

代表流況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

岐阜大学工学部 学生員 ○藤井忠直

1.はじめに 貯水池の実時間操作（放流量決定過程）において重要なことは、(i)将来の流入量（ハイドログラフ）予測あるいは降雨量（ハイエトログラフ）予測、(ii)貯水状態の正確な観測である。しかし、放流量に対する湖面の振動、河道内の水面変動は制御効果を曖昧にし、放流量決定に関する不確定な制約となる。そこで本研究では、貯水池操作過程を階層的システムとしてとらえ、計算手順の分割化と合理的・簡略的な放流量決定、すなわち、操作ルールの知識ベース化とFuzzy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.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、(i)毎時観測されるデータや統計的なデータの種類の、(ii)制御目的に合致した最適放流量系列の達成を念頭に、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Fuzzy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。

$$OF = \max \{ |X(t,m) - Z(t,n)| / Z(t,n) \} \quad n, m, t \rightarrow \min \quad (1)$$

ここに、Zは分類されたハイドログラフnのセンターの時刻tにおける流入量、x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、ダムの操作空間が図-1のように、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ので、治水効果を考えて、各空間をいくつかのFuzzy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(式(2)参照)。

	small	more or less small	medium	more or less large	large	very large
hydrograph	ordinary store FF(5)	small flood FF(4)	design flood FF(3)	large flood FF(2)	extremely flood FF(1)	
inflow	5% of critical water level FB(6)	35% of critical water level FB(5)	50% of critical water level FB(4)	75% of critical water level FB(3)	critical water level FB(2)	peak over critical water level FB(1)
storage volume	very low stored level FS(1)	low stored level for security FS(2)	medium store level for control FS(3)		high stored for level the preliminary operation FS(4)	

図-1 Fuzzy Scope

$$OC = \max_t |QO(t)/Qd| \rightarrow \min \quad (2)$$

知識ベースが作成され、Fuzzy Scopeの組み合わせに応じて放流量QO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、観測ハイドログラフ、流入量、貯水量がHI, QI, Sのとき

$$\text{If } HI=FH(t,i), QI=FD(j), S=FS(k), \text{ then } QO=QR(i,j,k) \quad (3)$$

である。ただし、FH(t,i), FD(j), FS(k)は、それぞれ、FH(t,i)=Z(t,i)、代表流入量、代表貯水量である。

3.推論機構による実放流量の決定 各Fuzzy Scopeにおけるmembership functionを次のように定める。

$$f_m(HI) = -1/ahi * (-|DS(t,i) - bhi| + ahi) * \pi_i \quad (4a)$$

$$f_m(QI) = -1/ajj * (-|(QI - FD(j)) / HW - bqj| + ajj) \quad (4b)$$

$$f_m(S) = -1/ask * (-|(S - FS(k)) / V - bsk| + ask) \quad (4c)$$

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、Piはハイドログラフの重み、Vは治水容量、HWは計画高水容量である。現流入ハイドログラフが代表ハイドログラフより大きく異なる場合は、membership値が小さくなるので、代表ハイドログラフを次式より修正する。

$$FMH(t, i) = (1 + DS'(t, i)) FH(t, i) \quad (5)$$

$$DS'(t, i) = (\text{sign}) \min_{t_0 \leq t} [|QI(t) - FH(t, i)| / FH(t, i)] \quad (6)$$

ただし、signは正負を表わす記号である。知識ベースの放流量も同様に

$$MQR(i, j, k) = (1 + DS'(t, i)) QR(i, j, k) \quad (7)$$

で修正される。以上の手順をまとめると、図-2のようになる。最後に、実放流量ROはFuzzy推論より次式でもとめられる。

$$RO(t) = \sum_{i,j,k} Wijk MQR(i, j, k) / \sum_{i,j,k} Wijk \quad (8)$$

$$Wijk = [fm(HI) + fm(QI) + fm(S)] / 3 \quad (9)$$

4. 適用と考察 4個の出水記録をそのまま代表ハイドログラフとし、5番目の出水を現観測流入量として制御を行なった。図-3は、本手法による制御結果、図-4は流入量を既知とした場合の最適制御結果である。

membership関数では、ahi=2.0, bhi=0.0, aqj=100, bqj=24, bq2=120, bq3=240, bq4=360, bq5=480, ask=6*10⁶, bs1=0, bs2=2*10⁶, bs3=4*10⁶, bs4=6*10⁶, Pi=1とした。初期貯水量は1*10⁶m³, 最終貯水量は4*10⁶m³とした。図より、既知制御の方が実時間制御より凹凸が現われる。DPでは、離散化のために放流量の変化が大きいのにに対し、Fuzzyでは推論機構によって平滑化が進んでいる。ルールベース、つまり各時間の計算ステップは4*6*4=96と極めて少ないことや、制御系列全体からみても本手法の有意性がわかる。

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Fuzzy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、詳しい適用結果は講演時に述べる。

6. 参考文献

十合貴弘：貯水池操作システムへのFuzzy理論の適用に関する研究、京都大学修士論文、1986
菅野道夫：ファジィ制御、日刊工業新聞社、1988

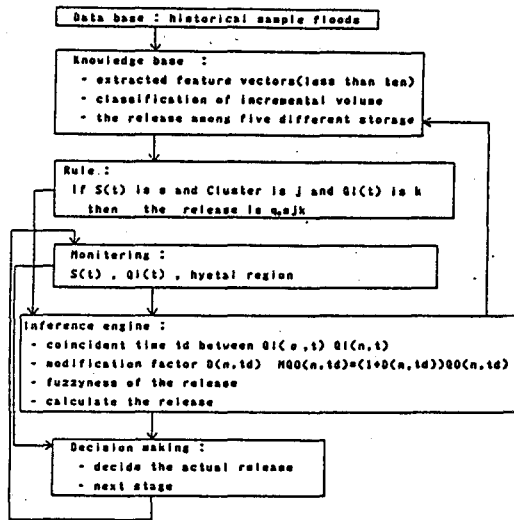


図-2 フローチャート

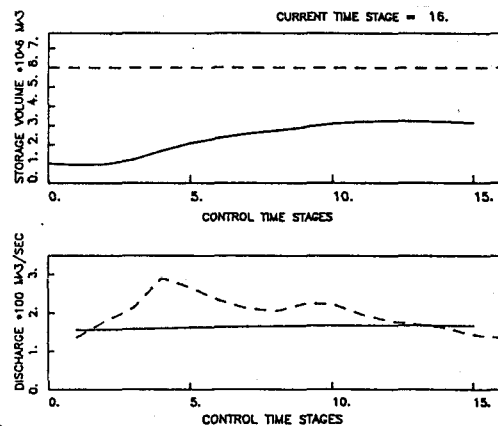


図-3 Fuzzy制御結果

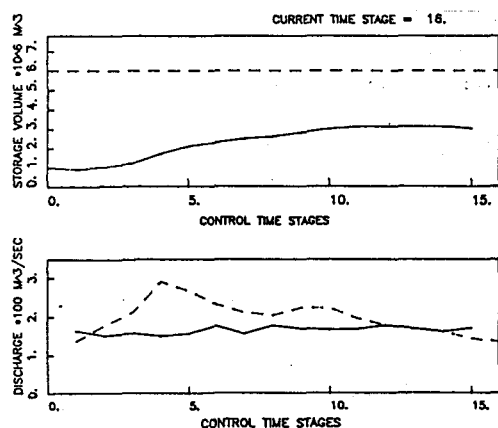


図-4 最適制御結果