

## II-118 観測点の少ない地域における流出予測・貯水池操作

岐阜大学 正 員 小尻 利治  
岐阜大学 学生員 市川 裕一

## 1 はじめに

ネパール・ヒマラヤ山岳地域などの情報の少ない地方では、降雨観測、流量観測が十分行われていないのが現状である。そこで本研究では、曖昧情報を利用するためにFuzzy理論を導入して流出量を算定し、貯水池操作を行うとするものである。また、予測精度の低い気象予測を取り入れた貯水池操作にも適用しようとするものである。

## 2 降雨量の曖昧性を考慮した流出量の算定

## 2.1 回帰式による流出量の算定

$t$  期の流出量が、 $t-1$  期の流出量、 $t$  期の降水量、蒸発散量の関数として表されると仮定すると、流出量は次の回帰式で表される。

$$QI_t = aQI_{t-1} + bRA_t * Ar + cEV_t + d \quad (1)$$

$QI_t$  は  $t$  期におけるダム流域流出量 (= 貯水池流入量)、 $RA_t$  は降水量、 $EV_t$  は蒸発散量、 $Ar$  は流域面積、 $a, b, c, d$  は係数である。

上式において、 $RA_t$ 、 $QI_{t-1}$  に曖昧性をもたせたメンバーシップ関数を与え、 $EV_t$  は気温の関数でクリスプとする。すると、Fuzzy 和演算が行え、曖昧性を含んだ流域流出量  $QI_t$  がわかる。第  $t$  期以降の流出解析においては、 $QI_{t-1}$  に前時刻の演算によってわかった曖昧性をもった流量を代入して行う。この計算を第1期(1月)から第12期(12月)まで行い、一年間の流出量を算定する。

## 2.2 貯留関数法の近似演算による流出量の算定

流出モデルを単一流域に限定し、斜面からの流出量を  $QI$ 、斜面の貯水量を  $SB$ 、流域平均降雨量を  $RA$  とすると、貯留関数法より、

$$SB_t = kQI_t^p \quad (2)$$

$$\left( \frac{RA_t Ar + RA_{t-1} Ar}{2} \right) - \left( \frac{QI_t + QI_{t-1}}{2} \right) = \frac{1}{\Delta t} (SB_t - SB_{t-1}) \quad (3)$$

が成立する。ここで、 $k, p$  は流域固有の定数で貯留関数法におけるパラメータである。

$QI_{t-1}$ 、 $RA_t$ 、 $RA_{t-1}$  は曖昧性を有しているため、メンバーシップ関数を与える。すると、Fuzzy 和を得るので、この既知の定数項を  $FR$  で表す。流出量を  $QI_t = EQ + dq$

( $EQ$ : 予想される流出量、 $dq$ : 流出量の曖昧部分) とし、テラー展開を行い、第三項以降をカットすると、

$$dq = \frac{1}{\frac{2pk}{\Delta t} EQ^{p-1} + 1} \{ FR - EQ \left( \frac{2k}{\Delta t} EQ^{p-1} + 1 \right) \} \quad (4)$$

が得られ、Fuzzy- $\alpha$  カットを用いると、 $SB_t$ 、 $QI_t$  の曖昧性を含んだ値が求められる。

## 2.3 貯留関数法の厳密演算による流出量の算定

貯留関数法の式(2)において、 $p$  が  $1/n$  の場合、 $x = QI_t^{1/n}$  とすると、

$$x^n + \frac{2k}{\Delta t} x - \left( \frac{2k}{\Delta t} QI_{t-1}^p - QI_{t-1} + RA_t Ar + RA_{t-1} Ar \right) = 0 \quad (5)$$

となる。上式の  $QI_{t-1}$ 、 $RA_t$  に曖昧情報をいれ、 $n$  次方程式を Fuzzy- $\alpha$  カットを用いて解くと、曖昧性を有した  $QI_t$  が求められる。ここでも同様に1年間を通しての計算を行い、ハイドログラフを求める。

## 3 Fuzzy DP による貯水池操作

一般に、貯水池での操作目的は農業用灌漑と発電用取水である。前者は目標取水量を達成すればよく、後者は契約電力(水位)を満たしつつ、貯水量をなるべく高くすることになる。こうした点より、貯水池の操作目的をメンバーシップ関数で表すとすると、結局、貯水池操作とは全制御期間にわたって目的関数(Fuzzy 目標)を制約条件(Fuzzy 制約: 連続式)を包含しつつ最大化する問題となる。制約条件に関しては、 $QI_t$  を流入量の中心値、 $S_t$ 、 $S_{t-1}$  を貯水池の貯水量、 $QO_t$  を放流量とすると、次のようになる。

$$\text{Fuzzy 制約: } QO_t = S_{t-1} + QI_t - S_t \quad (6)$$

動的計画で定式化すると、関数漸化式は次のようになる。

$$\begin{aligned} t=1 \text{ のとき } \quad & \mu_{G^1}(S_1) \\ & = \max_{QO_1} \{ \mu_1(S_1) \wedge \mu_1(OP_1) \wedge \mu_1(OA_1) \\ & \quad \wedge \mu_1(DF_1) \wedge \mu_1(DA_1) \} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} t \geq 2 \text{ のとき } \quad & \mu_{G^t}(S_t) \\ & = \max_{QO_t} \{ \mu_t(S_t) \wedge \mu_t(OP_t) \wedge \mu_t(OA_t) \\ & \quad \wedge \mu_t(DF_t) \wedge \mu_t(DA_t) \wedge \mu_{G^{t-1}}(S_{t-1}) \} \end{aligned} \quad (8)$$

$t=1$  期の計算概念を図-1に示す。

全制御時点  $T$  まで計算を進め、望ましい最終貯水量を与えると、最適放流量系列が求められる。

## 4 気象予報を取り入れた操作

長期気象予報では、3ヶ月先までの降水を（多い、少ない、平年並み）といった言語で表現している。過去の平均的な月降水量を  $\{ERA(1), ERA(2), \dots, ERA(12)\}$  とすると、こうした予測、予報により平均値のまわりで曖昧性を定義しメンバーシップ関数を決める。つづいて前節のように曖昧降雨  $RA_i$  での流出量を算定し、最後に望ましい水需要量を与えて Fuzzy DP により最適放流量系列を求める。

## 5 適用と考察

対象流域を架空の多目的ダム、およびその流域とし、貯留関数法におけるパラメータ等を仮定して、回帰式、および近似式による流出予測を行った結果を図-2、3に示す。予測結果については、立ち上がりりと10月～12月の部分において良い結果が得られた。今回は  $k$ 、 $p$  を一定値として扱い、また月合計雨量で演算を行ったが、日単位など短期の流出解析にしパラメータの変動性を考慮すれば、もう少し良い結果が得られるであろう。また、流出解析を行い得られたハイドログラフを貯水池への流入量として、Fuzzy DP を用いて貯水池操作を行った結果を図-4に示す。

気象予報を取り入れた流出予測と貯水池操作については、「夏に降水量が少なそうだ」という情報を与えた結果を図-5に示す。結論として、入力として流入量に曖昧性を加えた Fuzzy 多段階決定法を用いたことにより、Fuzzy 理論を導入した流出解析法による流出予測と連動させることが可能になったと言える。

### 参考文献

- [1] 水本雅晴：ファジイ理論とその応用、サイエンス社、1988、pp223-240
- [2] 落合隆司、小尻利治：斜面安定を考慮した貯水池操作、土木学会中部支部研究発表会講演概要集、1992、pp135-136

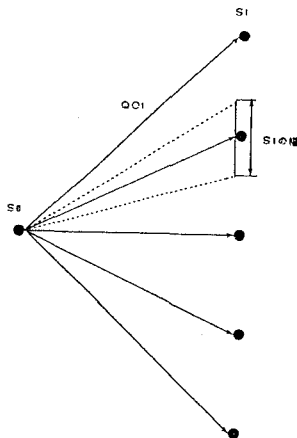


図-1 Fuzzy DP の  $t=1$  期における計算概念

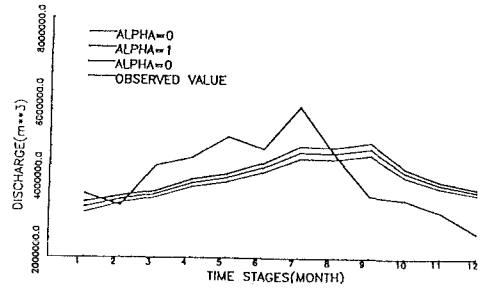


図-2 流出量の算定結果（回帰式）

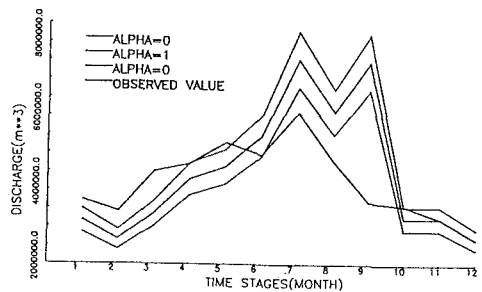


図-3 流出量の算定結果（近似式）

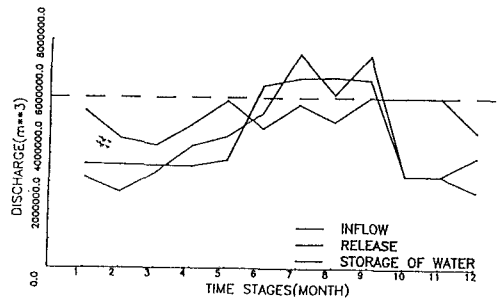


図-4 最適放流量（近似式）

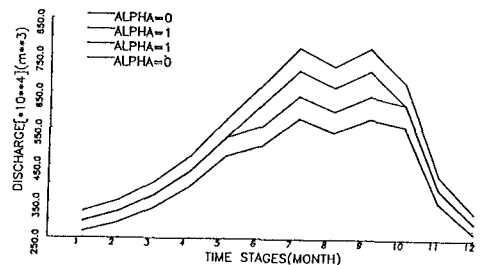


図-5 流出量の算定結果（近似式）