

九州大学 工学部 正会員 平野宗夫
九州大学 工学部 学生員 ○伊東尚規

1. まえがき

河川の流域における降雨-流出の変換システムを解析する流出解析の手法は、確率情報理論を導入して、流域をブラックボックスとして考える stochastic hydrology と、水理学的に追求しようとする dynamic hydrology の立場に大別される。従って、両者はその基盤において両極をなすものと考えられるが、現象が複雑な場合には、力学的にアプローチしてゆく場合でも stochastic な手法を用いなければならない部分が存在する。このことは、乱流理論の例をひくまでもなく明らかである。本論文では、dynamic hydrology の立場より特性曲線法により解の中に導入された到達時間分布 $\varphi(T)$ の解析に stochastic な手法を導入する。

2. 基礎式

河道要素が斜面要素にはべて無視されるような山地小流域における降雨-流出の関係式は、前報¹⁾において、特性曲線法を用いて導かれている。それによると時刻 t における流出量は次式で与えられる。

$$Q(t) = A \int_0^{\infty} \varphi(T) R(t, T) dT \quad (1)$$

ここで

$$R(t, T) = P \int_0^T r_e(t-\tau) d\tau / \left\{ \int_0^T \int_u^T r_e(t-\tau) d\tau \right\}^{\frac{1-P}{P}} du$$

T は到達時間、 $\varphi(T)$ は T の確率密度関数、 A は流域面積、 P は定数で運動の式に Manning 式を用いたときには $P=0.6$ となる。ここでは、運動の式に Darcy 則を用いた場合 ($P=1$) を考え、(1) 式を次式に変形する。

$$Q(t) = A \int_0^{\infty} \frac{\varphi(T)}{T} \left\{ \int_0^T r_e(t-\tau) d\tau \right\} dT \quad (2)$$

$$= A \int_0^{\infty} k(\tau) \cdot r_e(t-\tau) d\tau \quad (3) \quad \text{ここに } k(\tau) = \int_{\tau}^{\infty} \frac{\varphi(T)}{T} dT$$

(2) 式において、到達時間 T の分布形 $\varphi(T)$ が与えられると $Q(t)$ は計算できるから、この流出解析においては $\varphi(T)$ をどのように評価するかが問題となってくる。

3. Simplex 法の導入

$\varphi(T)$ をブラックボックスとして、統計的に最適な $\varphi(T)$ を求めるのだが、前報¹⁾にもあるように最小自乗法を用いては、 $\varphi(T)$ が正と負の間を振動して、物理性のある値が得られない。よって、線形計画で用いられている Simplex 法という stochastic な手法を用いる。そこで、行列表示した (2) 式に Simplex 法を適用して、負の値を取らない $\varphi(T)$ を求める。詳細は前報¹⁾を参照されたい。

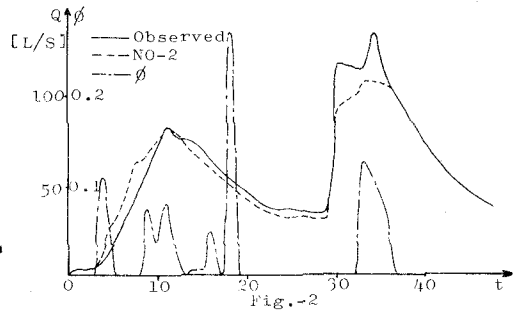
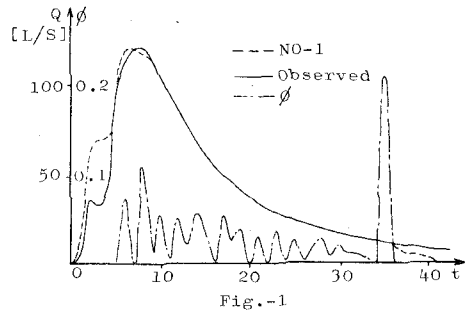
$$Q = A R E \bar{x} + Z, \quad \bar{x} \geq 0, Z \geq 0 \quad \text{なる制限下で目的関数 } g = \int_m Z$$

を最小にする $\bar{x}$ を求める。

4. 到達時間分布 $\varphi(T)$ の評価

(1) 式は、 $\varphi(T)$ を核関数、 $R(t, T)$ を入力、および $Q(t)$ を出力とする応答関係を表わしており、線形の場合は (3) 式から $k(\tau)$ を単位図とする線形応答関数モデルと一致する。そこで、竜口理水試験場で測定された

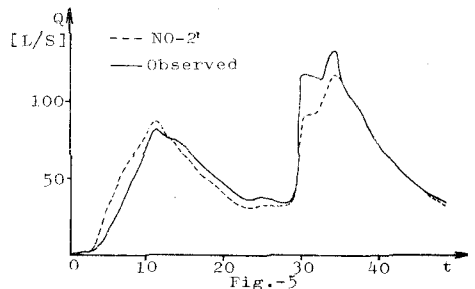
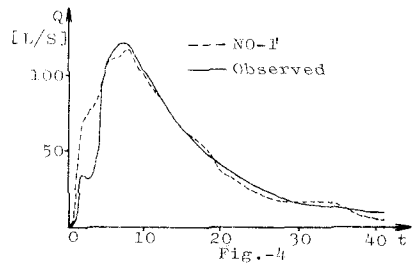
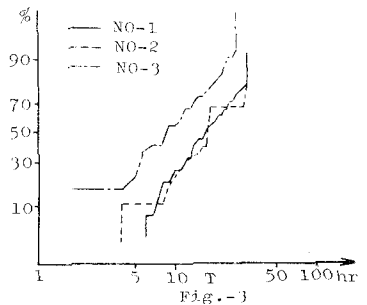
3種類{(NO-1), (NO-2), (NO-3)}の洪水について、上で述べた Simplex法を用いて、 $\varphi(T)$ を求めた。NO-1, NO-2はピーク流量が約120%の同規模の洪水、NO-3はピーク流量が約520%で、前者より大きな規模。Fig-1とFig-2は、NO-1, NO-2それぞれの $\varphi(T)$ と、 $\varphi(T)$ を使って求めた流出量である。NO-1, NO-2の $\Sigma\varphi(T)$ は1.0と0.9998であり、求めた $\varphi(T)$ を使って計算された流出量はどちらとも、実測値とかなり一致している。しかし初期流出量が実測値と多少ずれているのは、計算を行なう際に時刻たぐりにおいて、有効雨量 $Re=0.0$ と仮定するためと考えられる。Fig-3は求めた $\varphi(T)$ をHazen組上にプロットしたものである。NO-1, NO-2の $\varphi(T)$ はどちらも標準偏差 $\sigma=2.2$ の対数正規分布をなしている。しかし、ピーク流量規模の大きいNO-3の $\varphi(T)$ は、 σ は同じ値をとるが、 T の中央値は小さくなる。平野によって山地斜面における到達時間分布は、 $\sigma=2.2$ の対数正規分布をなすとされていることと一致する値が求められた。このこと



から、同規模のピーク流量をもつ洪水については、同一地域においては固有の $\varphi(T)$ が存在すると考えられる。そこで、同規模の洪水であるNO-1, NO-2について、NO-2で求めた $\varphi(T)$ を用いて、NO-1の流出量(NO-1')を計算し、NO-1で求めた $\varphi(T)$ を用いて、NO-2の流出量(NO-2')を計算した。その結果をFig-4とFig-5に示す。NO-1', NO-2'とも実測流量とかなりの一致がみられる。しかし、NO-2の $\varphi(T)$ を用いて、NO-3の流出量を計算したがピーク流量付近が実測流量との間に大きな差がみられた。このことは、単位図法が同程度の降雨を対象とする場合は有効であるが、一般に降雨強度が大きくなるにつれて、単位図のピークが大きくなる傾向があるということをよく表わしている。

5. あとがき

本論文では線形の場合を対象にして、 $\varphi(T)$ をSimplex法で解析したが、今後はこれを非線形の場合にまで拡張してゆきたい。また、これまでの計算から、Simplex法による解析には限界があると思われるので、さらに適切な手法を検討してゆきたい。



参考文献

- 1) 平野・城戸：山地における流出機構とその特性。
西部支部研究発表会講演集（昭和52.2）
- 2) 平野・木川：山地河川の流出過程について。
第30回土木学会年講（昭和50.1）