IV-42 ダム群と配水施設の配置計画に関する一考察

京都大学 工学部 正員 吉川和広
京都大学 工学部 正員 春名 攻
京都大学 大学院 学生員○岡田憲夫

1）はじめに

近年，人口の増大，都市集中，経済の高度成長，その他諸々の経済的・社会的変化を反映して水需要が急激に増大し，将来における深刻な水不足が懸念されている。このため新しい水資源の開発が，きわめて重要になってきている。しかし将来の増大する水需要に対処するためには，従来のように単に1つのダムを建設して解決することが不可能になりつつある。また狭隘な一地域では，物理的に絶対量が不足している場合，その水源を他の地域にもとめる必要がある。従って広域的なダム群の建設が必要になってくる。

2）モデルの定式化のための考察

水源計画として複数のダムの建設計画ならびにこれらの水源と需要地とを結ぶ配水網建設計画を考え，さらに総合的な意味でその総費用が最小になることを目的とする。従来はダム建設計画と配水網建設計画とは，費用のオーダーの違い，後者が前者に従属するなどの理由から別々に考慮される趨勢にあったが，広域的な計画においては配水網建設の規模と数が段違いに大きくなるし，要素間の効率的な連繋が必要であるなどの理由で，両者を総合したシステム論的な計画が重要である。このような観点に立つとき，定式化すべきモデルは以下の構造をもつことが要求される。それは，①ダム建設の位置選定，数および規模に関する計画。 ②建設されるダムと需要地とを結ぶ配水網の配置・規模に関する計画。 ③上の2つの計画の間を調整し，さらに総合的な意味で総費用が最小になる代替案を選ぶ計画。 以上の3つである。この構造は水資源計画自身のもつ性格と一致していると考えられる。つまり配水網の建設計画にも，大きな水路を作り需要地と結ぶ計画から，浄水場と家庭とを結ぶ上水道の配水網の計画といった種々のレベルの計画が存在する。マクロな配水網の需要地はさらにミクロな配水網の水源とみなされる。従ってこのようないくつかの段階に分岐した計画は，ミクロな計画を総合する形でさらにマクロな計画へと進んでいくプロセスをとり，このプロセスは先の3つの計画からなる構造の連鎖であると考えられる。さてこのような構造をもったモデルが数学的に定式化されたとき，Decomposition（構造分割問題）の原理が適用でき，3つの計画の間の有機的な関連および調整関係が把握される。

3）モデルの定式化

最小化→ $z=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}C_{ij}x_{ij}+\sum_{i=1}^{m}R_i y_i$

$$-\sum_{j=1}^{n}x_{ij}+A_i y_i=s_i$$
$$\sum_{i=1}^{m}x_{ij}=D_j$$
$$\sum_{i=1}^{m}A_i y_i=D$$
$$y_i\leq 1$$

D_j：需要地jの需要量
D：$\sum_{j=1}^{n}D_j$＝全需要地の総需要量
R_i：ダム建設候補地iの建設費
A_i：〃 〃 建設容量の最大値
C_{ij}：候補地iから需要地jへ敷設する配水網の建設単価
x_{ij}：〃 〃 〃 の配水量の最大値
y_i：ダムの建設容量の規模を表わす指標 $\begin{cases} y_i=1：建設容量の最大値で作る。\\ y_i=0：ダムの建設を行なわない。\end{cases}$
s_i：ダムiの供給余裕量（$s_i\geqq 0$）

4）解のプロセスとDecompositionの原理との関連性

解を求めるに当ってもその構造の特殊性に注目する．まず上に定式化したモデルの中から次の2つのL.P.を取り出す。ただし各文字の右肩の1は代替案の内の1つであることを示している。

$$
(\mathrm{I})^{(1)}\left\{\begin{array}{l} z_1^{(1)}=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}C_{ij}^{(1)}x_{ij}\rightarrow \text{最小} \\ \sum_{i=1}^{m}x_{ij}\qquad =D_j \end{array}\right.
\qquad
(\mathrm{II})^{(1)}\left\{\begin{array}{l} z_2^{(1)}=\sum_{i=1}^{m}R_i^{(1)}y_i\rightarrow \text{最小} \\ \sum_{i=1}^{m}A_iy_i=D \\ y_i\leq 1 \end{array}\right.
$$

$(\mathrm{I})^{(1)}$，$(\mathrm{II})^{(1)}$は配水網建設ならびにダム建設のそれぞれのレベルでの最適解を選ぶ計画を示している。この結果得られた各代替案は，さらに上位の総費用最小の計画からみて必ずしも最適ではない。この解を次の第3の計画で調整する。

$$
(\mathrm{III})^{(k,l)}
$$

$$
\begin{aligned}
z^{(k,l)} &= \left\{w_1^{(1)}z_1^{(1)}+w_1^{(2)}z_1^{(2)}+w_1^{(3)}z_1^{(3)}+\cdots\right\}+\left\{w_2^{(1)}z_2^{(1)}+w_2^{(2)}z_2^{(2)}+w_2^{(3)}z_2^{(3)}+\cdots\right\}\\
&= \sum_k w_1^{(k)}z_1^{(k)}+\sum_l w_2^{(l)}z_2^{(l)}\rightarrow \text{最小}
\end{aligned}
$$

かつ

$$
\sum_k w_1^{(k)}\xi_i^{(k)}+\sum_l w_2^{(l)}\eta_i^{(l)}=s_i \qquad \text{ただし}\ \xi_i=\sum_{j=1}^{n}x_{ij}\ ,\ \eta_i=-A_iy_i
$$

ここに各文字の右肩の(k,l)，(k)，(l)は代替案の種類を表わしている．また$w_1^{(k)}$，$w_2^{(l)}$は計画(I)，(II)の各代替案に付加すべき重みで，各代替案間の調整関係を表わす，なお各重みの総和は1となるように決める。

従って

$$
\left\{\begin{array}{lr} \sum_k w_1^{(k)} & =1 \\ \qquad\qquad \sum_l w_2^{(l)} & =1 \end{array}\right.
$$

(III)は結局最適な重みを求める問題である。(III)を解いたときに$w_1^{(1)}=1$，$w_2^{(1)}=1$となれば$(\mathrm{I})^{(1)}$，$(\mathrm{II})^{(1)}$で得られた各代替案は総合的な意味でも最適となるが，一般にはこれは成立しない。一般にDecompositionの原理によれば，(III)の解に対するシンプレックス乗数が(I)，(II)の費用係数（$C_{ij}^{(k)}$，$R_i^{(l)}$）ならびに$z_1^{(k)}$，$z_2^{(l)}$の割り引き量を与え，この割り引かれた$z_1^{(k)}$，$z_2^{(l)}$が0に相等したときに，全体の意味での最適な重みが得られたことになり，これが保証されるまで解の探索は(I)，(II)と(III)の間を試行錯誤的に行き来する。この最適な重みが各代替案の重要性の度合と調整関係を量的に明示する。

5）終りに

以上で対象としている広域的な水資源問題がその構造上のみならず，その政策を決定する過程においてもDecompositionの原理で説明できる点が多いことを示した．またモデルの解を求めるときに得られる重みwが各代替案の調整関係を数量的に明示してくれるので，代替案の中の1つに財政援助を施して優先させる場合にどの程度の補助が必要かを知るための指標となりうるのである。モデルの建設単価と容量との間の線形性の仮定の妥当性およびその決定の仕方ならびに具体的な計算例については講演時に発表することにする．