

# 龍ノ口山水源涵養試験第3回報告

Hidenori NAKANO, Isamu OTAKI,

Experiments in the water-conservation at Tatsunokuchi. Bulletin III

農 林 技 官 中 野 秀 章

岡山營林署雇 大 瀧 勇  
(前高島分場兼務)

## 目 次

写真 林相の變化	頁
I 緒 言.....	31
〔附〕 試験の経過.....	32
II 試験地の概況.....	34
III 観測成績.....	36
IV 年流出率の趨勢解析 (附, 年雨量と年流出率及年流出量との關係) .....	36
V 兩谷の年平均日流出量の比較.....	50
VI 兩谷の流出一様性の比較及趨勢解析.....	51
VII 森林の理水機能に就て.....	58
VIII 結 言.....	60
参考文献.....	61
résumé .....	62

## I 緒 言

大阪支場・高島分場に於ける龍ノ口山水源涵養試験は昭和 12 年以來繼續實施中であるが、その報告は既に武田繁俊氏の 3 箇年 (昭和 12~14 年) 資料による第 1 回報告と荻原貞夫・山本勝市兩氏の 6 箇年 (昭和 12~17 年) 資料による第 2 回報告の二がある。

さて、最近、この方面の試験研究に對する期待は殊に大きく、從つて理水研究室でも鋭意取まとめ中である。

然かも前回報告以降久しいので、取敢えず、第三回として斷片的な報告をなし、一階程を踏みたいと思ふ。

即ち、後述の理由から、試験を historical に、換言すれば、時間的經過、從つて時間の函數としての流出率並流出の一様性或は上層林冠以外の流出條件に依る兩谷の基礎的比較等の問題にふれた。

資料は昭和 12~22 年 (11 箇年) のものであつて、かゝる取扱いの夫としては必ずしも充分な量とは言えない。従つて、單に考え方の示唆程度に思つて結構である。即ち、方法論的には時系列に於ける趨勢解析、變動率 David LLOYD 氏の  $\Delta$  の應用及 F テスト・t テストに依る信頼度検定であつて、殊に time series の検討、言わば確率過程の標本としての時系列の定常性に始る問題は觀測期間の長さに相對的な概念であるから充分注意しなければならない。又、觀測資料の性質からも嚴密な解析方法の適用は場合により本末轉倒のおそれなしとしないので、この點でも方法論的示唆に考えれば間違がない。従つて、將來は不必要と思われる種々の數式まで掲げた所以もこゝにある。

尙雨量成績が各報告に夫々異つてゐるのは甚だ不都合であるが、經費關係から測定箇所を減少して山麓露場觀測のみとしている現實及試験地面積その他から先づ結果えの支障は無視できるのではないかとこの權威ある意見に基き、今後は本報告の山麓露場觀測雨量のみによることゝならう。(第 1 回報告参照)

觀測及成績の整理を大瀧が擔當し、その資料を中野が取まとめた。

尙、大阪支場・高島分場の各場長始め場員各位の御誠意がこの試験を繼續しており、特に、今回も多大の御支援を得た。深謝する所である。巻頭の寫眞は武田繁後・植村誠次兩氏の御好意による。又、研究には防災部長始め防災部各位の御指導御援助に負う所が多い。こゝに深甚の謝意を表する。

#### 〔附〕 試験の経過

當試験の目標並に経過については一部兩報告に記されているが、試験地の状態はその後著しく變化し、前後 3 回に亘る協議會の結果毎に實施方針の變更を餘議なくして今日に至つてゐる。依つて、第三回の報告に當り、こゝにその事情を要約しておく必要を認め、以下に附記する。

#### 昭和 13 年 11 月 5~6 日現地に於ける協議會決定の方針

昭和 14 年末までを基礎觀測期間とし、昭和 15 年以降 5 箇年間南谷の森林全部に對し、アカマツの老齡林と造林箇所にあるヒノキの幼齡林のみを残し、他の下層林冠を構成する灌木・地表植物・落葉枝等を伐採除去して、地表を裸地狀に導き、斯かる狀況に於ける林地の水分流出量を測定した後、昭和 20 年以降 5 箇年間は全林木を伐採除去して全く無立木狀とし、續けて同様の測定を行う。北谷の森林に對しては除伐・間伐を適當に施行して、健全な森林に導き、漸次水源涵養上有効と考えられる状態に向わしめて南谷と水源涵養機能の比較を行う。

然るに兵庫縣に發生したアカマツの虫害は益々蔓延猖獗を極め、漸次岡山・廣島の兩縣にも及び、昭和 15 年 9 月には試験地にも、遂に、その發生を見、徐々に被害を増加した。昭和 18 年現在、被害木は北谷 141 本 ( $117\text{ m}^3$ )、南谷 239 本 ( $194\text{ m}^3$ ) に達し、残存立木もキイロ

コキタイムシ・マツカワノキクイムシ等第1次的害虫の被害を受けたものが多く、こゝに原案に依る試験の繼續は主要目的の達成に對し懸念される所が多くなり、再び現地に協議會を開催して、之に對處することゝなつた。

#### 昭和 18 年 4 月 21 日協議會に於ける施業の變更

南谷の殘存老齡アカマツ林及人工植栽によるヒノキを昭和 18 年中に全部伐採搬出し、爾後下草は毎年除去し、昭和 23 年迄水分流出量を測定して北谷との比較を行う。伐採は上記を主眼とするが事業分量及虫害の蔓延防止上同年中に實行困難な場合は最小限 50% 以上を同年中に整理し、殘餘は 19 年中に行う。又、北谷及南谷全域に亘り、虫害木發生毎に伐採整理し、その蔓延を可及的防止し、且、北谷に於ては虫害その他に依る疎開地は肥料木の下木植栽を計り健全なる森林狀態を保持せしめる。

然るに、從來盛衰していた被害は昭和 18 年中には兩谷の老齡林を全面的におかし、昭和 19 年に至つては激甚を極め、遂には前記の變更方針すらも斷念せざるを得ない狀態に立至つたので、逐次、上記方針に依る一部伐採を實行中であつたが、應急的に實行を變更し、兩谷共同年より全面的伐採に着手、昭和 20 年に殆ど終了した。但し、北谷幼齡林は昭和 21 年着手し、22 年 3 月に概ね終了した。（又、昭和 20 年 3~6 月の間に松根約 2 萬貫を掘取つている。）

伐採跡地の狀況は、兩谷共、その大部分にシデ・サクラ・ネヅミサシ・ヤマハゼ・ヒサカキ・イヌツゲ・ハギ・ガンビ等の雜木及クマザサの發生極めて甚だしく、之がためアカマツ天然稚苗の發生は著しく阻害せられ、散見される程度にすぎない。然し、峯筋は兩谷共之等の發生なく、禿地を作り、之にアカマツ稚苗の案外良好な生育を見るが、その立地條件から將來の生育は疑問である。殘存林木はヒノキの不良造林地の夫で、南谷に 1.18 ha、北谷上部に 0.5ha、北谷量水所附近に 0.66 ha にすぎず、何れも生育は極めて悪い。（尙、植生調査は昭和 13~14 年の 2 回に亘り、兩谷に 10 箇所の區を設けて行つている。）斯くして、再度試験方針の變更を必要とするに至り、先づ本場に在京關係者が集合して大綱を協議した。この方向に基いて、昭和 22 年 3 月 8・9 日現地に關係者協議會を開催した。

#### 昭和 22 年 3 月 8・9 日協議會に於ける決定

試験の目的：——岡山縣南部地方の如き溫暖寡雨地帯の古生層山地に於ける有林地と無林地の水源涵養機能の比較。

試験方針：——

##### 第1次方針

昭和 12~15 年を森林の健全なる期間（A）、同 16~18 年を虫害發生による林相攪亂の期間（B）、同 19~20 年を森林伐採の期間（C）、同 21~24 年を現狀に放置して伐採跡地の期間（D）、更に同 25~28 年は兩谷共積極的に植生の刈取を行つて所謂草生地狀態の期間（E）とし、之等經過期間（A~E）の各狀態相互間の差違を比較研究する。このことは

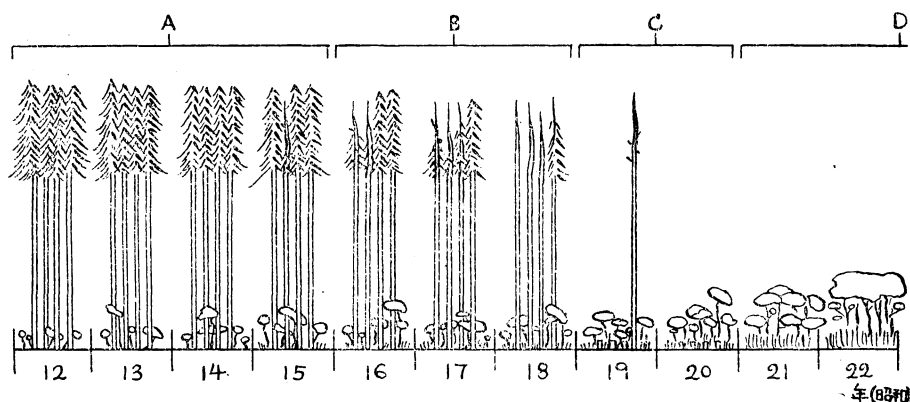
兩谷に同様である。(historical method)

### 第2次方針

更に將來の問題に屬し、昭和 29 年以降國有林施業方針に基く造林を行い、成林を待つて、南谷の伐採を行い、之に依つて、爾後の觀測を行い、兩谷の比較を行ふ。(開設當初の方針に戻る。)(comparative method)

以上が從來の経過であり、現在はこの方針に依り試験地森林に對處しているが、一方觀測業務に就いては、流量關係には變化なく、雨量關係で測定箇所を減少し、現在では山麓露場の測定を主とし、之に參考として南・北量水所附近での觀測を行つている。(卷頭寫眞及第1圖參照)

第 1 圖 林 相 の 變 化



## Ⅱ 試験地の概況

前2回の報告に詳細をゆするが、一應、こゝに必要な部分と變化を述べる。

林 相：—

植生の相違について、昭和 12~13 年の調査によれば、アカマツ老齡林は兩谷略同様であるが、その生長は南谷に優る。北谷には一部(約 1 ha)に疎林があり、局部的には地肌を露出している。兩谷共、一部のヒノキ造林地及兩谷境界の尾根筋一帯はアカマツ不良林相で、灌木・クマザサの侵入が甚だしい。何れにしても多少の差を認めるとして、兩谷共先づアカマツを主林木とする完全な森林と見做して差支えない。

北 谷					胸高直徑
北 谷	アカマツ老齡林	9.8 ha	56.5%		6~60 cm
	アカマツ幼齡林	6.3	36.5		4~20
	ヒ ノ キ	1.2	7.0		4~10
南 谷	アカマツ老齡林	17.6 ha	77.5%		6~60 cm
	伐採跡地(草生地)	3.9	17.2		
	ヒ ノ キ	1.2	5.3		4~10

(第1回報告による)



以上の状態であつたが、前述の如く、昭和15年以後の虫害発生による林況の變化は極めて著しく、現在では殆んど上層林木を有せず、僅かに一部のヒノキを残すのみである。他はクマザサ・灌木の繁茂甚だしく、いわば、草生地に多數の灌木を交えた状態にある。問題となるのは之等の経過及現状に就て兩谷の差如何であるが、全く軌を一にしており、問題によつては影響は小さい。唯、強いて言えば、北谷に禿楮部分が比較的多く、南谷に地床植生の繁茂が著しい點に多少の差を認め得る。

地 況：——

兩谷流出條件の差は地況に著しい。

	南 谷	北 谷
集水面積(ha)	22.6110	17,2740
平 均	26.1	30.9
傾 斜(度)		
傾度最大	20~24	34~36
海 拔 高(m)	45~250	58~258

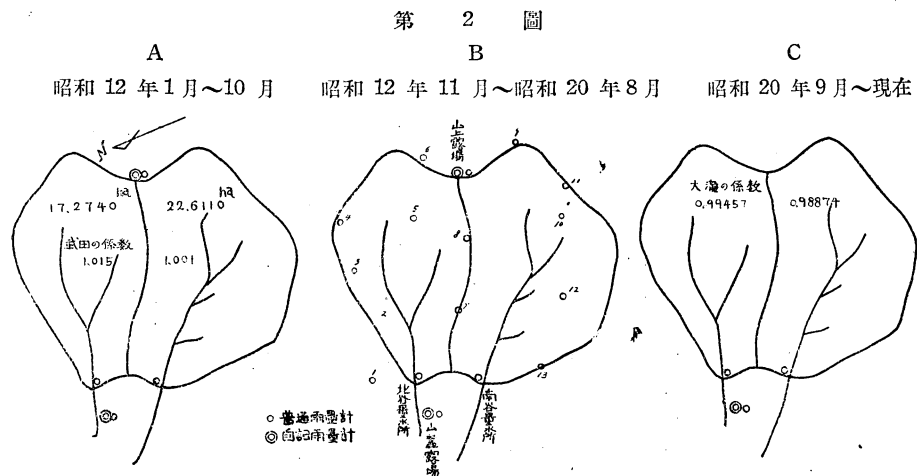
土壤は強雨が少い上に、從來森林におほわれていたため、殆んど残積土であり、兩谷の差は前述の如く虫害以降の禿楮地にあるとしても著しいものではない。基岩は大部分秩父古生層であるが、北谷の約30%は時代未詳の石英斑岩である。

降雨條件：——

略同方位に面し、且、隣接する兩谷の差は極めて些小で、殆んど等しいと斷じて差支えないであらう。

こゝで各報告に於て使用された雨量觀測成績に僅かな差のある事情を説明しておく。

雨量計設置數の變化は第2圖に示す。



圖から解る様に、第1回報告の雨量は各地区内設置雨量計による觀測値の算術平均値である。但し、昭和12年1~10月の分はそれ以後の測定から第2圖Aの係数を求め、山上・山

麓露場雨量計の平均に乗じて求めたものである。(武田繁後氏による。)

第2回報告の夫は前同様である。但し、昭和 12 年の年雨量に差があるのは第2回の分に計算の誤があるものと考えられる。(大瀧による。)

昭和 20 年9月以降は第2圖Cの如く雨量計の数が減少したので、山麓観測値のみか、或は雨量水所雨量計を加味するかの問題が生じたが、大瀧は昭和 13~20 年までの前記集水地雨量と各量水所雨量との関係から係数、北谷 0.99457, 南谷 0.98874 を算出し、量水所観測値に之を乗じて各谷の雨量を出すことを提案している。(未発表)

以上が従來の経過で、一應第1回報告に差を記している武田氏も同時に、それが極めて微小であり、雨量計自體の缺點からも起り得ることを充分疑つており、且、そのまゝ差を認めるとしても結論に殆んど影響ない様である。結局、雨量計多數が廢止された現在、今後は山麓露場の自記雨量計及普通雨量計のみによつて試験地の雨量を表現することとならう。

本報告では山麓露場の自記雨量計観測値を使用する。

尙現在の観測は、

山 麓 露 場	自記雨量計 1
	普通雨量計 1
雨量水所附近	普通雨量計各1

である。

### Ⅲ 観 測 成 績

使用した雨量及流出量の観測成績は、尙、繼續取纏中であり、發表は後日にゆする。

### Ⅳ 年流出率の趨勢解析 (附、年雨量と年流出率及年流出量との關係)

昭和 12~22 年 (11 箇年) の年雨量・年流出量・年流出率を第1表に示す。

第 1 表

年 (昭和)	年 雨 量 mm	年 流 出 量 mm		年 流 出 率 %	
		南 谷	北 谷	南 谷	北 谷
12	1197.0	249.38	273.32	20.8	22.8
13	1249.5	378.10	397.02	30.2	31.8
14	621.8	51.94	50.24	8.4	8.1
15	946.4	87.68	108.07	9.3	11.3
16	1523.0	477.10	515.08	31.3	33.8
17	1238.2	368.19	386.46	29.7	31.2
18	1294.5	438.30	455.71	33.8	35.2
19	834.8	157.95	130.61	16.6	15.6
20	1423.9	697.63	690.98	48.9	48.5
21	1342.1	499.05	569.00	37.2	42.4
22	913.8	272.80	326.55	29.6	35.7

但し 歴年=水年

第二回報告にも指摘された如く、明らかに年流出量は北谷に大きい様である。然し、昭和14, 19, 20の各年では、その関係が逆であることを知れば、これを一概に言えないので、後に(V)で吟味する。この事實は年流出率を見れば明らかであり、一應北谷の方が南谷よりも流出し易い。即ち、同様な降雨條件に於て地表流下量が多いことを想像しておく。

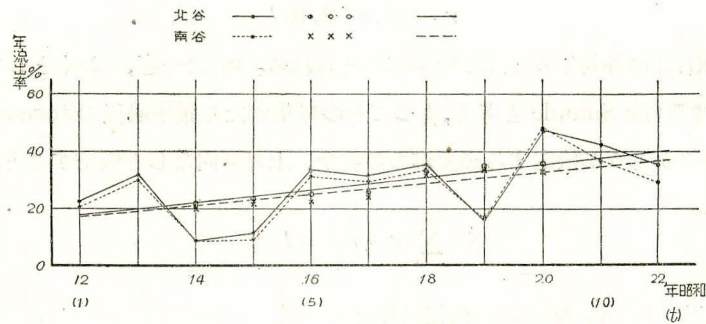
さて、緒言に述べた變更方針から、問題は試験開始以來の經過的に見た流出状態の變化である。換言すれば historical な比較研究である。この目的で、資料不足の憾はあるが、兩谷の年流出率の長期傾向を各時系列の検討で解析、且、比較した。兩谷の年流出率時率列を移動平均して、その長期傾向を見ると第2表及第3圖の如くなる。

第 2 表

$t$	年	南谷年流出率 % ( $r_S$ )			北谷年流出率 % ( $r_N$ )		
1	12	20.8			22.8		
2	13	30.2	19.8		31.8	20.9	
3	14	8.4	16.0	20.0	8.1	17.0	21.5
4	15	9.3	16.3	21.7	11.3	17.7	23.2
5	16	31.3	23.4	22.5	33.8	28.1	23.9
6	17	29.7	31.6	24.1	31.2	33.4	25.4
7	18	33.8	26.7	32.0	35.2	27.3	32.9
8	19	16.6	33.1	33.2	15.6	33.1	34.6
9	20	48.9	34.2	33.2	48.5	35.5	35.5
10	21	37.2	38.6		42.4	42.2	
M	11	29.6			35.7		

第 3 圖 年 流 出 率 の 長 期 傾 向

時系列 5年區間移動平均 最小自乗線



但し、第2表に於て第3, 4欄及第6, 7欄は夫々の3年區間及5年區間移動平均値を示す。之に依れば、各々の年流出率は少くともこの試験期間内で、後年ほど大きくなつた傾向が見られる。3年區間では、尙、凹凸が激しいが、5年區間では圖の右程上昇する直線的傾向が明らかである。但し、兩谷間の相異は著しくない。又、5年區間の場合、昭和17~18年の間に著しい變化が見られ、たまたま地表状態の變化と符合する(前述)のと、平田博士の太田試験

地による研究結果を思い合わせて注意を惹くが早計には問題とされない。唯、後述する如く流出の一樣性との関連から考えると意味を生ずるかも知れないことを豫め述べておかねばならない。

更に、以上を明らかにするため兩時系列に最小自乗線（趨勢線）をあてはめて見る。

第3圖から、 $t$  に關する一次的關係が想像され、次式を假定し、最尤法に依り  $r_0$  及  $\alpha$  の最尤値を求める。（所謂、W. E. Deming 氏の最小自乗法に同じ結果を得る。）

$$r = r_0 + \alpha t$$

$r$  ……年流出率（尙  $r_s$  ……南谷、 $r_N$  ……北谷）

$r_0$  及  $\alpha$  ……定 數

$t$  ……年數（但 1, 2, 3, …… $M$ ）

任意の年の流出率  $r_i$  が各  $t$  につき、一定の分散を以て、平均値  $E(r) = r_0 + \alpha t$  の周りに獨立に正規分布をするとすれば  $r_0$  及  $\alpha$  の最尤値  $\hat{r}_0$  及  $\hat{\alpha}$  は次式で現わされる。

$$\hat{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^M (t_i - \bar{t})(r_i - \bar{r})}{\sum_{i=1}^M (t_i - \bar{t})^2}$$

$$\hat{r}_0 = \bar{r} - \hat{\alpha} \bar{t}$$

$$\text{但 } \bar{r} = \frac{\sum_{i=1}^M r_i}{M}$$

$$\bar{t} = (M+1)/2$$

（第 2 表）

上式から

$$r_s = 15.4 + 1.91 t$$

$$r_N = 15.8 + 2.16 t$$

を得る。之に依れば兩谷共年々 2% の増率が考えられる。 $r_0$  は一應、おくとして、 $\alpha$  の信頼度、即ち、この時系列を Sample と考え、従つてその母集團たる確率過程 (Stochastic Process) に上昇傾向があるかどうか検定する必要がある。今、上昇傾向なしと假定すると、平方和  $S$  は

$$S = \sum_{i=1}^M (r_i - \hat{r}_0 - \hat{\alpha} t_i)^2$$

従つて、信頼度  $(1-A)$  なる  $\alpha$  の信頼限界は

$$\hat{\alpha} \pm \sqrt{F'_{M-2}(A)} \sqrt{S/M-2} / \sqrt{\sum_{i=1}^M (t_i - \bar{t})^2}$$

で示されるから、之を計算すると

$$F'_9(A) \text{ に於て 信頼限界 (下限, 上限) は}$$



南 谷	$A=0.05$	$(-0.44, +4.25)$
	$A=0.10$	$(+0.01, +3.81)$
北 谷	$A=0.05$	$(-0.26, +4.58)$
	$A=0.10$	$(+0.20, +4.12)$

尙“一定の分散”に就いては  $i=1\cdots 5$  及  $i=6\cdots 11$  の2部分に時系列を分け、兩部分の分散を検定すると、

$F_6^5(A)$  に於て 分散比  $F_0=1.14$  南 谷

$F_0=1.29$  北 谷

に對し  $A=0.05$   $F=4.39$

$A=0.20$   $F=2.08$

従つて、嚴密ではないが上記の検定は妥當であると言える。

尙、確率  $(1-A)$  を以て  $r_0$  及  $a$  が含まれる信頼楕圓は、

$$M(\bar{r}_0 - \bar{r}_i)^2 + 2 \sum_{i=1}^M t_i \cdot (\bar{r}_0 - \bar{r}_i)(\hat{\alpha} - \alpha) + \sum_{i=1}^M t_i^2 \cdot (\hat{\alpha} - \alpha)^2 = 2 \left\{ F_{M-2}^2(A) S / M - 2 \right\}$$

然るときは  $E(r) = r_0 + \alpha t$  の包絡線は

$$x = \hat{r}_0 + \hat{\alpha} t_i \pm \sqrt{S / M - 2} \cdot \sqrt{2 F_{M-2}^2(A)} \frac{\sqrt{M \cdot t_i^2 - 2(\sum t_i) t_i + (\sum t_i^2)}}{\sqrt{M(\sum t_i^2) - (\sum t_i)^2}}$$

即ち、之より兩谷の信頼双曲線は

$$\text{南 谷} \quad x = 15.4 + 1.91 t_i \pm 0.92 \sqrt{(t_i - 7)^2 - 3}$$

$$\text{北 谷} \quad x = 15.8 + 2.16 t_i \pm 0.94 \sqrt{(t_i - 7)^2 - 3}$$

を得る。

以上から、年流出率の確率過程の trend は、上述の標本時系列から 0.90 の信頼度を以て上昇傾向がないとは斷言できない。このことは相關分析法によつても、同様に  $r$  の變化が  $t$  に依存する程度を本質的と見做されたの一致する。

然し、一般に数理統計學上の慣習によれば、この信頼度は必ずしも高くなく、絶對的に上昇傾向があるとは、勿論、斷ぜられない。然し、第1表を一べつすれば明かな如く、略同様な年雨量（従つて、略同様な降雨型と假定できるとする。このことは後述する。）の前・後2年を任意にとつて比較するとき常に後年ほど年流出率が甚だ大なることを認める。例えば、昭和16年と20、21年、或は昭和12、15年と22年の4組に顯著な如きである。

依つて、一應年流出率の上昇傾向を認め、その理由を検討する。即ち、之等を年流出率の確率程の sample と考えるとき 90% の信頼度であるが、この資料そのまゝに見れば上昇傾向

は事實であることを留意せねばならない。

尙、以上の事からも  $\alpha$  に於ける兩谷の差を認め、且、その原因を流出條件の相異に歸する等は早計であらう。従つて、かゝる trend に於ける兩谷の比較は問題としない。

今、1 水年を單位とし、 $R$ ……流出量、 $P$ ……雨量、 $E$ ……蒸發量、 $Tr$ ……植物蒸散量とすれば、一般に

$$R = f(P \cdot E \cdot Tr)$$

で、或集水區域の水収支は概ね、

$$R = P - C \quad \text{但} \quad C = E + Tr$$

$$R = P - (E + Tr) \quad \text{消失量}$$

$$P = R + E + Tr$$

$$\text{又} \quad 1 = \frac{R}{P} + \frac{E}{P} + \frac{Tr}{P}$$

$$= r + e + tr$$

流出率 蒸發率 蒸散率

$C$

消失率

上式から  $r$  の増減には、 $C$ 、即ち、 $e$  及  $tr$  の變化が考えられる。又、後述する如く、 $e$  及  $tr$  殊に  $e$  は  $P$  に依つて變る。従つて、 $r$  は  $P$  の函數でもある。換言すれば、流出には降雨條件及植生・土質・地形・地質等の地況條件が關係するということである。

殊に、該地方では前式の内  $E$  又は  $e$  は相對的、且、絶對的にも極めて大きいことが分つており、 $r$  の上昇傾向の原因には先づ  $e \cdot tr$  及  $P$  の長期傾向を吟味しなければならない。

( $e$  の長期傾向)

前式から、 $r$  の増加傾向は  $C$  の減少傾向を意味し、然かも、 $C$  の内  $e$  の占める割合は  $tr$  の夫より大きいことが想像される。

山麓露場の普通蒸發計による觀測成績は第 3 表である。

第 3 表

年 (昭和)	雨量計の 年蒸發量	$\times 0.5$	$e$	
12	876.0	438.0	36.6	
13	839.5	419.8	33.6	
14	1058.5	529.3	85.1	46.1
15	951.6	475.8	50.3	45.9
16	766.5	383.3	25.2	46.8
17	876.0	438.0	35.4	42.9
18	985.5	492.8	38.1	40.3
19	1098.0	549.0	65.8	43.7
20	1058.5	529.3	37.2	51.8
21	1131.5	565.8	42.2	
22	1387.0	693.5	75.9	

但し ( $\times 0.5$ ) は E. Wollney 氏の次の結論による。

$$\text{地面蒸發量} = \frac{1}{2} \text{水面蒸發量}$$

尙、林地の蒸發量として考えねばならないが、單に傾向を取扱うこの場合は一應論外とする。

この時系列に於て、移動平均法及最尤法により趨勢を見る。前者は前表末欄に示す。

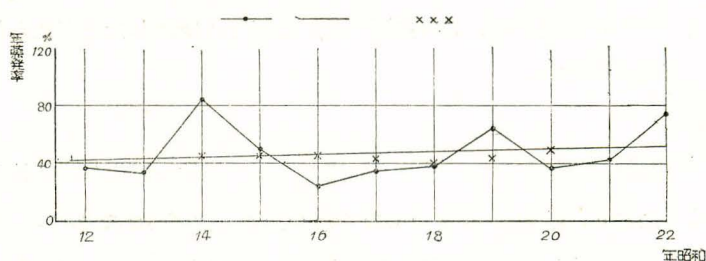
又  $e = e_0 + \beta t$  と考えて  $e_0$  及  $\beta$  を求めると  $e = 40.56 + 1.19 t$

前記同様に、 $\beta$  の信頼限界を求めると

$$A = 0.10 \quad (-2.27, +4.65)$$

之等を圖示すれば第4圖である。

第4圖 年蒸發率の長期傾向  
時系列 最小自乗線 5年區間移動平均



之から年蒸發率は平均的に下降よりも上昇の長期傾向が強いと思われる。然し、こゝに用いた資料は山麓露地の観測成績であつて、蒸發については直接試験地の植生遷移に關係がない。この事は後述する點に關係が深い。

又、前述の林況變化を考えると、 $E$  の増加は定性的に極めて明瞭である。

又、W. Trabert 氏によると、

$$V_E = k(1 + 0.00367 \tau) \cdot (F - f) \sqrt{V}$$

但し  $V_E$  …… 蒸發の速さ

$F$  …… 水面の溫度に對する水蒸氣最大張力

$f$  …… 水蒸氣張力

$\tau$  …… 氣 溫

$V$  …… 風 速

で、 $P$  の時系列が stational と假定すれば、(後述)、 $e$  の變化は  $E$  の夫に同様であり、一應  $\tau \cdot (F - f) \cdot V$  の時系列を検討する必要がある。このため、夫々年平均の氣溫・風速・濕度で、之等因子が代表され得ると假定して、該分場及岡山測候所觀測の data を挙げ、簡単に、5年區間移動平均値のみを算出して見る。第4表に示す。

第 4 表

年	年平均気温 (C°)		年平均風速 (m)		平均湿度 (%)	
12	14.1		0.9		79.5	
13	13.8		0.7		80.4	
14	14.2	14.1	0.9	0.8	76.4	78.8
15	14.2	14.3	0.9	0.8	77.3	77.4
16	14.2	14.5	0.8	0.9	80.5	75.6
17	15.3	14.8	0.7	1.1	72.5	74.4
18	14.7	15.0	1.3	1.3	71.2	73.7
19	15.6	15.3	1.8	1.5	70.6	71.7
20	15.1	15.0	1.7	1.7	73.7	72.1
21	16.1		1.9		70.6	
22	13.7		2.0		74.3	

之から気温と風速の下降傾向は少くとも考えられない。湿度の上昇に就ても同様である。従つて、定性的、且平均的に蒸散量が、この期間に於ては年年々増加したと考えられても、少くとも減少したとは考えられない。

(*tr* の長期傾向)

之に就いては全く議論の根據がない。然し、前述のアカマツ林の變化から主林木については蒸散量は減少の途をたどり、昭和 19 年を以てなくなつたことは明らかである。然し、之と共に下草・灌木の繁茂は漸次著しくなつた事實も前述に明らかである。従つて、全流域を通じて増減についての議論は極めて困難である。殊に次の参考資料を以てすれば、廣葉樹と針葉樹の蒸散能には相當の開きがあり、今後の詳細な植生調査にまたねばならない。唯、少くとも昭和 20 年頃までは蒸散量は減少の傾向にあつたと言える。又、米國に於ける最近の研究によれば、寡雨地方に於て、森林を、地表攪亂せず伐採した場合、流出量が相當増加し、その後萌芽林の生長にも拘らず數年間はこの傾向がつゞいたとしている。この結果は重要である。

参 考：—

(1) 多くの實驗に依れば植物の蒸散量は殆んどその乾物量に比例し、大體に於てその量は年間 100 乃至 225 mm の間にあると言われ、次の標準を與える人がある。

針葉樹 100, 灌木 150, 廣葉樹 200, 穀草 225 mm

(2) Höhnelt 氏はポット試験により蒸散量及水分相當比 (water equivalent ratio) を研究している。

$$\text{水分相當比 (Wr)} = \frac{\text{蒸散量 (Tr)}}{\text{葉乾燥重量 (G)}}$$

之により葉の量を知れば蒸散量の推算が、或成林にも可能となる。

R.E.Horton 氏は葉の収量について調査し、樹木 1 本當りの乾燥重量 ( $G_u$ ) は  $d$  及  $h$  に關



係し

$$G_u = gr \cdot h \cdot d$$

$h$ .....樹 高  
 $d$ .....胸高直径  
 $gr$ ..... $h \cdot d$  に関する常數

單位面積當りの森林蒸散量 ( $Tr_u$ ) は

$$Tr_u = K \cdot Wr \cdot G_u \cdot n$$

$n$ .....林木本數

$K$ は林地の氣象・土地條件, 例えば降水・蒸發等に関する係數である。

Horton 氏は特に該地の蒸發能と大なる關係を有することを實驗的に知り

$$K = \frac{E}{Ek}$$

$Ek$ ..... $Wr$  を決定せる地の蒸發能  
 $E$ .....該地の蒸發能

としている。然し、森林の状態・降雨その他の氣象條件も相當考慮しなければならない。

( $P$ の長期傾向)

流出率の傾向は、同時に、降雨條件、即ち總雨量・降水の形・降雨強度・降雨の時間的及平面的分布に関する検討が伴わなければならない。

水年を單位にとれば、總雨量が降雨條件の凡てを代表し得るものと假定する。(後述参照)

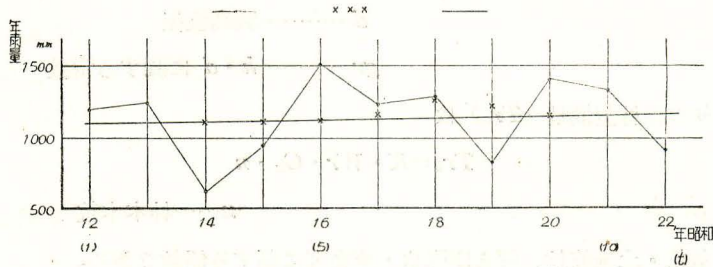
先づ、年雨量の時系列に、その趨勢を検する。移動平均値を5年區間にとれば第5表の如くである。第5圖に圖示する。

第 5 表

年	年 雨 量 mm	
12	1197.0	
13	1249.5	
14	621.8	1107.5
15	946.4	1115.7
16	1523.0	1124.7
17	1238.2	1167.4
18	1294.5	1262.9
19	834.8	1226.7
20	1423.9	1161.8
21	1342.1	
22	913.8	



第 5 圖 年雨量の長期傾向  
時系列 5 年區間移動平均 最小自乗線



之等によれば、昭和 14~17 年及 18~20 年の 2 部分が略直線的に示される。何れにしても上昇傾向はうかがえない。

次に、前同様最尤法により趨勢線を決定する。第 5 圖から

$$P = P_0 + r t$$

を假定し、 $P_0$  及  $r$  の最尤値を求めると、次を得る。

$$P = 1094.5 + 8.26 t$$

$r$  の信頼限界は

$$A = 0.10 \quad (-42.43, +59.03)$$

従つて  $r$  は、その確率過程に於て偶然的なもので、換言すれば、少くとも  $P$  が平均的に、upward trend を有するとは言えない。常識的にも 11 年間に於ける雨量の 7% 増加が流出率に於ける 70% 増加傾向に關係あるものとは想像し難い。

上記から、 $P$  の trend が  $r$  の夫に大きく關係しているとは考えられない。

然し、斷定する前に、尙一應前記の假定につき検討の必要がある。然し、降雨強度、分布等の因子については、現在、尙最も適切な數理的表現が求められていず、合理的説明は極めて困難であるが、年雨量中、流出率に影響の大きい強雨の或合計量が、この期間に如何に變化したかをしらべる。

この強雨を日雨量 10 mm 及 20 mm 以上の日に現われるものとし、その合計量の時系列につき検討する。

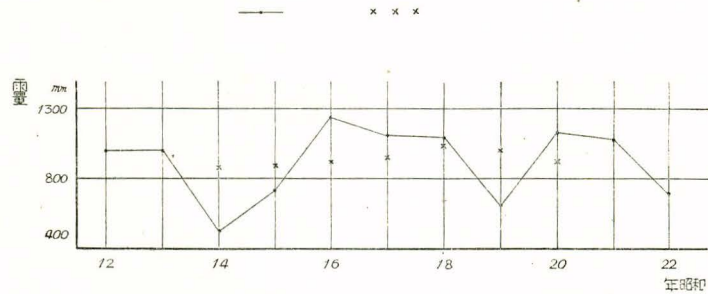
第 6 表

年 (昭和)	10 mm 以上の場合 %			20 mm 以上の場合		
12	1000.2		83.6	630.6		52.7
13	1005.9		80.5	718.7		57.5
14	422.6	876.8	68.0	249.0	601.1	40.0
15	713.4	899.5	75.4	449.6	652.2	47.5
16	1242.0	918.5	81.5	957.6	672.1	62.9
17	1113.8	954.0	90.0	836.1	682.7	71.6
18	1100.9	1040.0	85.0	818.0	764.0	63.2
19	599.9	1009.3	71.9	302.3	728.9	36.2
20	1143.2	927.4	80.3	855.8	632.5	60.1
21	1089.1		81.1	782.1		58.3
22	703.7		77.0	404.2		44.2

之を第6 圖及第7 圖に示す。

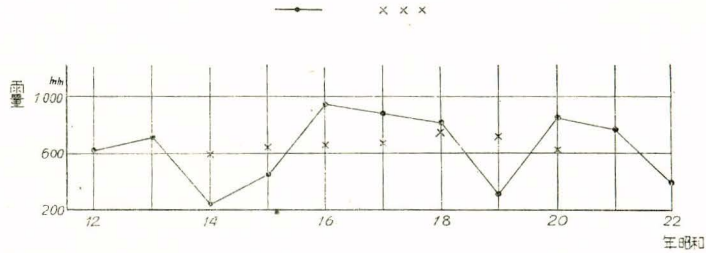
第 6 圖 10 mm 以上日雨量の合計量の長期傾向

時系列 5 年區間移動平均



第 7 圖 20 mm 以上日雨量の合計量の長期傾向

時系列 5 年區間移動平均

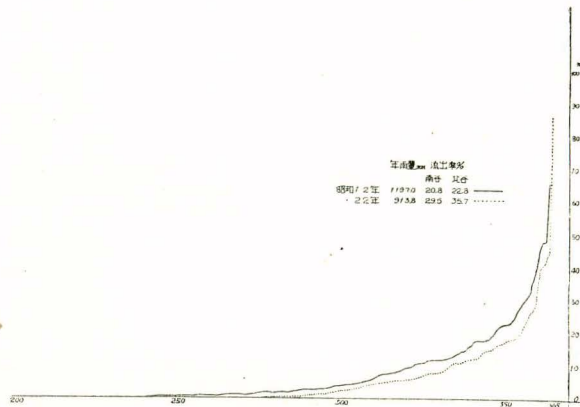


之等から明瞭な如く、その傾向は全く年雨量の夫に等しいことが解る。

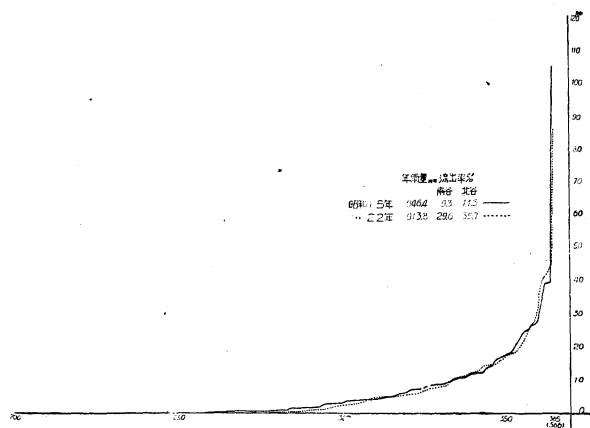
降雨強度は流出率に極めて大きい因子である。更に詳細な検討が必要であるが前述の如く極めて困難であつて、單に、圖から強度の本期間中に於ける傾向を觀察するに止める。

次の4 圖は夫々の年間に於ける日雨量を順列を無規して大きさの順にならべたものである。

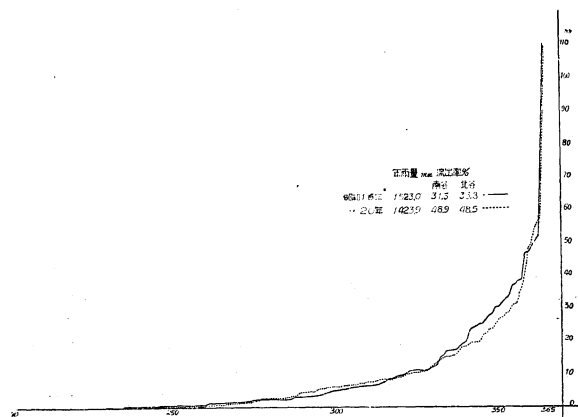
第 8 圖



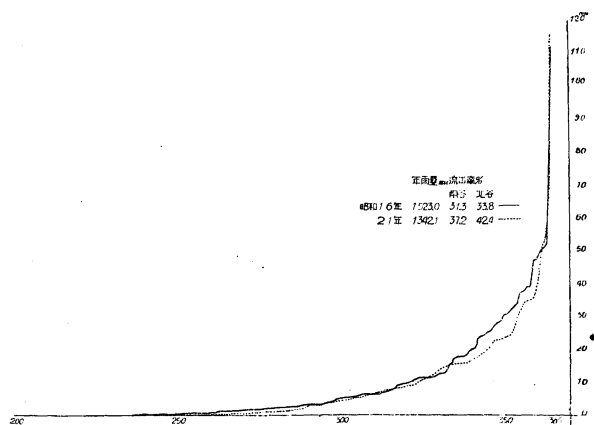
第 9 圖



第 10 圖



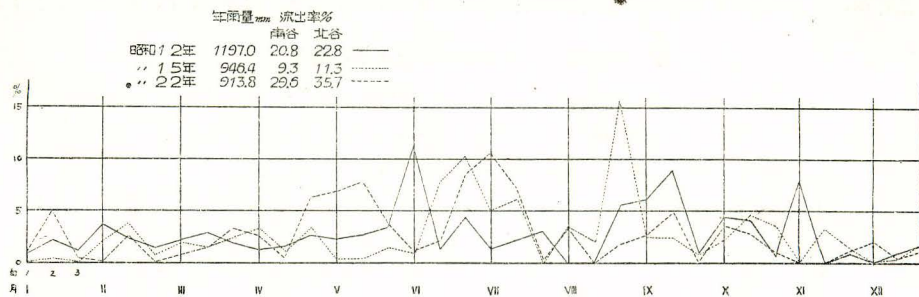
第 11 圖



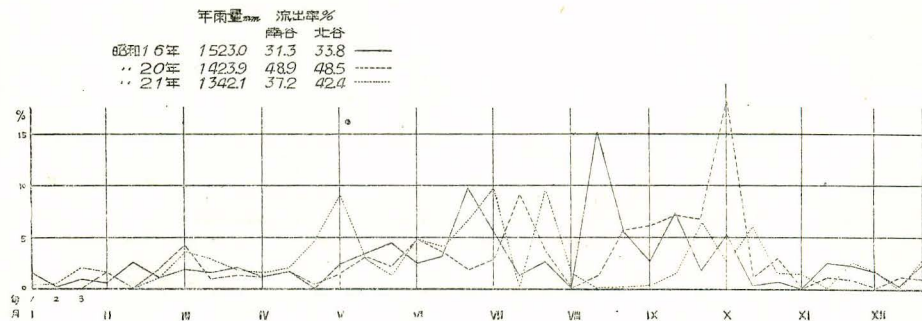
圖の相對する各年は、年雨量に於て後年が何れも多少少いが折線型は極めて良く似ている。然るに、流出率は後年に甚だ大きい。即ち、流出率の大きい後年に必ずしも強雨（大きい日雨量）が頻發しているとは言えない。例えば、昭和 18 年を中心として前後を問題とすると、各類似年雨量の年を對照すると何れもこの傾向が窺える。

更に、こゝに注意しなければならないのは自然の順列を無視した點で、矢張り降雨の時間的配列を考慮しなければならない。この數理的表現は後日にゆづるとして、次に 旬雨量/年雨量の百分率を第 12 圖・第 13 圖に Plot する。

第 12 圖



第 13 圖



極めて幼稚であるが、兩圖を觀察して、流出率の上昇傾向にこの分配が影響しているとは明言できない。

上記は何れも數理的な合理的表現によらなければ、信ぴょう性は低いが、少くとも前記の假定に基いて年流出率の長期傾向に對する年降雨條件の關係は、年雨量の時系列を檢討して類推できるものと思われる。

以上から、昭和 12~22 年の間に年流出率は或原因に基いて長期上昇することを信頼度 0.90 で認めるとすれば、それは降雨・地床植生・地形・地勢等の流出條件の内でも變化し得る降雨及地表條件の何れかの變遷に由るものと考えられ、上記の如く不完全乍ら、前者につき種々の方向から検討して少くとも決定的と思われる關連條件を發見し得ない。



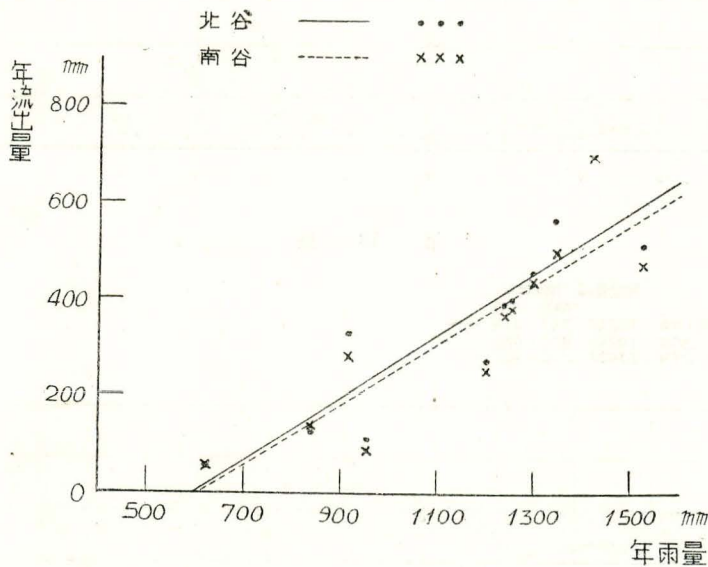
然し、このことから、直ちに、植生を主とする地表条件の變遷に關係づけるのは危険であるが、上述する所から、林相の變化、即ち林冠、地被物の消滅乃至減少、之に伴う表土構造の變化等が蒸散消耗を減じ、強雨時の流出を殊に速やかにするかも知れないことが連想されるし、地表条件中でこの期間に變化が考えられるのは上記以外にない。

勿論、尙多年の資料を得なければならぬが蒸發条件さえも年々満たされる傾向さえ見られるとき、尙且、この流出率の傾向は殊に、強雨時の地表流下速度の大なること及滲透能の小なることに歸せられそうである。

〔附〕 年雨量と年流出量及年流出率の關係

年雨量 mm と年流出量 mm の觀測結果は既に第 1 表に示した。之を第 14 圖に Plot する。

第 14 圖 年雨量と年流出量の關係



圖から、 $R$  と  $P$  の關係を

$$R = aP + b$$

として、最小自乗法により  $a$  及  $b$  を決定すると次式が得られる。

南 谷  $R = 0.623P - 380.4$

北 谷  $R = 0.651P - 389.9$

第 2 回報告に於て、荻原教授は

南 谷  $y = 0.531x - 325$

北 谷  $y = 0.553x - 341$

を得ており、前述せる年流出率の増加傾向から  $a$  の値が増している。

兩式の比較は、流出条件に明らかな相違がある場合危険である。尙、兩直線の交體の意味付



けは多少無理のようである。

次に流出率との関係は

$$R = aP - b$$

$$\frac{R}{P} = a - \frac{b}{P}$$

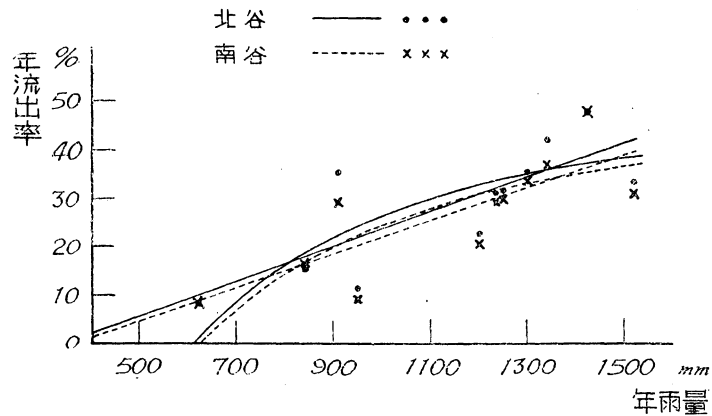
$$\frac{R}{P} \cdot 100 = a \cdot 100 - \frac{b}{P} \cdot 100$$

$$\therefore \text{南 谷} \quad r_s = 62.3 - \frac{38040}{P}$$

$$\text{北 谷} \quad r_N = 65.1 - \frac{38990}{P}$$

第 15 圖に  $r$  及  $P$  を plot し、上式から得た曲線を示した。

第 15 圖 年雨量と年流出率の関係



然し、君島博士及武田繁後氏は直線で示し得るものとしており、然るときは

$$r_s = 0.035P - 13.2$$

$$r_N = 0.036P - 12.4$$

を得る。

二直線を第 15 圖に示す。

何れにしても上記の関係は流出率の長期傾向を降雨以外の原因に據らしめねばならないことを裏付ける一資料である。

## V 兩谷の年平均日流出量の比較

同様な年雨量に由來する年平均日流出量（南谷  $R_{mS}$ 、北谷  $R_{mN}$ ）を見ると第 7 表である。

第 7 表

年	$R_{mS}$	$R_{mN}$	$X$	$X^2$
12	0.68	0.75	-0.07	0.0049
13	1.04	1.09	-0.05	0.0025
14	0.14	0.14	—	—
15	0.24	0.29	-0.05	0.0025
16	1.31	1.41	-0.10	0.0100
17	1.01	1.06	-0.05	0.0025
18	1.20	1.25	-0.05	0.0025
19	0.38	0.36	+0.02	0.0004
20	1.91	1.89	+0.02	0.0004
21	1.37	1.56	-0.19	0.0361
22	0.74	0.89	-0.15	0.0225
計	10.02	10.69	0.67	0.0843
平均	—	—	0.0609	—

$$\text{但 } R_{mSi} - R_{mNi} = X_i$$

兩谷の間には昭和 19, 20 年を除いて、凡て北谷に年平均日流出量は大である。

（但し、前 2 年について流量計算の誤が懸念され、早急の訂正は不可能であるが將來訂正されるかも知れない。）

この事は必然的なものであらうか。次に、之を検する。

各年雨量には明らかに差があり、同年の流出は互に完全に獨立とは言えない。換言すれば、南谷に  $R_{mSi}$  をとるときは必ず北谷に  $R_{mNi}$  をとり、その間に差を見る。

従つて  $R_{mS}$  及  $R_{mN}$  が同一正規母集団に屬するならばその差  $X$ （正規分布）の母平均  $m$  は零であると假定して検定する。

（ $R_{mSi} \asymp R_{mNi}$  の検定）

$$t_0 = \frac{\bar{X}}{u} \sqrt{M} \quad \text{但し} \quad \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^M X_i}{M}$$

$$u^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{M-1} = \frac{\sum x_i^2 - M\bar{x}^2}{M-1}$$

上式に依れば  $D.F. = M-1 = 10$  に於て

$$t_0 = 3.012$$

$$t \text{ 分布表より} \quad A = 0.02 \quad t = 2.764$$

$$A=0.01 \quad t=3.169$$

$$\therefore \text{危険率 } 0.02 \text{ に於て}$$

$$R_{mSi} = P_{mNi} \text{ 又は } m=0$$

とは言えない。

$m$  の信頼限界を求める。

危険率  $A$  を豫定し

$$P_r \cdot \{ |t| > t \} = A$$

$$D \cdot F \cdot \dots \dots \dots \nu = M-1$$

を満足する  $\tau$  を求める。

$$\tau = t_0(A, \nu)$$

$$\frac{|\bar{x} - m|}{\sqrt{M}} \sqrt{M} \geq \tau$$

$$\therefore \bar{x} + \frac{\tau \sqrt{M}}{\sqrt{M}} \geq m \geq \bar{x} - \frac{\tau \sqrt{M}}{\sqrt{M}}$$

上式に於て  $A=0.05$  をとれば

$$\text{信頼限界は } 0.1055 \geq m \geq 0.0163$$

以上から、差、従つて北谷に年平均日流出量が南谷より大きいことは何等かの必然的事情によるものと思われる。

さて、この原因を考究すると、主として前述の如く地況の差に基くものであろうことは武田氏の結論と同様に考えられる。結局、同氏の結論を吟味したにすぎず、主として地床植生・面積及傾斜の關係から強雨時の増水率が大なること及蒸散量の相違に基くと考えられる。

(注意)

日流出量は近似的としても normal distribution に従わない。常識的にも平水量の日数の多いことが考えられる。従つて、兩谷にこれを比較するときは、何等かの平均量を以て比較しなければならぬ。上記の検定は母集團分散を正規分布に假定すること。然かも正規分布以外の分布をする母集團から抽出せる標本の平均の分布は正規分布に近似することが知られているからである。平均日流出量は比較検定が可能となる。このことは積率母函數の性質から形式的に説明される。

## Ⅶ 兩谷の流出一様性の比較及趨勢解析

或期間を通じ、降雨状態の如可に拘らず、流出量が一様である。即ち、降雨時に増水が少く、無降雨時にも充分の流出を見ることが水利上極めて必要である。かゝる性質を一様性と呼べば、流出量の一様性は結局年平均日流出量のまわりの各日流出量の散布の程度で示さえる。従つて、その表現の方法として、東京大學萩原教授は統計學に於て散布度を示す一法たる

標準偏差を準用する事を提案している。即ち、一水年の平均日流出量に對する各日の流出量の差  $d$  を求める。

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

$S_r$  を流出量散布度といい、兩谷に比較する。之を以て、水源地の涵養機能の示標とするのであつて、疑問の體もあるが一應表現の一法である。

昭和 12~22 年の data につき検討する。

第 8 表

年	南 谷		北 谷	
	$R_m$	$S_r$	$R_m$	$S_r$
12	0.68	1.62	0.75	2.91
13	1.04	3.62	1.09	4.08
14	0.14	0.32	0.14	0.33
15	0.24	0.79	0.29	1.10
16	1.31	4.05	1.41	4.40
17	1.01	3.99	1.06	4.41
18	1.20	4.97	1.25	5.48
19	0.38	0.78	0.36	0.85
20	1.91	8.40	1.89	7.10
21	1.37	4.15	1.56	4.75
22	0.74	2.00	0.89	2.69

但し、前記の如く、降水量については兩谷差を negligible と考えたから論外とする。

前表から見ると昭和 20 年の夫を除けば他の年は凡て北谷に  $S_r$  が大きい。一應、南谷の日流出量の變動が小さいことを知る。尙、 $R_m$  に相違があることを知れば、

$$V = \frac{S_r}{R_m}$$

を以て、合理的に比較せねばならない。統計學の  $\sigma x / \bar{x}$  變異係數 coefficient of variation で、河川を扱ふ方面では“變動率”として用いている。 $V$  の値を第 9 表に掲げる。

第 9 表

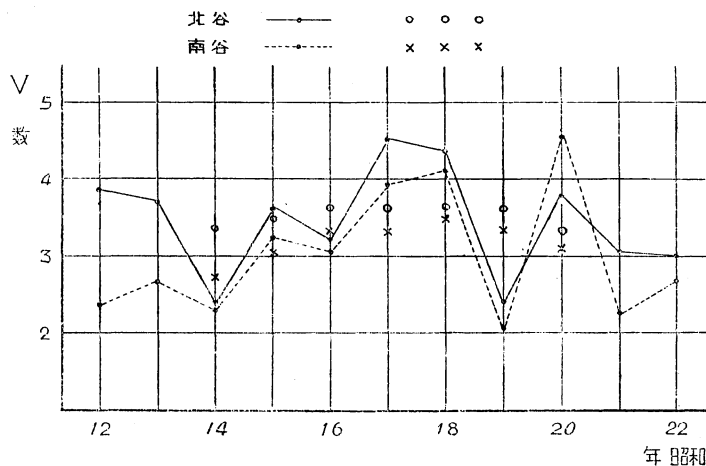
年	$V$	
	南 谷	北 谷
12	2.38	3.88
13	2.69	3.74
14	2.28	2.36
15	3.29	3.69
16	3.06	3.20
17	3.95	4.53
18	4.14	4.38
19	2.08	2.39
20	4.39	3.76
21	2.25	3.05
22	2.70	3.02

前表に殆んど同じ結果を與え、昭和 20 年以外は凡て北谷に大きい。(正規分布を假定して  $t$  テストすれば兩谷の差違は 95% で有意という結果を得たが、假定に問題がある。) このことから南谷の地形・植生は一様性を高めるに北谷より効果的であると言えるかも知れない。

$S_r$  と異り、 $V$  は理論的に表の横の比較と同時に縦の比較が可能の筈である。換言すれば、何れか一つの流域に就いて時間的に検討することが出来る。 $V$  の時系列を第 16 圖に Plot する。

第 16 圖 V 数 の 長 期 傾 向

時系列 5 年區間移動平均



之に依れば、昭和 14, 19 兩年の夫々 621.8 mm, 834.8 mm という極端な寡雨のため、本期間を通じての簡単な傾向はうかがえないが、然し、仔細に検すると、昭和 18 年を境として以前に向い上昇、以後は下降の傾向が見られる。之は 5 年區間移動平均値により明らかとなる。昭和 14, 19 年の影響を除いても無理はない。更に個々の年につき相互に比較してもうなづける。例えば、年雨量、従つて、降雨型が略等しいと思われる昭和 13, 17, 21 年を比較すれば一應尤もの様である。この事は本來差違が小さいものであろうことを想像すれば、尙、多數の資料を得なければ斷言出来ない。然し、一應地表條件の變化と軌を一にして、昭和 16 年頃までは一様性漸次低下し、昭和 18, 19 年はそのまゝにつゞき、以後再び高くなる傾向がうかがえる。

昭和 14, 19 年を見れば、降雨型との關係を無視し得ないかも知れない。但し、總雨量との間には簡単な關係を發見し得ない。

再び、降雨の各時系列を見ると年流出率の場合と異り、類似している。従つて、この點につき、尙、今後の検討が必要である。同時に、或は、次の推論が逆に可能となるかも知れない。輕率のそしりを免れないかも知れないが記しておく。

V を以て流出量散布度を表現すれば、各流域の性質が之を決定する。従つて、逆にその性質の相違は V の差で示されるのではなからうか。一方、或流域の地況條件が流出に影響する程度は降雨條件により差を生ずると考えられる。即ち、V の兩谷の差と降雨との間の關係を調べれば如何なる降雨に際して流出量の一様性に對する効果が最も顯著に發揮されるかが分るかも知れない。

さて、降雨條件を年雨量で代表して兩者の關係を示すと第 10 表及第 17 圖となる。但し、

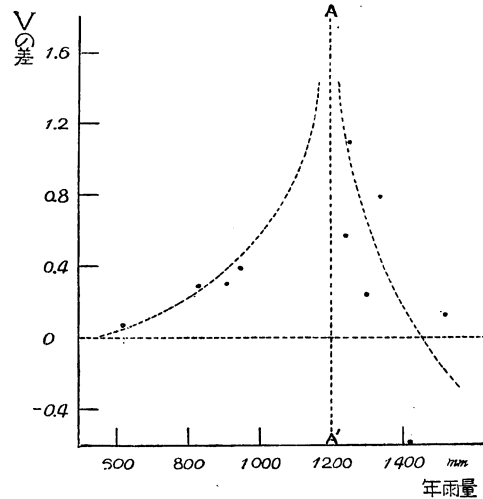


注意しなければならないのは、その限界降雨を求められている流出条件自體が明らかに變化している際の資料を用いていることである。

第 17 圖 年雨量と  $V$  の差

第 10 表

年	年雨量	$V$ の差
12	1197.0	1.50
13	1249.5	1.05
14	621.8	0.08
15	946.4	0.40
16	1523.0	0.14
17	1238.2	0.58
18	1294.5	0.24
19	834.8	0.31
20	1423.9	-0.63
21	1342.1	0.80
22	913.8	0.32



圖から年雨量 1200 mm 附近に  $V$  の差が最大である。

従つて、南谷に流出の一様性が優り、且、その地況条件では年雨量 1200 mm 程度の年間降雨状態に最も機能を發揮するものと想像される。今後の検討にゆづるとして考え方を記す。

以上により、水源地の理水機能の一部を  $V$  の“縦横”の比較により定性的に判断し得るよう、この場合植生の變化と或程度結びつけて考え得られると思ふ。然し、流出の一様性を變動率のみで示すことは不充分で、流出の型の異なる場合、即ち、日流出量分布曲線の型が異なる流出の比較には散布の skewness をも考えねばならない。

その前に、一様性を所謂河況係数によつて示すことも行われているので、之を検討して見る。之は或年間に於ける最大日流出量と最小日流出量の比であつて、この場合も之をあげて見る。

第 11 表

年	最大日流出量 mm		最小日流出量 mm		河況係数	
	南谷	北谷	南谷	北谷	南谷	北谷
12	40.38	43.24	0.03(0.05)	*0.04(0.05)	1346	1081
13	43.54	48.55	0.11(0.12)	0.10(0.12)	396	485
14	4.76	4.96	0.01(0.01)	0.01(0.02)	476	496
15	9.13	15.09	0.01(0.02)	0.01(0.02)	913	1509
16	52.69	49.43*	0.05(0.06)	0.01(0.06)	1054	4943
17	61.81	70.06	0.09(0.10)	0.08(0.10)	686	875
18	66.68	64.73*	0.07(0.09)	*0.06(0.08)	952	1078
19	7.28	7.22*	0.02(0.03)	0.03(0.04)	364	240*
20	140.12	105.59*	0.09(0.09)	0.07(0.08)	1556	1508*
21	52.87	53.93	0.17(0.18)	0.13(0.15)	311	414
22	23.21	36.17	0.10(0.12)	0.10(0.10)	232	361

( ) 内の数字は所謂渴水量で、1 年を通じ 355 日間は之より下ることのない流出量をいう。

上表から \* 印以外の年は最大日流出量は北谷に大きく、最小日流出量は南谷に大きいことが分る。この事は水源地の理水機能の 1 端を明らかにするもので、或種の水源地はその有する流出条件から豪雨時の増水を和らげ、寡雨時の渴水を防いでいることを知る。一般に、洪水防除の立場からは最大日流出量の緩和に重要性があり、水源涵養の面からはこの緩和が渴水時に効果をもたらすか否かに重点がある。

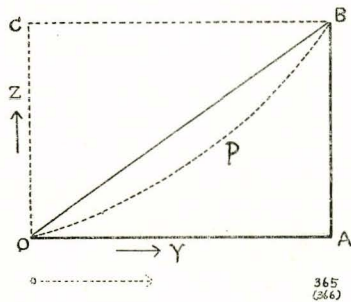
河況係数を比較するに、矢張り、南谷に一樣性の高いことを示すが、その長期傾向は、前表から、高い規則性はうかゞえない。

以上、變動率と河況係数により一樣性を比較したが、前者は單に日流出量の分散を見るのみで、各日流出量が何れに集中されているかを考えず、後者は單に最大・最小の比で、その範囲内の變化を問題としない。

David Lloyd 氏の “measure of uniformity” は之等を補う所があり、更に、之を用いて検討する。

年間の日流出量を順列に無關係に大きさの順に並べ直し、之を小さい方から順次遞加する。遞加した量 (ZY) を加えた個數 (Y) に對して Plot する。日流出量が完全に一樣であれば第 18 圖に於て  $\widehat{OPB}$  の如き曲線を得る。之を集中度曲線 (curve of concentration) といひ、

第 18 圖



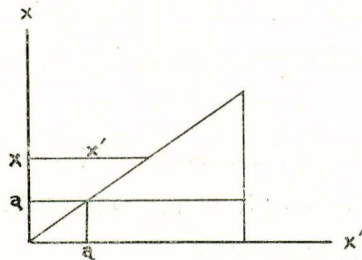
常に横軸に對して凸である。以上は流出の一樣性の比較に用い得る。この曲線に依る表現は前二者に優る。こゝで、 $\overline{AB}$  は夫々に異なる筈であるから、OPB で圍まれた面積 (area of concentration) を問題とし、之を三角形 OPB に關係すれば變量分散の尺度となし得る。

(但し、かゝる計算は前記特徴を半減する)

従つて圖に依つて比較することが良いが、(第 8, 9, 10, 11 圖参照) C. Gini 氏の “mean difference” 平均

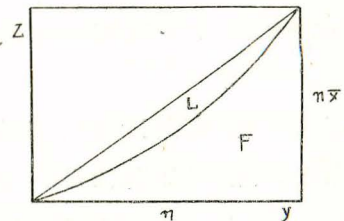
差  $\Delta$  を用いて Lorenz 氏がこの面積の式を導いた。

第 19 圖



今  $a_n > a_{n-1} > a_{n-2} \dots a_2 > a_1$  とすれば、

第 20 圖



$$\frac{1}{2}n(n-1)\Delta = (n-1)(a_n - a_1) + (n-3)(a_{n-1} - a_2) + (n-5)(a_{n-2} - a_3) + \dots$$

この $\Delta$ から

$$\frac{1}{4}\Delta n^2 / \bar{x} n^2 = \lambda$$

$$\therefore \frac{1}{2}\Delta / \bar{x} = 2\lambda$$

但し  $\lambda$ ……集中度面積の矩形 OABC に對する比

$\bar{x}$ ……年平均日流出量

故に  $2\lambda$  は集中度面積の三角形 OAB に對する比

$$L \text{ 數} = 1 - 2\lambda$$

$$= 1 - \Delta / 2\bar{x}$$

これには九州大學熊谷教授の驗證がある。

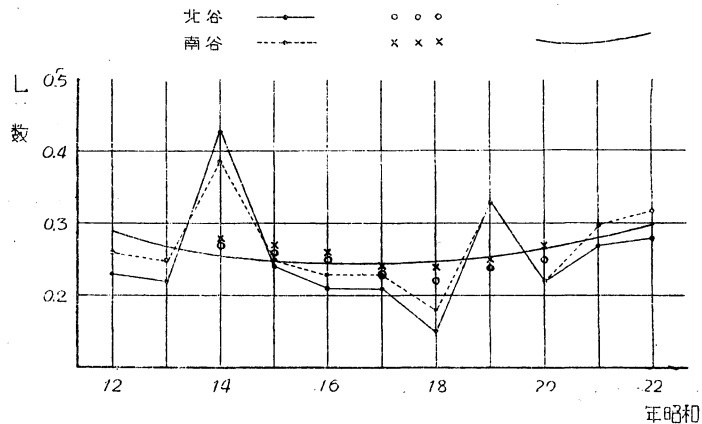
この  $L$  數を夫々計算して、流出量の一樣性を兩谷及時間的に比較するのである。第 12 表及第 21 圖に示す。

第 12 表

年	$L$	
	南 谷	北 谷
12	0.26	0.23
13	0.25	0.22
14	0.39	0.43
15	0.25	0.24
16	0.23	0.21
17	0.23	0.21
18	0.18	0.15
19	0.33	0.33
20	0.22	0.22
21	0.30	0.27
22	0.32	0.28

第 21 圖  $L$  數の長期傾向

時系列 5 年區間移動平均 傾向拋物線



上表によれば、昭和 14 年以外は凡て  $L$  數は南谷に大きいとか少くとも等しい。一樣性の南谷に高いことは之によつても明らかである。(V 同様  $t$  テストによれば 95% で有意であるが假定に問題がある。)

亦、前同様  $L$  數の時系列をとり、移動平均により長期傾向を見ると第 21 圖に示す如く昭和 18 年を谷とし横軸に凸な折線を得る。先の V 同様、昭和 14、19 兩年の數値を除いても傾向は變らない。之から、次の傾向拋物線を假定して常數を決定する。

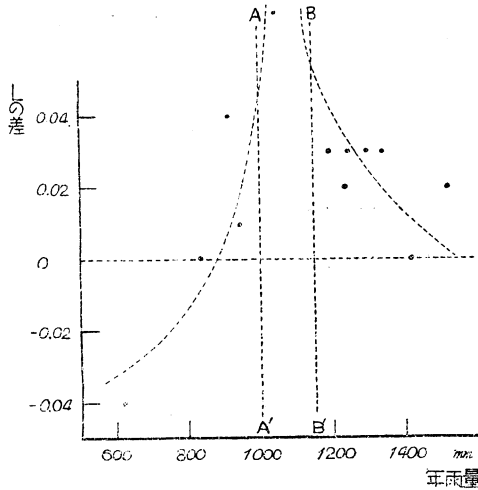
$$L = lt^2 + mt + b$$

$$\text{南 谷} \quad L=0.002 t^2+0.001 t-0.003$$

$$\text{北 谷} \quad L=0.001 t^2-0.001 t-0.009$$

以上から、斷定をはじかるがV同様昭和 17, 18 年を境とする流出條件の變遷を連想する。  
又、同様に  $L$  數の兩谷差と年雨量の關係を第 22 圖に示すが、同様な注意を必要とする。

第 22 圖 年雨量と  $L$  の差



以上、流出量の一様性について検討したが、兩谷に比較する場合は降雨・消失水に關する條件が等しいと認められ問題はな  
い。然し、趨勢解析の場合は之等につき長期傾向を吟味しなければその傾向を單に地況に關する流出條件に歸することは出來ない。

それには降雨・蒸發・蒸散に滲透の關係が重要である。然し、滲透は結局ある期間に於ては地表狀態の變化に基く土壤構造の變化に歸せられる問題であり、吟味の必要を見ない。

他の三者につき、各日量の一様性を檢しなければ議論は不完全である。然し、蒸發・蒸散は一般に降雨と全く對蹠的な關係にあることが想像され、降雨の一様性を求めその趨勢を解析すれば二者は類推できる筈である。

日雨量の一様性を  $L$  數で表わし、その傾向を見る。

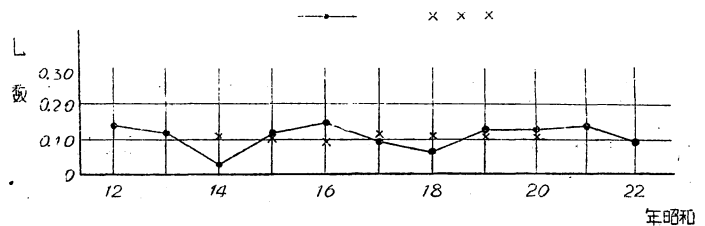
各年につき無降雨日は 0mm の際雨があつたものとして  $L$  數を計算すると第 12 表を得る。

日雨量の  $L$  數は年雨量と無關係に略一定であることがうかがえる。第 12 表末欄は 5 年區間移動平均値である。第 23 圖に之を示す。明らかに何れの長期傾向も有しないことが分る。

第 12 表

年	$L$	
12	0.14	
13	0.12	
14	0.03	0.11
15	0.12	0.10
16	0.15	0.09
17	0.10	0.12
18	0.07	0.11
19	0.13	0.11
20	0.13	0.11
21	0.14	
22	0.10	

第 23 圖 日雨量  $L$  數の長期傾向  
時系列 5 年區間移動平均



以上から、流出量の一様性の變化を地床植生を主とする地況條件の變化に關連づけ得るよう

である。

## Ⅶ 森林の理水機能に就て

一般に森林が大雨の際の出水を緩和し、渇水時の水位を高める機能を總稱的に森林の理水機能 (the water-regulative function of forest) という。詳言すれば、雨の際の一時的出水を緩和し、(このため山腹の崩壊・侵蝕・土砂の運搬・沈積などの副作用を緩和する。) 従つて、渇水時の水量を枯渇させないか、或は増加する水源地全體としての作用に森林が有力な 1 因子であるとき、その理水機能が認められる。この機能は特に前者に注目されるときは治水機能 (the flood-controllable function)、後者に重點をおけば水源涵養機能 (the water-conservative function) といわれる。

良好なる森林がかかる機能を發揮するのは、土壤の性質を透水性にすること、然かも、吸収した水を長く貯留して、後除々に放出すること及之等を適宜調和することなどによると言われる。このことは結局長期間の場合次の二點により結果的に批判されると思う。

1. 可及的平均流出量が大である。詳しくは流出率が大であること。
2. 然かも、流出の一樣性が高いこと、極端には流出が一定であること。

この 2 つが満たされるとき、治水対策・利水計畫の實現性は高い。理水機能はこのとき充分で、試験も二項を同時に數理的に表現し、之を historical に、或は幾つかの流域毎に比較して行うことが出来る。

然し、こゝに注意しなければならないのは、前二者が互に inverse であることで、理論的にも考えられるが、該地方の様に年流出率が極端な豪雨時の夫によつて甚だしく影響される場合常識的にも想像に難くない。

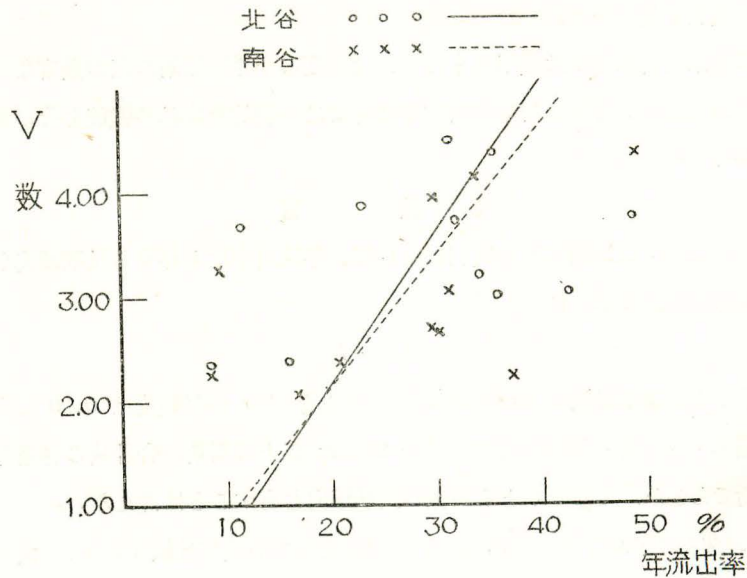
前記の兩谷の比較によれば、年平均日流出量は明らかに北谷に大であるが、一樣性は逆に南谷に高い。然し、この事は治水・水利の局地的事情によつても批判がなされるのであつて、理水機能の内、同時に兩立を望むか、何れを先とするかは一般的に述べることは困難である。V 及 L はこの目的に副うものでない。之は單に同じ年平均日流出量を假定して日流出量の散布の差違を検するに止る。

以上を年平均流出率と V 及 L の關係によつて見ると第 24 圖第 25 圖から、相關は逆であることが分る。

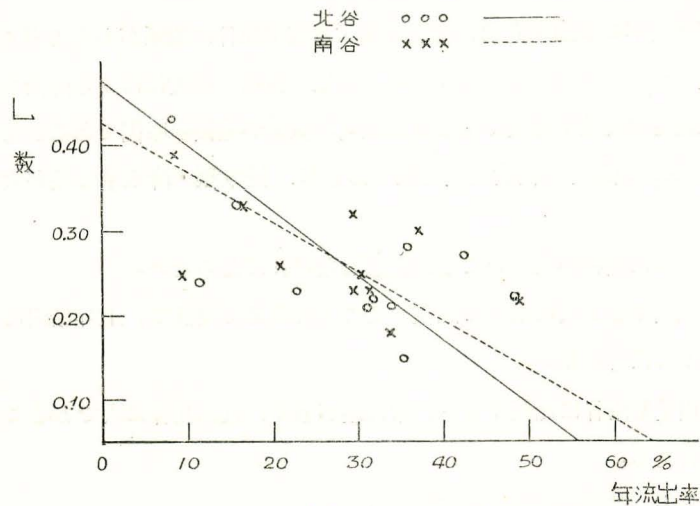
從來、寡雨な當地方では農用水に關し森林と溜池水量の關係に就いて議論が盛であつた。或は有用とし、或は無用とした。特に、後者は森林が流水に對し渇水時の枯渇と土壤侵蝕を緩和する作用を有するとしても 1 箇年の全流出量は反つて減少する。従つて 1 箇年の全量を貯える場合には有林地の方が不利であり、特に降雨の際に一時に水を溜める様な地では有林地の方が不利であるという。例えば、山本氏は鬱蒼たる美林は土砂攔止及洪水防備に對しては多大の効



第 24 圖 年流出率と  $V$  数の関係



第 25 圖 年流出率と  $L$  数の関係



果あるも、水源の涵養に對しては却つてその反作用を惹起し、水下に於ける不平の聲を綜合すれば、森林の繁茂のために地下水面を低下し、降雨の際に於ける出水量及平時の流出量は却つて低減し、殊に溜池の流入水は減じて農用水利に支障を來すというのであり、かゝる例は認めなければならないと述べている。

有用と論ずるものは、林地の透水性は改良されて速やかに雨水を吸収し、長く保持し、除々に放出して渴水をさけ、又、極端な蒸發を防いで年流出率を高める一般的機能はこの場合にも適用できるとするものである。

以上、何れをとるかは、尙今後の研究に慎重を期さねばならないが IV, V, VI 項に述べた所は論議の 1 資料を提すと思われる。

尙、極めて寡雨な當地方では農用水を得るには頻度の小さい強雨の際の豊富な水を安全に貯溜して、自ら限定される時期の使用に供する場合には一般的な森林の機能をそのまま適用し得ないこともあろう。

## VIII 結 言

1. 昭和 12~22 年 (11 箇年) の資料によれば、年流出率は上昇する長期傾向が見られる。即ち、その趨勢は次式で示され

$$r = r_0 + \alpha t$$

資料を年流出率の確率過程の Sample と考えるとき  $+\alpha$  の信頼度は 0.90 である。

2. 年蒸発率・年雨量・年間に於ける 10~20 mm 以上日雨量の合計量の各趨勢は流出率の夫と全く反対であるか、又は少くとも同様の長期傾向を有するとは言えない。

11 箇年中の個々の年につき、昭和 18 年を中心として前後年比較すると、後年に年雨量小さく、順列を無視した日雨量分布の折線は低い。又、旬雨量/年雨量% から得た降雨の時間的分配が前記の各年に極端に差を示すとは言えない。

以上から、年流出率の増加傾向は、地況に關する流出條件に關係があると考えられるが、地形・地勢・地質の變化を無視出来るとすれば、植生(林相)の變化による降雨遮斷・地表障礙の減少による強雨時地表流下速度の増加及蒸散量の減少が直接の原因であるかも知れない。之は見掛上 A.Engler 氏などの結論と異なる様であるが、降水型・降水量の差が大きく比較にならない。

但し、趨勢解析には資料が尙少いことに注意しなければならない。

3. 兩谷の年流出率を上式に基いて比較することは極めて困難で、上昇傾向に差があるなどは全くこの資料からは言い難い。

4. 年平均流出量を兩谷に比較すると、常に差があり、且、北谷に大であることが少くとも 2% の危険率で言える。

このことは、將來、試験の取扱いに利用できる。

5. 日流出量の一様性を  $V \cdot L$  及河況係数を以て示すとき、南谷に高い様である。

この原因は地形及面積・植生の各條件につき、多少南谷に優れていることによると思われる。

6. 一様性の趨勢を見ると、昭和 12 年より 18 年まで低下し、以後漸次昇高する長期傾向が窺える。之は日雨量の一様性 ( $L$  數) の趨勢と全く類似せず、林相(地床植生)の變遷と酷似する。

7. 年平均流出量(率)の増加と日流出量の一様性は同時に滿されないが、之は、この場合一様化が最小日流出量を上げ、最大日流出量を下げる方向に行われず、殊に後者に集中される

結果と思われる。

以上、昭和22年3月の本試験に対する協議會決定の方針に基き、主として試験成績の historical な取まとめを行い、その一部を取敢えず發表したわけであるが、結局、森林の理水機能の考察にも氣象、地況等の特殊性を無視し得ないことを知る。

### 参 考 文 献

- 武田 繁後：——龍の口山水源涵養試験第1回報告(施業參考資料第7輯山林局)昭和17年4月
- 荻原貞夫・山本勝市：——龍の口山水源涵養試験第2回報告(森林治水試験彙報第20號)昭和19年7月
- 櫻井 莊三：——年流量並年流出率との關係(砂防第42號)昭和10年7月
- 熊谷 才藏：——河川日流量の一樣性と定常性(治水研究1)昭和23年6月
- 君島 八郎：——地表水
- 君島 八郎：——氣象昭和13年6月
- 山本徳三郎：——森林と水源涵養(興林會叢書第12輯)昭和9年4月
- 大賀一郎(譯)：——マキンモフ、植物と水 昭和10年3月
- 岡田 武松：——氣象學(上)昭和19年12月
- Robert E. Horton：——Transpiration by Forest Trees. (Monthly Weather Review, Nov. 1923)
- 齋藤美代司：——水理と水源 昭和14年2月
- 増山元三郎：——小數例の纏め方と實驗計畫のたて方 昭和22年12月
- 佐藤良一郎：——數理統計學 昭和23年4月
- 増山元三郎：——實驗計畫法 昭和23年5月
- 數理統計研究會編：——數值統計表I 昭和17年12月
- 高橋浩一郎：——氣象統計 昭和19年10月
- 應用力學會編：——應用統計學 昭和24年3月
- 小河原正己・吳林肇：——移動平均について(中中氣象臺測候時報第14卷第9號)
- 米澤 治文：——統計學 昭和23年5月
- Southeastern Forest Experiment Station, U. S. Department of Agriculture：——Watershed Management Research, Coweeta Experiment Forest. May, 1938.

Experiments in the water-conservation  
at Tatsunokuchi,  
Bulletin III

By

Hidegori NAKANO, Isamu OTAKI

*Purpose*

This experiment is a part of the continuous studies on the waterregulative functions of forests being in practice by the Government Forest Experiment station. In this case, we intend to compare the functions of the forest land with those of the cut-over land and to study of the extent of the forest influence upon agricultural water-supply.

note: The water-regulative function of forest

{ the water-conservative function  
the flood-controllable function

*Description of the experimental watershed.*

location:

Tatsunokuchi in the village of Takashima, Jodo-county, Okayama-prefecture.

	North watershed	South watershed
catchment area :	17.2740 ha	22.6110 ha
average slope :	30.9°	26.1°
elevation :	45 to 250 m	58 to 258 m
bearings :	w	w
geology : soil :	The residual soil. The Chichibu palæozoic system. partialy, the quarz porphyry in the N. W.	
forest : 1937-40	About 93% of the watershed was covered with the AKAMATU, ( <i>Pinus densiflora</i> S. et Z.), and 7% with the HINOKI, ( <i>Chamaecyparis obtuse</i> S. et Z.) Both site of these had partialy a thin herbaceous cover, espesially, such as the bambooglass and a few shrubs.	About 77.5% of the site was covered with the AKAMATSU, and 5.3% with the HINOKI, The rest was the site cutting over in 1925, but had a dense herbaceous cover and the seeding-growth of th pine.
1941-43	The pine was injured by the noxious insects.	
1944	All the pin was cut over between 1944 and 45	
1944-now	The dense ground cover by the shrubs and weeds such as the bamboo grass etc, overgrew,	
	partialy, there are a few bare land.	The growth of weeds has been more vigorous than N. W.

stream-gauging : A 60° V-notch weir, respectively.  
 rain-gauging : A self-recording and usual rain gauge installed at the foot meteorological station.

The experiment was begun in 1937. At the South watershed, it was expected to clear up the undergrowth and weeds in 1940, and to cut down all vegetation in 1945, for the comparison with the North Watershed. But, after 1940, the pines were annoaly injured by noxious insects, such as *Cryphlus fuluas* NIISIMA, *Ips proainus* EICHHOFF and finally, in 1945, all woods in both basin were compelled to cut down in order to defend the diffusion of injurious insects.

Accordingly, the course of the experiment was changed twice by 1947 and since then, the experiment has been continuing under the principle of 1947. Namely, we are to study the trend of run-off and vegetation by the historical comparison respectively. This is the third report and previous publications are as follow.

Experiments in the water-consevation  
 at Tatsunokuchi. Bulletin I.  
 by Shigenochi TAKEDA

Experiments in the water-conservation  
 at Tatsunokuch. Bulletin II.  
 by Sadao OGIIHARA, Katuichi YAMAMOTO

*the Points of the report*

1. According to the data of 1937-47, the annual runoff coefficient tend annually upwards both the watershed.

The formula of *tendency* is

$$\text{S. W.} \quad r = 15.4 + 1.91 t$$

$$\text{N. w.} \quad r = 15.8 + 2.16 t$$

$r$ .....%, the annual runoff coefficient

$t$ .....years (1, 2, 3..... $n$ )

The reliability of +1.91 and +2.16 is 0.90 in accordance with the method of maximum likelihood. The trend of the annual evaporation coefficient and the annual precipitation is opposite or unrelated with the former exactly. In consequence, perhaps, the trend of runoff coefficient depend upon the land surface condition, especially, on the change in the vegetation.

2. The annual average of daily run-off from the N. W., as compared with that from the S. W., is always great.

According to "staudent" test, its reliability is 0.98.

3. The uniformity of the daily run-off from the S. W. is almost always higher than that from the N. W. The causes will probably be explained by the fact that S. W. excel somewhat in the conditions of vegetation, topography and area.

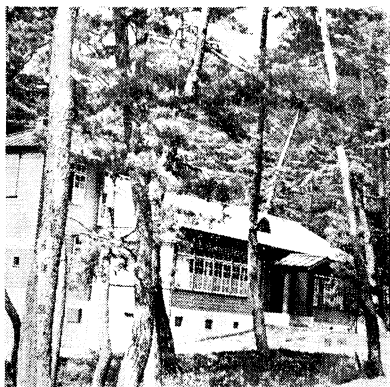
4. The uniformity, after 1940, became gradually low and came to the extreme in 1943. But, since then, it have been improved up to the present time.

This trend is similar to the tendency in the vegetable condition.

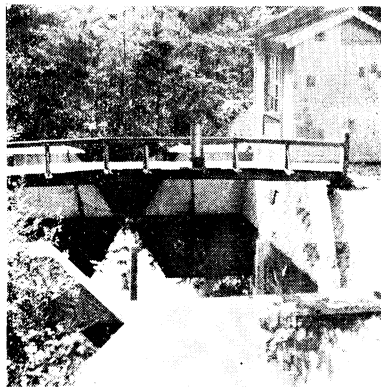


## 林 相 の 變 化

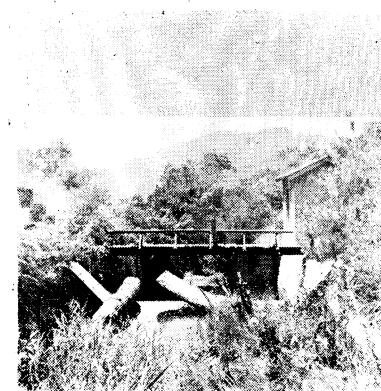
昭和 14 年夏 (上段) } 對 照  
昭和 24 年夏 (下段) }

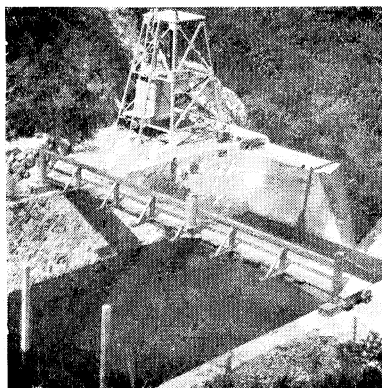


廳 舍



北 谷 量 水 所

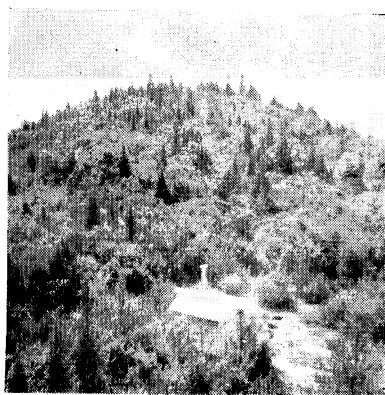
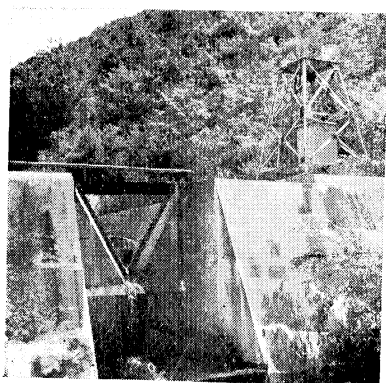


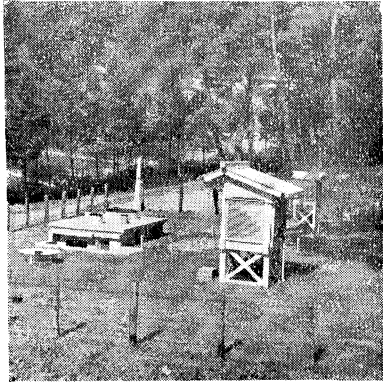


南 谷 量 水 所



山 頂

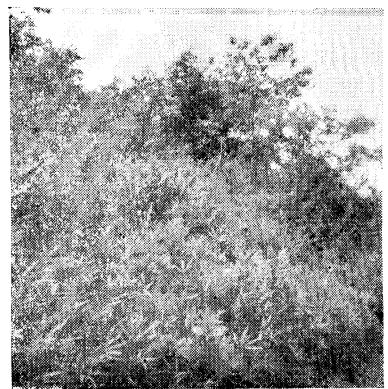
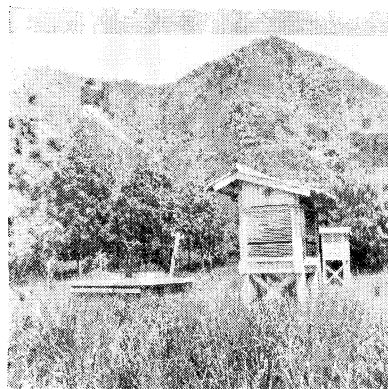


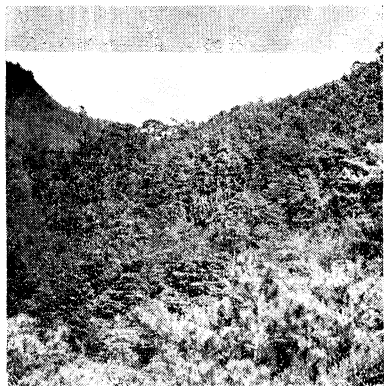


山麓觀測所



北谷

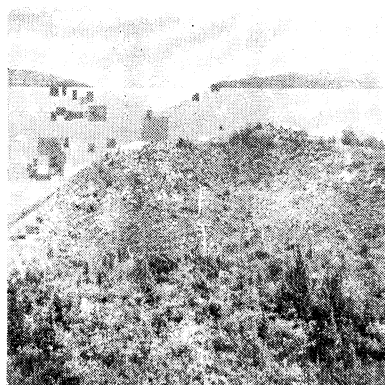
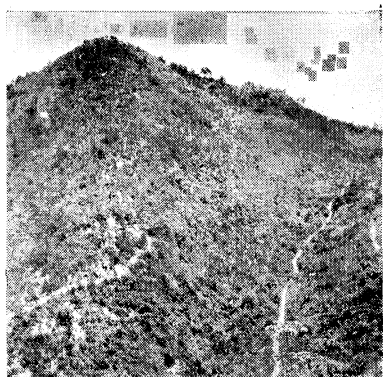




北 谷



北 谷





南 谷

南 谷







南 谷

南 谷

