

1. はじめに

stochastic hydrology の利点の一つは限られたデータからより客観的に有効な情報を引き出せることにあり、最近その手法に基づく流出解析がかなりの成果を修めている。この stochastic hydrology は他のアプローチ、例えば dynamic hydrology, parametric hydrology など、と相反する立場に立つものでなく、それらが互いに補完し合い発展すべきものであるとして、これまでに幾人かの研究者がそれぞれの手法間の融合について議論を始めている。本報でもこの観点に立ち、特に stochastic の手法に基づいて parametric な解析を進める試みについて検討してみた。ここでは流出の非線型性に注目することとし、そのために流出系の全体的把握に優れるとされる 2 次流出核を用いて考察した。まず、拡張遅延フィルター相関法により求まる各種実河川流域の非線型流出核の特徴と理解し、それに基づいて一つの parametric な流出モデルで集約する場合について検討した。

2. 非線型流出核¹⁾

非線型系への入力を $x(t)$ とすれば、出力 $y(t)$ は Volterra Series により次のように表わされる。

$$y(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \int_{(n)} \cdots \int_{-\infty}^{\infty} K_n(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n) \prod_{i=1}^n x(t-\tau_i) d\tau_1 d\tau_2 \cdots d\tau_n \quad (1)$$

式(1) E 2 次の項で打ち切り、 x' の 3 次モーメントが小さくなければ、1 次および 2 次の核は次式で与えられる。

$$K_1(\tau_1) = \frac{1}{k_2} \overline{y''(t)x'(t-\tau_1)} - 2E_x \int_{-\infty}^{\infty} K_2(\tau_1, \tau_2) d\tau_2 \quad (2)$$

$$K_2(\tau_1, \tau_2) = \frac{1}{2k_2^2} \overline{y''(t)x'(t-\tau_1)x'(t-\tau_2)} \quad (3)$$

ただし、 $k_2 = \int_{-\infty}^{\infty} x'(t)x'(t-\tau) d\tau$, $y'' = y - \bar{y}$, $x' = x - E_x$, $E_x = \bar{x}$ 。

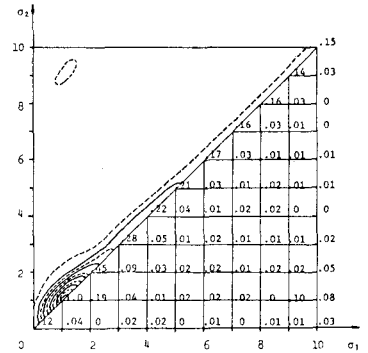


Fig.1 非線型核(神流川)

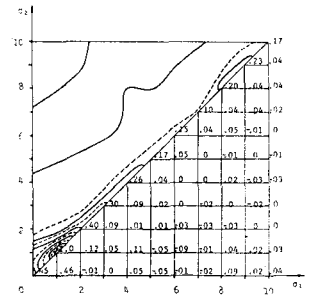


Fig.2 非線型核(相模川)

3. 実河川における非線型流出の特徴

非線型核 (式(3)) を実河川で求めると、例えば Fig.1 ~ Fig.4 のようになる。これらは、神流川 ($A=370 \text{ km}^2$)、相模川 ($A=1200 \text{ km}^2$)、アワイヤ川 (タイ、 $A=10800 \text{ km}^2$) の日データに依るものおよび梓川 ($A=0.6 \text{ km}^2$) の時分データに依るものであり、それぞれ規格化されている。これらの核は広範囲の対象流域面積にも拘わらず共通したパターンを示し、Fig.5 のような様相を持つと見てよい。特に時分データに基づく梓川の場合 (Fig.4) E 除けば、 $\tau_2 = \tau_1$ 直線上に集中した核をもつ傾向が顕著である。このことは日降雨の white noise 性 E 裏付けることに他ならない。

4. 成分分離モデルの場合

いま、単純に、流出が 3 つの独立な線型遅れ系 $h_1(\tau)$, $h_2(\tau)$, $h_3(\tau)$ の合成

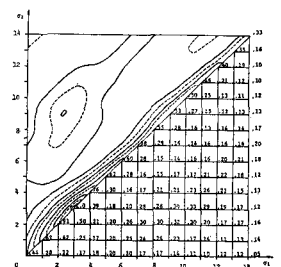


Fig.3 非線型核(アワイヤ川)

により表わされるとする。各系への入力はFig. 6 の r_{01} , r_{02} をパラメタとして、例えば斑点部は $h_1(\tau)$ の系の入力のように制御される。モデルを鉛直方向で概念的に解釈すればFig. 7 のようである。このとき流出量 $q(t)$ は次のようになる。

$$q(t) = \int_{-\infty}^{\infty} F(t, \tau) d\tau \quad (4)$$

$$F(t, \tau) = \begin{cases} = h_1(\tau)r(t-\tau) & (r(t-\tau) \leq r_{01}) \\ = h_1(\tau)r_{01} + h_2(\tau)\{r(t-\tau) - r_{01}\} & (r_{01} < r(t-\tau) \leq r_{01} + r_{02}) \\ = h_1(\tau)r_{01} + h_2(\tau)r_{02} + h_3(\tau)\{r(t-\tau) - (r_{01} + r_{02})\} & (r(t-\tau) > r_{01} + r_{02}) \end{cases}$$

ここで、 $r = \varepsilon_r + r'$, $\varepsilon_r = \bar{r}$, $q = \varepsilon_q + q'$, $\varepsilon_q = \bar{q}$ とし、 h_1, h_2, h_3 とそれぞれ、 $r \leq r_{01}$, $r_{01} < r \leq r_{01} + r_{02}$, $r > r_{01} + r_{02}$ となる確率とする。

r' が white noise であるとき、この系全体の非線型核は式(3)より次式のようにになる。

$$\begin{aligned} K_2(\sigma_1, \sigma_2) &= \frac{1}{2k_2^2} \left[\int_{-\infty}^{\infty} F(t, \tau) d\tau - \varepsilon_q \right] r'(\sigma_1 - \sigma_2) r'(\sigma_2 - \sigma_1) \\ &= \frac{k_3}{2k_2^2} \{ h_1 h_1(\sigma_1) + h_2 h_2(\sigma_1) + h_3 h_3(\sigma_1) \} \delta(\sigma_2 - \sigma_1) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\text{ここに、} \quad k_3 = \iint_{-\infty}^{\infty} r'(t) r'(t - \sigma_1) r'(t - \sigma_2) d\sigma_1 d\sigma_2, \quad \int_{-\infty}^{\infty} \delta(\sigma) d\sigma = 1.$$

式(4)は入力の white noise 性に基づいて $q_2 = \sigma_1$ の直線上にのみ分布して非線型核が存在することを示している。実流域では降雨が完全な white noise ではないこと、系相互が干渉していることなどを考慮すれば、式(5)はFig. 5 のよい近似の一つと考えられる。実際に印して考察するために $k_3 \delta(\sigma_1)$ と有限値と想定してみれば、各遅れ σ_1 に対して3つの遅れ系それぞれの重み付きの和で非線型核が表われ、結局 h_{01} と $h_{02}(\sigma_1)$ により各流域の流出特性が表現されることになる。 $h_1(\sigma_1)$, $h_2(\sigma_1)$ と地下木系に対応させるとき、実流域の核の特徴からは2次以上の遅れ系を持たせるのが適當のようであり、 $h_3(\sigma_1)$ を表面流出系と見るならば、神流川、相模川では1日後の核のピークが急峻であることと考慮して遅れ系を設定する必要のあることも判る。

5. まとめ

non-parametric な扱いによる流出特性を把握する立場を保存しつつ、parametric model に集約し得る可能性について考察した。 r_{01} , r_{02} の定量化は未解決であるが、先に筆者らが提案した成分分離モデル²⁾とは、少くとも遅れの大きい成分についてその値の決定方法が見つけられている。今後さらに検討を進めたいと考えている。

参考文献

- 1) 日野・砂田：非線型応答系の同定における遅延フィルタ相関法の拡張と実河川の流出予測への適用，東工大土木研究報告，No. 20, 1976
- 2) 吉川・砂田・グエン：洪水流量連減曲線の特性を考慮した流出モデルに関する研究，土木学会論文報告集，No. 293, 1979
- 3) 日野：非線型流出解析および適応流出予測，土木学会，夏期水工研修，1975

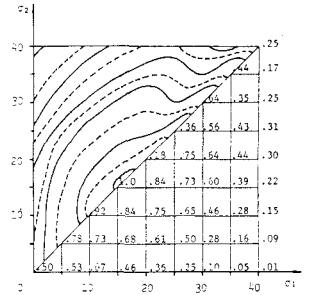


Fig. 4 非線型核 (梓川)

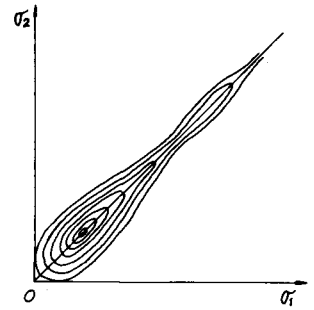


Fig. 5

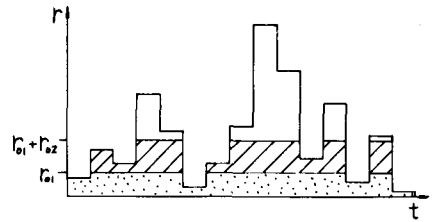


Fig. 6 降雨入力の配分

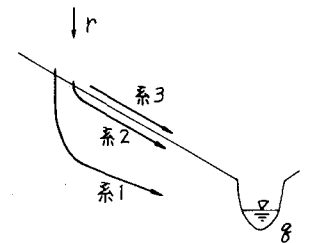


Fig. 7 モデル解釈の概念図