

日 建 設 計 正 員 八 木 陽 一  
京 都 大 学 工 学 部 正 員 吉 川 和 広  
京 都 大 学 工 学 部 正 員 春 名 友

1. はじめに

近年の日本の河川では、流域内の各都市の水利用量の増大に伴い、都市下水量も増大し、また下水道整備の立ち遅れから水資源の枯渇、河川水質の悪化を招いている。このよう状況のもとでは、流域内の水質問題、河川水質保全・改善の問題を考へる場合は、用事に資源(財源・木資源)を十分に考慮し、広域的立場から水質施設・下水道施設整備を総合的に検討していく必要がある。つまり、河川水質・流量を通して都市間の有機的連関関係を考慮しつつ、流域内の水質施設・下水道施設整備問題を同時に捉えていく必要がある。本研究では、このよう認識にたて、淀川水系を対象に、2つのモデルを用いてモデル分析を進め、オ1のモデルにおいては、流域内の水利用量を条件として、問題を下水道施設整備問題に絞った。またオ2のモデルでは、オ1のモデルを発展させ、水質施設・下水道施設整備問題を同時に捉えた。その際、広域水質・三次処理のよう不確定要素の多い手段を考へず、より現実的は手段を対象とした。

2. モデルの内容

(i) 問題に関わる建設主体としては、水系全体を管轄する国レベルの行政体と都市レベルの行政体を考へる。

(ii) 国レベルの意思決定問題としては、流域内の水需要の充足因子、また河川水質の保全・改善という目標達成を図るために、ダム開弁規模を決定するとともに、各都市の施設整備・建設のための補助金配分額を決定する。

(iii) 都市レベルの行政体の意思決定問題としては、国レベルの行政体から与えられる補助金と都市独自の財源(自己負担金)をもとに、都市の施設(浄水・下水道)の整備・建設を行う。

(iv) 各行政体の目標達成があらわでは、広域的立場から問題を捉えることが必要であるという考へのもと、あくまで国レベルの行政体が持つ目標の達成の優先順位は、また目標達成のための具体的手段としては、国レベルの行政体が都市レベルの行政体と配分する補助金の前段階配分によって与えられるものとする。

3. モデル1の定式化

(1) 都市レベルの行政体の意思決定問題

(i) 都市  $i$  ( $i=1, 2, \dots, N$ ) の目標設定  
都市  $i$  の持つ目標を、下水道整備率の最大化とする。つまり、

$$w_i \rightarrow \max \quad (1)$$

$w_i$ : 都市  $i$  の下木処理量(変数)。

(ii) 都市  $i$  の問題における制約条件

a. 財源に関する制約条件

$$C_w \cdot w_i \leq C_o_i + \alpha_i \quad (2)$$

$\alpha_i$ : 都市  $i$  に配分される国からの補助金(変数)。  $C_o_i$ : 都市  $i$  の自己負担金。  $C_w$ :  $w_i$  の建設費用。

b. 物理的制約条件

水流量、下水量、下木処理量の流量連続式を示す。

$$F_i D_i = w_i + \lambda_i \quad (3)$$

$F_i$ : 下木流速率。  $D_i$ : 都市  $i$  の水流量。  $\lambda_i$ : 都市  $i$  の下木流量(変数)

(2) 国レベルの行政体の意思決定問題

(i) 国レベルの行政体の目標設定

国レベルの行政体の目標は、以下に定義する水質改善率の最低の地点の河川水質を向上せよという補助金を配分することにより、河川全体の水質改善を行うこととする。つまり、

$$z \rightarrow \max \quad (4)$$

$$\text{subject to } z \leq z_i = \frac{B_i - B_i}{B_i - B_i} \quad (i=1, 2, \dots, N) \quad (5)$$

$B_i$ : 都市  $i$  下流域の水質(変数)。  $B_i$ :  $B_i$  の現状水質。  $B_i$ :  $B_i$  の目標水質

(ii) 国レベルの問題における制約条件

a. 水質条件

$$B_i \leq B_i \quad (i=1, 2, \dots, N) \quad (6)$$

b. 物理的制約条件

ここでは河川各地点の水質、流量の連続条件を定式化する。

$$D_i = S_i \quad (i=1, 2, \dots, N) \quad (7)$$

$$Q_o = Q_{o1} + \varphi \quad \varphi \leq \varphi_o \quad (8)$$

$$Q_i = Q_{i-1} - S_i + w_i + \lambda_i \quad (i=1, 2, \dots, N) \quad (10)$$

$$B_i = \frac{1}{Q_i} \{ B_{i-1} (Q_{i-1} - S_i) + b_{w_i} w_i + b_{\lambda_i} \lambda_i \} \quad (11)$$

$(i=1, 2, \dots, N)$

$S_i$ : 都市  $i$  の取水量(変数)。  $Q_{o1}$ : 既設開弁流量。  $\varphi$ : ダム開弁規模(変数)。  $Q_o$ : 河川最上流地点の河川流量(変数)。  $Q_i, B_i$ : 都市  $i$  下流

域の河川流量、水質(変数)。 $q_0$ :ダム建設規模の上限。 $b_{wi}$ :都市iの下流処理水質。 $b_{xi}$ :都市iの下本水質。

C. 財源制約

$$\sum_{i=1}^N \alpha_i + C_q \cdot q \leq M \quad (12)$$

$C_q$ :ダム建設費用。 $M$ :国の流域に投入する総財源。

4. モデル2の定式化

(1) 都市レベルの行政体の意志決定問題

(i) 都市i ( $i=1, 2, \dots, N$ )の目標設定

都市iの目標を浄水施設、下水道施設の整備率の向上とす。この2目標の達成水準を示す尺度の間には互換効果(変数)を想定すると、以下の如く定式化される。

$$D_i^* + d_i^* - e_i^* = \bar{D}_i^* \quad (13) \quad D_i^* \geq \bar{D}_i^* \quad (14)$$

$$w_i^* + d_i^* - e_i^* = \bar{w}_i^* \quad (15) \quad w_i^* \geq \bar{w}_i^* \quad (16)$$

すなわち、この $d_i^*$ 、 $e_i^*$ について

$$d_i^* / (\bar{D}_i^* - D_i^*) = d_i^* / (\bar{w}_i^* - w_i^*) \quad (17)$$

とす。以上のもとで  $d_i^* \rightarrow \min$  (18)

$D_i^*$ : 都市iの浄水施設規模(=利水率)変数。 $d_i^*$ 、 $e_i^*$ 、 $w_i^*$ : 各目標の達成水準と満足水準の乖離をあらわす変数。 $\bar{D}_i^*$ 、 $\bar{w}_i^*$ :  $D_i^*$ 、 $w_i^*$ の満足水準。 $D_i^*$ 、 $w_i^*$ : 許容水準。

(ii) 都市iの問題における制約条件

a. 財源に関する制約条件

$$C_D \cdot D_i^* \leq C_{D_i} + \alpha_i \quad (19) \quad C_W \cdot w_i^* \leq C_{W_i} + \beta_i \quad (20)$$

$C_D$ 、 $C_W$ : 浄水施設、下水道施設建設費用。 $C_{D_i}$ 、 $C_{W_i}$ : 浄水施設、下水道施設の建設に対する都市iの負担金。 $\alpha_i$ 、 $\beta_i$ : 国の補助金(変数)。

b. 物理的制約条件はモデル1と重複するため省略する。

(2) 国レベルの行政体の意志決定問題

(i) 国レベルの行政体の持つ目標の設定

国レベルの行政体は、都市間の浄水施設整備率の乖離を正しくして、流域内の需要を充足させる目標と河川水質の保全・改善を達成させる目標を持つものとする。これらの2目標の達成水準を示す尺度を重み $\omega_1$ 、 $\omega_2$ を付けて、一つの評価関数を設定する。つまり、

$$Z_1 \leq \frac{D_i^* - \bar{D}_i^*}{\bar{D}_i^* - D_i^*} \quad (i=1, 2, \dots, N) \quad (21)$$

$$Z_2 \leq \frac{B_i^* - B_i^c}{B_i^* - B_i^c} \quad (i=1, 2, \dots, N) \quad (22)$$

$$\omega_1 Z_1 + \omega_2 Z_2 \rightarrow \max \quad (23)$$

$Z_1$ : 流域内各都市の最近需要充足率(変数)。 $Z_2$ : 河川の最近水質改善度(変数)。

(ii) 国レベルの問題における制約条件

a. 目標条件、b. 物理的制約条件はモデル1と重複するため省略する。

C. 財源制約

$$\sum_{i=1}^N \alpha_i + \sum_{i=1}^N \beta_i + C_q \cdot q \leq M \quad (24)$$

(以上の定式化において、流量・建設規模等の単位は $10^6 m^3$ /日、水質の単位は(BOD)ppm、費用は億円とする。)

5. 解法アルゴリズム

本研究の1つの成果として、モデル1の大きき特徴である2階層構造に着目し、効果的の解法アルゴリズム(パラメトリックプログラミング法応用)を見いだし、紙面の都合上、詳細な内容については講演時に発表する。

6. 結果の考察

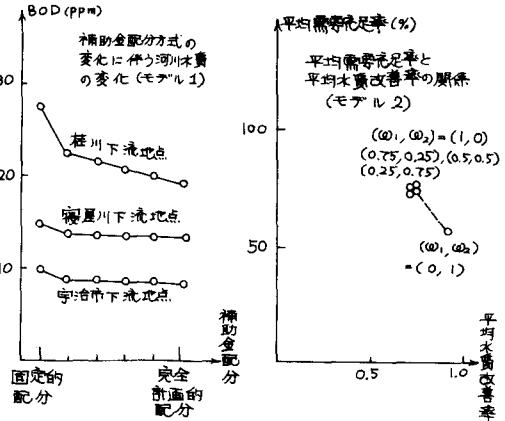
モデル1、2の分析結果をまとめて示す。

(1) 下水道整備において、国の配分予算のうち、各都市に配分する額を、固定的に配分した場合(従来の固定的配分方法)から予算額のすべてを河川水質の最も効果的に行動するべく配分した場合(目標達成のための完全計画的配分)まで変化させたところ、固定的配分する率が減少するにつれて河川全体の水質が改善される。

(2) 河川全体の水質の保全・改善を行おうとすれば、河川の上流側に位置する京都地区・宇治地区の下水道整備を進めるとともに最も効果的である。さらに神崎川の水質の保全・改善を行おうとすれば、上流都市の下水道整備を進めると同時に、淀川右岸地区の下水道整備を進めると必要がある。

(3) モデル2において、重み $\omega_1$ 、 $\omega_2$ を変えたとすると、河川水質の保全・改善のみを重視した場合とそれ以外の場合では、需要充足率の向上という目標と河川水質の保全・改善という目標達成を示す尺度の間、複合関係の存在が認められる。

(4) ダム建設に関しては、需要充足率と水質の保全・改善の両方から建設規模の上限まで建設することから効果的である。



(結果は一例を示すにとどめる。)