (1,5768 $\times 10^8$)*4	円/m ³ (円/m ³ /sec/ year)	「都市と水資源」('77) p. 216 「河川多重利用調査報告書」(昭51.3) p. 24 「水資源の安定供給と産業への影響に関する調査研究」(昭53.8) } 2~3 円/m ³ 5 円/m ³ を採用する。

第Ⅲ-6表 (つづき)

係数	説 明	値	単 位	算 定 根 拠
$\tilde{C}_{inc}$	パイプライン化による 作物増産効果額	2,320	円/10 a	8 kg 増/10 a (事業実施地区計画概要書) 8 kg × 290 円/kg
$\tilde{C}_{rep}$	維持管理費節減効果 額	230	円/10 a	現況昭52水路の維持管理費 474 円/10 a (岡堰土地改良区決算書より) K 用水維持管理費 昭49 187.3 円/10 a (K 土地改良区決算書より) ——→昭52単価 244 円/10 a 合理化事業後は, K 用水程度になると仮定した。
$\tilde{I}_s$	パイプライン化によ る水管理労働節減時 間	7.6	hr/10 a · year	$I_n - I_p$ I_n : 現況水管理労働時間 = 8.6/10 a (昭和52年産農産物生産費調査報告書 p. 165) I_p : 前述
$\tilde{C}_{dv}$	転用水等の評価額		円/m ³	不明につき解析においてパラメトリックに解くことにする。

(注) *印の計算値は以下のとおり。

1: $\tilde{C}_{Ap2}^ = \tilde{C}_{Ap1} \times [(1 + \text{建設利息率}) \times 100,000 \times [0.0760 \times (1 + 0.039)]]$ (昭48. 7. 6. 構改 C 第273号局長通達より)*2: $\tilde{C}_{Ap3}^* = \tilde{C}_{Ap2}^* \times 1.2$ *3: $\tilde{C}_{La}^* = \tilde{C}_{La} \times \text{取水期間} = 559 \times 153$ *4: $\tilde{C}_{Gw}^* = \tilde{C}_{Gw} \times 365 \text{ 日} \times 86,400 \text{ sec}$

第Ⅲ - 7表 外生変数の値

外生変数	説 明	値	単 位	算 定
$\tilde{Q}_{01}$	取水点における流量	7.293	m ³ /sec	$\tilde{Q}_{16} = 0$ (下流責任放流量なし) であるので本地域の粗用水量+工業用水既取水量
$\tilde{Q}_{16}$	下流責任放流量	0	"	土地改良区聞きとり
$\tilde{C}_{I_{14}}$	上水道既取水量	0	"	"
$\tilde{M}_{I_{15}}$	工業用水既取水量	0.129	"	"
$\tilde{h}_2$	農地2 平均減水深	0.0328	m/日	$(0.04 \times 717.6 \times 10^4 + 0.03 \times 820.8 \times 10^4 + 0.025 \times 368.8 \times 10^4) / 1,907.2 \times 10^4$
$\tilde{h}_3$	農地3 "	0.0323	"	$(0.04 \times 77.6 \times 10^4 + 0.03 \times 43.1 \times 10^4 + 0.025 \times 67.8 \times 10^4) / 188.5 \times 10^4$
$\tilde{A}_2$	農地2 の面積	1,907.2	ha	第Ⅱ章第1節参照
$\tilde{A}_3$	計画年における農地3 の面積	昭60 98.5 昭65 42.9	"	本表 注)参照
$\tilde{W}_{r_2}$	農地2 の水利権相当量	8.611	m ³ /sec	$\tilde{W}_r \times \tilde{A}_2 / (\tilde{A}_2 + \tilde{A}_3)$ $\tilde{W}_r$: 水利権流量 (= 9.45 m ³ /sec)
$\tilde{W}_{r_3}$	農地3 "	0.839	"	$\tilde{W}_r \times \tilde{A}_3 / (\tilde{A}_2 + \tilde{A}_3)$
$\tilde{R}_2$	農地2 の全体還元率	0.292	—	= R (第Ⅱ章第1節より)
$\tilde{R}_3$	農地3 "	0.292	—	= R (")
$\tilde{R}_{02}$	農地2 の管理用水率	0.215	—	= R_0 (")
$\tilde{R}_{03}$	農地3 "	0.215	—	= R_0 (")
$\tilde{S}_{0'-2}$	地域外からの地下水量	—	—	= $\tilde{S}_{2-0'}$
$\tilde{S}_{2-0'}$	地域外への地下水量	—	—	= $\tilde{S}_{0'-2}$
$\tilde{S}_4$	上水道の既地下水汲上げ量	昭60 0.0764 昭65 0.0023	m ³ /sec	昭60 6,600/86,400, 昭65 200/86,400 (本章2節(2)より)
$\tilde{S}_5$	工業用水	0.1692	"	14,620/86,400 (本章2節(2)より)
$\tilde{s}_2$	農地2 の地下浸透係数	0.00516	m/day	$\{(0.04 - 0.007) \times 0.2 \times 717.6 + (0.03 - 0.007) \times 0.2 \times 820.8 + (0.025 - 0.007) \times 0.2 \times 368.8\} / 1,907.2$

第Ⅲ-7表 (つづき)

外生変数	説 明	値	単 位	算 定
$\tilde{s}_3$	農地3の地下浸透係数	0.00506	m/day	$\{0.04 - 0.007\} \times 0.2 \times 77.6 + (0.03 - 0.007) \times 0.2 \times 43.1$ + $(0.025 - 0.007) \times 0.2 \times 67.8\} / 188.5$
$\tilde{e}_v$	田面日蒸発散量	0.007	"	前 述
$\tilde{\gamma}$	灌漑期間季節補正係数	0.314	—	(153/365) $\times$ 0.75 (取水期間浸透量を1年間に平滑化して75%汲上げ可能とした)
$\tilde{D}_4$	上水道の需要量	0.9792	m ³ /sec	昭60 84,600/86,400 (本章2節(2)より)
$\tilde{D}_5$	工業用水の需要量	1.3958	"	昭65 120,600/86,400 (")
		0.6791	"	昭60 58,670/86,400 (")
		0.8436	"	昭65 72,890/86,400 (")
$\tilde{O}_4$	上水道の他流域開発量	0.1157	"	10,000/86,400 (")
$\tilde{O}_5$	工業用水	0.1961	"	16,940/86,400 (")

(注) 市街化区域内農地等の宅地化をうながす要因としては、農地区分 (A, B, C 農地)、地価上昇率、インフレ率、年間利子率、民間宅地需要、公共用地需要、農地の評価額 (近傍宅地価格、造成費)、年間農業純利益、都市財力等が考えられるが、これを分析することは、一つの大テーマとなる。そこで、不本意ながら、過去のタイムトレンドをそのまま引き伸ばして、予測することとした。なお、結果的に、計画年における農地3の面積の増減の幅広い範囲において、解が安定であることが、後に示す L. P. の感度分析より明らかとなっている。

$$DVLAND = -395.224 + 11.1268 t \quad \hat{R}^2 = 0.9803, \hat{S} = 8.879, SMPL = 19 \quad DVLAND: \text{転用面積 単位 ha} \\ (29.914)$$

データは第Ⅱ章、第Ⅱ-2表による。昭60 $\tilde{A}_3^* - 90.0 = 98.5$, 昭65 $\tilde{A}_3^* - 145.6 = 42.9$ $\tilde{A}_3^* = 188.5$ (現時点農地3面積)

$$S60 DV_{\max ①}^{60} = DV_4 + DV_5 = 0.293$$

$$(A_{p2} = 1907.2, A_{p3} = 98.5, La_2 = La_3 = 0, A_3 = 98.5)$$

$$S65 DV_{\max ①}^{65} = DV_4 + DV_5 = 0.474$$

$$(A_{p2} = 1907.2, A_{p3} = 42.9, La_2 = La_3 = 0, A_3 = 42.9)$$

一方、(3-41), (3-42), (3-48), (3-49), (3-50)式より, 地下水汲上げ最大可能量 $S_{\max ①}$ は,

$$S60 S_{\max ①}^{60} = S_4 + S_5 = 0.391 (A_3 = 98.5)$$

$$S65 S_{\max ①}^{65} = S_4 + S_5 = 0.366 (A_3 = 42.9)$$

であるから、(3-51), (3-52)式より、昭和60, 65年における必要転用水量 DV^* は,

$$S60 DV_{60}^* = DV_4^* + DV_5^* = 0.8635 + 0.3540 - S_{\max ①}^{60} = 0.827$$

$$S65 DV_{65}^* = DV_4^* + DV_5^* = 1.2801 + 0.5185 - S_{\max ①}^{65} = 1.433$$

したがって、昭和60, 65年ともに転用可能最大量 $D_{\max ①}^{60}$ は必要転用水量 DV^* より小さく、従来の合理化対策事業では、とても都市側の水需要を満たすことはできない。

- ② さらに、調整区域内農地すべてをパイプライン化し、市街化区域内農地は合理化計画すべて畑作化する場合の最大可能転用量 $DV_{\max ②}$ を計算してみると、以下のようになる。

$$DV_{\max ②} = DV_4 + DV_5 = 0.615$$

$$(A_{p2} = 1907.2, A_{p3} = A_3 = 0, La_2 = La_3 = 0)$$

一方、地下水汲上げ最大可能量 $S_{\max ②}$ は,

$$S_{\max ②} = S_4 + S_5 = 0.358 (A_3 = 0)$$

であるから、昭和60, 65年における必要転用水量 DV^{**} は,

$$S60 DV_{60}^{**} = DV_4^{**} + DV_5^{**} = 0.8635 + 0.3540 - S_{\max ②} = 0.860$$

$$S65 DV_{65}^{**} = DV_4^{**} + DV_5^{**} = 1.2801 + 0.5185 - S_{\max ②} = 1.441$$

したがって、この場合でも昭和60, 65年ともに転用可能最大量 $DV_{\max ②}$ は必要転用水量 DV^{**} より小さく、計画上可能な畑作化を行なっても都市側の水需要を満たすことはできない。

故に、都市側の計画年における水需要を満たす合理化事業とするには、必ず追加水管理労働投入が必要であることが明らかである。

(5) 解析ケース結果および結果の検討

(a) 合理化事業費用最小化

解析ケース結果は、第Ⅲ-9, Ⅲ-10, Ⅲ-11表および添付資料7(最終回に掲載予定)のとおりである。

第Ⅲ-8表 制約条件式および目的関数

番号	一般モデル	1	2	3	4	5	6
	対 応 式	A _{p2}	A _{p3}	La ₂	La ₃	A ₃	A _{3̄}
〔制約条件〕							
1	(3 - 1)	$\times 10^{-4}$ -3.1154	$\times 10^{-4}$ -3.0635	$\times 10^{-3}$ -1.5028	$\times 10^{-3}$ -1.5006	$\times 10^{-3}$ 3.2809	
2	(3 - 2)						
3	(3 - 3)	$\times 10^{-4}$ -3.1154		$\times 10^{-3}$ -1.5028			
4	(3 - 4)		$\times 10^{-4}$ -3.0635		$\times 10^{-3}$ -1.5006	$\times 10^{-3}$ 1.8851	
5	(3 - 16)						
6	(3 - 17)					$\times 10^{-3}$ -0.5857	
7	(3 - 19)					1.0	1.0
8	(3 - 20)	1.0					
9	(3 - 21)		1.0			-1.0	
10	(3 - 23)	-0.3796		1.0			
11	(3 - 24)		-0.3796		1.0		
12	(3 - 26)						
13	(3 - 27)						
14	(3 - 28)						
15	(3 - 29)						
16	(3 - 30)						
17	(定義式)						
〔目的関数〕							
a.		$\times 10^{-2}$ 7.8964	$\times 10^{-2}$ 9.4757	$\times 10^{-2}$ 8.5527	$\times 10^{-2}$ 8.5527		$\times 10^{-1}$ 6.8150
b.		$\times 10^{-2}$ -1.0980	$\times 10^{-2}$ -2.6773	$\times 10^{-2}$ -8.5527	$\times 10^{-2}$ -8.5527		$\times 10^{-1}$ -6.8150

(単位: ha, hr/日, m³/sec, 百万円)[illegible]

第Ⅲ-8表 (つづき)

番号	一般モデル	15	16	17	18	19	B(I)	式 番 号
	対 応 式	DS ₄₅	DS' ₄₅	Q ₁₆	FD ₂₆	FD ₃₆		
〔制約条件〕								
1	(3 - 1)			1.0			= -0.0349	(3 - 37)
2	(3 - 2)			1.0			≧ 0	(3 - 38)
3	(3 - 3)				-1.0		= -4.4380	(3 - 39)
4	(3 - 4)				-1.0		= -0.0767	(3 - 40)
5	(3 - 16)						= 1.1390	(3 - 41)
6	(3 - 17)						= 0	(3 - 42)
7	(3 - 19)						= 98.5 42.9	(3 - 43) 昭60 昭65
8	(3 - 20)						(=) ≧ 1,907.2	(3 - 44)
9	(3 - 21)						(=) ≧ 0	(3 - 45)
10	(3 - 23)						≧ 0	(3 - 46)
11	(3 - 24)						≧ 0	(3 - 47)
12	(3 - 26)						≧ 0	(3 - 48)
13	(3 - 27)						≧ 0	(3 - 49)
14	(3 - 28)	1.0					= 0.391	(3 - 50)
15	(3 - 29)						≧ 0.8635 1.2801	(3 - 51) 昭60 昭65
16	(3 - 30)						≧ 0.3540 0.5185	(3 - 52) 昭60 昭65
17	(定義式)	1.0	-1.0				= 0	(3 - 53)
〔目的関数〕								
a.							→ minimize	
b.		$\times 10$ -3.1536 $\times (1+\lambda)$	$\times 10^2$ 1.5768				→ maximize	

第Ⅲ-9表 合理化事業費用最小化問題最適解

cost	説 明	cost (千円)	Ap ₂ (ha)	Ap ₃ (ha)	La ₂ (hr/日)	La ₃ (hr/日)	A ₃ (ha)	DV ₄ (m ³ /sec)	DV ₅ (m ³ /sec)	S ₄ (m ³ /sec)	S ₅ (m ³ /sec)	m ³ 当り 単 価 (円)
case a-60-1	$A_{p2} \leq A_2, A_{p3} \leq A_3$	141,985	1,274.2	0	483.7	0	98.5	0.4877	0.3540	0.3758	0	5.35
case a-60-2	$A_{p2} = A_2, A_{p3} \leq A_3$	180,746	1,907.2	0	352.5	0	98.5	0.4877	0.3540	0.3758	0	6.81
case a-60-3	$A_{p2} = A_2, A_{p3} = A_3$	188,362	1,907.2	98.5	332.4	0	98.5	0.4877	0.3540	0.3758	0	7.10
case a-65-1	$A_{p2} \leq A_2, A_{p3} \leq A_3$	186,690	1,677.3	0	636.7	0	42.9	0.9146	0.5185	0.3655	0	4.13
case a-65-2	$A_{p2} = A_2, A_{p3} \leq A_3$	200,981	1,907.2	0	589.1	0	42.9	0.9146	0.5185	0.3655	0	4.45
case a-65-3	$A_{p2} = A_2, A_{p3} = A_3$	204,298	1,907.2	42.9	580.3	0	42.9	0.9146	0.5185	0.3655	0	4.52

第Ⅲ-10表 C (J) に関する感度分析結果

	C (1)		C (2)		C (3)		C (4)		C (6)	
	A _{p2}		A _{p3}		La ₂		La ₃		A ₃	
case a-60-1	- .78	~ 21	- .18	~ ∞	-1.00	~ .51	- .51	~ ∞	- .42	~ ∞
case a-60-2	-1.00	~ ∞	- .82	~ ∞	-1.00	~ 1.55	-1.00	~ ∞	- .74	~ ∞
case a-60-3	-1.00	~ ∞	-1.00	~ 4.51	-1.00	~ .001	- .001	~ ∞	- .63	~ ∞
case a-65-1	- .78	~ 21	- .18	~ ∞	-1.00	~ .51	- .51	~ ∞	- .42	~ ∞
case a-65-2	-1.00	~ ∞	- .82	~ ∞	-1.00	~ 1.55	-1.00	~ ∞	- .74	~ ∞
case a-65-3	-1.00	~ ∞	-1.00	~ 4.51	-1.00	~ .001	- .001	~ ∞	- .63	~ ∞

(注) 表中の値は $\Delta C/C$ (ΔC : 基底解が入れ変わる増減量)。

第Ⅲ-11表 B(I)に関する感度分析結果

	$B(7) = \tilde{A}_3$	$B(15) = \tilde{D}_4 - \tilde{C}I_{14} - \tilde{O}_4$	$B(16) = \tilde{D}_5 - \tilde{M}I_{15} - \tilde{O}_5$
case a-60-1	-1.00 ~ .84	-.56 ~ .71	-1.00 ~ 1.73
case a-60-2	-1.00 ~ .84	-.56 ~ .71	-1.00 ~ 1.73
case a-60-3	-1.00 ~ .84	-.56 ~ .75	-1.00 ~ 1.83
case a-65-1	-1.00 ~ 1.52	-.71 ~ .17	-1.00 ~ .43
case a-65-2	-1.00 ~ 1.52	-.71 ~ .17	-1.00 ~ .43
case a-65-3	-1.00 ~ 1.79	-.71 ~ .19	-1.00 ~ .46

(注) 表中の値は $\Delta B/B$ (ΔB : 基底解が入れ変わる増減量)。

A 解析ケース解の安定性

第Ⅲ-10表は、目的関数の係数 $C(J)$ の感度分析の結果である。case a-60-3 および case a-65-3 の La_2, La_3 の係数以外については、係数の約20%の増減範囲内においては基底変数の入れかえは行なわれず、解は安定である。また、case a-60-3 および case a-65-3 の La_2, La_3 の係数についても、その意味するものを検討してみると、そもそも La_2 および La_3 のコストは同じであり、増減するならば、両者同方向に同額だけ変化するものであるから、やはり C の値が増減しても、ある一定の範囲内ならば基底変数の入れかえは行なわれず、解は安定である。すなわち、いずれのケースについても、解は安定であるといえる。なお、 La_3, A_3 は、いずれのケースにおいても非基底変数であるから、 La_3, A_3 の係数が第Ⅲ-10表の変動範囲内であれば、目的関数の値はかわらない。

一方、第Ⅲ-11表は、制約条件の右辺 $B(I)$ についての感度分析の結果である。計画年における市街化区域残存農地面積 $\tilde{A}_3$ 、上水、工水の既開発分を除く需要量 $\tilde{D}_4 - \tilde{C}I_{14} - \tilde{O}_4$ 、 $\tilde{D}_5 - \tilde{M}I_{15} - \tilde{O}_5$ についての分析結果しか示さなかった理由は、他の $B(I)$ は、本質的に構造方程式ともいふべきものの $B(I)$ であるから、値そのものは変化しないと考えるべきであると思われるからである。結果はいずれのケースにおいても、 $B(I)$ の約20%の増減範囲内においては、基底変数の入れかえは行なわれず、解は安定であるといえる。

B 事業規模の検討

① case a-60-1, case a-65-1 (66頁参照)

このケースは、都市側の水需要を満足させるための事業規模である。昭和60、65年においても、その事業範囲は、調整区域内農地（農地2）のみににおける一定規模以上の事業化で満たされる。すなわち、昭和60年時点においては農地2の66.8%、昭和65年時点では87.9%のパイプライン化で確保されるということになる。ただし、注意を要することは、従来の合理化対策事業における事業規模の考え方とは異なり、あくま

でパイプライン化した地区については、100%の追加労働投入が行なわれることを前提としているということである。

② case a-60-2, case a-65-2

解析ケースの設定の中で述べた（66頁参照）農業側あるいは都市側の政策上の目的を達するため農地2をすべてパイプライン化する場合には、最大追加労働投入可能量の、昭和60年時点で48.7%、65年時点で81.4%の追加労働投入により都市側の水需要に対応できることになる。費用的には、①の事業規模に比べ、昭和60年27.3%、65年7.7%のコストアップとなる。したがって地域社会全体としての合理的行動としては、①の事業規模で合理化事業を実施することが最善であるが、現実的には、都市側の水需要増に応じて徐々にパイプライン化面積を経年的に増やしていく事業形態はとれないし、また、実際には、単位水管理労働投入量と節減量との関係は、最大投入量付近では線形関係ではなく、節減量は逡減するであろうから、費用が少し割高になっても、できるだけ農地2はパイプライン化して追加労働投入量を弾力的に運用する方が、政策的にはより適切ではないかと思われる。

③ case a-60-3, case a-65-3

このケースは、より発展した政策的配慮の必要がある場合（66頁参照）であるが、市街化区域内農地（農地3）に対する農業投資は、近い将来都市計画上の農地転用により無駄な投資になる可能性がある。しかし、だからといって用水供給をしないというわけにもいかないので、現行の合理化対策事業でもこの農地に対して、ある一定の農地転用予測のもとに、ある程度の投資をしているのが実状である。農地3すべてのパイプライン化には問題はあるが、実状に合った適度の投資は、合理化事業の成果をより確実にするために必要な投資であろう。また、本地区の場合、たとえ農地3をすべて事業実施地区に取り込んだとしても、費用的には、②の事業規模に比較して2～4%のコストアップにとどまるので、農地3まで事業実施することも次善の策といえよう。

しかし、上述したいずれの事業規模に対する検討も、事業費のみを最小化するための規模であり、それなりに政策的意味はあると思われるが、最終的な結論は、次の純便益最大化問題の最適解の中で論じることとする。

C 転用水 m^3 当りコスト

合理化事業が新規水資源開発のみを目的として実施されるものと仮定すると、転用水 m^3 当りコストが得られる（第Ⅲ-9表参照）。昭和60年に比して65年の単価が安くなっているのは、農業側の必要取水量が、都市計画による農地転用面積分だけ少なくなり、その水量が転用可能水量として、転用水量に計上できるからである。それはともかくとして、いずれにしても、合理化事業による新規水資源開発コストは、地下水汲上げコスト程度であるために、農業側の合理化の結果から受ける便益を計上しなく

第Ⅲ-12表 e_{dv} に関するパラメトリック分析 (case b-60-1)(単位: ha, hr/日, m³/sec)

	$1 + \lambda$ (円/m ³)	$e_{dv0}(1 + \lambda)$ (百万円/(m ³ /sec)年)	A_{p2}	A_{p3}	La_2	La_3	Λ_3	A_g	DV_4	DV_5	S_4	S_5	DS	最大値 (千円)
1	0.0~1.642	0 0 ~ 51.78 51.7	1,907.2	0	579.9	0	98.5	0	0.8635	0.3540	0	0	0.391	-8,889 33,841
2	1.642~1.951	51.78~61.53 61.5 61.6	1,907.2	0	724.0	0	98.5	0	1.1014	0.3540	0	0	0.391	33,929 44,254
3	1.951~5.000	61.53~157.68 157.6	1,907.2	98.5	724.0	37.4	98.5	0	1.1963	0.3540	0	0	0.391	44,367 155,656
4	5.000	157.68	1,907.2	98.5	724.0	37.4	98.5	0	1.1963	0.3540	0.3758	0	0.0152	155,748
5	5.000~7.649	157.68~241.22 241.2	1,907.2	98.5	724.0	37.4	98.5	0	1.1963	0.3540	0.3758	0	0.0152	155,779 283,952
6	7.690~ ∞	241.22~ ∞ 300.0	1,907.2	0	724.0	0	0	98.5	1.4566	0.3540	0.3576	0	0.0334	284,128 388,454

(注) $e_{dv0} = 31.536$ 百万円/(m³/sec) year.

第Ⅲ-13表 e_{dv} に関するパラメトリック分析 (case b-60-3)

	$1 + \lambda$ (円/m ³)	$e_{dv0} (1 + \lambda)$ (百万円/(m ³ /sec)年)	A_{p2}	A_{p3}	La_2	La_3	A_3	A_3	DV_4	DV_5	S_4	S_5	DS	最大値 (千円)
1	0.0~1.642	0 ~51.78 51.7	1,907.2	98.5	559.9	0	98.5	0	0.8635	0.3540	0	0	0.391	-9,809
2	1.642~1.644	51.78~51.845 51.84	1,907.2	98.5	724.0	0	98.5	0	1.1346	0.3540	0	0	0.391	32,921
3	1.644~5.000	51.845~157.68 157.6	1,907.2	98.5	724.0	37.4	98.5	0	1.1963	0.3540	0	0	0.391	32,999
														33,054
														33,124
														155,656

以下 case b-60-1 に同じ

(注) $e_{dv0} = 31.536$ 百万円/(m³/sec)year。

第Ⅲ-14表 e_{dv} に関するパラメトリック分析 (case b-65-1)

	$1 + \lambda$ (円/m ³)	$e_{dv0} (1 + \lambda)$ (百万円/(m ³ /sec)年)	A_{p2}	A_{p3}	La_2	La_3	A_3	A_3	DV_4	DV_5	S_4	S_5	DS	最大値 (千円)
1	0.0~5.000	0 ~157.68 157.6	1,907.2	42.9	724.0	16.3	42.9	0	1.1787	0.5185	0.1014	0	0.2896	-39,733
2	5.000	157.68	1,907.2	42.9	724.0	16.3	42.9	0	1.1787	0.5185	0.3655	0	0.0255	182,104
3	5.000~7.649	157.7 157.68~241.22 241.2	1,907.2	42.9	724.0	16.3	42.9	0	1.1787	0.5185	0.3655	0	0.0255	182,217
4	6.649~∞	241.3 241.22~∞ 300.0	1,907.2	0	724.0	0	0	42.9	1.2921	0.5185	0.3576	0	0.0334	182,250
														321,842
														322,019
														426,345

(注) $e_{dv0} = 31.536$ 百万円/(m³/sec) year。

ても、転用水に対する評価額 e_{dv} が、地下水汲上げコスト程度以上であるならば、合理化事業は、新規水資源開発のためだけの事業としても、経済的に満足のいく事業である、といえる。ここに、本事業を推進すべき経済的要因の一つが存在するのである。

(b) 合理化の結果から受ける純便益の最大化

第Ⅲ-12, Ⅲ-13, Ⅲ-14表, は, 新規利用可能量が増となる都市用水の評価額 e_{dv} に関して, パラメトリック分析を行なった解析ケース(ケース名については, 第Ⅲ-2表を参照のこと)の結果をまとめたものである。ただし, case b-60-2 は case b-60-1 と, case b-65-2, case b-65-3 は case b-65-1 と同じ結果である。また, 各ケースの出力結果は, 添付資料8のとおりである。

解析方法は, 合理化事業により利用可能量増となる転用水の評価額と地下水汲上げ節減の結果により利用可能量減となる地下水の評価額を同一値 e_{dv} にして, 同時に同額推移させていく方法をとっている。すなわち,

$$\begin{aligned} e_{dv} &= e_{dv0} + \lambda d \\ &= e_{dv0} \cdot (1 + \lambda) \quad d = e_{dv0} \\ &(-1 \leq \lambda \leq +\infty) \end{aligned} \quad (3-54)$$

e_{dv0} : 基準評価額 (= 1 円/m³ = 31.536 百万円/(m³/sec)・year)

として解析している。なお, $1 + \lambda$ の値は, 利用可能増となった都市用水の m³ 当りの評価額 (円/m³) を示すことになる。

A 基底変数の入れかえ点

第Ⅲ-2図は, case b-60-1 の結果を図示したものである。横軸にはパラメーター $1 + \lambda$ の値をとり, 縦軸には, $1 + \lambda$ に対応する最適解の基底変数の値および目的関数の値を記入している。

① $0 \leq 1 + \lambda < 1.642$

このときは, 都市側の水需要を満足するための事業費を最小化することが, 便益の最大化である。したがって, 調整区域内農地(農地2)をすべてパイプライン化して送水ロスを節減し, それで満たせない量を追加労働投入(最大追加可能労働投入量の80.1%)による配水用水量の節減を行なうことになる。市街化区域農地(農地3)のパイプライン化や計画上の畑作化および地下水汲上げは行なわれない。

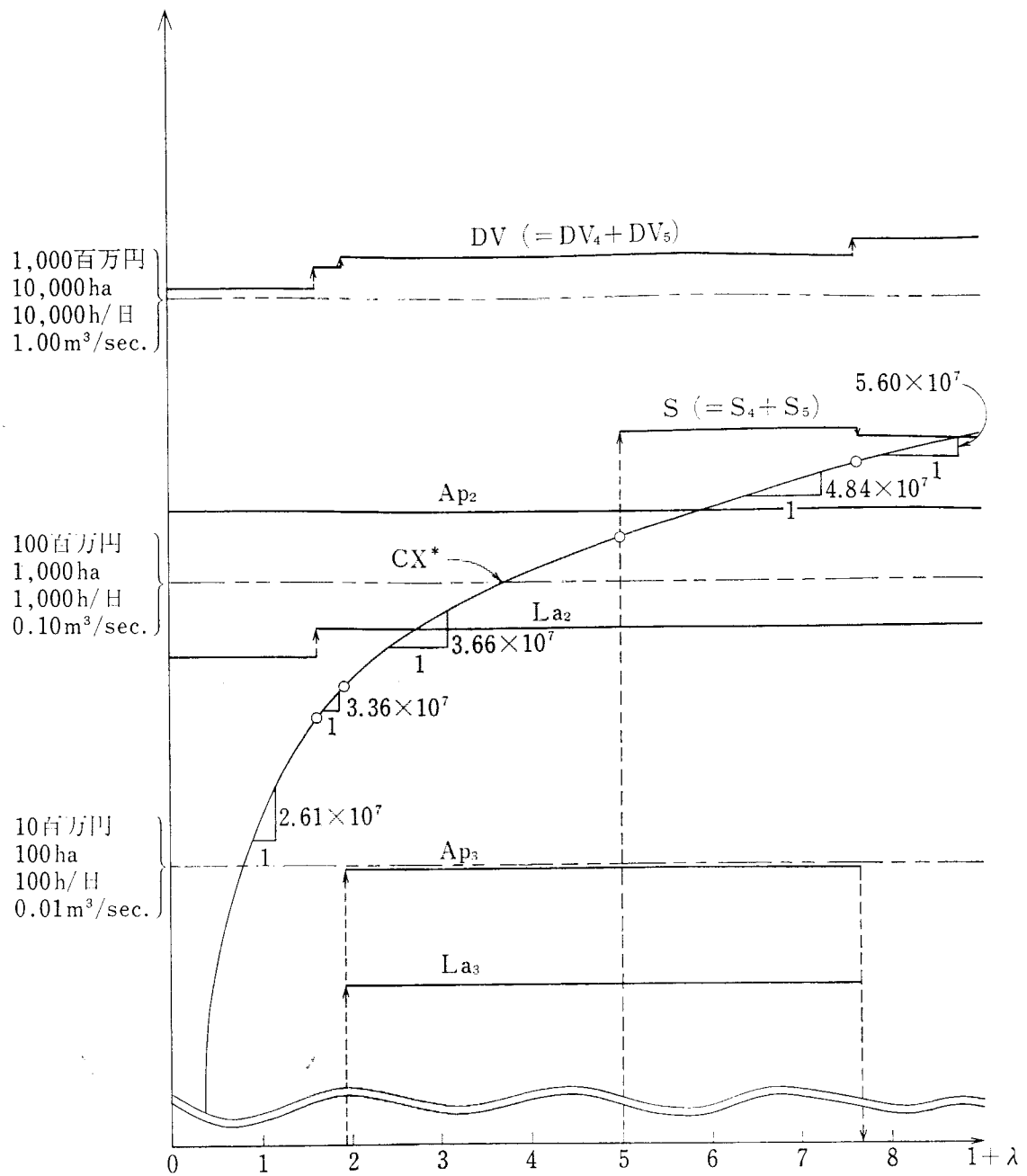
② $1.642 \leq 1 + \lambda < 1.951$

パイプライン化されている農地2に対して100%の追加労働投入が行なわれ, その節減量だけ, 転用水量が増加する。

③ $1.951 \leq 1 + \lambda < 5.000$

新たに農地3に対してパイプライン化工事がなされ, それに対して100%の追加労働投入が行なわれる。したがって, その節減量だけ転用水量が増加する。

第Ⅲ-2図 $1+\lambda$ に対する最適解の基底変数の値および目的関係の値



④ $1 + \lambda = 5.000$

地下水の汲上げコスト C_{GW} が評価額 e_{dv} に等しく、この点においては、地下水の汲上げ有無は、便益の増減に影響を与えない。

⑤ $5.000 < 1 + \lambda < 7.649$

地下水汲上げが、その最大可能量までなされる。転用水量 DV は増加しないが、都市側の利用可能水量は、汲上げ分だけ増加する。

⑥ $7.649 \leq 1 + \lambda$

農地 3 は、転用水量を増加させるために畑作化される。したがって、農地減分だけ地下水汲上げ可能量が減となるが、合計としての都市側の利用可能量は、その差し引き分だけ増加する。そして、これ以上パラメーターの値を増加させても、基底の交換は行なわれなくなり、パラメトリック分析が終了する。

case b-60-3 については、農地 3 のパイプライン化面積 A_{p3} が条件制約上、最初から基底解に入るため、case b-60-1 における場合とは、 $1 + \lambda < 1.951$ の範囲において多少異なる基底解をもつが、 $1 + \lambda \geq 1.951$ の範囲においては case b-60-1 と同じ変化をする。すなわち、

① $0 \leq 1 + \lambda < 1.642$

農地 2 および農地 3 のすべてがパイプライン化されても都市側の水需要を満たせない不足量を、追加労働投入（最大可能投入量の 73.5%）により補足する。

② $1.642 \leq 1 + \lambda < 1.644$

農地 2 に 100% の追加労働投入が行なわれる。

③ $1.644 \leq 1 + \lambda < 5.000$

さらに農地 3 に対する追加労働投入が行なわれる。そして、すぐ途中の段階 ($1 + \lambda = 1.951$ 以上) で case b-60-1 と同じ結果となる。

また、case b-65-1 では、第 1 段階 ($0 \leq 1 + \lambda < 5.000$) で基底解に A_{p2} , A_{p3} , La_2 , La_3 のすべてが 100% の値で入り、それでも満たせない不足量を地下水汲上げにより確保することになる。そして、 $1 + \lambda \geq 5.000$ では本質的に case b-60-1 と同様の基底変数の入れかえが行なわれ、パラメトリック分析が終了する。

B 目的関数の値（純便益値）の推移

目的関数の値 CX^* は、第 III-2 図では片対数グラフにプロットしたために、パラメーターの値が大きくなるにつれて逡減しているように見えるが、傾き $m = CX^*/(1 + \lambda)$ が示すように、 $1 + \lambda < 7.649$ の範囲内においては、下に凸の形で推移する。これは評価額 e_{dv} の値の増大に伴い、固定的である費用の相対的ウェイトが低下するからである。そして、評価額 e_{dv} が 7.649 円より大きくなれば、 e_{dv} に比例した目的関数の値をとるようになる。

C 最適事業規模

合理化事業の結果から受ける純便益を考慮した地域社会全体としての最適事業規模は、都市側が新規に利用可能となる水に対する評価額 e_{dv} がいくらであるかによって決定されるといえる。この評価額 e_{dv} は、新規利用可能水の水質や水温といった物理的・化学的性質や渇水年とか通年取水の可能性といったものを考慮した利用上の確実性、他の新規水資源開発コストとの比較、生産財としての位置付け等といった水需給バランスによって決定されるものである。しかし、結果的に、その評価額が m^3 当たり 2 円以上であれば、いずれのケースにおいても、地域内農地すべてをパイプライン化し、必要最大限の追加水管理労働量を投入することが、本地域の合理的行動といえる。 m^3 当たり 2 円という値は、地下水汲上げ規制が強化されつつある本地域においては、合理化事業は、新規水源開発事業としても、政策的に強力に押し進めるべき事業であることが確認できる。

【注】

- 1) この仮定の妥当性は、後述する (p. 71)。
 - 2) わが国では一般に利用できる水量は、水田の灌漑期より非灌漑期の方が少ない。しかし、新規に利用可能な渇水量は非灌漑期の方が圧倒的に多い。なぜなら、河川の渇水量に比して水田面積が少ない河川を除けば、既存の農業用水によって、その河川の渇水量のほとんど全量が利用されつくしているからである。したがって、灌漑期間中の渇水の補強さえできれば、年間を通じた新規取水が可能である。
 - 3) 事業化前の水利権量から、事業化後の転用水量と取水量の合計を差引いた量と事業化前の水利権量との比が小さくなると、という意味。
 - 4) 参考文献34参照のこと。
 - 5) データおよびデータ加工は、添付資料 5 に示す。
 - 6) このように短期間のデータを用いての推定式により予測を行なうことには若干の危険が伴うが、係数の有為性および後に述べる（第 2 節）感度分析の結果等を考慮して、本式により推定することとした。
 - 7) データおよびデータ加工は、添付資料 6 に示す。
 - 8) 参考文献34による結果。
 - 9) 県条例（昭和52年）。
 - 10) 参考文献41の1975, pp. 70~85に収録。
 - 11) 参考文献 5, 27, 28, 32, 42, 46, 83, 84, 86, 87, 88, 89, 92, 95, 96。
- * 参考文献，資料は最終回掲載する予定である。