

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〕

吉 野 昭 一⁽¹⁾, 菊 谷 昭 雄⁽²⁾

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

The HONRYU Basin in the TAKARAGAWA
Experimental Watershed.

[Experiment on Forest Influence upon Streamflow
in TAKARAGAWA. The 4th Report]

要 旨: 宝川試験地の本流流域における1938~'78年の水文資料を用いて、流域内の森林伐採による暖候期間(8~10月)の流出量変化を統計的に解析した。

この流域では1937年11月に試験を開始し、1961年までは流域内の森林には伐採等の処理はなかった。しかし、試験開始前の5年間に、すでに流域内で面積約300ha、森林面積に対して23%、材積約3万m³の森林が伐採されていた。この伐採の流出量への影響は、試験開始後の無処理期間の前半である1938~'47年ころまで残っているものとみなされた。この期間における毎年の流出量には、その後続く1948~'61年の期間に比較して、有意な増加は認められなかった。しかし、前記の二つの期間で、流出量を推定する回帰式を比較したところ、1938~'47までの期間の方に47.7mm、12.7%の増加が認められた。

また、1962~'78年までに、流域内で面積約500ha、森林面積に対して38%、材積約6万m³の本格的な伐採が行われたが、この伐採による毎年の流出量の増加は、明らかに認められた。しかし、この増加の程度は、必ずしも伐採量の多少と符合するものではなかった。この伐採期間と1948~'61年までの無処理期間の二つの期間で、流出量を推定する回帰式を比較したところ、伐採期間の方に78.3mm、23.2%の増加が認められた。

目 次

1. まえがき	128
2. 本流流域の概要	128
3. 本流流域の林況の変遷	129
4. 試験結果および考察	132
4-1 Double-mass curve による流出量変化の検出	132
4-2 無処理期間の回帰式による流出量の経年変化の検出	134
4-3 回帰線の比較による流出量変化の検出	137
5. 要 約	138
引用文献	139
Summary	140

Appendix-Table

1 まえがき

宝川試験地の本流試験流域は、群馬県の奥利根水源地域帯のブナを主とする天然林を開発するに当たり、治水ならびに水源かん養上、森林伐採と流出量との関連を解明する目的で設置され、1937年11月から水文観測を開始し、今日に至っている¹⁾。

観測開始から1960年まで約20年余りの期間は、流域内における森林伐採等の処理は行われなかったが、1961年より伐採が開始され、1978年までに約500ha、60000m³の天然林が伐採された。この報告では、この森林伐採によって、本流流域の流出量にどのような変化が生じたかを、主に検討したものである。

試験開始以来、現在までに本流流域の流出量については、武田²⁾³⁾が1938水年（当流域の水年は11月～10月の1年間）から1947水年までの10年間における水年降水量と水年流出量との関連、および1938水年から1948水年までの11年間における顕著な降雨による増水について検討した結果を、それぞれ報告している。しかし、これらはいずれも、天然林のままの状態について検討したものであった。

その後、永見⁴⁾は1938水年より1960水年までの暖候期間（8～10月）の流出量と降水量との関連を求めた。この流域では、1937年11月の試験開始以前に、すでに、下流流域の優良林分の伐採（伐採面積：約300ha、伐採量：約30000m³）が行われていた。したがって、永見らは、試験開始直後においては、この伐採の流出量への影響が残っているものと考えて解析を行った。その結果、試験開始当初では、暖候期間の流出量は多少増加したが、試験開始後では植生の回復等によって、流出量が年を追って減少したことを報告している。

本報告では、これらの影響も検討の対象とし、さらに、1962年から始まった本格的な伐採の影響も加えて、1938年から1978年までの41年間について検討したものである。

この報告をとりまとめるに当たり、試験開始当時より、流域の設定や、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、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 本流流域の概要

本流流域の地況等については、これまでの報告^{1)～3)5)6)10)}に詳細に述べられているので、ここでは、それらに従って、その概要についてのみ述べる。

宝川試験地の本流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、利根川上流の一支流である宝川の中流部以上を占める流域面積1905.6ha、最低標高800m、最高標高1945mの急峻な山岳流域である。

地質は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、石英閃緑岩である。第三紀層に属するものは凝灰岩で、流域の低海拔地の区域を形成している。第四紀層に属する洪積地帯は流域のところどころに団地状に分布し、比較的深い土壌層をもっている。その他蛇紋岩の大きな団塊が古期花崗岩のなかに、小さな団塊は凝灰岩のなかに現れている。

地形は急峻で、溪谷はV字状をなし、いたる所に小さな断層に基づく滝を形成しており、全体として壮

年期の地形を呈している。流域の形状はほぼ北西から南東に長い長方形形状である。計測された地形因子を Table 1 に示す。

この流域は表日本側にあるが、冬季間は全く裏日本型山岳気候であり、降雪量が多く、冬季間の最大積雪深は基地露場では 3 m、奥地では 5～6 m に達する。夏半年は多少表日本型を呈し、全年を通じて降水量が多く、多雨多雪型の流域である。基地露場（東経139°01′，北緯36°51′，海拔高816m）における1938～'56年の気候表を Table 2 に示す。

降水量の観測は、1958年の冬から冬季の観測を中止し、暖候期のみ（4月中旬から11月ごろまで）の観測を行っている。

現在における流域内の降水量の観測地点は、Fig. 1 に示すように、基地露場のほかに、野地平、板幽平、広河原、大石沢の合計5か所で、長期自記雨量計を置いて観測を続けている。

量水施設や量水方法などは、前報¹⁾²⁾³⁾⁵⁾で詳細に述べてあるので、省略する。

3 本流流域の林況の変遷

本流流域の林況は、前述したように、ブナを主とする天然林で占められているが、一部に樹木限界（大体高度1500m、Fig. 1参照）以上の無立木地域がある。その面積割合は、流域面積 1905.6 ha 中、無立木地は 592.4ha (31%)、有林地は1313.2ha (69%) となって

Table 1. 本流流域の地形因子（永見ら⁶⁾による）
Topographic factors of the HONRYU watershed. (After NAGAMI *et al.*⁶⁾)

地 形 因 子 Topographic factors	
流 域 面 積 (ha) Watershed area	1905.66
平 均 高 度 (m) Mean elevation above sea level	1391
平 均 傾 斜 (度) Mean slope (degrees)	24°05′
平 均 方 位 Mean direction	S72°31′E
主 流 長 (km) Stream length	6.43
谷 密 度 (km/km ²) Drainage density	3.36

Table 2. 基地露場における気候表（1937～1956）
Climatic data table at the Base weather station
in the HONRYU watershed (1937-1956).

月 Month 因子 Climatic factors	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	年 Annual
降 水 量 (mm) Precipitation	254.3	191.8	143.8	126.7	125.2	171.3	220.6	150.8	191.5	168.7	156.6	233.0	2134.4
平 均 気 温 (°C) Mean temperature	-4.2	-3.9	-0.2	5.4	11.4	16.0	20.7	22.0	17.4	11.2	5.1	-1.0	8.3
平均最高気温 (°C) Mean maximum temperature	0.0	0.4	4.2	10.8	17.9	21.4	25.7	27.1	21.9	16.0	9.7	2.9	13.2
平均最低気温 (°C) Mean minimum temperature	-8.3	-8.1	-4.5	0.0	4.9	10.6	15.6	16.9	12.9	6.3	0.4	-4.9	3.5
平均蒸発量 (mm) Mean evaporation	1.1	1.6	2.2	3.1	3.9	3.4	3.9	4.2	2.7	1.8	1.3	1.0	2.5
平 均 湿 度 (%) Mean humidity	83	82	79	76	78	83	84	83	86	86	82	84	82
平 均 風 速 (m/s) Mean wind velocity	1.3	1.4	1.6	1.6	1.5	0.9	0.8	0.8	0.7	0.8	1.0	1.1	1.1

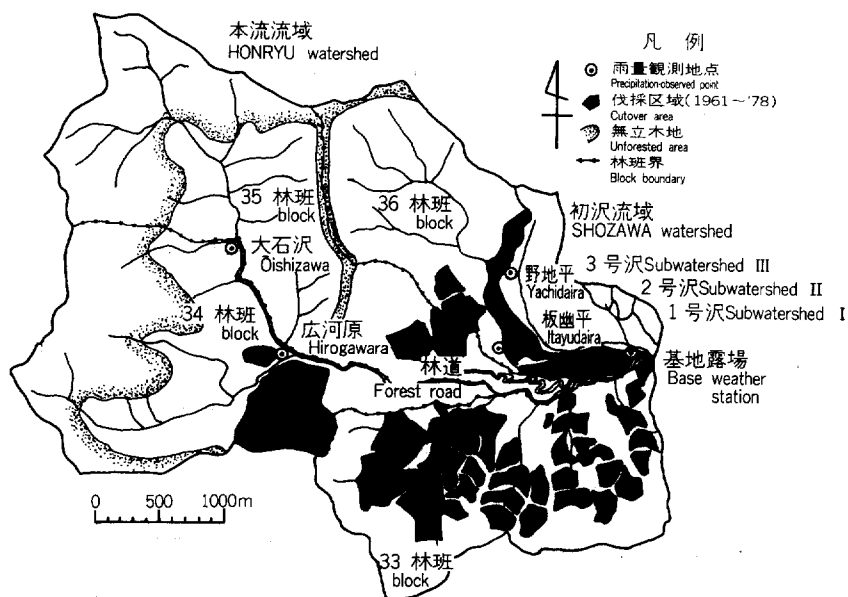


Fig. 1 本流流域における1961~'78年までの伐採区域および雨量観測地点
Cutting zone during the period from 1961 to 1978 and precipitation
observed points in the HONRYU watershed.

Table 3. 本流流域における試験開始前の伐採面積および伐採材積
Cut area and volume before the experiment on the HONRYU watershed.

伐採年度 Year	伐採面積(ha) Cutover area	伐採材積(m ³) Volume of timber cut	伐採地名 Name of cutover place
1934	39.23	3564	板幽沢 Itayuzawa
1935	79.35	7200	" "
1936	82.51	7900	板幽沢・鈴見入沢 Itayuzawa・Suzumi-irizawa
1937	66.86	6869	後沢 Ushirozawa
1938	28.59	2930	" "
合計 Total	296.54	28463	

いる。天然林の蓄積はha当たり約140m³とみられている。

林況の詳細は前報⁵⁾¹⁰⁾にゆずるが、1937年の試験開始前に下流部分で行われた伐採の面積および伐採量を、Table 3 に示した。なお、その伐採の位置等は永見ら⁶⁾の報告に詳しく述べられている。

その後、1960年まで伐採がなかったが、1961年から本格的に伐採が開始され、1978年までに、Table 4 に示すように、伐採面積で約500ha、伐採量60000m³に達した。

この伐採は、Fig. 1 に示すように、主として流域の下流部右岸について、小面積団地状に行われ、尾根筋や斜面の方向に対して直角に樹林帯を残存させた。また、伐出のための林道を本流沿いに施工して、主としてトラック輸送による搬出を行った。

伐採跡地には、Table 5 に示すように、スギ、カラマツを植栽した。

Table 4. 本流流域における年度別伐採量
Annual volume of timber cut on the HONRYU watershed.

伐採年度 Year	林班名 Block number	伐採面積 Cutover area (ha)	伐採材積 Volume of timber cut (m³)				合計 Total	伐採地名	Name of cutover place
			皆伐 Clear cut		択伐 Selec- tive cut				
			N	L	N	L			
1961	36	2.96			27	20	47	板幽沢	Itayuzawa
1962	"	22.19	720	2409			3129	"	"
1963	"	14.18	520	538			1058	"	"
"	33	4.80			215		215	"	"
"	36	7.11		213			213	"	"
1964	35	36.00	3342	5513			8855	大野地	Ōyachi
1965	"	4.00	370	617			987	"	"
"	"	53.46	738	4180			4918	"	"
1966	33	14.72	726	2540			3266	武能平	Bunōdaira
"	"	0.99			20	55	75	"	"
1967	"	0.97	55	107			162	"	"
"	"	1.00			49		49	"	"
1968	"	16.83	1203	2381			3584	"	"
"	"	8.38			177	262	439	"	"
1969	"	18.68	48	3123			3171	"	"
"	"	16.26				1381	1381	"	"
1970	"	14.66	288	2596			2884	"	"
"	"	21.81			144	1295	1439	"	"
"	"	15.11	302	2720			3022	"	"
1975	"	28.08	1257	2815	37	459	4568	小洞沢・鈴見	Koborazawa
"	"	4.05	114	236	72	70	492	入沢	Suzumi-irizawa
1976	"	4.25	175	275	51	17	518	広河原	Hirogawara
"	"	28.46	802	1408	98	269	2577	"	"
"	34	47.42			75	2515	2590	"	"
1977	33	40.35	930	2167	218	592	3907	後沢・板幽平	Ushirozawa Itayudaira
"	"	5.17	47	498	73	19	637	"	"
"	36	12.22	1	1237	19	112	1369	"	"
1978	33	33.23	1908	3119			5027	後沢・鈴見入沢	Ushirozawa Suzumi-irizawa
合計 Total		477.34					60579		

(Note) N : 針葉樹 Coniferous tree, L : 広葉樹 Broad leaved tree

Table 5. 本流域の年度別植栽面積
Annual planted area of the HONRYU watershed

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 Numbers of planted tree	備 考 Remark
1963	36	1.00	ス ギ	3500	{内4.04 ha は 1970年植栽 4.04ha within 10.84 ha was planted in 1970
1964	"	2.65	"	9800	
1965	"	7.78	スギ, カラマツ	23300	
1966	"	13.05	ス ギ	52100	
1967	35	34.65	スギ, カラマツ	109200	
1968	35, 36	32.41	"	89900	
1969	33	10.84	"	30400	
1976	"	5.81	ス ギ	18500	
1977	"	20.09	スギ, カラマツ	73100	
1978	"	24.32	ス ギ	35700	
合 計 Total		152.60		445500	

(Note) スギ: *Cryptomeria japonica* D. Don.
カラマツ: *Larix ledtoledis* Murrey

4 試験結果および考察

本報告では、森林伐採が流出量に及ぼす変化の程度を検出する方法として、従来から採用してきた三つの方法に従って、それぞれ別々に検出を試みた。三つの方法をつぎに示す。

第一の方法は、流出量と降水量との毎年の累積和（この報告では暖候期間の8月～10月の累積和）について、double-mass curveを描くことによって、変化の定性的傾向を把握する方法⁴⁾である。

第二の方法は、最初に流域内の林況の変遷などで、あらかじめ判明している試験処理内容に基づいて、あるいは、第一の方法で描いた double-mass curve を参考にして、資料の期間を無処理期間（原生林等）と処理期間（皆伐、択伐等）とに分ける。つぎに無処理期間において、流出量を推定する回帰式（主として雨との回帰）を求めて、これを用いて処理期間において、もし処理が行われなかった場合の流出量（期待値）を求める。処理期間の実測流出量とこの期待値との差を処理による変化量とみなし、この変化量の統計的有意性から変化量の定量的な検討をする方法⁷⁾である。

第三の方法は、第二の方法で分けた各期間ごとに流出量を推定する回帰式を求め、各回帰式間について、共分散分析法を用いて統計的な比較をし、変化を検討する方法⁸⁾である。

以上の三つの方法を用いて、本流域における暖候期間の流出量変化を検討した結果を、つぎに示す。

4-1 Double-mass curve による流出量変化の検出

本流域においては、冬季の降水量の観測を1958年の冬より中止しているので、この報告では雪の影響のない期間を暖候期間と呼び、この期間に限って解析をした。

溪流に融雪水が認められなくなる時期、すなわち、溪流流量に融雪による日週変化がなくなる時期は、この流域では7月下旬～8月上旬である。暖候期間はそれ以後10月下旬ころまでである。この報告では8月から10月までの3か月間とした。

永見ら⁶⁾は、この流域の降水量として、基地露場と広河原および大石沢のそれぞれの観測地点の降水量

を用いて流域の平均降水量を算出しているが、観測開始以来、数年間は広河原、大石沢とも欠測が多いので、この報告では、欠測がほとんどなく、また、観測位置の変更もない基地露場における降水量のみを用いることにした。

本流域における8～10月の流出量の毎年の累積和と基地露場における同期間の降水量の毎年の累積和 (Appendix-Table 1 参照) との関係を、double-mass curve で示したのが Fig. 2 である。

前述したように、試験開始時までの5年間に流域下流部分の優良林分を約300ha伐採したので、伐採中でもある1938年の試験開始時には、その影響が残っているものと思われる。したがって、double-mass curve は、1960年ころまでは、ほとんど1本の直線のように見えるが、詳細にみると、上に凸のゆるい曲線を描いており、降水量に比較して、流出量は最初は増加し、その後漸減しているのがわかる。このことは、平均降水量で同じ検討をした永見ら⁹⁾も認めている。1961年～'62年ころから流域内では本格的な伐採が始まったので、この double-mass curve も、明らかに上向きに転じていることがうかがえ、それまでの流出量と降水量との関係が変化したことがほぼ確実のように思える。しかし、1961～'66年までは、伐採が始まったのにもかかわらず、直線が上向きにならなかった。

上述の double-mass curve の変化や林況の変遷から、この報告では1938年から1978年までの期間を、つぎの三つの期間に区分した。第一の期間は、1938年から1947年までの10年間とし、この期間は試験開始以前の伐採の影響が残っている期間で、これを伐採影響期間と呼ぶことにする。

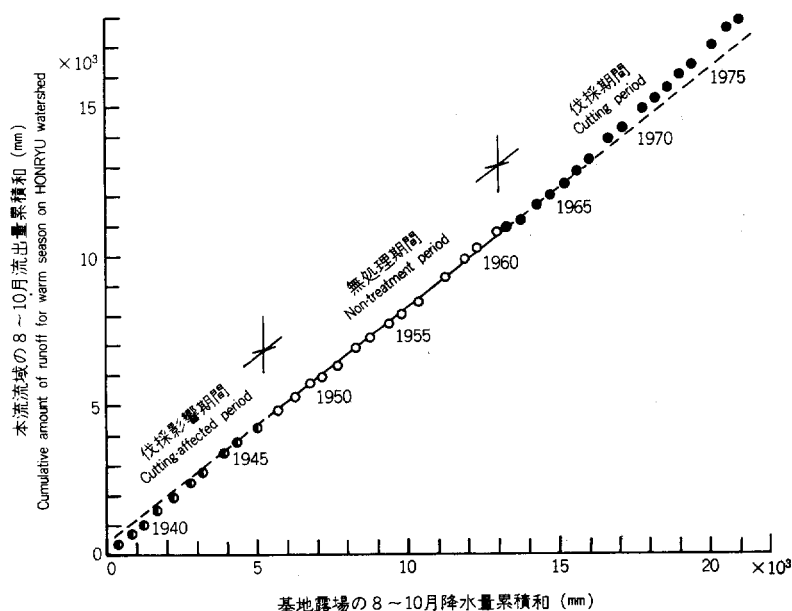


Fig. 2. 本流域における暖候期間の流出量と降水量との double-mass curve
Double-mass curve of runoff versus precipitation for warm season on
the HONRYU watershed.

第二の期間は1948年から伐採が再び始まる1961年までの14年間の期間で、この期間内は流域内の森林が放置されたので、これを無処理期間と呼ぶことにする。第三の期間は1962年以後の期間で、流域内で伐採が再び開始されたので、伐採期間と呼ぶことにする。伐採影響期間と無処理期間の区分はなかなか見分けにくい、後述する統計的手法を用いる場合に、基準となる無処理期間がなるべく長い期間とれば、伐採の影響をより精度よく検出できるのではないかと考えて、上記のように区分した。また、1961年はすでに伐採が始まっているが、Table 4 によれば約3 ha程度であるので、この年も無処理期間の中に含めた。

4-2 無処理期間の回帰式による流出量の経年変化の検出

8～10月の暖候期間における本流域の流出量を決めるのは、大部分8～10月における降水量である。しかし、本流域のように、流域面積が大きい場合には、8～10月の降水量のほかに、7月の降水量（先行降水量）も関連があり、流出量は8～10月の降水量と7月降水量との重回帰式で推定するのが最もよいものと判断した。

各期間における流出量を推定する回帰式を求めると、つぎのようになった。

伐採影響期間：

$$R=0.8500P_1+0.4362P_2-88.43 \dots\dots\dots(1)$$

(重相関係数：0.9681)

無処理期間：

$$R=1.1544P_1+0.4912P_2-307.63\dots\dots\dots(2)$$

(重相関係数：0.9658)

伐採期間：

$$R=1.3023P_1-0.0149P_2-194.77\dots\dots\dots(3)$$

(重相関係数：0.8895)

ここで P_1 は基地露場における8～10月降水量 (mm)、 P_2 は同露場における7月降水量 (mm)、 R は本流域における8～10月流出量 (mm) である。

無処理期間の回帰式(2)によって、伐採影響期間と伐採期間のそれぞれの降水量 P_1 、 P_2 を用いて、両期間の流出量を推定した。この値は、両期間において、もし、伐採がなかったとした場合の流出量の期待値である。一方、両期間における実測流出量とこの期待値との差を、流出量の伐採による変化量とみなし、その変化量の統計的な有意性を検定した。それを示したのが Table 6 である。また、この変化量と森林伐採量や気象因子との関連を示したのが、Fig. 3 である。

伐採影響期間においては、統計的に有意（有意水準を5%とする）になる流出量の増加はなかったが、1938～'44年ころまでは流出量の変化量が大きく、正の符号をもつ増加傾向の変化量であることから、試験開始以前の伐採の影響が1944年ころまで残っていたものと考えられる。しかも、1938年には伐採が終了しており、その後徐々に変化量が減少していく傾向にあることも注目してよい。

伐採期間では1968、'69、'74、'77の4年間に有意な増加 (Fig. 3 の黒色棒グラフ、132～282mm、31～129%) が認められた。その他の1964、'66、'70、'73、'75、'76の6年間も比較的大きな変化量であった。また、1962～'64年の伐採開始後の3年間は、いずれも負の変化量であり、統計的にも有意にならなかった。伐採影響期間の1945～'47年の3年間も含めて、無処理期間と比較して流出量に変化がなかったとみなせる。

Table 6. 本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 cutting of forest vegetation for warm season on the HONRYU watershed.

期間 Period	年 Year	暖 候 期 間 流 出 量 Runoff for warm season				確 率* Probability	式(2)'および(2)''による流出量期待値 Expected runoff by equation (2)' and (2)'' (mm)
		実 測 値 Measured (mm)	期 待 値 Expected (mm)	変 化 量 Changes of amount in millimeter (mm)	変 化 率 Changes of amount in per cent (%)		
伐 採 影 響 期 間 Cutting-affected period	1938	324.24	232.08	+ 92.16	+ 39.7	0.2	252.21
	1939	365.17	286.33	+ 78.84	+ 27.5	0.2	299.19
	1940	308.44	215.72	+ 92.72	+ 43.0	0.2	237.61
	1941	438.55	354.63	+ 83.92	+ 23.7	0.2	366.98
	1942	490.46	426.94	+ 63.52	+ 14.9	0.2	430.90
	1943	470.75	396.78	+ 73.97	+ 18.6	0.2	399.23
	1944	348.50	268.86	+ 79.64	+ 29.6	0.2	288.67
	1945	676.48	682.34	- 5.86	- 0.9	0.9<	663.50
	1946	371.63	331.89	+ 39.74	+ 12.0	0.5	345.36
	1947	441.36	478.46	- 37.10	- 7.8	0.5	474.62
	平 均 Average	423.56	367.40	+ 56.16	+ 15.3		375.83
伐 採 期 間 Cutting period	1962	173.65	193.33	- 19.68	- 10.2	0.8	186.29
	1963	283.79	303.97	- 20.18	- 6.6	0.7	309.18
	1964	516.95	623.57	-106.62	- 17.1	0.2	550.50
	1965	257.89	187.05	+ 70.84	+ 37.9	0.3	180.22
	1966	389.51	311.77	+ 77.74	+ 24.9	0.2	329.24
	1967	442.29	377.08	+ 65.21	+ 17.3	0.3	327.35
	1968	391.62	213.10	+178.52	+ 83.8	0.01	238.96
	1969	713.11	542.60	+170.51	+ 31.4	0.01	560.15
	1970	329.21	250.51	+ 78.70	+ 31.4	0.2	277.16
	1971	638.13	579.69	+ 58.44	+ 10.1	0.3	566.90
	1972	343.35	297.59	+ 45.76	+ 15.4	0.4	297.66
	1973	313.23	212.08	+101.15	+ 47.7	0.2	258.89
	1974	461.47	329.54	+131.93	+ 40.0	0.05	292.84
	1975	326.65	243.68	+ 82.97	+ 34.0	0.2	232.77
	1976	729.34	611.99	+117.35	+ 19.2	0.1	612.66
	1977	501.34	219.20	+282.14	+ 128.7	0.001	258.32
	1978	266.20	227.87	+ 38.33	+ 16.8	0.6	267.27
	平 均 Average	416.34	336.74	+ 79.60	+ 23.6		338.02

* 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.

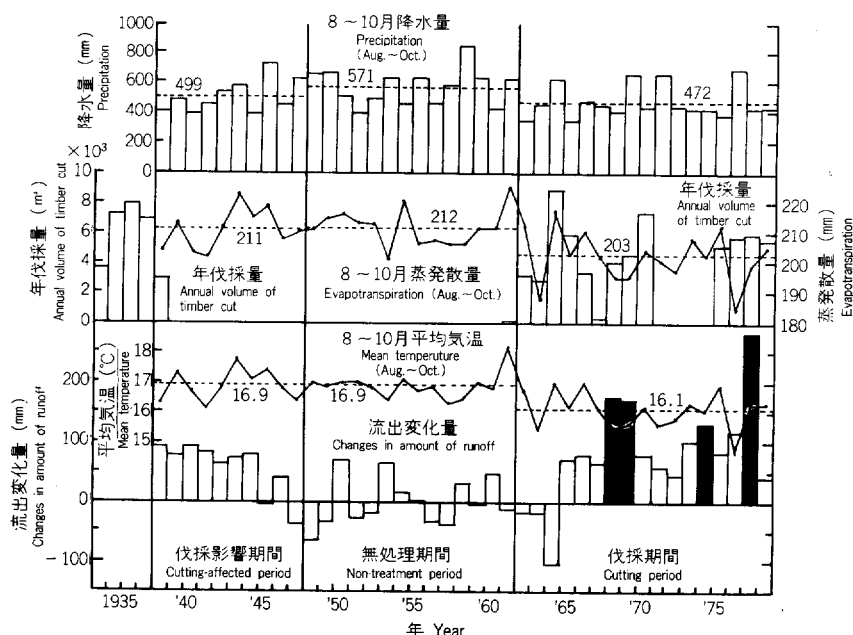


Fig. 3. 本流域における暖候期間の流出変化量，各種気象因子および年伐採量の経年的変化
Chronological variation of changes in amount of runoff, meteorological factors for warm season and annual cut volume of forest vegetation on the HONRYU watershed.
(Note) 黒色柱状グラフは統計的に有意になった流出変化量
The black-colored rectangles indicate statistically significant change of runoff at five per cent level.

また、Fig. 3 に示した 毎年の変化量と毎年の森林伐採量との 対応関係は、全く符合していないこともわかった。

Table 6 によると、伐採影響期間を通じての平均増加量は 56.16mm で、同期間の流出量期待値の平均値 367.40mm に対して 15.3% の増加率を示した。ただし、前述したように、毎年の変化量はどの年も統計的に有意になる年はなかった。一方、伐採期間について、同様の計算をすると、平均増加量は 79.60mm で、同期間の流出量期待値 336.74mm に対して 23.6% の増加率を示した。この期間は毎年の流出量をみても、統計的に有意な増加を示した年もあった。

変化量は、森林伐採量のみに影響されるばかりでなく、降水量やその降り方、気温（蒸発散）等に関係があることは認められている⁷⁾。

今回の解析の場合も、Fig. 3 中に、8~10月の降水量と8~10月の平均気温（Appendix-Table 2 参照）を示しておいた。平均降水量では無処理期間が 571mm、伐採影響期間が 499mm、伐採期間が 472mm となっており、伐採期間が無処理期間より平均して約 100 mm も少ない降水量であった。しかも、伐採期間の流出量は増加しているので、この増加は伐採の影響であると判断してもさしつかえないものと思う。しかし、一方、8~10月の3か月間の平均気温をみると、無処理期間と伐採影響期間では、それぞれ、16.9℃で同じ平均気温を示したが、伐採期間では 16.1℃で、3か月平均気温で 0.8℃も低かった。月別にみると、9月と10月の月平均気温では約 1℃ほど低いことがわかる。このように平均気温が低いと、当然、

蒸発散量が抑制され、それだけ流出量が多くなる可能性がある。いま、ハモン式⁹⁾によって、8～10月の月平均蒸発散量(能)を推定し、それぞれの期間で平均すると、伐採影響期間では8～10月の3か月で211mm、無処理期間で212mm、伐採期間で203mmと推定された。無処理期間と伐採期間では9mm程度の差が表れたにすぎない。しかし、これは平均値であり、Fig. 3のグラフからもわかるように、ハモン式によって求められた蒸発散量の最大と最小では、40mm程度の差があることがわかる。したがって、伐採期間の変化量の増加は、すべてその原因を森林伐採だけにとみるわけにはいかないと考えられる。

4-3 回帰線の比較による流出量変化の検出

前項で求めた重回帰式について、無処理期間の重回帰式と伐採影響期間ならびに伐採期間の重回帰式とを、共分散分析法で比較を行った。

まず、無処理期間と伐採影響期間との重回帰式(2)と(1)の比較では、重回帰式の各係数には差がなかったが、重回帰式の定数項には有意水準5%で差があることがわかった。前項の毎年の流出量を比較する方法では、有意差は認められなかったが、期間を通じて平均的にみたこの方法では、両期間に有意な差があることが検出できた。

重回帰式の各係数間に統計的に有意な差がないことがわかったので、両者の回帰線は平行であるとみなしてよい。したがって、共通の係数を用いて、式(1)と(2)を書き直すと、

伐採影響期間：

$$R=1.0433P_1+0.4728P_2-192.31\cdots(1)'$$

無処理期間：

$$R=1.0433P_1+0.4728P_2-240.04\cdots(2)'$$

となった。この平行な二つの回帰線の差は定数項の差であるから、その値は47.73mmで、これだけ伐採影響期間の回帰線の方が高かった。この値は、式(2)'を使って計算した伐採影響期間の流出量の平均値375.83mm(もし、伐採の影響がなかった場合の平均流出量、Table 6参照)に対して、12.7%の増加である。

つぎに無処理期間と伐採期間との重回帰式(2)と(3)の比較では、やはり、回帰線の定数項にのみ有意水準5%で差があった。前述と同じように、共通の係数を用いて、式(2)と(3)を書き直すと、

無処理期間：

$$R=1.2162P_1+0.1510P_2-266.25\cdots(2)''$$

伐採期間：

$$R=1.2162P_1+0.1510P_2-187.93\cdots(3)'$$

となった。この平行な回帰線の差は78.32mmで、式(2)''を使って計算した伐採期間の流出量の平均値338.02mm(もし、伐採がなかった場合の平均流出量)に対して、23.2%の増加率を示したことになる。

以上、三つの検出方法によって解析したところ、伐採影響期間における毎年の流出量は、有意に増加した年はなかったが、期間全体としてみると、明らかに無処理期間より流出量が増加し、その増加量は47.73mm、12.7%(回帰線の比較による方法)の増加となった。永見ら⁶⁾の報告によると、1934年に始められた伐採について、「当時の国有林の天然林に対する施業方針は、天然更新を主体としたため、伐採に当たっては広区域傘伐作業が行われた。しかし、下種伐と受光伐を兼ねる方法がとられたため、伐採率は蓄積の70%に達し、局部的に地味良好な平坦地は皆伐された」と述べられている。しかし、皆伐された区域の面積は小さく、当時の伐採は流出量に及ぼす影響は大きなものではなかったと思われる。

一方、伐採期間における毎年の流出量および期間全体をまとめた場合の流出量は、無処理期間と比較すると、統計的に明らかに増加したことがわかった。その増加量は、有意に増加した4年間の値で132~282 mm, 31~129%の範囲であった。また、期間全体では78.32mm, 23.2%の増加となった。しかし、毎年の流出量の増加量は伐採量と必ずしも符合するものでなく、この増加量が他の要因との関連で増減するものであることを示した。ことに伐採期間における8~10月の平均降水量が、基準となるべき無処理期間の平均降水量よりも100mmも少ないことは、伐採の影響をより正確に知ることを困難にしていると考えられる。また、それに加えて、伐採期間における8~10月の平均気温が、無処理期間より0.8℃も低かったことが、蒸発散量に影響を及ぼすことは明らかである。一応、ハモン式で蒸発散量を計算したところ、影響は僅少であることがわかったが、実際のところは不明な点が多い。したがって、このことが流出量の変化にどの程度の影響を及ぼすかも不明である。今のところ、これらの影響は少ないものとみなし、以上の報告をした。

5 要 約

宝川試験地の本流流域における1938年から'78年までの暖候期間(8~10月)流出量の森林伐採による変化を解析した。

全試験期間を三つの期間に分けた。すなわち、1983~'47年の10年間を1934~'38年の伐採のための影響期間、1948~'61年の14年間を無処理期間、1962~'78年の17年間を伐採期間とした。

解析に使用した方法は、double-mass curveによる方法、無処理期間の回帰線による方法および回帰線の比較(共分散分析)による方法の三法である。

解析結果はつぎのとおりである。

1934~'38年の伐採は、面積約300ha、材積約30000m³で、この面積は有林地面積1313.2haに対して23%である。この伐採に続く1938~'47年の伐採影響期間における暖候期間の流出量は、無処理期間を基準にすると、毎年の流出量は統計的に有意に増加する年はなかった。しかし、この期間のdouble-mass curveが、無処理期間よりは、やや上に凸の曲線を描くことから、流出量がやや増加したことが認められた。また、無処理期間と伐採影響期間のそれぞれにおける降水量と流出量との回帰線の比較では、統計的に有意な差が得られ、その値は、伐採影響期間の方が無処理期間より、47.73mm, 12.7%流出量が多かった。

つぎに、1962~'78年の17年間にわたって行われた500ha(有林地面積に対して38%)、60000m³の伐採に対する影響では、明らかに暖候期間の流出量が増加した。double-mass curveは、明らかに勾配が無処理期間より急になり、毎年の流出変化量も、統計的に有意な年があった。その増加量は、有意になった4年間の値で、132~282mm, 31~129%に達した。

無処理期間と伐採期間のそれぞれにおける降水量と流出量との回帰線の比較では、統計的に有意な差を検出することができた。伐採期間は、無処理期間より、78.32mm, 23.2%の増加を示した。

引用文献

- 1) 山田昌一：宝川森林治水試験報告。東京営林局，259 pp, (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〕。前橋営林局，157+39pp, (1950)
- 3) 武田繁後：年流出量と主なる降雨の増水量に就て〔宝川森林治水試験第2回報告〕。林試研報，50，1～87, (1951)
- 4) 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。日林誌 42(1), 10～17, (1960)
- 5) 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)。119～171, (1961)
- 6) 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)
- 7) 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)
- 8) スネデカー・コ克蘭 (畑村・奥野・津村共訳)：統計的方法。岩波書店，394～416, (1972)
- 9) 中野秀章：森林水文学。共立出版KK, 114～115, (1976)
- 10) 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)

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

——The HONRYU Basin in the TAKARAGAWA Experimental Watershed.——

(Experiment on Forest Influence upon Streamflow in

TAKARAGAWA. The 4th Report.)

Shoichi YOSHINO⁽¹⁾ and Akio KIKUYA⁽²⁾

Summary

Effect of partial removal of forest vegetation on streamflow was studied on the HONRYU Basin in the TAKARAGAWA Experimental Watershed.

Before the start of the watershed experiment, the forest was established naturally and the major species present were *Fagus* sp., *Quercus* sp. and *Thujaopsis dolabrata* SIEB. et ZUCC..

Runoff from the HONRYU Basin during warm seasons (August through October) for the 41-year period 1938–1978 were analysed by three different statistical methods.

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

The first sub-period 1938–1947 is the cutting-affected period or after-treatment period, because the forest vegetation in the lower part of the HONRYU Basin was cut during the 5-year period 1934–1938 (just prior to this sub-period).

The second sub-period 1948–1961 is the non-treatment period or calibration period. Forest vegetation on the basin was not cut during this period.

The third sub-period 1962–1978 is the cutting period or treatment period. Forest vegetation on the basin was extensively cut during this period. The cutover area totaled to 500ha, and the harvested volume amounted to 60,000m³.

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

(1) Double-mass analysis:

The double-mass curve of runoff versus precipitation is constructed for the warm seasons (August to October) of the whole period of study. The curve suggests that cutting of the forest stands brought about an increase of runoff and their regrowth had an effect in the opposite direction.

(2) Multiple linear regression analysis :

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

for the cutting-affected period

$$R=0.8500P_1+0.4362P_2-88.43 \quad (1)$$

for the non-treatment period

$$R=1.1544P_1+0.4921P_2-307.63 \quad (2)$$

for the cutting period

$$R=1.3023P_1-0.0149P_2-194.44 \quad (3)$$

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

Equation (2) was used to compute expected values of runoff for the other two periods (the

Received June 25, 1984

(1) Takaragawa Experimental Station

(2) Forest Influence Division

cutting-affected period and the cutting period).

The difference between individual expected and measured values was tested for significance (see Table 6).

For the cutting-affected period, there occurred no significant changes in runoff at 5 percent level. But the measured values of runoff during the 7-th period 1938-1944 were apparently larger than the expected values, though their differences tended to become smaller as the forest vegetation was regenerated.

For the cutting period, on the other hand there were significant increases in the Aug.-Oct. runoff in the '68, '69, '74 and '77 years.

(3) Analysis of covariance :

From the results of covariance analysis, it was concluded that the Aug.-Oct. runoff increased by 47.7 mm or 12.7 percent in the cutting-affected period and by 78.3 mm or 23.2 percent in the cutting period as compared with the corresponding runoff in the non-treatment period.

Appendix-Table 1. 本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降水量
Runoff for warm season from the HONRYU watershed and precipitation for the corresponding season at the Base weather station

期 間 名 Period	年 Year	本 流 域 流 出 量 (mm) Runoff from the HONRYU watershed				基 地 露 場 降 水 量 (mm) Precipitation on the Base weather station				
		月 流 出 量 Monthly runoff		合 計 Total	果 積 和 Cumulative	月 降 水 量 Monthly precipitation			合 計 (8月~ 10月) Total Aug.~ Oct.	果 積 和 Cumulative
		8 月 Aug.	9 月 Sept.			7 月 July.	8 月 Aug.	9 月 Sept.		
伐 採 影 響 期 間 Cutting-affected period	1938	47.27	101.36	175.61	324.24	155.4	96.6	99.7	205.1	401.4
	1939	180.67	137.65	46.85	365.17	84.4	223.0	176.4	79.2	478.6
	1940	98.23	105.06	105.15	308.44	161.8	170.8	73.4	140.3	384.5
	1941	54.53	228.92	155.10	438.55	294.2	92.3	268.8	87.4	448.5
	1942	91.09	105.66	293.71	490.46	244.7	181.1	113.8	237.3	532.2
	1943	37.01	200.29	233.45	470.75	92.1	79.6	263.1	228.3	571.0
	1944	86.92	134.41	127.17	348.50	266.7	102.7	126.8	156.4	385.9
	1945	55.45	165.64	455.39	676.48	306.6	115.0	195.2	416.9	727.1
	1946	128.91	70.69	172.03	371.63	257.3	144.9	115.4	184.2	444.5
	1947	58.73	292.92	89.71	441.36	146.3	130.5	391.5	96.7	618.7
無 処 理 期 Non-treatment period	1948	90.36	346.07	123.67	560.30	372.4	120.8	368.8	159.6	649.2
	1949	49.17	264.35	151.41	464.93	108.7	235.1	221.3	196.6	653.0
	1950	208.54	101.96	136.67	447.17	226.6	231.0	127.3	139.2	497.5
	1951	27.30	56.22	111.57	195.09	159.6	100.3	144.1	147.6	392.0
	1952	155.30	96.01	125.14	377.45	278.0	153.5	190.4	149.4	493.3
	1953	266.96	267.79	76.15	610.90	267.2	299.5	256.6	69.3	625.4
	1954	80.74	144.41	87.62	312.77	166.6	173.7	156.4	122.7	452.8
	1955	42.75	128.75	307.38	478.88	131.2	130.6	225.4	267.9	623.9
	1956	56.08	119.33	114.70	290.11	219.9	127.5	204.6	121.7	453.8
	1957	141.08	175.19	137.59	453.86	260.5	228.4	231.6	121.3	581.3

間	1958	178.27	398.38	245.73	822.38	9249.42	268.0	280.5	335.0	222.5	838.0	11252.6
	1959	241.35	181.29	190.52	613.16	9862.58	266.8	276.9	222.0	183.1	682.0	11934.6
	1960	143.17	112.29	107.40	362.86	10225.44	264.3	130.6	177.2	119.1	426.9	12361.5
	1961	126.19	88.07	268.76	483.02	10708.46	166.0	236.2	162.4	227.5	626.1	12987.6
伐 採 期 間 Cutting period	1962	33.05	35.43	105.17	173.65	10882.11	205.3	111.8	70.0	164.8	346.6	13334.2
	1963	85.73	68.99	129.07	283.79	11165.90	188.0	239.5	64.8	145.5	449.8	13784.0
	1964	71.94	246.49	198.52	516.95	11682.85	448.3	172.7	283.4	159.8	615.9	14399.9
	1965	40.36	178.62	38.91	257.89	11940.74	203.8	67.5	190.7	83.6	341.8	14741.7
	1966	80.17	192.08	117.26	389.51	12330.25	155.7	122.1	241.7	106.5	470.3	15212.0
	1967	165.18	138.36	138.75	442.29	12772.54	348.6	160.2	111.8	172.8	444.8	15656.8
	1968	166.45	84.08	141.09	391.62	13164.16	118.4	214.9	48.7	137.1	400.7	16057.5
	1969	434.10	162.93	116.08	713.11	13877.27	189.2	316.9	216.8	122.3	656.0	16713.5
	1970	44.42	154.95	129.84	329.21	14206.48	121.7	100.4	233.1	98.2	431.7	17145.2
	1971	117.15	327.27	193.71	638.13	14844.61	277.4	176.9	284.8	188.9	650.6	17795.8
	1972	86.88	192.82	63.65	343.35	15187.96	201.1	172.3	176.4	90.0	438.7	18234.5
	1973	101.17	82.50	129.56	313.23	15501.19	61.1	192.5	86.5	145.2	424.2	18658.7
	1974	212.99	149.01	99.47	461.47	15962.66	306.1	169.8	154.7	97.2	421.7	19080.4
	1975	111.87	53.09	161.69	326.65	16289.31	223.2	148.9	79.1	154.6	382.6	19463.0
	1976	239.68	303.58	186.08	729.34	17018.65	245.4	348.0	196.9	147.3	692.2	20155.2
	1977	184.31	275.25	41.78	501.34	17519.99	83.1	191.9	188.1	41.0	421.0	20576.2
	1978	22.59	91.10	152.53	266.22	17786.21	83.6	65.2	207.7	155.4	428.3	21004.5

Appendix-Table 2. 基地露場における月平均、月平均最高、月平均最低気温

Mean monthly temperature, mean maximum and minimum temperature at the Base weather station.

期 間 名 Period	年 Year	月平均気温(℃) Mean monthly temperature				8～10月 平 均 Ave.~ Aug.~ Oct.				月平均最高気温(℃) Mean monthly maximum temperature				8～10月 平 均 Ave.~ Aug.~ Oct.				月平均最低気温(℃) Mean monthly minimum temperature				8～10月 平 均 Ave.~ Aug.~ Oct.
		7 月 July	8 月 Aug.	9 月 Sept.	10 月 Oct.	7 月 July	8 月 Aug.	9 月 Sept.	10 月 Oct.	7 月 July	8 月 Aug.	9 月 Sept.	10 月 Oct.	7 月 July	8 月 Aug.	9 月 Sept.	10 月 Oct.					
伐 採 影 響 期 間 Cutting-affected period	1938	20.2	21.6	16.5	10.9	25.2	26.0	20.7	15.4	20.7	15.2	17.2	12.3	6.3	11.9							
	1939	22.0	21.3	18.4	12.2	27.8	26.2	23.2	17.6	22.3	16.1	16.3	13.6	6.7	12.2							
	1940	21.3	20.4	17.2	12.4	27.3	25.1	22.1	18.3	21.8	15.3	15.7	12.2	6.4	11.4							
	1941	19.8	21.6	16.0	10.8	24.2	26.0	20.0	16.8	20.9	15.4	17.1	12.0	4.7	11.3							
	1942	22.7	21.9	18.3	10.3	28.6	26.8	23.0	15.8	21.9	16.8	17.0	13.6	4.7	11.8							
	1943	21.0	22.9	18.8	11.7	25.9	28.2	22.9	16.4	22.5	16.0	17.6	14.7	6.9	13.1							
	1944	20.2	22.6	17.5	11.2	25.2	28.0	22.8	15.7	22.2	15.2	17.2	12.1	6.7	12.0							
	1945	17.4	23.2	17.4	11.5	21.7	28.6	21.5	15.7	21.9	13.0	17.7	13.3	7.3	12.8							
	1946	21.4	22.0	16.8	11.4	26.8	27.2	21.9	16.9	22.0	15.9	16.8	11.7	5.8	11.4							
	1947	20.9	22.8	17.1	9.4	26.3	28.7	21.7	13.8	21.4	15.5	16.9	12.4	5.0	11.4							
平 均 Ave.	20.7	22.0	17.4	11.2	25.9	27.1	22.0	16.2	21.8	15.4	17.0	12.8	6.1	11.9								
無 処 理 期 Non-treatment period	1948	21.6	21.6	17.6	11.8	26.6	26.6	21.7	16.3	21.5	16.6	16.6	13.6	7.2	12.5							
	1949	21.1	22.7	17.7	10.4	26.7	28.4	22.5	15.0	22.0	15.5	16.9	12.8	5.8	11.8							
	1950	21.6	22.5	18.3	10.3	27.2	27.2	23.2	14.9	21.8	15.9	17.7	13.3	5.7	12.2							
	1951	20.0	23.1	15.3	12.7	25.2	28.5	19.7	17.6	21.9	14.8	17.7	10.8	7.7	12.1							
	1952	20.3	22.4	17.4	10.7	24.6	27.8	21.5	15.9	21.7	16.0	17.0	13.2	5.5	11.9							
	1953	19.6	20.5	17.3	11.3	23.7	24.4	21.5	16.9	20.9	15.5	16.6	13.1	5.7	11.8							
	1954	18.8	22.1	19.3	10.0	23.3	27.0	23.6	14.0	21.5	14.3	17.2	15.0	6.0	12.7							
	1955	22.3	21.4	16.7	11.9	27.6	26.7	21.1	15.5	21.1	16.9	16.1	12.2	8.3	12.2							
	1956	20.3	20.6	18.1	12.1	24.9	25.4	22.6	16.5	21.5	15.7	15.8	13.5	7.7	12.3							
	1957	19.8	22.4	15.5	11.1	24.1	27.1	18.9	16.5	20.8	15.4	17.6	12.0	5.7	11.8							

間	1958	21.0	21.3	17.9	10.2	16.5	25.9	25.5	22.0	14.4	20.6	16.0	17.0	13.7	6.0	12.2
	1959	20.8	21.5	18.3	11.3	17.0	26.1	26.8	22.6	15.9	21.2	15.4	16.2	14.0	6.6	12.3
	1960	20.3	22.0	17.9	10.5	16.8	26.1	26.7	22.9	15.6	21.7	14.5	17.3	12.9	5.3	11.8
	1961	22.1	22.1	19.6	13.0	18.2	27.5	27.1	24.2	17.1	22.8	16.6	17.0	15.0	8.8	13.6
平均 Ave.		20.7	21.9	17.6	11.2	16.9	25.7	25.8	22.0	15.9	21.5	15.7	16.9	13.2	6.6	12.2
伐 採 期 間 Cutting period	1962	20.8	22.4	17.5	10.3	16.7	25.6	28.3	22.9	15.4	22.2	16.0	16.4	12.0	5.1	11.2
	1963	21.3	21.3	14.9	10.0	15.4	26.1	26.1	19.2	14.7	20.0	16.4	16.4	10.5	5.3	10.7
	1964	21.3	23.6	16.7	10.8	17.0	25.7	28.4	20.5	15.3	21.4	16.8	18.8	12.8	6.3	12.6
	1965	19.3	21.6	16.5	10.5	16.2	23.9	27.8	21.1	16.5	21.8	14.7	15.4	11.8	4.4	10.5
	1966	20.5	22.2	17.1	11.8	17.0	25.2	27.7	21.3	16.3	21.8	15.7	16.6	12.8	7.2	12.2
	1967	20.9	21.2	17.2	9.8	16.1	25.7	26.2	21.4	14.7	20.8	16.0	16.1	13.0	4.9	11.3
	1968	21.1	21.1	16.0	9.3	15.5	25.8	25.5	20.1	14.0	19.9	16.4	16.7	11.8	4.6	11.0
	1969	19.9	20.5	16.8	9.6	15.6	24.4	25.6	21.4	14.7	20.6	15.4	15.4	12.1	4.5	10.7
	1970	20.1	21.5	17.1	10.0	16.2	24.8	26.4	21.6	15.6	21.2	15.3	16.5	12.6	4.4	11.2
	1971	20.3	22.3	15.5	8.9	15.6	25.1	27.9	19.6	13.3	20.3	15.4	16.6	11.4	4.5	10.8
	1972	19.6	20.8	16.4	10.3	15.8	24.2	26.2	21.6	16.4	21.4	15.0	15.4	11.1	4.2	10.2
	1973	21.5	22.8	16.3	9.7	16.3	27.0	28.3	20.7	15.2	21.4	15.9	17.2	11.9	4.1	11.1
	1974	18.5	21.7	16.3	10.3	16.1	22.5	26.9	21.0	15.0	21.0	14.4	16.4	11.6	5.5	11.2
	1975	20.1	21.7	18.7	10.3	16.9	26.0	27.4	24.0	14.7	22.0	14.2	16.0	13.4	5.9	11.8
	1976	18.8	19.1	15.4	10.0	14.8	23.9	23.8	19.5	15.5	19.6	13.7	14.3	11.3	4.4	10.0
	1977	20.5	19.5	17.5	12.0	16.3	26.5	24.0	22.9	18.2	21.7	14.5	15.0	12.1	5.8	11.0
	1978	22.1	22.3	16.7	9.8	16.3	27.6	28.0	20.6	15.6	21.4	16.6	16.5	12.7	4.0	11.1
平均 Ave.		20.4	21.5	16.6	10.2	16.1	25.3	26.7	21.1	15.4	21.1	15.4	16.2	12.1	5.0	11.1