

竜ノ口山水源涵養試験第4回報告

伐採による流量変化の総合的考察

白 井 純 郎¹⁾
近 藤 松 一²⁾
大 原 忠 一³⁾

目 次

緒 言	95
1. 年流量並びに年流出率と雨量	96
2. 月流量と月雨量	100
3. 増水量と雨量	104
4. 林地保留量と滲透量	109
5. 流量調節作用表示式による検討	110
6. 減水状況	113
結 論	116
Résumé	119

緒 言

中国南部のような温暖寡雨地帯においては、アカマツの水源涵養林の存在価値について甲論乙駁世論が定まらなかつたのにかんがみ、この解決のために 1936 年竜ノ口山国有林内に地形、林相のよく似た南北両谷を選び量水堰堤を設置し、1937 年 1 月より観測を開始した。当初の計画としては 1940 年まで基礎観測の後、南谷は下層林冠を構成せる雑木、地表植物を伐採除去し、1945 年より 5 カ年間は全林を伐採無立木状とし、北谷は適度の撫育を加えて漸次水源涵養林として有効と認められる林相に導いて、それぞれの時期における水分流出量を比較することによつて、アカマツ林の水源涵養機能を測定する予定であつた。ところが 1940 年松喰虫の侵入をみてより次第に蔓延し、1943 年には南北両谷の全林に及び、被害激甚となつたので、止むをえず 1944 年より伐採を開始し 1945 年に全林の伐採を終つた。かくして最初の計画に一大頓挫をきたしたが、1947 年関係者の連絡協議会を開いてその後の対策を練つた結果、1949 年までは伐採跡のままとし、1950 年より 1953 年までは両谷とも積極的に植生の刈取を行つて、いわゆる草生とし、各期別の流量変化の状態を研究する。1954 年よりアカマツの官行造林をして、その成林を俟ち、最初の計画に戻して試験を続行することとしたが経費の

1)2)3) 高島分場防災研究室

関係で実行できず、伐採跡地のままとして放置されている。

本試験報告はすでに3回行われ⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾ 末尾参照), 第1, 2回は南北両谷について横の観察を加え, 第3回はこれに縦(歴史的)の比較をも加えて, それぞれきわめて貴重な報告をされているが, その後4カ年の記録を追加したので, 主に伐採前後の比較に重点を置いて資料の再整理を行ない総括的な観察を加えた。詳細な検討にはなお多くの時日を要するので, 後日に譲ることとし, とりあえず不備ながら報告することとした。

その仕事の分担は, 取りまとめは白井, 観測および資料の整理は近藤, 大原が担当した。また観測および計算については岡本金夫, 坪井千枝子の協力を仰いだ。

なお, 本試験開始以来大阪営林局や岡山営林署に種々御便宜をいただき, また, 取りまとめに当つては東京大学教授兼林業試験場防災部長萩原先生や同防災部丸山技官より御懇篤なる御指導御助言を賜わつたことに対して, 深く感謝の意を表します。

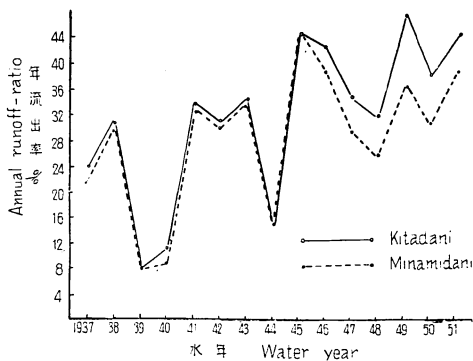
1. 年流量並びに年流出率と雨量

Fig. 1 に示すとおり年流出率は確かに増大の長期的傾向があり, ことに伐採時期の1945年を境として急増している。北谷においてその傾向の顕著であるのは, 伐採によつて地表植生が稀薄となり, 雨水の流下阻止物が少なくなつたため傾斜の差が大きく影響するものであろう。

第1表 流域の概観

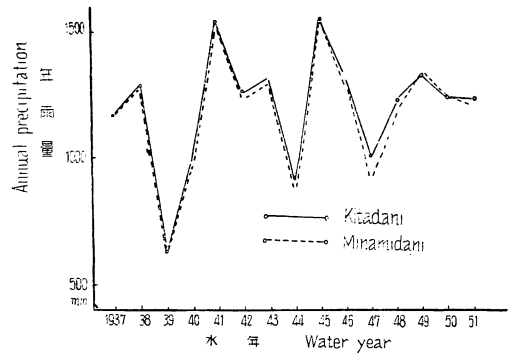
Table 1. Outlook of the experimental watersheds.

位置 Locality	岡山県上道郡高島村祇園段原 Gion-danbara Takashima village, Jyodo county, Okayama prefecture	
	北谷 Kitadani	南谷 Minamidani
地質 Geology	硬砂岩(秩父系) Graybacke (Chichibu system) 一部 partially	石英斑岩 quarz-porphry 花崗岩 granite 緑色岩 greenshist
面積 Area	17.27ha	22.61ha
方位 Bearing	W	W
平均傾斜 Average slope	30.9°	26.1°
標高 Elevation	45m~250m	58m~258m
植生 Vegetation	アカマツ幼令林 6.3ha Akamatsu (<i>Pinus densiflora</i> S. et Z.) young	アカマツ老令林 17.6ha Akamatsu over matured
伐採前 before cutting (1937~1944)	アカマツ老令林 9.8ha over matured ヒノキ 1.2ha Hinoki (<i>Chamaecyparis obtuse</i> S. et Z.)	伐採跡地(草生地) 3.9ha cut-over area (grasses) ヒノキ 1.2ha Hinoki
伐採後 after cutting (now)	ササ類 Bamboo bushes ネズミサシ <i>Juniperus rigida</i> S. et Z. アカマツ幼樹 young Akamatsu その他灌木 shrubs	北谷にはほぼ同じ Almost same with Kitadani 一部ヒノキ (0.5ha) partialy, Hinoki



第1図 年流出率の趨勢

Fig. 1 Tendency of annual runoff-ratio



第2図 年雨量の趨勢

Fig. 2 Tendency of annual precipitation

年雨量は Fig. 2 のように特に増大の長期的傾向がない。今両谷を伐採前 (1937~1943年) 伐採後 (1946~1951 年) の2期に分けて、その年流出率の差の有意性を検定するに、

$$\text{北谷} \quad t_0 = 3.60 > t(\alpha = 0.01) = 3.106$$

$$\text{南谷} \quad t_0 = 2.28 > t(\alpha = 0.05) = 2.201$$

となり、それぞれ 1%, 5% の危険率で差のあることがいえる。それでは以上の差が何によつて生じたものであろうか。まず気象因子の変化の有無を調べると、雨量については前記のとおり北谷では伐採前年平均 1158 mm に対し、伐採後の方が 40~50 mm 多い。これに対して年平均流量は平均北谷で 180mm, 南谷で 110mm 増加を示している。年雨量の差の影響を除去し伐採による流量の差を求める一法として、伐採前における年雨量 (x) と年流量 (z) との一次式を求め

$$\begin{aligned} \text{北谷} \quad z &= 0.58x - 359.3 \\ \text{南谷} \quad z &= 0.56x - 353.6 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (1)$$

(1) に伐採後の年雨量を代入して、伐採しないと仮定した場合の年流量の期待値を求めて、実際の年流量との差を伐採による影響とみなした。その結果北谷では年平均 147 mm, 南谷では 91 mm と伐採前年流量のそれぞれ 4 割~3 割の増加をきたした。次に流量と相当密接な関係をもつと考えられる他の気象因子、すなわち年平均気温、年平均湿度、年平均蒸発量について、長期的変化の状態を調べると (Table 2.), 年平均気温、蒸発量は伐採後は伐採前に比しそれぞれ平均 1.4°C, 238 mm の増加をしているが、これら気象因子の増加は林地の消失量を増大せしめ、むしろ流量を減少させる方向に作用するものと考えられるので流量増加の理由とはならない。また、地質土壌的にかかる短期間に急変が生ずるとは考えられない。したがつて、地表植生の変化が流量増加の直接的原因たることは間違いない。1945 年以降は伐採によつて樹冠遮断量や蒸散量が減少するが、これと逆に林地被覆擾乱のための蒸発量の増加があるはずであるが、前者の量が後者のそれを凌ぐために生ずる現象と解される。実際主林木を伐採しても地表草生、灌木生が依然存置するし、ことに 2, 3 年で、これらが繁茂して林地被覆を回

第 2 表 流 量 気 象 年 表
Table 2. Annual results of runoff and meteorology.

		年 度 Year																		
項 目 Item	谷 別 Water shed	伐 採 前 Before cutting											伐 採 後 After cutting							
		1937	1938	1939	1940	1941	1942	1943	平均 Mean	1944	1945	平均 Mean	1946	1947	1948	1949	1950	1951	平均 Mean	
降 水 量(x) Precipitation mm	北 Kitadani	1162	1284	616	967	1520	1245	1314	1158	895	1549	1222	1310	987	1216	1322	1233	1219	1214	
	南 Minamidani	1162	1259	615	957	1497	1222	1289	1143	856	1554	1205	1273	905	1182	1335	1237	1201	1189	
流 量(a) Runoff mm	北 Kitadani	273.3	398.0	50.2	107.1	515.0	386.5	455.7	312.3	130.9	691.1	411.0	569.0	326.6	389.5	640.6	476.0	549.4	491.9	
	南 Minamidani	249.3	378.0	51.9	87.8	477.0	368.2	433.5	263.7	133.5	696.6	417.5	498.2	269.3	307.2	490.4	380.5	468.7	402.4	
流 出 率 Runoff-ratio %	北 Kitadani	24	31	8	11	34	31	35	22.4	15	45	30	43	33	32	48	38	45	39.8	
	南 Minamidani	22	30	8	9	32	30	34	23.6	16	45	31	39	30	26	37	31	39	33.7	
消 失 量 Water loss mm	北 Kitadani	889	886	566	860	1005	859	858	846	764	858	811	741	660	826	681	757	670	721	
	南 Minamidani	913	881	563	879	1020	854	855	852	717	857	787	775	636	875	845	856	732	787	
平均気温C° Annual mean of air temperature		14.1	13.8	14.2	14.2	14.2	15.3	14.7	14.4	15.6	15.1	15.4	16.1	13.7	16.5	16.0	16.4	15.9	15.8	
平均湿度 % Annul mean of relative humidity		79.5	80.4	76.4	77.3	80.5	72.5	71.2	76.8	72.6	73.7	73.2	70.6	74.8	72.9	71.3	69.4	68.2	71.2	
蒸発量 mm (山麓露場) Evaporation		876.0	839.5	1058.5	951.6	766.5	876.0	935.5	907.7	1098.0	1058.5	1078.3	1131.5	1382.0	1093.1	976.0	1130.2	1154.4	1145.4	
日降水量の標準偏差 (y) Standard deviation of daily precipitation mm		11.7	12.7	6.8	9.5	13.7	14.8	11.0	11.5				11.9	8.4	8.8	12.3	8.7	11.3	10.2	

復するから、蒸発量に大した差がないと想像される。Kittredge⁴⁾ も同様のことを述べている。植生に変化のないかぎり年流量と年雨量とは密接な関係のあることが予想されるところであり、この場合にも相当高い相関 (Table 3.) を示すので、伐採後の一次的関係式を求めると、

$$\begin{aligned} \text{北谷 } z &= 0.86x - 551.1 \\ \text{南谷 } z &= 0.56x - 264.3 \end{aligned} \quad \dots (2)$$

となる。伐採前は (1) 式のように、南北両

谷の関係式はよく似た形をとるが、伐採後においては北谷では雨量の増加に対する年流量の増加割合は大きくなっているのも、傾斜並びに面積の差の影響であろう。降雨条件のうち年雨量以外に雨の配布状態、雨の強度等も年流量と関連を持つことは同じ年雨量のもとに流出量に大きな開きを持つことによつて想像できるが、雨の強さ等の降雨の型を簡単な数字として表わすことが困難であるが、ここではいわゆる雨量散布度を用いることとした。雨量散布度とは一水年の平均日雨量に対する各日雨量の差 d を求め、

$$y = \sqrt{\frac{\sum d^2}{n}} \quad n: 365 \sim 366$$

として求める。この z, x, y を表にしたのが Table 2. であつて、これらの間の相関係数を示したのが Table 3. である。伐採前の北谷については相関係数はいずれも有意であつて、 $r_{z,x}$ も相当高く、 z の x, y に対する重相関係数をとつても 0.96 と $r_{z,x}$ の 0.95 とほとんど差がなく、 y は z に対する影響は少ない。伐採後のものについては、

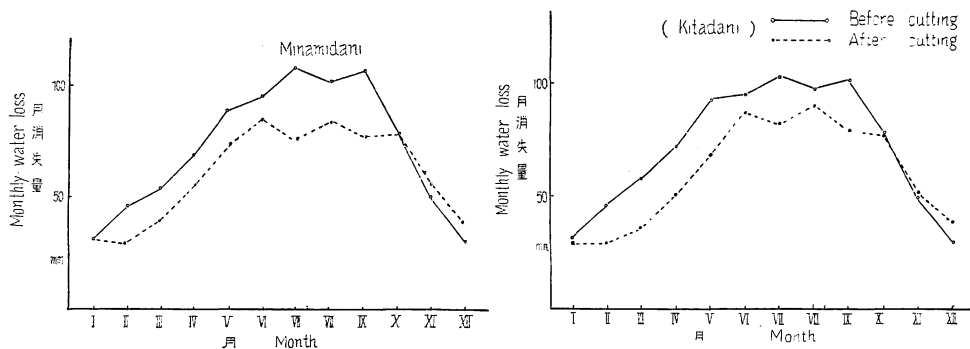
	重相関係数	回帰方程式	
北谷	$r_{z,x,y} = 0.96$	$z = 0.38x + 41.98y - 398$	} \dots\dots\dots (3)
南谷	$r_{z,x,y} = 0.96$	$z = 0.20x + 40.46y - 251.9$	

となり、(2) 式と比較すると、 y の影響の大きいことを示している。以上の検討から結論を導くことは資料の少ない点からして危険性なしとしないが、大体の傾向として雨量散布度と、年流量との相関は概ね高いものがあり、年雨量が同じでも雨の降り方が偏るほど年流量が増大し、しかもその傾向は伐採後において顕著である。このような傾向は当地のように年雨量が少なく、年流量が大きな雨による出水により大きく影響されることを示しているものと思われる。次に年消失量 = 年雨量 - 年流量と仮定した場合の年消失量の経年変化は Fig. 3 のように 1942 年頃から漸次減少の傾向がある。これはもちろん、松喰虫の蔓延による植生の悪化や、伐採に基因するものと推定されるが、その趨勢線を最小自乗法で求めると、

第3表 雨量、流量、雨量散布度の相関係数
Table 3. Correlation coefficient between precipitation and runoff and deviation of daily precipitation.

	相関係数 correlation coefficient	伐採前 Before cutting	伐採後 After cutting
北 谷 Kitadani	r_{xz}	0.95**	0.86*
	r_{xy}	0.87**	0.73
	r_{yz}	0.83*	0.93**
南 谷 Minamidani	r_{xz}		0.80
	r_{xy}		0.68
	r_{yz}		0.94**

備考 1. ** および * はそれぞれ 1% および 5% の危険率で有意を意味すること
2. r_{xz} は x と z との相関係数、他も同様



第 3 図 月消失の 3 カ月量移動平均
Fig. 3 3 months moving mean of monthly water loss

$$\text{北谷} \quad l_n = 870 - 12.0t$$

$$\text{南谷} \quad l_s = 857 - 5.3t \quad t: \text{経過年数}$$

と南谷の減少割合はやや小さい。しかしいずれにしても年による変動は流出率のそれほど大きくない。さらに伐採前後の時期別に比較すると (Table 2.), 伐採前は南北両谷ともほとんど差がないのはその地形, 植生の類似性をよく表わしており, 伐採によつて年平均で北谷で 125 mm, 南谷で 65 mm 減少し南谷にやや小さいのは南谷の一部にヒノキ壮令林を残し, また, 笹, 下木類の植生密度が北谷よりやや大きい等のためによるのであろう。また, それぞれの時期における年消失量と年雨量との相関が低く, 極端に寡雨の場合 (1939 年) を除いて消失量はほぼ一定している。このことについては Kittredge⁴⁾ も年消失量は年雨量の少ない場合を除いては, ほぼ一定値を保つと述べている。以上の消失量の生じた理由については年流量と年雨量との関係において考察したとおりである。なお, 消失量の厳密な検討には蒸散量, 蒸発量, 遮断量等についての測定が必要であるが, 本試験地にはそれらの資料を欠くので, これ以上の検討を差控えることとした。以上当地方の年流量, 消失量その他について概略を述べたが, ここに注意すべきはその流出率が瀬戸, 釜淵, 太田等のそれに比し著しく小さいことでその原因として考えられるのは第一に雨量の少ないことであり, 第二に蒸発量であるが, 露場における蒸発量については, 瀬戸その他と比較して特にその差が認められない。結局本地方は寡雨の割合に蒸散量, 樹冠遮断量が減少せずかえつて増加の傾向があるため, 相対的に流出率を小ならしめるものと想像する。このほかに当試験地の地質的特性 (北谷の一部をのぞいて大部分は滲透能の大きい古生層よりなっている) もその一因かも知れない。

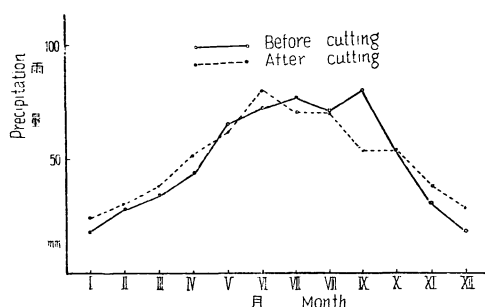
2. 月 流 量 と 月 雨 量

年流量をさらに細かく月別に検討するに, まず 1 月～12 月までの 12 カ月の月流量を伐採前後の平均値を求めて比較すると, 月雨量は年による変動が大きくしたが平均流量もこれに

影響されるところが多いので、その時期別の傾向は明らかでないが、6, 8, 9月を除いて伐採後が伐採前より多く、また、南北両谷いずれも年間を通じて最大は6, 7月の候であり、冬季或いは8月に最低を示しているのは同時期における雨量が大きく影響するものと信ずる。月雨量には土壌水分などとして翌月に持ち越すもの、または前月より持ち越された量もあつて若干の無理もあるが、月雨量-月流量=月消失量と仮定すると、月消失量は長年の平均では雨量による影響も十分に小さくなつて、月限りの収支の差が相殺されると考える。月別消失量は7, 11, 12月を除いて、伐採前が大きく一定の傾向があるとは考えられないが、その3カ月移動平均をとると、雨量の差による影響が平均化される傾向があり、時期別の差が比較的に明らかとなる。すなわち Fig. 3 のように、消失水量は11, 12月の2カ月を除いて常に伐採前の方が大きく、ことに2月~9月の期間に顕著である。同様に月雨量の3カ月移動平均をとると (Fig. 4), 9月を除いて伐採前後別に大差なく、また、前記の11, 12月の消失量の差も雨量の差によるものと推定される。これに反して春季の雨量はその消失量の場合と逆の傾向を示すのはアカマツの樹冠遮断や蒸散のみに帰すべきであろう。しかしこの方法では上記のように伐採前後の月雨量や消失量の関係が不規則であつて、それによる差が充分相殺されないから細かい数量的比較は危険であるが、時候別に大略の傾向を示すものと見てよい。さらに他の方法で夏冬の伐採前後の消失量の差を比較してみよう。まず夏(7, 8月), 冬(1, 2月)の2カ月の雨量および流量が伐採前後に有意の差があるかをt分布によつて検定するに、夏冬とも雨量については差がなく、流量のみ5%の危険率で有意の差がみられた。

次に上記2カ月の月雨量と月流量とは相当有意な相関係数を示すのでそれらの一次式を最小自乗法で導き、さらにこれから月消失量(l)を月雨量(x)との式を導くと、

$$\begin{array}{ll} \text{伐採前} & \text{伐採後} \\ \text{夏 } l_1 = 0.636x + 9.88 & l_2 = 0.326x + 33.90 \\ \text{冬 } l_3 = 0.883x + 0.86 & l_4 = 0.278x + 9.80 \end{array}$$



第4図 雨量3カ月移動平均

Fig. 4 3 months moving mean of monthly precipitation

第4表 夏冬別月流量 (単位 l/s/100 ha)
Table 4. Total runoff for each month in summer and winter.

年別 月別 Year Month	1937	1938	1939	1940	1941	1942	1943	1946	1947	1948	1949	1950	1951
冬 { I	5.3	9.2	4.2	1.4	3.6	4.9	3.5	11.3	32.0	3.9	18.7	85.6	19.2
Winter { II	21.8	7.3	4.1	3.1	1.4	6.7	4.9	12.1	9.5	9.0	16.5	40.2	32.0
夏 { VII	7.4	107.0	1.2	28.0	47.7	9.6	124.7	144.2	82.5	54.1	101.0	8.8	256.7
Summer { VIII	3.7	32.1	0.6	28.4	109.0	9.1	4.4	10.1	5.7	9.8	9.6	8.5	4.9

第 5 表 月雨量と月流量の相関係数

Table 5. Correlation coefficient for monthly precipitation and monthly runoff.

	伐採前 Before cutting	伐採後 After cutting
夏 (7, 8 月) Summer	+0.779**	+0.911**
冬 (1, 2 月) Winter	+0.591*	+0.890**

資料の数は伐採前 14, 伐採後 15

れも年間の月平均をやや上廻っている。また、この値は 3 カ月の移動平均のそれと夏においてはほぼ等しく、冬において僅かに大きい、より実際に近い値を与えるものと推定され、その内容について細かく解析を加える資料を欠くが、おそらく夏季は蒸散量、冬季は樹冠遮断量の差が主として影響しているのであらう。

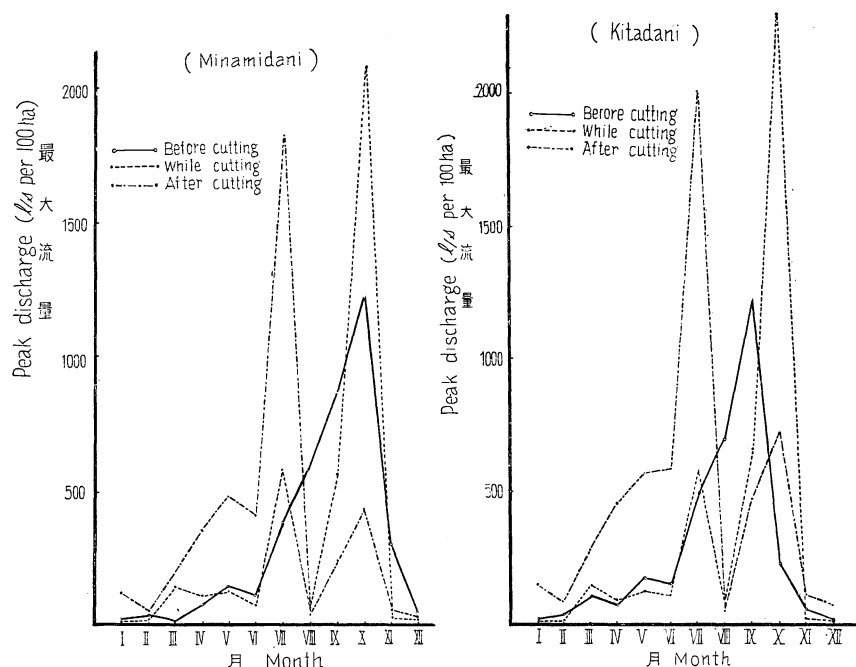
次に月々の最大流量について比較する。もちろん最大流量もその月の降雨状態によつて決定的影響を受けるもので、必ずしも流域の特性を表わすものとはいえないが、数カ年の平均ではその影響が幾分平均化されるので、雨量について一応度外視すると、伐採後は 8, 9 月を除いて常に最大流量が大きい (Fig. 5)。このことから治水作用の大小を論ずることはやや軽率かも知れないが、1 つの参考資料となりうるであらう。最大流量は以上のように林地の特性により降雨条件によつて支配されることが多いが、最小流量は後者の影響を受けることが比較的少なく、むしろ前者のそれの方が大きい。Fig. 6 の示すように伐採前の最小流量は他の時期に

したがつて、その消失量の差は、

$$\text{夏 } l_1 - l_2 = 0.310x - 24.01$$

$$\text{冬 } l_3 - l_4 = 0.605x - 8.93$$

となり、雨量による変動が大きい、これに伐採前後の上記 2 カ月の月平均雨量夏 132 mm, 冬 45mm を代入すると、夏 17 mm, 冬 17 mm となつて、その消失量の差はいす



第 5 図 月最大流量
Fig. 5 Peak discharge for each month

比べて常に低く、かつ月々の変化がきわめて小さくほとんど一定に近い値を示している。この最小流量が高くて、かつ一様性を持つことは水源確保の意味からして望ましいことであるが、南北両谷について各年の月平均の最小流量とその標準偏差を伐採前後別に比較すると、下表のようにいずれも伐採後が大きくなっている。この両者について平均値の差の検定をすると、

	北 谷		南 谷	
	月 平 均 最小流量	同 標準偏差	月 平 均 最小流量	同 標準偏差
伐採前年平均	1.02	0.40	1.09	0.32
伐採後年平均	2.30	1.08	2.34	1.06
t_0 の 値	5.16	4.24	3.38	3.74

単位はいずれも $l/s/100\text{ ha}$

いずれも t_0 の値が $t(\alpha=0.01)=3.012$ より大きくなつて 1% の危険率で有意の差が認められる。このように両谷において伐採後に各年の月最小流量の平均とその標準偏差が 2 倍以上に大きくなったことは、理水の立場からすれば後者の場合は一応不利のようにも考えられるが、逆に前者の大きくなったことは一般的には有利であるといえる。

次にその時候的变化について一言すると、

北谷で
伐採前 { 夏 0.68 $l/s/100\text{ ha}$
平 均 { 冬 0.86

が

伐採後 { 夏 0.80
平 均 { 冬 16.6

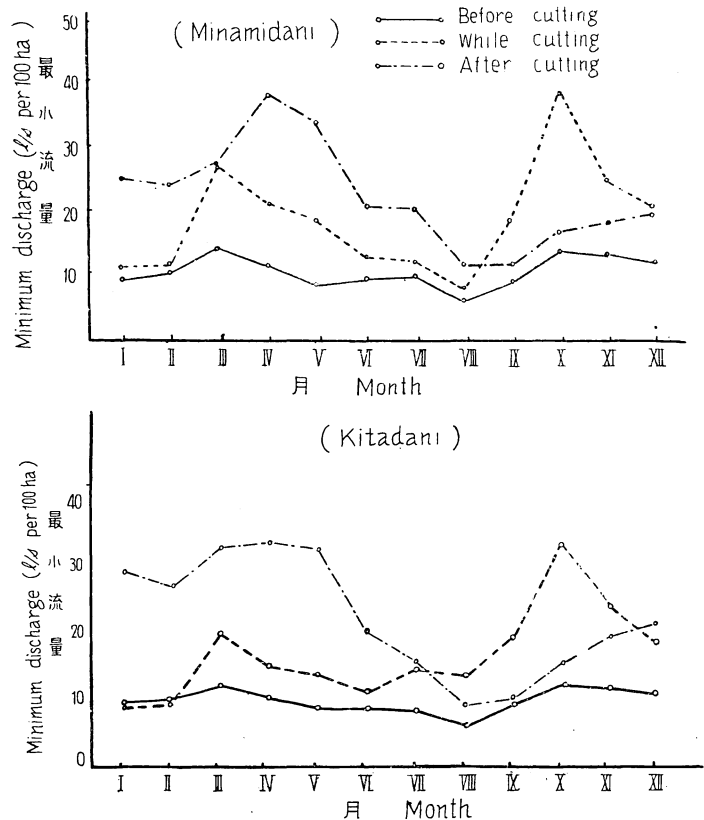
南谷で

伐採前 { 夏 0.57
平 均 { 冬 0.79

が

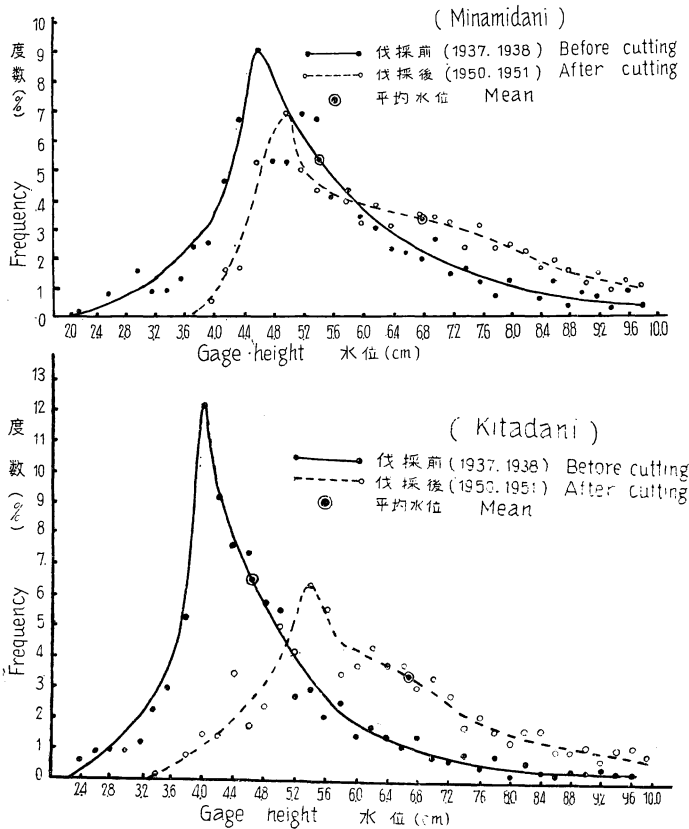
伐採後 { 夏 1.05
平 均 { 冬 1.65

特に冬においてその増加は著しい。伐採後においては夏季は冬期に比し流量の著しく小さいのは雨量の影響よりもむしろ笹雑木の夏冬期の消失量の差に基くものようで



第 6 図 月 最 小 流 量

Fig. 6 Minimum discharge for each month



第 7 図 水位度数曲線
Fig. 7 Frequency curve of gage height

が、さらに前 3 カ月雨量 (+0.67), 前 6 カ月雨量 (+0.61) との間にも前者よりやや小さいがやはり有意の相関は認められ、相当長期間前の雨量が最小流量の給源となつていることが判断される。最小流量は主として地下水により供給されるのでその増大は当然地下水面の上昇を予想させるが、本流域内にある 3 箇の井戸においても、その水位は伐採後に上昇の傾向があり、その詳細な検討は今しばらく観測の上で行うこととする。地下水位が最小流量と併行して伐採後に上昇したと仮定すれば、Luty⁵⁾ のいうようにその地下水面は樹根によつて吸い上げられうるほど地表近く存在するということも予想できるであろう。

3. 増水量と雨量

ここに増水量というのは、降雨による増水開始後 5 日間の流量から増水開始直前の日流量の 5 倍を差引いたものをしめし、この増水量と雨量との関係を表にしたものが Table 6 であつて、本表の下より 2 行目にみられるように雨量と増水量との間の相関係数は年流出量と年雨量との間の相関係数と比較すると相当小さい。これは一降雨の増水の場合増水量は降雨総量のほかに降雨強度やその時の流域状態により影響される程度が大きいので当然であろう。したがつ

ある。

最小流量の増加と同様に平水位の上昇の傾向もうかがわれる。すなわち、伐採前後に雨量のほぼ等しい 2 カ年をとり、水位の度数分布曲線を描くと (Fig. 7), 北谷では平水位が 4.7cm から 6.7cm へ、南谷では 5.5cm から 6.8cm へと、その上昇の程度は北谷の方が大きいのは、後述の最大比流量の増大が北谷の方に顕著であるためにもよるのであろう。最小流量とその前 1 カ月雨量との相関 (相関係数 + 0.71) は当然認められる

第 6 表 雨 量 と 増 水 量
Table 6. precipitation and increased runoff.

雨 量 Penecipitation (P) mm	伐 採 前 Before cutting				伐 採 後 After cutting			
	北 谷 Kitadani		南 谷 Minamidani		北 谷 Kitadani		南 谷 Minamidani	
	回数 Times	増水量 平 均 (Ri) mm Increased runoff	回数 Times	増水量 平 均 Increased runoff	回数 Times	増水量 平 均 Increased runoff	回数 Times	増水量 平 均 Increased runoff
0～ 10	26	0.089	30	0.073	13	0.133	23	0.202
10～ 20	34	0.579	49	0.737	31	1.080	44	0.762
20～ 30	21	1.682	22	1.719	24	4.589	33	2.518
30～ 40	16	4.221	23	4.582	13	9.665	13	4.872
40～ 50	6	3.697	12	5.223	7	10.907	8	8.269
50～ 60	4	15.149	2	15.742	4	11.469	4	12.050
60～ 70	4	11.754	4	12.726	7	19.895	4	21.281
70～ 80	1	13.500	2	13.608	2	37.953	1	31.547
80～ 90	2	18.835	3	7.860	5	34.386	5	26.806
90～100	3	21.011	2	6.300	0		0	
100～	3	37.279	5	59.087	2	42.461	2	27.765
雨量と増水量の相関係数 Correlation coefficient between P. and Ri.	+0.797		+0.720		+0.652		+0.733	
両者の対数の相関係数 Correlation coefficient between log P and log Ri	+0.843		+0.839		+0.899		+0.790	

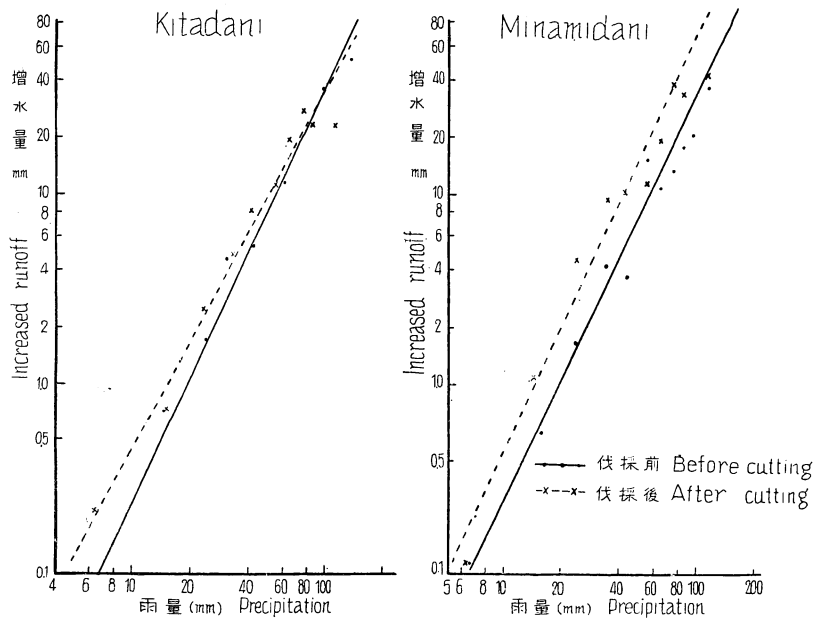
て、当分場における川口氏⁶⁾の地表流下試験の結果にみられるように、増水量(y)と雨量(x)の対数をとると、表の末行にあるように相関係数は若干大きく、この場合 $\log y$ と $\log x$ の一次関係を想定するのが合理的であろう。また、y と x の一次式を想定することは、x の 10 mm 前後より小さい値に対して負の値を与えるという理論的に矛盾もあり、相関係数の関係からみても妥当とはいえないであろう。この $\log y$ と $\log x$ の関係式の常数を求めると、次式が得られる。

$$\begin{array}{ll}
 \text{北 谷} & \text{南 谷} \\
 \text{伐採前} & \log y = 2.146 \log x - 2.765 \quad \log y = 2.127 \log x - 2.717 \\
 \text{伐採後} & \log y = 2.222 \log x - 2.578 \quad \log y = 1.960 \log x - 2.351
 \end{array}$$

これより伐採による影響を検討するために伐採前後の y をそれぞれ y_b , y_n として、伐採後の式より伐採前の式を引けば北谷南谷においてそれぞれ、

$$\log y_n / y_b = 0.076 \log x + 0.187 \quad \log y_n / y_b = -0.167 \log x + 0.366$$

を得る。したがって、北谷では雨量の多少にかかわらずつねに、また、南谷では 155 mm 以下の場合常に伐採後が大きく、雨量の小さいほどこの傾向は顕著である。なお、x の最大は伐



第 8 図 増水量と雨量
Ffig. 8 Increased runoff and precipitation

採前後においてそれぞれ 160 mm, 130 mm であつたことからして、實際上南谷においても伐採後に大きいとしてよからう。このように伐採により増水量の増加するのは地表被覆の減少のみでなく、消失量の減少に基く林地湿潤度の増大、或いは地下水位の上昇によると推定する。このことは附近の井戸水位の伐採後に上昇の傾向のあることや、月別最小流量の増大から推測できる。なお、上の増水量の多少については後述の減水状況と関係がある。増水量と降雨強度との関係を調べるため、北谷について前日流量が 0.1~0.2 mm で雨量が 20 mm 以上のものを選び、1 時間雨量がそれぞれ 2, 3, 5, 7 mm 以上の積算雨量と増水量との相関係数を求めると (Table 7), 伐採前では 2 mm/hr 以下の雨量との相関が最も高く、雨量強度が大となるにつれ、相関が漸次低くなる傾向があるに対し、伐採後では 2 mm/hr 以下の雨とは相関がなく、3 mm/hr または 5 mm/hr 以上の雨量が最も増水量に影響するもののようである。

本表で総雨量と増水量との相関係数が前表の値より大きいのは、いわゆる先行条件 (増水開

第 7 表 雨量強度と増水量との相関係数

Table 7. Correlation coefficient for intensity of precipitation and increasing runoff.

	総雨量 Total precipitation	2mm/hr 以下の雨量 p>2mm/hr	2mm/hr 以上の雨量 p>2mm/hr	3mm/hr 以上の雨量 p>3mm/hr	5mm/hr 以上の雨量 p>5mm/hr	7mm/hr 以上の雨量 p>7mm/hr	*有意性なし no significant 資料数 15 number of data
伐採前 Before cutting	+0.887	+0.891	+0.860	+0.794	+0.539*	+0.344*	14
伐採後 After cutting	+0.850	+0.174*	+0.801	+0.917	+0.921	+0.856	

始水位) がほぼ等しいためで、この場合には増水量は総雨量のみをもつてしてもかなり正しい値を表わすことができるといえよう。

次に治水上問題となる最大比流量に対する植生の影響について触れよう。最大比流量も増水量と同様に既述の因子の制約を受けるが、もちろん雨量による影響が最も大きい。前記の増水記録からピークの比較的顕著な場合の最大比流量 (100 ha 当 1/s) を雨量階級別に平均した値を示すと (Table 8), 北谷では伐採後の最大比流量の増大は増水量のそれより明瞭に表われるが、南谷では上表によるその差の判定は難かしい。雨量 (x) と最大比流量 (y) とを増水量と同様に、両対数方眼紙上にプロットすると、増水量の場合に比べると点の散らばりが不規則であるが、ほぼ直線上にのるので、前と同様に観測回数を重みとして最小二乗法を適用し関係式を求めると、

北谷	伐採前	$\log y_b = 1.88 \log x - 1.13$
	伐採後	$\log y_a = 1.36 \log x + 0.09$
南谷	伐採前	$\log y_b = 1.92 \log x - 1.22$
	伐採後	$\log y_a = 1.69 \log x - 0.79$

となつて、両式の差をとると、

北谷	$\log y_a/y_b = -0.52 \log x + 1.22$
南谷	$\log y_a/y_b = -0.23 \log x + 0.43$

北谷では x が約 400 mm, 南谷では 74 mm までは伐採後の方が y が大きく、また、南北両谷の比較では伐採前にほとんどその差をみないが、伐採後において北谷が遙かに大きい。このことは傾斜や面積の最大比流量への影響は森林の存否によつて著しく異なることを指すもので、治水上森林の存在を必要とする一資料となろう。

次に増水の初期における植生の影響はどうであろうか。平常水位から一定水位の上昇に要する雨量は林地の地表状況によつて異なることが予想される。本地方のような寡雨地帯では小雨に対しても相当の流出のあることが水源涵養上望ましいことであるが、今北谷についてⅠアカマツ健全林 (1937, 1938 年), Ⅱ伐採中 (1945, 1946 年), Ⅲ笹下木叢生地 (1950, 1951 年) の2カ年をとり、ほぼ平常水位からそれぞれ 1, 3, 5 cm 水位上昇に要する雨量並びに所要時間を上げると Table 9 のとおりで、表の下欄は雨量の平均値の差を検定した t の値である。これから水位 1 cm 上昇に要する雨量は伐採中に最も少なく、伐採前後では 20% の危険率で差を認めうるにすぎない。また、所要時間と伐採中に最も小さいのは植生の雨量遮断が少ないためかと考えられる。同じく水位 3 cm 上昇に要する雨量並びに 5 cm 上昇に要する雨量については、伐採中に最も少なく小雨の際の水の貯溜には一応適しているようにみえる。また、伐採前後では前の場合と逆に僅かに伐採後に多く、10% の危険率で差の有意性が認められた。このように伐採後に所要雨量、所要時間がやや多いのは、既述の増水量は常に伐採後に大きいこと

第 8 表 雨 量 と 最 大 比 流 量

Table 8. Precipitation and peak runoff.

雨量階級 Class of Precipitation		0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80	80~90	90~100	100~
北 谷 Kitadani	雨量平均 mm Mean of Precipitation	6.6 (21)	14.7 (26)	24.1 (18)	34.5 (13)	43.8 (4)	55.9 (3)	63.7 (4)	74.7 (1)	81.3 (1)	93.6 (2)	128.0 (4)
	最大比流量平均 l/s/100ha Mean of peak runoff	3.2	9.9	25.2	87.8	32.7	255.9	394.2	33.8	69.5	196.8	1137.5
	雨量平均 mm Mean of precipitation	5.9 (21)	14.0 (36)	24.3 (20)	34.3 (12)	43.1 (6)	55.0 (3)	64.7 (7)	77.3 (1)	86.0 (3)		119.2 (2)
	最大比流量平均 l/s/100ha Mean of Peak runoff	13.1	58.7	60.0	131.5	196.3	428.7	329.6	230.4	736.5		2480.0
	雨量平均 mm Mean of precipitation	6.6 (21)	15.6 (36)	25.1 (10)	33.2 (17)	44.1 (9)	53.5 (2)	62.6 (4)	76.5 (2)	84.5 (2)		136.4 (5)
	最大比流量平均 l/s/100ha Mean of peak runoff	2.3	10.6	27.6	72.6	57.3	207.0	250.0	141.3	129.1		807.1
南 谷 Minamidani	雨量平均 mm Mean of precipitation	6.5 (17)	14.8 (42)	23.8 (29)	33.6 (12)	44.9 (7)	55.2 (4)	64.9 (5)	77.3 (1)	85.3 (5)		110.6 (1)
	最大比流量平均 l/s/100ha Mean of peak runoff	4.6	12.7	25.1	33.3	71.6	60.5	326.7	204.8	224.2		180.4

第 9 表 水位 1, 3, 5 cm 上昇に要する時間, 雨量

Table 9. Hours and precipitation required to rise 1, 3, 5 cm of gage height.

水位階級 Classes of Gage Height (G.H.)		平均水位 cm Mean of G.H.	水位 1cm 上昇に要す る雨量 (回数) mm P required to rise 1cm of G. H.	水位 1cm 上昇に要す る時間 hr required to rise 1 cm of G. H.	水位 3cm 上昇に要す る雨量 (回数) mm P required to rise 3cm of G. H.	水位 3cm 上昇に要す る時間 hr required to rise 3 cm of G. H.	水位 5cm 上昇に要す る雨量 (回数) mm P required to rise 5cm of G. H.	水位 5cm 上昇に要す る時間 hr required to rise 5 cm of G. H.
I 期 Before cutting	水 { 2.4~3.9 位 { 4.0~4.9	3.6 4.4	5.0(22) 5.1(39)	4.57 4.18	10.4(13) 9.8(25)	6.25 5.41	15.1(11) 14.2(13)	7.14 7.56
	水 { 1.4~3.9 位 { 4.0~4.9	3.3 4.5	7.1(11) 4.4(16)	2.20 2.53	13.3(1) 8.0(9)	6.00 4.40	11.1(6)	7.21
III 期 After cutting	水 { 2.4~3.9 位 { 4.0~4.9	3.7 4.6	4.7(6) 4.9(13)	5.09 3.46	9.7(1) 10.4(13)	1.53 5.24	16.3(9)	7.09
I 期と III 期の平均値の検定			t=1.54 t=1.30		t=2.06		t=2.60	

と矛盾するようであるが、伐採後の2カ年は笹下木のため林地被覆のほとんど回復した1950、1951年をとつたのでこのような結果を生じたかと想像され、増水の初期に際しての植生の機能はアカマツ老令林、笹下木叢生地間に大差はないが、平常水位が後者の方がやや高く減水が緩やかである等のため、全体として同一雨量に対する増水量が大きくなるものと解釈できる。

4. 林地保留量と滲透量

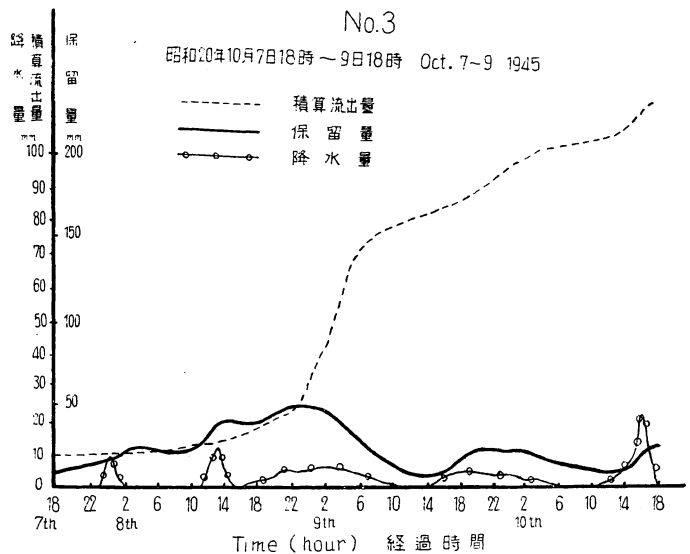
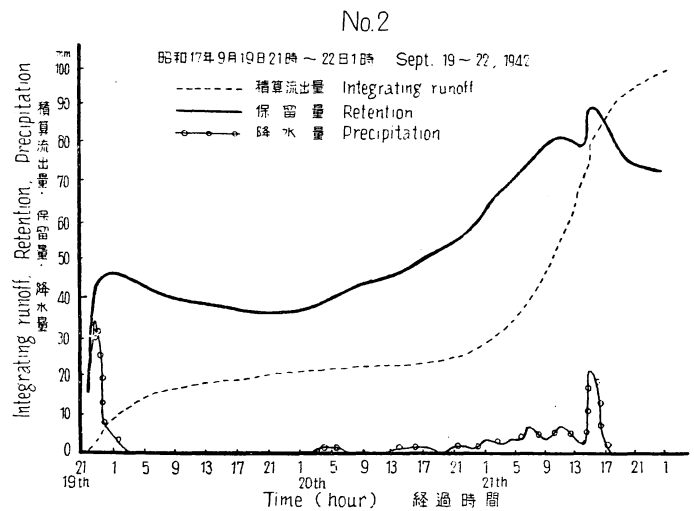
ここにいう林地保留量とはある時間における積算雨量から、積算流量を差し引いたものをいう。すなわち、

$$D = \Sigma P - \Sigma R$$

ΣP : 雨量の積算

ΣR : 流量の積算

で表わされるものである。保留量は森林の水源涵養機能、あるいは流量調節作用を左右する一因子として重要であり、治水上理想的なことは強雨の際に水をできるだけ林地に保留し、後徐々に放出する機能である。保留量は土壌の滲透能と密接な関係があり、その滲透能は気候、植生状態によつて変化するものといわれている。今 100 mm 以上の一連続降雨において伐採前後の時期別にその流出量、保留量について考察を加えよう（北谷）。Table 10 の当初保留量とは各号の初水位が異なるので、No. 1 の 4.9 cm を基準としてそれぞれ左の水位に達するまでの保留量を逆算し、消失量も考慮して推定



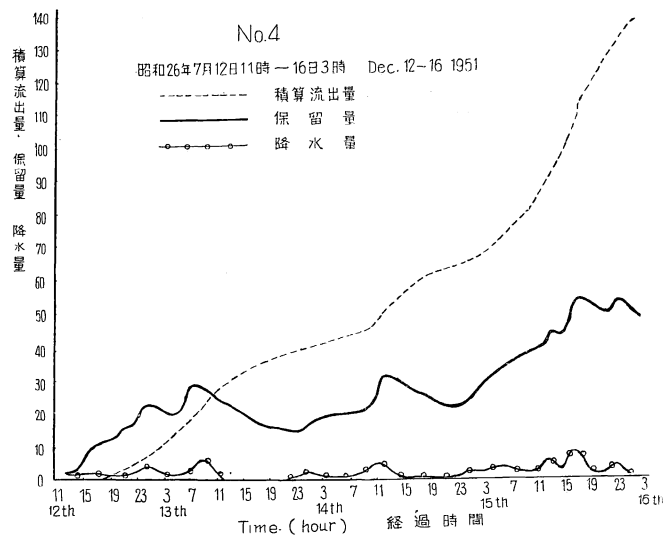
第9図 保留量曲線
Fig. 9 Retention curve

した。表の滲透量は本試験地内の地表流下測定試験第 1 号区の地質、林相が北谷のそれを代表しうると考えて、その測定記録を用いて、地表流下開始からピークに達するまでの平均滲透量を下記の Sherman⁷⁾ の Plumiograph 式で算出した。

$$\text{平均滲透能} = \frac{\text{積算消失量}}{\text{所要時間}}$$

$$\text{積算消失量} = \text{積算雨量}$$

$$- \text{積算流下量} - \text{残留量}$$



第 9 図 保留量曲線
Fig. 9 Retention curve

$$\text{地上残留量} = \left(\text{ある時刻 } t \text{ までの有効雨量} - t \text{ までの積算流量} \times \frac{1}{C} \right) \times C \frac{1}{M}$$

$$C = \frac{\text{測定した地表流下全量}}{\text{全有効雨量}}$$

M は常数で普通 1.5~2.0 でここでは 2.0 とした。

上式で求めた滲透量は No. 1 にやや小さいがいずれも 3 mm/hr 前後で、植生変化による

第 10 表 豪雨時の保留量と滲透量
Table 10. Retention and infiltration on heavy rains.

	年 月 日 Date	初水位 cm Beginning of G. H.	水位 4.9cm を基準とし た当初保留 量 mm Retention calculated from time of G. H. 4.9 cm	総降雨量 mm Total precipitation (P)	積算雨量 50 mm の保留 量 mm (降雨時間) Retention on integra- ting p. 50 mm	積算雨量 100 mm の 保留量 mm (降雨時間) Retention on integra- ting p. 100 mm	最大保留量 (積算雨量) mm Maximum retention	地表流下開始 からピーク迄 の平均滲透量 mm/hr Infiltration capacity during surface runoff.
No. 1	昭和13年 7 月 4日~5日 1938Ⅶ4~5	4.9	0	105	42 (17)	63 (37)	63 (100)	3.30
No. 2	昭和17年 9 月 19日~23日 1942Ⅸ19~23	8.4	15	173	60 (2)	82 (57)	107 (170)	3.75
No. 3	昭和20年 10 月 9日~10日 1945Ⅹ9~10	10.7	10	218	43 (28)	47 (33)	51 (68)	
No. 4	昭和26年 7 月 12日~15日 1951Ⅶ12~15	15.7	30	182	60 (23)	62 (67)	86 (157)	
No. 5	昭和27年 7 月 7日~11日 1952Ⅶ7~11	8.7	13	103	44 (37)	51 (44)	55 (68)	3.99

差はほとんど認められない。保留量は同一積算雨量においても降雨条件によつて違つた値を示すと考えられ、単に量のみの比較は当をえたものでないかも知れぬが、次表では 50 mm 程度の雨量の際は保留量の時期別の差がみられない。雨量 100 mm の保留量ならびに最大保留量では No. 2 が最も大きく、伐採中は最も小さい値を示している。No. 3 の伐採中は雨量 217 mm, 最大時雨量 21 mm の豪雨であるが、積算雨量 100 mm で 50 mm 近い保留量を示しその後降雨の継続にかかわらず保留量はほとんど増加しないのは、無林地の水の保持力が一応この程度で飽和に達するものでなかろうか。これに対し No. 2 ははじめの突発的な豪雨で保留量は急増し 40 mm に達するが、降雨が止んでも保留量は急に減少しないで、その後の降雨によりさらに増加を続け、100 mm あまりに及ぶのは前者に比し水の保持力のきわめて大きいことを表わすものといえよう。伐採後の No. 4, No. 5 は雨量 50 mm に対する保留量に差がないが、積算 100 mm 以上の降雨ではその保留量は伐採前に比しやや小さい傾向がみられる。

5. 流量調節作用表示式による検討

先に本試験第2回報告において東京大学教授荻原貞夫氏は流量調節機能を示す式として、年平均雨量および流出量がほぼ等しい場合には

$$\frac{Sr}{Sp}$$

Sr: 日流量散布度 Sp: 日降雨量散布度

また同大学野口陽一氏⁸⁾ はこれより年雨量および流出量の平均の異なる場合は

$$\frac{Sr}{Ar \cdot Sp}$$

Ar: 年平均日流量

の大小で、その機能を比較するのが適當であるとされた。また、雨量条件を無視した場合

$Vr\left(\frac{Sr}{Ar}\right)$ で比較することもよいが、Vr は当然雨量の分散状態に応じて変化することが予想されるが、この分散度を表わすにいずれをもつてするかは議論の有するところであり、野口氏は Sp を用いたがここで $Vp\left(\frac{Sp}{Ap}\right)$ で表わすことにして、一定林分において Vr はほぼ Vp に比例し、したがつて、 $\frac{Vr}{Vp}$ の大小が流域の流量調節機能の大小を表わすものとして検討を進めた。しかし、その理論的根拠についてはなお検討を加える必要がある。南北両谷の比較では I, II 式とも 1945, 1950 年を除いて常に北谷の方が南谷より大きい。II 式の値を用いてその差の検定をするに、伐採前後ともに 5% の危険率で有意性が認められる。また、I 式の値が両谷に有意の差のあることも伐採前では検定されたが、伐採後においてはその有意性を認めることができなかった。このことから南谷の流量調節上の優位性は林相の健全なる時期においては明らかであるが、伐採後では優劣の判断を下し難い。また時期別の平均値をみると、

北谷では 伐採中 > 伐採前 > 伐採後 南谷では 伐採中 > 伐採後 = 伐採前

第 11 表 $\frac{Vr}{Vp}$, $\frac{Sr}{ArSp}$ の年次別谷別比較Table 11. Annual results of Vr/Vp , $Sr/ArSp$ in two water-Shed.

	北 谷 Kitadani		南 谷 Minamidani		瀬戸谷 C-tani at Seto.
	I $\frac{Sr}{ArSp}$	II $\frac{Vr}{Vp}$	I $\frac{Sr}{ArSp}$	II $\frac{Vr}{Vp}$	
1937	0.35	1.11	0.21	0.66	0.093
1938	0.29	1.04	0.22	0.78	0.118
1939	0.43	0.73	0.33	0.55	0.128
1940	0.37	0.98	0.34	0.89	0.170
1941	0.23	0.97	0.23	0.93	0.128
1942	0.30	1.03	0.25	0.88	0.119
1943	0.41	1.46	0.39	1.33	0.156
平均 M	0.340	1.046	0.233	0.867	
1944	0.41	0.99	0.39	0.87	0.131
1945	0.36	1.38	0.42	1.61	0.122
平均 M	0.385	1.135	0.405	1.240	
1946	0.26	0.93	0.26	0.92	0.120
1947	0.35	0.95	0.34	0.84	0.093
1948	0.35	1.18	0.32	1.04	0.115
1949	0.27	0.99	0.25	0.81	0.125
1950	0.22	0.75	0.25	0.84	
平均 M	0.290	0.960	0.284	0.881	
Max.	0.43	1.46	0.42	1.61	
Min.	0.22	0.73	0.21	0.55	

第 12 表 河 況 係 数

Table 12. Coefficient of river regime.

水年 Year	北 谷 Kitadani	南 谷 Minamidani
1937	5245	2742
1938	2135	1425
1939	217	207
1940	4327	4253
1941	4049	5015
1942	3599	2302
1943	2780	1863
平均 Mean	3193	2544
1945	960	558
1947	916	429
1948	1579	1227
1949	4565	3761
1950	308	246
1951	1011	567
平均 Mean	1868	1352

北谷では伐採後の方が同機能がやや大きい
が、南谷では時期別の差はない。

なお、以上の I 式による価が高島の試験地
と面積林況の相似た東大瀬戸演習林の C 谷に
比し、遙かに大きな価を示しているのはなに
に原因するか推測し難いが、両地方の差と
して考えられることは C 谷は第 3 紀層に属す
るに対し、本地方は主に古生層でその滲透能
が比較的大きいことと、気象条件の中蒸発量
にほとんど差がみられないが、雨量において
相当の開きがあるところからして地質雨量の
差が主因であろう。また、河川学において 1
年中の最大流量と最小流量との比を河況係数
と呼び、これを河川の性質を示す 1 つの数値
とする。本流域のようにその面積の小さい場
合にその適用の可否について議論もあろう
が流量調節機能の一参考資料となり得ると信
ずるので掲げたのが Table 12 であり、一般
河川の値に比し極めて大きいのはその流域面
積からして当然であるが、北谷は常に南谷よ
り大きな値を示しているのはその最大比流量
の差からも予想し得ることであるが、調節機
能の劣つていることを示すものである。

河況係数は年雨量の量的質的变化にとま
ない相当変動するので、時期を異にした伐採
前後のその価の比較は当を得たものではな
いが、かりに時期別の年雨量の差を無視して
その平均値を求めると、南北両谷とも伐採前
の方が大きい価を示しており、前述の最大比
流量が伐採後において大きな価を示したこ
とと一見矛盾するようであるが、最小流量が
伐採前に比し大きい値を示すためこのような
結果を得たことと推察される。しかしすれ

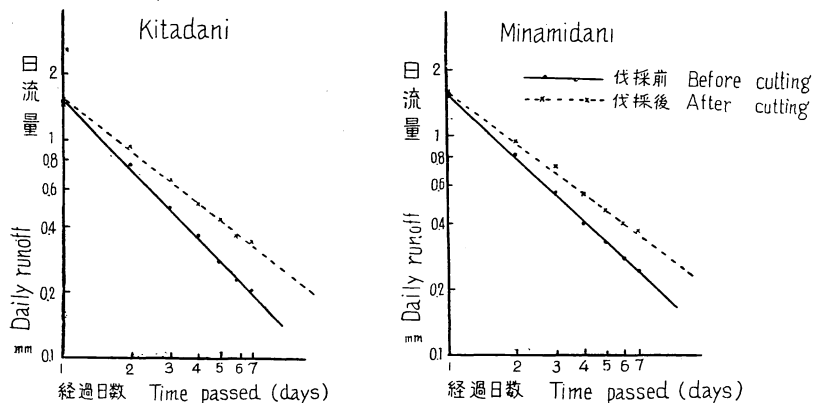
も年次的に変化が大で流域の性状より雨量による影響の比重が大のようであるから、本係数による細かい検討は意義が少ない。以上のように流量調節機能を数字的に表わすことは困難であるが、日々の流量を平均化するという点では伐採前後に大差はないが、その内容すなわち伐採前は最大流量を調節するに対し、伐採後においては最小流量を向上させるという点にそれぞれの意義があり、水源涵養の目的からすれば後者が一応有利とも考えられる。

6. 減水状況

無降雨期間の減水状態については一般に指数曲線型等が提出されているが、本試験の場合両谷の伐採前後において降雨終了翌日の流量が $1\sim 2\text{ mm/day}$ で 7 日間無降雨の場合の数例の平均流量をとって、経過日数 t を横軸にその時の流量を縦軸に両対数方眼紙上にプロットすると、ほぼ直線状となり (Fig. 10), また, $\log t$ と $\log q$ との間の相関も極めて高い (北谷の伐採前後の相関係数はそれぞれ -0.998 , -0.999 , 南谷については同じく -0.939 , -0.999) ので, $\log q = b - a \log t$ の形を想定して常数 a , b を定めると, 次の式を得る。

	伐 採 前	伐 採 後
北谷	$\log q = 0.186 - 1.044 \log t$	$\log q = 0.180 - 0.772 \log t$
南谷	$\log q = 0.180 - 0.951 \log t$	$\log q = 0.189 - 0.753 \log t$

なお、この式の形は $dq/dt = -aq/t$ となり、流量の変化割合はその時の流量に比例し、経過日数に反比例することとなり、この仮定は常識的にも一応うなづけることではあるまいか。このように伐採後の a が両谷とも小さくなっており、これは伐採により減水が緩やかとなつたことを示している。しかもこの場合の $t=1$ の平均流量が北谷南谷について伐採後のものは伐採前に比較してそれぞれ $1.487/1.472=1.01$, $1.450/1.470=0.99$ とともに 1.5% にもなっていないので、その差はまずないとしてもよからう。さらに各例について別に a の値を求めてみる



第 10 図 減水曲線

Fig. 10 Depletion curve

第 13 表 伐採前後別の a の値
Table 13. Coefficient "a" before and after cutting.

		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	備 考
北 谷 Kitadani	伐採前 Before cutting	1.003	0.914	1.205	1.181	1.692	1.159	1.603	$t_0=3.597^{**}$
	伐採後 After "	0.758	0.692	0.664	0.896	0.803			
南 谷 Minamidani	伐採前 Before "	1.199	1.084	0.831	0.967	0.858	0.905	0.880	$t_0=2.584^*$
	伐採後 After "	0.627	0.694	0.988	0.736	0.755	0.646	0.943	

と、Table 13 のとおりで、北谷に非常に有意、南谷にやや有意で伐採前後の a の差を認めることができる。

以上のようにアカマツ老令林の減水曲線が急であるのは地中に滲透した水が地下水面に達するまでに、或いは中間流出の途中において蒸散によつて消失する量が伐採後より大であるということや、他面、アカマツに共存する外生菌根が地下への水の滲透を阻止する等のため地下水の供給が伐採後に比し少ない等のためかと考えられるが、現在この推定を確定づける資料を持たない。また、両谷間の比較では伐採前では 5% の危険性で南谷の a が小さいといえるが、伐採後ではその差はみられない。

次に時候別の減水曲線の差について検討するに、資料の数が少ないので降雨終了翌日の流量が 0.4~0.5 mm/day で 7 日間無降雨の場合を時候別、谷別に 3 例ずつ選び、それぞれについて a を求めると (Table 14)、各谷の伐採前後別に春夏秋冬の間に a の差があるかを分散分析法で検定したが、北谷の伐採前のみ 5% の危険率で有意の差が認められたが、その他の場合では各時季内における分散が大きく、4 季の間に有意の差がみられなかつた。さらに以上の a の 3 例の平均値 (偏差がやや大きいので、その平均をとることの意義が小さいが) 時候別伐採前後のいずれに差があるかを南北両谷について分散分析すると、第 15 表のとおりである。

両谷とも伐採前後別には 5% の危険率で差が認められるが、4 季の間にはやはり有意の差が認められなかつた。流域によつては蒸発蒸散の差の結果として減水曲線に時候別変化のあるこ

第 14 表 時 候 別 の a の 値
Table 14. Coefficient a for four seasons.

	北 谷 Kitadani						南 谷 Minamidani					
	伐採前 Before cutting			伐採後 After "			伐採前 Before "			伐採後 After "		
春 Spring	0.636	0.586	0.581	0.247	0.640	0.157	0.542	0.491	0.556	0.217	0.338	0.109
夏 Summer	0.393	0.421	0.455	0.233	0.226	0.278	0.304	0.328	0.785	0.142	0.230	0.169
秋 Autumn	0.486	0.629	0.541	0.462	0.589	0.443	0.562	0.443	0.440	0.243	0.401	0.427
冬 Winter	0.620	0.436	0.411	0.249	0.181	0.221	0.544	0.454	0.414	0.309	0.251	0.304

第 15 表 “a” の 分 散 分 析 表

Table 15. Analysis of variances of “a”

要 因 Source of variation	北 谷 Kitadani				南 谷 Minamidani			
	平方和 Sum of square	自由度 Degree of Freedom	分 散 Variance	分散比 F	平方和 Sum of square	自由度 Degree of Freedom	分 散 Variance	分散比 F
時 期 (伐採前後) Between periods	0.072	1	0.072	12.00*	0.104	1	0.104	20.80*
時 候 Between seasons	0.048	3	0.016	2.67	0.005	3	0.002	0.40
誤 差 Error	0.018	3	0.006		0.015	3	0.005	
全 体 Total	0.138				0.124			

とは、玉手氏⁹⁾や Linsley 氏¹⁰⁾等によつても述べられているが、本試験地ではそのような傾向

はあまり明瞭でない。しかし上の場

合のように流量の比較的小さい時は

水は蒸散蒸発の及ばない深層から供給

されることをも考えると、さらに

流量の大きい場合についても検討を

加えるべきであるが、資料が少ない

のでそれは後日の課題としたい。次に

Table 12, 13 の a の値とその減

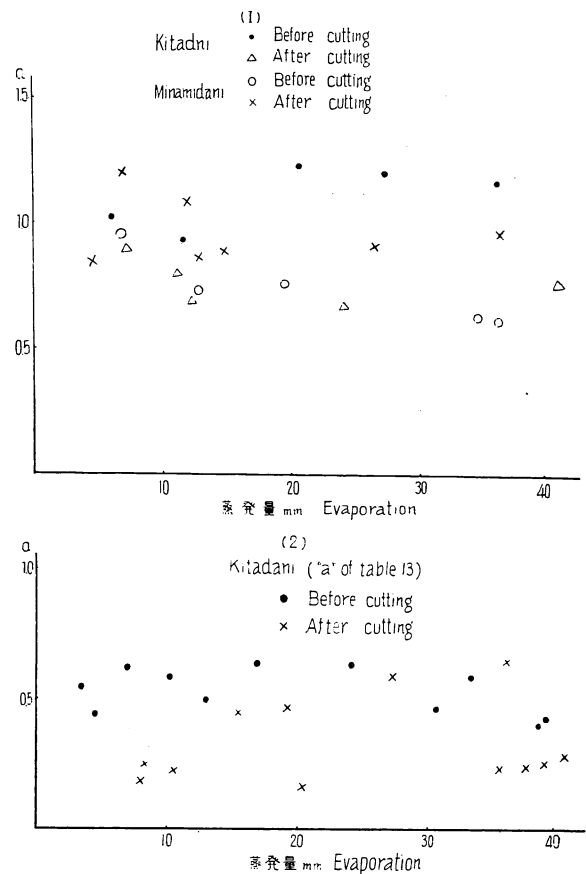
水期間の 7 日間の蒸発量 (露場蒸発

計による) の和とをそれぞれ縦横軸

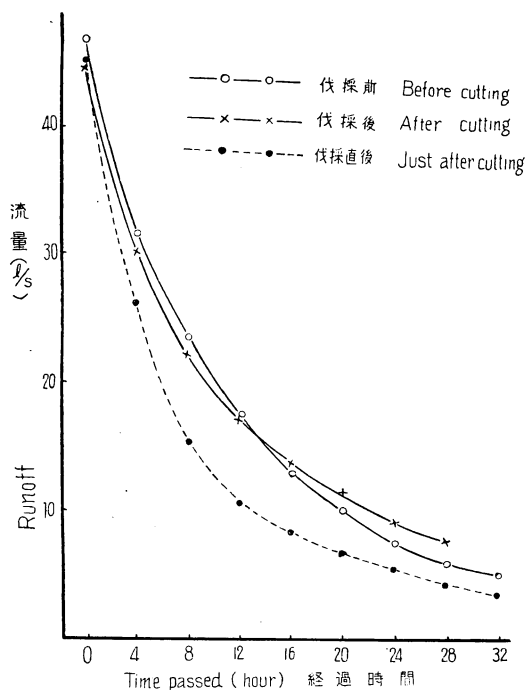
にプロットしたのが Fig. 11 (1),

(2) で、いずれの場合にも両者の間に

に相関が認められない。一般に蒸散



第 11 図 係数 a と 蒸 発 量
Fig. 11 Coefficient “a” and evaporation



第 12 図 豪雨後の減水状況
Fig. 12 Comparison of depletion curve after heavy rains (Kitadani)

在し、これが a の値に影響して上のような偏差を生ずるのであろう。

次に豪雨の際の減水について一言すると、伐採前、伐採直後、伐採後の 3 期別にそれぞれ 2 例をとり、減水を開始してからの水位が 31~32 cm に達した時を基準として 4 時間ごとに上の 2 例の流量の平均値をとって時期別減水曲線を書いて比較した (Fig. 12)。伐採前と伐採後とははじめの減水速度はほとんど変わらないが、流量が 20 l/s くらいに達してから伐採前が幾分急となつてゐる。これに対し伐採直後では最初から他の 2 者より減水が急で速やかに平常流に達する。この違いは蒸発蒸散の差のほか林地の水の保持力の相異によるところが大きいと推定される。いずれにしても流量が 20 l/s 程

度から伐採後の減水が緩やかとなり、この傾向は流量の小さい場合に一層顕著であり、したがつて、農業灌漑の面のみからすれば、伐採後の状態が伐採前の状態よりも有利であると見てよい。

結 論

1. 年流出量は伐採後北谷に 4 割、南谷に 3 割増加している。これは主に植生の消失水量の減少に基くものと解されるが、年流出量の変化に比べると消失量のそれは相対的に小さい。年流量は雨量のほかに雨の散布度によつても影響される。

2. 月別最小流量は伐採前の方が常に小さく年間を通じてその変化も少ない。月別消失水量の 3 カ月移動平均では伐採前は常に大きく、特に 3 月から 9 月にかけてその差は顕著である。年平均水位は伐採によつて明らかに上昇しており、その程度は北谷に大きい。また、井戸水位も伐採後に上昇の傾向がみられる。

3. 増水量と雨量との関係を対数式で調べると同一雨量に対する増水量は北谷では常に、南谷では雨量 155 mm までは伐採後に大きく、最大比流量では伐採前後の差はさらに顕著となる。

増水当初平水位から水位 1.3 cm 上昇に要する雨量は伐採中に最も小さく、伐採前後にほとんど差がない。

4. 豪雨時の保留量は伐採中に最も少なく、また、伐採前は伐採後に比し大きく、しかもその時間的变化が緩慢で水の保持力の大きいことを示す。

5. $\frac{V_r}{V_p}$ や $\frac{S_r}{A_r S_p}$ で流量調節機能を検討すると、北谷に比し南谷の優位性が検定されたが、両谷とも伐採前後の時期別の差はほとんどみられない。河況係数は北谷は常に南谷より大きな値を示すが、伐採前後の平均ではかえつて伐採前の方が大きい値を示している。

6. 降雨終了後の減水状況は、南谷は北谷より、伐採後は伐採前より緩やかであり、流量の小さい時程その差は顕著に認められる。なお、減水時の流量 (q) と経過日数 (t) との関係は

$$\log q = b - a \log t$$

式によれば最適合度が高く、この a がその勾配を表わすこととなる。 a と減水期間の蒸発量との間に一定の関係がみられなかつた。

したがって本試験において、伐採前後の状態を比較した場合に、利水の面からのみをみれば伐採後の状態が伐採前のそれよりも有利と考えられる。さらに一般的にいうと、水の欲しい場合のみを対象とすると、アカマツの老令林分よりももつと密度の薄いササ灌木類のような植生がこの場合によいことになるが、一方このような状態にすれば、豪雨時の最大比流量と増水量の増加をきたすことも前の検討により明らかであつて、この利水と治水の両面をどのように調和させるかは今後の課題であろう。

さらに本試験は古生層地帯におけるものであつて、花崗岩地帯ではどのような結果になるかはまだ明らかにされていないのであり、たとえ定性的には同じような傾向を示すとして、利水の面を第1の目的とする場合であつても、花崗岩のようなはげ山化する危険の大きいところでは、皆伐などの急激な手段により薄い植生の状態にもつていくのに危険をとまなうことは明らかである。すなわち、土壌侵蝕を受けやすいような水源地として比較的制約の多い流域において、水源地として大きな要求をもつことの危険性は注意すべきことであろう。

参 考 文 献

- 1) 武田繁後：竜ノ口山水源涵養試験第1回報告，施業参考資料 第7輯，1942.
- 2) 荻原貞夫，山本勝市：竜ノ口山水源涵養試験第2回報告，森林治水試験彙報 20 号 1944
- 3) 中野秀章，大滝 勇：竜ノ口山水源涵養試験第3回報告 林業試験場研究報告 44 号，1950.
- 4) Joseph Kittredge: Forest influences. McGraw-Hill Book Co. 1948.
- 5) Lutz Chandler: Forest soils.
- 6) 川口武雄：地表流下雨量について 森林治水試験彙報 20 号
- 7) Sherman L. K.: Determination of infiltration-rates from surface-runoff [Trans. Amer. Geophys. Union, 1938, 430~436].
- 8) 野口陽一：森林の流量調節作用表示式に対する統計的検討，東京大学農学部演習林報告 39 号，1951.
- 9) 玉手三葉寿：有林地と無林地の水源涵養比較試験，林業試験報告 23 号，1923.
- 10) Linsley, R. K. and Others: Applied hydrology, McGraw-Hill Book Co. 1949.

Junrō SHIRAI, Matsuichi KONDŌ and Chūichi ŌHARA

Experiments in the water-conservation at Tatsunokuchi. Bulletin 4.

(Summary observation on the differences of runoff between before
and after cutting)

Résumé

This experiment was begun in 1937, for the purpose of studying the water-conservation function of pine forest at Tatsunokuchiyama and the stream flow and meteorological conditions have been observed afterwards. In the first plan, it was expected to cut down all vegetation at Minamidani valley in 1945, for the comparison of the above function with Kitadani valley. But, after 1940, the pines were annually damaged by pine bark beetles and finally, in 1944~1945, all trees in both valleys had to be cut down in order to check the spread of the harmful insects. The outline of the two water-sheds are described in Table 1. In this report we intend to analyse the difference of runoff between the forest land (past) and the cutover land (present) from various points.

Results obtained:

As shown in Table 2, the clearcutting of woody vegetation (*pinus densiflora* S. et Z.) increased about 40% of annual runoff in Kitadani valley, 30% in Minamidani valley. We presume it was due to the reduction in the amount of water spent by the vegetation.

1. The difference in the total water loss between before and after the cutting is not so large as the difference of annual runoff. Annual runoff is also affected by the deviation of daily precipitation.

2. Average monthly runoff after the cutting is larger than before the cutting except May, Aug., Sept.. Minimum runoff for each month before the cutting is always smaller than after the cutting and does not change much throughout the year. The 3 months moving average of monthly water loss before the cutting is also larger than after the cutting, especially from Mar. to Sept. (Fig. 3). Annual mean of the gage height rises after cutting (Fig. 7).

3. Judging from logarithmic equation between runoff and precipitation, the increased runoff after the cutting is always larger than before the cutting in Kitadani valley, but in Minamidani valley it is larger only in case of slight rains within 155 mm. The difference in the average peak runoff between before and after the cutting is remarkably larger than that of the increased runoff. At the beginning of the increase of runoff, the precipitation required to raise 2 to 3 cm gage height from the normal water level is least while cutting and is almost equal between before and after the cutting.

4. The amount of water held in the earth in case of heavy rain is least while cutting and is largest before the cutting, and the speed of increase and decrease before the cutting, is slower than after the cutting.

5. Comparing the regulating function of runoff by V_r/V_p and other formulas (V_r : coefficient of variation of daily runoff, V_p : coefficient of variation of daily precipitation) Minamidani valley has more remarkable function than Kitadani valley, but the difference in that function between before and after the cutting did not turn out to be significant (Table 11).

6. As shown in Fig. 10, the depletion curve of Minamidani valley is slower than Kitadani valley and its curve after the cutting is also slower than before cutting in both watersheds and those differences are observed to be remarkable when runoff is comparatively small.

The relation between runoff (Q) and days passed (T) is shown most conformable to the real state according to the logarithmic equation $\log Q = b - a \log T$ and the coefficient “ a ” can be an indicator of slope of depletion curve and we tried in vain to find a significant correlation coefficient for “ a ” and total evaporation during the depletion period.

In short, as a result of the above observations we conclude that the flood control function is larger before the cutting of *Pinus densiflora* and the water conservation function in dry season is smaller after the cutting and in respect of the regulating function which balances the change of daily runoff, there are little differences between before and after the cutting.

Accordingly, vegetation after the cutting (bamboo bushes and shrubby vegetation) would be more desirable to agricultural irrigation.

We suppose such function is controlled by geology and climate and so the above result may not be applied to other districts.

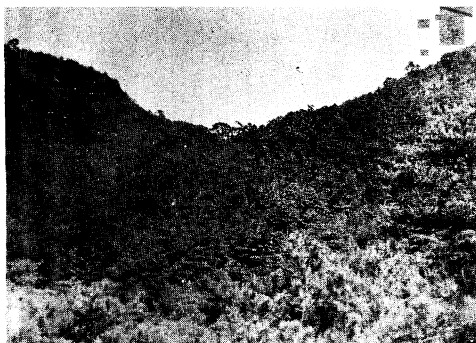


写真 1. 北 谷 の 全 景
Phot. 1 Whole view of Kitadani



写真 2. 南 谷 の 山 頂
Phot. 2 Summit of Minamidani



写真 3. 北 谷 の 内 部
Phot. 3 Interior of Kitadani



写真 4. 南谷の地表植生
Phot. 4 Surface vegetation of Minamidani

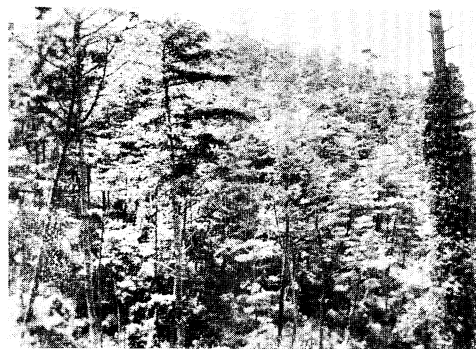


写真 5. 南 谷 の 内 部
Phot. 5 Interior of Minamidani

Before cutting

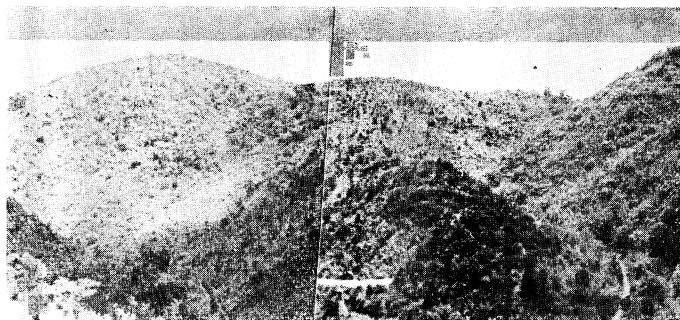


写真 1. 両 谷 の 全 景
Phot. 1 Whole view of imperimental watersheds

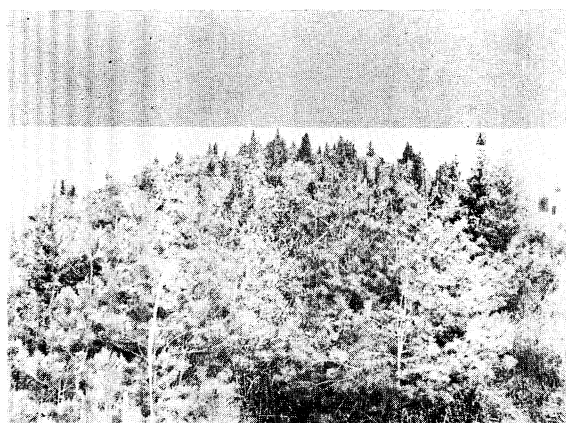


写真 2. 南谷の山頂附近
Phot. 2 Neighbourhood of summit of Minamidani



写真 3. 南谷の内部
Phot. 3 Interior of Minamidani

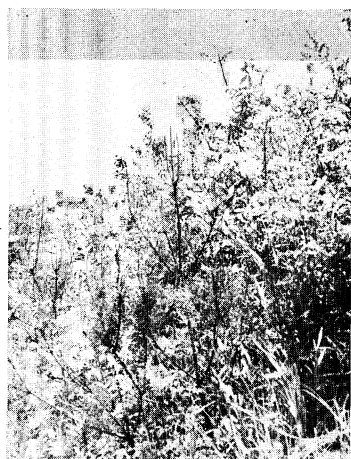


写真 4. 北谷の内部
Phot. 4 Interior of Kitadani

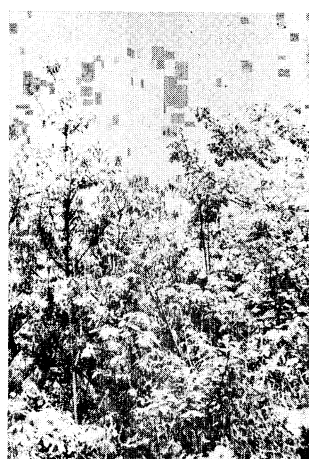


写真 5. 南谷の内部
Phot. 5 Interior of Minamidani

After cutting