

# ファジィおよびニューラルネットワークシステムを用いた ダム操作支援システムの比較検討

宇都宮大学工学部  
宇都宮大学工学部  
宇都宮大学工学部

○ 学生員 加藤 純一  
正会員 長谷部 正彦  
正会員 鈴木 善晴

## 1. はじめに

ダムの機能には、水資源の有効利用や災害防止等といった、利水・治水上多くの役割があるが、より高度な貯水池の活用や、洪水時の治水効果の向上を図るために、ダム操作支援システムが導入されている。現在のダム操作ルールでは、観測時点の流入量に対応しただけの簡便なルールを採用しているため、オペレータの経験に頼るところが大きいのが現状である。そこで、操作内規の他に、過去の操作内容のデータや熟練指示者の経験をヒアリング調査し、その調査結果と降水量、流入量及び予測流入量といった複数の水文量の情報を取り込むことにより、より信頼性の高い操作支援システムの構築が検討されている<sup>1)</sup>。

本論文では、実流域のダム制御において、Fuzzy システム及び Neural network システムを導入し、どのようなシステムが、操作支援システムに適しているかの検討を行うことを目的とする。特に治水ダムに対しては、操作方針部及び操作量部に対して、異なった組み合わせのシステムを適用した場合の比較検討を行う。

## 2. ダム操作支援システムの構成

長山・長谷部の研究<sup>1)</sup>で構築されたダム操作支援システムの構成を簡単に述べる。ダム操作支援システムは、操作方針と操作量を決める二つのサブシステムから構成される。操作方針部ではダム水位を下げる（放流）、水位を上げる（貯水）、水位を一定に保つ（維持）の3操作から操作方針が決定され、操作量部では放流量、貯水量がそれぞれ定量的に決定される。

### (1) ダム操作方針部

操作方針部には Neural network システムまたは Fuzzy システムを適用する<sup>1)</sup>。Neural network システムを適用するのは、記憶や学習そして自己組織化機能を備えているので、必要なデータを与えることにより、幾つかの選択肢の中から適切な解を導くことに適しているためである。操作方針の決定は放流、貯留およびダムの水位維持の三つの項目の中から、最適な項目の一つが決定される。

### (2) ダム操作量部

操作量部では、Fuzzy システムまたは Neural network システムにより決定された操作方針の出力結果を受け、Fuzzy システムを用い操作量（貯水量、放流量）を決定する<sup>1)</sup>。

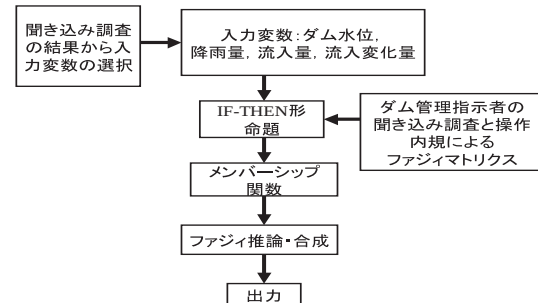


図-1 操作方針部 (Fuzzy システム)

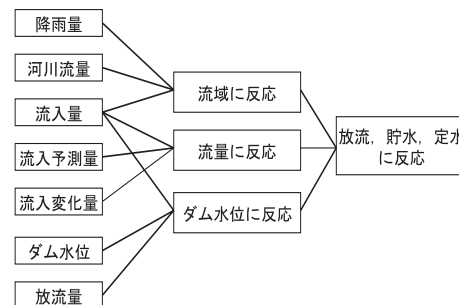


図-2 操作方針部 (Neural network システム)

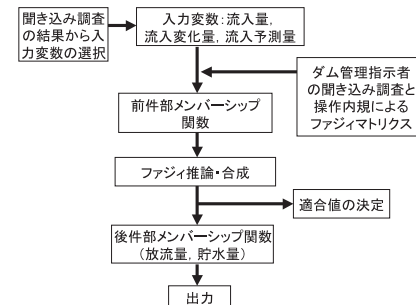


図-3 操作量部 (Fuzzy システム)

例えば、ダム操作方針が「放流」の場合には、ダム管理指示者の聞き込み調査及び操作内規により、ダム流入量とダム予測流入量が前件部（入力）変数として選択される。一方、「貯水」の場合には、ダム流入量とダム流入変化量、あるいはダム流入予測量が前件部（入力）変数として選択され、これらをメンバーシップ関数にあてはめた後にファジィ推論・合成を行い、その適合値を求める。次に後件部（出力）変数のメンバーシップ関数とその適合値により、該当するファジィ集合ラベルの代表点を重心法により求め、放流量あるいは貯水量を出力する。

以上より操作方針部に Fuzzy システムを用いた場合の概要を図-1に、Neural network システムを用いた場合の概要を図-2に示す。また操作量部のフローチャートを図-3に示す。

Key Words: ダム操作, ファジィ, ニューラルネットワーク

〒 321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学工学部建設学科 Tel . 028-689-6214 Fax . 028-689-6213

### 3. Fuzzy-Fuzzy 及び

#### Neural-Fuzzy システムの特徴

ダム操作方針部は、三者択一式（放流・貯水・維持）であるため、Fuzzy-Fuzzy システムでは、予め作成されたアルゴリズムを基にファジィ確率を求め、三者の中で最も高い確率値を持つものが選択され出力される。また Neural-Fuzzy システムの場合には、三層型のニューロンを配置し構成を行ったものに、閾値や荷重値を付加することで、最も高い刺激を受けたニューロンが出力され決定される。治水目的のダム操作のように時々刻々の流入量の変化が大きい場合は、Fuzzy-Fuzzy システムを用いると、例えばメンバーシップ関数上で「大きい」、「中位」、「小さい」といった三つのファジィラベルの場合、この三つの分布の中から、最大の値を出力する構造なので、出力におのずから制限が加えられてしまう。これに対して、Neural-Fuzzy システムの場合には、閾値や荷重値が数値で決められているので、かなり細かい部分まで同定が行われてから出力値が決定される。これらの理由から、主たる目的が治水の場合には、Neural-Fuzzy システムのほうがより詳細にダム操作を行うことが可能となる。

### 4. 利水ダムへの Fuzzy-Fuzzy

#### システムの適用

流域面積に比べダム容量の小さい利水ダムで、放流能力が大きくかつ操作方法が複雑な場合には、流入量の変化に機敏に反応する支援システムが要求される。図-4は、Fuzzy-Fuzzy システムによる操作結果である。シミュレータには、MIN-MAX 型と代数積-MAX 型の二つの推論法を用いているが、ここでは MIN-MAX 型をシミュレータの操作として用いる。また、表-1は、ピーク放流量と総治水量を、オペレータ、Neural-Fuzzy、Fuzzy-Fuzzy で比較したものである。図-4と表-1の Fuzzy-Fuzzy システムを比較すると、ピーク放流量もオペレータと同程度であり、総治水量も十分に確保できた操作結果となった。このことから利水目的のダムの操作支援システムとしては、Fuzzy システムのみの支援システムが有効である。

### 5. 治水ダムへの Neural-Fuzzy

#### システムの適用

治水ダムでは、操作量部にはいずれも Fuzzy システムを適用したが、操作方針部にはそれぞれ異なったシステムを適用した。Fuzzy-Fuzzy システムと Neural-Fuzzy システムをピーク放流量と全治水量で比較（表-1）すると、Neural-Fuzzy システムは、Fuzzy-Fuzzy システムと比較してみても、ピーク放流量は低減し、総治水量も大きくなっており、治水目的のダムには有利な結果となった。

Neural-Fuzzy システムを適用した場合の操作結果をオペレータの操作と比較すると、Fuzzy-Fuzzy システムのほうがオペレーターに近い操作をとったが、今回システムの比較をする上で用いた評価条件としては、放流量は、流入量の増水分より小さく、減水部

表-1 ピーク放流量と総治水量の比較

|              | ピーク放流量<br>( $\text{m}^3/\text{s}$ ) | 総治水量<br>( $10^5 * \text{m}^3$ ) |
|--------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| オペレータ        | 206                                 | 19.19                           |
| Neural-Fuzzy | 185                                 | 23.83                           |
| Fuzzy-Fuzzy  | 198                                 | 22.25                           |

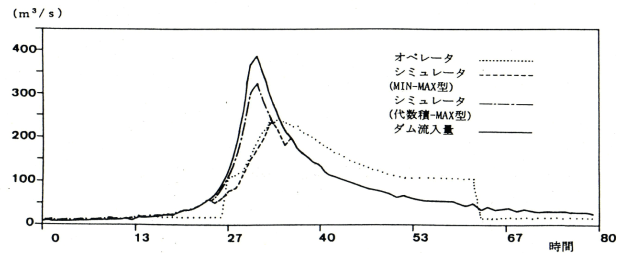


図-4 Fuzzy-Fuzzy システムによるダム操作結果

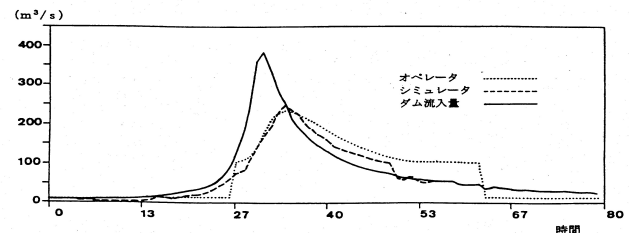


図-5 Neural-Fuzzy システムによるダム操作結果

で放流曲線の傾きは、流入曲線の傾きを越えない、できるだけピーク放流時間の遅延をさせる、総治水量を出来るだけ確保する、の3点であることを考えると、Neural-Fuzzy システムのほうが評価基準を満たしており、良い結果と言える。また図-5は Neural-Fuzzy システムによる操作結果を示したものである。Fuzzy-Fuzzy システムとを適用した結果を示した図-4（シミュレータは MIN-MAX 型）と比較すると、ピーク放流量は同程度であるが、Neural-Fuzzy システムのほうがピークカット時間が遅く、かつ滑らかな放流曲線を描いている。以上のことから、Neural-Fuzzy システムが、治水を主としたダム操作支援システムに適していると考えられる。

### 6. まとめ

ダム操作支援システムにおいて、利水を目的とした場合には、Fuzzy-Fuzzy システムが十分に有効な操作方式であることがわかった。また治水ダムにおいて、Neural-Fuzzy システムは、Fuzzy-Fuzzy システムの適用結果と比較すると、ピーク放流量が低減し、かつ総治水量が大きくなっており、治水目的のダムには有効な操作方式であることがわかった。

今後の課題としては、ダム操作支援システムを正しく評価する基準を作成し、より最適な操作支援システムの構成について検討していく必要がある。

#### 参考文献

- 1) 長山八州稔, 長谷部正彦: ファジィ理論のダム操作支援システムの応用について, 水工学論文集, 第 37 巻, pp.69-74, 1993