

# 森林の伐採及び階段工施工と流況の長期傾向

中野秀章・山村烈也

## はじめに

森林の伐採や荒廃林地への造林が流出水量に及ぼす影響については世界各地の森林流域試験によって多くの成果が報告されている。それらの成果の総括から森林の水流出に対する作用の第一は年間降水もしくは一降雨に基づく流出の総量にある程度減ずるがその流況を平準化することにあると考えられる。

筆者らはさきに国立林業試験場の釜淵森林理水試験地1号沢流域ではぼ30年生の針広混交林が45年間にわたってまったく人為を加えられることなく林齢をかさねて、自然淘汰その他で林相を変化しながら成長をつづけたことに符合して、河況係数に準ずる流況指標値により経年的に流出の平準化が進んだ事例を報告した。

ここでは、この1号沢流域を基準流域とする森林処理流域として伐採・階段工施工の試験処理が実施された2号沢流域の同期間の既発表日流出量・日降水量資料を用いて、同じ流況指標値の経年傾向をしらべ、かつ1号沢流域のそれと対比・検討したので、結果を報告する。

この貴重な資料を使用させていたゞいた国立林業試験場に御礼申し上げるとともに、長期水文観測と試験処理に従事された多くの同試験地職員の方々に深甚の敬意と謝意を表す。

## 1. 試験流域の概要

釜淵・2号沢流域は山形県下の最上川の中流右支鮭川の上流真室川に流入する鶴下駄沢の水源地の一部で、山形県最上郡真室川町釜淵地内にある(図-1)。

流域の地形条件をみると、面積2.482ha、周囲645m、主流を成す沢の長さ約150m、流域の平均幅(面積/主沢の長さ)123m、形状係数(面積/(沢の長さ)<sup>2</sup>)0.611、平均傾斜(等高線間高度差×等高線の総延長/面積)35°50′、平均高度約200(160~245)m、平均方位(傾度%を大きさとするベクトルの合成ベクトルの方向)E5°Sである。

なお主流の勾配は測水点から上流へほぼ2分の1の地点までは8°前後の緩勾配であるが、兩岸山腹斜面も谷頭斜面も35°前後の急勾配である(図-1)。

地質は第三紀中新統の凝灰岩で、山腹中部・上部は頁岩質となっており、地質構造は上流から下流へ流れ盤である。土壌は植質の黒色森林土でその深さは15~95cmの範囲で、源頭谷合流点から下流主沢沿いにかなり深い崩積土体がひろがっているが、他の山腹斜面のほとんどでは浅い。

降水量は対象期間(1939~1978年)について年平均2432(1903~3312)mmで、この期間中長期傾向としての増・減はほとんど認められない。ただし図示は省略する。その35~40%

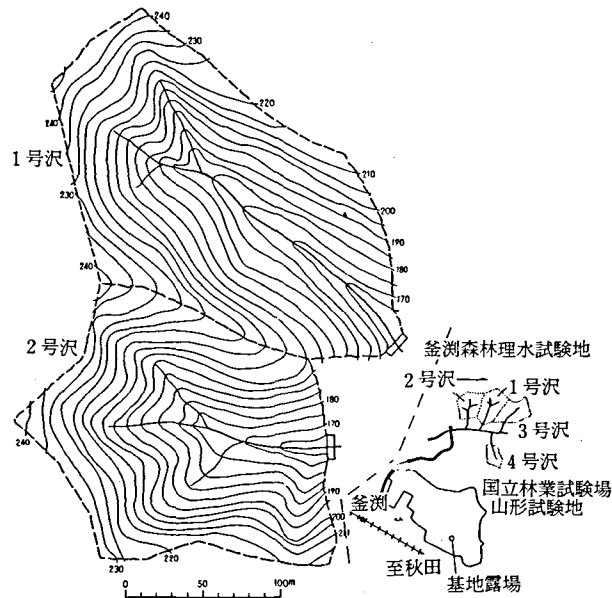


図-1 試験流域とその位置

は、主として12～3月の間に雪として降り、根雪となるが、その最大積雪深は平均1 m強で、かなり多雪である。しかし、当地では降水に関して注意すべき特異な現象がある。すなわち冬季、ときには1～2月でも太平洋沿岸にそって温帯低気圧が移動したとき等に降雨、それも時には一降雨量数+mmにも達することがあり、同時に融雪を促進して積雪期にも流出水量を増大することがある。

既往1時間雨量の大きいものは7～9月に観測され、30～50mmのオーダーであり、年最大日降水量は43～200mmの範囲である。

なお年平均気温は9.9°Cで低く、普通蒸発計による平均日蒸発量は2.6mmである。

森林については次項で述べる。

## 2. 森林の試験処理と林況変化<sup>1,2)</sup>

この流域の森林は、元来ほとんどミズナラ・ブナ・クリ・イタヤカエデ・トチ・ホオノキ・ケヤキ等40種前後の落葉広葉樹から成る天然林で、わずかに尾根筋にヒバ・アカマツが生立していた。

1910年ごろ製炭・燃料材採取のためほとんど皆伐された。そして跡地に1912年ヒノキが植栽された。しかし、ヒノキは主として積雪・冠雪害によって成育きわめて不良で枯損したのもあり、1913・1914・1916の各年にスギ・ヒノキと少数のアカマツが補植された。しかし、その後も雪害その他により成長不良や枯損があり、その消滅あとは天然広葉樹が侵入していった。結局、1939年森林理水試験（水文観測）が開始された時点ではブナ・ミズナラを主とする落葉広葉樹天然生林中に団地状にスギ・ヒノキの人工林分が介在する形の森林であっ

た。

そして1947年12月、皆伐が流出に及ぼす影響を試験するため、まず積雪上でスギ・ヒノキ林分が皆伐・搬出された。これらの林齢は32～36年生であったことになる。そして翌春残余の広葉樹林分も皆伐・搬出されて製炭に供された。これらも前同様の林齢であったと考えられる。伐出はほとんど積雪上で行われたため、この作業による直接的な表土の攪乱・圧密や地被植生の消滅部分の発生はなかったとされている。

その後、皆伐直後の状態を維持するため、1948～1952年の間は毎年2回（6月・9月の各中・下旬）伐跡地の再生低木草の全面下刈りが行われ、刈り取られたものはその場に放置された。連年の下刈りのため、広葉樹の萌芽も少なくなり、ササ・カンスゲ・シシガシラ・ススキ・リュウメソウ・フキその他の草本類が地表を被覆していった。

ついで1953～1958年の間は、前同様の目的で、毎年1回（4月末ないし5月上旬）火入れが行われ、樹草の自然再生が抑制された。その結果、ノイバラ・ススキその他の草本類の繁茂が著るしくなった。そしてこの時期の後年には全域の多くが草本と小低木で被覆される状態であったが、一部に草本被覆の疎な部分あるいは急斜部では積雪グライドやなだれによって表土層が剝奪され、小面積のくぼ地が点在するようになった。また尾根筋以外では伐根株は腐朽したり、焼失あるいはグライド等で転落して数を減少した。そして1958年は春の火入れ後夏期に1回全面下刈りも行われた。

上記の状態では、1959年は自然のままに放置され、下刈りも火入れも行われなかった。しかし、上記のごく小面積のくぼ地は多少増加し、結局面積のほぼ半ばが全層なだれ常襲地になった。

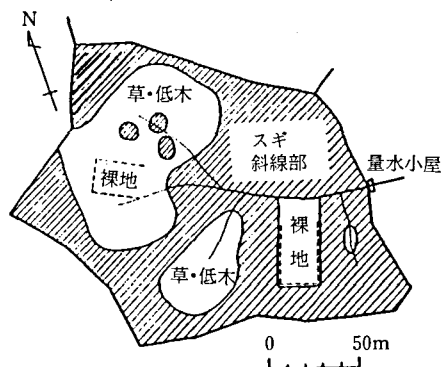
そこで、なだれ発生防止試験と階段造林が流出に及ぼす影響の試験を試みることとなり、1960年9月26日～10月5日の間に全域に切取階段工が施工された。階段工は幅0.8、1.2、1.6mの3種で、階段の面積合計は0.17ha（730m<sup>2</sup>/ha）で、流域面積の6.7%弱に相当した。切取土砂は斜面下方に落された。そして階段上には11月上旬スギが植栽された。

その後1961～1967年の間は毎年夏期植栽木保育のための下刈りが行われた。しかし、階段工は急斜部で直高間隔を幅の10倍以上も大きくとった部分もあり、またその地山が風化軟岩の脆弱部分もあり、グライド、なだれ発生により後年一部の階段で崩壊が起こった。すなわち1962年冬南東ないし東向の沢頭斜面の階段工の一部に亀裂がはいり、1964年にはこの部分が崩壊し、スギ植栽木は消失した。

1969年東向斜面で1箇所、1970年北向斜面に1箇所切盛階段工の追加施工が行われた。しかし、この2箇所の階段工は1973年に崩壊し、跡地は裸地化してなだれ常襲地となり、植生の自然侵入は不可能となった。1974年以降も一部でなだれが発生した。

1978年4月行われた植被調査の結果を図-2に示す。図中の斜線部がスギ林分である。しかし、その成育状態は北向斜面で南向斜面より、また山腹下部で山腹上部より良好で、違いがみられた。草・低木部分は1947～1948年の皆伐前にも広葉樹しか成育していなかった部分で、ここでは階段工に植栽されたスギは消滅した。裸地はなだれによる雪食崩壊跡地であり、連年小規模の全層なだれが発生し、地表には水みちが形成された。

結局、1978年現在、2箇所に崩壊跡地をもち、約25%地域に広葉樹の低木ないし小高木の林分を介在させるスギ若齢（17年生）林分で、林業的観点からはいまだ必ずしも優良とはい



図一 2 釜淵 2 号沢, 1978 年 4 月現在の森林植被状況

えない森林状態であった。

### 3. 水 文 資 料

流量は45° 三角形堰で自記水位計により常時測定され、降水量は測水点より約800m東の林業試験場山形試験地構内露場で自記雨量計により常時測定されたものである。測定は1939年開始され、現在も継続中であるが、ここでは既公表<sup>1,2)</sup>の1978年12月までの40年間の日流出量・日降水量の資料を用いた。

流況の指標値として、さきの報告<sup>3,4,5)</sup>で用いたように河況係数に準じて年最大日流出量と年最小日流出量(水高, mm)の比を用いた。河況係数(年最大流量/年最小流量)を用いなかった理由は、年最大・最小流量は流域全般の地文・気象条件の変化に対応するが、同時に流路の特殊な条件、すなわち流域管理の視点からは必ずしも重要でない条件の一時的変化にも敏感に反応しやすく、不安定であり、とくに、ここで対象とするような小流域ではその影響を受けやすいと考えられ、両者の比は指標として適当でないと考えたからである。

なお資料の得られた範囲で、対象期間の一部期間(22箇年)について、年最大日流出量と同年の年最大比流量との相関々係、また年最小日流出量と同年の年最小比流量との同様な関係をしらべたところ、前者では十分な関係(相関係数0.437)はみられなかったが、後者ではある程度高い相関々係(相関係数0.871)があることが知られた。ただし図示は省略する。

### 4. 流況の経年傾向

さて、2号沢流域の年最大日流出量と年最小日流出量の経年傾向を図一3、図一4に、両者の比のそれを図一5に示す。

図一3で年最大日流出量の経年傾向をみると、1959年以前はばらつきが大きく、1960年以降はそれが小さい。そしてたまたまこの前半期間は後半期間に比べて大きい値がほぼ半数年にあり、単純平均値も大きい。そして全体として上昇もしくは下降といった長期傾向は認め

られない。

1960年は前述のとおり全域に階段工が施工された年であり、階段工施工以降年最大日流出量の変動幅の減少が符合する。さらに詳細にみれば、1970～1975年の間は他より変動が大きく、崩壊による流域の荒れが多少とも進んだ時期に符合している。

ただし、図-3で12箇年の年最大日流出量は、前述のとおり融雪出水を主として冬期（1～4月）に生起している。これらの値は他に比較して全般に小である。これらの年は1939, 1942, 1945, 1949, 1950, 1951, 1954, 1962, 1963, 1964, 1967, 1970の各年である。

つぎに、図-4で年最小日流出量の経年傾向をみると、おおよそ3期間に区分できよう。すなわちばらつきはあるが1946年まで経年傾向は横ばい傾向であるが、1947年以降1959年まではばらつきが大きくなっているが、大きい値が現われて1946年までの期間より単純平均値が多少大きくなっていることが認められる。ただし、突出して大きい1947年の値は前述した3,312mmという他に例をみない極端に年降水量が大きかった年のそれであることで理解できると思われる。

ついで、1960年以降はさらにばらつきも大きいのが、全般的にいつそう大きい値となり、単純平均値は1959年までの期間よりかなり大きくなっている。さらに詳細にみると、1966年ごろ以降は全体に値が小さくなっているようにもみられる。

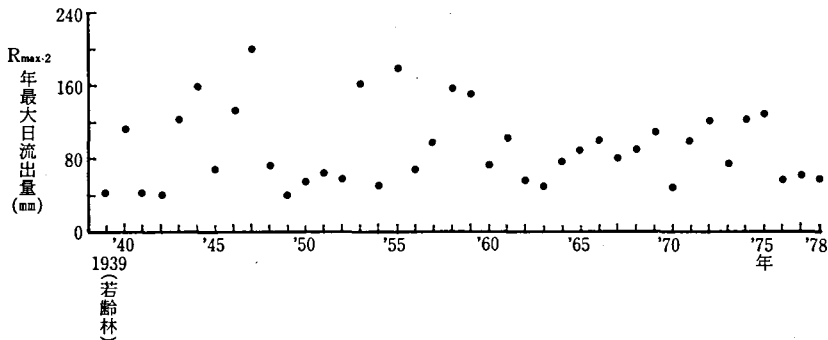


図-3 釜淵2号沢，年最大日流出量の経年傾向

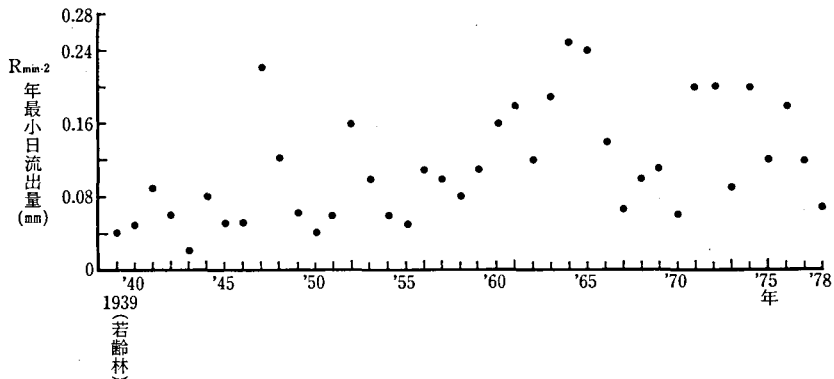
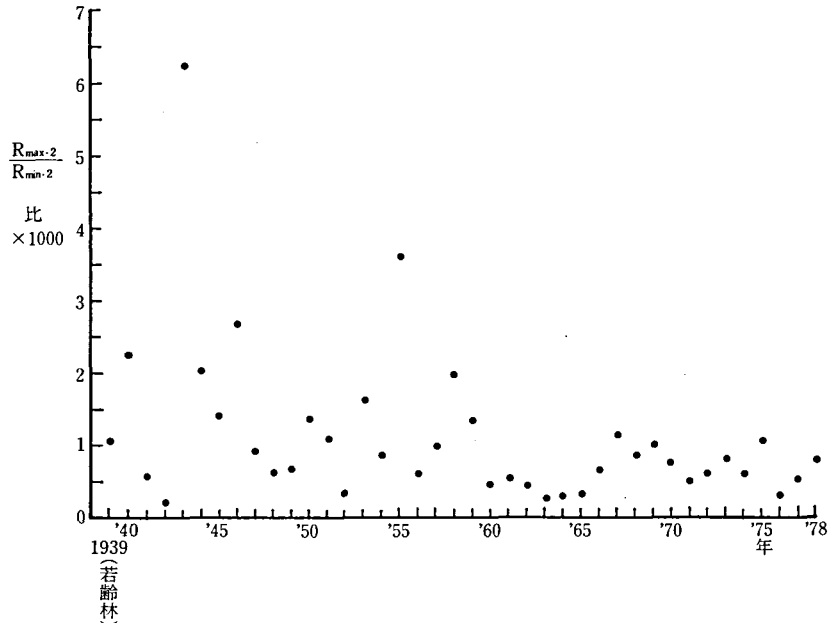


図-4 釜淵2号沢，年最小日流出量の経年傾向



図一五 釜淵2号沢, 年最大日流出量と年最小日流出量の比の経年傾向

以上から, 1947年以前の状態は若齢林期に符合し, 1948~1960年のそれは皆伐・再生低木草抑制期に符合し, さらに1961~1978年のそれは階段工施工とスギ植栽木の成長期に符合することとなる。

以上, 年最大日流出量と年最小日流出量の経年傾向から, 当然両者の比のそれは図一5のようになり, 大きな値を含みばらつきの大い期間としての若齢林期, これより全体として値もばらつきも少し小さい期間としての皆伐・再生低木草抑制期, 明らかに全体に値が小さく, ばらつきの最も小さい期間としての階段造林期が指摘できる。

さて, この図一5は32~36年生の若齢林流域よりもこれを皆伐し, かつ跡地の再生低木草を抑制したとき, いくらか流出の平準化がすすみ, さらに, 階段工を施工したとき, いっそう進行し, さらにその後スギの成長に符合するように水準が変化したことを示している。

その理由の第1は年最小日流出量が大きくなったことにあるが, このことは皆伐・再生低木草の抑制, 階段工の施工による植被の除去等による蒸発散量の減少によって考えられる。つぎに, 年最大日流出量については, 前述の冬期に生じたものは別とし, また他にかき離れて誘因降雨が大雨だった1944, 1947の両年を除いて比較すると, 皆伐後, 格別のものではないが, いちおう増大している傾向がみられる。このことは後に詳述する。ところが, 階段工が施工された1961年以降は軽減され, 安定的になっていることが比較的明瞭である。ただし1966年以降に水準の変化がみられる。

結局, 森林の伐採と伐跡地の再生樹草の抑制は, これらに伴い勝ちな林地の荒しによる直接流出量の著るしい増大が避けられ, 一方蒸発散量が減少したため, この比による流出の平準化が進んだものと考えられる。また, 階段工施工は植被の明らかな除去による蒸発散量の減少に加えて直接流出時間のいちおうの延長効果<sup>6,7)</sup>が加わって同様に平準化が進んだものと

考えられる。さらに階段造林期後年の水準の低下には植栽木の成長も無関係ではないと考えられる。

### 5. 考 察

流出を第1義的に決定するのは当然降水である。したがって前項で述べた年最大・最小日流出量及び両者の比の経年傾向は皆伐と跡地の再生低木草の抑制，階段工の施工，崩壊地の発生，造林木の成長等と無関係に降雨の在り方できまっている可能性が疑われる。

そこで，年最大・最小日流出量及び両者の比と降水量との関係を，用いた資料の範囲で吟味する。

まず，年最大日流出量 ( $R_{max \cdot 2}$ ) とその誘因となった雨量との関係をみる。ただし，前述したように冬期に生じた年最大日流出量があり，これらは除外した。誘因となった雨量としては年最大日流出量の生起日当日とその前日の両日雨量の合計量 (P) を用いた。

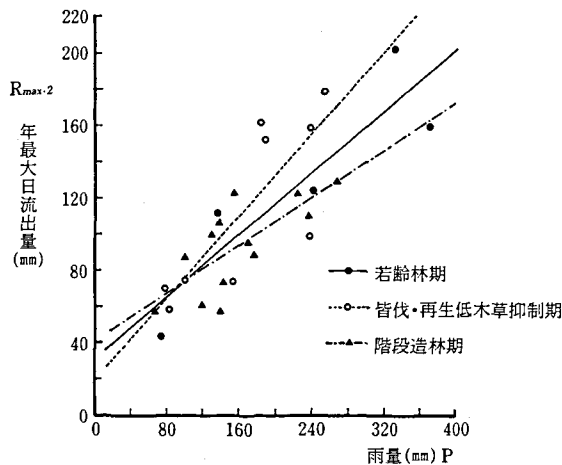
図一6に示す全点によって全体としての両者は直線関係にあるとすると，つぎの式で表わされる。

$$R_{max \cdot 2} = 0.4379 P + 30.09 \quad (\text{相関係数} 0.814)$$

したがって，当然であるがかなりの相関々係のもとに雨量が大きいき年最大日流出量は大きくなっているに過ぎないこととなる。

しかし，全点を前述によって若齢林期，皆伐・再生低木草抑制期，階段造林期の3期間にわけてそれぞれ両者の関係をみると，いずれも直線関係にあるとして，つぎの各式で表わされる。

なお，若齢林期は1939～1947年とし，伐採は12月に行われたので1947年を含め，前述により，うち3箇年及び該当降雨量欠測の1946年を除いた。同様にして皆伐・再生低木草抑制期



図一6 釜淵2号沢，年最大日流出量と雨量との関係

は1948～1960年とし、階段工施工は9月以降に行われたので1960年を含め、4箇所を除いた。また階段造林期は1961～1978年とし、5箇年を除いた。

若齢林期  $R_{\max \cdot 2} = 0.4252 P + 31.13$  (相関係数0.895)

皆伐・再生低木草抑制期  $R_{\max \cdot 2} = 0.5613 P + 19.81$  (相関係数0.803)

階段造林期  $R_{\max \cdot 2} = 0.3303 P + 40.72$  (相関係数0.739)

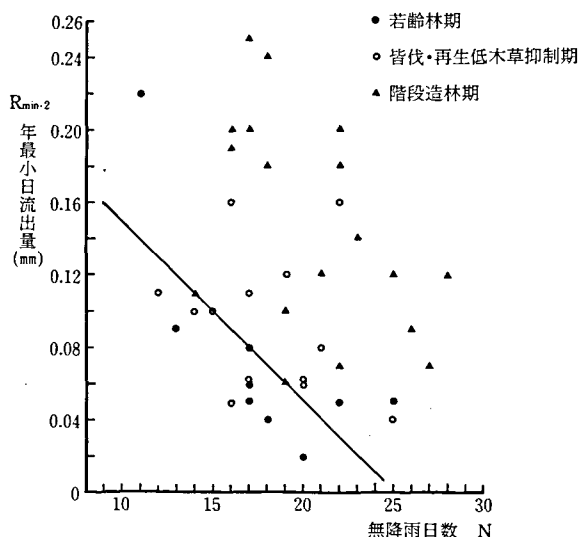
いずれも必ずしも十分に高度な相関関係とはいえないが、いちおうの関係はある。そして注目されることは皆伐・再生低木草抑制期には若齢林期より直線の勾配が急となり、大きな雨量のときは同雨量でも若齢林期に比べて流出量が多少とも大きくなる傾向があること、逆に階段造林期には前同様の勾配は緩となり、同じく流出量は多少とも小さくなる傾向があるということである。

つぎに、年最小日流出量の生起の有力誘因となったと考えられる先行降雨条件について検討した。すなわちこの条件について前述の3期間区分が対応しているかどうかを調べた。

なおここで各年の最小日流出量の生起月は5月中旬(1952年)、10下旬(1977年)の2例を除いて他はすべて6～9月の暖候期である。

いずれの年最小日流出量も小さい日降水量のあと何日かの無降雨日が継続した後に生起している。そこでこの先行無降雨日数、無降雨期直前の先行日雨量の大小、先行10日間の雨量の大小、先行30日間の無降雨日数及び先行30日間の雨量の大小を検討した。もちろんこれらの条件に加えて先行蒸発散関連の気象条件も吟味することが望ましいが資料の関係でできなかった。この点検討は十分とはいえない。

まず、先行無降雨日数、先行日雨量、先行10日間雨量についてはこれらが各期にほぼ同じ場合にも最小日流出量は後の2期に大きいものが多いことがみられた。しかしばらつきが大



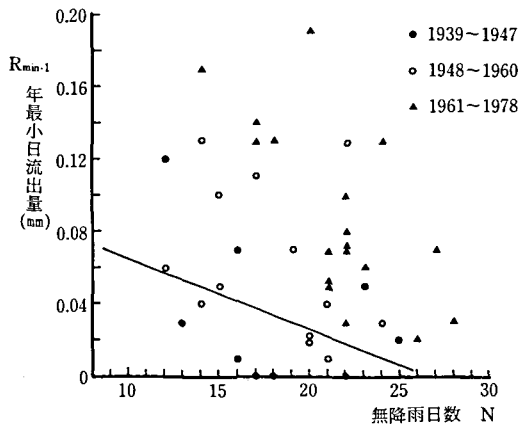
図一七 釜淵2号沢、年最小日流出量と先行30日間の無降雨日数との関係



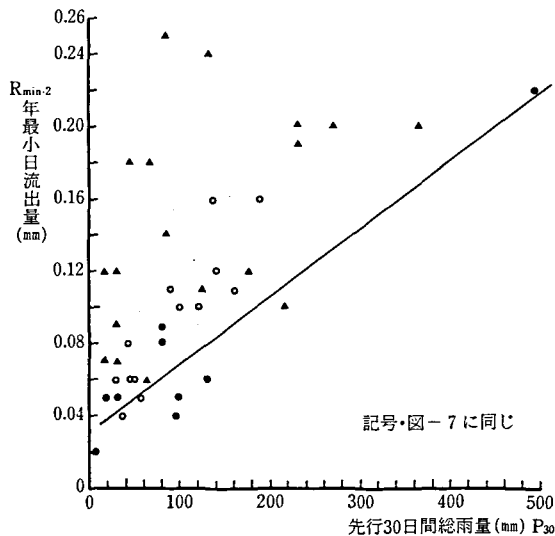
きく関係は単純ではない。ここに図示は省略する。

これに対して、先行30日間の無降雨日数については、まずその範囲をみると、前記各期の順に11~25日、12~25日、14~28日で各期に特異性はない、しいて言えば後の期間の方が長いものが多い。さらに同様にして先行30日間の総雨量の範囲をみると、やはり順に7~491mm、30~188mm、17~364mmで、これも各期に特異性は認められない。しかも次のような関係がみられた。先行30日間の無降雨日数(N)と年最小日流出量(R<sub>min・2</sub>)の関係を見ると図一7のとおりで、若齢林期には次式で表わせるような直線関係がみられる。

$$R_{\min \cdot 2} = 0.24 - 0.0099 N \quad (\text{相関係数} -0.720)$$



図一8 釜淵1号沢、年最小日流出量と先行30日間の無降雨日数との関係



図一9 釜淵2号沢、年最小日流出量と先行30日間総雨量との関係

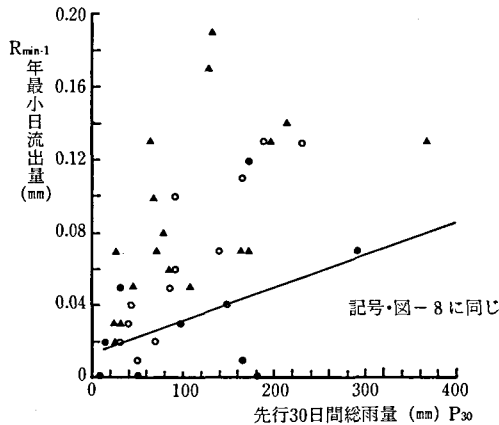


図-10 釜淵1号沢、年最小日流出量と先行30日間総雨量との関係

これを図中に実線で示すと、後の2期間では同じ無降雨日数でも若齢林期のそれより大きいものがほとんどであることがわかる。

そしてこの際1号沢の年最小日流出量 (Rmin·1) についても、比較のため2号沢にあわせた各期を区分して同様の検討を行った (図-8)。結果は2号沢のそれと同様であった。なお図中の実線は次式で表わせる。

$$R_{min\cdot 1} = 0.10 - 0.0039 N \quad (\text{相関係数} -0.440)$$

また、同様にして先行30日間の総雨量 (P<sub>30</sub>) との関係を見ると、図-9のとおりで、ほとんどの点が次式を示す実線の上部領域に分布し、同じ先行雨量でも年最小日流出量は後の2期間でほとんど大きくなっていることを示す。

$$R_{min\cdot 2} = 0.30 + 0.00037 P_{30} \quad (\text{相関係数} 0.945)$$

1号沢の年最小日流出量 (Rmin·1) についても前同様に検討を行ったが結果は2号沢のそれと同様であった (図-10)。図中の実線は次式で表わせる。

$$R_{min\cdot 1} = 0.013 + 0.00018 P_{30} \quad (\text{相関係数} 0.438)$$

以上から年最小日流出量がこれらで示される先行降水条件で第一義的に支配されるが同時に地被条件によっても影響されることがわかる。

前述のとおり、伐採ほか再生植生の抑制や階段工施工が蒸発散を低減することは容易に推定されるが、このことは同じ資料を用いて数量的に証明されている。すなわち図-11は短期水収支法により求められた月蒸発散量の経年変化を示す<sup>8)</sup>。

この図から1939~1946年の若齢林期間の平均月蒸発散量に比

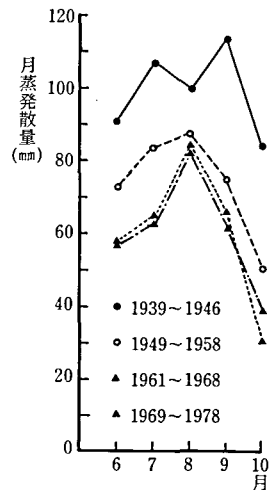


図-11 釜淵2号沢、月蒸発散量の経年変化

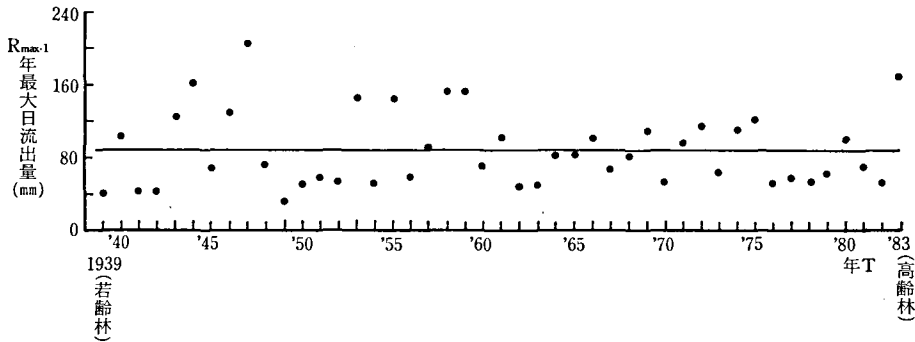


図-12 釜淵1号沢，年最大日流出量の経年傾向

べて皆伐・再生低木草抑制後のそれはかなり減少しており，ついで階段造林期のそれはさらに減少したことが示されている。なおこの検討では1947，1948，1959，1960の各年は伐採，施工中の年で除かれている。ともかくこの結果は皆伐・伐跡地の再生低木草の抑制，階段造林等による年最小日流出量の増加を裏づけている。

さて，以上から林地の荒しを避けた慎重な森林伐採や階段造林は主として蒸発散量の低減による最小日流出量の増加に，直接流出量の格別の増大が起こらないか，もしくは流出時間延長効果が加わって流出の平準化が進むことが認められたが，一方さきに当2号沢の基準流域1号沢の資料により同様な若齢林の壮・高齢化に伴ってやはり蒸発散量の減少による年最小日流出量の増加と年最大日流出量の多少の減少と安定化によって同様に比の減少と安定化があり，この意味での長期流出の平準化が進んだことを報告した<sup>3,4,5)</sup>。

そこで，1号沢の結果と対比して2号沢の平準化の程度を検討してみることにする。

まず，図-3に図-12<sup>3,4,5)</sup>を対比してみると，両流域の年最大日流出量の経年傾向は大勢としては非常に類似している。ただし資料は2号沢1939～1978年，1号沢1939～1983年である。隣接する両流域の降水条件はほとんど同じであり，生起日時も同じであるから当然のことといえよう。しかし，年をおって各年の値を個々に対比してみると，細かくは差があることが認められる。これらの違いが流域条件の基本的なそれと植被等の経年変化の違いによるそれと考えられる。

ともかく年最大日流出量は当然大雨時の流出であり，したがって降雨条件に支配されることが格別大きいため地表条件の変化の影響は相対的に小さいことが知られる。しいていえば2号沢でも階段工施工後ばらつきが少なく安定化傾向がみられるが，1号沢で高齢の優良林に成長した時期はばらつきがより少なく安定化程度が比較して高いようにみられる。そして長期傾向として直線関係にあるとすると次式で示され，わずかながら下降傾向がうかがえる。

$$R_{\max-1} = 90.10 - 0.075 T$$

つぎに，図-4と図-13<sup>3,4,5)</sup>を対比してみると，前同様両流域の年最小日流出量の経年傾向は大勢として類似してみえる。この場合も隣接する両流域で前同様年最小日流出量の生起日，降水条件がほとんど同様であるから大勢が類似するのは当然である。しかし，やはり年をおって詳細にみると，かなり明瞭な差がある。1号沢ではばらつきは大きい全体として

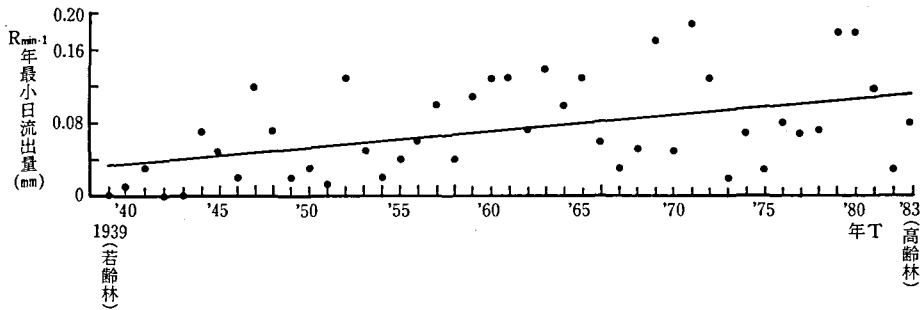


図-13 釜淵1号沢, 年最小日流出量の経年傾向

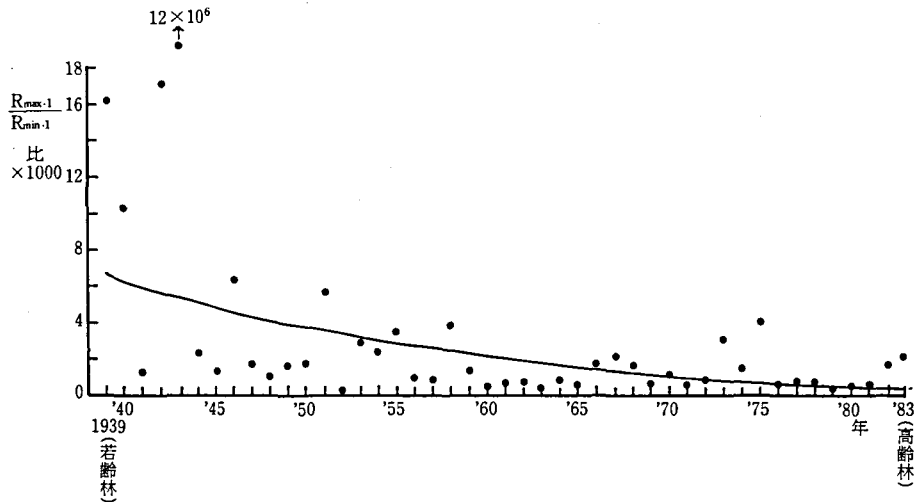


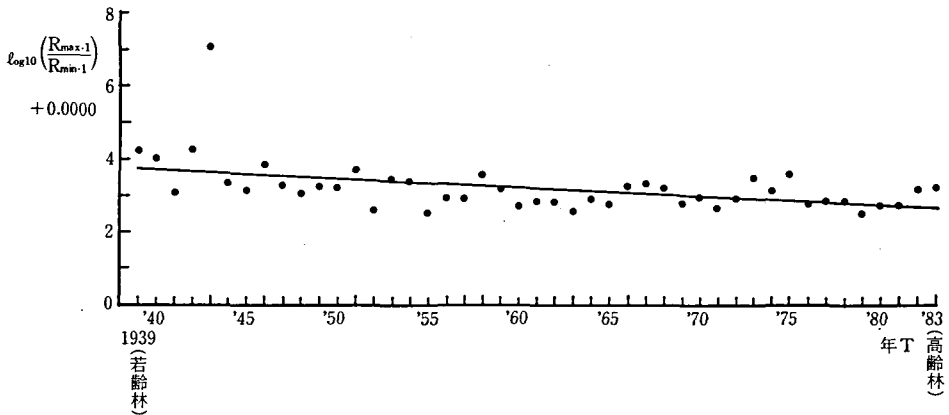
図-14 釜淵1号沢, 年最大日流出量と年最小日流出量の比の経年傾向

一貫した上昇長期傾向(次式, 係数0.00184の検定によれば傾向の信頼度99%)が認められるのに対して, 2号沢では前述のように3期間の区分がみられる。この違いが地被条件の変化の影響とみれよう。

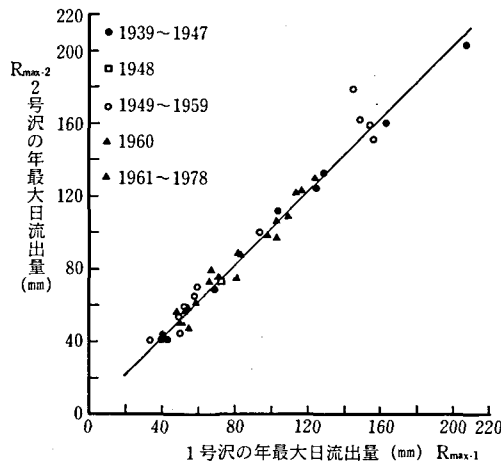
$$R_{min-1} = 0.0314 + 0.00184 T$$

さらに, 図-5と図-14<sup>3,4,5)</sup>を対比すると, 年最大日流出量と年最小日流出量の経年傾向に大勢として類似したものがあるから当然両流域についての比の経年傾向も大勢として類似したものがある。しかし, 詳細にみると, 図-5では1960年を境として比較的画然と後の期間の値がすべて小さくなっているのに対して, 図-14では全体として漸移的に小さくなっている点に違いが認められる。

ところで1号沢の比の減少傾向をその対数で検討すると, 図-15に示すとおり下降傾向が認められる。図中の実線は次式で表わされ, 係数0.02465の検定によればこの下降傾向の信頼度は99%である。



図一15 釜淵1号沢，年最大日流出量と年最小日流出量の比( $\log_{10}(R_{\max}\cdot 1/R_{\min}\cdot 1)$ )の経年傾向



図一16 釜淵1号沢・2号沢の年最大日流出量の関係

$$\log_{10}(R_{\max}\cdot 1/R_{\min}\cdot 1) = 3.8299 - 0.02465 T$$

また、ともに後年にばらつきが少なくなり、安定化する傾向を示すが、相対的に1号沢のそれの方が程度が高い点が指摘できよう。

以上で、年最大・最小日流出量及び両者の比の経年傾向の両沢の違いがいちおう認められるが、さらにこれらの値の各年の対比関係及び積算値の経年傾向の対比によって検討してみる。

図一16は両沢の年最大日流出量の各年対比である。この図で両沢とも若齢林であった期間1939～1947年の両者間には直線関係が認められるとすると、つぎの回帰式で表わされる。

$$R_{\max}\cdot 2 = 0.9861 R_{\max}\cdot 1 + 2.9294 \quad (\text{相関係数} 0.998)$$

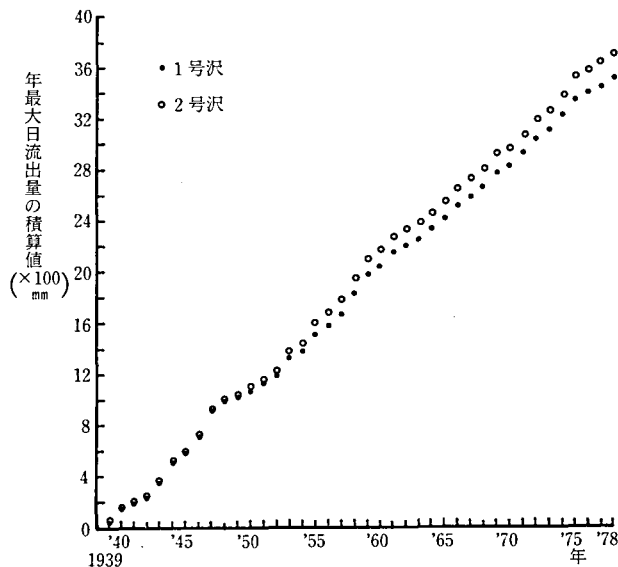
図一16で若齢林期間以降もおおよそ両者のこの関係は変わっていないようにみられる。しかし、詳細にみると、この期間以降すなわち2号沢の皆伐・再生低木草抑制期及び階段造林期の各点のほとんどは実線の上側領域に分布している。上式により皆伐等が行われなかったとした場合の期待値を計算し、実測値と比較したところ1948～1978年の31箇年中25箇年まで実測値が期待値より大きいこととなった。このことはいちおう若齢林の伐採・除去による流出量の増加傾向を示したものといえよう。皆伐・再生低木草抑制期はもちろん階段工施工によるスギの植栽とその成長後も同様の傾向となっているのは、前述のように流域の25%地域が低木草状態であり、崩壊跡裸地であるためと推定される。

一方、皆伐による年最大日流出量の増加量が必ずしも大きくないことは、前述のとおり伐出が冬季積雪上で行われ、地表の攪乱・圧密による浸透能の劣化や水みち生起がほとんど無かったこと等によるものと推定される。

このことを経年的にみるため、さらに図一17で両沢の年最大日流出量の積算曲線を対比してみる。この図で1948年ごろまでは2号沢のそれがわずかに大きいが大差はない。しかし、その後はしだいに分離して2号沢の線が上位領域にのびている。このことは1号沢が森林にいったいの人為が加えられていないため多少とも大流出量の低減に寄与した一方で2号沢の森林除去が大流出量の増大に働いたことを示しているといえよう。

しかし、積算曲線の階段状の勾配変化の状態はほとんどが両沢について類似しており、これは降水条件に基づくものと考えられ、これらが皆伐・下刈り・火入れ・階段工施工・崩壊発生・植栽スギの成長等個々の地被変化に対応するものかどうかは簡単に明らかにできない。こんご吟味方法を考える必要がある。

とにかく、以上は従来一般的にいわれているとおり、とくに森林除去が大雨時の流出量を増加することは示しているといえよう。



図一17 釜淵1号沢・2号沢の年最大日流出量の積算値の経年傾向

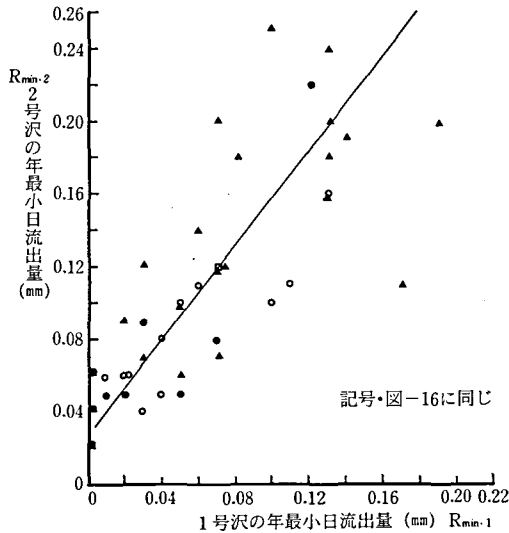


図-18 釜淵1号沢・2号沢の年最小日流出量の関係

前同様にして、つぎに両沢の年最小日流出量の各年対比をみると図-18のとおりである。年最大日流出量の場合に比べて両者の関係はばらつきが大きく、単純ではない。このことは高水流出よりも低水流出の方が流域条件の変化に敏感に反応することを示唆している。しかし、若齢林期の両者間には直線関係が認められるとすると、つぎの回帰式で表わされる。

$$R_{min-2} = 1.287 R_{min-1} + 0.02968 \quad (\text{相関係数} 0.879)$$

図-18によると、若齢林期以降も両者の関係は全体として変わっていないようにみえる。すなわち皆伐・再生低木草抑制期には実線の下部領域にかなり離れた点が半数で、他の半数は上部領域にあるもの実線をわずかに離れるのみである。これに対して階段工施工後は3分の2はほぼ実線上もしくはその上部領域にあり、3分の1が下部領域にある。

これらのことは前述のように1号沢ではばらつきは大きいと全体として年最小日流出量の増加する長期傾向にあることとの相対関係からみて、2号沢も同様にばらつきはあり、かつ直線的ではないが増加の傾向にあるためと考えられる。しかし、上式により皆伐後の期間について皆伐等が行われなかったとした場合の年最小日流出量の期待値を計算し、実測値との差も求めて参考とし、詳細にみると、皆伐・再生低木草抑制期には1号沢の年最小日流出量の増加と2号沢のそれとの差が小さいため実線を境に上部・下部両領域に半々に点が分布することとなった。しかし、しいていえば2号沢のその増よりも1号沢のその増の大きいものがあり、これらが他の半分より実線を比較的大きく離れて分布していると考えられる。これに対して階段工施工以後は1号沢の増加よりも2号沢の増加の方がより大きい年が多数のため、3分の2は上部領域に分布しているとみられる。

以上から皆伐による年最小日流出量の増加は若齢林の壮・高齢化によるそれと大差がないか、あるいは小さいが、階段工施工・崩壊地発生による植被消失及びなだれ常襲による低木

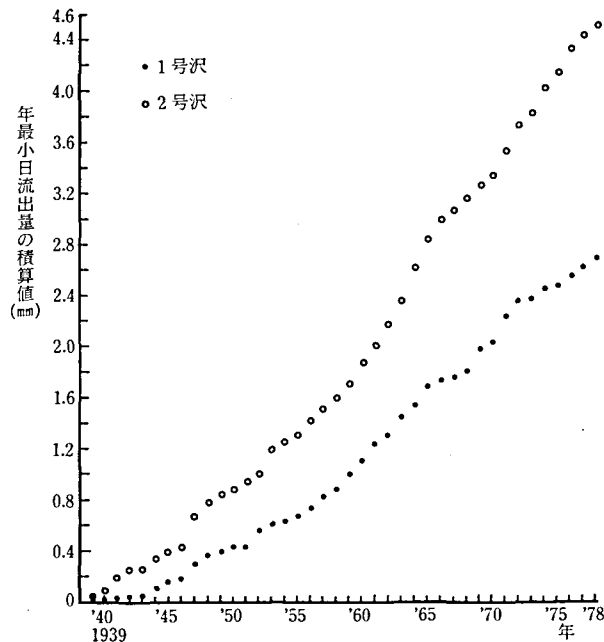


図-19 釜淵1号沢・2号沢の年最小日流出量の積算値の経年傾向

草地の発生による年最小日流出量の増加は若齢林の壮・高齢化によるそれよりも大きいかも知れないことと推量される。

以上を経年的にみるため、年最大日流出量の場合と同様、両沢の年最小日流出量の積算曲線を対比してみると図-19のとおりである。この図で1946年まではほぼ同様な若齢林であるが、2号沢の年最小日流出量が1号沢のそれより大きい。このことは前述のように1号沢と異なり2号沢には主沢沿いに厚い崩積土体があることを主として基本的に流域の保水条件が良好なことにありと推定される。

さて、1号沢は1943年まで緩勾配であるが1944年で勾配が急となり、その後細かくみれば1947年等に変化があるが、1958年ごろまではほぼ同一勾配で経過し、1959年さらに急となって1965年に至り、ついで1966年から1972年の間は多少緩となり、1973年以降はさらに緩となって経過している。これに対して、2号沢のそれをみると、1946年まで同一緩勾配で経過しているが1947年に大きな変化がみられる。これはたまたま年降水量の格別に大きい年であったため、その生起日は前述のとおり8月中であり、同年12月に行われた伐採には関係がない。このことを差し引いて考えると、皆伐・再生低木草の抑制に符合する明らかな変化はなく、1959年ごろまで1号沢の曲線と大勢として平行状態にあるとみられる。しかし、1961年以降では1号沢のそれと異なり、1965年ごろまではほぼ同一勾配で急となり、その後は1号沢とはほぼ平行状態の緩勾配で1971年ごろから再び1号沢と異なり急勾配となっている。ここで勾配変化点となった1960年は階段工施工、1964年は崩壊発生、1970年は切盛階段工追加施工の年であり、これらが年最小日流出量の変化に符合しているようにみられる。

以上から皆伐・再生低木草の抑制による年最小日流出量の変化は若齢林の林齢増及び落葉



広葉樹増加による林況の変化に伴う<sup>3,4,5)</sup>それとの差が小さいが、植被を除いて裸地面をつくる階段工施工や崩壊等による変化は差が大きいものと推察される。

なお2号沢の年流出量(年流出率)には増加の長期傾向が認められた。このことは1号沢の場合<sup>3,4,5)</sup>と同様であった。ただし図示は省略する。

さて、川口からは別途同じ資料により1号沢における森林成長が流出に及ぼす影響を検討しており<sup>9,10)</sup>、以下に述べるそれらの結果は上述の結果と符合するものであった。

すなわち、まず前年期(1939~1945年)と後年期(1976~1982年)の各年の無雪期間の総雨量と総流出量の平均を比較し、両期の平均総消失量(総雨量-総流出量)はそれぞれ542mm, 453mmで、その差89mm(95%水準で有意)で、後年期に消失量が少なくなったと報告している。また、このことを裏書きすることとして50mm以上の一連続降雨による流出量(降雨終了後の基底流出量の推定量を含む)は流域の初期乾湿条件によって量的に違いがあるが、たとえば200mm程度の雨量のときは30~40mmのオーダーでいずれも後年期に大となったと報告している。さらに、6~9月の無降雨期間の日流出量の減衰傾向を調べ、後年期に緩慢になり、かつ当該減衰期間の総流出量が大きであったと報告している。また、前年期(1939~1948年);後年期(1975~1984年)として、その日雨量・日流出量の資料を用い、無雪期間(5月1日~10月30日, 184日間)の日流出量による流況曲線で大きさの順に豊水(70日間), 平水(45日間), 低水(43日間), 渇水(26日間)の各流出量を区分し、各年のこれらと総雨量との関係を調べたところ、いずれも高度に有意な直線関係が認められ、その結果、無雪期間の総流出量、豊水・平水・低水・渇水の各流出量のいずれも前年期のそれらに比べて後年期のそれらが大きであったこと、とくに渇水・低水・平水流出量にこのことが明瞭であったことを示した。

つぎに、両沢における流出平準化の理由について考えてみる。

森林生態学の教えるところによれば、たとえば人工林の葉量は一般に新植稚樹の時期からうっ閉するまでの期間は急速に増加し、うっ閉直後に最大量になるが、その後減少しはじめ、高齢化とともにさらに漸減するか、あるいはほぼ一定量を保つといった傾向があるとされている<sup>11)</sup>。1号沢の水文観測開始当初の森林は、その環境条件から必ずしもはやい成長を望めない当地での30年前後の林齢を考えるとうっ閉後間もない段階にあったと推定され、上記の一般論からその後葉量は漸減していったことが考えられる。さらに対象期間中漸次落葉広葉樹の占有率が増加している<sup>3,4,5)</sup>、季節的に春・秋期の林分葉量の減少がかさなったことが考えられる。このことは当然蒸散量及び遮断量の減少につながったと考えられ、鈴木による検討<sup>9)</sup>はこれを裏書きしている。すなわち後年期ほど暖候期間全体としての蒸発散量が減少しており、かつ季節別にみると6月に差が大きいことが上記林況変化に符合するように考えられる。

以上1号沢の傾向に対して2号沢でも図-11にみられるように、さらに暖候期間全体としての減少量が大きく、かつ6月のそれが階段工施工以後に大きいことが注目される。

一方、既往の研究によると、根系はその率に変化はあっても林齢とともに着実に増加することが知られている<sup>11)</sup>。そして根の成長に伴い、根冠・根毛・表皮・外皮・内皮等各組織の古い部分の枯死が常にあり、また地上部の枯死等による全根系の枯死、病虫害・風ゆれ切断等による一部根系の枯死が常に伴うが、これらの枯死遺体は土中に必ず残る。これらの

事実が土層の浸透・保水性の改善に累積寄与することはほぼ間違いない。また、前述のように葉量が林齢とともに減少して、その林地への供給の率は低減するが累積量の増加は間違いない。そこで、根系・落葉枝等に基づく土層の浸透性・保水性の改善は林齢とともに着実に進むことは一般的に間違いないといえよう。そしてこのことは1号沢に当然該当するものとみてよからう。

以上から1号沢では林齢の高齢化に伴い、蒸発散量が減少する一方で土層の浸透性は確に改善されていったものと考えられ、このことが1号沢における流出の平準化とその安定化をもたらしたものと考えられる。

これに対して2号沢の場合はまずうっ閉直後で最も葉量が多く、蒸発散損失量が多かったと考えられる若齢林の皆伐・除去、つづいて後生樹草の徹底した抑制、さらに部分的ながら階段工施工、崩壊による植被の完全除去やなだれ常襲による植被の抑制等により、1号沢の葉量遞減等による以上の程度で蒸発散量の低減がもたらされたものと考えられる。

一方、階段工の流出に対する効果については施工前5箇年(1956~1960年)、施工後4箇年(1961~1964年)のきわめて多数の一降雨ごと流出について基準流域法により検討し、直接流出量の変化は明瞭ではないがそのピーク流量は明らかに低下したことが報告されている<sup>9)</sup>。このことはプロット試験ではあるが、階段工類似の筋工・わら積苗工の施工によって強雨時のピーク流量がきわめて顕著に低減されたという試験結果<sup>7)</sup>でも裏付けられよう。このピーク流量の低減は流出量の減少ではなく、主として流出の拡散と流出距離の延長によるものと現地観察その他で認められている<sup>9)</sup>。

このような階段工の効果とは逆に一般に森林の伐採がピーク流量の増大をもたらすことは既往の多くの研究で認められており<sup>12,13)</sup>、ここに多言を要しまい。

以上、多雪地帯の小流域でうっ閉数年後の若齢針広混交林が皆伐され、伐跡地の後生樹草が下刈り・火入れによって11年間にわたり抑制され、その後切取階段工が施工され、スギ造林が行われたとき、これらの経年的事実に符合して年最大日流出量と年最小日流出量の比の大きさとばらつきが段階的に若齢林期・皆伐再生低木草抑制期・階段造林期の順により顕著に低減し、流出の平準化が起こった。

その直接の理由は比の分子数である年最大日流出量の階段工施工後の多少の低減と分母数である年最小日流出量の明らかな増加にあった。そしてこのような年最小日流出量の増加は降水条件によるものではなく森林植生除去による蒸発散量の減少によると認められ、年最大日流出量の低減は主として地表流出の緩和にあると推定される。

一方、さきに報告したとおり、この流域に隣接した小流域ではほぼ同様な森林が同じ期間にわたってまったく人為を加えられることなく成長をつづけ壮・高齢化へと林齢をかさねていき、あわせて落葉広葉樹の占有率が逐年増加していったとき、この林況の経年的漸変に符合して上記の比の大きさとばらつきが漸減し、後年明らかに小さな値で安定化することが認められた。

その直接の理由は分子数である年最大日流出量のわずかの漸減傾向もうかがえたが主として分母数である年最小日流出量の明らかな増加にあった。そして年最小日流出量の増加は降水条件によるものではなく高齢林化による葉量の減少と落葉広葉樹の増加による蒸発散量の減少傾向によると認められた。しかし年最大日流出量の多少の減少傾向については高齢林化

による土層の浸透・保水性の累積改善によると推定されるがここでは実証できない。

以上からこの両流域ではともに主として蒸発散量の低減によって当該年最大日流出量と年最小日流出量の比を指標とする流出の長期的平準化がおこなわれたことが示された。すなわちこのような流出平準化に関して森林除去も高齢化もいちおう同じ立場にあることとなる。しかしこの両者の比に対する地被状態変化の影響は詳細にみると注目すべき点がある。

まず、2号沢の皆伐等森林植被の抑制に伴う平準化は基本的な流域条件の違いを考慮に入れても森林の高齢化に伴うそれに比較すれば水準はきわめて低く、かつ安定度に劣るとみられる。その理由は比の分母である年最小日流出量の増加水準はあまり高くなく、しかも分子である年最大日流出量に増加傾向があり、かつ不安定度が大だからである。

しかし、さらに階段工を施工したときは平準化の水準は格段に高くなった。しかしなお高齢化に伴うそれに比べて水準は低く、安定度で劣る。

なおここで対象とした期間の最終年以降、年最大・最小日流出量がどのように変化するかに関心がもたられる。とくに2号沢のスギ林がうっ閉し、林齢をかさねる過程、また1号沢の森林が高齢から老齢に至る過程での比の変化が注目されよう。

また、まったく自然に放置された高齢林化でなく、たとえば除・間伐等適宜の保育を伴うその検討もこんごに必要な課題であろう。

## おわりに

小流域における森林の伐採と伐跡地の後生樹草の抑制が年最大日流出量と年最小日流出量の比であらわす年間流出の平準化をもたらすことが事例的に示された。しかし森林の高齢化に伴うそれらに比べて水準は低く安定度が劣るとみられた。それは年最小日流出量の増加量が小さく、年最大日流出量に増加傾向が不可避だからである。しかし、さらについて階段工が施工されたとき平準化は進んだ。年最小日流出量の増加が進み、かつ年最大日流出量の低減が起こったためである。ただし、なおその安定度は高齢化のそれに劣るとみられた。

結局流出の平準化は森林植生の除去によっても、また高齢化によっても同じく蒸発散量の減少を主因として進んだが、前者では同時に強雨時の直接流出増大の可能性があり、後者には逆にその減少の可能性があるため、水準と安定度に差を生ずることとなった。

また既往知識によれば森林の伐採には一般にその山崩、地表侵食防止機能の低下が考えられ、もちろん森林のその他の諸機能についても各種の問題が伴い勝ちであり、そこで林業にとって絶対である伐採にあたってはこれらの点に十分留意することが必要となり、すでに小面積・分散皆伐、複層林施業等々多くの対策が実行され、あるいは試みられていることにここで多言は要しまい。階段工施工による平準化のこともその一つの参考となろう。ともかくこれらに十分に注意すれば、たとえば寡雨地帯等で水供給上での伐採の意義が認められることとなろう。

なお、この検討から伐採跡地の新植もしくは天然更新後うっ閉林成立までの20~30年間は平準化が劣化することは不可避であることが知られ、林齢水準の上昇と小面積皆伐の意義が強化されよう。

以上を総合勘案するとき、森林の高齢林化は水保全の面でも、国土保全・林業経済その他

多くの側面からのそれらと同様利点のあることが示されたこととなる。

なお、自然のままに放置された高齢化ではなく、適切な除・間伐等保育を伴ったときの平準化、また高齢化が進んで老齢化したときのその変化についてはこんごの研究にまつほかなく、この点でここにとりあげさせてもらった釜淵森林理水試験地での継続研究が望まれる。

## 引用文献

- 1) 農林省林業試験場：森林理水試験地観測報告（日降水量・日流出量）農林省林業試験場 pp. 225 1961
- 2) 東北支場山形試験地：釜淵森林理水試験地観測報告1・2号沢試験流域（1959年1月～1978年12月）林業試験場研究報告第311号 pp. 129～188 1980
- 3) 中野秀章・山村烈也・川口利次：森林が長期に保存された小流域の流況変化 第33回日本林学会中部支部講演集 pp. 217～220 1985
- 4) 中野秀章・山村烈也・川口利次：針広混交林が長期に保存された小流域の流況の長期傾向 昭和59年度科学研究費補助金（特定研究）研究成果報告書 pp. 29～34 1985
- 5) 中野秀章：森林の成長と溪流々況の長期傾向との関係 昭和60年度科学研究費補助金（特定研究）研究成果報告書 pp. 83～92 1986
- 6) 小野茂夫・川口利次：釜淵森林理水試験第3回報告 山腹切取階段工の理水機能 林業試験場研究報告第198号 pp. 171～184 1967
- 7) 小林忠一：はげ山における各種治山工の水保全効果 林業試験場研究報告 第300号 pp. 151～185 1978
- 8) 鈴木雅一：短期水収支法による森林流域からの蒸発散量推定 日本林学会誌 67（4）pp. 115～125 1985
- 9) 川口利次・小野茂夫：釜淵森林理水試験地1号沢における森林成長が流出に及ぼす影響 昭和57年度林業試験場東北支場研究発表会記録 支場年報 No. 24 pp. 106～113 1983
- 10) 川口利次・小野茂夫：森林成長が無雪期間の各種流量及ぼす影響 日本林学会東北支部会誌 No. 37 pp. 321～323 1985
- 11) 佐藤敬二教授退官記念事業会編：新造林学—造林の理論と実際 地球出版 pp. 466 1971
- 12) 中野秀章：森林伐採及び伐跡地の植被変化が流出に及ぼす影響 林業試験場研究報告 第240号 pp. 1～251 1971
- 13) 川口利次・小野茂夫：釜淵森林理水試験地3号沢の森林皆伐及び再植林がピーク流量に及ぼす影響 日本林学会東北支部会誌 No. 37 pp. 324～326 1985

## Long-term Trends in Stream Regime consequent upon the Forest Cutting and Terracing

By Hidenori NAKANO and Retsuya YAMAMURA

Laboratory of Soil Conservation Engineering, Fac. Agric., Shinshu Univ.

### Summary

According to the past forest hydrologic studies, the functions of forest on streamflow are to level off streamflow with somewhat decreases in total amount of flow. It is the purpose of this paper to make clear the relationships between leveling in stream regime and clear cutting, terrace planting and advancement of forest age using the ratio of annual maximum daily runoff to annual minimum daily runoff as a index on stream regime following the coefficient of river regime, with hydrologic data over 40 to 45 years observed at two experimental watersheds, namely Kamabuchi No. 1 and No. 2 watersheds at Yamagata Experiment Site, the National Forestry and Forest Products Research Institute.

Now, on the No. 1 watershed (3.06 ha), about 30 years old mixed forest of coniferous and broad leaved species had grown continuously over 45 years, with absolutely nothing done by human works. In the period, the volume of stand increased from about 60 m<sup>3</sup> per hectare to about 320 m<sup>3</sup> per hectare and the structural ratio of deciduous broad leaved tree had risen higher than that of evergreen coniferous trees.

And, on the No. 2 watershed (2.48 ha), the same mixed forest had been cut clearly 9 years later, after that the regrowth on the cut-over area had been controlled by weeding and burning over 11 years, furthermore 21 years later the terracing had been cut in order to prevent snowslide and evergreen coniferous trees were planted on the terracing.

With the changes in surface vegetative cover as aforesaid, the ratio for No. 1 watershed decreased in each value and the amount of scatter of them with year elapsed, namely advanced the leveling in stream regime. This tendency was caused by decreasing trend of annual maximum daily runoff and, on the contrary, increasing trend in annual minimum daily runoff.

And then, it has been definitely shown by separate studies that evapotranspiration over same period annually decreased and the condition of precipitation bore no relation to the long-term trend of the ratio.

Next, the ratio for No. 2 watershed also decreased in each value and the amount of scatter of them by stages coinciding with young-aged forest period, clear-cutting-weeding-burning period and terrace planting period and namely leveling in stream regime advanced by stages. This tendency was caused by the increase of annual

minimum daily runoff by stages with the removal of vegetative cover and the decrease of annual maximum daily runoff after terracing. As aforesaid, it was cleared that the annual evapotranspiration decreased by stages coinciding with the changes in vegetative cover and the condition of precipitation had nothing to do with the ratio's trend.

The decrease in the ratio, namely the leveling in streamflow was brought with both the removal of forest vegetation and the advancement of forest age. Forest cutting has, however, the possibility for increase of direct runoff at the time of heavy rain and, what is worse, the amount of decrease in evapotranspiration was not so much.

In consequence, the leveling in streamflow will be made more progress with advancement of forest age that, at the same time, will probably improve the infiltration and water holding capacities in forest land.

It has been known that high-aged forest is very important for water conservation as well as for the national land conservation, forest management and so on, besides, that forest cutting in little-rain area is significant from the viewpoint on water supply, if the methods of logging are carefully selected.