統計的単位図の簡易推定法とその応用

京都大学工学部　正員　工博　石原藤次郎
京都大学工学部　正員　工修　高棹琢馬
京都大学大学院　学生員　○池渕周一

1．はしがき

長期間の流出解析は水利用計画上重要である。本研究は降水，流量を時系列的にとらえるとともに、流出変換系を定常、線形化して、統計的単位図（最適応答関数）を求め、この解析法を吟味するとともに、統計的単位図の簡易推定法を提案するものである。

2．統計的単位図（最適応答関数）

変換系を定常化するために、季節単位（冬(W);12～2月，春(Sp);3～5月，夏(Su);6～8月，秋(F);9～11月）にわけ，また線形化のために、非線形特性の強い表面流出成分を除去した。すなわち日降水系列から120mm以上を除き[1]，流量系列から中間流出の最大値[2]を日流出高に換算し、それ以上の日流出高を除去した。長期間流況を支配する成分が中間流出と地下水流出の2成分であることを考えると、こうした表面流出の除去は妥当であろう。

統計的単位図は計算流量$Q^*(i)$と実際の流量$Q(i)$との誤差の測度として対象期間n日間の平均2乗誤差を用い、それを最小にするようなオペレータ$h(k)$で与えられる。すなわち

$$F = \underset{h(k)}{\mathrm{Min}} \sum_{i=0}^{n} \left[Q(i) - Q^*(i) \right]^2 \tag{1}$$

系が定常線形化できたと考えると

$$Q^*(i) = \sum_{k=0}^{m} h(k) \cdot R(i-k) \tag{2}$$

ここに，mは降水が流量に影響を及ぼす日数で30日をとった。(1),(2)より結局

$$\Phi_{12}(j) = \sum_{k=0}^{m} h(k) \cdot \Phi_{11}(j-k) \tag{3}$$

の関係が得られる。これはWiener-Hopf方程式の離散的表現で$\Phi_{11}(j)$，$\Phi_{12}(j)$はそれぞれ降水の自己相関関数，降水と流量の時差相関関数である。

3．統計的単位図の簡易推定法

$h(k)$は(3)からわかるように$\Phi_{11}(j)$を係数とし，$\Phi_{12}(j)$を定数としたm元連立一次方程式を解くことによって求められるが、電子計算機の利用なしでは困難である[3]。そこで$\Phi_{11}(j)$が$\Phi_{11}(0)$以外ではほぼ一定であることを利用して$h(k)$を求めよう。$\Phi_{11}(j)$を図-1のように近似すると、$h(k)$は簡単に次式で表現される。

$$h(k) = \frac{\Phi_{12}(k) - k \cdot a}{a - b} \tag{4}$$

ここに，$b = \{n$日間の降水の平均値$\}^2$，

$k = \sum_{k=0}^{m} h(k)$　は流出率に対応し，n日間の全降水量と全流出量の比でもって推定することができる。以上のようにすれば統計的単位図は時差相関関数$\Phi_{12}(k)$から容易に算出できる。

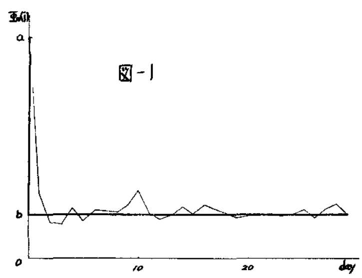

図-1

4．由良川流域への適用と考察

A．Wiener-Hopf方程式の数値解と簡易推定法の比較

図-2は両者を比較したものであるが、かなりの一致を示し，降水系列が定常ランダム現象とみなせる場合には，こうした簡易法によって，$h(k)$が容易に推定できることがわかった。

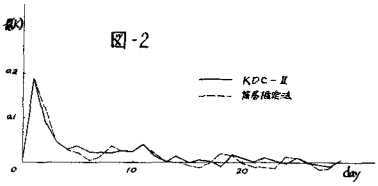

図-2

図-3は角流域（流域面積556Km²）のFの$h(k)$を示したものである。年ごとに$h(k)$が異なり，とくにピーク値$h(1)$はかなり異なっている。こうした傾向は他の地点，年および季節においてもほぼ同様である。これは定常性と非線形成分の分離に検討すべき点があることを意味している。

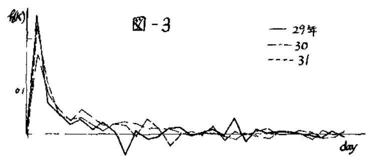

図-3

B．入力と系の定常性について

系が定常であるためには，少なくとも入力である降水系列が定常であることが必要である。降水系列の定常については若干の非定常性も考えられるが、自己相関関数をみるかぎり定常であると考えてよい。しかし入力が広義の定常過程であるとしても降水強度，継続時間などにより土湿状態などの流出に影響を及ぼす要素が時間的に変動し，系が非定常性をもつ点が指摘できる。この点は、とくに中間流出に関して考えられることである。さらに、森林伐採，土地造成，取水などの系の人為的改変も非定常化の原因となろう。

C．系の非線形とその分離について

地下水流出に関しては，その低減特性からもわかるように線形性が成り立つが，中間流出にはA層内の流れと水みち流下があり，前者は線形であっても後者は非線形特性をもち，準線形性であると考えられる。したがって、水みち流下が卓越するところでは非線形であろう。しかし通常は，線形近似が十分成りたつと考えてよい。問題は非線形成分の分離である。出力である流量系列からの非線形分の分離は妥当であろうが，降水系列から一様に120mmで非線形分を分離することに問題がある。実際現象においては120mm以下で分離すべきかもしれないし，また地表面流の生起が土湿状態，降水の時間分布などによりかなり変動することを考えると120mmで一様分離するだけでは十分に非線形分が除去されているとは考えられない。さらにSu，Fにおいては，蒸発散が卓越し，蒸発散と降水は線形関係ではないから、その点も考慮する必要があろう。またW，Spは融雪流出が卓越し，降雨流出とかなり違った流出機構をもつものと思われる。

5．結語

統計的単位図の簡易算法とその問題点について述べたが、今後は統計的単位図をピーク値，ピーク時間，基長で表現できるようにするとともに，中間流出を中心として系の確率過程をより現実化し，日流量がより十分な精度で予測できるようにしたい。

参考文献　1)，2) 石原藤次郎，石原安雄，高棹琢馬，頼千元；'由良川の出水特性に関する研究'　京大防災研究所年報

3) 石原藤次郎，高棹琢馬，池淵周一；'降水と流量の長期的相互関係に関する研究'，土木学会第22回年次講演会