

成分分離AR法による小流域の流出解析

大阪産業大学工学部 正会員 重光 世洋
大阪産業大学大学院 学生員○矢野 弘樹

1. はじめに

今日までに経験則および細かい概念を取り入れた水理・水文学的に基づいた多くの流出モデルが提案されている。前者は一成分系の線型モデルで代表される合理式、単位図などおよび多成分系非線型モデルで代表されるタンクモデルであり、後者は入力データの信頼性および流域の細かい物理的パラメーターの存在に基づく特定なモデルで、例えば、一成分系の線型ではARモデル、非線型の貯留関数法、雨水流出モデル、成分分離AR法などがある。

本文は、これらのモデルのうち、パーソナル・コンピュータの支援により比較的簡単に数値解析できる数値フィルターによる成分分離AR法^{1), 2)}を適用して、とくに流域面積の比較的小さい流域を対象に、洪水流出に対する数値予測の可能性について検討した結果について報告するものである。

2. 成分分離AR法(Auto-regressive Method)

この方法は、流出の各成分系（地下水流出、中間流出、表面流出）の周波数特性の異なることを利用して、①数値フィルターで流量時系列を各流出成分ごとに分離し、②分離後の各成分が線型系で表されることを利用して、入力降雨がゼロとなるハイドログラフの逓減部、あるいは降雨時系列が白色雑音とみなせるハイドログラフの上昇部に対してARモデルにあてはめてAR係数を求め、③次に、求めたAR係数を用いて、成分流出時系列を作用させて、成分降雨時系列を逆推定し、④さらに、逆推定降雨から降雨の分離則を導き、⑤ついで、降雨-流出系の同定と推定精度を検討した上で、AR係数などの諸定数を選定し、⑥最後に、選定された諸定数およびAR係数、初期条件および時々刻々の降雨あるいは流量またはこの両者の入手データを用いて、何時間または何ステップか先の流出量を予測するものである。

基本式：入力（降雨）を R_i' 、出力（流量）を Q_i とすると、流出成分を表面流出、中間流出、地下水流出などに分離したとき、各成分系は線型系であると仮定すると、

$$Q_i = a_1 Q_{i-1} + a_2 Q_{i-2} + a_3 Q_{i-3} \cdots + a_p Q_{i-p} + b \lambda R_i' + \varepsilon_{i-1} \quad (i = 1, 2, 3, \dots) \quad (1)$$

ここに、 b ：ARモデルのパラメーター（ $= 1 - a_1 - a_2 - a_3 \cdots - a_p$ ）、 Q_i ： $t = i \Delta t$ における出力、 R_i' ： $t = i \Delta t$ における入力（ $i' = i - \text{lag}$ （遅延時間））、 Δt ：時間隔、 ε_{i-1} ：白色雑音、 p ：AR項の次数、 λ ：単位変換係数。

なお、降雨停止後は、上式の R_i' の項が消えて流量の自己回帰式となる。

本解析では、降雨情報入手容易という観点から、時々刻々の降雨がある場合を想定して、実降雨時系列から流出量を数値予測する方法を採った。その手順は、まず①流出率、貯留高、初期損失、地下水流出に関係する下限浸透能を与える。②地下水流出に寄与する降雨を求める。③実測有効降雨時系列から表面・中間流出に寄与する降雨を求める。④各流出系への降雨（入力）を求める。この場合、地下水流出系の伸張効果をも考慮する。⑤先に求めた対象流域のAR係数または

表-1 観測水文資料

流域名	流域面積 km ²	最大降雨強度 mm/10min	ピーク流量 m ³ /s	備考
山崎川	13.48	1.5~20.5	5.0~142.6	都市化流域
植田川	18.90	2.5~20.5	23.1~101.8	開発中流域
香流川	26.99	3.5~15.0	13.3~86.7	未開発流域

表-2 流域の諸定数

諸定数	流域名		
	山崎川	植田川	香流川
観測データ数	80~280	90~280	150~230
時定数 (x10min)	29.844	39.013	53.071
パラメータ	2.1	2.1	2.1
重み係数 α	0.218	0.234	0.347
AR係数の次数：			
中間・表面流出	3	3	2
地下水流出	5	4	3

変換された単位図を用いて、③、④で求めた地下水、表面・中間流出に寄与する降雨からそれぞれの流出量を求める。⑥最後に、それぞれの予測する時刻に対応する流出成分の和をもって総流出量の予測値を求める。

3. 実流域への適用結果

検討対象流域の概要および観測水文資料一覧³⁾を表-1に示す。これらの流域は小流域であるため、河道における流達過程や伝播時間は一括してモデルの中に含ませることとした。対象流域の洪水の到達時間を考慮して、降雨強度および計算時間隔(計算ステップ)はともに10minとした。推定した諸定数を表-2に示す。図-1にある対象流域の流出率 f が、ほぼ初期流量 q_A の線形関係： $f = m \cdot q_A + n$ で表せる1例について示す。ここに、 m , n は流域の特性を表す定数。図-2は、時々刻々の降雨および流量時系列が与えられる場合、それぞれの同時刻の再現計算結果と30分および1時間先の予測結果のハイドログラフと観測値の比較例を示す。予測波形は観測のものとはほぼ一致するが、ピーク流量は予測先のステップが大きくなるにつれて予測精度は低下する。図-3はピーク流量の予測値と観測値を比較したものである。本検討の対象流域にあっては、3ステップ先までの予測精度は概ね観測値の $\pm 20\%$ 程度の範囲内に収まるが、これ以上のステップ先では予測精度は $\pm 20\%$ 以上となり、またピーク流量の出現時刻も予測ステップに対応して遅くなって現れる。

4. まとめ

本法は流出の速い小流域であっても、降雨から流出への変換を精度よく再現できる。AR係数の次数は、表面・中間流出成分に対しては2~3程度、地下水流出成分に対しては、3~5程度であれば、それぞれの流出成分を量的に表現できる。予測精度は、今回の検討対象流域では3ステップ先が限度のようである。各流出成分を量的に推定でき、治水、利水、水質環境などの対策保全に有用な情報提供が期待できる。今後、予測精度の向上を図るためには、さらに降雨波形、継続時間、降雨強度、初期損失、有効雨量、浸透能、流域の貯留量など量的な相互関係を明らかにする必要がある。

参考文献：1) 日野・長谷部：水文流出解析、森北出版。
2) 重光・矢野：ARモデルによる小流域の洪水流出解析、大阪産業大学論集、自然科学編85号、1990。

3) 建設省中部地建：庄内川流出試験地水文資料(1971~1974)1975。

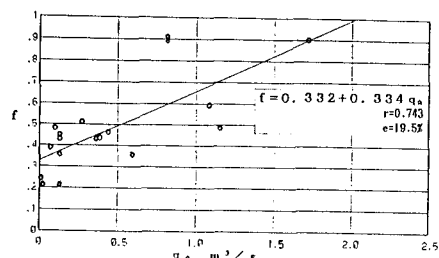


図-1 初期流量 q_A と流出率 f の関係

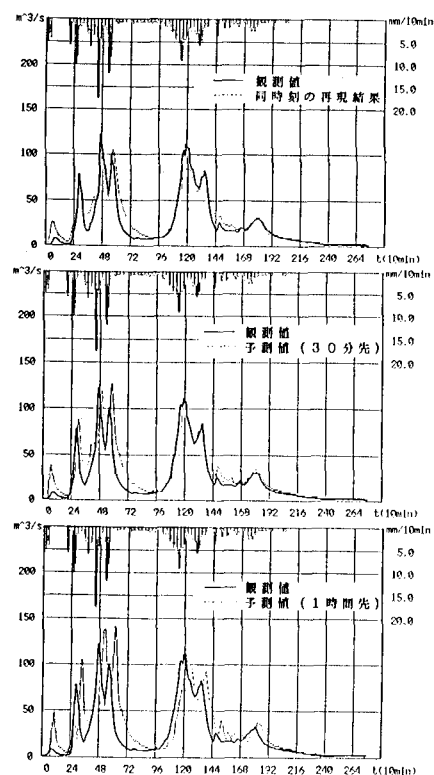


図-2 10分単位の実降雨による予測

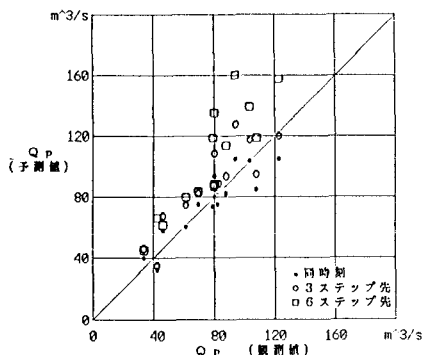


図-3 ピーク流量の予測値と観測値との比較