

山梨大学工学部 正 員 砂田憲吾
大学院 学生員 ○市川良輔

1. はじめに

降雨-流出系を *lumped system* として扱う立場からの非線型流出解析法には、貯留関数法、タンクモデル、非線型応答理論による方法などがある。しかしながらこれらの方法を流量資料の不十分な流域に適用して流出推定や予測を行うことは一般に困難であり、総合貯留関数が提案されて以後も、貯留関数のパラメータ K 、 P と流域特性との関係を得るべく考察が続けられてもいる。本報告では、流出の非線型性を考慮しながら、そこに表われるパラメータが流域特性をより反映し得る形式のモデルについて検討しようとするものである。従来指摘されてきた降雨-流出系の非線型性は、一部に必ずしも明確でない浸透成分を除外しながらも、降雨全体-流出全体に関するものである。ここでは、流出の非線型性が各遅れ成分過程に關与する降雨の分離則にあり、各流出成分は線型で扱えると考え、系全体を非線型モデルとして構成しながら、各遅れ成分系への降雨の配分過程により流域特性を評価する新たな試みについて考察した。本モデルは各遅れ成分系の線型性、降雨の水平多段分離など大きな仮定が導入されているが、前者については、例えば *Pilgrim*¹⁾ が Q_{max} の大きな領域で流下時間がほぼ一定となる測定結果から線型を前提とし得る可能性を示唆している。

2. 成分分離モデル

図-1のような降雨について考える。簡単のために、いま、2つのパラメータで降雨を分離すると斑点部は、ほぼ一定の値をいつも満たしているが、斜線部は、若干、不規則性が増加している。空白部になると全くの不規則である。この点に注目しつつ、遅れの異なった3つの流出系と対応させると、図-2のように、斑点部は、常に流れている基底流量のような流出成分、斜線部になると、それよりも若干、遅れの小さい流出成分、そして空白部は、非常に早い流出成分となる。一般にはこれを多段階に設定することを考える。

ここで、流出が3つの独立な線型遅れ系 $h_1(t)$ 、 $h_2(t)$ 、 $h_3(t)$ の合成により表わされるとすると流出量 $q(t)$ は、降雨を図-1のように Y_{01} 、 $Y_{01}+Y_{02}$ というパラメータによって分離し、その各々を入力とした流出系の和によって次式のように表せる。

$$q(t) = \int_{-\infty}^{\infty} F(t, \tau) d\tau \quad (1)$$

但し、

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

$$t < 0; \quad h_i(\tau) = 0$$

3. モデルパラメータと流域特性

ある遅れ成分系 i への降雨配分は Y_{01} 、 Y_{02} 、 $\dots$ 、 Y_{0i} により制御される。従来、流出成分は表面流出・(中間流出) 地下水流出に大別され、実用上は比較的 *rough* に扱われてきた。表面流出と云っても流域内における斜面・河道特性により種々に主起する比較的早い遅れ成分の集合と理解するのが妥当と考えられ、他方(中間流出)・地下水

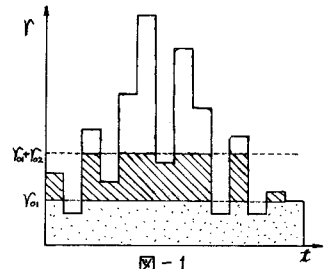


図-1

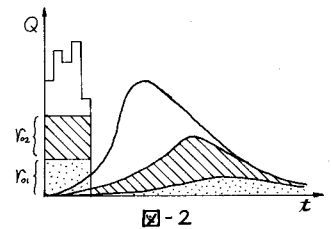


図-2

流出においては段階的遅れの設定は、より自然な考え方と云える。以上よりここで用いるモデルの多段階 Y_{oi} あるいはその分布はそのまま流域特性を表現し得ると考えられる。

一般に、遅れの構造には2種類考えられる。その一方は平面（距離）的な遅れであり、他方は鉛直構造に起因する遅れがそれである。例えば平面的により大きな流域（距離大）の場合は同じ流出成分でもより遅れは大きくなり、より浸透性の大きい流域は見掛け上類似の効果を示す。ここで各遅れ系を共通に設定して固定し、種々の流域と比較するとすれば、前二者の構造を含めた形で評価することになる。（図-3）

4. 適用例と考察

この流出成分分離モデルを、裏筑波試験地、祖父ヶ峰 ($A=0.16 \text{ km}^2$)、梓川試験地 (0.4 km^2)、美和試験地 (1.36 km^2) に適用した。その際、成分分離は8分割、7つのパラメタで行った。各遅れ系の線型応答関数にはΓ関数型の次式

$$f_i(\tau) = \frac{\left(\frac{1}{2\tau_i}\right)^n \tau^{n-1}}{(n-1)!} e^{-\frac{\tau}{2\tau_i}} \quad (2)$$

を用い、 $n=3$ とした。 $2\tau_i$ は系 i の遅れ時間を示しここでは $2\tau_i = 0.1, 0.5, 1.0, 2.5, 5.0, 10.0, 18.0, 36.0$ (hr) と定めた。（図-4）

成分降雨パラメタ Y_{oi} の同定は評価関数を $J = \sum (Q_{obs} - Q_{model})^2$ として、 $J \rightarrow \min$ とするよう勾配法により行った。

図-5、図-6はそれぞれ裏筑波、美和のパラメタ同定に基づく流出計算例を示し、両図には勾配法 iteration 回数との比較も併記されている。梓川も含めた計算結果から、本モデルが単なる流出モデルとしても有効な可能性を示している。

図-7は各流域における成分降雨パラメタの分布を表わしたもので、流域の違いにより特性が異なっていることが判る。特に分布のピークは面積の違いにより順次遅れが主じている。但し、梓川の場合は美和に比較して1/3以下の面積であるにも拘らず遅れの差は小さく、浸透性の大きい特性を持っていると云える。

5. おわりに

水平・鉛直の構造をまとめた遅れの理解は lumped な意味からは有益であるが、さらに物理的な解釈を進めるためには、それらの影響を固別に組込んだ形で議論する方が良い。この点は降雨の水平多段階分離の適否と共に今後の課題と考えている。

参考文献

- 1) Pilgrim, D.H.: Travel Times and Nonlinearity of Flood Runoff from Tracer Measurements on a Small Watershed, W.R.R. 12-3 (1976)
- 2) 吉川、砂田、カン：洪水流量遞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.283 (1979)
- 3) 四俣：洪水流量遞減曲線の解析、土木学会論文報告集、No.245 (1976)

