流出解析・フィルタ分離AR法に関するパラメータ同定問題

Parameter Identification on Hydrological Analysis for Using Filter Separation AR Method

上條善康* (株)三菱総合研究所システムソリューション研究センター)

Yoshiyasu KAMIJO System Solution Research Center, Mitsubishi Research Institute

島田正志** (東京大学大学院農学生命科学研究科)

Masashi SHIMADA Dept. of Agri. & Life Science, University of Tokyo

中村良太** (東京大学大学院農学生命科学研究科)

Ryota NAKAMURA Dept. of Agri. & Life Science, University of Tokyo

This paper describes how to determine two parameters, i.e., the time constant of separation T_c and the damping rate δ , for the filter separation AR method and how to estimate the initial river discharges, which is first subtracted from the original discharges. Through comparisons of the absolute errors of the surface and sub surface flows separated to the reestimated ones and of the corresponding response functions for possible combinations of T_c and δ the followings are found: For hydrograph having long recession periods in Kanna river, there is a definite area with the smaller absolute errors relating to T_c , though the error is insensitive to δ . The initial discharges could be predicted by agreement of the time constants giving the two ends of the definite area with the ones giving the two adjacent minimum extremes of the coherence between the rainfall and discharges.

Key words : Hydrological analysis, Filter separation AR method, Initial river flow

本論文では、フィルタ-AR法の2つのパラメータ、分離時定数 T_c と減衰率 δ の同定法、原流量データから差し引かれる初期流量の評価法について扱う。長期の通減曲線部を有する神流川の日データを対象に、 T_c と δ の可能値について、分離した表面、中間流流量の再現流量に対する絶対誤差、対応する応答関数を相互に比較し、次の点が明らかとなった。 δ については感度が鈍いが、 T_c については誤差が相対的に小さい顕著な領域が存在する。この領域の両端から決まる時定数と降雨と流量のコヒーレンスの2つの隣接する極小値から決まる時定数が一致するように、初期流量を評価しうる。

キーワード: 流出解析, フィルタ分離AR法, 基底流出

I. 序 論

フィルタ分離AR法(日野・長谷部, 1985b)は、河川流量時系列のスペクトル特性を用いて数値フィルタにより直接成分と地下水成分を分離、分離した各流出成分からAR係数、応答関数を求め、降雨の逆推定、流出予測が可能になるなどの特徴を有する流出解析手法の重要な一手法である。フィルタ分離

AR法では、2つのパラメータ、数値フィルタの分離時定数 T_c (以下数値フィルタ時定数 T_c とする)と減衰率 δ を適切に設定する必要があるが、現状ではパラメータ設定に関する十分な比較研究が行われているとは言い難い。時間単位データの解析では、数値フィルタ時定数 T_c は、通減期の洪水流量曲線を片対数プロットしたときに現れる勾配変化点に対応する値にとる。日単位データの解析では、対象流域に

* (株)三菱総合研究所システムソリューション研究センター 〒100-8141 東京都千代田区大手町2-3-6
System Solution Research Center, Mitsubishi Research Institute Otemachi 2-3-6, Chiyoda, 100-8141, Japan

** 東京大学大学院農学生命科学研究科生物・環境工学専攻 〒113-0032 東京都文京区弥生1-1-1
Dept. of Agri. & Life Science, University of Tokyo, Yayoi 1-1-1, Bunkyo, 113-0032, Japan

Fig. 1 フィルタ分離AR法の流出系概念図

おける観測降雨と観測流量から両者のコヒーレンスを計算してから数値フィルタ時定数 T_c を決め、 δ は2～3程度が良いとされている。本研究の目的は、神流川の日単位流量データ(建設省土木研究所, 1968)を用いて、フィルタ分離AR法の数値フィルタ時定数 T_c 、減衰率 δ 、最初に差し引く基底流量に関する基礎的な知見を得ることにある。

II. フィルタ分離AR法と問題点

1. フィルタ分離AR法の概念

Fig. 1は、フィルタ分離AR法概念図である。蒸発散などを差し引いた有効降雨は、表面流出系と地下水流出系にラグを伴って非線形に分離される。表面流出系(表面中間流出系)、地下水流出系、および、基底流出系が河川流量を構成するが、表面流出系と地下水流出系は線形系として、基底流出(初期流量)は定数として扱う。以下に、解析の流れと概要を必要な範囲で概括しておく。

2. フィルタ分離AR法の解析手順

- ① 観測降雨と観測流量のコヒーレンスギャップから数値フィルタ時定数 T_c を決める。

コヒーレンスの計算は次のようになる。観測流量 y と観測降雨 x の相互共分散関数 $C_{xy}(\tau)$ をフーリエ変換する。

$$\begin{aligned} S_{xy}(f) &= \int_{-\infty}^{\infty} C_{xy}(\tau) e^{-i2\pi f\tau} d\tau \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} C_{xy}(\tau) \cos 2\pi f\tau d\tau \\ &\quad - i \int_{-\infty}^{\infty} C_{xy}(\tau) \sin 2\pi f\tau d\tau \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 $S_{xy}(f)$ の実部をコスペクトル $K_{xy}(f)$ 、虚部をクオドラチャスペクトル $Q_{xy}(f)$ と呼ぶ。

$$K_{xy}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} C_{xy}(\tau) \cos 2\pi f\tau d\tau \quad (2)$$

$$Q_{xy}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} C_{xy}(\tau) \sin 2\pi f\tau d\tau \quad (3)$$

コヒーレンス $Coh^2(f)$ は、これらコスペクトル、クオドラチャスペクトルを用いて以下の通りに表せる。

$$Coh^2(f) = \frac{|S_{xy}(f)|^2}{S_{xx}(f)S_{yy}(f)} = \frac{K_{xy}(f)^2 + Q_{xy}(f)^2}{S_{xx}(f)S_{yy}(f)} \quad (4)$$

ここで、 f : 周波数。

- ② 流量時系列 y から基底流量 y_{base} を差し引く。
③ 残りの流量時系列から2次遅れ系の数値フィルタ式(5)で低周波数の地下水流出を式(7)で、残りを表面流出として式(8)のように分離する。

$$w(k) = c_0 \exp\left(-\frac{c_1}{2}k\right) \sinh\left(\sqrt{\frac{c_1^2}{4} - c_0}k\right) / \sqrt{\frac{c_1^2}{4} - c_0} \quad (5)$$

$$c_0 = \left(\frac{\delta}{T_c}\right)^2, \quad c_1 = \frac{\delta^2}{T_c} \quad (6)$$

ただし、 $w(k)$: 数値フィルタ、 T_c : 数値フィルタ時定数、 δ : 減衰率

$$y_1(i) = \alpha \sum_{k=0}^L w(k) (y(i-k) - y_{base}) \quad (7)$$

$$y_2(i) = y(i) - y_{base} - y_1(i) \quad (8)$$

ここで、 y : 観測流量 [m³/sec], y_1 : 地下水流出 [m³/sec], y_2 : 表面流出 [m³/sec], i : 時系列番号, L : 数値フィルタの項数, y_{base} : 基底流量(定数) [m³/sec], α : y_1 が負にならないための重み係数。

- ④ 分離した流量時系列 y_1, y_2 を線形系として自己回帰過程を当てはめ式(9)、各系の時系列について自己回帰係数 a_i 、逆推定降雨 $\hat{x}$ 式(10)、および、応答関数 h_m 式(11)を計算する。逆推定降雨 $\hat{x}$ と自己回帰係数 a_i が決まると再現流量 $\hat{y}$ 式(12)が計算できる。再現性を評価するために、再現前と後の絶対値誤差の平均 e 式(13)を計算する。自己回帰係数の次数決定は赤池の統計基準を用いた。式(9)から式(13)まで、流出成分の添え字1, 2を省略する。

$$\begin{aligned} y(i) &= a_1 y(i-1) + a_2 y(i-2) + \dots \\ &\quad + a_p y(i-p) + b x(i-1) \end{aligned} \quad (9)$$

Fig. 2 有効降雨の非線形分離図の一例

Fig. 3 表面流出応答関数の一例

$$bx(i-1) = y(i) - (a_1y(i-1) + a_2y(i-2) + \dots + a_p y(i-p)) \quad (10)$$

$$h_0 = 0, h_1 = b, h_m = \sum_{j=1}^m h_{m-j} a_j \quad (m \geq 2) \quad (11)$$

$$\hat{y}(i) = a_1 y(i-1) + a_2 y(i-2) + \dots + a_p y(i-p) + bx(i-1) \quad (12)$$

$$e = \frac{\sum_{i=1}^n |y(i) - \hat{y}(i)|}{n} \quad (13)$$

ここで、 p : 自己回帰式の次数、 b : 単位変換係数、 a_i : 自己回帰係数、 h_m : 応答関数、 m : 応答関数の次数、 $\hat{x}$: 逆推定降雨 [mm/day]、 x : 流出系に入力する有効降雨 [mm/day]、 e : 再現性絶対値誤差平均 [m³/sec]、 $\hat{y}$: 再現流量 [m³/sec]、 y : 分離された流量 [m³/sec]、 n : 対象とする流量時系列の長さ。

⑤ 2つの系の逆推定降雨をそれぞれの系に入力した有効降雨と捉え、有効降雨に対する各系の逆推定降雨の関係をグラフ化し、有効降雨の非線形分離則を導く (Fig. 2)。別の方法で計算し

た有効降雨(蒸発散を差し引く方法、エントロピー法を用いる方法)を2つの流出系に分離する際に Fig. 2 のグラフを使用する。Fig. 2 は、たとえば100mmの有効降雨が流域に入った場合に、地下水流出系に20mm程度が分離されて入力されることを示している。Fig. 2 は昭和31年の神流川の流量データを解析した際に得られる有効降雨の分離図の一例である。

⑥ 観測降雨を用いて流出予測をする場合は、あらかじめ求めた応答関数を用いる。

Fig. 3 は、表面流出系の応答関数である。あらかじめ求めておいた有効降雨を Fig. 2 を用いて2成分に分離し、表面流出系への有効降雨時系列と応答関数を掛け合わせて再現流量を式(14)で求めることができる。同様に地下水流出についても再現流量を求めることができる。

$$\hat{y}_2(i) = h_0 \hat{x}_2(i) + h_1 \hat{x}_2(i-1) + h_2 \hat{x}_2(i-2) + \dots + h_m \hat{x}_2(i-m) \quad (14)$$

ここで、 $\hat{y}_2$: 応答関数を用いた再現流量 [m³/sec]、 $\hat{x}_2$: 表面流出系に入力する有効降雨 [mm/day]、 h_m : 表面流出応答関数、 m : 応答関数の次数。

3. フィルタ分離AR法の問題点と本研究の視点

フィルタ分離AR法を実際に適用する場合、①～④が重要なポイントとなるので、本研究の視点を提示する。

1) 自己回帰係数の計算区間の設定

日野・長谷部(1985b)は、日単位流量データの解析は、定常確率過程となるために対象とする時系列の全体から自己回帰係数を計算して良いとするが、1年以上の長期間にわたる時系列の場合や渇水の卓越する時系列の場合、その解釈が妥当かどうかは不明である。本研究では、長期にわたる解析では、幾つかの季節(ある程度の出水の直前から次の出水の直前まで)に分割して解析した方が良いと考えている。なお、時間単位データの解析については、洪水の立ち上がり部分から自己回帰係数を計算した方が良いとされている(日野・長谷部, 1985)。

2) 数値フィルタ時定数 T_c

日野・長谷部(1985b)は、コヒーレンスの最小値を示す周波数の逆数を数値フィルタ時定数 T_c として与えれば良いとする。本研究では、最小値に加えて他の極小値を示す周波数の逆数も数値フィルタ時定数 T_c の有力な候補として考慮する。

3) 減衰率 δ

日野・長谷部(1985b)は、理論上、数値フィルタの存在条件より「 δ は2より大」でなければならないことを示した。本研究では、減衰率 δ と数値フィルタ時定数 T_c との関係を探る試みも価値があると考え、特に、減衰率 δ の感度について検討する。

4) 最初に差し引く基底流量

時間単位の解析では初期流量を与えるが、日単位の解析では明確ではない。日単位の河川のデータからフィルタ分離AR法における基底流量を捉えることは時系列が長くなるほど難しくなる。日野・長谷部の論文(1980)では、雄物川(7月から9月)神流川(5月から10月)のデータを用いているために基底流量に関して詳細に検討していない。本研究では、数値フィルタ時定数、減衰率に加えて、基底流量を重要なパラメータとする立場から検討する。

III. 研究の手法および解析対象

本研究では、数値フィルタ時定数 T_c と減衰率 δ に関して、表面流出成分の再現性絶対値誤差平均 e と応答関数 h_n を求めパラメータ設定の良否の比較検討を試みた。具体的には、数値フィルタ時定数 T_c は1日毎、減衰率 δ は2.1~3.5まで0.1毎の離散値として、 (T_c, δ) 平面上の格子点上でフィルタ分離AR法の一連の解析を行い、表面流出の再現を試みた場合の残差式(3)(表面流出再現性絶対値誤差平均 e)と表面流出の応答関数 h_n を計算する。さらに、これらの出力結果と数値フィルタ時定数 T_c を決めるのに用いるコヒーレンスのグラフとから最初に差し引く基底流量(y_{base})に関する考察を行なう。ただし、計算の都合上、格子点 $(T_c, \delta) = (1, 2.1)$ と数値フィルタ時定数 T_c が54日以上となる範囲では計算を行わなかった。

解析には、以下に示す建設省神流川試験地の日単位流量データ、日単位の流域平均降雨データ(建設省土木研究所, 1968)を用いた。対象は中小規模の出水に限定し、1年単位あるいは冬季から春季にかけての渇水が卓越すると思われる観測期間を選んだ。フィルタ分離AR法で、大規模出水を含む流量時系列を解析する場合には3成分に分離する必要があるが、今回の解析対象とはしなかった。

以下に解析したデータを示す。紙面の都合上、昭和33年冬~昭和34年春の解析結果は示さないが、他の対象季節と同様な結果を示した。

対象年：昭和27年(365日)

対象季節：昭和27年冬~昭和28年春(189日)

昭和28年冬~昭和29年春(222日)

昭和31年冬~昭和32年春(180日)

昭和33年冬~昭和34年春(146日)

IV. 解析の結果および考察

1. 昭和27年の解析例

Fig. 4は、昭和27年のハイドログラフである。Fig. 4から渇水の卓越するのは1月から2月、5月から6月、8月以降である。ここで、7月の比較的大規模な出水の影響を避けるため4月から6月の渇水時を含む期間から自己回帰係数を試みに計算して解析を進める。

Fig. 5は、減衰率 δ を2.5に固定して数値フィルタの時定数 T_c を2日、5日、14日と変えた場合、分離した地下水流出成分を示すが、時定数が增大すると共により低周波の地下水流出成分が分離されることが分かる。

Fig. 6は、横軸を数値フィルタ時定数 T_c (1日~53日)、縦軸を減衰率 δ (2.1~3.5)とする (T_c, δ) 平

Fig. 4 昭和27年神流川ハイドログラフ

Fig. 5 地下水流出の切り出し

Fig. 6 表面流出再現性絶対値誤差平均 ($y_{base}=1.50\text{m}^3/\text{sec}$)

Fig. 7 表面流出応答関数 (奥行き方向, $y_{base}=1.50\text{m}^3/\text{sec}$)

面上に表面流出再現性絶対値誤差平均 e を示すが、パラメータ平面上の1本の棒が各格子点(T_c, δ)の e を与える。Fig. 6から、数値フィルタ時定数 T_c が3日～9日までの領域では、自己回帰過程に基づいた再現性誤差が外側の領域より不連続的に小さな

ことが分かる。数値フィルタ時定数 T_c の大きな領域では、再現性絶対値誤差平均が一様に収束しているが、これは極小の数値フィルタを流量データに対して当てはめた結果、つまり成分分離を行わず通常の自己回帰過程から得られる再現性誤差に収束

Fig. 8 表面流出応答関数(手前方向, $y_{base}=1.50\text{m}^3/\text{sec}$)

Fig. 9 s27年神流川 観測降雨と観測流量のコヒーレンス

Fig. 10 基底流量と最小流量の概念図

していると思われる。また、減衰率 δ の効果は認められない。

Fig. 7, Fig. 8は、Fig. 6に対応する表面流出の応答関数を示す。減衰率 δ の代表値として $\delta = 2.5$ と固定して、数値フィルタ時定数 T_c 、ラグ(日)を水平軸にとった場合の応答関数を、Fig. 7は奥行きから手前方向に、Fig. 8はこれを反対方向から様子を示す。

Fig. 6の表面流出再現性絶対値誤差 e の小さい窪み状の領域とFig. 7の表面流出の応答関数が滑らかに、かつ、大きく突出している区間とが、数値フィルタ時定数 T_c の範囲として3日～9日ではほぼ一致することが分かる。この事実は、フィルタ分離AR法を使用する際の数値フィルタ時定数 T_c の選択に幅があり得ることを示唆する。たとえば、Fig. 6の3日程度の時間スケールの流出では表層流に近い成分が流れ、9日程度では地下水流出に近い成分が流れていると考えられる。

Fig. 9は、昭和27年の降雨・河川流量データから得られるコヒーレンスを示すが、数値フィルタ時定数 T_c の決定のための有力な情報を提示する。

コヒーレンスの極小値に対応する周波数の逆数は8.5日、3.8日となり、Fig. 6の表面流出再現性絶対値誤差が小さい領域の境界の左端が3日、境界の右側が9日であることに対応する。これから、降雨と流量のコヒーレンスが極小値を取る2つの周波数の逆数値とパラメータ平面上に並べた表面流出再現

Fig. 11 表面流出応答関数($y_{base}=1.55\text{m}^3/\text{sec}$)

Fig. 12 表面流出応答関数($y_{base}=1.30\text{m}^3/\text{sec}$)

性絶対値誤差平均及び表面流出応答関数の境界値はほぼ等しいことがわかる。

以上のことから、フィルタ分離AR法のパラメータを選ぶ際に、表面流出再現性絶対値誤差が小さくなるパラメータを選ぶことを前提にすれば、観測降雨と観測流量のコヒーレンスの1つの極小値から別の極小値の範囲で数値フィルタ時定数 T_c 及び減衰率 δ を選べば良いと考えられる。

2. 基底流量による変化

フィルタ分離AR法では、最初に差し引く基底流量(y_{base})の値も重要なパラメータとなりうる。そこで、表面中間流出の再現性絶対値誤差平均の値が

Fig. 13 昭和31年冬～32年春 ハイドログラフ

小さくなる領域の大きさ・境界位置に与える基底流量の影響を調べる。Fig. 10は、河川の流量に対す

るフィルタ分離AR法における最小流量と基底流量の概念図である。基底流量はゼロより大きく、最小流量以下でなくてはならない。

昭和27年の最小流量は $1.71\text{m}^3/\text{sec}$ で、Fig. 6, Fig. 7では、基底流量 $y_{\text{base}}=1.50\text{m}^3/\text{sec}$ とした。基底流量を $y_{\text{base}}=1.55\text{m}^3/\text{sec}$, $1.30\text{m}^3/\text{sec}$ と変えた場合の表面流出系応答関数の出力をFig. 11, Fig. 12に比較する。Fig. 11, Fig. 12では、数値フィル

タ時定数を4日～7日、および、2日～11日の間で設定すると、Fig. 7と同様、表面流出応答関数がなめらかに突出することがわかる。基底流量の値をわずかに変化させただけで、出力が大きく変わることがわかる。ところが、Fig. 9より神流川の流量と降雨のコヒーレンスの極小値をとる数値フィルタ時定数は3.8日と8.5日である。(Fig. 9は初期流量を差し引く前の流量を用いている。) この2つの極小値

Fig. 14 表面流出再現性絶対値誤差平均($y_{\text{base}}=1.55\text{m}^3/\text{sec}$)

Fig. 15 表面流出応答関数($y_{\text{base}}=1.55\text{m}^3/\text{sec}$)

に相当する境界が現れるのは、シミュレーション結果よりFig. 6, Fig. 7が得られた時の条件 $y_{base} = 1.50 \text{ m}^3/\text{sec}$ であった。

こうして、Fig. 7, Fig. 11, Fig. 12から、最初に差し引く基底流量(y_{base})の与え方でパラメータ平面の出力が異なる事がわかる。このことから、対象とする河川のコヒーレンスの極小値の情報とパラメータ平面の再現性絶対値誤差平均の小さい領域の境界の情報を一致させることで基底流量を逆推定することが考えられる。

3. 単季節解析

1) 昭和31年冬～昭和32年の春単季節解析

1. で得た結果をさらに神流川の冬季のデータに対しても検討した結果、同様な出力を得た。Fig. 13は昭和31年の冬から32年の春にかけてのハイドログラフである。

この期間の最小流量は $1.88 \text{ m}^3/\text{sec}$ であるのに対して、基底流量は $1.55 \text{ m}^3/\text{sec}$ と以下のように同定した。Fig. 14は、 $y_{base} = 1.55 \text{ m}^3/\text{sec}$ に対応する表面流出再現性絶対値誤差平均 e を示す。自己回帰係数の計算区間は10月から12月までを用いた(10月から3月まですべての時系列を使って計算すると表面流出の応答関

Fig. 16 昭和31年冬～23年春 コヒーレンス

Fig. 17 昭和28年冬～29年春 ハイドログラフ

Fig. 18 表面流出再現性絶対値誤差平均 ($y_{base} = 1.50 \text{ m}^3/\text{sec}$)

Fig. 19 表面流出応答関数 ($y_{base}=1.30\text{m}^3/\text{sec}$)

Fig. 20 昭和28年冬～29年春 観測降雨と観測流量のコヒーレンス

数が立ち上がらなかったためである)。Fig. 14から、数値フィルタ時定数が6日～25日の領域では、誤差 e が「くぼ地」の底となり表面流出の再現性が良くなることがわかる。これに対応する表面流出応答関数をFig. 15に示す($\delta=2.5$)。減衰率 δ の影響はやはり認められない。

Fig. 14と対応して、6日から25日に数値フィルタ時定数をとると、表面流出の応答関数が大きく、なめらかに突出することがわかる。同じくFig. 14, Fig. 15に対応するコヒーレンスをFig. 16に示す。Fig. 16では、コヒーレンスの極小値が周波数の低い方から、25.6日、6.4日と出ていることがわかる。これらの値に近い境界がFig. 14, Fig. 15に現れていることがわかる。このときの基底流量は、 $1.55\text{m}^3/\text{sec}$ と同定した。

2) 昭和28年冬～29年春の単季節解析

1)と同様、昭和28年冬～昭和29年春にかけて渇水の卓越する時期を解析する。Fig. 17は対象とするハイドログラフである。最小流量は $1.82\text{m}^3/\text{sec}$ である。Fig. 18が、Fig. 17のハイドログラフに対する表面流出の再現性絶対値誤差平均の出力を示す。自己回帰係数はデータの全区間を用いた。

このハイドログラフに対する表面流出の再現性絶対値誤差平均の出力はFig. 18のようになった。

数値フィルタ時定数を4日～10日程度に取ると、先の2つの例と同様、表面流出の再現が良くなることがわかる。Fig. 18に対応する応答関数はFig. 19のようになった($\delta=2.5$)。Fig. 18, Fig. 19に対応するコヒーレンスをFig. 20に示す。

コヒーレンスの極小値を与えているのは周波数の低い方から、10.6日、4.0日である。これらの値に近い境界がFig. 18, Fig. 19でも現れているので、基底流量を $1.50\text{m}^3/\text{sec}$ と同定した。

4. 考察

建設省神流川試験流域の渇水の卓越するデータを用いたシミュレーションにより以下のことが分かった。

- ① 数値フィルタ時定数 T_c の一定区間域に対して表面流出再現性絶対値誤差平均 e が相対的に誤差の小さい領域が存在する(Fig. 6, Fig. 14, Fig. 18)。
- ② e の小さい領域の数値フィルタ時定数 T_c に対応して、表面流出の応答関数が大きく、かつ、滑ら

かに突出する特徴を有する(Fig. 7, Fig. 8, Fig. 15, Fig. 19).

- ③ e の小さい領域の大きさ, 位置は, 最初に差し引く基底流量の与え方で異なる.
- ④ コヒーレンスギャップの極小値をとる周波数の逆数と e の小さくなる数値フィルタ時定数 T_c を合わせると, 基底流量を逆推定しうる.
- ⑤ 昭和31年冬～昭和32年春と昭和28年冬～昭和29年春の出力結果より表面流出の再現性誤差が低くなる領域の位置, 大きさは, 同じ流域でも年によって変化した(Fig. 15, Fig. 18). また, 表面流出の応答関数がなめらかに突出する位置, 大きさについても同様のことが成立した(Fig. 16, Fig. 19).
- ⑥ 減衰率 δ については明確な感度(数値フィルタ時定数 T_c との関連性)が得られなかった.

V. 結 論

1. フィルタ分離AR法は数値フィルタ時定数 T_c と減衰率 δ の2パラメータ問題と考えられていたが, 実は最初に差し引く基底流量を加えた3パラメータ問題である.
2. 数値フィルタに与える時定数 T_c は, 渇水期のデータに関して選択の幅がある. 表面流出のような早い流出成分は数値フィルタ時定数 T_c の小さい方, 地下水成分のように遅い流出成分は数値フィルタ時定数 T_c の大きい方に対応して, 異なる時間スケールの流出成分を切り出す. 数値フィルタ時定数 T_c の与え方は, 降雨と流量のコヒー

レンスの極小値が有力であると考えられる.

3. 日単位の解析では, 減衰率 δ は大きな影響はない.

以上の結果は, 建設省の神流川試験流域の日単位のデータ, 特に冬場の渇水の卓越する時系列に対して得られたものである. 異なる土質条件, 気象条件を有する流域に対しての適用, あるいは時間単位のデータ解析への応用などを通したフィルタ分離AR法のパラメータ問題の一般化は, 今後の課題である.

謝辞: 最後に研究内容に関してアドバイスを頂いた中央大学総合政策学部の日野幹雄教授, 宇都宮大学大学院工学系研究科の長谷部正彦教授のお二人に厚く御礼申し上げます.

参 考 文 献

- 建設省土木研究所(1968): 水文研究室, 神流川水文資料.
- 日野幹雄・長谷部正彦(1980): 流量時系列のみによる流出解析について, 土木学会論文集, No. 300, pp. 43-58.
- 日野幹雄・長谷部正彦(1982): 日単位雨量の流出率と初期流量・降雨強度, 第25回水理講演会論文集, pp. 349-353.
- 日野幹雄(1985a): 線形計画法による逆算降雨の求め方, 東京工業大学土木学科研究報告, No. 34.
- 日野幹雄・長谷部正彦共著(1985b): 水文流出解析, 森北出版.

(受付: 1998年8月20日, 受理: 1999年3月29日)