

浦白川流出試験地及び筑波研究学園流出試験地の水収支の比較

著者	岸井 徳雄, 佐藤 照子, 中根 和郎, 大倉 博
雑誌名	国立防災科学技術センター 研究報告
巻	40
ページ	1-20
発行年	1987-11
URL	http://doi.org/10.24732/nied.00000958

浦白川流出試験地及び筑波研究 学園流出試験地の水収支の比較

岸井徳雄*・佐藤照子**・中根和郎****・大倉 博***

国立防災科学技術センター

Comparison of the Water Balance of the Experimental Basins in the Urajiro River and in Tsukuba Science City

By

T. Kishii, T. Sato, K. Nakane and H. Ohkura

National Research Center for Disaster Prevention, Japan

Abstract

The water balances of the two experimental basins are compared. One is located in the south part of Kanto District and called the Urajiro River Experimental Basin (hereinafter called UREB). The other is in the middle part of the same district and called the Tsukuba Science City Experimental Basin (hereinafter called TSEB). In the former, there are two gauging stations, Tsukizaki and Kakinokidai which is inside of the Tsukizaki basin. The latter consists of the two separate basins, Uenomurobashi and Yachiyobashi. The UREB is a hilly area and almost covered with trees. The TSEB is an artificially changed basin on the diluvial terrace. The percentage of the impervious area to the whole basin area is 22% in Uenomurobashi and is 15% in Yachiyobashi. The impervious area is defined as the total area of roads, parking lots, buildings, athletic fields, ponds and river channels.

Periods of the rainfall and runoff data for the water balances are from 1979 to 1985 in the UREB and from 1981 to 1985 in the TSEB. Time intervals of the water balances in this report are a year, a month and a storm. The yearly values are the sum of the monthly values from January to December in each year for yearly water balances. The monthly water balance is analyzed by use of a mean monthly value which is defined as the arithmetic

*第1研究部, **第3研究部降雨実験室, ***第4研究部計測研究室, ****資源調査所 (前国立防災科学技術センター第1研究部風水害防災研究室)

mean of the corresponding months. Values of every ten minutes are used for the relations between the storm rainfall and the storm runoff.

The following results are obtained for the three time intervals of the water balances.

Yearly water balance: The larger the rainfalls show the larger the differences between the rainfalls and the runoffs in all four basins. The runoff ratios for four basins are rather small, comparing with the several river basins (basin area: 700–1,200 km²) in Kanto District.

Monthly water balance: The mean monthly runoffs are almost proportional to the mean monthly rainfalls in the two basins of the UREB. The relations between the mean monthly rainfall and the mean monthly runoff show the counterclockwise flat loops in the two basins of the TSEB in Fig. 3.2.7 and Fig. 3.2.8. This reason may be that it takes long time from rainfall to runoff in the TSEB.

The relation between the storm rainfall and the storm runoff: The larger the storm rainfalls are, the larger the storm runoffs are. The runoff ratios are about 0.5 below 200 mm of the storm rainfall in Tsukizaki, Uenomurobashi and Yachiyobashi basins. The time runoff rate defined by Expression 6 is larger in Uenomurobashi than those of Tsukizaki and Yachiyobashi. In the Uenomurobashi basin where some parts of the runoff come from the sewage system, the time runoff rate increase more rapidly than that of the Tsukizaki basin at the time of the similar rainfall.

1. はじめに

流域に降雨があった時、どのように流出が生じるかを予測することは、水文学上、あるいは実用上として、洪水、渇水対策上重要な課題である。このような課題の解明には当該流域での詳細な水文観測資料の解析に依り、降雨一流出の関係を明らかにする必要がある。さらに、この関係は地形、地質及び土地利用等の流域条件により異なると考えられるので、複数の流域での比較が必要である。

当センターでは、流域条件の異なる浦白川流出試験地及び筑波研究学園流出試験地を管理し、詳細な水文観測資料の蓄積を進めてきた。今まで、この資料を用いて、それぞれの試験地における洪水時の降雨流出の関係について、(岸井, 1978), (岸井, 1982), (木下, 1982), (武田他, 1982) 及び(岸井他, 1984)等の報告がなされてきた。

本報告では、降雨一流出の関係を洪水時のみならず、さらに、月及び年の期間、即ち、月水収支、年水収支等を両試験地で調べる。さらに、それぞれの試験地での水収支の結果を相互比較して、流域条件等との関連について考察する。

2. 流域条件及び水文観測資料

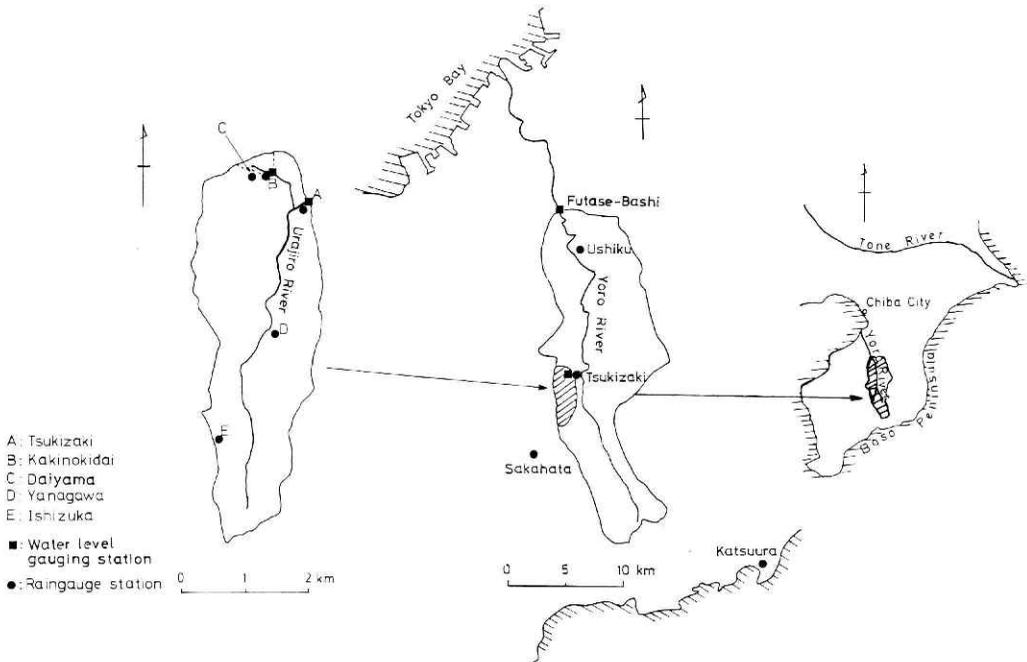
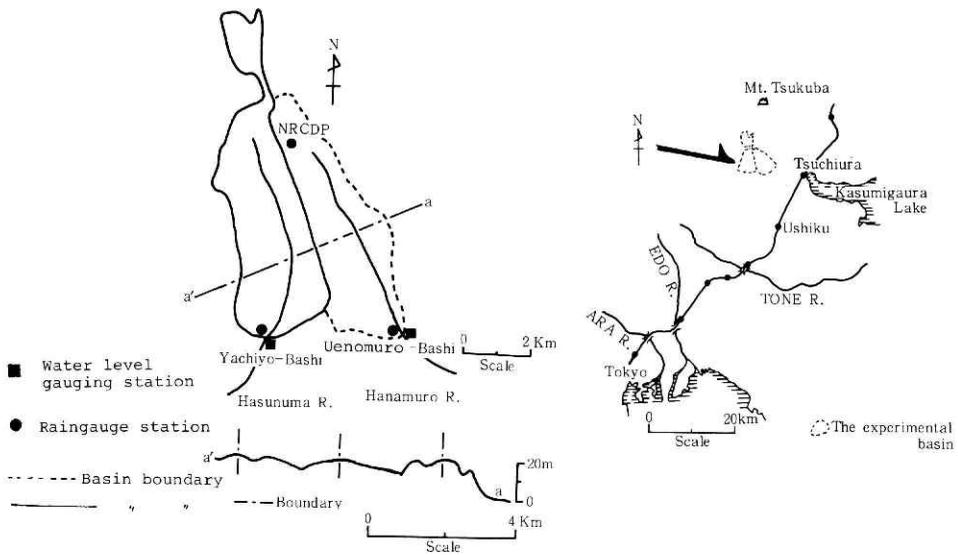


図 2.1 浦白川流出試験地及び二瀬橋流域の観測所配置

Fig. 2.1 Location of water level gauging stations and raingauge stations in the experimental basin in the Urajiro River and in the Futase-bashi.



NRCDP: National Research Center for Disaster Prevention

図 2.2 筑波研究学園流出試験地の観測所配置

Fig. 2.2 Location of water level gauging stations and raingauge stations in the experimental basin in the Tsukuba Science City.

両試験地の流域条件については、前述した報告書に詳しく述べてあるので、本章では、水収支に関連の深い事項について簡潔に記す。本報告で対象とする流域は、表 2.1 に示す 4 流域である。観測所の位置等については図 2.1～図 2.2 に示す。

表 2.1 浦白川流出試験地及び筑波研究学園流出試験地の流域条件

Table 2.1 Characteristics of the experimental basins in the Urajiro River and in the Tsukuba Science City

流域条件	浦白川流出試験地		筑波研究学園流出試験地	
	柿ノ木台流域	月 崎 流 域	上の室橋流域	八千代橋流域
流 域 面 積 (km ²)	0.147	9.04	12.46	14.86
流 路 勾 配	1/10	1/30	1/700	1/500
表 層 土 壤	砂質土	砂質土	関東ローム	関東ローム
林 地 面 積 率 (%)	100	93	11	19
不 浸 透 面 積 率 (%)	(0)	(0.4)	22	15

2.1 流域条件

2.1.1 地 形

㉑ 流域面積は、柿ノ木台流域が他の 3 流域に比し、かなり小さく、他の 3 流域は、いずれも 10km²前後である。

㉒ 流路勾配は、柿ノ木台及び月崎流域の方が上の室橋及び八千代橋流域より 1 オーダ程度大きく、それぞれ山地河川と平地河川の特徴を示している。

2.1.2 地 質

㉑ 表層土壌は、浦白川流出試験地の 2 流域では、透水性の高い土壌が薄く(高々数 10cm)堆積し、その下に砂質泥岩があり、一方、筑波研究学園流出試験地の 2 流域では、空隙率の大きい関東ロームが堆積し、その下に粘土層、砂礫層がある。

2.1.3 土地利用

㉑ 林地面積率は、浦白川流出試験地の 2 流域では、大きく、一方、筑波研究学園流出試験地の 2 流域では、小さく、人工改変の進んだ土地利用を示している。

㉒ 不浸透面積率は、浦白川流出試験地の 2 流域では、0%程度であり、筑波研究学園流出試験地では 20%前後の値で、上の室橋流域の方が八千代橋流域より大きい。

ここで、不浸透面積とは、道路、駐車場、建物、歩道、運動場、池及び川等の面積和である。なお、浦白川流出試験地の 2 流域に対しては、不浸透面積を住宅地の面積とし、その値と流域面積との百分比を表 2.1 中に () 書きで示した。

2.2 水文観測方法

降水量，流出量は，以下のような観測によって得たものである。降水量は，径 200 mm の円筒形の転倒マス型雨量計で観測されたものである。流量は，柿ノ木台においては，量水堰の越流深をフロート式水位計で観測し，堰の越流公式を用いて求めた。その他の 3 流域は，低水時・高水時の流量観測から水位流量曲線を作成し，フロート式水位計で観測された水位から流量を求めた。流出量は，流量を流域面積で除し，係数を乗じて求めた。

2.3 水文量の算出

面積雨量，流出量の年，月及び洪水時の各期間の値の算出方法について述べる。

2.3.1 面積雨量

浦白川流出試験地には，月崎，柿ノ木台，台山，柳川，石塚の計 5 箇所の雨量観測地点がある（前掲図 2.1）。そこで月崎流域の面積雨量は，これら 5 箇所の降水量の算術平均とした。柿ノ木台流域に対しては，柿ノ木台地点の降水量を用いた。筑波研究学園流出試験地には，上の室橋，八千代橋，当防災センターと計 3 箇所の雨量観測地点がある（前掲図 2.1.2）。防災センターは，上の室流域の上流に位置し，又，上の室橋流域と八千代橋流域との流域界付近に位置する。そこで，上の室橋流域の面積雨量としては，上の室橋と防災センターの降水量の算術平均とした。八千代橋流域に対しては，八千代橋地点と防災センターとの降水量の算術平均を用いた。

なお，両試験地共，冬季において降雪はあるが，量的には少く，日降水量で見ると融解により降雨として計測されるので降水量は，降雨量と考えてよい。

2.3.2 流出量

年流出量 (mm/y) は，月流出量 (mm/month) の 12 ヶ月の合計値とし，月流出量は，当該月の日流出量 (mm/day) の合計値とした。日流出量は，当該日の毎正時の流出量 (mm/h)，24 箇の合計値とした。洪水時の降雨－流出関係に用いた流出量は，10 分毎のデータである。

3. 水収支

水収支を調べることにより流域の水文特性を簡潔に知ることができる。流域への水の流入および流出に係わる水文要素は，

- ① 流域への水の流入する量として，降水（降雨および降雪） R 及び用水量 I
- ② 流域から流出する量として，河川の流量 Q ，蒸発散量 E ，当該観測所を通過しないで流域外へ流出する量 G ，および水収支期間内に Q ， E とならないで流域の浅い部分および土壌中等に保留される水分の増加量 ΔS からなり，これらは(1)式で関係づけられる。

$$R + I = Q + E + G + \Delta S \quad (1)$$

(1)式の右辺のE, Gおよび ΔS は観測ができないか観測が困難な量で, これら3つの水文要素の和をLとおく. Lは, 損失量と呼ばれる. 即ち,

$$L = E + G + \Delta S \quad (2)$$

その結果, (1), (2)式より,

$$R + I = Q + L \quad (3)$$

となる.

また, 降水量R及び用水量Iと流量Qの比を流出率と定義する.

$$f = Q / (R + I) \quad (4)$$

水収支の期間を年, または月とした場合, それぞれの水文要素にそれぞれの水収支の期間名を冠する.

3.1 年水収支

3.1.1 年水収支の意味

年水収支の期間の境は河川の流量の変化が最も小さい時期が選ばれる. これは各年の年水収支を調べる場合変動が少ないため, 各年ほぼ同一の水文サイクルとなるようにするためである. そこで水文年の境として冬期の低水流量が最小の時期とする方法もあるが, ここでは実用的に暦年, 即ち1月から12月までを年水収支の期間とする. この場合において, ΔS は近似的に0と置いてよからう.

蒸発散量Eおよび観測所を通過しない量Gは観測が困難であり, 本試験地においてはこれらの量は観測されていない. そこで年間のE+Gを年損失量と考えそれぞれの水文学量に添字yをつけ, 年水収支式を,

$$R_y + I_y = Q_y + L_y \quad (5)$$

とする.

3.1.2 年水収支の結果

両試験地の年降水量, 年流出量および年損失量を図3.1.1～図3.1.2に示す.

さらにここでは, 養老人木川の二瀬橋流域(流域面積184.2km²; 図2.1)における年降水量および年流出量を参考として加える. 二瀬橋流域の年降水量は牛久, 坂畑, 勝浦(いずれも気象庁のAMeDAS地点)および浦白川流出試験地の年降水量の算術平均値とした. 年流

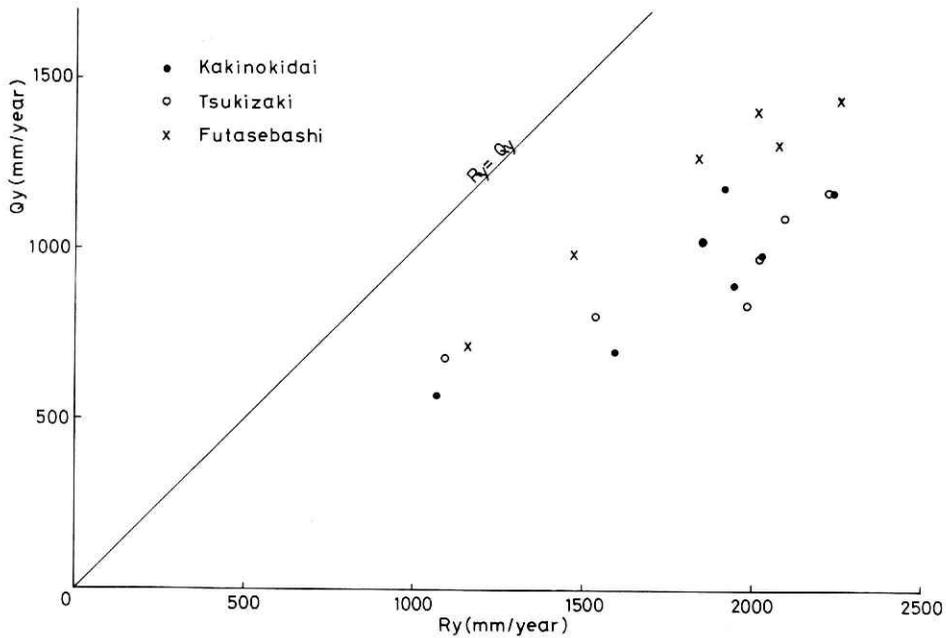


図 3.1.1 年降水量と年流出量の関係 (柿ノ木台●, 月崎○, 二瀬橋×)

Fig. 3.1.1 Relation between annual precipitation and annual runoff in Kakinokidai (●), Tsukizaki (○) and Futasebashi (x).

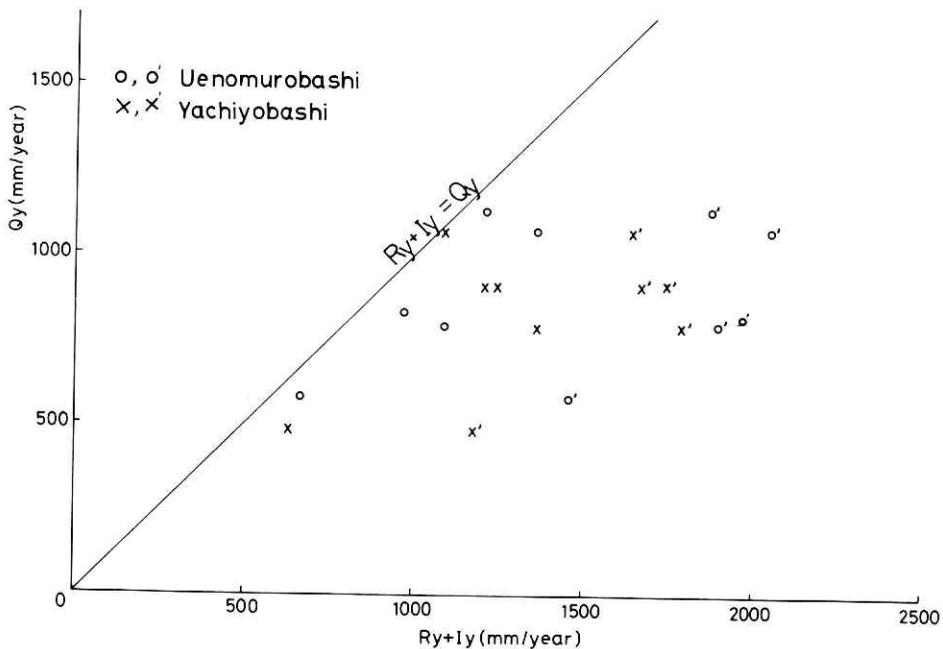


図 3.1.2 年降・用水量と年流出量の関係 (上の室橋 (○, ○'), 八千代橋 (x, x'))

Fig. 3.1.2 Relation between annual precipitation and annual runoff in Uenomurobashi (○, ○') and Yachiyobashi (x, x').

出量は千葉県養老川開発事務所の資料による。二瀬橋流域の位置は前掲の図 2. 1 に示す。

① 浦白川流出試験地及び二瀬橋流域の年水収支

図 3. 1. 1 から、柿ノ木台及び月崎流域においては年降水量の増大と共に年損失量* が大きくなる傾向がある。例えば、年降水量が 1,000 mm 程度で年損失量 400～500 mm、年降水量 1,500～1,600 mm で年損失量 700～900 mm、年降水量 1,900～2,200 mm で年損失量 400～1,100 mm となっている。

(1) 二瀬橋流域 (図 3. 1. 1 中×印) では、年損失量は年降水量の増加と共に増大している。

(2) 年降水量が小さくなると 3 流域とも年損失量は同程度となるようである。

(3) 二瀬橋流域 (流域面積は月崎流域の約 20 倍) では年損失量が本試験地より小さい傾向がある。

② 筑波研究学園流出試験地の年水収支

筑波研究学園流出試験地の上の室橋流域及び八千代橋流域の年収支の結果を前掲図 3. 1. 2 に示した。この図中○、○' は上の室橋流域を示し、×、×' は八千代橋流域を示す。両流域共、毎年 4 月～9 月の期間に農業用水が流域外より供給されており、この用水量 (I_y) と年降・用水量 (R_y) の和を横軸の値とした場合を○' 及び×' で示した。この図から両流域共、年降・用水量** 1,200～1,500 mm で、年損失量 700～900 mm の範囲、年降・用水量 1,500～2,000 mm で、年損失量 600～1,200 mm の範囲であり、年降・用水量の増大と共に年損失量が増大している。

③ 両流出試験地の比較

このことを浦白川流出試験地の 2 流域と比較すると、年降・用水量 1,000～1,500 mm では、筑波研究学園流出試験地の 2 流域の年損失量がより大きい。また年降・用水量 1,500 mm 以上となると両試験地の間の年損失量は、ほぼ同じとなる。年降・用水量が 1,500 mm 以下の場合の両試験地の間の年損失量の差異は、以下のように考えられる。筑波研究学園流出試験地においては、降雨は、時間をかけてゆっくりと河道に流出してくる。それは、次章の月水収支の結果から推定される。この河道に流出してくる間に地中水が空気中へ蒸発散として失われる。この量は、河道に流出するまでの時間の増大と共に増大するから、浦白川流出試験地に比べ、より多く蒸発散が生じ、損失量がより大きくなると推定される。一方、年降・用水量が 1,500 mm を越える年においては、両試験地共、1 年を通して、流域の表層は、湿った状態の日が多く、同程度の可能蒸発散に近い損失量が生じているためではなかろうか。

④ 他地域との比較

さらに両試験地の年水収支と他流域の調査結果を比較すると以下の通りである。

* 年損失量 h_y は、(3)式で定義されるが、それはまた図 3. 1. 1 において年流出量 Q_y を表わす各点 (●, ○, ×印) から横軸に垂直に直線を引き、直線 $R_y = Q_y$ と交わる点までの長さ。

** 年降・用水量 = 用水量 (I_y) + 年降・用水量 (R_y) の値である。

建設省の調査（建設省土木研究所，1966年）によれば，関東地方の河川（利根川，神流川，荒川他，流域面積：700 km²～2,200 km²）の年流出率は，年降水量 1,500 mm～2,000 mmの年で平均 0.7 である。年損失量で表わすと 450 mm～600 mm である。

農林水産省林業試験場が管理する森林理水試験地の年水収支の結果（中野，1976）によると年降水量が 1,700 mm～1,800 mm 以上ある流域*では，年損失量は年降水量（1,700 mm～3,800 mm）に関係なく一定となることが報告されている。

これらの結果を相互比較すると，当センターの両試験地の年損失量は，年降水量 2,000 mm 程度の場合に 1,000 mm 程度である。一方，建設省が調査した関東諸河川は流域面積が 700 km²～2,200 km²と本試験地より大きく年損失量が小さい傾向がある。このことと前述の結果即ち，当センターの両試験地の年損失量が二瀬橋流域の年損失量より大きくなることを合わせ考えると，流域面積が大きくなると年損失量が小さくなると考えられる。

また，当センターの両試験地の年損失量は，年降水量の増加と共に増大する傾向がある。一方，森林理水試験地の結果によると年損失量は，年降水量に関係なく一定である。この両者の年降水量と年損失量の関係が異なる原因については確定し難い。

3.2 月水収支

3.2.1 月水収支の意味

1年より短い周期，例えば季節変化，月毎の変化を明らかにするためには月水収支を調べなければならない。そこで月毎の水文量 R_m ， Q_m および L_m の変化を調べる。まず月降水量は，我が国において年間に 3 つのピークがある。それは，降雪期，梅雨期，および台風期である。浦白川流出試験地では 4 月の春雨，6 月の梅雨および 11 月の秋雨の 3 つのピークがある。

月流出量は月降水量および月損失量により決まってくる。月損失量の内，蒸発散量は流域表面からの蒸発量と植物の葉面からの蒸散量からなる。蒸発散量は主として気温と植生によってきまるとされている。一般に気温は夏期に高く冬期に低く，植生は春から夏の季節に活動が盛んである。そこで蒸発散量は春，夏期に大きく冬期に小さいとされている。月損失量の内，土壌水分の変化量 ΔS は暦上の月始めと月末の貯留量の差である。この量は観測していないので確定できない。 ΔS はある程度の量となる可能性はある。ここでは月損失量 L_m は $L_m = E_m + G_m + \Delta S_m$ とする。

3.2.2 月水収支の結果

浦白川流出試験地の 1979 年から 1985 年までの月水収支の各水文要素を示す。月崎地点においては 1985 年に河川改修工事が行なわれたため，流量観測が不可能となり，そのため当年の

* 去川，釜淵，宝川

月収支は計算できなかった。筑波研究学園流出試験地の月水収支は1981年から1985年までの期間である。

① 浦白川流出試験地の月収支

・図3.2.1～図3.2.2は柿ノ木台，月崎両流域の1979年から1984年までの各月の R_m ， Q_m

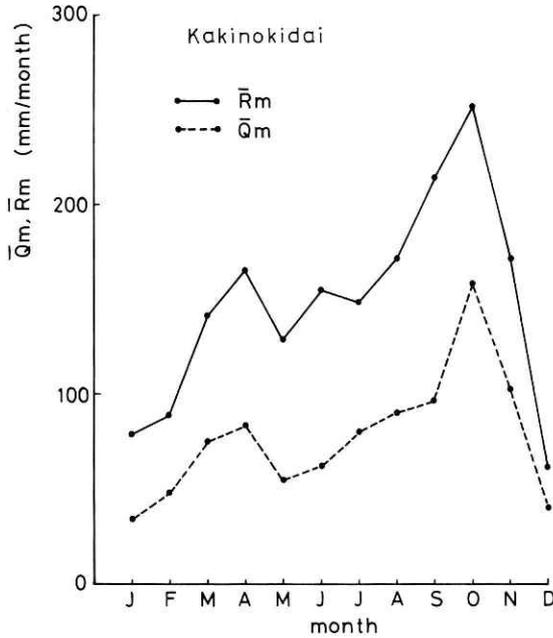


図3.2.1 平均月降水量(\bar{R}_m)及び平均月流出量(\bar{Q}_m)の年変化(柿ノ木台)

Fig. 3.2.1 Annual change of average monthly precipitation (\bar{R}_m) and average monthly runoff (\bar{Q}_m) in Kakinokidai.

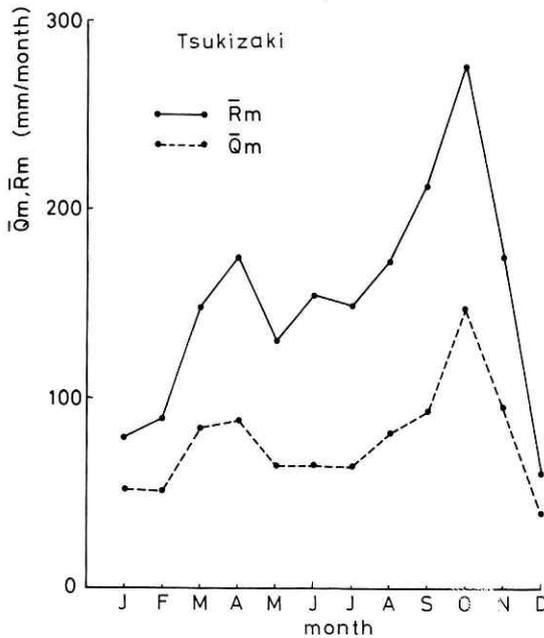


図3.2.2 平均月降水量(\bar{R}_m)及び平均月流出量(\bar{Q}_m)の年変化(月崎)

Fig. 3.2.2 Annual change of average monthly precipitation (\bar{R}_m) and average monthly runoff (\bar{Q}_m) in Tsukizaki.

の平均値 (\bar{R}_m , \bar{Q}_m) を示したものである。これらの図から、両流域共4月および11月の平均月降水量のピークに対応して平均月流出量のピークが表われていること、1月から12月までの1年を通しての \bar{R}_m , \bar{Q}_m の変化は両流域共ほぼ同様であることがわかる。月水収支においては、(1), (2)式で各月毎に $\Delta S = 0$ とおいたことが妥当かが問題である。それは月降水量の多い月は月流出量も大きい、月流出量は遅れの影響を受けると考えられるからである。しかしながら、後に掲げる図3.2.3, 図3.2.4において \bar{R}_m と \bar{Q}_m との関係は、ほぼ直線で表わすことができ、両者間に遅れは見られず、1年を通してほぼ同じ月変化をしていることから、この推定はほぼ妥当といえる。

(1) 各年の月降水量を横軸に月流出量を縦軸にとって1月から月毎に12月まで月降水量と月流出量の関係を図上に描くとほぼ全般的に月降水量の増大と共に月流出量が増大する傾向がある。平均月降水量と平均月流出量の関係も同様の傾向が見られたので、ここでは、平均月降水量と平均月流出量の関係について述べる。

(2) 図3.2.3, 図3.2.4は1979年から1984年までの月降水量および月流出量の各月(1月~12月)の平均値を図示したもので、縦軸に平均月流出量 (\bar{Q}_m)、横軸に平均月降水量 (\bar{R}_m) をとってある。図中1月, 12月にそれぞれ January, December と記し、直線で時間経過を結んでいる。

この両図から平均月降水量の増大と共に平均月流出量が増大すること、それと同時に平均月損失量 L_m (図3.2.3~図3.2.4で各月の \bar{Q}_m 点 (●印) から横軸に垂直に直線を引き、直線 $\bar{R}_m = \bar{Q}_m$ と交わる点までの長さ) は、平均月降水量の増大と共に増大し、その値は平均月降水量が100mmで約50mm, 平均月降水量が200mmで100mmであることがわかる。

② 筑波研究学園流出試験地の月水収支

筑波研究学園流出試験地の月水収支の結果を浦白川流出試験地と同様に図示したのが図3.2.5~図3.2.8である。図3.2.5, 図3.2.6から、上の室橋流域及び八千代橋流域共、9月から10月に平均月降・用水量*は減少するが、平均月流出量は増加していること、1月及び12月に平均月流出量が平均月降・用水量より大きいこと等がわかる。このことは、両流域共、ある月の月降水量のすべてがその月内に流出するのではなく、月降水量の内、ある量は、翌月に遅れて流出することが推定される。このことは、図3.2.7及び図3.2.8から分かるように、平均月流出量と平均月降・用水量の関係が左回りのループを描くことにも表われている。この原因としては、これら2流域は、関東ロームで表層が被われ、さらにその下には、粘土・砂礫層があり、雨水は、ゆっくりと浸透し、かなりの時間遅れを持って流出してくるためと考えられる。

* 筑波研究学園流出試験地の平均月降水量とは、平均月用水量 (\bar{I}_m) + 平均月降水量 (\bar{R}_m) の値である。

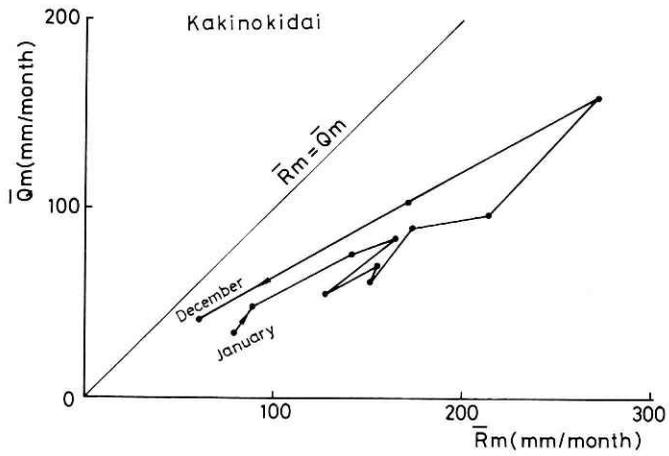


図 3.2.3 平均月降水量 (\bar{R}_m) と平均月流出量 (\bar{Q}_m) の関係 (柿ノ木台)
 Fig. 3.2.3 Relation between average monthly precipitation and average monthly runoff in Kakinokidai.

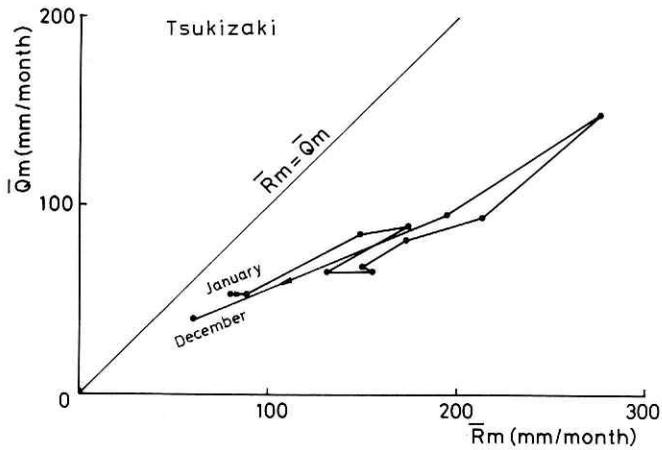


図 3.2.4 平均月降水量 (\bar{R}_m) と平均月流出量 (\bar{Q}_m) の関係 (月崎)
 Fig. 3.2.4 Relation between average monthly precipitation and average monthly runoff in Tsukizaki.

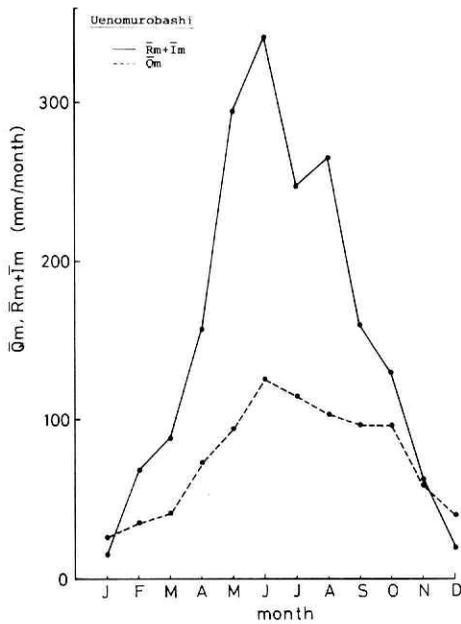


図 3.2.5 平均月降・用水量 (\bar{R}_m)及び平均月流出量 (\bar{Q}_m)の年変化 (上の室橋)

Fig. 3.2.5 Annual change of average monthly precipitation (\bar{R}_m) and average monthly runoff (\bar{Q}_m) in Uenomurobashi.

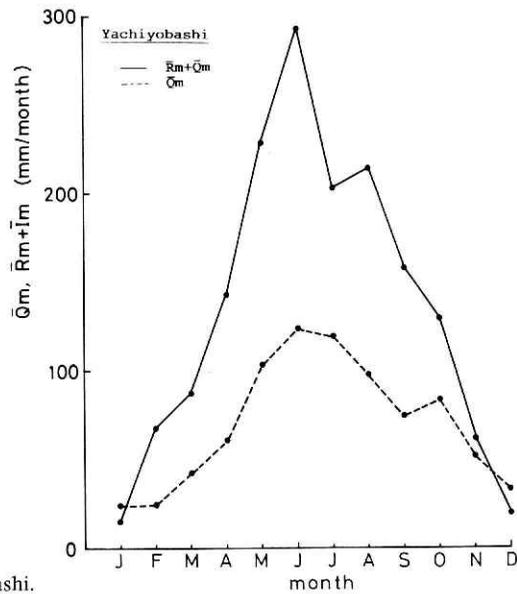


図 3.2.6 平均月降・用水量 (\bar{R}_m)及び平均月流出量 (\bar{Q}_m)の年変化 (八千代橋)

Fig. 3.2.6 Annual change of average monthly precipitation (\bar{R}_m) and average monthly runoff (\bar{Q}_m) in Yachiyobashi.

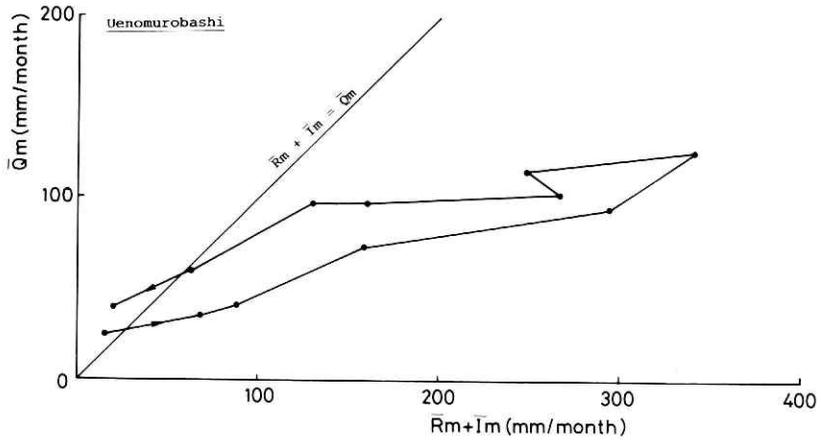


図 3.2.7 平均月降・用水量 (\bar{R}_m) と平均月流出量 (\bar{Q}_m) の関係 (上の室橋)

Fig. 3.2.7 Relation between average monthly precipitation and average monthly runoff in Uenomurobashi.

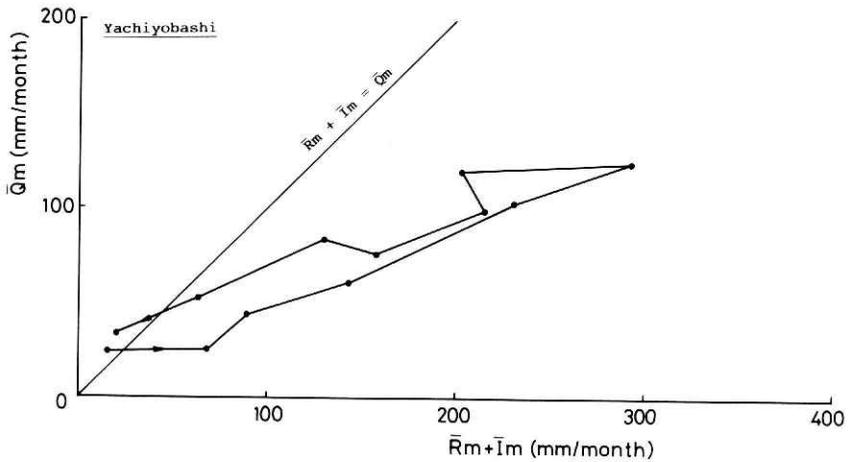


図 3.2.8 平均月降・用水量 (\bar{R}_m) と平均月流出量 (\bar{Q}_m) の関係 (八千代橋)

Fig. 3.2.8 Relation between average monthly precipitation and average monthly runoff in Yachiyobashi.

③ 両流出試験地の比較

浦白川流出試験地と筑波研究学園流出試験地の月水収支を比較すると、後者の試験地の2流域の方が月流出量の時間遅れが大きい。即ち、翌月にわたって、ゆっくりと流出してくる流量が、かなりあると推定される。それは、1月及び12月の平均月流出量は、平均月降・用水量より大きく、その差は7mm~21mm程度であることにも表われている。

3.3 洪水時の降雨—流出関係

この章では、洪水時の降雨—流出関係について、平地河川の筑波研究学園流出試験地の花室川上の室流域・蓮沼川八千代橋流域と、山地河川の浦白川流出試験地月崎流域とを比較し、両流域の洪水の特徴を明らかにする。浦白川流出試験地および、筑波研究学園流出試験地の気候・地形・地質等については、前述のように、それぞれ山地河川と平地河川の特徴を有する。流域を構成する斜面・河道の傾斜に違いがあるばかりでなく、斜面を構成する土質・土壌条件等にも違いがある。地表面の土地利用においても、山林と都市開発域と大きく異なる。また気候・植生等も当然のことながら異なる。両者を単純に比較することは難しい。一つの流域内においてさえ、先行降雨等の降雨特性によってもその流出量は異なってくる。ここでは両試験地の示す洪水流出率等の傾向から、山地と平地河川の洪水流出について考えてみる。

この章で用いる資料は両試験地の中から比較的流域面積の近い、浦白川月崎流域と蓮沼川八千代橋流域と花室川・上の室橋流域の洪水データである。

3.3.1 総雨量と総直接流出量

洪水毎の総直接流出量は対応する総雨量によって変化することは良く知られている。洪水ごとの総直接流出量 Q_s の総雨量 R_s に対する比は洪水流出率 f_s と呼ばれる。これまでの表記を用いれば、 $f_s = Q_s / R_s$ である。

浦白川月崎流域、花室川上の室橋流域、蓮沼川八千代橋流域における洪水毎の総雨量と総直接流出量との関係をそれぞれ図 3.3.1、図 3.3.2、図 3.3.3 に示す。ここで、直接流出量とは、流出量から水平分離によって基底流出量を引いたものである。基底流出量は、洪水開始直前の流出量をとってある。図中の各点と原点とを結ぶ直線の勾配が洪水流出率である。比較しやすいように、洪水流出率 1.0 及び 0.5 に当たる所に線を引いてある。

洪水流出率は、先行降雨や、降雨パターン等によっても左右される。そこで同じ総雨量にたいして最も多く流出する可能性を見るために上限値について述べる。

上の室橋流域と月崎流域は総雨量に対する総直接流出量の分布傾向がほぼ同じであり、八千代橋流域は両者より若干総直接流出量が小さめに分布している。上の室橋流域と月崎流域において、洪水流出率の上限を示す包絡線は、総雨量が50mm位までは0.5位で、50mmを越すと月崎流域で0.6、上の室橋流域で0.6～0.7と増加する傾向がある。一方、八千代橋流域の洪水流出率の上限は、上の室橋流域及び月崎流域より小さい。上の室橋流域と八千代橋流域での洪水流出率の違いは、両流域の不浸透面積率の差異によって生じると考えられる。

図 3.3.1 と図 3.3.2 とがほぼ同じ分布傾向であることは、ほぼ山林 100%に近い自然流域の月崎流域と雨水排水路の整備され都市開発の進む平地河川の上の室橋流域とで、洪水時にほぼ同じ様な洪水流出率になることを示している。両者の流域条件は大きく異なっている。月崎流域は自然流域なので、都市開発の進む流域より洪水流出率は小さいと考えられるし、

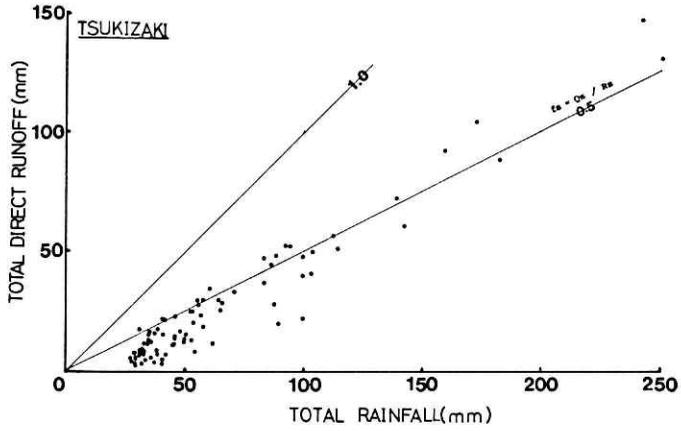


図 3.3.1 総雨量と総直接流出高 (月崎)

Fig. 3.3.1 Total rainfall and total direct runoff in Tsukizaki.

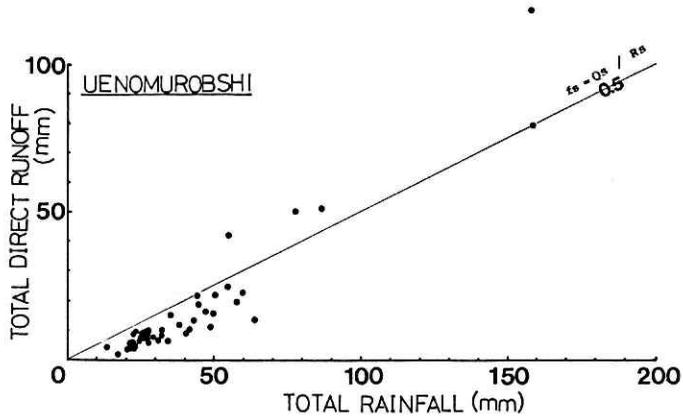


図 3.3.2 総雨量と総直接流出高 (上の室橋)

Fig. 3.3.2 Total rainfall and total direct runoff in Uenomurobashi.

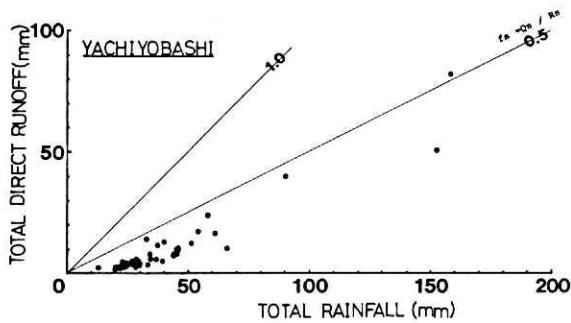


図 3.3.3 総雨量と総直接流出高 (八千代橋)

Fig. 3.3.3 Total rainfall and total direct runoff in Yachiyoashi.

また同じ自然流域なら、平地河川より山地河川は、流域の勾配も大きく流出しやすいように考えられる。同じ洪水流出率といっても両者にはどんな違いがあるのか次の項で検討する。

また、月崎流域と比較して八千代橋流域の直接流出率が小さい。八千代橋流域の不浸透面積率は小さく、上の室橋流域よりより自然に近い平地河川の流出の特徴を示すと考えられる。

3.3.2 降雨継続中の流出率の時間的变化

今まで述べた洪水流出率は、洪水全体について降雨量と流出量との比を表す値であり、時間的な経過は含まれない。同じような総雨量があったとしても洪水毎に、洪水継続時間に長短があり、総流出量に含まれる流出成分は一樣でないが洪水流出率ではそれも問わない。そこで、3地点の洪水資料の中から、累加雨量・降雨パターンの似ている総雨量の大きな洪水を取り出して、洪水時の流出の様子を比較する。

(1) 解析に用いる洪水

ここでは観測資料の中から、総雨量（上の室橋流域 173mm、八千代橋流域 173.5mm、月崎流域 182.5mm）の大きい 1981. 10. 22 の洪水（洪水Aと呼ぶ）を取り上げ、上の室橋流域と月崎流域での流出率の変化のパターンを調べる。洪水の前に10日以上無降雨期間があり、先行降雨の影響はほとんどないといえる。洪水Aでは、上の室橋流域・八千代橋流域と月崎流域は総雨量・降雨継続時間ともに近い値である。また、降雨強度の変化のパターンも似ているので比較するには適した洪水資料である。

図3.3.4に洪水Aの累加時間流出率・累加雨量・雨量・ハイドログラフ・流量対数ハイドログラフを示す。

(2) 累加時間流出率の定義

洪水時の流出率を時間を追って調べるために、流出率を式(6)に示すように、ある時刻 t において、 t までの累加雨量と累加直接流出量との比と定義する。つまり、時系列としての流出率である。3.3.1で用いた洪水流出率は、洪水が終了して直接流出量が0になった時刻 t の累加時間流出率である。

$$f_c(t) = \frac{\int_0^t q(t) dt}{\int_0^t r(t) dt} \quad (6)$$

ここで、

f_c : 累加時間流出率 r : 雨量 (mm/h)
 t : 降雨開始からの時刻 q : 直接流出量 (mm/h)

f_c の値は最終的に洪水流出率に落ち着く。この値は断続的な雨や降雨パターンによっても変化する。極端に河道効果等の流域条件の異なる流域同志を比較したりするには問題がある。ここでは、比較する流域の形状も似ており、降雨も20時間くらいの間に継続的に降っているため、流出率の上昇部に着目し、そのパターンを比較する。

図3.3.5には、累加時間流出率をその時の累加時間雨量と対応させて取ってある。

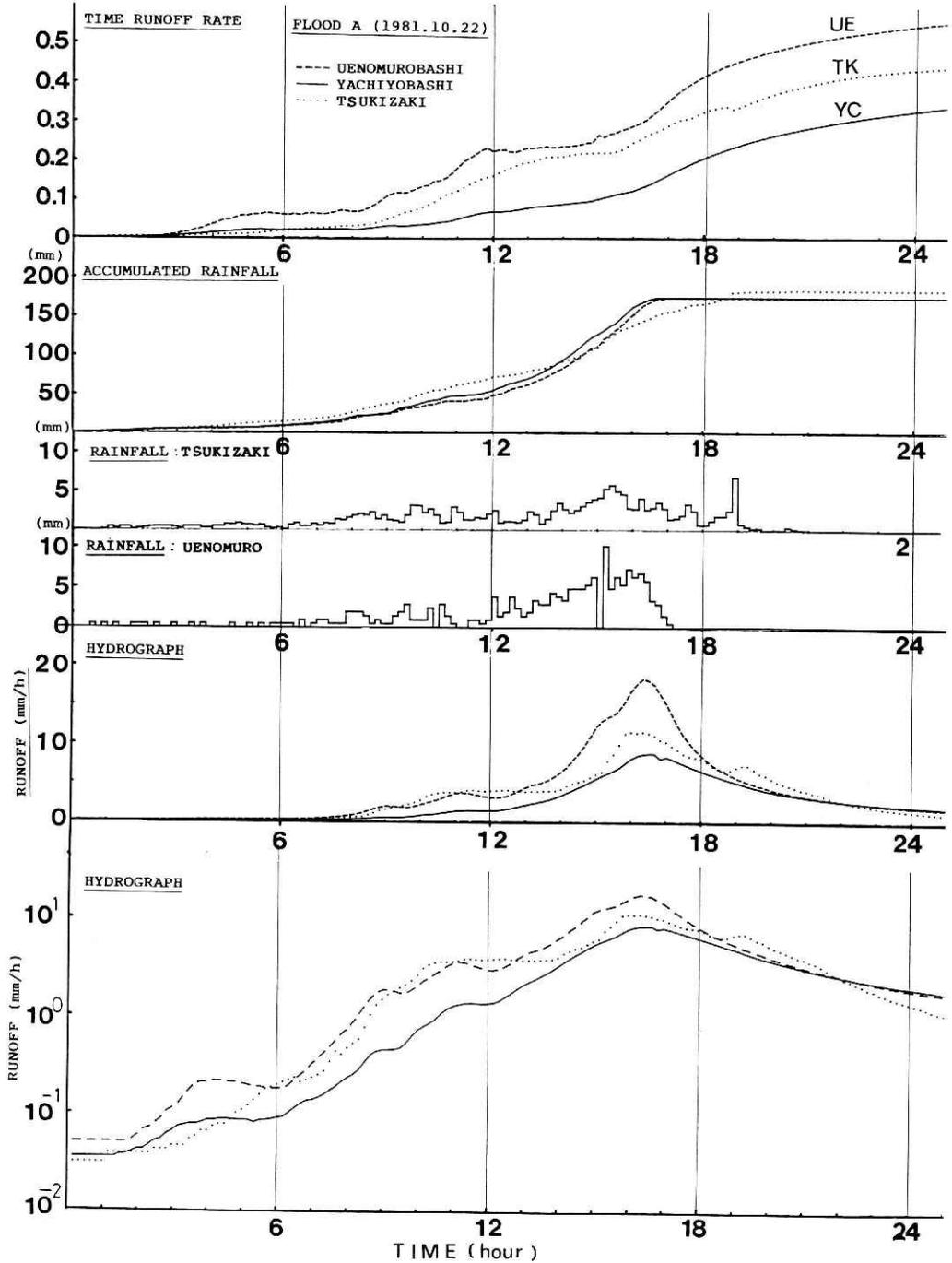


図 3.3.4 洪水A (1981年10月22日) の累加時間流出率, 累加雨量, 雨量, ハイドログラフ及び流量対数ハイドログラフ

Fig. 3.3.4 Time runoff rate (Eq. 6), accumulated rainfall, rainfall intensity, hydrograph and semi-logarithmic hydrograph of flood on October 22, 1981.

(3) 累加時間流出率の変化

各流域とも累加時間流出率の増加は一様ではなく、上昇期間と安定期間を繰り返しながら階段状に増加している。累加時間流出率が増すところは、

$$\text{累加雨量の増加率} < \text{累加流出量の増加率}$$

であり、累加時間流出率が安定している所は、両者の増加率が同じである。降雨開始からの経過時間が6時間位の、累加雨量が小さいときに累加時間流出率が、上の室橋流域と八千代橋流域では上昇しているが、月崎流域では僅かな上昇が見られるだけである。経過時間8時間位から、累加雨量の増加とともに累加時間流出率が上の室橋流域と月崎流域とで大きく上昇する。八千代橋流域での上昇率は小さい。

累加時間流出率は、上の室では累加雨量が50mmまでに約0.23、月崎では累加雨量が80mmまでに約0.20まで上昇する。つまり、雨水排水路網からの流出のある上の室橋流域では、自然流域の月崎より少ない降雨に対応して早く累加時間流出率が増加する。より自然な状態に近い八千代橋流域では、月崎流域より経過時間・累加雨量の増加に伴う累加時間流出率の増加は小さい。

ハイドログラフの減衰部では、ピーク流量直後を除くと山地河川の月崎流域の減衰が早く、平地河川の上の室橋流域・八千代橋流域の減衰は遅い。

上の室流域と月崎流域では、洪水流出率は同じような分布傾向を示した。もし上の室橋流域が自然流域なら、八千代橋流域での流出に見られるように洪水流出率も小さく、累加時間流出率の上昇率も山地河川より小さかったであろう。しかし、雨水排水路の整備された地域からの流出は、洪水流出率を大きくし、累加時間流出率の上昇率を大きくしている。

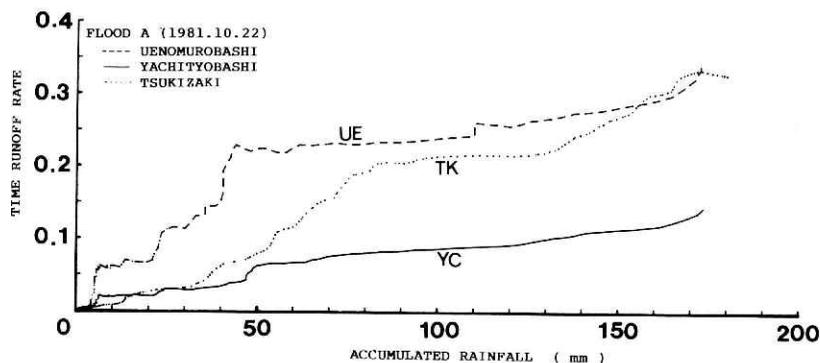


図 3.3.5 洪水 A (1981年10月22日) の累加雨量及び累加時間流出率

Fig. 3.3.5 Accumulated rainfall and time runoff rate of flood on October 22, 1981.

4. ま と め

浦白川流出試験地の2流域及び筑波研究学園流出試験地の2流域の年水収支、月水収支及び洪水時の降雨流出関係を比較し、以下の結果を得た。

年水収支については、①4流域共、年降水量の増加と共に年損失量が増加する。②両試験地及び関東地方の流域面積の大きい河川の年水収支を比較すると、流域面積の大きい河川の方が、年損失量が小さくなる傾向がみられた。

月水収支については、浦白川流出試験地の2流域の平均月流出量は、ほぼ、平均月降水量の増加に比例して大きくなる。一方、筑波研究学園流出試験地の2流域の平均月降水量は、翌月に遅れて流出する量がかなりある。

洪水時の降雨・流出関係については、①浦白川流出試験地の月崎流域、筑波研究学園流出試験地の上の室橋流域及び八千代橋流域の洪水流出率は、ほぼ0.5である。②累加時間流出率の立ち上がりの部分は、上の室橋流域が最も大きく、月崎流域及び八千代橋流域は、小さい。この理由として、上の室橋流域では、雨水排水路からの流出があり、この流出によるものと推定される。

謝 辞

浦白川流出試験地の水文観測に、常々御協力頂いている千葉県市原市公園みどり課、筑波研究学園流出試験地の水位観測所の利用に便宜を計って頂いている土浦市外15町村土地改良区及び両試験地の水文観測資料を熱心に整理して下さいました飯島正子さんに感謝します。

参 考 文 献

- 1) 岸井徳雄(1978)：浦白川流出試験地の洪水流出特性。国立防災科学技術センター研究報告第20号，17-30。
- 2) 岸井徳雄(1982)：浦白川流出試験地の洪水流出特性(その2)。国立防災科学技術センター研究報告第29号，93-101。
- 3) 岸井徳雄・中根和郎・大倉 博・佐藤照子・小西達男(1984)：筑波学園流出試験地の流出特性(第2報)。国立防災科学技術センター研究報告第33号，23-68。
- 4) 木下武雄(1982)：浦白川流出試験地における流出係数・流出率の変化。国立防災科学技術センター研究報告第27号，13-24。
- 5) 建設省・土木研究所(1966)：利水計画における流況把握の研究。第20回建設省技術研究発表会。
- 6) 武田 宏・岸井徳雄・中根和郎・大倉 博・佐藤照子(1982)：筑波学園流出試験地の流出特性(第1報)。国立防災科学技術センター研究報告第27号，49-87。
- 7) 中野尊正(1976)：森林水文学。共立出版，192-195。
- 8) 中根和郎(1983)：昭和58年7月山陰豪雨時の洪水流出の特徴。国立防災科学技術センター研究報告第34号，1-12。

(1987年6月15日 原稿受理)