

持続可能な水資源計画の策定に関する研究

岐阜大学 学生員 ○市川 裕一
岐阜大学 正会員 小尻 利治

1 はじめに

水資源計画においては、従来の「いかに開発するか」という問題から「いかに管理、保全し、活用していくか」という問題に移りつつある。すなわち「地球に優しい持続の開発」の必要性が叫ばれるようになった。そこで本研究では、長期気候変動で予想される流量変化と人口増加・水利用に伴う需要変化を Fuzzy 関数として表現し、施設の最適規模・管理計画及び建設順序の決定を行うものである。

2 持続的開発の定義

まず、持続的開発の概念を明確にする必要があり、竹内¹⁾の提案している項目を参考にまとめると、次のようになる。

- i) 計画段階から需要変化に伴う運用変化、及び供給変化を考慮に入れておくこと
- ii) 供給不足が社会に過度の負担にならないこと
- iii) 自然の再生能力の範囲内で自然を利用すること
- iv) 土・水の汚染を伴う活動は、浄化のつけを次世代に廻さないものであること
- v) 水資源システムは、地域開発計画と一体の戦略計画で最適化されたものであること
- vi) 河川生態系の保護を考え、河川の流れを途切れさせないこと

これらをまとめ直すと、以下のような4項目になる。

- 1) 各供給地における水供給の安定
- 2) 河川への基準流量の確保
- 3) 貯水池面積の最小化
- 4) 貯水池建設による水温の下降、濁度・BODの上昇の抑制

3 施設の規模・管理・配置モデルの定式化

さて、具体的な建設計画を実施するにあたって最終ステージにおける複数の施設管理、規模、及び配置の決定は、

- a) 将来の流入量は平均的には分かっているが、曖昧性を有している
- b) 平均的な水需要量の予測はされているものの、曖昧とする。としよう。ただし、水温やBODに関してはここでは取り扱わない。この条件の下で、Fuzzy 線形計画法を用いることにより計画を立案する。

貯水池建設については建設場所を仮定し、管理時点において貯水池が活用されていなければ建設しない。導水路については、1つの貯水池につき受益地域全てを対象に計算を行うが、Fuzzy LPのコストの制約条件に距離の関係を含ませ、必要のない導水路を削除するようにし、配置を決定する。

はじめに、全体の定式化を表-1に示す。目的関数は曖昧性を最小にすることであり、可能な限り好ましい状態にすることとなる。また、建設計画は予算制約下での決定問題であり、線形計画法における目的は「ダムにおける建設コストとダムから河川への放流、各供給地への導水による運転コストの総和を最小化すること」と定義する。

持続的開発の概念3)より、貯水池の規模はなるべく小さい方が望ましいと考え、コストに対する制約条件は、「予算は Z_{iL} 以下になることが望ましいが、最高で Z_{iU} まで認める」となる。

水需要量に対して、「期待値 $Qd(t)$ 以上ならば望ましいが、最低でも $Qd_L(t)$ 以上はしい」というメンバーシップ関数を用いる。また、河川流量に対して基準流量の放流を考え、「期待値 $Od(t)$ 以上ならば望ましいが、最低でも $Od_L(t)$ 以上はしい」とする。

また、貯水池建設による下流の水温の下降、濁度・BODの上昇については、今後への課題とする。

4 建設順序モデル

施設の規模・管理が決まると、次はそれを達成する施設の建設順序²⁾を明らかにしなくてはならない。その際、全建設期間にわたって無駄な投資をなくし、最も効率的な順序にすることが重要である。なお、工期(ステージ)は予算に見合った段階に分けられるとし、1ステージに建設できる施設数はコスト上の制約から、貯水池が一つであるとする。

また、建設順序を動的計画法で定式化する場合、建設モデル全体をGrand DP(GDP)、各ステージでの操作をLocal LP(LLP)と名付け、最適解を導出する。

4.1 GDPの定式化

建設順序目的として、各ステージ、各供給地における水の供給度、及び基準流量の確保を設定する。メンバーシップ関数は図-5のように表され、数学的には、それぞれ

$$\begin{aligned} \text{when } Q_m(t) \leq Qd_m(t) \\ Q_m(t) \Rightarrow Qd_m(t) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{when } O_m(t) \leq Od_m(t) \\ O_m(t) \Rightarrow Od_m(t) \end{aligned} \quad (2)$$

と書ける。ここに、 $Qd_m(t)$: t 期における都市 m の必要導水量、 $Q_m(t)$: t 期における都市 m の導水量、 $Od(t)$: t 期における河川の必要放流量、 $O(t)$: t 期における河川への実際の放流量、である。導水量に関しては $Qd_m(t)$ 以上、放流量に関しては $Od(T)$ 以上ならば好ましいことを意味し、導水量には供給地の需要変化を考慮する。

制約条件は各ステージ毎に費用の制約を設け、次式のようにする。

$$Y = CC * V + OC * \sum_{t=1}^{12} O(t)^2 + DC * \sum_{t=1}^{12} \left\{ \sum_{m=1}^n Q_m(t) \right\}^2 \quad (3)$$

$$Y \leq Y_{lim} \quad (4)$$

都市における導水量、河川流量の値は、LLPよりそれぞれ求めることができ、そのメンバーシップ値を $\mu_T F(\cdot)$ で表すと、GDPのステージ T での定式化は次のようになる。

$$\begin{aligned} \mu_T(X_1, X_2, \dots, X_T) \\ = \max_{X_1, \dots, X_T} \{ \{ (\mu_T F(S(0), S(1), I(1), O(1))) \\ \wedge \{ (\mu_T F(S(0), S(1), I(1), Q_m(1)) \wedge \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \cdots \wedge \{(\mu_T F(S(T-1), S(T), I(T), O(T)) \\ & \wedge \{(\mu_T F(S(T-1), S(T), I(T), Q_m(T)) \wedge \\ & \wedge \mu_{GT-1}(X_{T-1})\} \end{aligned} \quad (5)$$

以上の手順を最終ステージまで計算を進め、各ステージにおける最大の Fuzzy 値を選び出すと、最適施設順序系列が求められる。
4.2 LLP の定式化

ステージ毎の貯水池操作は各貯水池の単独操作で行なうことを仮定し、流入量は供給変化を考慮して表-1を参考に定式化を行なう。

5 適用と考察

施設規模・管理・配置モデルの貯水池3つについての適用結果については図-1,2,3に示す。図2の結果については貯水量が0になっており、貯水池3は不要であると考えられる。また、図-3から判断して、貯水池1から供給地1への導水路は必要のないものとして削除する。以上は簡易モデルについての適用であるが、他の結果については講演時に述べる。

参考文献

- 1) 竹内邦良: 持続的開発と水資源, 水文・水資源学会誌, vol.7, no. 5(sep), 1994, pp.436-442
- 2) 池淵周一、小尻利治、堀崎晴: 治水システムの段階的建設手順に関する研究, 京大防災研究所年報, 第28号 B-2, 1985, pp.237-249

表-1 施設規模・管理・配置モデルの定式化

目的関数	$\max \lambda$
制約条件	
コスト	$CC + V_i + OC^1 \sum_{t=1}^{12} O_i^1(t) + OC^2 \sum_{t=1}^{12} O_i^2(t) + OC^3 \sum_{t=1}^{12} O_i^3(t) + DC^1 \cdot L \cdot \sum_{m=1}^n Q_{mi}^1(t) + DC^2 \cdot L \cdot \sum_{m=1}^n Q_{mi}^2(t) + DC^3 \cdot L \cdot \sum_{m=1}^n Q_{mi}^3(t) + (Z_{iU} - Z_{iL})\lambda \leq Z_{iU}$
水需要量	$O_i(t) - (O_{di}(t) - O_{diL}(t))\lambda \geq O_{diL}(t)$
河川流量	$\sum_{i=1}^n Q_{mi}(t) - (Q_{dm}(t) - Q_{dmL}(t))\lambda \geq Q_{dmL}(t)$
貯水量	$S_i(t) + d_i(t)\lambda \leq V_i$ $S_i(t) \geq 0$
連続式	$S_i(t) - S_i(t-1) + O_i(t) + \sum_{m=1}^n Q_{mi}(t) + d_i(t)\lambda \leq I_i(t) + d_i(t)$ $S_i(t) - S_i(t-1) + O_i(t) + \sum_{m=1}^n Q_{mi}(t) - d_i(t)\lambda \leq I_i(t) - d_i(t)$
部分線形	$O_i^1(t) + \sum_{m=1}^n Q_{mi}^1(t) \leq Q_{di}^1$ $O_i^2(t) + \sum_{m=1}^n Q_{mi}^2(t) \leq Q_{di}^2$ $O_i(t) - (O_i^1(t) + O_i^2(t) + O_i^3(t)) = 0$ $Q_{mi}(t) - (Q_{mi}^1(t) + Q_{mi}^2(t) + Q_{mi}^3(t)) = 0$

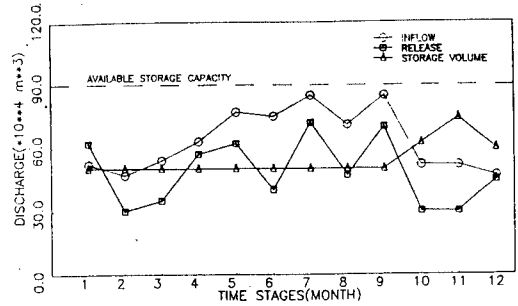


図-1 貯水池1の管理結果

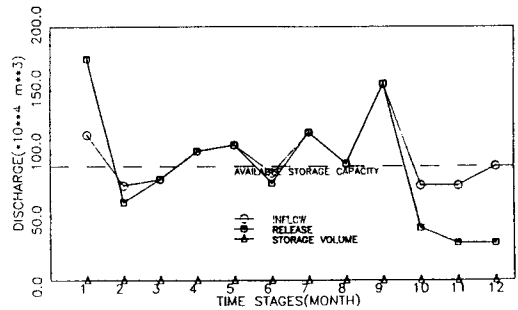


図-2 貯水池2の管理結果

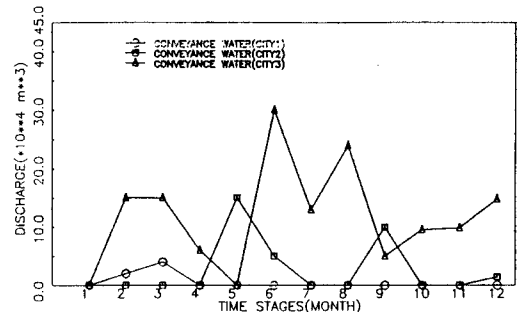


図-3 貯水池1からの導水量

λ : 曖昧性を示すメンバーシップ値

CC: 建設コストの係数

V: ダムの規模

m: 供給地の番号

i: 貯水池の番号

OC^1, OC^2, OC^3 : 運転コスト(放流)の係数

DC^1, DC^2, DC^3 : 運転コスト(導水)の係数

L: 貯水池と供給地との距離

$O^1(t), O^2(t), O^3(t)$: 部分線形化によるt期の放流量

$Q^1(t), Q^2(t), Q^3(t)$: 部分線形化によるt期の導水量

$O(t)$: t期の放流量

$O_d(t)$: t期の河川必要量

$Q(t)$: t期の導水量

$Q_d(t)$: t期の水需要量

$S(t)$: t期の貯水量

$I(t)$: t期の流入量

$d(t)$: t期における流入量の曖昧幅

Q_d^1, Q_d^2 : 部分線形化による放流量の上限