土木学会第49回年次学術講演会（平成６年９月）

CS－112　Fuzzy理論による水資源施設計画に関する研究

岐阜大学大学院　学生員　○市川　裕一
岐阜大学工学部　正会員　小尻　利治
（株）西松建設　安藤　健司

1　はじめに

本研究では、長期気候変動で予想され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。また、流域モデルは、貯水池が３つ、導水管が９つのものを想定し、施設の建設可能場所はあらかじめ決められているものと仮定する。

2　施設規模・管理モデルの定式化

まず、目的関数は次のようにする。

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

ただし、λはモデル評価の曖昧性を表すメンバーシップ値である。

制約条件は、コストに対して、「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」、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」、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設定する。また、流入量分布の曖昧性により貯水量も影響を受け、連続式も、$d_i(t)$の曖昧幅を持つことになるため、定式化は以下のようになる。

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

$$O_i(t) - (Od_i(t) - Od_{iL}(t))\lambda \geq Od_{iL}(t) \tag{3}$$

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

$$S_i(t) + d_i(t)\lambda \leq V_i \tag{5}$$

$$S_i(t) \geq 0 \tag{6}$$

$$\begin{aligned} S_i(t) - S_i(t-1) + O_i(t) + \sum_{m=1}^{n} Q_{mi}(t) \\ + d_i(t)\lambda \leq I_i(t) + d_i(t) \end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned} S_i(t) - S_i(t-1) + O_i(t) + \sum_{m=1}^{n} Q_{mi}(t) \\ - d_i(t)\lambda \geq I_i(t) - d_i(t) \end{aligned} \tag{8}$$

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

$$O_i^2(t) + \sum_{m=1}^{n} Q_{mi}^2(t) \leq Qd^2 \tag{10}$$

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

$$\begin{aligned} Q_{mi}(t) - (Q_{mi}^1(t) + Q_{mi}^2(t) \\ + Q_{mi}^3(t)) = 0 \end{aligned} \tag{12}$$

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

ただし、CC: 建設コストの係数, V: ダムの規模, m: 都市の番号, i: 貯水の番号, 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, $O(t)$: 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, Qd^1,Qd^2: 部分線形化による放流量の上限である。ここで、変数λを導入することにより式(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通常の線形計画問題が得られる。

3　建設順序モデルの定式化

施設の規模・管理が決まると、次の問題は施設の建設順序[1]である。その際、全建設期間に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する。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1つ、導水管(導水路)が3つまでを建設可能とし、建設状態の表記法としては、貯水施設が3つ、導水管が9つあるため、[100 111 000 000]となる建設行列を定義する。要素1〜3は貯水池、要素4〜6,7〜9,10〜12は、それぞれ、貯水池1,2,3からの導水管を表す。

建設順序目的として、各ステージにおける水不足量の最小化を設定する。

$$O_{dif} = \max_{m}(DIF) \qquad \rightarrow \min \tag{13}$$

$$DIF = \sum_{t=1}^{12} \mid Qd_m(t) - Q_m(t) \mid \tag{14}$$

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の導水量である。目的関数は図-1のようなメンバーシップ関数で表されるとし、導水量に関しては、DIFがTD以下ならば好ましいことを意味する。また、TDは需要量と導水量との差の目標値である。

都市における必要需要量と導水量との差の年間の総和DIFは、Fuzzy線形計画法で得られた値よりそれぞれ求めることができる。そこで得られた値を図-1のメンバーシップ関数に当てはめることにより、各ステージのメンバーシップ値$\mu_T(O_{dif1}), \mu_T(O_{dif2}), \mu_T(O_{dif3})$が求められる。すると、ステージ$T$での評価関数はメンバーシップ値を用いて表すと次のようになる。

$$\begin{aligned} OBJ &= \mu_{GT}(X_T) \\ &= \max\{(\mu_T(O_{dif1}) \wedge \mu_T(O_{dif2}) \wedge \\ &\quad \mu_T(O_{dif3})) \wedge \mu_{GT-1}(X_{T-1})\} \end{aligned} \tag{15}$$

以上の手順を$T=1\sim3$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　適用と考察

Fuzzy線形計画法において流入量、各都市の必要需要量の曖昧性は、幅が10％であるとし、貯水池の規模を変化させて計算を行った。その結果を図-2,3に示す。貯水量や放流量に制約を与えていないので急激な貯水量変化が見られるが、都市への導水という点からすれば、平滑な供給が行われていることがわかる。

建設順序に関しては紙面の都合上、講演時に示すが、各ステージでの操作を固定したため、管理による水供給の効率化が十分達成できなかったようである。

参考文献

1) 池淵周一、小尻利治、堀智晴：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

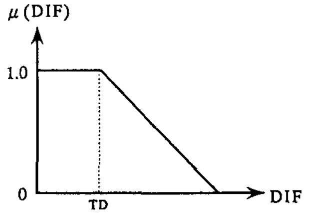

図-1　DIFのメンバーシップ関数

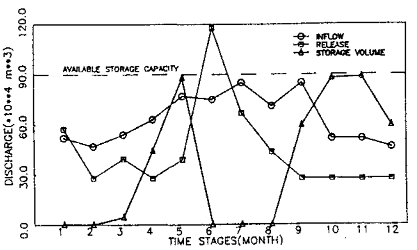

図-2　貯水池1の管理結果

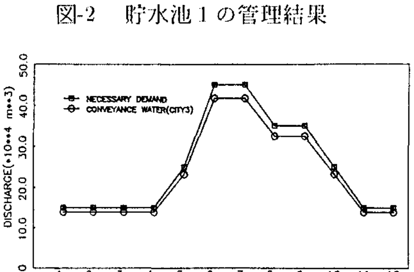

図-3　都市1への導水量