

高海拔流域における森林伐採と
暖候期間の流出量変化 第2報

—宝川試験地の初沢流域, 初沢2号沢および
初沢3号沢流域について—

〔宝川森林治水試験第5回報告〕

吉 野 昭 一⁽¹⁾・菊 谷 昭 雄⁽²⁾

Shoichi YOSHINO and Akio KIKUYA: Effect of Removal of Forest Vegetation
on Streamflow for the Warm Season in High-Elevation Watershed (II)

—The SHOZAWA Basin, SHOZAWA Sub-basin II and SHOZAWA Sub-basin III
in the TAKARAGAWA Experimental Watershed—

[Experiment on Forest Influence upon Streamflow in TAKARAGAWA. The 5th Report]

要 旨：宝川試験地の初沢流域, 初沢2号沢流域および初沢3号沢流域の3流域について, 択伐や皆伐の森林処理が暖候期間の流出量変化に及ぼす影響を統計的に解析した。解析には, 初沢流域では1938年から1978年までの, 初沢2号沢および3号沢流域では, 1957年から1981年までの資料を用いた。

初沢流域では, プナを主とする針広混交の森林を材積で50%択伐した場合に, 択伐期間の平均降水量を用いて8月から10月までの暖候期間の流出量を計算すると, 択伐しなかった場合の平均期待流出量に比較して, 16.6 mm, 8.2%増加することがわかった。さらに, 同流域で森林を皆伐すると, 暖候期間の流出量は, 森林を皆伐しなかった場合の平均期待流出量に比較して, 41.8 mm, 22.3%増加することがわかった。初沢2号沢, 3号沢流域は, 試験開始前にすでに材積で50%択伐した流域である。2号沢では, 約10年後にさらに残存立木を材積で60%択伐した場合, また, 皆伐した場合について, 50%択伐期間と比較した。その結果, 7月から10月までの暖候期間の流出量には変化が認められなかった。3号沢流域でも, 約10年後にさらに残存立木を材積で30%択伐した場合について, 50%択伐期間と比較した結果, 同じ暖候期間の流出量には変化が認められなかった。

目 次

1. ま え が き	38
2. 流域の概要	39
2-1. 初 沢 流 域	39
2-2. 初沢2号沢および3号沢流域	39
3. 林 況 の 変 遷	41
3-1. 初 沢 流 域	41
3-2. 初沢2号沢および3号沢流域	42
4. 試験結果および考察	44
4-1. 初 沢 流 域	44

(1) Double-mass curve による流出量変化の検出	45
(2) 無処理期間の回帰式による流出量変化の検出	46
(3) 回帰線の比較による流出量変化の検出	48
4-2. 初沢 2 号沢および 3 号沢流域	51
(1) Double-mass curve による流出量変化の検出	51
(2) 50% 択伐期間の回帰式による流出量変化の検出	52
(3) 回帰線の比較による流出量変化の検出	56
5. 要 約	57
引 用 文 献	58
Summary	60
Appendix-Table	62

1. ま え が き

宝川試験地の初沢流域および初沢流域内の左岸に設置された三つの小試験流域のうちの初沢 2 号沢と 3 号沢流域について、森林伐採による流出量変化を解析した。

この 3 流域については、武田²⁾³⁾、永見ら⁵⁾、中野⁶⁾、真島ら^{8)~11)}、吉野¹³⁾などの報告がある。

永見らの報告は、初沢流域の 1938 年から 1960 年までの資料を用いて、天然林（無処理）期間と材積で 50% 択伐した場合に、8 月から 10 月までの暖候期間の流出量について検討したものであった。その結果、択伐した場合、天然林期間より暖候期間の流出量が約 30 mm 増加したことを認め、これは約 13% の増加率に相当すると報告した。また、中野は初沢流域の年流出量、年流出率を解析して、50% 択伐後に流出量が増加したことを報告している。武田、真島ら、吉野などの報告では、主に初沢流域の増水量や増水ピーク流量の解析およびピーク流量の到達時間が解析された。

初沢流域は 1961 年から 1963 年にわたって、一部を除いて全流域が皆伐され、その後、20 年が経過した。この皆伐による流出量の解析は本報告が最初のものである。この報告は、初沢流域における試験開始から択伐期間も含め、森林を皆伐すると、8 月から 10 月までの暖候期間の流出量にどのような変化が生ずるかを、検討したものである。

一方、初沢 2 号沢と 3 号沢流域は 1 号沢流域とともに、1957 年に初沢流域内の左岸の一部に設置された。1 号沢では初沢全流域で行われた 50% 択伐後から現在まで森林伐採は行われず、2 号沢と 3 号沢が処理流域として計画された。2 号沢では 50% 択伐後、約 10 年間は森林伐採は行われなかったが、1963 年から 1964 年にかけて、材積で 60% の択伐が行われた。したがって、原生林の時期に比較すれば、森林はすでに材積で約 80% が伐採されたことになる。2 号沢はその後、1972 年に皆伐された。3 号沢は 50% 択伐後、1962 年から 1963 年にかけて、材積で 30% の択伐が行われた。したがって、3 号沢でも、原生林の時期に比較すれば、森林は材積で約 65% が伐採されたことになる。

この報告では、2 号沢流域については、50% 択伐期間、80% 択伐期間、皆伐期間の 3 期間について、また、3 号沢流域では 50% 択伐期間と 65% 択伐期間の 2 期間について、7 月から 10 月までの暖候期間の流出量がどのように変化したかを検討した。

この報告をとりまとめるにあたり、試験開始以来、試験流域の設置や、過酷な条件下での観測業務に携わってこられた多数の先輩諸氏に感謝するとともに、宝川試験地の維持・管理にご努力された歴代試験地

主任の諸氏に深甚の謝意を表する。

2. 流域の概要

2-1 初沢流域

宝川試験地の初沢流域について、地質、地形、土壌などの詳細はすでに報告されているので^{1)~6)}、ここでは概略についてのべる。

初沢流域は、群馬県利根郡水上町大字藤原字大利根国有林内にあり、利根川支流宝川のほぼ源流部に位置し、前回報告した本流流域¹⁵⁾と隣接している面積 117.9 ha の流域である。

地質は本流流域と同じで、花崗岩類と第三紀層および第四紀層とに大別される。花崗岩類としては古期花崗岩、石英閃緑岩があり、他に蛇紋岩などが分布している。第三紀層に属するものは凝灰岩類で低海拔地に広く分布している。第四紀層に属する洪積地帯は団地状に分布している。土壌は礫質壤土で 80~125 cm の比較的深い土壌層をもっている⁵⁾⁶⁾。地質別面積比率⁵⁾では初沢流域は、前回報告した本流流域に比較すると、花崗岩類が少なく、凝灰岩、第四紀層の比率が大きいと報告されている。

Fig. 1 に初沢流域の地形図を示した。この流域の形は細長く、主流は一方にかたより、大部分の山腹斜面が南向きで急傾斜である⁶⁾。主な地形因子を示すと Table 1 のとおりである。この流域の最高標高は 1370 m、最低標高は量水所の約 800 m である。

降水量は基地露場と野地平 (Fig. 1 参照) の 2 地点で観測されている資料が利用できる。基地露場における年平均降水量¹⁵⁾ (1937~1956 年) は約 2130 mm で、他の気候は前報と同じである。また、量水施設や量水方法などは前報^{1)~4)}で詳細に述べられているので、ここでは省略する。

2-2 初沢 2 号沢および 3 号沢流域

初沢 2 号沢および 3 号沢流域は、Fig. 1 に示したように初沢流域に含まれ、その左岸に位置し、1957 年 1 月から水文観測が始められた。

2 号沢と 3 号沢流域の詳細な地形図を Fig. 2 に示す。2 号沢では、この地形図には記入されていないが、実際に踏査すると、流域中部・上部の左岸に露岩地が多い。この流域の土壌は浅く、弾性波探査法に

Table 1. 初沢流域、初沢 2 号沢および 3 号沢流域の主な地形因子
Topographic factors of the SHOZAWA basin, SHOZAWA
sub-basin II and sub-basin III.

地 形 因 子 Topographic factors	初 沢 流 域 SHOZAWA Bosin	初沢 2 号沢流域 SHOZAWA Sub-basin II	初沢 3 号沢流域 SHOZAWA Sub-basin III
流 域 面 積 (ha) Basin area	117.90	4.42	5.17
平 均 高 度 (m) Mean elevation above sea level	1067	981	1055
平 均 傾 斜 (度) Mean slope (degrees)	24°45'	38°30'	37°12'
平 均 方 位 Mean aspect	SSW	SSW	SSE
主 流 長 (km) Stream length	2.70	0.342	0.416

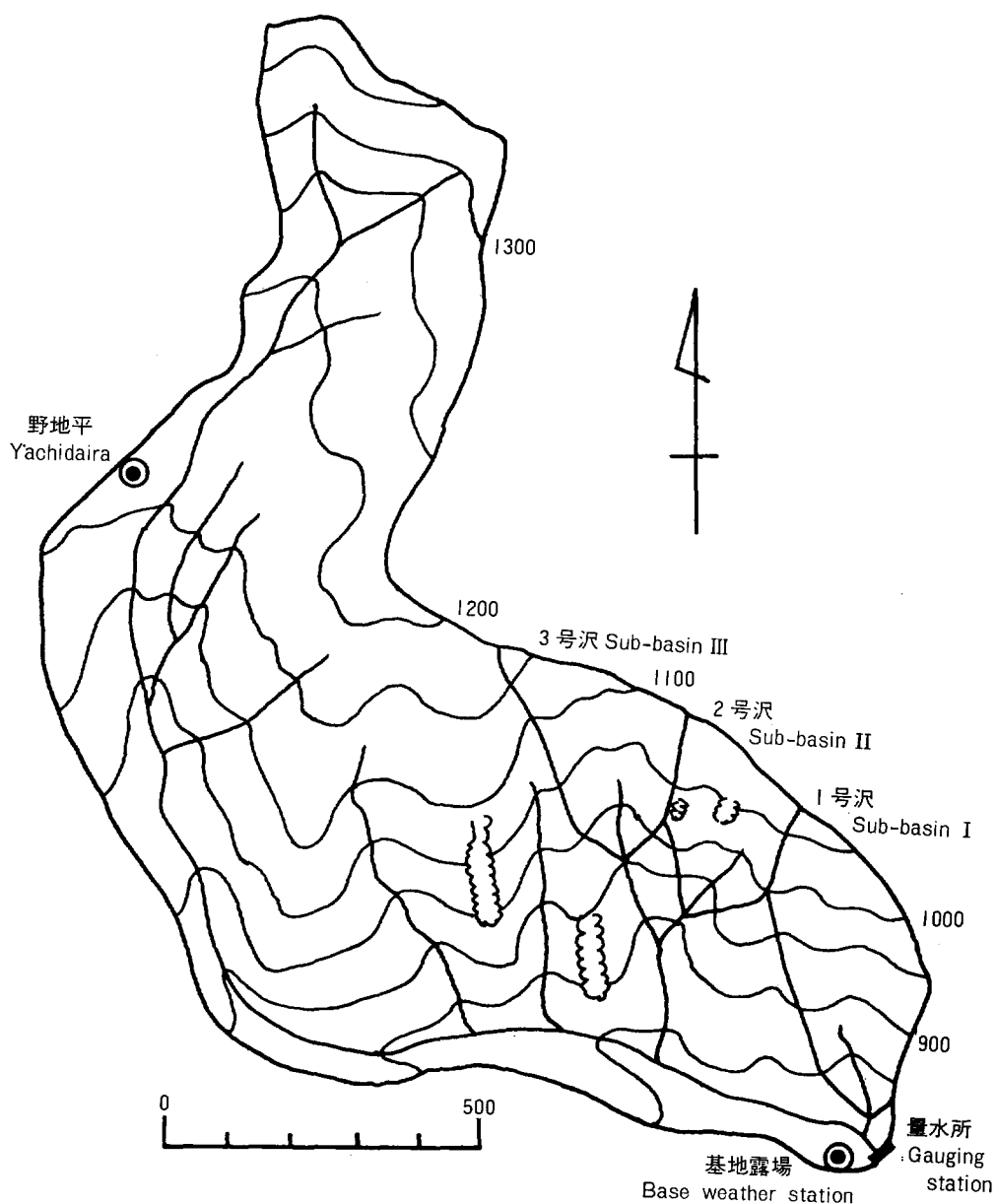


Fig. 1 初沢流域の地形図 (単位: m)

Topographic map of the SHOZAWA basin in the TAKARAGAWA Experimental Watershed. (Unit: m)

よる推定¹⁾では、流域全体の平均土壌深は0.6 m程度であった。そのため、降雨が開始すると直ちに増水が開始する流域である。3号沢も全く同様の流域である。

2号沢および3号沢流域の量水施設などは、観測報告¹⁴⁾に述べてあるので省略する。

地質は初沢流域の項で述べたものと同じである。主な地形因子は、Table 1中に示したとおりである。流域全般にわたって、斜面は急峻で、部分的には傾斜角が40°を超える山腹もある。また、流路の勾配も急である。

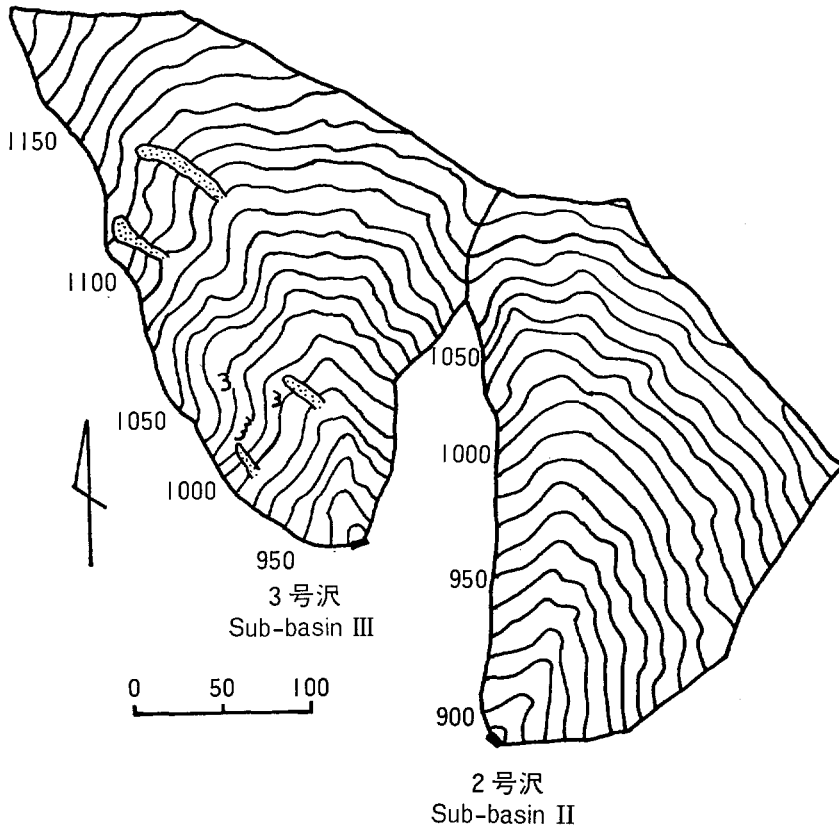


Fig. 2 初沢2号沢および3号沢流域の地形図（単位：m）
Topographic map of SHOZAWA sub-basins II and III. (Unit : m)

3. 林況の変遷

3-1 初沢流域

1938年の試験開始当初の林況を文献⁵⁾に従って述べると、この流域は、ブナを主とする温帯北部の天然林で、その蓄積は ha 当たり 160 m^3 程度であった。しかし、洪積台地上の土壌の深い所には、ha 当たり 400 m^3 を超す美林も散在していた。

森林の主体は胸高直径 30~70 cm、樹高 20~25 m のブナ、ナラの広葉樹で、ブナは蓄積の 60%以上を占めていた。針葉樹はヒバを主とし、ヒメコマツがところどころに点在していた。ヒバは胸高直径 18~24 cm 程度のものが峯通りに群生し、それ以上の大径木は平坦地に点在していた。

この流域は、森林の取り扱いと流出量との関係を調査するため、隣接する本流流域の対照流域として、試験開始当初から普通施業地の対象外に置き、綿密な計画のもとに伐採を行うことにした。

初沢流域では、1938年から1947年までは全く伐採が行われずに天然林の状態に保ち、1948年から伐採の第1段階として、全流域にわたって材積で50%の択伐を実施した。しかし、流域が急峻で、なお、かつ終戦直後のことで労力不足のため、択伐木の伐採搬出作業が完全に終了したのは、永見ら⁵⁾によれば1953年であった。初沢流域の50%択伐中における年間の伐採面積および材積を Table 2 に示した。伐採方法

の詳細なことは不明であるが、全流域にわたって、単木的に、あるいは場所により団地状に、伐採を行ったようである⁴⁾。

初沢流域の一部に小試験流域 1 号沢、2 号沢、3 号沢の 3 流域が設置され、観測を開始したのは 1957 年 1 月からである。

これらの小試験流域以外の初沢流域は、択伐後、1960 年まで放置され、1961 年より再び伐採が始まり、1963 年までに皆伐された。その年別伐採面積、伐採材積を Table 3 に示した。この表で伐採面積の合計 106.03 ha は、小試験流域の合計面積 16.07 ha を差し引いた値と異なるが、文献どおりの数値を記載した。1964 年よりスギ、カラマツの植栽が始まり、その面積、本数を Table 4 に示した。植栽面積は流域面積の 1/2 以下にすぎない。流域の上流部は植栽をしないで放置されている。

3-2 初沢 2 号沢および 3 号沢流域

初沢 2 号沢流域および初沢 3 号沢流域の林況は、初沢流域の項で述べたものと全く同じで、ブナ、ナラを主とする天然林で、それに針葉樹としてヒバ、ヒメコマツが混交している流域である。

2 号沢および 3 号沢流域の立木調査は 1959 年 9 月に行われた。そのときの結果を Table 5 に示す。地形が急峻なうえに、土壌が浅く、林木の成長はあまりよくなく、すでに、50% 択伐が終了しており、両流域とも ha 当たり蓄積で 110 m³ 程度の森林であった。

Table 2. 初沢流域の 50% 択伐時における年別伐採面積と材積(永見ら⁵⁾による)
Cutover area and volume of timber cut per year for 50% selective cut period on the SHOZAWA basin. (by NAGAMI et al⁵⁾)

伐採年度 Year	伐 採 面 積 Cutover area (ha)	本 数 Number of cut trees (本)	材 積 Volume of timber cut (m ³)
1948	19.19	1111	1780
1949	37.81	1831	3690
1950	28.26	1431	2614
1951	32.64	1638	1992
1952	—	853	1139
計 Total	117.90	6864	11195

Table 3. 初沢流域の皆伐時における年別伐採量(文献¹²⁾による)
Annual volume of timber cut for clear cut period on the SHOZAWA basin. (by reference 12))

伐採年度 Year	林 班 名 Block number	伐 採 面 積 Cutover area (ha)	伐 採 材 積 (m ³) Volume of timber cut		
			針 葉 樹 Coniferous tree	広 葉 樹 Broad leaved tree	合 計 Total
1961	36	41.92	1199	4070	5269
1962	"	27.25	1310	2900	4210
1963	"	36.86	1025	3226	4251
合 計 Total		106.03	3534	10196	13730

Table 4. 初沢流域の年別植栽面積，樹種および本数（文献¹²⁾による）

 Planted area, species and number of trees on the
SHOZAWA basin. (by reference 12))

植栽年度 Planting year	林 班 名 Block number	植 栽 面 積 Planted area (ha)	樹 種 Species	植 栽 本 数 Number of planted trees
1964	36	18.32	ス ギ	67800
"	"	1.41	カ ラ マ ツ	3800
1965	"	24.31	ス ギ	97200
1966	"	8.50	カ ラ マ ツ	19600
合 計 Total		52.54		188400

 Note) ス ギ : *Cryptomeria japonica* D. Don
カラマツ : *Larix leptolepis* Murray

Table 5. 初沢2号沢および3号沢流域の立木調査結果（1959年9月調査）

 Number and volume of standing trees on SHOZAWA sub-basin II and III.
(Measured at Sept., 1959)

樹 種 Species of tree	初 沢 2 号 沢 SHOZAWA Sub-basin II		初 沢 3 号 沢 SHOZAWA Sub-basin III	
	本 数 Number of trees	材 積 (m³) Volume	本 数 Number of trees	材 積 (m³) Volume
ヒ バ <i>Thuopsis dolabrata</i> Sieb. et Zucc.	2910	148.58	2511	94.27
ヒ メ コ マ ツ <i>Pinus pentaphylla</i> Mayr.	211	33.05	354	44.08
ナ ラ <i>Quercus</i> sp.	2391	89.10	3987	145.39
ブ ナ <i>Fagus</i> sp.	522	150.16	1061	192.99
ネ ズ コ <i>Thuja standishii</i> Carr.	14	0.75	51	4.58
そ の 他* Other species	3715	61.35	7928	88.76
合 計 Total	9763	482.94	15892	570.07
ha 当たり 蓄 積 (m³/ha) Timber volume per ha.	109.26		110.26	
*そ の 他 の 主 な 樹 種 Details of other species	カ エ デ <i>Acer</i> sp. サワグルミ <i>Pterocarya rhoi-</i> folia Sied. et Zucc. ホ オ <i>Magnolia obovata</i> Thunb. コ ブ シ <i>Magnolia Kobus</i> DC ミ ネ バ リ <i>Alnus firma</i> Sieb. et Zucc.		カ エ デ <i>Acer</i> sp. ホ オ <i>Magnolia obovata</i> Thunb. サワグルミ <i>Pterocarya rhoi-</i> folia Sied. et Zucc. サ ク ラ <i>Prunus</i> sp. コ ブ シ <i>Magnolia Kobus</i> DC	

2号沢流域は1963年から1964年にかけて、再度、残存立木材積の60%が択伐されたので、当初の原生林に比較すると、約80%の材積が伐採されたことになる。その後、この流域は1972年に皆伐された。60%択伐前後の時点、皆伐直前の蓄積は、調査されていないので不明であるが、隣接する1号沢流域の年平均成長量 $3.39 \text{ m}^3/\text{ha}$ を用いて、上記のそれぞれの時点における蓄積を推定したものをTable 6に示した。皆伐後、流域中には植栽をしていない。したがって、後生樹草が自然繁茂し、放置されている状態である。

3号沢流域は1962年から1963年にかけて、再度、残存立木材積の30%が択伐された。これで、当初の原生林と比較して、材積の約65%が伐採されたことになる。2号沢と同様の方法で蓄積を推定したものをTable 6に示した。

4. 試験結果および考察

4-1 初 沢 流 域

前報¹⁵⁾と同じ方法を用いて、初沢流域の森林伐採に伴う流出量変化を検討した。

1938年から1978年の41年間の試験期間を3期間に分けた。すなわち、1938年から1947年までの10年間は流域中の森林は放置されていたので、この期間をここでは無処理期間と呼ぶ。1948年から1960年の11年間（欠測した年が2年間ある）は、流域中の森林を50%択伐した期間であるが、実際に択伐作業が行われたのは、1948年から1953年までで、その後は放置された。この放置された期間も含めて、ここでは択伐期間とした。1961年から1978年の16年間（欠測した年が1年間ある）は、流域中の森林が皆伐された期間であるが、実際の皆伐作業が行われたのは1961年から1963年までで、あとは新植または放置され

Table 6. 初沢2号沢および3号沢流域の蓄積の経過（カッコ内は推定値）

Timber volume of stand on SHOZAWA sub-basin II and III.
(Estimated volume in parentheses)

年 Year	初 沢 2 号 沢 SHOZAWA Sub-basin II			初 沢 3 号 沢 SHOZAWA Sub-basin III		
	蓄 積 Volume (m^3)	ha 当たり蓄積 Volume per ha (m^3/ha)	備 考 Remarks	蓄 積 Volume (m^3)	ha 当たり蓄積 Volume per ha (m^3/ha)	備 考 Remarks
1959	482.94	109.26	立木調査 Measurement after 50% selective cut	570.07	110.26	立木調査 Measurement after 50% selective cut
1962				(622.60)	(120.43)	30% 択伐前 Before 30% selective cut
1963	(542.84)	(122.81)	60% 択伐前 Before 60% selective cut	(435.82)	(84.30)	30% 択伐後 After 30% selective cut
1964	(217.13)	(49.31)	60% 択伐後 After 60% selective cut			
1971	(321.99)	(72.85)	皆伐前 Before clear cut			
1972	0	0	皆伐後 After clear cut			
1981	0	0		(751.12)	(145.28)	

た期間で、これをここでは皆伐期間と呼ぶことにする。

(1) Double-mass curve による流出量変化の検出

初沢流域では、融雪の影響が流出に現れなくなるのは、本流流域と同じ8月からである。それ以後、11月上旬に降雪があるまでの約3か月間、すなわち、8月から10月までの期間を、暖候期間として解析の対象期間とした。

暖候期間の流出量の累積和と基地露場における同期間の降水量の累積和との double-mass curve を示したのが、Fig. 3 である。

初沢流域における降水量観測地点は基地露場と野地平の2地点であるが、基地露場の降水量のみを用いた理由は、観測開始以来、全期間にわたって欠測が少なく、観測場所の移動もなかったからである。

Fig. 3 によると、1938年から1947年までの無処理期間を経過後、50%択伐期間にはいると、数年間は無処理期間と大差はないが、後半になると直線がやや上向きになって、降水量と流出量との関係が大きく変化し、流出量が明らかに増加したことがわかる。

皆伐期間になると、この降水量と流出量との関係は、ますます変化し、明らかに流出量が増加したこと

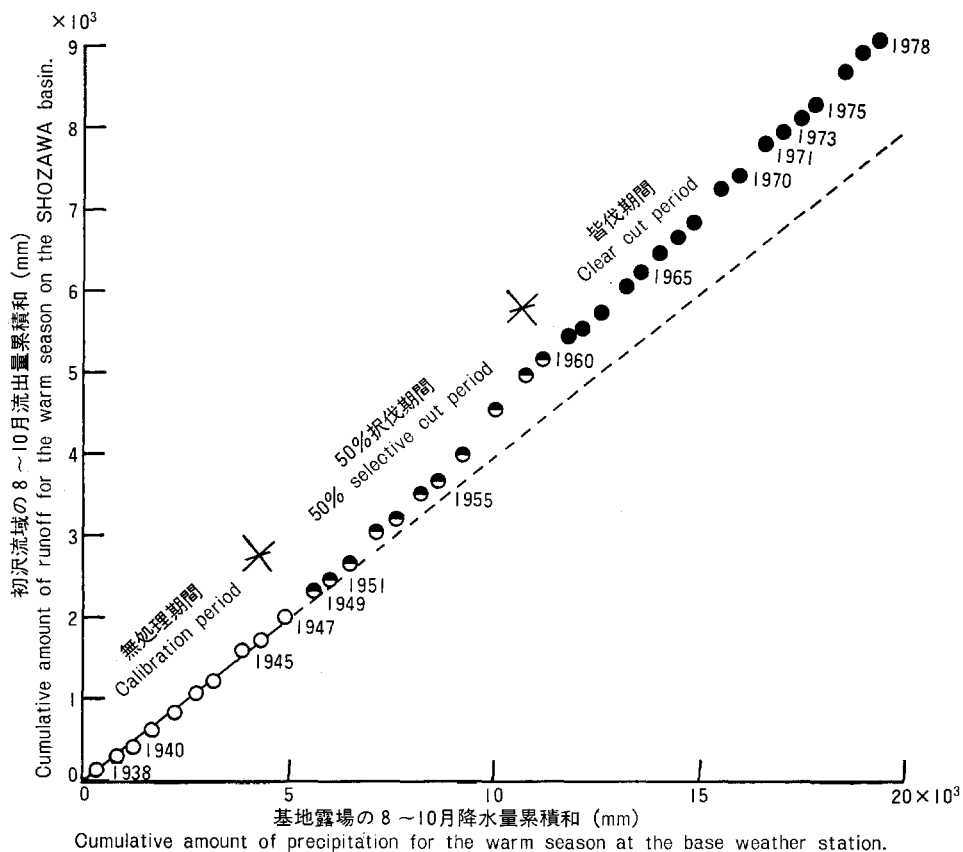


Fig. 3 初沢流域における暖候期間（8～10月）の流出量と基地露場における降水量との double-mass curve

Double-mass curve of runoff versus precipitation for the warm season on the SHOZAWA basin.

がわかった。しかし、皆伐期間の直線の傾向は、50%択伐期間の後半における傾向と、ほぼ似たようなものになった。

(2) 無処理期間の回帰式による流出量変化の検出

前項における double-mass curve の検討によって、初沢流域の流出量は、50%択伐や皆伐などの森林処理をすると、無処理期間に比較して、増加することが定性的にわかった。ここでは、この増加量を定量的に検討するため、各期間について、8月から10月までの暖候期間の流出量を推定する回帰式を求めた。

本流流域の場合¹⁵⁾と同じように、この場合も流出量に関連すると考えられる降水量因子として、基地露場の8月から10月までの降水量と、先行降水量として7月の降水量を用いた。

各期間の重回帰式は次のようになった。

無処理期間：

$$R = 0.7209 P_1 + 0.1831 P_2 - 195.92 \dots\dots\dots (1)$$

(重相関係数 : 0.9697)

択伐期間：

$$R = 0.9414 P_1 + 0.3719 P_2 - 327.13 \dots\dots\dots (2)$$

(重相関係数 : 0.9907)

皆伐期間：

$$R = 0.8396 P_1 + 0.0680 P_2 - 189.43 \dots\dots\dots (3)$$

(重相関係数 : 0.9463)

ここで、 P_1 : 基地露場における8~10月降水量 (mm), P_2 : 同露場における7月降水量 (mm), R : 初沢流域の8~10月流出量 (mm) である。

どの期間の重回帰式も重相関係数は高く、良好な関係が求められた。

無処理期間の重回帰式を用いて、もし、50%択伐が行われなかったとした場合の流出量の期待値を毎年推定し、それぞれの期間の実測流出量との差を変化量として計算すると、Table 7 のようになった。また、年別伐採量や各種気象因子との対比を図示したのが Fig. 4 である。

択伐期間、皆伐期間を通じて、流出量の変化が5%以上の水準で有意になった年は多くはない。しかし、択伐期間より皆伐期間の方が、有意な流出変化量がひんばんに出現するようである。

択伐期間に有意になった年は1953, 1958年の2年で、その増加量の期待値(推定値)に対する割合を変化率とすると、25~26% (+80~+115 mm) 程度の増加となった。これに対して、皆伐期間に有意になった年は1965, 1969, 1971, 1977年の各年で、その値は22~84% (+67~+116 mm) の範囲で、択伐期間よりも変化率の範囲が広がったが、択伐と皆伐では、あまりその変化量の値に違いはない。流出量の増加が有意になった年は、森林の伐採中には出現しないで、伐採直後か、伐採後数年経過したあとに出現している。

さらに、流出変化量が8~10月降水量や7月降水量に関連があるかどうか検討してみる。求めた重回帰式は図に表せないで、各期間について、8~10月降水量と8~10月流出量のみの関係を図に示すと、Fig. 5 のようになった。

無処理期間、択伐期間および皆伐期間の3期間の比較で、8~10月降水量が400 mm 前後では流出量に差がないが、8~10月降水量が多くなると差が大きくなることが、Fig. 5 から明らかである。このこと

Table 7. 初沢流域における伐採による暖候期間の流出変化量
Changes in amount of runoff by selective cut or clear cut of forest for the warm season on the SHOZAWA basin.

期 間 Period	年 Year	暖 候 期 間 流 出 量 (mm) Runoff for the warm season				確 率* Probability	式(1)' による 流出量期待値 Expected runoff by equation(1)'
		実 測 値 Measured	期 待 値 Expected	変 化 量 Changes of amount in millimeter	変 化 率 Changes of amount in percent(%)		
50% selective cut period 伐 採 期 間	1948	—	—	—	—	—	
	1949	319.64	294.73	+ 24.91	+ 8.5	0.5	
	1950	—	—	—	—	—	
	1951	129.26	115.90	+ 13.36	+11.5	0.7	
	1952	211.88	210.60	- 1.28	- 0.6	0.9<	
	1953	383.44	303.86	+ 79.58	+26.2	0.05	
	1954	165.18	161.01	+ 4.17	+ 2.6	0.9	
	1955	299.76	277.88	+ 21.88	+ 7.9	0.5	
	1956	156.61	171.49	- 14.88	- 8.7	0.6	
	1957	319.02	270.84	+ 48.18	+17.8	0.2	
	1958	573.10	457.27	+115.03	+25.2	0.02	
	1959	404.64	344.59	+ 60.05	+17.4	0.1	
	1960	185.73	160.23	+ 25.50	+15.9	0.4	
	平 均 Average	286.21	251.67	+ 34.54	+13.7		
Clear cut period 皆 伐 期 間	1961	279.64	285.83	- 6.19	- 2.2	0.9	297.28
	1962	94.43	91.54	+ 2.89	+ 3.2	0.9<	80.44
	1963	194.47	162.77	+ 31.70	+19.5	0.3	160.20
	1964	338.72	330.17	+ 8.55	+ 2.6	0.9	320.52
	1965	155.43	87.80	+ 67.63	+77.0	0.05	76.48
	1966	229.15	171.63	+ 57.52	+33.5	0.1	172.84
	1967	213.06	188.57	+ 24.49	+13.0	0.5	174.05
	1968	170.88	114.63	+ 56.25	+49.1	0.1	113.62
	1969	427.33	311.64	+115.69	+37.1	0.01	323.52
	1970	172.23	137.58	+ 34.65	+25.2	0.3	138.52
	1971	396.57	323.89	+ 72.68	+22.4	0.05	329.03
	1972	—	—	—	—	—	—
	1973	150.10	121.08	+ 29.02	+24.0	0.4	125.87
	1974	202.26	164.13	+ 38.13	+23.2	0.3	151.06
	1975	102.32	120.77	- 18.45	-15.3	0.6	110.92
	1976	411.47	348.02	+ 63.45	+18.2	0.1	358.40
	1977	226.02	122.80	+103.22	+84.1	0.01	125.78
	1978	136.91	128.15	+ 8.76	+ 6.8	0.8	131.61
	平 均 Average	229.47	188.88	+ 40.59	+21.5		187.66

* 測定された量の変化が偶然に起こりうる確率

Probability that the change in magnitude measured could have occurred by chance.

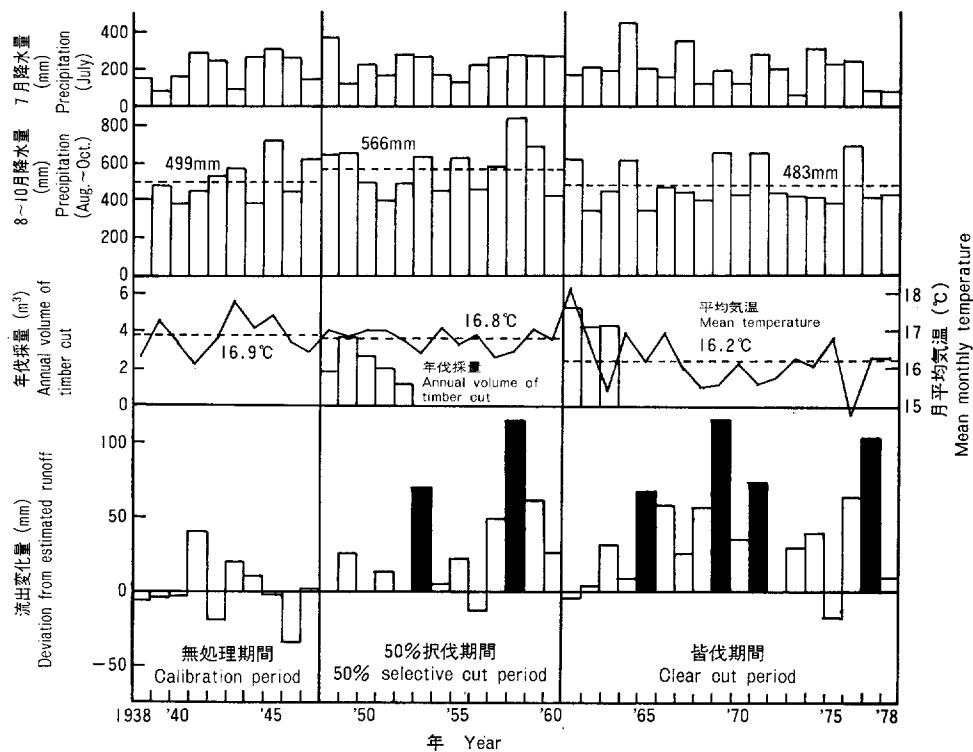


Fig. 4 初沢流域における暖候期間の流出変化量およびその他の気象因子と年伐採量の経年変化

Chronological changes in deviation from estimated runoff, meteorological factors for the warm season and annual volume of timber cut of forest on the SHOZAWA basin.

Note) 黒色柱状グラフは統計的に有意になった流出変化量

The black-colored rectangles indicate statistically significant change of runoff at five percent level.

は、次項で詳しく調べることにする。

Table 7 によると、択伐期間の平均増加量は 34.54 mm、同期間の流出量の平均期待値（択伐が行われなかったとした場合の流出量の期待値）251.67 mm に対して 13.7% の増加となった。これは永見ら⁵⁾の報告による 30 mm (13%) の増加と一致する。また、皆伐期間については、平均 40.59 mm の増加量で、同期間の流出量の平均期待値 188.88 mm に対して 21.5% の増加となった。

(3) 回帰線の比較による流出量変化の検出

前項で求めた無処理期間、択伐期間および皆伐期間の三つの回帰式(1)~(3)について、共分散分析法を用いて回帰線相互間に差があるかどうか検討した。

まず、無処理期間と択伐期間における二つの回帰式(1)と(2)について検討したところ、回帰線の回帰係数（勾配）に 5% の水準で有意な差があり、回帰線からの分散や回帰定数には差がないことがわかった。これは、択伐期間の回帰係数が無処理期間の回帰係数よりも大きいから、雨が多くなるほど、択伐期間の流

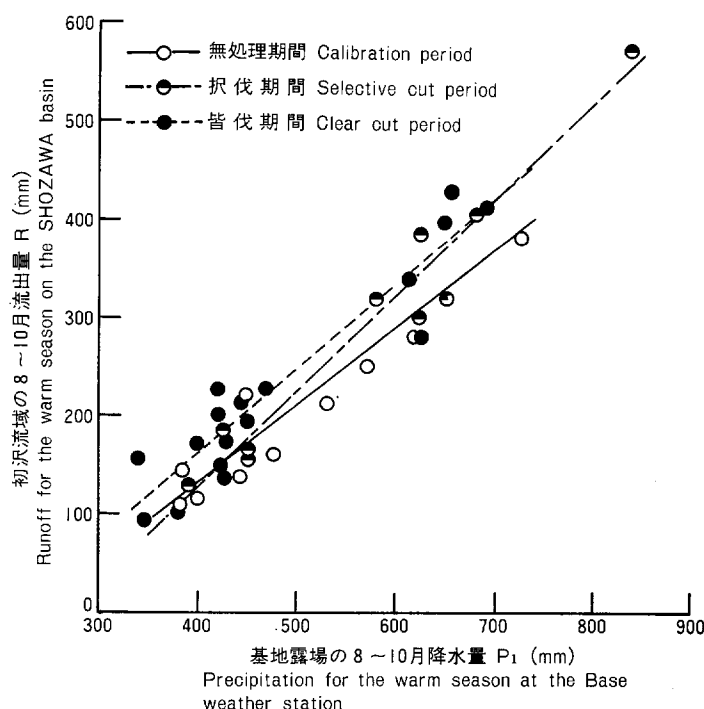


Fig. 5. 初沢流域の暖候期間における流出量と降水量との関係
Relation between runoff and precipitation for the warm season on the SHOZAWA basin.

出量が、無処理期間に比較して、多くなることを示している。このことは、前項で述べた単回帰の場合に示した Fig. 5 をみても明らかである。無処理期間と択伐期間の2本の回帰線は、8～10月降水量が多くなるほど、次第に離れ、その差が大きくなることがわかる。

次に、無処理期間と皆伐期間の回帰式(1)と(3)の比較では、回帰係数には差はないが、回帰定数に5%以上の水準で有意な差があった。このことは、皆伐期間では、雨の多少にかかわらず、流出量が無処理期間に比較して常に多いことを意味している。

択伐期間と皆伐期間の回帰式(2)と(3)の比較では、統計的に有意な差はなく、全く同じ回帰線とみなしてもよいことがわかった。

無処理期間の回帰式と択伐期間および皆伐期間の回帰式の間に統計的に有意な差があることがわかったので、定量的にその差を計算した。

無処理期間と択伐期間との流出量の差は、降水量と関係があり、次の式が得られた。

$$\Delta R = 0.2207 P_1 + 0.1838 P_2 - 130.55 \dots\dots\dots(4)$$

(重相関係数: 0.8755)

ここで、 ΔR は無処理期間と択伐期間の流出量の差、 P_1 、 P_2 は択伐期間の8～10月降水量および7月降水量である。

式(4)を用いて、 P_1 、 P_2 の値を代入すれば、流出量の差の値が算出されるわけであるが、 P_1 と P_2 の組合わせが多いので、次のようにした。択伐期間を通じて P_1 の観測範囲は392.0～838.0 mm (Appendix-

Table 1 参照) であるので, Table 8 に示すように 400~800 mm とした。 P_2 は択伐期間の平均値が 217 mm であるので, 200 mm と固定して, 式(4)から流出量差を計算した。

その結果によると, P_1 が 400 mm と少ないときは, 無処理期間と変わらないが, P_1 が 800 mm 程度になると, 20%ほど増加することがわかった。 P_1 の択伐期間の平均値は 500 mm 程度であるので, このときの増加量は 16.56 mm, 増加率は 8.2%である。

次に無処理期間と皆伐期間との回帰線の比較では, 回帰係数に差がなく, 回帰定数に差が見い出されたので, 共通の係数を用いて, 回帰式(1)および(3)を書き直すと,

無処理期間:

$$R = 0.7914 P_1 + 0.1109 P_2 - 216.62 \dots\dots\dots (1)'$$

皆伐期間:

$$R = 0.7914 P_1 + 0.1109 P_2 - 174.81 \dots\dots\dots (3)'$$

となった。

この 2 本の平行な回帰線の差は, 回帰定数の差であるから, その差は 41.81 mm となり, この値だけ皆伐期間の流出量が降水量に関係なく常に多いことになる。この値は式(1)' で計算した皆伐期間の流出量の平均期待値 (Table 7 参照) 187.66 mm の 22.3%である。

中野⁶⁾ は初沢流域の 50% 択伐期間 (1958 年まで) の夏期流出量 (6~10 月流出量) の変化について, 1953 年だけが有意な増加量を示し, 変化率は 26.5%と報告している。本報告においては, 1953, 1958 年の両年が有意な増加を示しているので, 1958 年は中野の報告と異なる。また, 中野の月別流出量の解析において, 8, 9, 10 月の 3 か月間の変化量をみると, 8 月では 1949 年から 1958 年の 10 年間のうちで 6 年も有意な増加を示していることが注目される。この 6 年とは 1950, '52, '53, '54, '57, '58 年である。9 月では 10 年間のうち, 1951, '52, '56 年で有意な増加を示し, 10 月では 10 年間のうち 1 年も有意な増加を示した年はなかった。本報告で得られた結果によれば, 50% 択伐期間は, 無処理期間に比較すると, 雨が多いほど増加量が多くなることがわかったので, Appendix-Table 1 に示す 8, 9, 10 月のそれぞれの月降水量の平均値を, 無処理期間と択伐期間で計算すると, 8 月では無処理期間で 132.7, 択伐期間で 194.2 mm, 9 月では 182.4 と 215.0 mm, 10 月では 183.2 と 156.5 mm となった。択伐期間の方が 8 月では 61.5 mm, 9 月では 32.6 mm 多いが, 10 月では逆に択伐期間の方が 26.7 mm 少ない結果が得

Table 8. 初沢流域の無処理期間と 50% 択伐期間における降水量別流出量の違い

Difference of runoff by precipitation amount in calibration
and 50% selective cut periods on the SHOZAWA basin.

降 水 量 (mm) Precipitation		暖 候 期 間 流 出 量 (mm) Runoff for the warm season			
P_1 (8~10月) (Aug.~Oct.)	P_2 (7月) (July)	無処理期間 Calibration period	50% 択伐期間 50% selective cut period	変 化 量 Changes of amount in milimeter	変化率(%) Changes of amount in per cent
400	200	129.06	123.55	- 5.51	- 4.3
500	200	201.15	217.71	+ 16.56	+ 8.2
600	200	273.24	311.87	+ 38.63	+ 14.1
700	200	345.33	406.03	+ 60.70	+ 17.6
800	200	417.42	500.19	+ 82.77	+ 19.8

られた。やはり択伐期間の増加量を定めるのは8～10月の降水量であると考えられる。

なお、前報¹⁵⁾でも考察したが、Fig. 4に示すように、皆伐期間の8～10月平均気温（前報¹⁵⁾のAppendix-Table 2参照）は、無処理期間のそれよりも0.7℃ほど低いので、蒸発散量などを考慮すると、皆伐期間における増加量のすべてが、森林伐採のみによるものであるとするわけにいかないと考えられる。しかし、現在の段階では、この気温の低下が蒸発散量や流出量にどの程度の影響を及ぼすものか不明であるので、ここでは、この点について考察はしない。

4-2 初沢2号沢および3号沢流域

初沢2号沢および3号沢流域について、解析の対象とした暖候期間流出量は、毎年、7月から10月までの4か月間の流出量である。初沢2号沢と3号沢流域では、5月でほとんど融雪流出は終わってしまうが、積雪の多い年には6月まで融雪の影響が残る場合があるので、この報告では暖候期間として7月から10月までの4か月間とした。

2号沢流域では、1957年から1981年までの25年間を、前記した流域内の林況の変遷に応じて、次の3期間に分けた。すなわち、1957年から1962年までの6年間を50%択伐期間とした。次に1963年から1971年までの9年間のうち、欠測の年が3年あるので実質6年間であるが、この期間に再度、残存立木材積で60%の択伐が流域内で行われ、合計で80%択伐になったので、この期間を80%択伐期間と呼ぶことにする。つづく1972年から1981年までの10年間は、1972年に流域内の森林が皆伐されたので、皆伐期間と呼ぶことにした。

3号沢流域では、1957年から1981年までの25年間を、前述した流域内の林況の変遷に応じて、次の2期間に分けた。すなわち、1957年から1962年までの6年間のうち、欠測した1年を除いて5年間を50%択伐期間とした。1963年から1981年までの19年間のうち、欠測した7年を除いた12年間は、1962年から1963年にかけて流域内で再度、残存立木材積で30%の択伐が行われ、合計で65%択伐になったので、この期間を65%択伐期間と呼ぶことにした。

この報告では、2号沢で80%択伐期間、皆伐期間の2期間について、また、3号沢では65%択伐期間について、前述した暖候期間流出量を、50%択伐期間と比較して、それぞれどのように変化したかを検討した。検討の方法は初沢流域の項で述べたものと同じである。

(1) Double-mass curve による流出量変化の検出

初沢2号沢流域の7月から10月までの暖候期間流出量と同期間の基地露場における降水量（Appendix-Table 2参照）とのdouble-mass curveを示したものがFig. 6である。

この図から、全期間を通じて、顕著な増加傾向や減少傾向はみられないので、1本の傾向線で表現できないこともないが、さらに、各期間について検討してみる。

50%択伐期間の6年間では、1958, '59年の両年の値がやや傾向線の上方にきて、1961, '62年で再び直線上に測点が位置しており、1本の傾向線上にはきれいにのらないようで、50%択伐の影響がやや残っているように思われる。

80%択伐期間では、ほとんど増加らしい傾向はみられず、わずかに最終年の1971年の値が直線よりやや上方にあり、増加したことがうかがえる。

皆伐期間では、前半に、50%択伐期間の傾向線よりやや上方に測点が位置し、増加したような傾向を示したが、後半では、線上か、やや下方に点が位置した。

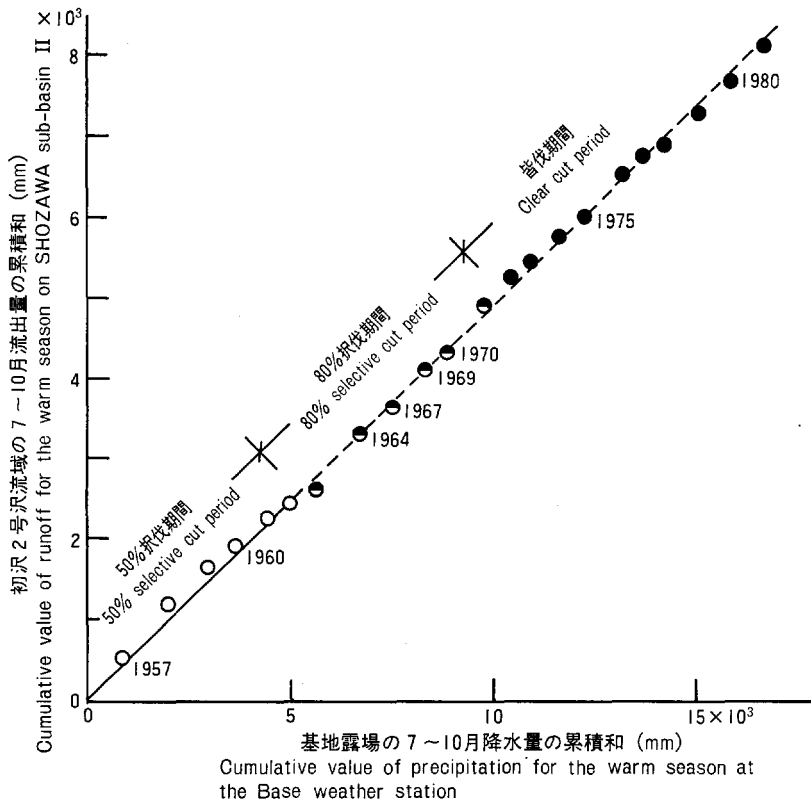


Fig. 6 初沢2号沢流域における暖候期間の流出量と基地露場における降水量とのdouble-mass curve
Double-mass curve of runoff versus precipitation for the warm season on SHOZAWA sub-basin II.

同様の方法で3号沢流域の double-mass curve を示したのが Fig. 7 である。この流域でも 1957～1961 年の測点が、直線よりややはずれており、50%択伐期間全体として、上方に凸の曲線を描き、50%択伐の影響が残っているものと思われる。他の年の測点は、ほぼ同一直線上にあり、材積で65%の択伐が流出量へ及ぼす影響は明確に検出できないようである。

以上のように、2流域とも、50%択伐から65%択伐、80%択伐や皆伐(100%)へと伐採を増加しても、流出量への影響は double-mass curve による解析では、はっきり検出できなかったが、さらに次項以下で定量的に検討してみることにする。

(2) 50%択伐期間の回帰式による流出量変化の検出

初沢2号沢流域の7月から10月までの暖候期間流出量(R , mm)と基地露場における同期間の降水量(P , mm)との関係を Fig. 8 に示した。それぞれの期間における回帰式は、

50%択伐期間：

$$R=0.8957 P-340.36 \quad (r=0.9740) \quad \cdots(5)$$

80%択伐期間：

$$R=0.9979 P-388.09 \quad (r=0.9824) \quad \cdots(6)$$

皆伐期間：

$$R=0.7657 P-207.05 \quad (r=0.9653) \quad \cdots(7)$$

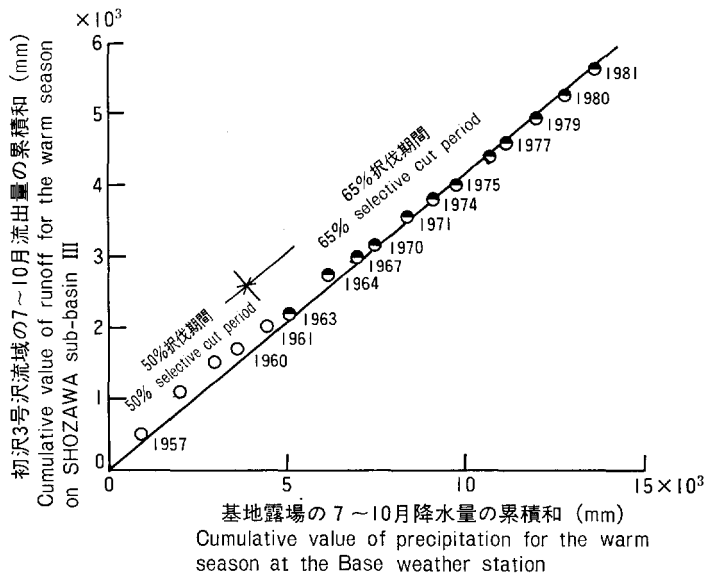


Fig. 7 初沢3号沢流域における暖候期間の流出量と基地露場における降水量との double-mass curve
Double-mass curve of runoff versus precipitation for the warm season on SHOZAWA sub-basin III.

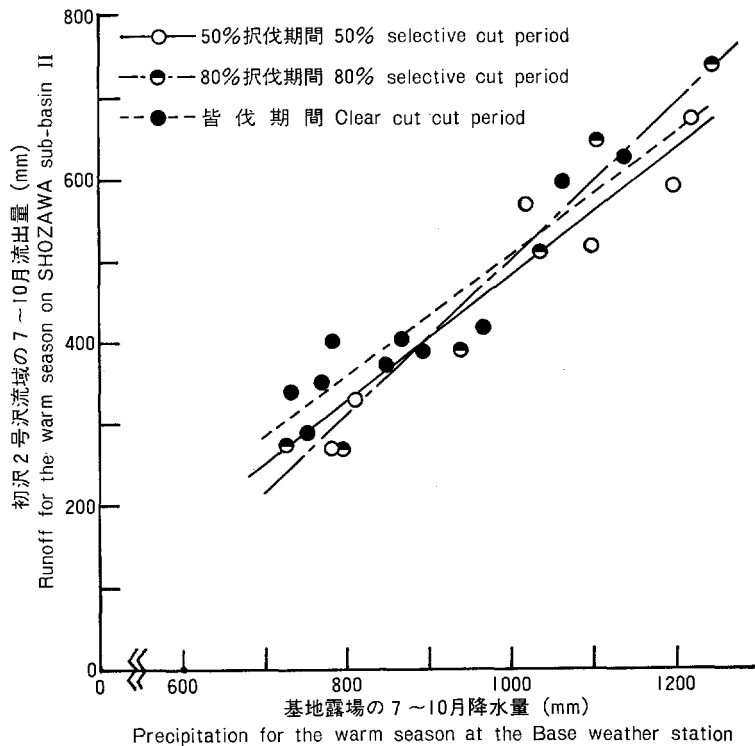


Fig. 8 初沢2号沢流域の暖候期間における流出量と降水量との関係
Relation between runoff and precipitation for the warm season
on SHOZAWA sub-basin II.

となり、かなり高い相関関係が得られた。

ここで、50% 択伐期間の回帰式(5)を用いて、80% 択伐期間、皆伐期間の降水量から、もし、80% 択伐や皆伐が行われなかった場合の流出量の期待値を求め、実測の流出量との差を変化量として、その統計的な有意性を検討したのが Table 9 である。また、変化量および 7～10 月降水量を図に示したのが Fig. 9 である。有意水準を 5% とすると、80% 択伐期間および皆伐期間を通じて、変化量が統計的に有意になった年はなかった。わずかに、1971 年がやや変化量が増加で大きかった。また、皆伐期間における変化量は統計的に有意ではないが、ほとんどの年で増加していることがわかった。ことに、皆伐初年の 1972 年および 1977 年では増加量が大きかった。Table 9 によれば、80% 択伐期間の平均増加量は 34.41 mm で、平均期待値の 9.1% 増となった。また、皆伐期間では、53.69 mm の増加量で、20.1% の増加率を示した。これらは、いずれも統計的に有意にはならなかった。

Table 9. 初沢 2 号沢流域における伐採による暖候期間の流出変化量
Changes in amount of runoff by selective cut or clear cut for
the warm season on SHOZAWA sub-basin II.

期 間	年	暖 候 期 間 流 出 量 (mm) Runoff for warm season				確 率*
		実 測 値	期 待 値	変 化 量 Changes of amount in milimeter	変 化 率 Changes of amount in percent (%)	
Period	Year	Measured	Expected			Probability
80% 択伐期間	1963	216.63	230.92	- 14.29	- 6.2	0.9
	1964	672.45	612.84	+ 59.61	+ 9.7	0.4
	1965	—	—	—	—	—
	1966	—	—	—	—	—
	1967	360.36	370.29	- 9.93	- 2.7	0.9
	1968	—	—	—	—	—
	1969	448.73	416.69	+ 32.04	+ 7.7	0.6
	1970	205.27	155.32	+ 49.95	+32.2	0.5
	1971	579.95	490.85	+ 89.10	+18.2	0.2
	平 均 Average	413.90	379.49	+ 34.41	+ 9.1	
皆伐期間	1972	347.90	232.71	+115.19	+49.5	0.1
	1973	160.70	94.32	+ 66.38	+70.4	0.4
	1974	341.50	311.53	+ 29.97	+ 9.6	0.6
	1975	240.69	202.26	+ 38.43	+19.0	0.6
	1976	523.65	499.45	+ 24.20	+ 4.8	0.7
	1977	211.20	111.16	+100.04	+90.0	0.2
	1978	140.58	118.15	+ 22.43	+19.0	0.8
	1979	393.65	399.04	- 5.39	- 1.4	0.9<
	1980	375.77	276.47	- 0.70	- 0.3	0.9<
	1981	470.69	424.30	+ 46.39	+10.9	0.5
	平 均 Average	320.63	266.94	+ 53.69	+20.1	

* Table 7. と同じ

The same as in Table 7.

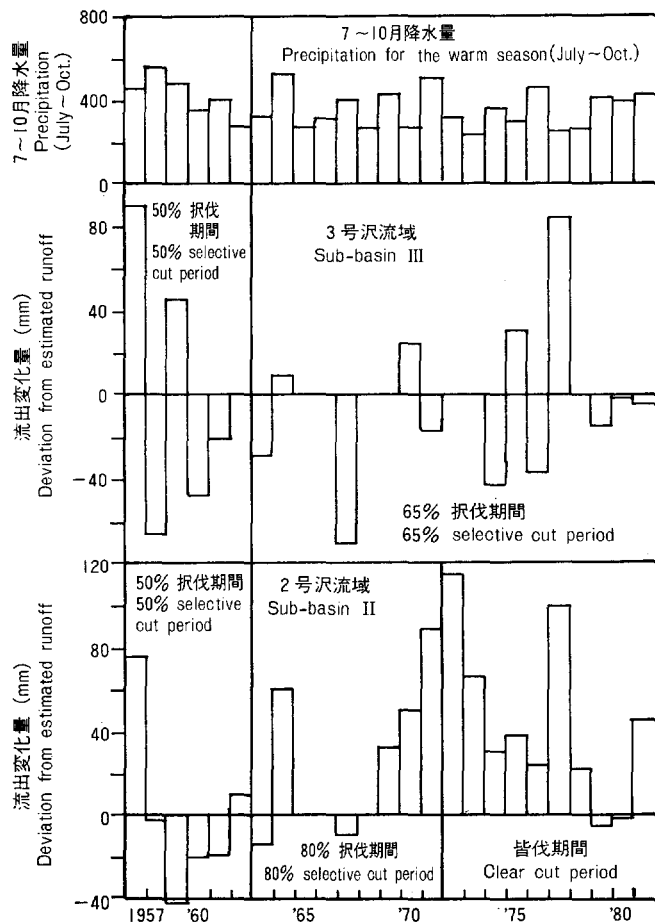


Fig. 9 初沢 2 号沢および 3 号沢流域における暖候期間の流出変化量と同期間の降水量の経年変化

Chronological changes in deviation from estimated runoff for the warm season on sub-basins II and III, and precipitation for the corresponding season.

初沢 3 号沢流域では、50%択伐期間および、65%択伐期間で次のような回帰式が得られた。

50%択伐期間：

$$R=0.8382 \quad P=340.12 \quad (r=0.8952) \quad \dots\dots\dots(8)$$

65%択伐期間：

$$R=0.7229 \quad P=256.85 \quad (r=0.9603) \quad \dots\dots\dots(9)$$

ここで、 R は初沢 3 号沢流域の 7 月から 10 月までの暖候期間流出量 (mm)、 P は基地露場における同期間の降水量 (mm) である。これらの関係を Fig. 10 に示した。

50%択伐期間の回帰式(8)を用いて、もし、65%択伐が行われなかった場合の 65%択伐期間の流出量の期待値を求め、実測流出量との差を変化量として、その統計的有意性を検討したものを Table 10 に示した。また、2 号沢と同じように図に示したものを、前掲の Fig. 9 中に示した。

全期間にわたって、有意に増加および減少した年はなかった。3 号沢流域の 65%択伐期間における流出

Table 10. 初沢3号沢流域における択伐による暖候期間の流出変化量
Changes in amount of runoff by selective cut for the warm season
on SHOZAWA sub-basin III.

期 間	年	暖 候 期 間 流 出 量 (mm) Runoff for the warm season				確 率*
		実 測 値	期 待 値	変 化 量 Changes of amount in milimeter	変 化 率 Changes of amount in percent (%)	
Period	Year	Measured	Expected			Probability
65% selective cut period	1963	165.66	194.49	-28.83	-14.8	0.8
	1964	560.73	551.90	+8.83	+1.6	0.9<
	1965	—	—	—	—	—
	1966	—	—	—	—	—
	1967	253.99	324.91	-70.92	-21.8	0.5
	1968	—	—	—	—	—
	1969	—	—	—	—	—
	1970	147.84	123.74	+24.10	+19.5	0.9
	1971	421.00	437.73	-16.73	-3.8	0.9
	1972	—	—	—	—	—
	1973	—	—	—	—	—
	1974	227.07	269.93	-42.86	-15.9	0.7
	1975	198.55	167.67	+30.88	+18.4	0.8
	1976	409.31	445.78	-36.47	-8.2	0.7
	1977	167.57	82.42	+85.15	+103.3	0.6
	1978	—	—	—	—	—
	1979	336.57	351.82	-15.25	-4.3	0.9
	1980	331.54	330.70	+0.84	+0.3	0.9<
	1981	371.69	375.46	-3.77	-1.0	0.9<
	平 均 Average	299.29	304.71	-5.42	-1.8	

* Table 7. と同じ

The same as in Table 7.

変化量は増加と減少がまちまちで、50%択伐期間に比較して、流出量に変化があったとは認められなかった。

(3) 回帰線の比較による流出量変化の検出

初沢2号沢流域の各期間の回帰式(5), (6), (7)を共分散分析法を用いて、互に比較したところ、どの期間の間にも、統計的に有意な差を見い出すことができなかった (Fig. 8 参照)。

各期間とも、回帰線からの偏差が小さく、相関係数の高い回帰式が得られたにもかかわらず、回帰線間には互いに差を見い出すことはできなかった。以上のように、この方法を用いても、初沢2号沢流域における7～10月の暖候期間流出量は、森林を材積で50%から80%択伐に増加しても、皆伐をしても、50%択伐期間に比較して、変化が認められない結果が得られた。現在、この流域については、ピーク流量などの短時間の流出について、森林処理の影響を検討している。なお、本報告の初沢流域の項で述べたように、初沢流域でも、50%択伐期間と皆伐期間との回帰線の比較では、流出量に差が検出されなかったのも、同様の結果が得られたわけである。

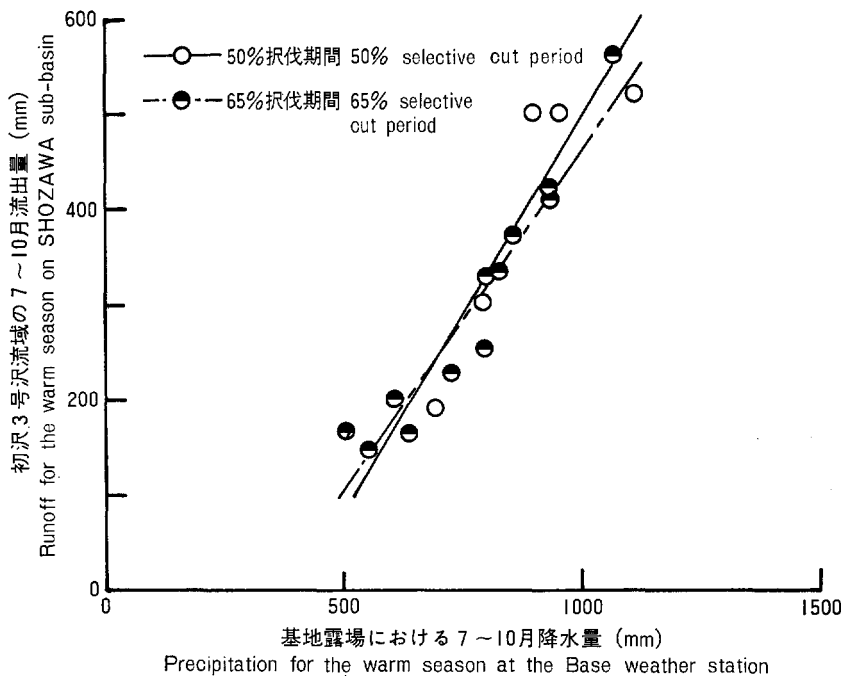


Fig. 10. 初沢3号沢流域の暖候期間における流出量と降水量との関係
Relation between runoff and precipitation for the warm season on SHOZAWA sub-basin III.

Table 5によると、この流域における50%択伐期間の立木調査結果では、すでに、50%択伐が行われており、林相としてはあまりよいものではなく、蓄積もha当たり 109 m^3 で、かならずしもよい森林ではなかった。さらに、この流域の土壌は浅く⁷⁾、保水性にとぼしく、降雨は直ちに流出してしまうという流域であるので、この報告のように、さらに伐採を80%に増加し、また、皆伐しても、流出量に変化が認められない結果になったものと思われる。

初沢3号沢流域で求めた各期間の回帰式(8), (9)について、共分散分析を行った結果は、回帰からの分散に5%水準で有意な差があり、この方法では回帰線を互いに比較することはできないことがわかった。つまり、50%択伐期間と65%択伐期間では、資料の分散が大きく異なっているという結果が得られた。いずれにしても、前項の方法においてもわかるように、50%択伐から、さらに伐採を増加して65%択伐にしても、流出量に有意な増加はなかったものと考えられる。

5. 要 約

宝川試験地の初沢流域、初沢2号沢および3号沢流域における暖候期間流出量の森林伐採による変化を統計的に解析した。

解析に使用した方法は、double-mass curve による方法、無処理期間の回帰式による方法および回帰線の比較(共分散分析法)による方法の三つである。得られた結果は次のとおりである。

初沢流域では、全試験期間を三つの期間に分けた。すなわち、1938~'47年までは、流域中の森林は放置

されたので、これを無処理期間とした。1948～'60 年までは、流域中の森林が材積で 50% 択伐（1948～'53 年まで伐採、あとは放置）されたので、択伐期間とした。1961～'78 年は、この流域中にある三つの小試験流域（合計面積 16.07 ha）を除いて皆伐（1961～'63 年まで伐採、あとはスギとカラマツを新植）されたので、皆伐期間とした。

全期間にわたって、8～10 月流出量と同期間の基地露場における降水量との double-mass curve を検討すると、択伐期間および皆伐期間では、明らかに無処理期間に比較して、流出量が増加したことがわかった。

無処理期間における暖候期間流出量と降水量との回帰式を用いて、択伐期間と皆伐期間における毎年の流出変化量を計算したところ、択伐期間では統計的に有意に増加する年は 2 年であった。択伐期間内の平均流出変化量は増加の方向にあった。有意に増加した年の増加量は 80～115 mm（増加率で 25～26%）であった。皆伐期間では、統計的に有意に増加する年がふえ、その増加量は 68～116 mm（増加率で 22～84%）であった。流出量が増加した年は、伐採中ではなく、いずれも伐採後に出現した。

各期間の流出量と降水量との回帰線を共分散分析によって比較を行ったところ、無処理期間と択伐期間では、分散や回帰定数には差がないが、回帰係数に有意な差が得られた。これは、降水量によって、流出変化量に差があることを意味している。いま、降水量の択伐期間における平均値で計算すると、16.6 mm、(8.2%) の増加が認められた。

次に、無処理期間と皆伐期間の比較では、分散や回帰係数には差がないが、回帰定数に有意な差があることがわかった。その差を計算すると、41.81 mm (22.3%) で、この値だけ皆伐期間の流出量が多いことがわかった。

初沢 2 号沢流域では、1957 年の試験開始から 1981 年までの 25 年間（うち、欠測年が 3 年ある）にわたる 7～10 月の暖候期間流出量が、流域内の森林を材積で 80% 択伐や、皆伐することによって、50% 択伐期間に比較して、どの程度変化するかを検討した。

解析の手法は初沢流域と全く同じである。得られた結果は次のとおりである。

初沢 2 号沢流域の 7～10 月の暖候期間流出量は、流域内の森林を 50% 択伐から伐採を増加して 80% 択伐しても、皆伐しても、50% 択伐期間に比較して、一応、増加の傾向にあるが、統計的に有意な変化はなかった。三つの方法とも同じような結果となった。

この理由としては、基準となる 50% 択伐期間において、この流域内の森林状態はすでに良好なものではなかったもので、さらに、80% 択伐しても、また皆伐しても、流出量は変化しなかったこと、また、この流域は土壌深は浅く、ところどころ露岩地があり、林地として保水性がとぼしいことなどがあげられる。

初沢 3 号沢流域では、1957 年の試験開始から 1981 年までの 25 年間（うち、欠測年が 7 年ある）にわたる 7～10 月の暖候期間流出量が、流域内の森林を材積で 50% 択伐した状態から、さらに、65% 択伐の状態に変化させると、どの程度流出量が増加するかを検討した。

解析の手法は、初沢および 2 号沢と同じである。得られた結果は、50% 択伐を 65% 択伐に変化させても流出量変化は検出できなかった。理由としては、2 号沢流域と同じようなことが考えられる。

引用文献

- 1) 山田昌一：宝川森林治水試験報告. 259 pp., 東京営林局 (1943)

- 2) 武田繁後：宝川森林治水試験第2回報告〔年流出量及び主なる降雨の増水量〕. 157+39 pp., 前橋営林局 (1950)
- 3) 武田繁後：年流出量と主なる降雨の増水量に就いて〔宝川森林治水試験第2回報告〕. 林試研報, 50, 1~87 (1951)
- 4) 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）. 120~128 (1961)
- 5) 永見郷康・吉野昭一・阿部敏夫：森林伐採にともなう暖候期間の流出量変化〔宝川森林治水試験第3回報告〕. 林試研報, 170, 59~74 (1964)
- 6) 中野秀章：森林伐採および伐跡地の植被変化が流出に及ぼす影響, 林試研報, 240, 1~251 (1971)
- 7) 菊谷昭雄・真島征夫・服部重昭：簡易弾性波探査器による流域保水容量の推定法. 林試研報, 270, 77~88 (1975)
- 8) 真島征夫・吉野昭一：部分伐採が高水流出に及ぼす影響（Ⅰ）, 高水到達時間の変化について. 日林九州支研論集, 31, 283~284 (1978)
- 9) ————・—————：同上（Ⅱ）, 高水ピーク比流量の変化について. 89回日林論, 361~362 (1978)
- 10) ————・—————：同上（Ⅲ）, 増水量の変化について. 日林九州支研論集, 32, 337~338 (1979)
- 11) ————・—————：同上（Ⅳ）, 増水ピーク流量の変化について. 90回日林論, 437~438 (1979)
- 12) 宝川試験地・防災部理水第一研究室：宝川森林理水試験地観測報告, 本流・初沢試験流域 (1959年1月~1977年12月). 林試研報, 302, 97~154 (1979)
- 13) 吉野昭一：山地小流域の雨水到達時間について. 日林誌 62, 59~61 (1980)
- 14) 宝川試験地・防災部理水第一研究室：宝川森林理水試験地観測報告, 初沢小試験流域1, 2, 3号沢 (1957年1月~1981年12月). 林試研報 327, 83~190 (1984)
- 15) 吉野昭一・菊谷昭雄：高海拔流域における森林伐採と暖候期間の流出量変化 第1報, 宝川試験地の本流流域について（宝川森林治水試験第4回報告）. 林試研報, 331, 127~145 (1984)

**Effect of Removal of Forest Vegetation on Streamflow for the Warm Season
in High-Elevation Watershed (II)**

**—The SHOZAWA Basin, SHOZAWA Sub-basin II and SHOZAWA Sub-basin III
in the TAKARAGAWA Experimental Watershed. —**

[Experiment on Forest Influence upon Streamflow in TAKARAGAWA. The 5th Report]

Shoichi YOSHINO⁽¹⁾ and Akio KIKUYA⁽²⁾

Summary

Effects of selective cut and clear cut of forest vegetation on streamflow for the warm season were studied on the SHOZAWA basin, SHOZAWA sub-basin II and III in the TAKARAGAWA Experimental Watershed.

Before the start of the watershed experiment on the SHOZAWA basin, the forest was established naturally and the major species present were *Fagus* sp., *Quercus* sp. and *Thujaopsis dolabrata* STEB, et Zucc., but in the SHOZAWA sub-basins II and III, the above mentioned forest vegetation was selectively cut by fifty percent (in volume) at the start of the watershed experiment.

The treatment of forest vegetation and analysis period for each basins are as follows:

(1) The SHOZAWA basin:

Runoff from the SHOZAWA basin during the warm season (August through October) for the 41-year period of 1938–1978 were analyzed by three different statistical methods.

The 41-year period of study was divided into three sub-periods.

The first sub-period (1938–1947) is the non-treatment period or calibration period. Forest vegetation on the basin was not cut during this period.

Forest vegetation on the basin was cut fifty percent (in volume) during the second sub-period (1948–1960).

The residual forest vegetation on the basin was clear cut during the third sub-period (1961–1978) except the forest vegetation on sub-basin II and III, and *Cryptomeria japonica* D. Don and *Larix leptolepis* Murray was planted on the half of the cutover area during this period.

(2) SHOZAWA sub-basin II

Runoff from SHOZAWA sub-basin II during the warm season (July through October) for the 25-year period of 1957–1981 was analyzed by the same method as used in the SHOZAWA basin.

The 25-year period of study was divided into three sub-periods.

The first sub-period (1957–1962) is the fifty percent selective cut period. Forest vegetation on the basin was cut by fifty percent (in volume) during 1948–1953, before the start of the experiment.

The second sub-period (1963–1971) is the eighty percent selective cut period. Sixty percent (in volume) of the residual timber was felled during this period, therefore, a total of about eighty percent of the original forest vegetation on the basin had been cut until the end of this period.

Received November 5, 1984

(1) Takaragawa Experimental Site

(2) Forest Influences Division

The residual forest vegetation on the basin was clear cut during the third sub-period (1972-1981) and subsequently natural regrowth was allowed to develop.

(3) SHOZAWA sub-basin III

Runoff from SHOZAWA sub-basin III during the warm season (July through October) for 25-year period of 1957-1981 was analyzed by the above mentioned method.

The 25-year period of study was divided into two sub-periods.

The first sub-period (1957-1962) is the fifty percent selective cut period. Forest vegetation in the basin was cut in the same way as on sub-basin II.

The second sub-period (1963-1981) is the sixty-five percent selective cut period. Forest vegetation on the basin was cut by thirty percent (in volume) during this period.

The analytical methods employed and the results obtained are as follows:

(A) The SHOZAWA basin

(1) Double-mass analysis:

The double-mass curve of runoff versus precipitation was constructed for the warm season (August to October) over the whole period of study. The curve suggests that both selective cut and clear cut of the forest stands brought increased runoff.

(2) Multiple linear regression analysis:

A regression equation was developed for each of the three different periods;

for the calibration period :

$$R=0.7209 P_1+0.1831 P_2-195.92 \quad (1)$$

for the fifty percent selective cut period :

$$R=0.9414 P_1+0.3719 P_2-327.13 \quad (2)$$

for the clear cut period :

$$R=0.8396 P_1+0.0680 P_2-189.43 \quad (3)$$

where R (in mm) is the seasonal (August to October) amount of runoff, P_1 (in mm) is the amount of rainfall during the corresponding period and P_2 (in mm) is the amount of rainfall during July.

Equation (1) was used to compute the expected runoff values for the other two periods (the fifty percent selective cut period and the clear cut period). The difference between individual expected and measured values was tested for significance (see Table 7). There were two significant years in the fifty percent selective cut period and four significant years in the clear cut period.

(3) Analysis of covariance:

From the results of covariance analysis, it was concluded that the Aug.-Oct. runoff increased by 16.6 mm or 8.2 percent in the fifty percent selective cut period and by 41.8 mm or 22.3 percent in the clear cut period as compared with the corresponding runoff in the calibration period.

(B) SHOZAWA sub-basin II and III

From the results of double-mass curve analysis, multiple linear regression and analysis of covariance for SHOZAWA sub-basin II and III, it was concluded that the July-Oct. runoff from these basins showed no significance when additional cutting was given to the original (50-percent selective cut) forest (see Figs. 6, 7 and 9, Tables 9 and 10).

Appendix-Table 1. 初沢流域における暖候期間(8~10月) 流出量と基地露場における同期間降水量

Runoff in the warm season from the SHOZAWA basin and precipitation for the corresponding season at the Base weather station.

期間名 Period	年 Year	初 沢 流 域 流 出 量 (mm) Runoff from the SHOZAWA basin					基 地 降 水 量 (mm) Precipitation at the Base weather station					
		月 流 出 量 Monthly runoff			合 計 Total	累 積 和 Cumulative	月 降 水 量 Monthly precipitation				合 計 (8~10月) Total (Aug.~Oct.)	累 積 和 Cumulative
		8 月 Aug.	9 月 Sept.	10 月 Oct.			7 月 July	8 月 Aug.	9 月 Sept.	10 月 Oct.		
無 処 理 期 間 Calibration period	1938	5.16	23.34	87.16	115.66	115.66	155.4	96.6	99.7	205.1	401.4	401.4
	1939	66.79	76.38	17.21	160.38	276.04	84.4	223.0	176.4	79.2	478.6	880.0
	1940	37.51	30.42	39.22	107.15	383.19	161.8	170.8	73.4	140.3	384.5	1264.5
	1941	26.14	140.01	55.77	221.92	605.11	294.2	92.3	268.8	87.4	448.5	1713.0
	1942	41.62	27.81	143.19	212.62	817.73	244.7	181.1	113.8	237.3	532.2	2245.2
	1943	11.44	91.10	150.24	252.78	1070.51	92.1	79.6	263.1	228.3	571.0	2816.2
	1944	30.71	50.50	61.58	142.79	1213.30	266.7	102.7	126.8	156.4	385.9	3202.1
	1945	15.91	77.30	288.22	381.43	1594.73	306.6	115.0	195.2	416.9	727.1	3929.2
	1946	56.83	14.75	63.56	135.14	1729.87	257.3	144.9	115.4	184.2	444.5	4373.7
	1947	12.12	223.29	42.64	278.05	2007.92	146.3	130.5	391.5	96.7	618.7	4992.4
択 伐 期 間 Selective cut period	1948	*	*	*	*	*	372.4	120.8	368.8	159.6	649.2	*
	1949	24.20	196.81	98.63	319.64	2327.56	108.7	235.1	221.3	196.6	653.0	5645.4
	1950	120.21	*	*	*	*	226.6	231.0	127.3	139.2	497.5	*
	1951	17.78	42.81	68.67	129.26	2456.82	159.6	100.3	144.1	147.6	392.0	6037.4
	1952	83.28	60.67	67.93	211.88	2668.70	278.0	153.5	190.4	149.4	493.3	6530.7
	1953	183.02	160.47	39.95	383.44	3052.14	267.2	299.5	256.6	69.3	625.4	7156.1
	1954	46.41	69.04	49.73	165.18	3217.32	166.6	173.7	156.4	122.7	452.8	7608.9
	1955	20.60	86.09	193.07	299.76	3517.08	131.2	130.6	225.4	267.9	623.9	8232.8
	1956	23.69	81.33	51.59	156.61	3673.69	219.9	127.5	204.6	121.7	453.8	8686.6
	1957	123.79	114.32	80.91	319.02	3992.71	260.5	228.4	231.6	121.3	581.3	9267.9
	1958	130.50	272.00	170.60	573.10	4565.81	268.0	280.5	335.0	222.5	838.0	10105.9

皆伐期間	1959	152.89	116.70	135.05	404.64	4970.45	266.8	276.9	222.0	183.1	682.0	10787.9
	1960	86.26	55.85	43.62	185.73	5156.18	264.3	130.6	177.2	119.1	426.9	11214.8
	1961	96.95	41.70	140.99	279.64	5435.82	166.0	236.2	162.4	227.5	626.1	11840.9
	1962	16.87	11.92	65.64	94.43	5530.25	205.3	111.8	70.0	164.8	346.6	12187.5
	1963	82.46	40.32	71.69	194.47	5724.72	188.0	239.5	64.8	145.5	449.8	12637.3
	1964	32.32	185.53	120.87	338.72	6063.44	448.3	172.7	283.4	159.8	615.9	13253.2
	1965	22.26	115.08	18.09	155.43	6218.87	203.8	67.5	190.7	83.6	341.8	13595.0
	1966	56.70	116.77	55.68	229.15	6448.02	155.7	122.1	241.7	106.5	470.3	14065.3
	1967	56.64	71.83	84.59	213.06	6661.08	348.6	160.2	111.8	172.8	444.8	14510.1
	1968	82.49	25.13	63.26	170.88	6831.96	118.4	214.9	48.7	137.1	400.7	14910.8
	1969	247.35	108.64	71.34	427.33	7259.29	189.2	316.9	216.8	122.3	656.0	15566.8
	1970	23.18	91.58	57.47	172.23	7431.52	121.7	100.4	233.1	98.2	431.7	15998.5
	1971	68.92	208.11	119.54	396.57	7828.09	277.4	176.9	284.8	188.9	650.6	16649.1
	1972	50.10	*	*	*	*	201.1	172.3	176.4	90.0	438.7	*
	1973	71.31	21.14	57.65	150.10	7978.19	61.1	192.5	86.5	145.2	424.2	17073.3
	1974	93.36	65.31	43.59	202.26	8180.45	306.1	169.8	154.7	97.2	421.7	17495.0
	1975	30.90	8.94	62.48	102.32	8282.77	223.2	148.9	79.1	154.6	382.6	17877.6
	1976	179.21	149.99	82.27	411.47	8694.24	245.4	348.0	196.9	147.3	692.2	18569.8
	1977	78.25	129.15	18.62	226.02	8920.26	83.1	191.9	188.1	41.0	421.0	18990.8
	1978	9.60	48.17	79.14	136.91	9057.17	83.6	65.2	207.7	155.4	428.3	19419.1

Note) *: 欠測, Missing

Appendix-Table 2. 初沢2号沢および3号沢流域における暖候期間
Runoffs in the warm season from SHOZAWA sub-basin II and III and

年 Year	初沢2号沢流出量 (mm) Runoff from SHOZAWA sub-basin II							初沢3号沢流出 Ruoff from SHOZAWA			
	7月 July	8月 Aug.	9月 Sept.	10月 Oct.	合 計 Total	累 積 和 Cumulative		7月 July	8月 Aug.	9月 Sept.	10月 Oct.
1957	183.25	186.13	101.00	63.39	533.77	533.77	50% selective cut 伐期 間	178.92	166.31	94.99	56.85
1958	118.96	116.25	249.63	163.04	647.88	1181.65		94.15	100.11	211.15	114.95
1959	146.74	130.58	91.11	99.09	467.52	1649.17		194.88	122.74	96.15	86.78
1960	162.68	39.50	33.70	22.27	258.15	1907.32		112.88	33.20	27.94	17.42
1961	93.27	86.65	36.50	133.26	349.28	2256.60		86.37	73.05	30.46	113.08
1962	96.93	9.36	3.34	53.77	163.40	2420.00		*	*	*	*
1963	78.30	76.01	15.11	47.21	216.63	2636.63	80% selective cut 伐期 間	61.01	53.16	12.90	38.59
1964	370.86	39.43	172.83	89.33	672.45	3309.08		318.00	25.36	135.30	82.07
1965	114.47	*	*	*	*	*		*	*	*	*
1966	55.42	*	*	27.80	*	*		*	*	*	11.95
1967	216.14	39.36	40.49	64.37	360.36	3669.44		157.53	27.97	26.01	42.48
1968	33.31	71.38	*	44.42	*	*		30.79	53.24	*	30.72
1969	77.21	234.52	86.30	50.70	448.73	4118.17		*	181.00	65.39	38.70
1970	61.62	16.46	92.06	35.10	205.24	4323.41		50.72	13.29	60.12	23.71
1971	221.92	56.71	202.02	99.30	579.95	4903.36	択伐 期 間	165.20	36.24	142.02	77.54
1972	175.46	64.89	90.29	17.26	347.90	5251.26		104.66	26.25	47.89	*
1973	24.18	63.52	14.78	58.22	160.70	5411.96		*	*	*	*
1974	177.78	81.68	53.64	28.40	341.50	5753.46		122.05	51.02	34.35	19.65
1975	134.65	49.01	4.26	52.77	240.69	5994.15		124.66	35.04	3.49	35.36
1976	146.13	192.91	121.50	63.11	523.65	6517.80		112.58	144.14	103.25	49.34
1977	32.25	71.47	101.37	6.11	211.20	6729.00		27.42	50.80	83.35	6.00
1978	15.65	2.53	54.71	67.69	140.58	6869.58		13.88	*	*	49.11
1979	94.87	107.60	51.35	139.83	393.65	7263.23		79.15	80.26	51.18	125.98
1980	128.86	51.59	94.23	101.09	375.77	7639.00		108.28	48.92	83.00	91.34
1981	129.42	95.14	80.26	165.87	470.69	8109.69		116.68	64.49	63.01	127.51

Note) *: 欠測, Missing

(7～10月) 流出量と基地露場における同期間の降水量

precipitation for the corresponding season at the Base weather station.

量 (mm) sub-basin III			基 地 露 場 降 水 量 (mm) Precipitation in base weather station						
合 計	累 積 和		7月	8月	9月	10月	合 計	累 積 和 (2号沢用) Cumulative for sub-basin II	累 積 和 (3号沢用) Cumulative for sub-basin III
Total	Cumulative		July	Aug.	Sept.	Oct.	Total		
497.07	497.07	50% 択伐 期間 50% selective cut period	260.5	278.4	231.6	121.3	899.8	891.8	891.8
520.36	1017.43		268.0	280.5	335.0	222.5	1106.0	1997.8	1997.8
500.55	1517.98		266.8	276.9	222.0	183.1	948.8	2946.6	2946.6
191.44	1709.42		264.3	130.6	177.2	119.1	691.2	3637.8	3637.8
302.96	2012.38		166.0	236.2	162.4	227.5	792.1	4429.9	4429.9
*	*		205.3	111.8	70.0	164.8	551.9	4981.8	—
165.66	2178.04	65% 択伐 期間 65% selective cut period	188.0	239.5	64.8	145.5	637.8	5619.6	5067.7
560.73	2738.77		448.3	172.7	283.4	159.8	1064.2	6683.8	6131.9
*	*		203.8	67.5	190.7	83.6	545.6	—	—
*	*		155.7	122.1	241.7	106.5	626.0	—	—
253.99	2992.76		348.6	160.2	111.8	172.8	793.4	7477.2	6925.3
*	*		118.4	214.9	48.7	137.1	519.1	—	—
*	*		189.2	316.9	216.8	122.3	845.2	8322.4	—
147.84	3140.60		121.7	100.4	233.1	98.2	553.4	8875.8	7478.7
421.00	3561.60		277.4	176.9	284.8	188.9	928.0	9803.8	8406.7
*	*		201.1	172.3	176.4	90.0	639.8	10443.6	—
*	*		61.1	192.5	86.5	145.2	485.3	10928.9	—
227.07	3788.67		306.1	169.8	154.7	97.2	727.8	11656.7	9134.5
198.55	3987.22		223.2	148.9	79.1	154.6	605.8	12262.5	9740.3
409.31	4396.53		245.4	348.0	196.9	147.3	937.6	13200.1	10677.9
167.57	4564.10		83.1	191.9	188.1	41.0	504.1	13704.2	11182.0
*	*		83.6	65.2	207.7	155.4	511.9	14216.1	—
336.57	4900.67		197.5	236.3	166.1	225.6	825.5	15041.6	12007.5
331.54	5232.21		265.7	151.4	171.7	211.5	800.3	15841.9	12807.8
371.69	5603.90		214.8	224.0	185.7	229.2	853.7	16695.6	13661.5