

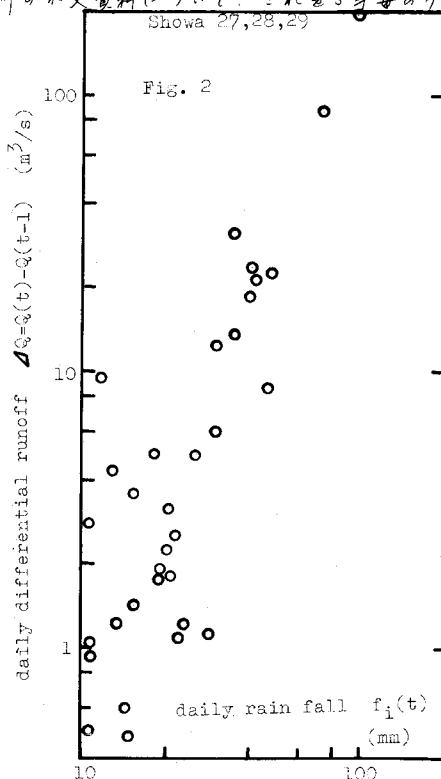
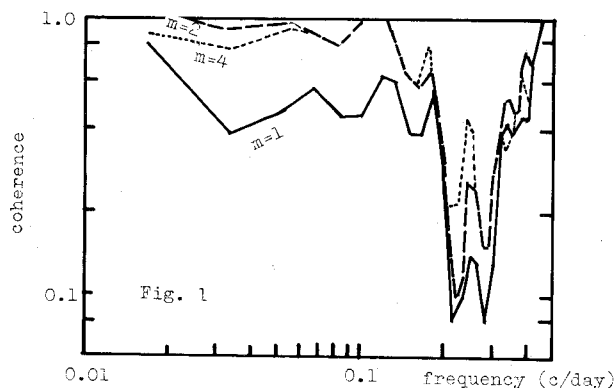
東京工業大学 工学部 正員 日野幹雄

1. はじめに、著者はここに降雨-流出現象を線型定常確率過程と見て、一般化された unit hydrograph の数式表示を導き、その意味を明らかにした。このような考え方は、上記の仮定が当てはまる場合にはきわめて合理的に unit hydrograph を導きうる。(しかし、多くの場合降雨-流出現象は非線型応答系として取扱うのが自然であり、上述の考え方になんらかの方法で非線型性を加味する必要がある。前報においては、そのうちの簡単な二つの方法について述べたが、ここではこれをさらに吟味してみたい。もちろん、現象を直接非線型系として Wiener-Nernte 展開による汎関数として取扱うことも可能であろうが、この方法はかなり複雑な上に、実際の演算において必ずしも高い非線型性まで入れられるとは限らない。

2. 降雨-流出の非線型性の検討：一般に2つの現象の相関を調べるのには、相互相関およびその Fourier 変換である cross-spectrum $[\Phi_{id}(\omega) = C(\omega) + iQ(\omega)]$ を求める。その際2つの現象の線型応答性を調べるには、前報2)において述べたように coherence γ

$$\gamma = [|\Phi_{id}|^2 / \Phi_{ii} \Phi_{oo}]^{1/2} = \sqrt{[C^2(\omega) + Q^2(\omega)] / [\Phi_{ii}(\omega) \Phi_{oo}(\omega)]} \quad (1)$$

が1であるかを調べれば良い。ここに $C(\omega)$, $Q(\omega)$ はそれぞれ cross spectrum $\Phi_{id}(\omega)$ の実数部と虚数部で co-spectrum, quadrature-spectrum と呼ばれる。神流川の水文資料について、これを3年毎の7ループに分けて coherence を求めてみると、その一例は図-1 のようになる。これによれば、長周期の流出と比べて短周期の流出との線型性はかなり良いが、中間周期の流出については線型性が極めて悪いことが明



らである。このことは流出現象の特徴——つまり降雨は表面流出と地下への滲透という2つのはっきり異なる流出機構よりなっていることを明瞭に示している。

3. 非線型変換法の導入：さて、降雨 $f_i(t)$ と流出 $f_o(t)$ をそれぞれ次のように変換し、

$$\left. \begin{aligned} f'_i(x) &= [f_i(t)]^m \\ f'_o(x) &= [f_o(t)]^n \end{aligned} \right\} (2)$$

f'_i と f'_o ($n \equiv 1$)との間の線型性を coherence により調べてみた結果が同じく図-1に記入されている。これによれば、 $m=2$ という変換により2つの現象の線型性が遙かに良くなることがわかる。ところで、こうした傾向は生々までの水文資料からもある程度知ることが出来る。強い降雨があり、しかもそれに先立つめる数日間降雨がない場合には、その降雨によるピーク流出量と先行流量の差の関係を両対数グラフに目盛ると図-2のように $f_o(x) \propto f_i(t)$ ($n \equiv 2$)となり、式(2)において $m=2$ ($n \equiv 1$)とが強い相互相関を示すのとよく対応している。

4. 非線型変換による流出の予測：降雨の自己相関 $G_{ii}(\tau)$ および降雨流出の相互相関 $G_{io}(\tau)$ とあるとき、実際の流出量と予測値の差の2乗平均を最小にするという Wiener-Kolmogorov criteria によれば、最適予測関数 h_{opt} は次の Wiener-Hopf 方程式

$$G_{io}(\tau + \alpha) = \int_{-\infty}^{\infty} h_{opt}(\sigma, \alpha) G_{ii}(\tau - \sigma) d\sigma \quad (\tau \geq 0) \quad (3)$$

の解で与えられる。 G_{ii}, G_{io} を次のように展開して表わすと、

$$\begin{aligned} G_{ii}(\tau) &= \alpha e^{-\rho|\tau|} \\ G_{io}(\tau) &= \sum_{k=0}^n G_{io}^{(k)}(\tau) \\ G_{io}^{(k)}(\tau) &\begin{cases} = A_{ik}(\beta - \tau)^{\alpha_k} \exp\{+q_k(\tau - \beta)\} & (\tau < \beta) \\ = A_{ik}(\beta - \tau)^{\alpha_k} \exp\{-a_k(\tau - \beta)\} & (\tau \geq \beta) \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

式(3)の解、 $h_{opt}(\tau)$ はすでに前報において導いたように式(4)のようになる。

$$h_{opt}(\tau, \alpha) \begin{cases} = 0 & (\tau < 0) \\ = \frac{1}{K} \sum_k \left(1 - \frac{\alpha_k^2}{\rho^2}\right) G_{io}^{(k)}(t + \alpha) & (\tau > 0) \end{cases} \quad (5)$$

ここに $K = \int_{-\infty}^{\infty} G_{ii}(\tau) d\tau = 2\alpha/\rho$ ここで、 G_{ii}, G_{io} は降雨、流出に式(2)のような非線型変換を施したにも関わらずに、前報の理論にわずかの修正を要するだけで、降雨-流出現象の非線型性を考慮した予測が可能である。図-3はこの標にした非線型予測を行った場合の予測誤差の2乗平均 $\{(f_o(t) - \hat{f}_o(t))^2\}$ のスペクトルを示したもので、変換式(2)により予測精度が非常に増大を示している。

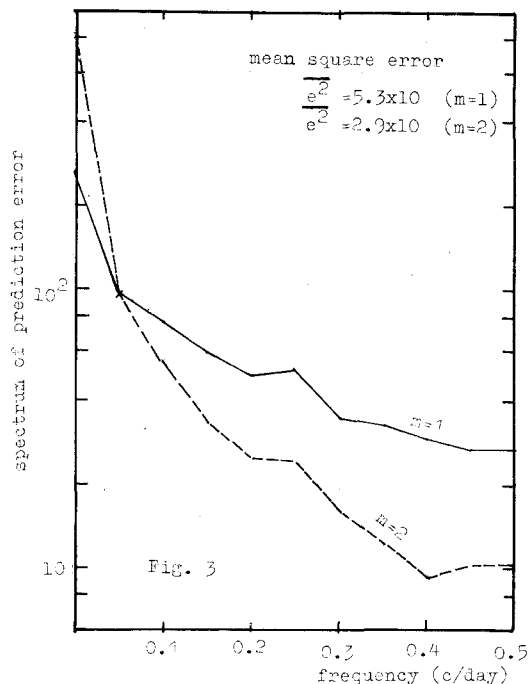


Fig. 3

1) "情報理論的水文学への序説", 東京工業大学 土木工学科 研究報告 No.4

2) "情報理論的水文学の一手法", オ12回水理講演会講演集