

広域的・多角的な水利用問題に関する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
京都大学工学部 学生員 八木陽一

1. はじめに

本研究では、一水系流域を対象とした広域的・多角的な水利用方式の選定問題を取り上げる。その際、この種の計画問題には、以下に述べる特殊条件が成立するものとし、国レベルの問題と県レベルの問題の2つの階層の問題に分割して考えるとともに、両者を統合した諸問題の解の探索の方法について考察する。また当該問題の目標の多元性に注目し、目標計画法としての性格をもあわせ考えた数学モデルの定式化を試みることにする。

2. モデルの内容はらびに前提

(1)対象地域としては、上・中・下流域において複数の県にまたがる一水系流域を考える。

(2)国レベルの諸問題としては、ダム開発規模の決定はらびに、対象水系域での取水量の制限、水質基準遵守のための各県への汚濁負荷量の割り振りを考える。

(3)県域レベルの諸問題では、県内市町村において発生する水需要に対し、上水・工業用水には三次処理水再利用といった複合供給システムの規模・方式を決定する。なお、その際施設管理は流域水道企業体が一括して行うものとする。またこの場合、国レベルから与えられる諸条件は遵守されるものとする。県域レベルの問題で取り上げらるる目標は①新規開発水による県域内水需要の充足化②関連施設建設費最小化、の2項目とし、これを多目的問題として取り上げる。

3. モデルの定式化

[1] 県レベルの諸問題

まずi県($i=1, 2, \dots, n$)において、新規開発

水の取水量最大化、関連施設費用最小化の2目標についてL型効用関数を想定した目標計画法により定式化を行う。

$$\sum_{l=1}^{m_i} d_{il}^i x_{il}^i + \delta d_i^i - \varepsilon d_i^i = \bar{G}_d^i \quad (1)$$

$$G_d^i \leq d_{il}^i x_{il}^i \quad (i=1, 2, \dots, m_i) \quad (2)$$

$$0 \leq x_{il}^i \leq 1 \quad (3)$$

$$E_c^i - \delta d_i^i + \varepsilon c_i^i = \bar{G}_c^i \quad (4)$$

$$E_c^i \leq G_c^i \quad (5)$$

$$\delta d_i^i, \varepsilon d_i^i, \delta c_i^i, \varepsilon c_i^i \geq 0 \quad (6)$$

ここで式(1) (4)は満足水準、式(2) (5)は許容水準に関する式である。また $\delta d_i^i, \delta c_i^i$ について

$$\delta d_i^i / \lambda_d^i = \delta c_i^i / \lambda_c^i \quad (7)$$

が成り立つ。(ここに $\lambda_d^i = |\bar{G}_d^i - G_d^i|, \lambda_c^i = |\bar{G}_c^i - G_c^i|$) 以上のものと目標関数を次のように設定する。

$$\delta d_i^i \rightarrow \min \quad (8)$$

d_{il}^i : i県 l市の需要量。 $\bar{G}_d^i$: i県における全供給量の満足水準。 G_d^i : l市供給量の許容水準。 $\bar{G}_c^i, G_c^i$: i県における関連施設費用の満足水準はらびに許容水準。 n: 県の総数。 m_i : i県で対象とする市の数。 x_{il}^i : l市に関する全需要量のダム関係水による充足率(変数)。 E_c^i : i県における関連施設費用(変数)。 $\delta d_i^i, \varepsilon d_i^i, \delta c_i^i, \varepsilon c_i^i$: 各目標と満足水準との乖離を表す変数。

なお式(8)は理論的には δd_i^i をも最小化することと同等である。すなわち本モデルでは、概念的には、各目標の充足を厳密に要求する代りに、これらの満足水準からの隔りの量 $\delta d_i^i, \delta c_i^i$ を最小にするような解を求めることにより、結局目標の不達成度を最小にするような

解るまある問題を考え、これを定式化して、示す。

ることになる。

次に各流域規模についての設備的制約条件を定める。

$$\sum_{i=1}^m d_i x_i^i = A^i \quad (9)$$

$$S_o^i = A^i + W_N^i \quad (10)$$

$$A^i = \alpha_G^i + \alpha_D^i \quad (11)$$

$$W_N^i = A^i + W_N^i \quad (12)$$

$$W_N^i = W_E^i + W_R^i \quad (13)$$

$$W_R^i = W_o^i + W_N^i \quad (14)$$

A^i : ダム開発水による供給量(変数)。 S_o^i : i 県の全需要量。 W_N^i : i 県三次処理水再利用量(変数)。 α_G^i : 工業用水需要量(変数)。 α_D^i : 上水需要量(変数)。 W_N^i : 下水処理量(変数)。 W_E^i : 下水の河川放流量(変数)。 W_R^i : 三次処理量(変数)。 W_o^i : 三次処理水放流量(変数)。

以上の制約のもとに国レベルの行政体より取水量 Θ^i , 排水汚濁負荷量 Θ_2^i が与えられる。

$$A^i \leq \Theta^i \quad (15)$$

$$b_o W_o^i + b_E W_E^i \leq \Theta_2^i \quad (16)$$

ここに b_o, b_E は三次処理水, 下水の水質(BOD ppm)を表わす。

② 国レベルの調整問題

河道の各地点において取水量規制を行う。

$$\Theta^i \leq Q^i - f^i \quad (17)$$

(Q^i は流域 i の取水地点における流量, f^i は維持流量を表わす) また河川維持流量の定式

式は
$$Q^{i+1} = Q^i + q^i \quad (18)$$

(q^i は支川からの流入量)

次に流域の最下流部(隣接流域の最下流部の下流側)での水質規制を定式化する。

$$B^i \geq B^i \quad (19)$$

$$B^i \geq \{B^{i-1}(Q^i - \Theta^i) + \Theta_2^i\} / Q^i \quad (20)$$

ここで B^i はチェックポイントで満たされるべき最低許容水準, B^{i-1} はチェックポイントにおける河川

水質を示す。

またダム開発費用 $C(\varphi)$ に制限を設ける。

$$C(\varphi) \leq \bar{C} \quad (21)$$

$C(\varphi)$ は開発コストで開発流量 φ の関数。 $\bar{C}$ は開発費用の上限を表わす。

以上の制約のもとに目的関数を次のように設定する。

$$\sum_i (\pi_1^i \Theta^i + \pi_2^i \Theta_2^i) \rightarrow \text{Max} \quad (22)$$

ここに π_1^i, π_2^i は県レベルの調整問題で得らるシンプレックス乗数である。つまり県レベルの調整問題を可変乗数問題とみなした場合, 計算結果として得らるシンプレックス乗数において国レベルでの調整問題の目的関数が決定される。

4. 調整過程の意味

本モデルに組み込まれた代替案選択の調整アルゴリズムは以下のものである。

(1) 各県において, 取水量 Θ^i , 排水汚濁負荷量 Θ_2^i の初期値が設定される。

(2) これらの値をパラメータとして, 県レベルで問題を解かれる。その結果, 県レベルにおいて水利用状況が決定され, その情報はシンプレックス乗数 π_1^i, π_2^i ($i=1, 2, \dots, n$) に集約されて, 国レベルの調整問題に送られる。

(3) 国レベルでは, これらの値をもとに問題の解が求まり, 改めて Θ^i, Θ_2^i が決定される。この情報は県レベルに送り返される。

以上のような調整過程は, 最適条件(県レベル問題のシンプレックス基準が非負)が成立するまで繰り返される。

なお具体的な計算としては, 河川水系を対象に行い, その内容については講演時に発表する。

調整過程の模式図

