

<論文>

## 広葉樹林における水源かん養機能に 関する研究 (Ⅱ)

田中一夫\*・奥村武信\*・大下裕美\*・南 康弘\*

### Research on the Functional Property of the Broad-Leaved Forest for Water Resource Conservation (Ⅱ)

Kazuo TANAKA\*, Takenobu OKUMURA\*, Hiromi ŌSHIMO\* and  
Yasuhiro MINAMI\*

#### Summary

Some observations to clarify the functional property of deciduous broad-leaved forest are carried on at a model watershed covered with White Oak (*Quercus serrata*) within the Hiruzen University Forest.

In this paper, the forest and soil characteristics of the model watershed are reviewed and some results obtained in 1981 are discussed.

Four raingages placed in different topography showed that only one gage can represent the overall rainfall within the watershed (15.2 ha area) except in the case of thunder storms. Mean rainfall under the crown closure ( $P_i$ ) during a storm is related to that in open space ( $P$ ) by  $P_i = 0.83P$ . A noticeable decrease of the ratio  $P_i/P$  appeared by minute rainfall less than 2mm in total (Fig.6). Stemflow ( $P_s$  in mm) totalized approximately weekly is also related to the totalized  $P$  by  $P_s = aP - b$ . Comparison of  $a$  and  $b$  values obtained in 4 plots of variant crown closure types indicated that the higher  $a$  value is accompanied with the higher  $b$  value, and that denser crown closure and more erect stems raise the  $a$  value. Regression lines between the crown interception ( $I_c$ ) and totalized  $P$  differed by 2 or 4 times in the inclination among 4 plots. Mean  $I_c$  can be estimated by  $I_c = 0.122P + 0.59$ . This regression coefficient is higher than that calculated by the preceding researchers for mature broad-leaved forests in the vegetation period.

Runoff discharge is measured by one Parshall Flume and 2 V-shape notched wiers at the mouth of 3 basins, the larger encompassing the smaller and having a wider cut area (Fig.1). Runoff ratio during the whole observation period (May to November) was calculated as 0.35 for the largest basin (C). However, the terminal runoff ratio varied from 0.49 in the early summer, rainy season in Japan, to 0.07 in early autumn. Separation of the surface

\*鳥取大学農学部砂防工学研究室: Laboratory of Erosion Control Engineering, Faculty of Agriculture, Tottori University

runoff or subsurface runoff from some hydrographs after Barnes indicated that the delayed component is considerably larger than direct runoff. This fact may suggest that these basins are favorable for water resource conservation. The recession constant of base flow after floods was calculated as 0.010 to 0.013 for the smallest basin A (3.5 ha area), and as 0.008 to 0.011 for basin C, respectively.

The level of saturation recorded at the hill foot rose some hours behind the appreciable increase of runoff at the Flume. When subsurface runoff after floods disappeared, the water level approximately corresponded to the boundary between B and C soil layers. The rising heights of the water level caused by storms over 50mm in total seems to correlated strongly to the total rainfall.

## I 緒 言

近年、森林の公益的機能が重要視され、林野庁においても新しい施策が打ち出されている。一方、造林事業がかなり進展したとはいえ、まだ、水源山地は広葉樹を中心とした天然林が多く分布している。しかし、広葉樹天然林における水源かん養機能についての資料は非常に乏しい。それゆえ、筆者等は本学蒜山演習林内にはクヌギ・コナラなどの落葉広葉樹天然林が多いことに着目し、これらの流域における水源かん養機能を研究するため、1979年に試験地を設定し観測をはじめてきた。

1980年度における観測結果は一応とりまとめて既に報告した<sup>1)</sup>。

今回は1981年度の観測結果を検討し発表する。なお、伐採地を含むことによる流出特性の変化を明らかにするため、今年度から試験流域の規模を拡大するとともに、谷筋での地下水位変動の観測を開始した。また、試験流域全体の林の状況、土壌条件をも詳細に調査したので、ここに述べることにする。

本研究は1980年度より3ヶ年継続の文部省科学研究費によるものであり、付記して謝意を表す次第である。

## II 試 験 流 域

### 1. 概 況

試験地は、岡山県真庭郡川上村地内にある鳥取大学蒜山演習林の22林班内に、1979年に設定した。その概況は、前報のとおりである。

図1は、実測分水界等を1/5,000地形図に重ね合わせて作成した流域図であるが、←を谷口とする流域が当初流域で集水面積は3.5 haである。(以下、これをA流域と呼ぶ。)

1980年秋に、図に $W_1$ 、 $W_2$ で示される2基の量水せきを設置した。集水面積は、それぞれ6.3 ha (B

流域), 15.2 ha (C流域)である。W<sub>1</sub>~W<sub>2</sub>間の西側山腹からの流水は, 林道側溝および林道を経てW<sub>2</sub>の下流で谷に合流するので, W<sub>2</sub>の流域形状はいくぶんいびつになる。B流域には, 1977年植栽のヒノキ造林地0.37ha(横縞部分)を, またC流域にはさらに78年伐跡地0.51ha(縦縞部分)と81年伐採地0.87ha(斜線部分)を含み, 集水面積内の林道面積は切土面, 盛土面を含めて0.72haである。

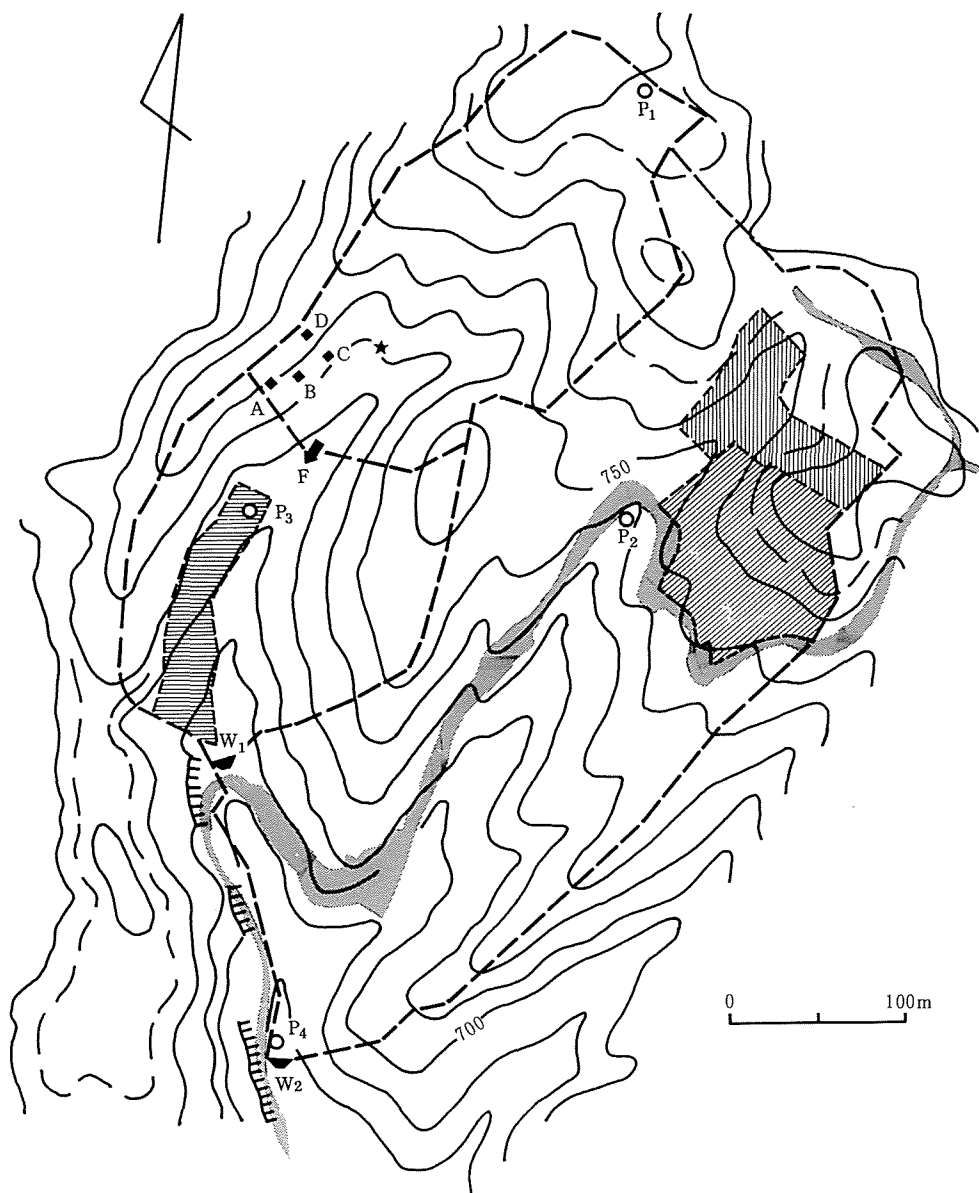


図1 流域

## 2. 林 況

試験流域の林況は、コナラを主林木とし、中下層にクロモジ・タニウツギなどが多くみられる天然生落葉広葉樹二次林である。下層植生は流域全体にヤネフキササガが多く侵入している。

流域内に東西、南北各50m間隔のメッシュをかけ、その交点64ヶ所での立木状態を調査した。交点での25m<sup>2</sup>あたりの上中層木本数の頻度を示したのが、図2である。上中層木0本の内容は、ヒノキ造林地3、クヌギ植栽地6、林道捨土面4である。林内でありながら下層木だけしか存在しない個所は4ヶ所であり、単純に計算すると、立木地の立木密度は約2,500本/haである。なお、C流域だけでみると、約2,000本/haと若干粗な立木度となる。

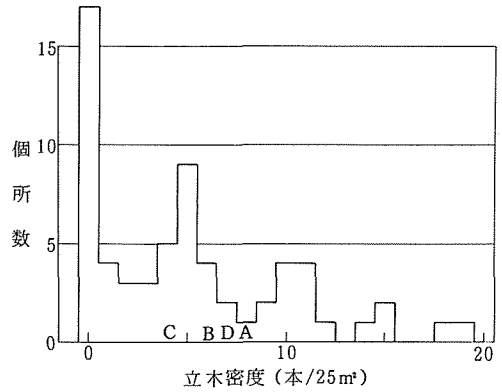


図2 流域の立木密度頻度

この上中層木の樹種別出現頻度をみると、表1のように、約半数がコナラであり、クヌギ、カシワ、ウワミズザクラがそれぞれ本数で5%ほど交り、中層木にクロモジ、リョウブ、タニウツギが多く見られる。

表1 樹種別出現頻度

本数	173	24	20	19	15	14	7	4	3	2	1
樹種	コナラ	クロモジ	リョウブ	タニウツギ	ウワミズザクラ	クヌギ カシワ アオハダ	ガマズミ	クリ	ミズキ ウリハダ カエデ アベマキ オオカメノキ イロハモミジ	ブナ ウルシ ソヨゴ ノグルミ タムシバ	ウラジロノキ ヤブデマリ トチノキ ホオノキ タカノツメ ナナカマド イタヤカエデ

※ 総本数 336

表2 胸高直径別頻度

D. B. H <sup>※</sup>	0～4	4～8	8～12	12～16	16～20	20～24	24～28	28～32	32～36	36～40
頻度 (本数)	131	86	39	27	22	22	4	4	—	1

※ cm

これら上中層木の胸高直径はまさに様々で、12cm以下のものが約3/4を占め、20cmを超えるものは10%に満たない。コナラだけを見ても、それぞれ約60%、約10%である。

### 3. 土 壤

試験流域の土壌は黒色火山灰土であるが、その厚さ等は地形部位によりかなり変化している。そこで、立木調査を行った位置のうち、図3に示す32ヶ所で土壌断面を調査した。

各試孔での各層の厚さ、各層で採取した試料の仮比重、孔隙量および透水係数等を表3にまとめて示す。

A層の厚さをみると、約半数の個所では30~40cmであるが、12~76cmとかなり広い分布をもっている。仮比重は、A層で0.40~0.50を示す個所が2/3と集中しているが、B層になると、0.4~0.5を示すものと、0.5~0.6を示すものがほぼ同数、合計でやはり約2/3である。

孔隙量についてみると、A、B層とも毛管孔隙量40~60%となるものがほとんどで、A層でいくぶん少ない。非毛管孔隙量は、A層で20~30%を示す個所と30~40%を示す個所がほぼ同数、全体で2/3以上あるが、B層で前者が後者の倍以上となっている。したがって、A層の厚さがその場所の土中貯留量を支配することになると考える。

表層50cmの毛管孔隙量は、ほとんどの個所で40~60%で、50%の線で二分できる。非毛管孔隙量は、20~30%を示す個所が半数ある。全孔隙量では、75~80%を示す個所が2/3で、単純に平均すると、非毛管孔隙量29%、毛管孔隙量48%である。

400cc採土円筒を用いた真下式透水試験による、通水後5分、15分における透水量から、ダルシー則にあてはめて求めた透水係数をcm/hr単位で示した。橋本ら<sup>2)</sup>が木津川流域の種々の林地におけるこの値を調べているが、広葉樹林地では、上層で9~28、中層で8~29、下層で3~34となっており、平均値はいずれも19である。それに比較すると、本試験流域はかなり透水性のいい場所といえそうだ。もっとも、本方法にはかなりの誤差を含む可能性は強いし、また非定常的な透水状態での値であり、おそらく長時間透水すればより小さな値に落ち着くものと考えられる。

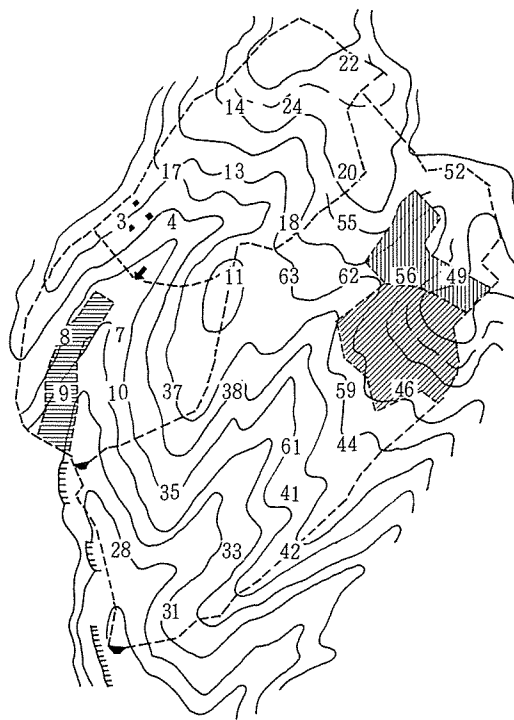


図3 土壌調査位置

表3 土壤調査結果

土壌断面 No	位 置	林 況	方 位	傾 斜 (度)	層 位	厚 さ (cm)	仮 比 重	固體部分体積(%)			孔 隙 量 (%)			50 cm 層 孔 隙 量		透 水 係 数
								細土	れき	根	粗大	粗	細	非毛管	毛管	
3			E	32	A B	32 26	0.68 0.68	27 27	0 0	2 1	4 5	17 21	50 46	23	49	16 26
4	脚部		NW	40	A B	25 30	0.47 0.47	21 20	1 1	0 0	0 2	19 24	59 53	23	56	8 36
7	凹部		W	42	A B	22 28	0.71 0.77	27 24	3 7	0 0	0 3	15 18	55 48	18	51	19 22
8		ヒノキ 造林地	E	32	A B	20 ↓	0.43 0.46	21 21	0 0	0 0	3 0	27 23	49 56	26	53	40 18
9		〃	E	17	A B	46 ↓	0.67 0.36	25 17	3 0	1 1	4 5	19 23	48 54	23	48	40 37
10			W	30	A B	34 42	0.50 0.49	21 21	0 0	1 1	5 6	28 29	45 43	34	44	58 53
11	尾根		S E	5	A B	26 33	0.40 0.56	18 23	0 0	1 0	9 6	29 22	43 49	33	46	42 18
13			S W	40	A B	40 50	0.47 0.54	20 24	0 0	0 0	11 6	16 26	53 44	29	51	40 45
14			S	16	A B	54 40	0.49 0.57	23 24	0 0	1 0	0 0	20 18	56 58	20	56	44 5
17			S	15	A B	42 32	0.40 0.46	18 21	0 0	0 0	7 2	28 23	47 54	33	48	36 7
18			S W	25	A B	39 36	0.41 0.56	18 25	0 0	2 0	7 4	29 26	44 45	35	44	25 29
20			S	10	A B	33 41	0.45 0.51	24 22	0 0	1 1	0 2	25 21	50 54	24	52	15 17
22			S E	7	A B	37 46	0.41 0.46	19 21	0 0	1 0	1 2	19 18	60 59	20	60	35 19
24			E	25	A B	34 36	0.41 0.53	19 22	0 0	0 0	7 7	24 21	50 50	30	50	31 7
28	山脚		S W	16	A B	30 40	0.48 0.50	20 22	1 1	1 1	6 0	28 16	44 61	27	51	42 28
31			NW	32	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	15 35	0.38 0.46	17 19	0 0	2 1	5 6	34 25	42 49	33	47	38 46
33	脚部		S W	18	A B	32 26	0.49 0.61	20 14	1 11	1 0	7 13	27 24	44 38	35	41	26 100
35	尾根		NW	22	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	10 20 ↓	0.46 0.76 0.96	20 32 28	0 1 8	4 1 0	8 3 0	26 28 22	42 35 42	28	39	164 40 16
37	凹部		NW	20	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	26 17 ↓	0.41 0.45 0.60	19 20 25	0 0 0	2 0 0	5 4 2	29 33 25	45 44 48	34	45	40 36 36
38	脚部		S E	27	A B	64 20	0.41 0.52	19 21	0 0	1 0	9 3	26 24	45 52	35	45	130 14
41	尾根		S	8	A B	35 42	0.57 0.85	23 31	0 1	1 1	8 7	29 17	39 43	33	40	61 15
42			NW	32	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	20 30	0.52 0.89	22 33	0 0	6 1	3 9	24 19	45 38	28	41	58 32
44	尾根		W	11	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	13 37 ↓	0.34 0.60 0.64	16 25 25	0 0 0	2 0 0	17 7 4	28 24 22	37 44 49	35	42	94 7 16
46		伐直 採後	S E	12	A <sub>1</sub>	12 64	0.46 0.46	15 21	0 0	1 0	8 8	33 31	43 41	39	41	39 28
49		クヌギ 植栽地	N	22	A B	76 ↓	0.39 0.49	19 21	0 0	0 0	4 3	24 18	53 58	28	53	51 16
52			S W	13	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	8 42 ↓	0.40 0.40 0.66	20 18 26	0 0 0	1 0 0	3 11 3	25 16 14	51 54 57	28	54	111 9 10
55			S	15	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	8 24 ↓	0.40 0.57 0.81	19 25 31	0 0 0	2 0 1	0 0 1	29 20 16	50 54 52	20	53	38 12 25
56		伐直 採後	NW	33	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	22 31 45	0.43 0.43 0.48	20 19 20	0 0 1	0 0 0	2 2 6	25 18 18	53 61 55	23	57	26 6 7
59			S W	17	A B	32 41	0.45 0.47	20 21	0 0	1 0	0 5	28 21	51 53	27	52	7 14
61	脚部		W	30	A <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	30 45 86	0.73 0.50 0.50	23 19 20	6 2 1	0 0 0	14 8 6	29 29 23	28 42 50	41	34	55 56 22
62			S E	30	A B	30 20	0.52 0.52	22 22	0 0	2 1	3 2	22 30	51 45	28	49	85 30
63			S	15	A B	33 55	0.42 0.45	20 18	0 0	2 0	0 5	20 19	58 58	22	58	14 21

4. 観測方法

試験流域は大きくわけて2つの谷からなることから、流域内でも降雨量に差があるのではないかと考える。それで、林外雨量を図1にP<sub>1</sub>~P<sub>4</sub>で示した開放地において、0.5mm計転倒マスで測定することにした。

林内雨量および樹幹流下量の測定は、前報に述べた方法で選定された5m×5mのプロット内で行った。その位置は、図1にA~Dで示されている。A区は上層樹冠および下層木とも密、B区は上層樹冠が中で下層木は疎、C区は上層木および下層木とも疎、D区は上層木が疎で下層木が密である。流域全体を踏査したとき、これらのプロットの代表性に幾分の不安があった。上中層木の立木本数を図2の流域内での頻度図上に示してみると、いずれも流域の中ではほぼ中ぐらゐの立木密度の場所を代表していることがわかった。もう少し立木の多い個所での測定値があってもよからう。

林内雨量は、地上約1mの高さに設置した亜鉛鉄板製の幅10cm、長さ100cm、深さ10cmのトイで捕捉した。測定数は、プロットAで3、B~Dで各4である。いくつかの測定点における林冠の状況を、トイの中央部分から天頂に向けられたf=50mmレンズにより撮影した写真を末尾に掲げておく。

表4 樹幹流下量測定木の諸元

PLOT No.	PLOT-A				PLOT-B				PLOT-C				PLOT-D			
	樹種	樹高(m)	幹径(cm)	幹傾斜(°)	樹種	樹高(m)	幹径(cm)	幹傾斜(°)	樹種	樹高(m)	幹径(cm)	幹傾斜(°)	樹種	樹高(m)	幹径(cm)	幹傾斜(°)
1	コナラ	16.0	20	90	コナラ	1.0	2	30	コナラ	8.0	10	65	クロモジ	1.5	2	40
2	〃	14.0	16	50	〃	3.0	4	30	タニウツギ	1.5	2	10	〃	3.5	2	24
3	—	—	—	—	〃	17.0	22	90	〃	1.8	2	20	タニウツギ	1.5	2	30
4	〃	2.2	2	30	〃	17.0	20	90	〃	1.5	4	25	〃	1.5	2	35
5	〃	6.0	6	30	〃	2.5	2	25	〃	2.0	4	25	コナラ	2.5	4	10
6	サワグルミ	5.0	4	30	クロモジ	3.0	4	25	コナラ	11.0	14	50	〃	4.5	4	40
7	リュウブ	3.0,4.0	2,4	20,0	コナラ	3.5	4	15	〃	8.0	8	50	〃	1.5	2	15
8	コナラ	6.0	4	40	〃	4.0	4	20	〃	3.0	4	5	〃	7.0	6	35
9	ウラジロノキ	2.5,1.5	2,2	30,30	〃	18.0	30	50	〃	4.5	6	25	〃	6.0	6	50
10	コナラ	6.0	10	40	〃	4.0	4	70	〃	12.0,5.0	14,10	65	リュウブ	2.0	2	25
11	リュウブ	2.5,1.8	2,2	30,40	〃	5.0	6	35	タニウツギ	2.0	2	55	〃	2.5	2	40
12	タカノツメ	4.9	4	45	〃	16.0	20	90					コナラ	5.0	6	40
13	〃	4.9	4	45	〃	16.0	20	50					〃	7.0	6	30
14	クロモジ	2.3	2	25	〃	8.0	6	60					〃	5.0	6	15
15	コナラ	3.3	2	15									〃	6.0	4	50
16	〃	4.0	4	25									〃	17.0	22	90
17	ウラジロノキ	4.0	2	0												
18	〃	4.0	2	0												
19	コナラ	7.0	6	30												
20	ウラジロノキ	2.5	2	40												
21	〃	1.5	2	40												

注) 幹径は地上高60cmにおけるもの、幹傾斜は直立木が90°で、傾斜するほど小さな値となる。  
一欄に2つの値が書かれているのは2本の幹をとりまとめて測定していることを示す。

樹幹流下量は、プロット内に立つ1.2 m以上の立木すべてにおいて測定した。測定木の諸元を表4に示す。各プロットは32°~35°の傾斜があるため、中下層木のほとんどは直立しないで傾斜している。

トイで捕捉した林内雨量およびホースで集水した樹幹流下量は、一部転倒マス型雨量計で計測記録するほかは、すべてポリバケツなどに貯水して1週間を基準期間として計測した。

流量は、前述したA~C各流域出口において計測した。図1中、Fでは9インチ型パーシャルフリューム、W<sub>1</sub>では直高1 mの90°三角鋭縁セキ、W<sub>2</sub>では直高1.5 mの90°三角鋭縁セキを用いた。

また、図1中★印で示される山脚部分に直径150 mmの塩化ビニル管を埋設した井戸を用いて、地下水水位の変動を観測した。この井戸を含む山腹の縦断面図および山腹の上部、中部および井戸の土層柱状図を示すと、図4のようである。全孔隙率、粗孔隙率は林野土壌調査法<sup>3)</sup>により測定した。また透水係数は、前述のように芝本式円筒に採取された試料を飽和させた後真下式透水試験装置で透水後5分および15分後の透水量の平均値をダルシー則にあてはめて求めた値である。

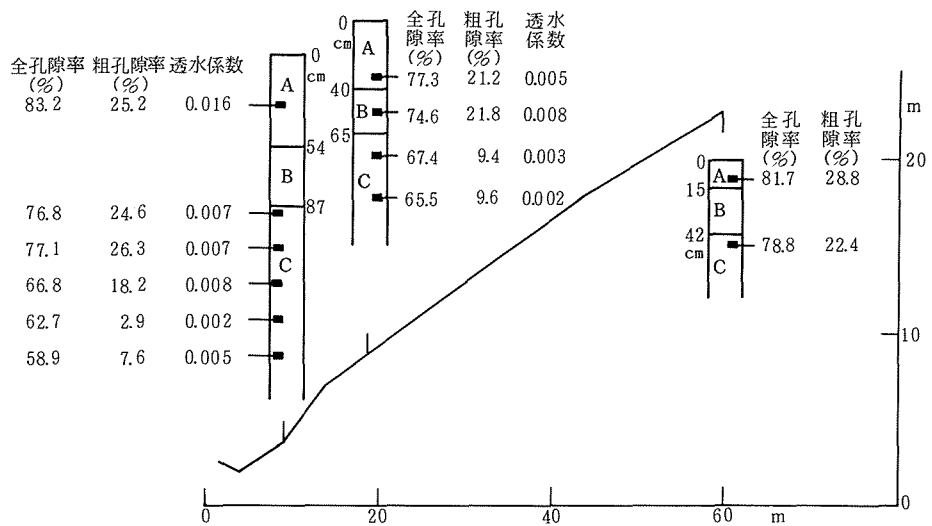


図4 井戸を含む山腹縦断および土層柱状図

A層とB層は黒色土壌であるが、C層は淡黄色の火山灰土からなり一部には礫を含んでいた。いずれの地点でも、地表から深くなるにつれて孔隙量は少なく、透水性も悪くなる傾向がある。また井戸における土壌断面では、B層とC層との境界が地面から87 cmの深さにあり、C層内には透水係数および粗孔隙が急に小さくなる境界が、地面下130~150 cmの間に存在していることがわかる。C層上部は幾分砂まじりの層であるが、下部は粘土ローム層であった。

### III 観測結果および考察

本報の観測期間は、1981年5月28日~11月20日である。

流域内の雨量分布を検討するため4ヶ所で林外雨量を測定した。各雨量は別個の時計で記録されているため、時間雨量で議論するには無理があると考えられる。そこで、3~4時間以上の無降雨時



間で区切られたひと雨雨量について、林内雨量および樹幹流下量測定プロットに最も近い林外雨量観測点 $P_3$ における降雨量を基準にして他の観測値を比較した。

その結果、非常に高い相関をもって

$$P_1 = 0.95 P_3 \quad (R = 0.992)$$

$$P_2 = 1.00 P_3 \quad (R = 0.999)$$

$$P_4 = 1.00 P_3 \quad (R = 0.998)$$

という結果を得た。 $P_1$ でのみ若干少ない結果を得たが、これは1~2時間で60~90mmといった期間内最大の雨量強度の降雨の際の観測値が大きく影響しているものである。

尾根部では、風の影響により多少降雨量が少ない傾向が見られるものの、雨量強度が極端に大きな降雨を除いては本流域内における場所的な差違はほとんどないといえる。

それゆえ、以後本報では林外雨量は4地点における平均値を採用することにする。

なお、国立林業試験場の報告によると、流域面積が15ha以下では観測地点は1ヶ所でよいとしているが<sup>4)</sup>、この結果もこれを支持する。

## 1. 降雨遮断

林内雨量について、前報では一定期間内のそれを検討した。今年は5ヶ所における林内雨量を自記記録したので、ひと雨ごとの林内雨量について考察する。

ここでは、降雨に4、5時間以上の中断がある場合別個の降雨とした。

前報で述べたように、同一プロット内でも drip を多く捕捉するかいなかで測定される林内雨量には差異があるけれども、各個のトイでは、林内雨量とひと雨林外雨量の間には、高い相関係数をもって直線関係がみとめられる<sup>5)</sup>。5ヶ所での測定値を平均して両者の関係を示すと図5のとおりであり、林外雨量 $P$ と林内雨量 $P_i$ の関係は、

$$P_i = 0.83 P \quad (R = 0.993)$$

で表される。

中野の著書によれば、生育期の各種広葉樹壮令林では林内雨量は70~96%である<sup>4)</sup>。筆者等の結果はほぼ中位にあるといえる。

ところで、林内雨量率は小雨のばあい非常に小さくなくなると言われる。さきに示した式はこれを無視して求められている。どの程度の降雨量から林内雨量率が減少する傾向があらわれるかを検討するため、図5に示した値を両対数紙にプロットし直したのが図6である。図中2本の直線は、それぞれ林内雨量率100%および80%を示している。この図

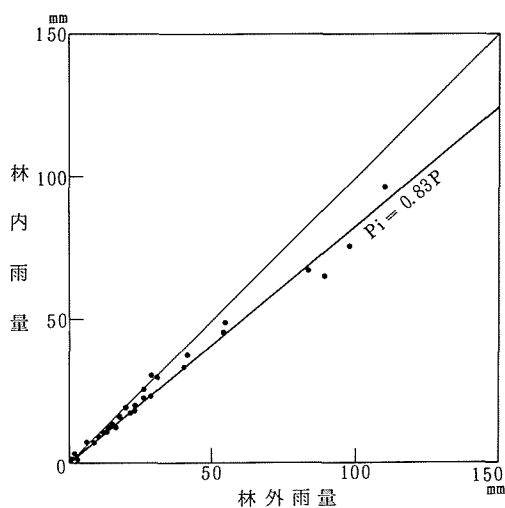


図5 一雨雨量と林内雨量

によると、林内雨量率が目に見えて低下し出すのは、2～3mm以下のごく細い降雨においてである。本流域ではその合計雨量の期間内総雨量に占める割合は2%にもならないけれども、観測期間中の降雨のうち3mm以下の降雨は約1/3ある。弱雨のみしか期待できない期間、地域ではこの現象も無視できない場合があるかもしれない。

樹幹流下量について、前報では個々の立木での樹幹流下量を検討した。それは、前述したように流域内多数の個所で立木の状態（樹高、樹冠の広がり、樹幹の傾斜）を調査しその分布を知り、各状態の立木での樹幹流下量がわかれば、流域全体での樹幹流下量を推定することができると考えたからであるが、立木の状態を示すこれらの要素ごとに樹幹流下量へ及ぼす差違を明確にすることは不可能であると判断した。

そこで、ここではプロット内に立つすべての樹幹により林地にもたらされる雨量を算定し考察することにした。すなわち、一週間ごとに全測定木から集水された合計水量をプロット面積で除して水高に換算し樹幹流下量とした。

一週間の林外雨量Pとこの値 $P_s$ を対応させると、それぞれのプロットで

$$A : P_s = 0.051 P - 0.164$$

$$B : P_s = 0.117 P - 0.761$$

$$C : P_s = 0.028 P - 0.250$$

$$D : P_s = 0.063 P - 0.772$$

の直線関係が見出された。なお、相関係数は、いずれも0.97以上の高い値を示している。

各関係式の係数と定数を見ると、負の相関がみられる。すなわち、樹幹流下が小さい雨量で始まる場所と、かなり大きい雨量になってはじめて現れる場所があるが、樹幹流下が現われて後のその増加割合は後者で大きい。

立木状況と対比すると、上層木の多い場所ほど後者の傾向がある。なお、前章でプロットBよりもAの方が上層樹冠が密であると述べたが、プロットAの場合は斜面上部の上層木による覆いかぶさがりが多く、プロット内に幹を立てるものは少なく、しかも樹幹が大きく傾斜しているのに対し、プロットBでは林冠はいくぶん疎開していても、プロット内にほぼ直立した樹幹を立てる木が多いため、林地にもたらされる流下量が多い結果となっている。また、プロットAでは主たる樹幹が傾斜しているために、林内雨を幹に直接受け、小さい降雨でも樹幹流下量が現われるけれども、また同じ理由でdripに変換される雨量が多いため大きい降雨になっても樹幹流下量の増加が少ないと考えられる。

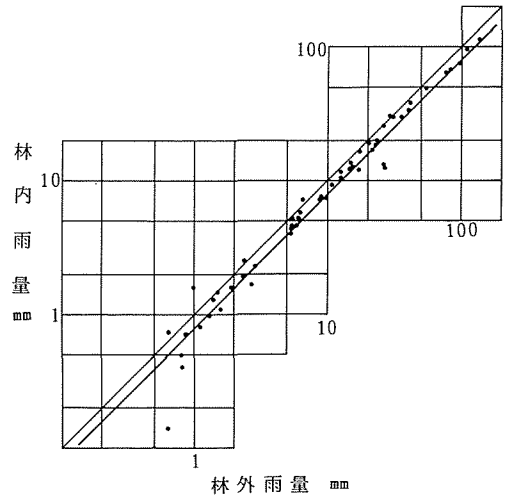


図6 小雨における林内雨量率の低下

降雨頻度も比較的高く、暖候期間の総降水量に対する寄与率の高い20~30mmのひと雨降雨での樹幹流下率をこれらの式で計算すると、1.5~6%である。

プロット内に数個設置したトイで計測した雨量の平均値をプロット内林内雨量とし、それに前述した樹幹流下量を合したものは林地到達雨量である。そして、林外雨量とこの量の差が樹冠による遮断量となる。

林外雨量とこの遮断量の間には、ほぼ直線関係があり、回帰直線の傾きはプロットにより2~4倍の差があった。その傾きでみると、遮断量はC≒D>B>Aであった。プロットBでは直立する樹幹(それはおおむね広い樹冠面積をもつ)が多いために、プロット外に落ちるべき雨滴も捕捉され樹幹を通じて林地に到達するため計算上は小さい遮断量を示したものであろう。また、プロットAでは、大きな降雨のあった期間で他のプロットより多い林内雨量を記録していることが、傾向線の傾きを小さくしている。すなわち樹冠上層が傾斜の強い立木の枝葉により構成されているため、dripとして落ちる機会が他のプロットより多いことを示している。

ところで、4つのプロットの全測定が揃っている期間のみの4プロット平均樹冠遮断量を、林外雨量に対してプロットしたのが図7であり、回帰線は、 $R = 0.858$ で

$$I_c = 0.122P + 0.59$$

となる。図中黒丸は樹冠遮断率を示しているが、遮断率がとりわけ大きくなるのは、約3mm以下の降雨においてである。なお、★印を印した値は一降雨によるものであり、林外雨量50~70mmの範囲にプロットされた幾つかの値は、弱雨を含む3~5降雨により構成されている。総雨量が同一程度の期間でも、それを構成する降雨の内容によりその期間の遮断率は大きく変わるものである。一定期間の遮断量を詳細に議論するためには、その期間内にあった降雨の規模と頻度および各降雨規模における遮断量についての知識を積み重ねる必要がある。

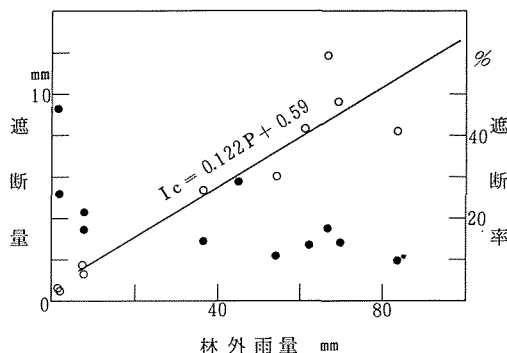


図7 樹冠遮断量(○)および遮断率(●)

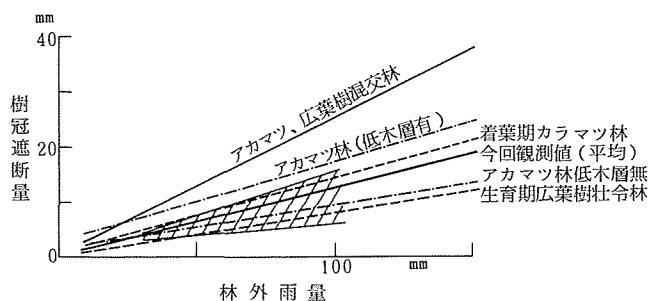


図8 樹冠遮断に関する従来の観測例との対比

さて、ここに得た回帰線および各プロットの回帰直線の範囲(ハッチ部)を、中野が引用している値<sup>4)</sup>と比較して示したものが図8であり、生育期広葉樹壮令林での観測例の約倍の値となっている。

## 2. 流 出

流域内に伐跡地等を含むことにより流出の様相にいかなる差が現われるかを検討するため、3ヶ所で流量の観測を行なったけれども、量水セキW<sub>1</sub>に設置した水位計が不調であったこと、パーシャルフリュームの測定範囲を越える出水がいくつかあったことによつて、この点の検討を十分加えることはできない。

5月1日から11月末日迄のC流域からの日流出高の経過を示したものが図9で、日流出高の小さい日をもつて雨量資料のある全期間をいくつかに分割し期間別の流出率を計算した結果が表5である。

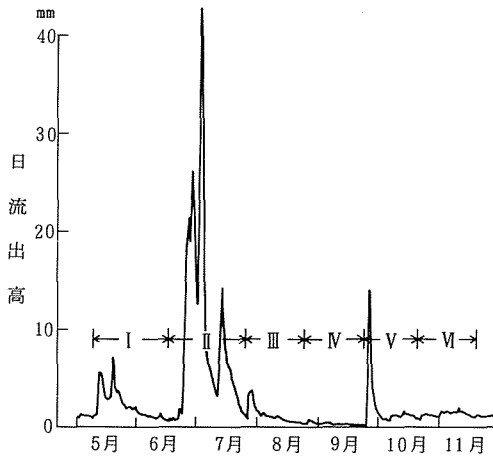


図9 日流出高の変化

表5 期間流出率(C流域)

期間	期 日	降雨量 (mm)	流出高 (mm)	流出率	期末日流出高 (mm)
I	5/9 ~ 6/17	186.4	82.5	0.44	0.5
II	6/18 ~ 7/27	684.7	335.0	0.49	0.7
III	7/28 ~ 8/25	112.8	31.7	0.28	0.3
IV	8/26 ~ 9/24	115.9	7.5	0.07	0.1
V	9/25 ~ 10/21	291.2	55.2	0.19	0.8
VI	10/22 ~ 11/20	164.8	40.4	0.25	1.1
計		1555.8	552.3	0.35	

全期間の降雨量1556mmに対し、流出高が552mmで、流出率が0.35と計算された。なお、前報でA流域の場合ほぼ同期間で約0.40の流出率であった。

測定された年度が異なるために、この両者を直接的に比較することには無理があるけれども、この0.05の差が林況の差を現わし得るかを検討してみる。図10は、A、C両流域での日流出高を対比して示したものであるが、C流域からの流出高がA流域からのそれよりも大きい日が明らかに多い。しかも、日流出高の低い日ほどその比率は大きくなる。一般的には、林相のいいほど無降雨日の流出高は高く維持されると言われている。したがって、日流出高の低いところほど伐跡地等を全く含まないA流域の方が高い流出を示していいはずである。しかし、ここに得られた結果は全く逆と言

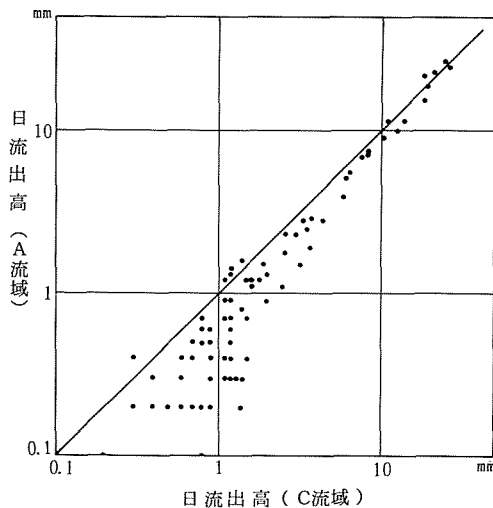


図10 A、C両流域での日流出高の対比

ってよい。これは、A、C流域の規模が異なるために生じた結果であると考え。すなわち、A流域のような小流域では表流水として表われないものも、C流域ほどの規模の流域になれば表流水となり、観測・計算される流出高は大きくなるだろう。従来、種々の規模の試験地流域で得られた流量観測の結果を、流域面積で除し流出高で比較することによって、流域規模の問題は解決されるものと理解される傾向があったけれども、それでは不十分であろうとの結論を得る。同規模の流域で対比しなければ、林相の流出に及ぼす差異を明確にすることは不可能であろう。

期間流出率をみると、40日間のうち1mm以上の降雨日が20日、10mm以上の降雨日が18日間もあった梅雨期のⅡ期が0.49と高いが、開葉期から初秋にかけて流出率が低下し、秋期に次第に増大する傾向がある。これは土壌水分の年間変動の様相と非常によく似たものである。ほぼ同程度の期間降雨量であったⅢ、Ⅳ期を比較すると、流出率に約4倍の開きがある。限日における日流出高が、Ⅱ期の末日から0.7、0.3、0.1mmと小さくなっていることが示すように、土壌が次第に乾燥にむかっているため初期損失が後者で非常に大きかったことによる。また、Ⅲ期の期間降雨量のうちその74%は期間初日の1時間半ばかりの間にあったしゅう雨によるものであるが、後述するように、このしゅう雨の中間流出は2~4mmであり、このことがこの期の前半の日流出高を高めることに寄与していることが第9図でもわかる。なお、Ⅱ期は流出率がとりわけ大きいけれども、期頭7日間だけをとりあげてみると、降雨日が6日(10mm以上の降雨日が4日)で総降雨量97.4mmに対し、流出高はわずか3.9mmであり、流出率はわずか4%にすぎない。これらの降雨が梅雨前の土湿不足を補なうのに大きく寄与していることがわかる。

さて、水源かん養の観点からすればⅢ期頭初の降雨にみられるように、降雨日の表面流出や早い中間流出成分が少なく、中間流出成分でもできるだけ遅延したものあるいは地下水流出に変換され、無降雨日の減水を緩和することが望まれる。そこで、図9にみられるいくつかのピークを形成した出水について、ハイドログラフから中間流出成分を分離してみた。ハイドログラフの分離は、片対数プロットしたハイドログラフがいくつか折れることを利用し、各成分のピーク値はハイドログラフピーク時にあるとするBarnesの方法によった。また、このピーク時までの各成分は、ハイドログラフの立ち上り時より片対数紙上で直線的に増大するものとした。分離の一例を図11に、また分離の結果を表6に示す。7月3日からの出水でのA流域からの流出については、ピーク近くでパーシャルフリュームの測定範囲を越えたので、ハイドログラフが不完全であった。表6最終欄の立ち上り流量とは、各出水における流量増加直前の流量であり、流域の土湿状態の指標となると考えている。表5に示された全期間のうち、24.3ℓ/secの流量が継続したと仮定したときの日流出高14mmを越える日が5%にすぎないほど大きい流量から始まる7月3日降雨によるハイドログラフのばあい、降雨量に対する中間流出率が60%と非常に大きく、土湿状態が中間流出率に影響していることを明らかにしているけれども、他の3出水についてみるなら、流域土壌水分が多い時(立ち上り流量が高い時)ほど中間流出率が高いといった関係は必ずしも明確でない。降雨強度および一降雨中におけるその経過などによっても中間流出率は影響されているからだと考え。7月28日のしゅう雨に伴うA流域からの出水ハイドロ

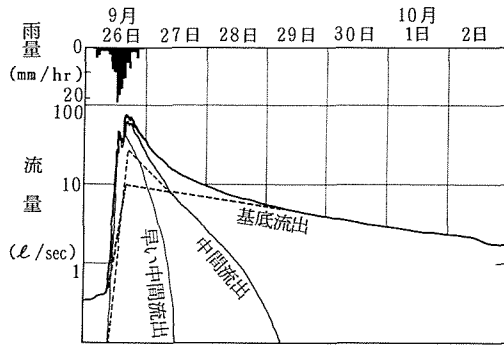


図 11 ハイドログラフの分離例

表 6 中間流出量

期 間	林外 雨量 mm	流 域	早 い 中間流出		遅 い 中間流出		立ち上 り流量 L/sec
			mm	%	mm	%	
7/ 3 ~ 5	99.4	A C	—	—	—	—	—
7/13 ~16	104.3	A C	2.5 2.2	2.4 2.1	8.8 5.9	8.4 5.6	0.7 4.3
7/28 ~31	83.5	A C	1.0 0.6	1.2 0.7	0.8 2.4	0.9 2.9	0.1 0.9
9/26 ~29	136.6	A C	4.8 2.4	3.5 2.0	9.8 15.5	7.2 13.1	0.1 0.3

グラフのばあいのみ早い中間流出成分（ここでは表面流出成分をも含み得る）が遅い成分より多くなっているけれども、その他のばあいはいずれも早い中間流出に比較して遅い中間流出が多いことからみて、この流域は水源かん養上好ましいものと考えられる。なお、この中間流出成分の継続時間は、C流域のばあい65~80時間であるが、A流域のばあい30~80時間と大きく変化する。とくに7月28日しゅう雨による中間流出は30時間程度で終了している。

ところで、この中間流出が終了し、溪水が基底流出のみでかん養されている場合の減水係数を、減水曲線が

$$Q = Q_0 e^{-\alpha t}$$

で表わせるとして計算してみると、表7のようになる。流域面積の大きいC流域の方がいくぶん小さい値になっている。また、前報では遅い中間流出成分の残っている時期の減水係数について検討した結果0.015~0.026とかなりの巾をもっていたけれども、基底流出の減水係数は、ほぼ一定の値を示している。なお、減水係数には流域の植生状態も影響するといわれているが、詳細な検討を加えるには至らなかった。

表 7 減水係数

期 間	降 雨 量 mm	減水係数 (hr <sup>-1</sup> )	
		A 流 域	C 流 域
7/ 3 ~ 5	99.4	0.010	0.010
7/13 ~ 16	104.3	0.010	0.008
7/28 ~ 31	83.5	0.013	0.008
9/26 ~ 29	136.6	0.013	0.011

### 3. 地下水位の変動

観測期間中の2回の出水時のパーシャルフリュームで測定された流出量ハイドログラフおよび地下水位の変動ならびに降雨経過を示したものが、図12である。降雨、流出、地下水位変動の時間的ずれをみると、降雨後流量が増大し始め、地下水位はその後数時間経て上昇する。林業試験場竜ノ口山試験地での調査によれば<sup>9)</sup>、地下水位の上昇が流出量の立ち上りに先行する場合もあるが、本流域ではその例は全くない。地下水位が上昇を始める時にはすでに流量はかなり増大しているわけであるが、この増大分は専ら直接流出成分によるものであり、基底流出は地下水位が上昇して始めて増加に移るものとする。さきのハイドログラフの分離においては、基底流出も流量増大の時刻から増大するもの

と仮定したけれども、この点を勘案されなければならぬ。もっとも、地下水位上昇の遅れ時間は流域の土湿状態、先行降雨や降雨状況により大きく異なるものであり、その説明がそれだけで十分一つの研究課題となりうるほど複雑な問題である。

そのほか、地下水位の変動様相にはつぎの特長が見られる。まず、流量が基底流出だけにより構成されるようになる時刻での地下水位は、地面から約90cmの深さにある。これはほぼB層とC層の境界に相当し、簡言すればA層とB層から河川に供給される水分が直接流出であることを示している。つぎに、地下水位がC層内にあるばあいでも、低下速度が一けたも変化する深さがある。これは、さきに述べた粗孔隙率と透水係数が急に大きく変わったC層上部、C層下部の境界に相当する。なお、地下水位がB層にある時とC層上部にあるばあいでは、その低下速度はあまり変化していない。

地下水位の変動量と一雨雨量との間の関係を示したものが、第13図である。ここでは、流域の土湿

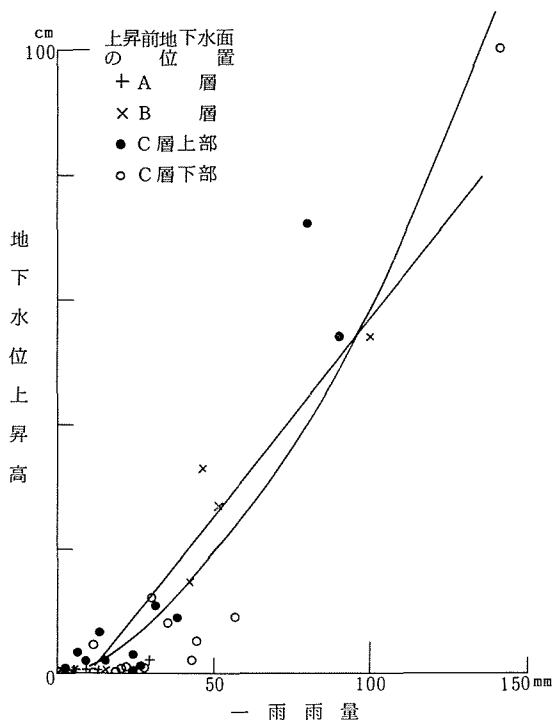


図13 地下水位上昇高と一雨雨量

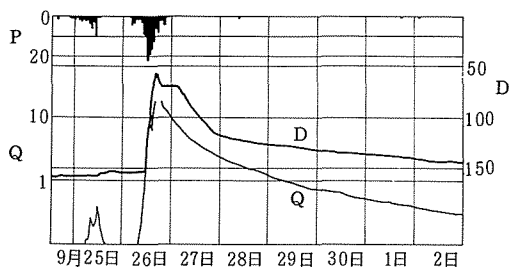
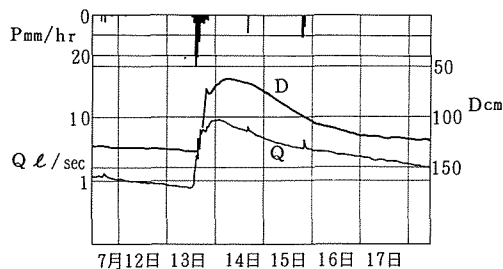


図12 地下水位の変動およびハイドログラフ、ハイトグラフ

状態の差異をも見るために、水位変動直前に地下水面がA層、B層、C層上部およびC層下部にあったものに別けてプロットしたが、その間の系統的な差異は明確でない。また、30mmの降雨で地下水位が上昇しない時であれば、10mmすこしの降雨で5cm以上の上昇がみられる時もあるように、データのばらつきは大きい。しかし、50mm以上の降雨と水位変動量との間には相関係数が0.94とかなり強い関係があるので、あえて全データを一次および二次回帰させた結果を二つの曲線で示した。ある一定以上の一雨雨量になると雨者の間には有意な関係があるだろう<sup>6)</sup>が、これらの曲線は有意なものとは言えない。

## Ⅳ 総 括

広葉樹林における水源かん養機能に関する蒜山演習林での観測研究の第Ⅱ報として、第Ⅰ報に続いて継続して行った林内雨量、樹幹流下量の観測および5～10月の暖候季における3.5haの試験地（A流域）ならびに15.2haに拡大した試験流域（C流域）での流量観測結果、さらに井戸を掘って地下水水位の変動を観測した結果を検討した。

また、流域内の林況および土壌の物理性の調査結果について述べた。

林内雨量率はプロットによって若干のばらつきがみられたが、平均的にみて83%である。

5m×5mのプロット内全測定木の週間毎の樹幹流下量と林外雨量とを対応させてみると、高い相関がみられる。また、小雨でも樹幹流下のみられるプロットではその後の増加は少ないが、樹幹流下がかなりの降雨にならないとみられないプロットではその後の増加割合は大きいことがわかった。これは林冠のうっ閉度合、樹幹の傾斜、樹冠の規模に左右されていると思われた。20～30mmのひと雨降雨での樹幹流下率を計算してみると約1.5～6%である。

降雨遮断量と林外雨量の間にも直線関係がみられるが、プロット間で2～4倍の開きがある。前報にも述べたように樹幹の傾斜の度合が遮断率にかなり影響していることがうかがえる。単純に4つのプロットを平均してみると、

$$I_c = 0.122 P + 0.59$$

であった。得られた回帰線の示す値は過去に調査された生育期広葉樹壮令林での値の約倍になる。また、遮断率がとりわけ大きくなるのは降雨量が約3mm以下の場合である。

C流域からの5月～11月における流出率は、約35%であった。また期間をいくつかに別けてみると、5月、6月の流出率は0.44、0.49と高い値を示し、初秋期は0.07と非常に低い値であった。

いくつかの出水ハイドログラフからバーンズ法によって中間流出成分を分離した結果、ほとんどのばあい早い中間流出に比較して遅い中間流出が多いことがわかった。このことは本流域が水源かん養上好ましいものと推察させるものであろう。

また、流水が基底流出のみの場合の減水係数は、A流域が0.010～0.013、C流域が0.011～0.008となり、流域面積の大きいC流域でいくぶん小さい値となった。

地下水水位の変動の、降雨、流出との時間的ずれをみると、降雨後流量が増大し始め、地下水水位はその後数時間を経て上昇することがわかった。また流量が基底流出だけにより構成されるようになる時刻での地下水水位は、ほぼB層とC層の境界に相当し、A層とB層から河川に供給されるものが直接流出であることを示した。また、50mm以上の比較的大きい降雨になると地下水水位の変動量と一雨雨量との間の相関は0.94とかなり高いが、小雨の場合はバラツキが大きい。

広葉樹林における水源かん養機能を検討するためには、暖候期のみでなく、冬季間の水文観測を含め1水年の観測資料を多く得て、これを解析することが必要である。今後、林地の浸透能や土湿状況の変化などの調査を合せ行ないながら総合的に検討したいと考えている。



## 文 献

- 1) 田中一夫・奥村武信・井上 昌・下野 清：広葉樹林における水源かん養機能に関する研究(I). 鳥大農演報, **13**(1981)
- 2) 吉岡二郎・橋本与良：山地土壌の性質及び林況と水保全. 第2回水資源に関するシンポジウム前刷集, (1982)
- 3) 河田弘・小島俊郎：環境測定法IV－森林土壌 共立出版(1979)
- 4) 中野秀章：森林水文学. 共立出版(1976)
- 5) 田中一夫・奥村武信・大下裕美・南 康弘：広葉樹林における水源かん養機能に関する研究(II) 第33回日林関西支講(1982)
- 6) 藤枝基久・阿部敏夫・岸岡 孝：山地小流域における井戸水位調査の1例. 第31回日林関西支講(1980)



A-1 トイ上林冠



B-1 トイ上林冠



B-2 トイ上林冠



C-3 トイ上林冠



D-1 トイ上林冠



W<sub>2</sub> 量水セキ