

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〕

永 見 郷 康⁽¹⁾
吉 野 昭 一⁽²⁾
阿 部 敏 夫⁽³⁾

1. は し が き

森林の取扱いと河川流出量の関係については、従来多くの試験研究が行なわれているが、いまだ合理的な森林の取扱い方法を樹立するまでには至っていない。しかし、近年において著しく発展を遂げた数理統計学的方法をとり入れた研究においては、ある程度の成果を挙げ、森林伐採と流出量の関係を定性的な結果から定量的な結果にまですすめている。この研究においても、われわれは森林伐採、特に原生林の伐採が流出量におよぼす影響を定量的に検出することを試みた。その方法は同一流域について、まず森林伐採以前における各年の暖候期間の降水量と流出量との関係を示す方程式を決定し、それを使用して伐採後における暖候期間の流出量変化を検出した。

なお、降水量と流出量の間にある一般的関係を究明することは水文学的にも重要なことであり、最近、強く叫ばれる水資源確保の問題を解決するうえにも、またわれわれのもっとも関心をよせる森林理水機能を解明するためにも、基本的な課題として解析をしなければならないものの一つである。宝川試験地における降水量と流出量の関係については、すでに1943年山田により宝川森林治水試験報告¹⁾として両者間の大要を、また1950年には武田により宝川森林治水試験第2回報告²⁾として年流出量とおもな降雨の増水量に関して、詳しい報告がなされている。筆者らはその後を受けて引きつづき観測を行ない、1960年までの資料を加え、融雪期間を除いた暖候期間の降水量と流出量の関係を取りまとめ森林伐採の影響を調べたものである。もちろんここに報告されたものは、降水量と流出量との関係について僅少な部分を示すにすぎない。この関係は、なお一層深く研究されて、全体的普遍的な法則を導き出すまでに発展せしめる必要のあるもので、そのように研究が導かれることにより、森林理水機能をより明確に示すことが容易になると考えられる。

2. 試 験 地 の 概 要

宝川試験地の地況、林況等に関する一般的な記述は宝川森林治水試験報告その1、その2¹⁾、宝川森林治水試験第2回報告²⁾および森林理水観測報告³⁾にその詳細な説明がなされているが、ここではこの報告の理解を助けるため最小限度に再掲したものである。詳細な基礎的事項については前記のものを参照されたい。

(1) 宝川試験地主任 (2) (3) 宝川試験地研究員

1. 位置

宝川試験地は利根川の上流にある一支川宝川の中流部以上の流域を占め、試験対象面積は約2,000haである。試験流域は海拔高最低1,000mから最高1,945mの急峻な山岳に囲まれている。流域本流の宝川は源を上越国境に発し、ほぼ南下して試験流域中央部にて右折し、東南東に向かい、試験区域を出てからは流れを南東に変え、現在では多目的ダム（藤原ダム）で人造湖となっている地点で、利根川本流に合流する全長約12kmの山岳川である。

試験のため基準的な気象観測を行なう地点は、試験区域の最東端（東経139°01′、北緯36°51′、海拔高816m）にあり、付近に本流試験区量水所、初沢試験区量水所および3か所の小試験区量水所があって本試験の観測基地となっている。

2. 地形

宝川試験地は現在5試験区で観測、調査を行なっているが、この報告の対象にしたのは本流試験区および初沢試験区である。両試験区とも地勢はおおむね急峻にして、溪谷はV字状をなし、いたる所に小さな断層にもとづく滝を形成している。流域の上流部にはかなり大きな露岩地があり、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辺を走らす長方形状である。

本流試験区の最高峯は笠ヶ岳で1,945mの海拔高を有し、頂部はやや平坦で小さな沼地が点在している。

初沢試験区は本流試験区の東部に位置し、流域の左岸側は南西に走る急峻な峯筋によって界せられ、右岸側は平坦な洪積台地をもって本流試験区に接している。初沢試験区の幹流は洪積台地の浸蝕によってできたもので、流域の土壌層は厚く、溪谷の発達も若い感じである。現在ではこの初沢試験区の中に3区の小試験区が設定されている。初沢試験区の最高海拔高は1,370mで、その頂部は本流試験区の峯つづきとなっている。

両試験区のおもなる地形因子を示せば第1表のとおりである。

第1表 おもなる地形因子

地 況	本流試験区	初沢試験区
流域面積 (ha)	1905.66	117.90
平均高度 (m)	1391	1067
平均傾斜	24°05′	24°45′
平均方位	S 72°30′ E	S 12°30′ W
森林面積 (ha)	1313.00	117.90
森林歩合 (%)	69	100
主溪川長 (km)	6.43	2.70
河況係数	2.96	0.44
溪川密度 (km/km ²)	3.36	4.74

3. 気候

本試験地は日本本州の脊梁山脈に位置する関係上、冬季は裏日本側の気候を呈し、降雪量多く、1冬季間の最大積雪深は、観測基地において3m、本流奥地に至ると5～6mに達することさえある。そのため冬季間は、大部分の溪谷は積雪下に埋没し、流水を見ることができない。夏季は表日本の気候の影響を受け、梅雨期および台

風期に降水量が多い。本流試験区の年降水量は約3,500mmで、その60%あまりが雪の状態で降っている。初沢試験区の年降水量は約2,600mmで、その45%が雪の状態で降る。気温は高海拔地にある関係上冷涼にして、観測基地における年平均気温は8℃あまりで、最高気温は30℃を越すこともあるが、1夏季間を通じ10数回を越すことはまれである。1～2月の最低気温が最も低く、その極は時に-20℃に達することもある。風は年間を通じ西風が多い。風速は観測基地においてはいたって小さく、20余年の観

第2表 気 候 表（観測基地露場）

因 子 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
降 水 量 (mm)	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°)	-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°)	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°)	-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)	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 (%)	83	82	79	76	78	83	84	83	86	86	82	84	82
平 均 風 速 (m/s)	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

測期間中 10m/s 以上の強風回数は4回を数えるにすぎない。しかし、山頂部には相当強い風が吹くようで、いたるところの峯筋に風衝により生育を押えられた樹形を見るのは、その場所に強い季節風が卓越している証拠であると判断される。

観測基地における月別の気象要素の平均値を掲げると第2表のとおりである。なおこれらの気象要素の値は統計期間 1937～1956年の平均値で森林気象報告⁹⁾から引用したものである。

第3表 地質別占有面積率 (%)

地 質 別	本流試験区	初沢試験区
花 崗 岩	46	10
蛇 紋 岩	11	10
凝 灰 岩	40	57
第 四 紀 層	3	23

4. 地 質

本試験地における地質調査は試験開始当初山田により詳細に行なわれ、試験の第1回報告¹⁴⁾にそれが記述されている。それによると本試験地の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、蛇紋岩が試験地流域の奥地方を占めている。第三紀層に属するのは凝灰岩類で、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所々に団地状を呈し、比較的深い土壌層をもっている。蛇紋岩の大きな団塊は古期花崗岩の中に、小さな団塊は凝灰岩の中に現われている。流域内の地質別面積比率は第3表のとおりである。

第四紀層である洪積台地上にはおおむね良好な森林が発達しているが、特に湿潤な地域には草地在形成されている。

3. 林 況

当試験地の森林状態については文献⁸⁾¹³⁾¹⁴⁾に詳細に記述されており、これらを参照していただきたいがここでは説明の便宜上必要最小限の事項を要約記述する。

1. 森林概況

本試験地の森林はブナを主体とする温帯北部の天然林で、その蓄積は ha あたり 160m³ 程度である。しかし洪積台地上の土壌の深い所には、ha あたり 400m³ を越す優秀な美林も所々に散在している。森林の主体を形成するものは胸高直径30～70cm、樹高20～25mのブナ、ナラの広葉樹で、ブナは蓄積の60%以上を占めている。針葉樹はヒバを主とし、ヒメコマツが所々に点在する。ヒバは胸高直径18～24cm 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る。ヒメコマツは急峻な岩石地上に混生している程度で、多くは胸高直径 20～30cmであるが、まれに1mを越すものもある。森林の分布限

界はおおむね海拔高 1,500mの所までで、それ以上の高さになるとブナ、ナラ等の広葉樹が低木状を呈し、直ちにハイマツ地帯につながっている。また流域奥地の粗悪な林分の下にはササが繁茂し、海拔高 1,700m付近の急斜地は露岩地となっている所が多い。

試験開始前の宝川国有林は大体上記のごとき天然林の状態であったが、現在では次項に述べるように伐採および植栽が行なわれて、流域下流の林相は大きく変化した。しかし、まだその大半は原生林の状態を保ち、温帯ブナ林の景観を呈している。

2. 林況の変遷

宝川国有林は奥利根原始林開発の先べんをつけるため、1934年水上営林署直営事業として伐採が始められた。当時の国有林、とりわけ天然林に対する施策方針は天然更新を主体としたため、伐採に当たって広区域傘伐作業が行なわれた。

しかし、下種伐と受光伐を兼ねる方法が採られたため、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、跡地にスギ、カラマツが植栽されている。

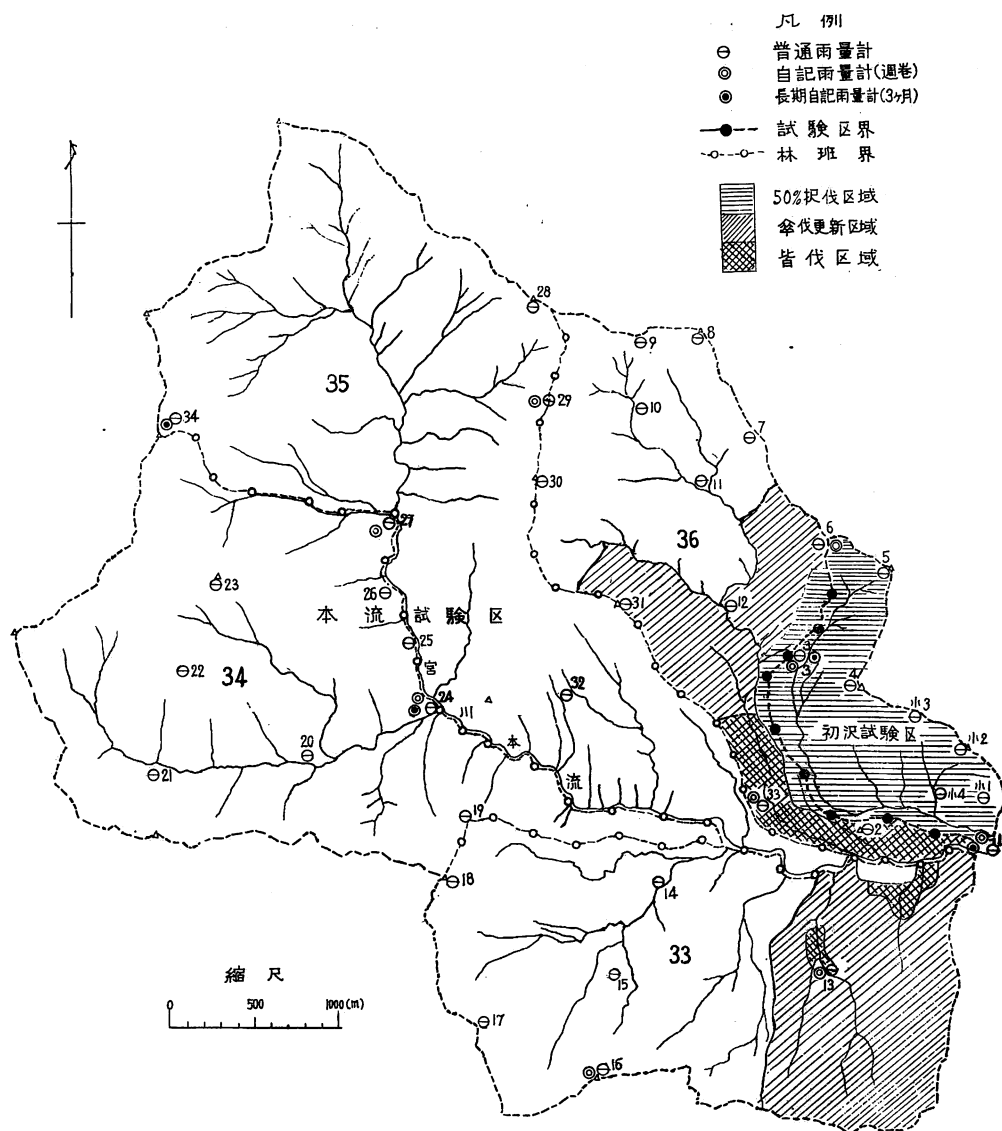
森林治水試験の対象となった本流流域では1938年までに下流流域の優良林分約 300ha、材積 30,000m³弱が伐採、搬出されている。当時の林木搬出に当たっては主として木馬が用いられ、一部は軌道によって運搬された。伐採の主力が奥利根本流域に移ったため本試験区内の伐採はいったん中止され、後日試験計画にもとづいて伐採の影響を求めるため再開するように配慮された。1938～40年にかけて皆伐区域の新植が行なわれたのみで、1945年までは何ら見るべき施策は行なわれなかった。戦後の増伐時期に至って初平台地における傘伐更新跡地の残存した森林に整理伐が施され、その跡には1952～1954年にかけてスギ、カラマツが植栽され、現在ではそれらが逐次成林しつつある。本流流域の伐採はその後行なわれず、1960年まで大きな変化は見られなかった。なお、本流試験区の中流以上の森林には何らの施策も行なわれず、現在でも原生状態を保っている。第4表は試験開始当初における本流流域の伐採された面積と材積を掲げたものである。

第4表 試験開始当初において伐採された面積と材積（本流試験区）

伐 採 年 度	伐 採 面 積 (ha)	材 積 (m ³)	備 考
1934	39.23	3,564	板 幽 沢
1935	79.35	7,200	〃
1936	82.51	7,900	{板 〃 沢
1937	66.86	6,869	{鈴 見 入 沢
1938	28.59	2,930	{後 〃
合 計	296.54	28,463	

第5表 初沢試験区における年度別伐採面積と材積（50%択伐）

伐 採 年 度	伐 採 面 積 (ha)	本 数 (本)	材 積 (m ³)	備 考
1948	19.19	1,111	1,780	伐採調整に基づく 全区域
1949	37.81	1,831	3,690	
1950	28.26	1,430	2,614	
1951	32.64	1,638	1,992	
1952	—	853	1,139	



- | | | | | | | |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1. 観測基地 | 2. 初平 | 3. 野地平 | 4. 猫幽 | 5. 初沢頭 | 6. 奥初沢 | 7. 雨立峯 |
| 8. 雨立上 | 9. 雨立下 | 10. 布引沢 | 11. 菊石沢 | 12. 板幽沢 | 13. 後沢 | 14. 武能平 |
| 15. 中栗沢 | 16. 栗沢 | 17. 三吉 | 18. 武能 | 19. 中武能 | 20. 黒沢 | 21. 白毛門 |
| 22. 笠峯 | 23. 中峯 | 24. 広河原 | 25. 大原 | 26. 広石 | 27. 大石沢 | 28. 奥布引 |
| 29. 中布引 | 30. 布引峯 | 31. 板幽峯 | 32. 大野地 | 33. 板幽平 | 34. 笠岳 | |

第1図 宝川森林治水試験地伐採区域および雨量計配置図

初沢試験区における森林は、森林の取扱いと流出量との関係を調査するための標準区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なうことにした。1938～1947年までは全く伐採を行わずに原生林の状態を保ち、その間、集水地降水量および流出量を測定し、1948年から伐

採の第1段階として全区域にわたる材積50%の択伐を施すことになった。しかし、伐採にかかった当時は終戦直後のことで、労務不足等の影響もあって、短時日の間に全区域にわたる伐採を終わることが困難であった。50%の伐採搬出等の作業が完全に終了したのは1953年である。初沢試験区の50%択伐中における各年間の伐採面積および材積は第5表のとおりである。

本流、初沢両試験区を含めた伐採区域は第1図を参照されたい。

4. 森林伐採にともなう暖候期間の流出量変化

この報告の調査対象となった流出量は溪流に融雪水の影響がなくなった暖候期間中のものである。宝川

第6表 集水地内各地降

場 所 海 抜 高 (m) 年 月	観 測 基 地						広 河 原					
	816						1250					
	6	7	8	9	10	合 計	6	7	8	9	10	合 計
1938	229.5	155.4	96.6	99.7	205.1	786.3	—	—	—	—	—	—
1939	127.5	84.4	223.3	176.4	79.2	685.8	—	—	—	—	—	—
1940	152.9	161.8	170.8	73.4	140.3	699.2	—	—	—	9-24 246.5	—	246.5
1941	210.1	294.2	92.3	268.8	87.4	952.8	18 162.1	120.0	375.4	176.9	—	834.4
1942	177.1	244.7	181.1	113.8	237.3	954.0	6 274.2	231.4	159.1	398.4	—	1063.1
1943	90.4	92.1	79.6	263.1	228.3	753.5	9 48.3	113.4	382.7	312.1	—	856.5
1944	122.5	266.7	102.7	126.8	156.4	775.1	13 228.7	167.9	231.4	242.7	—	870.7
1945	164.1	306.6	115.0	195.2	416.9	1197.8	14 217.6	128.0	297.2	494.1	26 246.5	1136.9
1946	113.4	257.3	144.9	115.4	184.2	815.2	16 149.5	188.2	202.8	226.0	25 246.5	766.5
1947	212.7	146.3	130.5	391.5	96.7	977.7	21 66.5	112.5	460.6	148.0	29 246.5	787.6
1948	172.1	372.4	120.8	368.8	159.6	1193.7	12 143.1	407.4	154.0	529.3	25 180.1	1413.9
1949	175.8	108.7	235.1	221.3	196.6	937.5	18 169.0	147.4	302.5	250.4	299.8	1169.1
1950	316.6	225.8	231.0	127.3	139.2	1039.9	398.5	289.9	338.1	207.9	259.5	1493.9
1951	115.4	159.6	100.3	144.1	147.6	667.0	152.8	221.7	186.9	220.0	259.4	1040.7
1952	177.2	278.0	153.5	190.4	149.4	948.5	3 253.6	363.2	226.0	231.2	268.2	1342.2
1953	200.3	267.2	299.5	256.6	69.3	1092.9	17 115.7	363.2	408.7	387.9	109.8	29 1384.5
1954	246.0	166.6	173.7	156.4	122.7	865.4	24 66.2	203.6	235.8	238.9	183.3	927.8
1955	142.0	131.2	130.6	225.4	267.9	897.1	28 76.3	131.5	188.9	275.1	464.5	1136.3
1956	184.7	219.9	127.5	204.6	121.7	858.4	241.3	315.6	253.7	259.6	194.7	1264.9
1957	127.4	260.5	228.4	231.6	121.3	969.2	190.7	335.3	214.0	523.2	13 38.8	1302.0
1958	117.5	268.0	280.5	335.0	222.5	1223.5	—	400.0	310.0	471.0	329.0	1510.0
1959	242.0	336.0	296.0	225.5	181.5	1281.0	—	392.0	418.0	310.0	207.0	1327.0
1960	93.5	293.0	118.5	132.0	130.0	810.5	—	312.0	269.0	223.0	215.0	1019.0

注：月量の左肩の数字は観測が1か月に満たない場合観測開始の日付を示す。
月量の右肩の数字は観測が1か月に満たない場合観測終了の日付を示す。

試験地において溪流に融雪水がほとんど認められなくなる時期は、おおむね本流試験区で7月下旬、初沢試験区で5月下旬である。しかし、そのころでも奥地の溪間には若干の残雪があり、とくに大雪の年ではこのために本流で8月中旬、初沢で6月下旬まで顕著な雪汁の日週変化が認められることもある。

また降雪は早い年では10月下旬に始まるが、毎年多量の降雪があるのは11月にはいつてからである。本流奥地はそのため直ちに根雪となる場合もあるが、試験区全体が積雪下におかれるのは12月上旬である。

以上降雪と消雪の時期を考慮し、流出量に融雪水の影響がなくなる暖候期間として、本流試験区では8～10月の3か月間、初沢試験区では6～10月の5か月間とすることが妥当であると考えられる。しかし、この報告では本流、初沢の対照をも考え8～10月の降水量と流出量の関係について調査したのである。

水量観測表 (mm)

大 石 沢						野 地 平					
1325						1165					
6	7	8	9	10	合 計	6	7	8	9	10	合 計
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	²⁹ 231.8	231.8
—	—	—	—	—	—	—	77.7	262.8	200.3	102.9	643.7
—	—	—	—	—	—	—	²⁸ 19.7	194.8	82.9	162.5	459.9
—	—	—	—	—	—	—	⁷ 277.9	115.8	306.8	111.9	812.4
—	⁶ 303.5	281.2	155.3	421.4	1261.4	⁸ 164.3	279.0	213.3	134.7	307.1	1098.4
—	⁹ 43.0	130.2	374.7	365.2	913.1	—	⁹ 40.1	86.6	291.3	272.5	690.5
—	¹³ 278.0	172.5	238.3	258.2	947.0	—	¹⁰ 225.8	116.7	167.2	181.7	691.4
—	—	⁷⁺²⁸ 119.2	304.4	²⁶ 507.0	930.6	—	—	¹⁸ 128.8	234.2	428.0	791.0
—	¹⁶ 196.0	238.7	204.6	²⁵ 280.7	920.0	—	¹² 123.6	154.8	141.2	²⁴ 161.4	625.2
—	²¹ 79.9	148.4	485.8	184.2	898.3	—	¹⁹ 45.0	119.8	416.9	³⁰ 121.3	703.0
—	⁵ 413.9	176.1	524.1	¹⁹ 177.9	1292.0	—	—	²¹ 77.2	414.8	²⁵ 153.3	645.8
—	¹¹ 49.8	259.3	223.2	259.3	791.6	¹⁴ 157.9	119.5	266.7	227.5	233.0	1004.6
¹⁶ 128.8	307.7	321.3	235.9	292.0	1285.7	355.5	253.9	171.7	157.7	177.9	1116.7
²⁷ 19.9	227.2	175.7	241.0	261.9	925.7	136.5	180.5	162.3	171.9	176.4	827.6
²¹ 128.5	370.9	232.3	247.5	283.1	1262.3	199.7	304.9	155.6	208.0	173.3	1041.5
¹⁸ 105.2	370.9	480.3	433.5	²⁹ 120.9	1510.8	¹⁵ 98.5	304.7	377.8	301.3	²⁹ 81.4	1163.7
²⁴ 72.5	218.3	272.4	273.7	²⁸ 136.7	973.6	287.8	177.0	183.4	190.7	156.0	994.9
²⁸ 76.3	126.4	189.1	307.5	485.4	1184.7	158.4	134.3	149.1	240.0	328.8	1010.6
293.8	357.7	286.8	283.4	218.6	1440.3	⁸ 192.3	266.5	159.9	216.9	138.2	973.8
—	396.4	232.0	532.1	¹³ 50.9	1211.4	200.4	287.6	211.2	280.3	²⁸ 139.5	1119.0
—	—	—	—	—	—	112.0	308.0	307.2	378.4	259.7	1365.3
—	—	—	—	—	—	258.0	235.0	297.0	232.0	191.0	1213.0
—	—	—	—	—	—	100.5	259.0	189.5	214.0	144.0	907.0

溪川の流出量におよぼす森林伐採の影響については、すでに釜淵森林理水試験地（山形県）および竜の口山森林治水試験地（岡山県）で得られた資料により森林伐採は流出量の増加をとまうことを丸山、中野らが報告しており⁴⁾⁶⁾、遠藤らは上川森林理水試験地（北海道）において風害木処理にとまう森林伐採が夏季間の流出量を増加していることを認めている²⁾。また同じ試験地について勝見も同様な流出量、月流出量について森林伐採が流出量を増加する傾向を持つことを報告している²⁾。

1. 解析の方法

この報告で森林伐採による流出量の変化を検出するに用いた方法は、初沢試験区について1938～47年までの期間を原生林状態とし、1949～1960年の間を材積50%択伐後の期間として、両期間についてそれぞれ前述せる暖候期の降水量と流出量との関係方程式を求めその相違を比較検討したものである。伐採後における各年ごとの流出量変化は原生林時代の関係方程式から各年の降水量により推定した値と観測値との差から求め、それを森林変化の度合と照合して変化の程度を検討した。

本流試験区については試験開始当初、すでに伐採が行なわれていたため、基準になる伐採前の降水量と流出量との関係方程式を求めることができない。それゆえ、全観測期間の暖候期について両者の関係を求め、それにより Doublemass analysis の方法を用いて長期の流出量変動を降水量と対象して検討した。なお、この際に求められた関係方程式は、将来同試験区の森林伐採にとまう流出量変化の検出に、基準式として用いることができるものと考えられる。

2. 降水量と流出量との関係

宝川試験地における暖候期の降水量観測は1938年から始められ、1956年までは普通雨量計を集水地内にできるかぎりかたよらないように配置し、要所に週巻自記雨量計を並置して、それらを5～7日ごとに巡回観測していた。観測点は多いときは30余か所におよび、また設置地点の海拔高は最高1,945mに達している。1957年以降は3か所に3か月巻長期自記雨量計を設置し、数か所にトータライザーを置いて定期的に巡回観測する方法が採られ現在におよんでいる（第1図参照）。しかし、この報告に使用した集水地降水量の観測値には全部の観測点の値をとり入れることをさけ、特に選んだ少数地点の観測値を用いた。すなわち、本流試験区においては観測基地、広河原、大石沢の3か所、初沢試験区においては観測基地、野地平の2か所とした。このような少数地点の観測値そのものでは、各試験区とも十分に集水地平均降水量を表わすことはむづかしいが、これらの地点における観測は比較的長期にわたっているためと、これらをもとにして計算された集水地降水量と、他の観測点を含めて各種の方法で計算された降水量の集水地平均との間には、きわめて高い順の相関関係がみとめられるため、この報告ではあえて集水地平均降水量の代値として上記の少数地点の測定値を用いたのである。第6表にこの報告に用いた各地点の降水量観測値を掲げておいた。

第6表をもとにして本流、初沢両試験区の月別集水地平均降水量を計算し、試験区ごとに流出量とともに表にしたのが第7表および第8表である。月別降水量を計算するにあたり、各観測点の観測値がない期間は、他の統計期間の基地比によって基地降水量から推算した。各試験区の集水地平均降水量は次の式にしたがって計算したものである。

$$\text{本流試験区} \quad P_T = (P_K + 1.5 P_H + 1.5 P_O) / 4$$

$$\text{初沢試験区} \quad P_S = (P_K + P_Y) / 2$$

第7表 本流試験区暖候期（融雪期を除く）の降水量と流出量（mm）

種 目 年 月	集 水 地 平 均 降 水 量				流 出 量			
	8	9	10	合 計	8	9	10	合 計
1938	128	137	314	579	47	101	176	324
1939	294	243	121	658	181	138	47	366
1940	226	101	226	553	98	105	105	308
1941	115	352	173	640	55	229	155	439
1942	242	147	366	755	91	106	294	491
1943	111	345	310	766	37	200	234	471
1944	154	204	231	589	87	134	127	348
1945	121	274	490	885	56	166	455	677
1946	198	195	270	663	129	71	172	372
1947	141	453	158	752	59	293	90	442
1948	154	486	215	855	90	346	124	560
1949	285	243	277	805	49	264	151	464
1950	309	191	216	716	209	102	137	448
1951	156	214	237	607	27	56	112	195
1952	209	228	243	680	155	96	126	377
1953	410	370	126	906	267	268	76	611
1954	237	201	176	614	81	144	88	313
1955	178	277	402	857	43	129	307	479
1956	237	254	187	678	56	119	115	290
1957	232	279	179	690	141	175	138	454
1958	309	452	315	1076	178	398	246	822
1959	399	297	208	904	241	181	191	613
1960	238	206	202	646	143	112	107	362

第8表 初沢試験区暖候期（融雪期を除く）の降水量と流出量（mm）

種 目 年 月	集 水 地 平 均 降 水 量				流 出 量			
	8	9	10	合 計	8	9	10	合 計
1938	71	151	235	457	5	23	87	115
1939	243	188	89	520	67	76	17	160
1940	181	78	150	409	38	30	39	107
1941	99	287	100	486	26	140	56	222
1942	220	120	277	617	42	28	143	213
1943	84	282	247	613	11	91	150	252
1944	112	144	169	425	31	51	62	144
1945	122	215	408	745	16	77	288	381
1946	199	123	187	509	57	15	64	136
1947	123	407	103	633	12	223	43	278
1948	146	390	188	724	×	×	×	×
1949	214	259	221	694	24	197	99	320
1950	251	142	162	555	120	×	×	×
1951	132	159	160	451	18	43	69	130
1952	152	200	159	511	83	61	68	212
1953	334	275	79	688	183	161	40	334
1954	178	174	133	485	46	69	50	165
1955	134	232	298	664	21	86	193	300
1956	136	204	128	468	24	81	52	157
1957	226	260	144	630	124	114	81	319
1958	294	357	241	892	131	272	171	574
1959	296	229	187	712	153	116	135	404
1960	154	173	137	464	86	56	44	186

注 1948, 50年は湛水池修繕のため欠測となる。

ここに、 P_T ：本流試験区集水地平均降水量、

P_S ：初沢試験区集水地平均降水量、

P_K ：観測基地降水量、

P_H ：広河原降水量

P_O ：大石沢降水量、

P_Y ：野地平降水量

流出量は1958年まではすでに公刊された森林理水試験観測報告より採り、それ以後は同じ方法により観測、計算されたものを補充した。

ある期間の降水量 P は、流出量 D と蒸発散量 E および土壌水分の増加量 ΔS に配分される。これを式で示せば次のとおりである。

$$P = D + E + \Delta S \dots\dots\dots(1)$$

この式について、降水量と流出量との関係を研究するにあたり、両者の観測値を暦月により限定すると、期間直前の降水量による流出量は研究対象期間の降水量に無関係な量として加わり、期間終了直前に降水量がある場合には、それにより流出量は研究対象から除外されるという矛盾が生ずる。この矛盾を除くために、各年ごとに期間の始めと終わりの時期を少しずらし、降水量にともなう流出量の大部分が対応されるごとく期間を定めて両者の関係を見るならば、暦月に期間を定めた場合よりも正しく降水量と流出量の関係を示すものと考えられる。なおまた、(1)式により ΔS の項を極小にするため期間の始期と終期の流量をなるべく小さくとり、かつその差を極小にするならば、降水量と流出量の関係はより明白にされるものと考えられる。

第9表は融雪水の影響を除いた暖候期間の中から各年ごとに上期の趣旨にしたがって期間を定め、その期間の降水量と流出量を示したものである。この表から降水量と流出量の関係を図示すると第2図のごと

第9表 始期と終期の流量差を極小にした場合の降水量と流出量 (mm)

期 間				本 流 試 験 区		初 沢 試 験 区	
年	自 月 日	至 月 日		集 水 地 平均降水量	流 出 量	集 水 地 平均降水量	流 出 量
1938	8 4	11 3		557	324	439	120
1939	7 31	10 30		659	365	522	160
1940	8 4	11 3		558	311	405	108
1941	7 30	10 29		660	445	498	225
1942	7 30	10 29		777	488	618	212
1943	8 5	11 4		767	480	613	261
1944	8 3	11 2		589	347	425	141
1945	8 1	10 31		886	677	742	381
1946	7 27	10 26		709	364	496	132
1947	8 1	10 31		752	441	633	278
1948	8 3	11 2		855	551	×	×
1949	7 25	10 24		709	412	613	270
1950	7 27	10 26		797	479	×	×
1951	7 31	10 30		607	195	450	129
1952	7 25	10 24		719	380	556	216
1953	8 1	10 31		906	611	688	383
1954	7 31	10 30		635	312	507	165
1955	7 26	10 25		732	405	572	242
1956	7 30	10 29		618	276	423	148
1957	8 4	11 3		700	458	654	321
1958	8 4	11 3		1061	827	886	579
1959	8 1	10 31		904	613	711	404
1960	7 26	10 25		632	358	512	184

くになり、両者の関係は本流、初沢試験区とも一次式によって表わすことができるようである。

両試験区ごとに降水量と流出量の相関係数 r_{PD} を計算すると、

$$\text{本流試験区} \quad r_{PD} = 0.94$$

$$\text{初沢試験区} \quad r_{PD} = 0.96$$

となり、相当に高い相関関係があることがみとめられる。

いま両者の関係を回帰式 $D = aP + b$ の形で求めると次のごとくなる。

$$\text{本流試験区} \quad D_T = 1.056P_T - 331 \cdots \cdots (2)$$

$$\text{初沢試験区} \quad D_S = 0.927P_S - 288 \cdots \cdots (3)$$

現在まで各地で行なわれた量水試験の結果では、経験的に1年または1水年の降水量と流出量との関係は、多くの場合直線関係で表わされることが明らかにされている²⁾⁴⁾⁶⁾⁷⁾¹⁰⁾。また最近、遠藤らは上川理水試験地の量水観測結果から夏期間の降水量と流出量の関係も一次式であることを報じている¹⁾。

かくのごとく降水量と流出量との関係が一次式によって表わされるのは、流域の水分収支のうえにその流域が完全に外部と遮断され、他区域との水分の流通が行なわれない場合、(1)式が成立することを意味する。これにより、

$$P = D + E + \Delta S$$

において ΔS が0になるか、少なくともできるだけ小さくなるごとく期間を選ぶならば、その期間の水分収支の式は近似的に、

$$P = D + E$$

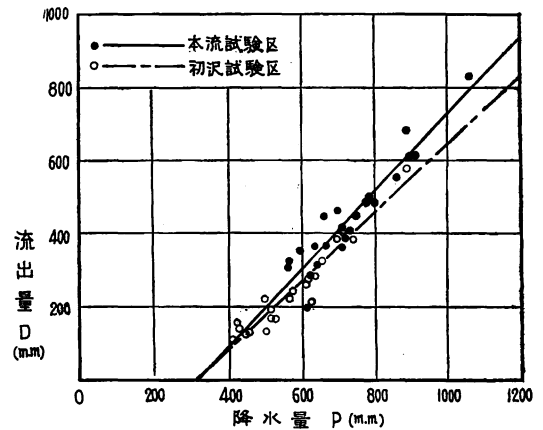
$$\therefore D = P - E \cdots \cdots (4)$$

のごとく変形される。(4)式によれば流出量は降水量から蒸発散量を差し引いた残ということが出来る。(4)式のうち P は独立変数の立場におかれ、 D はその函数となる。蒸発散量 E はそのときの気象条件、主として日射量、気温、風速等によって変化するものであるが、 D が P によって変化する状態に比較すれば恒常的なものに近い値を示すものと見られている⁹⁾。したがって、 $\Delta S = 0$ なる条件が満たされる期間については、その期間が短くとも常に(4)式が成立するべきものと考えられる。(2)式に示されるごとく、回帰式の係数 a が1に近い数値を示すことは、この関係が根底にあるからである。

なおまた、降水量と流出量の回帰式で考えなければならないことは、観測値のうち流出量は比較的精度よく、かつ、自記水位計により全量が測定されるのに反して、降水量はその真値、とりわけ集水地平均降水量は、どのような測定方法を通じて、その確値を求めることは不可能である。われわれはただ集水地平均降水量を母集団とする、一標本を測っているにすぎない。それゆえ回帰式中に使われている降水量 P の値は、ただ母集団のサンプルとしてあることで、次のことを考えに入れなければならない。

真の集水地平均降水量： P_M

観測された 降水量： P_O



第2図 暖候期間の降水量と流出量
(8～10月期)

とするとき,

$$P_M = a' P_O$$

とすれば,

$$P_M > P_O : a' > 1$$

$$P_M = P_O : a' = 1$$

$$P_M < P_O : a' < 1$$

なる関係があり,

$$D = P_M - E$$

において, P_M に $a' P_O$ を代入すれば

$$D = a' P_O - E$$

E を恒常的なものと見て Constant b_0 とすれば,

$$D = a' P_O - b_0$$

となって, 回帰式と同じ形になる。これにより降水量の観測値がその位置的特性, または他の原因で集水地平均降水量の真値より過大に, または過少に観測された場合には, それに応じて係数 a の値は変動するはずである。しかし, 降水量の観測値がある程度真値に近い場合には, 係数 a はその流域の流出機構の特性をあらわしていると考えてよからう。すなわち, その流域の地形・地質・地被植生などの地況条件の差により, a は変化すると考えられる。また量水試験の行なわれている各地の暖候期間の降水量と流出量の関係を直線回帰式であらわしてみると次のとおりで, 回帰係数 a が小さいところでは相関係数 r_{PD} が低くなる傾向があるようである。

場 所	統 計 期 間	回 帰 式	相関係数 r_{PD}
上 川 (南 谷)	1939~58 (6月~10月)	$D = 0.87 P - 285$	0.78
釜 淵 (1 号 沢)	1938~58 (")	$D = 1.07 P - 570$	0.98
竜の口山 (南 谷)	1937~58 (")	$D = 0.75 P - 306$	0.92
穴 の 宮 (愛知演習林)	1925~61 (")	$D = 1.04 P - 435$	0.98
数 成 (")	1925~41 (")	$D = 0.98 P - 400$	0.99
東 山 (")	1925~61 (")	$D = 0.91 P - 421$	0.91
白 坂 (")	1925~61 (")	$D = 1.04 P - 555$	0.97

それゆえ流出係数 a および相関係数 r_{PD} の値はある程度流域の立地条件にしたがって一定の変化傾向をもつごとく感じられる。このことは反面, 流域の理水機能を示す一指標としての性質を兼ねるものであるといえよう。

3. 森林伐採にともなう流出量変化

本節では前節に述べたごとく降水量と流出量の関係が1次式で表わされ, かつその相関関係が相当高いことに準拠して, 森林伐採の影響を検討した。

前章で述べたごとく, 初沢試験区は1948年秋から1953年夏の5年間にわたって, 材積50%択伐による森林伐採が行なわれている。また, 1948年の夏季には堰堤修繕のため流出量が欠測となっているので, 1938~1947年間に伐採前の原生林状態とし, 1949~1960年間に伐採後として, それぞれ降水量と流出量の関係を図示すると第3図のごとく, 一見して点の配列が異なることがわかる。よって, 両期間について別々に

降水量と流出量の回帰式を求めた。その結果は次のごとくである。

50%択伐前 1938～1947年間

$$D's = 0.734P's - 199$$

$$r_{PD} = 0.92 \cdots \cdots (5)$$

50%択伐後 1949～1960年間

$$D's = 1.002P's - 323$$

$$r_{PD} = 0.99 \cdots \cdots (6)$$

(5)式と(6)式を比較するに、伐採後は流出係数 a の値が大きくなっており、流況に若干の変化が起きたごとく見受けられる。いま伐採前の回帰直線のまわりに、その95%信頼限界を入れて見ると第3図に示されるごとく、伐採後の回帰直線はおおむね560mmのところからその上限を出ている。このことは、森林伐採により流出量は降水量が多くなるにしたがって顕著に増加することを示している。これと同様の現象が年降水量と年流出量の間にあることを、勝見は北海道の上川理水試験地の南谷について報告している²⁾。

伐採前の回帰式により、伐採が行なわれなかったものとして伐採後の各年の降水量から、流出量を推算して観測値と比較すると第10表のごとくになり、平均し

て30mmあまり観測値が計算値より増加している。これは伐採されない場合の流出量に対して13%に当たる。

初沢試験区については以上のことにより、原生林の伐採は暖候期間の流出量を増加するものと考えられる。

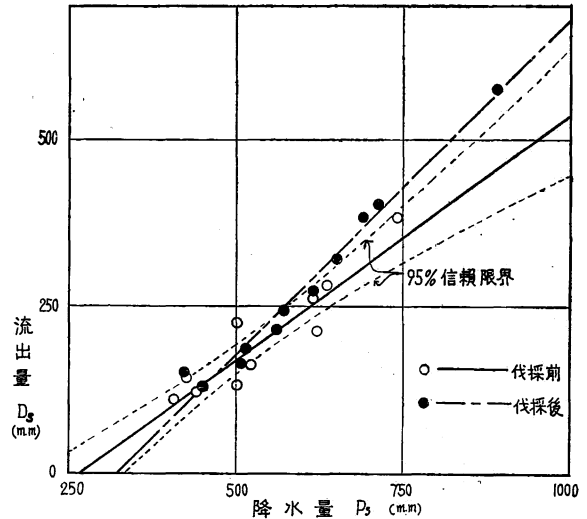
本流試験区については試験開始当初、すでに下流部分に相当強度な伐採が施されているため、前記の方法では伐採の影響を求めることができない。そこで Double-mass analysis の方法を用いて、長期の流出量変化を検討することにした。

すなわち、降水量と流出量の回帰式

$$D = aP - b$$

を変形して

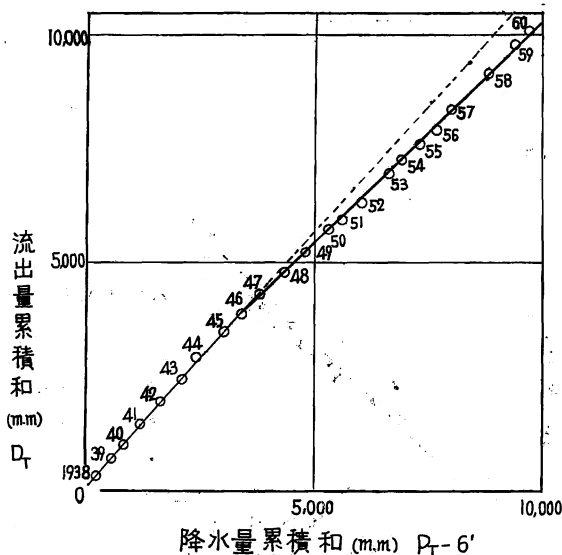
$$D = a(P - b') \cdots \cdots (7)$$



第3図 初沢試験区伐採前後の回帰直線の比較
(8～10月期)

第10表 初沢試験区50%択伐後の流出量偏差

年	流 出 量		偏 差 Δ ($D's - D's$)
	観 測 値 ($D's$)	計 算 値 ($D's$)	
1949	270	256	+ 14
1950	—	208	—
1951	129	135	— 6
1952	216	214	+ 2
1953	383	312	+ 71
1954	165	178	— 13
1955	242	226	+ 16
1956	148	115	+ 33
1957	321	287	+ 34
1958	575	459	+116
1959	404	329	+ 75
1960	184	181	+ 3



第4図 本流試験区流出量の長期変化

とするとき、かっこ内をひとつの変数と見るならば、(7)式は原点を通る1つの直線を表わす。それゆえ、いま各年の降水量から一定数を引いた量の経年的な累積和と流出量の累積和とのグラフを描けば、これは原点を通る1つの直線で表わされるわけである。しかし、各年の流出量の偏差は年ごとに直線の傾きを少しずつ異なったものにする。累積和を経年的に作ると、流況に特別な変化が引きつづいて起こるならば、その年から直線は方向が変わってゆく。

いま、本流試験区について回帰式(2)より

$$D_T = 1.056 P_T - 331$$

$$= 1.056(P_T - 314)$$

として、流出量 D_T と降水量 $(P_T - 314)$ の累積和を経年的に図示すると、第4図のとおりとなる。図に示されるごとく、本流試験区では1945年ころから線分は下向きになり、流出量は試験当初から見ると減少の傾向を示している。このことが直ちに伐採後の林分回復および成長の結果であると断定することはできないが、同じ地域の初沢試験区が伐採後流出量が増加していることと対応して、同じ年代で本流試験区の流出量が減少に傾いていることは注目すべき現象であると考えられる。この解析に用いた降水量の測定場所、測定器具は全期間を通じて同じであるため、降水量には特別な経年変化は無かったものとして、上記の Double-mass analysis を行なった。

5. 総 括

(1) この報告は融雪の影響を除いた暖候期間の降水量と流出量との関係を決定し、それにもとづいて森林伐採により流出量に変化する状態を検出したものである。宝川試験地における融雪の影響を除いた暖候期間は、本流試験区は8～10月、初沢試験区は6～10月であるが、ここでは両試験区とも8～10月に相当する期間を調査の対象とした。

本流、初沢両試験区とも、この期間における降水量と流出量の関係は1次式にて示され、かつ相関関係は相当に高いものである。1938～1960年までの期間について求めた結果は次のとおりである。

本流試験区

$$D_T = 1.056 P_T - 331 \quad r_{PD} = 0.94$$

初沢試験区

$$D_S = 0.927 P_S - 288 \quad r_{PD} = 0.96$$

(2) 初沢試験区については、1948年秋から材積50%択伐による伐採が行なわれている。そこで、伐採前と伐採後の期間に分けて、そのおのおのについて降水量と流出量との回帰式を求めて見た。その結果、伐

採後は回帰係数 a の値が大きくなり、回帰直線は約 560mm の点で伐採前の回帰直線の95%信頼限界の上限を出ている。すなわち、流出量変化は有意なものと認められ、降水量が多くなるにしたがって流出量の増加が顕著になるものと考えられる。伐採前と伐採後の回帰式は次のとおりである。

伐採前（1938 ～ 1947年間）

$$D's = 0.734 P's - 199 \quad r_{PD} = 0.92$$

伐採後（1949 ～ 1960年間）

$$D''s = 1.002 P''s - 323 \quad r_{PD} = 0.99$$

(3) 初沢試験区について伐採前の回帰式から伐採後の流出量を推算し、観測値と比較したところ観測値が平均して30mmあまり大きくなっており、それは伐採されないとするときの流出量の約13%に当たっている。

(4) 本流試験区については Double-mass analysis の方法を用いて長期の流出量変動を調査したところ、1945年ころから流出量が減少の傾向を示している。

(5) この研究と同様に、森林伐採の結果はほとんどの場合流出量の増加をともなっている。しかし、この流出量の増加が Hydrograph のどの部分で行なわれたかはまだ判明していない。またわれわれが求めたいのは流出量増加の時点である。この要求をみたすためには、なお一層深く水文学の立場から降水量と流出量の関係を研究する努力をしなければならないであろう。

文 献

- 1) 遠藤泰造・勝見精一・舟木敏夫：夏季間の流量におよぼす伐採の影響について，林業試験場北海道支場1960年報 pp. 181 ～ 214, (1961)
- 2) 勝見精一：上川試験林における伐採後の流出量の変化（第1報），林業試験場北海道支場業務報告特別報告，5，pp. 139 ～ 149, (1956)
- 3) 川畑幸夫編：水文気象学，応用気象学大系，地人書館，pp. 137 ～ 186, (1961)
- 4) 丸山岩三・猪瀬寅三：釜淵森林治水試験第1回報告，林業試験場研究報告，53，pp. 1～42, (1952)
- 5) 丸山岩三・川口武雄：森林の治山治水機能に関する研究抄録，林野庁，pp. 13 ～ 190, (1952)
- 6) 中野秀章・大滝勇：竜の口山水源涵養試験第3回報告，林業試験場研究報告，44，pp. 31 ～ 61, (1950)
- 7) 荻原貞夫，山本勝市：竜の口山水源涵養試験第2回報告，森林治水試験彙報，20，pp. 1 ～ 8, (1944)
- 8) 林業試験場：森林理水試験地観測報告，林業試験場，225 pp., (1961)
- 9) 林業試験場：森林気象観測累年報告（第2報），林業試験場，270 pp., (1960)
- 10) 桜井莊三：年流出量並に年流出率と年雨量との関係，砂防，42，pp. 57～74, (1935)
- 11) 桜井莊三：月流出量と月雨量との関係，砂防，47，pp. 425 ～ 442, (1936)
- 12) 白井純郎・近藤松一・大原忠一：伐採による流量変化の総合的考察，林業試験場研究報告，68，pp. 95 ～ 118, (1954)
- 13) 武田繁後：宝川森林治水試験第2回報告，前橋営林局，157 pp., (1950)
- 14) 山田昌一：宝川森林治水試験報告その一，その二，東京営林局，259 pp., (1943)

Effect of Cutting on Runoff for Warm Season.

(Experiment on forest influence upon stream flow at Takaragawa. 3rd Report)

Satoyasu NAGAMI, Shōichi YOSHINO and Toshio ABE

(Résumé)

The authors studied the relations between precipitation and runoff for the warm season without any influence of melting snow, and estimated the effect of cutting on discharge.

At Takaragawa experimental field, the warm season without any influence of melting snow was from August to October for Honryu basin, and from June to October for Shozawa basin, but the warm season are defined as the period from August to October for both of these basins.

For this period, the relations between precipitation and runoff were of a liner function and their correlations were considerably high for the two basins. The regression lines obtained from the period from 1938 to 1960 are as follows:

Honryu drainage basin

$$D_T = 1.056 P_T - 331 \quad r_{PD} = 0.94$$

Shozawa drainage basin

$$D_S = 0.927 P_S - 288 \quad r_{DP} = 0.96$$

where D_T : discharge from Honryu basin (mm)

P_T : mean precipitation at Honryu basin (mm)

D_S : discharge from Shozawa basin (mm)

P_S : mean precipitation at Shozawa basin (mm)

At Shozawa basin, a 50-percent selective cutting in volume was carried out in autumn 1948. The estimated respective regression lines of precipitation to discharge for before-cutting (1938~1947) and for after-cutting (1949~1960) are as follows:

$$D'_S = 0.734 P'_S - 199 \quad (1) \quad r_{PD} = 0.92$$

$$D''_S = 1.002 P''_S - 323 \quad (2) \quad r_{PD} = 0.99$$

where D'_S : discharge from Shozawa basin for before-cutting

D''_S : " " " " for after-cutting

P'_S : mean precipitation at Shozawa basin for before-cutting

P''_S : " " " " for after-cutting

By using the regression (1), we estimated runoffs for after-cutting, compared them with the observed values and obtained a result that the observed values were on the average 30 mm larger than the estimated values. These values were equivalent to 13 percent of runoff in the case of the un-cut forest. It is also noticed Fig. 3 that the runoffs from rainfalls of more than 560 mm for the after-treatment are significantly from the runoffs for the before-treatment.

A long-term variation of runoff was investigated by the doublemass analysis for Honryu basin. It showed a trend of decrease of runoff after 1945.

We have had many reports which discussed the effect of cutting on runoff, but the hydrological analysis has not been made thoroughly on the relation between forest conditions and runoff.

Accordingly, further basic studies will be made on the effect of precipitation on runoff.

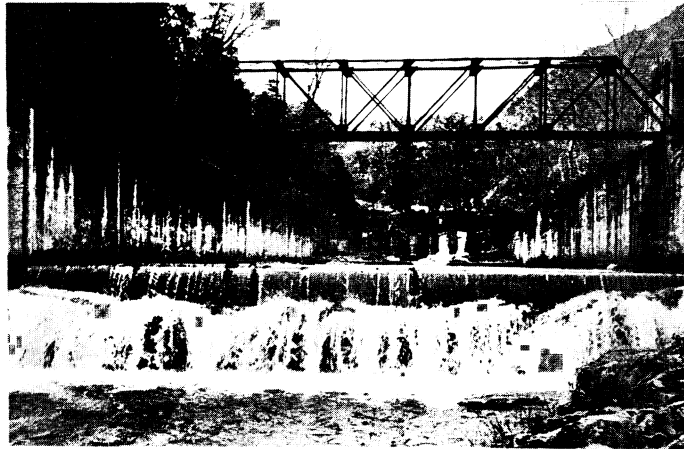


写真 1. 本流試験区量水路

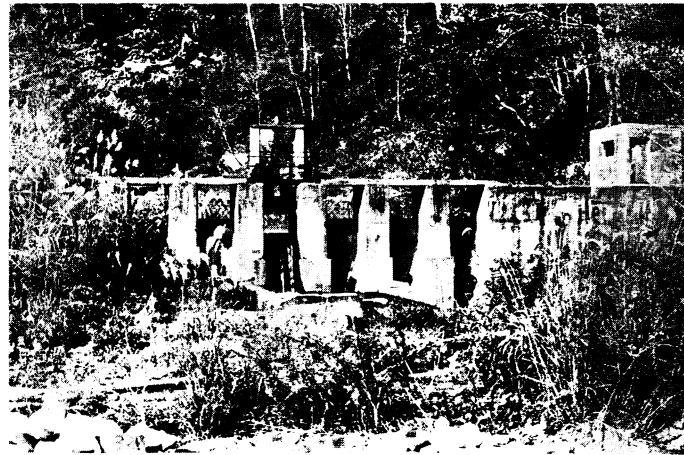


写真 2. 初沢試験区量水堰堤



写真 3. 集水地内長期自記雨量計



写真 4. 本流試験区原生林



写真 5. スギ, カラマツ新植地



写真 6. 初沢試験区伐採後の林相