

京都大学工学部 正員 高棟琢馬
京都大学工学部 正員 堀 智晴京都大学工学部 正員 椎葉充晴
京都大学大学院 学生員 ○ 杉本健

1 本研究の目的 渇水に見舞われた場合渇水対策協議会が開かれ渇水対策が議論されるが、渇水調整における当事者間の議論においては、意思決定基準の緩和形態や流入量予測モデルの精度が意思決定過程に及ぼす影響を十分考慮する必要がある。そこで、本研究では現実の渇水調整の方法をファジイ意思決定手法を用いてモデル化することにより、貯水池への流入量の予測情報の精度や意思決定基準の緩和形態が放流量の決定過程に及ぼす影響を分析するためのモデルを構築する。また、この分析モデルに組み入れるための流入量予測モデルとして、ファジイ回帰モデルによる流入量予測手法を開発する。

2 ファジイ予測・ファジイ意思決定基準のもとでの放流量最適化手法 単一水系単一ダム貯水池の状態推移は、第 t 期における貯水池への流入量 v_t 、貯水池からの放流量 r_t 、貯水池下流点における需要量 d_t 、当該期首における貯水量 s_t 、により記述される。また予測情報として、第 t 期における流入量を表すファジイ集合 V_t とその信頼度 p_t が与えられている。このとき、 V_t の補集合 $\bar{V}_t$ が信頼度 $1-p_t$ で与えられたとも考えられる。

ファジイ意思決定手法のもとでは、貯水池の操作基準はファジイ目標・ファジイ制約で表現される。またファジイ決定はこれらの共通集合で与えられ、ファジイ決定において最大グレードをとる要素を最大決定とする。本研究では、この問題の後進型DPによる解法を述べる。

計算で考慮する期間数を N とすると、各時刻のファジイ目標を以下の手順により求める。初めに時刻 N の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。このとき、 s_{N-1}, r_{N-1} に対する G'_N の条件付メンバーシップ関数は

$$\begin{aligned}\mu_{G'_N}(s_N | s_{N-1}, r_{N-1}) \\ = \mu_{G_N}(s_N) \wedge \mu_{S_N|S_{N-1}, R_{N-1}}(s_N | s_{N-1}, r_{N-1})\end{aligned}$$

で与えられる。なお、 $\mu_{S_N|S_{N-1}, R_{N-1}}$ は、連続式を用いて流入量ファジイ集合 V_{N-1} （もしくは $\bar{V}_{N-1}$ ）と関連づけることができる。例えば、 V_{N-1} に対しては次式で表される。

$$\mu_{S_N|S_{N-1}, R_{N-1}} = \mu_{V_{N-1}}(s_N - s_{N-1} + r_{N-1})$$

V_{N-1} 、 $\bar{V}_{N-1}$ それぞれについて条件付メンバーシップ関数 $\mu_{G'_N}$ が得られたとき、例えば V_{N-1} に対するファジイ目標 $\mu_{G_{N-1}|V_{N-1}}(s_{N-1})$ は次式で表される。

$$\begin{aligned}\mu_{G_{N-1}|V_{N-1}}(s_{N-1}) \\ = \max_{r_{N-1}} [\mu_{C_{N-1}}(r_{N-1}) \wedge D[\mu_{G'_N|V_{N-1}}(s_N | s_{N-1}, r_{N-1})] \\ D[\mu_{G'_N|V_{N-1}}(s_N | s_{N-1}, r_{N-1})] \\ = \vee_{S_N} [\mu_{G_N}(s_N) \wedge \mu_{S_N|S_{N-1}, R_{N-1}}(s_N | s_{N-1}, r_{N-1})]\end{aligned}$$

上式より最大決定 r_{N-1}^* が求まり、同様に $\bar{V}_{N-1}$ に対するファジイ目標 $\mu_{G_{N-1}|\bar{V}_{N-1}}(s_{N-1})$ とその最大決定 r_{N-1}^* が求められる。

今度は、時刻 $N-1$ における決定放流量を選択する。決定放流量 r_{N-1} は、 $p_{N-1} \times \mu_{G_{N-1}|V_{N-1}}$ と $(1-p_{N-1}) \times \mu_{G_{N-1}|\bar{V}_{N-1}}$ とを比較し、前者の値が大きいとき r_{N-1}^* を決定放流量とし、後者の値が大きいとき r_{N-1}^* を決定放流量とする。

最後に時刻 $N-1$ におけるファジイ目標を、選んだ決定放流量のもとでのファジイ目標の平均値で与える。例えば、最大決定として r_{N-1}^* を選択した場合は次式で与えられる。

$$\begin{aligned}\mu_{G_{N-1}}(s_{N-1}) &= p_{N-1} \times \mu_{G_{N-1}|V_{N-1}}(s_{N-1}) + \\ &\quad (1-p_{N-1}) \times \mu_{G_{N-1}|\bar{V}_{N-1}}(s_{N-1}|r_{N-1}^*) \\ \mu_{G_{N-1}|\bar{V}_{N-1}}(s_{N-1}|r_{N-1}^*) &= \\ &\quad \mu_{C_{N-1}}(r_{N-1}) \wedge D[\mu_{G'_N|V_{N-1}}(s_N | s_{N-1}, r_{N-1}^*)]\end{aligned}$$

以下同様の手順により、時刻 $0, \dots, N-2$ のファジイ目標を求めることができる。

3 ファジイ回帰モデルによる流入量予測 近年、ファジイ推論やニューラルネットワークなど入出力の応答関係式を用いた貯水池への長期流入量予測手法が提案されている[1, 2]。したがって、入出力に応答関

係式を用いた流入量予測手法と本放流量決定モデルとをリンクする方法を示すために、ファジイ回帰式を用いた貯水池流入量予測モデルを作成する。

線形ファジイ回帰モデルにおいては、実現値を含むファジイ数を対称なファジイ数の線形結合で表現している。 k 個の実現値 v_l ($l = 1, \dots, k$) と、各々の実現値について m 個の説明変数 x_{li} ($i = 1, \dots, m$) が与えられた場合、実現値を含むファジイ数 V_l は次式で表現できる。

$$V_l = A_0 + A_1 x_{l1} + \dots + A_m x_{lm}$$

ファジイ係数 A_i ($i = 0, \dots, m$) は、中心が α_i 、中心からの幅が c_i で与えられるファジイ数である。ファジイ係数は、サンプル V_l をグレード h 以上で含むという条件のもとで V_l の幅を最小化することで同定される。

また、本研究では流入量予測ファジイ集合の信頼度 p を次式で定義する。

$$p = \sum_{l=1}^k \mu_{V_l}(v_l) / k$$

4 計算例及び考察 池淵ら [1] が用いた仮想ダム貯水池を適用対象とする。表 1 は、1 半旬先の流入量予測において説明変数をそれぞれ、過去 1 半旬から、6 半旬の流量とした場合に得られた流入量予測ファジイ集合の幅の平均値を示したものである。このとき、過去 6 半旬流量を説明変数とした場合に幅が最も狭くなるので、過去 6 半旬流量を説明変数とするファジイ回帰モデルを用いることにする。表 2 は、過去 6 半旬の流入量を説明変数とするファジイ回帰モデルにより得られるリードタイムごとの流入量ファジイ集合の信頼度を示したものである。なお、予測情報の信頼度として、1 半旬先の予測モデルの信頼度の値である 51 %、信頼度を 60 %、70 %、80 % と仮定した計 4 ケースを想定し、また、貯水池操作における意思決定基準として図 1 に示した 4 ケースを考えた場合について放流量決定計算を行なった。

表 3 は、操作基準の緩和形態及び予測情報の信頼度と決定放流量の範囲との関係を調べたものである。決定放流量の範囲が広いほど最適化条件同士がうまく噛みあっていないと推定される。同じ信頼度のもとでは、最も意思決定基準の厳しい case1 で幅が広く、基準の緩和にともない一旦幅が狭まり、再び広がる傾向が見られた。このことは、流入量予測情報の精度に応じて、最も意思決定機構に曖昧性が残らない

緩和形態が case2 から case4 の間に存在することを示している。

5 結論 本研究では、予測情報の精度を考慮した意思決定過程の定式化、ファジイ回帰式による流入量予測モデルの開発を行ない、予測の精度に応じて最も曖昧性の小さくなる放流量緩和形態がことなることを示した。今後、実際に様々な信頼度を持つモデルに対する適用、意思決定過程に残す曖昧性が小さい緩和形態と水利用者の被害構造の関係分析、が必要である。

参考文献

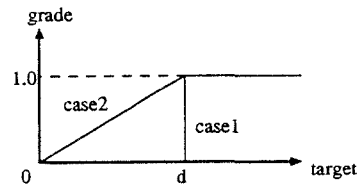
- [1] 池淵周一・小尻利治・宮川裕史：中・長期予測を利用したダム実時間操作に関する研究，京都大学防災研究所年報，第 33 号 B-2，pp167-192，1991。
- [2] 池淵周一・横山正治：ニューラルネットワークを用いた降水量長期予測とダム貯水池の実時間操作，土木学会第 47 回年次学術講演会概要集，1992。

表 1 流入量予測ファジイ集合の幅の平均値

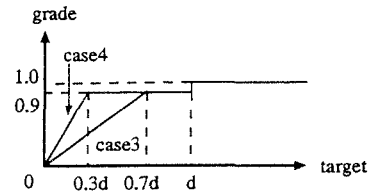
説明変数	1 半旬	2 半旬	3 半旬	6 半旬
平均幅	2.29	2.22	2.19	2.15

表 2 流入量予測ファジイ集合の信頼度

予測半旬	1	2	3	4	5	6
信頼度	0.51	0.53	0.46	0.43	0.41	0.39



(a) case1、case2 のメンバシップ関数の形状



(b) case3、case4 のメンバシップ関数の形状

図 1 意思決定基準の緩和形態

表 3 最大決定の範囲の平均値 ($1.0 \times 10^6 \text{ m}^3$)

信頼度	51 %	60 %	70 %	80 %
case1	24.0	24.1	24.2	21.7
case2	14.3	13.5	10.4	10.4
case3	14.4	3.1	8.7	8.7
case4	16.1	15.8	15.8	15.8