

ファジ理論のダム操作支援システムへの応用について

On the Possibility of the Application of Fuzzy
Theory to the Operation System of Dam

長谷部正彦*・長山八州稔**・桑川高德***

By Masahiko HASEBE, Yasutoshi NAGAYAMA and Takanori KUMEKAWA

If the hydrological characteristics of river basin is obvious, high level prediction of inflow to flow in reservoir can be performed. On the other hand, the automatic operation of dam is generally desired to lighten works for administrator controlled of dam. Fuzzy theory can be applied to the operating system of dam which is difficult to be expressive by numerical formula.

In this paper, the possibility of the application of fuzzy theory to the operating system of dam is investigated comparing the results simulated by fuzzy theory with the results operated by actual operator.

Key words : fuzzy theory, operating system of dam

1. はじめに

近年、ファジ理論の工学への応用は盛んで、自動制御や経済活動の予測などといった多分野にわたりファジ理論が応用されており、その期待は大きいものがある。土木分野においても地下鉄の運行計画やトンネルの掘削のシールド工法および水工関係では流出予測等に応用され、また最近ではダム操作制御の自動化に関する研究にもファジ理論が応用されつつある。これまでの制御理論では基準となる値を境に二値的に判断を下し、反応もクリスプであったが、ファジ理論を用いることにより判断が多値的で、曖昧になり（曖昧という意味は大枠が規定され、細かな調整がオペレータにまかされているということ）、反応も緩やかに示す。また、複数の情報を総合して判断でき、しかも熟練者の経験や勘をヒヤリング調査などから取り入れられるため、より人間的思考に近い制御が可能とされている。本論文では、ダムの最適な操作目的

* 正会員 工博 宇都宮大学教授 工学部建設工学科
(〒321宇都宮市石井町2753)

** 学生会員 宇都宮大学大学院博士前期課程 工学部建設工学科
(同 上)

*** 正会員 工修 宇都宮大学大学院博士後期課程 工学部建設工学科
(同 上)

に応じたシステムを作成するために、既存システムのメンバーシップ関数、ファジィ合成・推論の各チューニングを行い、それぞれの推論法の違いにより、いかなるダム操作傾向になるかを実流域のダム操作に適用して検討し、ファジィ理論がダム貯水池の水量操作に関する自動制御化の可能性について検討するものである。

2. 手法

ダム制御システムではその操作計画を操作方針（放流、定水、貯水）と操作内容（加算放流量）を考慮して2つに分けて決定している。ダムの操作方針はまず、情報となるダム流入量、流入予測量、流入変化量、降雨量の値を前件部変数として従来までの経験の規則により各々を設定されたメンバーシップ関数にあてはめ、その適合値 ω をもとめる（図-1）。操作方針を決める場合、後件部変数が存在していないため、操作内規、過去のデータ及びオペータからのヒアリング調査から、入力情報と操作内容を結ぶマトリックス（図-2）を予め決定する。さらに操作方針の得た適合値を合成し最も大きい値を取ったものを結果として出力する。次に操作内容は、ダム流入量、流入予測量を前件部変数としてメンバーシップ関数にあてはめ、その適合値 ω を求める（図-3）。前件部変数の組み合わせにより後件部メンバーシップ関数にあてはまるファジィ集合を決定する。さらに得られた後件部メンバーシップ関数のファジィ集合から重み付き平均で加算放流量を求める。以上の流れで操作計画は立てられるが、そのパターンはファジィ推論・合成、及びメンバーシップ関数によるところがおおきい。そこで、操作計画のパターンを成すこの部分に注目しその特性を検討する。

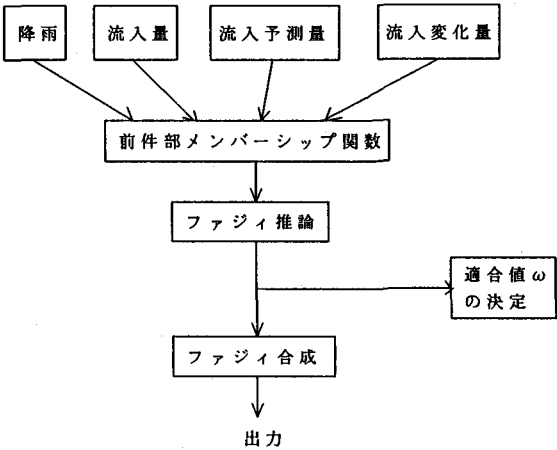


図-1 操作方針のフローチャート

水位が大きく、流入量が中程度の場合

	S	M	B	S : S m a l l
S	定 水 位			M : M i d d l e
M				B : B i g
B	放 流			

図-2 ファジィ空間の分割（マトリックス）

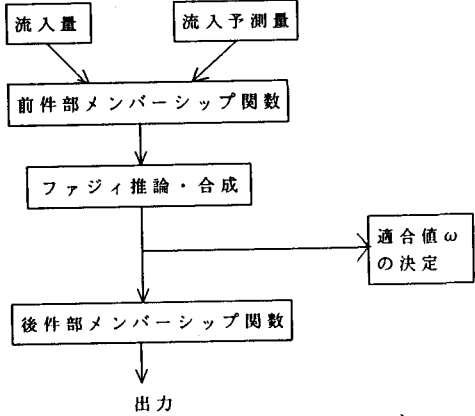


図-3 操作内容のフローチャート

2・1 ファジィ推論・合成

本報告で検討する推論法は、MIN-MAX型推論法式(1)と、積-和型推論法⁽¹⁾式(2)で何れも加算放流量は式(3)の重み付き平均により求めている。なお、実流域におけるシュミレートで、規模の比較的大きい流出の加算放流量を決定する場合には、積-和型推論法を用いたほうがオペレータに近い操作が得られている⁽²⁾。

$$\left. \begin{aligned} \omega_i &= \max_{i=1}^n [A_{i1}(x_1) \wedge A_{i2}(x_2)] \\ B^{\circ}(y) &= \bigvee_{i=1}^n [w_i \wedge B_i(y)] \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ω_i : 適合値
 $A_{i1}(x_1)$: 前件部変数
 $B_i(y)$: 後件部変数
 $B^{\circ}(y)$: 後件部の出力値
 y : 出力値(決定値)

$$\left. \begin{aligned} \omega_i &= \max_{i=1}^n [A_{i1}(x_1) \cdot A_{i2}(x_2)] \\ B^{\circ}(y) &= \bigvee_{i=1}^n [w_i \cdot B_i(y)] \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$y = \frac{\int B(y) \cdot y \cdot dy}{\int B(y) \cdot dy} \quad (3)$$

2・2 ファジィ推論

後件部変数の無い操作方針を決定するとき、与えられた前件部の大きさと操作方針の組み合わせとなるファジィ推論部をファジィ空間の分割により作成した⁽³⁾。これは前件部の同定により作成される⁽¹⁾。また、ファジィ空間の分割は図-2のようなマトリックスで表示され、これを変更していくと操作方針が変わり、操作のパターンも変わる。これまでの研究によると規模の小さい洪水に対しては放流反応を弱くし、規模の大きい洪水の場合、放流・定水は反応の強い傾向をもつマトリックスを用いた方が操作方針が滑らかに推移した⁽²⁾。本論文では、3つのタイプのマトリックスを用いてそれぞれシュミレートし検討する。

2・3 メンバシップ関数

メンバシップ関数は、三角形型の関数⁽⁴⁾を用いて、ファジィ集合の幅は各々等しいものとした。加算放流量を決定するメンバシップ関数は前件部、後件部判断の両方を人間の思考に近いものとするため、ファジィ集合のラベルをSmall、Middle、Bigの3つにしたものと、それにVery Bigを加えた4つの分割の2タイプのものを作成した。また、これに伴い後件部判断のファジィ集合のラベルをそれぞれ5つと7つに分割した。

3. 実ダムへの応用と結果

3・1 シュミレート条件

推論法（MIN-MAX型、積-和型）とメンバーシップ関数の分割の方法（3-5分割，4-7分割）との組み合わせの適性について検討するため、操作内容を決定しているファジィシステムに、前件部変数 X_1 、 X_2 を与え、出力値 Y を求めさせ（ X_1 、 X_2 、 Y ）の3次元グラフに表示した。結果を図-4、5、6、7に示す。なお、ここでの変数値は実ダムの情報と対応し X_1 はダム流入量、 X_2 はダム流入予測量、 Y は加算放流量である。この中で、推論法が積-和型でファジィ分割が3-5のものが図5の中央の部分で滑らかに推移し、また推論法がMIN-MAX型でファジィ分割が4-7のものが全般的に緩やかに推移した。次に推論法、ファジィ分割、ファジィ推論部の差により生じる特性を調査するため、実際のデータを用いてシュミレートした。ここで、全てのシステムで設定したファジィ集合幅は全て同じものとする。また、実ダムへの応用として用いるデータは、降雨ピークが一山型で規模の大きいものとした（図-8）。この理由としては規模の小さいデータを用いると各々の特徴や差が不明確になるためである。

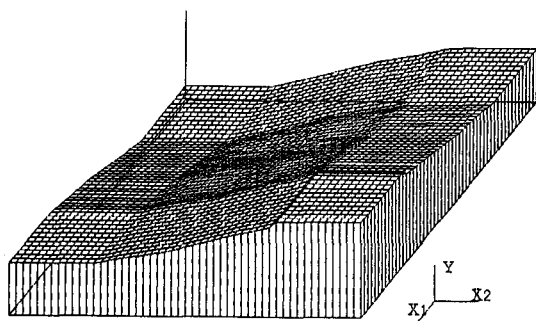


図-4 （ X_1 、 X_2 、 Y ）3次元グラフ
（MIN-MAX、3-5）

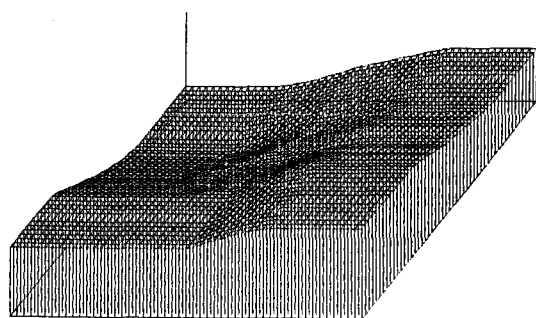


図-5 （ X_1 、 X_2 、 Y ）3次元グラフ
（積和、3-5）

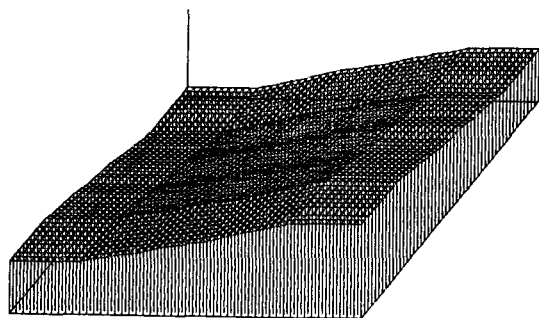


図-6 （ X_1 、 X_2 、 Y ）3次元グラフ
（MIN-MAX、4-7）

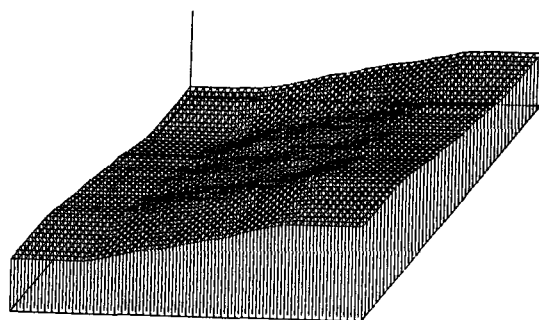
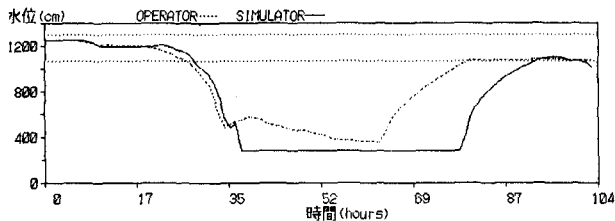
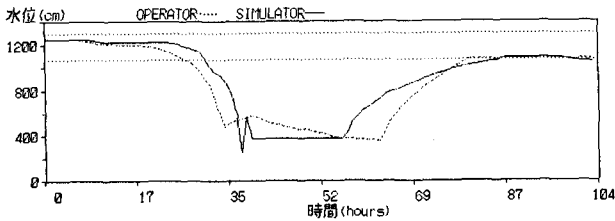
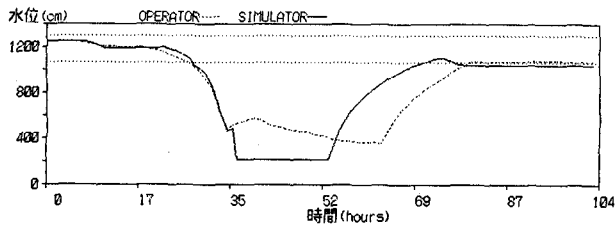
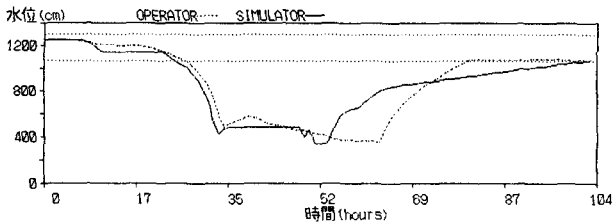
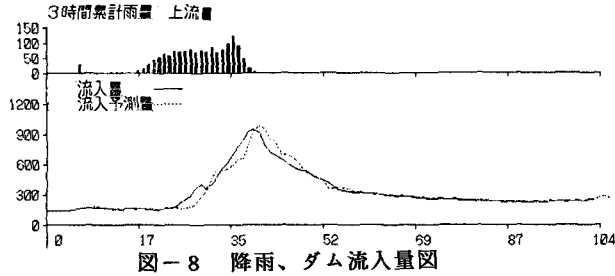


図-7 （ X_1 、 X_2 、 Y ）3次元グラフ
（積和、4-7）

3・2 評価

まず推論法とファジィ分割の組み合わせにより生じたダム水位変化を実際のオペレーターが操作した場合と、ファジィ理論によりシュミレートした結果の比較を図-9、10、11、12に示す。各々のケースについてのダム水位変化の特性を以下に示す。

ついでにダム水位変化の特性を以下に示す。



- ①MIN-MAX・3-5分割：水位低下曲線及び定水位（全開）時水位はオペレーターに近い操作をしているが、安定していない。貯水時の水位確保は緩やかに行われる。
- ②積一和・3-5分割：水位低下曲線はオペレーターに近いが、水位を下げすぎる傾向にあり。また貯水位の確保には少し問題がある。
- ③MIN-MAX・4-7分割：放流開始初期の水位低下曲線が緩やかであるため、その後の予備放流が強くなりオーバーシュートが発生する。貯水時期は早くゆるやかに水位を確保する。
- ④積一和・4-7分割：水位低下曲線は緩やかでオペレーターに比べ遅れる。貯水曲線の傾きはやや大きい

この他に、ファジィ推論部に関して3つのパターンを用いた結果、放流傾向の強いものに対し弱いものの方が放流開始が遅れ放流量が後半強まりオーバーシュートが発生しやすくなる。また、定水（全開）時間を長くすると貯水開始時期が遅れ貯水曲線の傾きが大きくなる。

3・3 まとめ

ダム操作に規模の大きい洪水データを適用した結果、ダム流入量、流入予測量、加算放流量に関しては人間の思考判断を示す3次元グラフの滑らかさから判断すると②と③の結果が良好であった。また、ダム操作の水位変化特性からは全体的に③の結果が比較的適性が良かった。しかし、詳細に見るとMIN-MAX推論法を用いると貯水曲線が、ファジィ分割が3-5分割だと水位低下曲線が適確に操作されている。以上から、今後は、ダムの操作方針や目的別にシステムを作成することも考慮する必要がある。本報告では、実際のオペレーターとの操作比較を行ったが、細かな点についてはファジィシステムでは追従できないところもあったが、今後もう少しヒアリング等を通して検討する必要がある。また操作開始時期を早めるための精度の良い流出予測あるいはヒアリングデータの蓄積等から洪水パターンの早期予測を確立することも望まれる。

4 参考文献

- (1) 菅野道夫：ファジィ制御、日刊工業新聞社、（1988）
- (2) 長谷部正彦・長山八州稔・佐藤鉄也・条川高德：ファジィ推論法の利水ダム操作制御への応用、第4回水資源に関するシンポジウム、pp333-338、（1992）
- (3) 池淵周一・宮川裕史・川端伸一郎：貯水池操作システムへのファジィ制御理論の適用に関する研究（Ⅱ）、京大防災研年報第32号B-2、pp371-382、（1989）
- (4) 水元雅晴：ファジィ制御に関する改善法1-4、第3回ファジィシステムシンポジウム、（1987-1990）
- (5) 長山八州稔・条川高德・長谷部正彦：ファジィ理論を用いたダム制御の最適化、第47回土木学会年次学術講演概要集、pp708-709（1992）