

水理実験センター圃場における 表面流出の評価について

Evaluation of the Surface Runoff at the ERC Experimental Field

板寺 一洋*・嶋田 純**

Kazuhiro ITADERA and Jun SHIMADA

I はじめに

近年、環境破壊や気候変動にかかわる問題が注目を集めているが、その本質を理解し、有効な対策を講じていくためには、地球規模の水収支・熱収支の実態を把握することが不可欠である。

筑波大学水理実験センターの熱収支・水収支観測圃場（以下、圃場とよぶ）においては、地表面における水と熱エネルギーの交換の諸過程を長期連続観測によって明らかにする目的で観測システムが整備されている。水収支に関する項目としては、雨量および蒸発散量、地下水位などが連続観測されている（川村ほか、1990）。ここで取りあげる表面流出量についても、それらと並行してデータの収録が行われてきた。しかしながら、中緯度湿潤な気候条件下にある山地流域では、いわゆる Horton 地表流が発生することは稀であるという観測事実などから、圃場からの表面流出は無視しうと考えられ、圃場表面における水収支は『降水量から蒸発散量を引いた残差が地下水涵養量に相当する。』という形で考察が進められてきた（谷口、1990；嶋田ほか、1990）。

それでは、本当に表面流出は生じていないのだろうか。本報では、そのような視点から過去10数年間にわたって収集されてきた表面流出の記録の一部を

整理した結果について報告する。

II 観測圃場の概要

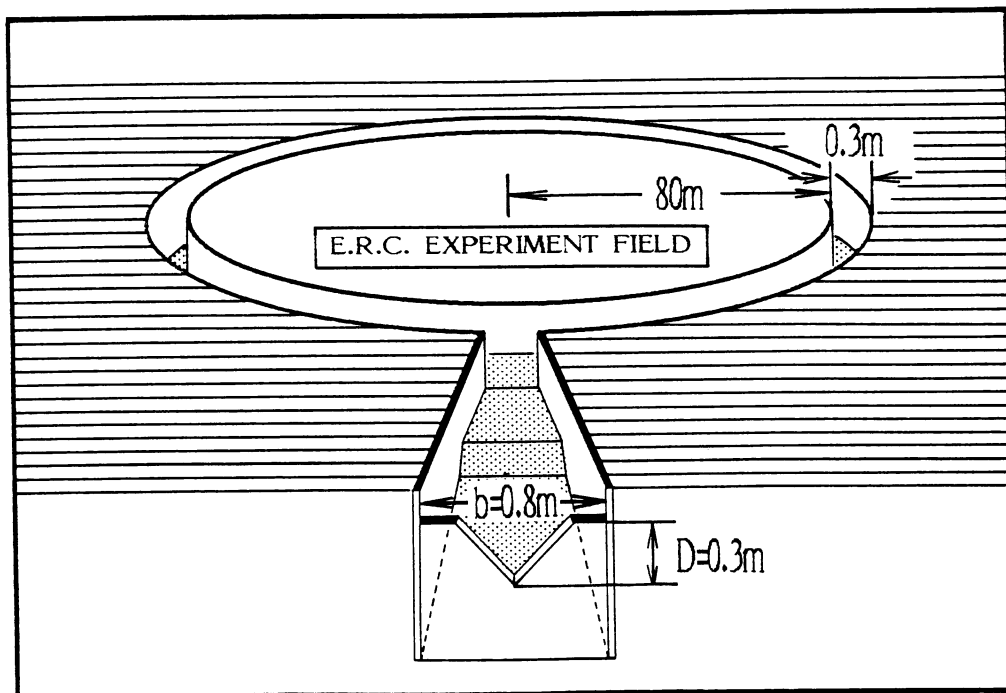
水理実験センターの観測圃場は、表層から50cmまでは、建設時の転地替えなどによって若干乱されているが、その下部には、深度方向に、関東ローム層（層厚1.5~2.0m）、粘土層（層厚2~3m）、竜ヶ崎砂礫層が分布しており、いわゆる筑波台地の一般的な地質条件にある。植生は牧草であり、毎年8月頃と11月頃に草の刈り取りが行われる。

半径80m（面積約20,000m²）の円形の中心部は外周側溝の天端高度より約0.5mほど高くなるように盛土が施され、平均勾配1/160を持ち地表流が側溝に集まるように整地されている。側溝に流れ込んだ地表流は、圃場の下流端に設置された直角三角堰に導入され、堰の越流水深が水位計を通して連続観測されている（第1図）。

過去に収録された記録紙によると、無降雨時には堰からの流出は生じていないが、降雨に伴った水位の変動が記録されており、何らかの“流出現象”が生じていたことが分かる。一例として、1989年8月6日の堰の水位の時間変化を第2図に示した。同日、圃場において86mmの降雨が記録されているが、それに伴うピークが表れている。

*筑波大学大学院地球科学研究科（現 神奈川県温泉地学研究所）

**筑波大学地球科学系・水理実験センター



第1図 水理実験センター観測圃場と表面流出観測用直角三角堰

III 表面流出量の算出

水位の読み取りは15分間隔で行ったが、記録紙上の時間軸の1目盛りは30分に相当するので十分な精度が期待できる。水位から流量を算出するために、沼知・黒川・淵沢の公式

$$C = 1.354 + \frac{0.004}{h} + (0.14 + \frac{0.2}{\sqrt{D}}) (\frac{h}{b} - 0.09)^2 \quad (1)$$

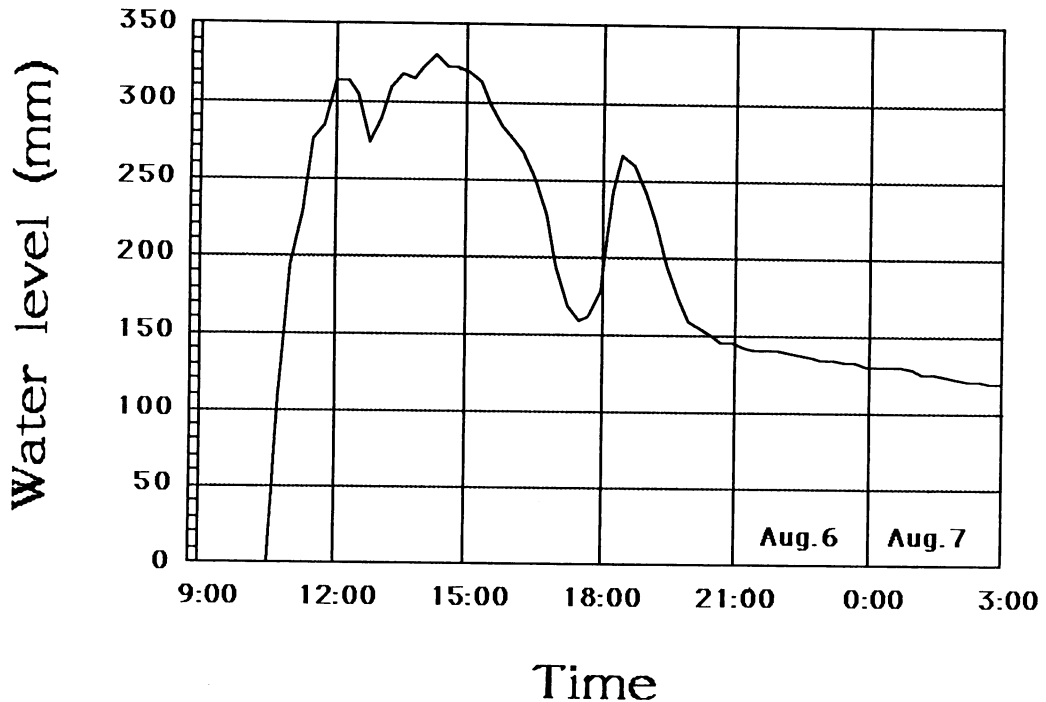
$$q = Ch^{2.5} \quad (2)$$

を用いた。ここで、 q : 流量 (m^3/sec)、 D : 堰高 (m)、 b : 水路幅 (m)、 h : 堰の越流水深 (m) である (岩佐, 1967)。表面流出量観測用の堰 ($D=0.3$ m、 $b=0.8$ m) に水を供給し、水位を4.7cmまで上昇させた時の実測流量は $0.87 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{sec}$ であった。

一方、(1)、(2)式では $h=0.047$ m に対して $q=0.69 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{sec}$ となることから、沼知らの式による流量計算は過小見積りであることが予想されたが、圃場からの流出現象の概要を把握するうえでは十分であると考え、ここでは、(1)、(2)式によって流量計算を行った。

このようにして得られた q をもとに15分毎の流出量を算出し、さらにそれらを合計し1日当たりの流出量 Q を求めた。ここで、 Q は単に堰を通過した流出量に過ぎないことに注意する必要がある。真の表面流出量を算出するためには、圃場外周の水路に直接降った降水量を引かなければならない。第1図より、圃場面積 $= 80^2 \times 3.14 = 20096 \text{m}^2$

水路面積 $= (80.3^2 - 80^2) \times 3.14 = 151 \text{m}^2$ であるから、水柱高に換算した表面流出量 Q_s (mm) は、日降水量を P (mm) とすれば



第2図 1989年8月6日から7日にかけて記録された堰の水位変化

$$Q_s = 10^3 \times (Q - 151 \times P \times 10^{-3}) / 20096 \quad (3)$$

によって求めることができる。

IV 結果および考察

第1表および第2表に1989年と1990年について算出した日流出量を日降水量とあわせて示した。第3図はこの結果をもとに流出量と降水量の推移を示したものであり、横軸は日付、縦軸の0より上側が流出量、下側が降水量を示す。

第3図によると、すべての降雨に対して流出が生じているわけではないが、流出量は降水量と同じパターンで推移している。また、年による差異が大きいことも特徴的である。年流出量で比較すると、1989年が71.1mmであったのに対し1990年は11.2mmと極端に少なくなっている。特に6月から9月までの4ヶ月間について比較してみると、1989年は降水量が677mm、流出量が61mmであったのに対し、1990

年は降水量が473mm、流出量が0.8mmであった。この4ヶ月間の差がほぼ年間の差に相当し、それ以外の期間では兩年の間に著しい差異は認められなかった。

6月から9月にかけての時期は、蒸発散が年間で最も活発であり、降水量の大小が圃場の水分状態に及ぼす影響も大きいと考えられる。1989年と1990年において、同時期の降水量に200mmもの差があったことから、当然、兩年の圃場表面の水分状態は著しく異なっていたことが予想される。すなわち、降水量の多かった1989年において、圃場はより湿潤な状態にあり、それだけ浸潤能が小さかったために表面流出量が多かったものと考えられる。

以上のような考察は、2年分のデータを整理した結果のみに基づいているため、あくまで推定の域を出ないが、今後観測資料の整理を継続するにあたっては、単に降水量だけではなく、圃場の水分条件や、それに影響すると思われる降雨強度や先行降水量な

第1表 1989年の降水量と表面流出量

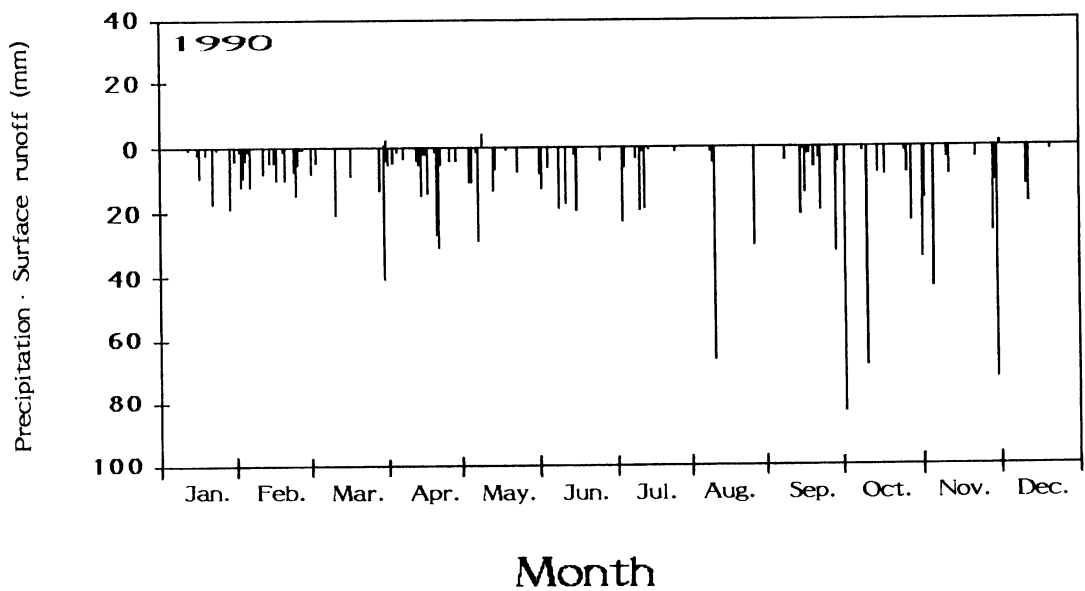
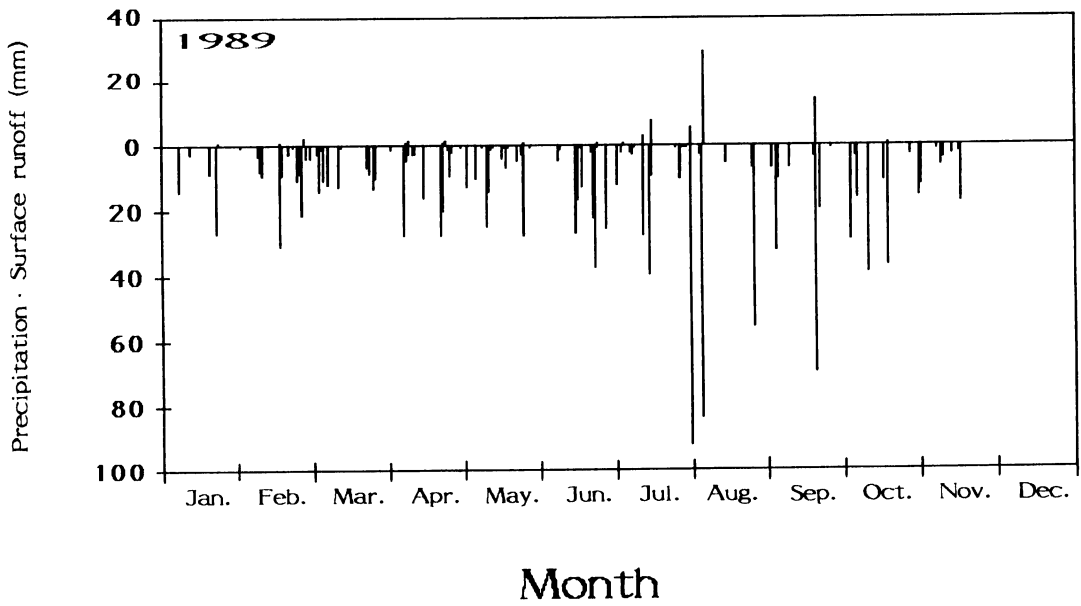
Surface Runoff (mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.4	
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	1.3	
7	0.0	0.0	0.0	0.4	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	0.0	0.0	7.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	
8	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	29.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	35.0	
9	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.1	
10	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
																																	71.9

Precipitation (mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.5	0.0	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	9.5	0.0	0.0	27.5	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	56.0	
2	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	8.5	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31.0	10.0	0.0	0.0	3.5	1.0	0.0	11.0	9.0	22.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	116.0	
3	4.5	0.0	0.0	3.5	14.5	2.0	11.0	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	13.5	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	9.0	0.0	14.0	10.5	0.0	0.0	104.0	
4	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.0	5.5	3.0	3.5	3.5	0.0	0.0	0.5	16.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.0	20.5	2.0	10.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	125.5	
5	1.0	0.0	13.0	0.0	0.0	0.0	10.5	0.0	1.5	0.0	25.0	14.5	2.0	1.0	0.0	4.5	1.5	7.0	1.5	0.0	0.0	0.0	5.5	0.0	3.0	28.0	0.0	0.0	1.5	0.5	0.0	121.5	
6	0.0	0.0	7.0	32.5	10.5	0.5	0.5	0.0	0.0	5.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.5	17.5	1.0	13.0	0.0	0.0	2.5	22.5	38.0	1.5	0.0	0.5	26.0	0.0	0.0	0.0	157.0	
7	0.0	0.0	12.5	2.5	0.0	0.0	0.0	2.5	3.0	1.5	0.0	0.0	28.0	0.0	0.0	40.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	10.5	1.0	1.0	1.5	115.5	
8	92.5	0.0	0.0	0.0	3.5	84.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	7.5	56.0	0.0	0.0	0.0	0.0	250.0	
9	0.0	0.0	7.0	32.5	10.5	0.5	0.5	0.0	0.0	7.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	4.0	70.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	154.5	
10	0.0	0.0	0.0	29.0	0.0	4.0	16.5	0.0	0.0	0.0	39.5	0.5	0.0	0.0	0.0	11.0	0.0	37.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.5	0.0	0.0	157.5	
11	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	6.5	4.5	0.0	0.0	3.0	0.0	0.5	2.5	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.5	
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	4.5	0.0	0.0	2.5	0.0	0.5	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.0	3.0	2.0	0.5	0.0	0.0	0.0	49.5	
																																	1433.0

第2表 1990年の降水量と表流出量

Surface Runoff (mm)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7
4	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	4.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
11	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9
																																				11.4

Precipitation (mm)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	2.5	10.1	0.5	2.5	0.0	0.0	18.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	59.2
2	1.5	12.5	10.0	4.7	1.5	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.4	0.0	0.0	5.4	5.0	10.3	0.7	0.0	2.0	10.2	0.0	0.0	0.0	7.5	15.3	6.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	115.5	
3	0.0	8.8	0.5	5.4	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.4		
4	4.4	5.9	0.0	4.9	2.1	0.0	0.0	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	5.6	15.3	2.7	2.4	14.8	0.0	2.0	27.4	31.4	5.5	0.0	0.0	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	142.2	
5	0.0	0.0	0.0	11.3	11.2	0.0	2.1	29.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.9	7.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.5	0.0	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	83.9	
6	8.5	13.5	0.0	0.0	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	19.0	0.5	0.0	17.6	0.5	0.1	2.5	20.1	0.6	0.0	0.0	0.6	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	94.6	
7	0.0	0.0	0.0	23.2	6.8	0.0	0.0	0.1	0.0	4.0	20.2	1.6	19.4	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	78.9	
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.5	4.9	67.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	104.7	
9	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.3	1.0	14.6	2.6	6.6	0.1	3.9	19.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.9	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	78.9	
10	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.5	2.0	68.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.6	0.0	9.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	8.4	0.5	23.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	195.5		
11	0.0	0.0	0.0	44.1	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1	9.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	6.0	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	174.7	
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.3	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	2.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	178.6	
																																			33.3	
																																				1361.5



第3図 1989年および1990年の降水量と表面流出量の変化

どの要因と表面流出量との関係にも注目する必要があるものと思われる。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、草間千枝さんには観測資料の整理をお願いしました。記して感謝致します。

文 献

岩佐義朗 (1967) : 『水理学』朝倉書店, 268p

川村隆一・谷口真人・嶋田 純 (1990) : 熱収支・水収支観測資料-1989年-, 筑波大学水理実験センター報告, 第14号, 131-161

嶋田 純・谷口真人・川村隆一 (1990) : 筑波台地における地下水涵養の実態, 筑波大学水理実験センター報告, 第14号, 75-79

谷口真人 (1990) : 牧草地およびアカマツ林における地下水涵養量と地温分布, 筑波大学水理実験センター報告, 第14号, 69-74