

熱 帯 性 河 川 流 域 の 応 答 特 性 に つ い て
(Response Characteristics of a Tropical River Basin)

宇都宮大学 工学部 正 員 長谷部 正彦
東京工業大学工学部 正 員 日 野 幹雄

要 旨

著者らは、熱帯性の河川流域の流出解析へのフィルター分離AR法（逆深法）の適用の一步としてタイ国のクワイヤイ川流域を解析した。本報告は、クワイヤイ川の解析例を3例と増やし、かつ、熱帯性流域の特徴をもつと思われる比国のパンパンガ川にもフィルター分離AR法を適用して、熱帯流域の河川の流域特性（応答特性）を検討することを目的とする。

1. フィルター分離AR法の要点

- フィルター分離AR法の要点を以下に示す。
- ① 自己回帰係数から分離時定数 (Tc) を推定し、数値フィルターにより流量時系列を地下水、中間流出の二成分に流出分離する。
 - ② 流出分離した各成分に自己回帰モデル (ARモデル) を適用する。
 - ③ 各流出成分の自己回帰係数 (AR係数) から流域の流域特性である応答関数を求める。
 - ④ 応答関数から有効降雨時系列を逆推定する。

2. 解析対象流域の水文特性

流出解析の対象流域は、タイ国のクワイヤイ川 (A=10800 km²) 流域と比国のパンパンガ川 (A=7849 km²) 流域で解析単位は日単位である。クワイヤイ川流域では、年降水量は、1000 mm~2000 mm程度で、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・5月となる。両流域とも雨季、乾季の季節をもっている。パンパンガ流域には、二つの大きい沼があるためピーク流量は意外に小さい。

3. 流出分離

流出分離する前に観測流量時系列に自己回帰モデルを適用して、この自己回帰係数から分離時定数 (周波数) を求める。流出分離の時定数は、クワイヤイ川流域では、Tc=10日、パンパンガ川流域では、Tc=5日である。なお、流出分離は、次式で与えられる。

ここに、
$$y^{(1)}(t) = \alpha \sum_{k=0} W_k \cdot y(t-k) \dots\dots\dots (1)$$

$$W_k = \begin{cases} C_0 \exp(C_1/2 \cdot \tau) \sinh(\sqrt{C_1^2/4 - C_0} \cdot \tau) / \sqrt{C_1^2/4 - C_0} & (\tau \geq 0) \\ 0 & (\tau < 0) \end{cases} \dots\dots\dots (2)$$

$$\begin{cases} C_0 = (\delta/T_c)^2 \\ C_1 = \delta^2/T_c \end{cases} \dots\dots\dots (3)$$

y⁽¹⁾(t); 地下水流出時系列、 α; 重み係数 (≠ 1.0) , δ; 減衰定数 (= 2.5)
両流域の流出分離図を図-1、(a)、(b) に示す。

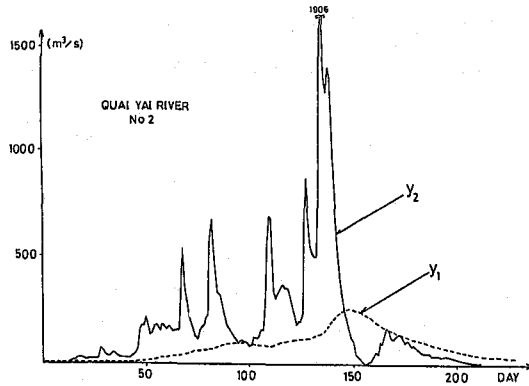


図-1(a) クワイヤイ川流出分離図

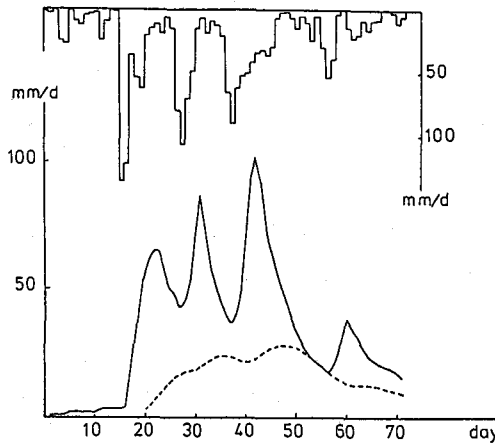


図-1(b) パンパンガ川流出分離図

4. 流域の応答特性

日単位の降雨は白色雑音と比例すると考えられる。そこで、流出分離した二成分（地下水流出成分、中間流出成分）の各々に自己回帰モデルを適用する。

$$y^{(\ell)}(t) = a_1 y^{(\ell)}(t-1) + a_2 y^{(\ell)}(t-2) + \dots + a_n y^{(\ell)}(t-n) + \xi_i^{(\ell)} \dots \quad (4)$$

ここに、 $\xi_i^{(\ell)}$: 日降雨に比例する白色雑音。

サフィックス ℓ は、各流出成分を表す（ $\ell=1$; 地下水流出成分, $\ell=2$; 中間流出成分）

式(4)の自己回帰モデルの自己回帰係数 $a_i^{(\ell)}$ から応答関数 $h_i(\tau)$ を次式で求める。

$$\left. \begin{aligned} h_0^{(\ell)} &= 0 \\ h_1^{(\ell)} &= 1/\gamma^{(\ell)} \\ &\vdots \\ h_m^{(\ell)} &= \sum_{j=1}^n h_{m-j}^{(\ell)} \cdot a_j^{(\ell)} \quad (n > 1) \end{aligned} \right\} \dots \quad (5)$$

ここに、 $\gamma^{(\ell)}$; 単位変換係数

$$\gamma^{(\ell)} = \frac{2 \quad 4 \times 3.6 = 86.4}{A \text{ (km}^2) \cdot (1 - a_1^{(\ell)} - a_2^{(\ell)} - \dots - a_n^{(\ell)})} \dots \quad (6)$$

A ; 流域面積, $a_1^{(\ell)}$; A R 係数

(a) 地下水流出系の応答特性

クワイヤイ川流域とパンパンガ川流域の地下水流出系の応答特性を図-2(a), (b)に示す。

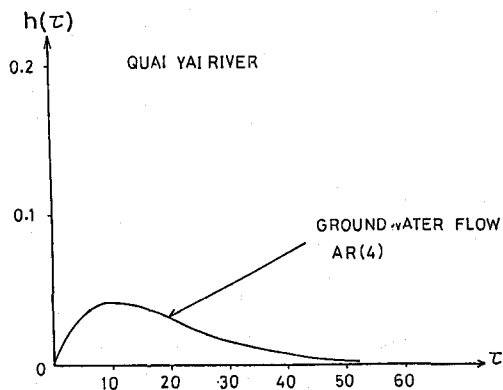


図-2(a) クワイヤイ川応答関数（地下水系）

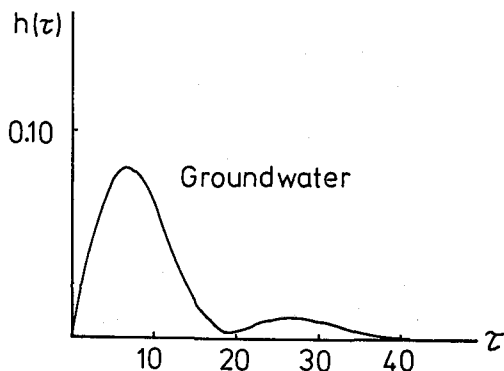


図-2(b) パンパンガ川応答関数（地下水系）

タイ国のクワイヤイ川の場合には、雨季の3ケ年を解析した結果、地下水流出系の応答特性は、解析年度に依らず、不変性をもつことが明らかになった。パンパンガ川の例では解析年が一年のために、応答特性の不変性を検討することは出来ないが、タイ国のクワイヤイ川の地下水流出系に比べると一例ではあるが、降雨に対する流出の応答が速いように思われる。

(b) 中間流出系の応答特性

両流域の中間流出系の応答特性を図-3(a)・(b)に示す。

クワイヤイ川流域の中間流出系の応答関数は、3ケ年の解析（No 1, No 2, No 3）であり、パンパンガ川は、一ケ年の解析例である。クワイヤイ川の中間流出系の応答関数から流域の応答特性を推定すると、細かくみれば、年度ごとに、応答関数の形状が異なっていると思われるが、全体的にみると中間流出系の流域の応答特性は地下水流出系の応答特性と同様に、解析年度によらずほぼ不変であることが明らかになった。

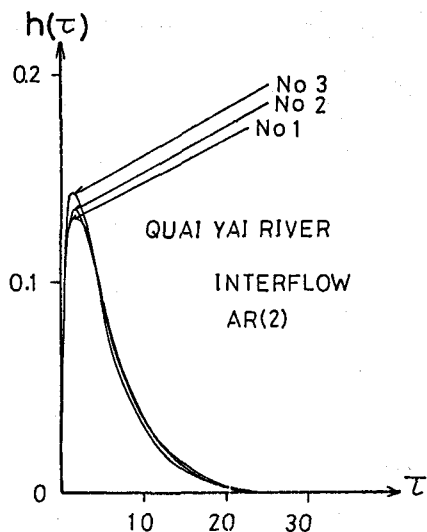


図-3(a) クワイヤイ川応答関数（中間流出系）

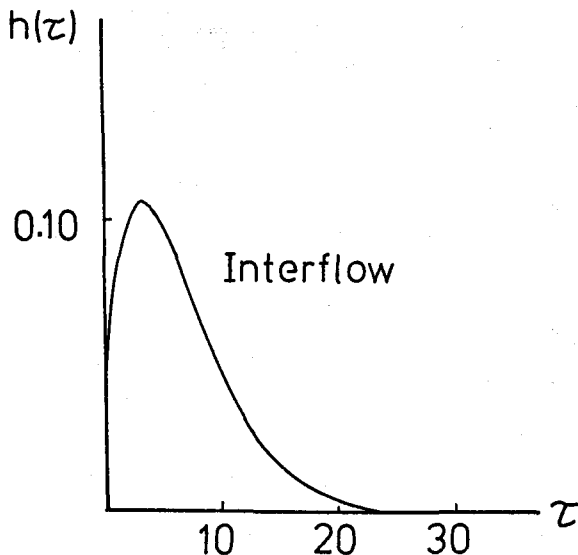


図-3(b) パンパンガ川応答関数（中間流出系）

一方、パンパンガ川流域は、一ケ年の解析しかしていないが、流域特性をみると3日位にピーク流量に達し、その後、20日位で、ほぼ流出し終えることが推定できる。また、クワイヤイ川の間流出系の応答特性と比較すると、ピーク値は異なるが流出し終える時間はほぼ等しい値となっている。

5. 有効降雨量の算定

各流出成分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、各成分に自己帰帰モデル式（4）を適用した。式（4）を書き直すと次式になる。

$$\xi_i^{(L)} = r^{(L)} \{ y^{(L)}(t) - a_1^{(L)} y^{(L)}(t-1) - a_2^{(L)} y^{(L)}(t-2) - \dots - a_n^{(L)} y^{(L)}(t-n) \} \dots\dots\dots (7)$$

ここに、

$$\xi_i^{(L)} = \hat{x}_i^{(L)} / r^{(L)} \dots\dots\dots (8)$$

$\xi_i^{(L)}$; 白色雑音, $\hat{x}_i^{(L)}$; L 成分に寄与する降雨, $r^{(L)}$; 前出

式（8）より各流出成分に寄与する降雨が推定されるので有効降雨量は、すべての流出成分の和として次式で推定できる。

$$\hat{x}_i = \hat{x}_i^{(1)} + \hat{x}_i^{(2)} \dots\dots\dots (9)$$

逆推定有効降雨時系列（ $\mathcal{M}1$, $\mathcal{M}2$ ）を図4-1(a), (b)に示す。

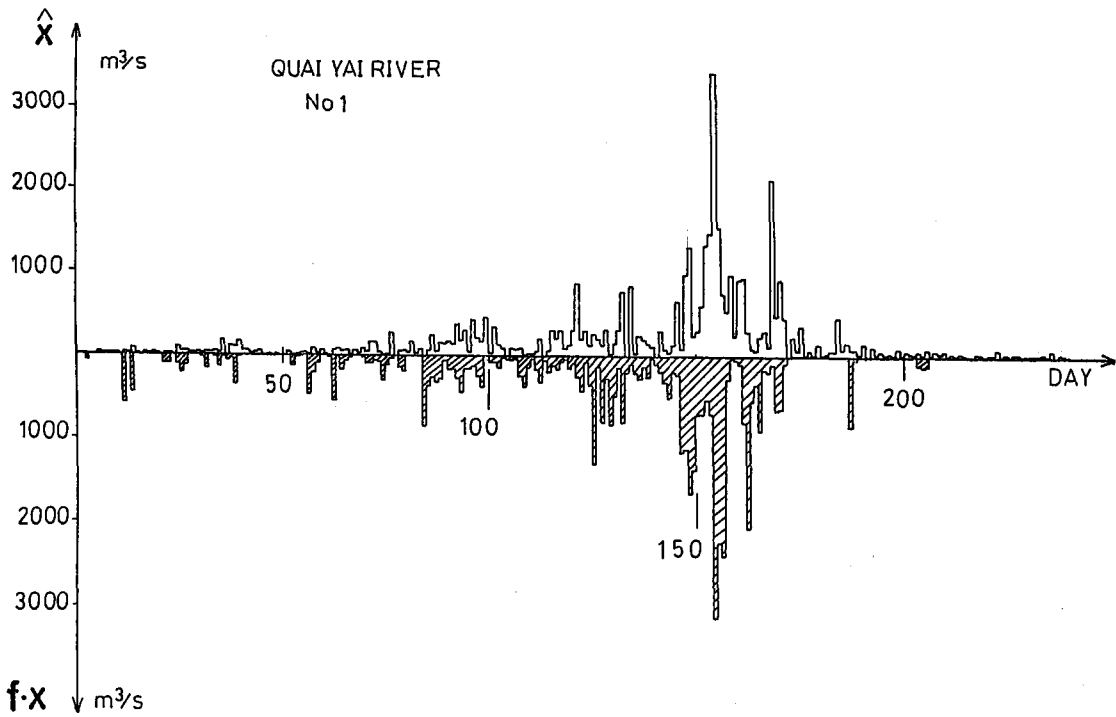


図-4(a) 逆推定有効降雨時系列と実測有効降雨時系列（ $\mathcal{M}1$ ）

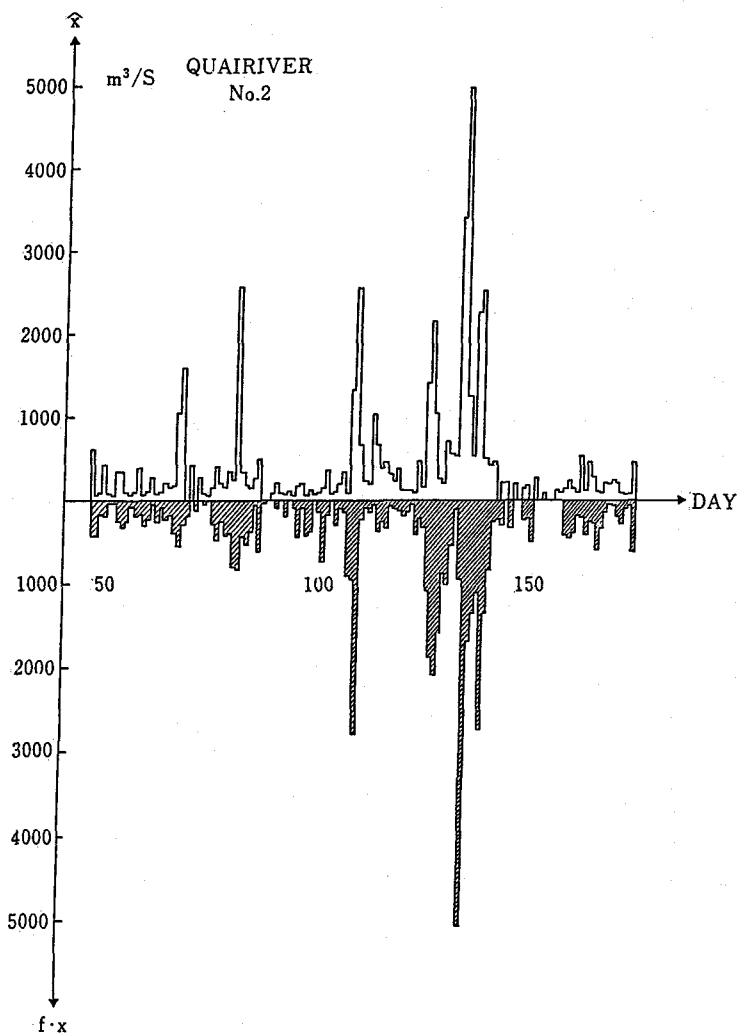


図-4(b) 逆推定有効降雨時系列と実測有効降雨時系列 (No. 2)

両解析例 (No. 1, No. 2) と有効降雨時系列 (逆推定降雨) と実測有効降雨時系列 ($f \cdot X$; f ; 流出率, X ; 観測降雨時系列) とが、ほぼ一致している。

又、ここには示さないが上記の各成分の自己回帰モデルの妥当性の検討を行って妥当性を確かめている。

結 論

下記に得られた結論を述べる。

- (1) タイ国のクワイヤイ川の3ケ年の解析結果から、地下水流出系の応答特性 (単位図) は、解析年度によらず、不変であった。一方、中間流出系の応答関数も、ほぼ同じ様な形の単位図を示し、流域特性が地下水流出系と同様、年度によらず似かよっていることが示された。

(2) パンパンガ川の地下水流出系とクワイヤイ川の地下水流出系の応答関数 比べると、パンパンガ川の応答特性の方が降雨に対する流出の応答が早い。

(3) 両流域の中間流出系の応答関数から流域の応答特性を比較すると、ピーク流量は異なるが流出し終える時間は、両流域とも20日位である。この流出時間の同じ理由としては、両河川とも熱帯性の河川で、雨季及び乾季とがはっきりしていて雨季での降雨パターンが似ているためと推察される。

(4) タイ国のクワイヤイ川の有効降雨時系列をフィルター分離AR法で推定したが、観測有効降雨時系列とよく一致していた。

最後に、今後の課題としては、比国のパンパンガ川流域についても、解析年を増やして熱帯性の河川流域の流出構造を調べていく必要があると思われる。また、比国のパンパンガ流域の水文資料を提供してくれました熊本工業大学・教授・竹内俊雄先生に心から感謝を致します。

参 考 文 献

- (1) 日野幹雄・長谷部正彦：熱帯性の河川流域の流出解析への逆探法の適用一序報一，第25回水理講演会論文集，1981年，2月
- (2) 日野幹雄・長谷部正彦：フィルター分離AR法による非線系流出系の同定と予測（時間単位），土木学会論文報告集，第324号，1982年8月
- (3) Mikio Hino and Masahiko Hasebe ; Runoff Analysis of Tropical River Basin : 4-th IAHR International Symposium on Stochastic Hydraulics , 31. July - 2. August , 1984
- (4) Hydrological Data Book on The Pampanga River Basin , Philippines Major Floods , October 1977 , Japan International Cooperation Agency.

なお、本研究は、昭和58年科学研究費補助金（一般研究(B)）、研究課題「フィルター分離AR法と室内実験によるパーシャル・ソース・エイリヤ概念の実証的研究」、研究代表者：東京工業大学・工学部・教授・日野幹雄、の補助を受けました。