河道ネットワークを考慮した流出モデルについて

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 高瀬, 信忠, 宇治橋, 康行, Takase, Nobutada, Ujihashi, Yasuyuki メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24517/00011724

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.

河道ネットワークを考慮した流出モデルについて

高 瀬 信 忠* 宇治橋 康 行*

A Study on the Run-off Analysis Model based on the Watershed Stream Network

by

Nobutada TAKASE and Yasuyuki UJIHASHI

Abstract

The run-off phenomena are very complicated because of many factors being related it. Nevertheless, among these factors, although the physiographic factors in watershed have been said to affect greatly the run-off characteristic of river, the relations between the physiographic factors and run-off have been almost never discussed in the past, moreover, there were no model which considered the affection of physiographic factors. But, recently, the work related to the physiographic affections have been studied adopting the results of quantitative physiography. These works are important studies to make clear the subjects on the application to another actual basins of the results in experimental basins and so on.

In this paper, the authors study on the run-off analysis model based on stream network which is divided by Horton-Strahler's order analysis and inform on the results of application to Nagara River. Consequently, we confirm that our model, considered the physiographic factors, have practical use and further it can expect future development by adopting the many physiographic factors.

1. ま え が き

洪水流出は極めて複雑な自然現象であり，これに関連する要素は非常に多く，大別すれば降雨要素と流域要素とに分けられるであろうが，流域要素は流域に固有一定のものであって流出特性を支配する重要な要素であると考えられ，さらに地被・地質・地形などの3要素に分けられよう。このなかで地形特性については河川の流出特性に大きな影響を与えるといわれながら，流出との関連について従来ほとんど議論はなされなかった。そのために，建設省をはじめ各種機関で設けられた試験地流域でかなりの成果があがっている[1]にもかかわらず，これら試験地流域での成果の他流域への適用，小流域と大流域の流出関係といった問題は現在も未解決になっている。これは流域要素と流出との関連が明らかにされていないことによるものであるが，この点を解明していくためには計量地形学の成果や手法を流出問題にとり入れてゆくのが有効な方法と考えられ，最近は研究が行なわれるようになってきた[3),4)]。

* 土木工学科

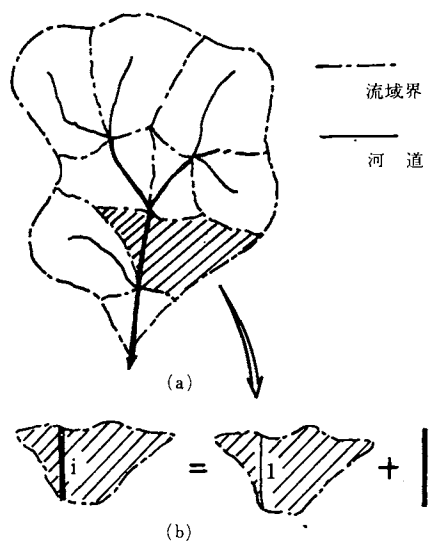
本文ではこれら最近の研究成果をとり入れ，河道ネットワークを考慮した流出モデルについて検討するとともに，これを実河川に適用した結果からこの種のモデルの有用性および問題点について考察を加えたものである。

2. モデルの構成

河川流域は斜面要素と河道要素から構成されており，流域末端の洪水ハイドログラフは降雨の斜面における変形過程と河道系における合流・流下過程により特性づけられる。従って流出モデルは基本的には山腹斜面を主体とした単位流域群（斜面系）とそこからの流出水を合流・流下させる河道系より構成される。このように降雨～流出系を単位流域（斜面系）と河道系の2つのシステムに分けて考えることにより河道系の効果が考慮されることになるが，モデル作成の手順は次のようになる。すなわち，i）流域の分割，ii）単位流域での降雨から流出への変換，換言すれば単位流域での流出解析，iii）河道系における洪水の合流・流下過程のとり扱いの3つの段階に分けられる。次に個々の段階について考察してみよう。

2.1 流域分割法

流域分割は河道次数にもとづいて行なうものとし，最も一般的な Horton-Strahler 流の次数解析法を用いる。このときある次数の河道をもつ流域を単位流域と呼べば，流域は単位流域群と残流域に分けられる。さらに第1図(a)に示すように，残流域を単位流域（第1図(a)の場合は1 st オーダー）のオーダーより大きな河道の合流点およびそれらの河道と単位流域の主河道との合流点を通る分水界によって小流域群に分割する。このように分割すれば，残流域の小流域群は単位流域と若干機能が異なるが，第1図(b)に示すように，残流域の河道を残流域からの流出水を集める機能を持つ河道と上流からの流入洪水を流下させる機能を持つ河道（主河道）に分離すれば残流域の小流域と単位流域は同じ機能を持つことになる。そこで残流域の小流域群も単位流域と呼ぶことにするが，これによって流域は単位流域群と主河道系に分割されたことになる。



第1図　流域分割法の説明図

次に単位流域の大きさは全単位流域が等しい機能を持つように分割する必要があるので，分割の最小単位である 1st オーダー（支流を持たない最上流河道）にとる。この場合，河道の末端の定義については種々議論のあるところではあるが，本解析では国土地理院発行の 1/5 万の地形図を用い，そこに記載されている河道のみを対象とした。

2.2 単位流域の流出解析

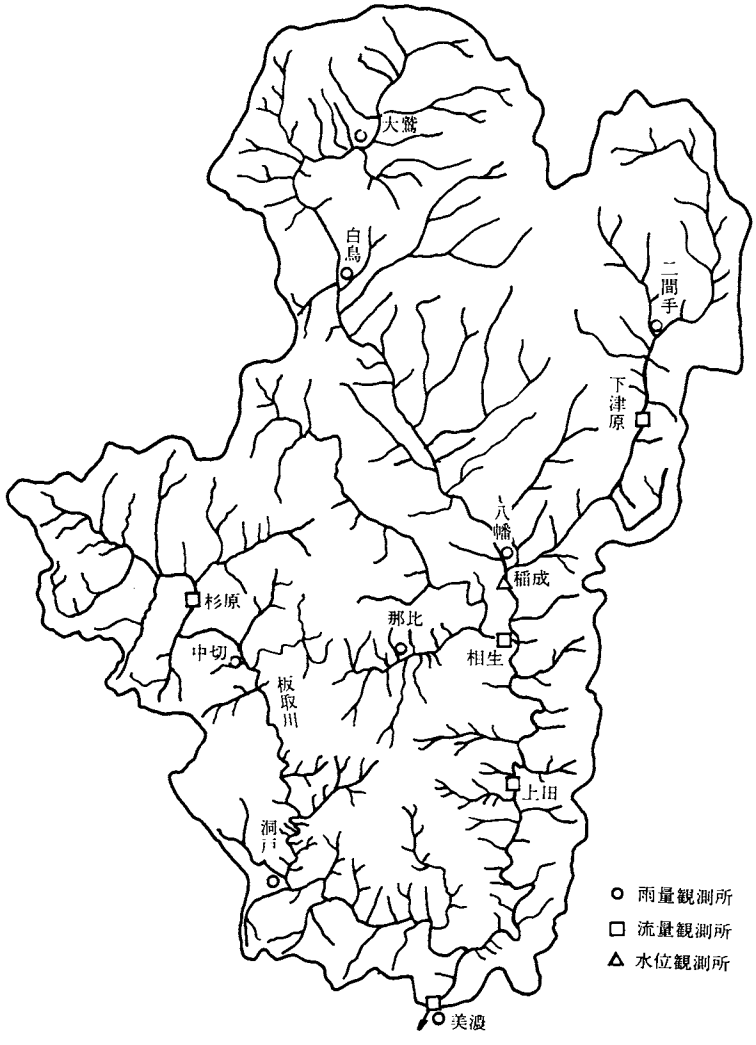
単位流域からの流出ハイドログラフについて，石原・小葉竹[5]は次に述べる洪水波の合流・流下の仮定に従って流域末端のハイドログラフを合成した場合，その基準となる単位小流域があり，他の単位小流域からの流出ハイドログラフは基準小流域のそれに波形が等しく，流出量は流域面積に比例す

るとしているが，本研究では2.1で述べたように各単位流域は同じ機能を持つと仮定したので，各単位流域の持つ降雨から流出への変換オペレーターは等しいとする。すなわち各単位流域の流出解析定数は等しいものと考えるわけである。石原らや著者らのいずれの仮定においても小河川や流域地質の比較的一様な河川に対しては問題はなく，大流域（1,000 km²以上）や流域地質の一様でない流域に対しても，後述するように基本パラメーターを単位流域群の力学的平均特性を表わすものと考えることによって使用しうる仮定である。単位流域での流出解析はこのような小さな流域では実測資料がないため，より高い次数の流域における実測資料にもとづいて試算により流出解析定数を定めることにする。

2.3　洪水流の合流・流下過程

本モデルは河道ネットワークを考慮した流出モデルであるので，河道系における洪水の合流・流下過程をどのように扱うか，すなわち河道をどうとり扱うかは大きなポイントとなる。

洪水波の伝播速度について，石原ら[6]は荒川流出試験地での観測結果やオーストラリアで測定された結果[7]をもとにして主河道系での伝播速度は一定であると仮定している。また M.T. Lee[8]らも同



第2図　流域概要図

様な仮定を用いているが，この仮定は石原，Lee らの対象とした小河川であれば第1近似としては採用してもよいように思われる。しかし著者らが対象としたような大流域では主河道系の次数は同一ではなく，河道の様相も変化すると考えられ問題があるように思われるので，ここではより現実的なものとするため，洪水波の伝播速度は河道系全体を通じて一定とせずに，同一オーダーの河道系内では一定であるとした。一方，山地の急勾配河川に対しては洪水流は kinematic wave としての特性を持つと考えられ，その伝播速度に関しては Kleiz-Seddon の式が成り立ち，洪水波は変形しないことが導かれることから河道は線型河道とみなすことができる。従って流域末端流量は各単位流域からの流出量を伝播時間だけ遅らせて重ね合わせることにより求められ，次式で表わされる。

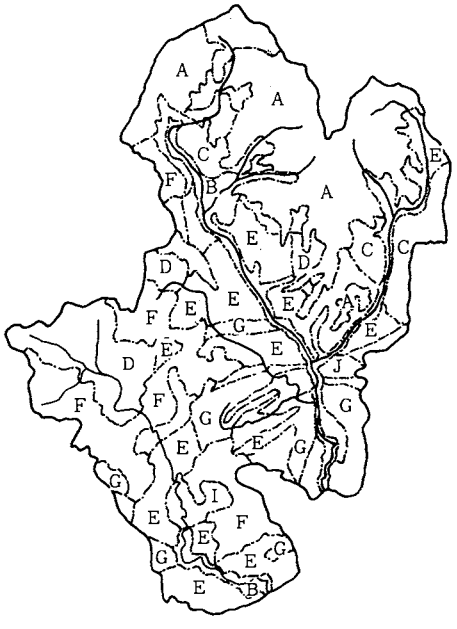
$$Q(t)=\sum_i A_i \{F*r_i(t-\tau_i)\}$$

ここに　$Q(t)$ は流域末端流量，A_i は単位流域の面積，$r_i(t)$ は降雨，τ_i は伝播時間，F は降雨から単位流域の流出量への変換オペレーターである。

3.　長良川流域への適用

3.1　流域の概要

解析の対象としたのは第2図に示す長良川流域における美濃より上流域1,076 km²であり，図に示すように美濃より上流約1.7 kmの地点で支川板取川（流域面積約360 km²）が合流している。流域の地質状態は第3図に示すようであり，前節でもふれたようにこの流域は流域面積も大きく，しかも地質状態も複雑であるので本モデルが有効であるかを判断するには最適の流域であるといえるように思われる。雨量観測所は第2図に示すように8カ所あり，流量は相生，下津原，上田，杉原，美濃の各地点で観測されている。なお解析には各地点の雨量および流量資料の整っている1972年9月洪水を用いた。



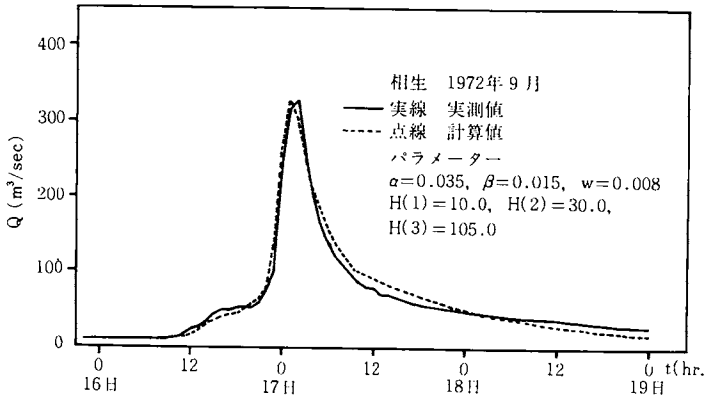
第3図　流域地質図

3.2　計算結果とその考察

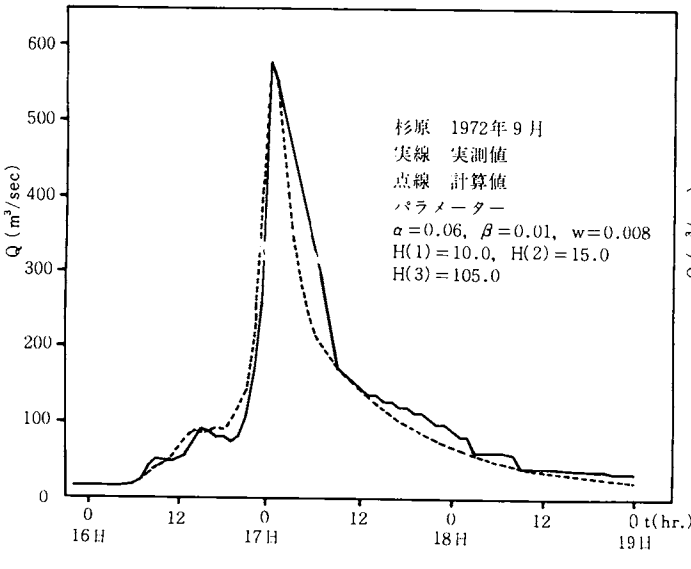
前節で述べた解析手順に従って解析を進めることにする。Horton-Strahler 流の次数解析によれば第2図に示すように 1st オーダーの河道は266本あり，流域は525個の単位小流域に分割される。次に洪水波の伝播速度であるが，これは同一オーダーの河道系で一定であると仮定したけれども，これを求めることは容易ではないので，今回の解析では実測資料にもとづいて伝播速度を定めた。すなわち美濃より下流約20 kmの岐阜市内忠節までの伝播時間から5thオーダーの河道系で5.56m/sec，同様に稲成～美濃間の伝播時間から4thオーダーの河道系で4.46m/sec

の値を得た。3rd オーダーおよび 2nd オーダーの河道系では実測資料がないことから，5th オーダーと 4th オーダーの河道系の伝播速度の比を求め，これを用いてそれぞれ 3rd オーダーの河道で 3.58m/sec, 2nd オーダーで 2.87m/sec とした。

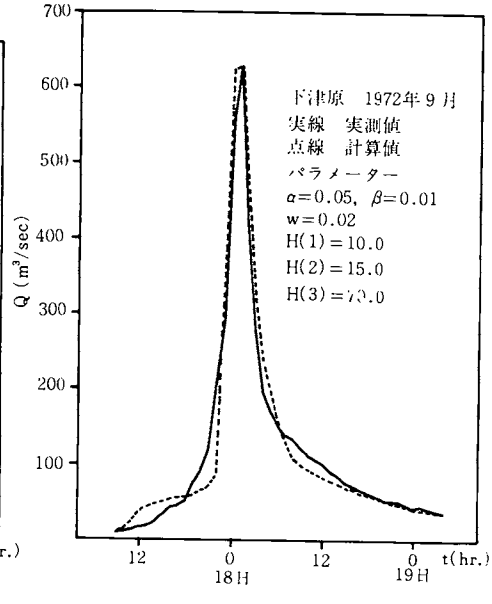
次に単位小流域での流出解析定数（以下基本パラメーターと呼ぶ）について述べるが，単位小流域の流出解析には著者らのタンクモデル[9]を用いた。基本パラメーターの決定に際しては実測資料のある相生，下津原流域（3rd オーダー）および杉原流域（4th オーダー）のデータを用いて実測値に合うまで試算を繰り返して基本パラメーターを定めた。その結果を第 4 図～第 6 図に示してあるが，図を



第 4 図　実測値と計算値の比較（No.1）



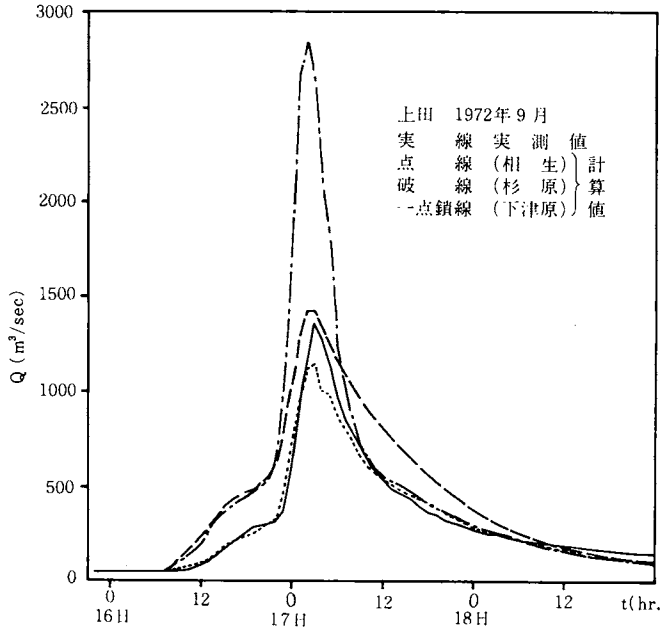
第 5 図　実測値と計算値の比較（No.2）



第 6 図　実測値と計算値の比較（No.3）

みれば明らかなように実測値との適合度は良いが，この段階では実測値に合うようにパラメーターを変化させたわけであり，合ってむしろ当然であるといえよう。問題はこの基本パラメーターを用いて美濃での流出ハイドログラフを推定できるかどうかということと，異なる流域で決定された基本パラメーターの差異についてである。3 種類の基本パラメーターについてみるとかなり違った値になり決

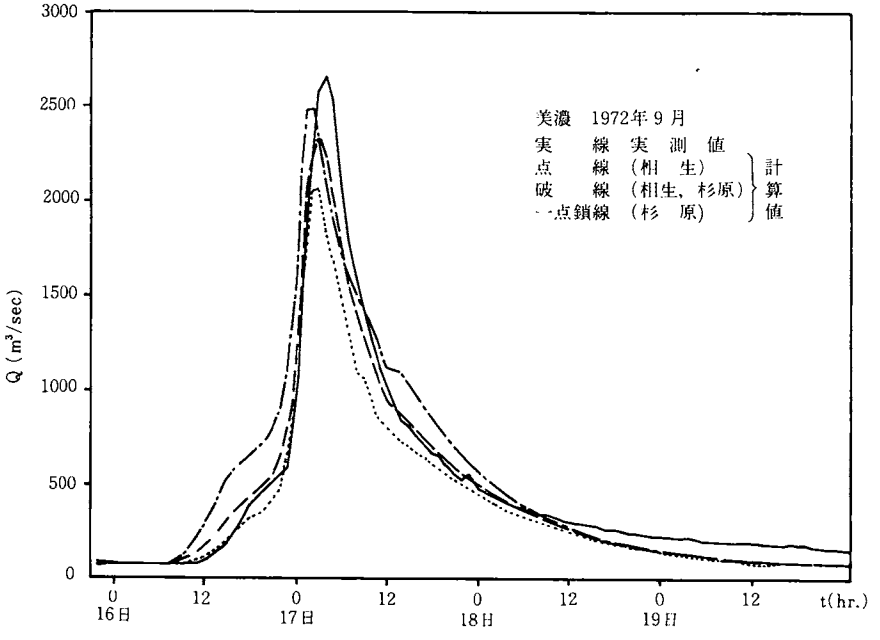
して同じパラメーターになっていないが，このことは2.2で述べた仮定は現実には地質の複雑な大流域では成立しないことを示しており，著者らがある程度予想していたことであるけれども，2.2で述べた仮定が成立しないということはこのモデルが使えないことになるかといえば決してそうではない。すなわち石原らが基準小流域のハイドログラフと呼んでいるもの，ここでは基本パラメーターを河道ネットワークを考慮して流域末端のハイドログラフを推定するとき，その基本となる全単位小流域群の力学的平均特性を表わすものと考えればよいのである。そうすることによって基本パラメーターの意味もはっきりしてくるのであるが，問題はこの基本パラメーターを持つ単位流域があるかということと，その求め方にかかってくるわけである。



第7図　実測値と計算値の比較（No.4）

そこで，先に定めた3種のパラメーターを用いて本川筋美濃より上流約1.7kmの上田地点（713 km²）の流出ハイドログラフを推定した結果が第7図であり，美濃地点の流出ハイドログラフを推定した結果が第8図である。第7図をみると相生で定めたパラメーターを用いた場合ピーク付近はやゝ小さいが全体的によく合っており，相生で定められたパラメーターは本川筋の基本パラメーターであるといってよい。一方，杉原のパラメーターを用いた結果は全体的に実測値よりかなり大きく波形も余り合っていないが，これは杉原は支川・板取川の流域にあり，本川筋と支川とでその流出特性に差があるためと思われる。下津原で定めたパラメーターを用いた場合にはピーク流量が倍近い値となっており，このパラメーターは基本パラメーターになり得ないことを示しているが，この流域は本川筋でやゝ特殊な流出特性を示す流域といえよう。タンクモデルの詳細については文献[10]に譲ることとするが，各パラメーターについてみると，中間流出特性を表わす α に相当の差があり，表層土質の違いが表われている。また下津原のパラメーターについてみると，表層の有効厚さを表わす $H(3)$ が小さく表面流出が表われ易い流域であることを示しており，また表面流出特性を支配する W も他の2流域のものとは大きく異なり，表面流出が支配的でピークの尖った流出率の大きな流域であるものと思われる。

次に美濃での計算結果をみると，上田での計算結果と同様な傾向がみられ，相生でのパラメーター



第8図　実測値と計算値の比較（No.5）

を用いたものはピーク付近は小さいが波形はよく合っているといえようが，上田での場合より適合度が落ちているのは支川・板取川からの流出量が相生のパラメーターを用いた場合は小さめに出るためであるものと思われる。杉原でのパラメーターを用いた場合はピーク流量そのものはかなり近くなるが，ピーク流量の生起時刻は2時間早く，波形も余り合っていないけれども，これは支川・板取川と本川筋では流出特性に差があり当然の結果ともいえるようである。

最後に第8図中で破線で示したものは板取川流域に対しては杉原でのパラメーターを基本パラメーターとして用い，本川筋に対しては相生のパラメーターを基本パラメーターとして用いたものである。ピーク流量，波形その他総合的にみた場合，これが最もよく合っているものといえるが，以上の結果をみてくると流域地質の複雑な大流域でも，先に定義した意味での基本パラメーターを持つ流域が存在し本モデルの有効性が確かめられた。ただしこの場合，大きな支川が存在するときに本川と支川で基本パラメーターを変化させれば適合度はさらによくなるが，基本パラメーターの決定法については試算に頼らざるを得ないのが現状で，最近のところ平野[11]らは山地小河川の流出に関して斜面長の分布特性を考慮した方法を発表しており，今後は河道ネットワーク以外の流域地形量をとり入れた流出モデルの開発が可能になるものと思われる。

4. む　す　び

河道ネットワークを考慮した流出モデルにより長良川での洪水解析を行なったわけであるが，その結果より得られたこの種の流出モデルの利点および今後の問題点について考察すれば次のようである。

1）Horton-Straler 流に代表される次数解析の手法，計量地形学の成果を直接，間接にとり入れることが可能である。

2）単位流域の基本パラメーターを定めるだけでよいので試験地流域での成果の他流域への適用，洪

水資料の少ない河川の流出解析に有効である。

3）洪水波の伝播速度は同一オーダーで一定であるとし，かつ河道は線形河道であるとしたが，この仮定はかなり大胆なものであり，とくに洪水波の伝播速度については，実測値のない場合も含めて問題点が多いので，この点については水理水文学などの成果を応用して解決していきたいと思っている。

4）基本パラメーターは,現在のところ試算に頼らざるを得ないが,他の流域地形量の分布特性を利用して決定しうる可能性があり，今後は発展性のあるモデルといえるように思われる。

5）本モデルは直接流出のみを対象とし，間接流出はとり扱っていないが，基底流量として後で加えている。これは，地下水流出が地表面地形に必ずしも支配されないためで止むを得ないが，地下水流出の今後における流出機構の解明に待つところが大きいものと思われる。

最後に，本研究に当り貴重な資料を提供していただいた建設省中部地方建設局の関係者各位，並びに地形量の測定，計算などに御協力いただいた田保光夫君（現電源開発K.K）に対して深く感謝いたします。

参　考　文　献

1）例えば，建設省土木研究所：建設省における流出試験地での成果，1974.

2）例えば，P.S. Eagleson: Dynamic Hydrology, McGraw-Hill, 1970.
高山茂美：河川地形，共立出版，1974など.

3）石原安雄，小葉竹重機：河道系における洪水の集中過程，第10回災害科学シンポジウム，1973.

4）石原安雄，小葉竹重機：小流域と大流域からの流出の相互関係，京都大学防災研究所年報第17号B，1974.

5）前出4）

6）前出4）

7）榧根勇：水の循環，共立出版，1973.

8）M.T. Lee and J.W. Delleur: A Variable Source Area Model of the Rainfall-Runoff Process on the Watershed Stream Network, Water Resources Research, Vol.12, No5, 1976.

9）高瀬信忠，宇治橋康行：山地小流域河川の流出解析に関する研究，金沢大学日本海域研究所報告 第9号，1977.

10）前出9）

11）平野宗夫，小川滋，木川良二：山腹斜面からの流出について，第27回土木学会年次学術講演会講演概要集，1974.

（昭和52年10月28日受理）