

# 釜淵森林理水試験第1回報告

Iwazo MARUYAMA, Torazo INOSE: Experiment of forest influences  
upon stream-flow at Kamabuti. The first report.

農林技官 丸 山 岩 三  
農林技官 猪 瀬 寅 三

## 目 次

緒 言.....	1
1. 沿 革.....	2
2. 目的及び将来の計画.....	4
3. 試験地の概況.....	5
3.1. 位置及び面積.....	5
3.2. 地 形.....	8
3.3. 地質及び土壌.....	11
3.4. 土地使用の歴史.....	13
3.5. 植 生.....	14
3.6. 気 候.....	15
4. 実験設備及び方法.....	17
4.1. 気象観測.....	17
4.2. 流量測定及び計算.....	18
4.3. 流出率の精密度.....	22
5. 観測成績及び考察.....	25
5.1. 年流量について.....	25
5.2. 月流量について.....	31
5.3. 著しい出水について.....	39
6. 要 約.....	40
引用文献.....	41
Résumé.....	42

## 緒 言

終戦後連年洪水が続出した結果、これが戦時中、戦後の森林の生長量をはるかに上廻る伐採に伴う林地の荒廢の故とされたのは当然である。日本のような急勾配の山岳地帯を持つ国に於ては、戦前の森林地帯の条件の良いことが、洪水に対してバランスを保つ有力な作用をしていたことは、見逃せない事実であると思われる。

過去のことはさておいて、今日の問題としては、この豪雨時に出て来る水と土の源である森

林地帯の荒廃を復旧することが第一であることは勿論であるが、同時に水に及ぼす森林の影響を正しく理解することは、特に戦時中の悪条件のためにこの方面の研究の立遅れた我国に於ては、絶対に必要なことである。特に洪水に対する森林の極端な無効論又は万能論が今尙一部に唱えられている際に必要である。実際はこの何れでもないことは明らかであるが、山岳地帯を適当な状態に置くことは、洪水の被害防除のために、十分な条件であるかどうかは別問題として、必要なしかも第一に必要な条件であることに間違はないであろう。これらのことが正しく理解されない限り、総合的な治水の方策を樹立することは困難であろう。なる程、森林の洪水に極めて有効であつた幾多の実例がある、しかしその理論的裏付については不十分な点が多い。こうした時期に釜淵森林治水試験は継続中のものであるが、一応或る程度の成果を見ることが出来る期間を経過し、其の期間中の日流量及び気象要素の整理の終了したのを機会に、その結果を公にして行くことは無意義なことではないと信ずる。

## 1. 沿 革

昭和12年に第2期森林治水事業が開始された。その頃水の問題が各地に於て論議され、当時の山林局に於てもその必要を痛感され、相前後して山林局・営林局・林業試験場協力の下に宝川・高島等に試験地を設けて、その研究を推進することになつた。そして北海道庁の林業試験場に於ても、上川森林治水試験地を開設され、林政統一という行政機構の変更はあつたけれども、試験は引き続き継続中である。

その一環として、当場に於ても、当時の場長 藤岡博士の下で、玉手気象部主任（現防災部長）、斎藤釜淵試験地主任（現木材部長）の間にその議が起り、釜淵が最上川上流地帯にあり、水と雪の試験地として適当であるとの結論に達し、秋田営林局と協議の結果、試験を開始することになつた。

そして玉手技師主となり昭和11年12月候補地の選定に着手、昭和12年8月現在位置に決定、試験計画・設備の立案に着手、昭和13年6月量水堰堤及び水位計室が完成、同年内に計器類の取付完了、翌14年1月1日より観測を開始した。

当初は秋田営林局眞室川営林署と林業試験場との協同試験として発足したのであるが、其後都合により、林業試験場の単独の試験として続行、今日に至つている。

現在までにこの試験に関係、協力された方の氏名を挙げると、下の如くである。

### (1) 試験計画及び試験地選定

大島愨郎 玉手三稜寿 斎藤美鶯

### (2) 量水・気象観測及び其他の設備

玉手三稜寿 斎藤美鶯 猪瀬寅三

### (3) 気象及び流量の観測と統計

昭和 14 年 猪瀬寅三 西宮正三 渡部松雄 菅原茂藏 菅原泰作 伊藤利見 猪股  
チエ

昭和 15 年 猪瀬寅三 西宮正三 高橋良雄 渡部松雄 菅原茂藏 菅原泰作 伊藤  
利見 栗田シゲ子 矢作ミキ

昭和 16 年 猪瀬寅三 西宮正三 高橋良雄 渡部松雄 菅原茂藏 児玉武男 大場  
英貴子 館石時子

昭和 17 年 猪瀬寅三 渡部松雄 児玉武男 片岡健二郎 大場英貴子 館石時子

昭和 18 年 猪瀬寅三 渡部松雄 菅原泰作 児玉武男 片岡健二郎 大場英貴子  
館石時子

昭和 19 年 猪瀬寅三 渡部松雄 児玉武男 片岡健二郎

昭和 20 年 児玉武男 片岡健二郎 片岡よし子

昭和 21 年 児玉武男 片岡健二郎 片岡よし子

昭和 22 年 塩田勇 児玉武男 片岡健二郎 片岡よし子

昭和 23 年 塩田勇 児玉武男 片岡健二郎 片岡よし子 小野茂夫 佐藤勳 三浦  
哲夫 佐藤義昌

昭和 24 年 塩田勇 片岡健二郎 小野茂夫 星川吉之助 佐藤義昌 清水久子

昭和 25 年 伊藤浅次 片岡健二郎 小野茂夫 星川吉之助 佐藤義昌 根田和男  
清水久子 平和敬

昭和 26 年 同 上

## (4) 地形測量

昭和 24・25 年 丸山岩三 児玉武男 佐藤義昌 小野茂夫

## (5) 森林調査

昭和 17 年 猪瀬寅三 渡部松雄 児玉武男 菅原茂藏

昭和 25 年 星川吉之助 東京農業教育専門学校学生 今関勇 佐々木義光

## (6) 地質調査

昭和 19 年 東北帝国大学学生 小林福造

## (7) 積雪量調査

昭和 22 年 四手井綱英 塩田勇 児玉武男 片岡健二郎 小野茂夫 佐藤勳 三浦  
哲夫

昭和 23 年 四手井綱英 塩田勇 菅原敬二 児玉武男 片岡健二郎 小野茂夫 三  
浦哲夫

昭和 24 年 四手井綱英 塩田勇 児玉武男 片岡健二郎 小野茂夫 星川吉之助

昭和 25 年 四手井綱英 片岡健二郎 小野茂夫 星川吉之助

昭和 26 年 同 上

(8) 取まとめの計算其他

昭和 23 年 佐藤義昌  
昭和 24 年 佐藤義昌 清水久子  
昭和 25 年 根田和男 佐藤義昌 清水久子 平 和敬  
昭和 26 年 同 上

(9) 歴代眞室川営林署長

大島懋郎 安川榮喜 矢沢頼忠 吉川洗一 大内晃 川崎修吾 孕石正久

(10) 歴代林業試験場秋田支場長

富樫兼次郎 島本貞哉

(11) 歴代釜淵分場長

斎藤美鷲 黒田一郎 片岡哲藏 川崎修吾 四手井綱英

この試験成績はこのような多数の方々の労苦の結果得られたものであつて、特に戦時中及び終戦直後の極度の悪条件下に於ても、釜淵分場各位の異常の努力により、中断されなかつたことは、特筆さるべきであり、又観測の当事者は口にはされないけれども、水位の自記紙のペンの跡にはつきり残る夏の豪雨時に於ける、照明設備もない観測小屋での徹夜観測、水位が殆んど動かないことによつて知れる寒中の雪の中での観測の労苦等を思い浮べて、この報告に目を通していただけるならば、たまたま取りまとめに当つた著者等にとつては幸甚の至りである。

同時に本試験の実行に当つては、林野庁・秋田営林局・眞室川営林署・秋田支場の当局者より、例えば有林地（I号沢）内に昭和 23 年 9 月のアイオン台風による崩壊地が生じて、試験に支障を来した際、復旧に御厚配を賜はる等、終始厚意ある御援助を受け、又安芸博士より文部省科学研究費の配分により、研究費の一部の御援助を受けた。取まとめに当つては、東大農学部荻原教授・飯塚前防災部長・釜淵分場及び本場防災部各位、特に玉手・平田・武田(京)・倉田・四手井・川口氏等、諸先輩より終始有力な指導・助言を賜わつた。

上記の立案・実行・指導・援助・取りまとめに協力された各位に厚く感謝の意を表する次第である。

尙本報告の取りまとめに当つては、主として流量式関係は猪瀬担当、其他は丸山が担当している。

## 2. 目的及び将来の計画

一言にしていえば、森林の理水機能の究明であるが、もう少しくわしくいえば

- (1) 洪水の被害防除
- (2) 高いしかも一様性をもつた流量の確保

即ちこの治水と利水の二つのことと、林業の経済性とをならみあわせて、山をどのように持

つて行つたらよいかを決定するにある。

このためには、水及び雪に係る諸因子即ち降水量・流量の外に遮断・蒸発・蒸散及び滲透等の個々の因子に分解し、これらが地表状態の変化によつて如何に変化するかを知り、その精密度については室内で模型的に行うもの等について、限度があることは明らかであるが、更にこれらを総合して、以て前記原則を確立しようとするものである。

勿論前記の個々の因子の測定については、このような試験地のみでなく、独立して個々に行つてもよい訳であり、又このことは必要ではあるが、平行して行うことは水収支の關係を知り、出水の解析を行う上に有益であり又必要欠くべからざることである。

以上のような目的と方針を以て、この試験を進めて行く計画であつて、要約すれば、地表状態を変化せしめて、降水量及び流量の測定と共に、前記諸因子の測定を平行せしめて、その目的を達成しようとするものである。

このような目的のために、二区の試験林をとり、始めは両方共に有林地の状態に置き、両沢の個々の性質・差異を知り、後一方の沢（Ⅰ号沢）を標準区としてそのままに置き、他方の沢（Ⅱ号沢）の地表状態を変化せしめた（皆伐）、かくすることにより

- (1) 常に処理区を標準区と比較し得る。
- (2) 前記横の比較の外に、年代的に縦の比較も可能である。

このように両面より比較することが出来て、この種の試験としては普通の方法の一つではあるが、最も厳密な方法である。尙Ⅱ号沢は現在皆伐して後毎年刈払を行い、造林の地拵跡地のような状態になつてゐるが、有林地と比較出来る程度の資料を得た後は、更に地表状態を変える計画であるが、具体的なことは目下検討中である。

従つて、本試験に於ては、森林其他土地使用方法による

- (1) 長期流量
- (2) 出水・湧水
- (3) 冬期・春期の水（雪に影響される）
- (4) 前記諸因子
- (5) 其他（例えば降水量より流量の予想等）

の差を究明して、前記の目的を達せんとするものである。

本報告はこの中の（1）、（2）の一部について報告をなし、以下各項について追々研究を進めて行く予定である。

### 3. 試験地の概況

#### 3.1. 位置及び面積

山形県最上郡及位村大字釜淵字鶴下田沢地内にあり、北緯 38°56′・東経 140°15′、奥羽本線

釜淵駅の西北約 1km の地点にある。即ち西方は出羽山脈の烏海山系，東方は奥羽山脈の神室山系にはさまれ，秋田県境に源を發する最上川支流鮭川の上流塩根川が奥羽本線の釜淵駅附近を流過する際，右岸に合流する鶴下田沢の右岸にある二つの平行な小さな沢が試験林であつて，上流がⅠ号沢，下流がⅡ号沢である。尙途中までは眞室川営林署安楽城林道が通つている。即ち，一言にしていえば，最上盆地の略北端にあるといつてよい。(第1・2・3図参照)

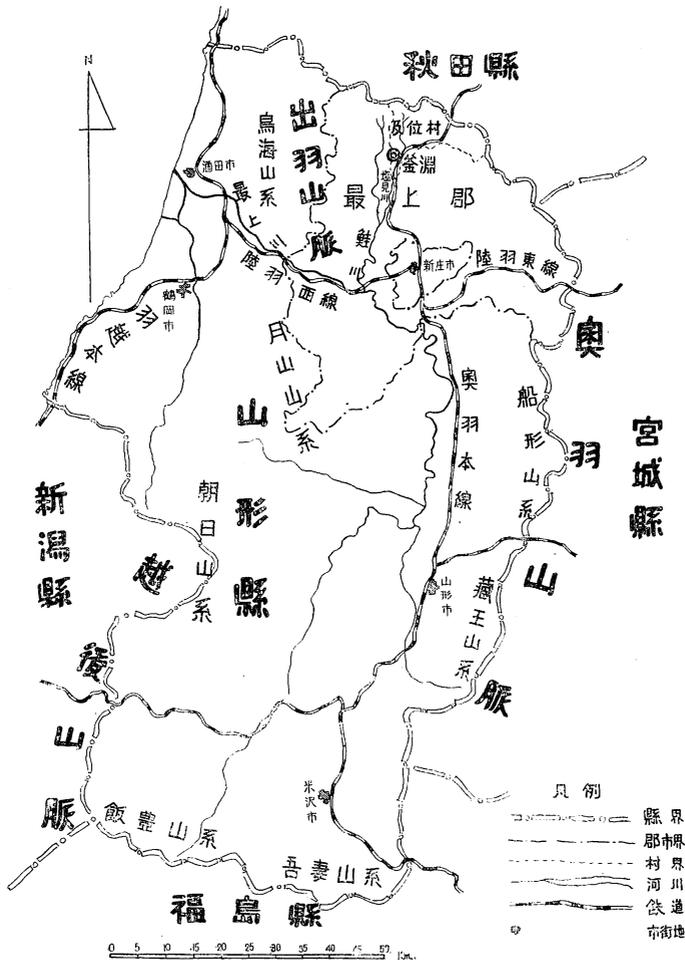
海拔高は試験林の最低点で約 160m，最高点はそれより，Ⅰ号沢で約 85m，Ⅱ号沢で約 80m，高所にある。

面積は昭和 24 年実測の結果，下のような値を得ている。

Ⅰ号沢 3,060 ha

Ⅱ号沢 2,482 ha

第 1 図 釜淵分場位置図



第 2 図 試験林位置図



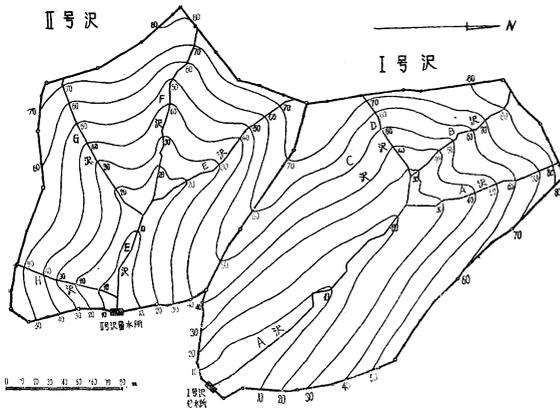
3.2. 地形

地形を平面図（第4図）について概観すれば、Ⅰ・Ⅱ号沢の両沢は極めて類似していることがわかる。ただ異なるのは、Ⅰ号沢がⅡ号沢に比して、やや細長い沢であることであつて、このことは縦断面図（第5図）について見ても、沢の出口の平坦部が若干長いこと、及び第1表の平均幅・形状係数がⅠ号沢に於て、小さいことでもわかる。

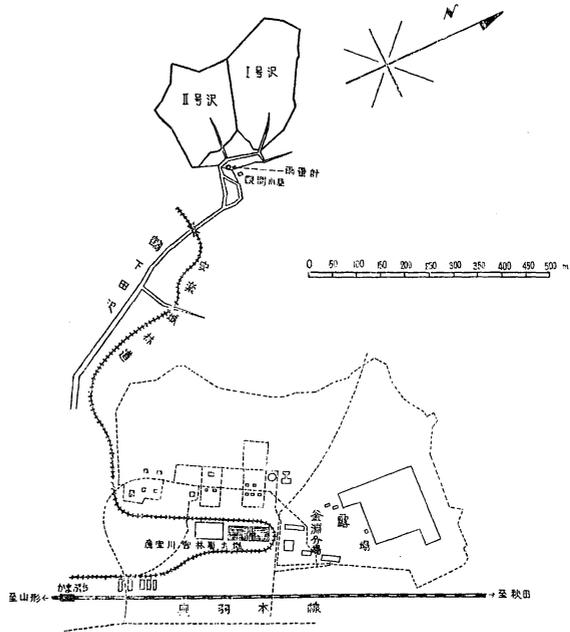
今、A: 集水面積、D: 等高線間の高度差、l: 等高線の長さ、S<sub>g</sub>: 平均勾配として

$$S_g = \frac{D \cdot \sum l}{A}$$

第4図 試験林平面図



第3図 釜淵分場及び試験林位置図



により計算した結果は第1表のよ  
うに、夫々 34°30'・35°50' であ  
つて、Ⅱ号沢が僅かに急である  
が、その差は極めて小さい。

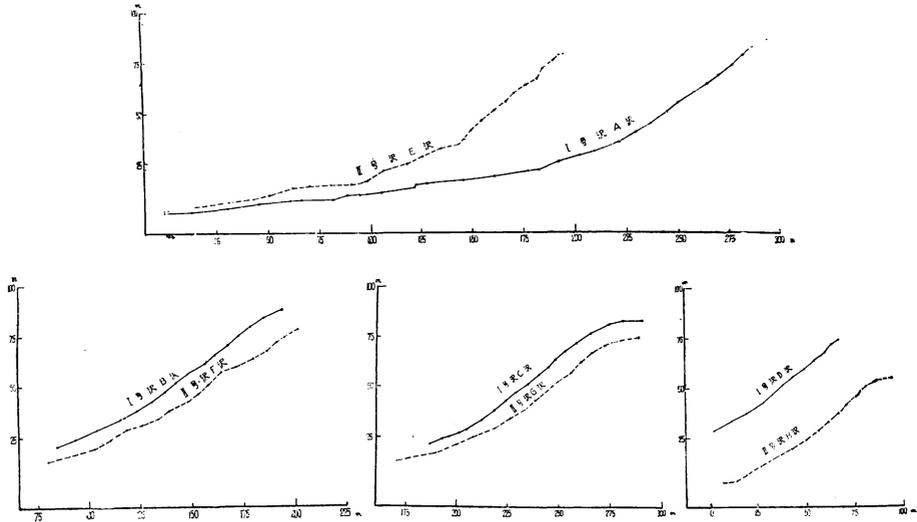
平均高度は、a<sub>i</sub>: 等高線間の帯  
状面積、h<sub>i</sub>・h<sub>i+1</sub>: a<sub>i</sub> の両側等高  
線の高度、A: 集水面積、E: 平  
均高度として、

$$E = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n \left( a_i \frac{h_i + h_{i+1}}{2} \right)$$

により計算すれば（Ⅰ号沢の量水  
堰堤の高さを基点とする、Ⅱ号沢のそのの高さは0.9m となる）第1表のように夫々Ⅰ・Ⅱ号  
について 41.7m, 43.6m となり、Ⅱ号沢が少し高いけれども、特に前記量水堰堤の高さの差  
を考慮に入れると、その差は更に小さくなる。

傾斜と方位の頻度については、寺田博士の方法〔15〕（〔15〕は末尾の引用文献〔15〕参照の  
意味、以下同様）にヒントを得て、縮尺 1/500 の平面図上に 1cm（実際の距離 5m）間隔に東  
西・南北に引いた平行直線の交互をとつて、傾斜はその点をはさむ二本の等高線間隔より、方  
位は前記二等高線に引いた法線の方角の平均を以て、その点の方位として、表示・図示したの

第5図 縦断面図

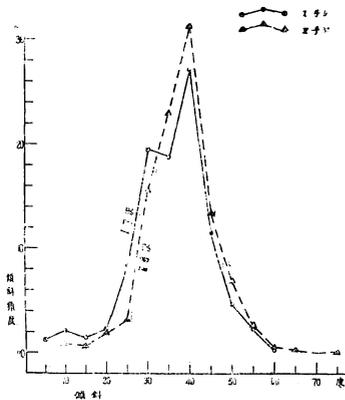


第1表 地形に関する各種因子

	I 号 沢	II 号 沢	備 考
面 積 (A)	3.060 ha	2.482 ha	
周 囲 (S)	706.2 m	645.1 m	
沢の長さ (L <sub>0</sub> )	290.0 m	201.5 m	
沢の平均幅 (A/L <sub>0</sub> )	106 m	123 m	
形状係数 (A/L <sub>0</sub> <sup>2</sup> )	0.364	0.611	
密 集 度 (2√πa/S)	0.878	0.866	
平均勾配 (Sg)	34°30'	35°50'	
平均高度 (E)	41.7 m	43.6 m	I 号沢の量水堰堤を基点とする。 II 号沢のそれは I 号沢より 0.9m 高い。
平均方位	E 21° S	E 5° S	

が第 2・3 表及び第 6・7 図である。

第6図 傾斜の頻度



傾斜の頻度曲線 (第6図) について見ると、大体に於て、II号沢の曲線が右にずれているのがわかり、第1表のII号沢の平均勾配の大きいことと符合し、又この頻度曲線の形は大略似たものと見てよいのではないかと考えられる。

方位については (第7図)、I号沢の NE, SW が著しく多いのは、平面図 (第4図) に見られるように、沢が出口に於て、略 SE の方向に走り、又この部分の兩岸の NE・SW の傾斜が多く、図の如くなつたものと考えられる。

第2表 傾斜の頻度

傾斜 (度)	I号沢 %	II号沢 %
5	1.3	—
10	2.2	0.9
15	1.5	0.7
20	2.3	1.9
25	8.4	3.2
30	19.5	15.0
35	18.8	23.0
40	27.2	31.3
45	11.5	13.4
50	4.7	6.9
55	2.3	2.7
60	0.3	0.6
65	—	0.3
70	—	—
75	—	0.1
計	100.0	100.0

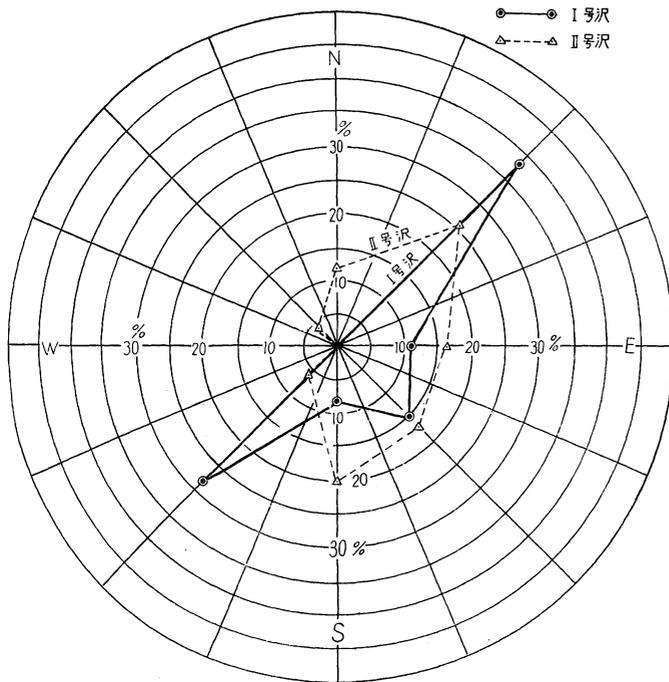
第3表 方位の頻度

方位	I号沢 %	II号沢 %
N	0.2	11.7
N W	—	4.0
W	—	—
S W	27.9	5.9
S	8.0	20.0
S E	14.9	16.7
E	10.8	16.2
N E	38.2	25.5
計	100.0	100.0

次に平均方位決定のため、山田氏の方法〔18〕にならい、第3表の各方位につき、その頻度（百分率）を以てその大きさとするベクトルと考えて、合成すると、第4表のようになる。この合成されたベクトルの大きさが、I号沢に於て

小さいのは、I号沢が細長く、反対向きの方  
向の点の組が、特に沢の入口に於て、多かつたためと思われる。尙この合成されたベクトルの方向を平均方位と仮定して、両沢の出口に近い直線部の方向と比較すると、I・II号沢に於て、夫々前者は  $E21^{\circ}S \cdot E5^{\circ}S$ 、後者は夫々  $E44^{\circ}S \cdot E16^{\circ}S$  となり、後者が何れも南に偏している、これは平均方位の

第7図 方位の頻度



算定に際し、両沢共右岸即ち NE 方向の点が多く、このため合成されたものが偏したものと考えられる。

第4表 方位について合成されたベクトル

	I 号 沢	II 号 沢	備 考
合成されたベクトルの大きさ	30.9	39.2	単位は頻度 (%) と同じ。
“ “ 方 向	E21°S	E5°S	

以上を要約すれば、I・II号沢は地形的には極めて類似して居り、I号沢が僅かに緩斜であり、長さにして幅が狭く、沢の出口に近い平坦部が長いことがわかる。平均方位に於てもその差は極めて小さい。

これらの地形的因子から見れば、II号沢が豪雨時に於ける出水を急にする因子を持つてはいるが、これが実際に現われるかどうかは、今後の結果の解析にまたなければならぬが、恐らくその程度は小さいものではないと思われる。

### 3.3. 地質及び土壤

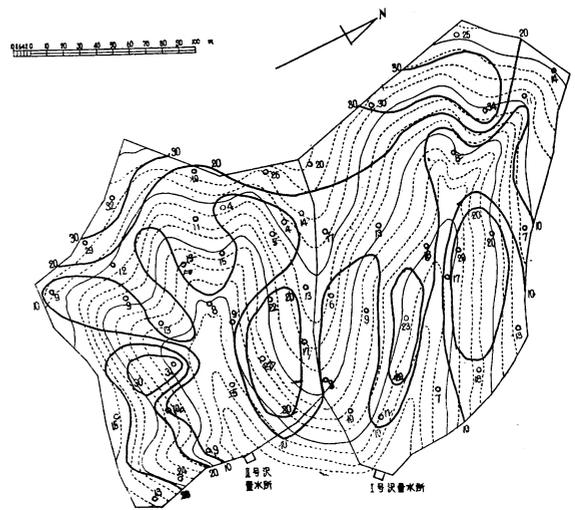
地質については、昭和19年9月、当時東北大学理学部学生小林福造氏の調査結果を次に略記する。

本地は主として、凝灰岩・頁岩質凝灰岩より成り、僅かに礫質凝灰岩・凝灰質頁岩を挟在している。

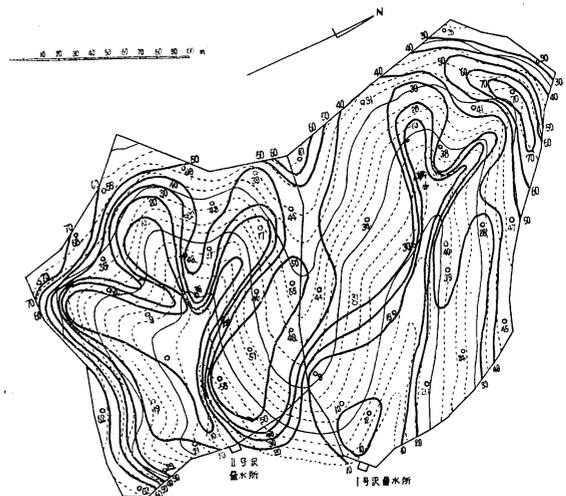
一般層向は N30°E であつて、西北に 10° 内外の緩傾斜をなし、単斜構造をしているようである。

凝灰岩は本地域の最下部を構成し、溪底に沿い、発達したものであつて、主として長石及び輝石の稜角ある多数の破片を含む。一般に風化甚しく、灰褐色を呈し、緑泥石化作用を受けて居り、一部に団状節理の発達を見る。量水小屋附近の溪底では、本岩は礫岩状を呈し、礫質凝灰岩となつた部分より、凝灰岩は灰色

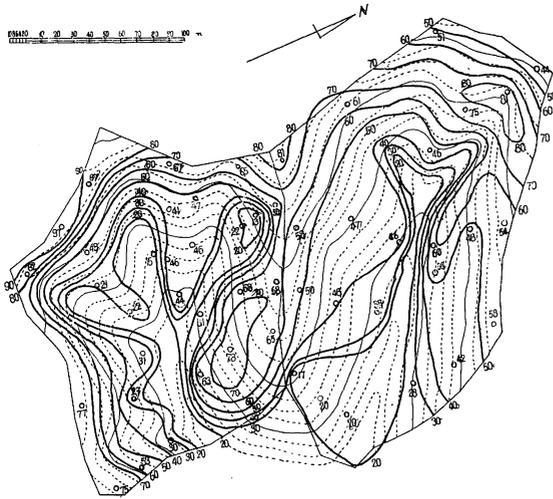
第8図(1) 土壤の等深線 (cm 単位)  
A 層



第8図(2) 土壤の等深線 (cm 単位)  
B 層



第8図(3) 土壌の等深線 (cm単位)  
A層+B層



構造をなし、試験地として適当な土地であると思われる。

土壌については、目下分析中であるから、ここでは四手井分場長調査の土壌の深さに関する結果のみを掲げることとする(第5表・第8図)。この第8図の(1), (2), (3)はI・II号沢について約50個所試堀をして、A層・B層の厚さを測定して、夫々A層・B層・この両者の和を図上にプロットして、等深線を画いたものであり、各厚さの部分の面積を百分率にとつたのが第5表であり、これを図にしたものが第9図である。一般に土壌は沢筋に浅く、峯筋に深いのは両沢に共通した現象である。深さは第5表に見るように、両沢については差は約5%であつて、その差は極めて小さい。水の出方に関する土壌の質と量という因子に於て、質の方はさて置いて(大きな差はないものと予想されるのであるが)、量の方は大きな差がないといえる。

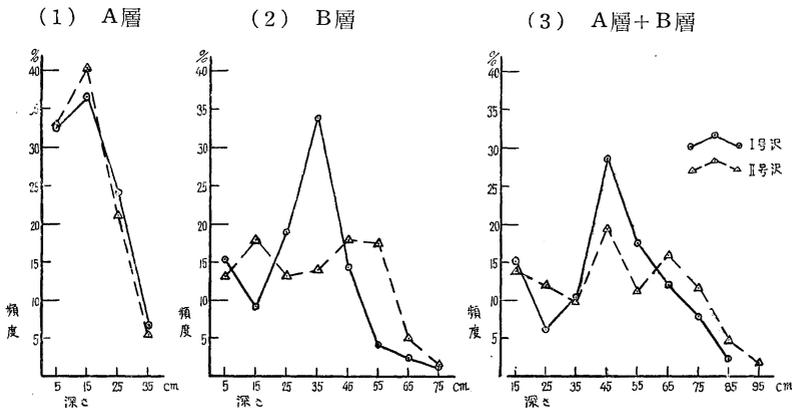
凝灰質物を以て固く凝固されている。

凝灰岩は上部になると、灰白色頁岩質凝灰岩に漸移し、山腹を構成している。本岩は一般に塊状をなしている。

最上部は灰色凝灰質頁岩より成り、山嶺を構成している。其の地質時代は資料不足のため不詳であるが、恐らく第三紀中新統の最上部に属するものと思われる。

概して、本地は凝灰質頁岩層より成り、地層の傾斜は緩であつて単斜

第9図 土壌の深さについての百分率



第5表 土壌の深さ

土 壤	深 さ cm	I 号 沢		体 積 m <sup>3</sup>	II 号 沢		体 積 m <sup>3</sup>
		面 積			面 積		
		ha	%	ha	%		
A 層	5	0.998	32.6	499.0	0.811	32.7	405.5
	15	1.120	36.6	1680.0	1.004	40.4	1506.0
	25	0.736	24.1	1840.0	0.530	21.3	1325.0
	35	0.206	6.7	721.0	0.137	5.5	479.5
	計	3.060		4740.0	2.482		3716.0
	平均深			15.5cm			15.0cm
B 層	5	0.471	15.4	235.5	0.326	13.1	163.0
	15	0.284	9.3	426.0	0.447	18.0	669.0
	25	0.581	19.0	1452.5	0.326	13.1	815.0
	35	1.036	33.9	3626.0	0.347	14.0	1214.5
	45	0.443	14.5	1993.5	0.444	17.9	1998.0
	55	0.130	4.2	715.0	0.434	17.5	2387.0
	65	0.078	2.5	507.0	0.124	5.0	806.0
	75	0.037	1.2	277.5	0.034	1.4	255.0
	計	3.060		9233.0	2.482		8307.5
平均深			30.2cm			33.5cm	
A層+B層	15	0.465	15.2	697.5	0.344	13.8	516.0
	25	0.187	6.1	467.5	0.295	11.9	737.5
	35	0.317	10.4	1109.5	0.242	9.8	847.0
	45	0.875	28.6	3937.5	0.481	19.4	2164.5
	55	0.539	17.6	2964.5	0.277	11.1	1523.5
	65	0.366	12.0	2379.0	0.394	15.9	2561.0
	75	0.241	7.8	1807.5	0.287	11.6	2152.5
	85	0.070	2.3	565.0	0.118	4.8	1003.0
	95	—	—	—	0.044	1.8	418.0
	計	3.060		13958.0	2.482		11923.0
平均深			45.6cm			48.0cm	

尚B層の下は硬い岩石となるので、測定はしなかつた。

#### 3.4. 土地使用の歴史

眞室川営林署釜淵掘当区平野技官其他の職員の御好意により判明した所によれば、ずつと古いことはわからないけれども、現在の古老の子供の頃には、この附近は広葉樹を主とした天然林であつた。部落の近くでは、家畜の飼料を取るため、火入れが行われ、燃材・用材の需要が増大するに従い、奥地の方に開発が進み、その伐採跡地に造林が行われたのは、この附近の国有林では明治42年が始めてであつた。開発といつても大面積皆伐ではなく、製炭者が入り、炭材に適当な林分を部分的に皆伐した。製炭者が入るようになった時期は不明である。広葉樹で当時一般に用材に用いられたのはケヤキの良質のもの程度であつたらしい。

従つて広葉樹で現在試験林内に残つているものは、大径木其他で当時利用するには不適當とされたものらしい。試験林内の伐採跡地に植栽が行われたのは明治 45 年で樹種はヒノキであつた。そして大正 2・3・5 年にスギ・ヒノキの補植（ほんの一部分ではあるがアカマツも補植された）が行われ、現在に至つている。広葉樹の天然林と、スギ・ヒノキの人工造林地が団状に存在しているのはこのためである。造林成績はヒノキが悪く、現在は却つて補植のスギが優勢であるのは次の節の植生の項で見ると明らかにである。

このような林相の状態昭和 14 年より試験が開始され、I 号沢は現在に至つているが、II 号沢は昭和 22 年 12 月に針葉樹を皆伐、冬中に搬出を完了、翌 23 年春より製炭者が入り、沢の中央に築窯、夏までに広葉樹を皆伐、製炭が完了した。この時を以て II 号沢は完全に無立木地になり、以後毎年 2 回刈払を行つているので、現在（昭和 26 年夏）は広葉樹の萌芽する程度も余程少くなつた。即ち現在 II 号沢は前に述べたように、造林の地拵跡地の状態と想像すれば大差はない。尙 II 号沢はこの昭和 22 年冬から昭和 23 年夏にかけての伐採により、地表には何等の表面的の損傷無く、植生の被覆のなくなつた部分が生じていない。

尙前に述べたように、アイオン台風の際に生じた I 号沢右岸の崩壊地は前記各方面の御好意により、眞室川営林署木川技官の御担当で昭和 25 年夏復旧が完了した。現在は流出土砂量の測定も開始しているが、この復旧跡地の土砂がまだ落付かないので、I 号沢の流出土砂量が不自然に多い。

### 3.5. 植 生

立木に関する資料として、現在あるのは昭和 17 年と 25 年の夏季に行つた立木調査の結果のみである。但し、25 年のものは II 号沢は皆伐後であるから I 号沢のみである、これを表にしたのが第 6 表であつて、昭和 17 年に於ける調査結果を比較すれば、ha 当りの蓄積については、針葉樹は殆んど等しく、広葉樹は I 号沢が II 号沢の略 4/3 倍あるけれども、その合計に

第 6 表 蓄 積

樹 種	流域全体についての蓄積 m <sup>3</sup>				単位面積当りの蓄積 m <sup>3</sup> /ha			
	昭 和 17 年		昭 和 25 年		昭 和 17 年		昭 和 25 年	
	I 号沢	II 号沢	I 号沢	II 号沢	I 号沢	II 号沢	I 号沢	II 号沢
スギ	64.5	44.5	152.5	—	21.1	17.9	49.8	—
ヒノキ	15.6	23.3	25.0	—	5.1	9.4	8.2	—
その他の針葉樹	2.8	1.9	3.6	—	0.9	0.8	1.2	—
針葉樹計	82.9	69.7	181.1	—	27.1	28.1	59.2	—
ナラ	32.1	25.3	66.1	—	10.5	10.2	21.6	—
ブナ	25.6	11.9	58.1	—	8.4	4.8	19.0	—
その他の広葉樹	78.5	45.1	151.6	—	25.6	18.2	49.5	—
広葉樹計	136.2	82.3	275.8	—	44.6	33.2	90.1	—
合計	219.1	152.0	456.9	—	71.7	61.3	149.3	—

ついで見れば、I号沢の蓄積は20%弱多いことになる。又I号沢については蓄積は昭和17~25年の8年間に2倍以上になつて居るが、生長錐により調査した結果は、スギの生長は極めて良好である。

第6表中の他の針葉樹とあるはアカマツ・ヒバであり、広葉樹は前記ナラ・ブナに次いで蓄積の多い順序に並べると、昭和25年のI号沢については、クリ・イタヤカエデ・トチ・ホホノキ・ケヤキ・コハウチワカエデ・カツラ・ハクウンボク・ヤマザクラ・オニグルミ・リヨウブ・サワグルミ・ゴンゼツ・マンサク・ウワミズザクラ・ミヅキ・ハゲシバリ・クワ・アカシデ・エゴノキ・ヤマボウシ・セン其他十数種ある。又草本としてはカンスゲ・シガシラ・リヨウメンシダ・ヤブコウジ・イワカガミ・ミヤマイラクサ其他である。

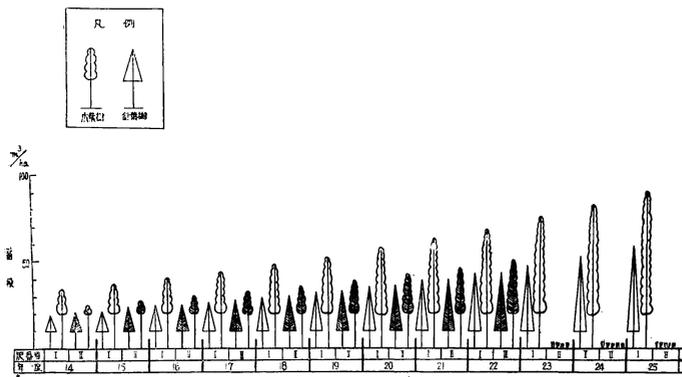
尙II号沢伐採後の状況は、前節3.4.記載のように毎年2回刈払を行つてゐるため、広葉樹の萌芽する程度が少なくなつて来ているが、現在II号沢に多いのはササ類・カンスゲ・シガシラ・ススキ・リヨウメンシダ・フキ其他である。

さてこれだけの資料で両沢の過去の植生の連続的の变化を知ることは困難であるが、簡単に蓄積の増加割合はその時の蓄積の大きさに比例する、即ち等比級数的に増加すると仮定し、I号沢の昭和17年と25年の数字を基礎としてその間を計算して、17年以前にも延長することにした。この計算に当つては、針葉樹は樹種毎に計算して合計し、広葉樹は一括して計算した。

II号沢については、昭和17年の数字しかないのでI号沢の生長割合をそのまま適用して前後に延長したのである。

このような等比級数的の生長を仮定することは危険ではあるが、大略の植生の变化を推定する目安程度にはなるであろう。又I号沢の生長割合をそのままII号沢に適用することは、やは

第10図 植生状態の变化



り危険ではあるが、前記のように、広葉樹の蓄積に若干の差があるだけで、樹種の分布、他の点に於て非常に類似してゐるので、前の仮定程大きな仮定ではあるまいと思われる。

このようにして推定した結果を図示したのが第

10図である。(林相については写真 No. 1, No. 2, No. 3 参照)。

### 3.6. 気 候

日本の多雪地帯の一つに位置し、年平均降水量約2500mm(暦年で昭和14~25年の12ヶ

年平均) 中約 38% は 12 月より翌年 3 月の期間に雪として降るのである。しかし流量に於て雪の影響が認められるのは 5 月の中旬頃までの約半年間である。冬季間の降水量は偏差が小さく、夏季のそれが大きいことは第 7 表 s/p の値を見れば直にわかることである。夏の豪雨を機構的、地理的に分類した山形県の調査結果〔7〕を引用したのが第 8・9 表である。

第 7 表 気象要素

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		備考
降 水 量	月平均 p	261.8	210.7	176.6	141.0	121.6	188.7	289.5	170.9	237.3	191.5	203.3	306.3	2499.3	昭和14 ~25年 12ヶ年 平均
	標準誤差 s	19.5	18.9	12.9	13.2	9.3	38.7	68.0	32.2	19.4	17.9	19.7	29.2	102.4	
	s/p	0.07	0.09	0.07	0.09	0.08	0.21	0.23	0.19	0.08	0.09	0.10	0.10	0.04	
	年量に対する百分率	10.5	8.4	7.1	5.9	4.9	7.6	11.6	6.8	9.5	7.7	8.1	12.3		
	無降雨	3.2	3.5	9.4	14.0	16.7	15.9	15.0	19.8	11.4	14.1	9.8	3.5	136.3	同上 年平均 類別日 数
	0.1~0.9	3.1	2.6	2.5	2.8	2.7	2.9	3.0	2.7	3.3	2.2	2.8	2.6	33.2	
	1.0~4.9	7.7	7.4	6.7	4.2	4.2	4.0	3.8	2.9	4.4	5.0	6.2	7.1	63.6	
	5.0~9.9	7.4	7.3	6.2	3.7	2.6	2.1	2.5	1.4	2.8	3.8	3.1	7.0	49.9	
	10.0~29.9	8.3	6.6	5.3	4.7	4.2	3.5	3.6	2.7	5.8	4.6	6.7	9.7	65.7	
	30.0~49.9	1.0	0.7	0.7	0.3	0.4	0.7	2.0	0.3	1.2	1.1	1.2	0.9	10.5	
	50.0~99.9	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.7	0.6	0.7	0.9	0.2		0.2	3.9	
	100.0以上						0.2	0.5	0.3	0.1				1.1	
	計	30.9	28.2	30.9	29.8	30.9	30.0	31.0	30.8	29.9	31.0	29.8	31.0	364.2	
	日量最多平均	34.7	31.8	30.5	29.8	33.2	57.7	84.7	71.2	56.2	41.7	34.1	44.1	84.7	
日量最多	51.0	70.0	52.7	50.0	96.2	142.3	200.2	158.8	118.8	86.9	45.6	91.7	200.2		
気温 °C	月平均	-3.0	-2.3	1.1	6.1	13.3	17.6	22.1	23.4	18.2	12.0	4.7	0.4	9.6	昭和13~16 年、4ヶ年平均、1日3回観測
	最高	9.9	9.4	15.9	29.3	29.5	32.2	34.8	35.8	32.1	26.7	21.6	15.9	35.8	昭和13 ~19、 22~24 年の10 ヶ年間
	最低	-17.1	-18.7	-12.5	-8.2	-2.0	3.1	7.2	9.8	3.3	-3.1	-5.6	-16.1	-18.7	
湿度 %	月平均	84.6	80.8	78.1	74.1	73.1	79.6	85.0	80.8	84.5	84.0	81.9	84.8	80.9	昭和13~ 16年、4 ヶ年平均
蒸発量 mm	露天日量均	0.9	1.1	2.0	3.1	4.1	4.7	4.7	5.4	3.4	2.1	1.1	0.8	2.8	昭和13 ~19年 7ヶ年 平均
	日陰日量均	0.4	0.4	0.6	1.0	1.5	1.5	1.3	1.6	1.1	0.7	0.5	0.4	0.9	

積雪は普通 11 月下旬の雪が根雪となり、4 月中旬に雪が消える。積雪の最深の平均は 179 cm、その範囲は 94~261cm (昭和 14~26 年間) である。

平均気温は昭和 13 年より 16 年まで 4 ヶ年平均で、1 日 3 回観測 (7・14・21 時) で 9.6°C である。

第8表 自大正5年至昭和23年 山形県豪雨の機構的分類  
(原因不明のもの 16 回を除く)

機 構	6	7	8	9	10	計
(a) 台風或は台風前線性	—	1	6	8	2	17
(b) 北太平洋高気圧縁面前線性	6	30	23	3	1	63
(c) 低 気 圧 性	2	8	14	2	1	27
計	8	39	43	13	4	107

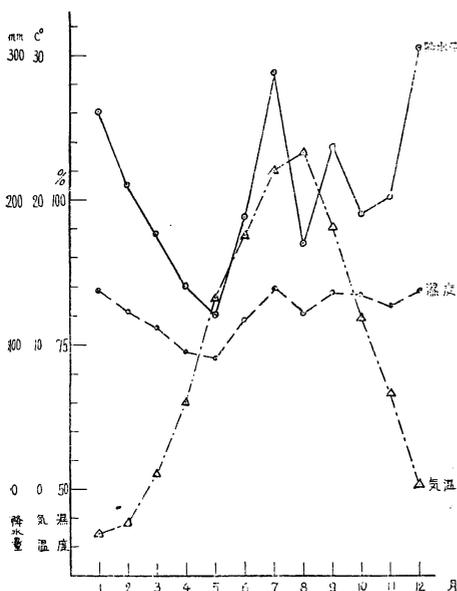
(日量 100mm 以上)

第9表 山形県豪雨の季節的・地理的・機構的分類

雨 域	6			7			8			9			10			計		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
奥羽山脈型	—	—	—	1	6	—	1	—	2	6	—	—	—	—	—	8	6	2
鳥海山脈型	—	2	—	—	13	3	2	13	4	—	1	1	1	1	1	3	30	9
越後山脈型	—	3	—	—	6	3	2	6	5	—	1	—	1	—	—	3	16	8
荘内山脈型	—	—	—	—	3	1	—	2	1	—	—	1	—	—	—	—	5	3
雷雨性散発型	—	1	2	—	2	1	1	2	2	2	1	—	—	—	—	3	6	5
総 計	—	6	2	1	30	8	6	23	14	8	3	2	2	1	1	17	63	27
	8			39			43			13			4			107		

- 註 1. 神室型を鳥海型に入れた。(第1図参照)  
2. 機構の a, b, c は前表の a, b, c に対応する。

第11図 月平均降水量・気温・湿上



平均湿度は 80.9% で最低は 5月の 73.1%、風向の頻度の最も大きいのは S・SW・E である。

上記の気象要素を表・図にしたのが第7表及び第 11・12 図である。

#### 4. 実験設備及び方法

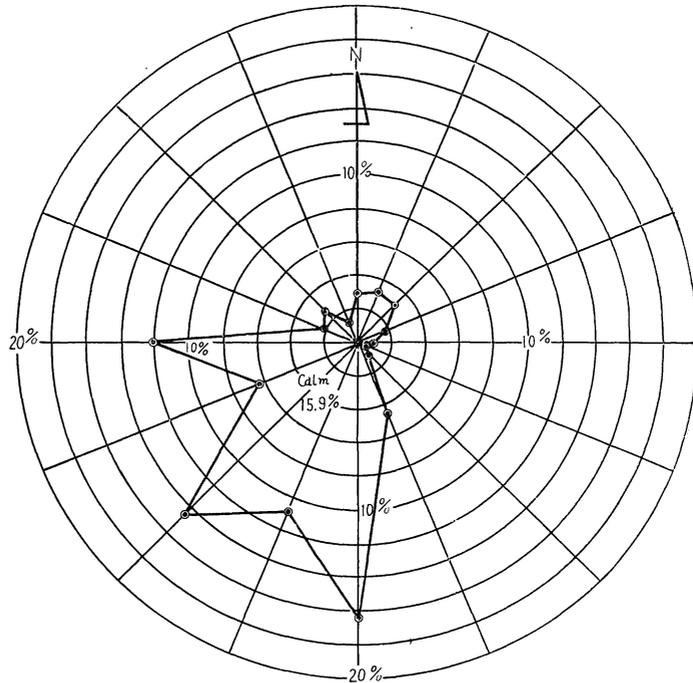
##### 4.1. 気象観測

第7表の気象因子の測定結果は降水量以外はすべて釜淵分場の露場で得た結果である。分場の露場は第3図に見られるように試験林と直線距離約 900m の東方にある。

降水量の観測位置はやはり第3図に見られるように、鶴下田沢をへだててⅡ号沢の出口

の対岸の平地の観測小屋の近くである。ここには現在自記雨量計と普通雨量計とが置いてある。自記雨量計で夏だけ、普通雨量計で年中観測を行つた、しかし冬はこれの漏斗の部分だけ抜いたようなものを用いている。過去にはヘルマンの雪量計を使つたこともあつたけれども、現在は使っていない。この降水量が欠測の場合には前記の露場の資料を用いている。

第12図 風向の頻度図



尙当初に於ては林地雨量をも観測の予定であつたけれども、実行するに至らなかつた。ただ I・II号の分水嶺の最高点に自記雨量計を置いて観測したことがあり、この結果については 4.3. で述べる。

それから降水量ではないが積雪調査のために両沢の流域内に積雪計を設けて昭和 22 年より積雪深及び採雪円筒による積雪の密度の観測を実行している。

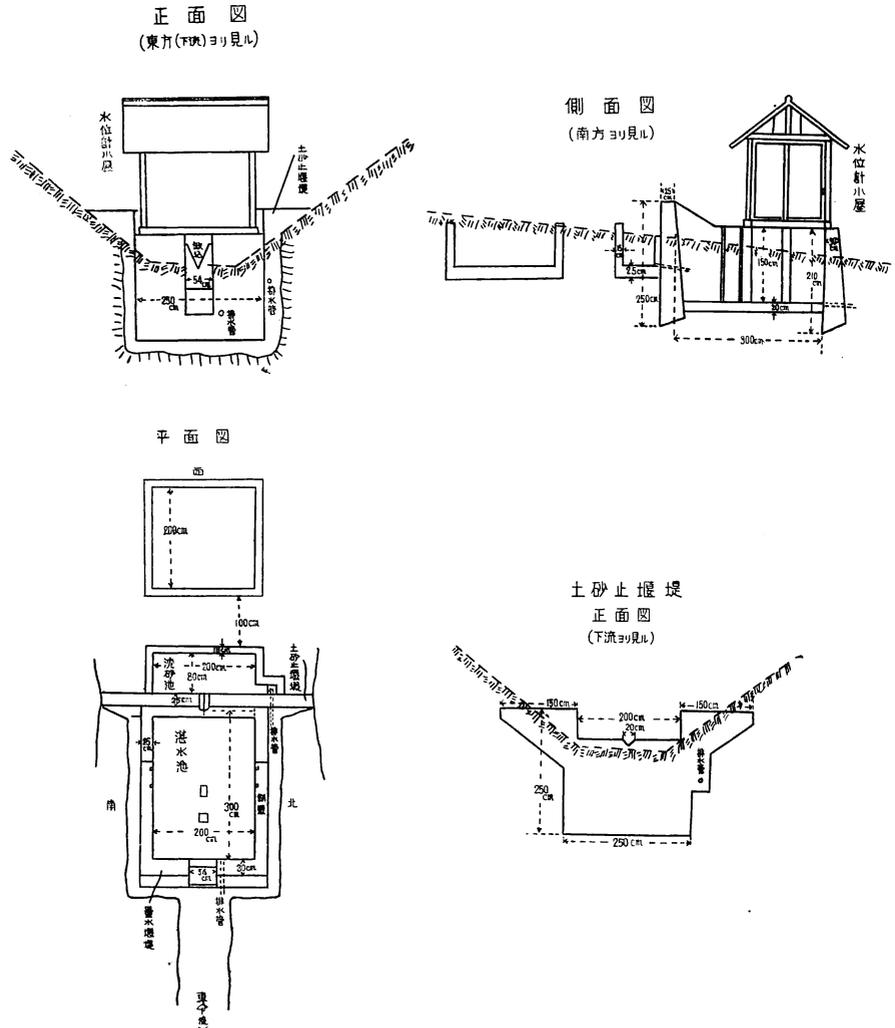
近い将来に於て林地雨量其他の測定を開始する計画を持つている。

#### 4.2. 流量測定及び計算

流量測定は量水堰堤を両方の沢に設け、ここに角度 45° の V 字型鋭縁堰を取り付け、この水位を自記水位計により自記させてこれから流量を計算している。尙自記水位計の水位の補正のため、副尺で 1/10mm まで読める釣形水位計 Hook gage が据付けてある。自記水位計は縦形のもので浮子と自記ペンが直結しているから、自記紙に画かれる水位曲線は原寸である。そして自記紙は 35cm まで読めるようになっていいるから、豪雨による出水時に水位が 35cm を越す場合にはペンの位置を下げて自記紙から外れないようにしなければならない。

前記の鋭縁堰の上流には 2×1.5×1m と 2×0.8×0.8m の沈砂池（流出土砂測定のためと土砂が湛水池に入り込まないために設けてある）と板で仕切られた湛水池の波を静める装置があり、この湛水池で水位を測定すると共にこれより堰を越して溪水が流れるのである。この鋭

第13図 量水設備 (単位 cm)



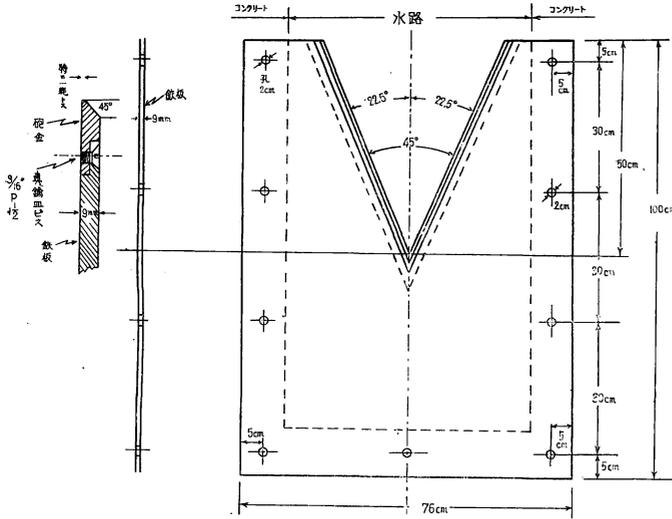
縁堰の構造は鉄板の先に砲金 (共に厚さ 9mm) の板を取付け、この尖端を 45° に切り、尖端の部分は 1mm だけ平に切つてある。この堰の角度が 45° であることは前に記した通りである。尙これらの詳細については第 13・14 図及び写真 No. 4・5 を参照されたい。

流量実験式決定のために流量実測の必要がある、このため II 号沢の堰の直下流に大きさ約 1×1×1,75m の量水槽を設け、水位と流量の関係を測定した、そしてこの結果より次に出て来る流量実験式を決定し、これを以て両沢の流量実験式とした。

次に流量実験式決定の経過を述べる、V 字型鋭縁堰の理論的流量は接近流速を無視すれば、次の形を得ることは明らかである。

$$Q = \frac{8}{15} \tan \alpha \cdot \sqrt{2g} H^{5/2}$$

第14図 欠込詳細図



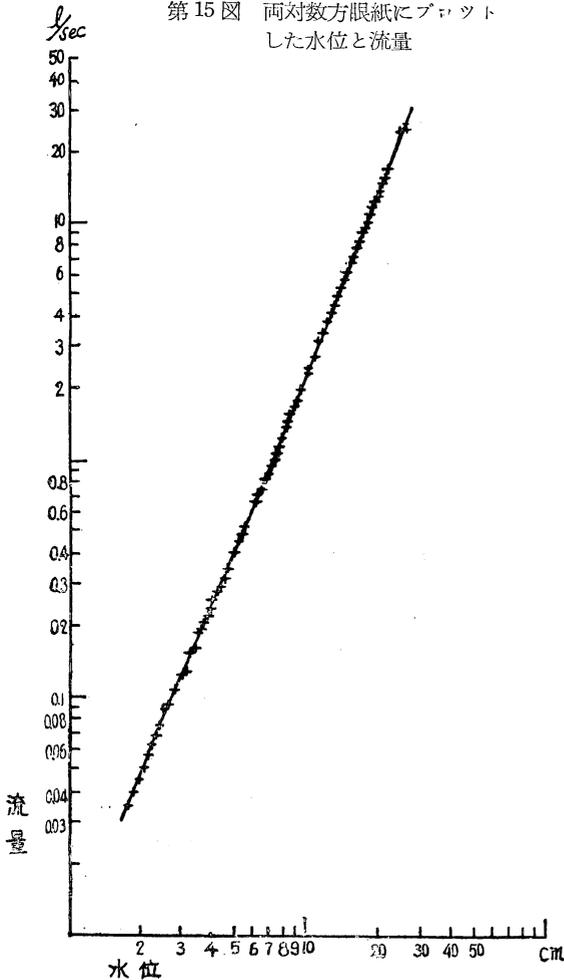
ここに  $\alpha$ : 堰の角の  
1/2,  $g$ : 重力の加速  
度,  $H$ : 水位,  $Q$ : 流  
量である。従つて一つ  
の堰に於ては

$$Q = cH^{5/2}$$

( $c$  は常数)

としてよい。このよ  
うな形をとるならば、前  
記の  $H$  と  $Q$  との測定結  
果を両対数方眼紙にプ  
ロットすれば直線とな  
る筈である。実際にプ

第15図 両対数方眼紙にプロット  
した水位と流量



ロットしたのが第15図であつて略  
直線となる。しかし更によく見れば  
 $H \approx 6$  cm の近くで折れているのが  
認められる。従つて  $H \geq 6$  cm に  
より二つに分けて、両対数方眼紙上  
で夫々直線と見做すと実験式の形は  
V字型鋭縁堰の流量実験式の普通の  
形の一つである次の形を得る。

$$Q = cHc' \quad (c, c' \text{ は常数})$$

この  $c, c'$  を最小二乗法により、  
 $H$  と  $Q$  の測定値の組より決定する  
と、(単位は  $H$ : cm,  $Q$ : l/sec)

$H \leq 6$  cm の場合

$$Q = 9.254 \times 10^{-3} H^{2.293} \quad \text{実験範囲}$$

$5.7 > H > 1.7$  cm 実験回数は 389 回

$H > 6$  cm の場合

$$Q = 6.910 \times 10^{-3} H^{2.440} \quad \text{実験範囲}$$

$28.4 \text{ cm} > H > 6.4 \text{ cm}$ , 実験回数は

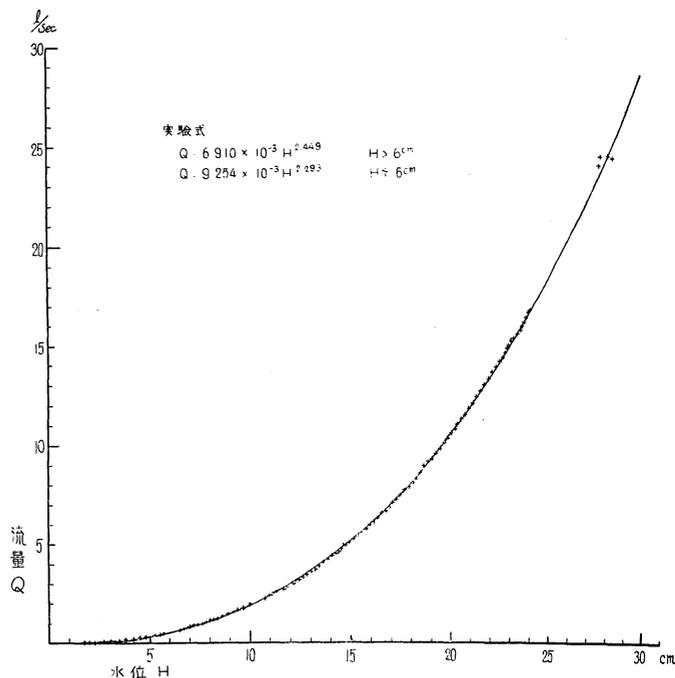
1206 回

尙測定した流量の範囲は 0.035 ~

24 l/sec であり、総計 1595 回の測定は主として、昭和 14・15 両年の 4~6 月、一部は昭和 16 年に行つたのである。

この流量式の表わす水位  
流量曲線と測定したHとQ  
との値をプロットしたのが  
第 16 図であり、又その適  
合する程度を表にしたのが  
第 10 表である。この表で  
計算した見掛けの誤差（実  
測値—実験式による計算  
値）を眞の誤差と仮定すれ  
ば、実験範囲内に於ける限  
りは（1.7cm~28.4cm）こ  
の誤差はこの試験目的のた  
めには十分に小さいといつ  
てよいであろう。しかし問  
題は測定方法の精密度と実  
験範囲外、特に出水による

第 16 図 水位流量曲線と実測値



高水位時の精密度及び溺水による低水位時のそれにあり、低水位時の実験式については種々あるようであるが、ここでは触れないことにする。

第 10 表 流量実験式の適合度

	(n)	実測値—計算値の符号			全体について
		+	-	0	
回 数	(n)	68	84	54	$\sum n = 206$
実測値—計算値 / 計算値 × 100	(e)	80.6	73.1		$\sum e = 153.7$
見掛けの平均の誤差率 %	(e/n)	1.2	0.9		$\sum  e  / n = 0.75$
$e^2$		227.2	102.24		$\sum e^2 = 329.44$
見掛けの誤差率の標準偏差 $\sqrt{\sum e^2 / n - 1}$		1.8	1.1		$\sqrt{\sum e^2 / n - 1} = 1.3\%$

尙実験式が 2 本になつている理論的根拠としては低水位時の附着水脈のためであると思われる。

このようにして得られた流量実験式と自記紙に画かれた水位の曲線を基礎として流量を計算したのである。即ちこの曲線を略直線と見做される小部分に分ち、その始めと終りの水位の算術平均を以てその時間中の水位として流量を計算した。実際には水位の動きの少い時は 4 時間毎に区切り、最短は豪雨時の出水の場合に 5 分程度にまでその間隔を縮めた。これ以上縮める

ことは、時間の軸の間隔が小さくなり過ぎて余り意味がないようである。

### 4.3. 流出率の精密度

前記のような測定結果を用いて、流出率を算出したのである。しかしその精密度の検討には、推定出来ない誤差因子が多く、その程度をはつきり推定することは困難であり、単に大略の推定の助けになる程度であるといつてよいであろう。

以下誤差の原因になる因子を順に挙げて行くことにする。

#### (1) 集水地面積

これについては (a) 曲線により囲まれた区域を多角形で囲むことによるもの、(b) 測量に基くもの、の二つが考えられるが (a) の方はその選点に慎重な注意を払つたものであり、従つて正負相殺すると考えてよいであろう。(b) は閉鎖誤差 / 周囲長 を長さの誤差率と仮定すれば、この値は I 号沢で約 3 / 2000, II 号沢で約 1 / 400 である。従つて面積の誤差率はこの 2 倍、即ち夫々 3 / 1000 · 1 / 200, 即ち 0.3% · 0.5% となる。これは誤差の大きさとしてはそれ程大きなものではないが、定誤差として一方の方向にだけ存在するものであることに注意を要する。

#### (2) 降水量

観測には規格の雨量計を用いているから一応問題はない訳である。しかし (a) 場所、(b) 雨量計 その物の精密度、の問題はある訳であつて、(b) はこの報告には一応問題にならないが消失量其他水収支を考える場合に重要である。

(a) については結論を考える資料ではないが、参考のために 両沢の分水嶺の最高点で降水量を測定した結果 (これを山頂降水量とする) と現在の位置での降水量 (これを山麓降水量とする) を比較対照したのが第 11 表である (何れも月降水量)、この 17 例中、1 例の外は全部山麓が大きい。偏差も夏季のことであり非常に大きく、仮定にも大きな疑問があるが、一応 t-test をすると 0.1% の危険率で有意の差が認められる。合計の比をとると  $2347.0/2538.3=0.92$  となるが、これを以て試験林内の降水量が測定値よりも小さいと断定することは危険である。この両地点の海拔高の差は 100m 以下であつて、所謂山地雨量による影響を考える必要は認められない。結局山頂の雨

第 11 表 山頂山麓月降水量の比較

月 (昭和年月)	山 頂	山 麓	
	mm	mm	
15	5	73.5	88.2
	6	29.2	35.9
16	6	207.4	232.0
	7	285.7	290.4
	8	91.4	94.3
	9	170.2	189.5
17	10	106.2	135.0
	6	94.0	108.3
	7	134.7	143.9
	8	32.3	34.8
18	9	151.2	158.4
	10	95.4	104.1
	6	141.4	146.1
	7	8.4	7.0
計	8	405.1	417.9
	9	215.2	239.4
	10	105.7	113.1
計	2347.0	2538.3	

註：山頂の 3~4 日程度の欠測は、山麓の資料で補つてこの 17 例を得た。

量計が略南北に走る分水嶺のその附近での最高点にあり、測定値の基礎になる雨量計は山麓の鶴下田沢のその附近での低地にあるので(局部的には小高くなつてゐる)、風速に差のあることが予想され、これが原因による差と考へた方が合理的なのではあるまいか。しかしこの二個の雨量計による降水量観測時の風速についての資料は皆無なので、何れとも断定することは危険であつて、単に前記のことは推定以上を出ないことはいうまでもない。

次に (b) については [5] にもあるように降水量の測定誤差の大部分は小さい値を与える方向に出ることは略間違いないと見てよいようであるが、その程度が無視出来る程度であるかどうかは別問題である。比較的風の弱い当地であつても特に台風等の豪雨による際の風の影響、雨よりも風に敏感な雪、即ち特に吹雪の場合、繰返される小さな雨の特に粗度の大きな雨量計の雨滴の附着による累積される誤差等は降水量を實際より小さい値として与える有力な原因になり得るものと信ずる。

以上を要約すれば現在の位置での測定には地形の影響を別にすれば所謂山地雨量の影響は考へなくともよいと思はれる、又降水量の測定の絶対値を問題にすれば、ここに限つた現象とは思はれないが、實際より小さい値を与えることは間違いないようである。

### (3) 流量実験式

実験式決定の際の誤差としては、(a) 時間測定、(b) 水の体積測定のため量水槽附属のガラス管の水位の読取り、(c) 水位読取り、(d) 測定中の水位の変化によるもの、(e) 量水槽中に観測開始時に存在する水脈によるもの等がある。

(a) は最短時間は  $H = 28.4 \text{ cm}$  の時の 14 秒、誤差 0.05 秒として、誤差は  $0.05/14 = 1/280 = 0.4\%$  となり、これがこの原因による最大の誤差である。(b) については (a) に関連しているとも考へられるが、これも水の高さ 30 cm に対して誤差 0.5 mm として、誤差は  $0.5/300 = 1/600 = 0.17\%$  となる。(c) は眞の水位  $H$  に対して誤差を  $\Delta H$  とする、簡単のために流量実験式を  $Q = cH^{5/2}$  ( $c$  は常数) とすると誤差は  $\Delta H$  の高次の項を省略して

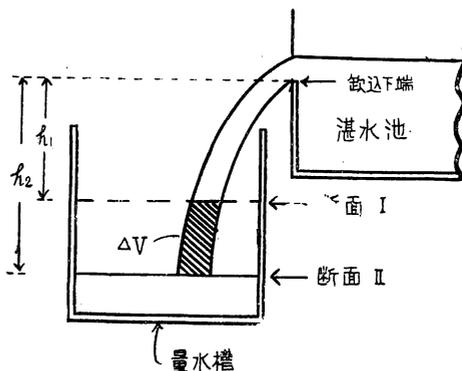
$$c(H + \Delta H)^{5/2} - cH^{5/2} / cH^{5/2} = 5/2 \cdot \Delta H / H \times 100\%$$

となり  $\Delta H$  を 0.05 mm として、 $H = 5 \text{ cm}$ 、 $0.5 \text{ cm}$  に対して誤差は夫々  $0.25\% \cdot 2.5\%$  となり、 $H$  の小さい時に大きい。従つてこれは年流出率の時は大きな問題にはならないけれども、減水の問題を取上げる時には問題になり得る。(d) は  $H = 20 \text{ cm}$  に対して精々 0.5 mm 程度の変化で次の流量計算に於て類似の誤差の計算が出て来るが、これは小さいからここでは無視して差支えない。(e) は第 17 図に見られるように、鉛直初速度のない水脈が断面 I から断面 II に達するに要する時間は  $\sqrt{2h_2/g} - \sqrt{2h_1/g}$  ( $h_1$ 、 $h_2$  は夫々堰の下端から断面 I・II までの鉛直距離)、この時の流量を  $Q$  とすれば断面 I・II の間にある水脈の体積  $\Delta V = (\sqrt{2h_2/g} - \sqrt{2h_1/g}) \cdot Q$  となる。今  $h_2 = 1 \text{ m}$ 、 $h_1 = 0.7 \text{ m}$ 、 $Q = 24 \text{ l / sec}$  (堰の水位が実験範囲の最高 28.4 cm の時) とすると  $\Delta V = 1.8 \text{ l}$  となる、又この時の測定値として得る水の体積  $V$  は ( $I$

— II 断面の高さ) × (量水槽の平面積) = 340l となる。従つて誤差の最大は  $\Delta V/V = 1.8/340 = 0.5\%$  となる。

上記の誤差の中 (a), (b), (c) は多数回の測定により、正負が相殺される性質のものであり、しかもその大きさから見て問題にはしなくともよいであろうが、(e) は測定流量を常に大きな値として与えるものであり、その点は考慮しなければならない。又 (a), (e) は水位が高くなれば即ち流量が大きくなれば誤差の率は大きくなり、(c) はその反対、(b) は水位に一応無関係であることはいうまでもない。

第17図 水脈による誤差



尙問題の (e) は第16図で見られるように水位 20cm 以上の点は大体実測した H と Q の点が水位流量曲線より上にあるので計算した結果も同様でその程度は似たものである、即ち 20cm 以上の前記誤差が算術平均で 0.3% なのは (e) の誤差は 20~28.4cm で 0.2~0.5% に変化する。この二つのことが相殺されるような方向に影響することは確かである。

#### (4) 流量計算

これには (a) 流量実験式の実験範囲外の水位に於ける流量計算、(b) 自記紙の水位の曲線と見做して区切る際の誤差、(c) 自記時計の若干の狂いによるもの、(d) 区切つた部分の初めと終りの水位の差による誤差等が考えられる。

この中 (a) は前の (3) で述べたように実験式の測定範囲 (1.7~28.4cm) 内では若干の誤差があつても、これが相殺されるような方向に働き、この範囲内では適合度は相当高いといえるのであるが、 $H > 28.4\text{cm}$  又は  $1.7\text{cm} > H$  の時のことについては何等の資料はない、しかし実験範囲内の傾向から考えて適合度は急激に低下するとも思われないのであるが、この点については何ともいえない。しかしこのようなことは年間を通じて見れば少いので年流出率に影響する程度は少いであろうが、出水・濁水を問題にする時には若干の誤差の伴うことと思わなければならない。(b) としては減水期の大部分が上方に凹の曲線をなしているので年間の大部分は上方に凹の曲線であるが、この凹凸は流量が水位の略 5/2 乗に比例することからして、前に述べたような流量計算法をとれば誤差を少なくする方向に働くことは明らかである。(c) についての時計の狂いは普通 1 日につき数分程度のものはあるが、問題になる程のことはないと思われる。(d) についての誤差は増水期の直線部分をとると後の水位が前の水位の数倍になることがあり、又減水初期にこれと程度は異なるが似たようなことがあり、これらは年間を通じては大したものではないが、一応その程度を検討して見ることにする。今初めの水位  $H_1$  が直線

的に変化して T 時間後に  $H_2$  になつたとすれば、この時間内の流量  $R_a$  は流量式を  $Q=cH^{5/2}$  と仮定すると

$$R_a = \int_0^T c \left\{ H_1 + \frac{(H_2 - H_1)}{T} t \right\}^{5/2} dt = c \frac{2}{7} \frac{T}{H_2 - H_1} (H_2^{7/2} - H_1^{7/2})$$

平均水位より流量  $R_m$  を計算すれば

$$R_m = c \left( \frac{H_2 + H_1}{2} \right)^{5/2} \cdot T$$

$H_2 = nH_1$  とすれば

$$\frac{R_m - R_a}{R_a} = \left\{ \frac{7}{8\sqrt{2}} (n+1)^{5/2} (n-1) - (n^{7/2} - 1) \right\} / n^{7/2} - 1$$

この絶対値を 1/1000 に止めようとすれば  $n=1.1$ , 1/100 程度でよければ略  $n=1.3$  までよいことになる。実際の計算目標はこの  $n=1.1$  以内にとることに置いた。

この流量計算についての記述を要約すれば不確定の実験範囲外にこの流量実験式を適用することを除けば取立てて問題にすることはない。

以上(1)~(4)と誤差の原因と考えられることについて考察を進めたが、始めの方針としては推定出来る個々のものについてはパーセント単位で小数点以下に入るようにしたものである。しかしこれらのものが一方向に累積すれば小数点以上の桁に出て来ることはあり得る。しかし問題はむしろ現状に於て推定出来ないもの、例えば降水量、増水・濁水の問題を取上げる時の実験範囲外への流量実験式の適用等と増水期の前記のように水位が 35cm を越えた時の自記ペンが自記紙から外れること其他釣形水位計の狂い等にあるといつてよく、最後の観測器械の狂いには注意を払う必要があることが前記の検討から知れることである。

## 5. 観測成績及び考察

前記のようにして得た成績について考察を進めて行くのであるが、本報告に於ける方針としては林木の生長、気象要素の変化等細かい変動は当然あるとしても、ここでは I 号沢を標準区として、II 号沢を処理区として大きく伐採の前後に分類し、伐採による影響を年流量・月流量其他につき検討して行くことにする。そして前記の細かい変動は一応考慮の外に置くことにする。

### 5.1. 年流量について

年降水量・年流量・年流出率を表にしたのが第 12 表である。水年は前年の 12 月 1 日よりその年の 11 月末までとした。この水年の取り方については、雪の影響を考慮に入れると、10 月末で区切るのが合理的なのであるが、取まとめの際、雪の影響のある半年(12月より翌年5月)とない半年(6月より11月)に分けると、夏の半年の終りとその年の水年の終りと一致して便利なが多いので、若干の無理はあつてもこのようにしたのである。この半年の分類

第12表 年流量, 年流出率  
Table 12. Annual runoff, Annual runoff-ratio.

水 年 Water year	年降水量 mm Annual precipitation	年 流 量 mm Annual runoff		年 流 出 率 % Annual runoff-ratio	
		I 号 沢 Watershed No. I	II 号 沢 Watershed No. II	I 号 沢 Watershed No. I	II 号 沢 Watershed No. II
昭和 15 年 (1940)	2677.2	1920.08	2081.91	72	78
16 (1941)	2185.3	1452.45	1590.15	66	73
17 (1942)	2115.8	1302.07	1429.82	62	68
18 (1943)	2569.3	1901.16	2029.63	74	79
19 (1944)	2498.8	2056.40	2006.02	82	80
20 (1945)	2694.8	2257.10	2219.36	84	82
21 (1946)	2826.4	2346.16	2272.46	83	80
22 (1947)	3361.5	2898.45	2968.88	86	88
平 均 Average	2616.1	2016.73	2074.78	76	79
昭和 23 年 (1948)	2515.9	1901.96	2061.19	76	82
24 (1949)	2171.7	1656.62	1839.71	76	85
25 (1950)	2148.8	1595.91	1736.67	74	81
平 均 Average	2278.8	1718.16	1879.19	75	83

1. 水年は前年の 11 月末よりその年の 11 月末までとした。
2. 年流量には若干の異動を生ずるかも知れない。
3. 昭和 22 年までが両方有林地の状態、昭和 23 年以後は I 号沢はそのまま、II 号沢は皆伐して、後毎年刈払を実行している。

第 13 表  
月降水量と月流量の相関係数  
(昭和 14 年~22 年)

月	流 域	
	I 号 沢	II 号 沢
1	-0.019	+0.021
2	-0.520	-0.351
3	-0.150	-0.167
4	+0.370	+0.311
5	+0.612	+0.602
6	+0.989	+0.977
7	+0.988	+0.989
8	+0.942	+0.933
9	+0.960	+0.944
10	+0.980	+0.968
11	+0.842	+0.874
12	-0.492	-0.544

については、5 月と 11 月は何れも年により雪の影響を受けているけれども、月降水量と月流量の間の月別の相関係数を表にした第 13 表を見ても明らかなやうに 11 月の方が高い。即ち、相関係数は両沢共 5 月が 90% で有意なのに対して、11 月は 99% で有意である。冬季と春季の相関係数の小さいのは主として雪によると見てよいから、流量に対する雪の影響の有無により、半年に分けることを是認すれば、上記のようにするのが最も合理的である。

さてこの第 12 表の数字を見ると試験開始直後の両沢の流出率は伐採前の後半期のものに比較して小さく且その差は大きい。昭和 19~21 水年の 3 ケ年は前と逆に I 号沢が大きくなっているが、その程度は小さい。22 年

に至つてⅡ号沢が更に大きくなつてゐる。8水年平均でⅡ号沢が流出率で約3%、年流量で約60mm多い。このような流出率のⅠ・Ⅱ号沢の間の大小関係と後半の流出率が大きくなつてゐる（消失量は比較的小さくなつてゐる）ように一応見られることの理由については、今の処説明すべき格別の資料はないけれども、この後者の理由としては降水量が大きくなつてゐることが一つの理由であることと思われる。実際にこの相関が相当高いことは第14表の $r_{P,R}$ （Ⅰ号

第14表

観測地	試験地	観測年数	平均降水量 P mm	平均流出量 R mm	流出率 $r = \frac{R}{P}$	平均消失量 L mm	R=aP-b の式に於て		相関係数		資料の出所
							a	b	$r_{P,R}$	$r_{P,L}$	
Wagon Wheel Gap	流域 A (伐採前)	15	536	156	29	380	0.316	+135.8	+0.385	-0.0002	[9]
	流域 B (伐採後)	8	536	157	29	379	0.826	+285.6	+0.638	+0.491	
	流域 B	7	529	185	35	344	0.413	-162.7	+0.065	-0.586	
笠間	針葉樹区	6	1644	549	33	1095	0.198	-223.1	+0.256	-0.115	[9]
	広葉樹区	6	1644	481	29	1163	0.271	-29.8	+0.473	+0.288	
太田	幼令樹区	6	1646	843	52	803	-0.621	-1865.2	-0.534	-0.727	[9]
	針葉樹区	6	1654	730	44	924	0.238	-337.1	+0.328	-0.301	
	広葉樹区	5	1560	911	59	649	0.311	-428.3	+0.633	-0.597	
Emmental	Sperbelgraben	12	1614	906	56	708	0.831	+434.1	+0.790	+0.280	[9]
	Rappengraben	12	1668	1076	65	592	0.801	+260.4	+0.930	+0.630	
東愛演習林	流域甲	9	1478	913	61	565	0.986	+544.3	+0.99	+0.930	[9]
	乙	5	1468	829	56	639	0.939	+549.4	+0.92	+0.720	
	丙	7	1782	1022	56	760	1.030	+813.7	+0.98	+0.93	
	丁	6	1724	886	51	838	1.047	+918.7	+0.85	+0.68	
Coweeta	流域 No. 18	5	1676	784	46	892	1.087	+1038.3	+0.955	+0.877	[1]
	流域 No. 17	5	1676	681	40	995	0.620	+357.8	+0.793	+0.365	
高島	南谷	11	1144	333	27	811	0.623	+380.4	+0.882	+0.825	[6]
	北谷	11	1144	355	29	789	0.651	+389.9	+0.891	+0.788	
盛岡農専	御明神演習林	9	1840	1062	58	778	0.710	+246.3	+0.710	+0.166	[13]
宝川試験地	本流	10	3663	3117	85	546	0.782	-253.3	+0.902	-0.200	[12]
	初沢	10	2659	1850	70	809	0.481	-306.2	+0.878	-0.275	
上川		10	1442	993	69	449	0.869	+261.4	+0.911	+0.396	[8]
釜淵	Ⅰ号沢	8	2616	2017	76	599	1.263	+1287.7	+0.994	+0.929	
	Ⅱ号沢	8	2616	2075	79	541	1.188	+1033.9	+0.971	+0.817	

相関々係  $r_{P,\bar{R}} = +0.951$  0.1%\*\*  
 $r_{P,r} = +0.792$  0.1%\*\*  
 $r_{P,a} = +0.195$   
 $r_{P,\bar{L}} = +0.194$

沢  $r_{P,R_I}=0.994$ , II号沢  $r_{P,R_{II}}=0.971$ ) 及び  $r_{P,r}$  (I号沢  $r_{P,r_I}=0.929$ , II号沢  $r_{P,r_{II}}=0.817$ ) と P 即ち年降水量の R 即ち年流量に対する相関係数  $r_{P,R}$  (以下相関係数の表現法として同様の方法を用いる) が r 即ち年流出率  $r=R/P$  に対する相関係数  $r_{P,r}$  を比較することにより知れる。

この値より P と R の直線関係を想定して (第18図参照) 常数を最小自乗法により決めると (伐採前即ち昭和 15~22 水年)

$$\left. \begin{aligned} R_I &= 1.263P - 1288 \\ R_{II} &= 1.188P - 1034 \end{aligned} \right\} \dots\dots (1)$$

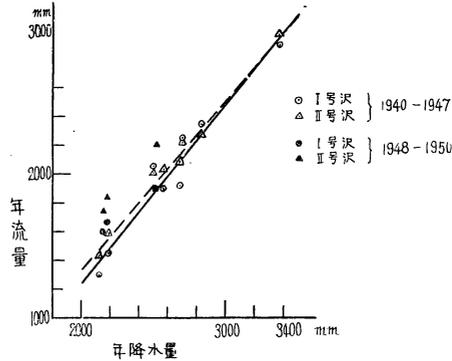
(何れも単位 mm 以下同様)

この P の係数の略 1.2 という値は第14表の各地の a の値の中では異例といつてよい程大きい。今  $R=aP-b=P-\{b+(1-a)P\}$

とすれば (第14表に見られるように  $a \cdot b$  は殆ど正の値である),  $b+(1-a)P$  は流域の貯藏水量の変化を無視すれば年間消失量 (以後 L で表わす) と見てよい。  $a \leq 1$  により P の増加に伴い, 夫々 L は (1) 減少 ( $a > 1$ ), (2) 一定 ( $a = 1$ ), (3) 増加 ( $a < 1$ ), することになり, 例を挙げると (1) 釜淵, (2) 東京大学愛知演習林, (3) 林業試験場高島分場 (龍ノ口山) が相当し (第14表の a の値参照), 又降水量の大きさも (1)~(3) と順次小さくなっているが, 宝川の本流のように降水量は大きいけれども a の値の割合小さい所もあり, この第14表の  $\bar{P}$  と a の間に或程度の正の相関がありそうにも思われるけれども, その程度は第14表にあるように  $r_{P,a}=0.195$  で小さい。

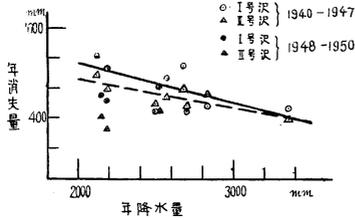
この消失量 L については Kittredge 氏 [2] は降水量 P の豊富な所では略一定であるが (即ち降水量とは殆んど無関係で前記  $a=1$ ) 又は P の増加に伴い僅かに増加する (即ち前記の  $a < 1$ ) とされて居り, 釜淵のような  $a > 1$  の場合に触れていない。この  $a=1$  の典型的な場合としては前記東大愛知演習林の結果より桜井博士 [9] が4流域の a の値が極めて1に近いことより  $a=1$  としてよいと結論されている事例がある。又 P の小さい Wagon Wheel Gap や高島のような所では P により L が制限されていることは容易に予想される所であり, このことは釜淵・高島の P と L をグラフにした第19図 (1) (2) により大体裏書きされると見てよいようである。即ち  $r_{P,L}$  は高島の南谷・北谷で夫々  $0.747 \cdot 0.729$ , 釜淵のそれは I・II号沢で夫々  $-0.645 \cdot -0.822$  で前者は正, 後者は負の相関が相当高い。そしてこの値は釜淵の I号沢が 90% 他は 95% 以上の確率で有意である。但し高島に於ける地表状態の変化を無視したことは大きな仮定であるかも知れない。ここで, 高島・釜淵につき P と L について直線関係を仮定すれば次の式を得る。

第18図 年降水量と年流量

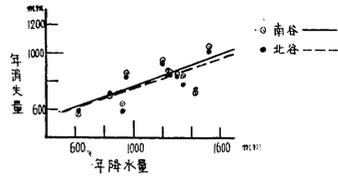


第 19 図 年降水量と年消失量

(1) 釜淵



(2) 高島



高島  $L_S = 0.375P + 583$

$L_N = 0.348P + 391$

釜淵  $L_I = -0.263P + 1286$

$L_{II} = -0.187P + 1032$

.....(2)

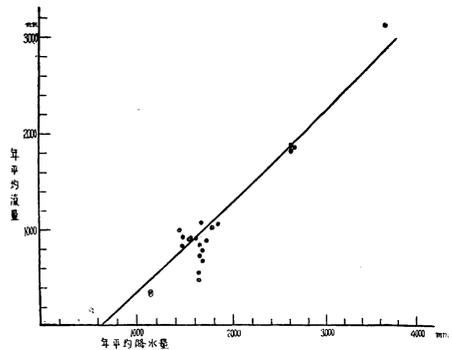
釜淵の  $a > 1$  という現象は、気象条件の検討等を将来の問題として保留するから、ここで述べることは単に予想の程度を出ない訳であるが、一応その理由を考えると、蒸散・蒸発等の  $L$  を構成する因子が気象条件のために押えられるためかも知れない。尙前記 Kittredge 氏が出されている結論の資料の中には日本の多雨地帯のような地帯はないであろうということ、即ちアメリカで多雨地帯と報告されているノースカロライナ州 Coweeta に於ても  $P$  が平均 2000 mm に達しないことは注意すべきことと思われる。

第 14 表は手許にある各試験林の資料を表にしたものである。又資料の蒐集も完全なものではなく、詳細の考察は機会を改めてする予定であるが、一応の考察を加えると、各試験林毎の  $r_{P,r}$  と  $r_{P,\bar{r}}$  は大体に於て前者が大きく、前に述べた釜淵もその一つの例である。又各試験林の平均年降水量  $\bar{P}$  と平均年流量  $\bar{R}$ 、平均年流出率  $\bar{r}$  (各年の  $r$  の平均で  $\bar{R}/\bar{P}$  と少し異なる)、前記の常数  $a$ 、平均年消失量  $\bar{L}$  との相関係数を計算したのが第 14 表の下にある数字でやはり  $r_{\bar{P},\bar{R}}$  が最も高く +0.951 である。この相関係数を検定すれば  $r_{\bar{P},\bar{r}} = 0.792$  と共に 99% で有意である。これをグラフにしたのが第 20 図であつて若し直線関係を仮定すれば

$$R = 0.939 P - 610 \dots\dots\dots (3)$$

であつて前記の  $a$  に相当する値は 0.939 と 1 よりは少し小さいけれども 1 に近い。即ち降水量の豊富な流域に於ける一般的な

第 20 図 各地の年平均降水量と年平均流量

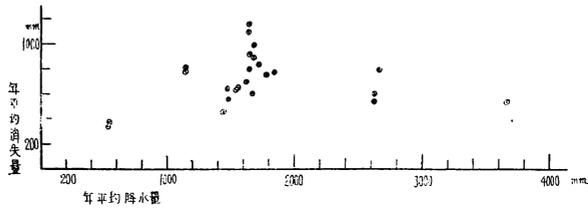


各年の傾向と似たような傾向が一応見られる。但しこれは第 14 表の  $\bar{P}$  と  $\bar{R}$  を基礎としたもので前記のように地表状態と雪の有無は考慮の中に入れず、又前記のような計算方法の結果と

して各試験地により、最少自乗法に掛ける際に重みが違うようなことになつたのは止むを得ない。

一応このように直線関係を想定したけれども、Pの小さい所(Wagon Wheel Gap)と大きい所(釜淵・宝川)は直線より上にあり、この資料の範囲内では直線と仮定することは危険で

第21図 各地の年平均降水量と年平均消失量



あるように思われる。この関係は第21図のPとLのグラフを見ると更にはつきりして来るのであつて、単によりよく適合する実験式を心掛けるならば、見掛上LをPの二次式即ちRをPの二次式とすれば少くとも一次式よりも適合度は高いであろう、しかしこのような式を求めることは意味が少い、即ちPの大きい部分の資料が多雪地帯のみで不十分で、例えば日本の多雨地帯に於けるような資料がないので、これは将来の課題として残して置くべきである。即ちこのような地帯で若しLが大きいならば第20・21図は略直線となり、(3)式の0.939はより小さくなる訳である。

以上で伐採前の年流量についての考察を終り、これから昭和23水年以降従つてⅡ号沢伐採の影響についての考察を進める。第12表の数字を見ると伐採後Ⅱ号沢は流出率で6~9% (平均約8%)、流量で140~180mm (平均約160mm)と3年平均で多い。そして現在もⅠ号沢はそのままでⅡ号沢は毎年刈払をしながら試験実行中であることは前に述べた通りである。

これから行う統計的処理についてはその仮定に疑問があるけれども、一つの方法であると考えて行つたのである。

年流出率については、年による差即ちこれは主として年降水量により変動するものであることは前に検討した通りであり、流域による差が伐採前に存在していたものか、或は伐採による影響が認められるかどうかについては分散分析法によることにした。即ち伐採前後に分け年とこの流域を要因として第12表の数字を用いて計算した結果が第15表である。即ち伐採前に

第15表 年流出率の分散分析表

(1) 伐採前 (昭和15~22年)

(2) 伐採後 (昭和23~25年)

要因	偏差平方和	自由度	不偏分散	F	要因	偏差平方和	自由度	不偏分散	F
全体	835.44	15			全体	92.00	5		
流域	22.57	1	22.57	2.59	流域	80.67	1	80.67	66.67*
年	751.94	7	107.42	12.33**	年	9.00	2	4.50	3.72
誤差	60.94	7	8.71		誤差	2.33	2	1.21	

註 \*\* は 99%, \* は 95% の確率で差が認められるの意味。

は流域による差が著しくなかつたのに（確率は80%を少し上廻る程度）伐採後に於ては95%の確率で認められる。年による差は伐採前には99%の確率で認められたのに伐採後に認められないといつてよく、その確率は80%にも達しない、即ち伐採の結果として95%で差が認められるようになったことは意義があり、後者の年による差は伐採後の3ヶ年間に比較的降水量及び変動が少なく、従つて流出率の変動が少なかつたことを意味すると考えられ、格別の意義を認めることが出来ない。尙雪の関係を考慮して水年を10月末で区切つて同じような処理をしても結論に変わりはない。

尙念のため年流量について同じ処理をすると、伐採の前後共99%の確率で年による差が認められるが、流域については伐採前が80%を少し上廻る程度だつたものが、伐採後には99%を上廻る確率で差が認められる。即ち伐採前の流域による差（Ⅱ号沢の平均年流量・年流出率が若干大きかつたこと）は80%を少し上廻る程度で差が認められたのに、伐採後は年流出率で95%、年流量については99%の確率で差が認められるといえる。即ち統計学の慣習に従えば、伐採前には有意の差があるとはいへなかつたものが伐採後には年流出率で有意、年流量については著しく有意の差が認められるようになったといつてよい。但し仮定に疑問があることは前に述べた通りである。

次に伐採により年流量にどの程度の差が生じたかということについては次節5.2.に於て検討することにする。

要するに本節に於ける検討により、年流量にはつきりした差が認められるようになったとしてよいであろう。

## 5.2. 月流量について

月流量の考察に於ては、冬の半年（12～5月）と夏の半年（6～11月）とに分けて考察することにしたのは既に述べた通りである。

月降水量と月流量を示したのが第16表であり、流量の状況を概観するためにⅡ号沢伐採前（昭和15～22水年）と伐採後（昭和23～25水年）の月平均の降水量・流量及び流出率を表・図にしたのが第17表・第22・23図である。

第22図で見られるように、月降水量は伐採前後共に12月より5月まで下降の傾向をもち、7月が一応のピークで8月が谷になつている。月流量については1月・2月が渇水期で3月・4月と急に増大し5月が谷で夏の期間は降水量と略平行している。そして伐採前の流量はⅠ・Ⅱ号沢略平行していたのに、伐採後は伐採したⅡ号沢が3月が高く4月が低く5月・6月とその差が大きくなり7月以降の夏季は大體Ⅱ号沢が高くなつているのが著しい現象である。要するに伐採の結果、融雪が早められることと夏季の流量が大きくなつていることが特徴である。もう一つ目立つ現象であつて、これは伐採の影響とは考えられないのであるが、伐採後の1月・2月の渇水期が明らかでないことである。これは気温の差と考えるべきであつて、平均気

第 16 表 月 降 水 量, 月 流 量

年 (昭和)		月	12	1	2	3	4	5	冬半年計
14	降 水 量 P			274.6	192.6	171.8	130.6	87.8	857.4
	I号沢流量 R <sub>1</sub>			43.61	33.82	222.97	696.26	69.56	1066.22
	II号沢流量 R <sub>2</sub>			43.15	34.0	210.88	692.76	72.08	1052.87
15	降 水 量 P	217.4	368.9	334.9	125.0	151.6	88.2	1145.65	
	I号沢流量 R <sub>1</sub>	134.33	36.24	30.83	238.45	617.28	88.52	1262.40	
	II号沢流量 R <sub>2</sub>	150.26	42.96	40.13	252.54	676.76	99.75	1053.4	
16	降 水 量 P	244.8	195.1	149.1	211.6	110.9	141.9	1053.4	
	I号沢流量 R <sub>1</sub>	175.70	67.81	56.50	278.01	189.73	68.97	836.72	
	II号沢流量 R <sub>2</sub>	191.74	75.84	68.18	297.09	208.71	73.28	914.84	
17	降 水 量 P	217.2	278.9	179.0	140.2	130.8	74.5	1020.6	
	I号沢流量 R <sub>1</sub>	132.56	36.41	262.3	432.44	201.38	19.07	848.09	
	II号沢流量 R <sub>2</sub>	147.30	42.96	32.02	468.87	216.97	21.91	930.03	
18	降 水 量 P	332.6	258.4	333.6	117.1	155.6	93.2	1290.5	
	I号沢流量 R <sub>1</sub>	106.79	35.81	26.52	226.54	586.35	122.35	1104.36	
	II号沢流量 R <sub>2</sub>	120.99	42.39	32.53	244.13	640.39	132.50	1212.93	
19	降 水 量 P	221.3	161.3	253.4	173.4	205.3	171.9	1186.6	
	I号沢流量 R <sub>1</sub>	151.97	43.95	31.83	204.84	569.49	178.22	1180.3	
	II号沢流量 R <sub>2</sub>	143.82	37.82	28.43	184.25	576.30	168.61	1139.23	
20	降 水 量 P	386.4	272.1	217.0	248.6	95.5	110.9	1330.5	
	I号沢流量 R <sub>1</sub>	101.96	36.02	26.36	294.75	723.00	143.03	1325.12	
	II号沢流量 R <sub>2</sub>	94.98	31.70	24.46	304.50	766.61	136.57	1358.82	
21	降 水 量 P	473.5	302.8	189.9	213.2	218.9	155.6	1553.9	
	I号沢流量 R <sub>1</sub>	142.16	143.38	54.83	260.34	822.29	167.72	1590.72	
	II号沢流量 R <sub>2</sub>	128.51	134.8	44.42	246.53	793.44	159.76	1507.46	
22	降 水 量 P	458.2	226.1	199.9	241.0	140.2	103.7	1369.1	
	I号沢流量 R <sub>1</sub>	105.84	103.00	33.02	188.34	726.05	174.39	1330.64	
	II号沢流量 R <sub>2</sub>	101.88	97.32	30.62	208.80	743.59	155.15	1337.36	
23	降 水 量 P	384.1	215.9	142.2	184.4	66.6	142.9	1136.1	
	I号沢流量 R <sub>1</sub>	131.64	110.09	56.28	318.14	375.01	54.19	1045.29	
	II号沢流量 R <sub>2</sub>	123.93	110.11	66.77	378.29	326.40	57.35	1062.85	
24	降 水 量 P	188.4	384.9	147.5	165.9	186.9	141.2	1214.8	
	I号沢流量 R <sub>1</sub>	239.03	218.38	202.38	146.84	348.78	88.05	1243.45	
	II号沢流量 R <sub>2</sub>	243.29	230.44	210.19	176.37	337.65	92.81	1290.75	
25	降 水 量 P	222.3	203.0	189.6	127.1	99.4	147.1	988.5	
	I号沢流量 R <sub>1</sub>	138.93	111.03	190.96	250.31	268.25	55.91	1015.39	
	II号沢流量 R <sub>2</sub>	138.61	167.70	185.60	273.04	262.79	59.62	1039.36	

(単位 mm)

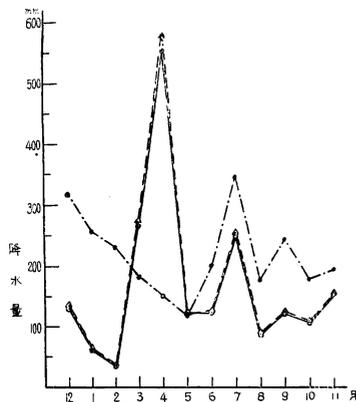
6	7	8	9	10	11	夏半年計	一年計
133.0	92.5	209.1	229.4	136.3	238.3	1038.6	1896.0
35.76	37.86	55.24	62.55	48.85	107.85	348.11	1414.33
31.23	41.18	64.45	70.47	56.86	120.50	384.69	1437.56
49.3	694.6	164.4	206.5	119.0	157.4	1391.2	2677.2
4.36	481.15	43.76	109.87	34.93	100.36	774.43	1920.08
4.62	490.91	49.81	127.95	39.47	106.75	819.51	2081.91
232.0	347.3	94.3	220.1	165.4	72.8	1131.9	2185.3
114.13	274.34	19.32	88.08	82.0	37.86	615.73	1452.45
126.08	287.79	21.28	99.86	96.43	43.87	675.31	1590.15
113.4	160.7	127.9	189.5	155.6	348.1	1095.2	2115.8
28.90	44.86	37.56	44.72	68.69	225.25	453.98	1302.07
31.07	49.84	42.81	55.09	76.63	244.35	499.79	1429.82
148.2	7.0	417.9	250.6	210.3	244.8	1278.8	2569.3
82.65	1.05	243.64	107.26	145.86	216.34	796.80	1901.16
87.06	1.98	246.60	112.74	150.03	218.29	816.70	2029.63
83.3	682.3	83.8	163.9	119.2	179.7	1312.2	2498.8
27.11	540.73	16.49	57.25	63.34	171.18	876.10	2056.40
24.75	549.40	15.59	53.33	59.69	164.03	866.79	2006.02
174.9	214.1	76.6	365.00	285.8	247.9	1364.3	2694.8
79.45	142.35	10.17	233.79	241.10	225.12	931.98	2257.10
68.42	131.27	7.50	221.40	221.75	210.20	860.54	2219.30
572.4	107.5	99.3	190.5	166.0	136.8	1272.5	2826.4
488.16	43.91	10.78	54.53	71.39	86.67	755.44	2346.16
495.67	45.95	14.06	52.74	72.00	84.58	765.00	2272.46
243.3	566.3	367.5	371.6	218.0	225.7	1992.4	3361.5
170.03	470.84	322.08	269.87	157.09	177.90	1567.81	2898.45
181.86	470.26	340.00	288.32	170.12	180.96	1631.52	2968.88
148.5	289.2	170.5	258.9	316.7	196.0	1379.8	2515.9
103.72	120.02	114.67	133.13	234.76	150.37	856.67	1901.96
117.47	156.53	144.11	165.88	257.85	156.50	998.34	2061.19
146.1	116.4	140.7	183.2	187.4	183.1	956.9	2171.7
29.80	41.80	22.20	93.94	76.80	148.63	413.17	1656.62
41.61	64.52	32.18	135.76	106.23	168.66	548.96	1839.71
220.4	196.1	99.3	218.2	217.7	208.6	1160.3	2148.8
127.37	132.75	8.17	47.85	112.82	151.56	580.52	1595.91
140.31	142.49	8.89	74.74	163.57	170.31	700.31	1736.67

第 17 表 伐採前 (昭和 15~22 水年) 伐採後 (昭和 23~25 水年) の

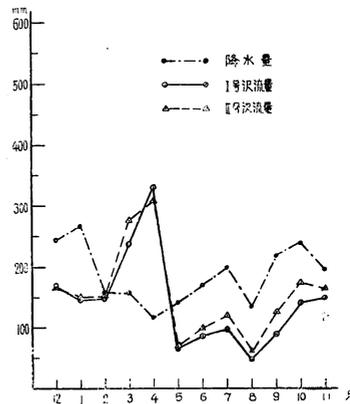
			12	1	2	3	4	
降水量 及流量	伐採前	降水量	$\bar{P}$	318.9	258.0	232.1	183.8	151.1
		I号沢流量	$\bar{R}_1$	131.4	62.8	35.8	265.5	554.4
		II号沢流量	$\bar{R}_2$	134.9	63.2	37.6	275.8	577.8
	伐採後	降水量	$P$	264.9	267.9	159.8	159.1	117.6
		I号沢流量	$\bar{R}_1$	169.9	146.5	149.9	238.4	330.7
		II号沢流量	$\bar{R}_2$	168.6	152.4	154.2	275.9	308.9
流出率	伐採前	I号沢流出率	$\bar{R}_1/\bar{P}$	41	24	15	144	367
		II号沢流出率	$\bar{R}_2/\bar{P}$	42	24	16	150	387
	伐採後	I号沢流出率	$\bar{R}_1/P$	64	55	94	150	281
		II号沢流出率	$\bar{R}_2/P$	64	57	96	173	263

第 22 図 伐採前後の月平均降水量・流量

(1) 伐採前 (1939~1947)



(2) 伐採後 (1948~1950)



温は伐採前後に於て1月は  $-2.2^{\circ}\text{C}$  と  $0.2^{\circ}\text{C}$ , 2月は夫々  $-2.1^{\circ}\text{C}$  と  $0.4^{\circ}\text{C}$  と何れも伐採後平均して1月に  $2.4^{\circ}\text{C}$ , 2月に  $2.5^{\circ}\text{C}$  高い (何れも分場の露場での 10 時 1 回観測の平均) ことが理由と考えられる。

全体として見ると平均して伐採前に II 号沢が約 60 mm 多かつたのが伐採後 II 号沢が約 160 mm 多くなり, しかもこの増加分は殆ど夏の半年に含まれていることは注意すべき現象であろう。

5.1. に於て II 号沢伐採の年流量に及ぼす影響を検討したけれども, 更に月流量により検討をする。このために第 16 表により両軸に対応する I・II 号沢の月流量を夏・冬別々に伐採前後につき夫々  $\odot \cdot \times$  の符号でプロットしたのが第 24 図 (1), (2) である。両図を一見して夏の  $\times$  は大体  $\odot$  の形成する直線より上にあり (即ち伐採後の I 号沢の月流量が大きい), 冬の

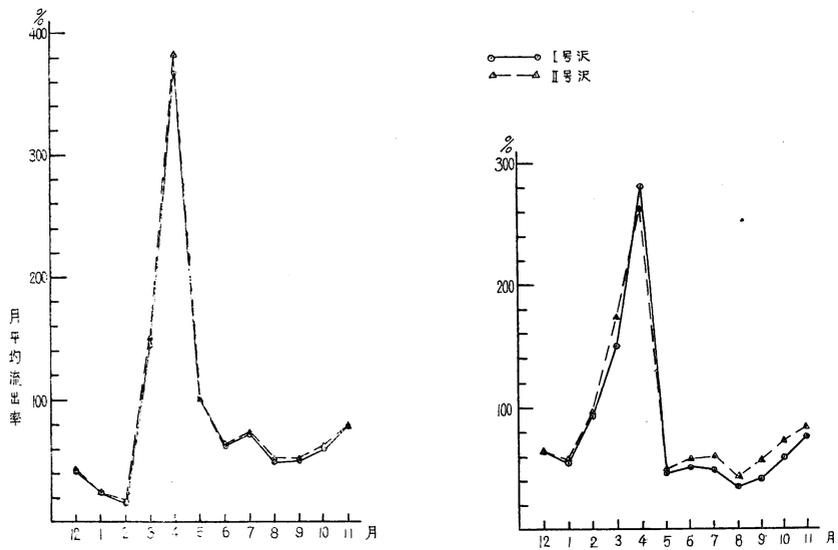
平均月降水量・月流量・月流出量率

5	冬半年計	6	7	8	9	10	11	夏半年計	年計
117.5	1309.3	202.1	347.5	179.0	244.7	179.9	197.2	1354.8	2664.2
120.3	1186.7	124.3	249.9	88.0	121.2	108.1	155.1	846.5	2033.2
118.4	1223.4	127.4	253.4	92.2	126.4	110.8	156.6	866.9	2090.3
143.7	1113.1	171.7	200.6	136.8	220.1	240.6	195.9	1165.7	2278.8
66.0	1101.4	87.0	98.2	48.3	91.6	141.5	150.2	616.8	1718.2
69.9	1130.0	99.8	121.2	61.7	125.5	175.9	165.2	749.2	1879.2
102	91	62	72	49	50	60	79	62	76
101	93	63	73	52	52	62	79	64	78
46	99	51	49	35	42	59	77	53	75
49	102	58	60	45	57	73	84	64	83

第 23 図 伐採前後の月平均流出率

(1) 伐採前 (1939~1947)

(2) 伐採後 (1948~1950)



ものにはこのような傾向が認められないとしてよいようである。I・II号沢の月流量の間の相関係数を計算して見ると、第 18 表のようになる。

この表の値は何れも極めて高く何れも 99% 以上の確率で有意である。伐採後の係数が若干低くなっていることは冬の融雪の時間的ずれ、夏の伐採による流量の変化が原因になっていると見るべきであろう。

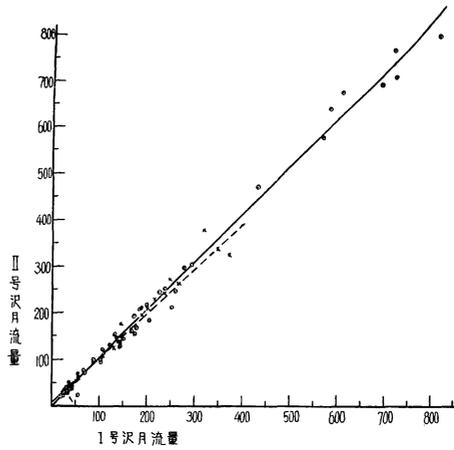
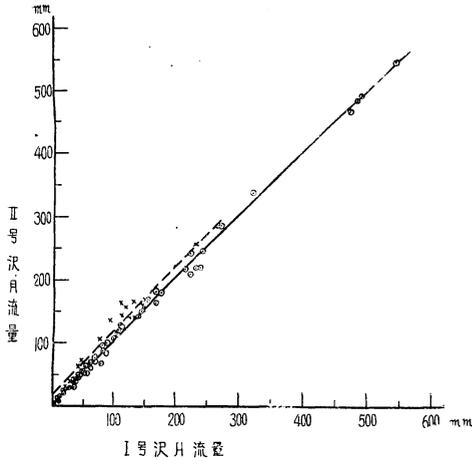
さてこの伐採の影響による差の検定であるが、これを Snedecor 氏 [10] の 6.11 に載っている方法にならつて行うことにする。

第24図 I・II号沢月流量

(1) 夏季(6~11月)

(2) 冬季(12~5月)

○ II/I 伐採前 最小自乗法に依る線  
 × II/I 伐採後 最小自乗法に依る線



先づ夏の半年を対象にとり、 $R_1 \cdot R_2$  を夫々 I・II号沢の対応する月流量とし、伐採前後を含めて ( $R_1, R_2$ ) より、 $E = aR_1 + b$  なる回帰方程式を作る。ここに  $E$  は  $R_1$  に対応する  $R_2$  の期待値であり、最小自乗法により  $a, b$  なる常数を決めると、

$$E = 0.9996 R_1 + 8.3$$

Variance of estimate を計算すると ( $n_1, n_2$  は夫々伐採前後の資料の数  $n_1 = 54, n_2 = 18$ )

$$\frac{\sum(R_2 - E)^2}{n_1 + n_2 - 2} = 160.452$$

Standard error of estimate  $S_{xy}$  は

$$S_{xy} = \sqrt{\frac{\sum(R_2 - E)^2}{n_1 + n_2 - 2}} = 12.67$$

mean of the errors of estimate は

伐採前 - 4.541

伐採後 +13.805

差 18.346

Standard error of difference  $S_d$  は

$$S_d = S_{xy} \sqrt{1/n_1 + 1/n_2} = 3.448$$

$$t_0 = 18.346 / 3.448 = 5.321$$

$$N = 60, t(\alpha = 0.001) = 3.460 \text{ であり } t_0 > t(\alpha = 0.001)$$

故に 99% 以上の確率で差が認められる。

次に同様の計算を冬の半年の間の月流量について行くと前同様にして

第18表 季節別の I・II号沢の月流量の相関係数

	夏季	冬季	全体
伐採前	0.993	0.991	0.993
伐採後	0.975	0.978	0.977

$$E = 1.0195 R_1 + 1.3$$

を得、同様の計算を進めて行くと

$$t_0 = 0.0943$$

$$N = 60, \quad t(\alpha = 0.9) = 0.126$$

となり、10%の確率に於ても差があるとはいえない。

以上の検定方法によれば、伐採による影響は99%以上で夏の半年には認められるが、冬の半年については差が生じたとはいえないことを知る。即ち前同様統計学の慣習に従えば、夏の半年の流量については、伐採により著しく有意の差が認められるが、冬の半年については差が生じたとはいえない。

次にどの程度の差が生じたかについて検討を進めることにする。これについては伐採前後について別々に回帰直線を作り、この二直線の  $R_1$  に対応する二つの値の差を以て伐採による影響とするのが最も合理的であると思われる。Hoover氏〔1〕は伐採前についての回帰直線を作り、 $R_1$ のこれに対応する値を対応する  $R_2$ の値から引いて伐採による月流量の増加と結論しているようであるが(即ち後に出る符号を用いると  $R_2 - E_b$ を伐採による増加分としている)、伐採後についてもこの平均化の操作をすることがより合理的であると信ずる。これを計算すると、

$$\left. \begin{array}{l} \text{伐採前} \quad E_b = 1.005R_1 + 3.1 \\ \text{伐採後} \quad E_a = 1.046R_1 + 17.3 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

となり、

$$E_a - E_b = 0.041 R_1 + 14.2 \dots\dots\dots (5)$$

を以てその月の伐採の影響による流量の変化としたのである。

次に冬の伐採による影響の推定であるが、伐採による差があるとはいえない状態に於て前記の夏のような計算をすることは、 $R_1 \cdot R_2$ 共に同様の精密度を以て測定されているのであるから疑問である、しかしこのような時間という概念を無視した検定法を以てしてはその差が認められないけれども、前にも触れたように融雪による流量に対する時間的のずれの現象が一応見受けられることであり(第22図参照)、これも伐採の一影響と見るべきであるから、やはり夏と同様の計算を行うことにした。その結果は

$$\left. \begin{array}{l} \text{伐採前} \quad E_b = 1.023R_1 + 0.9 \\ \text{伐採後} \quad E_a = 0.971R_2 + 10.1 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

を得、夏の場合と同様にして

$$E_a - E_b = -0.052 R_1 + 9.2 \dots\dots\dots (7)$$

を以て冬季の月流量に及ぼす伐採の影響としたのである。但しここで問題になるのは昭和22~23年の冬のことであつて、この時期にはまだ広葉樹だけは立っていたのであるから、厳密

にいえば伐採前・後のどちらにも入れてはいけないかも知れないけれども、広葉樹も期間中途次減少して行つた訳であるから伐採後の方に入れたのである。

このようにして、夏と冬に分け、月流量に及ぼす伐採の影響を推定し、この結果を示したのが第 19 表である。

第 19 表 伐採の月流量に及ぼす影響 (単位 mm)

年(昭和)	月	12	1	2	3	4	5	冬半	6	7	8	9	10	11	夏半	年計
		年計							年計							
23	降水量	384.1	215.9	142.2	184.4	66.6	142.9	1136.1	148.5	289.2	170.5	258.9	316.7	196.0	1379.8	2515.9
	伐採による増加流量	2.4	3.4	6.3	-7.4	-10.3	6.4	0.8	18.5	19.1	18.9	19.7	23.8	20.4	120.4	121.2
24	降水量	188.4	384.9	147.5	165.9	186.9	141.2	1214.8	146.1	116.4	140.7	183.2	187.4	183.1	656.9	2171.7
	伐採による増加流量	-3.2	-2.2	-1.3	1.6	-8.9	4.6	-9.4	15.4	15.9	15.1	18.1	17.3	20.3	102.1	92.7
25	降水量	222.3	203.0	189.6	127.1	99.4	147.1	988.5	220.4	196.1	99.3	218.2	217.7	208.6	1160.3	2148.8
	伐採による増加流量	2.0	3.5	-0.7	-3.8	-4.7	6.3	2.6	19.4	19.6	14.5	16.2	18.8	20.4	108.9	111.5
増加流量平均		0.4	1.6	1.4	-3.2	-8.0	5.8	-2.0	17.8	18.2	16.2	18.0	20.0	20.4	110.5	108.5

以上の検討によつて夏の半年に於て伐採により流量が約 110mm 増加し、冬の半年の間には全体としては変化は先ずないとしてよいようであるが、時期的に見て伐採のため融雪が早くなつたことがうかがわれることは前述の通りである。

尙この結果は伐採後の 3 ケ年のものであつて、刈払をして、この状態はもう少し続けて行く積りであるから中間的の報告ではあるけれども、定性的にはこのような傾向はありとしてよいようである。

次に釜淵のこのような傾向は一般的であるかどうかということであるが、日本に於ても玉手氏〔14〕、中野氏等〔6〕は定性的に、その夫々伐採直後及び林相悪化後の影響に言及されて居り、又〔2〕に於て Kittredge 氏は Wagon Wheel Gap・Emmental・Coweeta 流域 No. 17 の三例を挙げ、この三例に於ては植生の密度を小さくすることにより流量が増加したとされている。其理由としては消失量  $L$  を構成する主なる因子即ち地面蒸発量を  $E$ 、蒸散量を  $T$ 、遮断量を  $I$  とすれば、 $L = E + T + I$  として略差支ないけれども、この中一般に植生が密になれば  $T$  と  $I$  は増加し、 $E$  は減少する。この傾向の綜合されたのが消失量の増減として現われて来るのであるが、Kittredge 氏は〔3〕に於て森林の生長と共に或林令まで  $L$  が増加する傾向をもつ例を指摘され、又 Wilm 氏等〔17〕は lodgepole pine forest について流量測定によらずに前記因子の測定結果より、仮定した因子もあるけれども、やはり同様の趣旨を結論されている。しかしその程度に至つては大きな差があり、Wagon Wheel Gap に於ける年間 1 吋を僅か上廻るものから〔2〕、Coweeta 流域 No. 17 に於ける伐採後 2 ケ年平均の約

13.5 吋〔1〕まで種々ある。但し Coweeta の流域 No. 17 のこの数字は土を乱さないように極端な注意を払つたもので、即ち伐倒をして枝条はそのまま撒き散したという方法、従つて前記の I と T は最少で、E も前記の処理により強度に押えられたと見るべきであることは注意すべきことであらう。

又このような影響による流量増加の傾向の結果が、洪水の原因となるか、或は水資源として用い得るものであるかは土地使用状態にもよるものであろう、しかし一般にはこの年流量の増加は豪雨による出水時に現われる〔2〕ものの如くであり、本試験に於ても伐採後は出水の傾向ありとしてよいようである、即ち年流出率の増加は約5%なのに次の5.3. に出て来るように豪雨時の増水率の差は6例平均で28%である。尙伐採の渇水期の水に及ぼす影響については本報告では触れない。

又前記 E・T・I 等に関する分析的な解析については何れこの種の実験を進めてからのことにする予定である。

### 5.3. 著しい出水について

洪水と森林の関係については、本試験に於ては目下計算の途中にあり、本格的検討の段階に至つていない。従つて予報の域を出ないけれども、伐採後の昭和23・24両年の大きな出水の増水量と最大比流量の資料が両年に各3例計6例あるので簡単のために伐採前の資料から同数の6例を任意に抽出して表にしたのが第20表である。尙昭和25年以降は未整理であり、増水量は便宜上増水期間中の流量から増水開始前の水位に相当する流量に増水時間を掛けたものを差引いて算出した。

第20表 著しい出水に於ける増水量と最大比流量

	年 月 日	降 水 量 mm	増 水 量 mm		増 水 量 II/I	最 大 比 流 量 m <sup>3</sup> /sec/km <sup>2</sup>		最 大 比 流 量 II/I
伐	1943. 6. 2~	69.9	I 44.2	II 45.4	1.03	I 1.05	II 1.01	0.96
	9.17~	61.5	I 43.0	II 43.3	1.01	I 1.15	II 1.19	1.03
	10.10~	59.8	I 34.0	II 36.0	1.06	I 0.443	II 0.460	1.04
採	1944. 5.17~	72.2	I 49.3	II 45.7	0.93	I 0.723	II 0.641	0.89
	9.12~	86.5	I 39.8	II 40.6	1.02	I 1.39	II 1.34	0.96
	11. 8~	73.0	I 60.4	II 58.3	0.97	I 0.623	II 0.589	0.95
平 均				1.00			0.97	
伐	1948. 6. 2~	113.2	I 90.3	II 99.0	1.10	I 0.906	II 1.01	1.11
	8.12~	112.1	I 83.4	II 95.3	1.14	I 3.37	II 3.61	1.07
	10. 3~	196.8	I 171.5	II 177.3	1.03	I 1.88	II 2.39	1.27
採	1949. 8.31~	76.7	I 22.0	II 40.7	1.85	I 2.51	II 3.84	1.53
	9.16~	91.8	I 35.7	II 51.6	1.45	I 2.38	II 2.60	1.09
	10.30~	159.3	I 100.4	II 109.8	1.09	I 0.684	II 0.717	1.05
平 均				1.28			1.19	

註 表中 I, II とあるは夫々 I, II 号沢の増水量, 最大比流量であつて, II/I とあるは, その比である。

増水量と最大比流量のⅡ号沢の値をⅠ号沢の値で割つたものを伐採前後について見ると夫々  $1.00 \cdot 1.28$  及び  $0.97 \cdot 1.19$  と何れも伐採後に於てこの比の平均が夫々  $28\% \cdot 22\%$  大きくなつてゐる。この値について t-test をすると、増水量については  $t_0=2.01$ ,  $n=10$  で  $t(\alpha=0.05)=2.23$ ,  $t(\alpha=0.1)=1.81$  であり、最大比流量については  $t_0=2.72 > t(\alpha=0.05)$  である、以上の検討の結果、増水率には有意の差があるとは統計学の慣習上いえないのであるが、伐採による両者の増加傾向は大體ありとしてよいのではあるまいか。

尙この増加の傾向については玉手氏〔14〕により指摘されて居り、其他急斜地農業の影響としては Coweeta〔11〕に於て開墾前の最大比流量が  $110 \text{ cub.ft/sec/sq.mi}$  (以後この単位を略す)であつたのが開墾後は  $398$  となり、この時の降雨よりは開墾前ならば  $54$  を越えなかつたとされているもの(試験地面積  $22.8$  エーカー)、ユタ州での実験即ち小試験区での ( $1/10 \sim 1/40$  エーカー)豪雨時の地表流下量が洪水源泉地域からのものが  $24.3 \sim 43.4\%$  であるのに対し非洪水源泉地域からのものが僅か  $0.2 \sim 0.7\%$  であつた例〔16〕等があり、後者は小試験区からの地表流下試験であるから一応議論の外に置くとしても当地での増加割合は比較的小さい。これは伐採後毎年刈払を行つていても植生のなくなつた地域の皆無であることによるのであろう。又 Kraebel 氏〔4〕により指摘された日本に於ける侵蝕と洪水の原因の一つとなる伐木運材方法の欠点が主として雪上運材で搬出が行われたため、本試験に於ては殆ど現われていないのではないかということは予想されることであり、それにしても将来の変化は別として、現在前記のような結果になつたことは注目すべきことと考える。何れにしてもこの点の詳細の研究は機会を改めてする予定であることは前にも記した通りである。

要するに洪水調節を第一の目的とする土地に於ては増水量と最大流量を増加させる原因となる地表流下の量と速度を大きくしないような密度の大きい森林に保つて、土壌及び地表状態を適当な条件下に置かなければならないことは間違ないであろう。以上のことは流出土砂の問題を考慮の外に置いたのであるが、これを考慮に入れると、更に決定的になると考えられる。しかしその森林の林型・樹種其他についてのことは将来の課題ではあるが、急速に解決を要する問題である。

## 6. 要 約

森林の治水・利水機能を局部的・一般的に究明するために、最上川上流の山形県最上郡及位村釜淵に於て、条件の極めて似た二つの小流域を取つて昭和 14 年より試験を開始し、昭和 22 年冬より翌春にかけて一方の沢(Ⅱ号沢)を皆伐し、以後Ⅱ号沢は毎年刈払を行い、他方の沢(Ⅰ号沢)は標準区として比較試験中の第 1 回報告である。

(1) 平均年降水量は約  $2500\text{mm}$ 、Ⅱ号沢皆伐前(昭和 15~22 水年)のⅠ・Ⅱ号沢の平均年流出率は夫々  $76 \cdot 79\%$ 、Ⅱ号沢皆伐後(昭和 23~25 水年)は夫々  $75 \cdot 83\%$  であつた。

(2) 年流量を  $R$ , 年降水量を  $P$  として

$$R = aP - b$$

の常数  $a \cdot b$  の値をきめると両沢について  $a \approx 1.2$  となり、この値は今までのこの種の試験結果では見られない大きな値である。

(3) 月流量について、皆伐の影響を検討した結果、皆伐により夏季(6~11月)に於て約110mm増加、冬季(12~5月)は総量に於て殆んど変化なく、3箇年平均で年間110mm弱即ち年間流量の約5%を増加した。しかし皆伐により春季の融雪が若干早められたことがうかがわれる。

(4) 出水時の増水量と最大比流量について、僅か6例づつではあるが、Ⅱ号沢/Ⅰ号沢の比をとつたところ、この比は平均してⅡ号沢皆伐後が20%以上大きい。

要するに皆伐により年流量も増加したが、出水時の増水量と最大比流量も増加の傾向が見られる。しかもその増加割合は後の二者が大きい。

(5) 前項は森林が洪水に対して効果的であることを示している。ここにいう森林は単に地上部ばかりでなく、林地の表層までを含めた意味にとるべきであろう。

しかしこれは単に流量と雨量の資料の一部のみより考察したもので、何故にこうなるか、又この目的のためにどのような形の森林がよいか等のことについては今後追々研究を進めて行きたい。

(1951. 9)

附記： 其後年流量の一部に数mm程度の訂正を必要とするに至つたけれども、結論には影響しないものと思われる。

## 引用文献

- (1) Hoover, M. D.: Effect of removal of forest vegetation upon water yields. Trans. Amer. Geophys. Union, Part 6 p. 969—975 1944.
- (2) Kittredge, J.: Forest influences. McGraw-Hill Book Co. 1948.
- (3) Kittredge, J.: Forests and water aspects which have received little attention. Jour. of Forestry, Vol. 34 No. 4 1936.
- (4) Kraebel, C. J.: Forestry and flood control in Japan. G. H. Q. N. R. S. Preliminary study No. 39 1950.
- (5) Linsley, R. K. and others: Applied hydrology. McGraw-Hill Book Co. 1949.
- (6) 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.
- (7) 小笠原和夫, 他: 山形県の気候 山形県統計協会 1950.
- (8) 林業試験場札幌支場: 北海道森林治水気象年報 第4報 1951.
- (9) 桜井荘三: 年流出率並びに年流出率と年雨量との関係 砂防第42号 1935.
- (10) Snedecor, G. W.: Statistical methods. The Iowa State College Press. 1940.
- (11) Southern Exp. Sta., U. S. Dept. of Agr.: Watershed management research Coweeta Experimental Forest. 1948.
- (12) 武田繁後: 宝川森林治水試験第2回報告 前橋営林局 1951.

- (13) 武田進平：御明神演習林に於ける流出量測定結果 岩手大学，盛岡農林専門学校学術報告 第26号 1950.
- (14) 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 第23号 1423.
- (15) 寺田寅彦：地形図に於ける傾斜勾配分布の統計的研究方法に就て 地理学評論 第6巻第7号 1921.
- (16) U. S. Dept. of Agr. Mis. Pub. No. 639: Watershed management for summer flood control in Utah, 1947.
- (17) Wilm, H. G. and others: Effect of timber cutting on water available for stream from a lodgepole pine forest. Tech. Bull. No. 968 U. S. Dept of Agr. 1948.
- (18) 山田昌一：宝川森林治水試験報告 東京営林局 1943.

Résumé

Two small watersheds were selected in upper stream of the Mogami River for local and general research of forest influences upon stream flow.

Stream flow and meteorological conditions had been observed since 1939, woody vegetation of one of these watersheds was clear cut between winter 1947 and spring 1948, and regrowth has been cut annually.

This paper deals with research of (a) fundamental items about watersheds (see Table 21) (b) annual runoff and monthly runoff (c) peak runoff and increased runoff due to heavy rains.

Table 21. Out-look of the watersheds.

Item	Description		Note
Locality	Kamabuti, Nozoki Village, Mogami County, Yamagata Prefecture.		Upper stream of the Mogami River
Geology	Tuff, shale		
Stream gaging	45° V-notch		
Rain gaging	A self recording and usual rain gage installed near the foot of the watersheds		
Average annual precipitation	About 2500mm. (about 40% snow)		
Average annual temperature	9.6°C		
	Watershed No. I	Watershed No. II	
Area	3.060 ha.	2.482 ha.	Sugi: <i>Cryptomeria japonica</i> D. Don. Nara: <i>Quercus crispula</i> Blume Buna: <i>Fagus crenata</i> Blume
Average slope	34°30'	35°50'	
Average bearing	E 21° S	E 5° S	
Elevation	About 160~245 m	About 160~240 m	
Vegetation per ha. (1942)	Conifer 27m <sup>3</sup> (Sugi 80%), broad-leaved tree 45m <sup>3</sup> (Nara, Buna etc.)	Conifer 28m <sup>3</sup> (Sugi 60%), broad-leaved tree 33m <sup>3</sup> (Nara, Buna etc.)	
Average depth of soil	45.6cm	48.0cm	
Treatment	None	Clear cut in 1947~1948, regrowth cut annually	

The results of investigation show that condition of these watersheds is similar.

A. Outline of contents

Preface

1. Establishment of experimental watersheds (in 1939)
2. Purpose and future plan for carrying out experiment
3. Outline of experimental watersheds
4. Facility and method of experiment
5. Result of observation and investigation
6. Résumé

Literature cited

B. Summary

The results of observation are shown briefly in Table 22, 23, 24. The points of this paper are following:

(1)  $r_{PR}$  is larger than  $r_{P_r}$  as shown in Table 22. If we presume linear regression between R and P, i.e.  $R=aP-b$  (a, b: constant), values of a (about 1.2) are exceptionally large in comparison with other experiments of this kinds. It means that the more annual precipitation, the less annual consumptive use. The reason why the values of a are large is need of research in future.

Table 22. Annual runoff

Item		Watershed No. I (uncut area)	Watershed No. II (cut area)	Note
Average annual precipitation (P)	Before cutting		2616.1 mm	Before cutting: 1940~47 After cutting: 1948~50
	After "		2278.8 mm	
Average annual runoff (R)	Before "	2016.7 mm	2074.8 mm	Water year: Dec. 1st~Nov. 30th Details in Table 12 p. 26
	After "	1718.2 mm	1879.2 mm	
Average annual runoff-ratio $r = (R/P)$	Before "	76%	79%	
	After "	75%	83%	
Correlation Coefficient for P and R ( $r_{P \cdot R}$ )	Before "	0.994	0.971	
	" "	0.929	0.817	
Correlation Coefficient for P and r ( $r_{P \cdot r}$ )	" "			
$R=aP-b$	" "	$R_I = 1.263 P - 1288$	$R_{II} = 1.188 P - 1034$	$R_I, R_{II}$ : annual runoff

(2) As shown in Table 22 (details in Table 12 p. 26), average r and R of watershed No. II are larger than those of watershed No. I both before and after cutting. Result of analysis of variance about r in Table 12 shows that difference between these watersheds is significant at about 80 percent probability before cutting and at 95 percent after cutting respectively. It may be said that influence of cutting upon annual runoff has become more obvious.

(3) On the monthly runoff, result of t-test by the method of chapter 6 of Snedecor's "Statistical methods" (1940) shows that influence of cutting is significant at 99 percent in summer season (June~Nov.), but it is not significant in winter season (Dec.—May). Increment of annual runoff due to cutting (about 110mm or 5 percent for 3 year average) is computed as in Table 23.

(4) As shown in Table 24, average peak runoff and increased runoff due to heavy rains for 6 examples rose more than 20 percent by cutting. Results of t-test show that difference between the average in Table 24 is significant at 95 percent and 90 percent respectively.

In short, in the experiment of Kamabuti, clear cutting of woody vegetation increased about 110 mm or 5 percent of annual runoff and rose more than 20

Table 23. Monthly runoff.

Item		Summer season (June—Nov.)	Winter season (Dec.—May)	Total	Note	
Correlation coefficient for $R_1$ and $R_2$	Before cutting	0.993	0.991		$E_b, E_a$ : Estimated value of $R_2$ for $R_1$ $R_1, R_2$ : Monthly runoff	
	After "	0.975	0.978			
$R_2 = aR_1 + b$	Before "	$E_b = 1.005R_1 + 3.1$	$E_b = 1.023R_1 + 0.9$			
	After "	$E_a = 1.046R_1 + 17.3$	$E_a = 0.971R_1 + 10.1$			
Increment of runoff due to cutting	$E_a - E_b$	$0.041R_1 + 14.2$	$-0.052R_1 + 9.2$			+108.5mm
	$\sum(E_a - E_b)$	+110.5mm	-2.0mm			

Table 24. Peak runoff and increased runoff due to heavy rains.

Item	Before cutting	After cutting	Note
(Peak runoff of Watershed No. II) ÷ (Peak runoff of Watershed No. I)	0.97	1.19	Average for 6 heavy rains. Amount of each rain: about 60~200mm
(Increased runoff of Watershed No. II) ÷ (Increased runoff of Watershed No. I)	1.00	1.28	

percent of peak runoff and increased runoff due to heavy rains. This indicates that forests are obviously effective for the purpose of flood control.

写真 No. 2. I号沢林相（広葉樹の部分）



写真 No. 1. 伐採後の両沢遠望（右 I号沢, 左 II号沢）

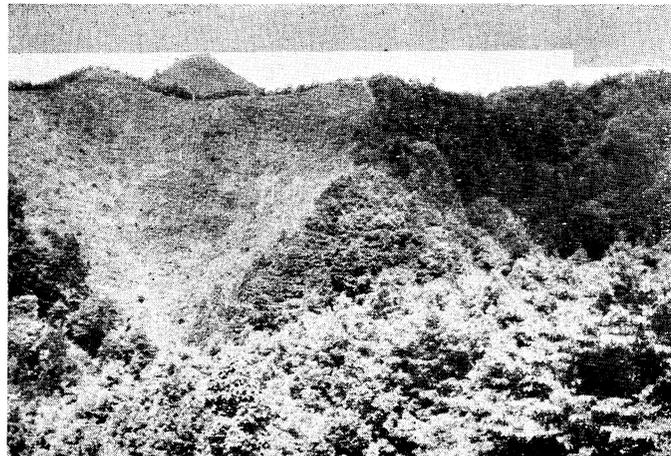


写真 No. 3. 伐採後のII号沢の状態



写真 No. 4. II号沢量水小屋（手前に見えるコンクリートタンクは流量実験式決定に用いたもの）

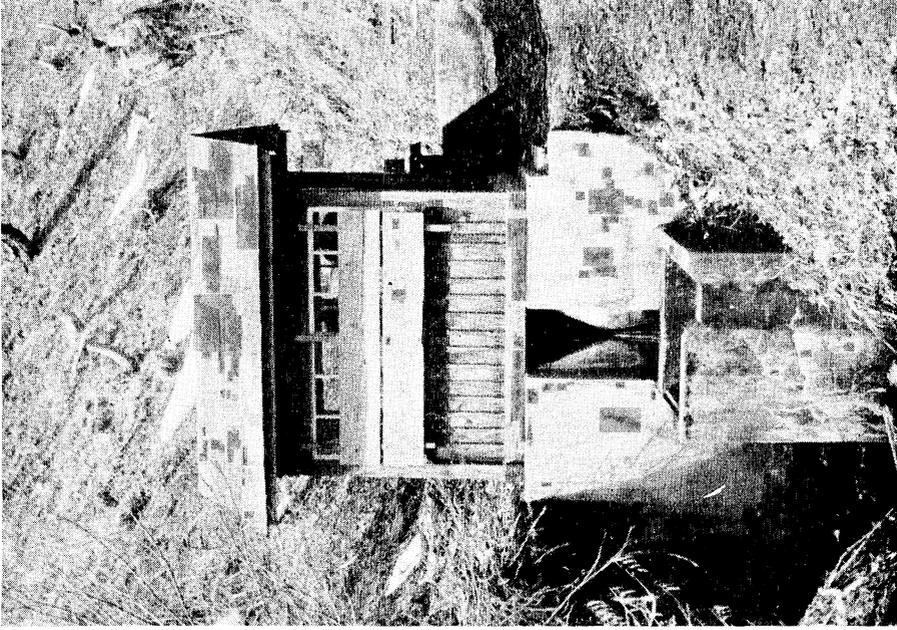


写真 No. 5. 欠 込

