

Fuzzy理論を用いたあいまい情報下での貯水池操作

岐阜大学工学部 正会員 小尻利治

岐阜大学工学部 学生員〇市川裕一

1. はじめに

近年、治水・利水の両面を目的とした多目的ダム貯水池が多数建設されている。それと共に、貯水池の適切な配置、規模、操作が新たな問題として注目されてきた。そこで本研究では、ネパール・ヒマラヤ山岳地域などの比較的大きな流域において、降雨流量予測が十分行われていないところを対象に、あいまい情報（全体に雨が少なかったらしい、山の方で雨がかったらしいなど）を基に流出量を算定し、貯水池操作を行お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実時間操作にも適用しようとするものである。

2. 降水量のあいまい性を考慮した流出量の算定

a) 回帰式による流出量の算定

月単位での貯水池への流入量は、降水、前時刻の流量、及び蒸発散の線形関数で与えられるとして、次式を用いる。

$$QI(t) = aQI(t-1) + bRA(t) * Ar + cEV(t) + d \quad (1)$$

ここに、 $QI(t)$ 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。たとえば第 t 期において、 $EV(t)$ は気温の関数でクリスプとする。 $RA(t)$ は降雨情報により変化させあいまい性を持たせたメンバーシップ関数を図-1のように与え、 $QI(t-1)$ にも若干のあいまい性を持たせ、これも図-2のようにメンバーシップ関数を与える。するとFuzzy和演算が行え、あいまい性を含んだ時期の流域流出量 $QI(t)$ がわかる。この計算を第1期（1月）から第12期（12月）まで行い、一年間の流出予測をする。

b) 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¹⁾より、

$$SB(t) = kQI(t)^p \quad (k, p \text{ は流域固有の定数}) \quad (2)$$

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

となる。この二つの式を用い、 $QI(t-1)$ 、 $RA(t)$ 、 $RA(t-1)$ はあいまい性を有しているため、図-1、2のようにメンバーシップ関数を与える。すると、図-3のようなFuzzy和を得るので、既知の定数項を FR で表すと式(3)は次のようになる。

$$QI_t + \frac{2}{\Delta t} k QI_t^p = FR \quad (4)$$

ここに、流出量を $QI(t) = EQ + dq$ (EQ : 予想される流出量、

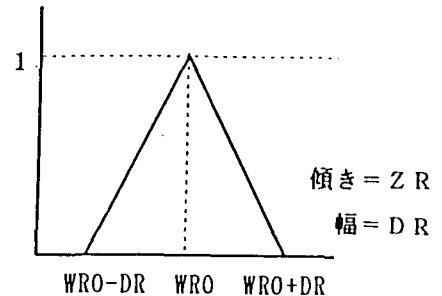


図-1 $RA(t)$ のメンバーシップ関数

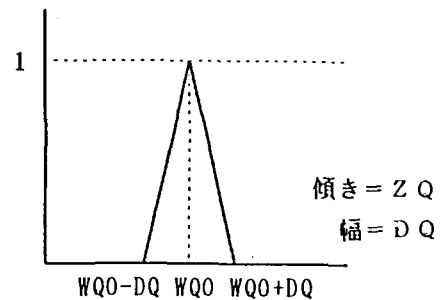


図-2 $QI(t-1)$ のメンバーシップ関数

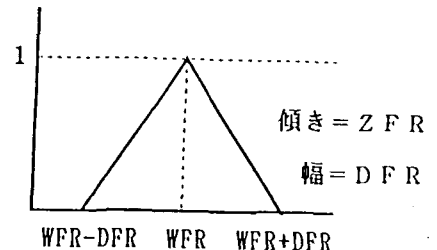


図-3 Fuzzy和 FR

dq : 流出量のあいまい部分) とし、テーラー展開を行うと、

$$dq = \frac{\frac{FR}{\Delta t} EQ^{p-1} - \frac{\frac{2k}{\Delta t} EQ^{p-1} + 1}{\frac{2k}{\Delta t} EQ^{p-2}}}{p + \frac{1}{\frac{2k}{\Delta t} EQ^{p-1}}} \quad (5)$$

が得られ、Fuzzy α -カット²⁾を用いると、 $SB(t)$, $QI(t)$ のあいまい性を含んだ値が求められる。

c) 貯留関数法の厳密演算による流出量の算定

上記の式(3)において、 p が $1/n$ の場合、 $QI(t)^{1/n} = X$ とすると、この式は

$$x^n + \frac{2k}{\Delta t} x - \left(\frac{2k}{\Delta t} QI_{t-1}^p - QI_{t-1} + RA_t Ar + RA_{t-1} Ar \right) = 0 \quad (6)$$

となる。上式の、 $QI(t-1)$, $RA(t)$ に図-1, 2のようなあいまい情報を入れ、 n 次方程式をFuzzy α -カットを用いて解くと、あいまい性を有した $QI(t)$ 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。前者は目的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(ファジィ目標)を制約条件(ファジィ制約: 連続式)を包含しつつ最大化する問題となる。すなわち、制御目的は可能な意志決定のなかでメンバーシップ値を最大化することといえる³⁾。制約条件に関しては、 QI_t を流入量 $QI(t)$ 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。

$$\text{ファジィ制約: } QO_t = S_{t-1} + QI_t - S_t \quad (7)$$

動的計画で定式化すると、関数漸化式は次のようになる。

$$t=1 \text{ のとき } \mu^{Q1}(S1) = \max_{QO1} \{ \mu(OP1) \wedge \mu(OA1) \} \quad (8)$$

$$t \geq 2 \text{ のとき } \mu^{Q1}(S1) = \max_{QO1} [\{ \mu(OP1) \wedge \mu(OA1) \} \wedge \dots \wedge \{ \mu(OPt) \wedge \mu(OAt) \}] \quad (9)$$

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. 気象予測を取り入れた操作

長期気象予測では、3ヶ月先までの降水を(多い、平年並み、少ない)といった言語で表現している。さらに、この冬は雪が多い、この夏は台風が来そうなどの予報も出されている。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あいまい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あいまい降雨 $RA(t)$ 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. おわりに

本研究は観測点が少ない流域における降雨情報を利用すべく、Fuzzy理論による流出解析を行ったものである。また、あいまいな流入量のもとでの多目的貯水池操作を提案するものである。詳しい適用結果については講演時に述べる。

参考文献

- 1) 西原 巧: 洪水予報、pp65-78、全日本建設技術、1976
- 2) 菅野 道夫: ファジィ制御、pp25-40、日刊工業新聞社、1988
- 3) 水本 雅晴: ファジィ理論とその応用、pp223-240、サイエンス社、1988