

日本住宅公団 正会員 ○田中 寛
大阪大学 正会員 盛岡 通
大阪大学 正会員 末石 畠太郎

1 流域水環境管理

大都市圏における水需給の質的・量的アンバランスは大きく、そのため種々の施策が検討、実行されている。しかし、この状態の改善は遅々として進まず、各利水セクター間の競合は激しいものがある。また、公共水域における水質改善も顕著であるとはいいがたい。一方、市民のレクリエーションへの欲求の高まりと共に、都市域における水辺環境の整備の必要性が高まってきている。以上のように、水環境問題は多面性を持っており、今後共、地域・都市問題の大きな部分を占めることは確実である。そして、水利用の連鎖性を考慮すれば、流域を対象として水環境管理を行なうことが有効である。

管理とは、計画目的値を達成するべく環境を制御することであると考え、水環境管理には次の二つの方法が考えられる。第一の方法は、水環境に対し動的な計画手法を適用し、各時点において計画目的値を達成するべく水環境管理を行なう方法である。第二の方法は、水環境に対し静的な計画手法を適用し、ある一定期間は、その計画目的値を達成するように水環境管理を行ない、計画目的値を変更すべき状況が生じた場合には、新しい計画目的値を設定し、その値を達成するべく水環境管理を行なう方法である。水環境は常に不確実性を含み単一目的で記述できず、動的な手法を適用するには問題があり、現実の水環境問題を取り扱うのに有効な動的手法の開発もなされていない。したがって、本論文では、第二の方法によって行なった研究について述べる。

水利用機能が多様であることから、水環境計画の目的は多目的でなければならない。水環境計画の目的として以下の項目が存在する。¹⁾

- 1) 良好な飲料水を供給し、住民の健康を増進する。
- 2) 低温の冷却用水によって生産効率を高める。
- 3) 最適ダム開発により低コストの発電を行なう。
- 4) 下水道の整備による環境の浄化。
- 5) 公共水域の水質保全による水産資源の確保。
- 6) 河川や湖の整備によるレクリエーション空間の増大。

Y. Y. Haimes²⁾らは、現代社会を同一の単位では測れない多くの目的を持った社会であると特徴づけている。上述の1)~6)についても同様であり、目的間にはしばしば競合関係が存在する。したがって、水環境計画においては目的間の競合関係を明示し、各目的の達成度を調整する手法が不可欠となる。静的でかつ多目的問題を解決する手法の主要なものを整理すると、表-1のとおりである。

表-1 主要な多目的問題解決手法(著者が文献4より要約)

名 称	方 法 論	長 所	欠 点	意思決定者の役割 ³⁾
効用関数法 (Utility Function Approach)	既知と仮定された効用関数を最大化することにより、最適解を得る	効用関数決定後の最適化が容易である	一般的に、効用関数は決定されない	いって言えば、効用関数の決定または選択
無差別関数法 (Indifference Function Approach)	意思決定者が、無差別式 $f_1(x_1, x_2)$ の関係を決定し、 $\text{MIN } f_1(x_1, x_2) + f_2(x_1, x_2), \text{ s.t. } x \in T$	無差別関数は効用関数よりも決定しやすい	無差別式が「下内」のどこでも同じと仮定している	$f_1(x_1)$ と $f_2(x_2)$ のどちらを優先するかを決定する
レxicographic Approach	意思決定者が決定した重要度の高い目的関数から順に最小化を行なう	現実にはこのような意思決定をする傾向が強い	解が目的関数の順序づけに対して非常に敏感	目的関数に対して順序づけを行なう
パラメトリック法 (Parametric Approach)	$\text{MIN } z = f(x), \text{ s.t. } x \in T$ θ_i : 目的関数 $f_i(x)$ の相対的重要度	θ_i を変化させることにより、非劣解群が得られる	θ_i を定数であると仮定するか、 $f_i(x)$ の値の関数である	θ_i の値を決定する
E制約法 (E-Constraint Approach)	$\text{MIN } f_1(x), \text{ s.t. } f_2(x) \leq e_j, j=2, 3, \dots, m, x \in T$ e_j : 各目的関数の最大許容レベル	すべての型の問題に対して非劣解群を得ることができる	e_j と $f_1(x)$ が最適でなく目的関数の決定が困難である	(n-1)個の目的関数に対して最大許容レベルを決定する
目標計画法 (Goal Programming)	各目的関数の目標値からの偏差を最小にするように解を決定する	調整、合意、交渉問題として有効である	各目的関数の重要度を等しくしているのが現実的でない	各目的関数の達成目標値を決定する
目標達成法 (Goal Attainment)	$\text{MIN } z = f(x) - w_1 z_1 - \dots - w_m z_m, \text{ s.t. } z_i \geq 0$ z_i : 目的関数 $f_i(x)$ と目標値 t_i との差に相当する値	w_i を変化させることにより、すべての問題の非劣解群が得られる	ウェイト w_i の決定が容易でない	目標ベクトル t とウェイトベクトル w を決定する
適応探索法 (Adaptive Search Approach)	$\text{MIN } f(x), \text{ s.t. } x \in T$ という問題を、 $x_i = x_{i-1} - \alpha_i J_i(x_i)$ を繰り返して解く	非劣解群が求まる	計算が複雑、最適解を得る方法が示されていない	
対話的方法 (Interactive Approach)	意思決定者に解を示し、その解を前面で修正することにより、最適解を見出す	最適解を求めるために、仮定を修正していい	非劣解群を得る方法論が欠けている	提示された解に対して、評価を与える

注: 目的関数ベクトル、 X : 意思決定ベクトル、 T : 実行可能領域、 z : スカラー変数、 J : 目的関数の偏微分や勾配ベクトル

表-1のように種々の手法があるが、特に注目されている手法としてSWT法(Surrogate Worth Trade-off Method)がある。この手法は、豊富な情報に基づいて選好解(preferred solutions)に到達するための反復的対話過程を含んでおり、多目的間のトレード・オフ調整手法としてすぐれた内容を持っている。しかし、日本の風土にややなじまない面があり、数年来、適用方法について検討を加えてきた。本論文においては、SWT法を流域水環境管理に適用したケーススタディとその考察について述べるものとする。

2 流域水環境管理のためのSWT法の適用における基本的考え方

まず、SWT法の概要とその特徴について述べる。³⁾ SWT法は、非劣等解(non-inferior solutions)集合をまず見出し、その中から選好解を得るという接近方法をとっており、以下の3つのプロセスから成り立っている。

- 1) 多目的問題を、条件つき最大化問題であるε制約問題(ε-constraint problem)として定式化する。そして、ラグランジェ乗数を導入し、非劣等解とパレート(Pareto)的なトレード・オフ比関数 $\lambda_{ij} = -df_i/df_j$ (f_i, f_j : 目的関数)を求める。
- 2) このパレートのトレード・オフ比関数の値に対して与えられる意志決定者の相対的評価レベルすなわち代用評価関数 $W_{ij}(\lambda_{ij})$ を求める。 W_{ij} による評価は、10段階の序数評価として行なう。そして、 $W_{ij}(\lambda_{ij}) = 0$ となる無差別域(indifference band)を求める。
- 3) 意志決定変数空間(decision space)への変換。つまり、トレード・オフ比関数の最適値 λ_{ij}^* を用いて、各目的関数間のトレード・オフ関係が調整された場合における各変数の値を決定する。

SWT法の特徴としては、次の諸点を指摘することができる。

- 1) 目的関数の値そのものに対してではなく、それらの限界代替率に対して意志決定者の評価を付与し、目的関数間のnoncomensurabilityの問題を解決しようとする。
- 2) 豊富な情報に基づいて選好解に到達するための反復的な対話過程を含み、意志決定者があいまいに意識している選好解へ、漸次的に収束する。

SWT法を流域水環境管理に適用するにあたって、流域水環境における複数の目的間の広義のトレード・オフ構造の特徴を明確に把握する必要がある。広義のトレード・オフ関係には、いわゆる公平性の達成をも含む。それを示す模式図が図-1である。ここでは、流域を何らかの基準にしたがって、M個の区域に分割してある。この図には、3種類の広義のトレード・オフ関係が示されている。それは同じ区域における異なる目的間のトレード・オフ(F_{11} と F_{21} たとえば区域1における水利用量の最大化と水質値の最小化)、異なる区域における同じ目的間の広義のトレード・オフ(F_{11} と F_{21} 、たとえば区域1と2における水利用量の最大化、この2つの調整は公平性の達成を意味する)、区域も目的の内容も異なる2つの目的間のトレード・オフ(F_{11} と F_{22} 、たとえば区域1における水利用量の最大化と区域2における水質値の最小化)である。日本の流域水環境が持つこのような特徴について、Y.Y. Haimesは十分に言及していない。この3種類の広義のトレード・オフ関係は、区域と目的の2つの分割によって生ずるものであるから、ど

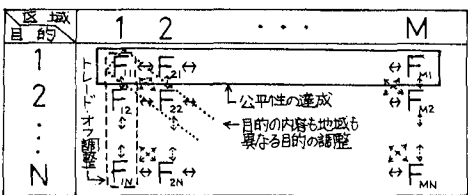


図-1 流域水環境における目的間の広義のトレード・オフ構造模式図

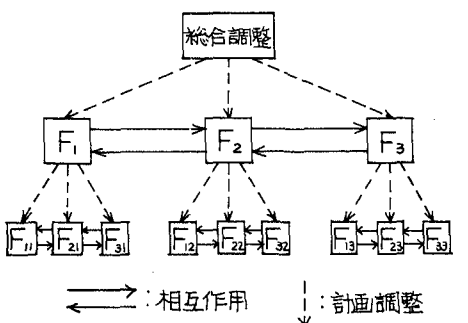


図-2-a 計画調整2段階モデル(単一目的地域間調整型)

ちらの分割を先に行ない2段階の調整を完了するかが問題となる。

分割の順序にしたがい、2つのタイプの2段階調整モデルが考えられる。これを模式的に示せば、図-2-aと図-2-bようになる。図-2-aでは、まず目的による分割を行ない全域共通の目的 F_1 、 F_2 、 F_3 を決定し、その後目的に応じた方法による区域の分割を行ない、区域ごとの個別目的 F_{1i} 、 F_{2i} 、 F_{3i} 等を決定する。そして、上位レベルでは F_1 、 F_2 、 F_3 の相互調整を行ない、下位レベルでは F_{1i} 、 F_{2i} 、 F_{3i} 等の相互調整を行なうのである。このタイプは、その特徴から単一目的地域間調整型と呼ぶことができよう。この場合、 F_1 、 F_2 、 F_3 の調整にSWT法を適用することが考えられるが、調整すると同時に各区域における変数の値がすべて決定されてしまうので、下位レベルにおける調整がなされずに残る。そこで、図-2-bの手続きにしたがって、多目的調整を行なう。この手続きでは、まず区域分割を行ない、その後に目的の分割を行なうのである。下位レベルの調整をSWT法でおこない、上位レベルでの調整を、区域間で境界条件を設定することにより行なう。このタイプは、その特徴から多目的内部調整型と呼ぶことができよう。この方法により2段階の調整がなされ、流域水環境における多目的調整が完了する。

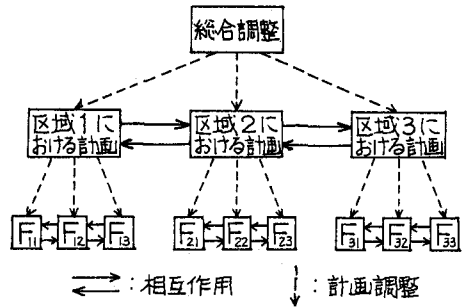


図-2-b 計画調整2段階モデル
(多目的内部調整型)

3 猪石川流域へのSWT法の適用

猪石川流域は、大阪府と兵庫県にまたがり、流域面積は約400 km²である。流域概略図を図-3に示す。また、流域を土地利用・産業活動の種類と大きさ等により3つの区域に分割し、各区域の特性を整理すると表-2のようになる。

(問題設定)

- 1) 区域2と3に注目してSWT法を適用する。
- 2) 昭和50年を基準年次とし、昭和60年を計画目標年次とする。昭和60年における人口、工業出荷額は、各自治体の総合計画等を参考にして推定した。
- 3) 昭和60年における工業用水量原単位は、昭和50年の値と同じとする。農業用水取水量は、水田面積の減少を考慮して推定した。
- 4) 上水については、これ以上府営水道に依存することなく、猪石川より取水することにした。工業用水量の増加分は、水利用の合理化・回収率の増加によりまかなうこととする。
- 5) 流域下水道の普及に伴ない、終末処理場への流入水量が増加する。したがって、2次処理施設を増設しつつ下水処理を行なう。さらに3次処理施設も導入し、放流水の水質をBODで5ppmまで低下させる。
- 6) 環境基準は、低水流量時において達

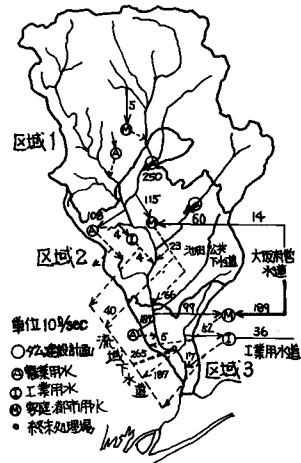


図-3 流域概略図

表-2 各区域の諸特性

	地質・地形	人口(千人) DID人口	流域面積 DID面積(km ²)	工業出荷額 (10 ⁶ 円/年)	土地利用	水利用
区域1	古生層 第三紀層 山地	24,000 0	22,000 0	6,000	大部分が山林 市街地は見えない ものがない	農業用水 上水道 簡易水道
区域2	沖積層 山地・平野	296,000 272,000	12,000 3,000	223,000	宅地開発が進んでいる	猪石川より上水 取水、 公営下水道
区域3	沖積層 平野	570,000 561,000	6,000 5,000	612,000	市街地におおまか 南部には工場立地 が集中	府営水道 工業用水道 流域下水道

成すべき値であるので、河川流量として昭和50年の低水流量を選じた。また、河川への種々の影響を考慮し、河川流量が昭和50年の渇水流量を下回るような取水は行なわないものとする。

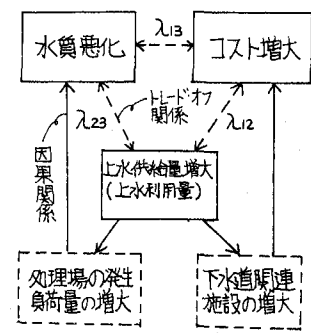


図-4 モデル構造

7) 各区域でのモデルの構造は、図-4のように表現される。
 以上の問題設定に基づいて定式化した時の変数・目的関数・制約条件・費用関数・境界条件について整理したのが、表-3である。

表-3 猪名川流域水環境問題の定式化

変 数	X_i : 昭和50年から昭和60年の間の流域下水道面積普及率の増加 ($i=2,3$) Z_i : 昭和60年における区域 i での1人1日平均給水量 ($l/\text{人}\cdot\text{day}$)
目的関数	(区域2における目的関数) $\min f_1, f_1 = k(C_2 + C_T) + C_{2s}$ (下水道関連費用の区域2での負担分の最小化) $C_w(q)$: 二次処理施設の増設と維持管理に必要な費用 (10^6円/年) $C_T(q)$: 三次処理施設の設置と維持管理に必要な費用 (") $k(x_2, x_3)$: $(C_2 + C_T)$ のうち区域2の負担割合 C_{is}: 区域2における下水道管渠布設費用 (10^6円/年) ($i=2,3$) $\min f_2, f_2 = \{ [\frac{1}{2} D (L_1 + L_2)] / Q_2 \}$ (区域2における猪名川最下流端BOD濃度の最小化) L_T: 池田処理場からのBOD発生負荷量 (定数) $L_2(x_2)$: 区域2における下水道未整備区域からの家庭BOD発生負荷量 ($g\text{BOD}/s$) L_1: 区域1と2における農業廃水によるBOD発生負荷量 (定数) L_i: 区域1と2において河川放流される工場廃水BOD発生負荷量 (定数) D: BOD汚濁分解率, Q_i: 区域 i における猪名川最下流端の流量 ($i=2,3$) $\max f_3, f_3 = (1/1000) p_2 z_2$ (m^3/s) (区域2における上水供給量最大化) p_i: 区域 i での昭和60年における予測人口 ($i=2,3$) (区域3における目的関数) $\min f_1, f_1 = (1-k)(C_2 + C_T) + C_{3s}$ (区域3での下水道関連費用負担分の最小化) $\min f_2, f_2 = \{ [\frac{1}{2} D (L_1 + L_2)] / Q_3 \}$ (区域3の猪名川最下流端BOD濃度の最小化) $\max f_3, f_3 = (1/1000) p_3 z_3$ (区域3における上水供給量最大化)
制約条件	C_i ($i=2,3$) を、区域 i の猪名川最下流端におけるBOD濃度とすると、C_2 は区域3との調整の結果決定される境界条件であると同時に、その条件内での区域2の目的関数となる。$Q_2(x_2, z_2)$ は次式で与えられる。 $Q_2 = Q_0 + Q_1 Q^* - \alpha A_2 (x_2 + 0.342) d_2 z_2$ Q_i: 区域2内で猪名川本川へ流入する支川総流量 (m^3/s) Q^*: 利用後区域2内で猪名川へ放流されない工業用水と農業用水量の和 $0.342 \leq x_2 \leq 0.658, 0 \leq x_3 \leq 0.586$ (昭和50年の区域2と3における下水道面積普及率はそれぞれ0.342, 0.414である) $k = (A_2 x_2 + A_2) / (A_2 x_2 + A_2 + A_3)$ A_i: 区域 i における市街化区域面積 (ha) ($i=2,3$) A_i: 区域 i における昭和50年の下水道普及面積 ($i=2,3$) $q = q_0 + \alpha (A_2 d_2 x_2 + A_3 d_3 x_3)$ q: 昭和50年における処理場への流入水量 ($10^3 m^3/\text{日}$) d_i: 昭和50年の区域 i における下水道未整備市街化区域人口密度 (W/ha) l_i: 区域 i における一人一日排水量 ($l/\text{人}\cdot\text{日}$) α: 単位を合わせる換算係数。
費用関数	$C_w = 29.96q^{0.71} + 6.26q^{0.71}$ (前者は建設費用、後者は維持管理費) $C_T = 11.95q^{0.71} + 8.00q^{0.71}$ 下水道幹線管渠布設費用 1.31×10^5 円/m、その他の管渠布設費用 12×10^7 円/ha
境界条件	区域2と3の間での境界条件: $C_2 \leq 12(\text{ppm}), Q_2 \geq 2.0(m^3/s)$ 区域3と海域の間での境界条件: $C_3 \leq 17(\text{ppm})$

(適用結果)

以上のようなモデルを構成し、図-5にしたがって多目的調整を行った。区域2の目的関数 f_1 は、区域3の変数 X_3 、 Z_3 を含み、区域3の目的関数 f_1 は、区域2の変数 X_2 、 Z_2 を含む。したがって、区域2と3の境界で流量と水質に関する境界条件を設定しても、各区域で独立して調整を行なうことはできない。ここでは、以下のような方法により、この問題を解消した。

区域2と3の間で何らかの情報交換が行なわれ、区域2ではその情報に基づいて区域3での変数 X_3 、 Z_3 の値を決定する。そうすれば、区域2では調整可能となり選好解が決定される。同時に、 X_2 、 Z_2 の値も定まる。この時、区域3での目的関数 f_1 は X_3 、 Z_3 のみの関数となり、区域3で独立して調整が行なわれる。この時決定した X_3 、 Z_3 の値が、区域2における調整に際して決定した X_3 、 Z_3 の値とほぼ等しくなるまで以上の手続きを繰り返す。

結果として得られた非劣等解とトレード・オフ比関数 λ_{12} 、 λ_{13} ならびにそれらに対応する代用評価関数の値を表-4に示す。代用評価関数により評価を行なう意志決定者として、水環境問題の研究者を選んだ。意志決定者には、情報として昭和50年における各目的関数の値を与え、評価の際の参考とした。表-4において、First Runでは選好解が得られず、Second Runにおいて選好解が見い出された。なお、 X_3 、 Z_3 の初期値として $X_3=0.5$ 、 $Z_3=370$ を用いた。多目的調整がなされた結果は、以下のとおりである。

(区域2) $f_1=1839$ 、 $f_2=11.5$ 、 $f_3=145,000$ 、 $X_2=0.373$ 、 $Z_2=334$

(区域3) $f_1=6,249$ 、 $f_2=17.0$ 、 $f_3=265,000$ 、 $X_3=0.483$ 、 $Z_3=379$

なお参考までに、多目的調整がなされても公平性が達成されないケースを示す。これは、図-2-aで示されるモデルの上位レベルでの調整をSWT法で行なった場合に生ずる。変数は、上述のケースと同様である。目的関数は、区域2と3での下水道関連費用の和の最小化、区域3の猪名川最下流端BOD濃度最小化、区域2と3での上水供給量最大化、の3つである。結果として得られた非劣等解とトレード・オフ比関数 λ_{12} 、 λ_{13} ならびにそれらに対応する代用評価関数の値を表-5に示す。NO.22において多目的調整がなされ、 $Z_2=494$ 、 $Z_3=230$

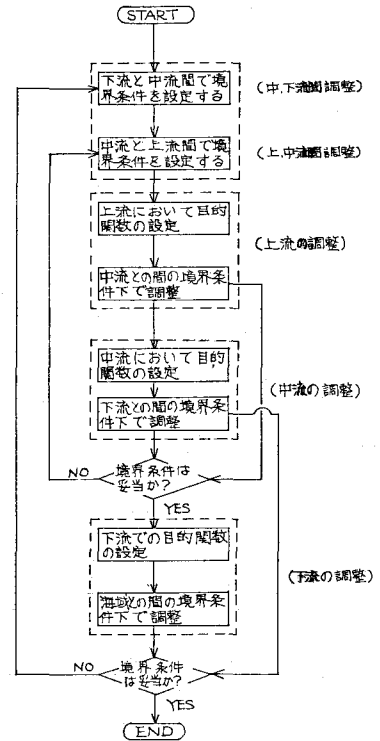


図-5 流域環境における多目的調整のフローチャート

表-4 非劣等解と意志決定者の評価

NO.	f_1	f_2	f_3	λ_{12}	λ_{13}	W_{12}	W_{13}
First Run							
1	3141	24.0	235000	415	-0.0044	+10	-7
2	3207	24.0	250000	424	-0.0044	+9	-4
3	3274	24.0	265000	430	-0.0044	+9	+1
4	3341	24.0	280000	438	-0.0045	+8	+3
5	4383	21.0	235000	412	-0.0059	+7	-5
6	4471	21.0	250000	420	-0.0059	+6	-2
7	4560	21.0	265000	427	-0.0060	+5	+2
8	4560	21.0	280000	434	-0.0060	+5	+5
9	5617	18.0	235000	410	-0.0073	+4	-3
10	5727	18.0	250000	417	-0.0073	+3	0
11	5838	18.0	265000	424	-0.0074	+2	+2
12	5848	18.0	280000	432	-0.0075	+1	+6
13	6435	16.0	235000	408	-0.0082	-1	-2
14	6559	16.0	250000	416	-0.0083	-2	+2
15	6683	16.0	265000	422	-0.0083	-3	+5
16	6807	16.0	280000	429	-0.0083	-4	+7
Second Run							
17	6014	17.0	235000	409	-0.0077	+1	-2
18	6131	17.0	250000	417	-0.0078	+1	-1
19	6248	17.0	265000	423	-0.0079	0	0
20	6367	17.0	280000	429	-0.0079	-1	+2

NO.	f_1	f_2	f_3	λ_{12}	λ_{13}	W_{12}	W_{13}
First Run							
1	3323	23.0	480000	407	-0.0039	+9	0
2	3134	23.0	400000	391	-0.0038	+10	-3
3	4538	20.0	450000	402	-0.0047	+7	+3
4	4303	20.0	400000	387	-0.0047	+7	+1
5	4066	20.0	350000	373	-0.0047	+8	0
6	3831	20.0	300000	358	-0.0046	+8	-3
7	3502	20.0	250000	345	-0.0047	+9	-7
8	5730	17.0	450000	399	-0.0055	+3	+2
9	5446	17.0	400000	384	-0.0055	+4	0
10	5173	17.0	350000	371	-0.0055	+5	-3
11	4901	17.0	300000	357	-0.0055	+6	-5
12	4626	17.0	250000	342	-0.0054	+6	-8
13	6910	14.0	450000	394	-0.0064	-1	+3
14	6584	14.0	400000	382	-0.0063	0	+1
15	5823	14.0	350000	368	-0.0063	+1	0
16	5597	14.0	300000	354	-0.0063	+2	-2
17	5543	14.0	250000	341	-0.0063	+3	-5
18	7368	11.0	350000	366	-0.0071	-10	-2
19	7014	11.0	300000	346	-0.0071	-7	-5
20	6465	11.0	250000	340	-0.0071	-4	-8
Second Run							
21	6510	14.0	387500	379	-0.0064	0	+1
22	6434	14.0	375000	375	-0.0063	0	0
23	6352	14.0	362500	372	-0.0063	+1	0

表-5 非劣等解と意志決定者の評価

であった。制約条件内で X_2 、 X_3 をどの様を選択しても、区域3における流域下水道処理人口は区域2のそれよりも多い。したがって、 Z_3 を相対的に Z_2 より小さくすることにより、処理場へ流入する廃水量が減少し、 $\min.f_i$ の目的にかなう。この様な構造にあるために、公平性が達成されないのである。

4 流域水環境管理へのSWT法の普遍的適用

- 1) 手法を流域水環境管理に適用するに当たって、まず流域水環境における目的の重要度、トレード・オフ関係と公平性に関わる問題を十分に認識する必要がある。でなければ、数学手法を適用したにとどまる。図-1のようなマトリックスを作成することは、このために有効な方法である。
- 2) 変数、目的関数は、各区域に共通なものを選択することが望ましい。特定の区域に個有の問題は、パラメータ化するような工夫が必要である。
- 3) 設定された目的にかなうような区域分割がなされなければならない。異なった区域分割によるSWT法の適用を行ない、区域分割の相違が調整結果に与える影響についても検討を要する。
- 4) 多目的問題を ϵ -制約問題として定式化し ϵ の値を変化させる時、 ϵ の変化による目的関数の感度について検討すべきである。感度が高い場合には、 ϵ の値の与え方を変える必要がある。本論文でのケーススタディでは、表-4,5からわかる様に、感度が極端に高くなるということは見られなかった。
- 5) 境界条件には、単に物理的なものだけでなく、人材や資金の移動などの社会的なものも含めて多重化し、公平性の達成を容易にする構成にすべきである。
- 6) 境界条件の変更によって公平性を達成する方法を提案したが、この反復的方法が早く収束するような境界条件の変更の方法について、さらに検討する必要がある。本論文でのケーススタディでは、境界条件の変更が公平性の達成に与える影響について比較的理解しやすいので、公平性の達成は短時間で行なわれた。
- 7) 境界条件による方法以外に、公平性を達成しようとする方法は存在する。第1に、公平性を達成するような制約条件を与える方法である。第2には、公平性の達成を目的の一つに加える方法である。しかし、これらの方法は、公平性の表現の合理性に問題を残している。本論文で提案した境界条件による方法は、公平性の達成を境界条件変更という区域間交渉により行なうという現実的な方法であり、6)の検討を充分に行なうことによりさらに有効な方法となる。

5 おわりに

まず流域水環境の広義のトレード・オフ構造を明確に認識する必要がある。そして、多目的調整においては、特に公平性を合理的に達成するプロセスが組み込まれている必要がある。このため、境界条件の変更により公平性を達成しつつ、各区域で多目的調整を行なう方法を提案し、猪名川流域の水環境管理に適用したケーススタディを報告した。以上の基本的考え方により、今後は、4で述べた諸点に留意し、流域水環境の特性をモデルの中にさらに十分に組み込んで行く必要がある。

(参考文献)

- 1 末石昌太郎：水問題からみた地域計画のみなおし，都市問題研究 第28巻 第8号（1976）
- 2 Y.Y.Haimes and Warren A.Hall; Analysis of Multiple Objectives in Water Quality, ASCE (1975)
- 3 Y.Y.Haimes ; Hierarchical Analyses of Water Resources Systems, McGraw-Hill (1977)
- 4 Y.Y.Haimes, W.A.Hall and H.T.Freedman ; Multiobjective Optimization in Water Resources Systems, Elsevier (1975)