

熱帯性の河川流域の流出解析への逆探法の適用—序報—
Runoff Analysis of the River Basin in a Tropical Zone

東京工業大学 土木工学科 正会員 日 野 幹 雄
東京工業大学 土木工学科 正会員 長谷部 正 彦

要 旨

著者らは、流出解析の手法として流量時系列のみから流域の流出特性の同定、有効降雨の推定、それから降雨—流出系の非線型性の原因と考えられる降雨の分離則を推定する逆探法を提案し、この手法を我国の流域（雄物川、神流川、相模川、梓川）に適用して、降雨—流出系の流出構造を解析してきた。本報告は、日本のような温帯性気候の河川流域の流出機構とは異なる条件下の熱帯性の河川流域（タイ国・クワイヤイ川流域）への逆探法の適用の可能性を検討し、また、こうした流域の流出構造の推定把握を目的とする。

1. 逆探法の要点

逆探法の要点を下記に示す。

- ① 自己回帰係数およびコヒーレンス（降雨・流出量の両資料が整っている場合）から分離周期を推定し、片側作用の数値フィルターにより流量時系列を地下水流出、中間流出、表面流出の三成分に分離する。
- ② 分離した各時系列を白色雑音性の降雨（日降雨に比例する）により駆動される線型系と仮定し、各成分に自己回帰モデルを適用する。
- ③ 各流出成分の自己回帰係数から応答関数を推定する。
- ④ 上記の流出特性をもつ降雨時系列を逆推定する。
- ⑤ 最後に、逆推定された降雨時系列から、降雨—流出系の非線型性の原因と思われる降雨の分離則を推定する。

2. クワイヤイ川流域の地形および気候特性

a 地形

この流域の流域面積は、 $A = 10802\text{Km}^2$ であり、そして流域形状は、南北に長い形状をなしている。流域平均雨量は、この流域の中、下流部と上流部の2地点で降雨が観測されていて、それぞれに重みをつけて求められている。また、この流域は、山岳地帯にあって上流河道は急勾配をもち峡谷をなしている。

b 気候

この流域の気候は、タイ中央部と同様にモンスーンアジアの中でも比較的降雨少なく、年降水量は、1000 mm～2000 mm 程度である。気温の年変化は、季節風や雨期によって左右され、最暖月は雨期の始まる直前の4月・5月となる。雨季は、5月頃から10月頃までであり、最も雨の多い月は9月である。乾季は、11月頃から翌年の4月頃までである。

3. 熱帯性気候をもつ河川流域への逆探法の適用

本研究に用いた水文資料は、3ケ年の雨季の降水量と流出量の資料である。表1に解析年の水収支（年総降水量、年総流出量）を示す。

	No. 1	No. 2	No. 3
年総 降水量	1290 (mm)	1450 (mm)	1500 (mm)
年総流出量	4.70×10^4 (ton)	6.43×10^4 (ton)	5.54×10^4 (ton)

表－1 水 収 支

(a) 流出量の流出分離

分離する前の全流出量時系列に自己回帰モデルを適用して、その自己回帰係数により分離周波数 ($fc=0.1 \text{ cycle/day}$, $Tc=10 \text{ day}$) を求めた。この分離周波数は、日本の河川に比べて2倍位である。

fc が決定したので、下記式の後方作用の数値フィルターにより、地下水流出、表面・中間流出成分とに分離した。

$$y_1(t) = \sum_{k=0}^N w_k \cdot y_{t-k} \quad (1)$$

ここに、

$$w_k = \begin{cases} h(k \Delta t) & (k = 0, 1, 2, \dots, N) \\ 0 & (k = -1, -2, \dots) \end{cases} \quad (2)$$

$h(k \Delta t)$ は、 y に対しての後方作用のフィルターとなっている。 y は分離する前の流量時系列である。この結果、中間流出成分がかなり多い。これから判断すると、降雨は、一度、土中に浸透したのち、地質構造の高い透水性ときつい勾配のために、大部分が中間流出となると推定される。地下水流出分は、雨季の始めは少ないが、降雨期間の継続とともに徐々に増加していく傾向にある。分離された2成分に自己回帰モデルを適用する。地下水流出成分と中間流出成分に自己回帰モデルを適用した時の自己回帰係数つまり流域の流域特性を表-2に示す。自己回帰モデルの次数は、中間流出成分はAR(2)、地下水流出成分はAR(4)である。

地下水流出成分	中間流出成分
$a_1 = 2.5025$	$a_1 = 1.2966$
$a_2 = -2.4260$	$a_2 = -0.3899$
$a_3 = 1.2168$	
$a_4 = -0.2997$	

表-2 自己回帰係数

(b) 応答関数

自己回帰係数が推定されたので、下記の式より応答関数 ($h_0, h_1, h_2, \dots, h_m$) を求める。

$$\left. \begin{aligned} h_0 &= b_0 \beta^{-1} \\ h_1 &= (a_1 + b_1) \cdot \beta^{-1} \\ h_2 &= (b_2 + b_1 a_1 + a_2 + a_1^2) \cdot \beta^{-1} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ここに、 $b_1 \neq 0$, $b_0 = b_2 = b_3 = \dots = 0$, β は、単位換算係数, $a_1, a_2, \dots, a_p$ は、自己回帰係数である。この結果、地下水流出は、流出しはじめてから、10日間位でピーク流量に達し、50日間位で全て流出する。中間流出は、1~2日間位でピーク流量に達し、20日間位ですべて流出する。

温帯性の気候をもつ我国の河川(神流川、雄物川)の応答特性と比較すると、表面・中間流出成分は、5日間位で流出し、地下水流出成分は、10日間位で流出している。この流域特性の違いは、流域面積の差によるものと思われる。

(c) 流域特性の不変性

1つの流域において、地下水流出成分の自己回帰係数または応答特性は、降雨強度や年度のいかんにかかわらず不変であると考えられる。実際に我国の適用河川では、地下水流出成分の応答関数是不変であった。そこで、一年目の流出時系列に関して求められた地下水流出成分の自己回帰係数を用いて、2年目、3年目の地下水流出成分から降雨時系列を逆推定し、その降雨時系列から再び流量時系列を発生する。この計算された流量時系列と実測の分離した地下水流出時系列を比較すると2年目、3年目とも、ともに両者は、一致

していた。このことはタイ国のクワイヤイ川流域でも、強雨強度や年度のいかんにかかわらず、地下水流出の応答関数は、不変であることが理解できる。

(d) ARモデルの検証

タイ国のクワイヤイ川流域では、流出成分は、地下水流出成分と中間流出成分の2成分に分離された。この2成分に適用された自己回帰モデルの妥当性を検討する。

まず、分離された成分に自己回帰モデルを適用して、白色雑音と考えられる降雨時系列を逆推定する。次に、適用した自己回帰モデル過程を移動平均モデル過程に変換して、さきに逆推定された降雨時系列を用いて流量時系列を計算する。この流量時系列($\hat{y}_t$)と実測の分離された流量時系列が一致していれば、このモデルは、妥当であるということが理解できる。本解析では、両成分について、モデルは妥当であった。つまり、地下水流出成分は、AR(4)、中間流出成分は、AR(2)である。両成分の計算された流出時系列を $\hat{y}_1$ (地下水流出時系列)、 $\hat{y}_2$ (中間流出時系列)とすると計算された全流出時系列は、次のようになる。

$$\hat{y} = \hat{y}_1 + \hat{y}_2 \quad (4)$$

本列では、実測の流出時系列 y と上記の $\hat{y}$ の比較を図-1に示す。

(e) 逆推定降雨

逆推定降雨(=有効降雨)($\hat{x}$)、地下水流出に寄与する降雨($\hat{x}^{(1)}$)、中間流出に寄与する降雨($\hat{x}^{(2)}$)の関係は、次式で示される。

$$\hat{x} = \hat{x}^{(1)} + \hat{x}^{(2)} \quad (5)$$

ここに、

$$\left. \begin{aligned} \hat{x}^{(1)} &= \rho^{(1)} \cdot \hat{\varepsilon}^{(1)} \\ \hat{x}^{(2)} &= \rho^{(2)} \cdot \hat{\varepsilon}^{(2)} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$\rho^{(1)}, \rho^{(2)}$ は、地下水流出、中間流出における単位変換係数、 $\hat{\varepsilon}^{(1)}, \hat{\varepsilon}^{(2)}$ は、各サブシステムの白色雑音で日降雨に比例する。図-2に実測の有効降雨(観測降雨(X)に流出率(f)を乗じた降雨)と逆推定降雨($\hat{x}$)の比較を示す。

(f) 降雨の分離則

逆推定降雨($\hat{x}$)と地下水流出に寄与する降雨($\hat{x}^{(1)}$)より、降雨の分離則が推定できる。

この結果、タイ国のクワイヤイ流域の場合にも、我国と同様に、雨季の始めには、すなわち、降雨の少ない場合には、降雨の一部分が地下水流出成分となり、降雨が多くなると一定の飽和傾向に近づいている。

おわりに

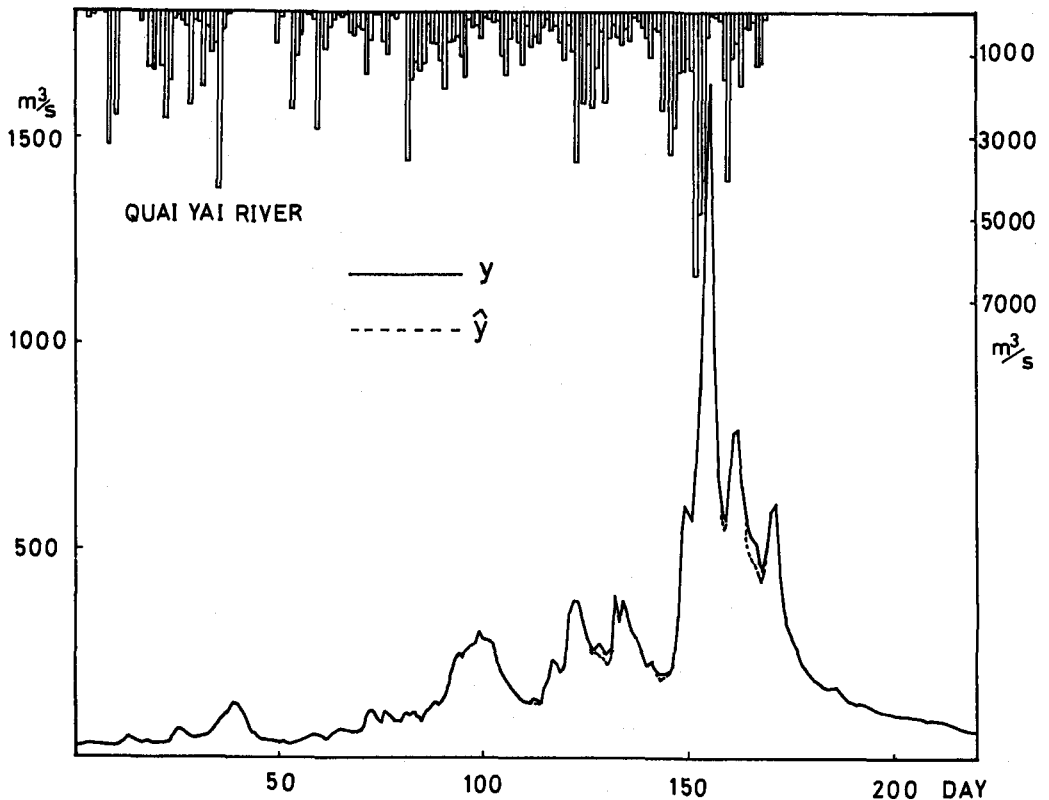
熱帯性の河川流域(タイ国クワイヤイ川流域)の流出解析に、著者らが提案した逆探法の適用を試みた。この結果、この方法で逆推定された有効降雨と実測の有効降雨とは、かなり一致し、この逆探法が、およそ10000 Km²のような大きな流域で、かつ熱帯性の河川流域にも有効な方法であることが示された。

流出構造について検討してみると、クワイヤイ川流域では、中間流出成分が多いと推定される。この理由としては、地質構造の高い透水性ときつい勾配によるものと考えられる。

参考文献

- (1) 日野幹雄・長谷部正彦：流量時系列のみによる降雨時系列、流域の流出特性および流出分離の推定について、その1、第23回水理講演会論文集、1979、2月

- (2) 日野幹雄・長谷部正彦：流量時系列のみによる降雨時系列，流域の流出特性および流出分離の推定，その2，第24回水理講演会論文集，1980，2月
- (3) 日野幹雄・長谷部正彦：流量時系列のみによる流出解析について，土木学会論文報告集，第300号，1980，8月
- (4) Hino, M. and M. Hasebe: Rainfall time series estimation runoff filtering, IAHR, 1981, Feb.
- (5) 日野幹雄・砂田憲吾：熱帯モンスーン地域における流出特性の解析，土木学会論文報告集，第267号，1977，11月
- (6) 畠山久尚：アジアの気候—世界気候誌第1巻一，古今書院，1964



図—1 実測流出時系列と推定流出時系列の比較

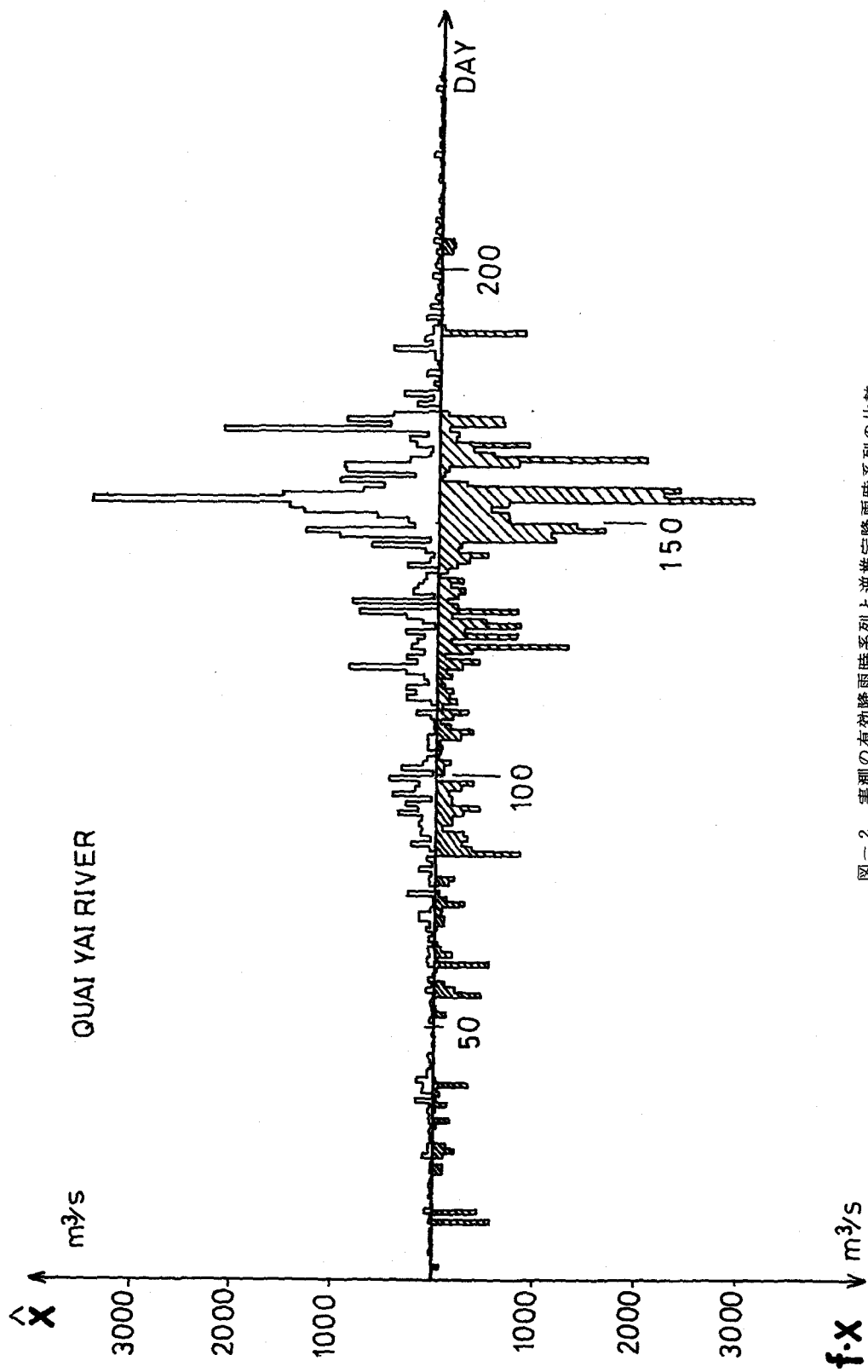


図-2 実測の有効降雨時系列と逆推定降雨時系列の比較