

治水用貯水池操作へのファジィ・ニューラルネット ワークシステムの適用について

Application of fuzzy and neural systems to the reservoir operation for flood control

長谷部正彦*・長山八州稔**・桑川高德***

By Masahiko HASEBE, Yasutoshi NAGAYAMA and Takanori KUMEKAWA

Recently, fuzzy system and neural networks system are advanced in many engineering field. In this paper, the fuzzy set theory and neural networks system are applied to the reservoir operation to support system for flood control. The author's consider to put the hydrological information, the control rules of reservoir operation and the information obtained by inquires to reservoir operator into the dam supporting system. This system is that neural networks are applied to the decision of the operator line of reservoir operation and fuzzy system is applied to the decision of operational volume (release discharge) of reservoir operation. It is understood that application of fuzzy and neural network systems to the reservoir operation is effective.

Key Words: neural network, fuzzy set theory, reservoir operation system, flood control

1. はじめに

ダムはこれまで、環境及び資源の高度利用や災害防止等の役割を担ってきた。さらに、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、補助としてのダム操作方式が導入されている。しかし、これらの操作は、ダム流入量に基づいて作成された操作内規にそったもので、ある規定値を境にクリスプなものとなっている。また、現在、ダム操作ルールは、観測時点の流入量に対応するルールを採用しており、オペレータの経験に頼るところが大きい。本研究では、操作内規の他に過去の操作内容の資料や操作のオペレータのヒヤリング調査し、その調査結果と複数の水文量の情報をファジィ・ニューラルネットを適用した支援システムに取り入れて検討する。

2. ファジィシステムによる結果

これまで、著者らは、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（3類ダム）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ためファジィシステムのみの支援システムが貯水池操作に有効であることを検討してきた¹⁾、²⁾。しかし、治水目的のような常時満水位から洪水に対処する貯水池操作（4類ダム）の場合に、ファジィシステムを適用したが、その

* 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)

** 正会員 工修 栃木県庁土木部 佐野土木事務所 (〒327 栃木県佐野市堀米607)

***正会員 工修 宇都宮工業高等学校 (〒320 宇都宮市京町9-25)

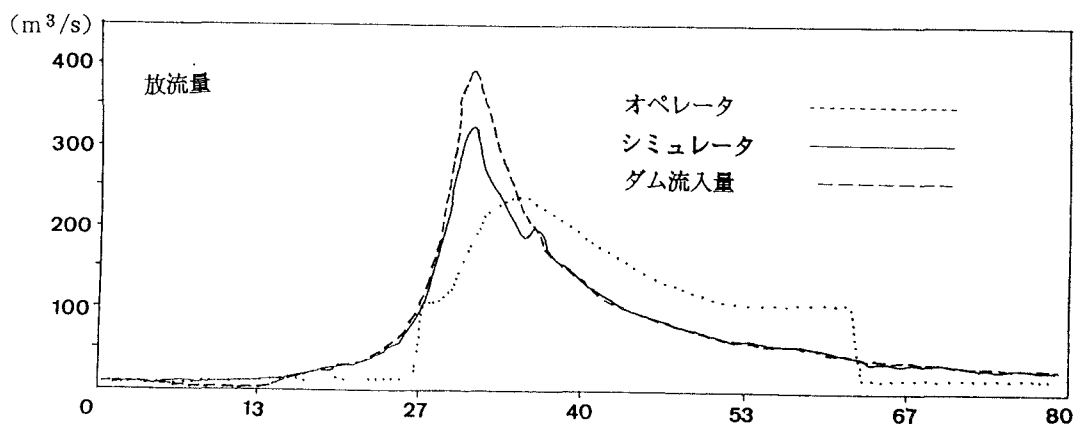


図-1 ファジィシステムのみによる操作結果

操作結果は図-1 のようになる（解析の降雨は後に述べる図8と同じものである）。図からピーク放流量が大きくピークカット時間が短く（後に示す）評価基準に適していないことが判る。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に、ファジィシステムを用いると、アルゴリズムが無限に作成されていないという問題点がある。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アルゴリズムなので、出力におのずから制限が加えられてしまう。これに反して、ニューラルネット・ファジィシステムでは、しきい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を行って決定される。この理由から、ニューラルネット・ファジィシステムの方がファジィシステムのみの場合よりも細かな点でのダム操作が可能であると考えられる。従って、操作内規にある規定値をクリアし、かつ滑らかな反応を示すような支援システムとしてファジィシステムばかりでなく、因果関係がはっきりしていなくても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けるニューラルネットワークとファジィ理論を用いた方が、より信頼度が高くなると考えられる。このような理由から、この研究では、貯水池操作システムとして、ダム操作計画における操作方針をニューラルネットワークで、操作量（放流量）をファジィシステムで行う、ファジィ・ニューラルネットワークシステム用いたシステムにより、治水用貯水池（4類ダム）の操作について検討することとする。このシステムは、先に述べたように、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等といった複数の水文量の情報を取り込んだシステムである。

3. ファジィシステム及びニューラルネットワークシステム

近年、曖昧な入出力系に対してより人間の知能により近いシステムが開発の研究が行われつつある。この中で、ファジィ理論は、Zadeh³⁾が概念を提唱し、その人工知能への応用は1974年頃始まった。ニューラルネットワークはW.S. McCulloch & W. Pitts⁴⁾により提案された神経細胞のモデルから始まって、その後、Hebb⁵⁾やRosenblatt⁶⁾などが学習則を取り込み、記憶、学習、自己組織化機能を備えたシステムとなる。このシステムの特徴は因果関係がはっきりしていなくても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けることである。

4. ファジィ・ニューラルネットワークによる貯水池操作の概要

貯水池操作は、放流計画を操作方針及び操作量の二つのサブシステムに分け、一つのシステムとして構成する。

4. 1 ダム操作方針

操作方針のサブシステムは、ニューラルネットワークを用いて行う。ニューロンの配置とニューラルネットワークの構成はダム管理指示者に操作方針を決めるときに与えられる時に考えられる意志決定の過程をヒヤリングした結果に基づくものである。このシステムでは3つのパーセプトロン、すなわち、入力層(感覚層)、中間層(連合層)及び出力層(反応層)の3層から構成し⁷⁾、入力層には、降雨量や上流部での支川河川の合算流量、ダム流入量、流入変化量、ダム水位、ダム放流量とフィルター分離AR法⁸⁾による流出予測の結果をダム予測流入量(解析の降水は3時間累加降雨を用い、予測のリードタイムは1時間先とした。)と考えた七つの水文情報に反応するニューロンが組み込まれている。中間層には、流域の水文特性と流量(流入量)そしてダム状況に反応するニューロンが、出力層には、放流、貯留およびダムの水位維持の決定に反応するニューロンが組み込まれ、操作方針の決定は放流、貯留または水位維持の3つの項目の中から最適な項目の一つが決定される。図-2に操作方針のフローを示す。

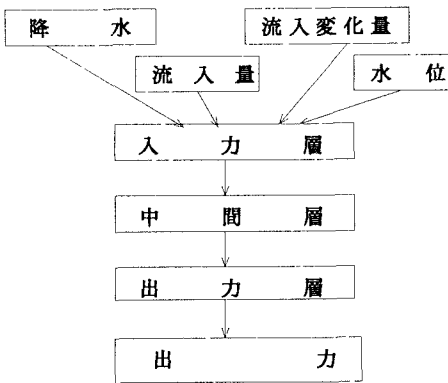


図-2 操作方針のフローチャート

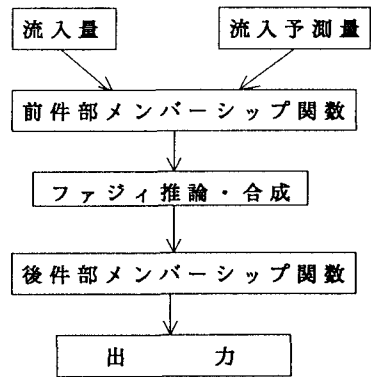


図-3 操作量のフローチャート

4. 2 ダム操作量(放流量)

操作量のサブシステムは、ニューラルネットワークにより決定された操作方針を受けてファジィ理論⁹⁾、¹⁰⁾を応用して行う。操作方針が水位低下放流の場合、ダム流入量とダム流入予測量を前件部変数として、貯留の場合にはダム流入量とダム流入変化量を前件部変数としてメンバーシップ関数にあてはめて、ファジィ合成を行い、その適合値を求める。さらに後件部のメンバーシップ関数にその適合値をあてはめ、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出力する。操作量のフローを図-3に示す。また、図-4に操作方針と操作量を含めた貯水池操作の概要を示す。

4. 3 システムの最適化

貯水池操作の最適化は、操作方針を決めるニューラルネット部と操作量を決めるファジィ部の二つのシステムで行われる。ニューラルネット部では、階層型ネットを用い、出力関数として、連続線形モデルとして、シグモイド関数を用いる。また、入力層と中間層、中間層と出力層の間に、結合度合の荷重値やシナプスを興奮させる最低限の値を示すしきい値を決めることなど最適化を行なう。なお、パーセプトロンでの結合係数の同定には、バックプロパゲーション法を用いた。

ダム操作量を決めるファジィ部では、前後件部メンバーシップ関数の構造と最適なパラメーターの決定そ

して最適な推論法を決定する。メンバーシップ関数のパラメータは等間隔に与え、操作内規にある数値を基にGMDH法¹⁾を用い同定した。ここで、図-5、6に、ヒヤリング調査の結果の一例とこれを参考にして作成された二次元のファジイマトリクスを、図7に最適なメンバーシップの構造を示す。以上のようにして二つのサブシステムの最適化の決定により貯水池操作が構築される。

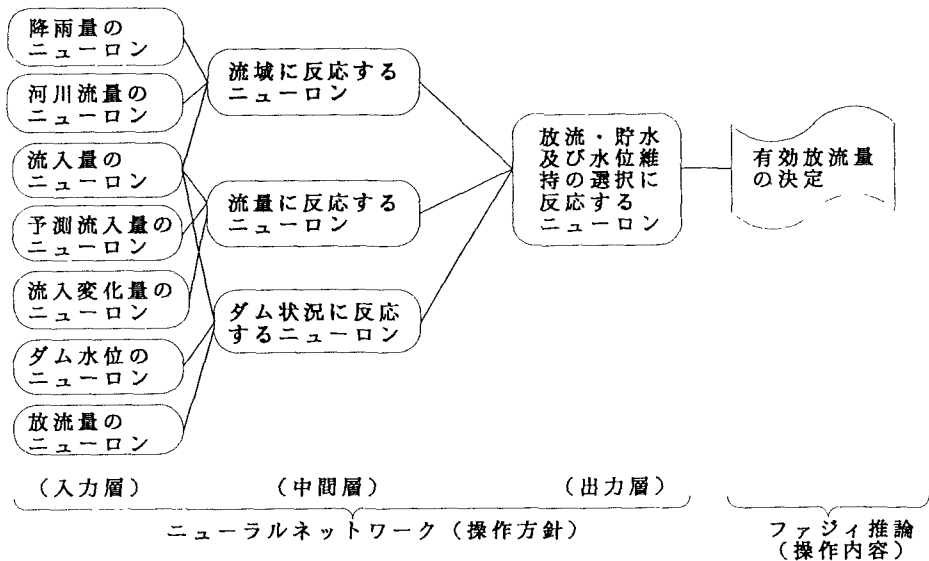


図-4 貯水池操作の概要

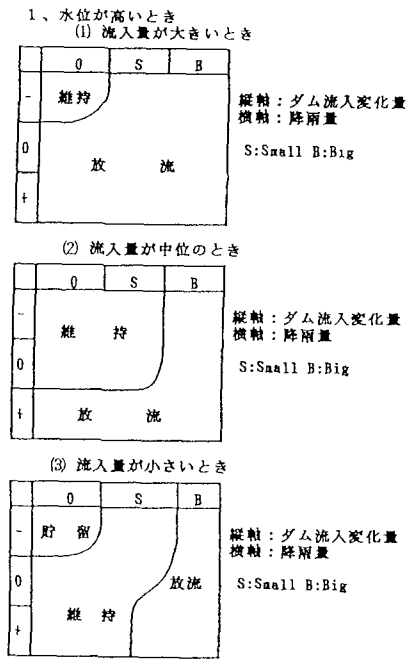


図-5 ヒヤリング調査の結果の一例

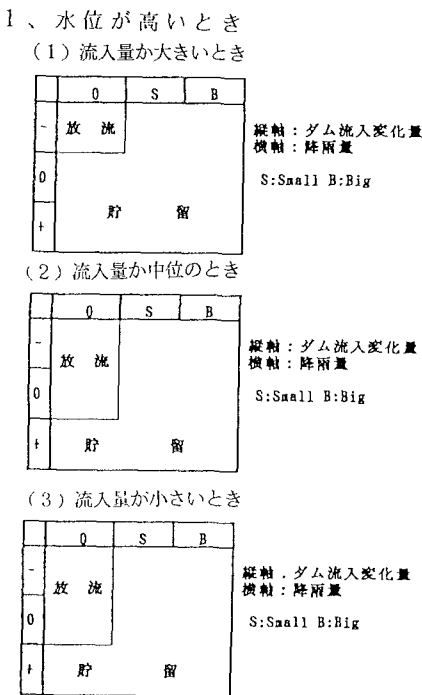


図-6 ファジイ分割マトリクスの一例

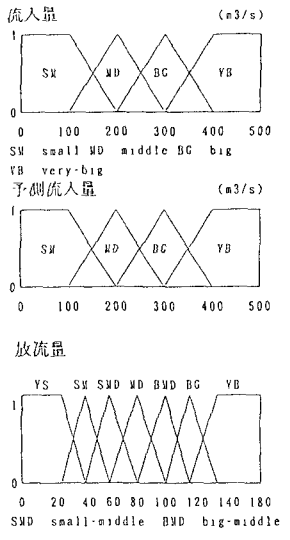


図-7 最適なメンバーシップの構造

5. ダム操作システムの実ダムへの応用

5. 1 放流のための評価基準

この解析に用いた資料は流域面積271.2km²、総貯水量55,000千m³の一定量一定率調節方式

の多目的ダム（主に治水目的）である。システムの同定を行う際には、放流量と下流域への影響を考慮し、以下を評価基準とした。

①ピーク放流量の低減 ②ピーク放流時間をピーク流入時に比べ遅延する ③時間的放流変化量を極力おさえ、滑らかな放流曲線を描くようにする ④貯水池を有効に活用することを含めて、総貯水量を出来るだけ確保する。この評価に基づいて操作方針と操作量を同定した。

5. 2 応用

次に過去10年の中では最も規模の大きい洪水データに、MIN-MAX型と代数積-MAX型の両推論法を用いて解析した。図-8は、MIN-MAX型の推論法を適用したものであるが、評価基準の項目のすべての点で高い効果を示した。また、図-1に示したファジィシステムの場合と比較しても、ニューラルネットを用いたほうが良い結果が示されている。なお、パーセプトロンの構造に関しては、中間層と出力層の荷重値としきい値を個別に変え行った。その結果、操作方針に、ダム流入量、流入変化量およびダム水位の3者が判断に大きく関与しており、図-2に示す操作方針のニューラルネット部の構造が最適であることが分かった。図-8のようにピーク流入量を過ぎた後に水位低下放流が行われるようになり、ファジィシステムの場合よりも安全性の高い定率定量型の操作であることが判る。表1にファジィ・ニューラルネットワークシステムとファジィシステムの場合のみの比較を示す。この表から操作方針にニューラルネットワーク、操作量ファジィ推論にはMIN-MAX法を用いたシステムがよい結果であることがわかる。このことは、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に、ファジィシステムのみを用いた場合、出力におのずから制限が加えられ、アルゴリズムが無限に作成されていないという欠点がある。一方、ファジィ・ニューラルネットシステムの場合には、しきい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を行って出力値を決定できる。このことから、ファジィ・ニューラルネットシステムの方が、より細かな点でのダム操作が可能であろう。

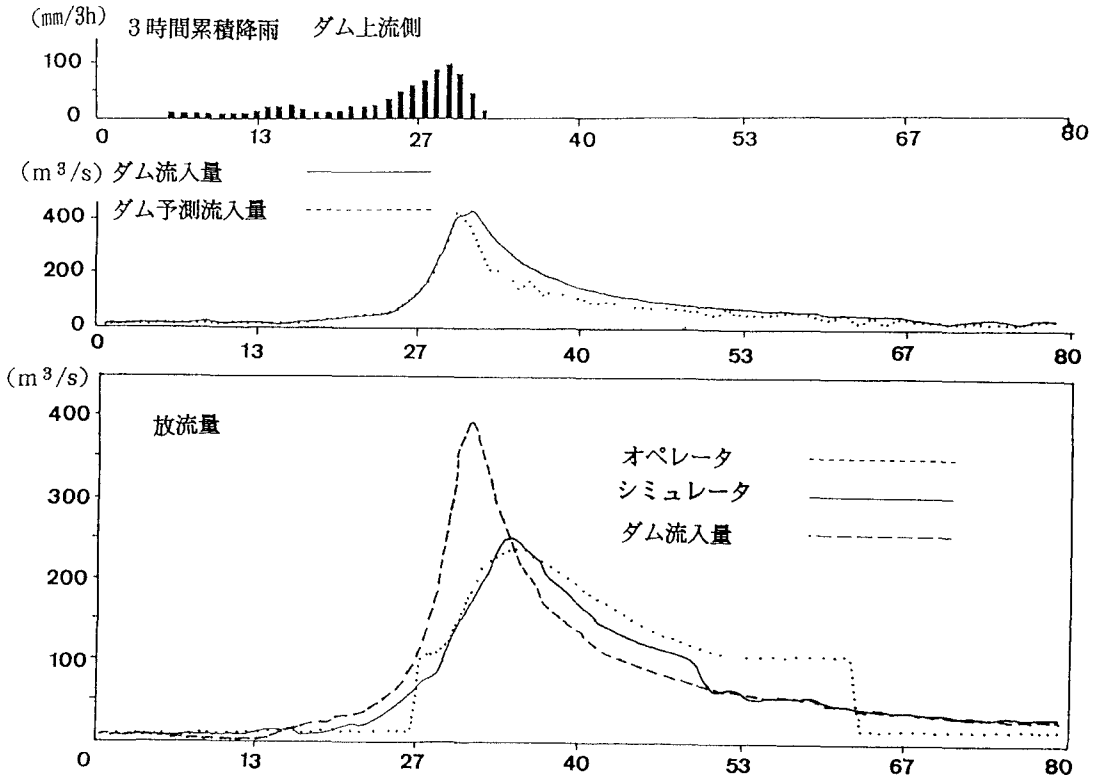


図-8 ファジィ・ニューラルネットシステムによる操作結果

	ピーク放流量 (m^3/s)	総治水量 (10^5m^3)
洪水データ	2 5 7	
Operator	2 0 6	1 9 . 1 9
Neuro-min, max	1 8 5	2 3 . 8 3
Neuro-algebraic	2 1 9	1 2 . 1 3
Fuzzy-min, max	1 9 8	2 2 . 2 5
Fuzzy-algebraic	2 1 9	1 2 . 1 3

表ー１ システムの違いによるピーク放流量と総治水量の比較

6. 結 論

今回の研究では、治水を目的としたため、ピーク放流量の低減とピーク時間の遅延、洪水による出水量の一部を貯水池の貯留にまわすことを主眼におき、システムの評価をおこなった。この結果、治水ダムの貯水池操作では、ファジイシステムのためのダム操作とファジィ・ニューラルネットシステムによるそれとを比べると、ピーク放流量が大きく、ピークカット時間も遅く、総治水量も大きく、かつ滑らかな放流曲線である操作方式がとられたと思われる。ファジイシステムのための操作では、ピーク終了時に2山型洪水に備えて行われるべき水位低下放流の指示が水位維持放流となり、その結果、規模の大きい2山型洪水がきた場合には、治水ダムの機能が果たせない可能性が生じる^{1 2)}。この原因としては、ファジイシステムの前後件部の構造上に限界があるためと考えられる。

以上のことから、ファジイシステムのための場合より操作方針をニューラルネットワークで操作量をファジイ理論による支援制御システムを構成したシステムの方が信頼度は高くなるとと思われる。

参考文献

- (1) 長谷部正彦、長山八州稔、桑川高德；ファジイ理論の貯水池操作への応用について、水工学論文集、第37巻、pp. 69-74、1993.
- (2) Hasebe, M., & Y. Nagayama; Application on fuzzy set theory to the dam control system. Trends in Hydrology, 1, pp. 35-47, 1994
- (3) Zadeh, L. A; Fuzzy set and information granularity, Advance in Fuzzy Set Theory and Application, pp. 3-18, 1979.
- (4) McCulloch, W. S. & W. Pitts; A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity, Bull. Math. Biophysics, 5, pp. 115-133, 1943.
- (5) Hebb, D. O.; The organization of behavior, Wiley, 1949.
- (6) Rosenblatt, F.; Principles of neurodynamics, Spartan, 1961.
- (7) 中野肇；ニューロコンピュータの基礎、コロナ社、1990.
- (8) Hasebe, M., M. Hino & K. Hoshi; Flood forecasting by the filter separation AR method and comparison with modeling efficiencies by some rainfall-runoff models, J. Hydrol., 110:107-136, 1989.
- (9) 菅野道夫；ファジイ制御、日刊工業新聞社、1988.
- (10) 水元雅晴；ファジイ制御に関する改善法Ⅰ-Ⅳ、ファジイシステムシンポジウム、1987-1990
- (11) 池田三郎；GMDHと複雑な系の同定予測、計測と制御、Vol. 14, No. 2、1975
- (12) 長山八州稔、桑川高德、長谷部正彦；ファジイ理論を用いたダム制御の最適化、土木学会年次学術講演会、pp. 708-709、1992.