フィルター分離AR法による 熱帯河川流域の流出解析と流出特性について

RUNOFF ANALYSIS BY FILTER SEPARATION AR METHOD AND RUNOFF CHARACTERISTIC IN THE TROPICAL BASIN IN THAILAND

川島 隼¹·鈴木 善晴²·長谷部 正彦³

Jun KAWASHIMA , Yoshiharu SUZUKI and Masahiko HASEBE

¹学生会員 宇都宮大学大学院 工学研究科エネルギー環境科学専攻 (〒 321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2) ²正会員 工修 宇都宮大学助手 工学部建設学科建設工学講座 (〒 321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2) ³正会員 工博 宇都宮大学教授 工学部建設学科建設工学講座 (〒 321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2)

Filter separation AR method has been carried out on the daily hydrologic data of watershed of the Pin River of A=3,850km² in Thailand. Daily runoff time series are separated into time series of interflow and groundwater flow by the coherence gap between rainfall and runoff and daily effective rainfalls is inversely estimated from the daily runoff data. We investigated the runoff characteristics of the Pin River, that is, paying attention to runoff ratios in monthly unit. Consequently, the main results are as follows.

(1) The storage volume of the watershed seems large for the forest because runoff ratio is small and the volume of ground water is small.

(2) The monthly runoff ratio changes about from 0.1 to 0.25 during the wet season in the Pin River in Thailand.

Key Words : Filter separation AR method, coherence, Runoff ratio, inversely estimated rainfall, runoff characteristics

1. はじめに

現在,タイなどの熱帯地方の河川流域では,降雨の 観測網が不足しており,観測精度の高い降雨データを 得るのが困難である.また,降水量の観測精度はあま りよくなく,それに比べると流域内に降雨を集水して 河川に出力される流量は精度が高い.

そこで,本研究ではタイ北部のピン川流域を対象に フィルター分離AR法¹⁾を用いて日単位流量観測データ から地下水流出と中間流出成分に流出分離を試み,有 効降雨量の逆推定を行う.推定された有効降雨から初 期損失等の流域特性を検討し,さらに,観測有効降雨 と逆推定降雨とにより,月単位での流出率を求め,熱 帯河川流域における流出特性を検討する.

2. フィルター分離 AR 法の要点

本報告の解析法であるフィルター分離 AR 法の要点 を以下に示す.

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. 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.

各流出成分の自己回帰係数 (AR 係数)から流域の流 域特性である単位図を求める.

単位図から有効降雨時系列を逆推定する.



図-1 タイ全体図 (左図) とデータ観測地点 (中央図) 及び解 析対象流域 (右図)

3. 解析対象流域及び流量データの概要

本研究における解析対象の流域図及び流量データの 観測地点を図-1 に示す.解析対象の流域面積は3,850 km²である.解析対象流域を流れる主要河川であるピ ン川はタイ北部,ミヤンマーとの国境近くの山を源流 として,チェンマイ市を新旧の東西に分けるように縦 断し,ナコンサワン県でワン川,ヨム川及びナーン川 と共にチャオプラヤー川に合流してシャム湾に注ぐ全 長740 km に及ぶ大河である.



図-2 メーチェーム郡での日平均降雨量の推移



図-3 ホートー郡,メーチェーム郡,チョームトーン郡及び ドーイタオ郡での月平均降雨量の推移

本論文では,ピン川流域沿いの4地点(ホートー郡, メーチェーム郡,チョームトーン郡,ドーイタオ郡)に おいて観測された1955年から1997年の降雨データ及 びメーチェーム郡における独立行政法人・土木研究所・ ユネスコセンター設立推進本部によって与えられた日 単位流量データを基に解析対象流域の流出解析を行う. 解析対象流域には3つの降雨観測所と1つの流量観測 所がある.

解析対象地点のメーチェーム郡の土地利用状態としては,森林が92.92%,畑が6.46%,水田が0.62%となっている.この流域は,主に森林地帯で覆われている.

4. 水文特性

次に,この流域の水文特性を述べる.メーチェーム 郡における1997年の日単位の降雨の季節変動を一例と して図-2に示す.この図から5月頃から9月末頃の期 間が,雨期であることがわかる.

ピン川流域沿いの4地点においては,解析年約50年間の平均の月平均降雨量は図-3に示すように,4地点いずれも5月の中旬頃から10月が雨期であり,9月に ピーク月雨量を迎えている.また年間総雨量について



図-4 ホートー郡における年間総流出量,雨期(5月~10月) 及び乾期の総流出量の推移



図-5 月平均流量 (上) と年間総流量 (下) の推移

は乾期、雨期、全雨量ともに、図-4 に示すようにやや 減少傾向にある.また,図-5 に月平均流量と年間総流 量の推移を示す.この図より,月平均流量については降 雨と同時期,つまり9月にピークを迎えていることが わかる.年間総流量もやや減少傾向にある.

5. 流出成分の分離

まず,流出分離の具体的な方法を示す.



図-6 降雨 - 流量のコーヒーレンス

$$y^{(1)}(t) = \alpha \sum w(k)y(t-k)$$
 (1)

$$w(k) = \begin{cases} C_0 exp(C_1/2 \cdot \dots) sinh(B \cdot \dots)/B \\ 0 & (-<0)^{(2)} \end{cases}$$

$$B = \sqrt{C_1^2/4 - C_0}, C_0 = (-/T_c)^2, C_1 = -^2/T_c \quad (3)$$

ここに, $y^{(1)}(t)$:地下水流出時系列,y(t):実測時系列, α 1.0:重み係数, = 2.5:減衰定数,w(k):分離時定数による数値フィルターとする.

また,中間流出時系列は次式より求まる.

$$y^{(2)}(t) = y(t) - y^{(1)}(t) \tag{4}$$

式(2)から分離時定数が決まると,日単位の流量デー タを各流出成分に分離する.後方作用(現時点より以前の流量時系列に対して行う)の数値フィルターにより地下水流出成分と中間流出成分に流出分離される.

日単位の流量データを各流出成分に分離する第一段 階として,分離時定数(分離周波数の逆数)を決定す る.決定方法として,時間と共に変動する降雨と流量 の相関性を明確にするため,コヒーレンス法を用いる. このコヒーレンスに,ある周波数でギャップが見られる 場合に流出分離が可能となる.この周波数を境にして 流出の特性が変わることが知られている. 一例として 図-6に1972年の降雨と流量のコヒーレンスを示す(但 し,ここに示されているのは一年分であるが,他年度 についても同様の結果を得ている) この図によると周 . 波数が約 0.35(cycle/day) を境に変化している. 実際に は, 分離周波数を 0.1~0.35 まで 0.05 ずつ変化させて 流出分離したが,流出分離の結果が,僅かな違いがあっ たものの,ほぼ同様であった.そこで,本解析ではコ ヒーレンスの最小値である 0.35(cycle/day) とした. す なわち,流出分離日数は約3日で低周波成分(流れの遅 い成分)と高周波成分(流れの早い成分)とに分離され ていることがわかる.降雨強度が強い場合には,中間 流出成分を更に,表面流出成分に分離する必要がある が,本解析ではその必要がなかった.



図-7 1961年(上), 1989年(中)及び全解析年平均(下) の流出分離図

流出分離図を図-7 に示す.図-7 の上段が 1961 年の 流出分離図,中段が 1989 年の流出分離図であり,下段 は全解析年の各流量成分を平均した流出分離図である. なお,全解析年の平均は,一年を一つのイベントとし て考え,流量データの平均を用いて求めた.この3つの グラフから,地下水流出成分は少なく,1961 年の事例 ではピーク地下水流量が 9.2 (m³/s),1989 年の事例で は 5.4(m³/s),全解析年の平均では 17.3 (m³/s)であっ た.また,地下水量の最大値は,降雨・全流量のピー クが 9 月なのに対し1~2ヶ月ほど遅れている.土地利 用状態の森林地域が多いのに比べて,地下水流出成分 が少ない理由としては,この流域では Google Earthを





図-8 逆推定降雨と有効降雨の比較(上から 1972年, 1973 年, 1976年)

参考にすると乾期には流域内の表面が裸地状態である. また,後に述べるように,流出率が小さいことから,こ の流域では森林による涵養効果が大きい.

6. 逆推定降雨と有効降雨

(1) 初期損失

地下水流出成分に寄与する降雨と中間流出成分に寄 与する降雨とを加えることにより逆推定有効降雨が求 まる.

なお,有効降雨を次式で求める.

有効降雨 = 流出率 × 観測降雨 (5)

ここに

年,1973年,1976年)

15

10

5

1972 .

解析結果の一例として,1972年と1973年及び1976 年の逆推定降雨時系列と有効降雨時系列の比較を図-8 に,月単位の逆推定降雨と有効降雨の雨量差を図-9に 示す.なお,1976年の例を示したのは,1974,1975年 では降雨データに欠損があるためである.また,入力



図-10 年間の有効降雨と逆推定降雨の累積曲線(1973年)



となる観測降雨は3つの降雨観測所の流域平均雨量で ある

図-8,図-9から,雨期の季節に入る初期には有効降 雨が逆推定降雨を上回っており,この分が初期損失で あると考えられる.逆推定降雨と有効降雨とは,雨量 がほぼ一致しているように見えるが,降雨規模の大き い日においては,少し両者が一致していない日降雨が 見られる.この理由としては,この例では,流出率を 一年間の総流出高と一年間の総観測降雨量の比として 求め,流出率は約0.1で一定として計算している.実際 は流出率が一雨毎に変化していることが考えられる.

次に,有効降雨と逆推定降雨の累積曲線を図-10に示 す.これらの図から,有効降雨量の累積線と逆推定降 雨の累積線との交点までの面積の値を初期損失とした. 例えば図-10で斜線部の面積である.なお,初期損失は 一年が一つのイベントである.

ここで,図-11,表1に,先に求められた初期損失量 と総地下水流出量との年毎の比較を示す.なお,表1の 日数は初期損失の発生期間を示す.この図より,地下水 成分と初期損失とは関係がなく,初期損失量は年毎に よらず,やや右上がりの傾向であるもののほぼ一定で あるといえる.観測降雨に蒸発散量が含まれているの で,観測降雨から流出量を推定する場合には,蒸発量 を考慮しなければいけないが,本解析では流出量から 有効降雨を逆推定しているので,蒸発散量を考慮せず 解析を行った.

表-1 観測降雨と初期損失・地下水成分の関係

	観測降雨量	初期損失	日数	地下水量
1972	$2584~\mathrm{mm}$	$313 \mathrm{~mm}$	134 日	$170.69~\mathrm{mm}$
1973	$3332 \mathrm{~mm}$	258 mm	120日	$176.18~\mathrm{mm}$
1975	$3659 \mathrm{~mm}$	$253 \mathrm{~mm}$	120日	$661.98~\mathrm{mm}$
1976	$2710~\mathrm{mm}$	$288~\mathrm{mm}$	142 日	$258.43~\mathrm{mm}$
1977	$3451~\mathrm{mm}$	320 mm	90日	$355.80~\mathrm{mm}$
1978	3449 mm	$615 \mathrm{mm}$	162 日	169.38 mm

(2) 月毎の流出率

次に流出率が月や年毎など,条件によって一定でな いと考えられるため,求められた逆推定降雨を観測降 雨で割ることにより,つまり式(5)を用いて流出率を 求め,流出率の変化を調べることにした.その結果を 図-12に示す.

これらの図によると,流出率は,1972年は10月まで に約0.15程度,1973年では約0.23程度に上昇してい る.また,1975年では9月までに約0.18程度まで上昇 し,10月には約0.15程度まで減少しており,1976年で は9月までに約0.15程度まで上昇し,10月には約0.10 程度まで減少している.よって,全体的に見てみると, 月毎の流出率が雨期の終わりに近づくにつれて,流出 率が上昇していることがわかる.この原因については, 推察の域ではあるが,この流域の土壌中の貯留量が増 加して,流出率が増加したと考えられる.

ここで,熱帯河川と我が国の河川との月毎の流出率 の比較を示す.その例として,日本の都市と山地が混 在した大和川・柏原地点のの流出率の月変化を図-13に 示す.大和川の例では,流出率は,約0.6前後でほぼ一 定である(但し,7月を除いて).このように,両者を比 較することにより,熱帯性流域であるピン川の流出率 が増加することがわかったが,このことが熱帯性河川 の流域特性の特徴であるか否かをもう少し,他の熱帯 流域河川を解析することにより検討していきたい.ま た,熱帯流域と大和川流域の流出率のオーダーの違い は,流域特性をもっと具体的に比較しなければならな いが,ここでは熱帯流域の流出率が雨期に変化するこ とをみるために大和川流域の例と比較したもので,今 後更に検討する必要がある.

7. まとめ

本論文では,フィルター AR 分離法を用いて,タイ 国の熱帯性河川であるピン川の流出解析を行い,逆推 定降雨を求めた.また,有効降雨と観測降雨から求め た流出率により,流域の流出特性を検討した.主なる 結果は以下のようである.

解析対象流域においては,

(1) 流出率が小さく,地下水流出成分が少ないことより,森林による涵養効果が大きい.

- (2) 初期損失量はほぼ毎年一定である.
- (3) 流出率は, 概ね5月から9月の雨期にかけて増加



図-12 流出率の月変化(上から 1972年, 1973年, 1975, 年 1976年)



図-13 大和川(柏原)における流出率の月変化

し,後に減少していく傾向がある.

謝辞

本研究並びに論文の遂行にあたり,エネルギー環境 科学専攻前期課程の宮本浩樹氏に大変な御協力を頂き まして,誠にありがとうございます.また解析の当って 御助言を頂いた,独立法人土木研究所・ユネスコセン ター設立推進本部の手計太一氏(現在,福岡大学)に, 深く感謝の意を表し,謝辞に変えさせて頂きます.

参考文献

- 日野幹雄,長谷部正彦:水文流出解析,森北出版株式会社,1985.
- 2) 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-序報-,水理講演会論文集,25,1981.
- 3) 日野幹雄,長谷部正彦:熱帯性河川流域の応答特性につい て,第29回水理講演会論文集,275-280,1985.
- Masahiko HASEBE , Mikio HINO : Response characteristics of two tropical river basins , V.P.Singh(ed.),FloodHydrology,165-174,1985.
- 5) 長谷部正彦,鈴木義晴,鎌田雅憲:都市・山地河川の混在 した大和川流域の応答特性,水工学論文集,48,2004.
- 6) 日野幹雄:スペクトル解析,朝倉書店,1975.
- 7)手計太一,吉谷純一:社会変動と水循環の相互作用評価に
 関する基礎的研究,第33回土木学会関東支部技術研究発表会,2006.

(2006.9.30受付)