Fuzzy理論による水資源施設の規模・建設順序に関する研究

岐阜大学工学部　学生員　○安藤　健司
岐阜大学工学部　正会員　　小尻　利治
岐阜大学大学院　学生員　　市川　裕一

1　目的

30年後、60年後、90年後といった長期の水資源計画を考えた場合、水需要、流量分布とも極めて曖昧と言える。また、健全な水資源計画は、需要にあった開発と流域の保全、すなわち、持続的開発として要求されている。そこで、本研究では、長期気候変動による入力変化と人口増加・水利用に伴う需要変化をFuzzy関数として表現し、施設の管理、最適規模、及び建設手順の決定を行うものである。

2　研究方法

本研究では、図-1のような流域を想定し、以下の手順で研究を進める。

・Fuzzy線形計画法を用いて、建設終了時のそれぞれのダムにおける管理、最適規模を決定する。

・Fuzzy動的計画法により、これらのダムの建設順序を決定する。

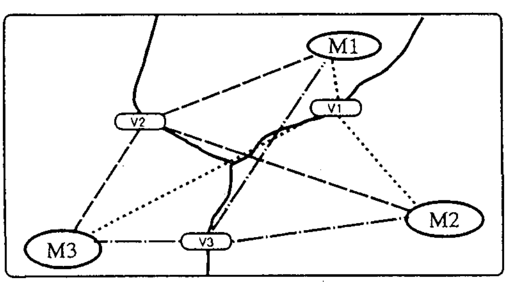

図-1　流域モデル

2.1　施設規模・管理モデルの定式化

まず、以下の条件のもとで定式化を行う。

1) 流入量は曖昧である。

2) 需要量は各都市によってことなり、曖昧とする。

費用zは、建設コストとダムの運転コストの総和であると考え、iを貯水池の番号として、「予算として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」という意味で、図-2のようなメンバーシップ関数を設定する。運転コストは、mを都市の番号とすると、$\{O_i(t)+\sum_{m=1}^{n}Q_{mi}(t)\}^2$に比例すると考え、部分線形化を行う。また水需要量に対して、「期待値$Qd(t)$以上ならば望ましいが、最低でも$Qd_L(t)$以上ほしい」同様に、河川流量に対して「期待値$Od(t)$以上ならば望ましいが、最低でも$Od_L(t)$以上ほしい」というメンバーシップ関数を図-3のように表す。

さらに制約条件として、貯水池の連続式、貯水池容量の制約などを考慮し、これらの定式化を行うと式(2)〜(12)の制約条件のもとで、式(1)の目的関数を最大化するという線形計画問題となる。

$$\max\lambda \tag{1}$$

$$S_i(t)+d_i(t)\lambda \le V_i + d_i(t) \tag{2}$$

$$O_i(t)-(O_{di}(t)-O_{diL}(t))\lambda \ge O_{diL}(t) \tag{3}$$

$$\sum_{i=1}^{n}Q_{mi}(t)-(Qd_m(t)-Qd_{mL}(t))\lambda \ge Qd_{mL}(t) \tag{4}$$

$$S_i(t)-S_i(t-1)+O_i(t)+\sum_{m=1}^{n}Q_{mi}(t)+d_i(t)\lambda \le I_i(t)+d_i(t) \tag{5}$$

$$S_i(t)-S_i(t-1)+O_i(t)+\sum_{m=1}^{n}Q_{mi}(t)-d_i(t)\lambda \ge I_i(t)-d_i(t) \tag{6}$$

$$CC*V_i+OC^1\sum_{t=1}^{12}\{O_i^1(t)+\sum_{m=1}^{n}Q_{mi}^1(t)\}+OC^2\sum_{t=1}^{12}\{O_i^2(t)+\sum_{m=1}^{n}Q_{mi}^2(t)\}+OC^3\sum_{t=1}^{12}\{O_i^3(t)+\sum_{m=1}^{n}Q_{mi}^3(t)\}+(Z_{iU}-Z_{iL})\lambda \le Z_{iL} \tag{7}$$

$$O_i^1(t)+\sum_{m=1}^{n}Q_{mi}^1(t) \le Qd^1 \tag{8}$$

$$O_i^2(t) + \sum_{m=1}^{n} Q_{mi}^2(t) \leq Qd^2 \tag{9}$$

$$O_i(t) - (O_i^1(t) + O_i^2(t) + O_i^3(t)) = 0 \tag{10}$$

$$Q_{mi}(t) - (Q_{mi}^1(t) + Q_{mi}^2(t) + Q_{mi}^3(t)) = 0 \tag{11}$$

$$S_i(t) \geq 0 \tag{12}$$

$$i = 1, 2, 3 \qquad m = 1, 2, 3$$

ただし、λ: メンバーシップ関数, $S(t)$: t 期の貯水量, $d(t)$: t 期における流入量の曖昧幅, V: ダムの規模, $O(t)$: 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, $I(t)$: t 期の流入量, CC: 建設コストの係数, OC^1,OC^2,OC^3: 運転コストの係数, $O^1(t)$,$O^2(t)$,$O^3(t)$: 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, Qd^1,Qd^2: 部分線形化による放流量の上限である。

ここで、試行錯誤的に貯水池の規模 V を変化させ、目的関数λが変化しない程度の最低の V を選び出せば、それを最適規模とする。

2.2 建設順序モデルの定式化

流域の仮定として、以下のような条件を仮定する。

1) 各ステージでの入力は曖昧である。
2) 需要量は各ステージ毎に変化する。
3) 1 ステージに建設可能な施設には限りがある。
4) 各ステージに建設された施設による利水効果は、ステージ末に現れる。

本研究では、Fuzzy 動的計画法を当てはめ、利水効果を評価する指標として、図-4 のようなメンバーシップ関数を設定する。始めに、各ステージで建設された貯水池のステージ最終年の年単位の操作を、前節で定式化された Fuzzy LP を用いて行い、$Q_{mi}(T)$ を抽出する。建設されたダムは、完成した年から最終ステージの最終年まで運転が行われるものとする。また、Fuzzy DP を、T を年スケールとして以下のように定式化する。

目的関数

$$Z = \min \sum_{m,i=1}^{n} (CC(T)Vi + OC(T)O_i(T) + OC(T)Q_{mi}(T)) \tag{13}$$

各ステージ、及び最終段階における制約条件

$$\min \quad \mu(Q_{mi}(T)) > \mu_D \tag{14}$$

Fuzzy LP で算定された $Q_{mi}(T)$ を、図-4 で設定された指標に当てはめ、式 (14) の制約条件を考慮しつつ、式 (13) の目的関数を満足するような建設順序を最適解とする。

3 適用と考察

今回、Fuzzy 線形計画モデルの適用として、Qd^1, Qd^2を $30m^3$、$d(t)$ を t 期の流入量の 10 %、ダムの規模 V を $70000m^3$ として計算を行った結果、目的関数λの値が 0.92 となり、貯水池の管理結果は図-5 のようになった。また、他の適用については、講演時に述べる。

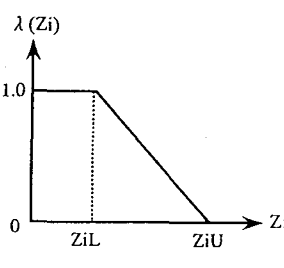

図-2 費用のメンバーシップ関数

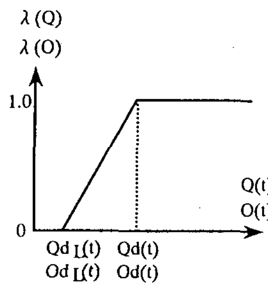

図-3 水需要量、河川流量のメンバーシップ関数

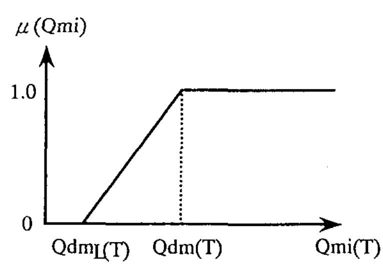

図-4 各都市における水需要量のメンバーシップ関数

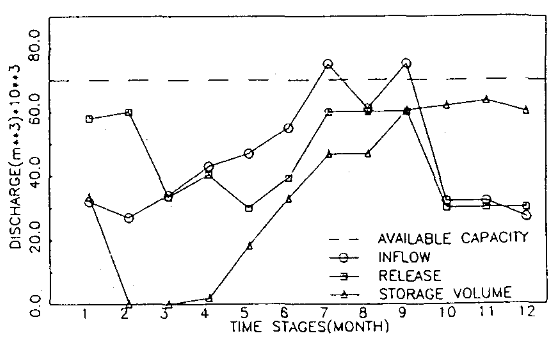

図-5 貯水池の管理結果