

開畑地における少雨年と多雨年の雨水保留特性

四方田 穆*

Rain-water Retention of a Small-scale Upland Field in a Rainy Year and a Droughty Year

A. Yomota *

(Received January 16, 1996)

From the standpoint of water resources development and environmental preservation, rain water retentivity of agricultural and forest lands are evaluated. Measurement of rainfall and runoff has been carried out at the reclaimed upland field of 4.55 ha since 1981. In this article, water retention characteristics of this study basin is compared in a rainy year of 1993 and a droughty year of 1994. In cases of rainfall less than 20mm, most of the rain water infiltrates into the soil layer. On the other hand, about 75 % of a heavy rain, such as 300 mm in 1993, runs off the soil surface. Within the infiltrating rain water, the ratio of water which is kept by capillary action and can be used by crops is estimated to be less than 40 % in months of rainfall more than 150 mm, but in months of rainfall less than 50 mm, it is estimated that more than 80 % of rainfall can be used by crops. The ratio of monthly rainfall which contributes to base flow recharge is 0 to 12 % regardless of rainfall amount.

Key Words : upland field, monthly rainfall, rain water retention, effective rainfall, base flow recharge

1. 緒言

近年環境問題または水資源保全の見地から、農林地の雨水保留機能が治水・利水の両面について評価されている。すなわち、都市域のような不浸透流域とは異なって、農林地では雨水の多くの部分が地中に浸入することによってピーク洪水を緩和し、地中に浸入した雨水が可成りの時間遅れをもって再度浸出することにより、無降雨時の河川流量を保全するという機能である。

他方、高度経済成長期において平坦な優良農地が大規模に都市用地に転用されたため、わが国の食料自給率向上と農業生産の拡大を図って、農林水産省を中心とした山林地の開墾による畑地造成が行われてきた。しかしながらこれら造成畑地の雨水保留機能は自然山林のそれには及ばないと考えられ、とくに豪雨時のピーク流出量の増大が懸念されている。そこでこの実態を解明するため、小規模の開畑流域において、降雨と流出の観測を長期にわたって実施してきた。

たまたま平成5年は全国的に多雨年であり、日照時間の不足や低温のため水稻の収量が著しく減少した。他方平成6年は逆に全国的な少雨年で、各地において給水制限が行われたが、水稻生産の上からは豊作の年であった。ここではこれら特徴的な2年間の記録に基づいて、雨量、流出量ならびに保留量の関係を対比してみる。

*岡山大学環境理工学部

2. 研究方法と試験流域

試験流域は、広島県の中山間に位置する農林水産省によって昭和55年頃に開発された畑で、Fig. 1 のとおり4筆からなる面積4.55haの畑地である。ここでは例年畦立てビニール被覆によってタバコが栽培されているが、この兩年には27%程度が休作による雑草繁茂状態であった。土壌は赤みがかった鉍質土壌で、従来からの観測結果によれば雨水の浸入性は低く、総流出率が高い。なお、畑地灌漑は行われていない。

観測は、図の下流端に設けた静水池の水位を四角セキで観測して流出量を、同地点に設置した転倒マス型雨量計で雨量をそれぞれ連続的に測定した。なお、これらの観測は昭和56年に着手し、以降冬期を除いて継続されており、従来の観測及び洪水流出解析結果は別途報告済みである¹⁾。

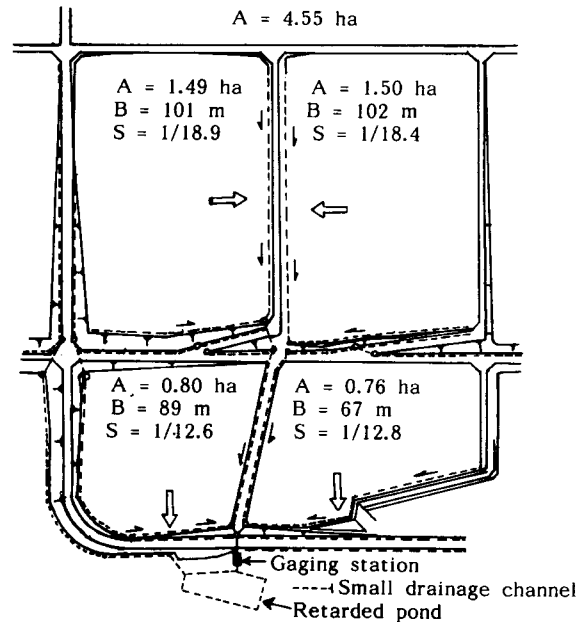


Fig.1 Plan of research field.

3. 降雨観測結果

平成5年及び6年における4月から9月までの月雨量、およびそれらの昭和57年以降13年間での順位(少ない方からの)、および13年の平均雨量をTable 1に示す。また兩年における短い降雨継続時間内の降雨強度をTable 2に示す。

Table 1によれば、とくに7月、8月の雨量について、平成5年はいずれも多い方から1位、平成6年は少ない方から1位と2位であり、13年の観測期間中でもこの兩年が特徴的な多雨年と少雨年であることが分かる。

この兩年の7月及び8月の雨量をHazen Plotによって正規確率紙上にプロットしたものがFig. 2である。データ数が少ないので断定することはできないが、この図から見ると多雨年の7月及び8月の雨量はともに約25年に1度、少雨年の7月及び8月の雨量はそれぞれ約25年及び9年に1度発生する程度の位置づけになる。

また短時間降雨強度についても、多雨年の平成5年には非常に高い値を示していることが分かる。この高い短時間降雨強度は当然ながら高い流出高をもたらすが、この点は次項で検討を行う。なお、平成6年における50分強度と60分強度が逆転しているのは、間に40分の間隔をおいてその前後に大きい10分降雨があったため、50分の場合にはその一方だけを拾うのに対して、60分の場合にはその両方の雨が範囲に入るためである。

Table 1 Monthly rainfall(mm) and order of occurrence through 13 years

month	April	May	June	July	August	September
1993	51.5	123.5	339.0	584.5	350.5	278.0
order	2	7	11	13	13	11
1994	127.5	87.0	118.5	20.0	33.5	109.0
order	7	2	2	1	2	4
Average	131.7	135.2	248.5	236.8	136.4	213.7

Table 2 Short term rainfall intensity (mm/h)

Rainfall Duration	10min	20min	30min	40min	50min	60min	120min
1993	135.0	84.0	80.0	74.3	69.6	65.0	47.5
1994	72.0	48.0	35.0	27.0	21.6	23.5	14.8

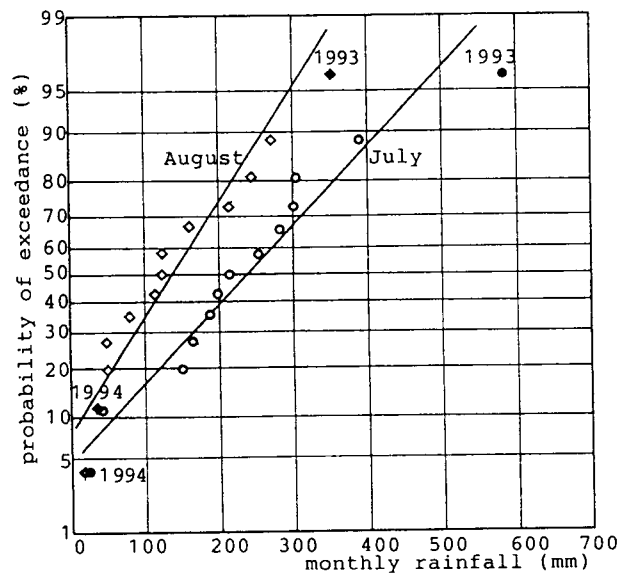


Fig.2 Plotting position of monthly rainfall on probability paper.

4. 流出観測結果

多雨年の平成5年においては、連続雨量の最大値は302mm(7月27~28日)に達した。このときの総流出率は75%であり、この他にも降雨間隔が短かく、土壌が湿潤状態に保たれるため、総流出率が70%前後を示す降雨が数例見られた。他方少雨年の平成6年においては、連続雨量の最大値は55.5mm(6月18~19日)にすぎない。このときの総流出率は30%であり、同年においても降雨間隔が短い場合に50%程度の総流出率が認められるが、全般には土壌が乾燥していたために総流出率は10%台に留まっている。降雨回数が多い連続雨量が30mm以下の場合には、平均的な総流出率は平成5年で40%程度、平成6年で15%程度となっている。ただし平成6年の場合でも、降雨の間隔があまり離れていない場合には、総流出率は高くなっており、降雨の頻度が総流出率に大きく影響を与える。

他方ピーク流出高についてみると、平成5年にはTable 2に示されているような高い短時間降雨強度によって、最大値は63.5mm/h(8月19日)という非常に高い値が得られた。この他にも50mm/h台の高いピーク流出がみられる。平成6年には同様にTable 2の短時間降雨強度は平成5年の場合の1/2または1/3程度に過ぎなくて、ピーク流出高の最大値は8.2mm(4月12日)で、その他の降雨については5mm/h以下である。

いま降雨、流出観測結果から、

$$\text{雨量 } R - \text{流出量 } Re = \text{雨水保留量 } Rl \quad \dots\dots\dots (1)$$

と表し、連続雨量が10mm以上の降雨について、雨量と雨水保留量との関係を平成5年・6年それぞれについて表したものがFig. 3及びFig. 4である。両図のスケールは異なっているが、ここでも平成5年の連続雨量の大きさがわかる。

両年の場合とも、雨量が20mm程度以下の時には、雨水の大部分は地中に保留され、流出する割合は極めて低い。平成6年の観測最大雨量は60mm以下であるが、両年ともこの雨量範囲では保留される割合は降雨開始時の土湿状況、すなわち先行降雨の条件によって変化し、雨水保留傾向にはそれほど差は見られない。平成5年には、連続雨量が250~300mmの例が観測され、このような大きい降雨時には地中に保留される割合は低くなる。

開畑以前の山林状態における流出観測は行われていないので、開畑が流出に及ぼす影響を量的に判断することは出来ない。しかしながら一般に山林の雨水保留容量は可成り大きいと言われており、角屋が取りまとめた事例²⁾などから判断すれば、この開畑流域の総流出率は可成り高い。すなわち雨水保留機能は山林状態に比較して相当低下しているものと考えられる。

このような流出量あるいは保留量の多少は雨量や降雨の頻度に支配されるから、両年の降雨状況を判断する材料にはなるが、両年について流出率や保留率を比較することにはあまり意味はない。したがって、以下においては、これら保留量を畑作物による利用可能性から、および地下水涵養の可能性の面から検討を行う。

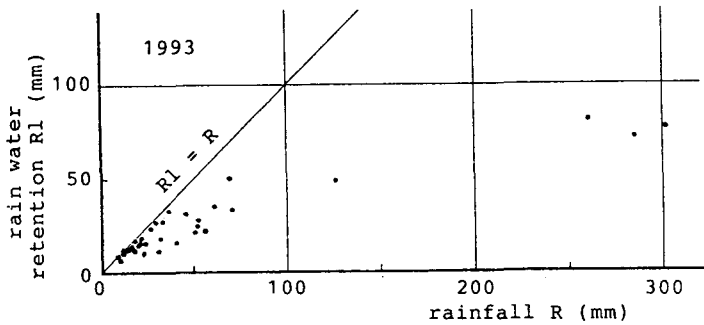


Fig.3 Relations between rainfall and retention in 1993.

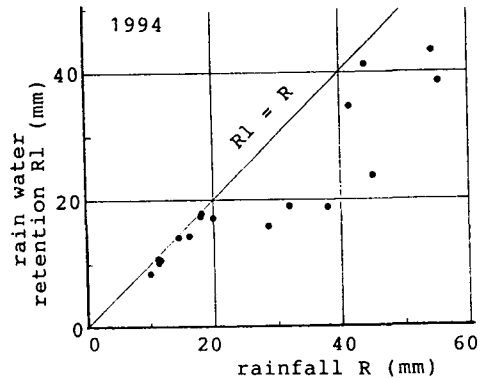


Fig.4 Relations between rainfall and retention in 1994.

5. 保留量からの畑作物有効雨量率の推定

畑地灌漑地区における水利用度の低さが指摘されている³⁾ことに鑑み、別途地区レベルにおける無降雨時の必要灌水量の推定を行った結果、畑地灌漑を補う降雨の有効利用度が低いことが明らかになった⁴⁾。そこで以下の方法によって雨水保留量のうち畑作物によって利用可能な部分、すなわち有効雨量の程度を検討する。ここでは保留量の関係を次式のように考える。

$$\begin{aligned} \text{雨量} - \text{流出量} &= \text{保留量} \\ &= \underbrace{\text{土層浸入量}}_{\text{畑作物有効雨量}} + \text{根群層貯留量} + \text{深層浸透量} + \text{その他損失雨量 (葉面遮断など)} \quad \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

畑作物に有効となる根群層への雨水貯留量の最大値は、土壌及び作物の水分消費から決定される総迅速有効水分量 (TRAM) であるから、まずTRAMを20、30、40mmの3通りに想定 (この地方における畑地灌漑計画では多くはTRAM=20mmを採用している) する。その上で無降雨時にはPenman式で計算した平均的な蒸発散位分だけ根群層の土壌水分が減少し、降雨時にはこの空き容量の範囲で土層浸入量が畑作物に対する有効雨量 (根群層貯留量) に相当するとして扱う。

いまTRAM=20mm、その他損失雨量=0mm、すなわち保留量はすべて土層中に保留されたと考えた場合の平成5年・6年の月別 (4月~9月) 有効雨量率、ならびにTable 1の各月雨量の平均値にもっとも近い降雨分布を示す昭和62年の有効雨量率はFig. 5のようになる。ただし連続雨量が5mm未満の降雨の場合は (2) 式の計算から除外した。したがって有効雨量率計算の分母には5mm未満の降雨は入っていない。

この期間を通しての有効雨量率は多雨年の平成5年には28.2%、少雨年の平成6年には60.9%であり、また平均的雨量年である昭和62年には40.5%となる。月別に検討すれば、雨量中に占める畑作物有効雨量の割合は、月雨量が150mm程度以上になると推定TRAM値が20~40mmの範囲で40%以下となり、雨量が畑作物に利用される割合は低い。しかしながら平成5年4月、平成6年7・8月のように雨量が50mm未満の月には、上記TRAMの範囲で雨量の80%以上が作物によって有効利用される可能性がある。すなわち少雨の月にあつては、5mm以上の雨量の大部分が根群層貯留量になっているものと推定することが出来る。ただし、この有効雨量率は畑地灌漑計画基準に示されている有効雨量算定のための率とは全く別のものであることに注意を要する。

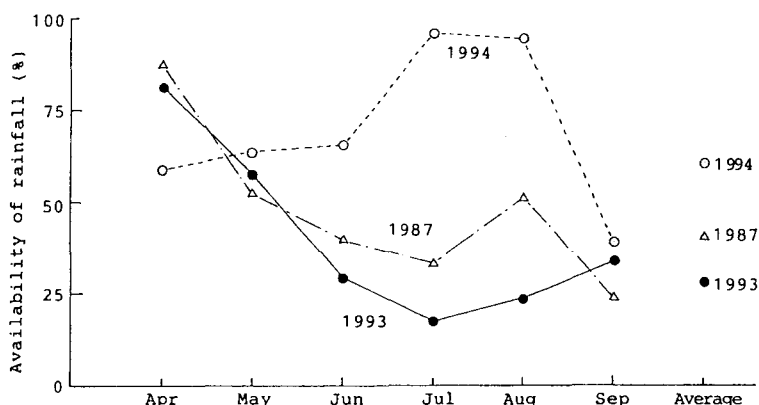


Fig.5 Availability of rainfall by crops.
(in case of TRAM=20mm, no other rainfall loss is considered)

他方、畑地灌漑計画基準による有効雨量の算定方法によれば、5mm以上TRAMまでの雨量の80%を計画上の有効雨量と定めている⁵⁾。ここで、降雨・流出観測資料の中からTRAM以内の連続雨量を取り出して、4月から9月まで全体的に (月別にはデータ数が少ないため検討できない) 有効雨量率を検討すればTable 3が得られる。このようにTRAM=20mm、その他損失雨量=0mmと想定した場合、平成5年では80.4%、平成6年では93.8%となる。その他損失雨量は現実には0mmではなく、また5mm未満の降雨をすべて無効として扱うことにも問題があるので、実際の有効率はTable 3の両方の数値の間に位置づけられるであろう。したがって今回の検討の範囲では、計画基準の80%という有効率はほぼ妥当な値と判断してよいであろう。

Table 3 Availability of rainfall within TRAM (%) by crops

Retention=infiltration			Retention=infiltration+loss(5mm)				
Year	TRAM=20mm	TRAM=30mm	TRAM=40mm	Year	TRAM=20mm	TRAM=30mm	TRAM=40mm
1993	80.4%	70.6%	60.4%	1993	45.1%	42.1%	39.3%
1994	93.8	86.0	81.6	1994	53.2	56.2	55.9

なお、ここで検討を行った根群層貯留量は、土壤中において毛管水として保持されている土壤水分であり、重力によって降下して中間流出となる水、もしくは地下水を涵養する水とは異なることに注意すべきである。すなわち根群層貯留量が大いことは、植物の生育に大きく寄与するが、渇水時の流量保全に役立つものではなく、水源涵養機能とは無関係である。そこで次に(2)式の深層浸透量が水源涵養に寄与する基底流量に相当するものと考えて、以下の検討を行う。

6. 基底流量涵養量の推定

深層浸透量の実際の挙動は複雑であるが、ここでは根群層(有効土層)より下層は常に圃場用水量状態に保たれており、単純に深層浸透量がすべて中間流(interflow)または地下水流となり、河川の基底流量(base flow)の涵養に寄与するものと想定する。なお(2)式その他損失雨量(loss)は先の計画基準による有効雨量の考え方に準拠して5mmとし、併せて

$$\text{雨量} \leq 5\text{mm} \text{ の場合には } \text{雨量} = \text{損失雨量} \dots\dots\dots (3)$$

とみなす。また根群層貯留量の最大値であるTRAMの値は20mmとする。この値は中国地方の鈹質土壤地帯における畑地灌漑計画に用いられているものであり、本試験流域の有効水分保留能力もそれ程大きいとは思われないからである。すなわち(2)式の水収支は次のように表せる。

$$\text{雨量} = \text{流出量} + \text{根群層貯留量(最大値20mm)} + \text{基底流量涵養量} + \text{損失雨量(5mm)} \dots\dots (4)$$

以上のような仮定に基づいて、平成5年・6年の4月から9月までの月別水収支を推定した結果はFig. 6 のようになる。この結果によれば、平成5年にはこの期間の総雨量は1,727mmで基底流量涵養量の合計は144mm(8.3%)、平成6年には総雨量は490mmで基底流量涵養量の合計は49mm(10.0%)である。月別にみれば、雨の少ない時期には土壤が乾燥し、雨量の多くは根群層へ貯留されるため、基底流量涵養量は僅かな割合に留まる。平成6年の9月を除けば、雨量中に占める基底流量涵養量は0~12%程度にすぎなく、最大値は平成5年では7月の54.1mm、平成6年では9月の38.5mmである。

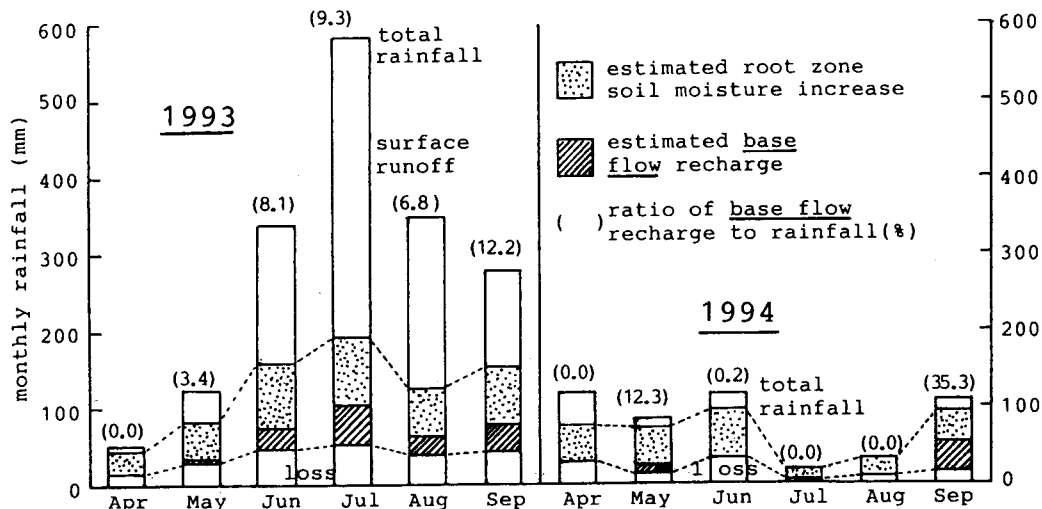


Fig.6 Estimated monthly water balance.
(in case of TRAM = 20mm, rainfall loss = 5mm)

7. 総括

開畑地における長期間の降雨・流出観測結果の中から、全国的に多雨年・少雨年と言われた平成5年・6年の記録を基に、本試験流域のもつ流出特性、雨水保留特性について両年の比較を行い、その上で植物の根群域に貯留され、畑作物の生育に寄与するであろう有効雨量、ならびに無降雨時に河川流量を維持す

る基底流量涵養量の推定を行った。治水水面から考察すれば、降雨継続時間が10分～20分の場合の短時間降雨強度は著しく高く（本流域の洪水到達時間は10分前後と思われる）、したがって平成5年には50～60mm/h級の非常に高い流出がしばしば発生している。併せて総流出率が山林の場合に比べて高いと思われる。

これらの事実からすれば、環境保全の点では開畑流域は山林流域に比べて治水水面ではマイナスの効果を発現していると言える。このように降雨時に多量の表面流出が発生することは、利水上からも降雨の有効利用（水資源の涵養）率の低下につながるものであるが、しかしながらこのような開畑地は一般的に河川の上中流部、中山間地帯に存在し、その下流部においてダム等に貯留され、あるいは河川からの浸透によって、下流域での水利用に寄与する機会が残されているから、開畑による表面流出の増加は、水資源の点からみて必ずしも全て無駄になるというものではない。

次に利水の面から、降雨の内植生の生育に利用可能な土壌水分の増加量（畑作物による有効雨量）及び河川の基底流量涵養に寄与する量の推定を行った。このうち雨量中に占める畑作物有効雨量の割合は、月雨量が150mm程度以上になると推定TRAM値が20～40mmの範囲で40%以下となる。他方平成5年4月、平成6年7・8月のように雨量が50mm未満の月には、上記TRAMの範囲で80%以上が作物によって有効利用される可能性がある。

上記の畑作物有効雨量は作物の根群域に毛管水として貯留されるものであり、いわゆる水源涵養機能とは異なっている。そこで土層に浸入した雨水の内で根群層貯留量を越える部分を、河川の基底流量涵養（水源涵養）に寄与するものとして取り扱おうと、その値が月ごとの雨量中に占める割合は、降雨量や降雨頻度によって変化するものの、0～12%の範囲に留まっている。森林土壌中には200～300mmの貯留容量がある⁶⁾とも言われており、開畑地の有する雨水保留機能が山林の有する機能よりも低下することはしばしば指摘されているが、反面山林からの蒸発散量は開畑地からの値を上回っていることも指摘されているので、ここでは水源涵養機能の大小については論じられない。

以上の解析には、雨量中に占める植物による遮断、窪地貯留などの初期損失分、開畑地土壌の総迅速有効水分保留容量などについて幾つかの想定を導入しているため、表面流出量以外の数値にはある程度の変動幅が存在するものの、大方の傾向を示すことが出来たと思われ、開畑が治水、利水に及ぼす影響がある程度明確になった。今後広く環境問題を討議する場合には、この種の調査研究を多くの事例について実施していくことが必要である。

引用文献

- 1) Yomota,A., M.N.Islam : Kinematic analysis of flood runoff for a small-scale upland field, Journal of Hydrology, 137, pp.311-326 (1992)
- 2) 角屋睦：流出解析法（その15最終稿），農業土木学会誌，49-6，pp.517-520 (1981)
- 3) 四方田穆，黒田正治：普通畑の水利用実態と用水計画のあり方，農業土木学会誌，58-11，pp.1093-1100 (1990)
- 4) Yomota,A., G.M.Ndegwa : Water use for upland irrigation in a humid region of Japan, Agricultural water management, 28, pp.185-200 (1995)
- 5) 農林水産省構造改善局：土地改良事業計画設計基準 計画 畑地かんがい，pp.43-44 (1982)
- 6) 竹下敬司：水源かん養と森林，水利科学，No.2, Vol.34 ,p.7 (1990)