水工学へのファジィ理論の応用[†]

小尻 利治^{*1} 中山 修^{*2}

1. はじめに

水工学という分野は大変広く、基礎水理学、河川工学、土砂水理学、水資源工学、水文学、海岸工学、河川環境工学、計算機支援水理学、その他を含んでおり一瞥してその研究内容を把握することは難しい。著者らは、土木学会水理委員会水文部会、及び、水文・水資源学会に属しており、ここではファジィ理論の水文学への応用に的を絞って要約する。

さて、水文学においては、いくつかの発表論文がみられ、大別して、降雨予測¹⁾、流出予測²⁾などの物理現象の解明と貯水池管理²⁾³⁾⁴⁾、河川特性評価⁵⁾などシステムの管理・評価がある。以下では、著者らが携わった研究より関連するものを取り出して紹介としたい。

2. 台風性降雨量の予測

2.1 類似台風の抽出

台風性降雨は、その水文情報が経度および緯度上で1度ごとという粗さであり、確率論的に評価できないあいまいさが存在する。また、実時間で降雨予測を行うには降雨現象をblack boxとして

扱うことになり、システムのあいまい性は極めて強い。こうした観点より、台風性降雨の予測システムにファジィ制御理論を導入し、その可能性を図っている。なお、対象流域として淀川水系を用いた。

ある台風を特性づける要因として、以下の4つの物理量が考えられる。

- x_{ni} : 東経
- y_{ni} : 北緯
- r_{ni} : 方向(8タイプ)
- z_{ni} : 中心示度
- v_{ni} : 進行速度

ここに、 ni は台風番号 n 番の i ステップ目の状態を表す。対象とする領域は、東経 122° から 145° まで、北緯 20° から 39° までとし、1度ごとのメッシュに分割したものをを用いる。なお、方向は図1に示す7タイプの進行方向とそれ以外の計8タイプで表現する。

図1 メッシュ内の台風の方向

[†] Application of Fuzzy Theory into Hydrology and Water Resources Engineering
Toshiharu KOJIRI and Osamu NAKAYAMA

^{*1} 岐阜大学 工学部

Faculty of Engineering, University of Gifu,

^{*2} (財)国土開発技術センター

JAPAN Institute of Construction Engineering

任意の台風について過去の台風との類似度は以下のようにして求められる。まず、時刻 t における状態を次のように表現する。

$$A0t = (x0t, y0t, r0t, z0t) \quad (1)$$

$A0t$ と現台風の状態 $Ani = (xni, yni, rni, zni)$ との各要因の類似性を次のメンバーシップ関数で表現する。

$$m1(xni, x0t) = 1 / \alpha^1 |xni - x0t| \quad (2)$$

$$m2(yni, y0t) = 1 / \alpha^2 |yni - y0t| \quad (3)$$

$$m3(zni, z0t) = 1 / \alpha^3 |zni - z0t| \quad (4)$$

$$m4(rni, r0t) : \quad \text{表1}$$

$$m5(vni, v0t) = 1 / \alpha^5 |vni - v0t| \quad (5)$$

表1 台風の方角に関するメンバーシップ値

direction type	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.0	0.5	0.5	0.5	0.2	0.5	0.2	0.0
2	0.5	1.0	0.2	0.2	0.1	1.0	0.5	0.0
3	0.5	0.2	1.0	1.0	0.5	0.2	0.1	0.0
4	0.5	0.2	1.0	1.0	0.5	0.2	0.1	0.0
5	0.2	0.1	0.5	0.5	1.0	0.1	0.0	0.0
6	0.5	1.0	0.2	0.2	0.1	1.0	0.5	0.0
7	0.2	0.5	0.1	0.1	0.0	0.5	1.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

ここに、 k 、 α は各々の要因についての定数である。各要因のメンバーシップ値を総合評価する方法として、(i) max-min 演算法と (ii) 相加平均法の2種類を導入する。

2.2 類似度の算定方法

台風 $A0t$ とメッシュ i における台風 Ani との類似度は

$$D(A0t, Ani) = \min \{ m1(xni, x0t), m2(yni, y0t), m3(zni, z0t), m4(rni, r0t), m5(vni, v0t) \} \quad (6)$$

と表現される。また、全ての可能メッシュで探索すると類似度は次式で表される。

$$DD(A0t, An) = \max_i \{ D(A0t, Ani) \} \quad (7)$$

次に、評価期間に関しても、現時刻より T 時間前までを対象とすると

$$DDD(A0, An) = \min(DD(A01, An), \dots, DD(A0T, An)) \quad (8)$$

となる。結局、 $DDD(A0, An)$ が当該台風 $A0$ と過去の台風 An との類似度となり、最類似台風は

$$DDD(A0, An) \longrightarrow \max \quad (9)$$

より得られる。

ところが、メッシュ情報のようにデータが離散的な場合には、いくつもの台風間で類似度が一致する場合が出現し、判別が不可能になることがある。そこで、相加平均によってメンバーシップ値の総合化を図り、推論結果を比較する。min-max と同様に、 $m1(xni, x0t) \sim m4(vni, v0t)$ を用い、相加平均でもって台風間の類似度とする。すなわち、

$$D(A0t, Ani) = \{ m1(xni, x0t) + m2(yni, y0t) + m3(zni, z0t) + m4(rni, r0t) + m5(vni, v0t) \} / 5 \quad (10)$$

である。以降は min-max 法と同じ計算手順をとる。

2.3 総降雨量の予測

次に、今後の降雨量の算定を行おう。統計資料より、類似台風が位置 (i, j) にあるとき、非超過確率 Pr_c を有する対象地点の降雨強度 Z_c を予め与えておく。また、類似台風のメッシュ滞在時間を $TA(i, j)$ とすれば、対象地点の総降雨量は

$$SU(An) = \sum_{ij} Z_c(i, j) TA(i, j) \quad (11)$$

となる。そこで、5つの要因によって求められた台風の類似度を前件部の適合度とみなし、抽出された過去の台風の雨量から総雨量を求めていくわけである。ゆえに、平均雨量強度のように座標によ

つてのみ評価するのでなく、類似台風として抽出した台風のデータを考慮した総合的な予測となる。ここでは、後件部の関数形を考慮しない推定法(I)を用いる⁹⁾。すなわち、

$$\text{SUR}(A_0) = \frac{\sum \text{DDD}(A_0, A_n) \cdot \text{SUR}(A_n)}{\sum \text{DDD}(A_0, A_n)} \quad (12)$$

となる。ここに、 $\text{SUR}(A_0)$ は当該台風の予測総降雨量、 $\text{SUR}(A_n)$ は当該制御時刻以降の類似台風 A_n の実総降雨量で式(11)より演繹される。

2.4 類似台風の抽出と総降雨量予測例

実際に発生した台風データを用いて類似台風を抽出しよう。用いたパラメータ値は、 $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 2.0$ 、 $k_1 = k_2 = 0.25$ 、 $k_3 = 0.025$ である。いま、ある台風(台風番号T6707)が観測されていると考える。ただし、速度成分を省略して計算した結果である。この台風が北北東に進み、北緯 30° 、東経 127° に達した場合について、過去12ステップのメッシュに関して類似台風を抽出した。表2は上位9個までの類似台風である。メンバーシップ関数に同じパラメータを用いても相加平均の方が順位付けが容易であることがわかる。

続いて総降雨量の予測であるが、表3は北緯 29° 、東経 125° のメッシュから8ステップにさかのぼって解析した結果である。この台風はかなり大型であったが、0mmの予測も見受けられる。これは、当該台風が今までにないパターン(進路、降雨分布)を取ってきたためである。逐次予測を実行していくことによって、精度向上が図られ洪水管理への指標となる。

3. 貯水池の実時間操作

3.1 知識ベース型貯水池操作手順

洪水防御や水資源管理に際して、ダム貯水池が有力な手段であることは明らかである。しかし、実時間という観点からすると、最適操作を達成するにはハイドログラフの形状が重要な要素となり、操作目的に対して満足する結果が得られていない

のが現状である。実流域においては、流出、貯留、河川流下過程の不確実性に加えて、観測データ・計算項目の多さのため、管理所レベルの計算機で

表2 台風の類似度

(1) 最小化手法の場合

order	typhoon name	similarity
1	6707	1.00000
2	1101	0.84090
3	1010	0.84090
4	2910	0.70711
5	3110	0.70711
6	3204	0.70711
7	3503	0.70711
8	3809	0.70711
9	3911	0.70711
10	4704	0.70711

(2) 平均化手法の場合

order	typhoon name	similarity
1	6707	1.00000
2	1010	0.91403
3	1810	0.90963
4	5609	0.89812
5	1101	0.89693
6	6515	0.88960
7	5404	0.88764
8	3513	0.88394
9	3503	0.88305
10	6213	0.87848

表3 予測総降雨量

order	typhoon name	similarity	rainfall
1	6707	1.00000	178.9
2	7803	0.94621	13.0
3	1010	0.91843	63.3
4	2312	0.91489	45.4
5	1701	0.89883	28.5
6	4704	0.89396	52.7
7	1007	0.88011	40.7
8	1004	0.87739	0.0
9	1711	0.87569	63.9
10	3503	0.87460	0.0

predicted total rainfall = 34.217mm

は処理できず、管理者の経験に依存する場合が多い。ゆえに、ここでは知識ベース型エキスパートシステムの概念とファジイ制御理論を結合させて、実時間での洪水用貯水池操作手順を確立しようとするものである。操作ファジイ空間には、流入ハイドログラフ、貯留量、流入観測量を用いる。流入ハイドログラフのデータベース化に関しては、パターン認識手法⁷⁾を用いて代表流況の抽出をはかる。

通常のエキスパートシステムとの類似性を考えると、貯水池の実時間操作は、(i)過去の水文データ、管理記録、管理者の経験を扱うデータベース、(ii)得られた情報を処理し、操作に必要な形態にして保存する知識ベース、(iii)実時間でのダム管理情報として放流量を計算する推論機構、(iv)管理者への具体的な放流量の提示と説明を行なうインターフェイス、より構成されよう。各部分システムのつながりは、図2のようになっている。

3.2 部分システムのモデル化

貯水池操作に必要なデータが揃えられると、知識ベースの作成になる。入手可能なデータや計算量をもとに、操作空間を貯水量、流入量、流入ハイドログラフの3成分より構成されると見なすことができる。実時間操作では放流量決定までに短時間を要求され、しかも、観測データと予測値の不確実性を無視できないので、ここでファジィ理論の導入をはかる。具体的には、ハイドログラフ空間FHを極大洪水(extremely big flood)、大洪水(big flood)、計画洪水(medium flood)、通常洪水(small flood)の4個程度に分割する。貯水量空間FSは治水容量に対して、空状態(almost empty space)、かなり余裕がある状態(big space)、まあまあの状態(medium space)、あまり無い状態(small space)に分割される。流入量空間FDは計画高水流量の100%、75%、50%、25%、5%と極大流量の6個に分類する(表4参照)。

分類するハイドログラフは、全てのデータよりパターン認識概念を用いて分けられる。また、分類に際しての目的関数は、ハイドログラフの形状に基づいて分ける必要があり、次式を適用した。

$$\text{OFp} = \max_t (|QI(t,n) - FQ(t,i)| / FQ(t,i)) \longrightarrow \max \quad (13)$$

ここに、 $FQ(t,i)$ は分類された代表番号 i のハイドログラフにおける時刻 t での流量であり、 i に属するデータの平均値、また、 $QI(t,n)$ は、データ番号 n のハイドログラフの流量である。分類にあたっては、random K-meansを適用する。対象ハイドログラフは、代表ハイドログラフに対して時間軸上の移動を行い、目的関数を最小化してずれ時間を設定する。両ハイドログラフの重なりが少ない時は、自然低減係数でハイドログラフを外挿する。

次に、洪水制御の目的は洪水による氾濫の危険性を減少することと定義すると、次式のように表わせる。

図2 知識ベース型貯水池操作手順

$$OF_c = \max_t (QO(t)) \longrightarrow \min \quad (14)$$

従って、ハイドログラフ、貯水量、流入量の代表値の組み合わせに対して最適放流量を計算したものが知識ベースとなる。

知識ベースにおける放流量を1ステップ先の値と解釈すると、操作ルールは、IF-THEN形式に表わすことができる。すなわち、ハイドログラフHYがFH(i)、流入量QIがFD(j)、貯水量SがFS(k)のとき、放流量QOは

$$\text{IF } HY \text{ is } FH(i), \text{ QI is } FD(j), \text{ S is } FS(k), \\ \text{THEN } QO \text{ is } QR(i,j,k) \quad (15)$$

である。このルールベースは計算機内のスプレッドシート上に書かれ保存される。

さて、現在観測されているハイドログラフ、流入量、貯水量をhy、qi、sで表わす時、各要素の曖昧さは次のメンバーシップ関数で表わされる。すなわち、

$$fmh(hy) = (ah_{\phi} - |DS(t,i) - b_{\phi}|) / ah_{\phi} \quad (16)$$

$$fmq(qi) = (aq_j - |qi - bq_j|) / aq_j \quad (17)$$

$$fms(s) = (ask - |-bsk|) / ask \quad (18)$$

$$DS(t,i) = \min_{td} (\max_t (|qi - FH(t,i)| / FH(t,i))) \quad (19)$$

ここに、a. と b. はファジメンバーシップ関数のパラメータ、phi は分類されたハイドログラフiの発生確率、td は分類されたハイドログラフと現在まで流入量系列間の距離を最小にするずれ時間である。ファジ代表値ijk に対する観測洪水の類似度は、相加平均法を用いて

$$w_{ijk} = \{fmh(hy) + fmq(qi) + fms(s)\} / 3 \quad (20)$$

となる。放流量のメンバーシップ関数としては、

$$fmr(qo) = (arijk - |qo - brijk|) / arijk \quad (21)$$

とが考えられる。ここに、brijkは知識ベースにおける最適放流量をU個(適当なランピング)に再配列したものである。過去に類のない特殊な洪水ハイドログラフ(極大、極小)の発生を考慮するため、放流量のファジ代表値を次式によって適宜変更する。

$$QR(i,j,k) = (1 + DS'(t,i)) QR(i,j,k) \quad (22)$$

$$DS'(t,i) = (\text{sign}) \min \{ \max (|qi - FH(t,i)| / FH(t,i)) \} \quad (23)$$

ここに、(sign)はファジ代表値を外挿するために距離の正負を示したものである。従って、放流量のメンバーシップ値はファジ最大化とファジ最小化より

$$fr(qo) = \vee (W_{ijk} \wedge fm_{ijk}(qo)) \quad (24)$$

表4 ファジ空間の分類

fuzzy scopes	small	more or less small	medium	more or less big	big	very big
hydrograph	ordinary storm FH(4)		design flood FH(3)		big flood FH(2)	extremely big flood FH(1)
inflow discharge	5% of critical discharge FD(6)	25% of critical discharge FD(5)	50% of critical discharge FD(4)	75% of critical discharge FD(3)	critical discharge level FD(2)	extremely big discharge FD(1)
reservoir-storage volume	small space FS(4)		medium space FS(3)		big space FS(2)	almost empty FS(1)

で求められ、放流量はファジィ空間の重心として

$$QO = \int fr(qo) qo \, dqo / \int fr(qo) \, dqo \quad (25)$$

で与えられる。

3.3 実流域での適用

さて、本実時間操作システムに実河川データを適用してその有効性を確かめよう。25個の洪水データと1個の観測データを用いた。そのハイドログラフの頻度は、 $pr1=2.0$, $pr2=12.0$, $pr3=9.0$, $pr4=2.0$, $pr5=1.0$ である。メンバーシップ関数のパラメータは制御後のピーク流量の減少を図るために、次の目的関数を定義した。すなわち、

$$OFp = \sum_{n=1}^{ND} (|QPn - QCn| / QPn) / ND \quad (26)$$

である。ここに、 QPn は洪水 n でのピーク流量、 QCn は制御後のピーク流量、 ND はデータ数である。制御効果を見るために、過去のデータ全てに適用し、その期待値で比較することになる。さらに、最適なパラメータ値を獲得するために、非線形計画法という最急降下法概念を導入する。具体的には、パラメータの初期値 a_0 を任意に設定する。続いて、各パラメータを適当な幅だけ動かし ($a_1 = a_0 + \Delta a$)、目的関数値を計算する。3種類の移動方向の中で最も関数が改善されたものを1次解とし、同様にして次の改善方向を探る。この手順を繰り返し、収束したものが最適解となる。パラメータの初期値はそれぞれ $ah_0=10$ 、 $aq_0=480$ 、 $as_0=5 \times 10^5$ とし、変動値を $\Delta ah=0.1$ 、 $\Delta aq=10$ 、 $\Delta as=1 \times 10^5$ を用いた。得られた収束値は、最小化法の場合 $ah=0.1$ 、 $aq=150$ 、 $as=110 \times 10^5$ 、相加平均法の場合 $ah=0.1$ 、 $aq=150$ 、 $as=30 \times 10^5$ であった。最小化法では放流量が急激に増大しピーク後には放流量と流入量がほぼ同じ値になるのに対し、相加平均法では放流量が徐々に増加しピーク後も放流量が流入量より多い傾向があった。

後件部のメンバーシップ関数のパラメータは、 $ar=100$ 、 $br1=0.0$ 、 $br2=100$ 、 $br3=200$ 、・・・、 $br9=900$ とし、知識ベースで与えら

れた放流量をその近傍の代表値に置き換えた。図3は初期値を $2 \times 10^5 m^3$ とした場合の制御結果で、破線は流入量、実線は放流量である。図より、時刻7ぐらいまでは予備放流を行ない、その後貯留が進むことがわかる。また、ピーク後は、次の降雨に対処するため貯水量の減少が図られている。計画高水程度の洪水に限らず大出水に対しても同程度の結果が得られていることより、本理論の有効性・適用性がわかる。

図3 貯水池操作結果

4. 河川特性評価

4.1 概要

我が国の河川事業は、治水、利水を主眼に実施してきたが、近年は治水、利水に河川環境を加えた調和のとれた総合的な事業が要請されている。このため、河川の姿(特性)を把握するに際しても、治水、利水、河川環境を考慮したとらえ方が必要となる。一方、治水、利水、河川環境を表す情報は、種々あるものの、量的には治水、利水の情報が多く、これらを総合的に勘案して河川の特性を表現しうるような指標(モデル)は、少ないのが現状である。

本研究は以上の背景を踏まえ、治水、利水、河川環境の面から河川特性を総合的に表現しうる評価手法と表現方法について検討したものであり、一手法としてファジィ理論の適用を試みた。

4.2 河川特性の評価

現在公表されている河川特性(流域面積、水利量等)に関する情報を整理すると図4となり、治水、利水、河川環境を総合的に勘案した他河川との比較、あるいは全国的評価(診断)も難しく、同一河川における治水、利水、河川環境バランス等の評価も困難である。

図4 河川特性情報の特徴

このため、公表情報を基に、治水、利水、河川環境毎に自然性、社会性及び充足性を考慮して表5に示す河川特性に係わる新たな指標を設定し、この指標を基に治水、利水、河川環境の面から河川特性の評価を行うものとした。

なお、評価にあたっては、次の点を考慮し、ファジィ理論の適用を試みた。

- ①治水、利水、河川環境に含まれる指標は多岐であり、これらの重要度は個人により異なり、あいまい性を有する。
- ②このため、総合化する際、人間の主観性を取り込める手法が望ましい。
- ③おおよその情報しか得られない河川や将来想定される河川像も評価可能な手法が望ましい。

なお、ファジィ理論の適用概念は、図5に示す通りであり、その手順は以下のようになる。

表5 河川特性指標

	自然性	社会性	充足性
治水	既往最大比流量 計画河床勾配 ダム流域面積率	想定氾濫区域内人口密度 一人当り水害被害額 一人当り資産額	ダム負担率 堤防整備率 砂防ダム密度 山腹工面積率
利水	流域内年平均流出率 渇水比流量 河状係数	流域内人口密度 年間水利用率	渇水時充足度 年間水利用率
河川環境	水質(BOD) 自然公園面積率 ダム湛水面積率	水質(BOD) 下水道処理率	水質(BOD) 河川敷占用面積率

図5 ファジィ評価の概念図

〔I〕メンバーシップ関数の作成

全国一級水系(109)の公表データ(8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16)を基に、表5に示した指標について頻度グラフを作成し、これを参考に各指標毎に「良い」「普通」「悪い」等のメンバーシップ関数を作成する。

〔II〕対応関数の作成

上記メンバーシップ関数に対応する行動(評価)規則を定めるものであり、本来は専門家、熟練者等の経験を基に関数化するものであるが、本研究では、数名の河川技術者により関数形を作成する。

〔III〕情報の入力

表5に示した指標に対応する情報をメンバーシップ関数に入力する。

〔IV〕河川特性の評価

メンバーシップ関数より得られた値に対応関数に入力し、重心法を用いて治水、利水、河川環境に対応する総合的評価(デファジケーション)を算出し、河川特性を評価する。

いま、堤防整備率60%の河川を考えると、図6の治水充足性メンバーシップ関数より、「やや高い」に対応する値は1.0、「普通」に対応する値は0.2となる。これを対応関数に入力し、頭切り法(図の斜線部分に対応)により、堤防整備率60%の河川の治水充足性の評価を行うと、図7となり約10%となる。

同様に治水充足性を表す指標についてデファジケーションを行い、河川の治水充足性の値を得ることになる。

4.3 河川特性の表現

前述のファジィ理論の適用により得られる治水、利水、河川環境の評価値の表現にあたっては、河川関係者のみならず、広く一般市民にも解り易い表現が望まれる。本研究においては、次の点を考慮し樹木モデルによる表現を試みた。

- ①他の河川との比較が解り易く、治水、利水、河川環境のバランスも表現可能である。
- ②流域の形状、大きさ等も表現可能である。
- ③樹木に対するイメージには共通した部分があ

(1) 「やや高い」のメンバーシップ関数

(2) 「普通」のメンバーシップ関数

図6 堤防整備率に対するメンバーシップ関数

図7 堤防整備率60%のデファジケーション

り、コンセンサスが得られ易い(幹が太く、葉が豊かな樹木ほどたくましく感じる)。

なお、樹木の構成と各指標間の関係は、次の通りである。

- a. 流域の形状 : 樹木の形状
- b. 治水 : 幹の太さ
- c. 利水 : 葉の色
- d. 河川環境 : 幹の色

4.4 実河川への適用と評価

A川、B川の治水、利水、河川環境に対する自然性、社会性、充足性の評価値(デファジケーション)を求めると表6となり、このうち充足性について、樹木モデルにより表現すると図8となる。治水、利水、河川環境の面からみて、充足性を満足している河川は、幹は破線と同一の太さとなり、その色はうす茶色であり、葉の色は緑色となる。

図8の樹木モデルによる河川特性の表示を基に、A川・B川の治水、利水、河川環境を考慮した総

合的評価を行うと次となる。

A川は、比較的細長い流域形状を呈しており、流域全体に占める上流域面積の割合が多い河川であることが把握できる。また、幹の太さは理想型の1/3程度であり、葉は比較的緑色が多く、幹は黒い部分が多いことより、A川は、利水に比べ治水、河川環境の充足性が遅れていることが把握できる。このため今後は、河川環境を考慮した治水事業の推進が望まれよう。

一方、B川は奥行きが狭く、比較的丸に近い流域形状を呈しており、流域全体に占める上、中流域の面積が広いことが把握できる。また、樹木の幹は細く、葉は赤色を呈し、幹の色も黒い部分が多いことより、B川は治水、利水、河川環境とも、その充足は低いことが把握できる。また、B川はA川に比較し、充足性でみる限り遅れている河川となる。

以上述べたようにファジィ理論は、河川における治水、利水、河川環境のバランスを評価することが可能となり、他河川との比較も可能となることから、現況の河川を診断する場合、あるいは今後の事業推進方向を検討する際にも有効と考えられる。

さらに、今後の課題としては、次の点が挙げられよう。

①指標の設定

今回の検討では、数名の河川技術者によるブレインストーミングにより22の河川特性に係わる指標を提案したが、さらに、学識経験者、一般市民等の意見も加えて指標の検討を行うことにより、解り易く、精度の良い河川特性値が得られよう。

②メンバーシップ関数の与え方

治水、利水、河川環境を総合的に評価する一手法として、ファジィ理論の適用を試みたが、結果として得られる特性値は、各指標のメンバーシップ関数と対応関数の関数系に大きく影響を受ける。このため、今後は、より多くの実河川への適用と結果のメンバーシップ関数へのフィードバックを行い、人間のイメー

ジに近い河川像を得るため、メンバーシップ関数の検討が重要となろう。

③今後の事業プログラムへの寄与

ファジィ理論は本来、各種のあいまいな情報を基に“人間の行動”、“各種の制御”のための情報を与える一手段である。このため、河川においても治水、利水、河川環境の総合的評価に留まらず、今後の行動(事業プログラム)の基礎データとして活用するための検討が必要となろう。

5. おわりに

本稿は、ファジィ理論の水工学における応用についてまとめたものである。現象が複雑で確率論での定式化が困難な場合、実時間管理のように意志決定へのすばやい応答が必要な場合、河川特性のように自然現象と人的判断が合わさった場合に、ファジィ理論の価値が特に高まるようである。この他にも多数の研究例が存在するが、著者らの稚拙な解釈ではかえって誤解を生じる恐れがあり、関心のある方は関係学会誌を参照していただきたい。

表6 河川におけるデファジィケーション例

		A 川	B 川
治水	自然性	0.50	0.74
	社会性	0.42	0.79
	充足性	0.32	0.24
利水	自然性	0.21	0.47
	社会性	1.00	0.83
	充足性	0.55	0.33
河川環境	自然性	0.10	0.60
	社会性	0.49	0.00
	充足性	0.20	0.20

凡 例

図8 河川特性の表示例

参 考 文 献

- 1) 小尻利治、池淵周一、十合貴弘：ファジィ制御によるダム貯水池の実時間操作に関する研究、京都大学防災研究所年報、第30号B-2、1987、pp.323-339
- 2) 藤田睦博：あいまい理論の流出予測への応用、第31回水理講演会論文集、1987、pp.125-130
- 3) Kojiri, T. and Ikebuchi, S. : Real-time operation of storage reservoir based on fuzzy control theory, Pacific International Seminar on Water Resources Systems, 1989, pp.243-256
- 4) 日向博文、福西 祐、日野幹雄：エキスパートシステムによるダム制御、土木学会第44回年次学術講演会講演概要集、II、1989、pp.162-163
- 5) 中山 修、是枝伸和：ファジィ理論の適用による河川特性の考察(その1)、水文・水資源学会1989年研究発表会要旨集、1989、pp.83-86
- 6) 菅野道夫：ファジィ制御、日刊工業、1974、pp.74-90
- 7) Tou, J.T. and Gonzalez, R.C. : Pattern Recognition Principles, Applied Mathematics and Computation No.7, Addison-Wesley Publishing Company, 1974, pp.75-106
- 8) 河川便覧：日本河川協会
- 9) 河川現況調査：建設省(各地建別)
- 10) 砂防便覧：全国活砂防協会
- 11) 水資源便覧：国土庁 水資源部
- 12) ダム年鑑：日本ダム協会

- 13) 日本の河川：日本河川資料調査会
- 14) 日本河川水質年鑑：日本河川協会
- 15) 流量年表：日本河川協会
- 16) 日本の多目的ダム・付表編：全国河川総合開発促進期成同盟会

(1990年5月8日受付)

[問い合わせ先]

〒501-11 岐阜市柳戸1-1

岐阜大学 工学部 土木工学科

小尻利治

TEL: 0582-30-1111 (内) 4191

FAX: 0582-30-1886

著者紹介

小尻 利治 (こじり としはる)

岐阜大学 工学部 土木工学科

1974年、京都大学工学部土木工学科卒業。1976年、京都大学大学院修士課程(土木工学専攻)修了。同年京都大学工学部土木工学科助手、1981年、京都大学防災研究所助教授。1986年、岐阜大学工学部助教授。現在に至る。水資源システムの策定・管理に関する研究に従事。国際水文科学会、日本ファジィ学会、日本土木学会、日本気象学会、日本水文・水資源学会などの会員。

中山 修 (なかやま おさむ)

(財)国土開発技術センター 副参事

1978年、東海大学海洋学部海洋土木工学科卒業。同年(財)国土開発技術センター技術員。現在に至る。1986年技術士(建設部門)取得。河川特性評価に関する研究・管理に従事。日本土木学会会員。