II-331　ファジィ流出予測システムにおける貯留関数法の導入

北海道大学大学院　学生員　朱　木蘭
北海道大学工学部　正　員　藤田睦博

1　はじめに

ファジィ推論手法による流出予測の際、過去の水文資料は重要な役割を果たしている。しかし、一般に中小河川は水文資料の整備が不十分である。一方、今まで数多くの降雨流出モデルが開発されている。本研究はこれらの降雨流出モデルを利用して、過去の水文資料の不足を補う手法について考慮した、特に日本国で広く用いられている貯留関数法をファジィ推論システムに記憶させる手法について検討した。

2　基礎理論

降雨量をＲ、流出変化量を△Ｑとすると、式（１）は流出系の一般的なシステム方程式を表している。実際の解析では、実流域の特性に応じて式（２）のような簡略式を用いることができる。（２）式中のＣは流域に依存するパラメータである。最大流出変化率、最大降雨となる時刻を$T_{MAX\Delta Q}$、T_{MAXR}とすると、大体Ｃ＝（$T_{MAX\Delta Q}-T_{MAXR}$）として計算すれば良好な結果が得られている。

$$\Delta Q(t)=f\{\Delta Q(t-1)...\Delta Q(t-m),R(t-1)...R(t-n)\} \quad (1)$$

$$\Delta Q(t)=f\{\Delta Q(t-1),R(t-C)\} \quad (2)$$

式（２）がそれぞれ降雨、流出変化量のメンバシップ関数M_R, $M_{\Delta Q}$を用いれば、以下のような条件つき命題Ｐｔに書き直すことができる。

$$\text{IF } R(t-C) \text{ IS } M_{R(t-C)} \text{ AND } \Delta Q(t-1) \text{ IS } M_{\Delta Q(t-1)} \text{ THEN } \Delta Q(t) \text{ IS } M_{\Delta Q(t)}\text{------}P_t \quad (3)$$

ファジィ推論手法を概略に述べると、まず、命題P_tにより表したｔ時刻の「あいまい関係」を式（４）で求め、次に、過去の出水と今回の出水により得られた現時刻ｔまでに全体の「あいまい関係」を式（５）で合成し、最後、合成した出水経験により式（６）で１時間先の△Ｑを推論する。それに１時間先の予測値を用いて、更に２時間先の流出変化量も同じのように求められる。

$$P_t=M_{R(t-C)}\wedge M_{\Delta Q(t-1)}\wedge M_{\Delta Q(t)} \quad (4)$$

$$\Pi_t=\Pi_{te}\vee P_1\vee P_2\vee\cdots\vee P_t \quad (5)$$

$$M_{\Delta Q(t+1)}=\Pi_t\odot M_{R(t-C)}\odot M_{\Delta Q(t)} \quad (6)$$

ただし、∧、∨、⊙はそれぞれMIN演算、MAX演算、ファジィ合成MAX-MIN演算を意味している。

今までの研究は、上述のΠ_{te}を過去の実際の洪水資料により求めたが、本研究では、過去の水文資料の代わりに貯留関数法を代用しようとするものである。式（７）は貯留関数法の基礎方程式を表している。

$$K\frac{dQ(t)}{dt}^{P}+Q(t)=R(t-L) \quad (7)$$

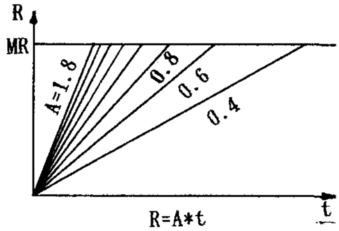
この式より、パラメータＰ＝１、すなわち流出系が線形の場合、理論的に最大流出変化率と最大降雨の時間差（$T_{MAX\Delta Q}-T_{MAXR}$）＝Ｌとなる。非線形の場合、シミレーションの結果よりほとんとの降雨タイプに対して、この時間差はＬ時間である。したがって、（７）式の貯留関数モデルがファジィ推論システムに記憶される際、Ｃ＝Ｌにしたらよいである。

3　貯留関数法の学習方法：

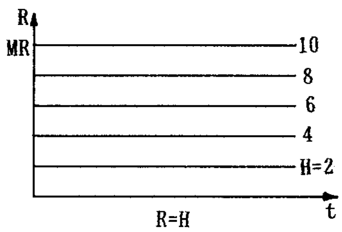
さて、貯留関数法におけるパラメータＫ，Ｐ，Ｌが既知としても、この情報を直接ファジィ推論システムに記憶させることができず、Ｒ（ｔ），Ｑ（ｔ）の関係から間接的に記憶させざるを得ない。この際どのような降雨波形を設定すると、予測する場合、都合がよいかという問題が生ずる。実用的には極く少数の降雨波形とそれに対応する流出量を用いて、式（５）のΠ_{te}を準備し、種々に変化する実降雨波形に対処できる

ようにしたい。

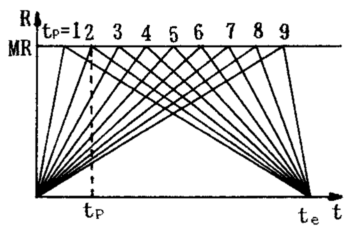
ここでは、特にハイドログラフの上昇部予測を重視した場合として、降雨に図－１のようなランプ関数と図－２のようなステップ関数を想定した場合と、図－３のような三角パルスを想定した場合について検討した。実際の計算において、貯留関数法のパラメータＫ＝４０，Ｐ＝０．６、Ｌ＝２に、用いられた３種類の降雨関数の最大降雨量ＭＲ＝１０ｍｍ／ｈｒに、また図－３にあるパラメータt_e＝１０ｈｒにした。計算結果より、降雨を図－３に示されている極く少数の波形とすると、様々な実降雨波形に対してもよく対処できるということが分かった。図－４、５、６は図－３の三角パルスを用いた場合、最大降雨量が１０ｍｍ／ｈｒぐらいと５ｍｍ／ｈｒぐらいの実降雨に対するリードタイム１時間の予測結果を示し、図－７、８、９はリードタイム２時間の予測結果を示している。これらの計算結果が良好と思える。



図－１

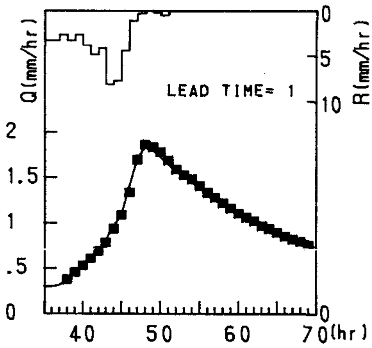


図－２

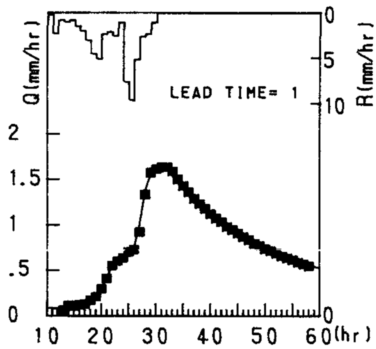


$$R=\begin{cases} MR/t_P * t & t \leqq t_P \\ MR-MR/(t_e-t_P)*(t-t_P) & t>t_P \end{cases}$$

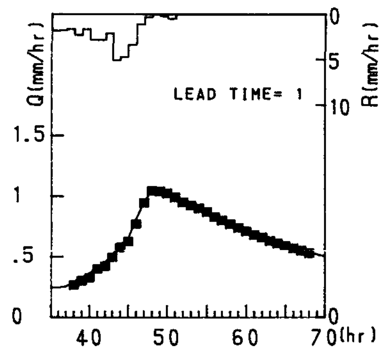
図－３



図－４



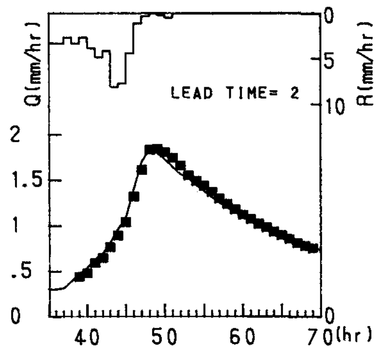
図－５



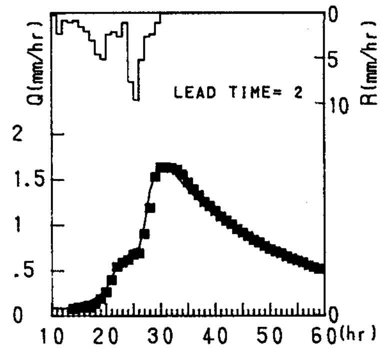
図－６

―― :貯留関数法によるシミレーションした洪水

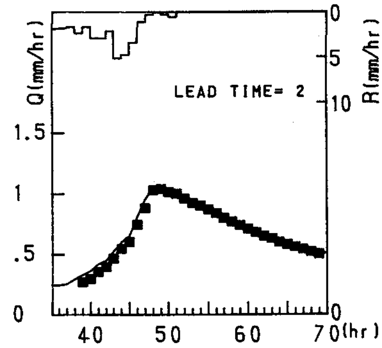
■:ファジィ推論法による予測結果



図－７



図－８



図－９

参考文献：1)藤田・橋本・朱,ファジィ制御器を加えた多次元ファジィ推論法による流出予測、第48号,1992
2)佐藤勝夫、洪水流出計算法、山海堂、1982