

京都大学大学院 学生員 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 岡田憲夫

1. はじめに

本研究において日笠川・加古川・市川・藤井川・揖保川・千種川の各水系の流域全体での区域的な水利用計画の問題をとりあげる。さらに当該問題の含む内容の多岐にわたることを考慮し、充足すべき目標が複数に及ぶことに着目し、これらの目標間の相違問題を取り上げる。具体的に述べるに、区域的な水配分は主としてダム開発と流域内での水路の建設により需要を充足するにともなう建設費の最小化と、これらの目標は互いに競合関係にある。現実問題としては水利用技術の進歩と水資源の重要性に対する認識の昂揚により、予め想定された需要量を完全に充足する代りにダム開発による水需要量の若干需要量を下回っても、これを例えば三次処理水の再利用により充足することで結局需要は100%満足しうることになる。このような場合でも現在の処理技術から考え、あくまでダム開発により需要を充足することが主体とすることは言うまでもない。このとき競争性のみを重視するのであれば水需要量はできるだけ抑制することが望ましい。しかしこれでは区域全体のもう一つの目標である供給量の充足に及ぼす影響が国に及ぶという点からも競合することになる。本研究では水需要計画問題における2目標の存在に着目し、これらの適切な調整手段の問題を目標計画法によりモデル化することを目指す。具体的目標の設定としては、各水系下流域における取水量の最大化並びに競争率費の最小化を考へる。またこの場合需要量を達成可能な供給量が下回った場合は、このカバレッジの量は三次処理水の再利用水により補てんすることと暗に想定することになる。そして再利用水の配分は工業用水の配分値を利用し、両者を混合することにより供給されることを考へる。したがって処理水利用量が多くなるにつれて水質は悪化すると言える。

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ことに

下のようにする。

①直轄モデルの対象として取り上げる建設はダム、水系内での水路の2種類であり、これらの建設費に関しては、開発の間に線形性が成り立つ。

②需要は仮想的に各水系の下流域に設定されることを考へる。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とり上げる。

③L型有効関数を用いた目標計画法による定式化

[1] 技術的目標関式の定式化

$i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m; k \in K_i, K$ について

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

α_{ij} : ダム(i, j)の建設規模(変数)。(iは水系を意味し、jはその水系におけるダム群のうちの1つを意味する整数で、ダムは下流から数えて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水系下流域の取水可能量(変数)。

K_i : i水系に隣接する水系を意味する番号の集合。

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

$$\begin{aligned} S_i + d_i - e_i &= G_i^0 \quad (i=1, 2, \dots, n) \\ \sum_{j=1}^m \sum_{k \in K_i} \alpha_{ij} \alpha_{kj} + \sum_{k \in K_i} b_{ik} y_{ik} + \sum_{k \in K_i} b_{ki} y_{ki} - d_{ni} + e_{ni} &= G_{ni}^0 \\ S_i &\geq g_i^0 \quad (i=1, 2, \dots, n) \\ \sum_{j=1}^m \sum_{k \in K_i} \alpha_{ij} \alpha_{kj} + \sum_{k \in K_i} b_{ik} y_{ik} + \sum_{k \in K_i} b_{ki} y_{ki} &\leq g_{ni}^0 \end{aligned}$$

α_{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 : 各目標に満足水準のカバレッジの程度を意味する変数。(厳密には $d_i - e_i$ がカバレッジの程度を意味する。)

G_i^0 : 各目標の満足水準(これ以上は十分も見えて

水準)。

g_i^0 : 各目標の許容水準 (許容できるギリギリの限界を
表わす水準)。

さらにこの d_i について

$$d_1/\lambda_1 = d_2/\lambda_2 = \dots = d_{n+1}/\lambda_{n+1}$$

が成り立つ。ただし $\lambda_i = G_i^s - g_i^0 (i=1, 2, \dots, n)$,

$$\lambda_{n+1} = g_{n+1}^0 - G_{n+1}^s$$

以上の制約式のもとで評価関数を次のように設定する。

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

これは理論的にはすべての d_i を最小にすることも同等で、低い達成水準を認める政策つまりは削減量の低下である。すなわち本モデルでは、概念的には、各目標の示す当該水系における利用水の水準の低下をもつては、
 不足感を生ずる代りに、これらの目標値からの隔に近づく。具体的には導水量が 5.5% 、 20.3% ほどの量 $d_i (i=1, 2, \dots, n+1)$ を最小にするよう目標を下すとも、利用水の BOD 値はそれによって 3.7% 、 10.7% 減ることに伴い、
 各目標の達成度を最小にするよう目標を定める問題と考え、これを定式化している。

4. 結果の分析

まず図-1 の分析を行うと、④再利用率/全需要量 (再利用率) は千種川水系では小さく、夢前川の 30% 程度である。しかも市川・加古川は夢前川とほぼ等しい。③次に当該水系における用水型産業の規模・集中度を、
 表わすパラメータとして工業用水需要量/全需要量 (工業用水利用率) を計算してみると、やはり千種川では小さく、
 逆に加古川・市川・夢前川ではほぼ等しい値をとり、
 定性的な変動傾向が先の再利用率の場合と酷似している。③そこで再利用率/工業用水需要量を計算してみるとその式が 0.1 近くでばらばらになっていることがわかる。④

以上のことから各水系再利用率は、全必要再利用率 (満
 足水準と達成水準との乖離の量の割合) をそれだけの達成
 工業用水需要量の大きさに応じて検討することにより決
 定されていることがわかる。按ずれば用水型産業活動問題に関する一考察、京都大学卒業論文

の集中度の大きい流域では相対的に大きく逆にして流域
 ごとにばらばらにしていることで、流域の水需要特性に応じ
 て再利用の促進が必要であることを示している。次に図
 -2 から、達成水準 (工業用水と再利用水の混合水の
 水準) へ悪くすることと認める政策は 10.7% ほど再
 利用率は大きくなり、従って逆に削減水量は減るこ
 ともある。このことは別の角度から見ると、図-3 より
 加古川・市川のような全需要量が他水系に比べて、ま
 ちて大きな水系においては供給水の他水系依存度も大
 きく、単に工業用水供給水準を確保してやるためには、
 工業用水は不可欠であることがわかる。したがって区域利水式
 は、単に経済効率性の面からだけでなく供給水準の向上
 ・保全の観点からもその効用が期待されることとなる。
 以上本研究で明らかにしたことは、もともと種々の前
 提条件を想定しており、これより一般的な結論は得られ
 ないが、さらにこれらの前提条件の適用範囲の吟味をそ
 れに元じてモデルの改善を図っていくならば、今後の利
 水開発方式を検討していく上での有効な判断基準の提示
 できるものと考えらる。

想定した工業用水供給水準の水準を確保してやるためには、
 工業用水は不可欠であることがわかる。したがって区域利水式
 は、単に経済効率性の面からだけでなく供給水準の向上
 ・保全の観点からもその効用が期待されることとなる。
 以上本研究で明らかにしたことは、もともと種々の前
 提条件を想定しており、これより一般的な結論は得られ
 ないが、さらにこれらの前提条件の適用範囲の吟味をそ
 れに元じてモデルの改善を図っていくならば、今後の利
 水開発方式を検討していく上での有効な判断基準の提示
 できるものと考えらる。

図-1 各水系別水利用特性値

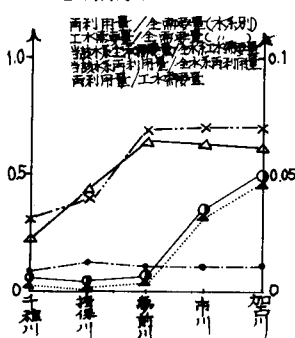


図-2 許容水準に関する政策を変えた場合の再利用率の変化

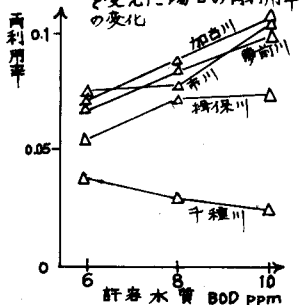


図-3

