

京都大学工学部 正員
京都大学工学部 正員

高埴琢馬 京都大学工学部 正員 椎葉充晴
堀 智晴 京都大学大学院 学生員 ○杉本 健

1. 本研究の目的 本研究では、渇水時の貯水池運用問題を、1. 流入量予測情報が曖昧に与えられたときの貯水量推移予測問題、2. 目標および制約が曖昧に与えられたときの意志決定問題から成ると捉え、上の各問題に対し、1. 将来の貯水池への流入量がファジイ集合で与えられたときの貯水量推移をファジイシステムを用いてモデル化する、2. 渇水時貯水池運用問題をファジイ意志決定問題として定式化しファジイシステムに対する多段階決定手法を用いて放流量を決定することで解決を図ることを目的とする。

2. ファジイシステムによる渇水時貯水池運用のモデル化 記憶のあるファジイシステムでは、時刻 t の状態を表すファジイ集合 X_t がメンバーシップ関数 $\mu_{X_t}(x_t)$ で特性づけられる場合、 $\mu_{X_{t+1}}(x_{t+1})$ は、 $\mu_{X_t}(x_t)$ および条件付メンバーシップ関数 $\mu_{X_{t+1}|x_t, u_t}(x_{t+1}|x_t, u_t)$ で次のように表される [1]。

$$\mu_{X_{t+1}}(x_{t+1}) = \vee_{x_t} [\mu_{X_t}(x_t) \wedge \mu_{X_{t+1}|x_t, u_t}(x_{t+1}|x_t, u_t)] \quad (1)$$

次に、渇水時の貯水池運用を上で述べたファジイシステムを用いてモデル化する。単一水系の単一ダム貯水池を考えると、貯水池操作システムは、

- 第 t 期における貯水池への流入量 v_t
- 第 t 期における貯水池からの放流量 r_t
- 第 t 期における貯水池下流点における需要量 d_t
- 第 t 期期首における貯水量 s_t

により構成される。なお、本システムにおいては貯水池下流域からの流入量は考慮していない。また、 s_{t+1} と、 s_t 、 v_t 、 r_t の間には連続式が成り立つ。

$$s_{t+1} = s_t + v_t - r_t \quad (2)$$

したがって、貯水池操作システムを記憶のあるファジイシステムで表現することができ、放流量 r_t がファジイシステムへの入力 u_t に対応し貯水量 s_t は状態変数 x_t に対応する。流入量 v_t を特性付けるメンバーシップ関数が、 $\mu_{V_t}(v_t)$ で与えられたとき、状態推移を示す条件付メンバーシップ関数 $\mu_{S_{t+1}|s_t, r_t}(s_{t+1}|s_t, r_t)$ は、式 (2) より下のように求まる。

$$\mu_{S_{t+1}|s_t, r_t}(s_{t+1}|s_t, r_t) = \mu_V(s_{t+1} - s_t + r_t) \quad (3)$$

3. ファジイ意志決定手法を用いた放流量の決定 通常、意志決定過程は以下の要因に支配される。

1. 個々の手段を選ぶ際の制約の集合
2. 手段を選んだことにより、その手段に対して利得 (あるいは損失) を割り当てる評価関数。

ファジイ意志決定においては 1, 2 をそれぞれ手段の空間 X におけるファジイ集合 $C_1, \dots, C_N, G_1, \dots, G_m$ で表し、ファジイ制約、ファジイ目標と呼ぶ。そして、ファジイ決定 D を以下のように定義する [1]。

$$D = C_1 \cap \dots \cap C_N \cap G_1 \cap \dots \cap G_m \quad (4)$$

次に、渇水時実時間貯水池操作問題を、上で述べたファジイ意志決定で定式化する。放流量の決定を考える際の期間数を N とすると、第 t 期のファジイ制約 C_t ($t = 1, \dots, N$) は、「第 t 期の放流量 r_t は、当該期の目標放流量 $\bar{r}_t$ の近傍にあるかまたは大きいことが望ましい。」というファジイ集合で表され、また、ファジイ目標 G_N は、「第 N 期期末の貯水量 s_t は、当該期末の目標貯水量 $\bar{s}_N$ の近傍にあるかまたは大きいことが望ましい。」というファジイ集合で表される。

上のように定式化されたファジイ制約、ファジイ目標のもとで時刻 t ($t = 1, \dots, N$) におけるファジイ目標 $\mu_{G_t}(s_t)$ を求める漸化式を導くことにする。

時刻 N の貯水量状態を示すメンバーシップ関数 $\mu_{s_N}(s_N)$ は、 $\mu_{s_{N-1}}(s_{N-1})$ と条件付メンバーシップ関数 $\mu_{s_N|s_{N-1}, r_{N-1}}(s_N | s_{N-1}, r_{N-1})$ で表される。

$$\begin{aligned} \mu_{s_N}(s_N) &= \vee_{s_{N-1}} [\mu_{s_{N-1}}(s_{N-1}) \wedge \\ &\mu_{s_N|s_{N-1}, r_{N-1}}(s_N | s_{N-1}, r_{N-1})] \end{aligned}$$

さて、終了時刻における貯水量状態を表す集合 s_N がファジイ目標 G_N を満足する集合 G'_N を $G'_N = G_N \cap s_N$ で定義するのが適当であろう。ファジイ集合における共通集合の定義により G'_N を次のように表す。

$$\begin{aligned} \mu_{G'_N}(s_N) &= \mu_{G_N}(s_N) \wedge \mu_{s_N}(s_N) \\ &= \vee_{s_{N-1}} [\mu_{s_{N-1}}(s_{N-1}) \wedge \mu_{s_N|s_{N-1}, r_{N-1}}(s_N | s_{N-1}, r_{N-1})] \end{aligned}$$

$$(s_N | s_{N-1}, r_{N-1}) \wedge \mu_{G_N}(s_N)$$

上式から時刻 $N-1$ におけるファジイ目標が求まるが、一般的に $i=1, \dots, N$ に対して次式が成り立つ。

$$\begin{aligned} \mu_{G_{N-i}}(s_{N-i}) &= \max_{r_{N-i}} [\mu_{G_{N-i}}(r_{N-i}) \wedge \\ &\quad D[\mu_{G'_{N-i+1}}(s_{N-i+1} | s_{N-i}, r_{N-i})]] \\ D[\mu_{G'_{N-i+1}}] &= \vee_{s_{N-i+1}} [\mu_{G_{N-i+1}}(s_{N-i+1}) \wedge \mu_{S|s_{N-i}, r_{N-i}}(s_{N-i+1} | s_{N-i}, r_{N-i})] \end{aligned}$$

4. 適用結果および考察 次に、先に述べた放流量決定手法を池淵が構築した仮想ダム貯水池[2]に適用する。本研究では4つのCaseを想定し(表1参照)計算を行い、各々の貯水量、流入量、放流量は図1～図4のようになった。Case1の場合、各期の放流量は常に目標放流量と一致し、貯水量の推移も目標貯水量曲線と一致し、ファジイ決定のグレードはつねに1となった。また、Case3とCase2を比較すると、Case3ではCase2で決定不能な期においても、目標放流量を幾らか制限した形で放流が行われ目標・制約条件のファジイ化によって早期対策を含めた決定が可能となる。Case3とCase4を比較すると、Case4から得られたファジイ決定のグレードが、Case3から得られたファジイ決定のグレードよりも大きな値が得られる場合が比較的多い。Case4から得られる情報の信頼度が低いにもかかわらず、ファジイ決定のグレードが高い理由としては、ファジイ目標、ファジイ制約、および流入特性を示すメンバーシップ関数相互の形状の影響を受けるためと思われる。したがって、今後は予測情報および目標、制約の表現形式を考察する必要がある。

5. おわりに 今後は、予測情報をファジイ集合で与える流入量予測モデルを開発し、予測情報を特性づけるメンバーシップ関数の形状とそれに応じた目標、制約の与え方を調べていきたい。

参考文献

- [1] 水本雅晴：ファジイ理論とその応用，サイエンス社。
- [2] 池淵・小尻・宮川：中・長期予測を利用したダム実時間操作に関する研究，京都大学防災研究所年報，第33号B-2，pp167-192，1991。

表1 計算条件

	目標	制約	予報	降雨量
Case 1.	クリスプ	クリスプ	完全予報	平年並
Case 2.	クリスプ	クリスプ	完全予報	基準渇水
Case 3.	ファジイ	ファジイ	完全予報	基準渇水
Case 4.	ファジイ	ファジイ	ファジイ	基準渇水

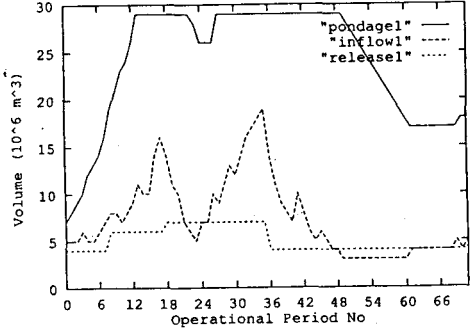


図1 Case1における貯水量、流入量、放流量

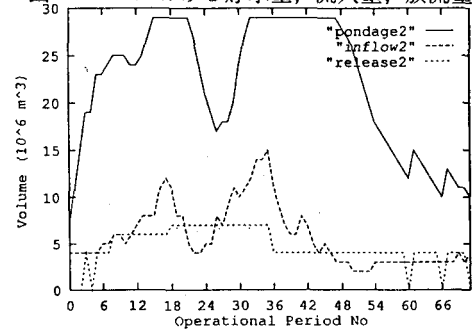


図2 Case2における貯水量、流入量、放流量

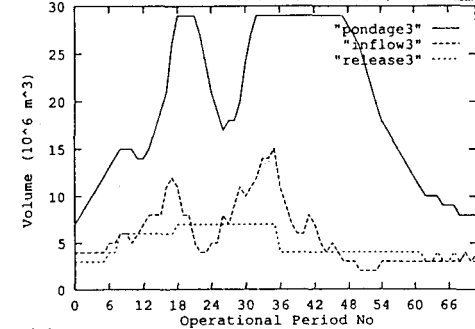


図3 Case3における貯水量、流入量、放流量

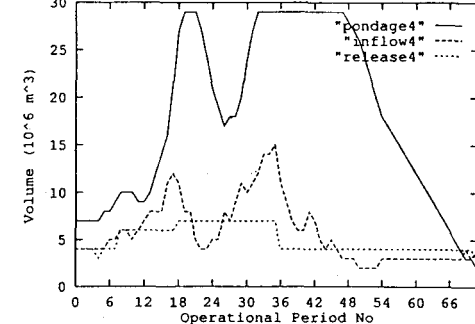


図4 Case4における貯水量、流入量、放流量