

一水系水利用方式と多水系水利用方式の結合方式に関する
システム分析 — 目標計画法によるアプローチ

京都大学工学部 正員 吉川和広

京都大学工学部 正員 岡田憲夫

(株) 奥村組 正員 藤本棟雄

1. はじめに

本研究においては、広域的・多角的な水利用方式（以後、本方式と呼ぶ）を複数目標間での調整問題として、シグナル効用関数を用いた目標計画法によりモデル化（以後、多目標モデルと呼ぶ）する。また、このモデルを兵庫県東播磨・西播磨地域の水系を対象とする水配分計画に適用し、その実証的分析を行う。

多目標モデルで取り上げた明示的な目標は①総費用の最小化、②総導水量の最小化、の二つである。そして、総費用の最小化は全対象水系における最も経済的な施設の配置と、総導水量の最小化は各水系での水利用の独立性をそれぞれ目標とするものである。実証的分析にあたっては、まず多目標モデルの解と、そのサブモデルの一つである単一目標モデル（費用の解と）と比較を行う。これは、水配分問題において水の機能面のみならず個々の水系の水利用を考慮した場合と、単に水の機能面のみを重視した場合とを比較である。次に、多目標モデルにおいてインプットデータの影響に及ぼす影響を分析する。なお、本方式においては三次処理水を工業用水として再利用するシステム（混合工業用水道）を想定し、新たに必要ダム開発水量を実質的に削減させるものとする。この混合工業用水道に対する需要量の変化を混合率（工業用水中に占める三次処理水の割合）の関数として近似し、上水・工業用水の浄水量を三次処理水再利用量、一次式で表してモデルに組み込むものとする。

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と

述べる以下のようになる。

- ①各水系の需要地は、これを仮想的に統合することにより各水系の流域に1ヶ所ずつ設定する。
- ②各水系での新規全需要量を満たすために新たに各施設を建設するものとする。
- ③直接モデル化の対象として取り上げる施設はダム、水系間導水路、上水・工業用水の浄水場および下水・三次処理施設とする。また、各施設の建設規模と建設費用の間には規模の経済性が成り立つものとする。
- ④各水系の下流域において河川水質に制約を設ける。

3. モデルの定式化

(1) 技術的な制約条件の定式化

定式化に用いる記号は次のように定める。

〔変数〕 X_{ij} : i 水系、下流側から番号 j のダムの開発水量、 Y_{ei} : ① i 水系内でのダム開発水、② 他水系から i 水系への導水、両者総和として i 水系へ導水される水量、 Y_{ei}^1 : Y_{ei} のうち i 水系での上水・工業用水への供給量、 Y_{ei}^2 : Y_{ei} のうち i 水系で河川水質保全のため河道に流下させる水量、 S_i^P : i 水系での上水・浄水量、 S_i^I : i 水系での工業用水・浄水量、 W_i : i 水系での下水処理水・河道放流量、 T_i : i 水系での三次処理水・河道放流量、 U_i : i 水系での三次処理水再利用量、 R_i : i 水系でのダム開発水のうち i 水系で河川水質保全のため河道に流下させる水量、 S_i^R : i 水系での三次処理水量
〔定数〕 C_{ij} : ダム (i, j) の開発可能水量、 a_i^P : i 水系での既存下水処理量、 a_i^W : i 水系での新規下水処理量、 d_i : i 水系での新規全需要量、 u_i : i 水系での最大三次処理水再利用可能量、 z_i : i 水系での下流河川維持流量、 α : 下水処理水の水量、 β : 三次処理水

の水質, δ_i : i の水質, δ_i : 治水ダム開発の水質, L_i : 河川の水質基準, d_i, b_i : 治水の水需要の特性値

各変数の非負条件に加えて, 以下の制約条件が成立する。

$$X_{ij} \leq c_{ij} \quad (i=1,2,\dots,n, j=1,2,\dots,m_i) \quad (1)$$

$$U_i \leq U_i^0 \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (2)$$

$$S_i^0 - a_i U_i = (d_i - b_i) \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (3)$$

$$S_i^I + (1+a_i) U_i = b_i \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^{m_i} X_{ij} + \sum_{k \in K_i} (Y_{ki}^1 - Y_{ki}) - (S_i^0 + S_i^I + R_i) = 0 \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (5)$$

$$\sum_{k \in K_i} Y_{ki} - \sum_{k \in K_i} (Y_{ki}^1 + Y_{ki}^2) = 0 \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (6)$$

$$S_i^R + W_i = \alpha_i + d_i \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (7)$$

$$U_i + T_i - S_i^R = 0 \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (8)$$

$$Z_i \geq \frac{(b_i \delta_i + \alpha W_i + \beta T_i + \sum_{k \in K_i} \gamma_k Y_{ki}^2 + \beta R_i)}{(\delta_i + W_i + T_i + \sum_{k \in K_i} \gamma_k Y_{ki}^2 + \beta R_i)} \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (9)$$

[2] 目標計画法導入による制約式および評価関数

$$\sum_{j=1}^{m_i} d_{ij}^0(X_{ij}) + \sum_{k \in K_i} d_{ik}^0(Y_{ki}) + \sum_{i=1}^n (d^0(S_i^0) + d^0(S_i^I)) + \sum_{i=1}^n d^0(S_i^R) - d_1 + e_1 = G_1^0 \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^{m_i} d_{ij}^0(X_{ij}) + \sum_{k \in K_i} d_{ik}^0(Y_{ki}) + \sum_{i=1}^n (d^0(S_i^0) + d^0(S_i^I)) + \sum_{i=1}^n d^0(S_i^R) \leq \delta_i^0 \quad (11)$$

$$\sum_{k \in K_i} Y_{ki} - d_2 + e_2 = G_2^0 \quad (12)$$

$$\sum_{k \in K_i} Y_{ki} \leq \delta_i^0 \quad (13)$$

ただし, $d_{ij}^0(X_{ij}), d_{ik}^0(Y_{ki}), d^0(S_i^0), d^0(S_i^I), d^0(S_i^R)$ はそれぞれダム(治水), 導水路(治水), 上水・工業用水・排水場, 排水処理施設の建設費用関数, d_1, e_1 : 各目標の満足水準の相違を表す変数, G_1^0 : 各目標の満足水準, δ_i^0 : 各目標の許容水準

さらに, d_1 に対して次の関係が成立する。

$$d_1 \lambda_2 - d_2 \lambda_1 = 0 \quad (14)$$

ただし, $\lambda_1 = \delta_i^0 - G_1^0 \quad (i=1,2)$

[3] 各目標の満足水準, 許容水準設定のためのサブモデル

上述(1)~(9)式を制約条件として, 以下の各目標を設定して線形計画法の問題を解き, その解を各目標の満足水準とする。また, 総費用の許容水準は総導水量の満足水準を表わす解より計算した値, 総導水量の許容水準は総費用の満足水準を表わす

解より計算した値にそれぞれ一致するものとする。

$$\sum_{j=1}^{m_i} d_{ij}^0(X_{ij}) + \sum_{k \in K_i} d_{ik}^0(Y_{ki}) + \sum_{i=1}^n (d^0(S_i^0) + d^0(S_i^I)) + \sum_{i=1}^n d^0(S_i^R) \rightarrow \min \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k \in K_i} Y_{ki} \rightarrow \min \quad (16)$$

ここで前者のサブモデルを単一目標モデル(費用)と呼ぶことにする。

4. 結果の考察

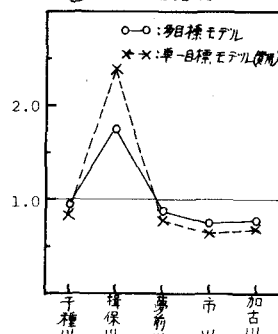
① 多目標モデルと単一目標モデル(費用)の解の比較
単一目標モデルの解においては, ダム建設費用が小さく, ダム開発に余裕のある治水ダム開発が促進され, 各治水ダム開発度(治水開発水量/初期全需要量)に著しい差が認められる。

しかし, 多目標モデルにおいては, ダム開発度のアンバランスは多分に解消されるとともに, 総費用の達成率(200-65)/111は63.7%である。

したがって, 経済的な側面から, 各治水ダムの水利用の独立性を保つ面から多目標モデルはかなり有意義なモデルであると言える。

② 多目標モデルにおいて, 各治水ダムの需要量, 河川維持流量の値をそれぞれ5%, 10%変化させて解の変動をみた。その結果, 需要量の変化の解の変動に及ぼす影響が大きいことがわかった。しかし, 3つの場合でも三次処理水, 再利用は, 今後, 経済的な見地から治水ダムの水利用の独立性を保つ見地から十分に検討に値するものであることがわかった。

① ダム開発度



② 導水量の変化

