

(株) ケーエーケー技術研究所 正員 西村 克己
大阪大学工学部 正員 室田 明
近畿大学理工学部 正員 江藤 剛治

1. まえがき

流出解析の手法としては、貯留関数法が広く用いられているが、貯留関数法中の遅滞時間・流出率等の定数は、年・季節によって異なることは言うまでもなく、同一パターンの降雨であっても必ずしも一定になるとは限らない。これらの定数の決定に関しては、従来種々の方法がとられてきた。また一方、単位図、線形貯留関数等の線形表示を用い、それらに関する定数をカルマン・フィルター理論により同定する方法が日野¹⁾によって提案された。しかし、流出現象は本質的には、非線形現象である。そこで、基礎式には木村の貯留関数法²⁾(非線形)を用い、偏微係数を導入することによってシステムを局所線形化し、これにカルマン・フィルター理論を適用して、各定数を同定する手法を試みた。本報では、本手法に用いるカルマン・フィルターの式中のシステム雑音と諸特性との関係および線形式を用いた場合との特性比較を行う。

2. 貯留関数法

貯留関数法における基礎式は、以下のとおりである。

$$Rave - g_L = \frac{dS_L}{dt}, \quad g_L(t) = g(t + T_L)$$

$Rave$: 流域内平均降雨量, g_L : 見かけの単位流出高, t : 時間, g_L : 単位流出高, S_L : 見かけの単位貯留高, T_L : 遅滞時間
① $a=3, b=3$
② $a=6, b=2$

貯留関数式には、次式を用いた。

$$S_L = K g_L^P \quad K, P: \text{定数}$$

流出量の計算は、つぎの式による。

$$Q = \left[\frac{1}{3.6} \{ f_1 g + (1 - f_1) g_{sa} \} + g_B \right] \cdot A$$

f_1 : 一次流出率, g_{sa} : 飽和点以後の降雨による単位流出高, Q : 流量
 g_B : 単位面積あたりの基底流量, A : 流域面積

3. カルマン・フィルター理論

各定数の同定部には、カルマン・フィルター理論を用いた。その基本式は以下のとおりである。

$$lh_{K+1} = \bar{A} lh_K + W \cdots \cdots (1), \quad Z_{K+1} = IM lh_{K+1} + V \cdots \cdots (2)$$

lh_K : 求める定数(流出率等), $\bar{A}$: 時間ステップ K から $K+1$ の遷移時の lh_K の変換行列, IM : 状態の変化を表わす行列, V, W : 誤差ベクトル, V, W の分散行列が IR, Q , 推定誤差の共分散行列が IP である。

4. 同定法

本研究における計算は、貯留関数式が非線形であるために非線形同定となる。そこで数値偏微係数を用いることにより局所線形化を行い、これにカルマン・フィルター理論を適用し、同時に各定数を同定しようとした。

以下に、その手法を示す。(以下、推定値を「 $\hat{}$ 」、誤差を「 $\sim$ 」で示す。また、求める定数が増しても同様であるので、ここでは f_1, T_L について記述する。)

① $\hat{f}_1, \hat{T}_L$ を代入して流出量を計算し、これを $\hat{Q}$ とする。

② $\hat{f}_1, \hat{T}_L$ にそれぞれ微少量 $\Delta f_1, \Delta T_L$ を加える。そのそれぞれの値を代入して求めた流出量を $\hat{Q}_{f_1}, \hat{Q}_{T_L}$ とし

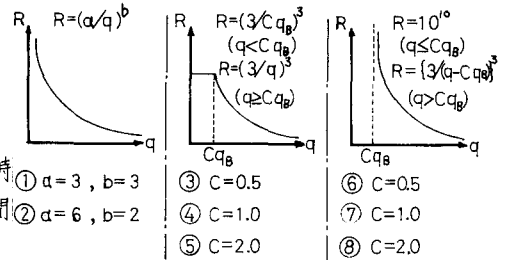


図-1 Rの与え方

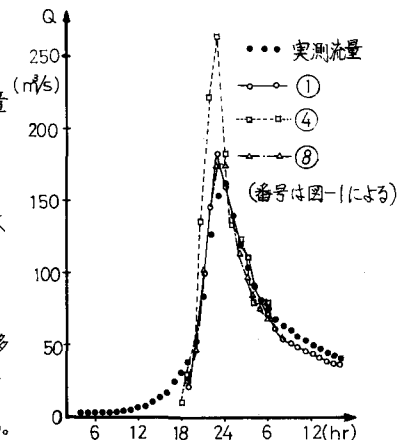


図-2 Rによる比較

と $\hat{Q}$ との差を $\Delta \hat{Q}_{f_1}$, $\Delta \hat{Q}_{T_e}$ とする。ここで f_1 , T_e と $\hat{f}_1$, $\hat{T}_e$ にはつぎの関係がある。

$$\hat{f}_1 = f_1 - \hat{f}_1, \quad \hat{T}_e = T_e - \hat{T}_e \quad \text{----- (3)}$$

よって、システム方程式は次式である。

$$Q = \hat{Q} + \frac{\partial \hat{Q}}{\partial f_1} \hat{f}_1 + \frac{\partial \hat{Q}}{\partial T_e} \hat{T}_e + V \quad V: \text{誤差}$$

上式と(1)式をカルマン・フィルタ理論の基本式として、 $\hat{f}_1$, $\hat{T}_e$ を同定する。

⑩ $\hat{f}_1$, $\hat{T}_e$ より f_1 , T_e を(3)式で計算し、これを次の時間ステップの $\hat{f}_1$, $\hat{T}_e$ として①～⑩をくり返し刻々の f_1 , T_e を計算する。

5. システム雑音

本手法における予備計算の段階でシステムの不安定性が現われたので、カルマン・フィルタ同定システムにおける誤差の分散行列 R (今回の計算では、スカラーとなるので以下 R と記す。) を以下のような R とした。

$$R(k+1) = IM(k+1) IP(k+1|K) IM^T(k+1) R(k+1)$$

また、実測流量が $10^0 \sim 10^3$ のオーダーで変化すること、さらに流量観測精度が流量によって異なることを考慮して今回は、一定の雑音ではなく図-1に示すように3種の与え方について検討を行った。

6. 計算例および結論

実際の降雨-流量のデータを用いて、前節のシステム雑音の検討および線形貯留関数を用いた方法との比較を行った。ただし、比較検討を行うので、特性がより明確となるように f_1 のみについて計算を行った。

① まず、 R の検討に関しては図-1の数値のとおりとした。その数値による結果の比較例を図-2に示す。

② 図-3、4が線形貯留関数を用いた計算例と本手法による計算例の比較である。

③ ①より決定された最良の R を用いて f_1 , T_e を同定した。(図-5)

以上の結果よりつぎのことが言える。

1) ピーク流量が大きくなるにつれて非線形性が卓越し、本手法が線形式を用いた場合より精度がよい。

2) システムの安定性に関しては、本手法は線形式を用いた場合に比して劣る。

このように、安定性について若干改良を要するが、貯留関数に非線形式を用いた場合でも局所線形化することによって、カルマン・フィルタ理論が適用可能かつ有効であると考えられる。

[参考文献] 1). 日野幹雄: 水文流出予予測へのカルマン・フィルタ理論の適用、土木学会論文報告集、第221号、1974年1月。 2). 木村俊晃: 貯留関数法、土木技術資料、1962年。 3). 江藤・西村: 貯留関数法とカルマン・フィルタを組み合わせた流出予測、昭和52年関西支部年次学術講演演要

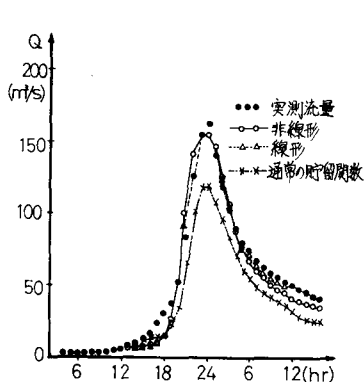


図-3 線形・非線形式による比較(流量)

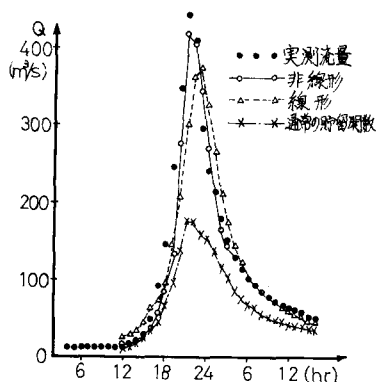


図-4 線形・非線形式による比較(流量大)

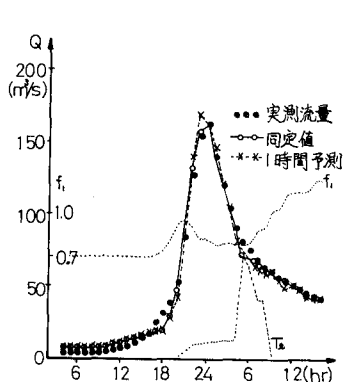


図-5 f_1 , T_e の同定