

山地小流域の流出観測結果について

飯田 修

Results of runoff observations in a small mountain watershed

Osamu IIDA

名古屋大学稲武演習林内において、山地小流域（集水面積1.65ha）の流出特性を把握するため、水文観測を1982年から行っている。今回は、観測項目のうち、1982年から1988年までの流出データを検討した結果、以下のことが明らかになった。

1) 月単位の降水量と流出量から推定した年平均降水量2000mmに対する流出係数は、0.74となり、2) 直接流出量と基底流出量はほぼ同程度になった。3) 日流出量は、前日の日流出量と当日の日降水量の2変数で表される(3)式で回帰でき、4) (3)式を変形した(6)式は、貯留関数の線型モデル(10)式と同じ形を有し、流出を直接流出と基底流出に分けなくても、流出量を表すことができた。

This report deals with the runoff in a small mountain watershed of Nagoya University Forest. This experimental area is 1.65 ha. Hydrological observations have been made since August, 1982, except winter season. The results are;

1) the runoff coefficient was about 0.74. 2) The direct runoff was almost the same as the base runoff. 3) The daily runoff was regressioned with two factors, the daily precipitation and the previous daily runoff, by the equation (3). 4) The equation (3) tends to the equation (6) which is similar to the linear storage function (10), and the equation (6) applies to the runoff without separating the direct runoff and the base runoff.

I. はじめに

我が国の流出試験地の数は、百数十を越え、それぞれの目的にあった観測・解析がなされている(1)。我々が対象とする山地は、森林で覆われ、その土壌は孔隙に富んでいる。

斜面に浸透した雨水は、山帯に貯留され、より深部に透水することによって、洪水時のピークの低減や平水時の流出に寄与していると考えられている。そのため、山地流域に降った雨によって生ずる流出量や流域の貯留量などを定量的に知ることは、対象とする流域が下流域に対してどの程度寄与しているか示すことにつながってくる。

そこで、標高約1000mに位置する名古屋大学演

習林内において、集水面積1.65haの流出試験地を設けて1982年から水文観測を始めた。

今回は、観測項目のうち、降水量と流出量について考察し、日単位のそれらに対して貯留関数の線型モデルを適用したので報告する。

II. 流出試験地の概要と測定項目

試験地は、愛知県北設楽郡稲武町名古屋大学農学部附属演習林の月ヶ平流域内にある。

月ヶ平流域は矢作川水系根羽川の支流野入川の源流部で、流域面積約70ha、標高920-1230mに位置する。地質は領家帯の花崗岩類に属し、土壌は B_D 、 $B_{D(d)}$ で占められている。

流出試験地は、月ヶ平流域内の小流域(図-1)

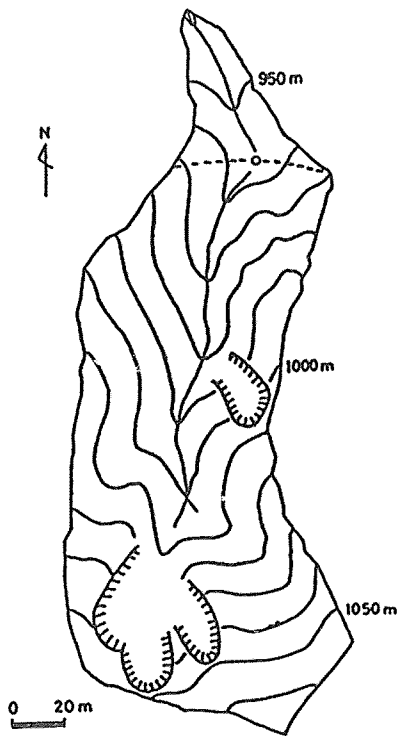


図-1 試験地 (1.65 ha)
 白丸は雨量計と量水堰の位置を示す
 Fig. -1 Experimental area (1.65 ha)
 ○ : precipitation gauge and weir

で、標高960-1070mに位置する。植生はスギ・ヒノキ・アカマツとなっている。

測定項目は、転倒マス雨量計による降水量、簡易量水堰による流出量、テンシオメータによる土壌吸引圧、土中水位測定孔による土中水位（最大値）などである（2, 4, 5）。

降水量の測定は、流域内にある2基の谷止のうち下流側の谷止上に設置した転倒マス雨量計で行っている。

流出量の測定は、雨量計と同じ谷止の前堤部に設置した量水堰で、直角三角形ノッチを使用し水位を測定している。水位から流量への換算は、 $Q = 1.4H^{2.5}$ で行っている（図-2）。量水堰の集水面積は、1.65haである。

観測は、1982年8月から降水量、9月から量水堰の水位を開始し、冬季間を除いて継続している。

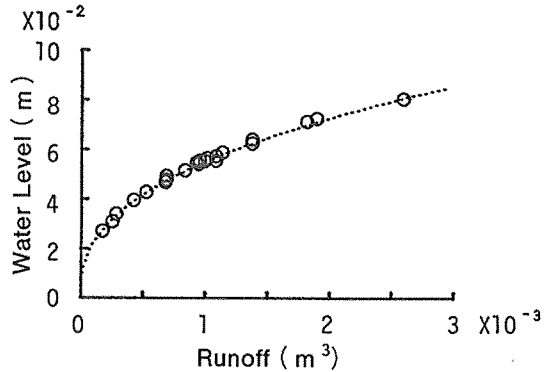


図-2 水位流量曲線
 白丸は実測値を点線は $Q = 1.4 H^{2.5}$ を示す
 Fig. -2 Rating curve
 ○ : observed value, : $Q = 1.4 H^{2.5}$

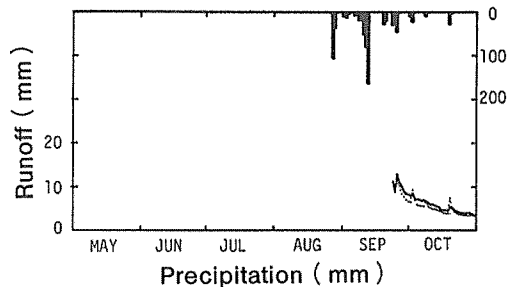


図-3(a) 1982年の日ハイドログラフ
 実線は観測値、点線は計算値 (eq.(3))
 Fig. -3(a) Daily hydrograph in 1982
 solid line : observed value
 dot line : calculated value (eq.(3))

また、試験地の表層土の厚さは、測定孔の埋設や土壌試料の採取から、中腹の土層が尾根や沢沿いのそれより深くなっていることがわかっている（6）。

Ⅲ. 測定結果および考察

試験地の量水堰の水位は、10分間雨量強度に敏感に反応して昇降する（2）が、今回は、試験地の流出の概略を把握するため、毎正時の水位から求めた日単位の水高（mm）で表した流出量について検討を行った。

また、12月から4月にかけて冬季間は積雪のため、欠測となることが多かった。

図-3に各年の5月から10月までの観測例を示す。図から日流出量の多くは、日降水量に対応して上昇し、その後、減水している。これは、集水

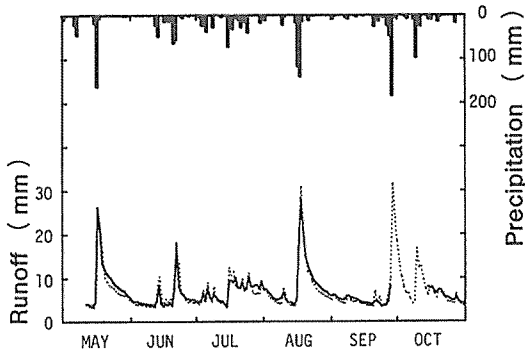


図-3(b) 1983年の日ハイドログラフ
Fig.-3(b) Daily hydrograph in 1983

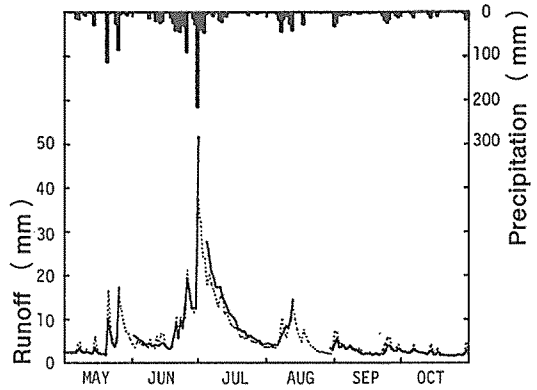


図-3(d) 1985年の日ハイドログラフ
Fig.-3(d) Daily hydrograph in 1985

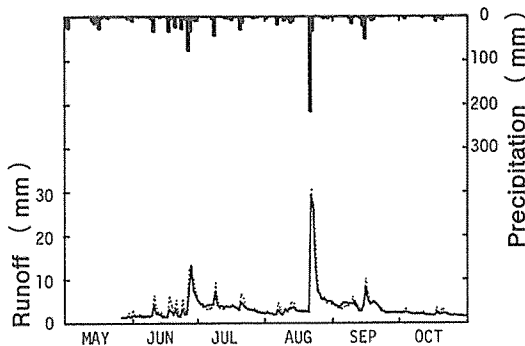


図-3(c) 1984年の日ハイドログラフ
Fig.-3(c) Daily hydrograph in 1984

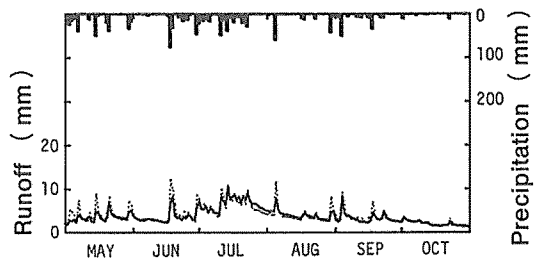


図-3(e) 1986年の日ハイドログラフ
Fig.-3(e) Daily hydrograph in 1986

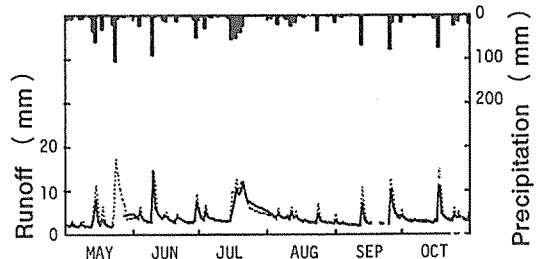


図-3(f) 1987年の日ハイドログラフ
Fig.-3(f) Daily hydrograph in 1987

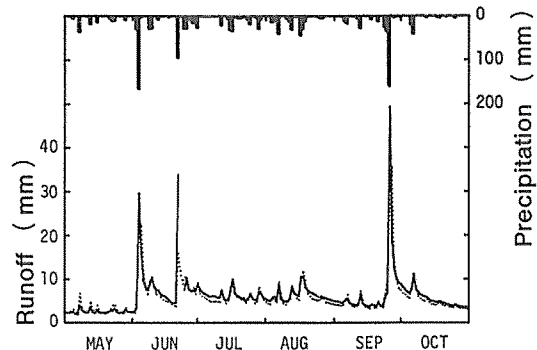


図-3(g) 1988年の日ハイドログラフ
Fig.-3(g) Daily hydrograph in 1988

面積が小さいため、出水が短時間に行われ、日単位でみた流出量のピークの時間的遅れは、ほとんどないものと考えられる。

なお、図中の実線は実測流出量を、点線は後述する(3)式による推定流出量である。

図-4に試験地から5.5 km離れた稲武地域気象観測所(標高505 m)の月降水量(P_{MI})と試験地の月降水量(P_M)との関係を示す。

$$P_M = 1.08 P_{MI} + 8.65 \quad (r = 0.95) \quad (1)$$

図から、試験地の月降水量は、地域気象観測所のそれより多くなる傾向がある。これは、24時間雨量でみた場合も同様な結果を得ていること(2)から、試験地の標高が高いことによると考えられる。また、(1)式が欠測月(冬季間)の関係をも表すことができると仮定して、試験地の年降水量を求めると、1982年から1988年までの平均値は、約2000 mmとなった。

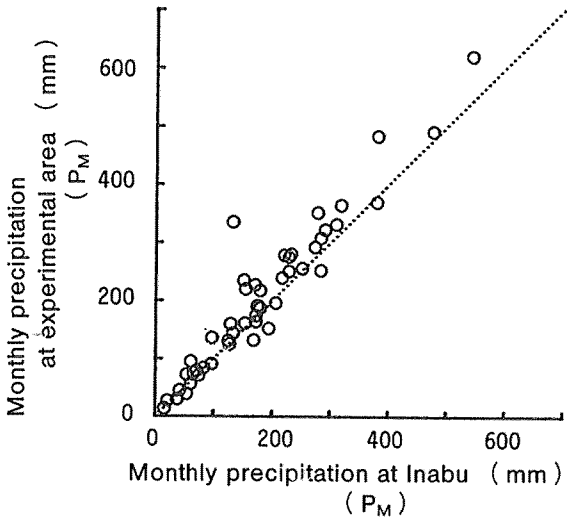


図-4 稲武地域気象観測所の月雨量と試験地の月雨量の関係
 Fig. -4 Relationship of monthly precipitation between at Inabu and at experimental area

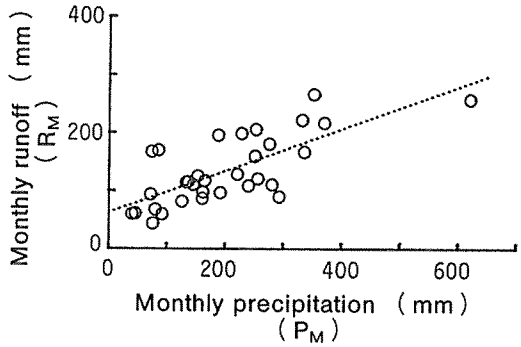


図-5 月雨量と月流出量の関係
 Fig. -5 Relationship between monthly precipitation and monthly runoff

図-5 に月降水量と月流出量 (Q_M) の関係を示す。月流出量は、月末に多量の降水があると、その流出量の減水部分は後月の流出量に加わる。そのため、月流出量は、必ずしも月降水量に対応するとは限らないが、次式の関係のみいだすことができた。

$$Q_M = 0.357 P_M + 63.3 \quad (r = 0.73) \quad (2)$$

(2)式の右辺第2項の63.3 mm は、 $P_M = 0$ のときの月流出量になる。それを月平均日数30日で除した値2.1 mm は、本試験地における基底流出量の目安になる。また、(2)式が欠測月(冬季間)の関係をも表すことができるならば、年流出量のうち、760 mm (63.3×12) が基底流出として流出することになる。さらに、年平均降水量2000 mm に対する年平均流出量は1474 mm となり、年流出係数は0.74となる。また、直接流出量は、714 mm となり、基底流出量と同程度になっていることがわかる。

次に日降水量 (P_i) と日流出量 (R_i) の関係を調べてみた。図-3のように、日降水量が大になれば日流出量も大になる。日流出量の増え方は、前日の流出量にも関係すると考え、 R_i を P_i

と R_{i-1} の2変数で回帰してみた。

$$R_i = aP_i + bR_{i-1} + c \quad (3)$$

$$= 0.129P_i + 0.709R_{i-1} + 0.533 \quad (R = 0.92)$$

上式を求めするために使用したデータ数は、1982年の測定開始から1988年までの間の欠測を除いた $n = 1284$ である。図-3の点線は、(3)式による推定流出量で、全体的にみて、実線で画いてある実測流出量を表している。

ここで、無降雨日が n 日間続いたとすると、 $P_i = 0$ となり、

$$R_{i+n} = bR_{i+n-1} + c$$

$$= b^2R_{i+n-2} + bc + c$$

$$\vdots$$

$$= b^nR_i + b^{n-1}c + b^{n-2}c + \dots + c$$

$$= b^nR_i + c(1 - b^n)/(1 - b) \quad (4)$$

となる。 $n \rightarrow \infty$ とした値 (R_∞) は、

$$R_\infty = c/(1 - b) = 1.83 \quad (5)$$

この値は、月単位で大まかに求めた基底流出量2.1 mm と同程度の値を示している。これは、無降雨日が続いても、約2 mm の流出量が確保されたことになる。これらを求めるために使用した降水量や流出量は、冬季間の値を含まれていないため、今後、補正されることも予想される。しかし、毎年2000 mm 以上の降水量が続くならば、冬季間の最小の流出量としてあり得る値と考えら

れる。

また、(3)式を変形すると、次式になる。

$$R_i = a(P_i - L_i) + (1 - a)R_{i-1} \quad (6)$$

$$L_i = D + ER_{i-1}$$

$$D = -(c/a) = -4.13 \quad (7)$$

$$E = (1 - a - b)/a = 1.26$$

つぎに、(6)式を検討するため、多くの流出モデルのなかから、流出量が貯留量に比例するという最も簡単なモデルを用いる。このモデルは、貯留関数の係数が $p = 1$ の場合の線型モデルとなる(7)。

貯留関数の線型モデルは、

$$Q_i = \alpha S_i \quad (8)$$

連続の式は、

$$\begin{aligned} S_i &= S_{i-1} - Q_{i-1} + Pe_i \\ &= (1 - \alpha)S_{i-1} + Pe_i \end{aligned} \quad (9)$$

ここで、 Pe_i は有効降水量、 Q_i は直接流出量、 S_i は試験流域の平均的な貯留量を日単位で表したものである。(9)式の両辺に定数 α をかけて、(8)式を代入すると(10)式になる。

$$Q_i = \alpha Pe_i + (1 - \alpha)Q_{i-1} \quad (10)$$

(6)式と(10)式を較べると、(10)式の Q と Pe が、直接流出量と有効降水量で表されているのに対して、(6)式の R と P は、流出を直接流出と基底流出に分離しない流出量と降水量そのもので表されている。また、 L_i 項が初期損失や蒸発散や集水域内への流入出を表すと考えると、 $(P_i - L_i)$ は実質的な貯留量への付加量(以下、貯留付加量と称する; PE)となる。

$$\begin{aligned} PE &= P_i - L_i \\ &= P_i - D - E \cdot R_{i-1} \end{aligned} \quad (11)$$

(11)式の右辺第2項の D は、樹冠遮断などの初期損失量や集水域外からの流入量を表し、 D が負の場合、隣接する集水域からの流入があると予想される。今回の D 値が -4.13 と負値だったことと簡単な水収支式を用いた結果(3)からも流入が推定されたことから、本試験地は、隣接

する集水域から流入があると考えられる。

また、右辺第3項は、斜面内に保持された水分量や貯留量の一部が、前日の日流出量に比例して集水域外へ流出するものを表している。これは、日流出量そのものが流域内の乾湿の程度を表し、蒸発散による消失、あるいは、深部への透水などが、斜面内の湿潤状態に応じて行われ、貯留量を減ずる方に働くと考えられる。

以上のように、日流出量を(3)式の形で求めることは、貯留関数の線型モデルと同等な(6)式を求めることになり、日降水量と日流出量の関係を最も簡単な形で表現することになる。さらに、(10)式は、1段1孔のタンクモデルと同等であることから、本試験地の流出は、1段のタンクモデルで表せることになる。このように、(6)式を用いる場合、入力となる項 $(P_i - L_i)$ をうまく定めることができれば、流出量を直接流出と基底流出に分離することもなく、貯留関数の線型モデルが使えることを示唆していると考えられる。また、流域の平均的な貯留量をも求めることが可能になる。しかし、今回求めた定数 D 、 E 値の確定や適用範囲を示すことが、今後の課題になると考えている。

IV. おわりに

1982年から1988年までの流出観測の結果、本試験地の年降水量は約2000 mm、流出係数は0.74、直接流出量と基底流出量は同程度であることがわかった。また、日流出量は貯留関数の線型モデルで求めることができた。

今後、観測を継続するとともに、今回の結果が妥当であるかどうか、集水面積、時間単位、説明変数などを考慮して、解析を行う予定である。

最後に、本観測に際して治山工学研究室や演習林の皆様にお世話になったことを記すとともに御礼申し上げます。

引用文献

- (1) 土木学会水理委員会水文小委員会：全国試験流域調査表，PP242，1985
- (2) 飯田 修 他：月ヶ平流域における表層崩壊に関する雨量についての一考察，新砂防，

36-4, 14-17, 1986

(3)飯田 修：表層土内の水の動き (IV), 35回
日林中支論, 231-234, 1987

(4)飯田 修：表層土内の水の動き (V), 36回
日林中支論, 207-209, 1988

(5)飯田 修：表層土内に発生する土中水位につ
いて, 99回日林論, 569-570, 1988

(6)飯田 修：表層土内の水の動き (VI), 37回
日林中支論, 203-205, 1989

(7)高橋 裕編：河川水文学, pp 218, 共立出版,
1978