

P 18 利水安全度を考慮した河川およびダム 取水量決定システムの構築

西松建設(株)技術研究所 ○田尻 要
九州大学工学部 神野健二
九州大学工学部 河村 明
東京都水道局 飯田英彦

1. はじめに

F市では水資源の確保を近郊の4つの河川、複数のダム貯水およびT川からの導水により行っている。しかし都市の規模に比べ、流域内の水資源は量的に余裕が無いのが現状で、今後も都市規模の拡大に伴い水の需要量は増加を続けることが予想される。したがってこのような状況に対処するためには、水源の状況を把握しつつ既存の設備を互いに関連させた、取水から配水に至る総合的見地に立つ水資源管理システムを確立することが必要と考えられる。ここではF市のM浄水場を例にとり、水源から浄水場に至る取水および導水プロセスに着目した取水量決定システムを構築し、これによる取水量決定を試みた。その結果降雨が多かった年で、ダム貯水の温存による安定供給と、河川からの導水コストを少なくする経済運用の両者を満たすことの可能性が示された。

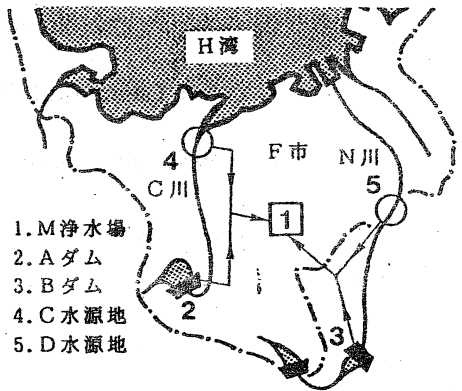


図-1 M浄水場取水関連施設

2. 取水量決定システムの概要

図-1にF市のM浄水場に関連するダム・水源地および取水ルートを示す。これまでに筆者らは、

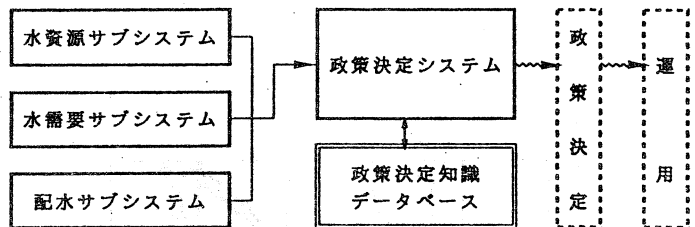


図-2 水資源管理システム概要図

水需要予測から取水・配水に至る水管理者の運用策定の支援を目指した、図-2に示すような水資源管理システム構築の構築を検討しており、M浄水場に関連する各水源地からの取水量や導水費用、およびダムの貯水量など基礎的な情報の整理と解析を行ってきた¹⁾。このデータを基に本報では、図-2に示す水資源サブシステムの一環として、取水量決定システムを作成し、最適取水を行うための参考となるデータを水管理者に提供することを検討した。取水量決定システムは

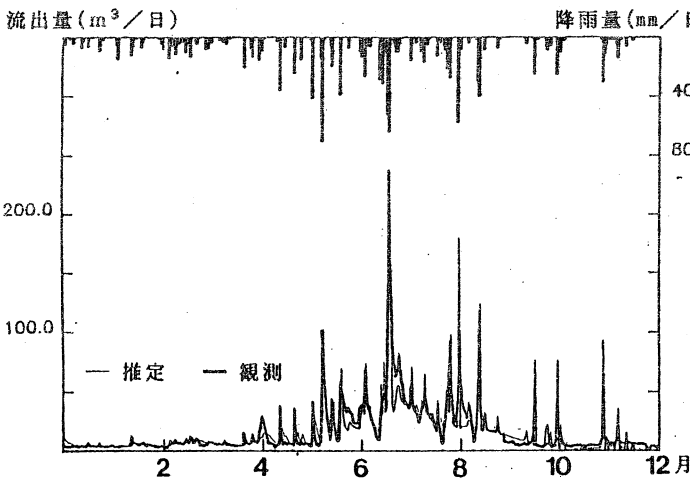


図-3 流入量の推定結果

以下の3つの機能を持つものとした。

(1) データベース部: ダム、河川、浄水場の過去の水文データ(降水量、ダム貯水量、河川の流況、取水実績量など)が蓄積されており、必要に応じて随時その情報が引き出せる。

(2) 流入量推定部: 流入量の実態を把握することは運用を行う上で重要な要素となる。本研究ではタンクモデルによる流出解析法を用いて流出機構をモデル化し、未知パラメータの最適値をカルマンフィルタによる逐次同定によって求め流入量推定を行った。昭和62年を例にとり

流入量の解析を試みたものを図-3に示す。タンクモデル法は、流域面積の規模に見合ったタイムステップの降雨データを用いれば流出機構をかなり忠実に表現できる手法と言われている。しかしながら現状で得られる降雨データが日単位であるため、図-3に見られる通り観測流入量に対して推定流入量が追隨していない箇所もある。したがって流況を高い精度で推定するためには、より短い時間単位のデータのオンライン収集が必要である。

(3) 数値計算部：データベース部にストックされている過去の実績データや流入量推定部により算出された流入量データなどを用いて、水源の状況に応じた最適取水配分量を求める部分である。この結果は図-2に示す政策決定システムに送られ、水管理者に参考データとして提示し策定を支援する資料となる。

3. 取水量決定手法の考察

取水量決定の手法として、ここでは線形計画法(LP)を適用した。図-1に示すようにM浄水場は、C川およびN川の2つの水系を取水対象とし、各水系ともダム貯水池および河川取水施設(水源地)をそれぞれ1つずつ持ち、計4地点から導水が行われる。そこで、複数の水源の各々について導水に要するコストを設定し、ダム取水については湯水に対する安全度を考慮に入れ、水利権などの制約条件のもとで各水源ごとの最適取水量を決定するモデルを作成した。このモデルは、通常安定供給第一の運用の目標を満たしながら、さらに導水に要するコストの削減(経済運用)の可能性を目指しているもので、本報では過去の取水実績データを用いて試算を行った。

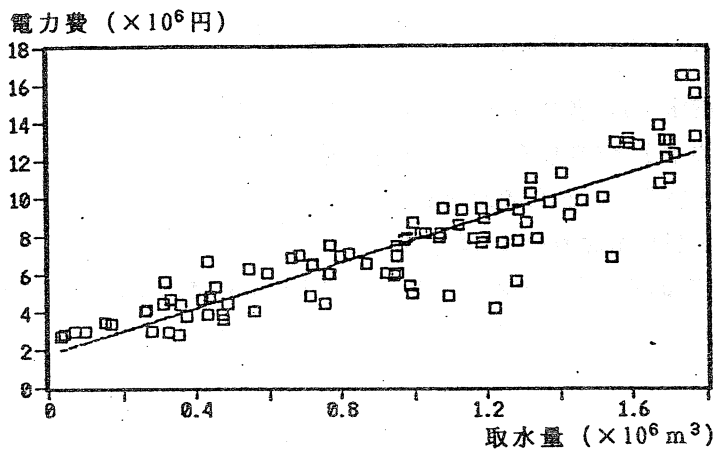


図-4 河川取水における導水コスト(C水源地)

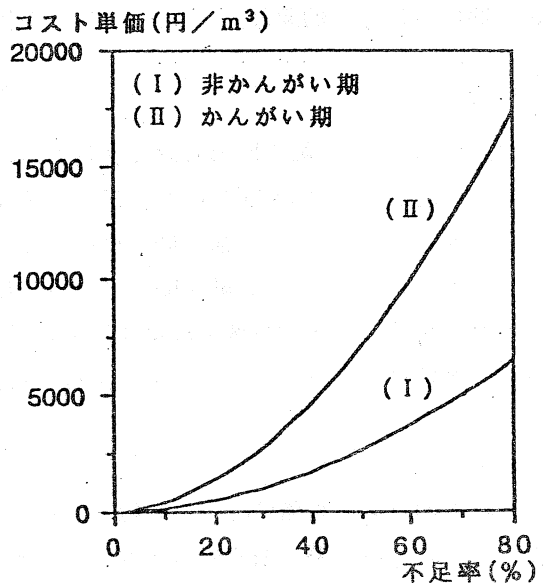


図-5 ダム貯水における安全度コスト

各水源のコスト単価の設定については、ダム貯水池からの導水は標高差を利用した自然流下で行うためこの費用は考慮せず、河川(水源地)取水は導水に要するポンプアップの電力費(導水コスト)を、またダム取水は利水安全度²⁾を考慮することとして湯水被害原単位(安全度コスト)を適用した。まず、導水コストについては図-4に示すように、各水源地において毎月使用される電力費用と河川からの導水量の関係を過去5か年のデータから求め、取水量1m³当りのコストを得た。次に、安全度コストについては、昭和48年に発生した高松湯水を対象として実施されたヒヤリング調査の結果を用い、ダム貯水の減少と併に生じる湯水被害を金銭評価することにした。これは上水の利用目的ごとに、家庭用水、業務用水、農業用水に分けて湯水被害源単位を推定するもので、ここでは次に示す値を用いた³⁾。

- ①家庭用水…家事労働の単価を400円/時間と仮定し、家事労働時間の増加や物品購入費などを考慮して、不足率50%で400(円/不足水量m³)、80%で4000(円/不足水量m³)とした。
- ②業務用水…湯水被害額は営業停止損失額に等しいと考えられ、不足率30%で3000(円/不足水量m³)、80%で5000(円/不足水量m³)とした。
- ③農業用水…水稻の被害のみを考え、減水深や1ha当りの収穫高などを考慮して、不足率15%で10(円/不

足水量 m^3)、80%で400(円/不足水量 m^3)とした。

なお、F市における工業用水は専用のルートで取水している上に、需要量も他の用水と比較してかなり少ないことから、ここでは考察の対象から外した。また、F市のケースに適用する際は水の需要構造や水源の水利権が異なることから、通年を(I)非かんがい期と(II)かんがい期に分け、非かんがい期では①家庭用水、②業務用水の2項目について、かんがい期では③農業用水を加えて計3項目について考慮することにした。さらにF市における使用水量比率は、①家庭用水：②業務用水：③農業用水=7：3：3.5であることから、各々の使用水量比率に応じて重みをつけて一括したものを、改めて渇水被害原単位(安全度コスト)として設定した。以上から、安全度コスト Y (円/不足水量 m^3)とダム貯水の不足率 X (%)の関係は、不足率が高くなるほど水 $1m^3$ を節約するための費用が増加することから2次関数で近似して³⁾、図-5に示すように以下の関数式で与えることにした。

$$(I) \text{ 非かんがい期 } Y = 6.342X + 0.944X^2 \quad \text{--- (1)}$$

$$(II) \text{ かんがい期 } Y = 17.832X + 2.501X^2 \quad \text{--- (2)}$$

貯水状況に応じた水の価値は上の指標により求められ、取水に要するコストの和を目的関数として、これを最小にするような各水源からの取水量を最適取水量として、半旬単位の取水配分量の決定を行った。制約条件は、①1日の導水量、②各水源毎の1日当りの水利権量、③貯水池の水収支に関する連続式を考慮している。

第 j 期における目的関数式(コスト Z_j)を以下に示す。

$$Z_j = \sum_{i=1}^5 (C_{a,j} X_{a,j,i+1} + C_{b,j} X_{b,j,i+1} + C_{c,j} X_{c,j,i+1} + C_{d,j} X_{d,j,i+1}), \quad i=1 \sim 5(\text{日}) \quad \text{--- (3)}$$

ここに、 $C_{a,j}, C_{b,j}$: 第 j 期のAおよびBダムの貯水 $1m^3$ 当りのコスト単価(円/ m^3)

$C_{c,j}, C_{d,j}$: 第 j 期のCおよびD水源地の水 $1m^3$ 当りのコスト単価(円/ m^3)

$X_{a,j,i+1}, X_{b,j,i+1}$: 第 j 期 i 日目のAおよびBダムからの取水量(m^3)

$X_{c,j,i+1}, X_{d,j,i+1}$: 第 j 期 i 日目のCおよびD水源地からの取水量(m^3)

このモデルで、上述の目標を満たす運用が可能であるかを、実際に昭和62年および63年度のかんがい期の実績データに対してシミュレーションを行った。

4. 適用と結果

河川取水のコスト単価 $C_{c,j}, C_{d,j}$ はそれぞれ期間に関係なく一定の値をとるものとし、ダム取水のコスト単価 $C_{a,j}, C_{b,j}$ は、第 j 期の貯水状況により決定される。したがってダム貯水が充分あればダム取水のコストがかからないためダム取水が優先され、逆にダム取水のコスト単価が河川取水のコスト単価を上回るようであれば、河川取水が優先され不足分をダム取水で補う運用となる。Aダムについてのシミュレーションの結果を示す。図-6、図-7はそれぞれ昭和62年、63年度の実際の運用および線形計画法による運用の貯水量の推

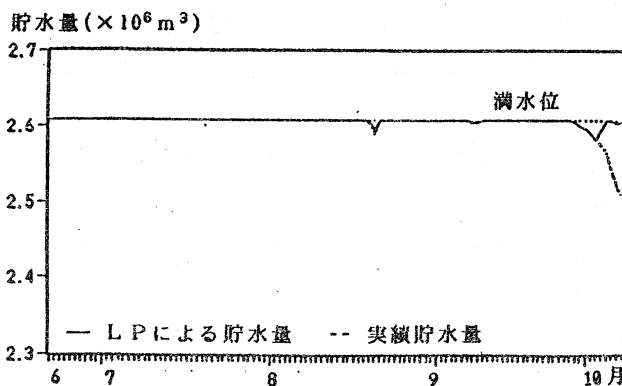


図-6 Aダムにおける貯水量の比較(昭和62年)

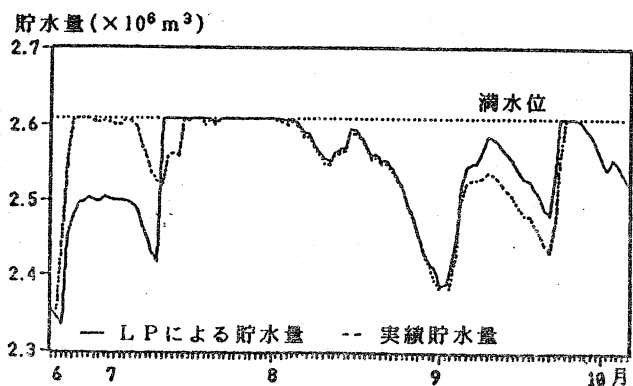


図-7 Aダムにおける貯水量の比較(昭和63年)

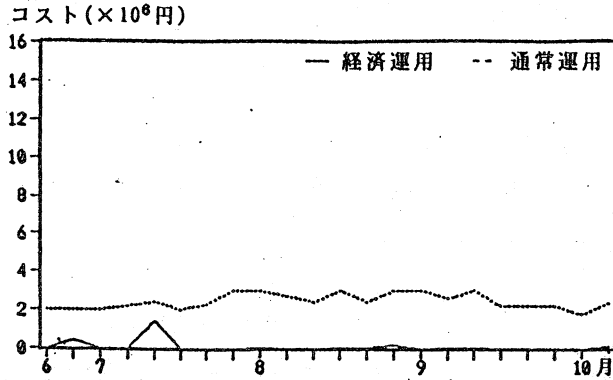


図-8 取水運用コストの比較(昭和62年)

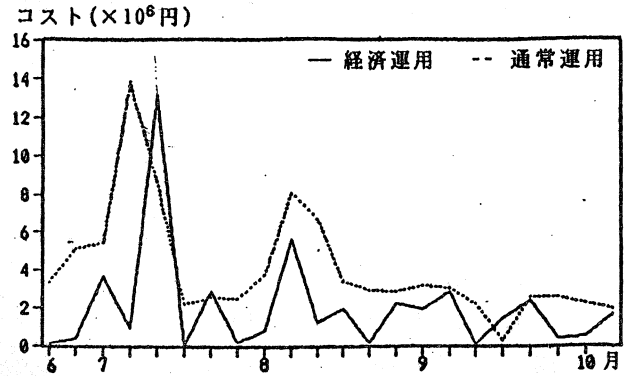


図-9 取水運用コストの比較(昭和63年)

移を、また図-8、図-9は各運用のコストZ値を示している。これより62年度については降水量が多く貯水池への流入量が豊富であったため、ダム取水優先の運用を長期間行った結果、コストを低く抑えることができ経済運用の効果が得られた。なお、図-8で経済運用のコストが上昇したのは、Bダムの貯水量の低下により、コスト単価C₀が上昇したためである。63年度は62年ほど降雨に恵まれてはいなかったが、流入量が多い時期はダム取水を優先し、少ない時期には河川取水優先の運用に切り換えたため、コストの削減効果は小さかったが、全体としては安定供給のためのダム貯水の温存と、経済運用が可能となっている。

5. おわりに

本研究の結果次の結論が得られた。

- 1) LPを用いた手法により、ダム貯水の温存による安定供給と経済運用の目標を満たす運用ができる。特に降雨量の多い年は経済運用の効果が得られる。
- 2) 金銭評価の指標（コストZ値）により運用の状況をより具体的に表現でき運用がより明確になると考える。
- 3) 半旬単位の運用により、貯水状況に応じた合理的な運用が可能である。
- 4) データベースや流入量推定システムの充実により状況に応じた運用が期待できる。

最後に今後の課題として、ダム取水のコスト単価に適用した利水安全度指標の改善、取水量決定の運用間隔の検討などが挙げられる。

謝辞

本研究を行うにあたり有益な資料と助言を頂いた関係各機関の方々に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 飯田英彦, 神野健二, 河村 明: 複数の取水源を持つ浄水場の最適取水, 水文・水資源学会1989年度研究発表会概要集, 1989
- 2) 山内 彪: 濁水被害の定量的手法について, ダム技術, No. 44, pp. 5-13, 1990
- 3) 今村瑞穂, 関 正和, 中村 昭: 濁水の構造分析と流水管理への適用, 土木技術資料, Vol. 21, No. 9, pp. 16-24, 1979

キーワード: 水資源管理, 線形計画法, 最適取水, 流出解析