

林況変化，とくに伐採が溪川流出に及ぼす影響（Ⅰ）

—水年・豊水・平水・低水・

渇水各流出量への影響—

中 野 秀 章⁽¹⁾

菊 谷 昭 雄⁽²⁾

森 沢 万 佐 男⁽³⁾

目 次

ま え が き	1
I 解 析 の 方 法	2
II 資 料	8
III 解 析 の 結 果	12
IV 考 察——林況変化，とくに伐採が水年・豊水・平水・低水・渇水各流出量に及ぼす影響	39
V 要 約	68
文 献	75
Résumé	76

ま え が き

森林と河川流出の関係を明らかにすることの重要性はいまさら多言を要しまい。すなわち，森林の存在状態およびその変化と河川流出の関係を明らかにすることは重要な研究課題であるが，従来，わが国ではとくに水害と森林の乱伐との関係が重要な問題であった。したがって，森林と河川流出の関係の研究は森林の存在状態の変化のうちでも，林木伐採等森林植生除去と流出の関係の研究，それも特定の小試験流域による研究を中心としてすすめられてきた。アメリカ等諸外国でもこの傾向が強い。

伐採と流出変化の関係についてはいろいろの面から検討されてきたが，伐採の面からは小流域の皆伐・択伐・後生樹草の刈払い・火入れ・伐採木搬出の有無ならびに方法等，流出の面からは年間流出量・年流出率・高水位に対する低水位の比・年間流出の一樣性・特定豪雨時の最大比流量ならびに増水量・減衰曲線等が検討され，きわめて多数の報告が出された。

しかし，なお，検討すべく残された問題は多い。ことに流出の面からみて上記の各事項が検討されてきたものの，これらのほとんどが伐採後の期間における平均値の検討に終わっており，伐採後の林況の時間的变化にともなう流出の時間的变化を検討したものは二，三の業績⁽²⁾⁽³⁾があるだけできわめて少ない。しかるに，伐採後の急激な林況変化にともなう，もし流況が相当な変化を示すとしたら，森林取扱いの面から無視できないことと考えられる。

(1) 防災部防災第二科理水研究室長 (2)(3) 防災部防災第二科理水研究室員

さて、河川流出の理想的なあり方は洪水をおこさず、必要なときに必要量だけ水が流れる形にあるが、せめて降水のいかんにかかわらずつねに一定の流量が流れれば、水利用や洪水規制に対する対策はたてやすい。現実はこの理想にほど遠く、現実の流況を理想のそれに近づけるためには高水時の過剰流量を減らし、できればこれを渇水時に持ち越して渇水を緩和し、一定流量の理想に近づけることが望まれるわけである。このように河川流出の一様性を高める手段として、森林がどのような機能を、どの程度もつかを知る、すなわち森林の存在状態あるいは変化が、流出の一様性にどのような影響をあたえるかを知ることが重要である。そこで、従来も伐採と流出一様性の変化との関係が検討されてきた¹⁰⁾¹³⁾¹⁶⁾¹⁹⁾。しかし、従来のそれは年間における日流出量の頻度分布を一括して検討したもので、これもいろいろの意味できわめて重要であるが、年間の流出一様性を一層内容的に検討する必要があると考えられる。これも上述した“残された問題の1つ”であろう。

以上から、筆者らは河川の流況を通常用いられる豊水・平水・低水・渇水の各量に準拠して定義した各種流出量を根拠として考え、これが林況変化、とくに伐採にともなってどのように変化するか、主として経時間的、すなわち、この論文の場合経年的に検討してみた。これによって林況変化が年間の流出量配分に及ぼす影響を経年的に知ることができ、また豊水流出量の変化と渇水流出量の変化から、林況変化が洪水あるいは渇水に及ぼす影響の目安をうることができよう。

林業試験場では、全国に5箇所のいわゆる森林理水試験地を設定しており、1958年12月現在、北海道支場の上川森林理水試験地、以下同様に、東北支場・山形分場の釜淵試験地、本場の宝川試験地、関西支場・岡山分場の竜の口山試験地、九州支場・宮崎分場の去川試験地にそれぞれ2以上の試験流域が設定され、主として林況変化、とくに伐採と流出変化との関係が試験されている。これら試験地のうち去川を除いて、他は昭和初期に開始され、今日に至っているもので、大部分の試験流域は設定・水文観測開始以来16～22箇年（1958年現在）を経過しており、その間に林況を変化させる試験処理が加えられている。

本稿では、以上の試験地で、かなりの先行期間後、伐採その他林況を変化する試験処理の加えられた試験流域の資料を用いた。すなわち、上川の北谷・釜淵の2号沢・宝川の初沢・竜の口山の南谷および北谷のそれである。このほかにこれらと同様な試験の行なわれたアメリカ Colorado 州、Wagon Wheel Gap 試験地におけるB谷の資料も参考までに使用した。

検討した流出因子は前述のとおりであるが、その解析方法は大要次のようなものである。すなわち、林況変化前の期間における流出因子と各種水文気象因子との関係を求め、この関係は、もし林況変化がなければ、林況変化後の期間においてもあてはまるものと仮定して、その期間の各流出因子の値を推定し、この推定値と実測値との差異をもって林況変化の影響と考え、この差をいろいろの面から検討するのである。筆者らは、先に、この問題をいわゆる double-mass analysis により予備的に検討し、より詳細に解析することの必要性和可能性をたしかめている¹²⁾。

用いた資料の大半は上述各支場・分場および試験地における多数職員の方々の、多年にわたる努力の賜物である。ここに、そのご労苦に対し深甚なる敬意と謝意を表する。

I 解析の方法

I-1. 基本的な考え方

試験流域を設定して林況変化、とくに伐採と溪川流出との関係を試験するには、通常、地形・地質・土

壤・気象・面積等の流域条件が類似し，しかも近接している2以上の試験流域を設定し，少なくともそのうちの1流域を基準流域とし，他は森林に試験処理を加える流域として行なわれる¹⁴⁾。そして，水文観測は兩種流域に同じ方法で行なわれる。一定の前期（基準）期間（calibration period——以降 C. P. と略記する）の後，処理流域の森林に一時的あるいは継続的な試験処理，たとえば成立した森林をなんらかの方法で伐採し，あるいは伐採跡地に地拵を行なって造林する等の試験処理を加える。一方，基準流域は伐採などの試験処理に比較すれば，非常に緩慢な森林植生の自然の変化およびこれにともなう微弱な地表土壌の変化以外に，人為的に急激な変化をあらゆる流域条件に加えることなく放置される。そして，基準・処理両流域とも地形・地質条件は変化しないものと考えられる。もちろん，試験結果の解析に際しては，一応変化のないことをたしかめる必要がある。

このようにして，森林処理後も一定の後期（試験処理後）期間（treatment period——以降 T. P. と略記する）にわたり，兩種流域に同様の水文観測が実施される（以上の方法を，便宜上，対照流域法とよぶ）。

しかし，時には基準流域を欠き，単独流域で，C. P., T. P. 両期間を分けて試験されることもある（便宜上，単独流域法とよぶ）。

また，森林植生以外の流域条件が全く同様と見られる理想的な流域を2以上近接して選び，当初から森林植生のいかんによる溪川流出の差異を試験することも考えられるが，このような理想的な流域をうることはきわめて困難で，望ましい方法ではなからう。

林業試験場における森林理水試験地の試験は，すべて前2者の方法によって行なわれてきたといえる。次に本報告でとりあげた試験流域について，上述2法のいずれであるかを見る。

北海道支場・上川試験地の北谷流域は1954年9月第15号台風（洞爺丸台風）による風倒・風折被害による不測の林況の激変を試験処理と考えれば，この年を境として前・後両期間をもつ単独流域法が行なわれたものと考えられる。すなわち，北谷流域は当初の試験設計に基づき風害以前は他の3試験流域の基準流域として森林は完全に保持されていた。東北支場山形分場の釜淵試験地では，当初計画のとおり1号沢流域を基準流域として，2号沢流域に試験伐採が行なわれ，対照流域法が適用された。本場宝川試験地は，当初設定の経緯はともかくとして，1958年12月現在においては，本流を基準流域として初沢に試験伐採が行なわれ，対照流域法が適用されたものと考えることができる。関西支場岡山分場の竜の口山試験地では，当初，対照流域法によるべく南・北両谷流域が区分設定されたが，虫害のため全面伐採という不測の事態により，両谷にそれぞれ，単独流域法が行なわれたと同じ結果となった。なお，参考までに，同様の解析を行なうためその資料を用いたアメリカ Wagon Wheel Gap 試験地のA・B両谷流域では当初計画のとおり，A流域を基準流域として対照流域法により試験が行なわれた。

さて，このような2法で行なわれた試験結果は，通常次のように解析される。すなわち，対照流域法では基準・処理両流域の流出因子の対照関係，単独流域法では森林処理によって影響されない場所における降水量その他の気象因子と，処理流域の流出因子との対照関係がそれぞれ，C. T., T. P. 両期間でどのように変化したかを比較するのである。前者の方が通常対照測定値の相関関係が高度で安定しており，したがって，合理的であると考えられる。

このような比較原則で，すでに多数の研究成果が発表されてきた。しかし，ここで注意しなければならないことは，ほとんどの報告が両期間におけるある種の平均値を比較する方法，または両期間における特

定流出因子を取り出し、直観的に対照比較する方法によっていることである。いいかえれば、C. P., T. P. における測定値を、それぞれ、グループとして対照比較としているものがほとんどであるということである¹⁾⁴⁾⁶⁾⁷⁾⁹⁾¹⁰⁾¹⁶⁾¹⁹⁾。たとえば、伐採前後の各年流出率の算術平均値を比較してその増減を調べたもの、同様に年などある期間内の流出量の算術平均値を比較したもの、ある限界以上の異常な増水量をその影響因子の主要なもの（降水量等）との関連において直観的に比較し、あるいはそれらの算術平均値で比較しているもの等である。また、年流出率の永年の平均的傾向を調べたもの、日流出量の分散度合などをもって各年の流出一様性を示せるとし、その伐採前後における算術平均値の比較あるいは永年の平均的傾向を調べたものなどである。

これらの結果が有用なものであることに異論はない。しかし、これらの結果だけでは不十分と考えられる。たとえば、林木伐採が流出に及ぼす影響は時間的におくれもあり、また、時日の経過するにつれてその程度が変化することが考えられる。とくに伐採後の植生状態を一定あるいは一定に近く保たない限り、当然その影響は変動していくものと考えられ、両期間の平均的關係で比較するときはこのことを無視する結果となるからである。ことに伐採直後にあらわれると考えられる強い影響を十分に見きわめられないおそれがある。また、特定の測定値を単にならべて直観的比較を試みるのみでは客観性に乏しい。とにかく、ある種の試験処理を行なった後は経時間的に結果を解析しないと、植生地被状態の実状にそった影響を知ることはできない。したがって、森林の国土保全的取扱いをいかにすべきかという問題に対する解答としては実用的な意味が不十分である。

このため筆者らは、次のような方法によった。

対照流域法による試験成績の解析には、まずC. P. における基準、処理両流域の同じ流出因子の回帰関係を求める。しかし、時には回帰関係をいっそう高度にするため、基準流域の流出因子に加えて、森林処理により影響を受けないと考えられる地点で測定された各種気象因子等を用い、これらと処理流域の流出因子との重回帰関係を求める。

単独流域法の場合には、森林植生の処理で影響を受けていないと考えられる近接地点における降水量その他の気象因子と、処理流域の流出因子との回帰関係を求める。

いま、T. P. において森林に試験処理が加えられなかったとすると、上述のC. P. における回帰関係はT. P. にも延長、適用できるものと仮定する。しかるときは、このC. P. における関係式から、T. P. において処理が行なわれなかった場合の処理流域の流出因子の値が推定されよう。したがって、もしこの方法が正しければ、T. P. におけるこの推定値と実測値との差が林況変化、とくに林木伐採除去のために起こったものと考えることができよう。よって、この差を経時間的に調べることもできる。すなわち、処理流域において人工的变化が加えられるのは森林植生のみで、他の流域条件にはなんらの変化も加えられないし、また起こらないと考えられるからである。筆者らは先に、伐採の影響を受けた流出の経年変化をdouble-mass analysis によって解析して、定性的には以上の目的を達したが定量的にはなお十分ではなかった¹²⁾。

I-2. 解析における仮定の吟味

以上のような考え方で、解析をすすめるに当たっては、その一部についてすでに述べたが、いくつかの仮定がなされていることを考えねばならない。

第1に森林植生の成長にもとづく林況の自然変化に関する仮定であり、第2に解析過程での数学的な取

扱いに関する仮定である。

C. P. において，基準・処理両種流域の森林植生は年々自然の成長をつづけている。T. P. においても基準流域の森林植生はもちろん，処理流域で処理されなかったとした場合の想定森林植生も成長をつづけるものと考えなければならない。したがって，明らかに林況は変化している。しかるに，上述の解析では C. P. における各種流出因子は 1 つのグループとして考え，各測定値を同等の立場において用いることとなる。さらに，C. P. における回帰関係はそのまま T. P. に延長・適用できるものと考えている。すなわち，極端に言えば，このような植生の成長を無視する，少なくとも流出への影響は無視できるとの仮定にたっている。しかし，実際には林木は成長しており，これにともなって変化した林況の流出への影響の仕方が変わるであろうことは明らかである。したがって，この仮定が容認できるものであるかどうかをたしかめておく必要がある。これには 2 つの方法が考えられる。1 つは C. P. における回帰関係が，この期間における林木の成長による林況の緩慢な変化に影響を受けないほどにきわめて高度に有意であるかどうかをたしかめる方法である。きわめて高度に有意であれば，林況変化を無視するための支障は問題にならないと考えてよからう。実際に，このような解析ではその程度を回帰関係の誤差として求めておくからこの関係を用いて，将来推定値を求めたとき，これを推定値の信頼限界に転換すれば一層解析結果の厳密さを期待できる。他の 1 つは解析目標である流出因子（測定値）の時系列が C. P. において長期傾向を有するかどうかである。植生の成長速度から見れば比較的短時間である C. P. において，なお植生の漸進的成長が流出因子に大きく影響するとすれば，このために流出因子は，なんらかの長期傾向を有するはずである。したがって，長期傾向の有無を検定し，これがなければ，やはりいったん成林した森林の普通の成長にともなう流況変化は，短期間の場合，一応度外視できるといってよからう。

次に，考えなければならないのは数学的取扱いの過程における一般的な仮定についてである。すなわち，2 以上の変量間の連関を解析するに当たっては，ごく一般に，次の 3 仮定をまず吟味する必要がある。（1）測定値がそれらの母体の状態を代表している。（2）測定値はたがいに独立である。（3）回帰線からの偏差は同じ分散で正規分布している。これらの仮定の当否は解析から得られた結果の妥当性に関係してくる。

（1）の仮定については，本来，測定開始前に，言いかえれば試験計画樹立の段階で考える問題であって，この場合のように，すでに行なわれてしまった試験の解析では，要するに解析結果を地域的・時間的にどの程度まで拡張して考えるかの問題となり，これは常識的に控え目に参考にする程度に考えればよいことであろう。母体を特定の時間および地域に限りて試験されたのであれば，それを代表しているかどうか吟味する必要がある。また，連関因子の関係の深さは解析の有意性検定あるいは単相関係数・重相関係数の値に水文学的常識を参考して判断が可能であろう。これに関連して，C. P. における前記対照関係が，もし森林に変化が加えられなければ，T. P. にも延長されるという仮定が正しいかどうかは根本的な問題である。大体，T. P. においても同様な対照関係をしらべて見ればおおよその推定はできるが，これに水文学的常識を参照して判断しても異論はなからう。

（2）の仮定について考えると，測定値がたがいに独立でなければ推定される関係の信頼性は低く，偏りのある推定値が得られよう。

さて，一定の時間順序で測定された一連の測定値の系列を時系列という。水年流出量・豊水流出量・渇水流出量・月流出量等の流出因子，水年降水量・年平均気温等の気象因子の測定値はすべて時系列といえ

る。一般に時系列では、ある測定値に関する知識は次の測定値の大略の予測値となる。いいかえれば、通常、時系列では、連続した測定値が従属性と類似性をもつという特徴がある。また、水文・気象関係の測定値の時系列では測定値の平均水準が順序よく変化しているためにおこる一般的傾向、すなわち、一定の増加(上昇)あるいは減少(下降)の長期傾向をもっている場合もしばしば考えられる。ここで用いる資料にこれらの性質があれば、その影響を除かない限り正しい解析、すなわち、林況変化の流況への影響を正しく検出することはできない。したがって、この仮定に関しては十分に吟味が必要である。この仮定の吟味とは測定値の時系列の系列相関と長期傾向の有意性をたしかめることであるといえる。高度の系列相関があれば、前述のように、通常回帰解析では最も正確な推定方法は得られず、この方法によって得られた標準誤差は不正確なものである。しかし、ここで注意すべきは従属変量が独立変量のいずれかに系列相関がなければ(少なくとも、用いる資料の範囲で)、あるいは少なくとも無視できる程度であれば通常の回帰分析法がそのまま使用できるということである。その理由は、どちらかの系列が無作為または無作為に近ければ、その系列の各測定値は相関係数・回帰係数の値について全く新しい知識を与えているからである。そこで、この報告の場合、従属変量はかならずならぬ流出因子であるが、まずこれらの系列相関をたしかめる必要がある。本報告の中の各流域に関する限りでは地形が急峻で、しかもきわめて小さい流域からの流出であるから 1 次系列相関についてその有意性をたしかめれば足りるであろう。系列相関は連続した平均水準のまわりの傾向を表わし、その影響を解析の際修正するか、少なくとも考慮に入れる必要がある。

これだけが通常回帰解析が有効となる条件ではない。他の条件は回帰線からの偏差も系列として独立でなければならないということである。独立であれば普通の解析が有効となる。系列相関のある変量間の回帰解析が有効かどうか検定するには、回帰からの偏差の独立性を検定する必要がある、これには系列相関係数を用いる。この検定には J. DURBIN, —G. S. WATSON の有意水準の限界を用いることとした。もっとも、これを最も妥当に応用するには各独立変量に対して最少 10 個の測定値数が必要とされている。

また、長期傾向は時間にそって測定値をプロットするだけで傾向の有無はただちに推察できよう。しかし、傾向線の検定を行なえばより確かなことはもちろんである。そして、有意な長期傾向があれば、これは平均水準の一般的变化を表わし、解析に着手する前か、その途上でその影響を除去する必要がある。

この報告では、以上の仮定の検定は次のようにすすめる。

まず、各試験地の処理流域の C. P. における従属変量の長期傾向をたしかめる¹⁰⁾。各変量の t (年次経過) に関する 1 次関係において最尤法により回帰係数 α と Y -intercept r_0 の最尤値を求める。任意の年の変量が t につき一定の分散をもって平均値 $E(y)=r_0+\alpha t$ のまわりに独立に正規分布するとすれば、 α および r_0 の最尤値 $\hat{\alpha}$, $\hat{r}_0$ は次式で表わされる。

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

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

$$\text{ただし} \begin{cases} \bar{r} = \sum_{i=1}^n r_i / n \\ \bar{t} = (n+1)/2 \end{cases}$$

ここで t は年、 r_i は各年における変量の値である。これによってすべての場合に $\hat{\alpha}$ および $\hat{r}_0$ を求め

る。 $\bar{r}_0$ は一応おくとして、 α の信頼度、すなわち、この時系列をサンプルと考え、したがって、その母集団たる確率過程に上昇あるいは下降傾向があるかどうかを検定する。いま、傾向なしと仮定すると平方和 S は

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

で表わされ、したがって、信頼度 $(1-\alpha) \times 100\%$ なる α の信頼限界は

$$\hat{\alpha} \pm \sqrt{F_{1-\alpha}^2(a)} \sqrt{S/n-2} / \sqrt{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}$$

で示される。これから信頼限界 ($\alpha=0.05$) の上限および下限を求める。なお、一定の分散については時系列を2部分に分け、両部分の分散を検定して、厳密ではないが、上記検定が認められることをあらかじめたしかめておく。

次に、時系列における測定値の独立性を検定するには R. L. ANDERSON の方法、NEUMANN—HART—ANDERSON の方法などが提案されている。この報告では N.—H.—A. の方法によって、主として従属変量 (C. P.) の系列相関の有意性で検定した。すなわち、系列 $x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot \dots \cdot x_n$ の各項の値が同じ平均値 m と分散 σ^2 をもつ正規分布 $N(m, \sigma^2)$ にしたがって独立して変動する変数がとった値であるという帰無仮説をたて、これを検定する。

$$r = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{n-1} (x_{t+1} - x_t)^2 / 2}{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2}$$

なる r を求める。 r は time lag が1の系列相関に相当するもので、その分布は左右対称であるから正負とも有意点の絶対値は同じである。これを N.—H.—A. の有意点の表に5%有意水準で照合した。なお、次のような QUENOUILLE の近似法も参考までに計算した。すなわち、係数の推定値に $1/n$ を、観測値の対 (ついで) 数に2を加えて普通の相関係数に対する有意性検定の表を用いるものである。

(3) の仮定は、原因不明の変動は多数の独立な原因に帰因するものであり、その1つ1つがその結果として生じた偏差の小部分を構成していると仮定することと同じである。このことは単に偏差が正規分布する原因となるばかりでなく、この仮定を考える最も簡単な方法である。これを検定するには正規分布とした時、与えられた領域にはいるものと期待される観測数を推定する方が簡単、かつ、効果的である。これをその領域内にある数と比較して判断すればよい。すなわち、測定値の90%は標準偏差の1.645倍、いいかえれば回帰線から標準偏差の1.645倍の範囲内にあることが期待される。この測定値数を数えれば実用的には偏差の正規性をたしかめうるといえる。

1—3. 解析の手順

C. P. における従属変量・独立変量について上記の吟味を行ない、その一方に系列相関・長期傾向とも認められなければ通常の回帰解析を行ない、C. P. における処理流域の流出因子 (従属変量) と対照流出因子 (基準流域の) または対照気象因子 (独立変量) との間の回帰方程式を求める。そして、その有意性の検定および従属変量に含まれている原因不明の変動性を推定するため、分散分析を行なう。その計算を利用して参考のため単あるいは重相関係数を求める。

さて、このようにして C. P. における回帰関係の推定が有意であるならば、この関係式に T. P. における独立変量を与えて従属変量を推定する。もちろん、前述のように、もし植生等の流域変数に変化を加え

られなかったならばC. P.における関係はT. P.においても成り立つという仮定にもとづいている。しかしこの推定値は、与えられた独立変量の値に対してとる平均的な値である。推定された関係には誤差が含まれるから、当然推定値にも誤差がある。したがって、あらかじめ推定値の標準誤差を求め、95%のたしかさで真の値が含まれる範囲を求めておく。

T. P.における個々の流出因子（従属変量）、すなわち、追加測定値があてはめられた回帰線と有意にちがっているか否かを検定するという形で、推定値と実測値の差およびその信頼度をたしかめる。最後に差の経年変化と植生処理による林況の変遷とを対照する。地況条件には全く変化を与えていないし、これらの試験期間のような短期間には自然にも変化するとは考えられないから、一応流出変化の原因を林況変化と気象条件に帰せしめて議論する。かくして、林況変化、とくに伐採が溪川流出のうち水年・豊水・平水・低水・渇水各流出量に及ぼす影響を検討する。

II 資 料

II-1. 解析に用いる流出・気象因子

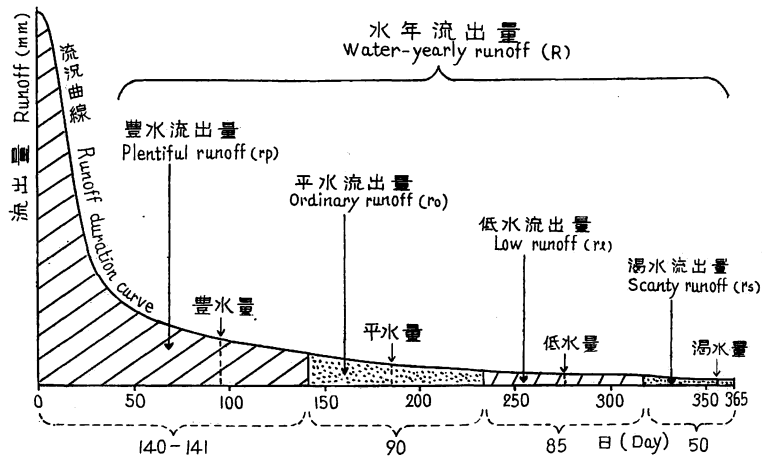
林況変化、とくに林木の伐採除去により小溪川の流出がいかに変化するかを求め、その信頼度をたしかめて、その結果を森林が河川流出に及ぼす影響の一部を知る材料としたいわけであるが、まず流出の年間量、いわゆる豊水時・平水時・低水時・渇水時の量が、森林植生の人為的な変化によって経年的にいかように変化するかを調べることにした。

わが国の水力工学・河川工学界や関連技術界などでは河川の流況を1年間において、ある種日流量のこる日数に関連して表わすことが行なわれている。すなわち、流況曲線・豊水量・平水量・低水量・渇水量等の定義がなされ、河川流況を実用的に知るに便利とされている。そこで、この報告では、このような定義の各種流量が森林によっていかに影響されるかを調べることにした。これらを解析の目標にとることは洪水防止や水資源問題を考える際に大いに参考になろう。

しかし、実際には著者らは上述の各種流量を多少変えて、次のような範囲の流出因子を定義して解析の目標とした。すなわち、水高で示される降水量に対比するのに便利のため、同じく水高で示した毎年の日流出量をもって流況曲線をつくり、これを図のように4分割して、それぞれ豊水流出量・平水流出量・低水流出量・渇水流出量とした。前述の各種流量をとらなかった理由は、この報告の場合、年間流出量の中で、このような各種の流出部分に変化する割合関係をも検討したいためである。これら各種流出量の解析によって、上述の各種流出量の解析も当然なしうと考えられる。すなわち、ここにとくに示さないが、両者の相関はきわめて高度であることをたしかめてある。区分の仕方は、この関係をできるかぎり満足できるように、図において豊水量・平水量・低水量・渇水量の各間隔日数を2分割したものである。したがって、渇水流出量は流況曲線において流出量の小さい方から50日分の流出量であり、同様に、それぞれ低水流出量は次の85日分、平水流出量は次の90日分、豊水流出量は最後の140～141日分の流出量である。

さて、これら水年・豊水・平水・低水・渇水各流出量の値は後に掲げる Table 1, Table 7 のそれぞれ一部として示した。

以上は解析の目標たる従属変量であるが、独立変量もやはり Table 1, Table 7 の他の一部に示した。しかし、これらが選択された理由等については説明の便宜上次のIIIで述べる。



流況曲線と各種流量の配分
The runoff duration curve and division of runoff of various kinds.

II-2. 試験流域の概況ならびに林況の変遷

ここで，各試験地の地況・気象条件や林況変化，とくに伐採の実態・経過，地表植生の変遷について知っておく必要がある。しかし，その詳細については既往の各報告²⁾⁶⁾⁷⁾⁹⁾¹⁰⁾¹⁸⁾²²⁾²⁴⁾に述べられているから，ここでは，主として説明に必要な最少限度の事項について試験流域別にふれることとする。

上川・北谷：

北海道上川郡上川町の石狩川水源流域中にあり，中・古生層と深層風化した花崗岩体からなる東西に長く南北にせまい面積 645.4 ha の流域である。主谷の中流部以下はV字型をなし，大体において急峻であるが，上流部は開析が著しくなく平坦状である。年降水量は 1,200～1,300mm くらいであり多くなく，大体11月から4月上旬までの間に年降水量の約35%が雪として降る。既往1時間雨量の大きいものは 20～30mmであった。流出量は矩形堰で測定された。

1938年から1954年9月中旬まではエゾマツ・トドマツを主とする針葉樹40%弱，ミズナラ・カバ類・シナノキ・カツラ等を主とする広葉樹 60% 強の混交林であった。大ざっぱにいうと，1954年現在400m³/ha 内外の蓄積をもつ代表的な亜寒帯天然林で，未立木地の占有面積は 1%未満であり，林床は全面にわたりオニシモツケ・ホザキナナカマド・サワアジサイ・クマイザサ・イタドリ等低木・下草が見られ，ほぼ完全に林地は植生で被覆されていた。1954年9月26日，洞爺丸台風により全面積の80% (蓄積で90%) の林木が幹折れ (被害木総材積中20%)・根返り (前同80%) の風害を受けた。1955年9月より林道敷設がはじまり，幅 1 m のもの 4,600m，2 m のもの 4,000m が同年内に完成した。また同時に風害木の伐採・搬出も開始された。1956年には幅 2 m の林道 3,500m，幅 3 m のもの 2,000m が開設され，前年9月より本年2月までに風害木約7,600m³ が伐採・搬出された。1957年9月より幅 1.0～1.5m の林道 6,000m，幅 3 m のもの 2,000m が同年内に建設され，前年9月より本年2月までに約 11,000m³ が伐採・搬出された。1958年9月風害時残存林分中の虫害枯損木約 2,000m³ が伐採・搬出された。風害木処理跡地にはクマイザサ・各種低木の繁茂がいちじるしくなった。

釜淵・2号沢：

山形県最上郡真室川町釜淵の最上川水源流域にあり、凝灰岩・頁岩質凝灰岩より成る、ほぼ長方形の流域で、面積は2.48ha、平均勾配は $35^{\circ}50'$ でかなり急傾斜である。年降水量は2,300～2,400mmぐらいで多く、その35～40%が雪として大体12月から3月までに降る。既往1時間雨量の大きいものは、30～50mmで夏期7～9月の間に発生することが多い。流出量は三角形堰で測定された。

1939年から1946年までは、ナラ・ブナその他の広葉樹天然林の中に、団地状にスギ・ヒノキの人工林分が介在した形の森林で、地床植物は豊富であった。1947年12月に針葉樹が皆伐され、冬中に搬出された。1948年春広葉樹も皆伐され、製炭された。これらの伐採で、とくに地表が破壊され、あるいは植生地被がその後完全に消えたということはなかった。その後、1949年から1952年まで毎年6月と9月に後生樹草の全面刈り払いが行なわれた（ただし、刈り取ったものはその場に放置された）。このため広葉樹の萌芽も少なくなり、ササ類・各種下草から成る草地状になった。1953年から1958年までは毎年4月末から5月初旬にかけて火入れし、後生樹草を焼いた。とくに1958年には、火入後5月下旬と7月上旬にほとんど地際からいねいに後生樹草が全面的に刈り払われた。この結果、1958年には一部にはげ地を生じ、全面にススキ・バラが密生したが、小低木類はきわめて少なくなった。なお、基準流域である1号沢の森林には全く人工が加えられなかった。

宝川・初沢：

群馬県利根郡水上町藤原字宝川の利根川水源流域にあり、花崗岩・第三紀層から成る細長い流域（面積117.90ha）で、しかも、主谷は一方にかたより、大部分の斜面が南向きで急傾斜（平均 $24^{\circ}45'$ ）であることが特徴である。年降水量は、試験流域中で常に最少の地点である基地において、2,100mm前後で、その40%が雪として大体11月から4月までに降る。既往の1時間雨量の大きいものは通常7～9月の間にあらわれ、30～50mmであった。流出量は矩形堰で測定された。

1934年～1948年9月まではブナを主とする天然林で、ヒバ・ヒメコマツがこれに混入しており、広葉樹と針葉樹の割合は大体8：2であり、樹種別に見ると大約ブナ60%・ヒバ18%・ナラ12%、その他ホオノキ・カエデ・ヒメコマツ等であった。1948年夏の調査では240m³/ha くらいの蓄積であった。地床には低木・草の繁茂が著しく、峯筋にごく小面積の露岩地があったほかは全流域が十分な植生で被覆されていた。1948年10月から下流部の一部地域（約19ha）で単木択伐、ところにより団地状択伐が行なわれた。同様に、1949・1950・1952の各年にもそれぞれ一部地域（それぞれ約38ha・29ha・33ha）で択伐が行なわれた。1951年および1953年以降はほとんど自然のままに放置された。基準流域である本流流域の森林には全く人工が加えられなかった。

岡山・南谷および北谷：

岡山市祇園にあり、旭川中流に流入する支沢の水源で、秩父古生層・石英斑岩から成る、ともにほぼ扇形の流域で、面積はそれぞれ22.611ha・17.274haでわずかに南谷流域が広い。平均勾配は 26.1° の南谷に対し、北谷は 30.9° でやや急である。年降水量は1,200mm内外で、雪はきわめて少なく、積雪をみることはごくまれである。既往における1時間雨量の大きいものは30～50mmである。流出量は三角形堰で測定された。

南谷では、1937年から1944年3月までは一部のヒノキ造林地のほかはすべて天然生のアカマツ林で、一応100%の森林流域であった。そして、下草としてササの繁茂がめだっていた。しかし、1940年ごろから

キイロコクイムシ等によりアカマツの虫害木が見られるようになり、1944年には被害が激しくなったので当初の試験計画を変え皆伐することとなった。1944年度に 8.4 ha, 1945年度に 9.17 ha が伐採、処分された。しかも、1945年 3～6 月の間に戦時中のこととて全域から松根油採取のため松根多数が掘り取られた。1946年から1953年まで伐採跡地はネズミサシ・シデ・コナラ・クスギ・ヤマハゼ・ヒサカキ等の稚木とササが著しく繁茂するようになり、アカマツの稚樹はこれらに圧倒されてあまり発生しなかった。峯筋の一部に裸地を生じたがごく少面積で、上層林木はないがきわめて低い低木や下草でほぼ 100%近く林地は被覆された。1954年11月に一部地区 (7.5ha) で植栽のため下刈 (筋刈) 地拵が行なわれ、1955年 3月、これにヒノキが植栽され、8月に保育のための下刈 (筋刈) が実施された。また、11月にはさらに一部地区 (7.2ha) に下刈 (筋刈) 地拵が行なわれ、1956年 3月にヒノキが植栽され、7～8月にはこの新植地と1955年の植栽地とあわせて保育下刈が行なわれた。結局、この年は下刈が約 15ha (全面積の約 70%) にわたって実施されたことになる。1957年 2～3月にはさらに 4.8haに全刈地拵が行なわれ、ヒノキ・クロマツが植栽され、3月には1955・1956両年の植栽地の保育下刈が行なわれた。さらに、7月には 4.8ha の全刈保育下刈が実施された。1958年は全く放置された。

北谷の方も南谷同様虫害の発生があり、1945年度には 10.57ha が伐採処理された。松根採取も南谷同様行なわれた。1946年 5月から翌1947年 7月までの間に 6.63ha の幼齢林が伐採され、面積でほぼ 100%の伐採が終了した。伐採跡地の植生状況は南谷とほぼ同様で、低木やササ その他雑草の繁茂が著しかった。峯筋付近のはげ地は南谷よりやや多かった。1948年以降北谷流域では植生に手を加えられることは全くなく、放置された。そして、逐年雑木は成長し、しだいに雑木林となった。

W. W. G. ・ B 谷：

アメリカ Colorado 州に米国山林局・気象台の協力で設定された、石英粗面岩から成る面積約 80ha の流域で、しいていえば細長い形状である。平均勾配は 14° 30' である。年降水量は 500mm前後で、10月から3月にかけて約50%が雪の形で降る。

1911年から1918年までの林地地被状況は、大部分、山火跡地に再生した未熟林分で、焼け残りの Douglas fir (*Pseudotsuga taxifolia*) と Engelmann spruce (*Picea engelmannii*) が約23% (面積割合)、山火跡地にまず出現する aspen (*Populus tremuloides*) 林分 (樹高 2～12m) が約61%、高さ 30cm 以下の草から成る草地約 6%、焼跡・裸地約 7%、それに露岩地が約 3% くらいあるといったものであった。1919年夏中に流路にそった带状地を除いて、他の地域のすべての植生が伐倒あるいは刈り払われた。針葉樹伐採木の太径木は流域内をよこぎって道路まで約 3,000mの距離をずり出された。ずり出し作業は1919～1920年の間に行なわれた。ずり出し道の一部は後になってかなり侵食された。捨て残された枝や梢頭、搬出されなかった小径木等は山腹斜面に列状に寄せ集められ、1920年 9月に焼却された。積み上げたものだけは十分に焼け、表土が裸出し、点々と scar を生じた。しかし、大侵食のきざしはみとめられなかった。ただ、この部分では、後日、aspen がほとんど現われなかった。伐倒された aspen の大部分は地表に放置され、焼かれず、一部は搬出利用された。1920年夏には先に伐り残された溪流沿いの带状林分が伐採された。1921～1923年には1919年の伐跡地に草が生育しはじめ、疎に aspen, Douglas fir, Engelmann spruce の稚樹が再生した。1925年と1926年の各夏期に山羊80頭が放牧されたが、大して荒らされることもなく、また、ごく小地域のほかは大して食い荒されることはなかった。1926年 7月には aspen 萌芽は樹高 1～2m になった。

III 解析の結果

III-1. C. P. における回帰解析

各試験処理流域の C. P. における水年・豊水・平水・低水・渇水各流出量の値をまとめたのが、Table 1—(1)~(5)の一部である。ただし、宝川については水年流出量だけを掲げたが、この理由は後に述べる。この Table で、水年は降雪のはじまる月で区切ってある。水年の区切り方については議論¹⁵⁾があるが、ここではかならずしも重要でないのでふれないこととする。ただ、これらの各種流出量が1水年間にどのように分布しているかは解析に際して、すなわち関連独立変量の発見や結果の考察に際して重要であるので、各流出量の起月を調べた。これをまとめたのが Table 2 である。この結果は解析のためばかりでなく一般的に山地溪川の流況を知る上にも参考になると考えられるのでここに掲げた。

さて、これらの流出因子を従属変量として解析の目標とすると、次にこれらにきわめて関係の深いと考えられる水文因子（流出因子と気象因子——すべて限定された測定項目のなかから選択するのであるから完全ではないが）を多数えらび、これらの1つあるいはいくつかの組合せによって最も望ましい、C. P. における回帰関係を求めなければならない。

Table 1. 各試験流域の C. P. における水年・豊水・平水・低水・渇水各流出量
(従属変量)と関連気象・流出因子(独立変量)

Water-yearly, plentiful, ordinary, low and scanty runoff (dependent variables) and related hydrological factors (independent variables) for calibration period of each experimental watershed.

(1) 上川・北谷

KAMIKAWA・KITA-TANI watershed.

水 年 (11~10月) Water-year (Nov.~Oct.)	従 属 変 量 Dependent variables					独 立 変 量 Independent variables			
						二 の 沢 露 場 NINOSAWA observation station			基 地 露 場 Base observation station
						水年降水量 Water-yearly precipitation	前水年降水量 Preceding water-yearly precipitation	11~4月降水量 Nov.—Apr. precipitation	11~4月平均日蒸発量 Nov.—Apr. mean daily evaporation
	R	r_p	r_o	r_l	r_s	P_k mm	P_{pk} mm	p_k mm	e_k mm
1943	713.2	509.3	105.5	68.67	29.70	1,393	(1,266)	566	1.4
44	643.0	446.4	102.4	65.85	28.32	1,219	1,393	481	1.3
45	664.5	482.9	95.8	60.88	25.00	1,226	1,219	468	1.7
46	1001.1	715.2	164.1	91.56	30.27	1,713	1,226	623	1.3
47	960.5	641.7	177.8	100.90	40.17	1,677	1,713	627	1.2
48	872.7	572.3	159.6	101.29	39.53	1,560	1,677	501	1.2
49	775.1	551.3	104.9	79.75	39.11	1,319	1,560	631	1.2
50	708.2	490.2	108.2	75.45	34.32	1,304	1,319	531	1.4
51	829.0	552.0	146.2	91.98	38.83	1,459	1,304	639	0.9
52	794.1	537.2	133.3	86.16	37.43	1,403	1,459	552	1.0
53	921.9	671.2	139.9	77.10	33.65	1,542	1,403	555	1.0

(2) 釜淵・2号沢

KAMABUCHI・No. 2 watershed.

水 年 (12~11月) Water-year (Dec. ~ Nov.)	従 属 変 量 Dependent variables					独 立 変 量 Independent variables				
						1 号 沢 No. 1 watershed				
	R	r_p	r_o	r_t	r_s	R_1	r_{p1}	r_{o1}	r_{t1}	r_{s1}
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1940	2,086	1,895	144.2	42.34	4.70	1,920	1,769	117.1	31.22	2.84
41	1,590	1,343	165.4	67.89	13.12	1,452	1,242	144.8	56.82	8.30
42	1,430	1,285	107.3	33.16	4.79	1,302	1,185	91.4	24.21	1.80
43	2,030	1,810	156.2	59.99	3.30	1,901	1,711	137.3	50.76	1.76
44	2,006	1,806	134.3	57.34	7.97	2,056	1,835	150.1	63.07	8.19
45	2,219	2,002	145.9	62.33	8.93	2,255	2,005	165.6	73.36	11.65
46	2,272	2,063	150.7	53.37	5.77	2,346	2,111	175.8	54.27	4.69
47	2,969	2,556	261.8	119.24	31.54	2,898	2,507	251.4	115.94	23.84

釜淵・2号沢, 宝川・初沢, W.W.G.・B

谷の各試験流域の場合は基準流域があるから、まず、基準流域の同種流出因子との単相関係数を概算し、これがきわめて高度であれば、すなわち、0.95前後もしくはそれ以上であれば、一応この関係を採用して、さらに回帰関係を精算することとした。一般に基準流域は、地況・林況・気象・面積などの流域条件をできるだけ同じくし、かつ、近接する流域にとられるから当然この関連程度は高度のはずである。釜淵・2号沢はこの好例である。しかしながら、常に上述のような意味で適切な基準流域が得られるとは限らず、したがって、基準流域の同種流出因子との単相関係で、上述のような高度の関係が得られるとは限らない。このときはT. P.における森林処理によって影響を受けない地点の気象因子から関連の深いものを取りあげ、基準流

(3) 宝川・初沢

TAKARAGAWA・SHOZAWA watershed.

水 年 (11~10月) Water-year (Nov.~Oct.)	従 属 変 量 Dependent variables	独 立 変 量 Independent variables
		本 流 HONRYU watershed
	R mm	R_H mm
1938	1,928	3,274
39	1,712	3,048
40	1,795	3,163
41	1,685	2,682
42	1,428	2,572
43	1,723	2,947
44	1,957	3,302
45	2,423	4,116
46	1,637	2,846
47	1,929	3,305
48	(1,399)	2,616

域の同種流出因子とあわせて重回帰関係を求めなければならない。この場合は、これらの値の間の重相関係数を概算し、これが0.95前後もしくはそれ以上となるような組合せをえらんで、解析の資料に供した。たとえば、W.W.G.・B谷の平水流出量の場合、基準流域のそれにある種の降水量あるいは平均気温をあわせるとよいことがわかったときである。

(4) 竜の口山・南谷ならびに北谷

TATSUNOKUCHIYAMA・MINAMI-TANI and KITA-TANI watershed.

水 年 (1~12月) Water-year (Jan.~ Dec.)	従 属 変 量 Dependent variables									
	南 谷 MINAMI-TANI watershed					北 谷 KITA-TANI watershed				
	R	r_p	r_o	r_l	r_s	R	r_p	r_o	r_l	r_s
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1937	249.3	218.6	16.89	10.56	3.24	273.3	244.3	15.43	10.21	3.39
38	378.0	335.3	21.33	14.84	6.59	398.0	360.0	18.63	13.16	6.18
39	51.9	41.5	6.51	3.12	0.77	50.2	39.0	6.63	3.57	1.01
40	87.8	77.6	5.54	3.48	1.12	107.1	97.1	5.27	3.56	1.22
41	477.0	436.7	23.78	12.87	3.66	515.0	476.4	22.62	12.39	3.62
42	368.2	332.4	18.58	11.73	5.57	386.5	353.3	16.65	11.37	5.15
43	438.3	406.6	16.56	10.40	4.73	455.8	428.8	13.31	9.39	4.32
44						130.7	110.2	10.87	7.14	2.48

(5) W. W. G. ・ B 谷

WAGON WHEEL GAP・B watershed

水 年 (10~9月) Water-year (Oct.~ Sept.)	従 属 変 量 Dependent variables									
	R	r_p	r_o	r_l	r_s	R_A	$r_{p,A}$	$r_{o,A}$	$r_{l,A}$	$r_{s,A}$
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1912	212.7	145.8	29.59	23.91	13.42	212.6	147.4	30.55	22.89	11.79
13	132.5	73.7	25.37	22.16	11.23	121.4	70.2	22.18	18.85	10.19
14	141.0	87.9	22.16	19.78	11.13	143.1	93.3	22.13	17.77	9.88
15	137.4	85.4	22.15	19.71	10.18	135.9	89.5	20.43	17.13	8.91
16	141.1	89.3	21.77	19.04	10.94	142.0	93.4	23.14	16.55	8.88
17	250.1	191.3	25.87	21.09	11.83	244.8	191.3	26.30	17.82	9.35
18	89.9	39.1	22.76	19.02	8.95	81.1	39.0	18.32	15.62	8.14

宝川・初沢の場合は本流を基準流域として考えたものの、元来、基準流域として設定されたものでなく
たとえば面積など極端に異なるため、水年流出量以外は W. W. G. ・ B 谷の場合のようにして求めよう
としたが、結局、適当な因子を得られないことがわかったので断念した。

次に、上川・北谷、竜の口山・南谷および北谷の流域については、前述のように、結局単独流域法が行
なわれたわけであるから、まず、前記の流出因子を従属変量として、これに密接な関係を有する降水量そ

独立変量 Independent variables				
基地露場 Base observation station			岡山地方気象台露場 Observation station of OKAYAMA Local Meteorological Observatory	
水年降水量 Water-yearly precipitation	前水年降水量 Preceding water-yearly precipitation	4～10月降水量 Apr.-Oct. precipitation	水年蒸発量 Water-yearly evaporation	水年平均気温 water-yearly mean air tem- perature
P_T mm	P_{PT} mm	p_T mm	E_T mm	t_T °C
1,197	(1,071)	843	1,130	15.1
1,250	1,197	1,062	981	14.8
622	1,250	418	1,274	14.8
946	622	753	1,240	14.6
1,523	946	1,195	1,134	14.6
1,238	1,523	1,041	1,297	14.6
1,295	1,238	1,097	1,246	14.3
835	1,295	604	1,337	14.6

独立変量 Independent variables					
A 谷 A watershed					
水年降水量 Water-yearly precipitation	12～3月 降水量 Dec.-Mar. precipitation	7～9月 降水量 July-Sept. precipitation	10～3月 降水量 Oct.-Mar. precipitation	7～9月 平均気温 July-Sept. mean air temperature	水年平均地温 Water-yearly mean earth temperature
P_W mm	p_{1W} mm	p_{2W} mm	p_{3W} mm	t_W °F	t_{eW} °F
541	137	160	278	49.3	(31.2)
474	110	180	185	50.5	31.1
575	154	226	226	50.6	31.7
507	126	176	182	50.8	30.6
577	212	244	271	50.5	32.2
581	144	133	259	50.9	29.7
480	146	252	178	49.9	31.6

他の気象因子で、森林処理により影響を受けない地点の測定値をいくつか独立変量にとり、それらのうちの1因子あるいは数因子の組合せとの回帰関係を求めなければならない。すなわち、T. P. における森林処理により影響されないと考えられる地点の各種期間あるいは時点での気象因子を、対照する流出因子の実態判断 (Tabel 2 などを参考して) から直観的に多数集計し、これらのうちの1因子あるいは2以上の組合せ因子を独立変量にとり、従属変量との単相関関係、重相関関係を多数試算し、このなかから最も

Table 2. 各試験流域の全試験期間における豊水・平水・低水・渇水各流出量の平均月別分布

Average monthly distribution of plentiful, ordinary, low and scanty runoff for whole period of each experimental watersheds.

試 験 流 域 Experimental watersheds	月 Month	r_s %	r_l %	r_o %	r_d %
上 川・北 谷 KAMIKAWA・ KITA-TANI	11	—	2	16	10
	12	—	21	13	1
	1	1	34	1	—
	2	35	13	0	—
	3	54	4	0	0
	4	9	7	5	10
	5	—	—	0	22
	6	—	0	8	16
	7	—	7	15	8
	8	—	6	12	12
釜 淵・2 号 沢 KAMABUCHI・ No. 2	9	1	4	14	10
	10	—	2	16	11
	12	—	3	14	11
	1	—	10	19	4
	2	0	12	15	4
	3	—	1	8	16
	4	—	2	3	19
	5	9	13	7	7
	6	20	10	5	5
	7	17	10	4	7
宝 川・初 沢 TAKARAGAWA・ SHOZAWA	8	34	8	3	3
	9	12	12	6	6
	10	7	12	8	7
	11	1	7	8	11
	12	3	6	13	9
	1	3	9	17	5
	2	2	20	13	1
	3	5	23	5	1
	4	1	8	7	12
	5	—	—	0	21
竜 の 口 山・南 谷 TATSUNOKUCHI- YAMA・ MINAMI-TANI	6	0	1	3	19
	7	8	6	11	8
	8	10	8	8	9
	9	35	6	4	3
	10	20	6	8	6
	11	13	7	11	6
	12	17	11	7	5
	1	11	8	10	5
	2	3	6	7	13
	3	3	5	7	13
W. W. G.・B 谷 WAGON WHEEL GAP・B	4	4	4	7	14
	5	4	5	9	11
	6	4	6	7	12
	7	18	9	10	4
	8	9	10	7	8
	9	6	10	10	8
	10	7	11	11	4
	11	14	15	8	3
	12	1	9	12	8
	1	0	7	20	4
W. W. G.・B 谷 WAGON WHEEL GAP・B	2	13	12	15	1
	3	18	19	7	0
	4	21	17	4	—
	5	7	15	7	6
	6	—	0	3	20
	7	—	—	—	22
	8	0	1	0	20
	9	2	4	8	14
	10	19	7	12	3
	11	19	9	12	2

関係高度な，少なくとも0.95前後もしくはそれ以上の相関係数の得られる1因子，もしくは組合せ因子を求めた。もちろん，組合せ因子の場合はその組合せ数の最も少ないものをうるよう努めた。宝川・初沢における豊水・平水・低水・渇水各流出量についてもかき集めてこのような試算を試みたが，結局有効な因子を求めることができず，水年流出量以外の解析を断念した。この理由は簡単には明らかにし得ないが，おそらく面積の極端な相違，したがって，流域のひろがりの違いにもとづくあらゆる流域条件の大きな差異にあるものと考えられる。すなわち，各月・各季節をふくむ年単位では傾向が一致してくるが，豊水・平水・低水・渇水各流出量のように起月が特定のものには面積のちがいの影響がはっきり現われてくるからと考えられる。そこで，基準流域の因子に特定地点，すなわち，観測基地における各種気象因子を組み合わせ，重相関関係によって好ましい関係因子を求めた。Table 2を参考して，これら流出因子の起月から各種の気象因子を集計し，これらの各種組合せ因子との関係を調べたが，豊水・平水両流出量についてはある程度の重相関関係が認められたが，低水・渇水両流出量については十分有意な関係を得られなかった。

以上によって得られた関連独立変量を，各試験流域ごとに示したのが Table 1—(1)～(5)の一部である。なお，独立変量決定事情の細部その他について，2，3補足説明するとつぎのとおりである。

上川・北谷で，降水量に二の沢露場での測定値を採用したのはつぎの理由による。すなわち，試験流域内で最も早く開設された露場は二の沢露場と一の沢露場であるが，その後試験流域内の多数点での測定値との関連を調査すると，南谷・北谷・二の沢各試験流域の集水地降水量は年・月単位等長期間のそれについてはほとんど二の沢露場の測定値単独で代表させうることがわかった。よって，当然これら3流域における試験結果の解析には，この測定値を用いるのが妥当と考えられ，しかも，この露場は二の沢と南谷との合流点付近で平坦な40m四方の無立木地に設定されており，周囲の林況変化によってほとんど影響を受けていないと考えられるからである。また，Table 1—(1)で，1943水年の前水年にあたる1942水年の水年降水量1,266mmは試験地事務所露場の測定値との関係から推定した値である。すなわち，二の沢露場は歴年で1942年6月測定開始であるから，1942水年の中である歴年の1941年11月より1942年5月までの測定値はない。そこで，上川試験地では歴年の1942年6月以降数年間の二の沢・基地両露場の日降水量の対照関係を調査し，前者の日降水量は後者の1.067倍として大きな誤りがないことが既往たしかめられている。よって，この未測定の7か月分をこの方式により推定し，これから1942水年の水年降水量が推定された。なおここで，11～4月，5～10月の期間を区切ったが，前者は降雪期間であり，後者はそれ以外の期間である。

竜の口山・南谷および北谷については，前述のようにTable 2の各流出因子の起月から判断して，関連の深いであろうと思われる各種期間・時期の気象因子多数を直観的に集計した。すなわち，まず両流域内森林の虫害ならびにこれにともなう伐採によって測定値に影響はなかったと判断される基地露場（十分な面積をもち適切な位置に設定されている）での降水量を用いた。このほか重要な関連因子と考えられる普通蒸発計による蒸発量および気温は，岡山分場試験基地の南南西6kmの地点にある岡山地方気象台露場での測定値を用いた。その理由は，試験基地露場においては，T. P. における1947・1948の両年にわたりこれら因子の測定を中止し，欠測となっているため，以後の解析に差しつかえるからである。これら因子は岡山地方気象台露場の年蒸発量・年平均気温・月平均最高ならびに最低気温の年間平均値・夏ならびに冬期間の蒸発量・平均気温・平均最高ならびに最低気温等の多数を考えた。これらの1つあるいはいくつ

かの組合せと解析対象たる流出因子の単・重相関関係を調べた結果、Table 1—(4)の一部に示すものが結局最良（相関係数が最大で、組合せ因子数が最少のようであった）であった。当然南・北両谷について、この因子は共通であった。岡山分場基地露場では、1936年にはまだ気象観測が行なわれていなかった。したがって、1937水年の前水年降水量 1,071mmは基地露場の水年降水量と岡山気象台露場のそれとの高度な関係から推定したものである。

W. W. G. ・ B谷 (Table 1—(5)) の関係で、A谷の降水量はすべて特定地点の測定値ではなく集水地降水量である。平均気温・平均地温はA谷中の特定地点のものである。1912水年分の水年平均地温 31.2°Fは未測定月があり、これらの月のそれは後年の該当月のそれから推定した。

宝川・初沢の1948水年の水年流出量 1,399mmは量水堰堤修理のため欠測期間があったので、この年以前の該当期間における本流流出量と初沢の流出量との高度な関係から推定した。

さて、以上のようにして一応求められた独立変量ならびに従属変量について前述のような吟味が行なわれなければならない。まず、各試験流域における各種流出量、すなわち、従属変量の時系列の独立性と長期傾向を調べた結果が Table 3 である。

これによると長期傾向はすべて有意でなく、上川・北谷の低水流出量、釜淵・2号沢の水年ならびに豊水流出量の、それぞれ、1次系列相関係数だけが有意となる。したがって、大部分は通常の回帰解析が行なえるはずである。しかし、上述の3流出量については関連独立変量の方でさらに吟味する必要がある。

Table 4 は関連独立変量の時系列の独立性と長期傾向を調べた結果を示す。これによると、上記3種の従属変量に関連する独立変量についてはすべて系列相関係数も長期傾向も有意でないという結果となった。

Table 3. 各試験流域の C. P. における水年・豊水・平水・低水・渴水各流出量の時系列の系列相関係数ならびに長期傾向の検定

Test of significance of serial correlation coefficient and trend of time series of water-yearly, plentiful, ordinary, low and scanty runoff for calibration period of each experimental watersheds.

試験流域 Experimental watersheds	R		r_p		p_o		r_t
	相関係数の有意性 Significance of correlation coefficient	長期傾向の有意性 Significance of trend	相関係数の有意性 Significance of correlation coefficient	長期傾向の有意性 Significance of trend	相関係数の有意性 Significance of correlation coefficient	長期傾向の有意性 Significance of trend	
上川・北谷 KAMIKAWA KITA-TANI	×	×	×	×	×	×	○
釜淵2号沢 KAMABUCHI No. 2	○	×	○	×	×	×	×
宝川・初沢 TAKARAGAWA・SHOZAWA	×	×					
竜の口山・南谷 TATSUNOKUCHIYAMA・MINAMI-TANI	×	×	×	×	×	×	×
竜の口山・北谷 TATSUNOKUCHIYAMA・KITA-TANI	×	×	×	×	×	×	×
W. W. G. ・ B谷 WAGON	×	×	×	×	×	×	×
WHELE GAP・B							

注) ○95%で有意

Note : ○Significant at the 95% level.

さらに偏差の独立性に関して，同様に系列相関の検定を行なったが，その結果はほとんど観測値（従属・独立両変量）の場合と同じで，この面でも通常の回帰解析の実行が差しつかえないことが認められた。結果の表示は省略する。少なくともここに採りあげている範囲では共に問題とする必要はなからう。また，C. P. における回帰線からの偏差の正規性について前述の簡単な方法で調べた結果は Table 5 のとおりである。この結果によると，前述(3)の仮定についても問題はないことが知られる。

以上，仮定を吟味したところ前記の各因子を用い，すべて通常の回帰解析を行なって差しつかえないことがわかった。そこで，次に各試験流域の C. P. における各種流出量と関連独立変量との回帰関係を推定した。得られた線型回帰式を Table 6—(1)~(5) に示す。各回帰式の有意性および相関係数は表示のとおりで，いずれもきわめて有意であることがわかる。

次に，各試験流域の T. P. における各種流出量（従属変量）と関連独立変量を示すと Table 7—(1)~(5) のとおりである。Table 7—(3)で，1949・1950・1951 各水年における初沢の水年流出量は推定

r_s		
長期傾向 の有意性 Significance of trend	相関係数 の有意性 Significance of correlation coefficient	長期傾向 の有意性 Significance of trend
×	×	×
×	×	×
×	×	×
×	×	×
×	×	×

Table 4. 各試験流域の全期間における関連独立変量の時系列の系列相関係数ならびに長期傾向の検定

Test of serial correlation coefficient and trend of time series of related independent variables for whole period of each experimental watersheds.

試 験 地 Experimental stations	独立変量 Independent variables	相関係数の 有意性 Significance of correlation coefficient	長期傾向の 有意性 Significance of trend
上 川 KAMIKAWA	P_k	×	×
	P_{2k}	×	×
	p_k	×	×
	e_k	×	×
釜 淵 KAMABUCHI	R_1	×	×
	r_{21}	×	×
	r_{01}	○	×
	r_{11}	○	×
	r_{31}	×	×
宝 川 TAKARAGAWA	R_H	×	×
竜 の 口 山 TATSUNOKU-CHIYAMA	P_T	×	×
	P_{2T}	×	×
	p_T	×	×
	E_T	×	×
	t_T	×	×
W. W. G. WAGON WHEEL GAP	R_A	×	×
	r_{2A}	×	×
	r_{0A}	×	×
	r_{1A}	○	×
	r_{3A}	○	×
	P_W	×	×
	p_{1W}	×	×
	p_{2W}	○	×
	p_{3W}	×	×
	t_W	×	×
	t_{cW}	○	×

注) ○95%で有意

Note : ○Significant at the 95% level.

Table 5. 各試験流域の C. P. における
Test of normality of deviation from regression line

試 験 流 域 Experimental watersheds	R				r _o				σ
	σ	σ × 1.645	測 定 値 Numbers of data	σ×1.645 からはずれる 測定値数 Numbers of data falling out of σ×1.645	σ	σ × 1.645	測 定 値 Numbers of data	σ×1.645 からはずれる 測定値数 Numbers of data falling out of σ×1.645	
上 川・北 谷 KAMIKAWA・ KITATANI	32	53	11	1	36	59	11	0	10
釜 淵・2 号 沢 KAMABUCHI・ No. 2	91	150	8	0	62	102	8	0	21
宝 川・初 沢 TAKARAGAWA・ SHOZAWA	66	109	11	1					
竜の口山・南谷 TATSUNOKUCHI・ YAMA-MINAMI-TANI	40	66	7	0	35	58	7	0	1.7
竜の口山・北谷 TATSUNOKUCHI・ YAMA-KITA-TANI	37	61	8	0	36	59	8	0	2.8
W.W.G.・B 谷 WAGON WHEEL GAP・B	5.3	8.7	7	0	3.5	5.8	7	0	0.90

値である。すなわち、量水堰堤修理のため測定を中止した月が各年に 1～2 か月あるので、これらは本流の該当月流出量との高度な関係から推定し、水年流出量を積算した。

Ⅲ—2. T. P. における水年・豊水・平水・低水・渇水各流出量の推定値およびその実測値との比較
前掲の回帰式に Table 7—(1)～(5) の関連独立変量を用いて各流出量を推定すると、Table 8・9・

Table 6. 各試験流域の C. P. における水年・豊水・平水・低水・渇水各流出量と関連独立
変量との間の線型回帰

Linear regression between water-yearly, plentiful, ordinary, low
and scanty runoff and related independent variables for calibration period
of each experimental watersheds.

(1) 水 年 流 出 量 Water-yearly runoff

試 験 流 域 Experimental watersheds	回 帰 式 Regression equations	回帰の有意性 Significance of regression	単(重)相関係数 Simple (multi- ple) correlation coefficient
上 川・北 谷 KAMIKAWA・ KITA-TANI	$R=0.6907P_k-185.4$	99.9	0.97
釜 淵・2 号 沢 KAMABUCHI・No. 2	$R=0.9039R_1+253$	99.9	0.98
宝 川・初 沢 TAKARAGAWA・ SHOZAWA	$R=0.6269R_H-147$	99.9	0.98
竜の口山・南谷 TATSUNOKUCHIYAMA ・MINAMI-TANI	$R=0.5125P_T+0.1660P_{PT}-104t_T+1041.1$	99	0.99
竜の口山・北谷 TATSUNOKUCHIYAMA ・KITA-TANI	$R=0.5715P_T+0.1395P_{PT}-84.0t_T+726.7$	99	0.99
W.W.G.・B 谷 WAGON WHEEL GAP・B	$R=0.9721R_A+7.7$	99.9	0.99

る回帰線からの偏差の正規性の検定

for calibration period of each experimental watersheds.

r_0			r_l				r_s			
σ $\times$ 1.645	測 定 数 Numbers of data	$\sigma \times 1.645$ からはずれる測定値数 Numbers of data falling out of $\sigma \times 1.645$	σ	σ $\times$ 1.645	測 定 数 Numbers of data	$\sigma \times 1.645$ からはずれる測定値数 Numbers of data falling out of $\sigma \times 1.645$	σ	σ $\times$ 1.645	測 定 数 Numbers of data	$\sigma \times 1.645$ からはずれる測定値数 Numbers of data falling out of $\sigma \times 1.645$
16	11	1	6.8	11	11	1	2.4	3.9	11	0
35	8	0	8.2	13	8	0	3.0	4.9	8	1
2.8	7	0	0.89	1.5	7	0	0.83	1.4	7	0
4.6	8	0	1.4	2.3	8	0	0.62	2.0	8	0
1.5	7	0	0.53	0.87	7	0	0.20	0.33	7	0

(2) 豊水流出量 Plentiful runoff

試 験 流 域 Experimental watersheds	回 帰 式 Regression equations	回帰の有意性 Significance of regression	単(重)相関係数 Simple (multi- ple) correlation coefficient
上 川・北 谷 KAMIKAWA・KITA-TANI	$r_y = 0.4520P_K - 88.9$	99.9	0.91
釜 淵・2 号 沢 KAMABUCHI・No. 2	$r_y = 0.9172r_{P1} + 197$	99.9	0.99
竜 の 口 山・南 谷 TATSUNOKUCHI YAMA・MINAMI-TANI	$r_y = 0.4704P_T + 0.1491P_{PT} - 115t_T + 1240.6$	99	0.99
竜 の 口 山・北 谷 TATSUNOKUCHI YAMA・KITA-TANI	$r_y = 0.5360P_T + 0.1241P_{PT} - 94.9t_T + 917.4$	99	0.99
W.W.G.・B 谷 WAGON WHEEL GAP・B	$r_y = 0.9973r_{PA} - 1.8$	99.9	0.99

(3) 平水流出量 Ordinary runoff

試 験 流 域 Experimental watersheds	回 帰 式 Regression equations	回帰の有意性 Significance of regression	単(重)相関係数 Simple (multi- ple) correlation coefficient
上 川・北 谷 KAMIKAWA・KITA-TANI	$r_0 = 0.1606P_K - 100.2$	99.9	0.94
釜 淵・2 号 沢 KAMABUCHI・No. 2	$r_0 = 0.8599R_{01} + 25.6$	99	0.90
竜 の 口 山・南 谷 TATSUNOKUCHI- YAMA・MINAMI-TANI	$r_0 = 0.01834P_T + 0.008919P_{PT} - 0.01871E_T + 6.64$	99	0.99
竜 の 口 山・北 谷 TATSUNOKUCHI- YAMA・KITA-TANI	$r_0 = 0.01494P_T + 0.007149P_{PT} - 0.01397E_T + 5.85$	95	0.93
W.W.G.・B 谷 WAGON WHEEL GAP・B	$r_0 = 0.5286r_{0A} - 0.0364P_{1W} - 1.35t_W + 85.50$	99	0.98

(4) 低水流出量 Low runoff

試験流域 Experimental watersheds	回帰式 Regression equations	回帰の有意性 Significance of regression	単(重)相関係数 Simple (multiple) correlation coefficient
上川・北谷 KAMIKAWA・KITA-TANI	$r_l = 0.04957P_K + 0.02799P_{PK} - 12.e_K - 13.96$	99	0.91
釜淵・2号沢 KAMABUCHI・No. 2	$r_l = 0.8732r_{l1} + 10.69$	99.9	0.96
竜の口山・南谷 TATSUNOKUCHI-YAMA・MINAMI-TANI	$r_l = 0.006146P_{PT} - 0.01841E_T + 0.01088p_T + 14.55$	99	0.99
竜の口山・北谷 TATSUNOKUCHI-YAMA・KITA-TANI	$r_l = 0.005972P_{PT} - 0.01278E_T + 0.008812p_T + 9.70$	95	0.96
W.W.G.・B谷 WAGON WHEEL GAP・B	$r_l = 0.6377r_{LA} - 0.00699P_W - 0.00967p_{3W} + 14.77$	99	0.98

(5) 渇水流出量 Scanty runoff

試験流域 Experimental watersheds	回帰式 Regression equations	回帰の有意性 Significance of regression	単(重)相関係数 Simple (multiple) correlation coefficient
上川・北谷 KAMIKAWA・KITA-TANI	$r_s = 0.0242p_K + 0.01793P_{PK} - 8.0e_K + 5.20$	99	0.92
釜淵・2号沢 KAMABUCHI・No. 2	$r_s = 1.195r_{s1} + 0.60$	99.9	0.95
竜の口山・南谷 TATSUNOKUCHI-YAMA・MINAMI-TANI	$r_s = 0.004136P_{PT} - 0.006674E_T + 0.004828p_T + 2.52$	95	0.96
竜の口山・北谷 TATSUNOKUCHI-YAMA・KITA-TANI	$r_s = 0.003787P_{PT} - 0.006220E_T + 0.003875p_T + 3.13$	95	0.97
W.W.G.・B谷 WAGON WHEEL GAP・B	$r_s = 0.7981r_{SA} + 0.0135p_{3W} - 0.324e_W + 10.50$	99	0.99

Table 7. 各試験流域の T. P. における水年・豊水・平水・低水・渇水各流出量(従属変量)と関連気象・流出因子(独立変量)

Water-yearly, plentiful, ordinary, low and scanty runoff (dependent variables) and related hydrological factors (independent variables) for treatment period of each experimental watersheds.

(1) 上川・北谷 KAMIKAWA・KITA-TANI watershed

水年 (11~10月) Water-year (Nov.-Oct.)	従属変量 Dependent variables					独立変量 Independent variables			
						二の沢露場 NINOSAWA observation station			基地露場 Base observation station
	R mm	r_p mm	r_o mm	r_l mm	r_s mm	P_K mm	P_{PK} mm	p_K mm	e_K mm
1954	869.3	603.7	135.6	90.40	39.60	1,468	1,542	596	1.2
55	1207.6	819.5	233.6	113.09	41.43	1,874	1,468	573	1.2
56	1073.2	730.7	179.7	115.03	47.80	1,434	1,874	676	1.4
57	935.9	628.3	172.4	93.51	41.68	1,370	1,434	507	0.9
58	1000.6	670.1	182.2	107.02	41.31	1,391	1,370	552	1.3

(2) 釜淵・2号沢 KAMABUCHI・No. 2 watershed

水 年 (12~11月) Water-year (Dec.-Nov.)	従 属 変 量 Dependent variables					独 立 変 量 Independent variables				
						1 号 沢 No. 1 watershed				
	R mm	r_p mm	r_o mm	r_l mm	r_s mm	R_1 mm	r_{p1} mm	r_{o1} mm	r_{l1} mm	r_{s1} mm
1948	2,061	1,759	191.0	94.05	17.58	1,902	1,630	182.7	78.00	10.96
49	1,843	1,527	238.9	69.58	7.28	1,654	1,390	216.2	43.01	4.50
50	1,732	1,479	182.4	63.61	6.52	1,596	1,361	172.7	57.92	4.57
51	1,647	1,408	152.5	75.77	11.20	1,508	1,292	151.5	59.31	5.34
52	2,130	1,855	172.4	83.32	19.05	1,902	1,666	149.6	71.75	14.40
53	2,339	2,083	170.1	73.73	12.91	2,074	1,845	159.8	60.77	8.06
54	1,457	1,217	173.2	59.71	6.77	1,290	1,078	158.8	49.73	3.67
55	2,285	1,971	225.6	79.49	8.04	2,054	1,790	191.5	66.76	5.63
56	2,295	1,954	232.1	93.47	15.34	2,019	1,725	203.1	80.57	10.16
57	2,148	1,853	184.7	93.35	17.05	1,956	1,686	168.2	86.57	15.55
58	2,396	2,005	261.4	115.73	13.57	2,192	1,828	250.5	104.16	9.58

(3) 宝川・初沢 TAKARAGAWA・SHOZAWA watershed

水 年 (11~10月) Water-year (Nov.-Oct.)	従 属 変 量 Dependent variables	独 立 変 量 Independent variables
		本 流 HONRYU watershed
	R mm	R_H mm
1949	(1,756)	2,845
50	(1,915)	3,168
51	(1,434)	2,280
52	1,863	3,037
53	1,835	2,905
54	1,442	2,409
55	1,757	2,597
56	1,674	2,662
57	1,821	2,830
58	1,820	2,804

(4) 竜の口山・南谷ならびに北谷

TATSUNOKUCHIYAMA・MINAMI-TANI and KITA-TANI watershed

水 年 (1~12月) Water-year (Jan.-Dec.)	従 属 変 量 Dependent variables							
	南 MINAMI-TANI watershed					北 KITA-TANI		
	R mm	r_p mm	r_o mm	r_l mm	r_s mm	R mm	r_p mm	r_o mm
1944	139.0	117.1	12.59	7.46	1.77			
45	666.6	605.1	34.84	21.35	5.29	685.7	623.3	37.49
46	499.0	431.4	37.18	20.76	9.69	569.0	504.4	37.04
47	268.5	226.2	22.39	13.89	6.05	324.5	283.5	23.83
48	307.3	275.6	17.74	9.92	3.99	389.5	352.2	21.01
49	490.1	427.7	30.08	21.80	10.55	602.2	529.9	37.56
50	380.7	313.2	38.57	21.32	7.62	483.7	404.7	47.23
51	468.7	416.0	29.01	16.34	7.36	549.5	495.8	32.08
52	528.0	467.5	34.50	18.34	7.60	621.0	572.1	28.32
53	641.7	590.2	27.52	17.42	6.50	745.5	701.2	23.19
54	661.5	592.8	38.11	21.06	9.51	718.9	658.4	34.85
55	305.6	267.0	19.54	12.86	6.21	328.1	303.0	14.56
56	347.9	301.1	26.57	14.34	5.89	372.2	342.4	18.32
57	466.3	418.7	25.62	15.52	6.45	461.3	432.7	15.02
58	218.8	183.7	18.20	11.71	5.24	251.6	224.9	14.37

(5) W.W.G.・B谷 WAGON WHEEL GAP. B watershed

水 年 (10~11月) Water-year (Oct.-Nov.)	従 属 変 量 Dependent variables						
	R mm	r_p mm	r_o mm	r_l mm	r_s mm	R_A mm	r_{pA} mm
1919	151.6	106.2	19.44	16.59	9.38	154.4	111.9
20	217.2	164.6	22.90	19.12	10.53	199.6	151.8
21	211.6	143.5	29.45	24.97	13.68	175.2	118.7
22	222.8	157.3	27.93	24.20	13.37	173.5	119.8
23	182.2	120.0	26.28	22.95	12.96	154.8	100.1
24	203.5	139.3	27.81	23.53	12.93	180.4	124.6
25	125.8	65.7	25.76	22.41	11.99	108.4	57.2
26	128.2	79.2	21.27	18.28	9.50	111.2	67.0

		独立変量 Independent variables				
谷 watershed		基地露場 Base observation station			岡山地方気象台露場 Observation station of OKAYAMA Local Meteorological Observatory	
r_l mm	r_s mm	P_T mm	P_{PT} mm	p_T mm	E_T mm	t_T °C
		835	1,295	604	1,337	14.6
20.76	4.15	1,424	835	1,221	1,244	14.0
19.35	8.19	1,352	1,424	1,045	1,112	14.6
11.87	5.31	917	1,352	725	1,260	13.7
11.52	4.74	1,199	917	877	1,152	14.9
24.58	10.17	1,337	1,199	1,013	1,059	14.2
24.02	7.69	1,235	1,337	787	1,171	14.6
15.19	6.39	1,211	1,235	903	1,183	14.1
14.11	6.50	1,420	1,211	1,061	1,166	14.2
14.90	6.15	1,503	1,420	1,232	1,138	14.4
17.73	7.83	1,481	1,503	1,247	1,119	14.6
7.40	3.14	1,058	1,481	801	1,207	14.8
8.13	3.32	1,177	1,058	906	1,200	14.1
9.70	3.90	1,224	1,177	1,032	1,172	14.2
8.76	3.51	1,007	1,224	742	1,208	15.3

独立変量 Independent variables								
A watershed 谷								
r_{oA} mm	r_{lA} mm	r_{sA} mm	P_W mm	p_{1W} mm	p_{2W} mm	p_{3W} mm	t_W °F	t_{oW} °F
18.31	15.51	8.64	537	166	172	257	52.4	31.3
21.14	17.13	9.49	571	123	129	297	50.0	30.5
25.56	20.18	10.76	576	115	177	251	51.1	32.1
23.45	19.84	10.39	545	226	157	253	52.5	31.1
23.69	20.08	10.98	618	117	266	256	49.3	31.4
25.01	19.93	10.84	432	160	104	269	51.3	30.7
21.61	18.98	10.64	556	151	221	214	50.0	32.5
19.05	16.41	8.72	464	85	165	187	51.2	31.9

Table 8. 各試験流域の T.P. における水年流出量の推定値・その実測値との差および差の経年変化

Estimate, difference between observed value and estimate and chronological changes of differences of water-yearly runoff for treatment period of each experimental watersheds.

(1) 試 験 流 域 Experimental watersheds	(2) 水 年 Water-year	(3) 推 定 値 Estimate mm	(4) 推定値の変動量* Variation of estimate mm	(5) 実測値と推定値の差(範囲) Difference (range) between observed value and estimate mm	(6) 推定値に対する差 の割合 (範囲) Proportion (range) of difference to estimate %	(7) 推定値に対する 変動量の割合 Proportion of variation to estimate %
上 川 北 谷 KAMIKAWA KITA-TANI	1954	828.5	22.2	+ 40.8 (+ 18.6~+ 63.0)	+ 5 (+ 2~+ 8)	3
	55	1,109.0	62.8	+ 98.6 (+ 35.8~+161.4)	+ 9 (+ 3~+15)	6
	56	805.0	21.8	+268.2 (+246.4~+290.0)	+33 (+31~+36)	3
	57	760.8	23.7	+175.1 (+151.4~+198.8)	+23 (+20~+26)	3
	58	775.3	22.7	+225.3 (+202.6~+248.0)	+29 (+26~+32)	3
釜 淵 2 号 沢 KAMABUCHI No. 2	1948	1,972	81	+ 89 (+ 8~+ 170)	+ 5 (+ 0~+ 9)	5
	49	1,748	99	+ 95 (- 4~+ 194)	+ 5 (- 0~+11)	6
	50	1,695	105	+ 37 (- 68~+ 142)	+ 2 (- 4~+ 8)	6
	51	1,616	115	+ 31 (- 84~+ 146)	+ 2 (- 5~+ 9)	7
	52	1,972	81	+ 158 (+ 77~+ 239)	+ 8 (+ 4~+12)	4
	53	2,127	79	+ 212 (+ 133~+ 291)	+10 (+ 6~+14)	4
	54	1,419	144	+ 38 (- 106~+ 182)	+ 3 (- 8~+13)	10
	55	2,109	79	+ 176 (+ 97~+ 255)	+ 8 (+ 5~+12)	4
	56	2,078	79	+ 217 (+ 138~+ 296)	+10 (+ 7~+14)	4
	57	2,021	77	+ 127 (+ 50~+ 204)	+ 6 (+ 3~+10)	4
	58	2,234	84	+ 162 (+ 78~+ 246)	+ 7 (+ 4~+11)	4
宝 川 初 沢 TAKARAGAWA SHOZAWA	1949	1,636	52	(+ 120)(+ 68~+ 172)	+ 7 (+ 4~+11)	3
	50	1,839	46	(+ 76)(+ 30~+ 122)	+ 4 (+ 2~+ 7)	3
	51	1,282	98	(+ 152)(+ 54~+ 250)	+12 (+ 4~+20)	8
	52	1,757	45	+ 106 (+ 61~+ 151)	+ 6 (+ 3~+ 9)	3
	53	1,674	49	+ 161 (+ 112~+ 210)	+10 (+ 7~+13)	3
	54	1,363	85	+ 79 (- 6~+ 164)	+ 6 (- 1~+12)	6
	55	1,481	69	+ 276 (+ 207~+ 345)	+19 (+14~+23)	5
	56	1,522	64	+ 152 (+ 88~+ 216)	+10 (+ 6~+14)	4
	57	1,627	53	+ 194 (+ 141~+ 247)	+12 (+ 9~+15)	3
	58	1,611	54	+ 209 (+ 155~+ 263)	+13 (+10~+16)	3

竜の口山 南谷 TATSUNOKUCHI- YAMA MINAMI-TANI	1944	169.2	90.2	- 30.2 (-120.4~+ 60.0)	-18 (-71~+36)	53
	45	456.9	166.7	+209.7 (+ 48.0~+376.4)	+46 (+ 9~+82)	37
	46	455.6	81.7	+ 43.4 (- 38.3~+125.1)	+10 (- 8~+28)	18
	47	314.1	240.0	- 45.6 (-285.6~+194.4)	-15 (-91~+62)	76
	48	261.9	76.3	+ 45.4 (- 30.9~+121.7)	+17 (-12~+47)	29
	49	452.0	116.3	+ 38.1 (- 78.2~+154.4)	+ 8 (-17~+34)	26
	50	381.2	66.1	- 0.5 (- 65.6~+ 65.6)	- 0 (-18~+17)	17
	51	403.8	137.8	+ 64.9 (- 72.9~+202.7)	+16 (-18~+50)	34
	52	496.6	118.4	+ 31.4 (- 87.0~+149.8)	+ 6 (-18~+30)	24
	53	553.1	106.1	+ 88.6 (- 17.5~+194.7)	+16 (- 3~+35)	19
	54	534.8	102.1	+126.7 (+ 24.6~+228.8)	+24 (+ 5~+43)	19
	55	393.6	87.0	+ 12.0 (- 75.0~+ 99.0)	+ 4 (-26~+34)	30
	56	357.0	138.9	- 9.1 (-148.0~+129.8)	- 3 (-42~+36)	39
	57	390.5	116.7	+ 75.8 (- 40.9~+192.5)	+19 (-11~+49)	30
	58	172.9	136.2	+ 45.9 (- 90.3~+182.1)	+27 (-52~+105)	79
竜の口山 北谷 TATSUNOKUCHI- YAMA KITA-TANI	1945	480.6	132.9	+205.1 (+ 72.2~+338.0)	+43 (+15~+70)	28
	46	471.2	64.9	+ 97.8 (+ 32.9~+162.7)	+21 (+ 7~+35)	14
	47	288.1	177.6	+ 36.4 (-141.2~+214.0)	+13 (-49~+74)	62
	48	287.8	63.7	+101.7 (+ 38.0~+165.4)	+35 (+13~+58)	22
	49	464.8	89.0	+137.4 (+ 48.4~+226.4)	+30 (+10~+49)	19
	50	392.2	50.1	+ 91.5 (+ 41.4~+141.6)	+23 (+11~+36)	13
	51	406.2	103.2	+143.3 (+ 40.1~+246.5)	+35 (+10~+61)	25
	52	513.9	91.9	+107.1 (+ 15.2~+199.0)	+21 (+ 3~+39)	18
	53	573.7	84.7	+171.8 (+ 87.1~+256.5)	+30 (+15~+45)	15
	54	555.9	82.7	+163.0 (+ 80.3~+245.7)	+29 (+14~+44)	15
	55	294.3	66.7	+ 33.8 (- 32.9~+100.5)	+12 (-11~+34)	23
	56	362.1	105.7	+ 10.1 (- 95.6~+115.8)	+ 3 (-26~+32)	29
	57	397.6	87.4	+ 63.7 (- 23.7~+151.1)	+16 (- 6~+38)	22
	58	187.3	114.3	+ 64.3 (- 50.0~+178.6)	+34 (-27~+95)	61
W. W. G. B 谷 WAGON WHEEL GAP B	1919	157.8	5.2	- 6.2 (- 11.4~- 1.0)	- 4 (- 7~- 1)	3
	20	201.7	6.9	+ 15.5 (+ 8.6~+ 22.4)	+ 8 (+ 4~+11)	3
	21	178.0	5.6	+ 33.6 (+ 28.0~+ 39.2)	+19 (+16~+22)	3
	22	176.4	5.5	+ 46.4 (+ 40.9~+ 51.9)	+26 (+23~+29)	3
	23	158.2	5.2	+ 24.0 (+ 18.8~+ 29.2)	+15 (+12~+19)	3
	24	183.1	5.9	+ 20.4 (+ 14.5~+ 26.3)	+11 (+ 8~+14)	3
	25	113.1	6.9	+ 12.7 (+ 5.8~+ 19.6)	+11 (+ 5~+17)	6
	26	115.8	6.7	+ 12.4 (+ 5.7~+ 19.1)	+11 (+ 5~+17)	6

* 95% 信頼度
 95% confidence coefficient

Table 9. 各試験流域の T. P. における豊水流出量の推定値・その実測値との差および差の経年変化
 Estimate, difference between observed value and estimate and chronological changes of
 differences of plentiful runoff for treatment period of each experimental watersheds.

(1) 試 験 流 域 Experimental watersheds	(2) 水 年 Water-year	(3) 推 定 値 Estimate mm	(4) 推定値の変動量* Variation of estimate mm	(5) 実測値と推定値の差(範囲) Difference (range) between observed value and estimate mm	(6) 推定値に対する差 の割合(範囲) Proportion (range) of difference to estimate %	(7) 推定値に対する 変動量の割合 Proportion of variation to estimate %
上 北 川 谷 KAMIKAWA KITA-TANI	1954	574.6	24.9	+ 29.1 (+ 4.2~+ 54.0)	+ 5 (+ 1~+ 9)	4
	55	758.1	70.3	+ 61.4 (- 8.9~+131.7)	+ 8 (- 1~+17)	9
	56	559.2	24.4	+171.5 (+147.1~+195.9)	+31 (+26~+35)	4
	57	530.3	26.5	+ 98.0 (+ 71.5~+124.5)	+19 (+14~+24)	5
	58	539.8	25.4	+130.3 (+104.9~+155.7)	+24 (+19~+29)	5
釜 淵 沢 2 号 沢 KAMABUCHI No. 2	1948	1,693	58	+ 66 (+ 8~+ 124)	+ 4 (+ 1~+ 7)	3
	49	1,473	75	+ 54 (- 21~+ 129)	+ 4 (- 1~+ 9)	5
	50	1,446	78	+ 33 (- 45~+ 111)	+ 2 (- 3~+ 8)	5
	51	1,383	85	+ 25 (- 60~+ 110)	+ 2 (- 4~+ 8)	6
	52	1,726	56	+ 129 (+ 73~+ 185)	+ 8 (+ 4~+11)	3
	53	1,890	54	+ 193 (+ 139~+ 247)	+10 (+ 7~+13)	3
	54	1,186	108	+ 31 (- 77~+ 139)	+ 3 (- 7~+12)	9
	55	1,839	53	+ 132 (+ 79~+ 185)	+ 7 (+ 4~+10)	3
	56	1,780	54	+ 174 (+ 120~+ 228)	+10 (+ 7~+13)	3
	57	1,744	55	+ 109 (+ 54~+ 164)	+ 6 (+ 3~+ 9)	3
	58	1,872	53	+ 133 (+ 80~+ 186)	+ 7 (+ 4~+10)	3
竜 の 口 山 南 谷 TATSUNOKUCHI- YAMA	1944	151.9	79.6	- 34.8 (-114.4~+ 44.8)	-23 (-75~+30)	52
	45	429.2	147.1	+175.9 (+ 28.8~+323.0)	+41 (+ 7~+75)	34
	46	414.4	72.1	+ 17.0 (- 55.1~+ 89.1)	+ 4 (-13~+22)	17
	47	302.2	211.8	- 76.0 (-287.8~+135.8)	-25 (-95~+45)	70
	48	232.4	67.4	+ 43.2 (- 24.2~+110.6)	+19 (-10~+48)	29
	49	419.6	102.6	+ 8.1 (- 94.5~+110.7)	+ 2 (-23~+26)	25
	50	346.3	58.3	- 33.1 (- 91.4~+ 25.2)	-10 (-26~+ 7)	17
	51	377.2	121.6	+ 38.8 (- 82.8~+160.4)	+10 (-22~+43)	32
	52	460.5	104.5	+ 7.0 (- 97.5~+111.5)	+ 2 (-21~+24)	23

MINAMI-TANI	53	507.7	93.6	+ 82.5 (− 11.1~+176.1)	+16 (− 2~+35)	18
	54	486.8	90.1	+106.0 (+ 15.9~+196.1)	+22 (+ 3~+40)	19
	55	261.6	76.8	+ 5.4 (− 71.4~+ 82.2)	+ 2 (−27~+31)	29
	56	334.8	122.6	− 33.7 (−156.3~+ 88.9)	−10 (−47~+27)	37
	57	363.2	103.0	+ 55.5 (− 47.5~+158.5)	+15 (−13~+44)	28
	58	142.0	131.8	+ 41.7 (− 90.1~+173.5)	+29 (−64~+122)	93
竜の口山 北谷 TATSUNOKUCHI-YAMA KITA-TANI	1945	456.2	127.6	+167.1 (+ 39.5~+294.7)	+37 (+ 9~+65)	28
	46	433.3	62.9	+ 71.1 (+ 8.2~+134.0)	+16 (+ 2~+31)	15
	47	276.5	172.1	+ 7.0 (−165.1~+179.1)	+ 3 (−60~+65)	62
	48	259.8	61.8	+ 92.4 (+ 30.6~+154.2)	+36 (+12~+59)	24
	49	435.2	86.2	+ 94.7 (+ 8.5~+180.9)	+22 (+ 2~+42)	20
	50	359.7	48.6	+ 45.0 (− 3.6~+ 93.6)	+13 (− 1~+26)	14
	51	381.6	100.0	+114.2 (+ 14.2~+214.2)	+30 (+ 4~+56)	26
	52	481.2	89.1	+ 90.9 (+ 1.8~+180.0)	+19 (+ 0~+37)	19
	53	532.6	81.5	+168.6 (+ 87.1~+250.1)	+32 (+16~+47)	15
	54	512.1	80.1	+146.3 (+ 66.2~+226.4)	+29 (+13~+44)	16
	55	263.7	64.6	+ 39.3 (− 25.3~+103.9)	+15 (−10~+39)	25
	56	341.4	101.9	+ 1.0 (−100.9~+102.9)	+ 0 (−30~+30)	30
	57	371.9	84.7	+ 60.8 (− 23.9~+145.5)	+14 (− 6~+39)	23
	58	157.0	110.7	+ 67.9 (− 42.8~+178.6)	+43 (−27~+114)	71
W.W.G. B 谷 WAGON WHEEL GAP B	1919	109.8	3.4	− 3.6 (− 7.0~− 0.2)	− 3 (− 6~− 0)	3
	20	149.6	4.8	+ 15.0 (+ 10.2~+ 19.8)	+10 (+ 7~+13)	3
	21	116.6	3.5	+ 26.9 (+ 23.4~+ 30.4)	+23 (+20~+26)	3
	22	117.7	3.6	+ 39.6 (+ 36.0~+ 43.2)	+34 (+31~+37)	3
	23	98.0	3.4	+ 22.0 (+ 18.6~+ 25.4)	+22 (+19~+26)	4
	24	122.4	3.7	+ 16.9 (+ 13.2~+ 20.6)	+14 (+11~+17)	3
	25	55.2	4.7	+ 10.5 (+ 5.8~+ 15.2)	+19 (+11~+28)	9
	26	65.0	4.2	+ 14.2 (+ 10.0~+ 18.4)	+22 (+15~+28)	7

* 95% 信頼度

95% confidence coefficient

Table 10. 各試験流域の T.P.における平水流出量の推定値・その実測値との差および差の経年変化
Estimate, difference between observed value and estimate and chronological changes of
differences of ordinary runoff for treatment period of each experimental watersheds.

(1) 試 験 流 域 Experimental watersheds	(2) 水 年 Water-year	(3) 推 定 値 Estimate mm	(4) 推定値の変動量* Variation of estimate mm	(5) 実測値と推定値の差(範囲) Difference (range) between observed value and estimate mm	(6) 推定値に対する差 の割合(範囲) Proportion (range) of difference to estimate %	(7) 推定値に対する 変動量の割合 Proportion of variation to estimate %
上 川 北 谷 KAMIKAWA KITA-TANI	1954	135.6	7.0	0 (— 7.0~+ 7.0)	0	5
	55	200.8	19.9	+ 32.8 (+ 12.9~+ 52.7)	+16 (+ 6~+26)	10
	56	130.1	6.9	+ 49.6 (+ 42.7~+ 56.5)	+38 (+33~+44)	5
	57	119.8	7.5	+ 52.6 (+ 45.1~+ 60.1)	+44 (+38~+50)	6
	58	120.2	7.2	+ 62.0 (+ 54.8~+ 69.2)	+52 (+46~+58)	6
釜 淵 2 号 沢 KAMABUCHI No. 2	1948	182.7	21.8	+ 8.3 (— 13.5~+ 30.1)	+ 5 (— 7~+17)	12
	49	211.5	31.6	+ 27.4 (— 4.2~+ 59.0)	+13 (— 7~+28)	15
	50	174.1	19.9	+ 8.3 (— 11.6~+ 28.2)	+ 5 (— 7~+16)	11
	51	155.9	18.4	— 3.4 (— 21.8~+ 15.0)	— 2 (—14~+10)	12
	52	154.2	18.5	+ 18.2 (— 0.3~+ 36.7)	+12 (— 0~+24)	12
	53	163.0	18.5	+ 7.1 (— 11.4~+ 25.6)	+ 4 (— 7~+16)	11
	54	162.2	18.5	+ 11.0 (— 7.5~+ 29.5)	+ 6 (— 5~+18)	11
	55	190.3	24.0	+ 35.3 (+ 11.3~+ 59.3)	+19 (+ 6~+31)	13
	56	200.2	27.3	+ 31.9 (+ 4.6~+ 59.2)	+16 (+ 2~+30)	14
	57	170.2	19.3	+ 14.5 (— 4.8~+ 33.8)	+ 9 (— 3~+20)	11
	58	241.0	43.9	+ 20.4 (— 23.5~+ 64.3)	+ 9 (—10~+27)	18
竜 の 口 山 南 谷 TATSUNOKUCHI- YAMA	1944	8.49	4.00	+ 4.10 (+ 0.10~+ 8.10)	+ 48 (+ 1~+ 95)	47
	45	16.93	4.70	+17.91 (+13.71~+22.61)	+106 (+78~+134)	28
	46	23.33	3.73	+13.85 (+10.12~+17.58)	+ 59 (+43~+ 75)	16
	47	11.95	3.35	+10.44 (+ 7.09~+13.79)	+ 87 (+59~+115)	28
	48	15.26	2.65	+ 2.48 (— 0.17~+ 5.13)	+ 16 (— 1~+ 34)	17
	49	22.04	3.43	+ 8.04 (+ 4.61~+11.47)	+ 37 (+21~+ 52)	16
	50	19.31	2.75	+19.26 (+16.51~+22.01)	+100 (+61~+115)	14
	51	17.73	2.28	+11.28 (+ 9.00~+13.56)	+ 64 (+51~+ 77)	13
	52	21.67	3.00	+12.83 (+ 9.83 ~+15.83)	+ 59 (+45~+ 73)	14

MINAMI-TANI	53	25.58	4.05	+ 1.94 (− 2.11~+ 5.99)	+ 8 (− 8~+23)	16
	54	26.27	4.44	+11.84 (+ 7.40~+16.28)	+45 (+28~+62)	17
	55	16.67	3.63	+ 2.87 (− 0.76~+ 6.50)	+17 (− 5~+39)	22
	56	15.21	2.18	+11.36 (+ 9.18~+13.54)	+75 (+60~+89)	14
	57	17.66	2.17	+ 7.96 (+ 5.99~+10.13)	+45 (+33~+57)	12
	58	13.43	2.50	+ 4.77 (+ 2.27~+ 7.27)	+36 (+17~+54)	19
竜 の 口 山 北 谷 TATSUNOKUCHI- YAMA KITA-TANI	1945	15.58	6.72	+21.91 (+15.19~+28.63)	+141 (+98~+184)	43
	46	20.54	5.34	+16.50 (+11.16~+21.84)	+ 80 (+54~+106)	26
	47	11.47	4.06	+12.36 (+ 8.30~+16.42)	+108 (+72~+143)	35
	48	14.10	3.94	+ 6.91 (+ 2.97~+10.85)	+ 49 (+21~+ 77)	28
	49	19.46	4.88	+18.10 (+13.22~+22.98)	+ 93 (+68~+118)	25
	50	17.35	3.63	+29.88 (+26.25~+33.51)	+172(+151~+193)	21
	51	16.10	3.13	+15.98 (+12.85~+19.11)	+ 99 (+80~+119)	19
	52	19.28	4.28	+ 9.04 (+ 4.76~+13.32)	+ 47 (+25~+ 69)	22
	53	22.39	5.80	+ 0.80 (− 5.00~+ 6.60)	+ 4 (−22~+ 30)	26
	54	22.92	6.35	+11.93 (+ 5.58~+18.28)	+ 52 (+24~+ 80)	28
	55	15.23	4.82	− 0.67 (− 5.49~+ 4.15)	− 4 (−36~+ 27)	32
	56	14.10	3.01	+ 4.22 (+ 1.21~+ 7.23)	+ 30 (+ 9~+ 51)	21
	57	16.04	3.03	− 1.02 (− 4.05~+ 2.01)	− 6 (−25~+ 13)	19
	58	12.63	3.19	+ 1.74 (− 1.45~+ 4.93)	+ 14 (−12~+ 39)	25
W.W.G. B 谷 WAGON WHEEL GAP B	1919	18.21	4.32	+ 1.23 (− 3.09~+ 5.55)	+ 7 (−17~+31)	24
	20	24.52	1.90	− 1.62 (− 3.52~+ 0.28)	− 7 (−14~+11)	8
	21	25.66	2.61	+ 3.79 (+ 1.18~+ 6.40)	+15 (+ 5~+25)	10
	22	18.60	5.54	+ 9.33 (+ 3.79~+14.87)	+50 (+20~+80)	30
	23	27.03	2.84	− 0.75 (− 3.59~+ 2.09)	− 3 (−13~+ 8)	11
	24	23.46	2.58	+ 4.35 (+ 1.77~+ 6.93)	+19 (+ 8~+30)	11
	25	23.75	1.65	+ 2.01 (+ 0.36~+ 3.66)	+ 9 (+ 2~+15)	7
	26	23.17	2.96	− 1.90 (− 4.86~+ 1.06)	− 8 (−21~+ 5)	13

* 95% 信頼度
95% confidence coefficient,

Table 11. 各試験流域の T. P. における低水流出量の推定値・その実測値との差および差の経年変化

Estimate, difference between observed value and estimate and chronological changes of differences of low runoff for treatment period of each experimental watersheds.

(1) 試験流域 Experimental watersheds	(2) 水 年 Water-year	(3) 推 定 値 Estimate mm	(4) 推定値の変動量* Variation of estimate mm	(5) 実測値と推定値の差(範囲) Difference (range) between observed value and estimate mm	(6) 推定値に対する差 の割合(範囲) Proportion (range) of difference to estimate %	(7) 推定値に対する 変動量の割合 Proportion of variation to estimate %
上 川 北 谷 KAMIKAWA KITA-TANI	1954	87.25	6.26	+ 3.15 (− 3.11~+ 9.41)	+ 4 (− 4~+11)	8
	55	105.32	14.99	+ 7.77 (− 7.22~+22.76)	+ 7 (− 7~+22)	14
	56	92.40	17.30	+22.63 (+ 5.33~+39.93)	+25 (+ 6~+43)	19
	57	83.06	10.56	+10.45 (− 0.11~+21.01)	+13 (− 0~+25)	13
	58	77.38	5.22	+29.64 (+24.42~+34.86)	+38 (+32~+45)	7
釜 淵 2 号 沢 KAMABUCHI No. 2	1948	78.80	8.80	+15.25 (+ 6.45~+24.05)	+19 (+ 8~+31)	11
	49	48.25	8.27	+21.33 (+13.06~+29.60)	+44 (+27~+61)	17
	50	61.27	7.10	+ 2.34 (− 4.76~+ 9.44)	+ 4 (− 8~+15)	12
	51	62.48	7.10	+13.29 (+ 6.19~+20.39)	+21 (+10~+33)	11
	52	73.35	7.92	+ 9.97 (+ 2.05~+17.89)	+14 (+ 3~+24)	11
	53	63.76	7.12	+ 9.97 (+ 2.85~+17.09)	+16 (+ 5~+27)	11
	54	54.12	7.50	+ 5.59 (− 1.91~+13.09)	+10 (− 4~+24)	14
	55	68.99	7.42	+10.50 (+ 3.08~+17.92)	+15 (+ 5~+26)	11
	56	81.05	9.23	+12.42 (+ 3.19~+21.65)	+15 (+ 4~+27)	11
	57	86.29	10.34	+ 7.06 (− 3.28~+17.40)	+ 8 (− 4~+20)	12
	58	101.65	14.17	+14.08 (− 0.09~+28.25)	+14 (− 0~+28)	14
竜 の 口 山 南 谷 TATSUNOKUCHI- YAMA	1944	4.47	2.17	+ 2.99 (+ 0.82~+ 5.16)	+ 67 (+18~+115)	49
	45	10.07	2.68	+11.28 (+ 8.60~+13.96)	+112 (+85~+139)	27
	46	14.20	1.93	+ 6.56 (+ 4.63~+ 8.49)	+ 46 (+33~+ 60)	14
	47	7.55	1.74	+ 6.34 (+ 4.60~+ 8.08)	+ 84 (+61~+107)	23
	48	8.52	1.39	+ 1.40 (+ 0.01~+ 2.79)	+ 16 (+ 0~+ 33)	16
	49	13.45	1.81	+ 8.35 (+ 6.54~+10.16)	+ 62 (+49~+ 76)	14
	50	9.77	1.68	+11.55 (+ 9.87~+13.23)	+118(+101~+135)	17
	51	10.19	1.19	+ 6.15 (+ 4.96~+ 7.34)	+ 60 (+49~+ 72)	12
	52	12.07	1.29	+ 6.27 (+ 4.98~+ 7.56)	+ 52 (+41~+ 63)	11

MINAMI-TANI	53	15.74	2.06	+ 1.68 (− 0.38~+ 3.74)	+11 (− 2~+24)	13
	54	16.76	2.34	+ 4.30 (+ 1.96~+ 6.64)	+26 (+12~+40)	14
	55	10.15	1.98	+ 2.71 (+ 0.73~+ 4.69)	+27 (+ 7~+46)	20
	56	8.82	1.13	+ 5.52 (+ 4.39~+ 6.65)	+63 (+50~+75)	13
	57	11.44	1.20	+ 4.08 (+ 2.88~+ 5.28)	+36 (+25~+46)	11
	58	7.91	1.42	+ 3.80 (+ 2.38~+ 5.22)	+48 (+30~+66)	18
竜 の 口 山 北 谷 TATSUNOKUCHI- YAMA KITA-TANI	1945	9.53	9.69	+11.23 (+ 1.54~+20.92)	+118(+ 16~+220)	102
	46	13.21	8.50	+ 6.14 (− 2.36~+14.64)	+ 47(− 18~+111)	64
	47	8.07	6.55	+ 3.80 (− 2.75~+10.35)	+ 47(− 34~+128)	81
	48	8.18	6.98	+ 3.34 (− 3.64~+10.32)	+ 41(− 45~+126)	85
	49	12.26	2.85	+12.32 (+ 9.47~+15.17)	+100(+ 77~+124)	23
	50	9.66	6.04	+14.36 (+ 8.32~+20.40)	+149(+ 86~+211)	63
	51	9.92	3.08	+ 5.27 (+ 2.19~+ 8.35)	+ 53(+ 22~+ 84)	31
	52	11.38	2.62	+ 2.73 (+ 0.11~+ 5.35)	+ 24(+ 1~+ 47)	23
	53	14.50	8.50	+ 0.40 (− 8.10~+ 8.90)	+ 3(− 56~+ 61)	59
	54	15.37	10.89	+ 2.36 (− 8.53~+13.25)	+ 15(− 55~+ 86)	71
	55	10.19	10.23	− 1.79 (− 8.44~+12.02)	− 18(−118~+ 83)	100
	56	8.66	2.91	− 0.53 (− 2.38~+ 3.44)	− 6(− 40~+ 28)	34
	57	10.84	1.91	− 1.14 (− 0.77~+ 3.05)	− 11(− 28~+ 7)	18
	58	8.11	2.96	+ 0.65 (− 2.31~+ 3.61)	+ 8(− 28~+ 45)	37
W.W.G. B 谷 WAGON WHEEL GAP B	1919	19.24	1.40	− 2.65 (− 4.05~− 1.25)	−14 (−21~− 7)	7
	20	20.45	1.68	− 1.33 (− 3.01~+ 0.35)	− 7 (−15~+ 2)	8
	21	21.90	1.05	+ 3.07 (+ 2.02~+ 4.12)	+14 (+ 9~+19)	5
	22	22.09	0.90	+ 2.11 (+ 1.21~+ 3.01)	+10 (+ 6~+14)	4
	23	20.67	2.35	+ 2.28 (− 0.07~+ 4.63)	+11 (− 0~+22)	11
	24	23.45	2.30	+ 0.08 (− 2.22~+ 2.38)	+ 0 (− 6~+13)	10
	25	20.84	1.01	+ 1.57 (+ 0.56~+ 2.58)	+ 8 (+ 3~+12)	5
	26	20.39	1.63	− 2.11 (− 3.74~− 0.48)	−10 (−18~− 2)	8

* 95% 信頼度

95% confidence coefficient

Table 12. 各試験流域の T. P. における湧水流出量の推定値・その実測値との差および差の経年変化
Estimate, difference between observed value and estimate and chronological changes of
differences of scanty runoff for treatment period of each experimental watersheds.

(1) 試 験 流 域 Experimental watersheds	(2) 水 年 Water-year	(3) 推 定 値 Estimate mm	(4) 推定値の変動量* Variation of estimate mm	(5) 実測値と推定値の差(範囲) Difference (range) between observed value and estimate mm	(6) 推定値に対する差 の割合(範囲) Proportion (range) of difference to estimate %	(7) 推定値に対する 変動量の割合 Proportion of variation to estimate %
上 川 北 谷 KAMIKAWA KITA-TANI	1954	37.61	2.73	+ 1.99 (— 0.74~+ 4.72)	+ 5 (— 2~+13)	7
	55	35.73	1.85	+ 5.70 (+ 3.85~+ 7.55)	+16 (+11~+21)	5
	56	43.88	7.98	+ 3.92 (— 4.06~+11.90)	+ 9 (— 9~+27)	18
	57	35.92	5.14	+ 5.76 (+ 0.62~+10.90)	+16 (+ 2~+30)	14
	58	32.66	1.84	+ 8.65 (+ 6.81~+10.49)	+27 (+21~+32)	6
釜 淵 2 号 沢 KAMABUCHI No. 2	1948	13.70	2.87	+ 3.88 (+ 1.01~+ 6.75)	+28 (+ 7~+ 50)	21
	49	5.98	2.92	+ 1.30 (— 1.62~+ 4.22)	+22 (—27~+ 71)	49
	50	6.06	2.91	+ 0.46 (— 2.45~+ 3.37)	+ 8 (—40~+ 56)	48
	51	6.98	2.79	+ 4.22 (+ 1.43~+ 7.01)	+61 (+21~+100)	40
	52	17.81	3.61	+ 1.24 (— 2.37~+ 4.85)	+ 7 (—13~+ 27)	20
	53	10.24	2.62	+ 2.67 (+ 0.05~+ 5.29)	+26 (+ 1~+ 52)	26
	54	4.99	3.07	+ 1.78 (— 1.29~+ 4.85)	+36 (—26~+ 97)	62
	55	7.33	2.76	+ 0.71 (— 2.05~+ 3.47)	+10 (—28~+ 47)	38
	56	12.75	2.76	+ 2.59 (— 0.17~+ 5.35)	+20 (— 1~+ 42)	22
	57	19.19	3.92	— 2.14 (— 6.06~+ 1.78)	—11 (—32~+ 9)	20
	58	12.05	2.70	+ 1.52 (— 1.18~+ 4.22)	+13 (—10~+ 35)	22
竜 の 口 山 南 谷 TATSUNOKUCHI- YAMA	1944	1.87	2.02	— 0.10 (— 2.12~+ 1.92)	— 5(—113~+103)	108
	45	3.57	2.50	+ 1.71 (— 0.79~+ 4.21)	+48(— 22~+118)	70
	46	6.04	1.79	+ 3.65 (+ 1.86~+ 5.44)	+61(+ 31~+ 90)	30
	47	3.21	1.62	+ 2.84 (+ 1.22~+ 4.46)	+89(+ 38~+139)	51
	48	2.86	1.30	+ 1.13 (— 0.17~+ 2.43)	+40(— 6~+ 85)	46
	49	5.31	1.69	+ 5.24 (+ 3.55~+ 6.93)	+99(+ 67~+131)	32
	50	4.04	1.56	+ 3.58 (+ 2.02~+ 5.14)	+89(+ 50~+127)	39
	51	4.10	1.11	+ 3.26 (+ 2.15~+ 4.37)	+80(+ 53~+107)	27
	52	4.87	1.20	+ 2.73 (+ 1.53~+ 3.93)	+56(+ 31~+ 81)	25

MINAMI-TANI	53	6.75	1.93	- 0.25 (- 2.18~+ 1.68)	- 4 (-32~+ 25)	29
	54	7.29	2.18	+ 2.22 (+ 0.04~+ 4.40)	+31 (+ 1~+ 60)	30
	55	4.46	1.85	+ 1.75 (- 0.10~+ 3.60)	+39 (- 2~+ 81)	42
	56	3.26	1.05	+ 2.63 (+ 1.58~+ 3.68)	+81 (+48~+113)	32
	57	4.55	1.12	+ 1.90 (+ 0.78~+ 3.02)	+42 (+17~+ 66)	25
	58	3.10	1.33	+ 2.14 (+ 0.81~+ 3.47)	+69 (+26~+112)	43
竜の口山 北谷 TATSUNOKUCHI- YAMA KITA-TANI	1945	3.35	4.16	+ 0.80 (- 3.36~+ 4.96)	+ 24(-100~+148)	124
	46	5.72	3.65	+ 2.47 (- 1.18~+ 6.12)	+ 43(- 21~+107)	64
	47	3.28	2.81	+ 2.03 (- 0.78~+ 4.84)	+ 62(- 24~+148)	86
	48	2.89	3.01	+ 1.85 (- 1.16~+ 4.86)	+ 64(- 40~+168)	104
	49	5.07	1.22	+ 5.10 (+ 3.88~+ 6.32)	+101(+ 77~+125)	24
	50	4.02	2.59	+ 3.67 (+ 1.08~+ 6.26)	+ 91(+ 27~+156)	64
	51	4.01	1.32	+ 2.38 (+ 1.06~+ 3.70)	+ 59(+ 26~+ 92)	33
	52	4.64	1.13	+ 1.86 (+ 0.73~+ 2.99)	+ 40(+ 16~+ 64)	24
	53	6.27	3.65	- 0.12 (- 3.77~+ 3.53)	- 2(- 60~+ 56)	58
	54	6.77	4.68	+ 1.06 (- 3.62~+ 5.74)	+ 16(- 53~+ 85)	69
	55	4.40	4.39	- 1.26 (- 5.65~+ 3.13)	- 29(-128~+ 71)	100
	56	3.24	1.25	+ 0.08 (- 1.17~+ 1.33)	+ 3(- 36~+ 41)	39
	57	4.36	0.82	- 0.46 (- 1.28~+ 0.36)	- 11(- 29~+ 8)	19
	58	3.18	1.27	+ 0.33 (- 0.94~+ 1.60)	+ 10(- 30~+ 50)	40
W.W.G. B 谷 WAGON WHEEL GAP B	1919	10.71	0.44	- 1.33 (- 1.77~- 0.89)	-12 (-17~- 8)	4
	20	12.19	0.59	- 1.66 (- 2.25~- 1.07)	-14 (-19~- 9)	5
	21	12.06	0.47	+ 1.62 (+ 1.15~+ 2.09)	+13 (+10~+17)	4
	22	12.12	0.30	+ 1.25 (+ 0.95~+ 1.55)	+10 (+ 8~+13)	3
	23	12.53	0.40	+ 0.43 (+ 0.03~+ 0.83)	+ 3 (+ 0~+ 7)	3
	24	12.82	0.41	+ 0.11 (- 0.30~+ 0.52)	+ 1 (- 2~+ 4)	3
	25	11.33	0.60	+ 0.66 (+ 0.06~+ 1.26)	+ 6 (+ 1~+11)	5
	26	9.64	0.41	- 0.14 (- 0.55~+ 0.27)	- 2 (- 6~+ 3)	4

* 95% 信頼度
95% confidence coefficient

Table 13. 水年流出量の変化量と豊水・平水・低水・渇水各流出量の変化量合計との比較
Comparison of total amount of changes in plentiful, ordinary, low and scanty runoff with amount of changes in water-yearly runoff.

(1) 試 験 流 域 Experimental watersheds	(2) 水 年 Water- year	(3) 水年流出量の変 化量 Amount of changes in water-yearly runoff mm	(4) 豊水・平水・低水・ 渇水各流出量の合計 変化量 Total amount of changes in plentiful, ordinary, low and scanty runoff mm	(5) 差 (3)-(4) Difference (3)-(4) mm	(6) $\frac{(5)}{(3)} \times 100$ %
上 川 北 谷 KAMIKAWA KITA-TANI	1954	+ 40.8	+ 34.24	+ 6.6	16
	55	+ 98.6	+ 107.67	- 9.1	9
	56	+ 268.2	+ 247.65	+ 20.5	8
	57	+ 175.1	+ 166.81	+ 8.3	5
	58	+ 225.3	+ 230.59	- 5.3	2
釜 淵 2 号 沢 KAMABUCHI No. 2	1948	+ 89	+ 93.43	- 4	4
	49	+ 95	+ 104.03	- 9	9
	50	+ 37	+ 44.10	- 7	19
	51	+ 31	+ 39.11	- 8	26
	52	+ 158	+ 158.41	- 0	0
	53	+ 212	+ 212.74	- 1	0
	54	+ 38	+ 49.37	- 11	29
	55	+ 176	+ 178.51	- 3	2
	56	+ 217	+ 220.91	- 4	2
	57	+ 127	+ 128.42	- 1	1
	58	+ 162	+ 169.00	- 7	4
竜 の 口 山 南 山 TATSUNOKUCHI- YAMA MINAMI-TANI	1944	- 30.2	- 27.81	- 2.4	8
	45	+ 209.7	+ 206.80	+ 2.9	14
	46	+ 43.4	+ 41.06	+ 2.3	5
	47	- 45.6	- 56.38	+ 10.8	24
	48	+ 45.4	+ 48.21	- 2.8	6
	49	+ 38.1	+ 29.73	+ 8.4	22
	50	- 0.5	+ 1.29	- 1.8	360
	51	+ 64.9	+ 59.49	+ 5.4	8
	52	+ 31.4	+ 28.83	+ 2.6	8
	53	+ 88.6	+ 85.87	+ 2.7	3
	54	+ 126.7	+ 124.36	+ 2.3	2
	55	+ 12.0	+ 12.73	- 0.7	6
	56	- 9.1	- 14.9	+ 5.8	64
	57	+ 75.8	+ 69.44	+ 6.4	8
	58	+ 45.9	+ 52.41	- 6.5	14
竜 の 口 山 北 谷 TATSUNOKUCHI- YAMA KITA-TANI	1945	+ 205.1	+ 201.04	+ 4.1	2
	46	+ 97.8	+ 96.21	+ 1.6	2
	47	+ 36.4	+ 25.19	+ 11.2	30
	48	+ 101.7	+ 104.50	- 2.8	3
	49	+ 137.4	+ 130.22	+ 7.2	5
	50	+ 91.5	+ 92.91	- 1.4	2
	51	+ 143.3	+ 137.83	+ 5.5	4
	52	+ 107.1	+ 104.53	+ 2.6	2
	53	+ 171.8	+ 169.68	+ 2.1	1
	54	+ 163.0	+ 161.65	+ 1.4	1
	55	+ 33.8	+ 35.58	+ 1.8	5
	56	+ 10.1	+ 4.77	+ 5.3	52
	57	+ 63.7	+ 58.18	+ 5.5	9
	58	+ 64.3	+ 70.62	- 6.3	10
W.W.G. B 谷 WAGON WHEEL GAP B	1919	- 6.2	- 6.35	+ 0.2	3
	20	+ 15.5	+ 10.39	+ 5.1	32
	21	+ 33.6	+ 35.38	- 1.8	5
	22	+ 46.4	+ 52.29	- 5.9	13
	23	+ 24.0	+ 23.96	+ 0	0
	24	+ 20.4	+ 21.44	- 1.0	5
	25	+ 12.7	+ 14.74	- 2.0	16
	26	+ 12.4	+ 10.05	+ 2.4	19

10・11・12のそれぞれ(3)欄のようになる。さらに推定値の変動量，実測値と推定値との差および95%の信頼度で真の差が含まれる範囲，差ならびに信頼度95%で真の差が含まれる範囲の推定値に対する割合，推定値に対する変動量の割合がそれぞれ(4)～(7)欄に示されている。

Ⅲ—3. 水年流出量の変化量と豊水・平水・低水・渇水各流出量の変化量合計との比較

各試験流域の水年流出量の変化量（実測値と推定値の差）と豊水・平水・低水・渇水各流出量の変化量（前同）の合計との比較を Table 13 に示した。この比較は上述した解析結果の信頼性に関係があり，両者の差が小さい，すなわち，(4)欄の数値が小さければ解析を信頼できる1つの根拠となりうる。Table 13によれば，極端に流出量変化の少ない年以外はほぼ納得できる値であり，以上の解析結果を信頼できる一面を示しているとしてよからう。

Ⅲ—4. T. P. における水年・豊水・平水・低水・渇水各流出量の変化量と各種気象因子との関係

Table 8～12 で，T. P. における各種流出量の変化量（実測値と推定値の差）を，Table 7—(1)～(5)の関連独立変量と対照してみると，一部試験流域のそれらについてはかなり高い相関関係があるように見られる。

そこで，C. P. において各流出量ときわめて高度な相関関係をもつ関連独立変量因子，あるいは同様に高度な相関関係が推定できる気象因子と変化量との相関関係を調べた。その結果を Table 14 に示す。

Table 14. 各試験流域の T. P. における水年・豊水・平水・低水・渇水各流出量の変化量と各種気象因子との相関関係

Correlation between amount of changes in water-yearly, plentiful, ordinary, low and scanty runoff and various meteorological factors for treatment period of each experimental watersheds.

試験流域 Experimental watersheds	各流出量の変化量 Amount of changes in runoff	気象因子 Meteorological factor	相関係数 Correlation coefficient	有意性 Significance
上川・北谷 KAMIKAWA・ KITA-TANI	ΔR	P_K	— 0.46	
	Δr_p	"	— 0.43	
	Δr_o	"	— 0.30	
	Δr_l	"	— 0.42	
	"	P_{PK}	+ 0.12	
	"	e_K	+ 0.53	
	Δr_s	P_{PK}	— 0.55	
	"	p_K	— 0.51	
釜淵・2号沢 KAMABUCHI・ NO. 2	"	e_K	— 0.07	
	ΔR	基地露場の水年降水量 Water-yearly precipitation at base observation station	+ 0.91	99.9
	Δr_p	"	+ 0.89	99.9
	Δr_o	"	+ 0.48	80
	"	基地露場の5～10月降水量 May～Oct. precipitation at base observation station	+ 0.47	80
	Δr_l	基地露場の水年降水量 Water-yearly precipitation at base observation station	+ 0.18	
	"	基地露場の5～10月降水量 May～Oct. precipitation at base observation station	— 0.03	
	Δr_s	基地露場の水年降水量 Water-yearly precipitation at base observation station	— 0.02	
	"	基地露場の5～10月降水量 May～Oct. precipitation at base observation station	— 0.17	

試験流域 Experimental watersheds	各流出量の変化量 Amount of changes in runoff	気象因子 Meteorological factor	相関係数 Correlation coefficient	有意性 Significance
宝川・初沢 TAKARAGAWA・ SHOZAWA	ΔR	基地露場の水年降水量 Water-yearly precipitation at base observation station	+ 0.58	95
竜の口山・南谷 TATSUNOKUCHI- YAMA・ MINAMI-TANI	ΔR Δr_p Δr_o Δr_l Δr_s	P_T " " " p_T	+ 0.70 + 0.65 + 0.35 + 0.24 + 0.02	99.5 99
竜の口山・北谷 TATSUNOKUCHI- YAMA・ KITA-TANI	ΔR Δr_p Δr_o Δr_l Δr_s	P_T " " " p_T	+ 0.78 + 0.78 + 0.23 + 0.25 - 0.09	99.9 99.9
W・W・G.・B谷 WAGON WHEEL GAP・B	ΔR Δr_p Δr_o Δr_l Δr_s	p_{2W} " " " "	- 0.02 - 0.01 - 0.25 + 0.52 + 0.31	80

Table 14 から、両者にかかなり高い相関関係がある場合が多いこと、とくに釜淵・2号沢の水年降水量と水年・豊水・平水各流出量、5～10月降水量と平水流出量、宝川・初沢の水年降水量と水年流出量、竜の口山・南谷および北谷の水年降水量と水年流出量等の関係はきわめて高度であることが知られる。なお Table 14 において、変化量をとっても変化率（％）をとっても傾向は全く同じである。

III—5. 水年流出量中の豊水・平水・低水・渇水各流出量の割合

Table 15. 各試験流域の水年流出量中における豊水・平水・低水・渇水各流出量の割合

Proportion of plentiful, ordinary, low and scanty runoff to water-yearly runoff of each experimental watersheds.

試験流域 Experimental watersheds	期 間 Period	豊 水 率 Rate of r_p to R %	平 水 率 Rate of r_o to R %	低 水 率 Rate of r_l to R %	渇 水 率 Rate of r_s to R %
上 川・北 谷 KAMIKAWA・ KITA-TANI	C. P. T. P.	69.5 67.8	16.0 17.6	10.1 10.2	4.4 4.0
釜 淵・2 号 沢 KAMABUCHI・ No. 2	C. P. T. P.	89.0 (89.2) 85.3 (85.7)	7.8 (7.5) 9.9 (10.1)	2.8 (2.8) 4.0 (3.7)	0.3 (0.5) 0.6 (0.4)
竜の口山・南谷 TATSUNOKUCHI- YAMA・ MINAMI-TANI	C. P. T. P.	88.5 87.5	6.6 6.7	3.6 3.9	1.3 1.5
竜の口山・北谷 TATSUNOKUCHI- YAMA・ KITA-TANI	C. P. T. P.	88.7 90.2	6.0 5.5	3.6 2.9	1.4 1.2
W.W.G.・B谷 WAGON WHEEL GAP・B	C. P. T. P.	61.5 (64.2) 66.6 (66.5)	16.4 (16.0) 14.6 (14.7)	14.0 (12.8) 12.5 (12.4)	7.4 (6.9) 6.6 (6.7)

水年流出量の中で、豊水・平水・低水・渇水各流出量が占める割合のいかんは年間流出の一様性の一面を示すものといえよう。いま、水年流出量に対する他の4種流出量の割合(実測値と推定値との差にもとづくもの)を豊水・平水・低水・渇水各率と定義し、各試験流域についてC. P., T. P.ごとに示すと、Table 15 のようになった。なお、釜淵・2号沢およびW. W. G.・B谷のC. P., T. P.におけるかっこ内の数値はそれぞれ対照流域である1号沢・A谷のものを示している。

Ⅳ 考察——林況変化、とくに伐採が水年・豊水・平水・低水・渇水各流出量に及ぼす影響

Ⅲで述べた解析結果から、まずT. P.における水年・豊水・平水・低水・渇水各流出量の変化の有無、もし有りとすれば、その方向(増減)および程度を全般的・概括的にたしかめ、ついで各流出量の変化の方向・程度とⅡ—2で述べた各試験流域における森林の試験処理の経過、いいかえれば林況の変遷とを対照検討し、両者の対照(符合)関係をたしかめる。

以上から、林況変化、とくに伐採が溪川の水年・豊水・平水・低水・渇水各流出量に及ぼす影響について考察する。

Ⅳ—1. 水年流出量の場合

Ⅳ—1—1) T. P.における全般的・概括的变化

Table 8 で、実測値と推定値の差をみると、竜の口山・南谷の4箇水年、W. W. G.・B谷の1箇水年を除いて他はすべて+符号となっている。このことは、T. P.において水年流出量が少なくとも増加した傾向にあることを示す。

次に、その増加量(実測値と推定値の差の+のもの)をみると、年と流域によってきわめてまちまちであるが、わが国の5流域では、竜の口山・南谷および北谷の各1箇水年を除けば、大約30~40mmから多い年に150~200mmくらいとなり、まれには270mmにも達している。W. W. G.・B谷では10~50mm前後の増加量となっている(1919水年の減少の理由は後に述べる)。

また、推定値を本来の流出量と考えて、これに対する増加の割合(以降、増加率と呼ぶ)をみる。わが国の5流域では5~6%くらいから年によって、20~30%前後、まれには40%を越すものとなっている。W. W. G.・B谷の場合は8~26%となっている。

以上の増加は実測値と推定値の差そのものでいわば平均的なものである。実際には、Ⅰ—3で述べたとおり当然推定値に差がふくまれている。いま、信頼度95%で推定値の変動量を計算すると、Table 8 の(4)欄のようになり、“差”の変動範囲の絶対量およびその推定値に対する割合は(5)・(6)欄のかっこ内になる。左側が範囲の下限である。当然、下限が—、上限が+で示されるものは信頼度95%では流出量変化の有無あるいは方向(増・減)が不確かなものである。わが国の5流域はW. W. G.・B谷に比べて、単独流域法であるか、あるいは対照流域法でも処理流域と基準流域の流出の類似性が低く、したがって、独立変量と従属変量の関連性が十分に高度でないため、推定式の精度が低い、すなわち、推定値の変動量が大きいため、T. P.における水年流出量の変化が不確かなるものが多くなる(このことは(7)欄を見ればよくわかる)。前述したとおり、流出量変化はほとんど増加傾向であるから、増加の不確かなものが多いということとなる。ただし、前述の“差”が—符号となった竜の口山・南谷の4箇水年については減少が不確かということになり、また、W. W. G.・B谷の1箇水年は上・下限とも—符号で減少が信頼できる

こととなる。

釜淵・2号沢では差が+となった11箇水年中4箇水年、以下同様に、宝川・初沢では10箇水年中1箇水年、竜の口山・南谷では11箇水年中9箇水年、竜の口山・北谷では14箇水年中5箇水年がこれに該当し、とくに竜の口山においてはなほだしい。上川・北谷およびW.W.G.・B谷にはない。ともかく、信頼度95%で信頼できる増加の信頼下限を見ると、わが国の5流域では、1例を除いて、20~30mmくらいから多い年は100~150mm、まれには200mm前後となっている。これを増加率でみると、3~4%から10~15%前後となり、まれには20%を越すものとなっている。同様に、W.W.G.・B谷では6~40mm・4~23%となっている。

IV—1—2) 流域別にみた、T.P.における流出量増加と林況変化との経年的対照

IV—1—1) において、一応伐採等による森林植生の除去にともない水年流出量は増加するものとみとめられた。しかし、増加量(増加率)は年と流域によってまちまちである。一方、伐採等による一時的な林地の荒れおよび森林植生の減少の程度や降水等気象条件の実態が年と流域によって異なっている。よって、各流域別に、降水等気象条件をできるかぎり考えあわせて、水年流出量の増加傾向を林況の変遷と経年的に対照・検討し、両者の対照関係から林況変化とくに伐採の影響を詳細にたしかめることとする。

上川・北谷：

T.P.の全年にわたり一応40.8~268.2mm(95%信頼下限18.6~246.4mm)・5~33%(95%信頼下限2~31%)の範囲で増加がみとめられる。

この増加傾向を経年的に見ると、1954水年(40.8mm・5%)より1955水年(98.6mm・9%)に大きく、1956水年(268.2mm・33%)に最大となり、その後の2年(175.1mm・23%; 225.3mm・29%)は減少する傾向がみとめられる。増加を95%信頼下限でみても全く同じ傾向である。これに対して、林況の変遷を見ると、まずII—2で述べたように、1954年9月26日の洞爺丸台風により流域内森林ははなはだしい風害をこうむり、面積で80%近くの林木が倒伏しあるいは折損した。このため、翌1955水年には運材路の敷設、ついで、集・運材が開始され、1956水年には集・運材の進ちよくにより一部の風害時残存林分以外は全く無立木で、しかも、一般植生も僅少となり、かつ、集・運材のため地表はかなり攪乱され、大小多数の水みちをもつ状態となったことは想像に難くない。1957水年前半にして集・運材は終了し、しだいに、全流域にわたりクマイザサ・各種低木の再生がはじまり、1958水年にはこれらの繁茂がいちじるしくなった。一方、この年には風害時残存林分の大部分の伐採・搬出が行なわれた。以上、概括的に流況・林況の変遷を対照すると、両者はよく符合していることがみとめられる。

さらに、逐年的に、詳細に検討する。

1年目(1954水年)の増加が少ないことは、風害が9月末に発生しているのに、一方、水年は10月区切りであるから林況悪化の期間はほぼ1か月にすぎなかったことと符合する。もっとも、この程度の影響期間で、わずか数%にしても増加するものかどうかという疑いがないわけではない。しかし、林木の風害が上木の折れ・枝葉の離散だけでなく、風害木の80%が根返りであったといわれ、地表の攪乱がはなはだしかったことを思えば理解できる変化量ともいえよう。1955水年の増加は、一部地区で運材路の敷設、ついで風害木の伐採・造材・集材・運材がはじまり、地表の荒れ、とくに大小多数の水みちの出現と植生の減少が1954水年よりはなはだしかったことによるものと考えられる。1956水年は林道敷設が一層進ちょくするとともに最も多量の材が処理され、地表・植生状況は1955水年よりも一段とかこくになり、増加量が格段

に増したことに符合する。しかし、1957水年には林道の拡充はなくなり、前水年に比べて材の処理量も格段に少ないうえに伐採跡地へのクマイザサ・各種低木の再生がはじまり、水みちの減少・植生の増加により流出増加量が減ったものと考えられる。1958水年には後生樹草の繁茂がいちじるしくなったが、一方、大部分が沢沿いにあった風害時残存林分に虫害が顕著となったため、9月までにその大半を伐採・搬出している。これら2つの事実の総合結果が、1956水年よりは少ないが1957水年よりは多い増加量となった事実と符合するとみとめられる。溪流沿い林分の影響については、後に述べるW.W.G.・B谷の場合にも考えられることのように、ふたたびその項でもふれることとする。

以上から、年による増加量の多少の差は風害木処理(伐採・搬出)作業の進行程度と植生の減少あるいは自然復旧程度の変化に符合するものとみとめられる。なお、森林植生が除去されても、降水が無いあるいはある限度以下であれば流出はおこらず、したがって、流出量の増加も考えられないという極端な場合を想定することにより、観念的には降水等の気象条件のちがいが、やはり年による流出増加量のちがいに関係するのではないかと考えられる。そこで1つの試みとしてC.P.において水年流出量と最も高度な関連が考えられる水年降水量と増加量との相関関係をみたところ、Table 14に示すように逆の相関関係がみとめられた。よって、単純には、上述の想定のように降水条件が関係しないように見える。しかし、この議論は他の流域、すなわち雪のない竜の口山、あるいは雨として降る降水が北海道より格段に多い釜淵・宝川の場合との比較で行なってみる必要があるように思われるので、後にこれらの流域の項でふれることとする。

釜淵・2号沢：

T.P.の全年にわたり一応 $31\sim 217\text{mm}\cdot 2\sim 10\%$ (T.P.11箇水年中7箇水年において信頼度95%で信頼でき、その信頼下限は $8\sim 138\text{mm}\cdot 0\sim 7\%$)の範囲で増加がみとめられる。

この増加を経年的にみると、上川・北谷の場合のように山型の変化傾向はみとめられず、1948水年(1年目)に信頼度95%で信頼できる増加($89\text{mm}\cdot 5\%$; 下限 $8\text{mm}\cdot 0\%$)があり、1949～1951水年には一応増加傾向があるとしても信頼度95%で信頼できないものとなっている。1952水年以降は1954水年の1例を除いて、すべて信頼できる増加、むしろ1948水年よりかなり大きい増加となっている。そして、7箇水年の信頼下限でみても経年的傾向は大体同じである。

一方、林況の変化をみると、1948水年の前半に森林は皆伐され、一部の広葉樹伐採木が消雪後にも製炭のためずり出し集材された。このため、この水年末期には植生はかなり少なくなった。しかし、大部分が雪上の集材であり、伐採・集材作業のため格段に林床が荒らされたということはなかったようである。その後1949～1952水年まで、毎年6・9月に後生樹草の刈払いが行なわれた以外は放置され、大体草地の状態となっていた。1953～1957水年までは毎年4～5月に火入れして後生樹草を焼いた。1958水年には春期火入れをし、さらにその後、後生樹草の刈払いも行なっている。したがって、大体1952水年以降にはしだいに後生樹草の成立はにぶり、一部にははげ地をみるようになった。以上を要するに、1948水年は皆伐とずり出し集材が行なわれ、わずかながら一部の林床が荒らされた状態となったが、1949水年以降は小低木を混じえた草地の状態にあり、1952水年以降しだいに低木が少なくなり、草の生育も比較的悪く、一部に裸地を生ずるに至ったのである。

以上から、増加の経年的傾向と林況のそれとはほぼ符合性がみとめられるようである。一応以上のように見られるが、しかし、上川の場合と異なり、きわめて小流域で集・運材のための路網が敷設されたわけ

でもなく、また伐採木も大きいものではないうえに大部分が雪上の集材であったから、1948水年といえども後年の草地と大差のある林床状態になったとは思えないし、1949水年以降も草地状態に極端に大きなちがいがあっても考えられない。とすると、一応上述のように傾向の符合性をみとめられるとしても、1948水年および1952水年以降の増加量に比べて1949～1951水年の増加が少なすぎることに、1952水年以降は草地状態に大差はないかあるいはいってしまえば後年ほど植生が貧弱になったと考えられるのに、増加量は各年にまちまちであり、1954水年のときは信頼度95%で信頼できないものとなっていることは、林況条件以外の条件を加えて考えなければ説明できない。もちろん、1952水年以降は皆伐直後よりも増加量ははるかに大きい年が多いことから、連年の植生刈払いの集積された影響もあることはたしかであろう。Table 14で、この流域における水年流出量の増加は水年降水量ときわめて高度の順相関関係があることがわかっている。したがって、上述の林況変化だけで説明できない増加量の変動は、降水等気象条件のちがいによるものと考えられる。1949・1950・1951・1954の4箇水年は、水年降水量がそれぞれ2,035～2,192mmであるが、他の7箇水年はすべて2,500mm以上である。また、水年降水量のうち水年流出量に大きく影響するとみられる30mm以上の降水量（主として雨）のあった日数をみると、Table 16 のようである。これをみても、

Table 16. 釜淵, T. P. における 豪雨日数
Numbers of large storm days for treatment period at KAMABUCHI.

水 年 Water-year 日降水量 Daily precipitation mm	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958
≥ 30	15	11	11	9	19	18	11	17	19	13	18
≥ 50	7	2	2	0	6	4	1	3	4	4	5
≥ 70	2	0	1	0	2	3	0	2	2	2	4

これら4箇水年に影響度の高い降水量が少なかったことがうかがわれる。30mm以下のその日数は全年にわたって大差がない。これらのことは資料¹⁷⁾によって明らかである。したがって、年間降水量の少ない年、大きな一連続降水の少ない年では、かりに林況悪化程度が同じでも流出量増加は少ないのではないかということになる。

宝川・初沢：

T. P. の全年にわたり一応 76～276mm（1箇水年を除いて95%信頼下限 30～207mm）・4～19%（1箇水年を除いて95%信頼下限 2～14%）の範囲で増加がみとめられる。

この増加を経年的にみると、上川・北谷の場合のように山型の変化傾向はみとめられず、T. P. 全年にわたり大体において台形状の増加傾向となっている。そして、その平均的傾向のまわりに上述の範囲で各年にかなりまちまちの増加となり、T. P. 最後の年（1958水年）にもかなりの増加傾向（209mm・13%）がみとめられる。1箇水年を除いて信頼度95%で信頼できる増加であるが、その下限で経年的傾向をみてもほぼ同様である。

これに対して、林況の変化をみると、前述（Ⅱ—2）のように1949水年から1952水年にかけて択伐が行なわれ、その後は全く放置されたから択伐跡にはしだいに後生樹草がたち、林相は自然に復旧していったはずである。

両者の関連をみると、先に述べた上川や釜淵の例ほどには符合性がはっきりみとめられない。すなわ

ち、択伐により明らかに流出量増加がきまるものとしたら択伐期間中とその後の期間との間にはもう少し明りょうな違い、すなわち後者に増加率が減少していくような大勢がみられるはずだと考えられる。

両者が符合性に乏しい理由は、やはり釜淵・2号沢の場合と同様に、降水等気象条件の各年別の違いにあるのではないかと考えられる。1つの試みとして Table 14 に示すように、増加量と水年降水量との相関関係をみるとかなり高い順相関関係にあることがわかる。そこで釜淵の場合と同様に、既往資料から各年の水年降水量、水年降水量のうち水年流出量に大きく影響すると思われる30mm以上の降水量（主として雨）のあった日数をみると、Table 17 のようである。しかし、これらの資料によっても負符合性の理由は完全には説明できない。今後の検討課題であろう。

Table 17. 宝川, T. P.における各水年降水量と豪雨日数
Numbers of large storm days and water-yearly precipitation
for treatment period at TAKARAGAWA.

水 年 Water-year 日降水量 Daily precipitation mm	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958
≥ 30	12	15	10	14	13	11	13	11	9	20
≥ 50	3	5	2	4	4	2	1	4	1	3
≥ 70	1	2	0	0	0	1	0	1	0	1
水 年 降 水 量 Water-yearly precipitation mm	2156	2329	1764	2258	2113	2018	2185	2065	1936	2204

竜の口山・南谷：

T. P. の15箇水年中 4 箇水年を除いて、12.0~209.7mm・4~46%の範囲で増加が一応みとめられる。しかし、全年にわたり推定式の精度はわるく信頼度95%で増加が信頼できるのはわずかに 2 箇水年にすぎない。

一応の増加を経年的にみると、2 年目（1945水年）に大きな増加、しかも信頼度95%で信頼できる増加（209.7mm・46%；95%信頼下限48.0mm・9%）があり、これが最大で、その後は増加がみとめられそうもないか（3 箇水年）、あるいは信頼度95%で信頼できず1945水年よりは小さな増加（12.0~126.7mm・4~24%）がみとめられる程度である。ただ、11 年目（1954 水年）にかなり大きな増加（126.7mm・24%；95%信頼下限24.6mm・5%）があらわれている。

一方、Ⅱ-2 で述べた林況の変遷を要約すると次のようになる。1 年目（1944水年）から 2 年目にかけて17.6ha（流域面積の約80%）の主林木が皆伐・搬出され、また、全域から多数の松根が掘り取られた。その後 1946~1953 水年の間は各種の広葉樹低木・アカマツ稚樹・ササ等の生育するままに放置された。1954~1957 水年の間はヒノキ植栽のため、毎年春・夏期に20~30%の区域で地拵えあるいは保育のための下木・下草の刈払いが行なわれた。1958水年は全く放置されていた。

以上から、両者は大勢としては符合しているようにみられる。1944水年は伐採開始時期が明りょうでないため正当な議論ができないが、伐採開始が水年末期であったとすれば増加がなかったことも考えられる。そして、1945水年は最も林地が荒れ、植生が減少した年であり、大きな流出量変化、すなわち約 210 mm・46%の増加（95%信頼下限48mm・9%）は量そのものはともかく傾向としては一応うなずけよう。

しかし、1946水年以降は後生樹草が生育しはじめており、しだいに林況悪化の程度が改善されている。また、1954水年以後も造林のため後生樹草の刈払いが行なわれたものの、面積的に小部分で植生地上部の減少は短期間であり、林況悪化の程度は軽微であったと思われる。したがって、1946水年以降の流出量増加が1945水年のそれより少ないこと、そして、信頼度95%で信頼できるほどのものでないことが、これらに符合するものと考えられる。

しかしながら、1946水年以降各年の一応の増加を比較するとやはりかなりまちまちであり、とくに1954水年にいちじるしい増加がみとめられる点が林況変化と明確には符合しない。これは釜淵・宝川の場合と同様に森林以外の条件が作用しているためと考えられる。試みに、増加量と水年降水量の相関関係をみると、Table 14 に示すようになかなり高度の関係がみとめられる。そこで、具体的に1954水年の水年降水量をみると格段に多い年の1つとなっている(Table 7・(4))。また、実測値と推定値の差が一で、増加傾向を示さなかった4箇水年(1944・1947・1950・1956)は水年降水量および強雨の少ない年であったことは、Table 7・(4)および Table 18 でほぼうかがわれる。Table 18 により1954水年のそれに近い変化量を示す

Table 18. 竜の口山, T. P. における 豪雨日数
Numbers of large storm days for treatment period at TATSUNOKUCHIYAMA.

水 年 Water- year 日降 水量 Daily precipitation	1944	1945	1946	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958
≧ 20	13	22	20	13	15	17	22	17	24	21	22	14	20	16	14
≧ 40	1	8	6	2	4	9	3	5	6	8	9	5	2	4	1
≧ 60	0	2	2	1	2	3	0	2	1	5	3	1	0	2	0

1953水年の説明もできそうである。しかし、なお、1950・1952水年等の説明は十分にできない。これらはさらに年間の降雨経過を詳細にみることにより明らかになるものと推定されるが、このことは今後の検討にゆだねたい。

以上からすると、2年目(1945水年)も降水量の多い年で、いちじるしい流出量増加もこのためではないかという疑いが生ずるが、伐採の影響が大きかったことを示すことは明らかである。なぜならば水年降水量は1952・1953・1954各水年とほぼ同じであるのに、これらの年より流出量変化が大きいいことから推察できよう。

竜の口山・北谷：

T. P. 全年にわたり一応 10.1~205.1mm・3~43% の範囲で増加がみとめられる。南谷の場合と同様に、全年にわたって推定式の精度はわるく、推定値の変動量が大きいいにもかかわらず、信頼度95%で信頼できないのは14箇水年中5箇水年で、しかもこれら5箇水年が1947水年以外はT. P. の最後にあたっていることが南谷と明らかに異なり、注目される。9箇水年の95%信頼下限は15.2~87.1mm・3~15%となっている。

一応の増加傾向を経年的にみると、1年目(1945水年)に最大の増加(205.1mm・43%; 95% 信頼下限72.2mm・15%)があり、その後は1947水年の増加が信頼度95%で信頼できないだけで、1946~1954水年の間は一応91.5~171.8mm・21~35% (95%信頼下限15.2~87.1mm・3~15%) の範囲で各年にまちまちであるが増加がみとめられる。さらに、1955水年以降は4箇年とも一応10.1~64.3mm・3~34%の

範囲で増加がみとめられるとしても、信頼度95%で信頼できるものではない。

一方、林況の変遷を要約すると、1945年度に10.57ha(流域面積の約61%)の主林木が伐採され、松根が掘り取られた。1946年5月から翌1947年7月までの間に6.63ha(約39%)の幼齢林分が伐採された。1947水年の後半以後は全く放置されたため、南谷同様に、広葉樹低木・アカマツ稚樹・ササ等の後生樹草がしだいに生育するようになり、1958水年にはかなりの雑木林になった。

以上から、両者は大勢としてはよく符合しているように思われる。すなわち、林況悪化が最もはなはだしかった1954水年に流出量増加の最大が符合し、1946～1954水年の間の後生樹草繁茂による林況回復に対して増加量の減少(1945水年に比較して)が符合する。さらに、一層の林況回復につれて1955～1958水年には増加量が一層減少し、信頼度95%で信頼できない程度の増加となったことが符合する。

しかし、1947水年は前後の年と比べて林況に大差ないと考えられるのに、異常に増加量が少ないこと、また、1946～1954水年の間でも各年により増加はまちまちであることがみとめられる。この理由は林況条件以外にあると考えられ、先述した各流域の場合と同様に、降水等気象条件が主たる原因と考えられ、試みに増加量と年間降水量の相関関係をみると、やはり高度な相関関係がみとめられる(Table 14 参照)。そこで Table 7・(4)をみると、1947水年は年間降水量917mmという極端に雨の少ない年であったことがわかる。この年以外は一応、1,000mm以上であるが、1955・1958水年についても1947水年と同様の考え方ができるかもしれない。したがって、この両年についても増加量の信頼性については注意を要しよう。しかし、降雨量の多い1956・1957の両水年が信頼できない程度の増加量であることから1955水年以降は前述のように林況回復の影響も大きく関係しているものと考えてよからう。

以上、竜の口山の両流域でも、南谷は植生地被の減少により年間流出量は一応増加傾向がうかがわれるものの、あまり明りょうではないのに反し、北谷でははっきり増加が符合し、伐採後の植生回復につれて流出量変化もC.P.の状態に復する傾向がみられる。

南谷の項で述べたように、隣接した南・北両谷で降水その他の気象条件に大差があるとは考えられないし、C.P.における林況についても大差ないものと判断できる。しかも、伐採後上述のような違いを生ずるのは気象・林況条件以外に地況条件の本質的な違いがあり、林況変化が流出に及ぼす影響のpotentialに差異があるためと推論される。北谷の方が山復傾斜が急であること、すなわち、傾斜頻度分布は大体24°～36°にわたり、34°～36°に最多頻度があり、平均30.9°であるのに反し、南谷では20°～32°に分布し、最多頻度は22°～24°にあり、平均26.1°であること、土層のうすい区域が北谷に多いようにみられること等、本来北谷の方が南谷より直接流出をしやすい条件をもっているように見られる。このため前述のpotentialの程度は北谷の方が南谷より大である。したがって、南谷では同様な後生樹草の回復で、ただちに流出量変化がややしくなるのに、北谷では7～8年にわたって流出量変化がみられるものと推論される。しかし、他の流域に比べて、格段に竜の口山の両谷の場合は推定回帰式の精度が悪く、推定値の変動量が大きいから、一応以上のように推論するとしても今後なお十分に検討する必要がある。

W.W.G.・B谷：

1箇水年(1919水年)を除いて12.4～46.4mm(95%信頼下限5.7～40.9mm)・8～26%(95%信頼下限5～23%)の範囲で増加がみとめられる。

上川の場合と同様に山型の経年的変化傾向が明らかにみとめられる。すなわち、1年目(1919水年)は減少(6.2mm・4%)で、少なくとも増加がみとめられないのに、1920水年(15.5mm・8%)・1921水年

(33.6mm・19%)と増加が見られ、しかも、増加量は漸増し、1922水年に最大増加量(46.4mm・26%)となる。その後、1923水年(24.0mm・15%)・1924水年(20.4mm・11%)・1925水年(12.7mm・11%)・1926水年(12.4mm・11%)と増加量が漸減している。信頼下限でも全く同様な傾向がみとめられる。

これに対し、林況の変遷をみると、前述(Ⅱ—2)のように、1919水年の末期(夏)に流路沿いの帯状優勢林分を残してほとんど大部分の林木が伐採された。そして、1920水年に利用できる大径木のずり出しが行なわれ、多数のずり出し道ができ、末期には利用できない小径木・枝条が集積・焼却され、同時に流路沿い残存林分が伐採・搬出された。1923水年以降下草が茂りはじめ、aspenの稚樹が発生し、しだいに植生は回復した。1924水年にはごく一部で残存伐採木のずり出しが行なわれ、1925水年にも山羊の林内放牧が行なわれたがいずれもほとんど林地を荒らすまでに至らなかったようである。

以上から、流況ならびに林況の経年的変化を概括的に対照すると、両者はよく符合していることがみとめられる。1919水年に減少、少なくとも増加がみとめられなかったことは伐採が水年末期に行なわれ、林況悪化の期間がきわめて短かったことと符合する。1920水年は利用木のずり出しと流出増加量の増加、1921水年は前水年末期に行なわれた伐採木の焼却と流路沿い林分の伐採搬出と増加量の著増が符合する。さらに1922水年には前年までの森林処理によりなおほとんど植生の回復、scar復旧がなく、林地が最も荒れた状態であり、最大の増加量と符合しよう。1923水年以降になって後生樹草の生育がみられ、その繁茂程度がすすむにつれて年々増加量の減少がみとめられる。

わが国の5流域の場合と異なり、符合程度が非常に高いことに気づく。この理由は、わが国の流域の場合とちがって年による降水等気象条件の変動がきわめて少ないことにあるようで、Table 7・(5)によりその一端がうかがわれる。したがって、Table 14 でわかるように、ほとんど気象条件と増加量との間には関係がない。

Ⅳ—1—3) 林況変化、とくに伐採の影響

Ⅳ—1—1) および 2) の結果から林況変化、とくに伐採が次のように水年流出量に影響するものと判断される。

(a) 6 試験流域とも流域内森林の搬出(ずり出し・道路新設による運材等)をともなった皆伐あるいはほとんど皆伐に近い伐採、面積で50%の択伐(皆伐小団地の点在)により水年流出量は明らかに増加したといえる。試験例が少なく多少疑問があるが、その影響期間が1か月くらいでも風害によりほぼ全域にわたり林木の折れ・根倒れがおこった時(上川・北谷)、溪岸林分が伐採・搬出された時(上川・北谷; W.W.G.・B谷)、伐採跡地へ侵入した低木・草類が、生育活動の最盛季節に、数年にわたって刈り払われ、あるいは火入れにより焼却された時(釜淵・2号沢; 竜の口山・南谷)にも増加する傾向がみとめられる。また、後生樹草の除去が永年にわたって連続されると影響は集積して皆伐のそれ以上になるかもしれないことが釜淵の例からうかがわれよう。

増加する理由についてはここで直接的に明らかにすることはできないが、上述のような森林処理により、明らかに流出量増加が起こる事実、森林植生の減少と一時的な林地の荒れによるものであろう。前者については樹冠しや断・蒸散による水消失を減少すること^{1) 8) 9) 12) 19)}、後者については伐木・造材時の地表攪乱・ずり出し道面・林道面等透水性のわるい林地部分をつくることによる直接流出量増加、林地の蒸発散による水消失を減少すること等により結局水年流出量を増加するものと考えられる。どちらかといえば、後者の理由に重みがあるように考えられる。

(b) 伐採跡地が放置され、自然に後生樹草(低木・草類)が侵入・繁茂するにつれて流出増加量は減少していく傾向がある。この理由は、aで述べた理由のすべてについて緩和されるためと考えられる。5流域とも(宝川・初沢は解析を行っていない)程度の差こそあれ、伐採木搬出が終了した翌年から減少のきざしが見られる。しかし、大たんという竜の口山・南谷; W.W.G.・B谷では後生樹草による増加量減少が急速にすすむよううかがえるが、竜の口山・北谷では比較的緩慢なようにみえる。この原因は両者間で目だつ地況条件(とくに傾斜)の違いにあるのではないかと考えられる。

(c) 伐採など森林植生の除去(そのための作業過程をふくむ)により水年流出量が増加することは前述のとおりであるが、具体的な増加程度はこの林況条件の変化に気象条件、主として水年降水量の多少等の降水条件が加わってきまるものと推定される。しかしながら、増加量に影響する気象条件の種類と程度についてはここでは十分明らかにできず、こんごの検討にまつほかない。ただ、釜淵・2号沢; 竜の口山・南谷および北谷では水年降水量がここにいる影響気象因子の有力なものらしいことが知られるが、上川・北谷; W.W.G.・B谷では関係が小さいかあるいはないようである。この違いの理由は前3者は年降水量中雨として降る量が毎年大体1,200mm前後、後2者は同様に700mmと250mmで、雨として降る降水量に格段の違いがあることによるかとも想像されるが、やはり今後の研究にゆだねたい。

以上から、ここにあげる試験例だけで、一般的にわが国の水源流域における森林植生除去にもとづく水年流出量の増加量を示すことはできないし、また、これら6試験流域における増加量さえもそこで起こる可能性のある、あらゆる降水等気象条件が試験中に起こったと考えられないという理由から断言はできない。

しかし、一応の目安にはなると考えられるので、あえて次にこれを示す。a・bで述べた森林植生処理が逐次連続して行なわれた場合は、低木・草類以外の林木が皆伐あるいは皆伐に近く大量に伐採され、伐採木がずり出し・林道運搬により搬出された時に増加量は多くの場合最大となる。いま、各試験流域における最大増加量および増加率をみるとTable 19のようである。

上川・北谷は1957年2月までに面積にして80%の風害林分の伐採・林道敷設・ずり出しおよび林道運材

Table 19. 各試験流域における水年流出量の最大増加量および率
Maximum amount and rate of increase in water-yearly runoff for
each experimental watersheds.

試 験 流 域 Experimental watersheds	増加量 (95%信頼限界によ る変動範囲) Increase (95% confidence interval) mm	増加率 (95%信頼限界によ る変動範囲) Rate of increase (95% confidence interval) %	起 水 年 Water-year
上 川 ・ 北 谷 KAMIKAWA ・ KITA-TANI	268.2 (246.4~290.0)	33 (31~36)	1956
釜 淵 ・ 2 号 沢 KAMABUCHI・No. 2	{ 212 (133 ~ 291) 217 (138 ~ 296) }	{ 10 (6~14) 10 (7~14) }	{ 1953 1956 }
竜 の 口 山 ・ 南 谷 TATSUNOKUCHI- YAMA・ MINAMI-TANI	209.7 (48.0~376.4)	46 (9~82)	1945
竜 の 口 山 ・ 北 谷 TATSUNOKUCHI- YAMA・ KITA-TANI	205.1 (72.2~338.0)	43 (15~70)	1945
W. W. G. ・ B 谷 WAGON WHEEL GAP・B	46.4 (40.9~ 51.9)	26 (23~29)	1922

による伐採木搬出を終了しており、1956水年中にその大半が実行された。竜の口山・南谷は1944～1945年度で面積にして80%の伐採・搬出が行なわれているが、とくに1945年度に伐採面積が大きく、かつ全域から松根を掘り取っており、北谷では1945～1947年度にかけてほとんど全林が伐採されたが、1945年にその60%の伐採と全域からの松根の掘り取りが行なわれている。W. W. G.・B谷では1921水年末期に全林の伐採・伐採木の搬出が終了し、かつ末木・枝条の焼却が行なわれ、一部に scar を生じている。したがって、以上の各流域では伐採・伐採木の搬出あるいは焼却が行なわれた水年あるいは翌水年に最大の増加量をみていることが知られる。ただ、例外は釜淵・2号沢で皆伐と伐採木搬出が行なわれた1948水年にも89(8～170)mm・5(0～9)%という大きな増加をみているが、最大増加量はTable 19に示すとおり1956・1953水年におこっている。これは伐跡地の後生樹草の生育が年々の刈払いおよび火入れにより抑制され、T. P. 後年に植生量がますます減少し、一部にはげ地を生ずるに至ったことと、降水量の多いことがかされたためとみられる。

さらに、しいていえば、宝川・初沢の例から皆伐小団地の点在による50%択伐の終了時161(112～210)mm・10(7～13)%の増加、上川・北谷の例から、風害によりほぼ全流域にわたり林木の折れ・根返えりが起こった時40.8(18.6～63.0)mm・5(2～8)%の増加がみとめられ、このような林況変化が起きた場合の目安となろう。溪岸林分の伐採・皆伐跡地における後生樹草の刈払いによる増加量等は皆伐の影響期間内におこなわれた処理によるもので、これだけによると考えられる増加量は分離できない。

なお、一応各流域ともC. P.・T. P.を通じてみた範囲ではこれらの増加がおこった水年は極端に異常な降水等気象条件の年ではないようである。

また、皆伐跡地が放置され、自然に後生樹草が侵入した場合、何年後どの程度に上記の増加量が減少するかは試験例が少ないので明確にはいえない。しかし、竜の口山・北谷の例では10年後には一応最大増加量の15～30%に減少し、信頼度95%ではあやしい程度になり、W. W. G.・B谷の例では4年後には同じく25%くらいに減少したといえよう。

(d) 以上から、伐採等による森林植生の除去が水年流出量に及ぼす影響を概念的にいうと次のようになろう。森林植生の除去により増加の potential が生ずる。そして、potential の程度は植生の除去および林地の荒れ程度・後生樹草の自然復旧程度によって、また傾斜等地況条件によっても異なる。この potential の程度に降水等各種気象条件が加わって具体的に増加量がきまる。水年流出量の増加量の場合、所によっては降水条件の影響がきわめて強い。

IV-2. 豊水流出量の場合

IV-2-1) T. P. における全般的・概括的变化

豊水流出量は水年流出量の60～70%(上川・北谷; W. W. G.・B谷)ないしは90%(釜淵・2号沢; 竜の口山・南谷および北谷)を占めるから、当然水年流出量と同様の傾向を示すことが予想される。Table 9は明らかにこのことを示し、傾向はほとんど水年流出量の場合と同じである。なお、前述したように宝川・初沢についてはこの解析を行っていない。

Table 9で、実測値と推定値の差をみると竜の口山・南谷の4箇水年; W. W. G.・B谷の1箇水年以外はすべて+符号となっており、水年流出量の場合と同様に、T. P. において豊水流出量は少なくとも増加したらしいことを示している。

増加量は年と流域によって大幅に異なるが、わが国の4流域では竜の口山・南谷および北谷の6箇水年

に数～十数mmの場合がみられるほかは，25～40mmくらいから多い年は100～170mmくらいとなり，まれに200mm弱となっている。W.W.G.・B谷では10～40mm前後となっている。増加率をみると，わが国の4流域では2～3%前後から多い年には20～30%くらい，まれに40%をこしている。W.W.G.・B谷の場合は10～34%となっている。

水年流出量の場合と同様に信頼度95%で推定値の変動量を計算すると，Table 9の(4)欄のようになり，差の変動範囲の絶対量およびその推定値に対する割合は(5)・(6)欄のかっこ内のようになり，水年流出量の場合と同様の理由でT.P.における流出量の増加が不確かになるものが多くなる(7)欄参照)。ただし，前述の差が一符号となった竜の口山・南谷の4箇水年については減少が不確かということになり，またW.W.G.・B谷の1箇水年は上・下限とも一符号で減少が信頼できることになる。各流域で不確かになる年は水年流出量の場合とほとんど同じで，上川・北谷では差が+となった5箇水年中1箇水年，以下同様にして，釜淵・2号沢では11箇水年中4箇水年，竜の口山・南谷では11箇水年中9箇水年，竜の口山・北谷では14箇水年中6箇水年がこれに該当し，W.W.G.・B谷にはない。ともかく，信頼度95%で信頼できる増加の信頼下限をみると，わが国の4流域では2例を除いて8～30mmくらいから多い年は70～120mm，まれには140mm前後となっている。これを増加率でみると2～7%くらいから多い年で15%前後，まれに20%をこえている。同様にしてW.W.G.・B谷では5.8～36.0mm・7～31%となっている。

IV-2-2) 流域別にみた，T.P.における流出量増加と林況変化との経年的対照

IV-2-1)で，一応伐採等による森林植生の除去にともない豊水流出量は増加するものとみとめられた。しかし，増加量(率)は年・流域によってきわめて異なる。一方，伐採などによる一時的な林地の荒れおよび森林植生の減少程度や，降水等気象条件の実態が年と流域によって異なる。そこで，各流域別にできるかぎり降水等の気象条件をあわせ考えながら，豊水流出量の増加傾向を林況の変遷と経年的に対照・検討し，両者の符合性から林況変化，とくに伐採が豊水流出量に及ぼす影響を一層詳細にたしかめることとする。

上川・北谷：

T.P.の全年にわたり一応29.1～171.5mm(1箇水年を除いて95%信頼下限4.2～147.1mm)・5～31%(1箇水年を除いて信頼下限1～26%)の範囲で増加がみとめられる。

この増加と林況の変化を経年的に対照してみると，ほとんど水年流出量の場合と同様の経過をたどっている。すなわち，1年目(1954水年)は林況の変化期間が短いことに符合して増加(29.1mm・5%)は少なく，伐採・搬出作業のすすんだ1955水年(61.4mm・8%)にやや増し，集・運材量が最多で，植生が最少となった1956水年に増加(171.5mm・31%)は最大となっている。その後は伐採搬出作業が終わり，自然に後生樹草が成立するに及んで増加量(1957水年——98.0mm・19%；1958水年——130.3mm・24%)は減少している。もっとも，1958水年は後生樹草が繁茂する一方，溪岸沿い残存林分の伐採が行なわれたため1957水年より多くなったものと考えられる。ともかく，大勢は水年流出量の場合と全く同じである。ただ，信頼限界をみると，1955水年の増加が信頼できないものとなっている点が異なる(この理由は簡単に説明できない)が，その他の年では信頼下限でみても経年経過は全く同様である。

以上から，水年流出量の場合と全く同様に年による増加量の多少の差は風害木処理(伐採・搬出)作業の進ちょく程度と植生の減少あるいは自然復旧程度のいかんと密接に符合することがみとめられる。

釜淵・2号沢：

T. P. の全年にわたり一応 $25\sim 193\text{mm} \cdot 2\sim 10\%$ (T. P. 11箇水年中7箇水年において信頼度95%で信頼でき、その信頼下限は $8\sim 139\text{mm} \cdot 4\sim 7\%$) の範囲で増加がみとめられる。

この増加と林況の変遷を経年的に対照すると、水年流出量の場合とほとんど同様である。すなわち、皆伐・集材が行なわれたため植生が最少で、林地も最も荒れていたと推定される1年目(1948水年)に信頼度95%で信頼できる増加($66\text{mm} \cdot 4\%$; 下限 $8\text{mm} \cdot 1\%$) が符合し、1949~1951水年の間は春・秋に全面積にわたりその刈払いが行なわれたとしても、後生樹草の生育によってかなり林況は復旧された。これに対して一応増加傾向($25\sim 54\text{mm} \cdot 2\sim 4\%$) はみとめられるとしても、信頼度95%で信頼できない程度のもとなっている。しかし、1952水年には年々の刈払いで部分的に後生樹草も貧弱となってきたうえに、1953~1958水年の間は毎春火入れして植生を焼き、一部でははげ地が見られるようになり、ふたたび植生は減少し、地表状態は悪くなった。これに対しては1年を除いて信頼度95%で信頼できる増加($109\sim 193\text{mm} \cdot 6\sim 10\%$; 下限 $54\sim 139\text{mm} \cdot 3\sim 7\%$) が符合している。しかし、1949~1951水年および1954水年の増加量が、林況に大差が考えられないのに少なすぎるようだし、また、これ以外の年にもここに知られるかぎりの林況では説明できない差異がみられる。この理由は、水年流出量の項で述べたように、降水等気象条件にあるようである (Table 14 参照)。

竜の口山・南谷：

T. P. 15箇水年中4箇水年を除いて一応 $5.4\sim 175.9\text{mm} \cdot 2\sim 41\%$ の範囲で増加がみとめられる。しかし、全年にわたり推定値の変動量は大きく、信頼度95%で増加が信頼できるのはわずかに2箇水年にすぎない。

一応の増加と林況の変遷を経年的に対照すると、ほとんど水年流出量の場合と同様である。

1年目(1944水年)は、水年流出量の項で述べたように正当な論議ができないが、伐採が水年末期に開始されたとすれば流況が影響を受けなかったことも考えられる。1945水年では大部分の伐採・搬出が行なわれ、松根が掘り取られたことに対し、 $175.9\text{mm} \cdot 41\%$ (95%信頼下限 $28.8\text{mm} \cdot 7\%$) の増加となっている。しかし、1946~1953水年の間は後生樹草が生育して植生・林床状況が改善されたのに対し、一応増加傾向があるものの信頼度95%で信頼できないか(6箇水年)、かえって減少傾向(2箇水年)さえみとめられるものとなっている。1954水年以降は一部区域で造林のため低木・下草の刈払いが行なわれたが、これに対して1箇水年を除き、流出量変化は1946~1953水年の間のそれとほとんど差がない。

以上から、大勢としては両者は符合しているものとみとめられる。

しかし、一応以上のように符合性がみとめられるとしても詳細にみれば、1946水年以降各年の増加量がきわめてまちまちであること、とくに1954水年に大きな増加がみられることは林況変化だけでは説明できない。これは水年流出量の場合と同様に気象条件、主として降水条件によるものと考えられる(水年流出量の項および Table 14)。

また、釜淵では下草・低木の除去が豊水流出量に影響しているごとくであるのに反し、この流域では影響していないようにみえるのは除去の程度によるものである。すなわち、釜淵では流域の全面にわたる刈払いや火入れであるのに、この流域では一部区域の、しかも筋刈にすぎないことのためであろう。

竜の口山・北谷：

T. P. の全年にわたり一応 $1.0\sim 168.6\text{mm} \cdot 0\sim 43\%$ の範囲で増加がみとめられる。しかし、全年にわたって推定値の変動量は大きく、信頼度95%で増加が信頼できるのは14箇水年中8箇水年(下限で $1.8\sim$

87.1mm・0~16%)である。

この増加と林況の変化を経年的に対照すると、水年流出量の場合と同様の経過をたどっている。すなわち、1945水年(1年目)から1947水年にかけて伐採が行なわれ、1947水年の後半以降は全く自然に放置されたため、しだいに雑木林になっていった。これに対し、各年の豊水流出量の増加は単純な傾向がみとめられず、きわめてまちまちであるが、しかし、1945水年にほぼ最大の増加(167.1mm・37%; 95%信頼下限39.5mm・9%)がみられ、1946水年以降は大体1年目より少ない範囲(7.0~168.6mm・3~32%; 下限1.8~87.1mm・0~16%)で増加し、信頼性に疑問がある6箇水年中4箇水年はT.P.の最後年に連続していることから、大勢としては水年流出量の場合と同様に、両者はよく符合していると見られる。そして、各年の増加量が林況では説明できないほどまちまちであること、とくに1947・1950両水年の増加が少なく、信頼度95%で信頼できない程度であることは、水年流出量の場合と同様に、主として降水条件に原因があると考えられる(水年流出量の項およびTable 14参照)。もちろん、T.P.最後の4箇水年の増加が信頼度95%で信頼性に欠ける程度であることが降水条件のためばかりでないことは、水年降水量がこれらの年に格段に少ないのではないことから明らかである(Table 7・(4)参照)。

以上から、南谷の場合と同様に伐採により豊水流出量増加のpotentialを生ずる等の推論ができるが、両谷の場合で顕著な違いは南谷よりも北谷の方が伐採の影響が比較的明らかなことである。すなわち、南谷では伐採後後生樹草の生育により急速に増加のpotentialが緩和されるらしいのに対して、北谷ではななくpotentialが維持されることである。この理由は、水年流出量の項で述べたように、気象・林況条件以外に地況条件に基本的な違いがあるためと判断される。

W.W.G.・B谷:

1919水年の1箇水年を除いて一応10.5~39.6mm(95%信頼下限5.8~36.0mm)・10~34%(95%信頼下限7~31%)の範囲で増加がみとめられる。

この増加と林況変化を経年的に対照すると、水年流出量の場合と同様な傾向がみとめられる。1919水年(1年目)の減少は、この年末期に伐採が行なわれ、しかも溪流沿いの一部林分が伐り残されたことに対応する。流路沿い林分を除く大部分の林分の伐採とずり出しが行なわれた1920水年(15.0mm・10%)、前水年末期に搬出木の末木・枝条や未搬出小径木等が焼却され、流路沿い林分が伐採・搬出された1921水年(26.9mm・23%)、その後、ずり出し道・焼却跡地の植生回復がまだ無く、林地が最も荒れていたと想像される1922水年(39.6mm・34%)とすすむにつれて流出増加量も増加し、ついで、上述の裸地に下草・低木が生育しはじめ、逐次後生樹草が優勢になるにつれて増加量は減少している。すなわち、1923水年(22.0mm・22%)、1924水年(16.9mm・14%)、1925水年(10.5mm・19%)、1926水年(14.2mm・22%)とすすむにつれて大体減少傾向がみとめられる。以上の傾向は95%信頼下限でも明らかにみとめられる。この流域では、水年流出量の場合と同様に、年々の降水等気象条件に変動が少ないため上述の増加傾向は林況変遷だけと対応しているごとくにみとめられるが、おそらく、わが国の試験地と同様に増加量は林況条件に気象条件、ことに降水条件が加わってきまるものとみとめられる。

IV—2—3) 林況変化、とくに伐採の影響

IV—1—1)・2)の結果から林況変化、とくに伐採が次のように豊水流出量に影響するものと推察される。豊水流出量は水年流出量の60~90%を占めるものであるから、当然水年流出量にきわめて近似した影響事実がみとめられる。

(a) 5試験流域とも、流域内森林の皆伐あるいはほとんど皆伐に近い伐採とずり出し・林道を新設しての運材等の伐採木搬出により豊水流出量は明らかに増加したといえる。試験例が少なく多少疑問があるが、その影響期間が1か月くらいでも風害によりほぼ全流域にわたり林木の折損・根倒れが起こった時(上川・北谷)、溪岸林分が伐採・除去された時(上川・北谷; W. W. G.・B谷)、伐採跡地へ侵入した低木・草類が、生育最盛季節に、数年にわたり刈り払われ、あるいは火入れにより焼かれた時(釜淵・2号沢; 竜の口山・南谷)にも増加する傾向がみとめられる。

増加する理由については水年流出量の場合と全く同様に考えられよう。

(b) 皆伐跡地が放置され、低木・草類が自然に侵入・繁茂するにつれて流出増加量は減少していく傾向がみとめられる。この理由は水年流出量の項で述べた理由のすべてが緩和されるためと考えられる。

各流域とも程度の差こそあれ、伐採木搬出が終了した翌年から増加量減少のきざしが見え、竜の口山・南谷; W. W. G.・B谷では後生樹草による緩和が急速にすすむよううかがえる。しかるに、竜の口山・北谷では比較的緩慢に増加量減少がすすむようである。この理由も、水年流出量の項で述べたように、前者に傾斜が緩で、後者に急であること等地況条件の差異にあるものと考えられる。

(c) 伐採等森林植生の除去(そのための作業過程をふくむ)により、豊水流出量が増加することは前述のとおりであるが、増加量は林況条件の変化に気象条件、とくに水年降水量の多少等の降水条件が加味されてきまるものと推定される。しかしながら、影響する気象条件の種類・程度についてはここに十分に明らかにできない。水年流出量の場合と同様に釜淵・2号沢; 竜の口山・南谷および北谷では水年降水量が有力な因子らしいこと、上川・北谷; W. W. G.・B谷では関係が小さいかあるいは無いようであることがうかがわれる程度である。

水年流出量の場合と同様に、ここでわが国の水源流域における森林植生除去にもとづく豊水流出量の増加量を一般的に示すことはできないし、また、これら5試験流域における増加量さえも、そこで起こる可能性のあるあらゆる降水等気象条件が試験期間中に起こったとは考えられないという理由から断定できない。しかし、一応各流域ともC. P.・T. P.を通じてみてこれらの増加が起こった水年が、極端に異常な

Table 20. 各試験流域における豊水流出量の最大増加量および率
Maximum amount and rate of increase in plentiful runoff for
each experimental watersheds.

試 験 ・ 流 域 Experimental watersheds	増加量 (95%信頼限界による変動範囲) Increase (95% confidence interval) mm	増加率 (95%信頼限界による変動範囲) Rate of increase (95% confidence interval) %	起 水 年 Water-year
上 川 ・ 北 谷 KAMIKAWA・ KITA-TANI	171.5 (147.1~195.9)	31 (26~35)	1956
釜 淵 ・ 2 号 沢 KAMABUCHI・No. 2	{193 (139 ~ 247) 174 (120 ~ 228)}	{10 (7~13) 10 (7~13)}	{1953 1956}
竜 の 口 山 ・ 南 谷 TATSUNOKUCHI- YAMA・ MINAMI-TANI	175.9 (28.8~323.0)	41 (7~75)	1945
竜 の 口 山 ・ 北 谷 TATSUNOKUCHI- YAMA・ KITA-TANI	{167.1 (39.5~294.7) 168.6 (87.1~250.1)}	{37 (9~65) 32 (16~47)}	{1945 1953}
W. W. G.・B 谷 WAGON WHEEL GAP・B	39.6 (36.0~ 43.2)	34 (31~37)	1922

降水等気象条件の年であったとはいえないようである。

よって，Table 20 に各試験流域における最大増加量および率を示し，この Table により前述のような森林処理をした場合の最大増加量がどのくらいになるかの目安としたい。

水年流出量の項で述べたように，釜淵・2号沢以外の流域では伐採・伐採木の搬出あるいは焼却が行なわれた水年，あるいはその翌水年に最大増加量があらわれていることが知られる。釜淵・2号沢では皆伐と伐採木の搬出が行なわれた1948水年にも66 (8~124)mm・4(1~7)%という増加があったが，最大量は1953水年に起こっている。水年流出量の場合と同じ1956水年にも，ほぼ同等の増加量がみられた。この理由の水年流出量の場合と同様に考えられる。

なお，上川・北谷の例から，風害によりほぼ全流域にわたり林木の折れ・根倒れが起こった時29.1(4.2~54.0)mm・5(1~9)%の増加がみられ，今後，このような林況変化がおきたときの目安となろう。溪岸林分の伐採・皆伐跡地における後生樹草の刈払いによる増加量等は皆伐の影響期間内に行なわれた処理によるもので，これだけの影響分を分離することができない。

皆伐跡地へ自然に後生樹草が侵入・繁茂していく場合，竜の口山・北谷の例では10年後には一応増加量が最大量の20~40%に減少し，信頼度95%で信頼できない程度となり，W.W.G.・B谷の例では4年後に同じく25~35%くらいに減少したことがみられる。これらも1つの目安となろう。

(d) 以上から，豊水流出量についても，森林植生の除去により増加の potential が生ずる。そして，potential の程度は植生の除去および林地の荒れ程度・後生樹草の自然回復程度によって，また，傾斜等地況条件によっても異なる。この potential の程度に降水等の各種気象条件が加わって具体的に増加量がきまる。所によっては年間降水量の多寡が強く影響するものと推定される等のことが，森林植生除去の豊水流出量に及ぼす影響の概念としていよう。

IV-3. 平水流出量の場合

IV-3-1) T.P.における全般的・概括的变化

Table 10 で実測値と推定値の差をみると，釜淵・2号沢の1箇水年，竜の口山・北谷の2箇水年，W.W.G.・B谷の3箇水年以外はすべて+符号となっており，一応平水流出量もT.P.において増加した傾向を示している。

増加量を概観すると，やはり年および流域によってきわめてまちまちであるが，わが国の4流域では竜の口山・両谷の4例を除けば，大約4~8mmくらいから多い年で20~30mm，まれに50~60mmの増加となっている。W.W.G.・B谷では大約1~9mm前後となっている。増加率をみると，わが国の4流域では大約4~8%くらいから多い年で40~80%，まれに150%以上に達している。W.W.G.・B谷の場合は7~50%となっている。

しかし，平水流出量の場合は水年・豊水両流出量の場合よりも，一層推定値の変動量が大きい。いま，信頼度95%で変動量を計算すると Table 10 の(4)欄のようになり，差の変動範囲の絶対量およびその推定値に対する割合は(5)・(6)欄のかわりになる。この結果，増加が不確かになるものが多くなる ((7)欄参照)。ただし，前述の差が一符号となった竜の口山・北谷の2箇水年，釜淵・2号沢の1箇水年，W.W.G.・B谷の3箇水年については減少が不確かということになる。釜淵・2号沢では差が+となった10箇水年中8箇水年，以下同様にして，竜の口山・南谷では15箇水年中3箇水年，竜の口山・北谷では12箇水年中2箇水年，W.W.G.・B谷では5箇水年中1箇水年がこれに該当し，上川・北谷にはない。ともか

く、信頼度95%で信頼できる増加の信頼下限をみると、わが国の4流域では1例を除けば約1~5mmくらいから多い年は10~30mm、まれには40~50mmくらいとなっている。これを増加率でみると1例を除いて2~9%くらいから多い年では50~80%、まれに100~150%に達している。同様にW. W. G.・B谷では0.36~3.79mm・2~20%となっている。

IV—3—2) 流域別にみた、T. P.における流出量増加と林況変化との経年的対照

IV—3—1)の結果、一応伐採などによる森林植生の除去によって平水流出量は増加するものとみられた。しかし、この場合も年・流域によって増加量(率)も、また、伐採等による林地の一時的な荒れおよび植生の減少程度・降水等気象条件の実態も異なっている。そこで、各流域別にできるだけ降水等気象条件をあわせ考えながら平水流出量の増加傾向を林況の変遷と経年的に対照・検討し、両者の符合性から林況変化、とくに伐採が平水流出量に及ぼす影響を詳細にたしかめることとする。

上川・北谷：

T. P. 5箇水年中1箇水年を除いて一応32.8~62.0mm(95%信頼下限12.9~54.8mm)・16~52%(95%信頼下限6~46%)の範囲で増加がみとめられる。この増加と林況の変化を経年的に対照してみる。

1954水年(1年目)の無変化は林況変化期間が短かったことに対応している。1955水年(32.8mm・16%)、1956水年(49.6mm・38%)の増加量漸増は伐採・搬出作業の進ちょくに符合する。1958水年の最大増加(62.0mm・52%)は、それまでの伐採・搬出の影響に加えて沢沿い残存林分が伐採されたことに符合するのではないかと考えられる。後に低水・渇水両流出量の項でふれるが、沢沿い林分伐採の影響は平水・低水・渇水の各時期ほど強いものと考えられる。ただし、平水とあとの2者では理由は異なるようである。ここで1957水年の増加量(52.6mm・44%)が1956水年のそれよりも多くなっていることについては簡単に理由づけできないが、林況の悪化状態で1956水年と大差がないうに、林況悪化による流出量増加に影響の強い、しかも量および強度の点で中程度、すなわち、平水流出量に対し支配的な降水量が比較的多かったことに理由があるのではないかと想像される。今後、これらのことを明らかにするため、増加量と水年流出量ばかりでなく(Table 14)、夏期間降水量等各種の降水量との関係を検討する必要がある。

釜淵・2号沢：

1箇水年を除いて一応7.1~35.3mm・4~19%の範囲で増加がみとめられる。しかし、推定値の変動量は大きく、T. P. の11箇水年中2箇水年に信頼度95%で信頼できる増加(下限4.6~11.3mm・2~6%)となっているにすぎない。

この一応の増加傾向と林況の変遷を経年的に対照すると、流出量増加そのものが顕著でないため両者の符合関係は水年・豊水両流出量の場合のように明りょうでない。しいていえば伐採・集材が行なわれた1948水年(1年目)と翌水年に大きい増加がみられ、その後、後生樹草の生育が盛んになると増加量は減少しはじめたが、2年目以降連年の刈払い・火入れにより後生樹草の生育は阻害され、しだいに貧弱になりふたたび増加量は増し、ついには一部地区にはげ地を生ずるに至って1956水年(35.3mm・19%; 95%信頼下限11.3mm・6%)、1957水年(31.9mm・16%; 95%信頼下限4.6mm・2%)の比較的大きい増加量が符合するようになったということになる。そして、降水等気象条件の影響が加わって毎年の増加量をまちまちにし、全体の経年的傾向を複雑にしているものと考えられる(Table 14 参照)。Table 2によれば、平水流出量の起月は雪代水期にあるようで、Table 14のように水年降水量・5~10月降水量との関係をしらべただけでは不十分で、こんご検討を要する。

竜の口山・南谷：

T. P. の全年にわたり一応 1.94~19.26mm・8~106% の範囲で増加がみとめられる。全年にわたり推定値の変動量は大きい、年・豊水両流出量の場合と格段に異なるのは、T. P. 15箇水年中12箇水年に信頼度95%で信頼できる増加(下限0.10~16.51mm・1~78%)がみとめられることである。

この増加と林況の変遷を経年的に対照すると、両者の符合性はかならずしも明りょうではないが、一応次のように考えられる。1944水年(1年目)は、先に述べたように、伐採時期が明りょうでないが、1944年度に伐採したということから1944水年後半に伐採されたものと考えられ、これには比較的少ない増加が符合する。1945水年は皆伐が終了し、松根を掘り取ったため最も林況が悪化していたはずで、これに対しては比較的大きな増加量に対応している。1946~1953水年は、次に述べる北谷の例からもわかるように、伐採・松根採取の影響が残っているものの低木・草類の自然回復があり、流出増加量の逐年減少することもある。ことに、事實はこの傾向がなく、年によってきわめてまちまちであるばかりか、後年にもきわめて大きな増加を示してさえいる。さらに、1954~1957水年の間は毎年1~2回低木・草類の刈払いが行なわれており、これが一応同様な程度で、かつあまり大きくない各年の流出量増加と符合すると推定される。これに対して、計算結果が増加方向にあることはうなずけるとしても、各年の増加量はきわめてまちまちである。1946水年以降増加量がまちまちである理由はおそらく降水等気象条件にあると考えられるが、Table 14 に示すような単純な因子との関係だけでは説明できない。今後検討する必要がある。

竜の口山・北谷：

T. P. 14箇水年中12箇水年に一応 0.80~29.88mm・4~141% の範囲で増加がみとめられる。南谷の場合と同様に推定値の変動量は大きい、10箇水年に信頼度95%で信頼できる増加(下限1.21~26.25mm・9~151%)となっている。

林況の変遷をみると、1945~1947水年の間に皆伐が行なわれ、以降はアカマツ稚樹・広葉樹低木・ササ等の自然回復のままに放置され、1958水年にかなりの雑木林になった。これに対し、大勢としては1945~1947水年の間は比較的大きな増加に対応し、その後の水年では増加しても増加量の少ない年あるいは信頼度95%で信頼できない程度の増加量となった年が多くなり、ついには増加傾向さえみとめられない年があらわれるようになり、両者はよく符合していることがみとめられる。しかし詳細にみれば、やはり各年の増加量は林況変遷だけでは説明できない違いがみられる。とくに1948~1952水年の間は上述の大勢が適用できるとすれば、逐年増加量が漸減してよいはずであるが、実際にはかならずしもそのようになっていない。この理由は前各項で述べたように主として降水・気温等の気象条件にあると考えられる。Table 14 に示すように水年降水量だけでは説明できず、今後詳細に検討する必要がある。

竜の口山の両流域を対照とすると、北谷では水年・豊水両流出量の場合と同様に林況の悪化、ついで回復にともない比較的大きな増加、ついで増加量の減少が起こっており、経年的傾向が符合しているが、南谷では水年・豊水両流出量の場合と異なり、伐採直後だけでなくほとんど全年にわたって増加が信頼度95%で信頼できるようになっている。この両谷の違いは両谷で地況条件が異なるため、林況変化が流出に及ぼす影響の potential の程度に差異が生ずること、T. P. 後半において南谷では造林が行なわれ、地植え保育のため低木・草類の刈払いが行なわれており植生が貧弱であることに原因があると推量できる。

W. W. G. ・ B谷：

T. P. 8 箇水年中 5 箇水年において一応 1.23~9.33mm・7~50% の範囲で増加がみとめられる。しか

し、水年・豊水両流出量の場合よりも推定値の変動量は大きくなり、信頼度95%で信頼できるのは4箇水年である（下限0.36～3.79mm・2～20%）。

水年・豊水両流出量の場合ほどに明確ではないが、大勢としては伐採が進行した1922水年（4年目）まで増加量が漸増し、1922水年で増加量は最大となり、その後、ほとんど放置されて後生樹草が回復したのに対して、増加量が漸減し、1926水年には減少傾向さえうかがえるようになり、両者は符合することがみとめられる。

IV—3—3) 林況変化、とくに伐採の影響

IV—3—1)・2)の結果から林況変化、とくに伐採が平水流出量に及ぼす影響は次のように考えられる。

(a) 5試験流域とも流域内森林の皆伐あるいはほとんど皆伐に近い伐採とずり出し・林道を新設しての運材等による伐採木搬出のため平水流出量は明らかに増加したといえる。

水年・豊水両流出量の場合と異なり、風害によりほぼ全流域にわたり林木に折れ・根返えりが起こってもその発生時期が10月ごろで、かつ影響期間が1か月ぐらいでは平水流出量の増加はみられないようである（上川・北谷）。しかし、溪岸林分が伐採・除去された時（上川・北谷；W.W.G.・B谷），伐採跡地へ侵入した後生樹草が、生育活動の最盛季節に、数年にわたり刈り払われたり、あるいは火入れにより焼却された場合（釜淵・2号沢；竜の口山・南谷）には、増加する傾向がうかがわれる。

ここで増加する理由を明確にすることはできないが、水年流出量の項で述べた2つの理由によることは間違いのないとしても、両者の重みは水年・豊水両流出量の場合と異なり、平水流出量の発生時期から推定して植生量の減少、いかえれば蒸散量の減少に重みがあるものと考えられる。ただし釜淵・2号沢；W.W.G.・B谷の場合は平水流出量の一部が融雪初期にも発生していること、植生除去によって融雪時期がはやまるという既往知識¹¹⁾を考えあわせると、本来豊水流出量に加わるべき雪水量が、平水流出量にまわったための増加分もいくらかあるものと推定される。

(b) 水年・豊水両流出量の場合ほどに明りょうでないが、やはり伐採跡地へ自然に後生樹草が侵入し、繁茂するようになると流出増加量が減少していく傾向がみとめられる（竜の口山・北谷；W.W.G.・B谷；釜淵・2号沢）。この理由は水年・豊水両流出量の項で述べたものと同様であろう（もちろん釜淵・2号沢；W.W.G.・B谷の場合は前項で述べた融雪時期促進による理由が緩和されることにも理由の一端がある）。ただ、両流出量の場合ほど明りょうにみとめられない理由は、(a)で述べたようにT.P.における平水流出量の増加の理由が、主として植生量の減少いかえれば蒸散量の減少にあることにもとづくと考えられる。すなわち、蒸散量の多少に影響する因子は直接流出に影響する因子より複雑であるためと推定される。

また、水年・豊水両流出量の場合のように傾斜の緩な竜の口山・南谷ならびにW.W.G.・B谷と比較的急な竜の口山・北谷の両者の間に、後生樹草繁茂による流出増加量減少傾向の緩急の差をみとめがたい。このこともT.P.における平水流出量増加の理由が、主として植生量の減少いかえれば蒸散量の減少にあり、直接流出の出方の面に重みがないことにもとづくものと推定される。上川・北谷では、水年・豊水両流出量の場合にわずかながらうかがえたのに平水流出量の場合にはほとんどこの流出量減少傾向がみとめられない。

(c) 代採等森林植生の除去により平水流出量は前述のとおり増加するとみとめられるが、増加量は林況条件の変化に各種気象条件が加わってきまるものと考えられる。ただし、現状ではその気象条件の種類・程度については、ほとんど明らかにできない。釜淵・2号沢；竜の口山・南谷および北谷の場合に、水年降水量等

と増加量との間にはかなりの相関関係がみとめられることから、上述の推定に対する示唆を得た程度である。

したがって、わが国の水源流域において森林植生を除去した場合の平水流出量の増加量を一般的に示すことは不可能である。ここにあげた試験流域のそれでさえも断定できない。しかし、一応の目安は必要であるし、一方各流域とも C. P. ・ T. P. を通じてみて増加が起こった水年が極端な気象条件の年であったとは思えない。よって、Table 21 に各試験流域における最大増加量および率を示し、これによって、前述のような森林植生除去をした場合、最大増加量はどのくらいになるかの目安としたい。

Table 21. 各試験流域における平水流出量の最大増加量および率
Maximum amount and rate of increase in ordinary runoff for
each experimental watersheds.

試 験 流 域 Experimental watersheds	増加量 (95%信頼限界による 変動範囲) Increase (95% confidence interval) mm	増加率 (95%信頼限界による 変動範囲) Rate of increase (95% confidence interval) %	起 水 年 Water-year
上 川 ・ 北 谷 KAMIKAWA ・ KITA-TANI	62.0 (54.8 ~ 69.2)	52 (46 ~ 58)	1958
釜 淵 ・ 2 号 沢 KAMABUCHI ・ No. 2	35.3 (11.3 ~ 59.3)	19 (6 ~ 31)	1955
竜 の 口 山 ・ 南 谷 TATSUNOKUCHI- YAMA ・ MINAMI-TANI	{17.91 (13.71 ~ 22.61) 19.26 (16.51 ~ 22.01)}	{106 (78 ~ 134) 100 (61 ~ 115)}	{1945 1950}
竜 の 口 山 ・ 北 谷 TATSUNOKUCHI- YAMA ・ KITA-TANI	{21.91 (15.19 ~ 28.63) 29.88 (26.25 ~ 33.51)}	{141 (98 ~ 184) 172 (151 ~ 193)}	{1945 1950}
W. W. G. ・ B 谷 WAGON WHEEL GAP ・ B	9.33 (3.79 ~ 14.87)	50 (20 ~ 80)	1922

Table 21 によると、最大増加量の起水年は W. W. G. ・ B 谷以外は、水年・豊水両流出量の場合と異なり、伐採・伐採木の搬出が終了した水年あるいは翌水年ではない。このことは、平水流出量の増加が林況条件の変化に各種気象条件が複雑に重なって影響されることを裏書きしていると考えられる。しかし、植生量の減少が大きな条件であることは Table 10 をみれば、伐採・伐採木搬出が終了した水年あるいは翌水年にも各流域とも最大増加量に近い増加量を示していることからわかる。Table 21 にあげた竜の口山・南谷および北谷の例はその好例である。すなわち、最大は1950水年にあらわれているが、1945水年にもこれに近い大きな増加量がみられる。

なお、溪岸林分の伐採・皆伐跡地における後生樹草の刈払いによる増加量等は先行伐採の影響期間内に行なわれた処理によるもので、これだけの影響を分離することはできない。

皆伐跡地へ自然に後生樹草が侵入し、繁茂していく場合、竜の口山・北谷の例では10年後に増加量は最大量の数%あるいはそれ以下に減少し、W. W. G. ・ B 谷の例では4年後に増加がややしい程度になったことがみとめられる。これらのことも目安となろう。

(d) 以上から、平水流出量についても、森林植生の除去により増加の potential が生ずる。そして、potential の程度は植生の除去および林地の荒れ程度・後生樹草の自然回復程度によって、また、傾斜等地況条件によっても異なる。この potential の程度に降水等の各種気象条件が加わって具体的に増加量がきまる等のことが、森林植生除去が平水流出量に及ぼす影響の概念としていえる。

IV-4. 低水流出量の場合

IV—4—1) T. P. における全般的・概括的变化

Table 11 で、実測値と推定値の差は竜の口山・北谷の3箇水年、W. W. G. ・B谷の3箇水年を除いて+符号となっており、T. P. において低水流出量が少なくとも増加した傾向にあることを示している。

増加量をみると、前述の3種流出量の場合と全く同様に年と流域によってきわめてまちまちであるが、わが国の4流域では数例を除いて1～5mmくらいから多い年で10～15mm前後、まれに20～30mmとなっている。W. W. G. ・B谷では0.08～3.07mmとなっている。増加率でみると、わが国の4流域では数例を除いて5～15%くらいから多い年は30～60%、まれには100～150%にも達している。W. W. G. ・B谷では0～14%となっている。

しかし、平水流出量の場合と同様に、この場合も推定値の変動量は全般的にきわめて大きい。各流域のうちでは竜の口山・南谷で比較的小さいが、他の流域はかなり大きく信頼度95%で増加が不明確になるものが多くなっている。ただし、前述の差が一符号となった竜の口山・北谷の3箇水年、W. W. G. ・B谷の1箇水年については減少が不確かということになり、W. W. G. ・B谷の他の2箇水年は上・下限とも一符号で減少が信頼できることとなる。Table 11 の(4)欄は信頼度95%による推定値の変動量であり、差の変動範囲の絶対量およびその推定値に対する割合は(5)・(6)欄のかっこ内ようになる。上川・北谷では差が+になった5箇水年中3箇水年、以下同様にして、釜淵・2号沢では11箇水年中4箇水年、竜の口山・南谷では15箇水年中1箇水年、竜の口山・北谷では11箇水年中6箇水年、W. W. G. ・B谷では5箇水年中2箇水年に達している。ともかく、信頼度95%で信頼できる増加の下限をみると、わが国の4流域では数例を除いて2～5mmくらいから多い年で10mm前後、まれに20mmをこすものとなっている。これを増加率でみると、2例を除けば3～10%から多い年では30～60%前後となり、まれには80～100%に達している。同様にしてW. W. G. ・B谷では0.56～2.02mm・3～9%となっている。

IV—4—2) 流域別にみた、T. P. における流出量増加と林況変化との経年的対照

IV—4—1) において、一応伐採等による森林植生の除去にともない低水流出量は増加するものとみとめられた。しかし、増加量(率)は年と流域によってまちまちである。一方伐採等による一時的な林地の荒れおよび森林植生の減少程度や、降水等の気象条件の実態が年と流域によって異なっている。よって各流域別に降水等の気象条件をできるかぎりあわせ考えて低水流出量増加傾向を林況の変遷と経年的に対照・検討し、両者の符合性から林況変化、とくに伐採が低水流出量に及ぼす影響をさらに詳細にたしかめることとする。

上川・北谷：

T. P. の5箇水年とも一応3.15～29.64mm・4～38%の範囲で増加がみとめられる。しかし、推定式の精度はかならずしも高くなく信頼度95%で信頼できるのは2箇水年だけで、その信頼下限は5.33～24.42mm・6～32%である。

この一応の増加傾向を林況変化と経年的に対照してみる。1954水年の末期に風害を受け、約1か月間の被害状態に対しわずかながら増加傾向(3.15mm・4%)がうかがわれ、ついで1955・1956水年と風害木の伐採・搬出がすすむにつれて増加量は漸増し、1956水年の増加量は22.63mm・25%；下限5.33mm・6%となっている。1957水年には風害木処理は終わって、クマイザサ・各種低木の再生がはじまり、林況が回復されるにつれて増加量は減少している。しかし、風害跡地への後生樹草の繁茂はいちじるしくなったものの1958水年には風害時残存林分の伐採・搬出が行なわれたことに対応して最大の増加量(29.64mm

・38%；下限24.42mm・32%）が出現している。信頼度95%の信頼区間を考慮してもほぼ同様な解釈ができよう。以上、大勢としては両者はよく符合しているといえよう。しかし、Table 14 をみれば、増加量と11～4月平均蒸発量との間にはかなりの相関関係がみとめられることからして、やはり増加量の具体的決定には各種気象条件が影響することが推定される。

釜淵・2号沢：

T. P. の11箇水年とも一応2.34～21.33mm・4～44%の範囲で増加がみとめられる。そして、7箇水年に信頼度95%で信頼できる増加（下限2.05～13.06mm・3～27%）となっている。

この増加を林況変遷と経年的に対照すると、大勢としては両者に符合性がみとめられる。すなわち、皆伐・搬出が行なわれた1948水年および翌1949水年には林地が最も荒れ、植生が最も少ない状態にあったのに対応して増加量は比較的大（15.25～21.33mm・19～44%；下限6.45～13.06mm・8～27%）となっており、以後毎年1～2回後生樹草の刈払いあるいは火入れによる焼払いが行なわれた以外は放置され、大体草地の状態となるにおよんで前2年よりは少ない増加量となっている。しかも、しいていえば連年の刈払い・火入れにより樹草の生育が比較のおとろえてきた後年に中ごろよりは多い増加量のみられる年があらわれているようである。しかし、個々の年を詳細にみればきわめてまちまちである。この理由はやはり各年間の各種気象条件の差異にあると推定される。このことは Table 14 に示すように、低水流出量が多く出現する夏期間（Table 2 参照）の降水量等特定の気象条件だけでは説明できない。今後資料を整備し、あるいは別の試験を行なって検討する必要がある。

竜の口山・南谷：

T. P. の15箇水年全年にわたり一応1.40～11.55mm・11～118%の範囲で増加がみとめられる。しかも、水年・豊水両流出量の場合と比べて推定値の変動量は小さく、14箇水年にわたり信頼度95%で信頼できる増加（0.01～9.87mm・0～101%）となっている。

この増加を林況変化と経年的に対照すると、大勢としては両者の符合がみとめられる。すなわち、1944水年については前述各種流出量の場合に述べた理由からおくとしても、1945水年については伐採あるいは松根が掘り取られ、植生減少・林地の荒れが最もはなはだしかった事実と符合して比較的大きい増加量（11.28mm・112%；下限8.60mm・85%）が対応し、1946水年以降はほぼ似たような低木・草類、とくにササ地の状態にあり、1945水年よりは少ない増加量がこれと対応していることがみとめられる。しかし、詳細にみれば1947～1953水年の間は、低木・下草の発生によりしだいに増加量が減少する傾向が符合してよいと考えられるのに、事実とは異なり逐年減少の傾向はなく、各年にきわめてまちまちであるばかりでなく、後年にも大きい増加量がみられることさえある。もっとも、1954～1957水年の間は毎年1～2回低木・草類の刈払いが行なわれており、これが毎年ほぼ同程度で、かつあまり大きくない増加量と符合するといえよう（このことは後述の北谷の場合と対照してみると注目されることであろう）。

大勢はともかく、詳細にみれば林況変化だけでは説明できない増加量の変動があり、このことはやはり前述のあらゆる場合と同様に各種条件が加味されて増加量がきまることを示すものと考えられる。しかし、Table 14 に示すように水年降水量というような単純な因子だけでは説明できそうもない。今後低水流出量発生期における降水・気温・蒸発等各気象条件との関連を検討せねばならない。

竜の口山・北谷：

T. P. の14箇水年中11箇水年において一応0.40～14.36mm・3～149%の範囲で増加がみとめられる。

しかし、南谷の場合と同様に推定式の精度は悪く、推定値の変動量が大きいため5箇水年だけに信頼度95%で信頼できる増加（下限 $0.11 \sim 9.47 \text{ mm} \cdot 1 \sim 86\%$ ）となっている。

この一応の増加と林況の変遷を対照すると注目される点がある。すなわち、この流域では1945～1947水年にかけて森林は皆伐されたが、その後は全く放置された。したがって、1948水年以後はしだいに植生が回復し、T. P. 末年にはアカマツ幼樹を混じえるかなりの雑木林が成立しており、大体T. P. のほぼ前半は植生の貧弱な時期、後半は植生が量的に回復し、流出面からみて、かなりC. P. の森林状態に近づいたと考えてよからう。これに対して、低水流出量増加の傾向をみると、1952水年までは増加（ $2.73 \sim 14.36 \text{ mm} \cdot 24 \sim 149\%$ ）も大きく、8箇水年中5箇水年に信頼度95%で信頼できる増加（下限 $0.11 \sim 9.47 \text{ mm} \cdot 1 \sim 86\%$ ）となっている。しかるに、1953水年以降は6箇水年中3箇水年に一応増加傾向（ $0.40 \sim 2.36 \text{ mm} \cdot 3 \sim 15\%$ ）がみられるものの、量は小さく、かつ信頼度95%で信頼できない程度のものであり、他の3箇水年は増加傾向さえもみとめられないものとなっている。以上から、流出量増加と林況変遷はよく符合している。

しかしながら、一応上述の大勢がみとめられるとしても、詳細にみれば、各水年の変化量は以上の大勢の中できわめてまちまちである。とくに1946～1952水年の間は増加量の逐年減少が対応してもよいと考えられるのに、実際はそうになっていない。この理由は前各項で述べたように、各種気象条件の差異にあるものと考えられる。Table 14 でわかるように水年降水量だけでは説明できず、詳細な検討は今後のこととしたい。

ここで竜の口山の両谷における結果を比較対照すると、T. P. 後半における流出量変化に明らかな差異がみられる。この理由は前述の平水流出量の場合と同様に考えられるが、とくに南谷ではT. P. 後半において造林が行なわれ、地拵・保育のため低木・草類の刈払いが行なわれており、植生が貧弱となっていたことにあとと推論できる。すなわち、低水流出量の発生時（Table 2）は大体において無降雨時期で、蒸発散による水分消失の多い時期であるからである。

W. W. G. ・ B谷：

T. P. の8箇水年中5箇水年において一応 $0.08 \sim 3.07 \text{ mm} \cdot 0 \sim 14\%$ の範囲で増加がみとめられる。しかし、水年・豊水両流出量の場合に比べて推定値の変動量は大きく、信頼度95%で信頼できる増加は3箇水年にすぎない（下限 $0.56 \sim 2.02 \text{ mm} \cdot 3 \sim 9\%$ ）。

この一応の増加を林況の変遷と対照すると、水年・豊水・平水各流出量の場合とは多少異なった形で両者の符合性がみとめられる。すなわち、T. P. 初年（1919年）は伐採の影響期間が短かったことと、流路沿いの带状優勢林分が伐り残されたことに対応して増加がみとめられず、むしろ減少が信頼度95%で信頼できるものとなっている。1920水年には伐採木の搬出が行なわれたが、伐採木の末木・枝条および小径木は現地に放置されており、水年末期になって末木・枝条が焼却され、溪岸带状林分が伐採された。これに対して流出量増加はおこらなかった。1921・1922水年には植生は最少となり、末木・枝条の焼却されたあとには scar を生ずるに至り、これに対応して流出量の増加（ $2.11 \sim 3.07 \text{ mm} \cdot 10 \sim 14\%$ ）がみとめられ、しかも、信頼度95%で信頼できるもの（下限 $1.21 \sim 2.02 \text{ mm} \cdot 6 \sim 9\%$ ）となった。1923水年以降はほとんど放置されたため後生樹草が回復しはじめ増加量は漸減し、ついに1926水年にはふたたび流出量は減少する傾向さえみられるに至った。以上から、大勢としては林況の変遷とよく符合しているが、詳細にみれば、林況変化だけでは説明できない変動がみられる。これはやはり各年に降水等気象条件の差異がある

ためと考えられる。

IV-4-3) 林況変化，とくに伐採の影響

IV-4-1)・2) の検討結果から林況変化，とくに伐採が低水流出量に及ぼす影響は次のように考えられる。

(a) 5 試験流域とも，流域内森林の皆伐あるいはほとんど皆伐に近い伐採とずり出し・林道を新設しての運材等による伐採木の搬出とにより低水流出量は明らかに増加したといえる。

その影響期間が1か月間くらいでも風害によりほぼ流域全面にわたって林木に折れ・根返えりが起こった時(上川・北谷)，溪岸林分が伐採・除去された時(上川・北谷；W.W.G.・B谷)，伐採跡地へ侵入した低木・草類が，生育最盛季節に数年にわたり刈り払われ，あるいは火入れにより焼却された時(釜淵・2号沢；竜の口山・南谷)にも増加する傾向がみとめられる。もっとも，これらは試験例が少ないため断定できない。

増加する理由はやはりここで明確になし得ないが，前述各種流出量の場合と同様に2つの理由によるものと考えられるが，低水流出量の発生時期から推して，釜淵・2号沢の場合は平水流出量の場合と同様に，植生量の減少，いかえれば蒸散量の減少に重みがあるものと考えられる。しかし，上川・北谷；W.W.G.・B谷の場合には低水流出量が融雪期初期に大部分が発生しており，これが増加したのは林木が除去されたため融雪時期がはやまり，この時期から雪水の流出がはじまったためと考えられる¹¹⁾。竜の口山・南谷および北谷の場合は低水流出量の発生は量的には主として植物生育期間に起こっていることから，釜淵・2号沢の場合と同様に考えられる。

(b) 水年・豊水・平水各流出量の場合のように明確ではないが，やはり伐採跡地へ自然に後生樹草が侵入し，繁茂するようになると流出増加量が減少していく傾向がみとめられる(竜の口山・北谷；W.W.G.・B谷；釜淵・2号沢)。この理由は前述の各流出量の項で述べたとおりと考えられるが，しかし，これらの場合ほど明りょうでない理由は平水流出量の項で述べたのと同様と考えられる。ただし，W.W.G.・B谷の場合は前(a)項で述べた融雪時期が，しだいに伐採前の状態に復帰するためと考えられる。また，平水流出量の場合と同様に，水年・豊水両流出量の場合と明らかに異なり，傾斜の緩急等地況条件の異なる竜の口山・南谷およびW.W.G.・B谷と竜の口山・北谷の両者の間に後生樹草生育にともなう増加量減少傾向の緩急の差異をみとめがたい。この理由も平水流出量の項で述べたのと同様に考えられる。ただ，竜の口山の南谷と北谷を対比すると，南谷で1954年下刈りが行なわれるまで，すなわち1953水年までの両谷の一応の増加量はほぼ等しいし，この間の減少傾向も類似しているが，北谷に推定値の変動が大きく，信頼度95%で増加が信頼できない年が多いことがみとめられ，この点は水年・豊水・平水各流出量の場合と明らかに異なる。このことは次に述べる渇水流出量の場合も共通である。

(c) 伐採等森林植生の除去により低水流出量は，前述のとおり増加するとみとめられるが，増加量は林況条件の変化に各種気象条件が加わってきまるものと考えられる。しかし，前述各種流出量の場合と同様に，現状ではその気象条件の種類・程度についてはほとんど明らかにできない。Table 14 から上川・北谷で11～4月降水量，W.W.G.・B谷でA谷の7～9月降水量，そのほか竜の口山・南谷および北谷の水年降水量等が低水流出増加量との間に相関が高いところから上述の推定に示唆を得たにすぎない。

したがって，わが国の水源流域において森林植生を除去した場合の低水流出量の増加量を一般的に示すことは不可能である。ここに掲げた各試験流域のそれでさえも断定はできない。しかし，一応の目安は必

要だし、一方、各流域とも C. P. ・ T. P. を通じてみて増加がおこった水年は極端な気象条件の年ではないようである。よって、Table 22 に各試験流域における最大増加量および率を示し、これによって、前述のような森林植生除去をした場合、最大増加量はどのくらいになるかの目安とすることとした。

Table 22. 各試験流域における低水流出量の最大増加量および率
Maximum amount and rate of increase in low runoff for
each experimental watersheds.

試験流域 Experimental watersheds	増加量 (95%信頼限界による変動範囲) Increase (95% confidence interval) mm	増加率 (95%信頼限界による変動範囲) Rate of increase (95% confidence interval) %	起水年 Water-year
上川・北谷 KAMIKAWA・ KITA-TANI	29.64 (24.42~34.86)	38 (32~45)	1958
釜淵・2号沢 KAMABUCHI・No. 2	21.33 (13.06~29.60)	44 (27~61)	1949
竜の口山・南谷 TATSUNOKUCHI- YAMA・ MINAMI-TANI	{11.28 (8.60~13.96) 11.55 (9.87~13.23)}	{112 (85~139) 118 (101~135)}	{1945 1950}
竜の口山・北谷 TATSUNOKUCHI- YAMA・ KITA-TANI	{11.23 (1.54~20.92) 14.36 (8.32~20.40)}	{118 (16~220) 149 (86~211)}	{1945 1950}
W. W. G. ・ B 谷 WAGON WHEEL GAP・B	3.07 (2.02~4.12)	14 (9~19)	1921

Table 22 によると、最大増加量の起水年はすべての流域で伐採・伐採木の搬出が終了した水年、あるいは翌水年ではない。このことは平水流出量の場合と同様で、流出量増加が林況条件の変化に各種気象条件が複雑に、かつ強くからみあって影響されることを裏書しているとみられる。しかし、Table 11 をみれば、伐採・伐採木の搬出が終了した水年あるいはその翌水年にも、各流域とも最大増加量に近い増加量を示していることがわかり、やはり植生量の減少が低水流出量増加の大きな条件であることを裏づけている。Table 22 にかかげた竜の口山・南谷および北谷はその好例で、最大増加量は 1950 水年に出現しているが、1945 水年にもそれぞれこれに近い増加量がみとめられる。

なお、溪岸林分の伐採・皆伐跡地における後生樹草の刈払いによる増加量等は先行伐採（皆伐）の影響期間内にひきつづき行なわれた処理によるもので、これらだけの影響による増加量を分離して示すことはできない。

皆伐跡地へ自然に後生樹草が侵入し、繁茂していく場合、竜の口山・北谷の例では 9 年後に増加量は最大量の少なくとも 10% 以下になり、10 年以降は増加そのものが不確かになっている。W. W. G. ・ B 谷の例では 4 年後に増加が不確かな程度となっている。これらのことも 1 つの目安となろう。

(d) 以上から、低水流出量についても、森林植生の除去により増加の potential が生ずる。そして、potential の程度は植生の減少および林地の荒れ程度・後生樹草の自然回復程度によって異なる。具体的な増加量は potential の程度に降水等の諸気象条件が加わってきまる等のが、伐採等による森林植生除去が低水流出量に及ぼす影響の概念としていえよう。

IV—5. 渴水流出量の場合

IV—5—1) T. P. における全般的・概括的变化

Table 12 で、実測値と推定値の差は釜淵・2号沢の1箇水年、竜の口山・南谷の2箇水年、竜の口山・

北谷の3箇水年, W.W.G.・B谷の3箇水年以外の大部分について+符号であり, T.P.において湧水流出量が少なくとも増加した傾向にあることを示している。

増加量をみると, 前述の4種流出量の場合と全く同様に, 年と流域によってきわめてまちまちであるが, 一応わが国の4流域では0.1~2.0mmくらいから多い年で3.0~4.0mmとなり, まれに5~8mm前後に達するものとなっている。W.W.G.・B谷では0.11~1.62mmとなっている。増加率をみると, わが国の4流域では2~3例を除いて8~16%から多い年では40~70%くらいとなり, きわめてまれに80~100%に達している。W.W.G.・B谷では1~13%となっている。

前述の各種流出量の場合と同様に, 信頼度95%で推定値の変動量をみると, Table 12の(4)欄のようになり, また, 差の変動範囲の絶対量およびその推定値に対する割合は(5)・(6)欄のかっこ内のようになり, 全流域にわたって変動量は大きく(Table 14の(7)欄参照), 信頼度95%では湧水流出量の増加が不確かになるものがきわめて多い。すなわち, 上川・北谷では差が+符号となった5箇水年中2箇水年, 以下同様にして, 釜淵・2号沢では10箇水年中7箇水年, 竜の口山・南谷では13箇水年中3箇水年, 竜の口山・北谷では11箇水年中7箇水年, W.W.G.・B谷では5箇水年中1箇水年に達している。ただし, 前述の差が-符号となった釜淵・2号沢の1箇水年, 竜の口山・南谷および北谷の5箇水年, W.W.G.・B谷の1箇水年については減少が不確かとなり, B谷の他の2箇水年は上・下限とも-符号で減少が信頼できることとなる。竜の口山・南谷では他の流域に比べて信頼できる年が多い。ついでは上川・北谷; W.W.G.・B谷の場合にも多い。ともかく, 信頼度95%で信頼できる増加の下限をみると, わが国の4流域では2例を除いて0.6~1.5mmくらいから多い年で2~4mm前後, まれに7mmくらいに達している。これを増加率でみると, 少なくとも1~10%くらいから多い年は20~50%くらいとなり, まれには70%前後に達している。同様にW.W.G.・B流域では0.03~1.15mm・0~10%となっている。

IV—5—2) 流域別にみた, T.P.における流出量増加と林況変化との経年的対照

IV—5—1)の結果, 一応伐採等による森林植生の除去により湧水流出量は増加するものとみとめられた。しかし, 増加量(率)は年と流域によってまちまちである。一方, 伐採などによる一時的な林地の荒れおよび森林植生の減少程度や降水等の気象条件の実態が, 年と流域によって異なっている。よって, 各流域別に降水等の気象条件をできるかぎりあわせ考えて, 湧水流出量増加傾向を林況の変遷と経年的に対照・検討し, 両者の符合性から林況変化, とくに伐採が湧水流出量に及ぼす影響をさらに詳細に検討することとする。

上川・北谷:

T.P.の5箇水年とも, 一応1.99~8.65mm・5~27%の範囲で増加がみとめられる。しかし, 信頼度95%で信頼できる増加(下限0.62~6.81mm・2~21%)となったのは3箇水年である。

この一応の増加を経年的にみると, 先述した4種の流出量の場合のように, 1956水年まで増加量が漸増するという傾向はみとめられず, 1956水年(3.92mm・9%)は1955水年(5.70mm・16%)よりも少なくなり, 信頼度95%で信頼できないものとなっている。しかし, 1957・1958水年は1955水年とほぼ同等の増加量で, しかも, 信頼できるものとなっている。これらを林況の変遷と対照すると, 水年・豊水両流出量の場合のような対照関係にはなく, しいていえば, 平水・低水両流出量の場合とほぼ似た対照関係がみとめられる。すなわち, 1954水年は林況変化期間がきわめて短かったことおよび溪岸林分が残存していたことと対照され, 1955・1957水年の増加は林況の変化程度がすすんだという事実, そして, 1958水年

は風害時残存した溪岸林分の伐採・搬出という事実に対照されるものと考えられる。溪岸林分伐採の影響の問題は前にも各種流出量の場合にのべたが、この問題はとくに渇水・低水あるいは平水の各流出量の場合に重要と考えられる。すなわち、これらの流出量はほとんど無降雨期間に流出するもので、このような期間は水分供給の豊富な、しかも、一般に生育活動の盛んな溪岸林分からの蒸散量の問題があり、また、降雪地帯では融雪初期にもあたっており、林分の融雪時期に対する影響の問題があるものと考えられるからである。以上から、大勢としては林況変化と流出量増加とが符合するようにみとめられるが、1956水年の増加量が小さく、しかも、信頼度95%で信頼できないものとなった理由については明確にできない。しかも、この理由はやはり降水等各種気象条件にあるものと考えられ、今後の検討対象であろう。

釜淵・2号沢：

T. P. の11箇水年中10箇水年において一応 $0.46 \sim 4.22 \text{ mm} \cdot 8 \sim 61\%$ の範囲で増加がみとめられる。しかし、推定値の変動量は大きく、信頼度95%で信頼できる増加は3箇水年だけである（下限 $0.05 \sim 1.43 \text{ mm} \cdot 1 \sim 21\%$ ）。この直接の理由は推定式の精度がわるく、推定値の変動量がきわめて大きいことにあり、Table 12 の(7)欄をみれば、この流域における他の各種流出量の場合に比べて、格段に変動割合が高いことが知られよう。推定式精度が悪い理由はここで明らかにできないが、この流域の場合、渇水流出量出現時期は完全に夏期間（5～10月；Table 2 参照）であり、後述の竜の口山の場合も同様であるが、夏の、しかも無降雨時の流出に及ぼす蒸発散損失の影響はきわめて強いものと想像され、処理流域と基準流域の各種気象因子より受ける影響の微妙な差が案外誇張されて両流域の渇水流出量にあらわれ、両流出量の類似性が小さくなるためと考えられる。

林況の変遷と経年的に対照しても、低水流出量の場合ほどにも符合性をみとめがたい。また、渇水流出量が出現する（Table 2）夏期間の総降水量からも説明できそうもない。おそらく、夏期間中の雨の降り方・気温・蒸発等各種気象条件に支配されるためと想像されるが、この点は今後の研究にまっほかない。

竜の口山・南谷：

T. P. 15箇水年中13箇水年に一応 $1.13 \sim 5.24 \text{ mm} \cdot 31 \sim 99\%$ の範囲で増加がみとめられる。しかも、水年・豊水両流出量の場合と異なるが、平水・低水両流出量と同様に信頼度95%で増加が信頼できる年が多い（10箇水年、下限 $0.04 \sim 3.55 \text{ mm} \cdot 1 \sim 67\%$ ）ことが注目される。

この増加と林況変化を経年的に対照してみる。前述の各種流出量の場合に述べたように、1944水年はおくとしても、1945・1946水年は伐採あるいは松根掘取りが行なわれ、林況が大きく変化した後であるが、これに対しては大きな変化が符合し、その後、1953水年ごろまでは伐採跡地に低木・草類の自然回復が見られるので、流出変化が少なくなる傾向が符合してよいと考えられる。しかし、計算結果はこのような傾向を示しておらず、年によってかなりまちまちであり、後年にも比較的大きな増加量を示している。1954～1957水年の間は前述のように、低木・草類の刈払いが毎年ほぼ同程度で行なわれており、これに対しては1953水年以前と比べあまり小さくなく、毎年ほぼ同程度の変化が符合してよいのではないかと想像されるが、計算結果もほぼこのような傾向を示している。しかし、1958水年については刈払いも行なわれておらず、完全な説明がつかない。

結局、各水年間の増加量を対比してみると、きわめてまちまちで、これは林況変遷だけでは説明できず、前述した各種流出量の場合と同様に、降水等各種気象条件が林況変化に加わって作用しているためと推定されるが、しかし、Table 14 に示すような単純な気象条件だけでは説明できず、詳細は今後の検討

にゆだねたい。

竜の口山・北谷：

T. P. の14箇水年中11箇水年において一応 $0.08 \sim 5.10 \text{ mm} \cdot 3 \sim 101\%$ の範囲で増加がみとめられる。しかし、南谷の場合と同様に推定値の変動量は大きく、4箇水年だけに信頼度95%で信頼できる増加(下限 $1.86 \sim 5.10 \text{ mm} \cdot 40 \sim 101\%$)となっているにすぎない。

この流域の林況変遷は前各項でのべたように、1945～1947水年にかけてほとんど皆伐され、その後は全く放置された。したがって、大体においてT. P. の前半は植生が全般的に貧弱であるが、後半は植生の自然回復によりかなりC. P. の林況に近づいたものとなったとみられる。これに対して流出量の増加傾向は、低水流出量の場合と同様に、1952水年ごろまで増加が大きく($0.80 \sim 5.10 \text{ mm} \cdot 24 \sim 101\%$)、1945～1952水年の8箇水年中4箇水年は信頼度95%で信頼できるものとなっている(下限 $0.73 \sim 3.88 \text{ mm} \cdot 16 \sim 77\%$)。これに反して、1953水年以降は6箇水年中半数において、むしろ減少傾向となり、増加傾向の年もその絶対量は前半のそれより明らかに小さく、かつ信頼度95%ですべて信頼できないものとなっている。したがって、大勢としては林況の変遷と流出量増加の間に符合性がみとめられるとしてよからう。

ここで南谷の結果と比較すると、一層後半における増加量の減少が明らかになる。前述のように南谷ではT. P. 前半ではほぼ同様な林況変化傾向をたどったが、後半では北谷と異なり、造林のため後生樹草の刈払いが行なわれ、これと符合していざんとして流出量増加の傾向がみとめられる。北谷はこれと異なり、後半に至るほど増加傾向はうすれている。Table 2により、両流域における主要な渇水流出量発生時期は8～9月の夏期間と12～2月の冬期間であることが知られる。また、前者の期間の流出量は渇水流出量の大きな部分を占めることは別の資料でわかっている。一方、この期間における植物の生育活動はきわめて活ぱつで水分の蒸散作用による消費も最も盛んであると考えられる。したがって、この時期における植生の除去は蒸散損失の減少をもたらし、上述のように南谷では渇水流出量の変化をもたらすものと推定される。大勢としては以上のように両者の符合性がみとめられるが、詳細にみれば、前半の各年の間には林況変遷とは符合しない増加量の変動性がみられる。後半にも同様である。この理由はやはり降水等気象条件にあると思われるが、南谷の場合と同様に Table 14 に示すような単純な因子では説明できず、降水等各種気象条件・林地の水分保留条件等多数の条件の複雑な組合わせの影響によると思われる。

W. W. G. ・B谷：

T. P. の8箇水年中5箇水年において一応 $0.11 \sim 1.62 \text{ mm} \cdot 1 \sim 13\%$ の範囲で増加がみとめられる。しかし、4箇水年だけに信頼度95%で信頼できる増加($0.06 \sim 1.15 \text{ mm} \cdot 1 \sim 10\%$)となっている。

平水・低水両流出量の場合とほぼ似た流出量変化の経年的傾向がみられる。すなわち、1919・1920両水年には減少傾向(信頼度95%で信頼できるもの)がみられ、少なくとも増加傾向はみとめられないが、1921～1925水年の間は増加($0.11 \sim 1.62 \text{ mm} \cdot 1 \sim 13\%$)がみとめられる。しかも、この間の4箇水年は信頼度95%で信頼できる増加(下限 $0.06 \sim 1.15 \text{ mm} \cdot 1 \sim 10\%$)であり、増加量の逐年減少が明らかにみとめられる。そして、1926水年にはふたたび減少となり、少なくとも増加はみとめられない。これは先述の林況変遷とよく符合し、低水流出量の場合と比べて各水年の変化量は、ほぼ林況の変遷だけで説明できそうであるが、しかし、やはり植生除去により渇水流出量増加の potential はかなり高度に生ずるとして、その量的決定には各種気象因子・林地の水分保留条件等の影響が加わるものと推定される。

IV—5—3) 林況変化，とくに伐採の影響

IV—5—1)・2)の検討結果から林況変化、とくに伐採が渇水流出量に及ぼす影響は次のように考えられる。

(a) 5試験流域とも、流域内森林の皆伐あるいはほとんど皆伐に近い伐採とずり出し・林道を新設しての運材等による伐採木の搬出とにより、渇水流出量は明らかに増加したといえよう。しかし、水年・豊水・平水各流出量の場合に比べると信頼性が多少低い。

その影響期間が1か月間くらいでも、風害によりほぼ全流域にわたり林木に折れ・根返えりが起こった時(上川・北谷)、溪岸林分が伐採・除去された時(上川・北谷; W.W.G.・B谷)、伐採跡地へ侵入した低木・草類が、生育最盛季節に数年にわたり刈り払われ、あるいは火入れにより焼かれた時(釜淵・2号沢; 竜の口山・南谷)にも増加する傾向がみとめられる。もっとも、これらは試験例が少ないため断定できない。

増加する理由はやはりここで明確になし得ないが、前述各種流出量の場合と同様に2つの理由によるものと考えられるが、渇水流出量の発生時期から推して釜淵・2号沢の場合は低水流出量の場合と同様に、植生量の減少、いかえれば蒸散量の減少に重みがあるものと考えられる。竜の口山の両谷の場合も前節で述べたように蒸散量の減少に大きな理由があると考えられる。しかし上川・北谷; W.W.G.・B谷の場合には渇水流出量が融雪初期に全部もしくは大部分発生しており、これが増加したのは林木除去により融雪時期がはやまり、この時期から雪水の流出がはじまるためと考えられる。

(b) 水年・豊水・平水各流出量の場合のように明確ではないが、やはり伐採跡地へ自然に後生樹草が侵入し、繁茂するようになると流出増加量が減少していく傾向がみとめられる(竜の口山・北谷; W.W.G.・B谷)。この理由は前述各種流出量の項で述べたのと同様に考えられるが、しかし、これらの場合ほど明りょうでない理由は平水流出量の項で述べたのと同様に考えられる。

また、平水・低水両流出量の場合と同様で、水年・豊水両流出量の場合と明らかに異なり、地況条件の異なる竜の口山・南谷およびW.W.G.・B谷と竜の口山・北谷の両者の間に後生樹草生育にともなう流出増加量減少傾向の緩急の違いをみとめがたい。この理由も平水流出量の項で述べたと同様に考えられる。ただ、低水流出量の場合と同様に、竜の口山・南谷と北谷を、南谷で下刈りが行なわれた1954水年までの期間で対比すると、一応の増加量ではほぼ等しいし、この間の減少傾向も類似しているが、北谷に推定値の変動量が比較的大きく、信頼度95%で増加が信頼できない年が多いことに気がつく。この点は水年・豊水・平水各流出量の場合と明らかに異なる。この差異の理由はやはり傾斜・土壌条件の違い、すなわち、林地表層の保水性の差異、したがって、蒸散の機会の多少にあるものと推定されるが、今後の検討にゆだねたい。

(c) 伐採等森林植生の除去により渇水流出量は増加するとみとめられるが、増加量は林況条件の変化に各種気象条件が複雑に加わってきまるものと考えられる。しかし、前述各種流出量の場合と同様に、現状ではその気象条件の種類・程度についてはほとんど明らかにできない。他の各種流出量の場合から推定されるにすぎない。

したがって、わが国の水源流域において森林植生を除去した場合の渇水流出量の増加量を一般的に示すことは不可能である。ここに掲げた各試験流域のそれでさえも断定はできない。しかし、一応の目安は必要だし、一方、各流域ともC.P.・T.P.を通じてみて増加がおこった水年は極端な気象条件の年ではないようである。よって、Table 23に各試験流域における最大増加量および率を示し、これによって、前

Table 23. 各試験流域における渇水流出量の最大増加量および率
Maximum amount and rate of increase in scanty runoff for
each experimental watersheds.

試験流域 Experimental watersheds	増加量 (95%信頼限界による 変動範囲) Increase (95% confidence interval) mm	増加率 (95%信頼限界による 変動範囲) Rate of increase (95% confidence interval) %	起水年 Water-year
上川・北谷 KAMIKAWA・ KITA-TANI	8.65 (6.81~10.49)	27 (21~32)	1958
釜淵・2号沢 KAMABUCHI・No. 2	{3.88 (1.01~6.75) 4.22 (1.43~7.01)}	{28 (7~50) 61 (21~100)}	{1948 1951}
竜の口山・南谷 TATSUNOKUCHI- YAMA・ MINAMI-TANI	5.24 (3.55~6.93)	99 (67~131)	1949
竜の口山・北谷 TATSUNOKUCHI- YAMA・ KITA-TANI	5.10 (3.88~6.32)	101 (77~125)	1949
W. W. G.・B谷 WAGON WHEEL GAP・B	1.62 (1.15~2.09)	13 (10~17)	1921

述のような森林植生除去をした場合の最大増加量がどのくらいになるかの目安とすることとした。

Table 23 によると，最大増加量の起水年は，すべての流域で伐採・伐採木の搬出が終了した水年あるいは翌水年ではない。このことは平水・低水流出量の場合と同様で，増加が林況条件の変化のみならず，各種気象条件によって複雑に影響されていることを裏書するものと思われる。しかし，Table 12 をみれば，大量の伐採・伐採木の搬出が実施された水年，あるいはそれらが終了した翌水年にも最大増加量に近い増加量，少なくとも他の年と比較して大きな増加量が示されており，やはり植生量の減少等林況悪化程度が，渇水流出量増加の有力な条件であることに変わりないようである。

なお，溪岸林分の伐採・皆伐跡地における後生樹草の刈払いによる増加量等は，先行伐採の影響期間内にひきつづき行なわれた処理によるもので，これらだけの影響による増加分を分離することができない。

また，皆伐跡地へ自然に後生樹草が侵入し，繁茂していく場合，竜の口山・北谷の例では9年目以降ほとんど増加がみとめられないようになる。まれに気象条件等の都合で増加して最大量の20%くらいとなるものの，信頼度95%では信頼できない程度である。W. W. G.・B谷の例では4年後には増加が不確かな程度となっている。これらのことも1つの目安となろう。

(d) 以上から，渇水流出量についても，森林植生の除去により増加の potential を生ずる。そして，potential の程度は植生の減少および林地の荒れ程度・後生樹草の自然回復程度によって異なる。具体的な増加量は potential の程度に降水等各種気象条件が強く作用してきまる。これらのことが，伐採等による林況変化が渇水流出量に及ぼす影響の概念としていえよう。

IV—6. 水年流出量中の豊水・平水・低水・渇水各流出量の割合

水年流出量の中で，豊水・平水・低水・渇水各種流出量が占める割合のいかんは，年間流出の一様性の一面を表現するものといえよう。

そこで，この面からみた年間流出の一様性が林況変化，とくに伐採によって変化するかどうかを調べた。まず，全般的にみるためC. P. およびT. P. における豊水・平水・低水・渇水各率の平均値を比較した。Table 15 によれば，各流域とも平均値による両期間の配分に差異があるとはいえないようである。

このことは前述の各種流出量の増加傾向がいずれも同じであることから、ほぼうかがわれたことである。

また、釜淵・W.W.G. 両試験地のそれぞれ2号沢と1号沢、B谷とA谷の流域間の比較においても差異があるとはいえないようである。

このほかT.P.における各年の割合を経年的に調べたが、これも顕著な事実はみとめられなかった（数値の表示は省略する）。

以上から、ここにいう豊水・平水・低水・渇水の各率で表現する年間流出の一樣性は林況変化、とくに伐採によって変化したとはみとめられない。このことはIV—1—5) 項で述べた各流出量の変化がすべて同じ方向で、しかもほぼ総量に応じた増加量となっていることの一面を裏づけるものといえよう。

V 要 約

A. 次に掲げる特定山地小流域における試験資料により、皆伐あるいは択伐・伐採木の搬出・伐採跡地の後生樹草の刈払いあるいは焼却等による森林植生の除去および伐採跡地への後生樹草の侵入・繁茂、いわば森林の取扱いいかにともなう、溪川の水年・豊水・平水・低水・渇水各流出量ならびに水年流出量における他の4種流出量の割合がいかに変化するかを検討した。

森林理水試験地	試 験 流 域	所 属
上 川	北 谷	林業試験場北海道支場上川試験地
釜 淵	2 号 沢	同 上 東北支場山形分場
宝 川	初 沢	同 上 宝川試験地
竜 の 口 山	南 谷	同 上 関西支場岡山分場
〃	北 谷	同 上
Wagon Wheel Gap	B 谷	アメリカ農務省山林局

B. 試験流域を設定して林況変化と溪川流出との関係を試験するには、いわゆる対照流域法と単独流域法が採られる。前者は気象・地況・林況各流域条件が酷似した試験流域を2以上設定し、少なくともそのうちの1流域を基準流域、他を森林に試験処理を加える流域とし、処理流域の森林には試験期間中のある時期に伐採などの試験処理を加える。ただし、基準流域のそれは自然のままに放置される。試験全期間・全試験流域に同じ水文観測が行なわれる。後者は前者で基準流域を欠く場合である。この報告の場合、釜淵・2号沢；宝川・初沢；W.W.G.・B谷が前者に属し、上川・北谷；竜の口山・南谷および北谷が後者に属する。

両法による水文観測結果から林況変化、とくに伐採の影響を次の方法で検出した。

森林を伐採する以前の期間、すなわち、前期（基準）期間（calibration period, C.P.）における試験流域の前述5種流出因子と伐採の影響を受けない他の特定流域、あるいは特定地点のそれぞれ同種流出因子あるいは降水・気温・蒸発・地温等気象因子のうちの1つもしくは2つ以上の組合わせ因子との関係（式）を決定する。もし森林が伐採されなかったならば、この関係は森林伐採以後の期間、すなわち、後期（試験処理後）期間（treatment period, T.P.）においても適用できるものと仮定する。この関係（式）を用いて、森林が伐採されなかった場合のT.P.における5種流出因子の値を推定する。信頼度95%における推定値の変動もたしかめる。変動を考慮にいれて推定値を実測値と比較し、差を求める。この差を

T. P. における林況の変遷と対照する。両者の符合事実から林況変化，とくに伐採が上述5種流出因子に及ぼす影響を検討する。

C. 前述のように「森林に変化が加えられなければ C. P. における水文的關係が T. P. にも適用できる」という基本的な仮定のほかに，解析過程で次のいくつかの仮定をする。

「試験期間中，森林の変化にともなう地表土壌の変化以外には地況条件に人為的な変化を加えず，また，自然にも全く変化しない。」

これについては検討するまでもなく是認されよう。

「前述2法のいずれも C. P. 期間における，また，基準流域の T. P. における森林の成長にもとづく林況の自然変化を無視できる。」

この仮定は C. P. における回帰關係の有意性の程度と，従属変量たる流出因子の長期傾向の有無で一応チェックできる。すなわち，前者がきわめて高度であり，後者が無ければ是認できよう。

「測定値がそれらの母体の状態を代表している。」

本来，試験計画樹立の段階で考えられるべき事項であるが，この報告のように，すでに行なわれてしまった試験の解析では解析結果を地域的に，時間的に控え目に参考にすべしといふことであろう。

「測定値はたがいに独立である。また，回帰線からの偏差も系列として独立である。」

一般に，時系列では測定値はたがいに独立とはいえず，通常回帰解析ができない。しかるに，ここにいる水文測定値はすべて時系列である。しかも，通常回帰解析を行なえるものとする。これらの仮定は測定値（従属変量，時には独立変量）の時系列の長期傾向を最尤値法で検定し，同じく測定値の時系列ならびに回帰線からの偏差の系列相関の有意性を，それぞれ，前者は R. L. ANDERSON の方法・NEUMANN—HART—ANDERSON の方法あるいは QUENOUILLE の近似法等で，後者は J. DURBIN—G. S. WATSON の有意水準限界の方法等により一応チェックすることができる。

「回帰線からの偏差は同じ変動性をもって正規分布している。」

この仮定は測定値の90%は回帰線から標準偏差の1.645倍の範囲内にあることが期待されることに對し，実際の測定値数がどうなるかをたしかめることで一応チェックできる。

D. 以上から，解析は次の手順ですすめた。C. P. における測定値，すなわち，従属変量・独立変量について上述の仮定の吟味を行なう。その結果，仮定が承認されれば C. P. における処理流域の流出因子（従属変量）と対照流出因子（基準流域の），または対照気象因子（いずれも独立変量）との間の回帰方程式を求め，その有意性をたしかめる。有意であれば，この回帰式を用いて T. P. における各年の流出因子の推定値を求める。信頼度95%で推定値の変動量をたしかめる。

次に T. P. における実測値と推定値の差を求める。差，すなわち，流出量の増減の経年変化と伐採等植生除去による林況の変遷とを対照し，両者の符合關係から林況変化，とくに伐採が前述各種流出量に及ぼす影響を検討する。

E. 各試験流域の地況・気象条件ならびに林況変化，とくに伐採の実態・経過，地表植生の変遷は既況次のようである。なお，この項で示す年は水年ではなく歴年である。

上川・北谷：

位 置：北海道上川郡上川町

面 積：645.4ha

地 形：細長い流域。上流部の一部を除いて急峻。

地 質：中・古生層，花崗岩

年降水量：1,200～1,300mm。その約35%が11～4月の間に雪として降る。

林 況：1938～1954年9月中旬——エゾマツ・トドマツ等の針葉樹40%弱，ミズナラ・カバ類・シナノキ等を主とする広葉樹60%強の代表的な亜寒帯天然混交林。低木・下草が多い。

1954年9月26日——洞爺丸台風により，全面積の80%林木が幹折れ（被害総材積の20%）・根返り（同じく80%）の風害を受けた。ただし，溪岸林分（20%）が被害を免れた。

1955～1957年——林道の新設・伐採・造材・集材・林道による運材が実施された。1956年中に最も多く作業が進ちよくした。

1958年——溪岸残存林分の伐採・搬出。

釜淵・2号沢

位 置：山形県最上郡真室川町釜淵

面 積：2.48ha

地 形：長方形の流域。平均勾配35°50'で急峻

地 質：凝灰岩，頁岩質凝灰岩

年降水量：2,300～2,400mm。その35～40%が12～3月の間に雪として降る。

林 況：1939～1946年——ナラ・ブナその他広葉樹天然林中に団地状にスギ・ヒノキの人工林分が介在する。下木・下草豊富。

1947年——12月中に針葉樹伐採・搬出。

1948年——春期広葉樹伐採・製炭。

1949～1952年——毎年6・9月に後生樹草全刈払い。刈り払ったものはその場に放置。

1953～1957年——毎年4～5月初旬に火入れ。

1958年——4月火入れ。5・7月に全刈払い。

宝川・初沢

位 置：群馬県利根郡水上町藤原字宝川

面 積：117.90ha

地 形：細長い流域。平均勾配24°45'

地 質：花崗岩，三紀層

年降水量：2,100mm，その約40%が11～4月の間に雪として降る。

林 況：1934～1948年9月——ブナを主とし，ヒバ・ヒメコマツ等を混じえる天然林。広葉樹80%・針葉樹20%。峯筋一部の露岩地のほかは植生被覆。

1948年（10月以降）——単木もしくは団地状択伐（19ha）。

1949年——前同（38ha）。

1950年——前同（29ha）。

1951年——伐採なし。

1952年——単木もしくは団地状択伐（33ha）。

1953～1958年——自然に放置。

竜の口山・南谷

位 置：岡山市祇園

面 積：22.61ha

地 形：扇状流域。平均勾配26°06′

地 質：秩父古生層，石英斑岩

年降水量：1,200mm。雪ほとんどなし。

林 況：1937～1944年3月——天然生アカマツ林，一部にヒノキ人工幼齡林あり。ササの繁茂顕著。1940年ごろアカマツに虫害発生。以後被害漸増。

1944年度——アカマツ伐採・搬出(8.4ha)。

1945年度——前同(9.17ha)。1945年3～6月の間全域から松根多数掘取り。

1946～1953年——自然放置。ネズミサシ・シデ・コナラ・クスギ等低木とササの繁茂顕著。

1954年——11月に一部(7.5ha)で筋刈り地拵。

1955年——3月に7.5ha地区へヒノキ植栽。8月保育下刈り。11月に他の一部(7.2ha)で筋刈り地拵。

1956年——3月に7.2ha地区へヒノキ植栽。7～8月前記両地区(14.7ha)で保育下刈り。

1957年——2～3月さらに他の一部(4.8ha)で全刈り地拵，ヒノキ・クロマツ植栽。3月に14.7ha地区で保育下刈り。7月には4.8ha地区に保育下刈り。

1958年——自然に放置。

竜の口山・北谷

位 置：南谷に同じ。

面 積：17.27ha

地 形：扇形流域。平均勾配30°54′

地 質：南谷に同じ。

年降水量：1,200mm。雪ほとんどなし。

林 況：1937～1945年3月——天然生アカマツ林で，一部にヒノキ人工幼齡林，ササの繁茂顕著。

1940年ごろアカマツに虫害発生，以後被害漸増。

1945年度——アカマツ伐採・搬出(10.57ha)。1945年3～6月の間，全域から松根多数掘取り。

1946～1947年——1946年5～12月の間に3.25ha，同じく9月～1947年7月の間に3.38haのアカマツ幼齡林伐採。

1948～1958年——自然に放置。シデ・コナラ・クスギ等の低木とササの繁茂顕著。しだいに雑木林となる。

Wagon Wheel Gap・B谷

位 置：アメリカ，Colorado州

面 積：80ha

地 形：細長い流域。平均勾配 $14^{\circ}30'$

地 質：石英粗面岩

年降水量：500mm。このうち約50%が10～3月の間に雪として降る。

林 況：1911～1918年——山火跡地の再生林分で、Douglas fir・Engelmann spruce 林分23%（面積）、aspen 林分61%，草地6%，裸地7%その他からなる。

1919年——夏期林木伐採，低木・下草刈払い。ただし，溪岸帯状林分残存。大径木はずり出し集伐・林道搬出。

1920年——前年につづき集伐・搬出。伐採木の枝条・梢頭・小径木は山腹へ列状に集め，9月中に焼却。夏期溪岸林分も伐採・搬出。

1921～1924年——放置。後生樹草発生，繁茂。

aspen・fir・spruce 稚樹疎に再生。

1925～1926年——夏期山羊80頭放牧。林地・植生にほとんど影響なし。aspen 幼樹樹高1～2mとなる。

F. 水年・豊水・平水・低水・渇水各流出量の定義は図に示すとおりである。各試験流域のC. P.におけるこれらの値は Table 1・(1)～(5)のそれぞれ一部に示されている。

これを従属変量とし，これらに対して最も有効な独立変量をまず求めた。すなわち，各試験地で測定された各種因子から直観的に関連の深いと考えられる流出・気象因子を集計し，これらのうちの1因子あるいは2以上の組合わせ因子との相関関係を検討した。結局各試験地で得られる資料の範囲では Table 1 (1)～(5)の他の一部に示した流出あるいは気象因子がほぼ最良であろうと考えられた。

以上で求められた従属・独立両変量について仮定の吟味を行なった。従属変量の時系列の1次系列相関関係・長期傾向を検定した結果が Table 3 であり，長期傾向はすべて有意でないが，1次系列相関係数は上川・北谷の低水流出量，釜淵・2号沢の水年・豊水流出量の場合に有意であることがわかった。そこで関連独立変量の時系列の独立性と長期傾向も検定した（Table 4）。また，回帰線からの偏差の独立性や正規性についても検定した（Table 5）。これらの吟味の結果すべて通常の回帰解析が行なえることがたしかめられた。

すべて線形で表現できるものとして回帰方程式を推定した。これらの式は Table 6 (1)～(5)に示される。

T. P.における従属・独立変量は Table 7 (1)～(5)に示されている。

前述の回帰式にそれぞれ Table 7 の関連独立変量を適用して，森林が伐採されなかった場合の各種流出量を推定すると，Table 8～12 のそれぞれ(3)欄に示すようになる。推定値の変動量，実測値と推定値との差および信頼度95%で真の差がふくまれる範囲，差ならびに範囲の推定値に対する割合，推定値に対する変動量の割合はそれぞれ(4)・(5)・(6)・(7)の各欄に示されている。

水年流出量の変化量（実測値と推定値の差）と豊水・平水・低水・渇水各流出量の変化量（前同）の合計との比較を Table 13 に示す。この結果は両者の差が全般に比較的小さいことを示し，前述の推定式がほぼ信頼できることの一面を示している。

T. P.における各種流出量の変化量（実測値と推定値の差）と気象因子との関連をみるため，C. P.において各流出量をきわめて高度な相関関係をもつ関連独立変量因子あるいは同様に高度な関係が推定できる気象因子と各流出量の変化量との相関関係をしらべた。その結果は Table 14 に示すとおりである。こ

の結果から両者の間にかなり高度な相関関係がある場合が多いことが知られた。

水年流出量のうちで，豊水・平水・低水・渇水各流出量が占める割合のいかんをC. P.・T. P.について平均的に示すと Table 15 のとおりである。

G. 上述の解析の結果，大勢としてはT. P.において水年・豊水・平水・低水・渇水各流出量とも変化の傾向が明らかにみとめられ，しかも，変化の経年的傾向とよく符合することがみとめられた。しかし，詳細にみれば林況変化とは符合しない変化程度の変動があることも明らかで，変化程度は気象条件と関係があることが知られた。このようにT. P.において各流出量に変化したという事実，変化の経年的傾向と林況変化のそれとの符合性，および変化量と気象因子との関連の存在から以下述べるように林況変化，とくに伐採が溪川の水年・豊水・平水・低水・渇水各流出量に及ぼす影響を考察した。

流域内森林を皆伐あるいはほとんど皆伐に近く大量伐採し，伐採木をずり出し等で集材し，流域内に林道を新設して搬出した場合，水年・豊水・平水・低水・渇水各流出量のいずれも増加したといえる。ただし，渇水流出量については他の4種流出量に比べて多少信頼性が低い。

風害により流域のほぼ全面にわたり林木の折損・根倒れが起こった時は，その影響期間が1か月くらいでも平水流出量以外の各流出量が増加する傾向がうかがえる。ただし，上川・北谷の1例だけであることおよびこの例の推定式の精度からしてこの結果の信頼性は高くない。

溪岸優勢林分の伐採および伐採木搬出により水年・豊水・平水・低水・渇水各流出量が増加する傾向がうかがわれる。ただし，上川・北谷；W. W. G.・B谷の2例だけであり，溪岸林分の伐採が流域中の他の林分の伐採後に行なわれている点からこの結果の信頼性も高くない。

放置された伐採跡地へ侵入した低木・草類が，その生育活動最盛季節に，数年にわたって刈り払われ，あるいは火入れして焼却された後にも水年・豊水・平水・低水・渇水各流出量はいずれも増加する傾向がうかがえる。しかし，この結果も釜淵・2号沢および竜の口山・南谷の2例だけにもとづくものであり，また，皆伐の影響期間内に行なわれた後生樹草の除去によるものであるだけに信頼性はかならずしも高くない。

林況悪化により各種流出量が増加する理由についてはこの報告は扱っていない。しかし，考察の過程から森林植生の減少により降水の樹冠遮断および蒸散による損失の減少と伐木・造材時の地表攪乱・ずり出し道面・林道面等透水性のわるい林地部分をつくることによる直接流出量の増加によるものと推定される。そして，水年・豊水両流出量については後者に，渇水・低水・平水各流出量については前者に重みがあると推量される。しかし上川・北谷；W. W. G.・B谷の低水・渇水両流出量の場合は事情が異なる。すなわち，両流域では森林植生の除去により融雪時期がはやまり¹¹⁾，全部もしくは大部分が融雪初期に出現している両流出量に増加があらわれたものと考えられる。

伐採跡地が放置され，自然に後生樹草が侵入し，繁茂するにつれて流出増加量が減少していく傾向がみとめられる。この理由は森林植生除去により流出量が増加した原因のすべてが緩和されるためと考えられる。水年・豊水両流出量の場合，程度の差こそあれ伐採木搬出が終了した翌年から減少がはじまるようである。しかし，渇水・低水・平水各流出量の場合は水年・豊水両流出量の場合ほど傾向が明りょうでない。この理由は植生除去により増加した理由が主として植生量の減少，いいかえれば蒸散量の減少や融雪時期の促進にあることにもとづくと考えられる。すなわち，蒸散や融雪に影響する因子は直接流出に影響する因子より種類が多く，かつ内容がより複雑であるためと推察される。水年・豊水両流出量の場合，竜の口

山・南谷；W.W.G.・B谷では後生樹草による増加量の減少が急速にすすむようにうかがえるが、竜の口山・北谷では比較的緩慢ように見られる。この原因は流出量増加の理由が主として直接流出の機会が多くなることにあったと考えられたことから両者で顕著にちがう地況条件、とくに傾斜条件の違いによるものと推量される。しかし、平水・低水・渴水各流出量の場合にはこのような事実をみとめがたい。この理由は流出量増加の理由が主として蒸散量の減少や融雪時期のずれにあり、直接流出の方に重みがないことにもとづくものと推定される。

皆伐等森林植生の除去により、水年・豊水・平水・低水・渴水各流出量とも増加する傾向があることは前述のとおりであるが、具体的な増加量は林況条件が加わってきまるものと考えられる。いいかえれば、植生除去により増加の potential を生ずる。そして、potential の程度は植生の除去および林地の荒れ程度・後生樹草の自然回復程度によって、また、傾斜等地況条件によって異なる。さらに、この potential の程度に降水等各種気象条件が加わって具体的に増加程度がきまる。この気象条件の種類・程度についてはここでは明らかにできない。ただ、雨として降る降水量の多い地方では、水年・豊水・平水各流出量の増加程度には水年降水量の多寡が高度に関係するらしいこと、同様にして低水流出量についても、特定期間の降水量がかなり関係するらしいことがうかがえるにすぎない。これらのことは今後の研究課題であろう。

以上から、ここにとりあげた試験例だけで一般的にわが国の水源流域における同様な森林植生除去にもとづく各種流出量の増加量を示すことはできないし、また、これら6流域における増加量さえも、そこで起こる可能性のあるあらゆる降水等気象条件が試験中に起こったと考えられないため断定はできない。しかし、一応の目安にはなると考えられるので、T.P.における各種流出量の最大増加量(率)を Table 19・20・21・22・23に示した。水年・豊水両流出量の場合は皆伐あるいは皆伐に近い大量伐採が行なわれ、伐採木の搬出が終了した水年、数年にわたり刈払い・火入れが行なわれ、一部にはげ地を生じた水年あるいはこれらの翌水年、要するに植生量が最少となり、植生除去にともなう林地の荒れが最も激しい水年に最大増加量があらわれている。しかし、平水・低水・渴水各流出量の場合はこれらの水年にならずしも最大増加量があらわれていない。このことは、これら3種の流出量の増加が林況条件の変化に各種気象条件が複雑にかさなって影響されることを裏書している。もちろん、これらの年にも最大量に近い増加量を示していることから植生量の減少が影響していることは明らかである。

なお、皆伐跡地が自然に放置された場合、竜の口山・北谷の例では10年後には流出増加量は最大増加量の、水年・豊水両流出量の場合15~40%、平水流出量の場合数%以下で、いずれも信頼度95%では信頼性がうたがわしい程度となり、低水・渴水両流出量の場合は増加傾向をみとめがたい程度となった。W.W.G.・B谷の例では4年後には同様にして水年・豊水両流出量の場合25~35%で信頼度95%では信頼性がうたがわしい程度となり、平水・低水・渴水各流出量では増加傾向をみとめがたい程度となった。

水年流出量中の豊水・平水・低水・渴水各流出量の割合はT.P.における平均値では林況変化後に変化したとはみとめられない。経年的にも顕著な事実とはみとめられない。したがって、豊水・平水・低水・渴水の各率で表現する年間流出の一様性が林況変化、とくに伐採によって変化するとはみとめられなかった。

以上、特定小流域では伐採など森林植生の除去により、溪川の水年・豊水・平水・低水・渴水各流出量が増加する potential を生ずることが知られたが、具体的な増加量にはそのときの気象条件や地況条件が関係することもうかがわれた。そこで、関係する気象・地況条件の種類・程度、これらの結果の現実大流

域への適用性を明らかにすることは、今後の課題としたい。また、上述の森林処理が洪水量・日流出量による年間流出の一様性等に及ぼす影響については検討中である。

文 献

- 1) BATES, C. G. and A. J. HENRY : Forest and stream-flow experiment at Wagon Wheel Gap, Col. Monthly Weather Review, Supple. 30, pp. 1~79, (1928)
- 2) 遠藤泰造・勝見精一・舟木敏夫：夏期間の流量におよぼす伐採の影響について，林業試験場北海道支場年報 (1960)，pp. 181~211, (1961)
- 3) 平田徳太郎：森林と水源涵養，興林会叢書 第12輯，興林会，59 pp., (1934)
- 4) HOOVER, M. D. : Effect of removal of forest vegetation upon water yield. Transactions, American Geophysical Union, Part 6, pp. 969~975, (1944)
- 5) HOYT, W. G. and H. C. TROXELL : Forest and stream flow. Transactions, American Society of Civil Engineers, 1858, pp. 1~111
- 6) 井上 桂・高田岩次・勝見精一・増田久夫：上川試験林の伐採による流量変化，林業試験場北海道支場業務報告特別報告，7, pp. 121~142, (1956)
- 7) 勝見精一：上川試験林における伐採後の流出量の変化 (第1報)，林業試験場北海道支場業務報告特別報告，5, pp. 139~148, (1956)
- 8) KITTREDGE, J. : Forest influences, McGraw-Hill Book Co., 360 pp., (1948)
- 9) 丸山岩三・猪瀬寅三：釜淵森林理水試験第1回報告，林業試験場研究報告，53, pp. 1~41, (1952)
- 10) 中野秀章・大滝 勇：竜の口山水源養試験第3回報告，林業試験場研究報告，44, pp. 31~61, (1950)
- 11) 中野秀章・菊谷昭雄：森林伐採と融雪，日本林学会誌，38, 8, pp. 314~316, (1956)
- 12) 中野秀章・森沢万佐男・菊谷昭雄：林況変化が溪川流出におよぼす影響の double-mass analysis による解析，日本林学会誌，42, 1, pp. 10~17, (1960)
- 13) 野口陽一：森林の流量調節作用表示式に対する統計的検討，東京大学農学部演習林報告，39, pp. 135~141, (1951)
- 14) 野口陽一：森林伐採または森林生長が流出量に及ぼす影響の検出法に関する考察，東京大学農学部演習林報告，47, pp. 91~109, (1954)
- 15) NOGUCHI, Y : A preliminary study of the hydrologic year in Aichi, 東京大学農学部演習林報告，53, pp. 27~30, (1957)
- 16) 荻原貞夫・山本勝市：竜の口山水源涵養試験第2回報告，森林治水試験彙報，20, pp. 1~8, (1944)
- 17) 林業試験場：森林気象観測累年報告第2報，林業試験場，270 pp., (1960)
- 18) 林業試験場：森林理水試験地観測報告 (日降水量・日流出量)，林業試験場，225 pp., (1961)
- 19) 白井純郎・近藤松一・大原忠一：竜の口山水源涵養試験第4回報告，伐採による流量変化の総合的考察，林業試験場研究報告，68, pp. 95~117, (1954)
- 20) Southeastern Forest Experiment Station : Watershed Management Research, Coweeta Experimental Forest, U. S. Department of Agriculture, 33 pp., (1948)
- 21) 高橋敏男：山岳水源地からの出水，赤川洪水調節に関する水理気象学的研究，山形県山治水総合調査協議会，pp. 7~22, (1959)
- 22) 武田繁後：竜の口水源涵養試験第1回報告，山林局施業参考資料，7, 214 pp., (1942)
- 23) 玉手三葉寿：有林地と無林地とにおける水源涵養比較試験，林業試験場研究報告，23, pp. 63~100, (1923)
- 24) 山田昌一：宝川森林治水試験報告，1. 試験地の基礎調査編，2. 降水量及流出量編，東京営林局，251 pp., (1943)

Effects of Changes in Forest Conditions, Especially Cutting, on Runoff (I).**—Effects on water-yearly, plentiful, ordinary, low and scanty runoffs.—**

Hidenori NAKANO, Akio KIKUYA and Masao MORISAWA

(Résumé)

A. We studied to what extent forest treatments including clear cutting, thinning, skidding, wood transport, clearing or burning of subsequent regrowth on the cut-over area and allowing subsequent regrowth affected water-yearly, plentiful, ordinary, low and scanty runoffs and respective rates of other four specific runoffs to water-yearly runoff from the small watersheds, based on the data obtained at the following specific mountain watersheds.

Experimental sites.	Experimental watersheds	Attach to
Kamikawa	Kita-tani	Kamikawa Experimental Station, Hokkaido Branch Station, Government Forest Experiment Station
Kamabuchi	No. 2	Yamagata Sub-branch Station, Tohoku Branch Station, G. F. E. S.
Takaragawa	Shozawa	Takaragawa Experimental Station, G. F. E. S.
Tatsunokuchiyama	Minami-tani and Kita-tani	Okayama Sub-branch Station, Kansai Branch Station, G. F. E. S.
Wagon Wheel Gap	B	U. S. Forest Service

B. To investigate the relation between forest condition changes and runoff, we established some experimental watersheds and adopted the following two comparison methods.

The first was the method in which two or more experimental watersheds much alike in their watershed conditions, such as weather, land features and forest conditions, were established and to at least one of these was applied a control one with the other treatment watershed, and at the same time in the experimental period, the forest on the treatment watersheds were cut down, but the control watershed was left as natural. The same hydrological survey was carried out on all the watersheds during all experimental periods. The other was the method that lacked the control watershed above mentioned.

In this paper, Kamabuchi • No. 2, Takaragawa • Shozawa and Wagon Wheel Gap • B were subjected to the former method, and Kamikawa • Kita-tani, Tatsunokuchiyama • Minami-tani and Kita-tani the latter

From the results of the hydrological measurements during all experimental periods, some effects of forest condition changes, especially cutting, were detected by the following analysis methods.

At first, the relations between the aforesaid five runoff factors on each experimental watershed for the period before cutting (calibration period, C. P.) and in each the same runoff factors on the control watershed, either the alone or combined meteorological factors among the precipitation, air temperature, evaporation and earth-temperature and specific site which were unaffected by the forest condition changes, estimated. If the forest was not cut down, we supposed that the above relationships would be applicable to treatment period. And, using this relationship, we estimated the values of five specific runoff factors for treatment

period (T. P.). The fluctuations of estimated values were checked up at the 95 per cent confidence coefficient. The estimated values were compared with the actual values in due consideration of the fluctuation and the differences computed between both. And these differences were compared with the changes of forest condition during T. P.. From the corresponding fact between the both, effects of forest condition changes, especially cutting, on the above five specific runoff factors were investigated.

C. In addition to the basic assumption that "if the treatments were not applied to forest, the hydrological relation for C. P. could be applied to T. P." as stated above, we assumed the following items.

"Through the experimental terms, except for the changes of surface soil condition depending on changes of forest conditions, no changes to land features were inflicted." This assumption would be admitted without inspection.

"The hydrological effects of natural changes of forest conditions resulting from the growth of vegetation for C. P. or T. P. (in the case of control watershed) was negligible." This assumption could be checked from the existence of trends on the runoff factors as the dependent variables and significance of regressions for C. P., namely, it would be admitted when the former was non-existent and the latter was very high.

"Observed values were representative of the state of their statistical population." This assumption should be taken into consideration in planning this sort of experiment. As it was, the results obtained here must be adopted conservatively for other watersheds.

"The observed values were independent with one another and the deviations from the regression line were independent as time series." Generally, the observed values composing time series are not independent with one another and the exercise of common regression analysis is impossible. However, the hydrological values that were used here belong to time series; nevertheless, it was presumed that the exercise of the common regression analysis would be applicable. The assumptions were approved with the tests of the trends of time series using the maximum likelihood method, and the trends of the significance of serial correlation of time series and of the deviation from regression line of the observed values using R. L. ANDERSON'S, NEUMANN-HART-ANDERSON'S or QUENOUILLE'S methods for the former and J. DURBIN-G. S. WATSON'S method for the latter.

"The deviations of observed values of each from the regression line composed the normal distribution with same fluctuation." This was confirmed by ascertaining numbers of actual observed values at the comparison with the expectation that 90 per cent of the numbers of common observed values would be contained within 1.645 times of the standard deviation from the regression line.

D. With the foregoing in mind, we carried out the analysis in the following manner

We checked the assumptions on the observed values as the dependent and independent variables for C. P.. As the result, if the assumptions could be approved, the regression equations between runoff factors (dependent variables) of the treatment watershed and runoff factors of the control watershed, or meteorological factors (independent variables) was estimated and checked for their statistical significance. If they proved significant, the yearly estimated values of runoff factors were obtained for T. P. using these regression equations. And the fluctuation of the estimated values was checked at the 95 per cent confidence coefficient. Then, the differences between observed values and estimated values for T. P. were computed

The differences, namely, annual changes of runoff were compared with changes of forest condition by the removal of vegetation such as cutting etc., and from their relation, the effects of changes in forest condition, especially cutting, on the above various kinds of stream flow was examined.

E. The land features, meteorological condition and changes in the forest condition, especially actual state and progress of cutting, skidding and development of subsequent regrowth, on each experimental watershed were as follows :

Kamikawa • Kita-tani :

Location	Kamikawa County, Hokkaido
Area	645.4ha.
Land feature	Long and slender watershed. Steep except a part of upper stream.
Geology	Mesozoic formation, paleozoic strata, granite.
Precipitation	1200~1300mm, about 35 per cent fell as snow from November to April.
Forest condition	1938—mid-September, 1954.—Presentative subfrigid zone natural mixed forest consisting of softwoods 40 per cent (<i>Picea jezoensis</i> , <i>Abies Mayriana</i> and etc.) and hardwoods 60 per cent (<i>Quercus mongolica</i> F. var. <i>grosseserrata</i> , <i>Betulaceae</i> , <i>Tilia japonica</i> and etc.). Dense under storey of shrubs and grasses. 26th, September, 1954.—The trees of 80 per cent on the watershed had suffered wind damage (stem-broken 20 per cent, uprooted 80 per cent in volume) during typhoon Toyamaru. Stream side stand (20 per cent) were saved from the damage. 1955~1957.—The lumber road was built and cutting, skidding and wood transport by the road were carried out. The logging operation made best progress in 1956. 1958.—The logging of the surviving stand at stream side was carried out.

Kamabuchi • No. 2 :

Location	Mogami County, Yamagata Prefecture.
Area	2.48ha.
Land feature	Rectangular watershed. Steep with average gradient 35°50'.
Geology	Tufa, shaletic tufa.
Precipitation	2300~2400mm, 35~40 per cent fell as snow from December to March.
Forest condition	1939~1946.—Artificial forest consisting of <i>Cryptomeria japonica</i> and <i>Chamaecyparis obtusa</i> standing as groups in the hardwood natural stand consisting mainly of <i>Quercus crispula</i> , <i>Fagus crenata</i> and etc.. Abundant with underwoods and grasses. 1947.—Softwoods were cut and transported during December. 1948.—Hardwoods were cut in spring and charcoal making was carried out. 1949~1952.—Clearing of the regrowth on the cut-over area conducted in June and September annually. 1953~1957.—Burning of the regrowth in April to early in May

annually.

1958.—Burning in April. Clearing in May and July.

Takaragawa • Shozawa :

Location	Tone County, Gunma Prefecture.
Area	117.90ha.
Land feature	Long and slender watershed. Average gradient 24°45'.
Geology	Granite, tertiary.
Precipitation	2100mm, about 40 per cent fell as snow from November to April.
Forest condition	1934—September, 1948.—Natural forest consisting mainly of <i>Fagus crenata</i> , <i>Thujopsis dolabrata</i> and <i>Pinus Pentaphylla</i> etc.. Hardwoods were dominant on 80 per cent of the area with softwoods on the remaining 20 per cent except the small naked area on a part of peak. 1948 (on and after October).—Selective cutting with a group or single (19ha.). 1949.—The same as above (38ha.). 1950.—ditto. (29ha.). 1951.—No cutting. 1952.—Selective cutting with a group or single 1953~1958.—Left as natural.

Tatsunokuchiyama • Minami-tani :

Location	Okayama City, Okayama Prefecture.
Area	22.61 ha.
Land feature	Faned watershed. Average gradient 26°06'.
Geology	Chichibu paleozoic strata, quartz porphyry.
Precipitation	1200mm, little snow.
Forest condition	1937.—March, 1944.—Natural forest of <i>Pinus densiflora</i> with the small artificial yong stand of <i>Chamaecyparis obtusa</i> partially. <i>Pleioblastus Simoni</i> and <i>Pleioblastus variegatus</i> grew thick. Insect pests occurred in <i>Pinus densiflora</i> stand in about 1940. Thereafter the damage increased gradually. 1944.— <i>Pinus densiflora</i> were cut and transposed (8.4 ha.) 1945.—The same as above (9.17 ha.). Many stumps of <i>Pinus densiflora</i> on the whole watershed were grubbed out from March to June. 1946~1953.—Left as natural. Understoreys containing <i>Juniperus rigida</i> , <i>Carpinus laxiflora</i> , <i>Quercus serrata</i> , <i>Quercus acutissima</i> , and <i>Pleioblastus variegatus</i> grew thick. 1954.—Strip weeding and grading partially in November. 1955.—Afforestation (<i>Chamaecyparis obtusa</i>) on the 7.5 ha. area in March. Weeding and other tending in August. Strip weeding and grading on the other area (7.2 ha.) in November. 1956.—Afforestation (<i>Chamaecyparis obtusa</i>) on the 7.2 ha. area in March. Weeding and other tending on the above both areas.

(14.7 ha.) from July to August.

1957.—Clearing and grading on the other area (4.8 ha.) from February to March and afforestation with *Chamaecyparis obtusa* and *Pinus Thunbergii*. Weeding and other tending on the 14.7 ha. area in March and on the 4.8 ha. area in July.

1958—Left as natural.

Tatsunokuchiyama • Kita-tani :

Location	The same as Minami-tani.
Area	17.27 ha.
Land feature	Fanned watershed. Average gradient 30°54'.
Geology	The same as Minami-tani.
Precipitation	1200mm, little snow.
Forest condition	1937—March, 1945. —Natural stand of <i>Pinus densiflora</i> with artificial young stand of <i>Chamaecyparis obtusa</i> partially. <i>Pleioblastus Simoni</i> and <i>Pleioblastus variegatus</i> grew thick. Insect pests occurred in <i>Pinus densiflora</i> stand in about 1940. Thereafter, the damage increased gradually. 1945. — <i>Pinus densiflora</i> were cut and transported (10.57 ha.). Many stumps of <i>Pinus densiflora</i> on the whole watershed were grubbed out from March to June. 1946~1947.—Artificial forest of <i>Pinus densiflora</i> on the 3.25 ha. area were cut and removed from May to December in 1946 and these on the 3.38 ha. area from September, 1946 to July, 1947. 1948~1958—Left as natural. Lower trees containing <i>Carpinus laxiflora</i> , <i>Quercus serrata</i> and <i>Quercus acutissima</i> , and <i>Pleioblastus variegatus</i> grew thick and grew up into a coppice in 1958.

Wagon Wheel Gap • B :

Location	Colorado, U. S. A.
Area	About 80 ha.
Land feature	Long and slender watershed. Average gradient 14°30'.
Geology	Quartz trachyte.
Precipitation	500mm, about 50 per cent fell as snow from October to March.
Forest condition	1911~1918.—Secondary forest on an area burned by forest fire and consisting of Douglas fir (<i>Pseudotsuga menziesii</i>), Engelmann spruce (<i>Picea engelmannii</i>) stand (23 per cent of the area), aspen (<i>Populus tremuloides</i>) stand (61 per cent), grass covered area (6 per cent), bare land (7 per cent) and other. 1919. —All tree growth cut down except the strip stand on the stream side. The larger coniferous trees were cut, dragged to the road and removed. 1920. —The remaining larger trees were removed. Slash from the larger green conifers and the entire stems and tops of the smaller ever-greens and aspens were piled in windrows running up and down the slopes, and were burned out in September. The strip

stand on the stream side were cut and transported in summer.

1921~1924. — Left as natural. Except on the severely burned streaks, a thin cover of aspen sprouts, seedlings of fir and spruce augmented by a fair cover of grass grew on southerly exposures and of grass and herbs on northerly exposures.

1925~1926. — Grazing 80 goats in summer and little effect on the vegetative cover. Sprouts of aspen (*Populus tremuloides*) developed 1~2m in height.

F. The definitions of water-yearly, plentiful, ordinary, low and scanty runoffs were shown in the figure. These values for each experimental watershed for C. P. were shown in a part of Table 1, (1)~(5).

After dependent variables for each of the above runoffs were determined, we then decided the most effective independent variables to these dependent variables. Thus from among the various kinds of runoff and meteorological factors measured in each experimental watershed, factors that were assumed with dense correlation by intuition were selected, and the correlation between the above dependent variables and one factor or the combination factor of these runoff and meteorological factors were investigated, and then the most effective independent variables were decided. Finally, within the limits of data measured at each experimental station, these shown in the other part of Table 1, (1)~(5) were selected.

Next we investigated the assumptions with these independent and dependent variables shown in Table 1. The results of the testing on the serial correlation and trends of time series of the dependent variables were shown in Table 3. Consequently, the trends of all data were non-significant, but the serial correlation of the low runoff for Kamikawa・Kitatani and of the water-yearly and plentiful runoffs for Kamabuchi・No.2 were significant. Therefore, these of the time series of the related independent variables were tested (Table 4); moreover, the independence and normality of the deviation from regression line were tested (Table 5). From the results of the above investigations, we found that the common regression analysis could be applied on the analysis of all these data.

Supposing that the regressions were linear, we estimated the regression equations shown in Table 6, (1)~(5).

The dependent and independent variables for T.P. were shown in Table 7, (1)~(5).

By adopting the corresponding independent variables shown in Table 7 to the above regression equations, the various kinds of runoff, assuming the forests had not been cut down, were estimated. These estimated values were shown in column (3) of Table 8~12. The variations of estimated values at the 95 per cent confidence coefficient the difference between observed and estimated values, the ranges of difference at the 95 per cent limits, the rate of difference and difference ranges to the estimated values and the rate of variations to the estimated values were shown in column (4), (5), (6) and (7) of Table 8~12, respectively.

The comparison between the increased and decreased amount of water-yearly runoff and the total value of the increased and decreased amount of plentiful, ordinary, low and scanty runoff were shown in Table 13. Consequently, it was shown that differences between both amounts were relatively small and that the regression equations could be relied

upon.

To study the relation between the increased and decreased amounts of various kinds of runoff and meteorological factors for T.P., we investigated the correlations between the former and the meteorological factors which could be presumed high relation. These results were shown in Table 14. In consequence, it was found that a considerably high correlation existed between the both factors.

The average rate of plentiful, ordinary, low and scanty runoff respectively to water-yearly runoff for C.P. and T.P. were shown in Table 15.

G. From the results of the above analysis, it was found that the water-yearly, plentiful, ordinary, low and scanty runoffs for T.P. were changed by the deforestation, and that the changes well coincided chronologically with the changes in forest condition, but there were the yearly fluctuations having no coincidence with the forest condition changes and relating to meteorological conditions. This led us to investigate the effects of the changes of forest conditions, such as cutting, on water-yearly, plentiful, ordinary, low and scanty runoffs in the following:

In those cases in which all stands on the watersheds were clearly or almost clearly cut, and the logs were skidded and transported by the logging road built anew into the watersheds, water-yearly, plentiful, ordinary, low and scanty runoffs were increased. But the increase of scanty runoff had slightly low confidence compared with those of other runoffs.

As regards the forest trees that had been snapped or uprooted by storm over the whole of the watersheds, even allowing that these effective periods were only one month, each runoff except ordinary runoff had a tendency to increase. However, the confidence of this result may not be high on account of the fact that only one example was obtained at Kamikawa • Kita-tani and that the accuracy of its estimation equation was not high.

By the removal of the dominant forest on the strip area adjoining the stream draining the watershed, the water-yearly, plentiful, ordinary, low and scanty runoffs showed an increasing tendency. But the confidence of this result may not be high because only two examples were obtained at Kamikawa • Kita-tani and Wagon Wheel Gap • B, and the stream side stands were cut after the cutting of other stands in the watersheds.

Even shrubs and herbages which grew back on the cut-over area cleared and burned during the season of maximum growing over the several years, the water-yearly, plentiful, ordinary, low and scanty runoffs had an increasing tendency. But the confidence of this result may not be high because the results were based on only two cases of Kamabuchi • No. 2 and Tatsunokuchiyama • Minami-tani and these regrowths were removed in the effective periods of clear cutting.

In this paper, we did not conduct investigation into reasons for runoffs being increased by the changes to worsening of forest conditions. But, deducing from the results available, it was supposed that they were the decrease of loss with interception and transpiration attendant upon the diminishing of forest vegetations, and the increase of direct runoff ensuing from the appearance of such poor permeable land consequent upon the disturbed forest floor, skid trails and forest roads following the logging practice. The former reason would apply principally to the increase of the ordinary, low and scanty runoffs, and the latter to those of the water-yearly and plentiful runoffs. But the conditions were different in the low and scanty runoffs for Kamikawa • Kita-tani and Wagon Wheel Gap • B. In cases in which the

removal of forest vegetations advanced the date of snow melting, the amounts of the above both runoffs of which all or a major portion turned up in the early period of snow melting were increased, we considered.

We found the tendency that the increased amount of runoff gradually decreased with invasion and luxuriant growth of new vegetative cover on the cut-over area left as natural. We supposed the cause was in the mollification of all reasons increasing runoff. In the cases of water-yearly and plentiful runoffs, the decrease of the amount increased began already in the second year following the removal of logs. But, in the case of ordinary, low and scanty runoffs, the decreasing tendency was not so plain as in the former, since, we assumed, the increase in yields was mainly affected on the reduction of vegetative cover, that is to say, the decrease of the losses with transpiration and the changes of the date of snow melting which were subjected to the influence of the more and more complicated factors than the case of the direct runoff.

In the case of water-yearly and plentiful runoffs for Tatsunokuchiyama・Minami-tani and Wagon Wheel Gap・B, the increase in yields was rapidly decreased with regrowth of new vegetative cover, but that for Tatsunokuchiyama・Kita-tani was relatively slowly decreased. We supposed that the causes of these results could be attributed to the remarkable difference of topographic conditions, especially inclination between these watersheds, as the increase of runoff resulted from the increase of direct runoff. But, in the cases of ordinary, low and scanty runoffs, such facts were not found since, we supposed, the main reasons increasing these runoff were the decreasing of evapo-transpiration and not the increase of direct runoff.

By the removal of forest vegetations, such as by clear cutting, the water-yearly, plentiful, ordinary, low and scanty runoffs had an increasing tendency as described above. The actual amount increased of these runoffs was effected by not only the topographic conditions but meteorological conditions at the considered watersheds. So it can be said that the removal of forest vegetations increases the potential of runoff. The extent of this potentiality varied with the extents of forest denudation, the natural recovery of vegetative cover and topographic conditions such as inclination. And the increased amount in runoff was really decided by the addition of the various kinds of meteorological conditions, such as precipitation, to the increase potential. The kinds and extents of these meteorological conditions can not be dealt with in this paper, but the increasing extents of the water-yearly, plentiful and ordinary runoffs were probably highly related to the water-yearly precipitation at the district having much precipitation such as rain. Similarly on the low runoff too, it was related to the precipitation of specific periods. These facts may be the subjects of investigation in future.

From the above example only, the increasing amount of the various kinds of runoff by the removal of forest vegetations at other watersheds could not be generally discussed, and even the increasing amount of runoff at six watersheds dealt with in this paper could not be decided, as all meteorological conditions possible at these watersheds did not seem to happen in these experimental periods. But, to offer some supplementary information, the maximum increasing amount (with ratio) of each runoff for T. P. were shown in Table 19, 20, 21, 22 and 23. In the cases of water-yearly and plentiful runoffs, the maximum amount increased in the water-year when the forests were clearly cut or almost clearly cut, and

removal of logs ended, and in the water-year or next water-year when the part of the watersheds became bare due to the clearing and burning over the several years. In short, the maximum increase occurred in the water-year that the forest floor was disturbed most severely by the vegetation removal and the vegetation amount was the least. But, in cases of ordinary, low and scanty runoffs, the maximum increase did not always occur in such water-year. These results proved the fact that the increase in the above three kinds of runoff were effected by the complex conditions of mixed topographic and various meteorological conditions. From the facts that runoff in these water-years were increased to approximately the maximum amount above, it was obvious that the increase of the above three kinds of runoff were effected by the decrease of vegetation amounts.

In the cases of the cleared areas left natural as in the example of Tatsunokuchiyama · Kita-tani, the increasing amount of water-yearly and plentiful runoffs decreased to 15~40 per cent of the maximum increasing amount in the tenth year after clear cutting. In like manner, the increased runoff decreased less per cent and the increasing amount became doubtful at the 95 per cent confidence coefficient. Moreover, the increasing tendency of low and scanty runoffs was difficult to find in the ninth year following cutting. According to the example of Wagon Wheel Gap · B, the increasing amount of water-yearly and plentiful runoffs decreased to 25~30 per cent of the maximum in the fourth year after clear cutting, and these amounts were doubtful at the 95 per cent confidence coefficient. As to ordinary, low and scanty runoffs, the increasing tendency became difficult to find in the fourth year.

The respective rates of plentiful, ordinary, low and scanty runoffs to water-yearly runoff had no changes in comparison with C.P. and T.P. and in the chronological tendency during T.P. Therefore, it was difficult to find the change of the consistency of stream discharge expressed with rate of plentiful, ordinary, low and scanty runoffs by the changes in forest conditions.

In conclusion, we found that the removal of the vegetative cover on the considered small watersheds advanced the potentiality of increase of water-yearly, plentiful, ordinary, low and scanty runoffs, and that the actual amounts of increase were related to the then topographic and meteorological conditions whose kinds, extents, and influences should be investigated after this.