

滋賀県東南部の花崗岩山地における

3つの小流域の水文観測報告

福嶋義宏・鈴木雅一・谷 誠・加藤博之

The Hydrological Observations in the Three Small Catchments
in Granitic Hilly Mountains at the South-East of Shiga Prefecture

Yoshihiro FUKUSHIMA, Masakazu SUZUKI, Makoto TANI and Hiroyuki KATO

要 旨

滋賀県東南部の花崗岩山地の3地点の水文試験流域における観測結果を述べる。

1. 各試験流域の流域面積は桐生・川向・若女でそれぞれ5.99, 2.66, 2.89haである。各試験流域は距離的に5 km以内と近接している。流域標高は桐生・川向ともほぼ200 m前後であるが、若女は約400 mと高い地点にある。

2. 流域の植生は桐生ではほぼ良好で、アカマツ・ヒノキなどによって地表面は被覆されている。しかし、川向・若女においては植生の生育は悪く、地表面の裸出がみられる。

3. 地形的に言えば、桐生が斜面・河道ともその傾斜が緩く、それと比して川向・若女は急である。

4. 年平均気温は桐生・川向・若女でそれぞれ12.6°C (1972—77), 13.4°C (1973—77), 12.4°C (1977)となる。川向は桐生より0.8°C高く若女は桐生に近い値である。

5. それぞれの年間水収支から推定する蒸発散量は桐生で728.5mm (1972—77), 川向で760.7mm (1966—71)であり、若女の1977年の値は、その年の桐生の値に近い。植生生育の相違が蒸発散量にどの程度関与するか確定できないが、この一帯の年蒸発散量はほぼ720—760mm程度とみられる。

6. 桐生・川向におけるひと雨の直接流出量は、降雨量が100 mm程度までは両流域の違いがみられないが、それ以上の降雨量になると川向の流出量が多い傾向がある。また、桐生では降雨量に対して比較的変動の少ない流出量がみられるのに対して、川向では流出量の変動が大きい。この変動に対しては、降雨量の少ない場合は降雨前の流域内水分量がまた降雨量の多い場合には降雨強度が関係するとみられる。

7. 桐生と川向の基底流出の減衰曲線を指数近似した場合の減衰係数の変化をみた。桐生が川向に比してサンプルごとの減衰係数のばらつきは小さい。また季節ごとに無降雨期間が10日以上の場合減衰曲線を重ねて得た合成曲線の傾きは、流量が0.1~0.01 mm/hrの範囲では流域と季節ごとに一定値となり、その半減期は桐生で12.6日(夏), 25.1日(冬), 川向で10.7日(夏), 12.9日(冬)である。流出の減衰は夏に急で冬に緩い。また桐生は川向よりもその減衰は緩慢である。

はじめに

本報告は当研究者らが直接・間接に観測・調査にあたっている田上山地の3地点の水文試験流域における、その流域概況と全般的な観測記録を取りまとめたものである。

このような全般的な報告は、既に1972年に発表している¹⁾。本報告はその続報となるべきもので、前報告以降の観測記録の整理と、新たに観測が始まった若女試験流域の概況を述べることを主内容としている。また、今回2試験流域における水位-流量関係式を変更したので、それに関する点については再整理した。

なお、長期の観測に対して終始御援助・御指導をいただいた、本学武居有恒・堤利夫両教授に深く感謝します。さらに、資料の提供などを建設省琵琶湖工事事務所、観測の便宜を大津営林署に、観測の労を北川益三郎氏とその一家に負っている。記して謝意を表します。

第1章 試験流域の概況

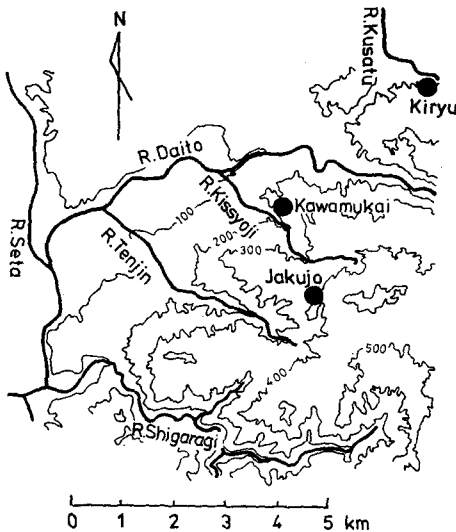


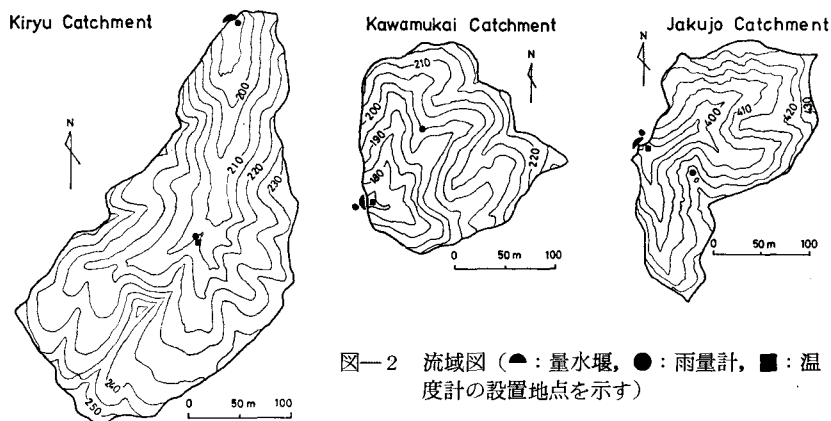
図-1 位置図

1. その位置的關係と地形・植生

3試験流域は桐生・川向・若女である。その位置の關係を図-1に示す。それぞれの距離は5 km以内と近接している。いずれもかつて治山または砂防植栽がなされたところで、丘陵性の花崗岩山地である。桐生は草津川の上流に、川向は大戸川の右支である吉祥寺川の支谷に、若女は大戸川の右支・天神川の支谷にある。各流域の地形特性値を表-1に、また流域図を図-2に示す。それぞれの流域面積は桐生・川向・若女の順に5.99, 2.66, 2.89haである。流域の標高は桐生で190~255m, 川向で175~230m, 若女で375~430mである。桐生・川向はほぼ同じ標高にあり、若女はそれらより200mほど高い位置にある。流域の平均傾斜は桐生の20.3°に対し川向・若女は25.1°, 26.7°と急である。

表-1 試験流域の地形特性値

	basin area (ha)	altitude (m)	mean slope angle (°)	length of main stream (m)	gradient of main stream (°)
Kiryu	5.99	190-255	20.3	450	8.2
Kawamukai	2.66	175-230	25.1	235	13.2
Jakujo	2.89	375-430	26.7	220	14.0



図—2 流域図 (▲: 量水堰, ●: 雨量計, ■: 温度計の設置地点を示す)

この傾向は主河道の勾配にもあらわれている。すなわち流域面積・傾斜で見れば、川向・若女は比較的似た流域である。

以下各流域ごとに説明を加える。ただ桐生と川向については前報¹⁾で述べているので、その概略とその後の植生の変化について記すことにする。

1) 桐生試験流域

本流域には南斜面が少ない。流域内の上層木はヒノキやアカマツであり、流域の地表面はそれらによってほぼ完全に被覆されている。前報において流域源頭部 (2.84ha) をアカマツ幼令林と分類したが、1977年度にはそれらの樹高も11~12mに達し、一方アカマツに被圧されながらもヒノキが伸びてきている。現時点ではこの部分をあかまつ・ひのき林と変更した方が実状に近い。

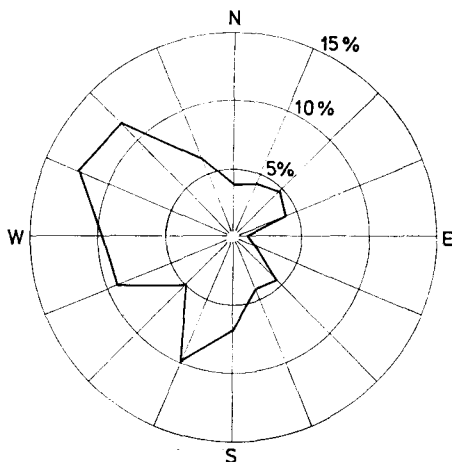
2) 川向試験流域

本流域は北東斜面と、北および東斜面が極端に少ない。山腹植栽工事は1951年に施工されているが、その後のクロマツおよびヒメヤシャブシの生育は不良で、地表の裸出している部分が多くみられた。1976年8月27日に肥料 (住友化成・森林肥料特2号) の空中散布がなされた。散布量は1 t/haである。その効果は1977年春より顕著になった。正確な調査はまだ実施していないが、観察によるだけでもかんぱく類やススキなどの繁茂が著しい。裸地表面はかなり被覆されるようになっている。

3) 若女試験流域

本流域は建設省琵琶湖工事事務所により、二次処理水の山腹肥沃化試験地として1976年5月に開設された。流域内の斜面方位の分布を図—3に示す。これを見ると東斜面の少ない流域であることがわかる。

肥沃化試験実施前の植生調査は堤・岩坪²⁾によってなされた。その報告をもとに、一部を岩坪により修正された植生図が図—4である。その分類では流域は3区分される。まず、まつ林はヒメコマツ・アカマツを上層木とし、コナラ・ツクバネガシ・ソヨゴなどの広葉樹を中下層木とした林である。ひのき林はヒノキにアカマツ



図—3 若女流域の斜面方位分布図

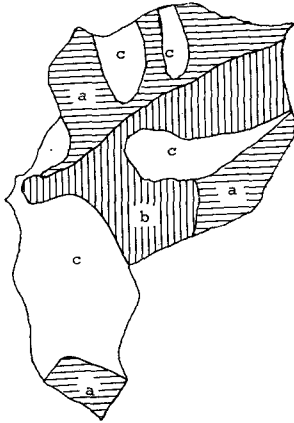


図-4 若女流域の植生区分図
(a): まつ林, (b): ひのき林,
(c): 貧弱なまつ林または裸地)

・アオハダ・コナラなどが混生している。残りはまつ不良林または裸地である。図-4よりそれぞれの面積割合を算出したのが表-2である。流域の半分程度が貧弱な植生であるか、あるいは裸地であることがわかる。本流域も山腹植栽は1935~36年に実施されている。植生の状態は、北向斜面はヒノキやアカマツがかなり良好な生育をしめし、南向き斜面にはヒノキは殆んど入らず、アカマツ・ヒメコマツを主とする林が成立するか、あるいは成林不成功地におわっている、と堤らは報告している。

若女における地表の裸出状態を概観的にみれば川向の1976年以前に似ている。

本流域は1976-77年にかけて都合4回、処理水のレインガン散布がなされた。少なくとも1977年においては川向の肥料散布にみられたよう顕著な植生変化はまだみられていない。

表-2 若女流域の植生区分とその面積、割合

vegetation	area	
	(ha)	(%)
Pine	0.87	30
Chamaecyparis obtusa	0.78	27
poor Pine or bare land	1.24	43

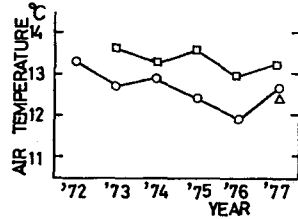


図-5 3流域の年平均気温 (○桐生□川向△若女)

表-3 1977年度の月平均気温

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	year
Kiryu	0.0	0.2	5.8	11.3	15.4	19.1	24.2	23.8	21.1	14.8	10.2	4.9	12.6
Kawamukai	0.8	1.0	6.5	12.1	16.0	20.0	25.1	24.9	22.3	15.4	10.9	5.3	13.4
Jakujo	-0.4	-0.2	5.2	11.1	15.2	19.4	24.1	23.6	20.8	15.0	10.6	4.4	12.4

2. 気 温

3試験流域の気温についてそれぞれの流域露場の年平均気温の変化を図-5に、また1977年度の月平均気温を表-3に示す。

若女においては自記計の値を週1回の実測値によって補正して算出したものである。また前報¹⁾における川向の気温は観測小屋内の観測値を使っていた。今回使用した川向の代表値は百葉箱における日最高・最低値から算出したもので、精度的には桐生・若女に匹敵するものとなった。

年平均気温は桐生・川向・若女でそれぞれ12.6°C (1972-77), 13.4°C (1973-77), 12.4°C (1977)である。川向は桐生より0.8°C高い。この傾向は図-5をみても毎年続いている。若女は1年間のみ値であるが、ほぼ桐生に近い気温をしめす。ただ表-3をみると冬季に桐生により低い傾向もみられる。

第2章 雨量、流出量の観測結果

1. 水収支項の測定法と水位流量曲線

1) 雨量の測定と算定

桐生, 川向, 若女の3流域とも2点ずつで雨量測定を行なっている。桐生では, 流域中央部の気象観測露場と堰地点, 川向, 若女では堰地点と尾根部である。桐生, 川向では, 2地点の雨量に差異がないので, 集計には桐生では露場雨量, 川向では堰地点雨量を用いることとし, これらが欠測のとき他方の雨量記録を用いることとした。

若女は山腹沃化試験を行なっており, 尾根部の雨量計には風の影響で散布水が入る。散布期間を除いて堰地点雨量と尾根部雨量を比較すると全般的に堰地点の雨量が多く記録された。この2地点の距離は約60mしかないので, 桐生, 川向の2地点の雨量の対応から考えて実際の雨量に差があるとは考え難い。この原因が, 風の影響か雨量計そのものにあるか不明であるが, ここでは堰地点の雨量を集計に用いた。また散布水による流域への水のインプットは別途に散布水量を水高に換算して加えた。なお3流域とも積雪量は少なく, 雨量測定にはほとんど影響がない。

2) 水位測定法

各流域の流出量を算出するための測定は, 直角Vノッチをつけた量水堰による水位観測によって行なっている。水位はフロートを用いた水位計によって自記されているが, フロートのずれ, 水位計を置いた小屋の沈下を補正するための検定を行なっている。桐生, 若女では週一回, 川向では毎日ポイントゲージで水位を実測し検定する。更に, 零水位をポイントゲージで測定し, ポイントゲージ自体の曲がりのチェックを行なっている。

流出量の集計に用いる記録は, 自記された記録用紙から毎時の値を読みとった。これを次項で述べる水位流量曲線を用いて流量とし, 積算して日流出量, 月流出量とした。

3) 水位流量曲線について

桐生, 川向の水位流量曲線は, これまで堰が設けられた時に実測された関係から求められたものを用いていた。しかし, 桐生において1975年以降に数回流量の実測を行なったところ, これまで用いていた式では水位20cm以下のとき流量が過大に算出される結果となった。そこで, 水位流量曲線の再検討を行なった。

直角Vノッチ堰の流量公式である沼知式を用いたところ, 桐生で実測された水位流量関係によく適合したので, これを用いることとした。また, ほぼ同じ大きさの整水槽を持ち, 同じ規格のVノッチを有する川向, 若女における流量の実測値も同様に沼知式と対応した。沼知式の適用範囲は水位5cm以上であるが, それ以下の測定値もこの式による値と適合したので, 全区間ともこの式を用いることとした。これらの実測値と用いる水位流量曲線を図一6に示す。この式は,

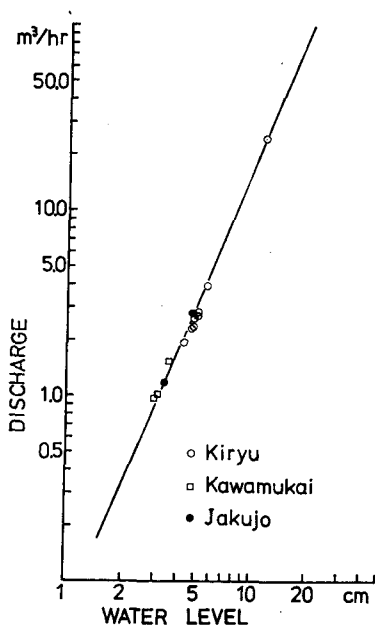
$$Q = 3600 \times K \times (h/100)^{5/2} \quad \dots(1)$$

$$K = 1.354 + 0.4/h + 0.34 \times (h/250 - 0.09)^2$$

h : 水位(cm), Q : 流量(m³/hr)

であり, 桐生, 若女, 川向の量水堰ともこれを用いる。

これまで桐生で用いられてきた式は,



図一6 水位流量曲線と実測値

$$Q = 0.41248 h^{2.3211} \quad \dots(2)$$

h : 水位(mm), Q : 流量(ℓ /hr)

川向で用いられてきた式は, 5 cm以上の水位のとき(1)式, 5 cm以下のとき,

$$Q = [26 + 8 \tan^{-1}(3.3 - 1.42h)] h^{5/2} \dots(3)$$

h : 水位(cm), Q : (cc/sec)

であった。

桐生において, 以前実測された水位流量関係が現在のものと異なる理由は明確でない。当時が現在と実際に異なっていたのか, 当時の零水位等の測定のずれが影響しているためか不明である。そこで, 桐生においては現在使用中の水位計で記録が行なわれた1972年以降について再集計を行ない, それ以前の記録は用いないこととした。

このような水位流量曲線の変更ともなって, 桐生においては年流出量がこれまで報告された値より200 mm前後減少することとなった。年間の水収支の中でこの変更の占める意味は大きく,

表一4 川向の各月毎の雨量, 流出量

Precipitation (mm)												
Year	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977
Jan.	32.0	98.0	43.0	58.0	50.0	48.0	100.0	149.5	28.5	57.5	4.0	25.5
Feb.	85.0	50.0	76.5	108.5	93.5	66.0	118.5	83.0	101.0	72.0	146.5	34.5
Mar.	176.5	165.5	124.0	154.0	76.0	104.0	141.0	15.5	108.5	55.5	132.0	227.0
Apr.	130.0	249.0	144.5	135.5	206.5	161.5	153.0	286.0	237.5	95.5	182.5	121.5
May	154.0	89.0	122.5	95.0	118.0	179.5	102.5	148.0	98.5	74.0	158.5	83.5
Jun.	173.0	83.5	144.5	353.5	329.5	140.5	205.5	148.0	229.5	154.0	211.0	229.5
Jul.	264.5	302.5	342.5	245.5	158.0	305.0	417.0	78.0	435.0	196.5	120.0	125.5
Aug.	165.0	93.5	343.0	154.0	219.0	183.5	99.5	139.5	190.5	241.5	217.0	32.0
Sep.	214.0	109.0	177.5	85.0	428.0	222.5	235.0	190.0	98.5	247.0	273.0	157.0
Oct.	86.5	149.0	126.5	61.5	120.5	149.5	48.5	198.0	172.5	243.0	120.0	63.5
Nov.	63.5	81.0	37.0	74.5	121.0	4.5	103.5	10.5	64.0	96.0	33.5	131.0
Dec.	35.0	24.0	98.0	32.5	49.0	82.5	58.0	2.0	67.0	75.5	44.5	34.5

Discharge (mm)												
Year	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977
Jan.	21.7	34.8	21.0	23.4	11.5	25.7	47.4	70.0	6.4	16.9	3.8	5.3
Feb.	31.3	33.5	22.8	64.9	27.8	23.8	54.7	46.3	25.3	23.1	25.7	7.2
Mar.	128.8	96.5	66.8	76.7	45.9	37.9	66.2	21.5	43.5	23.9	48.8	70.9
Apr.	72.0	175.4	63.0	89.5	97.1	91.4	87.2	132.3	128.4	41.4	77.2	65.5
May	88.1	74.0	93.6	43.4	62.7	90.7	52.1	97.6	43.8	44.9	112.9	29.8
Jun.	96.6	20.0	38.9	177.7	188.2	95.3	97.5	42.6	74.4	58.3	122.6	57.6
Jul.	184.3	196.2	241.1	230.7	99.0	151.0	294.4	48.0	279.8	126.4	52.0	59.3
Aug.	71.6	22.6	181.4	49.5	106.5	83.6	31.1	17.1	79.0	80.8	87.4	7.8
Sep.	95.3	33.8	106.4	25.4	255.1	152.9	116.1	50.7	30.1	85.4	183.8	19.3
Oct.	49.8	49.7	100.3	14.1	80.1	79.2	17.0	86.3	51.1	125.3	52.6	19.8
Nov.	21.7	40.2	26.9	12.6	62.2	26.6	29.7	28.7	30.9	51.1	13.0	29.2
Dec.	19.9	25.3	46.7	16.9	32.6	17.7	14.3	7.9	25.3	42.9	13.1	9.1

表一五 桐生の各月毎の雨量, 流出量

Precipitation (mm)						
Year	1972	1973	1974	1975	1976	1977
Jan.	100.0	168.5	36.5	60.5	7.0	31.5
Feb.	128.5	85.5	98.5	74.0	140.0	46.5
Mar.	148.0	21.0	100.0	74.5	125.0	234.5
Apr.	150.0	291.5	233.5	133.0	179.5	123.0
May	117.5	139.5	88.5	99.5	203.5	85.0
Jun.	226.0	159.0	231.5	200.5	252.0	212.5
Jul.	421.0	67.0	413.5	232.5	167.5	107.0
Aug.	121.5	145.0	193.0	253.5	256.5	32.0
Sep.	243.0	187.5	106.0	262.0	323.5	141.5
Oct.	57.5	205.5	162.0	238.0	151.5	61.5
Nov.	110.5	13.0	62.0	95.0	57.0	138.5
Dec.	64.0	7.0	68.0	78.5	54.5	53.5

Discharge (mm)						
Year	1972	1973	1974	1975	1976	1977
Jan.	55.6	83.6	19.3	37.6	32.3	32.3
Feb.	67.2	60.7	39.4	40.4	44.7	29.7
Mar.	76.9	39.1	53.2	45.4	73.0	92.0
Apr.	110.4	139.5	131.5	59.7	98.1	107.9
May	74.6	127.7	57.5	56.4	146.0	65.4
Jun.	105.4	55.3	69.7	66.6	171.3	72.4
Jul.	321.1	51.7	279.3	146.6	87.7	75.9
Aug.	70.8	33.9	109.5	107.0	130.6	26.1
Sep.	134.0	63.0	55.2	110.9	239.2	32.4
Oct.	37.2	86.4	64.4	167.8	110.1	35.0
Nov.	46.3	45.2	50.5	81.7	57.2	46.3
Dec.	32.5	22.6	46.6	74.7	42.0	26.1

表一六 若女の各月毎の雨量, 散布水量, 流出量 (1977年) (mm)

	P	AP	D
Jan.	27.5	0.0	32.0
Feb.	24.5	0.0	25.1
Mar.	179.5	30.0	87.6
Apr.	126.0	0.0	120.0
May	79.5	0.0	64.0
Jun.	235.0	18.0	85.9
Jul.	111.0	12.0	94.4
Aug.	28.0	0.0	29.1
Sep.	150.0	0.0	35.7
Oct.	59.0	0.0	36.4
Nov.	131.0	26.0	43.0
Dec.	49.5	4.0	27.0

P: Precipitation, AP: Sprinkled water, D: Discharge

これまでに報告した水収支の値を訂正しなければならない。桐生の水収支について記した報告は、TAKEI, A. et al., 鈴木ら³⁾であり、これらで述べられた水収支については本報で記された値をもって訂正を行ないたい。

水位流量曲線は、量水堰による流量測定において基本的な事項でありながら、その検定が十分になされなかった点を反省している。

なお、欠測期間については、次のような推定を行なった。欠測期間中に降雨がなければ、片対数方眼紙上に欠測前後のハイドログラフを描き欠測期間を直線で結び推定する。欠測中に降雨⁵⁾があるときは、タンクモデルによって推定した。

2. 年間水収支

桐生、川向、若女の3流域における水収支の結果と算定された損失量について検討する。

1) 月雨量, 月流量の測定値

川向の1966~71年の各月の雨量流量を表一4に、桐生の1972~77年の各月雨量・流量を表一5に掲げた。若女は1977年について、雨量, 散布水量, 流量の各月の値を表一6に示した。

2) 年間水収支

3流域で求めた年間の水収支は表一7に示される。月毎の雨量から12月が最も少雨であるので、1月から12月までを1水年としている。

まず年雨量を流域毎に比較すると、月雨量と同様に流域毎に顕著な差はない。これは3流域が地理的に近いことによっていられると思われる。しかし1972~77

表一七 三流域の年間水収支 (単位mm)

Year	Kawamukai			Kiryu			Jakujo				
	P	D	L	P	D	L	P	AP	D	L	
1966	1579.0	880.8	698.2								
1967	1494.0	802.0	692.0								
1968	1780.0	1008.9	771.1								
1969	1556.5	824.8	731.7								
1970	1969.0	1069.0	900.0								
1971	1647.0	875.8	771.2								
1972	1782.0	907.7	874.3	1887.5	1132.0	755.5					
1973	1448.0	649.0	799.0	1490.0	808.8	655.7					
1974	1831.0	818.0	1013.0	1793.0	976.2	816.8					
1975	1608.0	720.4	887.6	1801.5	994.9	806.6					
1976	1642.5	792.9	849.6	1917.5	1232.1	685.4					
1977	1265.0	380.8	884.2	1267.0	641.6	625.4	1200.5	90.0	680.2	610.3	
Average											
'66-'71	1670.9	910.2	760.7								
'72-'77	1596.1	711.5	884.6	1692.8	964.3	728.5					

P: Precipitation, D: Discharge, L: Loss, AP: Sprinkled water

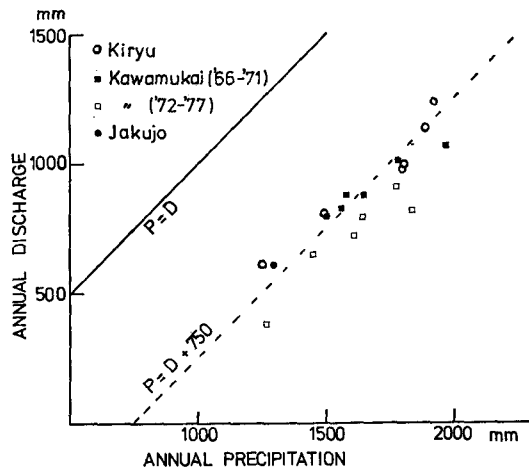
年の年平均雨量は桐生と川向で約 100 mm 異なっており、1974年、1977年をのぞいて 50~270 mm 桐生の方が多。このことが、降雨の不均一性以上の傾向的なものであるかは即断できず今後の観測によらねばならない。

年降雨量と年流出量の関係を図示したものが図一七である。

桐生においては、福島らによって報告したように、流域中にさらに小流域の流量観測点を行なった結果から、ほぼ堰地点の漏水はないと判断している。桐生における6年間の平均損失量は 728.5 mm で年雨量に対する流出量の関係も図一七で見るとうりばらついていない。桐生では高い精度で測定がなされていると判断できる。

川向においては、1966~71年と1972~77年の間に異なった流出関係が見られる。1971年までと、それ以降の6年間ずつの流出量の平均値には 200 mm の差が見られ、流出傾向が変わっている。後に検討する流出減衰曲線においても1972年以降に勾配が急になっていることが認められた。これらのことから、川向においては堰付近での漏水の発生によって、実際に堰地点を通過する水量に比べ1972年以降は量水堰を通る流量が減少していると推定される。

したがって年間の水収支を検討するのに、川向の1972以降の記録を用いるのは不相当と判断し



図一七 三流域の年降水量と年流出量

た。川向の1966～71年の平均損失量は760.7mmであった。

若女は測定期間の短かさから詳細は未だ不明であるが、1977年の流出量は桐生と近い値であり、年損失量もほぼ等しい。

3流域の水収支を比較すると、1966～71年の川向と1972～77年の桐生の各6年毎の年平均損失量の差は約40mmであり、若女を含めて3流域ともほぼ類似した水収支を持つといえる。6年平均の損失量を平均年蒸発散量とすれば、これらの流域の蒸発散量は720～760mmとなる。この値は滋賀県東南部山地の蒸発散量の目安となろう。蒸発散量を750mmとしたときの降雨一流出の関係を図一七に点線で示した。

流域毎の損失量、蒸発散量の差異については、植生の違いのほか、標高、斜面方位等の蒸発散量に違いをもたらす要因があり、検討が困難であった。この点は今後の課題としたい。

第3章 流出特性について

1. 直接流出

ひと雨に対する直接流出を総合的に検討することは、流出解析を誤りなく行うために必要である。そこで、既存の記録を用いて雨量と直接流出量の関係を調べてみた。

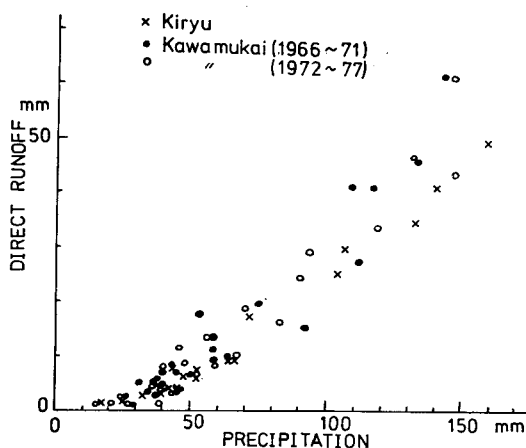
若女については、測定期間が短いため、その記録を用いず、桐生の1972～77年及び川向の1966～77年の記録より、解析対象とする直接流出を選んだ。選択方法と直接流出量、ひと雨の雨量の求め方を以下に記す。

1) 片対数紙上にハイドログラフを描き、降雨終了後、12～36時間の間に折れ点があるものを解析対象とすることにし、その折れ点を直接流出の終了点とした。なお、折れ点の前12時間、折れ点の後24時間が片対数紙上で直線とみなせるもののみを採用し、折れ点の決定に恣意のはいらぬよう心がけた。

2) 普通方眼紙上に上記流出のハイドログラフを描き、立ち上り点と直接流出終了点とを直線で結び、それより上部を積分して直接流出量を求めた。

3) 直接流出の立ち上る時刻の1時間前の雨を含め、終了時刻に至る雨を合計してひと雨の雨量を求めた。

以上のようにして求めたひと雨における雨量、直接流出量の関係を図一八に示す。なお、川向は、1972年以降、既に述べたように漏水のあった可能性があるため、記号を71年以前と区別して表わした。けれども、両期間に特徴的な相違はみられず、直接流出に関する限り、漏水の影響は無視し得ると判断した。さて、この図を見ると、桐生は各点がひとつの曲線上に並ぶようだが、川向はかなりばらついている。100mm程度より小さい雨の場合、川向の点を桐生の点より上方にも下方にも見出し得るが、それ以上の雨では、川向の諸点は桐生の点を下限として上方へばらついている。したがって、100mmを越えるような雨では川向は桐生より直接流出量が大きいという



図一八 ひと雨における雨量と直接流出量

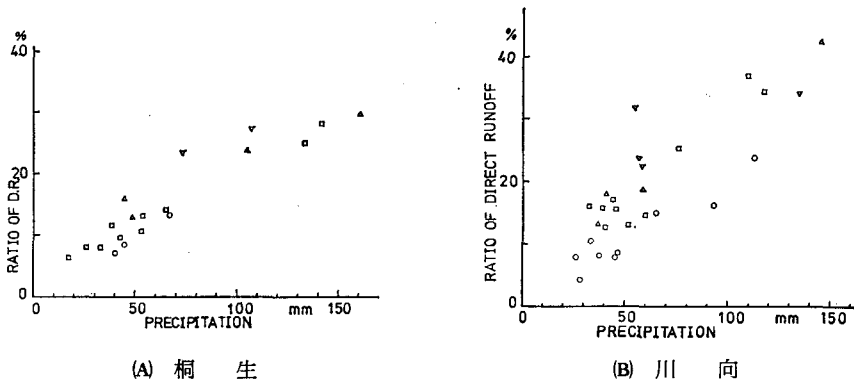


図-9 初期流量 Q_i をパラメータとしてあらわした雨量、直接流出率の関係
 ○ : $Q_i \leq 0.03 \text{ mm/hr}$ □ : $0.03 < Q_i \leq 0.06$ △ : $0.06 < Q_i \leq 0.10$ ▽ : $Q_i > 0.10$

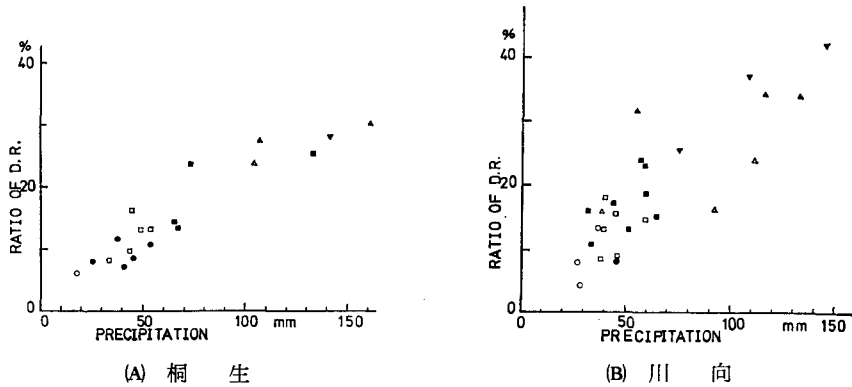


図-10 ピーク流量 Q_p をパラメータとしてあらわした雨量、直接流出率の関係
 ○ : $Q_p \leq 0.25 \text{ mm/hr}$ ● : $0.25 < Q_p \leq 0.5$ □ : $0.5 < Q_p \leq 1.0$ ■ : $1.0 < Q_p \leq 2.0$
 △ : $2.0 < Q_p \leq 4.0$ ▲ : $4.0 < Q_p \leq 8.0$ ▼ : $Q_p > 8.0$

傾向を指摘し得る。

次に、この図におけるばらつきについて考えてみる。図-9は、ハイドログラフの立ち上り前の流量即ち初期流量をパラメータに、図-10は、ピーク流量をパラメータにとって、ひと雨における雨量と直接流出の流出率の関係を示したものである。川向は初期流量が72年以降、漏水のため低めに出る恐れがあったので、これをパラメータとする関係上、1966~71年のデータのみをプロットした。ばらつきの大きい川向でみると、初期流量の大きいものは流出率が大きい。ただ、雨量の大きい場合は、そうでない点も存在する。また相似た雨量では、ピーク流量の大きいものが流出率は大きい。ただし、雨量の小さい場合はそうでない点も存在する。桐生は、ばらつきそのものが小さいが、これら両傾向は認められる。初期流量は、降雨前の流域内の水分量と関係し、ピーク流量は、降雨強度と関係すると考えられる。これら2つの条件は重なり合っている場合もあるが、雨の小さい場合は前者が、大きい場合は後者が、直接流出量の変動と、より関係が深いという結果が得られた。

2. 流出減衰曲線について

無降雨期間中の流出減衰曲線は基底流出の特性をあらわし、地下水の貯留、流出機構の解明に示唆を与えるものである。桐生、川向両流域の流出減衰は、既に報告されているが、水位流量関

係式が変更されたので、再検討した。

個々の減衰例は、いくつかの折れ点を持つ複数の指数関数で近似できる。

$$Q_b = Q_a e^{-\alpha t} \quad \dots(4)$$

Q_a : 降雨後 a 時間目の流量, Q_b : 降雨後 b 時間目の流量, t : a から b までの時間(sec)

α : 減衰係数(sec⁻¹)

図-11は川向の降雨後4日目 (a = 96hr) から6日目 (b = 144hr) の減衰係数の頻度分布を2年毎に求めたものである。1966年~1971年の傾向はほぼ同じで、 $3 \times 10^{-7} \text{sec}^{-1} \sim 23 \times 10^{-7} \text{sec}^{-1}$ の範囲にあり、 $17 \times 10^{-7} \text{sec}^{-1}$ 以上の急な減衰を示すのは夏だけに見られる。1972年以降は、他の季節にも急な減衰例が見られるようになり、特に1976~77年は大きい値のものが多くある。このことは、1972年頃より堰付近で流域外への漏水が考慮された水収支の結果を裏づけていよう。

ここでは、上記のことから1972年以降の川向の流出例と、測定例の少ない若女の記録を除いて、1972~77年の桐生と1966~71年の川向について検討した。

図-12(B)は、降雨後4日目から6日目の減衰係数の頻度分布を6年間合計したもので、図-12(A)は降雨後7日目から10日目の減衰係数の頻度分布を6年間合計したものである。どちらの図とも、川向の勾配が桐生よりも大きい傾向を示した。また、降雨後4~6日目の値にくらべ7~10日目の値は、大きい減衰係数を示すものが減少している。これは、これらの減衰例の中に、降雨後4~6日あたりではまだ速い減衰を示す成分を持つものがあることを示している。また、季節によって分布の異なりが見られるが、減衰係数の値は流量によっても変化するので、次に検討した。

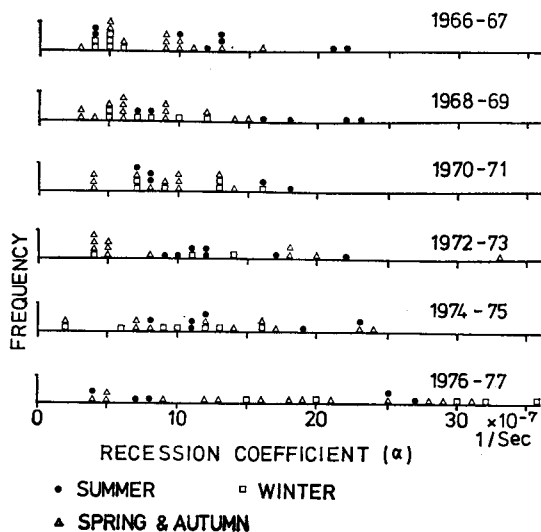


図-11 川向における減衰係数頻度分布の推移

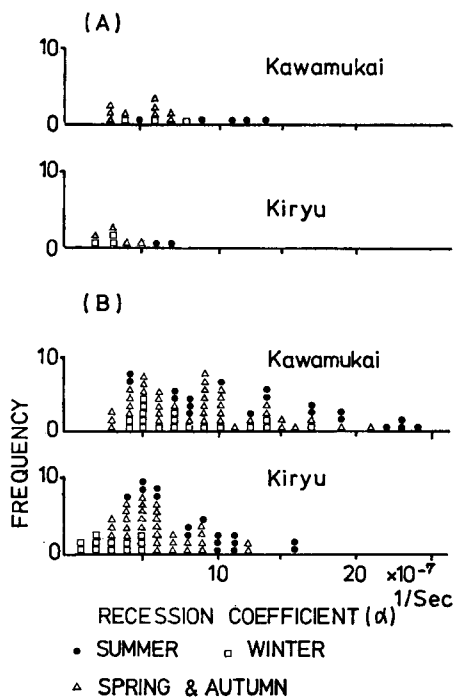
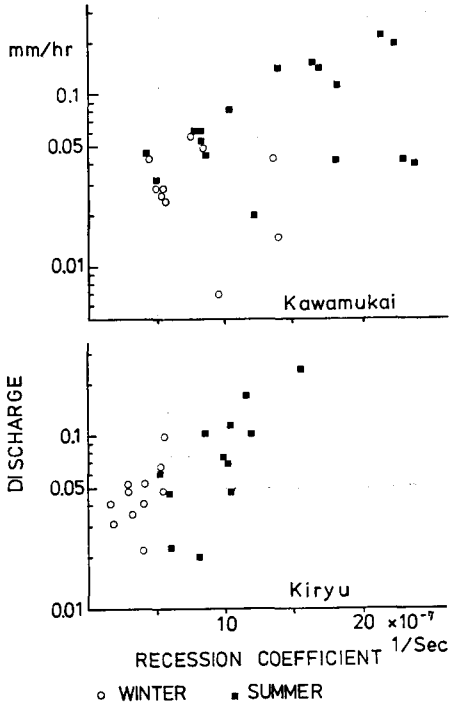


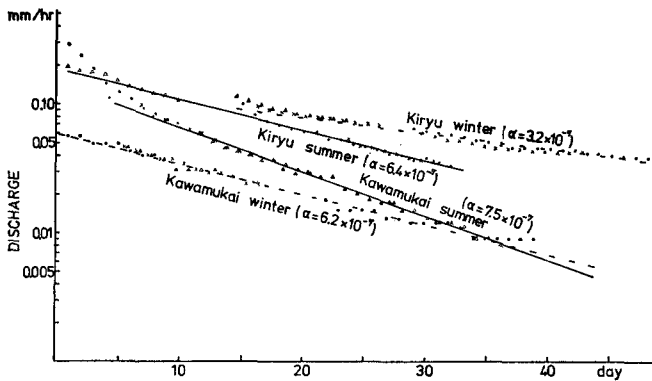
図-12 減衰係数の頻度分布

(A) 降雨後7日目から10日目

(B) 降雨後4日目から6日目



図一13 降雨後4日目の流量と減衰係数の関係



図一14 減衰曲線の合成による減衰係数の季節変化

図一13は降雨後4日目から6日目の減衰係数と降雨後4日目の流量を流域毎にプロットし、季節による差を見たものである。冬期には流量の大きい例が見られないので、0.1~0.01mm/hrの範囲で比較する。桐生では、流量が等しくとも減衰係数は常に夏が大きく、冬が小さい。川向では、夏に大きい傾向は桐生と同様であるが、夏の減衰例でも冬と同程度の値のものも見られ桐生よりばらつきが大きい。減衰の季節による差異は、蒸発散量の差によるものと思われるが、夏に小さな値をとった川向の流出例について、何らかの蒸発散抑制があったかどうかは不明である。

また、10日以上長期の無降雨期間を持つ減衰例について検討するため、季節毎に減衰曲線を重ね合わせて合成曲線を得た。図一14がその結果で、0.1mm/hrから0.01mm/hrの流量の範囲では、流域と季節毎に一定の勾配の減衰があらわれている。季節毎の平均的値は図中に記したが、これらの勾配を半減期で表示すると、桐生夏12.6日、同冬25.1日、川向夏10.7日、同冬12.9日となる。ここにおいても夏の減衰が急で冬は緩く、桐生の減衰が川向よりも緩いという結果となった。

引用文献

- 1) 福嶋義宏・加藤博之・松本潔・西村武二：花崗岩山地の2つの小流域について（地形・植生・水収支・流出減衰曲線からみた特性）：京大演報，**43**，192—226，（1972）
- 2) 堤利夫・岩坪五郎：二次処理水の山地環元による山腹沃化調査報告（事前調査）：琵琶湖工務事務所，（1977）
- 3) TAKEI, A., KOBASHI, S. & FUKUSHIMA, Y.: The analysis of run off from two small catchments in granitic hilly mountains: The hydrological characteristics of river basins symposium, IAHS, 117, 29~34 (1975)
- 4) 鈴木雅一・福嶋義宏：微気象学的方法と水収支解析による山地流域の蒸発散量の推定：京大演報，**48**，125—135，（1976）
- 5) 鈴木雅一・福嶋義宏：タンクモデルによる山地流域の長期流出解析：89回日林論（投稿中）
- 6) 福嶋義宏・加藤博之・鈴木雅一・谷誠：山地流域の流量とその流域内小支流々量の相違についての考察：89回日林論（投稿中）

Résumé

The hydrological conditions have been observed in the three small catchments, namely, Kiryu, Kawamukai and Jakujo, in hilly mountains consisted of weathered granite to the south-east of Lake Biwa.

The results are as follows:

1. The annual mean temperature was 12.6°C in Kiryu(1972-77), 13.4°C in Kawamukai (1973-77) and 12.4°C in Jakujo (1977). Approximately, the temperature in Kiryu was as same as in Jakujo, but that in Kawamukai was higher than in the other catchments.
2. The annual evapotranspiration rate estimated from the water-budgets was 728.5 mm in Kiryu (1972-77) and 760.7 mm in Kawamukai (1966-71). In 1977, the annual water loss in Jakujo was as same as in Kiryu. The annual evapotranspiration rate in this area has been estimated about 720-760 mm.
3. The amount of direct runoff for one continual rainfall was not different from that in Kiryu when the amount of precipitation in one continual rainfall was less than 100 mm, and the former was more than the latter when it was larger than 100 mm. The direct runoff ratio increased as the amount of precipitation increased, and the ratio in Kawamukai scattered more widely than in Kiryu. It is considered that the scattering of these values is mainly affected by the initial water condition when the amount of precipitation is small, and by the rainfall intensity when it is large.
4. The values of recession coefficient in Kawamukai scattered more widely than in Kiryu when they had the same discharge in the same season. The half life of the synthetic recession curve was 12.6 days in summer, 25.1 days in winter in Kiryu, 10.7 days in summer and 12.7 days in winter in Kawamukai.