

# 東山流域の水文学的性格 I

## 河道面降雨流出について

文部教官 塚本良則

Yoshinori TUKAMOTO:

### Hydrologic Characteristics of Higashiyama Watershed with special Reference to Channel- precipitation Runoff

緒言 HURSH と BRATER は北米 Coweeta での研究の結果、河道面降雨が出水の大部分を占めている場合があることを指摘し、河道面降雨流出を出水曲線から分離する方法を提案している。

著者は東京大学愛知県演習林内の東山流域において河道面降雨が出水に対してどのような役割をはたしているかについて研究してみた。河道面降雨流出の出水に対する役割を見極めておくことは林地からの出水現象を分析的に研究する場合に重要なことであると考えられる。そして Unit-hydrograph, Distribution-graph, その他の方法の研究が、実際に適用する場合に重要な一つの鍵となるであろう。

一般に降雨が出水となり、流域の測水所に到着するまでの過程は次のように分けられる。

河道面に降った降雨の流出 …… 河道面降雨流出  
地表面に降った降雨の流出 …… 地表雨流出  
…………… 中間流出  
…………… 地下水流出

これらの出水成分のうち出水曲線の最初の部分を形成するのが河道面降雨流出と地表面流出であり、次に一度地下にもぐった水が中間流出となったり、河道付近の地下水の浅い部分から滲出水となって流出する。そしてその間に地下水の増加が起こり出水曲線の終りの部分に行くにしたがって地下水の占める割合が多くなり、ついに地下水流出のみとなる。

落葉を充分持った森林内では、一般に地表面流出はあまり重要な部分を占めていない。このことは多くの研究者により明らかにされている。そのため林地からの出水曲線においては、もちろん地下水流出の増加はあるが、河道面降雨流出と中間流出が重要な部分を占めていると考えられる。

中間流出となるものは一度雨水が地表下にもぐって流出するものであるから、土壌の水分不足

(圃場容水量—土壤水分量)を満たしながら、または満たしてから流出するものと考えられ、中間流出の大小は土壤の水分不足に多分に左右されるであろう。一方、河道降雨流出は河道面に降った雨が流出するものであるから、ほとんど100%流出すると考えられ、常に降雨量に比例して流出する(この場合にももちろん河道面の変化や樹冠遮断量の大小などが関係すると考えられるが、それらはごく小さいであろう)。そのために中間流出量と河道面降雨流出量の割り合いは土壤水分不足により多分に左右され、林内の最も湿った土壤の水分不足量以内の降雨の場合は河道面降雨量のみとなり、土壤が十分湿って土壤水分不足のないような時は中間流出の割り合いは大きくなるであろう。前者の例として、長期の無降雨が続きしかも多量の蒸散があった場合、それに続く降雨による出水、後者の例としては連続降雨の直後の降雨による出水があげられる。

本論文では当観測所で近年観測したデータの中から夏期において最も長期間降雨がなかった後に起こった降雨による出水記録を利用して河道面降雨流出の追跡を行ない、さらに夏期の降雨について河道面降雨流出量と中間流出量との量割り合いを検討してみた。稿を草するにあたり、ご指導ご援助を賜った荻原教授および中島林長に深厚なる感謝を捧げる。

## I 流域の概況

東山流域は面積106.7 haで、地形は図に示すようである。地質は花崗岩で全流域が占められ、流域内は森林と禿地、さらに狭い歩道を持つだけである。植生はアカマツを上木とし広葉樹を下木とした林型を呈し、土壤はMor型のきわめて厚い落葉堆積を有する。土壤は林木の生育し

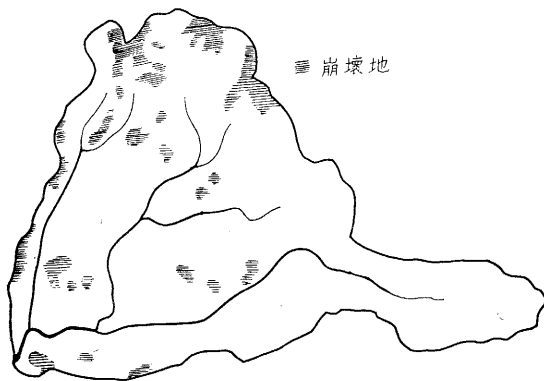


図1 流域図

ているところは平均1.5~2m以上で、下層の花崗岩風化層を入れるとさらに厚くなる。そのために透透能はきわめて良く、著者の観察によると14mm/10分の降雨においても林内の歩道の一部にわずかに地表流がみられたのみである。この流域の林内では台風などによる年1~2回のきわめて強度の大きい降雨の場合を除いて、地表流は起こらないとみるのが妥当であろう。この流域は尾根の部分の

上方に禿地崩壊地をもっている。この地の地表流の問題については、この流域内の土砂流出試験において禿地からの流出土砂がきわめて少なく、このことは地表流下水がごく少ないことを証明している。また地表流下水となったものでも下方の森林地帯において地下に滲透し河道まで地表流下水となって到着するものは一般にないとみられる。

これらより東山流域内では地表面流下は起こらず、出水曲線は主に河道面降雨流出、中間流出と地下水増加分とから構成されるとみてよいと思う。

## II 河道面積とデータの性格

この流域について河道水表面積と河道面積を実測してみると、河道水表面積は 1.30 ha で河道面積は 1.82 ha である。河道水表面積は流量の多少によって変わるが、この変化は小さく、大体年間を通じて一様とみて差し支えないと考えられる。ここでいう河道面積とは、水表面の他に河床の部分を含んだものである。本流域では水表面以外の河床の半分以上は岩盤や大石で構成され、砂礫で構成されているものは砂防ダムの上と一部の河床に限られている。

この岩盤や砂礫床は降雨の幾分かは遮断するであろうが、大部分の降雨は流出して行くであろう。そのため、河道面降雨流出量はこの河道面積とその上部を被う樹冠の遮断量を引いた降雨量とから計算できる。

データは夏季無降雨日が続いた後で降雨強度の大きい、しかも短時間で規則正しい型の降雨を用い、河道面降雨流出の出水曲線を解析し、次にいくつかの出水曲線について河道面降雨流出の追跡を行なった。次に用いたデータの性格を示す。

表1 降雨の性格

年 月 日	降 水 量 (樹冠遮断補正)	降雨直前の 地下水流量	前 の 降 雨	
			月 日	降水量
昭和30. 5. 11	30.1 mm	1.5 m <sup>3</sup> /分	5. 6	3.3 mm
// 30. 5. 25	10.8	1.3	5. 24	5.3
// 30. 6. 30	32.0	0.7	6. 25	2.0
// 30. 7. 23	21.0	0.6	7. 20	7.4
// 30. 8. 5	21.5	0.7	7. 27	4.0
// 30. 8. 8	20.4	1.0	8. 7	5.0
// 30. 9. 15	27.0	0.8	9. 11	7.4
// 31. 7. 14	23.5	6.2	7. 13	90.7
// 31. 8. 17	24.7	0.8	8. 15	9.5
// 32. 7. 30	8.3	3.4		

本表における樹冠遮断量は大体 HURSH の作成した表に準じた。

## III 河道面降雨流出の解析

表1の樹冠遮断量を引いた降雨量を河道面積に乗じてみると河道面降雨流出量が出る。昭和30年8月5日の降雨による出水曲線の増水部分はほとんど河道面降雨流出量に近い。そのためにこの降雨による出水曲線の増水部分はほとんど河道面降雨流出で作られ、中間流出はほとんどないと考えられる。故に、主にこの降雨の出水曲線を利用してこの流域からの河道面降雨流出の解析を行なった。

洪水追跡の方法と同様に、単位時間を取ると河道面降雨流出量 ( $Q$ ) は河道面降雨量 ( $Pch$ ) とその河道貯留の変化量 ( $\Delta S$ ) の和に等しい。すなわち

$$Q = Pch + \Delta S$$

今、単位時間の初めの貯留量および終りの貯留量を各々  $S_1$ ,  $S_2$  とすると、

$$\Delta S = S_1 - S_2$$

$$Q = Pch + S_1 - S_2$$

この式は十分短い時間を取ると

$$Q = (Q_1 + Q_2)/2$$

$Q_1$ : 単位時間の初めの流量

$Q_2$ : 単位時間の終りの流量

$$\text{故に} \quad \frac{1}{2} (Q_1 + Q_2) = Pch + S_1 - S_2$$

$$\left( S_1 - \frac{Q_1}{2} \right) + Pch = \left( S_2 + \frac{Q_2}{2} \right)$$

この式はグラフによる解法が可能である。

この式のグラフ解法のためには  $Q$  と  $S$  との関係が判らなくてはならない。これについては洪水追跡の場合と同様に降雨が終了し、出水曲線がピークに達した後の曲線の下り方と流出量との関係から求められる。すなわち出水曲線の増水部分がすべて河道面降雨流出量と考えられるので、ピーク以後の流出量ももちろん河道面降雨が貯留されたものであり、流出量はこの貯留量の大小により影響されるであろう。

ピーク以後のある時間における河道貯留量はその時間以後の河道面降雨流出量の総和である。

$$St_1 = \int_{t_1}^T Q dt$$

すなわち  $t_1$  における貯留量 ( $St_1$ ) はそれ以後出水終了時刻  $T$  までの間における流出量の総和に等しい。

しかし測定した河道面積も樹冠遮断量も正確でないために、河道面降雨流出量の計算値の精度は低い。そのために河道面降雨流出と地下水流出を何処で分離するかにより  $Q$  と  $S$  との関係

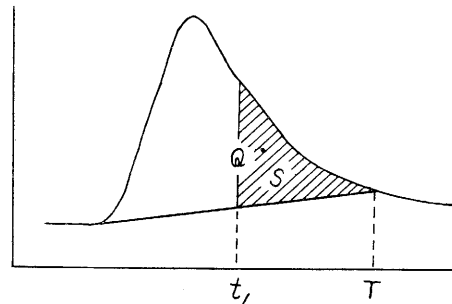


図2  $Q$  と  $S$  の関係

が変わって来てスムーズな連続した曲線にならない。この点につき HURSH は流量逓減比を使い、その変化する点を取って河道面降雨流出量の終りとしている。この点により分離すると  $Q$  と  $S$  との関係が非常にスムーズになる。河道面降雨流出をここで分離すると河道面積が大體 1.94 ha になる、そのため以後この 1.94 ha を正しい河道面として解析を行なって行く。また  $Q$  と  $S$  との関係を求める場合に出水曲線のピーク以後における凹型の部分だけを用いて  $Q$  と  $S$  との関係を求めるのが適当と思う。凸型の部分を入れると  $Q$  と  $S$  との関係が非常に不連続になり、出水曲線ごとに  $Q$  と  $S$  の関係が変わって来る。以上の方法によって  $Q$  と  $S$  との関係が求められれば、前

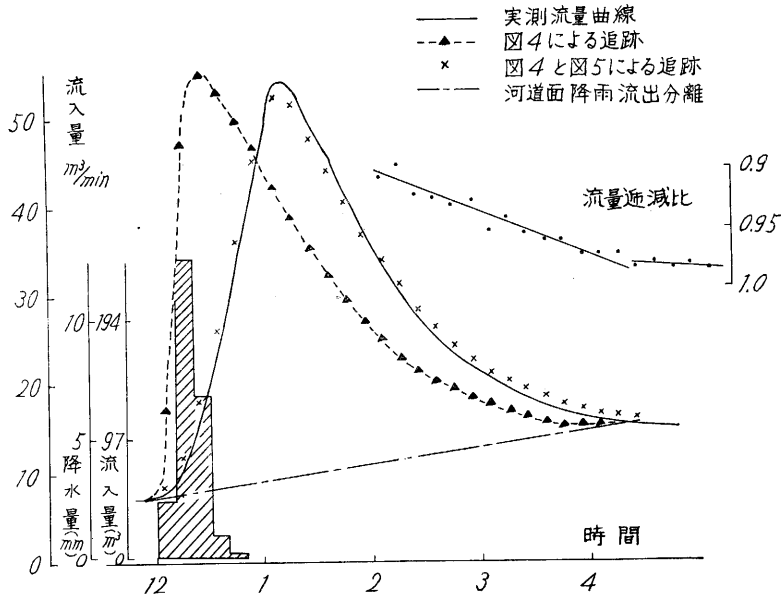


図3 昭和30年8月5日の降雨と出水曲線

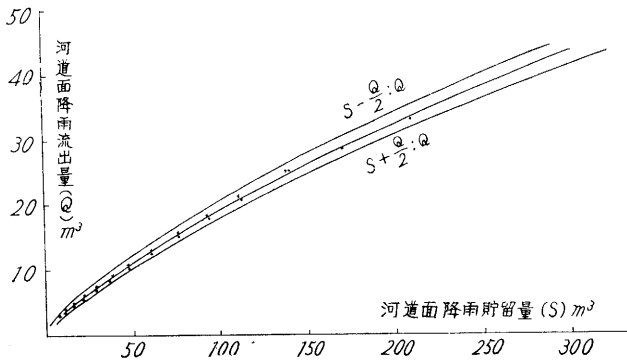


図4  $Q = P_c h + JS$  のグラフ解法

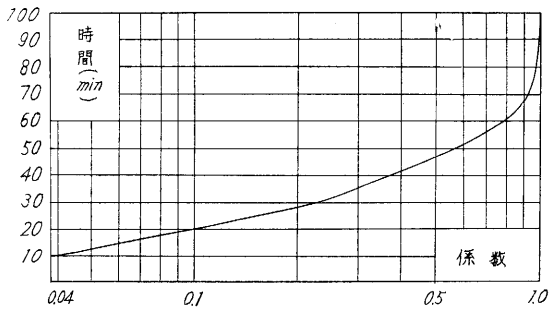


図5 出水曲線の上昇側に対する図4の補正係数

記の式による解法が可能になる。

図4は昭和30年8月5日の降雨の出水曲線を主にして作ったグラフで、これにより図式解法ができる。

しかしここで求めた  $Q$  と  $S$  との関係は出水曲線の下降側を利用して求めたもので、この関係を出水曲線の上昇部分に直接適用するには無理が生ずる。特に河道水表面のみでなく、河床部分からの滲出水も含めたものでは滲出水の遅れその他も関係し、出水曲線の最初の部分に対しては特に適合度が低い。このために著者は図4を出水曲線の上昇部分にも適用できるように  $Q$  の補正を試みた。大部分が河道面降雨流出でできている幾つかの出水曲線を取り出し、その降雨と図4を利用して実際の出水曲線の上昇部分と、図4を用い

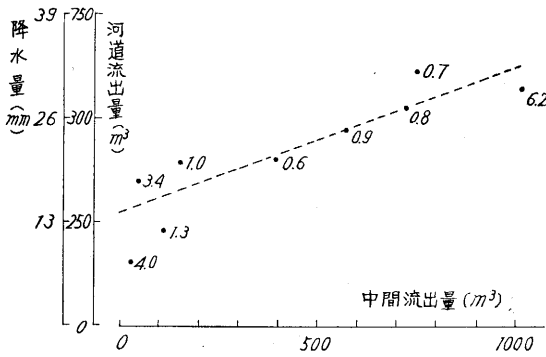
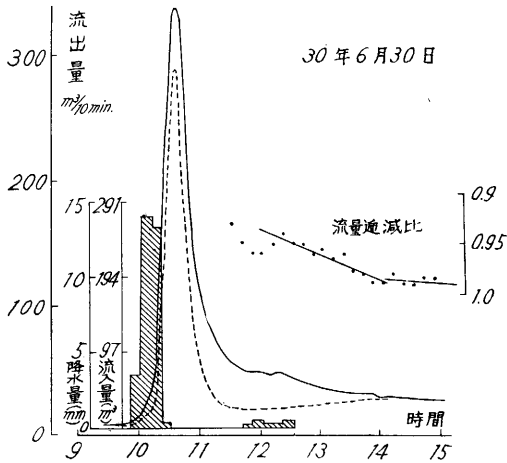
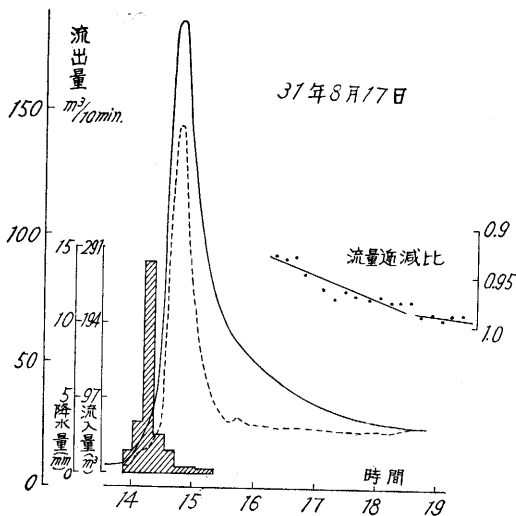


図6 河道面降雨流出量と中間流出量の関係  
数字は降雨直前の流量 (m<sup>3</sup>/min)

附図1~4 河道面降雨流出量の追跡



附図1



附図2

て追跡した出水曲線の上昇部分が一致するように係数を決めた。

決められた係数と図4によって出水曲線の上昇部分を追跡し、下降部分は大体図4によって追跡した。しかしこの係数も降雨強度の変化の差異により大きく変わるので、十分とはいえないが一応の試案として用いてみた。この点については将来検討の必要がある。

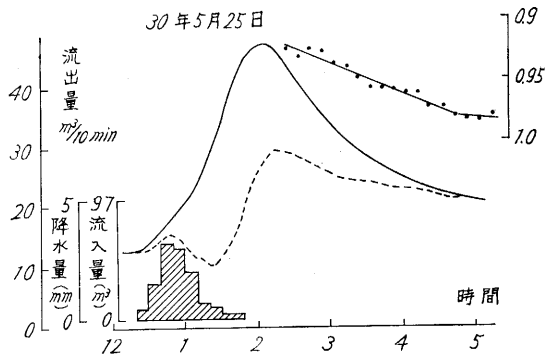
これらのグラフを利用して一般の出水曲線から河道面降雨流出を分離した結果を付図に示す。

#### IV 河道面降雨流出量と中間流出量

ここでは河道面降雨流出が量的に出水のどのくらいの部分を占めているかを見るため、5月~10月の間の幾つかの降雨について分析を行なった。

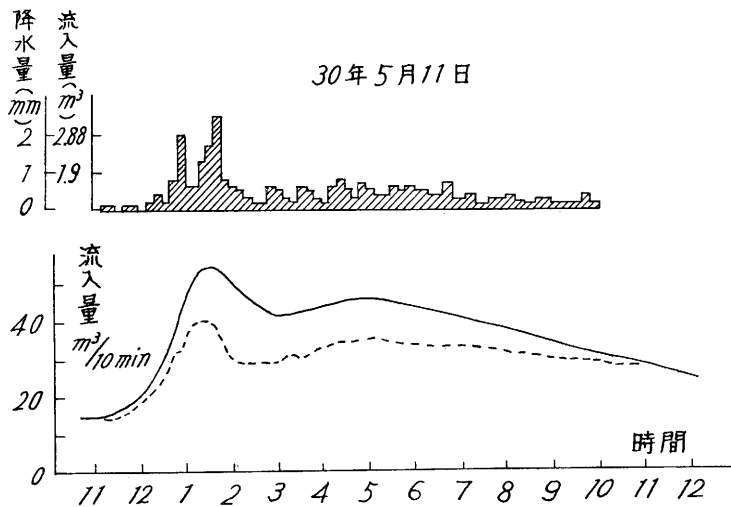
付図から判るように、河道面降雨流出は大体逓減比が0.98付近になった所で終了している。また、HURSHやBRATERは中間流出と考えられるものもこの逓減比の変化点において分けるのが良いことを提案している。それ故この点において河道面降雨流出も中間流出も終るものとして、図2のように直線により地下流出と分離した。この分離法によると、逓減比が0.98の所で分離するためには厳密に0.98の点を求める必要がなく、大体0.98の点を取れば相当ずれても分離された出水曲線の量には大差がない。

この流域では短時間に降る30~35mm以下の降雨では、降雨終了後短時間で河道面降雨流出や中間流出が終って地下水



附 図 3

流出だけとなり、しかも地下水流出に移った時の流出量は降雨前の地下水流出とあまり差がない場合が大部分である。すなわち地下水にはあまり降雨が影響しなかったことを示す。しかるに 40~45mm 付近を越すと短時間の降雨でも地下水そのものが非常に増大する結果、図 2 のような分離法が困難になる。そのために、ここでは 30mm 付近以下の降雨のみをとりあつかうことにした。



附 図 4

分離された出水曲線の量から河道面降雨流出量を引いたものを中間流出量とすると、河道面降雨流出量と中間流出量とは図 6 のようになる。

この表から判ることは、夏期の比較的短時間に降った 30mm 以下の降雨では

- i) 特に無降雨日が続いた後でなくても、一般に 10mm 以下の降雨による流量曲線の上昇は大部分河道面降雨によって起こる。
- ii) この河道面降雨流出量と中間流出量とは、大体直線的の関係をもっていると考えられる。

**要 約** 東京大学農学部附属愛知県演習林内の東山流域において河道面降雨流出について研究した。

- i) 河道面降雨流出量 ( $Q$ )、河道面降雨量 ( $Pch$ )と、その貯留量の変化量 ( $\Delta S$ )の間には次の関係がある。

$$Q = Pch + \Delta S$$

この式のグラフによる図式解法を試み、河道面降雨流出の追跡を行なった。

- ii) 10mm以下の降雨による出水曲線の上昇は大部分河道面降雨による。
- iii) 夏期30mm以下の降雨では河道面降雨流出量と中間流出量は大体直線的の関係をもっている。

#### 参 考 文 献

- 1) C. R. HURSH and E. F. BRATER: Separating storm-hydrographs from small drainage-areas into surface- and subsurface-flow, T. A. G. U, 1941
- 2) R. K. LINSLEY and others: Applied hydrology, 1949
- 3) 物部 長穂: 水理学, 1933
- 4) 平田徳太郎: 水源地の流出機構, 1957

#### Résumé

In this paper channel-precipitation runoff in the Higashiyama Watershed of the Tokyo University Forest at Aichi prefecture is studied.

i) Channel-precipitation runoff ( $Q$ ), channel-precipitation ( $Pch$ ) and change of storage ( $\Delta S$ ) have the following relation:

$$Q = Pch + \Delta S$$

This equation is solved by the graphic method as HURSH and BRATER indicated. The writer divide channel-precipitation runoffs from storm hydrographs by the use of this graph.

ii) Storm hydrograph caused by the rainfall less than 10 mm is due mainly to channel-precipitation runoff.

iii) In the rainfall less than 30 mm in summer season channel-precipitation runoff and interflow have the straight relationship.