

II-44 知識ベースを用いた貯水池の実時間操作

岐阜大学工学部 正会員 小尻利治

岐阜大学大学院 学生員 藤井忠直

1. はじめに 本研究では、貯水池操作過程を多量の計算処理を行なう知識ベース作成部分と、迅速かつ高速な実時間処理を行なう推論部分に分け、計算過程の分割化と実時間での放流量決定を行おうとするものである。すなわち、操作ルールの知識ベース化とファジイ推論による実時間操作を結合し、貯水池運用のエキスパートシステムを構築するものである。

2. 貯水池操作のエキスパートシステム 貯水池操作に必要な要素や、観測、予測可能な要素を用いてエキスパートシステムの各システムを構成していくと次のようになる。

(1) データベース(data base) 過去の水文データ(ハイドログラフ、ハイドログラフ)や評価地点流量、放流記録、貯水池容量、河道疎通能、地形、地質データ、流入、流出パラメータなどのなかより、貯水池操作に必要な種類・期間のデータをそろえ、ファイル化する。

(2) 知識ベース(knowledge base) 貯水池操作の基礎情報となる部分であり、流出予測におけるパラメータ、代表ハイドログラフ、もしくは、代表台風進路と対応する最適放流量系列が相当する。データベースの量が多い場合には、大型計算機で処理される。

(3) ルールベース(rule base) 知識ベースで設定されている基本的な放流ルールを実時間操作に用いるべく、具体的な操作ルールとして書き直す部分である。貯水池の管理所で使用されているコンピュータレベルでの記述が必要である。

(4) 観測(monitering) 最新の水文データを収集するとともに、必要な情報を抽出して、ただちに、推論機構へ送る。欠測がある場合は、ここで補正を行なうか、知識ベースで補正される。

(5) 推論機構(inference engine) 観測データとルールベースより現時点での放流量を計算する。観測されたデータあるいは知識ベース内で修正されたデータは、新たな情報として知識ベース内に保存される。

(6) 意志決定(decision making) 貯水池、河道、雨域、氾濫、経済などあらゆる効果を考慮して実放流量を決定する。本研究では、現時点の流入量、現貯水量、流入ハイドログラフより実放流量を決定する。以上の手順をまとめると、図-1のようなフローチャートになる。

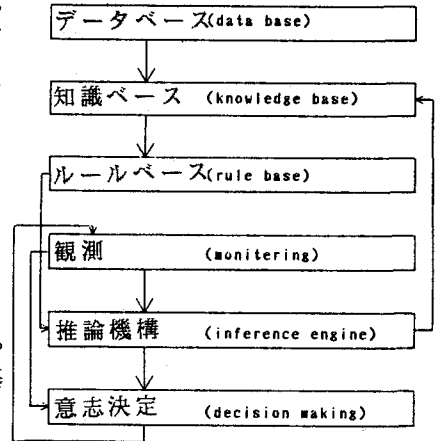


図-1 フローチャート

3. 実時間貯水池操作のモデル化

3. 1 知識ベース・ルールベースの作成 過去に記録された多数のデータから解析目的にあったものを選択しデータファイルとして保存する。これがデータベースの作成であり、これに対し、貯水池操作に必要なパラメータの作成が知識ベースと呼ばれるものである。貯水池操作では、必要な知識ベースより、いかに適切に放流量を決定するかに重点をおく。ただし、観測データの収集毎に最適化を行なう従来の方法では、意志決定時間が長く、しかも、人間の経験を導入しにくい。ゆえに、意志決定のためにファジイ理論を導入して、放流量を決定する適応制御型モデルを提案する。まず、多数の観測データより代表流況を抽出する。ハイドログラフの分類には、ダム操作という観点からすればその形状が大きな基準となり、次のような目的関数を設定する。

$$OF = \max\{|QX(t,m) - FH(t,i)| / FH(t,i)\} \quad i, m, t \rightarrow \min \quad (1)$$

ここに、FHは分類されたハイドログラフFH(i) (クラスターセンター) の時刻tにおける流入量、QXはサンプルハイドログラフmの時刻tにおける流入量である。分類にはrandom K-meansを用いる。次に、ダム の操作空間を、ハイドログラフの形状、流入量、貯水状態より構成されているとみなし、治水効果を考 えて、各空間をいくつかのファジイサブ空間に分割する。ここで、各Fuzzy Scopeの組み合わせに 対して貯水池の最適操作を実施し、放流量系列を求める。最適化には、ピーク流量の最小化を目的 としたDynamic Programmingを適用する。知識ベースが作成されると、Fuzzy Scopeの組み合 わせに応じて放流量Q0を次式で示すif-then形式で表現したものが、ルールベースとなる。すなわち、現流入量系列、流入量、貯水量がHI,QI,Sのとき

$$\text{If } HI=HA_i, QI=DB_j, S=SC_k, \text{ then } Q0=D_{ijk} \quad (2)$$

である。ただし、 $HA_i, DB_j, SC_k, D_{ijk}$ は、それぞれの曖昧状態を表わすファジイ変数である。

3. 2 推論機構による実放流量の決定 各Fuzzy Scopeにおけるメンバーシップ関数を次のように定める。

$$fhe(DS) = 1/(ahi \cdot \pi_i) \cdot (-|DS(t,i)-bhi|+ahi) \quad (3a) \quad fde(QI) = 1/aqj \cdot (-|QI-bqj|+aqj) \quad (3b)$$

$$fse(S) = 1/ask \cdot (-|S-bsk|+ask) \quad (3c)$$

ここに、DSはハイドログラフの相違(distance)、QIは流入量の観測値、Sは貯水量の観測値、ahi,aqj,askはパラメータ、bhi,bqj,bskはFuzzy Scope値、 π_i はハイドログラフの重みである。実放流量Q0はFuzzy推論より次式でもとめられる。

$$Q0 = \sum_{i,j,k} Wijk \cdot QR(i,j,k) / \sum_{i,j,k} Wijk \quad (4)$$

(相加平均法) $Wijk = \{fhe(DS) + fde(QI) + fse(S)\} / 3$

(minimum演算法) $Wijk = \min\{fhe(DS), fde(QI), fse(S)\}$

異常出水の対応としては、後件部を次のように修正する。
 $DS'(t,i) = (\text{sign}) \min_{t_0 \leq t} \{\max\{|QI(t)-FH(t,i)|/FH(t,i)\}\}$ (5)

ただし、(sign)は正負を表わす記号である。このDS'を計算放流量にQR(i,j,k)応じて変更し、修正放流量とする。すなわち、

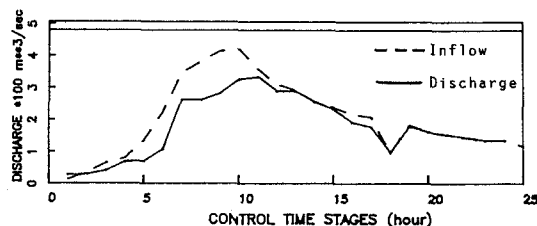
$$MQR(i,j,k) = (1+DS'(t,i)) \cdot QR(i,j,k) \quad (6)$$

である。

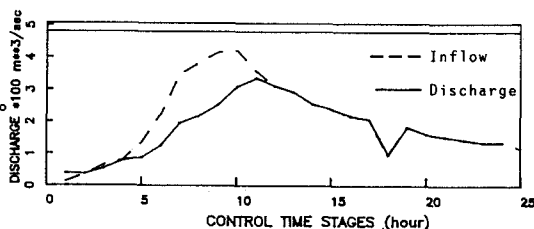
4. 結果と考察 25個の出水記録と任意のダム貯水池によって制御効果を検討しよう。メンバーシップ関数のパラメータ(ahi,aqj,ask)は全出水記録に対するシミュレーションでの平均ピーク流量が最小になるように決定した。それぞれ、 $ahi=0.1, aqj=150.0(\text{m}^3/\text{sec}), ask=3000000.0(\text{m}^3)$ であった。次に、制御結果を考慮したメンバーシップ関数と抽出された5種類の代表流況による知識ベースを作成した。minimum演算法と相加平均法を用いた場合(図-2)を比べてみるとminimum演算法では急激に放流量が増大し、ピークを過ぎても放流量が流入量をやや下回る傾向がある。また、相加平均法の場合は徐々に放流量が増大し、ピーク後は放流量と流入量が一致する傾向がある。これらのことは放流量決定において、minimum演算法では最小値以外のメンバーシップ値が放流量、貯水量に反映されず、相加平均法の方が実用的な解であることを示している。

5. 終わりに 本研究では、貯水池操作のエキスパートシステムを構築すべく、知識ベース、ルールベースで表わす前処理とファジイ推論による実時間処理に分割し、その実用性を高めた。なお、他の適用結果に関しては発表時に述べる。

6. 参考文献 1) 菅野道夫; ファジイ制御, 藤吉敏夫 2) 上野晴樹; 知識工学入門, オーム社



minimum演算法を用いた場合



相加平均法を用いた場合

図-2 制御結果