

直接流出と累加雨量について

On the Relation between Direct Runoff and Accumulated Rainfall

国防防災科学技術センター 正員 岸井徳雄

1. はじめに

表面流出と中間流出は合わせて直接流出と呼ばれ、洪水流出の主成分であるがその発生機構については研究例^{1),2)}もあるが未だ完全にはその機構は解明されていない。著者等は、小流域における表面流出・中間流出の発生機構を明らかにする第一歩として、実験斜面上において、斜面表層の土壤水分と表面流出の発生についての実験を行なった³⁾。この結果、降雨を受ける実験斜面の表層の土壤水分が表面流出の発生の時刻及び発生量と密接な関係があることがわかった。この土壤水分の増加を持たずものは、当然降雨条件（累加雨量、強度等）が大きな要因の一つである。

しかし、実際の自然斜面では、表面流出・中間流出の発生と降雨条件との関係は未だ明らかではない。実際の河川流域のハイドログラフから直接流出の発生について研究する上で問題となるのは、時間遅れとハイドログラフの変形である。それらのことにより斜面直下で得られたハイドログラフと河川流域で得られたハイドログラフに差違が生ずる。

そこでこの差違を除くため小流域において降雨と流出量を観測して、両者の対応関係から直接流出の発生状況を推定することを試みた。

2. 小流域の概要

小流域は、千葉県下養老川上流浦白川流出試験地内にある。流域内は一面に杉林であり、林内は一年生の草木、落葉樹のかん木が繁っている。流域のはば中央に泥岩の露出した水路がある。地質は第四紀更新世の上総層群に属する砂質泥岩から成り、表層土壌は薄く雨水は浸透しにくく洪水流出量が比較的大きい。小流域の上流端から下流端まで139mで、流域最大巾は64m、流域面積は0.63haである（図-1）。

この小流域に水位雨量計（中浅測器製、紙送り速度18mm/h）及び鋼製の直角三角ゼキを設置した。この測器により水位と雨量を同時記録されることができ、到達時間の短い小流域での流出量の観測を精確に行なうことができる。

3. 直接流出と累加雨量について

解析対称洪水を表-1に示してある。これらの洪水は前述の三角ゼキを設置した1981年7月以後に得られたもので計7例ある。それらの洪水の総雨量は31mmから184mmにわたる。表-1内の総流出高（総直接流出高）は、ハイドログラフの立上りの流量（初期流量）を水平分離して基底流量を差し引いた後の流量である。以下に述べる累加流出高を計算する時の流出高（直接流出高）も同様にして基底流量を分離したものをを用いた。

表-1 洪水の諸元

洪水 番号	洪水生起 年・月・日	総雨量 (mm)	総流出高 (mm)	流出率	ピーク流出高 (mm/10min.)
No. 1	1981. 7.24	43.5	5.45	0.125	0.47
No. 2	" . 8.23	101.0	25.77	0.255	0.88
No. 3	" . 9.12	31.0	8.80	0.284	0.28
No. 4	" .10. 2	54.0	21.99	0.407	0.47
No. 5	" .10. 8	49.0	16.47	0.336	0.24
No. 6	" .10.22	184.0	128.85	0.700	4.30
No. 7	" .11. 2	63.0	38.08	0.604	1.67

各洪水の10分間毎の雨量，流出高を順次加算し，その結果を図示したのが図2～図8である。累加雨量と累加流出高との関係は7洪水とも洪水継続時間の終端までプロットしてある。7洪水中，図7に示してあるNo.6洪水は，総雨量184mmと他の洪水に比べて非常に大きい。それ故に図7の縦軸及び横軸は他の図の1／3に縮小してある。

以下に各洪水毎に累加雨量と累加流出高の関係を述べる。

No.1洪水では累加雨量20mmにおける累加流出高は0.73mmと小さい。累加雨量が20mmを越えると直接流出高は増加し始めており，30mmを越えるとその傾向はさらに顕著となる。しかし総雨量に対する総流出高，即ち，流出率は0.125と小さい値である。本洪水は，夏季の洪水であり，かつ洪水前10日間の総雨量は10mmと非常に少なく，斜面表層の土壌の水分量は著しく減少していたため，降雨は土壌の水分量の増加に費やされたためと推定される。

No.2洪水ではNo.1洪水と同じく夏季の洪水であり洪水前21日間の雨量は5.5mmと非常に少ない。このため累加雨量が30mmまで累加流出高が小さく，直接流出の発生量はほとんど無視できる程度と考えられる。累加雨量が30mm～40mmの中程から直接流出量は増加し，特に50mm以上での直接流出の増加は顕著である。又，本洪水は総雨量101mmで7洪水中では大きい方であるが流出率は0.255と小さい値を示している。これはNo.1洪水の項で述べたように夏季で前期雨量が少なかったためであろう。

No.3洪水では累加雨量20mmで累加流出高は1.44mmであり，20mm以上で明らかに直接流出の増大が見られる。本洪水の総雨量は31mmで7洪水中最小であるが流出率は，0.284を示し，No.1，No.2洪水よりは大きい。なお，累加雨量が28.5mmで累加流出高が急に大きくなるのは降雨の中断があったためである。同様のことはNo.7洪水において累加雨量35mmで生じている。

No.4洪水もNo.3洪水と同様累加雨量20mmで累加流出高1.66mmと大きくなり，直接流出の増加を示している。累加雨量が20mmを越えると直接流出はさらに増加する。累加雨量が40mm，50mm，60mmと増えるに従い直接流出はさらに増加していることがわかる。

No.5洪水においても累加雨量が20mmに達するまでは直接流出の発生量は小さい。しかし20mm以上では他の洪水例と同様，直接流出の増大が生ずる。

No.6洪水は，総雨量184mm，ピーク流出高4.3mm/10min，と7洪水中最大の洪水である。それ故，累加雨量の大きい値まで累加流出高との関係が得られる。特に累加雨量が50mm以上の直接流出の増大が明らかである。累加雨量が150mm以上になると流出率が1近くになっていることがわかる。

No.7洪水も，No.3～No.6洪水と同様，累加雨量が20mm近くで直接流出量が増加しており，累加雨量が50mm以上になるとさらにその傾向は強くなっている。

以上の7洪水の例から，累加雨量20mmまでは，直接流出の発生量は非常に少なく，それ以上の累加雨量では，直接流出の発生量は多くなる。しかし，夏季において晴天が続く，斜面表層の土壌水分が少なく，土壌が乾いている条件下では累加雨量が30mm～40mmまでは，直接流出の発生は少ない。

次に，累加雨量の増加とともに直接流出の発生量が多くなる状況を流出率を用いて表わしてみる。このため累加雨量を最大で8階級（No.6洪水）に分ける。その分け方は，累加雨量50mmまでは10mm毎に5階級に，50mmから150mmまでは50mm毎に3階級に分け，150mmから180mmまでを1階級にする。次にそれぞれの階級に対応する累加流出高からそれぞれの階級の流出率を求める。流出率は各階級毎に（累加流出高）／（累加雨量）で求めることができる。このことを7洪水すべてについて行ない，各階級毎に平均値を求めた。流出率の値は，累加雨量の各階級の中央値に対応するものとして図9に示してある。

このようにして求めた流出率と累加雨量の関係であるから，個々の洪水の流出率のばらつきは隠されてしまう。特に総雨量が100mm以上の洪水は2例しかなく，図9の結果によって累加雨量と流出率について確定的なことは言い難いが大よその傾向は把握できる。

図9から累加雨量が50mm程度では流出率は0.5，累加雨量が100mm以上になると流出率0.8以上になっていることがわかる。このように累加雨量の増大とともに流出率が大きくなることは，直接流出の発生量が累加雨量の増大とともに大きくなっていることを示している。一方，流出率を流域内の流出域に対応するものと考えれば，累加雨

量の増大とともに流出域が大きくなり、累加雨量が100mm を越えると流域の80%以上が流出域となっていることになる。流出域と表面流出の発生域との関係は明らかではないが、かなりの表面流出発生域が生じているものと考えられる。その表面流出の発生域として考えられる場所は斜面の下部程可能性は大きい。これは実験斜面上においても観察された。その他、斜面上の水みち、基岩の露出した部分等浸透能の小さい場所から表面流出が発生していると考えられる。

4. おわりに

浦白川流出試験地内の小流域で1981年7月以後観測された洪水の資料を用いて直接流出と累加雨量の関係を調べた。得られた洪水は7例で総降雨量の大きい例は少なく確定的な結論は下せないが、①累加雨量が20mmから40mm程度までは直接流出量は非常に少ない。従ってその発生場所も限定されることが考えられること、②累加雨量が50mm以上になると流出率は相当大きくなり、直接流出の発生量は大きくなる。又、累加雨量が150mm 以上の洪水では流出率が1に近づく。

これらの結果は、浦白川流出試験地内の小流域で得られたものであり、総雨量の大きい洪水例は少ない。今後はさらに総雨量の大きい洪水例を調査するとともに地形・地質の異なる他の小流域の洪水資料を合わせ調査して直接流出と累加雨量の関係を詳細に調査して行かねばならないと考える。

参考文献

1) 木下武雄・中根和郎：表面流出に関する研究（その1）—実験斜面において降雨強度が表面流出の発生に及ぼす影響、国立防災科学技術センター研究報告第18号，pp35—49，1977。
2) 青木佑久：山地流域における洪水流出の追跡，土木研究所報告 143号の2，pp37—40，1971。
3) 岸井徳雄・大倉博：実験斜面における表面流出の発生に関する研究，土木学会第25回水理講演会論文集，pp147—152，1981。

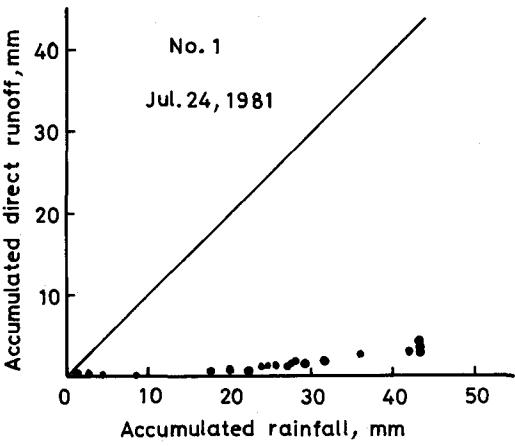


図-2 累加流出高と累加雨量 (No.1 洪水)

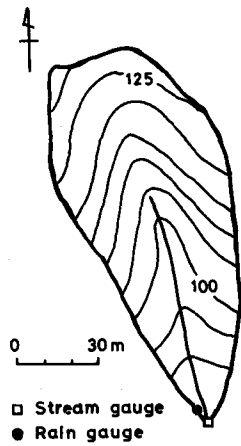
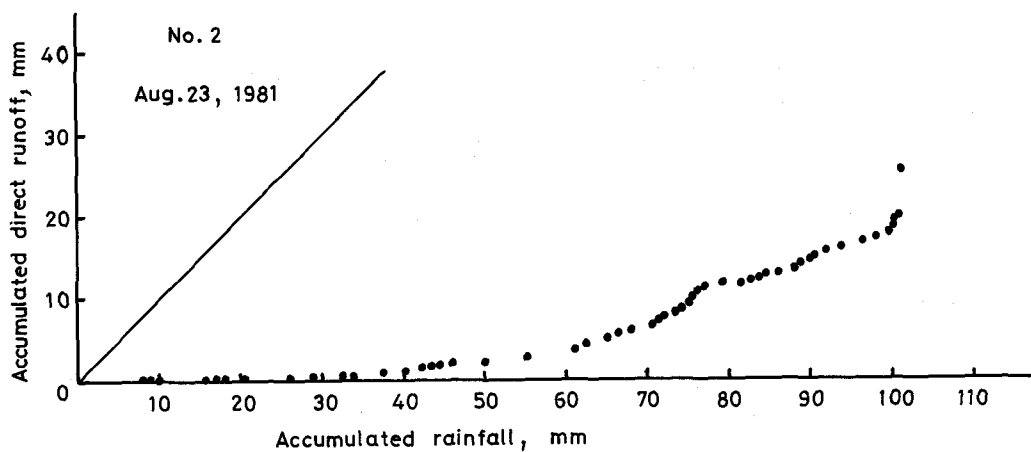
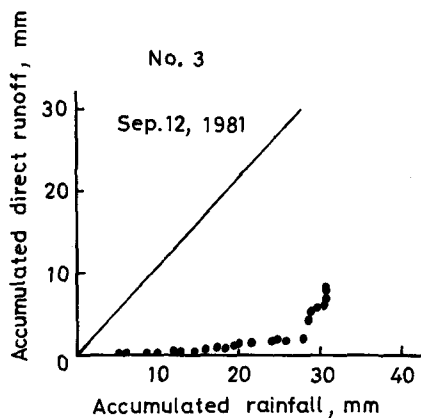


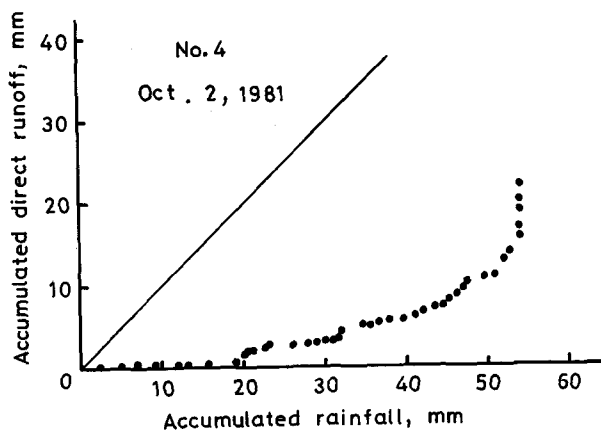
図-1 浦白川流出試験地内の小流域



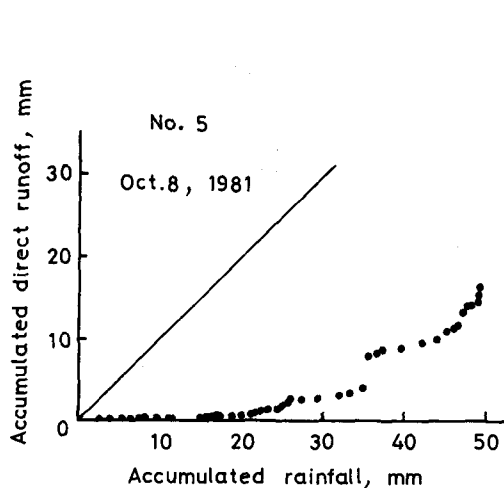
図一3 累加流出高と累加雨量 (No.2洪水)



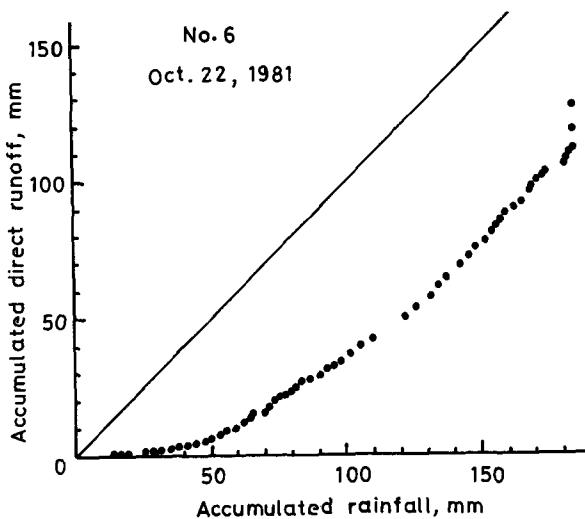
図一4 累加流出高と累加雨量 (No.3洪水)



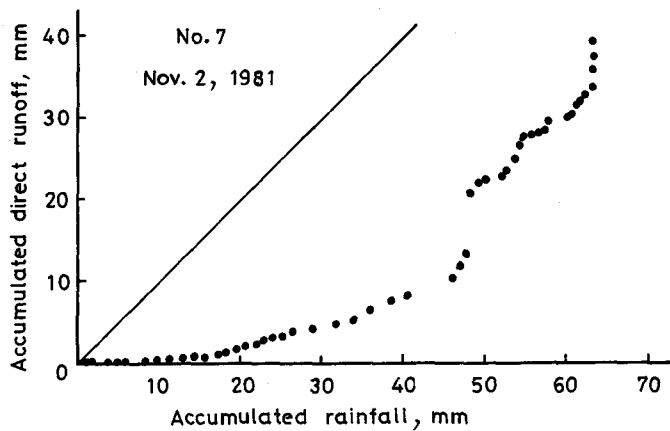
図一5 累加流出高と累加雨量 (No.4洪水)



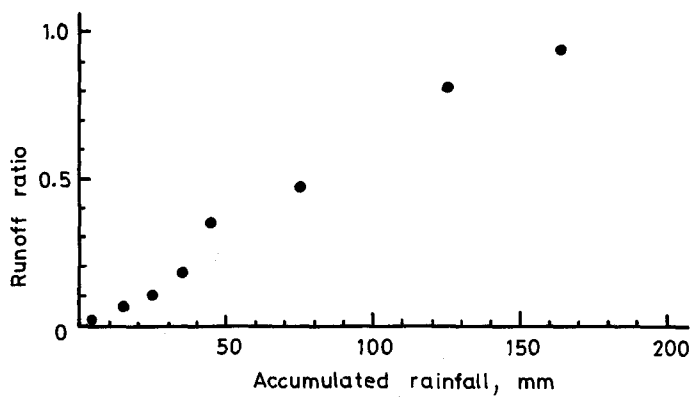
図一6 累加流出高と累加雨量 (No.5洪水)



図一7 累加流出高と累加雨量 (No.6洪水)



図一8 累加流出高と累加雨量 (No.7 洪水)



図一9 流出率と累加雨量 (7 洪水の平均)