

多目標の評価を考慮した広域的・多角的治水配分問題
に関するシステム分析(1)

京都大学工学部 正 員 吉川和広
京都大学工学部 正 員 岡田豊夫
京都大学工学部 の学生員 八木陽一

1. はじめに

本研究においては、兵庫県加古川、市川、夢前川、揖保川、十種川の各水系の流域全体での水利用計画の問題をとりあげる。つまり各水系にダムを建設して新規水源を開発するとともに水系間導水路を布設して流域間の水の融通をはかるものとする。その際、各水系流域に発生する水需要に対しては新規開発水で充足していくことが望ましいが、ここではこれを厳密に要求する代りに、ある程度の供給不足を許容し、この不足分は三次処理水で補うものとする。さらにこの処理水は工業用水も混合して利用することも考える。つまり処理水利用量が多くなるほど供給水の水質は悪化することを意味している。もし各水系の流域の需要者が供給水の水質が良好であることを望むならば、新規開発水の取水量を最大にすることを考える。もし仮ら、上述のように各水系間で広域的に水を融通し合うとしているから、これらの目標は互いに競合関係にあると言える。このようは場合、複数目標を同時に満足させることは不可能で、むしろ複数目標がある程度満足できる水準に達している解に関心がある場合も生じる。そこで本研究においては当該問題を上述の問題に限定する。さらに当該問題を、複数目標が満足する水準に達したことを保証する代替案を求めた問題として位置づける。このとき当該問題はL型効用関数を用いた目標計画法としてモデル化できることが示される。その際、目標とする事項は各水系下流域における取水量の最大に並びに総事業費の

最小化もする。

2. モデル化における前提

上述した前提条件の他に主要な前提条件を述べる以下のようにする。

① 通常モデルの対象として取り上げる施設はダム、水系間導水路の2種類であり、事業費としては、これらの建設費と維持管理費とする。その際これらの建設費については、規模との間に線形性が成り立つ。

② 施設の建設は、計画対象期間の初年度の期首に行われるものとする。

③ 需要地は仮想的に各水系の下流域に設定されることを考える。この場合の水需要者としては上水道と工業用水利用者を取り上げる。

3. モデルの定式化

[1] 技術的制約条件の定式化

$i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m; k \in K_i$ かつ

$$\alpha_{ij} \leq C_{ij}$$
$$\sum_{j=1}^m \alpha_{ij} + \sum_{k \in K_i} (y_{ki} - y_{ik}) - S_i = 0$$
$$\alpha_{ij}, y_{ik}, (y_{ki}), S_i \geq 0$$

α_{ij} : ダム(i,j)の建設規模(変数)。(iは水系を
表わし、jはその水系におけるダム群の中の1つを
表わす整数で、ダムは下流から数え順番に対応し
ている。)

C_{ij} : ダム(i,j)の建設規模の上限。

$y_{ik}(y_{ki})$: i(k)水系からk(i)水系へ分水する導水
施設規模(変数)。

S_i : i水系の下流の取水可能量(変数)。

K_i : i水系に隣接する水系をわける添字の集合。

n : 水系の数。 m : i水系のダムの数。

[2] 目標計画法導入に伴う制約式並びに評価関数

$$S_i + d_i - e_i = G_i^s \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m a_{ij} x_{ij} + \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^n b_{ik} y_{ik} + \sum_{l=1}^n \sum_{k=1}^m b_{ki} y_{ki} - d_{n+1} + e_{n+1} = G_{n+1}^s$$

$$S_i \geq g_i^o \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m a_{ij} x_{ij} + \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^n b_{ik} y_{ik} + \sum_{l=1}^n \sum_{k=1}^m b_{ki} y_{ki} \leq g_{n+1}^o$$

a_{ij} : ダム(i, j)の建設費用。
 b_{ik} (b_{ki}): i(k)水系からk(i)水系へ分水する導水施設の建設費用。

d_i, e_i : 各目標を満足水準のカイ離の程度をあらわす変数。(厳密には $d_i - e_i$ がカイ離の程度をあらわす)

G_i^s : 各目標の満足水準(十分見込める水準)。

g_i^o : 各目標の許容水準(許容できるギリギリの水準)。

さらにこの d_i について

$$d_i \lambda_i - d_{i+1} \lambda_{i+1} = 0 \quad (i=2, 3, \dots, n+1)$$

が成り立つ。ただし $\lambda_i = G_i^s - g_i^o \quad (i=1, 2, \dots, n)$

$\lambda_{n+1} = g_{n+1}^o - G_{n+1}^s$ 。以上の制約式のもとで評価関数もつぎのようになり設定する。

$$d_i \quad (i=1, 2, \dots, n+1 \text{ の任意の } 1) \rightarrow \min$$

これは理論的にはすべての d_i を最小化したところでも同等である。すなわち本モデルでは、概念的には、各目標の充足も厳密に要求する代わりに、これらの目標値からの開きの量 $d_i \quad (i=1, 2, \dots, n+1)$ を最小にするのが解を定める問題と考え、これを定式化してこのようになる。

4. 結果の考察

本研究では兵庫県東播・西播地域を対象に数理的分析を試みた。その結果の詳細については講義時に述べることにし、ここでは図-1 についての考察を加えておくことにする。

① ケース C-1 から C-2, 3, 4 に変わると従って、導水量は 7.8%, 20.3%, 35.0% 低下し、また水質は導水量の変化と同じ傾向を示し、3.7%, 10.7%, 14.8% ずつ低下して行く。逆に三次処理水利用量は 23.3%, 60.5%, 79.9% と増加して行く。このことは表-1 からわかるように、C-1, 2, 3, 4 とケースが変化するにつれて、加古川水系における取水

の許容水準が低くなって行くため、許容水準と満足水準との幅が大きくなって行くことを示している。興味深いことに計算結果のみならず、この場合加古川水系においては新規開発量に変化はみられず、処理水利用量のみの結果的に増大することになっている。このためその分他水系への依存率が低下し、従って導水量が低下する傾向が現れるものと判断される。またこのとき工業用水への三次処理水の混合率が増加するため、結果的に水質が低下することになると考えられる。

② 各目標の達成度はバランスをくまび50%前後の値をとっている。これは本モデルで想定している処理水利用量の特徴に起因する大きな特徴であるといえる。

表-1 各目標の満足水準・許容水準

Case	C-1	C-2	C-3	C-4
加古川水系 G_i^s	154.92	154.92	154.92	154.92
取水目標 g_i^o	132.30	124.68	111.87	96.92
市川水系 G_i^s	85.80	85.80	85.80	85.80
" g_i^o	71.63	70.15	61.30	61.30
海部川水系 G_i^s	16.49	16.49	16.49	16.49
" g_i^o	13.93	12.99	11.97	11.97
揖保川水系 G_i^s	10.90	10.90	10.90	10.90
" g_i^o	9.83	9.30	9.11	9.11
千種川水系 G_i^s	42.68	42.68	42.68	42.68
" g_i^o	39.83	40.76	41.41	41.41
総導水量 (万 m ³) G_{n+1}^s	3097.37	2908.25	2493.15	2248.67
" g_{n+1}^o	4521.67	4521.67	4521.67	4521.67

G_i^s : 満足水準 g_i^o : 許容水準

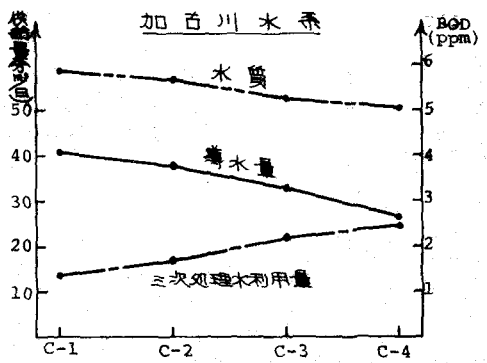


図-1 ケースCを通じたの供給量変化